

GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

İlker İLASLANER (Elektrik-Elektronik Yük. Müh.)- Teiaş Milli Yük Tevzi İşletme
Müdürlüğü- ilaslaner@yahoo.com

1. ÖZET

Günümüzde güç kalitesinin artırılması dağıtım, tüketim ve iletim hatlarında dengeli gerilim ile reaktif güç kontrolü gereksinimi aktif güç filtrelerinin uygulanmalarında ve geliştirilmelerinde büyük sebep olmuştur.

Güç elektroniği elemanlarından oluşan doğrusal olmayan yükler oluşturdukları sistemde harmonikli akım ve reaktif güç çekerek enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde, güç kalitesinin düşmesine sebep olurlar. Aynı zamanda bu tip yükler, üç fazlı sistemlerde dengesizliklere ve nötr hattından aşırı akım çekilmesine neden olabilirler. Doğrusal olmayan yüklerin, sistemde oluşturduğu akım harmoniklerinin meydana getireceği gerilim harmonikleri, sistem içi ciddi problemlere neden olmaktadır. Oluşan bu harmoniklerden sistemin verimliliği ve güç faktörü düşmektedir. Bunun yanında sisteme bağlı bulunan diğer yüklerde de problemlerin oluşabileceği gibi yakın mesafedeki iletişim hatlarında da parazitlerin oluşmasına neden olurlar.

Doğrusal olmayan yükler bulunduran sistemler içerisinde oluşması kaçınılmaz olan problemlerin giderilmesi maksatlı çok sayıda araştırmalar yürütülmüştür. Bu sistemlerde oluşacak harmoniklerin azaltılması ve güç faktörünün arttırılabilmesi için pasif LC filtreleri kullanılmıştır. Sistemde meydana gelen harmoniği; pasif LC filtreleri ancak ayarlanmış bulunan belirli bir frekansta yok edebilirler. Aynı zamanda şebeke empedansı ile rezonans oluşturabilmesi olasılığı bu tip filtreleme sistemlerinin yetersizliğini ve daha da geliştirilmesi gereksinimini netleştirmiştir.

Çalışma sistemleri 1970'lerde sunulan Aktif Güç Filtreleri üzerinde bir çok araştırmalar yapılmış ve geliştirilmesi yönünde günümüzde de olmak üzere pratik uygulamalar yapılmıştır.

Modern elektrik dağıtım sistemlerinde birden bire meydana gelen artışın; günümüzde aktif filtreleme teknolojisi AC şebekedeki harmoniklerin, reaktif gücün ve nötr hat akımının güç katsayılarının düzeltilmelerinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda aktif güç filtreleri, gerilim regülasyonu ve gerilim dalgalanmalarının bastırılabilmesinde de kullanılmaktadırlar.

AC şebekedeki tek fazlı ve üç fazlı doğrusal olmayan yüklerin oluşturacağı akım ve gerilim harmoniklerini filtrelenebilmeleri için, aktif güç filtreleri iki telli, üç telli ve dört telli olmak üzere üç bölümde sınıflandırılmışlardır. Günümüzde doğrusal olmayan tek fazlı yükler yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. İndüksiyon fırınlarında, televizyon, bilgisayar, yazıcı, klima, vb. tek fazlı ve doğrusal olmayan bu yüklerin oluşturduğu harmoniklerden dolayı güç kalitesinin düştüğü bilinmektedir. Aktif güç filtrelerinin uygulama alanlarındaki aşırı gereksinimleri daha pratik çözümler geliştirilebilmesi amacıyla aynı zamanda aktif güç filtrelerinin sabit durum ve geçici rejimlerinin çeşitli parametre etkilerinin incelenilebilmesi ve geliştirilebilmesi için bilgisayar destekli modelleme konusunda yazılım paketleri geliştirilmiştir. Sonuç olarak aktif ve pasif güç filtreli karma yapı gelecekte elektrikli sistemlerde enerji kalitesi için bir vazgeçilmez olacaktır.

Üretimden tüketim noktasına kadar enerji sistemindeki kararlılık için gerekli seri ve paralel kompanzasyonlar yapılmış, sonuç olarak harmonik bileşenlerde azalma sağlanmış ve enerji kalitesindeki artış gözlemlenerek örnek hat için raporlanmıştır.

2. GÜÇ KALİTESİNİN TANIMI

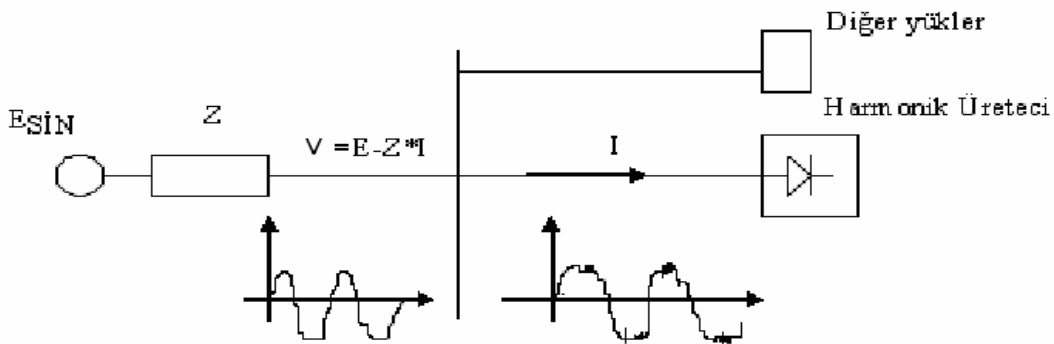
Vazgeçilmez bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşların görevi; kesintisiz, ucuz ve kaliteli bir hizmeti tüketicilerine sunmaktır. Güç kalitesi kavramında amaç; sabit şebeke frekansında olan sabit ve sinüzoidal biçimli kullanıcı gerilimidir. Ancak bu tür elektrik enerjisi pratikte ancak bir takım çalışmalarla sağlanabilir. Güç sistemine bağlanan bazı elemanlar ve bunların yol açtığı olaylar sebebiyle sinüzoidal dalga şeklinden sapmalar olabilmektedir. Tam sinüzoidalden sapma, genellikle harmonik adı verilen bileşenlerin ortaya çıkması ile ifade edilir ve buna sebep olan etkenlerin başında ise manyetik ve elektrik devrelerindeki lineersizlikler gelir [1] .

Kaliteli elektrik enerjisi;

- a- Şebekenin tanımlanan bir noktasında, gerilimin genlik ve frekansının anma değerlerini koruması ve gerilim dalga şeklinin sinüs biçimde bulunmasıdır.
- b- Bu tanımın tersi olarak, gerilimin genliğinin değişmesi, kesintiler, gerilim darbeleri, fliker, dalga şeklinin sinüsten uzaklaşması, frekans değişimleri, üç faz dengesizlikleri enerji kalitesizliğidir.
- c- Enerji kalitesi çoğunlukla yük tarafından bozulur. V-I karakteristiği doğrusal olmayan yükler şebekeden sinüs olmayan akımlar çeker ve bu akımlar şebekede sinüs olmayan gerilim düşümleri oluşturarak besleme noktasındaki gerilimin dalga şeklini bozar.
- d- Gerilim ve /veya akım dalga şekli sinüs biçimde değilse, bu dalgaya Fourier analizi uygulanarak harmonikler bulunur [2].

3. HARMONİKLER

Yarı iletken elemanların yapısı gereği ve sanayide kullanılan bazı doğrusal olmayan yüklerin (transformatör, ark fırınları vb.) etkisiyle; akım ve gerilim dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer sinüzoidal dalgaların toplamından meydana gelmektedir. Temel dalga dışındaki sinüzoidal dalgalara harmonik denir [2].



Şekil 1. Doğrusal olmayan bir yükün sebep olduğu harmonik bozulma devresi

Harmoniğin oluşma sebepleri ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- 1- Manyetik devrelerde doyma,
- 2- Güç kontrol elemanları,
- 3- Doğrusal olmayan yükler,

- 4- Doyma bölgesine çalışan transformatör mıknatıslanma akımları,
- 5- İndüksiyon ısıtma,
- 6- Yarı iletken kontrollü cihazlar,
- 7- Tristörlü dinamik kompanzasyon,
- 8- Deşarj lambaları,
- 9- Kesintisiz güç kaynakları,
- 10- Bilgisayarlar,
- 11- Gaz deşarjlı lambalar ve elektronik balastlar,
- 12- Akü şarj sistemleri,
- 13- Elektrik makinelerindeki dişlerin (olukların üst kısımları) ve olukların meydana getirdiği harmonikler,
- 14- Çıkık kutuplu senkron makinelerde hava aralığındaki relüktans değişiminin oluşturduğu harmonikler,
- 15- Senkron makinelerde ani yük değişimlerinin manyetik akı dalga şekillerindeki bozulmalar,
- 16- Senkron makinelerinin hava aralığı döner alanının harmonikleri,
- 17- Doyma bölgesinde çalışan transformatörlerin mıknatıslanma akımları,
- 18- Şebekedeki nonlineer yükler; doğrultucular, eviriciler, kaynak makineleri, ark fırınları, gerilim regülatörleri, frekans çeviriciler,
- 19- Motor hız kontrol düzenleri,
- 20- Doğru akım ile enerji nakli HVDC (Yüksek Gerilim Doğru Akım),
- 21- Statik VAR (Volt Amper Reaktif) jeneratörleri,
- 22- Olasılıkla elektrikli taşıtların yaygınlaşması ve bunların akü şarj devrelerinin etkileri,
- 23- Enerji tasarrufu amacıyla kullanılan aygıt ve yöntemler (güç sistemlerindeki gerilimin sınırlandırılması için kullanılan paralel reaktörler ve seri kapasitörler) [7],
- 24- Güç elektroniği düzeneklerinin direkt frekans çevirici ile beslenmesi,

4. AKTİF VE PASİF FİLTRE MODELLERİNİN BİRLİKTE KULLANILDIĞI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

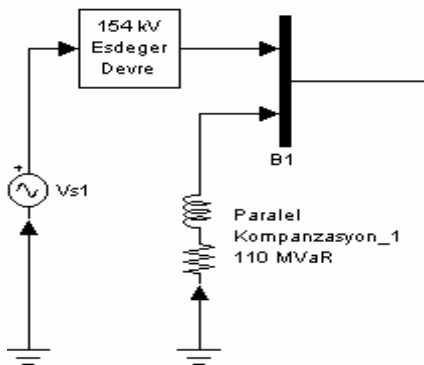
Üç ana kısımdan oluşan elektrik enerjisinin kaliteli aktarım sistemi iletim hattı, indirici trafo ve dağıtım hattının tek fazlı dizaynından oluşmaktadır. Bu çalışmada halen kullanılmakta olan 101 km uzunluğunda Akdağmadeni – Tokat O.S.B.

(Organize Sanayi Bölgesi) 154 kV EİH (Enerji İletim Hattı) ile ilgili bölgeyi yedekli besleyebileceği düşünülen ikinci bir hattın da yapılabileceği kanıtlanmıştır. Burada iletim sisteminde seri kapasitör ve paralel kompanzasyon üniteleri kullanılarak gerilimin daha düzenli bir de daha kaliteli halde aktarılması hedeflenmiştir. 154 kV gerilimli merkezden 150 km uzaklıktaki trafo merkezinde gerilim, 31,5 kV değerine düşürülerek dağıtım hatlarından aktarılacak seviyeye getirilmiştir. Aynı zamanda bu gerilim daha sonraki basamakta yağlı tipteki trafolarla düşülerek abonenin kullanabileceği gerilim değerine indirgenmiş olacaktır.

Bununla birlikte simüle edilecek düzenekte geçici bir toprak arıza olması da (50 ms'ye kadarlık sürede) gerçekleşmiştir. Tekrar kapama rölelerinin ve frekans rölelerinin devreye girme sürelerinden daha kısa bir sürede arıza olup bitmiştir. Bundan dolayı rölelerin en ideal şartlarda 100 ms'de (pratikte 140 ms'de işlem yapmaktadır) açma işlemini ve bu sürenin yarısından az bir zamanda arızanın bittiğini algılayarak kapama yapmaktadırlar. Pratik uygulamasında da başarılı olunabileceği simülasyon sonuçlarından görülmektedir. 0,1-0,15 saniyeleri arasında geçici arıza esnasında gerilim ve bununla birlikte akımın genliklerinde de değişiklik olmaktadır, bu da harmonik seviyesinde değişikliklere sebep teşkil etmektedir.

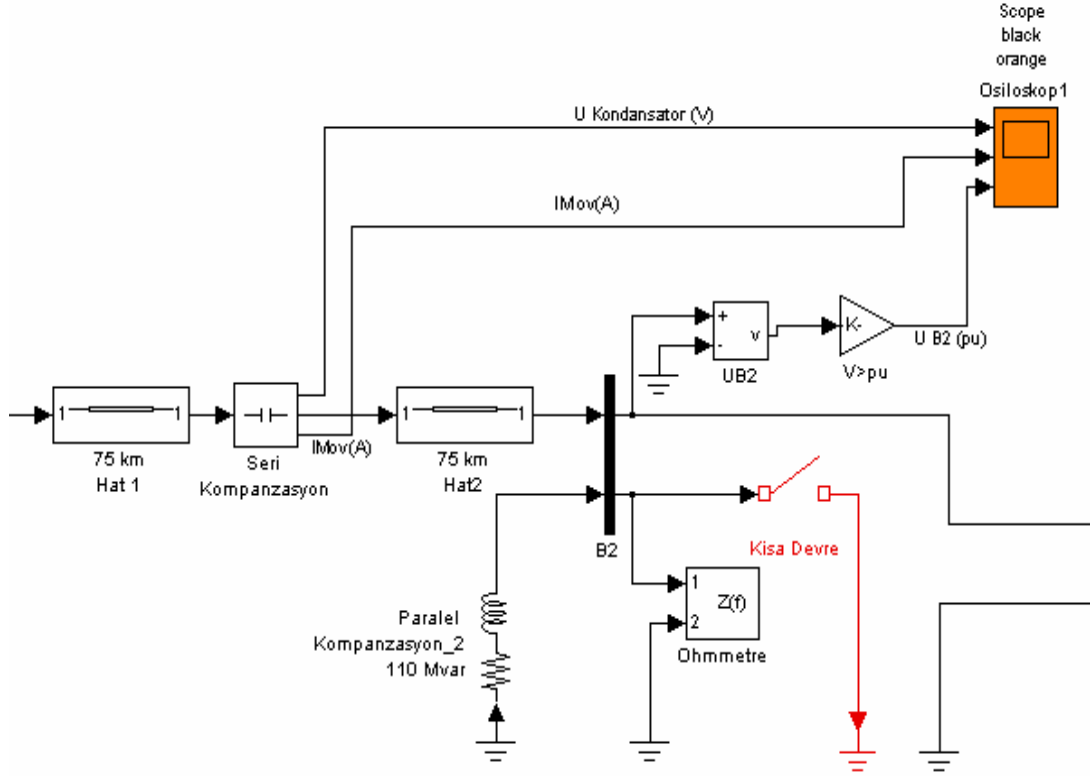
İletim sistemi:

İletim sistemi gerilimi 154 kV değerinde olup kendi şalt sahasında baraya paralel kompanzasyon sistemiyle devrededir. Kompanzasyon sistemi 110 MVar'lık kompanze sistemden oluşmaktadır [3,4]. Şekil 2.'de görüldüğü gibi.



Şekil 2. Paralel kompanzasyonlu 154 kV'luk bara ve hat gösterimi

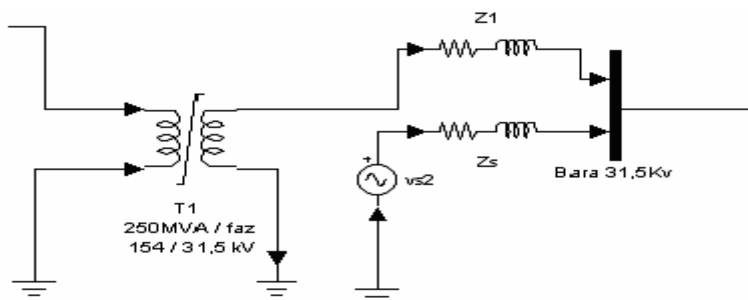
Şekil 3’de belirtilen sistemde 154 kV değerindeki elektrik enerjisi, ana bara veya transfer bara üzerinden iletim hattına aktarılıp 150 km uzaklıktaki güç transformatörüne giriş yapılır. Ayrıca iletim hattının 75. km’sinde seri kompanzasyon kullanılarak metal oksit varistörler yardımıyla gerilimde karalılık sağlanmıştır.



Şekil 3. Seri kompanzasyonlu iletim hattı modeli

İndirici sistem;

Dağıtım sistemi, 154 kV gerilimin ana bara ya da transfer baraya aktarılıp bunu da güç trafosunu kullanarak 31,5 kV’a indiren ve enerji nakil hatlarıyla müşteriye kadar götüren düzenektir.

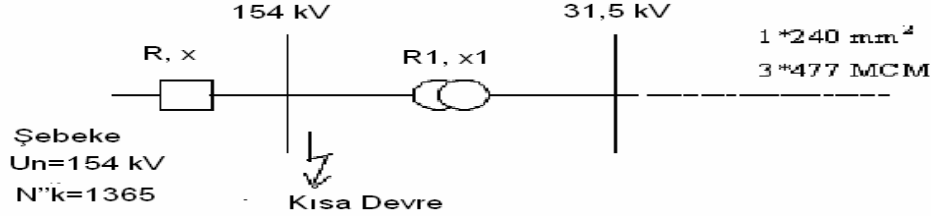


Şekil 4 Yüksek gerilimin alçak gerilime indirilmesi

Kısa devre akımının hesabında ise;

$N_k = 1365$ MVA kesme kapasitesi (kısa devre gücü)

$U_n = 154$ kV



Şekil 5 Kısa devrenin (geçici arızanın) olduğu yere ait tek hat şeması

$$I_{baz} = \frac{N_{baz}}{\sqrt{3} * U_{nominal}}$$

$$x = \frac{100}{N_k''}$$

$$R = 0,1 * x$$

$$Z_{eş} = \sqrt{R^2 + x^2}$$

$$I_{PU} = \frac{1}{Z_{eş}}$$

$$I_{kısadevre} = I_{baz} * I_{PU}$$

$$I_{kısadevre} = 5099,79 \text{ (A)}$$

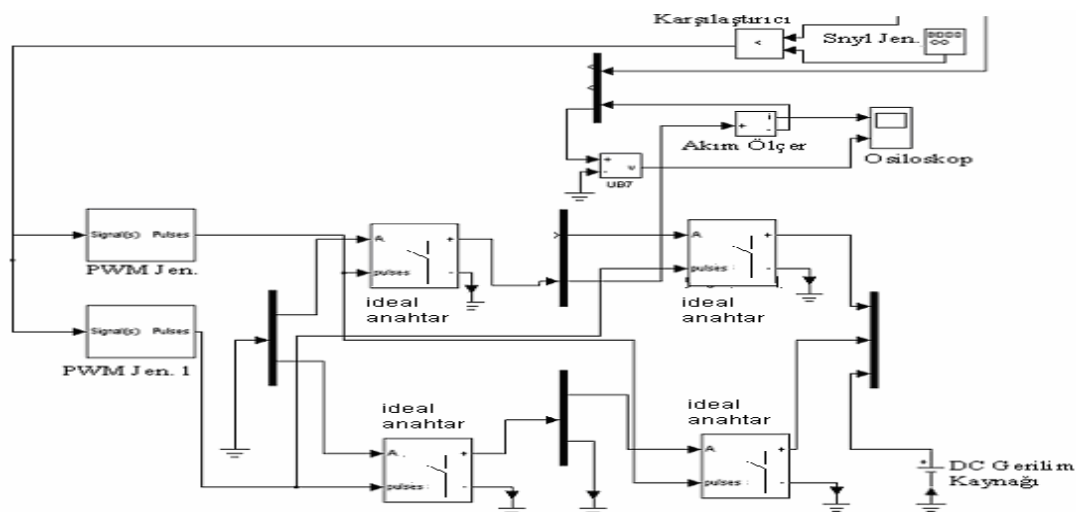
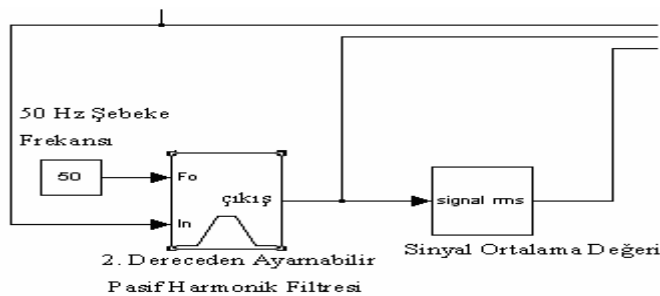
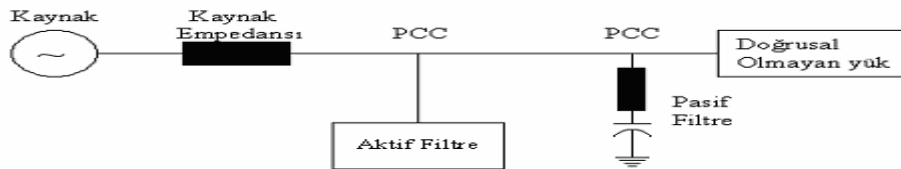
Dağıtım Sistemi;

Dağıtım sistemi 31,5 kV - 380 V gerilim dönüşümlü, 50 MVA gücünde transformatörden oluşmaktadır. Devamında doğrusal olmayan yüklerden, aktif ve pasif filtrelerden oluştuğu gibi kontrol birimi olan karşılaştırıcı üniteyi de bünyesinde bulundurmaktadır. Harmonik oluşumunu tetikleyen ve sebep oluşturan en önemli etmenlerin başında doğrultucu sistemler gelmektedir. Tabi ki bu gibi harmonik etmenine geçici durumlar girdiğinde bozulmuş bir gerilim ve enerji ile karşı karşıya kalınmış olunur. Harmonikleri yok etmenin en uygun yolu da filtre modellerini kullanarak gerçekleştirmektir.

Paralel Aktif ve Pasif Filtreler;

Bu uygulama Şekil 6'da görüldüğü gibi aktif ve pasif çevirici tür filtrelerin en önemli karışımlarından birini içerir. Burada aktif filtreler sadece düşük seviye akım harmoniğini yok etmek için tasarlanırken, pasif filtre ise yük akım harmoniklerinin

çoğunluğunu yok etmek için tasarlanmıştır. Bu tür kombinasyonlarda sistem yüksek güç anahtarlama maliyetini arttırmadan yüksek güç kullanımı için tasarlanabilir. Bu sistemin temel sakıncası ise çok sayıda güç sistemini barındırmasıdır. Özellikle sisteme kalıcı olarak bağlanmakta olan bu yapıdaki pasif filtreler için bu yaklaşım sadece harmonik kaynağı daha önceden tespit edilmemiş tek bir yük için uygundur.



Mevcut 101 km'lik enerji iletim hattı ile iletilen elektriğin kullanıcı bağlantısındaki alınan verileri (şebeke analizöründen 17.01.2005 tarihinde ve saat 15:30'dan 15:45'e kadar yapılan ölçüm sonucunda alınmıştır);

Çizelge 1. Frekans, harmonik bileşen ve gerilim analiz değerleri

Frekans (Hz)	Harmonik Bileşeni	Gerilim(V)
50	1	210
150	3	30
250	5	17
350	7	7
450	9	0
550	11	3
650	13	1

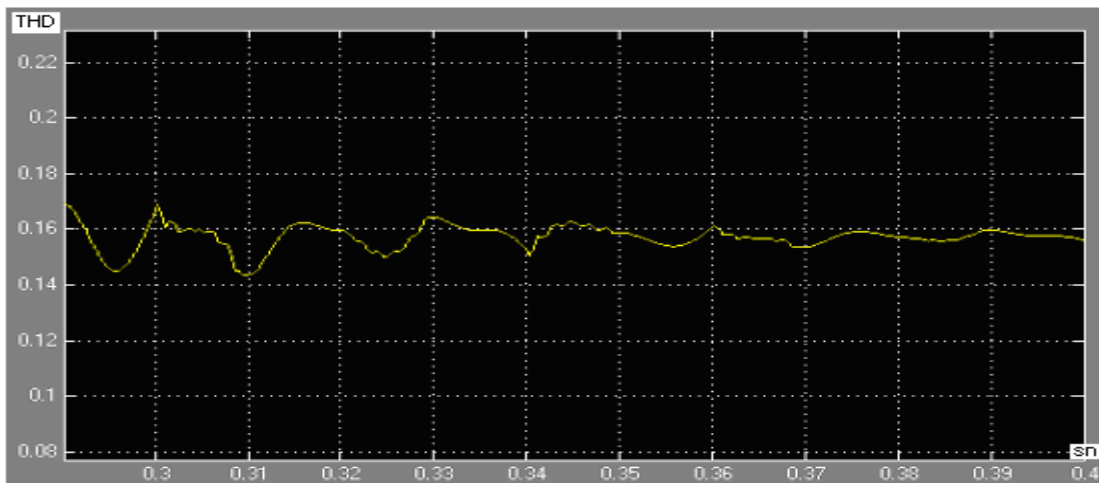
Tam sinüzoidal olmayan gerilimin efektif değeri;

$$V = [210^2 + 30^2 + 17^2 + 7^2 + 3^2 + 1^2]^{1/2} = 212,95 \text{ (V)}$$

olarak hesaplanır. Toplam harmonik distorsiyonu ise;

$$\%THD = ([30^2 + 17^2 + 7^2 + 3^2 + 1^2]^{1/2} / 210) * 100 = \%16,82$$

Aynı şekilde hiçbir filtre kullanılmadan yapılabilecek diğer sistemde ise Resim 1'de görüldüğü gibi %THD (Toplam Harmonik Bozulma) miktarı % 15,6 civarlarında olup mevcut sistemle yaklaşık olarak aynıdır.



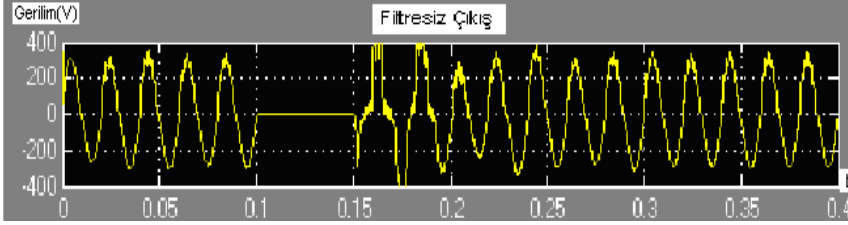
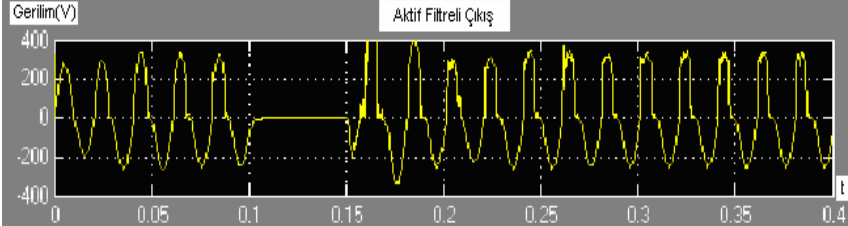
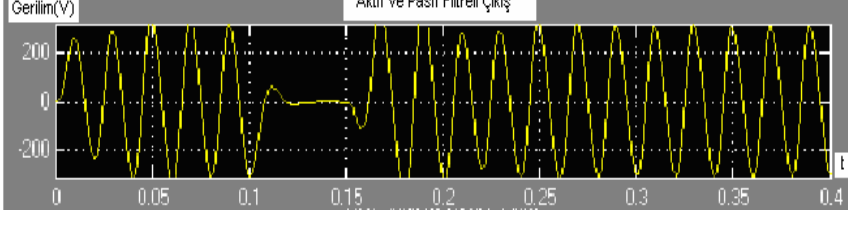
Resim 1. Filtresiz çıkışın THD'nu

150 km'lik yeni hatta ise geçici durumların ve arızaların oluşmasına rağmen aktif ve pasif filtre kullanılarak mevcudundan daha iyi bir sonucu %THD (Toplam Harmonik Bozulma) seviyesini %5,9 seviyesinde oluşundan bellidir. Çizelge 5.4.'te ayrıntılı bir şekilde tüm harmonik bileşenler için gerilim seviyeleri ve filtrenin etkileri görülmektedir.

Çizelge 2. Filtre durumuna göre harmonikli gerilimlerin seviyeleri ve %THD

Harmonik Mertebesi	Filtresiz Durumda Çıkıştaki Gerilimler (V)	Sadece Aktif Filtreli Çıkıştaki Gerilimler (V)	Sadece Pasif Filtreli Çıkıştaki Gerilimler (V)	Aktif ve Pasif Filtreli Çıkıştaki Gerilimler (V)
1	200,51	200,47	216	225
3	26,95	23,5	19,3	5,58
5	9,22	5,2	3,5	1
7	5,73	2,85	1	-
9	2,12	1	-	-
11	3,54	-	-	-
13	3,54	-	-	-
15	4,25	-	-	-
17	8,51	-	-	-
19	3,9	-	-	-
% THD	15,6	12,1	9,1	5,9

Çizelge 3. Farklı filtre modelinde yüke aktarılan gerilim dalgaları

Filtre Tipleri	Gerilim Dalga Formu	% THD
Filtre Yok		15,6
Sadece aktif		12,1
Sadece pasif		9,1
Aktif ve pasif filtreli		5,9

Ayrıca aktif filtre ile sınır değerlere yakın düzeltme sağlansa da bozulma pasif filtre modelinde daha fazla önlenebilmekte, karma modelde de ideal seviye yakalanmaktadır. Bu durumu Çizelge 5.5.'te dalga formu ile de gözlenmektedir. Bu sonuçlar bize aktif ve pasif filtreyi kullanarak harmonik bozulmaları büyük miktarda azaltma imkanı sunmuştur. Özellikle aktif filtre modeli ile gerilim genlik seviyesinde büyük ölçüde sınırlama getirip, pasif filtre ile de harmonik bozulma büyük miktarda azalma sağlanmıştır.

5. SONUÇLAR

Aktif güç filtreleri doğrusal olmayan yüklerin meydana getirdikleri harmonikleri yok ederek güç kalitesini düzeltmektedirler. Aktif güç filtrelerinin verimli çalışabilmeleri için kullanıldıkları yerlere göre değişik bağlantı şekilleri uygulanmalıdır. Pasif filtre kullanımı ise bize hem sistemin gerilimin seviyesinin istenen seviyeye yaklaştırmada hem de bunun yanında harmonik bileşenlerin daha yüksek miktarda azaltılmada çok iyidir. Filtresiz dağıtım sistemlerinde özellikle doğrusal olmaya yüklerin olduğu tüketici gruplarının bulunduğu bir güç sisteminde uygulama sonuçlarından da anlaşılacağı gibi aktif ve pasif filtrenin kullanımı THD'nu düşürecektir. Ayrıca %15'lerde olan harmonik bozulma her iki filtre modelinde kullanılması ile %5 seviyelerine geriletilmiştir.

Sonuç olarak simülasyonu yapılarak pratik gerçekleştirilmesi uygun görülen bu çalışmanın ve benzeri sistemlerin, elektrik dağıtım hatlarında aktif ve pasif güç filtreli karma yapı gelecekte enerji kalitesi için bir vazgeçilmez olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Akaigi, H., "New Trends in Active Filters for Improving Power Quality," **IEEE-PEDED Conference Record**, 416-425, (1996).
2. Yumurtacı, R., "Elektrik Tesislerinde Harmonikler", **Birsan Yayınları**, İstanbul, 42-96, (2003)
3. TEİAŞ, "İletim Hatları ve Karakteristiklerinin İstatistikleri", **TEİAŞ**, Ankara, 10-38, (2001)
4. TEİAŞ, "UCTE İşletme El Kitabı", **TEİAŞ**, Ankara, 7-25, (2005)