

EVİK
2011

4. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE KALİTESİ SEMPOZYUMU
12 - 13 MAYIS 2011



EVİK
2011

4. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE KALİTESİ SEMPOZYUMU
12 - 13 MAYIS 2011



TMMOB
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
KOCAELİ ŞUBESİ



TMMOB
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
KOCAELİ ŞUBESİ



KOCAELİ
ÜNİVERSİTESİ



SAKARYA
ÜNİVERSİTESİ

4. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE KALİTESİ SEMPOZYUMU

EVK 2011

12 - 13 MAYIS 2011

Kartepe / KOCAELİ



**TMMOB
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
KOCAELİ ŞUBESİ**



**KOCAELİ
ÜNİVERSİTESİ**



**SAKARYA
ÜNİVERSİTESİ**

**TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
KOCAELİ ŞUBESİ
MAYIS 2011**

EMO YAYIN NO: SK/2011/2
ISBN: 978-605-01-0097-6

Bu eserin yayın hakkı Elektrik Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi'ne aittir. Kitabın hiç bir bölümü değiştirilemez. Elektrik Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi'nin yazılı izni olmadan kitabın hiç bir bölümü elektronik, mekanik, vb. yollarla kopya edilemez, kullanılamaz. Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

İLETİŞİM

Elektrik Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi

Ömerağa Mah. Ankara Cad. Naci Girginsoy Sok. No: 15/4 İzmit-KOCAELİ / TÜRKİYE

Tel: 0262 325 58 48 325 56 96

Faks: 0262 324 54 56

web: www.kocaeli.emo.org.tr **e-posta:** kocaeli@emo.org.tr

Baskı

Kocaeli Üniversitesi Basım Evi
Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi
41380 İzmit / KOCAELİ
Tel: 0262 303 14 44

İÇİNDEKİLER

Bildiri Adı	Sayfa
Doğru Akımla Çalışan Ark Ocaklarında Harmonik Analizi Serhat DUMAN, Yıldız FERİK, Bora ALBOYACI, Nuran YÖRÜKEREN	1
Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS) ve Dağıtılmış Enerji Üretim Sistemleri ile Donatılmış Elektrik Şebekelerinin Analizi Cevdet ERSAVAŞ, Faruk URGANLI, Hasan Umut UMAR, Engin KARATEPE	7
Çeşitli Yük Tiplerini için Harmonik Üreten Yük Modellerinin Hassasiyet Analizi Kısım I: Farklı Gerilim Seviyelerinde Analiz Murat Erhan BALCI, Özgür KARACASU, Mehmet Hakan HOCAOĞLU	12
Çeşitli Yük Tiplerini için Harmonik Üreten Yük Modellerinin Hassasiyet Analizi Kısım II: Farklı Gerilim Dalga Şekillerinde Analiz Murat Erhan BALCI, Özgür KARACASU, Mehmet Hakan HOCAOĞLU	17
Bilgisayar Yüklerinin Harmonik Aktivite Kestirimi Ve Harmonik Analizi Bora ACARKAN, Osman KILIÇ, Selim AY, Niyazi GÜNDÜZ	21
AC-AC Motor Sürücülerde Giriş Güç Kalitesi ve Enerji Verimliliği V.Volkan ABAN, Ahmet M. HAVA	26
Üç Fazlı Şebekeye Bağlı İnverterlerin Uzay Vektör Modülasyonu ile Kontrolü Evren İŞEN, A.Faruk BAKAN	32
Şebekeye Bağlı Rüzgar Türbinlerinin Fliker Etkileri Akın TAŞCIKARAOĞLU, Mehmet UZUNOĞLU	37
Rüzgar Santralinde Geçici Durum Etkilerinin İncelenmesi M. Kenan DÖŞOĞLU, Ayşen Basa ARSOY	43
Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinde Kullanılan Çok Seviyeli Eviricilerin İncelenmesi Abdülvehhab KAZDALOĞLU, Bekir ÇAKIR, Murat DEMİR, Aziz GÜNEROĞLU, Engin ÖZDEMİR, Mehmet UÇAR	48
Değişken Sığaç Gerilimli Paralel Etkin üç Süzgeci Hasan DİRİK, Muammer ÖZDEMİR	53
Endüstriyel Güç Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Pasif Filtrelerle Yok Edilmesi M. Mustafa ERTAY, Bora ALBOYACI, H. Tarık DURU, E. Mustafa YEĞİN	58
3 Fazlı Çok Seviyeli Evirici Tasarımı ve Uygulaması Ersoy BEŞER, Birol ARİFOĞLU, Sabri ÇAMUR, Esra KANDEMİR BEŞER	64
Çok Darbeli Doğrultucularda Çok Seviyeli Akım Enjeksiyonu İle Harmonik Eliminasyonu A.Faruk BAKAN, Halit ZENGİNCE, Özgün GİRGIN	69

4-Kollu 4-Telli Birleşik Seri-Paralel Aktif Filtre İle 3-Faz 4-Telli Sistemlerde Güç Kalitesinin İyileştirilmesi	74
Mehmet UÇAR, Şule ÖZDEMİR, Engin ÖZDEMİR	
G-Led Uygulamaları İçin Güç Katsayısı Düzelticili Tek Kath Ac-Dc Dönüştürücülerin Ayrıntılı Analizi	79
Hasan YILMAZ, Ahmet M. HAVA	
Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonunda Akıllı Şebekelerin Rolü ve Gelecek Öngörülleri	84
Yavuz ATEŞ, Mehmet UZUNOĞLU, Recep YUMURTACI	
Transformatör Manyetik Devre Yapısının Boşta Çalışma Akımına Etkisi	88
Bora ALBOYACI, Mehmet Aytaç ÇINAR, Mehlika ŞENGÜL	
Verimi Artırmak İçin Güç Sistemlerinde Kullanılan Optimizasyon Metotları Ve Uygulama Alanları	92
Ahmet DOĞAN, Mustafa ALÇI	
Maksimum Güç Transferi için L Tipi Empedans Uyumlaştırma Devrelerinin Belirlenmesi	97
Ali Bekir YILDIZ	
Bir Tekstil Fabrikasında Elektriksel Açından Enerji Verimliliği Analizi	102
Hakan AKÇA, Onur OTHAN, Uğur Savaş SELAMOĞULLARI	
Pervaporasyon Membran Reaktör ile Kimyasal Proeslerde Enerji Verimliliği	107
Filiz UĞUR NİGİZ, Evra BAYAZITLI, Nilüfer DURMAZ HİLMİOĞLU	
Bir Endüstriyel Tesisin Enerji Kalitesini ve Güvenilirliğini Arttırmaya Yönelik Uygulama	111
Canan PERDAHÇI, İbrahim Halil CAN	
Enerji Kablolarında Kısmi Deşarj Ölçümü ve Önemi	116
Kürşat TANRIÖVEN, Serdar YARARBAŞ	
Elektrik Enerjisi Kalitesinin Dünya Çapında Standartlaştırılması ve İncelenmesi	120
Arif MEMMEDOV, Hasan Vural SIĞIRCI	
Enerji Kalitesi İçin Yük-Frekans Kontrolünde Yapay Arı Kolonisi Algoritması Uygulaması	124
Haluk GÖZDE, M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU	
Güç Kalitesi Problemlerinin Etkilerini Azaltmak İçin Uygulanan Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi	129
Levent KILIÇ, Argun ÇİZMECİ	
Enerji Fonksiyonu Analizi İle Gerilim Kararlılığı İncelemesi	134
Ahmet ÇİFCİ, Ahmet Turan HOCAOĞLU, Yılmaz UYAROĞLU, Mehmet Ali YALÇIN	
Güç Kalitesi Monitör Ölçümleri Tabanlı Gerilim Çukur Sıklık İndeksleri	139
Elif İNAN, Bora ALBOYACI	

G-Led Uygulamaları İçin Güç Katsayısı Düzelticili Tek Katlı Ac-Dc Dönüştürücülerin İncelenmesi Hasan YILMAZ, Ahmet M. HAVA	144
Şebekede Yaşanan Bozucu Elektriksel Olayların Dağıtılmış Üretim Sistemleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi Levent KILIÇ, Ayşen BASA ARSOY	149
Anahtarlama Süreksizlikleri Sebebiyle Oluşan Transformatör Arızalarının Analizi Nihat DİLER, Özgür KARACASU, M. Hakan HOCAOĞLU	154
Aşırı Gerilimlere Karşı Korumada Ark Boynuzlarının Etkinliği Hasbi İSMAİLOĞLU	159
Mobil Platformlarda Kullanılan Güneş Dizilerinde Arıza Tespiti Türev SARIKURT, A. Güven PADO, Özge DOĞAN, M. Hakan HOCAOĞLU	164
Bir Yıldırımılıktan Akan Akımın Yaratdığı Manyetik Alanın Bina İçi Kablolarla Etkileşimi Özcan KALENDERLİ, Ali Sinan ÇABUK	169
Elektriksel Risk Analizinde Periyodik Kontrol Ve Ölçümlerin Tehlike Önleyici Etkileri Mehmet Ferit PEKEROĞLU	174
Elektrik Ark Fırınlarını Besleyen Şebekelerde Gerilim Dalgalanmaları Arif MEMMEDOV, Rafael HUSEYNOV, Mustafa ŞEKER	179
Elektrikli Taşıtların Şebeke Üzerine Etkileri ve Türkiye Beklentileri Bünyamin YAĞCITEKİN, Mehmet UZUNOĞLU	183
Özel Güç Cihazlarının Çoklu Fiderli Sistemlerdeki Uygulamalarının İncelenmesi Tahsin KÖROĞLU, Adnan TAN, K. Çağatay BAYINDIR	188
Sayısal Teknolojinin Elektrik Şebeke Ağına Katılması: Akıllı Şebeke Hasan DİNÇER, Feza MUTLU, Murat KUZLU	193
Elektrik Kompanzasyonunun Konutlarda Kullanımı Ve Tasarruf Devresi Tasarlanması Fatih BAŞÇİFTÇİ, Ömer Faruk HATAY	198
Ulusal Elektrik Şebekesine Bağlanan Kojenerasyon Santrallerinde Yükseltici Transformatörlerin Yıldız Noktası Topraklamasının Bilgisayar Destekli Analizi Nuran YÖRÜKEREN, Bora ALBOYACI, Serhat DUMAN	203
Şebekeye Paralel Çalışan Generatörler İçin Faz- Toprak Arıza Analizinin Bilgisayar Destekli İncelenmesi Nuran YÖRÜKEREN, Musa UÇAN	207
Elektrikli Otomobillerin Dağıtım Sistemleri Üzerindeki Olası Etkilerinin İncelenmesi Ömer Faruk BOSTAN, Fatma Gül BAĞRIYANIK, Mustafa BAĞRIYANIK	213

Ferrerezonansın Anlaşılması ve Transformatör Merkezlerinde Yapılan Kompanzasyonun Ferrerezonans Üzerindeki Etkileri Ömer KARA, Mustafa BAĞRIYANIK	218
Güvenilirlik Analizi İçin Dijital Koruma Rölesi Koordinasyonu Canan PERDAHÇI, İbrahim Halil CAN	223
Yapay Sinir Ağları İle Kocaeli İlinin Puant Yük Tahmini Oya DEMİNER, Demet ÖZDEMİR, Melih İNAL	228
İstanbul'un Finans Merkezi Oluşum Sürecinde Enerji Verimliliği ve Altyapı Analizi Ozan ERDİNÇ, Mehmet UZUNOĞLU, Ali Rifat BOYNUEĞRİ	233
Fotovoltaik Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Parçalı Gölgeleme Durum Analizi Murat ÜNLÜ, Sabri ÇAMUR, Birol ARİFOĞLU	238
Türkiye'nin Farklı Kaynak Tiplerine Göre Biyogaz Potansiyellerinin Belirlenmesi Mustafa ÖZCAN, Semra ÖZTÜRK, Mehmet YILDIRIM	243
Dünyada Ve Türkiye'de Atıktan Enerji Üretimi Muhammet SARAÇ, Onur ULUDAĞ	248
Karşıt Kuplajlı Anahtarlı Relüktans Makinası İçin Asimetrik H Tipi Yarım Köprü Dönüştürücünün Anahtarlama Kayıplarının İncelenmesi Cihan ŞAHİN, Ayşe ERGÜN AMAÇ, Mevlüt KARAÇOR	253
Zıt Devinimli Rotorlar İçeren Yel Türbinlerinin Verime ve Güç Kalitesine Etkisi Emin YILDIRIZ, Güven ÖNBİLGİN	258
Biyodizel Üretimi İçin Thermomyces lanuginosa Lipazının Farklı Desteklere Tutuklanması Bahar GÜRKAYA, Melda AKBİN, Başar UYAR, Nurcan KAPUCU	262
Seri Bağlı Lityum İyon Batarya Hücreleri için Şarj Dengeleme Sistemleri Yusuf YAŞA, Erkan MEŞE	265
Fotovoltaik Batarya Şarj Sistemi ile Hibrit Elektrikli Araçlarda Enerji Verimliliği Zafer DÜLGER, Engin ÖZDEMİR	270
Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri Samet ÇALIKOĞLU, Engin ÖZDEMİR, Mehmet UÇAR	275

ÖNSÖZ

Sempozyum; enerjinin etkin ve verimli kullanılması, ekosistem dengesini koruyan ve ekonomik kalkınmayı destekleyen sürdürülebilir enerji sistemine ulaşılması, alternatif enerji kaynaklarını arama çalışmalarının hızlandırılması, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarımıza gereken önemin verilmesini amaçlamaktadır.

Yüzyılımızın ilk çeyreği yaşanırken enerji kaynaklarının sınırsız olmadığı bir kez daha görülmektedir. Yaşanan çevre felaketleri insan ve canlı yaşamını tehdit eder duruma gelmiştir. İnsanlık sanayi devriminden bu yana elde ettiği ekonomik kazanımların çok daha fazlasını harcamak durumuyla karşı karşıya kalmıştır. Geleneksel enerji kaynaklarının sınırlılığı ve çevreye olumsuz etkileri yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları maliyetleri ve yeni kaynakların bulunması zorluğu, önümüzde ciddi bir sorun olarak durmaktadır.

Enerji politikalarının, sürdürülebilir bir enerji sisteminin en önemli unsurlarından biri olduğu tüm dünya ülkeleri tarafından gittikçe artan bir şekilde kabul edilmektedir. Ülkemizde, enerjinin yoğun kullanıldığı endüstri, bina ve çevre aydınlatmasında verimlilik anlamında büyük oranda enerji tasarruf potansiyeli olduğu bilinmektedir. Ayrıca günümüz teknolojilerindeki hızlı gelişmeler sonucu daha kompakt, fonksiyonel ve hassas cihazların, hem sanayide hem de bütün tüketim aşamalarında kullanılması nedeniyle kaliteli enerjiye olan ihtiyaç artmıştır.

Sanayide verimlilik, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, enerji ölçüm ve etkinlik hesaplarının yapılması, verimli motorların tercih edilmesi, yalıtıma önem verilmesi ve endüstriyel süreçte kullanılan hammadde ve teknolojinin gözden geçirilmesi ile olacaktır.

Binalarda verimlilik, ısıtma ve soğutma sistemleri, aydınlatma ve ev aletlerinin kullanılmasında enerji verimliliği konusunda gereken bilincin gösterilmesi şeklinde olacaktır.

Ulaşımda ise bu durum petrol ürünlerinin doğrudan kullanımının getirdiği ekonomik ve çevresel tehditler nedeniyle alternatif enerji kaynakları tüketen araçlar ve toplu taşıma araçlarının kullanılmasıyla gerçekleşecektir.

Tüm bu uygulamalara alt yapı oluşturacak teknolojik yenilikler ve Ar-Ge çalışmaları üniversitelerin mühendislik bölümlerine, ileri teknoloji üretecek kuruluşlara önemli görevler vermektedir.

Madalyonun diğer tarafında ise yerli enerji kaynaklarına sahip çıkılması ve enerji özelleştirmelerinin önüne geçilmesi ile ilgili çalışmalarıyla meslek odaları ve enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında verimliliğinin artırılmasının desteklenmesine, enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik usul ve esasları kapsayan “Enerji Verimliliği Kanunu” ile kamu kurumları bulunmaktadır.

Üniversite, sanayi, kamu ve oda temsilcilerini aynı platformda buluşturduğu bilimsel çalışmalar ve doğru politikaların üretildiği “4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu” 12-13 Mayıs 2011 tarihlerinde Kocaeli’nde düzenlenmektedir.

Sempozyumda “Enerji Verimliliği ve Yerel Yönetimlerin Rolü” ve “Türkiye’de Esnek AA İletim Sistemi Uygulamaları” başlıklı çağrılı bildiri sunumları düzenlenmiştir.

Güç Kalitesi ve Enerji Verimliliği konuları hakkında sunulacak olan 40 adet sözlü 17 adet poster bildiri bulunmaktadır.

“Enerji Özelleştirmeleri ve Sonrasında Yaşanan Sorunlar” ve “Enerji Verimliliği Üzerine Yasal Düzenlemeler” konularını kapsayan 2 ayrı panel programlanmıştır.

4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu’na bildiri gönderen ve sunan katılımcılara, çağrılı bildiri sunucularına, panel yöneticilerine ve panelistlere, oturum başkanlarına, EMO Kocaeli Şubesi Yönetim Kurulu üyelerine ve çalışanlarına, EVK 2011 Bilim Kurulu, Danışma Kurulu, Düzenleme Kurulu, Yürütme Kurulu üyelerine özverili katkıları nedeniyle teşekkürü bir borç biliriz. EVK 2011’un katılımcılara ve izleyicilere yararlı olmasını, ülkemizdeki araştırmacıların bu alanda bilgi alışverişinde bulunmasına ve konuyla ilgili birikimin oluşmasına katkıda bulunmasını dileriz.

EVK 2011 Yürütme Kurulu

SEMPOZYUM YÜRÜTME KURULU

Semra ÖZTÜRK	Kocaeli Üniversitesi
H.Tarık DURU	Kocaeli Üniversitesi
Mehmet BAYRAK	Sakarya Üniversitesi
H.Avni HAZNEDAROĞLU	EMO Kocaeli Şube
Mehmet FİDAN	EMO Kocaeli Şube
E. Atalay TERCAN	EMO Kocaeli Şube
Özgür TORAMAN	EMO Kocaeli Şube
Hacer ŞAFAK	EMO Kocaeli Şube
Sarp ERTÜRK	EMO Kocaeli Şube
Bülent ÇETİNTAŞ	EMO Kocaeli Şube
Tuğçe ÖZCAN	EMO Kocaeli Şube

Sempozyum Sekreteri

Esra BEYAZIT	EMO Kocaeli Şube
--------------	------------------

SEMPOZYUM DÜZENLEME KURULU

Mehmet TURGUT	EMO Genel Merkez
Savaş AYBERK	Kocaeli Üniversitesi
Mehmet Ali YALÇIN	Sakarya Üniversitesi
Nuran YÖRÜKEREN	Kocaeli Üniversitesi
Ayşen Basa ARSOY	Kocaeli Üniversitesi
Hasbi İSMAİLOĞLU	Kocaeli üniversitesi
Bora ALBOYACI	Kocaeli üniversitesi
Engin ÖZDEMİR	Kocaeli Üniversitesi
Çiğdem Gündoğan TÜRKER	Kocaeli Üniversitesi
Özgür YAKIŞAN	Kocaeli Üniversitesi
Hasan SAYGIN	İstanbul Aydın Üniversitesi
Aydoğın ÖZDEMİR	İstanbul Teknik Üniversitesi
Sermin ONAYGİL	İstanbul Teknik Üniversitesi
Belgin TÜRKAY	İstanbul Teknik Üniversitesi
Özcan KALENDERLİ	İstanbul Teknik Üniversitesi
Güven ÖNBİLGİN	19 Mayıs Üniversitesi
Celal KOCATEPE	Yıldız Teknik Üniversitesi
Hakan KAYA	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
M. Hakan HOCAOĞLU	G.Y.T.E
Hacer ŞEKERCİ	EMO İzmir Şube
Cumhuriyet A. ALPASLAN	EMO İzmir Şube
M.Arif KOŞAR	EMO Kocaeli Şube
Serhat BOZTAŞ	EMO Kocaeli Şube
Eralp TEKELİ	Schneider
Hasan Basri ÇETİNKAYA	Siemens
Ömer Özgür GENCER	San-El Mühendislik

SEMPOZYUM DANIşMA KURULU

Hasan DİNÇER	Kocaeli Üniversitesi
Ahmet KÜÇÜKER	Sakarya Üniversitesi
Türker Fedai ÇAVUŞ	Sakarya Üniversitesi
H.İbrahim OKUMUŞ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Bilal GÜMÜŞ	Dicle Üniversitesi
Mehmet KURBAN	Anadolu Üniversitesi
Nilüfer YANDIMOĞLU	Kocaeli Milli Eğitim Md.
Muhittin Tamer BEKAR	Kocaeli Milli Eğitim Md.
Serdal ERGÜN	Milli Prodüktivite Merkezi
Yücel ÖZKARA	Milli Prodüktivite Merkezi
Suzan ERKİLET	Türkiye İstatistik Kurumu
Mehmet MAK	EMO Adana Şube
Ramazan PEKTAŞ	EMO Ankara Şube
Abdullah BÜYÜKİŞIKLAR	EMO Bursa Şube
Recai SEYMEN	EMO Denizli Şube
İdris EKMEN	EMO Diyarbakır Şube
Nihal TÜRÜT	EMO İstanbul Şube
Erol CELEPSOY	EMO İstanbul Şube
Volkan EROLER	EMO İzmir Şube
Erol SANCAK	EMO Kocaeli Şube
Kerem BIYIKLI	EMO Kocaeli Şube
Ahmet ATMACA	EMO Trabzon Şube
Zihni Yücel TEKİN	EMO
Mustafa ŞERİT	EMO
Mustafa DEMİRÖREN	EMO
Muhammet SARAÇ	İZAYDAŞ
Erdal ARSLAN	Güç Mühendislik
Kenan BAYRAK	Kocaeli İl Telekom Müdürlüğü
Sait ERÇEL	EATON
Yasin ARIKAN	DMY Mühendislik
Serkan TOPAL	Pirelli
Kamil ERBAY	Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi
Özgül DAL	Hat Grup
Bilal Başar ÖZKAN	Kocaeli İl Telekom Müdürlüğü
Bülent ÖZGÜMÜŞ	TTK Zonguldak
Kazım TOPALOĞLU	Aktif Mühendislik
Recep MEMİŞ	Aktif Mühendislik
Birkan BABAOĞLU	ALCE Elektrik A.Ş.
Hasan Basri TAŞKIN	Asaş A.Ş.
Adnan BORAZANCIOĞLU	Bortek
Yıldız FERİK	Elopar A.Ş.
Figen CİBİL	Elopar A.Ş.
Hayri YAKASIZ	Erkoç Mühendislik
Feyzullah GÜL	ENTES Elektronik
Melih BAYKUT	Goodyear
Yakup ÇİRİŞ	Kuzu İnşaat
Ahmet ŞEN	KSO
Sadık ACIK	Rotan Enerji
Ahmet KIDEYŞ	Siemens A.Ş.

SEMPOZYUM BİLİM KURULU

Ahmet M. Hava	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Ali Bekir Yıldız	Kocaeli Üniversitesi
Aydoğan Özdemir	İstanbul Teknik Üniversitesi
Ayşen Basa Arsoy	Kocaeli Üniversitesi
Ayşen Demirören	İstanbul Teknik Üniversitesi
Belgin Emre Türkay	İstanbul Teknik Üniversitesi
Bilal Gümüş	Dicle Üniversitesi
Birol Arifoğlu	Kocaeli Üniversitesi
Bora Alboyacı	Kocaeli Üniversitesi
Bülent Çetintaş	EMO Kocaeli
Bülent Oral	Marmara Üniversitesi
Canan Perdahçı	Kocaeli Üniversitesi
Celal Kocatepe	Yıldız Teknik Üniversitesi
Cengiz M. Taplamacıoğlu	Gazi Üniversitesi
Deniz Yıldırım	İstanbul Teknik Üniversitesi
Emine Ayaz	İstanbul Teknik Üniversitesi
Engin Özdemir	Kocaeli Üniversitesi
Ertan Yanıkoğlu	Sakarya Üniversitesi
Feriha Erfan Kuyumcu	Kocaeli Üniversitesi
Fuat Büyüktümtürk	Marmara Üniversitesi
Gül Kurt	Kocaeli Üniversitesi
Güven Önbilgin	19 Mayıs Üniversitesi
H. Tarık Duru	Kocaeli Üniversitesi
Hacer Şekerci	Yaşar Üniversitesi
Hakan Hocaoğlu	G.Y.T.E
Hasan Dinçer	Kocaeli Üniversitesi
Hasan Saygın	İstanbul Aydın Üniversitesi
Hasbi İsmailoğlu	Kocaeli Üniversitesi
İrfan Güney	Marmara Üniversitesi
İsmail Temiz	Marmara Üniversitesi
Levent Ovacık	İstanbul Teknik Üniversitesi
M. Ali Yalçın	Sakarya Üniversitesi
Mehmet Bayrak	Sakarya Üniversitesi
Mehmet Kurban	Bilecik Üniversitesi
Mehmet Uzunoğlu	Yıldız Teknik Üniversitesi
Muammer Özdemir	19 Mayıs Üniversitesi
Mustafa Bağrıyanık	İstanbul Teknik Üniversitesi
Nazif H. Sohtaoglu	İstanbul Teknik Üniversitesi
Nuran Yörükere	Kocaeli Üniversitesi
Nurcan Kapucu	Kocaeli Üniversitesi
Okan Özgönel	19 Mayıs Üniversitesi
Oya Demirel	Kocaeli Üniversitesi
Ömer Usta	İstanbul Teknik Üniversitesi
Önder Güler	İstanbul Teknik Üniversitesi
Özcan Kalenderli	İstanbul Teknik Üniversitesi
Sabri Çamur	Kocaeli Üniversitesi
Salman Kurtulan	İstanbul Teknik Üniversitesi
Sarp ERTÜRK	Kocaeli Üniversitesi
Semra Öztürk	Kocaeli Üniversitesi
Serhat Şeker	İstanbul Teknik Üniversitesi
Sermin Onaygil	İstanbul Teknik Üniversitesi
Şule Kuşdoğan	Kocaeli Üniversitesi
Tankut Yalçınöz	Melikşah Üniversitesi
Tarık Erfidan	Kocaeli Üniversitesi

DOĞRU AKIMLA ÇALIŞAN ARK OCAKLARINDA HARMONİK ANALİZİ

¹Serhat DUMAN, ²Yıldız FERİK, ³Bora ALBOYACI, ³Nuran YÖRÜKEREN

¹Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü

²Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği ABD

³Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
serhatduman@duzce.edu.tr, yildizferik@hotmail.com, alboyaci@kocaeli.edu.tr,
nurcan@kocaeli.edu.tr

Özet

Doğru akımla (DA) çalışan ark ocakları elektrik güç sistemlerinde iletim ve dağıtım şebekeleri için yüksek derecede güç kalitesine etki eden kaynaklardan biridir. Bu çalışmada bir DA ark ocağı MATLAB/Simulink ile modellenmiş ve benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmaları şebeke gücü, doğrultucunun tetikleme açıları ve paralel iki DA ark ocağındaki transformatörlerin bağlantı grupları değiştirilerek güç kalitesine etkileri incelenmiş olup çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: DC ark ocağı, harmonikler, filtre

Giriş

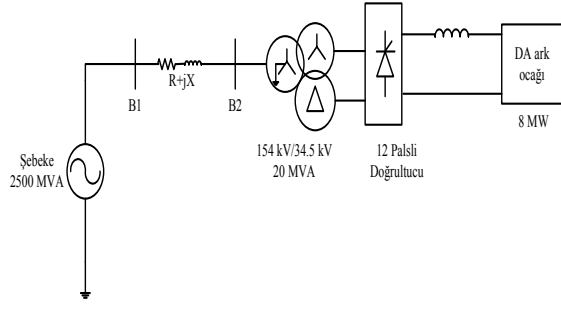
Ark ocaklarındaki büyük bozunumlar yük dalgalanmalarından meydana gelmektedir. Bunlar voltajda fliker oluşmasında neden olmaktadır. Küçük voltaj fliker etkileri akkor lambalarda %0.3 ile %0.5, 6-10 Hz arasında görülebilir. Ark ocaklarının diğer karakteristikleri yük dengesizlikleri ve harmonikler olarak söylenebilir. Son zamanlarda büyük boyutlu güç elektroniği elemanlarının başarılı bir şekilde kullanılmasından dolayı büyük boyutlu ark ocaklarında daha popüler hale gelmiştir [1]. DA ark ocakları çeşitli AA-DA dönüştürücü topolojileri üzerinden güç sistemlerinde kullanılmaktadır. DA ark ocaklarının AA ark ocaklarına göre ana avantajı konvertörün çıkış gerilimini düzenleme olasılığıdır [2]. Prensip, DA ark ocaklarının matematiksel olarak modellenmesinde iki farklı yaklaşım vardır. Birinci olarak ideal voltaj kaynağı, ikinci ise doğrusal omik direnç olarak ark ocakları modellenir. Bu yaklaşımlar elektrik devrelerinde sürekli durum koşullarının hesaplanması için yeterli olmaktadır. Ancak geçici durum hesaplandığında bu modeller kullanılarak farklı sonuçlar elde edilebilir [3].

Ladoux ve arkadaşları yük güçlü DA ark ocağı için AA/DA konvertörlerin karşılaştırma çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmalarında doğrultucu/chopper topolojisi ile sabit güç kontrolünü amaçlamışlardır. Benzetim sonuçlarında fliker etkilerini azalttıklarını görmüşlerdir [4]. Carpinelli ve arkadaşları güç kalitesi çalışmaları için DA ark ocaklarını kaos temelli modellemesini gerçekleştirmişlerdir [5]. Wu ve arkadaşları DA ark ocaklarının yük karakteristiklerini ve harmonik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında 12 palsli doğrultucu ve harmonik filtreleri ile DA ark ocaklarının oluşturduğu harmoniklerin azaltılabildiğini göstermişlerdir [6]. Fu ve Wu DA ark ocağında güç kalitesi analizi ve iyileştirme çalışmaları yapmışlardır [7]. Wang ve arkadaşları kaos teorisi ve yapay sinir ağlarını kullanarak DA ark ocağının modellemesini gerçekleştirmişlerdir [8]. Abdous ve arkadaşları zaman gecikmeli geri dönüşümlü kontrol yöntemini DA ark ocaklarında oluşan voltaj salınımlarını kaos teorisi ile birlikte incelemişlerdir [9].

Bu çalışmada bir DA ark ocağının modellemesi yapılmıştır. DA ark ocağının yarattığı harmoniklerin şebeke gücüne, doğrultucunun tetikleme açılarına ve paralel iki DA ark ocağındaki transformatörün sekonder sargı yapıları değiştirilerek etkileri incelenmiştir. Sistemde oluşan harmoniklerin giderilmesi için pasif filtre tasarımı yapılmıştır.

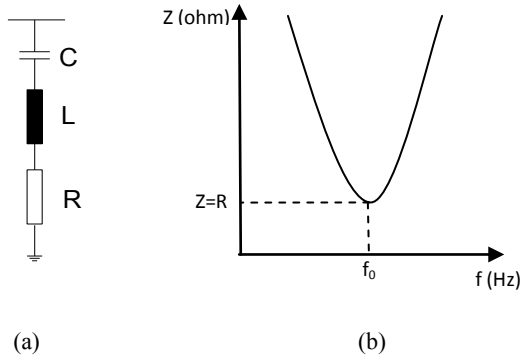
DA Ark Ocağı Modeli ve Harmonik Filtreleme

DA ark ocağı modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de şebeke gerilimi transformatör üzerinden 12 palsli bir doğrultucu ile doğrultularak DA ark ocağına bağlanmıştır. DA ark ocağındaki ani değişim statik konvertörün kullanımından dolayı voltaj salınımlarına ve dalga şekillerinin bozunumlarına neden olur [9].



Şekil 1. DA ark ocağı modeli

DA ark ocağının gerilim ve akım dalga şekillerinde yarattığı harmoniklerin giderilmesi için tek ayarlı paralel pasif filtre tasarımı yapılmıştır. Şekil 2’de tek ayarlı paralel pasif filtre ve empedans frekans eğrisinin değişimi gösterilmektedir



Şekil 2. (a) Tek ayarlı filtre (b) Empedans-frekans eğrisi

Tek ayarlı paralel pasif filtre tasarımı için kullanılan denklemler eşitlik (1)-(9) arasında gösterilmektedir. Eşitlik (1)’de filtre empedansı ifade edilmektedir.

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (1)$$

X_C ve X_L kapasitör ve endüktansın temel frekanstaki değerleri olmak üzere filtre boyutu eşitlik (2)’deki gibi ifade edilir.

$$S = \frac{V_s^2}{X_C - X_L} \quad (2)$$

n. harmonik için ayarlanmış filtrenin endüktans ve kapasite değerleri eşitlik (3) ve (5) arasında gösterilmektedir.

$$X_0 = nX_L = \frac{X_C}{n} \quad (3)$$

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} \quad (4)$$

$$R = \frac{X_0}{Q} \quad (5)$$

Filtre boyutu yeniden düzenlendiğinde ve her bir filtre kolu için gerekli kondansatör ve endüktans değerleri eşitlik (6) ve (9) arasında gösterilmektedir.

$$S = \frac{V_s^2}{X_C \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)} \quad (6)$$

$$I_H = \sum_{n=2}^n \sqrt{I_n^2} \quad (7)$$

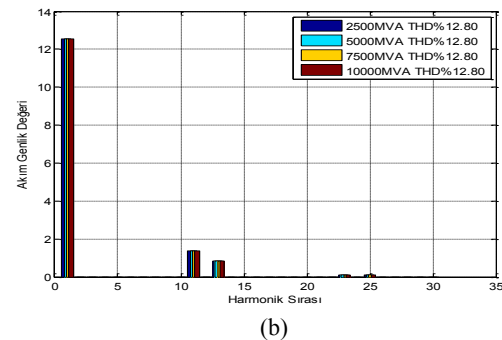
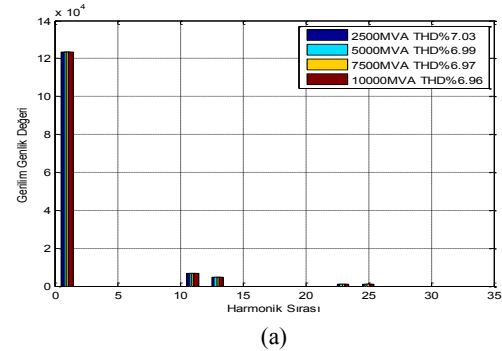
$$C_n = C \frac{I_n}{I_H} \quad (8)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 50^2 n^2 C} \quad (9)$$

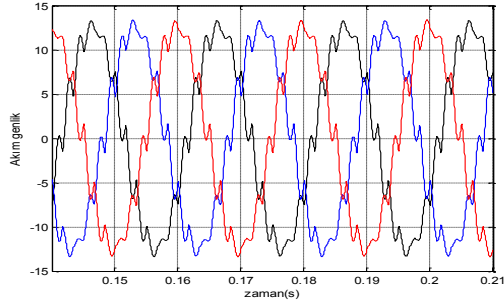
Benzetim Çalışmaları

A. Senaryo 1

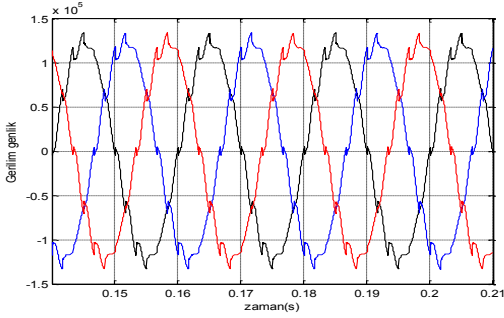
Benzetim çalışmasında ilk olarak şebeke gücü artırılarak gerilim ve akım da oluşan harmoniklerin incelenmesi yapılmıştır. Şekil 3’de gerilim ve akımda oluşan harmonikler, Şekil 4’de ise B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekilleri gösterilmektedir. Şekil 5’de filtre sonrası gerilim ve akım harmonikleri, Şekil 6’da filtre sonrası B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekillerini göstermektedir.



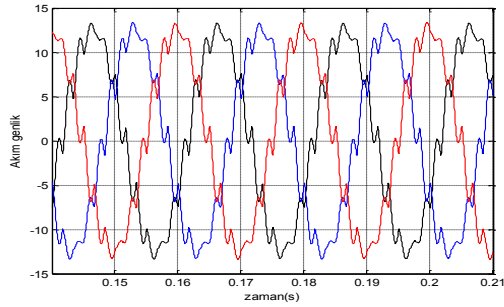
Şekil 3. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



(a)

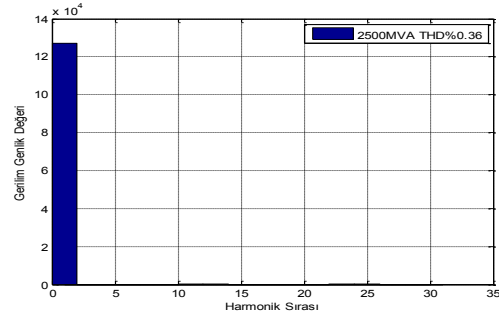


(b)

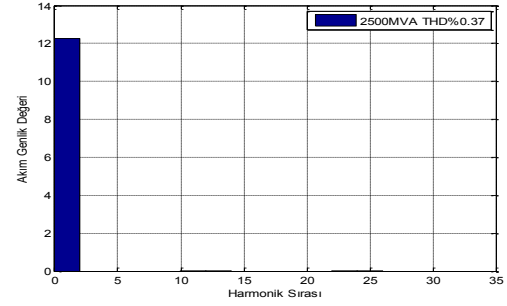


(c)

Şekil 4. (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

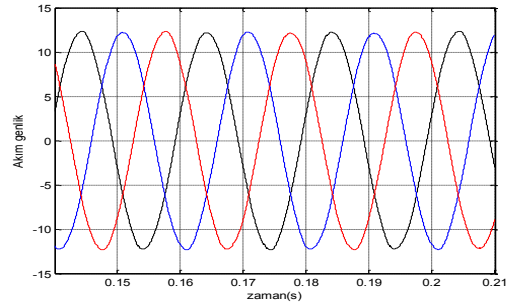


(a)

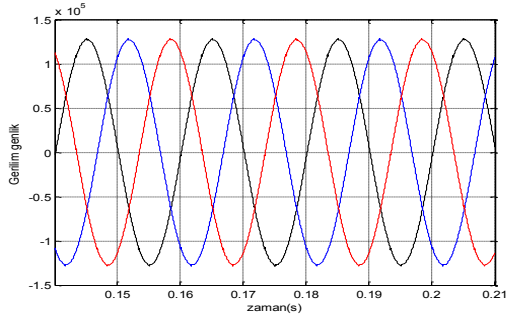


(b)

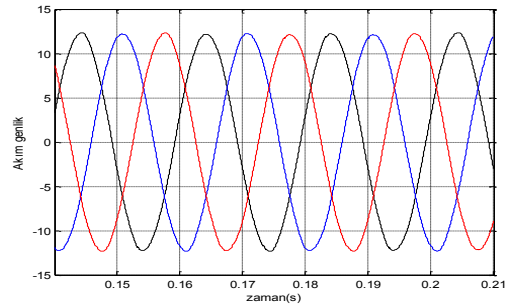
Şekil 5. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



(a)



(b)



(c)

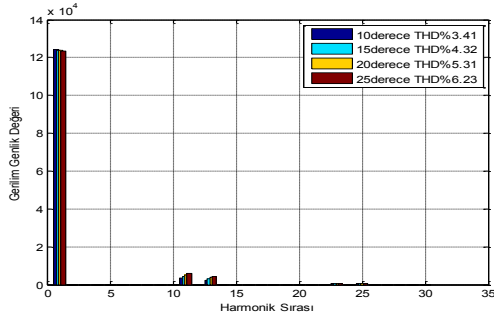
Şekil 6. (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

B. Senaryo 2

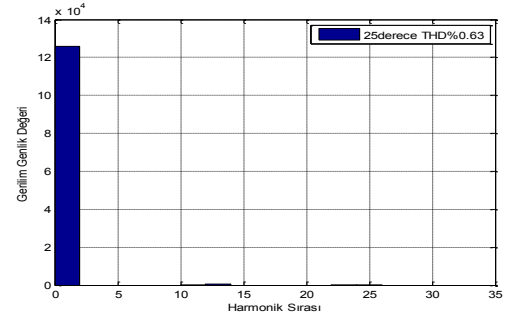
Burada 12 palsli doğrultucunun tetikleme açıları değiştirilerek sistemde oluşan gerilim ve akım harmoniklerinin etkileri incelenmiştir. Şekil 7'de gerilim ve akımda oluşan harmonikler, Şekil 8'de ise B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekilleri gösterilmektedir. Şekil 9'da filtre sonrası gerilim ve akım harmonikleri, Şekil 10'da filtre sonrası B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekillerini göstermektedir.

C. Senaryo 3

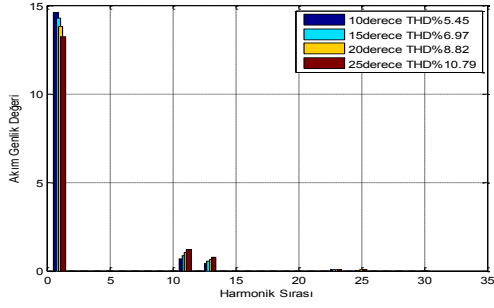
Bu bölümde 6 palsli iki doğrultucu paralel olarak bağlanmıştır. Transformatörlerin bağlantı grupları ilk olarak Yg-D1 ve Yg-D1 şeklinde belirlenerek benzetim çalışması yapılmıştır. İkinci olarak bağlantı grupları Yg-D1 ve Yg-D11 olarak belirlenip benzetim çalışmaları yapılmıştır. Şekil 11'de sistemin devre şeması gösterilmektedir. Şekil 11'e göre yapılan benzetim çalışmalarında gerilim ve akım harmoniklerinin etkileri incelenmiştir.



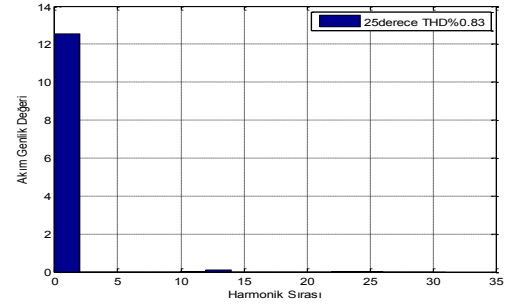
(a)



(a)



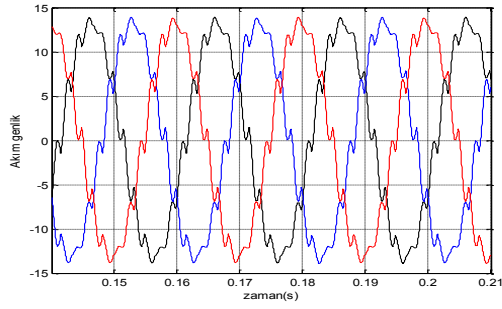
(b)



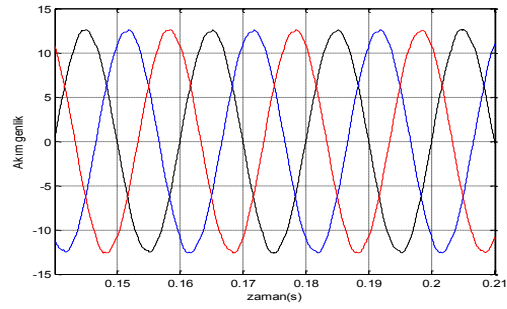
(b)

Şekil 7. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri

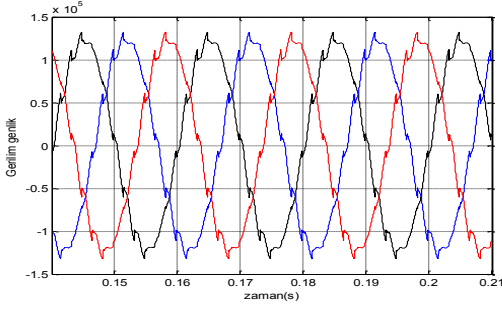
Şekil 9. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



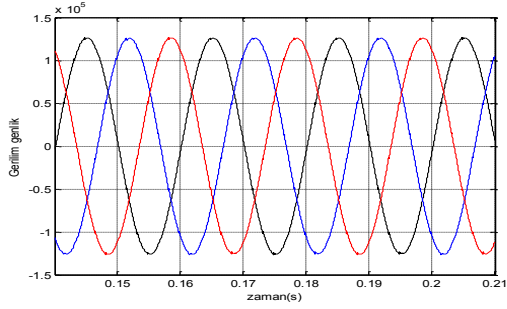
(a)



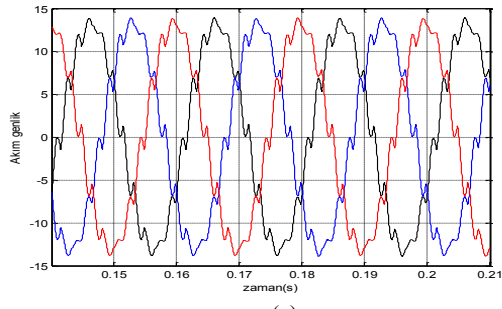
(a)



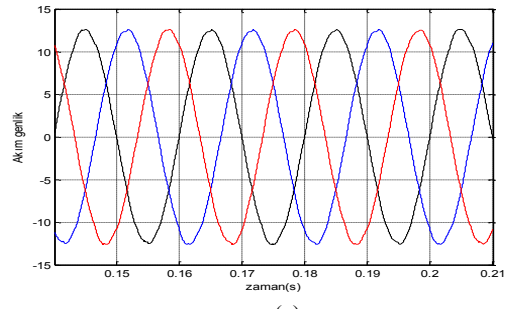
(b)



(b)



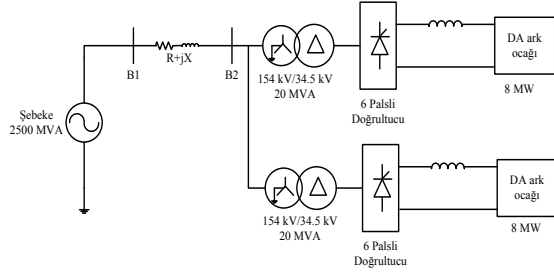
(c)



(c)

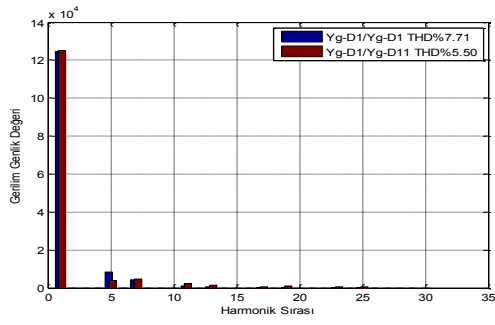
Şekil 8. (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

Şekil 10. (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

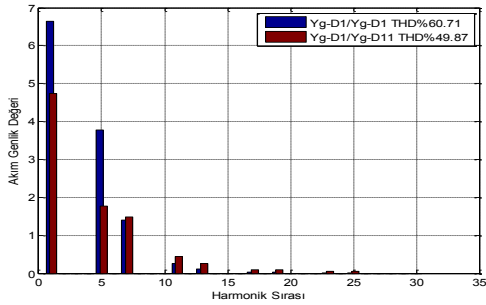


Şekil 11: Paralel 6 palsli doğrultuculu DA ark ocağı modeli

Şekil 12'de gerilim ve akımda oluşan harmonikler, Şekil 13'de ise B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekilleri gösterilmektedir. Şekil 14'de filtre sonrası gerilim ve akım harmonikleri, Şekil 15'de filtre sonrası B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekillerini göstermektedir.

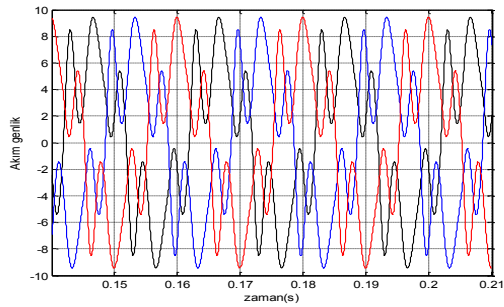


(a)

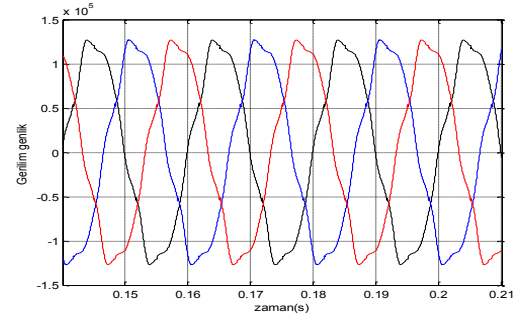


(b)

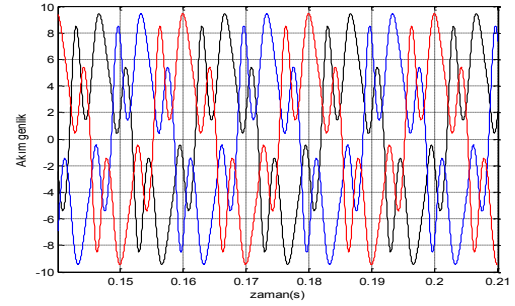
Şekil 12. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



(a)

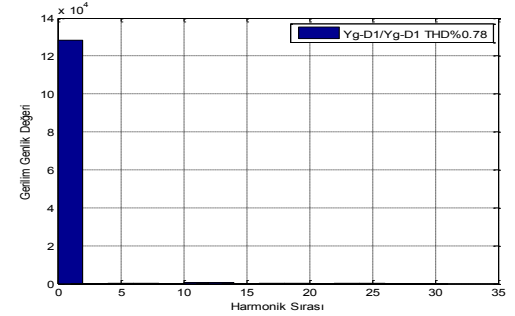


(b)

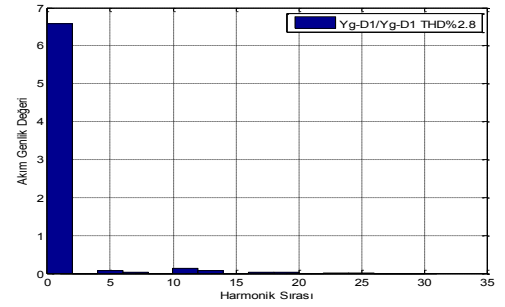


(c)

Şekil 13: (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

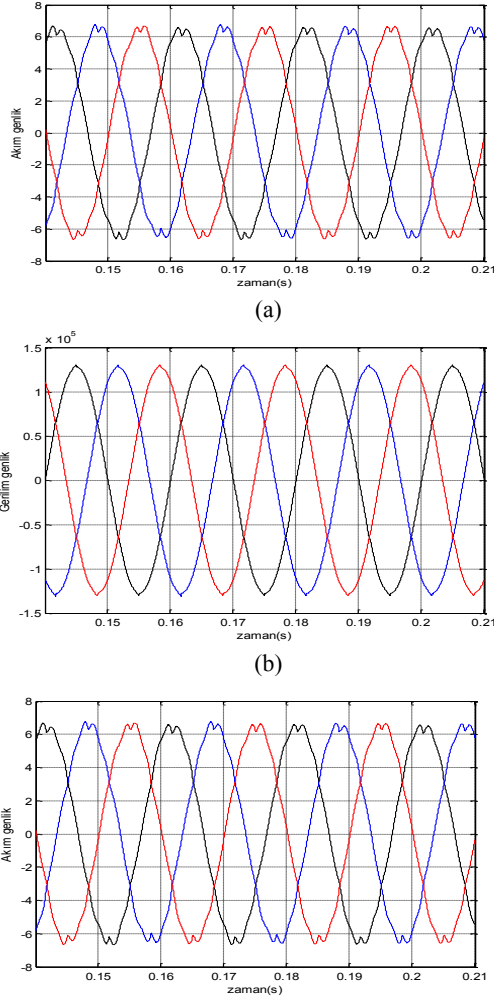


(a)



(b)

Şekil 14. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



Şekil 15: (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

Sonuçlar

Bu çalışmada farklı senaryolar altında DA ark ocağının güç kalitesine etkisi incelenmiştir. İlk olarak şebeke gücü artırılarak sistemin daha güçlü şebekeden beslenmesi sağlandığında gerilim harmoniklerinin azaldığı akım harmoniklerinin ise aynı kaldığı görülmektedir. İkinci senaryoda ise tetikleme açıları arttırıldığında sistemde gerilim ve akım harmoniklerinin arttığı gözlenmiştir. Üçüncü senaryoda ise 6 palsli doğrultuculu paralel bağlı iki DA ark ocağı düşünülmüştür. Doğrultucuların önlerindeki transformatörlerin bağlantı grupları Yg-D1/Yg-D1 ve Yg-D1/Yg-D11 olarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Yg-D1/Yg-D11 bağlantı grubundaki çalışmada sistemde faz kayması olduğundan gerilim akım harmoniklerinin azaldığı görülmüştür. Tüm senaryolarda baskın olan harmonikler için tek ayarlı paralel pasif filtre tasarımı yapılarak gerilim ve akım harmonikleri elimine edilmiştir. Sonuç olarak DA ark ocaklarında oluşan harmonik mertebelerinin giderilmesinde daha yüksek puls sayısına sahip doğrultucuların dizaynı ve transformatör üzerinden fazlarının kaydırılması şebekedeki harmoniklerin azalmasını sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] T. H. Fu, C. J. Wu, "Load characteristics analysis of ac and dc arc furnaces using various power definitions and statistic method", *IEEE Transactions on Power Delivery*, sayı. 17, no. 4, s. 1099-1105, 2002.
- [2] C. Lazaroiu, D. Zaninelli, "DC arc furnace modelling for power quality analysis", *U. P. B. Sci. Bull, Series C*, sayı. 72, no. 1, s. 191-200, 2010.
- [3] D. Stade, H. Schau, I. Aprelkov, A. Novitskiy, "Mathematical simulation of dc arc furnace operation in electric power systems", *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, s. 1081-1091, 1998.
- [4] P. Ladoux, G. Postiglione, H. Foch, J. Nuns, "A comparative study of AC/DC converters for high-power DC arc furnace", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, sayı. 52, no. 3, s. 747-757, 2005.
- [5] G. Carpinelli, F. Iacovone, A. Russo, P. Varlone, "Chaos-based modeling of DC arc furnaces for power quality issues", *IEEE Transactions on Power Delivery*, sayı. 19, no. 4, s. 1869-1876, 2004.
- [6] C. J. Wu, T. H. Fu, Y. J. Chen, "Load characteristics and harmonic analysis of DC arc Furnace", *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, s. 778-782, 2000.
- [7] T. H. Fu, C. J. Wu, "Power quality analysis and improvement of dc arc furnace load", *IEEE TENCON '02*, s.1937-1940, 2002.
- [8] F. Wang, Z. Jin, Z. Zhu, X. Wang, "Modeling the DC electric arc furnace based on chaos theory and neural network", *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, s. 1-6, 2005.
- [9] F. Abdous, A. N. Ranjbar, S. H. H. Nia, A. S. Eslami, "Chaos control of voltage fluctuations in DC arc furnaces using time-delay feedback control", *Second International Conference on Electrical Engineering*, 2008.

ESNEK ALTERNATİF AKIM İLETİM SİSTEMLERİ (FACTS) VE DAĞITILMIŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMLERİ İLE DONATILMIŞ ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN ANALİZİ

Cevdet Ersavaş¹, Faruk Ugranlı¹, Hasan Umut Umar², Engin Karatepe¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi

²Güneş Enerjisi Enstitüsü, Ege Üniversitesi

E-mail: cevdetersavas@gmail.com, farukugranli@gmail.com, umutumar@gmail.com, engin.karatepe@ege.edu.tr

Özet- Dağıtılmış enerji üretim (DEÜ) sistemleri son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte dünyada ve ülkemizde elektrik şebekeleri açısından oldukça önem kazanmıştır. DEÜ'lerin şebeke kayıplarının azaltılmasına, şebeke geriliminin düzenlenmesine ve hatlardaki yüklenmelerin azaltılmasına katkı sağlaması en önemli avantajları olarak görülmektedir. Ancak, mevcut güç sistemlerine DEÜ'lerin rastgele entegrasyonu ve bu sistemlerin çıkış güçlerindeki belirsizlikler bu avantajları dezavantaja dönüştürebilecek olmasından dolayı DEÜ'lerin sisteme hangi noktadan ve hangi güçte entegre edileceği hususu araştırmalara konu olmuştur. Bu gelişmeler, iletim ve dağıtım sisteminin, farklılaşan yük bölgelerine ve eklenen üretim birimlerine göre esnek yapıda ve uyumlu olmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada DEÜ entegre edilmiş güç sistemlerinin hat kapasitelerine olan etkileri, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemlerinden (FACTS) faz kaydırıcı transformatörler ile donatılmış IEEE-30 test sisteminde incelenmiştir. Bu amaçla faz kaydırıcı transformatörler sınır şartlarında çalıştırılarak iletim hatlarındaki olası aktif güç akışı kontrol bölgeleri elde edilmiştir ve farklı DEÜ senaryoları durumunda, FACTS araçlarından faz kaydırıcı ile şebeke hat kapasitelerinin ve yüklenmelerinin kontrol esnekliği incelenmiştir.

I. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan yaşam standartlarının sebep olduğu enerji talebindeki artış, güç sistemlerinin güvenilirliğini ve kalitesini iyileştirmek için mühendisleri yeni arayışlara sevk etmiştir. Özellikle trafo, iletim ve dağıtım hatlarının kapasitelerinin yenilenmesi büyük bir yatırım gerektirmesinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının ve küçük boyutlu konvansiyonel enerji üretim birimlerinin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu sistemler dağıtım şebekelerine ve yüklere yakın yerlere bağlanmalarından ötürü dağıtılmış enerji üretimi (DEÜ) ismini almaktadırlar. DEÜ'lerin boyutları yapılan tanımlamalara göre değişiklik göstermek ile birlikte genel olarak 50 MW'a kadar olan enerji üretim birimleri DEÜ kapsamına girmektedir [1]. DEÜ'lerin konvansiyonel sistemlere göre avantajlarını teknik, mali, ve çevresel olmak üzere üç grupta toplayabiliriz. Hatlardaki yüklenmeleri azaltarak şebeke kayıplarının azaltılması ve artan gerilim profili ile

güç kalitesinin artması DEÜ'lerin en önemli iki teknik avantajı olarak görülmektedir. Mali olarak ise fosil tabanlı yakıtların kullanımının azaltılması, şebekede oluşan maksimum enerji talebi zamanlarında devreye girerek elektriğin birim maliyetinin azaltılması ve dağıtım ve iletim hatlarının yenilenmesinin ertelenmesi dolayısıyla yatırımın geciktirilmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına imkân sağlamasından dolayı karbondioksit ve sera gazlarının salınımını azaltmaktadır.

Güç sistemlerinin kontrolü açısından önem arz eden diğer hususlardan biri ise esnek AC iletim sistemlerinde (FACTS – flexible AC transmission systems) kullanılan araçlardır. Güç sistemlerinin akıllı şebekelere doğru geçişinde DEÜ'ler ile birlikte bu araçlar da önemli rol oynayacaklardır. Bu kapsamda elektrik şebekelerinde kullanılan FACTS araçlarından bazıları şunlardır: tap ayarlı yük transformatörleri, faz kaydırıcı transformatörler ve statik VAR kompanzatörler. Bu araçlar sayesinde güç sistemlerindeki bara gerilimleri, hatlardaki aktif ve reaktif yük akışları limitler dahilinde kontrol edilebilmektedir. Literatürde, elektrik güç sistemlerinde hatlardaki yoğunluğu azaltabilmek amacıyla seri FACTS araçlarının nerelere bağlanması gerektiği ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır [2,3]. Bu sayede güç sistemlerinin işletme koşulları daha ekonomik olarak sağlanabilmektedir. Güç sistemlerinin toplam üretim maliyetlerinin ve yüklenilmenin azaltılması FACTS elemanlarının kullanım amaçlarından ikisidir. [4]'de tristör kontrollü faz kaydırıcıların optimum yerleştirilmesi için yeni bir metot önerilmiştir ve bu metot sayesinde yukarıda bahsi geçen hedefler gerçekleştirilebilmektedir.

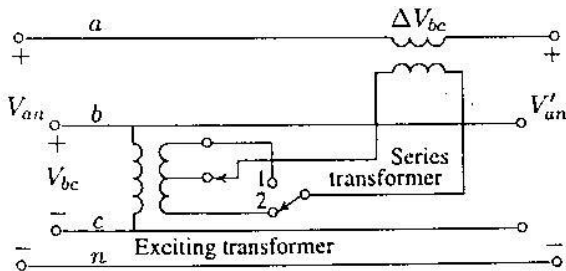
DEÜ'lerin entegrasi ile birlikte güç sistemlerinin davranışları belirgin bir şekilde değişmektedir. DEÜ'lerin sisteme uygun olmayan bir şekilde dahil edilmesi durumunda avantajları yerine dezavantajları ortaya çıkabilmektedir. DEÜ'lerin de akıllı şebekelerin bir parçası olduğu düşünülürse, FACTS'larla DEÜ'lerin aynı anda düşünülerek araştırılması gerektiği yadsınamaz bir gerçektir. Özellikle asenkron jeneratör kullanılmış rüzgar türbinlerinin reaktif güç çektiği düşünüldüğünde, büyük ölçekli rüzgar türbinleri dahil edilmiş güç sistemlerinde FACTS'lerin etkileri

incelenmektedir [5]. Yine, yüksek güçteki fotovoltaik panellerin kurulu olduğu sistemlerde FACTS araçları kullanılarak gerilim kontrolü önemli bir çalışma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır [6]. Herkes tarafından bilindiği gibi gerilim altında güç kalitesi ile ilgili önemli bir parametredir ve son kullanıcılara güç kalitesi iyileştirilmiş enerji sunmak gerekmektedir. FACTS elemanları bu amaca hizmet eden önemli elemanlar olarak literatürde yer almaktadır [7].

Bu çalışmada, güç sistemlerine entegre edilen DEÜ'lerin faz kaydırıcı transformatörlerin çalışmaları üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bunu gerçekleştirmek amacıyla IEEE'nin geliştirmiş olduğu 30 baralı test sistemi ele alınmıştır. Farklı DEÜ bağlantı kombinasyonlarının için faz kaydırıcı transformatörün bağlı olduğu hatlardaki yük akışlarına olan etkileri gözlemlenmiştir. Takip eden bölümlerden 2. bölümde faz kaydırıcı transformatörler anlatılmıştır. 3. bölümde ise farklı DEÜ bağlantıları için faz kaydırıcı transformatörün çalışması incelenmiştir. Son bölümde benzetim sonuçlarından elde edilen gözlemler irdelenmiştir.

II. FAZ KAYDIRICI TRANSFORMATÖRLER

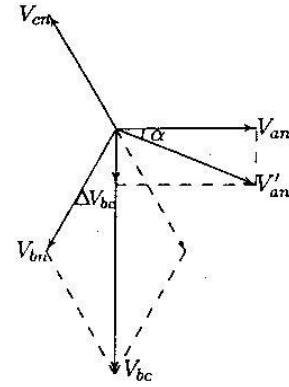
Gün geçtikçe yaygın bir şekilde kullanılmakta olan faz kaydırıcı transformatörler, güç sistemlerinde hatlardaki yoğunluğu azaltabilmemizi veya istenilen kapasitede çalıştırabilmemizi sağlamaktadır. Tipik bir faz kaydırıcı transformatörün üç fazlı devresi Şekil-1'de görülmektedir [8].



Şekil 1. Faz kaydırıcı transformatör

Enjekte edilen gerilim, giriş gerilimi ile aynı fazda değilse elde edilen çıkış geriliminde giriş gerilimine göre faz kayması meydana gelir. Faz kayması, ana uyarım baralarında aktif güç akış kontrolü için kullanılır. Şekil-1'de görüldüğü gibi 'a' fazındaki seri trafo, 'bc'ye bağlı olan uyarım transformatörüne bağlanmıştır. Sonuç olarak Şekil-2'de [8] görüldüğü gibi V'_{an} çıkış gerilimi ile V_{an} arasında α kadar faz farkı oluşturulmuş olur ve çıkış gerilimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V'_{an} = V_{an} + \Delta V_{bc} \quad (1)$$

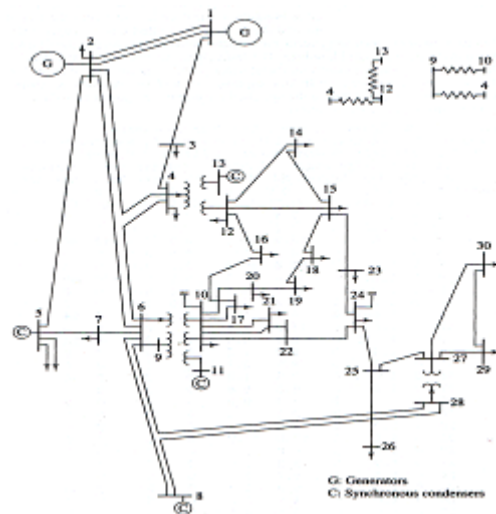


Şekil 2. Faz kaydırıcı transformatörün faz diyagramı

Faz kaydırıcıların faz kaydırma miktarı uyarım transformatörlerinin tapları değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Bunun yanında tap ayarlı ana transformatörlerin üzerine düşen yoğunluğu azaltabilmektedirler.

III. DEÜ'LERİN FAZ KAYDIRICILI TRANSFORMATÖRLERE ETKİSİ

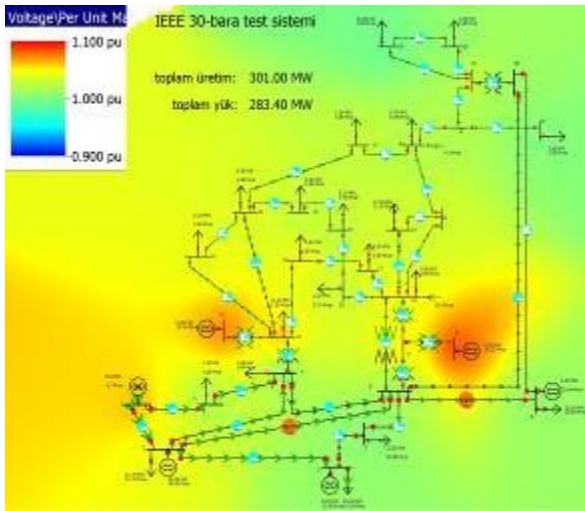
Bu çalışmada Şekil 3'de görüldüğü üzere IEEE'nin 30 bara test sistemi kullanılmıştır. Sistemin toplam yükü 283,40 MW ve 126,20 Mvar olup, bu güç iki adet jeneratör ve dört adet reaktör tarafından sağlanmaktadır. Faz kaydırıcı transformatörlerin etkinliğini gözlemleyebilmek için öncelikle 30 baralı sistemdeki yük akışlarının yoğun olduğu hatlar belirlenmelidir. Bunu sağlayabilmek için Power World Simulator (PWS) kullanılmıştır. Şekil 4.'de görüldüğü üzere yeşil okların büyük olduğu yerlerden daha fazla güç akışı gözlenmiştir. Sisteme iki faz kaydırıcı transformatör bağlayarak iki hattan akan aktif yük akışının nasıl değiştiği gözlemlenecektir. Bundan dolayı faz kaydırıcı transformatörler 2-4 ve 3-4 hatlarına bağlanmıştır. Bunu sağlayabilmek için Newton-Raphson güç akış analiz metodunda bazı modifikasyonlar yapılmıştır. Bu iki hatta 31 ve 32 numaralı yeni bara tanımlamaları yapılarak 4. baraya akan hat akışı kontrol edilmektedir. Modifiye edilmiş IEEE-30 test sistemi Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 3. IEEE 30 bara test sistemi

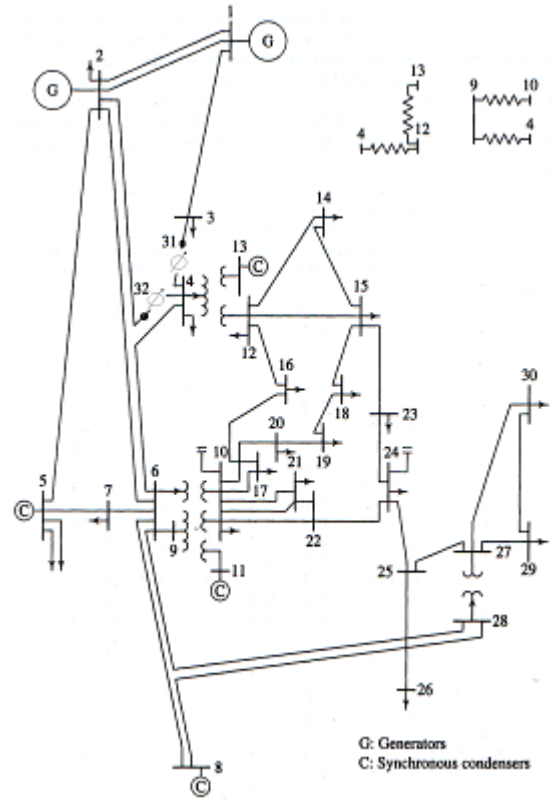
DEÜ'lerin etkilerini inceleyebilmek amacıyla farklı DEÜ bağlantı kombinasyonları oluşturulmuştur. Bunlar;

- Senaryo-1: DEÜ olmadığı durum
- Senaryo-2: 30 nolu baraya 50 MW bağlandığı durum
- Senaryo-3: 30 nolu baraya 100 MW bağlandığı durum
- Senaryo-4: 21 nolu baraya 100 MW bağlandığı durum
- Senaryo-5: 21, 26, 29 ve 30 nolu baralara toplam yükün %20'si kadar DEÜ'nün eşit bağlandığı durum
- Senaryo-6: 21, 26, 29 ve 30 nolu baralara toplam yükün %40'ı kadar DEÜ'nün eşit bağlandığı durum
- Senaryo-7: 6, 7, 14 ve 16 nolu baralara toplam yükün %40'ı kadar DEÜ'nün eşit bağlandığı durum



Şekil 4. PWS'de modellenmiş 30 baralı sistem

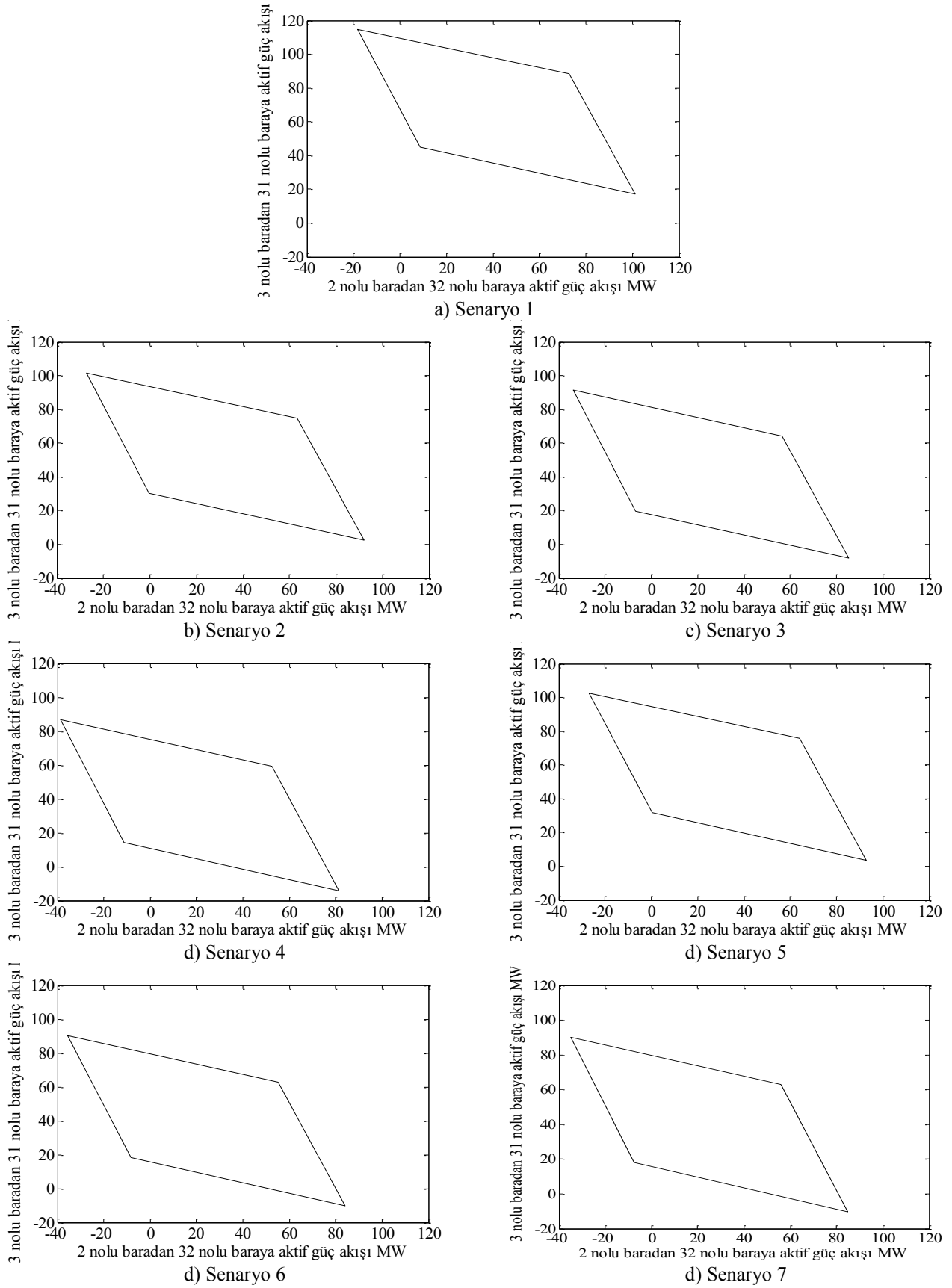
Transformatörlerin faz açısı limitleri -10 ile 10 olarak belirlenmiştir. Eğer transformatörler sınır değerlerde çalışmak için zorlanırsa Şekil 6'daki gibi bu araçların etkin oldukları bölgeler elde edilebilmektedir. Yukarıda bahsi geçen farklı senaryolar için faz kaydırıcılı transformatörlerin bağlandığı iki hattaki yük akışları gözükmemektedir. Sistem dinamiği gereği iki faz kaydırıcı trafo birbirleriyle etkileşimli olarak çalışmaktadırlar. Hiç bir DEÜ olmadığı durumda 3 ile 31 nolu baralar arasında maksimum yaklaşık 120 MW'lık bir akış olmakla birlikte 30. baraya 50 MW'lık bir DEÜ bağlandığında bu değer düşmektedir.



Şekil 5. Faz kaydırıcı ile donatılmış IEEE 30 bara test sistemi

Yine diğer hattan akabilecek maksimum gücün de azaldığı açık bir şekilde gözlenmektedir. Eğer bağladığımız DEÜ'nün değerini 100 MW'a çıkarırsak, bu sınırların dahada düştüğü gözlemlenebilmektedir. Fakat, 2 ile 32 baraları arasında ters yönlü yük akışına izin verebilmektedir. DEÜ bağladığımız barayı 21 olarak değiştirdiğimizde, transformatörlerin çalışma sınırlarının belli ölçüde değiştiği gözlemlenmektedir. Dolayısıyla tek bir DEÜ'nün bağlantı noktasının değişimi transformatörlerin çalışma aralıklarını etkilediği açık bir şekilde görülmektedir.

Birden fazla DEÜ bağlandığı durumlarda ise çok sayıda DEÜ eklemek hat akış profillerini etkilemektedir. Fakat, farklı bağlantı noktalarının seçimi yük akışlarının değişimi üzerinde önemli bir etkiye bulunmaktadır. Senaryo 6 ve 7'de jeneratörlerden uzak baraların ve jeneratörlere yakın baraların seçilmesi gibi iki uç durum göz önüne alınmasına rağmen hat akışları profilinde hiç bir etkisi bulunmamaktadır.



Şekil 6. Farklı senaryolarda iki hattaki yük akışlarının değişimi

Faz kaymalı transformatörün güç akışına olan etkisi, limitleri dahilinde gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada daha önce bahsedildiği üzere faz limitleri ± 10 olarak belirlenmiştir. Hatlara seri olarak bağlanan faz kaydırmalı transformatörlerin istenilen farklı güç akış değerlerine göre faz değerleri ve sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Bu değerler senaryo 6 için elde edilmiştir. İlk durumda iletilmek istenen güç her iki hat içinde 70 MW istense de bu değerlere ulaşamayıp transformatörlerin limitlerinde sınırlı kalmıştır. Fakat, 3 ile 31 baralar arasındaki hattan 70 MW, 2 ile 32 baralar arasından -30 MW akışın sağlanması istendiğinde faz açıları limitler arasında kalarak istenilen değerlere ulaşılmıştır. Benzer şekilde belirlenen farklı güç akış kapasiteleri için de hesaplandığında faz kaydırmalı transformatörlerin hatlar üzerindeki güç akışları üzerinde ne derece etkili olduğu ve limit değerleri görülebilir. Bu değerler Şekil 6’dan yaklaşık olarak elde edilmektedir.

Son faz açısı değeri (°)		2nolu baradan 32nolu baraya Aktif güç akışı (MW)		3 nolu baradan 31 nolu baraya Aktif güç akışı (MW)	
Φ_{PS1}	Φ_{PS2}	Belirtilen	Sonuç	Belirtilen	Sonuç
-10	-10	70	51.9	70	55.1
-5.39	-10	30	30	70	61.3
-10	-3.17	70	61.7	30	30
-5.92	-4.42	40	40	40	40
-8.83	8.14	70	70	-10	-10
8.69	-7.15	-30	-30	70	70
-8.25	10	70	70	-70	-15.9
10	-6.63	-70	-34.4	70	70

Tablo 1. İstenilen güç akış değerlerine göre faz kaydırmalı transformatörlerin tepkileri

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı DEÜ bağlantılarının FACTS elemanlarından olan faz kaydırıcı transformatörlerin yük akışları üzerindeki kontrolüne olan etkileri incelenmiştir. Bunun için oluşturulan tek ve çok DEÜ senaryolarından anlaşıldığı üzere, tek bir DEÜ’nün bağlantı noktasının faz kaydırmalı transformatörün çalışmasında etkili olduğu gözlemlenirken, çok sayıda DEÜ’nün nerelere bağlandığının sistem çalışması üzerinde herhangi bir etkinliğinin olmadığı anlaşılmıştır. Bu noktada önemli olan husus, sisteme entegre edilen DEÜ’lerin toplam gücü olduğu gözlenmiştir. Eğer yüksek güçlerde DEÜ’ler şebekeye bağlanırsa hatlarda ters yönlü yük akışları oluşabilmektedir. Gelecekte akıllı şebekeler için trafolar ve röleler gibi tüm sistem elemanlarının sistem güvenilirliği ve güç kalitesi için akıllı olması gerekmektedir. DEÜ bağlanması ile güç akışının yönü değişebildiğinden, trafo kademe değiştiricilerinin çift yönlü kontrolünün gerekliliği kaçınılmazdır. Bu da, DEÜ ile donatılmış şebekelerin koruma sistemlerinin ve koordinasyonunun detaylı incelemeler revize edilmesini ve gerekli mühendislik önlemlerinin önceden alınması gerektiğini göstermektedir.

REFERANSLAR

- [1] T.Ackermann, G. Anderson, and L. Soder, ‘Distributed generation: a definition,’ Electr.Power Syst. Res., vol. 57 (3), pp 195-204,2001.
- [2] Naresh Acharya, N. Mihulananthan, ‘Locating series FACTS devices for congestion management in deregulated electricity markets’, Electr.Power Syst. Res., vol. 77 pp 352-360,2007
- [3] Sjad Rahimzadeh, Mohammad Tavakoli Bina, ‘Looking for optimal number and placement of FACTS devices to manage the transmission congestion’, Energy Conversion and Management 52 (2011) pp 437-446 .
- [4] Flavio G. M. Lima, Jorge Munoz, Ivana Kockar, Fransisco D. Galiana, ‘Optimal location of phase shifters in a competitive market by mixed integer linear programing’, 14th PSCC,SEvilla,24-28 June 2002, Session 43 PP 2.
- [5] Wei Qiao, Ronald G. Harley, Ganesh K., ‘Effects of FACTS Devices on a Power System which Includes a Large Wind Farm’, PSCE 2006, PP 2070-2076.
- [6] Taro Kondo,Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama, ‘Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generation using FACTS devices’,Elect. Eng. in Japan, vol 165 no. 3, 2008,
- [7] Stephane Fahe, Jacques Lobry, B.A. Mpanda-Mabwe, ‘Power Quality Improvement for DG by Advanced Control Methods’, Inaugural IEEE PES 2005 Conference and Exposition in Africa Durban, South Africa, 11-15 July 2005
- [8] H. Saadat, Power System Analysis. McGraw-Hill, Singapore,2004

ÇEŞİTLİ YÜK TİPLERİ İÇİN HARMONİK ÜRETEK YÜK MODELLERİNİN HASSASİYET ANALİZİ. KISIM II: FARKLI GERİLİM DALGA ŞEKİLLERİNDE ANALİZ

¹M. Erhan BALCI

¹mbalci@balikesir.edu.tr

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Balıkesir Üniversitesi

²Özgür KARACASU

²karacasu@gyte.edu.tr

^{2,3}Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

³M. Hakan HOCAOĞLU

³hocaoglu@gyte.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma [1]'deki çalışmanın devamı olup çeşitli yük tipleri için yaygın olarak bilinen harmonik üreten yüklere ait modellerin; oluşturuldukları gerilim dalga şekillerinden farklı dalga şekillerine sahip besleme gerilimlerindeki hassasiyetlerini ve dolayısıyla performanslarını istatistiksel biçimde analiz etmeyi amaçlamıştır. Analizlerde gerçek testlerden elde edilen ölçümsel veriler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar harmonik analizi çalışmalarında test edilen yükler için model seçiminde bir yol gösterici olacak biçimde yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Harmonik üreten yük modelleri, harmonik analizleri, hassasiyet.

1. Giriş

[1]'de sunulan çalışmada; Sabit Akım Kaynağı (SAK) [2], Norton (N) [3], Çapraz Frekans Admittans Matrisi (ÇFAM) [4, 5] ve Güç Bileşenleri Temelli (GBT) [6] modellerinin,

- Pasif empedans (R-L), monitör, dimmer kontrollü resistans (R) ve kompakt floresan lambadan oluşan karma yük grubu (Grup 1),
- Sabit aktif güç besleyen aa/da/aa dönüştürücü yükü (Grup 2),
- Asenkron motorun tam yükte sabit devirle ve sabit torkta çalışma durumları (sırasıyla Grup 3 ve 4),

olmak üzere dört tip yük için; oluşturuldukları gerilimden farklı seviyedeki besleme gerilimleri altındaki hassasiyetleri ölçümsel veriler yardımıyla analiz edilmiştir.

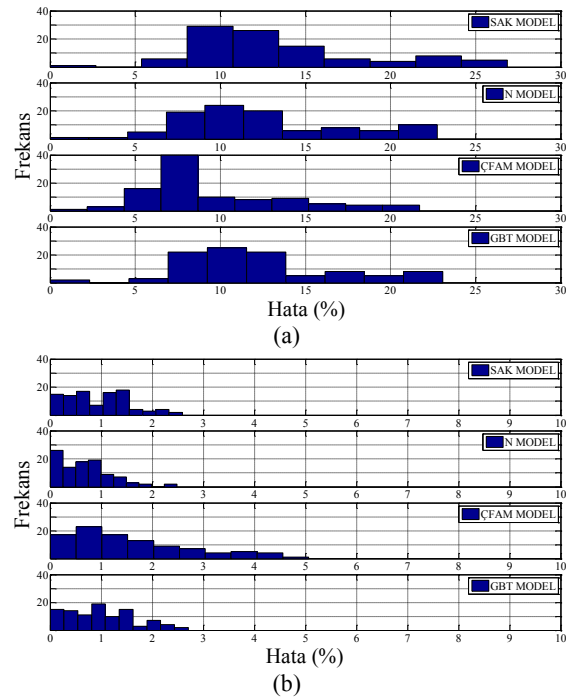
Bu çalışmada yukarıda sıralanan yük tipleri için SAK, N, ÇFAM ve GBT modellerinin; oluşturuldukları gerilim dalga şekillerinden farklı dalga şekillerine sahip besleme gerilimlerindeki hassasiyetleri ölçümsel veriler kullanılarak istatistiksel biçimde analiz edilmiştir. Analiz sonuçları harmonik analizi çalışmalarında test edilen yükler için model seçiminde bir yol gösterici olacak biçimde yorumlanmıştır.

2. Analiz

Bu kısımda yukarıda belirtilen ve akım dalga şekilleri [1]'de sunulan yük grupları için SAK, N, ÇFAM ve GBT modellerinin hassasiyeti; 220V etkin değerde rastgele harmonik içeriğe sahip ve THD'si % 5 olan 100 adet gerilim dalga şekli altında test edilmiştir. Modeller kullanılarak test gerilimleri için hesaplanan akımlar ile bu test gerilimlerinde sistemde ölçülen

akımların; rms değeri ve dalga şekli karşılaştırılması [1]'de verilmiş olan etkin değeri hata (EDH) ve şekil faktörü hata (ŞFH) ifadeleri ile yapılmıştır. Hesap edilen EDH ve ŞFH değerleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Aşağıda grup 1, 2, 3 ve 4 için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Grup 1 için modellerin ŞFH ve EDH'larına ait histogramlar Şekil 1'de verilmiştir.



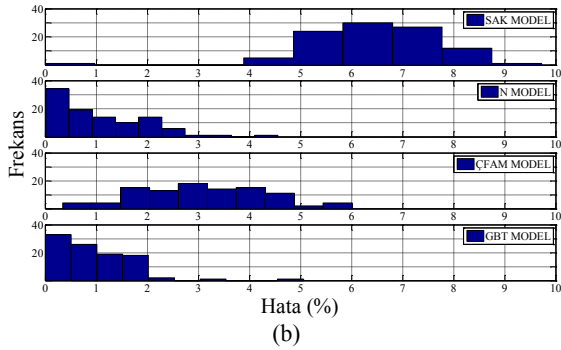
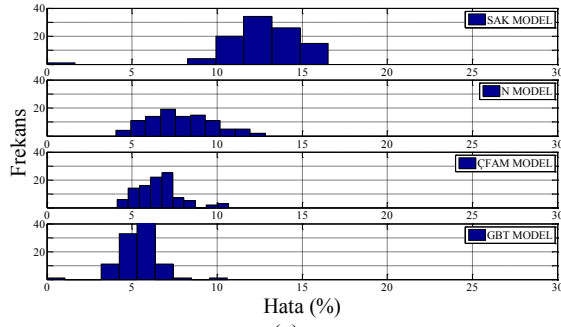
Şekil 1: Grup 1 için modellerin (a) ŞFH ve (b) EDH histogramları.

Şekil 1 (a)'dan modellerin ŞFH'larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; ÇFAM, N ve GBT için %22, ve SAK için %26 olduğu görülmektedir. Şekil 1 (b)'den ise modellerin EDH'larının azami değerlerin yaklaşık olarak; SAK, N ve GBT için %2.5, ve ÇFAM için %5 olduğu görülmektedir. Şekil 1'de verilen ŞFH ve EDH histogramlarına ait ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'den ŞFH'ların ortalamalarının küçükten büyüğe sırasıyla ÇFAM için 9.58, GBT için 12.32, N için 12.35 ve SAK için 13.40 olduğu görülmektedir. ŞFH'ların standart sapma değerleri ÇFAM için 4.36, GBT için 4.52, N için 4.83 ve SAK için 5.11'dir. EDH'ların ortalamaları ise N için 0.68, SAK için 0.96, GBT için 1.02 ve ÇFAM için 1.59 olduğu görülmektedir. EDH'ların standart sapma değerleri N için 0.52, SAK için 0.61, GBT için 0.66 ve ÇFAM için 1.20'dir.

Tablo 1: Grup 1 için modellerin ŞFH ve EDH histogramlarına ait istatistiksel değerler.

	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH
	Ortalama		Ortanca		Standart Sapma	
SAK	13.40	0.96	11.55	0.93	5.11	0.61
N	12.35	0.68	11.41	0.65	4.83	0.52
ÇFAM	9.58	1.59	7.99	1.30	4.36	1.20
GBT	12.32	1.02	11.26	0.96	4.52	0.66

Grup 2 için oluşturulan modellerin ŞFH ve EDH'larına ait histogramlar Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Grup 2 için modellerin (a) ŞFH ve (b) EDH histogramları.

Şekil 2 (a)'dan modellerin ŞFH'larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; ÇFAM ve GBT için %11, N için %13 ve SAK için %16 olduğu görülmektedir. Şekil 2 (b)'den ise modellerin EDH'larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; GBT ve N için %5, ÇFAM için %6 ve SAK için %10 olduğu görülmektedir.

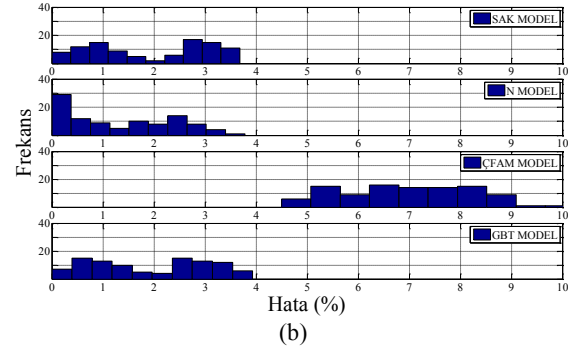
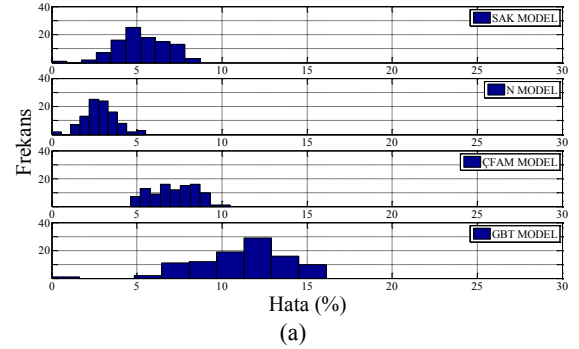
Şekil 2'de verilen ŞFH ve EDH histogramlarına ait ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Grup 2 için modellerin ŞFH ve EDH histogramlarına ait istatistiksel değerler.

	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH
	Ortalama		Ortanca		Standart Sapma	
SAK	12.75	6.45	12.87	6.43	2.13	1.26
N	7.82	1.06	7.65	0.82	1.92	0.88
ÇFAM	6.55	3.08	6.58	2.95	1.31	1.22
GBT	5.36	0.94	5.34	0.82	1.12	0.79

Tablo 2'den ŞFH'ların ortalamalarının küçükten büyüğe sırasıyla GBT için 5.36, ÇFAM için 6.55, N için 7.82 ve SAK için 12.75 olduğu görülmektedir. ŞFH'ların standart sapma değerleri GBT için 1.12, ÇFAM için 1.31, N için 1.92 ve SAK için 2.13'dür. EDH'ların ortalamaları ise GBT için 0.94, N için 1.06, ÇFAM için 3.08 ve SAK için 6.45 olduğu görülmektedir. EDH'ların standart sapma değerleri GBT için 0.79, N için 0.88, ÇFAM için 1.22 ve SAK için 1.26'dır.

Grup 3 için oluşturulan modellerin ŞFH ve EDH'larına ait histogramlar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Grup 3 için modellerin (a) ŞFH ve (b) EDH histogramları.

Şekil 3 (a)'dan modellerin ŞFH'larının azami değerlerinin yaklaşık olarak; N için %5, SAK için %9, ÇFAM için %10 ve GBT için %16 olduğu görülmektedir. Şekil 3 (b)'den ise modellerin EDH'larına ait azami değerlerinin yaklaşık olarak; N, SAK ve GBT için %4, ve ÇFAM için %10 olduğu görülmektedir.

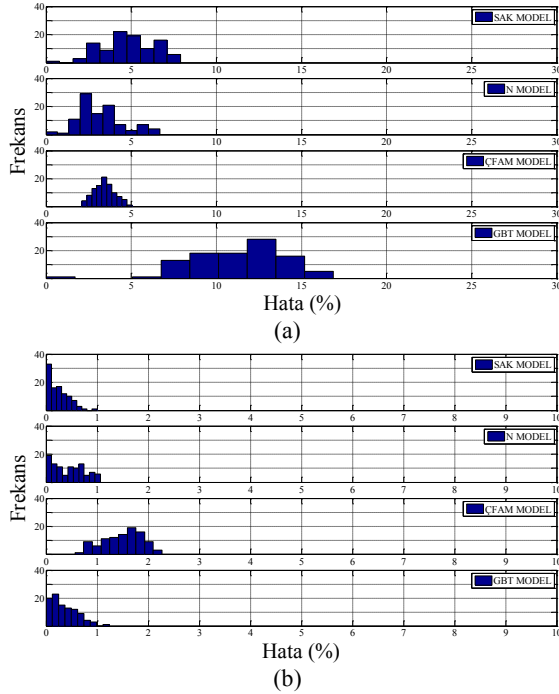
Şekil 3'de verilen ŞFH ve EDH histogramlarına ait ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Grup 3 için modellerin ŞFH ve EDH histogramlarına ait istatistiksel değerler.

	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH
	Ortalama		Ortanca		Standart Sapma	
SAK	5.29	1.91	5.17	1.93	1.54	1.12
N	2.86	1.35	2.83	1.18	0.98	1.07
ÇFAM	7.18	6.96	7.22	6.98	1.30	1.28
GBT	11.24	1.95	11.52	1.98	2.75	1.14

Tablo 3’den ŞFH’ların ortalamalarının küçükten büyüğe sırasıyla N için 2.86, SAK için 5.29, ÇFAM için 7.18 ve GBT için 11.24 olduğu görülmektedir. ŞFH’ların standart sapma değerleri N için 0.98, ÇFAM için 1.30, SAK için 1.54 ve GBT için 2.75’dir. EDH’ların ortalamaları ise N için 1.35, SAK için 1.91, GBT için 1.95 ve ÇFAM için 6.96 olduğu görülmektedir. EDH’ların standart sapma değerleri N için 1.07, SAK için 1.12, GBT için 1.14 ve ÇFAM için 1.28’dir.

Grup 4 için oluşturulan modellerin ŞFH ve EDH’larına ait histogramlar Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4: Grup 4 için modellerin (a) ŞFH ve (b) EDH histogramları.

Şekil 4 (a)’dan modellerin ŞFH’larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; ÇFAM için %5, N için %7, SAK için %8 ve GBT için %16 olduğu görülmektedir. Şekil 4 (b)’den ise modellerin EDH’larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; N, SAK ve GBT için %1, ve ÇFAM için %2 olduğu görülmektedir.

Şekil 4’de verilen ŞFH ve EDH histogramlarına ait ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4: Grup 4 için modellerin ŞFH ve EDH histogramlarına ait istatistiksel değerler.

	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH
	Ortalama		Ortanca		Standart Sapma	
SAK	4.81	0.23	4.78	0.20	1.53	0.19
N	3.21	0.44	2.94	0.44	1.34	0.30
ÇFAM	3.41	1.49	3.33	1.52	0.60	0.37
GBT	11.23	0.35	11.56	0.29	2.69	0.26

ŞFH’ların ortalamalarının küçükten büyüğe sırasıyla N için 3.21, ÇFAM için 3.41, SAK için 4.81 ve GBT için 11.23 olduğu Tablo 4’den görülmektedir. ŞFH’ların standart sapma değerleri ÇFAM için 0.60, N için 1.34, SAK için 1.53 ve GBT için 2.69’dur. EDH’ların ortalamalarının ise SAK için 0.23, GBT için 0.35, N için 0.44 ve ÇFAM için 1.49 olduğu görülmektedir. EDH’ların standart sapma değerleri SAK için 0.19, GBT için 0.26, N için 0.30 ve ÇFAM için 0.37’dir.

SAK, N, ÇFAM ve GBT modellerinin analizlere dâhil edilen yük tipleri için akım dalga şekli ve etkin değerinin belirlenmesindeki performansları; ŞFH ve EDH’larının ortalamaları (ŞFOH ve EDOH) göz önünde bulundurularak hazırlanan Tablo 5 yardımıyla kısaca özetlenebilir. Bu tabloda, ortalama hatalara göre model hassasiyetleri I ile IV arası sayılarla en iyiden en kötüye doğru sıralanmıştır. Bu sıralama yapılırken birbirine çok yakın ortalama değerlere sahip modeller arasında standart sapması küçük olan bir başka ifadeyle daha tutarlı olana öncelik verilmiştir. Bununla birlikte [1]’deki biçimde hata miktarları tabloda beyaz, açık gri ve koyu gri renklerle derecelendirilmiştir.

Tablo 5’den aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Modeller akım dalga şeklinin belirlenmesinde etkin değer hesabına göre daha kötü performansa sahiptir. Bu sonuç akım harmoniklerinin faz açısı hesabında modellerin yetersizliğini göstermektedir.
- Grup 1 için şekil bilgisinin önemli olduğu analizlerde ÇFAM model, etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde ise N model en iyi performansa sahiptir,
- Grup 2 için şekil bilgisinin ve etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde GBT model en iyi performansa sahiptir,
- Grup 3 için şekil bilgisinin ve etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde N model en iyi performansa sahiptir,
- Grup 4 için şekil bilgisinin önemli olduğu analizlerde ÇFAM model, etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde ise SAK model en iyi performansa sahiptir,
- Ayrıca test edilen yüklerin hiçbiri için modeller hassas olmayan sonuç vermemiştir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada çeşitli yük tipleri için; harmonik üreten yüklere ait modellerin oluşturuldukları gerilim dalga şekline farklı dalga şekillerine sahip besleme gerilimindeki hassasiyeti ölçümsel veriler yardımıyla istatistiksel biçimde analiz edilmiştir. Model hassasiyetleri harmonik analizi çalışmalarında test edilen yükler için uygun modelin seçiminde bir yol gösterici olması amacıyla sınıflandırılmıştır. Ayrıca analiz sonuçlarından; GBT modelin harmonik analizlerinde kullanılmak için hassasiyet bakımından bir engel taşımadığı görülmüştür.

Tablo 5: Ortalama hatalar ve standart sapmalar dikkate alınarak hazırlanmış olan modellere ait performans tablosu.

	Grup 1 Yüğü		Grup 2 Yüğü		Grup 3 Yüğü		Grup 4 Yüğü	
	ŞFOH	EDOH	ŞFOH	EDOH	ŞFOH	EDOH	ŞFOH	EDOH
SAK	IV	II	IV	IV	II	II	III	I
N	III	I	III	II	I	I	II	III
ÇFAM	I	IV	II	III	III	IV	I	IV
GBT	II	III	I	I	IV	III	IV	II

4. Kaynakça

- [1] M. E. Balcı, O. Karacasu, M. H. Hocaoglu, “Çeşitli Yüğü Tipleri için Harmonik Üreten Yüğü Modellerinin Hassasiyet Analizi. Kısım I: Farklı Gerilim Seviyelerinde Analizi”, EVK 2011, Kocaeli, Mayıs 2011.
- [2] IEEE Task Force on Harmonic Modeling and Simulation, “Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks- Part I: Concepts, Models and Simulation Techniques”, *IEEE Trans. on Power Del.*, Vol.11, No.1, pp. 452-465, Jan. 1996.
- [3] E. Thunberg, L. Söder, “A Norton Approach to Distribution Network Modelling”, *IEEE Trans. on Power Deliv.* Vol. 14, No. 1, pp. 272-277, Jan., 1999.
- [4] M. Fauri, “Harmonic Modeling of Non-Linear Load by Means of Crossed Frequency Admittance Matrix”, *IEEE Trans. on Power Syst.*, Vol. 12, No. 4, pp.1632-1638, Nov. 1997.
- [5] J. A. Fuentes, A. Gabaldon, F. J. Canovas, A. Molina, “Harmonic Model of Electronically Controlled Loads”, *IEEE Power Eng. Soc. Summer Meet. 2000*, Vol.3, pp.1805-1810, July 2000.
- [6] M. E. Balcı, Ö. Karacasu, S. D. Öztürk, M. H. Hocaoglu, “Harmonik Üreten Yüğüler için Yeni Bir Model”, 3e Electrotech, Baskı:177, sayfa: 194-202, 2009.

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 110E113 numaralı araştırma projesi çerçevesinde yapılan çalışmaların bir ürünüdür.

ÇEŞİTLİ YÜK TİPLERİ İÇİN HARMONİK ÜRETEK YÜK MODELLERİNİN HASSASİYET ANALİZİ. KISIM II: FARKLI GERİLİM DALGA ŞEKİLLERİNDE ANALİZ

¹M. Erhan BALCI

¹mbalci@balikesir.edu.tr

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Balıkesir Üniversitesi

²Özgür KARACASU

²karacasu@gyte.edu.tr

^{2,3}Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

³M. Hakan HOCAOĞLU

³hocaoglu@gyte.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma [1]'deki çalışmanın devamı olup çeşitli yük tipleri için yaygın olarak bilinen harmonik üreten yüklere ait modellerin; oluşturuldukları gerilim dalga şekillerinden farklı dalga şekillerine sahip besleme gerilimlerindeki hassasiyetlerini ve dolayısıyla performanslarını istatistiksel biçimde analiz etmeyi amaçlamıştır. Analizlerde gerçek testlerden elde edilen ölçümsel veriler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar harmonik analizi çalışmalarında test edilen yükler için model seçiminde bir yol gösterici olacak biçimde yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Harmonik üreten yük modelleri, harmonik analizleri, hassasiyet.

1. Giriş

[1]'de sunulan çalışmada; Sabit Akım Kaynağı (SAK) [2], Norton (N) [3], Çapraz Frekans Admittans Matrisi (ÇFAM) [4, 5] ve Güç Bileşenleri Temelli (GBT) [6] modellerinin,

- Pasif empedans (R-L), monitör, dimmer kontrollü resistans (R) ve kompakt floresan lambadan oluşan karma yük grubu (Grup 1),
- Sabit aktif güç besleyen aa/da/aa dönüştürücü yükü (Grup 2),
- Asenkron motorun tam yükte sabit devirle ve sabit torkta çalışma durumları (sırasıyla Grup 3 ve 4),

olmak üzere dört tip yük için; oluşturuldukları gerilimden farklı seviyedeki besleme gerilimleri altındaki hassasiyetleri ölçümsel veriler yardımıyla analiz edilmiştir.

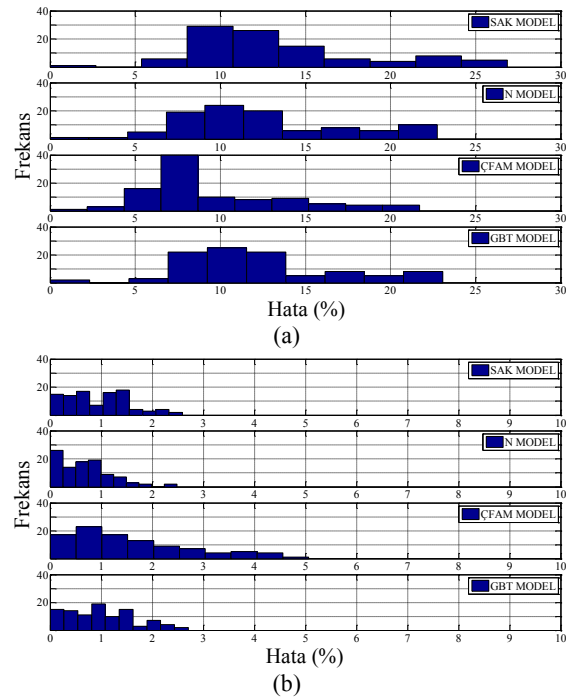
Bu çalışmada yukarıda sıralanan yük tipleri için SAK, N, ÇFAM ve GBT modellerinin; oluşturuldukları gerilim dalga şekillerinden farklı dalga şekillerine sahip besleme gerilimlerindeki hassasiyetleri ölçümsel veriler kullanılarak istatistiksel biçimde analiz edilmiştir. Analiz sonuçları harmonik analizi çalışmalarında test edilen yükler için model seçiminde bir yol gösterici olacak biçimde yorumlanmıştır.

2. Analiz

Bu kısımda yukarıda belirtilen ve akım dalga şekilleri [1]'de sunulan yük grupları için SAK, N, ÇFAM ve GBT modellerinin hassasiyeti; 220V etkin değerde rastgele harmonik içeriğe sahip ve THD'si % 5 olan 100 adet gerilim dalga şekli altında test edilmiştir. Modeller kullanılarak test gerilimleri için hesaplanan akımlar ile bu test gerilimlerinde sistemde ölçülen

akımların; rms değeri ve dalga şekli karşılaştırılması [1]'de verilmiş olan etkin değeri hata (EDH) ve şekil faktörü hata (ŞFH) ifadeleri ile yapılmıştır. Hesap edilen EDH ve ŞFH değerleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Aşağıda grup 1, 2, 3 ve 4 için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Grup 1 için modellerin ŞFH ve EDH'larına ait histogramlar Şekil 1'de verilmiştir.



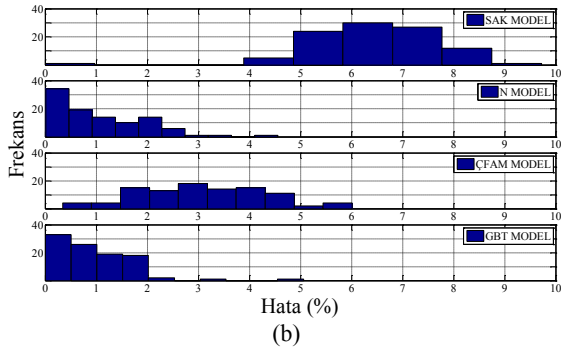
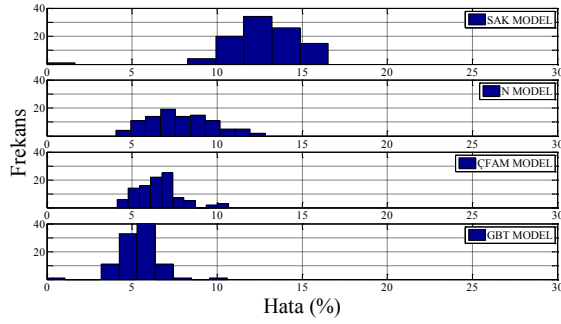
Şekil 1: Grup 1 için modellerin (a) ŞFH ve (b) EDH histogramları.

Şekil 1 (a)'dan modellerin ŞFH'larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; ÇFAM, N ve GBT için %22, ve SAK için %26 olduğu görülmektedir. Şekil 1 (b)'den ise modellerin EDH'larının azami değerlerin yaklaşık olarak; SAK, N ve GBT için %2.5, ve ÇFAM için %5 olduğu görülmektedir. Şekil 1'de verilen ŞFH ve EDH histogramlarına ait ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'den ŞFH'ların ortalamalarının küçükten büyüğe sırasıyla ÇFAM için 9.58, GBT için 12.32, N için 12.35 ve SAK için 13.40 olduğu görülmektedir. ŞFH'ların standart sapma değerleri ÇFAM için 4.36, GBT için 4.52, N için 4.83 ve SAK için 5.11'dir. EDH'ların ortalamaları ise N için 0.68, SAK için 0.96, GBT için 1.02 ve ÇFAM için 1.59 olduğu görülmektedir. EDH'ların standart sapma değerleri N için 0.52, SAK için 0.61, GBT için 0.66 ve ÇFAM için 1.20'dir.

Tablo 1: Grup 1 için modellerin ŞFH ve EDH histogramlarına ait istatistiksel değerler.

	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH
	Ortalama		Ortanca		Standart Sapma	
SAK	13.40	0.96	11.55	0.93	5.11	0.61
N	12.35	0.68	11.41	0.65	4.83	0.52
ÇFAM	9.58	1.59	7.99	1.30	4.36	1.20
GBT	12.32	1.02	11.26	0.96	4.52	0.66

Grup 2 için oluşturulan modellerin ŞFH ve EDH'larına ait histogramlar Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Grup 2 için modellerin (a) ŞFH ve (b) EDH histogramları.

Şekil 2 (a)'dan modellerin ŞFH'larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; ÇFAM ve GBT için %11, N için %13 ve SAK için %16 olduğu görülmektedir. Şekil 2 (b)'den ise modellerin EDH'larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; GBT ve N için %5, ÇFAM için %6 ve SAK için %10 olduğu görülmektedir.

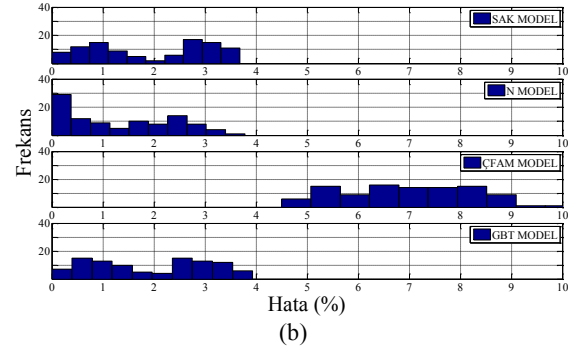
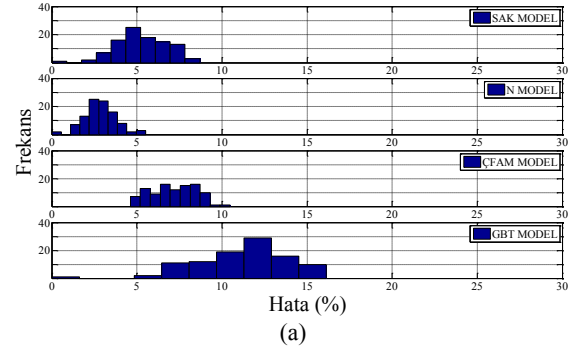
Şekil 2'de verilen ŞFH ve EDH histogramlarına ait ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Grup 2 için modellerin ŞFH ve EDH histogramlarına ait istatistiksel değerler.

	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH
	Ortalama		Ortanca		Standart Sapma	
SAK	12.75	6.45	12.87	6.43	2.13	1.26
N	7.82	1.06	7.65	0.82	1.92	0.88
ÇFAM	6.55	3.08	6.58	2.95	1.31	1.22
GBT	5.36	0.94	5.34	0.82	1.12	0.79

Tablo 2'den ŞFH'ların ortalamalarının küçükten büyüğe sırasıyla GBT için 5.36, ÇFAM için 6.55, N için 7.82 ve SAK için 12.75 olduğu görülmektedir. ŞFH'ların standart sapma değerleri GBT için 1.12, ÇFAM için 1.31, N için 1.92 ve SAK için 2.13'dür. EDH'ların ortalamaları ise GBT için 0.94, N için 1.06, ÇFAM için 3.08 ve SAK için 6.45 olduğu görülmektedir. EDH'ların standart sapma değerleri GBT için 0.79, N için 0.88, ÇFAM için 1.22 ve SAK için 1.26'dır.

Grup 3 için oluşturulan modellerin ŞFH ve EDH'larına ait histogramlar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Grup 3 için modellerin (a) ŞFH ve (b) EDH histogramları.

Şekil 3 (a)'dan modellerin ŞFH'larının azami değerlerinin yaklaşık olarak; N için %5, SAK için %9, ÇFAM için %10 ve GBT için %16 olduğu görülmektedir. Şekil 3 (b)'den ise modellerin EDH'larına ait azami değerlerinin yaklaşık olarak; N, SAK ve GBT için %4, ve ÇFAM için %10 olduğu görülmektedir.

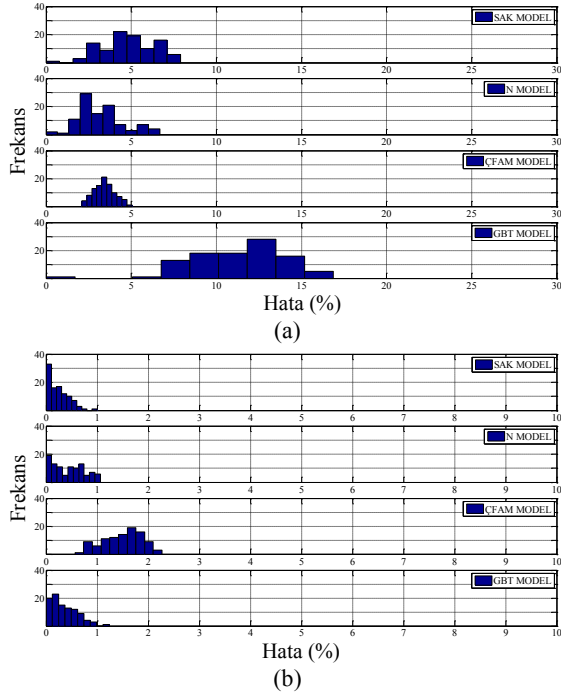
Şekil 3'de verilen ŞFH ve EDH histogramlarına ait ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Grup 3 için modellerin ŞFH ve EDH histogramlarına ait istatistiksel değerler.

	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH
	Ortalama		Ortanca		Standart Sapma	
SAK	5.29	1.91	5.17	1.93	1.54	1.12
N	2.86	1.35	2.83	1.18	0.98	1.07
ÇFAM	7.18	6.96	7.22	6.98	1.30	1.28
GBT	11.24	1.95	11.52	1.98	2.75	1.14

Tablo 3’den ŞFH’ların ortalamalarının küçükten büyüğe sırasıyla N için 2.86, SAK için 5.29, ÇFAM için 7.18 ve GBT için 11.24 olduğu görülmektedir. ŞFH’ların standart sapma değerleri N için 0.98, ÇFAM için 1.30, SAK için 1.54 ve GBT için 2.75’dir. EDH’ların ortalamaları ise N için 1.35, SAK için 1.91, GBT için 1.95 ve ÇFAM için 6.96 olduğu görülmektedir. EDH’ların standart sapma değerleri N için 1.07, SAK için 1.12, GBT için 1.14 ve ÇFAM için 1.28’dir.

Grup 4 için oluşturulan modellerin ŞFH ve EDH’larına ait histogramlar Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4: Grup 4 için modellerin (a) ŞFH ve (b) EDH histogramları.

Şekil 4 (a)’dan modellerin ŞFH’larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; ÇFAM için %5, N için %7, SAK için %8 ve GBT için %16 olduğu görülmektedir. Şekil 4 (b)’den ise modellerin EDH’larına ait azami değerlerin yaklaşık olarak; N, SAK ve GBT için %1, ve ÇFAM için %2 olduğu görülmektedir.

Şekil 4’de verilen ŞFH ve EDH histogramlarına ait ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4: Grup 4 için modellerin ŞFH ve EDH histogramlarına ait istatistiksel değerler.

	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH	ŞFH	EDH
	Ortalama		Ortanca		Standart Sapma	
SAK	4.81	0.23	4.78	0.20	1.53	0.19
N	3.21	0.44	2.94	0.44	1.34	0.30
ÇFAM	3.41	1.49	3.33	1.52	0.60	0.37
GBT	11.23	0.35	11.56	0.29	2.69	0.26

ŞFH’ların ortalamalarının küçükten büyüğe sırasıyla N için 3.21, ÇFAM için 3.41, SAK için 4.81 ve GBT için 11.23 olduğu Tablo 4’den görülmektedir. ŞFH’ların standart sapma değerleri ÇFAM için 0.60, N için 1.34, SAK için 1.53 ve GBT için 2.69’dur. EDH’ların ortalamalarının ise SAK için 0.23, GBT için 0.35, N için 0.44 ve ÇFAM için 1.49 olduğu görülmektedir. EDH’ların standart sapma değerleri SAK için 0.19, GBT için 0.26, N için 0.30 ve ÇFAM için 0.37’dir.

SAK, N, ÇFAM ve GBT modellerinin analizlere dâhil edilen yük tipleri için akım dalga şekli ve etkin değerinin belirlenmesindeki performansları; ŞFH ve EDH’larının ortalamaları (ŞFOH ve EDOH) göz önünde bulundurularak hazırlanan Tablo 5 yardımıyla kısaca özetlenebilir. Bu tabloda, ortalama hatalara göre model hassasiyetleri I ile IV arası sayılarla en iyiden en kötüye doğru sıralanmıştır. Bu sıralama yapılırken birbirine çok yakın ortalama değerlere sahip modeller arasında standart sapması küçük olan bir başka ifadeyle daha tutarlı olana öncelik verilmiştir. Bununla birlikte [1]’deki biçimde hata miktarları tabloda beyaz, açık gri ve koyu gri renklerle derecelendirilmiştir.

Tablo 5’den aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Modeller akım dalga şeklinin belirlenmesinde etkin değer hesabına göre daha kötü performansa sahiptir. Bu sonuç akım harmoniklerinin faz açısı hesabında modellerin yetersizliğini göstermektedir.
- Grup 1 için şekil bilgisinin önemli olduğu analizlerde ÇFAM model, etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde ise N model en iyi performansa sahiptir,
- Grup 2 için şekil bilgisinin ve etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde GBT model en iyi performansa sahiptir,
- Grup 3 için şekil bilgisinin ve etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde N model en iyi performansa sahiptir,
- Grup 4 için şekil bilgisinin önemli olduğu analizlerde ÇFAM model, etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde ise SAK model en iyi performansa sahiptir,
- Ayrıca test edilen yüklerin hiçbiri için modeller hassas olmayan sonuç vermemiştir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada çeşitli yük tipleri için; harmonik üreten yüklere ait modellerin oluşturuldukları gerilim dalga şekli farklı dalga şekillerine sahip besleme gerilimlerindeki hassasiyeti ölçümsel veriler yardımıyla istatistiksel biçimde analiz edilmiştir. Model hassasiyetleri harmonik analizi çalışmalarında test edilen yükler için uygun modelin seçiminde bir yol gösterici olması amacıyla sınıflandırılmıştır. Ayrıca analiz sonuçlarından; GBT modelin harmonik analizlerinde kullanılmak için hassasiyet bakımından bir engel taşımadığı görülmüştür.

Tablo 5: Ortalama hatalar ve standart sapmalar dikkate alınarak hazırlanmış olan modellere ait performans tablosu.

	Grup 1 Yüğü		Grup 2 Yüğü		Grup 3 Yüğü		Grup 4 Yüğü	
	ŞFOH	EDOH	ŞFOH	EDOH	ŞFOH	EDOH	ŞFOH	EDOH
SAK	IV	II	IV	IV	II	II	III	I
N	III	I	III	II	I	I	II	III
ÇFAM	I	IV	II	III	III	IV	I	IV
GBT	II	III	I	I	IV	III	IV	II

4. Kaynakça

- [1] M. E. Balcı, O. Karacasu, M. H. Hocaoglu, “Çeşitli Yüğü Tipleri için Harmonik Üreten Yüğü Modellerinin Hassasiyet Analizi. Kısım I: Farklı Gerilim Seviyelerinde Analizi”, EVK 2011, Kocaeli, Mayıs 2011.
- [2] IEEE Task Force on Harmonic Modeling and Simulation, “Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks- Part I: Concepts, Models and Simulation Techniques”, *IEEE Trans. on Power Del.*, Vol.11, No.1, pp. 452-465, Jan. 1996.
- [3] E. Thunberg, L. Söder, “A Norton Approach to Distribution Network Modelling”, *IEEE Trans. on Power Deliv.* Vol. 14, No. 1, pp. 272-277, Jan., 1999.
- [4] M. Fauri, “Harmonic Modeling of Non-Linear Load by Means of Crossed Frequency Admittance Matrix”, *IEEE Trans. on Power Syst.*, Vol. 12, No. 4, pp.1632-1638, Nov. 1997.
- [5] J. A. Fuentes, A. Gabaldon, F. J. Canovas, A. Molina, “Harmonic Model of Electronically Controlled Loads”, *IEEE Power Eng. Soc. Summer Meet. 2000*, Vol.3, pp.1805-1810, July 2000.
- [6] M. E. Balcı, Ö. Karacasu, S. D. Öztürk, M. H. Hocaoglu, “Harmonik Üreten Yüğüler için Yeni Bir Model”, 3e Electrotech, Baskı:177, sayfa: 194-202, 2009.

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 110E113 numaralı araştırma projesi çerçevesinde yapılan çalışmaların bir ürünüdür.

BİLGİSAYAR YÜKLERİNİN HARMONİK AKTİVİTE KESTİRİMİ VE HARMONİK ANALİZİ

Bora ACARKAN⁽¹⁾

Osman KILIÇ⁽²⁾

Selim AY⁽³⁾

Niyazi GÜNDÜZ⁽⁴⁾

^{(1),(3)} Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

⁽²⁾ Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü

⁽⁴⁾ İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü & NYZ Mühendislik

⁽¹⁾acarkan@yildiz.edu.tr, ⁽²⁾osman.kilic@marmara.edu.tr, ⁽³⁾selimay@yildiz.edu.tr, ⁽⁴⁾ngunduz@nyz.com.tr

Özet – Günümüzde modern hayatın bir gerekliliği olarak bilgisayar kullanımı gerek iş hayatında gerek günlük hayatımızda vazgeçilmez unsurlar haline gelmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle bilgisayar ve donanımlarındaki gelişmelerin devam etmesiyle bu donanımların kullanıldığı sahalar gittikçe artmaktadır. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak bilgisayarların maliyetlerinin düşmesi ve gelir düzeylerinin de artmasıyla bilgisayar kullanımı da sürekli artmaktadır. Bilgisayarların sadece yüksek harmonik bozulmaya sahip anahtarlamalı güç kaynakları ile beslenebilmesi nedeniyle bu donanımların enerji kalitesi açısından incelenmesi zorunlu olmaktadır.

Masaüstü veya taşınabilir bilgisayarlar tek başına düşünüldüğünde güç sisteminde büyük bir bozucu etkiye sahip değildir. Fakat bu düşük güçlü donanımların iş yerleri, bankalar, okullar, araştırma merkezleri ve evlerde bir arada topluca veya yayılı yük olarak yüksek sayılarda kullanılması, güç sisteminde önemli oranlarda “harmonik kirlilik” potansiyeli oluşturmaktadır. Bu çalışmada örnek bir masaüstü ve taşınabilir bilgisayarın harmonik modelleri MATLAB® programı kullanılarak geliştirilmiş ve Simulink® benzetim modelleri yardımıyla harmonik aktivite analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar, Anahtarlamalı güç kaynağı, Harmonik modelleme, Harmonik analiz, MATLAB, Simulink.

1. GİRİŞ

Ofis binalarında elektronik donanımların ve bilgisayarların kullanımının artması alçak gerilim dağıtım sistemlerindeki harmonik sorunlarını büyük oranda artırmaktadır. Dağıtım sistemindeki harmonikler, enerji sistemine bağlı cihazların verimini düşürmesi ve öngörülen ömürlerini kısaltmasının yanında güç kayıplarının artmasına, cihazların hatalı çalışmasına ve dağıtım sisteminin güvenilirlik sınırları dışında işletilmesine neden olmaktadır. Ofis ve ticari binalarda bulunan yüksek sayıdaki bilgisayar yükleri ve özellikle masaüstü

bilgisayarlar bu yapılardaki ana harmonik kaynaklarıdır. Doğru, güvenilir bir sistem tasarımı ve kayıpların en aza indirgenmesi için harmonik analizlerin yapılması oldukça önemlidir. Harmonik analiz aşamasının en önemli unsuru ise donanım ve sistemin doğru modellenmesidir.

Çeşitli harmonik kaynaklarına aşağıdaki donanımlar örnek olarak verilebilir [1, 2]:

- Masaüstü ve dizüstü bilgisayarlar,
- Kesintisiz güç kaynağı sistemleri,
- Deşarj lambaları,
- Ayarlanabilir motor sürücüler,
- Yarı iletken içeren devreler,
- Elektronik ev aletleri.

Bilgisayarların şebekeden beslenmesinde kullanılan anahtarlamalı güç kaynaklarından kaynaklanan harmonik akımlar, güç sistemindeki ısı kayıpları, dolayısıyla enerji maliyetini artırmaktadır. Ayrıca güç sistemine enjekte edilen harmonik akımlar, sistemde gerilim distorsiyonlarına neden olmaktadır. Harmonik akımların neden olduğu başlıca sorunlara aşağıdaki örnekler verilebilir [3]:

- Transformatörlerin aşırı ısınması ve nominal kapasitelerinin azalması,
- Nötr iletkenlerinin aşırı yüklenmesi,
- İletkenlerin ve bağlantıların aşırı ısınması,
- Kompanzasyon kondansatörlerinin zarar görmesi,
- Rezonans olaylarının meydana gelmesi,
- İletişim hatlarında girişim meydana gelmesi,
- Besleme geriliminin bozulması,
- Güç kayıplarının artması,
- Güç ölçümünde hatalı sonuçlar alınması

Alçak gerilim şebekelerinde bulunan yüksek sayıdaki masaüstü ve taşınabilir bilgisayarlar, kasalarına entegre güç kaynakları ve harici güç kaynakları nedeniyle şebekede tek harmoniklerin seviyesi önemli oranda sistemi etkiler. Özellikle üç ve üçün katlarındaki “triplen” harmonik akım bileşenleri, üç fazlı dört iletkenli devrelerde nötr iletkeninden geçerek yüklenen iletkenin ısınmasına neden olur [4].

Bu çalışma kapsamında, özellikle daha yaygın kullanım alanına ve taşınabilir bilgisayarlara göre daha yüksek güç

değerlerine sahip olan bir masaüstü PC ele alınmış, harmonik analizine yönelik harmonik modelleri geliştirilmiştir.

2. DENEYSEL VE SAYISAL UYGULAMA

2.1. Nonlinear Modelleme

Lineer bir devrede sadece tek bir nonlinear eleman bulunuyorsa basit olarak grafiksel çözüm uygulanabilir. Fakat birden fazla nonlinear eleman içeren bir devreyi bilinen analitik yöntemlerle çözmek mümkün değildir. Nonlinear elemanları içeren devreler, problemin ve eldeki verilerin yapısına bağlı olarak değişik yollarla çözümlenebilir [5]. Bu çalışmada nonlinear devre modelleri Simulink® kullanarak geliştirilmiş ve çözümlenmiştir.

Çalışmanın uygulama bölümünde harmonik analizine yönelik tek fazlı Simulink® benzetim modelleri geliştirilmiştir. Benzetim devre parametrelerinde, nominal besleme gerilimi 50 Hz temel frekanslı 220 V, iletken kesitleri 2.5 mm², linyede bulunan PC sayısı 7 adet, bilgisayarlar arasındaki mesafeler de 5 m olarak belirlenmiştir. $\Delta V = 1$ volt ölçü adımı ile 190 V ile 245 V aralığında, TS EN 61000-3-2 standardına göre sinüsoidal besleme gerilimi altında ve şebeke besleme gerilimi altında yapılan laboratuvar ölçüm verileri kullanılarak MATLAB® Curve Fitting aracıyla tipik bir PC'ye ait nonlinear uç denklemler elde edilmiştir [6].

Fazlardaki akım-gerilim dağılımlarını belirlemek için tek fazlı nonlinear direnç modelleri geliştirilmiştir. Belirlenen akım-gerilim dağılımlarına göre harmonik ölçüm verileri, 41. harmonik değerler kadar tek fazlı Simulink® harmonik akım enjeksiyon modellerine uygulanmıştır.

2.2. Nonlinear akım-gerilim karakteristikleri

Nonlinear devreyi Simulink® ortamında modellemek ve çözmek için ilk aşama nonlinear elemanın karakteristiğinin elde edilmesidir. Nonlinear elemanın $I=f(V)$ veya $V=f(I)$ biçimindeki uç denklemini elde etmek için çalışma aralığında akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Şebeke koşullarında nominal gerilimin $\pm 10\%$ aralığında ölçüm yapmak yeterlidir. Ölçüm basamakları olarak $\Delta V = 1$ ila $\Delta V = 5$ V arasında ölçüm adımları seçilebilir. Çalışma aralığında karakteristiği fazla değişmeyen elemanlar için $\Delta V = 5$ volt ölçü adımı uygulanabilir. Laboratuvar ortamında yapılan ölçüm sonuçlarına göre bu durumda değerlendirilecek veri sayısı azalmasına rağmen elde edilen modellerin denklem parametrelerinde belirgin bir fark oluşmamaktadır [7].

Bu çalışmada nonlinear direnç modelleri için uç denklemlerin elde edilmesinde MATLAB yazılımının Curve Fitting aracı kullanılmıştır. Bu araç yardımıyla bilinen fonksiyon tiplerinin yanı sıra kullanıcı tarafından uygulanacak özel fonksiyon tipleri de tanımlamak mümkündür [8]. Ölçümler sonucunda elde edilen karakteristikler polinomial fonksiyonlara uygunluk gösterdiğinden bütün donanım bu tür fonksiyonlarla modellenmiştir. Uygunluk kriteri olarak regresyon göstergelerinden korelasyon katsayıları " r^2 " ve "düzeltilmiş r^2 " (adjusted r^2) baz alınmıştır.

Modellerde kullanılan PC'nin ölçülen akım-gerilim değerleri Tablo 1'de; $\Delta V = 1$ V, $\Delta V = 5$ V için MATLAB/Curve Fitting aracılığıyla elde edilen 1.°, 2.°, 3.° ve 4.° polinomial nonlinear karakteristik parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Karakteristiklerden 0,99'un üzerinde r^2 değerlerinin elde edildiği 1.°, 2.° ve 3.° polinomlar için $\Delta V = 1$ V ve $\Delta V = 5$ V karakteristiklerinden hesaplanan akım değerlerinin aralarındaki farkın %1'in altında olduğu görülmektedir.

Tablo 1 Nonlinear direnç karakteristiğini elde etmek için yapılan ölçümlerin değerleri

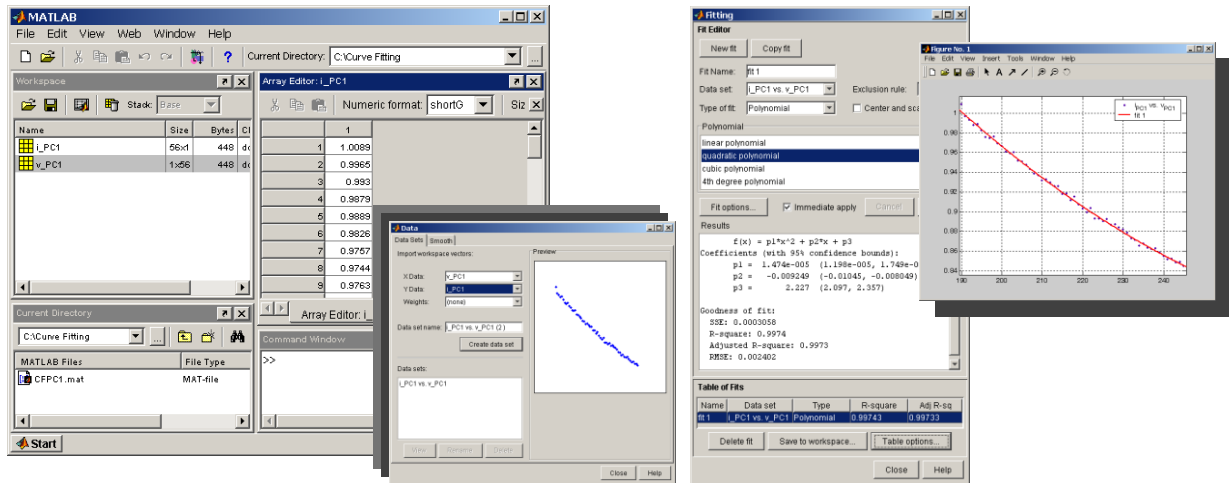
PC için ölçülen gerilim ve akım değerleri ($\Delta V = 1$ V)											
Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)
190	1,0089	200	0,9663	210	0,9314	220	0,9029	230	0,8816	240	0,8547
191	0,9965	201	0,9606	211	0,9329	221	0,8994	231	0,8787	241	0,8514
192	0,9930	202	0,9592	212	0,9292	222	0,9033	232	0,8728	242	0,8523
193	0,9879	203	0,9601	213	0,9260	223	0,8930	233	0,8712	243	0,8486
194	0,9889	204	0,9515	214	0,9260	224	0,8930	234	0,8656	244	0,8487
195	0,9826	205	0,9505	215	0,9179	225	0,8900	235	0,8676	245	0,8447
196	0,9757	206	0,9475	216	0,9182	226	0,8922	236	0,8632		
197	0,9744	207	0,9434	217	0,9115	227	0,8865	237	0,8622		
198	0,9763	208	0,9387	218	0,9150	228	0,8872	238	0,8629		
199	0,9694	209	0,9367	219	0,9074	229	0,8838	239	0,8583		

Tablo 2 Polinomial nonlinear karakteristiklerin parametreleri

Derece Katsayı	$\Delta V=1$ V				$\Delta V=5$ V			
	1.°	2.°	3.°	4.°	1.°	2.°	3.°	4.°
p_0	1,533	2,227	3,165	21,22	1,545	2,494	6,163	14,49
p_1	-0,0028	-0,0092	-0,0223	-0,3566	-0,0029	-0,0117	-0,0627	-0,2171
p_2	-	$1,47 \cdot 10^{-5}$	$7,48 \cdot 10^{-5}$	$2,39 \cdot 10^{-3}$	-	$2,02 \cdot 10^{-5}$	$25,6 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$
p_3	-	-	$-9,21 \cdot 10^{-8}$	$-7,21 \cdot 10^{-6}$	-	-	$-3,61 \cdot 10^{-7}$	$-3,65 \cdot 10^{-6}$
p_4	-	-	-	$8,18 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	$3,78 \cdot 10^{-9}$

Tablo 3 Nonlinear karakteristiklerden elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Besleme gerilimi	Ölçülen akım	Karakteristiklerden hesaplanan akım değerleri							
		1.° polinom		2.° polinom		3.° polinom		4.° polinom	
		$\Delta V=1$ V	$\Delta V=5$ V	$\Delta V=1$ V	$\Delta V=5$ V	$\Delta V=1$ V	$\Delta V=5$ V	$\Delta V=1$ V	$\Delta V=5$ V
(V)	(A)	(A)		(A)		(A)		(A)	
210	0,9314	0,9370	0,9383	0,9347	0,9332	0,9334	0,9324	0,9618	0,9190
213	0,9260	0,9285	0,9296	0,9257	0,9238	0,9244	0,9235	0,9537	0,9099
216	0,9182	0,9200	0,9210	0,9169	0,9148	0,9157	0,9150	0,9458	0,9012
219	0,9074	0,9115	0,9123	0,9084	0,9061	0,9073	0,9069	0,9381	0,8928
222	0,9033	0,9030	0,9036	0,9002	0,8978	0,8992	0,8992	0,9305	0,8848
225	0,8900	0,8944	0,8950	0,8922	0,8899	0,8913	0,8917	0,9232	0,8769
228	0,8872	0,8859	0,8863	0,8845	0,8823	0,8836	0,8845	0,9160	0,8693
231	0,8787	0,8774	0,8776	0,8770	0,8751	0,8762	0,8774	0,9090	0,8618
234	0,8656	0,8689	0,8690	0,8698	0,8682	0,8689	0,8704	0,9023	0,8544
237	0,8622	0,8604	0,8603	0,8629	0,8617	0,8619	0,8634	0,8960	0,8471
240	0,8547	0,8519	0,8516	0,8563	0,8556	0,8550	0,8565	0,8901	0,8399

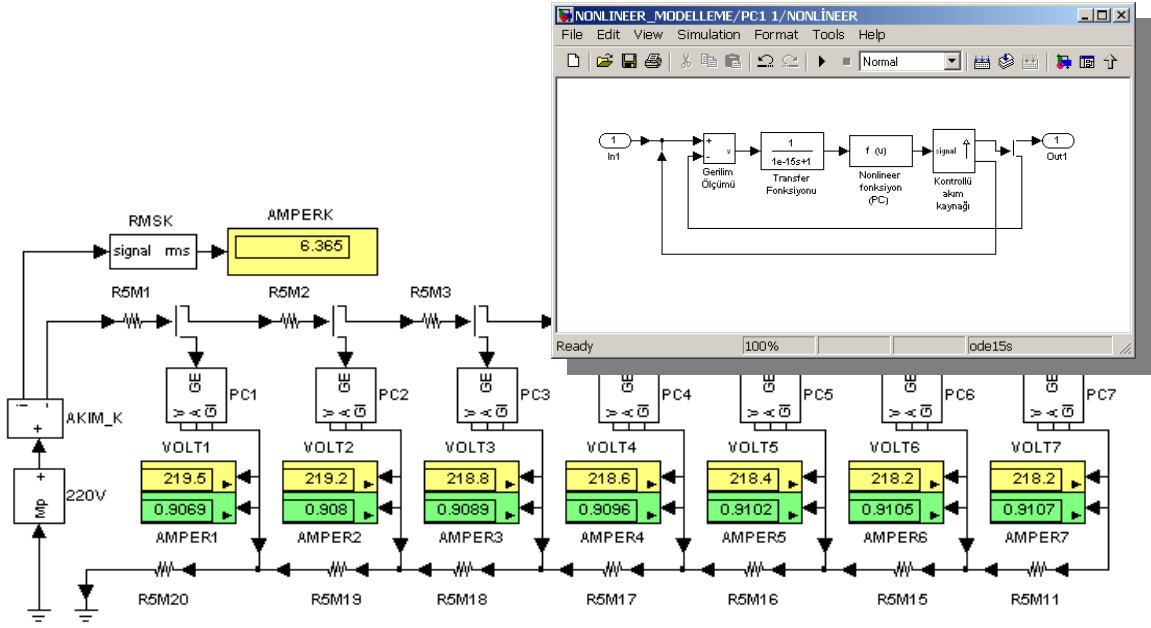


Şekil 1 Ölçüm verisinin MATLAB ortamına aktarılması ve PC için tanımlanan 2.° polinomial nonlinear karakteristik

2.3. Simulink® nonlinear direnç modeli

Nonlinear devre çözümleri için Simulink® modelleri iteratif yöntemler kullanarak yazılım geliştirmeye göre daha kolay, hızlı ve esnek bir yapıdadır. Geliştirilen modellerde bağımlı akım kaynakları kullanıldığı için elemanların $I=f(V)$ biçimindeki uç denklemleri kullanılmalıdır.

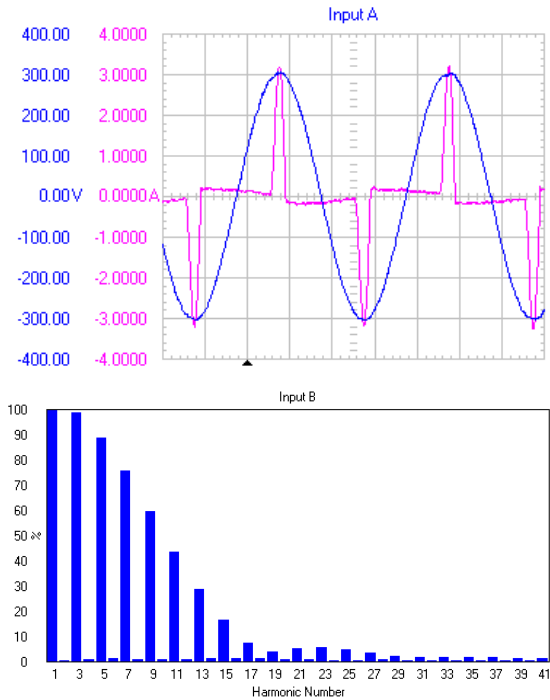
Simulink® benzetim devrelerinin simülasyonu sonucu nonlinear devredeki akım-gerilim dağılımı elde edilir [9]. 200 W'lık anahtarlamalı güç kaynağına sahip bir PC'nin sinüsoidal besleme gerilimi için akım-gerilim dağılımının elde edildiği ve nonlinear direnç modellerinden oluşan Simulink® modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.



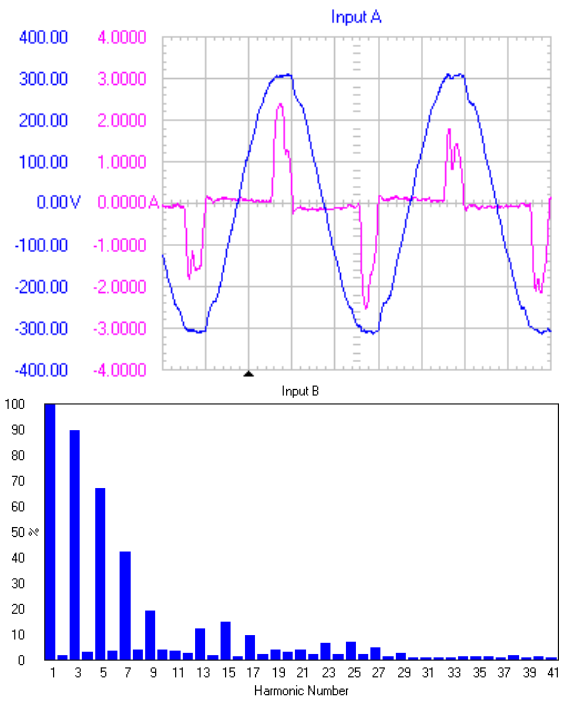
Şekil 2 PC'lerin nonlinear direnç modellerinden oluşan tek fazlı Simulink® devre modeli

2.4. Harmonik akım enjeksiyon modeli

Bu çalışmada incelenen PC devresinin akım dalga biçimleri, anahtarlama güç kaynaklarının nonlinear karakteristiğinden dolayı sinüs dalgasının bozulmaya uğramış dalga biçimindedir. Uygulanan 220 V'luk sinüsoidal ve şebeke besleme gerilimine karşılık 200 W'lık anahtarlama güç kaynağına sahip masaüstü bilgisayara ait gerilim ve akım dalga biçimleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3 Sinüsoidal 220 V besleme gerilimi için PC'nin gerilim ve akım dalga biçimleri ve akım harmonik spektrumu.



Şekil 4 Şebeke besleme gerilimi ($V_{\text{sebeke}} = 223 \text{ V}$, $THD_1 = \%2,51$) için PC'nin gerilim ve akım dalga biçimleri ve akım harmonik spektrumu.

Nonlinear karakteristiğe sahip olmasından dolayı çalışmada incelenen masaüstü bilgisayar, temel bileşen ve harmonik bileşenlerin belirli genlik ve faz açısı değerleriyle paralel harmonik akım kaynakları biçiminde modellenebilirler [10]. 200 W'lık anahtarlama güç kaynaklı PC'lerden oluşan tek fazlı Simulink® harmonik akım enjeksiyon modeli Şekil 5'te gösterilmiştir.

AC-AC MOTOR SÜRÜCÜLERDE GİRİŞ GÜÇ KALİTESİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

V. Volkan Aban¹

Ahmet M. Hava²

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnönü Bulvarı, Balgat, 06531 Ankara

¹ volkanaban@gmail.com ² hava@metu.edu.tr

Öz- Bu çalışmada motor sürücü uygulamalarında kullanılan üç fazlı AC-AC güç elektroniği dönüştürücü çeşitlerinin şebeke güç kalitesi ve enerji verimliliği açısından teknik karşılaştırılması yapılacaktır. Diyotlu doğrultucu girişli bir AC-DC-AC dönüştürücünün DC barasında elektrolitik-yüksek sızgı kondansatör ve film-küçük sızgı kondansatör kullanımının şebeke güç kalitesi üzerine olan etkileri tartışılacak ve incelenecektir. Diyotlu ve darbe genişlik modülasyonu (PWM) transistör doğrultuculu AC-DC-AC dönüştürücülerin 2.2kW, 37kW, 500kW ve 1MW yüklerde benzetimi yapılacaktır. Benzetimlerde sabit güçlü ve sabit impedanslı olmak üzere iki farklı yük tipi kullanılacaktır. Tasarlanan devrelerin başarımları şebeke akımı toplam harmonik bozulma yüzdeleri, sistem kararlılığı, güç katsayısı ve enerji verimliliği açısından incelenecektir.

Anahtar sözcükler- AC/AC dönüştürücü, anahtarlama, darbe genişlik modülasyonu, doğrultucu, güç kalitesi, toplam harmonik bozulma.

I. GİRİŞ

Dünyada üretilen elektrik enerjisinin önemli bir kısmı elektrik motorlarında kullanılır. Elektrik motorları ise şebekeye motor sürücüler üzerinden bağlanır ve sürücü sayesinde sabit şiddet ve frekanstaki şebeke gerilimi, motora istenen şiddet ve frekansta gerilimle uygulanır. Böylece motorun hareket denetimi ve enerji verimliliği oldukça yükselir.

Sürücüler yarı-iletken güç elektroniği devreleri ile yüksek verimde AC/AC dönüşüm yaparlar. AC/AC dönüştürücüler iki sınıfta incelenir; AC/DC/AC olmak üzere iki katlı dönüştürücüler ve AC/AC tek katlı (doğrudan) dönüştürücüler. Uygulamada tek katlı dönüştürücüler henüz yaygınlaşmamışken, iki katlıların kullanımı oldukça yaygındır. İki katlı dönüştürücülerde çıkışta her zaman PWM anahtarlama transistörleri verici kullanılır. Bu yapılar giriş katında ise diyotlu ve tristörlü doğrultucular günümüze kadar yaygınca kullanılmıştır. Diyotlu doğrultucu giriş katlı sürücülerde geleneksel olarak DC bara yapısında yüksek sızgı elektrolitik kondansatör kullanılır. Ancak pasif yük uygulamaları için geliştirilen birtakım yeni nesil sürücülerde DC bara yapısında küçük sızgı film kondansatörler kullanılmaktadır. Böylece gelenekselden farklı bir doğrultucu davranışı ve başarımları

söz konusu olmaktadır. Aktif yük uygulamaları için diyotlu ve tristörlü doğrultucular yetersiz kaldığından, bu uygulamalar için transistörlü doğrultucular gereklidir. Bu amaca uygun PWM anahtarlama transistörlü giriş katlı doğrultucular ise 1990'lı yıllarda geliştirilmeye başlanmıştır ve günümüzde gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Motor uygulamalarının harcadığı toplam güç miktarının şebeke gücüne oranı yüksek olduğundan, yukarıda sözü edilen dönüştürücülerin elektrik enerji verimi ve güç kalitesi özellikleri elektrik şebekesi ve enerji ekonomisi bakımından oldukça önemlidir. Ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %47,5'lük kısmı sanayi uygulamalarında tüketilmektedir. Elektrik motorlarında tüketilen enerjinin toplam tüketimdeki payı ise %40 civarındadır [1]. Sanayi uygulamalarında tüketilen enerjinin ise yaklaşık %65'lik kısmını elektrik motorları oluşturmaktadır [2]. Konunun önemi elektrik güç kalitesi ve enerji verimliliği ile ilgili olarak özellikle son 10 yılda çıkarılan kanunlar, uygulanan yaptırımlar, teşvikler, yönetmelikler oldukça kapsamlıdır. Bu konuda çıkarılmış uluslararası EN61800-3, IEC1000-3-2, IEC1000-3-4, IEEE519 gibi standartlar bunlara kuvvetli örneklerdir [3]. Bu standartlarla çeşitli güç düzeylerine ve cihaz türlerine göre şebeke akımı harmonik miktarlarına sınırlamalar getirilmiştir. 5627 No'lu Enerji Verimliliği Kanunu ile enerjinin etkin kullanımı ve verimliliğin artırılması amaçlanmıştır [4]. Bütün bu yaptırım ve teşvikler sürücülerin enerji verimi ve güç kalitesi başarımının oldukça önemli olduğunu göstermektedir.

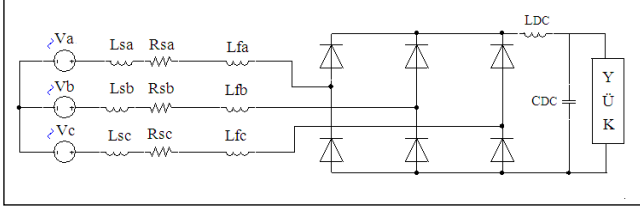
Bu çalışmada bu amaç doğrultusunda şebeke elektrik enerjisinin önemli bir kısmının üzerinden geçtiği motor sürücü yapılarının güç kalitesine olan etkileri benzetimlerle niceliksel olarak incelenecek, sayısal değerlendirmeye karşılaştırılması yapılacaktır. Topolojilerin enerji verimliliğine ait değerlerinin üretici firmaların ürün katalogları referans gösterilerek karşılaştırılması yapılacaktır.

II. TOPOLOJİLER

i. Elektrolitik Kondansatörlü Diyotlu Doğrultucu

Bu topoloji üç fazlı 6 darbeli diyotlu bir doğrultucunun DC barasına yüksek sızgı elektrolitik kondansatör bağlanarak elde edilir. Yüksek sızgı kondansatör bulunması DC gerilimdeki kırıltıyı minimum düzeyde tutar ve yüksek güçlerde de bara kararlılığının sürdürülmesini sağlar. Hem şebeke hem de DC bara taraflarında

harmonikleri azaltmak amacıyla DC baraya indüktör süzgeç bağlanması da tavsiye edilir. Devreye alma anında kondansatör boş ve yüksek sığa etkisiyle DC baradaki impedans düşük olduğundan ilk çalıştırma anında devre yüksek ani akım çeker. Bu nedenle ön-dolum (pre-charge) devresi kullanımı gerektirir. Ekonomik, basit ve güvenilir yapıda olmasından dolayı diyotlu doğrultucu çoğu sürücü uygulamasında yaygınca kullanılır. Şekil.1'de 3 fazlı diyotlu doğrultucu genel devre şeması görülmektedir.



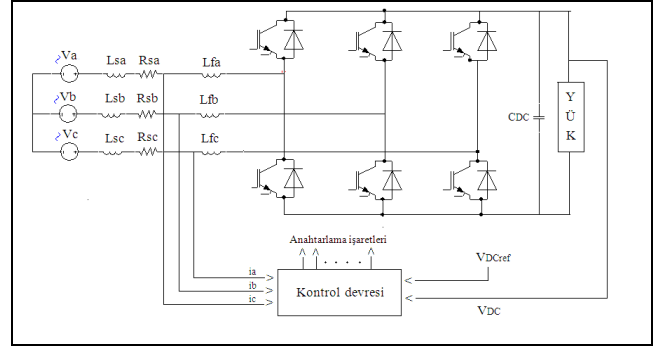
Şekil.1 Üç fazlı diyotlu doğrultucu

ii. Film Kondansatörlü Diyotlu Doğrultucu

Elektrolitik kondansatörler ısınmaya bağlı olarak yıpranır ve sürücü uygulamalarında her beş yılda bir yenilenmeleri önerilir. Fiziki boyutları büyüktür ve maliyetleri yüksektir. Film kondansatörler ise daha uzun ömürlü yapıya sahiptir [5]. DC barada düşük sığalı film kondansatör kullanılırsa DC gerilim kırıltısı artar. Fakat, bu devre yapısıyla DC baradaki gerilim kırıltılarından etkilenmeyecek yapıdaki yükler beslenebilmektedir. Bu durumda fiziki boyutları daha küçük olan ve uzun ömürlü bir devre elde edilmiş olur. Buna ek olarak, düşük sığalı film kondansatörün impedansı yüksektir ve ani akım riski yoktur. Bu nedenle ön dolum devresi gerektirmez. Devrede kullanılması gereken indüktör süzgeç boyutu da geleneksel elektrolitik kondansatörlü doğrultucuya göre oldukça küçültülmüş olur.

iii. Darbe Genişlik Modülasyonlu (PWM) Transistörlü Doğrultucu

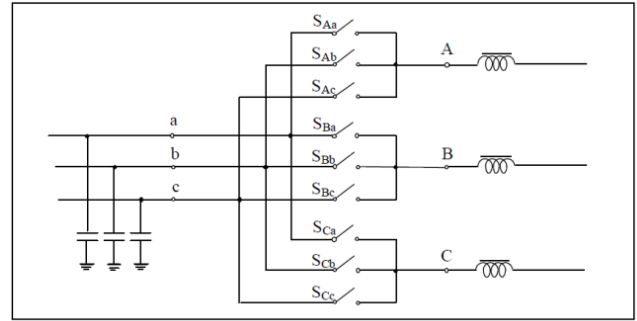
Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular aktif anahtarlama yöntemi ile çalışan ve kapalı çevrim kontrollü devrelerdir. Kapalı çevrim kontrolü hem kırıltısı düşük DC gerilim elde edilmesini hem de şebekeden tam sinüs dalga şekilli akım çekilmesini mümkün kılar, bu nedenle şebeke akımı toplam harmonik bozulması çok düşüktür. Diyotlu doğrultuculardan farklı olarak çift yönlü güç akışı olabilen devrelerdir, bu nedenle rejeneratif çalışabilirler [6]. Şekil.2'de darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucunun genel devre şeması görülmektedir.



Şekil.2 Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucu

iv. Matris Dönüştürücüler

AC enerjinin, arada DC devre elemanları kullanılmadan, tekrar AC bir enerjiye çevrilmesi için geliştirilmiş olan topoloji türüdür. Kaynak, çift yönlü anahtarlar aracılığıyla doğrudan yüke bağlıdır. İstenen gerilim, uygun anahtarların anlık olarak ilettime alınıp çıkarılmasıyla doğrudan sentezlenir. Bu özelliği sayesinde dolayı çevrim yapan AC-DC-AC çeviricilerde ihtiyaç duyulan DC bara elemanları, indüktör ya da kondansatör, kullanılmaz.



Şekil.3. Matris dönüştürücü

III. TOPOLOJİLERİN GÜÇ KALİTESİ ÖZELLİKLERİ

Bir önceki bölümde özellikleri belirtilen doğrultucu topolojileri, şebeke akımı kalitesi açısından farklı başarımlara sahiptir. Bu bölümde sözü edilen doğrultucu tiplerinin şebeke güç kalitesine olan etkileri tartışılacak ve benzetimlerle desteklenecektir. Benzetimlerde, kaynak olarak üç-faz, 50-Hz, 400-V rms alçak gerilim kullanılacaktır. Kaynak impedansı olarak ODTÜ Elektrik Elektronik Müh. Bölümünü besleyen dağıtım trafosu değerleri kullanılacaktır ($L_{AC}=15\mu H$ $R_{AC}=7.4 m\Omega$) [7]. Doğrultucular 2.2kW, 37kW, 500kW ve 1MW güçlerde, sabit impedans ve sabit güçlü olmak üzere iki farklı yük tipinde çalıştırılacaktır. Sabit impedanslı yükler, çektiği akımı kaynak gerilimi ile doğru orantılı değişen yüklerdir. Fan, pompa gibi yükler bu kapsama alınabilir. Sabit güçlü yükler ise, kaynaktan çektiği akımın kaynak gerilimi ile ters orantılı olarak değiştiği, yani $V \cdot I$ çarpımını sabit tutan yük tipidir. Gerilim ve akım ters orantılı değiştiği için bu tip yükler DC barada negatif impedans etkisi yaratır [8].

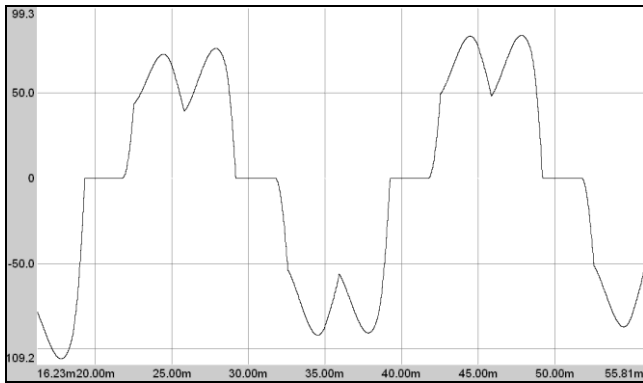
Rulo makineleri bu yüklerle örnek olarak gösterilebilir. Benzetimlerde doğrultucuların DC baralarına evirici devresi bağlanmayıp, DC baraya evirici ile aynı etkiyi gösterecek yük modelleri bağlanacaktır. Sabit impedanslı yük olarak rezistans, sabit güçlü yük olarak ise gerilim kontrollü akım kaynağı kullanılacaktır.

i. Elektrolitik Kondansatörlü Diyotlu Doğrultucu

Üç fazlı diyotlu bir doğrultucudan elde edilecek DC gerilim altı darbeli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle AC şebekeden temel 50Hz bileşeni ile birlikte $6k \pm 1$ dereceli harmonik akımlarının da çekilmesine neden olmaktadır. Bu harmoniklere düşük dereceli harmonik adı verilmektedir. AC şebeke akımının toplam harmonik bozulma yüzdesini etkileyen unsurlardan biri çekilen akımın sürekliliğidir. DC baradan sabit büyüklükte ve sürekli bir akım çekilirse şebeke akımında da sürekli ve altı basamaklı bir dalga şekli elde edilmektedir. Bu akımın toplam harmonik bozulma yüzdesi %31.4 düzeyindedir. Süreksiz bir DC bara akımının bulunması durumunda şebeke akımının da sürekliliği bozulacağı için toplam harmonik bozulma yüzdesi yükselir. Yüksek sığalı elektrolitik kondansatör kullanımı, DC bara kararlılığını artırırken bara akımındaki sürekliliği azaltıcı bir etkiye sahiptir. Bu durum kaliteli bir DC gerilim elde edilmesini sağlarken şebeke akımı toplam harmonik bozulma yüzdesinin yükselmesine neden olur.

Şebeke akımı harmoniklerinin süzülmesi için diyotlu doğrultucunun girişinde pasif süzgeçler kullanılabilir. Genellikle %4-10 arası büyüklükte seçilen AC şebeke reaktörü en yaygın kullanılan pasif süzgeçtir. DC barada indüktör süzgeç kullanılarak da AC şebeke süzgeci ile yakın süzme başarımı elde edilebilir. Eşdeğer DC bara süzgeci indüktansı yaklaşık olarak AC süzgecin iki katı düzeyinde olmaktadır. DC barada tek süzgeç kullanımı üç adet AC süzgeç kullanımına göre hacim olarak daha düşük yer tutar ve maliyeti düşürür. Buna ek olarak AC süzgeçte meydana gelen gerilim düşümü DC bara süzgecinde görülmeyeceği için doğrultucu çıkış geriliminde düşüşe neden olmaz.

Şekil.4'te 37kW sabit impedanslı yükte elde edilen şebeke akımı dalga şekli görülmektedir. Doğrultucuda %4 AC ve %4 DC indüktör süzgeç kullanılmıştır. ($L_{fAC}=500\mu H$, $L_{DC}=500\mu H$ $C_{DC}=7.4mF$) Elektrolitik kondansatörlü doğrultucunun DC gerilim kırıltısı % 0.06 olarak gözlemlenmiştir.



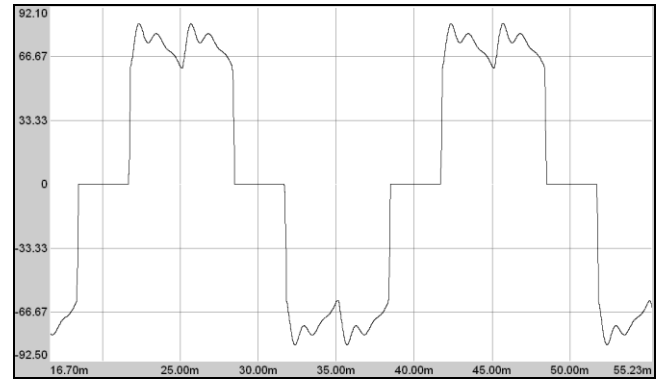
Şekil.4 Elektrolitik kondansatörlü doğrultucu şebeke akımı (50A/bölme, 5ms/bölme)

ii. Film Kondansatörlü Diyotlu Doğrultucu

Yüksek sığalı kondansatörün DC barada ve şebekede azalttığı akım sürekliliği daha düşük sığalı kondansatör kullanımı ile artar. Böylece şebeke akımı toplam harmonik bozulması da önemli derecede azalır.

Altı darbeli diyotlu bir doğrultucunun çıkış gerilimindeki kırıltı frekansı şebeke gerilim frekansının ($\omega_s=2\pi*f_s$) 6 katıdır. Film kondansatörlü devrenin süzgeç indüktansı seçilirken altı darbeli doğrultucunun LC devresinin doğal frekansı $6*\omega_s$ ten büyük olacak şekilde bir sığa ve indüktans seçilmelidir [9].

Film kondansatörlü doğrultucunun çalışabileceği güç düzeyinin sınırlı olmasından ötürü, 37kW 'tan daha yüksek güçlü bir yük için benzetimi yapılmamıştır. Şekil.5'te 37kW sabit impedanslı yükte film kondansatörlü doğrultucunun çektiği şebeke akımı görülmektedir. ($L_{DC}=450\mu H$ $C_{DC}=72\mu F$)

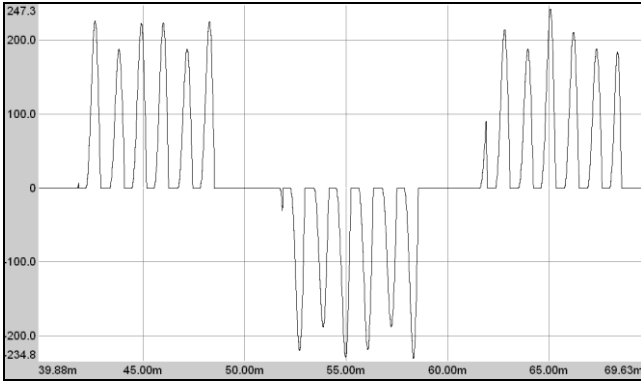


Şekil.5 Film kondansatörlü doğrultucu şebeke akımı (33A/bölme, 5ms/bölme)

Devrenin DC gerilim kırıltısı yaklaşık olarak %20 olarak saptanmıştır. Düşük sığalı film kondansatörün gerilimi tutma kapasitesi yüksek sığalı elektrolitik kondansatöre göre daha düşüktür ve DC bara geriliminin kararlılığı yük tipine bağlı olarak değişmektedir. Düşük sığalı film kondansatörlü bir doğrultucunun beslediği sabit impedanslı, pasif bir yük, doğrultucu çıkış gerilimin düştüğü noktalarda daha düşük akım çekeceği için bara kondansatörünün geriliminde aşırı bir düşüşe neden olmaz, bu nedenle DC bara kararlılığı bozulmaz. Fakat aynı güç değerinde ve aynı çalışma noktasında sabit güçlü bir yük, gerilimin düştüğü anlarda daha fazla akım çekeceği için, DC bara kondansatörünün gerilimi daha fazla düşer ve kararsızlık gözlenir. Şekil.6 ve Şekil.7'de 37kW sabit güçlü yükte 72μF film kondansatörlü doğrultucunun DC bara gerilimi ve şebeke akımı dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil.6 37 kW sabit güçlü yükte film kondansatörlü doğrultucu DC bara gerilimi (125V/bölme, 5ms/bölme)

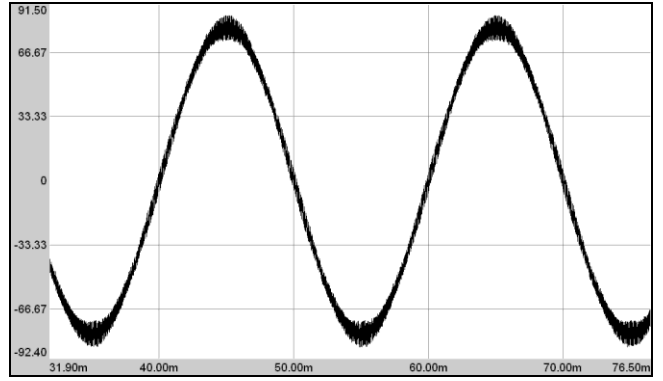


Şekil.7 37 kW sabit güçlü yükte film kondansatörlü doğrultucu şebeke akımı (100A/bölme, 5ms/bölme)

Şekil.6'da görüldüğü üzere, sabit güçlü yükte film kondansatörlü doğrultucunun DC bara gerilimindeki DC gerilim kırıltısının yükseldiği ve % 80 civarında olduğu tespit edilmiştir ve beklendiği gibi, şebeke akımında sabit impedanslı yüke oranla bozulma fazlalaşmıştır.

iii. Darbe Genişlik Modülasyonlu Transistörlü Doğrultucu

Bu topolojide aktif anahtarlama yapıldığı için, şebeke akımında anahtarlama frekansı ve tam katlarında (yüksek dereceli) harmonikler bulunmaktadır. Yüksek frekanslı harmoniklerin süzülmesi için, doğrultucunun girişine genellikle %4-10 arasında süzgeç indüktör bağlanmaktadır. Benzetimde 2.2kW ve 37kW yükleri için %4, 500kW ve 1MW yükler için %12 AC süzgeç indüktörü kullanılmıştır. (LCL süzgeç kullanılmamıştır) Şekil.8'de 37kW sabit impedanslı yük için yapılan benzetimde elde edilen şebeke akımı görülmektedir. ($L_{fAC}=500\mu H$)



Şekil.8 Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucu şebeke akımı (33A/bölme, 10ms/bölme)

Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular çift yönlü güç akışına olanak sağlayan topolojiye sahiptir. Bu özellikleri sayesinde rejeneratif çalıştırılabilirler. Böylece motor sürücülerde dört kadranlı çalışmayı mümkün kılarlar.

IV. TOPOLOJİLERİN ENERJİ VERİMİ ÖZELLİKLERİ

İncelenen üç farklı topoloji farklı enerji verimliliği düzeyine sahiptir. Diyotlu doğrultucularda sadece iletim kaybı ve diyotlar üstündeki gerilim düşümüne bağlı kayıplar bulunur, bu nedenle verimleri yüksektir. Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular aktif anahtarlama yöntemiyle çalıştırıldığından iletim kaybına ek olarak anahtarlama kayıpları mevcuttur, bu nedenle verimleri düşüktür. Fakat çift yönlü güç akışı özellikleri ile enerji geri kazanımı sağlarlar. Çalışmada üretici firmaların benzetimlerindeki devrelerle aynı güç grubuna ait diyotlu ve darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular için verim değerleri sunulmuştur. Diyotlu doğrultucularda %98 ve üzeri enerji verimi elde edilebilirken, darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucularda en fazla %98 verim elde edilebilmiştir [10].

Doğrultucunun arkasına evirici bağlandığı durumda toplam sistem veriminde bir miktar daha düşüş olması beklenir. Sanayide kullanılan eviricilerin ortalama %98-%98,5 civarı verimde çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle doğrultucu veriminin olabildiğince yüksek olması toplam sistem verimini yükseltir.

V. TOPOLOJİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo.1'de topolojilerin sabit impedanslı ve tam yükte, Tablo.2'de sabit güçlü ve tam yükte benzetimlerinde elde edilen şebeke akımı toplam harmonik bozulma yüzdeleri, güç katsayıları ve verim değerleri verilmiştir. Tablo.1'deki veriler incelendiğinde, film kondansatörlü doğrultucunun, kullanılan süzgeç indüktansı ve sığa değerleri daha düşük olmasına rağmen elektrolitik kondansatörlü doğrultucu ile çok yakın bir başarıma sahip olduğu görülmektedir. Tablo.2'deki sabit güçlü yük benzetimi verilerine göre ise, elektrolitik kondansatörlü doğrultucunun şebeke akımı harmonikleri, düşük sığalı film kondansatörlüye göre daha düşüktür. Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucu tam sinüs dalga akım şekliyle en düşük toplam harmonik bozulma yüzdesi ve en yüksek güç katsayısı

değerlerine sahiptir. Diyotlu doğrultucularda darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultuculara göre daha yüksek verim değerleri gözlemlenmektedir.

Tablo.1 Sabit impedanslı tam yükte çalışan doğrultucuların benzetim sonuçları

	Elektrolitik kondansatörlü diyotlu doğrultucu				Film kondansatörlü diyotlu doğrultucu		Darbe genişlik modülasyonu transistörlü doğrultucu			
Güç	2.2kW	37kW	500kW	1MW	2.2kW	37kW	2.2kW	37kW	500kW	1MW
THDi %	29.74	30.55	29.4	29.4	53	30.8	2.33	4.2	4.49	4.42
Verim %	>99.3				>99.3		~98.3			
Güç katsayısı	0.93	0.93	0.93	0.93	0.88	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99
Rejeneratif çalışma	Yok				Yok		Var			
Reaktif güç üretimi	Yok				Yok		Var			

Tablo.2 Sabit güçlü tam yükte çalışan doğrultucuların benzetim sonuçları

	Elektrolitik kondansatörlü diyotlu doğrultucu				Film kondansatörlü diyotlu doğrultucu		Darbe genişlik modülasyonu transistörlü doğrultucu			
Güç	2.2kW	37kW	500kW	1MW	2.2kW	37kW	2.2kW	37kW	500kW	1MW
THDi %	30.04	30.4	29.6	29.6	60.25	90	2.32	4.2	4.42	4.31
Verim %	>99.3				>99.3		~98.3			
Güç katsayısı	0.93	0.93	0.93	0.93	0.85	0.63	0.99	0.99	0.99	0.99
Rejeneratif çalışma	Yok				Yok		Var			
Reaktif güç üretimi	Yok				Yok		Var			

VI. SONUÇ

Bu çalışmada elektrolitik kondansatörlü, düşük sızgı film kondansatörlü ve darbe genişlik modülasyonlu transistörlü olmak üzere üç farklı doğrultucu tipi şebeke akım kalitesi ve enerji verimliliği açısından incelenmiştir. Pasif ve düşük güçlü, (fan ve pompa gibi) yüklerde düşük sızgı film kondansatörlü diyotlu doğrultucu kullanımı şebeke akım harmoniklerini önemli ölçüde azaltmakta, süzgeç boyutunu düşürmekte ve sistemin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Sabit güç uygulamalarında ise düşük sızgı kondansatörlü doğrultucuların kullanımı kararsız çalışmalarından dolayı önerilmemektedir. Yüksek güçlü yüklerde elektrolitik kondansatörlü diyotlu doğrultucu tercih edilebilir. Bu tip doğrultucularda şebeke akımı harmoniklerini azaltmak için şebeke ve DC taraflarında indüktans süzgeci kullanılabilir. Diyotlu doğrultucular yüksek verimde çalışmaktadır. Darbe genişlik modülasyonlu transistörlü doğrultucular ise tam sinüs dalga şekilli düşük çok düşük harmonikli şebeke akımı elde edilmesini sağlamak ve rejeneratif çalışarak enerji geri kazanımı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, "Sanayide Elektrik Motorları" http://www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarufu/uetm/ENVER-Motor.pdf
- [2] A. Savolainen, "Driving towards a Better Future," ABB Review 4/2004, pp.34-38.
- [3] The ABB Group - Automation and Power Technologies, *Guide to Harmonics with AC Drives*, 2002. [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/518a84b65bb2ff40c1256d280083acbd/\\$file/technical_guide6_en.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/518a84b65bb2ff40c1256d280083acbd/$file/technical_guide6_en.pdf)
- [4] Enerji Verimliliği Kanunu, Kanun no: 5627, Kabul tarihi: 18/04/2007, Resmi gazete, sayı 26510, 2 Mayıs 2007.
- [5] J. S. Kim and S. K. Sul, "New control scheme for AC-DC-AC converter without DC link electrolytic capacitor," in *Proc. IEEE PESC*, Seattle, WA, Jun. 1993, vol. 1, pp. 300-306.
- [6] J.R. Rodriguez, J.W. Dixon, J.R. Espinoza, J. Pontt, P. Lezana, "PWM regenerative rectifiers: state of the art," *IEEE Trans Ind Electron*, vol.52, no.1, pp. 5- 22, Feb. 2005.
- [7] H. Zubi, "Lowpass Broadband Harmonic Filter Design", MS. Thesis, METU, 2005.
- [8] Wook-Jin Lee, Seung-Ki Sul, "DC-link voltage stabilization for reduced dc-link capacitor inverter," in *Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2009. IEEE*, pp. 1740-1744, 20-24 Sept. 2009.
- [9] M. Hinkkanen and J. Luomi, "Induction motor drives equipped with diode rectifier and small dc-link capacitance," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no.1 pp. 312-320, Jan. 2008.
- [10] Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp, *TMdrive-10 Product Application Guide*, 2009. http://www.tmge.com/upload/library_docs/english/TMdrive10_Guide_2009_hires_1244728992.pdf

- [11] The Kyoto Protocol, United Nations Framework Convention on Climate Change, 11 Aralık 1997.
- [12] IEC-61000-3-2 Std., Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), Şubat. 2009.
- [13] IEC-61000-3-12Std., Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-12: Limits - Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and < 75 A per phase, Kasım. 2004.

ÜÇ FAZLI ŞEBEKEYE BAĞLI İNVERTERLERİN UZAY VEKTÖR MODÜLASYONU İLE KONTROLÜ

Evren İŞEN, A. Faruk BAKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Beşiktaş/İSTANBUL
eisen@yildiz.edu.tr, fbakan@yildiz.edu.tr

Özet: Şebekeye enerji aktaran üç fazlı inverterlerde, şebekeye verilen enerjinin yüksek kaliteli olması için kullanılan filtre ve kontrol yöntemi önem kazanmaktadır. İnverter ile şebeke arasında akımın filtrelenmesi için genellikle basit akım kontrolü sağlanmasından dolayı L filtre kullanılmaktadır. İnverter çıkışında üretilen akımın kontrolü için uzay vektör darbe genişlik modülasyonu (SVPWM) düşük harmonik içeriği sağlanmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Faz akımı ile faz geriliminin aynı fazda olması ve faz akımının standartlarda belirtilen toplam harmonik distorsiyon (THD) değerini sağlaması gerekmektedir.

Bu çalışmada, 10 kW gücünde şebekeye enerji aktaran üç fazlı gerilim kaynaklı inverterin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. İnverterde tam köprü topolojisi, akımı süzmek için L filtre ve kontrolde uzay vektör darbe genişlik modülasyonu (SVPWM) kullanılmıştır. SVPWM tekniği detaylı olarak incelenmiş, sistemin matematiksel modeli çıkartılmış ve sistemin farklı endüktans ve anahtarlama frekanslarındaki performansı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şebekeye enerji aktarımı, üç fazlı inverter, SVPWM, THD.

1. Giriş

Yakıt hücreleri ve fotovoltaik paneller gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin depo edilmesi yerine şebekeye aktarılması tercih edilmektedir. DC enerjinin AC enerjiye dönüştürülerek şebekeye aktarılması yüksek güçlü uygulamalarda üç fazlı, düşük güçlü uygulamalarda tek fazlı inverterler ile gerçekleştirilmektedir. Şebekeye bağlı inverterler fotovoltaik (PV) ve rüzgâr türbini uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle güneş enerjisi uygulamalarında şebekeye bağlı inverterler PV sistemlerin kalbini oluşturmaktadır. Bu inverterler PV inverter veya şebekeye bağlı inverter olarak da adlandırılmaktadır. Giderek yaygınlaşan PV inverterler konusunda literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır [1],[2].

Üç fazlı şebekeye bağlı PV inverterler genellikle gerilim beslemeli olarak gerçekleştirilmektedir. İnverter akım harmoniklerinin standartlara göre belirli seviyenin altında olması istenmektedir. Akım harmoniklerini azaltmak ve akımın sinüsoidal

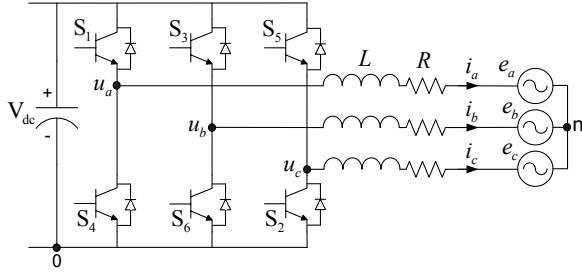
olmasını sağlamak için inverter ile şebeke arasına L, LC veya LCL filtre bağlanır. Kullanılan filtreye göre inverterdeki kontrol yapısı da değişmektedir. LCL filtresinin akım harmonikleri aynı anahtarlama frekansında diğer filtrelere (L ve LC'ye) göre daha düşüktür. Bu nedenle LCL filtrede endüktans değerinin küçültülebilmesi mümkündür. Fakat LCL filtre kullanılan sistemde rezonans oluşma ihtimali ve kondansatörün reaktif güç çekmesi gibi bazı problemler oluşmaktadır. Bu problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için karmaşık bir kontrol yapısı gerekmektedir. Literatürde farklı filtreler için geliştirilmiş çok sayıda kontrol yöntemi bulunmaktadır [3].

İnverter kontrolünde uzay vektör darbe genişlik modülasyonu (SVPWM) ve histerezis akım kontrol (HCC) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. HCC yönteminde dinamik cevap oldukça iyidir, fakat anahtarlama frekansı ve akım harmonikleri değişkendir. SVPWM kontrol yönteminde akım hata kompanzasyonu ve anahtarlama sinyali üretme işlemi iki aşamada gerçekleştirilir. Bu kontrol yönteminin avantajları sabit anahtarlama frekansı, optimum anahtarlama sinyali üretimi, düşük harmonik içeriği ve DC bara geriliminin etkin kullanımı olarak sıralanabilir. Optimum anahtarlama sinyallerinin üretilmesi ile akımın harmonik içeriğinde ve anahtarlama kayıplarında azalma sağlanır. DC bara gerilimi kullanımı bakımından klasik PWM yöntemlerine göre %15 daha etkin bir kullanım sağlamaktadır [4],[5].

Bu çalışmada, şebekeye bağlı üç fazlı bir inverterin matematiksel modeli çıkartılmış ve inverter kontrolünde kullanılan SVPWM yöntemi detaylı olarak açıklanmıştır. Sistem MATLAB/Simulink ortamında 10 kW çıkış gücü için simüle edilmiştir. İnverter ile şebeke arasında L filtre kullanılmış, sistemin performansı farklı DC bara gerilimleri, filtre endüktansları ve anahtarlama frekanslarında detaylı olarak incelenmiştir.

2. Sistemin Matematiksel Modeli

Üç fazlı şebekeye bağlı gerilim kaynaklı inverter sistemi Şekil 1'de verilmiştir. Sistem, DC gerilim kaynağı (V_{dc}), altı adet anahtarlama elemanından (S_1 - S_6) oluşan üç fazlı tam köprü inverter, filtre (L), endüktansın eşdeğer seri direnci (R) ve üç faz şebeke geriliminden (e_a , e_b , e_c) oluşmaktadır.



Şekil 1. Üç fazlı şebekeye bağlı inverter sistemi.

u_A , u_B ve u_C inverter gerilimleri DC baranın “0” noktasına göre tanımlanmıştır. Enerji aktarımı yapılan üç fazlı şebekenin gerilimleri,

$$e_a = V_m \sin(2\pi f_1 t) \quad (1)$$

$$e_b = V_m \sin(2\pi f_1 t - \frac{2\pi}{3}) \quad (2)$$

$$e_c = V_m \sin(2\pi f_1 t + \frac{2\pi}{3}) \quad (3)$$

eşitlikleri ile tanımlanır. Bu eşitliklerde bulunan (f_1) şebeke frekansını ve (V_m) faz gerilimi tepe değerini temsil etmektedir. İnverterin her fazı için gerilim eşitlikleri yazılırsa,

$$u_a = L \frac{di_a}{dt} + Ri_a + e_a + u_{n0} \quad (4)$$

$$u_b = L \frac{di_b}{dt} + Ri_b + e_b + u_{n0} \quad (5)$$

$$u_c = L \frac{di_c}{dt} + Ri_c + e_c + u_{n0} \quad (6)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu eşitliklerde, şebekenin nötr noktası “n” ile DC baranın “0” noktası arasındaki gerilim u_{n0} olarak tanımlanır.

$$u_{n0} = (u_a + u_b + u_c) / 3 \quad (7)$$

İnverterin faz çıkış gerilimleri her bir kolun anahtarlama durumuna bağlı olarak değişmektedir. İlgili fazın çıkış gerilimi, ilgili kolun üst anahtarı iletime girdiğinde DC bara gerilimine eşit olur. Üst anahtar kesime girip alt anahtar iletime girdiğinde ise faz gerilimi sıfır olmaktadır. Üç faz için değişimin genelleştirilmiş matematik ifadesi (8) eşitliğinde verilmiştir.

$$u_i = S_i \cdot V_{dc} = \begin{cases} V_{dc}, & S_i = 1 \\ 0, & S_i = 0 \end{cases} \quad (i = a, b, c) \quad (8)$$

Bir fazın üst anahtarı iletimde olduğunda $S=1$ ve alt anahtar iletime girdiğinde $S=0$ olmaktadır. (4)-(8) eşitlikleri kullanılarak sistemin durum uzay denklemleri

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (9)$$

formunda yazılabilir. Bu eşitlikteki durum ve giriş vektörleri (10),(11) ve katsayı matrisleri (12),(13), (14) eşitliklerinde verilmiştir.

$$x = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$u = \begin{bmatrix} S_a V_{dc} - e_a - \frac{S_a + S_b + S_c}{3} \\ S_b V_{dc} - e_b - \frac{S_a + S_b + S_c}{3} \\ S_c V_{dc} - e_c - \frac{S_a + S_b + S_c}{3} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R}{L} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \quad (12)$$

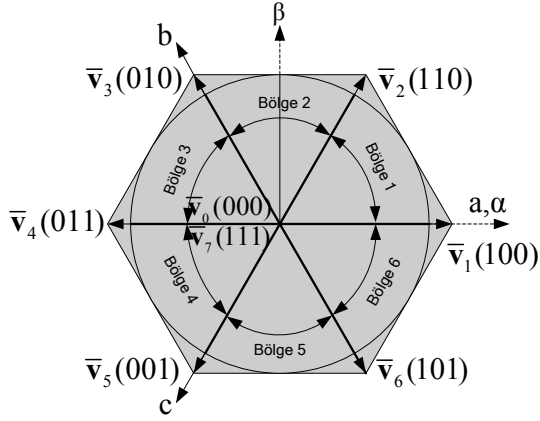
$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

3. Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu (SVPWM)

Üç fazlı gerilim kaynaklı inverterde farklı anahtarlama durumlarına göre altı adet aktif anahtarlama durumu ve iki adet sıfır anahtarlama durumu ortaya çıkmaktadır. Şekil 2’de bu anahtarlama durumlarına göre oluşan aktif ve sıfır vektörler görülmektedir. Bu vektörler arasında 60° açı bulunmakta ve vektörler bir altgen oluşturmaktadır.

İnverter, şebekeye verilecek olan akım referans değerine bağlı olarak çıkış gerilimi vektörü üretmektedir. Bu gerilim vektörü, bulunduğu bölgenin aktif komşu vektörleri ve sıfır vektörleri kullanılarak SVPWM kontrol yöntemi ile üretilir.



Şekil 2. İnverter gerilim vektörleri.

SVPWM kontrol yönteminde büyüklükler ikili eksen takımında kontrol edilmektedir. Üç fazlı akım ve gerilim büyüklükleri dönüşüm matrisi kullanılarak ikili eksen takımına indirgenir. Bu dönüşüm işlemi (15)'de verilen Clarke dönüşüm matrisi yardımı ile yapılmaktadır [6].

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (15)$$

SVPWM yönteminde referans gerilim vektörünün üretilmesi için gerekli olan anahtarlama durumunun tespiti üç adımda gerçekleştirilir. İlk adımda, referans gerilim vektörünün α - β bileşenleri kullanılarak gerilim vektörü ve bu vektörün açısı sırasıyla (16) ve (17) eşitlikleri kullanılarak tespit edilir.

$$\bar{V}_{ref} = \sqrt{V_\alpha^2 + V_\beta^2} \quad (16)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{V_\beta}{V_\alpha} \right) \quad (17)$$

Zamana bağlı olarak değişen θ açısı ile beraber vektörün içinde bulunduğu bölge de değişmektedir. İkinci adımda, referans gerilim vektörünün bulunduğu bölge tespit edilmektedir. Bu bölgeye bağlı olarak referans vektöre komşu olan aktif vektörler ve sıfır vektörleri tespit edilerek bu vektörlerin süreleri hesaplanır. Örneğin referans gerilim vektörü $0 < \theta < 60^\circ$ aralığında iken, V_1 , V_2 , V_0 ve V_7 vektörleri kullanılır. Bu vektörler arasındaki ilişki (18) eşitliğinde verilmiştir. Bu vektörlerin süreleri (19)-(21) eşitlikleri ile hesaplanır [7].

$$\int_0^{T_s} \bar{V}_{ref} dt = \int_0^{T_1} \bar{V}_1 dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} \bar{V}_2 dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} \bar{V}_0 dt \quad (18)$$

$$T_1 = T_s \frac{3|\bar{V}_{ref}|}{2V_{dc}} \frac{\sin(\pi/3 - \alpha)}{\sin(\pi/3)} \quad (19)$$

$$T_2 = T_s \frac{3|\bar{V}_{ref}|}{2V_{dc}} \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\pi/3)} \quad (20)$$

Aktif ve sıfır vektörlerin toplam süresi anahtarlama periyoduna eşit olduğundan, sıfır vektörünün süresi (21) eşitliği ile hesaplanır.

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2) \quad (21)$$

Vektörlerin süre hesabı genelleştirilmiş olarak (22), (23) eşitlikleri hesaplanır. Bu eşitliklerde, n bölge numarasını göstermektedir.

$$T_1 = \frac{\sqrt{3}T_s |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \frac{n}{3} \pi \cdot \cos \theta - \cos \frac{n}{3} \pi \cdot \sin \theta \right) \quad (22)$$

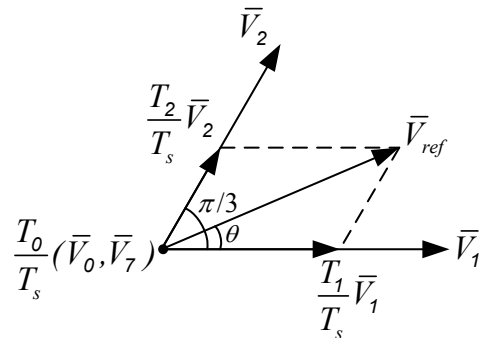
$$T_2 = \frac{\sqrt{3}T_s |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \left(-\sin \frac{n-1}{3} \pi \cos \theta + \cos \frac{n-1}{3} \pi \sin \theta \right) \quad (23)$$

Vektör süreleri hesaplandıktan sonra anahtarlama elemanlarının iletim süreleri Çizelge 1 yardımıyla hesaplanır.

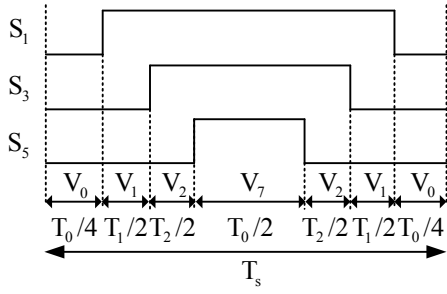
Çizelge 1. Bölgelere göre anahtarlama süreleri

Bölge	Üst anahtarlar	Alt anahtarlar
1	$S_1 = T_1 + T_2 + T_0/2$ $S_3 = T_2 + T_0/2$ $S_5 = T_0/2$	$S_4 = T_0/2$ $S_6 = T_1 + T_0/2$ $S_2 = T_1 + T_2 + T_0/2$
2	$S_1 = T_1 + T_0/2$ $S_3 = T_1 + T_2 + T_0/2$ $S_5 = T_0/2$	$S_4 = T_2 + T_0/2$ $S_6 = T_0/2$ $S_2 = T_1 + T_2 + T_0/2$
3	$S_1 = T_0/2$ $S_3 = T_1 + T_2 + T_0/2$ $S_5 = T_2 + T_0/2$	$S_4 = T_1 + T_2 + T_0/2$ $S_6 = T_0/2$ $S_2 = T_1 + T_0/2$
4	$S_1 = T_0/2$ $S_3 = T_1 + T_0/2$ $S_5 = T_1 + T_2 + T_0/2$	$S_4 = T_1 + T_2 + T_0/2$ $S_6 = T_0/2 + T_2$ $S_2 = T_0/2$
5	$S_1 = T_1 + T_0/2$ $S_3 = T_0/2$ $S_5 = T_1 + T_2 + T_0/2$	$S_4 = T_1 + T_0/2$ $S_6 = T_1 + T_2 + T_0/2$ $S_2 = T_0/2$
6	$S_1 = T_1 + T_2 + T_0/2$ $S_3 = T_0/2$ $S_5 = T_1 + T_0/2$	$S_4 = T_0/2$ $S_6 = T_1 + T_2 + T_0/2$ $S_2 = T_2 + T_0/2$

1 nolu bölgedeki vektörler Şekil 3'te, inverter elemanlarına ait anahtarlama sinyalleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. 1. bölgedeki vektörler.



Şekil 4. SVPWM yönteminde 1 nolu bölgede PWM sinyalleri.

4. Simülasyon Sonuçları

Şebekeye bağlı üç fazlı inverter MATLAB/Simulink ortamında simüle edilmiştir. Simülasyonlarda, şebeke gerilimi 220 V, şebeke frekansı 50Hz, referans şebeke akımı 15 A ve DC bara gerilimi 800 V alınmıştır. Durum uzay denklemleri kullanılarak gerçekleştirilen Simulink modeli Şekil 5'te görülmektedir. SVPWM kontrollü inverterde muhtelif filtre endüktans değerleri, DC bara gerilimleri ve anahtarlama frekansları için çıkış akımı THD değişimleri elde edilmiştir. Farklı sistem parametrelerinde SVPWM yöntemi ile elde edilen şebeke akımı THD değişimleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

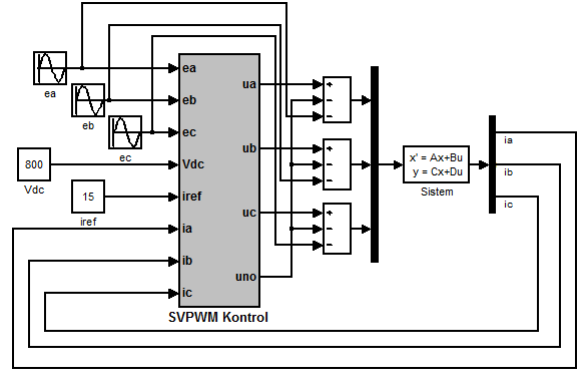
Şekil 6'da farklı anahtarlama frekansları ve filtre endüktans değerleri için şebeke akımı THD değişim eğrileri görülmektedir. Bu değişimler 800 V DC bara geriliminde elde edilmiştir. Değişimlerde L değerinin ve anahtarlama frekansının artması ile THD değerinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni artan L değeri daha etkin bir filtreleme ve yüksek anahtarlama frekansının hızlı kontrol sağlamasıdır. $THD < \%5$ şartını sağlayan endüktans değeri ve anahtarlama frekansı bu eğriler kullanılarak tespit edilebilir. Bu seçim yapılırken anahtarlama frekansının artması ile anahtarlama kayıplarının artacağı, L değerinin yüksek seçilmesi ile sistemin hacim ve maliyetinin artarak, dinamik cevabın yavaşlayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Şekil 7'de filtre endüktans değeri 3 mH seçilerek farklı anahtarlama frekansları ve DC bara gerilimleri için elde edilen THD değişimleri verilmiştir. DC bara geriliminin yükselmesi ile THD değerinin arttığı görülmektedir. Bu artışın sebebi, endüktans geriliminin yükselmesinden dolayı akımın değişim hızının yükselmesidir. Aynı anahtarlama frekansında yüksek DC bara gerilimi kullanıldığında, akımdaki değişim hızının artışı yüksek akım dalgalanmasına ve THD değerinin yükselmesine sebep olmaktadır.

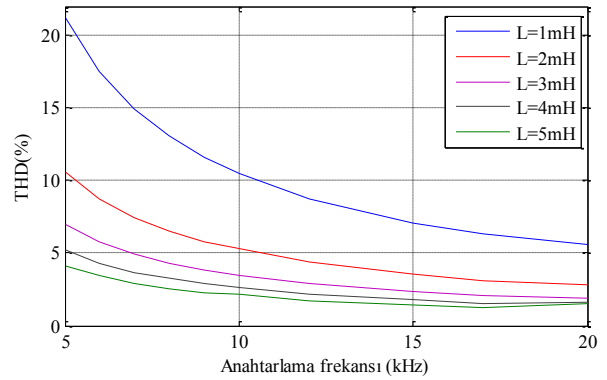
Analiz sonucu elde edilen parametrik eğriler kullanılarak $THD < \%5$ şartını sağlayan uygun endüktans ve anahtarlama frekansı değerleri belirlenmiştir. Filtre endüktansı 3 mH, DC bara

gerilimi 800 V ve inverter anahtarlama frekansı 10 kHz seçilerek yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen üç faz şebeke akımları Şekil 8'de verilmiştir. Akımın THD değeri %3.5 olup standartlarda belirtilen $THD < \%5$ şartı sağlanmaktadır.

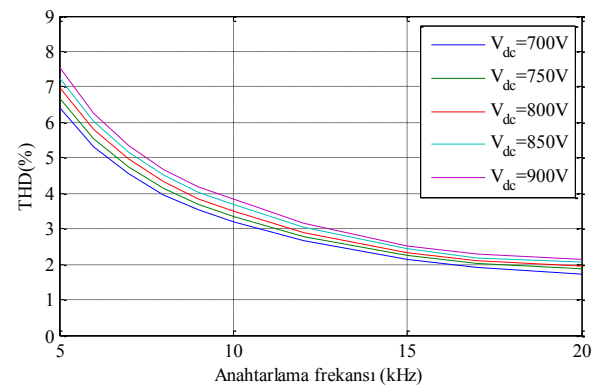
Şekil 9'da, şebeke akımının %50 azalması ve artması durumları için sistemin dinamik cevabı verilmiştir. Kontrolör referans değişimine hızlı cevap vererek akımın yeni referans değerine ulaşmasını sağlamakta ve bir kararsızlık oluşmamaktadır.



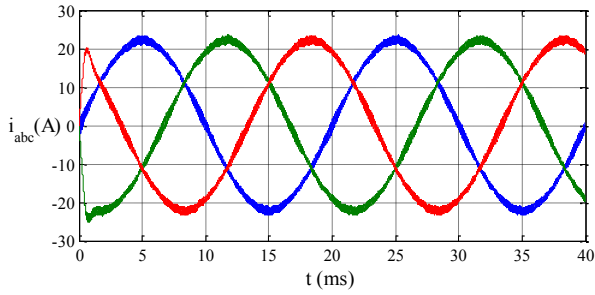
Şekil 5. Sistemin simulink modeli.



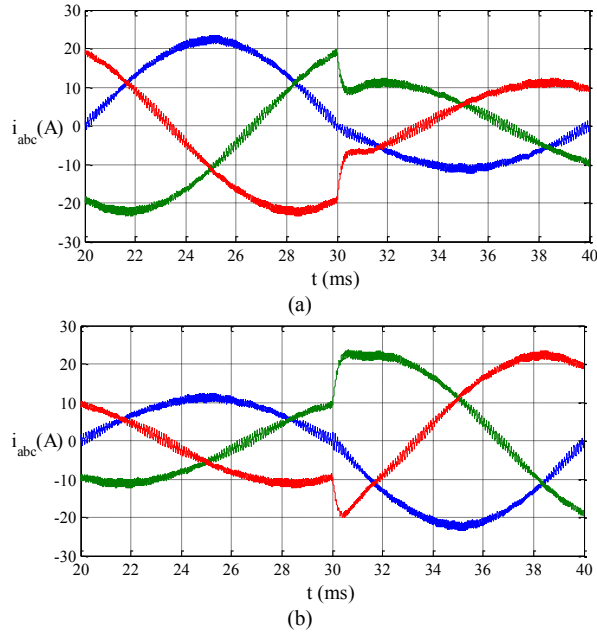
Şekil 6. Farklı filtre endüktans değerleri için anahtarlama frekansına bağlı olarak şebeke akımı THD değişimleri.



Şekil 7. Farklı DC gerilimleri için anahtarlama frekansına bağlı olarak şebeke akımı THD değişimleri.



Şekil 8. Şebekeye enjekte edilen üç faz akım değişimleri.



Şekil 9. Referansın (a) %50 azalma ve (b) %50 artma durumları için dinamik cevap.

5. Sonuç

Bu çalışmada, SVPWM tekniği kullanılan üç fazlı şebekeye bağlı inverter sisteminin matematiksel modeli çıkartılmış ve sistemin farklı endüktans ve anahtarlama frekanslarındaki performansı detaylı olarak incelenmiştir. MATLAB/Simulink programı ile yapılan analizler ile farklı filtre endüktansı, DC bara gerilimi ve anahtarlama frekansı için çıkış akımı THD değişimleri elde edilmiştir. Bu değişimler kullanılarak, standartlarda belirtilen $THD < 5\%$ şartını sağlayan parametreler elde edilebilmektedir. Seçilen uygun parametreler kullanılarak sistemin simülasyonu gerçekleştirilmiş, kararlı hal ve dinamik cevabı incelenmiştir. Şebekeye enjekte edilen akımın THD değerinin 3.5% olduğu ve kontrolörün referansı hızlı bir şekilde takip ettiği tespit edilmiştir. Şebekeye enerji aktaran inverterlerde parametre seçiminde en önemli şart $THD < 5\%$ şartının sağlanmasıdır. Bununla beraber anahtarlama frekansının artması ile anahtarlama kayıplarının artacağı, L değerinin yüksek seçilmesi ile sistemin hacim ve maliyetinin artarak dinamik cevabın yavaşlayacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Kaynaklar

- [1] F.Blaabjerg, Z. Chen and S.B. Kjaer, "Power Electronics as Efficient Interface in Dispersed Power Generation Systems," *IEEE Trans. on Power Electron.*, vol 19, no. 5, pp.1184-1194, Sep. 2004.
- [2] F.Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre and A.V. Timbus, "Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems," *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, vol. 53, no. 5, pp. 1398-1409, Oct. 2006.
- [3] F. Liu, X. Zha, Y. Zhou and S. Duan, "Design and Research on Parameter of LCL Filter in Three-Phase Grid-Connected Inverter," *IEEE Power Electron. and Motion Control Conf., IPEMC'09*, May. 2009, pp. 2174-2177.
- [4] K. Zhou and D. Wang, "Relationship Between Space-Vector Modulation and Three-Phase Carrier-Based PWM: A Comprehensive Analysis," *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, vol 49, no. 1, pp.186-196, Feb. 2002.
- [5] Q. Zeng and L.Chang, "Study of Advanced Current Control Strategies for Three-Phase Grid-Connected PWM Inverters for Distributed Generation," *IEEE Conf. on Control Appl.*, Aug. 2005, pp.1311-1316.
- [6] H. R. N. Pouya and H. Mokhtari, "Control of Parallel Three-Phase Inverters Using Optimal and SVPWM Technique," *IEEE Int. Symposium on Ind. Electron.*, (ISIE 2009), July 2009, pp. 1823-1828.
- [7] X. Wen and X. Yin, "The SVPWM fast algorithm for three-phase inverters," *Int. Power Engineering Conf., IPEC 2007*, pp. 1043-1047.

Bu çalışma, 110E212 numaralı proje kapsamında TUBİTAK tarafından desteklenmiştir.

ŞEBEKEYE BAĞLI RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN FLİKERETKİLERİ

Akın Taşcıkaraoğlu, Mehmet Uzunoğlu

Yıldız Teknik Üniversitesi

atasci@yildiz.edu.tr,uzunoglu@yildiz.edu.tr

Özet

Rüzgar türbinlerinin şebekeler içindeki güçlerinin artmasıyla birlikte, türbinlerden kaynaklanan nedenlerden dolayı eğer yeterince önlem alınmazsa güç kalitesi sorunları meydana gelebilmektedir. Bu sorun şebeke içerisindeki rüzgar gücünün daha fazla artmasına engel olabilmektedir. Çözüm için öncelikle türbinlerin neden olduğu güç kalitesi problemlerinin tam olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada rüzgar türbinlerinin olası güç kalitesi problemleri incelenmiştir. Türbinlerin neden olduğu problemler arasında, analizlerinin daha zor yapılabilmesi nedeniyle hızlı gerilim değişimleri (flikler) ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Türbinleri, Güç Kalitesi, Fliker.

1. Giriş

Rüzgar gücü endüstrisinin 1980'lerde gelişmeye başlamasıyla birlikte rüzgar türbinlerinin nominal güçleri oldukça büyük bir artış göstermiştir ve bu güçteki türbinlerden oluşan rüzgar çiftliklerinin kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Ancak rüzgar çiftliklerinin yüksek kurulu güç değerlerine ulaşmasıyla şebeke bağlantıları bir sorun haline gelmeye başlamıştır. Bu sorunlar genellikle güç sistemlerinde yavaş gerilim değişimleri, fliker, gerilim çökmeleri ve harmonikler olarak görülmektedir [1,2]. Bu nedenle özellikle son yıllarda, iletim sistemine bağlanacak olan rüzgar santrallerinin uyması gereken teknik kriterleri içeren çok sayıda şebeke yönetmeliği yayınlanmıştır. Bu kodlara göre rüzgar santralleri, şebekenin gerilim ve frekans kontrolüne yardımcı olmalıdır ve aynı zamanda arıza durumlarında iletim sistemine bağlı kalarak gerekli aktif ve reaktif gücü üretmelidir [3,4]. Ancak bazı durumlarda, güç sistemlerine bağlı olan rüzgar türbinlerinin bu şartları sağlamasına rağmen, şebeke güç kalitesi açısından bakıldığında belirlenen sınırların dışına çıkabilmektedir. Bu nedenle rüzgar türbinlerine sahip olan ülkelerin, şebeke içerisindeki rüzgar gücünü sınırlayan yönetmelikleri bulunmaktadır. Bu yönetmelikler genellikle, türbinlerin neden olabileceği gerilim değişimlerini tanımlayan şartlardan oluşmaktadır [5]. Gerçekte bu şartlar çoğu bölgede şebekelerin güç kalitesindeki bozulmaları sınırlandırmaya yetmektedir. Ancak özellikle rüzgar potansiyeli yüksek olan ve zayıf şebekelere sahip bölgelerde ise rüzgar gücünden faydalanma oranı oldukça düşmektedir. Bu oranı arttırabilmek için yapılan çalışmalar arasında en önemlisi 2001 yılında IEC 61400-21 adıyla yayımlanan standarttır [6].

Rüzgar türbinlerinin güç kalitesi karakteristiklerini belirlemek için gerekli işlemleri tanımlayan bu standardın kullanılmasıyla, rüzgar türbinleri henüz kurulmadan önce şebeke üzerindeki olası etkileri değerlendirilebilmekte ve böylece şebekelerde daha fazla rüzgar gücü için yer açılabilir. Ancak bu standartta önerilen yöntemlerin gerçekleştirilmesi gerek veri eksikliğinden gerekse oldukça karmaşık olan işlem yükünden dolayı her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada rüzgar türbini bileşenlerinin güç kalitesi üzerindeki olası etkileri, konu ile ilgili literatürde yer alan en önemli yayınlar temel alınarak incelenmiştir. Böylece bu bilgilerin bir ön değerlendirme açısından kullanılabileceği amaçlanmaktadır.

Bu değerlendirmeler güç kalitesi problemlerinin tamamı için yapılmıştır, ancak en önemli kısım hızlı gerilim değişimlerine ayrılmıştır. Bunun en önemli nedeni, hızlı gerilim değişimlerinin insan faktörü ile olan doğrudan ilişkisi nedeniyle analizinin daha zor yapılabilmesi ve bu değişimlerin genellikle rüzgar enerjisinin şebeke içerisindeki oranının artması önündeki en büyük engellerden biri olmasıdır.

2. Rüzgar Türbinlerinin Güç Kalitesi Üzerine Etkileri

Yüklerin iyi eşleştirildiği, yüksek güç rezervi olan ve komşu şebekelerle güçlü bağlantıları olan sistemlerde rüzgardan elde edilen güç, sistemin güvenilirliğini etkilemeksizin kurulu gücün % 30-40'ı arasında olabilir. Bu şartların sağlanamaması durumunda rüzgar gücünün şebeke içindeki oranının artması, güç kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Farklı rüzgar türbinlerinin güç kalitesi üzerindeki etkileri oldukça değişkendir ve genellikle modern türbinlerin olumsuz etkileri çok daha azdır. Türbinlerin şebeke üzerindeki etkileri çoğunlukla kullanılan generatör tipiyle ve bu generatörün şebekeye bağlanma şekliyle (direkt veya kontrollü bağlantı) değişir. Kısa devre rotorlu veya çift beslemeli endüksiyon generatörleri kullanan rüzgar santralleri, şebekeye değişken bir güç ulaştırırlar. Bu güç akışı, gerilimin şeklini etkiler ve fliker emisyonunu artırır. Bu etkilerin azaltılabilmesi için çoğu zaman reaktif güç kompanzasyonundan yararlanılır. Kısa devre rotorlu generatörlerde reaktif güç ihtiyacı kondansatör grupları ile sağlanırken, çift beslemeli endüksiyon generatörlerinde ise frekans konverterlerinin kullanılması reaktif güç kompanzasyonuna yardımcı olur. Ayrıca frekans konverterleri, aktif güç çıkışındaki dalgalanmaları da azaltırlar. Harmonik distorsiyonunu arttırmaları ise bu konverterlerinin güç kalitesi açısından tek

dezavantajdır. Bunların dışında rotor kanatları ile generatör arasında kullanılan dişli kutuları, verimi azaltırken fliker oluşumuna da sebep olurlar. Bu nedenle dişli kutusu kullanılmaması güç kalitesi açısından daha uygundur[7].

Rüzgar türbinlerinin şebekenin güç kalitesi üzerindeki etkileri, türbinlerin özellikleri kadar bağlanan şebekenin şartları ile de ilgilidir. Özellikle şebekenin kısa devre gücünün ve şebeke empedans açısının (X/R oranı) güç kalitesi parametreleri üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Bu nedenle şebekenin yeni bağlantılarla kuvvetlendirilmesi, büyük rüzgar çiftliklerinin bağlantısını sağlamak amacıyla ortak bağlantı noktasının kısa devre gücünün artırılmasında kullanılabilir. Ancak ekonomik nedenlerden dolayı bu durum her zaman mümkün olmayabilir. Bunun yerine dinamik gerilim düzelticiler veya aktif filtreler gibi yerel düzeltici yöntemlerin kullanması çok daha yaygındır [8,9]. Ayrıca türbinlerin şebeke bağlantısında kullanılan transformatörlerin tipi, bu bağlantının gerilim seviyesi ve koruma sistemlerinin koordinasyonu da güç kalitesi üzerinde etkilere sahiptirler [7].

Şebekeye bağlanacak olan rüzgar türbinlerinin nominal gücünün ve sayısının artmasıyla, güç kalitesi üzerindeki olumsuz etkiler artar. Bunun dışında rüzgar türbinlerinin rüzgar çiftliği içindeki yerleşme planlarının da güç kalitesi üzerinde önemli etkileri vardır. Rüzgar çiftliği topolojileri genelde, bazı türbinlerin gölge etkisi altında çalışmasını önleyecek şekilde yapılır. Bu topolojiler mevcut standartlarda yer almamalarına rağmen rüzgar çiftliklerinin dinamik davranışını etkilediği için ihmal edilmemelidir [10].

Rüzgarın ani hız değişimlerinin ve hava boşluğu yoğunluğunun güç kalitesi üzerindeki etkileri, deneysel çalışmalar sayesinde bilinmesine rağmen genellikle ihmal edilmektedir. Ancak hava boşluğu yoğunluğunun farklı değerlerindeki güç kalitesi parametreleri, reaktif güç kontrolü yapabilen rüzgar türbinleri dışındaki türbinler için oldukça değişkendir. Ayrıca rüzgar akış yönünü ve hızını değiştirebilecek her türlü engel, türbin kulelerinde olduğu gibi türbinin gölge etkisi altında çalışmasını sağlayarak güç kalitesini etkilemektedir[8,11].

Rüzgar türbinlerinin, üzerinde bozucu etkilere sebep olduğu başlıca güç kalitesi problemleri aşağıda alt başlıklar halinde incelenmiştir.

2.1. Gerilim Dalgalanmaları

Gerilim kalitesini etkileyen en yaygın sorun yük ve üretim değerlerin sürekli değişimidir. Yük değerlerindeki değişime genellikle ark ocakları, eritme tesisleri ve sık sık devreye girip çıkan büyük güçlü motorlar gibi yükler sebep olurken, üretim değerlerindeki değişiminin en önemli nedeni olarak ise rüzgar türbinleri gösterilebilir. Rüzgar

türbinleri, sisteme aktif güç verdikleri için sistemdeki gerilim seviyesini artırırlar. Aynı zamanda sistemden reaktif güç çekmeleri nedeniyle de gerilim seviyesini düşürürler. Rüzgar türbinlerindeki bu gerilim değişimleri aşağıdaki eşitlikle tahmin edilebilir:

$$U = R \frac{P}{U_n} - X \frac{q}{U_n} + U_n \quad (1)$$

Burada U bağlantı noktasındaki gerilimi, U_n şebekenin nominal gerilimini, p üretilen aktif gücü, q tüketilen reaktif gücü, R ve X ise sırasıyla şebeke direnci ve reaktansını göstermektedir [11]. Bu durumda, rüzgar türbinlerinin gerilim seviyesine bağlı olarak aktif veya reaktif güç değerlerinin değiştirilmesi veya tamamen şebekeden ayrılması gerekebilir. Bu sayede türbinde maksimum elektrik üretimi nedeniyle oluşan yüksek gerilim değerlerinde gerilim seviyesi aşağıya çekilebilir. Gerilim dalgalanmaları da kendi aralarında hızlı ve yavaş gerilim değişimleri olmak üzere ikiye ayrılıp incelenebilir.

2.1.1. Yavaş Gerilim Değişimleri

İletkenlerin empedansından dolayı gerilim seviyesi, rüzgar gücü üretimine ve beslenen yüke bağlı olarak hat boyunca değişir. Bu etkiyi değerlendirmek ve rüzgar türbinini gerilim değerinin gereken sınırların dışına çıkmamasını sağlamak amacıyla yük akış analizlerinin yapılması önerilmektedir. En doğru çözüm için şebekenin, yüklerin ve rüzgar türbininin tüm durumları göz önüne alınmalıdır, ancak genelde bu analizler rüzgar gücü ve yüklerin en düşük ve en yüksek değerlerinin kombinasyonlarından oluşan dört uçdeğer için yapılır.

Rüzgar gücünün şebeke içindeki oranının artması, maksimum gerilim değerini arttırmaktadır. Bu sorun rüzgar türbinlerinin güç faktörü ayarlanarak çözülebilir. Ancak güç faktörünün düşürülmesi, şebekede kayıpların artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle güç faktörü regülasyonu dikkatli kullanılmalıdır ve alternatif çözümler de değerlendirilmelidir. Bu çözümlerin bazıları; yeni hatlar ile şebekeye takviye yapmak ve rüzgar çiftliği gücünü gerilime göre azaltmak olarak sıralanabilir. Gerilime bağlı güç faktörü kontrolü ile de şebeke kayıplarındaki artış önemli derecede azaltılabilir [12].

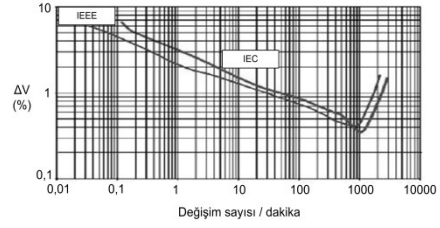
2.1.2. Hızlı Gerilim Değişimleri (Fliker)

Hızlı gerilim değişimleri genellikle yükteki veya üretilen güç değerindeki hızlı değişimlerden kaynaklanırlar. 0,5 Hz ile 35 Hz frekans aralığındaki gerilim dalgalanmalarının neden olduğu ışık kaynaklarındaki aydınlık şiddetleri değişimi, gerilim flikeri olarak adlandırılır. Başlıca gerilim flikeri kaynakları, dahili kaynaklar olan klimalar, çamaşır ve bulaşık makineleri, kurutucular ve buzdolapları olarak sıralanabilirken harici kaynaklar ise kapasitörlerin anahtarlanması, ark kaynakları, hadde makineleri ve kaynak makineleri olarak genelleştirilebilir

[13]. Gerilim flikerinin röleleri trip ettirme, güç elektroniği elemanlarının hatalı çalışmasına veya arızalanmasına neden olma gibi etkileri vardır. Ancak şebekeler içerisindeki değerinin standartlarla kesin bir şekilde sınırlandırılmasının asıl nedeni, insan sağlığı üzerindeki etkileridir. Flikerin insanlar üzerindeki etkileri çok sayıda parametreye bağlıdır ve flikerin neden olduğu rahatsızlık derecesi bu parametrelere bağlı olarak artabilir. Hızlı değişimlere sahip bir gerilim tarafından beslenen ışık kaynaklarına uzun süre maruz kalan insanlarda yorgunluk, baş ağrısı ve migren gibi belirtiler görülebilmektedir. Özellikle epilepsi eğilimi olan insanlarda ciddi sağlık sorunları yaşanmaktadır. Bu rahatsızlıklar aynı zamanda iş yerlerinde güvenlik sorunlarına yol açabilmektedir. Bu yönüyle, güç kalitesi problemleri içinde insan sağlığını ve yaşam kalitesini en fazla etkileyen hızlı gerilim değişimleridir [14,15].

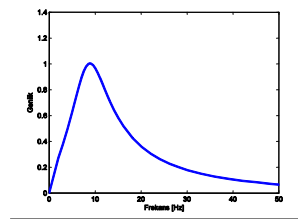
Gerilim flikeri IEC 61000-4-15 standardında belirtildiği gibi bir flikermetre kullanılmasıyla ölçülebilir. Flikermetre giriş olarak gerilim değerlerini alır ve çıkışta fliker şiddetlerini verir. Ancak bir rüzgar türbininin neden olduğu fliker seviyesinin flikermetre ile ölçümü sırasında, ölçüm yapılacak olan noktaya her zaman başka fliker kaynakları da bağlı olacağından hatalı değerler bulunabilir. Rüzgar türbinlerinin ölçüm süresi boyunca şebekeden ayrılması ise ekonomik olmayacağından, türbinlerde şebekeden bağımsız fliker ölçümü, akım ve gerilim veya aktif ve reaktif güç ölçümlerine göre yapılır [16]. Fliker şiddeti, 10 dakikalık bir periyot içinde ölçülen bir kısa dönem değeri (P_{st}) veya 2 saatlik bir ölçüm sonucunda elde edilen kısa dönem değerlerinden hesaplanan bir uzun dönem değeri (P_{lt}) ile verilebilir. Standartlara göre uzun dönem fliker şiddeti bir haftanın % 95'i boyunca 1'e eşit veya 1'den küçük olmalıdır. Ancak flikere verilen tepki öznel olduğundan 1 değeri de bazı insanlar için rahatsız edici olabilir. Tüketici noktasında $P_{lt} = 1$ değerini sağlamak için şebekeye bağlı her bir fliker kaynağının IEC 61000-3-7'de belirtildiği gibi sınırlı bir değerde katkı yapmasına izin verilir. Rüzgar türbinleri için bu değeri her ülke kendi belirlemekle birlikte genellikle 0,25-0,35 arasında alınmaktadır.

Flikerin insanlar üzerindeki olumsuz etkisi, gerilimin genliğine ve frekansına bağlıdır. Farklı frekans ve genliklerde hızlı gerilim değişimlerinin uygulandığı bir akkor flamanlı lambanın ışık akısına maruz bırakılan insanların verdiği tepkilere göre oluşturulan $P_{st} = 1$ eğrileri, Şekil 1'de gösterildiği gibidir. Bu eğriler üzerindeki her noktada kısa dönem fliker katsayısı bire eşittir [17,18].



Şekil 1: IEC 61000-4-15 standardına göre düzenli dikdörtgen gerilim değişimleri için $P_{st} = 1$ eğrisi

Şekil 1'den görülebileceği gibi, küçük bir gerilim dalgalanması bile belli frekanslarda fliker seviyesinin sınır değerlere yaklaşmasına neden olabilir. Yüksek frekansa sahip gerilim dalgalanmalarının insanlar tarafından fark edilememesinin nedeni, lamba filamanının ısı değerinin bu kadar hızlı değişmemesidir. Düşük frekansa sahip dalgalanmalar ise insan beynindeki görme ile ilgili hafızaya alma bölümünün uzun süreli değişimleri depolayamamasından dolayı fark edilememektedir [19]. İnsanın göz beyin cevabı Şekil 2'de verilen IEC ağırlıklandırma eğrisi ile gösterilebilir.



Şekil 2: İnsan gözünü simüle eden ağırlık filtresinin frekans cevabı

230V/50Hz için elde edilen bu eğri yardımıyla belirli frekanslarda hızlı gerilim dalgalanmaları uygulanan bir lambanın ışık akısına maruz bırakılan insanların yüzde kaçının rahatsız olduğu hesaplanabilmektedir. Ağırlıklandırma eğrisi en yüksek değerine 8,8 Hz civarında ulaşmaktadır. Bu nedenle bu değer insan gözü ve beyninin en hassas olduğu ışık akısı değişimi olarak ifade edilir. 120V/60Hz'lik ağırlıklandırma eğrisi daha uzun ısısal zaman sabitleri nedeniyle daha düşük genlikli olarak elde edilmektedir. Bunun en önemli nedeni 120 V'luk lambanın daha küçük bir dirence, dolayısıyla daha kalın bir filaman kesitine sahip olmasıdır. Filaman kesitinin kalınlığı ise cevap süresini uzatmaktadır. Benzer bir durum aynı gerilim seviyesine sahip enkandesan lambalar için de geçerlidir. Örneğin 120V/60Hz'lik bir sistemde 100W güce sahiplambalar, 60 W'lıklardan daha az flikere neden olurlar. Flouresan lambalar ise enkandesan lambalara göre gerilim değişimlerine karşı daha hassaslardır, ancak ışık flikerleri enkandesanlardan daha azdır [20].

2.2. Gerilim Çökmesi

Elektrik güç sistemlerinde hatbaşı ve hatsonu arasındaki faz farkı aktif güç tarafından belirlenirken, gerilimin genliği reaktif güç değişimi ile kontrol edilir. Güç sisteminde kaynak ile yük arasındaki aktif ve reaktif güç akışı, büyük akım ve gerilim

dalgalanmalarından sakınmak için dengelenmelidir. Bir hata meydana geldiğinde akımla ve trafo merkezinden uzaklıkla orantılı olarak devre boyunca bir gerilim düşümü meydana gelir. Rüzgar çiftlikleri genellikle trafo merkezlerinden uzakta bulunduğu için empedans yüksek değerlerde olmakta ve bu nedenle gerilim düşümleri önemli boyutlara ulaşmaktadır. Trafo merkezindeki regülatör, kendi gerilim sınırlarını aşmadan rüzgar çiftliği bağlantı noktasındaki gerilimi yükseltmeyebilir. Bu durumda rüzgar çiftlikleri gerilim kontrolü özelliğine sahip olmalıdır [21].

Gerilim çökmeleri, rüzgar santrallerinin şebeke entegrasyonundaki en önemli sorundur. Geçici hataların etkileri, büyük coğrafi alanlara yayılabilir ve bu hata şartları altında rüzgar çiftliklerinin bağlantısının kesilmesi ile de şebeke ve kaynakların güvenliği açısından ciddi bir tehlike oluşabilir. Bu yüzden günümüzde çoğu şebeke yönetmeliklerinde, rüzgar türbinlerinin arıza üstü çalışma yeteneğine sahip olması zorunlu hale getirilmiştir. Ancak bir sistemin rüzgar gücünün çoğu, asenkron generatörlü küçük güçlü rüzgar türbinleri tarafından sağlanıyorsa gerilim çökmelerinde türbinlerin bağlantısını kesmek daha uygun olabilmektedir. Böylece düşen reaktif güç talebi şebeke gerilimini artırabilir [22].

2.3. Reaktif Güç

Rüzgar türbinlerinde bulunan generatörler şebeke tarafından talep edilen reaktif gücü sağlarken, ürettikleri aktif güç düşük ise güç faktörü düşebilir. Ancak generatörler nominal şartlarda çalışırken güç faktörü 1'den uzaklaşırsa aşırı akımlar oluşur. Bu nedenle rüzgar türbinlerinin güvenli bir şekilde sağlayabileceği aktif ve reaktif güç değerleri, genellikle bir sınırlayıcı eğri ile belirlenir.

Türbinlerde en çok kullanılan generatör tipi olan endüksiyon generatörleri şebekeden reaktif güç çekerler ve düşük güç faktörü üretirler. Çekilen reaktif gücün çok fazla artmasıyla sistem kararsız hale gelebilir. Rüzgar türbinlerinin reaktif güç ihtiyaçlarının kondansatör grupları kullanılarak azaltılması, gerilim seviyesini yükseltecektir. Bu sayede türbinlerin gerilim üzerindeki etkileri azalacaktır.

2.4. Frekans

Bir generatörün çıkış gücünün aktif bileşeni, miline uygulanan mekanik giriş gücü ile belirlenir. Sağlanan güç (üretim) ve talep edilen güç (yük ve şebeke kayıpları) arasındaki fark, sistem frekansında değişimlere yol açar. Üretimdeki fazlalık frekansta artışa, eksiklik ise düşüşe neden olur. Şebekelerde yükün artması durumunda sistem frekans kontrolü devreye girerek, frekans yeniden nominal değerine ulaşana kadar bazı generatörlerin momentini artırır. Rüzgar türbinlerinde frekans 50 Hz'i aştığında, türbinin aktif güç üretimi ancak nominal değerinin

altında bir değerde olacak şekilde sürdürülebilir. Rüzgar türbinlerinin bağlı olduğu şebekelerde, farklı durumlarda kullanabilmek amacıyla ek güç kontrol stratejileri gerekmektedir. Şebekenin durumuna ve yerel şebeke yönetmeliğine bağlı olarak en önemliler güç regülasyon tipleri; tam güç sınırlaması, delta üretim sınırlaması, denge regülasyonu, güç eğim sınırlaması ve sistem koruması olarak sıralanabilir [21].

2.5. Harmonikler

Bir güç elektroniği konverteri olmaksızın şebekeye direkt bağlanan endüksiyon generatörlü bir rüzgar türbini, gerilimin dalga şeklini bozmaz. Türbinlerde yumuşak kalkış (soft start) için kullanılan güç elektroniği elemanları ise kısa süreli olarak yüksek dereceli harmonik akımları oluşturabilir, ancak bunların süreleri ve genlikleri çok küçük olduğu için göz önüne alınmazlar. Bu nedenle sabit hızlı rüzgar türbinli sistemler için harmonikler bir sorun teşkil etmemektedirler. Değişken hızlı türbinlerde ise tristör kullanılan konverterler, standartlarda sınırları verilen harmonik gerilimlerini aşabilecek değerleri üretirler. Ancak bu konverterler, yeni rüzgar türbinlerinde nadiren kullanılmaktadır. Günümüzde türbinlerde kullanılmayan konverterler daha çok transistör bazlıdır ve 3 kHz'in üzerindeki anahtarlama frekanslarında çalışırlar. Sonuç olarak yeni rüzgar türbinlerinin ürettikleri harmonik miktarının gerilim dalga şekli üzerindeki etkileri genelde önemsenmeyecek kadar azdır ve bu nedenle rüzgar gücünün şebeke içindeki oranının artmasına bir engel oluşturmamaktadır.

3. Rüzgar Türbinlerinin Fliker Etkileri

Rüzgar türbinlerinin ilk çalışması (start-up) gibi anahtarlama işlemleri ve sürekli çalışması esnasındaki aktif ve/veya reaktif güçteki dalgalanmalar, flikere neden olurlar. Sürekli çalışma sırasındaki güç dalgalanmaları genellikle; hava boşluğu yoğunluğu, kule gölge etkisi, kanat açısı kontrol ve sapma mekanizmalarının hatalı çalışması, kısa bir mesafe içindeki rüzgar hız ve yönünün farklı değerler alması (wind shear), kule salınımı, dişli kutusundaki problemler ve rüzgar hızındaki dalgalanmalar nedeniyle meydana gelir. Meydana gelen bu dalgalanmaların şebeke üzerindeki etkisi, şebekenin kısa devre gücüne ve şebeke empedans açısına bağlıdır. Fliker şiddetleri, kısa devre gücünün artması ile azalırken şebeke empedans faz açısının artmasıyla, türbinin ürettiği aktif güce ve şebekeden çektiği reaktif güce bağlı olarak değişir [23]. Örneğin X/R oranının 0,5 olması durumunda ortaya çıkan fliker emisyonu, bu oranın 2 olması durumuna göre 10 kat daha fazla olabilmektedir. Ayrıca artan rüzgar hızıyla da fliker emisyonu genellikle artmaktadır [24].

Kullanılan generatörler açısından fliker etkisi incelenecek olursa, endüksiyon generatörüne sahip olan türbinler, şebekeden çektikleri değişken reaktif güç nedeniyle fliker üretirler. Bu generatörler daha

çok sabit hızlı türbinlerde kullanıldığından ve sabit hızlı türbinler ani rüzgarlarda kendileri de flikere neden olduklarından, bu türbinlerin fliker açısından şebekeye olumsuz etkileri, değişken hızlı türbinlerden çok daha fazladır. Sabit hızlı türbinlerde hızlı gerilim değişimlerinin şebeke üzerindeki etkilerini azaltmak amacıyla kondansatör grupları kullanılarak çekilen reaktif gücün kontrol edilmesi sağlanabilir. Ancak bu durumda da kondansatörler arası anahtarlamalar sırasında yüksek fliker değerleri ortaya çıkabilir. Senkron generatörlü değişken hızlı makineler ise fliker üretmezler. Ancak günümüzde çoğu değişken hızlı türbin, şebekeden reaktif güç çeken çift beslemeli endüksiyon generatörlerine sahiptir ve belli bir oranda fliker emisyonu görülebilir. Bu türbinlerde de güç elektroniği dönüştürücüleri ile reaktif güç kontrol edilerek, hızlı gerilim değişimlerinin şebeke üzerindeki etkileri sınırlandırılabilir.

Sabit hızlı rüzgar türbinlerinde rüzgardan kaynaklanan stokastik güç dalgalanmaları dikkate alınmazsa, baskın olan periyodik güç dalgalanmalarının frekansı 1-2 Hz arasındadır. Bu güç dalgalanmaların en yaygın olanı, rotor kanatlarının kulenin önünden geçmesiyle oluşan ve üç kanatlı türbinler için frekansı, 1p rotor hızını göstermek üzere, 3p olarak belirtilen dalgalanmalardır. 1p frekansına sahip olan dalgalanmalar ve kule rezonans frekansındaki dalgalanmalar ise 3p frekansına sahip dalgalanmalarda olduğu gibi, gerilimde hızlı değişimlere dolayısıyla flikere neden olurlar. Burada frekansı 1p olan dalgalanmaların, rotorun dengeli olmamasından veya kanatlardan birinin diğerlerinden daha yüksek bir moment üretmesinden kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir. Bu frekanstaki dalgalanmaların oluştuğu anlarda rotor kanatlarının pozisyonları çok farklı şekillerde olabilir, ancak 3p frekansındaki dalgalanmalar yalnızca kanatlardan birinin kule ile paralel konuma gelmesi durumunda meydana gelir. Kule rezonans frekansında oluşan güç dalgalanmaları ise genellikle düşük değerdedir, ancak eğer bir türbin iz (wake) etkisi altında çalışıyorsa bu dalgalanmalar en yüksek değerlerini alırlar. Bunun nedeni iz etkisi altında çalışan türbinlere gelen rüzgarın hız ve yönünün oldukça değişmesi ve böylece hava boşluğu yoğunluğunun artmasıdır. Gücün kule rezonans bileşeninin genliği, naselin herhangi bir yöne doğru açısal hareket etme hızıyla doğru orantılıdır. Endüksiyon generatörlerinde üretilen güç, rotorun açısal hızı ve statordaki döner magnetik alanın açısal hızı arasındaki fark (kayma) ile orantılı olduğundan kulenin açısal yer değiştirmesi, naselin açısal sapmasına neden olur. Böylece döner magnetik alanda, görünür bir salınım meydana gelir ve türbinin çıkış gücünde dalgalanmalar oluşur [25-27].

Rüzgar türbinlerinin sürekli çalışmaları sırasında ürettikleri güç değerlerinde dalgalanmalara neden olan bir diğer önemli faktör ise hava boşluğu yoğunluğudur. IEC 61400-21 standardında yapılan

ölçümler sırasında daha doğru sonuçlar elde etmek için hava boşluğu yoğunluğunun % 8 ile % 16 arasında olmasının yeterli olduğunun belirtilmesine rağmen, bu iki değer için yapılan ölçümlerinde bile fliker şiddetlerinin iki kata kadar fark edebildiği görülmüştür [7].

Rüzgar türbinlerinin oluşturduğu ani değişimler türbin büyüklüğü ile artmaktadır. Tek bir rüzgar türbininin gerilimde meydana getirdiği ani değişimler, toplamda aynı güce sahip birkaç türbinin neden olduğu değişimlerden daha fazladır[28]. Ayrıca IEC standardına göre aynı tipteki N sayıda rüzgar türbininin belirli bir şebekedeki toplam fliker emisyonu, yalnızca bir türbinin fliker emisyonundan $\sqrt{N}$ kat daha fazladır. Ancak rüzgar çiftliği farklı tiplerdeki veya konfigürasyonlardaki türbinlerden oluşuyorsa her bir türbinin fliker katsayısının ayrı ayrı hesaba dahil edilmesi gerekir.

Rüzgar enerjisinin şebeke içerisindeki oranının artması üzerindeki önemli etkisi nedeniyle hızlı gerilim değişimleri bugüne kadar farklı simülasyon programlarıyla ve farklı yöntemlerle modellenmeye çalışılmıştır. Bu modeller içerisinde ağırlıklandırma eğrilerini kullanan ve gerilimin analog filtrelemesine dayanan yapılar da bulunmasına rağmen [29], filtrelerin dijital uygulaması yaklaşımına dayananlar daha önemli bir yer tutmaktadır [30-32]. Rüzgar türbinlerinin fliker etkilerini analiz edebilmek için Vilar vd. frekans domeninde sabit hızlı bir rüzgar türbininin tüm bileşenlerini modelleyerek yeni bir yöntem önermişlerdir [33]. Bir başka yeni yaklaşım ise Wu ve Chen tarafından sunulmuştur [13]. Bu yayında gerilim flikeri bileşenlerini hesaplayan bir yöntem ayrık Fourier dönüşümünü, ani gerilim vektörlerini ve hızlı Fourier dönüşümünü birleştirmektedir. Ayrıca literatürde ışık kaynaklarına uygulanan gerilim değerlerini kullanmadan direkt lambanın ışık yoğunluğunu ölçerek fliker emisyonu tahmini yapan flikermetreler gibi farklı uygulamalar da vardır [15]. Ancak en yüksek doğruluğa sahip ölçümleri yapan algoritmalar genellikle IEC 61000-4-15 flikermetre standardının [34] baz alınmasıyla elde edilmiştir. Rüzgar türbinlerinin güç kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendiren IEC 61400-21 standardı da flikermetre algoritmasından faydalanmaktadır. Ülkemizde de kabul edilmiş olan her iki standart ile yapılacak bir değerlendirme işlemi sayesinde, türbin tipini değiştirmek ve anahtarlama sayılarını bir kontrol sistemi ile azaltmak gibi önlemler alınarak türbinlerin neden olduğu güç kalitesi sorunlarının oluşması baştan önlenabilir. Bu durumda bozulan güç kalitesi karakteristiklerini düzeltmek için kullanılacak gerilim düzelticiler (SVC, STATCOM, vb.), filtreler ve diğer güç kalitesini iyileştirmeye yardımcı olabilecek cihazların yüksek ek masraflarının önüne geçilebilir. Bu amaçla literatürde son yıllarda her iki standardın da modellemeleri yapılmaya çalışılarak, türbinlerin sürekli çalışma ve anahtarla işlemleri

esnasındaki fliker ve gerilim değişimlerini tahmin etmeye yönelik çalışmalar artmaktadır [16,35,36].

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, şebeke parametrelerinin ve rüzgar türbinlerinin tüm bileşenlerinin güç kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Rüzgar enerjisinin şebekeler içerisindeki oranının artmasına engel olan bu etkiler arasında en önemli bölüm, mevcut standartlarla önemi vurgulanan ve bir algılama problemi olması nedeniyle analizi oldukça karmaşık olan flikere ayrılmıştır. Bu amaçla yapılan ayrıntılı bir literatür taraması sonucunda elde edilen sonuçlar derlenerek, çeşitli türbin elemanlarının seçimlerinde ve bilimsel çalışmalarda faydalanılabilecek detaylı bir fliker analizi yapılmıştır. Sonuç olarak sabit hızlı türbinlerin fliker etkilerinin daha fazla olduğu, türbülans yoğunluğu ile fliker emisyonunun arttığı ve özellikle kulenin dalgalanmalar üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir.

5. Kaynaklar

- [1] Knudsen, H. ve Akhmatov, V., (2001), "Evaluation of Flicker Level in a T&D Network with a Large Amount of Dispersed Windmills", 16th International Conference and Exhibition on CIGRE, 18-21 June 2001.
- [2] Bollen, M.H.J., Olguin, G. ve Martins, M., (2005), "Voltage Dips at the Terminals of Wind Power Installations", *Wind Energ.*, 8:307-318.
- [3] Tande, J.O.G., (2003), "Grid Integration of Wind Farms", *Wind Energ.*, 6:281-295.
- [4] Ummels, B.C., Gibescu, M., Kling, W.L. ve Paap, G.C., (2006), "Integration of Wind Power in the Liberalized Dutch Electricity Market", *Wind Energ.*, 9:579-590.
- [5] Ackermann, T., (2005), *Wind Power in Power Systems*, John Wiley & Sons, Chichester.
- [6] IEC 61400-21, (2001), *Wind Turbine Generator Systems-Part 21: Measurement and Assessment of Power Quality Characteristics of Grid Connected Wind Turbines*.
- [7] Estante, A.I., Tande, J.O., Lopes ve J.A. Pecos, (2007), "Assessment of Power Quality Characteristics of Wind Farms", IEEE Power Engineering Society General Meeting, 24-28 June 2007, 1-4.
- [8] Bossanyi, E., Saad-Saoud Z. ve Jenkins, N., (1998), "Prediction of Flicker Produced by Wind Turbines", *Wind Energ.*, 1:35-51.
- [9] Tande, J.O.G., (2000), "Exploitation of Wind-Energy Resources in Proximity to Weak Electric Grids", *Applied Energy*, 65:395-401.
- [10] Masters, G.M., (2004), *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [11] Thiringer, T., Petru, T. ve Lundberg, S., (2004), "Flicker Contribution From Wind Turbine Installations", *IEEE Trans. Energy Conversion*, 19:157-163.
- [12] Tande, J.O.G., (2002), "Applying Power Quality Characteristics of Wind Turbines for Assessing Impact on Voltage Quality", *Wind Energ.*, 5:37-42.
- [13] Wu, C. ve Chen, Y., (2006), "A Novel Algorithm for Precise Voltage Flicker Calculation by Using Instantaneous Voltage Vector", *IEEE Trans. Power Delivery*, 21:1541-1548.
- [14] Wang, C. ve Devaney, M.J., (2004), "Incandescent Lamp Flicker Mitigation and Measurement", *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, 53:1028-1034.
- [15] Gallo, D., Landi, C. ve Pasquino, N., (2008), "An Instrument for Objective Measurement of Light Flicker", *Measurement*, 41:334-340.
- [16] Gutierrez, J.J., Ruiz, J., Leturiondo, L.A. ve Lazkano, A., (2007), "Flicker Measurement System for Wind Turbine Certification", *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 1-3 May 2007, Warsaw.
- [17] Halpin, S.M., Bergeron, R., Blooming, T.M., Burch, R.F., Conrad, L.E. ve Key, T.S., (2003), "Voltage and Lamp Flicker Issues: Should the IEEE Adopt the IEC Approach?", *IEEE Trans. Power Delivery*, 18:1088-1097.
- [18] Bollen, M.H.J. ve Gu, I.Y.H., (2006), *Signal Processing of Power Quality Disturbances*, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [19] Diez, G., Eguiluz, L.I., Manana, M., Lavandero, J.C. ve Ortiz, A., (2002), "Instrumentation and Methodology for Revision of European Flicker Threshold", 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 262-265.
- [20] Wang, C., Devaney, M.J. ve Yang, S., (2001), "Decomposition of the IEC Flickermeter Weighting Curves", *IMTC*, 18-20 May 2004. Italy.
- [21] De Alegria, I.M., Andreu, J., Martin, J.L., Ibanez, P., Villate, J.L. ve Camblong, H., (2007), "Connection Requirements for Wind Farms: A Survey on Technical Requirements and Regulation", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11:1858-1872.
- [22] Akhmatov, V. ve Eriksen, P.B., (2007), "A Large Power System in Almost Island Operation-A Danish Case Study", *IEEE Trans. Power Systems*, 22:937-943.
- [23] Hsu, Y.J. ve Lu, C.N., (2006), "Flicker Measurements at an Industrial Power Network with Wind Turbines", *Power Engineering Society General Meeting*, 18-22 June 2006.
- [24] Sorensen, P., Tande, J.O.G., Sondergaard, L.M. ve Kledal, J.D., (1996) "Flicker Emission Levels from Wind Turbines", *Wind Energ.*, 20:39-46.
- [25] Thiringer, T., (1996), "Power Quality Measurements Performed on a Low-Voltage Grid Equipped with Two Wind Turbines", *IEEE Trans. Energy Conversion*, 11:601-606.
- [26] Thiringer, T. ve Dahlberg, J.A., (2001), "Periodic Power Pulsations from a Three-Bladed Wind Turbine", *IEEE Trans. Energy Conversion*, 16:128-133.
- [27] Larsson, A., (2002), "Flicker Emission of Wind Turbines During Continuous Operation", *IEEE Trans. Energy Conversion*, 17:114-118.
- [28] Tande, J.O.G. ve Uhlen, K., (2001), "Wind Turbines in Weak Grids-Constraints and Solutions", 16th International Conference and Exhibition on CIGRE, 18-21 June 2001.
- [29] Bertola, A., Lazaroiu, G.C., Roscia, M. ve Zaninelli, D., (2004), "A Matlab-Simulink Flickermeter Model for Power Quality Studies", 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 12-15 Sept. 2004, 734-738.
- [30] Caldara, S., Nuccio, S. ve Spataro, C., (1999), "Digital Techniques for Flicker Measurement: Algorithms and Implementations Analysis", 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 656-661.
- [31] Soliman, S. ve El-Hawary, M., (2000), "Measurement of Power System Voltage and Flicker Levels for Power Quality Analysis Static LAV State estimation Based Algorithm", *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, 22:447-450.
- [32] Wei, K., Xiangwu, Y. ve Lixia, Z., (2003), "A Modified Digital Measuring Method on Flickering", *Proceedings of Asia-Pacific Conference on CEEM*, 4-7 Nov. 2003, 621-625.
- [33] Vilar, C., Usaola, J. ve Amari, H., (2003), "A Frequency Domain Approach to Wind Turbines for Flicker Analysis", *IEEE Trans. Energy Conversion*, 18:335-341.
- [34] IEC 61000-4-15, (1997), *Electromagnetic Compatibility (EMC)-Part 4: Testing and Measurement Techniques-Section 15: Flickermeter-Functional and Design Specifications*.
- [35] Tascikaraoglu, A., Uzunoglu, M., Vural, B. ve Erdinc, O., (2010), "Power quality assessment of wind turbines and comparison with conventional legal regulations: A case study in Turkey", *Applied Energy*, 88:1864-1872.
- [36] Bo L., Liu X. ve He X., (2011), "Measurement system for wind turbines noises assessment based on LabVIEW", *Measurement*, 44:445-453.

RÜZGAR SANTRALİNDE GEÇİCİ DURUM ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

M. Kenan DÖŞOĞLU¹, Ayşen BASA ARSOY²

¹Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

kenandosoglu@duzce.edu.tr, aba@kocaeli.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, toplam gücü 4.5 MW olan şebekeye bağlı rüzgar santralinde çeşitli geçici durum kararlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. 3 baralı bu güç sisteminde asenkron motorun farklı zaman içerisinde devreye girip çıkması ve 3 faz arızasından dolayı oluşan geçici durum analizlerinde, yük baralarındaki gerilim değişimleri, rüzgar santralindeki rotor hız ve DC gerilim değişimleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, asenkron motorun bağlı olduğu bara ile rüzgar santralinin bağlı olduğu baralarda geçici durumlardan çok etkilendiği bu çalışmada görülmüştür. Benzer şekilde, rüzgar santralindeki rotor hız ve DC gerilimlerinin de geçici durumların etkisinde kaldıkları gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar santrali, geçici durum kararlılığı, asenkron motor, 3 faz arızası

Giriş

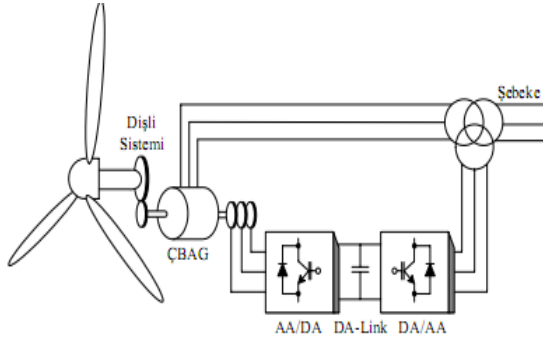
Son yıllarda fosil yakıtların sınırlı kullanılabilir hale gelmesi ve çevresel sorunların daha az olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeler başlamıştır. Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemli olanıdır. Dünya genelinde rüzgar türbinlerinin kullanımı her geçen yıl biraz daha artmaktadır [1]. Büyük güçlü olarak üretilen rüzgar santralleri karmaşık yapılı güç sistemleri ile birleşmesi ile güç sistemlerinin çalışma koşullarındaki iyileşme ve güvenilirlik gibi bir çok avantaj kazandırmaktadır. Ancak rüzgar santrallerinin çalışması esnasında oluşabilecek geçici durumlar rüzgar santrallerine zarar verebileceği gibi tüketicilerin kaliteli bir enerji elde edememesine neden olur. [2]. Bu geçici durum analizleri literatürde yapılmış olan bazı çalışmalarda gösterilebilir. Rüzgar santralinde oluşacak çeşitli arıza durumlarının rüzgar hızı, -kanat açısı, gerilim, stator ve rotor akımları, aktif güç ve reaktif güç, rotor hız değişimi üzerinde oluşturduğu etkiler yapılan çalışmada incelenmiştir [3]. Rüzgar hızının zamana bağlı olarak değişimi ile oluşan geçici kararlılık

durumlarında rüzgar santralinin koruma sistemine bağlı olarak gerilim kararlılığı analizi yapılmıştır [4]. Çeşitli rüzgar santrallerinin 9 baralı bir güç sisteminde arıza analizi olduğu andaki bara gerilim değişimlerinde oluşturduğu etkiler incelenmiştir [5]. Rüzgar santralinde rüzgar hızının değişimine bağlı olarak sistemin dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Gerilim, aktif güç, reaktif güç frekans ve açı değişimleri incelenmiştir [6]. Yine, çeşitli rüzgar santrallerinde arıza analizinde açı ve gerilim kararlılığı çalışmasında kritik temizleme zamanının gerilim, açı ve reaktif güç değişimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir [7]. Rüzgar santralinde güç kalitesinde önemli etkenlerden biri olan kırpışma analizi yapılmıştır. Gerilim, frekans ve moment değişimleri incelenmiştir [8]. Değişik rüzgar hızlarında güç üretimi yapan rüzgar santrallerinde enerji dönüşümü sırasında ortaya çıkabilecek geçici kararlılık durumlarında generatörlerin ürettiği çıkış güçlerine olan etkileri incelenmiştir [9].

Bu çalışmada çift beslemeli asenkron generatöre sahip olan rüzgar santralinin şebeke bağlantısında geçici kararlılık analizi Matlab Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak sistemde asenkron motorun devreye alınması durumu ve sonraki aşamada da 3 faz arızası durumu ele alınmıştır. Her iki durum için bara gerilim değişimleri, asenkron generatör hız değişimi ve rüzgar santralinin dc gerilim değişimleri incelenmiş olup sistem üzerinde oluşturduğu etkilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çift Beslemeli Asenkron Generatör

Çift beslemeli asenkron generatör, rotor kısmına bağlı iki evirici devresinden oluşmaktadır. Çift beslemeli asenkron generatör devre modeli şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çift beslemeli asenkron generatör devre modeli

Çift beslemeli asenkron generatörlerde rotor kısmı gerilim kaynaklı eviriciye, stator kısmı ise direkt olarak şebekeye bağlıdır. Bu asenkron generatörde oluşan akımın değişken frekansta ve genlikte olması için stator geriliminin sabit olması gerekmektedir. İki evrici devresinde oluşan çift beslemeli asenkron generatörün rotor kısmında bulunan evirici, aktif ve reaktif güç kontrolünü sağlarken, stator kısmında bulunan evirici ise DA-link kapasitör gerilimini sabit tutmaktadır [10]. Çift beslemeli asenkron generatör modellemesinde 3 faz gerilimi ve akı değerleri park dönüşümü sonucu elde edilen p-q dönüşümlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Gerilim eşitlik denklemleri denklem 1, 2, 3 ve 4’de gösterilmiştir.

$$u_{ds} = p\psi_{ds} - w_1\psi_{qs} - r_s i_{ds} \quad (1)$$

$$u_{qs} = p\psi_{qs} - w_1\psi_{ds} - r_s i_{qs} \quad (2)$$

$$u_{dr} = p\psi_{dr} - w_s\psi_{qr} - r_r i_{dr} \quad (3)$$

$$u_{qr} = p\psi_{qr} - w_s\psi_{dr} - r_r i_{qr} \quad (4)$$

Çift beslemeli asenkron generatörde akı eşitlikleri denklem 5, 6, 7 ve 8’de gösterilmiştir.

$$\psi_{ds} = -L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \quad (5)$$

$$\psi_{qs} = -L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \quad (6)$$

$$\psi_{dr} = -L_r i_{dr} + L_m i_{ds} \quad (7)$$

$$\psi_{qr} = -L_r i_{qr} + L_m i_{qs} \quad (8)$$

Elektromanyetik tork ve hareket eşitlikleri denklem 9, 10, 11 ve 12’de gösterilmiştir

$$P = (T_m - T_e) / J \quad (9)$$

$$T_e = \frac{3}{2} N_p L_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr}) \quad (10)$$

$$w_s = S w_1 \quad (11)$$

$$\frac{d\theta_r}{dt} = w_r \quad (12)$$

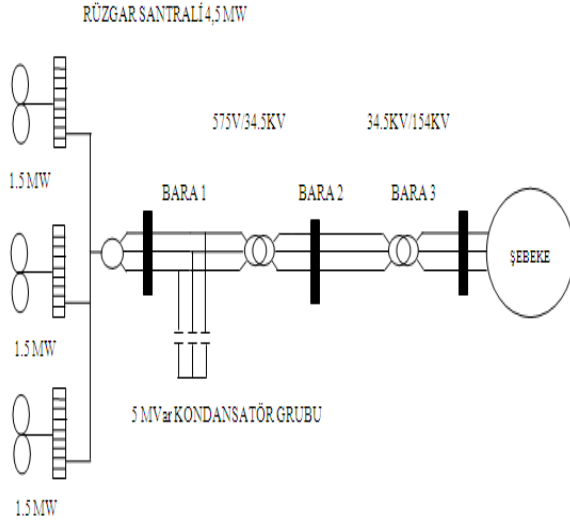
Bu ifadelerde s ve r stator ve rotoru temsil eden ifadeler, d ve q park dönüşümlerinde aktif ve reaktif bileşkenler, u gerilim, i akım, ψ akı, L_s ve L_r stator ve rotor endüktansları, L_m stator ve rotor arasındaki karşıt endüktans, T_m ve T_e giriş momenti ve elektromanyetik moment, J eylemsizlik momenti, P diferansiyel çalışma, N_p kutup sayısı, w_1 ve w_s senkron açısal hız ve kaymaya bağlı açısal hız, S kayma, θ_r stator faz akı açısıdır [11].

Rüzgar santralinde geçici durum olayları

Asenkron motorun yük barasına bağlı olarak belli zaman içerisinde devreye girip çıkması sistemi kısa süreli olsa da etkilemektedir. Bu durumda asenkron motorun devreye girip çıkması geçici kararlılık olaylarından birisi olarak adlandırılmaktadır. Asenkron motorun kendi içerisinde bulunan koruma sistemi sayesinde bağlı olduğu baradaki gerilimi ve ilk kalkma akımına karşı çok hassas çalışmaktadır. Asenkron motorun koruma sistemi güç sistemini koruyacağı gibi asenkron motorunda daha güvenli çalışmasını sağlamaktadır [12]. Diğer bir geçici kararlılık durumu ise arızalardır. Bu arızalar bara gerilim ve akımları üzerinde oldukça etkili olurlar. Rüzgar santralinde bulunan koruma sistemi, arıza esnasında oluşan kararsızlık durumlarında şebeke arızanın süresine bağlı olarak sistemi devre dışı bırakır. Arızanın bitmesi durumunda tekrar rüzgar santralini şebekeye bağlayarak sistem güvenliğini sağlanmış olur.

Benzetim Çalışması

Benzetim çalışması kapsamında, 4.5 MW gücündeki rüzgar santralinin şebekeye bağlı olarak çalıştığı sistemde, asenkron motorun ve 3 faz arızasının sistem üzerinde oluşturduğu etkileri incelenmiştir. Matlab-Simulink’te benzetim çalışması yapılan sistem, şekil 2’de gösterilmiştir.

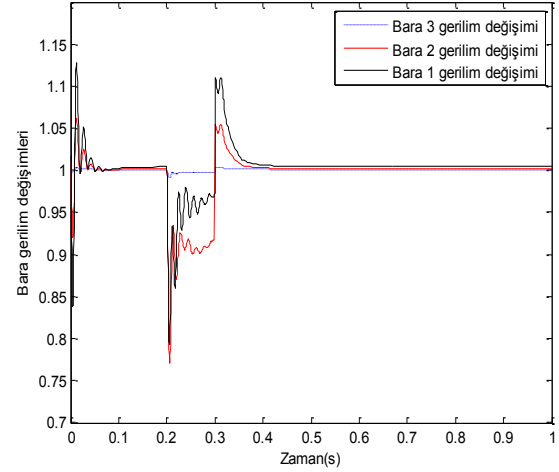


Şekil 2. Benzetim çalışması yapılan sistem

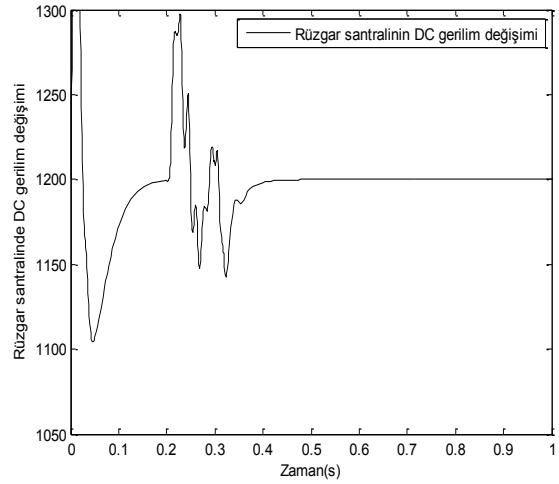
Bu sistemde 3 adet 1.5 MW'lık çift beslemeli asenkron generatöre sahip rüzgar santrali kullanılmıştır. Sistemde 3 adet bara bulunmaktadır. Bara 1, rüzgar santralinin bağlı olduğu kısım, bara 3 ise şebekenin bağlı olduğu kısımdır. Rüzgar santralinin şebeke üzerinden reaktif güç ihtiyacını karşılayabilmesi için 5 MVar'lık kondansatör grubu kullanılmıştır. Bu devre modelinde 2 tane transformatör kullanılmıştır. Rüzgar santralindeki 575 V'luk gerilim yükseltici transformatör sayesinde 34.5 KV'ta yükseltilmiştir. Şebekeden gelen 154 KV'luk gerilim ise indirici- transformatör sayesinde 34.5 KV'ta düşürülmüştür. Geçici durumları temsilen, önce bara 2'ye 1.68 MW gücünde bir asenkron motor, sonrasında da aynı barada üç faz arızası oluşturulmuştur. Bara 2'ye bağlı asenkron motor, devreye 0.2 sn ile 0.3 sn arasında girmiştir. Asenkron motor bağlı olmaksızın, 3 faz arızası 0.2 sn ile 0.3 sn arasında oluşturulmuştur. Her iki durum için baraların gerilim değişimleri ile çift beslemeli asenkron generatörün rotor hız ve DC gerilim değişimleri incelenmiştir.

Benzetim Sonuçları

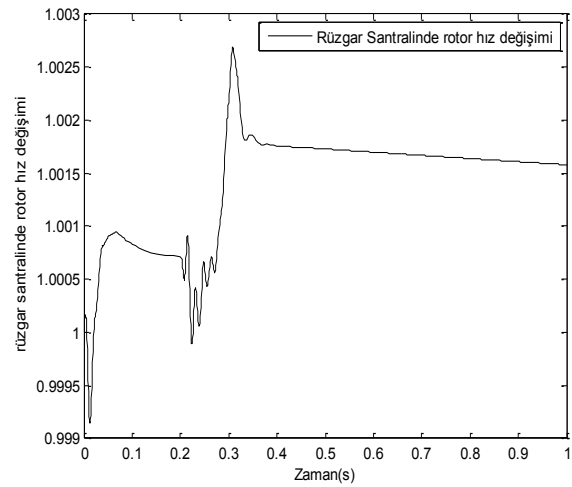
Asenkron motorun 0.2 sn ile 0.3 sn arasında devreye girip çıkması ile elde edilen gerilim, rotor hızı ve DC gerilim değişimleri şekil 3, şekil 4 ve şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Asenkron motorun bara gerilimleri üzerindeki etkisi



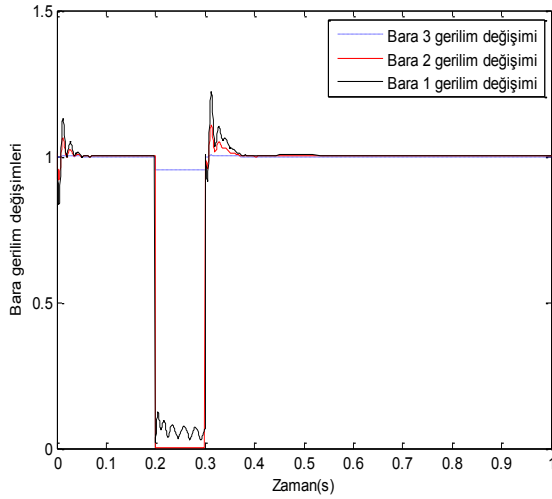
Şekil 4. Asenkron motorun DC gerilim üzerindeki etkisi



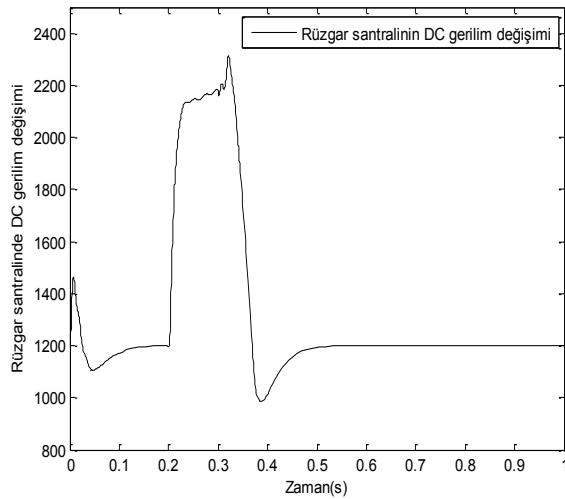
Şekil 5. Asenkron motorun rotor hızı üzerindeki etkisi

Asenkron motorun devreye girip çıkması sonucunda oluşan geçici kararlılık bara gerilimleri, rüzgar santralının DC gerilim ve rotor hızının asenkron motorun devreden çıkması ile kararlı hale geldikleri görülmüştür.

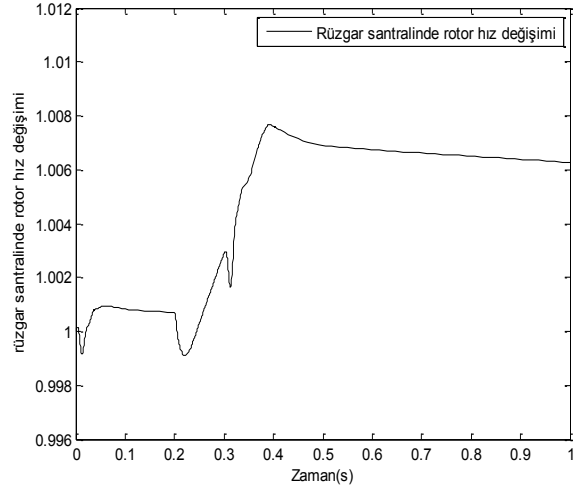
2 numaralı barada 3 faz arızası olduğu durumdaki bara gerilimleri, DC gerilim ve rotor hız değişimleri şekil 6, şekil 7 ve şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 6. 3 faz arızasının bara gerilimleri üzerindeki etkisi



Şekil 7. 3 faz arızasının DC gerilim üzerindeki etkisi



Şekil 8. 3 faz arızasının rotor hızı üzerindeki etkisi

3 faz arıza analizinde ise bara 2 ve bara 1 gerilimlerinin 0.p.u. kadar düştüğü görülmüştür. DC ve rotor hızının da arıza sonrası kararlı hale geldikleri görülmüştür.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, rüzgar santrali-şebeke bağlantılı bir sistem üzerinde oluşabilecek geçici durumların analizi gerçekleştirilmiştir. Kısa süreli bir asenkron motorun devreye girmesi ve oluşan bir kısa devrenin, bara gerilimleri ve rotor hızına etkileri incelenmiştir. Her iki durumda da şebekenin bağlı olduğu bara hariç, bara gerilimlerin düştüğü, rotor hızının ise geçici durum sonrasında yükseldiği görülmüştür. Asenkron motorun devreden çıkması ve 3 faz arızasının sonlandığı anda bara gerilimleri, rüzgar santralının DC gerilimi ve rotor hızının başlangıç durumundaki değerlere geldiği görülmüştür.

REFERANSLAR

- [1] Dai S., Shi L., Ni Y., Yao L., Bazargan M., Transient Stability Evaluation of Power System with Large DFIG Based Wind Farms, IEEE Power and Energy Engineering Conference, 2010.
- [2] Fernandez R. D., Battaiotto P. E., Mantz R. J., Wind Farm Nonlinear Control for Damping Electromechanical Oscillation of Power Systems, Renewable Energy, vol.33, pp. 2258-2265, 2008.
- [3] Sun T., Chen Z., Blaabjerg F., Voltage Recovery of Grid Connected Wind Turbines with DFIG After a Short Circuit Fault, IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 1991-1997, 2004.
- [4] Ko H. S., Jatskevich J., Dumont G. A., Moshref A., Increase of Fault RideThrough Capability for the Grid Connected Wind Farms, IEEE Power Engineering Society General Meeting (PES), pp. 1-6, 2006.

[5] Zhang X. Y., Wang W. Q., Voltage Transient Study of Wind Farm under Power System Fault, International Conference on Sustainable Energy Technologies, pp. 169-172, 2008.

[6] Hou H., Lin L., Comparison of Transient Stability between Wind Farm Based on DFIG and Traditional Power Plant in Actual Grid, , IEEE Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), pp. 1-4, 2010.

[7] Meegahapola L., Flynn D., Litter T., Transient Stability Analysis of a Power System with High Wind Penetration, Universities Power Engineering Conference, (UPEC), pp. 1-5, 2008.

[8] Papathanassion S. A., Santjer F., Power Quality Measurements in an Autonomous Island Grid with High Wind Penetration, IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 21, no. 1, pp. 218-224., 2006.

[9] Usaola J., Ledesma P., Rodriguez J. M., Fernandez J. L., Beato D., Iturbe R., Wilhelmi J. R.,

Transient Stability Studies in Grids with Great Wind Power Penetration. Modeling issues and Operation Requirements, IEEE Power Engineering Society General Meeting (PES), pp. 1-6, 2003.

[10] Erlich, I. Wilch, M. Feltes, C., Reactive power generation by DFIG based wind farms with AC grid connection, Power Electronics and Applications European Conference, pp:1-10, 2007.

[11] Jia X., Tian L., Xing Z. X., Su X. B., Dynamic Model and Simalation of Double Feed Induction Generator Wind Turbine, IEEE International Conferences on Automation and Logistics, pp.1667-1671, 2009.

[12] Tanneeru S., Mitra J., Patil Y. J., Ranade S. J., Effect of Large Induction Motors on the Transient Stability of Power Systems, North American Power Symposium, pp.223-228, 2007

FOTOVOLTAİK ELEKTRİK ÜRETİM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİLERİN İNCELENMESİ

Abdülvehhab KAZDALOĞLU¹ Bekir ÇAKIR² Murat DEMİR³
Aziz GÜNEROĞLU⁴ Engin ÖZDEMİR⁵ Mehmet UÇAR⁶

vahap@kocaeli.edu.tr¹, bcakir@kocaeli.edu.tr², muratdmr@kocaeli.edu.tr³, azizguneroglu@yahoo.com.tr⁴,
eozdemir@kocaeli.edu.tr⁵, mehmetucar@duzce.edu.tr⁶

^{1,2,3} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

⁴Kocaeli Atatürk Anadolu Teknik Ve Endüstri Meslek Lisesi

⁵Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü

⁶Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı

Özet

Yenilenebilir enerji kaynakları denildiğinde ilk aklı gelen rüzgar türbinleri ve güneş panelleridir. Rüzgar türbinleri generatörün tipine bağlı olarak şebekeyle birlikte çalışacak şekilde tasarlanabilirler. Güneş panelleri ise yapıları gereği Doğru Akım (DA) bir kaynak gibi modellendiklerinden şebekeye bağlantılarında mutlaka bir evirici ara elemanına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu çalışmada özellikle günümüzde tüm dünyada kullanımı hızla artan şebeke bağlantılı Fotovoltaik (FV) elektrik üretim sistemlerinde kullanılan geleneksel ve son yıllarda geliştirilen Çok Seviyeli Evirici (ÇSE) topolojileri incelenmekte ve en uygun topolojilerin seçimi hakkında önerilerde bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Elektrik Üretimi, Çok Seviyeli Evirici, Harmonik.

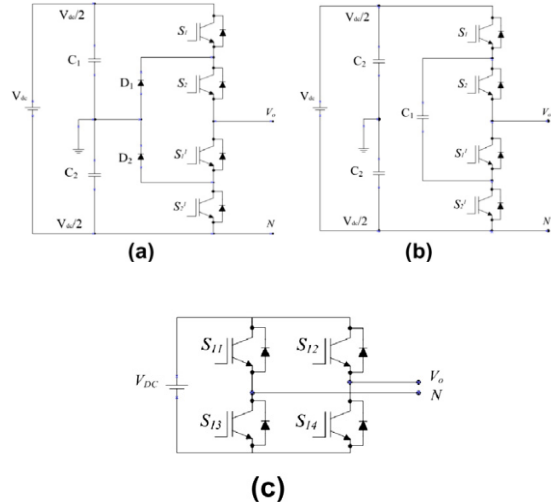
1. Giriş

Dünyamız yaşlandıkça teknoloji gelişmekte, gelişen teknolojiyle birlikte elektrik enerjisi ihtiyacı da artmaktadır. Yakın geçmişe kadar elektrik enerjisi ihtiyacı fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmıştır. Fosil yakıtlar bir taraftan enerji ihtiyacını karşılarken diğer taraftan çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimi yelpazesinde yerini almasıyla artık sadece enerji elde etmek değil temiz enerji elde etmek aranan bir enerji üretim biçimi halini almıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen enerjinin mevcut sisteme aktarılması ise çözülmesi gereken en önemli problemlerden biridir. Hem en verimli şekilde enerji elde edilecek hem de elde edilen enerji sorunsuz bir şekilde mevcut sisteme aktarılacak, işte gelişen teknoloji ile birlikte son yıllarda yapılan tüm çalışmalar bu amaca yönelik olarak devam etmektedir.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde mevcut şebeke sistemi göz önüne alındığında olmazsa olmaz elemanların başında eviriciler gelmektedir. Sistemin verimine etkisi de düşünüldüğünde, güneş panellerinin şebekeyle uyumlu çalışabilmesi için uygun eviricilerin tasarlanmasının ne kadar önemli olduğu görülmektedir.

2. Geleneksel ÇSE Topolojileri

Son yıllarda geliştirilen ve yüksek gücün yanı sıra düşük harmonik bozulumu sağlayan ÇSE'ler, güç elektroniği uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük elektromanyetik (EMI) gürültüsüne sahip olmaları ve düşük frekanslardaki kontrollere yüksek etkinlik sağlamalarından dolayı ÇSE'ler, bir fazlı ve üç fazlı eviriciler için uygun bir topolojidir. Evirici modüllerinin seri bağlantısı tek fazlı tam köprü (H-köprüsü) çalışma modunda, anahtarlama sıçramalarını engelleyerek eviricinin yüksek güç uygulamalarında verimli olarak kullanımına imkan sağlar. Bununla birlikte ÇSE'ler, diğer topolojilere göre çıkış gerilim ve akımlarında düşük harmonik bileşenlerine ve daha düşük dv/dt oranına sahiptir [1,2]. Şekil 1'de 3 seviye için geleneksel ÇSE topolojileri gösterilmektedir.



Şekil 1: 3 seviye için geleneksel ÇSE topolojileri (a) seviyeli Diyot Kenetlemeli (DK) ÇSE (b) Kondansatörlü (FK) ÇSE (c) Kaskat H-Köprü (KHK) ÇSE

Şekil 1'de görüldüğü gibi diyot kenetlemeli eviricilerde DA bara gerilimi seviye sayısına göre kapasitelerle bölünerek değişik seviyelerde gerilimler elde edilmektedir. Bu gerilim seviyeleri

katına çıkar. Böylece, her bir fazda aynı 9 gerilim seviyesine ulaşmak için faz başına sadece 2 farklı DA kaynak yeterli olur. Üç faz için 6 kaynak kullanarak aynı işlem yapılabilir. 9 seviyeli kaskad evirici 3 seviyeli kapasite kenetlemeli evirici hücreleri birleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Kapasite kenetleme yerine diyot kenetlemede kullanılabilir [3]. Şekil 2’de gerilim seviyelerini artırmak için 3 seviyeli diyot kenetlemeli evirici kaskad bağlanarak oluşturulan karışık seviye hibrit hücre konfigürasyonu görülmektedir.

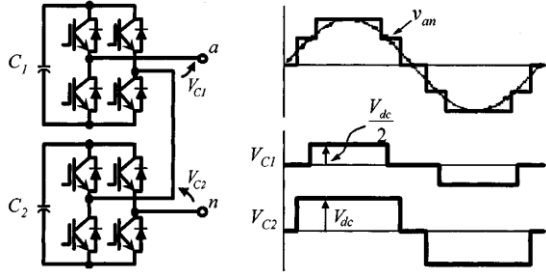
Kaskad ÇSE devresi H-köprü modüllerinden oluşmaktadır. Burada her bir modülün gerilim seviyesi aynı olabileceği gibi farklı da olabilir. Gerilim seviyeleri farklı olduğu durumda çıkış geriliminin seviye sayısı daha fazla olur. Dolayısıyla aynı sayıda yarı iletken kullanarak daha çok seviyeli bir evirici yapılmış olur. Bu eviricilerin genel özellikleri; bataryalar, güneş panelleri ve ultrakapasitörler gibi kaynaklardan elde edilecek ayrı DA kaynakları kullanabilmeleridir. Bu özelliği ile güneş enerji sistemleri için ideal bir evirici tipi olmaktadır.

3.2. Asimetrik Hibrit ÇSE

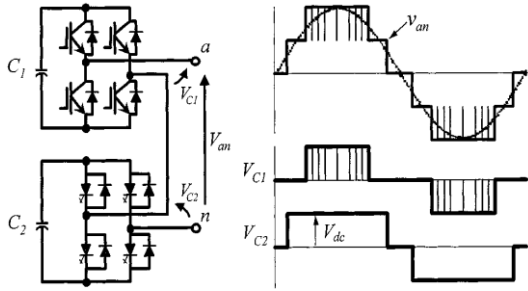
3. Çok Seviyeli Eviriciler İçin Son Yıllarda Önerilen Topolojiler

Bir hücre için yüksek frekanslı Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) diğeri için daha düşük DGM kullanılarak bu yapılabilir. Şekil 4'te buna örnek bir uygulama gösterilmiştir. Üst (ana) tam köprü evirici için IGBT (insulated gate bipolar transistor), alt hücre içinde GTO (gate turn-off thyristor) kullanılmıştır. GTO tabanlı hücre daha düşük frekansta anahtarlama yapar (genelde temel frekansta) IGBT tabanlı hücre ise dalga formunu düzeltmek için DGM üzerinden anahtarların [3].

49



Şekil 3: Farklı gerilim seviyeli asimetrik hibrit kaskad evirici hücre

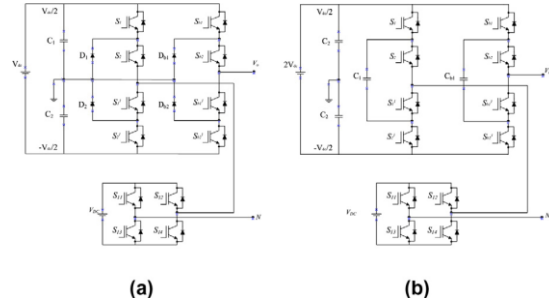


Şekil 4: Farklı anahtarlama frekanslarında asimetrik hibrit kaskad evirici hücre

Bir başka asimetrik hibrit ÇSE topolojisi de DA kaynak sayısını azaltmak için temel topolojilerden ikisinin hibritlenmesi ile elde edilen bir topolojidir. Bu topoloji ile çıkış gerilimi dalga şekli daha düzgün olur ve dalga üzerindeki harmonik etkisi azaltılmış olur. Hibrit çok seviyeli eviricinin her bir modülü için farklı doğru gerilimleri ve farklı anahtarlama frekansları kullanılarak evirici verimi artırılıp THB karakteristiği ayarlanabilir.

Bununla birlikte, geleneksel DGM stratejileri, temel frekansta anahtarlama frekansı ürettiğinden AH-ÇSE için uygun değildir. Buna bağlı olarak, yüksek voltaj modülleri anahtarlama cihazları sadece evirme işleminin bazı anlarında çalışır. Bu kontrol stratejisi, hibrit modülasyon yöntemi ile kullanılarak yüksek güçlü hücreleri düşük frekansta anahtarlama, düşük güç hücreleri de yüksek frekansta anahtarlama sayesinde daha yüksek verim elde ettiği ileri sürülmüştür [3].

En çok kullanılan AH-ÇSE topolojileri Şekil 5'de gösterilmiştir. 7 seviyeli diyot kenetli ve H-köprü hibrit topoloji Şekil 5a'da gösterilmiştir. Diğer 7 seviyeli topolojilerde Şekil 5b ve c'de verilmiştir.



Şekil 5: 3 fazlı AH-ÇSE topolojileri tek faz bacakları: (a) DK-ÇSE ve KHK-ÇSE, (b) FK-ÇSE ve KHK-ÇSE (c) AH-KHK-ÇSE

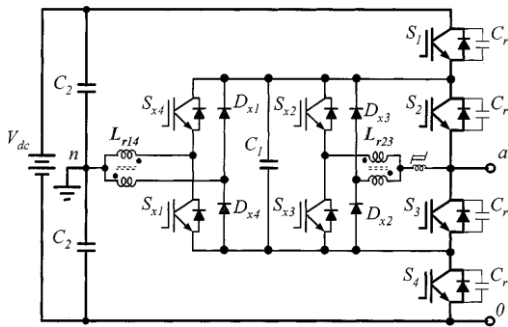
KHK ÇSE mükemmel giriş akımı ve çıkış gerilimi özelliğiyle verimli ve güvenilir bir modüldür. DK-ÇSE basit bir devreye sahiptir fakat motor sürücü uygulamaları için büyük bir LC filtresi gerektirir. Hibrit FK-ÇSE devresi DK-ÇSE eviriciye göre filtre gereksinimlerini ortadan kaldırır. Fakat bu topoloji harmonik içeriğini ve devre tasarımı maliyetlerini azaltmada KHK-ÇSE kadar başarılı değildir. AH-KHK-ÇSE için de Şekil 5c'de olduğu gibi bir IGBT H-köprü modülü ile GTO modülü kullanırsa yüksek gerilimi engelleyen ve düşük frekanslarda anahtarlama yapabilen bir modül oluşturulmaktadır. Bu topoloji gerilim seviyesi sayısını korurken H-köprü modül sayısını azaltmaya olanak sağlar.

Asimetrik ÇSE'ler güç elemanları sayısını artırmadan çıkış gerilimindeki harmonik bileşenleri en aza indirirler. Farklı gerilim seviyeleri kullanılarak oluşturulan Hibrit ÇSE'ler tüm sistemin güç işleme uygulamalarını optimize edebilirler. Ayrıca H-ÇSE'ler esnek ve güvenilir bir yapıya sahiptirler.

3.3. Yumuşak Anahtarlama ÇSE

Çok seviyeli eviricilerde anahtarlama kayıplarını azaltmak ve verimi artırmak için bir çok yumuşak anahtarlama yöntemi vardır. Kaskad eviricide her bir hücre 2 seviyeli devre olduğundan geleneksel eviricilere uygulanan yumuşak anahtarlama yönteminden farklıdır. Diyot veya kondansatör kenetlemeli eviriciler için mevcut seçenekler ancak yumuşak anahtarlama devrelerinin farklı kombinasyonları kullanılarak bulunabilir. Sıfır anahtarlama akımı mümkün olsa da literatürde yardımcı rezonans komütasyon kutuplu (ARCP) sıfır gerilim anahtarlama devreleri daha çoktur.

algoritmasına gerek duyulmadığı ve sistemin bunu kendisinin yapabildiği gibi özellikleri deneysel sonuçlarla ispatlanmıştır [5].

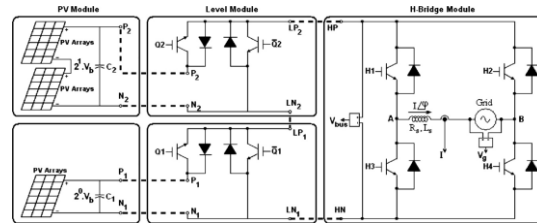


Şekil 6. Sıfır gerilimde anahtarlama yapan kondansatör kenetli evirici devresi

3.4. Anahtarlama Elemanı Sayısını Azaltmak İçin Önerilen Yeni Topolojiler

Çok seviyeli eviricilerin temel sorunlarından biri çok sayıda anahtarlama elemanı içermesi ve bu elemanların kontrol edilmesinin zorluğudur. Bu amaçla anahtarlama elemanı sayısını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların birinde gerilim ters çeviren (gerilim dönüştüren) adı verilen yeni bir topoloji geliştirilmiştir. Bu topoloji iki farklı bölümden oluşmakta ve birinci modül çıkış gerilim seviye sayısını belirlerken diğer bölüm ise alternatif gerilimin polaritesini belirlemektedir. Dolayısıyla birinci modül yüksek frekansta anahtarlama yaparken ikinci modül şebeke frekansının yarısında anahtarlama yapmaktadır. Ayrıca önerilen topolojinin kontrol yönteminde de daha basit bir Sinüzoidal DGM (SDGM) uygulamasıyla kontrol edilebildiği 5 seviyeli bir ÇSE için 2 taşıyıcı dalga sinyali ile 5 seviyenin elde edilebildiği gösterilmiştir. Kullanılan anahtarlama elemanı ve sistemdeki toplam elemanlar bakımından geleneksel topolojilerle karşılaştırıldığında 5 ve üzeri seviyelerde diğer topolojilere göre daha az eleman kullanarak daha çok seviye elde edilebildiği gösterilmiştir [4].

Anahtarlama elemanı sayısını azaltarak sistemi basitleştirmek amacıyla yapılan bir çalışmada, tek fazlı ÇSE içeren bir şebeke bağlantılı FV güç dönüşüm sistemi önerilmiştir. Önerilen sistem temelde FV diziler ve tek fazlı ÇSE yapısından oluşmaktadır ve Şekil 7’de devre şeması görülmektedir. İlk olarak, FV destekli evirici sistemi parçaları ayrıntılı olarak tanıtılmaktadır. Yeni bir evirici ve bu eviricinin kontrolü için yeni bir algoritma önerilmiştir. Kontrol algoritması ve sunulan sistemin çalışma prensipleri açıklanmıştır. Bu sistem, simülasyonlar ve deneysel çalışmalar ile doğrulanmıştır. Evirici seviyesinin kolayca artırılabilceği, istenilen çıkış dalga şeklinde gerilim üretebileceği, anahtarlama stratejisinin basit olduğu, Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNI)



Şekil 7: Anahtarlama elemanı sayısını azaltmak için önerilen yeni topoloji

Literatürde daha farklı topolojiler de mevcuttur. Evirici devreler uygulama alanlarına göre geliştirilebilir. DA gerilim kaynağının durumu, evirme işleminden sonra evirici çıkışındaki istenen gerilimin dalga şekli harmonik içeriği gibi değişkenler evirici tipinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Tablo 1’de evirici tiplerinin kullanım alanlarına göre performanslarının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 1: Evirici topolojilerinin karşılaştırması [2]

TOPOLOJİ	Kontrol Şeması			Uygulamaları		
	SHE-DGM	SDGM	UVDGM	Motor Sürücü	Aktif Filtre	PV Yakıt Hücresi
DK-ÇSE	✓✓	✓	✓	✓✓	✓	✓
FK-ÇSE	✓	✓	X	✓	✓	X
KHK-ÇSE	X	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓
H-ÇSE	X	✓✓	X	✓	✓	✓
AH-ÇSE	X	✓✓	✓	✓✓	✓	✓✓

4. Sonuçlar

Tablo 1’den de anlaşılaçağı üzere güneş enerjisi sistemleri için en uygun olan topoloji KHK-ÇSE’ler ve AH-ÇSE’lerdir. Asimetrik ÇSE’ler bir çok topolojiyle elde edilebilmektedir. Herhangi iki topolojinin hibritlenmesi ile elde edilebildiğı gibi farklı anahtarlama frekanslarına sahip farklı yarı iletken anahtarlama elemanlarıyla tasarlanabilir.

- Tablo 1'den görüleceği gibi kaskad ÇSE topolojisi kullanılarak elde edilecek bir asimetrik hibrit ÇSE topolojisi FV enerji sistemleri için en uygun topoloji olacaktır.
- Bu topolojinin her bir modülü için farklı gerilim seviyeleri kullanılmasıyla (güneş enerji sistemleri için kolay uygulanabilir bir durum) daha az hücre kullanarak daha çok gerilim seviyesi elde edilebilecektir.
- Ayrıca hibrit eviricinin üst ve alt modülleri için farklı anahtarlama elemanları (IGBT, GTO vb.) seçimiyle eviricinin anahtarlama yeteneği ve çıkış gerilim dalga şekli düzenlenebilir.

- Anahtarlama sayısının azaltmak için önerilen topolojiler asimetrik besleme gerilimleri kullanılarak FV enerji sistemleri için uygun bir topoloji haline getirilebilir.

5. Kaynaklar

- [1] Özdemir E., Özdemir Ş., "Güneş Pilleri ile Dağıtılmış Elektrik Üretim Sistemlerindeki Gelişmeler", VII. **Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES'2008**, 17-19 Aralık 2008, İstanbul.
- [2] Colak İ., Kabalci E., Bayindir R., "Review of multilevel voltage source evirici topologies and control schemes", **Energy Conversion Management 2010**.
- [3] Rodríguez J., Lai J.S., Peng, F.Z., "Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications", **IEEE Transactions On Industrial Electronics**, Vol. 49, No. 4, August 2002.
- [4] Najafi E., Yatim A.H.M., Samosir A.S., "A New Topology -Reversing Voltage (RV)- for Multi Level Inverters", **2nd IEEE International Conference on Power and Energy**, December 1-3 2008, Malaysia.
- [5] Beşer E., Arifoğlu B., Çamur S., Beşer E. K., "A Grid-connected photovoltaic power conversion system with single-phase multilevel inverter", **Solar Energy 2010**.

DEĞİŞKEN SİĞAÇ GERİLİMLİ PARALEL ETKİN GÜÇ SÜZGEÇİ

Hasan DİRİK, Muammer ÖZDEMİR

Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Ondokuzmayıs Üniversitesi

hasan_dirik@hotmail.com, ozdemirm@omu.edu.tr

Özet

Etkin güç süzgeçleri elektrik güç sistemlerindeki yüklerin değişken doğası nedeniyle kendileri de değişkenlik göstermek zorundadır. Bu çalışmada, etkin güç süzgeçlerinde kullanılan klasik sabit değerli d.a. taraflı sığaç gerilimi yerine yüke bağlı olarak değeri değişen yeni bir biçimi kullanılarak çalışma performansının artırılması amaçlanmıştır. Burada önerilen yapıda referans akım çıkarma yöntemi olarak anlık tepkin güç algoritması ve akım denetleyici olarak da histerezis akım denetimi yöntemi kullanılmıştır. Süzgecin referans sığaç gerilimi değeri yükün kompanze edilmesi gereken akım değeri üzerinden hesaplanmıştır. Bu çalışmada karşılaştırma amacıyla biri sabit ve diğeri de değişken sığaç gerilimli iki paralel etkin güç süzgeci Matlab/Simulink ortamında tasarlanarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim sonuçları tasarlanan yapının anahtarlama frekansı ve THD değerlerinde önemli oranda iyileştirmeler sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Etkin Güç süzgeci, Değişken sığaç gerilimi, anlık tepkin güç algoritması, histerezis akım denetimi

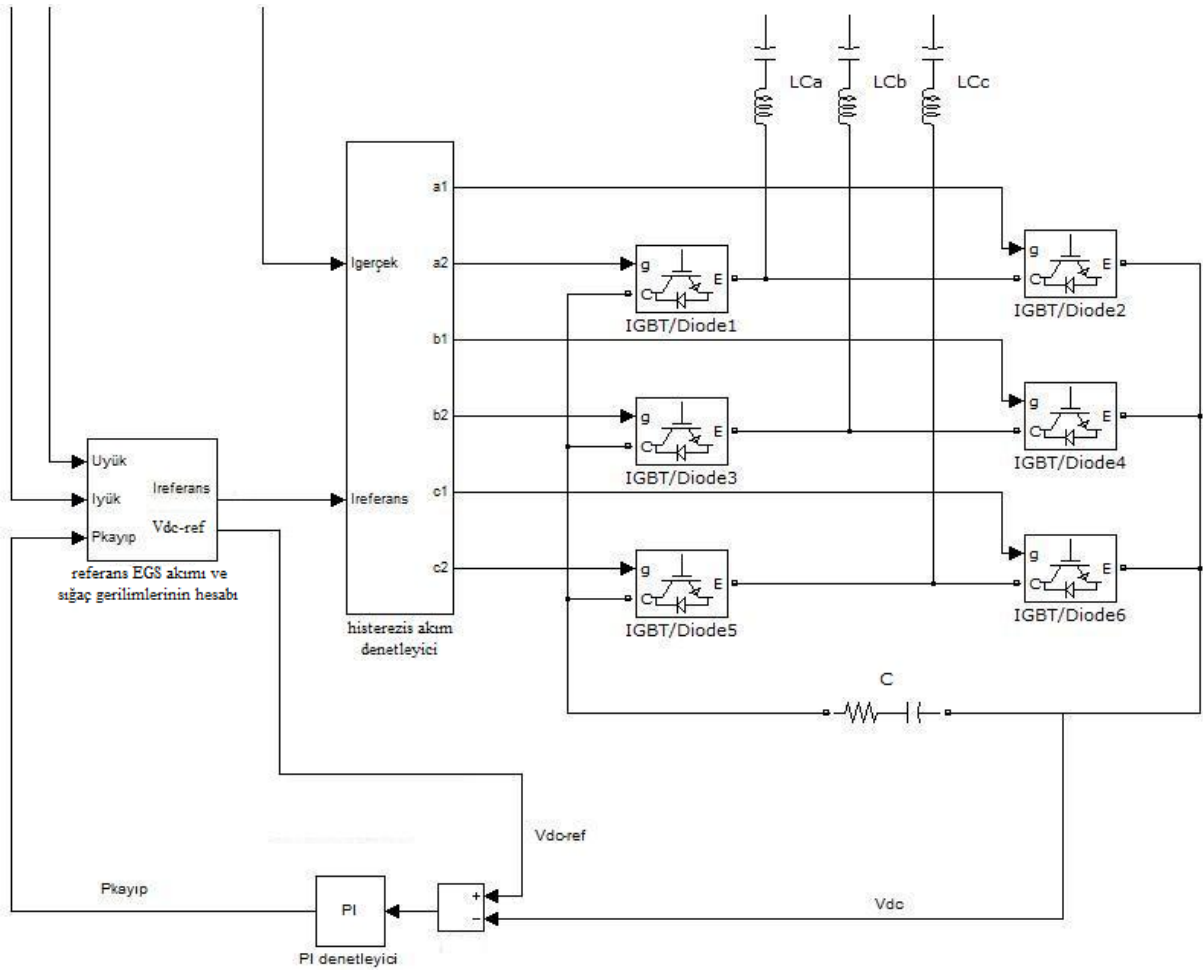
1. Giriş

Tepkin güç, çoğu yükün çekmek zorunda olduğu ve aslında bir işe dönüşmeyen güç türüdür. Bu gücün şebeke yerine yerel tesisler vasıtasıyla sağlanması mümkündür. Sığaç grupları, senkron makineler ve çeşitli FACTS yapıları bu gücü sağlamak için kullanılabilecek alternatifleri oluşturmaktadır. Tepkin güç kompanzasyonu, şebeke kararlılığı, kayıpları ve diğer bazı ekonomik nedenlerden dolayı yük tarafında yapılması oldukça gerekli olan işlemlerden biridir. Bu amaçla gücü belli değeri aşan büyük tüketicilerin şebekeden daha az tepkin güç çekmesini sağlamak amacıyla bazı yasal yaptırımlar ortaya konulmuştur. EPDK tarafından hazırlanan *elektrik iletim sistemi arz güvenirliliği ve kalitesi yönetmeliği*'ne göre tüketicilerin aylık bazda harcamış olduğu endüktif tepkin enerjinin etkin enerjiye oranının %20'yi ve kapasitif tepkin enerjinin etkin enerjiye oranının %15'i geçmemesi istenmektedir. Bu oranların aşılması durumunda dağıtım şirketleri tarafından tüketicilere tepkin enerji bedelinin fatura edileceği bildirilmiştir.[1]

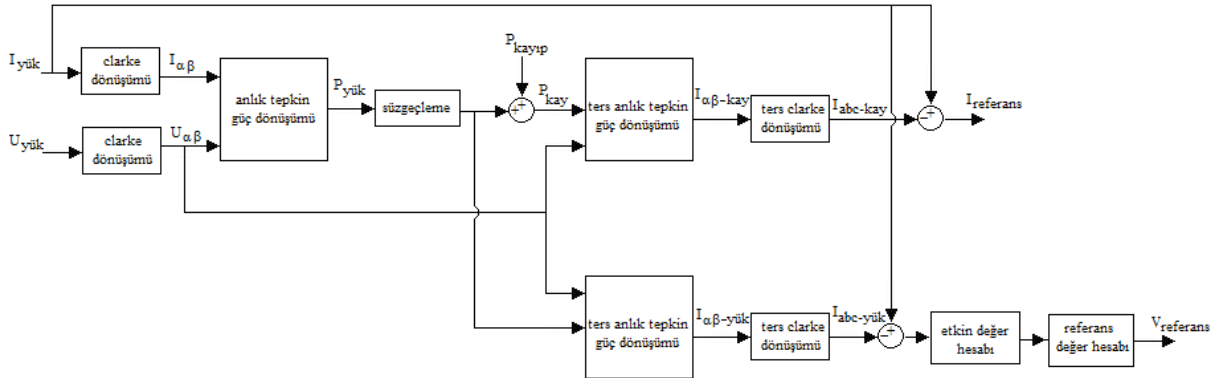
Dağıtım sistemlerinde karşılaşılan güç kalitesizliklerinden biri de doğrusal olmayan yüklerin neden olduğu akım harmonikleridir. Şebekeden çekilecek harmonikli akımlar hem şebeke elemanlarının hem de aynı şebekeden beslenen diğer yüklerin zarar görmesine, kayıplarının artmasına ve istenilmeyen çalışma biçimlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Dağıtım şebekesindeki yüklerin tepkin gücünü ve harmonik akımlarını karşılamak amacıyla son yıllarda üzerinde en çok çalışılan ve öne çıkan yapılardan biri etkin güç süzgeçleridir (EGS). EGSlerin çalışma performansı denetim yapılarında kullanılan referans akımı çıkarma yöntemlerine, anahtarlama biçimlerine ve evirici yapılarına oldukça bağlıdır. Kullanılan başlıca referans akım çıkarma yöntemleri FFT tabanlı yöntemler, anlık tepkin güç yöntemleri (pq yöntemi), senkron referans düzlemi yöntemi (dq yöntemi), süzgeçleme yöntemleri ve yapay sınır ağı yöntemleridir.[2]

Bu çalışmada, biri sabit referanslı sığaç gerilimine ve diğeri de değişken referanslı sığaç gerilimine sahip iki paralel EGS tasarlanmıştır. Sabit referanslı sığaç gerilimi literatürde hemen hemen bütün EGS yapılarında kullanılan biçimdir. Bu yapılar değişken yük koşulları altında her çalışma noktası için aynı THD ve anahtarlama frekansı cevabı ile çalışmazlar. Bunun temel nedeni EGS sığaç geriliminin yalnızca bir çalışma noktası için belirlenmiş olmasından ileri gelir. Bu yüzden burada sığaç gerilimin yüke bağlı olarak değiştirilmesi amaçlanmıştır. Paralel EGSler için referans akımı çıkarma yöntemi olarak basit yapısı, PLL gerektirmemesi ve yeterli cevabı nedeniyle anlık tepkin güç yöntemi kullanılmıştır. Burada önerilen değişken sığaç gerilimli paralel EGSnin genel yapısı şekil 1'de verildiği gibidir. Bu yapı 3-fazlı 3-telli yükler için kullanılan en yaygın yapıdır. Burada, yüksek genlikli EGS 3. harmonik akımlarının geçişini kolaylaştırmak için çıkış süzgeci olarak 150 Hz rezonansa ayarlı bir LC pasif süzgeci kullanılmıştır. EGS akımı histerezis akım denetimi kullanılarak yapılan anahtarlama ile elde edilmiştir. Değişken sığaç gerilimli paralel EGSnin referans sığaç gerilimi kompanze edilen yük akımı kullanılarak elde edilmiştir. Bu gerilim gerçek sığaç gerilimi ile karşılaştırılarak EGSnin kayıp gücü bulunmaktadır.



Şekil 1. Önerilen değişken sıgaç gerilimli paralel EGSnin genel yapısı



Şekil 2. Referans EGS akımı ve sıgaç gerilimi çıkarım şeması

2. Anlık Tepkin Güç Yöntemi

Anlık tepkin güç algoritması doğrusal olmayan ve tepkin güç çeken yüklerin güçlerini zaman domeninde anlık olarak hesaplamaya yarayan bir yöntemdir. Bu yöntem hem sürekli durumda hem de geçici durumlarda 3-fazlı yüklerin etkin güç, tepkin güç ve harmoniklerin oluşturduğu bozucu güçleri iyi bir şekilde ayrıştırabilmektedir. Bu yöntemde 3 fazlı gerilim ve akımlar öncelikle abc düzleminden $\alpha\beta 0$ düzlemine dönüştürülür. Bu dönüşüm işlemi için

Clarke dönüşüm yöntemi kullanılmaktadır. Clarke dönüşümü için kullanılan eşitlikler,

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

biçimindedir. 3-fazlı 3-telli sistemlerde nötr akımı sıfır olduğundan Clarke dönüşümündeki 0 bileşenlerin değeri de sıfır olmaktadır. Bu yüzden bu bileşenlerin hesaplanmasına gerek yoktur. Clarke dönüşümü ile hesaplanan akım ve gerilimler sırasıyla

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_\alpha + j\mathbf{V}_\beta \quad (2)$$

$$\mathbf{I} = \mathbf{I}_\alpha + j\mathbf{I}_\beta \quad (3)$$

biçimindedir. Bu değerler

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_\alpha & \mathbf{V}_\beta \\ \mathbf{V}_\beta & \mathbf{V}_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_\alpha \\ \mathbf{I}_\beta \end{bmatrix} \quad (4)$$

ile verilen anlık güç eşitliklerinde kullanılarak yükün etkin ve tepkin güçlerinin anlık değerleri bulunmaktadır. Gerilim veya akımın harmonikli olması durumunda p ve q değerleri salınımlı değişim gösterecektir. Salınımsız p ve q değerleri bu değerlerin bir tam periyot boyunca ortalama değeri alınarak hesaplanabilmektedir. Yükün her bir fazına ait etkin akım bileşenleri ters dönüşümler kullanılarak bulunabilmektedir. Hesaplanan güç değerlerinden tekrar akım değerlerine geçmek için kullanılacak ters anlık tepkin güç ve ters Clarke dönüşümleri sırasıyla

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_\alpha \\ \mathbf{I}_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{\mathbf{V}_\alpha^2 + \mathbf{V}_\beta^2} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_\alpha & -\mathbf{V}_\beta \\ \mathbf{V}_\beta & \mathbf{V}_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_a \\ \mathbf{I}_b \\ \mathbf{I}_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_0 \\ \mathbf{I}_\alpha \\ \mathbf{I}_\beta \end{bmatrix} \quad (6)$$

eşitlikleri ile verilmektedir. [3]

Burada, benzetimlerde kullanılan her iki EGS yapısında aynı referans akım çıkarma yöntemi kullanılmıştır.

3. Referans Sığaç Geriliminin Bulunması

Önerilen değişken sığaç gerilimli EGSnin referans sığaç gerilimi yüke uygun olarak değiştirilmektedir. Yükün tepkin güç talebi ve harmonik akım genlikleri arttıkça EGSnin vermesi gereken akım değeri de artacaktır. EGSde yüksek genlikli akımların elde edilmesi sığaç ile şebeke gerilimleri arasındaki farkın arttırılmasıyla mümkün görünmektedir. Bu işlem ancak sığaç geriliminin arttırılmasıyla yapılabilir. Yükün kompanze edilmesi gereken akımı harmonikli bir akım olduğundan bu akımın büyüklüğünün ölçüsü

olarak bir tam periyot boyunca hesaplanan etkin değeri kullanılmıştır. Bir periyot boyunca alınan N adet akım örnekleme değeri üzerinden bu akımın etkin değeri,

$$\mathbf{I}_{\text{egs}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [\mathbf{i}_{\text{egs}}(k)]^2} \quad (7)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bulunan etkin akım değeri

$$\mathbf{V}_{\text{dc-ref}} = \mathbf{V}_{\text{abc}} + \mathbf{X} \cdot \mathbf{I}_{\text{egs}} \quad (8)$$

eşitliğinde kullanılarak referans (olması gereken) sığaç gerilimi hesaplanmaktadır. Bu eşitlikteki $\mathbf{V}_{\text{abc}}$ şebeke faz-nötr arası gerilimini ve X ise EGS çıkışındaki LC pasif süzgecinin etkin reaktansını göstermektedir. Benzetim çalışmalarında bu değerler sırasıyla 220V ve 24Ω olarak alınmıştır. (Şekil 2)

EGS sığaç geriliminin denetimi bulunan referans sığaç gerilimi ile gerçek sığaç geriliminin karşılaştırılması ile yapılmaktadır. Gerçek sığaç gerilimi ile referans sığaç gerilimi arasındaki fark bir PI denetleyiciye verilerek EGS kayıp gücü hesaplanmaktadır. Bu güç anlık tepkin güç yönteminde elde edilen etkin güce eklenerek EGSnin bağlı olduğu şebekeden çektiği etkin güç değiştirilmekte ve böylece sığaç geriliminin istenilen seviyede olması sağlanmaktadır. [4]

4. Benzetim Çalışmaları

Önerilen değişken sığaç gerilimli EGS yapısı ve aynı özelliklere sahip fakat sığaç gerilimi sabit tutulan EGS yapısının Matlab/Simulink ortamında aynı koşullar altında benzetimi yapılmıştır. Benzetimde kullanılan yükün a fazı gerilim ve akımları

$$\mathbf{U}_a(t) = \mathbf{U}_m \sin(\omega t) \quad (9)$$

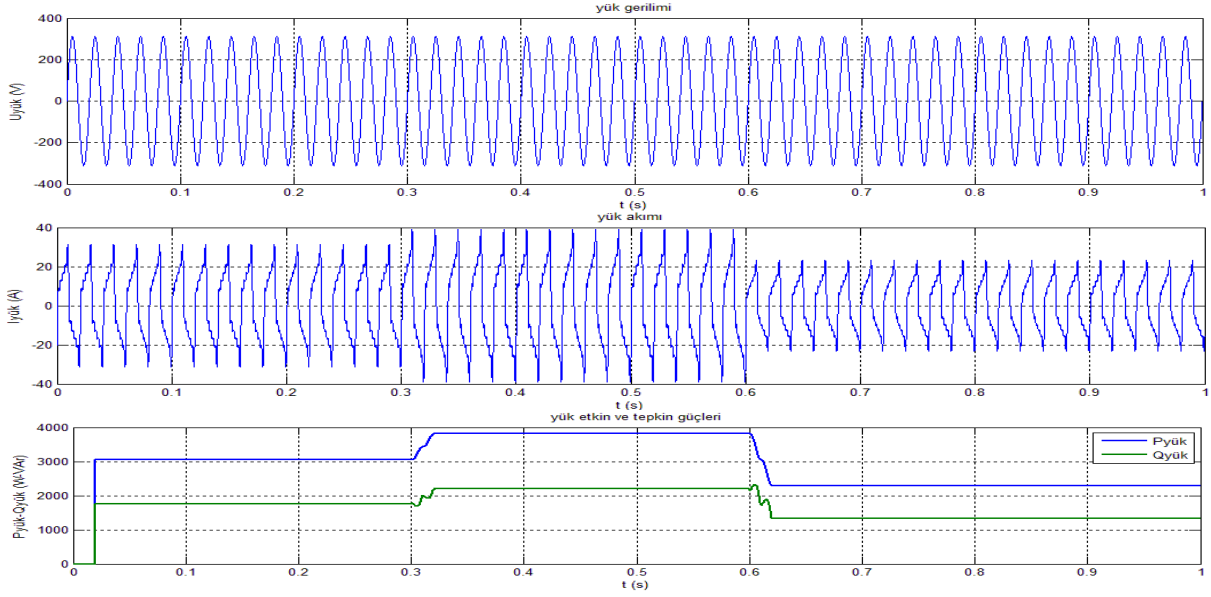
$$\begin{aligned} \mathbf{I}_a(t) = & \mathbf{I}_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) + \frac{\mathbf{I}_m}{3} \sin(3\omega t - \frac{\pi}{6}) \\ & + \frac{\mathbf{I}_m}{5} \sin(5\omega t - \frac{\pi}{6}) + \frac{\mathbf{I}_m}{7} \sin(7\omega t - \frac{\pi}{6}) \\ & + \frac{\mathbf{I}_m}{9} \sin(9\omega t - \frac{\pi}{6}) \end{aligned} \quad (10)$$

biçiminde olup diğer iki faz için bu akım ve gerilimlerin 120°'er derece faz kaydırılmış biçimleri kullanılmıştır. Burada $\mathbf{U}_m = \sqrt{2} \cdot 220\text{V}$,

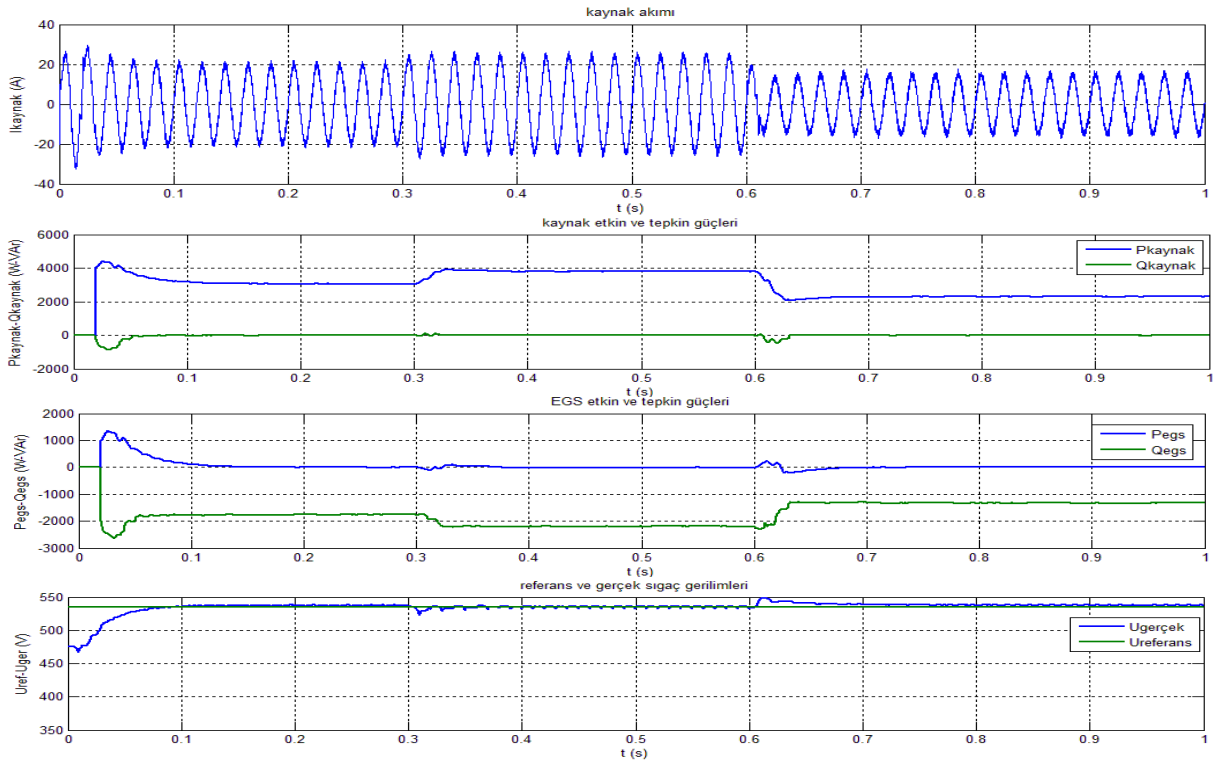
$\mathbf{I}_m = \sqrt{2} \cdot 16\text{A}$ ve $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$ olarak alınmıştır. Benzetim çalışmaları her iki EGS yapısı için 1'er saniyelik zaman aralığında yapılmıştır. Yapılan benzetimlerin 0-0,3s aralığında nominal yük kullanılırken 0,3-0,6s aralığında yük akımı %25

oranında arttırılmış ve 0,6-1s zaman aralığında ise yük akımı nominal değerinin %75'ine indirilmiştir. Benzetim sonucunda elde edilen yük gerilim, akım ve güçlerinin değişimi Şekil 3'te verilmiştir.

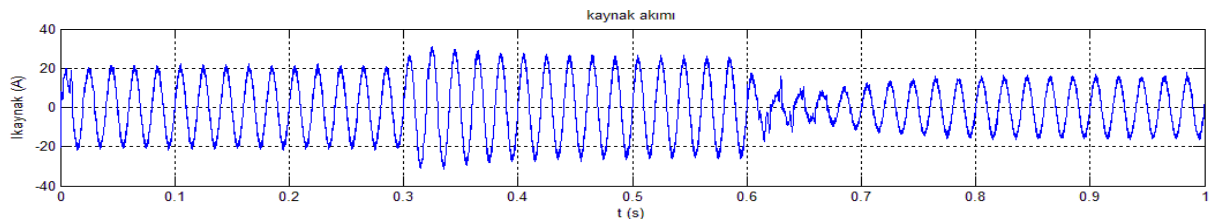
Sabit ve değişken sıgaç gerilimli EGSler için elde edilen kaynak ve EGS tarafı güçleri, EGS akım ve sıgaç gerilimlerinin değişimleri de sırasıyla Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.



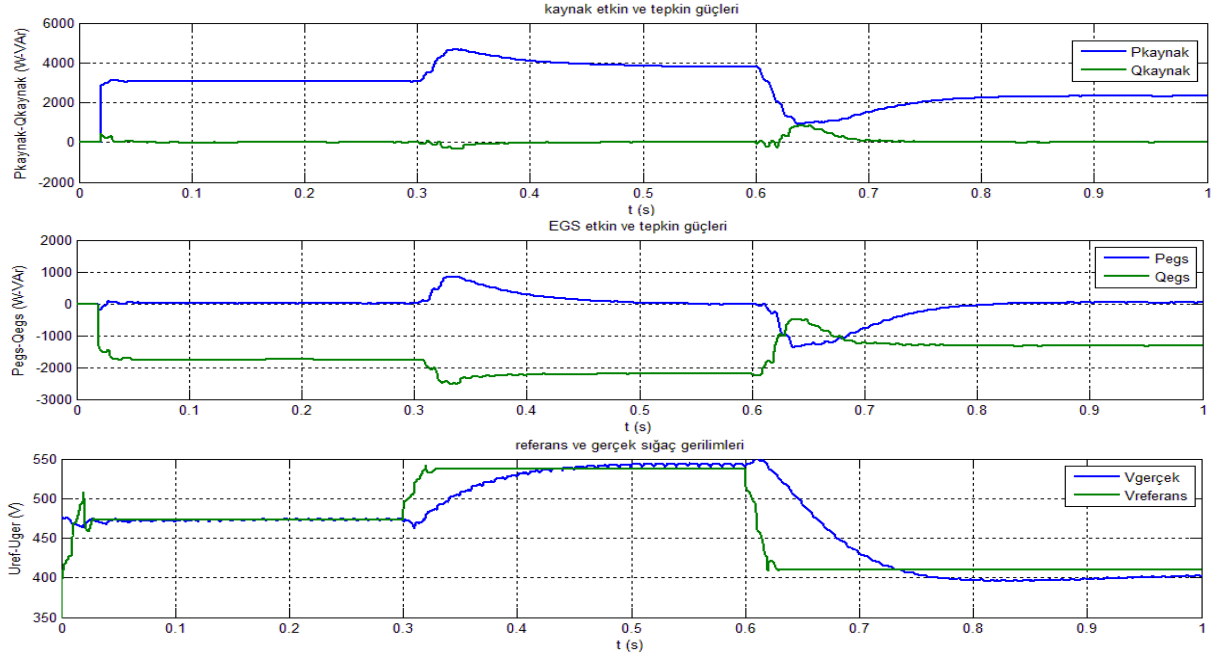
Şekil 3. Benzetimlerde kullanılan yükün a fazına ait gerilim, akım ve güçlerin değişimleri



Şekil 4. Sabit sıgaç gerilimli EGS ile yapılan benzetimde elde edilen sonuçlar



Şekil 5. Değişken sıgaç gerilimli EGS ile yapılan benzetimde elde edilen sonuçlar



Şekil 5(devamı). Değişken sıgaç gerilimli EGS ile yapılan benzetimde elde edilen sonuçlar

Benzetimlerden elde edilen sonuçlara bakıldığında yük tepkin gücünün her iki yapı için kaynak tarafında sıfırlandığı görülmektedir. Gerçek sıgaç gerilimlerinin her iki yapı için her yük değişiminde geçici sapmalar yaptığı fakat bu sapmanın değişken sıgaç gerilimli EGS için daha uzun süreli olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeni kullanılan PI denetleyicinin sabit katsayılar sahip olmasından ileri gelmektedir. Uyarlamalı bir denetleyici ile değişken sıgaç gerilimli EGSnin geçici kararlılık cevabı daha da iyileştirilerek oturma zamanı daha da kısaltılabilir.

Değişken sıgaç gerilimli EGSnin sabit sıgaç gerilimliye göre üstünlükleri anahtarlama frekansı ve elde edilen kaynak tarafı akımlarının toplam harmonik bozunum (THD) değerlerinde öne çıkmaktadır. Elde edilen THD ve anahtarlama frekansı sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Bu çizelgedeki THD değerleri yükün farklı değerler aldığı ve kaynak akımının kararlı hale geldiği zaman bölgelerindeki THD değerleridir. Anahtarlama frekansları ise 1 saniyelik benzetimde elde edilen ortalama anahtarlama sayısıdır.

Çizelge 1. Benzetimlerden elde edilen THD ve anahtarlama frekansı sonuçları

	THD (%)			anahtarlama frekansı (kHz)
	1. bölge	2. bölge	3. bölge	
sabit sıgaç gerilimli EGS	3,76	3,52	4	3,09
değişken sıgaç gerilimli EGS	3,72	3,31	3,25	2,77

Çizelgedeki THD değerleri, önerilen yapı ile daha düzgün akım dalga biçimlerinin elde edilebileceğini ve anahtarlama frekansına bağlı olarak anahtarlama kayıplarının azaltılabileceğini göstermektedir.

5. Sonuçlar

Benzetim yoluyla elde edilen sonuçlara göre geleneksel sabit sıgaç gerilimli EGSlerin sıgaç gerilimlerinin üretmeleri gereken tepkin ve harmonik akımlara uygun olarak değiştirilmesi ile THD ve anahtarlama frekanslarında önemli oranda iyileştirilme sağlamaktadır. Anahtarlama frekansının azaltılması aynı zamanda EGS kayıplarının da azalması anlamına gelmektedir. Değişken sıgaç gerilimli EGSnin yük değişimine karşı geçici cevabı daha kötü olmaktadır. Bu cevabın iyileştirilmesine yönelik olarak katsayıları yük değişimi ile beraber değişen bir uyarlamalı PI yapısı kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.10.02 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu; Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik; 23.10.2010 tarihli ve 27738 Sayılı Resmi Gazete
- [2] Bhattacharya, A.; Chakraborty, C.; Bhattacharya, S.;, "Shunt compensation," Industrial Electronics Magazine, IEEE , vol.3, no.3, pp.38-49, Sept. 2009
- [3] H. Akagi, Instantaneous Power Theory and applications to Power Conditioning, New Jersey, USA.: Wiley, 2007.
- [4] Narain G. Hingorani, Lazlo Gyugyi, "Understanding Facts: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems" November 1999, John Wiley & Sons, Incorporated

ENDÜSTRİYEL GÜÇ SİSTEMLERİNDE OLUŞAN HARMONİKLERİN PASİF FİLTRELERLE YOK EDİLMESİ

M. Mustafa ERTAY¹, Bora ALBOYACI², H.Tarık DURU², E.Mustafa YEĞİN²

¹Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

mustafaertay@duzce.edu.tr, alboyaci@kocaeli.edu.tr, tduru@kocaeli.edu.tr, emy@kocaeli.edu.tr

Özet

Güç sistemlerindeki güç kalitesi problemlerini genelde harmonik bozulmalar oluşturur. Bu çalışmada MATLAB ortamında endüstriyel bir sistemde nonlinear yükler sebebiyle meydana gelen harmonik bozulmalara karşın pasif filtre tasarımı ve uygulanması gerçekleştirilmiştir. İlk önce sistemin harmonik özellikleri incelenmiş, daha sonra tek ayarlı filtre tasarımı için gerekli eşitlikler verilmiştir. Belirli harmonik dereceleri için pasif filtre tasarımı yapılmıştır. Herbir adımda dizayn edilen pasif filtrelerin harmonik bozulmalara ve sisteme olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca sistemin kısa devre gücünün değişmesinin harmonik bozulmalar üzerine olan etkisinde yapılan simülasyonlarla incelenmiştir. Baskın harmoniklere filtre uygulandığında diğer harmonik genliklerinde azaldığı görülmüştür. Sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güç kalitesi, Harmonik bozulma, Pasif filtreler, Tek ayarlı filtre.

1.Giriş

Elektrik güç sistemindeki nonlinear elemanlar, iletim ve dağıtım sistemlerinde ciddi bir harmonik kirliliğe neden olmakta ve tüketiciye verilen enerjinin kalitesini olumsuz etkilemektedirler. Teknik ve ekonomik pek çok etkisi olan harmoniklerin bu etkilerinin bilinmesi ve işletmelerde analizlerinin yapılması hem enerji kalitesi açısından hem de işletmenin sürekliliği açısından son derece önemlidir. Nonlinear yüklerin oluşturduğu harmonik akım bileşenleri, sistemde harmonik gerilimlerin oluşmasına neden olurlar. Harmonik gerilimler ise bu sisteme bağlı lineer ve nonlinear yükler üzerinden harmonik akımlar akıttırlar. Nonlinear yüklerin bulunması halinde çekilen harmonikli akımlarla, besleme noktası ile bu tip yükleri birbirine bağlayan baralar üzerinde harmonik gerilim düşümleri oluşacaktır. Harmonik bileşenlerin bu

olumsuzluklarının incelenmesi ve giderilmesi bakımından harmonikli sistemlerde detaylı analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir [1].

Harmonik problemlerini azaltmak ve güç kalitesi problemlerini iyileştirmek, için iki yaklaşım mevcuttur. Birinci yaklaşım yük şartlandırmadır. Bu, donanımın güç bozunumlarına karşı az hassas, olmak zorunda olmasını, belirgin gerilim veya akım bozunumları altında çalışmaya izin vermesini sağlamak anlamına gelmektedir. İkinci yaklaşım ise, güç sistemi bozunumlarını bastırmak için hat şartlandırma sistemleri kurmaktır. İkinci yaklaşım çok ilgi çekicidir [4]. Bunlar pasif ve aktif güç filtreleri olarak bilinir. Pasif filtreler endüstride en çok kullanılan filtrelerdir [2-3]. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha ekonomiktir [3]. Endüstriyel güç sistemlerinde harmonik azaltma tekniklerinin incelendiği çalışmada aktif ve pasif güç filtreleri incelenmiştir. Pasif filtrelerin diğer yöntemlere göre daha ekonomik olduğu ancak özel harmonik bileşenleri için dizayn edildiğinden dolayı değişen harmonik durumlarına adapte edilebilir olmadığı ifade edilmiştir. Aktif filtrelerin iyi bir sistem performansı ve akım harmoniklerinde azaltma sağladığı, fakat güç elektroniği tabanlı bir cihaz olduğundan dolayı pasif filtrelere göre çok pahalı olduğu ve küçük tesislerdeki uygulamalar için uygun olmadığı ifade edilmiştir [5]. Endüstriyel bir güç sisteminde harmonik azaltma çalışmasının sunulduğu çalışmada, tek ayarlı ve çift ayarlı filtrelerin harmonik eliminasyonundaki etkinliği incelenmiştir. Ayrıca çalışmada filtrelerin yerleşimi, güç kapasitörleri ve yük değişimlerinin harmonik bozulmalara etkisi de incelenmiştir. Sonuç olarak çift ayarlı filtrelerin harmonik bozulmaları azaltmada daha iyi bir performans sergilediği ifade edilmiştir [6]. Tek ayarlı ve C-tipi harmonik filtreleri için etkili ve geniş kapsamlı dizayn prosedürlerinin önerildiği çalışmada, alçak güç uygulamaları için yeni bir yüksek geçiren filtre topolojisi önerilmiştir [7].

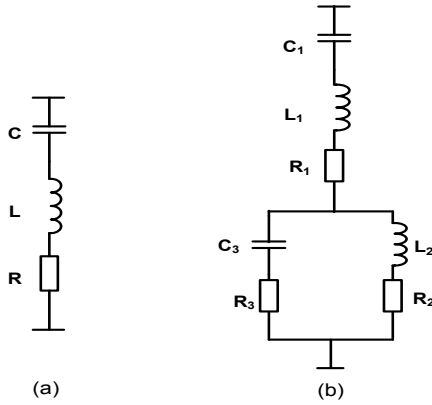
Orta gerilim seviyesinde olan endüstriyel bir sistem için kurulan farklı filtrelerin performansının karşılaştırıldığı çalışmada, farklı filtreler için hassaslık çalışmaları yapılmıştır [8].

Bu çalışmada orta gerilim seviyesinde olan endüstriyel bir sistem için harmonik analizi ve tek ayarlı pasif filtre dizaynı yapılmıştır. Sistemde bulunan nonlineer yük tarafından oluşturulan harmonikler için 2 farklı tek ayarlı filtre tasarımı yapılmıştır. Herbir filtre ayrı ayrı sisteme uygulanmış ve filtrenin harmonik bozulmalara olan etkisi incelenmiştir.

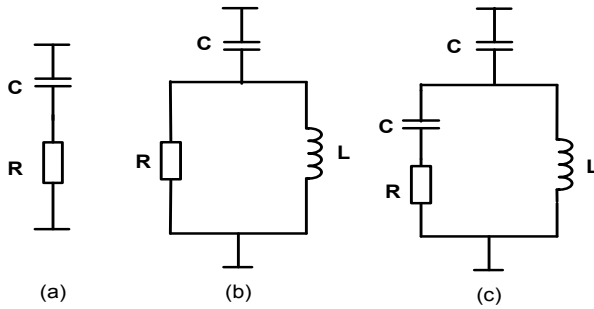
2. Pasif Filtreler

A. Devre Konfigürasyonları

Pasif filtreler R-L-C elemanlarından oluşmaktadır. Pasif filtrelerde amaç yok edilmek istenen harmonik bileşen frekansında rezonansa gelecek L ve C değerlerini belirlemektir [1]. Şekil 1 ve 2’de pasif filtrelerle ilişkin devre konfigürasyonları görülmektedir.



Şekil 1: Pasif ayarlı filtreler; a) Tek ayarlı b) çift ayarlı [9].



Şekil 2: Pasif yüksek geçiren filtreler; a) Birinci derece b) İkinci derece c) Üçüncü derece [9].

B. Tek Ayarlı Filtreler

Tek ayarlı filtreler ayarlandığı harmonik akımlarını etkin bir şekilde bastırmak için düşük bir empedans yolu olarak rol oynarlar [2]. Filtre empedansı aşağıdaki gibi ifade edilir [2].

$$Z = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \quad (1)$$

X_L ve X_C kapasitör ve indüktörün temel frekandaki

reaktansları olmak üzere filtre boyutu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$S = \frac{V_s^2}{X_C - X_L} \quad (2)$$

n. harmonik için ayarlanmış filtrenin endüktif ve kapasitif reaktansları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$X_o = n.X_L = \frac{X_C}{n} \quad (3)$$

Buradan, $X_L = \frac{X_C}{n^2}$ olur.

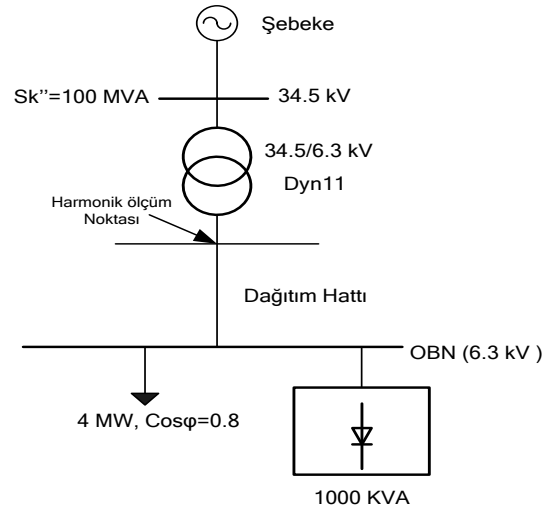
Filtre boyutu yeniden düzenlenirse;

$$S = \frac{V_s^2}{X_C (1 - \frac{1}{n^2})} \quad (4)$$

Filtrenin kalite faktörü (Q) ayar keskinliğini belirler. Bu açıdan filtreler düşük Q veya yüksek Q filtresi tipinde olabilir. Tek ayarlı filtrenin kalite faktörü denklem 5’teki gibi verilir [1,10].

$$Q = \frac{X_o}{R} \quad (5)$$

3. Benzetimi Yapılan Endüstriyel Sistem



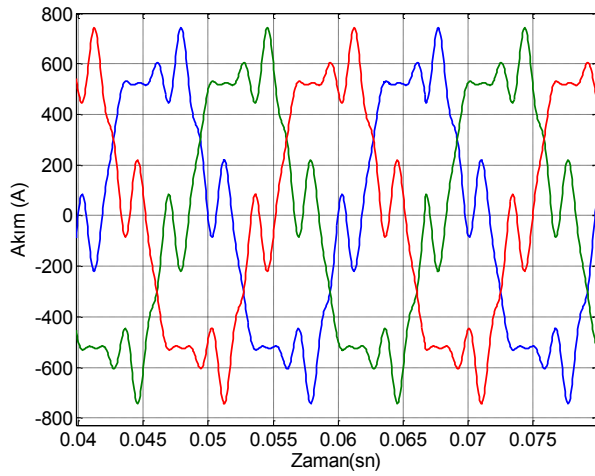
Şekil 3: Filtre uygulanan sistem

Bu çalışmada şekil 3’te yer alan sistem, MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. Sistemin filtre uygulanmadan önceki güç faktörü 0,8’dir. Filtresiz sistemin harmonik genlikleri tablo 1’de verilmiştir. Burada akımın harmonik

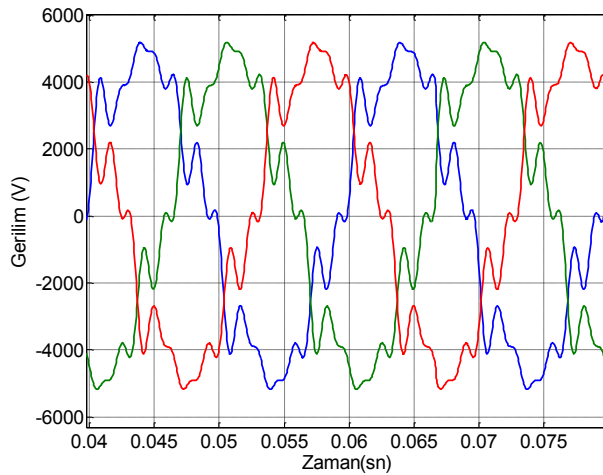
bozulmasının %27.45, gerilim harmoniklerinin ise %19.67 olduğu görülmektedir. Ayrıca sistemin akım ve gerilim dalga şekilleri şekil 4 ve 5'te akım ve gerilim harmoniklerine ilişkin bar grafikleri ise şekil 6 ve şekil 7 'de, verilmiştir.

Tablo 1: Filtrelemeden önceki harmonik genlikleri ve THD

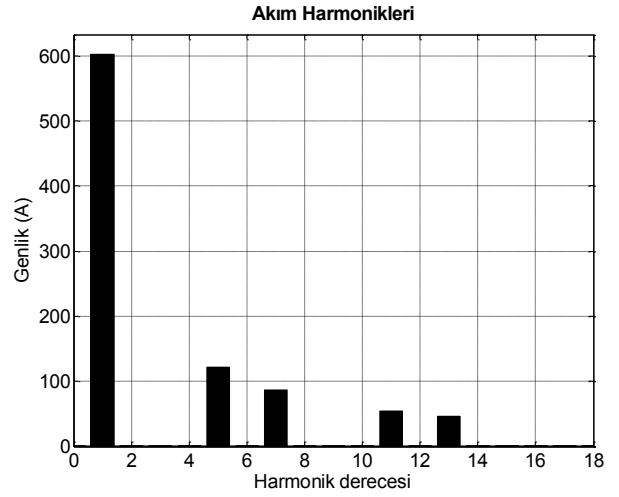
Harmonik	1	5	7	11	13	THD%
Akım (A)	602.75	121.31	86.34	55.13	46.49	27.45
Gerilim (V)	4784.63	471.04	469.43	471.61	470.50	19.67



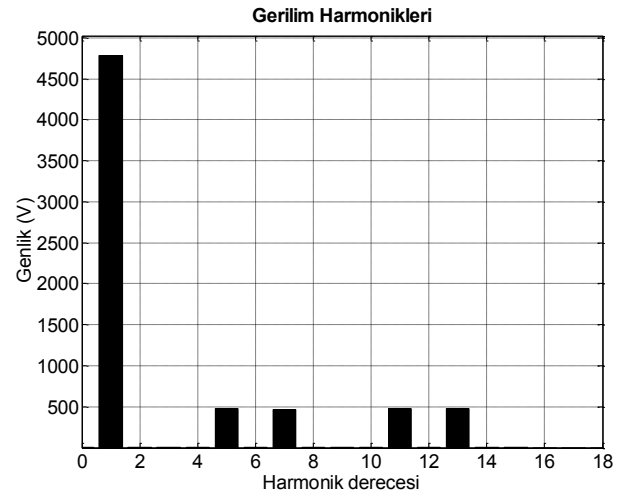
Şekil 4: Filtresiz sistemin akım dalga şekli



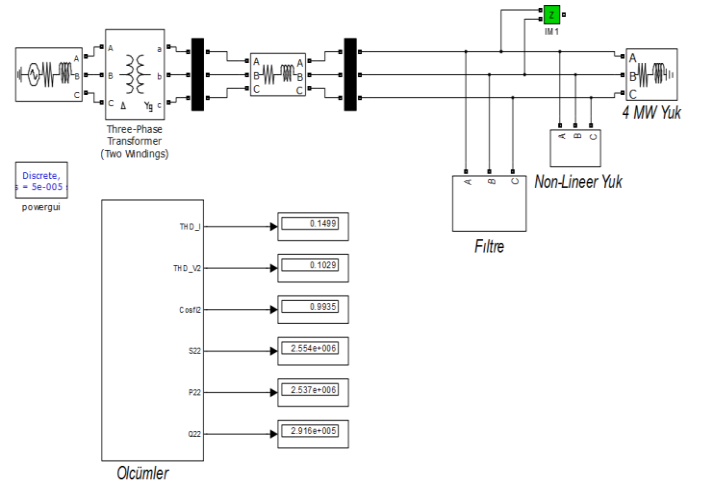
Şekil 5: Filtresiz sistemin gerilim dalga şekli



Şekil 6: Sistemin Akım Harmonikleri



Şekil 7: Sistemin Gerilim Harmonikleri



Şekil 8: Endüstriyel Sistemin Simulink Modeli

Endüstriyel sistemin simulink modeli şekil 8'de verilmektedir. Modelde yer alan non-linear yük akım kaynaklarıyla modellenmiştir. Ölçümler bloğunda sisteme ilişkin THD, $\cos\phi$ ve güç değerleri görülebilmektedir.

4. Tek Ayarlı Filtre Tasarımı Ve Uygulanması

Filtre tasarımı için ilk önce sistemin reaktif güç gereksinimi belirlenmelidir. Çünkü filtreler temel frekansta reaktif güç kompanzasyonunda kullanılmaktadırlar [1,2]. Reaktif güç gereksinimi aşağıdaki gibi hesaplanır [2].

$$Q_C = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (6)$$

Sisteme ilişkin güç faktörü 0.8'dir. Bu değer 0.95'e yükseltilecektir. Denklem 6'ya göre sistemin reaktif güç gereksinimi 1686 kVAR olarak hesaplanır. Reaktif güç değeri 1700 kVAR olarak alınmıştır. Buna göre gerekli kapasitörün reaktansı denklem 7'deki gibi hesaplanır [2,11].

$$X_C = \frac{V_s^2}{Q_C} \quad (7)$$

Denklem 3'ten ise filtrenin rezonans anındaki reaktansı hesaplanır. Tablo 1'de yer alan harmonik akım derecelerinin genlik değeri farklı olduğundan her bir paralel kol, tasarlandığı harmonik derecesinin genlik değerindeki akımı taşıyabilecek kapasitede tasarlanmalıdır. Bu sebepten sisteme bağlanması gereken toplam C değerinin kollara paylaştırılması denklem 8'deki gibi olacaktır [12].

$$C_n = C \cdot \frac{I_n}{I_h} \quad (8)$$

Tablo 3: Harmonik Analizi

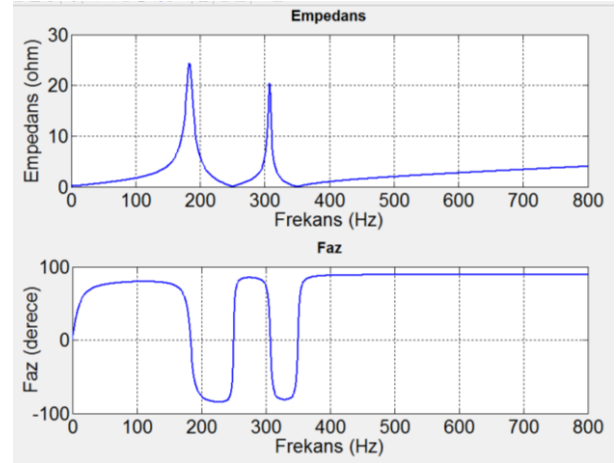
Harmonikler		1	5	7	11	13	THD	Cosφ
Filtresiz	Akım	602.75	121.31	86.34	55.13	46.49	%27.45	0.8
	Gerilim	4784.63	471.04	469.43	471.61	470.50	%19.67	
5th	Akım	521.42	1.69	35.08	29.01	25.29	%9.99	0.95
	Gerilim	4941.42	6.57	190.75	248.15	255.96	%8.18	
5th-7th	Akım	509.64	2.08	1.06	17.80	16.46	%4.78	0.99
	Gerilim	5004.18	8.07	5.79	152.34	166.58	%4.51	

Filtreler sisteme uygulandıktan sonra elde edilen harmonik genlikleri, THD değerleri ve güç faktörü değerleri tablo 3'te verilmiştir. Benzetimi yapılan sisteme filtre uygulamaları adım adım yapılmıştır. Sistemde filtre yokken akım harmoniklerinin THD değeri %27.45'tir. 5th filtresi sisteme uygulandığında bu değer %9.99'a düştüğü görülmektedir. Bununla beraber filtre uygulanmayan harmonik genliklerinde, filtresiz sisteme göre azaldığı gözlenmektedir.

Orta gerilim seviyesindeki bu endüstriyel güç sistemine sırasıyla 5th, 5th-7th harmonik filtreleri tasarlanmıştır. Buna göre tasarlanan filtre değerleri tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Filtre değerleri

Filtre	R(Ω)	L (H)	C (F)
5th	0.0467	0.0030	1.3634x10-4
5th-7th	0.0573	0.0036	1.1108 x10-4
	0.0575	0.0026	7.9057 x10-5

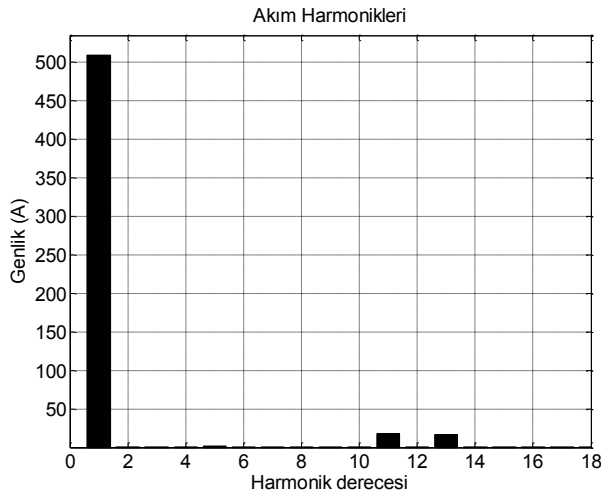


Şekil 9: Sisteme 5th-7th filtresi uygulandıktan sonra elde edilen empedans-frekans değişimi

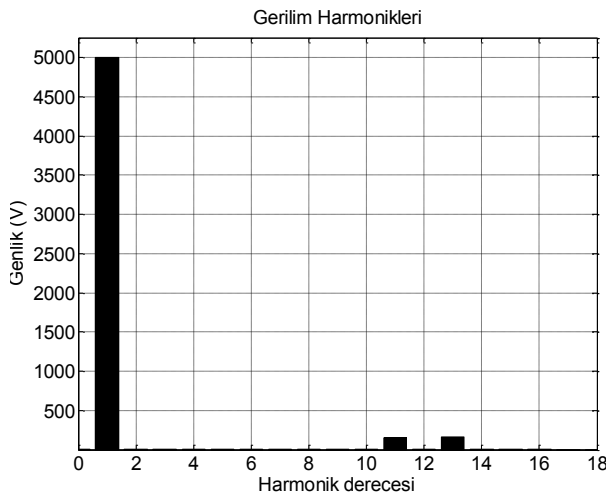
Örneğin 7th akım harmonik genliği filtresiz sistemde 86.34 A iken 5th filtresi uygulandığında bu değer 35.08'e düşmüştür. Gerilim harmonikleri içinde aynı şey söz konusudur. 5th-7th filtresi uygulandığında elde edilen empedans frekans değişimi şekil 9'da görülmektedir.

Tek ayarlı filtrenin temel frekansta yaptığı kompanzasyon etkisi tabloda net bir biçimde görülmektedir. Filtresiz sistemde akım değeri 602.75 A iken 5th filtresi uygulandıktan sonra bu değer

521.42 A olmaktadır. Kompanzasyonla beraber beklenildiği gibi akımın azaldığı, görülmektedir. Gerilimin temel bileşen değerinin ise 4784.63 V değerinden 4941.42 V değerine yükseldiği görülmektedir. Bununla beraber filtresiz sistemde 0.8 olan güç faktörü değeri artarak 0.95 olmuştur. Sisteme filtre eklendikçe akım ve gerilim harmonik genlikleri giderek azalmıştır. Sisteme 5th-7th filtresi uygulandığında akım harmoniklerinin THD değeri %4.78 olmuştur. Gerilim harmoniklerinin THD değeri ise %4.51'e düşmüştür. 5th filtresi uygulandıktan sonra temel bileşen gerilim değeri 4941.42 V (maksimum değer) iken 5th-7th filtresi uygulandıktan sonraki temel bileşen gerilim değeri 5004.18 V olmaktadır. Aradaki farkın harmonikler nedeniyle meydana gelen gerilim düşümünden kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 10 ve 11'de 5th-7th filtresi uygulandıktan sonraki harmonik genlikleri görülmektedir.



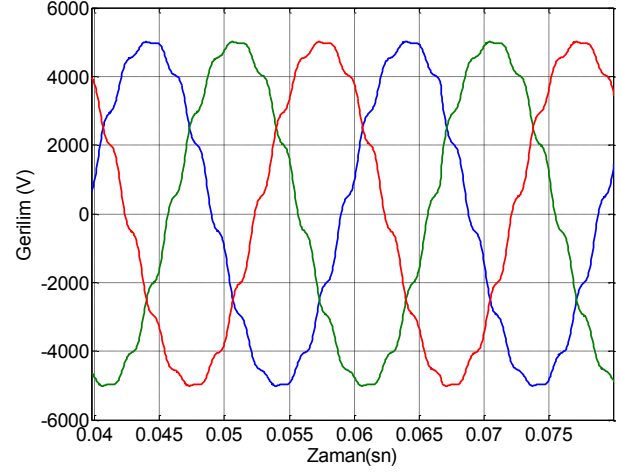
Şekil 10: 5th-7th filtresi uygulandıktan sonra sistemin akım harmonik genlikleri



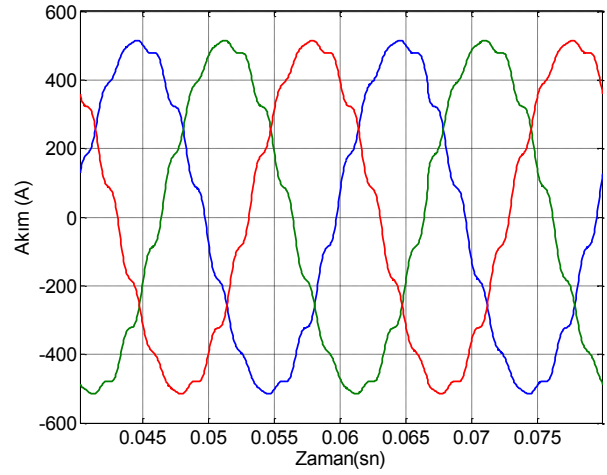
Şekil 11: 5th-7th filtresi uygulandıktan sonra sistemin gerilim harmonik genlikleri.

Şekil 12 ve 13'te 5th-7th filtresinin uygulanması

sonrasındaki akım ve gerilim dalga şekilleri görülmektedir. Görüldüğü gibi filtresiz sisteme göre akım ve gerilim dalga şekli düzelmiştir.



Şekil 12: 5th-7th harmoniklere uygulanan filtreden sonra gerilimin dalga şekli



Şekil 13: 5th-7th harmoniklere uygulanan filtreden sonra akımın dalga şekli

Tablo 4: Kısa devre gücünün harmonik bozulmalar üzerine etkisi

Kısa Devre Gücü (MVA)	THD _I (%)	THD _V (%)
50	26.98	24.52
100	27.45	19.67
300	27.78	16.35
500	27.85	15.68
700	27.88	15.39
900	27.9	15.23
1000	27.9	15.17

Filtresiz durum için kısa devre gücü değiştirildiğinde tablo 4'teki sonuçlar elde edilmiştir. Görüldüğü gibi kısa devre gücü arttıkça gerilim THD değeri yaklaşık %9 kadar bir azalma göstermiştir. Kısa devre gücünün artması sistemin gerilim profilini iyileştirmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada endüstriyel bir güç sistemi için harmonik analizi, tek ayarlı pasif filtre tasarımı ve MATLAB ortamında uygulanması gerçekleştirilmiştir. Tek ayarlı filtreler sisteme adım adım uygulanmıştır. Bunun sonucunda filtre uygulanmayan harmonik genliklerinde azaldığı görülmüştür. Filtrelerin uygulanması ile akım ve gerilim THD değerleri kabul edilebilir seviyelere gelmiştir. Tek ayarlı filtreler baskın olan harmonik derecelerine uygulanmalıdır. Ayrıca bu filtreler kompanzasyon işlemi içinde kullanılmaktadırlar. Tasarım eşitliklerinde sistemin kompanzasyon gereksiniminden faydalanılmaktadır. Tek ayarlı filtreler orta gerilim seviyesi için en ekonomik filtrelerdir. Sistemin kısa devre gücünün artması gerilimin THD değerini iyileştirmektedir.

Ekler

Güç Sistemine ilişkin parametreler

Kaynak Gerilimi	34.5 kV
Frekans	50 Hz
Transformatör Gücü	20 MVA
Dağıtım Hattı Empedansı	$R+jX=0.02+j0.04 \Omega$
Lineer Yük	4 MW
Non-lineer Yük	1000 KVA

Kaynaklar

- [1] C.Kocatepe, M.Uzunoğlu, R.Yumurtacı, A.Karakaş, O.Arıkan, *Elektrik Tesislerinde Harmonikler*, İstanbul: Birsan Yayınevi, 2003.
- [2] F. C. De La Rosa, *Harmonics And Power Systems*, Missouri, U.S.A. ,Taylor & Francis Group, LLC, 2006.
- [3] R.C.Dugan, M.F.McGranaghan,S. Santoso,H.W. Beaty *“Electrical Power Systems Quality, Second Edition”*,. McGraw-Hill,2004
- [4] M.Izhar, C.M.Hadzer, Syafrudin M, S.Taib and S.Idris,”Performance for Passive and Active Power Filter in Reducing Harmonics in the Distribution System”, National Power & Energy Conference (PECon) 2004 Proceedings, Kuala Lumpur, Malaysia.,104-108

- [5] P.P. Win “Harmonic Mitigation Techniques in Industrial Power System”,GMSARN International Conference on Sustainable Development: Issues and Prospects for the GMS 12-14 Nov. 2008
- [6] S.N. Yousif,M.Z.C. Wanik, A.,Mohamed,”Implementation Of Different Passive Filter Designs For Harmonic Mitigation”, ”, National Power & Energy Conference (PECon) 2004 Proceedings, Kuala Lumpur, Malaysia.,229-234
- [7] E. Pashajavid, M. A. A. Golkar, “Efficient procedures to design and characterize passive harmonic filters in low power applications”, Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on Bari,809-814
- [8] A. B. Nassif ,W.,Xu” Passive Harmonic Filters for Medium-Voltage Industrial Systems: Practical Considerations and Topology Analysis”Power Symposium, 2007. NAPS '07. 39th North American, Las Cruces,NM,301-307
- [9] H. Akagi,” Modern active filters and traditional passive filters”,Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences Technical Sciences Vol. 54, No. 3, 2006,255-269
- [10] J.Arrillaga,N.R. Watson, *Power System Harmonics second edition*,John Wiley,2003.
- [11] J. C. Das,”Passive Filters—Potentialities and Limitations”,IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 40, No. 1, January/February 2004, 232-241
- [12] M. Sucu, Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinin Bilgisayar Destekli Modellenmesi Ve Simülasyonu Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

3 FAZLI ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİ TASARIMI VE UYGULAMASI

Ersoy Beşer, Birol Arifoğlu, Sabri Çamur, Esra Kandemir Beşer

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi

ebeser@kocaeli.edu.tr, barif@kocaeli.edu.tr, scamur@kocaeli.edu.tr, esrakandemir@kocaeli.edu.tr

Özet

Bu çalışmada 3 fazlı çok seviyeli evirici tasarımına yer verilmiştir. Evirici yapısını oluşturan kısımlar detaylı olarak anlatılmış, anahtarlama yöntemi ve çalışma prensibi açıklanmıştır. Anahtarlama açılarının hesaplanmasında kullanılan yöntem ve bunun sonucunda elde edilen formüller ortaya konmuştur. Eviricinin ilk olarak simülasyonu yapılmış daha sonra prototipi imal edilerek laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Simülasyon çalışmasında elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Toplam harmonik bozunumu simülasyon çalışmasında hesaplanmış ve deneysel olarak ölçülen değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Tasarlanan evirici düşük harmonikli çıkış gerilimi üretmekte ve anahtarlama elemanları üzerindeki dv/dt gerilim stresini azaltmaktadır.

Anahtar Kelimeler : 1 Fazlı Çok Seviyeli Eviriciler, 3 Fazlı Çok Seviyeli Eviriciler, Eviriciler, Toplam Harmonik Bozunumu

1. Giriş

Eviriciler günümüzde birçok endüstriyel uygulama için vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Çeşitli motor tiplerinin denetiminde ve güç sistemlerinde eviriciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca akü sistemleri, yakıt hücreleri, güneş pilleri, rüzgar türbinleri veya mikro türbinlerin bir yükü veya şebekeyi beslediği sistemlerde de eviriciler ile sıkça karşılaşılmaktadır. Bu sebepten dolayı eviriciler üzerinde yapılan çalışmalar giderek artmakta ve buna bağlı olarak evirici teknolojisi hızlı bir şekilde gelişmektedir. Tüm yapılan çalışmalarda asıl hedeflenen, anahtar sayısını minimum seviyede tutarak, çıkış geriliminin ve yük akımının daha kaliteli olarak elde edilmesidir. Bu amaçla yapılan çalışmaların sonucu olarak birçok yeni yapı elde edilmiş ve bu yapılar üzerinde yeni anahtarlama teknikleri geliştirilmiştir. Çok seviyeli eviricilerde, seviye sayısı arttıkça çıkış geriliminin değişimi sinüs sinyaline daha çok benzemektedir [1]. Bu nedenle de kaliteli akım ve gerilim sinyallerine ulaşmak için çok seviyeli eviricilere olan ilgi artmış ve bu eviriciler üzerinde yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Son yıllarda alternatif akım güç kaynaklarındaki yüksek güç ve düşük harmonik talebi giderek artmaktadır. Bu kaynakların bir yükü veya şebekeyi beslediği durumda evirici çıkış geriliminin harmonik seviyelerinin çok düşük olması gerilim dalga şeklinin de tam sinüs formunda olması istenmektedir. [2,3] Bu da çok seviyeli evirici topolojileri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Literatürde yer alan çok seviyeli evirici topolojileri temel olarak diyot kenetlemeli, flying-kapasitörlü ve kaskat bağlı eviriciler adı altında üç grupta sınıflandırılabilir. Ayrıca literatürde kaskat transformatörlü ve kaskat bağlı yarım H-köprülü eviriciler de bulunmaktadır.

Çok seviyeli eviriciler kademeli gerilim seviyelerine sahip olduğundan anahtarlama elemanları üzerindeki dv/dt gerilim stresi azdır ve çıkış geriliminin kalitesi yüksektir. Darbe Genişlik Ayarı (DGA) eviricideki yüksek anahtarlama frekansı ve bu eviricilerin dv/dt gerilim stresinin yüksek olması sebebiyle düşük verim ve elektromanyetik etkileşim problemleri ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda yüksek anahtarlama frekans bileşenlerini azaltmak ve eviriciden sinüsoidal çıkış gerilimi elde etmek için çıkış filtresi kullanılması gerekir. Bu problemlerin önüne geçebilmek için çok seviyeli eviriciler klasik DGA eviricilere rakip olmuştur [4]-[6].

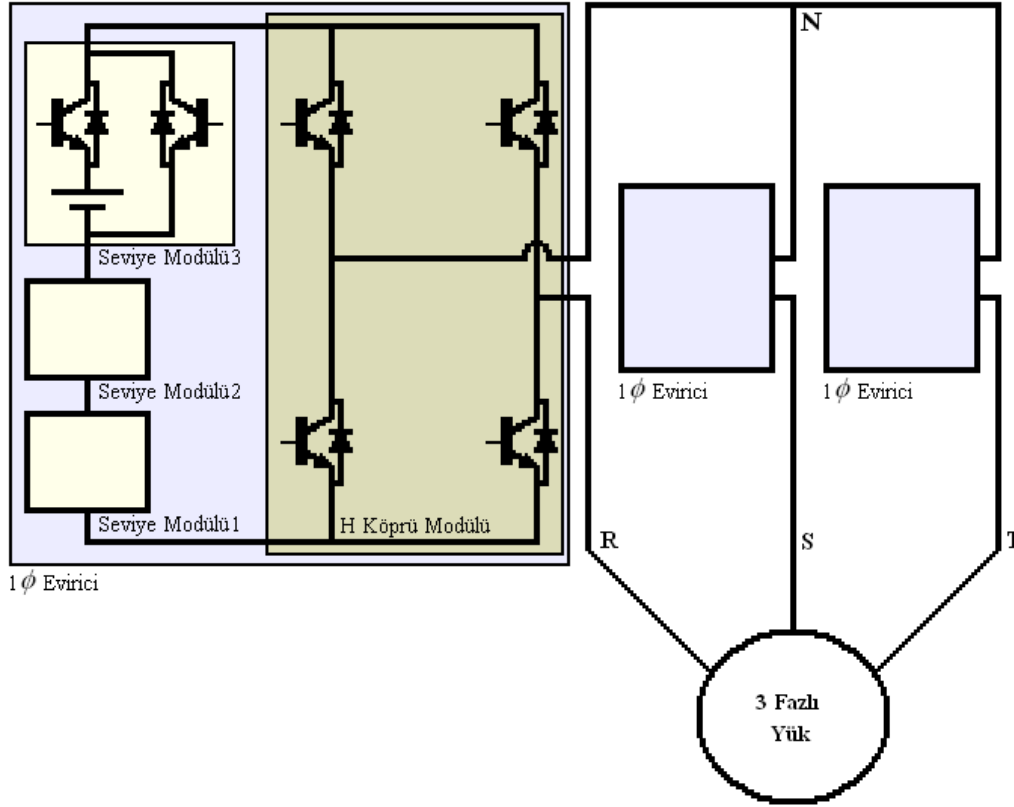
Evirici teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak, bu makalede 3 fazlı çok seviyeli yeni bir evirici yapısı ve bu yapıda kullanılacak anahtarlama yöntemi geliştirilmiştir. Evirici yapısını oluşturan kısımlar tanımlanmış, eviricinin çalışma prensibine yer verilmiştir. Gerilim seviye sayısının artırılmasına yönelik yapılması gereken işlemler anlatılmıştır. Geliştirilen yöntem ile anahtarlama açılarına göre anahtarlama fonksiyonları elde edilmiştir. Bu çalışmadaki yöntem en az anahtarlama elemanı kullanan yöntemlerden biridir ve H-Köprü eviriciler ile aynı sınıftaki birçok eviriciye göre harmonik bileşenlerini oldukça azaltabilmektedir. Geliştirilen eviricinin, gerilim dalga şekilleri simülasyon yolu ve deneysel çalışmalar ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen evirici yapısının ve anahtarlama yönteminin kalitesini ortaya koymaktadır.

2. Tasarlanan Çok Seviyeli Evirici Prototipinin Yapısı

Şekil 1’de tasarlanan 3 fazlı çok seviyeli evirici prototipinin prensip şeması görülmektedir. Evirici üç adet bir fazlı çok seviyeli eviricinin yıldız bağlanmasından meydana gelmektedir. Her fazda bulunan bir fazlı evirici ise temel olarak iki modülden

oluşmaktadır. Bunlar seviye modülleri ve H-köprü modülüdür. Tasarımda kullanılan bir fazlı eviriciler genişlemeye çok uygun bir yapıya sahiptir.

Yapılarında bulunan seviye modüllerinin sayısı artırılarak çıkış geriliminin seviye sayısı kolaylıkla artırılabilir. Şekil 1’de 3 fazlı eviricinin prensip şeması görülmektedir.



Şekil 1: 3 Fazlı eviricinin prensip şeması.

2.1. Seviye Modülü

Seviye modülü 2 anahtarlama elemanı ve 1 doğru akım kaynağından meydana gelmektedir. Her bir seviye modülünde bulunan kaynağın gerilimi,

$$2^{(k-1)} V_d \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemde k,

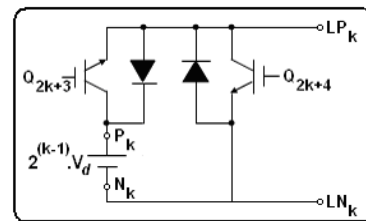
$$k = 1, 2, 3, \dots, m$$

olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca m, bir fazlı eviricilerde bulunan seviye modül sayısını, V_d ise birinci seviyenin gerilimini ifade etmektedir. V_d ,

$$V_d = \frac{2V_{\max}}{n_{fn} - 1} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Burada, $V_{\max}$ bir fazdaki yükün gerilim değişiminin maksimum değerini, n_{fn} ise faz-nötr geriliminin seviye sayısını ifade etmektedir. Şekil 2’de seviye modülünün prensip şeması görülmektedir.

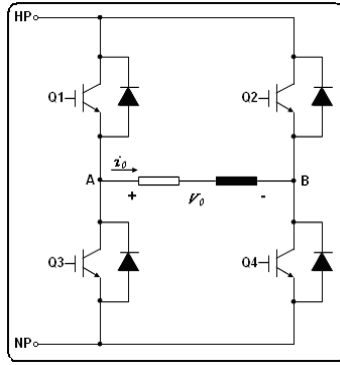


Şekil 2: Seviye modülünün prensip şeması.

2.2. H-Köprü Modülü

H-Köprü modülünün yapısı geleneksel H-Köprü eviricinin yapısı ile aynıdır. H-Köprü modülü evirici sistemi içerisinde sabit olan kısımdır ve Şekil 1’den

de anlaşılacağı gibi her fazda bir H-Köprü modül bulunmaktadır. H-Köprü modülünün prensip şeması Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3: H-Köprü modülünün prensip şeması.

Bu çalışmadaki çok seviyeli evirici yapısı, kaynak gerilimi değerlerinin binary sayı sisteminde olduğu gibi 2'nin katları şeklinde değişmesinden dolayı binary kaskat olarak isimlendirilecektir. Bu yapı sayesinde yardımcı anahtarlama elemanları ve bunlara bağlı kaynaklar artırılarak seviye sayısı kolaylıkla artırılabilir. Klasik çok seviyeli eviriciler ile karşılaştırıldığında, seviye sayısı arttıkça anahtarlama elemanı sayısındaki artış daha azdır.

Tablo 1'de çıkış gerilimi seviyesi ve anahtarlama elemanı sayısının kaskat bağlı seviye modüllerine göre değişimi görülmektedir.

Tablo 1: Çıkış gerilimi seviyesi ve anahtarlama elemanı sayısının seviye modüllerine göre değişimi.

Kaskat Seviye Modülü	SM 1	SM 2	SM 3	SM 4
Kaynak Oranı	V_d	$2.V_d$	$4.V_d$	$8.V_d$
	3 / 4			
	6 / 18			
Çıkış Seviyesi (Faz-Nötr / Faz-Faz)		7 / 12		
		8 / 24		
Anahtar Sayısı (1Faz / 3Faz)			15 / 24	
			10 / 30	
				31 / 48
				12 / 36

Tablo 1 incelendiğinde seviye modülü sayısı ile anahtarlama elemanı sayısı ve çıkış geriliminin seviye sayısı arasında bir bağıntı olduğu tespit edilmiştir. Bu bağıntılar denklem (3), (4), (5) ve (6)'da verilmiştir.

$$n_{fn} = 2^{(m+1)} - 1 \quad (3)$$

$$n_{ff} = \begin{cases} m=1 & 4 \\ m>1 & 3.2^m \end{cases} \quad (4)$$

$$r_{1\phi} = 2m + 4 \quad (5)$$

$$r_{3\phi} = 6m + 12 \quad (6)$$

Burada,

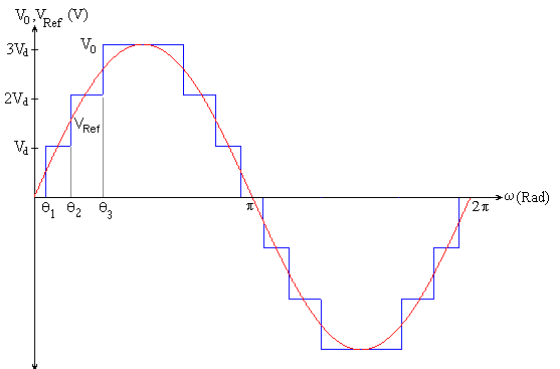
- n_{fn} : Faz-Nötr geriliminin seviye sayısını,
- n_{ff} : Faz-Faz geriliminin seviye sayısını,
- m : Seviye modülü sayısını,
- $r_{1\phi}$: 1 Fazlı eviricinin anahtarlama elemanı sayısını,
- $r_{3\phi}$: 3 Fazlı eviricinin anahtarlama elemanı sayısını,

göstermektedir. Bu çalışmada geliştirilen anahtarlama tekniğinde, tetikleme sinyalleri anahtarlama açıları hesaplanarak oluşturulmaktadır. Belirli bir frekans değerinde hesaplanan anahtarlama açılarına göre gerekli yarıiletken anahtarlama elemanları anahtarlansak çıkış gerilimi çok seviyeli olarak elde edilmektedir. Bahsedilen evirici topolojisinde anahtarlama açılarının hesaplanabilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle ait formül aşağıda verilmiştir.

$$\sin \theta_i = \frac{2i-1}{n-1} \quad (7)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, \left(\frac{n-1}{2}\right) \quad (8)$$

Bu çalışmada örneğin 7 seviyeli evirici için ($n_{fn}=7$) $i=1, 2$ ve 3 değerlerini alacaktır. Bu durumda θ_1 , θ_2 ve θ_3 anahtarlama açılarının hesaplanması gerekmektedir. Denklem (7) kullanılarak 7 seviyeli evirici topolojisinde kullanılacak olan θ_1 , θ_2 ve θ_3 anahtarlama açıları kolaylıkla hesaplanabilir. Bu topoloji için çıkış gerilimi, referans gerilim ve anahtarlama açıları Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5: Çıkış gerilimi (V_o), referans gerilimi (V_{ref}) ve anahtarlama açıları ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)

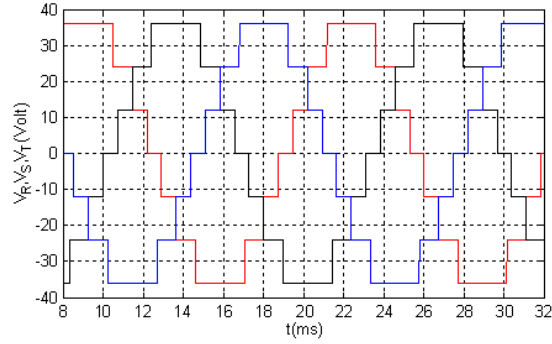
Çıkış gerilimi seviyesini arttırabilmek amacıyla evirici yapısına seviye modülleri eklenir ve istenilen seviye sayısındaki çıkış gerilim şekli elde edilmiş

olur. Bu esnada her durum için anahtarlama açıları hesaplanır.

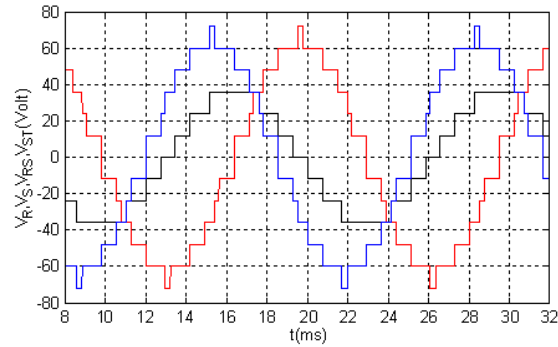
Gerilim seviyeleri elde edilirken, H-Köprü modülü ve seviye modüllerindeki gerekli anahtarlar belirlenen açı değerlerinde anahtarlmalıdır. Bu sayede 7 seviyeli gerilim ($0, \pm V_d, \pm 2V_d$ ve $\pm 3V_d$) uygun kaynak gerilimleri kullanılarak elde edilir.

3. Simülasyon ve Deneysel Çalışmalar

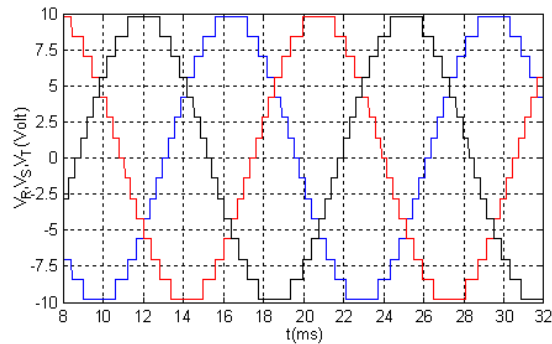
Tasarlanan çok seviyeli evirici prototipinin ilk olarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra evirici üretilerek bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Eviricinin kontrol sinyalleri, PIC 18F452 mikrodenetleyicisi ile denetlenmektedir. Yarıiletken anahtarlama elemanı olarak IRFP460 güç mosfetleri tercih edilmiştir. Çok seviyeli eviriciye ait simülasyon ve deneysel sonuçlar Şekil 6'da, toplam harmonik bozunum değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir.



(a) Simülasyon çalışması, V_R , V_S , V_T (7 Seviyeli)



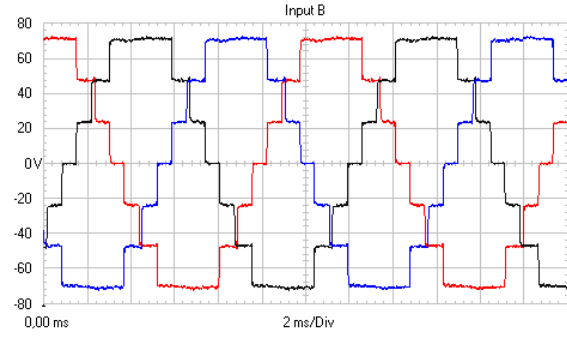
(c) Simülasyon çalışması, V_R , V_{RS} , V_{ST} (7 Seviyeli)



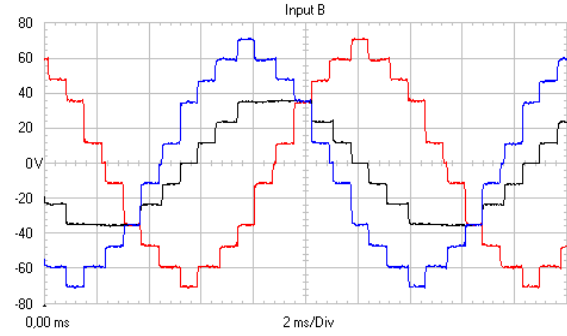
(e) Simülasyon çalışması, V_R , V_S , V_T (15 Seviyeli)

Tablo 2: Çıkış geriliminin toplam harmonik bozunumunun simülasyon ve deneysel çalışma sonuçları

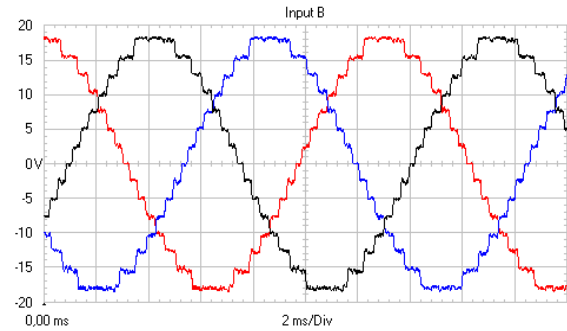
Toplam Harmonik Bozunumu (%)			
Faz - Nötr Gerilimi		Simülasyon	Deneysel
	3 Seviye	31.08	--
	7 Seviye	12.22	11.16
Faz - Faz Gerilimi	15 Seviye	5.66	4.66
	4 Seviye	31.08	--
	12 Seviye	10.10	10.18
	24 Seviye	4.07	3.60



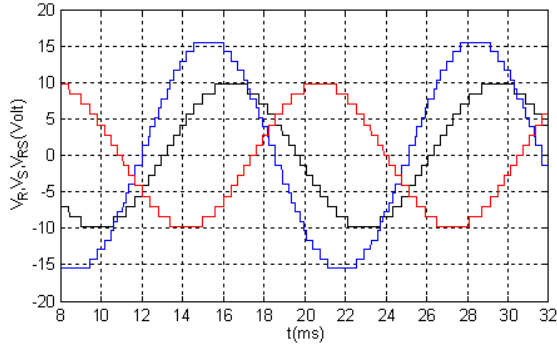
(b) Deneysel çalışma, V_R , V_S , V_T (7 Seviyeli)



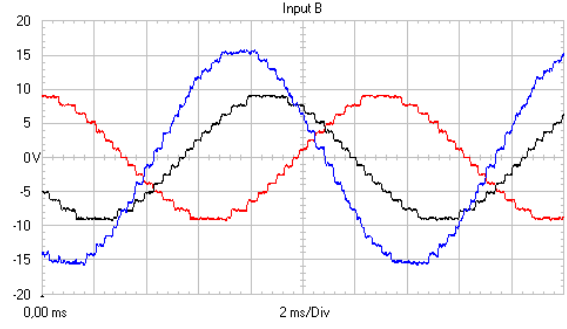
(d) Deneysel çalışma, V_R , V_{RS} , V_{ST} (7 Seviyeli)



(f) Deneysel çalışma, V_R , V_S , V_T (15 Seviyeli)



(g) Simülasyon çalışması, V_R , V_S , V_{RS} (15 Seviyeli)



(h) Deneysel çalışma, V_R , V_S , V_{RS} (15 Seviyeli)

Şekil 6: Çok seviyeli eviricinin çıkış gerilimlerinin zamana göre değişimleri.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, literatürde mevcut olan yöntemler geliştirilerek yeni bir yapı oluşturulmuştur. Anahtarlama açılarının hesaplanmasında kullanılan yöntem ve bunun sonucunda elde edilen formül ortaya konmuştur. Buna göre önerilen yöntem ile anahtarlama açıları kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Tasarlanan eviricinin genişlemeye çok uygun bir yapısı vardır. Eklenen kaynaklarla birlikte seviye sayısı katlanarak artmaktadır. Seviye sayısı arttıkça toplam harmonik bozunumunun azaldığı simülasyon ve deneysel sonuçlarda görülmektedir. Tasarlanan evirici, anahtarlama elemanları üzerindeki dv/dt gerilim stresini önemli ölçüde azaltmakta ve kaliteli çıkış gerilimi üretmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] Çamur S., Arifoğlu B., Beşer E. Kandemir and Beşer E., "Design and Application of a Novel Structure and Topology for Single-Phase Five-Level Inverter", *Wseas Transactions on Electronics*, 2006.
- [2] HUA, C.C., WU, C.H. and CHUANG, C.W., "Control of Low-Distortion 27-Level Cascade Inverter with Three H-Bridge Inverter Modules", *IEEE Power Electronics*, pp.277-282, 2006.
- [3] OZPINECI, B., TOLBERT, L.M. and CHIASSON, J.N., "Harmonic Optimization of Multilevel Converters Using Generic Algorithms", *IEEE Power Electronics Letters*, Vol.3, No.3, pp.92-95, 2005.
- [4] KANG, F.S., PARK, S.J., CHO, S.E., KIM, C.U. and ISE, T., "Multilevel PWM Inverters Suitable for the Use of Stand-Alone Photovoltaic Power Systems", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol.20, No.4, pp.906-915, 2005.
- [5] Colak I., Kabalci E., and Bayindir R., "Review of Multilevel Voltage Source Inverter Topologies and Control Schemes". *Energy Conversion and Management*, pp.1114-1128., 2011.
- [6] Teodoresco R., Blaabjerg F., Pederson J.K., Cengcelci E. And Enjeti P.N., "Multilevel Inverter by Cascading Industril VSI", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.49, No.4, 2002.

ÇOK DARBELİ DOĞRULTUCULARDA ÇOK SEVİYELİ AKIM ENJEKSİYONU İLE HARMONİK ELİMİNASYONU

A.Faruk Bakan (*), Halit Zengince (**), Özgün Girgin

* Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Müh. Bölümü 34349 Beşiktaş, fbakan@yildiz.edu.tr

** Esis Enerji ve Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş., zengince@esis.com.tr

ÖZET

Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan altı darbeli doğrultucular, özellikle yüksek güçlerde şebekede bozucu etkiler oluşturmaktadır. IEEE-519 ve IEC-61000-3-2 gibi uluslararası standartlarda şebekeden çekilen akımın toplam harmonik distorsiyonu (THDi) için tanımlanan limitleri sağlamamaktadır. Endüstriyel uygulamalarda enerji kalitesi yüksek doğrultucular her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Altı darbeli doğrultucuda THDi değeri %30 civarındadır. Tristörlü doğrultucularda THDi değerini azaltmak için darbe yani faz sayısı dolayısıyla transformatör ve tristör sayısının artırılması gerekmektedir. Altı darbeli doğrultucuların paralel veya seri bağlanması ile 12, 18, 24, 30, v.b. darbeli doğrultucular elde edilerek hem çıkış gerilimindeki dalgalanma hem de THDi değeri azaltılmaktadır. THDi değerinin düşürülmesi ve çıkış gerilimindeki dalgalanmanın azaltılması amacıyla kullanılan 12 darbeli doğrultucuda THDi değeri %15 civarındadır. Çok fazlı transformatör üretimindeki zorluklar ve tristör sayısındaki artışın sistem maliyet ve karmaşıklığını artırması nedeniyle faz sayısının daha fazla artırılması az tercih edilen bir yöntemdir. THDi değerinin azaltılması için 6 ve 12 darbeli doğrultucularda pasif filtre kullanılmaktadır. Bu filtrelerin maliyetleri sistem içinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada çok seviyeli akım enjeksiyon yöntemini (MLCR) kullanan çok darbeli dönüştürücülerin şebekeden çektiği akımlar ve THDi değerleri incelenmiştir. 6 ve 12 darbeli doğrultucular ile karşılaştırıldığında MLCR yöntemi ile gerçekleştirilen çok darbeli doğrultucuların düşük THDi değeri ve filtre maliyetlerini düşürmesi açısından oldukça avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Kalitesi, THDi, Çok Darbeli Kontrollü Doğrultucular, Çok Seviyeli Akım Enjeksiyonu (MLCR).

1. Giriş

Güç elektroniği dönüştürücüleri arasında en çok kullanılan dönüştürücü türü olan üç fazlı kontrollü doğrultucular, DC gerilim regülatörü, akümülatör şarjı, motor kontrolü, elektrolizle kaplama, kimyasal prosesler, dc ark fırınları v.b. gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal komütasyonlu dönüştürücüler grubuna giren kontrollü doğrultucularda genellikle güç elemanı olarak tristörler kullanılmaktadır. Güç elemanları arasında gerilim ve akım dayanımı açısından en yüksek değerlere sahip olan tristörler, doğal komütasyonlu

dönüştürücülerde ve özellikle yüksek güçlerde ekonomik ve dayanıklı olması nedeniyle diğer güç elemanları yerine tercih edilmektedir. Düşük güçlerde, klasik doğrultucular yerine IGBT güç elemanları ve yüksek frekans transformatörü içeren modern AC/DC dönüştürücüler kullanılmaktadır. Güç yoğunluğu, verim ve enerji kalitesi açısından çok iyi özelliklere sahip olan bu dönüştürücüler, klasik dönüştürücülere göre oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Modern doğrultucu sistemlerinde arıza oluşma riski tristörlü doğrultuculara göre daha yüksektir. Ayrıca modern doğrultucu sistemlerinde belirli bir güce kadar çıkılabilmektedir. Bunun ilk nedeni IGBT güç elemanlarındaki sınırlamalar, ikinci nedeni ise ferit malzemeden oluşan yüksek frekans güç transformatörünün yüksek güçlerde gerçekleştirilme zorluğudur. Bu nedenlerden dolayı genellikle endüstrideki doğrultucu ihtiyacı modern doğrultucu sistemleri yerine klasik doğrultucu sistemleri ile karşılanmaktadır.

Bir kontrollü doğrultucuda kullanılan tristör sayısına göre çıkış gerilimindeki darbe sayısı değişmektedir. 6 adet tristör kullanılarak gerçekleştirilen 6 darbeli kontrollü doğrultucu, basit yapısı ve dayanıklı olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Bu doğrultucuda izolasyon gerekli olduğunda ve gerilim uyumu açısından üç fazlı bir transformatör kullanılmaktadır. Doğrultucularda şebekeden çekilen harmonik güç ciddi problemlere yol açmaktadır. Ayrıca faz kontrol açısının artması ile şebekeden çekilen reaktif güç artmaktadır. Tristörlü doğrultucularda THDi değerinin azaltılması IEEE-519, IEC-61000-3-2 gibi uluslararası standartlara uygunluk ve enerji kalitesi açısından son derece önemlidir [2]. 6 darbeli doğrultucuda THDi değeri %30 civarındadır. THDi değerinin düşürülmesi ve çıkış gerilimindeki dalgalanmanın azaltılması amacıyla 12 darbeli doğrultucular kullanılmaktadır. Bu doğrultucularda, aralarında 30° faz farkı olan iki adet üç fazlı gerilim kaynağı ve 12 adet tristör mevcuttur. 12 darbeli doğrultucuda THDi değeri %15 civarındadır. Tristörlü doğrultucularda THDi değerini daha da azaltmak için darbe yani faz sayısını dolayısıyla transformatör ve tristör sayısı arttırmak gerekir. Çok fazlı transformatör üretimindeki zorluklar ve tristör sayısındaki artışın sistem maliyet ve karmaşıklığını artırması nedeniyle THDi değerinin azaltılması için faz sayısının artırılması genellikle tercih edilmemektedir. Bunun yerine pasif filtreler kullanılmaktadır. Pasif filtre elemanlarının doğal bir parçası olan kondansatörler ayrıca reaktif güç

kompanzasyonuna da katkı sağlamaktadır. Üç fazlı doğrultucularda THDi değerini düşürmek için literatürde bir çok yöntem geliştirilmiştir [3-19]. Son yıllarda yüksek akımlı redresörlerde çok fazlı DC kıyıcı kullanımı da dikkat çekmektedir. DC kıyıcı kullanıldığında reaktif güç kompanzasyonu ihtiyacı ortadan kalkmaktadır [7],[9].

Harmoniklerin bastırılması için aktif filtre de kullanılabilir [4]. Aktif filtreler yüksek maliyet ve karmaşık yapıları nedeniyle eleştirilmektedir [12]. Doğrultucularda ilave aktif ve pasif elemanlar kullanılarak harmonikler azaltılabilmektedir [3],[11],[17]. Fakat bu yöntemler yüksek güçlerde kullanım açısından oldukça karmaşıktır.

Literatürdeki çalışmalar arasında 12 darbeli bir doğrultucuya m adet tristör ve kuplajlı bir bobin ilave edilerek gerçekleştirilen 12xm darbeli dönüştürücü oldukça ilgi çekicidir [13]. Bu yöntem çok seviyeli akım enjeksiyon yöntemi (MLCR) olarak da bilinmektedir. Bu dönüştürücünün THDi değerinin son derece düşük olması filtre maliyetlerinin düşürülmesi açısından oldukça avantajlı görülmektedir.

2. Çok Darbeli Doğrultucular ve Harmonik Standartları

Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan diyotlu ve tristörlü doğrultucuların şebekeden çektiği akımlar IEEE-519 harmonik standartlarını sağlamamaktadır [1,2]. IEEE-519 standardında güç elektroniği dönüştürücüleri ve lineer olmayan yüklerin şebekeye verebilecekleri harmonik akım limitleri yüzdesel olarak Tablo 1’de gösterilmiştir.

Çok darbeli doğrultucular $n \times m \pm 1$ nolu harmonik akımlar üretmektedir. Burada n tamsayı ve m doğrultucudaki darbe sayısıdır. Örneğin 6 darbeli bir doğrultucuda 5, 7, 11, 13, 17, 19... nolu harmonikler bulunmaktadır. 6 darbeli bir doğrultucuda 5. harmoniği filtre etmek için 250 Hz’e ayarlanmış L ve C elemanları kullanılır. Her bir harmonik için ayrı ayrı filtre kullanılabilir. Filtre elemanlarının sayısını azaltmak için özellikle yüksek değerli harmoniklerde örneğin 17 ve 19 nolu harmoniklerin bastırılması için filtrenin merkez frekansı 18. harmoniğe denk getirilerek, 17 ve 19 için tek bir filtre kullanılır. Filtrenin toplam C değerine göre şebekeden çekilen toplam kapasitif güç değişir. Uygulamalarda doğrultucuların şebekeden çektiği reaktif gücün kompanzasyonu için genellikle ayrı bir kompanzasyon panosu kullanılmaktadır. Özellikle geniş bir aralıkta

faz kontrol açısının ayarlandığı kaplama amacıyla kullanılan doğrultucularda şebekeden çekilen çok yüksek reaktif güçler için kompanzasyon yapılması zorunlu hale gelmektedir.

Doğrultucuların THDi değeri ve çıkış gerilimindeki dalgalanma miktarı darbe sayısının artması ile azalmaktadır. 6 darbeli doğrultucuların paralel veya seri bağlanması ile 12, 18, 24, 30, v.b. darbeli doğrultucular elde edilerek çıkış gerilimindeki dalgalanma ve THDi değeri azaltılmaktadır. 6 darbeli iki doğrultucu kullanılarak gerçekleştirilen 12 darbeli doğrultucuda iki transformatör veya iki çıkışlı tek transformatör kullanılır. Transformatör faz gerilimleri arasında 30° faz farkı mevcuttur. Bu doğrultucunun akımı 6 darbeli doğrultucuya göre sinüsoidal daha yakındır. Ayrıca 12 darbeli doğrultucuda çıkış gerilimi 6 darbeli doğrultucuya göre daha düzgündür. Yüksek güçlerde yaygın olarak kullanılan bu doğrultucuda, 11 ve 13. harmonikler için genellikle ayrı ayrı pasif güç filtreleri kullanılmakta, kalan harmonikler yüksek geçiren filtre ile bastırılmaktadır.

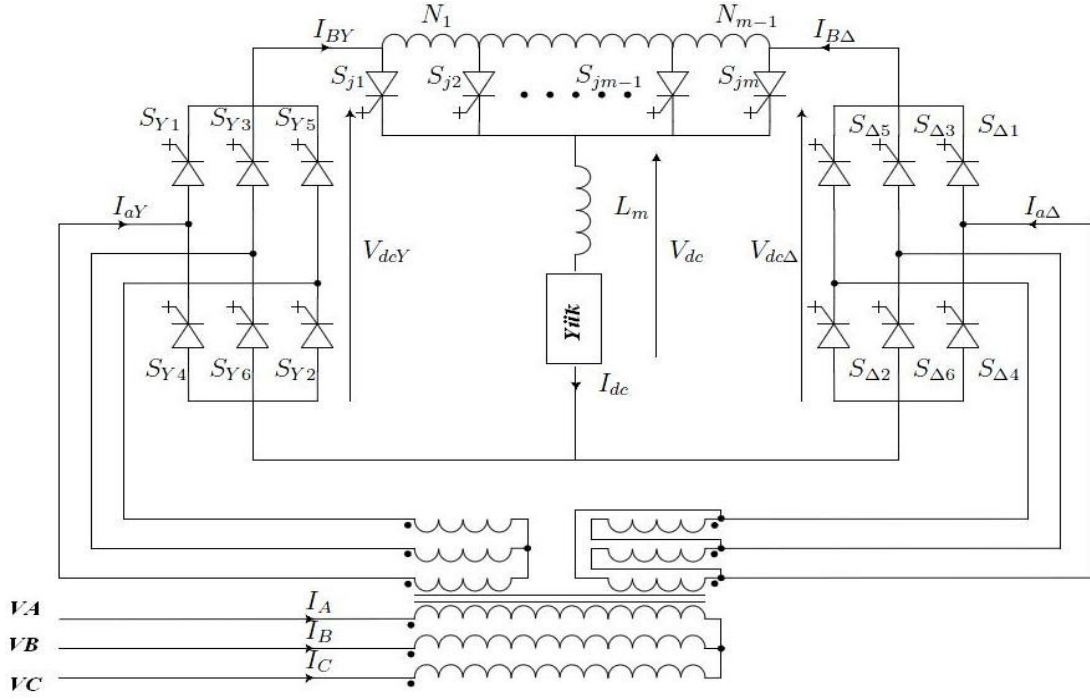
24 darbeli doğrultucu birbirinden 15° faz farkı olan 4 faz gerilimi, 48 darbeli doğrultucu birbirinden 7.5° faz farkı olan 8 faz gerilimi kullanır. Darbe sayısının 48’den fazla olması da mümkündür. Darbe sayısının artırılması ile tristör sayısı artmakta ve doğrultucu karmaşık hale gelmektedir. Ayrıca şebeke geriliminin THDi değerinin yüksek olması durumunda, akımın THDi değeri de artmaktadır. Bu durumda darbe sayısının artırılmasının THDi değerini azaltmaya bir katkısı olmamaktadır.

12 darbeli bir doğrultucuda kuplajlı endüktans ve m adet ilave tristör kullanılarak 12xm darbeli doğrultucu gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem çok seviyeli akım enjeksiyon yöntemi (MLCR-Multi Level Current Reinjection) olarak adlandırılır. MLCR doğrultucunun genel şeması Şekil 1’de ve MLCR doğrultucuda tristör tetikleme sinyallerinin üretilmesi Şekil 2’de gösterilmiştir. MLCR yöntemi ile 24, 36 ve 48 darbeli doğrultucuların gerçekleştirilmesi için sırasıyla 2,3 ve 4 adet ilave tristör gereklidir. Bu doğrultuculardaki THDi değeri darbe sayısının artması ile düşmektedir. Tristörlerin hızları darbe sayısının artırılmasında sınırlama oluşturmaktadır.

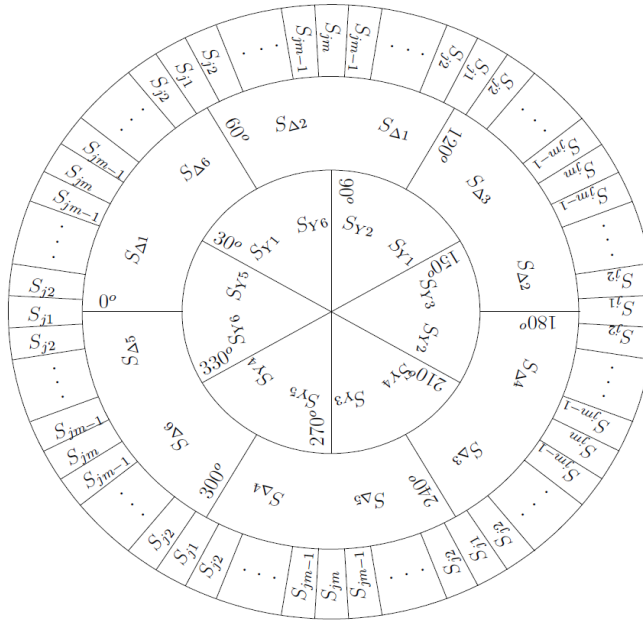
6 ve 12 darbeli doğrultucularda filtre elemanları kullanılarak $THDi < 5\%$ şartının sağlanması mümkündür. MLCR yönteminde ise filtre elemanlarına gerek duymadan veya çok az filtre elemanı ile bu şart sağlanabilmektedir.

Tablo 1. IEEE 519 harmonik limitleri

I_{sc}/I_1	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	THDi (%)
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0



Şekil 1. MLCR yöntemi kullanılan doğrultucu [13].

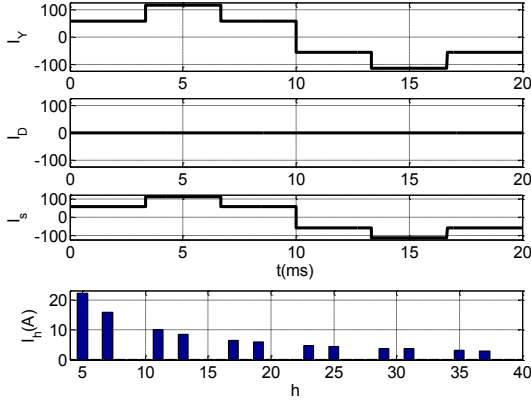


Şekil 2. MLCR yönteminde tetikleme sinyallerinin üretilmesi [13].

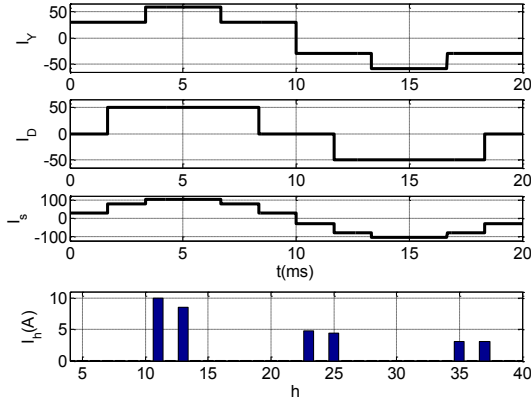
3. Çok Darbeli Doğrultucuların Şebeke Harmonikleri Açısından Karşılaştırılması

MLCR yöntemi kullanılan çok darbeli doğrultucular ile 6 ve 12 darbeli doğrultucuları karşılaştırmak üzere MATLAB programı ile simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlarda giriş gerilimi 220V, frekans 50Hz, çıkış gerilimi 110V ve çıkış akımı 100A seçilmiştir. Transformör dönüştürme oranı 220V $\pm$ %10 giriş geriliminde çalışacak şekilde belirlenmiştir. 6 darbeli doğrultucuda Y/Y transformör kullanılmıştır.

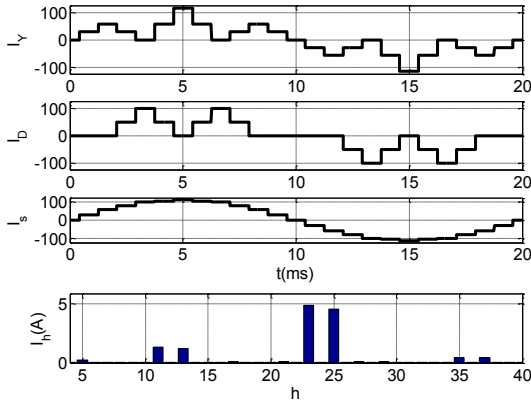
12 darbeli doğrultucuda Δ /Y ve Y/Y transformörler ile beslenen iki adet 6 darbeli doğrultucu ve akım dengeleme endüktansı bulunmaktadır. Doğrultucuları besleyen Y ve Δ transformör akımları (I_Y , I_D) ile şebekeden çekilen akım (I_S) değişimleri, şebekeden çekilen akımın harmonik spektrumu (I_h) ve THDi değerleri simülasyon ile elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları Şekil 3-7'de ve bu sonuçların özeti Tablo 2'de verilmiştir.



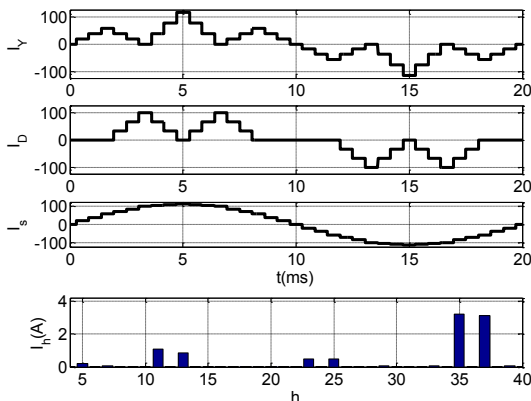
Şekil 3. 6 darbeleri doğrultucunun şebekeden çektiği akımlar ve harmonikler.



Şekil 4. 12 darbeleri doğrultucuda trafo akımları, şebekeden çekilen akımlar ve harmonikler.

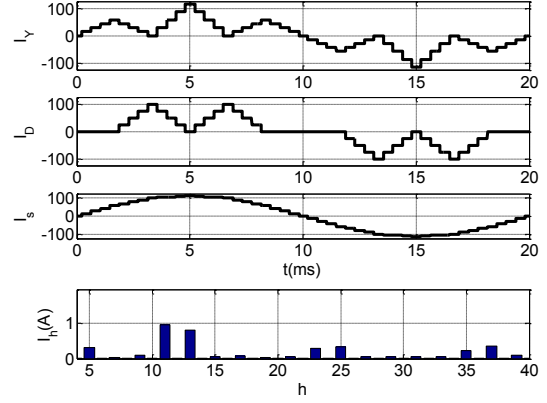


Şekil 5. 24 darbeleri MLCR doğrultucuda trafo akımları, şebekeden çekilen akımlar ve harmonikler.



Şekil 6. 36 darbeleri MLCR doğrultucuda trafo akımları,

şebekeden çekilen akımlar ve harmonikler.



Şekil 7. 48 darbeleri MLCR doğrultucuda trafo akımları, şebekeden çekilen akımlar ve harmonikler.

Tablo 2’de görüldüğü gibi 6 darbeleri bir doğrultucuda çok yüksek değerlere sahip 5,7,11,13.. nolu düşük harmonikler bulunmaktadır. Bu harmoniklerin bastırılması için gereken pasif filtrenin reaktif gücü oldukça yüksektir. Şekil 3’te görüldüğü gibi 6 darbeleri doğrultucuda bir tristörden geçen akım diğer doğrultuculardaki tristörlere göre iki kat fazladır. 12 darbeleri doğrultucuda 11 ve 13 nolu harmoniklerin değeri oldukça yüksektir. MLCR yöntemi kullanılan 24 ve 36 darbeleri doğrultucularda az miktarda filtreleme yapılarak $THD < 5\%$ şartı sağlanabilir. 48 darbeleri doğrultucuda ise harmonik filtre kullanmaya gerek olmadığı görülmektedir.

Tablo 2. Simülasyonu yapılan çok darbeleri doğrultucularda THDi ve harmonik akım değerleri

Darbe Sayısı (m)	6	12	24	36	48
THDi (%)	31.078	15.213	7.764	5.249	4.005
I_5 (A)	22.127	0	0.196	0.189	0.302
I_7 (A)	15.851	0	0	0	0
I_{11} (A)	10.043	10.007	1.340	1.080	0.964
I_{13} (A)	8.547	8.541	1.167	0.851	0.803
I_{17} (A)	6.489	0	0	0	0
I_{19} (A)	5.856	0	0	0	0
I_{23} (A)	4.789	4.764	4.885	0.461	0.287
I_{25} (A)	4.457	4.460	4.582	0.497	0.332
I_{29} (A)	3.792	0	0	0	0
I_{31} (A)	3.599	0	0	0	0
I_{35} (A)	3.137	3.116	0.409	3.189	0.235
I_{37} (A)	3.020	3.026	0.422	3.105	0.359

Çok darbeleri doğrultucu seçiminde filtre elemanları ile birlikte toplam maliyet ve karmaşıklık kriterleri ön plana çıkmaktadır. Filtre elemanları aynı zamanda doğrultucu sistemin bir parçası olarak düşünülmelidir. Şebeke ile filtre elemanları arasında rezonans oluşması önlenmeli ve tüm çalışma aralığında reaktif güç kompanzasyonu sağlanmalıdır. Çok darbeleri doğrultucunun gerçekleştirme zorluğu (tristör sayısı ve tetikleme devresi sayısı, hacim, kontrol devresi karmaşıklığı v.b.) aynı zamanda güvenilirlik açısından da değerlendirilmelidir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, şebekeden çekilen akım harmonikleri açısından çok darbeli doğrultucular karşılaştırılmıştır. Özellikle çok seviyeli akım enjeksiyon (MLCR) yöntemi kullanılan 48 darbeli doğrultucu, çok darbeli diğer doğrultucular ile karşılaştırıldığında oldukça avantajlı bulunmuştur. Klasik 48 darbeli doğrultucuda 48 adet faz gerilimi ve 48 adet tristör gereklidir. MLCR yönteminde ise 16 tristör ve iki transformatör kullanılarak aynı darbe sayısı ve harmonik standartlar sağlanabilmektedir.

6 ve 12 darbeli doğrultucularda filtre kullanılarak harmonik standartlarının sağlanması mümkündür. Filtre kullanımı sistemin hacim ve maliyetini arttırması ve kayıp oluşturmaları açısından dezavantaj olarak görülmektedir. Ayrıca filtre elemanlarının güç sisteminde rezonans oluşturma ihtimali de bulunmaktadır.

Yapılan incelemeler sonucunda özellikle yüksek enerji kalitesi istenen uygulamalarda çok seviyeli akım enjeksiyon yöntemi kullanılan 48 darbeli MLCR doğrultucunun diğer yöntemler içinde tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] D. E. Rice, "A detailed analysis of six-pulse converter harmonic currents," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 30, no. 2, pp. 294–304, Mar./Apr. 1994.

[2] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Standard 519, 1992.

[3] Kim S., Enjeti P.N., Packbush P., Pitel I.J.: 'A new approach to improve power factor and reduce harmonics in a three phase diode rectifier type utility interface', IEEE Trans. Ind. Appl., 1994, 30, (6), pp. 1557–1564

[4] Raju N.R., Venkata S.S., Kagalwala R.A., Sastry V.V.: 'An active power quality conditioner for reactive power, harmonics compensation'. Proc. IEEE PESC'95, 1995, pp. 209–214.

[5] Chi-Jui, W., Jung-Chen, C., Shih-Song, Y., Ching-Jung, L., Jin-Shyr, Y., Tzong-Yih, G., "Investigation and Mitigation of Harmonic Amplification Problems Caused by Single-Tuned Filters", Power Delivery, IEEE Transactions on, Volume 13, Issue 3, July 1998, Page(s):800–806, 1998.

[6] Choi S., Enjeti P.N., Lee H.H., Pitel I.J.: 'A new active interphase reactor for 12-pulse rectifiers provides clean power utility interface', IEEE Trans. Power Electron., 1996, 32, pp. 1304–1311

[7] P. S. Maniscalco, V. Scaini, and W. E. Veerkamp, "Specifying DC chopper systems for electrochemical applications," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 37, no. 3, pp. 941–948, May/Jun. 2001.

[8] M. Mazaheri, V. Scaini, and W. E. Veerkamp, "Cause, effects and mitigation of ripple from rectifiers," in Proc. IEEE PCIC, 2002, pp. 85–91.

[9] V. Scaini and T. Ma, "High current DC choppers in the metals industry," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 8, no. 2, pp. 26–33, Mar./Apr. 2002.

[10] Alexa, D., Sirbu, A., Dobrea, D. M., "An Analysis of Three-Phase Rectifiers with Near-Sinusoidal Input Currents", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Volume 51, Issue 4, Aug. 2004, Page(s):884–891, 2004.

[11] S. Fukuda and M. Ohta, "An auxiliary-supply-assisted twelve-pulse diode rectifier with reduced input current harmonics," in Proc. IEEE Inst. Aeronaut. Sci. Annu. Meet., Oct. 2004, vol. 1, p. 452.

[12] J. R. Rodriguez, J. Pontt, C. Silva, E. P. Wiechmann, P. W. Hammond, F. W. Santucci, R. Alvarez, R. Musalem, S. Kouro, and P. Lezana, "Large current rectifiers: State of the art and future trends," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, no. 3, pp. 738–746, Jun. 2005.

[13] Lasantha Bernard Perera, "Multi Level Reinjection AC/DC Converters for HVDC", thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy in Electrical and Computer Engineering at the University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. February 2006.

[14] Peterson M., Singh B.N.: 'Modeling and analysis of multipulse uncontrolled/controlled ac –dc converters'. Proc. IEEE ISIE'06, 2006, pp. 1400–1407

[15] Gomes de Freitas, L.C. Simoes, M.G. Canesin, C.A. de Freitas, L.C., "Performance Evaluation of a Novel Hybrid Multipulse Rectifier for Utility Interface of Power Electronic Converters" Industrial Electronics, IEEE Transactions on, pp 3030 - 3041 , Volume: 54 Issue: 6, Dec. 2007.

[16] Eltamaly, A.M., "A Modified Harmonics Reduction Technique for a Three-Phase Controlled Converter", Industrial Electronics, IEEE Transactions on pp 1190-1197, Volume: 55 Issue: 3, March 2008.

[17] Fukuda, S. Ohta, M. Iwaji, Y., "An Auxiliary-Supply-Assisted Harmonic Reduction Scheme for 12-Pulse Diode Rectifiers", Power Electronics, IEEE Transactions on pp 1270 - 1277 , Volume: 23 Issue: 3, May 2008.

[18] Harmonics, Fukuda, S. Hiei, I., "Auxiliary Supply-Assisted 12-Pulse Phase-Controlled Rectifiers With Reduced Input Current", Industry Applications, IEEE Transactions on pp 205 - 212 , Volume: 44 Issue: 1, Jan.-Feb. 2008.

[19] Shiyan Yang Fangang Meng Wei Yang, "Optimum Design of Interphase Reactor With Double-Tap Changer Applied to Multipulse Diode Rectifier", Industrial Electronics, IEEE Transactions on pp 3022 - 3029 , Volume: 57 Issue: 9, Sept. 2010.

4-KOLLU 4-TELLİ BİRLEŞİK SERİ-PARALEL AKTİF FİLTRE İLE 3-FAZ 4-TELLİ SİSTEMLERDE GÜÇ KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Mehmet Uçar¹

Şule Özdemir²

Engin Özdemir³

¹Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı, Uzunmustafa Mh., 81010, Düzce

^{2,3}Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Umuttepe, 41380, Kocaeli

mehmetucar@duzce.edu.tr

sozaslan@kocaeli.edu.tr

eoazdemir@kocaeli.edu.tr

ÖZET

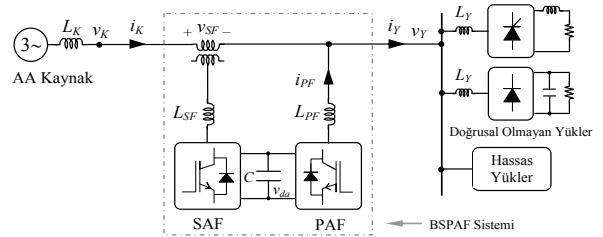
Bu çalışmada, 3-faz 4-telli sistemlerde hem şebeke hem de yük tarafında yüksek güç kalitesi sağlamak amacıyla 4-kollu 4-telli Birleşik Seri-Paralel Aktif Filtre (BSPAF) sisteminin denetimi ve uygulanması açıklanmaktadır. 4-kollu 4-telli BSPAF sisteminin denetimi için tek-faz veya 3-faz, sinüzoidal veya sinüzoidal olmayan, periyodik veya periyodik olmayan, dengeli veya dengesiz sistemlerde geçerli olan genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisi kullanılmıştır. BSPAF sisteminin gerçek zamanlı denetimi dSPACE DS1103 denetleyici kartı ile yapılmıştır. Laboratuvarında kurulan 3-faz 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi test platformu ile kaynak gerilim harmoniği ve aynı zamanda dengesiz-doğrusal olmayan akım kompanzasyonu deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif filtre, güç kalitesi, nötr akımı, dengesizlik, harmonik.

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinde, değişken hızlı motor sürücüler, hat komutasyonlu 3-faz tristör temelli doğrultucular, ark fırınları, kaynak makineleri, anahtarlamalı güç kaynakları gibi doğrusal olmayan yüklerin ve güç elektroniği dönüştürücülerinin yaygın kullanımı güç kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır [1,2]. Bu çalışmada, 3-faz 4-telli sistemlerde 4-kollu 4-telli BSPAF ile güç kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. BSPAF sistemi, ortak bir Doğru Akım (DA) barasına bağlı Paralel Aktif Filtre (PAF) ve Seri Aktif Filtre (SAF) olmak üzere iki güç elektroniği biriminden oluşmaktadır [3,4]. PAF birimi akım ile ilgili güç kalitesi problemlerini kompanze etmekte ve DA-bara gerilimini regüle etmektedir. SAF birimi ise gerilim ile ilgili güç kalitesi problemlerini ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede BSPAF sistemi ile üretim süreçlerinde, fabrikalar ve tesislerde üretkenliğin artırılması, etkinlik, güvenlik ve kalite unsurlarının iyileştirilmesi açısından oldukça iyi bir çözüm sunulmaktadır. 3-faz 4-telli uygulamalarda geleneksel 3-kollu 4-telli BSPAF sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Ancak DA barada iki kondansatör bulunan bu sistemlerde kondansatörler üzerindeki gerilimlerin dengelenmesi

problemi en önemli dezavantajdır. Bu çalışmada test edilen 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi ile dengesizlik durumunda ortaya çıkan nötr akımı ilave edilen dördüncü IGBT (insulated gate bipolar transistor) kolu ile kompanze edilmektedir. Şekil 1’de BSPAF sistemi genel blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 1. BSPAF sistemi genel blok diyagramı

2. DENETİM TEKNİĞİ

Bu bölümde, genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisi [6] ve bu teoremin 4-kollu 4-telli BSPAF sisteminin SAF ve PAF birimlerinde denetim tekniği olarak uygulanması açıklanmaktadır. Genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisinde hesaplanan anlık güç $p(t)$ ve $[t-T_c, t]$ zaman aralığında ortalama güç $P(t)$ sırasıyla (1) ve (2) denkleminde verilmektedir.

$$p(t) = v^T(t) i(t) = \sum_{k=1}^m v_k(t) i_k(t) \quad (1)$$

$$P(t) = \frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t p(\tau) d\tau \quad (2)$$

Anlık aktif akım $i_a(t)$ ve anlık aktif olmayan akım $i_{ao}(t)$ sırasıyla (3) ve (4) denklemlerindeki gibi belirlenmektedir. Referans gerilim $v_r(t)$ etkin değeri $V_r(t)$ (5) denkleminde verilmektedir.

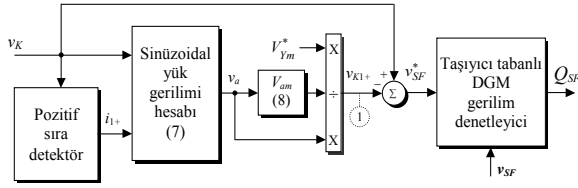
$$i_a(t) = \frac{P(t)}{V_r^2(t)} v_r(t) \quad (3)$$

$$i_{ao}(t) = i(t) - i_a(t) \quad (4)$$

$$V_r(t) = \sqrt{\frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t v_r^T(\tau) v_r(\tau) d\tau} \quad (5)$$

2.1. SAF Denetim Tekniği

Şekil 2’de SAF denetim blok diyagramı görölmektedir. SAF denetim stratejisinde, pozitif-sıra detektör, genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisi için referans akım $i_r(t)$ olarak kullanılacak yardımcı denetim sinyallerini (i_{a1+} , i_{b1+} , i_{c1+}) üretmektedir. Kaynak gerilimleri (v_{Ka} , v_{Kb} , v_{Kc}) ve referans akımlar (i_{a1+} , i_{b1+} , i_{c1+}) kullanılarak $[t-T_c, t]$ ortalama zaman aralığında ortalama güç değeri $P(t)$ (2) denklemi ile hesaplanmaktadır. Aynı zamanda bu referans akımın $i_r(t)$ etkin değeri $I_r(t)$ (6) denklemine verilmektedir. Sinüzoidal yük gerilimi $v_a(t)$ (7) denklemi ile elde edilmektedir [7].



Şekil 2. SAF denetim blok diyagramı

$$I_r(t) = \sqrt{\frac{1}{T_c} \int_{t-T_c}^t i_r^T(\tau) i_r(\tau) d\tau} \quad (6)$$

$$v_a(t) = \frac{P(t)}{I_r^2(t)} i_r(t) \quad (7)$$

Nominal yük gerilimini (v_{K1+}) elde etmek için Şekil 2’de göröldüğü gibi sinüzoidal yük gerilimi $v_a(t)$ (8) denklemi kullanılarak V_{am} genliğine bölünmekte ve nominal yük gerilimi genliği V_{Ym}^* ile çarpılmaktadır. Daha sonra kaynak geriliminden nominal yük gerilimi çıkarılarak (9) denklemi ile SAF kompanzasyon gerilim referansları (v_{SFa}^* , v_{SFb}^* , v_{SFc}^*) elde edilmiştir. SAF anahtarlama sinyalleri ise taşıyıcı tabanlı Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) tekniği ile üretilmiştir [7].

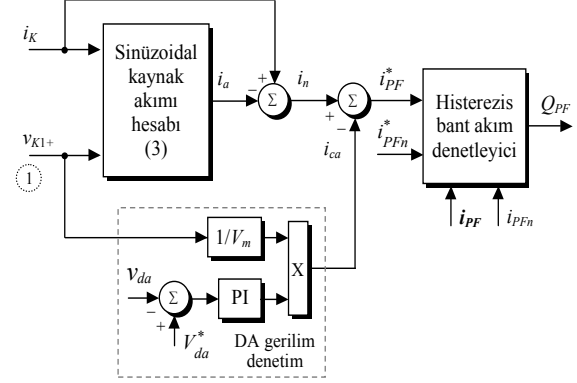
$$V_{am} = \frac{2}{3} \sqrt{v_{aa}^2 + v_{ab}^2 + v_{ac}^2} \quad (8)$$

$$v_{SF}^*(t) = v_K(t) - v_{K1+}(t) \quad (9)$$

2.2. PAF Denetim Tekniği

PAF denetim blok diyagramı Şekil 3’te gösterilmektedir. Yük akımları (i_{Ya} , i_{Yb} , i_{Yc}) ve temel pozitif-sıralı kaynak gerilimleri (v_{Ka1+} , v_{Kb1+} , v_{Kc1+}) kullanılarak $[t-T_c, t]$ ortalama zaman aralığında ortalama güç değeri $P(t)$ (2) denklemi ile hesaplanmaktadır. İstenilen sinüzoidal kaynak akımları (i_{Ya1+} , i_{Yb1+} , i_{Yc1+}) (3) denklemi kullanılarak elde edilmektedir. Anlık aktif olmayan akım $i_n(t)$ (4) denklemi ile hesaplanmaktadır. BSPAF sisteminin güç

kayıplarını ve geçici durumlarda DA-bara gerilim dalgalanmalarını kompanze etmek için gereken ilave aktif akım $i_{ca}(t)$ (10) denklemine verildiğı gibi ölçölen DA-bara gerilimi (v_{da}) değeri referans gerilimi (V_{da}^*) değeri regöle edilerek kaynaktan çekilmektedir.



Şekil 3. PAF akım denetim blok diyagramı

Şekil 3’te göröldüğü gibi DA-bara gerilimini (v_{da}) regöle etmek için PI denetleyici kullanılmıştır. Ölçölen DA-bara gerilimi ve referans DA-bara gerilimi arasındaki fark PI denetleyiciye uygulanmakta ve çıkış 3-faz birim genliğe sahip temel sinüzoidal dalga ile çarpılmaktadır. Sonuç olarak PAF’nin kompanzasyon referans akımları (i_{PFa}^* , i_{PFb}^* , i_{PFc}^* , i_{PFn}^*) (11) ve (12) denklemi ile elde edilmiştir. PAF anahtarlama sinyalleri ise histerezis bant akım denetleyici ile üretilmiştir.

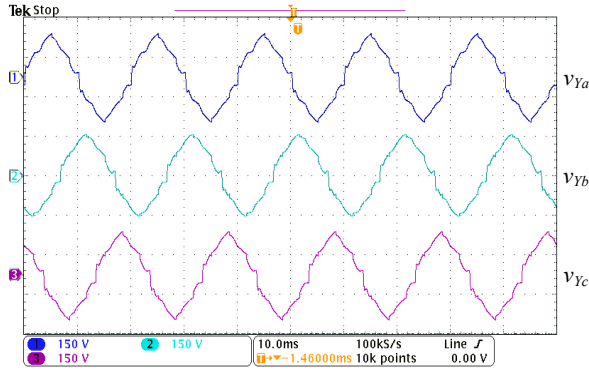
$$i_{ca}(t) = \frac{v_{SI+}}{V_m} [K_P (V_{da}^* - v_{da}) + K_I \int_0^t (V_{da}^* - v_{da}) dt] \quad (10)$$

$$i_{PF}^*(t) = i_n(t) - i_{ca}(t) \quad (11)$$

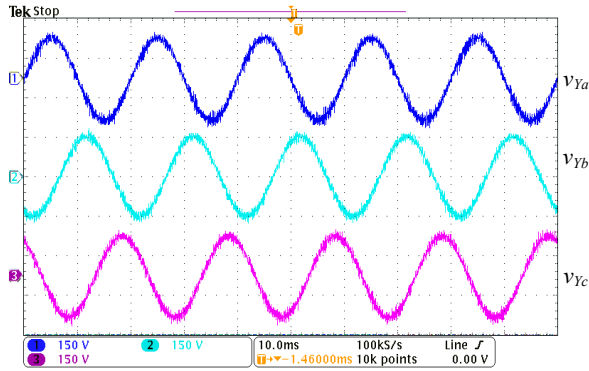
$$i_{PFn}^* = -(i_{PFa}^* + i_{PFb}^* + i_{PFc}^*) \quad (12)$$

3. DENEYSEL SONUÇLAR

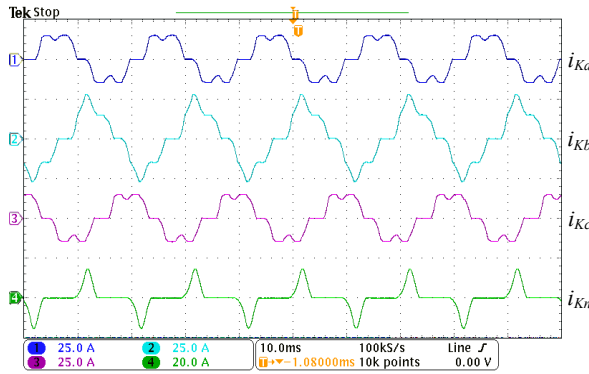
110 V_{rms} faz-nötr kaynak geriliminde tasarlanan 4-kollu 4-telli BSPAF güç ve denetim sistemi blok diyagramı Şekil 4’te gösterilmektedir. 4-kollu 4-telli BSPAF sisteminin (4-kollu PAF ve 4-kollu SAF birimlerinden oluşan) güç katında 8 adet yarım köprü IGBT modölleri kullanılmıştır. BSPAF sisteminin gerçek zamanlı denetimi dSPACE DS1103 denetleyici kartı ile yapılmıştır. Matlab/Simulink ortamında tasarlanan BSPAF sistemi denetim modelleri doğrudan dSPACE denetleyici donanımı ile uygulamaya aktarılmıştır. dSPACE DS113 kontrol geliştirme kartı kullanılarak üretilen anahtarlama sinyalleri ile IGBT’lerin sürölmesi için iki adet 6-kanal ve iki adet 2-kanal IGBT sürücü modöller kullanılmıştır.



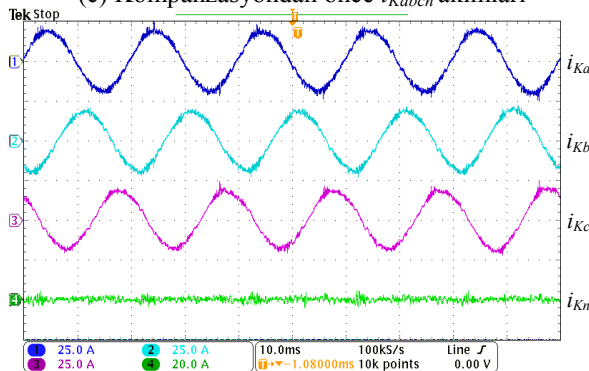
(a) Kompanzasyondan önce v_{Yabc} gerilimleri



(b) Kompanzasyondan sonra v_{Yabc} gerilimleri

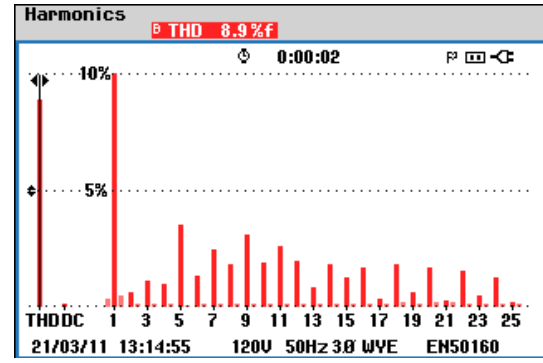


(c) Kompanzasyondan önce i_{Kabcn} akımları

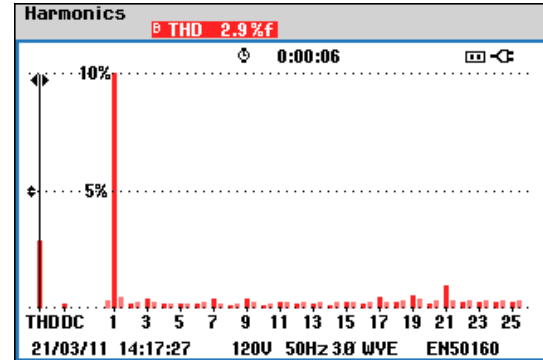


(d) Kompanzasyondan sonra i_{Kabcn} akımları

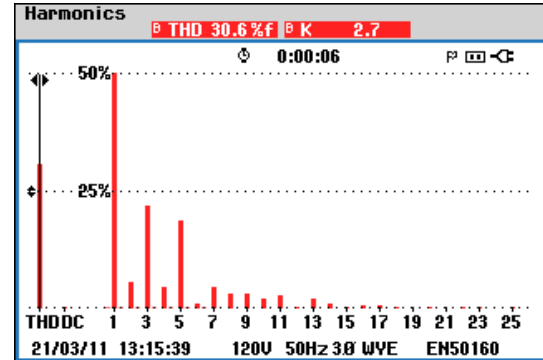
Şekil 5. Kaynak gerilim harmoniği ve dengesiz-doğrusal olmayan yük akımı kompanzasyonu deneysel sonuçları



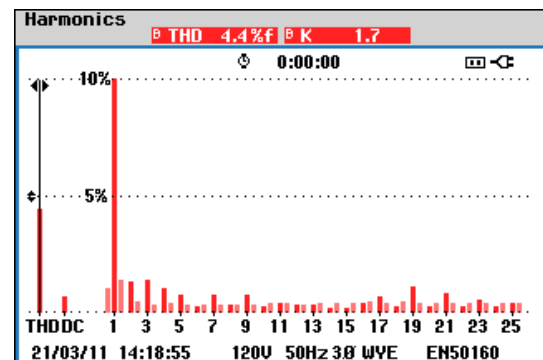
(a) Kompanzasyondan önce v_{Yb} gerilimi



(b) Kompanzasyondan sonra v_{Yb} gerilimi



(c) Kompanzasyondan önce i_{Kb} akımı



(d) Kompanzasyondan sonra i_{Kb} akımı

Şekil 6. Yük gerilimi ve kaynak akımı b -fazı harmonik dağılımı

Tablo 2’de 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi parametreleri ve Şekil 7’de ise laboratuvar test platformunun fotoğrafı görülmektedir.

Tablo 2. 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi parametreleri

Bileşenler		Sembol	Parametreler
Güç kaynağı	Gerilim	V_{Kabc}	110 V
	Frekans	f_K	50 Hz
	Empedans	L_K	59 μ H
DA-bara	Kondansatör	C	2350 μ F 2x4700 μ F seri
	Referans gerilim	V_{da}	350 V
PAF	Filtre	L_{PF}, L_{PFn} R_{PF}, C_{PF}	3 mH, 3 mH 5 Ω , 30 μ F
	Anahtarlama frekansı	f_{ap}	8 kHz
SAF	Filtre	L_{SF}, L_{SFn} R_{SF}, C_{SF}	1 mH, 1 mH 2 Ω , 80 μ F
	Anahtarlama frekansı	f_{as}	10 kHz
	Seri transformatör	N_1/N_2 S	2 5,4 kVA
Doğrusal olmayan yük-1	3-faz tristörlü	L_Y L_{da}, R_{da}	3 mH 5,7 mH, 15 Ω
	Tek-faz diyotlu	L_Y C_{da}, R_{da}	2 mH 330 μ F, 45 Ω
Doğrusal olmayan yük-2	3-faz diyotlu	C_{da}, R_{da}	8800 μ F, 15 Ω



Şekil 7. 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi laboratuvar test platformunun fotoğrafı

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi ile 3-faz 4-telli sistemlerde hem şebekeden hem de yükten kaynaklanan güç kalitesi problemlerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Denetim tekniği olarak tek-faz veya 3-faz, sinüzoidal veya sinüzoidal olmayan, periyodik veya periyodik olmayan, dengeli veya dengesiz sistemlerde geçerli olan genelleştirilmiş aktif olmayan güç teorisi kullanılmıştır. 3-faz 4-kollu 4-telli BSPAF sistemi test platformu ile gerçekleştirilen kaynak gerilim harmoniği ve aynı zamanda dengesiz-doğrusal olmayan akım kompanzasyonu deneysel sonuçlarına göre kompanzasyondan sonra kaynak akımları ve yük gerilimlerinin dengelendiği, nötr akımının azaltıldığı, güç faktörünün bire yaklaştırıldığı, akım ve gerilim THB değerlerinin ise IEEE 519 standardında belirtilen %5 sınırının altında olduğu gözlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından EEEAG 108E083 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Grady, W.M., Santoso, S., “Understanding Power System Harmonics”, *IEEE Power Engineering Review*, 21, (11), 8–11, 2001.
- [2] Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Santoso, S., Beaty, H.W., “Electrical Power Systems Quality”, *McGraw-Hill*, 2nd Edition, 2002.
- [3] Fujita, H., Akagi, H., “The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series and Shunt Active Filters”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 13 (2), 1998.
- [4] Ghosh, A., Ledwich, G., “A Unified Power Quality Conditioner (UPQC) for Simultaneous Voltage and Current Compensation”, *Electric Power Systems Research*, 59, 55–63, 2001.
- [5] Khadkikar, V., Chandra, A., “A Novel Structure for Three-Phase Four-Wire Distribution System Utilizing Unified Power Quality Conditioner (UPQC)”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 45 (5), 1897–1902, 2009.
- [6] Xu, Y., Tolbert, L. M., Peng, F. Z., Chiasson, J. N. Chen, J., “Compensation-Based Non-Active Power Definition”, *IEEE Power Electronics Letter*, 1 (2), 45–50, 2003.
- [7] Ucar, M., Ozdemir, S., Ozdemir, E., “A Four-leg Unified Series-Parallel Active Filter System For Periodic And Non-periodic Disturbance Compensation”, *Electric Power Systems Research*, 81, 1132–1143, 2011.
- [8] J.H. Kim, S.K. Sul, “A Carrier-Based PWM Method For Three-Phase Four-Leg Voltage Source Converters”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 19 (1), 66–75, 2004.
- [9] Yan Xu, “A Generalized Instantaneous Nonactive Power Theory for Parallel Nonactive Power Compensation”, *PhD. Thesis*, May, 2006.

G-LED UYGULAMALARI İÇİN GÜÇ KATSAYISI DÜZELTİCİLİ TEK KATLI AC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN AYRINTILI ANALİZİ

Hasan Yılmaz¹

Ahmet M. Hava²

¹Bahar Aydınlatma

Demirhenderek cad. No: 20 Siteler, Ankara

Hasan@baharaydinlatma.com.tr

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnönü Bulvarı, Balgat, 06531 Ankara

Hava@metu.edu.tr

Öz-- Bu makalede aydınlatma amaçlı G-LED'ler için yüksek verim ve güç kaliteli modern güç katsayısı düzelticili tek katlı AC/DC dönüştürücülerden üstün nitelikler taşıyan üç devre; kısmi-aktif, flyback ve SEPIC devreleri ayrıntılı incelenip, bilgisayar benzetimleri ile başarımları doğrulanacaktır. Devreler arasında boyut, eleman sayısı, güç katsayı, verimlilik, toplam harmonik bozulma değerleri incelenerek kıyaslama yapılacaktır. Devrelerin denetimi ve yüke bağlı başarımları değerlendirilecektir.

Anahtar sözcükler- AC/DC dönüştürücü, GKD, Tek-katlı devre yapıları, G-LED, güç kaynağı, LED sürme.

I. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler sonrasında yarı-iletken aydınlatma ürünü olan güç ledleri (G-LED), çeşitli aydınlatma alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. G-LED uzun ömürlü olması, kolay uygulanabilmesi, cıva içermemesi ve sürekli yükselen performansı ile geleneksel tip akkor lambalar ve verimli flüoresan lambaların yerini almaya başlamıştır.

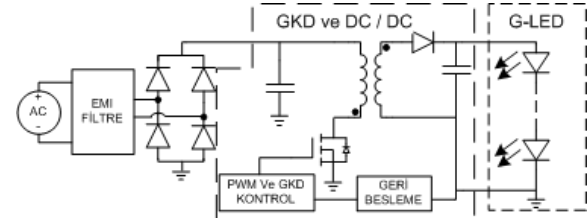
Verimli bir elektronik malzeme olan G-LED' in sürme devresi de aynı şekilde verimli olmalı ve bununla birlikte sunulan standartlara uygun, (Aydınlatma ürünlerinde kullanılan güç kaynaklarına yönelik standart olan IEC 61000-3-2[1-3]), G-LED yüküne göre sabit akım çıkış verebilmelidir.[4],[5]

Kaliteli enerji tüketimi sağlanması için şebekeden çekilen akımın giriş gerilimi gibi sinüs dalga şeklini takip etmesi gerekir. Bu şekilde güç katsayısı düzeltme (GKD) ve şebekeden çekilen akımın harmonik değerleri belirlenen standartlara uygun olması sağlanır. GKD uygulaması geleneksel tip güç kaynakları iki-katlı devre yapısı kullanılarak uygulanır; birinci kat aktif bir anahtar ile kontrol edilen yükseltme devresidir, ikinci kat ise diğer bir anahtar ile kontrol edilen DC/DC güç dönüşüm katından oluşur.

Modern GKD uygulaması enerji çeviriminde GKD ve dc/dc katmanını, tek anahtar ile kontrol ederek [6] ac/dc dönüşümünü tek-kat ile yapılması sağlanır

(Şek.1). Bu şekilde iki-katlı devre yapılarında bulunan yükseltme kısmı devreden çıkartılır ve doğru kontrol sistemi ile dc/dc dönüştürücü kısmı kontrol edilerek GKD sağlanır. G-LED için dc/dc çıkış bölümünde sabit akım verecek şekilde tasarlanmalıdır, dolayısıyla tasarlanacak tek-katlı dönüştürücüler de G-LED uygulamalarında belirli kısıtlara göre tasarlanmaları gerekir. Dc/dc dönüştürücüler arasında tüm devre yapıları G-LED uygulamalarında kullanılabilir ve birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunur.

Bu bildiride G-LED uygulamalarında kullanılabilecek ve diğer tek-katlı devre yapılarına göre avantajları olan kısmi-aktif, flyback, SEPIC dönüştürücülerinin detaylı olarak analizi yapılacaktır. Sunulan ikinci ve tamamlayıcı bir bildiri de ise G-LED uygulamaları, genel güç katsayısı düzeltimi, güç kalitesi, enerji verimliliğinin aydınlatma uygulamaları üzerinde ayrıntılı olarak bilgi verilecektir.

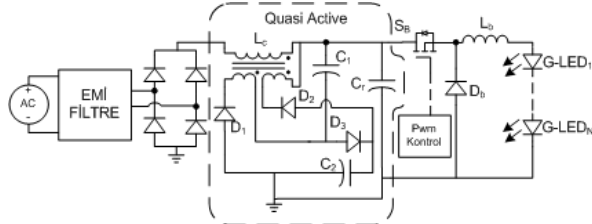


Şek. 1 Modern tek katlı AC/DC G-LED dönüştürücü

II.KİSMİ-AKTİF GKD DEVRESİ [7]

Şekil 2' de gösterilen tek-katlı kısmi-aktif GKD devre yapısı iki bölümden oluşmaktadır; GKD bölümü ve dc/dc dönüştürücü bölümü. GKD bölümü vadi-doldurma diyotları ve pasif elemanlardan oluşturulmuş, dc/dc bölümü ise G-LED uygulamalarına uygun bir dönüştürücü kullanılarak (buck, buck-boost, forward, flyback) kurulmuş, bu şekilde tek anahtar ile kontrol edilen tek-katlı bir ac/dc G-LED güç kaynağı üretilmiştir. Pasif devre elemanları kullanılması yüksek verimli, güvenilir ve kolay kontrol edilebilir bir devre yapısı

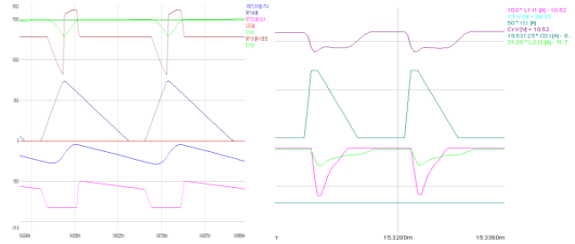
oluşturulmasını sağlar. Aynı zamanda aktif anahtarın dc/dc dönüştürücü bölümünde kullanılması, üzerinde GKD ve giriş akım stresi olmamasını sağlar.



Şek. 2 Kısmi aktif GKD devresi [9]

Devrenin doğru çalıştırılması için ikinci bölüm olan dc/dc dönüştürücünün tüm çalışma zamanı boyunca çektiği akımın kesintili olması gerekir. Benzetimde dc/dc bölümü akım kaynağı olarak modellenmiştir ve çekilecek güce göre kesintili bir darbe sinyali olarak ayarlanmıştır. Devre kontrol yapısı için de yaygın olarak kullanılan tepe akım sınırlama yöntemi sabit frekans içerisinde çalışacak şekilde ayarlanmıştır.

Devre çalışma şekli 2 kip içerisinde incelenir, direk-besleme kipi ve bağlaşık-yükseltme kipi. Şebeke geriliminin her bir depo kondansatör (C_1, C_2) geriliminden yüksek olduğu durum direk-besleme halidir. Dc/dc bölümünün akımı yükseldiği sırada şebekeden, bağlaşık bobinin birincil sargısından (L_1) geçecek şekilde akım akar, yük beslenir ve düşük bir değere sahip olan ($0.1\mu F$) tınlama kondansatörü (C_r) kısa sürede şarj edilir. Dc/dc bölümde anahtarlama yapıldığı anda, GKD bölümünün akımı kesilir, C_r kısa sürede C_1, C_2 değerine düşer ve şebeke C_1, C_2 kondansatörlerini şarj eder. Bu kip içerisinde L_1 üzerinden sürekli akım akar ve manyetik alanda enerji depolanır. Bu kip içerisinde bağlaşık bobinin ikinci ve üçüncü sargılarından (L_2, L_3) diyotlar sayesinde akım akmaz. Devre dalga şekilleri Şekil 3' de sol bölümde gösterilmiştir.



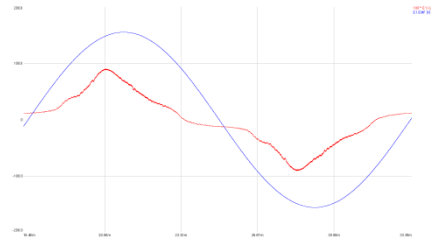
Şek. 3 C_1 gerilim, C_1 akım, DC/DC bobin (L_d) akım, L_2 akım, L_1 akım, D_3 akım. (Sol grafik: doğrudan iletim, sağ grafik: bağlaşık-yükseltme bölümü)

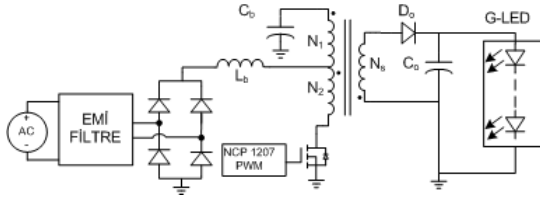
Şebeke geriliminin, C_1, C_2 ' den düşük bir değerde olduğu zaman devre ikinci kip olan, bağlaşık-yükseltme kipinde çalışır. Bu kip süresince GKD bölümünde manyetik alanda depolanan enerjinin, tınlama devresi yaratılarak C_1, C_2 ' ye aktarılması ve girişten akım çekilmesi sağlanır. Bu kip üç bölüm içerisinde incelenebilir. (Şek.3, sağ bölüm) Önceki kipteki gibi dc/dc bölümü kesintili kipte çalışmaktadır. GKD bölümünün çıkışında akım yükseldiği süre (

dc/dc bölümün iş süresi) boyunca L_1, C_1, C_2 değeri şebeke geriliminden yüksek olduğu için üzerinden akım akmaz ve L_2, L_3, C_1, C_2, C_r arasında tınlama devresi oluşur.

İkinci olarak, dc/dc bölümü kesintiye gittiği anda C_r üzerinde gerilim aniden düşer ve anlık olarak L_1 üzerinden akım akar ve şekilde de görüleceği gibi, L_1 sargısı üzerinden ani olarak akım yükselir ve dc/dc bölümün kesintide olduğu kısımda azalan bir akım ile şebekeden akım çekilir.

Devrenin parametrelerinden L_1, C_1, C_2 ve DC/DC bobin (L_d) değerleri ilgili makalede [9] prototipi üretilen devreden alınmıştır, bunun yanında C_r, L_2, L_3 sargı sayıları, giriş filtre elemanlarının değerleri aritmetik hesaplar ve benzetimdeki dalga şekilleri doğrulanacak şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan değerler ile Şekil 4' te gösterilen giriş gerilim ve giriş akım dalga şekilleri elde edilmiştir.





Şek. 5 Tek katlı flyback AC/DC dönüştürücü devresi [5]

Uygulanan devrede flyback trafosunun sarım şekli değiştirilmiştir, birincil bölümde sargının arasında bir noktaya, yükseltme bobininden bağlantı yapılarak, sargı iki kola ayrılır. Depo kondansatörü sargının uç noktası ile toprak arasına bağlanır. Normal bağlantıda gerilim değeri yüksek seviyelere ulaşabilir fakat bu tip bir bağlantı ile gerilim değeri belirli bir seviye altında tutulur.

A. DEVRE ÇALIŞMA ŞEKLİ

Giriş gerilimi birincil sargılar üzerindeki gerilimden daha yüksek bir değere ulaştığı zaman doğrultucu üzerindeki diyotlar (D_1, D_4) iletime geçer ve şebekeden akım çekilmeye başlar. İletim süresi; giriş gerilimi kondansatör üzerindeki gerilim’den az bir değere gelene kadar devam eder. Aynı prensip; devrenin negatif döngüsünde de mevcuttur, bu defa diğer iki diyot (D_3, D_2) iletime geçer.

Devre çalışması 5 kip içerisinde incelenebilir. İncelemede aktif eleman olan Mosfet, birinci anahtar, ikincil taraftaki diyot ise ikinci anahtar olarak nitelendirilecektir. İnceleme giriş geriliminin bir periyot içerisindeki pozitif döngüsü için detaylandırılacaktır.

Kip1: Başlangıç olan, $t = 0$ anında birinci anahtar iletime geçer, ikincil taraftaki diyot ters kutuplu bağlantıda olduğu için kesintidedir ve ikincil taraftan akım akmaz. Şebeke ve depo kondansatörü akımı toplamı (denk.1) ve eğimi V_b/L_m olan mıknatıslanma akımı ile flyback trafosunda enerji depolanır. (Depo kondansatör gerilimi, V_b)

$$i_M = i_{CB} + \left(\frac{N_1}{N_p}\right) i_{Lb} \quad (1)$$

Kip 2: Birinci anahtar $t=T_1$ anında kesilir, fakat anahtar üzerindeki parazitik kondansatör (C_p) sebebiyle, kısa bir süre boyunca i_M akımı artmaya devam eder. C_p gerilimi belirli bir değere ($V_b + nV_o$) ulaşınca bu kip sona erer.

Kip 3: İkinci anahtar $t=T_2$ anında iletime geçer ve trafo üzerinde depolanan enerji ikincil tarafa aktarılır. Bu süre boyunca şebekeden akım çekilmeye devam edilir, depo kondansatörü yükseltme bobini enerjisi bitene kadar azalan bir akım ile şarj edilir. Bu şekilde birinci anahtar kesimde olmasına rağmen ikinci tarafa enerji aktarılır. Normal flyback operasyonunda olmayan bu kip sayesinde enerjinin doğrudan yüke aktarıldığı zaman artırılır ve bu şekilde verim artar.

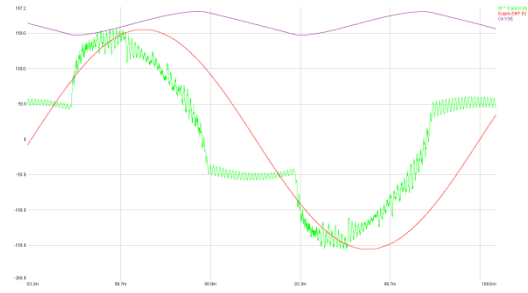
Kip 4: Yükseltme bobinin enerjisi $t=T_3$ anında biter ve yükseltme bobini için DCM kipinin ölü zamanı

başlar. Trafonun enerjisi bitene kadar ikincil tarafta akım akmaya devam eder.

Kip 5: Bu kip trafonun enerjisinin bitmesi ile başlar, ikinci anahtar kesime gider ve tümleşik devrenin özelliği ile oluşan C_b , L_m , C_p arasında tınlaşım devresi sayesinde, anahtar üzerindeki gerilim de dalgacıklaşma oluşur ve gerilim değeri sıfır değerine yakın bir değerde anahtarlama yapıldığı kadar beklenir. (Vadi anahtarlama).

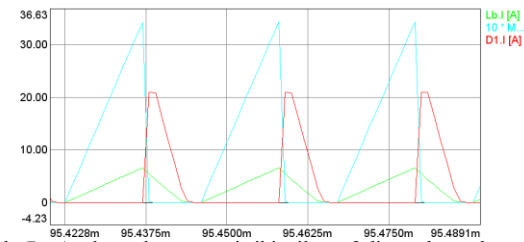
Aritmetik hesaplar ve teorik çalışma yöntemi benzetimlerde doğrulanmıştır. Benzetimde şebeke gerilimi 110 V, sinüs dalgası olarak ayarlanmıştır. Depo kondansatörü üzerindeki gerilim belirli bir değerden yukarı çıktığı zaman giriş bölümünden akım çekilmesi gerekmektedir. Örneğin N_1/N_p değeri 0.5 olduğu zaman; V_{n1} , 75 V olur. Şek. 5 grafiğinde; gerilim değeri 76 V üzerine çıktığı noktada, giriş akımının yükselmeye başladığı gösterilmiştir.

$$V_{n1} = \left(\frac{N_1}{N_p}\right) V_b \quad (1)$$



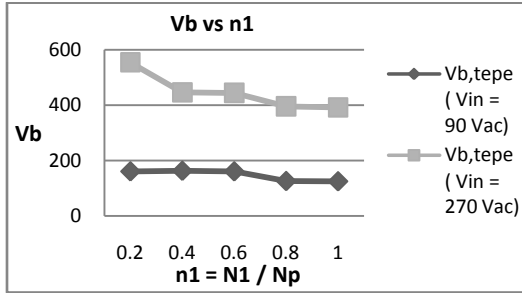
Şek. 6 Kondansatör gerilimi: mavi, giriş gerilimi: kırmızı, giriş akımı: yeşil

İkinci olarak yükseltme bobini ve trafonun çalışma şekli incelenmelidir. Şek. 6’ te görüleceği gibi L_b üzerindeki akım belirli bir süre boyunca devam etmektedir ve dönem bitiminden önce 0 değerine ulaşmaktadır; bu DCM kipinde çalıştığını gösterir. İkincil taraftaki diyot akımı izlendiğinde ise, dönem bitiminde diyot üzerindeki akım “0” değerine ulaşır ve aynı noktada bir sonraki anahtarlama dönemi başlar; bu şekilde devrenin ara bir hal olan DCM/CCM sınırında çalıştığını gösterir.



Şek. 7 Anahtar akımı: mavi, ikincil taraf diyot akımı: kırmızı, yükseltme bobin akımı: yeşil

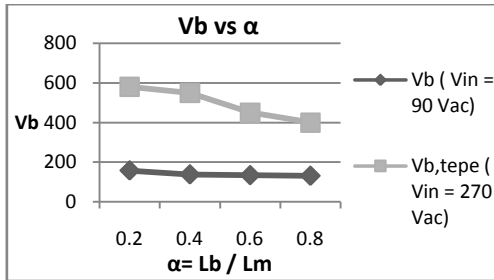
Devrenin çalışmasındaki kritik değerler; birincil bölümdeki sarım sayıları arasındaki orantı (N_1 / N_2) ve yükseltme bobini ile flyback trafosu mıknatıslanma bobini arasındaki orantıdır (L_b / L_m). Bu değişkenlerin devre çalışmasına etkisi grafiklerle (Şek.7, Şek. 8) gösterilmiştir.



Şek. 8 Depo kondansatörünün, flyback trafo birincil taraf sarım sayıları oranı, n_1 : N_1/N_p değerine göre davranışı

Şekil 7’ de görüleceği gibi n_1 sayısının, depo kondansatörünün gerilimi üzerinde önemli bir etkisi bulunur ve inceleme sonucu n_1 değerinde asgari bir değer oluşmaktadır, bunun sebebi kondansatör üzerindeki gerilimin, tepe noktasının 600 V olmasının, istenmeyen bir durum olmasıdır. Güvenlik katsayısıyla birlikte, yüksek gerilimde, n_1 değeri 0.6 üzerinde olmalı, düşük gerilimde ise bu değer 0.2 ile 1 arasında olmalıdır.

Devre çalışmasını etkileyen bir diğer faktör $\alpha = L_b/L_m$ değeridir. Yüksek gerilim ve düşük gerilim, uç noktalarında yapılan analizler Şekil 8’ de gösterilmiştir. Kondansatör gerilimini güvenilir noktalarda tutmak için; yüksek gerilimde α ’nın 0.5 ile 1, arasında; düşük gerilimde ise α ’nın 0.2 ile 1 arasında tercih edilmesi gerekmektedir.

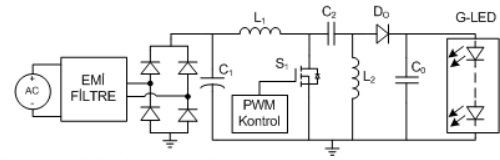


Şek. 9 Depo kondansatör geriliminin, alpha değerine göre değişimi

Devre benzetiminde toplam THB_i , GK ve verim değerleri tam yükte çalışmada %20, 0.85 ve %85 olarak bulunmuştur. Bu değerler uygulamanın yapıldı [10] ile uyumludur. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi uygun devre elemanları seçilmesi durumunda, prototipi yapılan devre klasik tip flyback devresine göre daha iyi performans sergilemekte, çift-katlı bir GKD devresine göre daha az devre elemanı içermektedir. Bunun yanı sıra, yüksek gerilim de tasarım zorlukları bulunmakta, bobinler arasındaki orantı devre çalışma şeklini doğrudan etkilemektedir.

IV. TEK KATLI SEPIC DÖNÜŞTÜRÜCÜ [12]

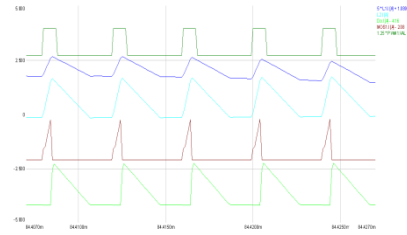
Tek katlı SEPIC devre yapısı Şekil 10’ da gösterilmektedir. Devre benzetimi için ilk olarak ISL6745 tümleşik devresi incelenmiş ve özel kontrol sistemi ile benzetim gerçekleştirilmiştir. SEPIC devresinin çalışma şekli, 3 bölüme ayrılır



Şek. 10 Tek katlı SEPIC devresi

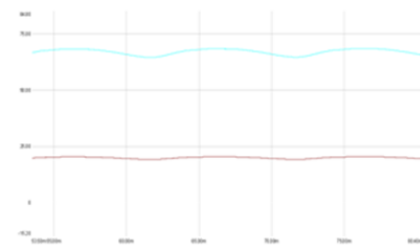
incelenmelidir; anahtar (Mosfet, S_1) iletimde, diyot (D_0) iletimde ve kesim kipi. Devre sabit frekans, DCM kipinde çalışır, çıkış akım hata sinyali oluşturulup, anahtarlama sinyalinin iş zamanı ayarlanır. C_1 kondansatörünün değeri düşük bir değerde olmalıdır, bu şekilde C_1 gerilim dalga şekli, giriş geriliminin doğrultulmuş hali olur. Yapılan teorik analizlerde, C_1 ve C_2 kondansatörlerinin üzerindeki gerilim aynı varsayıp hesaplamalar yapılmıştır ve benzetimde bu doğrulanmıştır; aksi takdirde C_2 değeri gereğinden büyük olması, gerilimin çok daha yavaş yükselmesini ve L_1 ’in sıfırlanma süresini değiştirir ve C_1 gerilim dalga şekli devreye bağımlı hale gelir.

Şekil 11’ de gösterildiği gibi devre elemanlarının çalışmasının doğrulanması için birkaç anahtarlama zamanı için akım dalga şekilleri gösterilmiştir. S_1 anahtarı ve diyot akım dalga şekillerinden devrenin DCM kipinde çalıştığı gösterilir.



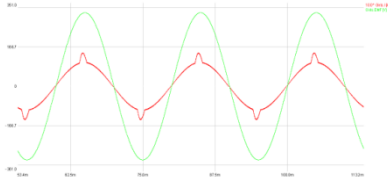
Şek. 11 Şekil 1 Tek aşamalı SEPIC dönüştürücü devre eleman dalga şekilleri (PWM darbe sinyali, L_1 akım, L_2 akım, anahtar akım, çıkış diyot akım)

Şekil 12’ de devrenin yük kısmının gerilim ve akım dalga şekli gösterilmektedir. Akım dalga şeklinde oluşan dalgacıklanma %10 ve ortalama akım değeri 400 mA olarak ölçülmüştür.



Şek. 12 Çıkış Gerilim (Mavi), Çıkış Akım (kırmızı)

Şekil 13’ de giriş gerilim ve giriş akım dalga şekli gösterilmiştir. Giriş akım dalga şekli sinüs dalga şekline sahiptir ve gerilim dalga şeklini takip etmektedir.



Şek. 13 Şekil 2 Giriş Gerilim, Giriş Akım Dalga Şekilleri

Devre benzetiminde toplam THB_i, GK ve verim değerleri tam yükte çalışmada %14, 0.95 ve %75 olarak bulunmuştur. Bu değerler uygulamanın yapıldı [12] ile uyumludur. Sonuçlardan da görüldüğü gibi yüksek güç katsayısı ve düşük harmonik bozulma sağlanır. Farklı yüklerle göre güç katsayısında bozulma olmaması ve kullanılan tümleşik devrenin ışık kısıklştırma özelliği ile uygulama odaklı bir devre yapısı oluşturulmuştur. Bunun yanında devreler arasında en çok devre elemanını bulundurması ve düşük verime sahip olması itibariyle dezavantajlı bir devredir.

Tablo 1. BENZETİM PARAMETRELERİ

DEVRE	Trafo	Kondansatör	Bobin
Flyback	Trafo : 615uH	Co=2mF/25V Cb=120uF/420 V	Yükseltme bobin; 110Vac:166uH220 Vac:415uH
SEPIC	L1 L2	C1:240nF,630V C2:0.1uF,630V C3:330uF C4:2.2uF Cer.	L1:820uH L2:82uH
Kismi Aktif	Akuple-bobin	C1:47uF,E-cap C2:47uF,E-cap Cr:20uF	Ld: 470uH (Buck Dönüştürücü)

V. SONUÇ

G-LED uygulamaları için yüksek verim ve giriş güç kaliteli üç devre olan kısmi-aktif, flyback ve SEPIC devrelerinin ayrıntılı benzetimleri yapıp, başarımları değerlendirilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu devreler geleneksel G-LED besleme kaynaklarına göre yüksek başarımlar göstermekte, verimleri de geleneksel GKD dönüştürücülerine göre daha iyi olmakta, bunun yanında maliyetleri de düşük olmakta, bu yüzden uygulama potansiyelleri yüksek bulunmaktadır. Üç devrenin de uygulama yerleri farklı olmalıdır. Maliyetin ve yük değişiminin önde olduğu uygulamalarda flyback devresi, maliyetin diğerlerine göre sorun olmadığı, geniş giriş geriliminde çalışacak, ışık kısma uygulaması olan, farklı yüklerde de yüksek güç katsayısı istenen uygulamalarda SEPIC devresi, yüksek verimli ve dc/dc katı tasarlanmış uygulamalarda ise kısmi-aktif devresi uygulanabilir.

Benzetimi yapılan devrelerin farklı yüklere göre detaylı olarak incelemesi, giriş gerilim değişimine

göre performansı, G-LED yüküne göre akım çıkışının değişiminin değerlendirilmesi, devre kontrol sisteminin, devre değerleri aritmetik olarak sabitlendikten sonra iyileştirilmesi gerekmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), International Standard IEC 61000-3-2, 2001.
- [2] Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), International Standard IEC 61000-3-2, 2001.
- [3] B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey, and D. P. Kothari, "A review of single-phase improved power quality AC-DC converters" *IEEE Trans. Indus. Electron.*, vol. 50, no. 5, pp. 962-981, October 2003.
- [4] Zhongming Ye, Greenfeld, F.; Zhixiang Liang, A topology study of single-phase offline AC/DC converters for high brightness white LED lighting with power factor pre-regulation and brightness dimmable, IECON 2008, Nov. 2008, pp 1961 – 1967.
- [5] B. Ackermann, V. Schulz, C. Martiny, A. Hilgers, X.Zhu, "Control of LEDs" IAS Conference, 2006. 41th IAS Annual Meeting. Conf. Rec. of the 2006 IEEE Oct. 2006.
- [6] Heinz van der Broeck, et al., "Power driver topologies and control schemes for LEDs", IEEE APEC 2007, Feb. 2007, pp. 1319-1325.
- [7] C. Qiao and K. M. Smedley, "A topology survey of single-stage power factor corrector with a boost type input-current-shaper," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 16, no. 3, pp. 360–368, May 2001.
- [8] K. Zhou, J. G. Zhang, and S. Yuvarajan, "Quasi-active power factor correction circuit for HB LEDdriver," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, no. 3, pp. 1410 - 1415, May 2008.
- [9] D. F.Weng, "Quasi-active power factor correction circuit for switching power supply," U.S. Patent #6 909 622, Jun. 2005.
- [10] Y. Hu, L. Huber and M. M. Jovanovic, "Single-stage flyback power-factor-correction front-end for HB LED application," *Proc. of IAS 2009*, Oct. 2009.
- [11] ON Semiconductor, "90 W, universal input, single stage, PFC converter," [www.onsemi.com/pub_link/Collateral/ AND8124-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AND8124-D.PDF), Dec. 2003.
- [12] Z. Ye, F. Greenfeld, and Z. Liang, Design considerations of a high power factor SEPIC converter for high brightness LED applications, , Power

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİNİN ŞEBEKEYE ENTEGRASYONUNDA AKILLI ŞEBEKELERİN ROLÜ VE GELECEK ÖNGÖRÜLERİ

Yavuz Ateş, Mehmet Uzunoglu, Recep Yumurtacı

Yıldız Teknik Üniversitesi

yates@yildiz.edu.tr, uzunoglu@yildiz.edu.tr, ryumur@yildiz.edu.tr

Özet

Dünya çapında başlatılan projeler enerjinin artık ülkesel yapıdan çok global yapıda iletim ve kullanıma sahip olacağını göstermektedir. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi ile ilgili önemli yatırımlar gerçekleştirilmektedir. Bu yatırımlar tasarlanırken planlanması gereken sadece üretim birimleri değil; bu enerjinin aynı zamanda iletimi ve dağıtımı da olmaktadır. Tüm yapının birbirine uyumlu olması ve yeni enerji kaynaklarının entegrasyonu konusunda esnek olması gerekir. Böyle bir yapıda oluşabilecek enerji kesintilerinin minimize edilebilmesi için şebekenin yeteri kadar hızlı ve doğru tepki verebilmesi gerekir. Bu nedenle; gerek iletim sistemi gerekse dağıtım sistemi, akıllı bir yapıya sahip olmalıdır. Gücün sürekliliğinin sağlanması, doğru analiz yöntemleri ile gelecekteki yapıya karar verilmesine ve uygun koordinasyonunun gerçekleştirilebilmesine bağlıdır. Akıllı şebekeler kavramı ortaya çıkan sorunların giderilmesi ve daha verimli bir enerji yönetimi için dünyada her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şebekeler, Koruma Koordinasyonu, Şebeke Entegrasyonu.

1. Giriş

Günümüzde enerji ihtiyacı dünyada büyük bir oranda fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacı sonucu fosil yakıtların tükeneceği bir gerçektir. Fosil yakıtlar tükenmeden, oluşturdukları karbon emisyonları nedeniyle dünyanın yaşanmaz bir hale gelmesi de olasıdır. Yenilenebilir olarak tanımlanan enerji kaynaklarına olan talep belirtilen olumsuzluklardan dolayı gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda elektrik enerjisi endüstrisi için yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yoğun kullanımı ve elektrik üretimi, iletim ve dağıtım sistemlerinin verimliliğinin artırılmasını hedefleyen çalışmalar yoğunlaşmıştır. Özellikle yenilenebilir enerji üretiminin önem kazanması ile birlikte, gerçek zamanlı fiyatlamasının yapıldığı serbest piyasa sisteminde akıllı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır [1,2]. Böylelikle talep de gerçek zamanlı olarak kısmen dengelenebilecek ve öngörülebilir yenilenebilir enerji üretiminin şebeke üzerinde neden olduğu olumsuz etkiler en aza indirilebilecektir. Tüm bunların sonucunda ise CO_2 salınımı önemli ölçüde

azaltılabileceğinden, çevre dostu bir teknoloji olduğu da söylenebilir. Örneğin “General Electric”e göre Amerika’daki evlerin %10’unda akıllı sayaçların kullanılması ile 3.724.197 ton CO_2 salınımı engellenmiştir. Bu oran %25’e çıktığında 9 milyon ton’un üzerinde salınımın önüne geçilecektir [3].

Güç şebekesi açısından düşünüldüğünde sistemdeki tüm noktaların uyanık, tepkili, adaptif, maliyet açısından uygun, çevre ile dost, eş-zamanlı, esnek, kuvvetli ve her sistemle bağlanabilen bir yapıda olması akıllı yapıyı oluşturmaktadır [4]. Akıllı şebeke, akım kontrolünü optimize eden ve alternatif enerji üretimini destekleyen enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin dijital bir versiyon yükseltimi olarak kabul edilebilir. Akıllı şebekelerin faydaları, sadece işletme maliyetlerini düşürmekle sınırlı değildir. Ertelenen ya da değiştirilen yatırımlara uyumlu olabilme özelliği de bulunmaktadır. Akıllı bir iletim sistemi problemleri hızlı bir şekilde izole ederek geniş çaplı enerji kesintilerinin önüne geçmekle kalmaz, sistem çökmeleri sonrasında tekrar toparlanma sürecini düzenleyip dengeleyebilmekte ve enerji akışını hızlandırabilmektedir [5-7].

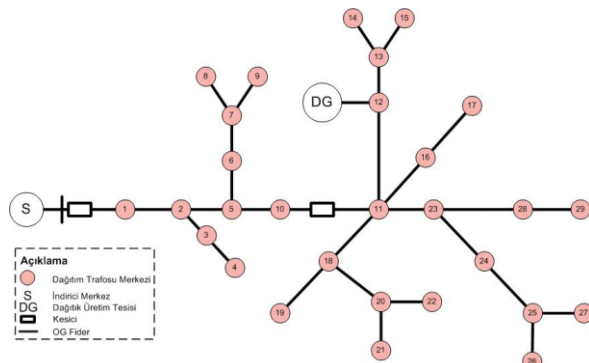
Dikkatlerin akıllı elektrik şebekelerine çevrilmesine yol açan ilke ise “3 tane 20 prensibi” olmuştur. Yani iklim düşmanı karbondioksit salınımının 2020 yılına kadar yüzde 20 oranında azaltılması ve o zamana kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji oranının en az yüzde 20’ye çıkarılması hedeflenmektedir [8]. Bu hedef, Avrupa Birliği’nin iklim değişikliğiyle mücadele planının temelini oluşturmaktadır. Siyasetin koyduğu bu hedefe ulaşabilmek için rüzgâr türbinleri ya da güneş enerjisi panelleri tek başına yeterli olamamaktadır. Yenilenebilir enerjilerin en büyük zaafı, istenildiği zaman istenildiği miktarda elde edilememesidir. Yani bir rüzgâr türbininin verimli çalışabilmesi ancak yeterli ve sürekliliği olan bir rüzgâr şiddetiyle mümkün olabilmektedir. İşte bu zaafa karşı en etkin çözümlerden biri ‘Smart Grids’ yani ‘akıllı şebekeler’ olarak ortaya çıkmaktadır [9].

Çalışmanın 2. Bölümünde yenilenebilir enerji kaynaklarının iletim ve dağıtım sistemlerine entegrasyonu anlatılmaktadır. Sonraki bölümlerde ise akıllı şebekeler ve gelecek öngörüler ile sonuç kısmı yer almaktadır.

2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının İletim ve Dağıtım Sistemlerine Entegrasyonu

Yenilenebilir enerji kaynaklarının iletim ve dağıtım sistemlerine entegrasyonu, enerji üretiminde merkezi üretimden dağıtılmış üretime geçişin bir göstergesidir. Ülkemizde 2013 yılına kadar şebekeye bağlanması hedeflenen 12 GW'lık rüzgar gücü vardır [10]. Ülkemizin 42 GW'lık kurulu gücü ve rüzgar gücüne ek güneş enerjisinin de sisteme entegre olacağı öngörüldüğünde, üretim yapısının, iletim ve dağıtım koridorlarının nasıl bir değişime uğrayacağı aşikardır. Bu noktada sorulması gereken sorular şunlar olmaktadır: Peki biz ve dünya bu değişime ne kadar hazırız? Sürdürülebilir enerji için kaçınılmaz olan yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemlerine entegrasyonu konusunda neler yapılmaktadır? Sistemde oluşabilecek bir sorunda düzeltici tepki ne kadar hızlı verilmelidir?

Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlanması ile ilgili birçok ülkenin kendine ait şebeke yönetmelikleri bulunmaktadır. Bu yönetmeliklerin ortak yanları olduğu gibi her ülkenin kendine özgü şebeke yapısı, gerilim seviyesi ve kontrol düzeneği bulunduğundan ayrı yönleri de bulunmaktadır. Bu düzenlemelerin mevcut sistemin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak ve daha verimli çalışma yapılabilmesi adına önemlidir. Örneğin, bir yandan klasik üretimlerde frekans belirli sınırlar içinde tutulurken, diğer yandan bu frekansı ciddi biçimde etkileyecek alternatif üretimlerin de kontrol edilebiliyor olması gerekir. Aynı şekilde alternatif üretimlerin gerilim açısından da klasik generatörlerdeki uyartım kontrolü gibi, hızlı tepki vererek düzeltici önlem gerçekleştirebiliyor olması gerekir. Eğer bu alternatif üretimler belirli bir bölgede yoğunlaşıyor ise entegrasyon öncesi çalışmaların daha titizlikle incelenmesi gerekmektedir [11].



Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemimize entegrasyonu ile ilgili yönetmelik olarak şebeke yönetmeliğinin Ek-18 bölümünde yayınlanan “Rüzgâr Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Şebeke Bağlantı Kriterleri” bulunmaktadır. Bu yönetmelikte

rüzgâr enerjisinin frekans kontrolüne katılımları istenmemekle birlikte aktif güç kontrolü ve frekans tepkisi tanımlanmıştır. Ayrıca arıza esnasında ve arıza sonrasında davranış biçimleri ve nasıl bir gerilim desteği sağlamaları gerektiği belirlenmiştir [13]. Şekil 1’de Dağıtık üretim tesisleri ve bağlantılı fiderlerin bulunduğu bir dağıtım sistemi tek hat şeması gösterilmektedir. Aktif güç akışının kontrol edilmediği iletim ve dağıtım hatlarında değişkenliğe sahip olabilen büyük ölçekteki bir gücün mevcut iletim ve dağıtım sisteminden alınıp yük bölgelerine ulaştırılması esnasında, bazı problemler ile karşılaşılacaktır. Bunların en başında değişebilen aktif güç akış yönlerine göre reaktif gücün, dolayısıyla bara gerilimlerinin kontrolü gelmektedir. Örneğin; tek yönlü kademe değiştiriciler, güç akışının değiştiği durumda yetersiz kalacaktır. Aktif güç açısından ise tek yönlü koruma koordinasyonu bozulacaktır. Bunların haricinde artan arıza akımları sonucu oluşabilecek yanlış açmalar ve sigorta-kesici kombinasyonlarında sigortayı koruyacak koordinasyonun bozulması gibi sorunlarla karşılaşılacaktır. Ayrıca trafo bağlantı gruplarına göre adalaşan bir yenilenebilir üretim bölgesinde oluşabilecek arızalar ve bu arızalarda meydana gelecek gerilim yükselmeleri diğer olumsuz durumlar olarak özetlenebilir [14]. Elbette bu olumsuz durumları düzeltici önlemler alınabilir. Mevcut iletim ve dağıtım yapısının, yedekli ve güvenilir olmasına rağmen böyle bir değişimi kaldırabilecek güçte olup olmadığı sorgulanmalıdır. Gelecekte, tüketicilerin de birer üretici olabilecekleri düşünüldüğünde, “microgrid” olarak tanımlanan yapıya geçilebilmesi için de mevcut dağıtım sisteminin yeterli olamayacağı bilinmektedir. Bu yapıların esnek, uyum sağlayan, hızlı yapılar olması gerektiği açıkça görülmektedir [15].

Yenilenebilir enerji entegrasyonu çalışmaları tüm dünyada hız kazanmıştır. Her ülkenin kendine ait çalışmalarının ve raporlarının bulunmasının yanında ülkeler arası ölçekte yenilenebilir enerji dizaynları da yapılmaktadır. Bunların en önemlilerinden biri, Türkiye’nin de dahil olduğu DESERTEC olarak bilinen projedir. Projenin tanıtım cümlesi oldukça çarpıcıdır. “İnsanoğlunun 1 yılda tükettiği enerjiyi çöller, 6 saat içerisinde almaktadır” [16]. Bu tür projeler açıkça göstermektedir ki gelecekteki enerji yapısında yenilenebilir enerji kaynaklarının katkısı oldukça yüksek olacaktır. Ayrıca adalaşan enerji yapıları yerine elektrik enerjisinin bulunabilirliğinin ve güvenilirliğinin arttığı uluslararası enerji yapıları oluşturulacaktır. Ayrıca bu yapılar, ülkeler arası enerji pazarının oluşmasını da sağlayacaktır.

3. Akıllı Şebekeler ve Gelecek Öngörülleri

Akıllı şebeke kavramı sistemdeki tüm noktaların uyanık, tepkili, adaptif, maliyet açısından uygun, çevre ile dost, eş-zamanlı, esnek, kuvvetli ve her sistemle bağlanabilen bir yapı olarak tanımlanabilir [17]. Bunun yanında alternatif enerji üretimini

destekleyen ve akım kontrolünü optimize eden bir enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin bütünü şeklinde de ifade edilmektedir. Akıllı bir iletim sistemi ile problemlı bölgeler hızlı bir şekilde izole edilerek geniş çaplı enerji kesintilerinin önüne geçilebilmektedir. Akıllı şebekeler gerçek zamanlı haberleşme altyapısı ile aşırı yüklenmeleri hissedebilecek, enerji akış yönlerini düzenleyecek, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını optimize edecek ve kullanıcı maliyetlerini aşağı çekecek çevreci bir sistem oluşturacaktır [18].



Şekil 2: Örnek bir akıllı şebeke sistemi genel görünümü

Bu yapı, dağıtım sistemlerinde hızlı iletişime sahip röleler ve kullanıcıyı bilinçlendiren kayıp kaçak oranlarını belirleyebilen ve çift yönlü okuma yapabilen sayaçlar ile oldukça etkin bir konumdadır. Ayrıca, klasik sistemlerden farklı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının katılımı ile değişen yük akışı yapılarına uyum sağlayabilen bir yapıdadır. Tüm koruma koordinasyonu ve anahtarlama yapılarını değiştirebilecektir. Böyle bir değişimle klasik yapılar ile başa çıkmak neredeyse imkânsızdır. Bunun yanında, bağımsız enerji bölgelerini ifade eden mikro şebeke filozofisi (Microgrid), gerçeğe dönüşmek için akıllı şebeke yapısına ihtiyaç duymaktadır. Şekil 2’de örnek bir akıllı şebeke sistemi genel görünümü gösterilmektedir. Mükemmel bir güç sistemi, tüketicilerini enerjisiz bırakmamalıdır. Yakıt açısından verimli ve doğa ile dost bir yapıda olmalıdır. Doğal afetlerde ayakta durmayı becerebilmeli ve siber saldırılarda etkiyi minimize edici bir yapıya sahip olmalıdır [19]. Böyle bir yapıya sahip olmanın maliyeti de minimize edilmiş olmalıdır. Gücün kalitesini iyileştirmek, daha fazla kaynağa sahip olma anlamına gelmemektedir. Güç iletim sisteminin ekonomikliği hesaplanırken yaşanan enerji kesintileri göz önünde bulundurulmalıdır. Geleceğin yapıları bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklı üretimlerin yoğunlaştığı dağıtık üretim yapısında depolama sistemlerine de sahip bir bütünü ifade edecektir. Akıllı bir şebekede kesici ve ayırıcıların otomatik koordinasyonu, oluşan bir arıza sonrası yüklere alternatif besleme yolları oluşturulabilir. Akıllı bir iletim sistemi için akıllı bir dağıtım altyapısının da olması, koordineli haberleşme ve koordineli anahtarlama açısından oldukça önem arz etmektedir. Peki, biz bu koşullara ne kadar hazırız?

Ashında en kritik soru budur. Akıllı bir şebeke için trafo ve röleler gibi tüm sistem elemanlarının akıllı olması ve koruma ve haberleşme teknolojisinin

elektromekanik yapıdan dijital yapıya geçmesi gerekmektedir. Ayrıca, tüm sistemin birbiri ile haberleşmesi gereksiniminden yüksek bant seviyesine sahip hızlı iletişime ihtiyaç bulunmaktadır. Böylesine büyük bir sistem ve haberleşme talebine cevap verebilecek bir bilgisayar gücü de gerekmektedir. Bu koşullar, günümüzde artık sağlanabilir durumdadır. Dijital röleler, fiber teknolojisi, kablosuz iletişim gibi teknolojik gelişmeler akıllı şebekeleri mümkün kılmaktadır [20].

Bu nedenle eski sistem elemanları revize edilirken ya da yeni sistem elemanları eklenirken bu yapılara uygun sistemlerin entegre edilmesi bu geçişi hızlandıracaktır. Yön değiştiren güç akışlarına adapte olabilen farklı koruma selektiviteleri uygulayabilen ve oluşabilecek büyük çaplı enerji kesintilerini hissedip farklı anahtarlama davranışları sergileyebilen iletim sisteminin akıllı bir yapıda olması gerekir. Böylece, arızalar daha iyi lokalize edilip daha etkin kontrol ve korumanın gerçekleştirilmesi sağlanarak, sistem düzenleyicileri üzerindeki yük azaltılmış olacaktır. Amerika’da 2003 yılının Ağustos ayında yaşanan enerji kesintisi, 50 milyon kişinin enerjisiz kalmasına neden olmuştur. Birbirini takip eden zincirleme olaylar sonucu oluşan büyük çökme, 7 dakika gibi uzun bir sürede oluşmuştur. Bu çökmenin nedenleri arasında akıllı bir yapıya sahip olunmaması ve birbirini takip eden olayların yeteri kadar iyi izlenememiş olması bulunmaktadır. Gelecekte hedeflenmesi gereken en önemli kriterlerden biri dizayn edilecek enerji sistemini, Amerika, Avrupa, Hindistan ve Çin gibi ülkelerin yaptığı şekilde akıllı şebeke teknolojisine uygun seçmektir. Dünya var oldukça kullanılabilecek tek sürdürülebilir yapı olarak gözüken yenilenebilir enerjiye ve büyük şebeke entegrasyonlarına duyulan ihtiyaç akıllı şebeke teknolojisini şart kılacaktır.

4. Sonuçlar

Her ülkeye ait farklı şebeke yapısı olduğundan, gerek akıllı sistemler gerek yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonunda sistem analizleri devam ettirilerek en uygun koşullar araştırılmalıdır. Kendi şebekemizin dinamik analizlerinin alt yapısı oluşturularak, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin yük akışı ve kısa devre katkısının yanında, dinamik yapıları da incelenmelidir.

Bunların yanında, gelecekte artacak yenilenebilir enerji katkısı da düşünülerek, yön değiştirebilecek güç akışları ve adalaşma konumları için koruma koordinasyonunun alt yapısı hazırlanmalı, iletişim protokolleri de gelecekteki şebeke yapısına uygun seçilmelidir. Uzaktan enerji izleme ve ölçme yapısı dizayn edilmeli, modern ve hızlı olmasına dikkat edilmelidir. Aktif ve reaktif güç kontrolü yapabilen sistemler için şebekenin uygun noktaları ve farklı senaryoların da incelenmesi gerekir.

5. Kaynaklar

- [1] Brown R.E., Impact of Smart Grid on distribution system design, IEEE Power and Energy Society General Meeting -Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Canada, (2008), 1-4
- [2] Mahmood A., Aamir M., Anis M.I., Design and implementation of AMR Smart Grid System, IEEE Electric Power Conference EPEC, Canada, (2008), 1-6
- [3] GE, Plug into the Smart Grid, Smart Meters, http://ge.ecomagination.com/smartgrid/#/smart_meters
- [4] Massoud Amin S., Wollenberg B.F., Toward a smart grid: power delivery for the 21st century, IEEE Power and Energy Magazine, vol. 3 issue 5, 34-41, (2005)
- [5] Zhang X.P., A framework for operation and control of smart grids with distributed generation, IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Canada, (2008), 1-5
- [6] DeBlasio R., Tom C., Standards for the Smart Grid, IEEE Energy 2030 Conference, Atlanta-USA, (2008), 1-7
- [7] YEK'lerin Entegrasyonunda ve Uluslararası Enerji Bağlantılarında Akıllı Şebekeye Duyulacak İhtiyaç, Dr. Hasan Basri Çetinkaya, Enerji, Mühendislik ve Koordinasyon - E E&C PTI, Siemens
- [8] Uluslararası Hannover Sanayi Fuarı, 2010
- [9] "Toward a Smart Grid", S.Massoud, B. Wollenberg, IEEE power & energy magazine / October 2005
- [10] Elektrik Enerjisi Sektörü Reformu ve Özelleştirme Strateji Belgesi
- [11] Akıllı Şebekeler, Mete Taspınar, Siemens, EPDK Sunumu, Nisan 2009
- [12] Akıllı Dağıtım Otomasyon Sistemi, Cem Şahin, Abdullah Nadar, Tubitak-Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü
- [13] Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği "Ek-18. Rüzgar Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Şebeke Bağlantı Kriterleri"
- [14] Koruma Tekniğinde Selektivite – Selim Çokuğraş, Serkan Özkardeş (Siemens)
- [15] Brahma S.M., Girgis A.A., Microprocessor-based reclosing to coordinate fuse and recloser in a system with high penetration of DG, IEEE PES, (2002), 453-458
- [16] Red Paper, "An overview of the Desertec Concept", Desertec Foundation, Berlin
- [17] Javadian, S.A.M., Haghighat, M.-R., Implementation of a New Protection Scheme on a Real Distribution System in Presence of DG, . Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference POWERCON, India, (2008), 1-7
- [18] Challenges of Demand Response and Distributed Generation, IBM, www.UtilitiesProject.com/10709
- [19] N. Ozay, N. Guven, A. Buyuksemerci, M. Fettahoglu, "Design and Implementation of a Feeder Automation System for Distribution Networks", IEEE Power Tech '99 Conference, Budapest, Hungary, 1999.
- [20] How Intelligent Is Your Grid? H. Christine Richards, www.UtilitiesProject.com/10832

TRANSFORMATÖR MANYETİK DEVRE YAPISININ BOŞTA ÇALIŞMA AKIMINA ETKİSİ

⁽¹⁾Bora ALBOYACI ⁽²⁾Mehmet Aytaç ÇINAR ⁽³⁾Mehlika ŞENGÜL

alboyaci@kocaeli.edu.tr

aytac@kocaeli.edu.tr

mehlika@kocaeli.edu.tr

⁽¹⁾Kocaeli Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

⁽²⁾Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Kocaeli, Türkiye

⁽³⁾Kocaeli Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Kocaeli, Türkiye

Özet: Transformatörler elektrik enerjisini ihtiyaç duyulan noktalara mümkün olan en düşük kayıp ve en yüksek kalite ile iletmek için kullanılan elektrik makinalarıdır. Transformatörler sekonderinden yük çekilmese dahi şebekeden mıknatıslanma akımını sağlamak için bir akım çeker. Çekilen bu akım boşta çalışma kaybını ortaya çıkarmaktadır. Transformatör nüvesinde oluşan kayıpları azaltmanın en temel yolu düşük kayıplı silisli sac kullanmaktır. Nüve dizaynının da kaybı azaltmada etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, nüve yapısının kayıp üzerine etkileri incelenerek çeşitli ölçüm sonuçları yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Transformatör nüvesi, boşta çalışma kaybı, transformatör

1. Giriş

Transformatörler alternatif akımın gücünü ve frekansını değiştirmeden, gerilimi alçaltmaya veya yükseltmeye yarayan, duran elektrik makinaları olarak tanımlanmaktadır. Bu yönü ile elektrik enerjisinin düşük kayıplı olarak çok uzak noktalara iletilmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanında güç elektroniği ve yüksek frekans uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Transformatör kayıpları yükte ve boşta çalışma kayıpları olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Transformatörler manyetik devrelerinin özelliğinden dolayı sekonder kısımlarından yük çekilmese dahi, primer kısımları şebekeye bağlı iken mıknatıslanma akımlarını karşılayabilmek için bir akım çekerler. Çekilen akımın miktarı manyetik devrenin oluşturulmasında kullanılan malzemeye, tasarım indüksiyonuna ve manyetik devrenin tasarım şekline bağlıdır. Bu nedenle, transformatörlerin boşta çalışma kayıpları transformatörün maliyetlerini etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir[1].

Transformatörün yükteki kayıpları çekilen akımın niteliğine ve transformatör sargılarının dizaynına bağlıdır. Boşta çalışma akımları sabit iken, yükte çalışma akımları yüklenme durumuna oldukça bağlıdır[2].

Bu çalışmada özellikle küçük nüvelerde (transformatör ve reaktör) kullanılabilecek Unicore nüve yapısının uygunluğu hem teorik ve hem de bilgisayar simülasyonu ile gösterilmiştir.

Çalışmalar transformatörlerde kullanılan dört farklı sac malzeme ve beş farklı nüve dizaynı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

2. Manyetik Malzemeler ve Nüve Yapıları

Transformatör manyetik çekirdeklerinin üretiminde kayıpları düşük, geçirgenliği yüksek kaliteli soğuk haddelenmiş silisli sac kullanılmaktadır. Transformatör ve reaktörlerde manyetik nüve, oluşacak olan kayıpları (fuko ve histerisiz) azaltmak amacıyla 0,23 – 0,30 mm kalınlığındaki birer yüzleri yalıtılmış ve yönlendirilmiş silisli saclar paketlenerek oluşturulur. Silisli saclar DIN EN 10 107-2005, IEC 404-8-7-1991, ASTM A 876-92, ASTM A 876M-92, AISI standartlarında sınıflandırılmaktadır[2-3].

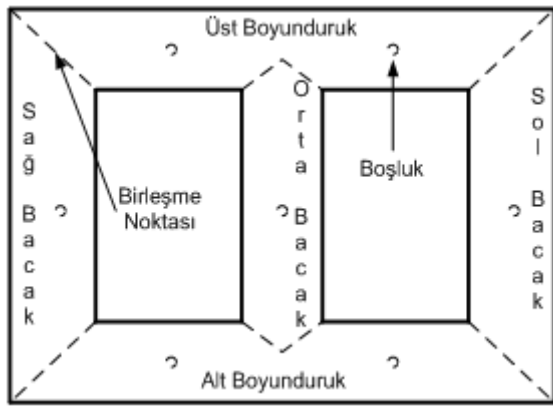
Ancak ülkemizde standartlarda verilen saclar M2(H1), M3(H0), M4, M5, M6 ve MOH saclar olarak sınıflandırılmaktadır. Bazı silisli saclar için kalınlık ve indüksiyona bağlı kayıp değerleri Tablo 1 de verilmiştir. Tablo 1'den görüleceği üzere sac kalınlığı azaldıkça sacın verilen indüksiyondaki kayıp değeri de azalmaktadır[4-5].

Tablo 1. Silisli sacların kalınlığa bağlı kayıp değerleri

Kalınlık (mm)	DIN EN 10 107 2005	50 Hz	
		1,5 T'da W/Kg	1,7 T'da W/Kg
0,23	M 110 - 23 S	0,73	1,10
0,27	M 140 - 27 S	0,89	1,40
0,30	M 150 - 30 S	0,97	1,50

Oluşturulan dizayna bağlı olarak manyetik nüve bacak ve boyunduruk olmak üzere iki parçadan oluşur. Manyetik nüve üzerinde sargıların sarıldığı kısım bacak; ayakları birleştiren kısım ise boyunduruk olarak adlandırılır. Klasik olarak yapılan transformatörler step-lap yapısı ile oluşturulmaktadır[6]. Bu şekilde oluşturulan bir üç fazlı nüvenin yapısı Şekil 1. de gösterilmektedir.

Şekil 1’deki nüve yapısı şu anda hemen hemen tüm üç fazlı-üç bacaklı dağıtım transformatörü ve hava aralığı ile reaktör uygulamalarında kullanılmaktadır. Aşağıdaki nüve kesiti birleşim noktalarından, nüve diziminde kolaylık sağlaması adına açılan deliklerden dolayı azalmaktadır. Hesaplanan kesitteki azalma, çalışma induksiyonun yükselmesine veya bir başka deyişle kaybın artmasına neden olmaktadır.

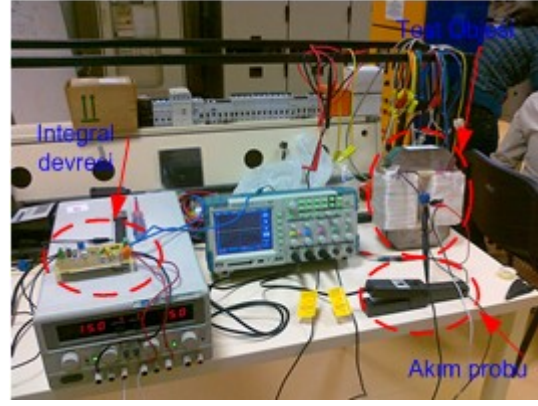


Şekil 1. Klasik üç fazlı transformatör nüve yapısı

Nüve dizaynlarında kaybı en az seviyeye indirecek nüve yapıları üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, klasik nüve yapılarında olduğu gibi yönlendirilmiş silisli saçlar kullanılarak, özellikle 2500 kVA'ya kadar kolay uygulanabilir olduğunu düşündüğümüz sarma nüveye benzer geçmeli nüve yapıları üzerinde durulacaktır. Literatürde bu tür nüvelere UNICORE nüveler de denilmektedir.

3. Kayıpların Belirlenmesi

Kayıpların belirlenebilmesi için laboratuvar ortamında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bunun için transformatörün primerine akı ölçümü amacıyla, giriş geriliminin integralini alan ve kazancı frekansla değişmeyen bir devre tasarlanmıştır. Bu devrenin çıkış sinyalinin, giriş akımı ile birlikte osiloskoba gönderilerek XY ekseninde çizdirilmesi ile BH eğrileri elde edilmiştir. Alınan veriler Matlab programında işlenerek, induksiyon ve kayıp değerleri bulunmuştur. Şekil 2’de ilgili değerlerin ölçülmesini sağlayan bağlantı yapısı gösterilmektedir.

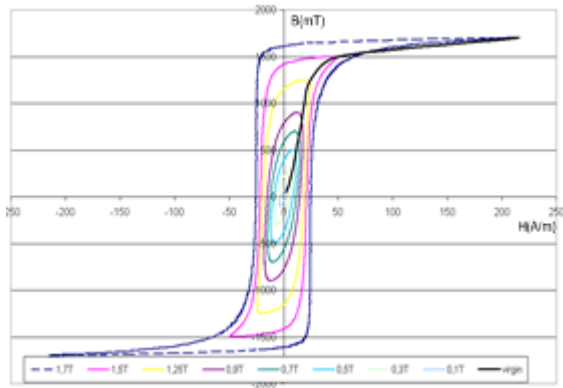


Şekil 2. BH devresi ölçüm düzeneği

Nüve kayıpları (boşta kayıplar), prensip olarak histeresiz ve eddy kayıpları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

Histeresiz kaybı; nüve malzemesinin temel manyetik parçacıklarının doğrultuya getirilmesi ve döndürülmesinde kullanılan enerjidir. Eddy kayıpları ise elektriksel olarak iletken manyetik nüvedeki sirkülasyon akımlarından dolayı kaynaklanmaktadır. Transformatörün sekonder sargısında gerilimlerin indüklendiği aynı yolla nüvedeki değişken akı ile indüklenen gerilimlerin sonucu eddy akımları meydana gelmektedir. Eddy akımları manyetik akının yönüne normal dairesel yollar izler[4-5].

Şekil 3’te M4 saçına ait BH eğrisi verilmektedir. Aşağıdaki eğrinin oluşturulması için nominal gerilim %10 ‘dan %110 a kadar kademe kademe artırılarak ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde çalışma frekansı 50 Hz olarak uygulanmıştır.



Şekil 3. M4 Saç için histeresiz eğrisi

4. UNICORE Nüve Yapısı

Şekil 4’te verilen nüve yapısı incelendiğinde, klasik dizaynlara nazaran bacak ve boyunduruklarda sadece birer adet birleşme noktasının olduğu görülmektedir. Ayrıca nüve dizme işlemi ve mukavemeti sağlamak için nüve üzerinde delik açmaya gerek kalmamaktadır. Bu bakımdan incelendiğinde manyetik devre akı yoluna daha az zorluk göstermektedir. Yukarıda ele

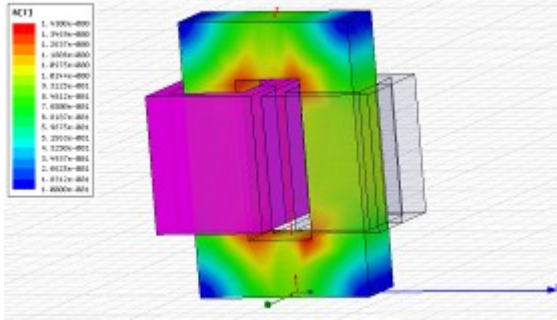
alınan konuları daha detaylı inceleyebilmek için dört farklı transformator saçı ve beş farklı dizayn üzerinde ölçümler alınmıştır. Bu çalışmada bu dizaynlardan sadece bir tanesinin sonuçlarına yer verilmiştir.



Şekil 4. UNICORE nüve yapısı

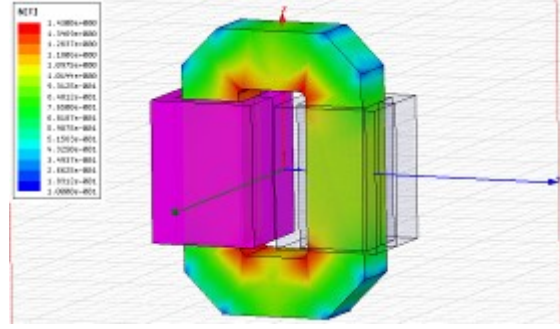
Elektromanyetik analizler, 1 kVA, 220/110V gerilimde, tek fazlı M4 saçından imal edilen, örnek nüveler üzerinde yapılmıştır. Oluşturulan nüveler 1.5 Tesla induksiyonda çalışacak şekilde dizayn edilmiştir. Nüve nominal akım ve gerilimde uyarılarak alan dağılımları çıkartılmıştır.

Verilen çalışma gerilimi ve güce bağlı olarak dizayn edilen, çekirdek tipi nüve 170 adet saçın iki farklı boyda kesilerek üst üste dizilmesi neticesinde elde edilen bir nüve şeklidir. Buna göre çekirdek tipi nüvenin Şekil 5'te verilen manyetik akı yoğunluğu dağılımı incelendiğinde, akı miktarının nüvenin iç bölgelerinde fazla olduğu, dış köşelerden ise akı geçmediği görülmektedir.



Şekil 5. Çekirdek tipi klasik nüve analizi

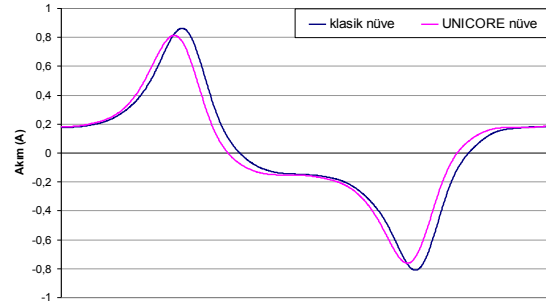
Çekirdek tipi nüve analizine tanımlanan sargılar, Şekil 6'da verilen yeni UNICORE nüve dizaynı üzerine yerleştirilerek analizler tekrar edilmiştir. Bu durumda nüve üzerinde oluşan manyetik akının nüve üzerinde düzgün dağıldığı ve manyetik devredeki her noktanın kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 6. UNICORE tek fazlı nüve analizi

Yapılan çalışmalar M4, M5, MOH-023 ve MOH-027 olmak üzere dört farklı saçtan oluşturulan nüveler üzerinde tekrar edilmiştir. Her durumda yukarıda belirtilen analiz sonuçlarının benzerleri elde edilmiştir. Dolayısıyla aynı çalışma induksiyonu için uncore kullanımında bir malzeme tasarrufunun olduğu alan dağılımlarından görülmektedir.

Manyetik analizlerin yanında, nüvelerin boşta çalışma akımları ölçülmüştür. M4 saçından imal edilen iki nüveye ait bir sayıklık ölçüm değerleri Şekil 7'de verilmektedir. Her durumda boşta çalışma akımları, malzeme cinsine ve nüve oluşturma tekniğine bağlı olarak %2 ile %6 arasında değişen oranlarda daha az ölçülmüştür.



Şekil 7. Boşta çalışma akımlarının karşılaştırılması

5. Sonuçlar

Enerji sistemlerinde kaybı azaltmaya yönelik bütün çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Transformörler, elektrik tesislerinde tesis ömrü boyunca devrede kalan vazgeçilmez bir elemandır. Bu nedenle bu elemanın boşta çalışma akımlarının azaltılmasına yönelik olarak yapılan bir çalışma burada sunulmuştur. Tek fazlı klasik nüve yapılarında saçları üst üste getirebilmek için muhakkak boyunduruk ve bacalarda en az dört adet bağlantı noktası oluşturulmaktadır. Küçük nüvelerde özellikle bu bağlantı noktaları 45° yerine 90° açıyla yapılmaktadır. Fakat bu durumda akı geçiş yönüne daha fazla zorluk göstermektedir. Ayrıca klasik yapılarda nüve gücü arttıkça bacak ve boyundurukları bir arada tutabilmek için nüveye delikler açmak gerekmektedir.

Önerilen tek fazlı yapıda sadece iki adet bağlantı noktası oluşturularak transformatör nüvesi oluşturulabilmektedir. Ayrıca boyunduruk ve bacaların birleşmesi esnasında bir bağlantı noktası olmadığı için akiye zorluk gösterilmemektedir. Nüve, etrafına sarılacak bir sıkma kelepçesi ile tutturulduğundan nüve kesitinde azalma da söz konusu olmamaktadır. Bu haliyle dördüncü bölümde verilen simülasyon çalışmaları ve laboratuvar testlerinden, bu tür nüvelerin özellikle 2500 kVA ya kadar olan trafolarda boşta çalışma akımında yaklaşık %5'lik bir iyileştirme sağlayacağı görülmektedir.

İmalat süreci sırasında ise, klasik üst üste dizme tekniğiyle oluşturulan nüvelerde, sargıların boyunduruğa geçirilmesinin ardından üst bacağın tekrar bir operatör tarafından toplanması gereklidir. Ancak UNICORE yapıda kılavuzlar sayesinde hızla nüve toparlanabilmektedir. Ancak bu avantaj, transformatör gücünün 2500 kVA'lık üst değeri ile sınırlıdır. Bu gücün üzerine çıkıldığı durumda transformatörün toplam boyutu ve ağırlığı arttığından dolayı ortadan nüveyi birleştirme aşamasında zorluklar ortaya çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında manyetik nüvelerin sağlanmasındaki katkılarından dolayı MKS Transformatör San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne, bobinlerin sarılmasından dolayı STS Sönmez Transformatör Sanayine teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- [1] R. M. Del Vecchio, B. Poulin, P. T. Feghali, D. M. Shah, R. Ahuja, Transformer Design Principles, with Applications to Core-Form Power Transformers, CRC Press, 2010.
- [2] S. V. Kulkarni, S. A. Khaparde, Transformer Engineering: Design and Practice, Marcel Dekker Inc., 2005.
- [3] J. J. Winders, Power Transformers Principles and Applications, MARcel Dekker Inc., 2002.
- [4] D. Ionel, M. Popescu, S. J. Dellinger, T. J. E. Miller, R. J. Heinemann, M. I. McGilp, Computation of core losses in electrical machines using improved models for laminated steel, Conf Rec of IEEE IAS 2006, 2 (2006) 827-835.
- [5] D. Ionel, M. Popescu, S. J. Dellinger, T. J. E. Miller, R. J. Heinemann, M. I. McGilp, On the variation with flux and frequency of the core loss coefficients in electrical machines, IEEE Trans. Ind. Appl., 42 (2006) 658-667.
- [6] S. E. Zirka, Y. I. Moroz, P. Marketos, A. J. Moses, Evolution of the loss components in ferromagnetic laminations with induction level and frequency, J. Magn. Magn. Mater., 320 (2008) 1039-1043.

VERİMİ ARTIRMAK İÇİNGÜÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN OPTİMİZASYON METOTLARI VE UYGULAMA ALANLARI

A. Doğan

ahmetdogan@erciyes.edu.trmalci@erciyes.edu.tr

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü

M. Alçı

Abstract

Many optimization methods are used in various area of power systems to get lower the costs and provide energy efficiency. Classical Methods have been using for so long. Also Heuristic Methods oftenly has been used to optimize the power systemsin the last days. Optimization of power system using heuristic methods became a popular issue for electrical engineering recently. Classical and heuristic methods have some advantages and disadvantages according to each other. This article presents an overview of important classical and heuristic optimization methods used in power optimization problems.

ÖZET

Güç sistemlerinin planlanmasında, enerjinin üretiminde, iletiminde, dağıtımında enerji verimliliğini sağlamak ve maliyetleri en aza indirmek amacıyla çeşitli optimizasyon metotlarına başvurulmuştur. Güç sistemleri problemlerinin çözümünde klasik metotlar öteden beri kullanılmaktadır. Bu metotlara dahasonrasezgisel metotlalar da eklenmiştir. Güç sistemlerinin sezgisel metotlarla optimizasyonu son yıllarda elektrik mühendisliğinin popüler konularından biri haline gelmiştir. Güç sistemlerine optimizasyon metotları uygulanırken en iyi sonucu alabilmek için en uygun metot seçilmelidir. Klasik ve Sezgisel Metotların birbirlerine göre bazı üstünlükleri ve yetersizlikleri bulunmaktadır. Metot seçilirken bazı kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Örneğin Klasik Metotlar kullanılırken problemin doğrusal olup olmaması önemli kriterlerden birisidir. Bu çalışmada güç sistemlerinde kullanılan klasik ve sezgisel optimizasyon metotlarına ve uygulama alanlarına genel bir bakış sunulmaktadır.

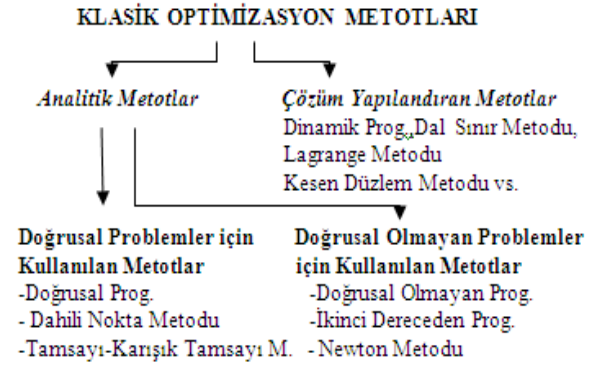
Anahtar Kelimeler; Güç Sistemleri, Optimizasyon, Sezgisel Metotlar, Klasik Metotlar

1. Giriş

Güç sistemleri coğrafi olarak çok geniş bir alana yayılmış karmaşık sistemlerdir. Farklı atmosferik şartlar altında oluşan değişik elektrostatik ve elektromanyetik çevresel etkiler, güç elektroniği elemanlarını bozucu etkileri gibi birçok olumsuz durumdan etkilenirler. Bu durum güç sistemlerinin işletmesi sırasında kayıpların artmasına, elektrik

enerjisinin üretim, iletim ve dağıtımında verimin düşmesine neden olmaktadır.

Optimizasyon bir sistemin olası tasarımları arasından en iyisini bulmaktır ve bu sistemin en uygun çalışma şartlarına karar vermek için kullanılan önemli bir araçtır. Klasik Optimizasyon Metotları(KOM), güç sistemlerinin optimum çalışmasını sağlayarak maliyeti azaltmak amacıyla önceden beri kullanılmaktadır. Güç sistemi problemlerinde kullanılan klasik optimizasyon metotları, Şekil-1’de görüldüğü gibi, temelde analitik metotlar ve çözüm yapılandırıcı metotlar olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil-1: Güç Sistemlerinde kullanılan Klasik Optimizasyon Metotları

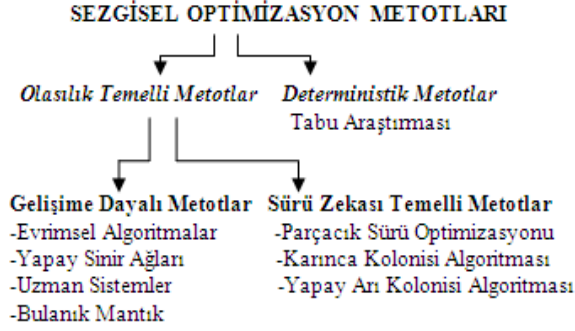
Klasik Optimizasyon Metotlarının bilinen bazı üstünlükleri;

- (i) Algoritma başarılı olarak sonuca ulaştığında bulunan çözümün optimum olması,
- (ii) Çözüm aralığının alt ve üst sınırlarındaki optimum çözüme götüren bilgilerin elde edilebilmesi,
- (iii) Optimum çözümün olmadığı bölgeleri elemine edilebilmesidir.

Klasik Optimizasyon Metotlarının belirlenen bazı yetersizlikleri;

- (i) Genelde küçük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılması,
- (ii) Fazla hafıza kullanımının programın erken sonlandırılmasına neden olması,
- (iii) Formülasyondaki değişime uyarlanmasının oldukça zor olması,
- (iv) Bir problem için çok iyi sonuç veren klasik yöntemlerin bir başka probleme uygulanmasının oldukça zor olması[1],
- (v) Çalışmasının ve ulaştığı çözümün genel olarak lokal optimumda kalmasıdır.

Sezgisel Metotların global optimuma yakınsaması ve çok geniş bir çözüm uzayını hızlı bir şekilde tarayabilmesi güç sistemleri optimizasyonu için bu metotları cazip kılmıştır. Güç sistemlerinde kullanılan sezgisel metotlar Şekil-2 'de belirtildiği gibi temelde deterministik metotlar ve olasılık temelli metotlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.



Şekil-2: Güç Sistemlerinde kullanılan Sezgisel Optimizasyon Metotları

2. Klasik Optimizasyon Metotları

2.1 Analitik Metotlar

2.1.1 Doğrusal Güç Sistemleri Problemleri için Kullanılan Metotlar

2.1.1.1 Doğrusal Programlama

Bu metotla doğrusal olmayan güç sistemi optimizasyon problemleri sistem doğrusallaştırılarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu sebeple kullanılan hedef fonksiyonlar ve kısıtlamaları doğrusal formda düzenlenir. Doğrusal Programlama(DP)'nin üstün taraflarından birisi yaklaşım özellikleri açısından güvenilir olmasıdır. Metodun uygulanması mümkün olmayan durumları hemen tespit edebilmesi ve acil durum kısıtlamalarını da sağlayarak çok çeşitli güç sistemi çalışma limitlerine uygulanabilmesi diğer üstünlükleridir. Sistem kayıplarının hatalı değerlendirilmesi ve doğrusal olmayan güç sistem modellerine göre kesin çözüm üretmekte yetersiz kalması bilinen olumsuz yönleridir. DP çeşitli güç sistem uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunlardan; güç sistemlerinde optimum yük akışı, reaktif güç planlaması, aktif ve reaktif güç dağıtımı, ekonomik yük dağılımı, şebeke güvenliği ve güç sistem planlaması sayılabilir.

2.1.1.2 Dahili Nokta Metodu

Dahili Nokta Metodu(DNM) 1984 yılında Karmarker tarafından esas olarak doğrusal programlama problemlerini çözmek için geliştirilen bir metottur. Doğrusal programlamadaki klasik tek yönlü çözüm yöntemiyle karşılaştırıldığında gerekli hassasiyetleri de sağlayarak çok daha iyi sonuçlar elde

edilebilir. Ama bu metot genelde algoritmanın kötü başlangıç değerinden ve optimallik kriterlerinden olumsuz etkilenir. Durum tahmini, optimum yük akışı güç sistemlerinde bazı kullanım alanlarıdır.

2.1.1.3 Tamsayı-Karışık Tamsayı Metodu

Bir çok optimizasyon problemlerinde bazı bağımsız değişkenler ve kısıtlamalar sadece tamsayı değeri alırlar. Örneğin ON=1 OFF=0 gibi. Bu tip problemler tamsayı programlama yöntemiyle çözülür. Kullanılan değişkenler sürekli ise bu metot Karışık Tamsayı Programlama(KTP) adını almaktadır. Transformatör kademe oranı, faz kayma açısı ve şebekenin devrede ya da devre dışı olması gibi güç sistemleri problemleri karışık tamsayı optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir. KTP'nin ayrık değişkenlerinin çok olması ve fazla hesaplama ihtiyacı duyması zor bir yöntem olduğunun göstergesidir. Analiz tekniğiyle KTP problemi sürekli ve tamsayı problemlere ayrıştırılır ve ayrıştırılmış her problem farklı metotlarla çözülebilmektedir. Tamsayı ve karışık tamsayı programlama çeşitli güç sistem alanlarına uygulanmıştır. Örneğin; Optimal reaktif güç planlaması, güç sistem planlaması, şebeke taahhüdü, üretim listeleme gibi.

2.1.2 Doğrusal Olmayan Güç Sistemleri Problemleri için Kullanılan Metotlar

2.1.2.1 Doğrusal Olmayan Programlama

Güç sistemleri problemleri genelde doğrusal olmayan problemlerdir. Doğrusal olmayan Programlama(DOP) tabanlı teknik, güç sistemi problemlerine kolayca uygulanabilir. DOP tabanlı metotlar DP tabanlı uygulamalara göre daha hassastır ve daha çok global çözüme yakınsar. Yani başlangıç noktasından bağımsız olarak yakınsar. Fakat araştırma yönündeki zigzaglardan dolayı yavaş bir yakınsama hızı oluşabilir. DOP çeşitli güç sistemleri alanlarına uygulanmıştır; Bunlar; optimal yük akışı, hidrotermal çizelgevs. gibi.

2.1.2.2 İkinci Dereceden Programlama

İkinci Dereceden Programlama(İDP) doğrusal olmayan programlamanın özel bir biçimidir. İDP optimizasyon modelinde kullanılan hedef fonksiyonu ikinci dereceden bir fonksiyondur ve kısıtlamaları lineer formdadır. Özellikle güç sistemlerinde en çok kullanılan hedef fonksiyon genelde ikinci dereceden maliyet fonksiyonudur. Bundan dolayı İDP ile çözülen güç sistemi problemlerinde fonksiyonu yalınlaştırmak gibi bir şey söz konusu değildir. İDP, LP tabanlı uygulamalardan daha yüksek bir hassasiyete sahiptir[2]. Özellikle ekonomik yük dağılımı ve optimum yük akışı problemlerinin çözümünde kullanılmıştır.

2.1.2.3 Newton Metodu

Newton Metodu güç akışı eşitliklerinin ikinci dereceli kısmı türevlerinin hesaplanmasını içerir. Newton Metodu ikinci dereceden yakınsama özelliklerinden dolayı tercih sebebidir. Optimum güç akışı problemleri çözümünde kullanılmıştır.

2.2 Çözüm Yapılandırma Metotları

Bu metotlar güç sistemi problemlerinin çözümünü basitleştirmek ya da problemlerin çözümünde yardımcı olması için kullanılan metotlardır. Bunlar; Dinamik Programlama, Dal-Sınır Metodu, Lagrange Metodu, Kesen Düzlem metodu vs.

3. Sezgisel Optimizasyon Metotları

3.1 Deterministik Metotlar

3.1.1 Tabu Araştırması

Tabu Araştırması(TA) esas olarak tümleşik optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılır. Esnek hafızanın kullanımıyla tanımlanan iteratif bir araştırma algoritmasıdır. Herhangi bir başlangıç değeriyle başlar ve komşuluk mekanizmasını kullanarak en iyi çözümü bulmaya çalışır. Lokal minimumu elemine etme ve lokal minimumun ötesini araştırabilme özelliği vardır. TA global optimumu bulmak için tesadüfi değişkenli optimizasyon algoritmalarını kullanır. Bu TA'yı klasik metotlara göre esnek ve sağlıklı yapar.

Tabu listesinin en önemli özelliklerinden birisi, mevcut tabu listesinin aday komşu çözümler ile karşılaştırıldıktan sonra bir sıralama ve karşılaştırma işlemi yaparak kendisini yenileyebilmesidir.[3]

TA'nın kullanıldığı güç sistemi alanlarından bazıları; iletim planlaması, optimal kapasitör yerleşimi, reaktif güç planlamasıdır.

3.2 Olasılık Temelli Metotlar

3.2.1 Gelişime Dayalı Algoritmalar

3.2.1.1 Evrimsel Algoritmalar

Evrimsel Algoritmalar (EA) popülasyon tabanlı optimizasyon metotlarıdır. EA klasik yöntemlerden oldukça farklıdır. Bu yöntemde maliyet fonksiyonlarını ve kısıtlamaları ayırmaya gerek yoktur. EA aday çözümlerin sıfırlanmasıyla başlatılır ve başlangıç popülasyonundan sonra rastgele çözümler üretilir. Bütün çözümler probleme cevap verme kalitesine göre ölçülür. En iyi çözümü belirlemek için seçicilik kriteri uygulanır. EA'nın üstünlükleri değişimlere kolay adapte olabilmesi ve global optimuma yakınsaması dolayısıyla iyi çözümler

üretebilmesidir. EA tüm gerekli bilgileri yetenek fonksiyonunda bulundurması gerektiğinden bütün optimum güç akışı kısıtlamalarının dikkate alınması zordur. Bu sebeple daha çok klasik ekonomik dağıtım gibi yalınlaştırılmış optimum güç akışı problemlerinde de kullanılır.

EA; Genetik Algoritma(GA), Isıl İşlem (İİ). Evrimsel Programlama, Diferansiyel Gelişim Algoritması gibi alt bölümlere ayrılır. GA ve İİ Algoritmasına sürekli ve ayrık optimizasyon problemlerinin çözümünde çok yönlü optimizasyon yeteneklerinden dolayı gittikçe artan bir ilgi mevcuttur. GA doğal seçicilik ve evrim prensibine dayanırken, İİ termodinamikteki benzetim prensibine dayanmaktadır. EA; Güç sistemi planlaması, kapasitör yerleşimi, optimum yük akışı gibi değişik güç sistemi problemlerine uygulanmıştır.

3.2.1.2 Yapay Sinir Ağları

Bir sinir ağının öğrenilmiş davranışını açıklayan Yapay Sinir Ağları(YSA)'nın başlangıcı 1949'da D.O. Hebb tarafından uygulanan eğitim algoritmasıdır. YSA'nın birçok güç sistemleri uygulamasında çok tabakalı ileri beslemeli ağları kullanılmıştır. YSA'nın üstün yönleri; hızlı olması, öğrenme kabiliyetine haiz olması, bilgiye adapte olabilmesi, kararlı olması ve doğrusal olmayan modeller için uygun olmasıdır. Çok boyutlu olması, optimum konfigürasyonun seçilme gerekliliği, eğitim metodolojisinin tercihi, girişler makul olmasa bile algoritmanın sürekli bir sonuç üretmesi olumsuz yanlarıdır. YSA'nın güç sistemlerinde kullanıldığı alanlar: Planlama, ekonomik dağıtım, kısa dönem yük tahmini.

3.2.1.3 Uzman Sistemler

Uzman Sistemler karmaşık problemleri çözmek için insan uzmanlığına ihtiyaç duyan bilgi ve kural temelli sistemlerdir. US'in temel üstünlükleri; sürekliliği, kolaylıkla transfer edilebilir, yeniden üretilebilir olması ve kolaylıkla raporlanabilmesidir. Temel eksikliği ise yeni durumları öğrenmekte ya da yeni durumlara adapte olmakta yetersiz kalmasıdır. US, basit kurallı tekniklerle başlamıştır ve karmaşık sistemlere uygulanabilecek şekilde geliştirilmiştir. Son yirmi yıldır güç sistemlerinin üretim, iletim ve dağıtımında yardımcı olacak planlama, analiz, kontrol gibi alanlarında etkili uygulamalar geliştirilmiştir.

3.2.1.4 Bulanık Mantık

Mühendislik problemlerinde sıklıkla görülen kesin olmayan durumları tanımlamak için 1965 yılında L.A. Zadeh tarafından geliştirilmiştir ve ilk defa 1979 yılında güç sistemlerine uygulanmıştır. Klasik kurulum teorisinde elementin grubu kesindir fakat bulanık kurulum teorisinde elementin grubu sürekli değişir.

Güç sistemi kısıtlamalarını daha doğru bir şekilde göstermesi, bulanıklaştırılmış kısıtlamaların geleneksel kısıtlamalara göre daha esnek olması gibi üstünlükleri vardır. Bulanık mantık güç sistemlerinde gerilim kontrolü, yük tahmini, hata tespiti, güç sistemleri koruması ve güç sistem kontrolü gibi alanlara uygulanmaktadır.

3.2.2 Sürü Zekası Temelli Metotlar

3.2.2.1 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO) 1995 yılında J.Kennedy ve R.C.Eberhart tarafından geliştirilmiş, sosyal olarak organize olmuş kolonilerde sosyal dinamiklerden ve gelişmekte olan davranışlardan etkilenen sürü mantığının kullanıldığı algoritmadır. Doğrusal olmayan problemlerin çözümü için tasarlanmıştır. Çok parametrelili ve çok değişkenli optimizasyon problemlerine çözüm bulmak için kullanılmaktadır. PSO'nun klasik optimizasyon tekniklerinden en önemli farklılığı türev bilgisine ihtiyaç duymamasıdır. PSO'yu güç sistemlerine uygulamak, algoritmasında ayarlanması gereken parametre sayısının az olması sebebiyle oldukça basittir[4]. Optimum yük akışı problemlerinde son zamanlarda sıklıkla kullanılmaktadır.

3.2.2.2 Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) Sistemi M. Dorigo tarafından ilk defa 1992 detantılmıştır[5]. KKA'nda gerçek karınca

mimarisinin davranışlarından esinlenilmiştir. Bir karınca koku yoluyla evi ve besin kaynağı arasında çevre şartlarına göre gidip geleceği en kısa yolu belirler. Karıncalardaki bu sistem güç sistemlerine uygulanarak optimum çözüm araştırılır. KKA'nın son derece esnek olması ve çözüme yeni kanalların eklenmesi veya çıkarılması gibi değişikliklerin kolayca adapte edilebilmesi önemli avantajları arasında sayılmaktadır. KKA esas olarak iletim hattının en kısa rotasını bulmada ve optimum yük akışı problemlerinde kullanılmıştır.

3.2.2.3 Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay Arı Kolonisi(YAK) algoritması nümerik optimizasyon problemlerinin çözümü için D.Karaboğa tarafından geliştirilen yeni bir metottur[6]. Arı kolonisinde üç adet arı grubu vardır: işçi arılar, gözcü arılar ve kaşif arılar. Algoritmada her bir çevrim üç adımdan oluşmaktadır. Bunlar; İşçi ve gözcü arıların kaynaklara gönderilmesi, gidilen kaynaklardaki nektar miktarının hesaplanması, kaşif arının belirlenen herhangi bir kaynağa rastgele konumlanmasıdır. Arıların çalışması sırasında kaynakların keşfi ve tüketimi arasındaki bir denge kurulmaya çalışılmaktadır. Önceliği belirleyecek çaprazlama oranları, mutasyon gibi parametrelere gerek duyulmaz. Diğer sürü temelli algoritmalarla karşılaştırıldığında daha basit ve esnektir. Algoritma global ve lokal araştırma metotlarının kombinasyonu şeklindedir. Yapay arı kolonisi algoritması özellikle optimum güç akışı problemlerine uygulanmıştır.

Tablo-1: Güç Sistemlerine Uygulanan Optimizasyon Metotları ve Uygulama Alanları

OPTİMİZASYON METOTLARININ GÜÇ SİSTEMLERİNDE UYGULAMA ALANLARI											
Optimizasyon Metotları		Optimum Yük Akışı	Güç Sistem Planlaması	Reaktif Güç Planlaması	Enerji Üretim Planlaması	Enerji İletim Planlaması	Güç Sistem Koruması	Gerilim Kontrolü	Yük Tahmini	Ekonomik Yük Dağıtımı	Bazı İlgili Çalışmaların Ref. Numarası
KLASİK MET.	DP	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	7
	DNM	✓			✓		✓		✓	✓	8
	KTP		✓	✓	✓	✓		✓			9
	DOP	✓		✓	✓	✓		✓			10
	IDP	✓	✓	✓	✓	✓				✓	11
	NM	✓		✓				✓			12
SEZGİSEL METOTLAR	TA	✓		✓		✓			✓	✓	13
	EA	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	14,15
	YSA				✓		✓	✓	✓	✓	16
	US			✓			✓	✓			17,18
	BM	✓		✓			✓	✓	✓		19
	PSO	✓		✓		✓		✓	✓	✓	20,21
	KKA	✓		✓		✓		✓			22,23
	YAK	✓		✓						✓	24,25

4.Sonuç

Güç sistemlerinin gün geçtikçe genişlemesi ve elektrik şebekesinin deregülasyonu güç sistemi optimizasyon problemlerini daha karmaşık bir hale getirmektedir. Bu çalışmada karmaşık güç sistemlerinin farklı alanlarında optimizasyonu sağlayarak maliyetleri en aza indirmek için kullanılan klasik ve sezgisel metotlardan bahsedilmiştir. Klasik metotlar genelde probleme özgüdür. Bir problemde çok iyi sonuç verirken başka bir problemde yeterince iyi sonuç vermeyebilir. Birçok klasik metotla çözüme ulaşmak için formülasyonu sadeleştirmeye gereksinim vardır. Sonuçta klasik metotlar lokal optimuma yakınsarken sezgisel metotlar genelde lokal optimuma takılmadan global optimuma ulaşırlar. Çözülecek güç sistemi probleminin klasik metotlarla çözülmesi sırasında doğrusal olup olmaması önemli bir faktör iken sezgisel metotlar kullanılırken bunun pek önemi yoktur. Klasik metotlar, problemin boyutları büyüdükçe yetersiz kalmasına karşın sezgisel metotlar büyük boyutlu problemlerde de iyi sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak son yıllarda güç sistemleri problemlerine sezgisel metotların uygulanması güç sistemlerinde daha etkin ve verimli çözümleri de beraberinde getirmektedir[26].

KAYNAKLAR:

- [1] Akay, B., Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi, 2009, Kayseri
- [2] Zhu, J., Optimization of Power System Operation, A JOHN WILEY & SONS, INC. PUBLICATION, 2009
- [3] Yalçınöz, T., Yavuzer, T. and Altun, H., 'Tabu araştırması uygulanarak ekonomik yük dağıtım problemi'nin çözümü', Eleco'2002 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, pp. 30-34 (Elektronik Bilgisayar), Bursa, 18-22 Aralık 2002.
- [4] Tamer, S., Karakuzu, C., 'Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması ve Benzetim Örnekleri', ELECO 2006 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu, Elektronik Bildirileri Kitabı, 302-306, 6-10 Aralık 2006 Bursa.
- [5] Dorigo, M., Optimization, Learning and Natural Algorithms, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italie, 1992.
- [6] Karaboga, D., Basturk B., 'A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm', J Glob Optim 39:459-471, 2007
- [7] Farag, A., Al-Baiyat S., and Cheng, T.C., 'Economic load dispatch multiobjective optimization procedures using linear programming techniques', Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 10, pp. 731-738, 1995
- [8] Torres, G.L., and Quintana, V.H., 'On a nonlinear multiple-centrality-corrections interior-point method for optimal power flow', IEEE Trans. Power Syst., 2001, 16, (2), pp. 222-228
- [9] Alguacil, N., Motto A.L., Conejo, A.J. Transmission Expansion Planning: A Mixed-Integer LP Approach', IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 18, NO. 3, AUGUST 2003
- [10] Momoh, J.A., and Zhu, J., 'Multi-area power systems economic dispatch using nonlinear convex network flow programming', Electric Power Syst. Research, vol. 59, pp. 13-20, 2001.
- [11] Granelli G.P. and Montagna, M., 'Security- constrained economic dispatch using dual quadratic programming', Electric Power Syst. Research, vol 56, pp. 71-80, 2000.
- [12] Santos Jr A., da Costa G.R.M., 'Optimal-power-flow solution by Newton's method applied to an augmented Lagrangian function, IEE Proc.-Gour. Tram. Distrib., Vol. 142, No. 1, Jmumy 1995
- [13] Da Silva, E.L., Ortiz, J.M.A., De Oliveira, G.C., Binato, S., 'Transmission Network Expansion Planning Under a Tabu Search Approach' IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 16, NO. 1, FEBRUARY 2001
- [14] Da Silva, E.L., Gill, H.A. and Areiza, J.M. 'Transmission Network Expansion Planning Under an Improved Genetic Algorithm', IEEE Trans. Power Systems, 15(3): 1168-1175, 2000.
- [15] Varadarajan, M. and Swarup, K.S. 'Differential evolution approach for optimal reactive power dispatch', Applied Soft Computing 8 (4) (2008), pp. 1549-1561
- [16] Saksomchai, T., Lee W.J., Methaprayoon, K., Liao, J., 'Improve the Unit Commitment Scheduling by Using the Neural Network Based Short Term Load Forecasting, IEEE, pp. 33-39, July 2004
- [17] Pimpa, C., Premrudeepreechacharn, S., Voltage control in power system using expert system based on SCADA system, Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE
- [18] Liu, C.C. 'Practical Use of Expert Systems in Planning and Operation of Power Systems', Electra, 141:31-67, Feb. 1993.
- [19] Kumar, S.S., Ajay, P., Raj, Vimal, 'Fuzzy Logic based Stability Index Power System Voltage Stability Enhancement', International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 2, No. 1, February, 2010
- [20] Abido, M. A., 'Optimal power flow using particle swarm optimization', International Journal of Electrical Power & Energy Systems Volume 24, Issue 7, October 2002, Pages 563-571
- [21] AlRashidi M.R., El-Hawary M. E. 'A Survey of Particle Swarm Optimization Applications in Electric Power Systems, IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, VOL. 13, NO. 4, AUGUST 2009
- [22] Bouktir, T. and Slimani L., 'Optimal Power Flow of the Algerian Electrical Network using an Ant Colony Optimization Method' Leonardo Journal of Sciences ISSN 1583-0233, Issue 7, July-December 2005 p. 43-57
- [23] Ketabi, A. And Babaei, A.A. 'Application of the Ant Colony Search Algorithm to Reactive Power Pricing in an Open Electricity Market' American Journal of Applied Sciences 6 (5): 956-963, 2009 ISSN 1546-9239
- [24] Hemamalini, S., Simon, P.S., 'Economic/Emission Load Dispatch Using Artificial Bee Colony Algorithm', Proc. of Int. Conf. on Control, Communication and Power Engineering 2010
- [25] Ozturk, A., Cobanli, S., Erdogmus, P., Tosun, S., 'Reactive power optimization with artificial bee colony algorithm' Scientific Research and Essays Vol. 5 (19), pp. 2848-2857, 4 October, 2010
- [26] Warkad, S. B., Khedkar, M. K., Dhole, G.M., 'Genetic Algorithm Approach for solving AC-DC Optimal Power Flow Problem', Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol 6. No 1. (pp 027 - 039) , 2009

MAKSİMUM GÜÇ TRANSFERİ İÇİN L TİPİ EMPEDANS UYUMLAŞTIRMA DEVRELERİNİN BELİRLENMESİ

Ali Bekir YILDIZ

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
abyildiz@kocaeli.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, bir alternatif akım kaynağından veya aktif bir devreden bir yük empedansına max. güç transferinin sağlanması için empedans uyumlaştırma devrelerinin nasıl belirleneceği incelenmiştir. Bu amaçla, iki farklı topoloji ve bunlara ilişkin dört farklı devre yapısı verilmiştir. Alternatif akım kaynağı/aktif devrenin empedansı ile yük empedansının değerleri cinsinden, uyumlaştırma devresinin elemanlarının nasıl belirleneceği ifade edilmiştir. Sayısal örnekler yüke aktarılan gücün artmasında, empedans uyumlaştırma devrelerinin etkisini göstermektedir.

Anahtar kelimeler : empedans uyumlaştırma, max. güç

1. Giriş

Bir alternatif akım kaynağından veya genel olarak bir enerji sistemden bir yük empedansına aktarılan gücün max. olması, empedans uyumlaştırma probleminin temelini oluşturmaktadır. Yüksek verimde gücün aktarılması, kaynak/enerji sisteminin empedansı ile yük empedansı arasındaki ilişkiye bağlıdır. Max. güç transferini sağlamak için geliştirilen empedans uyumlaştırma devreleri, güç sistemlerinden haberleşme sistemlerine kadar çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Günümüzde ekonomik, teknik ve çevresel nedenlerden dolayı güç sistemleri yüklenebilirlik sınırlarına yakın değerlerde çalıştırılmaktadır. Enerji sisteminin güç transfer kapasitesi, hem sistem planlayıcıları hem de işletmeciler açısından çok önemli hale gelmektedir. Bunun sonucu olarak, bir enerji sisteminin max. gücü nasıl transfer edeceğinin belirlenmesi giderek artan şekilde araştırmacıların ilgi alanına girmiştir. Son yıllarda, max. güç transfer sınırlarının online kestirimine/değerlendirilmesine ilişkin ölçüm tabanlı yöntemlerde önemli ilerlemeler olmuştur [1-6]. Bu çalışmalarda, ölçülen bilgiler, sistemin yük barasından görülen Thévenin eşdeğeri ile yükün görünen empedansını elde etmek için kullanılmıştır. Thévenin empedansı ile yük empedansı uyumlu olduğunda, max. güç transferi sağlanmaktadır. [7]'de, max. güç transferi ile empedans uyumlaştırma kavramları arasındaki ilişki incelenerek, değişen yük durumlarında max. güç

transfer sınırlarının hızlıca belirlenmesi için öngörücü-düzeltilici bir yapı önerilmiştir.

Max. güç transferi kavramı, güneş takip sistemlerinde de kullanılmaktadır. Güneşin yoğunluğuna göre, güneş hücrelerinin güç transfer yeteneği değişmektedir. Bu değişim, güneş hücresinin eşdeğerindeki gerilimi ve iç empedansını etkiler. [8]'de, empedans uyumlaştırma prensibine dayalı olarak, güneş hücresi üniteleri için bir max. güç transferi izleme sistemi geliştirilmiştir. Empedans uyumlaştırma devreleri, haberleşme sistemlerinde de yoğun kullanılmaktadır [9-12].

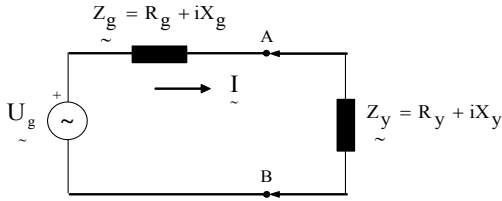
Bu çalışmada, bir alternatif akım kaynağından veya Thévenin eşdeğeri elde edilmiş bir sistemden yük empedansına max. güç transferi sağlamak için kullanılabilecek L tipi empedans uyumlaştırma devreleri incelenmiştir. Bu amaçla, iki farklı topoloji ve bunlara ilişkin dört farklı devre yapısı verilmiştir. Kaynak/Thévenin empedansı ile yük empedansının değerleri cinsinden, uyumlaştırma devresinin elemanlarının nasıl belirleneceği gösterilmiştir. Elde edilen ifadelerin geçerliliği, sayısal örneklerle gösterilmiştir.

2. Empedans uyumlaştırma kavramı

Devre analizinde kullanılan temel teoremlerden biri, Max. güç transferi teoremidir [13-15]. Bu teorem, aktif bir devreden veya bir kaynaktan bir yüke max. güç transferinin hangi şartlara bağlı olduğunu ifade eder. Teoremin, hem doğru akıma (DC) hem de alternatif akıma (AC) ilişkin uygulamaları vardır. Bu çalışmada, sinüsoidal sürekli halde (SSH) aktif bir devreden/AC kaynaktan pasif bir yük empedansına max. güç transferini sağlamak için empedans uyumlaştırma devrelerinin nasıl belirleneceği incelenmiştir.

Şekil 1'deki temel devrede, U_g ve Z_g büyüklükleri AC bir kaynağa ilişkin gerilim ve iç empedanstır. Ya da aktif bir devrenin herhangi iki ucuna göre (A-B) belirlenen Thévenin eşdeğerindeki gerilim ve empedans değeridir. Şekil 1'deki Z_y ise yük empedansını göstermektedir.

Max. güç çekme teoremine göre, aktif bir devreden/ AC bir kaynaktan pasif bir yüke max. güç aktarılması için, yük empedansı (Z_y) iç empedansın (Z_g) eşleniğine eşit olmalıdır (denk.1).



Şekil 1

$$\tilde{Z}_y = \tilde{Z}_g^* \quad (1.a)$$

$$\tilde{Z}_y = R_y + iX_y = R_g - iX_g \quad (1.b)$$

Devre akımı :

$$\tilde{I} = \frac{\tilde{U}_g}{\tilde{Z}_g + \tilde{Z}_y} = \frac{\tilde{U}_g}{R_y + R_g + i(X_y - X_g)} = \frac{\tilde{U}_g}{2R_y} \quad (2)$$

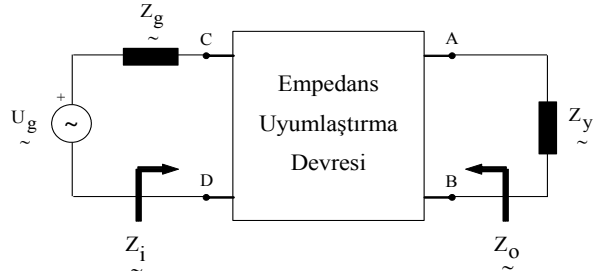
Bu durumda yüke ait max. güç :

$$P = |\tilde{I}|^2 R_y = \left(\frac{\tilde{U}_g}{2R_y} \right)^2 R_y = \frac{\tilde{U}_g^2}{4R_y} \quad (3)$$

Genel uygulamalarda, denk.(1) ile verilen koşul sağlanamadığından, yüke max. güç aktarmak mümkün olmaz. Bu amaçla aktif devre/AC kaynak ile yük arasında, denk.(1)'deki koşulu sağlayacak şekilde empedans uyumlaştırma devreleri konur. Temel gösterimi Şekil 2'de verilen 2-kapılı devrelerin kullanımından sonra, yüke max. aktif güç aktarmak mümkün olur. Aktif devrenin/AC kaynağın gücünün bir kısmının araya konan devrede harcanmaması için, bu iki kapılı devrelerin kayıpsız elemanlardan (endüktans, kapasite) oluşması gereklidir.

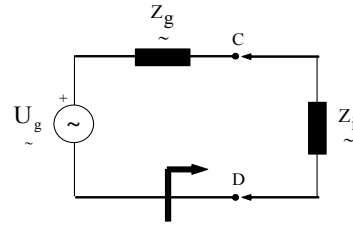
Empedans uyumlaştırma devrelerinin belirlenmesi iki şekilde gerçekleştirilir.

(1) Şekil 2'deki temel devrede, empedans uyumlaştırma devresi ile yük empedansının birlikte oluşturduğu ve C-D uçlarından görülen giriş



Şekil 2

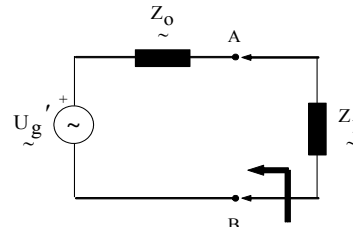
empedansı (Z_i) ifade edilir. Bu büyüklük, yük empedansının kaynak uçlarına indirgenmiş değeridir. Devrenin C-D uçlarına indirgenmiş hali olan Şekil 3'teki devre, Şekil 1'deki devre ile aynı yapıdadır. Dolayısıyla, denk.(1)'in sonuçları, bu devreye uyarlanabilir. Buna göre, Şekil 3'teki indirgenmiş devrede, Z_i ve Z_g empedansları arasında denk.(4) ile verilen koşul sağlanacak şekilde, empedans uyumlaştırma devresinin elemanları belirlenir.



Şekil 3

$$\tilde{Z}_i = \tilde{Z}_g^* \quad (4)$$

(2) Şekil 2'deki temel devrede, aktif devre/AC kaynak ile empedans uyumlaştırma devresinin birlikte oluşturduğu ve A-B uçlarından görülen Thévenin eşdeğer devresi ($\tilde{U}_g'$, Z_o) ifade edilir. Bu büyüklükler, aktif devre/AC kaynağın yük uçlarına indirgenmiş durumudur. Devrenin A-B uçlarına indirgenmiş hali olan Şekil 4'deki devre, yine Şekil 1'deki devre ile aynı yapıdadır. Dolayısıyla, denk.(1)'in sonuçları, bu devre için de uyarlanabilir. Buna göre, Şekil 4'teki indirgenmiş devrede, Z_o ve Z_y empedansları arasında denk.(5) ile verilen koşul sağlanacak şekilde, empedans uyumlaştırma devresinin elemanları belirlenir.



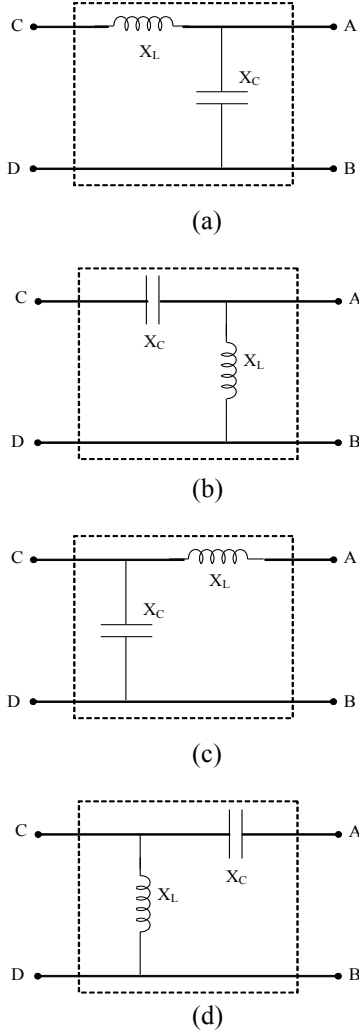
Şekil 4

$$\tilde{Z}_o = \tilde{Z}_y^* \quad (5)$$

3. Empedans uyumlaştırma devre yapıları

L tipi empedans uyumlaştırma devre yapıları Şekil 5'te verilmiştir. Bölüm 1'de ifade edildiği gibi, ara devrede güç kaybı oluşmaması için kayıpsız elemanlar olan endüktans ve kapasite kullanılır.

Şekil 5.a ve 5.c'deki devreler alçak geçiren filtre yapısına, Şekil 5.b ve 5.d'deki devreler ise yüksek geçiren filtre yapısına sahiptirler.



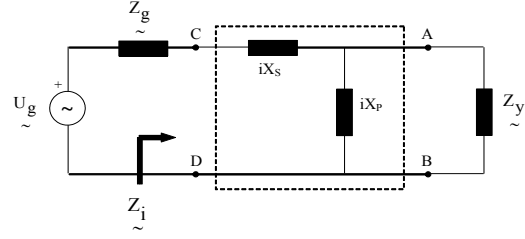
Şekil 5

4. Empedans uyumlaştırma devre elemanlarının belirlenmesi

Şekil 5'teki devre yapılarının ortak noktası; bir reaktans elemanı giriş/çıkış devresine seri bağlı iken, diğer reaktans elemanı giriş/çıkış devresine paralel bağlıdır. Bu nedenle, aşağıda iki temel devre topolojisi ele alınarak genel ifadeler elde edilecektir. Bu devrelerde, seri bağlı olan reaktans X_s ile paralel bağlı olan reaktans X_p ile gösterilmiştir. Reaktansın türü, hesaplamalar sonucunda elde edilen büyüklüğün işaretine göre belirlenmiştir. Yani, reaktansın işareti pozitif çıkarsa endüktif reaktans (X_L), reaktansın

işareti negatif çıkarsa kapasitif reaktans (X_C) olduğu sonucuna varılmaktadır.

Topoloji 1:



Şekil 6

Bu devre yapısı, Şekil 5.a ve 5.b'deki durumlara ilişkindir. Yani, bir reaktans elemanı girişe seridir (X_s), diğer reaktans ise çıkışa paraleldir (X_p). Buradaki empedans uyumlaştırma devresinin elemanlarının belirlenmesinde, Bölüm 1'de açıklanan birinci yol kullanılacak ve Şekil 3'deki indirgenmiş devre yapısı elde edilecektir. Şekil 6'daki devrenin C-D uçlarından görülen Z_i empedansı:

$$Z_i = \frac{(R_y + iX_y)(iX_p)}{R_y + iX_y + iX_p} + iX_s \quad (6)$$

Max. güç transferi için, yük empedansının C-D uçlarına indirgenmiş değeri olan Z_i empedansı denk.(4)'e göre Z_g empedansının eşleniğine eşit olmalıdır.

$$Z_i = Z_g^* = R_g - iX_g \quad (7)$$

Denk.(6) ve denk.(7) birlikte ele alınır. Bu amaçla, denk.(6)'daki Z_i empedansının reel kısmı R_g direncine sanal kısmı ise X_g reaktansına eşitlenir. Bu eşitleme sonucunda elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir :

$$R_g = \frac{R_y X_p^2}{R_y^2 + (X_y + X_p)^2} \quad (8.a)$$

$$-X_g = \frac{R_y^2 X_p + X_y^2 X_p + X_y X_p^2}{R_y^2 + (X_y + X_p)^2} + X_s \quad (8.b)$$

Denk.(8.a) ve denk.(8.b) yardımıyla, bilinen empedans değerleri (R_y , X_y , R_g , X_g) cinsinden, empedans uyumlaştırma devresinin elemanları (X_p , X_s) belirlenir. Denk.(8.a)'dan, bilinmeyen X_p reaktansı olan ikinci dereceden bir denklem elde edilir :

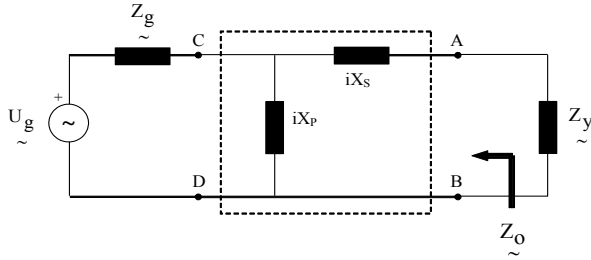
$$X_p^2 + 2X_y \frac{R_g}{R_g - R_y} X_p + \frac{R_g}{R_g - R_y} (R_y^2 + X_y^2) = 0 \quad (9)$$

Denk.(9)'dan paralel reaktans değerleri (X_p) bulunduğundan sonra, seri reaktans (X_s) değerleri, denk.(8.b)'e göre aşağıdaki gibi belirlenir :

$$X_s = -X_g - \frac{R_y^2 X_p + X_y^2 X_p + X_y X_p^2}{R_y^2 + (X_y + X_p)^2} \quad (10)$$

Öncelikle, denk.(9)'un çözülmesiyle iki ayrı paralel reaktans değeri (X_{p1} , X_{p2}) değeri bulunur. Elde edilen bu büyüklükler, denk.(10)'da kullanılarak seri reaktans değerleri (X_{s1} , X_{s2}) bulunur. Her iki reaktans grubuna ait büyüklüklerin işaretine göre, elemanların türü belirlenir. Empedans uyumlaştırma devresinin eleman eşleşmelerine ($X_{p1}-X_{s1}$ ve $X_{p2}-X_{s2}$) göre, Şekil 5.a veya 5.b'deki devre yapıları kullanılır.

Topoloji II :



Şekil 7

Bu devre yapısı, Şekil 5.c ve 5.d'deki durumlara ilişkindir. Yani, bir reaktans elemanı girişe paraleldir (X_p), diğer reaktans ise çıkışa seridir (X_s). Buradaki empedans uyumlaştırma devresinin elemanlarının belirlenmesinde, Bölüm 1'de açıklanan ikinci yol kullanılacak ve Şekil 4'deki indirgenmiş devre yapısı elde edilecektir. Bunun temel nedeni, Topoloji I ile aynı formatta denklem yapısı elde etmektir.

Şekil 4'deki indirgenmiş devre yapısını elde etmek için, Şekil 7'deki devrenin A-B uçlarından görülen Thévenin eşdeğer devresi (U_g' , Z_o) ifade edilir :

$$U_g' = \frac{iX_p}{R_g + iX_g + iX_p} U_g \quad (11)$$

$$Z_o = \frac{(R_g + iX_g)(iX_p)}{R_g + iX_g + iX_p} + iX_s \quad (12)$$

Max. güç transferi için, A-B uçlarına indirgenmiş devredeki Z_o empedansı denk.(5)'e göre Z_y empedansının eşleniğine eşit olmalıdır.

$$Z_o = Z_y^* = R_y - iX_y \quad (13)$$

Denk.(6) ile denk.(12)'nin, denk.(7) ile denk.(13)'ün aynı yapıda olduğu görülmektedir. Sadece R_g ve R_y , X_g ve X_y elemanları yer değiştirmiştir. Bu ilişkiden dolayı, $R_g \Leftrightarrow R_y$ ve $X_g \Leftrightarrow X_y$ değişikliği yapılarak

denk.(9) ve denk.(10) ile verilen Topoloji I'e ait sonuçlar Topoloji II için de doğrudan kullanılabilir :

$$X_p^2 + 2X_g \frac{R_y}{R_y - R_g} X_p + \frac{R_y}{R_y - R_g} (R_g^2 + X_g^2) = 0 \quad (14)$$

$$X_s = -X_y - \frac{R_g^2 X_p + X_g^2 X_p + X_g X_p^2}{R_g^2 + (X_g + X_p)^2} \quad (15)$$

Topoloji I'de olduğu gibi, öncelikle denk.(14)'ün çözülmesiyle iki ayrı paralel reaktans değeri (X_{p1} , X_{p2}) değeri bulunur. Elde edilen bu büyüklükler, denk.(15)'te kullanılarak seri reaktans değerleri (X_{s1} , X_{s2}) bulunur. Her iki reaktans grubuna ait büyüklüklerin işaretine göre, elemanların türü belirlenir. Empedans uyumlaştırma devresinin eleman eşleşmelerine ($X_{p1}-X_{s1}$ ve $X_{p2}-X_{s2}$) göre, Şekil 5.c veya 5.d'deki devre yapıları kullanılır.

5. Sayısal Örnekler

Empedans uyumlaştırma devre yapılarını ve devre elemanlarını belirlemek amacı ile Topoloji I ve II'e ilişkin örnekler verilecektir.

Örnek 1 : Şekil 1'deki temel devrede, $Z_g = 30 + 40i$ ve $Z_y = 100 + 20i$ şeklindedir. Kaynak gerilim $U_g = 100V$. Empedans uyumlaştırma devresi olmadan devreye ait akım ve güç değerleri :

$$I = \frac{U_g}{Z_g + Z_y} = \frac{100 \angle 0}{30 + 40i + 100 + 20i} \cong 0.7 \angle -24.7^\circ A$$

$$P = I^2 R_y = 0.7^2 \times 100 \cong 49W$$

Şekil 6'daki Topoloji I'in kullanılması durumunda, Z_g ve Z_y empedansları cinsinden empedans uyumlaştırma devrelerinin (Şekil 5.a ve 5.b'deki yapılar) elemanları denk.(9) ve denk.(10) ile belirlenir :

$$X_p = [75.8 \quad -58.7] \text{ ve } X_s = [-87.1 \quad 7.1]$$

Paralel ve seri reaktansların işaretleri cinsinden elemanların türü belirlenir. Eleman eşleşmelerine göre, $X_{p1} = 75.8\Omega$ (endüktans) ve $X_{s1} = -87.1\Omega$ (kapasite) grubu Şekil 5.b'deki devreye, $X_{p2} = -58.7\Omega$ (kapasite) ve $X_{s2} = 7.1\Omega$ (endüktans) grubu ise Şekil 5.a'daki devreye karşı düşer. Bu eleman gruplarından birinin kullanılması durumunda, Şekil 6'daki Topoloji I'e ilişkin Z_i empedansının denk.(7) ile verilen koşulu sağladığı görülür.

$$Z_i = \frac{(R_y + iX_y)(iX_p)}{R_y + iX_y + iX_p} + iX_s = 30 - 40i = Z_g^*$$

Bu durumda; yüke ait akım : $I_y \cong 0.9 \angle 46.2^\circ A$

Yüke ait güç : $P = I_y^2 R_y \cong 83.3W$ (max. güç)

Görüldüğü gibi, empedans uyumlaştırma devresinin kullanılmasından sonra, yüke aktarılan güç önemli oranda artmıştır.

Örnek 2 : Şekil 1'deki temel devrede, $Z_g = 60+40i$ ve $Z_y = 10+20i$ şeklindedir. Kaynak gerilim $U_g = 100V$.

Empedans uyumlaştırma devresi olmadan devreye ait akım ve güç değerleri :

$$\tilde{I} = \frac{\tilde{U}_g}{\tilde{Z}_g + \tilde{Z}_y} = \frac{100\angle 0}{60 + 40i + 10 + 20i} \cong 1.1\angle -40.6A$$

$$P = I^2 R_y = 1.1^2 \times 10 \cong 12W$$

Şekil 7'deki Topoloji II'in kullanılması durumunda, Z_g ve Z_y empedansları cinsinden empedans uyumlaştırma devrelerinin (Şekil 5.c ve 5.d'deki yapılar) elemanları denk.(14) ve denk.(15) ile belirlenir :

$$X_p = [41.2 \quad -25.2] \text{ ve } X_s = [-47.7 \quad 7.7]$$

Paralel ve seri reaktansların işaretleri cinsinden elemanların türü belirlenir. Eleman eşleşmelerine göre, $X_{p1}=41.2\Omega$ (endüktans) ve $X_{s1}=-47.7\Omega$ (kapasite) grubu Şekil 5.d'deki devreye, $X_{p2}=-25.2\Omega$ (kapasite) ve $X_{s2}=7.7\Omega$ (endüktans) grubu ise Şekil 5.c'deki devreye karşı düşer. Bu eleman gruplarından birinin kullanılması durumunda, Şekil 7'deki Topoloji II'e ilişkin Z_o empedansının denk.(13) ile verilen koşulu sağladığı görülür.

$$\tilde{Z}_o = \frac{(R_g + iX_g)(iX_p)}{R_g + iX_g + iX_p} + iX_s = 10 - 20i = \tilde{Z}_y^*$$

Bu durumda; yüke ait akım : $\tilde{I}_y \cong 2.04\angle 36.4A$

Yüke ait güç : $P = I_y^2 R_y \cong 41.6W$ (max. güç)

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, max. güç çekme teoremi ile empedans uyumlaştırma devreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu kavramın, alternatif bir akım kaynağı/Thévenin eşdeğeri elde edilmiş bir sistemden bir yük empedansına aktarılan gücün en büyük olmasında nasıl kullanılacağı gösterilmiştir. Sistem bilinenleri cinsinden, uyumlaştırma devresinin elemanlarının bulunmasına ilişkin ifadeler verilmiştir. Elde edilen ifadelerin kullanılması ile hazırlanan Matlab dosyasının, sayısal örneklerle ilişkin sonuçları verilmiştir. Örnekler, empedans uyumlaştırma devrelerinin yüke aktarılan gücün artmasındaki etkilerini göstermektedir.

7. Kaynaklar

- [1] K. Vu, M. Begovic, D. Novosel, M. Saha, "Use of local measurements to estimate voltage-stability margin", *IEEE Trans. Power Syst.* Vol.14, pp.1029-1034, 1999.
- [2] M. Haque, "On-line monitoring of max. permissible loading of a power system within voltage stability limits", *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.* Vol.150, pp.107-112, 2003.
- [3] B. Milosevic, M. Begovic, "Voltage-stability protection and control using a wide-area network of phasor measurements", *IEEE Trans. Power Syst.* Vol.18, pp.121-127, 2003.
- [4] M. Zima, et al, "Design aspects for wide-area monitoring and control systems", *Proc. IEEE* 93, pp.980-996, 2005.
- [5] I. Simon, G. Verbic, F. Gubina, "Local voltage-stability index using Tellegen's theorem", *IEEE Trans. Power Syst.* Vol.21, pp.1267-1275, 2006.
- [6] S. Corsi, G. Taranto, "A real-time voltage instability identification algorithm based on local phasor measurements", *IEEE Trans. Power Syst.* Vol.23, pp.1271-1279, 2008.
- [7] L. Weixing, et al, "On impedance matching and maximum power transfer", *Electric Power Systems Research, Elsevier*, Vol.80, pp.1082-1088, 2010
- [8] T. Tun-Ping, et al, "Research and development of maximum power transfer tracking system for solar cell unit by matching impedance", *Renewable Energy, Elsevier*, Vol.35, pp.845-851, 2010.
- [9] M. Thompson, J.K. Fidler, "Design software for impedance matching networks", *Proc. 7th Int. Conf. HF Radio*, U.K., 1997.
- [10] M. Thompson, J.K. Fidler, "Application of generic algorithm and simulated annealing to LC filter tuning", *Proc. Inst. Elect. Eng. Circuits, Devices Syst.*, Vol.148, pp.177-182, 2001.
- [11] Y. Sun, J.K. Fidler, "Design method for impedance matching networks", *Proc. Inst. Elect. Eng. Circuits, Devices Syst.*, Vol.143, pp.186-194, 1996.
- [12] M. Thompson, J.K. Fidler, "Determination of the impedance matching domain of impedance matching networks", *IEEE Trans. Circuits and Systems-I Regular papers*, Vol.51, pp.2098-2106, 2004.
- [13] A.B. Yıldız, "Elektrik Devreleri, Teori ve Çözümlü Örnekler", Kısım II, Kocaeli Ün., No : 234, 2006.
- [14] R.E. Thomas, A.J.Rosa, "The analysis and design of linear circuits", 5th Ed., John Wiley & Sons, 2006.
- [15] C.K. Alexander, N.O. Sadiku, "Fundamentals of Electric Circuits", 3rd Ed. McGraw-Hill, 2007.

BİR TEKSTİL FABRİKASINDA ELEKTRİKSEL AÇIDAN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

Hakan AKÇA¹, Onur OTHAN¹, Uğur Savaş SELAMOĞULLARI¹

¹ Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi

Beşiktaş, İstanbul

hakanakca1@gmail.com.tr, selam@yildiz.edu.tr

Özet

Gelişmekte olan ülkemizde giderek artan elektrik enerjisi talebi ve elektrik üretiminin büyük kısmında kullanılan doğalgaz gibi enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı olmamız düşünüldüğünde, enerjinin daha verimli kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bir ülkenin ekonomik ve sosyal olarak gelişmesinde ülke sanayisi önemli bir yere sahiptir. Sanayide elektrik enerjisi kullanımı artmakta ve 2009 yılı itibari ile bu oran toplam elektrik enerjisi tüketiminin 45%'ini oluşturmaktadır [1]. Bu yüzden sanayi sektöründe yapılacak olan verimlilik çalışmalarının sonucunda elde edilecek enerji tasarruf miktarı çok büyük olacaktır. Yapılan çalışmada, bir tekstil fabrikasında bulunan mevcut motorlar ve aydınlatma sistemlerinde kullanılan magnetik balastların daha verimli olan tipleri ile değiştirilmesi sonucunda elde edilen enerji kazanımı ve maliyet analizi ortaya konmuştur. Daha verimli elemanların kullanılması ile kaliteden ödün vermeden büyük miktarda enerji kazanımı elde edilebileceği görülmüştür.

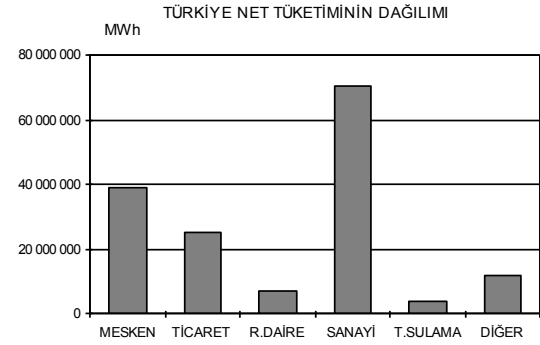
Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, elektronik balast, verimli elektrik motorları, geri dönüş zamanı

Abstract

More efficient use of energy have become a vital issue in Turkey considering ever-increasing electricity demand and dependency on foreign sources such as natural gas to produce electricity. Industry plays an important role in economical and social development of a country. The electricity use in industry has reached around 45% of total electricity use based on 2009 data [1]. Thus, considerable energy savings can be achieved through energy efficiency studies in industrial plants. Here, a textile company has been considered. Motors and magnetic ballasts in illumination system are replaced with more efficient ones and resulting energy savings and cost analysis are given. It has been shown that considerable savings can be achieved simply by replacing old technology with more efficient ones without sacrificing quality.

1. Giriş

Gelişmekte olan Türkiye’de ihtiyaç duyulan enerji miktarı her geçen gün artmaktadır. 2009 yılında 156,9 TWh olarak gerçekleşen elektrik enerjisi tüketimimizin 44,9%’u sanayi sektöründe olmuştur (Şekil 1) [1]. Bu yüzden sanayide enerjinin daha verimli kullanımı oldukça önem arz etmektedir.



Şekil 1: Türkiye Net Elektrik Enerjisi Tüketimi Dağılımı [1].

2007 yılında çıkarılan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amaçlanmıştır. Kanunun kapsamı ise enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşım da enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine yönelik uygulanacak usul ve esaslar bulunmaktadır [2].

Bu bağlamda, sanayide tesislerinde yüksek verimli motor kullanımı, fan ve pompaların frekans kontrolü ile hızlarının kontrol edilmesi, tesisin elektriksel güç faktörünün düzeltilmesi, daha verimli aydınlatma sistemlerinin kullanılması enerji verimliliğinin artırılması için kullanılan yöntemlerden bazılarıdır. Daha verimli

motor ve aydınlatma sistemlerinin kullanılması bu yöntemlerden en yaygın olanıdır [3].

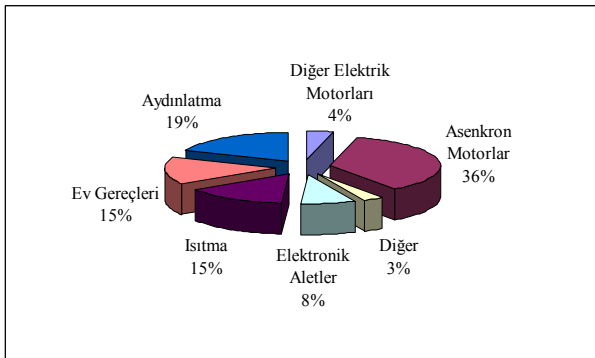
Bu çalışmada, İstanbul'da bulunan bir tekstil fabrikasında elektriksel açıdan enerji verimliliği analizi yapılarak, fabrikada bulunan elektrik motorlarının ve aydınlatma sisteminde kullanılan magnetik balastların daha verimli motor ve elektronik balastlarla değiştirilmesi durumunda elde edilecek enerji kazanımı ortaya konulacaktır. Böyle bir değişimin getireceği maliyetin daha verimli sistemlerin kullanılması sonucunda ne kadar zamanda geri dönüşünün olacağı incelenecektir.

2. Fabrikada Elektriksel Açıdan Verimlilik Analizi

Çalışmada ele alınan fabrika İstanbul'da bulunan bir tekstil fabrikasıdır ve ana faaliyet konusu dar dokuma ve örme ürünleridir. 2 mm. ile 10 cm. arasında değişen genişliklerde şerit, lastik, kolon, kordon, biye, ekstrafor, ayakkabı bağı ve çeşitli dolgu malzemeleri üreterek ağırlıklı olarak tekstil ve hazır giyim sektörlerine ürün sağlamaktadır.

2.1. Elektrik Motorları

Daha önceden belirtildiği gibi üretilen toplam elektriğin yaklaşık yarısı sanayi sektöründe kullanılmaktadır. Sanayide kullanılan elektriğin ise büyük bir miktarı motorlar tarafından tüketilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2: Talep Tarafı Elektrik Kullanımı [4].

Bu da sanayide yüksek verimli motor kullanılmasının enerji maliyetinin düşürülmesinde ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Elektrik motorlarının daha verimli kullanımını sağlayacak bazı önlemler Tablo 1'de verilmiştir [4]. Görüldüğü gibi yüksek verimli motor kullanımı ile elde edilebilecek enerji tasarruf miktarı oldukça büyüktür.

Tablo 1: Elektrik Motorları Kullanımında Tasarruf Potansiyeli [4].

Önlem	Tasarruf Potansiyeli (GWh/yıl)
Gücüne yakın yükte çalıştırılması	400
Yüksek verimli motor kullanılması (EFF1)	1.300
Değişken hız sürücüsü kullanılması	2.000
Yanmış motorların yeniden sardırılmaması	600

Fabrikada kullanılan motorlar genel olarak 1100 W gücünde 4 kutuplu 1350 d/d'da çalışan asenkron motorlardır (Tablo 2).

Tablo 2: Fabrikada kullanılan motorlara ait veriler.

	Gerilim (V)	Frekans (Hz)	Akım (A)	Çıkış Gücü (W)	cosθ	Devir (d/d)
Δ	220	50	4,70	1100	0,80	1350
Y	380		2,70			

Tablo 3'te Avrupa Elektrik Makineleri ve Güç Elektroniği İmalatçıları Komitesince (CEMEP) hazırlanan 3 fazlı AC asenkron sincap kafesli motorlar için verim sınıfları verilmiştir Burada EFF1 sınıfı yüksek verimli motorları, EFF2 verimi iyileştirilmiş motorları, EFF3 ise düşük verimli motorları ifade etmektedir [4].

Tablo 3: CEMEP tarafından hazırlanan 3 fazlı AC asenkron sincap kafesli motorlar için verim sınıfları [4].

Çıkış Gücü (kW)	2 Kutuplu Motorlar (%)			4 Kutuplu Motorlar (%)		
	EFF1	EFF2	EFF3	EFF1	EFF2	EFF3
1,1	≥ 82,8	≥ 76,2	< 76,2	≥ 83,8	≥ 76,2	< 76,2
1,5	≥ 84,1	≥ 78,5	< 78,5	≥ 85,0	≥ 78,5	< 78,5
2,2	≥ 85,6	≥ 81,0	< 81,0	≥ 86,4	≥ 81,0	< 81,0
3	≥ 86,7	≥ 82,6	< 82,6	≥ 87,4	≥ 82,6	< 82,6
4	≥ 87,6	≥ 84,2	< 84,2	≥ 88,3	≥ 84,2	< 84,2
5,5	≥ 88,6	≥ 85,7	< 85,7	≥ 89,2	≥ 85,7	< 85,7
7,5	≥ 89,5	≥ 87,0	< 87,0	≥ 90,1	≥ 87,0	< 87,0
11	≥ 90,5	≥ 88,4	< 88,4	≥ 91,0	≥ 88,4	< 88,4
15	≥ 91,3	≥ 89,4	< 89,4	≥ 91,8	≥ 89,4	< 89,4
18,5	≥ 91,8	≥ 90,0	< 90,0	≥ 92,2	≥ 90,0	< 90,0
22	≥ 92,2	≥ 90,5	< 90,5	≥ 92,6	≥ 90,5	< 90,5
30	≥ 92,9	≥ 91,4	< 91,4	≥ 93,2	≥ 91,4	< 91,4
37	≥ 93,3	≥ 92,0	< 92,0	≥ 93,6	≥ 92,0	< 92,0
45	≥ 93,7	≥ 92,5	< 92,5	≥ 93,9	≥ 92,5	< 92,5
55	≥ 94,0	≥ 93,0	< 93,0	≥ 94,2	≥ 93,0	< 93,0
75	≥ 94,6	≥ 93,6	< 93,6	≥ 94,7	≥ 93,6	< 93,6
90	≥ 95,0	≥ 93,9	< 93,9	≥ 95,0	≥ 93,9	< 93,9

Fabrikada kullanılan motorlar EFF3 sınıfında olan düşük verimli motorlardır. Tablo 2'den $\eta_{eff3} = 76,2\%$ değeri dikkate alındığında şebekeden çekilen güç aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} P_{g_{eff3}} &= P_{\zeta_{eff3}} / \eta_{eff3} \\ P_{g_{eff3}} &= 1100 / 0.762 \\ &= 1443.56 \text{ kW.} \end{aligned} \quad (1)$$

Bir motorun ayda 24 gün ve günde 20 saat çalıştığı düşünülerek motorun aylık enerji sarfıyatı

$$\begin{aligned} E_{eff3} &= P_{g_{eff3}} \times t \\ E_{eff3} &= 1443.56 \times 20 \times 24 \\ &= 692,908 \text{ kWh/ay} \end{aligned} \quad (2)$$

olarak hesaplanır.

TEDAŞ tarafından 2009 yılında sanayide uygulanan alçak gerilim tek zamanlı elektrik enerjisi tarifesine göre ortalama enerji maliyeti $A_{enerji} = 0.185 \text{ TL/kWh}$ 'tır [1]. Bu değer temel alınarak bir enerji maliyet hesabı yapılırsa bu motora ait bir aylık enerji maliyeti:

$$\begin{aligned} \text{Enerji maliyeti}_{eff3} &= E_{eff3} \times A_{enerji} \\ \text{Enerji maliyeti}_{eff3} &= 692,908 \times 0.185 \\ &= 128,188 \text{ TL/ay} \end{aligned} \quad (3)$$

olmaktadır.

Fabrikada kullanılan motorların EFF1 sınıfındaki daha verimli motorlar ile değiştirilmesi durumu için benzer bir enerji analizi yapılarak sonuçlar Tablo 4'te özetlenmiştir. Bu hesaplamalarda EFF1 sınıfı motor için verim değeri Tablo 3'den 83,8% olarak alınmıştır.

Tablo 4: EFF1 sınıfı motor ve EFF3 sınıfı motor için yapılan enerji analiz sonuçları.

	EFF1 Motor	EFF3 Motor
Şebekeden Çekilen Güç (W)	1312,64	1443,56
Verim (%)	83,8	76,2
Aylık çalışma zamanı (saat/ay)	20 x 24	
Aylık Enerji Sarfıyatı (kWh/ay)	630,071	692,913
Aylık Enerji Maliyeti (TL/ay)	116,563	128,188

EFF3 sınıfında 1.1 kW'lık bir motorun birim fiyatı yaklaşık 120 TL [5] iken EFF1 sınıfında 1.1 kW'lık bir motorun birim fiyatı yaklaşık 150 TL'dir [6]. Bu durumda EFF1 motor ile EFF3 motor birim fiyatları arasında 30 TL'lik fiyat farkı ortaya çıkmaktadır. Tablo 4'de verilen aylık enerji maliyetleri arasındaki fark hesaplandığında EFF1 sınıfında bir motor kullanımı ile yaklaşık 11,62 TL/ay kazanım görülmektedir.

Bu durumda iki senaryo dikkate alınabilir. Birinci senaryoda ömrünü doldurmuş/arıza yapmış EFF3 sınıfı bir

motorun EFF1 sınıfı bir motor ile değiştirilmesi dikkate alınabilir. Ödenilen 30 TL'lik fazla maliyetin ne kadar zamanda geri kazanabileceği iki motor arasındaki birim motor fiyat farkının aylık kazanç oranıyla hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} \text{Geri dönüş süresi} &= 30 / 11,62 \\ &= 2,58 \text{ ay.} \end{aligned} \quad (4)$$

Görüldüğü gibi yaklaşık 2,6 ayda daha verimli motor kullanımı sayesinde yeni motor için yapılan masraf geri kazanılmaktadır.

İkinci senaryoda ise EFF3 sınıfındaki bir motor çalışır durumda iken, Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında fabrika yönetimi tarafından alınan bir kararla EFF1 sınıf motorla değiştirilmesi dikkate alınabilir. Ömrünü doldurmuş EFF3 sınıfından bir motorun daha verimli (EFF1 sınıfı) bir motorla değiştirmesi durumunda EFF1 sınıfı bir motor için yapılan maliyetin geri dönüş süresi EFF1 sınıfı motor maliyetinin aylık kazanç oranıyla hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} \text{Geri dönüş süresi} &= 150 / 11,62 \\ &= 12,908 \text{ ay.} \end{aligned} \quad (5)$$

Görüldüğü gibi yaklaşık 13 ayda daha verimli motor kullanımı sayesinde yeni motor için yapılan masraf geri kazanılmaktadır.

2.2. Aydınlatma Sistemi

Fabrikada aydınlatma sisteminde 60 adet 36 W gücünde flüoresan lamba kullanılmıştır. Armatürlerin tamamında magnetik balast kullanılmıştır.

Flüoresan lambalarla birlikte kullanılan balastlar elektrik tüketimini doğrudan etkilemektedir. Avrupa Birliği içerisinde kurulan ulusal komponent üreticileri birliklerinden oluşmuş bir komite (CELMA), aydınlatma sistemlerinde yaptığı araştırmalarda balastlar üzerinde büyük enerji kayıplarının olduğunu tespit ederek Uluslararası Enerji Verimliliği Endeksi (Energy Efficiency Index- EEI) tanımlamıştır [7].

Tablo 5'te 26 mm çaplı tüp flüoresan lambalarla kullanılan balast sınıfları ve güç sınırlamaları verilmektedir. Tablo 5'te verilen B1, B2, C, D sınıfları manyetik balastları; A1, A2, A3 sınıfları ise elektronik balastları ifade etmektedir. Elektronik balastlardan A1 sınıfı ayarlı (dimming) elektronik balastı göstermektedir [8].

Tablo 5 : 26 mm çaplı tüp fluoressan lambalarla kullanılan balast sınıfları ve güç sınırlamaları [8].

Flüoresan Lamba Gücü (W)	Flüoresan Lamba ve Balast Devresi Gücü (W)						
	Elektronik Balastlar			Magnetik Balastlar			
	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
18	10,5	=<19	=<21	=<24	=<26	=<28	>28
36	19	=<36	=<38	=<41	=<43	=<45	>45
58	29,5	=<55	=<59	=<64	=<67	=<70	>70

Fabrikada kullanılan magnetik balastların C sınıfı olduğu kabul edilmiştir. Tablo 5’te 36 W fluoressan lambanın C sınıfı bir balastla kullanımı durumunda minimum 45 W harcayacağı verilmiştir. Kullanılan magnetik balastın daha verimli olan A2 tipi elektronik balast ile değiştirilmesi durumunda harcanan güç ise 36-38 W aralığında olacaktır. 38 W baz alınır ise daha verimli balast kullanımı ile lamba başına 7 W daha az güç harcanacaktır. Lambaların ayda 24 gün ve tüm gün boyunca kullanıldığı kabul edilirse, bir magnetik balast tarafından kullanılan enerji:

$$E_{magnetik} = P_{g_{magnetik}} \times t \quad (6)$$

$$E_{magnetik} = 45 \times 24 \times 24$$

$$= 25,920 \text{ kWh/ay}$$

olarak bulunur. Enerji birim fiyatı $A_{enerji} = 0,185 \text{ TL/kWh}$ alınarak enerji maliyet hesabı yapılırsa magnetik balasta sahip bir armatürün bir aylık enerji maliyeti:

$$Enerji \text{ Maliyeti}_{magnetik} = E_{magnetik} \times A_{enerji} \quad (7)$$

$$Enerji \text{ maliyeti}_{magnetik} = 25,920 \times 0,185$$

$$= 4,7952 \text{ TL/ay}$$

olmaktadır.

Fabrikada kullanılan bir magnetik balastın daha verimli elektronik balast ile değiştirilmesi durumu için benzer bir enerji analizi yapılarak sonuçlar Tablo 6’da özetlenmiştir.

Tablo 6: Magnetik balast ile Elektronik balast için yapılan enerji analizi sonuçları.

	Magnetik Balast	Elektronik Balast
Giriş Gücü (W)	45	38
Aylık çalışma zamanı (saat/ay)	24 x 24	
Aylık Enerji Sarfıyatı (kWh/ay)	25,920	21,888
Aylık Enerji Maliyeti (TL/ay)	4,7952	4,0492

Yapılan araştırma sonucunda bir magnetik balast yaklaşık 5 TL birim fiyata sahipken bir elektronik balastın yaklaşık 15 TL birim fiyata sahip olduğu belirlenmiştir [9],[10]. Elektronik balast ile magnetik balast birim fiyatları

arasında 10 TL’lik bir fiyat farkı vardır. Tablo 5’te verilen aylık enerji maliyetleri arasındaki fark hesaplandığında elektronik balast kullanımı ile 0,746 TL/ay’lık bir kazanç elde edilmektedir.

Bu durumda yine iki senaryo dikkate alınabilir. Birinci senaryoda ömrünü doldurmuş/arıza yapmış bir magnetik balastın elektronik balast ile değiştirilmesi durumunda geri ödeme süresi birim balast maliyet farkının aylık kazançla oranıyla hesaplanabilir:

$$Geri \text{ dönüş süresi} = 10 / 0,746 \quad (8)$$

$$= 13,40 \text{ ay.}$$

Görüldüğü gibi yaklaşık 13.5 ayda enerjinin daha verimli kullanımı sayesinde elektronik balast için yapılan masraf geri kazanılabilecektir.

İkinci senaryoda ise magnetik balast çalışır durumda iken Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında fabrika yönetimi tarafından alınan bir kararla elektronik balastla değiştirilmesi dikkate alınabilir. Ömrünü doldurmamış bir magnetik balastın daha verimli bir elektronik balast ile değiştirmesi durumunda elektronik balast için yapılan masrafın geri dönüş süresi, elektronik balastın birim maliyetinin aylık kazançla oranıyla hesaplanabilir:

$$Geri \text{ ödeme süresi} = 15 / 0,746 \quad (9)$$

$$= 20,107 \text{ ay.}$$

Görüldüğü gibi yaklaşık 20 ayda daha verimli balast kullanımı sayesinde elektronik balast için yapılan masraf geri kazanılmaktadır.

3. Fabrikada Bulunan Tüm Motor ve Tüm Magnetik Balastların Değiştirilmesi Durumunda Maliyet Analizi

Fabrikada bulunan 26 adet lastik örme ve 16 adet kordon örme makinelerinde kullanılan 42 adet 1.1 kW’lık motorun ve 60 adet magnetik balastın daha verimli olanları ile değiştirilmesi durumunda elde edilebilecek enerji kazanımı ve buna ait maliyet analizi yapılarak sonuçları Tablo 7’de özetlenmiştir.

Tablo 7: Fabrika için Toplam Maliyet Analiz Sonuçları.

	Adet	Ürün Birim Fiyatı	Toplam Ürün Maliyeti	Ürün Başına Aylık Kazanç	Toplam Aylık Kazanç
--	------	-------------------	----------------------	--------------------------	---------------------

		(TL)	(TL)	(TL/ay)	(TL/ay)
EEF1 Motor	42	150	6300	11,62	488,04
Elektronik Balast	60	15	900	0,746	44,76

Motor ve balast değişimi için gerekli işçilik maliyeti toplam maliyetin 20%'si olarak düşünülmüştür. Bu durumda önerilen değişim için yapılacak toplam masraf aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\text{Toplam maliyet} = 6300 + 900 + 0,20 \times 7200 \quad (10)$$

$$= 8640 \text{ TL.}$$

Motor ve balast değişimi ile elde edilen aylık toplam tasarruf miktarı:

$$\text{Toplam tasarruf} = 488,04 + 44,76 \quad (11)$$

$$= 532,80 \text{ TL/ay}$$

olmaktadır. Motor değişimi, balast değişimi ve işçilik giderlerini kapsayan toplam maliyetin toplam tasarrufa oranı ile geri ödeme süresi aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$\text{Geri ödeme süresi} = 8640 / 532,80 \quad (12)$$

$$= 16,216 \text{ ay.}$$

4. Sonuçlar

Bu çalışmada bir fabrika için elektriksel açıdan bir enerji verimliliği analizi yapılmıştır. Fabrikada bulunan mevcut elektrik motorlarının ve aydınlatma sisteminde kullanılan magnetik balastların daha verimli motorlar ve elektronik balastlarla değiştirilmesi sonucunda elde edilecek enerji kazanımları incelenmiştir.

Yapılan analiz sonucunda böyle bir değişim için gerekli maliyetin (işçilik dahil) elde edilen enerji kazanımı sayesinde 16.5 ay gibi kısa bir zamanda geri dönüşünün sağlanabileceği ortaya konmuştur. Daha sonra her yıl yaklaşık 530 TL'lik bir kazanım sağlanacaktır. Ortalama olarak 10 yıl ürün ömrü düşünülürse, yapılan değişiklikle fabrika toplam olarak 5300 TL'lik bir kazanç elde edecektir.

Yapılan hesaplarda 2009 yılına ait sanayi için kullanılan elektrik enerjisi birim fiyatı dikkate alınmıştır [1]. Elektrik enerjisinin birim fiyatının artması durumunda

elde edilecek kazanç miktarı daha da artarken geri dönüşüm süresi de o oranda kısalmaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] TEDAŞ 2009 Yılı İstatistikleri
- [2] http://www.eie.gov.tr/duyurular/EV/mevzuat/EV_mevzuat.html
- [3] Kavak K., Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, DPT Uzmanlık Tezi, Eylül 2005.
- [4] http://www.eie.gov.tr/turkce/en_tasarufu/uetm/ENV-ER-Motor.pdf
- [5] http://www.iletimelektrik.net/gamak_elektrik_motorlar.asp
- [6] <http://www.motorsan.com.tr/o/12052009.pdf>
- [7] http://www.celma.org/archives/temp/CELMA_Ballast_Guide.pdf
- [8] Enerji Verimliliği Teknik Kitapçık, 1. baskı, İstanbul 2008.
- [9] <http://www.urunland.com/pinfo.asp?pid=260536>
- [10] http://www.onlineelektrik.com/?kategori_74_BALAS_TLAR.html

PERVAPORASYON MEMBRAN REAKTÖRLER İLE KİMYASAL PROSESLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Filiz Uğur Nigiz, Evra Bayazıtlı, İnsaf Damla Türkmen, Nilüfer Durmaz Hilmioğlu

Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Umuttepe / KOCAELİ

filiz.ugur@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Kimyasal proseslerde enerji verimliliği önemli araştırma konularının başında gelmektedir. Enerji kaynaklarının tükenmesi, çevresel duyarlılıklar, mevcut proseslerdeki verimin yetersiz bulunması gibi birçok neden dünya çapında ticari olarak yeni proseslerin gelişmesini sağlamıştır. İstenilen, bir kimyasal reaksiyonun, en az proses kademesi, yan ürün, enerji tüketimi ile en yüksek dönüşüm ve verimde gerçekleşmesidir.

Pervaporasyon (PV), reaksiyon sonucu çıkan organik veya sulu bileşenleri yüksek verim, seçicilik ve düşük maliyet ile ayıran bir membran prosesidir. Pervaporasyon Membran Reaktör (PVMR) ise hem reaksiyonun hem de ayırmanın eş zamanlı gerçekleştiği bir sistemdir. Dolayısı ile PVMR’da reaksiyon olurken, oluşan ürünlerden biri sürekli ayrıldığı için reaksiyon verimi artar, reaksiyon süresi kısalır, işlem kademe sayısı azalır sonuç olarak çok daha ekonomik bir reaksiyon gerçekleşmiş olur.

Bu çalışmada teorik olarak PVMR’ı geleneksel ve alternatif sistemlerden ayıran faktörler incelenecek, deneysel olarak ise asetik asit ve etanolün esterleşme reaksiyonunu gerçekleştirmede ve reaksiyon sonucunda oluşan etil asetat-su çözeltisinden suyu ayırmada PVMR uygulanabilirliği incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Pervaporasyon membran reaktörler, esterleşme

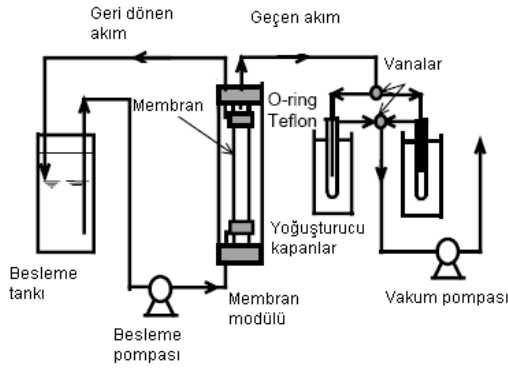
1. GİRİŞ

Membranlar ve membran prosesleri; karışım ayırma, enerji depolama ve dönüşüm sistemleri, kimyasal reaksiyon ve biyoteknoloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır[1]. Uygulama alanları işlemdeki itici güce göre çeşitlilik göstermektedir. Pervaporasyon; itici gücün konsantrasyon farkı olduğu bir membran ayırma prosesidir. Pervaporasyonu diğer membran proseslerinden ayıran en önemli faktör ayırma işlemi sırasında faz değişimi olmasıdır[2,3].

1.1 Pervaporasyon ve Pervaporasyon Membran Reaktörler

Şekil 1’de gösterildiği gibi standart vakumlu bir PV sisteminde besleme tankından membran hücresine gelen çözelti, membran ile temas eder ve membranın seçiciliğine göre maddelerden birinin sorpsiyonu gerçekleşir. Konsantrasyon farkına bağlı olarak membran içinde difüze olan madde, vakum basıncı etkisi ile diğer tarafa buhar olarak geçer ve buhar kapanlarda yoğunlaştırularak sıvı olarak elde edilir. Dolayısı ile işlemin performansı membranın fiziksel ve kimyasal kararlılığına bağlıdır. Pervaporasyonda; inorganik, polimerik ve kompozit membranlar kullanılmaktadır. İlk ticarileşen; kimyasal, mekanik ve ısı kararlılıklarından dolayı inorganik membranlardır ancak hazırlaması zor ve maliyetlidir. Polimerik membranlar; kolay süreçlendirilebilen, ucuz membranlardır ancak ısı ve mekanik kararlılıkları düşüktür. Kompozit membranlar;

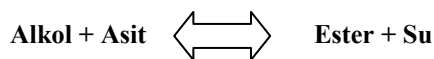
her iki membranın avantajlarını kapsayan kararlı ve uzun ömürlü membranlardır. Uygulanan her farklı ayırma işlemi için uygun membranların kullanılması pervaporasyonun etkinliğini arttıran en önemli faktördür. Ayırma esnasında herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmaz, ek kimyasallar kullanılmaz, Sonuç olarak yüksek seçicilik değerinde verimli ve ekonomik bir ayırma işlemi gerçekleştirilir[4,5,6].



Şekil 1: Pervaporasyon ünitesi

Pervaporasyon Membran Reaktörler ayırma ve reaksiyon sisteminin birlikte kullanıldığı yeni bir teknolojidir. Geleneksel reaksiyon sistemlerinde reaksiyon gerçekleşikten sonra ayırma ve saflaştırma işlemine geçilir ve proses maliyetinin büyük bir kısmını bu kademe oluşturur. Özellikle sıvı-sıvı ürünlerin elde edildiği reaksiyon sonrasında kullanılan geleneksel distilasyon yönteminde seçicilik ve sıcaklık ürün verimini sınırlayıcı bileşenlerdir[7,8].

PVMR'da reaksiyon membran hücresinde gerçekleşip normal pervaporasyon koşullarında ayrışabileceği gibi kesikli olarak farklı bir bölmede de gerçekleşebilmektedir. Aşağıda standart esterleşme tepkimesi görülmektedir. PVMR'da bir taraftan tepkime olurken diğer taraftan hidrofilik olan membran sürekli olarak suyu çektiği için denge sağa doğru kayar ve tepkime verimi artar



Avantajları

- Sürekli bir dönüşüm ve verim sağlanır
- Reaksiyon süresi kısaldır.
- Ayırma ve tepkime aynı hücre içinde olduğu için ayrıca bir ayırma prosesine ihtiyaç duyulmaz.
- Ayırma işlemi vakum basıncı düşürülüp seçilen maddenin buharlaşarak geçmesini sağladığından dolayı ısısal bozunmalar gerçekleşmez.
- Reaksiyon kabına veya membranın içine tepkime için katalizör olan kimyasallar kolayca yerleştirilebilir.
- Ayırma işleminde ek kimyasallar kullanılmaz[9,10,11].

Geleneksel proseslere alternatif olarak kullanılan bir diğer sistem ise reaksiyon ve distilasyonun aynı kolonda gerçekleştiği 'Katalitik Distilasyon' ya da diğer adı ile 'Reaktif distilasyon (RD)' dur. 1980 yılından beri birçok ticari kimyasal reaksiyonda kullanılmaktadır. PVMR gibi, -ürünler oluştuğu an ayırma işleminin yapılması- olgusuna dayanmaktadır. Yüksek seçicilik ve düşük maliyetlidir ancak ısısal işlemler içerdiğinden dolayı sıcaklık hassasiyeti bulunan maddelerin reaktan veya ürün olduğu durumlarda kullanılamaz. Her iki sistemin avantajı kullanılarak yapılan PVMR-RD sistemleri vardır ancak bunların maliyetinin yüksek olduğu öngörüsü yapılmıştır[12,13,14,15]

Özellikle esterleşme reaksiyonu üzerine yapılan akademik çalışmalar; PVMR ile yapılan reaksiyonlarda, tepkenlerden birinin fazla beslenmesine gerek kalmadan çok daha iyi verim alındığını ve belli bir süre sonunda % 100 dönüşüm elde edildiğini göstermektedir. Yapılan maliyet analizlerinde ise distilasyonun kullanıldığı iki kademeli bir reaksiyon sistemi ve PVMR karşılaştırılmış, sonuç olarak PVMR sisteminin enerji sarfiyatını % 75 oranında, toplam maliyeti % 50 oranından fazla azalttığı görülmüştür[16].

Bu çalışmada kimya endüstrisinde ham madde ve katkı maddesi olarak kullanılan etil asetatın kesikli PVMR da, etanol ve asetik asitin esterleşme reaksiyonu ile üretilip, reaksiyon gerçekleşirken oluşan su hidrofilik 'Kitosan' membran tarafından sürekli çekilerek etil asetat dönüşümünün artırılması amaçlanmıştır[7,8].

2. METERYAL VE METOT

2.1 Membran Hazırlanması

Membran; çözeltilerden dökme ve buharlaştırma yöntemi ile hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle kütlece % 1 lik kitosan çözeltisi hazırlanmıştır. Çözücü olarak asetik asit ve su kullanılmıştır. Oda koşullarında 24 saat karıştırılan polimer çözeltisi melamin yüzeye dökülmüş ve kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işleminden sonra membran, sodyum hidroksit, su, etanol ve sülfürik asit ile çapraz bağlanıp tekrar kurutulmuştur.

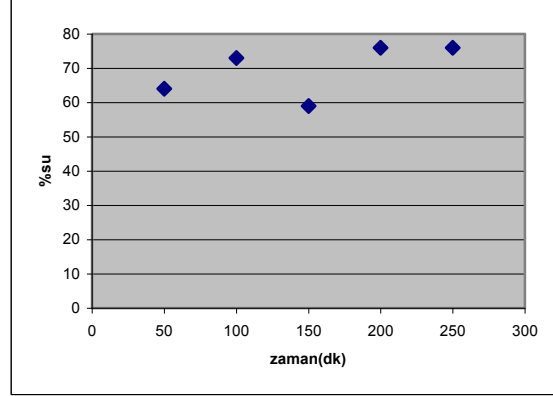
2.2 PVMR Uygulama

Reaksiyon 60 C° de, sülfürik asit katalizörü eşliğinde, asit mol/alkol mol =1 oranında ve 80 mbar vakum altında gerçekleşmiştir. Reaksiyon sonucu oluşan çözeltilerden sürekli olarak su çekilmiştir. Membranı buhar olarak terk eden sulu çözelti, sıvı azot bulunan soğutma kapanlarında yoğunlaştırılarak analiz edilmiştir. Beş saat süren işlem sonunda kararlı koşullar sağlanmış ve dönüşümün %100 olduğu varsayılmıştır.

3. SONUÇLAR

PVMR deneylerinden elde edilen numunelerden yapılan analiz sonuçlarında Şekil'2 de görüldüğü gibi reaksiyon süresince oluşan suyun büyük bir

kısmı membran tarafından seçici olarak geçirilmiştir. Zamana bağlı su miktarındaki artış reaksiyonun dönüşümünün arttığını göstermektedir.



Şeki

12. Zamana bağlı ürünlerden çekilen su konsantrasyonu

Kesikli olarak hazırlanan deney sisteminde reaksiyon olurken membran hücresine besleme işlemi gerçekleşmiştir. Aynı koşullarda membran hücresi içinde reaksiyonu gerçekleştirmek de mümkündür. Bu sonuçlara bakarak esterleşme reaksiyonlarında PVMR'ın ticari olarak kullanımının uygun olduğu görüşüne varılabilir.

Sonuç olarak; tüm dünyada araştırmacıların yaptığı çalışmalar, PVMR'ın geleneksel proseslerden daha verimli ve enerjiyi daha etkin kullanan bir teknoloji olduğunu kanıtlamaktadır. Araştırmalar; operasyon koşullarını iyileştirmekten çok daha seçici ve uzun ömürlü membranların geliştirilmesi yönündedir. Çünkü teknolojinin yaygınlaşması, her reaksiyon için en uygun membranı geliştirmeye bağlıdır. Uygun koşullar sağlandıktan ve gerekli fizibilite çalışmaları yapıldıktan sonra PVMR'ların yakın gelecekte kimyasal proseslerin birçoğunda kullanılacağını söylemek mümkündür.

4. KAYNAKLAR

1. H. Strathmann, 'Membrane Separation Processes: Current Relevance and Future Opportunities' AICHE Journal, 2001
2. M.A. Pacheco, C.L. Marshall, "Review of dimethyl carbonate (DMC) manufacture and its characteristics as a fuel additive", *Energy Fuels* 11 (1997) 2–29
3. R. Jiratananon, A. Chanachai, R.Y.M. Huang, D. Uttapap, "Pervaporation dehydration of ethanol–water mixtures with chitosan/hydroxyethylcellulose (CS/HEC) composite membranes I. Effect of operating conditions", *Journal of Membrane Science* 195 (2002) 143–151
4. Jose A. Gonza'lez-Marcos, Cristina Lo'pez-Dehesa, Juan R. Gonza'lez-Velasco, "Effect of Operation Conditions in the Pervaporation of Ethanol–Water Mixtures with Poly(1 Trimethylsilyl-1- Propyne) Membranes", Wiley Inter, May 2004
5. Sumesh, P.T., Bhattacharya, P.K., ' Analysis of phase change during pervaporation with single component permation ', *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 290 (2006) 263–272 , 2006
6. Shah, M., Noble, R.D., Clough, D.E., "Measurement of sorption and diffusion in nonporous membranes by transient permeation experiments", *Journal of Membrane Science* 287 (2007) 111–118, 2006
- 7 . A.Hasanoğlu, Y. Salt, S. Keleşer, S. Dincer , 'The esterification of acetic acid with ethanol in a pervaporation membrane reactor' , *Desalination* 245 (2009) 662–669
- 8 . S. Y. Lima, B. Parkb, F. Hunga, M. Sahimia, T. T. Tsotsisa, 'Design issues of pervaporation membrane reactors for esterification', *Chemical Engineering Science* 57 (2002) 4933 – 4946
9. Y. Zhu, R. G. Minet , T. T. Tsotsis, 'A continuous pervaporation membrane reactor for the study of esterification reactions using a composite polymeric/ceramic membrane', *PII: S0009-2509(96)00252-7*
10. Q. Liu, Z. Zhang , H. Chenb, 'Study on the coupling of esterification with pervaporation' , *Journal of Membrane Science* 182 (2001) 173–181
11. K. C. S. Figueiredo, V. M. M. Salim, C. P. Borges, 'Synthesis and characterization of a catalytic membrane for pervaporation-assisted esterification reactors', *Catalysis Today* 133–135 (2008) 809–814
12. G. J. Harmsen, 'Reactive distillation: The front-runner of industrial process intensification A full review of commercial applications, research, scale-up, design and operation' *Chemical Engineering and Processing*, 46 (2007) 774–780
13. O. S. Pavlov, , N. N. Kulov, , S. Y-. Pavlov, 'New Design of Reactive Distillation Processes',

Theoretical foundations of chemical engineering Vol. 43 No. 6 , 2009

14. A. Arpornwichanop, U. Sahapatsombud, Y. Patcharavorachot and S. Assabumrungrat, 'Hybrid Process of Reactive Distillation and Pervaporation for the Production of *Tert*-amyl Ethyl Ether', *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16(1) 100–103 (2008)
15. F. Aiouache, S. Goto, 'Reactive distillation–pervaporation hybrid column for *tert*-amyl alcohol etherification with ethanol', *Chemical Engineering Science* 58 (2003) 2465 – 2477
16. Raoul M., Fritz Widmer, ' Membrane reactors in chemical production processes and the application to the pervaporation-assisted esterification', *Chemical engineering and technology* 19(2) 117-126 1996)

BİR ENDÜSTRİYEL TESİSİN ENERJİ KALİTESİNİ VE GÜVENİRLİĞİNİ ARTTIRMAYA YÖNELİK UYGULAMA

Canan PERDAHÇI
Kocaeli Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
perdahci@kocaeli.edu.tr

İbrahim Halil CAN
Kocaeli Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
halilcan82@gmail.com

Özet

Uygulama kapsamında bir endüstriyel tesisteki, sırasıyla dijital koruma rölelerine olan gereksinim, tesisin mevcut durumu, dijital koruma rölelerinin koruma fonksiyonları, kullanılan röle tipleri, uygulamanın yapıldığı ekipmanlar ve rölelerin uzaktan izlenmesi incelenmiştir. Büyük ölçekli bir endüstriyel tesisin verimli ve kesintisiz bir şekilde çalışabilmesi için elektrik alt yapısının sağlam olması gerekmektedir. Güvenilir olmayan elektrik alt yapısı, zamansız elektrik kesintilerine neden olabilir. Bu kesintiler tesisin işletilmesine darbe vuracağı gibi büyük ölçekli maddi kayıplara da neden olabilir. Tesisin elektrik sistemini güvenilir hale getirmek, işletme, bakım ve enerji kalitesi yönünden önemli avantajlar sağlamaktadır. İncelenen endüstriyel tesiste, bu amaçla yapılan dijital koruma rölesi tesis edilmesi ve bu rölelerin SCADA üzerinden izlenmesi yöntemiyle enerji kalitesinin ve elektrik sisteminin güvenilirliğinin artırılmasına yönelik bir uygulama incelenmiştir. (enerji kalitesi, güvenilirlik, dijital koruma rölesi)

Abstract

In this paper, respectively, the requirement for digital protection relays, current status of the industrial plants, protective functions of digital protection relays, relay types, electrical equipments and remote monitoring relays were examined in an industrial plants. A large-scale industrial plants must be robust to operate efficiently and without interruption of power network. Unreliable electrical network can cause unexpected power interruptions. Interruptions will damage to operate the plants and these may also cause significant financial loses. To make reliable the electrical system of the plants, provides important advantages in terms of operation, maintenance and

power quality. In industrial plants examined for this purpose to establish the digital protection relays and power relays with the method of monitoring via SCADA system to increase the power quality and the reliability of an application is examined. (power quality, reliability, digital protection relay)

1. Giriş

Günümüzde endüstriyel tesislerin sürdürülebilir bir üretime sahip olmasını sağlayan en önemli faktörlerden biri de tesisin elektriğinin kesilmeden ve kaliteli bir şekilde sağlanıyor olmasıdır. Hem tesisin kendi bünyesinden hem de bağlı olduğu ulusal şebekeden kaynaklanan arızalar nedeniyle yaşanan zamansız elektrik kesintileri tesisin üretimine darbe vurmaktadır. Yaşanan elektrik kesintilerinin ciddi maddi külfetleri olmaktadır. Dolayısıyla tesiste ne kadar az elektrik kesintisi yaşanırsa maddi kayıp o derece az olur.

Elektrik kesintilerinin ciddi problem olmasının bir diğer nedeni ise üretim anında yaşanan kesintinin ekipmanlara zarar verebilecek olması ve bu zarar nedeniyle ekipmanın tamamen çalışmaz veya tamire muhtaç hale gelecek olmasıdır. Eğer tesiste arızalanan ekipmanın yedeği bulunmuyorsa, doğacak zarar birkaç kat daha artabilmektedir.

Tesise zarar veren unsurlardan biride tesiste kullanılan enerjinin kalitesidir. Enerji kalitesi yaşanan elektrik kesintilerine direk etki eden faktörlerden biridir. Tesis içinde kullanılan elektriğin kalitesinin ölçülmesi, bu konuda alınacak tedbirlerin başında gelmektedir. Bu uygulamada incelenen dijital koruma rölelerinin kullanılmasının amaçlarından biride kullanılan elektriğin kalitesinin ölçülmesidir.

Yaşanan teknolojik gelişmelerin paralelinde, büyük endüstriyel tesisler elektrik sistemlerinin güvenilirliğini arttırmak amacıyla altyapılarını yenilemektedirler [1]. Tesisin elektrik sistemi güvenilirliğini arttırmak amacıyla motor, trafo ve giriş-çıkış-kuplaj hücrelerine dijital koruma röleleri tesis edilmesi ve arızaların minimum zamanda minimum lokasyonda temizlenmesi, bu bağlamda verilebilecek en iyi örneklerden biridir. Dijital koruma rölelerine atanan koruma fonksiyonları ile farklı gerilim seviyelerine ve geniş bir dağıtım altyapısına sahip büyük endüstriyel tesislerde, uygun selektivite çalışması ile yüksek seviyede koruma sağlanmakla birlikte, bu ekipmanların arıza ve ölçüm bilgilerini ana merkezdeki SCADA sistemine taşımasıyla efektif şekilde kullanılmakta ve tesisin güvenilirliğini optimize etmeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca rölelerden alınan arıza kayıt bilgileri ile koruma yapılan ekipmanın arıza karakteristiği çıkarılabilmekte ve geleceğe yönelik olası arıza riskleri tahmin edilebilmektedir [2].

Bu makaleye referans teşkil eden endüstriyel tesiste, kuruluşundan itibaren zamanının en yüksek teknolojisine sahip koruma ekipmanları kullanılmıştır. Ancak tesisin birçok motor, trafo, giriş-çıkış ve kuplaj hücrelerinde dijital koruma röleleri bulunmamaktadır. Yapılan uygulama mevcut mekanik koruma rölelerinin dijital koruma röleleriyle değiştirilmesini ve koruma rölesi bulunmayan ekipmanlara dijital koruma rölesi takılmasını kapsamaktadır.

2. Tesisin Elektrik Sistemi

Tesisin elektrik üretim kapasitesi 85MW maksimum tüketimi 57MW olup aynı zamanda otoproduktör lisansına sahiptir. Tesisin kendi elektrik enerjisi ihtiyacının tamamını veya bir kısmını üretiminden karşılayabilecek olmasının yanında, enterkonnekte şebekeye bağlı olması nedeniyle ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisini dışarıdan da karşılayabilmektedir. Tesisin kendi elektriğini üretmesinin amacı, üretilen elektriği ticari amaçla dışarı satmaktan çok, tesisin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek alternatifleri oluşturmaktır. Tesisin tek hat şemasından da anlaşılacağı gibi tüm baraların çift beslemesi vardır. Enerji kapalı şalt istasyonundan 11kV ve 3.3kV gerilim seviyelerindeki 3 tali dağıtım istasyonuna dağıtılmaktadır. Bu 6 tali dağıtım istasyonu da 14 tali istasyona dağıtım yapmaktadır. Tali dağıtım istasyonlarının gerilim seviyeleri 11kV veya 3.3kV'dur. Motor, trafo, giriş çıkış veya kuplaj hücrelerinde dijital koruma röleleri bulunmakla beraber bu röleler tesisin kuruluşundan itibaren farklı zamanlarda ve farklı modellerde tesis edilmiştir [3].

2.1. Mevcut Baralar ve Koruma Röleleri

Tesisin Dağıtım altyapısını oluşturan 34,5kV, 11kV ve 3,3kV dağıtım istasyonları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 : Dağıtım İstasyonları

	Dağıtım İstasyonları	Gerilim Seviyesi	Beslendiği Bara
1	9HS-1	34,5kV	TEK-2
2	9MMS-1	11kV	9HS-1
3	9MMS-2	11kV	9HS-1
4	9MMS-3	11kV	9HS-1
5	10R-102A	3,3kV	9HS-1
6	10R-6A	3,3kV	9HS-1
7	10R-18A	3,3kV	9HS-1
8	PLANT-5-6-7-8	3,3kV	9MMS-1
9	PLANT-21-25-36	3,3kV	9MMS-1
10	9MS-1	3,3kV	9MMS-1
11	PLANT-6	3,3kV	9MS-1
12	PLANT-73-74	3,3kV	10R-102A
13	10R-102	3,3kV	10R-102A
14	PLANT-33	3,3kV	10R-102A
15	10R-6	3,3kV	10R-6A
16	10R-8	3,3kV	10R-18A
17	47MMS-1	11kV	9MMS-2
18	47MS-1	3,3kV	47MMS-1
19	10MS-1	3,3kV	9MMS-3
20	63MMS-1	11kV	9MMS-3
21	63MS-1	3,3kV	63MMS-1

Tesisteki mevcut koruma röleleri arz etmektedir. Birçok ünite mekanik röleler kullanılmaktadır. Bu mekanik röleler bu makaleye konu olan proje kapsamında yeni dijital koruma röleleri ile değiştirilmiştir. Yeni dijital koruma röleleri kullanılmadan önce tesiste CEE, SIEMENS, P&B, ABB, SCHNEIDER ve AREVA marka mekanik veya dijital koruma röleler kullanılmamıştır. Ancak bazı ünitelerde kullanılan mevcut dijital koruma röleleri değiştirilmemiş aynen kullanılmaya devam edilmiştir.

2.2. Dijital Koruma Rölelerinin Takıldığı Sistem Ekipmanları

Dijital koruma röleleri, tesis içerisinde bir çok ekipmanı koruması ve elektrik sisteminin güvenilirliğini arttırması amacıyla kullanılmıştır. Bu röleler motor fiderlerine, trafo fiderlerine, giriş-çıkış ve kuplaj hücrelerine takılmıştır [3].

Dijital koruma röleleri, Tablo 1'de belirtilen 10R-6 ve 10R-6A şalter binası, 10R-102A şalter binası Plant 25-36, Plant 5-6-7-8, Plant 47-48, Plant 26, Plant-33, Plt 9 ve 34,5kV şalt tesisi motor fiderlerine, trafo fiderlerine, giriş-çıkış ve kuplaj hücrelerine takılmıştır. [2].

Dijital koruma röleleri 250'den fazla orta gerilim sistem ekipmanına uygulanmış olup bunlardan 47-48 ünitesinde takılanlar Tablo 3'de verilmiştir [3]. 47-48(Hydrocracker) ünitesi tesisin en önemli proseslerinden birini oluşturmaktadır.

Tablo 3:Dijital Koruma Rölelerinin Takıldığı Ekipmanlar

PLANT 47/48 ÜNİTESİ ŞALTER ODASI		
Hücre No	EKİPMAN ADI	EKİPMAN TANIMI
11 kV BARASI 47 MMS-1		
5L	9GM-601A	11kV 1200kW Pompa Motoru
4L	47GM-2A	11kV 1550kW Pompa Motoru
3L	47KM-2A	11kV 3500kW Kompresör Motoru
2L	47TMM-1A Trafosu Fideri	11kV to 3,5kV 6,3MVA
1L	Incoming L	INCOMING LEFT
0	BUS TIE	
0	BUS RISER	
1R	Incoming R	INCOMING RIGHT
2R	47TMM-1B Trafosu Fideri	11kV to 3,5kV 6,3MVA
3R	47KM-2B	11kV 3500kW Kompresör Motoru
4R	47KM-2C	11kV 3500kW Kompresör Motoru
5R	47GM-2B	11kV 1550kW Pompa Motoru
6R	9GM-601B	11kV 1200kW Pompa Motoru
GM/KM/G/K Pompa ve Kompresörleri İfade Etmektedir		
TMM/THM/TMM Trafoları İfade Etmektedir		

3. Dijital Koruma Rölelerinin Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Dijital koruma röleleri birçok koruma fonksiyonuyla donatılabilir. Ancak sunulan tüm fonksiyonların kullanılması hem işletme hem de maliyet yönünden optimum sonuç vermeyeceği için öncelikle dijital koruma rölesinin hangi ekipmanı koruyacağı belirlenmeli ve sonrasında ekipmanın hangi koruma fonksiyonlarına sahip röle ile korunacağı belirlenmelidir.

Motor fiderleri, trafo fiderleri, giriş-çıkış ve kuplaj hücrelerinde kullanılacak dijital koruma röleleri aşağıda belirtilen koruma fonksiyonlarına sahip olacaktır [4].

- ANSI 50-50N: Instantaneous overcurrent (Anlık aşırı akım)
- ANSI 51-51N: AC Time Overcurrent (Zamana bağlı AC aşırı akım)

- ANSI 67-67N: Directional time-overcurrent protection (Zamana bağlı yönlü aşırı akım, motor büyük ve/veya şebeke zayıf ise motor için)
- ANSI 46: Reverse phase or phase-balance current (Çok fazlı devrelerde, faz akımları ters faz bileşenlerine sahip olduğunda ya da faz akımları dengesiz olduğunda ya da negatif faz bileşen akımları ayarlanan değeri geçtiğinde çalışan koruma)
- ANSI 66: Notching or jogging device (Motor restart inhibit) Verilen cihaz ya da bir ekipmanın bir parçası için belirli sayıda çalışmaya izin veren ya da belirlenen sürede belirli aralıklarla işletme adedine izin veren fonksiyonu tanımlamaktadır. Ayrıca bu cihaz bir devrenin periyodik olarak veya belirli zaman aralıklarında enerjilendirmesini ya da düşük hızlarda mekaniksel pozisyonlama için kesikli hızlanma veya tempolu hızlanmasını da sağlayabilir.
- ANSI 48: Incomplete sequence relay (starting time supervision: Normal çalışma, işletme veya durdurma süreci, belirlenen zamanda doğru bir biçimde tamamlanmayan bir cihazı, normal konumuna ya da kapalı konuma döndüren ve kilitleyen koruma)
- ANSI 87: Differential protective Generator, Motor, Transformer, Line (İki veya daha fazla akım arasında ya da diğer elektriksel bileşenler arasında açılmalı, oransal veya diğer nicel farklar oluştuğunda çalışan koruma)
- ANSI 27: Under voltage (Giriş gerilimi, önceden belirlenen seviyenin altına düştüğünde çalışan koruma)
- ANSI 59: Over voltage (Giriş gerilimi, önceden belirlenen seviyeyi aştığında çalışan koruma)
- ANSI64-59N: Ground detector (Displacement voltage-zero sequence voltage: Bir makinenin ya da bir cihaz aparatının, toprağa karşı izolasyon problemi olduğunda çalışan cihazı tanımlamaktadır. Bu fonksiyon, normal şekilde topraklanmış bir güç sistemindeki akım trafolarının sekonder devrelerine bağlı cihazlar için kullanılmaz. Bunun yerine G ve N harfli diğer aşırı akım cihazları kullanılmalıdır, 51N gibi)
- ANSI 25: Synchronizing or synchronism-check (İki devre arasındaki faz açısı farkı "0" olduğunda kapama için çıkış üreten senkronizasyon koruması)
- ANSI 49: Machine or transformer thermal (Bir makinenin rotor (endüvi) sargısının veya bir makina ya da transformatörün diğer yük taşıyıcı sargısının sıcaklığının, önceden belirlenen seviyenin üstüne çıktığında çalışan koruma)

- ANSI 81: Frequency (Elektriksel bir niceliğin frekansına tepki veren korumayı tanımlamaktadır. Frekans ya da frekanstaki değişim belirlenen değerin altına düştüğünde ya da üzerine çıktığında çalışmaktadır.)
- ANSI 50BF: Breaker Failure Protection (Eğer bir elektrik devresinin arızalı noktası, açma komutu gelmesine rağmen sistemden ayrılmadıysa, kesici arıza koruması sinyali üretilip, bir üst tesisin rölesine bu sinyal gönderilip kesicisinin açması sağlanabilir.)
- ANSI 74: Alarm (görsel veya işitsel bir cihazla çalışan ya da cihazı çalıştıran eleman)
- ANSI 86: Lockout (Açma yapan cihazları ya da sistemleri, operatör tarafından uzaktan ya da yakından resetlenene kadar işlevsiz bırakan koruma)
- ANSI 50-50N-51-51N-67-67N fonksiyonlarında Inrush Restraint: Transformatörlerin enerjilenmesi sırasında, büyüklüğüne bağlı olarak nominal akımın birkaç katına çıkabilen ve birkaç milisaniyeden birkaç saniyeye kadar sürebilen miktatsızlanma akımları oluşmaktadır. Enerjilendirme (Inrush) akımı oldukça yüksek oranda 2. harmonik (normal frekansın 2 katı) de içermektedir ki bir arıza durumunda 2. harmonikneredeys yoktur. Inrush sınırlama fonksiyonu, enerjilenme akımı içinde bulunan bu harmoniğin belirlenmesi ile çalışmaktadır. Frekans analizi için, 3 faz ve toprak akımlarının Fourier analizini gerçekleştirmek üzere dijital filtreler kullanılır. Böylece 2. harmonik tespit edildiğinde, yönlü ve yönsüz rölelerde sistem açması bloklanabilir
- Cold Load Pickup for Overcurrent Protection: Soğuk yük açması olarak adlandırılabilir. Bu fonksiyonla açma ve gecikme zamanları dinamik olarak ayarlanabilir.

3.1. Dijital Koruma Röleleri İle Ölçüm

Kullanılacak dijital koruma röleleri ölçme fonksiyonlarına da sahip olduğundan, talep edilen hücrelerin ölçümlerini de yapacaktır.

Dijital koruma röleleri asıl fonksiyonları olan korumanın yanı sıra takıldıkları hücrenin -bu hücre motor fideri, trafo fideri veya giriş-çıkış ve kuplaj hücresi de olabilir- akım, gerilim ve frekans gibi değerlerinin ölçebilmektedir. Bunun yanında ölçtükleri bu değerleri tıpkı koruma fonksiyonlarını SCADA sistemine ilettikleri gibi ölçülen bu değerleri de SCADA sistemine iletebilirler. Böylece Rafineri bünyesinde kullanılan bu röleler, asli görevleri olan korumanın yanında takıldıkları ekipmanın akım gerilim frekans gibi değerlerini de SCADA sistemine

taşıyacak, böylece tesisin elektrik sistemi daha izlenebilir ve daha güvenilir olacaktır. Çünkü takip edilebilen elektrik sistemleri her zaman daha güvenilirdir. Rölelerin yapacağı ölçümler aşağıdaki gibidir: [2].

Tesis edilen digital koruma röleleri uzaktan izleme ve bir kısmını kontrol edebilme imkanına sahiptir. Bu fonksiyonları sayesinde rölelere çok kısa sürede manuel komut verilebilmektedir. Böylece tesisin elektrik sistemi daha kontrol edilebilir bir seviyeye ulaşmıştır. Uzaktan izleme Plant-9 ünitesinden yapılabilmektedir. Plt-9 ünitesi, mevcut scada sisteminin de burada olması nedeniyle tesisin elektrik sisteminin beyni durumundadır. Ayrıca elektrik üretimi, yük atma sistemi, ulusal şebekeye bağlantı da buradan izlenmekte ve kontrol edilmektedir. Tüm bu sistemlerin izlendiği ve kontrol edildiği merkezin ünitelerde kullanılan bütün dijital koruma rölelerini izlemesi ve bazılarını uzaktan kontrol edebilmesi, rafineri elektrik sistemine erişim ve müdahale edebilme becerisini artırmaktadır.

- Gerilimler için simetrik bileşen değerleri
- Gerilimler (VL1,VL2,VL3,VL1L2,VLL1L3,VL2L3)
- Aktif güç (Her faz ayrı ayrı ve toplam)
- Reaktif güç (Her faz ayrı ayrı ve toplam)
- Görünür güç (Her faz ayrı ayrı ve toplam)
- Aktif Reaktif Enerji
- Güç Faktörü
- Frekans
- Çalışma saati sayacı
- Kesici açma sayacı
- Aşırı yük durumunda ortalama çalışma sıcaklığının ölçülmesi

4. Kullanılan Dijital Koruma Röleleri

Local kontrollü çok fonksiyonlu koruma rölesi 7SJ64: Sayısal, çok fonksiyonlu SIPROTEC 4 7SJ64 röleler bara fiderlerinin koruma, kontrol ve izlemesi için tasarlanmış, çok yönlü cihazlardır. Cihazlar, topraklı, düşük dirençli topraklı, topraksız veya kompanze nötr nokta yapılı şebekelerde hat koruması için kullanılabilirler. Cihazlar, radyal, gözlü veya enterkonnekte şebekeler için ve tek veya çok uçlu beslenen hatlar için uygundur. 7SJ64, her büyüklükteki asenkron motorlar için uygulanabilir motor koruma fonksiyonları ile donatılmışlardır.

7SJ64, koruma, kesici konumlarının izlenmesi ve düz bara uygulamalarında veya 1 1/2 kesicili baralarda kesicilerin kumandası için gerekli fonksiyonlara sahiptir. Dolayısıyla; cihaz universal olarak

kullanılabilir. 7SJ64, bütün gerilim seviyelerindeki hatların, trafoların, jeneratörlerin, motorların ve baraların diferansiyel koruma düzenleri için artçı koruma özellikleri sağlar [5].

Diferansiyel koruma rölesi 7UT613: SIPROTEC 4 7UT613 sayısal diferansiyel koruma, tüm gerilim düzeylerindeki trafolar için, döner makineler için, seri ve şönt reaktörler için veya kısa hatlar ve 2 – 5 fiderlik mini-baralar için hızlı ve seçici bir kısa devre koruma sağlar. Ayrıca, 9 veya 12 fidere kadar (sürüme bağlı) baralar için bir fazlı koruma olarak da kullanılabilir. Korunan nesneye en uygun uyarılama sağlayacak özel uygulama biçimlenebilir.

Diferansiyel koruma ilkesinin başlıca üstünlüğü, korunan bölgenin tamamında herhangi bir noktada bir kısa devre arızasında ani açma yapabilmesidir. Korunan nesnenin uçlarındaki akım trafoları şebekeye doğru korunan bölgeyi sınırlar. Bu kesin sınır, diferansiyel koruma tertibinin böyle bir ideal seçicilik göstermesinin başlıca sebebidir [6].

5. Sonuçlar

Mevcut elektrik sisteminin güvenilirliğini artırmaya yönelik yapılan bu çalışma sonucunda, dijital koruma rölelerine girilen koruma fonksiyonları ile sistem daha güvenilir hale getirilmiştir. Koruma fonksiyonları rölelerin bağlı oldukları ekipmanın tipine ve önemine göre gerekli şekilde parametrelendirilmiş ve sistemin daha az trip yapması sağlanmıştır. Ayrıca sistemin uzaktan izlenmesi ile açma yapan veya alarm veren rölelerden anında bilgi alınmış böylece daha hızlı müdahale edebilme imkanı kazanılmıştır.

Yapılan çalışma sadece tesisin elektrik sistemini daha güvenilir hale getirmekle kalmayıp, tesise maliyet, işletme ve bakım açısından birçok avantaj sağlamıştır.

6. Kaynaklar

- [1] Xiaoqiang, Z., "Energy&Utilities Control System of Refinery", 2009 *third International Symposium on Intelligent Information Technology Application*, 2009, 408-411
- [2] Çetinkaya, B, Akduman, B, Tüpraş İzmit Röle Koordinasyon Raporu, Siemens A.Ş., Kocaeli, 2009
- [3] TUPRAŞ General Project Design Specification P1, TUPRAŞ, Kocaeli, 2006
- [4] Koruma Rölelerinin Fonksiyon Açıklamaları, Siemens E E&C PTI, İstanbul, 2008
- [5] SIPROTEC 7SJ62/64 Kullanım Kılavuzu C53000-G115A-C207-1, SIEMENS AG, İstanbul, 2009
- [6] SIPROTEC 7UT613/63x Kullanım Kılavuzu V4.60, SIEMENS AG, İstanbul, 2006

ENERJİ KABLOLARINDA KISMİ DEŞARJ ÖLÇÜMÜ VE ÖNEMİ

Kürşat TANRIÖVEN
kursat.tanrioven@kcetas.com.tr

Serdar YARARBAŞ
serdar.yararbas@kcetas.com.tr

Kayseri ve Civarı Elk. T.A.Ş.
Nuhnaci Yazgan Cad.

ÖZET

Elektrik enerjisi bilinen özelliklerinden dolayı çağımızın gelişmiş ve gelişmekte olan toplumların yaşam koşullarında en önemli yerini almıştır. Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtım aşamalarının herhangi birinde yaşanan bir olumsuzluk müşterinin enerjisiz kalmasına yol açmaktadır. Dağıtım şirketleri elektrik enerjisinin 4628 sayılı EPK kanunu hükümlerince elektriğin kaliteli sürekli ve ucuz olarak son kullanıcıya iletebilmek için atmosferik şartlardan ve çevre koşullarından etkilenmeyen yer altı kablolarını özellikle şehir merkezlerinde kullanmaktadır. Uygun şartlarda tesis edilen yer altı kablolu şebekeler yıllarca hizmet vermektedir. Ancak üretim, tesis veya işletmede kablo içerisinde meydana gelen kısmideşarjlar zaman içerisinde kablunun arızalanmasına ve servis dışında kalmasına yol açmaktadır. Almanya da yapılan bir araştırmada 2,5 km'lik 20 kV'luk kablo şebekesinin değiştirilmesi için gerekli yatırım bedeli 175.000 € olmaktadır. Ancak kablunun içerisinde yer alan 20 m'lik kısmideşarjlı kısmın değiştirilmesi durumunda yatırım ve işletme maliyetleri oldukça düşmektedir. Kısmideşarjlar üretim ve işletme aşamalarında değişik metodlarla tespit edilerek kablo içerisinde hatalı kısımlara arızalar oluşmadan önce müdahale edilebilmektedir.

Anahtar sözcükler: Kablo tesisi, kısmideşarj.

1.GİRİŞ

Elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımında özellikle, şehir şebekelerinde kabloların rolleri büyüktür; atmosferik şartlardan etkilenmemesi, şehir estetiğini bozmaması havai hatlarda yer alan ilave teçhizatlara ihtiyaç duymaması, havai hatlar gibi geniş alanları işgal etmemesi gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir. Ancak kabloların imalatı, dōşenmesi veya zaman içerisinde oluşan arızalardan dolayı izolasyon maddelerinde meydana gelen küçük boşlukların meydan getirmiş oldukları kısmideşarjlardan dolayı kablo bir süre sonra arıza vermekte, enerji arz güvenliği sağlanamamaktadır. Arıza şebeke içerisinde zaman içerisinde oluşmakta olup ne zaman ve nerede oluşacağının bilinmesi önem arz etmektedir. Kabloların imalatı esnasında yapılan kısmideşarj testleri önleyici tedbir olarak

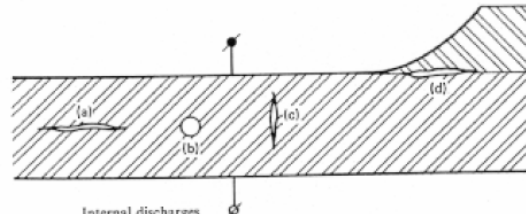
uygulanmaktadır. Ancak kablunun işletmesinde oluşacak arızaların önceden belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile kablolarda meydana gelen kısmideşarjın tespiti için ölçme metodlarından bahsedilecektir.

2. KISMİ DEŞARJ VE OLUŞUMU [2]

Katı ve sıvı yalıtkanların içerisinde sıkışıp kalmış gaz dolu boşluklarda, elektrotlarla bunların üzerinde bulunan yalıtkanın arasında kalan boşluklarda, gaz içerisinde kalan boşluklarda kısmideşarjlar meydana gelir.

Kısmideşarj bir yalıtkan madde içerisinde değişik şekillerde görülebilir. Şekil 1

- a- Katı yalıtkanlar içerisindeki boşlulardaki (küçük gaz baloncuklar) kısmideşarjlar
- b- Elektrot ve izolasyon maddesi arasındaki boşlulardaki kısmideşarjlar
- c- (a) ve (b) arasında oluşan ağaç şeklindekideşarjlar,
- d- İzolasyon maddesi ve ana gaz boşluğu arasında meydana gelendeşarjlar

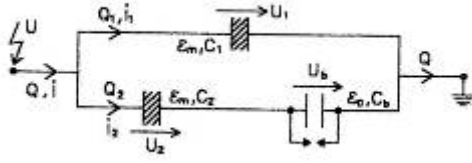


Şekil 1 Yalıtkan içerisinde kısmideşarjların oluşum yerleri

Kısmideşarj, sistemin çalışması yönünden aksatıcı olmamasına rağmen kayıpların artmasına, malzemenin zamanından önce yaşlanmasına daha ilerde kısmideşarjların bulunduğu noktada malzemenin arızalanmasına yol açabilir. Bu nedenle de imal edilen yüksek gerilim malzemelerinin, örneğin kabloların, işletmeye alınmadan önce kısmideşarj testleri yapılır. Testlerde, önceden belirlenmiş müsaade edilebilir maksimumdeşarj seviyelerinin üzerine çıkılıp çıkmadığı kontrol edilir.

Boşlulardakideşarj ve boşluğun ϵ nunun yalıtkanınkinden farklı oluşu yalıtkan malzeme içerisinde alan dağılımını etkiler. Dolayısıyla malzemenin boşluk civarında delinme dayanımı düşecektir. Korona ve kanal boşalmaları işletme geriliminin üzerinde gerilimlerde oluşmasına rağmen kısmideşarjlar işletme geriliminde meydana gelebilir.

Şekil 1 de b ile gösterilen gaz boşluğunun eşdeğer devresi şekil 2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2 Yalıtkan içerisindeki boşluğun eşdeğer devresi

Eşdeğer devrenin çiziminde U gerilimi uygulandığında topraklanmış elektroda doğru akmaya başlayacak yükün takip ettiği yol esas alınır. Bu yük iki farklı yolu takip eder. Q₁ ile gösterilen kısım boşluğun dışında kalan yalıtkindan akan yükü, Q₂ ile gösterilen kısım ise malzeme-boşluk-malzeme yolunu takip eden yükü göstermektedir. Q₁ in takip ettiği yolun kapasitesi C₁ olmasına rağmen Q₂'nin takip ettiği yolun kapasitesi, seri bağlı iki kapasiteden oluşur. Bunlar C_b: boşluğun kapasitesi, C₂ malzemenin kapasitesidir. Eşdeğer devre tanımlandıktan sonra uygulanan gerilimin (U) sinüsoidal bir gerilim olduğu U=U_b, U_b=V₁ olduğunda kısmi deşarjların meydana geldiği varsayılabilir. Bu durumda U_b gerilim düşer, çok kısa bir süre sonra deşarj biter. Eğer U gerilimi yükselmekteyse ((dU/dt)>0)U_b tekrar yükselmeye başlayacak ve C_b'nin uçları arasında sivri uçları arası boşluk tekrar delinmeye zorlanacaktır. Delinince U_b yeniden düşer ve olay böyle devam eder. Delinme olayına bağlı olarak akım ve gerilim değişimi şekil 3 te verilmiştir.

Boşlukta oluşan deşarjda ortaya çıkan enerji hesaplanırsa [2]

$$W=0,7 \cdot Q \cdot U \quad (1)$$

ifadesinde U=31,5 kV, Qa=10 pF için, W=22,05.10⁻⁸ joule bulunur. Açığa çıkan enerji her ne kadar küçük görünse de bu enerji 10 ile 200 ms zaman aralığı içerisinde rastgele ortaya çıktığı için [2] ısıtma etkisi büyük olur. Bu da yalıtkanın biçiminin bozulmasına, çabuk yaşlanmasına yol açar.

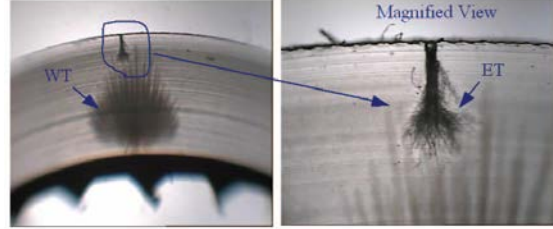
Kısmi deşarjlar:

- 1-Darbeleri akımlar akıtmaları,
- 2-Dielektrik (yalıtkan) kayıplarındaki artış,
- 3-“Hiss” sesi,
- 4-Sıvı yalıtkanlarda iç basıncın artması,
- 5-Kimyasal tepkime, belirtileri ile algılanır.

3. KABLOLARDA KİSMİ DEŞARIN ÖLÇÜLMESİNİN ÖNEMİ

Elektrik dağıtım şebekelerinde modüler hücrelerin kullanımı ile her bir kabin bağlantısı için kablo tesis

edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Her bir kablo içerisinde zamanla meydana gelecek olan kısmi deşarjlar zaman içerisinde kablonun arızalanmasına yol açabilmektedir. Kabloda yer alan izolasyon maddesi içerisinde zaman içerisinde su ağacı ve elektrik ağacı (şekil 3) meydana gelerek kablonun servis dışında kalmasına yol açmaktadır. [3]

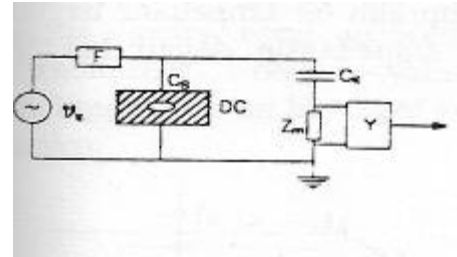


Şekil 3 Kablo izolasyonunda su ve elektrik ağacı

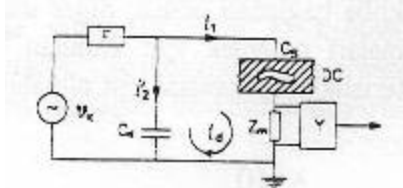
İmalat esnasında yapılan kısmi deşarj testleri ile kablonun imalatının uygun olup olmadığı belirlenmektedir. Bu testler ;

A- Akım ve gerilim darbelerini algılayarak kısmi deşarj ölçümü,

Şekil 4 de deney cisminde bir “Kısmi deşarj” olunca C_s'nin uçları arasında ΔV=q_a/C_s gerilim darbesi oluşur. Bu darbeleri bir kısmı Z_m üzerinden Y yükselteciye uygulanır. Böylece bu darbeleri Y'nin çıkışından ölçme veya görüntülenme imkânı elde edilir. Şekil 4 de DC: Deney gerilimi, F: Süzgeç, Y: Yükselteç, V_K: Yüksek gerilim kaynağı, Z_m: Ölçme empedansı



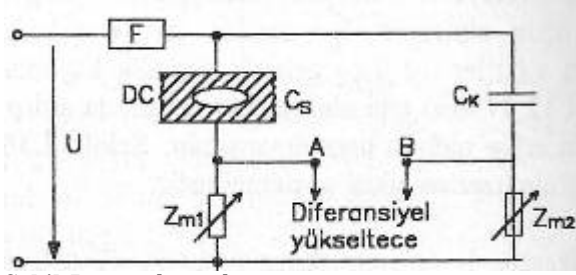
Şekil 4 a) Gerilim darbeleri algılayıcı devre



Şekil 4 b) Akım darbeleri algılayıcı devre

B-Dengeleme yöntemiyle kısmi deşarj ölçümü;

A'da belirtilen ölçme metodunda oluşan gürültüler şekil 5 de verilen köprü devre ile bastırılması mümkün olmaktadır. Şekilde verilen Z_{m1} ve Z_{m2}'nin ayarı ile dengeye geldiğinde A ve B uçları arasında gözlenen işaret kısmi deşarjı işaret etmektedir.

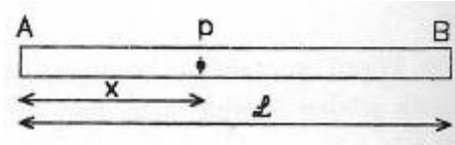


Şekil 5 Dengeleme devresi

Kısmi deşarj'ın yerinin belirlenmesi için darbe yansıtma tekniği kullanılır. Şekil 6. da gösterilen ℓ boyundaki kablounun P noktasındaki bir kısmi deşarjın belirlenmesi için ölçme devresi B noktasına bağlıyken A noktasından yayılma hızı v olan bir darbe uygulandığında, bunun B ucuna varması ile başlayan birinci yansımanın bu uca varması için geçen zaman

$$t = \frac{2X}{v} \quad (2)$$

olup burada bilinen v için t zamanı ölçülürse X hesaplanır.

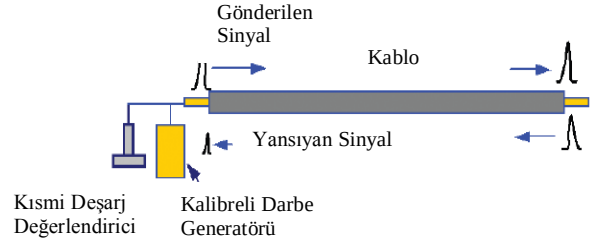


Şekil 6 Darbe yansıtma tekniği ile kısmi deşarjın yerinin belirlenmesi

Kısmi deşarjın olduğu yerde "Hiss" sesleri gelir. İnsan kulağının, sessiz bir ortamda işitebileceği kısmi deşarj yükü 40 pC civarındadır. Gürültülü ortamlarda kullanılmak üzere ve duyarlılığı artırmak için "stetoskop" gibi akustik algılayıcı cihazlarla sesin ve kısmi deşarjın yeri belirlenebilir.

4. KISMİ DEŞARJ ÖLÇME SİSTEMİ

Kablo içerisinde oluşan kısmi deşarj kablounun her iki yönünde hareket eden dalga oluşturur. [4] Kablounun her iki başlığında bu dalgayı tespit edecek sensörler kullanılması durumunda kısmi deşarjın genliği ve yeri tam olarak bilinebilir. Ancak kısmi deşarjın nerede ve ne sıklıkta olduğunun bilinmesi de önem arz etmektedir. Kablolar enerjili halde değilken (off-line) harici bir kaynaktan verilen sinyal ile dalgaanın geliş gidiş ve yansıyan dalgaanın ölçülmesi ile kısmi deşarj tespit edilebilir.[3] Şekil 7 de ölçüm devresi görülmektedir.



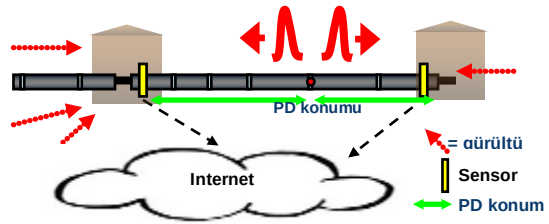
Şekil 7 Off-line ölçüm devresi

Kablo sonlarında tek taraflı sensör kullanılması durumunda hatta diğer taraflardan gelen gürültüler engellenememektedir. Kablo üzerinde iki sonda sensör kullanılması durumunda gürültü giderilerek kısmi deşarj tam olarak tespit edilebilir.

Kabloların işletmede enerjili halde iken (on-line) pens ampermetre tarzında ölçüm sensörlerinin kullanımı KEMA tarafından geliştirilmiştir. Kablo içerisinde meydana gelen kısmi deşarjlar sürekli olarak kaydedilip bir merkez tarafından test edilerek kısmi deşarjın olduğu yer ve genliği tespit edilebilmektedir.[5]



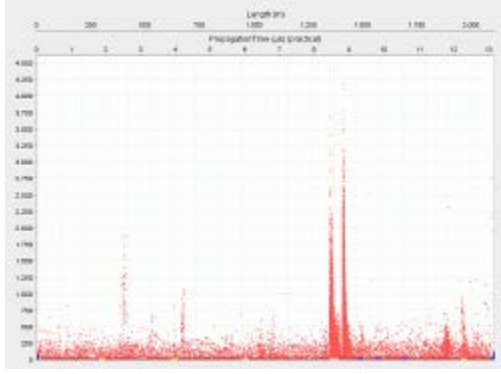
Şekil 8 Ölçü cihazı



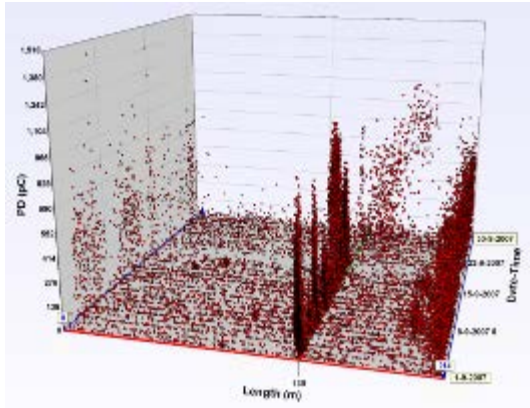
Şekil 9 Kısmi deşarjın ölçümü

Kısmi deşarjın ölçümü sonucunda şekil 10 da görüldüğü üzere kabloda meydana gelen kısmi deşarjlar ölçülmektedir. Ancak iki noktada meydana gelen kısmi deşarjlar problem olarak görülmektedir.

Kısmi deşarjın genlik, mesafe ve zamana bağlı olarak değişimi gözlenerek hangi noktada hangi olaylara bağlı olarak kısmi deşarjın oluşumu tespit edilebilmektedir. Şekil 11



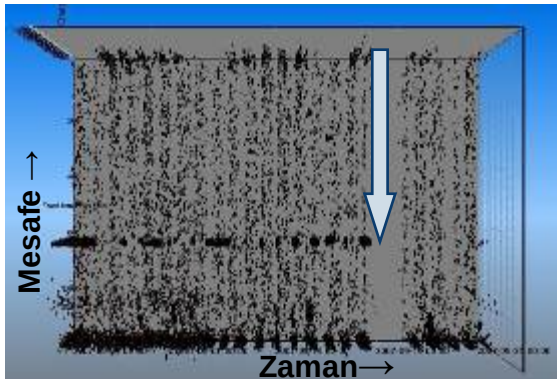
Şekil 10 Kablo içerisinde kısmi deşarjın oluşum noktası ve genliği



Şekil 11 Kısmi deşarjın belirli bir zaman aralığında oluşumu

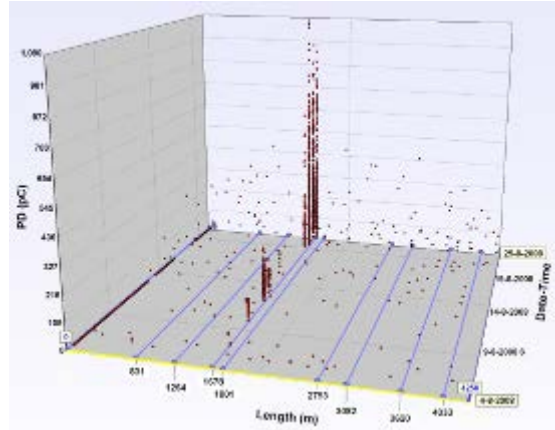
Yapılan uygulamada kısmi deşarjların oluşturacağı ciddi etkiler belirlenerek şebeke elemanı arızalanarak servis dışına çıkmadan önce gerekli önlemler alınabilmektedir. KEMA tarafından yapılan örnek uygulamalar aşağıda belirtilmiştir.

Şekil 12’de sahada yer alan müşteri kablosunun kablo eklerinde kısmi deşarj oluşumu görülmüştür. Kablo eki yeniden yapılarak kısmi deşarj arıza oluşumundan önce engellenmiştir.



Şekil 12 Kısmi Deşarj Oluşumu

Şekil 13’de müşteri kablonun 1678’nci metresindeki ısı büzüşmeli ekte kısmi deşarj görülmüş müşteri gerekli önlemi almadığından bir hafta sonra ek patlamıştır.



Şekil 13 Kablo ekinde kısmi deşaj oluşumu

5. SONUÇ

Kısmi deşarjın kablo içerisinde oluşumu kabloların üretimi ve işletilmesi aşamasında kullanılacak cihazlar sayesinde sürekli olarak takip edilmekte ve arızalar oluşmadan önce tespit edilebilmektedir. Bu sayede arz güvenliği artmakta ve yatırım maliyetleri düşmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] IEEE I. Mladenovic, Ch. Weindl “Determination of the Characteristic Life Time of Paper-insulated MV-Cables based on aPartial Discharge and tan(δ) Diagnosis” 2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference pp 2045-2050, 2008
- [2] Prof. Dr. Sefa AKPINAR; Yüksek Gerilim Tekniğinin Temelleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, 1997
- [3] M. S. Mashikian, A. Szatkowski “Medium Voltage Cable Defects Revealed by Off-Line Partial Discharge Testing at Power Frequency” IEEE Electrical Insulation Magazine pp 24-32, 2006
- [4] G.G Wolzak, “Partial Discharges and the electrical aging of XLPE cable insulation” Eindhoven 1986
- [5] KEMA Kısmi deşarj görüntüleme sunumu

ELEKTRİK ENERJİSİ KALİTESİNİN DÜNYA ÇAPINDA STANDARTLAŞTIRILMASI VE İNCELENMESİ

Arif MEMMEDOV¹, Hasan Vural SIĞIRCI²

1. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
İnönü Üniversitesi
memmedov@inonu.edu.tr

2. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
İnönü Üniversitesi
uzay_elektrik@hotmail.com

1.Özet

Elektrik enerjisi esas enerji türlerinden biri olarak hayatın ve sermayenin farklı alanlarında kullanılan birçok özelliğe sahiptir.

Elektrik enerjisi işleticilerinin üretmesigereken fonksiyonlarının icrasında kullanılan farklı elektrik enerjisi karakteristiklerinin toplamı elektrik enerjisinin kalitesini oluşturur.

Elektrik enerjisinin kalitesi önemli ölçüde enerji sarfiyatına, enerji taşıma sistemlerine, teknolojik proseslerin kesintisiz çalışmasına ve benzeri özelliklere etki gösterdiğinden, günümüzde elektrik enerjisi kalitesinin yükseltilmesi önemli sorunlardan biridir.

*Anahtar Kelimeler:*Enerji, kalite, sinüsoidal, frekans, şebeke

2.Elektrik Enerjisi Kalitesi ve Kalitenin Yükseltilmesi Sorunları

Günümüzde elektroniğin gelişmesi teknolojik proseslerde hız kontrollü elektrik motor sürücülerinin, kaynak makinelerinin, büyük güçlü ark fırınlarının, petrol madenleri gibi sistemlerde kullanılmasına neden olmuştur. Bu işleticilerin karakteristik özellikleri besleyici şebekenin elektrik enerjisinin kalitesini değiştirmektedir. Öte yandan elektrik işleticilerinin

a) Bir fazlı elektrik şebekelerinde besleme durumunda; frekansın saptmaları, gerilim saptmaları, frekans dalgalanmalarının genliği, gerilim sinüsoidalliğinin katsayıları v.b

normal çalışması elektrik enerjisinin kalitesine bağlıdır. Elektrik işleticilerinin ve besleyici şebekenin bu şekilde bağımlılığına elektromanyetik uyumluluk denir.

Elektromanyetik uyumluluk probleminin çözümü, az masrafla tekniksel göstergelerin oluşturulması için elektrik enerjisi optimal kalite göstergelerinin belirlenmesi ve saklanması gerekmektedir.Elektrik enerjisinin kalitesinin yükseltilmesinde aşağıdaki kuralların öğrenilmesi öngörülmektedir.

- Ekonomiksel
- Matematiksel
- Tekniksel

Ekonomiksel sorunlar; sanayi elektrik işletmeciliğinde kalitesiz elektrik enerjisi kullanımından oluşacak maliyet kayıplarının hesaplanma yöntemleri;

Matematiksel sorunlar; gerilimin kalitesizliğinin incelenmesinde kullanılan farklı yöntemlerin karşılaştırılması ve optimallaştırılması yöntemleri;

Tekniksel sorunlar; elektrik enerjisi kalitesinin iyileştirilmesi için tekniksel yöntemlerin ve cihazların hazırlanması, aynı zamanda kalitenin kontrolü ve giderilmesi yöntemlerini içermektedir.

Farklı ülkelerde işleticilerin göstergeleri devlet standartları ile belirlenmiş ve aşağıdakileri içermektedir.

b) 3 fazlı şebekelerde besleme durumunda; frekansın saptması, gerilimin saptması, frekans dalgalanmalarının genliği, gerilim değişimlerinin genliği, gerilimin nonsinüsoidalliğinin katsayısı, gerilimin nonsimetrikliği v.b

c) DC gerilim şebekelerinden besleme durumunda; gerilimin nominal değerlerden farklılığı, gerilimin sapma genliği, doğrultulmuş gerilimlerde dalgalanma katsayısı v.b.

Belirlenmiş zaman sürecinde elektrik enerjisinin kalite göstergeleri 0,95 integrallenme olasılığı ile standartlarda belirlenen sınırlarda olmalıdır.

Dünya standartlarına göre gerilimin kalitesinin kontrol edilmesi için aşağıdaki zaman tekrarlamaları kullanılmaktadır.

1) Gerilim dalgalanmalarının kontrolü;

-5 günlük çalışma haftası olan sanayi tesisleri ve enerji sistemlerinin düğüm noktalarında bir çalışma ve bir tatil gününden (24 saat) az olmayarak

-Kesintisiz çalışan tesislerde iki çalışma ve bir tatil gününden az olmayarak,

-Tüm diğer tesislerde iki çalışma ve bir tatil gününden az olmayarak.

2)Gerilim nonsinüsoidalliğinin katsayısının, gerilim sapmalarının genliğinin, frekans dalgalanmalarının kontrolü;

-Metal eriten elektrik ark fırınlarını besleyen şebekelerde en büyük yük durumunda(metal eritilmesi prosesi) 30 dakika süresinde,

-Elektrik ark ve nokta kaynağı makinelerini besleyen şebekelerde 30 dakika süresinde,

-Silindirik taşlama tezgâhlarını besleyen şebekelerde 10-12 taşlama tsikli boyunca,

-Yaşam ve diğer hizmet binalarını besleyen şebekelerde en büyük gerilim dalgalanmaları zamanında 1 saatlik sürelerde,

-Tüm diğer durumlarda 24 saatlik sürede.

3)Gerilim nonsimetrikliğinin kontrolü;

-“Sakin” rejimde (rezistans fırınlara, elektrik şurflu eritme fırınları ve biri) bir fazlı elektrik fırınlarını besleyen şebekelerde en büyük yük durumunda bir saat süresinde,

-Hızlı değişen yükleri(elektrik ark fırınları, taşımacılıkta kullanılan araçların yükleri, elektrik ark ve nokta kaynakları v.b) besleyen bir fazlı elektrik şebekeleri en büyük yük durumunda 1 saatlik sürede,

-Tüm diğer durumlarda 1 günlük süre ile

4) Doğrultulmuş gerilimin dalgalanma katsayısı 30 dakikalık süre ile.

5) Frekans değişimleri kesintisiz kontrol olunmalıdır.

Elektrik enerjisinin kaliteliliği, şebekeden beslenen işleticilere etkisinin öğrenilmesi yöntemlerinin geliştirilmesini ve yeni yöntemlerin oluşturulmasını gerektirir. Esas zorluklar elektrik şebekelerinde istenen cihazların olmaması, bu nedenle ölçüm yöntemlerinin değiştirilmesi ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi gerekiyor. Bu genellikle yüklerin kaotik değişimine bağlı olup, istatistik cihazlarının kullanımı ve alınan sonuçların istatistik-olasılık yöntemlerinin kullanılmasını gerektirir.

3.Frekansın Değişimi ve Salınımların Genliği

Frekans değişimi;

$$\Delta f = f - f_{nom} \quad (1)$$

veya

$$\Delta f = \frac{f - f_{nom}}{f_{nom}} \%100 \quad (2)$$

İfadeleri ile belirlenir. Burada;

f- Gerçek frekans,

f_{nom} - Frekansın nominal değeri.

Enerji sistemlerinin normal çalışması durumunda 10 dakikalık sürede ortalama değişimi $\pm 0,1$ Hz olmalıdır.

10 dakikada ortalama frekans değişimi $\pm 0,2$ Hz olan şebekeler kısa süreli çalıştırılabilir. Frekans dalgalanmasının genliği belli bir zaman süresi için;

$$\delta f = f_{nb} - f_{nk} \quad (3)$$

veya

$$\delta f = \frac{f_{nb} - f_{nk}}{f_{nom}} \%100 \quad (4)$$

İfadeleri ile belirlenir. Burada;

f_{nb} -nominal frekansın üstündeki en büyük değer,

f_{nk} - nominal frekansın altındaki en küçük değer.

Frekansın sapma değerleri saniyede 0,2 Hz hızını aşmamalıdır. Frekansın çok küçük değişimleri de

elektrik enerjisi işleticilerinin normal çalışmasına, bazı elektrik işleticilerinin devamlılığına etki etmektedir. Örneğin millerdeki sabit momentle çalışan asenkron ve senkron motorlarda, frekans değişimlerine bağımlı olarak, dönme hızı ω 'da değişiyor. Örneğin asenkron motorlarda bu değişim;

$$\omega = \frac{2\pi f_1}{p} (1 - \delta) \quad (5)$$

Burada;

δ - motorun kayması

f_1 – şebekenin frekansı

p- çift kutupların sayısı

Hızın değişimi ise verimin düşmesi ve bazı durumlarda ise teknolojik prosesin değişimine neden oluyorlar. Frekansın değişimi ile verimin değişimi mekanizmanın türüne bağımlı oluyor ve bu durumda aktif gücün değişimi

$$P = a \cdot f^n \quad (6)$$

ifadesinden (2) belirleniyor. Burada;

a -orantılılık katsayısı

n- derece göstergesi olup 0-y değerini alıyor.

4.Gerilimin Değişkenliği

Elektrik enerjisinin en önemli göstergelerinden biri bağlantı şemasına bağımlı olarak faz ve hat gerilimlerinin etkin değerinin değişmesidir. Gerilim sapması ΔV olarak şebekenin nominal gerilimi ile kontrol zamanındaki gerilimi arasındaki fark alınıyor;

$$\Delta V = V - V_{nom} \quad (7)$$

veya % olarak

$$\Delta V = \frac{V - V_{nom}}{V_{nom}} \%100 \quad (8)$$

Bazı batı ülkelerinin standartlarına göre (4) elektrik işleticilerinin türüne bağımlı olarak, aşağıdaki gerilim sapmaları önerilir.

1)Elektrik motorlarının ve onların elemanlarının yol verme ve kontrollerinde (-%5)-(+%10);

2)Fabrikalarda, çalışma atölyelerinde, tüm hizmet binalarındaki ışıklandırma cihazlarının besleme gerilimlerinde(-%2,5)-(+%5);

3)Diğer işleticileri, hayvan besleme binalarında, tavukçulukta ve biri ışıklandırmayla besleyen şebekelerde $\pm\%5$. Kaza sonrası rejimlerde gerilim ek olarak %5 düşürülebiliyor.

5.Gerilim Dalgalanmalarının Enerji Taşıma Sistemlerinin Teknik-Ekonomik Göstergelerine Etkisi

Elektrik sistemlerinde dalgalanmaların oluşmasının esas nedeni yük bağlama noktalarına bağlanmış işleticilerinin parametrelerinin değişmesidir. Gerilim değişiminin standartları aşmaması durumunda da şebekenin teknik-ekonomik göstergelerinin değişimine neden oluyor. Tablo-1 de farklı gerilim dalgalanmalarında bazı işleticilerin parametrelerinin değişimi görülmektedir.

Motorların Karakteristikleri	Gerilim Değişiminden Karakteristiğin Değişimi	
	-%10	+%10
Yol Verme ve Max. Dönme Momenti	-%19	+%10
Senkron Dönme Frekansı	SABİT	SABİT
Kayma (%)	%23	-%17
Nominal Yükte Dönme Hızı	-%1,5	+%1
%75 Yükte	-%2	+%1
%50 Yükte	SABİT	SABİT
Güç Katsayısı	-%1 +%2	%1- %2
%100 Yükte	%1	-%3
%75 Yükte	%2 -%3	-%4
%50 Yükte	%4-%5	-%5-(-%6)
Nominal Yükte Rotor Akımı	%14	%11
Nominal Yükte Stator Akımı	%10	%7
Yol Verme Akımı	(-%10)-(-%12)	+%10-+%12
Nominal Yükte Bobin Sıcaklıklarının Atımı	5-6 C ⁰	DEĞİŞİMSİZ

Tablo-1-Farklı gerilim dalgalanmalarında bazı işleticilerin parametreleri

Fabrikada vida düzelten otomatlarda yapılmış deneme sonucunda bir otomatın dakikalık ortalama verimi motorun besleme gerilimi $V = 1,05 U_n$ olursa 0,275 kg, $V = 0,9 U_n$ 'de ise 0,236 kg oluyor. Böyle bir tezgah otomat günde 8 saat olarak, 1 yıl $V = 0,95 U_n$ gerilimi ile çalıştığında üretilen malzeme 1700 kg oluyor.

Gösterilen rejimde 10 tezgah 1 yıl çalıştırılıyorsa gerilim düşümünden kayıp 10 milyon TL civarında oluyor. Gerilim $1,05 U_n$ civarında olursa ürünün kalitesinin düşümüne neden oluyor.

6.Sonuçlar

1) Farklı ülkelerde gerilim kalitesinin incelenmesi ve onun elektrik enerjisi taşıyıcılarına ve işleticilerine etkilerinin incelenmesi önemli sorunlardan biridir.

2) Tablo-1 de gerilim dalgalanmasının 1 asenkron makineye etkisi ve asenkron makinenin çalıştırdığı bir tezgahta gerilim dalgalanmasının oluşturduğu mali kaybın 1000 TL civarında olduğu görülmektedir. Sanayi sitelerinde binlerce asenkron makinenin çalıştırılması ile kayıpların milyonlarca TL'ye ulaştığını söylemeye imkan veriyor.

3) Gösterilenler tüm sanayi sitelerini ve tüm yaşam komplekslerini besleyen şebekelerde gerilim kalitesinin periyodik kontrolü giderilmesi işlemlerinin yapılmasını öneriyor.

4) Göz önüne alınmalıdır ki özel istatistik gerilim kalite analizörü cihazının bulunmaması ölçüm işlerini zorlaştırıyor.

KAYNAKLAR

- 1.VENTSEL E.C Olasılık Teorisi, Moskova”Nauka”,1984(R.d)
2. Barkan Y.D., Markuşeviç N.S., Elektrik şebekelerinde gerilimin kontrolü, Moskova Energiya , 1968 (R.d)
3. Sauter D.M Curves showtlicker limits.-“Elektrikal World”,1982,N=16,P.152-156
4. Arrilaga J.Bradley D.A. and Bodler P.S. Power System Harmonics, Wohn Wilesy S.Soucs,1985

ELEKTRİK ENERJİSİ KALİTESİNİN DÜNYA ÇAPINDA STANDARTLAŞTIRILMASI VE İNCELENMESİ

Arif MEMMEDOV¹, Hasan Vural SIĞIRCI²

1. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
İnönü Üniversitesi
memmedov@inonu.edu.tr

2. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
İnönü Üniversitesi
uzay_elektrik@hotmail.com

1.Özet

Elektrik enerjisi esas enerji türlerinden biri olarak hayatın ve sermayenin farklı alanlarında kullanılan birçok özelliğe sahiptir.

Elektrik enerjisi işleticilerinin üretmesigereken fonksiyonlarının icrasında kullanılan farklı elektrik enerjisi karakteristiklerinin toplamı elektrik enerjisinin kalitesini oluşturur.

Elektrik enerjisinin kalitesi önemli ölçüde enerji sarfiyatına, enerji taşıma sistemlerine, teknolojik proseslerin kesintisiz çalışmasına ve benzeri özelliklere etki gösterdiğinden, günümüzde elektrik enerjisi kalitesinin yükseltilmesi önemli sorunlardan biridir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, kalite, sinüsoidal, frekans, şebeke

2.Elektrik Enerjisi Kalitesi ve Kalitenin Yükseltilmesi Sorunları

Günümüzde elektroniğin gelişmesi teknolojik proseslerde hız kontrollü elektrik motor sürücülerinin, kaynak makinelerinin, büyük güçlü ark fırınlarının, petrol madenleri gibi sistemlerde kullanılmasına neden olmuştur. Bu işleticilerin karakteristik özellikleri besleyici şebekenin elektrik enerjisinin kalitesini değiştirmektedir. Öte yandan elektrik işleticilerinin

a) Bir fazlı elektrik şebekelerinde besleme durumunda; frekansın sapsmaları, gerilim sapsmaları, frekans dalgalanmalarının genliği, gerilim sinüsoidalliğinin katsayıları v.b

normal çalışması elektrik enerjisinin kalitesine bağlıdır. Elektrik işleticilerinin ve besleyici şebekenin bu şekilde bağımlılığına elektromanyetik uyumluluk denir.

Elektromanyetik uyumluluk probleminin çözümü, az masrafla tekniksel göstergelerin oluşturulması için elektrik enerjisi optimal kalite göstergelerinin belirlenmesi ve saklanması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin kalitesinin yükseltilmesinde aşağıdaki kuralların öğrenilmesi öngörülmektedir.

- Ekonomiksel
- Matematiksel
- Tekniksel

Ekonomiksel sorunlar; sanayi elektrik işletmeciliğinde kalitesiz elektrik enerjisi kullanımından oluşacak maliyet kayıplarının hesaplanma yöntemleri;

Matematiksel sorunlar; gerilimin kalitesizliğinin incelenmesinde kullanılan farklı yöntemlerin karşılaştırılması ve optimallaştırılması yöntemleri;

Tekniksel sorunlar; elektrik enerjisi kalitesinin iyileştirilmesi için tekniksel yöntemlerin ve cihazların hazırlanması, aynı zamanda kalitenin kontrolü ve giderilmesi yöntemlerini içermektedir.

Farklı ülkelerde işleticilerin göstergeleri devlet standartları ile belirlenmiş ve aşağıdakileri içermektedir.

b) 3 fazlı şebekelerde besleme durumunda; frekansın sapsması, gerilimin sapsması, frekans dalgalanmalarının genliği, gerilim değişimlerinin genliği, gerilimin nonsinüsoidalliğinin katsayısı, gerilimin nonsimetrikliği v.b

c) DC gerilim şebekelerinden besleme durumunda; gerilimin nominal değerlerden farklılığı, gerilimin sapma genliği, doğrultulmuş gerilimlerde dalgalanma katsayısı v.b.

Belirlenmiş zaman sürecinde elektrik enerjisinin kalite göstergeleri 0,95 integrallenme olasılığı ile standartlarda belirlenen sınırlarda olmalıdır.

Dünya standartlarına göre gerilimin kalitesinin kontrol edilmesi için aşağıdaki zaman tekrarlamaları kullanılmaktadır.

1) Gerilim dalgalanmalarının kontrolü;

-5 günlük çalışma haftası olan sanayi tesisleri ve enerji sistemlerinin düğüm noktalarında bir çalışma ve bir tatil gününden (24 saat) az olmayarak

-Kesintisiz çalışan tesislerde iki çalışma ve bir tatil gününden az olmayarak,

-Tüm diğer tesislerde iki çalışma ve bir tatil gününden az olmayarak.

2)Gerilim nonsinüsoidalliğinin katsayısının, gerilim sapmalarının genliğinin, frekans dalgalanmalarının kontrolü;

-Metal eriten elektrik ark fırınlarını besleyen şebekelerde en büyük yük durumunda(metal eritilmesi prosesi) 30 dakika süresinde,

-Elektrik ark ve nokta kaynağı makinelerini besleyen şebekelerde 30 dakika süresinde,

-Silindirik taşlama tezgâhlarını besleyen şebekelerde 10-12 taşlama tsikli boyunca,

-Yaşam ve diğer hizmet binalarını besleyen şebekelerde en büyük gerilim dalgalanmaları zamanında 1 saatlik sürelerde,

-Tüm diğer durumlarda 24 saatlik sürede.

3)Gerilim nonsimetrikliğinin kontrolü;

-“Sakin” rejimde (rezistans fırınlara, elektrik şurflu eritme fırınları ve biri) bir fazlı elektrik fırınlarını besleyen şebekelerde en büyük yük durumunda bir saat süresinde,

-Hızlı değişen yükleri(elektrik ark fırınları, taşımacılıkta kullanılan araçların yükleri, elektrik ark ve nokta kaynakları v.b) besleyen bir fazlı elektrik şebekeleri en büyük yük durumunda 1 saatlik sürede,

-Tüm diğer durumlarda 1 günlük süre ile

4) Doğrultulmuş gerilimin dalgalanma katsayısı 30 dakikalık süre ile.

5) Frekans değişimleri kesintisiz kontrol olunmalıdır.

Elektrik enerjisinin kaliteliliği, şebekeden beslenen işleticilere etkisinin öğrenilmesi yöntemlerinin geliştirilmesini ve yeni yöntemlerin oluşturulmasını gerektirir. Esas zorluklar elektrik şebekelerinde istenen cihazların olmaması, bu nedenle ölçüm yöntemlerinin değiştirilmesi ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi gerekiyor. Bu genellikle yüklerin kaotik değişimine bağlı olup, istatistik cihazlarının kullanımı ve alınan sonuçların istatistik-olasılık yöntemlerinin kullanılmasını gerektirir.

3.Frekansın Değişimi ve Salınımların Genliği

Frekans değişimi;

$$\Delta f = f - f_{nom} \quad (1)$$

veya

$$\Delta f = \frac{f - f_{nom}}{f_{nom}} \%100 \quad (2)$$

İfadeleri ile belirlenir. Burada;

f- Gerçek frekans,

f_{nom} - Frekansın nominal değeri.

Enerji sistemlerinin normal çalışması durumunda 10 dakikalık sürede ortalama değişimi $\pm 0,1$ Hz olmalıdır.

10 dakikada ortalama frekans değişimi $\pm 0,2$ Hz olan şebekeler kısa süreli çalıştırılabilir. Frekans dalgalanmasının genliği belli bir zaman süresi için;

$$\delta f = f_{nb} - f_{nk} \quad (3)$$

veya

$$\delta f = \frac{f_{nb} - f_{nk}}{f_{nom}} \%100 \quad (4)$$

İfadeleri ile belirlenir. Burada;

f_{nb} -nominal frekansın üstündeki en büyük değer,

f_{nk} - nominal frekansın altındaki en küçük değer.

Frekansın sapma değerleri saniyede 0,2 Hz hızını aşmamalıdır. Frekansın çok küçük değişimleri de

elektrik enerjisi işleticilerinin normal çalışmasına, bazı elektrik işleticilerinin devamlılığına etki etmektedir. Örneğin millerdeki sabit momentle çalışan asenkron ve senkron motorlarda, frekans değişimlerine bağımlı olarak, dönme hızı ω 'da değişiyor. Örneğin asenkron motorlarda bu değişim;

$$\omega = \frac{2\pi f_1}{p} (1 - \delta) \quad (5)$$

Burada;

δ - motorun kayması

f_1 – şebekenin frekansı

p- çift kutupların sayısı

Hızın değişimi ise verimin düşmesi ve bazı durumlarda ise teknolojik prosesin değişimine neden oluyorlar. Frekansın değişimi ile verimin değişimi mekanizmanın türüne bağımlı oluyor ve bu durumda aktif gücün değişimi

$$P = a \cdot f^n \quad (6)$$

ifadesinden (2) belirleniyor. Burada;

a -orantılılık katsayısı

n- derece göstergesi olup 0-y değerini alıyor.

4.Gerilimin Değişkenliği

Elektrik enerjisinin en önemli göstergelerinden biri bağlantı şemasına bağımlı olarak faz ve hat gerilimlerinin etkin değerinin değişmesidir. Gerilim sapması ΔV olarak şebekenin nominal gerilimi ile kontrol zamanındaki gerilimi arasındaki fark alınıyor;

$$\Delta V = V - V_{nom} \quad (7)$$

veya % olarak

$$\Delta V = \frac{V - V_{nom}}{V_{nom}} \%100 \quad (8)$$

Bazı batı ülkelerinin standartlarına göre (4) elektrik işleticilerinin türüne bağımlı olarak, aşağıdaki gerilim sapmaları önerilir.

1)Elektrik motorlarının ve onların elemanlarının yol verme ve kontrollerinde (-%5)-(+%10);

2)Fabrikalarda, çalışma atölyelerinde, tüm hizmet binalarındaki ışıklandırma cihazlarının besleme gerilimlerinde(-%2,5)-(+%5);

3)Diğer işleticileri, hayvan besleme binalarında, tavukçulukta ve biri ışıklandırmayla besleyen şebekelerde $\pm\%5$. Kaza sonrası rejimlerde gerilim ek olarak %5 düşürülebiliyor.

5.Gerilim Dalgalanmalarının Enerji Taşıma Sistemlerinin Teknik-Ekonomik Göstergelerine Etkisi

Elektrik sistemlerinde dalgalanmaların oluşmasının esas nedeni yük bağlama noktalarına bağlanmış işleticilerinin parametrelerinin değişmesidir. Gerilim değişiminin standartları aşmaması durumunda da şebekenin teknik-ekonomik göstergelerinin değişimine neden oluyor. Tablo-1 de farklı gerilim dalgalanmalarında bazı işleticilerin parametrelerinin değişimi görülmektedir.

Motorların Karakteristikleri	Gerilim Değişiminden Karakteristiğin Değişimi	
	-%10	+%10
Yol Verme ve Max. Dönme Momenti	-%19	+%10
Senkron Dönme Frekansı	SABİT	SABİT
Kayma (%)	%23	-%17
Nominal Yükte Dönme Hızı	-%1,5	+%1
%75 Yükte	-%2	+%1
%50 Yükte	SABİT	SABİT
Güç Katsayısı	-%1 +%2	%1- %2
%100 Yükte	%1	-%3
%75 Yükte	%2 -%3	-%4
%50 Yükte	%4-%5	-%5-(-%6)
Nominal Yükte Rotor Akımı	%14	%11
Nominal Yükte Stator Akımı	%10	%7
Yol Verme Akımı	(-%10)-(-%12)	+%10-+%12
Nominal Yükte Bobin Sıcaklıklarının Atımı	5-6 C ⁰	DEĞİŞİMSİZ

Tablo-1-Farklı gerilim dalgalanmalarında bazı işleticilerin parametreleri

Fabrikada vida düzelten otomatlarda yapılmış deneme sonucunda bir otomatın dakikalık ortalama verimi motorun besleme gerilimi $V = 1,05 U_n$ olursa 0,275 kg, $V = 0,9 U_n$ 'de ise 0,236 kg oluyor. Böyle bir tezgah otomat günde 8 saat olarak, 1 yıl $V = 0,95 U_n$ gerilimi ile çalıştığında üretilen malzeme 1700 kg oluyor.

Gösterilen rejimde 10 tezgah 1 yıl çalıştırılıyorsa gerilim düşümünden kayıp 10 milyon TL civarında oluyor. Gerilim $1,05 U_n$ civarında olursa ürünün kalitesinin düşümüne neden oluyor.

6.Sonuçlar

1) Farklı ülkelerde gerilim kalitesinin incelenmesi ve onun elektrik enerjisi taşıyıcılarına ve işleticilerine etkilerinin incelenmesi önemli sorunlardan biridir.

2) Tablo-1 de gerilim dalgalanmasının 1 asenkron makineye etkisi ve asenkron makinenin çalıştırdığı bir tezgahta gerilim dalgalanmasının oluşturduğu mali kaybın 1000 TL civarında olduğu görülmektedir. Sanayi sitelerinde binlerce asenkron makinenin çalıştırılması ile kayıpların milyonlarca TL'ye ulaştığını söylemeye imkan veriyor.

3) Gösterilenler tüm sanayi sitelerini ve tüm yaşam komplekslerini besleyen şebekelerde gerilim kalitesinin periyodik kontrolü giderilmesi işlemlerinin yapılmasını öneriyor.

4) Göz önüne alınmalıdır ki özel istatistik gerilim kalite analizörü cihazının bulunmaması ölçüm işlerini zorlaştırıyor.

KAYNAKLAR

- 1.VENTSEL E.C Olasılık Teorisi, Moskova”Nauka”,1984(R.d)
2. Barkan Y.D., Markuşeviç N.S., Elektrik şebekelerinde gerilimin kontrolü, Moskova Energiya , 1968 (R.d)
3. Sauter D.M Curves showtlicker limits.-“Elektrikal World”,1982,N=16,P.152-156
4. Arrilaga J.Bradley D.A. and Bodler P.S. Power System Harmonics, Wohn Wilesy S.Soucs,1985

ENERJİ KALİTESİ İÇİN YÜK-FREKANS KONTROLÜNDE YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI UYGULAMASI

Haluk GÖZDE¹, M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU²

^{1,2} Gazi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara
halukgozde@gmail.com, taplam@gazi.edu.tr

Anahtar Kelimeler: İki bölgeli güç sistemi, Yük-frekans kontrolü, Oran-integral kontrol, Yapay arı kolonisi algoritması, Parçacık sürüsü algoritması

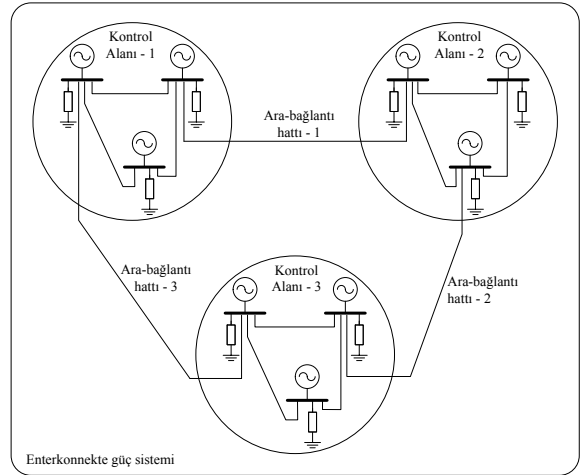
ÖZET: Bu çalışmada, güç sistemlerinin yük-frekans kontrolünün optimizasyonunda popülasyon tabanlı Yapay Arı Kolonisi algoritmasının kullanımı ele alınmıştır. İki bölgeli bir güç sisteminin ikincil yük-frekans kontrolünü sağlayan oran-integral (PI) kontrolörün optimal kazanç değerleri Yapay Arı Kolonisi algoritması ile elde edilmiş; bu parametrelerle elde edilen sonuçlar, benzer bir optimizasyon algoritması olan Parçacık Sürüsü algoritmasının literatürde mevcut sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda Yapay Arı Kolonisi algoritmasının yük-frekans kontrolündeki performansı incelenmiştir.

GİRİŞ

Elektrik enerjisi; üretim noktasından tüketiciye kadar hızlı, kolay ve ekonomik taşınabilmesi ve kolay kullanılabilir olması nedenleriyle, en çok kullanılan enerji kaynaklarından birisi konumundadır. Günümüzde elektrik enerjisi, tüketiciye büyük güç sistemleri üzerinden ulaştırılır. Elektrik güç sistemlerinin görevi, anma uç gerilimine ve sistem frekansına sahip elektrik enerjisini ekonomik olarak üretmek, taşımak ve dağıtmaktır. Bu sistemler genel olarak, birbirlerine bağlı üretim üniteleri ile iletim ve dağıtım şebekelerinden oluşur. İletim şebekesi, elektrik enerjisinin üretim noktasından tüketim bölgesine kadar taşınması ile ilgili orta ve yüksek gerilim hatlarının tesisi ve işletilmesini sağlarken; dağıtım şebekesi, iletim şebekesinden son kullanıcıya kadar olan alçak gerilim hatlarının tesisi ve işletilmesini sağlar. Üretim ünitesinin görevi ise değerleri standartlarla belirlenmiş sabit ve kararlı anma frekansına ve uç gerilimine sahip elektrik enerjisini ekonomik olarak ve çevreye zarar vermeksizin üretmektir [1].

Frekansın anma değerinde sabit ve kararlı tutulması elektrik güç sistemlerinin ana problemlerinden birisidir. Frekansın değeri asıl olarak şebekede üretilen ve tüketilen aktif güçlerin dengesine bağlıdır. Tüketilen gücün üretilen güce göre artması ya da azalması, jeneratörlerin dönüş hızının, diğer deyişle sistem frekansının değişmesine neden olur. Güç sistemleri, genel olarak kendi tüketimlerini yani kendi yüklerini kendi üretim üniteleri ile karşılayabilecek şekilde tasarlanırlar. Tüketim arttığında üretim üniteleri de rezervlerini kullanarak üretimlerini

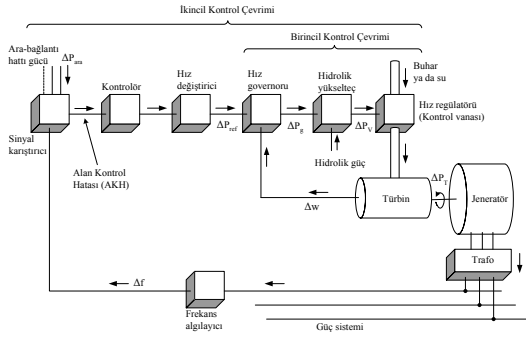
arttırmırlar. Bununla beraber, komşu güç sistemleri, birbirlerine bağlı çalışarak sistemde tüketilen aktif gücü paylaşabilir ve bu sayede, ünite başına fazladan üretilmesi gereken enerji miktarını düşürerek, frekansın yük değişiminden daha az etkilenmesini sağlayabilirler. Komşu güç sistemlerinin yükü paylaşarak ortak bir frekans referansı oluşturarak daha kararlı, güvenilir ve sabit bir sistem frekansı ile birbirlerine bağlı olarak çalıştıkları böyle şebekelere enterkonnekte güç sistemi adı verilir (Şekil 1). Enterkonnekte sistemde frekansın değeri sistemin her yerinde aynıdır.



Şekil 1. Enterkonnekte elektrik güç sistemi

Güç sisteminde frekansın kontrol altında tutulması, sistemde üretilen ve tüketilen aktif güçlerin dengede tutulmasına bağlıdır [2]. Ancak, elektrik enerjisinin yüksek miktarlarda depolanamaması ve yük talebinin sürekli değişmesi nedeniyle bu dengenin korunması bazı kontrol zorlukları içerir. Temel olarak, elektrik güç sistemlerinde frekans kontrolü, Şekil 2’de gösterilen ardışık iki otomatik kontrol çevrimini içeren yük-frekans kontrolü mekanizmasıyla gerçekleştirilir [3-5]. Sistemde, yük talebinin artması ile birlikte frekans düşmeye başlar. Üretim üniteleri, buna ilk tepki olarak kendileri üzerinde depo edilmiş kinetik enerjilerini kullanarak düşüşü yavaşlatmaya çalışırlar. Birkaç milisaniye sonra frekanstaki değişim algılanabilir seviyeye geldiğinde yük-frekans kontrolü çevrimleri devreye girmeye başlar. Öncelikle birincil kontrol adı verilen kontrol çevrimi ile üretim tüketim dengesi yeniden sağlanarak frekansın düşüşü

durdurulur ve belli bir değerde sabitlenir. Ardından, ikincil kontrol çevrimi ile frekans bir integral kontrolör ile yeniden ayarlanarak anma değerine getirilir [4]. Temel olarak birincil kontrol, üretim ünitelerinde governorlar ile yerel olarak gerçekleştirilen bir türbin kontrolüdür. İkincil kontrol ise yük-frekans kontrolü mekanizmasının asıl kontrol problemini oluşturur ve frekansta birincil kontrol sonunda oluşan hatayı algılayıp, bir integral kontrolör vasıtasıyla merkezi olarak gideren kontrolleri içerir [3-5].



Şekil 2. Yük-frekans kontrolü çevrimleri [5]

Bu çalışmada, yük-frekans kontrolünde ikincil kontrolü sağlayan PI-kontrolörün kazançları, sistemden optimum frekans sapması ve optimum ara-bağlantı hattı güç değişimi cevabı elde edilebilmesi amacıyla Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanılarak yeniden ayarlanmış ve algoritmanın ayar performansı literatür ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Karşılaştırma amacıyla benzer bir optimizasyon algoritması olan Parçacık Sürüşü algoritmasının literatürde mevcut sonuçları ele alınmıştır. Çalışmanın sonucunda frekans sapması ve ara-bağlantı hattı güç değişimi eğrileri ile bunların maksimum aşım ve oturma zamanı değerleri elde edilerek literatüre sunulmuştur.

YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Doğrusal olmayan fonksiyonların optimizasyonunda kullanılan klasik matematiksel yöntemler, gerçekleşmesinde yazılımsal ve donanımsal bazı zorlukları da beraberinde taşıyan türev ifadeleri içerir. Optimizasyon hesapları içinde türev ifadelerinden kaçınmak ve nispeten daha basit ve kısa yazılımla, daha kısa sürede sonuca yakınsamak için ekosistemdeki canlıların doğal seçim davranışlarından esinlenen iterasyona dayalı optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Önceleri daha çok mutasyon, çaprazlama ve yeniden üreme gibi evrimsel bir takım operatörler içeren bu yöntemler daha sonra yerini, canlıların besin bulma davranışlarından yola çıkan popülasyon tabanlı, sürü zekasına dayalı optimizasyon algoritmalarına bırakmaya başlamıştır. Yapay arı kolonisi algoritması da 2005 yılında Karaboğa

tarafından, bal arısı kolonilerinin besin bulma davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş sürü zekasına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır [6]. Algoritmada arılar, arama uzayındaki konumları ile ifade edilir. Arama uzayının boyutunu, çözüm içinde optimize edilecek parametrelerin sayısı belirler. Her bir arı, arama uzayında bir besin kaynağına bağlı olarak çalışır. Arıların bulundukları konumlar, yani besin kaynakları aynı zamanda problemin olası çözümleridir. En iyi besin kaynağı, o besin kaynağının nektar miktarının ölçülmesi ile yani bir maliyet fonksiyonu kullanılarak uygunluk değerinin hesaplanması ile belirlenir. Arılar yeni konumlarını, bir önceki konumlarını ve önceki diğer en iyi besin kaynaklarının konumlarını dikkate alarak değiştirirler. Arama uzayında, arılar tarafından bulunan en uygun besin kaynağının konumu problemin çözümü olarak atanır.

Yapay arı kolonisini üç grup arı oluşturur. Bunlar; besin kaynaklarını tutan işçi arılar, besin kaynaklarını seçmek üzere işçi arıların dansını izleyen gözcü arılar ve rastgele arama yapan kâşif arılardır. Popülasyonun yarısını işçi arılar, diğer yarısını da gözcü arılar oluşturur. Algoritmanın başlangıcında, işçi arılar yeni besin kaynakları bulurlar ve buldukları besin kaynaklarının uygunluklarını belirlemek üzere maliyet fonksiyonu ile nektar miktarlarını ölçerler. Ardından, bulundukları besin kaynağının komşuluklarında daha uygun yeni bir besin kaynağı aramaya başlarlar. Bir işçi arı, daha uygun yeni bir besin kaynağı bulduğu takdirde önceki kaynağı gözcü arılara devreder ve kendisi bu yeni besin kaynağını tutmaya başlar. Belli bir iterasyon sayısı kadar daha uygun yeni bir besin kaynağı bulamayan işçi arı bulunduğu besin kaynağını da bırakarak kâşif arıya dönüşür ve arama uzayında rastgele arama yapmaya başlar.

Gözcü arıların işçi arılardan besin kaynaklarını devralması, genel olarak olasılığa dayalı bir seçim işlemi ile gerçekleştirilir. Algoritmada, işçi arılar ve gözcü arılar yerel arama yaparken, kâşif arılar global arama yapar. Bu sayede, Yapay Arı Kolonisi algoritmasında yerel ve global arama yetenekleri birleştirilerek optimum sonuca yakınsama hızı artırılır. Yapay Arı Kolonisi algoritmasının algoritma adımları aşağıda belirtilmiştir.

Başlangıç parametrelerinin belirlenmesi

Tekrar (Repeat)

İşçi arıları besin kaynaklarına gönder ve nektar miktarlarını hesapla

Gözcü arıları besin kaynaklarına gönder ve nektar miktarlarını hesapla

Rasgele yeni besin kaynakları bulmaları için kâşif arıları gönder

O ana kadarki en iyi besin kaynağını hafızada tut

Kadar (Until), (Durdurma kriteri sağlanana kadar)

Yapay Arı Kolonisi algoritmasında öncelikle başlangıç parametrelerinin belirlenmesi gerekir.

Algoritmanın avantajlarından birisi de parametre sayısının az olmasıdır. Başlangıçta belirlenmesi gereken üç adet parametre vardır. Bunlar;

- *Besin kaynağı sayısı (İşçi arı sayısı)*: Her bir besin kaynağında yalnızca bir adet işçi arı bulunmaktadır. Dolayısı ile bu parametre toplam arı sayısının yarısını oluşturur.
- *Limit*: İşçi arıların kâşif arı olması için gerekli, gelişme olmayan iterasyon sayısıdır.
- *İterasyon sayısı*: Algoritmanın en fazla kaç adım koşturulacağını belirleyen parametredir.

Yapay Arı Kolonisi algoritması genel olarak dört işlem safhasından oluşur. Bunlar; başlangıç safhası, işçi arı safhası, gözcü arı safhası ve kâşif arı safhasıdır [6, 7].

Başlangıç Safhası

Başlangıç safhasında işçi arılar rastgele olarak besin kaynaklarına gönderilir. Bu işlem, S adet besin kaynağı içeren x_{mi} matrisinin elemanlarının Eş.1 ile rastgele atanmasıyla temsil edilir.

$$x_{mi} = l_i + \text{rand}(0,1).(u_i - l_i)$$

$$(m = 1, 2, \dots, S \quad \text{ve} \quad i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte m besin kaynağı indisini, i besin kaynağını yani çözümü oluşturan parametre indisini, u parametrelerin üst sınırını ve l ise parametrelerin alt sınırını göstermektedir [6, 7].

İşçi Arı Safhası

Arılar, işçi arı safhasının başında x_{mi} matrisi ile belirtilen besin kaynaklarında bulunurlar. Bu safhada işçi arılar bulundukları besin kaynaklarının komşuluğunda yeni besin kaynakları aramak ve bu kaynakların nektar miktarlarını ölçmekle yani uygunluk değerlerini hesaplamakla görevlendirilmişlerdir. Algoritmada, yeni besin kaynakları Eş.2 ile tanımlanan v_{mi} matrisi ile belirtilmiştir. Eşitlikte x_k rastgele seçilen bir besin kaynağını, i rastgele seçilen parametre indisini ve ϕ_{mi} [-a, a] aralığında rastgele seçilen adım katsayısını belirtmektedir.

$$v_{mi} = x_{mi} + \phi_{mi} \cdot (x_{mi} - x_{ki}) \quad (2)$$

v_{mi} matrisinin oluşturulmasının ardından, probleme göre tanımlanmış bir maliyet fonksiyonu ile bu yeni besin kaynaklarına ait uyum değerleri hesaplanır. Uyum değerleri, maliyet fonksiyonu ile belirlenen $f_m(x_m)$ maliyet değeri kullanılarak Eş.3 ile hesaplanır. İşçi arı safhasının sonunda, uyum değerleri hesaplanan besin kaynakları “greedy selection” adı verilen olasılıksal bir seçim işlemi ile gözcü arılara devredilir [6, 7].

$$Uym_m(x_m) = \begin{cases} \frac{1}{1 + f_m(x_m)} & \text{eğer} \quad f_m(x_m) \geq 0 \\ 1 + |(f_m(x_m))| & \text{eğer} \quad f_m(x_m) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Gözcü Arı Safhası

İşçi arıların dışında kalan iki grup arı vardır. Bu arılar gözcü arılar ve kâşif arılardır. İşçi arılar, besin kaynaklarının nektar miktarlarını yani uyum değerlerini belirledikten sonra bu kaynakların konum ve nektar miktarı bilgilerini kovanda bekleyen gözcü arılarla paylaşırlar. Bu işlemin ardından gözcü arılar, işçi arıların paylaştığı konum ve nektar bilgilerine dayanarak, olasılıksal bir hesaplama ile kendilerine bir besin kaynağı seçerler. Bu seçme işlemi, işçi arılar tarafından sağlanan uyum değerlerini kullanarak hesaplanan olasılık değerlerine bağlı olarak yapılır. Bu amaçla algoritmada rulet tekerleği seçim yöntemi kullanılmıştır (Eş.4), [6].

$$h_i = \frac{Uym_i}{\sum_n^S Uym_n} \quad (4)$$

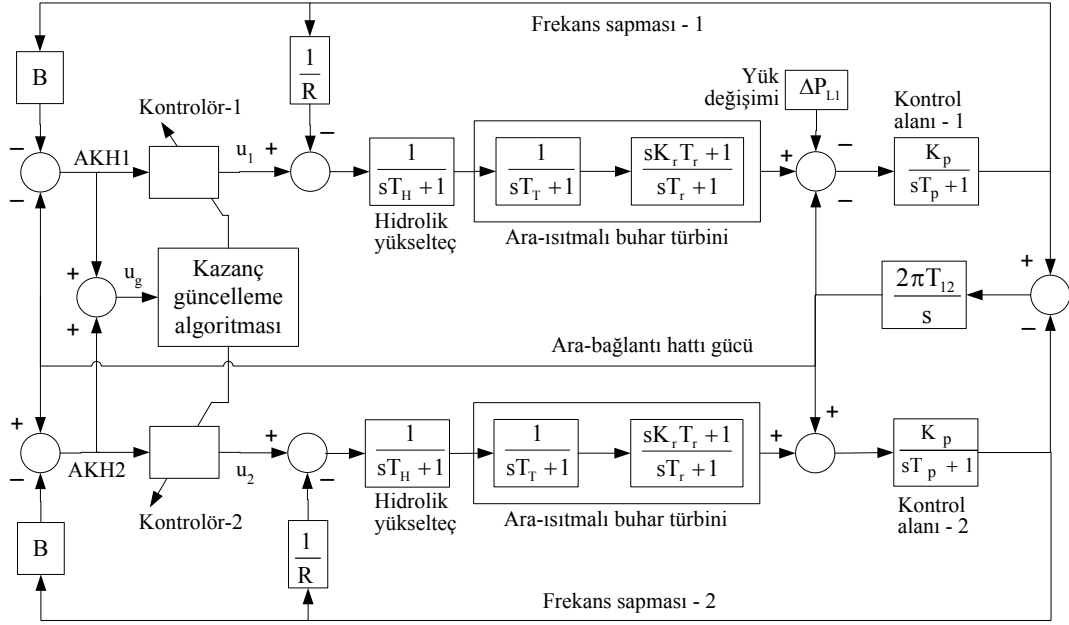
Eş.4’de h_i gözcü arı tarafından besin kaynağının seçilme olasılığıdır. Uygunluk değerinin toplam uygunluk değerine oranı ile i’inci besin kaynağının seçilme olasılığı belirlenmiş olur. Bir besin kaynağı gözcü arı tarafından seçilirken, 0 ile 1 arasında algoritma tarafından rastgele bir sayı üretilir. Besin kaynağının olasılığı bu değerden büyükse o besin kaynağı gözcü arı tarafından seçilir. Küçükse sıradaki besin kaynağına bakılır. Bu şekilde gözcü arıların tamamı bir besin kaynağı seçene kadar işlemlere devam edilir [6, 7].

Kâşif Arı Safhası

Algoritma boyunca bazı besin kaynaklarının konumları o besin kaynağını bağlı olan işçi arılar tarafından geliştirilemez. Eğer bir besin kaynağı limit parametresi kadar iterasyonda geliştirilememiş ise bu besin kaynağındaki işçi arı kâşif arıya dönüşür ve arama uzayında rastgele bir başlangıç konumuna geri döner. Arama işlemine bu konumdan işçi arı olarak yeniden başlarlar [6, 7].

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Yapay arı kolonisi algoritmasının kontrol sistemi üzerindeki ayar performansı MATLAB simülasyon ortamı kullanılarak incelenmiştir. Simülasyonlarda kullanılan güç sistem modeli olarak ara-ısıtmalı buhar türbini içeren iki kontrol alanına sahip bir enterkonnekte sistemin doğrusallaştırılmış modeli kullanılmıştır. Sistemde her iki kontrol alanı için birer PI-kontrolör kullanıldığı ve literatür ile karşılaştırılabilmesi amacıyla her iki kontrol alanının da birbirine eşit ve Çizelge 1’de belirtilen sistem parametrelerine sahip olduğu kabul edilmiştir [8].



Şekil 3. İki bölgegi enterkonnekte güç sistemi modeli

Çizelge 1. Güç sistem parametreleri

Parametre Simgesi	Parametrenin Adı	Parametrenin Değeri
T_H	Hidrolik zaman sabiti	0,08 s
T_T	Türbin zaman sabiti	0,3 s
T_r	Ara-ısıtma zaman sabiti	10 s
T_{12}	Senkronizasyon sabiti	0,086
K_r	Ara-ısıtma kazancı	0,5
T_p	Kontrol alanı zaman sabiti	20 s
K_p	Kontrol alanı kazancı	120
R	Regülasyon sabiti	2,4 Hz/MW
B	Frekans kutuplama sabiti	0,425 MW/Hz

Yapay Arı Kolonisi algoritmasının güç sistemi üzerindeki ayar performansı, Abdel-Magid ve Abido'nun literatürde mevcut çalışmalarında [8] elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Simülasyonda, kontrolör girişine beslenecek hata sinyalinin ve kazanç güncelleme algoritmasına beslenecek güncelleme bilgisinin Eş.5'te gösterilen AKH (Area Control Error - ACE) olduğu, kontrolör çıkışında ise Eş.6'da belirtilen kontrol sinyalinin üretileceği öngörülmüştür.

$$AKH = B.\Delta f + \Delta P_{ara} \quad (5)$$

$$u = K_p.(B.\Delta f + \Delta P_{ara}) + \frac{1}{K_i} \int (B.\Delta f + \Delta P_{ara}) dt \quad (6)$$

Belirtilen kaynakta, araştırmacılar aynı model üzerinde kontrol amacıyla yine bir PI-kontrolör kullanmışlar, kontrolörün kazançlarını Parçacık Sürüsü algoritması ile ayarlamışlardır.

Optimizasyonda maliyet fonksiyonu olarak Hatanın Karelerinin İntegrali (HKİ) (Integral of Square of Error - ISE) ve Hatanın Zamanla çarpılmış Mutlak değerlerinin İntegrali (HZMİ) (Integral of Time multiplied Absolute of Error - ITAE) fonksiyonlarını kullanmışlardır [9]. Bu çalışmada, yukarıda sözü edilen kaynakta daha iyi sonuç verdiği belirtilen HZMİ fonksiyonu ile elde edilen sonuçlar kullanılmıştır (Eş.7).

$$HZMİ = \int_0^{\infty} t.|e|.dt \quad (7)$$

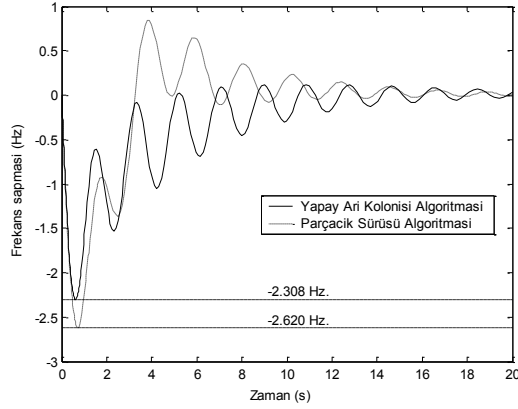
Çalışmada elde edilen sonuçlar ile literatür sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4'te ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen optimum kontrolör parametreleri ve maksimum aşımalar Çizelge 2'de verilmektedir [10]. Metotların karşılaştırılmasında frekans sapması ve ara-bağlantı hattı güç değişimlerinin maksimum aşım değerleri, performans kriteri olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 2. Optimum kontrolör kazançları ve maksimum aşım değerleri

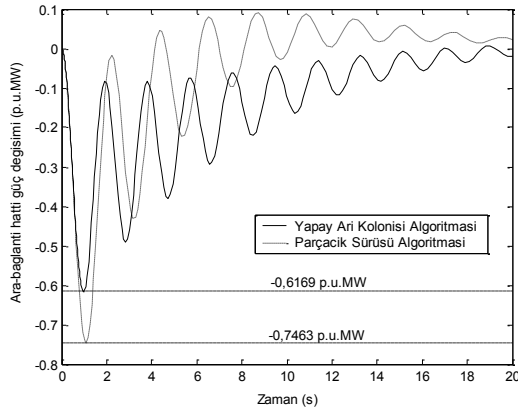
Kazanç Güncelleme Algoritması	PI-Kontrolör Kazançları		Maksimum Aşım	
	K_p	K_i	ΔP_{ara} (p.u.MW)	Δf_i (Hz)
Yapay Arı Kolonisi	0,601	0,201	-0,616	-2,308
Parçacık Sürüsü [Abdel-Magid ve Abido, 2003]	-0,036	0,490	-0,746	-2,620

Elde edilen sonuçlardan da görülmektedir ki, aynı yük altında (1 p.u.MW), Yapay Arı Kolonisi algoritması

ile optimize edilen PI-kontrolün geçiş cevabı analizinden elde edilen sonuçlar, literatür ile karşılaştırıldığında, frekans sapması aşımı için %11.9, ara-bağlantı hattı güç değişimi aşımı için %17.3 oranında azalma sağlandığı görülmüştür.



Şekil 4. Frekans sapması eğrileri



Şekil 5. Ara-bağlantı hattı güç değişimi eğrileri

Buna göre, Yapay Arı Kolonisi algoritması ile anma frekansının ve ara-bağlantı hattı gücünün daha az sapması sağlamıştır. Bu sonucun; Yapay Arı Kolonisi algoritmasının arama performansının, Parçacık Sürüsü algoritmasına göre üstünlüğünden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Zira Parçacık Sürüsü algoritmasında arama işlemi, bir iterasyon süresinde tek bir sürü ile bir kez gerçekleştirilirken; Yapay Arı Kolonisi algoritmasında arama işlemi, bir iterasyon süresi içinde işçi arı sürüsü, gözcü arı sürüsü ve kâşif arı sürüsü ile ardışık olarak üç kez yapılmaktadır. Ayrıca, Parçacık Sürüsü algoritmasında yerel ve global arama işlemleri tek bir güncelleme formülü içerisinde birleşik yapılırken; Yapay Arı Kolonisi algoritması ile bir iterasyon süresinde işçi ve gözcü arılar ile yerel, kâşif arılar ile global aramalar ayrı işlemler olarak gerçekleştirilmektedir.

Bununla beraber; eğrilerde oluşan sönümlü osilasyonların, model sistemde olduğu gibi çok mertebeli proseslerin kontrolünde PI-kontrolün sınırlı geçiş cevabı performansı nedeniyle meydana geldiği değerlendirilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, son yıllarda literatüre kazandırılan Yapay Arı Kolonisi algoritması, iki bölgesi bir enterkonnekte güç sisteminin yük-frekans kontrolüne uygulanmıştır. Algoritmanın, yük-frekans kontrolünde her iki kontrol bölgesinde ikincil kontrolü sağlayan PI-kontrolörlerin kazançlarını ayar performansı, benzer bir optimizasyon algoritması olan Parçacık Sürüsü algoritmasının literatürde mevcut sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, enerji kalitesi açısından Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritmasının güç sisteminin kontrol cevabında iyileştirici etki yaptığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Bergen, R., Vittal, V., "Power System Analysis 2th ed.", Prantice Hall, USA, 375-400 (2000).
- [2] Elgerd, O.I., Fosha, C.E., "Optimum megawatt-frequency control of multi-area electric energy systems", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 89(4):556-563 (1970).
- [3] Kundur, P., Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Delhi, India, 1993.
- [4] Weedy, B.M., "Electric Power Systems 3th ed.", John Wiley&Sons, USA, 148-172 (1987).
- [5] Elgerd, O.I., "Electric Energy Systems Theory", Mc Graw-Hill Press., New York, 299-342 (1982).
- [6] Karaboğa, D., "An idea based on honey bee swarm for numerical optimization", Technical Report TR06, Erciyes University, Turkey, 1-6 (2005).
- [7] Karaboga, D., Basturk, B., "A powerful and efficient algorithm for numeric optimization: artificial bee colony (abc) algorithm", Journal Of Global Optimization, 39(3): 459-471 (2007)
- [8] Abdel-Magid, Y.L., Abido, M.A., "AGC tuning of interconnected reheat thermal systems with particle swarm optimization", 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, United Arab Emirates, 376-379 (2003).
- [9] Aström, K.J., Hagglund, T., "PID Controllers", Instrument Society of America, New York, 64-70, 232-235 (1995).
- [10] Gözde, H., "Güç Sistemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritması Yöntemi ile Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2010).

GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN ETKİLERİNİ AZALTMAK İÇİN UYGULANAN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Argun ÇİZMECİ¹

¹Cam Elyaf Sanayii A.Ş.
Bayramoğlu Sapağı Çayırova
Gebze Kocaeli

acizmec@sisecam.com

Levent KILIÇ²

²Camış Elektrik Üretim A.Ş.
İş Kuleleri Kule 3
4.Levent İstanbul

lkilic@sisecam.com

Özet

Bu çalışmada orta gerilim (OG) dağıtım sisteminden beslenmekte olan bir fabrikanın, şebeke güç kalitesizliğinden ve prosesten kaynaklanan sorunlar ve bunların üstesinden gelebilmek için uygulanan çözüm yöntemleri sunulacaktır. Yapılacak iyileştirmelerle proses girdilerinde kararlılık, enerji kullanımında tasarruf, elektrik dağıtım sisteminde hizmet veren ekipmanların ömürlerinde uzama ve işletme maliyetlerine direkt yansıyan arıza işçilik ve bakım maliyetlerinde azaltma hedeflenmektedir. Bu ek maliyetler üretim miktarlarında olumluluk sağlarken, masrafların yükü dolayısıyla ürün birim maliyetlerine yansımıştır.

1. Giriş

Güç kalitesi, özellikle hassas üretim gerçekleştirmekte olan tesisler için hayati önem taşımaktadır. Şebekeden kaynaklanan güç kalitesi olumsuzluklarının yol açtığı sorunlar Kocaeli – Çayırova bölgesinde konumlandırılmış bulunan, 20 MVA kurulu gücünde, 34.5 kV OG sistemden beslenen, hassas bir üretim gerçekleştirmekte olan elyaf fabrikası için ele alınacaktır. Benzer sıkıntıların, ülkemizin değişik bölgelerinde var olan diğer fabrikalar için de benzerlikler sergilediği görülmektedir.

Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında, serbest piyasa oluşturma hedeflenmekte, bu kapsamda son yıllarda dağıtım bölgelerinin özelleştirilmesi de hızla tamamlanmaktadır[1]. Ancak güç kalitesinin, gerek önceki durum ve gerekse de özelleştirme sonrasında, fabrikaların beklentilerinden uzak kaldığı, Tablo 1'deki olayların gerçekleştiği Çayırova bölgesindeki durum incelendiğinde görülmektedir:

Tablo 1: Üretimi Olumsuz Etkileyen Şebeke Olayları

Yıllar	Kesinti Sayısı – Toplam Süre	Bozucu Olay Sayısı
2010	13- 5 saat 54 dakika	33
2009	55-55 saat 54 dakika	66
2008	18- 29 saat 23 dakika	33
2007	17- 27 saat 20 dakika	133
2006	12- 9 saat 20 dakika	213

Güç kalitesi bakımında ülkemizde, sadece Şebeke yönetmeliğinin Ek-1 kısmında, o da harmonik gerilim seviyeleri ve fliker şiddeti ile ilgili bir açıklama bulunmakta, ancak bunun da yaptırımı ve uygulaması maalesef olmamaktadır. Bu değerlerin enerjilendirilmiş fabrikada ne kadarının şebekeden, ne kadarının fabrikadan kaynaklandığı net olarak görülememektedir.

Artık özel sektör olarak düşünülmesi gereken dağıtım şirketlerinin, güç kalitesi bakımından da belirli yükümlülükleri gerçekleştirmesi sağlanmalıdır. Fabrikalarda, reaktif uygulama gibi, derhal düzeltilmesine rağmen bazen gün gereği oranıyı sağlayamayan, şebekeyi bozduğu düşünülen en ufak bir sorun dahi hemen cezalandırılmakta, oysa, şebekeden kaynaklanan kesinti, darbe, gerilim yükselmesi ya da düşmesi, harmonik bozunumlar, vb. gibi güç kalitesizliklerinin üretici üzerindeki etkileri çok ağır olmakta, bu da normal duruma gelebilmek için dahi ilave yatırımların yapılmasına neden olmaktadır. Bu bildiride, şebeke olumsuz etkilerini en aza indirgeyebilmek için, müşteri tarafından uygulanmaya başlanan çözüm yöntemleri literatür incelemeleriyle [2-7] birlikte incelenecektir.

2. Sistem Tanıtımı ve Güç Kalitesini İyileştirici Yöntemler

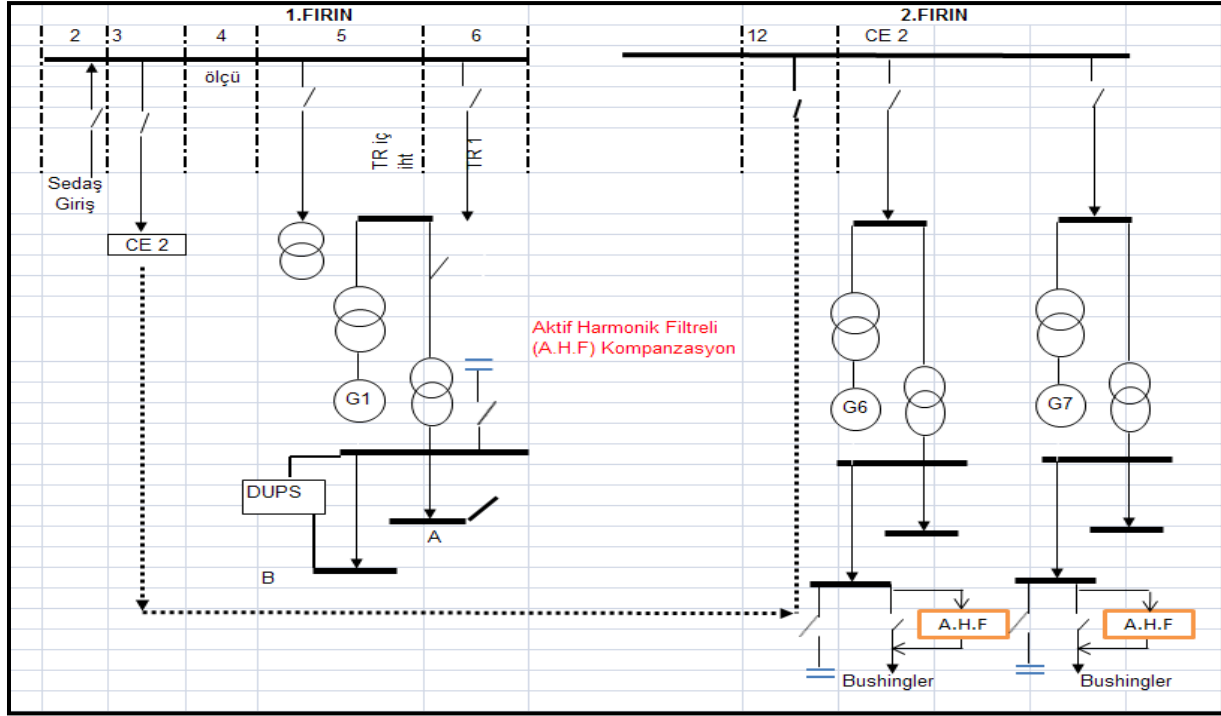
Fabrikada güç kalitesini beklenen yüksek güvenilirlikte sağlayabilmek için, altta belirtilen yatırımlar yapılmıştır:

- Kojenerasyon Santrali (1998 – 2006 arasında)
- Dinamik UPS
- Aktif Harmonik Filtreli Kompanzasyon Tesisi (3faz kontrollu kompanzasyonlu)
- Aktif Harmonik Filtreleme

kendilerinden önceki durumlara göre iyileştirme durumları paylaşılacaktır.

1998-2006 yılları arasında işletilen kojenerasyon santralı güç kalitesi ve şebeke bozucu olaylarına karşı fabrika üretimine çok önemli katkıda bulunmuştur.

Fabrikanın basitleştirilmiş tek hat diyagramı Şekil 1’de görülmektedir. Kurulan sistemlerin,



Şekil 1: Basitleştirilmiş Tek Hat Diyagramı

2.1. Dinamik Kesintisiz Güç Kaynağı (DUPS)

DUPS’un amacı, üretimdeki şebekeden kaynaklı kayıpları ve arızaları minimum seviyeye indirmektir [8]. Bunu gerçekleştirebilmek için şebeke enerjisini izole etmekte, daimi olarak ± 5 Vac (400 Vac baz) ve ± 1 Hz (50 Hz baz) aralığında bir enerjiyi yük tarafına sağlamaktadır.

Dinamik UPS, şebekeden aldığı enerjiyi bir konverter aracılığı ile AC’den DC’e çevirmekte ve bu enerji ile 16 MJ mekanik enerji depolama kapasitesine sahip bir volanı 110 Hz (= 3300 rpm) ile döndürmektedir. Bu dönme ile üretilen DC kare dalga ise DUPS’un alternatör sargılarından geçirilerek düzgün bir sinüs dalgası temin edilmektedir. Bu şekilde, şebekeden gelebilecek tüm olumsuzluklar bertaraf edilmiş olmaktadır. Ayrıca, yük tarafında $PF=0,8$ olması halinde şebeke tarafını 0,98’e denk gelecek şekilde kompanze etme görevini de üstlenmektedir. Dinamik UPS çalışma mantığı gereği şebeke ile paralel çalışmaktadır. Önceden belirlenmiş olan enerji kalitesi

spektlerindeki gerilim ve frekans aralığında kaldığı sürece konumunu korumaktadır.

Bu çalışma aralığında iken ani ve kısa süreli kesintilerde yükü kendi güç modülüyle kritik seviyeye düşene kadar besler. Kritik seviyeye gelinmeden şartlarda düzelme olursa güç modülünün eksilen enerjisini tamamlar.

Ancak bu çalışma aralığından şebekenin uzun süre uzaklaşması halinde, güç modülünün kritik seviyeye ulaşmasından 2 sn önce dizelini çalıştırmaktadır. Dizel çalışıp nominal devrine ulaşınca, zaten dönmekte olan alternatör volanı ile senkronlanıp skorski helikopterlerinde kullanılmakta olan özel bir kaplin/“clutch” ile bağlanmaktadır. Ön şalterini açarak yükü dizelin üzerine alırken güç modülünü de şarj ederek şebekeye geçtikten hemen sonra gelebilecek bir olumsuzluğa hazır durumunu korumaktadır. Yük tarafı ise bu operasyon sırasında gerilim ve frekans sabit tutulduğundan kesinlikle etkilenmemektedir. Kendi iç yapısında yaşadığı bir arızanın oluşması halinde yine yüke hissettirmeden kendi bypass

şalterini kapatarak şebekeden enerjinin kesintisiz teminini sağlamaktadır.

Sistem şebekeyi devamlı izlemektedir. Dolayısıyla, şebeke yine istenen kaliteye ulaştıktan sonra 1 dk 'lık izleme sonunda otomatik olarak senkron olmakta ve dizelini durdurmaktadır.

DUPS seçimi fabrikaların ihtiyaçları doğrultusunda olmaktadır. İncelenen tesiste, “All in one line (Dizel ve power modülü tek sırada akuple)” ve “güç ve besleme modülleri bağımsız” olmak üzere iki yapıda olan sistemlerden, bağımsız olanı tercih edilmiştir.

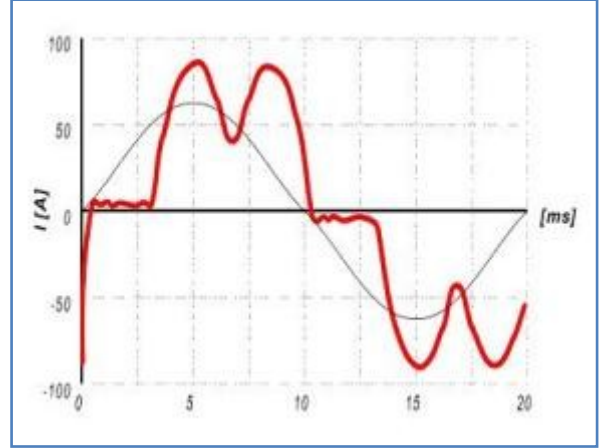
Sistem, üretimin kritik noktalarındaki elektrik motorları, elektronik cihaz ve kontrol sistemlerini korumakta, insan kaynaklı hata ve arızalara izin vermemekte, fliker gibi bozucu olaylarda dizelini devreye sokmayarak yakıt miktarında azalma sağlamakta ve güç modülü bozulsa da acil dizel gibi hazır bekleyerek, elektrik kesintilerinde mevcut dizel gücüne ilave 2.5 MW sağlamaktadır.

Dinamik UPS'in kurulmasından sonraki şebeke bozucu olaylarına karşı tesis korunmasında %100'lük başarı sağlandığı görülmektedir.

Dinamik UPS' in amacı gereği sürekli devrede olması, işletme maliyetini arttırmaktadır. Beslediği yüklerdeki kompanzasyon, filtre, vb. uygulamaların devreden çıkması ya da bakıma alınması gibi durumlarda olumsuz etkilenmeler meydana gelebilecektir.

2.2. Aktif Harmonik Filtre Uygulaması

Fabrikadaki nonlineer yüklerin fazlalığı, sinüs formunun bozulmasına, bu nedenle de, ekipmanların yanlış çalışmasına ve arızaların artmasına neden olmaktadır. Bu konudaki mevcut ve sistem kurulumundan önceki grafikler altta görülmektedir (Şekil 2):



Şekil 2: Harmonik filtre öncesi sinüs dalgası



Şekil 3: 1.Fırına Ait Aktif Harmonik Filtreli Kompanzasyon

Mevcut kompanzasyon sisteminin, reaktif güç kompanzasyon sisteminde yetersiz kaldığı, toplam harmonik bozulmanın kompanzasyon sistemindeki röleleri etkin çalıştırmadığı belirlenince, kurulacak yeni sistem, mevcut sisteme entegre olarak tasarlanmıştır.

Şebekeden kaynaklanan harmoniklerin derecelerinin ve büyüklüklerinin ölçülmesi, son nokta itibarıyla kolay olmamaktadır. Son noktadaki değerlerden, fabrikanın harmonik bozulmalarının iyileştirilmesi yoluna gidilmiştir.

Tesiste iki farklı aktif harmonik filtre uygulaması bulunmaktadır (Şekil 1):

1.) 2009 yılı sonlarında devreye giren 1.fırın alçak gerilim dağıtım sisteminde kullanılan aktif harmonik filtre, akım harmoniklerini filtrelemenin yanı sıra reaktif güç kompanzasyonu da yapabilmektedir. Sistem 3 fazı da ayrı ayrı takip etmekte ve buna uygun ayrı ayrı kompanzasyon yapmaktadır. Sistemde bushing adı verilen rezistanslar çif t faz kullanılmakta, yük dengesini sağlamak için modüller RS, ST, RT şeklinde bağlanarak devreye alınmaktadır. Ancak, işletme şartları gereği arıza, makine değişimi ya da bushing değişimi olduğunda, duran sistemlerin dengeli yük durumu da bozulmaktadır. Bu durum faz akımları arasında ciddi farklar oluşabilmektedir. Sistem bu dengesizliği görek her faza hedeflenen güçfaktörü değerine uygun kompanzasyon uygulamakta, bu şekilde, üç fazlı sistemlerde genelde uygulanan maksimum akım çeken faza göre kompanze hedeflenirken diğer fazlarda aşırı kompanzasyon riski ortadan kaldırılmaktadır.

Sistemin kurulmasından önceki %13 seviyelerinde olan gerilim ve %32 seviyelerinde olan akım harmonikleri, sırasıyla maksimum %7 ve %10' a gerilemiştir. Ana besleme şalterlerinden geçen akım % 20 azalmış, bu ise besleme trafolarındaki sıcaklıkların 5-7 °C düşmesini sağlamıştır (Şekil 3).

2.) 2.fırın alçak gerilim dağıtım sisteminde farklı bir aktif harmonik filtre uygulaması görülmektedir. Aktif Harmonik Filtre (AHF), harmonik akım generatörü gibi davranmakta, lineer olmayan yüklerden ürettiği harmonikleri ölçerek, karşı fazda ve aynı genlikte yeni bir harmonik akımı üretilip, harmonikleri yok etmektedir. Sistemin kurulduğu nokta direkt olarak harmoniklere sebep olan yüklerin besleme noktalarıdır. Kurulum ile sistemde daha önce etkisi görülen 3'üncü, 5.'inci, 7.'inci ve 11.'inci harmoniklerin yok edildiği görülmüştür. Yaklaşık 130 kVA enerji tasarrufu sağlanmıştır.

3. Güç Kalitesizliğinin Maliyeti

Elektrik maliyetleri hesaplanırken, yalnızca şebeke tarifeleri üzerinden hesap yapılmakta, bu ise ürün maliyetlerinin belirlenmesinde yanıltıcı olabilmektedir.

Ülkemizde dağıtım şebekelerinin güvenilirlik oranı, Avrupa ülkeleri ve Amerika ile karşılaştırıldığında düşük kalmaktadır. Bu konuda, ülkemiz için yayınlanmış bir veri de yoktur. Ancak, incelenen üretim tesisinin izleme sistemi kayıtlarına göre, bu değer, örneğin 2009 yılı için, %99.36' lar civarında olduğu görülmektedir. Sadece kesintilerden kaynaklanan bu değer, fabrika üretiminin kararlı rejime ulaşmasına etkisi daha ağır olmaktadır.

Üretici, şebekeden kaynaklanan bu bozucu etkileri, kendi imkanları ile azaltacak yatırımlarda bulunmaktadır. Elektrik tarife bedeli dağıtım şirketine ödenirken, yatırımların bedeli, bakım – arıza, işçilik, yakıt, vb. gibi maliyetler de üretim maliyetlerine eklenmektedir. Bir de üstüne, şebeke kesintilerinin, darbelerinin, fabrikada yarattığı sorunlar, türev arızalara neden olmakta, bunlar nedeniyle de ayrıca cezaya girilmektedir. Bu başlı başına bir sorundur. Zaten sistem gereğinden büyük seçilerek, optimal işletme ve malzeme seçiminden uzaklaşmakta, kayıplar gereksiz yere artmakta, kullanılan malzemenin sayısı ve yedeği artmakta, buna bir de patlamalar nedeniyle, kurulan sistemlerin çalıştırılmaması da eklenmektedir. Bunun sonucunda da, sorunu giderme süresi kadar bile tolerans sağlanmamaktadır. Dağıtım şebekesinin, bir hata toleransı varsa, bu üreticilere de sağlanmalıdır.

Kaliteli enerjiye sahip olmanın maliyeti de, Tablo 2'de görüleceği üzere, yüksek olmaktadır:

Tablo 2: İlave Yatırım Maliyetleri

Yatırım Türü	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Yıllık İşletme Maliyeti (\$)	Yıllık Bakım- Yd. Parça Maliyeti (\$)	Toplam Maliyet – Yıllık
Kojenerasyon (10 MW)	16.000.000	5 yıl dahil	5 yıl dahil	16.000.000
Dinamik UPS (2.5 MW)	2.750.000	15.000	15.000	2.780.000
Aktif Harmonik Filtreleme (1.fırın ve 2.fırın beraber)	150.000	30.000	3.000	183.000

Aslında şebekeden alınan kalitesiz elektriğin kaliteli duruma gelmesi için,

$$\text{Elektrik Maliyeti} = \text{Şebeke Fiyatı} + \text{Yatırım Bedeli} + \text{İşletme \& Bakım Bedeli}$$

gibi bedel ödenmektedir.

Ayrıca, yeni bir sistem, yeni işletme sorunlarını da beraberinde getirmekte, kendisinde yaşanması olası bir sorun halinde, şebekede de sorun yaşanması durumunda, işletmecileri de zor duruma sokmaktadır. Dağıtım şebekelerinin en azından planlı çalışmalarda, üretim noktalarıyla iletişim kurmaları çok önem taşımaktadır.

Sonuç

Bu bildiride, fabrikaların yaşadığı güç kalitesi problemlerine karşı uyguladığı çözüm örneklerinden verilmiştir. Uygulamaların maliyetleri yüksektir ve hemen hemen hepsinde tamamen yurtdışına bağımlılık vardır. Sanayicilerin bu sorunları, dağıtım şirketlerine getirilecek ve tek elden yürütülecek yükümlüklerle sağlanmalıdır.

Kaynaklar:

- [1] 26.11.2009 tarihli ve 27418 (Mükerrer) Sayılı Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği
- [2] Sergec Kalaschnikow, Steffan Hansen, Lucian Asiminoaei, Henrik Gedde Maos, Active Compansation of Harmonics in Industrial Aplications
- [3] Joao Afonso, Edson Watanable, Julio Martins, Shunt Active Filter for Power Quality Improvement, International Conference UIE 2000 –“Electricity for a Sustainable Urban Development” Lisboa, Portugal, 1-4 November 2000, pp. 683-691
- [4] Luis A. Moran, Juan W. Dixon, Jose R. Espinoza, Rogel R. Wallace, Using Active Power Filters to Improve Power Quality
- [5] Hideaki Fujita, Hirofumi Akagi, A Practical Approach to Harmonic Compensation in Power Systems –Series Connection of Passive and Active Filters, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.27, No.6, November/December 1991
- [6] EPRI, Overcoming Cost Reduction Barriers for Advanced Power Quality Mitigation Systems, A Product of EPRICSG. Inc.
- [7] A. De Almeida, L. Moreira, J. Delgado, Power Quality Problems and New Solutions
- [8] Piller Dynamic UPS UBTD with Flywheel Technology Brochure

ENERJİ FONKSİYONU ANALİZİ İLE GERİLİM KARARLILIĞI İNCELEMESİ

Ahmet ÇİFCİ¹ Ahmet Turan HOCAOĞLU² Yılmaz UYAROĞLU³
Mehmet Ali YALÇIN⁴

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü^{1,3,4}
Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Sakarya

Elektroteknik Laboratuvarı Müdürlüğü²
TSE Kalite Kampüsü, Gebze, Kocaeli

¹e-posta y075008015@sakarya.edu.tr
³e-posta uyaroglu@sakarya.edu.tr

²e-posta elektrotekniklab@tse.org.tr
⁴e-posta yalcin@sakarya.edu.tr

ÖZET

Güç sistem kararlılığı genellikle bir güç sisteminin, kabul edilebilir dengeli bir çalışma şartında bulunması ve bir bozucu etki sonrası tekrar normal denge durumuna dönebilmesidir. Gerilim kararlılığı ve gerilim çökmesi olayı, dünyanın çeşitli yerlerinde meydana gelen enerji sistem çökmeleri nedeniyle, güç sistem analizi ve kontrolünde çok önemli bir konu olmaya başlamıştır. Bu çalışmada Lyapunov'un ikinci metodu basit bir elektrik güç sistemine uygulanarak, sistemin enerji fonksiyonu oluşturulmuş ve böylece sistemdeki enerji seviye değişikliklerinin sistemin kararlılığına etkisi MATHCAD programı kullanılarak gösterilmiştir.

Anahtar sözcükler: Gerilim kararlılığı, Enerji fonksiyonu, Lyapunov'un ikinci metodu, Değişken gradient metot

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın artması ile birlikte ekonomik ve çevresel etkiler güç sistemlerini kararlılık limitine yakın noktalarda çalışmaya zorladığından kararlılık sınırları azalmaya ve gerilim kararlılığı önemli bir konu olmaya başlamıştır. Gerilim kararlılığı kavramı bir enerji sisteminin yük baralarının gerilimlerinin genliklerini, gerek sürekli hal gerilim kararlılığı gerekse geçici hal gerilim kararlılığı olaylarında belirli işletme sınırları içinde tutabilme yeteneği olarak ifade edilir [1].

Gerilim kararlılığı problemi güç sisteminde aşırı yüklenme, arızalanma veya yetersiz reaktif güç durumlarında oluşur. Son yıllarda, gerilim kararlılığı problemi çoğu enerji sistem ağının çökmesine sebep olmuştur. Bu olumsuzluklar gerilim kararlılığı konusundaki çalışmaların artmasını beraberinde getirmiştir. Bunlardan bazı örnekler; 1990 Mısır sistem arızası [2], 1997 Şili sistem arızası [3], 2003 Amerika-Kanada sistem arızası [4,5], 2005 Avustralya ve Rusya sistem arızaları, 2006 Yeni Zelanda sistem arızaları olarak gösterilebilir.

Generatör, hat, transformatör, bara v.b. elemanların herhangi bir sebeple devre dışı edilmesiyle, gerilim kontrolünün yapılamaması veya yükün artması durumlarında, kontrolsüz gerilim düşümü olursa güç sisteminin kararsızlığı söz konusu olur. Gerilim kararsızlığının esas nedeni, aşırı yüklü sistemlerde gerilim değerlerini belirli bir değerde tutabilmek için sistemin ihtiyaç duyduğu reaktif enerjiyi sistemin karşılayamamasıdır [6-9]. Gerilim kararsızlığının nasıl meydana geldiği, kararsızlığa götüren nedenin ne olduğu, hangi bölgelerin gerilim açısından zayıf olduğu ve gerilim kararsızlığının geliştirilmesine en etkili kısıtların neler olduğu ortaya konmalıdır [10].

Klasik anlamda kararlılık çalışmaları aktif güç-yük açısı (P- δ) arasındaki ilişkiye odaklanırken, gerilim kararlılığı çalışmalarında reaktif güç-gerilim genliği (Q-V) ilişkisi ön plana çıkmaktadır. Gerilim kararlılığı çalışmalarının klasik yolu, sürekli hal gerilim kararlılığına yani statik yük akışı analizlerine dayanmaktadır. Ancak statik yük akışı analizleri gerilim kararlılığının dinamik davranışı hakkında yeterli bilgi veremeyeceğinden, dinamik yük akışı analizlerinin de göz önüne alınması gerekmektedir [11].

Bu çalışmada Lyapunov'un ikinci metodu tek makine sonsuz bara sistemine uygulanarak, sistemin enerji fonksiyonu oluşturulmuş ve böylece sistemdeki enerji seviye değişikliklerinin sistemin kararlılığına etkisi incelenmiştir.

2. LYAPUNOV KARARLILIK ANALİZİ

Doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin kararlılığının incelenmesinde değişmez üstellerin kullanılabileceğini ilk olarak 1889 yılında Rus matematikçi Sonya Kovalevskaya göstermiştir. Kovalevskaya'nın çalışması daha sonra 1892 yılında diğer bir Rus matematikçi olan Alexandr Mikhailovich Lyapunov tarafından geliştirilmiştir.

Lyapunov'un ikinci metodu, dinamik sisteme ilişkin diferansiyel denklemin çözümünü bulmadan sistemin kararlılığını inceleme olanağı verir. İkinci metot, kesin

çözümleri bulunmayan doğrusal olmayan sistemlerin kararlılık analizi için uygundur. Bu metot zamana bağlı doğrusal olmayan sistemlerin kararlılık durumlarının tespitinde en genel metottur ve bilinen tüm sistemlere uygulanabilir.

2.1. Doğrusal olmayan sistemlerin kararlılık analizi

Doğrusal olmayan sistemlerin kararlılığı bölgeseldir. Bu yüzden genellikle orijin civarında en geniş bölgede yeterli kararlılık şartlarını sağlayan Lyapunov fonksiyonu aranır.

Lyapunov'un ikinci metodundan ortaya çıkan birkaç metot, doğrusal olmayan sistemlerin kararlılığının testi için uygundur. Bunlardan biri, Lyapunov fonksiyonların genellenmesi için kullanılan değişken gradiyent metodudur.

2.1.1. Değişken gradiyent metot

Eğer verilen bir sistem için kararlılığın doğruluğunu gösterebilen özel bir Lyapunov fonksiyon bulunabiliyorsa bu V fonksiyonunun bir gradiyenti de vardır [12].

Bir sistem aşağıdaki biçimde tanımlı olarak verilsin:

$$\dot{x} = f(x, t) \quad (2.1)$$

Uzayın orijiniinde olan bir denge noktası var olduğu kabul edilsin. V ile bir test Lyapunov fonksiyonu gösterilsin. Bu fonksiyonda V, x'in açık fonksiyonu fakat t'nin açık fonksiyonu olmadığı varsayılsın. Öyleyse;

$$\dot{V} = \frac{\partial V}{\partial x_1} \dot{x}_1 + \frac{\partial V}{\partial x_2} \dot{x}_2 + \dots + \frac{\partial V}{\partial x_n} \dot{x}_n \quad (2.2)$$

yazılabilir. Buradan da şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{V} = (\nabla V)^* \dot{x} \quad (2.3)$$

Burada $(\nabla V)^*$, ∇V 'nin transpozudur. V'nin gradiyenti ∇V şöyle olur:

$$\nabla V = \begin{bmatrix} \frac{\partial V}{\partial x_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial V}{\partial x_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \nabla V_1 \\ \vdots \\ \nabla V_n \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

V, ∇V 'nin çizgisel integrali şeklinde ifade edilebilir:

$$V = \int_0^x (\nabla V)^* dx \quad (2.5)$$

Burada integralin üst limiti V'nin bir vektör büyüklüğü olduğunu göstermez, fakat integral uzayda rastgele bir noktanın $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ çizgisel integraline tercih edilir. Bu integral integrasyon metodundan bağımsız yapılabilir.

2.1.2. Gradyent sistemi kullanarak Lyapunov fonksiyonun araştırılması

Bir dinamik sistemin en basit formunda kolayca oluşturulan Lyapunov fonksiyon gradiyent sistemidir[12]. Bu formun bir sistemi aşağıdaki biçimde tanımlı olarak verilsin:

$$\dot{x} = -A \nabla V(x, x_0) \quad (2.6)$$

Burada; $v, \mathcal{R}^n \times \mathcal{R}^n \rightarrow \mathcal{R}$ devamlı olarak diferansiyellenebilir. $A \in \mathcal{R}^{n \times n}$, $\det(A) \neq 0$ ve $v(x, x_0) = 0$, $x = x_0$ olarak tanımlıdır. Eğer x_0 'da $v(x, x_0)$ 'ın hessian'ı tamamen pozitif belirli ise x_0 'da denge noktası asimptotik kararlıdır.

Lyapunov fonksiyon aşağıdaki denklem ile verilir:

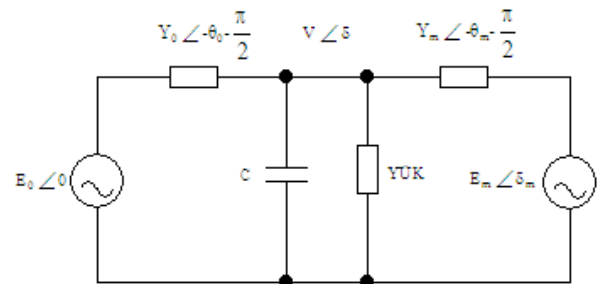
$$V(x) = \int_{x_0}^x [f(\xi)]^T d\xi \quad (2.7)$$

Yukarıda verilen Lyapunov fonksiyon denklemi tek makine sonsuz bara sisteminde enerji fonksiyonunun bulunması için kullanılacaktır.

3. TEK MAKİNE SONSUZ BARA SİSTEMİ İÇİN ENERJİ FONKSİYONU ANALİZİ

Gerilim çökmesi olayının anlaşılması için Dobson ve Chiang [13] bir güç sistem modeli tanıtmışlardır. Gerilim çökme çalışmaları için bir işletme yükünü ifade eden asenkron motora paralel sabit P-Q yükü ve sabit empedans yükünden oluşan yük modelini önermektedirler.

Şekil 3.1'de örnek bir güç sistemi gösterilmiştir:



Şekil 3.1. Güç sisteminin basit bir örneği

Bu sistem bir adet sonsuz güçlü bir bara, bir generatör ve bir yük barasından oluşmaktadır. Yük asenkron motora paralel sabit P-Q yükü ve sabit bir empedans yükünden oluşmaktadır. Yük barası, sabit empedansının bir parçası olarak gerilim genliğini belli değerlerde tutmak için kapasite içermektedir.

Şekil 3.1’de verilen güç sistem modelinin durum denklemlerini gösteren 4 adet 1. dereceden diferansiyel denklem aşağıdaki şekilde ifade edilir [13].

$$\dot{\delta}_m = w \quad (3.1)$$

$$M\dot{w} = -Dw + P_m + E_m VY_m \sin(\delta - \delta_m - \theta_m) \dots + E_m^2 Y_m \sin \theta_m \quad (3.2)$$

$$K_{qw} \dot{\delta} = -K_{qv} V - K_{qv2} V^2 + Q - Q_0 - Q_1 \quad (3.3)$$

$$TK_{qw}K_{pv} \dot{V} = K_{pw}K_{qv2} V^2 + (K_{pw}K_{qv} - K_{qw}K_{pv})V \dots + K_{pw}(Q_0 + Q_1 - Q) - K_{qw}(P_0 + P_1 - P) \quad (3.4)$$

Generatör mekanik gücü, aktif yükün ihtiyacına denktir ($P_M = P_L$) koşulu altında yukarıdaki denklemler tekrar yazılabilir:

$$\dot{w} = -\frac{D}{M^2} Mw - \frac{1}{M} f(\delta, \delta_m, V) \quad (3.5)$$

$$\dot{\delta}_m = \frac{1}{M} Mw \quad (3.6)$$

$$\dot{\delta} = -g(\delta, \delta_m, V) \quad (3.7)$$

$$\dot{V} = -h(\delta, \delta_m, V) \quad (3.8)$$

Burada $f(\delta, \delta_m, V)$, $g(\delta, \delta_m, V)$ ve $h(\delta, \delta_m, V)$ aşağıdaki şekildedir:

$$f(\delta, \delta_m, V) = -(P_m + E_m VY_m \sin(\delta - \delta_m - \theta_m) \dots + E_m^2 Y_m \sin(\theta_m)) \quad (3.9)$$

$$g(\delta, \delta_m, V) = -\frac{1}{K_{qw}} (-K_{qv2} V^2 - K_{qv} V + Q - Q_0 - Q_1) \quad (3.10)$$

$$h(\delta, \delta_m, V) = -\frac{1}{TK_{qw}K_{pv}} (K_{pw}K_{qv2} V^2 \dots + (K_{pw}K_{qv} - K_{qw}K_{pv})V + K_{pw}(Q_0 + Q_1 - Q) \dots - K_{qw}(P_0 + P_1 - P)) \quad (3.11)$$

(3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) ile verilen diferansiyel denklemler, yüksek gerilim çalışma noktasında oldukça karmaşık yük modellemesini içeren basit sistem modelinin tanımıdır.

3.1. Basit bir güç sistemi için Lyapunov fonksiyon formuna gradyent sistemin tanımlanması

Şekil 3.1’de görülen sistem için Lyapunov fonksiyonun elde edilmesinde (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemleri aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

$$\begin{bmatrix} \dot{\delta}_m \\ \dot{w} \\ \dot{\delta} \\ \dot{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{M} & 0 & 0 \\ \frac{1}{M} & \frac{D}{M^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(\delta_m, \delta, V) \\ Mw \\ g(\delta_m, \delta, V) \\ h(\delta_m, \delta, V) \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

(3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) denklemleriyle tanımlanan sistem için (3.12) denklemi bu sistem dinamikleri için alternatif bir tanımlamadır.

$(w_0, \delta_{m0}, \delta_0, V_0)$ ’ın bir denge noktası için, (3.12) denkleminin sağ tarafında görülen bir aday enerji fonksiyonu ((3.12) denkleminin sağ tarafında görülen (4x1) gradyent matris) elde edilebilir ve böylece (2.7) denkleminde kullanılabilir. Aday enerji fonksiyonu (2.7) denkleminde şöyle yazılabilir:

$$v(w, \delta_m, \delta, V) = \int_{(w_0, \delta_{m0}, \delta_0, V_0)}^{(w, \delta_m, \delta, V)} \begin{bmatrix} Mw \\ f(\delta_m, \delta, V) \\ g(\delta_m, \delta, V) \\ h(\delta_m, \delta, V) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} dw \\ d\delta_m \\ d\delta \\ dV \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$f(w, \delta_m, \delta, V)$, $g(w, \delta_m, \delta, V)$ ve $h(w, \delta_m, \delta, V)$ (3.13) denkleminde yerine konulursa, güç sisteminin enerji fonksiyonu elde edilir.

$(w^*, \delta_m^*, \delta^*, V^*) = (0.0, 0.3, 0.2, 0.97)$ denge noktası olarak seçilmiştir.

Tek makine sonsuz bara için enerji fonksiyonu analizi, generatör açısı ve yük durum değişkenlerine dayanan iki analiz içerecektir. Bu iki analizin asıl amacı, güç sisteminin tüm enerjisi üzerinde yükün ne çeşit etkilere sahip olabileceğinin araştırılmasıdır.

3.1.1. Generatör rotor açısı $\delta_m = 0.8$ rad ve sistem frekansı $w = 1$ pu

Aşağıda verilen enerji fonksiyonu tek makine sonsuz bara için örnek alınan enerji fonksiyondur.

$$v(\delta, V) = 2.008V^3 + a_2 V^2 + a_1 V + a \quad (3.14)$$

Yukarıda verilen örnek enerji fonksiyonu, $f(w, \delta_m, \delta, V)$, $g(w, \delta_m, \delta, V)$ ve $h(w, \delta_m, \delta, V)$ (3.13) denkleminde yerine konulmasıyla bulunan enerji fonksiyonuna eşitlendiğinde a_2 , a_1 ve a sırasıyla aşağıdaki şekilde bulunur:

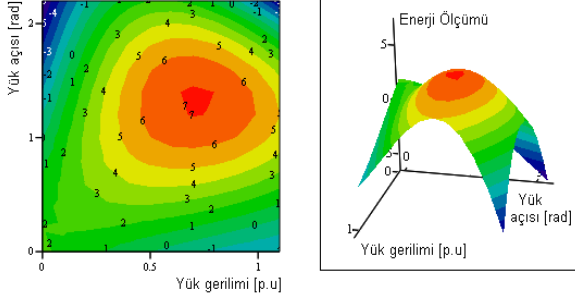
$$a_2 = 2.426 - 14.907\delta + 0.075\sin(\delta - 0.887) + 0.3\sin(\delta - 0.209) \dots - \cos(\delta - 0.887) - 4\cos(\delta - 0.209) \quad (3.15)$$

$$a_1 = 3.329 + 2.8\delta + 5\cos(-\delta + 0.213) - 5\cos(-\delta + 0.713) \dots + 5\sin(\delta - 0.887) + 20\sin(\delta - 0.209) \quad (3.16)$$

$$a = -1.788 - 1.3\delta - 0.063\sin(\delta - 0.887) - 0.254\sin(\delta - 0.209) \dots + 0.846\cos(\delta - 0.887) + 3.386\cos(\delta - 0.209) \quad (3.17)$$

Yukarıdaki sonuçların MATHCAD programında grafiksel gösterilimi eş yükselti eğrileri ve üç boyutlu

olarak şekil 3.2a ve 3.2b’de gösterilmektedir. İki boyutlu eş yükselti eğrileri grafiği farklı çalışma noktalarında enerji yoğunluğunu göstermektedir. Her eş yükselti eğrisinin tablo 3.1’den belirlenebilen sabit enerji değerleri vardır. Şekillerdeki kırmızı bölgeler enerji yoğunluğunu göstermektedir. Şekil 3.2a aynı enerji seviyesinde sistemin alçak gerilim ve yüksek gerilimde çalışabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.2. $\delta_m=0.8\text{rad}$ ve $w=1\text{pu}$ durumunda sistemin depolanmış enerjisinin gösterilimi

- İki boyutlu olarak gösterilim
- Üç boyutlu olarak gösterilim

Şekil 3.2a’da enerji yoğunluğunun $0.5 \leq V \leq 1$ ve $1 \leq \delta \leq 1.6$ arasında olduğu görülmektedir. Bu noktalar etrafında enerji kuvvetinin 6 ve 7.5 arasında değiştiği gözlemlenmektedir.

Tablo 3.1. $\delta_m=0.8\text{ rad}$ ve $w=1\text{ pu}$ durumu için enerji ölçümü

δ						Enerji Ölçümü					
0	2,1	1,7	1,3	0,9	0,4	0,0	-0,3	-0,8	-1,1	-1,5	-1,7
0,2	2,0	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,2	0,8	0,4	0,1	-0,2
0,4	1,7	2,2	2,6	2,8	2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	1,8	1,3
0,6	1,2	2,2	3,0	3,6	3,9	4,1	4,2	4,1	3,8	3,4	2,9
0,8	0,6	2,1	3,2	4,1	4,8	5,2	5,4	5,4	5,2	4,9	4,3
1	-0,0	1,7	3,2	4,4	5,3	5,9	6,3	6,4	6,3	5,9	5,4
1,2	-0,9	1,2	3,0	4,4	5,5	6,3	6,8	7,0	6,9	6,5	5,9
1,4	-1,8	0,5	2,5	4,2	5,4	6,3	6,9	7,1	6,9	6,5	5,7
1,6	-2,9	-0,2	1,9	3,6	5,0	5,9	6,4	6,6	6,4	5,8	4,9
1,8	-3,9	-1,2	1,0	2,8	4,1	5,0	5,5	5,5	5,1	4,3	3,2
V	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

Tablo 3.1, generatör rotor açısı $\delta_m=0.8\text{ rad}$ ve sistem frekansı $w=1\text{ pu}$ olmak üzere, farklı yük açıları (δ) ve yük gerilimleri (V) için enerji fonksiyonunun sayısal değerlerini göstermektedir. Çalışma noktasına bağlı olarak, sistemin tüm depolanan enerjisinin sistem yükünün zamanla değişmesi ile alçalması veya yükselmesi görülmektedir. Bu depolanmış enerji seviyesinin alçalması ve yükselmesi, alçak yük gerilimi ve yüksek yük gerilimi çalışmalarına karşılık gelmektedir. Böylece, sistem tarafından tolere edilemeyecek yük değişimleri arasındaki sınır kolayca belirlenebilir. $\delta_m=0.8\text{ rad}$ ’ın seçimi ile oluşan bu yeni denklik noktası sistemin kararsız olmasına sebep olmadan daha büyük gerilim değişimleri olabileceğini göstermektedir.

3.1.2. Generatör rotor açısı $\delta_m=1.6\text{ rad}$ ve sistem frekansı $w=1\text{ pu}$

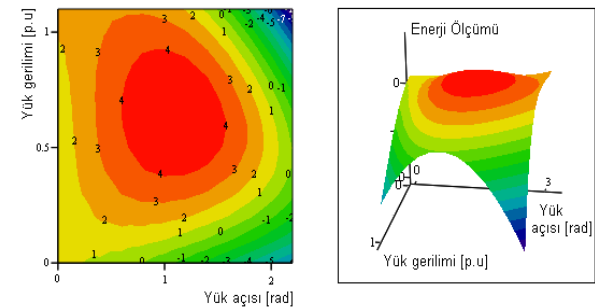
Yüke bağlı olan durum değişkenleri ve güç üretim seviyesi aşağıdaki değişimler ile generatör açısı (δ_m) 0.8 radyandan 1.6 radyana yükseltilecek, çalışma noktası yeni bir seviyeye kaydırılmış olur. (3.14)’de verilen enerji fonksiyonu, ilk analizde olduğu gibi bu analiz için de örnek alınan enerji fonksiyondur. (3.14)’de verilen örnek enerji fonksiyonu $f(w, \delta_m, \delta, V)$, $g(w, \delta_m, \delta, V)$ ve $h(w, \delta_m, \delta, V)$ (3.13) denkleminde yerine konulmasıyla bulunan enerji fonksiyonuna eşitlendiğinde a_2 , a_1 ve a sırasıyla aşağıdaki şekilde bulunur:

$$a_2 = 2.425 - 14.907\delta + 0.075 \sin(\delta - 1.687) + 0.3 \sin(\delta - 0.209) \dots - \cos(\delta - 1.687) - 4 \cos(\delta - 0.209) \quad (3.18)$$

$$a_1 = 5.140 + 2.8\delta + 5 \cos(-\delta + 0.213) - 5 \cos(-\delta + 1.513) \dots + 5 \sin(\delta - 1.687) + 20 \sin(\delta - 0.209) \quad (3.19)$$

$$a = -2.241 - 1.3\delta - 0.063 \sin(\delta - 1.687) - 0.254 \sin(\delta - 0.209) \dots + 0.846 \cos(\delta - 1.687) + 3.386 \cos(\delta - 0.209) \quad (3.20)$$

Yukarıdaki sonuçların MATHCAD programında grafiksel gösterilimi eş yükselti eğrileri ve üç boyutlu olarak şekil 3.3a ve 3.3b’de gösterilmektedir. İki boyutlu eş yükselti eğrileri grafiği farklı çalışma noktalarında enerji yoğunluğunu göstermektedir. Her eş yükselti eğrisinin tablo 3.2’den belirlenebilen sabit enerji değerleri vardır. Şekillerdeki kırmızı bölgeler enerji yoğunluğunu göstermektedir.



Şekil 3.3. $\delta_m=1.6\text{rad}$ ve $w=1\text{pu}$ durumunda sistemin depolanmış enerjisinin gösterilimi

- İki boyutlu olarak gösterilim
- Üç boyutlu olarak gösterilim

Şekil 3.3a’da enerji yoğunluğunun $0.4 < V \leq 0.9$ ve $0.6 \leq \delta \leq 1.4$ arasında olduğu görülmektedir. Bu noktalar etrafında enerji kuvvetinin 4 ve 5 arasında değiştiği gözlemlenmektedir.

Güç üretim seviyesi $\delta_m=0.8$ radyandan $\delta_m=1.6$ radyana değiştirildiğinde sistemin çalışma noktası da kaydırılır. Tüm depolanan enerjinin değerinin düştüğü gözlemlenmektedir. Enerji ölçümündeki bu düşüş çalışma noktasının kararsızlık bölgesine doğru hareketinin bir göstergesidir. İlk analizde $\delta=1.4\text{ rad}$ ve $V=0.7\text{ pu}$ iken maksimum okunan enerji 7.1’dir (Bkz. Tablo 3.1). Ancak bu analizde δ ve V ’nin aynı

değerlerinde maksimum enerji seviyesi 4.5'tir (Bkz. Tablo 3.2).

Tablo 3.2. $\delta_m=1.6$ rad ve $w=1$ pu durumu için enerji ölçümü

δ					Enerji Ölçümü						
0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0
0,2	1,0	1,4	1,7	1,9	2,0	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4
0,4	0,8	1,5	2,1	2,5	2,8	3,0	3,2	3,2	3,1	3,0	2,8
0,6	0,4	1,5	2,3	3,0	3,5	3,8	3,9	4,0	3,8	3,6	3,2
0,8	-0,02	1,3	2,4	3,3	3,9	4,3	4,5	4,5	4,4	4,0	3,5
1	-0,6	1,0	2,3	3,4	4,1	4,6	4,9	4,9	4,6	4,1	3,4
1,2	-1,3	0,5	2,0	3,2	4,1	4,7	4,9	4,9	4,5	3,9	3,0
1,4	-2,2	-0,1	1,6	2,9	3,8	4,4	4,6	4,5	4,0	3,2	2,1
1,6	-3,1	-0,8	0,9	2,3	3,2	3,8	3,9	3,6	3,0	2,0	0,7
1,8	-4,0	-1,7	0,1	1,4	2,3	2,8	2,8	2,4	1,5	0,3	-1,3
V	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

Çalışma noktasının bu yeni seviyesinde açıkça görülmektedir ki yükteki herhangi bir değişim depolanan enerji seviyesini aşağılara düşürmeye ve hatta belki de negatif değerlere kadar düşürmeye devam edecektir. Yükteki bir değişimin depolanan enerjide bir artışa sebep olduğu durumda, sistem kararsızlık noktasından uzaklaşma eğilimi göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Yapılan enerji fonksiyonu analizi ile depolanan enerji ölçümünün, çalışma noktasının kararsızlık bölgesine yakınlığını gösterdiği sonucuna varılır. Yani enerji seviyesi çalışma noktasının kararsızlığa yakınlığının ölçüsüdür. Bu çalışma, farklı seviyelerdeki sistem çalışmasının gösterimi ve yük gerilimlerine karşılık gelen depollanmış enerji seviyelerinde elde edilen kritik yük açıları ile tek makine sonsuz bara sisteminin kararlılık tavrını açıkça gösterebilecek daha gerçekçi bir enerji fonksiyonu elde edilebileceğini göstermektedir. Böylece bu da sistemdeki enerji dalgalanmalarının, sistemin kararlılığı üzerindeki etkisini çok iyi bir şekilde gösterebilmektedir. Sonuç olarak, yük açısı ve yük geriliminin en uygun aralığı, yük açıları ve yük gerilimlerine bağlı sistem için kararlılık aralığını grafiklendiren bu enerji dalgalanmalarıyla belirlenebilir.

EK

Yük parametreleri [13]:

$$K_{pw} = 0.4, K_{pv} = 0.3, K_{qw} = -0.03, K_{qv} = -2.8, K_{qv2} = 2.1, T = 8.5, P_0 = 0.6, Q_0 = 1.3, P_1 = 0.0, Q_1 = 0.0$$

Şebeke ve generatör parametreleri [13]:

$$Y_0 = 20, \theta_0 = -5, E_0 = 1, C = 12, Y_0' = 8, \theta_0' = -12, E_0' = 2.5, Y_m = 5, \theta_m = -5, E_m = 1, P_m = 1, D = 0.05, M = 0.3$$

Açılar derece, diğer değerler per-unit cinsindendir.

KAYNAKLAR

[1] TAYLOR, C. W., Power system voltage stability. Mc Graw – Hill Inc, New York, 1994; pp. 17–40.

[2] EL-SADEK, M.Z., Preventive measures for voltage collapses and voltage failures in the Egyptian power system. Electric Power Systems Research 1998; 44:203–211.

[3] VARGAS L. S., CAÑIZARES C. A., Time dependence of controls to avoid voltage collapse. IEEE Trans. Power Systems. July 2000; paper no. PE-006PRS.

[4] Interim Report: Causes of the august 14th blackout in The United States and Canada, Tech. Rep., November 2003.

[5] US-Canada Power Systems Outage Task Force, First Report on The August 14 2003, Blackout in The United States and Canada: Causes and Recommendations, April 2004.

[6] VAN CUTSEM, T., VOURNAS C., Voltage stability of electric power systems. Norwell, MA:Kluwer, 1998.

[7] IEEE Working Group on Voltage Stability, Voltage Stability of Power System: Concepts, Analytical Tools, and Industry Experience, IEEE Special Publication 90TH0358-PWR, 1990.

[8] VAN CUTSEM, T., Voltage Instability: Phenomenon, Countermeasures and Analysis Methods. Proc. IEEE, vol. 88, 2000, pp. 208-227.

[9] HILL, D. J., Nonlinear dynamic load models with recovery for voltage stability studies. IEEE Trans. Power Systems, vol. 8, February, 1993, pp. 166-176.

[10] AYGEN, Z. E., Elektrik enerji sistemlerinde genetik algoritma kullanarak optimizasyona yeni bir yaklaşım. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.

[11] YALÇIN, M. A., Enerji sistemlerinde gerilim kararlılığının yeni bir yaklaşımla incelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.

[12] SLOTINE, J. J. E., LI, W., Applied nonlinear control, Prentice-Hall, Inc., 1991, pp. 57-97.

[13] CHIANG, H. D., DOBSON, I., THOMAS, R. J., THORP, J. S., FEKIH-AHMED, L., On voltage collapse in Electric Power Systems, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 5, No. 2, May 1990, pp. 601–611.

GÜÇ KALİTESİ MONİTÖR ÖLÇÜMLERİ TABANLI GERİLİM ÇUKUR SIKLIK İNDEKSLERİ

(¹)Elif İNAN

(²) Bora ALBOYACI

(^{1,2})Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi, 41380, Kocaeli, Türkiye
einan@kocaeli.edu.tr, alboyaci@kocaeli.edu.tr

Özet

Yapılan çalışma, kısa süreli gerilim çukuru değerlendirmesinde IEEE-P1564 Taslağı'nda tanımlanan gerilim çukur sıklık tablosu ve indekslerinin Türkiye Sistemi için oluşturulmasını kapsamaktadır. Hem tüm sistem hem de tek bir nokta için oluşturulabilecek olan bu sıklık tablo ve indeks verileri yıllık veya aylık tabanda oluşan çukur sıklık değerlerini genlik ve zaman olarak içerdiğinden tüketicilere, dağıtım firmaları ve sistem planlayıcılarına bilgi sağlamaktadır. Çukur olayına duyarlı noktaların belirlenmesi, bu noktaların güçlendirilmesi için uygulanabilecek yöntemlerin değerlendirilmesi ve sistem beslemelerinin ona göre ayarlanması indekslerden edinilen bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilebilir. Bu amaçla, MGKP (Milli Güç Kalitesi Projesi) kapsamında Türkiye Sistemi'ne yerleştirilen güç kalitesi monitörlerinden 1. Bölge için 1 yıllık veri kaydı gerçekleştirilmiş, verilerin değerlendirilmesiyle çukur sıklık tablo ve indeksleri oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gerilim Çukuru, Çukur Sıklık İndeksi, Güç Kalitesi Monitörü.

1. Giriş

Kısa süreli gerilim çukuru en önemli güç kalitesi sorunlarından biridir. Özellikle kaynak veya sistemdeki bozulmalara karşı hassasiyeti yüksek olan IGBT, MOSFET gibi güç elektroniği tabanlı elemanların sağladıkları avantajlar nedeniyle kullanımlarındaki artışla hem tüketiciler hem de sistem operatörleri için önemi her geçen gün artan gerilim çukuru IEC Standardında, elektrik sisteminde bir noktada gerilim değerinde, 0.5 periyot ile birkaç saniyelik zaman aralığında, ani azalma olarak tanımlanır. IEEE Standardına göre ise sistemin temel frekansında gerilimin RMS değerinde 0.1-0.9 pu. genlik aralığında, zamanı 0.5 periyot ile 1 dakika arasında olan azalmadır [1,2]. Gerilim çukurunun en önemli nedeni sistemdeki arızalardır. Ayrıca büyük güçlü motorların, kondansatör gruplarının devreye alınması, transformatörün enerjilendirilmesi, yüklerdeki ani artış da gerilimde çukura sebebiyet verebilir. Gerilim çukurunun temel karakteristikleri, olay sırasında arta kalan gerilimi ifade eden gerilim genliği ve zamandır [3].

Çukur karakteristikleri, sınıflandırılmaları, farklı bölgelerdeki değişimleri kaynakça da ayrıntılı olarak ele alınarak bu konunun iletim ve dağıtım firmaları, endüstriyel tesis ve konut tüketicileri açısından önemi vurgulanmaktadır [4,5,6,7]. Gerilim çukuru tanımlanması, karakterize edilmesi, değerlendirilmesi her güç sistemi için sistem yapısı ve parametrelerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bunların tek payda da toplanabilmesi gerek diğer sistemlerle kıyaslama yapılabilmesi gerekse uygun çözüm yöntemlerinin belirlenmesini sağlayacağından bu konuda, diğer güç sistem konularında olduğu gibi, standartlaştırmalara gidilme ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Genellikle karakterize etme ve cihaz hassasiyetinin belirlenmesine yönelik olan standartlar günümüzde, gerilim çukurunun sistemde değerlendirilmesini kolaylaştıran çukur sıklık tablosu ve indekslerinin belirlenmesine kaymaktadır. Kaynakçada bu konuyla ilgili çalışmalar yer almaktadır[8,9].

MGKP ile Türkiye Sistemi'ne yerleştirilen güç kalitesi monitörleri, çoğunlukla arızaların yol açtığı gerilim çukurunun özellikle iletim seviyesinde önemini açıkça ortaya koymuş olmasına karşın, sisteme ait çukur sıklık tablo ve indeks belirlenmesini içeren bir çalışmanın henüz var olmaması, hem teknik hem de ekonomik anlamda en uygun çözüm yönteminin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Çukur değerlendirmesini daha anlaşılır hale getirmek amacıyla Türkiye Sistemi'nde rastgele seçilen noktalara ait bir çukur indeks belirlemesi gerçekleştirilmiştir. 2006 yılında başlatılan ve TEİAŞ(Türkiye Elektrik İletim A.Ş.), TÜBİTAK ve üç üniversitenin ortak çalışmasıyla yürütülen MGKP kapsamında Türkiye İletim ve Dağıtım Sistemi'nde belirli noktalara güç kalitesi monitörleri yerleştirilmiştir. Sistemin 1. Bölge'sinden rastgele seçilen bazı noktalar için oluşturulan sıklık tablosu ve indeksleri ile güç kalitesini arttırmak ve hem sistem planlayıcılarına hem de tüketicilere ekonomik ve güvenilirlik açısından en uygun çukur azaltma yönteminin belirlenmesi ve yöntemin sistem genelinde değerlendirilmesinin yapılabilmesi, en doğru noktaya uygulanması konularında destek sağlanması hedeflenmektedir.

2. Standartlarda Gerilim Çukur Değerlendirmesi İçin Kullanılan Tanımlamalar

Kısa süreli gerilim çukurunun herhangi bir güç sistemindeki şiddetinin bilinmesi sistemin daha kaliteli ve güvenilir olması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla standartlarda belirli bir bölgede veya tüketicide çukur değerlendirmesine olanak sağlayan RMS(etkin gerilim değeri) değişim indeksleri tanımlanmaktadır. Gerilim değişimine duyarlı cihazların tasarım aşamasında üreticilere yarar sağlayan bu indekslere ait hesaplamalar IEEE P1564 Standardı'nda tüketiciler ve elektrik firmaları için verilmektedir[9]. Bu indeksler oluşturulurken RMS değişiminin oluşma sıklığı, çukur genlik ve zamanı dikkate alınmaktadır.

2.1. Gerilim Çukur Kümülatif Tablosu

IEEE P1564 Standardında çukur değerlendirilmesinde tanımlanan gerilim çukur tablosu, çukur sıklığını genlik ve zamana göre gruplandırmaktadır. Güç kalitesi monitörlerinden alınan çukur sayılarının

zaman dilimlerine göre gruplandırılmasıyla oluşturulan bu tablo sistemdeki tek bir nokta için gerçekleştirilebileceği gibi tüm sistem veya ilgilenilen bölgedeki tüm noktalar için de gerçekleştirilerek daha genel bir değerlendirme yapılabilir. Ancak bu çalışmada, başlangıç adımı olarak tek bir nokta ve hat için oluşturularak sağlayacağı değerlendirme kolaylığı ve gerekliliği vurgulanmaktadır.

1. Bölge'de yer alan 30 kilometre uzunluğundaki Alibeyköy-Beykoz hattı için güç kalitesi monitörlerinden alınan bir yıllık -Nisan09-Mart10 aralığı- rapor verilerinden çukur sayıları genlik ve zaman için oluşturulmuştur. Alınan veriler ilk olarak Tablo 1'deki formata getirilmiştir. Tablo 1 belirtilen genlik ve süreye ait tüm hat için çukur sayılarını içermektedir. Tablo 1'deki genlik çukur genliğini, yani olay sırasında arta kalan gerilim genliği, değil olay sırasındaki gerilimdeki düşme miktarını ifade ettiğinden çukur genliği olarak Tablo 1'deki değerlerin %100 genlikten olan farkı alınmalıdır. Buna göre hattın kilometresi başına oluşturulan çukur sıklıkları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Alibeyköy-Beykoz hattında bir yıl süresince oluşan çukur sayısının genlik-zaman değerleri

TOPLAM	<= 0.1 s	> 0.1-0.5 s	> 0.5-1 s	> 1-1.5 s	> 1.5-2 s	> 2-2.5 s	>2.5-3 s	> 3 s
0-10%	2	0	0	0	0	0	0	0
10-20%	45	11	3	0	0	0	0	0
20-30%	30	2	0	0	0	0	0	0
30-40%	20	7	0	0	0	0	0	0
40-50%	9	4	0	0	0	0	0	1
50-60%	7	1	0	0	0	0	0	0
60-70%	3	1	0	0	0	0	0	0
70-80%	2	0	0	0	0	0	0	0
80-90%	0	2	0	0	0	0	0	0
>=90%	0	0	0	0	0	0	0	6

Tablo 2: 30 kilometre uzunluğundaki Alibeyköy-Beykoz hattında bir yılda kilometre başına oluşan çukur sıklığının genlik-zaman değerleri

TOPLAM	<= 0.1 s	> 0.1-0.5 s	> 0.5-1 s	> 1-1.5 s	> 1.5-2 s	> 2-2.5 s	>2.5-3 s	> 3 s
80-90%	1,50	0,37	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70-80%	1,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60-70%	0,67	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50-60%	0,30	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
40-50%	0,23	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30-40%	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-30%	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10-20%	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0-10%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20

Gerilim çukur sıklık, süre ve genlik dağılımından sıklık kümülatif tablosunun elde edilmesi mümkündür. Tablo 3 Alibeyköy-Beykoz hattının çukur kümülatif tablosunu vermektedir. Tablo 3 incelendiğinde, Alibeyköy-Beykoz hattında, %70 ve

%70'in altında 0.5 ile 1 saniye süreli 1 yıllık kilometre başına çukur sıklığının 0.23 olduğu görülür. Yani bu hattan beslenen nokta veya noktalar bir yıl boyunca toplamda %70 ve %70'in altında 0.5 ile 1 saniye süreli 0.23x30km=7 değeri kadar çukura maruz kalacaktır.

Tablo 3: Alibeyköy-Beykoz hattının bir yıllık çukur kümülatif dağılımı

TOPLAM	≤ 0.1 s	$> 0.1-0.5$ s	$> 0.5-1$ s	$> 1-1.5$ s	$> 1.5-2$ s	$> 2-2.5$ s	$> 2.5-3$ s	> 3 s
90%	5,13	1,27	0,33	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
80%	3,17	0,80	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
70%	2,10	0,73	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
60%	1,20	0,50	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
50%	0,73	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
40%	0,47	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
30%	0,33	0,27	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
20%	0,27	0,27	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
10%	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

2.2. Gerilim Çukur İndeksleri

Gerilim çukur karakteristikleri, bir yıllık veya aylık süreyle, belirli bir bölgede kaydedilen olaylardan hesaplanabilir. RMS değişiminin genlik veya genlik-zaman değerlendirmesine ilişkin IEEE Std.P1564'te yer alan indeksler aşağıda verilmiştir [10].

SARFI-X (Sistem Ortalama RMS Sıklık İndeksi): Tek bir nokta için, değerlendirme zamanı süresince yani ölçüm alınan zaman boyunca, X ve X etkin gerilim genliğinden daha az genlikli çukurun ortalama sayısını ifade etmektedir. Örnek olarak, SARFI-90, 0.9pu gerilim genliği ve altındaki ortalama çukur sayıları anlamına gelmektedir. SARFI-X, X eşik gerilim değerini baz almaktadır. Olası X gerilim genlik değerleri, 90, 80, 70, 50 ve 10'dur. Bu değerler standartlaşmamakla birlikte, 90, 80 ve 70 Bilgi Teknolojisi Cihaz kullanma kılavuzunda önerilen düşük gerilim sınırları, 50 motor kontaktörleri için tipik kesme genliği ve 10 IEEE P1159 Standardı'ndaki tanımla kesinti, olduğundan bunlara göre yapılan bir değerlendirmenin yeterli doğruluğu sağlayacağı düşünülmektedir.

SIARFI-X (Sistem Ani Ortalama RMS Sıklık İndeksi): X ve X genliğinden daha az genlikli ve zamanı 100-500 milisaniye aralığında olan çukur olaylarının ortalama sayısını göstermektedir. SIARFI-X, X=10 için değerlendirilmemektedir. Bunun nedeni IEEE Std. 1159'da kesinti için ani zaman kategorisinin tanımlanmamış olmasıdır.

SMARFI-X (Sistem Anlık Ortalama RMS Sıklık İndeksi): X ve X genliğinden daha genlikli, zamanı 0.5-3 saniye aralığında olan çukur ve 0.1-3 saniye aralığında olan kesinti olaylarının sayısını ifade etmektedir.

STARFI-X (Sistem Geçici Ortalama RMS Sıklık İndeksi): X ve X genliğinden daha az genlikli, zamanı 3-60 saniye aralığında olan çukurların ortalama sayısını göstermektedir.

Türkiye Sistemi 1. Bölgesi için güç kalitesi monitörlerinden elde edilen bir yıllık çukur sayılarından 400kV, 154kV ve 36kV gerilim seviyeleri için süre ve genliklerine bağlı olarak belirtilen indeksler elde edilmiştir. Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da sırasıyla 400kV, 154kV ve 36kV için yıllık verilerden hesaplanarak bir aya indirgenmiş olan indeks değerleri verilmiştir. İndeks değerlendirmesi için nokta seçilirken her üç veya en az iki gerilim seviyesinde monitöre bağlı olmalarına dikkat edilmiştir. Tablolardan görüldüğü gibi artan gerilim seviyesiyle indeks değerleri diğer bir ifadeyle çukur sıklık sayıları artmaktadır. Bunun nedeni iletim seviyesinden orta gerilim dağıtım seviyesine doğru karmaşıklıklaştıkça sistemdeki noktaların birbiriyle etkileşiminin artması, yüksek gerilimdeki her olay daha alçak gerilim seviyelerinde etkili olurken tersinin her zaman mümkün olmaması ve dağıtım sistemindeki tüketicilerin arıza oranını arttırmasıdır.

3. Sonuçlar

Kısa süreli gerilim çukurunun önemi hem tüketiciler hem de sistem planlayıcıları açısından, yaygınlaşan hassas güç elektroniği tabanlı cihazların kullanımıyla, her geçen gün artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak tüm dünyada çukur değerlendirilmesi için ortak bir dil kullanımı ihtiyacı ortaya çıkmakta bunun getirisi de gerilim çukurunun standartlaştırılması olmaktadır.

Tablo 4: 400kV gerilim seviyesi için indeksler

	X	SARFI-X	SIARFI-X	SMARFI-X	STARFI-X
ALİBEYKÖY	90	11,85	11,08	0,23	0,54
	80	7,31	6,77	0,00	0,54
	70	4,85	4,31	0,00	0,54
	50	1,69	1,23	0,00	0,46
	10	0,46	---	0,00	0,46
ZEKERİYAKÖY	90	11,31	10,92	0,08	0,31
	80	6,46	6,15	0,00	0,31
	70	4,46	4,15	0,00	0,31
	50	1,62	1,31	0,00	0,31
	10	0,08	---	0,00	0,08

Tablo 5: 154kV gerilim seviyesi için indeksler

	X	SARFI-X	SIARFI-X	SMARFI-X	STARFI-X
MASLAK	90	12,85	12,54	0,23	0,08
	80	7,77	7,46	0,23	0,08
	70	4,54	4,31	0,15	0,08
	50	2,23	2,08	0,08	0,08
	10	0,08	---	0,00	0,08
DAVUTPAŞA	90	13,15	12,23	0,54	0,38
	80	6,54	5,92	0,23	0,38
	70	3,00	2,46	0,23	0,31
	50	1,62	1,23	0,15	0,23
	10	0,46	---	0,23	0,23
ZEKERİYAKÖY	90	13,92	12,77	0,69	0,46
	80	7,92	6,85	0,62	0,46
	70	4,46	3,46	0,54	0,46
	50	1,77	1,31	0,23	0,23
	10	0,46	---	0,23	0,23

IEEE P1564 Taslağı'nda, gerilim çukur sıklık değerlendirilmesi için çukur sıklık tablosu ve genlik-zaman değişimini temel alan çukur indeksleri tanımlanmaktadır. Türkiye Sistemi'nde MGKP kapsamında yerleştirilen güç kalitesi monitörlerinin bir yıllık gözlenmesi sonucu sistemde gerilim çukurunun öneminin anlaşılmasını sağlamış, değerlendirmenin güç mühendisleri ve tüketiciler için daha anlaşılır hale getirilmesi amacıyla bir yıllık çukur sayısı verilerinden sistemin 1. Bölgesi'nde yer alan 400kV gerilim seviyesindeki Alibeyköy-Beykoz hattına ait çukur sıklık ve kümülatif tabloları oluşturulmuştur. Ayrıca, aynı bölgede yer alan noktalardan iletim ve orta gerilim dağıtım seviyelerinde monitörlerin yer aldığı noktalar için SARFI, SIARFI, STARFI ve SMARFI indeksleri farklı çukur genlikleri için elde edilmiştir. Çukur kümülatif tablosu ilgili hattın beslediği noktalarda

farklı genlik değerleri için ne kadar süreyle kaç tane çukura maruz kalacağı bilgisini sağlayarak, sistem planlamasının bu durum dikkate alınarak değerlendirilmesini ve tüketicilerin cihaz gerilim duyarlılıklarına göre besleme noktalarının seçimini sunar. Farklı nokta ve gerilim seviyeleri için elde edilen çukur indeksleri iletim seviyesinden orta gerilim dağıtım seviyesine doğru çukur sıklığının arttığını ortaya koymakta bu da olaya ait azaltıcı yöntemlerin iletim seviyesinde uygulanmasının daha çarpıcı sonuçlar verebileceğini göstermektedir.

Tablo 6: 36kV gerilim seviyesi için indeksler

	X	SARFI-X	SIARFI-X	SMARFI-X	STARFI-X
DAVUTPAŞA TRFA	90	19,62	17,92	1,00	0,69
	80	9,92	8,54	0,77	0,62
	70	6,23	5,00	0,62	0,62
	50	3,38	2,54	0,31	0,54
	10	1,31	---	0,85	0,46
MASLAK TRFB	90	17,77	16,46	0,69	0,62
	80	9,77	8,85	0,38	0,54
	70	5,92	5,23	0,23	0,46
	50	3,23	2,85	0,08	0,31
	10	0,85	---	0,62	0,23
ZEKERİYAKÖY TRF1	90	21,15	16,85	4,08	0,23
	80	8,08	6,85	1,00	0,23
	70	5,54	4,38	0,92	0,23
	50	2,08	1,46	0,38	0,23
	10	0,31	---	0,08	0,23

4. Kaynaklar

- [1] Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 2-8: Environment - Voltage Dips and Short Interruptions on Public Electric Power Supply Systems with Statistical Measurement Results IEC-6100-2-8; 2002.
- [2] Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std. 1159-1995.
- [3] Bollen M.H.J., "Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions" 2000.
- [4] Caramia P., Carpinelli G., Di Perna C., Varilone P., Verde P., "Fast Probabilistic Assessment of Voltage Dips in Power Systems", 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Stockholm, İsveç, Haziran 2006.
- [5] Bollen M.H.J., Tayjasajant T., Yalcinkaya G., "Assessment of the number of voltage sags experienced by a large industrial customer", IEEE Transaction on Industry Applications, Nov/Dec 1997.
- [6] Khera P.P., Dickey K.C., "Analysis and mitigation of voltage disturbances at an industrial customer's corporate campus", IEEE Transactions on Industry Application, vol.34, no.5, pp. 893-896, Sep/Oct 1998.
- [7] Inan, E., "Ulusal Elektrik Şebekesinde Kısa Süreli Gerilim Düşümlerinin İncelenmesi için Bir

- Uygulama*”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005
- [8] Nikolovski S., Klaic Z., Kraus Z., Slipac G., “*Online Power Quality Measurements and Voltage Sag Analysis*”, Universities Power Engineering Conference, UPEC 1-4 Sep. 2008.
- [9] Brooks D.L., Dugan R.C., Wacławiak M., Sundaram A., “*Indices for Assessing Utility Distribution System RMS Variation Performance*”, IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 13, no 1, , pp 254-259, January 1998
- [10] *Voltage Sag Indices Task Force Meeting*, IEEE Std. 1564-2000

G-LED UYGULAMALARI İÇİN GÜÇ KATSAYISI DÜZELTİCİLİ TEK KATLI AC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN İNCELEMESİ

Hasan Yılmaz¹

Ahmet M. Hava²

¹*Bahar Aydınlatma
Demirhenderek cad. No: 20 Siteler, Ankara
Hasan@baharaydinlatma.com.tr*

²*Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnönü Bulvarı, Balgat, 06531 Ankara
hava@metu.edu.tr*

Öz- Bu bildiride, G-LED uygulamalarında kullanılan geleneksel tip AC/DC sürücü devreleri özetlenmiş ve modern güç katsayısı düzelticili (GKD'li) AC/DC dönüştürücüler değerlendirilmiştir. Günümüzde kullanılmaya başlanan ve geleneksel tip dönüştürücülere göre üstünlükleri olan, tek katlı GKD'li devreler özetlenip, araştırmalar sonucu, benzerlerine göre farklılıkları olan ve verim, maliyet, başarımlar gibi üstünlükleriyle öne çıkan tek-katlı özel devre yapıları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu tek katlı devreler; kısmi-aktif, flyback ve SEPIC GKD dönüştürücüleridir. İncelemede devrelerin temel çalışma ilkeleri, temel özellikleri ve prototip uygulamaları anlatılacaktır. Uygulama örnekleri üzerinden devreler arasında boyut, eleman sayısı, verimlilik, toplam harmonik bozulma, değerleri karşılaştırıp değerlendirilecektir.

Anahtar sözcükler- AC/DC dönüştürücü, güç katsayısı, harmonik, güç kalitesi, verim, flyback, SEPIC, GKD, Tek-katlı devre yapıları, LED, G-LED, güç kaynağı.

I. GİRİŞ

Elektrik enerjisi tüketiminin önemli bir bölümünü genel, endüstriyel ve ev olarak gruplandırılan aydınlatma araçları kapsar. Yapılan araştırmalara göre dünya genelinde, aydınlatmada kullanılan enerjinin toplam elektrik enerjisine oranı % 18 olarak verilmektedir. Elektrik enerji kaynaklarındaki sınırlılık ve artan tüketim nedeniyle aydınlatma sistemlerinde de diğer enerji sistemlerindeki gibi verimlilik gittikçe önem kazanmaktadır. Verimin artması iki farklı araştırmanın sonucudur: ışık kaynaklarındaki gelişmeler ve ışık kaynaklarını sürme devrelerindeki gelişmeler.

Işık kaynağı olarak günümüzde; akkor lambalar, halojen lambalar, floresan lambalar ve cıva buharlı lambalar yaygınca kullanılır. Işık kaynakları aynı tip içerisinde renk sıcaklıklarına göre sıralandırılır, farklı tip kıyaslamasında ise fayda katsayısı [ışık akısı/güç(lm/W)] ile kıyaslanır. Örneğin geleneksel ışık kaynağı olan akkor lamba için %2, floresan lambalar için bu değer %8 dir.

Onlarca yıldır işaret imleci olarak kullanılan LED (light emitting diode), özellikle son 5-10 yıldaki yarı iletken malzemeler ve üretim teknolojisindeki gelişmeler sonucu yeni bir ışık kaynağı olarak kullanılmaya başlanmakta ve yukarıda özetlenen geleneksel aydınlatma aygıtlarına rakip olmaktadır. Teknolojisi yayılmakta, alandaki araştırmalar hızlanıp genişlemekte, yeni ürünler üretilip, aydınlatma

sektöründe pazar payı hızla büyümektedir. Aydınlatmada uygulamalara göre farklı tiplerde LED üretimi yapılmaya başlanmıştır; yüksek-parlaklıklı LED, güç LED (G-LED), 2-bacaklı, 4-bacaklı, yüzey monte yüksek-parlaklıklı LED. Bu alanda mihenk taşı özelliğinde ticari ürünler yakın zamanda piyasaya sürülmüştür. 2009'da 1000 mA[1] ve 126 lm/W LED özellikli G-LED piyasaya sürülmüştür, 2010 yılında 3000 mA[2] ile sürülebilen G-LED bunu takip etmiştir. G-LED ile birlikte LED teknolojisi, diğer ışık kaynakları ile kıyaslanabilir bir ürüne dönüşmüş ve birçok çeşit aydınlatma armatüründe kullanılır hale gelmiştir. G-LED, floresan lambalar gibi cıva içermemesi, yüksek fayda katsayısı (%30), yüksek ışık geri verimleri (Color rendering index, CRI: %80) ve baskı devre kart üzerine uygulanabilir olması ile diğer ışık kaynaklarına göre daha verimli bir ışık kaynağı olmaktadır.

G-LED uygulamalarında tipik çalışma akımı 250 mA ile 700 mA ve çalışma gerilimi 2,5 V ile 4V arasında değişir. G-LED ışık çıkışı uygulanan akım ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla, yaygın olarak G-LED'ler şebekeden beslenen ve çıkışında akımı aydınlatma gereksinimine bağlı olarak denetleyen (uygulamanın gerektirdiği sabit akımla süren) sürücü devreler gerektirir. Her elektronik eleman gibi G-LED'in de, tüketilen gücü ısı olarak yayması gerekir. Tipik olarak 70.000 saatlik ömrü olan G-LED fazla ısınma durumunda çok daha kısa bir süre içerisinde özelliğini kaybeder. Bu şekilde ışık çıkışı %5 seviyelerine kadar düşer ve bir süre sonra kısa devre olur. G-LED uygulamasının doğru ve uzun ömürlü olması için uygun soğutucu tasarımı yapılmalıdır. Özetle G-LED'lerin akım kaynağından sürülmesi ve iyi soğutulması gerekir.



Şek. 1 G-LED güç kaynağı

Aydınlatma uygulamalarında ve G-LED özelinde, besleme kaynağı şebekeden sağlanır. Kaliteli güç tüketimi için, kullanılan güç kaynaklarının şebekeden gerilimle aynı fazda ve temiz sinüs dalga akım

çekmesi, böylece yüksek güç katsayısı ve düşük akım toplam harmonik bozulması ile çalışması gerekir. Aydınlatma ürünlerinde giriş güç kalitesi itibarıyla kullanılacak güç kaynakları için IEC-61000-3-2 standardı tanımlanmıştır ve aydınlatmada kullanılacak güç kaynaklarının 25 W üstü uygulamalarda Sınıf-C, altı uygulamalarda ise Sınıf-D standartlarına uygun olarak üretilmeleri gerekmektedir [3].

Seri veya paralel olarak bağlantı yapılan G-LED ile üretilen farklı tip aydınlatma armatürleri; genel aydınlatma, teknik aydınlatma, çevre aydınlatma ve bina cephe aydınlatma uygulamalarında kullanılır. Uygulamadaki çeşitlilik sebebiyle farklı güçlerde güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Güç elektroniği alanındaki gelişmeler ve özel üretilen tümleşik devreler ile daha düşük boyutta, daha az devre elemanı ile standartlara uygun güç kaynakları geliştirilmekte ve üretilmektedir.

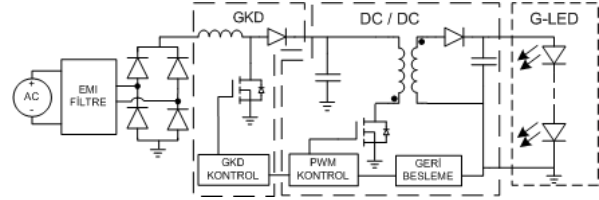
Bu bildiride G-LED uygulamalarında uygulanan güç elektroniği devreleri arasında yapılan araştırma sonucunda, ekonomi ve başarımlı bakımından öne çıkan tek katlı güç katsayısı düzeltici (GKD) devrelerin çalışma ilkeleri gözden geçirilecek ve başarımları niteliksel olarak değerlendirilecektir. Bildiride sözü geçen devrelerin ayrıntılı niceliksel analizi tamamlayıcı ikinci bir bildiride incelenecektir. Ancak bu bildiride kavramların anlatımı için konuya kaynak bildirilerden, özellikle deneysel boyutta çalışmaları olan yayınlardan dalga biçimleri referans gösterilerek olduğu gibi kullanılacaktır.

II. GELENEKSEL GKD AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

AC/DC güç dönüştürücüleri, AC şebeke gerilimini, yükün gerilim ve akım karakteristiğine göre DC gerilime dönüştürür. Giriş güç katsayısı, etkin gücün, şebekeden çekilen görünür güce oranı olarak tanımlanır. Diyotlu doğrultucu yüklerde, özellikle süresiz darbe akım dalga şekli olan uygulamalarda güç katsayısı değeri düşer. Güç kaynaklarında, güç katsayısı düzeltme geleneksel olarak aktif GKD devreleri ile gerçekleştirilir. İki kattan oluşan AC/DC dönüştürücü yapısında [4],[5]; ilk kat GKD devresidir, ikinci kat ise G-LED uygulamasına göre ayarlanan ve çıkışında sabit akım veren ve ayrı bir aktif eleman ile kontrol edilen DC/DC dönüştürücü yapısıdır (Şekil 1). Bu GKD devresi, devre yapısı olarak gerilim yükseltici (boost) dönüştürücüdür. Köprü diyot ile DC gerilime dönüştürülen şebeke gerilimi, aktif bir eleman ile kontrol edilerek, 400 V sabit gerilim olarak yükseltilir ve yükten çekilen akıma göre giriş akımının, şebeke gerilimi dalga şeklini takip etmesi sağlanır ve bu şekilde yüksek güç katsayısı elde edilir.

İkinci kat olan DC/DC dönüştürücüde G-LED uygulamaları için yüke sabit-akım verilmelidir. Bu devrelerde genellikle flyback DC/DC dönüştürücü yapısı kullanılır. Akım denetimi için farklı teknikler

kullanılmaktadır [6],[7]; bunlar akım tepe noktası sınırlama, histerezis kontrol ve ortalama akım kontrolüdür. LED üreticileri akım üzerindeki kırıptının %5-20 arası değerden az olmasını tavsiye etmektedir (ışık çıktısında değişim olmaması için), bu yüzden akım denetiminde bu doğruluğun sağlanması gerekir ve sözü edilen akım denetim yöntemleri uygulamada bu gereksinimi başarılı biçimde karşılamaktadır.

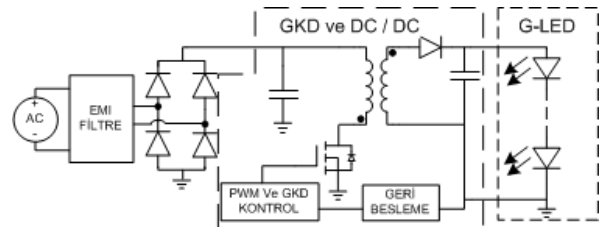


Şek. 2 Geleneksel iki katlı GKD AC/DC G-LED dönüştürücüsü

İki-katlı güç dönüştürücüsü şebeke tarafında yüksek güç kalitesi sağlamaktadır. Fakat iki ayrı katta kullanılan iki farklı devre ile boyut ve maliyet fazla, denetim karmaşık, enerji verimi de sınırlı olur. Fiyatın önemli olduğu düşük güç uygulamalarında bu devre yapısı pek kabul görmemektedir. Uygulamada geleneksel olarak girişi diyotlu doğrultucu olan iki katlı dönüştürücü kullanılmakta (en ekonomik çözüm olduğundan), dolayısıyla giriş güç kalitesi kötü olmaktadır. Ancak hem ekonomik hem yüksek başarımlı GKD dönüştürücülerin geliştirilmesi ile uygulamaların da değişmesi beklenmektedir.

III. MODERN TEK KATLI AC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ VE GKD

Modern uygulamalarda; GKD devresi ve DC/DC katmanı bütünleştirilir, devre tek anahtar ile kontrol edilir ve bu devre yapıları tek-katlı AC/DC dönüştürücü olarak adlandırılır. (Şek.3). Basit ve az elemanlı devre elde edilir. Ancak denetim zorlaşır, zira devrede güç akışı geleneksel GKD yapısından farklıdır. Geleneksel GKD devrelerinde giriş anlık gücü sabit değilken, çıkış anlık gücü sabittir ve aradaki fark DC bara kondansatöründe 100 Hz kırıptı gerilimi oluşturur. Tek katlı yapıda bağlaşımı ayırıştırıcı nitelikteki kondansatör bulunmadığından güçler arasındaki dengesizlik tek anahtarla denetlenir.



Şek. 3 Modern tek katlı AC/DC G-LED dönüştürücü

Belirli uygulama zorluklarına rağmen; GKD tek katlı dönüştürücüler, iki katlı dönüştürücülere göre; fiyat, boyut ve uygulama açısından avantajlıdır. Son dönemde geliştirilen özel tip tümleşik devre elemanları ile tek-katlı GKD AC/DC dönüştürücüler yaygın olarak kullanılmaya başlanmaktadır [8].

Bu bildiride incelenen tek katlı devreler şunlardır; tek-katlı kısmi aktif GKD AC/DC dönüştürücü, tek-katlı flyback GKD AC/DC dönüştürücü, tek-katlı SEPIC GKD AC/DC dönüştürücüsü.

IV. TEK KATLI GKD DEVRE ÇALIŞMA ŞEKİLLERİ

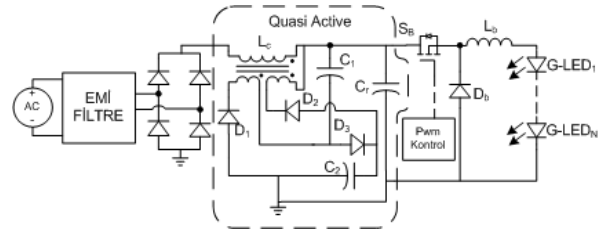
Üç devre yapısı da tek-kat ile standartlara uygun güç-katsayısı ve AC/DC güç dönüşümü sağlamakta, G-LED uygulamalarına göre uygun çıkış vermektedir.

A. Kısmi Aktif GKD Devresi[9],[10]

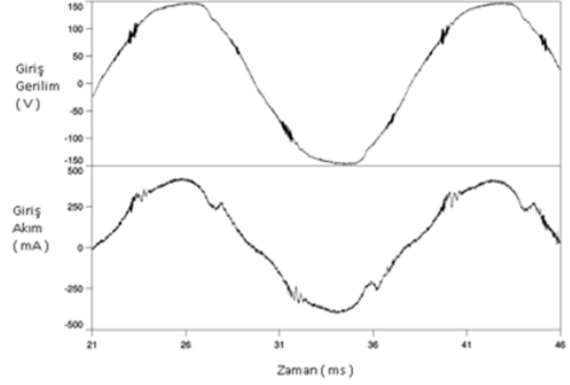
Tek-katlı kısmi-aktif GKD devresinde, GKD bölümü için pasif elemanlar kullanılmış, akım kontrollü ve kesintili kipli (discontinuous mode, DCM) bir DC/DC dönüştürücü kullanılarak (buck, buck-boost, forward, flyback) G-LED için uygun AC/DC güç kaynağı yapısı kurulmuştur. Devrenin üstünlüğü pasif elemanlar kullanılarak GKD sağlanması, basit ve güvenilir bir devre ile yüksek verim sağlanmasıdır. Ayrıca girişte aktif GKD anahtarı ve bunun stresleri (kayıp ve EMI gürültü) ortadan kalkmış olur. Devre çalışmasında iki kip bulunması (doğrudan besleme kipi ve bağlaşımlı yükseltici kipi) giriş çıkış güç dengelemesini kolaylaştırır.

Şebeke geriliminin depo kondansatörleri (C_1, C_2) üzerindeki toplam gerilimden yüksek olduğu durum doğrudan besleme kipi; bağlaşıp-bobin (coupled-inductor, L_c) üzerinden akan akım sayesinde manyetik alanda enerji depolanır, C_1, C_2 ve tınlaşım kondansatörü (resonant capacitor, C_r) şarj edilir ve gerilimleri artar. Bu şekilde yük doğrudan şebekeden beslenir. Şebeke geriliminin C_1, C_2 kondansatör gerilimlerinden düşük olduğu hal ise bağlaşımlı yükseltme kipi. Bu kipte yük C_r üzerinden güç çekerken, C_1, C_2 hem yükü besler hem de L_2, L_3 bağlaşıp bobinlerinde enerji depolar. Yük kesildiğinde, C_r gerilimi hızla yükselir ve $C_1 + C_2$ ye eşit olduğunda L_2, L_3 kesilir ve L_1 üzerinden C_1, C_2 doldurulur. GKD bölümünün çıkışında kesintili bir güç dönüştürücüsü olan buck (indirici) dönüştürücü ile uygulama yapılmıştır. Pasif devre elemanları ve vadi doldurma diyotları ile giriş akımının şebeke gerilimini takip etmesi başarılı bir şekilde sağlanmıştır [9].

Prototipi [9]'da raporlanan 110 V giriş gerilimli devre, on adet seri bağlı G-LED'i beslemekte ve 30 W çıkış gücü vermektedir. Tam yükte %88.05 verim, 0.99 güç katsayısı ve %9.32 akım THD'si (Şek. 5) sağlanmıştır. Böylece, ekonomik, basit ve yüksek enerji verimli ve güç kaliteli bir devre elde edilmiştir.



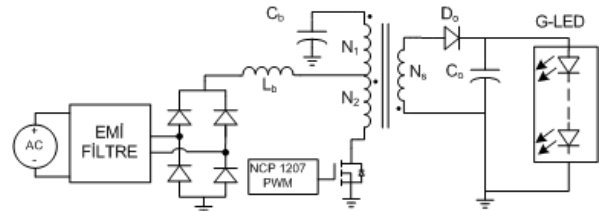
Şek. 4 Kısmi aktif GKD devresi [9]



Şek. 5 Kısmi – aktif GKD devresi dalga şekilleri (giriş gerilimi: üst; giriş akımı: alt) [9]

B. Tek katlı GKD Flyback Devresi [11]

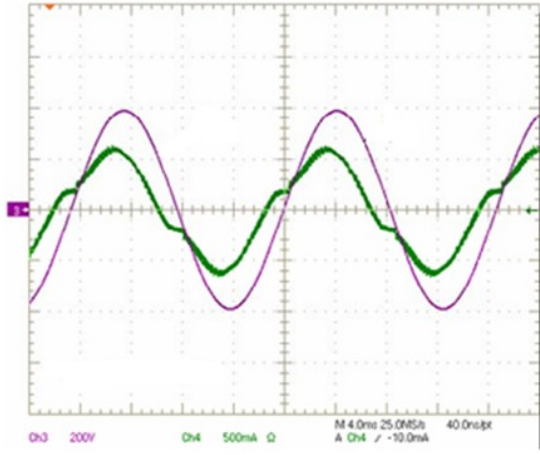
Flyback uygulaması bilindiği gibi birkaç 100 W altında güç kaynaklarında en çok kullanılan devre yapısıdır; evrensel girişe göre tasarım yapılabilmesi, kolay denetlenebilmesi, yalıtım sağlanabilmesi ve ucuz bir çözüm oluşturması sebebiyle tercih edilmektedir. Devrenin çalışma ilkesi basittir; anahtar iletimdeyken trafoda enerji depolanır, anahtar kesimdeyken depolanan enerji çıkışa aktarılır. Devre kesintili iletim kipi (DCM) veya sürekli iletim kipi (CCM) den birinde çalıştırılabilir. DCM kipi trafonun enerjisini tamamen boşaltması ve diyotta ters akım etkisinin olmaması bakımından tercih edilir. GKD flyback devresinde de standart flyback yapısı korunmuştur, fakat devreye birkaç uyarılama yapılarak (Şekil 6) ve farklı bir kontrol yapısı kullanılarak yüksek güç katsayısı elde edilmiştir. Devre elemanları yükseltme bobini (L_b), depo kondansatörü (C_b), tümleşik devre (NCP1207[12]; “Serbest frekanslı Rezonans benzeri Akım Kontrollü PWM kontrolörü”), ve diğer flyback dönüştürücü elemanlarıdır.



Şek. 6 Tek katlı GKD Flyback AC/DC dönüştürücü [11]

Devrenin GKD katında, yükseltme bobini kullanılır ve DCM çalıştırılır. DC/DC katı ise uygun özellikte tümleşik devre kullanılarak DCM/CCM sınırında çalıştırılır. DCM kipinde çalışan yükseltme bobini ile girişten çekilen akım sinüs dalga şekline yakın bir şekilde oluşur ve giriş-akım harmonik değerleri düşer. Bununla birlikte depo kondansatörü (C_b) üzerindeki gerilim kontrol edilemez ve yüksek gerilim değerlerinde (220 Vac) zarar verebilecek seviyelere ulaşabilir, buna çözüm olarak yükseltme bobininin, trafonun birincil sargı bölümünde belirli bir noktaya bağlantı yapılmıştır. Bu bağlantı noktası ve yükseltme-bobininin değeri devrenin doğru çalışması için uygun şekilde seçilmelidir.

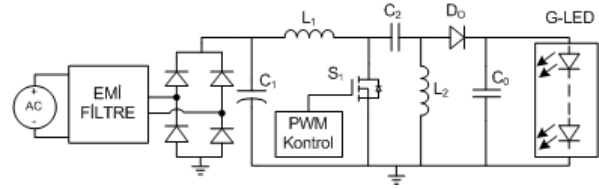
Prototipi [11]'de raporlanan 220V giriş gerilimine sahip devrede yük olarak yedi seri-bağlı ve dört paralel hattan oluşan 89W güç tüketen G-LED kullanılmıştır. Devrenin; GK, THD, verim ve C_b kondansatör gerilim değerleri; 0.95, 12,72%, 90.39% ve 362 V olarak ölçülmüştür (Şek. 7).



Şek. 7 Tek katlı GKD Flyback AC/DC dönüştürücüsü dalga şekilleri (giriş gerilimi: mor; giriş akımı: yeşil) [11]

C. Tek katlı Sepic Dönüştürücü Devresi [13]

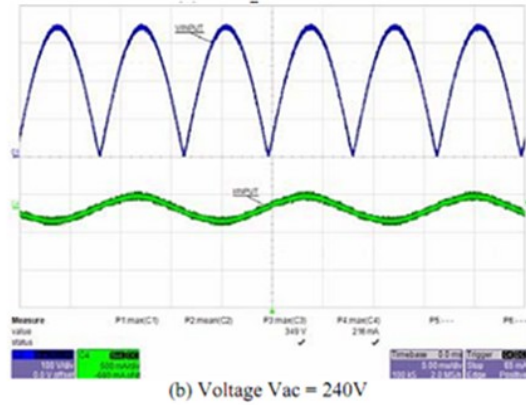
SEPIC devre yapısının gerilim yükseltme ve alçaltma özelliği vardır; farklı çıkış akımları için çok yüksek güç katsayısı sağlaması, geniş giriş ve geniş çıkış gerilim aralığı uygulamalarında rahatça kullanılabilmesi ile avantajlı bir devre yapısıdır, fakat diğer incelenen devrelere göre düşük verimlidir. Şekil 8'deki devrede SEPIC devre yapısı korunmuştur. Özel bir tümleşik devre (ISL6745[14]) kullanılarak ve uygun değerlikli malzeme seçimi ile standartlara uygun ve G-LED sürülmesinde kullanılabilecek devre elde edilmiştir. Devrenin aynı zamanda ışık kısma özelliğini de içermesi ile G-LED uygulaması odaklı bir devre yapısı oluşturulmuştur.



Şek. 8 Tek katlı SEPIC dönüştürücü devresi [13]

Devre elemanlarından; C_1 kondansatörünün değeri düşüktür; bu şekilde doğrultulmuş AC gerilim, düzgün bir şekilde takip edilebilmektedir. C_1 ve C_2 üzerindeki gerilim eşit varsayılarak tasarım yapılmaktadır. Eğer bu gerilimler arasında farklılık olursa devre de dengesizlikler oluşur.

DCM çalışacak şekilde tasarlanan devre, üç hal içerisinde incelenir. İlk olarak aktif anahtar iletime geçtiğinde bobinler üzerinde enerji depolanır ve yük çıkış kondansatörü üzerinden beslenir. Anahtar kesime gittiği zaman, çıkış diyotu iletime geçer ve bobinler üzerindeki enerji çıkışa aktarılır ve yük girişten beslenir. Son olarak DCM kipinin özelliği olarak kısa bir süre ölü zaman oluşur ve iki anahtarında kapalı olduğu bu zaman dilimi boyunca C_1, C_2, L_1, L_2 devre elemanları arasında tınlışım devresi oluşturulur.



Şek. 9 Tek katlı SEPIC GKD'nin dalga şekilleri [13] (doğrultulmuş giriş gerilimi: mavi; giriş akımı: yeşil)

Prototipi [13]'de raporlanan 220V giriş gerilimine sahip devrede yük olarak yirmi bir seri-bağlı G-LED kullanılmıştır. LED yük akımı 0 ile 400 mA arasında değiştirilebilir, bu şekilde en yüksek güç 40 Watt olabilir. Devrenin; GK, verim değerleri; 0.98, 80% olarak ölçülmüştür (Şek. 7). Uygulamada farklı akım değerlerine (farklı yük) göre yapılan ölçümlerde yüksek güç katsayısı elde edilmiştir, bununla birlikte farklı giriş geriliminde yapılan analizlerde de yüksek güç katsayısı değerleri ölçülmüştür fakat devre verimi diğer devrelere göre düşüktür, aynı zamanda anahtar üzerinde yüksek gerilimde anahtarlar oluşmaktadır. Bu devre yapısı ile standartlara uygun ve G-LED yükü için kullanılabilir bir devre oluşturulmuştur.

V. TEK KATLI GKD DEVRE KİYASLAMA

Kısmi-aktif GKD devresi; yüksek gerilim bölümünde anahtarlama veya kontrol ihtiyacı olmaması, DC/DC bölümünde herhangi bir kesintili devre yapısının kullanılabilirliği, GKD bölümünde pasif elemanlar kullanıp, yüksek güç katsayısı, yüksek verim ve güvenilirlik sağlaması ile üstün bir devre yapısıdır. Fakat diğer devreler arasında en fazla devre elemanını içermesi ve yüklemeye değişen başarımla yönüyle dezavantajlı bir devredir. Kısmi-aktif devre verimliliğin önemli olduğu uygulamalarda kullanılabilir, aynı zamanda herhangi bir DC/DC dönüştürücünün öncesinde uygulanabilmesi itibarıyla avantajlıdır.

Flyback devresinin yalıtım sağlaması ve az devre elemanı kullanılması, dolayısıyla ucuz bir çözüm olması yönüyle diğer devrelere göre avantajlıdır. Yük performansı başarılıdır ve ikincil tarafta her hangi bir kontrol ihtiyacı olmadan G-LED'i başarılı bir şekilde sürmesiyle iyi bir çözüm olmaktadır. Devrenin çalıştırılması için uygun bir tümleşik devre kullanılması şarttır ve evrensel giriş gerilimine uygun değildir. Alçak ve yüksek gerilim için farklı değerlerde yükseltme bobini kullanılması gerekmektedir. Bu sorunun çözümü için [15]'te değeri kontrol sistemi ile ayarlanabilen bobinin kullanımı önerilmiştir.

SEPIC devresi, geniş giriş gerilimine göre tasarım yapılabilirliği, yüksek güç katsayısı sağlaması ve uygulamanın, güncel uygulamalara benzemesi yönüyle avantajlıdır. Bununla birlikte bu devre yapısında da özel bir tümleşik devre kullanılması gerekmektedir. SEPIC devresi, diğer devrelere göre uygulama odaklı bir devredir, ışık kısılabile özelliği ve geniş giriş geriliminde kullanılabilirliğiyle doğrudan olarak uygulanabilecek bir çözümdür.

VI. SONUÇ

G-LED üretim ve kullanım amacı, aydınlatma alanında daha verimli enerji tüketimi ve aydınlatma armatürlerinin üretim sisteminin kolaylaştırılmasıdır. Bununla birlikte G-LED için kullanılan güç elektroniği devresinin de enerji verimliliği, şebeke güç kalitesi, ekonomiklik ve uygulanabilirlik bakımından tamamlayıcı olması gerekir. Tek katlı AC/DC güç elektroniği dönüştürücü devrelerinden, enerji verimliliği ve güç kalitesi bakımından öne çıkan; kısmi-aktif, flyback ve SEPIC devreleri ve bunların uygulamaları incelenmiş ve G-LED yüküne uygunluğu değerlendirilmiştir. Kısmi-aktif uygulama birçok üründe kullanılan DC/DC G-LED sürme devresinin önünde farklı bir tasarım gerektirmeden kullanılabilir. Flyback devresi ise yük değişiminin önemli olduğu ve ucuz maliyetli çözümün şart olduğu (özellikle düşük güç) uygulamalarda kullanılabilir. SEPIC devresi ise geniş giriş gerilimi aralığında çalışmanın gerekli olduğu, verimliliğin ise çok öncelikli olmadığı durumlarda kullanılabilir.

İncelenen tek katlı GKD AC/DC dönüştürücü devreleri, G-LED uygulamaları için iyi bir çözüm olmaktadır. Bu devrelerin tasarımı ve başarımlarının geliştirilmesi çalışmaları dünya genelinde devam etmektedir.

REFERANSLAR

- [1] www.philipslumileds.com/products/luxeon-rebel/luxeon-rebel-white.
- [2] <http://www.cree.com/products/qlamp.asp>.
- [3] Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), International Standard IEC 61000-3-2, 2001.
- [4] B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey, and D. P. Kothari, "A review of single-phase improved power quality AC-DC converters" *IEEE Trans. Indus. Electron.*, vol. 50, no. 5, pp. 962-981, October 2003.
- [5] Zhongming Ye; Greenfield, F.; Zhixiang Liang, A topology study of single-phase offline AC/DC converters for high brightness white LED lighting with power factor pre-regulation and brightness dimmable, IECON 2008, Nov. 2008, pp 1961 – 1967.
- [6] B. Ackermann, V. Schulz, C. Martiny, A. Hilgers, X. Zhu, "Control of LEDs" IAS Conference, 2006. 41th IAS Annual Meeting. Conf. Rec. of the 2006 IEEE Oct. 2006.
- [7] Heinz van der Broeck, et al., "Power driver topologies and control schemes for LEDs", IEEE APEC 2007, Feb. 2007, pp. 1319-1325.
- [8] C. Qiao and K. M. Smedley, "A topology survey of single-stage power factor corrector with a boost type input-current-shaper," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 16, no. 3, pp. 360–368, May 2001.
- [9] K. Zhou, J. G. Zhang, and S. Yuvarajan, "Quasi-active power factor correction circuit for HB LEDdriver," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, no. 3, pp. 1410 - 1415, May 2008.
- [10] D. F. Weng, "Quasi-active power factor correction circuit for switching power supply," U.S. Patent #6 909 622, Jun. 2005.
- [11] Y. Hu, L. Huber and M. M. Jovanovic, "Single-stage flyback power-factor-correction front-end for HB LED application," *Proc. of IAS* 2009, Oct. 2009.
- [12] ON Semiconductor, "90 W, universal input, single stage, PFC converter," [www.onsemi.com/pub/_link/Collateral/ AND8124-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub/_link/Collateral/AND8124-D.PDF), Dec. 2003.
- [13] Z. Ye, F. Greenfield, and Z. Liang, Design considerations of a high power factor SEPIC converter for high brightness LED applications, , Power Electronics Specialists Conference 2008, June 2008, pp 2657-2663 J.
- [14] Intersil, "White LED Driver Circuits for Off-line Applications using Standard PWM controllers" www.intersil.com/data/an/an1387.pdf, Feb. 2009.
- [15] Y. Hu, L. Huber and M. M. Jovanovic, "Universal-Input Single-Stage PFC Flyback with Variable Boost Inductance for High-Brightness LED Applications," APEC 2010.

ŞEBEKEDDE YAŞANAN BOZUCU ELEKTRİKSEL OLAYLARIN DAĞITILMIŞ ÜRETİM SİSTEMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Levent KILIÇ¹

Ayşen BASA ARSOY²

¹Camiş Elektrik Üretim A.Ş.
İş Kuleleri Kule 3
34330 4.Levent İstanbul
lkilic@sisecam.com

²Elektrik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi, 41100 İzmit Kocaeli
aba@kocaeli.edu.tr

Özet

Ülkemizde OG dağıtım sisteminden şebekeye bağlanan elektrik üretim santrallerinin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Dağıtılmış üretim sistemleri kapsamında değerlendirilen bu tip santraller genellikle beslediği yüke yakın kurulmakta ve merkezi bir kontrole tabi tutulmamaktadır. 27434 Sayılı Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği'nde belirtilen şartların sağlanması, bu santrallerin şebekeye bağlantısı için gerek şarttır. Bununla birlikte santrallerde yaşanan şebeke olayları ve uluslararası literatür bunun yeterli olmadığını göstermektedir. Bu çalışmada, önce şebekede oluşan bozucu elektriksel olayların üretim tesislerine olan etkileri verilecektir. Sonra, literatür çalışmaları ve işletme koşullarının gereksinimi doğrultusunda, şebeke ve santral güvenlik ve güvenilirliğini arttırmaya yönelik, şebeke bağlantı teknik kriterleri için önerilerde bulunulacaktır.

Giriş

Uluslararası literatürde, 30 MW'a kadar olan küçük hidroelektrik, kojenerasyon, rüzgar ve diğer teknolojilere sahip elektrik üretim tesisleri dağıtılmış üretim kaynakları (DÜK) olarak kabul edilmektedir [1]. Bu tür santraller, kısa sürede kurulması, yüke yakın olması nedeniyle beslediği tesisin güvenilirliğini arttırması, kayıpları azaltması, gerilimi düzeltmesi, çevreye duyarlı olmaları, politik getirileri ve artan verimlilikleriyle, şebeke yapısında önemli görevler üstlenmişlerdir. Şebeke bağlantılarında 27434 Sayılı Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği esas alınır [2].

2001 yılında 4628 Sayılı olarak yayınlanan Elektrik Piyasası Kanunu ile elektrik piyasası faaliyetleri, bu Kanunun hükümlerine göre piyasada faaliyet gösterecek tüzel kişilerin üretim, iletim, dağıtım, toptan satış, perakende satış hizmeti, ticaret, ithalat ve ihracat faaliyetlerinde bulunmalarına imkan sağlamıştır [3]. Kanunun amacı, elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimini sağlamaktır.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'un 2005 yılında yayınlanmasından sonra, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi ciddi bir artış göstermiştir [4,5]. Aynı durum, 1984 yılından beri uygulanmakta olan [6] ve 2002 yılında Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği [7] ile değiştirilen ve enerjinin etkin kullanılması amacıyla sanayicinin işletme tercihi olan, ağırlıklı olarak gaz türbini, (içten yanmalı) gaz motoru, buhar türbini ve kombinasyonlarından oluşan "kendi enerjini kendin üret, otoproduktörlük" uygulamaları için de geçerlidir.

Özellikle Elektrik Piyasası Kanunu'nun yayınlandığı tarihten sonra devletin elinde bulunan üretim ve dağıtım sistemlerinin özelleştirilmesine gidilmiştir. Özelleştirmelerle birlikte, piyasada artık daha fazla üretici ve dağıtıcı olmuştur. Bu zamana kadar tek bir merkezden karar verilebilen ancak net olmayan üretim, dağıtım, vb. bağlantı kriterlerinin değişmesi kaçınılmaz olacaktır. Hızlı yapı değişikliklerine rağmen, ülkemizde Kanundan önce ve sonrasında da belirlenmiş bağlantı kriterlerinin oluşturulmadığı görülmektedir. Sadece rüzgar santrallerinin ulusal şebekeye bağlantı noktasında, kısadevre gücünün %5' ine kadar bağlantı olabileceği belirtilmektedir.

Aynı sorun diğer yenilenebilir ve konvansiyonel küçük güçlü santraller için de geçerlidir. Ayrıca aynı bağlantı noktası için birden fazla ve değişik türde dağıtılmış üretim santrali olması durumunda, özellikle farklı işletmecileri haiz dağıtım şebekelerinde sorunun daha da karmaşılaşacağı düşünülebilir. Bağlantı kriterlerinin eksikliği, aynı zamanda, santral işletmeciliğini de sıkıntıya sokmakta, ciddi üretim kayıplarına neden olmaktadır.

Bu bildiride, şebeke ya da dağıtılmış üretim sistemleri içerisinde geçici durumların oluşturduğu sorunlar incelenecek, bu sorunların giderilmesi için bir takım önerilerde bulunulacaktır

Şebeke – Santral İlişkisi

Mevcut dağıtım şebekeleri planlanırken şebekede herhangi bir üretimin olmayacağı gerçeği göz önünde bulundurulur. Üretim kaynaklarının şebekedeki varlığı,

şebekenin yapısına (radyal ya da gözlü), şebekenin yüklenmesine, üretim kaynaklarının çeşitliliğine ve bağlantı noktalarındaki kısa devre gücüne bağlı olarak

- Transient ve kararlılık çalışmalarına,
- Gerilim düşümü ve yükselmesine,
- Güç kalitesine,
- Sistem ve trafo topraklamalarına,
- Olası ferrerezonans olaylarına,
- Kısadevre olaylarına,
- Ekipmanların kesme kapasitelerine

etki etmesi beklenir [8-21].

Şebeke ile paralel çalışmakta olan DÜ santralının, elektriksel açıdan karşılaşabileceği (tehlikeli) durumlar;

- Aşırı akım,
- Aşırı gerilim,
- Bağlı olunan baraya büyük yük alma – yük atma,
- Zorunlu ya da isteğe bağlı olarak ada moduna kalma – geçiş

olarak sayılabilir.

Proje Yönetmeliğinin [2] termik, dizel, sıvı, gaz yakıtlı, kombine çevrim santraller için bir takım hesapların yapılması istenir. Bu hesaplar;

- 1) İç ihtiyaç transformatör güç hesapları,
- 2) Transformatör anma güçlerine göre kompanzasyon tesisi hesapları,
- 3) Kısa devre hesapları,
- 4) YG ve AG kablo hesapları,
- 5) DC iç ihtiyaç gücü hesapları,
- 6) Aydınlatma ve acil aydınlatma hesapları,
- 7) Topraklama paratoner tesisi hesapları

olarak sıralanabilir. Ancak, bu hesaplamaların şebeke – santral arasındaki yaşanan olayların etkisini azaltmada eksik kaldığı görülmektedir.

Ekipman seçimini ve röle koordinasyonunu belirlemede kullanılacak kısadevre hesaplamaları ulusal ve uluslararası hesaplamalara göre yapılmalıdır [22, 23]. Şebekenin belirli noktalarına bağlanmış DÜ santrallerinin kısadevreye etkileri farklı olmaktadır [24]. Baraya bağlanacak elektrik santralleri için aynı kısadevre gücünün belirtilmesi sorun yaratabilmektedir.

Dağıtım şebekesi kısadevre kesme yeteneğine göre dizayn edilmektedir. Ekipmanlar, kabul edilebilir maksimum kısadevre akımı ve buna ısı ve mekanik dayanıma uygun olarak seçilmektedir. DÜ santrallerinin şebekeye eklenmesi ile oluşacak kısadevre değerleri dizayn değerinin altında olmalıdır [25,26]. Şebekede herhangi bir üretim kaynağının olmayacağı kabulüyle yapılan şebeke hesapları ve

buna göre seçilen ekipmanlar, ilave üretim kaynaklarının devreye girmesi ile yetersiz kalabilir.

Santral kabul testlerinde ise, belirli yükler için ada moduna geçiş testleri yapılmaktadır. Şebeke arızalarından kaynaklanan ada moduna geçişlerin etkisi, isteğe bağlı geçişlerden çok daha ağır olmaktadır.

Artık özelleştirme yoluyla değişik işletme şartlarının uygulanabileceği dağıtım sistemlerinde, gerek sistemi korumak ve gerekse de kendisine bağlı olduğu santrallerin güvenilir çalışmasını sağlayabilmek için, Proje Yönetmeliği'nde röle koordinasyon süresi içerisindeki olaylara karşı teknik bağlantı kriterlerinin ve eşzamanlı - karşılıklı izleme ve haberleşme sistemlerinin oluşturulması gerekmektedir. Benzer izleme, iletim sistemi için RTU / SCADA olarak uygulanmakta ve Şebeke Yönetmeliği'nde de talep edilmektedir [27].

Örnek Bara Sistemi İncelemesi

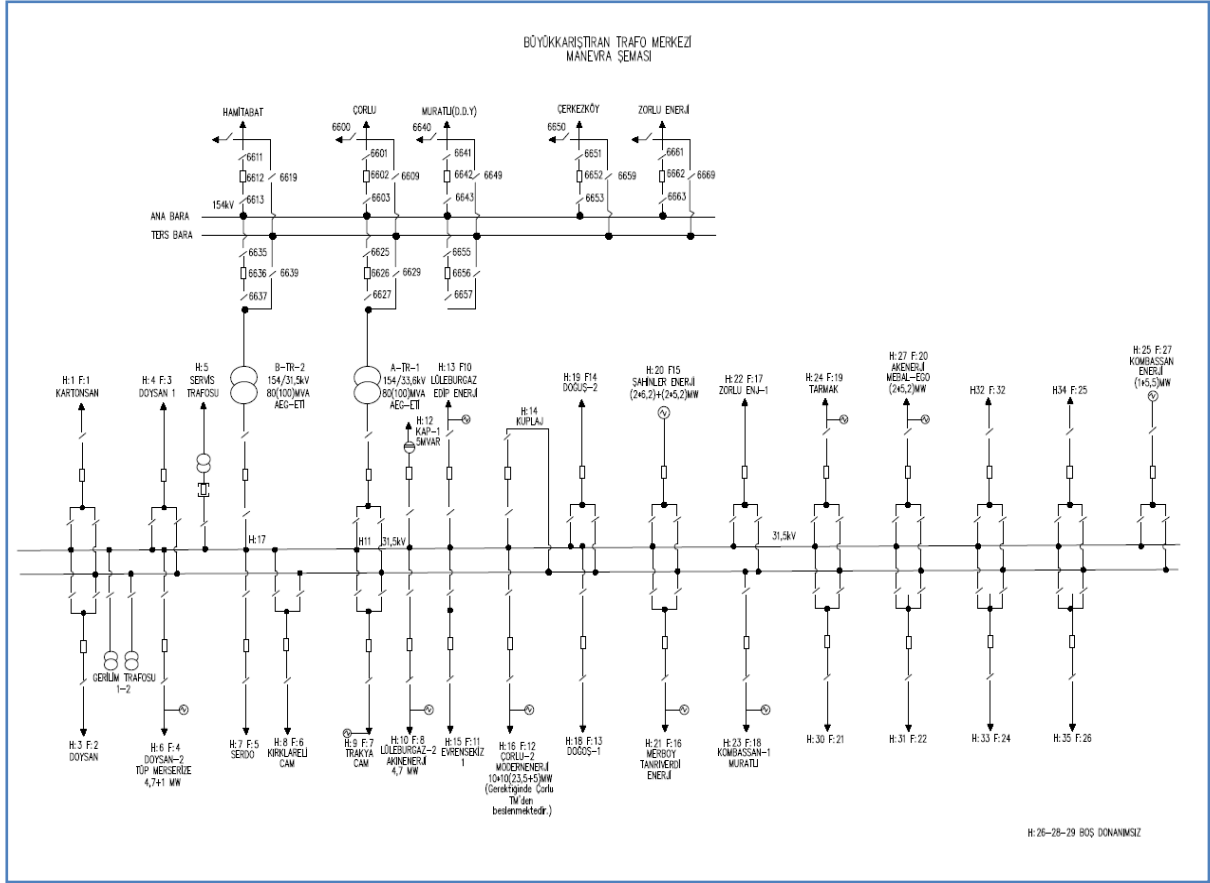
Örnek alınan santral, Şekil 1'de gösterilen dağıtım şebekesinin 7. Fiderinden beslenmektedir. Şekilde, 27 fiderden oluşan 31.5 kV'luk baraya, 11 elektrik santralının bağlandığı görülmektedir. Örnek tesis, barasındaki fabrikaların enerji ihtiyacını karşılamak ve güç kalitesini arttırmak amacıyla kurulmuş, 2 gaz, 1 buhar türbininden oluşan, yaklaşık 30.6 MW'lık bir kombine çevrim santraldir. Baraya bağlanan diğer santrallerin yapısı yine doğalgazdan üretime dayalı kojenerasyondur.

Fabrikaların ve baraya bağlı elektrik santrallerinin maruz kaldığı bozucu etkilerin nedenleri, sadece salt şebeke olaylarından değil, bazen elektrik santrallerinin kendisinden de kaynaklanmaktadır. Bunun için, senkronizasyon, yönlü koruma, elektriki – mekaniki kilitleme, vb. gibi santralleri ve şebekeyi koruyacak çözüm yöntemleri uygulanmaktadır.

Bu çözümler olumsuz olayların sıklık derecesini azaltmıştır. Ancak, özellikle kısadevre, anahtarlama ve benzeri olaylara karşı sistemden ayrılana kadar geçen sürede yaşananlar, santral ve bara yüklerinde ciddi üretim ve ekipman kayıplarına sebep olmaktadır.

Hesaplamalar uluslararası standartlara göre de yapılmış olsa bile, işletme şartlarında aşağıdaki olumsuz olaylar yaşanmaktadır:

1. Şebekede oluşan kısadevre nedeniyle açma; santral tarafındaki gerilim rölesi ile gerilim düşümü olarak görülmektedir. Rölenin değerleri içerisinde açma gerçekleşmesine rağmen, santral tarafındaki etkilenmenin, açma anına kadar olan transientlerden kaynaklandığı düşünülebilir.

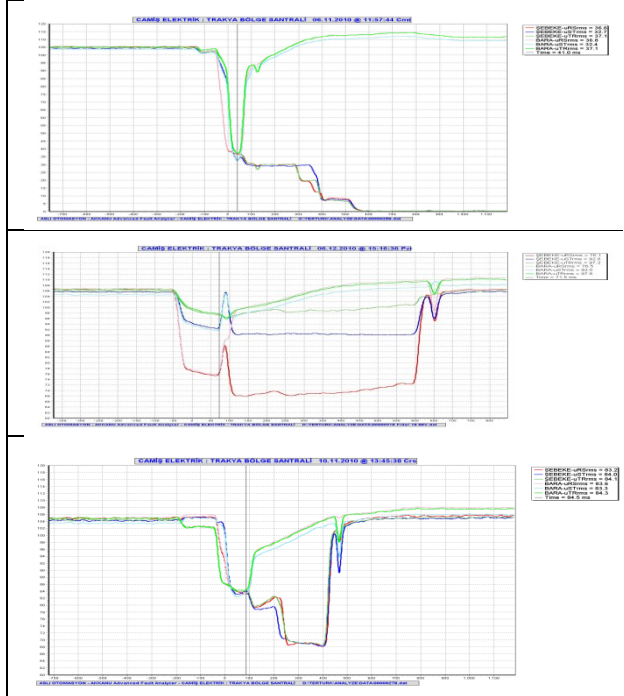


Şekil 1: Büyükkarıştıran Trafo Merkezi

Şekil 2, şebekede, hatlarda, üretim tesislerinde yaşanan arızaların, elektrik santrali izleme sisteminden kaydedilen üç faz gerilim dalga şekillerini göstermektedir. Koyu renkler şebekeyi, açık renk santral barasını temsil etmektedir. Buradaki olaylar sırasıyla, a.) 3 F-T kısıadevre arızası nedeniyle sistemin çökmesini, b.) 1 F-T arızası nedeniyle fiderin açmasını, c.) Yine 1 F-T, baradaki bir fabrikadan kaynaklanan açmayı göstermektedir.

2. Özellikle dağıtım sisteminde senkronlama yapmadan gerçekleştirilen kapama olayları; sistemde gerilim yükselmesine sebep olmakta, ada moduna kalana kadar dahi, kablo başlıkları, parafudrlar, vb. gibi elektriksel ekipmanların hasarına sebep olmaktadır.

Şekil 3, dağıtım sistemine bağlı olan tüketici ve/veya elektrik santrallerinden kaynaklanan hasarların etkilerini göstermektedir.



Şekil 2a-b-c: Farklı arıza durumlarında santral barası ve şebeke üç faz gerilimleri



Şekil 3a-b-c-d: Arıza Örnekleri; a)OG kesicinde kapama anında oluşan kısadevre, b)Parafudr arızası, c)Kablo başlığı arızası, d)Mesnet izolatörü arızası

Öneriler

Küçük güçlü üretim santrallerinin şebekeye bağlantılarının yapılabilmesi için sadece kısadevre hesaplamaları yapılmakta ve bağlantı esnasında da kararlı durum halindeki testlerle bağlantılar sağlanmaktadır.

Oysaki, özellikle şebeke geçici rejim olaylarına karşı bu tür santrallerin şebekeye ve şebekenin de santrallere karşı bozucu etkisi çok ağır olmaktadır.

Dağıtım sistemi barasında oluşan kısadevre, aşırı gerilim, vb. olaylar, koruma sistemleri olmasına rağmen, bağlanan DÜ santrali barasında da yaşanmakta ve izolatör, kablo, kesici, vb. ekipmanlarının arızalanmasına ve üretimin aksamasına, yeniden devreye almada sıkıntılara yol açmaktadır.

Günümüzde sadece bağlantı noktasının kısadevre gücünün artırılması ile çözüme ulaşma hedeflenmekte ve bu bile oldukça zor uygulanabilmektedir. Buna rağmen, çözümün yeterli olmadığı, mevcut birden fazla DÜ'nün verileriyle doğrulanmaktadır.

Şebeke yapısının daha sağlıklı işlemesi için;

- Baraya bağlanabilecek üretim santral boyutu, sayısı ve üretim çeşidinin belirlenmesi,

- Bunların güç kalitesine etkisi, bara bazında kararlılık çalışması yapılması,
 - Dağıtım sistemi ile işletme arasındaki manevra haberleşmesinin sağlanması
- fayda sağlayacaktır.

Önerilerin, halen tüm DÜ santrallerinde yaşanmakta olan ve önemli maliyetlere neden olan şebeke ve santral kaynaklı arızalara da çözüm olabileceği düşünülmektedir

Sonuç

Şebeke yapısı geliştirilirken, bağlı olduğu santrallerin de karakteristiklerinin göz önüne alınması, buna göre bağlantı kabullerinin yapılması, gerekirse de yeni sistem kurulması, karşılıklı yaşanan olumsuzlukları minimize etmede fayda sağlayacaktır.

Şebekedeki en küçük bir olayın bile etkisi, santral ya da fabrikalarda çok ağır hissedilebilmekte, bazen ekipman ve genellikle de üretim kaybına yol açmaktadır.

Bu nedenle güç kalitesinin ve sürekliliğinin sağlanması , kendisine etki eden bileşenler uygun seçimi ve işletilmesi ile mümkün olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Joao R. Cogo, Hermann W. Dommel, Overvoltage Problems of Small-Scale Generators Connected to Large Systems
- [2] 16 Aralık 2009 Tarihli ve 27434 Sayılı Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği
- [3] 3 Mart 2001 tarihli ve 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu
- [4] 10.5.2005 Tarihli ve 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun
- [5] 29.12.2010 Tarihli ve 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun
- [6] 4.12.1984 Tarihli ve 3096 Sayılı Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi ve Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi Dışındaki Kuruluşlara Elektrik Enerjisi Üretim Tesisleri Kurma ve İşletme İzni Verilmesi Esaslarını Belirleyen Yönetmelik
- [7] 4.8.2002 Tarihli ve 24836 Sayılı Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği
- [8] R.C.H. Richardson, The Commissioning of Electrical Plant and Associated Problems
- [9] Basler Electric Company, Technical Papers
- [10] Schweitzer Engineering Laboratories, Technical Papers
- [11] Huan A. Martinez, Jacinto Martin – Arnedo, EMTP Model for Analysis of Distributed Generation Impact on Voltage Sags
- [12] U.S. Department of Energy, Distributed Generation Interconnection Manual
- [13] Thomas Gallery, Laura Martinez, Danijela Klopota, Impact of Distributed Generation on Distribution Network Protection, ESBI Engineering & Facility Management
- [14] Thekla N. Boutsika, Stavros A. Papathanassiou, Short Circuit Calculations in Networks with Distributed Generation, Electric Power System Research 78 (2008) 1181-1191
- [15] Thekla N. Boutsika, S.A. Papathanassiou, N. Drossos, Calculation of the Fault Level Contribution of Distributed Generation According to IEC Standard 60909, NTUA Electrical Power Division Technical Paper
- [16] F.M. Nuroglu, A.B. Arsoy, Voltage Profile and Short Circuit Analysis in Distribution Systems with DG, Electric Power and Energy Conference, Canada, 2008
- [17] Ioanna Xyngi, Anton Ischenko, Marjan Popov, Lou van der Sluis, Transient Stability Analysis of a Distribution Network With Distributed Generators, IEEE Transactions on Power Systems, vol.24, No.2, May 2009
- [18] R.A. (reigh) Walling, Robert Saint, Roger C. Dugan, Jim Burke, Ljubomir A. Kojovic, Summary of Distributed resources Impact on Power Delivery System, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.23, No.3, July 2008
- [19] Andreas Poullikkas, Implementation of Distributed Generation Technologies in Isolated Power Systems, renewable and Sustainable Energy Reviews, 11 (2007) 30-56
- [20] Edward R. (Rardy) Collins, Jian Jiang, Voltage Sags and the Response of a Synchronous Distributed Generator: A Case Study, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.23, No.1, January 2008
- [21] Nick Hiscock, Terence G. Hazel, Jonathan Hiscock, Voltage Regulation at Sites With Distributed Generation, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.44, No.2, March/April 2008
- [22] IEC 60909 Series
- [23] IEEE 1547 Series
- [24] Vu Van Thong, Johan Driesen, Ronnie Beşmans, Power Quality and Voltage Stability of Distribution Systems With Distributed Energy resources, International Journal of Distributed Energy Resource, Volume 1, Number 3 (2005), Pages 227-240
- [25] Edward Coster, Johanna Myrzik, Wil Kling, Effect of Distributed Generation on Protection of Medium Voltage Cable Grids, CIRED 19th International conference on Electricity Distribution, Vienna, 21-24 May 2007, Paper 0079
- [26] S.A. Papathanassiou, A Technical Evaluation Framework for the connection of Distributed Generation to the Distribution Network, Electric Power Syst. Res. 77 (January (1)), (2007) 24-34
- [27] 26.11.2009 Tarih ve 27418 Sayılı Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği

ANAHTARLAMA SÜREKSİZLİKLERİ SEBEBİYLE OLUŞAN TRANSFORMATÖR ARIZALARININ ANALİZİ

¹Nihat DİLER

¹nihat.diler@schneider-electric.com

¹Schneider Elektrik

TOSB Organize Sanayi Bölgesi

²Özgür KARACASU

²karacasu@gyte.edu.tr

³M. Hakan HOCAOĞLU

³hocaoglu@gyte.edu.tr

^{2,3}Elektronik Mühendisliği Bölümü

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

ÖZET

Devre kesicileri sebebiyle oluşan aşırı gerilimler uzun yıllardır iyi bilinen bir olay olmasına rağmen bu olgunun orta gerilim tesislerinde ortaya çıkması nispeten yeni karşılaşılan bir durumdur. Anahtarlama aşırı gerilimleri olarak bilinen bu olguyla geçtiğimiz yıllarda bir hafif raylı taşıma sisteminin DC besleme transformatörlerinde karşılaşılmıştır. Bu bildiride karşılaşılan problemin tanımı, nasıl analiz edileceği ve alınması gereken tedbirler kısaca anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Aşırı gerilimler, Kesiciler, EMTP, Parafudr.

1. Giriş

Ülkemizde orta gerilim tesislerinde yaygın olarak tam kapalı SF6 gazlı kesiciler kullanılmaktadır. Bilinmektedir ki bir elektrik devresinde yer alan kesiciler açma/kapama yaptığı anda ortaya çıkan geçici durum sistemde aşırı gerilimlerin oluşmasına sebep olabilmektedir. Ortaya çıkan bu aşırı gerilimler anahtarlamanın normal olmaması durumunda çok büyük değerlere ulaşabilmektedir. Anormal anahtarlama açma esnasında akım kesilmesi, kapama esnasında ise öntutuşma şeklinde isimlendirilmektedir. Kesilmeden sonra yeniden tutuşma ve kesilme, kapamadan sonra ise kopma ve yeniden tutuşma sistemdeki gerilimleri çok büyük değerlere sürükleyebilmektedir [1]. Bir hafif raylı taşıma sisteminde kuruluşundan beri belli postalarda kullanılmakta olan kuru tip transformatörlerde yüksek oranda bozulma görülmektedir. Yüksek gerilim sargılarında, sargı uçlarına yakın ve izolasyon delinmesi şeklinde kendini gösteren bu bozulmalar genellikle transformatörlerin yüksüz olduğu gece geç saatlerde meydana gelmektedir [2].

Elektrik sistemi 34.5 kV orta gerilimden geniş bir kablo şebeke ile beslenmektedir. Her bir transformatör postası uzun bir kablo hattı sonunda yer almaktadır. Redresör sistemini beslemek için kullanılan transformatörlerin primer tarafı üçgen, sekonderleri ise yıldız ve üçgen bağlanmış iki ayrı sargıdan oluşmaktadır.

Sistem kapalı bir kablo şebekesi olduğu için atmosferik deşarj beklenmemekte ve bu nedenle transformatörlerin temel izolasyon seviyeleri (**BIL**, *Basic Insulation Level*) genellikle yüksek seçilerek ilave bir darbe gerilim koruması yapılmamaktadır. Sistemdeki mevcut transformatörler için temel izolasyon seviyesi 170 kV olarak belirlenmiş ve test edilmiştir [3]. Kurulduğu tarihten buyana sistem transformatörlerinde çok sayıda arıza rapor edilmiştir.

Rapor edilen arızalar genellikle benzer karakterli olup, literatürde yeni rapor edilmeye başlanan anormal anahtarlama aşırı gerilimleri ile uyumlu olduğu görülmüştür [4],[5]. Konuyla ilgili yeni bir IEEE standardının hazırlanmakta olduğu rapor edilmektedir [6]. Şekil 1'de hasar görmüş bir transformatör görülmektedir.



Şekil 1: Hasar görmüş bir transformatör.

Bu bildiride kesici anomalilerini analiz etmek için kullanılan metod anlatılarak temsili sonuçlar verilecektir. Yapılan simülasyon çalışmaları neticesinde, anormal anahtarlama şartları altında, nominal gerilimin 8 ila 10 katı daha yüksek değerlere çıkan gerilimlerin sistemde olduğu görülmüştür. Çalışmanın özelliği sebebiyle geliştirilen çözüm ve uygulama neticesinde alınan sonuçlar sunum esnasında gösterilecektir.

2. Aşırı Gerilimler

Güç sistemlerinde görülen aşırı gerilimlerin temel sebebi, özellikle geleneksel havai hatlar için, ağırlıklı olarak atmosferik olaylardır. Bununla beraber anahtarlama ve muhtelif arızalar da aşırı gerilimlerin ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir [1]. Literatürde konuyla ilgili çok sayıda çalışma bulunmakta ve bu çalışmaların sonuçlarına dayanarak aşırı gerilim faktörü 3 - 5 pu değeri arasında değişen sistemler inşa edilmektedir [7]. Bu seviye cihazların temel izolasyon seviyesi, BIL, olarak isimlendirilir. Ancak sistemde BIL ile belirlenen seviyenin üstünde gerilimlere çeşitli sebeplerle rastlanabilmektedir.

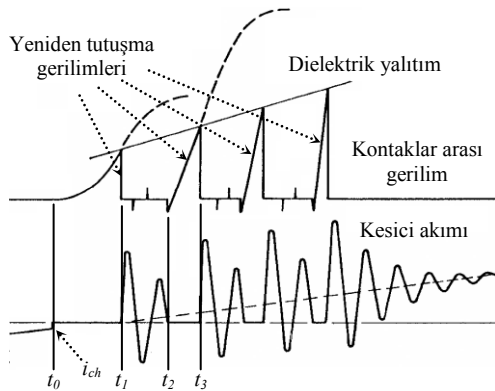
Dağıtım sistemleri genellikle gömülü kablo hatlarından oluştuğu için atmosferik olayların etkisinden değildir. Dolayısıyla ortaya çıkan aşırı gerilimler esas olarak anahtarlama veya arıza kaynaklıdır. Anahtarlama esnasında oluşan aşırı gerilimler ideal bir

anahtarlar simüle edildiği takdirde tamamen devre parametreleri ile belirlenebilir. Bu esnada sistemde bulunan hat endüktansı ve kapasitesi gibi enerji depolayan elemanlar, tanım bağıntıları gereği, gerilim veya akımdaki ani değişimin etkisi ile aşırı gerilimlerin ortaya çıkmasına sebep olurlar. Bu gerilim genlik olarak anma gerilimin birkaç katına kadar çıkabilir ve sistemin zaman sabitine bağlı olarak birkaç kHz'lik bir frekansla salınarak azalır.

Ancak anormal anahtarlama durumunda durum farklılık arz eder. Özellikle düşük genlikli indüktif akımın kesilmesi esnasında kesici içinde oluşan ark, kendini devam ettirecek kadar enerji taşımaz, kararsız hale gelir ve akım tabii sıfır noktasına ulaşmasından önce kesilir [8]. Kesilmiş akım (Chopped current) olarak bilinen bu akım, hızlı kesilmesine bağlı olarak çok yüksek aşırı gerilimlerin oluşmasına sebep olabilir [9]. Oluşan aşırı gerilim, kontaklar arasındaki elektrik izolasyon seviyesinden yüksekse ark yeniden tutuşur ve kesici iletme geçer. Düşük genliği ark akımı, kararlı olmadığı için hızla söner. İkinci kez sönen ark akımı, aşırı gerilimin çok daha fazla yükselmesine sebep olur. Birbiri ardına oluşan kesilme ve tutuşmaların, gerilimin nominal seviyesinin sekiz katına kadar yükselmesine sebep olduğu rapor edilmiştir [4].

Bir başka anahtarlama problemi de kapasitif karakterli yüklerin enerjilendirilmesidir. Kapasitif bir yük enerjilendirilirken kesici kontakları tam kapanmadan önce izolasyon, kontaklar arasında oluşan gerilime dayanamayarak, bir arka bozulur. Ön ateşleme (Prestrike) olarak bilinen bu olay neticesinde yüksek genlikli bir kapasitif akım kontaklar arasındaki boşluktan akar [10]. Şayet kontaklar arasındaki boşluk büyükse, akımın ilk sıfır geçişinde bu akım kesilir. Kesilme kesici uçlarındaki gerilimi artırır ve akım yeniden ateşlenir. Bu işlem gerilimin hızla yükselmesine sebep olur. Kesici uçlarındaki gerilim arttığı gibi yük uçlarındaki gerilim de izolasyon seviyesinin çok üstünde artabilmektedir. Ancak bu durum açma esnasında ortaya çıkabilecek aşırı gerilimler kadar büyük değerlere ulaşamaz.

Yukarıda özetlenen senaryoya göre, kontakların ayrılmaya başlamasının ilk birkaç milimetresindeki birden fazla yeniden tutuşmaya bağlı gerilim artışı ve kesiciden akmakta olan yüksek frekanslı akım Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2: Yeniden tutuşma ve gerilim artışı

Konu iletim sistemlerinde uzun zamandır yaşanmakta olup literatürde bu sistemlerde karşılaşılan problemlerin çözümü ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar neticesinde yüksek gerilim tesislerinde kullanılan transformatör ve reaktörler özel anahtarlar ile açılıp kapatılmakta ve izolasyon seviyeleri yüksek tutulmaktadır. Konu ile ilgili kurulan çalışma gurubu dik cepheli aşırı gerilim olayını analiz etmek için kullanılacak olan metotları ve modelleme esaslarını standardize etmiştir [11]. Ancak dağıtım sistemlerinde ve orta gerilim seviyesinde henüz bir araştırma yöntemi standardize edilmemiştir. Konu ile ilgili kurulan çalışma gurubu ön raporları yayınlamış ancak kullanılacak modeller kesinleştirilmemiştir [6].

Bu aşırı gerilimlerin analiz edilebilmesi için kesicilerin ideal olmayan şartlarının modellenmesi gereklidir. Ancak kesilme ve yeniden tutuşma çok fazla parametreye bağlıdır ve önceden kestirilmesi güçtür. Kesici akımın erken kesilmesi; kontak materyallerinin cinsi ve şekli, kontaklar arasındaki mesafe, kontakların hızı, arkın meydana geldiği yanma hücresinin özellikleri, vakum içindeki gazın yapısı, basıncı, sıcaklığı ve bunların hepsinin zamanla yaşlanmasının yanı sıra kesilen akımın genliği ve açısı gibi dış devre parametrelerine de bağlıdır. Tek başına kesicinin detaylı modellenmesi analizlerin güvenilirliği için yeterli değildir. Kesici dışındaki devrenin ilgilenilen frekans aralığındaki davranışının da dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle devrede bulunan transformatör, besleme devresi ve hat modelinin frekansa bağımlılığı hesaba katılmalıdır.

3. SİSTEM MODELLEME

Aşırı gerilimlerin simülasyonu için ElectroMagnetic Transient Program (EMTP)'ın Alternative Transient Program (ATP) versiyonu kullanılmıştır [12]. Analiz edilen sistemin temel elemanları; besleme sistemi, kablolar, baralar, kesiciler ve transformatör olarak sıralanabilir.

Besleme sistemi başlıca iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar 154kV kaynak ve 154/34.5kV indirici merkezindeki besleme trafolarıdır. 154kV'luk kaynak kısa devre gücüne göre modellenmiştir. Besleme trafoları yıldız üçgen bağlı olup yıldız noktası 20 Ω direnç üzerinde topraklıdır. Bu transformatörler kesici dinamiğinde çok önemli bir yer tutmadığı için basit T eşdeğer modeli ile modellenmiş, boş çalışma kayıpları hesaba katılmış, manyetik doyma ihmal edilmiştir.

Hatların frekansa bağımlılığını hesaba katan bazı temel algoritmalar ATP içerisine gömülmüşlerdir. Bu algoritmalar modal analiz tekniği ile hesaba katılmaktadır. Ancak bu tekniklerin özellikle üç fazlı kabloların modellenmesinde kullanımı, propagasyon sabitinin küçük olmasına bağlı olarak nümerik entegral alma rutinlerinin çok küçük adımlara ihtiyaç duymasına neden olmaktadır. Bu da şu anki bilgisayar teknolojisi ile çözümü oldukça zorlaştırmaktadır. Ayrıca çok küçük adım aralığı nümerik osilasyona sebep olmakta ve sonuçların güvenilirliğini riske sokmaktadır. Alternatif hesap metotlarında biri de

kabloları kaskat bağlı pi eşdeğer devre grubu halinde modellemektir. Kaskat bağlı her pi eşdeğer devre gurubu, 50Hz ve 1MHz'lık 2 pi eşdeğer devrenin paralel bağlanması ile elde edilmektedir. Modelin hassasiyeti kaskat bağlanan grup sayısına bağlıdır. Çalışma esnasında muhtelif sayılar denenmiş ve en uygun sayı belirlenerek simülasyonlarda kullanılmıştır.

Genellikle birçok güç sistemi çalışmasında hesaplara katılmayarak etkisi ihmal edilen baralar, kesme esnasında ortaya çıkan yüksek frekanslı salınımların karakteristiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Kablolar ile kıyaslandığında, havada ve genellikle kapalı bir mekânda yer alan, lama şeklinde dikkörtgen kesitli elektrolitik bakırdan yapılmışlardır. Bu vasıfları dolayısıyla kendinden önceki ve sonraki elemanlardan elektriki özellikler bakımından önemli farklar gösterirler. Yapılan çalışmalar, baralar ihmal edildiğinde veya ihmal edilmeyip frekansa bağımlılığı dikkate alınmadığında sonuçların önemli ölçüde değiştiği, iyi bir hesaplama için baraların düzgün modellenmesinin şart olduğunu göstermektedir. Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde dikkörtgen kesitli baraların devre parametrelerinin hesabına ilişkin çalışma bulunamamıştır. Bu nedenle dikkörtgen kesitli baralar yerine eşdeğer yuvarlak kesitli bara modeli kullanılarak eşdeğer devre parametreleri hesaplanmıştır.

Aşırı gerilim analizleri ilgili literatürdeki çalışmalar, kesicilerin ideal olmayan şartlarının modellenmesinin çok önemli olduğu göstermektedir. İncelenen çalışmalarda anahtarın ideal olmayan şartları, kesme akımı, kesici uçlarındaki gerilim, ark zamanı, yüksek frekans dayanımı ve devre parametrelerinden elde edilen bilgiler ile kontrol edilen adi anahtar, nonlinear zaman kontrollü direnç ve Thevenin eşdeğer devresi gibi devre elemanları kullanılarak modellenilmektedir [4]. Bu çalışmada kontrollü adi anahtar modeli analizler için kullanılmıştır. Anahtarın simüle edilebilmesi için ATP yazılımında kontrol yeteneği sağlayan Model eklentisinden faydalanılmıştır.

Yukarda sıralanan parametrelerde kesme akımı, oluşması muhtemel aşırı gerilimlerin ana sebebi ve daha sonraki olayların temel tetikleyicisi olması vasfıyla ideal olmayan anahtarın önemli parametrelerinden biridir. Konu ile ilgili deneysel sonuçlara dayalı çalışmalar ve bazı ampirik modeller bulunmaktadır. Bu çalışmada aşağıda detayları verilen model kullanılmıştır.

$$i_{ch} = a - b\hat{I} - c \log Z_N \quad (1)$$

Denklem 1 ile hesaplanan kesme akımı kontak materyaline bağlı empirik a , b , c katsayıları, devreden geçen akım ($\hat{I}$) ve devrenin karakteristik empedansına (Z_N) bağlıdır.

Kesicinin akımı, kesme akımı (i_{ch}) değerinin altına inerek koptuktan sonra kontaklar arasındaki gerilim artar ve kesici artan gerilime dayanmaya çalışır. Şayet kesicinin dayanma gerilimi kontaklar arasındaki gerçek gerilimden küçükse izolasyon delinir ve kesici iletme geçer. Kesici uçlarındaki gerilim simülasyon esnasında

kolayca hesaplanabilir. Ancak kesicinin dayanım gerilimi veya dielektrik kapasitesi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin en önemlisi kontaklar arasındaki mesafedir. Kesicinin dayanma gerilimi kontaklar arasındaki mesafenin karekökü ile ters orantılıdır. Ancak yapılan deneysel çalışmalar ilk birkaç milimetrede bu ilişkinin lineer olarak modellenebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada kesicinin dielektrik dayanımı (V_b) Denklem 2'de verilen lineer bir ifade ile hesaplanmıştır.

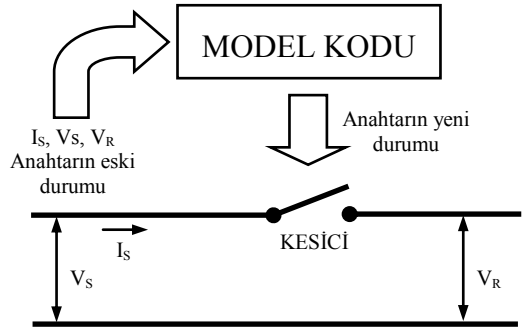
$$\bar{V}_b = A_A(t - t_0) + B_B \quad (2)$$

Denklem 2'de t ve t_0 , sırasıyla simülasyon zamanını ve kesme komutunun verildiği zamanı; A_A ve B_B ise empirik ifadenin katsayılarını simgelemektedir.

Kesici uçlarındaki gerilim kesicinin dayanabileceği ve ortalama değeri Denklem 2'ye göre hesaplanan değerden büyük olduğunda kesici içindeki ark yeniden tutuşacaktır. Bundan sonra kesicinin yüksek frekanslı akımı kesebilmesi, kesicinin ark söndürme kapasitesine bağlıdır. Ark söndürme kapasitesi iki empirik katsayı ve zaman fonksiyonu olarak Denklem 3'te verilmiştir.

$$\frac{di}{dt} = C_C(t - t_0) + D_D \quad (3)$$

Şekil 3'de ideal olmayan anahtarın modeli görülmektedir. Anahtarın işlevini yerine getirebilmesi için probleme özel bir kodun geliştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3 Kesici modeli

Hazırlanan kod sistemden geçen akımı, simülasyon zamanını ve anahtarın uçları arasındaki gerilimi okumakta ve kontakların hangi pozisyonda olacağını belirleyerek sisteme bildirmektedir. Nümerik çözüm esnasında her bir zaman aralığı için bu denetleme yapılmaktadır. Model program parçacığının belirleyeceği değer şu temel hususlara göre çalışmaktadır:

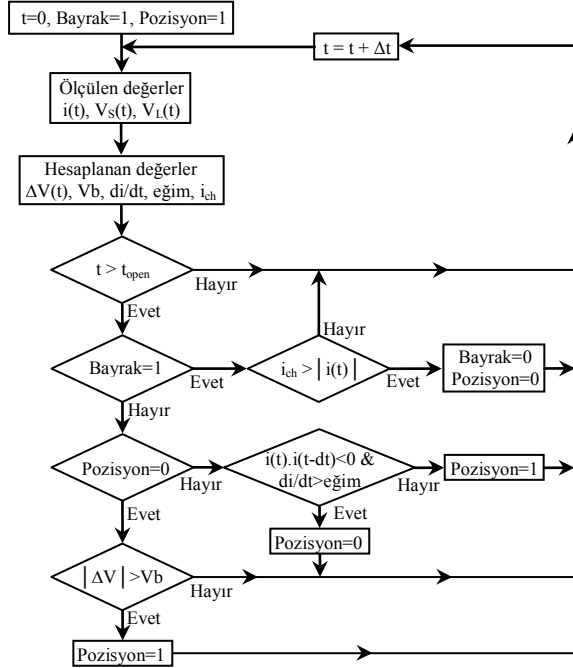
Anahtarı açmak için kontrol edilen değişkenler;

- Açma zamanı önceden belirlenen t_0 değerinden büyük mü?
- Anahtar kapalı mı?
- Kesici akımı kesme akımından küçük mü?
- Yüksek frekanslı kesici akımının sıfır geçiş anındaki eğimi (türevi) hesaplanan kesme kapasitesinden büyük mü?

Anahtarı kapatmak için kontrol edilen değişkenler;

- Anahtar açık mı?
- Kesici uçlarındaki gerilim kesicinin dielektrik dayanımından büyük mü?

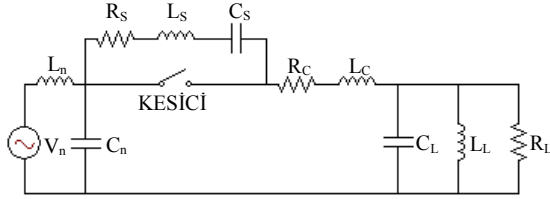
Bu kontrolleri yapacak olan programın akış diyagramı Şekil 4’de sunulmuştur.



Şekil 4: Yeniden tutuşma analizi için kullanılan kesici modelinin akış diyagramı

4. SİMÜLASYONLAR

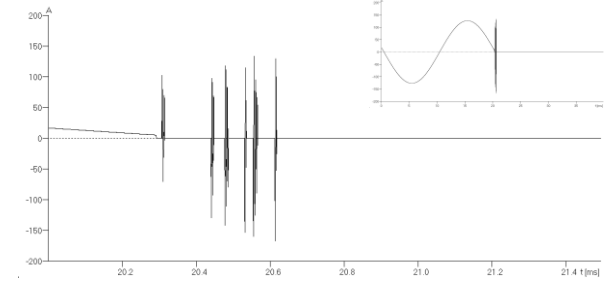
Bu bölümde geliştirilen ideal olmayan anahtar modeli denenecek ve sonuçlar literatür ile karşılaştırılacaktır. Anahtar simülasyonları için tek fazlı bir deney devresi kullanılmıştır. Şekil 5’de kesici modeli için kullanılan klasik deney devresi görülmektedir. Bu standart devre hem başarılı hem de başarısız açma işlemini simüle etme yeteneğinden dolayı tercih edilmiştir.



Şekil 5: Kesici modeli için deney devresi

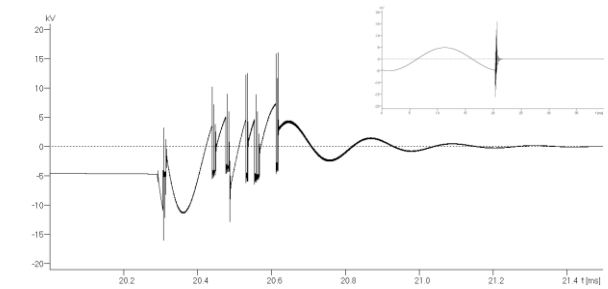
Deney devresinin parametreleri açık literatürden alınmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki geliştirilen anahtar modeli literatürle uyumlu olarak çalışmaktadır. 1, 2 ve 3 nolu denklemlerde verilen kesici parametreleri çeşitli risk değerlerinde modellenebilmektedir. Kesiciler yaşlandıkça veya en kötü durumu inceleyebilmek için risk değerleri artırılabilir. Düşük riskli olarak modellendiği takdirde açmanın başarılı olduğu Şekil 6 ve Şekil 7’de verilen kesici akımı ve yük geriliminden görülmektedir. Her bir şeklin sağ üst köşesinde o büyüklüğe ait dalga şeklinin tamamı görülmektedir. Büyük şekilde ise işaretin problemlili kısmının detayı sunulmuştur. Bütün simülasyonlarda akım kesilmesi önceden belirlenen kesme değerine geldiğinde deterministik olarak kesildiği varsayılmıştır.

Kesici akımının sıfır geçişe yaklaşırken erken kesildiği, tamamı 1 ms’nin çok küçük bir parçasında gözlemlenebilen kesilme ve yeniden tutuşmaların ortaya çıktığı Şekil 6’den görülebilmektedir. Dielektrik dayanım yeterli olduğu için akım bir kaç tutuşmadan sonra kopmaktadır.



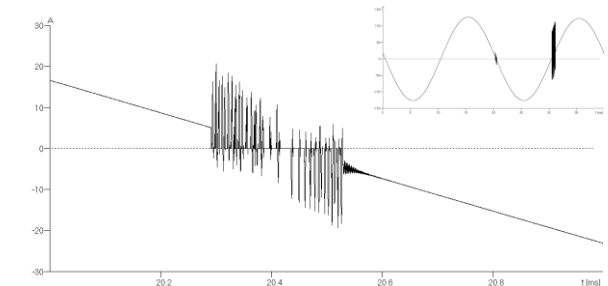
Şekil 6: Kesici akımı (düşük risk modeli).

Kesicinin bir kaç yeniden tutuşmadan sonra başarılı şekilde açma yaptığı, bununla birlikte yük uçlarındaki gerilimin nominal gerilimin iki katı değere çıktıktan sonra sıfır değerine düştüğü Şekil 7’den görülebilmektedir.



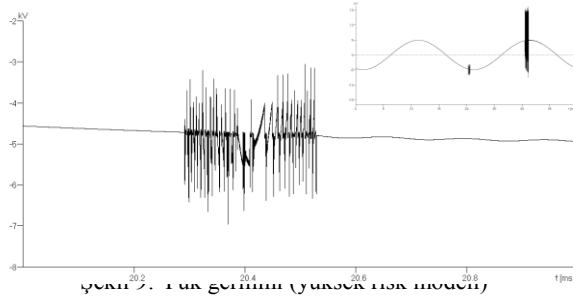
Şekil 7: Yük gerilimi (düşük risk modeli).

Şekil 8 ve Şekil 9’da ise yüksek riskli modellenmiş kesici ile yapılan açma işlemi sırasında kesici akımı ve yük gerilimi görülmektedir. Akım ilk tabii sıfır geçişte kesilmemekte ve iletimde kalmaktadır. İkinci alternansta akım yeniden kesilmekte ve yeniden tutuşma gerçekleşmektedir. Kesicinin ilk tabii sıfır geçişten sonra iletimde kalması kesicinin bozulduğunu göstermektedir. Kesici iletimde kaldığı için yük uçlarındaki ve kesici uçlarındaki gerilim çok yüksek değerlere çıkmamakta bununla birlikte akım kesme işlemi gerçekleştirilememektedir.



Şekil 8: Kesici akımı (yüksek risk modeli)

Şekil 9 incelendiğinde başarısız açma net olarak görülmektedir. Yük uçlarındaki gerilim çok yükselmekle beraber, açma başarısız olmuş, ilk tabii sıfır geçişten sonra dahi yük uçlarında vardır. Bu durum kesicinin iletimde kaldığını diğer bir deyişle bozulduğunu göstermektedir.



Simülasyonlar, gerçekleştirilen kesici modelinin sıhhatli çalıştığını, literatürle uyumlu sonuçlar ürettiğini, analizlerde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir.

Kesici modeli üç fazlı olarak gerçekleştirilerek 34.5kV seviyesinde gerçek bir sistem üzerinde iki farklı kesme zamanı ile denenmiş ve Tablo 1'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 1: Gerçek sistem sonuçları

Risk Tipi	Kesici Çıkış Gerilimi	Kesici Giriş Gerilimi	Kesici akımı
Yüksek	184kV	83kV	2910A
Yüksek	256kV	105kV	2015A
Orta	128kV	58kV	1680A
Orta	135kV	59kV	1693A

Sonuçlar incelendiğinde yük uçlarındaki gerilimin çok büyük değerlere ulaştığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Yapılan simülasyonlar incelendiğinde transformatör uçlarında ortaya çıkan aşırı gerilimin BIL seviyesinin çok üstünde olduğu ve zaman olarak klasik surge dalga şeklinden çok daha uzun bir süreye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu analizlerin her bir kesici, şebeke topolojisi, koruma sistemi konfigürasyonu gibi senaryolar için defalarca tekrarlanması ve olayın rastgele tabiatının değerlendirilmesi elzemdir. Burada sunulan sonuçlar bu simülasyonların yeterli hassasiyette yapılabileceğini göstermektedir. Transformatörlerin korunması için uygun ölçülendirilmiş parafudrların kullanılması tavsiye edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasına katkılarından dolayı Ulaşım A.Ş. ve Schneider Electric'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Greenwood, A.: Electrical Transients in Power Systems, J. Wiley, 1991, New York,
- [2] Kaya, A.; Diler, N.: 'İstanbul Ulaşım A. Ş. GETİ Transformatör Arızaları Hakkında Rapor', (İç Rapor), 17.05.1995, Gebze.
- [3] IEC 60076-3: "Power Transformers Part 3: Insulation Levels, Dielectric Tests and External Clearances in Air", International Electrotechnical Commission, Publication Date: Mar 1, 2000.
- [4] Popov, M.; Van Der Suluis, L.: "Improved Calculations for No-Load Transformer Switching Surges", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 3, July 2001, pp. 401-408.
- [5] Shipp, D.; Dionise, T. J.; Lorch, V.; MacFarlane, B. G.: "Transformer Failure Due to Circuit Breaker Induced Switching Transients", Industry Applications, IEEE Transactions on, (will appear) doi: 10.1109/TIA.2010.2101996.
- [6] IEEE Working Group C57.142: "A Guide to Describe the Occurrence and Mitigation of Switching Transients Induced by Transformer and Breaker Switching Device Interaction", <http://www.transformerscommittee.org/subcommittees/performance/S06-SwTransientGuide.pdf>, (Erişim Tarihi: 07.03.2011)
- [7] Kimbark, E.W.; Legate A.C.: "Fault Surge Versus Switching Surge A Study of Transient Overvoltages Caused by Line to Ground Faults", IEEE Trans. on Power App. and Systems, Vol. PAS 87, No. 9, September 1968, pp. 1762-1769
- [8] Smeets, R.P.P.: "The Origin of Current Chopping in Vacuum Arcs", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol.17, No. 2, April 1989, pp. 303 – 310
- [9] Popov, M.: Switching Three Phase Distribution Transformer with a Vacuum circuit Breaker, analysis overvoltages and protection of equipment, PhD Thesis, Delft University of Technology, 2002
- [10] Fu, Y.H. Damstra, G.C.: "Switching Transients During Energizing Capacitive Load by a Vacuum Circuit Breaker", IEEE Trans. on Elect. Insulation, Vol. 28; No. 4, August 1993, pp. 657-665
- [11] Task Force on the Fast Front Transients of the IEEE Modeling and Analysis of System Transients Working Group: "Modeling Guidelines for Fast Front Transients", IEEE Trans. on Power Del., Vol. 11, No. 1, January 1996, pp. 493-506
- [12] ATP European User Group Website: www.eeug.de, (Erişim Tarihi, 02.03.2011)).

AŞIRI GERİLİMLERE KARŞI KORUMADA ARK BOYNUZLARININ ETKİNLİĞİ

Hasbi İSMAİLOĞLU
Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Gerilim Laboratuvarı
Umuttepe Yerleşkesi 41380 İzmit/KOCAELİ
hasbi@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Güç sistemleri ve bu sistemlerde yer alan aygıtlar, çeşitli etkenlerle ortaya çıkan aşırı gerilimlerle zorlanır. Aşırı gerilimler, oluşmalarına yol açan olaylara bağlı olarak, iç ve dış aşırı gerilimler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İç aşırı gerilimler, genel olarak, orta/yüksek frekanslı ve sönümlü karaktere sahipken; dış aşırı gerilimler, dik cepheli ve kısa süreli darbe gerilimleri biçimindedirler. Sistemler, işletme sırasında ortaya çıkan ve çoğunlukla şebeke frekansına sahip, kısa ya da uzun süreli olabilen gerilim yükselmelerinin de etkisinde kalırlar. Sistemlerde yer alan aygıtlar, genel olarak, bu gerilim yükselmelerine dayanacak biçimde boyutlandırılırken; genlikleri, işletme gerilimi genliğinin birkaç katına kadar ulaşabilen aşırı gerilimlerin etkilerine karşı koruma önlemlerine başvurulmaktadır. Bu amaca yönelik olarak, koruma yetenekleri son derece sınırlı olmasına rağmen, ark boynuzları (koruma elektrotları) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, güç sistemlerinde, yürüyen dalga biçiminde yayılan ve tüm aygıtlarda zorlanmalara yol açan aşırı gerilimlerin belirli karakteristik özellikleri tanımlanmış ve ark boynuzlarının, standart yıldırım darbe geriliminde çalışma karakteristiğinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan deneysel çalışma sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar ışığında, ark boynuzlarının, aşırı gerilimlere karşı korumada etkinlikleri irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Aşırı Gerilimler, Yürüyen Dalgalar, Ark Boynuzları - Koruma Elektrotları.

1. GİRİŞ

Enerji sürekliliğini bozan etkenlerin başında, sistemde yer alan aygıtlarda ortaya çıkan yalıtım bozulmaları ve bunlara bağlı olarak oluşan kısa-devreler gelmektedir. Aygıt yalıtımlarını zorlayan ve söz konusu arızalara yol açan olaylar arasında, aşırı gerilimler önemli bir yer tutmaktadır.

Bu olumsuzlukların önüne geçmek amacıyla aşırı gerilimlerin oluşumlarına engel olunmaya çalışılmakta ve/veya ortaya çıkan aşırı gerilimlerin etkilerini azaltmaya yönelik önlemlere başvurulmaktadır.

Dış aşırı gerilimlerin, iletim hatları ve şalt tesislerini etkileme olasılıklarını azaltmak amacıyla çevrenin doğal koruyucu yapısından yararlanılmaya, örneğin hatlar, olabildiğince yamaç, vadi gibi yerlerden geçirilmeye çalışılır. İletim hatları ve şalt tesislerini, doğrudan yıldırım düşmelerine karşı korumak üzere koruma iletkenleri kullanılır. Koruma iletkenlerinin görevlerini etkin bir biçimde yapabilmeleri için; diğer bir deyişle olası geri atlamaların önüne geçilebilmesi için, topraklama dirençlerinin küçük olması önem taşımaktadır [1, 2].

Parafudrlar, sistemlerde yer alan aygıtları aşırı gerilimlere karşı korumak üzere, yaygın olarak kullanılan koruma elemanlarıdır. Parafudrların, dağıtım sistemlerinde genel olarak dış aşırı gerilimlere karşı; iletim sistemlerinde ise hem iç hem de dış aşırı gerilimlere karşı koruma yapmaları beklenir [3]. Çalışma karakteristikleri ve yapısal özellikleri göz önüne alındığında, parafudrları başlıca iki gruba ayırmak gerekir. Bu gruplardan birini, günümüzde kullanımı olmayan, porselen korungaç (mahfaza) içine yerleştirilen, atlama aralıklı (eklatörlü) değişken dirençli (SiC) parafudrlar oluşturmaktadır. Atlama aralıklarının kirlenmeye karşı çok duyarlı olması ve gecikmeli çalışma risklerinin bulunması nedeniyle bu tip parafudrlar, on yılı aşkın bir süreden beri üretimden kaldırılmışlardır [4-6]. Diğer grubu, günümüzde iletim ve dağıtım sistemlerinde yaygın olarak kullanılan metaloksit parafudrlar oluşturmaktadır. Metaloksit parafudrların yapılarında atlama aralıklarının bulunmaması, kirlenmeye karşı duyarlılıklarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu parafudrların, şebeke geriliminin etkisi altında olmaları nedeniyle, normal işletme koşullarında, dirençleri üzerinden sürekli olarak küçük bir akım (<1 mA) geçişi olur. Bu özellikleri, aşırı gerilimlere karşı korumada gecikmeli çalışma risklerinin de azalmasını sağlamaktadır [7-10].

İletim hatlarında izolatörlerin, aşırı gerilimler sonucu hasar görmelerini önlemeye yönelik olarak, ark boynuzları (koruma elektrotları) yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok basit bir yapıya sahip olan bu

elektrotlar, izolatörlerde oluşabilecek yüzeysel atlama ve arkları, izolatör yüzeylerinden uzaklaştırarak, izolatörlerin zarar görmelerine engel olmak ve kısmen de olsa gerilim dağılımlarını düzenlemek amacıyla kullanılırlar.

Ancak, ark boynuzları (koruma elektrotları), çoğu zaman dağıtım transformatörlerinin geçit izolatörlerinde (buşinglerinde) de kullanılmakta ve böylece transformatörlerin de korunmuş olacağı varsayılmaktadır [11,12]. Ark boynuzlarının bu amaçla kullanılabileceğine ilişkin değerlendirmeler yönetmeliklerimizde de yer almaktadır [2].

Bu çalışmada, enerji sistemlerinde çeşitli nedenlerle ortaya çıkan ve aygıt yalıtımlarının aşırı gerilimler tarafından zorlanmasına yol açan yürüyen dalgaların, karakteristikleri tanımlanıp, hatlarda yayılma hızlarına ilişkin eşitlikler verilmiştir. Dağıtım transformatör geçit izolatörlerinde kullanılan farklı açıklıklara sahip ark boynuzlarının, standart yıldırım darbe gerilimlerinde koruma düzeyleri deneysel olarak belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar ışığında, ark boynuzlarının, aşırı gerilimlere karşı koruma etkinliği irdelenmiştir.

2. YÜRÜYEN DALGALAR

Güç sisteminin herhangi bir noktasında, atmosferik olaylar, açma-kapama, daha yüksek işletme gerilimine sahip sistem iletkenlerinin teması vb nedenlerle ortaya çıkan etkiler, tüm sistem üzerinde kendilerini hissettirirler. Söz konusu etkiler, sistemde yürüyen dalga biçiminde yayılırlar. Örneğin bir iletim hattında, yıldırım düşmesi sonucu yürüyen dalgaların oluşumu, sembolik olarak, Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu durumda, yıldırım düşmesi ile hat üzerine aktarılan yüke bağlı olarak $i(t)$ akımının oluştuğu düşünülürse, bu akım iki kola ayrılarak, her iki yöne doğru $\frac{1}{2}i(t)$ biçiminde yayılır [1,6]. Gidiş-dönüş biçiminde paralel iki iletkenlerden oluşan bir hat için birim uzunluk başına endüktans ve kapasite değerleri, a-iletkenler arası uzaklık ve r -iletken yarıçapı olmak üzere, sırasıyla

$$L \cong 2 \cdot \ln(a/r) \cdot 10^{-7} \text{ (H/m)} \quad (1)$$

$$C = \frac{1}{18 \cdot \ln(a/r) \cdot 10^9} \text{ (F/m)} \quad (2)$$

eşitlikleri ile verilebilir [1]. Bu eşitlikler kullanılarak, yürüyen dalganın hat üzerinde ilerleme hızı için,

$$v \cong \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

ve hattın karakteristik empedansı için,

$$Z \cong \sqrt{L/C} \quad (4)$$

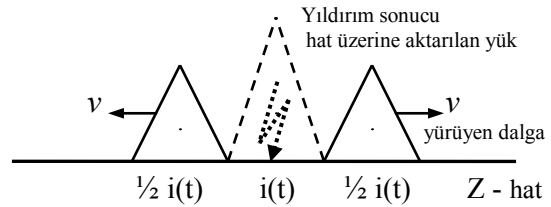
denklemleri elde edilebilir. Denklem (1) ve (2)’de verilen endüktans ve kapasite eşitlikleri ile yürüyen dalganın hava hattında yayılma hızı için,

$$v \cong 300 \text{ (m/}\mu\text{s)} \quad (5)$$

ve karakteristik empedans için,

$$Z \cong 250 - 450 \text{ } \Omega \quad (6)$$

değerleri bulunur. Görüldüğü gibi, yürüyen dalgalar hava hatları üzerinde ışık hızıyla ilerlemektedirler. Kablo gibi, katı yalıtkan içeren ortamlarda yürüyen dalgaların yayılma hızları ise boşluktaki ışık hızının yarısı kadar olmaktadır.



Şekil 1. Karakteristik empedansı Z olan iletim hattına yıldırım düşmesi sonucunda hat üzerinde iki yöne doğru yürüyen dalgaların oluşumu.

Yürüyen dalgalar, ortaya çıkmalarına yol açan olaylara ve şebekenin yapısına bağlı olarak, genlikleri, işletme geriliminin birkaç katına kadar ulaşabilen aşırı gerilimlerin oluşmasına yol açarlar.

Karakteristik empedansı Z olan hat üzerinde bir yönde ilerleyen ve akımı, $\frac{1}{2}i(t)$ biçiminde ifade edilen bir yürüyen dalganın gerilimi için,

$$U = \frac{1}{2} Z \cdot i(t) \quad (7)$$

eşitliği yazılabilir. Akımın maksimum değerinin I_m olduğu varsayılırsa, yürüyen dalga geriliminin maksimum değeri de,

$$U_m = \frac{1}{2} Z \cdot I_m \quad (8)$$

biçiminde verilebilir. Ortaya çıkan bu gerilim düzeyleri, sistemde yer alan tüm aygıtların yalıtımlarının zorlanmasına neden olurlar.

Yürüyen dalgalar, sistemde yayılırken, örneğin hat dirençleri, kaçak iletkenlikler ve oluşan korona kayıpları nedeniyle zayıflarlar. Ancak, sistemin süresizlik noktalarında oluşan yansıma ve kırılmalar sonucu,

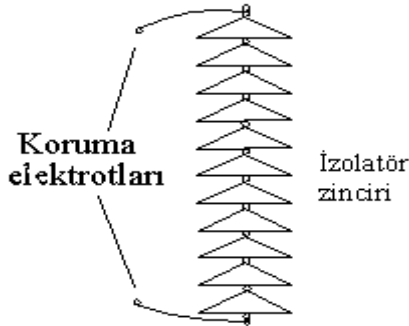
süreksizliğin türüne bağlı olarak gerilimlerinin genlikleri artabilir ya da azalabilir.

Yürüyen dalgalar, büyük güçlere sahip olmakla birlikte; genel olarak çok kısa süreli olduklarından, düşük enerjilere sahiptirler. Ancak, üzerinde yol aldıkları iletim ortamlarının karakteristik empedanslarına bağlı olarak oluşturdukları aşırı gerilimler, aygıtların yalıtımlarını bozabilmektedirler. Genel olarak, sistem üzerinde işletme gerilimi de bulunduğundan, aşırı gerilimler nedeniyle ortaya çıkan yalıtım bozulmaları şebeke kısıdevrelerine dönüşmektedir. Şebeke kısıdevreleri ise enerji kesintilerine, sistemde önemli hasarlara ve aygıtların kullanılamaz hale gelmesine yol açabilmektedirler.

Sayılan bu nedenlerle aşırı gerilimlerin oluşumları engellenmeye çalışılmakta, oluşmaları durumunda da olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik önlemler alınmaktadır.

3. ARK BOYNUZLARI

Ark boynuzları (koruma elektrotları-eklatörler), genel olarak karşılıklı iki metal çubuktan oluşan elektrotlardır. Basit yapıda olmaları nedeniyle zincir izolatorleri, transformatör geçit izolatorleri gibi aygıtlara kolaylıkla yerleştirilebilirler. Ark boynuzlarının bir izolator zincirine yerleştirilmiş biçimi, Şekil 2’de sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Bir izolator zincirinde, sembolik olarak, koruma elektrotları (ark boynuzları).

Ark boynuzları, izolatorler bir aşırı gerilimle zorlandığında, oluşabilecek bir atlamayı ve buna bağlı olarak ortaya çıkabilecek arkı, izolator yüzeyinden uzaklaştırmak amacıyla kullanılırlar. Bunun yanında, izolatorlerde gerilim dağılımının düzenlenmesinde, kısmen de olsa, etkileri vardır. Aşırı gerilim etkisi ile boynuzlar arasında atlama gerçekleştiğinde, sistemde şebeke gerilimi de bulunduğundan, oluşan ark faz-toprak kısıdevresine yol açar. Oluşan arkın sönmesi, yıldız noktası yalıtılmış sistemler hariç, enerjinin kesilmesine bağlıdır.

İşletme gerilimlerine göre kullanılması önerilen ark boynuzu açıklıkları Tablo 1’de verilmiştir [11,12].

Ark boynuzları, izolator yüzeylerinde oluşabilecek arkları izolatorlerden uzaklaştırarak, zarar görmelerine engel olabildikleri için, özellikle iletim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1. İşletme gerilimlerine göre ark boynuzu açıklıkları (1000 m’ye kadar yükseklikler için).

İşl. gerilimi (kV)	6	10	15	30	60	150	380
Açıklık (cm)	6	8,6	11,5	22	40	83	230

Bunun yanında, ülkemizde, özellikle orta gerilim dağıtım transformatörlerinde geçit izolatorlerine ark boynuzları yerleştirilmekte ve bu şekilde, transformatörlerin aşırı gerilimlere karşı korunabileceği varsayılmaktadır. Bazı teknik yayın ve yönetmeliklerde de bu yönde değerlendirmeler yer almaktadır [2,11,12].

4. DENEY DÜZENİ ve DENEYLER

Orta gerilim dağıtım transformatörlerinde, aşırı gerilimlere karşı koruma amaçlı olarak da kullanıldıkları göz önüne alınarak, çalışma karakteristiklerini incelemek ve korumada etkinliklerini belirlemek amacıyla belirli açıklıklara sahip ark boynuzlarına darbe gerilimleri uygulanmıştır. Deneylerde, 240 kV ve 600 J’lük standart yıldırım darbe gerilimi (1,2/50 µs) üretici kullanılmıştır.

Deneyler, dağıtım sistemlerinde yaygın olarak kullanılan gerilim düzeyi olması nedeniyle 36 kV’luk, ark boynuzlarına sahip transformatör tipi bir geçit izolatorü üzerinde yapılmıştır (Şekil 3). Kullanılan ark boynuzları, bir dağıtım transformatörü üzerinden sökülüş, φ8 mm çapında, uçları küt, paslanmaz elektrotlardır. Deneylerde, ark boynuzlarının alt elektrodu topraklanmış, üst elektrodu darbe gerilimi üreticine bağlanmıştır.



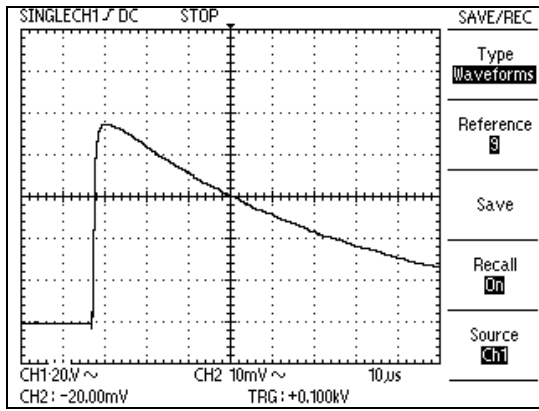
Şekil 3. Deneylerde kullanılan ark boynuzları ve 36 kV’luk transformatör tipi geçit izolatorü.

Deneyler sırasında ölçülen ortam sıcaklığı, hava basıncı ve nem oranı değerleri aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} t &= 21^{\circ}\text{C}, \\ b &= 735 \text{ mmHg}, \\ h &= \% 48. \end{aligned}$$

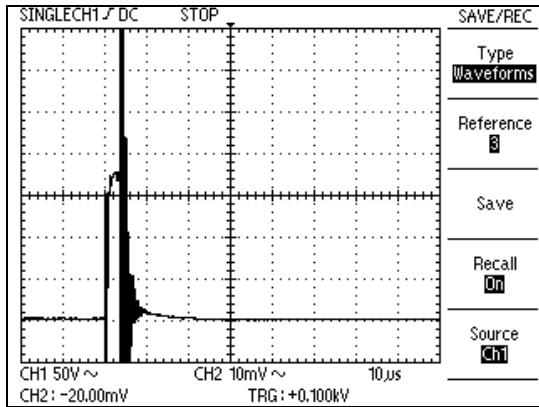
Bu değerlere göre, ortam koşulları düzeltme katsayısı belirlenmiş ve bu katsayı deney sonuçlarına yansıtılmıştır [13].

Orta gerilim (30-36 kV'ta) ark boynuzlarında açıklığın 22 cm alınması önerilmekte olduğundan, elektrot açıklığı, öncelikle bu değere ayarlanmıştır. Elektrotlara uygulanan $U_m=107$ kV'luk pozitif tam bir standart yıldırım darbe geriliminin osilogramı, Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Ark boynuzlarına uygulanan $U_m=107$ kV'luk pozitif yıldırım darbe gerilimi.

Açıklık 22 cm olmak üzere, ark boynuzlarına, genlikleri giderek arttırılan darbe gerilimleri uygulanmıştır. Elektrotlarda atlama oluşturan, bir pozitif darbe gerilimi ($U_a = 192$ kV ve $t_a \approx 3$ µs) osilogramı, Şekil 5'te gösterilmiştir. Pozitif ve negatif darbe atlama gerilimlerinin tepe değerleri ve atlama süreleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 5. Elektrot açıklığı 22 cm için atlama oluşturan pozitif bir darbe geriliminin osilogramı ($U_a = 192$ kV ve $t_a \approx 3$ µs, t_a : Atlama süresi).

Tablo 2. Ark boynuzlarında, $a = 22$ cm için pozitif ve negatif darbe atlama gerilimleri ve atlama süreleri.

Gerilim	Atlama gerilimi U_a (kV)	Atlama süresi t_a (µs)
Pozitif	174	6
	179	5
	192	3
Negatif	-181	8
	-183	6
	-188	4

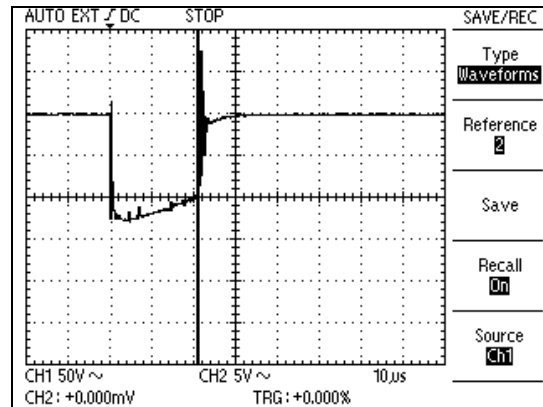
Tablo 2'de verilen değerlerden görüldüğü gibi, 22 cm açıklığa sahip ark boynuzlarında elde edilen atlama gerilimi değerleri, 36 kV'luk sistemlerde kullanılan aygıtların darbe dayanma gerilimi olan $U_m = 170$ kV'tan oldukça yüksektir. Bu nedenle deneyler, elektrot açıklığı 16 cm'ye düşürülerek yinelenmiştir.

Ark boynuzlarında, 16 cm'lik elektrot açıklığında elde edilen pozitif ve negatif darbe atlama gerilimlerinin tepe değerleri ve bu gerilimlerde ölçülen atlama süreleri, Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Ark boynuzlarında, $a = 16$ cm için pozitif ve negatif darbe atlama gerilimleri ve atlama süreleri.

Gerilim	Atlama gerilimi U_a (kV)	Atlama süresi t_a (µs)
Pozitif	140	10
	142	4
	145	3
Negatif	-140	21
	-145	7
	-147	4

Negatif darbe geriliminde, 16 cm'lik elektrot açıklığında elde edilen osilogramlardan birisi, örnek olarak Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Elektrot açıklığı 16 cm için atlama oluşturan negatif bir darbe geriliminin osilogramı ($U_a = -140$ kV ve $t_a \approx 21$ µs).

5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Orta gerilim dağıtım sistemlerinde kullanılan aygıtların darbe geriliminde dayanma düzeyleri ilgili standartlarda tanımlanmıştır. Örneğin, 36 kV'luk sistemde kullanılan aygıtlar için standart yıldırım darbe dayanma düzeyi, genel olarak 170 kV'tur. Diğer taraftan bu aygıtların aşırı gerilimlere karşı korunmasında kullanılacak koruma aygıtlarının (parafudrların) artık gerilimlerinin, belirli koşullarda 120 kV'u aşmaması gerekmektedir [8,9]. Bu sınır değer tanımlanmış olması, aşırı gerilimlere dayanma açısından, aygıt yalıtımlarında bir güvenlik payı bulunması gerektiği biçiminde yorumlanabilir. Diğer yandan, ark boynuzlarında, 30-36 kV'luk sistem için elektrot açıklığının 22 cm alınması gerektiği belirtilmektedir (Tablo 1). Oysa, yukarıda verilen deney sonuçlarına göre, 22 cm açıklığa sahip ark boynuzlarında, pozitif darbeye 170 kV, negatif darbeye ise 180 kV üstündeki gerilimlerde atlama olmakta; diğer bir deyişle ark boynuzları bu gerilimlerden daha yüksek gerilimlerde çalışabilmektedirler.

Ark boynuzlarında elektrot açıklığı 16 cm'ye düşürüldüğünde, her iki kutbiyetdeki darbeler için 140 kV düzeyinde atlama gerilimleri elde edilmektedir. Buna göre, ilgili standartların, koruma aygıtları için öngördüğü 120 kV'luk sınırın altına düşülebilmesi için, ark boynuzlarında açıklığın 16 cm'den de küçük seçilmesi gerekmektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken, önemli bir diğer konu, ark boynuzlarının gecikmeli çalışmalarıdır. Yukarıda kısaca açıklandığı gibi, yürüyen dalgaların yayılma hızları (hava hatlarında ~300 m/μs) ve özellikle yıldırım darbe gerilimlerinin cephe dikliği de göz önüne alındığında, ark boynuzlarının, örneğin dağıtım transformatörleri gibi aygıtların güvenli bir şekilde korunmasında yeterli olamayacağı görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Ark boynuzları, özellikle iletim sistemi izolatörlerinde, aşırı gerilim kaynaklı bir atlama sonucunda oluşabilecek bir arkı, yüzeyden uzaklaştırarak, izolatörlerin hasar görmesini önlemek amacıyla kullanılırlar. Aşırı gerilimin etkisi geçtikten sonra arkın sönmesi, işletme geriliminin, dolayısıyla şebeke enerjisinin de kesilmesini gerektirir.

Ancak, elde edilen deneysel sonuçlardan da görülebileceği gibi, dağıtım transformatörü gibi aygıtların korunmasına yönelik olarak önerilen, ark boynuzu açıklıkları oldukça büyüktür. Ayrıca atlamanın, darbe sisteme ulaştıktan, en azından

birkaç μs sonra gerçekleşiyor olması, özellikle dik cepheli darbelerde, ark boynuzlarının koruma aygıtı olarak değerlendirilemeyeceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, ark boynuzlarının, yalnızca izolatör koruma aygıtı olarak tanımlanabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ÖZKAYA, M., "Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 2", Birsen Yayınevi, İstanbul, 1996.
- [2] Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, EMO Yayın No: TY/2005/3, Ankara, 2005.
- [3] RYAN, H.M. (Ed.), "High Voltage Engineering and Testing (2nd Ed.)", IEE-The Institution of Electrical Engineers, London, 2001.
- [4] TS EN 60099-1/Temmuz 1997, "Parafudrlar-Bölüm 1: A.A. Sistemleri için - Değişken Dirençli Tip Atlama Aralıklı Parafudrlar".
- [5] İSMAİLOĞLU, H., "Aşırı Gerilimler, Oluşumları, Etkileri ve Aşırı Gerilimlere Karşı Koruma", Tesisat Mühendisliği Ulusal Kongresi - Yüksek Gerilim Çalıştay, Bildiriler Kitabı, s.80-88, İzmir, 7-10 Mayıs 2009.
- [6] IEEE Std 141-1993, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- [7] HILEMAN, A.R., "Insulation Coordination for Power Systems", Marcel Dekker Inc., New York, 1999.
- [8] TS 60099-4/Mart 2006 (Rev.), "Parafudrlar-Bölüm 4: A.A. Sistemleri için-Atlama Aralıksız Metal Oksit Parafudrlar".
- [9] IEC 60099-4/2004-5 (2nd Ed.), "Surge Arresters-Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems".
- [10] IEEE C62.22-1991, IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arrester for Alternating-Current Systems.
- [11] SAÇKESEN, E.; AMAÇ, A., "Koruma Sistemleri", TEİAŞ, Soma Elektrik Tek. Gel. ve Eğitim Merkezi Müd. Yayını, 2001.
- [12] TMMOB-EMO, MİSEM, "Elektrik Yüksek Gerilim Tesislerinde İşletme Sorumluluğu Eğitimi Seminer Notları", 2005.
- [13] IEC 60060-1/1989-11, High-voltage test techniques, Part 1: General definitions and requirements.

MOBİL PLATFORMLARDA KULLANILAN GÜNEŞ DİZİLERİNDE ARIZA TESPİTİ

Türev SARIKURT
turev@gyte.edu.tr
GYTE Elektronik
Mühendisliği Bölümü
41400, Gebze, Kocaeli

A. Güven PADO
guven.pado@daimler.com
Mercedes-Benz Türk A.Ş.
Mercedes Bulvarı No. 5, 34500 Esenyurt,
İstanbul

Özge Doğan
ozge.dogan@daimler.com

M. Hakan HOCAOĞLU
hocaoglu@gyte.edu.tr
GYTE Elektronik
Mühendisliği Bölümü
41400, Gebze, Kocaeli

ÖZET

Fosil yakıtların doğadaki miktarının azalıyor olması ve karbondioksit salınımına getirilen kısıtlamalar, dikkatleri alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Güneş enerjisi çevrim sistemleri çevresel temizliği ve yenilenebilir olması nedeniyle elektrik üretiminde son zamanlarda yoğunlukla kullanılmaktadır. Bu sistemlerde arızalı modüllerin belirlenmesi üretimin sürdürülebilirliği ve çıkış enerjisinin kalitesi açısından önemlidir. Bu çalışmada hareketli bir platform üzerine yerleştirilmiş olan güneş enerjisi çevrim sistemi için güneş panellerinde oluşabilecek arızanın türünün ve dizi üzerindeki yerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar kapsamlı bir şekilde taranmış, Akım-Gerilim Ölçümü (IVM), Toprak Kapasitansı Ölçümü (ECM), Zaman Uzaı Yansıma Ölçümü (TDR) ve Frekans Cevap Analizi (FRA) metotları karşılaştırılmıştır. Ayrıca laboratuvarda mevcut bulunan güneş panellerinde Frekans Cevap Analizi metodu kullanılarak ölçümler yapılmıştır MATLAB yazılımı yardımıyla frekans spektrumları oluşturulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Güneş Panelleri, Frekans Cevap Analizi, Zaman Uzaı Yansıma Ölçümü, I-V Ölçümü.

1. GİRİŞ

Fotovoltaik sistemlerde sistemin kayıplarını azaltmak ve sistemin ömrü boyunca elde edilecek enerjiyi maksimuma çıkarabilmek için arızalı modüllerin belirlenebilmesi önemlidir.

Güneş enerjisi sistemlerinde arızalar ve bozulmalar hücre, modül veya dizilerde gerçekleşebilir. Hücrelerde meydana gelen performans düşüklüğü genel olarak fiziksel zedelenme, su teması neticesinde paslanma veya kızıltötesi, ısı baskı sonucu çıkış enerjisinin azalması şeklindedir. Modüllerde ise çoğu zaman hücreler arasında açık-kısa devre oluşması gibi bağlantı sorunları ve koruma kaplamasının özelliğini kaybetmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Güneş panelleri ile oluşmuş dizilerde meydana gelen performans düşüklüğünün nedenleri ise daha çeşitlidir. Modüller arasında açık-kısa devreler ya da kurulum esnasında meydana gelen kablolama hataları gibi bağlantısal nedenler, modüller arasındaki parametre uyumsuzlukları ve kısmi gölgelenme bu nedenlerin en önemlileridir. [1,2]

Bu arızaları belirlemenin yöntemleri ise elektriksel, ısı ve görsel olarak üçe ayrılabilir. Görsel olarak arızalı hücreler veya modüller yıpranmaları ya da soluk görüntüleriyle belli olabilmektedir. Termal

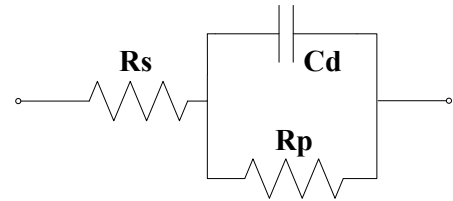
yöntemler ise aşırı ısınmanın ya da by-pass diyotunun parlaklığının ayırt edilmesidir. En etkili termal yöntem termal kameralardır. [1,2]

Elektriksel yöntemler ise Akım-Gerilim Ölçümü (*I-V Measurement*, IVM) [3,4], yüksek frekans ölçümü olarak da sınıflandırılan Zaman Uzaı Reflektometrisi (*Time Domain Reflectometry*, TDR) [1,2,5,6] ve Toprak Kapasitansı Ölçümü (*Earth Capacitance Measurement*, ECM) [5,7] olarak tanıtılmıştır.

Bu çalışmada mobil bir uygulamada bir arıza durumunda arızanın türünün (açık devre, kısa devre, gölgelenme) ve pozisyonunun belirlenmesini amaçlayan bir yöntem üzerinde çalışılmıştır. Güneş pilleri, modülleri ve dizilerinin elektriksel modelleri aktarılmış, ardında adı geçen IVM, TDR ve ECM metotları tanıtılmış, metotlar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Daha sonra güç transformatörlerinde arıza belirlemek için kullanılan Frekans Cevap Analizi (*Frequency Response Analysis*, FRA) metodu bu probleme uyarlanmaya çalışılmış, bu metot ile ilgili laboratuvar ortamında deneyler yapılmıştır.

2. GÜNEŞ PANELLERİ

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan en küçük birim fotovoltaik hücrelerdir. [1]'de frekans analizi yoluyla fotovoltaik hücrenin empedansına dayalı elektriksel bir model elde edilmiş. Seri direnç, R_s , paralel direnç R_p ve paralel kapasitör, C_d 'den oluşan bu model Şekil 1'de görülmektedir. C_d ışık altında p-n jonksiyonunun düşük seviyesi nedeniyle kısa devre olarak kabul edilir.



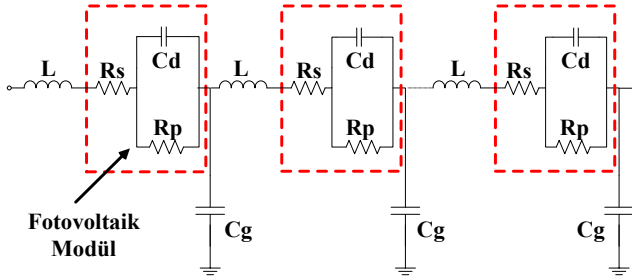
Şekil 1. Fotovoltaik hücrenin elektriksel modeli

Bir hücrenin empedansı, Z ise (1) eşitliği ile bulunabilir:

$$Z = R_s + \frac{R_p}{j\omega C_d R_p + 1} \quad (1)$$

Fotovoltaik modül çok sayıda fotovoltaik hücrenin birleşimiyle oluşturulur. Elektriksel modeli Şekil 1’de görülen hücrenin elektriksel modeliyle aynıdır ve empedansı da (1) eşitliğinden bulunabilir.

Fotovoltaik dizi ise çok sayıda modülün birleşimiyle oluşturulur. Fotovoltaik modüllerin birleştirilmesinde uzun hatlar kullanıldığı için hat endüktansı, L ihmal edilemez [1]. Fotovoltaik diziler yerleşik uygulamalarda topraklanmaktadır. Bu nedenle dizilerin elektriksel modellerine toprak kapasitansı, C_g de eklenmiştir [7, 8]. Bir fotovoltaik dizinin elektriksel modeli Şekil 2’de görülmektedir.

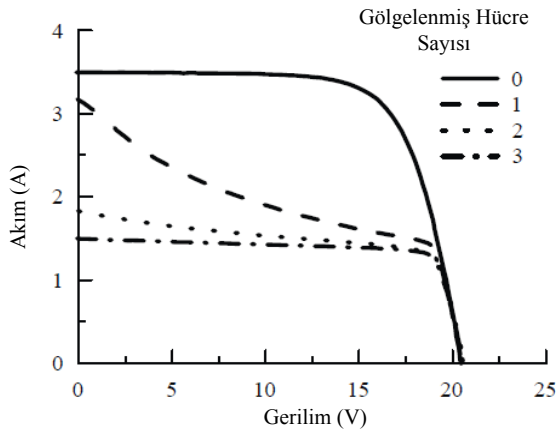


Şekil 2. Fotovoltaik dizinin elektriksel modeli

3. FOTOVOLTAİK DİZİLERDE HATA BELİRLEME YÖNTEMLERİ

3.1. Akım-Gerilim Ölçümü

I-V ölçümü 1960’lardan beri yaygın olarak kullanılan bir metottur [4]. Bu metotta güneş panellerinden oluşan bir dizinin akım ve gerilim değerleri ölçülür. Dizideki panellerin bazıları gölgelendirilirse I-V eğrisinin yüksekliği azalır. Bunun nedeni aynı gerilim seviyesi için sistemin daha az akım çıkışı verebilmesidir. [3] Bu durum Şekil 3.’te görülmektedir.



Şekil 3. Panellerin gölgelenme durumunda I-V eğrisi.

Bu yöntemde her modül eksilmesi durumu için testler yapıp sonuçlar kaydedilir. Son durumdaki I-V eğrisi varolan eğrilerle kıyaslanarak gölgelenmenin

oranı tespit edilebilir. Ayrıca gölgelenme ile kalıcı arızalar da ayırt edilebilir. Bu yöntemin eksik yanı arızanın yerinin belirlenememesidir.

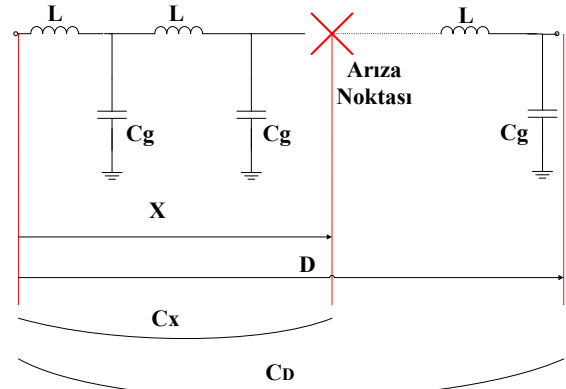
3.2. Toprak Kapasitansı Ölçümü

Bir iletim hattı endüktanslar ve kapasitanslar kullanılarak Şekil 4.’teki gibi modellenenebilir. Şekilden hattın toprak kapasitansının hat uzunluğuyla doğru orantılı olduğu görülebilmektedir.

Bir arıza durumunda arızanın olduğu yerin, hattın başlangıç noktasına uzaklığı, X (2)’deki eşitlikle bulunabilir.

$$X = \frac{C_x}{C_D} D \quad (2)$$

Burada C_x hattın başlangıcından hatalı yere kadar ölçülmüş toprak kapasitansı, C_D tüm hattın toprak kapasitansı, D ise hat uzunluğudur.



Şekil 4. Bir iletim hattının elektriksel modeli

Bir PV dizisinin elektriksel modeli ise hat endüktansı L , toprak kapasitansı C_g olmak üzere Şekil 2.’de görülmektedir. Şekilde PV modüllerinde C_d p-n bağlantı kapasitansı, R_s seri, R_p ise shunt dirençtir.

Dizide n . Modülde arıza olması durumunda o noktadaki toprak kapasitansı

$$C_{g,Arıza} = n \cdot C_g \quad (3)$$

Olarak hesaplanabilir.

Dizide M tane modül olduğunu kabul edersek dizinin toplam toprak kapasitansı

$$C_{g,Toplam} = M \cdot C_g \quad (4)$$

Şeklinde hesaplanabilir.

Yukarıdaki formüllerden yola çıkarak arızanın kaçınıcı modülde olduğu ise (5)’teki eşitlikle bulunur.

$$n = \frac{C_{g,Arıza}}{C_{g,Toplam}} M \quad (5)$$

Toprak kapasitansı ölçümü yönteminin kullanılabilmesi için fotovoltaiik dizinin toprak bağlantısının olması gerekir.

3.3. Zaman Uzayı Yansıma Ölçümü

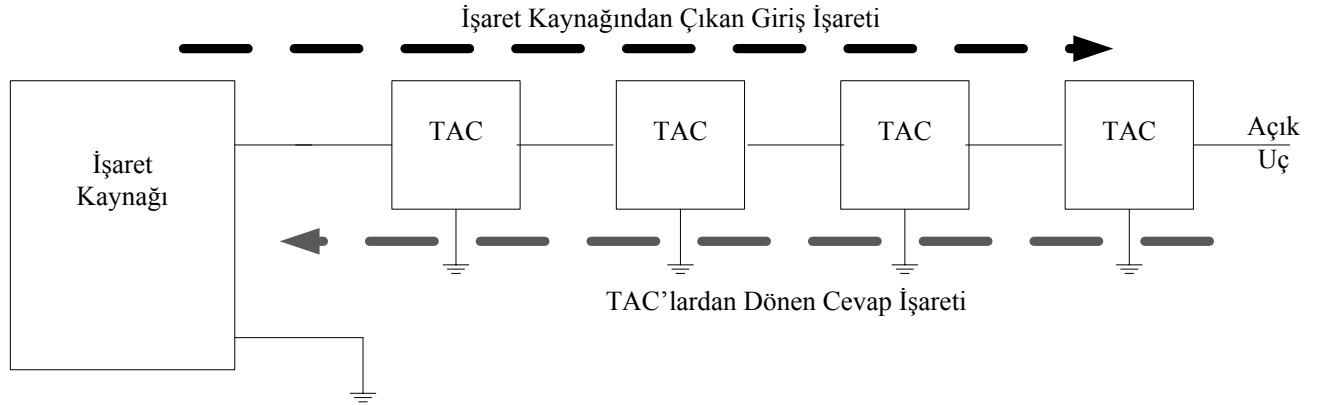
TDR bir iletim hattının karakteristiğini ve arıza durumunda bu arızanın türünü ve arızanın oluştuğu yeri belirlemede kullanılan elektriksel bir metottur [8]. Bu yöntemde sistemin bir noktasına uygulanan giriş sinyali ve empedans uyumsuzluğu nedeniyle değişerek geri dönen sinyal karşılaştırılır. Çıkış sinyalinde görülen giriş sinyaline göre oluşan ötelenme hattaki arıza pozisyonunu, dalga şeklindeki değişiklik ise uyumsuzluk tipini (açık devre, kısa devre, gölgelenme, direnç artması) ve hatanın büyüklüğünü (empedans değişim miktarı) belirlemede kullanılabilir.

Bir Fotovoltaiik (PV) sisteminde TDR yöntemini kullanmak için uygun test düzeneği Şekil 5’de gösterilmiştir. Test altındaki cihazlar şekilde TAC kısaltmasıyla görülmektedir.

TDR yönteminde giriş işareti olarak basamak ve dürtü fonksiyonları kullanılabilir. Literatürde yapılmış çalışmalar ile hata durumlarında sistemin bu fonksiyonlara vereceği cevap işaretleri belirlenmiştir [1,2]. Cevap işaretinin zaman gecikmesindeki veya genliğindeki değişim incelenerek hatanın yeri de belirlenmektedir.

Tablo 1’de TDR yönteminde çeşitli hata durumlarında oluşan çıkış işaretleri görülmektedir.

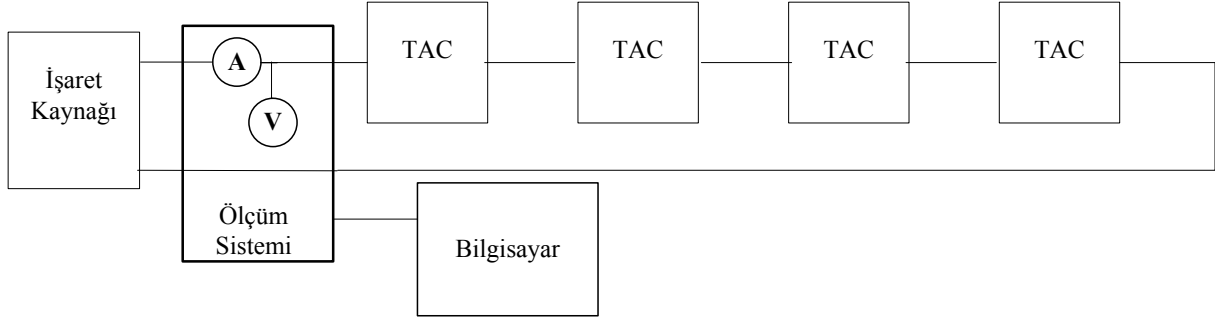
TDR metodunu uygulayabilmek için az gürültüyle, temiz sinyal verebilen bir işaret kaynağının veya fonksiyon jeneratörünün kullanılması gerekmektedir. Laboratuvar ortamında sahip olunan imkanlar gerçekleştirilen testler verimsiz olmuş, bu nedenle farklı yöntemler aranmıştır.



Şekil 5. TDR metodu için test düzeneği. (TAC: Test Altındaki Cihaz)

Tablo 1. TDR testinde hata durumlarında oluşan basamak ve dürtü cevapları

Uyumsuzluk Türü	Basamak Cevabı	Dürtü Cevabı
Açık devre		
Kısa Devre		
Empedans denge empedansından büyükse ($R > Z$)		
Empedans denge empedansından küçükse ($R < Z$)		
İndüktör		
Kapasitör		



Şekil 6. FRA metodu için test düzeneği

3.4. Frekans Cevap Analizi

Yüksek gerilim transformatörleri güç sistemlerinde kullanılan en maliyetli elemanlardır ve arızalanmaları da aynı oranda mali sıkıntılara yol açar [9]. Transformatörlerdeki yıpranmayla ilgili değişiklikler öncelikle sarımların dahili endüktans ve kapasitanslarında görülür. FRA bu değişikliklerin gözlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir [9-11].

FRA transformatörlerdeki geleneksel ölçüm metotlarıyla belirlenmesi zor olan mekanik arızaları tespit etmek için kullanılan bir metottur. Transformatör sarımları, güneş dizileri gibi kapasitanslar, endüktanslar ve dirençler olarak modellenebilir. Transformatör yapısında bir arıza oluştuğunda bu parametrelerin değerleri değişecektir. Benzer bir değişim sisteme uygulanan periyodik bir işaretin cevabında da görülecektir [11].

FRA metodunun uygulanması için gereken test düzeneği Şekil 6.'da görülmektedir.

FRA da TDR gibi deneysel verilerin onları karşılayan referans verilerle kıyaslanıldığı karşılaştırmalı bir metottur. Bu metotta sonuçlar, kendilerine karşılık gelen referans verilerle kıyaslanılır. İki farklı uygulanma metodu vardır. Birincisinde sarımlara birim dürtü işareti uygulanırken ikincisinde sinüsoidal bir işaret ile frekans taraması yapılmaktadır [12]. Pratik ölçme teknikleriyle tekrar edilebilir bir frekans cevabı yakalamak ve sistemde meydana gelen değişimlerle frekans cevabındaki değişim arasında ilinti kurabilmek bu metodun uygulamasında göz önüne alınması gereken iki etkidir. Sonuç olarak FRA metodunda henüz TDR metodunda olduğu gibi sistematik bir arıza tespit prosedürüne henüz ulaşamamıştır. Dolayısıyla bu metotta sonuç olarak gelen grafiksel analizleri yorumlayabilmek için uzmanlar gerekir.

Transformatörlerin elektriksel modelleri güneş dizileri ile benzerlik gösterdiğinden model dizilerde de kullanılabilir.

4. ÖLÇÜMLER VE SONUÇLARI

Laboratuvar ortamında FRA kurulumu önce transformatörler daha sonra güneş pilleriyle denenmiştir. Şekil 6.'daki test düzeneğinde görülen test altındaki cihazlar yerine paneller yerleştirilmiş, işaret kaynağı olarak fonksiyon jeneratörü kullanılmıştır.

Deneyde 3 güneş paneli kullanılmış, ölçümler karanlık ortamda gerçekleştirilmiştir. Arıza durumunu modellemek için paneller kısa devre yapılmıştır.

50 kHz-1.5 MHz arasında 30 farklı frekansta sinüsoidal işaret uygulanıp cevabı ölçülmüş, ardından aynı prosedür farklı sayıda paneller kısa devre yapılarak tekrarlanmıştır. Ölçümler karanlık ortamda, panellerin enerji üretmediği durumda gerçekleştirilmiş Ölçüm sonuçları Şekil 7.'de görülmektedir.

Şekilden de görülebileceği üzere empedansların sıfır noktaları arasında ayırt edilebilir bir fark vardır.

RFA metodu bu empedans farkı kullanılarak arıza durumlarının tespiti ve gölgelenme halinden ayırt edilebilmesi için sistematik bir yapı geliştirilerek kullanılabilir.

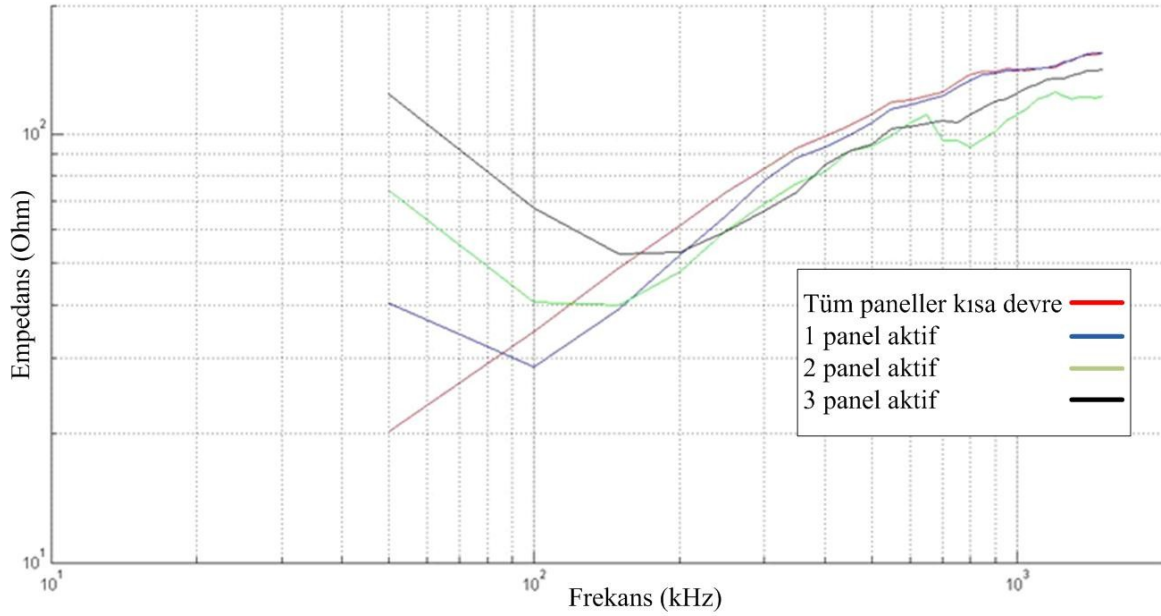
5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonucunda RFA metodunun transformatörlerin yanı sıra güneş panellerinde de arıza tespiti için uygulanabilirliği görülmüştür.

Ölçümlerin karanlık ortamda yapıldığı göz önünde bulundurulduğunda yöntemin güneş enerjisi çevrim sistemleri için gölgelenme ve arıza durumları arasındaki farkları ortaya koymak içinde kullanılabilir.

İlerleyen çalışmalarda aydınlık ortamda, Mercedes Benz Türk A.Ş. tarafından kurumumuza temin edilmiş torso üzerinde de deneyler yapılacaktır.

Son aşamada sistemin mobil uygulamalarda doğrudan kullanılabilirliği olacak şekilde kompakt hale getirilmesi planlanmaktadır.



Şekil 7. RFA metodu kullanılarak elde edilmiş ölçüm sonuçları.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya verdikleri destek sebebiyle Mercedes-Benz Türk A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] T. Takashima, K. Otani, K. Sakuta, T. Yamada, T. Igarashi, K. Hasegawa, H. Wakabayashi, T. Yamaguchi, "Electrical Detection and Specification of Failed Modules in PV Array", 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Japan, May 11-18, 2003.
- [2] T. Takashima, J. Yamaguchi, K. Otani, K. Kato, M. Ishida, "Experimental Studies of Failure Detection Methods in PV Module Strings" IEEE Conference on Photovoltaic Energy Conversion, May 7-12, 2006
- [3] H. Kawamura, K. Naka, N. Yonekura, S. Yamanaka, H. Kawamura, H. Ohno, K. Naito, "Simulation of I-V Characteristics of a PV Module with Shaded PV Cells", Solar Energy Materials and Solar Cells, 2003
- [4] D. L. King, B. R. Hansen, J. A. Kratochvil, A. Quintana, "Dark Current-Voltage Measurements on Photovoltaic Modules as a Diagnostic or Manufacturing Tool", Photovoltaic Specialists Conference, September 29-October 3, 1997.
- [5] T. Takashima, J. Yamaguchi, K. Otani, T. Oozeki, K. Kato, M. Ishida, "Experimental Studies of Fault Location in PV Module Strings", Solar Energy Materials and Solar Cells, 2009.
- [6] L. Schirone, F. P. Califano, U. Moschella, U. Rocca, "Fault Finding in a 1 MW Photovoltaic Plant by Reflectometry", IEEE Conference on Photovoltaic Energy Conversion, December 5-9, 1994.
- [7] T. Takashima, J. Yamaguchi, M. Ishida, "Disconnection Detection Using Earth Capacitance Measurement in Photovoltaic Module String", Progress in Photovoltaics: Research and Applications, p 669-677, 2008
- [8] T. Takashima, J. Yamaguchi, M. Ishida, "Fault Detection by Signal Response in PV Module Strings", PVSC '08, USA, May 11-16, 2008
- [9] P. M. Nirgude, B. Gunasekaran, Channakeshava, A. D. Rajkumar, B. P. Singh, "Frequency Response Analysis Approach for Condition Monitoring of Transformer", IEEE Conference on Electric Insulation and Dielectric Phenomena, Annual Report, 2004.
- [10] J. W. Kim, B. K. Park, S. C. Jeong, S. W. Kim, P. G. Park, "Fault Diagnosis of a Power Transformer Using an Improved Frequency-Response Analysis", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, January 2005.
- [11] H. Firoozi, M. Kharezi, N. Mahmoodi, M. I. Ghiyasi, "Frequency Response Analysis - Low Frequency Characteristics and Fault Diagnosis on Power Transformers", International Conference on Solid Dielectrics, Germany, July 4-9, 2010
- [12] S. A. Ryder, "Diagnosing Transformer Faults Using Frequency Response Analysis", IEEE Electrical Insulation Magazine, p. 16-22, 2003.

BİR YILDIRIMLIKTAN AKAN AKIMIN YARATTIĞI MANYETİK ALANIN BİNA İÇİ KABLOLARLA ETKİLEŞİMİ

Özcan KALENDERLİ
İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Maslak/İstanbul
kalenderli@itu.edu.tr

Ali Sinan ÇABUK
İstanbul Teknik Üniversitesi
Meslek Yüksekokulu
Maslak/İstanbul
ascabuk@itu.edu.tr

ÖZET

Bir doğa olayı olarak bilinen yıldırım; bulut ile yeryüzü arasında bir elektrik boşalmasıdır. Bir yıldırım boşalması sırasında 3 kA ile 200 kA arasında akımlar akabilir. Ülkemizde içinde bulunduğu Avrupa-Asya kuşağında bu akım değeri, 5 kA-25 kA amper civarındadır. Yıldırımların kentsel bölgelerde oldukça yıkıcı zararları olur. Bu zararları en aza indirebilmek için binalarda yıldırımlık (paratoner) ismi verilen, binaları yıldırımın etkilerinden koruyan tesisatlar kullanılmaktadır. Bu tesisatların amacı yüksek yıldırım akımlarını çarpma noktasından toprağa, indirme iletkenleri üzerinden, güvenli bir şekilde ulaştırmaktır. Bu çalışmada, yıldırım indirme iletkenlerinden geçen yüksek akımların yarattığı manyetik alanların, yakınındaki bina içi kablolarla olan elektromanyetik etkilerinin incelenmesi ve sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yıldırımdan korunma, Manyetik alan, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Manyetik kuplaj, Kablolar.

1. GİRİŞ

Yıldırımdan korunmak için binaların yüksek yerlerine yakalama ucu adı verilen madeni çubuklar yerleştirilir. İndirme iletkeni adı verilen iletkenlerle topraklama tesisatına bağlanan bu düzene “yıldırımlık (paratoner)” adı verilir. İndirme iletkeni bir ya da birkaç paralel akım yolu olabilir. İndirme iletkeninin biçimi, akım yolu uzunluğu en kısa olacak şekilde düzenlenmelidir [1, 2].



Şekil 1: Yıldırım.

Yıldırımlık uygulamalarında Franklin yakalama uçları (çubukları veya telleri) ya da Faraday kafesi yöntemi

kullanılır. Temel ilke, binanın yüksek yerinden yıldırımın çarpmasıyla alınan yüksek akımın toprağa güvenle indirilmesidir. İndirme iletkeni olarak Faraday kafesi yönteminde, birbirlerine elektriksel olarak bağlı olmaları koşuluyla binanın çelik donatıları da kullanılabilir. Franklin yakalama uçlarında ise bina dış cephesi yüzeyinden toprağa indirilen, bu nedenle indirme iletkeni adı verilen iletkenler yer alır. İndirme iletkeni olarak genellikle 50 mm²'lik elektrolitik bakır (som bakır) veya galvanizli şerit iletkenler kullanılır. Bu iletkenler ile duvar arasında, duvar malzemesinin yanıcılık durumu da göz önüne alınarak en az 10 cm açıklık olmalıdır. İndirme iletkenlerini duvar üzerine sabitlemek için tutturucu duvar indirme kroşeleri kullanılır. Her iki tutturucu kroşe arasında genellikle 90 cm aralık bırakılır. Duvar yüzeyinden indirilen bu iletkenler yerden 250 cm yükseklikten itibaren yere kadar koruyucu bir boru içerinden geçirilir. Bu iletken veya iletkenler, potansiyel dengelemesi için kuşaklanmaları yanında, eşdeğer topraklama direnci 10 Ω değerini geçmeyen topraklama tesisatına (topraklama elektrotlarına, topraklayıcılara) bağlanır [2].

2. YILDIRIMLIK MANYETİK ALAN ANALİZİ

Yıldırımların ses, ışık, ısı, elektromanyetik alan, elektrodinamik, elektrokimyasal gibi çeşitli etkileri vardır [3]. Yıldırım akımı kendi boşalma kanalından, bir nesneden veya bir iletkenin akarken çevresinde oluşturduğu etkilerden birisi de manyetik alandır [4-6]. Bu manyetik alanın en etkili olabileceği durumlardan birisi, yıldırım akımının bir indirme iletkeninden akarken yakınındaki iletkenlerde ve kablolarla, yarattığı manyetik alan nedeniyle endüklediği gerilimlerdir [7, 8]. Bu gerilimler, yapının çalışmasını bozabileceği, yapıya hasar verebileceği gibi, bu iletkenlerle teması olacak insanlar için de tehlikeli olabilir [9, 10]. Özellikle indirme iletkenine paralel, yakındaki kablolarla bu etkinin daha çok görüleceği açıktır. Bu çalışmada, bir yapının dış duvarı yüzeyinden 10 cm uzakta yerleştirilmiş bir indirme iletkeninden 5 kA ile 25 kA arasında farklı genliklerde yıldırım akımları geçmesi durumunda, duvarın arkasında, bina içindeki bir kabloda manyetik alanın etkileri incelenmiştir. Yine bu kapsam içinde, indirme iletkeni ile kablo arasındaki uzaklık değiştiğinde manyetik alandaki değişim miktarı

araştırılmıştır. İncelemeler, elektromanyetik alanların sayısal olarak incelenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan sonlu elemanlar yöntemi (SEY) [11] ile yapılmıştır. İnceleme analitik olarak yapılmak istenseydi alan dağılımını çıkarmak farklı etkenlerin etkisini göz önüne almak olanaksız veya çok zor olacağı için böyle bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle bu çalışmada incelenen problemlerin çözülmesinde, FEMM 4.2 (Finite Element Method Magnetics Version 4.2) adlı, açık kodlu bir bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bu bilgisayar programı, sonlu elemanlar ağı oluşturmada üçgen sonlu elemanlar kullanan ve üçgen elemanlar içinde birinci derece yaklaşım işlevleri kullanarak çözümleme yapan bir programdır.

Bu çalışmadaki incelemeler, aşağıdaki varsayımlarla yapılmıştır:

- İndirme iletkeni olarak 50 mm² kesitli, öz direnci $\rho_{cu} = 58 \Omega.m$ olan som bakır kullanılmıştır.
- Bina içindeki kablo olarak 2,5 mm² kesitli, öz direnci $\rho_{cu} = 58 \Omega.m$ olan, tek damarlı, bakır iletkenli, PVC yalıtkanlı kablo göz önüne alınmıştır.
- Kablonun PVC (Polivinilklorür) yalıtkanı için bağıl manyetik geçirgenlik $\mu_r = 1$ alınmıştır.
- İndirme iletkeni ile bina içindeki kablo arasındaki duvar için bağıl manyetik geçirgenlik $\mu_r = 1$ alınmıştır.
- Yıldırımaktan 5 kA, 10 kA, 15 kA, 20 kA ve 25 kA akım geçmesi durumları için ayrı ayrı incelemeler yapılmıştır.
- İncelenen her durumda bina içindeki kablodan 10 A akım aktığı varsayılmıştır.
- İndirme iletkeninin binanın dış duvarı yüzeyinden 10 cm uzakta, duvara paralel olarak, bina çatısından zemine kadar tutturularla sabitlenmiş olduğu düşünülmüştür.

Bu varsayımlarla oluşturulan modellerin sonlu elemanlar yöntemiyle elektromanyetik alan analizleri yapılmıştır. Aşağıda incelenen farklı durumlar ve sonuçları verilmiştir.

2.1. Kablonun Duvar İçinde veya Dışında Olması Durumu

Bu incelemede indirme iletkeni ile kablonun, birbirine paralel ve olabilecek en yakın konumda (incelenen durum için, indirme iletkeninin duvardan uzaklığı 10 cm, duvar kalınlığı 20 cm yani aralarında toplam 30 cm uzaklık var) iken, bina içindeki kablonun

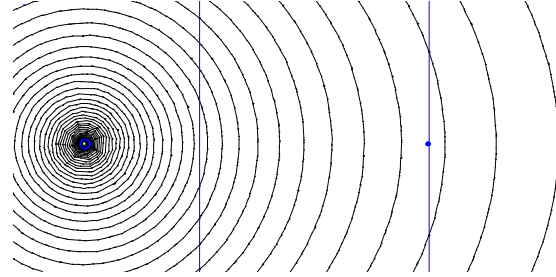
a) Duvarın içinde (Şekil 2) ve

b) Duvarın üzerinde (Şekil 3)

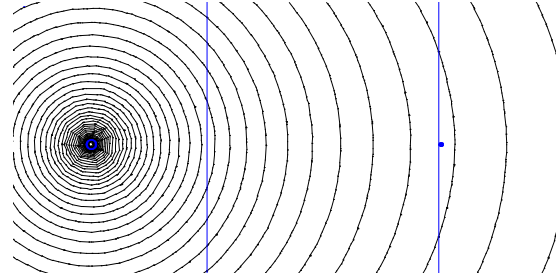
olması durumları incelenmiştir. İncelemede, indirme iletkeninden akan akım 5 kA'den 25 kA'ye kadar 5 kA'lık basamaklarla değiştirilerek her bir akım değeri için kablodaki manyetik endüksiyon değeri elde edilmiştir. Çizelge 1'de hesaplanan değerler, Şekil 4'te de bu bilgilerle çizilmiş grafikler verilmiştir.

Çizelge 1: Kablo konumuna göre değişen akımla kabloda oluşan manyetik endüksiyon değerleri.

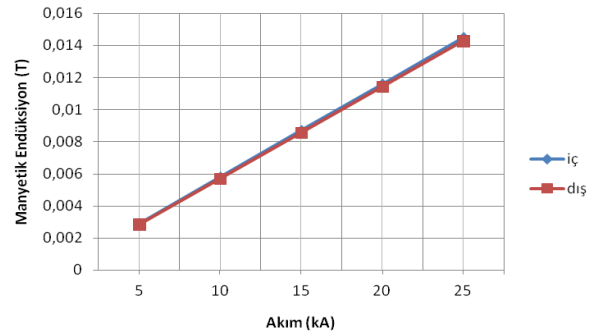
Kablo Konumu	Manyetik Endüksiyon B (T)				
	5 kA	10 kA	15 kA	20 kA	25 kA
Dış	0,002849	0,005709	0,008569	0,011429	0,014289
İç	0,002867	0,005770	0,008674	0,011577	0,014480



Şekil 2: Bina içindeki kablonun duvarın içinde olması durumunda manyetik alan dağılımı.



Şekil 3: Bina içindeki kablonun duvarın üzerinde olması durumunda manyetik alan dağılımı.

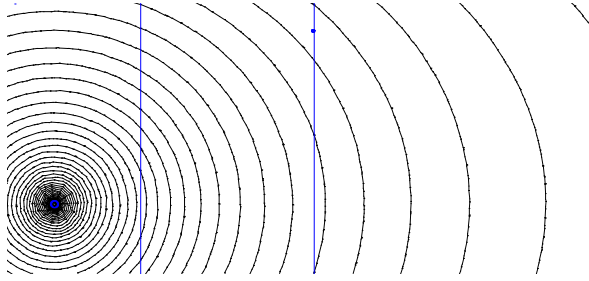


Şekil 4: Bina içindeki kablonun, duvarın içinde ve dışında olması durumlarında, indirme iletkeninden geçen akımla kablo üzerindeki manyetik endüksiyon değerinin değişimi.

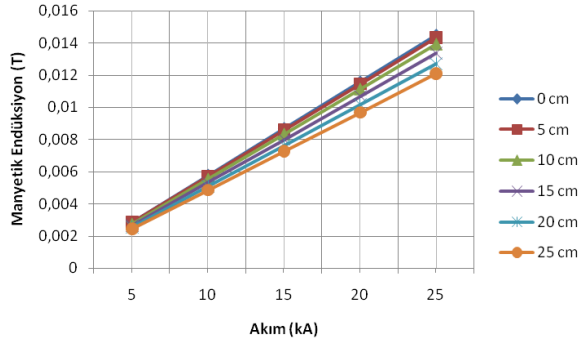
Şekil 4'te görüldüğü gibi, indirme iletkeninden geçen akımın artmasıyla, kablonun bulunduğu noktada oluşturulan manyetik endüksiyon doğrusal olarak artmaktadır. Artışın sayısal olarak miktarı veya oranı Çizelge 1'den elde edilebilir. Örneğin 5 kA için $B = 0,002849$ T ve 25 kA için $B = 0,014289$ T olduğundan manyetik endüksiyondaki artış, akımdaki artış oranı gibi yaklaşık 5 kat olmuştur. İncelenen durumda kablonun duvarın içinde veya dışında olması, kablonun indirme iletkeninden uzaklığını fazla değiştirmedikten elde edilen manyetik endüksiyon değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur.

2.2. İndirme İletkeni ile Kablo Arasındaki Uzaklığın Değişimi

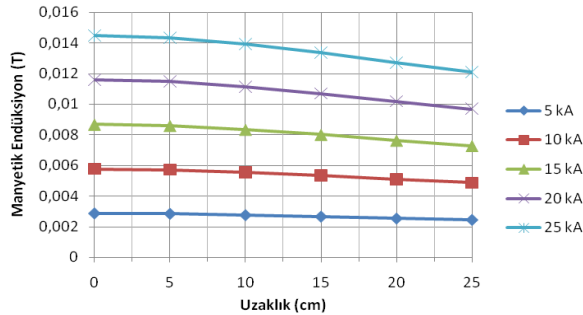
İncelemenin bu bölümünde, indirme iletkeni ile kablo arasındaki uzaklığın değişmesi durumunda (Şekil 5), değişen yıldırım akımı değerleri için kabloda oluşan manyetik endüksiyon ve manyetik alan şiddeti hesapları yapılmıştır. Bu incelemelerde kablo, duvarın içinde kabul edilmiş; indirme iletkeni ile kablonun aynı hizada olduğu durum 0 cm olarak alınmış, sonraki uzaklıklar bu referansa göre düşeyde 5 cm ile 25 cm'ye kadar 5 cm adımlarla öteleme olarak alınmıştır. 0 cm alınan durum, kablonun indirme iletkeninden 30 cm uzakta olduğu durumdur. Farklı uzaklıklarda kabloda oluşan manyetik endüksiyonun yıldırım akımı değeri ile değişimi Şekil 6'da; farklı akımlarda kabloda oluşan manyetik endüksiyonun uzaklıkla değişimi de Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Kablo ile indirme iletkeni arasında uzaklığın artması durumunda manyetik alan dağılımı.



Şekil 6: Kablo ile indirme iletkeni arasında 6 farklı uzaklıkta indirme iletkeninden geçen akımla kablo üzerindeki manyetik endüksiyonun değişimi.



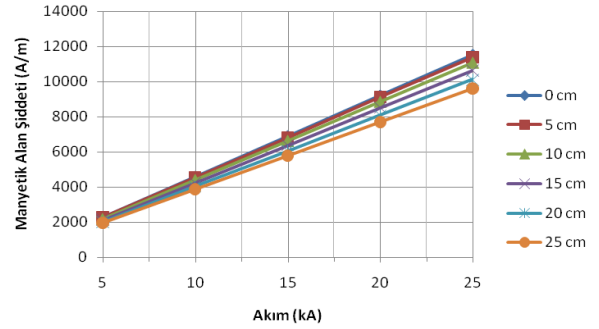
Şekil 7: İndirme iletkeninden geçen akımın 5 farklı değeri için kablo ile indirme iletkeni arasındaki uzaklıkla kablodaki manyetik endüksiyonun değişimi.

Bu şekiller, Çizelge 2'de verilen SEY ile hesaplanan değerlerle çizilmiştir.

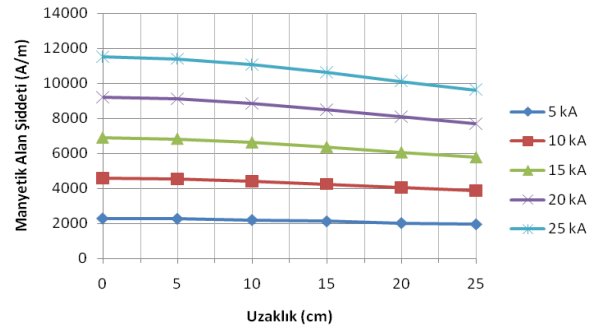
Çizelge 2: Farklı uzaklıklarda, değişen akımla kabloda oluşan manyetik endüksiyon değerleri.

Uzaklık	Manyetik Endüksiyon B(T)				
	5 kA	10 kA	15 kA	20 kA	25 kA
0 cm	0,002867	0,005770	0,008674	0,011577	0,014481
5 cm	0,002844	0,005716	0,008588	0,011460	0,014332
10 cm	0,002756	0,005546	0,008335	0,011125	0,013914
15 cm	0,002659	0,005333	0,008006	0,010680	0,013354
20 cm	0,002535	0,005081	0,007626	0,010171	0,012716
25 cm	0,002447	0,004859	0,007271	0,009682	0,012094

Manyetik endüksiyon hesaplarının yapıldığı aynı koşullarda, farklı uzaklıklarda kablonun bulunduğu yerde oluşan manyetik alan şiddetinin yıldırım akım değeri ile değişimi Şekil 8'de; farklı akımlarda kablonun bulunduğu yerde oluşan manyetik alan şiddetinin uzaklıkla değişimi de Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu şekiller, Çizelge 3'de verilen SEY ile hesaplanan değerlerle çizilmiştir.



Şekil 8: Kablo ile indirme iletkeni arasında 6 farklı uzaklıkta indirme iletkeninden geçen akımla kablo üzerindeki manyetik alan şiddetinin değişimi.



Şekil 9: İndirme iletkeninden geçen akımın 5 farklı değeri için kablo ile indirme iletkeni arasındaki uzaklıkla kablodaki manyetik alan şiddetinin değişimi.

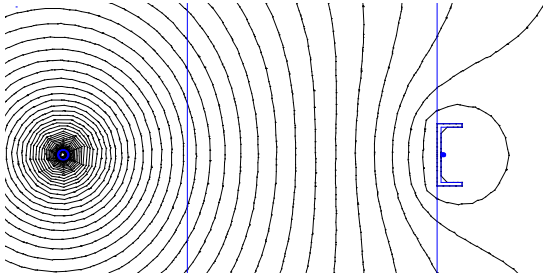
Çizelge 3: Farklı uzaklıklarda, değişen akımla kablodaki manyetik alan şiddeti değerleri.

Uzaklık	Manyetik Alan Şiddeti H (A/m)				
	5 kA	10 kA	15 kA	20 kA	25 kA
0 cm	2281,42	4591,93	6902,44	9212,96	11523,5
5 cm	2262,86	4548,42	6834,01	9119,6	11405,2
10 cm	2193,16	4413,01	6632,89	8852,78	11072,7
15 cm	2115,96	4243,61	6371,27	8498,94	10626,6
20 cm	2017,45	4042,91	6068,39	8093,88	10119,4
25 cm	1947,02	3866,32	5785,66	7705	9624,34

Şekil 6 ve Şekil 8’den görüldüğü gibi, indirme iletkeninden geçen akımın artmasıyla, kablonun bulunduğu noktada oluşturulan manyetik endüksiyon ve manyetik alan şiddeti doğrusal olarak artmaktadır. Buna karşılık, beklendiği gibi, indirme iletkeni ile kablo iletkeni arasındaki uzaklık arttıkça kablonun bulunduğu noktada oluşturulan manyetik endüksiyon ve manyetik alan şiddeti, Şekil 7 ve Şekil 9’dan görüldüğü gibi yaklaşık doğrusal olarak yavaşça azalmaktadır.

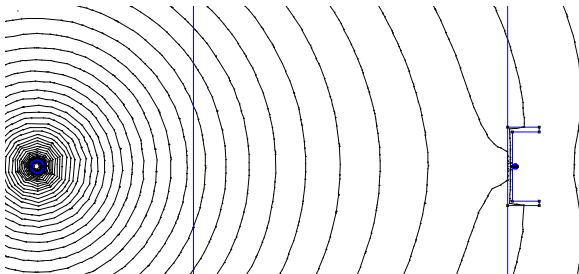
2.3. Kablonun Metal Kablo Kanalı İçinde Bulunması Durumu

Bu kısımda, kablonun 4 mm kalınlığında metal kablo kanalı içinde bulunması ve metal kablo kanalının topraklanmış olması ($A = 0$) (Şekil 10) ve topraklanmamış olması (Şekil 11) durumlarında, indirme iletkeninden 25 kA yıldırım akımı akarken kablonun bulunduğu noktada oluşan manyetik endüksiyon ve manyetik alan şiddetleri ve dağılımları hesaplanarak incelenmiştir.



Şekil 10: Kablonun topraklı metal kablo kanalı içinde olması durumunda, indirme iletkeninden 25 kA geçen manyetik endüksiyonun değişimi.

Kablonun topraklanmış metal kablo kanalı içinde bulunması durumunda, kablonun bulunduğu konumda SEY ile $|B| = 0,0074495$ T ve $|H| = 5928,14$ A/m hesaplanmıştır. Kablo kanalı yokken aynı noktadaki $|B| = 0,014481$ T ve $|H| = 11523,5$ A/m olduğundan kablo kanalının varlığı, alan değerlerini yaklaşık yarı yarıya düşürmüştür.



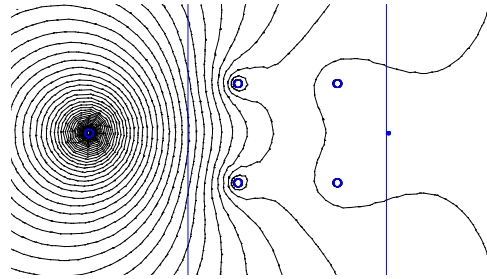
Şekil 11: Kablonun metal kablo kanalı içinde olması durumunda, indirme iletkeninden 25 kA geçen manyetik endüksiyonun değişimi.

Kablonun topraklanmamış metal kablo kanalı içinde bulunması durumunda, kablonun bulunduğu konumda SEY ile $|B| = 0,0008630$ T ve $|H| = 686,783$ A/m

hesaplanmıştır. Kablo kanalı yokken aynı noktadaki $|B| = 0,014481$ T ve $|H| = 11523,5$ A/m olduğundan topraklanmamış kablo kanalının varlığı, alan değerlerini yaklaşık %95 düşürmüştür.

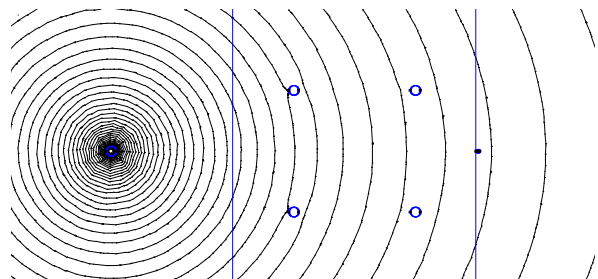
2.4. İndirme İletkeni ile Kablo Arasına Bina Kolon Çelik Donatılarının Gelmesi Durumu

Bu kısımda ise indirme iletkeni ile kablo arasında bina kolon çelik donatılarının gelmesi ve çelik donatının topraklanmış olması ($A = 0$) (Şekil 12) ve topraklanmamış olması (Şekil 13) durumlarında, indirme iletkeninden 25 kA yıldırım akımı akarken kablonun bulunduğu noktada oluşan manyetik endüksiyon ve manyetik alan şiddetleri ve dağılımları hesaplanarak incelenmiştir. Çelik donatının, bir karenin köşelerine yerleştirilmiş 4 adet, daire kesitli (yuvarlak) çelik çubuktan oluştuğu varsayılmıştır.



Şekil 12: Kablo ile indirme iletkeni arasında topraklı çelik donatılar varlığında, indirme iletkeninden 25 kA geçen manyetik endüksiyonun değişimi.

Kablo ile indirme iletkeni arasında topraklanmış çelik donatıların varlığında, kablonun bulunduğu konumda SEY ile $|B| = 0,0011212$ T ve $|H| = 892,243$ A/m hesaplanmıştır. Çelik donatılar yokken aynı noktadaki $|B| = 0,014481$ T ve $|H| = 11523,5$ A/m olduğundan çelik donatıların varlığı, alan değerlerini yaklaşık %92 düşürmüştür.



Şekil 13: Kablo ile indirme iletkeni arasında çelik donatılar varlığında, indirme iletkeninden 25 kA geçen manyetik endüksiyonun değişimi

Kablo ile indirme iletkeni arasında topraklanmamış 4 adet çelik telden oluşan donatıların varlığında, kablonun bulunduğu konumda SEY ile $|B| = 0,014309$ T ve $|H| = 11386,6$ A/m hesaplanmıştır. Çelik donatılar yokken aynı noktadaki $|B| = 0,014481$ T ve $|H| = 11523,5$ A/m olduğundan çelik donatıların

varlığı, alan değerlerini yaklaşık %2 kadar düşürmüştür.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yıldırımılık indirme iletkenlerinden yıldırım akımı geçişi sırasında, indirme iletkeni yakında bulunan bina içi kablolarda, yıldırım akımının elektromanyetik alan etkisi düzeyleri, SEY ile yapılan sayısal hesaplarla incelenmiştir. Bu çalışmada ele alınan manyetik endüksiyon ve manyetik alan etkilerinin bina içindeki bir kabloda artan akımla artan, buna karşılık artan uzaklıkla azalan etkiye sahip olduğunu, alan dağılımı ve değerleri ile görmek olanağını vermiştir. Bu sunulan bilgi, indirme iletkenlerini ve kabloları döşerken göz önüne alınarak manyetik kuplajı dolayısıyla etkileşimi en aza indirerek çalışmak veya çalıştırmak için bir öneri veya bir kılavuz olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] IEC 62305-4 Protection against lightning, Part 4: Electrical and electronic systems within structures, First edition, 2006-01.
- [2] IEC 60364-4-44:2001, Electrical installations of buildings – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances
- [3] M. A. Uman, *The Lightning Discharge*, Academic Press, San Diego, 1987.
- [4] V. A. Rakov, Lightning electric and magnetic fields, in *Proc. 13th Int. Zurich Symp. on Electromagnetic Compatibility*, Zurich, Switzerland, 1999, pp. 561-566.
- [5] V. A. Rakov, Lightning electromagnetic fields: Modeling and measurements, in *Proc. 12th Int. Zurich Symp. on Electromagnetic Compatibility*, Zurich, Switzerland, 1997, pp. 59-64.
- [6] J. M. Cvetic and B. V. Stanic, LEMP calculation using an improved return stroke model, in *Proc. 12th Int. Zurich Symp. on Electromagnetic Compatibility*, Zurich, Switzerland, pp. 77-82, 1997.
- [7] L. M. Scott, K. E. Susan, N. K. Ivica and E. T. Niescja, The Magnetic field induced by a lightning strike's indirect effect double exponential current waveform, *Journal of Mathematics and Statistics*, 6 (3): 221-225, 2010.
- [8] Sower, G., Lightning radial electric fields and their contribution to induced voltages, *IEEE Symposium on EMC*, 1999.
- [9] Flisowski, Stanczak, Kuca, Mazzeti, Orlandi, Yarmarkin, Induced currents and voltages inside LPS models due to lightning current, 23rd ICLP, Firenze, 1996.
- [10] Noda, Takami, Nagaoka, Amantani, Basic investigation of lightning induced voltages to an electronic appliance, 23rd ICLP, France, 1996.
- [11] M. N. O. Sadiku, *Elements of Electromagnetics*, Orlando, Florida, 1994.

ELEKTRİKSEL RİSK ANALİZİNDE PERİYODİK KONTROL ve ÖLÇÜMLERİN TEHLİKE ÖNLEYİCİ ETKİLERİ

Elektrik Mühendisi **Mehmet Ferit PEKEROĞLU**
Mavi Bilge Mühendislik Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti.
peker@elpekmuhendislik.com

Anahtar Kelimeler: Risk Analizi, Elektriksel Periyodik Kontroller, Periyodik Ölçüm, Tehlike.

ÖZET

4857 sayılı İş Kanunu; işverenlere, işyerinde yapılan işlerin özelliklerini dikkate alarak, kullanılacak iş ekipmanının, kimyasalların seçimi, işyerindeki çalışma düzeni gibi konular da dahil olmak üzere çalışanların sağlık ve güvenliği yönünden tüm riskleri değerlendirmek zorunda olduklarını 78. maddesine dayanılarak çıkarılan yönetmeliklerle de hükme bağlamıştır. Nitekim İş Kanununa istinaden yürürlükte olan bazı yönetmeliklerin ilgili maddeleri gereğince işverenler düzenli olarak risk değerlendirmesi yapmakla yükümlüdürler.

Risk değerlendirmesi çalışmalarında tehlike ve risk kavramlarını tanımlamak gerekirse;

Tehlike : Bir şeyin zarar verme potansiyelidir.

Risk : Bir tehlikeye maruz kalma sonucunda hasar, sakatlık veya hastalık geçirme olasılığını ve bunların sonucunda ortaya çıkacak şiddeti ifade eder.

Risk değerlendirmesinin başlıca amacı çalışanların sağlığını ve güvenliğini korumaktır. Kısacası işletmelerin çalışma koşullarındaki her türlü sağlık ve tehlikeyi azaltmak, bu etkileri en aza indirmektir. Ayrıca tüm proseslerde, riskin büyüklüğünü tahmin etmek ve riske karşı tahammül edilip edilemeyeceğine karar vermektir. Yani işletmelerde olası meslek hastalığı ve kazaların farkına varılmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede tespit edilen tehlikelerin ve meydana getirebileceği zararlar üzerinde daha etkili tedbirler alınması sağlanır. Dolayısıyla mevcut önleyici tedbirler ile seçilen çalışma şekli ve üretim yöntemleri, çalışanların sağlık ve güvenliği yönünden korunma düzeyini yükseltmeli ve işyerinin idari yapılanmasının her kademesinde uygulanmalıdır.

Risk değerlendirmesi aşağıda belirtildiği en temel haliyle beş aşamada değerlendirilir.

1. **Aşama :** Bilgi Toplamak
2. **Aşama :** Tehlikeleri Belirlemek
3. **Aşama :** Tehlikelerden Doğan Riskleri Belirlemek
4. **Aşama :** Riskleri Ortadan Kaldırmak

5. Aşama : Değerlendirmeleri Raporlamak

OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim sistemine sahip kuruluşlarda yılda bir kez risk değerlendirmesi yapılması tavsiye edilmektedir.

Sadece OHSAS 18001 Yönetim Sistemine sahip kuruluşlarda değil, tüm çalışma ortamlarının daha sağlıklı, güvenli olmasını ve mevcut tehlikelerinizi kontrol altına alınması için risk değerlendirmesi büyük fayda sağlamaktadır.

Kuruluşların her türlü önlemi almasına rağmen, olası bir kaza ve acil durumla karşı karşıya kalması daima mümkündür. Etkin bir acil durum planıyla bu tür durumlarda yapılacaklar önceden öngörülür, meydana gelebilecek muhtemel hastalık, yaralanma ve hasar azaltılır, kaza ve yaralanmalar önlenir, çevre sakinlerinin can ve mal güvenliği sağlanmış olur.

Kuruluşlar tüm çalışanlarını acil durum öncesi, acil durum anında ve sonrasında yapılacak çalışmalarda görev, yetki ve sorumluklarını, tahliye ve müdahale yöntemlerini içerecek bir acil durum planı hazırlamak zorundadır. Nitekim kaza ve acil durumlarla ilgili düzenlemeler “Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmeliği”nin 9. maddesinde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Çevre Kanununun 20. maddesinde de acil durum planları ile ilgili, "Faaliyetleri nedeniyle çevreye olumsuz etkileri olabilecek kurum, kuruluş ve

işletmeler tarafından, faaliyetlerine ilişkin olası bir kaza durumunda, kazanın çevreye olumsuz etkilerini kontrol altına almak ve azaltmak üzere uygulanacak acil durum planları hazırlanması zorunludur...." hükmü yer almaktadır. Aksi halde idari para cezası öngörülmüştür.

Bu bağlamda belli aralıklarla tatbikat ve eğitimler kapsamlı biçimde yapılmalıdır. Ayrıca gerekli teçhizatların daima kontrollü biçimde bulundurulması ve sistematik biçimde denetlenmesi gerekmektedir. Nitekim tüm detayları düşünülmüş bir acil eylem yönetim planı sayesinde can, mal ve iş kaybı en asgari seviyeye düşürülebilir.

Konusunda uzman teknik ekipler, işletmelerin bu tür ihtiyaçlarını karşılayacak kapsamlı Acil Durum Planlarını işletme koşullarına ve yasal mevzuatlara uygun biçimde hazırlamalıdır.

Tesislerde oluşabilecek muhtemel kazalar, yaralanmalar, hasarlar ve can kayıpları önlenabilir. Çevre sakinlerinin de can ve mal güvenliği sağlanmış olur.

Acil Durum Planları açısından da en büyük önemi taşıyan elektriksel riskler, İş Sağlığı ve Güvenliği Tüzüğü, Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik, İşyeri ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik (RG-25369) vb. tüzük ve yönetmeliklerde dikkat edilmesi gereken en hassas husustur.

Genel olarak, iş kazalarında birinci sırada yer alan elektriksel donanımlardan kaynaklanan kazalardır. Yine aynı şekilde, kazalar sonucu meydana gelen maddi/manevi kayıplarda elektriksel donanımlardan kaynaklı olanlar ilk sırada yer almaktadır. Mevcut durumların aşikarlığı gerekçeleri de göz önüne alınarak, elektriksel risklerin iyi analiz edilip gerekli tedbirler kaza oluşumuna sebep doğurmaksızın alınmalıdır.

Bugün iş kazalarında en önemli rolü üstlenen elektriksel donanımlardan kaynaklanan kazaların sonuçları da yine en önemli kayıpları meydana getirmektedir. Dolayısıyla üzerinde durulması gereken en önemli risk grubu olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda her tesiste risk değerlendirmesi yapılırken elektrifikasyon başlığı büyük önem arz etmelidir.

Günümüzde her yıl 250 milyon iş kazası meydana gelmektedir. Bu veri Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafınca resmi olarak yayımlanmıştır. 160 milyon işçi yaptığı iş nedeniyle hastalanmakta, 32 milyon işçi iş kazaları nedeniyle yaralanmakta ve 1,2 milyon işçi ise iş kazası ve meslek hastalıkları sonucu hayatını kaybetmektedir.

Özellikle sanayi tesislerinde iş sağlığı ve güvenliği esasına dayanarak periyodik kontroller düzenli olarak yapılmalıdır. Konuyla ilgili en önemli periyodik kontroller şüphesiz elektriksel kontrollerdir. Elektriksel periyodik kontroller, gerek yasal mevzuatların gerekliliği, gerekse de iş emniyeti (teknik emniyet) açısından ilgili yasa ve yönetmeliklerce belirlenen takvimlerde periyodik olarak yapılmalıdır.

Periyodik Kontrol:

İşletmelerde kullanılmakta olan tüm teçhizat ve tertibatın insan sağlığına ve güvenliğine zarar vermemesi için yapılması gerekli kontrollerdir.

Periyodik kontroller; mekanik kontroller, elektriksel kontroller, çevresel etki değerlendirme, yapı kontrolleri ve benzeri gibi genel başlıklar altında sınıflandırılabilir. Bu bağlamda kontroller kendi alanlarında deneyimli ve yetkilendirme belgelerine sahip uzmanlar tarafından, kalibrasyon raporları bulunan cihaz ve ekipmanlar aracılığıyla yapılmalıdır.

Periyodik Kontrollerin Gerekliliği:

- İş kazalarının önüne geçmek,
- Makine, cihaz ve sistemlerin güvenli olarak kullanılmasını sağlamak,
- Verimli çalışma koşullarını düzenlemek,
- Makine ve sistemlerin ömrünün uzamasına katkıda bulunmak,
- İnsan-makine-çevre ilişkisine katkıda bulunmak,
- Çevre kirlenmesinin önüne geçebilmek,
- Üretim verimlendirilmesine katkıda bulunmak,
- İş kazalarının önlenerek, iş güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunmak,
- Sağlıklı iş yaşamlarının oluşturulması, huzurlu ve temiz bir çevrenin sağlanması ve dolayısıyla memleket ekonomisine ve kaliteli ürün/üretim destek demektir.

Doğrudan ve/veya dolaylı sebeplerle sağladığı ehemmiyet açısından periyodik kontroller büyük gereklilik göstermektedir.

Periyodik kontroller kapsamında ilgili tesislerde yapılan periyodik ölçümler, olası tehlikelere karşı en belirgin önleyici faaliyetlerdir. Periyodik ölçümler ise ilgili standartlarca belirlenen ölçüm tarihlerine riayet edilmesi durumlarında tehlikeyi azami değerlere düşürecektir.

Bu sebeple periyodik ölçümlerin uygulanmasında ölçüm uzmanlarının ölçüm kural ve tekniklerine büyük özen göstermeleri gerekmektedir. Konusunda ehil muayene sorumluları muayene esaslarına tesisin faaliyet alanlarını da göz önünde bulundurarak gerekli incelemeleri yapmalıdır.

Elektriksel periyodik kontroller kapsamında;

- Elektrik Topraklama Ölçümleri,
- Elektrik Pano Topraklamaları,
- Makine Topraklamaları,
- Jeneratör Topraklamaları,
- İşletme Topraklamaları,
- Koruma Topraklamaları,
- Trafo Topraklamaları.
- Yıldırımdan Koruma Tesisat Ölçümleri,
- Trafo Yağ İzolasyon Ölçümleri,
- Aydınlik Şiddeti Ölçümleri,
- Katodik Koruma Ölçümleri,
- Elektrik Tesisat Kontrol ve Ölçümleri.

Ve benzeri ölçümler ilgili tesislerde çeşitli elektriksel kontrol yöntemleri (Termal Kamera, İnfrared Termometre yöntemleri gibi) ve bilimum ölçüm cihazları ile yapılarak detaylı raporlamaları yapılmalıdır.

Elektriksel risklerin tayini ve aksiyonlarının oluşturulmasında en etken kılavuz şüphesiz ki elektriksel ölçümler olmalıdır.

Ölçüm sonuç değerleri ilgili yasa ve yönetmeliklerle belirlenmiş değer aralıklarına uygun olup olmaması bakımından yorumlanarak iyileştirme planları oluşturulmalıdır. Bu kapsamda yapılan tüm ölçümler tehlike önleyici etkenlerdir.

Olası tehlike durumlarında can ve mal güvenliği açısından büyük önem arz eden elektriksel sistemler, ölçüm değerlendirmeleri kapsamında tehlike önleyici faaliyetlere rehberlik etmektedir. Konuyla ilgili ölçüm sonuçlarının iyi analiz edilerek tehlike öncesi iyileştirmelerin yapılması ilgili tesis için son derece katma değer yaratacak bir çözümdür.

Tesislerde risk analizleri yapılırken en önemli başlığın elektriksel sistemler olması ve olası riskler neticesinde doğabilecek tehlikeli durumların da yine ilk sırada gelmesi göz önünde bulundurulursa; elektriksel periyodik kontrol ve ölçümlerin gerekliliği büyük ehemmiyet arz etmektedir.

Elektriksel periyodik kontroller kapsamında;

Aydınlik Şiddeti Ölçümleri Sonucu:

- İyi aydınlatma neticesinde iş akışında verimlilik ve iyileşme,
- Üretim hatalarında azalma,
- Operatörde kişisel memnuniyet, göz sağlığı,
- Makine ve çevreye duyarlılık dolayısıyla iş kazalarında azalma,
- İşe ve verimliliğe duyarlılık gibi olumlu etkiler oluşmaktadır.

Sadece aydınlık şiddeti ölçümleri sonucunda işletmeye bu kadar katkı sağlanabilmesi elektriksel ölçümlerin faydalı etkilerinin ayrı bir göstergesidir.

Periyodik kontrol ve ölçümler, çokça işletme ekonomisi açısından ek külfet/gereksiz masraf gibi değerlendirilse de işletmeye doğrudan ve/veya dolaylı olarak sağladığı ekonomik katkısı daha sonra açıklık kazanmaktadır.

Konuyla ilgili işletmelerin daha fazla bilgi ve bilinçle desteklenmesi de en az uygulama kısmı kadar ehemmiyetlidir. Bu kapsamda özellikle sanayi tesislerinde periyodik kontrol eksiklerinden kaynaklanan tehlike halleri ve kayıplar iyi analiz edilerek bilgilendirmeler yapılırken iyi açıklanmalıdır.

En küçük hata durumlarının dahi neredeyse kabul edilemeyeceği işletmelerde (hastaneler, kimya tesisleri, akaryakıt tesisleri, patlama riski yüksek tesisler vb.) periyodik kontroller daha sık yapılmalıdır.

Periyodik kontrollere ait ilgili yasa ve yönetmeliklerce belirtilen ölçüm periyotları haricinde ilgili tesislerin faaliyet konuları mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Yoğun çalışma koşullarına sahip tesisler, tesis içi yerleşim planlarında sürekli ya da sık değişikliklerde bulunan tesisler, riskli (kimya tesisleri, hassas üretimler vb.) tesisler periyodik ölçümlerini kendi risklerini daha yakından tanıdıklarından gerek uzmanlardan destek alarak, gerekse de kendi iç tüzükleriyle belirleyecekleri ölçüm takvimlerine göre daha sık yaptırılmalıdır.

Elektriksel risk analizi yapılan tesislerde elektriksel sistemlere yönelik eksiklikler ve bu eksiklikler ve/veya bu eksikliklerden kaynaklı tüm olumsuz sonuçlar da değerlendirilir.

Sonuçların değerlendirilmesiyle iyileştirme planları /çalışmaları başlatarak tesislere elektriksel anlamda tehlike önleyici katkılar sağlanmaktadır.

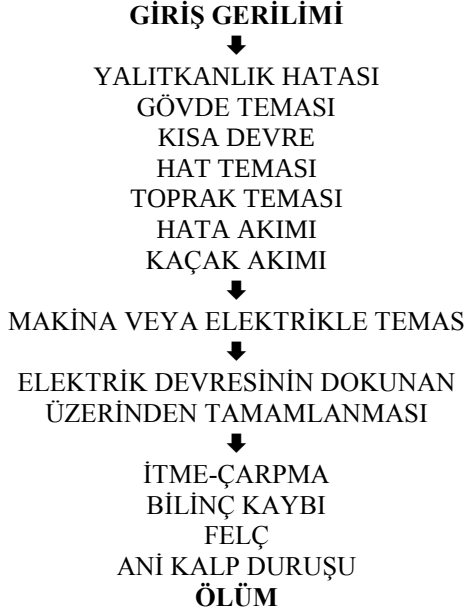
Bu bağlamda, işletmelerde kaza, yangın, verimsizlik vb. gibi durumlar önlenmektedir. Kısacası can ve mal kayıpları küçük detaylarla önlenmiş olmaktadır.

Akım taşıma kapasitesinden yüksek değerlerde akım taşıyan ve bu sebeple aşırı ısınarak yangına sebebiyet doğuran bir elektrik panosu, yangın sonucu yüksek maliyetli iyileştirmeler gerektirir.

Bu tehlike öncesinde ilgili panoda termal kamera ve/veya çeşitli çözümlerle ölçüm ve kontrollerin gerçekleştirilmesi ile (elektriksel risk analizi ile) tesise ve çevreye (buna ülke ekonomisi de dahil olmak üzere) büyük katkı sağlanabilmektedir.

Elektriksel kazalarda gerilime maruz kalınması ile başlayan süreç can ve mal kayıplarına kadar ulaşabilmektedir.

Elektrik Kazalarının Meydana Gelme Sıklığı



Elektrik tesisat kontrolleri sırasında, kaçak akım kontrolleri, yalıtım hataları, kısa devre durumları, toprak temaları, kablo kesit kontrolleri, kablo taşıma sistemlerinin sağlamlıkları, koruma elemanlarına ait değer uygunluk ve uygunsuzlukları, kırık /çatlak /uygunsuz malzeme kullanımları ve benzeri sayısız kontrol ve tetkikler yapılarak elektriksel tüm risk analizi yapılmalıdır. Risk analizi çalışmalarında elektriksel kazaların oluşum nedenleri de belirlenmektedir.

1	Yalıtım hatalarından oluşan kazalar	% 23
2	Makine yakınındaki elektrik kaçağı ile madeni kısımlarının elektriklenmesi sonucu oluşan kazalar	% 26
3	Enerji iletim hatlarıyla temas sonucunda oluşan kazalar	% 20
4	Elektrik direkleri üzerinde veya yakınında oluşan kazalar	% 12
5	Gerilim yakınındaki işlerde oluşan kazalar	% 5,5
6	Patlama sonucu oluşan kazalar	% 5,9
7	Elektrik kısa devreler sonucu yangın	% 7,6

Elektriksel risklerin belirlenmesi ve iyileştirme çalışmalarına başlanmasıyla bu çalışmaların düzenli takip ve incelemeleri yine konusunda uzman, yetkilendirme belgelerine sahip elektrik mühendisleri tarafınca yapılmalıdır.

Periyodik ölçümlerin yapılması ve iyileştirme çalışmalarının devamı sırasında şüphesiz ki iş akış şeması ve prosedürler olası riskleri önleme hususunda büyük etken teşkil etmektedir.

Bu bağlamda ölçümleri yapan muayene uzmanı ölçümlerin kapsam ve detaylarına dikkat ederek iş ve teknik emniyet şartlarını (teknik anlamda iş sırasını) belirledikten sonra ilgili kontrol formları oluşturarak bu dizin ve iş emniyeti kurallarına riayet ederek ölçümleri yapmalıdır.

Bu husus mevcut elektriksel riskler haricinde muayene uzmanının dikkatsiz ya da isteği haricinde (üçüncü şahıslar ve/veya çevre koşulları) maruz kalabileceği yeni riskleri ve dolayısıyla tehlikeli durumları ortadan kaldıracaktır.

Kazaların önlenmesinde sadece analiz / ölçüm sonuçları değil aksiyon durumları da göz önünde bulundurulmalıdır.

TEİAŞ İş Güvenliği Yönetmeliği kapsamınca kazaların önlenmesi hususunda Madde 38 – 42 uyarıcı etki üstlenmektedir.

KAZALARIN ÖNLENMESİ

Madde 38- Haberleşme imkanı olmayan tesis, işletme, bakım, onarım, laboratuvar ve test işlerindeki çalışmalarda en az iki kişi bulunacaktır.

Madde 39- Elektrik tesisatındaki tüm değişiklikler yetkili amirin onayından sonra yapılacaktır.

Madde 40- Yapılacak bütün ekip çalışmalarında İş Emri Formu düzenlenecektir. (Ek:7)

Madde 41- Teçhizatla yapılacak çalışmalarda kullanılan araç, gereç ve aletlerin bu işi yapmaya uygun ve güvenli olmasına dikkat edilecektir.

Madde 42- Üç fazlı sistemlerde yapılacak çalışmadan önce ve sonra faz sıraları ve fazların doğru bağlandığından emin olunacaktır. DA sistemlerinde (+) ve (-) potansiyel uçların doğru bağlanmasına dikkat edilecektir.

İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelik (RG-25369) gereğince;

Elektrik tesisatı yangın ve patlama tehlikesi yaratmayacak şekilde projelendirilip tesis edilecek ve

çalışanlar doğrudan veya dolaylı temas sonucu kaza riskine karşı korunacaktır.

Elektrik tesisatı ve koruyucu cihazlar kullanılan voltaja, ortam şartlarına ve yürürlükteki mevzuata uygun olacak, yetkili kişiler tarafından işletilecektir.

Yüksek Gerilim Tesislerinde İş Güvenliği Kapsamı

Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik Yüksek Gerilim Tesisleri **İşletme Sorumluluğu Yönetmeliği** gereğince amaç, elektrik yüksek gerilim tesislerinde, can ve mal güvenliğinin sağlanması, ekonomik kayıpların önlenmesi için gerekli işletme hizmetleri ile bu hizmetlerin yürütülmesini üstlenen işletme sorumlusu elektrik mühendisinin, görev, yetki ve çalışma yöntemlerini düzenlemektir.

Kapsam olarak bu yönetmelik, 1 kV'un üstündeki yüksek gerilim tesislerinin işletme sorumluluğunu üstlenen elektrik mühendislerinin, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca yürürlüğe konulan 30.11.2000 tarihli ve 24246 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği hükümleri çerçevesinde görev, yetki ve yükümlülüklerine ilişkin düzenlemeleri içermektedir.

Gerek yasal, gerek yönetmelik olarak belirli dayanakları bulunan yüksek gerilim sistemlerinde manevra ve çalışmalarda iş güvenliği kesinlikle sağlanmalıdır. İlgili iş kapsamında yapılması gereken sıralı çalışmalar ve uyulması zorunlu kurallar ilgili yönetmelik gereğince detaylı olarak açıklanmıştır.

Yüksek gerilim tesislerindeki tüm çalışmalar, AG tesislerindeki çalışmalardan farklı olarak yük altında olsun-olmasın çok dikkat gerektirmektedir.

Başta yüksek gerilim sistemlerinin çalışma detaylarının çalışmayı gerçekleştirecek şahıslar tarafından iyi öğrenilmesi gerekmektedir. Çalışma alanlarında kesinlikle yetkisiz müdahale engellenmelidir. Yüksek gerilim sistemlerinin kurulu olduğu tesislerde ilgili kısımdan sorumlu mutlaka elektrik mühendisi bulundurulmalıdır.

Tesis içinde yapılan tüm müdahaleler yazılı bir sistemle dosyalanıp düzenli olarak manevra fişleri tutulmalıdır. Önceki müdahaleden habersiz bir sonraki müdahaleyi gerçekleştirecek yetkilinin sağlığı ve iş emniyeti için bu çok önemlidir.

Yüksek gerilim sistem koruma elemanlarının güvenliği ne olursa olsun yüksek gerilim altındaki parça ve iletkenlere yalıtkan eldivenle dahi dokunulması kesinlikle yasaklanmalıdır. Yine benzer şekilde, iletkenler üzerinde kullanıcı sapı yalıtılmış aletlerle dahi müdahale yasaklanmalıdır.

Çalışmayı yapacak olan yetkilinin korunmasını sağlamak amaçlı enerjinin kesilmesi en önemli adımdır. Çalışma ortamının güvenliği ancak enerji kesintisi yapıp, enerji mevcutken aktif olan kısımların özel topraklamaları sağlanarak müdahale gerçekleştirilmelidir. Enerji besleme organlarının devre dışı bırakıldığından kesinlikle emin olunmalıdır. Çalışmanın yapılacağı alan ile kesme cihazları arasında gözle görülemeyen bir mesafe varsa çalışma bitene dek kesme cihazı yanından ayrılmayacak çalışma arkadaşları ile gerçekleştirilmelidir. Özellikle yüksek gerilim sistemlerinde çalışma yapılırken bu önemli bir detaydır. Açma yaptırılan cihaz arızalı olabilir. Farklı olarak çalışmadan habersiz yetkili ya da yetkisiz çalışanlar tarafından müdahale gerçekleştirilmesi çalışma alanını enerjilendirmesi sonucu büyük zararlar ve hatta can kayıpları söz konusu olabilir.

KAYNAKLAR:

1. Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği
2. Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği
3. Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik
4. Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği
5. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği
6. Elektriksel Risk Değerlendirmesi – 2009 Mavi Bilge Y. *Mehmet Ferit PEKEROĞLU*
7. TEİAŞ İş Güvenliği Yönetmeliği

ELEKTRİK ARK FIRINLARINI BESLEYEN ŞEBEKELERDE GERİLİM DALGALANMALARI

Arif MEMMEDOV¹, Rafael HUSEYNOV², Mustafa ŞEKER³

1. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
İnönü Üniversitesi
memmedov@inonu.edu.tr
2. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Cumhuriyet Üniversitesi
huseynov@cumhuriyet.edu.tr
3. Divriği Meslek Yüksek Okulu
Cumhuriyet Üniversitesi
mustafaseker@cumhuriyet.edu.tr

Özetçe

Ark akımının değişimi keyfi karakterli olduğundan, gerilim değişmesi de keyfi karakterli olmaktadır. Buna göre de elektrik ark fırınlarındaki elektriksel prosesleri araştırmak için deneysel incelemelerin yapılması gerekir ve sonuçta olasılık araştırma usulleri kullanılarak, keyfi karakterli yük elemanı gibi elektrik ark fırınlarının çalışma karakteristikleri bulma imkanı olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Elektrik ark fırını(EAF)

1. Giriş

Günümüzde elektrik enerjisi, metalürjide oldukça fazla kullanılan enerji türlerinden biridir. Örneğin elektrik direnç fırınlarında, çeliklerin tavlama ve su verme için ısıtılması, yüksek frekanslı fırınlarda su verme ve tavlama, metallerin eritilme ve oksitleştirilmesinin gerçekleştirilmesi v.b.

Yukarıda belirtilen fırınlarda güç elektroniği elemanları kullanıldığından bu fırınlar yüksek harmonikler üreterek şebeke geriliminin kalitesini bozmaktadır. Ayrıca elektrik ark fırınları değişen parametrelili direnç özelliğine sahip olduğundan şebeke gerilim saptmaları üretir ve bu saptmalar şebekeden beslenen başka yüklerin normal çalışmasına engel olur.

Belirtilen bu durumlara karşılık elektrik ark fırınlarının(EAF) diğer çelik üreten fırınlardan pek çok üstünlükleri mevcuttur[1-2]. Bunlar yüksek alaşımli alet çeliklerini, paslanmayan, ısıya dayanıklı ve ateşe devamlı, aynı anda birkaç konstrüksiyon çeliklerini eritebilme özellikleridir.

Bu konuda daha önce yapılmış çok sayıda araştırma göstermiştir ki, EAF’ da yüksek alaşımli alet çeliklerinin eritilme maliyeti, marten fırınlarında hemin çeliklerinin eritilme maliyetinden çok daha düşüktür.

Çoğunlukla EAF’ larının beslenmesi için sanayi frekanslı AC gerilimler kullanılır. Fırınların gücüne bağımlı olarak gerilim bir veya üç fazlı olabilir.

Arkın kararlı çalışmasında DC gerilim ve akımların kullanılması daha iyi sonuçlar verir. Yarıiletkenler tekniğinin gelişmesi DC gerilimlerin kullanılmasını kolaylaştırmıştır. Her iki durumda kısa devre ve metal eritme işlemlerinin otomatik kontrolü kolay bir şekilde gerçekleştirilir.

2. EAF’ larının Bazı Özellikleri

EAF’ larda ark aralığının iyonlaşmasının değişimi, eritilen metalin buharının, metalin ve curufun erime zamanı hareketi, eritilen metalin yüzeyinde elektrik alan şiddetinin değişimi etkisiyle arkın yer değişmesi, arkın elektromagnetik kuvvetlerin etkisiyle hareketi, elektrotların titreyişi v.b. olaylar, ark akımını değiştiren faktörlerdir. Bu faktörler keyfi karakterli olduklarından akımın değişmesi de keyfi karakterli olur ve;

$$U_{ark}=f(I_{ark}) \quad (1)$$

olduğundan, gerilim değişmesi de keyfi karakterli olur. Bu durumda akım ve gerilim değişimlerini deneme yolu ile incelemek mümkündür. Burada EAF’ daki işlemleri incelemek ve onların şebekeye etkisini küçültmek amacıyla Bakü Çelik Eritme Fabrikasındaki DCII-5 tipindeki EAF’ larından

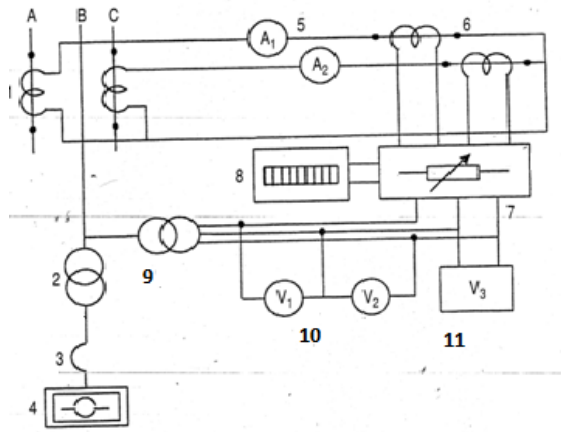
yapılmış deneysel işlemlerin bazıları göz önüne alınmıştır.

2.1.Deneysel İşlemler

Deneyler Şekil-1’ de gösterilen şema ile gerçekleştirilmiştir.

Şemada aşağıdaki cihazlar kullanılmaktadır.

1. Fabrikanın yüksek gerilim girişindeki akım ölçü trafoları,
2. Fırın transformatörü,
3. Kısa devre,
4. DCP-5 ark fırını,
5. Fabrika yüksek gerilim girişindeki ölçü ampermetreleri,
6. И54 akım trafoları,
7. P-155 ilave dirençler ve şöntler,
8. CAKH-1 gerilim kalitesinin statik analizörü
9. 6000/100 gerilim ölçü trafosu,
10. Kontrol voltmetreleri.
11. H-344 kaydedici voltmetre.



Şekil:1 – Cihazların bağlantı şeması

3. Deneme Araştırmaları

Elektrik ark fırınlarındaki prosesler keyfi karakter taşırlar. Örneğin arkın akımını aşağıdaki faktörler belirler;

Ark aralığının iyonlaşmasının değişimi, eritilen metalin buharı, metalin ve şlakın hareketi, eritilen metalin yüzeyinde elektrik alan şiddetinin değişimi etkisiyle arkın yer değiştirmesi, arkın elektromanyetik kuvvetlerin etkisiyle hareketi, elektrotların titreşimi,

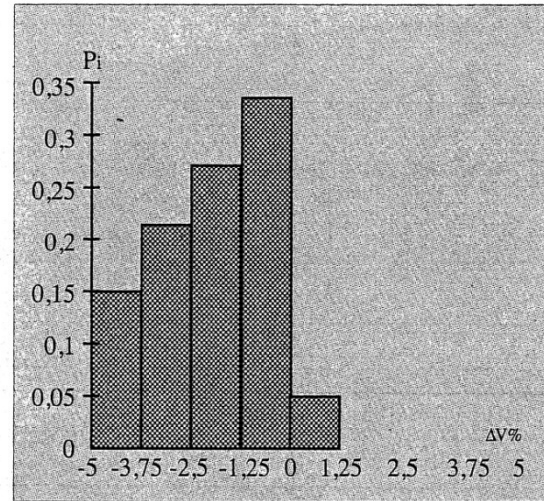
besleyici şebeke gerilimini sapması v.b. bu faktörler arasında gösterilebilir.

Ark akımının değişimi keyfi karakterli olduğundan, gerilim değişmeside keyfi karakterli olmaktadır. Buna göre de elektrik ark fırınlarındaki elektriksel prosesleri araştırmak için deneysel incelemelerin yapılması gerekir ve sonuçta olasılık araştırma usulleri kullanılarak, keyfi karakterli yük elemanı gibi elektrik ark fırınlarının yük karakterlerini bulma imkânı sağlanmaktadır.

AC akım elektrik ark fırınlarının şebeke geriliminin kalitesine etkisini bulmak için, Bakü metal eritme fabrikasında DCA-5 türlü elektrik ark fırınlarının elektriksel karakteristiklerinin bulunması için deneysel işlemler yapılmıştır. Gerilim sapmalarının muhtelif çalışma rejiminde incelenmesi için CAKH-1 türlü gerilim kalitesinin “statik analizörü” cihazı kullanılmıştır.

Şekil-1’ de fabrika yüksek gerilim şebekesinden beslenen 6000/100 V gerilim ölçüm trafosunun(9) sekonder sargısına bağlanmış CAKH-1(8) cihazı gösterilmiştir.

Şekilde fırın trafosu (2), fırın kısa devresi (3) ve EAF (4) aynen göz önüne alınmıştır(Şekil-2)



Şekil 2 –Olasık değerlere göre oluşturulan histogram

Gerilim kalitesinin statik analizatör ile muhtelif çalışma rejiminde ölçme sonuçları gerilim sapmalarını bulmaya imkan vermektedir. Örnek olarak, N3 fırının eritme rejiminde çalışmasında alınan sonuçları göz önüne alırsak.

Her bir aralık için;

$$P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^8 n_i} \quad (2)$$

Göstergesinin olasılığını bularak Tablo 2’yi alıriz.

Tablo 1: N3 elektrik ark fırınlarında deney ölçümünün sonuçları

Sayaçların Numaraları ve ölçüm değerleri	Ölçüm Tarihi ve Saati		Aralık sınırlarının değerleri (%)	
	03.06.89 14:00	03.06.89 16:10		
1	3155	3277	-5	-3.75
2	0902	1071	-3.75	-2.5
3	3684	3899	-2.5	-1.25
4	0104	0373	-1.25	0
5	6945	6980	0	1.25
6	1081	1081	1.25	2.5
7	4443	6446	2.5	3.75
8	1760	1660	3.75	5

Tablo 2: Olasılık Değerleri

Sınır Aralık Değerleri	Olasılık (P)
-5	0.150
-3.75	0.208
-2.5	0.265
-1.25	0.332
0	0.043
1.25	0
2.5	0
3.75	0

Tablo 2’ ye göre Şekil 2’ de verilmiş olan histogram elde edilir.

Gerilim kalitesinin bozulmasından alınan yualobire değerlendirmek için histogramın adedi karakteristiklerini bulalım. Bunun için histogramın aralıklarını öyle numarayalım ki, ortalığa yakın aralığın numarası sıfır olsun, ondan sol taraf numaralar birer birer azalsın, sağ tarafta ise birer birer artsın(Tablo-3)

Tablo 3: Histogramın sayısal değerleri

Sayaç No	Aralık Numaraları (W)	Olasılık (P)	Aralık Ortalama Değerleri
1	-3	0.15	-4.375
2	-2	0.208	-3.125
3	-1	0.265	-1.875
4	0	0.332	-0.625
5	1	0.043	0.625
6	2	0	1.875
7	3	0	3.125
8	4	0	4.375

Bazı aralık değerlerin hesaplanması;

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^8 P_i W_i = -0.150 \times 3 - 0.208 \times 2 \quad (3)$$

$$-0.265 \times 1 + 0.332 \times 0 + 0.43 \times 1 = -1.088$$

$$\bar{D}_a = \sum_{i=1}^8 P_i W_i^2 (\bar{A})^2 = -0.150 \times 9 - 0.208 \times$$

$$4 + 0.265 \times 1 + 0.043 \times 1 - (1.088)^2 = 1.306 \quad (4)$$

(%)², de gerilimin matematiksel ifadesi:

$$A = \bar{U}_o + \Delta U. \bar{A} = -0.625 +$$

$$1.25 \times (-1.088) = -1.985\% \quad (5)$$

(%)², de gerilim sapma dispersiyonu:

$$D = \Delta U^2. D_a. \frac{1}{12} =$$

$$2.041 \cdot \frac{1}{12} = 1.9577(\%)^2 \quad (6)$$

%’de standart sapma:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{1.9577} \% = 1.399\% \quad (7)$$

(%)², de gerilim değişimi:

$$N = D + (\bar{U})^2 = 1.9577 + \quad (8)$$

$$(-1.985)^2 = 5.8979(\%)^2$$

Yukarıdaki denklemlerde V_0 -%' le sıfıra aralığının ortasındaki değer, ΔU -%'le aralığın genişliği.

Gösterilen usulle bir veya birkaç fırının birlikte çalışmalarının muhtelif rejimleri için seri denemeler yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçlar

Yapılmış deneylerin genel araştırması gösteriyor ki, en büyük sapma nominal gerilimin $(+1.25)/(-5)\%$ aralığında alınır. Gerilimin 5-%' den daha fazla küçülmesinin olasılığı 0.2' yi geçmiyor. Büyük saptmalar metalin eritilmesi rejiminde alınır.

Kaynakça

1. Leuşın A.I. Ark Yanması(Rus dilinde) "Metalurji" basım evi, Moskova, 1975.
2. Ark Isınması Taze Isınma Türleri " Elektrik Isınmasının VII. Uluslar arası Kongresinin yayınları" Moskova 1975.
3. Arrilaga J., Bradley D. A. and Bodler P. S. Power System Harmonicy Wohn Wiley S Sous, 1985

ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN ŞEBEKE ÜZERİNE ETKİLERİ VE TÜRKİYE BEKLENTİLERİ

Bünyamin YAĞCITEKİN, Mehmet UZUNOĞLU
Elektrik Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi
bunyamin@yildiz.edu.tr, uzunoglu@yildiz.edu.tr

Özet

Günümüzde fosil yakıtların hızla tükenmesi, artan petrol fiyatları ve çevresel kirliliklerinden dolayı konvansiyonel taşıtlara olan ilgi azalmaktadır. Bu bağlamda yeni taşıt teknolojisi ile çevreye daha duyarlı olan elektrikli taşıtlara olan ilgi ise hızla artmaktadır. Yüksek batarya güçlerine sahip olan bu taşıtlar şarj ihtiyaçlarını elektrik şebekelerinden sağlayacaklardır. Elektrikli taşıtların piyasalarda yüksek oranlarda olmaları durumunda elektrik şebekelerine olabilecek etkileri bu çalışmada irdelenmiştir. Bunun yanında yakıt fiyatlarının çok yüksek olduğu ülkemizde, elektrikli taşıtlara ilişkin destek mekanizmaları (teşvikler) ile birlikte yüksek olacağı beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Taşıtlar, Elektrik Şebekeleri, Şebeke Üzerine Etkileri.

1. Giriş

Günümüzde tüm dünyada toplu, özel taşımacılığın yanı sıra tüm ulaştırma sektörlerinin (kara, hava, deniz vb.) çok büyük bir kısmında içten yanmalı motorlar kullanılmaktadır. Sınırlı kaynak olan fosil yakıtlar, içten yanmalı motorların birincil enerji kaynağıdır. Fosil yakıtların kullanılması zararlı emisyonlara ve CO₂ salınımına sebep olduğundan dolayı çevreye büyük oranda zarar vermektedir. Dünyada birçok ülkenin gelecek planlarında CO₂ oranının ve çevreye verilen zararın azaltılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmalar için birçok yasa ve protokoller ülkeler arasında imzalanmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda içten yanmalı motorlu taşıtların yerini çok yakın gelecekte elektrikli taşıtların alacağı öngörülmektedir[1,2].

Elektrikli taşıtlar yukarıda anlatılan tüm bu sebepler ve teknolojinin de ilerlemesiyle birlikte günümüzde üzerinde en çok çalışılan konulardan biri haline gelmiştir. Günümüzde elektrikli taşıtlar genel olarak 3 başlık altında sınıflanmıştır. Bunlar; tümü elektrikli taşıtlar, hibrit elektrikli taşıtlar ve yakıt hücresel taşıtlardır. Tümü elektrikli taşıtlar batarya sayesinde hareket etmektedirler ve enerjilerini bataryaların şarj edilmesi ile sağlamaktadırlar. Hibrit elektrikli taşıtlar; içten yanmalı motor ve elektrik motorunun beraber bulunduğu sistemlerdir. Bu sistemlerde batarya gücü az ve kısa mesafeler için kullanılmaktadır. Yakıt hücresel elektrikli taşıtlar; yakıt olarak hidrojeni kullanmaktadır. Bu taşıtlar geleceğin elektrikli ulaşımına çözüm olarak görülmektedir ve piyasaya çıkış tarihleri yaklaşık 2030'lu yılları bulacağı tahmin edilmektedir [3].

Elektrikli taşıtların yaygınlaştırılması için aşılması gereken bazı noktalar vardır. Bunlar; elektrikli taşıtların, konvansiyonel taşıtlardaki gibi konfor ve hareket kabiliyetine sahip olması, elektrikli taşıtlardaki batarya şarj dolum sürelerinin kısa olması, bataryaların enerji yoğunluklarının yüksek olması ve fiyatlarının makul düzeylere çekilmesi şeklinde sıralanabilir [4].

Konvansiyonel taşıtlarda yapılan çalışmalar genellikle sürüş güvenliği, konfor, yakıt ekonomisi, motorun verimliliğin artırılması şeklinde sıralanabilir. Elektrikli taşıtlarda da benzer şekilde çalışmalar yapılmaktadır ancak aralarında önemli bir fark bulunmaktadır. Bu fark elektrikli taşıtların şarj ihtiyacını karşılarken elektrik şebekesine nasıl bir etkisi olacağı, bu etkilerin nasıl giderilebileceğidir. Bu anlamda elektrikli taşıtların seri üretimine geçilmeye başlandığı günümüzde, araştırmacıların üzerine çalıştığı önemli konulardan biri de taşıtların şebekeye bağlanması sırasında ortaya çıkabilecek muhtemel problemlerin nasıl giderilebileceğidir.

Dünyada birçok araştırma merkezi ve üniversiteler tarafından elektrikli taşıtlar üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Bunlardan biride yukarıda bahsedilen elektrik şebekelerine muhtemel etkilerinin araştırılmasıdır. Yapılacak çalışmalarda öncelikle belirlenen merkezlerin trafik yapısı incelenmeli, elektrikli taşıtların pazar payı göz önünde bulundurulmalı, elektrik şebeke altyapısı incelenmeli muhtemel senaryolar üzerine gelecek tahminleri de yapılarak sağlam bir elektrikli taşıt altyapısının oluşturulması sağlanmalıdır.

2. Ulaştırma Sektörü

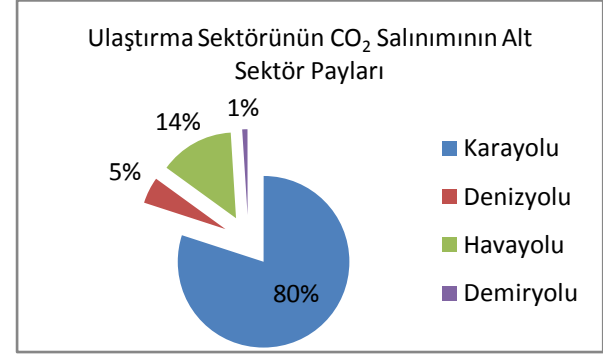
Ulaştırma sektörü en genel olarak karayolu, havayolu, demiryolu ve denizyolu şeklinde 4 ana alt başlık altında incelenir [5]. Alt sektörler incelendiğinde ise günümüzde karayolu taşımacılığı diğer sektörlerle göre hala büyük oranlarda seyretmektedir. Karayolu taşımacılığı tüm dünyada hala çok yüksek oranlardadır. Dünya enerji kaynakları kullanımı sektörel olarak incelendiğinde birincil enerji kaynaklarının beşte biri yalnızca ulaştırma sektörü tarafından kullanılmaktadır [6].

Ulaştırma sektörünün enerji ihtiyacı, çok büyük oranda petrole bağımlıdır ve petrol tüketiminin yaklaşık %60'ı bu sektörde kullanılmaktadır. Bunun yanında sera gazı emisyonlarına ve çevre kirliliğine yol açan en önemli sektörlerden biridir. Ulaştırma sektörüne bağlı zararlı emisyon oranı sürekli

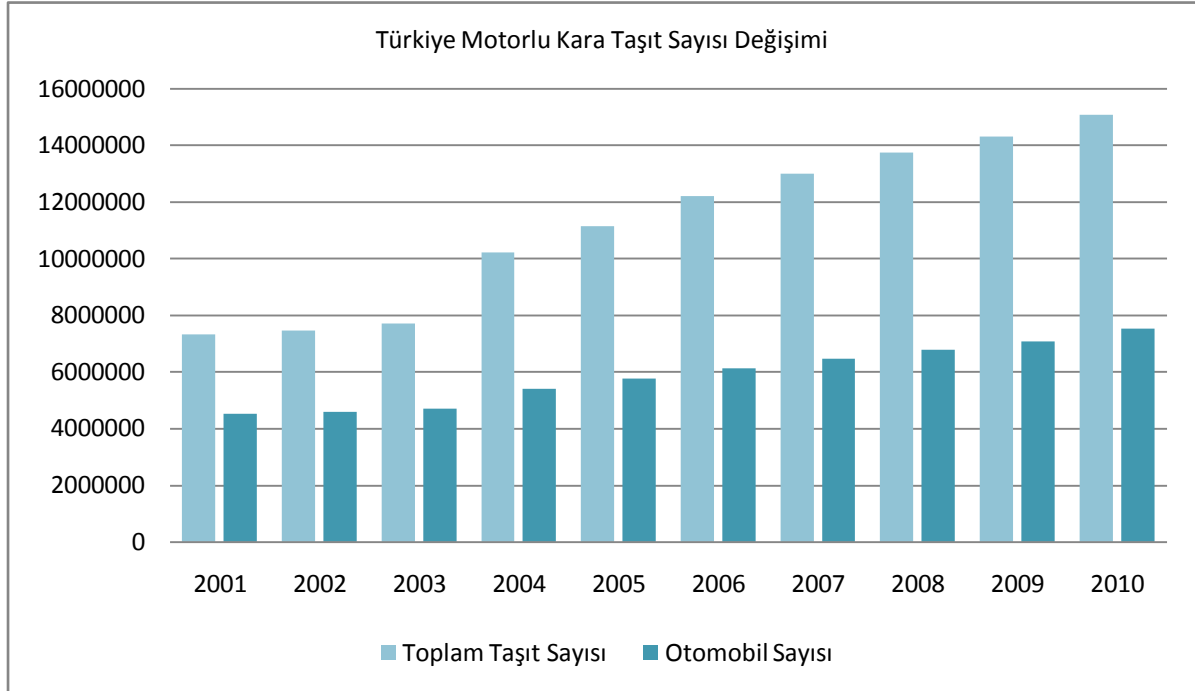
artmaktadır; 1990-2005 yılları arasında dünya genelinde ulaştırma sektörüne bağlı CO₂ oranı %37 artmıştır. Aynı yıllarda Türkiye'deki artış oranı ise %56 olmuştur [5]. Dünya CO₂ salımının yaklaşık %25'i ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır ve tüm CO₂ salımının %16'sı tek başına karayolu taşımacılığındandır [7]. Bu hususlardan ötürü konvansiyonel taşıt teknolojilerinin yerine alternatif çözüm arayışları günümüzde oldukça ivme kazanmıştır.

Gelişmiş ülkelerde ulaştırma sektörlerinde taşımacılık, sektörel olarak farklılık arz etse de karayolu taşımacılığı yine de çok büyük oranda bulunmaktadır. Türkiye gibi hızlı gelişmekte olan ülkelerde ise taşıt sayısı ve bunlara bağlı emisyon miktarları çok hızlı artmaktadır. Şekil 1'e bakıldığında son 10 yılda Türkiye'deki kara taşıt sayısının hızlı değişimi görülmektedir. 10 yıl içinde motorlu kara taşıtı sayısı 2 katından fazla artmıştır. Motorlu karataşıtları içinde otomobillerin oranı yaklaşık %50 civarındadır

[8]. Şekil 2 incelenecek olursa ulaştırma sektörüne bağlı CO₂ emisyonlarının çok büyük kısmının karayolunda olduğu görülmektedir. Ekonomik kriz dönemlerinde taşıt sayısı artışında kısmi azalmalar olsa da, genel olarak taşıt sayısı sürekli artmaktadır.



Şekil 2: Ulaştırma sektörüne bağlı CO₂ salımının alt sektördeki payları [Tüik]



Şekil 1: Türkiye Motorlu Kara Taşıt Sayısı Değişimi [Tüik]

Günümüzde özellikle karayolu taşımacılığında hafif binek taşıtlar (otomobil) büyük ilgi görmektedir ve yaklaşık olarak taşıt sayısının yarısını oluşturmaktadır. Özellikle elektrikli taşıtlar ile ilgili yapılan çalışmalarda, hafif binek taşıtlar üzerine yoğunlaşmış ve hemen hemen tüm taşıt firmaları bir veya birkaç elektrikli taşıt prototipleri yapmışlardır. Çok yakın gelecekte ise seri üretim ile piyasaya süreceklerdir.

3. Piyasa Beklentileri

Elektrikli taşıtların içten yanmalı motorlardaki konfor, menzil ve makul fiyat beklentilerinin karşılanması durumunda piyasada kullanım oranının

artacağı yapılan çalışmalarda ortaya konulmaktadır. Birçok enerji ve araştırma merkezlerinin yaptığı farklı analizlerde yıllara bağlı 2020, 2030 ve 2050 tahminleri yapılmış ve elektrikli taşıt oranının sırasıyla %10, %20 ve %50 olacağı ortaya konulmuştur [9,10]. Birçok taşıt üreticisi ise günümüzde prototip olarak ürettiği elektrikli taşıtların 2015 veya 2020 yıllarına kadar toplam üretim kapasitelerini vererek, binek taşıt piyasasında yer alacaklarını bildirmişlerdir.

4. Mevcut Çalışmalar

Elektrikli taşıtlar henüz seri üretim aşamasında olmasına rağmen günümüzde ve gelecekte ortaya çıkabilecek problemler şimdiden düşünülerek çözümler üretilmeye başlanmıştır. Taşıt sektörünün petrole dayalı bir sektör olması ve petrolün az sayıda ülkede çıkması dolayısıyla dünyadaki birçok ülke petrolde dışa bağımlı konumdadır. Bu yüzden elektrikli taşıtların popülaritesi ve ilgi görmesi ile birlikte çok hızlı teknolojik gelişmeler yaşanacağı görülmektedir. Elektrikli taşıtların yaygınlaştırılması için; teşvikler (kamu ve özel sektör), taşıt kullanıcılarının doğru bilgilendirilmesi (kar-zarar analizi), teknolojik açıdan (batarya enerji yoğunluğunun artırılması ve şarj süresinin azaltılması vb.) ilerlemelerin kaydedilmesi, taşıt fiyatlarının makul düzeylere çekilmesi, servis ağına kurulması ve sağlıklı şarj altyapısının hazırlanması gereklidir. Elektrikli taşıtların kullanım ağına yaygınlaştırılması için, taşıt kullanıcılarının şarj problemi ile karşı karşıya kalmaması gereklidir. Taşıtların enerji ihtiyacının giderilmesi için kurulacak şarj istasyonları; bölgenin demografik yapısı, taşıt sürüş profilleri, elektrik altyapısı, gelecek yatırım planları göz önüne alınarak planlanması gerekmektedir.

4.1 Elektrikli Taşıtların Şebeke Üzerine Etkileri

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, elektrikli taşıt altyapı çalışmaları için öncelikli olarak ülkenin coğrafi yapısı, nüfus yoğunluğu, gelişmişlik düzeyi, teknik altyapılarının incelenmesi gereklidir. Daha sonra taşıtsürüş çevrimleri, taşıtların bataryasharj karakteristiklerinin incelenmesiyle elektrikli taşıtlar konusunda sağlıklı çalışmalar yapılabilir. Konvansiyonel taşıtlara göre daha kısa menzilleri olan elektrikli taşıtların, herhangi bir şarj problemi yaşamaması için, üstte anlatılan çalışmalarla birlikte yaygın şarj istasyonu ağı kurulması gerekmektedir. Ancak bu durumda, elektrik şebeke sistemlerinin olabilecek yüklenme eğrilerinin çıkarılması ve geleceğe yönelik potansiyelin optimum şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir [8]. Bu kısımda ise karşımıza geleneksel şebeke sisteminden ziyade sistemin ihtiyaçlarına göre hareket edebilecek ve ihtiyaçlara göre kullanıcıları yönlendirebilecek akıllı şebeke sistemlerine ihtiyaç vardır.

Yapılan çalışmalarda elektrikli taşıtların şebekeler üzerine etkileri, olumlu veya olumsuz olarak ikiye ayrılmaktadır. Olumlu etkiler genel başlığı altında, taşıttan şebekeye elektrik verilmesi (V2G) çalışmaları [11-17] yapılmıştır. Bu çalışmalar ile şebekeye enerji ihtiyacının yüksek olduğu zamanlarda elektrik verilmesi ve bu sayede pik yüklerin azaltılması amaçlanmıştır. Elektrikli taşıtların şebekeye bağlanması ve şarj olmaları iki başlık altında şebeke üzerine etkileri incelenmektedir. Bunlar; kontrollü ve kontrolsüz durumlardır [18-21].

4.1.1 Dağıtım Sistemi Üzerine Etkileri

Elektrikli taşıtlar genel olarak büyük (binek taşıtlarda ortalama 16-20 kWh) bataryalara sahip olması nedeniyle dağıtım şebekelerine aşırı yüklenme ve gerilim dalgalanmalarına sebep olabilecektir [22]. Taşıtyoğunlukları, şehir yaşıntısı, alışkanlıklar, elektrik altyapısı elektrikli taşıtların şebeke üzerine etkilerinin araştırılmasında göz önüne alınması gereken çok önemli kriterlerdir[23]. Yapılan çalışmalarda elektrikli taşıtların şebekeye bağlanırken harmonik etkilerin belli sınırlar altında tutulması gerektiği hesaplanmıştır. Günümüzde birçok firma tarafından farklı özelliklerde şarj cihazları satılmaktadır. Üretilen ilk ürünlerden olan tek fazlı diyot köprü şarj cihazları özellikle 3. ve 5. harmoniklere sebep olmaktadır. 3 fazlı diyot şarj cihazlarında ise 5. ve 7. harmonik oranları fazladır. Tristör köprülü şarj cihazlarında ise darbe sayılarına göre harmonik akımları değişmektedir. 6 darbeli tristör köprülü cihazlarda harmonik akımları özellikle 3., 5. ve 7. harmonikler etkili olmakta ve THD (toplam harmonik distorsiyon) oranı da %70 seviyelerine çıkmaktadır [22].

4.1.2 Trafolar Üzerine Etkileri

Dağıtım sisteminin en önemli elemanlarından biri hiç şüphesiz trafolardır. Dağıtım trafoları anlık yüklenmeler, ortam sıcaklıkları, maksimum yüklenme durumu gibi etkenler trafoların ömrünü etkilemektedir. Yapılan birçok çalışmada elektrikli taşıtların trafolar üzerine etkileri araştırılmış ve sonuçlar irdelenmiştir [24-27]. Bunun yanında trafoların yüklenmelerinin artması ile gücü yetersiz kalabilecek trafoların daha büyük güçlülere ile değiştirilmesi gereklidir.

5. Türkiye Beklentileri

Türkiye de motorlu kara taşıt sayısında hızlı bir artış vardır. Örneğin; yalnızca 2009 aralık ile 2010 aralık ayı karşılaştırmalarında %91'lik fark vardır [28]. Bunun yanında Türkiye de sanayi Ar-Ge merkezinin kurulması ve altyapı çalışmaları başlamıştır. 60 adet Ar-Ge merkezinin 16'sı otomotiv üzerine planlanmıştır [29]. Bireysel taşıt kullanımı sürekli artan ülkemizde hem iç ihtiyacın karşılanması hem de ihracat potansiyelinin yüksek olması nedeniyle otomotiv sektörü elektrikli taşıtlar konusunda değerlendirilmelidir. Günümüzde yeni olmakla birlikte elektrikli taşıtlar üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. 1960'larda Devrim arabaları ile sektöre girmeyi isteyen ve kendi markasını çıkarmak için çalışan Türkiye; eğer elektrikli taşıtlar konusunda sanayi, üniversite ve kamu olarak birlikte hareket ederse ve hızla bu alana yönelirse gelecekte dünyaya kendi markalarını ve teknolojisini pazarlayacak konuma gelebilir. Günümüzün problemleriniyi saptanarak gelecek planları koordineli biçimde yapılırsa zaten ihtiyacımız olan

teknolojileri ithal etmek yerine ihraç edecek duruma gelinebilir.

6. Sonuç ve Öneriler

Yaşadığımız çağ itibariyle elektrik, hayatımızın vazgeçilmez unsuru haline gelmiştir. Elektriğe olan bağımlılık ise gün geçtikçe artmaktadır. 2030 yılı itibariyle elektriğe olan talep %30 oranında artış gösterecektir [30]. Bunun yanında günümüz insanı ise toplu ulaşım araçlarından daha çok imkânı olduğunda kendine ait bir otomobile sahip olma istediği araştırma sonuçları ortaya koymaktadır. Petrole bağımlılık oranı çok yüksek olan günümüz konvansiyonel araçları yerine daha çevreci ve km başına yakıtı çok daha ucuz olan elektrikli taşıtların yakın gelecekte piyasada rağbet görecekları açıktır. Yaygınlaşması muhtemel olan elektrikli taşıtların yaşam tarzı ve araç kullanım alışkanlıkları ele alındığında elektrik şebekelerine sebep olabilecekleri muhtemel etkilerin giderilmesi için çalışmalar yapılması gereklidir. Türkiye olarak taşıt teknolojileri, batarya teknolojileri ve altyapı-şebeke teknolojileri ana başlıkları altında kamu-sanayi ve üniversiteler araştırma grupları oluşturarak gerekli Ar-Ge yatırımları ile birlikte geleceğin teknolojilerine yön verilmesi için çalışmalar yapması gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

- 1- Winkler, T. Komarnicki, P. Mueller, G. Heideck, G.; Heuer, M. Styczynski, Z.A. "Electric vehicle charging stations in Magdeburg ", *Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC '09. IEEE* , Page(s): 60 – 65, 2009.
- 2- Matthias D. Galus, Marek Zima, Göran Andersson, "On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures" , *Energy Policy*, In Press, Corrected Proof, 2010
- 3- Matthew A. Kromer and John B. Heywood, "Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet", Sloan Automotive Laboratory, Laboratory for Energy and the Environment, Massachusetts Institute of Technology, May 2007
- 4- S.D. Jenkins, J.R. Rossmaier, and M. Ferdowsi, "Utilization and effect of plug-in hybrid electric vehicles in the United States power grid", in *Proceedings of the Vehicle Power and Propulsion Conference VPPC'08: Harbin, China, 3-5 Sept. 2008*.
- 5- E.Babalık "Ulaştırma Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu" *Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi*, Eylül 2010
- 6- DEK-TMK, (2006) Dünya Enerji Konseyi, *Türk Milli Komitesi Enerji İstatistikleri. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara*.
- 7- <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/consump.html>
- 8- Dyke, K. J.; Schofield, N.; Barnes, M., "The Impact of Transport Electrification on Electrical Networks" , *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* Volume: 57 , Issue: 12 , Page(s): 3917 – 3926, 2010
- 9- ENERDATA "Impacts of lower oil consumption on world oil prices" February, 2009
- 10- Oak Ridge National Laboratory (ORNL), General Electric (GE) Global Research, Ohio State University Center for Automotive Research (OSU CAR), and Taratec Corporation "The Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Value Proposition Study" DOE Report July 2010
- 11- Kempton, W. and J. Tomic, "Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue". *Journal of Power Sources*, 2005. vol. 144, no. 1, pp.268-279.
- 12- Kempton, W. and S.E. Letendre, "Electric vehicles as a new power source for electric utilities." *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1997. vol. 2 no. 3, pp. 157-175.
- 13- Steven Letendre, P.D., P. L., "New Load or New Resource?" *Public Utilities Fortnightly*, Dec. 2006.
- 14- Tomic, J. and W. Kempton, "Using fleets of electric drive vehicles for grid support." *Journal of Power Sources*, 2007. vol. 168, no. 2, pp. 459-468.
- 15- Brooks, A.N., "Vehicle-To-Grid Demonstration Project: Grid Ancillary Services with a Battery Electric Vehicle." Dec. 2002, CARB Contract #01-313, AC Propulsion Inc.
- 16- Kempton, W., et al., "Vehicle-To-Grid Power: Battery, Hybrid, and fuel cell vehicles as resources for distributed electrical power in California." June 2001
- 17- Mukesh Singh, Praveen Kumar, Indarani Kar, "Analysis of Vehicle to Grid Concept in Indian Scenario", *IEEE 14th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2010*
- 18- Clement K, Haesen E, Driesen J. The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on the distribution grid. In: *Proceedings 2008-4th IEEE BeNeLux young researchers symposium in electrical power engineering*; 2008. p. 1–6.
- 19- Clement K, Haesen E, Driesen J. Stochastic analysis of the impact of plug-in hybrid electric vehicles on the distribution grid. In: *Electricity distribution, 2009. CIRED 2009. 20th International conference on electricity distribution*; 2009.p. 1–4.
- 20- Maitra A, Kook KS, Giumento A, Taylor J, Brooks D, Alexander M, et al. Evaluation of PEV loading characteristics on Hydro-Quebecs distribution system operations. In: *Electric vehicle symposium 24*; 2009.p. 1–11.
- 21- Putrus G, Suwanapongkarl P, Johnston D, Bentley E, Narayana M. Impact of electric vehicles on power distribution networks. In: *IEEE vehicle power and propulsion conference. 2009. p. 827–31*
- 22- J. Carlos Gómez, Senior Member, IEEE, and Medhat M. Morcos, Senior Member, IEEE "Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems" *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 18, NO. 3, JULY 2003
- 23- F. Lambert, "Secondary Distribution Impacts of Residential Electric Vehicle Charging," *Public Interest Energy Res. (PIER)*, California Energy Commission, Project no. 373, 1999.
- 24- Justin Schlee, Anne Mousseau, Jeff Eggebraaten, Brendin Johnson, Dr. Herbert Hess, and Dr. Brian Johnson "The Effects of Plug-in Electric Vehicles on a Small Distribution Grid" *IEEE North American Power Symposium (NAPS)*, 2009

- 25- Michael Kuss, Tony Markel, and William Kramer
“Application of distribution transformer thermal life
models to electrified vehicle charging loads using
monte-carlo method”, NREL Report 2010
- 26- Saman Babaei, David Steen, Le Anh Tuan, Ola Carlson,
Lina Bertling, “Effects of Plug-in Electric Vehicles on
Distribution Systems: A Real Case of Gothenburg”
Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe
(ISGT Europe), 2010 IEEE PES
- 27- Luther Dow, Mike Marshall, Le Xu, Julio
RomeroAgüero, H. Lee Willis, “A Novel Approach for
Evaluating the Impact of Electric Vehicles on the Power
Distribution System” Power and Energy Society General
Meeting, 2010 IEEE
- 28- <http://www.tuik.gov.tr>
- 29- <http://www.osd.org.tr/basinbulteni01.pdf>
- 30- “A smart grid for intelligent energy use”
<http://ieeetv.ieee.org/technology/smart-grid-for-intelligent-energy-use> IEEE

ÖZEL GÜÇ CİHAZLARININ ÇOKLU FİDERLİ SİSTEMLERDEKİ UYGULAMALARININ İNCELENMESİ

Tahsin Köroğlu¹, Adnan Tan², K. Çağatay Bayındır³

¹ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

^{2,3} Çukurova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

¹ tkoroglu@osmaniye.edu.tr, ² atan@cu.edu.tr, ³ cbayindir@cu.edu.tr

Özet

Hassas yüklerin kullanımının her geçen gün artması, güç kalitesi problemlerinin çözümünü ve özel güç cihazlarının kullanımını gerekli hale getirmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, özel güç cihazlarının daha verimli çalışmaları ve daha iyi performans göstermeleri için farklı fikirler sunulmuştur. Bu kapsamda, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemlerinde güç kalitesini artırmaya yönelik geliştirilen çözümlerin dağıtım sistemlerindeki özel güç cihazlarına uyarlanması ile yeni nesil güç kalitesi cihazları geliştirilmiştir. Bu çalışmada, yeni bir konsept olan özel güç cihazlarının çoklu fiderli sistemlerdeki uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir; bu çalışmalarda incelenen uygulamalara ait topolojiler, çalışma prensipleri, kontrolcü yapıları ve avantajları sunulmuştur. Yapılan bu çalışmanın araştırmacılara çalışmalarını bu yeni konsept etrafında yoğunlaştırmalarına yardımcı olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güç kalitesi, Özel güç cihazları, Çoklu fiderli sistemler, Literatür taraması

1. Giriş

Son yıllarda, Güç Kalitesi konusu hem elektrik enerjisi sağlayıcıları hem de elektrik enerjisi müşterileri için önemli bir sorun haline gelmiştir. Güç kalitesi problemleri, müşteri cihazlarında çalışma hatasına veya bozulmaya sebep olan gerilim, akım ve frekans değişimler oluşturan güç problemleri olarak tanımlanabilir [1]. Güç kalitesi problemlerinin kaynakları; müşteri kaynaklı sorunlar ve elektrik enerjisi sağlayıcıları kaynaklı sorunlar olarak iki ayrı gruba ayrılabilir. Müşteri tarafında, lineer olmayan yükler ve büyük güç tüketen yüklerin devreye girip çıkması harmonikler, yük dengesizlikleri ve anlık gerilim düşümü ve yükselmesi gibi güç kalitesi problemlerine yol açar. Elektrik enerjisi sağlayıcıları tarafından bakıldığında ise, güç hatlarındaki çeşitli kısa devre hataları ve güç hatlarına yıldırım düşmesi gibi olaylar elektrik enerjisi kesintileri ve gerilim düşümü gibi güç kalitesi problemlerine yol açar. Diğer yandan, dijital elektronik/haberleşme ve proses kontrol'deki gelişmeler normal çalışmaları için ideal

sinüsoidal besleme gerilimine ihtiyaç duyan hassas yüklerin sayısını artırmıştır [2]. Daha fazla hassas yük kullanımı, güç kalitesini tüketiciler ve şebekeler için önemli bir sorun haline getirmiştir [3].

Özel güç, güç kalitesi iyileştirme fonksiyonlarını sağlayan cihazları kapsayan teknolojiye dayalı ürün ve hizmet çözümüdür [4]. Gerilim kaynaklı çevirgeçlere dayalı güç kalitesi cihazları dağıtım sistemlerinde aktif filtreleme, yük dengeleme, güç faktörü düzeltme ve gerilim regülasyonu gibi uygulamalar için kullanılır [5]. En çok bilinen özel güç cihazları Aktif Güç Filtresi (AGF), Dinamik Gerilim İyileştirici (DGI), Statik Transfer Anahtarı (STA) ve Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi (BGKD)'dir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (EAİS) için geliştirilen çözümlerin dağıtım sistemlerindeki özel güç cihazlarına uygulanması incelenmektedir [6]. [7]'de açıklanan Hatlararası Birleşik Güç Akış Kontrolcüsü (HBGAK) ve [8]'de açıklanan Genelleştirilmiş Birleşik Güç Akış Kontrolcüsü (GBGAK) gibi çok çevirgeçli ve birden fazla hattı kompanze edebilen EAİS cihaz konseptleri özel güç cihazlarına uyarlanmıştır. [9]-[14]'de anlatılan, çoklu fiderlerdeki gerilim düşümünü kompanze eden Hatlararası Dinamik Gerilim İyileştiricisi (HDGI), [15]'de anlatılan Hatlararası Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi (HBGKD) ve [5]-[16]'da anlatılan Hatlararası Gerilim Kontrolcü (HGK), HBGAK'nin; [6] da anlatılan Çok Çevirgeçli Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi (ÇÇ-BGKD) ise GBGAK'nin dağıtım sistemlerindeki uygulamalarıdır.

Hatlar arası özel güç cihazları iki komşu fidere bağlanabilir. Bir hatlar arası özel güç cihazında, iki ya da daha fazla gerilim kaynaklı çevirgeç arka arkaya ve ortak bir dc kondansatörle iki komşu fidere bağlıdır. Bu cihazlar seri-seri, paralel-paralel veya seri-paralel bağlanabilir [16]. Birden fazla hattı kompanze eden özel güç cihazlarının en önemli avantajı, bir hatta herhangi bir güç kalitesi problemi görüldüğünde, cihazın bağlı olduğu diğer hat, güç kalitesi probleminin kompanzasyonu için bir hattan diğer hatta güç aktarımı sağlar. Bu yüzden çok fiderli özel güç cihazları, tek fiderli cihazlara göre daha iyi performans sağlar.

Bu çalışmada Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri için geliştirilen çok çevirgeçli ve birden fazla hattı kompanze edebilen cihaz konseptlerinin

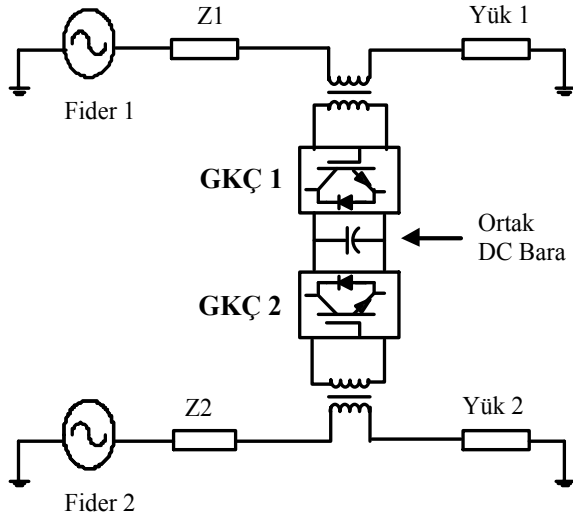
dağıtım sistemlerindeki özel güç cihazlarına uygulamaları incelenecektir. Her bir özel güç cihazı uygulaması ayrı ayrı ele alınacak; fonksiyonları, güç devreleri ve kontrolcü yapıları değerlendirilecektir.

2. Güç Devreleri

Çalışmanın bu kısmında çok fiderli sistemlerde kullanılabilirliği amacıyla geliştirilen özel güç cihaz konseptleri incelenecek, güç devreleri ve çalışma prensipleri ele alınacaktır.

A. Hatlararası Dinamik Gerilim İyileştiricisi

Özel güç cihazlarının çoklu fiderli sistemlerde kullanımına ait ilk örnek [14]'de bahsedilen Hatlararası Dinamik Gerilim İyileştiricisi (HDGİ)'dir. HDGİ, iki farklı dağıtım fiderine seri bağlı ve aralarında ortak bir DC kondansatör (DC bara) bulunan iki gerilim kaynaklı çevirgeçten (GKÇ) oluşur. GKÇ'lerden bir tanesi gerilim düşümünü kompanze ederken diğeri bağlı olduğu fiderden aktif güç çekerek DC bara gerilimini istenen seviyede tutmaya çalışır.



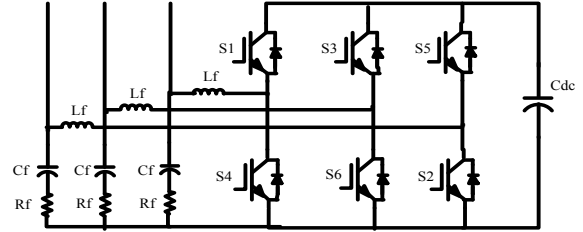
Şekil 1. HDGİ tek hat genel güç devresi

Hatlararası Dinamik Gerilim İyileştiricisi'ne ait tek hat genel güç devre topolojisi Şekil 1'de görülmektedir. Aralarında DC bara bulunan iki farklı GKÇ iki komşu fidere enjeksiyon trafosu ile seri olarak bağlanmıştır. Bu fiderler aynı ya da farklı gerilim seviyelerinde olabilir. Bu topoloji, müşteri yüklerinin genellikle iki farklı fiderden beslendiği durumlarda oldukça avantaj sağlamaktadır.

Hata meydana gelen fiderde yer alan GKÇ, bulunduğu fiderdeki hatayı kompanze ederken; komşu fiderde yer alan GKÇ ise bulunduğu fiderden aktif güç çekerek bağlı oldukları ve ortak kullandıkları DC bara gerilimini belli seviyede tutmaya çalışır. Bu sayede komşu fiderdeki GKÇ, hata meydana gelen fiderde güç aktarımı sağlamış olur.

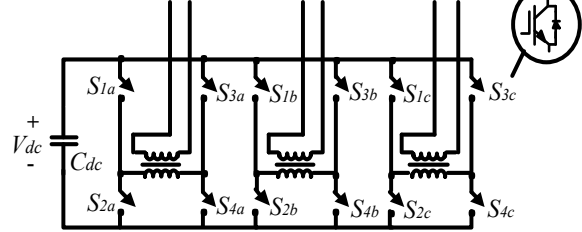
Genel güç topolojisinde yer alan her bir GKÇ, dengeli ve dengesiz gerilim düşümünü kompanze edebilmelerine göre Şekil 2'de gösterilen 3 faz 3 telli, Şekil 3'de gösterilen 3 faz 4 telli ve H-köprü gibi farklı şekillerde tasarlanabilirler.

Dağıtım Fideri



Şekil 2. GKÇ 3 faz 3 telli tasarımı

Dağıtım Fideri

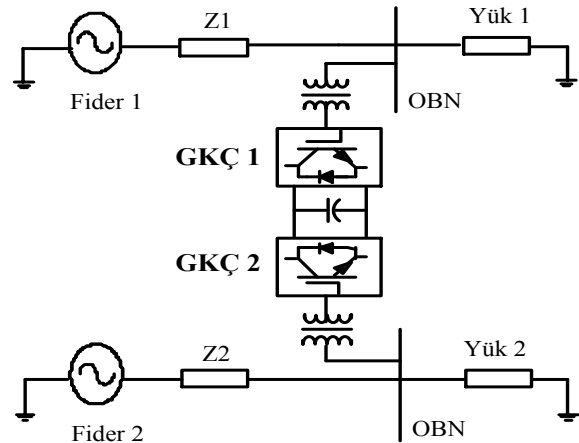


Şekil 3. GKÇ H-köprü tasarımı

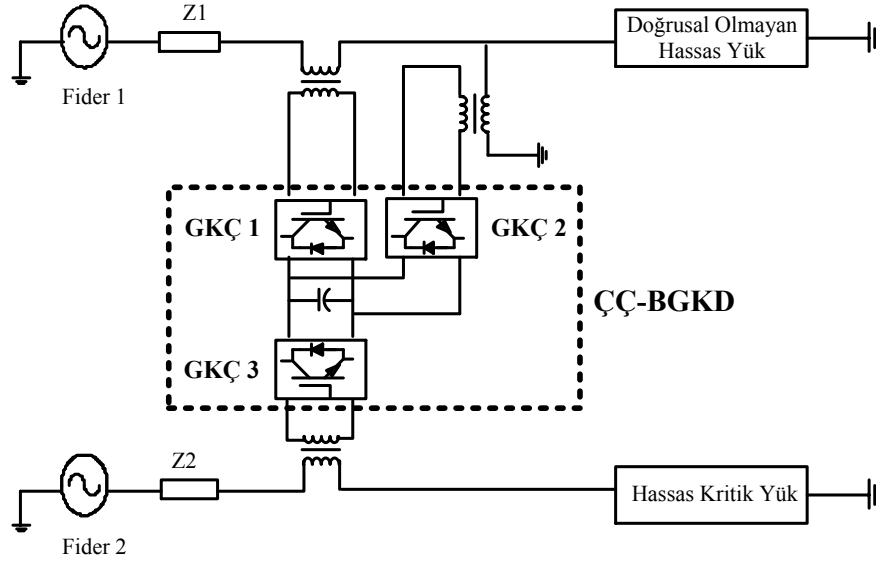
Ayrıca çevirgeçlerin anahtarlama frekanslarından tarafından meydana gelen harmonikleri elemek amacıyla çıkış filtresi kullanılır. Çıkış filtresi sadece bobin (L), bobin ve kondansatörden (LC ya da LCL) oluşabilir; çevirgeç ya da şebeke tarafında yer alabilir.

B. Hatlararası Gerilim Kontrolcü

HDGİ mantığını kullanarak yazarlar çoklu fiderde işlev gören farklı konseptte cihazlar geliştirmişlerdir; bunlardan bir tanesi de [16-17]'de anlatıldığı üzere Hatlararası Gerilim Kontrolcü (HGK)'dir. HGK, iki komşu fidere paralel bağlı iki GKÇ'den oluşur.



Şekil 4. HGK tek hat genel güç devresi



Şekil 6. ÇÇ-BGKD tek hat genel güç devre topolojisi

- 3) Birbirine bağlı olmayan fiderler arasında güç kompanzasyon kapasitesini paylaşmaktadır.
- 4) ÇÇ-BGKD topolojisi gerilim kaynaklı konvertörler eklenerek çoklu fiderli sistemlerde genişletilebilir.

Yukarıda avantajları belirtilen ÇÇ-BGKD konsepti tek başına çok karşılaşılan güç kalitesi problemlerini kompanze edebilen çok amaçlı bir özel güç kalitesi cihazıdır. Bu özellikleriyle ÇÇ-BGKD, müşterilere yüksek kaliteli elektrik enerjisi sağlamak için kullanılabilir.

3. Kontrolcü Yapıları

Kontrolcü yapıları çalışmanın bir önceki bölümünde ele alınan yeni özel güç cihaz konseptleri için en önemli kısımlardan biridir. Kontrolcü yapılarında akım ya da gerilimde meydana gelen bozulmayı hızlı ve doğru tespit etmek, istenilen kompanzasyon için doğru ve hızlı referans sinyali üretmek ana gereksinimdir [17].

Çalışmanın bir önceki kısmında tanıtılan konseptler incelendiğinde her konseptte seri ya da paralel bir GKÇ bulunduğu görülmekte olup bunların içerdikleri kontrol üniteleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Seri GKÇ Kontrol: Gerilim düşümünü sezme, gerilim referansı üretme ve uygun anahtarlama sinyali oluşturma, gerilim enjekte stratejisi.
- Paralel GKÇ Kontrol: Akım referansı üretme ve uygun anahtarlama sinyali oluşturma, DC bara gerilim kontrolü

A. Gerilim Düşümünü Sezme

3 fazlı sistemlerde gerilim düşümünün hızlı bir biçimde sezilmesi ve en az hata operasyonu ile düzeltilmesi gerekmektedir. Gerilim düşümünü izlemeye ve tespit etmeye en kolay method abc-dq

olarak da bilinen Senkron Referans Düzlem (SRF) methodudur [6], [13]. Çalışmalarda kullanılan diğer methodlar ise Kutup Kaydırma [5], [15], [16]; Sınır kontrolü [10]; Hızlı Fourier Dönüşümü ya da Kalman Filtre [12], [14] methodlarıdır.

B. Referans Sinyal Üretme

İncelenen çalışmalarda Paralel ve Seri GKÇ için referans üretmede en çok kullanılan yöntemler Senkron Referans Düzlem, Anlık Güç Teoremi ve Kutup Kaydırma yöntemleridir.

DC bara geriliminin kontrolü ise geleneksel DC gerilim geri-besleme methodu ya da oransal integral kontrolcü yöntemleriyle gerçekleştirilebilir.

C. Anahtarlama Sinyali Oluşturma

Kontrol ünitesinin çıkışı, gerilim kaynaklı çevirgeçlerde kullanılan anahtarlama elemanları için anahtarlama sinyali üretmede kullanılır. Anahtarlama elemanları üretilen anahtarlama sinyallerine göre çalışır. Anahtarlama sinyali üretmek için histerizis kontrol, darbe genişlik modülasyon tekniği ve uzay vektör kontrol tekniği hem seri hem de paralel GKÇ için tercih edilen yöntemlerdir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Esnek Alternatif İletim Sistemlerinde güç kalitesini artırmaya yönelik geliştirilen ve dağıtım sistemlerinde kullanılan özel güç cihazlarına uyarlanan çok çevirgeçli ve çoklu fiderli yeni konseptler incelenmiş ve tanıtılmıştır. Geliştirilen her özel güç cihazı ayrı ayrı ele alınmış, işlevi ve güç devre topolojisi açıklanmıştır. Ayrıca bu cihazlarda kullanılan kontrolcü yapıları sunulmuştur.

İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğu [5], [6], [13], [15], [16] simülasyon çalışması ve simülasyon için PSCAD/EMTDC programı kullanılmıştır. Az sayıda çalışmada [10], [12] deneysel uygulama gerçekleştirilmiştir. Tanıtılan yeni konseptler üzerinde daha fazla çalışma yapılmalı, farklı tasarımlar ve kontrolcüler denenmeli, deneysel uygulamalar gerçekleştirilmelidir. Gerçekleştirilen yeni konseptteki özel güç cihazların güç kapasiteleri ele alınmalı ve ekonomik yönden tartışılmalıdır.

Çok fiderli sistemlerde uygulanan çok çevirgeçli özel güç cihazları günümüzde gittikçe önem taşıyan özel güç konseptine uygun olarak yüksek kalitede güç isteyen müşteriler için kullanılabilir. Bu yüzden üzerinde çalışılmalı ve bu konsept geliştirilmelidir. Bu çalışma, araştırmacılara çalışmalarını bu yeni konsept etrafında yoğunlaştırmalarına yardımcı olacaktır.

5. Referanslar

- [1] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan Surya Santoso, H.Wayne Beaty "Electric Power System Quality" Second Edition, 2004.
- [2] Dusan Graovac, Vladimir A. Katic and Alfred Rufer, "Power Quality Problems Compensation with Universal Power Quality Conditioning System," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No:2, April 2007.
- [3] Han B., Bae B., Baek S., Jang G., "New Configuration of UPQC for Medium Voltage Application," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No: 3, July 2006.
- [4] Mahinda D. Wilatgamuwa, Wijekon D., Choi S., "A Novel Technique to Compensate Voltage Sags in Multiline Distribution System - The Interline Dynamic Voltage Restorer," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, No:5, October 2006.
- [5] Jindal Amit Kumar, Ghosh Arindam and Joshi, Avinash, "Power Quality Improvement Using Interline Voltage Controller," Generation, Transmission and Distribution, IET, Vol. 1, Issue: 2, May 2007.
- [6] Mohammadi H. R., Varjani A. Y., Mokhtari H., "Multiconverter Unified Power - Quality Conditioning System: MC-UPQC," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 24, No: 3, July 2009.
- [7] L. Gyugyi, K. K. Sen, and C. D. Schauder, "The Interline Power Flow Controller Concept: A new Approach to Power Flow Management in transmission systems," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No: 3, July 1999.
- [8] B. Fardanesh, B. Shperling, E.Uzunovic, and S. Zelingher, "Multi-converter FACTS Devices: The Generalized Unified Power Flow Controller (GUPFC)," in Proc. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 4, July 2000.
- [9] Moradlou Majid and Karshenas Hamid R., "Design Strategy for Optimum Rating Selection of Interline DVR," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, No: 1, January 2011.
- [10] Ho Carl Ngai-Man and Chung Henry Shu-Hung Chung, "Implementation and Performance Evaluation of a Fast Dynamic Control Scheme for Capacitor-Supported Interline DVR," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 25, No: 8, August 2010.
- [11] Karshenas H. R., Moradlou M., "Design Strategy for Optimum Rating Selection in Interline DVR," IEEE, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 2008.
- [12] Vilathgamuwa, D. M., Wijekoon, H. M., Choi, S. S., "A Novel Technique to Compensate Voltage Sags in Multiline Distribution System - The Interline Dynamic Voltage Restorer" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, Issue: 5, Oct. 2006.
- [13] Banaei M.R., Hosseini S.H., Gharehpetian G.B., "Inter-line Dynamic Voltage Restorer Control Using a Novel Optimum Energy Consumption Strategy," Elsevier, Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 14, 2006.
- [14] Vilathgamuwa, D. M., Wijekoon, H. M., Choi, S. S., "Interline Dynamic Voltage Restorer: A Novel and Economical Approach for Multiline Power Quality Compensation," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, No: 6, December 2004.
- [15] Jindal Amit Kumar, Ghosh Arindam and Joshi Avinash, "Interline Unified Power Quality Conditioner," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No: 1, Jan. 2007.
- [16] Jindal Amit Kumar, Ghosh Arindam, Joshi Avinash and Gole A. M., "Voltage Regulation in Parallel Distribution Feeders Using IVOLCON," Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE. 20-24 July 2008.
- [17] Rezaeipour R. And Kazemi A., "Review of Novel Control Strategies for UPQC," International Journal of Electrical and Power Engineering, 2 (4): 241-247, 2008.

SAYISAL TEKNOLOJİNİN ELEKTRİK ŞEBEKE AĞINA KATILMASI: AKILLI ŞEBEKE

Hasan Dinçer¹

Feza Mutlu¹

Murat Kuzlu²

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
hdincer@kocaeli.edu.tr, fezamutlu@hotmail.com

²TÜBİTAK-MAM Enerji Enstitüsü Güç Elektroniği ve Kontrol Bölümü, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli
Murat.Kuzlu@mam.gov.tr

Anahtar kelimeler: Akıllı Şebeke, Smart Grid, Elektrik Şebekesi, Akıllı Dağıtım

Özet

Elektrik insan yaşamının vazgeçilmez bir parçasıdır. Kullanılan ve gelişen teknoloji elektrik gücüne ihtiyaç duymaktadır. Özellikle son yıllarda elektrik gücüne ihtiyaç artarken tersine enerji kaynakları azalmamaktadır. Bu nedenle yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde etmek daha en etkin ve çözüm olarak görülmektedir. Enerji elde etmek ne kadar önemli ise enerjinin verimli kullanılması ve var olan enerji kaynaklarının çevreye zarar vermeden yaygınlaştırılması ve mevcut sistemle tümleşik olması da o kadar önemli hale gelmiştir. Bu beklentileri karşılamak için elektrik şebekelerinin daha akıllı hale getirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada sistem yapısı ve uygulamaları verilmiştir. Ayrıca ve Akıllı Şebeke yapısının hem sisteme hem tüketiciye büyük yararlar sağladığının gösterilmesi amaçlanmıştır.

1. Giriş

Günümüzün güç sistemleri, 1883 yılında Tesla'nın yayınladığı tasarım esaslarına göre kurulmuştur. Zamanı için merkezi üretimler, talep kontrolü ve tek yönlü iletim sistemleri mantıklı olmasına karşın, günümüz ihtiyaçlarına göre artık eskimiş olarak ifade edilmektedir. Dünyanın enerji tüketimi 2005'ten 2030'a kadar %50 artacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla geleceğin güç şebekeleri Tesla'nın düşündüğünden çok daha fazlasına sahip olacaktır. Mevcut şebekelerin akıllı hale getirilmesinin birçok faydası bulunmaktadır. 2030 yılında dünya enerji ihtiyacının %30 artacağı düşünüldüğünde mevcut karbon emisyonlarının arttırılmadan bu büyümenin nasıl karşılanabileceği çözümlidir. Günümüzde yenilenebilir elektrik üretiminin önem kazanması ile birlikte, artan taleple birlikte akıllı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Kısaca tanımlamak gerekirse, akıllı şebekeler; sayısal teknolojinin elektrik ağı ile tümleşmesi ve elektrik iletim ve dağıtımının eşgüdümünün iyileştirilmesidir. Her şeyin değiştiği, daha iyi ve verimli yapılmaya çalışılan günümüzde, teknolojinin elektriğe sunduğu bir yeniliktir. Akıllı Şebeke (Smart Grid) teknolojisi elektrikselsel verim açısından sistemi iyileştirmekle

kalmayıp, küresel ısınma, enerji ihtiyacı ve enerji esnekliği gibi büyük sorunlara da ışık tutabilmektedir.

2. Akıllı Şebeke

Akıllı Şebeke enerji tedariki ve tüketiminin daha verimli hale getirilmesine yardımcı olan uçtan uca yüksek güvenlik sunan akıllı şebeke çözümüdür. Dijital teknolojinin elektrik ağına entegre olması biçiminde etkili bir tanımla da ifade edilebilir. Kullanıcıları ve üreticileri ortak alana taşıyan bir sistemdir. Bu sistem sayesinde elektrik üretim santrallerinden ev ve işyerlerine enerjinin dağıtımını sağlayacak İnternet Protokolü (IP) temeline dayanan daha akıllı enerji altyapıları sunulabilmektedir. Akıllı şebekeler, enerji verimliliğine katkıda bulunarak, sistem işletme, bakımında maliyet avantajları sağlamaktadır. Teknoloji ucuzlaması ile uygulama alanı artacaktır. Akıllı şebeke, eş zamanlı veri ve bilgi sunan bir "Enerji İnterneti"dir [2].

2.1. Akıllı Şebeke Teknolojisi ve Özellikleri

Akıllı teknolojisini sabit ve gezgin enerji depolamasında ve dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarında aktif rol alır. Ayrıca akıllı şebekelerin enerji depolamanın yanında haberleşme ağını içeren altyapı desteğinin güvenlik ve ekonomik özellikleri de vardır. Dünya genelinde hükümetler ve teknik kuruluşlarda güç şebekelerinin önemini fark etmişlerdir.

Akıllı Şebeke'lerin IP tabanlı haberleşme ağı için dağıtık bir veri altyapısı kullanılır. Bir uygunlaştırıcı yazılım ile altyapı sağlanır. Bu altyapı, Akıllı Şebeke için düşük gecikme ve gerçekleştirilebilirliği sağlayan bir dağıtıcı-abone modelini temel alır. Ekonomik, fiziksel ve sayısal teknoloji gereklerinin hepsi sağlanırsa Akıllı Şebeke verim bir şekilde çalışır.

2.2. Sistemin Ekonomik Modellenmesi

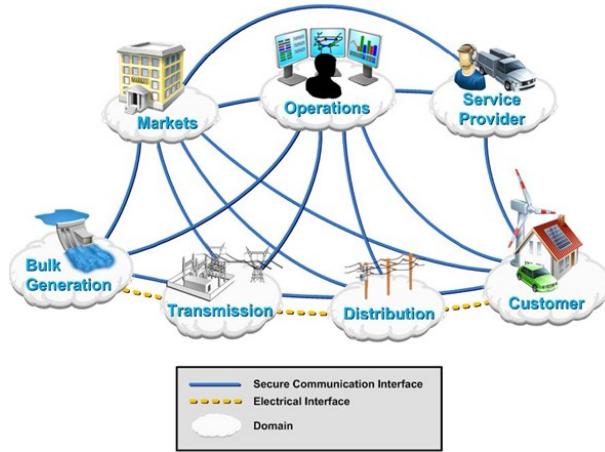
Sistemin uygulanabilirliği, çevreyle uyumu gibi faktörlerin etkisini gözlemlemek için benzetim programları kullanılmalıdır. Güç endüstrisindeki yenilik, bir ülkenin ekonomisini etkiler. Teknolojik gelişmelerde uzun dönemde kararlılık, sosyal ve politik açıdan birçok aracın uygulaması ile sağlanabilir. Yeni nesil güç şebekelerinin modellenmesi , güç

şebekelerinin çevreye etkisini açıklayabilir. Bu, genişletilen temel çözümlere karşı karşılaştırmalı bir çalışma yapılarak sağlanabilir.

Smart Grid için bir ekonomi modeli oluşturmak uygulanabilir projenin araştırılmasına, analiz ve en uygunlaştırılmasına yardımcı olur. Smart Grid bir ekosistemdir. Smart Grid ekosistemini doğru biçimde benzetişim yapmak gelecek yeniliklerin yararlarını anlamada faydalıdır. Kapsamlı bir model oluşturarak, akıllı şebekelerin yeni teknolojik gelişmelerinin kontrolü sağlanabilir [3].

2.3. Smart Grid Teknolojisinin Haberleşme Ağı

Sayısal iletim teknolojileri güç üretim, dağıtım, kontrol ve işlemlerinde önemli bir rol alır ve Akıllı Şebeke teknolojilerinde temel yapıtaşlarıdır. Gelecek nesil güç şebekesi veri merkezli bir altyapıda ve üretici-abone tabanlı bir yazılımla haberleşme ağının yararlarından faydalanılabilir.



Şekil 1: Akıllı Şebeke kavramsal modeli[7]

Akıllı Şebeke uygulamaları için IP QoS tabanlı uygulamalar tercih edilir. Akıllı Şebeke kontrol ve veri transferi uygulamaları veri-merkezli, esnek ve etkili bir ağ platformu gerektirir. Merkezi hale getirilmiş, veri merkezli bilgi altyapısı veri iletimini ve kontrol trafiğini desteklemelidir. Veri işleme zaman sınırlaması ve verinin yeri bakımından kritiktir [1]. Veri konumsal olarak tanımlanmalıdır. Temel amaç; bilgi altyapısı ile tasarlanan sistemin doğru miktarda ölçülmüş ve hesaplanmış veriyi doğru zamanda makul bir maliyetle, güvenli biçimde iletmektir [3]. Şekil 1'de Akıllı Şebeke kavramsal tasarımı gösterilmektedir.

2.4. Dağıtık Veritabanı Yapısı

Gerçek zamanlı veri tabanı SCADA sistem kontrol merkezinde bulunur. Verinin toplanması haberleşme kanalları ile yapılır. Gerçek zamanlı veri tabanı tüm dağıtık verilerin toplamından oluşur. Sistemde gerçek zaman değerlerinden veri hesaplanır.

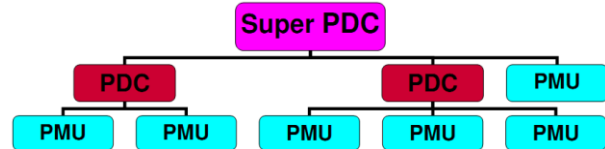
Dağıtık bir veri tabanı yönetimi tekil veri tabanı yönetiminden farklıdır. Bunun için veriyi kayıt altına almanın yanında doğru zamanda doğru uygulamalara ileten bir uyumlaştırıcı yazılım (middleware) vardır. Güç şebekeleri haberleşmesi için olan yazılımlar geliştirilmektedir. [4].

2.5. Gerçek Zamanlı Bilgi Altyapısı

Haberleşme altyapısı iki seviyeye ayrılabilir. Her trafo yüksek hızlı yerel alan ağına (LAN) sahiptir. Her trafoda bulunan sunucu sayesinde yüksek seviyede haberleşme ağlarına bir yönlendirici (router) aracılığıyla bağlanılır. En önemli eleman SCADA-Enerji Yönetim Sistemi (EMS) kontrol merkezidir. SCADA tüm alt trafolarla veriyi Uzak Terminal Birimleri (RTU) ile sorgulayarak bir araya getirir ve merkezde toplar.

Ağ yapılandırılması yıldız yapılandırılması ile ifade edilip, sorgulama da bir üretici-abone sistemi tarafından gerçekleşirse, trafodan uygulamaya doğru veri akışı gerçekleşir ve bu da Akıllı Şebeke veri altyapısının genel kontrol mekanizmasını oluşturur.

Paralel bir haberleşme düzenlemesi ile Fazör Ölçüm Birimleri'nden (PMU) gelen veriler toplanmaktadır. Tüm PMU'ları bir araya getiren bir Fazör Veri Toplayıcı (PDC) ve tüm PDC'lerin de bir Super-PDC'ye bağlı olduğu bir yıldız yapılandırılması oluşur. Fazör ölçümlerin çok olması halinde PDC sistemi kullanışsız olur ve yetersiz kalır [4]. Şekil 2'de Fazör Veri Toplama altyapısı verilmiştir.



Şekil 2: Fazör Veri Toplama altyapısı [4]

Kontrol merkezi tüm katmanlardan gelen veriye ihtiyaç duyar. Sistem izlenmesi, şebekelerin risklere karşı durum, risk analizi ve otomatik kontroller gibi işlemleri gerçekleştirir. Kontrol merkezinde yönlendiriciler yönetim amaçlı QoS birimlerini oluşturur ve verinin hareket kontrolü sağlanır. QoS birimleri en etkili veri yolunu seçerek üretici-abone iletişimini sağlar. Tüm cihazlar mikroişlemci temellidir, veri toplama ve depolama bilgileri sayısalıdır. Trafolar arası haberleşme LAN'lar ile sağlanır. Haberleşme protokolü 61850 standardı ile yapılır. Gerçek zamanlı veri ölçülmüş ya da ölçümden hesaplanmış veridir. Statik veri ise, sistem donanımını tanımlar ve veri tabanı SCADA-EMS kontrol merkezinde bulunur.

2.6. Akıllı Şebeke Teknolojisinin Yararları

Dünya genelinde artan enerji tüketimi yenilenebilir enerji kaynaklarının az olması ve akıllı şebeke teknolojisinin doğayla dost bir teknoloji olması Akıllı Şebekelerin en üstün yanıdır. Bunun yanında Verimli kaynak kullanımı ile elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımını artırarak fosil kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar. İleri teknoloji şebeke kontrol sistemleri kullanarak iletim ve dağıtımdaki kayıpları azaltır. Tüketicilerin elektrik kullarımlarını ve tüketim maliyetlerini daha iyi kontrol etmelerini sağlayarak elektrik üretim şirketlerinin yüksek üretim taleplerini daha iyi yönetebilmelerini sağlayarak ve yüksek üretim talebi için yapmaları gereken ekstra yatırımlara olan ihtiyaçlarını azaltarak Tüketim verimliliği sağlar.

Akıllı şebeke, ileri düzey izleme ve teşhis teknolojileri kullanarak varlıkların potansiyelinin ve performansının üst düzeylere çıkmasını sağlayarak varlıkların verimliliğini artırır. Uzaktan izleme ve kontrol teknolojilerini kullanarak enerji şirketlerinin kaynaklarını daha güvenilir ve verimli kullanmasını sağlar. Sayısal haberleşme sayesinde Akıllı Şebeke'de insan hatası ya da doğal afetler sonucu meydana gelen bir hata ya da kesinti anında sistemin olabildiğince az zararlı sistem tekrar çalışabilir olmasını sağlar.

Yeni nesil sayaçlar iki yönlü veri üretecek ve enerji yönetim programları evdeki bilgisayarlar ile kontrol edebilecektir. Elektrik sağlayıcınız size elektrik birim fiyatın gün ortasında artışa geçtiğini haber verdiği an siz uzaktan tek tuş hareketi ile klimanın gücünü kısabileceğiniz, buzdolabını akşam soğutmaya almak için kurabileceğiniz, açık elektronik eşyaları hazır geçirebileceksiniz. Bu kullanıcıların faturalarına yansırken, elektrik üreticilerin de gereksiz yüklerden kurtulmasını sağlayacaktır. Tüm elektrik enerjisi üretim birimleri sisteme dahil olacak rüzgâr tribünleri, güneş pilleri, kıyı türbinler, barajlar, jeotermal tesisler, bio yakıttan enerji üretimi büyük bir yük paylaşım otomasyonu devreye girmiş olacak. Tüm bunlar sisteme sorunsuzca entegre olacak

ve kontrolü şimdiki teknolojilerden kat ve kat daha verimli gerçekleştirilecektir. Yakın gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı çok hızlı gerçekleşmeyecektir; ancak iletim ve dağıtım sistemlerinin bunlara hazır olması akıllı şebekeler yoluyla olacaktır [2]

3. UYGULAMALAR

Akıllı şebeke uygulamaları elektrik şebeke sistemlerinden beklenti artıkça artmaktadır. Temel akıllı şebeke uygulamaları şunlardır.

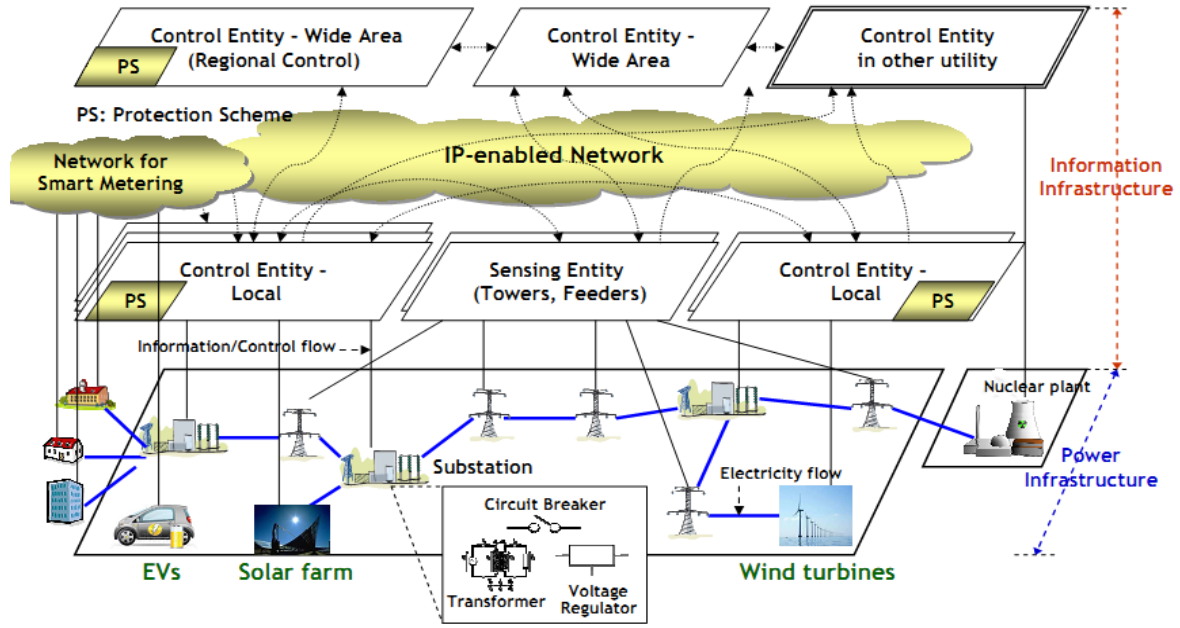
Frekans Kontrolü: Frekansın yük tarafından kontrol edilmesi.

Bölgesel Gerilim Kontrolü: Gerilim kontrolünün en büyük zorluğu, güç sisteminin dayanacağı değişen tüm işlemsel durumları idare edebilen giriş-çıkış kontrollerinin seçimidir.

Küçük İşaret Denge Kontrolü: Küçük işaret dengeleme güç sisteminde bir düzensizlik olunca meydana gelir. Üreteçlerdeki lokal denetleyiciler olan sistemi düzenleyicilerin uyumu ile sağlanır.

Gerilim Denge Kontrolü: Gerilim düzensizliği, güç sistemindeki bir değişiklik, reaktif güçte yetersizlik olan bir işleme neden olursa meydana gelir. Yeni önleyici koruma planları, bu bölgeleri eksiklere karşı izole eden özel koruma planlarına (SPS) da ihtiyaç duyar. Bu sadece bir denge kontrolü değil, sistemi karışıklıklara karşı da korur.

Geçici Denge Kontrolü: Bu kontrol planının uygulanması zordur. Çözüm olarak sadece karışıklık olunca elle müdahale sistem kapalı iken, ikinci olarak otomatik koruma planları, üçüncü karışıklıktan sonra direkt müdahale olarak uygulanabilir. Programlanmış özel koruma planlarının (SPS) çevrimiçi kurulumu ve gerçek zamanlı modelleme (durum tahmini) olarak geçici denge kontrolü sağlanır [4].



Şekil 3: Elektrik üretim, iletim, dağıtım ve tüketim içim tümleşik bilgi altyapısı[8]

3.1. Akıllı Şebeke Bileşenleri ve Teknolojileri

Akıllı sistemlere geçişe karar verildiğine bu kararı hemen uygulamak çok zordur. Bunu tam olarak başarmak, 20-30 yıllık bir süreç bile olabilir. Akıllı sistemler için yasal düzenlemeler, standart yapılar belirlenmeli ve çerçevede tüm insanlara oluşan bilinc verilmelidir. İnsanlar konu ile ilgili bilinçlendirilmelidir. Kısa, orta ve uzun vadeli planlar yapılmalıdır.

Mevcut sistemi tamamen kaldıramayacağımız için yapılması gereken, bundan sonra sisteme bütünleşmiş edilecek yapıları akıllı sisteme uygun biçimde bütünleşmiş edebilmektir. Yapılan bir çalışmada, tam Smart Grid yapısı kullanıldığında, Amerika'da kullanılan arabaların %85'i hiçbir ek santral kullanılmadan mevcut şebekeden şarj olabileceği görülmüştür. Bunun nedeni enerjinin kullanılmadığı gece saatlerinde arabaların şarjda olacağı ve bu enerjiyi kullanabilmesidir. Akıllı şebeke bileşenlerini aşağıda şekilde özetleyebiliriz.

Akıllı Uygulamalar: Önceden belirlenmiş kullanıcı tercihlerine bağlı olarak gücün ne zaman tüketileceğini belirler. Bu da elektrik üretimi ve emisyonlar üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olan tepe (peak) yüklerini indirger.

Akıllı sayaçlar: Tüketici ve gücü sağlayan kuruluş arasında iki yönlü iletişimi sağlar ve ödeme verilerinin toplanmasını, güç kesintilerinin belirlenmesini ve tamircilerinin hızlı bir şekilde doğru konuma yönlendirilmesini sağlar [5,6].

Bütünleştirilmiş haberleşme: Veri toplama (SCADA), koruma ve kontrol düşünceleri, bütünleştirilmiş bir sistemde kullanıcının akıllı elektronik cihazlar ile etkileşimini sağlar.

Hissetme ve Ölçme: Şebekenin sağlıklı olduğunu ve bütünlüğünü koruduğunu tanımlayacak verileri toplar. Otomatik okumayı, çevrimiçi enerji maliyetinin bilinmesini ve enerji hırsızlığını engeller.

Akıllı istasyonlar: Güç faktörü başarımı, kesici, trafo ve akü durumunun izlenmesi, kritik ve kritik olmayan işlem kontrolünü sağlar.

Akıllı Dağıtım: Kendi kendini iyileştiren, dengeleyici ve en uygunlaştırıcı yapıdadır. Otomatik izleme ve analiz etme özelliği ile hava durumu ve enerjisiz kalma geçmişine bağlı olarak arızaları tahmin edebilecek yapıya sahip sistemlerdir.

Akıllı Üretim: Şebekenin birçok noktasından alınan geri beslemeler ile enerji üretiminin en uygunlaştırılması, gerilimin, frekansın ve güç faktörünün otomatik olarak ayarlanabilmesi için öğrenme özelliğine sahip güç üretimi akıllı üretimle sağlamaktadır.

İleri kontrol metotları: Şebekenin durumunu analiz ederek tanımlayan ve tahmin eden cihazlar ve algoritmalar topluluğunu ifade etmektedir. Otomatik olarak düzeltici önlemler alınarak enerji kesintilerini ve güç kalitesi problemleri engellenir ya da etkileri azaltılır [5,6].

4. SONUÇ

Yeni nesil elektrik şebekesi için veri merkezli dağıtılmış bilgi altyapısının faydalarını gösterilmiştir. Sorun noktaları ortadan kaldırarak ölçeklenebilir ve verimli, güvenilir elektrik şebekesi çalışmasını destekleyen güvenli bir katman mimarisi önerilmektedir. Veri altyapısı LAN ve WAN sistemi, gecikme ve güvenilirlik, veri ve olay işlemlerinin bir arada gereksinimleri her ikisinin birlikteliği gibi elektrik şebekesi uygulamaların özellikleri nedeniyle tipik bir dağıtık sistemden farklıdır. Bunlara göre sonuçlar şöyle sıralanabilir:

1. Kendi şebekemizin dinamik analizlerinin alt yapısı oluşturularak, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin yük akışı ve kısa devre katkısının yanında, dinamik yapıları da incelenmelidir.
2. Gelecekte artacak yenilenebilir enerji katkısı da düşünülerek, yön değiştirebilecek güç akışları ve adalaşma konumları için koruma koordinasyonun alt yapısı hazırlanmalıdır.
3. İletişim protokolleri gelecekteki şebeke yapısına uygun seçilmelidir.
4. Uzaktan enerji izleme ve ölçme yapısı tasarlanmalı, modern ve hızlı olmasına dikkat edilmelidir.
5. Şebekeye yenilenebilir enerji sistemlerinin katkısı, aktif ve reaktif güç kontrolü yapabilen sistemler için şebekenin uygun noktaları ve farklı senaryolar incelenmelidir.

Türkiye’de böyle bir sistemin kurulması ve deneme çalışmaları için, ithal ürünlerin fiyatlarının düşmesini beklemek yerine, kendi ürün ve projelerimizi geliştirmeliyiz. Bu sayede yarınları planlayarak bugünün de problemlerini çözebiliriz.

5. KAYNAKLAR

- [1]Çetinkaya H.B., Rüzgar ve Güneş Santrallerinin Şebeke Bağlantısı Teknik ve Ekonomik Sorunlar Paneli, ODTÜ, ANKARA.
- [2]Smart Grid, Akıllı Şebeke <http://www.guneshaber.net/haber/891-uygulamalar-smart-gridakilli-sebeke.html>.
- [3]Budka, K., Deshpande, J., Hobby, J., Kim Y., Kolesnikov V., Lee W., Reddington T., Thottan, M.; White C.A., Choi J., Hong J., Kim J., Ko W., Nam Y., Sohn Y., GERI - Bell Labs Smart Grid Research Focus: Economic Modeling, Networking, and Security & Privacy, Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference, Gaithersburg, MD.
- [4]Bose A., Smart Transmission Grid Applications and Their Supporting Infrastructure, Washington State University.
- [5]Akıllı Şebeke Teknolojisi “Smart Grid”, <http://www.odtumd.org.tr/etkinlik/2009/02/ruzgarveGunesSantralleri/drHasanBasriCetinkaya.pdf>
- [6]“Engineering Insights 2008” - DOE Modern Grid Strategy
- [7]http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/_SmartGridInterimRoadmap/SecondDraftInterimRoadmap
- [8]Kim Y., Thottan M., Kolesnikov V., Lee W., A Secure Decentralized Data-centric Information Infrastructure for Smart Grid, Bell Labs, Alcatel-Lucent.

ELEKTRİK KOMPAZASYONUNUN KONUTLARDA KULLANIMI VE TASARRUF DEVRESİ TASARLANMASI

Fatih BAŞÇİFTÇİ¹ Ömer Faruk HATAY²

¹ Department of Electronics and Computer Education, Technical Education Faculty, Selcuk University, 42003, Selçuklu, Konya/TURKEY
e-mail: basciftci@selcuk.edu.tr

Phone: +90(332)223 33 53 Fax: +90(332)241 21 79

² Master Student of Graduate School of Natural and Applied Sciences, Selcuk University, 42003 Selçuklu, Konya/TURKEY e-mail: farukhatay@gmail.com

ÖZET

Elektrikle çalışan sistemlerde tasarruf sağlamanın ve verimliliği arttırmanın en etkin yöntemlerinden birisi de reaktif güç kompanzasyonudur. Türkiye’ de halen uygulanan yönetmelikle birlikte, sanayide kompanzasyon zorunlu ve belirli güç aralıklarında yapılırken, konut ve küçük ölçekli işletmelerde bu konuda bir düzenleme yoktur. Bu çalışmada; reaktif gücün tek fazlı sistemlerde ölçülerek, bir mikrodnetleyici yardımıyla tasarrufa yönlendirilmesi hesaplaması geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde akım ile gerilim arasında oluşan faz farkı ölçülerek, çekilen reaktif güç miktarına göre çıkışlar değiştirilmiş ve tasarrufa yönlendirme gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonuçları, tasarlanan sistemin basit yapılı ve küçük boyutlu olduğunu, sistemin güç katsayısını optimum seviyeye getirerek tasarruf sağladığını, hataların en aza indirildiğini ve maliyeti düşürdüğünü göstermiştir. Ayrıca sistemin taşınabilir özelliği sayesinde, reaktif güç harcanmayan ya da herhangi bir cihaz kullanılmadığı zamanlarda oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçilmiştir. Bu özellikleriyle piyasada satılan cihazlardan daha verimli, kullanışlı ve ekonomiktir.

Anahtar Kelimeler: Reaktif güç katsayısı, kompanzasyon, mikrodnetleyici, elektrik tasarrufu, faz farkı.

1. GİRİŞ

Tasarruf ve verimliliği artırmanın en etkili yöntemlerinden birisi güç kompanzasyonudur. Bu yöntemle, jeneratör, transformatör, bobin, motor gibi endüktif yüklerin oluşturduğu reaktif güç, kapasitif yüklerle dengelenmeye çalışılmaktadır [1, 2, 13]. Türkiye’ de “Elektrik tarifeleri yönetmeliği” ile birlikte kurulu gücü 9 kW nin üstünde olan tüketiciler için kompanzasyon zorunlu hale getirilmiş ve sınırlandırılmıştır. Kurulu gücü 9 kW’ nin altında kalan tüketiciler için ise herhangi bir zorunluluk bulunmamaktadır [3].

Bu çalışmada; konut ve küçük ölçekli işletmelerde, kompanzasyon işlemi için gerekli reaktif güç katsayısının, bir mikrodnetleyici yardımıyla ölçülmesi ve tasarrufa yönlendirmesi geliştirilmiştir. Tek fazlı hattan sensörler yardımıyla akım ve gerilim bilgisi alınmıştır. Akım bilgisi, sensör içerisinde

geçirilen kablo üzerindeki akım dalgası ile elde edilmiştir. Gerilim bilgisi ise 220 voltluk şebeke gerilimine bağlı gerilim sensörünün çıkışından alınmıştır. Elde edilen akım ve gerilim sinyalleri, sıfır geçiş dedektöründen geçirilmiştir. Sıfır geçiş dedektörünün çıkışından alınan akım ve gerilim sinyalleri mikrodnetleyicinin girişlerine uygulanmış ve sıfır anından geçiş bilgileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda akım ve gerilim arasındaki zaman farkı (faz farkı) reaktif güç katsayısını belirlemede kullanılmıştır. Reaktif gücün büyüklüğüne göre değiştirilebilen girişler, tasarruf (kompanzasyon) elemanlarının yönlendirilmesinde kullanılmıştır. Gerçekleştirilen devre, yapılan kompanzasyon işlemi ile diğer cihazlardan tasarruf ve verimlilik anlamında üstün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan kompanzasyon elemanlarının gerektiği zamanlarda devreye alındığı için, kullanım ömrünün uzadığı görülmüştür.

2. MATERYAL ve METOD

Gerçekleştirilen ölçme devresinde, şebeke hattına bağlanan sensörler yardımıyla, reaktif güç katsayısı belirlemede kullanılan akım ve gerilim sinyal bilgileri elde edilmiştir. Akım bilgisini almak için Honeywell CSNP661 akım sensörü kullanılmıştır. Gerilim bilgisi almak için ise LEM LV-25P gerilim sensörü kullanılmıştır. Akım ve gerilim bilgilerinin sıfırdan geçiş zamanlarını karşılaştırabilmek için sıfır geçiş dedektörü oluşturulmuştur. Sıfır geçiş dedektörü için LM358 entegresi kullanılmıştır. Mikrodnetleyici devresi için, Microchip firmasının PIC serisi olan 18F452 denetleyicisi kullanılmıştır. Mikrodnetleyici için 10 Mhz kristal kullanılmıştır. Mikrodnetleyiciler de çevresel arabirimler, bir tümleşik aygıt içinde birleştirildiğinden sistem hızı ve güvenilirliği artmış, maliyet azalmıştır. PIC 18F452 denetleyicisi içerisine yazılan program ile akım ve gerilim sinyalleri arasındaki gecikme zamanı karşılaştırılarak, reaktif güç katsayısı belirlenmiş ve tasarrufa yönlendirilmiştir. Tasarruf için 12/220 volt tek kontak röle ve CBB60 6UF 3 adet kondansatör kullanılmıştır.

3. UYGULAMA

Tasarlanan tek fazlı reaktif güç ölçüm devresinde; alternatif akım (AC) şebekesine bağlanan 12 voltluk bir transformatör ve sensörler yardımıyla akım ve gerilim bilgileri elde edilmiştir. Elde edilen akım ve gerilim bilgileri sıfır geçiş dedektörünün girişlerine uygulanmıştır. Sıfır geçiş dedektörünün çıkışından alınan değerler mikrodenetleyici yazılımı ile karşılaştırılarak akım ile gerilim arasındaki gecikme zamanı hesaplanmıştır. Bu gecikme süresi aynı zamanda reaktif güç ölçümünde kullanılmıştır. Gecikme zamanına göre giriş ve çıkışlar değiştirilmiş ve kompanzasyon elemanları yönlendirilmiştir [4]. Tasarlanan ölçüm devresinin blok şeması Şekil 1’ de verilmiştir.

3.1. Akım ve Gerilim Bilgisinin Okunması

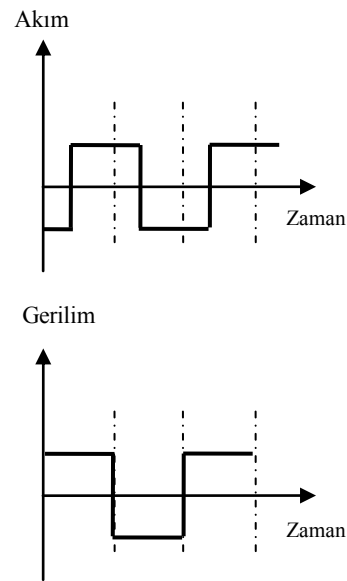
Tek fazlı sistemden akım bilgisini okuyabilmek için, devreye bir adet CSNP661 akım sensörü bağlanmıştır. Akım sensörünün içerisinden geçirilen bir kablo yardımıyla akımın sinyalleri okunmuştur. Devreye seri olarak bağlanan akım sensörünün çıkışı 100 ohm’ luk dirence uygulanmış ve direnç üzerinden akım bilgisi alınmıştır. Daha sonra elde edilen bu akım bilgisi, sıfır geçiş dedektörüne yönlendirilmiştir [5, 6, 7]. Gerilim bilgisini elde etmek için ise tek faz hata dönüştürme oranı 220/5 volt, besleme gerilimi +15 ve -15 olan LEM LV 25-P gerilim sensörü bağlanmıştır. Gerilim sensörünün çıkışından gerilim bilgisi okunarak, sıfır geçiş dedektörüne yönlendirilmiştir. Devreye paralel olarak bağlanan gerilim sensörünün ve akım sensörünün devre şeması Şekil 2’ de gösterilmiştir [6, 8, 9].



Şekil 2. Akım ve gerilim bilgisinin okunması

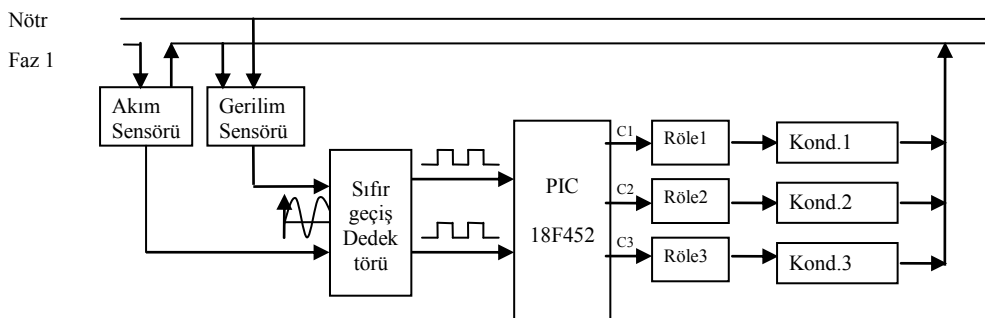
3.2. Sıfır Geçiş Dedektörü

Akım ve gerilim sensörlerinden elde edilen sinyaller, sıfır geçiş dedektöründeki LM358 entegresinin girişlerine uygulanmıştır. Sıfır geçiş dedektörünün amacı sinyallerin sıfır noktasından geçtiği anları tespit edebilmesidir. Sinyaller sıfırdan geçtiği anda detektör lojik 1 sinyali vermektedir. Akım bilgisi opampın 2 nolu girişine, gerilim bilgisi ise 6 nolu girişe uygulanmıştır. Opampın 1 ve 7 nolu çıkışlarından elde edilen kare sinyaller arasındaki açı, aynı zamanda akım ile gerilim arasındaki faz farkını ifade etmektedir. Bu faz farkı ise reaktif güç hesaplamasında kullanılmıştır. Sıfır geçiş dedektörü devresinin blok diyagramı Şekil 3’ de gösterilmiştir [5, 10, 11].

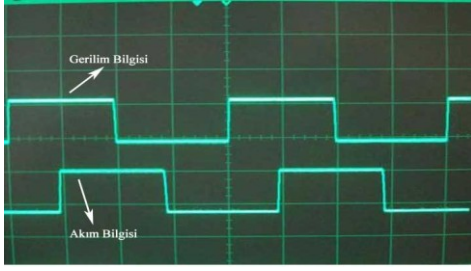


Şekil 3. Sıfır geçiş dedektörü

Akım ve gerilim sinyallerinin sıfır geçiş dedektöründen sonraki durumu Şekil 8’ de gösterildiği gibidir. “φ” açısı akımla gerilim arasındaki faz farkını ifade etmektedir. Uygulaması yapılan kompanzasyon devresine, osiloskop prompları bağlanmış, ekranda oluşan görüntü Şekil 4’ de gösterilmiştir.



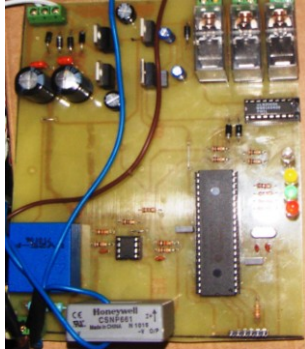
Şekil 1. Tasarlanan reaktif güç ölçüm devresinin blok şeması



Şekil 4. Sıfır geçiş dedektöründen alınan akım ve gerilim bilgileri

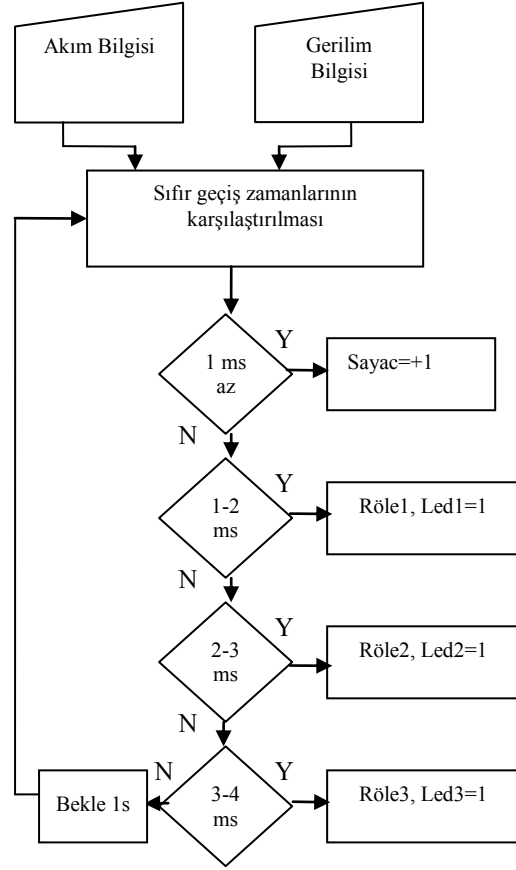
3.3. Mikrodenetleyici devresi

Sıfır geçiş dedektörü, akım ve gerilim sinyalleri 0' dan geçtiği anda lojik olarak 1 sinyalini üretir. Bu sinyaller mikrodenetleyici girişine uygulanmıştır. Bu lojik sinyallerden akım sinyali mikrodenetleyicinin RD0, gerilim sinyali ise RD1 pin girişine uygulanmıştır. Gerilim sinyali sıfırdan geçtiği anda PIC 18F452 mikrodenetleyicisinin uygun olan TIMER0 zamanlayıcısı çalıştırılmış, akım sinyali sıfırdan geçtiğinde ise durdurulmuştur. TIMER0 zamanlayıcısının çalışmaya başladığı andan durduğu ana kadar geçen zaman faz farkı olarak bir değışkenden saklanmıştır. Bu değışkendeki değere göre daha sonra röleler açıp kapatılarak kompanzasyon elemanları devreye dahil edilmiş ve tasarrufa yönlendirme işlemi yapılmıştır [4, 12]. Gerçekleştirilen devre ve mikrodenetleyici devresinin şeması Şekil 5' de gösterilmiştir.



Şekil 5. Gerçekleştirilen mikrodenetleyici ölçüm devresi

Giriş ve çıkış değerleri kullanılarak mikrodenetleyici içerisine C dilinde kodlama yapılmıştır. Mikrodenetleyici için yapılan programlamada kullanılan değerler cihazın özelliklerine göre değışebilir. Değıştirilebilen değerler sayesinde maksimum tasarruf ve verimlilik sağlanabilir. Programın algoritması aşağıda (Şekil 6) verilmiştir.



Şekil 6. Programın akış diyagramı

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Tasarlanan ölçüm devresinde, lojik olarak elde edilen akım ve gerilim sinyalleri arasındaki zaman farkından yola çıkarak, reaktif güç katsayısı bir mikrodenetleyici ile belirlenmiştir. Reaktif güç katsayısının bulunabilmesi için sensörlerden alınan akım ve gerilim bilgileri PIC 18F452 mikrodenetleyicisinin girişlerine uygulanmıştır. Mikrodenetleyici içerisine yazılan program sayesinde, reaktif güç katsayısına göre tasarrufa yönlendirme gerçekleştirilmiştir. Güç katsayısının ölçülmesi için, akım ile gerilim arasında elde edilen zaman farkı açığa dönüştürülmüştür. Bu açının kosinüsü ise doğrudan reaktif güç katsayısını ifade etmektedir. Kompanzasyonun doğru ve verimli yapılabilmesi için bu değerin bilinmesi gerekmektedir. Tek fazlı alternatif akım şebekesine bağlı endüktif karakterli bir alıcının, tasarlanan reaktif güç ölçümü uygulaması yapılmıştır.

Örnek 1. Alıcı olarak, içerisinde endüktif motora sahip bir buzdolabı kullanılmıştır. Buzdolabına tüketim ve ölçüm cihazı bağlanmış ve şebekeden çektiği akım ve gerilim bilgileri okunarak arasındaki faz farkı tespit edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Ölçüm devresinin buzdolabı üzerinde uygulaması

Normal şartlar altında 3 saat boyunca buzdolabına deney düzeneği ve ölçüm cihazı bağlanmış ve test sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Gerçekleştirilen devrenin buzdolabı üzerindeki test sonuçları

Buzdolabı	$\cos \phi$	kwh	Tasarruf %
Geliştirilen devre bağlı değilken	0,56	0,46	0
Geliştirilen devre bağlı iken	0,95	0,32	29

Alınan sonuçlara göre $\cos \phi$ istenilen aralığa geldiği görülmüştür. Buzdolabı konutlarda ve küçük ölçekli işletmelerde sürekli kullanılan bir cihazdır ve önemsenmeyecek oranda reaktif güç tüketicisidir. Test sonuçlarına göre güç katsayısı ($\cos \phi$) ~0,95 seviyelerine çekilmiş ve ortalama 29% tasarruf elde edilmiştir. Kompanzasyon sistemi, evdeki diğer elektrikli cihazlarda test edilmiş açık ve kapalı olduğu konumlarda veriler kaydedilmiştir. Test sonuçlarına göre reaktif güç tükettiği bilinen cihazlarda yüksek oranlarda net tasarruflar sağlanmıştır. Telli elektrikli ısıtıcılar, ütü, telli lamba, saç kurutma makinesi, tost makinesi vs. gibi cihazlarda reaktif güç harcanmadığından çok düşük miktarda tasarruflar sağlanmıştır. Fakat enerji kalitesinin ve verimliliğin arttığı, harmoniklerin etkisinin azaldığı düşünüldüğünde, bunların bozucu etkisinin maliyetinin de bir tasarruf olduğu gerçektir.

Kompanzasyon devresi taşınabilir özelliği sayesinde tek tek bütün cihazlarda kullanılacağı gibi bir çoğaltıcı yardımıyla birden fazla cihaz faydalanacak şekilde de kullanılabilir. Evdeki elektrikli cihaz türlerine göre gruplandırılmış ve test sonuçları Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 2. Bir evde bulunan elektrikli cihazların gruplar halinde tasarruf oranları

No	Grup adı	Grup içeriği	Tasarruf oranı %
1	Beyaz eşya	Buzdolabı, çamaşır ve makinesi, fırın vb.	23,25
2	Isıtıcılar	Elektrikli ısıtıcı, ütü, kete, kombi vb.	1
3	Aydınlatma	Telli lamba, flüoresan	21

4	Motorlu	lamba vb. Elektrik süpürgesi, vantilatör, klima vb.	23
5	Elektronik	Televizyon, bilgisayar sistemleri vb.	24

5. SONUÇLAR

Günümüzde küçük ölçekli işletmeler ve konutlarda kullanılan mevcut kompanzasyon sistemleri, reaktif güç katsayısı ölçümü yapmadan kompanzasyon işlemini gerçekleştirmektedir. Bu kompanzasyon sistemleri, şebekeye sabit şekilde bulunduğu için, cihaz kullanılmayan veya reaktif güç harcanmayan zamanlarda sisteme gereksiz kapasitif yük vermektedir. Bu durumda sisteme verilen kapasitif yükler tasarruf sağlamayacak aksine faturaya fazladan bir yük getirecektir.

Bu çalışmada; küçük ölçekli işletmeler ve konutlarda kullanılmak üzere, basit, kullanışlı, hassas ve güvenli bir ölçüm yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen ölçüm yöntemiyle, cihaz kullanılmayan veya reaktif güç harcanmayan zamanlarda sistemin gereksiz kapasitif yüklerle yüklenmesinin olumsuz etkileri minimuma indirilmiştir. Geliştirilen yöntemle birlikte, sistemden daha fazla reaktif güç çekildiğinde, daha fazla kondansatör devreye gireceği için etkin verimli ve yüksek oranda tasarruf sağlanacaktır. Mevcut sistemlerde yapılan tasarruf ve cihaz çalışmadığı zamanlarda sisteme olan olumsuz etkisinin karşılaştırılması Tablo 3’ de verilmiştir.

Tablo 3. Mevcut Cihaz Türlerinin tasarruf oranları ve şebekeye olumsuz etkileri

Mevcut cihaz Türleri	Tasarruf Aralığı %	Olumsuz etkisi %
Sigortaya sabit	5-25	20
En yakın prize takılmış	5-25	15
Bu Yöntemle	5-38	1

Mevcut çeşitli modellerdeki kompanzasyon sistemlerinden, sigortaya sabit halde bulunan cihazlar yaklaşık olarak; 5-25% tasarruf, en yakın prize sabit takılmış cihazlar ise; 5-25% oranla tasarruf yapmaktadır. Buna karşılık sistemde reaktif güç harcamayan cihazların çalıştığı veya elektrikli cihaz çalışmadığı zamanlarda sisteme gereksiz kapasitif yük vererek, yaklaşık 15-20% oranında negatif tasarrufa neden olmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen ölçme devresi ile reaktif güç durumu ölçülerek reaktif güç harcamayan cihazların çalıştığı veya elektrikli cihaz çalışmadığı zamanlarda sisteme gereksiz kapasitif yük verilmesinin etkisi azaltılmıştır. Yapılan deney ve test aşamalarında program bekleme süresi ve rölelerin oluşturduğu zaman kaybından dolayı 1%’ lik bir hata payı olabileceği göz önünde bulundurulmuştur. Reaktif gücün daha fazla çekildiği

durumlarda ise daha fazla kompanzasyon elemanı devreye alınmış dolayısı ile yaklaşık 1-41% oranında tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca uygulanan sistemde, harmoniklerin oluşturduğu etkinin azaltıldığı, elektrik kalitesi ve verimliliği arttığından kompanzasyon elemanlarının ve cihazlarının ömrünün uzama durumu vardır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Demirkol Ö (2006). Harmonik içeren ve dengesiz şebekelerde ölçme ve kompanzasyon. Yüksek lisans tezi, Sakarya Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [2] Lin B R, Tsay S C, Liao M S (2001). Integrated power factor compensator based on sliding mode controller. IEEE Electric. Power Application. 148 (3): 237-244.
- [3] <http://www.epdk.org.tr> (E. Tarihi: 22.04.2010).
- [4] Hatay Ö.F (2010) Bulanık Mantık Kontrollü Ev Tipi Kompanzasyon Sistemi Tasarımı. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [5] Çolak İ, Bayındır R (2003). Güç Katsayısının Bir Mikrodenetleyici Kullanarak Ölçümü. Erciyes University, Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences. 19 (1-2): 50-58.
- [6] Rüstemli S, Ateş M (2009). PIC Kullanarak Güç katsayısı ölçüm devresi tasarımı. Symposium of Energy Efficiency and Quality, Kocaeli. 263-268.
- [7] http://www.contractelectronica.ru/files/124/CS_NP661.pdf (E. Tarihi: 01.06.2010).
- [8] Bayındır R, Kaplan O (2007). PIC Denetimli Reaktif Güç Rölesi Tasarımı. Gazi University. Journal of Architectural & Engineering Faculty. 22 (1): 47-56.
- [9] <http://web4.lem.com/docs/products/lv%2025-p.pdf> (E. Tarihi: 01.06.2010).
- [10] Bayhan S, Demirbaş Ş (2009). Mikrodenetleyici Tabanlı Multimetre Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. IATS' 09, Karabük, Turkey. P 1365-1370
- [11] Barsoum N (2007). Programming of PIC Micro-Controller for Power Factor Correction. First Asia International Conf. on Modelling&Simulation. 19-25.
- [12] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf> (E. Tarihi: 01.06.2010).
- [13] Richard E, Frederic P.C.H, Jayanta K.P (1999). Optimal Reactive Power Control for Industrial Power Networks. IEEE Transaction on Industry Applications, 35 (3), 506-514.

ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİNE BAĞLANAN KOJENERASYON SANTRALLARINDA YÜKSELTİCİ TRANSFORMATÖRLERİN YILDIZ NOKTASI TOPRAKLAMASININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

Nuran YÖRÜKEREN, Bora ALBOYACI, Serhat DUMAN
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü

nurcan@kocaeli.edu.tr, alboyaci@kocaeli.edu.tr, serhatduman@duzce.edu.tr

Özet

Ulusal Elektrik Şebekesinden beslenen yükseltici transformatörün primeri yıldız bağlı ve yıldız noktası topraklanmışsa, meydana gelen faz-toprak kısıdevresinde transformatörün topraklama iletkeninden büyük değerde toprak kısıdevre akımları geçebilir. Bu durum özellikle şebekeye bağlı bir generatorün nötr topraklamasının olmaması generator yükleyen birden ada moduna geçtiğinde bazı problemlere neden olabilir. Bu problem generatorün şebekeye bağlandığı bölümde açma cihazının açması şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Faz-toprak kısa devre, nötr topraklama direnci, kojenerasyon santrali, peterson bobini,

1. GİRİŞ

Son yıllarda elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın gün geçtikçe teknolojik gelişmelere paralel olarak artması, buna karşılık ham enerji kaynaklarının aynı oranda harekete geçirilememesi, enerji kaynaklarından mühendisleri verimli enerji dönüştürme çevrimleri geliştirmeye yöneltmiştir. Yüksek verimlerinden dolayı, elektriksel ve/veya mekanik gücün ve bunun yanında yararlanılabilir ısının, eş zamanlı olarak, termik yanmalı motor ve türbinler aracılığı ile üretilmesi olarak tanımlanabilecek kojenerasyon sistemleri kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada enterkonnekte şebekeye bağlı kojenerasyon sistemleri incelenecektir. Zira kojenerasyon sisteminde bulunan yükseltici transformatörünün primeri yıldız bağlı ve topraklanmış olması durumunda enterkonnekte şebekede oluşabilecek faz-toprak kısa devresinde generatorün ne şekilde etkileneceği bilgisayarla yapılan kısa devre hesapları sonucunda gösterilmeye çalışılmıştır. Farklı sistemler için yapılan hesaplamalarda uluslararası standartlar (IEC, VDE vb.) göz önünde tutularak kısa devre hesabı yapan DIGSILENT programı kullanılarak VDE'ye göre,

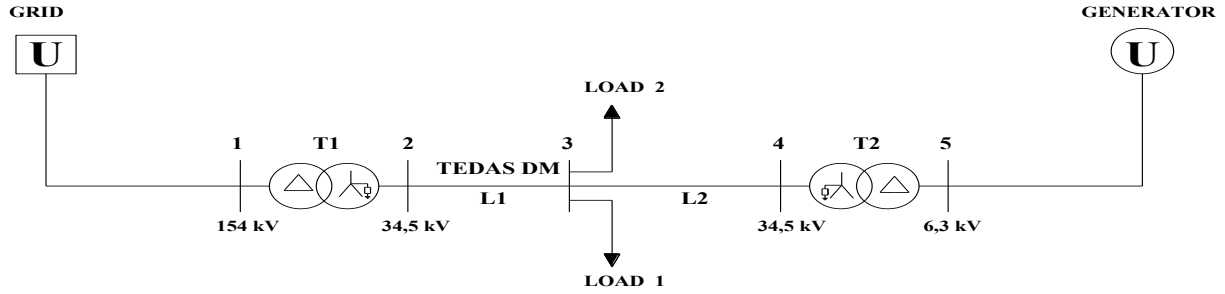
farklı baralarda oluşan kısa devre akım ve gerilim değerlerinin kısa devre süresince hangi değerleri aldığı incelenmiştir.

2. ÖRNEK BİR ŞEBEKEDEN FAZ TOPRAK ARIZA AKIMININ SİMÜLASYONU

Güç sistemleri; sistem gerilimi için referans noktası oluşturmak amacıyla topraklanır. Bunun nedeni geçici durumlar içi (aydınlatma, anahtarlama ve toprak hataları) toprak hatalarını tespit etmek ve geçici durumlarda aşırı gerilimlerin oluşmasını engellemektir.

Topraklanmamış dağıtım sistemleri bir fazda toprak hatası olduğu zaman enerji sürekliliğinin sağlanması gereken endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır. Bir fazlı toprak arızası sistemden aşırı akımların akmasına sebep olmaz çünkü akım arıza olmayan diğer iki fazın kapasitansı (kapasitif etkisi) tarafından sınırlandırılmaktadır. Bununla birlikte diğer fazların toprağa göre gerilimleri %73 artar ve bu etki kablo ve diğer ekipmanları olumsuz etkiler. Böylece arıza, koruma ekipmanları tarafından hissedilir ve arızaya en yakın kısımdan enerji kesilir.

Ne yazık ki, topraklanmamış sistemde ilk arıza anında gerilimin artma (nominal gerilimin altı katına kadar) olasılığı vardır. Bu yüksek gerilim sistemin en zayıf noktasında ikinci arızaya sebep olur ve daha zararlı arıza akımı oluşur. Aşırı akım koruma cihazları arızayı temizler. Mafatih faz toprak arasındaki yüzey direnci, büyük dirençli arka neden olur. Büyüklük koruma ekipmanları için yeterli olmayabilir böylece hem telafisi yüksek maliyetli zararlar ortaya çıkabilir hem de arıza onarılmaya kadar sistem enerjisiz kalabilir. İlk arızanın yerini tespit etmek ve arızayı gidermek çok önemlidir, fakat sürekli bir sistemde bu o kadar kolay değildir. En azından arızanın bulunduğu bölge sistemden izole edilmelidir. Bu çalışmada, Şekil 1 'de gösterilen gerçek bir kojenerasyon sistemine ait tek hat şeması incelenmiştir.



Şekil 1. Örnek alınan sistemin tek hat diyagramı

T1 trafosu Ulusal Elektrik Dağıtım Şebekesinden beslenmektedir. T1 ve T2 transformatörlerinin sekonderleri 20 Ohmluk direnç üzerinden topraklanmıştır. Şebeke bağlantı şekilleri şebekede oluşacak maksimum faz toprak kısa devre akımını belirler. Ülkemizdeki en yaygın olan uygulama şekli; YNyn0 bağlantı grubuna sahip 154/34,5 kV'luk güç transformatörünün sekonder yıldız noktalarına 20 Ω 'luk direnç bağlayarak sekonder şebekede oluşacak faz toprak kısa devre akımını 995 A'e sınırlamaktır. Bunun dışında, petersen bobini üzerinde topraklama da çok yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu makalada, şebekeyle paralel çalışan generatörün yükseltici transformatörünün bağlantı grubuna göre enterkonnekte şebekede oluşabilecek faz-toprak kısa devresinde üretim sistemin ne şekilde etkileneceği incelenmiştir. DIGSILENT simülasyon programı kullanılarak, 6 farklı durum gerçekleştirilerek VDE Standardına göre kısa devre hesapları yapılmış ve generatörün ada modunda çalışmaması için en uygun çözüm öngörülmüştür. Şekil 1'de Ulusal Elektrik Şebekesinden beslenen T1 yükseltici transformatörü L1 kablosu ile dağıtım merkezine (3 nolu bara) enerji iletmektedir. Dağıtım merkezindeki bir çok çıkıştan birinden L2 kablosu ile müşteriye ait T2 transformatörü beslenmekte ve T2 transformatörünün sekonderine de generator bağlıdır. Ayrıca TEDAŞ Dağıtım Merkezine ait 3 nolu baraya 500 kVA değerinde statik bir yük bağlanmıştır. İncelenen tek hat şemasına ait elemanların hesaplanan pozitif, negatif ve sıfır bileşen kısıdevre empedansları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Burada özellikle incelenen faz-toprak kısıdevresidir. Bu nedenle trafoların bağlantı şekilleri önem kazanmaktadır. Yapılan bu çalışmada, enterkonnekte şebekeye bağlı generator sistemleri incelenecektir. Zira generator sisteminde bulunan yükseltici transformatörünün primeri yıldız bağlı ve topraklanmış olması durumunda enterkonnekte şebekede oluşabilecek faz-toprak kısa devresinde

generatorun bağlı olduğu sistemin ne şekilde etkileneceği bilgisayarla yapılan kısa devre hesapları sonucunda gösterilmeye çalışılmıştır.

Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü durumda, Trafo 2'nin sekonderine generator bağlı iken, Tr1 ve Tr2'nin farklı bağlantı şekillerine göre arıza VDE'ye göre arıza analizi yapılmıştır. İncelenen durumların sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Şekil 1 'de verilen bağlantı durumu için arıza analizi yapıldığında TEDAŞ Dağıtım merkezi barasındaki akım değeri (3 nolu barada) 1.949 kA'dır. Generator bağlı değil iken, V. Ve V1. Durumda Trafoların farklı bağlantı şekillerindeki faz toprak arıza akım değerleri Tablo 3'de belirtilmiştir. Generatorun bağlı olmadığı durum için bakıldığında faz-toprak kısa devresi toprak bağlantısından dolayı etkilidir. Dağıtım merkezine bağlı herhangi bir müşteride baş gösterecek faz-toprak kısa devrelerinde, ilgisiz gibi görünen Tr 2 transformatörünün nötr iletkeninden akım geçmektedir, görüldüğü gibi bu akım dirençle sınırlanmaktadır. Generator bağlı iken dağıtım barasındaki simülasyon sonuçları Şekil 2'de, generator bağlı değil iken 3 nolu baraya ait Simülasyon sonuçları ise Şekil 4 'de verilmiştir. Ayrıca her iki durumdaki arıza gerilim değerleri de özetlenmiştir.

3.SONUÇ

Yapılan hesaplamalardan anlaşılacağı üzere, Ulusal Elektrik Dağıtım Şebekesine bağlı müşterilerden birinde oluşabilecek faz- toprak kısıdevresinde, kısıdevre kendi dışında olmasına rağmen yükseltici transformatörün nötr iletkeninden büyük değerlerde toprak kısıdevre akımı geçtiği görülmüştür. Şebekelerin doğru boyutlanmış olmamasından dolayı bu arızalara çok sıklıkla rastlanmaktadır. Kuplaj kesicileri açtırmakta ve santral ada modunda çalışmak zorunda kalmaktadır. Bu duruma geçici bir çözüm olarak, bu tür trafoların yıldız noktaları açık olarak çalıştırılmaktadır. Gelişmiş röle koordinasyonu ile

oluşacak faz toprak kısadevresinde arızaya en yakın olan kesiciler açtırılıp arızalı bölge sistemden izole edilmelidir.

Kaynaklar

- [1] L. Heinhold,” Power Cables and Their Applications”, Published by Siemens , Berlin, 1990.
- [2] G.Yalçinkaya, Math. H. J. Bollen, P.A. Crossley “Characterization of Voltage Sags in Industrial Distribution Systems”, IEE Transactions on Industry Applications, Vol.34.,No.4,July/august 1998.
- [3] G.C.Paap,F.Jansen, “The Influence of Voltage Sags on the Stability of 10 kV Distribution Networks With Large Scale Dispersed Co-Generation and wind Generators”,IEE CIRED 2001,Conference Publication No:482, 18-21 June 2001.
- [4] Post Glover,”Applications Manual Ground Fault Protection on Ungrounded and High Resistane Grounded”,2001.
- [5] Conner, T.,”Neutral Grounding”,2008.
- [6] ZYL,S.V,”High resistance neutral earthing of MV networks with embedded generation”Energize,Jan./Feb.2009,page 28.

Tablo 1 . Tek Hat Şemasında Verilen Şebeke İçin Pozitif, Negatif ve Sıfır Bileşen Empedans Değerleri

Eleman	Veriler	$Z(1)=Z(2)$	$Z(0)$
Şebeke	U=154 kV, SKQ=2500 MVA RQ=0,1.XQ, XQ=0,995.ZQ	0,052 + j0,52	
Transformatör 1 Tr 1	154/34,5 kV, ST1=50 MVA %uk=11,7 %ur=0,7 RN=20 Ω Dyn	0,166 + j2,785	0,166 + j2,3674
Transformatör 2 Tr 2	34,5/6,3 kV, ST1=6.3 MVA %uk=7,8 Pk=53,9 kW RN=20 Ω Dyn YNd	1,616 + j14,65	1,616 + j14,65
Generator Power Station Unit (PSU)	U=6,3 kV SKQ=25,2 MVA %Xd=22,6 %X(0)=13,3 Cos θ =0,80	0,12 + j1,725 ZPSU=5,2884 =j67,0417	
Yük	500 kVA		
Hat 1	3(1x240/25)mm ² , YE3SV l=5km X=0,186 Ω /km, R=0,0754 Ω /km	0,377 + j0,93	0,377 + j2,79
Hat 2	3(1x95/16)mm ² , YE3SVl=0,8 km X=0,2125 Ω /km R=0,193 Ω /km	0,154 + j0,17	0,154 + j0,51

Tablo 2 . Generator bağlı iken Transformatörlerin farklı bağlantı şekillerine Göre F-T Kısadevre Akımları

TR1 Bağ.	TR2 Bağ.	Generatör Bağlantı Şekli	Arıza Noktası	Arıza Noktası KD Akımı (kA)	Şebekeden Gelen KD Akımı (kA)	Genetörden Gelen KD Akımı (kA)
I. DURUM						
Δ -YN	YN- Δ	YN	Term.2	8.271	7.264	1.009
Δ -YN	YN- Δ	YN	Term3	5.967	4.814	1.153
Δ -YN	YN- Δ	YN	Term 4	5.715	4.534	1.182
II. DURUM						
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ (HV side Re=20 Ω)	YN	Term2	1.995	1.518	0.478
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ (HV side Re=20 Ω)	YN	Term3	1.949	1.434	0.516
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ (HV side Re=20 Ω)	YN	Term4	1.934	1.413	0.522
III. DURUM						
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ (HV side Re=20 Ω)	YN Re=20 Ω	Term2	1.995	1.518	0.478
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ (HV side Re=20 Ω)	YN Re=20 Ω	Term3	1.949	1.434	0.516
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ (HV side Re=20 Ω)	YN Re=20 Ω	Term4	1.934	1.413	0.522
IV. DURUM						
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ	YN	Term2	3.115	1.959	1.193
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ	YN	Term3	3.263	1.955	1.34
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ	YN	Term.4	3.287	1.951	1.37

Tablo 3. Generatör bağlı değil iken Transformatörlerin Farklı Bağlantı Şekillerine Göre F-T Kısadevre Akımlar

TR1 Bağ.	TR2 Bağ.	Arıza Noktası	Arıza Noktası Kısa Devre Akımı (kA)	Şebekeden Gelen Kısa Devre Akımı (kA)	Genetörden Gelen Kısa Devre Akımı (kA)
V. DURUM					
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ (HV side Re=20 Ω)	Term.2	1.981	1.662	0.321
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ (HV side Re=20 Ω)	Term3	1.913	1.6	0.313
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ (HV side Re=20 Ω)	Term. 4	1.891	1.581	0.310
VI. DURUM					
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ	Term.2	3.020	2.314	0.929
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ	Term3	3.078	2.153	0.956
Δ -YN (LV side Re=20 Ω	YN- Δ	Term. 4	3.082	2.150	0.961

ŞEBEKEYE PARALEL ÇALIŞAN GENERATÖRLER İÇİN FAZ- TOPRAK ARIZA ANALİZİNİN BİLGİSİYAR DESTEKLİ İNCELENMESİ

Nuran YÖRÜKEREN, Musa UÇAN

Kocaeli Üniversitesi Müh.Fak.Elektrik Müh.Böl.Umuttepe,41380 KOCAELİ.
Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Müh.Böl.41380 KOCAELİ
nurcan@kocaeli.edu.tr ; musaucan@ideriosb.org.tr

Bir elektrik sistemi tasarlanırken maksimum ve minimum kısadevre akımlarının hesaplanması gerekir.Orta Gerilim şebekesine bağlı bir generatorün (EG) bağlandığı şebekeye bir nötr topraklama noktası oluşturmaması tercih edilir.Bu çalışmada özellikle incelenecek olan kısadevre faz-toprak kısadevresidir. Çünkü şebekenin bağlantı şekillerinin faz-toprak arızalarının üzerinde etkisi vardır.Şebekeye paralel çalışan generator olduğunda, sistemde oluşabilecek topraklama arızasından dolayı sistemde problemler oluşacaktır.Generator ada modunda çalışmaya geçtiğinde ,bu durum modern korum roleleri vasıtasıyla çözümlenebilir ya da hassas toprak hata koruması yapılmasını gerekli kılar.

Anahtar Sözcükler: Petersen Bobini, Nötr Topraklama Direnci, Faz-toprak kısa devresi

1. GİRİŞ

Endüstriyel tesisleri besleyen güç sistemlerindeki donanımların görevi; öncelikle can ve mal güvenliği temin edip, ardından servis sürekliliğini sağlamaktır. Güç sistemlerinde arızanın olacağı önceden kestirilemez. Dolayısı ile koruma ekipmanları arıza meydana geldikten sonra sistemi korur. Sistemin kesintiye uğramaması için şebekede oluşabilecek her türlü arızayı belli bir seviyede sınırlayıp, en kısa sürede sistemden izole edebilecek koruma elemanlarını devreye alması gerekir. Korumanın, akıma göre mi yoksa gerilime göre mi yapılacağı tesisin niteliğine göre belirlenir.

Bir elektrik sisteminde oluşabilecek kısa devre arızalarından biri de faz toprak kısa devresidir. Şebeke bağlantı şekilleri şebekede oluşacak maksimum faz toprak kısa devre akımını belirler. Ülkemizdeki en yaygın olan uygulama şekli; YNyn0 bağlantı grubuna sahip 154/34,5 kV'luk güç transformatorünün sekonder yıldız noktalarına 20 Ω 'luk direnç bağlayarak sekonder şebekede oluşacak faz toprak kısa devre akımını 995 A'e sınırlamaktır. Yapılan literatür çalışmasında görülmüş ki, Güney Afrika 'da kırsal bölgelerde havai hatlı şebekelerde 360A, kentsel bölgelerdeki kablo şebekelerinde 800 A'e kadar faz-toprak kısa devre akımını sınırlayan nötr topraklama direnci kullanılmaktadır.[1]Bunun dışında, petersen bobini üzerinde topraklama da çok yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu makalade, şebekeyle paralel çalışan generatorün yükseltici transformatorünün bağlantı grubuna göre enterkonnekte şebekede oluşabilecek faz-toprak kısa devresinde üretim sistemin ne şekilde etkileneceği incelenmiştir. DIGSILENT simülasyon programı kullanılarak, 14 farklı durum gerçekleştirilerek kısa devre hesapları yapılmış ve generatorün ada modunda çalışmaması için en doğru çözüm öngörülmüştür.

2. GENERATÖR FAZ TOPRAK HATA KORUMASI

Faz toprak arızasında arızalı fazın gerilimi sıfırdır. Ancak diğer iki fazın fazlar arası gerilimi aynı kaldığı

halde, faz toprak gerilimleri $\sqrt{3}$ katına çıkar. Dolayısı ile düşük gerilim rölesi ile arızalı faz tespit edilir. Şebekenin nötr noktası empedans üzerinden topraklı olduğu durumda ise, nötr noktasıyla toprak arasında $3V_0$ gerilimi oluşur. Generatör-transformatör ünitesinin toprak arızasına karşı korunması için birçok ülkede uygulanan ortak yöntem nötr noktasına röle tesis etmektir. Bu röle yıldız sargıda nötr hattını kesip araya tesis edilen nötr gerilim transformatorüyle birlikte çalışır. Üçgen sargıda durum ise; suni nötr noktası oluşturmak için bağlanan yıldız/üçgen topraklama transformatorün üçgen sargısının açık olan iki ucunun arasına yerleştirilen bir gerilim transformatorüyle çalıştırılır.

3.ÖRNEK BİR ŞEBEKEDEN FAZ TOPRAK ARIZA AKIMININ SİMÜLASYONU

Bu çalışmada Türkiye'deki Ulusal Elektrik Şebekesinin bir parçası oluşturulup, gerçek verilere yakın değerler alınarak Şekil 1' de yer alan tek hat şemaşı oluşturulmuştur. Özellikle hem şebeke hem de generatorün olduğu sistemde, yalnızca statik yüklerin olduğu varsayılmıştır. Sorunun varlığını ortaya çıkarmak için birçok senaryo üretilmiş ve DIGSILENT simülasyon programı kullanılarak kısa devre analizi yapılmıştır. Şekil 1 'de tek hat diyagramı verilen sistem için, 14 farklı senaryo oluşturularak, simülasyon gerçekleştirilmiştir.Her bir senaryoda trafoların bağlantı şekilleri değiştirilerek, tüm terminalerde tek faz toprak arızası hesaplanmıştır. TR-1,2,4,5 ,6 ve G 'nin bağlantı şekli aynı (Şekil 1'de) kalmak koşuluyla, TR-3'ün bağlantı şekilleri

değiştirilerek 4-9 ve 11 nolu terminallerde faz-toprak arıza analizi yapılmıştır.

Bu durum Tablo 2’de özetlenmiştir. Tablodan da anlaşılabileceği üzere, TR-3’ün sekonderi direkt topraklı iken Terminal 4’de görülen arıza akımı en yüksek değerdedir. (9.268 kA).En iyi senaryo ise doğal olarak kaynaklara en uzak nokta olan ve şebeke transformatörü yüksek direnç üzerinden topraklıyken gerçekleştirilir.Bu değer 0.198 kA’dır.

DİGSILENT programı ile yapılan faz toprak kısa devre simülasyonundan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

-Farklı topraklama yöntemlerinin kullanıldığı elektrik şebekeleri sıfır bileşen akımlarının dolaşmasını neden olur. Bu nedenle şebekedeki kaynağın sıfır faz bileşen akımlarının toplamına göre çalışan toprak hata koruma rölelerinin veya seçici toprak hata koruma rölelerinin kullanılmasını gerekli kılar. Yaygın olarak pasif şebekelerde akım yönü değişmediği için yönlü koruma kullanılmaz.

-Tüm toprak hata akımlarının artmasına rağmen akım, kaynakların sıfır bileşen akımları arasında paylaşılır ve bu durum bazı rölelerin toprak hata akımlarını algılamamasına neden olur.

-Birçok nötr topraklama noktasının olması sıfır bileşen akımlarının dolaşmasına ve dolayısıyla 3 ve 3’ün katı harmoniklerin (3., 6.,9.vb)oluşmasına neden olur. Hattın empedansı ile uyum olmayan sıfır bileşen(50 Hz) akımları farklı nötrlerde dolaşır. Bu O.G.’de kullanılan toprak hata korumasında çeşitli problemlere sebebiyet verir.

-Nötr topraklaması için kullanılacak olan direncin omik değeri, sistemin gerilimi ve farzedilen toprak arıza akımının büyüklüğüne göre belirlenir.

- Generatör için Dyn bağlı yükseltici transformatör kullanılarak, generatörün faz toprak arızasında veya ferrorezonans anında sargılarını korumak için münferit topraklama yapılabilir.

- Yükseltici transformatörün alçak gerilim sargılarının yıldız noktasının direnç üzerinden topraklanması generatörün çıkış barasında oluşacak kısa devre akımını sınırlamada çok daha etkilidir.

Şekil 2’de simülasyon çalışmasının bir örneğinin sonucu görülmektedir.Bu durumda TR-3 (YNyn) bağlı ve sekonder tarafında yıldız noktası 20 ohm değerindeki Peterson bobini üzerinden topraklıdır.TR-4 (Yd) bağlı iken Terminal 9’da hesaplanan kısa devre akım değeri 0.873 kA’dır.Şekil 3’de gösterilen simülasyon sonucunda ise TR-4’ün bağlantı şekli YNd olarak alınmıştır ve aynı noktada kısa devre akımı 1.357 kA olarak hesaplanmıştır. TR-4’ün şebeke tarafı direkt topraklı veya direnç üzerinden topraklı

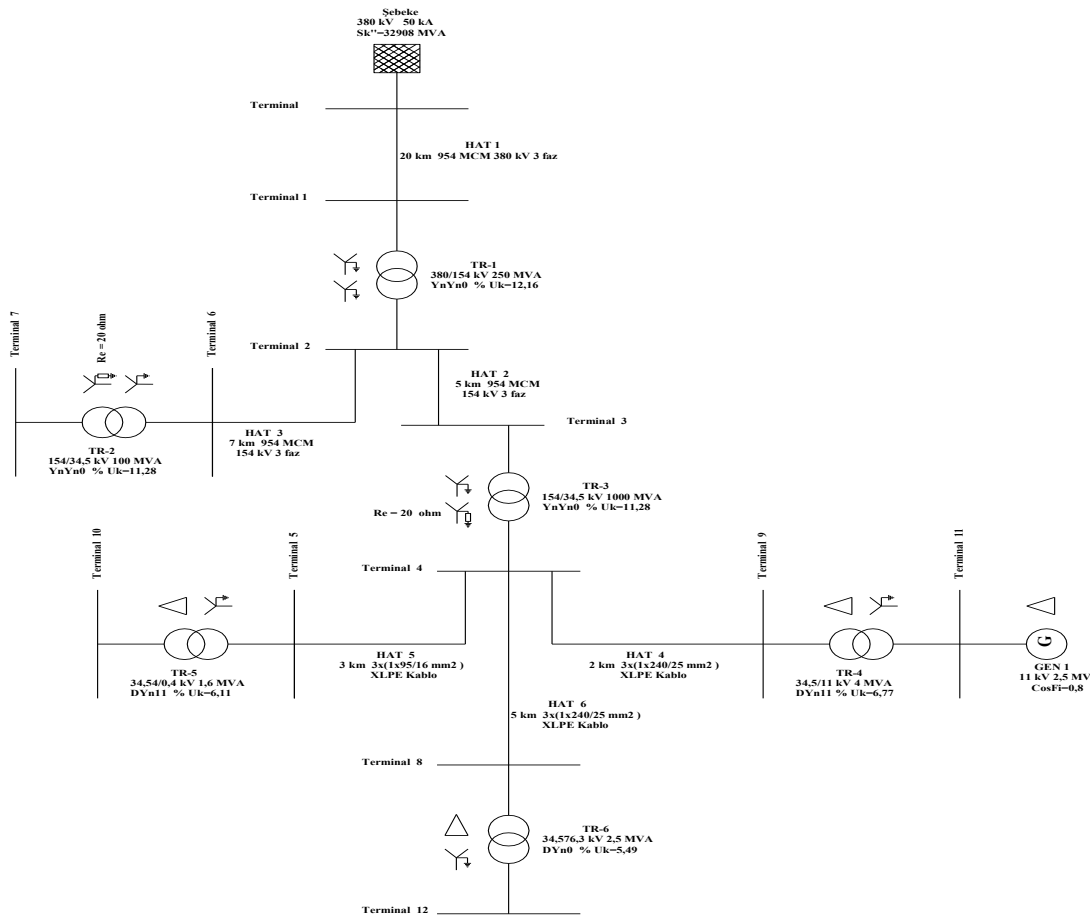
olduğunda bu hat üzerindeki tüm empedanslar TR-3’ünsekonder tarafındaki 20 ohm’luk Petersen bobinine paralel bağlanacağından kısa devre akımı artar. En uygun yöntem şebeke tarafındaki transformatörü (kaynak) yani TR-3nolu transformatörün34,5kV tarafının empedans üzerinden topraklanmasıdır. Terminal 9’de oluşabilecek faz toprak kısa devresi ile ilgili; TR-3’ün sekonder yıldız noktasında 20 Ω ’luk direnç kullanıldığında 0,986 kA’lık kısa devre akımı oluşurken, 20 Ω ’luk reaktans kullandığında ise 0,873 kA kısa devre akımı oluşur. Buradan da anlaşıyor ki petersen bobini üzerinden nötr topraklama sistemi direnç üzerinden nötr topraklama sistemine göre daha etkilidir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada genaratörün şebeke ile paralel çalıştığı durumda sistemde meydana gelebilecek olan faz toprak kısa devresinde generatörün bu arızadan etkilenip ada moduna geçmemesi için yöntemler araştırılmıştır. Buna göre öncelikle sistemde oluşabilecek faz toprak arıza akımı nötr topraklama direnciyle veya peterson bobini kullanılarak belli bir değere sınırlandırılmalıdır. Kısa devre akımının bir aktif bir de reaktif bileşeni vardır. Dolayısı ile kısa devre akımının aktif bileşeni direnç ile reaktif bileşeni de dirence seri veya paralel bağlanacak peterson bobini ile sınırlandırılabilir. Generatörlerin bağlı olduğu orta gerilim şebekelerinde bu tarz bir nötr topraklamasını kullanmak daha etkilidir. Daha sonra sistemin özelliğine göre, radyal veya ring şebeke olma durumuna göre tesis edilecek röle koordinasyonu sayesinde arıza giderilmelidir.

Şunu da belirtmek gerekir ki; generatörün bağlı olduğu şebekede generatörün yükseltici transformatörün yüksek gerilim sargılarının YN bağlı olmasının şebekeyle paralel çalışma durumunda maksimum faz toprak kısa devre akımını artıracığından bir faydası yoktur. Yani şebekeyle paralel çalışan generatörün, şebekenin nötr topraklamasına paralel bir nötr topraklama noktası oluşturmaması tercih edilir. Bu yüzden generatörün gücü şebeke tarafındaki transformatörün gücüne göre küçükse yükseltici transformatörün Dyn bağlı olması gerekmektedir. Generatör tesisinin kaynak terminalinden uzakta olduğu durumlarda nötr topraklamasının gerektiğinde generatörü anahtarlama yoluyla topraklayarak nötr topraklaması ile ilgili problemlerin üstesinden gelinebilir. Zira generatör ada moduna geçtiğinde artık kendisi bir şebeke gibi davranır ve oluşabilecek faz toprak kısa devre akımı anahtarlama yolu ile sisteme dahil edilecek olan topraklama empedansı ile sınırlandırılmalıdır. Eğer generatörün yükseltici transformatörü Dyn bağlı ise zigzag bağlı veya yıldız-üçgen bağlı topraklama transformatörü ile suni nötr noktası oluşturulabilir.

Ülkemizde, dağıtım sisteminde 34,5 kV işletme gerilimi yerine 11 kV veya 22 kV kullanılsaydı; hat kayıpları azalacak ve 34,5/11 kV dağıtım transformatörü yerine 110/11 kV'lık güç transformatörleri kullanılacak ve şalt merkezlerinin ölçüleri küçülecektir. 11 kV veya 22 kV'lık sistemde oluşacak maksimum faz toprak kısa devre akımı daha düşük olur.



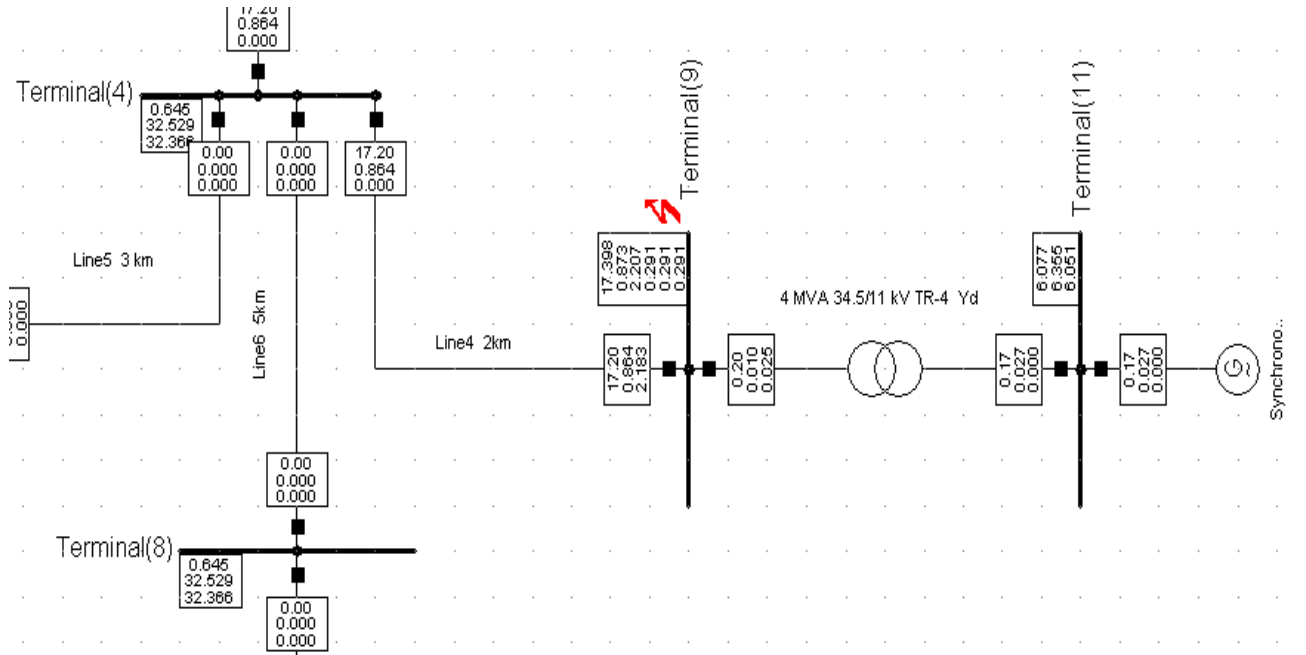
Şekil 1. İncelenecek sistemin tek hat şeması

Birimler	Veriler	$Z(1) = Z(2)$	$Z(0)$
Şebeke	$U=380\text{ kV}$, $S_kQ=32908\text{ MVA}$ $RQ=0,1\text{ XQ}$, $XQ=0,995.ZQ$		
Trafo 1	$380/154\text{ kV}$, $ST1=250\text{ MVA}$ $\%uk=12,16$ $\%uR=0,1$ $RN=20\ \Omega\ Dyn$	$R1=R2=0,0230\text{ ohms pu}$ $X1=X2=0,1149\text{ ohms pu}$	$R0=0,0230\text{ ohms pu}$ $X0=0,1149\text{ ohms pu}$
Trafo 2	$154/34,5\text{ kV}$, $ST2=100\text{ MVA}$ $\%uk=11,28$ $\%uR=0,058$ $RN=20\ \Omega\ Dyn$	$R1=R2=0,0230\text{ ohms pu}$ $X1=X2=0,1149\text{ ohms pu}$	$R0=0,0230\text{ ohms pu}$ $X0=0,1149\text{ ohms pu}$
Trafo 3	$154/34,5\text{ kV}$, $ST3=100\text{ MVA}$ $\%uk=11,28$ $\%uR=0,058$ $RN=20\ \Omega\ Dyn$	$R1=R2=0,0230\text{ ohms pu}$ $X1=X2=0,1149\text{ ohms pu}$	$R0=0,0230\text{ ohms pu}$ $X0=0,1149\text{ ohms pu}$
Trafo 4	$34,5/11\text{ kV}$, $ST4=4\text{ MVA}$ $\%uk=6,77$ $\%uR=0,714$ $RN=20\ \Omega\ Dyn$	$R1=R2=0,0041\text{ ohms pu}$ $X1=X2=0,0205\text{ ohms pu}$	$R0=0,0041\text{ ohms pu}$ $X0=0,0205\text{ ohms pu}$
Trafo 5	$34,5/6,3\text{ kV}$, $ST5=2,5\text{ MVA}$ $\%uk=5,49$ $\%uR=0,877$ $RN=20\ \Omega\ Dyn$	$R1=R2=0,0026\text{ ohms pu}$ $X1=X2=0,0128\text{ ohms pu}$	$R0=0,0026\text{ ohms pu}$ $X0=0,0128\text{ ohms pu}$
Trafo 6	$34,5/0,4\text{ kV}$, $ST6=1,6\text{ MVA}$ $\%uk=6,11$ $\%uR=0,089$ $RN=20\ \Omega\ Dyn$	$R1=R2=0,0016\text{ ohms pu}$ $X1=X2=0,0082\text{ ohms pu}$	$R0=0,0016\text{ ohms pu}$ $X0=0,0082\text{ ohms pu}$
Generatör	11 kVS , $SG1=2,5\text{ MVA}$ $\%Xd=1,917$ $\%X(0)=0,106$ $\cos\Theta=0,8$	$X(2)=0,264\text{ r}(2)=0,0301$	$X(0)=0,106\text{ r}(0)=0,01366$
Hat 1	380 kV 954 MCM 20 km $r1,2=0,02089\ \Omega/\text{km}$, $x1,2=0,26599\ \Omega/\text{km}$ $r0=0,30299\ \Omega/\text{km}$, $x0=0,991002\ \Omega/\text{km}$	$0,418+j5,320$	$6,060+j19,820$
Hat 2	154 kV 954 MCM 5 km $r1,2=0,062135\ \Omega/\text{km}$, $x1,2=0,38111\ \Omega/\text{km}$ $r0=0,31813\ \Omega/\text{km}$, $x0=1,1395371\ \Omega/\text{km}$	$0,3107+j1,9056$	$1,5907+j5,6977$
Hat 3	154 kV 954 MCM 7 km $r1,2=0,062135\ \Omega/\text{km}$, $x1,2=0,38111\ \Omega/\text{km}$ $r0=0,31813\ \Omega/\text{km}$, $x0=1,1395371\ \Omega/\text{km}$	$0,4349+j2,6678$	$2,2269+j7,9768$
Hat 4	$3\times(1\times240/25)\text{ mm}^2$ $YE3SV=2\text{ km}$ $X=0,1783\ \Omega/\text{km}$ $R=0,0754\ \Omega/\text{km}$ $X(1,2)=0,2030\ \Omega/\text{km}$ $R(1,2)=0,0754\ \Omega/\text{km}$ $X(0)=0,6863\ \Omega/\text{km}$ $R(0)=0,0754\ \Omega/\text{km}$	$0,1508+j0,406$	$0,1508+j1,3726$
Hat 5	$3\times(1\times95/16)\text{ mm}^2$ $YE3SV=3\text{ km}$ $X=0,1972\ \Omega/\text{km}$ $R=0,193\ \Omega/\text{km}$ $X(1,2)=0,3137\ \Omega/\text{km}$ $R(1,2)=0,193\ \Omega/\text{km}$ $X(0)=1,0577\ \Omega/\text{km}$ $R(0)=0,193\ \Omega/\text{km}$	$0,579+j0,9471$	$0,579+j3,1731$
Hat 6	$3\times(1\times240/25)\text{ mm}^2$ $YE3SV=5\text{ km}$ $X=0,178\ \Omega/\text{km}$ $R=0,0754\ \Omega/\text{km}$ $X(1,2)=0,2030\ \Omega/\text{km}$ $R(1,2)=0,0754\ \Omega/\text{km}$ $X(0)=0,6863\ \Omega/\text{km}$ $R(0)=0,0754\ \Omega/\text{km}$	$0,377+j1,015$	$0,377+j3,4315$

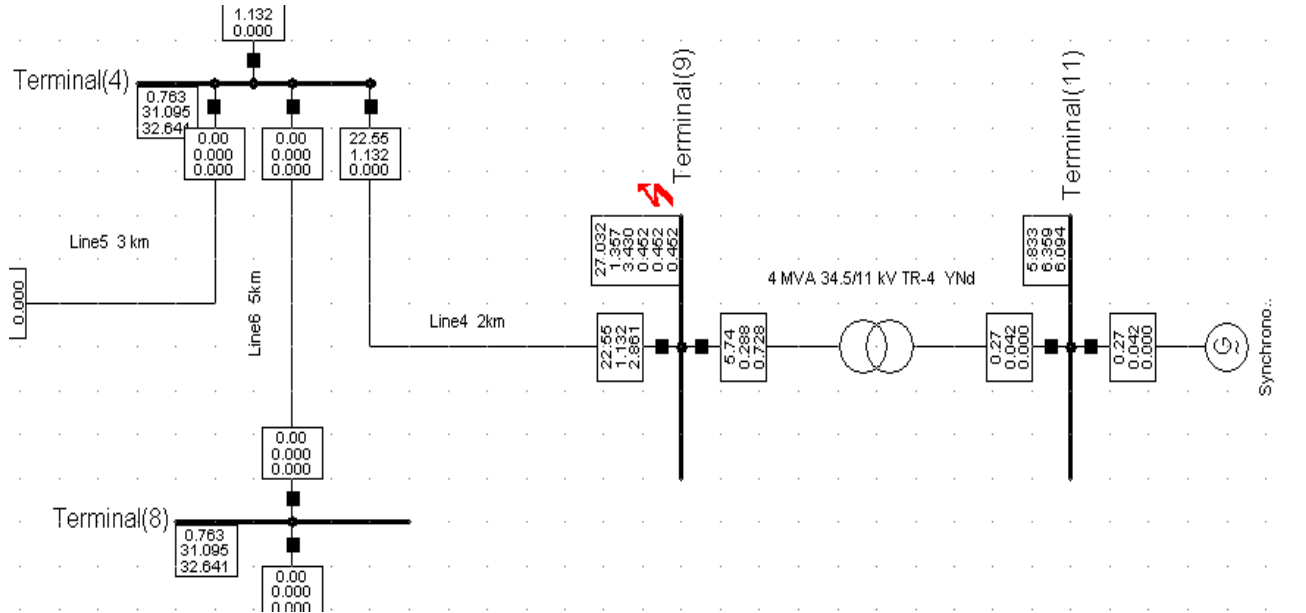
Tablo 1. Tek hat diyagramında kullanılan elemanların teknik özellikleri

Durum	TR-3'ün bağlantısı	Arıza noktası	Arıza Noktası kA	Şebekeden Gelen kA	Genetörden gelen kA	Arızalı olmayan Faz Gerilimleri (kV)
1	YNyn	Terminal 4	9,268	9,211	0,081	B =20,24 -121,88° C = 20,35 122,27°
2	YNyn Re=5 Ω	Terminal 4	3,612	3,559	0,057	B =25,88 -154,54° C = 33,10 135,16°
3	YNyn Re=20 Ω	Terminal 4	0,986	0,947	0,04	B =33,29 -152,57° C = 35,30 147,14°
4	YNyn Re=100 Ω	Terminal 4	0,199	0,164	0,035	B =34,28 -150,38° C = 35,66 149,59°
5	YNyn	Terminal 9	6,921	6,867	0,075	B =21,57 -126,11° C = 21,34 127,28°
6	YNyn Re=5 Ω	Terminal 9	3,339	3,286	0,060	B =27,35 -157,44° C = 34,90 136,65°
7	YNyn Re=20 Ω	Terminal 9	0,975	0,935	0,041	B =32,91 -152,83° C = 35,27 146,50°
8	YNyn Re=100 Ω	Terminal 9	0,199	0,164	0,035	B =34,22 -150,42° C =34,70 149,49°
9	YNyn	Terminal 11	3,102	2,879	0,286	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
10	YNyn Re=5 Ω	Terminal 11	3,102	2,879	0,286	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
11	YNyn Re=20 Ω	Terminal 11	3,102	2,879	0,286	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°
12	YNyn Re=100 Ω	Terminal 11	3,102	2,879	0,286	B = 6,21 -86,96° C = 6,17 154,44°

Tablo 2. TR-3 nolu trafonun sekonder sargılarının yıldız noktasına göre simülasyon sonuçları



Şekil 2. TR-3 YNyn ve trafonun sekonder sargısının yıldız noktası $X_e=20 \Omega$ 'luk petersen bobini üzerinden topraklı ve TR-4 Yd bağlı olduğunda Terminal 9'daki simülasyon sonuçları.



Şekil 3. TR-3 YNyn ve trafonun sekonder sargısının yıldız noktası $X_e=20 \Omega$ 'luk petersen bobini üzerinden topraklı ve TR-4 YNd bağlı olduğunda Terminal 9'daki simülasyon sonuçları.

5. KAYNAKLAR

- [1] ZYL, S.,V., “High resistance neutral earthing of MV networks with embedded generation ”, 2009
- [2] Partenaire, MT, “Groundingsystems”, 1995
- [3] J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas J. Overbye, “Power System Analysis and Design”, Fourth edition, Copyright 2008
- [4] Post Glover, “Application Manual - Ground Fault Protection on Ungrounded and High-Resistance Grounded ”, 2001
- [5] Conner, T., “Neutral Grounding”, 2008
- [6] B. de Metz-Noblat, F. Dumas, C. Poulain, “Cahier technique no. 158 Calculation of short-circuit currents ” Schneider Electric, updated 2005
- [7] Schmidt, S., Siemens, “ Short Circuit Calculation”, 2008
- [8] M. Bonanno, G. Picciolo and G. Tina, “Neutral grounding in MV industrial power distribution systems: Italian standards comparison”, 2003
- [9] Selkirk, D., “Ground-Fault Detection, Charging Current and Neutral-Grounding Resistor Selection ” 2008
- [10] Alstom, “Network Protection & Automation Guide-Part 17 Generator and Transformer Protection ” 2002

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERİN DAĞITIM SİSTEMLERİ ÜZERİNDEKİ OLASI ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer Faruk BOSTAN

e-mail: ofbostan@gmail.com

Fatma Gül BAĞRIYANIK

e-mail: bagriyanikf@itu.edu.tr

Mustafa BAĞRIYANIK

e-mail: bagriy@itu.edu.tr

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü,
34469, Maslak, İstanbul, Türkiye*

Anahtar kelimeler: elektrikli otomobil, elektrik dağıtım sistemleri

ÖZET

Elektrikli otomobillerin önümüzdeki 20 yıllık süreçte motorlu taşıtlar pazarında hatırı sayılır bir payı olacaktır. Otomobillerin yakıt olarak elektriği kullanmasıyla fosil yakıtlardan karşılanan enerji, konutlardaki prizlerden talep edilir hale gelecektir. Bu durumda elektrik dağıtım sistemlerinden talep edilen güç miktarında kaçınılmaz bir artış meydana gelecektir. Bunun yanında günlük yük eğrilerinin karakteristiklerinde de değişen yük profili nedeniyle farklılıklar ortaya çıkması beklenmektedir. Çalışmamızda bir örnek tüketim bölgesi göz önüne alınarak, bu bölgede elektrikli otomobillerin yaygınlaşmaya başlamasıyla dağıtım sistemi ve talep açısından etkiler incelenmiştir.

1. GİRİŞ

Küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının oluşumuna sebep olan petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtların çoğunluğu motorlu taşıtlar tarafından kullanılmaktadır. DİE'nün 2008 yılında yaptığı araştırmalara göre Türkiye'deki toplam motorlu araç sayısının 12 milyonun üzerinde olduğu tespit edilmiştir [1]. Bu sayı diğer gelişmiş ülkelerde daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. Bu istatistiğin yanında yıllık sera gazı salınımının %17'sinin ulaştırma sonucunda meydana geldiği gözlenmiştir [2], bu da fosil yakıt kullanan araçların doğaya olan zararlarının boyutları hakkında bilgiler vermektedir. Elektrikli otomobiller bu tablo karşısında çevrenin korunması için yapılan çalışmalarda büyük bir önem arz etmektedir ve önümüzdeki yıllarda binek otomobil pazarında büyük bir paya sahip olmaları beklenmektedir. Elektrikli otomobillerin yaygınlaşması ile petrole olan ihtiyacın ve havaya yapılan zehirli gaz salınımının azalmasının yanında elektrik üretim ve dağıtım sistemlerinin üzerinde de önemli etkilerinin olacağı anlaşılmıştır. Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla bu araçların ihtiyacı olan enerjinin bir kısmının park yerlerindeki prizlerden karşılanması durumuyla karşılaşılacaktır. Bu durumun yaratacağı elektrik enerjisi talebi, dağıtım sisteminde büyük bir yük artışına sebep olacağından, tüm elektrik enerji sistemi bileşenleri üzerinde (santraller, hatlar, transformatörler vb.) kapasite zorlanmalarına neden olabilecektir. Her ne kadar elektrik sistemlerinin bütün kademeleri artan talepten etkilense de araştırmamızın konusu bu artan talebin

elektrik dağıtım sistemleri üzerinde doğuracağı etkilerin incelenmesidir.

Elektrikli otomobillerin elektrik üretim sistemleri üzerinde doğuracağı sorunlar, petrol fiyatlarındaki muhtemel değişiklikler ve havaya verilen sera gazı oranındaki değişme ile ilgili konulara yoğunlaşmış çeşitli ülkelerde gerçekleştirilmiş araştırma sonuçları literatürde bulunmaktadır. ABD'deki 13 bölgede elektrik dağıtım sistemlerinde meydana gelecek kapasite zorlanmaları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır[3-4]. Bunun yanında 1 milyon elektrikli otomobilin ABD elektrik sistemlerine eklenmesiyle üretim kapasitesinin yeterliliğinin yanında, iletim hatlarında ve transformatörlerde oluşacak muhtemel etkiler üzerine çalışmalar da yapılmıştır. ABD'de gerçekleştirilmiş olan incelemede her bir bölge için havaya yayılan sera gazı salınımı miktarındaki değişimler de tespit edilmiştir. Ayrıca dağıtım sistemlerindeki etkilerin araştırılmasıyla ilgili yapılan saha araştırmalarına göre, otomobillerin şarj etme zamanları uygun biçimde planlanabilirse elektrikli otomobillerin oranının %20 olduğu duruma kadar kullanılan elektrik üretim sistemlerine ek enerji kapasitesi gerekmemektedir. Buna benzer bir çalışma Portekiz elektrik sistemleri üzerine yapılmıştır [5]. Bir bölgeye ait hava sıcaklığının en düşük olduğu kış mevsiminde bir haftalık günlük yük verileri alınmıştır. EPRI çalışmaları [6-7] dikkate alınarak kontrolsüz durumda ayrı ayrı gün içinde iki farklı zamanlama için benzetimler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, kontrolsüz şarj edilme durumunda, güç talebinin düşük olduğu saatler haricinde kapasite zorlanmaları oluşmaktadır.

Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla meydana çıkacak problemlerin çözümüne yönelik araştırmalar da yapılmaktadır. Sistem kapasitesinin artırılmasına ilişkin yöntemlerden ilk akla gelebilecek olan var olan dağıtım transformatörlerinin ve iletkenlerin kapasitelerinin artırılmasıdır. Fakat bu çözüm oldukça masraflıdır ve yeni kaynaklara gereksinim duyulacaktır. Bu nedenle, var olan elektrik sistemini daha etkin kullanabilmek için, elektrik tüketim talebinin kontrolü daha uygun bir yöntemdir. Kontrollü sistem, araçtan şebekeye (V2G) uygulamasına ve talep yönetimine de olanak sağlayacaktır. Araçtan şebekeye (V2G) kavramı enerji saklama aygıtlarına sahip otomobillerin elektrik

şebekesiyle bağlantı halinde olması durumunda şebekeden talep edilen enerjinin yüksek olduğu durumda otomobillere ait dolu bataryaların şebekeye yedek güç sağlaması esasına dayanmaktadır [8]. Talep yönetimi ise gün içindeki tepe yüklerin etkisini azaltacaktır [9].

Bu çalışmada, elektrik dağıtım sistemi üzerinde elektrikli otomobillerin muhtemel etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın 2. Bölümünde elektrik otomobiller üzerine özet bilgi ve değerlendirmeler verildikten sonra, elektrikli otomobillerin günlük yük eğrileri üzerindeki olası etkileri üzerinde durulmuştur. Bu amaçla istanbulda yer alan bir transformator istasyonu verileri kullanılarak elektrikli otomobillerin kullanım oranının artması ile ne gibi etkiler ortaya çıkacağı incelenmiştir.

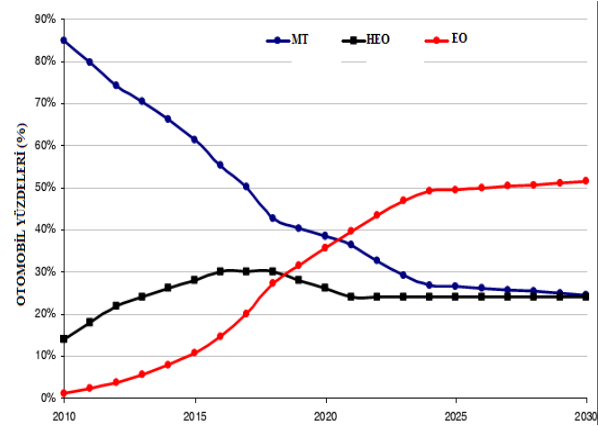
II. ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLER

Elektrikli otomobiller, bölgesel elektrik dağıtım şebekesinden yani özel konut prizlerinden şarj edilebilen, elektrik motorlarıyla bataryalarındaki elektrik enerjisinin hareket enerjisine çevrilmesiyle hareket eden ve bu sayede ulaşımda kullanılan motorlu kara taşıtlardır. Elektrikli otomobiller bataryasının büyüklüğüne göre yeniden şarj edilmeden 32km ile 97km arasında yol alabilirler [10]. Elektrikli araç teknolojinin gelişmesi batarya teknolojinin gelişmesine bağlıdır. Günümüzde elektrikli araç teknolojinin öncülerinden Toyota'nın 2009 yılında piyasaya tanıttığı 1800cc motor hacmine sahip Toyota prius EV modeli (model ZVW30)'de 5.2kWh'lik lityum iyon batarya bulunmaktadır. 200V alternatif gerilim ile şarj olma süresi 180 dakika, elektrik verimi ise 6.57km/kWh'dir. Elektrikli otomobillere, otomobil kullanıcılarının, otomobil üreticilerinin ve hükümetlerin oldukça iyimser yaklaştıkları bilinmektedir. Bu da elektrikli otomobillerin müşteriler için piyasaya sürülmesini takip eden sürede motorlu taşıtlar içindeki payının gelecek yıllarda nasıl bir değişim göstereceğinin belirlenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Kullanımdaki otomobillerin tiplere göre yıllık pazar payı değişimi Şekil 1' de verilmiştir [11]. Bu şekilden de görüleceği üzere elektrikli otomobillerin önümüzdeki on yıllık sürede otomobil pazarındaki payının %25'lere ulaşması beklenmektedir.

Bu gün için bir elektrikli otomobilin şarj süresince şebekeden 10kWh'lik enerji çektiği kabul edilebilir. Çizelge 1'de örnek olarak Toyota prius PHEV30 tipi elektrikli otomobile ait bataryanın karakteristik özellikleri verilmiştir.

Bir bataryanın şebekeden talep edeceği güç belirli ve sabit olsa da elektrikli otomobil sahiplerinin hepsi bataryalarını aynı anda şarj etmeye başlamayacağı için tüketici başına yük karakteristiği sabit olmayabilir [3]. Bu nedenle tüketici davranışlarını ve batarya

özelliklerini göz önüne alarak tüketici yük profili oluşturulabilir.



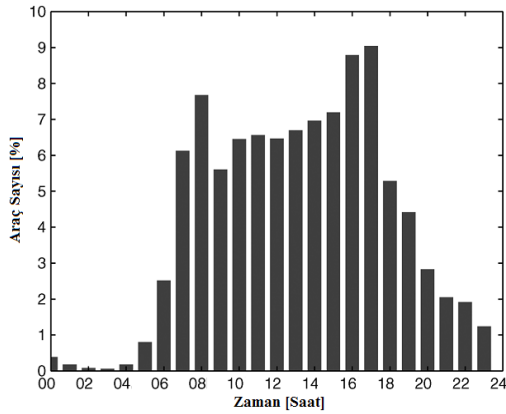
Şekil 1: Kullanımdaki otomobillerin tiplere göre yıllık pazar payı değişimi [11]

Çizelge 1: PHEV30 tipi elektrikli otomobile ait bataryanın karakteristik özellikleri

Batarya Tipi	Lityum-iyon
Enerji Kapasitesi	11kWh
Gerilim	220-240V
220V'da Tam Şarj Olma Zamanı	3-3.5 saat
Elektrik Menzili	30km

Elektrikli otomobillerin şarja başlama zamanı da şebeke üzerinde farklı etkiler doğurur. Bataryaların evlerden şarj edildiği durum için incelemeler yapılacaksa ilgili bölgede gün içinde saatlere göre yollardaki otomobillerin toplam otomobil sayısına oranları belirlenmelidir. Bir örnek çalışma sonucu Şekil 2'de verilmiştir [9]. Bu şekle göre gün içinde otomobillerin en yoğun kullanıldığı zaman aralıkları sabah saat 7 ile akşam saat 17 saatleri arasındır. Otomobiller bu zaman diliminde yollarda daha yoğun bulunacağı için bataryaların şarj edilme oranı buna ters olarak daha az olacaktır. Çizelge 2'de elektrikli otomobillerin gün içinde farklı zamanlarda şarj edilme periyotları verilmiştir. Bu verilere dayanarak incelemeler için üç farklı şarj etme periyodu belirlenmiştir. Bunlardan ilki araçların çoğunun evlerde olduğu gece 23 ile 02 saatleri arasını içine alan zaman dilimidir. Bu zaman diliminde çalışanlar araçlarıyla işten çıktıktan sonra gün bitiminde bir sonraki gün için bataryalarını doldurmaktadır. İkinci şarj etme periyodu ise akşam 18 ile 21 saatlerini içine alan zaman dilimidir. Bu zaman aralığı gün içinde maksimum güç talebinin olduğu zaman aralığı ile çakışmaktadır. Fakat bu zaman diliminde şarj edilen araç sayısının birincisine göre daha az olması beklenmektedir. Bir diğer şarj etme periyodu ise sabah saat 10 ile öğlen 13 saatleri arasındaki zaman dilimidir. Bu dilimde büyük şehirlerdeki iş

merkezlerinin otoparklarında şarj edilme durumu göz önüne alınmıştır.



Şekil 2: Yollarda bulunan otomobil sayısı

Çizelge 2: Elektrikli otomobillerin şarj edilme periyotları

Birinci periyot	23.00-02.00
İkinci periyot	18.00-21.00
Üçüncü periyot	10.00-13.00

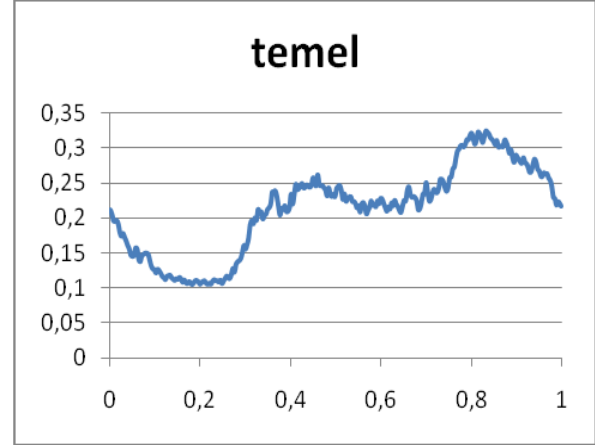
III. GÜNLÜK YÜK DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ OLASI ETKİLER

Elektrik dağıtım sistemlerinde tüketici talebi, özellikle mevsimsel etkilere bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. Elektrikli otomobillerin tüketiciler tarafından yaygın olarak kullanılması ile var olan maksimum talep ve günlük talep değişimi üzerinde değişiklikler meydana gelecektir. Elektrikli otomobillerin, dağıtım sistemi üzerine olan etkilerinin araştırılması için elektrikli otomobillerin şarj edilmesiyle günlük yük eğrilerinin üzerinde nasıl etkilere sebep olacağının incelenmesi gerekmektedir.

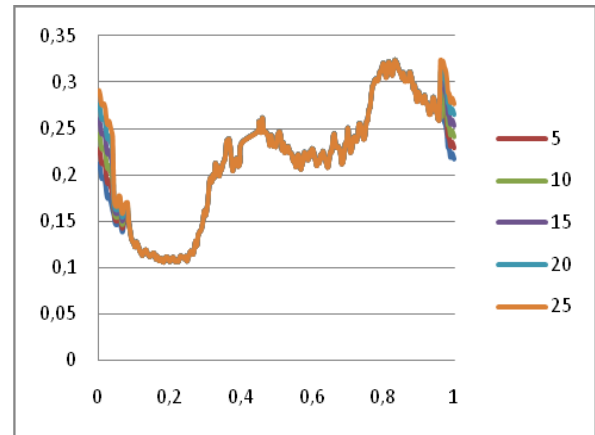
Bu çalışmada elektrikli otomobillerin getireceği etkileri incelemek amacıyla İstanbul'da 1250 kVA gücünde bir dağıtım transformator merkezi günlük yük ölçüm sonuçları temel alınmıştır. Mart ayı ölçüm verilerinden oluşturulan örnek günlük yük eğrisi değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Bu şekilde yatay eksen normalleştirilmiş olarak bir günlük zaman dilimini (24 saat=1.0 birim), dikey eksen ise transformatorün nominal gücü kullanılarak normalleştirilmiş ilişkin tüketilen gücü göstermektedir.

DİE'nün istatistiklerine göre [1] Türkiye'de yaklaşık olarak her dört haneden birinde otomobil olduğu görülmektedir. Bu istatistiği elimizdeki bölgeye uyarlayarak örnek transformator merkezi için tahmini araç sayısını belirleyebiliriz. Eğer transformatorün 350-400 haneyi beslediği kabul edilirse, transformator merkezinden beslenen tüketicilere ait yaklaşık olarak 100 otomobil olacaktır. Elektrikli araçların otomobil pazarındaki payının önümüzdeki 10-15 yıl içinde %25 oranına yükseleceği öngörüsü dikkate alınarak günlük

yük talebi üzerindeki etkilenmeleri inceleyebiliriz. Bu amaçla elektrikli araçların otomobil pazarındaki payının %5, %10, %15, %20 ve %25 olduğu durumlar için incelemeler gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Tüketici davranışlarını ve batarya özelliklerini göz önüne alarak oluşturulmuş olan batarya şarj yük profili kullanılmıştır [10]. İncelemeler Çizelge 2 de verilen üç ayrı şarj edilme senaryosu için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.



Şekil 3: Bir kış gününe ait günlük yük eğrisi

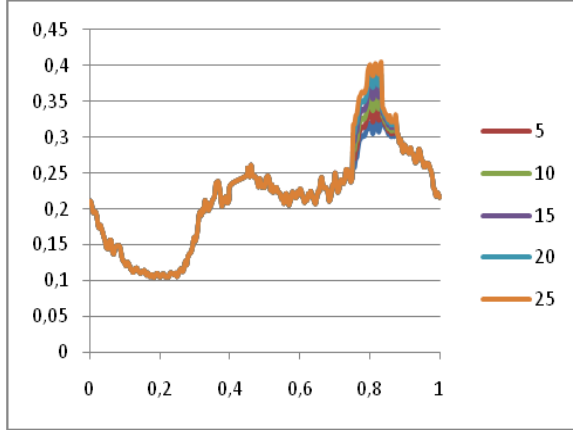


Şekil 4: Birinci şarj edilme periyodunda oluşan yeni yük eğrisi

Birinci senaryo olarak, 23.00-02.00 saatleri arasında şarj edildiği kabul edilmiştir. Bu zaman aralığı güç talebinin az olduğu saatler ile çakıştığı için talebin tepe değerinde bir artış görülmemektedir. Ancak elektrikli araçların payının %25 lere yükselmesi ile gece ikinci bir tepe talep oluşmaktadır. Araç payının daha da artması ile, günlük en yüksek tepe talebin şarj zaman dilimine kayması gibi bir sonuç ortaya çıkacaktır.

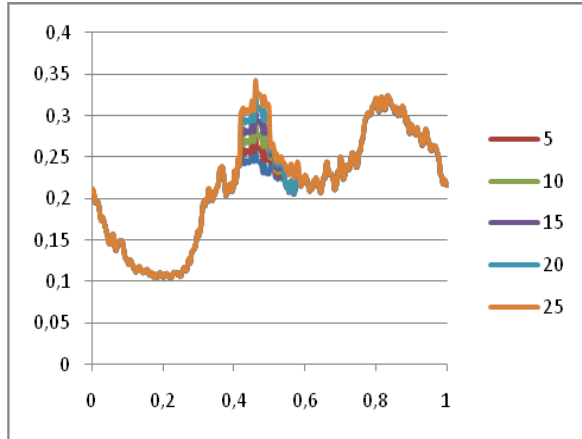
İkinci senaryo olarak, göz önüne alınan aracın 18.00-21.00 saatleri arası şarj edilmesi durumunda elde edilen sonuçlar, Şekil 5'de verilmiştir. İkinci şarj etme periyodunda bataryalar akşam saat 18'de şarj edilmeye başlandığı için elektrikli otomobillerin getirdiği ek yükler ile günlük yük eğrisinin tepe noktası çakışmakta ve maksimum güç talebinde artışlar

meydana gelmektedir. Elektrikli otomobillerin bütün pay oranları için, elektrik tüketimi tepe noktasında artış görülmektedir. Göz önüne alınan değerler ile elektrikli araçların kullanılan otomobiller içindeki payındaki her %5'lik artış için, enerji talebinin tepe noktasında yaklaşık 18kW'lık artma meydana gelmektedir.



Şekil 5: İkinci şarj edilme periyodunda oluşan yeni yük eğrisi

Şekil 6'da ise saat 10 ile 13 saatlerini içine alan üçüncü şarj etme periyodundaki elektrikli otomobillerin getirdiği ek yükler ile oluşan günlük yük eğrisi durumları verilmiştir. Bu şarj etme periyodunda bataryalar enerji talebinin düşük olduğu sabah saatlerinde doldurulduğu için elektrikli araçların küçük pazar payları için talebin tepe değerinde büyük bir artış görülmemektedir.



Şekil 6: Üçüncü şarj edilme periyodunda oluşan yeni yük eğrisi

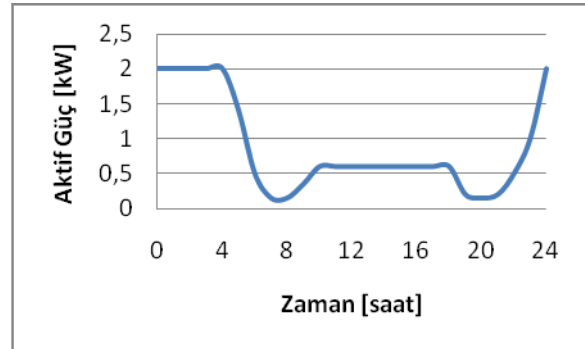
Göz önüne alınan transformator normalde %30-40 civarında yüklendiği için, gelecekte elektrikli araçların şarj periyotlarının etkisiyle oluşacak etkilenmeler açısından sıkıntı gözükmemektedir. Ancak elektrikli araçların yaygınlaşması ile beraber %25lik bir araç oranında transformator yükü üzerine yaklaşık %20 civarı bir ilave yük geleceği de görülmektedir. Bu ilave yüklenme, normal şartlarda %80 ler

mertebeğinde yüklü transformatorler için aşırı yüklenme durumları yaratabilecektir.

Elde edilen sonuçlara göre otomasyon ve eniyilemeli talep kontrolü ile elektrikli otomobillerin şarj etme periyodu güç talebinin az olduğu saatlere kaydırılarak dağıtım sistemi üzerindeki olumsuz etkiler azaltılabilir. Bu durumda elektrikli otomobillerin sebep olacağı ek yükler günlük yük eğrisindeki vadileri dolduracağından sistem kapasitesi daha etkili kullanılabilir.

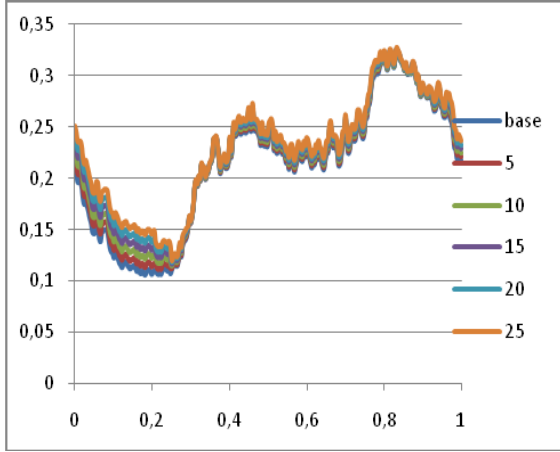
Dağıtım sistemlerinde kapasite zorlanmalarının ve talebin tepe değerinde artışın önüne geçmek için akıllı sayaç tarifelendirmelerinin kullanılması da yararlı olacaktır.

TEDAŞ'ın uyguladığı elektronik sayaç üçlü tarife sisteminin (gündüz, puant, gece) kullanılması durumu için de modelleme yapılmıştır. Bu tarifelere göre güç talebinin tepe yaptığı akşam saatlerinde yüksek fiyatlandırma neticesinde talep azalma eğilimi gösterip, fiyatların düşük olduğu gece saatlerine kayması beklenmektedir. Bu sayede elektrikli otomobillerin şebekeye eklenmesiyle artan güç talebi gece saatlerine kaydırılarak dağıtım sistemlerindeki kapasite zorlanmalarının önüne geçilebilecektir. Elektrikli otomobillerle beraber elektronik sayaçların da yaygın kullanılmasıyla daha önce bahsedilen bataryaların şarj etme karakteristiği üzerindeki etkiler de göz önüne alınarak oluşturulmuş olan bir elektrikli otomobile ait indirgenmiş gün içi yük eğrisi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7: Tarifeli sistem için araç yük eğrisi

Otomobillerin şarjında eşzamanlılığı ve tüketici tercihini yansıtan bu yük karakteristiğinde saat 17 ile 22 saatleri arasında elektrikli otomobillerin şebekeye getireceği ek yükler düşük tutulmuştur. Şekil 8'da tarifeli sistem durumunda elektrikli otomobillerin %5, 10, 15, 20 ve 25'lik pazar paylarında temel yük eğrisi üzerinde gösterdiği etkiler görülmektedir. Tarifeli sistem durumunda talebin geceye kayması beklendiğinden günlük tepe talep üzerinde etki az olmaktadır.



Şekil 8: Tarifeli sistem için elde edilen günlük yük eğrisi

IV. SONUÇ

Elektrikli otomobillerin, çevrenin korunması için yapılan çalışmalar nedeniyle önümüzdeki yıllarda binek otomobil pazarında büyük bir paya sahip olmaları beklenmektedir. Bu araçların ihtiyacı olan enerjinin bir kısmını park yerlerindeki prizlerden karşılayacak olması, dağıtım sisteminde büyük bir yük artışına sebep olacağından, tüm elektrik enerji sistemi bileşenleri üzerinde (santraller, hatlar, transformatörler vb.) kapasite zorlanmalarına neden olabilecektir.

Bu çalışmada, elektrik dağıtım sistemi günlük yük dağılımı üzerinde elektrikli otomobillerin olası etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmamızın sonucunda elektrikli otomobillerin yaygın bir şekilde kullanılmasıyla oluşacak ek yüklerin herhangi bir düzenleme yapılmadan sisteme eklenmesiyle akşam saatlerindeki tepe güç talebinde artışlar görüleceği ortaya çıkmıştır. Elektrikli otomobillerin pazar payının belirli bir oranın üzerine çıktığında farklı şarj etme zamanlamalarında farklı tepe noktaları doğurabileceği ve dağıtım transformatörlerinde kapasite zorlanmalarına yol açabileceği görülmüştür. Günlük yük eğrileri üzerinde yapılan analizler sonucu müşterilerin bataryaları gece şarj etmeye başladığı durumda kısa vadede elektrikli otomobillerin sisteme eklenmesi dağıtım sisteminde bir altyapı sorunu çıkarmamaktadır. Uzun vadede ise gerekli altyapı yatırımlarının yapılması gerekmektedir.

Akıllı şebeke, akıllı sayaç teknolojileri ve yük yayma, konut yük kontrolü gibi yöntemlerle gün içinde elektrikli otomobillerin bataryalarının güç talebinin gün içinde düşük olduğu saatlerde şarj edilmesi sağlanarak olası kapasite zorlanmalarının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca araçtan şebekeye yöntemiyle park halindeki otomobillerin dolu bataryalarının güç talebinin tepe yaptığı saatlerde yedek güç olarak kullanılması gibi çözüm yolları ortaya atılmıştır. Elektrikli otomobillerin, akıllı şebeke sistemleri ile beraber elektrik teknolojilerinde gelişme alanı oldukça geniştir.

KAYNAKLAR

- [1] TÜİK Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, “Kullanım amacına göre motorlu kara taşıtları sayısı”, Ankara, 2008.
- [2] TÜİK, “Sera gazı emisyon envanteri”, Ankara, 2007
- [3] Michael Kintner-Meyer , Kevin Schneider , Robert Pratt, “Impacts assessment of plug-in hybrid vehicles on electric utilities and regional u.s. power grids”, Part 1: technical analysis , *Pacific Northwest National Laboratory(a)*, November, 2007.
- [4] Michael J. Scott, Michael Kintner-Meyer, Douglas B. Elliott, William M. Warwick, “Impacts assessment of plug in hybrid vehicles on electric utilities and regional u.s. power grids” Part 2: economic assessment. *Pacific Northwest National Laboratory(a)*, November, 2007.
- [5] C. Camus, C.M. Silva, T. L. Farias, J. Esteves, “Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicle in the Portuguese Electric Utility System” *POWERENG '09 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Lisbon, Portugal, March 18-20, 2009.
- [6] EPRI, “Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options”, *EPRI Report*, 1000349. July 2001.
- [7] EPRI, “Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options for compact sedan and sport utility vehicles”, *EPRI Report*, 1006892. July 2002
- [8] Sanjaka G. W., Schofield N. and Emadi, A., “Plug-in Hybrid Electric Vehicle Developments in The US: Trends, Barriers, and Economic Feasibility,” *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Harbin, China 2008.
- [9] Clement-Nyns, K. and Haesen E. “The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid,” *IEEE Transactions on Power Systems*, VOL.25,NO.1, 2010.
- [10] Hadley, S. W., Tsvetkova, A. A. “Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation,” *The Electricity journal*, 2009.
- [11] Taylor J., Maitra A., Alexander M., Brooks D. “Evaluation of the Impact of Plug-in Electric Vehicle Loading on Distribution System Operations”, *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2009.

FERROREZONANSIN ANLAŞILMASI VE TRANSFORMATÖR MERKEZLERİNDE YAPILAN KOMPAZASYONUN FERROREZONANS ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ömer KARA¹

e-mail: omer.kara@siemens.com

Mustafa BAĞRIYANIK²

e-mail: bagriy@itu.edu.tr

¹Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yakacık Caddesi, No:111, 34870 Kartal, ISTANBUL

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye

Anahtar kelimeler: ferrerezonans, kompanzasyon, dağıtım sistemleri

ÖZET

Ferrerezonans, sistemden temizlenmesi diğer geçici olaylara oranla daha uzun zaman gerektiren karmaşık bir enerji sistemi olgusudur. Güç ve gerilim ölçü transformatörlerinin hasar almasından kaybına kadar pek çok zarara yol açabilmektedir. Günümüz alternatif akım, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemleri sahip oldukları yapılar gereği, ferrerezonansa her an yatkındırlar. Farklı sistem parametreleri ve başlangıç koşulları için bu yatkınlığın derecesi artabilir veya azalabilirken, uygun önlemlerin alınması ile sistemin ferrerezonanstaki uzak tutulması mümkün olabilir.

Bu çalışmada, ferrerezonans olgusu tanıtılmış ve meydana gelmesi için gerekli koşullar verilmiştir. Olgunun oluşması ve oluşmasına neden olacağı sonuçların boyutları üzerinde etkili olan faktörler değerlendirilerek, ferrerezonansı engellemek için alınabilecek önlemlere değinilmiştir. Örnek sistem olarak istasyonunda kompanzasyon üniteleri bulunan transformatör istasyonu göz önüne alınarak gerçekleştirilen benzetim incelemeleri ile bu tip sistemlerde yapılan kompanzasyonlar sonucunda sistemin ferrerezonansa olan yatkınlığı incelenmiştir.

1. GİRİŞ

Ferrerezonans, genel olarak doyabilen demir çekirdekli bobinler ile kondansatörler arasında meydana gelen lineer olmayan rezonans durumlarına ilişkin olayları ifade eder ve bir çok çeşide sahiptir [1]. Meydana gelmesi sonucunda, aşırı gerilimler ve çok düzensiz dalga şekilleri ortaya çıkaran bu olgu, bir ya da daha fazla doyabilir endüktansın seri halde birlikte bulundukları devrelerin kapasitif sığalar tarafından uyarılması ile ortaya çıkar [2]. Güç transformatörleri, reaktörler ve elektromagnetik gerilim ölçü transformatörleri ile sistem yapısı gereği etkili olabilecek kadar yakın mesafede sisteme dâhil olan kapasitif elemanlar arasında yaşanır[3]. Sistemde doğrusal olmayan endüktansın kaynağı bir demir çekirdek içeren her hangi bir transformatör ya da reaktör iken; sığa kaynağı, şönt kondansatör grupları, seri kondansatör grupları, kablo devreleri, havai hatlar ile transformatörlerin ve diğer ekipmanların kendilerine ait kapasitif yapılarıdır [2]. Potansiyel olarak bir elektrik sisteminde ferrerezonans olgusunun başlayabilmesi için

gerekli olan durumlar arasında; kondansatör ya da transformatör anahtarlamalarında üç fazın uygun şekilde anahtarlama sonucunda devrede bir ya da iki fazın enerjili olması, yalıtım hataları ve yıldırım darbeleri sayılabilir [4]. Yeterli sönümün olmadığı durumlarda ferrerezonansın meydana gelmesi olasılığı daha da yükselir [5]. Ferrerezonans, anma gerilim seviyesinin birkaç katı mertebesine kadar yükselebilen aşırı gerilimlerin ve anahtarlama elemanlarının anma kesme akımlarının katları mertebesinde aşırı akımların oluşması sonuçlarını doğuran elektrik sistemi için tehlikeli bir olaydır [3]. Yüksüz ya da çok düşük yüklü transformatörlerin aşırı ısınmaları ve olağan dışı derecede yüksek, derin ve uğultulu sesler çıkarmaları ferrerezonans halinin tipik göstergelerindendir [2].

Ferrerezonans, elektrik enerji sistemlerinde meydana gelen geçici olaylar içerisinde görece olarak yavaş fakat karmaşık bir karakteristiğe sahiptir [5]. Ayrıca sistemden temizlenmesi uzun süreler gerektirebilir. Teorik olarak doyabilen, lineer olmayan endüktanslar ile kapasite kaynağı olabilecek kondansatör etkisine sahip yapıların bir arada bulunduğu tüm sistemlerde meydana gelebilir. Bu özellikler ise elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinin hemen hemen hepsinde mevcuttur. Diğer bir adı da lineer olmayan rezonans olan ferrerezonans, en yaygın olarak güç transformatörlerinin uzun havai hatlarla veya yer altı kablo şebekeleriyle beslendiği sistemlerde ya da herhangi bir şekilde izole edilmiş bara kısımlarında kalan gerilim ölçü transformatörlerini içeren sistem parçalarında meydana gelir [6]. Ferrerezonansın meydana geldiği sistemlerde ortaya çıkan aşırı gerilimler açısından sistemde yer alan cihazların yalıtımları, aşırı akımlarda sistemde yer alan cihazların termik dayanımları üzerinde zorlanmalar yaratır ve bu cihazların zarar görmelerine neden olabilir.

Bu çalışma meydana gelmesi halinde güç sistem elemanları üzerinde bozucu etkilere yol açabilen Ferrerezonans olayının özelliklerini ve kompanzasyon üniteleri bulunan transformatör istasyonlarında yaşanması durumunda oluşacak etkileri irdelemeyi amaçlamıştır. Bu açıdan çalışmanın 2. ve 3. bölümlerinde sırasıyla ferrerezonansın özellikleri ve etkileri açıklanmış, 4. bölümde örnek sistem üzerinde kompanzasyon üniteleri bulunan transformatör istasyonlarındaki ferrerezonans olayı incelenmiştir.

II. FERROREZONANSIN ÖZELLİKLERİ

Ferrorezonans olgusu sık sık karıştırıldığı lineer rezonans (ya da “rezonans”) durumundan aşağıdaki farklar ile ayrılır:

- Devreyi ferreazonans haline sürükleyebilecek kapasitans değerlerinin ait olduğu aralık, rezonans haline oranla çok daha geniştir [2, 4-5].
- Ferrerazonans sonucunda sistemin cevabına ait gerilim ve akım dalgalarının frekansları, sistemin sinüsoidal gerilim kaynağının frekansından farklı olabilir [3-5].
- Verilen bir devre topolojisi ve eleman değerleri için ferreazonans halinde birden fazla kararlı çalışma hali mevcut olur [5]. Bunlardan biri lineer yaklaşım ile bulunabilecek, beklenen normal çalışma noktası iken; diğerleri, genellikle tehlikeli haller içeren ve normal olmayan kararlı çalışma noktalarıdır[4].

Ferreazonans olgusunun her hangi bir sistemde var olabilmesi için aşağıdaki koşulların mutlaka bir arada olması gerekmektedir.

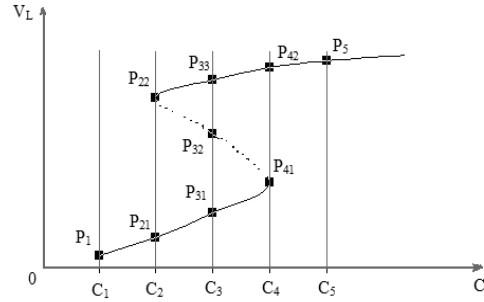
- Kondansatörler (kondansatör ya da benzer şekilde kapasitans kaynağı olan yapılar) ile lineer olmayan endüktansların bir arada bulunuyor olması,
- Sistemde potansiyeli sabit olmayan en az bir noktanın (izole edilmiş nötr noktası, tek fazlı sigorta çalışması, tek fazlı anahtarlama) bulunması,
- Az yüklenmiş sistem bileşenlerinin (boşta çalışan güç transformatörü ya da gerilim ölçü transformatörü) olması,

ferreazonans olgusunun yaşanması için ön şartlardır [4].

Bu şartlardan her hangi birinin sağlanmaması halinde araştırmacılar sistemde var olan anormalliğin kaynağının ferreazonans olmadığından emin olabilirken; bu durumların üçünün de bir arada bulunması sistemin ferreazonansa girmesini kaçınılmaz kılmamaktadır.

Ferreazonans olgusuna ait en önemli özelliklerden ikisi, sistem parametrelerine ve başlangıç koşullarına olan aşırı hassasiyettir. Bu hassasiyetler sistemin ferreazonansa karşı korunabilmesi için alınabilecek önlemlerin de temelini oluşturmaktadır.

Her iki hassasiyet neticesinde gözlemlenen ve diğer bir karakteristik nitelik olan zıplama olgusunun varlığı ferreazonansın yaşandığı bir sistemde kaçınılmazdır.



Şekil 1: Sistem parametrelerine olan aşırı hassasiyet ve zıplama olgusu

Sistem parametrelerine olan aşırı hassasiyet ve zıplama olgusu Şekil 1’ de verilmiştir C nin kapasiteyi ve V nin gerilimi gösterdiği bu şekil incelendiğinde;

- $C=C_1$ iken, sistem çözümü tek noktaya karşılık olur (P_1). Bu çözüm lineer varsayım ile elde edilebilecek normal çalışma koşuluna denk düşmektedir.
- $C=C_3$ iken, üç çözüm (P_{31} , P_{32} , P_{33}) vardır. P_{31} normal çalışma koşullarına denk gelirken, P_{33} sistemin ferreazonans içerisinde olduğu hale denk gelmektedir. Nokta nokta çizilmiş kısımdaki cevap ise, P_{32} , pratikte ulaşılamayan bir sonuçtur.
- $C=C_2$ iken, sistemin kararlı çalışma noktası olan P_{21} ’den P_{22} noktasında zıplar. P_{21} bir limit değeri olarak bilinir.
- $C=C_5$ iken, sadece ferreazonans hali olan P_5 çalışma noktası olarak mevcuttur.
- Kapasitansın büyüklüğü olan C, C_3 seviyesinden düşmeye başlaması ile çalışma noktası P_{22} (ikinci sınır noktası) ‘den P_{21} noktasına sıçrar.

Bu şekildeki çalışma özelliğinin temelinde ferreazonans olgusunun ayırt edici özelliklerinden olan zıplama olgusu yatar. Sistem parametrelerindeki ya da geçici olaylardan birindeki küçük bir değişiklik bir kararlı çalışma noktasından çok farklı bir kararlı çalışma noktasına ani sıçramalar yaratabilir [4].

Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen pek çok farklı geçici olaya oranla ferreazonans çok daha uzun süreli geçici ve sürekli çalışma halleri ile yavaş bir enerji sistemi arızası olarak sınıflandırılabilir.

III. FERROREZONANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE FERROREZONANSIN ÖNLENMESİ

Elektrik güç sisteminin ferreazonansa maruz kalma yatkınlığının veya yaşanan bir ferreazonans durumunun etkilerinin ne yönde olabileceğinin bilinmesi, sistem işleticileri için önemlidir. Ferrerazonans olgusu üzerinde yükün, sistem geriliminin genliğinin, iletim hatları yapısının, transformatörlerin biçimlerinin ve kesicilerin etkileri vardır. Bu etkiler aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Sistemdeki kapasitif yapıların boyutlarına bağlı ve orantılı olarak yükün ohmik bileşeninin en az %10 ile %20 arasında tutulması ferreazonansın engellenmesinde ve sönümlenmesinde en büyük etkinin yaratılmasını sağlar. Ancak; yükün yapısı tüketicinin tercihleri ile değişebilir.
- Sistem geriliminin genliğinin büyümesi sistemin ferreazonansa girme ihtimalini artırır [2]. Amerika Birleşik Devletleri orta gerilim sistemleri içerisinde bildirilmiş ferreazonans durumu sayısı 34.5kV ve 25kV sistemlerinde, 15kV sistemine göre çok daha fazladır [8].
- Sistemde yer alan havai hatların boyunun uzaması ya da kablo şebekenin uzunluğunun artışı kapasitif etkiyi arttırmaya karşın, bu değişimin ferreazonans ihtimalini arttıracasına ilişkin bir kesinlik yoktur. Sistemde kapasitif değerin, sistem yapısına bağlı olarak alt ve üst sınırı değişecek olan bir aralığa düşmesi halinde ferreazonans görülebilmektedir [2].
- Transformator çekirdeklerinin yapısı, doyma karakteristiğini belirleyeceği gibi; çekirdek kayıpları sıfır dizi akılarına etkiyecek sönüm üzerinde de etkilidir. Aşırı doyma, ferreazonansın sonuçlarını daha kötü hale getirebilecekken; çekirdekte yaşanabilecek kayıpların sönüme katkısı olabilecektir. Bu nedenle, herhangi bir ferreazonans çalışmasının en kritik kısmı, transformatorün modellenmesidir [5].
- Tek kutuplu anahtarlama esnasında ferreazonansın oluşup oluşmayacağı üzerinde transformator sargılarının bağlantı şekilleri önemli etkiye sahiptirler [2]. Eğer faz-toprak arası kapasiteler mevcut ise sistemin bu tarafına denk gelen sargı tipinde, nötr noktasının topraklı olduğu bir tip seçilmelidir.
- Farklı güçte olan fakat çekirdek yapıları, sargı tipleri, gerilim seviyeleri ve çevirme oranı aynı olan transformatorler karşılaştırılırsa, anma gücü daha yüksek olan güç transformatorünün ferreazonansa olan yatkınlığı belirgin şekilde azdır. Transformator anma görünür gücünün artması ile bu transformatorün bulunduğu sistem parçasının ferreazonansa girme ihtimali düşmektedir [2].
- Kesiciler ile gerçekleştirilen hatalı anahtarlama sonucunda ferreazonansın meydana gelmesine neden olabilmektedir [7].
- Düşük kayıplı transformatorler sönümün azalması yönünde etki gösterdiğinden ferreazonansın sonuçlarının daha etkili olmasına neden olmaktadır.
- Sisteme eklenen yeni cihazlar, tüm cihazların yalıtım malzemelerine sahip olması nedeniyle sisteme ait toplam kapasitansın artmasına ve böylece ferreazonansı besleyen enerjinin kaynağının büyümesine destek olmaktadır.
- Sistemin kısa devre gücü arttıkça, ferreazonansa girme ihtimali düşmektedir.

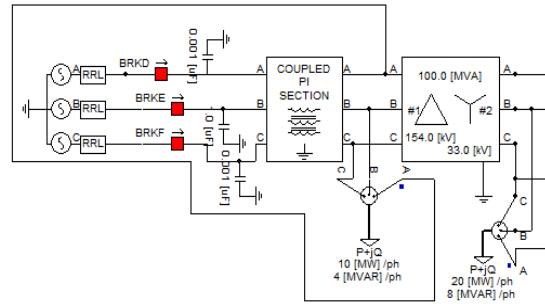
Üzerinde çalışmakta olan sistemin ferreazonansa yatkınlığının tespit edilebilmesi için ilk adım sisteme ait matematik modellerinin oluşturulmasıdır. Oluşturulan

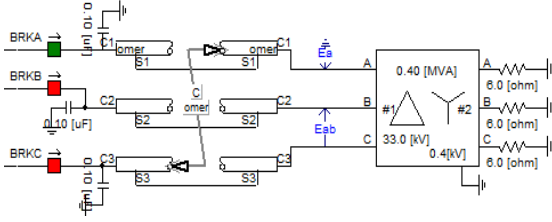
modellerden yararlanılarak sistem için tanımlanabilecek tüm çalışma durumları incelenmelidir. Bu incelemeler sonucunda ulaşılabilecek sonuçlarda elde edilebilecek ferreazonans verileri sadece sürekli hal için geçerlidir. Bu durum, sistemin ferreazonans hali için vereceği cevabın geçici halinin her hangi bir tehlike içermediği anlamına kesinlikle gelmez [4]. Çünkü geçici hal süresince de çok yüksek genlikli aşırı gerilimler oluşabilir ve bu gerilimler ferreazonansın sürekli hale geçmesinden önce sistem dâhilindeki bazı cihazlara ait yalıtımları delebilir. Bu amaçla geçici hallerin incelenebilmesi için ATP-EMTP, PSCAD-EMTDC, Matlab-Simulink gibi yazılımlar ile gerçekleştirilebilir. Geçici hal analizinin yapılabilmesi için de çalışmaya yine doğru modelleme ile başlamak gerekmektedir. Özellikle transformator modellemesi, sonuçları rahatlıkla değiştirebilmektedir.

III. TRANSFORMATÖR İSTASYONUNDA YAPILAN KOMPANZASYONUN FERREAZONANS ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Ferreazonansın oluşması halinde lineer olmayan endüktansların üzerinden boşalacak enerjinin kaynağı, sistemdeki kapasitif yapılar üzerinde biriken yüküdür. Eğer, olgu doğrusal olsaydı sistem kapasitansının artışı ile ferreazonansın yaşanması ihtimalinin artması veya var olan ferreazonans durumunun sonuçlarının daha da vahim olması beklenirdi. Ferreazonansın lineer olmaktan oldukça uzak karakteristiği nedeniyle üzerinde çalışılan bir sistem ya da sistem parçası için, bu olgunun meydana gelmesinin gerek koşullarından biri, kapasitans değerinin sisteme özel alt ve üst sınır değerleri arasında yer almasıdır [4]. Alt sınırın altında kalmak ya da üst sınırın üzerine çıkmak sistemin ferreazonansa uğramasını engellemektedir [2].

Bu çalışmada 154/33 kV luk bir transformator istasyonunda yapılan kompanzasyonun etkilerinin gözlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla Şekil 3'teki verilen örnek sistem, Türkiye sistemi dâhilinde kullanılan gerilim seviyeleri temel alınarak oluşturulmuştur. İncelemeler PSCAD-EMTDC yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [9].

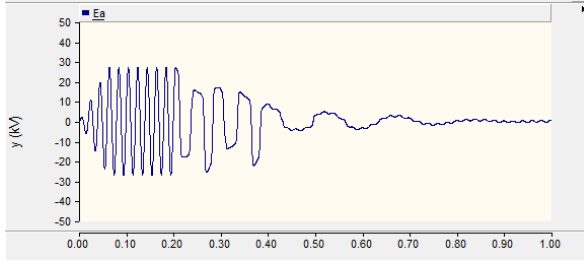




Şekil 3: Ferrerzonans benzetimi için kurulan EMTDC modeli

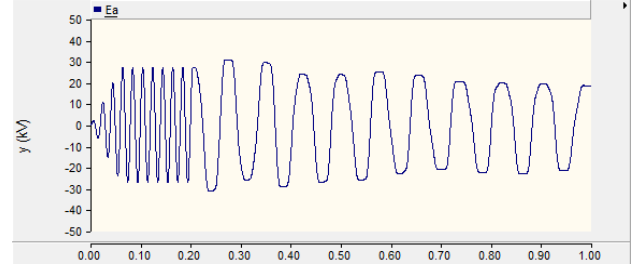
Örnek sistem transformatörün 154 kV barası enterkonnekte sistemi yansıtan şebeke modeli ve ona bağlı bir iletim hattına seri olarak konumlandırılmıştır. İndirici transformatörün gücü 100MVA olarak alınmıştır. Transformatörün sekonder tarafında bir kablo hat üzerinden orta gerilim sisteminin beslendiği varsayılmıştır. İndirici transformatörden kablo hatı geçiş kesici grubu üzerinden yapılmıştır. Ferrerzonans olgusunun yaşanabilmesi için gerek şartlardan birisi, potansiyelinin sabit olmadığı (kayan) bir noktanın var olmasıdır. Bu durumu yaratabilecek uygunsuz anahtarlamaların sağlanabilmesi amacıyla üç adet tek fazlı kesiciden oluşan bir kesici incelemede kullanılmıştır.

Kablo hattının başında, kompanzasyonu modellemek amacıyla yıldız noktası topraklı kondansatör grubu bağlı olduğu kabul edilmiştir. Kablo hattın sonundaki dağıtım transformatörü ise 33/0.4 çevirme oranındadır. Bu dağıtım transformatörün çıkışında ise ohmik karakteristikli dengeli yükler sisteme dâhil edilmiştir. Bu tarz bir yükün eklenmesinin amacı dengesizliğin çalışmada incelenmek istenen parametreler üzerinde etkili olmasını engelleme gereksinimidir.



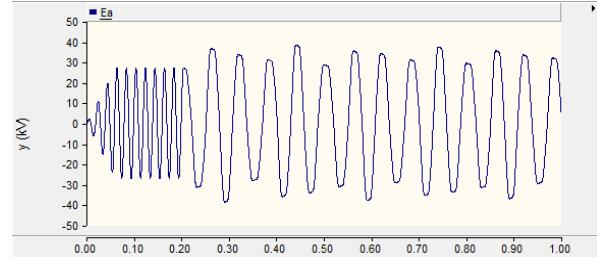
Şekil 4: Kompanzasyon amaçlı kondansatörlerin olmadığı durum

Kablo hattı ve sistem bileşenlerine ilişkin parametreler sabit tutularak, indirici transformatörün orta gerilim tarafında yerleştirilen kondansatör grubunun boyutunda yapılan değişiklikler neticesinde dağıtım transformatörünün primerindeki gerilim cevabındaki değişimler elde edilmiştir (Şekil 4-8). Şekil 4'te kompanzasyonun yapılmadığı ve ferrerzonans olgusunun yaşanmadığı duruma ilişkin sonuçları göstermektedir.

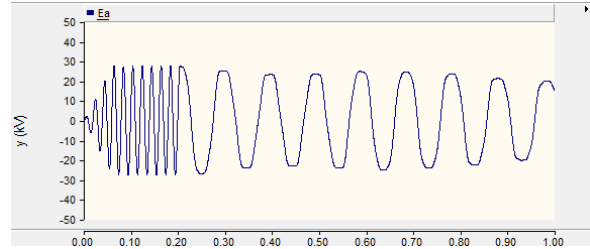


Şekil 5: 24MVAr gücünde kompanzasyonun mevcut olduğu hal

Şekil 5, şekil 6 ve şekil 7 deki sonuçlar, kompanzasyon grubunun gücü sırasıyla 24 MVAr, 12 MVAr ve 48 MVAr alınarak yapılan incelemelere ilişkindir. Şekil 7'de aşırı kompanzasyon yapılarak 48MVAr'lık bir grup kullanılmıştır.

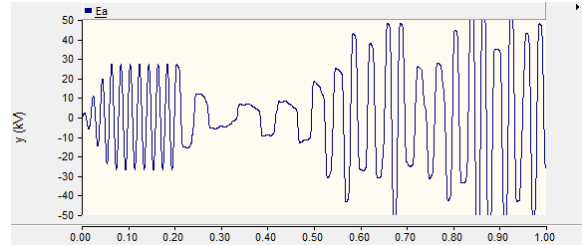


Şekil 6: 12MVAr gücünde kompanzasyonun mevcut olduğu hal



Şekil 7: 48MVAr gücünde kompanzasyonun mevcut olduğu hal

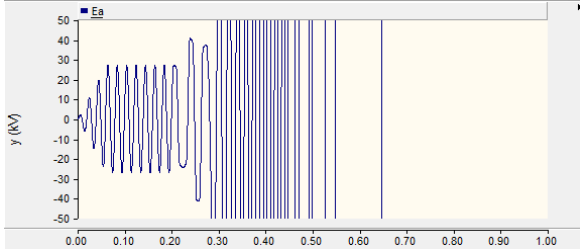
Sonuçlara göre, kondansatör grubunun gücü büyüdükçe yaşanan ferrerzonansın oluşturduğu aşırı gerilimin büyüklüğü düşmektedir. 0,5 MVAr değerindeki kompanzasyonun etkisi görmek amacıyla gerçekleştirilen benzetim incelemesi sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: 0.5MVAr gücünde kompanzasyonun mevcut olduğu hal

Üzerinde çalışılan sistemde kompanzasyon yokken ferrerzonans yaşanmamış; yapılan diğer denemelere

oranla en küçük kompanzasyonda ise en ağır ferreazonans sonuçları elde edilmiştir. Bu durum ferreazonansın lineer olmayan karakterine uygun bir örnektir. Son durumdaki kompanzasyon değeri korunur ve kablo hattın boyu yarisına indirilirse sistem cevabı daha da kötüleşmekte ve ferreazonansın karakteristiği kaotikçe kaymaktadır. Şekil 9’da bu çalışmaya ait sonuç verilmiştir.



Şekil 9: 0.5MVAr gücünde kompanzasyonun mevcut, kablo hattın kısa olduğu hal

Sonuç olarak, modellenen sistem için ferreazonans ihtimalinin var olduğu kapasitans değerlerini barındıran zarfın alt sınırının, kolaylıkla aşılabildiği ancak, üst sınırın da aşılmasını sağlayacak boyuttaki kapasitans değerlerine yaklaştıkça ferreazonans etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir.

VI. SONUÇ

Ferreazonans başlangıç koşullarına ve sistem parametrelerine karşı çok hassas, yavaş ve tehlikeli bir geçici olgudur. Bu çalışmada ferreazonans olgusu tanımlanmış, hassasiyetleri ve engellenebilmesi için çözümler irdelenmiştir.

Örnek sistem durumu olarak bir transformatör merkezinde yapılacak kompanzasyonun etkileri benzetim incelemeleri gerçekleştirilerek elde edilmiştir. Her sistemin kendine özel olan ferreazonans ihtimali kapasitans zarfının dışına çıkılması halinde ferreazonanstan kaçınılabileceği görülmektedir. Sisteme özel ferreazonans durumunun hesaplanabilmesi ya da bu ihtimalin varlığının öngörülebilmesi doğru modelleme ile yapılabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Santosa, S., Dugan, R. C., Grebe, T. E., ve Nedwick, P., Modelling Ferroresonance Phenomena in an Underground Distribution System, *The International Conference on Power Systems Transients (IPST)*, Rio de Janeiro, Brazil on June 24-28, 2001.
- [2] IEEE-standard C57.105-1978, *IEEE Guide for Application of Transformer Connections in Three-Phase Distribution System*, s. 20-27.

- [3] Emin, Z., Al Zahawi ,B. A. T., Auckland, D. W., ve Tong, Y. K., Ferroresonance in Electromagnetic Voltage Transformers: A Study Based on Nonlinear Dynamics Ferroresonance in a High Voltage Power Sistem. *IEE Proc. Gener. Transm Distrib.*, Vol. 144, No:4, s.383-387, 1997.
- [4] Ferracci, P., 1998: Ferroresonance. *Cahier Technique Schneider*, Vol. 190 . www.schneiderelectric.com. Alıntılama Tarihi: 15. Haziran. 2010
- [5] Irvani, M. R., ve arkadaşları, Modelling and Analysis Guidelines for Slow Transients – Part: The Study of Ferroresonance. *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 15, No.1, s.255- 265, 2000.
- [6] Tong Y.K., NGC Experience on Ferroresonance in Power Transformers on HV Transmission Systems. IEE, Savoy Place, *IEE Colloquium on Warning! Ferroresonance Can Damage Your Plant* Londra, 1997.
- [7] Jacobson D., 2003: Examples of Ferroresonance in a High Voltage Power System. *IEEE Power Engineering Society General Meeting, July 13-17, Toronto, Ontario, 2003*
- [8] Mozaffari S., Sameti M., ve Soudack A.C., Effect of Initial Conditions on Chaotic Ferroresonance in Power Transformers. *IEE Proceedings, General Transmission Distribution.*, Vol. 144, No:5, s.456-460, 1997.
- [9] PSCAD-EMTDC v4.2.1, The Manitoba HVDC Research Centre, <https://pscad.com/>

GÜVENİLİRLİK ANALİZİ İÇİN DİJİTAL KORUMA RÖLESİ KOORDİNASYONU

Canan PERDAHÇI, İbrahim Halil CAN

Kocaeli Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
perdahci@kocaeli.edu.tr , halilcan82@gmail.com

Özet

Bu makalede elektrik altyapısını dijital koruma röleleri tesis ederek daha güvenilir hale getirmeyi amaçlayan büyük ölçekli bir endüstriyel tesisin röle koordinasyonu incelenmiştir. Röle koordinasyonu planlanırken, tesisdeki tüm elektriksel ekipmanlara ait parametreler ve farklı işletme koşulları bir bütün olarak değerlendirilmelidir. Tesisin işletme ve arıza durumları için kritik koşulları belirlenmeli, arıza anında tesise zarar vermeden gerekli açma yapılmalıdır. Bu sebeplerle, doğru selektivite çalışmasının yapılmış olması gereklidir. Bu kapsamda, daha önce tesisin bir bölümü için yapılmış olan bu röle koordinasyon çalışmaları, tesiste kullanılan IEC 255-3, ANSI röle ve kesici markalarını veri tabanında bulunduran PSS SINCAL® programı ile tesisin bütününe yapılmıştır. Sonuç olarak, arıza simülasyonları yardımıyla en uygun koordinasyon tespit edilmiştir.

Abstract

In this paper, the relay coordination of a large scale industrial plant of which the electrical system is intended to be made reliable by establishing digital protection relays was examined. Own parameters of plant's electrical equipments and different operating conditions shall be considered as a whole, when the relay coordination is planned. Moreover, critical conditions of operating and fault status shall be determined and essential trip shall be done by digital protection relays during the fault moment so as not to bring any damage to the plant. For these reasons, accurate selectivity studies are required to be made. In this context, these coordination studies which were also made for a part of plant previously, have been made for all units of plant via using PSS SINCAL® program which includes in its own database all IEC 255-3, ANSI relays and breakers in the plant. As a result, optimum relay coordination was confirmed with the method of fault simulation.

1. Giriş

Röle koordinasyonuna başlamadan önce tesisin detaylı tek hat şeması oluşturulmuştur. Tek hat şeması oluşturulurken motor 'datasheet'lerinden, motor ve trafo plakalarından, eski motor ayar verilerinden, kablolar için kablo metraj projelerinden ve generatör değerlerinden yararlanılmıştır. Kullanılan değerler aşağıdaki gibidir:

Motorlar için; aktif güç, anma gerilimi, anma güç faktörü, ratio R/X, güç faktörü, kalkış akımı, verim, kutup sayısı, motor yol verme zamanı, motor ısısal zamanı, kilitli rotor zamanı, maksimum sıcak yol verme sayısı, maksimum soğuk-sıcak yol verme sayısı.

Trafolar için; giriş gerilimi, çıkış gerilimi, görünür güç, referans kısa devre gerilimi (yüzdesel), omic kısa devre gerilimi. Generatörler için: aktif güç, reaktif güç, güç faktörü, görünür güç, ratio R/X, anma gerilimi, xd"sat. Kablolar için; uzunluk, kesit, direnç, reaktans, kapasite, anma gerilimi, paralel kablo sayısı, frekans, düzeltme faktörü.

Tesisin elektrik üretim kapasitesi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Tesiste Bulunan Generatörlerin Güç Değerleri

	G1	G2	G3	G4	G5
P (Aktif Güç) MW	9	9	9	12	36
Q (Reaktif Güç) MVar	6	6	0,13	7,05	8,01

Tesiste bulunan elektrik dağıtım istasyonları, bu istasyonlardaki koruma rölesi sayısı ve koruma koordinasyonu analizinde kullanılan arıza noktası sayısı Tablo 2'de gösterilmiştir.[1,2,3]

Tablo 2: Tesiste Bulunan Röle Sayıları ve Arıza Noktaları

Dağıtım İstasyonu	Korma Cihazı Sayısı	Arıza Simülasyon Noktası Sayısı
9MMS-1	14	18
25/36	27	33
5/6/7/8	20	22
9MS-1	19	23
26	12	15
10R-102A	18	13
10R-102	19	20
73-74	8	10
10R-6	5	6
10R-6A	26	27
33	23	24
10R-18	23	25
10R-8	13	15
9MMS-2	8	10
47MMS-1	11	13
47MS-1	22	22
9MMS-3	11	11
63MMS-1	10	10
63MS-1	29	38
10MS-1	13	19
TOPLAM	331	374

Röle tepkileri aşağıdaki durumların modellenmesi ile izlenmiştir.

- 3 Faz Maksimum
- 2 Faz Minimum
- Faz-Toprak Maksimum
- Faz-Toprak Minimum

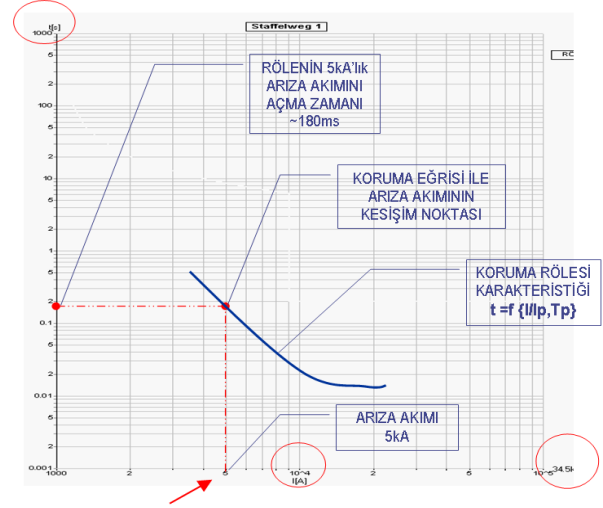
Tablo 2’de arıza simülasyon noktaları; trafo giriş-çıkış noktaları, baralar, motor girişleri, generatör çıkışları, kablo bağlantı noktalarına göre belirlenmiştir. Hesaplar VDE ve IEC standartlarına göre yapılmıştır. PSS SINCAL® programında bu noktalarda oluşabilecek arızalarda, parametrelendirilen rölelerin nasıl davranacağı incelenerek hatalar en aza indirilmiştir.

PSS SINCAL® programı ile tesisin, tüm orta gerilim çıkışlarını kapsayacak şekilde simülasyonu oluşturulmuştur.

Röle koordinasyonu için doğru selektivite çalışmasının yapılması çok önemlidir. Selektivite planlamasında, seri bağlı koruma elemanlarına ait akım zaman karakteristiklerinin Şekil 1’de görüldüğü gibi birbirine karşı ilişkilerinin incelenmesi gereklidir. Bunun için koruma elemanlarının parametrelendikleri değerlere,

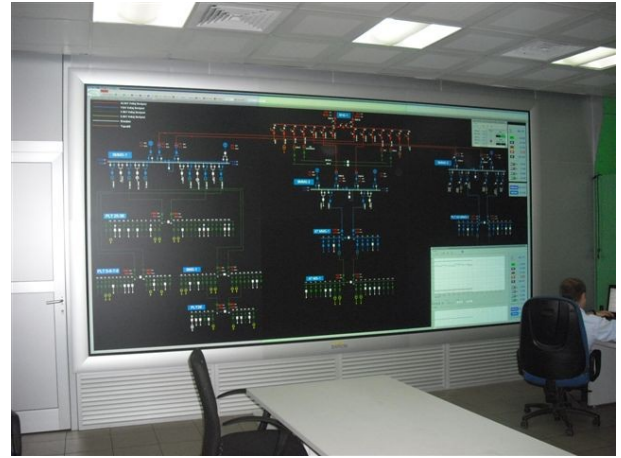
bağlı oldukları akım trafosu primer akımına ve tesis edildikleri gerilim seviyesine göre değişen davranış eğrileri akım-zaman diagramına taşınır.[1,8]

Şekil 1: Akım-Zaman Grafiği



Tesisin bütün elektrik sistemi SCADA sistemi üzerinde takip edilmektedir. Şekil 2, barkovizyonda izlenen tek hat şeması görülmektedir.

Şekil 2: Tesis Tek Hat Şemasının Barkovizyon Ekranındaki SCADA görüntüsü



1.1. Dijital Koruma Röleleri Koordinasyon Kriterleri

Tesisin röle koordinasyonu yapılırken aşağıda belirtilen kriterler göz önünde bulundurulmuştur.[1,2,8]

- Tesisin minimum 1 ve 2 kutuplu, maksimum 3 kutuplu kısa devre akımlarının dikkate alınması,
- Koruma elemanları tesiste ortaya çıkması muhtemel maksimum arıza akımlarına, elektrik ekipmanları hasar görmeden önce reaksiyon göstermesi, koruma elemanları

tesiste ortaya çıkması muhtemel minimum arıza akımlarına da duyarlı olması,

- Arıza noktasına en yakın koruma elemanının en önce açması yolu ile arızanın minimum alanda lokalize edilmesi,
- Her bir rölenin arıza halinde parametrelendiği akım zaman noktasında çalışması ve normal işletme koşullarında hatalı açmalar üretmemesi
- Rölelerin koruduğu elektrik ekipmanının nominal akım ve güç değerlerinde çalışmasına müsaade edilmesi, yük akışı hesap sonuçlarının dikkate alınması
- Röleler arasındaki açma zaman farkı OG tesislerde minimum 200ms, AG tesislerde minimum 70ms civarında olması,
- Kısa devre koruma parametrelerinin belirlenmesinde, akım trafolarının doyma karakteristikleri kriteri göz önünde bulundurulması.

Röle koruma parametreleri, tesisten sürekli halde sistem kapasitesinin müsaade ettiği maksimum yükün beslenmesine olanak sağlayacaktır. Transformatör geçişlerinde, primer ayar değeri sekonderdeki arızayı görmeyecek biçimde tespit edilerek, primerde hızlı bir açma oluşturulabilir. Bu durumda 200ms'lik zaman kademesi ihtiyacı oratadan kalkar.

2. Dijital Koruma Rölelerinin Koordinasyonu

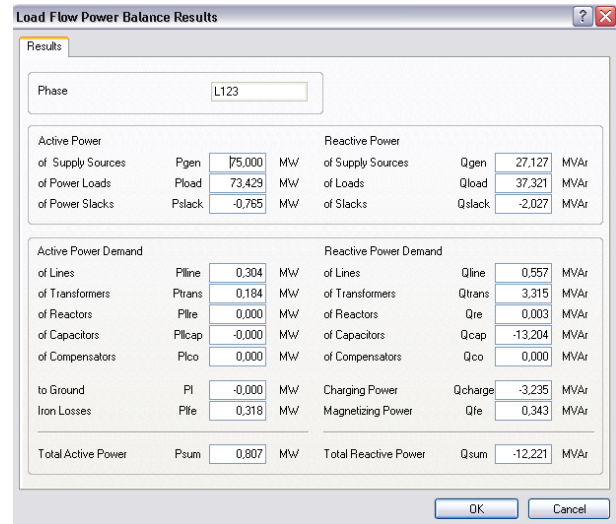
Röle koordinasyonu amacıyla tesisin elektrik sistemin modellendikten sonra elde edilen yük akışı ve kısa devre sonuçları yorumlanmıştır.

2.1. Yük Akışı Analizi

Yük akışı analizinde, generatörlerin devrede olduğu ve tesisin TEİAŞ'a bağlı olduğu durum ele alınmıştır. Yük akışı analizi; dağıtım istasyonu bazında işletme durumları, tesisin TEİAŞ ile paralel çalışmada olduğu maksimum işletme koşulları dikkate alınarak yapılmıştır.

PSS SINCAL®'de yapılan yük akışı analizinde, motorların yedeklenme durumları, kapasitif motorlardaki kondansatör katkıları gibi etmenler de göz önüne alınarak toplam üretilen aktif gücün 75MW, toplam üretilen reaktif gücün ise 27MVA olduğu ve şebekeye de yaklaşık 765kW gibi çok küçük bir gücün verildiği görülmüştür. Sistem kendi dinamikleriyle kendi üretiminin, tüketimini karşıladığı durumdadır. PSS SINCAL®'de yük akışı yapıldığında, Şekil 4'te görünen "SINCAL Power Balance" sonuçları elde edilerek yukarıda verilen değerler açıkça görülmektedir. [1]

Şekil 4: Yük Akışı Power Balance Sonuçları



Yük akışı ile ilgili sonuçlara bakıldığında aşağıdaki değerler görülmektedir.

- Kaynaklar, yükler ve yük akışında slack olarak kabul edilen aktif ve reaktif güç değerleri,
- Trafolar, reaktörler, kapasitelere ait aktif ve reaktif güç talepleri,
- Kapasitif akımların oluşturduğu reaktif güçler,
- Manyetiklenme güçleri ve demir kayıpları

2.1.1. Yük Akışı Analizi Sonuçları

Yük akışı sonuçlarına göre tesisin güç kablolarının ve trafolarının oldukça güvenilir olduğu ancak bazı güç kablolarının bir miktar fazla yüklendiği durumlar gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, bu kablolar potansiyel risk oluşturmaktadır. Bu riski ortadan kaldırmak için kablo kesitleri arttırılmalı veya kablolar paralellenmelidir.[1]

2.2. Kısa Devre Analizi

Tesisteki kısa devre değerleri için, maksimum kısa devreler, TEİAŞ'a bağlı olup generatörlerin de devrede olduğu durumlar için hesaplanmıştır. Minimum kısa devreler ise, yukarıda belirtildiği gibi tesisin minimum işletme koşulları baz alınarak hesaplanmıştır. [1].Hesaplanan kısa devreler;

- 3 faz maksimum; tesisteki elemanların kısa devre dayanımları ile ilgili bilgi elde edebilmek ve sıkıntı oluşturabilecek yerlerin tespiti amacıyla hesaplanmıştır. Generatörlerin devrede olduğu ve tesisin TEİAŞ'a Trafo-C (Trafo-D devre dışı) üzerinden bağlı olduğu durum ele alınmıştır.
- 2 faz minimum; röle koordinasyonu açısından, rölelerin ayar değerlerinin verilmesinde önem kazanmaktadır ve dağıtım

istasyonu bazında minimum işletme koşullarına göre hesaplanmıştır.

- 1 faz maksimum; toprak kısa devreleri sırasında geçen maksimum akım değerini hesaplayıp, toprak korumalarına ilişkin bilgi sahibi olabilmek için önemlidir.
- 1 faz minimum; koruma koordinasyonu amacıyla rölelere girilecek toprak ayar değerlerinin belirlenmesi açısından önemlidir.

Tesise ait baraların kısa devre dayanımlarına göre sürelerinin hesaplanması, yapılan koordinasyon çalışması açısından önemlidir. Eğer arıza durumunda baralar, ayarlanan röle zamanlarından daha kısa süre kısa devreye dayanabiliyorsa baralar zarar görür.

Tablo 4: Dağıtım İstasyonlarındaki Kısa Devre Seviyeleri

Dağıtım İstasyonu	Gerilim Seviyesi (kV)	3 Faz max. (kA)	2 Faz min. (kA)	1 Faz max. (kA)	1 Faz min. (kA)
9MMS-1	11	16,58	3,05	1,03	0,77
	3,3	26,4	6,34	30,79	9,31
25/36	3,3	20,55	5,14	20,77	6,03
	0,4	38,45	14,33	40,03	18,57
5/6/7/8	3,3	18,7	5,31	19,43	6,42
	0,4	42,49	14,24	46,96	18,29
9MS-1	3,3	28,16	5,99	29,96	6,76
	0,4	40,04	14,6	41,53	18,82
26	3,3	19,61	6,17	16,64	5,94
	0,4	36,08	14,46	38,3	18,68
10R-102A	3,3	32,9	5,24	31,69	6,51
	0,4	33,15	16,85	34,08	22,49
10R-102	3,3	31,79	5,27	30,25	6,58
	0,4	55,83	23,41	58,12	24,88
10R-6A	3,3	31,81	5,19	30,16	6,4
	0,4	34,06	18,37	36,32	11,57
10R-6	3,3	29,54	5,01	27,13	6,12
33	3,3	27,67	5,37	24,95	6,94
	0,4	40,29	5,82	43,64	7,14
73-74	3,3	30,85	5,92	29,01	8,71
	0,4	38,04	17,6	38,06	23,54
10R-18A	3,3	26,54	4,11	20,09	4,63
	0,4	50,86	13,44	54,94	22,1
10R-8	3,3	20,73	3,93	14,2	4,3
	0,4	55,9	20,9	59,65	30,33
9MMS-2	11	26,61	7,52	0,91	2,44
47MMS-1	11	26,4	6,01	0,9	2,12
	3,3	15,2	7,74	0,21	0,19
47MS-1	3,3	15,24	3,9	0,21	0,18

	0,4	41,79	22,42	44,32	30,24
9MMS-3	11	45,48	5,28	0,87	0,72
	0,4	46,69	32,51	44,32	15,06
63MMS-1	11	42,78	5,09	0,86	0,71
	3,3	30,09	14,63	35,48	10,91
63MS-1	3,3	33,67	10,22	33,88	7,15
	0,4	38,65	27,79	39,44	18,41
10MS-1	3,3	13,11	5,82	13,61	4,28
	0,4	26,46	16,53	29,66	15,46
9HS-1	34,5	18,15	9,2	0,39	0,35
	11	17,06	9,3	0,38	0,35
	3,3	17,06	9,6	0,39	0,35

1 faz maksimum toprak kısa devre değerlerinde en küçük değerler trafo toprak dirençlerinin sınırladığı ve yaklaşık 1kA değerindeki 9MMS-1, 9MMS-2 ve 9MMS-3 tesisleridir. Ayrıca dağıtım istasyonu 47'deki trafonun direnç üzerinden topraklı olması da 1 faz toprak kısa devre akımını sınırlamıştır.

Ayrıca bara kısa devre dayanımları ve süreleri ile baraya gelen veya baradan çıkan en az dayanıklı kabloların, o barada meydana gelebilecek kısa devre değerleri ve zamanları ile karşılaştırılmasına yani elemanların kısa devre termal dayanımlarına ait değerler hesaplanmıştır. Bu değerlerin hesaplanması ve karşılaştırılmasıyla eğer varsa sınır akım değerinde olan veya aşan baralar belirlenebilir. [1]

2.2.1. Kısa Devre Analizi Sonuçları

Herhangi bir arızada 1sn'nin altında dayanımı olan elemanlar için trip zamanları önem kazanacaktır. Bu elemanlara ait ana koruma ve yedek koruma, dayanım zamanından önce çalışıp hatayı temizlemelidir.

Tesiste bulunan motorlara ait kablolar, yaklaşık 0,4-1sn arasında kısa devreye dayanabilmektedir. Röle koordinasyonu açısından motorların kısa devre hata temizleme zamanları 0,05sn, ikincil koruma ise 0,02sn olarak verildiğinden kısa sürede temizleme gerçekleşmektedir; ancak rölenin arızalanması durumunda 2. bir koruma yedek olarak görev yapmalı ve kablounun dayanım süresinden daha kısa sürede devreyi açıp hatayı izole etmelidir.[1,6]

2.2.2. Kısa Devre Dayanım Süresiyle İlgili Sonuçlar

Dijital koruma rölesi kullanılan dağıtım istasyonlarında motor kabloları genel olarak 0,5sn'ye dayanabilmektedir.

Siemens 7SJ64 rölelerinde motor arıza temizleme zamanları 0,05sn (0,5sn'nin altında) olarak ayarlanmıştır. Açma ayar zamanı 0,05sn olduğundan röleler, kablo dayanım zamanlarından önce açacaktır.

Ayrıca röleler, dağıtım istasyonları girişlerinde genel olarak 0,4sn'ye ayarlandığından, ilave bir yedek koruma sağlanmaktadır. Ancak, yük ve kesici gecikmesi 100ms olarak düşünülürse 0,5sn zamanı tam sınırdaki olmakla beraber yeterlidir. Eğer girişler 0,5sn'nin üzerinde ayarlanırsa yedek koruma yapılamayacaktır. Mekanik röleler için arıza temizleme zamanı 0,03sn'dir.

Trafo arıza temizleme zamanları genel olarak 0,2sn'dir. Buna göre arıza dayanım zamanları 0,2sn'nin altında olan trafo besleme kabloları da 0,2sn'den önce arızayı temizleyemeyeceğinden kablonun değiştirilmesinde veya kablonun kesitinin artırılmasında yarar vardır. [1,2,3,4,5]

3. Sonuçlar

Rölelerin hesaplanan değerleri simülasyon yöntemiyle analiz edildiğinde; rölelerin, yük akımlarını kesmediği, trafoların ve motorların enerjilendirilmesi durumunda devreyi kesmedikleri, arızaları minimum zaman ve minimum alanda temizleyebildikleri belirlenmiştir.

Radyal sistemlerde koruma koordinasyonu, aşağıdan yukarıya zaman değerleri artırılarak yapılmaktadır. Orta gerilim sistemlerinde koordinasyonun düzgün çalışabilmesi için süre farkının minimum 200ms verilmesi gerekmektedir. Bu süre, akım selektivitesinin kullanılamadığı uzun radyal yapıların ucunda oldukça yükselir. Bu nedenle, sistemdeki tüm cihazların minimum 1s kısa devre dayanımının olması istenmektedir.

11 ve 3,3kV'tan itibaren radyal işletme yapısına sahip olan tesiste, koruma koordinasyon açısından besleme noktasına doğru, röle tipine bağlı olarak ve selektivite açısından bir sıkıntı oluşturmayacak zaman gecikmesiyle açma zamanları ayarlanmıştır. Gerek duyulan yerlerde ikinci kademe de aktif hale getirilerek koruma yapılmıştır.

Yapılan röle koordinasyonu çalışmasında, henüz tüm tesis dijital röleye geçmediğinden mekanik rölelerin ayar değerleri mekanik rölelere uygun şekilde verilmiştir. Tesiste mekanik röle bulunması koordinasyon zamanlarının da yükselmesine neden olmaktadır. Rölelere 0sn açma zamanı verilmesine rağmen açma komutunun gönderilmesi, kesicinin açması 100ms'den daha kısa olamayacağından, dijital rölelere göre daha fazla zaman gecikmesi verilmiştir.

Röle koordinasyonu sonucu PSS SINCAL® simülasyonunda elde edilen veriler tesisin, elektrik altyapısının planlanmasını ve rölelerin, elde edilen verilere göre parametrelendirilmesini sağlamaktadır.[7]

Sonuç olarak, tesisin elektrik altyapısını daha güvenilir ve daha sağlam hale getirmek amacıyla dijital koruma röleleri kullanılması, öncelikle bu rölelerin doğru şekilde parametrelendirilmesini, uygun selektivitenin oluşturulmasını yani bütünüyle röle koordinasyonunun yapılmasını gerektirmektedir.

4. Kaynaklar

- [1] Çetinkaya, B. Akduman, B. Tüpraş İzmit Röle Koordinasyon Raporu, Siemens A.Ş., Kocaeli, 2009
- [2] TÜPRAŞ General Project Design Specification P1, TÜPRAŞ, Kocaeli, 2006
- [3] Koruma Rölelerinin Fonksiyon Açıklamaları, Siemens E E&C PTI, İstanbul, 2008
- [4] SIPROTEC 7SJ62/64 Kullanım Kılavuzu C53000-G115A-C207-1, SIEMENS AG, İstanbul, 2009
- [5] SIPROTEC 7UT613/63x Kullanım Kılavuzu V4.60, SIEMENS AG, İstanbul, 2006
- [6] Küçük, S. Çetinkaya, H. Otoprodüktör Santrallerinde Kısa Devre Gücünün Düşürülmesi, ICCI 2009 Bildiriler Kitabı, 2009, 291-292
- [7] Völzke, R. Çetinkaya, H. Günaltay, S. Tupras İzmit Refinery Design Criterias for New Refinery Technical Report V01, SIEMENS, Erlangen, 2010
- [8] Çokuğraş, S. Özkardeş, S. Koruma Tekniğinde Selektivite, SIEMENS, İstanbul, 2009

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KOCAELİ İLİNİN PUANT YÜK TAHMİNİ

Oya DEMİRER

Demet ÖZDEMİR

Melih İNAL

Kocaeli Ü. Müh.Fak. Elektrik Müh.Bl.MSB İzmit İnşaat Başkanlığı Kocaeli Ü.Tek.Fak.Elektronik Eğ.

odemirer@hotmail.com

dilmendem@hotmail.com

minal@kocaeli.edu.tr

Özet

Elektrik enerjisinin yaşamın her alanında kullanılmasıyla birlikte ona olan bağımlılık her geçen gün artmaktadır. Bu da tüketicilere daha kaliteli, daha ekonomik ve daha güvenilir elektrik enerjisi sunmayı zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle elektrik sistemlerinde geleceğe yönelik planlar yapılması zorunludur. Güç sistemlerinin kontrolü, işletmesi, elektriğin ekonomik olarak üretim ve dağıtımı en önemlisi de tüm bunların planlanmasında yük tahmin analizi büyük öneme sahiptir. Mevcut sistemin kapasitesinin yeterliliği, kurulacak sistemlerin verimliliği, yapılması gereken yatırımlar v.b. durumlar için elektrik ihtiyacının bilinmesi optimum çözümler üretmemizi sağlayacaktır. Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları metodu kullanılarak Kocaeli ilinin puant yük tahmini yapılmıştır. Nüfus ve sıcaklık gibi çevresel etkenler de bu çalışmaya dahil edilmiştir. Bu tahmin yapılırken 2002-2007 yılları verileri eğitim amaçlı kullanılmış 2008-2010 test yük verileri elde edilmiştir. Ayrıca 2020 yılına kadar beklenen yük değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Dağıtım Sistemleri, Yük Tahmin Yöntemleri, Yapay Sinir Ağları

Giriş

Etkili bir sistem planlaması için, puant yük ve enerji ihtiyacının tahmin edilmesi gereklidir. Yük tahmini, geçmişteki koşulların incelenerek gelecekteki durumun öngörülmesidir. Yük tahminlerini üç değişik boyutta incelemek mümkündür.

Kısa dönemli tahmin: Saatlik, günlük veya haftalık olarak gerçekleştirilmektedir. Zaman, elektriksel veri ve müşteri sınıfları gibi etkenleri vardır. Güç santralleri arasında yük paylaşımı, en iyi grup belirleme ve ekonomik işletmenin yapılabilmesinde önemlidirler.

Orta dönemli tahmin: Genel olarak aylık ve üç aylık dönemler olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak orta

dönemli tahminleri bir günden bir yıla kadar olan zaman aralığında alarak yakıt kaynaklarının dağılımını ve bakım işlemlerinin zamanlamasını belirlemede kullanabilmekteyiz.

Uzun dönemli tahmin: Yıllık veya daha uzun dönemiçin gerçekleştirilmektedir. Bu tahminler iletim ağlarının ve yeni üretim kapasitelerinin ekonomik planlamasında ve sistemin modifiye edilmesinde önemlidir. Orta ve uzun dönem tahminler geçmiş verileri, elektriksel verileri, farklı müşteri sayılarını, uygulama alanını, ekonomik verileri ve onların tahminlerini hesaba katar [1].

Doğru bir yük tahmini modeli oluşturmadan önce, yük tahmini yapılacak bölgenin yük karakteristiği incelenmeli ve hangi faktörlerin yükü ne şekilde etkilediği araştırılmalıdır. Yükü etkileyen faktörler; nüfus artışı, gayri safi milli hasıla, ekonomik veriler, coğrafik faktörler (sıcaklık, nem, yağış,...), geçmişteki veriler, endüstriyel ve şehir planları, arazi kullanımı, sosyo-kültürel faktörler, insanların hayat tarzlarındaki ve kullanım alışkanlıklarındaki değişiklikler, teknolojik gelişmeler olarak sıralanabilir. Yük tahmininde kullanılacak olan değişkenlerin belirlenmesi, öncelikle bu verilerin elde edilip edilememesine, daha sonra tahminin özelliğine, yönteme ve tüketici grubuna bağlıdır.

Yük Tahmin Metodları

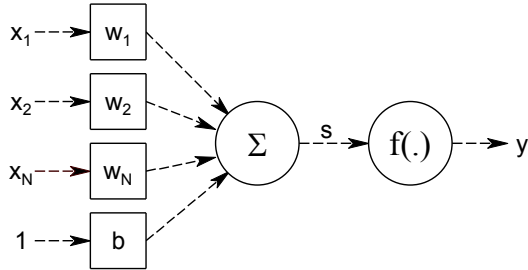
Yük tahmin çalışmalarında birbirinden farklı modeller kullanılmaktadır. Her elektrik şebekesinin ve her tüketici bölgenin iklimsel ve coğrafi özellikleri birbiri ile aynı olmadığından farklı yük tahmin modellerinin öne sürülmesi normal bir durumdur. Yük değişimlerinin yapısına bağlı olarak bir metod diğerine göre üstünlük gösterebilir. Yük tahmin metodları genel olarak ekstrapolasyon ve korelasyon tahmin metodlarıdır. Ekstrapolasyon, geçmiş verilerin ve bu verileri etkileyen güçlerin geçmişte olduğu gibi gelecekte de aynı oranda artacağı varsayılarak yapılan tahmindir. Birçok ekstrapolasyon yöntemi vardır. Bunların bazıları matematiksel büyüme eğrilerinin yorumlanmasından oluşur. Diğerleri ise geçmiş yıllardaki büyüme ortalamalarının ileri yıllar için kullanılmasıdır. Korelasyon, yüklerin diğer faktörlere

bağlanmasıyla gerçekleşen tahmindir. Örneğin hava şartları veya ekonomik durum gibi. Korelasyonun en önemli avantajı büyümeyi etkileyen faktörleri önemlerine göre değerlendirmesidir. Korelasyon metodu aynı zamanda tahminlerin gerçek değerlerden sapması durumunda sebebin belirlenmesinde yardımcıdır.

Genel olarak istatistiksel yük tahmin metodları, Uzman sistemlerle yapılan yük tahmini, Ekonometrik modeller, Ortalama artış yüzdeleri ile tahmin, Son kullanıcı modeli, Gayri safi milli hasılaya (GSMH) dayalı yapılan tahmin, Yüzeysel yük tahmini, Yer renklendirme yöntemi, Arazi kullanım yöntemi, Regresyon analizi, Zaman serisi analizi, Bulanık Mantık ve Yapay sinir ağları (YSA). Yapay sinir ağları metodu, yük ile yükü doğrudan etkileyen faktörler arasındaki lineer olmayan ilişkileri değerlendirmemize imkan sağladığından bu çalışmada tercih edilmiştir.

Yapay Sinir Ağları

Bu metod insan beyninin öğrenme, hatırlama, değerlendirme ve karar verme becerisinin matematisel olarak modellenmesi sonucunda gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle temel elemanları yapay sinir ağı hücreleridir. Yapay sinir ağı hücresi (yapay nöron) biyolojik nörona göre daha basittir ve matematiksel yapısı Şekil 1 de verildiği gibidir.



Şekil 1. Yapay Sinir Ağı Hücresi (Yapay Nöron)

Giriş verileri $x_1, x_2, \dots, x_N$. Ağın öğrenmesi için kullanılan verilerdir.

Ağırlıklar $w_1, w_2, \dots, w_N$ dir ve ilgili girişlerin çıkış üzerindeki etkisini gösterir. Bunlar YSA da uzun dönemlik hafızaya karşılık gelir ve YSA bu ağırlıkların tekrar tekrar ayarlanması ile öğrenmeyi gerçekleştirir.

b aktivasyon fonksiyonu eşik değeri

Toplama fonksiyonu Σ tüm verileri toplar

$f(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonualdığı veriyi bir algoritma yardımı ile gerçek bir çıktıya dönüştürür.

y elde edilen çıkış değeri. YSA hücresi çıkış değeri

$$s = \sum_{i=1}^N w_i x_i + b$$

w_i , x_i girişinin ağırlığıdır. b ise sabit girişin ağırlığıdır. Matrisyel olarak ifade edersek

$$\mathbf{w} = [w_1 w_2 \dots w_M]^T$$

$$\mathbf{x} = [x_1 x_2 \dots x_N]^T$$

olmak üzere

$$\mathbf{s} = \mathbf{w}^T \mathbf{x} + b \quad \text{ve} \quad \mathbf{y} = f(\mathbf{s}) \quad \text{diyebiliriz.}$$

Basit olarak bir sinir hücresinin işleyişini ifade edersek giriş verilerinin ağırlıkları ile çarpımları toplanır, eşik değeri ile karşılaştırılır elde edilen değer eşik değerinden küçük ise çıkış -1, büyükse +1 alınır (+1 durumunda sinir hücresi aktifleştirilir.)

YSA modellerinin belli başlı özelliklerini sıralarsak: Analiz ve tasarım kolaylığı, doğrusal olmama, sistemde değişken ve parametreler için sınırlama olmaması, bilginin ağırlık tamamına yayılması böylece nöronlardan bazılarının işlevlerini kaybetmesi halinde bile anlamlı bilginin yitirilmemesi yani hata toleransı, bilinen örnekleri kullanarak önceden karşılaşılmamış durumlar için genelleme yapma, öğrenme ve nöronlar eş zamanlı çalıştıklarından gerçek zamanlı işlem yürütülebilme.

Mimari yapısına göre bakacak olursak da YSA ları geri beslemeli ve ileri beslemeli YSA olarak iki gruba ayrılırlar. Geri beslemeli YSA adından da anlaşılacağı üzere en az bir işlem biriminin çıkışı kendisine veya bir başka işlem birimine giriş olarak verilir ve genellikle bu geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden gerçekleştirilir. Geri besleme, bir katmandaki işlem birimleri arasında olabileceği gibi katmanlar arasındaki işlem birimlerinde de olabilir. İleri beslemeli YSA da ise bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Katmanların zincir bağlantısı ile çok katmanlı ağlar elde edilir. Giriş ve çıkış katmanları arasındaki katmanlara saklı katman adı verilir. Toplam katman sayısını verirken giriş katmanı giriş ve çıkışları aynı olduğu için hesaba katılmaz. Çalışmamızda ileri beslemeli iki katmanlı bir YSA modeli kullandık. [2]

$$\mathbf{w}^i = [w_1^i w_2^i \dots w_M^i]^T$$

i.katmanın ağırlık matrisi

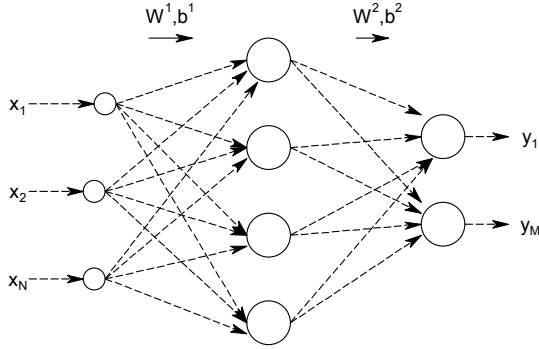
$$\mathbf{b}^i = [b_1^i b_2^i \dots b_M^i]^T$$

i.katmanın eşik vektörü ve

$$\Gamma^i = \begin{bmatrix} f(.) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & f(.) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & f(.) \end{bmatrix}$$

Γ^i [,], i katmanının matris operatörü olmak üzere iki katmanlı YSA için çıkış ifadesi

$$y = \Gamma^2 [W^2. \Gamma^1 [W^1 x + b^1] + b^2]$$



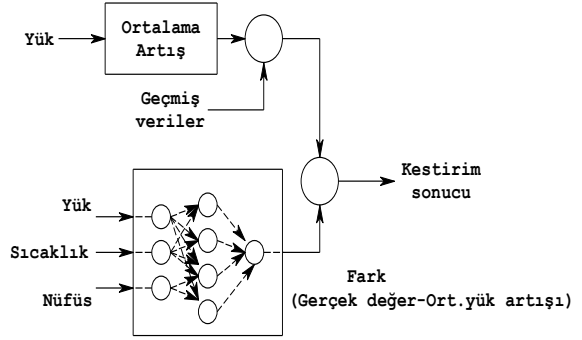
Şekil.2 İki katmanlı ileri beslemeli YSA

Öğrenme kuralı olarak geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. x ($N \times 1$) boyutlu, d ve y ($M \times 1$) boyutlu vektörler olmak üzere P örnekten oluşan $((x(1), d(1)), (x(2), d(2)), \dots, (x(P), d(P)))$ eğitim kümesi verilir. C çevrim sayısını, p çevrimdeki adım sayısıdır. İşlem adımları:

1. Öğrenme oranı ve kabul edilebilir en büyük hata seçilir. Her katman için ağırlık ve eşik değerler atanır. $c \rightarrow 1$, $p \rightarrow 1$ ve $E \rightarrow 0$ alınır.
2. Girişler ağırlıklı uygulanır ve tüm hücrelerin çıkışları hesaplanır
3. Hata hesaplanır
4. Her iki katmanın da hata işaret vektörleri hesaplanır
5. Çıkış katmanının ağırlık ve eşik değerleri ayarlanır
6. Saklı katmanının ağırlık ve eşik değerleri ayarlanır
7. Örnek sayısı tamamlanmadıysa yani $p < P$ ise $c \rightarrow c+1$, $p \rightarrow p+1$ al ve 2.adıma, $p = P$ ise 8.adıma gidilir
8. $E < E_{max}$ ise eğitim tamamlanmıştır. $E > E_{max}$ ise yeni bir eğitim çevrimi için 2 ye gidilir.

YSA ile Kocaeli İli Puant Yük Tahmini

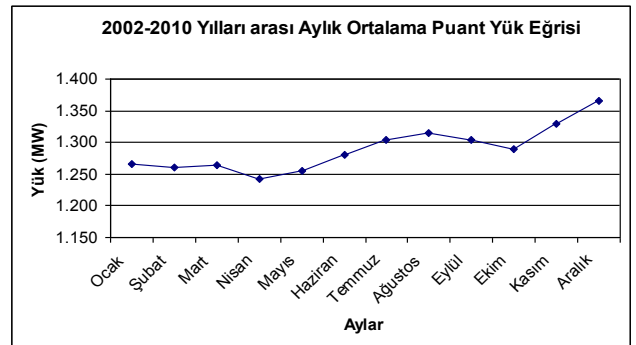
Bu çalışmada YSA modeli ile 2002-2007 yılları Kocaeli ili puant yük verileri öğrenme için kullanılmış ayrıca nüfus ve sıcaklık gibi çevresel etkenler de dahil edilerek daha gerçekçi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. 2008, 2009 ve 2010 gerçek değerleri YSA modelimizden elde ettiğimiz sonuçları karşılaştırmak amacı ile kullanılmıştır. Oluşturduğumuz model Şekil 3 de verilmiştir. [1]



Şekil 3. Kullanılan YSA mimarisi

Giriş katmanında yük (MW), sıcaklık (°C) ve nüfus verilerini girdiğimiz üç nöron ve çıkış katmanında ise bağımlı değişkene ait ağ çıkışının alındığı bir nöron bulunmaktadır. Çıkış olarak alınan 2002-2007 yılları arasındaki gerçek yük değeri ile ortalama yük değerleri arasındaki fark, hedef olarak belirtilmiştir. Eğitim sonrasında sonuçlar gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu işlemlerden sonra eğitimin sınavması aşamasına geçilmiştir. Bunun için eğitimde kullanılmayan ancak elde mevcut olan 2008-2010 yılları arasındaki aylık yük verileri ağırlıklı doğruluğunu kontrolde test amacı ile kullanılmıştır.

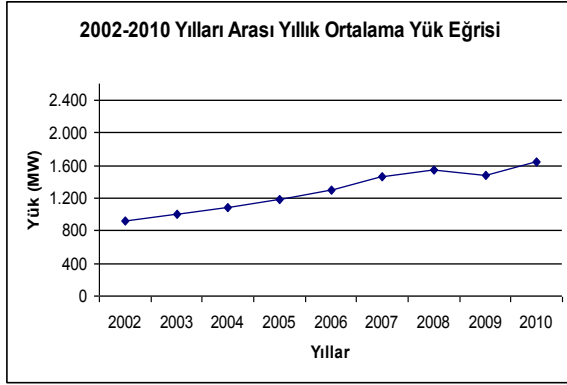
Kocaeli ili 2002-2010 puant yük değerlerinin aylık değişimi incelenirse yaz dönemi temmuz-ağustos-eylül ayları ve kış dönemi kasım-aralık aylarında artış gösterme eğilimindedir.



Şekil.4 Kocaeli ili 2002-2010 yılları arasındaki aylık ortalama puant yük değişimi

2002-2010 yılları arası yıllık ortalama puant yük değişimini de Şekil 5 te görmekteyiz. Genel olarak puant yükün artış eğiliminde olduğu açıktır. Sadece 2009 yılında beklenmedik bir düşüş

gözlemlenmektedir. 2002-2007 arası puant yük değerlerini eğitim datası olarak kullandık.



Şekil.5 Kocaeli ili 2002-2010 yılları arasındaki yıllık ortalama yük değişimi

Bu çalışmada, Kocaeli ili 2000-2007 yılları arasındaki aylık nüfus değerleri yapılan nüfus sayım sonuçları dikkate alınarak ve

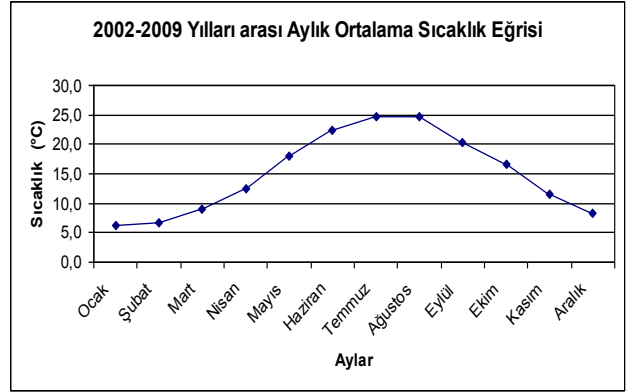
$$P_n = P_0 e^{rn}$$

eşitliğindeki doğal artış bağıntısının yardımı ile hesaplanmıştır[4]. Bu ifade P_n iki ardışık sayımdan ikinci sayım değerini P_0 ise birinci sayım değerini ifade etmektedir. n iki sayım arasında geçen zaman birimi değeri ve r nüfus artış hızıdır.

Tablo.1 Kocaeli İli nüfus sayım bilgileri

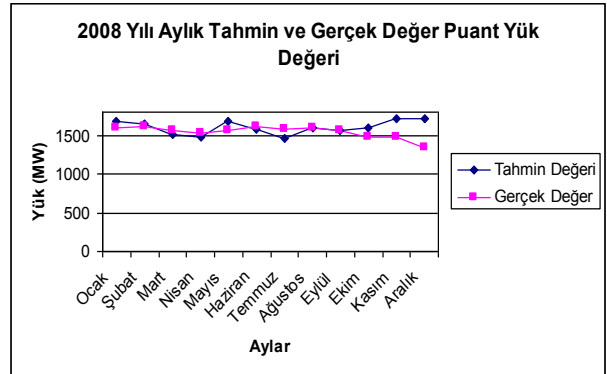
NÜFUS BİLGİLERİ	
YILLAR	SAYIM
2000	1.206.085
2007	1.437.926
2008	1.490.358
2009	1.522.408
2010	1.560.138

Meteorolojik koşullardan nem, yağış, rüzgar hızı v.b gibi etkilerin yüke etkisi sıcaklığın yüke etkisi yanında ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu nedenle çalışmamızda sıcaklık verileri alınmıştır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden alınan Kocaeli ili 2002-2009 yılı aylık sıcaklık değerleri kullanılarak hazırlanan aylık ortalama sıcaklık eğrisine bakarsak temmuz-ağustos ayları en yüksek sıcaklık değerlerine, ocak-şubat ayları ise en düşük sıcaklık değerlerine sahiptir.

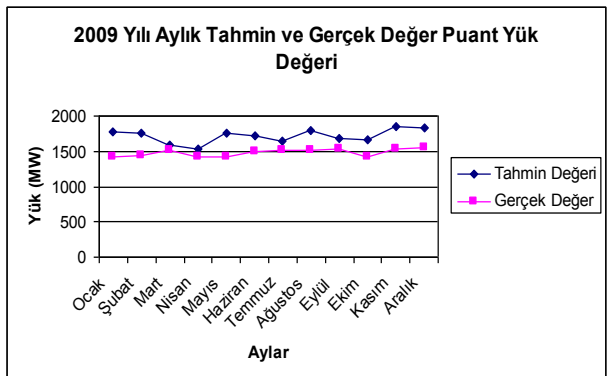


Şekil.6 2002-2009 yılları arası aylık ortalama sıcaklık değerleri

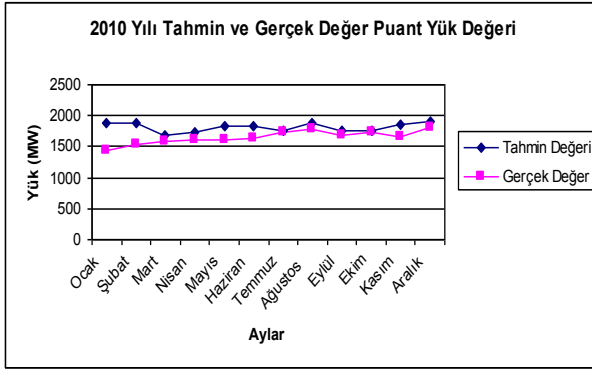
2008, 2009 ve 2010 yılları için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları ve gerçek puant yük değişimleri Şekil.7, Şekil.8 ve Şekil.9 da verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü üzere 2008 yılı son aylarından itibaren simülasyon ve gerçek değerler arasındaki fark artmış ve bu fark 2010 yılının ilk 2 ayında da gözlemlenmiştir. Hata oranları 2008 yılı için toplam %7, 2009 yılı için %16 ve 2010 yılı için %10 olarak hesaplanmıştır.



Şekil.7 Kocaeli ili 2008 yılı gerçek ve tahmin puant yük değerleri

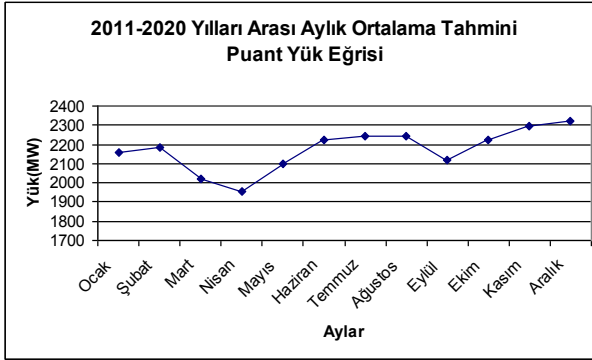


Şekil.8 Kocaeli ili 2009 yılı gerçek ve tahmin puant yük değerleri

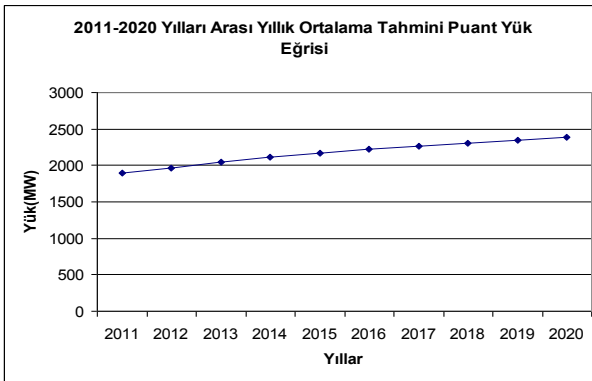


Şekil.9 Kocaeli ili 2010 yılı gerçek ve tahmin puant yük değerleri

Simülasyon 2011 ve 2020 yılları için de gerçekleştirilmiştir sonuçlar Şekil.10 ve Şekil.11 de verilmiştir.



Şekil.10 2010-2020 yılları için Kocaeli ili aylık ortalama tahmini puant yük değişimi



Şekil.11 2010-2020 yılları için Kocaeli ili yıllık ortalama tahmini puant yük değişimi

Sonuç

Enerji üretimi ve dağıtım planlamalarında yük tahmin çalışmalarından yararlanılır. Böylece mevcut sistemlerin gelecekteki elektrik enerjisi ihtiyacı ve puant yükü karşılayabilecek şekilde planlanması, tüketiciye ekonomik, güvenilir ve kaliteli elektrik enerjisi sunulması mümkün olur. Hatalı yük tahminine dayalı yapılan planlama çalışmaları, tüketiciye

sunulan enerji talebinde yetersiz kalınmasına, enerji kalitesinde düşmelere, yüksek kapasiteli tasarlanmış, düşük kapasiteyle çalışan ve ekonomik olmayan yatırımlara dolayısıyla mali kayıplara neden olacaktır. Kocaeli ili için gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada YSA metodunu kullandık. Lineer olmayan sistem çözümlemelerinde geleneksel metodlara göre daha iyi sonuçlar vermektedir ve eğitim için kullanılan sınırlı sayıda veriden hareketle genelleme yapabilmektedirler. Gerçek değerlerle belirlenen 2002-2010 yılları arasındaki yıllık ortalama yük değişimi eğrisinde (Şekil.5) 2009 yılındaki düşüş, 2008 yılı sonlarında meydana gelen ve 2009 yılını da etkileyen küresel kriz ile açıklanabilir. Sanayi kenti olma özelliğini taşıyan Kocaeli ili bu krizden etkilenmiştir. Modelimizde %100 öğrenmeyi gerçekleştirsek bile, eğitim için kullanılan yıllar ile tahmin için kullanılan yılların aynı değişimi göstermemesi nedeni ile hata beklenmektedir. Gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek ve doğru bir sistem planlaması yapabilmek için öncelikle eğitim için kullanılacak verilerin uygunluğu tespit edilmelidir. Ayrıca tahmin modeline büyüme hızı ve kişi başına düşen milli gelir gibi sosyal ve ekonomik değişkenler eklenerek daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir.

Kaynakça

- [1] Haykin Simon "Neural Networks and Learning Machine" Pearson Education, Inc. 2009
- [2] Welstead T. Stephen "Neural Networks and Fuzzy Logic Applications in C/C++" John Wiley & Sons, Inc. 1994
- [3] Haykin Simon "Neural Networks" Prentice-hall, Inc. 1999
- [4] Aslan, Y., Yaşar, C., Nalbant, A. "Electrical Peak Load Forecasting in Kütahya" Dumlupınar U. FBE dergisi, sayı 11, 2006
- [5] Park, D.C., El-Sharkawi, M.A., Marks II, R.J., Atlas, L.E., Damborg, M.J., "Electric Load Forecasting Using An Artificial Neural Network", IEEE Transactions on Power Systems, 6, 442-449, 1991
- [6] Kermanshahi, B., Iwamiya, H., "Up to year 2020 Load Forecasting Using Neural Nets", Electrical Power and Energy Systems, 24, 789-797, 2002.
- [7] Cavallaro, F., "Electric Load Analysis Using an Artificial Neural Network", International Journal of Energy Research, 29, 377-392, 2005.

İSTANBUL’UN FİNANS MERKEZİ OLUŞUM SÜRECİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ALTYAPI ANALİZİ

^{1,2}Ozan ERDİNÇ, ²Mehmet UZUNOĞLU, ²Ali Rıfat BOYNUEĞRİ

¹VARYAP Varlıbaşlar Yapı San. ve Turizm Yatırımları Tic. A. Ş., Barbaros Mah. Dereboyu Cad. Ardıç Sok. VARYAP Meridian Şantiyesi, 34746, Batı Ataşehir, İSTANBUL

²Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Barbaros Bulvarı, Beşiktaş, İSTANBUL

E-posta (Ozan ERDİNÇ): ozanerdinc@varyap.com; oordinc@yildiz.edu.tr

E-posta (Mehmet UZUNOĞLU): uzunoglu@yildiz.edu.tr

E-posta (Ali Rıfat BOYNUEĞRİ): alirifat@yildiz.edu.tr

ÖZET

Finans akışını yönlendirici bir konumda bulunmak neredeyse bütün dünya ülkelerinin ortak hedefi durumundadır. Dünyada finans akışına yön veren New York ve Londra gibi birçok metropol bulunmaktadır. Coğrafi konum olarak Avrupa ve Asya arasında bir köprü oluşturan ve tarihi süreç boyunca birçok büyük devlet oluşumuna başkentlik yapmış olan İstanbul da, gelecekte finans açısından global bir merkez olabilecek önemli bir potansiyele sahiptir. Devletin uzun dönem planlamasında önemli bir yer tutan bu husus hakkında özellikle İstanbul’un mevcut altyapısının böyle bir oluşum için yeterliliği derinlemesine irdelenmelidir. Bu açıdan gerçekleştirilen çalışmada İstanbul’da bir finans merkezi kurulum sürecinde İstanbul’un altyapısı enerji bakımından ele alınmıştır. Çalışma kapsamında altyapıda yetersiz görülen kısımlar değerlendirilmiş ve dünyadaki benzer şehirlerdeki uygulamalardan da örnekler sunulularak geliştirilmesi gereken hususlara öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler – Elektrikli taşıt, finans merkezi, yenilenebilir enerji, yeşil bina.

1.GİRİŞ

Gerek coğrafi konumu, gerek farklı kültürden birçok insanın oluşturduğu kalabalık bir nüfusu aynı çatı altında toplaması, gerekse de tarihi özellikleri İstanbul’u dünyanın en gözde metropollerinden biri haline getirmiştir. Bu gözde konumun avantajı ile birlikte İstanbul’un uluslararası finans merkezlerinden biri olması konusu, son zamanlarda ülkemiz planlamasında dikkat çekici bir önem kazanmıştır [1].

Dünyada bu anlamda New York, Londra, Tokyo, Hong Kong, vb. birçok şehir bir çok global merkez mevcuttur. Bu merkezler dünya ekonomisindeki gidişe bir nevi yön veren oldukça önemli bir konuma

sahiptirler. Bir şehrin bu şekilde uluslararası bir merkez haline gelmesi için, insan hayatının gerektirdiği ihtiyaçları bir bütün halinde karşılayabilmesi ve yaşam kalitesini artırması gerekmektedir. Dolayısıyla uluslararası merkez olma hedefi, geniş bir bakış açısı ile ele alınmalıdır. Bu açıdan çeşitli gereksinimler mevcuttur [2]. Burada istikrarlı bir ülke ekonomisi, uzman finans kadrosu, uygun yasal altyapı ve mevcut diğer finans merkezlerine yakınlık gibi gereksinimler kadar şehrin enerji, ulaşım, vb. mevcut altyapı hizmetlerinin de sorunsuz olması son derece önemlidir.

İstanbul’un finans merkezi olma hedefine ulaşabilmesi açısından mevcut altyapısının iyi analiz edilmesi ve öngörülerin ışığında gerekli tedbirlerin şimdiden alınması zaruri bir husustur. Özellikle finans merkezi olmanın beraberinde getireceği yoğun popülasyon artışının çeşitli perspektifleri içeren enerji altyapısı açısından değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu açıdan, bu çalışma ile İstanbul’un enerji altyapısı farklı faktörler ışığında değerlendirilmekte ve öngörülen durumlara çözümler önerilmesi hedeflenmektedir.

Yapılan çalışmanın düzeni şu şekildedir: 2. kısımda İstanbul’un mevcut enerji durumu irdelenmiş ve ele alınması gereken hususlar belirtilmiştir. 3. kısımda Dünya örnekleri de göz önüne alınarak İstanbul’un enerji altyapısının geliştirilmesi açısından çözüm önerileri belirtilirken 4. kısımda ise çalışmanın sonuçları özetlenmektedir.

2.İSTANBUL’UN MEVCUT ENERJİ ALTYAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ

İstanbul’un uluslararası anlamda bir merkez olması için şehrin altyapısının iyileştirilmesine yönelik önemli çalışmalar yapılması gerekmektedir. İstanbul’un en önemli sorunları trafik ve plansız yapılaşmadır. Bu iki sorun birbiriyle iç içe geçmiş durumdadır. Son yıllarda

belli gelişmeler sağlanmasına rağmen, şehrin konut ve iş alanlarında yılların birikimi bir durumdaki plansız yapılaşma, trafik sıkışıklığına yol açmaktadır. Trafik sıkışıklığı ise iş dünyası açısından zaman ve verimlilik kaybı ve dolayısı ile iş yapma maliyetinin artması anlamına gelmektedir [2]. Örneğin, Londra'dan İstanbul'a müşteri ziyaretine gelen bir kurum, günde 6 görüşme yapabilmek yerine, şehir içi trafiğinden dolayı günde 3 müşteri görüşmesi yapabiliyorsa, bu önemli bir verimlilik kaybı ve maliyet anlamına gelmektedir. Bunun yanı sıra bir kurumun çalışanlarının işe geliş-gidişleri sorunlu oluyorsa, bu durum da işyerinde önemli zaman ve verimlilik kayıplarına yol açmaktadır.

Bu hususlar ışığında İstanbul için gerek yapılaşma olgusunun iyileştirilmesi, gerekse de trafik sorununun olumsuz etkilerinin azaltılması hedefine yönelik somut adımların atılması üzerinde dikkat ile durulması gereken bir konudur. Şehrin kentsel dönüşüm yaklaşımları da dahil olmak üzere yeni yapılaşmasının gerek çevresel, gerek trafik anlamında sorunları minimize edecek, gerekse de enerji tüketimi açısından da azaltıcı etkileri beraberinde getirecek şekilde oluşturulması ve trafik anlamında da gerek toplu taşımaya yönlendirme, gerekse de alternatif yakıtlı taşıt teknolojilerinin kullanımının teşvik edilmesi özellikle İstanbul'un enerji altyapısının füzuli bir şekilde harcanmaması açısından önemli hususlardır [3].

Bunun yanı sıra uluslar arası bir merkezde, özellikle İstanbul gibi zaten oldukça yüksek bir nüfus yoğunluğuna sahip bir şehirde, finansın merkezi olmanın beraberinde getirdiği ekstra nüfus yüküne rağmen temiz su, atık su, elektrik, doğalgaz vb. temel fiziksel ihtiyaç haline gelmiş olan altyapı sistemlerinin kesintisiz olarak sürdürülmesi şarttır [4]. Bu hizmetlerin kesintiye uğradığı bir şehir artık düşünülmemektedir. Ancak İstanbul bu konuda önemli oranda ele alınması gereken hususlar içermektedir. Uzun süreli elektrik ve su kesintileri günümüzde sayısı oldukça azalmasına rağmen hala bir finans merkezi olma hedefini etkileyecek kadar yaşanmaktadır. Doğalgaz anlamında ülke olarak dışa bağımlılığımız zaten her zaman bir risk unsurudur.

Bu sayılan faktörlerin ışığında İstanbul için bahsi geçen sorunlara çözüm getirilmesi açısından bir dizi uygulama projesinin şimdiden hayata geçirilmesi önemli bir durumdur.

3.İSTANBUL'UN ENERJİ ALTYAPISININ GELİŞTİRİLMESİ AÇISINDAN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Finans merkezi olma hedefindeki İstanbul'un yapılaşma hususundaki yeni nesil hedefleri Devlet Planlama Teşkilatı'nın İstanbul Finans Merkezi raporunda şu şekilde belirtilmiştir: "Gerekli ofis ve

konut stokunun oluşturulmasına yönelik olarak finansal kuruluşların kümeleneyeceği ve çalışanlarının ikamet edeceği bölgelerde deprem ve güvenlik risklerini minimize edecek yapı teknolojileri kullanılacak, yeni teknolojileri kapsayan gayrimenkul yatırımları oluşturularak şehrin yaşam kalitesi yükseltilecektir" [1]. Bu anlamda özellikle şehrin çevresel olumsuzluklarının azaltılmasını sağlayarak yaşam kalitesini yükselten ve yeşil binalar adı verilen yeni nesil yapılar bütün dünyada dikkat çekici bir konuma gelmiştir [4]. Yeşil binalar görsel anlamda geniş yeşil peyzaj alanlarını içerisinde barındıran, enerji verimliliğini azami hale getirecek şekilde oluşturulmuş ve yeni nesil enerji ve yönetim teknolojilerini içerisinde barındıran yapılar olarak tanımlanmaktadır. İstanbul'un hedeflediği finans merkezi olma konusunda örnek alması gereken başlıca şehirlerden biri olan New York'ta yapılacak olan tüm yeni binalar ve belli bir bütçenin üzerindeki tüm yenilemeler, yeşil bina mevzuatına uymak zorundadırlar [5]. Bu tarz binalar dünyada farklı standartlar baz alınarak konumlandırılmakta, inşa edilmekte ve işletilmektedir. Bu standartlar binaların enerji ve çevresel anlamda verimliliklerini belirli bir değerlendirme ölçütüne göre ortaya koymakta ve bu sayede karar vericilerin belirli bir standarttaki binaların yapımına izin vermesine dayanak sağlayan bir değerlendirme ölçütü oluşturmaktadır. Bu yüzden İstanbul'daki yeni nesil binaların oluşturulmasında da enerji verimliliğini denetleyici standartların getirilmesi de önemli bir husustur. Ülkemizdeki enerji tüketiminin yaklaşık %40'lık bir kısmı binalarda gerçekleşmektedir [6]. Bu açıdan nüfus ve bina sayısı bakımından sayısal anlamda ülkemizin büyük bir oranını barındıran İstanbul'daki enerji verimliliği ile ilgili gerçekleştirilen her çalışma, ülke genelinde verimliliği etkileyecek bir potansiyele sahiptir.

Dünyada özellikle binaların enerji verimliliği ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesini sağlayan birçok farklı değerlendirme ve sertifikalandırma yaklaşımı mevcuttur. Amerika tarafından oluşturulan LEED, İngiltere tabanlı BREEAM, Avustralya tabanlı GreenStar, Japonya tabanlı CASBEE, vb. standartlar bu konuda dünyada kullanılan farklı yaklaşımlardır [7]. Bu yaklaşımlar arasından özellikle LEED değerlendirmesi bütün dünyada kabul görmüş başlıca yaklaşım konumundadır [8,9]. LEED kriterlerine göre tasarlanan binalarda yer ve uygulamanın detaylarına bağlı olarak %70'lere varan enerji tasarrufu elde edilebilmektedir [10]. Ayrıca binadaki otopark alanının belirli bir yüzdesinin elektrikli taşıt olması durumunu düşünerek bina otoparklarına yerleştirilen şarj istasyonlarının LEED içerisinde puan getirisi mevcuttur [8]. Bu açıdan LEED gibi sertifika programlarını göz önüne alarak tasarlanmış yeşil binalar ulaşım sektöründeki enerji verimliliğinin artırılmasına da nispeten katkıda bulunmaktadır.

Ülkemizde yeşil bina konseptinde inşa edilen ve LEED gibi uluslararası sertifikalara uygunluk için başvuru yapan proje sayısı her geçen gün artış göstermektedir. Bu gibi enerji verimliliğini uluslararası alanda sertifikalandıran binaların artışı ülkemizde bu konuya ilgiyi arttıracak ve akabinde ülkemizin gerek iklimsel, gerekse de politik ve enerji durumunu göz önüne alan Türkiye patentli bir standardın oluşturulmasının da yolu açılacaktır. LEED gibi sertifikasyonlar ya da yeşil bina konsepti, Türkiye’de yeni bahsedilen uygulamalar konumundadır. Bu sebeple bu uygulamalar yönetim birimlerince de yeterince tanınmamaktadır. Yurt dışı uygulamalarına bakıldığında vergi muafiyeti, uygulama yapmaya yönelik ciddi devlet teşvikleri sıkça görülen kolaylıklardandır. Ülkemizde de yeni yapılacak konut, işyerleri ve fabrika binaları için böylesi zorunluluklar getirildiği ölçüde ‘yeşil bina’ sektörü de ciddi bir gelişme potansiyeli gösterebilir. Yeşil bina konseptinin ülkemizde yaygınlaşmasını hızlandırmak açısından karar vericilerin çeşitli teşvikleri hayata geçirmesi de oldukça önemli bir husustur.

Bu gibi enerji verimliliği çalışmaları ülkemizde de yasal anlamda günümüzde yer bulmaya başlamıştır. 2 Mayıs 2007 tarihinde yürürlüğe giren 5627 Sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu”, bu alanda yakın zamanda atılmış en önemli somut adım konumundadır [11]. Akabinde 25 Ekim 2008 tarihinde yayımlanan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” [12] ile birlikte gerek yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına dair somut adımlar atılmış, gerekse de “Enerji Yöneticiliği” konsepti ile birlikte enerji verimliliğinin her bir alanda lokal olarak kontrol edilebilmesi ve denetlenebilmesinin de yolu açılmıştır. Ayrıca enerji verimliliğini artırıcı projelere sağlanan devlet desteği de başlangıç için olumlu bir somut adımdır. 5 Aralık 2008 tarihinde yürürlüğe giren “Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği”nde [13] yer alan binalara enerji kimlik belgesi verilmesi hususu da yerel anlamda bir performans değerlendirme kriterinin oluşmasına katkıda bulunabilecek bir ilk adımdır.

İstanbul’da enerji ve çevre açısından başlıca problemlerden bir tanesi de, daha önce de bahsedildiği üzere zaten sayısal açıdan oldukça fazla olan taşıt sistemlerinin enerji tüketiminin oldukça yoğun trafik ile birlikte önemli oranda artmasıdır. Bu durum, zaten enerji bakımından önemli bir oranda dışa bağımlı olan ülkemizin petrol ihtiyacının daha da artmasına neden olmaktadır. Tablo 1’de Türkiye İstatistik Kurumu’nun açıkladığı “Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri” raporunda belirtilen 2009 yılına ait İstanbul’daki taşıt sayısı verileri gösterilmektedir [14].

Tablo 1. 2009 yılında İstanbul’daki motorlu kara taşıtı sayısının farklı kategorilere göre dağılımı [14]

Sınıflandırma Kategorisi		Sayı
Toplam Taşıt Sayısı		2 721 203
Taşıt Türüne Göre	Otomobil	1 775 335
	Otobüs	52 216
	Minibüs	61 764
	Kamyon-Kamyonet	635 595
	Motosiklet	164 021
	Diğer	32 272
Kullanılan Yakıt Türüne Göre	Benzin	1 227 782
	Dizel	1 162 184
	LPG	240 431
	Diğer	90 806

2009 yılında Türkiye genelindeki motorlu taşıtların kullanımından kaynaklanan benzin tüketimi 2,3 milyon m³, motorin tüketimi 13,4 milyon m³ ve LPG tüketimi 2,3 milyon m³ olarak gerçekleşmiştir (1 m³=1000 lt) [15]. Tablo 1’de taşıt sayıları belirtilen İstanbul’un Türkiye’deki taşıt yoğunluğunun yaklaşık 1/5’ine ev sahipliği yaptığı göz önüne alınırsa [14], İstanbul için yaklaşık yakıt tüketimleri ve buna bağlı ortaya çıkan maliyet ve emisyon salınımları Tablo 2’de verilmiştir. Burada benzin, motorin ve LPG yakıtları için litre başına maliyetler sırasıyla 4 TL, 3,65 TL ve 2 TL şeklinde alınmıştır. Bunun yanı sıra benzin, motorin ve LPG yakıtlarının litre başına CO₂ salınımları 2,315 kg, 2,6 kg ve 1,468 kg olarak dikkate alınmıştır [16,17].

Tablo 2. 2009 yılında İstanbul’daki motorlu kara taşıtlarının yaklaşık yakıt maliyetleri ve emisyon salınımları

Taşıtın yakıt türü	Tüketim miktarı [milyar lt]	Maliyet [milyar TL]	CO ₂ salınımı [ton]
Benzin	0,46	1,84	1 064 000
Motorin	2,68	9,78	7 048 000
LPG	0,46	0,92	689 000
TOPLAM	-	12,54	8 802 380

Görüldüğü üzere taşıt kullanımının maliyeti sadece yakıt maliyeti incelendiğinde bile oldukça yüksek değerdedir. Bunun yanı sıra konvansiyonel yakıtlar bakımından oldukça büyük oranda dışa bağımlı olan ülkemiz için bahsi geçen yakıtların fiyatlarında, dünyanın günlük politik dengelerine göre meydana gelen büyük değişimler önemli bir risk unsurudur. Bu açıdan özellikle İstanbul için binaların enerji verimliliğinin artırılması kadar, alternatif yakıtlı taşıt sistemlerinin yaygınlaşması da oldukça büyük önem arz etmektedir. Bu durum enerji ihtiyacının yanı sıra özellikle bu kadar büyük ve tarihi bir metropoldeki Tablo 2’de verilen CO₂ salınımının oluşturacağı çevresel olumsuzlukların da önemli oranda azaltılmasını sağlayacaktır. Çevresel açıdan bu husus, dünyanın önde gelen finans merkezlerinden biri olan

Londra’da dikkatle irdelenmiş ve bir süre önce bir dizi önlem hayata geçirilmiştir. Londra’da şehir merkezine konvansiyonel içten yanmalı motorlu taşıtların girmesi yasaklanmıştır. Ayrıca Londra Belediye Başkanı Boris Johnson’un 2010’daki açıklamasına göre 2015 yılında Londra’daki elektrikli taşıt şarj istasyonu sayısının 22500 olmasının hedeflendiği belirtilmiştir. Ayrıca Londra’da mevcut olan 1700 adet elektrikli ve 15000 hibrit taşıtın sayısının daha da hızlı artması için özel teşviklerin sağlanacağı ortaya konulmuştur [18]. Bir başka önemli finans merkezi olan New York’ta ise mevcut olan taksilerin elektrikli taşıt sistemleri ile değiştirilmesi açısından günümüzde sıkça haberlerine rastladığımız büyük meblağlı bir ihale açılmıştır. Bu açıdan ülkemizde günümüzde sıkça bahsi geçmeye başlayan elektrikli taşıt teknolojisine geçiş için ülkemizde de altyapı çalışmaları şimdiden başlatılmalıdır. Bu bağlamda İstanbul’un farklı noktalarına elektrikli taşıt şarj istasyonlarının yerleştirilmesi için teknik anlamda fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Bu açıdan İstanbul’da yerel yönetimin farklı çalışmaları ve işbirliği görüşmeleri mevcuttur [19]. Ancak bu husus özellikle mevcut şebekenin elektrikli taşıt şarj istasyonlarının yaygınlaşması ile artacak olan güç talebini karşılamakta yeterliliği açısından da irdelenmeli, buna göre alternatif çözümler üretilmelidir. Bu çözümlerden bir tanesi, alan ve meteorolojik koşullar bakımından uygun olan noktalarda elektrikli taşıt şarj istasyonlarının güç taleplerinin mevcut şebekeden bağımsız olarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karşılanmasıdır. Bu durum hem mevcut şebekeye fazladan bir yük getirilmemesi, hem de çevresel anlamda olumlu çıktılar elde edilmesi açısından dikkat çekicidir. Bu durum yukarıda açıklamaları verilen Londra Belediye Başkanı’na getirilen en önemli eleştiridir [18]. Ayrıca akıllı şebeke (smart grid) uygulamasına geçiş sağlanması da, İstanbul gibi büyük ve karmaşık bir metropolde uygulanması oldukça büyük bir yatırım ve çalışma gerektirse de önemli bir gelecek çözümü olarak önerilebilir. Buna göre elektrikli taşıtların nerelerde şebekeye ek yük getirmeden şarj edilebileceği sürekli olarak takip edilip buna göre yönlendirmeler ile şebekenin aşırı yüklenmesinin ve enerji arz güvenilirliğinin tehlikeye girmesinin önüne geçilebilir. Burada bahsi geçen akıllı şebekeye geçiş hususu, sadece elektrikli taşıtlar bakımından değil birçok açıdan olumlu sonuçları da beraberinde getirecektir. Tokyo ve Hong Kong gibi Asya’nın önemli finans merkezlerinde bu açıdan ciddi çalışmalar yapılmaktadır.

Bir başka önemli husus da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması olarak görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şehir içerisindeki oranının artması ile birlikte arz/talep dengesinin konvansiyonel şebekeden daha az faydalanılarak sağlanması mümkün olmaktadır.

Özellikle daha önce bahsi geçen yeşil binaların artması ile birlikte şehir içerisinde yenilenebilir enerji bazlı elektrik enerjisi kullanımının gelecekte önemli oranda artacağı açıkça görülmektedir. Ancak İstanbul’un gerek güneş gerekse de rüzgar enerjisi bakımından Türkiye’deki en verimli bölgelerden birisi olmadığı hususu aşıkardır. Bu açıdan yenilenebilir enerji yatırımları öncesinde özellikle detaylı bir fizibilite çalışması gerçekleştirilmeli, gerek lokal gerekse de büyük anlamli yenilenebilir enerji sistemi kurulumları bu hususlara göre finanse edilmelidir. Burada özellikle devlet tarafından oluşturulan teşvik politikası daha önce de belirtildiği üzere son derece önemlidir. Amerika Devlet Başkanı Barack Obama tarafından yapılan açıklamada çok kısa bir zaman içerisinde Amerikan hükümetinin petrol firmalarına verdiği desteğin azaltılıp bu büyük fonun yenilenebilir enerji bazlı üretimi teşvik için kullanılacağı belirtilmiştir. Ülkemizde de benzer fon kaydırmaları sağlanma potansiyeli mevcuttur.

Uluslararası bir merkezde, özellikle İstanbul gibi zaten oldukça yüksek bir nüfus yoğunluğuna sahip bir şehirde, finansın merkezi olmanın beraberinde getirdiği ekstra nüfus yüküne rağmen temiz su, elektrik, doğalgaz vb. temel fiziksel ihtiyaç haline gelmiş olan altyapı sistemlerinin kesintisiz olarak sürdürülmesi şarttır. Elektriksel anlamda ele alındığında bahsi geçen kesintileri minimize etmek açısından mevcut şebekede gerekli elektriksel revizyonlar gerçekleştirilmelidir. Önemli noktalardaki büyük güçlü transformatör ünitelerinin bakımları düzenli olarak gerçekleştirilmeli, iletim ve dağıtım hatlarındaki eskimiş ve risk unsuru oluşturan ekipmanlar revize edilerek yenilenmelidir. Böylesine yoğun bir şehirde tamamen yepyeni bir enerji şebekesi kurmak zaten neredeyse imkansızdır. Burada önemli olan bakım ve planlı olarak yapılan yenileme çalışmaları ile birlikte mevcut sistemin her zaman günün şartlarına uygun olacak şekilde güncel tutulmasıdır. Bunun yanı sıra arıza giderme çalışmalarının enerji kalitesine ve çevreye en az zarar verecek şekilde en kısa sürede tamamlanabilmesi açısından, elektrik, doğalgaz, su ve telekomünikasyon gibi altyapı hizmetlerinin yer altında tek bir galeri içerisinde dağıtılması hedefinin kısmi ve kademeli yenilemeler ile hayata geçirilmesi de önem arz etmektedir. Ayrıca yukarıda bahsi geçen enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaşması gibi hususlar mevcut enerji şebekesinin aşırı yüklenmelere maruz kalmamasını sağlayacaktır. Bu sayede de enerji kesintisi riski azaltılabilecektir.

Yukarıda sayılan kritik uygulamalar ve benzeri çözümlerin hayata geçirilmesi ve bunun için gerekli teşviklerin sağlanması ile birlikte İstanbul, enerji arzının güvenliği bakımından bir finans merkezi olmaya hazır hale gelecektir.

4. SONUÇLAR

Dünya'nın coğrafi ve tarihi açıdan önemli metropollerinden biri olan İstanbul'un finans açısından da dünya gidişatına yön vermesi, ülkemizin yakın zamanlı uygulama hedefleri arasında yer almaktadır. Ancak mevcut durumda nüfus yoğunluğu ve buna paralel olarak da enerji gereksinimleri oldukça yüksek olan İstanbul için çeşitli açılardan birçok düzenleme getirilmesi, finans merkezi olmaya uygun altyapının sağlanması için kaçınılmaz bir durumdur.

Bu düzenlemeler özellikle mevcut durumda enerji bakımından dışa bağımlı olan ülkemizin dışa bağımlılığını azaltacak ve çevresel açıdan olumlu sonuçları beraberinde getirecek çözümler barındırmalıdır. Bunun yanı sıra enerji arzı güvenilirliğinin de her durumda sağlanması gerekmektedir. Bu açıdan, özellikle yeşil binalar gibi enerji verimliliğini artırıcı uygulamalar ve dışa bağımlılığı ve çevresel olumsuzlukları azaltabilecek elektrikli taşıt teknolojilerinin, alternatif enerji kaynakları bazı uygulamaların, vb. yaygınlaştırılması ilk etapta İstanbul için uzun dönemli yol haritasının ilk adımlarını oluşturmaktadır. Yeşil bina konsepti ile ülkemiz enerji tüketiminin yaklaşık %40'lık bir bölümünü oluşturan binalarda %75'lere varan enerji tasarrufu elde edilmesi mümkündür. Alternatif yakıtlı taşıt teknolojileri ile birlikte de özellikle İstanbul için oldukça yüksek oranlı bir emisyon salınımının önüne geçilebildiği gibi, ülkemiz için konvansiyonel yakıt bakımından bağımlılığı azaltabilecek ve bu sayede politik anlamda da daha güçlü bir pozisyon sağlayabilecek sonuçlar elde edilebilir. Bu gibi uygulamalar ve farklı altyapı güçlendirme çözümleri ile birlikte İstanbul finans merkezi oluşumunda altyapı açısından gelecek talepleri karşılayabilecek bir potansiyele kavuşacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, "İstanbul Uluslararası Finans Merkezi Stratejisi ve Eylem Planı", Ekim 2009.
- [2] Türkiye Sermaye Piyasası Aracı Kuruluşları Birliği (TSPAKB), "Global Finans Merkezleri ve İstanbul", Şubat 2007.
- [3] P. P. Özden, A. S. Kubat, "Türkiye'de Şehir Yenilemenin Uygulanabilirliği Üzerine Düşünceler" İTÜ Dergisi/A Mimarlık, Planlama, Tasarım, 2(1):77-88, 2003.
- [4] Enerji Verimliliği Derneği (ENVER), "Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu – Yeşil Ekonomiye Geçiş", Temmuz 2010.
- [5] <http://www.yesilcevre.net/html/yesilbinaveycevrecievler.html>
- [6] B. B. Ekici, U. T. Aksoy, "Prediction of Building Energy Needs in Early Stage of Design by Using ANFIS", Expert Systems with Applications, 23(5):5352-5358, 2011.
- [7] B. Somalı, E. Ilıcalı, "LEED ve BREEAM Uluslararası Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinin Değerlendirilmesi", 9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1081 – 1088.
- [8] Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) [<http://www.usgbc.org/LEED>]
- [9] C. J. Kibert, "Green Buildings: An Overview of Progress", Journal of Land Use, 19(2):491-502, 2004.
- [10] A. Sabapathy, S. K. V. Ragavan, M. Vijendra, A. G. Nataraja, "Energy Efficiency Benchmarks and The Performance of LEED Rated Buildings for Information Technology Facilities in Bangalore, India", Energy and Buildings, 42(11):2206-2212, 2010.
- [11] 5627 sayılı "Enerji Verimliliği Kanunu" [<http://mevzuat.dpt.gov.tr/kanun/5627.htm>]
- [12] 25 Ekim 2008 tarihli "Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik" [<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.12557&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>]
- [13] 5 Aralık 2008 tarihli "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/9e41d36898c4965_ek.pdf?ti pi=68&turu=X&sube=15]
- [14] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), "Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri - 2009", Temmuz 2010.
- [15] Petrol Sanayi Derneği (PETDER), "2009 Sektör Raporu" [http://www.petder.org.tr/admin/my_documents/my_files/81C_PETDERSEktorRaporu2009.pdf]
- [16] UK Department for Environment Food and Rural Affairs, "Guidelines to Defra's GHG conversion factors for company reporting", 2007 [<http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/conversion-factors.pdf>]
- [17] http://www.michelin.com.tr/tr/front/affich.jsp?news_id=25029&codeRubrique=281020041109444&lang=TR
- [18] Taşıt Araçları Yan Sanayicileri Derneği (TAYSAD), "Elektrikli Taşıtların Geleceği", Aralık 2009.
- [19] http://www.istanbulenerji.com.tr/haber_detay.asp?id=1091&tur=289

FOTOVOLTAİK ENERJİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİNDE PARÇALI GÖLGELENME DURUM ANALİZİ

Murat ÜNLÜ

Sabri ÇAMUR

Birol ARİFOĞLU

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Umuttepe Yerleşkesi, 41380, Kocaeli

muratunlu@kocaeli.edu.tr

scamur@kocaeli.edu.tr

barif@kocaeli.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, Fotovoltaik (FV) panellerde önemli bir sorun olan parçalı gölgelenme konusunda ayrıntılı bir analiz yapılmıştır. Analiz için 80 Watt gücündeki bir FV güneş panelinin Matlab/Simulink ortamında matematiksel modeli tasarlanmıştır. Bu model kullanılarak 6 adet seri bağlı güneş panellerinin çeşitli parçalı gölgelenme durumları incelenmiştir. FV paneller üzerinde ışınım özdeş olduğunda sadece bir tane Maksimum Güç Noktası (MGN) mevcuttur. Bununla birlikte, parçalı gölgelenme durumlarında, bypass diyotlarının etkisiyle çok sayıda yerel (local) MGN oluşabilmektedir. Parçalı gölgelenme meydana geldiğinde; 1 tane genel (global) ve 1 yada daha fazla yerel MGN oluşmaktadır. Burada özellikle farklı parçalı gölgelenme durumlarında maksimum güç noktalarının nasıl değiştiğinin analizi yapılmıştır. Birbirine seri olarak bağlanmış altı güneş panelinin, farklı ışınım, farklı gölgelenme oranları, bypass diyotlarının bağlı olup olmadığı durumlarına göre güneş panelleri dizisinin Akım-Gerilim (I-V), Güç-Gerilim (P-V) eğileri elde edilmiş ve MGN'nin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: FV Güneş Panelleri, Parçalı Gölgeleme, Maksimum Güç Noktası.

1. Giriş

Elektrik enerjisi üretimi için geleneksel enerji kaynakları hidroelektrik, fosil yakıtlar ve nükleer enerjidir. Dünya çapında sera gazları emisyonunun artması ve fosil yakıtların hızla tükenmesi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Ayrıca, çevrenin korunması, gelecekte insan yaşamı ve çevre dengeleri üzerinde oluşabilecek tehditlerin önlenmesi, ulusal kaynaklardan en üst düzeyde yararlanılarak ülkelerin enerji kaynakları arz güvenliğinin sağlanması, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesini ve kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Bu kaynaklar arasında fotovoltaikler en önemli yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır.

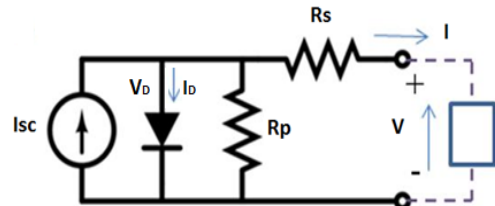
Fotovoltaik sistemler ister şebekeye doğrudan bağlı olsun ister şebekeden bağımsız olsun maliyetleri göz önüne alındığında maksimum verimde kullanılması gereken sistemlerdir.

Doğrudan yüke veya akü grubuna bağlı sistemlerde FV sistemin MGN'de çalışmadığı görülmüştür. Bu nedenle, FV verimliliğini artırmak ve FV'den maksimum gücü elde edebilmek için MGNİ-Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (Maximum Power Point Tracker, MPPT) kullanmak gereklidir.

FV sistemlerinin çıkış güç eğrisinde parçalı gölgelenme durumları hariç tek bir maksimum nokta oluşmaktadır. Parçalı gölgelenme meydana geldiğinde; 1 tane genel (global) ve 1 yada daha fazla yerel (local) MGN oluşmaktadır. Burada amaç kullanılacak olan MGNİ'nin yerel noktalara takılmadan genel MGN'na ulaşabilmesi olmaktadır. Bu sebeple öncelikli olarak, parçalı gölgelenme durumlarının iyi analiz edilmesi ve MGN'nin farklı durumlar için nasıl değişiklik gösterdiğinin bilinmesi gerekmektedir. Konu ile ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, bunların genel anlamda simülasyon modeli kullanılarak ve deneysel olarak, pv hücrelerinin üzerindeki gölgenin yüzey ve ışınım olarak oranı, gölgeli hücre sayısı, bypass paralel diyotların bağlı olduğu ve olmadığı, bypass diyotlarının farklı bağlantı kombinasyonlarında ve farklı hücrelerde gölge olması durumlarında çıkış gücüne ve I-V karakteristiklerine nasıl yansıdığı incelenmiştir [1],[2],[3],[4],[5],[6]. Bu raporda 80 W gücünde 6 tane panelin seri bağlı olduğu sistemde, parçalı gölgelenmenin bir çok farklı durumları için analizler yapılmış güneş modüllerinin I-V ve P-V eğrileri elde edilmiştir.

2. FV Hücre Modeli

Güneş pilleri p-n yarı iletkenlerinin ince bir katman haline getirilerek birleştirilmesinden oluşur. Karanlıkta FV hücre çıkış I-V karakteristiği diyot karakteristiğine çok benzer. Işığa maruz kaldığında fotonlar sayesinde elektron hareketi dolayısı ile akım sağlanır. FV hücreleri ihmallerin göz önüne alınmadığı durumda; Şekil 1'deki gibi bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bağlı direnç ile diyot ve oluşan yapıya seri bağlı bir direnç ile ifade edilirler.



Şekil 1. Güneş hücresi eşdeğer devresi

Burada R_s direnci hücredeki iç direnci ve bağlantı dirençlerini temsil ederken, R_p direnci ise paralel kaçak akım direncini temsil etmektedir. Bu hücreye ait devreye Kirchoff akım kanunu uygulandığında;

$$I_{SC} - I_D - \frac{V_D}{R_p} - I = 0 \quad (1)$$

$$I_D = I_o \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) = I_o \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{kT}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$\frac{V_D}{R_p} = \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (3)$$

(2) ve (3) denklemleri (1) de yerine yazılırsa; hücreden çekilen akımı ifade eden (4) denklemi elde edilir.

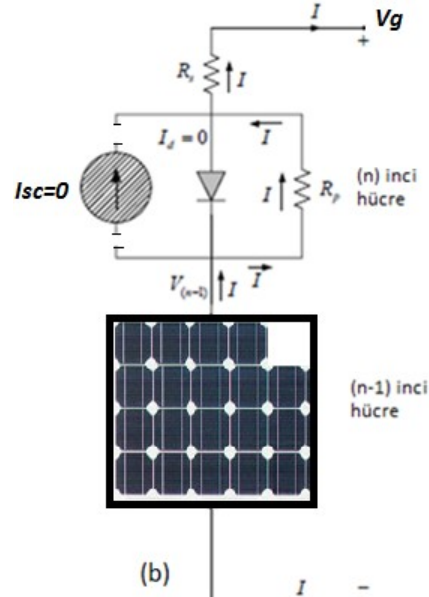
$$I = I_{SC} - I_o \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{kT}} - 1 \right) - \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (4)$$

Burada, q , bir elektron yükünü 1.6×10^{-19} , Coulombs, k Boltzman sabiti 1.38×10^{-23} J/K, T , Kelvin cinsinden hücre sıcaklığını, n ise diyodun ideal faktörünü ifade etmekte olup 1-2 arasında değerler almaktadır.

3. Parçalı gölgelenme durumu ve Blokaj diyodu

Arzu edilen gerilim seviyesini elde edebilmek için FV hücreler seri bağlanarak FV modüller oluşturulur. Gerçek uygulama işletimi esnasında bütün hücreler aynı güneş seviyesine maruz kalmazlar. Yani hücreler çoğu kez homojen olmayan güneş radyasyonuna maruz kalırlar. FV modülde ufak bir kısım gölgelenme etkisine maruz kalsa bile FV modülün çıkışı ciddi miktarlarda azalabilir. Ancak gölgeli hücrenin FV çıkışı üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkinin büyük bir kısmı köprüleme diyotları ile giderilebilir. Köprüleme diyotları normal iletim esnasında aktif değil iken, gölge etkisi durumunda aktif hale gelir.

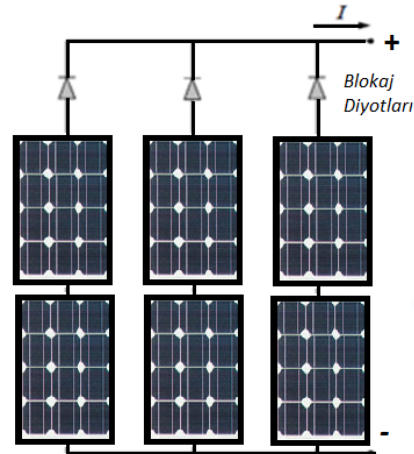
Parçalı gölgelenme durumunda; gölgelenmiş olan paneldeki kısa devre akımı (I_{sc}) sıfırdır. Şekil 2'de paneldeki hücrelerden birinin gölgeli olduğu durumun eşdeğer devre şekli verilmiştir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi sistem tarafından üretilen akım gölgelenmiş olan hücrenin R_p direnci üzerinden akar. Bu durumda sistemin toplam çıkış gerilimi, gölgeli hücreden dolayı azalacaktır. n tane hücreden oluşan panelde bütün hücreler güneşe maruz kaldığında sistemin çıkış gerilimi V ise, 1 tane hücrede gölge oluştuğunda geri kalan hücrelerin üreteceği gerilim $V_{(n-1)}$ olacaktır. Panelin çıkış gerilimi V_g ise denklem (5)'teki gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 2 Tek hücre gölgeli olan panel eşdeğer devresi

$$V_g = V_{(n-1)} - (R_p + R_s) \cdot I \quad (5)$$

Köprüleme diyotları sistem akımının gölgeli veya hatalı çalışan modülün etrafından dolaşarak akmasını sağlar. Köprüleme diyotları FV dizinin sadece performansını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda hücrelerin fiziksel eşdeğerindeki paralel direkten akım geçmesinden dolayı oluşacak sıcak noktaların oluşmasını engeller.

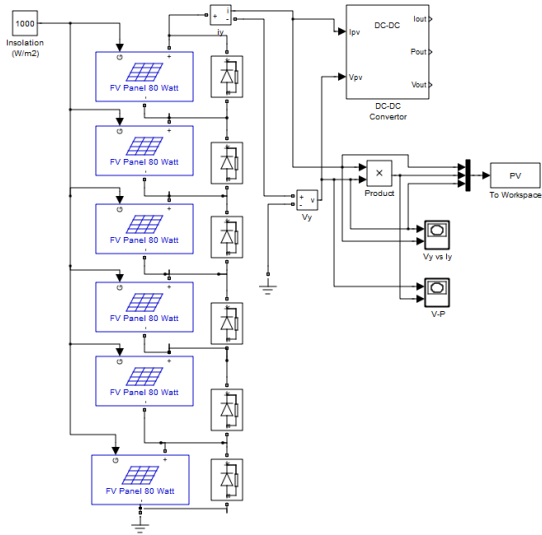


Şekil 3: Paralel bağlı paneller ve Blokaj diyotları

Benzer bir problem birden fazla FV dizinin paralel bağlanması durumunda da oluşur. Bu durumda hatalı veya gölgeli çalışan modül geri kalan diğer modüllerden akım çeker. Bu akımın FV şerit üzerinde oluşturacağı olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için Şekil 3'de gösterildiği gibi her bir şeride blokaj diyotları konur. Bu blokaj diyotları aynı zamanda aküden gelebilecek ters akıma karşıda koruma görevi yapar.

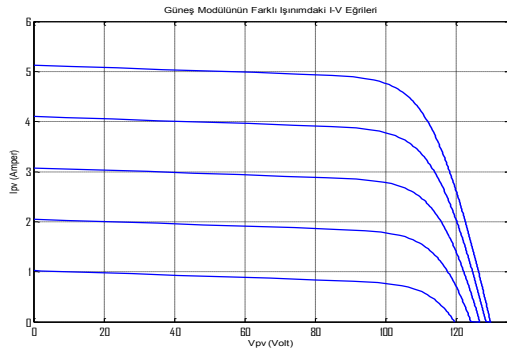
4. Benzetim Sonuçları

Açık Devre Gerilimi (V_{OC}) 21.6 V, Kısa Devre Akımı (I_{SC}) 5.15 A, Maksimum Güçte Çalışma Gerilimi (V_{pm}) 17.3 V, Maksimum Güçte Çalışma Akımı (I_{pm}) 4.63 A olan 80 Watt'lık bir güneş panelinin katalog bilgileri referans alınarak Matlab/Simulink ortamında matematiksel modeli oluşturulmuştur. Elde edilen panel modelinin Şekil 4'de gösterildiği gibi 6 tanesinin seri bağlanmasıyla FV dizin oluşturulmuştur. Daha sonra FV dizinde paneller üzerindeki gölgenin ışınım olarak oranı, gölgeli panel sayısı, panellerin farklı ışınımına maruz kaldığı, bypass paralel diyotların bağlı olduğu ve olmadığı durumlarında FV dizi çıkışındaki güç, gerilim ve akımın değişimi P-V ve I-V eğrileri çıkarılmıştır.

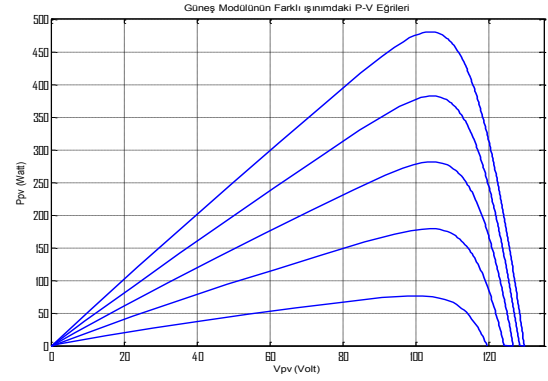


Şekil 4: 6 adet seri bağlı panelden oluşan FV sistemi

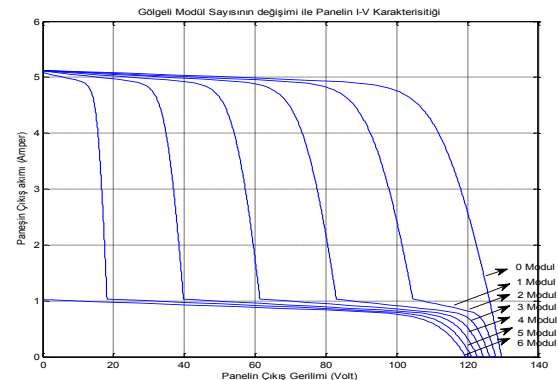
Şekil 5 ve 6 FV dizinin homojen ışınım altında I-V ve P-V değişimleri verilmiştir. Burada görüldüğü üzere her farklı ışınımında sadece bir tane MGN oluşmaktadır. Şekil 7 ve 8 sırasıyla gölgelenmiş olan panel (modül) sayıları artırılarak I-V ve P-V değişimleri elde edilmiş ve MGN'lerinin değişimi görülmüştür.



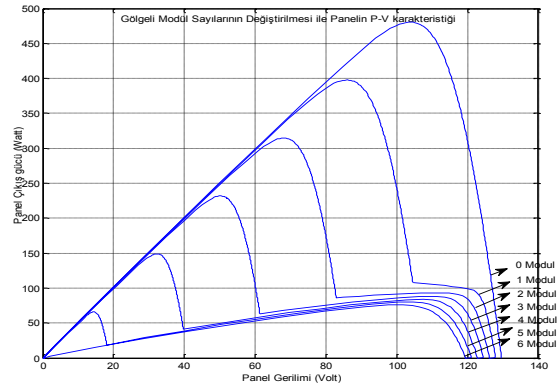
Şekil 5: FV sistemin homojen ışınım altında farklı ışınım seviyelerinde I-V değişimi.



Şekil 6: FV sistemin homojen ışınım altında farklı ışınım seviyelerinde P-V değişimi.

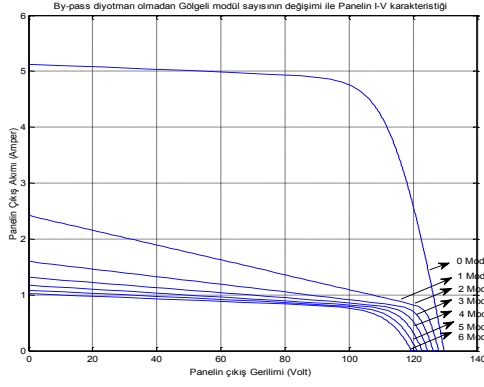


Şekil 7: Gölgeye maruz kalan panellerin sayısının FV sistemin I-V değişimine olan etkisi.

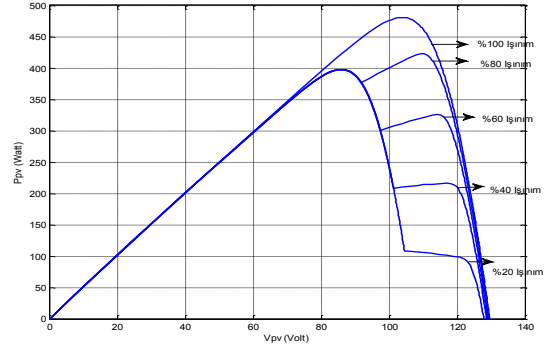


Şekil 8: Gölgeye maruz kalan panellerin sayısının FV sistemin P-V değişimine olan etkisi.

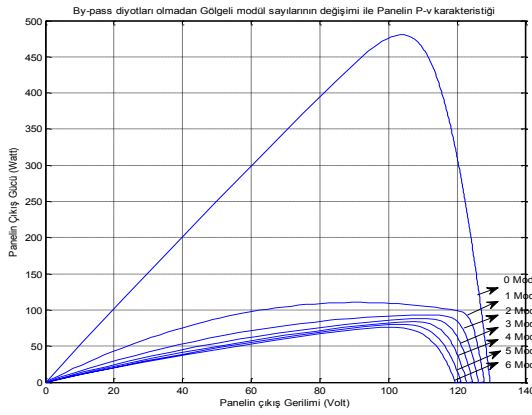
Şekil 9 ve 10'da bir önceki Şekil 7 ve 8'deki FV dizinde bağlı olan bypass diyotlarının kaldırıldığı durum için yapılmış analiz sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 9: Bypass diyodu yok iken, gölgeye maruz kalan panellerin sayısının FV sistemin I-V değişimine olan etkisi.

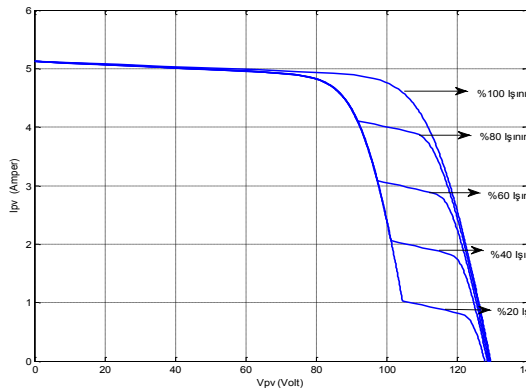


Şekil 12: Tek panel gölgeye maruz kaldığında, gölge oranının değişiminin, FV sistem P-V değişimine olan etkisi.



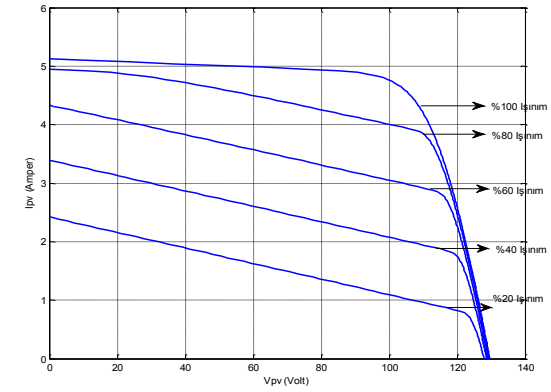
Şekil 10: Bypass diyodu yok iken, gölgeye maruz kalan panellerin sayısının FV sistemin P-V değişimine olan etkisi.

Şekil 11 ve 12 FV dizinde sadece tek panel gölgeli iken I-V ve P-V değişimleri elde edilmiştir. Burada diğer paneller maksimum ışınım altındayken, gölgeli panelin ışınım oranı değiştirilerek MGN'sının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.



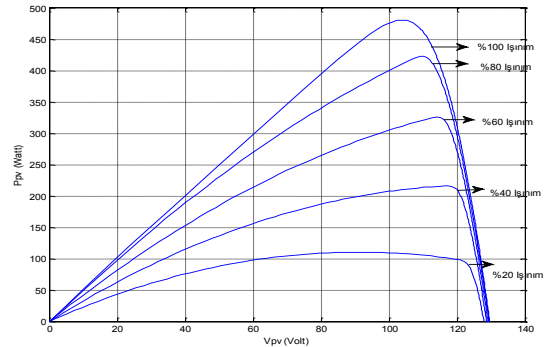
Şekil 11: Tek panel gölgeye maruz kaldığında, gölge oranının değişiminin, FV sistem I-V değişimine olan etkisi.

Şekil 13 ve 14'de bir önceki Şekil 11 ve 12'deki FV dizinde bağlı olan bypass diyotlarının kaldırdığı durum için yapılmış analiz sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 13: Bypass diyodu yok iken, tek panel gölgeye maruz kaldığında, gölge oranının değişiminin, FV sistem I-V değişimine olan etkisi.

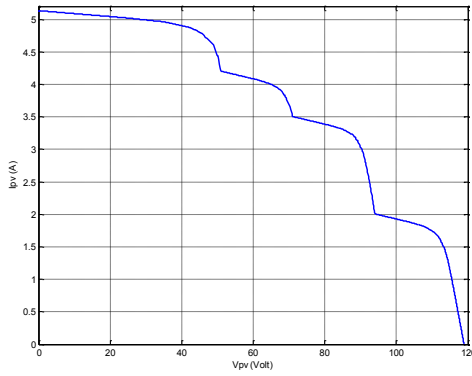
Şekil 15 ve 16 FV dizinde 3 panel maksimum ışınım altında iken, diğer üç panel farklı gölgelenme oranları ile gölgelenmeye maruz kaldığındaki I-V ve P-V değişimlerini göstermektedir.



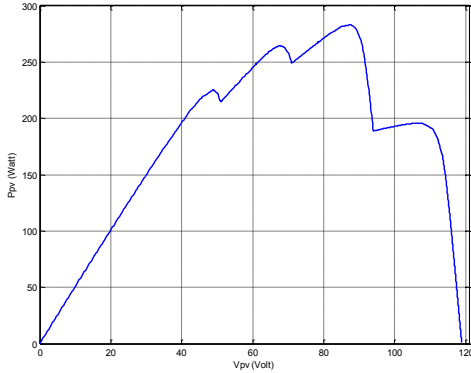
Şekil 14: Bypass diyodu yok iken, tek panel gölgeye maruz kaldığında, gölge oranının değişiminin, FV sistem P-V değişimine olan etkisi.

Buradan görüleceği üzere, FV dizindeki panellerin gölgelenme oranlarının farklı olması yerel MGN'larının sayısını artırmaktadır.

Örnek olarak Şekil 5 ve 6'daki FV sistemin P-V değişimi incelendiğinde; ışıınım homojen olduğundan dolayı sistemin MGN'de çalışması için, ışıının en üst seviyesinde (1000 W/m^2), FV sistem geriliminin (V_{pv}) 103.8 V , akımının (I_{pv}) 4.63 A ve sistemde çekilecek gücün (P_{pv}) 480 W olması gerekirken, Sistem parçalı gölgelenmeye maruz kaldığındaki durum Şekil 15 ve 16'daki değişimler incelenirse sistemin MGN'da çalışması için sistem geriliminin $V_{pv} = 87.9 \text{ V}$, $I = 3.22 \text{ A}$ olması gerekmektedir. Bu sayede sistemden elde edilecek güç 283 W olacaktır, aksi halde sistem yerel maksimum noktaya takıldığından aynı gerilimde çalışmaya devam etmekte ve sistemden ancak 194 W güç çekebilmektedir.



Şekil 15:FV sistemde üç panel farklı gölgelenme oranı ile gölgelendiğinde, sistemin I-V değişimi.



Şekil 16: FV sistemde üç panel farklı gölgelenme oranı ile gölgelendiğinde, sistemin P-V değişimi.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Verimleri halen çok düşük olan FV güneş panellerinden en iyi şekilde faydalanmak için FV sistemler maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekmektedir, bunu sağlamak için MGNİ kullanılmaktadır. Kullanılacak olan MGNİ devresinin FV sistemde meydana gelen parçalı gölgelenme durumlarında da MGN'de çalışması arzu edilen durumdur. Bunu sağlamak için öncelikle parçalı gölgelenme durumlarının iyi

analiz edilmesi gerekmektedir. Bu raporda parçalı gölgelenmenin bir çok farklı durumları için analizler yapılmış güneş modüllerinin gerilime bağlı olarak akım (I-V) ve güç (P-V) eğrileri elde edilmiştir.

Elde edilen bu eğrilerle, MGNİ devresinin kullanılacağı bu sistemde parçalı gölgelenme etkisinin her farklı durumu için maksimum güç noktasının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. FV sistemde parçalı gölgelenme ne kadar farklı oranlarda ve farklı panellerde meydana gelirse MGN sayısı artmaktadır. Bu güç noktalarından sadece 1 tanesi genel MGN diğerleri yerel MGN olmaktadır. Bunlar gözönüne alınarak tasarlanacak olan MGNİ devresi ve algoritmasının yerel noktalara takılmadan genel maksimum güç noktasına ulaşması sağlanmalıdır.

6. Kaynaklar

- [1] Kawamura, H., Naka, K., Yonekura, N., Yamanaka, S., Kawamura, H., Ohno, H. and Naito, K., "Simulation of I-V characteristics of a PV module with shaded PV cells", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 75, 613–621, (2003).
- [2] M. C. Alonso-Garcia, J.M. Ruiz and F. Chenlo, "Experimental study of mismatch and shading effects in the I-V characteristic of a photovoltaic module," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 90, 329–340, 2006.
- [3] M. C. Alonso-Garcia, J. M. Ruiz and W. Herrmann, "Computer simulation of shading effects in photovoltaic arrays," *Renewable Energy*, Vol. 31, No. 12, 1986-1993, 2006.
- [4] Yaw-Juen Wang, and Po-Chun Hsu, "Analysis of Partially Shaded PV Modules Using Piecewise Linear Parallel Branches Model", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 60, 783-789, 2009.
- [5] Ramaprabha, R., Mathur, B., L., "Impact of Partial Shading on Solar PV Module Containing Series Connected Cells", *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol. 2,no. 7, 56-60, (2009).
- [6] Patel, H. and Agarwal, V., "MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics" *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 1, 184–190, Mart, (2008).

TÜRKİYE’NİN FARKLI KAYNAK TİPLERİNE GÖRE BİYOGAZ POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

¹Mustafa ÖZCAN

¹Semra ÖZTÜRK

²Mehmet YILDIRIM

ozcanm2000@yahoo.com

semra@kocaeli.edu.tr

myildirim@kocaeli.edu.tr

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

²Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü

Özet: Bu çalışmada amaç, yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilen biyokütleden elde edilen gazın, Türkiye potansiyel değerini farklı kaynak tiplerine göre belirlemektir. Biyokütle kaynakları olarak; kentsel katı atık, tarımsal ürün, hayvan gübresi ve kentsel atıksu arıtma çamuru kaynak tipleri gaz kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Her bir kaynak tipine göre hesaplama yöntemleri verilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Türkiye genelindeki kentsel katı atıktan elde edilen gaz potansiyeli 4.850 milyon kWh/yıl, işlenen tarımsal alanın %1’inin enerji amaçlı kullanılması durumunda elde edilecek gaz potansiyeli 25.95 milyar kWh/yıl, hayvan gübresinden elde edilecek gaz potansiyeli 14.26 milyar kWh/yıl, ve 16 büyükşehir belediyesine ait atıksu arıtma çamuru kaynaklı gaz potansiyeli 1.879 milyar kWh/yıl olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, Biyokütle, Biyogaz, Türkiye biyogaz potansiyeli

1. Giriş

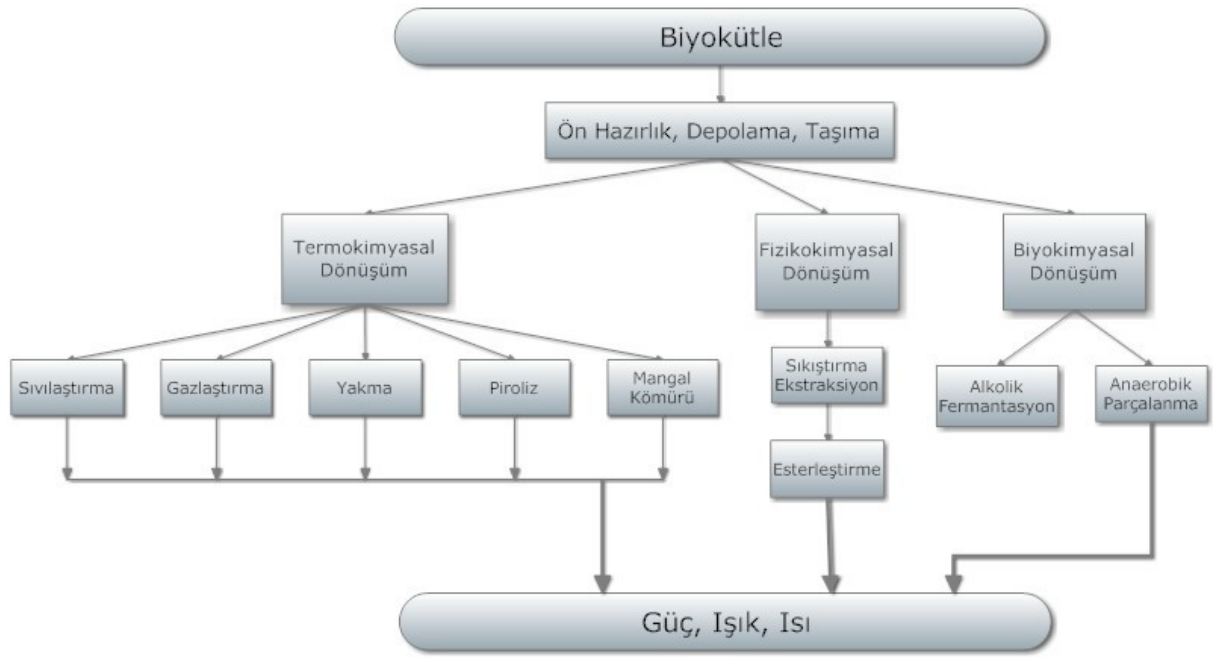
Avrupa Komisyonu tarafından 1997 yılında yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili hazırlanan beyaz belgede Avrupa birliği enerji sektöründeki yenilenebilir enerji kaynakları oranının iki katına çıkarılarak %6’dan %12 ye ulaştırılması amaçlanmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik projeksiyonlar yapılmıştır. Enerji sektörü uzun dönem yatırımlar ve planlama gerektiren bir sektördür. Yenilenebilir enerji sektöründeki gelişmeler dikkate alındığında, 1997-2010 yılları arası %6’lık, 2010-2020 yılları arasında ise %8’lik bir artışın sağlanması durumunda 2020 yılı itibarıyla yenilenebilir kaynaklardan sağlanan elektrik enerjisinin oranının %20 olması uygulanabilir görülmektedir [1].

ETKB 2010-2014 stratejik planına göre [2]; enerjide dışa bağımlılığın ve %73 seviyesinde olan ithalat bağımlılığının azaltılması amacıyla, uzun dönem plan çalışmalarında 2023 yılına kadar tüm yerli enerji kaynaklarının kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarından olabildiğince faydalanılması, kömür, doğalgaz ve hidrolik kaynaklar yanında elektrik enerjisi üretim arzının çeşitlendirilmesi amaçlanmıştır. 2023 yılı itibarıyla, toplam elektrik enerjisi arzı içerisindeki yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretiminin %30 seviyesinde olması temel hedeftir.

Hem maliyetlerin azalması hem de dünya genelinde yenilenebilir enerji paylarının artırılması zorunluluğu nedeniyle, enerji üretim planlamalarında artık bu enerji kaynaklarının da kullanılmasını gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz (çöp gazı dahil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarıdır.

Biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan organik madde kaynakları olarak tanımlanmaktadır [3]. AB’nin yıllık toplam enerji tüketiminin yaklaşık %6’sı biyokütleden sağlanmakta olup biyokütle enerji kullanımı yıllık 45 MTEP’dir [4].

Biyokütleden enerji üretimi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler Şekil-1’de görüldüğü gibi; termokimyasal, fizikokimyasal ve biyokimyasal yöntemlerdir [5]. Kullanılan yöntemler sonucunda katı, sıvı ve gaz biyoyakıtlar üretilir. Biyokütle ve biyokütleden elde edilen gaz yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır



Şekil-1. Biyokütleden enerji üretim yöntemleri.

Elektrik enerjisi üretim sistemlerinin planlanması, tahmin edilen yük talebini karşılayacak ve yüksek güvenilirliği sağlayacak mevcut birincil kaynakların potansiyel değerlerinin bilinmesi esasına dayanır. Ancak, biyokütleden elde edilen biyogazın farklı kaynak tiplerine göre hesaplanmış potansiyellerini veren bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilen biyokütleden elde edilen gazın, farklı kaynak tiplerine göre Türkiye potansiyel değerlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Kentsel katı atıklar, tarımsal ürünler, hayvan gübreleri ve kentsel atıksu arıtma çamurları genel biyokütle tiplerini oluştururlar. Bu nedenle, çalışmamızda bu biyokütle tiplerine ait gaz potansiyelleri belirlenmiştir.

2. Kentsel Katı Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli

Kentsel katı atıklardan biyogaz üretimi amacıyla kullanılan iki genel yöntem vardır. Bunlardan ilki kentsel katı atıkların organik kısmının ayrıştırılması ve daha sonra anaerobik fermantasyonu ile biyogaz üretimi olup, bu yöntem biyometanizasyon olarak adlandırılır. Diğer yöntem ise kentsel katı atıkların düzenli depolama alanlarında biriktirilmesi ile biyogaz üretimi olup, bu gaz LFG(Land- fill gas) veya deponi gazı olarak adlandırılır [6].

Anaerobik çürütme kentsel katı atıkların organik kısmının oksijensiz ortamda biyolojik olarak bozunmasıdır. Anaerobik çürütme işlemi reaktörlerde gerçekleşir. Biyometanizasyon tesisleri atık muhtevastaki katı madde yüzdesine (ıslak ve kuru sistemler), kademe sayısına (tek ve çift kademeli

sistemler) ve prosesin yürütüldüğü işletme sıcaklığına (mezofilik ve termofilik sistemler) göre sınıflandırılmaktadır [7].

Depolama sahasının üzeri kapatıldıktan sonra uygun teknoloji kullanılarak depo gazından enerji elde etmek mümkündür. Depolama sahası yaşlandıkça zaman içinde gaz oluşum hızı kademeli olarak düşmektedir [3]. Depo gazı fiilen işletildiği dönem boyunca ve bu süreye ek olarak 10-20 yıl boyunca üretilebilir. Tipik özellikte bir evsel atığın depolama sahasının ömrü boyunca üretebileceği depo gazı oranı 200 m³/ton'dur. Depolama gazının %60'ı atık depolandıktan sonra 10 sene içinde oluşmaktadır. Bu miktar 15-20 sene içerisinde %90 seviyesine çıkmaktadır [8].

Atık hizmeti verilen belediye sınırları içerisindeki nüfus için bir potansiyel hesaplaması yapılabilir. Türkiye'de 3225 adet belediye bulunmakta olup bu belediyeler içerisinde yer alan 3129 belediyede atık hizmeti verilmektedir. Atık hizmeti verilen belediye sınırları içerisindeki nüfus 57,800,347'dir. Yaz ve kış aylarına ait kişi başı belediye atık miktarlarının ortalaması alındığında, kişi başı ortalama belediye atık miktarı 1.15 kg/kişi-gün'dür [9]. Bu ortalama değer dikkate alındığında, bir kişinin yıllık belediye atığı miktarı yaklaşık 0.42 ton/kişi-yıl olarak bulunur.

20 yıl süreyle ton başına elde edilebilecek çöp gazı üretim miktarı içerisinde bulundurduğu metan miktarına bağlı olarak 60-290 m³/ton arasında değişmektedir. Bu atığın %50-60'ı organik madde içerir ve atıktan elde edilecek gazın %50'si metandır [10]. Atık hizmeti verilen belediye sınırları içerisindeki nüfus için yıllık atık miktarı 24,276,145

ton/yıl olur. 20 yıl için oluşacak toplam belediye atığı miktarı 485,522,900 ton ve çöp gazı üretim miktarının 100 m³/ton olduğu kabul edildiğinde [11], oluşacak çöp gazı miktarı yaklaşık 48.55 milyar m³ olacaktır. Teorik olarak elde edilebilecek gaz değerinin yaklaşık %40'ı pratikte elde edilebileceği kabul edildiğinde [11], 20 yıl için 19.42 milyar m³ olur. Buna göre atık hizmeti verilen belediyelerin çöp gazı potansiyelinin yıllık değeri 0.97 milyar m³ olur.

Çöp gazının alt ısı değeri 18-27 kJ/Nm³ ($5.10^{-3} - 7.510^{-3}$ kWh/Nm³) arasında değişir 5.10^{-3} kWh/Nm³ alt ısı değeri için çöp gazı potansiyelinin enerji değeri hesaplandığında, yaklaşık olarak olarak 4.85 milyar kWh olarak bulunur.

3. Tarımsal Ürün Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli

Enerji ormanları ve ağaç atıkları orman ürünleri kapsamında enerji amaçlı olarak kullanılırken, tarım ürünleri alanında çeşitli bitkilerden faydalanılmaktadır. Ayçiçek, kolza, soya, aspir, susam, yer fıstığı gibi yağlı tohum bitkileri; patates, buğday, mısır, pancar, seker kamısı, gibi karbohidrat bitkileri; keten, kenaf, kenevir, sorgum gibi elyaf bitkileri bu alanda kullanılan genel tarım ürünleridir. Dal, sap, saman, kök, kabuk gibi bitkisel atıklardan da enerji üretimi amaçlı faydalanılmaktadır [12].

2009 verilerine göre Türkiye'nin toplam tarım alanı 38911 bin hektar ve işlenen toplam tarım alanı miktarı ise 21351 bin hektardır [13]. Orta verimdeki bir hektar tarladan yılda ortalama 80-100 ton-yaş veya 25-30 ton kuru biyokütle elde edilmektedir. Kuru biyokütle ısı değeri 16-18 MJ/kg arasında değişir. Kuru biyokütle

ortalama ısı değeri 17.5 MJ/kg'dır [3]. 21,351,000 hektar toplam işlenen tarım alanının %1'inin enerji elde etmek amaçlı kullanılması halinde; bir hektar tarladan yılda ortalama 25 ton kuru biyokütle elde edileceği ve kuru biyokütle ortalama ısı değerinin 17.5 MJ/kg olacağı kabul edilerek, 25.95 milyar kWh potansiyel belirlenmektedir.

4. Hayvan Gübresi Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli

TÜİK verilerine göre; 2009 yılı sonu itibarıyla toplam büyükbaş hayvan sayısı 10,811,165, koyun sayısı 21,749,508, keçi sayısı 5,128,285 ve kümes hayvanları sayısı 234,082,206 olmuştur [14]. Hayvanların ağırlıklarına, cinslerine ve beslenme şekillerine bağlı olarak oluşturacakları gübre miktarları değişmektedir. Büyükbaş hayvanlarda yaklaşık olarak 9.95 ton/yıl, küçük baş hayvanlarda 0.82 ton/yıl ve kümes hayvanlarında ise 0.03 ton/yıl yaş gübre verimi vardır. Büyükbaş, küçük baş ve kümes hayvanı kuru gübresinin 1 tonundan, yaklaşık olarak 200 m³/yıl biyogaz elde edilir. Elde edilen biyogazın kaloriferik değeri 22.7 MJ/m³'dür (6.30 kWh/m³).

Büyük baş hayvanlarda kuru gübre oranı %12.7, küçükbaş hayvanlarda ve kümes hayvanlarında ise bu oran %25'dir. Kuru gübre miktarlarının biyogaz üretimi için kullanılabilirlikleri ise sırasıyla %65, %13 ve %99 şeklindedir [15]. TÜİK 2009 yılı hayvansal üretim istatistiklerinde yer alan hayvan sayıları esas alınarak hesaplanan biyogaz değerleri Tablo-1'de verilmektedir. 2.26 milyar-m³/yıl'lık potansiyelin karşılığı, 6.30 kWh/m³ [15] kaloriferik değer için 14.26 milyar kWh /yıl olur.

Tablo-1. TÜİK 2009 yılı hayvansal üretim istatistikleri esas alınarak hesaplanan biyogaz potansiyelleri

Hayvan cinsi	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes hayvanları	Toplam
Hayvan sayısı	10,811,165	26,877,793	234,082,206	
Birim yaş gübre miktarı (Ton/yıl)	9.95	0.82	0.03	
Toplam yaş gübre miktarı (Milyon Ton/yıl)	107.57	22.03	7.02	
Kuru gübre oranı (%)	12.7	25.00	25.00	
Toplam kuru gübre miktarı(MilyonTon/yıl)	13.66	5.50	1.75	
Kullanılabilirlik(%)	65.00	13.00	99.00	
Kullanılabilir toplam kuru gübre miktarı (MilyonTon/yıl)	8.87	0.71	1.73	
1 ton kuru gübre için biyogaz miktarı (m ³ /yıl)	200.00	200.00	200.00	
Toplam biyogaz miktarı (milyar-m ³ / yıl)	1.77	0.14	0.34	2.26

5. Kentsel Atıksu Arıtma Çamuru Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli

Biyogaz elde etmek amaçlı kullanılan kaynaklardan biri de kentsel atıksu arıtma çamurudur. Atıksu; evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sudur. Kişi başına kullanılan su miktarı 200 Lt/kişi-gün ile 1000 Lt/kişi-gün arasında değişmektedir [16]. Yüksek miktarlarda organik madde, besin maddeleri, patojen mikro organizmalar ve çok miktarda su içermeleri nedeniyle atıksuların arıtılması önem arz etmektedir. Ülkemizde genelde belediyeler tarafından kurulan ve çalıştırılan, nüfusun yaklaşık % 13'üne tekabül eden 69 adet evsel atıksu arıtma tesisiyle yıllık olarak 500 bin tona yakın arıtma çamuru ortaya çıkmaktadır [17]. Arıtma çamurunun içermiş olduğu organik maddelerin bir ısıl değerinin oluşu, tarım arazilerinde kullanılabilirliği ve çevreye vermiş olduğu zararların da önüne geçebilmek için değişik değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Biyogaz üretimi bu yöntemlerden biridir.

Çamurun ısıl değeri, çamurun tipine ve içeriğindeki uçucu katı madde oranına bağlıdır. Arıtılmamış ön çökeltim çamurunun ısıl değeri, özellikle önemli miktarda yağ ve gres içeriyorsa çok yüksektir. Çürümüş çamur ham çamurdan daha düşük ısıl değere sahiptir. Çamurun ısıl değeri bazı düşük kaliteli kömürlerin ısıl değerine (7,700 cal/g kuru madde) eşdeğerdir. Ortalama olarak ham ön çökeltim çamurunun ısıl değeri 6,100 cal/g, aktif çamurun 5,000 cal/g ve anaerobik çürümüş çamurun 2,750 cal/g kadardır. Çamurun nihai bertaraf edilmesi için termal işlemler uygulanacaksa mümkün olduğunca çamurun suyu alınarak ısıl değeri arttırılmalıdır [18].

Evsel atıksu ön arıtma tesisinde kişi başına oluşacak gaz miktarı 0.015-0.022 m³/kişi-gün arasında değişir. İkincil arıtma tesislerinde ise bu değer yaklaşık olarak 0.028 m³/kişi-gün'dür. Oluşan gazın metan yüzdesi yaklaşık %65 olup, ısıl değeri yaklaşık olarak 22.4 MJ/m³ dür [19].

Türkiye genelindeki 16 büyükşehir belediyesine ait nüfusun 33,102,608 kişi olduğu dikkate alındığında, 0.025 m³/gün için oluşacak günlük gaz miktarı yaklaşık olarak 827,565 m³ olur. Yıllık olarak bu değer 302,061,298 m³ olur. Gaz ısıl değeri 22.4 MJ/m³ olduğuna göre yaklaşık 302 milyon m³ gazın enerji değeri 6.76 milyar MJ olur. Elektriksel olarak bu değer yaklaşık 1.88 milyar kWh enerji değerine eşittir.

6. Sonuçlar

Elektrik enerjisi üretim sitemlerinin planlanması, tahmin edilen yük talebini karşılayacak ve yüksek güvenilirliği sağlayacak mevcut birincil kaynakların potansiyel değerlerinin bilinmesi esasına dayanır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilen biyokütleden elde edilen gazın, farklı kaynak tiplerine göre Türkiye potansiyel değerlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Kentsel katı atıklar, tarımsal ürünler, hayvan gübresi ve kentsel atıksu arıtma çamurları genel biyokütle tiplerini oluştururlar. Bu nedenle, çalışmamızda bu biyokütle tiplerine ait gaz potansiyelleri belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Türkiye genelindeki kentsel katı atıktan elde edilen gaz potansiyeli 4.85 milyon kWh/yıl, işlenen tarımsal alanın %1'sinin enerji amaçlı kullanılması durumunda elde edilecek gaz potansiyeli 25.95 milyar kWh/yıl, hayvan gübresinden elde edilecek gaz potansiyeli 14.26 milyar kWh/yıl, ve 16 büyükşehir belediyesine ait atıksu arıtma çamuru kaynaklı gaz potansiyeli 1.88 milyar kWh/yıl olarak bulunmuştur. Toplamda 42.09 GWh olarak bulunan biyogaz potansiyeli ile Türkiye elektrik sisteminin yıllık enerji talebinin (2009 yılı için 194,079 GWh olarak gerçekleşmiştir) önemli bir bölümü karşılanabilecektir. Ancak, bu durum kentsel katı atıkların, hayvan gübresinin, 16 büyükşehirin kentsel atıksu arıtma çamurlarının %100'ü ve işlenebilir tarım alanlarının %1'inin biyogaz için ayrılması halinde sözkonusudur.

REFERANSLAR

1. European Renewable Energy Council, "Renewable Energy Targets for Europe", EREC, Brussels, (2004).
2. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Stratejik Planı", http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/ETKB_2010_2014_Stratejik_Planı.pdf, (Ziyaret tarihi: 12 Aralık 2010),
3. Yelmen B., Öztekin S., Üstüner M., "Türkiye'nin Biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi", 2. Atık Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul, 04-05 Kasım, (2010),
4. Boztepe E., Karaca A., "Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Tarımsal Atıklar", Türkiye 11. Enerji kongresi ve Sergisi, İzmir, 21-23 Ekim, (2009),
5. "Büyükbaş Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi", TÜBİTAK-MAM ESÇAE , Proje Adı: Kümes ve Ahır Gübrelerinin Geri Kazanılması ve Bertarafı, http://www.biyogazder.org/yazi_ve_makaleler.htm, (Ziyaret tarihi: 29 Kasım 2010),
6. Özkaya B., Demir A., "Kompost Teknolojileri Ve Uygulama Örnekleri", Organik Atıklardan Kompost Ve Yenilenebilir Enerji Üretimi&Kompost Kullanım Alanları Çalıştayı-ORAK 2010, İstanbul, 08-09 Haziran, (2010),

7. Yıldız Ş., Balahorli V., Sezer K., “Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi (Biyometanizasyon) Projesi”, Su ve Çevre, Sayı – 33, (2010),
8. Kiriş A., Saltabaş F., “Katı atık düzenli depolama sahalarında depo gazı (LFG) yönetimi ve İstanbul uygulamaları”, Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu- TÜRKAY 2009, İstanbul, 15-17 Haziran (2009),
9. T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, Belediye Atık İstatistikleri- 2008, TÜİK Haber Bülteni, Sayı:50, TÜİK,Ankara,(2010),
10. Sezgin N., Özcan H.K., Varınca K., Borat M., “Katı atık depo gazından elektrik üretiminin Türkiye’de uygulanabilirliğine iki örnek: İstanbul ve Bursa tesisleri”, www.yildiz.edu.tr/~kvarınca/Dosyalar/Yayinlar/yayin001.pdf, (Ziyaret tarihi: 18.11.2010),
11. Erdin E., “Çöplüklerden (Deponilerden) Enerji Elde Edilmesi”, <http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc116.htm>, (Ziyaret tarihi:18.11.2010),
12. Karaosmanoğlu F., “Türkiye Biyoyakıt Potansiyeli ve Son Gelismeler”, Türkiye 10.Enerji Kongresi, İstanbul, 27-30 Kasım,(2006),
13. T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim 1.Tahmini - Dönemi: I. Dönem 2010, www.tuik.gov.tr, (Ziyaret tarihi:13.12.2010),
14. T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, “Hayvansal üretim istatistikleri 2009”, TÜİK Haber Bülteni, Sayı:87, TÜİK,Ankara,(2010),
15. Başçetinçelik ve diğ., "A Guide On Exploitation Of Agricultural Residues in Turkey, Agro-Waste - Exploitation Of Agricultural Residues in Turkey Project”, EU- Life Programme Project, Project No: LIFE03 TCY/TR/000061, (2006),
16. Filibeli A., “Su Kirlenmesi Ve Kontrolü”, www.nilufer.bel.tr/kentsaglik/2_gun%5Csalon_a%5Cayse_filibeli.pdf, (Ziyaret tarihi:01 Aralık 2010),
17. Kaya D., “Evsel Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Biyogaz Üretiminde Kullanımının Değerlendirilmesi”, “ICCI - Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı” İstanbul, 12–14 Mayıs,(2010),
18. Filibeli A. "Arıtma Çamurlarının Genel Özellikleri", Çevre Ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi Ve Çevre Görevlisi Eğiticisi Eğitim Programı notları, Ankara,(2009),
19. Filibeli A., Büyükkamacı N., Ayol A., “Aneorobik arıtma”, İzmir,(2000).

DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE ATIKTAN ENERJİ ÜRETİMİ

Muhammet SARAÇ, Onur ULUDAĞ
İZAYDAŞ

İZAYDAŞ

İZAYDAŞ 1996 yılında kurulmuş, 1997 yılından beri atık kabul eden %100 Kocaeli Büyükşehir Belediyesi iştiraki olan bir şirkettir. Tehlikeli atık bertarafı konusunda ilk olmakla birlikte halen gerek kapasite ve gerekse kabul edilen atık yelpazesi bakımından tek tesistir. Tehlikeli atık bertarafı konusunda tüm Türkiye’ye hizmet vermektedir. Bunun dışında evsel atık bertarafı, gemilerden oluşan atıkların toplanıp bertaraf edilmesi, tıbbi atık sterilizasyonu ve düzenli hafriyat depolama konularında sadece Kocaeli iline hizmet vermektedir.

ATIK NEDİR?

Atık, literatürde “ihtiyaçlarımızı karşılarken; o an için kullanılamayan, ya da kullanıldıktan sonra atılan kısmı” olarak tanımlanmaktadır. AB tarafından verilen daha genel bir tanımla “sahibinin attığı, atmak istediği veya atılması gereken madde” olarak söylenebilir. OECD tanımı ise atığı “üreticisinin; tüketim, dönüşüm veya üretim amaçları için kullanmadığı, atmak istediği ve/veya atılması gereken ve ürün olmayan madde” şeklinde ifade etmektedir.

Kişisel ihtiyaçlarımızın giderilmesinin yanında; tarım, sanayi, ulaşım, turizm, inşaat ve diğer tüm üretim ve hizmet faaliyetlerinde malzemenin biçim değiştirmesi ve enerji tüketimi ile çeşitli atıklar ortaya çıkar. Atık üretmek belki de, şehirli olsun, köylü olsun her kıtadan insanın ve hayatın en doğal davranışlarından biridir. Evsel nitelikli olabileceği gibi mevzuatta tanımlandığı şekilde tehlikeli atık da olabilir. Atıldığı anda veya gelecekte insanlara, bitkilere veya hayvanlara zarar verebilecek her türlü atık veya atıklar bileşeni “tehlikeli atık” sınıfına girmektedir. Bu atıkların bir bölümü nihai olarak bertaraf edilirken, bir bölümü geri kazanılarak, yeniden kullanılabilir.

Çevresel değerler açısından atık hiyerarşisi olarak tanımlanan uygulama; atık oluşumunun önlenmesi, kaynaktan atıkların azaltılması, yeniden kullanılmasının sağlanması, geri dönüşüm yapılması, enerji geri kazanılması esas alınmaktadır. Ancak bütün bu

aşamalarda değerlendirilemeyen atıkların da çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu da hem maddi kaynak hem de teknoloji gerektirmektedir. Ancak bundan kaçmak da mümkün değildir.

TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA ATIK MİKTARI

Türkiye’de her yıl ortalama 26 milyon ton evsel atık üretilmektedir. Bu miktarı dikkate aldığımızda; 72 milyon nüfus, ortalama kişi başı günde 1 kg evsel atık oluşturulduğu görülmektedir. Bu kişi başı atık üretimi gelişmiş illerde daha fazla, az gelişmiş illerde daha azdır. Atık miktarı gerek nüfus artışı ve gerekse ekonomik refahın artması ile artacak ve tahminen 20 yıl içinde iki katına çıkacaktır. Yani 2030 yıllarında toplam evsel atık üretimi 50 milyon tonu aşacaktır. 26 milyon ton çöpü hayal edebilmek için şöyle bir örnek vermek mümkündür. 1 ton evsel çöpün 1 m³ yer kapladığını düşündüğümüzde her yıl 1 m derinliğinde 4000 adet futbol sahası (65 x 100 m) kadar yer tutmaktadır, ya da Türkiye’nin şu an için en büyük binasından yaklaşık 40 adet etmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2008 yılında Türkiye’de atık toplama ve taşıma hizmeti verilen belediyelerden toplanan 24,36 milyon ton atığın;

%41,3’ü belediye çöplüğünde,

%9,3’ü büyükşehir belediyesi çöplüğünde,

%1,4’ü başka belediye çöplüğünde,

%1’i açıkta yakılarak, %0,4’ü gömülerek,

%0,2’si dereye ve göle dökülerek bertaraf edilmiş,

%44,9’u düzenli depolama sahalarına,

%1,1’i ise kompost tesislerine götürülmüştür.

Türkiye’de 2008 yılı itibarı ile toplanan kentsel katı atık miktarı 1,15 kg/kişi.gün, 420 kg/kişi.yıl olup ülke nüfusunun %82’si, belediye nüfusunun ise %99’u atık toplama hizmetinden yararlanmaktadır. Belediyelerden toplanan atığın %46’sı düzenli depolama ve kompostlaştırma gibi atık yönetimi mevzuatına uygun yöntemlerle bertaraf edilmekte olup belediye nüfusunun ~%46’sı bu tür tesislerden yararlanmakta, %54’ünün atıkları ise düzensiz (kontROLSÜZ) depolama ve diğer yöntemlerle uzaklaştırılmaktadır. Çevre ve Orman Bakanlığı Atık Yönetimi Eylem Planı’nda (2008-2012), 2012 yılında belediye nüfusunun %70’inin atıklarının düzenli depolama tesislerinde bertarafı öngörülmektedir.

Tehlikeli atık için ise Çevre ve Orman Bakanlığı’nın verilerinde yıllık 1.120.000 ton civarında üretildiği bilgisi vardır. Bu atıklar, katı, sıvı veya gaz halinde olabilir. İZAYDAŞ’ın yaktığı, depoladığı miktar, çimento fabrikalarının ve diğer tesislerin bertaraf ettiği miktar, geri kazanılan ve ihraç edilen tüm miktarın toplamı ise 500.000 ton civarındadır. Kalan kısım için burada bir yorum yapmak mümkün değildir. Ancak Bakanlık kaynaklarında %8 geri kazanım, %47 bertaraf ve kalan %45 kısmı da yeniden kullanıldığı belirtilmektedir.

Dünyada ise 2006 yılı verileri ile yılda 1.9 milyar ton evsel atık üretilmekte ve bunun 1.24 milyar tonu toplanabilmektedir. Buna ek olarak 1.67 milyar ton evsel nitelikli endüstriyel atık üretilmekte ve 1.2 milyar tonu toplanmaktadır. Yine 490 milyon ton endüstriyel tehlikeli atık üretilmekte ve bunun 300 milyon tonluk kısmı toplanabilmektedir. Evsel atıklara baktığımızda daha zengin ülkelerin daha çok atık ürettiği görülmektedir.

Bu rakamlara bakınca gerek dünyada gerekse Türkiye’de artık bir atık sektörü ve buna bağlı bir atık ekonomisi oluştuğunu görmek gerekir. Dünyada toplamadan, geri kazanım ve bertarafı da dikkate aldığımızda 300 milyar EURO büyüklüğünde bir sektör vardır. Yani atık sektörü negatif bir değer olmaktan pozitif bir değer olmaya gitmektedir.

Evsel atık yönetimi konusunda dünyadaki mevcut durum aşağıdaki gibidir. (%)

Ülke Adı	(%) Depolama	(%) Yakma	(%) Geri Kazanım	(%) Kompost
Türkiye (2008)	97,58	0,98	0,29	1,15
Meksika (2006)	96,70	0,00	3,30	0,00
İngiltere (2005)	64,30	8,40	17,40	9,30
İtalya (2005)	54,40	12,10	0,00	33,30
ABD (2005)	54,30	13,60	23,80	8,40
İspanya (2004)	51,70	6,70	9,00	32,70
Fransa (2005)	36,00	33,80	15,80	14,30
Almanya (2004)	17,70	24,60	33,10	17,10
Japonya (2003)	3,40	74,00	16,80	5,80

ATIK BERTARAFI VE ENERJİ

Tehlikeli atık üretiminin ana kaynağı endüstriyel faaliyetlerdir. Bu noktada çevre-sanayi çatışması gündeme gelmektedir. Ülke olarak ne sanayi için çevreden ne de çevre için sanayiden vazgeçmek mümkün değildir. Çevre dostu sürdürülebilir sanayileşme mümkündür. Endüstriyel faaliyetler, etkin doğal kaynak kullanımı ve atıkların düzenli yönetilmesi ile yürütülebilir. Oluşan maliyetin her üretici için ürüne yansması rekabette problem yaratmayacaktır, zira artık çevre bilinci gün geçtikçe artmaktadır.

Doğal kaynakların etkin kullanılması, verimli tüketilmesi ile esasen maliyete de pozitif katkı olacaktır.

Fosil kökenli birincil enerji kaynaklarının arzında yaşanan dalgalanma, rezervlerin sınırlı olması, sera gazları emisyonuna neden olması ve buna bağlı artan enerji fiyatları, yenilenebilir enerji kaynakları başta olmak üzere alternatif enerji kaynaklarının oluşturulması ve kullanımını öncelikli hale getirmiştir.

Bunlardan bir tanesi de entegre atık yönetim hiyerarşisinde yer alan atıklardan enerji üretimidir. Her geçen gün yeni teknoloji ve metodolojilerin geliştirildiği atıktan enerji sektörünün ülkemizde doğru uygulamalar ile ivedi olarak yaygınlaşması açısından sektördeki sorunların dile getirildiği, çözümlerinin analiz edildiği bir ortamın teşkili son derece verimli ve geliştirici bir faaliyet olacaktır.

Enerjiye olan ihtiyacımız, artan enerji talebimiz ve enerjide dışa bağımlılık durumumuz hakkında bu

salondaki herkesin yeterince bilgi sahibi olduğunu düşünüyorum. Primer enerji kaynaklarının sonsuz olmadığı ve önümüzdeki yıllarda ciddi enerji açığı oluşacağı görülmektedir. Türkiye’de ve dünyada enerji yatırımlarının gerekliliği de açıktır.

Görüldüğü üzere, tüm dünyanın karşı karşıya olduğu üç büyük problem vardır:

- Artan atıkların oluşturduğu çevresel problemler,
- Azalan enerji primer kaynakları,
- Artan enerji talebi.

Bütün bunların aynı anda çözümüne katkı vermek için en uygun yol atıktan enerji üretilmesidir. Böylece bu problemler birbirlerine yardımcı olacak şekilde çözülecek ve artan sera gazları salımının azaltılması gibi yan bir fayda da sağlayacaktır.

Bu konuda Türkiye’de ve dünyada var olan uygulamalar kısaca özetlenecek olursa:

ATIK BERTARAFI: DÜZENLİ DEPOLAMA

Atık yönetimi hiyerarşisinde son aşama, atıkların insan ve çevre sağlığına zarar vermeyecek uygun metotlar ile bertarafı olduğunu belirtmiştim. Geri kazanılamayan ve geri dönüştürülemeyen atıkların depolanması suretiyle bertarafı günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır.

Atıkların kontrolsüz-vahşi depolanması alıcı ortamlar olan hava, su ve toprağa giderilmesi güç, bazen kalıcı zararlar verebilmektedir. Çöp sızıntı sularının yer altı sularına karışarak kıt olan su kaynaklarımızı etkisi yüzyıllar sürecektir. Çöp gazının doğrudan atmosfere karışarak küresel ısınmaya sebebiyet vermemesi, toprak katmanında oluşan kirliliğin flora ve faunayı etkilememesi için “Düzenli Depolama” yapılması zorunluluktur. İZAYDAŞ kurulduğundan bu yana 200 bin tona yakın tehlikeli atığı düzenli depolama sahasında bertaraf etmiştir.

Düzenli depolama alanlarında zaman içinde oluşan metan gazının toplanarak enerji üretilmesi mümkündür. Çöp gazı (LFG) olarak anılan bu gaz ile ekonomiye katkı sağlanmakta, böylece patlama riskleri ortadan kaldırılmakta ve metan olarak atmosfere gaz salınmasını önlenmektedir. Bu

uygulama dünyada çok yaygındır. Ülkemizde ise düzenli depolama bile son yıllarda yaygınlaştığı için şimdilik İstanbul, Gaziantep, Bursa ve Ankara’da uygulama bulmuştur. İZAYDAŞ olarak biz de kendi depolama sahamızdaki gazlarından elektrik enerjisi üretimi için ihalemizi tamamlamış bulunmaktayız. Önümüzdeki yıl tesisin devreye alınması planlanmaktadır.

ATIK BERTARAFI; YAKMA

Yakma, en genel şekliyle, bir reaktör hücresinde atıkların oksijen varlığında kurutulması, gaz haline getirilmesi ve yüksek sıcaklıkta parçalanmasının sağlanması olarak tanımlanabilir. Ülkemizde tehlikeli atıkların yakılması ile ilgili esaslar, 14.03.2005 tarih 25755 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde genel hatları ile tanımlanmıştır. Ayrıca son dönemde Avrupa Birliğine katılım sürecinde Çevre Faslı’nın açılması ile birlikte hız alan çalışmalar sonucu 06 Ekim 2010 tarih ve 27721 sayılı Resmi Gazete’de “Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik” yayınlanarak fiili uygulamalarımız teknik detaylarıyla yasal çerçeveye alınmıştır.

Bu atıkların yakılması ile oluşan termal enerji buhar türbininden geçirilerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Atıkların kabulünden yakmaya beslenmesi, yanmanın gerçekleşmesi, yanma sonucu çıkan gazın temizlenmesi filtre edilmesi, kül ve cürufun kontrolü ciddi bir teknik işletmeyi gerektirmektedir. Zaten bu yüzden atıkların herhangi bir yerde değil “atık yakma tesislerinde” yakılması esastır. Atığın fırında kalma süresinden yakılacağı sıcaklığına, çıkan emisyon sınırlarına kadar her aşama yönetmelikle belirlenmiştir. Proses Bakanlık tarafından kontrol ve takip edilmektedir.

İZAYDAŞ Tehlikeli Atık Yakma Tesisi 35.000 ton/yıl kapasitesiyle, tehlikeli atıkların yüksek sıcaklıkta yakıldığı Türkiye’deki lisanslı ilk bertaraf tesisidir. Tesis 1997 yılında devreye alınmış olup halen faaliyetine devam etmektedir. Başlangıçtan bu yana 200 bin tondan daha fazla tehlikeli atık yakılarak 113 milyon kWh fazla elektrik enerjisi üretilmiştir.

ATIK BERTARAFI; BİYOGAZ

Atıktan enerji dönüşümünün bir başka yolu da biyogaz üretimidir. Biyogaz; artık organik maddelerin, anaerobik (havasız) fermentasyonu sonucu açığa çıkan, renksiz ve kokusuz, havadan hafif ve bileşiminin büyük bir kısmını metan (CH₄) ve

karbondioksit (CO₂)'in oluşturduğu bir gaz karışımıdır.

Türkiye’de tarım sektörünün temelini oluşturan tarla bitkilerinden (buğday, arpa, tütün, pamuk, çeltik vb) yıllık olarak yaklaşık 65.000.000 ton tarımsal atık ve hayvancılık kaynaklı 160.000.00 ton yaş gübre oluşmaktadır. Hayvansal ve bitkisel atıklar, çoğunlukla ya doğrudan doğruya yakılmakta veya tarım topraklarına gübre olarak verilmektedir. Ancak atıkların yakılarak ısı üretiminde kullanılması daha yaygın olarak görülmektedir. Bu şekilde istenilen özellikte ısı üretilmediği gibi, ısı üretiminden sonra atıkların gübre olarak kullanılması da mümkün olmamaktadır.

Bir yandan güneş, jeotermal ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaşırken, tarımsal ve hayvansal kaynaklı atıklar ise çevresel açıdan kabul edilebilir en etkili çözüm yöntemlerinden biri olan biyokütle-enerji dönüşüm sistemleriyle enerjiye dönüştürülebilir. Bu sistemlerle hem enerji üretilmekte hem de oluşan son ürün gübre olarak değerlendirilebilmektedir. Enerji kaynağı olan organik atıkların yenilenebilir enerji prosesleri kapsamında değerlendirilerek enerjiye çevrilmesi, enerji üretimi, istihdam, karbon ticareti gibi kazanımlar elde edilmesinin yanında sera etkisi gösteren gazların atmosfere verilmesi engellendiğinden hava kirliliğinin önlenmesine de önemli katkılar sağlamaktadır. Bu uygulama dünyada uzun yıllardır uygulanmaktadır.

Bu kapsamda İZAYDAŞ tesislerinde TÜBİTAK tarafından yapımı devam eden “Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi ve Entegre Enerji Üretim Sistemi Kullanımı” projesi ülkemizde hem enerji eldesi hem de sera etkisi yapan gazların azaltımı konusunda önemli bir girişimdir. 2010 yılı sonlarında sistemin devreye alınması planlanmaktadır. Ayrıca biyogaz konusunda; diğer atıkların ve kombinasyonların çalışıldığı AR-GE boyutunda çeşitli çalışmalar da tesisimizde yapılmaktadır. Bu çalışmalardan patente giden sonuçlar elde edilmektedir.

ATIK BERTARAFI: PLAZMA

Plazma Teknolojisi de çevre dostu bir yöntem ile atıkların bertaraf edilmesi, geri kazanılması ve enerji üretilmesini mümkün kılar. Bu teknoloji ile katı, sıvı veya gaz haldeki her türlü atık bertaraf edilebilir. En

önemli nokta ise, atığın niteliğine göre, işlem sonunda elde edilen ve enerji üretiminde kullanılacak olan “Sentetik Gaz”ın miktar ve özelliğidir.

Elde edilen sentetik gaz; bir türbin sayesinde elektrik enerjisine çevrilebilmekte, üretilen elektriğin bir kısmı tesis ihtiyacı için kullanılırken kalan kısmı ise kullanılmak üzere satışa sunulabilmektedir. Bu uygulama büyük ölçekte pek yaygın değildir.

ATIK BERTARAFI: PİROLİZ

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak küçük moleküllü bileşiklere parçalanması olayıdır. Doğru uygulanan piroliz yönteminde sisteme ya hiç oksijen verilmez, ya da işlemin yürümesi için gerekli ısının teminine yetecek kadar oksijen verilir. Isının etkisi ile bertaraf edilmek istenilen atıklar, yanıcı bir gaza ve bir miktar katı atığa dönüşür. Piroliz yönteminin en önemli avantajı düşük oksijen ihtiyacıdır. Bu şekilde tesis daha küçük boyutlandırılabilirken aynı zamanda işletme esnasında daha az yakıtı ihtiyaç duyulur. Buna karşılık bu yöntem çok pahalı olup ciddi önlemler alınmadan kontrolsüz hava girişinin önlenmesi mümkün değildir.

DEĞERLENDİRME

Konu atık ve çevre olunca genelde gelişmiş ülkeler, dünyaya dersler vermeye çalışmaktadır. Bu noktada yeterince dürüst olmadıklarını en iyi kendileri bilmektedir. Çok yakın zamana kadar Afrika’daki çöllere (Fas) atık depolaması yapan, tehlikeli atık yüklü gemileri önce bize göndermeye çalışan, sonra da Afrika açıklarında (Nijerya-Gana) okyanusta batıran ülkeler kendilerini de değerlendirmek durumundadır. Bu ülkeler sanayileşme süreçlerini tamamladılar. Şimdi de diğer ülkelere bu konuda jandarmalık yapmaya çalışıyorlar. Bu bilinen ülkelerin sanayileşme uğruna çocuk işçiler çalıştırmaları, kadınları, zencileri günde 15-20 saat çalıştırmaları, ölümle sonuçlanan kazaları, unutulmuş değildir. Ancak biz kötü örnekleri sadece ders almak için kullanırız. Sanayileşmemizi ve gelişmemizi, çevreden de insan haklarında da vazgeçmeden başarabiliriz.

Sonuç olarak; evsel ve endüstriden kaynaklanan evsel atıkların düzenli depolanması yerine, nihai bertaraf

tesisleri devreye alınmalıdır. Bu tesislerde, ekonomik ve ticari değeri olan malzemeler üretilmekte, ekonomiye katkıda bulunmaktadır. Bu üretim teknolojilerinin en önemlileri bahsettiğimiz gibi; yakma, piroliz, plazma, biyogazlaştırma, ve bunların çeşitli kombinasyonlarıdır. Ürünler de kompost, RDF, bioetanol, gaz ve elektrik enerjisi gibi ürünlerdir. Ülke genelindeki toplam tüketim ve gerekse nihai artıklara bakıldığında, en verimli bertaraf yöntemi atıkların termal olarak bertaraf edilip elektrik enerjisi üretilmesidir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Endüstriyel ve kişisel ihtiyaçlarımızı ister istemez gidermek durumundayız. Bu sırada bütün kaynakları verimli kullanmak ve atık hiyerarşisine uyarak mümkün olan en az atığı üretmek ve ayrıştırılmasını sağlamak gerekir.
2. Katı atıkların toplama ve bertarafında il ölçeğinde yönetim sistemi uygulamaya konmalıdır.
3. İlgili mevzuatlarda gerekli düzenlemeler yapılarak atık sanayi sektörünün önü açılmalıdır. Bu tür yatırımlar özel sektör desteği ile güçlendirilerek kurulmalı ve işletilmelidir. Böyle bir ortamda Belediyeleri, kentsel atıkları bertaraf edebilmek, özel sektörü de endüstriyel atıkları bertaraf edebilmek için, teşvik ve destek vermek gerekmektedir.
4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları teşvik kapsamında; bu atıkların bertarafı sonucu elektrik enerjisi üretmek amacı ile, “Atıktan Enerji Üretimi” başlığı konulması ve destekleyici bir fiyat belirlenmesi uygun olacaktır.
5. Enerji üretimi geri kazanımdır, yenilenebilir bir kaynaktır, teşvik edilmelidir. Bu teşvik ile bertaraf tesislerine yatırım yapılması kolaylaşacaktır. İster Belediyeler kendileri yatırımı üstlensin, ister yap-işlet modeli ile yatırımı özel firmalara yaptırsın, makul maliyet ile bertaraf işlemi sağlanacaktır. Öte yandan, bu tür tesislerin AB fonlarından kredilendirilmesi mümkün olacağından, olası karbon kredisi imkanı da açılmış olacaktır.
6. AB ve uluslar arası finans örgütlerinin ülkemize sağlayacağı finans kaynaklarını doğru ve akılcı

politikalarla, zaman kaybetmeksizin kullanmamız gerekmektedir. 2023 yılına kadar GSMH’nın % 0,7 ‘sinin çevresel yatırımlara ayrılması ile AB normlarını sağlamak mümkündür.

7. Havamızı, suyumuzu ve toprağımızı korumak ve daha kaliteli ve temiz hale getirmek için başta kamu kurumları olmak üzere özel sektör üzerine düşen görevi kademeli olarak yerine getirmelidir. Çevresel aktiviteleri güçlü yapıya dönüştürerek ülkemizde çevre sanayi sektörünü geliştirmeliyiz.
8. Özellikle tehlikeli atık dikkate alındığında atık kontrolü sıkılaşmalıdır. Tüm atıkların kontrollü bertarafı sağlanmalıdır.
9. Sektör, kesinlikle açık ve şeffaf bir işbirliği yapmalıdır, bilgi paylaşmalıdır. Ortak çözüm ve imkanlar kullanılmalıdır. Çeşitli kongre, sempozyum ve organizasyonlarla bilgi kirliliği ortadan kaldırılmalı ve bilgi üretilip paylaşılmalıdır.

KARŞIT KUPLAJLI ANAHTARLI RELÜKTANS MAKİNASI İÇİN ASİMETRİK H TİPİ YARIM KÖPRÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN ANAHTARLAMA KAYIPLARININ İNCELENMESİ

Cihan ŞAHİN¹

Ayşe ERGÜN AMAÇ²

Mevlüt KARAÇOR³

^{2,3}Elektrik Eğitimi Bölümü

Teknik Eğitim Fakültesi

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi, 41380 İzmit.

¹Elektrik ve Enerji Programı

Tosya Meslek Yüksekokulu, Tosya, Kastamonu

¹e-posta: cihansahin1980@yahoo.com

ayseergun@kocaeli.edu.tr

mevlutkaracor@gmail.com

Anahtar sözcükler: ARM, KKARM

ÖZET

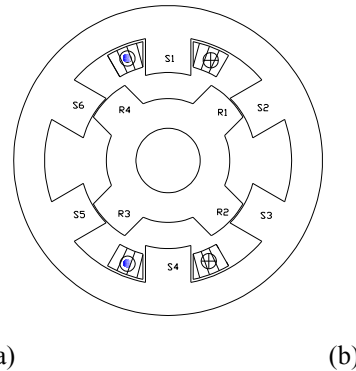
İlk Anahtarlı Relüktans Motoru (ARM) 1838 yılında üretilmesine rağmen, kontrolünün zor olması nedeniyle 1970'li yılların sonlarına kadar yaygınlaşamamıştır. 1960'lı yıllardan itibaren güç elektroniği ve yarıiletken anahtarların gelişmesi, ARM'nin kontrolünü kolaylaştırmış ve ARM sürücülerine olan ilginin artmasına neden olmuştur [1]. ARM stator dişleri etrafına sarılan kısa kutup adımlı sargılardan oluşur. Bu sargı yapısı, 1993 yılında Mecrow'un ARM performansını arttırmak amacıyla yaptığı çalışmalarla farklı bir boyut kazanmıştır. Mecrow çalışmasında ilave sargı kullanmaksızın makine sargılarında basit değişiklikler yapmıştır. Bu değişikliklerle makinenin pozitif moment üretimi arttırılmıştır. Burada moment, fazlar arasında oluşan karşıt kuplajın rotor konumuna göre değişimiyle elde edilmiştir. Mecrow'un önerdiği sargı yapısıyla makinenin performansı artmış; moment dalgalılığı, kontrol zorluğu gibi bazı dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada 3 fazlı, 6/4 kutuplu 100 W Karşıt Kuplajlı Anahtarlı Relüktans Motoru için asimetrik H tipi köprü doğrultucunun spice tabanlı modeli çıkartılmış, anahtarlama kayıpları analiz edilmiştir.

1. GİRİŞ

ARM'ler oldukça basit bir yapıya sahiptir. Sadece statorunda sargı bulunan ARM'lerin, rotorunda sargı ya da mıknatıs yoktur. ARM'ler üzerine son yıllarda çok fazla çalışma yapılmasının en önemli nedeni, yapısının basit ve maliyetinin düşük olmasıdır [2]. ARM'nin en büyük dezavantajı; AA ve DA kaynaklardan doğrudan beslenememesi ve elektronik olarak anahtarlama olmasıdır [2]. ARM'ler, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, demiryolu ve hafif raylı sistem araçlarının tahriği, ev aletleri (süpürgeler, beyaz eşyalar...vb), genel amaçlı endüstriyel sürücüler, servo sistemler, robot uygulamaları, özellikle dış rotorlu yapısıyla kompresör, fan, pompa, santrifüj tahriği gibi geniş bir kullanım alanına sahiptirler [3]. Ayrıca ARM'nin alternatif enerji

kaynakları ile çalışan taşıtlarda da kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

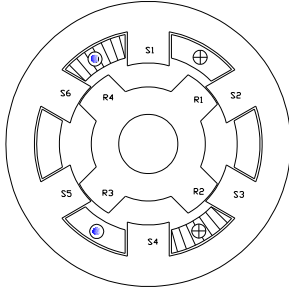
ARM'lerde moment, rotor ve stator arasındaki hava aralığına bağlı olarak değişen Relüktansa göre üretilmektedir. ARM'de uygun durumda olan faz; doğru gerilimle uyarıldığı anda, hareketli olan rotor, devrenin relüktansını azaltacak yönde hareket eder. Sargıların sırayla uyarılmasıyla rotorun dönüşünde süreklilik sağlanır. Şekil 1'de 6/4 ARM'nin stator-rotor yapısı gösterilmiştir. ARM stator dişleri etrafına sarılan kısa kutup adımlı sargılardan oluşur [4]. Bu sargı yapısı, 1993 yılında Mecrow'un ARM performansını arttırmak amacıyla yaptığı çalışmalarla farklı bir boyut kazanmıştır. Mecrow çalışmasında ilave sargı kullanmaksızın makine sargılarında basit değişiklikler yapmıştır. Bu değişikliklerle makinenin pozitif moment üretimi arttırılmıştır. Burada moment, fazlar arasında oluşan karşıt kuplajın rotor konumuna göre değişimiyle elde edilmiştir. Şekil 1'de ARM genel sargı yapısı görülmektedir.



Şekil 1: Klasik Anahtarlı Relüktans Makinası

Mecrow tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada ortalama çıkış momenti klasik ARM lere göre %20-30 daha fazladır. Mecrow'un gerçekleştirdiği bu ARM modeli Tam Kutup Adımlı ARM (Fully Pitched SRM) veya Karşıt Kuplajlı ARM (Mutually Coupled SRM)

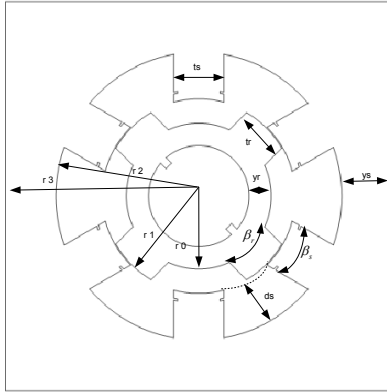
olarak adlandırılmıştır [4]. Şekil 2’de KKARM genel sargı yapısı görülmektedir.



Şekil 2: Karşıt Kuplajlı Anahtarlı Relüktans Makinası

2. MAKİNA TASARIMI VE MAXWELL 2D ORTAMINDA STATİK ANALİZİ

Analizi gerçekleştirilen makine, 3 faz 6/4 kutuplu ortalama 100 W gücünde kare stator yapısına sahip küçük güçlü olarak tasarlanmıştır. Makinanın genel ölçüleri “Matlab GUI Based SRM Design Program” ile elde edilmiştir [5]. Şekil 3’de önerilen makinanın geometrik yapısı verilmektedir. 100 W 6/4 KKARM nin ölçüleri ise Tablo 1’de sunulmuştur.



Şekil 3: 100 W KKARM

Sembolü	Değeri	Sembolü	Değeri
r_0	18.75 mm	y_s	13 mm
r_1	24.5 mm	y_r	5.75 mm
r_2	37 mm	d_s	12.00 mm
r_3	50 mm	d_r	5.75 mm
t_s	13.05 mm	β_r	30°
t_r	13.05 mm	β_s	30°
g	0.5 mm		

Tablo 1: KKARM geometrik değerleri

Çalışmada, klasik ARM ve KKARM, Maxwell 2D paket programında “Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)” analiz edilmiştir. Klasik ARM ve KKARM’nin farklı akımlarda, moment, akı ve endüktans değişimleri incelenmiştir.

KKARM ‘da her zaman en az iki faz iletimde olduğundan, kayıplar klasik ARM’ye göre daha fazladır. Bu kayıplar hem sargılarda, hem de gerekli önlemler alınmazsa dönüştürücüde artar. Klasik ARM ile KKARM’yi etkin bir şekilde karşılaştırma yapabilmek için kayıpların eşitlenmesi gerekir [4]. Klasik ARM ve KKARM için bakır kayıpları sırasıyla eşitlik 1 ve eşitlik 2 de gösterilmiştir. Klasik ARM ‘k’ KKARM ise ‘tk’ (tam kalıp) olarak sembolize edilmiştir[6].

$$P_k = \frac{1}{3} * i_k^2 * R_k \dots\dots\dots [1]$$

$$P_{tk} = \frac{2}{3} * i_{tk}^2 * R_{tk} \dots\dots\dots [2]$$

KKARM nin faz direncinin, klasik ARM’nin faz direncinden %60 oranında daha yüksektir [6].

$$R_{tk} = 1,62 * R_k \dots\dots\dots [3]$$

Eşitlik [1] ve [3] de yerine yazılmasıyla, KKARM ve klasik ARM’nin akımları arasındaki ilişki

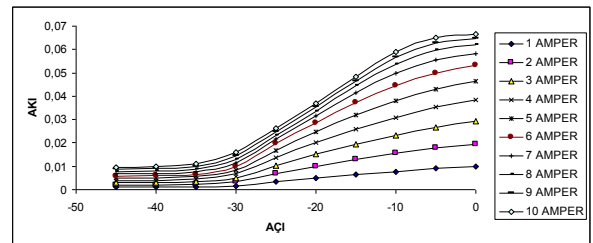
$$i_t = 0,559 * i_s \dots\dots\dots [4]$$

Şeklinde bulunur. Böylece klasik ARM ve KKARM’nin eşit bakır kayıplarında karşılaştırılabilmesi için gerekli eşitlikler elde edilmiştir.

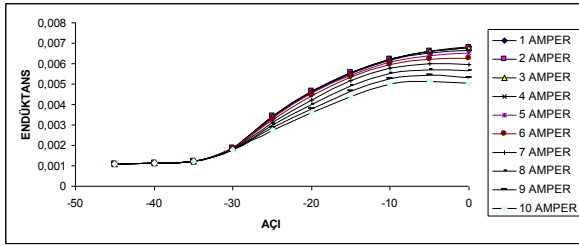
2.1. Analiz Sonuçları

2.1.1 Klasik ARM’ye ait analiz sonuçları

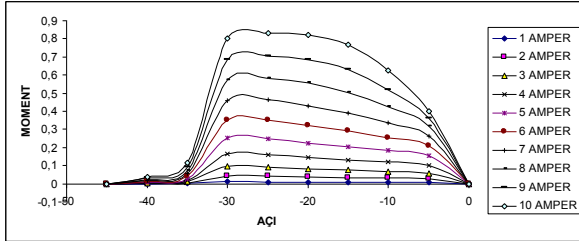
Maxwell 2D ile gerçekleştirilen analiz sonucunda Şekil 4’de sırasıyla klasik ARM’ye ait akı, endüktans ve moment eğrileri ,Şekil 5’de akı dağılımı görülmektedir.



Şekil 4-a

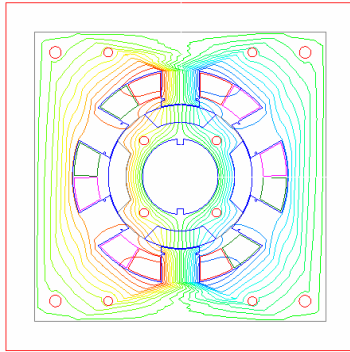


Şekil 4-b



Şekil 4-c

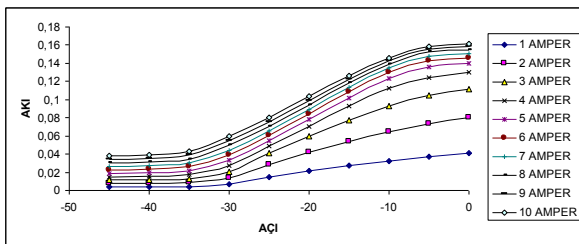
Şekil 4. ARM a) Akı b) Endüktans c) Moment eğrileri



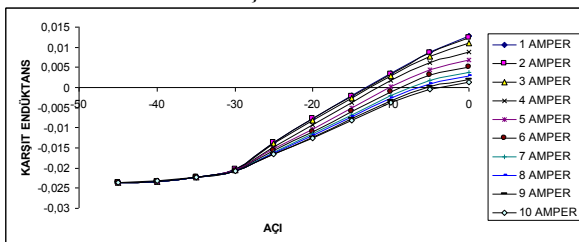
Şekil 5. ARM 45°-10 Amperdeki akı dağılımı

2.1.2 Karşıt Kuplajlı ARM'ye ait analiz sonuçları

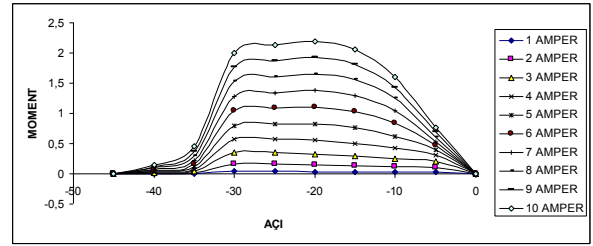
Maxwell 2D ile gerçekleştirilen analiz sonucunda Şekil 6'da sırasıyla KKARM'ye ait akı, karşıt endüktans ve moment eğrileri, Şekil 7'de akı dağılımı görülmektedir.



Şekil 6-a

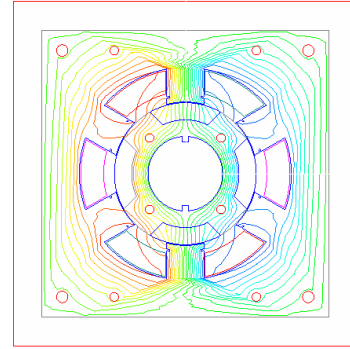


Şekil 6-b



Şekil 6-c

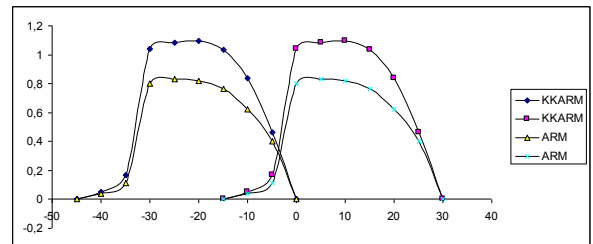
Şekil 6. KKARM a) Akı b) Karşıt Endüktans c) Moment eğrileri



Şekil 7. KKARM 45°-10 Amperdeki akı dağılımı

2.1.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

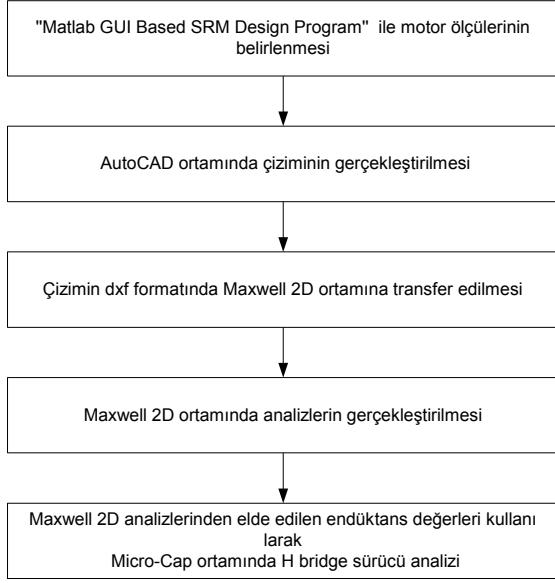
Analiz sonucunda elde edilen eğrilerin karşılaştırılması için eşitlik 4 den yararlanılmıştır. Burada KKARM'ye ait 6 Amper'deki moment ile, Klasik ARM'nin 10 Amper'deki momentini karşılaştırılmış, KKARM'nin momentini Klasik ARM'nin momentine değerine %30 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8'de moment eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 8. ARM- KKARM moment eğrilerinin karşılaştırılması

3. GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMA

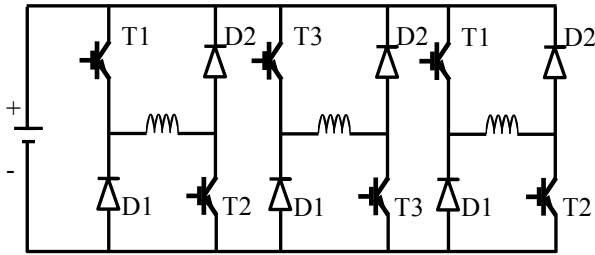
KKARM denetimi için kullanılacak H tipi yarım köprü dönüştürücü modellemesi spice tabanlı Micro-Cap ortamında gerçekleştirilmiştir. Micro-Cap programının tercih edilmesinin en önemli nedeni, geniş ve gerçekte kullanılan devre elemanlarının spice tabanlı modellerini içermesidir. Yapılan çalışmada sargı endüktans değerleri Maxwell 2D analizi sonuçlarından alınmıştır. Yapılan çalışmanın akış şeması Şekil 9 da gösterilmiştir.



Şekil 9. Gerçekleştirilen çalışmanın akış diyagramı

3.1 Asimetrik H tipi yarım köprü dönüştürücü

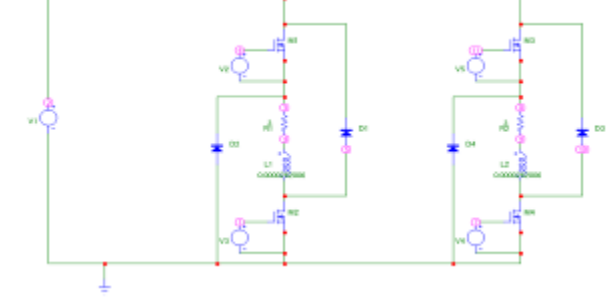
Şekil 10'da görülmekte olan asimetrik yarım köprü dönüştürücüde pozitif gerilim döngüsünde, faz sargısı anahtarlarının her ikisi de iletimdedir. Örneğin Faz A için T1 ve T2 aynı anda iletimdedir ve sargıdaki akım hızlı bir şekilde artar. Sıfır gerilim döngüsünde ise sadece bir anahtar iletimdedir (T1 kesimde), Faz sargısındaki akım T2 ve D2 üzerinden akmaya devam eder. Negatif gerilim döngüsünde ise, her iki anahtar da kapalıdır ve sargı üzerinde birikmiş enerji diyotlar üzerinden kaynağa geri yollar (D1, D2).



Şekil 10. Üç fazlı asimetrik H tipi yarım köprü dönüştürücü

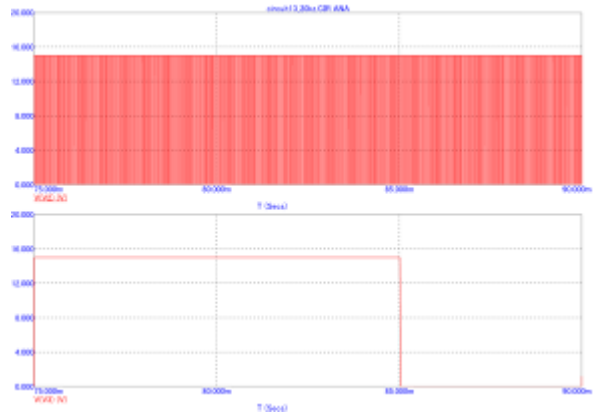
3.2. Devrenin Micro-Cap ortamında analizinin gerçekleştirilmesi.

Devrede Anahtar olarak Mosfet IRFP460 kullanılmıştır. Şekil 11 de Micro-Cap programında tasarlanan devre benzetimi gözükmemektedir. KKARM denetimi için devrede aynı anda iki faz etkin olacağından A ve B fazları incelenmiştir.



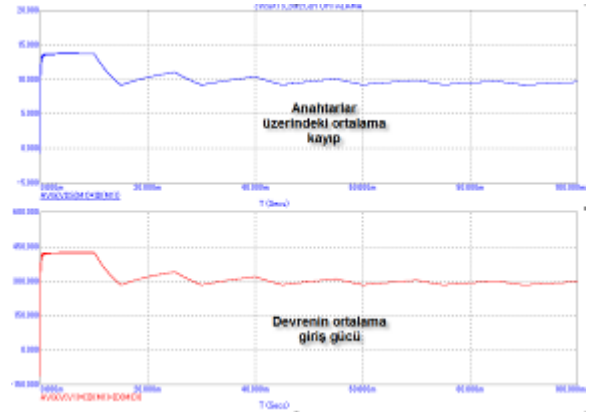
Şekil 11. Sürücü devresinin Micro-Cap ortamında benzetimi.

Benzetimi gerçekleştirilen devrede anahtarlar 20 KHz frekans altında kontrol edilmiştir. Aynı fazı kontrol eden iki anahtardan biri kıyıcı modda çalışırken diğer anahtar histerisiz denetimini sağlamıştır. Denetlenecek motorun ortalama gücü 100 Watt olacağından ve düşük gerilim altında çalışıldığından Mosfet tercih edilmiştir. Şekil 12'de kıyıcı modda çalışan M1 ve histerisiz denetimi gerçekleştiren M2 anahtarına ait tetikleme sinyalleri görülmektedir.



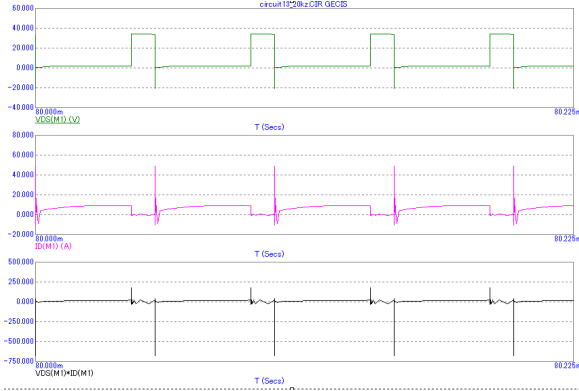
Şekil 12. M1 (V(V2)) ve M2 (V(V3)) anahtarları tetikleme sinyalleri.

Şekil 13'de devrenin ortalama giriş gücü ve anahtarlar üzerinde kaybolan ortalama güç eğrileri verilmektedir.



Şekil 13. Anahtarlar üzerindeki ortalama güç kaybı ve devrenin ortalama giriş gücü

Şekil 14’de anahtar üzerindeki akım-gerilim ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 14. M1 anahtarına ait Akım-Gerilim ve Güç değişimleri

Benzetişimden alınan eğriler incelendiğinde anahtarlama kayıpları devrenin giriş gücünün %7 sine denk gelmektedir. Meydana gelen bu kayıpların yanında, anahtarların iletim ve kesim geçişlerinde ani güç kaybının yüksek değerlerde olması anahtar ömürlerini kısaltmaktadır. Bu dezavantajlar göz önüne alındığında devreye eklenecek bastırma hücrelerinin kayıpların giderilmesinin büyük etken olacağı düşünülmektedir. Ayrıca eklenen hücreler sayesinde geçişler esnasında engellenen yüksek ani güç kaybı sayesinde anahtar ömürlerinde de artış sağlayacağı düşünülmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken önemli nokta bastırma devresinin getireceği ek külfettir. Bu külfetin en düşük seviyede tutulması gerekmektedir. Böylece düşük maliyetle kayıpların giderilmesi sağlanacaktır.

4. SONUÇ

Anahtarlama relüktans makinasının sargı yapısı değiştirilerek elde edilen KKARM veya diğer adıyla Tam adım sargılı Relüktans makinası klasik relüktans makinalarına göre % 20-30 daha yüksek moment sağlamaktadır. Daha yüksek moment sağlamasının en büyük etkeni aynı anda iki fazın devrede olmasıdır. Aynı anda iki fazın devrede olması anahtarlama

kayıplarını klasik ARM sürücüsüne göre iki katın a çıkarmaktadır. Bu durum güç elektroniğinde istenmeyen bir durum olmaktadır. Bu kayıpların giderilmesi için değişik yumuşak anahtarlama kayıpları uygulanabilir. Böylece yüksek moment elde edilen KKARM motorlarının sürücü noktasındaki kayıplarının da giderilmesiyle bu motorlara olan ilginin artacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yadlapalli, N., “Implementation of a novel soft switching inverter for switched reluctance motor drivers”, Yüksek lisans tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University, Electrical Engineering, Blacksburg Virginia (1999).
- [2] Ünlü, M., “Anahtarlı Relüktans Makinasının Simülasyonu ve Dinamik Davranışı”, Yüksek lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006.
- [3] Çoruh, N., “Küçük Güçlü Bir Anahtarlı Relüktans Motorunun Sürücü Devresi Tasarımı”, Yüksek lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2005.
- [4] Garip, S., “Kutup Başları Şekillendirilmiş Anahtarlama Relüktans Motorunda Tam Kutup Adımlı Sargının Moment Dalgınlığının İyileştirilmesine Katkısı”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
- [5] Kuyumcu, F. E., Karaçor, M., "Matlab GUI Based SRM Design Program", " ACEMP'07, International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics and Electromotion Joint Conference, Bodrum, Cilt I, p.p. 846-848, 2007.
- [6] Ozoglu, Y., Garip, M., Mese, E., "New Pole Tip Shapes Mitigating Torque Ripple in Short Pitched and Fully Pitched Switched Reluctance Motors", 37th IAS Annual Meeting Industry Applications Conference, IEEE, 43-50 Pittsburgh PA USA, 2002.

ZIT DEVİNİMLİ ROTORLAR İÇEREN YEL TÜRBİNLERİNİN VERİME VE GÜÇ KALİTESİNE ETKİSİ

Emin Yıldırım¹ ve Güven Önbilgin²

¹Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Meslek Yüksekokulu
58140 SİVAS
eyildiriz@cumhuriyet.edu.tr

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 55139 SAMSUN
gonbilgi@omu.edu.tr

Özet

Enerji kaynaklarının azalmasına karşın istemin her geçen gün artması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi ve enerji verimliliğine verilen önemi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yel enerjisi en çok yatırım yapılan enerji kaynağıdır. Ancak yel türbinlerinin verimliliği çok iyi değildir. Türbin verimliliğini arttırmak için zıt devinimli olarak çalışan türbinler kullanılabilir. Böylece aynı ölçüdeki türbinden daha fazla enerji sağlanabilir. Zıt devinimli rotorlar generatöre doğrudan bağlanabileceği gibi, bir episilik dişli ile de bağlanabilir. Yel türbinlerinde en çok asenkron generatörler kullanılır. Çift beslemeli asenkron generatörün rotor bileziklerine bağlanan eviricinin genlik ve sıklığı denetlenerek, generatörün çıkış geriliminin genliği ve sıklığı değişmez tutulabilir. Bu çalışmada zıt devinimli rotorları olan bir yel türbininin verimi ve çift beslemeli bir asenkron generatörün (ÇBAG) çıkışındaki gerilim ve sıklığın mil hızı ve yük değişimlerine karşın değişmez olarak tutulması incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yel Türbini, Zıt Devinimli çalışma, Çift beslemeli Asenkron Generatör.

Abstract

Despite a decrease in energy resources, the increase in demand enhances the importance of renewable energy sources and energy efficiency. Wind energy is the most invested type of renewable energy sources. But the efficiency of the wind turbine is not very good. To increase the efficiency of the turbine, counter-rotating rotors can be used. Thus, more energy can be generated with the same-sized turbines. Counter-rotating rotors, can be connected directly to the generator or through an epicyclic gear box. Induction generators are the most widely employed generators in wind turbines. The amplitude of generator's voltage and frequency can be kept constant by controlling the inverter voltage and frequency. The inverter is connected to the slip rings

of a doubly fed induction generator(DFIG). In this study, the efficiency of counter rotating wind turbine efficiency is assessed and the means to keep the amplitude and frequency at the DFIG's output voltage is discussed.

1. Giriş

Günümüzde en gözde yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş, ve yel enerjisi gelmektedir. Yel enerjisinde, tek bir rotordan çıkartılabilecek kuramsal güç, en çok %59.3'tür. Uygulamada bu verim genelde yaklaşık olarak %30 dur. Aynı rotor boyutundan daha çok güç üretebilmek ya da aynı güç için daha küçük rotor çözümleri kullanabilmek için, zıt devinimli rotorlar kullanılmaktadır. Zıt devinim, türbinin tek bir yanında bulunan ve aynı yönde devinim yapan iki rotordan ya da zıt yönde devinim yapan iki rotordan oluşabileceği gibi, türbinin iki tarafında birer adet bulunan aynı yönde devinim yapan iki rotordan veya zıt yönde devinim yapan iki rotordan oluşabilir. Böylece kuramsal olarak % 80'in, uygulamada da da %50'nin üzerine çıkan verimler elde edilir. Ardı ardına dizili (Tandem) yel rotorları ile etkin yel hızı değişmez tutulabilir. Böylece güç kalitesi artırılır. Bir başka zıt devinimli çalışma olarak, zıt yönde dönen yel rotorları episiklik dişli dizgesi ile generatör miline bağlanabilir.

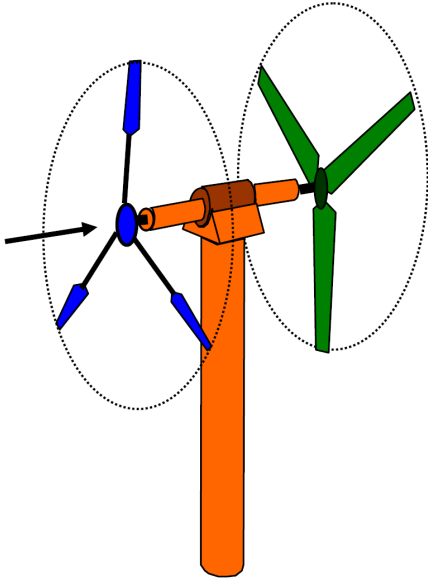
Yel türbinlerinde en çok kullanılan generatör tipi asenkron generatördür. Yapısının sağlam ve ucuz olması, az bakım gerektirmesi başlıca üstünlükleridir. Ancak yüke bağlı olarak çıkış geriliminin genliğinin ve sıklığının değişmesi enerji kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, değişmez genlik ve sıklık sağlayan denetimli çift beslemeli asenkron generatörler yeğlenir.

2. Zıt Devinim Kuramı

Zıt devinimli öğeler, deniz araçları itki dizgeleri, yel türbinleri, akıntı türbinleri, helikopter ve uçaklarda

akış deviniminin verimliliğini arttırmak için kullanılmaktadır.

Yel türbinlerinde tek bir rotordan elde edilebilecek kuramsal verim %59,3'tür. Buna Betz sınırı denir. Ancak uygulamada bu verime ulaşılamaz. Çoklu disk kuranı ile kuramsal verim %66,7'e, rotor iç boşluklarının uygun oranda kaldırılmasıyla %81,4'e ve uygulamadaki verim ise %50'in üzerine çıkartılabilmektedir. Birbirine zıt yönde dönen iki rotordan oluşan bu dizgede, ana rotorun ölü bölge olarak adlandırılan iç kısmı çıkartılıp bu bölgeden yararlanılan, genelde ana rotordan daha küçük boyutta bir yardımcı rotor kullanılır. Böylece yelden daha etkin bir şekilde enerji üretimi sağlanır. Verim, rotorların çap oranlarına, rotorlar arasındaki uzaklığa ve ana rotorun iç boşluğuna bağlıdır. Şekil 1'de zıt devinimli rotorlar ile bir yel türbini görülmektedir [1,2].



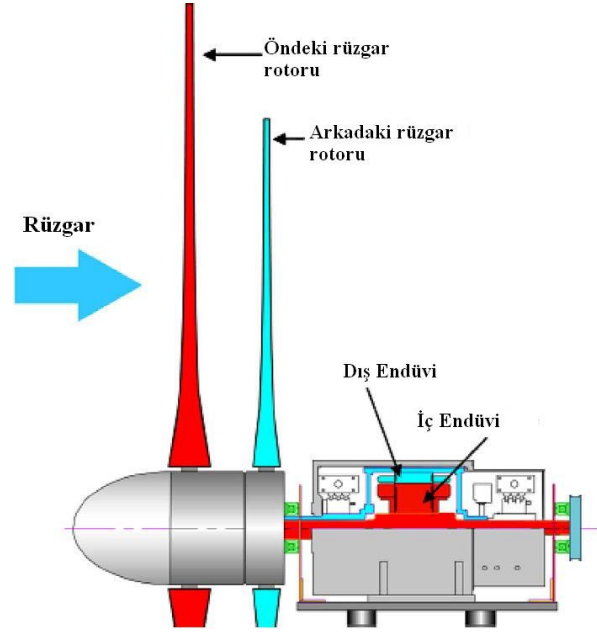
Şekil 1: Zıt devinimli rotorlar ile bir yel türbini yapısı

3. Çift Beslemeli Asenkron Generatör

Sağlamlığı, ucuz olması, DA uyarım devresi gerektirmemesi, aşırı yüklere ve kısa devrelere karşı kendiliğinden koruma göstermesi, geniş bir hız aralığında çalışabilir olması yel türbinlerinde asenkron generatörün kullanımını arttırmıştır. Fakat bu generatörlerde çıkış geriliminin ve frekansının yükte değişmesi güç kalitesini olumsuz olarak etkiler. Bu nedenle asenkron generatörler güç elektroniği dönüştürücüleri ve denetleyiciler ile birlikte kullanılır. Asenkron generatörün enerji üretebilmesi için tepkin güce gereksinimi vardır. Şebekeye bağlı uygulamalarda bu güç şebekeden sağlanırken, şebekeden bağımsız türlerde sığaç grupları kullanılır. Zıt devinimli rotordardan biri iç endüviye diğeri de dış endüviye bağlanabileceği gibi episikik dişli dizgesi ile iki devinim birleştirilerek generatör miline

aktarılabilir. [2]. Şekil 2'de zıt devinimli rotorlar ile asenkron generatörün dişli kutusuz bağlantısı görülmektedir. Ön ve arkadaki yel rotorları sırasıyla iç ve dış endüvilere doğrudan bağlanmıştır [3].

Dişli kutusuz generatörlerde kutup sayısı artırılmalıdır. Ancak; asenkron generatörlerin çok kutuplu olarak dişli kutusuz yel türbinlerinde kullanılması uygun değildir. Çünkü çok kutuplu bir asenkron generatörde mıknatıslanma endüktansı oldukça küçüktür [4]. Bu durum da generatör veriminin düşük olmasına neden olur.



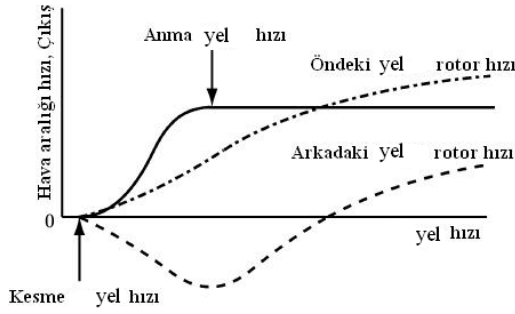
Şekil 2: Zıt devinimli rotorlar ile çift beslemeli Asenkron Generatör

4. Üretilen Gerilim Genliği ve Sıklığının Denetimi

Şekil 2'deki gibi 'Tandem' yel rotorları doğrudan asenkron generatörlerin iç ve dış rotor millerine bağlandığında, her iki yel rotoru da kesme yel hızı olarak tanımlanan düşük yel hızında dönmeye başlar. Ama arkadaki yel rotorunu, öndeki yel rotoruna göre zıt yönde döner. Yel hızının artması, her iki dönüş hızını da artırır ve arkadaki yel rotorunun dönüş hızı, boyutunun daha küçük olması nedeniyle, öndeki yel rotorunun dönüş hızından daha fazla olmaya başlar. Arkadaki yel rotoru anma yel hızında olabilecek en büyük dönüş hızına ulaşır. Yel hızının daha da artmasıyla, arka yel rotoru giderek yavaşlar ve öndeki yel rotoruyla aynı yönde dönmeye başlar. Bu çalışma koşulları, anma çalışmasında geleneksel fren ve/ya eğim denetim düzenekleri olmadan, üretilen gerilimin sıklığını değişmez tutarak güç kalitesini sağlayabilir [6].

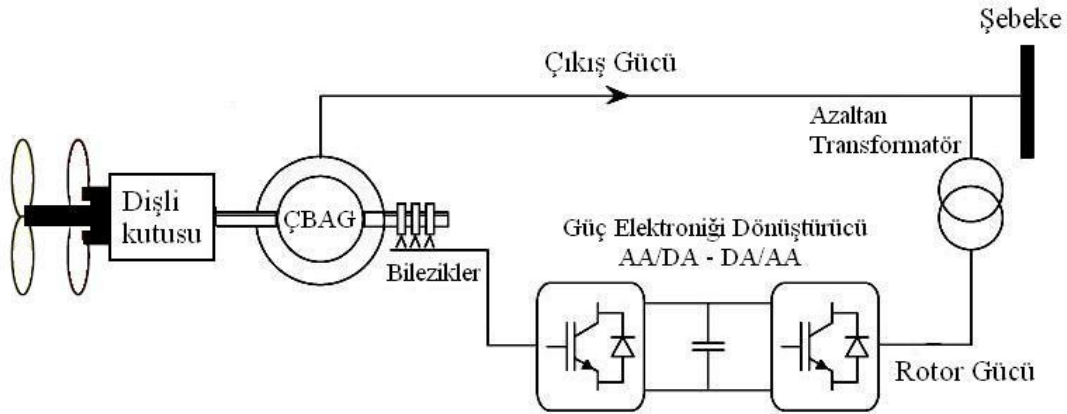
[6]'da belirtildiği gibi, yel rotorları generatörün hava aralığı hızını değişmez tutacak şekilde tasarlanabilir. Yel rotorları hava aralığı hızının dönme momenti ile

çarpımını değişmez tutacak şekilde tasarlandığında ise çıkış gücü değişmez tutulabilir (Şekil 3).



Şekil 3: 'Tandem' rotorlar ile zıt devinimli çalışma

Güç kalitesini arttırmak için yapılabilecek bir başka çalışmada, zıt devinimli rotorlar bir episilik dişli kutusu ile asenkron generatörün miline bağlanabilir. Şekil 4'te görüldüğü gibi asenkron generatörün rotoruna uygulanan güç, evirici ile denetlenmektedir. Eviricinin çıkış gerilimi ve frekansı ile asenkron generatörün çıkış gücünün kalitesi artırılabilir. Frekansı 60 Hz olan 8 kutuplu, 1,2 kW gücünde bir asenkron generatörün çıkışına yük bağlandığında, çıkış gerilimini 200 V'da sabit tutmak için eviricinin frekans ve geriliminin yükte değişimi Şekil 5'de verilmiştir [7].



Şekil 4: Zıt devinimli, Dişli Kutulu, Çift Beslemeli Asenkron Generatörlü Yel Türbin Dizgesi

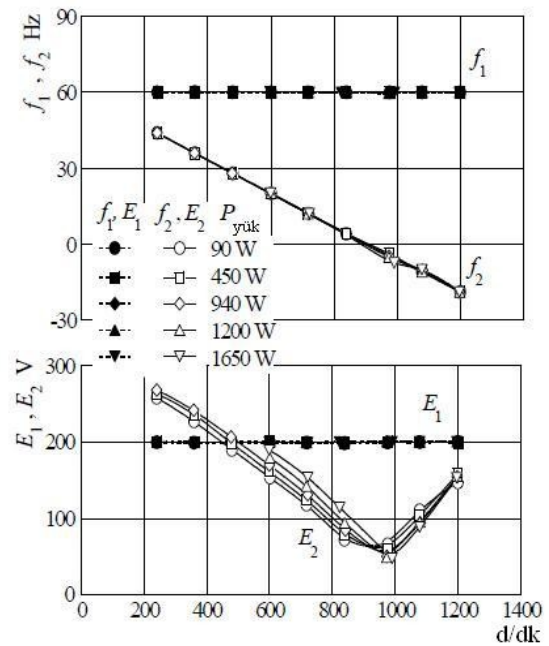
Burada E_1 ve f_1 generatörün çıkış gerilim ve sıklığı, E_2 ve f_2 rotor uçlarına bağlanan eviricinin gerilim ve sıklığıdır. Yükleneceğe bağlı olarak oluşan sıklık değişimi çok az olurken, gerilimdeki değişim biraz daha fazladır.

Generatörün mil hızı senkron hızın üzerine çıktığında; f_2 sıklığı, magnetik alanın dönüş yönünün değişmesi nedeniyle yükten bağımsız olarak eksi olur.

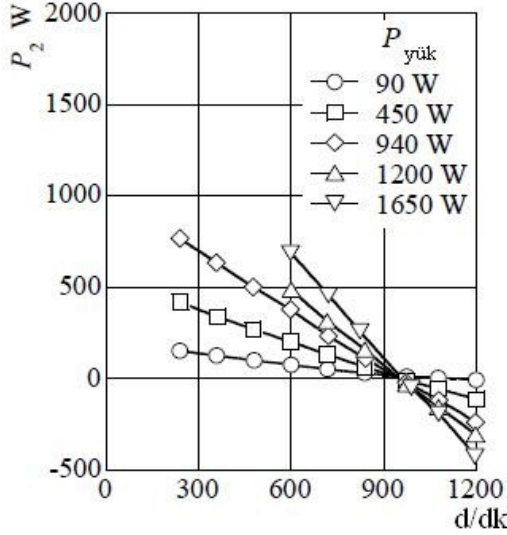
E_2 gerilimi, dönüş hızından ve yük değişimlerinden etkilenir. Dönüş hızı senkron hızın üzerine çıktığında rotor gücü eksi olur. Bu durumda generatörün net çıkış gücü;

$$P = P_1 - P_2 \quad (1)$$

Burada P_1 stator gücü, P_2 rotor gücüdür. Şekil 6'da, rotor gücünün yük ile ve mil hızıyla değişimi görülmektedir [7].



Şekil 5: Yüke bağlı olarak evirici gerilim ve sıklığının değişimi



Şekil 6: Mil hızına bağlı olarak rotor gücünün değişimi

5. Sonuç

Yel türbinlerinde en yüksek kuramsal verim %59,3'tür. En iyi koşullarda modern yel türbinleri, bu verimin ancak 3/4'ünü kullanılır enerjiye dönüştürebilir. Generatör ve dişli kutusu ise bu enerjinin yaklaşık 2/3'ünü elektrik enerjisine dönüştürebilir. Dolayısıyla günümüzdeki yel türbinlerinin toplam verimi yaklaşık olarak;

$$\eta = \%59,3 \times \frac{3}{4} \times \frac{2}{3} = \%29,7 \text{ 'dir.} \quad (2)$$

Zıt devinimli rotorları olan bir yel türbin dizgesinde ise verim;

$$\eta = \%81,4 \times \frac{3}{4} \times \frac{2}{3} = \%40,7 \text{ 'dir} \quad (3)$$

Zıt devinimli çalışma, yel türbinin verimini önemli ölçüde arttırmaktadır. 'Tandem' yel rotorları kullanıldığında, uygun yel rotorları ile anma hızı ve/veya çıkış gücü değişmez tutulabilir. Böylece güç kalitesi sağlanabilir. Ancak böyle bir durumda asenkron generatörün hem iç hem de dış rotorları devinimli olacağından dış endüviden çıkış gücünün alınabilmesi için bilezik kullanmak gerekir. Ayrıca, iç ve dış rotorlardaki momentler eşit olmazsa tepkin moment oluşur. Bu da bağlantı noktalarında stresler oluşturur.

Episiklik yada konik dişli dizgeleri ile zıt devinimli rotorların devinimleri birleştirilerek sağlanan dizgede,

asenكرون generatörün rotor bileziklerine bağlanan eviricinin gerilim genliği ve sıklığı denetlenerek yük ve/veya yel hız değişimlerinde, çıkış gücünün gerilim genliği ve sıklığı değişmez tutulabilir. Böylece yel türbininin verimi arttırılırken türbin çıkışında gerilimin genliği ve sıklığı değişmez tutularak enerji kalitesi sağlanabilir.

6. Kaynaklar

- [1] C. Chantharasenawong, B. Suwantragul, A. Ruangwiset. "Axial Momentum Theory for Turbines with Co-axial Counter Rotating Rotors." *Commemorative International Conference of the Occasion of the 4th Cycle Anniversary of KMUTT Sustainable Development to Save the Earth: Technologies and Strategies Vision 2050: (SDSE2008)*.
- [2] S-N Jung, T-S No, K-W Ryu. "Aerodynamic performance prediction of a 30 kW counter-rotating wind turbine system". *Renewable Energy* 2005; 30(5): 631e44.
- [3] T. Kanemoto. "Dream of marine-topia: New technologies to utilize effectively renewable energies at offshore". *The Proceeding of the International Renewable Energy Conference and Exhibition 2008 (RE2008)*, pp: 4-8, vol:10.
- [4] O. Copçuoğlu, G. Önbilgin. "Yel Enerji Dönüşüm Sistemleri için Uygun Generatör Türlerinin Değerlendirilmesi".
- [5] J. Clarke, G. Connor, A. Grant, C. Johnstone, S. O. Sanchez. "Contra-rotating marine current turbines: Single point tethered floating system-stability and performance", *Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference.2009*.
- [6] T. Kanemoto, A.M. Galal. "Development Of Intelligent Wind Turbine Generator With Tandem Wind Rotors And Double Rotational Armatures (first report)", *JSME Int. J. B* 49 (2), 450-45, 2006.
- [7] T. Kanemoto, T. Suzuki, "Counter Rotating Type Hydroelectric Unit Suitable For Tidal Power Station", *25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems*, Sci 12012111, 2010.

BIYODİZEL ÜRETİMİ İÇİN *THERMOMYCES LANUGINOSA* LİPAZININ FARKLI DESTEKLERE TUTUKLANMASI

Bahar Gürkaya, Melda Akbin, Başar Uyar, Nurcan Kapucu

Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi B Blok, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe, 41380, Kocaeli
(bgurkaya@gmail.com, m_akbin@yahoo.com, basar.uyar@kocaeli.edu.tr, nurcan.kapucu@kocaeli.edu.tr)

Özet

Biyodizel üretiminde kimyasal katalizörlerin kullanımı yüksek reaksiyon hızı ve dönüşüm için endüstride tercih edilir. Ancak; ayırma işlemlerinin maliyeti, yan ürünlerin giderilmesindeki zorluklar sebebiyle alternatif üretim yöntemleri araştırılmaktadır. Lipazlar yardımıyla gerçekleştirilen enzimatik transesterifikasyonda hem son ürün olarak çıkan gliserolün kolayca ayrılması hem de yüksek saflıkta ürün elde edilmesi biyodizel üretiminde dikkat çeken bir yöntemdir. Lipazların tutuklanarak kullanımı toplam maliyetin azaltılmasında etkilidir. Tutuklama için kullanılan destekler organik veya inorganik malzemeler olabilir. Hidrotalsitler gerek katalizör gerekse katalizör desteği olarak düşük maliyeti ve yüksek performansı sebebiyle yaygın olarak kullanılırlar. Kullanım amacına göre farklı yöntemlerle hidrotalsit sentezlenebilir. Bu çalışmada biyodizel üretiminde kullanılmak üzere, üre hidrolizi ve yanma yöntemiyle elde edilen Mg-Al hidrotalsit desteklere *Thermomyces lanuginosa* lipazı sıvı (Novozymes, Lipozyme TL 100 L) ve katı formda (Fluka, 06767) tutuklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyodizel, *Thermomyces lanuginosa*, Mg-Al hidrotalsit, lipaz, tutuklama.

1.Giriş

Fosil yakıtların günden güne azalması, çevreye olan duyarlılığın artması, hızlı nüfus artışı ve sanayileşme sebebiyle fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılabilir enerji kaynakları arayışı gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Bu arayışlar sonunda günümüzde, atık yağların yanısıra bitkisel, hayvansal ya da mikroorganizmalardan elde edilen yağların kısa zincirli alkollerle transesterifikasyonu ile biyodizel elde edilmektedir. Bitkisel yağlardan yağ asidi alkil

esterlerinin üretimi endüstride köklü bir uygulama alanına sahiptir. İnorganik asit veya baz katalizörlerle trigliserid/alkol karışımının kaynama noktasına yakın sıcaklıklarda gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda ortamdaki tuzun esterlerden ayrılması, katalizörün ayrılarak nötralleştirilmesi oldukça zordur. Bu nedenle homojen katalizör yerine heterojen katalizörün kullanımı ile bu sorun azaltılmaya çalışılır. Heterojen katalizörler, reaksiyon ortamından daha kolay ayrılabilmesi ve tekrar kullanılabilmesi sebebiyle oldukça önemlidirler. Bununla ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır. İyonik reçineler, enzimler, zeolitler, hidrotalsitler gibi pek çok örnek verilebilir [1].

Bunların yanında enzimlerin biyodizel üretiminde kullanımı ticari olarak pek yaygınlaşmamıştır. Ancak; kimyasal katalizörlerle kıyaslandığında birçok avantaja sahiptirler. İlmli reaksiyon koşulları ve ürün saflaştırma basamaklarının azaltılması gibi nedenlerle başlıca tercih sebebi olarak gösterilebilir. Literatürde lipaz enzimi serbest veya tutuklanmış halde biyodizel üretiminde kullanılmıştır [2]. Tutuklama desteği olarak hidrotalsit, silika, celite, duolit, seramik ve çitosan gibi çok farklı destekler kullanılmıştır [1,3,4]. Hidrotalsit, birlikte çöktürme, üre hidrolizi ve yanma yöntemleri ile elde edilebilir. Birlikte çöktürme yönteminde hazırlanan çözeltideki pH farklılıkları sebebiyle kristal yapıları farklı olmakta ve tutuklanma verimini etkilemektedir. Üre hidrolizi yöntemiyle hidrotalsit hazırlarken kullanılan magnezyum ve alüminyum nitrat bileşiklerinin oranının önemli olduğu görülmektedir. Uygun mol oranı ile yüksek porozite ve geniş yüzey alanı elde edilebilir. Yanma yöntemi, üre, glisin, sakkaroz gibi bazı organik yakıtların patlayarak ayrışması esasına dayanmaktadır. Yanma yönteminin diğer hidrotalsit hazırlama

yöntemlerine göre avantajı, kimyasal reaksiyon çok hızlı gerçekleştiğinden daha kısa sürede ve daha az enerji harcayarak hidrotalsit üretilebilmesidir. Bu yöntemin diğer bir avantajı da herhangi bir çözücüye ihtiyaç duymaması ve bunun sonucu olarak yıkama işleminin önemli ölçüde azalmasıdır [5].

Bu çalışmada biyodizel üretiminde kullanılmak üzere, üre hidrolizi ve yanma yöntemiyle elde edilen Mg-Al hidrotalsite *Thermomyces lanuginosa* lipazı, tutuklanarak her iki desteğin enzim tutuklama performansları incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Serbest lipaz enzimi (Lipozyme TL 100 L) Novozyme (Danimarka) firmasından temin edilmiştir. Tutuklamada destek malzemesi olan Mg-Al hidrotalsit aşağıda belirtilen iki yöntemle göre hazırlanmıştır. Kullanılan diğer tüm kimyasallar analitik saflıktadır.

2.2. Hidrotalsitin hazırlanması

Üre hidrolizi yöntemiyle Mg-Al hidrotalsit hazırlanırken aşağıdaki yöntem izlenmiştir: $Mg(NO_3)_2$ ve $Al(NO_3)_3$ Mg/Al molar oranı 4.0 olacak şekilde saf suda çözülerek üre, $[üre]/[NO_3^-]$ oranı 4.0 olacak şekilde eklenir ve çözülür. 105°C sıcaklıkta 300rpm'de 10 saat karıştırılarak, 8 saat karıştırılmadan ısıtılarak hidrolizi sağlanır. Oluşan katı parçalar filtrasyonla toplanır ve saf suyla yıkanarak 100°C de 18 saat kurutulur. Kurutulan katı ince toz haline gelene kadar öğütülür ve 500°C de 7 saat kalsine edilerek hidrotalsit haline getirilir.

Yanma yönteminde ise; Mg/Al ağırlıkça oranı 3.0 ve Na_2CO_3 /reaksiyon karışımı oranı ise; ağırlıkça 0.2 olacak şekilde katı karışım hazırlanarak 1g katı karışım başına 0.2g sakkaroz eklenir ve saf suyla çözülür. 400rpm'de sürekli karıştırma sağlanarak su buharlaştırılır. 500°C sıcaklıktaki kül fırınında malzemenin rengi tamamen beyaza dönene kadar kalsine edilir. Kalsinasyondan elde edilen katı öğütülerek önce 1N Na_2CO_3 çözeltisiyle, ardından da saf suyla yıkanarak filtre edilerek ve 100°C'de 4 saat kurutulur.

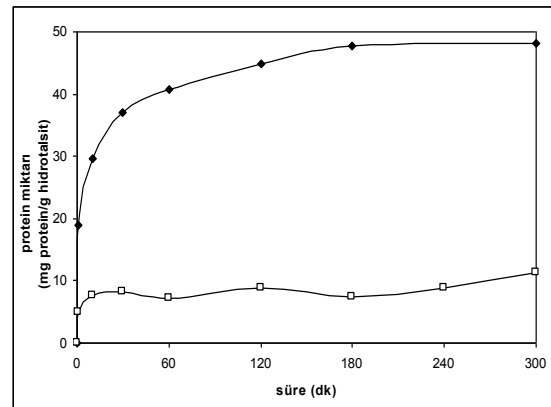
2.3. Lipazın desteklere tutuklanması

Yapılan ön deneyler doğrultusunda pH 9.0 Tris-HCl tamponu *Thermomyces lanuginosa* lipazının hidrotalsite tutuklanmasında kullanılmıştır. 17µl sıvı enzim/ml tampon ve 0,01g hidrotalsit/ml tampon oranları doğrultusunda enzim çözeltisi hazırlanarak hidrotalsite eklenmiştir. İnkübasyon 37 °C, 200rpm karıştırma hızında, 3saat süreyle gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon sonunda süspansiyon 6000rpm'de santrifüjlenerek ayrılmış ve enzim çözeltisinin iki katı kadar tampon ile yıkanarak vakum altında 25 °C'de 24 saat kurutulmuştur. Her iki destek türü için aynı yöntem uygulanmıştır. Çapraz bağlı *Thermomyces lanuginosa* lipazının hidrotalsite tutuklanmasında ise 2,5mg katı enzim/ml tampon oranı ile enzim çözeltisi hazırlanmış ve enzimin çözünen kısmı ile tutuklama aynı inkübasyon koşullarında gerçekleştirilmiştir.

3. Bulguların değerlendirilmesi

3.1. Lipazın desteklere tutuklanması

Üre ve yanma yöntemleriyle hazırlanan hidrotalsitlere sıvı formdaki *Thermomyces lanuginosa* lipazı tutuklanmış, tutuklanan enzim miktarının süreye göre değişimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı yöntemlerle üretilen hidrotalsitlere tutuklanan enzim miktarlarının tutuklanma süresine göre değişimi. (◆): üre yöntemiyle hazırlanan hidrotalsit, (□): yanma yöntemiyle hazırlanan hidrotalsit.

Şekilde görüleceği üzere, üre yöntemiyle hazırlanan hidrotalsitin enzim tutuklama verimi 3. saatte 48 mg protein/g hidrotalsit düzeyine, yanma yöntemiyle hazırlanan hidrotalsit ise 10. dakikada 8 mg protein/g hidrotalsit düzeyine ulaşarak daha fazla artmamıştır. Bu sonuca göre üre yöntemiyle hazırlanan hidroalsitin

enzim tutuklama kapasitesi yanma yöntemiyle hazırlanan hidrotalsitin enzim tutuklama kapasitesinin altı katı olduğu görülmektedir. Ayrıca üç saatlik tutuklanma süresinin yeterli olduğu da elde edilen diğer bir sonuçtur. Bu sonuç üzerine biyodizel üretiminde üre yöntemiyle elde edilen hidrotalsitin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.2. Farklı lipaz formlarının hidrotalsite tutuklanması

Bir saatlik tutuklanma süresi sonunda farklı pH'ta hazırlanan çapraz bağlı ve sıvı *Thermomyces lanuginosa* lipazlarının üre hidrolizinden elde edilen hidrotalsite tutuklanma performanslarına etkisi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tutuklanan enzim miktarı (mg protein/g destek)

pH	<i>T.lanuginosa</i> (katı)	<i>T.lanuginosa</i> (sıvı)
7	14	52
7,5	15	57
8	17	53
8,5	36	53
9	42	70

Sıvı formdaki enzimin katı formdaki enzime göre daha yüksek tutuklanma performansı verdiği Tablo'dan görülmektedir. Ayrıca tutuklanma performansının pH'la arttığı da elde edilen diğer bir bulgudur.

4. Yorum

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda hidrotalsit üretim yöntemleri karşılaştırıldığında üre hidrolizinin yüksek tutuklanma performansı ile yanma yönteminin önüne geçtiği görülmektedir. Desteğe yüklenen enzim miktarı ne kadar yüksek ise biyodizel üretimi için gerekli tutuklanmış enzim miktarı o kadar az olur. Dolayısıyla, proses sonrası ayırma işlemleri kolaylaşacak ve katalizör maliyetleri de azalacaktır. Sıvı formdaki lipazın kullanımı serbest lipaz çözeltisinin hazırlanmasında kullanım açısından kolaylık sağlaması sebebiyle tercih edilmiştir.

5.Kaynaklar

- [1] F. Yagiz, D. Kazan, A.N. Akin, Chemical Engineering Journal 134 (2007) 262–267.
- [2] H. Zeng, K. Liao, X. Deng, Process Biochemistry 44 (2009) 791–798.
- [3] K. Lee, C. C. Akoh, Biotechnology Techniques Vol. 12, No 5, 1998, pp. 381-384.
- [4] M. Monier, Y. Wei, A.A. Sarhan, Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 63 (2010) 93–101.
- [5] Virginia Da'vila, Enrique Lima, Silvia Bulbulian, Pedro Bosch, Microporous and Mesoporous Materials 107 (2008) 240–24.

SERİ BAĞLI LİTYUM İYON BATARYA HÜCRELERİ İÇİN ŞARJ DENGELEME SİSTEMLERİ

Yusuf Yaşa, Erkan Meşe

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
yasa@yildiz.edu.tr, emese@yildiz.edu.tr

Özet

Bu bildiri seri bağlı lityum-iyon batarya hücrelerinin dengeli şarj ve deşarjı üzerine yapılan bir araştırmanın sonucudur. Bildiride genel hatlarıyla, lityum-iyon batarya ve karakteristiği tanıtılarak, lityum iyon pillerin diğer batarya türlerinden avantajlı ve dezavantajlı olduğu özellikleri sıralanmıştır. Seri bağlı hücrelerde dengesizliğin nedenleri üzerinde durularak, dengesizliğin giderilmesi için şimdiye kadar geliştirilen çözümler tanıtılmıştır. Çözümler enerjinin aktarıldığı yer baz alındığında pasif ve aktif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İlgili devre topolojileri sırasıyla ayrıntılarıyla verilir, sonrasında bu devrelerden en güncel olanlarının simülasyonu yapılmış ve MATLAB-Simulink arayüzü kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçları irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lityum İyon Batarya, Şarj Dengeleme Sistemi, Elektrikli Otomobiller

Abstract

In this paper, balanced charging and discharging schemes of series connected Lithium Ion battery cells are investigated. Lithium ion battery cells are presented and their advantage and disadvantages are listed. Root causes of unbalanced nature in series-parallel connected cells are given and then certain methods are presented to solve the problem. Based on sink where the excessive energy are transferred during balancing, the methods are classified as passive and active balancing methods. The related topologies are given in detail and then their Matlab-Simulink simulations are presented.

1. GİRİŞ

Elektrik-elektronik sistemlerin çağımız teknolojisinde lokomotif görevini üstlendiği şüphesiz bir gerçektir. Elektrik-elektronik sistemlerin çalışabilmesi ancak bu sisteme entegre bir enerji kaynağı ile mümkündür. Bu sistemlerin hali hazırda kullanılabilmesi ise enerjinin değişik yollarla depolanması gerektiği sonucunu doğurur. İşte bu nedenden ötürü bir enerji depolama aygıtı kaçınılmaz gereksinimdir. Bu aygıtlar günümüzde akü-batarya enerji depolama elemanları olarak adlandırılmaktadır.

Enerji depolama aygıtlarının en küçük işlev gören birimi batarya hücreleridir. Bu hücreler düşük gerilim ve akım verebilen aygıtlardır. Ancak elektrik-elektronik sistemler genelde bir batarya hücresinin verebileceği gücün, dolayısıyla enerjinin çok daha fazlasına ihtiyaç duymaktadır. İhtiyaç duyulan bu güç ve enerji, ancak batarya hücrelerinin seri-paralel bağlanmasıyla elde edilebilmektedir[1].

2. LİTYUM-İYON BATARYA

Nikel kadmiyum hücreler (NiCd) ve Nikel metal hidrid hücreler (NiMH) teknolojiye uzun yıllar kullanılmıştır. Ancak günümüz teknolojisinde artık yerini yavaş yavaş lityum-iyon (Li-Ion) pillere bırakmaktadır. Bu değişimin en önemli nedenleri şüphesiz lityum-iyon pillerin diğer batarya türlerine göre kullanıcıyı tatmin eden belli başlı avantajlarının olmasıdır. Bu avantajlar:

-Diğer batarya tiplerine göre daha düşük sıcaklıklarda çalışabilme (yaklaşık 20 °C)

-Enerji yoğunluğunun fazla olması

-Daha uzun ömürlü olması

-Şarj süresinin daha kısa olmasıdır.

Tüm bu avantajlara rağmen lityum-iyon pillerin bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlar:

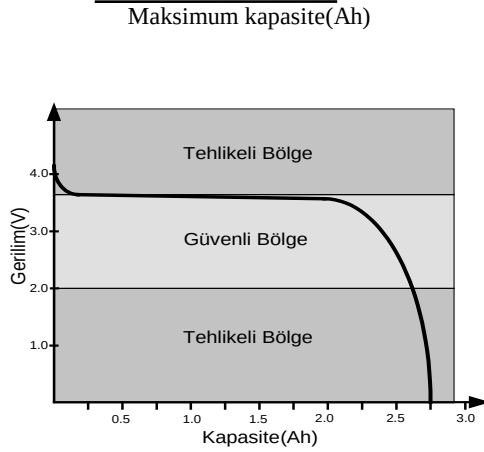
-Yüksek ısıda çok çabuk tahrip olabilir. Bu durum diğer batarya tiplerine göre çok daha tehlikeli düzeydedir.

-Çok düşük deşarj seviyelerinde kalıcı bir tahrip sözü konusu olabilir. Tahrip yaşanmaması için lityum-iyon pillerin deşarj seviyesi sürekli kontrol edilerek belli bir seviyenin üzerinde çalıştırılmalıdır. Şekil-1’de lityum iyon pilin hücrenin karakteristiği incelendiğinde bu dezavantaj kolaylıkla görülebilir[1].

-Diğer batarya tiplerine göre daha az teste tabi tutulmuştur. Yani gelişimin daha ilk basamaklarındadır.

Lityum iyon pillerin önemli bir parametresi olan Kapasite doluluk oranı(SOC) genel olarak[8]

$$SOC = \frac{\text{Mevcut kapasite (Ah)}}{x100}$$



Şekil-1: Lityum-iyon pilin gerilim-kapasite karakteristiği

Şekil 1'den görüleceği üzere kapasite-doluluk oranı(SOC) çok düştüğünde ya da çok yükseldiğinde tahrip riskinin yüksek olduğu bölgeye girmektedir.

Neden Seri-Paralel Batarya Hücrelerinde Denge Sağlanmalıdır?

Üretilen aynı tip batarya hücrelerinin birbirinin aynı olması beklenemez. Hammaddenin fiziksel farklılığı ve üretim aşamasında oluşan farklı fiziksel ortamlardan dolayı bu batarya hücrelerinin kapasitelerinde, hücre gerilimlerinde ve toplam ömürlerinde farklılıklar olması kaçınılmazdır[2]. İşte bu değerler dengesizliğin temelini oluşturmaktadır. Bu dengesizliği gidermek için her bir hücreyi diğerlerinden bağımsız olarak kontrol etmek, düzenlemek gerekir. İşte bu amaçla Batarya Yönetim Sistemi (BYS) geliştirilmiştir.

3. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

Batarya yönetim sistemini, hücreler arasındaki enerji farkını azaltma yöntemine göre ikiye ayırmak mümkündür[3].

Pasif Dengeleme: Pasif dengeleme, hücreler arasındaki enerjinin pasif şekilde direnç üzerinde harcanması yoluyla dengelemenin sağlandığı yönetim sistemidir. Son derece basit ve ucuz bir yöntem olup, düşük güçlü uygulamalarda genellikle tercih edilir.

Aktif Dengeleme: Aktif dengeleme, hücreler arasındaki dengenin enerji dönüşümü yapılarak sağlandığı yönetim sistemidir[5]. Sistem karmaşık ve pahalı olup, orta ve yüksek güçteki uygulamalar için idealdir.

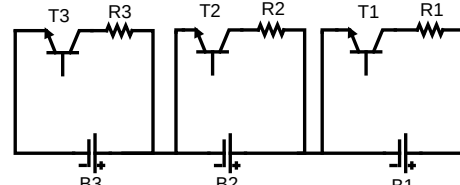
Batarya yönetim sistemini, dengeleme topolojisine göre üçe ayırmak mümkündür[2].

- Direnç üzerinden bypass - Pasif dengeleme
- Kondansatör ile anahtarlama – Aktif dengeleme
- Transformatör ile Dengeleme – Aktif dengeleme

3.1. Direnç Üzerinden Bypass

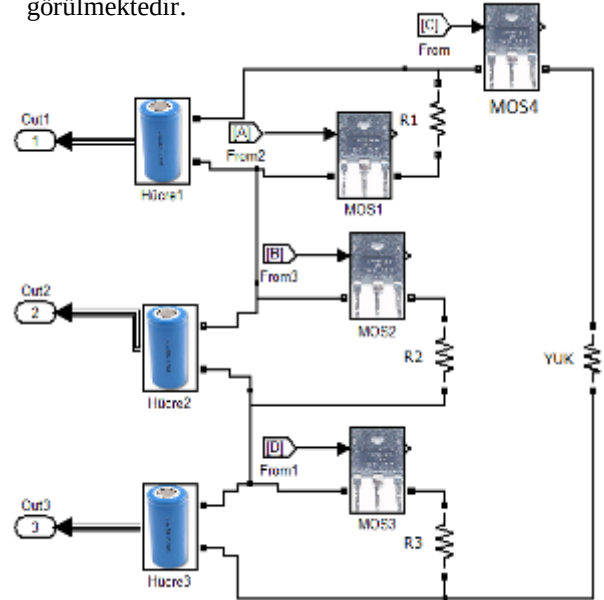
Şekil-2'de direnç kullanılarak dengenin sağlandığı basit bir devre görülmektedir. Burada B1, B2 ve B3 hücrelerinden herhangi biri tam şarj seviyesine

ulaştığında, o hücreye paralel bağlı olan transistör iletime geçirilir. Böylece referans şarj seviyesine ulaşan hücre aşırı yüklenmeden korunmuş olur. Bu yöntemin en büyük dezavantajı enerji farkının direnç üzerinde harcanmasıdır. Bu yüzden orta ve yüksek güçteki uygulamalarda bu dirençler üzerinde oluşacak olan yüksek ısıyı ortadan kaldırmak zor olduğu için tercih edilmez.



Şekil-2: Direnç üzerinden bypass devre şeması.

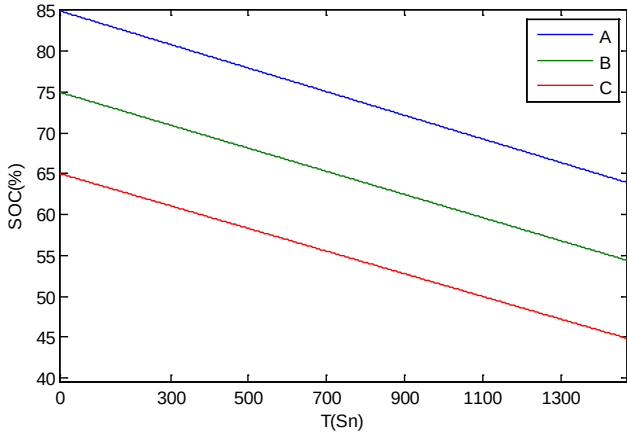
Pasif dengeleme, diğer adıyla direnç üzerinden bypass metodu, simülasyon devre şeması şekil-3'de görülmektedir.



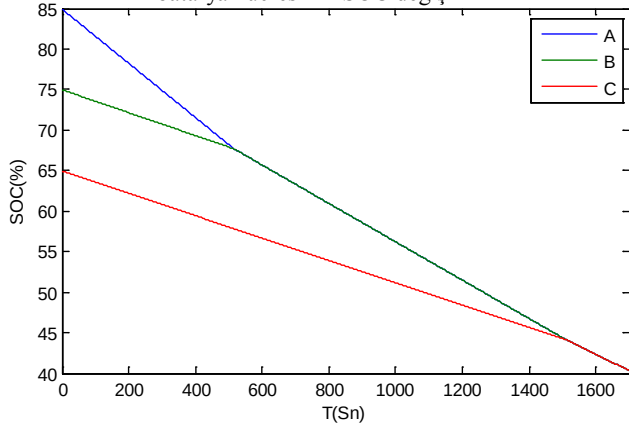
Şekil-3: Pasif dengeleme Simulink devre şeması

Pasif dengeleme Simulink modelinde 3 hücre seri bağlanmış, ardından bu hücrelerin doluluk oranları mikrodenetleyici ile okunmuş, maksimum doluluk oranına sahip olan hücre saptanmıştır. Daha sonra maksimum doluluk oranına sahip olan hücreye bağlı anahtar iletime geçirilmiş, üzerindeki fazla enerji dirençte harcanarak kendine en yakın doluluk oranına sahip hücreyle eşdeğer doluluk oranına yaklaşılmaya çalışılmıştır. Bu iki hücrenin doluluk oranları yaklaşık birbirine eşit olduğu anda, bu iki hücre o andan itibaren diğer doluluk oranı en düşük olan hücreye yaklaşabilmek için, üzerindeki fazla enerjiyi kendilerine paralel dirençte harcamışlardır. Şekil-4a'da maksimum doluluk oranına sahip olan birinci batarya hücresinin (A doğrusu); orta derecede doluluk oranına sahip ikinci batarya hücresinin (B doğrusu); minimum doluluk oranına sahip üçüncü batarya hücresinin (C doğrusu) SOC değişim grafikleri gösterilmektedir. Grafikte seri bağlanan bu üç

hücresinin aslında doluluk oranlarının birbirini etkilemediği, dolayısıyla şarj durumunda maksimum SOC'ye sahip hücresinin aşırı şarja, deşarj durumunda ise minimum SOC'ye sahip hücresinin dip şarja maruz kalabileceği görülmektedir.



Şekil-4a: Pasif dengeleme yapılmadan önceki üç farklı batarya hücresinin SOC değişimi



Şekil-4b: Üç farklı batarya hücresinin pasif dengeleme yöntemiyle doluluk oranlarının (SOC) değişim grafiği

Şekil-4b'de ise pasif kontrollü dengeme durumu için elde edilen doluluk oranı grafiği mevcuttur. Şekil-4a'dan farklı olarak, bu grafikte artık seri bağlanan 3 hücresinin doluluk oranlarının birbirine bağımlı olduğu açık şekilde görülmektedir. Bu nedenden maksimum SOC'ye sahip olan batarya hücresi (A) şarj durumunda aşırı şarj tehlikesinden, minimum SOC'ye sahip batarya hücresi (C) ise deşarj durumunda dip şarj tehlikesinden korunmuş olmaktadır.

Not: Lityum- İyon piller genelde %40 ila %80 doluluk oranı arasında çalışmaktadır. Bu nedenden ötürü %80'nin üstü aşırı şarj, %40'ın altı ise dip şarj bölgesi olmaktadır. Bu bölgelerde çalışmak, hem hücre üzerinde kalıcı hasar oluşturma riski oluşturduğu, hem de pilin ömrünü azalttığı için mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.

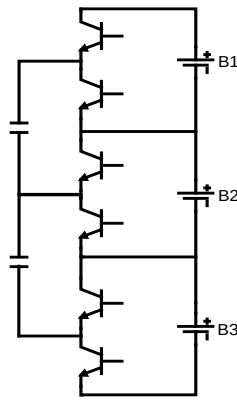
3.2. Kondansatör ile Anahtarlama

Şekil-5'de gösterilen bu yöntemde kondansatörler kullanılarak, bir hücredeki enerji diğer bir hücreye anahtarlar yardımıyla aktarılır[9]. Burada anahtarlama elemanlarının hızını sınırlayan faktör, hücrelerin ve diğer elemanların iç dirençleridir. Bu dirençler ne kadar büyük olursa, hücrelerden kondansatörlere akan akımın değeri de o nispete düşer. Bu da şarj süresinin artmasına, sistemin yavaşlamasına neden olur. Bu yöntemin diğer bir dezavantajı da denge olayının sadece komşu hücreler arasında oluşmasıdır. Bu yüzden tüm hücrelerin gerilimleri eşit olmayabilir[6].

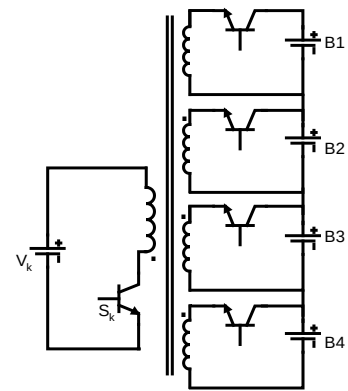
3.3. Transformator ile Dengeleme

a) Basit şarj dengeleme devresi

Transformatör ile şarj topolojisinde hücreler arası dengenin sağlanması için flyback transformatörü kullanılmaktadır[3]. Şekil-6'da gösterilen devre sadece şarj aşamasında kullanılan basit bir devredir. Burada gerilim kaynağı transformatörün primerine bağlı olan V_k 'dir. S_k anahtarı belli bir frekansta anahtarlanarak primerdeki enerjiyi sekondere aktarmaktadır.



Şekil-5: Kondansatörlerle anahtarlama devre şeması



Şekil-6: Transformator ile basit dengeleme devre şeması[7]

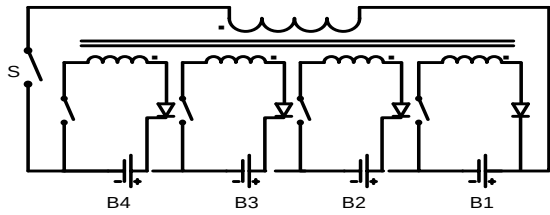
Sekonder uçlarının her birine ise batarya hücreleri bağlanmış olup, kendisine seri bağlı anahtarlar, primerde bulunan S_k anahtarının inversi şeklinde anahtarlanarak girişteki enerji çıkışa aktarılmış, dolayısıyla hücreler şarj edilmiş olur. Bu hücrelerden herhangi biri referans şarj seviyesine ulaştığı anda, kendisine seri bağlı olan anahtar tamamen kesime geçirilir ve referans şarj seviyesine ulaşan hücre aşırı şarjdan korunmuş olur.

b) Gelişmiş dengeleme devresi

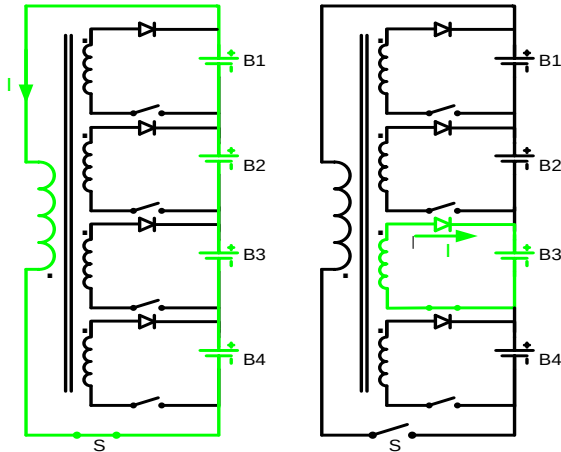
Şekil-7'de flyback transformatörü kullanılarak geliştirilmiş dengeleme devresi görülmektedir[5].

Basit şarj dengeleme devresinin sadece batarya hücrelerinin şarjı sırasında kullanılabilir olmasına karşın, gelişmiş dengeleme kontrol devresi hem şarj hem de deşarj sırasında sürekli kontrolün sağlandığı daha kullanışlı bir yapıya sahiptir.

Mikrodenetleyiciye bağlı olan tüm hücrelerin doluluk oranı ölçülür. Ardından ölçülen değerlerin ortalaması alınır. Daha sonra ölçülen değerlerle ortalama değerler arasındaki farkın en büyük olduğu hücre belirlenir. Eğer ölçülen değer ortalama değerden küçükse dip denge, büyükse üst denge topolojisi uygulanır[4].



Şekil-7: Transformator ile gerçekleştirilen gelişmiş dengeleme devresi.



Şekil-8: Transformator ile dengeleme devresinin çalışması (B3 hücresi en düşük doluluk oranına sahip)

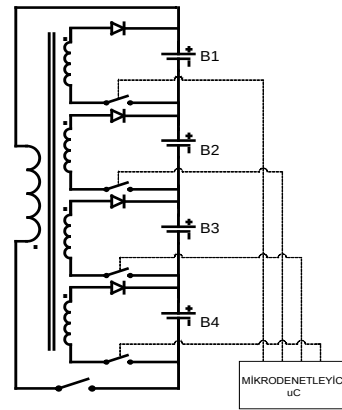
Dip Denge Topolojisi

Hücreler birbirine seri bağlandıktan sonra her bir hücre flyback trafosunun sekonder uçlarından birine bağlanmıştır. Sistem şu şekilde çalışmaktadır: Tüm hücrelerin doluluk oranı mikrodenetleyici tarafından denetlenir ve doluluk oranı en düşük olan hücre saptanır[1]. Ardından batarya hücrelerinin bağlı olduğu S anahtarı anahtarlanır ve bataryaların üzerinden transformatörün primer tarafına enerji akışı olur. Daha sonra S anahtarı kesime ve doluluk oranı düşük olarak belirlenen hücreye seri bağlı olan anahtar aynı anda iletme geçirilir. Böylece flyback trafosunun primer tarafında depolanan enerji doluluk oranı düşük olan hücreye aktarılmış olur. (Şekil-8) Devredeki diyotların görevi; batarya hücrelerinden flyback trafosuna akım akmasını engellemektir.

Üst Denge Topolojisi

Doluluk oranı en yüksek olan hücre belirlenir. Ardından dip dengede uygulanan basamaklara tersten başlanır. Örneğin, B3 bataryası en yüksek doluluk oranına sahip hücre ise, bu hücreye bağlı olan anahtar iletme geçirilerek flyback trafosunun sekonder tarafında enerji depolanmış olur. Depolanan bu enerji daha sonra primer taraftaki anahtarın iletme geçirilmesiyle primere aktarılmış, böylelikle B3 hücresindeki fazla enerji diğer hücrelere dağıtılmış olur. Transformatörle dengeleme işleminde bir mikrodenetleyici mutlak gereklidir. Mikrodenetleyici, her bir hücrenin şarj seviyesini ölçerek, ölçülen değerler arasında karşılaştırma yapacak ve sonucu anahtarlama elemanlarına yansıtacaktır[1].

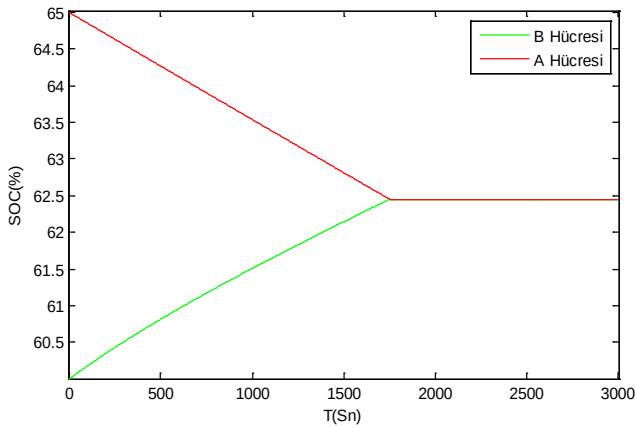
Mikrodenetleyicinin batarya yönetim sistemlerinde kullanılmasının en büyük dezavantajı mikrodenetleyicinin I/O-giriş/çıkış portunun sınırlı olmasıdır. Bu nedenle fazla sayıda seri bağlı tüm hücrelerin ölçüm işlemini bir tek mikrodenetleyicide yapmak imkansızdır. Aynı zamanda flyback trafosu da en çok 12 çıkışa izin verebilmektedir. Bu nedenle donanımında bir mikrodenetleyici ve bir flyback transformatörü bulunan bir kontrol sisteminde en çok 12 batarya hücresi denetlenip kontrol edilebilmektedir. 12'den daha fazla hücre kontrol edilmek isteniyorsa bu durumda kontrol kartının mikrodenetleyici ve flyback transformatörü donanımı genişletilmelidir. Buna ek olarak gelişmiş uygulamalarda kontrol kartları arasında grup oluşturulmalı ve bu gruplar başka bir kontrol kartıyla kontrol edilmelidir. Şekil-10'da enerji dönüşümü metoduyla flyback transformatörü kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon devre şeması görülmektedir.



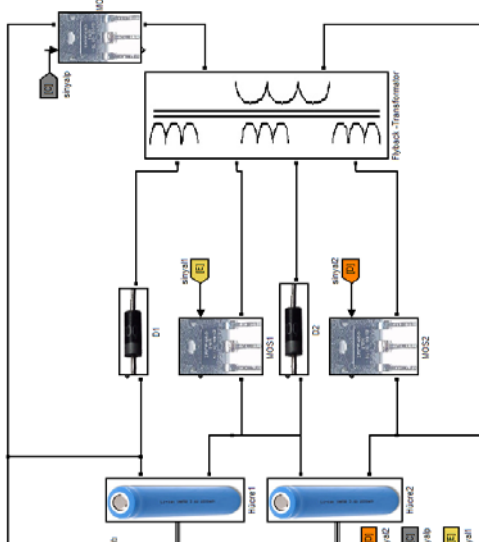
Şekil-9: Batarya hücrelerinin mikrodenetleyici ile kontrolü

Bu simülasyonda iki adet lityum iyon pil kullanılmış, bu pillerin başlangıç doluluk oranları sırasıyla, %60 ve %65 olarak girilmiştir. Ardından bu pillere bağlı aktif dengeleme elemanları bağlanmış, pasif kontrolde olduğu gibi bir adet de yapay mikrodenetleyici oluşturulmuştur. Mikrodenetleyici, hücrelerin SOC yani doluluk oranlarını öğrenip, bu oranlara bağlı olarak; doluluk oranı fazla olan

hücreyi saptamaktadır. Ardından Mikrodenetleyici, trafonun primer kısmındaki anahtarı tetikleyip seri bağlı hücrelerden trafonun primer kısmına bir enerji transfer edilmesini sağlamaktadır. Daha sonra ise primer kısmındaki anahtarı kesime, aynı anda doluluk oranı düşük olan pile bağlı anahtarı da ilettime geçirir. Böylece doluluk oranı dengelenmiş olur.



Şekil-10: Transformatorle dengeleme metoduyla doluluk oranlarının(SOC) yüksüz çalışma durumu için değişim grafiği. Şekil-11'de Simulink arayüzünde, çok uçlu transformator kullanılarak aktif dengelemenin sağlandığı görülmektedir. Burada A olarak isimlendirilen eğri doluluk oranı yüksek olan birinci hücre, B olarak isimlendirilen eğri ise doluluk oranı düşük olan ikinci hücredir. Şekilden anlaşılabacağı üzere, A'daki fazla enerji B'ye aktarılmıştır. A hücrenin başlangıç SOC değeri % 65, B hücrenin başlangıç SOC değeri ise % 60'tır. İdeal şartlar altında iki hücrenin %62.5 SOC değerinde dengelenmesi gerekmektedir. Ancak sistem ideal olmadığından, yani kayıp enerji söz konusu olduğundan dengelemenin sağlandığı SOC değeri biraz daha aşağıda kalmaktadır. Buradaki kayıplar büyük ölçüde, elemanların iç dirençlerinde harcanan enerji kaybı ve anahtarlama enerji kaybıdır.



Şekil-11: Transformator ile dengeleme Simulink devre şeması

4. SONUÇLAR

Bu bildiride, Lityum iyon batarya hücrelerinin karakteristiği incelenmiş ve seri bağlı batarya hücrelerinde dengelemenin gerekliliği gösterilmiştir. Ardından dengeleme yöntemlerinden en güncel olanları; pasif ve aktif dengeleme araştırılmış ve simülasyonları gerçekleştirilmiş, sonuçları paylaşılmıştır. İki yöntemde de -pasif dengelemede daha fazla olması karşın- enerji kayıpları mevcuttur. Bu enerji kayıpları verimin düşmesine neden olmaktadır. Konu, lityum iyon pillerin her geçen gün gelişmesine paralel olarak geliştirilmeye açıktır. Anahtarlama kayıplarının azaltılması,, mikrodenetleyici giriş/çıkış port kapasitesini daha iyi kullanmak amacıyla durum kestirim yöntemleri, minimum sensör ile kontrol gibi konular, bu alandaki potansiyel araştırma konuları olarak verilebilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Röbler Werner, "Boost battery performance with active charge-balancing", *EE Times-India*, 1-2-3
- [2] Baughman Andrew, Ferdowsi Mehdi "Analysis of the Double-Tiered Three-Battery Balancing System", *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2006
- [3] Wei Xuezhe, Zhu Bing, "The Research of Vehicle Power Li-ion Battery Pack Balancing Method", *The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments-ICEMI'09*, 2009, 2-498, 2-499, 2-500
- [3] Bonfiglio Carl, Roessler Werner, "A Cost Optimised Battery Management System with Active Balancing for Lithium Ion Battery Stacks", *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009, 304-309
- [4] Wei XueZhe, Zhao Xiaopeng, Haifeng Dai, "The Application of flyback DC/DC converter in Li-ion batteries active balancing", *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009
- [5] Nishijima K.Sakamoto H.,Harada K., "A PWM Controlled Simple and High Performance

- Battery Balancing System", *Power Electronics Specialists Conference*, 2000, 517-520
- [6] Hsieh Yao C., Chou Su P., Moo Chin S. "Balance Discharging for Series-Connected Batteries", *Power Electronics Specialists Conference*, 2004, 2697-2700
- [7] Sakamoto H., Murata K. , Sakai E., Nishijima K. "Balanced Charging of Series Connected Battery Cells", *Telecommunications Energy Conference*, 1998, 311-315
- [8] Maharjan Laxman, Inoue Shigenori, Akagi Hirofumi, Asakura Jun, "State-of-Charge (SOC)-Balancing Control of a Battery Energy Storage System Based on a Cascade PWM Converter", *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol.24 No.6, 1628-1635, 2009.

FOTOVOLTAİK BATARYA ŞARJ SİSTEMİ İLE HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Zafer Dülger¹, Engin Özdemir²,

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 41380, Umuttepe, Kocaeli

²Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 41380, Umuttepe, Kocaeli

e-posta: ¹zdulger@kocaeli.edu.tr, ²eoazdemir@kocaeli.edu.tr

Özet: Dünyada giderek artan araç sayısı, buna bağlı olarak ulaştırmada kullanılan yakıt miktarının da artmasına, atmosferde kirletici emisyon ve zararlı gaz miktarının hızla yükselmesine neden olmuştur. Dolayısıyla, bu etkiler sonucunda sera etkisinin oluşması ulaştırmada enerji verimliliği konusunu gündemde tutmaktadır. Günümüzde Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA) klasik araçlara göre enerji verimliliğini artırdığı için oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışmada, HEA hakkında genel bilgiler verildikten sonra günümüz araçlarına alternatif olarak gündeme gelen HEA'daki modern enerji depolama teknolojileri anlatılmakta ve bu konuda Kocaeli Üniversitesi'nde gerçekleştirilen HEA için Fotovoltaik Batarya Şarj Sistemi ile ilgili deneysel çalışmalar ve sonuçları hakkında bilgiler verilmektedir.

1. Giriş

Fosil yakıt kaynaklarının azalması, fosil yakıtlara yüksek bağımlılık ve ulaştırma sektörünün emisyonlarının global olarak etkileri nedeniyle ulaştırma sektörü için yeni güç üretim çözümlerinin bulunması gerekmektedir. Ulaşımında enerji verimliliği için alternatif yakıtlar, içten yanmalı motor teknolojisinde yapılan iyileştirmeler ve alternatif tahrik sistemlerine sahip araçların geliştirilmesi gündemdedir. Araştırmaların devam ettiği önemli alanlardan biri de elektrikli tahrik sistemlerinin araçlar içerisinde kullanılmasına olanak sağlayan tümü elektrikli ya da Hibrit Elektrikli Araçlardır (HEA) [1-2].

Bu çalışmada, HEA hakkında genel bilgiler verildikten sonra günümüz araçlarına alternatif olarak gündeme gelen HEA'daki modern enerji depolama teknolojileri anlatılmakta ve bu konuda Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü desteği ile gerçekleştirilen HEA için Fotovoltaik Batarya Şarj Sistemi ile ilgili deneysel çalışmalar ve sonuçları hakkında bilgiler verilmektedir. Yapılan çalışmada, Kocaeli'de 1 m² yüzey alanına sahip bir fotovoltaik güneş panelinden günlük olarak bataryalarda 400 Wh fotovoltaik enerji depolanabileceğini sonucu elde edilmiştir.

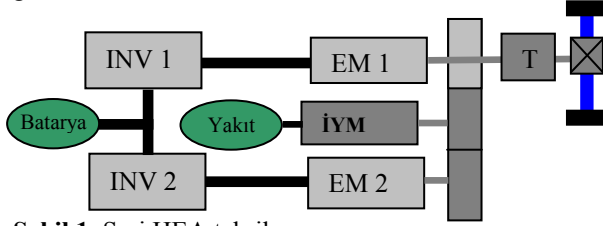
2. HEA Teknolojileri

HEA'lar bir tanesi elektrik enerjisi olmak üzere, birden fazla güç sistemine sahip ve bu farklı enerji depolarından sağladığı enerji ile hareket edebilen araçlar olarak tanımlanmaktadır. HEV yani hibrit motorlu araçlar günümüzde kullanılan araçların içten yanmalı motorları ile (benzinli, dizel, LPG) elektrikli taşıtların elektrik motorunun birleşiminden meydana gelen motorlara sahip araçlardır. Bu iki motorun birleştirilmesinin sebeplerinin başında yakıt ekonomisi gelmektedir. Bu birleşme ile taşıt kullanıcısının ve üreticisinin elektrikli taşıttan beklediği çevresel fayda ve içten yanmalı motorlu taşıttan beklediği performans, daha fazla menzil ve çabuk yakıt ikmali hibrit motorla sağlanmaktadır. Hibrit motorun faydaları arasında yakıt ekonomisi, çevreye olan duyarlılığı ve daha fazla menzil gelmektedir. Günümüzde bu nedenlerle HEA kullanıcılara ve tüketicilere cazip hale gelmektedir.

Geleneksel benzinli ve dizel yakıtlı içten yanmalı motorların, yanma sürecinde ve motor sistemindeki (valfler, yakıt enjeksiyonu, yanma odası geometrisi ve giriş hava kalitesi vb.) gelecekteki gelişmeler nedeniyle uzun süre pratik olarak kullanılması beklenmektedir. HEA hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru ile ayrı olarak veya birlikte tahrik edilebilen araçlardır. HEA oluşturan içten yanmalı motor, elektrik motoru ve elektrik jeneratörü farklı biçimlerde araca bağlanmaktadır. Araç tahrik yapısına göre geliştirilen HEA ana kontrol merkezi bu 3 yapıyı da ayrı olarak kontrol ederek aracın farklı durumlarda farklı işletim modlarında ve en verimli şekilde çalıştırılmasını sağlamaktadır.

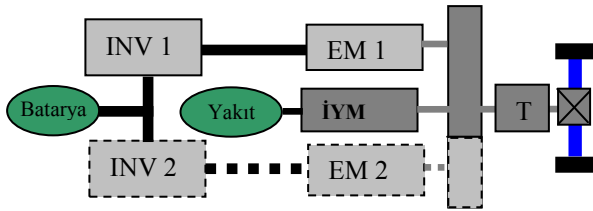
HEA normal araçlardan farkı dizel veya benzinli motora ilave olarak gelen elektrik bataryası ve elektrik motorudur. Batarya ve elektrik motoru boyutları büyüdükçe benzin veya dizel motor boyutları küçülmektedir. HEA'lar yoğun ve yavaş trafik durumunda %100 elektrikle tahrik edilerek daha az gürültü ve emisyonlar ile yakıt ekonomisi sağlamaktadır.

Bir HEA enerji dönüşüm sistemi temel olarak, enerji depolama sistemi, güç dönüşüm ünitesi ve taşıt tahrik sistemlerinden oluşmaktadır. Enerji depolama için batarya, süperkapasitör ve volan (flywheel) kullanılmaktadır. Tahrik sistemi olarak da içten yanmalı motor ve elektrik motorunun tahrik sistemine bağlantı şekline göre de seri tahrik, paralel tahrik ve seri/paralel tahrik olmak üzere üç farklı biçimde tahrik edilmektedirler. Paralel yapıda hem İYM hem elektrik motoru birlikte tahrik sağlarken, seri yapıda sadece elektrik motoru tahrik sağlamaktadır. Seri-paralel tahrik yapısında ise iki sistemin birleşimi şeklindedir. Şekil 1’de Seri HEA tahrik yapısı görülmektedir.

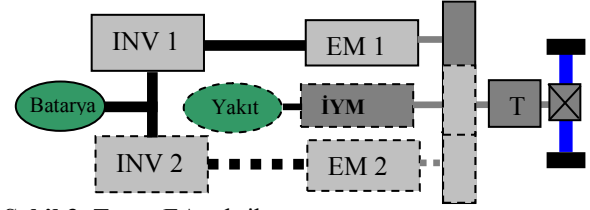


Şekil 1. Seri HEA tahrik yapısı.

Şekil 2’de paralel HEA tahrik yapısı, Şekil 3’de tümü elektrikli araç tahrik yapısı görülmektedir.



Şekil 2. Paralel HEA tahrik yapısı.



Şekil 3. Tümü EA tahrik yapısı.

Şebekeden şarj edilebilen hibrit elektrikli araçlar (plug-in hybrid electric vehicles) ise elektrik şebekesine bağlanarak şarj edilebilme özelliği bulunan HEA’dır. Böylece hem hibrit elektrikli araçlar gibi daha uzun menzile sahip, hem de elektrikli araçlar gibi şebekeden şarj yolu ile elde edilen elektrik enerjisinin kaynağını çeşitlendirme olanağına sahiptir. Bu araçlar, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi ile beslendiğinde özellikle günlük kullanım mesafesi kısıtlı olan araçlar için fosil yakıtlardan da tamamen bağımsız hale gelmek mümkündür. Bu çalışmada önerilen fotovoltaik batarya şarj sistemi ile HEA için hem elektrik şebekesinden hem de fosil yakıtlardan bağımsız enerji üretimi araştırılmaktadır.

Tümü EA ise kısa vadede şehir içi kullanım gibi kısa menziller için tercih edilmesi ve düşük maliyetli bataryaların kullanımı ile 2025 yılına kadar kullanımının giderek yaygınlaşması beklenmektedir. Ayrıca düşük maliyetli ve güvenilir yakıt pili EA’larında orta ve uzun sürede otomotiv sektöründe yerini alması beklenmektedir. Günümüzde öne çıkan tümü EA (TEA) veya batarya beslemeli EA, HEA ve yakıt pilli EA (YPEA) karşılaştırması Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. TEA, HEA ve YPEA karşılaştırması.

	TEA	HEA	YPEA
Tahrik	Elektrik motoru	Elektrik motoru ve İYM	Elektrik motoru
Enerji depolama	Batarya süperkondansatör	Batarya ve fosil yakıtlar	Hidrojen tankı
Enerji kaynağı	Elektrik şebekesi	Benzin istasyonları ve (PHEA için elektrik şebekesi)	Hidrojen istasyonu
Özellikleri	Sıfır emisyon Yüksek verim Fosil yakıt bağımlılığı yok Kısa menzil Maliyeti yüksek Ticari halde	Düşük emisyon Yakıt ekonomisi Uzun menzil Fosil yakıt bağımlı İYM’den yüksek maliyetli Ticari halde	Sıfır emisyon Yüksek verim Fosil yakıt bağımlılığı yok Yüksek maliyet Geliştirme aşamasında
Önemli konular	Batarya ölçüleri ve maliyeti Şarj istasyonlarının durumu Maliyet Batarya ömrü kısa	Batarya ölçüleri ve maliyeti Farklı enerji kaynaklarının maliyeti, optimizasyonu ve yönetimi	Yakıt pili maliyeti, ömrü ve güvenilirliği Hidrojen üretimi ve dağıtım alt yapısı Maliyet

HEA geliştirilmesinin temel nedenlerinden bir de tümü EA'ların yüksek şarj olma süreleri ve sınırlı bir menzile sahip olmalarıdır. HEA'ların geleneksel araçlara göre üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Geri kazanımlı frenleme ile enerji kaybını azaltarak yüksek verim sağlar.
- İYM maksimum yüke göre değil ortalama yüke göre boyutlandırıldığı için motor ağırlığı azalmaktadır.
- Yakıt verimi yüksektir.
- Düşük emisyon sağlar.
- Araç durduğunda İYM durduğu için gürültü yapmaz ve boşta çalışma kayıpları düşüktür.

HEA teknolojilerinde beklenen önemli gelişmeler aşağıda sıralanmaktadır.

- Daha küçük, güvenilir ve düşük maliyetli elektrik motor /jeneratörlerin geliştirilmesi,
- Daha yüksek enerji ve güç yoğunluğuna sahip, uzun ömürlü, güvenilir ve düşük maliyetli batarya ve enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi,
- İçten yanmalı motorların boyut ve ağırlığının azaltılması,
- Enerji dönüşüm sistemlerinin en önemli kısmı olan güç elektroniği dönüştürücülerinde beklenen gelişmeler.

HEA teknolojileri fonksiyonellikleri bakımından, mikro HEA (Micro HEV), hafif HEA (mild HEV), tam HEA (full HEV), şebekeye bağlanabilen HEA (plug in HEV) olmak üzere dört farklı biçimde değerlendirilmektedir. Bu sınıflamada, İYM ve elektrik motoru güçlerinin birbirine oranına bakılmaktadır.

3. HEA'daki Enerji Depolama Teknolojileri

Yüksek güçlü batarya teknolojileri, HEA'larda uygulanan en önemli enerji depolamama donanımıdır. Yakın bir gelecekte ümit vaat eden diğer teknolojiler ise ultra kapasitörler ve volan (flywheel: düzen teker) uygulamalarıdır. Yüksek güçlü batarya uygulamalarında HEA'nın yüksek güç gereksinimlerine cevap verebilecek olan Nikel Metal Hidrit (NiMH) batarya ve Lityum İyon (LiIon) batarya teknolojileridir. NiMH bataryalar günümüzde elektrikli araçlarda, bilgisayarlarda, medikal cihazlarda ve diğer bazı uygulamalarda kullanılmakta ve kullanılan potasyum hidroksit çözeltisinin iyi iyonik iletkenliği neticesinde oldukça iyi bir güç kabiliyetine sahiptir. Tüm bileşenleri geri dönüştürülebilir NiMH batarya teknolojisinde ileriye dönük en önemli engeller ise yüksek maliyetler, hidrojen kaybının kontrol gereksinimi ve düşük hücre verimidir. LiIon bataryalar ise yüksek güç sağlayabilen oldukça yüksek enerji yoğunluğu sunmaktadır.

HEA için enerji depolamama teknolojilerindeki en önemli teknik parametreler ise, güvenlik, enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, belirli güç ve belirli enerji, maliyet, ısı yönetim, ömür ve geri kazanım olarak sıralanmaktadır. Bu kapsamda HEA kullanılacak enerji depolama donanımlarındaki önemli gereksinimleri ise 20W/Wh üzerinde güç / enerji yoğunluğu oranı, 10 yıl üzerinde ömür ve en az 120.000 çevrim olarak özetlenebilir [3].

Elektriksel enerji depolama birimlerinin boyutlandırılmasında uygun sürme çevrimleri için belirli hızlanma performansı sağlamak üzere araç için gerekli tepe gücü (kWp) ve enerjisi (kWh) depolayabilmesi gibi özelliklere dikkat edilmektedir. Tasarımlarda bu tip araçların tümü elektrikli durumda gerçek çalışma koşullarında gerekli menzil gereksinimlerini sağlaması için gereken enerjiyi depolaması düşünülmektedir. Ayrıca, enerji depolama birimi uygun çevrim sayısı (şarj deşarj sayısı) ve ömrü sağlayabilmelidir. Bu gereksinimler aracın aktarma organlarının tasarımına bağlı olduğu kadar enerji depolama biriminin yetenekleri ile de ilişkilidir.

4. Fotovoltaik Batarya Şarj Sistemi

HEA enerji kaynağı olarak önerilen fotovoltaik batarya şarj sistemi 190 W monokristal fotovoltaik güneş paneli, 160 Ah jel tipi tam bakımsız akü gurubu, şarj regülatörü ve enerji izleme sisteminden oluşmaktadır. Ayrıca sistemde 600 Wlık bir rüzgar türbini de bulunmaktadır. Ancak bölgenin rüzgar potansiyeli yeterli olmadığından rüzgar enerjisiyle ilgili dikkate değer bir veri alınamamıştır. Tablo 2'de kullanılan fotovoltaik panelin teknik özellikleri verilmektedir.

Tablo 2. Fotovoltaik panel teknik özellikleri.

Nominal Güç (W)	190
Hücre Cinsi	Monokristal
Hücre Sayısı	72 (6x12)
Hücre Verimi	%18
Modül Ebatları (mm)	1580x808x46
Yüzey Yük Kapasitesi (rüzgâr ve kar)	60 m/s – 200 kg/m ²
Ağırlık (kg)	16
Çıkış Toleransı	± %5
Çerçeve	Alüminyum
Maksimum Güç Gerilimi (V)	37,08
Maksimum Güç Akımı (A)	5,12
Açık Devre Gerilimi (V)	44,48
Açık Devre Akımı (A)	5,54
Maksimum Sistem Gerilimi (V)	1000
Sıcaklık Aralığı	-40 °C / +85 °C

Yapılan çalışmada, Kocaeli'de 1 m² yüzey alanına sahip bir güneş panelinden günlük olarak bataryalarda 400 Wh enerji depolanabileceğini sonucu elde

edilmiştir. Bazı çok güneşli günlerde depolanan enerji 600 Wh değerine kadar yüksek olabilmektedir. 25 Ekim 2010 tarihinde sabah saat 08:00 ile 17:00 arasında hava çok güneşli olduğu için 585,03 Wh enerji depolanabilmektedir.

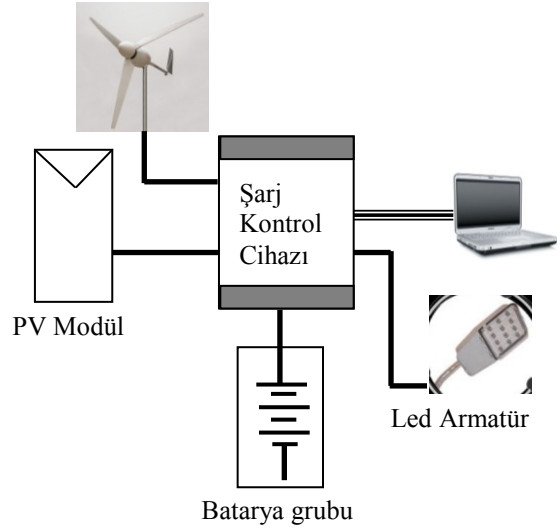
Günlük ve mevsimsel değişiklikleri mümkün olduğunca en aza indirmek amacıyla, şarj sisteminin potansiyelinin tespit edilmesi ve HEA için güneş enerjisinin kullanılabilirliğini bulmak için ölçümler 5 aylık bir zaman diliminde yeterli kabul edilerek alınmıştır. Fotovoltaik batarya şarj sistemi, güneş panelinden alınan elektrik enerjisini bataryalarda depo edilebilir bir şekilde kurulmuştur. Daha büyük miktarlarda enerji elde etmek için güneş panellerinin yüzey alanı ve sayısı artırılabilir. Bu çalışmanın sonuçları bir sonraki proje olan elektrikli araçların bataryalarını şarj etmek için bölgede bir şarj istasyonunun kurulmasına bir temel oluşturacaktır. Fotovoltaik güneş panelleri ile üretilen enerji araç bataryalarına iki şekilde aktarılabilir:

- 1- Güneş enerjisinin kurulduğu yerde aracın bataryasını sisteme bağlamak.
- 2- Batarya değişimi yapmak. Bu sistemde değiştirilebilir bataryalar kullanılır.

Eğer birinci sistem kullanılırsa araç nerede park edilmişse güneş enerjisi orada mevcut olmalıdır. Böylece elde edilen tüm güneş enerjisi araç park halindeyken verilebilecektir. Bu nedenle güneş enerjili şarj sistemlerinin park yerlerinde ya da araç gün boyu nerede bulunuyorsa oraya kurulması gerekmektedir. İkinci sistem kullanılırsa bataryalar evlere kurulan güneş enerjili sistemleri ile şarj edilebilir. Böylece araç bir önceki günde depolanan güneş enerjisini kullanacaktır. Batarya değişimi ayrıca gece olduğu taktirde rüzgâr enerjisinden de yararlanmayı sağlayacaktır. İşe gidilmeden önce aracın boşalmış bataryası hazır olan batarya ile değiştirilerek bir sonraki gün için enerji depolanması sağlanacaktır. Bu işlem bir döngü halinde sürecektir.

Güneşli olmayan hava koşullarında bataryada depolanan enerjinin düşük seviyelerde olacağı göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu durumlarda araç içten yanmalı motorunu kullanacaktır. Bulutlu hava koşullarında rüzgâr enerjisinin kullanılması batarya şarjında büyük bir ilave etkisi olacaktır.

Fotovoltaik batarya şarj sistemi blok diyagramı Şekil 4’de görülmektedir. Fotovoltaik elektrik üretim sistemi, güneş enerjisinden elektrik üretimi sağlayan fotovoltaik panel, şarj kontrol ünitesi, enerji depolama için batarya grubu, üretilen ve bataryada depolanan elektrik enerjisinin harcanması için gece saatlerinde çalıştırılan led aydınlatma armatürü ve tüm verileri kayıt altına alan diz üstü bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 4. Fotovoltaik batarya şarj sistemi blok diyagramı.

Fotovoltaik enerji depolama sistemi fotoğrafı Şekil 5 de görülmektedir. Şekil 6 da ise fotovoltaik enerji depolama sistemi, şarj kontrol cihazı, akü grubu ve enerji kayıt sisteminin yer aldığı panelin iç fotoğrafı görülmektedir. Enerji kayıt sisteminden alınan veriler ile oluşturulan ortalama günlük depolanan güneş enerjisi değişimi Şekil 7’de gösterilmektedir.

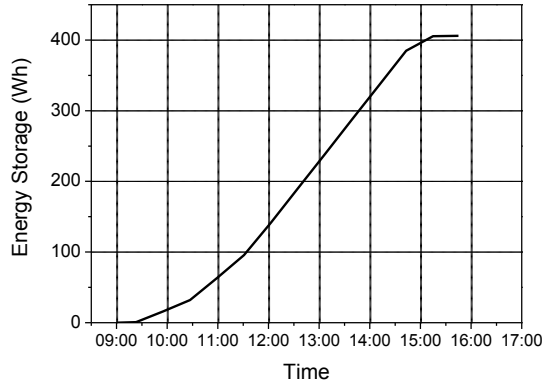


Şekil 5. Fotovoltaik enerji depolama sistemi fotoğrafı.

Ortalama bir aracın, günde yaklaşık 32 km hareket edebilmesi için gerekli enerji yaklaşık 5200 Wh olduğu kabul edilmektedir. Kocaeli bölgesinde bir evin çatısına yerleştirilecek 13 adet 1 m² ölçülerinde fotovoltaik panel grubunun (toplam 2470W) güneş enerjisinden elde edilecek enerji ile evin hibrit aracının günde 32 km gitmesini sağlayacak enerjiyi depolaması mümkün görülmektedir.



Şekil 6. Fotovoltaik enerji depolama sistemi, şarj kontrol cihazı, akü gurubu ve enerji kayıt sistemi fotoğrafı.



Şekil 7. Ortalama günlük depolanan güneş enerjisi değişimi.

5. Sonuçlar

Petrol türevi fosil yakıtların yüksek enerji yoğunluğu (6 kWh/l) ve düşük maliyetleri nedeniyle İYM'lar araç tahrik sistemlerinde temel güç kaynağı olarak tercih edilmektedir. İYM ile %30 düzeyinde bir verim ile yakıt tankından tekerleklerle aktarılan güçle kabul edilebilir bir menzil ve performans elde edilmektedir. Bununla birlikte fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan çevresel endişeler ve artan yakıt fiyatları, daha yüksek verimli ve çevreye daha az zarar veren araçların geliştirilmesini zorlamaktadır. Tahrik sistemlerinin elektrikle çalıştırılması fikri kısa vadede yakıt tüketimini azaltmanın çözümü olarak görülmektedir.

Fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olmasına rağmen fosil yakıtlara olan talep her geçen gün daha da artmaktadır. Son yıllarda otomotiv sektöründeki yakıt tüketimi diğer sektörlerle göre daha hızlı artmıştır. Bu artışın en önemli nedeni geleneksel İYM ile tahrik edilen araçların giderek artan kullanımınıdır. Bunun neticesinde sera etkisi gibi araç emisyonlarından kaynaklanan çevresel problemler de artmaktadır. Günümüzde HEA'lar diğer araçlara göre enerji verimliliğini artırdığı için oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışmada, HEA hakkında genel bilgiler verildikten sonra günümüz araçlarına alternatif olarak gündeme gelen araç teknolojileri tanıtılmakta, HEA'daki modern enerji depolama teknolojileri anlatılmakta ve bu konuda Kocaeli Üniversitesi'nde gerçekleştirilen HEA için Fotovoltaik Batarya Şarj Sistemi ile ilgili deneysel çalışmalar ve sonuçları hakkında bilgiler verilmektedir.

Sonuç olarak, Kocaeli bölgesinde bulunan bir evin çatısına yerleştirilecek yaklaşık 13 m² ölçülerinde ve 2470 W gücündeki fotovoltaik panel grubunun güneşli bir günde üreteceği elektrik enerjisinin depolanmasıyla, bir HEA'nın günlük 32 km hareket edebilmesi için gereken 5200 Wh enerji sağlanabilmektedir. Ancak bu değerlerin güneşlenme durumu ve hava sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermesi oldukça normaldir. Ayrıca bölgeye bağlı olarak küçük güçlü bir rüzgar türbinin de sisteme ilave ile bu gereksinimlerin oldukça kısa sürede sağlanması ve araç menzilin yüksek değerlere çıkması da mümkün görülmektedir.

6. Teşekkür

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından 2010/044 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

7. Referanslar

1. C. C. Chan, Alain Bouscayrol, Keyu Chen, "Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling" IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 59, NO. 2, pp. 589-598, 2010.
2. N., Ünlü, vd. "Elektrikli Araçlar" TÜBİTAK MAM, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Kocaeli, 2003.
3. R.A. Sutula, "Energy Storage Technologies for Hybrid Electric Vehicles" report.
4. A. Emadi, J.L. Young K. Rajashekara, "Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles" IEEE Transaction on Industrial Electronics Vol. 55, Issue 6, Page(s):2237 – 2245, June 2008.
5. S. M. Lukic, J. Cao. R.C. Bansal, F. Rodriguez, A. Emadi, "Energy Storage Systems for Automotive Applications" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, pp 2258-2267, 2008.

ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK ELEKTRİK ÜRETİM SİSTEMLERİNİN GÜÇ KALİTESİNE ETKİLERİ

Samet Çalıkoglu¹, Engin Özdemir², Mehmet Uçar³

¹Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi ABD, 41380, Umuttepe, Kocaeli

²Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 41380, Umuttepe, Kocaeli

³Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı, 81010, Düzce

e-posta: ¹samet_calikoglu@hotmail.com, ²eoazdemir@kocaeli.edu.tr, ³mehmetucar@duzce.edu.tr

Özet

Yenilenebilir enerji bilincinin oluşmasıyla, fotovoltaik (FV) güç sistemlerine duyulan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, günümüzde tüm dünyada kullanımı hızla artan şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sistemleri incelenmekte ve bu tür sistemlerin elektrik şebekesine olan güç kalitesi etkileri araştırılmaktadır. Bu amaçla, tek-faz şebeke bağlantılı FV evirici içeren 360 Wp FV elektrik üretim sisteminden alınan bazı gözlem ve ölçümler sunulmaktadır. Ayrıca, ülkemiz için yeni olan şebeke bağlantılı FV güç sistemlerinin, şebeke bağlantısında karşılaşılan sorunlar ve çözüm yöntemleri tanımlanmaktadır. Şebeke bağlantı sorunlarını azaltmak ve güç kalitesini iyileştirmeye yönelik çalışmalar, önümüzdeki yıllarda ülkemizde kurulacak olan şebeke bağlantılı FV güç sistemleri için önemli avantajlar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik elektrik üretimi, şebeke bağlantılı evirici, güç kalitesi, harmonik.

1. Giriş

FV güç sistemi kurulumları son yıllarda büyük artış göstermektedir. 2008 yılında FV pazarı, önceki yıllara oranla önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Bu ilerlemenin en önemli nedeni, İspanya'nın FV endüstrisindeki payını büyük oranda artırması olmuştur. 2007 yılında 560 MW FV güç sistemi kurulan İspanya'da, 2008 yılında 2511 MW sistem kurulmuştur. 2008 yılı için, İspanya haricinde diğer ülkelerde de önemli gelişmeler yaşanmıştır. Almanya'da 1500 MW, Amerika'da 342 MW, Japonya'da 230 MW'lık FV güç sistemi kurulmuştur. Bu gelişmelerle, 2008 yılında, toplam FV kurulu gücü 5.559 MW olmuştur [1-2].

Ülkemizde ise 29.12.2010 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanan "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" ile artık yenilenebilir enerji üretiminin önündeki belirsizlik ortadan kalkmış yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin şebekeye satış fiyatı kanunla belirlenmiştir.

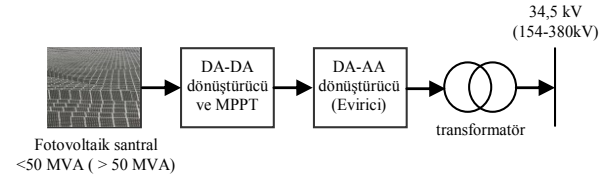
Bu kanuna göre; güneş enerjisine dayalı üretim tesisi tarafından üretilen elektrik enerjisi devlet tarafından on yıl süreyle 13,3 ABD Doları cent/kWh destekle alınacaktır. Ayrıca devlet desteğinin yerli üretimi destekleyecek yönde üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle ABD Doları cent/kWh olarak; FV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı 0,8 cent, FV modülleri 1,3 cent, FV modülünü oluşturan hücreler 3,5 cent, evirici 0,6 cent, FV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme 0,5 cent ilave destekler öngörülmüştür. Bu kanun ile güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesislerindeki aksamın sağlaması gereken standartlar ve denetimlerde uygulanacak test yöntemleri ile birlikte, bu tesislerde ve hibrit üretim tesislerinde üretilen elektrik enerjisi içerisindeki güneş enerjisine dayalı üretim miktarlarının denetimine ilişkin usul ve esaslar EPDK'nın görüşü alınarak Bakanlık tarafından çıkarılacak yönetmelikle belirlenecektir.

Dağıtık üretimin bir parçası olarak FV elektrik üretim sistemleri güç elektroniği devreleri içerdiğinden şebekede güç kalitesi problemlerine neden olmaktadır. Şebekeye bağlı FV elektrik üretim sistemlerinin güç kalitesine etkileri ile ilgili araştırmalar bulunmaktadır [3-5]. Dağıtım sistemine bağlı çok sayıdaki FV eviricilerin harmonik etkileri analiz edildiğinde eviriciler tarafından üretilen harmoniklerin şebeke ile etkileşimi sonucunda rezonans olayı olasılığı tespit edilmiştir [4-5]. Bu çalışmada, kullanımı hızla artan şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sistemleri ve bu sistemlerin elektrik şebekesine olan güç kalitesi etkileri incelenmektedir.

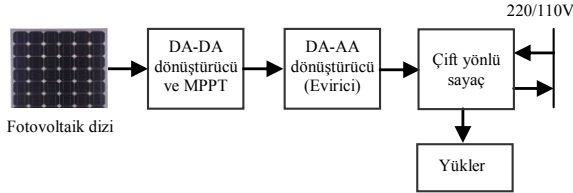
2. Şebeke Bağlantılı FV Elektrik Üretim Sistemleri

Şebeke bağlantılı FV güç sistemleri iki şekilde tasarlanabilmektedir. Bu sistemlerde, üretilen Doğru Akım (DA), evirici aracılığıyla Alternatif Akıma (AA) çevrilerek doğrudan şebekeyi besleyebileceği gibi, eviriciden sonra çift yönlü sayaç kullanılarak hem çeşitli yükler beslenebilir hem de üretilen fakat kullanılmayan fazla enerji şebekeye verilebilir. Elektrik üretim santrali olarak kullanılan, sadece şebekeyi besleyen sistemlerde, bağlantı noktası,

sistemin kurulu gücüne göre değişiklik göstermektedir. Kurulu gücü, 50 MVA'ya kadar olan sistemler 34,5 kV dağıtım hattı gerilim seviyesinden, 50 MVA üzeri olanlar ise 154 kV veya 380 kV iletim hattı gerilim seviyesinden şebekeye bağlanırlar [6]. Bu sistemlerin en önemli avantajı, üretilen enerjinin depolanma ihtiyacının olmamasıdır. Bu sayede, akü ve şarj kontrol cihazı masrafları ortadan kalkmaktadır. Şekil 1'de elektrik üretim santrali olarak kullanılan, sistemlerin güç akış diyagramı görülmektedir. Şekil 2'de ise, evsel uygulamalarda kullanılan, üretilen enerjinin şebekeye verildiği, harcanan enerjinin şebekeden alındığı sistem görülmektedir.



Şekil 1: Şebeke bağlantılı FV santral güç akış diyagramı.



Şekil 2: Evsel uygulamalarda kullanılan şebeke bağlantılı FV sistem güç akış diyagramı.

Şebeke bağlantılı bir eviricinin şebekeye aktardığı güç öncelikle yerel yükler tarafından tüketilmektedir. Artan güç ise elektrik şebekesine verilerek daha uzaklarda bulunan yükler tarafından tüketilmektedir. Genellikle 5 kW altındaki güçlerde tek-fazlı şebeke bağlantılı eviriciler, daha yüksek güçlerde ise 3-fazlı şebeke bağlantılı eviriciler kullanılmaktadır.

3. Şebeke Bağlantılı FV Sistemlerin Güç Kalitesi Parametreleri

Şebeke bağlantılı FV eviriciler şebekeye mümkün olabilecek en yüksek güneş gücünü aktarmak için Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNI, MPPT, Maximum Power Point Tracker) modunda çalışmaktadır. Bu mod, mevcut sıcaklık ve ışınım koşullarında en yüksek gücün elde edildiği panel gerilimi ve akımını saptayarak eviricinin panel dizisinden aynı gerilim ve akım değerlerini çekmesini sağlar. Eviricilerin bu gücü AA akıma çevirerek minimum harmonik bozulma ve faz kayması ile AA şebekeye aktarması amaçlanmaktadır. Dolayısıyla güç kalitesi şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sistemlerinde en önemli konulardan birisidir.

FV sistemlerin şebeke bağlantısı yapılmadan önce, sistemin şebeke üzerinde nasıl etkiler göstereceği değerlendirilmelidir. Şebekeye ek güç sağlamak

isterken şebekeyi olumsuz etkilemekte mümkündür. Bu sebeple, kurulacak sistemin bağlantı yapılacağı şebekeyle senkronizasyonu çok iyi olmalıdır. Elektrik dağıtım kuruluşu, şebeke bağlantısı yapılacak sistemler için önemli hususları belirler ve bunlara uyulmasını ister. Bu hususlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

Aşırı ve düşük gerilim: Yenilenebilir enerji kaynaklarının çıkış gücündeki değişim uyarınca şebeke gerilimi seviyesinde azalma ve artma yönünde yavaş değişimler gözlemlenmektedir. EN50160 standardı uyarınca orta gerilim şebekesindeki gerilim değişimleri $\pm 10\% V_{rms}$ değerini geçmemelidir [7].

Ani gerilim değişimi: Şebekede kısa devre gibi sorunlarla karşılaşıldığında, koruma rölesi tarafından bu sorun algılanır, fakat kesiciler şebeke bağlantısını kesene kadar geçecek sürede gerilim çökmesi yaşanır. Gerilim çökme süresi, koruma rölelerinin ve kesicilerin çalışma süresine bağlıdır [8].

Gerilim dengesizliği: Gerilim dengesizliği, üç fazlı sistemlerde her fazın genliğinin birbirinden farklı olduğu durumdur. FV sistemlerdeki faz farkları, dağıtım hattında fazlar arasında gerilim dengesizliğine sebep olabilir [8].

Harmonik: Bir harmonik dalga, temel frekansın birkaç katı olarak kendini gösteren frekanslar olarak tanımlanır. FV eviriciler yarı iletken anahtarlama elemanları içerdiklerinden harmonik kaynağı olarak adlandırılırlar [8].

Adalama: Şebeke bağlantılı FV güç sistemlerinde, herhangi bir sebepten dolayı şebeke elektriğinin kesilmesi durumunda, FV sistemin elektrik üretmeye devam etmesi elektriksel bir durumdur. Şebeke bağlantılı FV güç sistemleri, elektrik şebekesini güç kalitesi yönünden takip ederek, herhangi bir sorunla karşılaştığı takdirde bu sorunu algılayabilmelidir. Bu sorun karşısında FV sistem eviricisi devreyi açarak elektriğin şebekeye verilmesini önlemelidir. Aksi takdirde, ana şebekenin herhangi bir yerinden kesilen enerji, bütün şebekede enerjinin kesilmesine sebep olmaz ve bakım için sorun oluşturur [8].

Kısa devre kapasitesi: Ülkemizde EPDK ve TEİAŞ tarafından uygulanmakta olan yenilenebilir enerji santrallerinin bağlantı kriterleri uyarınca özellikle rüzgar santralleri için bağlantı yapılacak trafo kısa devre gücünün $\%5$ değerini aşmaması gerekmektedir. Bu sınırlama değeri, dünya genelinde uygulanmakta olan güçlü şebeke tanımı uyarınca esas alınarak hesaplanmıştır. Bu değer pratikte uygulamalar için genel-geçer bir değer olup, her yenilenebilir enerji santralinin kurulum gücü bağlantı yapacağı şebekenin herhangi bir noktası uyarınca değişmektedir [7]. Sistem kısa devre arıza akım limiti olan 16 kA'ın aşılması gerekir [6].

Sistemler arası arızanın süresi: Transformatörlerde alçak ve yüksek gerilim tarafı birbirinden yalıtımlıdır. Sistemler arası arıza, transformatör üzerinde yıldırım düşmesi gibi herhangi bir sorun meydana geldiğinde bu yalıtımın ortadan kalkmasıyla ortaya çıkan arızadır. Böyle bir sorun meydana geldiğinde güç santralinin çalışması durdurulmalı ve şebeke ile bağlantısı kesilmelidir [8].

Frekans değişimi: Güç arzı ve talebi arasındaki dengesizlik frekans dalgalanmalarına sebep olmaktadır. Frekans, güç kalitesi konusunda en önemli faktörlerden biridir. Dolayısıyla şebeke bağlantılı sistemlerde, sistem frekansı şebeke frekansı ile eşit tutulmak zorundadır [8].

DA bileşen: DA bileşen, alternatif akım temel dalga şeklinden pozitif veya negatif yönde meydana gelen sapmaları oluşturur. FV güç sistemlerinde kullanılan transformatörsüz eviricilerde DA bileşenin, şebeke tarafına sızmasını önlemek için, dönüştürücülerde DA bileşen algılayıcıları kullanılmaktadır [8].

Yüksek frekans taşınımı: FV güç sistemlerinin en önemli elemanı olan eviriciler, FV modüllerle üretilen DA gerilimi, 10–20 kHz civarında olan yüksek frekans anahtarlama ile AA gerilime çevirirler. Bu yüksek frekans anahtarlama sebebiyle, eviricide bir elektromanyetik gürültü olur. Bu gürültü, elektrik kablolarıyla taşınarak elektronik cihazlar üzerinde olumsuz etki gösterir [8].

Hat iletim kapasitesi: Şebekenin herhangi bir noktasına yenilenebilir enerji kaynağı bağlamadan önce o noktayı şebekeye bağlayan hatlarda aşırı yüklenme olmayacağından emin olunmalıdır. Hattın tipi ve dağıtım trafosunun kurulu gücü yenilenebilir enerji kaynağından şebekenin diğer noktalarına iletilecek gücün sınır değerini belirlemektedir [7].

İletim ve dağıtım kayıplarının azalması: Büyük güçlü elektrik üretim santralleri genellikle tüketim noktasına uzak yerlere inşa edilirler. Güç kaybı mesafe ile orantılı olarak arttığından güç iletimi ve dağıtımında büyük miktarda kayıplar olmaktadır. Fakat FV sistemler, güneş ışığının olduğu yerler olmak koşuluyla, tüketim noktasında kurulabilirler. Böylelikle, iletim ve dağıtım kayıplarında önemli ölçüde azalmalar olur. Ayrıca, FV güç sistemleri bina çatısına veya ön yüzeyine monte edilebilir [8].

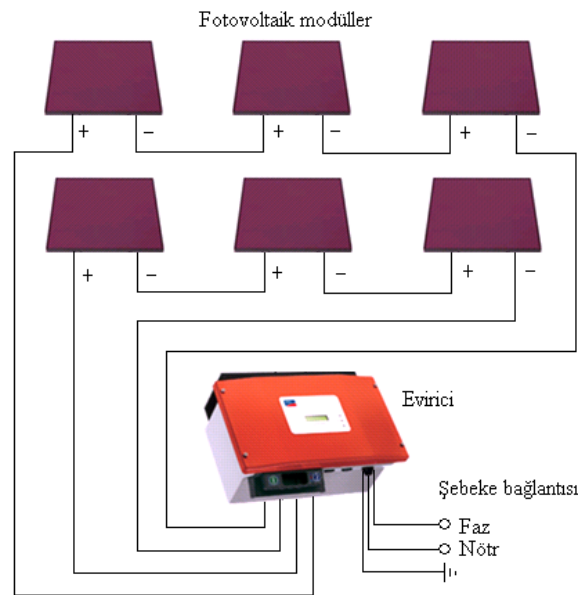
Arz güvenliği: FV sistemlerin güç çıkışında, herhangi bir kaza veya doğal afet tarafından kesinti oluşabilir. Sık sık doğal afet deneyimi yaşayan Japonya’da FV sistemler acil durumlarda elektrik kesintilerine rağmen, sisteme güç aktarabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcılar FV sistemleri normal moddan ada moduna dönüştürebilirler. Bu sistemde akü grubunun, sisteme dahil edilmiş olması gerekmektedir [8].

Maksimum güç talebi: Her ne kadar bölgesel koşullara bağlı olsa da, genel olarak, elektrik tüketimi gündüz vakitlerinde artarken, gece vakitlerinde azalmaktadır. FV sistemlerin, gündüz vakitlerinde elektrik üretimi yaptığı için, maksimum güç talebinin olduğu zamanlarda güç ihtiyacının karşılanıp karşılanamayacağı önemli bir konu olmuştur. Özellikle, sıcak iklimli ülkelerde, FV sistemlerin yaz aylarında soğutma ihtiyacını karşılayabilmesi gerekir. Diğer taraftan, FV sistemler tarafından güç temininin etkisini değerlendirmek kolay değildir. Örneğin, birçok ülkede akşam vakitlerinde güç talebi fazla olabilmektedir. Dolayısıyla, enerji sıkıntısı olmaması için, FV sistemler enerji depolama sistemleri ile desteklenmelidir. Eğer FV sistem yüksek güç çıkışı verdiği zamanlarda akülerle enerji depolar, ve bunu yük ihtiyacı için kullanırsa, şebekeden çekilecek tepe güç değerlerinde azalma olur [8].

Güç kalitesi yönetimi: FV sistemlerde gerilim dalgalanması, kısa devre kapasitesi ve harmonikler gibi olumsuz etkiler, yüksek performanslı güç dönüştürücüsü kullanılması halinde olumlu etkiye dönüştürülebilir. Aktif filtre ve statik VAR kompanzasyon ünitesi ile kaliteli güç dönüştürücüsü elde etmek mümkündür [8].

4. Şebeke Bağlantılı FV Elektrik Üretim Sistemi Uygulaması

Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakülte’sinde, 360 W_p gücündeki şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sisteminin uygulaması, gerçekleştirilmiştir [9]. Şekil 3’de 360 W_p şebeke bağlantılı FV güç sistemi bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 3. 360 W_p şebeke bağlantılı FV güç sistemi bağlantı şeması.

6 adet 60 W_p ince film FV modül kullanılarak üretilen FV elektrik enerjisi, Teknik Eğitim Fakültesi binasına alınarak dağıtım panosuna şebeke bağlantılı evirici üzerinden bağlanmıştır. Kullanılan FV modül nominal gerilimi 67 V'tur. Sistem akımının şebekeyle uyumlu olması açısından AA gerilime çevirebilmek için MGNİ yapabilen şebeke bağlantılı evirici kullanılmıştır. Güneş panellerinden alınan enerji ile evirici üzerinde, üçü seri olmak üzere iki adet paralel kol oluşturulmuştur. 201 V olan toplam sistem gerilimi 139 V–400 V aralığındaki evirici DA girişine bağlanmaktadır. Ayrıca, şebeke bağlantılı evirici bu sisteme ilave edilebilecek, toplam gücü 1200 W_p'a kadar olan FV modüllerle beslenebilecek şekilde seçilmiştir.

Evirici üzerinde bulunan ekrandan, FV sistemden şebekeye aktarılan güç, sistem gerilimi, üretilen toplam enerji miktarı, gün içinde üretilen enerji miktarı ve sistemin toplam çalışma süresi görülmektedir. Ayrıca bu değerler, uzaktan izleme ünitesi ve internet bağlantısı ile de takip edilebilmektedir. Şekil 4'de 360 W_p şebeke bağlantılı FV elektrik üretimi sistemine ait FV modüllerin fotoğrafı görülmektedir. Şekil 5'de MGNİ içeren şebeke bağlantılı evirici fotoğrafı görülmektedir. Tablo 1'de şebeke bağlantılı evirici teknik özellikleri verilmektedir.



Şekil 4. FV modüllerin fotoğrafı.

Sistem kurulumu 10 Mart 2010 günü tamamlanmıştır. FV modüllerin ilk 2-3 yıl içinde ürettiği güç, normal gücünün %10 fazlası olabilmektedir. Bu ihtimal dahilinde, kurulan sistemden 12 Mart 2010 Cuma günü maksimum 402 W gücün şebekeye aktarıldığı gözlemlenmiştir. 19 Mart 2010 Cuma günü 2,6 kWh enerji üretilerek maksimum enerji üretimi yapılmıştır. Bu değer, bir gün içinde yaklaşık 7 saat boyunca sistemin maksimum enerji üretiminde bulunduğunu göstermektedir. Sistem kurulumundan 15 gün sonra, 25 Mart 2010 Perşembe günü ise, toplam üretilen enerji 25 kWh olmuştur. Kurulumdan tam bir yıl sonra 10 Mart 2011 Perşembe günü toplam çalışma süresinin 3898 saat, üretilen toplam enerjinin ise 421,2 kWh olduğu gözlemlenmiştir.

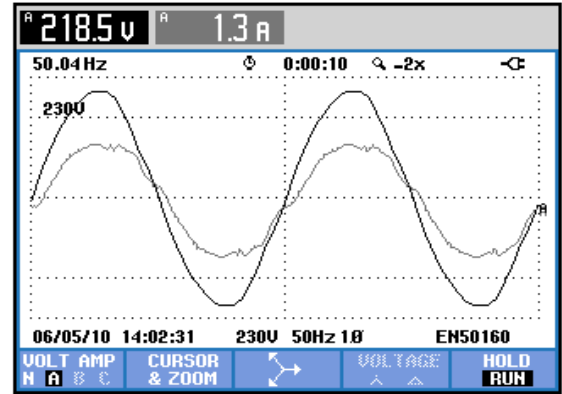


Şekil 5. Şebeke bağlantılı evirici fotoğrafı.

Tablo 1. Şebeke bağlantılı evirici teknik özellikleri.

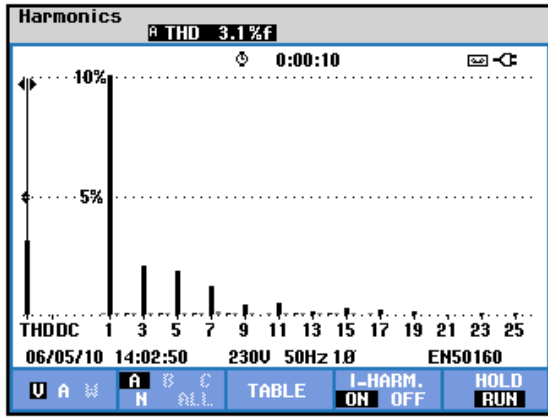
Parametreler	Değerler
V _{DA} maksimum	400 V
V _{DA} MPP	139 - 400V
I _{DA} maksimum	10 A
V _{AA} nominal	230 V
f _{AA} nominal	50/60 Hz
P _{AA} nominal	1000 W
I _{AA} nominal	4,4 A
Cosφ	1

Kurulan FV elektrik üretim sisteminin şebeke tarafında Fluke 434 güç kalitesi analizörü ile ölçümler alınarak akım, gerilim ve harmonik incelemesi yapılmıştır. Şekil 6'da, güneşli bir günde saat 14:02:31 itibarı ile alınan ölçümde akım ve gerilim dalga şekilleri görülmektedir. Ölçülen gerilim 218,5 V ve akım 1,3 A'dır.

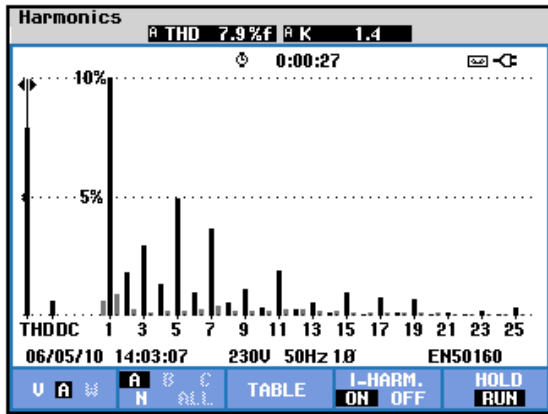


Şekil 6. FV güç sisteminin şebeke tarafından alınan akım ve gerilim dalga şekilleri.

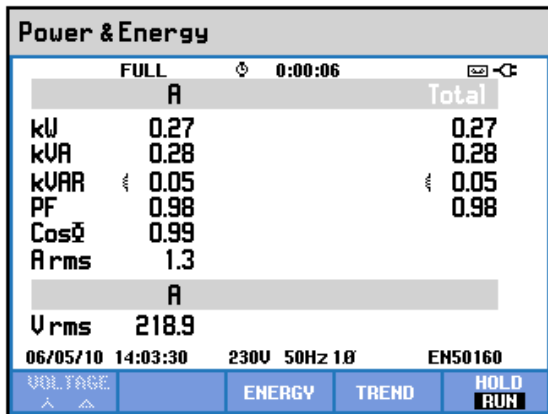
Sistemin şebekeye verdiği gerilim ve akımın harmonik dağılımları ise sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmektedir. Toplam Harmonik Bozulma (THB) gerilim değeri %3,1 ve THB akım değeri %7,9'dur. Bu değerlerin IEEE 519-1992 standardında belirtilen %5 sınır değerine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 9'da saat 14:03:30 itibarı ile sistemden alınan güç değerlerine göre, sistem geriliminin 218,9 V, akımının 1,3 A, gücünün 0,27 kW ve güç faktörünün 0,98 olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Şebeke gerilimi harmonik dağılımı.



Şekil 8. Şebeke akımı harmonik dağılımı.



Şekil 9. FV güç sisteminden alınan güç değerleri.

5. Sonuçlar

Günümüzde enerji, dünya siyasetinde en önemli konu olarak gösterilebilir. Enerjinin bu kadar önemli olduğu bir zamanda, yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları her ülkenin ilgisini çekmektedir. Dünya üzerinde, FV güç sistemleri ile elektrik üretimindeki artışla beraber, ülkemizde de bu bilinç oluşmuş ve birçok farklı uygulama yapılmıştır. Bu çalışmada, şebeke bağlantılı FV güç sistemleri açıklanmakta ve şebeke bağlantısında dikkat edilmesi gereken önemli

hususlar üzerinde durulmaktadır. Ayrıca, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlantısıyla ilgili güncel gelişmeler anlatılmakta ve Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde uygulaması yapılan 360 W_p şebeke bağlantılı FV elektrik üretim sisteminin güç kalitesine etkileri açıklanmaktadır. Yapılan gözlem ve ölçüm sonuçlarından, FV elektrik üretim sisteminde kullanılan şebeke bağlantılı eviricilerin harmonik bozulma değeri bakımından dikkatle seçilmesi gerektiği öngörülmektedir.

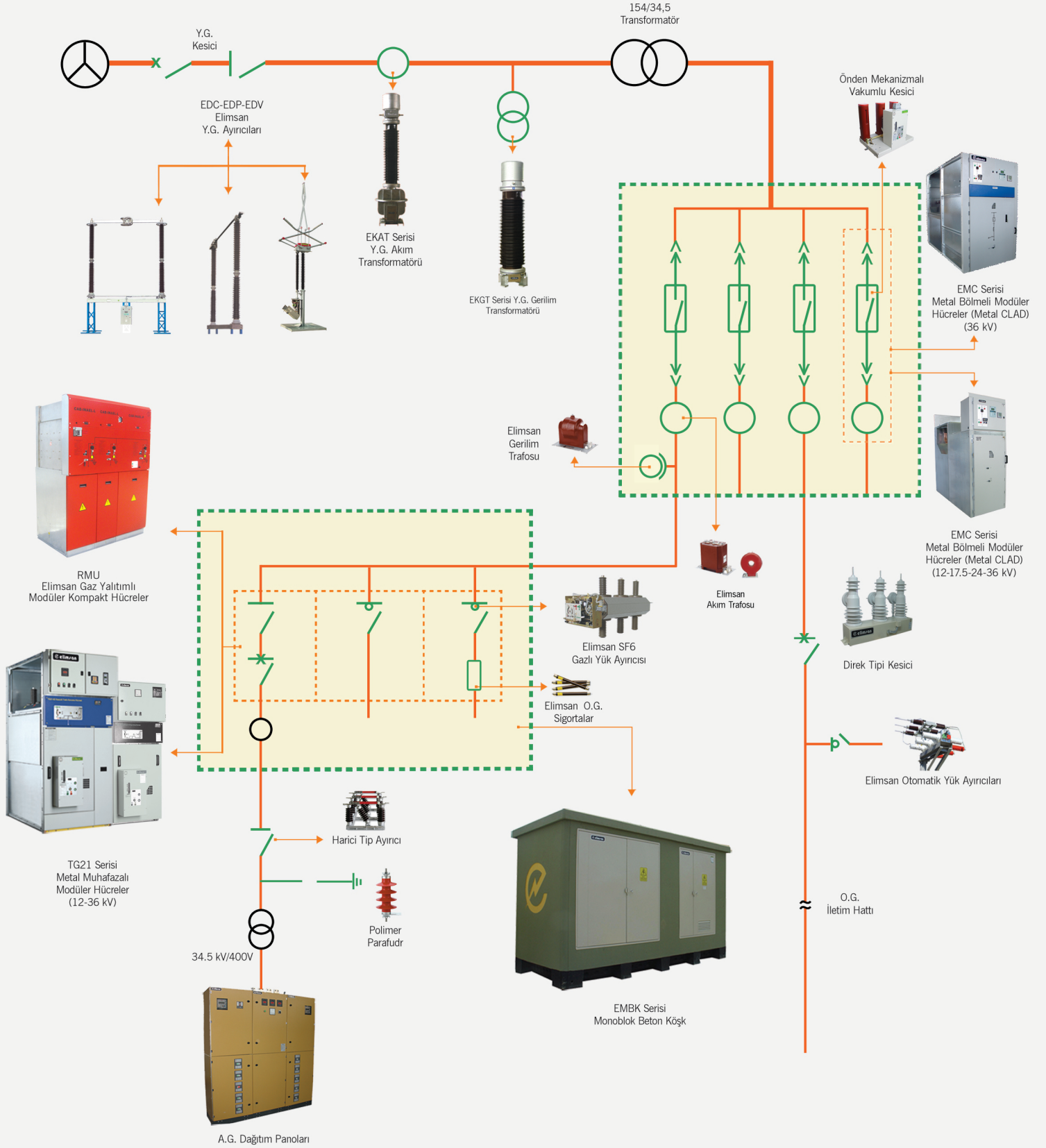
6. Teşekkür

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi hızlı destek programı tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] European Photovoltaic Industry Association, "Global Market Outlook for Photovoltaics until 2013, EPIA, 4, 5, (2009).
- [2] European Photovoltaic Industry Association, "Global Market Outlook for Photovoltaics until 2014, EPIA, 3, (2010).
- [3] A. Çelebi, M. Çolak, "Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemlerde Oluşan Harmoniklerin Şebekeye Etkileri" YEKSEM'05, (2005).
- [4] J.H.R. Enslin, Peter J. M. Heskes, "Harmonic Interaction Between a Large Number of Distributed Power Inverters and the Distribution Network," IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 19, No. 6, (2004).
- [5] P.J.M. Heskes, "Power Quality Behaviour of Different PV Inverter Topologies", PCIM 2003, 24th International Conference, Germany, (2003).
- [6] B., Şimşek, "Dağıtım Gerilimi Seviyesinden Bağlı Santrallerin Ülkemizdeki Genel Durumu", PV Platformu Alt Çalışma Grubu Toplantısı, Muğla, 10 Temmuz, (2009).
- [7] E., Akdeniz, "Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi ve Kararlılığına Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 43-57, (2006).
- [8] International Energy Agency, "Overcoming PV Grid Issues in The Urban Areas", IEA, Report IEA-PVPS T10-06-2009, 8, 9, (2009).
- [9] S. Çalıkoğlu, "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Güç Sistemleri İle Elektrik Üretimi" Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [10] S. Çalıkoğlu, E. Özdemir, "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemleri", UTES 2010, 1-5 Aralık 2010, 121-132, Bursa, (2010).

ELİMSAN ORTA ve YÜKSEK GERİLİM İLETİM ve DAĞITIM SİSTEMLERİ



Doğa en değerli ortağımızdır

Tel : 0 (262) 375 23 60 (pbx) | www.elimsangroup.com



elimsan