



EMO



KTÜ



TÜBİTAK

## ÖNSÖZ

Giderek gelenekselleşen Elektrik Mühendisliği Ulusal Kongrelerinin beşincisinde Trabzon'da buluşuyoruz. EMO ile KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün işbirliği ve TÜBİTAK'ın katkısıyla gerçekleşmekte olan Kongremizin başarılı ve verimli geçmesi umudundayız. Kongre sonuçlarından kıvanç duymak istiyoruz.

Kongre'de, bugüne kadar yapılmış çalışmalar ve yayınlanmış duyurulardan da anlaşılacağı gibi, bilinen yöntemlerin yanı sıra gelecek yıllara deneyim aktarabilecek yeni yaklaşımlar uygulanmaya çalışılmıştır. Bildiri özetlerinin değerlendirilmesine katılan uzman sayısının sistematik olarak artırılması, değerlendirme biçiminin daha da nesnelleştirilmesi, bildiri kitabında yeni yazım ve sunuş biçimlerinin oluşturulması gibi teknik gelişmelerin dışında ilginç olacağı sanılan panellerle güncel sorunların irdelenmesi ve yöresel öğelerle sosyal etkinliklere renk katılması amaçlanmıştır.

Kongrenin hazırlık ve düzenleme çalışmalarında bazı aksaklıklar olmuştur. Öncelikle kongre kararının olması gerekenden daha geç alınabilmiş olması, özet değerlendirme sürecinin posta trafiğinin çok yoğun olduğu bayram dönemlerine rastlaması hem Yürütme Kurulu'nu hem de Kongre'ye katılmak isteyenleri zor durumda bırakmıştır.

Kongrenin düzenlenmesi sırasında edinilen deneyimler ışığında sorunları çözücü ilkesel önerilerin ortaya konması yararlı olacaktır. Bunları kısaca sıralayabiliriz. Örneğin 6. Kongre'nin ya da kısaca EMUK'95'in nerede ve ne zaman yapılacağını şimdiden kararlaştırmak gerekmektedir. Bundan sonra Konferans olarak adlandırılması daha uygun olacak Kongre için sürekli ya da uzun süre görevli bir 'Ulusal Düzenleme Kurulu'nun oluşturulması ve bu Kurul'un temel ilkesel karar ve yöntemleri üretmesi daha elverişli olacaktır. Kongre'nin yapılacağı konumdaki işleri ise 'Yerel Düzenleme Kurulu' üstlenmelidir. 'Bilimsel Değerlendirme Kurulu'nun da ayrıntılı bir sınıflandırma ve nitelik belirlenmesi ile bir kere oluşturulması, yalnızca gelişen koşullara göre güncelleştirilmesi düşünülebilir.

EMUK, böylesi bir yapılaşma ile daha sağlıklı, zaman planlaması daha verimli bir konferansa dönüşecektir kanısındayız. Örneğin bu durumda bildiri tam metinlerinin değerlendirme ve denetim sürecine girmeleri olanaklı kılınacak, şu ana kadar ancak Yürütme Kurulları'nın ayrıntılı olarak bilincine varabildiği teknik sorunlar ortadan kalkacaktır. Konferansda da içerik ve düzey açısından belirli bir iyileştirme sağlanabilecektir. Bunu en yakında, EMUK'95'de gerçekleşmiş olarak görmek dileğindeyiz.

Bilindiği gibi Kongremiz Elektrik, Elektronik-Haberleşme, Kontrol ve Bilgisayar Sistemleri alanlarında bilimsel-teknolojik özgün katkıların tartışılıp değerlendirilmesi ile araştırma, geliştirme, uygulama ve eğitim süreçlerindeki kişi ve kuruluşların birbirleriyle doğrudan iletişimini sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca sosyal yakınlaşma ve dayanışmaya da

katkıda bulunmaktadır. Ancak Kongre ve onunla birlikte oluşturulan sergi/fuarın çok değerli bir 'Mesleki Eğitim ve Geliştirme' aracı olduğu bilincinin kişi ve kurumlarda daha çok yerleşmesi için çaba gösterme gereği de ortaya çıkmaktadır.

Kongrenin gerçekleşmesini sağlayan, hazırlık ve düzenlemeleri üstlenen KTÜ, EMO ve TÜBİTAK'a, oluşturulmuş olan kurulların üyelerine, ayrıca burada adlarını saymakla bitmeyecek kişi ve kamu - özel - akademik nitelikli kuruluşlara, yardım ve katkıları nedeniyle, Kongre'nin yararlı sonuçlarını paylaşacak olan topluluğumuz adına teşekkürlerimizi sunmak isteriz.

Kongremizin başarılı ve verimli bir biçimde gerçekleşmesi, ülkemiz için bilimsel - teknolojik kazanımlar üretmesi dileğiyle Yürütme Kurulu olarak saygılarımızı iletiriz.

Doç. Dr. Güven ÖNBİLGİN  
Yürütme Kurulu Başkanı

# ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

## YÜRÜTME KURULU

Güven ÖNBİLGİN (KTU)  
Yakup AYDIN (EMO) Sefa AKPINAR (KTU)  
Canan TOKER (ODTUL) Kaya DOZOKLAR (EMO)  
Hasan ÜINCER (KTU) A.Oğuz SOYSAL (IU)  
Abdullah SEZGİN (KTU) İrfan SENLİK (EMO)  
Kenan SOYKAN (EMO) Y.Nuri SEVGEN (EMO)

## DANIŞMA KURULU

Rasim ALÜEMİR (BARMEK) Mehmet KESİM (Anadolu U)  
Teoman ALPTURK (TMMOB) Macit MUTAF (EMO)  
Ahmet ALTINEL (TEK) Erdiñç ÖZKAN (PTT)  
İbrahim ATALI (EMO) Kamil SOĞUKPINAR (TETSAN)  
Malik AVİRAL (ELİMKO) Sedat SİSBOT (METRONİK)  
Emir BIRGUN (EMO) Atıf URAL (Kocaeli U.)  
Sıtkı ÇİĞDEM (EMO) İ. Ata YİĞİT (EMO)  
R. Can ERKÖK (ABB) Fikret YÜCEL (TELETAS)  
Bülent ERTAN (ODTÜ) Hamit SERBEST (CU) \_  
Uğur ERTAN (BARMEK) Canan TOKER (ODTÜ)  
İsa GÜNGÖR (EMO) Nusret YUKSELER (İTU)  
Ersin KAYA (Kaynak) Kemal ÖZMEHMET (DEU)  
Okyay KAYNAK (Boğaziçi U)

## SOSYAL ETKİNLİKLER KURULU

Y. Nuri SEVGEN (EMO)  
Necla ÇORUH (PTT) Hatice SEZGİN (KTU)  
Esen ÖNKİBAR (TEK) Yusuf TANDOĞAN (PTT)  
Abdullah SEZGİN (KTU) Ömer K. YALCIN (TELSER)

## SEKRETERLİK HİZMETLERİ

Necmi İKİNCİ (EMO) Elmas SARI (EMO)

BİLİMSEL DEĞERLENDİRME KURULU

Cevdet ACAR (İTU) Hayrettin KÖYMEN (Bil. U)  
İnci AKKAYA (İTU) Hakan KUNTMAN (İTU)  
A.Sefa AKPINAR (KTU) Tamer KUTMAN (İTU)  
Ayhan ALTINTAŞ (BiI.U) Duran LEBLEBİCİ (İTU)  
Fuat ANDAY (İTU) Kevork MARDİKİYAN (İTU)  
Fahrettin ARSLAN (IU) A.Faik MERGEN (İTU)  
Murat ASKAR (ODTÜ) Avni MORGUL (Boğaziçi U)  
Abdullah ATALAR (BiI.U) Güven ÖNBİLGİN (KTU)  
Selim AY (YTU) Bülent ÖRENCİK (İTU)  
Umit AYGÖLÜ (İTU) Bülent ÖZGUC (BiI.U)  
Atalay BARKANA (Anadolu U) A.Bülent ÖZGÜLER (Bil.U)  
Mehmet BAYRAK (Selçuk U) Yiİmaz ÖZKAN (İTU)  
Atilla BİR (İTU) Muzaffer ÖZKAYA (İTU)  
Galip CANSEVER (YTU) Kemal ÖZMEHMET (DEU)  
Kenan DANIŞMAN (Erciyes U) Osman PALAMUTCUOĞLU (İTU)  
Ahmet DERVİSOĞLU (İTU) Erdal PANAYIRCI (İTU)  
Hasan DİNCER (KTU) Halit PASTACI (YTU)  
M.Sezai DİNCER (Gazi U) Ahmet RUMELİ (ODTÜ)  
Günsel DURUSOY (İTU) Bülent SANKUR (Boğaziçi U)  
Nadia ERDOĞAN (İTU) M.Kemal SARIOĞLU (İTU)  
Aydan ERKMEN (ODTÜ) Müzeyyen SARTAS (Gazi U)  
İsmet ERKMEN (ODTÜ) A.Hamit SERBEST (CU)  
H.Bülent ERTAN (ODTÜ) Osman SEVAİOĞLU (ODTÜ)  
Selçuk GEÇİM (Hacettepe U) A.Oğuz SOYSAL (IU)  
Cem GÖKNAR (İTU) Taner SENGÖR (YTU)  
Remzi GULGUN (YTU) Emin TACER (İTU)  
Filiz GUNES (YTU) Nesrin TARKAN (İTU)  
İrfan GÜNEY (Marmara U) Mehmet TOLUN (ODTÜ)  
Fikret GÜRGEN (Boğaziçi U) Osman TONYALI (KTU)  
Fuat GURLEYEN (İTU) Ersin TULUNAY (ODTÜ)  
Cemil GURUNLU (KTU) Nejat TUNCAY (İTU)  
Nurdan GUZELBEYOĞLU (İTU) Atif URAL (Kocaeli U)  
Emre HARMANCI (İTU) Alper URAZ (Hacettepe U)  
Altuğ İFTAR (Anadolu U) Gökhan UZGÖREN (IU)  
Kemal İNAN (ODTÜ) Yiİdirim UCTUG (ODTÜ)  
Asım KASAPOĞLU (YTU) Asaf VAROL (Fırat U)  
Adnan KAYMAZ (İTU) Sıddık B. YARMAN (IU)  
Ahmet H. KAYRAN (İTU) Mümtaz YILMAZ (KTU)  
Mehmet KESİM (Anadolu U) Melek YÜCEL (ODTÜ)  
Erol KOCAOĞLAN (ODTÜ) Nusret YUKSELER (İTU)  
Muhammet KOKSAL (İnönü U) Selma YUNCU (Gazi U)

Sabit Kapasitör ve Tristör Kontrollü Reaktör Tipi Kompanzatorün Karakteristikleri ve Simülasyon Sonuçları

Elk. Yük. Müh. Cihan AKÇANAL  
ETİBANK Seydişehir Alüminyum Tesisleri  
Enerji Müdürlüğü KONYA

Özel

Du çalışmada güç sisteminde gerilim kontrolü için kullanılan Sabit Kapasitör ve Tristör Kontrollü Reaktör tipi kompanzatorün (SK + TKR) karakteristikleri, modeli ve simülasyon sonuçları verilmiştir. Simülasyon sonuçları "Electromagnetic transient program (EMTP) (referans 6)" yardımıyla elde edilmiştir. Güç sistemlerinde meydana gelen küçük sistem ve büyük sistem bozukluklarında TKR'nin davranışları incelenmiş, güç sisteminin durumuna göre kontrol sisteminin parametreleri bulunmuştur. EMTP'de kullanılmak üzere IKT modeli, harmonik akım grafiği ve TKR'nin kontrol öz eğrisi elde edilmiştir. Ayrıca EMTP'nin, SK + TKR'li devrelerde dijital simülasyonu yöntemi olarak kullanılması sağlanmıştır.

### 1. Giriş

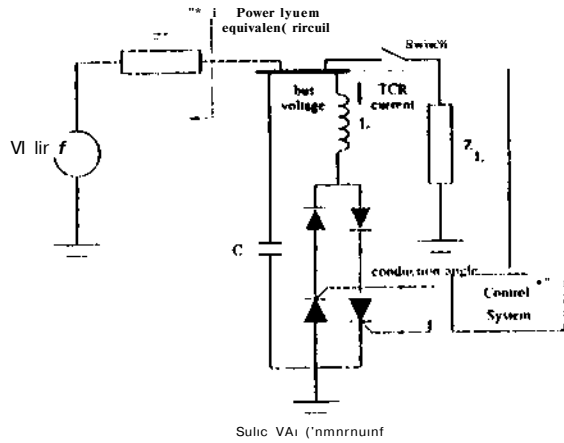
SK+TKR tipi kompanzator, güç sistemlerinde gerilim kontrolü ve güç faktörünü düzeltimi için kullanılır. Gerilim kontrolü ve güç faktörünün düzeltimi SK > İKT reaktansının hızlı bir şekilde kontrolü ile sağlanır. SK + İKT'nin görevi güç faktörünü yükseltmek, gerilim dalgalanmalarını ve harmoniklerini azaltmak ve simetrik olmayan yükleri dengelemektir. SK+TKR güç sisteminde kullanıldığında, TKR harmonik akımları üretir İKT'nin ürettiği harmonik akımların değeri Fourier analizi yöntemi ile bulunur.

Şimdiye kadar birçok simülasyon yöntemi sunulmuştur (tolerans 2. 3.-1,5.0). İKT'nin modeli ve kontrol sisteminin buna etkisi simülasyonda en önemli problemlerden biridir. Küçük sistem ile modelleme yöntemi Gavriloviç (referans 5) tarafından kullanılmıştır, (turadaki en önemli özellik güç sistem parçalarının modellemesidir. Dijital simülasyon Taylor (referans 8) tarafından uygulamaya konulmuştur. Bu simülasyon özetlenirse; güç sistemi kısa devre sırasında, kontrol sisteminin etkisi ve TKR davranışı ihmal edilmiştir İKT ve kontrol sistemi modeli bu makalede EMTP'de kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Güç sistemi kısa devre esnasında kontrol sisteminin etkisi ve İKT'nin davranışı incelenmiştir.

### 2. Güç Sistemlerinde Gerilim Kontrolü için Kullanılan SK + İKT tipi Kompanzator

EMTP'nin yardımıyla güç sistemlerinde gerilim kontrolü için kullanılan SK + TKR tipi kompanzatorün çalışmasını inceleyebilmek için IKT fazlı güç sistemi göz önüne alınmıştır. Güç sistemine bağlı SK + İKT tipi kompanzator ve kontrol sistemi Şekil 1'de verilmiştir. Güç sistemi, 50 Hz'lik gerilim kaynağı, endüktans ve rezistanstan oluşmuştur. Sistemin kısa devre gücü 100 MVA'dır.

100 MVA, 132 kV baz değerlerinde güç sisteminin p.u. cinsinden endüktans değeri 0.1 ve rezistan değeri 0.01 dir. Bu örnek için, kapasitör değeri kısa devre gücüyle kıyaslandığında çok büyüktür ve kapasitans değeri 137 MVar ve endüktans değeri 245 MVA'dır. Bu birleşimin verdiği toplam regülasyon miktarı 137 MVar kapasiteli 108 MVar endüktif değerine kadardır.

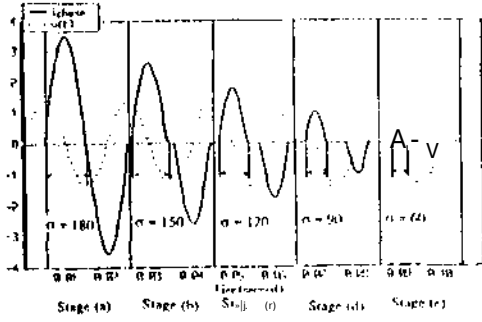


Şekil 1: Sabit kapasitör ve tristör kontrollü reaktör tipi kompanzatorün devre şeması

### 3. İKT'nin Çalışma Karakteristikleri

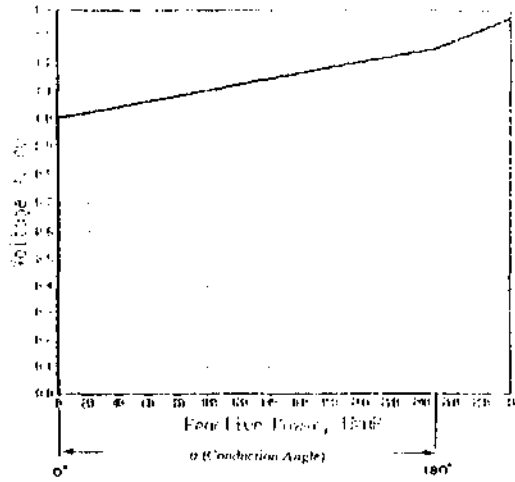
TKR'nin akımı genellikle reaktördür. Kontrol elemanı bir ilacına göre IKT'ye bağlanmış iki tristördür. İrisli bir güç sisteminin her bir yarı periyodunu iletime geçirir. Eğer tristörler gerilim değerinin maksimum noktasına ulaştığı anda kontrol sisteminde gönderilen sinyal ile iletime geçitilirse reaktörde tam bir iletim sağlanır (Şekil 2, kısım (a)'ya bakınız). Akım değeri istenilen devrede olmadığı andaki gibi (kısa devre) akım değerine eşittir. Şekil 2. kısım (a) da TKR'nin akım ve gerilim dalga şekilleri gösterilmiştir.

Eğer iletim açısı her iki tristörde eşit miktarda azaltılırsa Şekil 2, kısım (a) dan Şekil 2. kısım (e) deki gibi akım dalgalanmaları elde edilir (a) dan (e) ye kadar olan akımların her birinin iletim açısının (180, 150, 120, no. 00) belirli değerlerinde gösterilmiştir. İletim açısının azaltılması akımın temel bileşenini azaltır. (Bu da aynı zamanda endüktansın artması, reaktif gücün ve akımın azalması demektir. Akımın temel bileşeninde görüldüğü gibi İKT kontrol edilebilir bir sistemdir ve bu nedenle statik kompanzator olarak kullanılır.



Şekil 2. IKR'nin (az gerilim ve akım dalga şekilleri)

IKR iletim açısını belirleyen ve tiistörlerle tetikleme veren IJLI kontrol sistemine sahiptir. Güç sistemine bağlı olan TKIVnin, sabit iletin ağan haldeki gociilimin reaktif glüçe göre değişim kaaikteristiği şekil 3 te verilmiştir.



Şekil 3. TKR'nin sabit durağan haldeki geriliminin reaktif güce göre değişimi

#### A. Tristfir Kontrollü Reaktör Modeli ve Harmonik Akımlar

Iristör Kontrollü reaktörden geçen anlık akım değeri reletans 7 de verilmiştir.

$$i = \begin{cases} \sqrt{2} \cdot V_m \cdot \cos(\omega t - \alpha) & 0 < \omega t < \alpha \\ 0 & \alpha < \omega t < \alpha + \pi \end{cases}$$

$\hat{V}_{rms}$ , etkin gerilim,  $\omega L$  reaktörün temel frekans admilansı, temel frekans 50 Mz,  $\alpha$  tristörlerin ateşleme açısıdır. Tristör kontrollü reaktörden geçen akım ramiier analizi yöntemi ile bulunur.

$$\alpha = \pi - \theta / 2$$

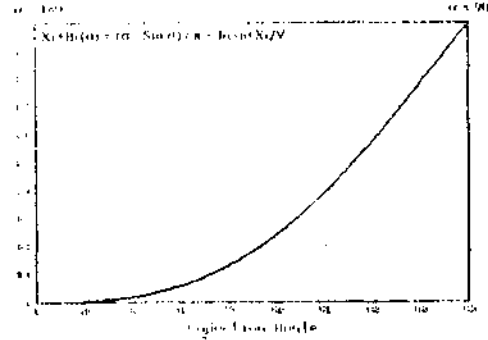
$$B_L(\pi) = (\pi \cdot \sin \alpha) / (\pi \cdot X_L)$$

$$K_n = \frac{H \cdot V_{nm}}{(\pi \cdot X_L) \cdot (2 \cdot C \cdot \omega(a) \cdot \sin(\alpha) \cdot a) / n - \sin(n \cdot \pi) \cdot n / (n \cdot 1) - \sin((n-1) \cdot a) / (n \cdot 1)}, n=1, 5, 7, 9, 11.$$

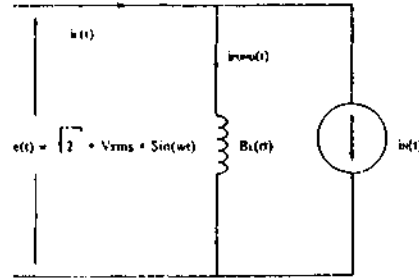
$$i(t) = \sqrt{2} \cdot V_{rms} \cdot B_L(\pi) \cdot \sin(\omega t - \alpha) + \sum_{n=1}^{\infty} K_n \cdot \sin(n \cdot \omega t - \alpha)$$

Burada il.(t) TKIVden geçen akım tleğeri ve I(n) n inci harmonik akım bileşenin etkin değeridir

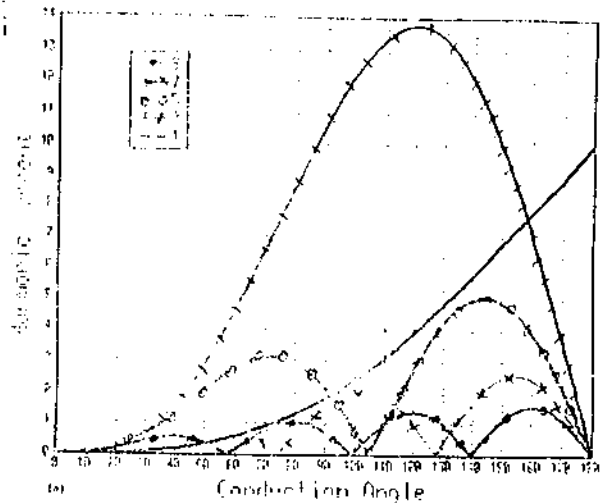
IKU'nin kontrol 07 eğrisi şekil A te verilmiştir. İletin açısının 180 derece değeri için Kimden iletim sağlanır. iletim açısının sıfır değerinde ise. İKİ! de herhangi bir iletim sağlanma? Kontrol 07 eğrisi kontrol sisteminin simülasyonunda kullanılmıştır. TKR sinüoidal bir yenlim ile beslendiğinde akım, iletim açısına göre sinüzoidal olmayan bir ynpıya dönüşür. (1) notu formül yardımıyla herhangi bir iletim açısındaki IKFVinin modeli şekil 5 te verilmiştir. Bu model, bir somaki aşamada simülasyon sonuçlarının elde edilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4. TKFVinin kontrol 07 eğrisi



şekil 5. TKI1 modeli



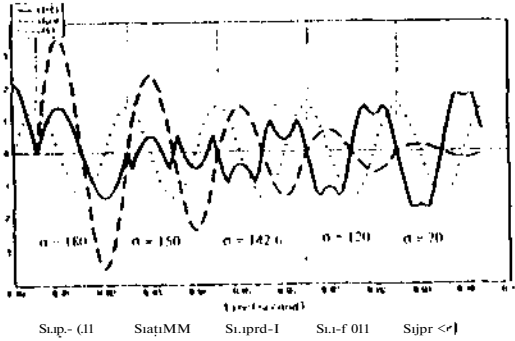
Şekil 6. TKIVnin harmonik akımları

Şekil 2'de görüldüğü gibi TKR akımının dalga şeklinde bozulma vardır. Akım dalga şeklindeki bu bozulmalar gerilimde bozulmalara neden olur. Bunun en kısa şekilde ifadesinde TKR harmonik üretir. Tek fazlı sistemlerde, eğer ileticilerin her ikisinde aynı iletim açısı ile iletileceklerse, TKR sadece tek sayılı harmoniklerle çalışır. İletim açısına göre önemli harmoniklerin değeri Şekil 6 da verilmiştir.

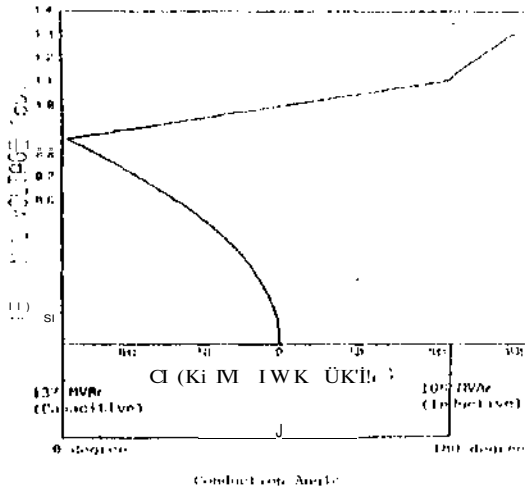
## 5. SK-TKFNin Çalışma Karakteristikleri

### 5.1. SK + TKR için gerilim-reaktil güç karakteristikleri

SK+TKR tipi kompanzator, sabit kapasitör ve buna paralel bağlı tristör kontrollü reaktörden oluşur. Reaktördeki akım ve bunun sonucu olarak toplam akım, iletim açısının kontrolü ile değiştirilir. Şekil 7 de iletim açısının 180 dereceden azalarak 150, 142, 120 ve 70 derecelik değerlerinde, TKR'nin temel harmonik akım bileşenleri ile, toplam kompanse edilmiş akım  $I_T(t)$  ve uygulanan gerilim  $v(t)$  gösterilmiştir. Kompanse edilmiş akım, kapasitif ( $0 < \alpha < 142$ ) ve endüktif ( $142 = \alpha < 180$ ) durumlarında kontrol edilmiştir.



Şekil 7. SK-TKFNin gerilim ve akım dalga şekilleri



Şekil 8. SK-TKRNin gerilim-reaktil güç karakteristiği

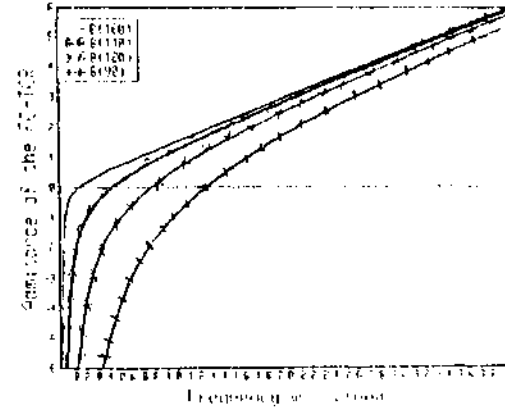
Sabit duran durumu için SK-TKRNin gerilim-reaktil güce göre değişimini veren karakteristikler Şekil 8 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi V-Q arasındaki ilişki regülasyon bandı içerisinde lineerdir. Regülasyon aralığında V-Q arasındaki eğim kontrol sisteminin iletim açısı ile belirlenir. Regülasyon aralığının dışında, V-Q karakteristiği kapasitör (düşük gerilim) veya endüktör (yüksek

gerilim) gibidir. Regülasyon bandının düşük gerilim değerinde ve reaktörlerin devre dışı olduğu anda.. SK-TKRNin reaktif güç üretir. Regülasyon bandının üst değerlerinde ve reaktörlerin devrede olduğu zammrla. SK-TKRNin reaktif güç tükeler. Bizim örneğimizde regülasyon aralığı, iletim açısının 0 derece değeri için 137 MVA kapasite değerinden 180 derece değeri için 108 MVA endüktif değerine kadar değişir. Bu sistem, yük değişimleri sonucu bara gerilimindeki  $\pm 1\%$  ve  $\pm 5\%$  arasındaki değişimleri regüle edecek şekilde düzenlenmiştir.

### 5.2 SK-TKRNin Düzensizlik Durumunda Çalışması

Düşünülmesi gereken iki değişik düzensizlik durumu mevcuttur. Birincisi regülasyon bandı içerisinde meydana gelen düzensizliktir. Bu düzensizlik durumu güç sistemlerinde büyük bir sorun teşkil etmez. İkincisi ve en önemlisi ise regülasyon aralığı dışında olan düzensizliklerdir. Bu düzensizlikler güç sisteminin simülasyonu ile görülebilir. Simülasyona girmeden önce SK-TKFNin çalışması, regülasyon bandı dışında incelenmelidir. Reaktörler tam devrede iken kompanzator paralel LC devresi oluşumu. LC devresi rezonans frekansından küçük değerlerde endüktif özellik gösterir. SK-TKFNin çalışmasında rezonans frekansı genellikle güç sisteminin frekansına yakın seçilir. Doğal rezonans frekansının üst değerlerinde admitans kapasitif özellik gösterir.

Admitans-frekans karakteristiği Şekil 9 da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi geçici süre (transient) anında admitans kapasitif özellik gösterir ve TKR'nin herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Büyük sistem düzensizliklerinde (kısa devre) SK-TKRNin kapasitör olarak düşünülebilir. Kısa devre anında, SK-TKFNin kapasitesi ile güç sisteminin endüktansının oluşturduğu LC devresinin seri bağlanımında oluşan rezonans frekansında yüksek gerilime neden olur. SK-TKRNin tipik geçici durum (transient) anındaki davranışı simülasyon sonuçlarında verilmiştir.



Şekil 9. Admitans-frekans karakteristiği

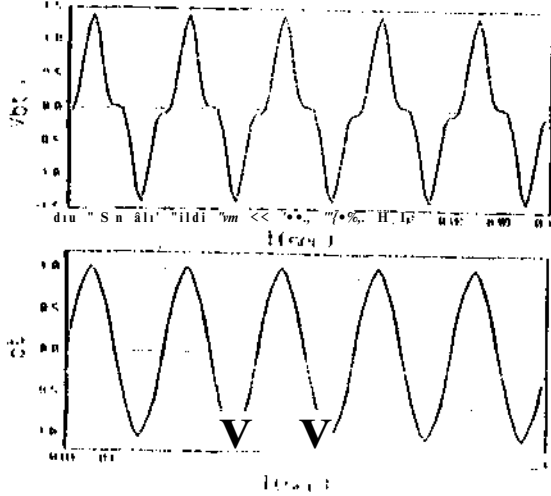
## 6. SK-TKRNin Simülasyonu

SK-TKRNin ve kontrol sisteminin düzensizlik durumunda çalışmasını incelemek için tek fazlı sistem göz önüne alınmıştır. Gerilim kontrol sisteminin tasarımı, değişken karakteristikleri ve dijital simülasyon yöntemi Matlab/ Simulink (ret 1) detaylı ve geniş olarak incelenmiştir.



## 6.1. SK-1 İKR ile güç sistemi arasında harmonik etkileşim

Hurada sunulan simülasyonu snuçlarında, 3 tindi harmonimin sistem rezonansındaki etkisi incelenmiştir 3 üncü harmonik sistem rezonansı ile birleşerek bara geriliminde bozulmalara neden olur. SK-1 TKR'nin reaktif güç vermediği anda (iletim açısı 143 derece) 3 (inci) harmonik nedeniyle bara gerilimindeki bozulma şekli 10(a) da gösterilmiştir. Gerilim dalga şeklinde 3 (inci) harmonimin etkisi çok açık bir şekillenmiştir. Şekil 10(1)) de ise 3 (inci) harmonik filtrelerle yok edilmiş ve gerilim dalga şekli verilmiştir. Bu anda bara gerilimi değeri bakımından küçük olan 3. 7. 9. uncu harmoniklerinin etkisi altındadır.

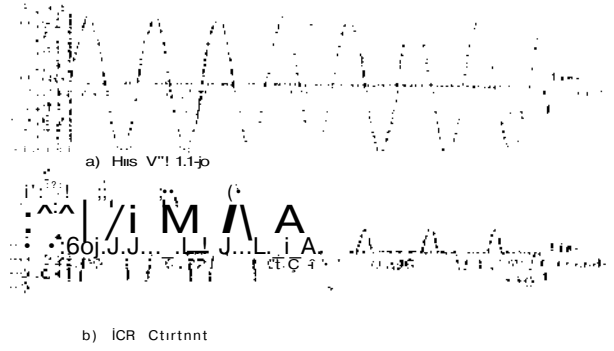


Şekil 10. a) 3 lineli harmonikli bara gerilimi b) 3 üncü harmonik filtreli bara gerilimi

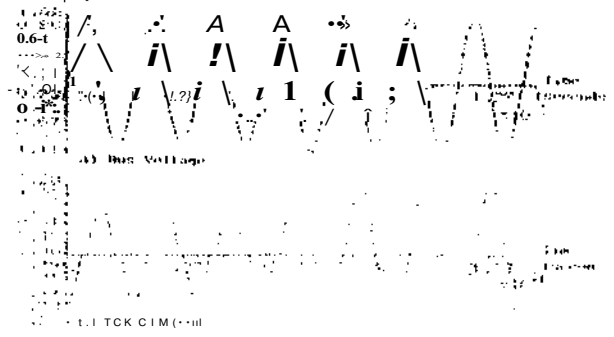
### 0.2. Küçük sistem düzensizliklerinde TKIV'in çalışması

Uç gerilimin regülasyon sınırları içerisinde değişmesine küçük sistemin düzensizlikleri adı verilir. Şekil 11 ve şekil 12 de gerilimin %10 azalması ve %10 artması durumundaki simülasyon sonuçları verilmiştir. İki şekilde de görüldüğü gibi bara gerilimi, islenen değere SK-1 (IKI) ve gerilimi kimlini sistemi ile kısa sürede ulaşmıştır. Bara gerilimini islenen değere ulaşma süresi kontrol sistemi parametrelerinin değiştirilmesi ile mümkündür. Şekil 11 de herhangi bir nedenle (güç sistemine yük gitmesi gibi) bara geriliminin %10'lık azalması sonucunda TKR akımı ve bara gerilimi verilmiştir. İlk iki periyot H3 derece iletimdeki çalışmasını göstermektedir. Bu esnada bara gerilimi, 5. 7. 9. uncu harmoniklerin etkisindedir. 3. üncü ve 4. net) periyotlar azaltılmış gerilim (yükleme gibi sistem değişiklikleri oluşturduğu gerilim alçaltılması) ve izleyen periyotlarda ise bara gerilimi sabit-durağan haline geçmiştir. İKR'nin akımı durağan halde iken, iletim açısı %10'lık gerilim düşümü sonucunda konum sisteminin etkisi ile azalmış ve kısa bir süre sonra akım değeri durağan haline ulaşmıştır. İkinci ilimimda ise bara gerilimi iki periyot boyunca sabit-durağan hal iken, gerilimde %10'lık yükselme meydana gelmiştir. Aşırı gerilimi takip eden 20-30 milisaniye sonrasında bara gerilimi islenen gerilim değeriyle regüle edilmiştir. TKIV'in akımı, 2. periyot boyunca sabit hal durumunda olup ve iletim açısı H3 derecedir. Aşırı gerilimi izleyen süre içinde, TKIV'in iletim açısı, kontrol sisteminin etkisiyle gerilimi islenen değere tutulabilir.

**1.75 dereceye yükselmiştir.**



Şekil 11. Bara geriliminin %10'luk azalması



Şekil 12. Bara geriliminin %10'luk artması

### 6.3. Büyük sistem düzensizliklerinde İKR'nin çalışması

Büyük sistem düzensizliklerinde (kısa devre) güç sisteminin ve TKIV'in davranışı şekil 13 ve şekil 14 de verilmiştir. İki şekilde büyük sistem düzensizlikleri değişik zamanda meydana gelmiştir. Şekil 13 de kısa devre (uç gerilimin göçmesi) TKR de akım olduğu anda meydana gelmiştir. Bara geriliminin dalga şekli şekil 13(a) da ve İKR'nin akım dalga şekli şekil 13(b) de verilmiştir. İlk üç periyotta sabit-hal durumunda bara gerilimi ve TKR akımı gösülmüştür. Kısa devreden hemen sonra bara geriliminde osilasyon gözlenir. Bu osilasyonu güç sisteminin endüktans ile SK-1 İKR'nin kapasitansının rezonansa girmesinin bir sonucudur. Kısa devrenin yok olmasından sonra (uç geriliminin geri gelmesi) bara geriliminde yükselmeler görülür ve birkaç periyot sonunda bara gerilimi sabit-hal durumuna geçer. TKIV'in akım değerine bakıldığında kısa devre süresince sadece akım tuttuğu görülür. Gerilim kaynağının geri gelmesi ile İKR'nin akımı gerilim kontrol sisteminin etkisiyle sabit-hal durumuna yavaş yavaş ulaşır. İKR'nin akımının sabit-hal değerine ulaşma süresi gerilim kontrol sistemindeki parametrelerin değiştirilmesiyle sağlanır.

Şekil 14 de, kısa devre yarım periyot sonra meydana gelmiştir. Şekil 14(a) bara gerilimi dalga şeklini ve şekil 14(b) de İKR'nin akımının dalga şeklini gösterir. Birinci durumdaki olaylar aynen burada da meydana gelmiştir: kısa devre, gerilim osilasyonu ve gerilim kaynağının geri gelmesi. İkinci durumda, şekil 14 de görüldüğü gibi bara gerilimi birinci durumdan daha uzun bir süre bastırılmıştır. Bara geriliminin sabit-hal durumuna ulaşma süresi iki katına çıkmıştır. Bu olayın anlaşılması şekil 14(b)'de daha da kolaydır. Gerilim

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ**



# ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİNDE KULLANILMAK ÜZERE HAZIRLANAN ENERJİ SİSTEMLERİ ANALİZ PAKETİ.

Tankut YALÇINÖZ Atulrzej CICHY  
Çukurova Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
OİMO, Adana

## Özet

Bu çalışmada elektrik mühendisliği eğitimi de kulla-  
lanılmak üzere enerji sistemleri analizi yapan bir  
yazılım paketi hazırlanmıştır. Bu paket matematik  
tabanlı programlama dili olan PC-MATLAB' da  
yazılmıştır. Hazırlanan paket yük akış analizi, kısa  
devre analizi ve geçici kararlılık analizi programlarını  
içermektedir.

## 1. Giriş

Birçok eğilim kurumu makina ve güç sistem-  
leri laboratuvar deneylerinde bilgisayar simülasyon  
paketleri kullanmaya başlamıştır. Bilgisayar  
simülasyon paketleri iki temel amacı sağlar :

- Bilgisayar temelli algoritma tekniklerinin üretimini,
- Laboratuvar fiyatlarının azalmasını (donanımlarda,  
kapladığı alanda, kadro ve zamanda).

Hemen hemen tüm incelenen güç mühendisliği  
eğitimi setleri genel amaçlı programlama dillerinden  
(GAD) (fortran, pascal, C gibi) biriyle yazılmıştır  
[1,2,3,4,5,6]. Yapılan incelemelerde matematik ta-  
banlı dillerin (Matlab, Matematica, Red tice. gibi)  
kullanıldığı iki çalışmaya rastlanılmıştır [7,8]. Bu  
paketlerin çoğunda seyrek matris teknolojisi kul-  
lanılmamıştır. Bundan dolayı incelenen sistemler  
göreceli olarak küçük ve hesaplama zamanı uzun ola-  
caktır. Bütün paketler IUM uyumlu bilgisayarlar için  
hazırlanmıştır. Paketlerin temel farkları kullanılan  
programlama dilleri, analiz edilebilen güç sisteminin  
maksimum boyutudur.

Öğrenciler genel amaçlı programlama dilleriyle  
yazılan paketleri yalnız güç sistem hesaplarını yap-  
mak için bir araç gibi kullanabilirler. Öğrenciler  
programlarda bazı düzeltmeler veya değişiklikler  
yapamazlar. Çünkü GAD'larla yazılan program-  
ları anlamak çok zordur. Yüksek seviyeli mate-  
matik tabanlı diller hemen hemen matematiksel  
ifadeleri yazıldığı şekliyle ifade edebilirler. Bu paket  
PC-Matlab kullanılarak geliştirilmiştir. Böylece  
öğrencilerin kolayca programlarda yeni değişiklikler

1196

yapabilmesi amaçlanmıştır. Bu yazılım paketi ile  
bazı standard güç sistemleri test edilmiştir.

## 2. Paketin Tanıtımı

Paket enerji sistemleri analizleri için yardımcı bir  
araç olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan yazılım paketi  
yük akış analizi, kısa devre analizi ve geçici kararlılık  
analizi programlarını içermektedir.

### 2.1 Yük Akış Analizi

Yük akış analiz çalışması bir sistemin kararlı hal  
çalışma koşullarını belirlemede kullanılır. Yük akış  
analizi hesaplamalarında Newton-Raphson, Decou-  
pled, hızlı Decoupled ve Gauss-Seidel metodları kul-  
lanılır. [9]

Yazılan yük akış analiz programında Gauss-Seidel  
metodu kullanılmıştır. Diğer analiz metodları  
sonradan yazılım paketine eklenebilir. Kul-  
lanıcı gerilim toleransını, hızlandırma faktörünü,  
min/max iterasyon sayısını, PV düğüm sayısını ve  
veri dosyasının adını girer. Veri dosyası hat ver-  
ilerinden ve düğüm verilerinden oluşur. Yük  
akış programının çıktıları gerilimin genliği ve açısı,  
iterasyon sayısı ve reaktif ve real güçlerden oluşur.

### 2.2 Kısa Devre Analizi

elektrik tesislerinde akını kaynağı ile tüketicilere  
kadar olan her nevi işletme aracında ızalasyonun  
tamamen veya kısmen bozularak çıplak iletkenlerin  
birbiri ile temas etmesine Kısa Devre denir. Kısa  
devre sonucu sistemde empedansı küçük yeni bir  
devre olduğundan, sistemde büyük akımlar akar.

Kısa devre akımları ve bunların devam süreleri ne  
kadar büyük olursa, çeşitli tesisat elemanlarının kısa  
devre akımları tarafından dinamik ve termik olarak  
zorlanmaları da o kadar büyük olur. Bu nedenle sis-  
temin kısa devre olan kısmı mümkün olan en kısa za-  
manda sağlam kısımlardan ayrılarak, yani seçilerek  
devre dışı bırakılmalıdır.

Arıza analizleri şebeke planlaması her hangi bir  
kısa devre anında şebekenin emniyetli olup ol-  
madığını süratle tesbit edebilmek için de kullanılır.  
Özellikle, büyük şebekelerde kısa devre programları  
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

çoğunlukla bu nedenle kullanılır. Özellikle, büyük şebekelerde kısa devre meydana gelebilecek olan yerlerin çokluğu yüzünden, şebekenin yalnız zayıf noktaları analiz edilebilir.

Arıza analizleri, makina ve diğer devre elemanlarının korunmasında, hat kesicilerinin seçilmesinde, koruyucu rölelerin ayarlanmasında ve haliyle çekileceği yerlerin belirlenmesinde çok kullanılan bir analizdir.

Kısa devre arızaları dengeli ve dengesiz arıza olarak ikiye ayrılır. Dengesiz üç faz sistemler simetrik bileşenler dönüşümü ile tanımlanabilir. Simetrik bileşenler simetrik olmayan üç fazlı devreleri üç ayrı fakat birbirine çok benzer üç dengeli devreye dönüştürür. Simetrik bileşenleri doğru, ters ve sıfır bileşenler olarak adlandıracağız. Simetrik üç fazlı arızalar için yalnız pozitif bileşen devresi kullanılacaktır.

Yazılan programda adlandırılmış matrisleri kullanılmıştır, bunun için her bileşene karşılık bir admitans matrisi oluşturulur. Simetrik üç fazlı arızalarda akını ve gerilimlerin hesabı için yalnız pozitif bileşen admitans matrisi kullanılır. Aynı şekilde dengesiz üç fazlı arızalar da her bir bileşen devresi ayrı ayrı tanımlanır. Her bileşen devresi için hesap yapılır.

Üçüncü sistemlerinde kısa devre arıza analizi için geliştirilen program aşağıdaki aşamalardan oluşur.

1. Arızalı sisteme ait doğru, ters ve sıfır bileşenlerinin bara admitans matrislerinin elde edilir.
2. Bileşen bara admitans matrislerinden faydalanarak sistemin arızalı ucundan görülen bileşen eşdeğer devrelerinin hesabı yapılır. ( $Z_1, Z_2$  ve  $Z_0$ )
3. Arıza tipine göre bileşen eşdeğer devreleri birbirine uygun bir şekilde bağlanır.
4. Her faza ait akını ve gerilim değerleri bulunur.
5. Arızanın olduğu sırada baralardaki akını ve gerilim değerleri hesaplanır.

Yazılan pakette üç farklı kısa devre analiz programı vardır. Bunlardan ilki dengeli arızaları, ikincisi dengesiz arızaları ve üçüncüsü de her iki durumu analiz eder. En fazla rastlanılan dengesiz arızalar tek faz-toprak kısa devre, iki faz kısa devre ve iki faz-toprak kısa devre incelenmiştir. [10,11]

Programlar için hazırlanan veri dosyası jeneratör, transformatör ve iletim hattı verilerini, arıza tipini, jeneratörün (veya motor) toprak etüpedansı ve arıza empedansını içerir. Kullanıcıya kolaylık amacıyla yardım (helpful) dosyası bulunmaktadır.

Kısa devre programları N baralı bir güç sisteminin herhangi bir hasasının simetrik arıza akımını hesaplar. Her arıza için programlar bara gerilimlerini, kısa devre akımının haralara dağılımını

hesaplar. Bu değerler çıktı dosyasına yazılır.

### 2.3 Gidici Kararlılık Analizi

Güç sistemlerinin kararlılığı senkronizeden çıkmadan senkron makinelerin düzenli çalışmasına noktasında ki hareket yeteneğidir, ("üç sistem kararlılığı durgun, geçici ve dinamik kararlılık olarak üçe ayrılır.

Geçici kararlılık sorunu anahtarlanma olayı, kısa devre, jeneratörün devre dışı olması ve ani yük değişiklikleri gibi büyük arızalar sonucunda ortaya çıkar. Arızanın devamında, senkron frekans (51 Uz) ve makina güç açısı değişir. Bir geçici kararlılık çalışmasının koşulu mümkün olan yeni düzenli çalışma güç açısıyla senkron frekansına dönüp dönmeyeceğinin belirlenmesidir. Güç akışının ve düşüm gerilimlerinin değişimleriyle ilgilenilir.

Geçici kararlılık programları anahtarlanmalar ve yıldırım düşmesi sonucu oluşan geçici yüksek gerilimlerin ve akımların genlikleri ve açılarını hesaplar, l'aulama mühendisleri geçici yüksek gerilime karşı cihazların koruma bölgesinin seçiminde ve transformatörler, iletim hatlarının ve diğer cihazların yalıtımının belirlenmesinde geçici kararlılık programının sonuçlarından faydalanırlar.

Her geçici kararlılık analizinde elde edilen diferansiyel denklemler (salınım denklemleri) nümerik metodlar kullanılarak çözülür. Devre denklemlerinin çözümüyle geçici zaman süresince sistemin gerilimi ve akımlarına ulaşmayı temin eder. Geçici kararlılık çalışmasında diferansiyel denklemlerin çözümünde İdiler, değiştirilmiş IC'ler, Rımgc - Kulla ve indirgenmiş Y matris metodları uygulanabilir.

Geçici kararlılık çalışmaları da salınım denklemleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \quad (i)$$

ve

$$\frac{d\delta}{dt} = w(t) - w_{s0} \quad (2)$$

Burada

- $P_m$  : mekanik güç
- $P_e$  : elektriksel güç
- $H$  : eylemsizlik sabiti
- $f$  : frekans
- $\delta$  : yük açısı (güç açısı)
- $w$  : rotor açısal hızı
- $w_s$  : senkron açısal hız

Geçici bozulmalar sonucu önceden elde edilmiş admitans matrisi değişir.

$$Y_{bus} = I^T ESK_1 (-I - A) \rangle (\cdot) / S \quad (3)$$

Bu yeni admitans matrisi kullanılarak işlemler yürütülür. Yazılan pakette sıralı devirli çözüm metodu ve indirgenmiş admitans matris yöntemleri kullanılmıştır.

### A) Sıralı Devirli Çözüm Metodu

Bu metotta devre denklemleri ve diferansiyel denklemlerin çözümünden elde edilen sonuç sonraki iterasyonda kullanılır. Devre denklemi [9]

$$I'IS = -V_i / (Z_i / V/H^A) \quad (1)$$

olarak tanımlanır. Bu devrenin çözümü sonucunda KPİ/S elde edilir. Bundan yararlanarak her makinanın elektriksel güç çıkışları bulunur. Daha sonra diferansiyel denklemler çözülür ve gerekli sonuçlar elde edilir.

### B) İndirgenmiş Admittans Matris Metodu

Bu metotta generatörlerin iç düğümleri diğer bütün düğümlerin indirgenmesiyle tanımlanarak bir çok gözlü devre elde ederiz. [9,12] İndirgenmiş devre aşağıdaki düğüm denklemleriyle tanımlanabilir.

$$\begin{bmatrix} I_G \\ I_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -f \\ -f & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{GG} & Y_{GL} \\ Y_{LG} & Y_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_G \\ U_L \end{bmatrix} \quad (5)$$

$I_G, U_G$  : Generatör akım ve gerilim vektörleri

$I_L, U_L$  : Yük akım ve gerilim vektörleri

Yukarıda yazılan denklemlerin düzenlenmesi sonucu la aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I_G = (Y_{GG} - Y_{GL}Y_{LL}^{-1}Y_{LG})U_G \quad (6)$$

Hu denklem verilen generatörlerin emf'leri için generatör akımı ve güçlerini doğrudan çözmeye müsade eder.

Arıza iki düğüm arasında da oluşabilir. İler zaman iletim hattının yapısı anahtarlamalar ve arızanın durumuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Böylece admittans matrisi de değişir. Bu durumları sıra ile inceleyelim :

#### - Anahtarlama İşlemi

Enerji sisteminin belli bir bölümünde oluşan arızayı gidermek için o bölgenin enerjisinin kesilmesi gerekir. Bu sırada arızadan dolayı oluşacak enerji kesintisinin yalnızca arızalı bölgede kalması istenir. Bunu anahtarlama sistemleriyle sağlarız. Anahtarların açma ve kapama durumlarına göre enerji sistemi değişiklikler gösterir. Böylece admittans matrisi değişir. Admittans matrisine anahtarlamanın gerçekleştiği kısmın öz ve ortak admittanslarının eklenip çıkarılmasıyla aualitarlama sonucunda oluşan admittans matrisi kolayca elde edilir.

Şekil-1'de k anahtarının açılması ve l anahtarının kapalı olarak kalması sonucu elde edilecek admittans matrisinin değişen elemanları aşağıda verilmiştir.

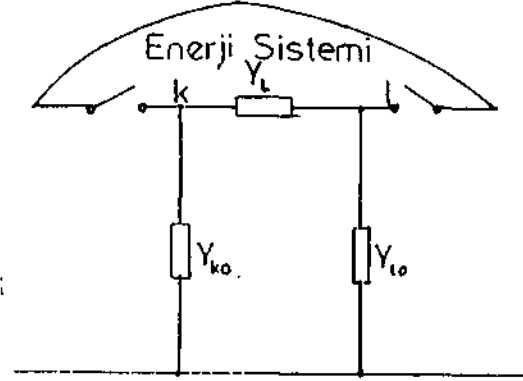
$$Y_{kk} = Y_{kk} - Y_i - Y_{io} \quad (7)$$

$$Y_{ll} = Y_{ll} - Y_i \quad (8)$$

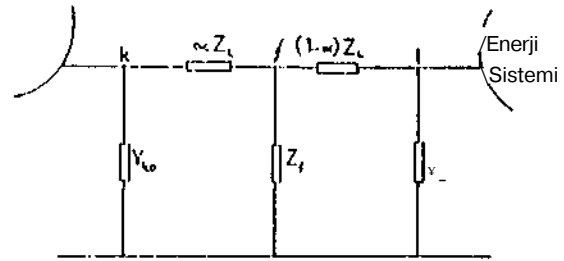
1198

$$y_u = u_n - Y_i + \frac{Y_i Y_{ko}}{Y_i + Y_{io}} \quad (9)$$

Yukardaki bağıntılar ışığında diğer anahtarlama durumlarında ehle edilecek denklemler benzer şekilde bulunabilir.



Şekil-1. Anahtarlamanın meydana geldiği devre parçası



Şekil-2. Kısa devrenin iki bara arasında olması sonucu elde edilen basitleştirilmiş devre parçası

#### - Düğümler arasında oluşan kısa devreler

Kısa devreler düğüm (bara) noktalarında olacağı gibi düğümler arasında da olabilir. Bu durumda devrenin yapısı değişir ve admittans matriside değişir.

Örnek olarak k düğümünden a uzaklığında bir noktada kısa devre olduğunu düşünelim. Bağlantı (hat) empedansı  $Z_i$  n ile orantılı olarak ikiye bölünür. Basitleştirilmiş devre Şekil-2'de gösterilmiştir.

Burada  $Z_j$  arıza empedansını gösterir. Şekil-2'deki devrenin çözümüyle yeni devre elemanları bulunabilir ve admittans matrisi yeniden oluşturulabilir.

Yazılan pakette geçiri kararlılık analizi için üç program yazılmıştır. Birinci programda sıralı devirli çözüm metodu (Allcrnate eyele solution

method), ikinci programda indirgenini.; ndnitans matris metodu (Reduced Y matrix mothod) kullanılmıştır. Üçüncü programda analıtarlama işlemleri ve arızanın düğümlemler arasında olma durumunu göz önüne alınıp indirgenmiş admilauis matris metodu kullanılmıştır. Bu programlarda yüksek gerilimlerin ve akımların genlik ve açıları hesaplanır. Makiuanın (generatörün) rotor hızının senkron hızı oranı ve yük açıları hesaplanıp zamana bağlı eğrileri çizilir.

### 3. Paketin Kapasitesi

Paketin kapasitesi PC-Matab'in kapasitesi ve sınırlamalarına bağlıdır. PC-Matlab IBM PC-AT,XT veya IBM uyumlu vı en az 640 Kh RAM'a ve matematik işlemcisine sahip bir bilgisayarında çalışır. Üniversitemizde PG/AT-Matlab bulunduğundan hazırlanan yazılımı paketi IBM uyumlu makinalarda çalıştırılmıştır. Macintosh ve iş makinalarında paket değişiklik yapılmadan çalışabilir. Fakat yazılımı paketi Matlabın o makinaları destekleyen uyarlamasının elimizde olmaması nedeniyle Macintosh ve iş makinalarında denenmemiştir.

### 4. Yazılan Pakete Matlab'ını Getirdikleri

Enerji sistemlerinin büyük boyutlu olması ve elemanların karmaşık sayılarla ifade edilmesi analizlerinde matematik formüllerin çözümünü oldukça zorlaştırır. Enerji sistemleri analizlerinde genel amaçlı dillerin kullanımı yazılan programların karmaşıklığını ve anlaşılmasını bir kat daha zorlaştırır. Bu nedenle yalnızca yardımcı bir araç olarak kullanılabilir. Herhangi bir değişiklik yapılamaz. Matlab kullanılarak yazılan programlar daha az zamanda ve başkaları tarafından daha kolay anlaşılır şekilde geliştirilir. [13]

Matlab kullanarak matrislerle hesaplamalar yapılabilmesinin yanında kompleks sayılarla da matematiksel işlemler kolaylıkla yapılabilir. Matlab da matrislerin toplamı, farkı, çarpımı, bölümü ve bunun gibi birçok işlem doğrudan yapılır. Örnek olarak aşağıda A ve B ile adlandıracağımız aynı boyutlu iki matrisin çarpımı ve toplamı gösterilmiştir.

$$C = A * B ; \text{ İki matrisin çarpımı}$$

$$C = A + D ; \text{ İki matrisin toplamı}$$

Matlab'ını bu temel özellikleri yazılım paketinin hazırlanmasında işlem kolaylığı sağlamıştır. Matlab'da yazılan programların en büyük avantajı hiçbir değişiklik yapmadan IBM PC, Macintosh ve birçok iş istasyonunda çalışabilmesidir.

Matlab'da yazılan programlar ve altprogramlar her hangi bir editörde yazılarak uzatması M olmak üzere saklanır. Değişik amaçlar için programlarda kullanılmak üzere altprogramlar yazılmıştır. Bu programlar ya adları ile yada aşağıdaki biçimde çağılır.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

$$[i] = yfaull(Yf,cl,c2,nl,1,,kl)$$

Yukarda verilen nltprogramı kısa devre programında (lataları alıp bileşen admütans matrislerini oluşturmaktadır. Yukarda verdiğimiz (4) denkleminin sonucunda \mjs 'ı Matlab'da aşağıdaki gibi elde ederiz.

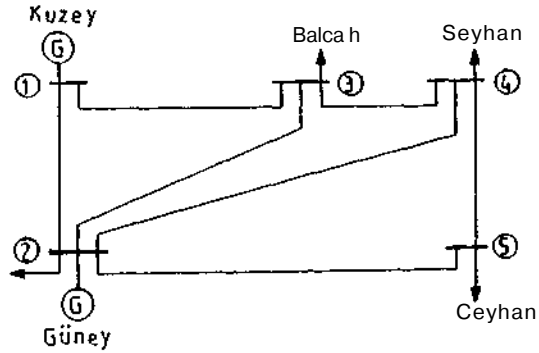
$$V_{BUS} = I'_{nvs} \backslash I_{uus}$$

Buradan Matlab'da matematiksel işlemlerin karmaşıklık içermeme ve kolayca programın izlenmesi nedeni ortaya çıkar. Bu özelliği analiz programlarının kapladığı yeri azaltmıştır.

Fakat l'C-Matlab'la büyük elektriksel güç sistemlerinin analizi yapılamamaktadır. Bunu sağlamak için PC-Matlab'da kullanılmayan seyrek matris (Sparse Matrix) tekniğini kullanılmalıdır. Bunu da PC-Matlab'da geliştirdiğimiz prototip algoritmaların Pascal veya C gibi yüksek seviyeli programlama dillerine çevrilmesiyle mümkündür.

### 5. Örnek ve Sonuçlar

Şekil-3'de verilen sisteme yük akış analizi ve geçici kararlılık analizi programları uygulanmıştır.



Şekil-3. Örnek enerji sistemi

Yük akış analizi sonucunda elde edilen düğüm (bara) gerilimleri tablo-1'de verilmiştir.

Geçici kararlılık analizi sonuçları iki grafikte gösterilmiştir. Bulunan sonuçlarda arızanın ü.1 saniye süresince devam ettiği varsayılmış. Şekil-4'de yük açılarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekil-5'de generatörlerin rotor hızlarının senkron hızlarına oranının zamanla değişimi gösterilmiştir.

### G. Sonuç

Bu paket öğrencilerin kolay kullanabileceği, şekilde hazırlanmıştır. Amaç öğrencilerin analiz konularını kavramalarına yardımcı olmak ve yapacakları araştırmalarda bu paketi araç olarak kullanmalarını yanında yapacakları değişiklikleri kolayca yapmalarını sağlamaktır.

Vazılan paketin değişikliklere müsaade etmesi gelecekle kolayca yeni programları eklenmesine izin verir. İlerde yük akış analiz yöntemlerinden Newton-Raphson, Decoupled ve hızlı Decoupled metodlarını eklenmesi yanında seyrek matris yöntemi kullanılarak paketin daha büyük sistemlerin analizine izin vermesi planlanmaktadır.

#### Kaynaklar

1. M. Daneshdoost and R. Shaat "A PC Based Integrated Software For Power System Education" , IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 4, No. 3, August 1989.
2. Benolt V., Poland P.M. ,Yvon G. and Dinkar M. "Microcomputer Based Power Network Control Genler Simulator for Education", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 2, May 1990.
3. Robert T.II. Alden and Hama Szabados, "Interactive Fortran for Power Engineering Education", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PVVHS-1, No. 2, May 1986.
4. Robert T.II. Alden, "Personal Computers in Power Engineering Education", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 3, No. 1, February 1988.
5. J. D. Glover and L. F. Dow, "Student Design Projects in Power Engineering", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 4, November 1990.
6. D.C. Yu, S.T. Chen and R.F. Bisclike, "A PC Oriented Interactive and Graphical Simulation Package for Power System Study" ,IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 4, No. 1, February 1989,
7. Alvarado F.L. "Instructional Use of Declarative Languages for the Study of Machine Transients", IEEE Trans. PWRD, Vol. 6, No. 1, February 1991.
8. Joe H. Chow and Kwok W. Cheung, "A Toolbox for Power System Dynamics and Control Engineering Education and Research", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 4, November 1992.
9. G. Stagg and A.H. El-Abiad , Computer Methods in Power Systems Analysis, McGraw Hill Book Company, (1988).
10. T.J. Hammons and A.S. Stevenson, "Teaching Fault Studies Using Symmetrical Components" , IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 4, November 1990.
11. T. Yalçınöz, "Üç Fazlı Enerji Sistemlerinde Arıza Durumlarının Analizi", Bitirme Tezi, KTÜ, Trabzon, 1990.

1200

12. A. Cıclı ve T. Yalçınöz, "Fast Node Elimination Method in Electrical Power Systems Using Sparse Matrix and Sparse Vector Iterations", Elektrik Mühendisliği 4. Ulusal Kongresi, İzmir, sayfa 248-251, 1991.

13. C. Moler, J. Mittle and S. Henningert , (1987). PC-MATLAB User's Guide. The MathWorks, Inc.

#### Yazarlara İlişkin Bilgiler

Arş.Gör. Tankut Yalçınöz

1990 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümünden Elektrik mühendisi unvanını aldı. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Enerji sistemleri mühendisliği eğitiminde kullanılmak üzere yazılımlar geliştirmektedir. IEEE öğrenci üyesidir.

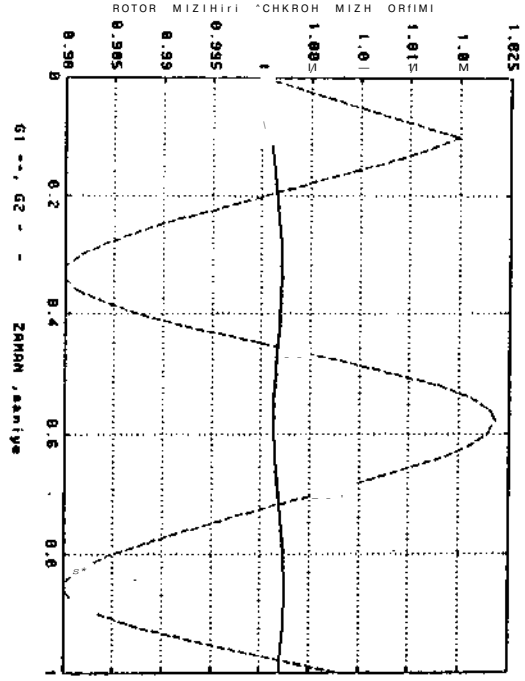
Yrıl.Doç.Dr. A. Cıclı

Warsaw Teknik Üniversitesinden 1969 yılında Elektronik mühendisliği bölümünden lisans, 1973 yılında Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümünden yüksek lisans ve 1987 yılında doktora derecelerini aldı. 1990 yılından beri Çukurova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde çalışmaktadır. Özel ilgi alanları yazılım ve elektrik mühendisliğinde bilgisayar uygulamalarıdır.

İt. Sayısı	Bara 2	Bara 3
0	1.0 + j0.0	1.0 + j0.0
1	1.0525 - j0.0010	1.0097 - j0.0129
2	1.0453 - j0.0302	1.0215 - j0.0423
3	1.0473 - j0.0362	1.0264 - j0.0715
4	1.0496 - j0.0473	1.0240 - j0.0829
5	1.0475 - j0.0502	1.0230 - j0.0869
6	1.0471 - j0.0506	1.0220 - j0.0888
7	1.0468 - j0.0513	1.0211 - j0.0890
8	1.0464 - j0.0512	1.0207 - j0.0891
9	1.0463 - j0.0512	1.0205 - j0.0892
10	1.0462 - j0.0512	1.0204 - j0.0892

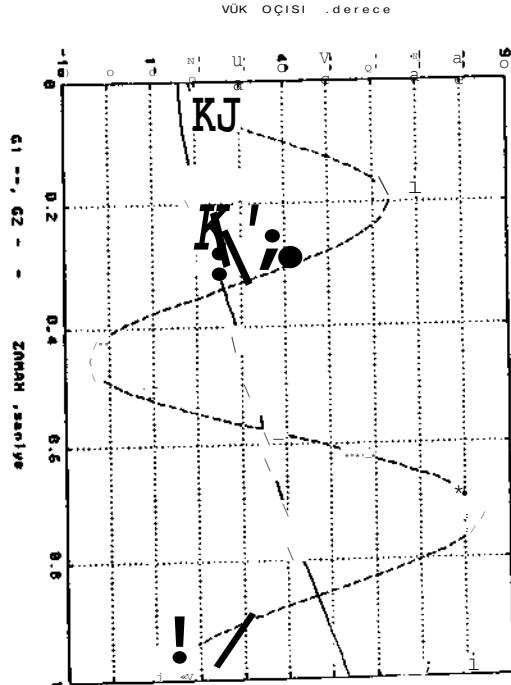
  

İt. Sayısı	Bara 4	Bara 5
0	1.0 + j0.0	1.0 - j0.0
1	1.0158 - j0.0264	1.0273 - j0.0737
2	1.0245 - j0.0635	1.0103 - j0.0893
3	1.0239 - j0.0833	1.0171 - j0.0983
4	1.0227 - j0.0908	1.0158 - j0.1079
5	1.0215 - j0.0939	1.0132 - j0.1078
6	1.0204 - j0.0947	1.0132 - j0.1087
7	1.0198 - j0.0949	1.0126 - j0.1091
8	1.0195 - j0.0950	1.0122 - j0.1089
9	1.0193 - j0.0950	1.0121 - j0.1090
10	1.0192 - j0.0950	1.0121 - j0.1090



Şekil-5.

Tablo 1. Yük akış analizi sonucu elde edilen bara gerilimleri



Şekil-4.



# ÜRETİM SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİK HESAPLAMALARI İÇİN SIKLIK VE SÜRE YÖNTEMİ

Yrd.Doç.Dr. Ertan YANIKOĞLU  
Sakarya Üniversitesi Müh.Fak.Elk.MÜH.B1. Adapazarı

## ÖZET

Güç sistem güvenilirliği analizi zamanla önemi artan bir çalışma konusudur. Bu çalışmaların çoğu güvenilirlik analizi ve üretim sistemlerinin gerekli planlamasında kullanılmıştır. Elektrik enerjisi sistemlerinin güvenilirlik değerlendirmesi üretim, iletim ve dağıtımın tüm kısımları için kullanılan tekniğe gerek duyar. Dağıtıma sisteminin analizi için kullanılan devredışı kalman sıklığı ve süresi standard bir ölçü olarak görülürken üretim sistemi için birçok farklı yöntem kullanılır. Bu çalışmada üretim ünitesinin devredışı kalma sıklığını, süresini ve yük durumlarını gözönüne alan üretim sistemi güvenilirlik hesaplaması yapılmıştır. Bu yük ve üretim modelinin birleşimi sağlanabilirliğin hesabını, oluşma sıklığını ve üretim rezervinin ortalama süresini yahut fazla ve eksik olduğu durumların hesaplanmasını sağlar. Bu çalışmanın sonuçları basit bir si9tam üzerinde sayısal bir uygulama ile gösterilmiştir.

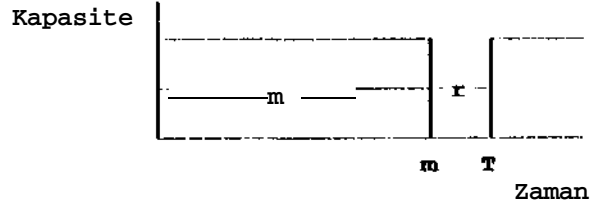
## GİRİŞ

Üretim rezerv gereksinimleri çalışmasında iki güvenilirlik tekniği yaygın olarak kullanılır. Yük kaybı yöntemi, umulan yükün tabiatını kapsar ve tek tek herbir üretim ünitesinin maksimum kapasite ile ve uzun vadede serviste olma olasılığını yani sağlanabilirliğini kabul eder [1]. Yaygın olarak kullanılan diğer teknik, sıklık ve süre tekniğidir [2]. Bu yöntem üretim ünitelerinin sağlanabilir ve sağlanamazlığının ortalama süreleri yahut onarım sürelerini kullanır. Bu yöntem tekrar oluşacak bu durumların umulan sıklığını ve kesin olarak belirli miktardaki devredışı kalma durumlarına sahip üretim sisteminin tam olasılığını hesaplamayı sağlar.

## ÜRETİM SİSTEMİ MODELİ

Üretim sistemi modellemesinde generatör ünitelerinin paralel bağlı olduğu kabul edilir. Üniteler sırayla sağlanabilirlik-onarom çevriminin periyodu ve ünite kapasitesinin umulan sağlanabilirliği, sağlanabilir kapasitenin değişik miktarlarının varlığı ile tanımlanan bir kapasite modelinin gelişimini sağlamak için generatör sistemi ile birleştirilebilir. Herbir ünite, 1202

kendi kapasitesi, sağlanabilirlik ve onarım süreleri ile ifade edilir. Ayrıca mevcut kapasitenin belirli bir miktarının veya daha fazlasının oluşumlarıyla karakterize edilmiş bir diğer şekline çevrilebilen tam kapasite durumu model ile açıklanabilir. Bunlar, yük kaybı olasılık modelindeki birikimli devredışı kalma durumları gibi aynıdır [1]. Böylece bu geliştirilmiş model yaygın olarak kullanılan üretim sistemi güvenilirlik hesaplama tekniklerinin her ikisini gerçekleştirmek için kullanılabilir. Bir generatörün güç üretme yeteneği onun ani kapasitesine eşittir. Kapasite bazen tam makinanın gücünde olabilir. Belirli yardımcı makinanın arızası nedeniyle güçte ani bir değişim söz konusudur. Bir kapasite durumundan diğerine geçişlerin ani olarak ve herhangi bir zamanda olduğu kabul edilir. Kapasitenin belirli bir değerde kalma süresi belirli bir durum için sağlanabilir olma süresidir. Şekil-1'de bu olayın bir grafiği görülmektedir. Bir generatör tam güçte, devredışı kalma veya kısmi bir kapasite durumunda gösterilebilir.



Şekil-1. Tamir edilebilir bir makina için ortalama zaman durum diyagramı

Şekil-1'deki grafik için terimlerin açıklaması aşağıdaki gibidir,

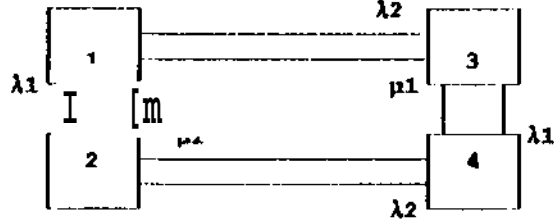
$T=1/f$  periyod(gün)  $X=$  arıza oranı  
 $f=$  sıklık  $p=$  onarım oranı  
 $m=1/JL$  ortalama çalışma zamanı  
 $A=m/(m+r)=m/T$  sağlanabilirlik  
 $r=1/u$  ortalama onarım zamanı

sağlanabilirlik, geçiş oranı ve ortalama periyod arasında aşağıdaki bağıntılar mevcuttur.

$$\begin{aligned} \lambda &= 1/A \cdot T & (1) \\ p &= 1/(1-A) \cdot T & (2) \\ f &= A \cdot V = (1-A) \cdot u & (3) \end{aligned}$$

Paralel iki makinalı sistemde olası durum sayısı  $2^2=4$  dUr. Dört olası durum tanımları tablo-1'de veriliyor. Şekil-2 bu durumlar için geçiş diyagramını gösteriyor. Bu modelde, herbir makina için çalışma-onarım prosesi diğer makinelerin prosesinden bağımsızdır. Örnek olarak 2. durumun periyodu,

$$T_2=1/(A_2(\lambda_2+\mu_1))$$



Şekil-2. İki paralel makina için durum uzay diyagramı

Tablo-1. İki makinalı sistem için durum tanımları

Durum	1.Makina	2.Makina	Durumdan Ayrılma Oranları
1	Çalışma	Çalışma	$K + A_1$
2	Arıza	Çalışma	
3	Çalışma	Arıza	$K + \mu_1$
4	Arıza	Arıza	$\mu_1 + \mu_2$

### YÜK MODELİ

Sıklık ve süre tekniğinde umulan tepe yükler dikkate alınmıştır. Üretim sistemlerinin planlanan büyümeleri için yükleri günlük tepe yük olarak göstermek uygundur. Sıralı günlük tepe yükler, rastgele proseste sürekli olarak kabul edilecektir [3,4]. Bu model (1-e) gün gibi ortalama periyodlu düşük L yükü ile bunların arasına dağıtılmış herbirinin ortalama süresi e gün olan sıralı daha yüksek tepe yükler şeklinde günlük yük eğrisini içerir. Şekil-3'de gösterildiği gibi ard arda gelen tepe yükler rastgeledir.



Şekil-3. Basit yük modeli için sıralı yükler

Tablo-2. Yük modeli sembolleri

Yük seviyeleri sayısı	R
Değişik yük seviyeleri	$L_i, i=1,2,..H$
L 'nin oluşma sayısı	$n_i, i=1,2,..H$
Aralık uzunluğu	
Umulan tepe yük süreleri, gün	$e < 1$
L 'nin sağlanabilirliği	$A_i = n_i e / D$
Daha büyük yüke geçiş oranı	$A_{i,n} = 0$
Daha küçük yüke geçiş oranı	$\lambda_{i,n} = 1/e$
1 'nin oluşma sıklığı	$f_i = n_i / D$
Düşük yük periyodu için, yük durumu sağlanabilirlik	$L_0, MH$
geçiş oranları	$A_{i,n} = 1-e$
	$\lambda_{i,n} = 0$
	$\lambda_{i,n} = \lambda_0 = 1/(1-e)$
sıklık	$f_i = 1$

Yük modeli aşağıdaki kabullere dayandırılmıştır.

- 1) Bir periyoddaki günlük yükler, H yük durumu ile gösterilecektir.
- 2) Ard arda gelen günlük tepe yükler rastgele ard arda gelen H yük durumlarıdır.
- 3) Yük modeli istatistiksel olarak sabittir.
- 4) Belirli bir yük durumunda kalma zamanlarının dağılımı üsteldir.
- 5) Yeni bir yük durumuna herbir geçişte, özel bir duruma geçiş olasılığı A direkt olarak yeni durumun varlığının sürekli olasılığı ile orantılıdır.
- 6) Yük durum geçişleri, üretim durumu geçişlerinden bağımsız olarak oluşur
- 7) Günlük tepe yüklerin ortalama süresi e gün olup, en düşük tepe yük ortalama süresi (1-e) gündür.

Bu yedi kabul, rezerv marjin durumları, onların sağlanabilirlik olasılıkları ve tekrarlamalar arasındaki umulan zaman şeklinde ayrıntılı bir sistem tanımlanabilmesi için, kapasite sağlanabilirlik modeli ile birleştirilebilen stokastik bir yük modeli oluşturulmasına olanak sağlar. Aynı yol değişik kapasite durumları analizinde kullanmak için bir yük modeli geliştirilmesinde takip edilebilir. Ya üretim yada yük için bir yılı göstermekte, programlı bakım ve senelik yük değişimlerinin değişik etkilerini tanımak için bazı yöntemler bulunmaktadır. Geçmişte sıklıkla kullanılmış makul bir yaklaşım yılı bakım aralıkları şeklinde bölmektir. Bu aralıklar dört hafta veya daha az sürelidir. Bu periyod değişmez bir stokastik proses ile gösterilebilen bir yük modeli şeklinde yeterli kısıllıktadır. Bir yıl ile bu aralığın ilişkisini göstermek için A değeri  $D/365$  aralığıyla ifade edilen yılın bu parçasıyla çarpılmalıdır. Gün boyunca özel bir I. tepe yük seviyesinin sağlanabilirliği,

$$A_i = e \cdot n_i / D \quad (4)$$

ifadosi ile verilir. Belirli bir yük durumundan düşük bir yük durumuna geçiş olasılığı 1 dir. Bu nedenle daha düşük bir yük durumuna geçiş oranı 1/e dir. Daha yüksek bir yük durumuna geçiş oranına sxfirdir.

Rezerv marjin durumları

Rezerv veya marjin, sağlanabilir kapasite ve yük arasındaki farktır.  $L_c$  yük durumu ve  $C_j$  kapasite durumu ise,

$$A_k = C_j - L_c \quad \text{dir.} \quad (5)$$

Birikimli marjin durumlarını hesaplamak için, m den daha büyük ve daha küçük marjin durumlarına ayrılış oranlarını aşağıdaki ifadelerden hesaplarız.

$$\lambda_{m-1} = \lambda_m + \lambda_{m+1} \\ X_m = X_{m-1} + X_{m+1} \quad \text{(fi)}$$

Marjin-Sağlanabilirlik Tabloları

Bu tablolar H adet farklı yük seviyesi ile yüklenen bir üretim sisteminde oluşan kesin marjin durumları için marjin-sağlanabilirlik tablolarının yapısını gösterir. Tablodaki veriler MW olarak marjini, sağlanabilirlik ve geçiş oranlarını içerir. Bu durumlar yük ve kapasitenin tüm kombinasyonlarını kapsar. Sonuç olarak benzer marjin değerlerini gösteren fakat yüklerin ve kapasitelerin farklı eşlendirmelerinin sonuçları olan girişler vardır. Veriler 365 gün içindir ve tepe yüke maruz kalma faktörü e olarak kabul edilir. Sıfır veya daha düşük yük seviyeleri için girişler bulunmaz. Bu tam kesin durumların eldesinde marjin durumları sağlanabilirlikleri,

$$A^* = \sum_{k=1}^H A_k \quad (7)$$

ve ayrılma oranları,

$$X_j = \frac{A_j}{A^*} \quad (8)$$

olarak verilir. Bu mevcut durumların oluşma sıklıkları,

$$f_k = A_k (\lambda_{k-1} + \lambda_k) \quad (9)$$

dir. Oluşan benzer marjin durumları aşağıdaki ifadeler ile birleştirilirler. H benzer ny marjin durumu için,

$$A_n = \sum_{k=1}^n A_k \quad (10)$$

$$f_n = \sum_{k=1}^n f_k \quad (11)$$

$$\text{ve} \quad \lambda_n = \sum_{k=1}^n \lambda_k \quad (12)$$

ifadeleri verilir.

Birikimli Marjin Durumları

Kapasite verilerindeki gibi, birikimli marjin durumları için sağlanabilirlik ve sıklıkları elde etmek önemlidir.

m, tam marjin, MW  
M, birikimli marjin, M\*  
L, tam yük, MH  
C, tam kapasite, MV  
C, birikimli kapasite, M\*

Belirli bir birikimli marjin durumu sağlanabilirliği

$$A_M = \sum_{m=C-t}^M A_m \quad (13)$$

Herhangibir tam marjin durumu için (m=C-t) sağlanabilirlik,

$$* = L \cdot i \quad ** \quad *1 \quad <14>$$

Birikimli marjin durumu sağlanabilirliği, M marjin için veya daha düşüğü için

$$A_M = \sum_{m=C-t}^M \sum_{l=1}^L A_l A_c \quad (15)$$

ifadeleri yazılır. Yük ve kapasite durumları bağımsız olduğundan (15) ifadesi tüm yük seviyeleri boyunca toplanarak tekrar düzenlenir. Yani,

$$J^A - J^A A, J^A \ll *c \quad (16)$$

Bu son toplam (G) « {CSL+MI} (17) olay kümesi ile tanımlı e birikimli kapasite durumunun sağlanabilirliğidir. Böylece,

$$K' L. K K \quad (18)$$

dir. Birikimli durumların tekrar oluşma sıklıkları için bağıntı aşağıdaki gibidir,

$$f_n = \sum_{k=1}^n A_k (X_k - X_{k+1}) \quad (19)$$

Geçiş oranları ve yük, kapasite olayları bağımsızlığı tanımları ile.

$$f_n = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^L A_l A_c (\lambda_{k-1} - \lambda_k + \lambda_{l-1} - \lambda_l) \quad (20)$$

Burada tam yük, kapasite ve marjin durumları m=C-L ile tekrar ilişkilidir. Herbir tam yük durumu boyunca toplamının aynı tekniği ile,

$$\sum_{k=1}^n [f_k (X_{k-1} - X_k) + f_{k+1} (X_k - X_{k+1})] \quad (21)$$

Birikimli kapasite durumu C'nin tanımından, eşitlik (21) basltleştirilirse, e birikimli kapasite durumu sıklığı,

$$f_c = \sum_{k=1}^n A_c (\lambda_{k-1} - \lambda_k) \quad (22)$$

oldüğundan,

$$f_n = \sum_{k=1}^n A_k [f_c + A_c (\lambda_{k-1} - \lambda_k)] \quad (23)$$

halini alır. Eşitlik (23) ve (18) sıklık ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

lık ve »ağlanabilirliği verir veya birikimli marjin durumlarının mevcut olma olasılığını verir. Yani sağlanabilirlik değeri, herhangi bir rastgele seğilmiş bir zamanda birikimli marjin durumu gibi bir özel durumu bulma olasılığıdır.

#### Sistem Uygulaması ""

20 MİT'lik ve 30 MİT'lik iki ünite paralel olarak çalışmaktadır. Her bir generatör için tamir »üresi 2,040816 gün, onarım oranı 0,49, arıza Oranı 0,01 a/yıldır. Durumların sağlanabilirlikleri ve ortalama zamanları aşağıdaki gibidir.

Tablo.4. Örnek sistem için kapasite durumları

Durum	Mevcut Sayısı	Kapasite (MW)	A	Ayrılma Oranı X.	Devir Zamanı (gün)
1	50	0,9604	0	0,02	52,0616
*4	50	1.0000	-	-	-
2	30	0,0196	0,49	0,01	102,0408
*3	30	0,0396	-	-	52,0616
3	20	0,0196	0,49	0,01	102,0408
<2	20	0,0200	-	-	102,0408
4	0	0,0004	0,98	0,00	2551,02
*1	0	0,0004	-	-	2551,02

\* Birikimli kapasite durumları için değerler

Böyle bir sisteme karşılık,oluşan **günlük tepe yükler 40, 25, 20 ve 15 M** dir. Bu yüklerin umulan oluşma süreleri 2, 5, 8 ve 5 gündür. Peryod 20 gün olup, herbir tepe yük için oluşma süresi, sağlanabilirlik, devir zamanı ve ayrılma oranları tablo-5'de verildiği gibidir.

Tablo-5. Yük Modeli Verileri

Durum	Yük L (MW)	Oluşma Süresi (n,)gün	Devir Zamanı (gün)	Ayrılma Oranı X.
1	40	2	182,5	0
2	25	5	73,0	0
3	20	8	45,625	0
4	15	5	73,0	0
5	0	20	18,25	2

Durum	Sağlanabilirlik A
Sayısı	(e.nj/365) (e=l/2 gün)
1	0.00273973
2	0.00684932
3	0.01095890
4	0.00685890
5	0.02739727

Tablo-6 ise dört tepe ylık seviyesi ve iki generatörde oluşan tam marjin durumları için marjin-sağlanabilirlik de-

đerlerini vermektedir. Bu tablodan elde edilen marjin durumlarından, hesaplanan birikimli marjin durumlarının sağlanabilirliği ve devir zamanları tablo-7'de verilmiştir.

Tablo-6. Marjin Durumları

		Yük Verileri			
i	L	1	2	3	4
	40	25	20	15	
Aj	0,00273973	0,00684932	0,0109589	0,00684932	
X.	0	0	0	0	
X.	2	2	2	2	
		Generator Verileri			
i	C <sub>i</sub>				
1	50	ar 10	25	30	35
		A=0,002631	0,006578	0,010525	0,006578
		$\frac{Y}{X} = 0,02$	$\frac{Y}{X} = 0,02$	$\frac{Y}{X} = 0,02$	$\frac{Y}{X} = 0,02$
2	30	m=-10	5	10	15
		A=0,000054	0,000134	0,000215	0,000134
		X><2,49	2,49	2,49	2,49
		X.=0,01	0,01	0,01	0,01
3	20	m=-20	-5	0	5
		A=0,000054	0,000134	0,000215	0,000134
		$\frac{Y}{X} < 2,49$	2,49	2,49	2,49
		$\frac{Y}{X} = 0,01$	0,01	0,01	0,01
4	0	m-40	-25	-20	-15
		A=0,000001095	0,000003	0,000004	0,000003
		X.=2,98	2,98	2,98	2,98
		X.=0	0	0	0
		"e=l/2" gün			

Tablo-7 Birikimli Marjin Durumları

Marjin	Birikimli. Durum Sağlanabilirliği	Olay Devir Zamanı (gün)
<MW)	e-1/2 gün	
35	0,0273973	18,25
30	0,0208192	23,94
25	0,0102942	47,78
15	0,0037162	126,5
10	0,0035819	132
5	0,00073589	546,3
0	0,00046740	858,6
-5	0,00025260	1582,4
-10	0,00011836	3344,4
-15	0,000064658	6030,3
-20	0,000061918	6342,5
-25	0,000003836	87488
-40	0,000001095	306208

## SONUÇLAR

Bu çalışma, tam kapasite devre dışı kalma durumları ve birikimli devre dışı kalma durumlarının herikisi için sağlanabilirlikleri, oluşma sıklıklarını ve devir sürelerini hesaplamakta kullanılabilen üretim sisteminin bir olasılık modelini sunmaktadır. Ayrıca değişik birikimli olay durumları için ve özel yük marjin durumlarının sağlanabilirliklerini, oluşma sıklıklarını ve devir sürelerini hesaplamak için kullanılabilen bir model göstermektedir. Bu sistem yükleri ve üretim rezerv roarjinlerinin olasılıksal modelidir. Üretim modeli, üretimin risk indislerini sağlamak için bir yük modeli ile birleştirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] R. Billinton, Pover System Reliability Evaluation. Ne« York: Gordon and Breach Science Publiahers, 1970.
- [2] H. Halperin and H. A. Adler, "Determination of reserve generating capability, " A{EE Trans. PAS, vol.77, pp.530-544, Agust 1958.
- [3] R. Billinton and K. E. Bollinger, " Transmission system reliability evaluation using Markov processes, " (EBE Trans. PAS, vol.PAS-87, pp.538-547, February 1968.
- [4] R.J. Ringlee and A.J. Wood, "Frequency and Duration Method for Pover System Reliability Calculations, Part II-Demand Model and Capacity Reserve Model," IEEE, Transactions on Power Apparatus and System, vol. 88, 1969, pp. 378-388.

- [5] J.D. Hail, R.J. Ringlee, and A.J. Wood, "Frecjuency and duration methoda for ponet system reliability calculations: I-generation system model, " IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. FAS-87, pp. 1787-.1796, september 1968.



## ÖZGEÇMİŞ

Ertan YANIKOĞLU 1956 yılında Samsun'da doğdu. ±.D.M.M.A Elektrik Müh. Fakültesini 1979 yılında bitirdi. Aynı okulda 1982 yılında yüksek lisansı bitirdi. 1991 yılında I.T.Ü. Elektrik Fakültesinde doktora tezini tamamlayarak doktor unvanı aldı. Halen Sakarya Üniversitesi Müh.Fak. Elk-Elektronik MUH.Bl. de Tesis ana bilim dalında öğretim üyeliği yapmaktadır. Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin güvenilirlik değerlendirilmesi konusunda çalışmalarını sürdürmektedir.

GÜÇ SİSTEMİ GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİNDE  
KORUMA SİSTEMLERİNİN MODTCLLENMESİ

Yrd.Doç.Dr. Er tan YANIKOĞI.U  
Sakarya Üniversitesi Müh.Fak.Elk.MÜh.Bl. Adapazarı

ÖZET

Generatör-İletim sisteminin olu-  
şan karmaşık bir enerji sisteminin gü-  
venilirlik analizinde koruma sistemleri  
normal olarak mükemmel güvenilir kabul  
edilir. Ancak ihmal edilen koruma sis-  
temlerinin, hesaplanmış uygunluk indis-  
leri üzerine etkisi, yüksek derecede  
paralel şebekelerde oldukça önemli  
Bundan dolayı bu çalışmada genel bir  
koruma sisteminin modellenmesi yapılmış-  
tır. İki güç kesicisi tarafından korun-  
nan bir enerji iletim hattı düşünülmüş-  
tür. Her iki kesicinin aynı açma siny-  
ali cihazı ile uyarılması, farklı açma  
sinyali cihazı tarafından uyarılması  
veya farklı açma sinyali cihazlarından  
birinin çalışmasıyla her iki kesicinin  
uyarıldığı değişik durumlar düşünül-  
müştür. Her değişik durum için bir olay  
ağacı oluşturulup durum olasılıkları  
elde edilmiştir. Daha sonra bu sonuç-  
lar ıcarçılanturulanmıştır.

GİRİŞ

Bir aktif arızaya bir kesicinin  
cevap verme veya cevap vermeme olasılı-  
ğı koruma sistemine, onun yapısına ve  
kullanılan elemanların kalitesine bağı-  
lıdır. Klasik olarak, bir kesicinin  
kilitlenme olasılığı P., koruma sistemi  
ve bir tek eleman olarak onun ilgili  
dan hesaplanır P.

$$P. = \frac{\text{Çalışma arızası sayısı}}{\text{Çalışma ihtiyacı sayısı}} \quad (D)$$

P.'1 değerlendiren bu yöntem bir koruma  
sistemini veya bazı ortak elemanlı ke-  
sicilerin olduğunu ihmal eder. Bunun-  
la beraber, koruma sistemi bir entegre  
sistemdir ve bağımsız olarak analiz ya-  
pılabilir. Güç sisteminin diğer kalan  
kısmında bir koruma sistemi, çalışması  
gerekinceye kadar sakın durumda kalır.  
Bu sakın durum suresince yanlışlıkla  
yapılan açmalardan ayrı her arıza çalı-  
şma gerekinceye kadar kendisini gös-  
termez. Bu arızalar açığa vurulmamış  
hatalar olarak tanımlanmıştır [3].  
Çalışma arızası olasılığını azaltmak  
için genellikle koruma sistemi kontrol  
edilir. Koruma sistemleri güvenilirlik  
değerlendirilmesinde kullanılan bilinen  
olay ağaçları ve Markov modellemesini  
içeren alternatif teknikler vardır [2].  
Bununla beraber olay ağaçları yöntemi

diğer uygulamalarda yaygın olarak  
kullanılmıştır [3,4]. Ardışıl lojik  
sistemleri tanıdığından dolayı ideal  
bir tekniktir. Büyük sistemleri analiz  
etmek içinde uygulanabilir.

Koruma sistemlerinin birkaç tipi  
vardır ve bundan dolayı yalnız genel-  
leştirilmiş bir hali tartışılacaktır.  
Şekil-1 de böyle bir sistemin blok şe-  
manı görülmektedir. Bu blok şemadaki  
bloklar çoğu koruma sisteminde olduğu  
gibi, arıza dedektörü(FD), röle(R), açma  
sinyali cihazı(TS) ve gerçek arızayı  
kesen eleman B kesicisinden oluşur.  
Eğer şekil-1'de gösterilen blokların,  
modüllerin birden daha çoğu bir veya  
daha çok ortak eleman paylaşıyorsa, bu  
durumda paylaşılmış elemanlar ayrı bir  
modülle gösterilmelidir.



Şekil-1. Genel Bir Koruma Sisteminin  
Blok Diyagramı

SİSTEMİN OLAY AĞACI

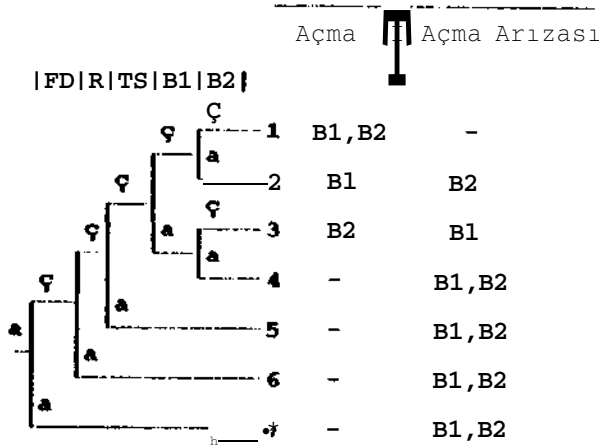
B1 ve B2 kesicileriyle korunan  
belirli bir eleman düşünelim. Her iki  
kesicisinde aynı arıza dedektörü(FD),  
röle(R) ve açma sinyal cihazı(TS) ile  
çalıştığını varsayalım. Pratik bir  
sistemde oldukça çok paralellik, fark-  
lılık ve bağımsızlık genel olarak kap-  
sanacağından dolayı bu gerçekçi olmayan  
bir çalışma işlevidir. Bununla beraber  
bu örnek modelleme işlevini, temel de-  
ğerlendirme yöntemini ve ortak eleman-  
ların etkisini göstermek için tasarlan-  
dı. Elemanda belirli bir aktif arıza  
için sistemin olay ağacı şekil-2'de gö-  
rölmektedir.

Bu herbir olay yolunun oluşumları ile  
birlikte olaylar dizisi, bu durumlardan  
yalnız birinin her iki kesicinin başa-  
rılı olarak çalışmasına ve kalan dört  
durumun her iki kesicinin eşzamanlı  
olarak çalışmamasına ulaştığını göste-  
rir. Bu olay ağacı, her bir elemanın  
iki durumdan yalnız birinde bulunabile-  
ceğini kabul eder. Bu iki durum sıra-

sayıyla, bir arıza olduğunda sistem arızasına cevap verebilir veya veteraz yani çalışmama durumudur. Ayrıca pra-

$$U = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} (1 - e^{-\lambda t}) dt$$

### Sonuçlar



a=arıza, ç=çalışma

Şekil-2. Örnek olay ağacı

tikte başka bir durum oluşur buda yanlışlıkla çalışmayı gösterir ve kesicinin açmasına sebep olur. Bununla beraber genel olarak bu durum koruma sisteminin veya kesicinin açıklanmış bir arızası ile ilgilidir [1]. Bir sistem hatası oluştuğunda ait olan koşullarla ilgisizliğinden dolayı, mevcut örnekte ihmal edilmiştir. Gerekirse şekil-2'de gösterilen iki brans yerine olay ağacının her bir gerekli düğünde Uç brans oluşturularak dahil edilebilir. Yeni olay yollarının herbirinin uygun oluşumları azaltılır.

### OLAY OLASILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu olay olasılıkları, koruma sistemindeki her bir cihazın gerektiğinde çalışıp çalışmadığının olasılıklarıdır. Bunlar zaman bağımlı olasılıklardır. Bir cihazın çalışması için gerekli olan saman rastgele bir değerdir ve geleceği bilinmez. Çoğu kullanışlı tek ölçüt, ardışık testler arasındaki cihazın ortalama sağlanamazlığıdır. Bu ölçüt ortalama ölüm zamanı olarak tanımlanmıştır [1]. Eğer ardışık testler arasındaki zaman  $T_c$  ise, o zaman ortalama sağlanamazlık U;

$$U = \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} Q(t) dt \quad (2)$$

Q(t), elemanın zaman bağımlı arıza olasılığıdır. Özel bir durumda, arızalar arası zaman üstel olarak dağıldığında,

$$= 1 - \frac{1}{\lambda T_c} (1 - e^{-\lambda T_c}) \quad (3)$$

$kT_c < 1$  ise

$$U = \frac{\lambda T_c}{2} \quad \text{olur} \quad (4)$$

Eğer arıza zamanı diğer bir dağılımı izlerse, benzer değerlendirme kullanılabilir. Eğer dağılımın integrali alınamazsa, ortalama sağlanamazlığı değerlendirme için nümerik integrasyon yöntemi kullanılabilir.

Arıza oranları, hata dedektörü için  $4 \times 10^{-6}$  arıza/yıl, röle için  $5 \times 10^{-6}$  arıza/yıl, açma sinyali cihazı için  $3 \times 10^{-6}$  arıza/yıl ve herbir kesici için  $8 \times 10^{-6}$  arıza/yıl olduğu düşünülün. Bu arıza oranları referans [1,5]'de verilen bilgilere dayanmaktadır. Altı aylık kontrol aralıkları ile ortalama sağlanamazlık eşitlik (4) kullanılarak, hata dedektörü, röle, açma sinyali cihazı ve herbir kesici için sırasıyla 0.010, 0.00125, 0.0075 ve 0.0020 bulunur. Bunlar, eşitlik (3) ile bulunacak olandan çok az farklı bir değerdedir.

### OLUŞUM OLASILIKLARININ HESAPLANMASI

Oluşum olasılıkları, olay ağacı ve olay olasılıklarının azaltılmasından sonra kolayca hesaplanır. İlk önce, herbir oluşuma ulaşan olay yolları saptanır. Herbir yolun oluşma olasılığı, yoldaki olay olasılıkları çarpımıdır. O zaman oluşum olasılığı bu oluşuma ulaşan herbir yolun olasılığının toplamıdır. Şekil (2)'deki örnek için,

$$\begin{aligned} P((B1, B2) - \text{Ç}) &= 1. \text{ yolun olasılığı} \\ P((B1 - \text{Ç}, B2 - \text{A})) &= 2. \text{ yolun olasılığı} \\ P((B1 - \text{A}, B2 - \text{Ç})) &= 3. \text{ yolun olasılığı} \\ P((B1, B2) - \text{A}) &= 4-7 \text{ yollarının olasılığı} \end{aligned}$$

Önceki bölümde verilen aynı veri ve kontrol aralıkları kullanılarak, yol ve oluşma olasılıkları tablo (1)'de verilmiştir. (Ç=çalışma, A=arıza durumu) Tablo-1'de görülen sonuçlar çalışma moduna, sayısal güvenilirlik verilerine, elemanların paylaşımına ve iki kesici arasındaki cihazlara bağlıdır. Tarklı

kabuller ve çalınma karakteristikleri düşünüldüğünde sonuçlar çok farklı olacaktır. Bununla beraber sonuçlar, koruma sisteminin doğru olarak modellenmesinin ve ortak olarak paylaşılma

Tablo-1. Yol ve Sonuç Olasılıkları (Şekil-4 için)

Yol	Sonuç	Olasılıklar	
		Yol	Sonuç
1	B1-Ç, B2-Ç	0.977424	0.977424
2	B1-Ç, B2-A	0.001959	0.001959
3	B1-A, B2-Ç	0.001959	0.001959
4	B1-A, B2-A	0.000004	0.000004
5	" "	0.007416	0.018659
fi	" "	0.001238	0.001238
7	" "	0.010000	0.010000

(Ç=\*çalışma, Avarıza durumu)

elemanların önemini göstermektedir. Eğer mevcut örnekte, yalnız bir kesicinin çalışma durumu arızası düşünülürse, yani diğer kesicinin durumu ihmal edilirse o zaman,

$$P(B1-Ç \text{ arızası}) = T \text{ 3-7 yol olasılığı}$$

$$P(B2-Ç \text{ arızası}) = f \text{ 2,4-7 yol olasılığı}$$

her iki durumda 0.020617 ye eşittir. Eğer arıza olayları rapor edilirse veya bağımsız olarak bir veri bankasında en azından yüklenirse, bir arıza rapor şemasından bu yazılmış değer olacaktır. Bu veri ve bağımsız oluşan arızalar kavramı kullanılarak B1 ve B2'nin çalışmama olasılığı  $0.020617 * 4.25 \times 10^{-4}$  olarak hesaplanmış olacaktır. Yukarıdaki çalışmada iki kesici tarafından korunan hatalı eleman düşünülmüş olmasına rağmen kavramlar birçok kesici içinde kolayca uygulanabilir.

#### AYRI VE PARALEL ÇALIŞAN ELEMAHLAR

Şekil-2'de gösterilen olay ağacında, her iki kesiciyi de aynı hata dedektörü (<LT>), röle (R) ve açma sinyali cihazı (TS)'nin çalıştırdığı varsayıldı. Sonuç olarak, kesicilerin kendilerine ait arızalarına nazaran sistemdeki diğer her arıza her iki kesicinin düzensiz çalışmasına sebep olur. Bu olasılık, her bir kesiciye alternatif kanallar sağlayarak veya sistemde paralel yollar ilavesiyle azaltılabilir. Bu kavrama, göstermek için, iki açma sinyali cihazı ve iki çalışma durumu düşünülür.

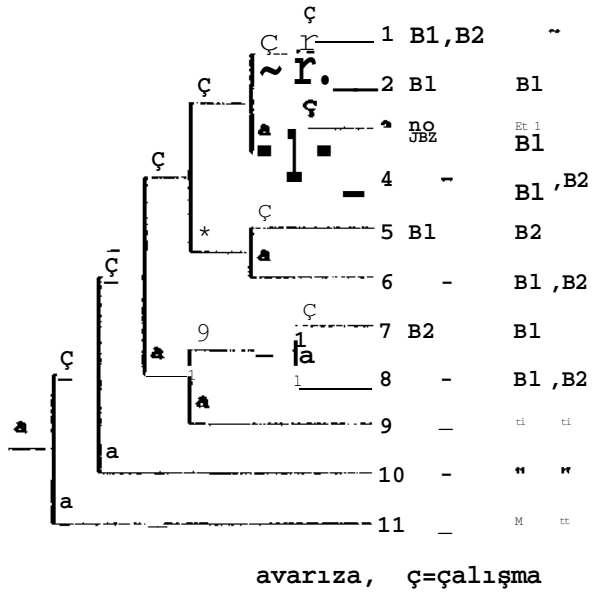
a) Bir açma sinyali cihazı (TS1), B1 kesicisini ve diğeri (TS2) B2 kesicisini işletir.

b) Açma sinyali cihazlarından birinin çalışması her iki B1 ve B2 kesicilerini çalıştırır.

(a) ve (b) durumları için olay ağacı sırasıyla şekil-3 ve şekil-4'de verilmiştir.

Sonuç  
Açma | Arıza

|FD|R|TS1|TS2|B1|B2|

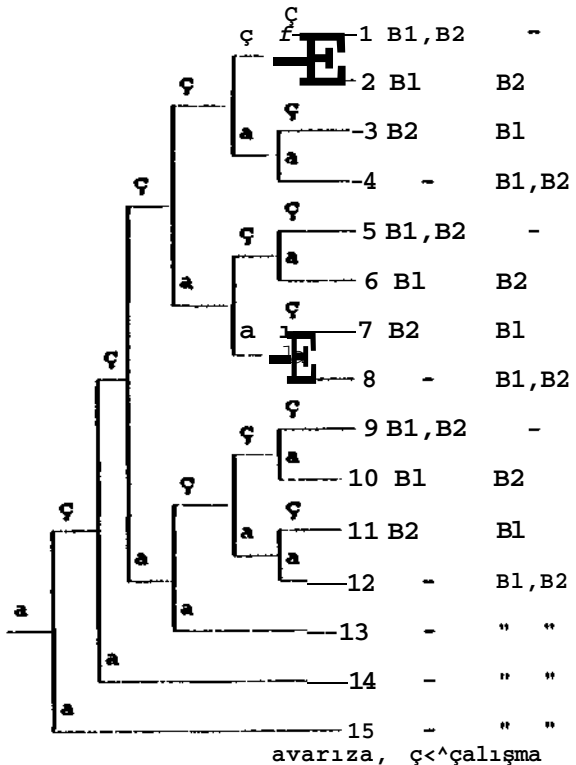


avarıza, ç=çalışma

Şekil-3. İki Açma Sinyali Cihazlı Olay Ağacı

Sonuç  
Açma | Arıza

|FD|R|TS1|TS2|B1|B2|



avarıza, ç=çalışma

Şekil-4. Paralel Açma Sinyali Cihazlı Olay Ağacı



Her iki kesicinin çalışmasına arızası için önceki değerler kullanılırsa, koroza çalışmasının deriştirilmiş olasılıkları tablo-2'de görüldüğü gibidir.

Tablo-2. Şekil-3. ve 4 için sonuç olasılıkları.

Sonuç	OJ.n3x11.Vlnr	
	•Jeki 1-3	Şekil-4
B1-C, B2-C	0.970094	0.984754
B1-C, B2-A	0.009289	0.001974
B1-A, B2-C	0.009289	0.001974
B1-A, B2-A	0.011328	0.011290

r, (ai işir A-Arızalı

Beklendiği tilere tablo-2'de gösterilen sonuçlar;

- Her iki kesicinin çalışmasına arızası olasılığı, iki açtır. n.hnına sahip çeqi ti ilik (durum a), paralel i i V. (darma b) sebebiyle oldu. Vça -r, \ilroi.ştu.
- a ducuramda f?iün duruün ne oluna o İmin TM.'iri «m-il-nim oUx"il/f d'efiş-ror-don (0. U092U4I 0.0.11328-0. 050<>17) olarak kalır. çimVü Bl. kanalındaki cihazların sayısı deçişme? fakat AÇİb s?inye. İI cihazlamlaki paralellik seijobjyle durum b'de (0.0013272) oldukça azalır.

#### SONUÇLAR

Olay .K't-ıçları. yöntemi <inli;u.l .10> .ik sist.eTulfti tamM. «t.i.üd-uı dolayı ide-al bir tokjuil;t.i.r. R'iyük- si"t\*"inleri atuliz etim'k i<;iu uy<D>ılnciA>ilir. Bu çal..Tşnvida önif;k oJ.:>ik verilen iki kesici ortak olara): kullanılan korumu si.tİtr-üü ilo koru'Müü^tur. Bu sistem için UO.T iki ker^i1. İI in çalışma arızası olasılığı hestap.lannuft.xr. Her iki kesiciye farklı korum-» sistemleri bağlanması durunroudi kesicilerin çalışmasına arızası olanı-lıklara oldukça azalmıştır. Ayrıca sen sintein yapısı iki farklı şekil'de oluşturulmuştur, nirinoisi her kesici ayrı bir koruma sisten>. il« KOEUoimş ikincisi her koruüa sistearânin her iki kesiciyi «lr. kortunası sağlaiHjaştır. B«y.l«cf J!:"k"icil.erin çalı^üü arızası olasılıtlj'lid) verilen sayısal, örtwltü daha dii aza'lün çö"leü7Tü ştir. KijfiT s.lstfiTKİe ayr.T^a paralellik VP çeçitlilik (farklılık) bxr.JLojtir;ilir.j« bu d"i<jorler büyük miKtarda etl:l.l oneeekti.v. Örneçin röle iMyununu arttırılmıydı:.

#### REFERANSLAR

- [1]. A.E. Green, A.J. Bourne-Reliability Technology (John Wiley, 1972).
- [2]. CKincfli, A. D. Pat: ton -Vrotect.i on syst."m r.n./iability modoll.i>ç, unrwdine!)a prcthabillty and imaan dırralİon OİL imdetected tarıltı. XKIT? Franrı on R^liability, H-2", 1979, pp 33»-J40

- [3]. R.H. Allan, I. I., Rondjiis, D.M. Fiyer, C. Tye-C'onç>utational development of event trees in nuclear reactor system. Seound National Reliability C'onferenci Birmingham, UK, Maich 1979, paper 3D/1.

- [4]. R.n. Allan, T.I. Rondiris, D.M: Fryc-r - An efficipt computation.il techniqie for evaluating the cut/tie sott) and cotnon-cause failuos of con^Jex systeiri». İFKE İrans. on Reliability, R-30, June 1981. pp 101-109.

- [5]. JFİRF- Hurlear reliability data manual. XİCT: Standard 500-1977.



#### ÖZGEÇMİŞİ

Ertan YAHİCKOĞLU 1956 yılında İZMİR'de doğdu. İ.D.M.M.A Elektrik Müh. Fak. 'sini 1979 yılında bitirdi. Aynı okul da 1982 yılında yükaek lisansı bitirdi. 1991 yılında İ.T.Ü. F.lektLİK Fakültesinde doktora tefini tamMüLj.yarak doktor unvanı aldı. Halen Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Kik.-Elektronik Müh. Dİ. de To3ls ana bilim dalında öğretim üyeliyi yapmaktadır. Rlektr.i.k enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin güvenil.irlik değeren-«lirinci konulunda çalışıvıtlarını sür-dUrmt'ktedir.

# HAVAI NAKİL HATLARINDA MEYDANA GELEN MANEVRA AŞIRI GERİLİMLERİN ANALİZİ

M. 03uz HENGİRMEN

M. Uğur ünVER

Gaziantep Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Müh. Böl.  
Gaziantep

Sakarya Üniversitesi  
Elektrik-El ektronik Müh.Böl.  
Sakarya

## ÖZET

Bu çalışmada, bir havai nakil hattı sistemine kesiciler vasıtasıyla enerji verme halinde, gönderici ve alıcı uçlarda meydana gelen yerilimlerin genlik ve dalga şekilleri, bilgisayar yardımı ile hesaplanıp, çizdirilmiştir. Bu gerilimlere, üreteç empedansı, hat uzunluğu ve kesici kontaklarının ardışık kapanmalarının etkileri incelenmiş, sistem denklemleri Fourier dönüşüm metodu kullanılarak çözülmüştür.

## 1. GİRİŞ

Bir havai nakil hattı sisteminde bulunan kesiciler açma-kapama yaptıkları sırada iletim hatlarında manevra aşırı gerilimleri oluşmakta ve bu aşırı gerilimler, güç trafoları ve salt teçhizatı üzerinde büyük zararlara neden olabilmektedir. Bu zararları aşırıya indirebilmek için sistemde meydana gelebilecek en yüksek gerilim değerlerini hesaplayıp, koruma sistemlerini bu delerlere göre tasarlamak VR ayarlamak gerekir.

Bu çalışmada, havai nakil hatlarına enerji verilmesi esnasında iletim sisteminde meydana gelen manevra aşırı gerilimleri etüt edilmiştir. Nakil hattı uzunluğu, üreteç empedansı, kesicinin kapatma zamanı, şönt reaktörlerinin etkileri ve kesici kontaklarının aynı anda ya da ard arda kapanma durumları gibi değişik etkenlerin hat sonunda meydana gelen aşırı gerilimler üzerine olan

etkileri sırayla incelenmiştir. Manevra aşırı gerilimlerinin genlik, dalga şekli ve frekans bakımından çok çeşitlilik arz ettifji elde edilen bilgisayar sonuçlarından görülmüştür.

Güç sistemlerinde meydana gelen aşırı gerilim ve akımların hesaplanmasında derişik analitik metodlar kullanılmaktadır. Burada çözüm metodu olarak modal analiz ve tadil edilmiş Fourier dönüşüm metodu kullanılmıştır. Geçici gerilimler önce frekans bölgesinde, daha sonra Fourier dönüşüm integralinin tersi alınarak zaman bölgesinde bilgisayar yardımı ile bulunmuştur. Bu çözüm metodu, sistemin frekansa bağlı seri empedansı ve şönt admitans parametrelerini kolaylıkla göz önüne alabilme imkanı saklamaktadır.

## 2. GEÇİCİ GERİLİMLERİN MATEMATİKREL İFODEBİ

Nakil hatlarıyla enerji iletimi yapılan homojen bir sistemde, üreteçten x uzaklıkta meydana gelen gerilim ve akım denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\frac{dV}{dx} = -Zi \quad \frac{di}{dx} = -YV \quad (1)$$

Burada Z ve Y, hattın birim uzunluktaki seri empedansı ve şönt admittans matrislerini göstermektedir. V ve I ise sütun vektörleri olup hat başından 'x' mesafe uzaklıktaki faz gerilimi VH akımlarını tmpt.iletmektedir.

Örnek (1) nolu denklemin x'e

yöre türevi alınıp gerekli düzenlemeler yapırsa aşağıdaki denklemler elde edilir;

$$d^2 \frac{V}{dx^2} - ZYV - P\dot{V} \quad (2)$$

$$d^2 \frac{V}{dx^2} - YZf - P^T f \quad (3)$$

Burada P ve P<sup>T</sup> matrisleri simetrik olmayan kare matrislerdir. (2) ve (3) nolu denklemlerin çözümü için P ve P<sup>T</sup> matrislerinin özdeğerleri bulunarak gerilim ve akım vektörlerine lineer dönüşüm uygulanır. Bu suretle faz delerleri modal delerlerine dönüştürülebilir. P ve P<sup>T</sup> matrisleri köşegen matrisler haline getirilir ve yukarıdaki diferansiyel denklemlerin çözümü kolaylaşır. (Kİ)

Hat başından mesafe uzaklıkta ve hat üzerindeki bir noktanın gerilim ve akım vektörleri denklem (2) ve (3)'ün çözümünden faydalanılarak hiperbolik terimler cinsinden matris denklemleri halinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} I_s \\ I_x \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} Y_0 \text{ct.h}(x) & -Y_0 \text{Cbch}(1/x) \\ 1 - V \text{tirfh} & 1 \text{ıkar} \end{bmatrix} V \begin{bmatrix} \text{ct.h}(x) \\ \text{Cbch}(1/x) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sınır şartları göz önüne alınarak denklem (4) aşağıdaki sekile dönüşür;

$$\begin{bmatrix} I_s \\ I_x \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} Y_0 \text{ct.h}(\psi l) & -Y_0 \text{Cbch}(\psi l) \\ -Y_0 \text{Cbch}(\psi l) & Y_0 \text{ct.h}(\psi l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ V_R \end{bmatrix} \quad (5)$$

veya

$$\begin{bmatrix} I_s \\ I_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -B \\ -B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ V_R \end{bmatrix} \quad (6)$$

sekinde ifade edilmektedir. Burada  $\tilde{n} = Y_0 \text{coth}(fl)$  ve  $B = Y_0 \text{rosec}(f l)$  olup hatta ait matrislerdir.

Hat sonu basta olmak üzere üretcin impedansı da göz önüne alınırca (6) nolu denklem aşağıdaki şekile alır.

$$\begin{bmatrix} I_s \\ P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (A + Y_n) & -m \text{ir}_B \\ -B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ V_A \end{bmatrix} \quad (7)$$

Burada  $Y_n$  üreticinin admansıdır. Yukarıdaki (7) nolu denklemin çözümünden

$$V_R = A^{-1} B V_s \quad (8)$$

$$I_s = (A + Y_n) V_s - B V_R \quad (9)$$

elde edilir. (8) nolu denklem (9) nolu denklemde yerine konursa

$$\tilde{I}_s = (A + Y_n) V_s - B(A^{-1} B) V_s = [(A + Y_n) - B(A^{-1} B)] V_s \quad (10)$$

haline gelir.

$$[ (A + Y_n) - B(A^{-1} B) ] - C$$

olsun, bu duruma göre denklem (8) ve (10) 'dan

$$\vec{V}_R = C^{-1} \vec{I}_{00} \quad (31)$$

$$\vec{V}_R = A^{-1} B (C^{-1} \vec{I}_{00}) \quad (12)$$

yazılabilir.

Burada  $\vec{I}_{00} = \vec{Y}_R \vec{E}_R$  'dir.

E3 üreticinin faz yerilimlerini içeren sütun vektörüdür.

üreticinin ac faz gerilimleri şöylece ifade edilebilir:

$$E_{R1} = V_m \cos(\omega_r t + \theta_1 + \phi_1) \quad (13)$$

$$E_{R2} = V_m \cos(\omega_r t + \theta_2 + \phi_2) \quad (14)$$

$$E_{R3} = V_m \cos(\omega_r t + \theta_3 + \phi_3) \quad (15)$$

Burada  $G_1, G_2, G_3$  faz gerilimleri arasındaki faz açılarını (0, 120, 240) göstermektedir.  $i_j > i_j$  ise üç faza enerji verilmesi sırasında krsici kontaktları arasındaki kapanma zamanına tekabül eden faz açılarıdır. Kontaktların aynı anda kapanması halinde  $5j = i^* \cdot j = 0$  olur.

### 3. UYGULAMA ÇALIŞMALARI

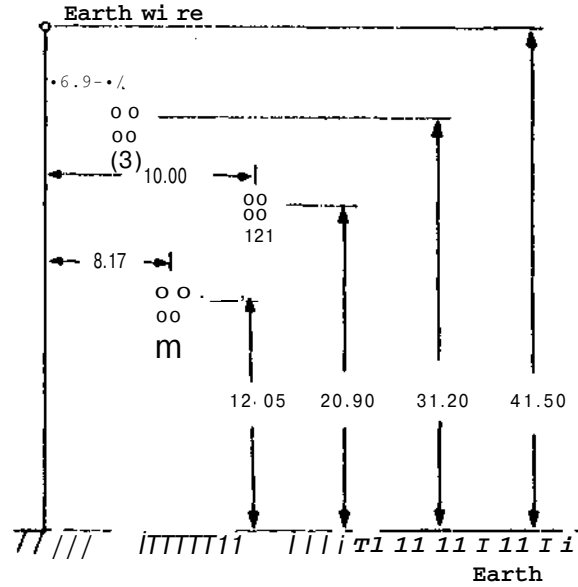
Gözönüne alınan iletim hat 11 380kV'luk, t<k taraftan beslenen bir hat olup, iletim hattının profili ve iletkenlere ait bilgiler' sırasıyla şekil 1 ve Tablo 1 'de ; şebekenin tek hat şeması ve blok şemaları ise şekil 2'de gösterilmiştir.

Sekil 2'de,

$L_s$  =üreteç endüktansını  
 $V_s$  =Gönderici uç gerilimini  
 $I_g$  =Gönderici uç akımını  
 $Y_g$  =üreteç admittansını göstermektedir.

Nakil hattının uzunluğu, üreteç endüktansının değerleri, sönt kompanzasyon kullanılan reaktörlerin değeri, ardışık kesici kapama açıları değiştirilerek; bu faktörlerin etkileri sırayla ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

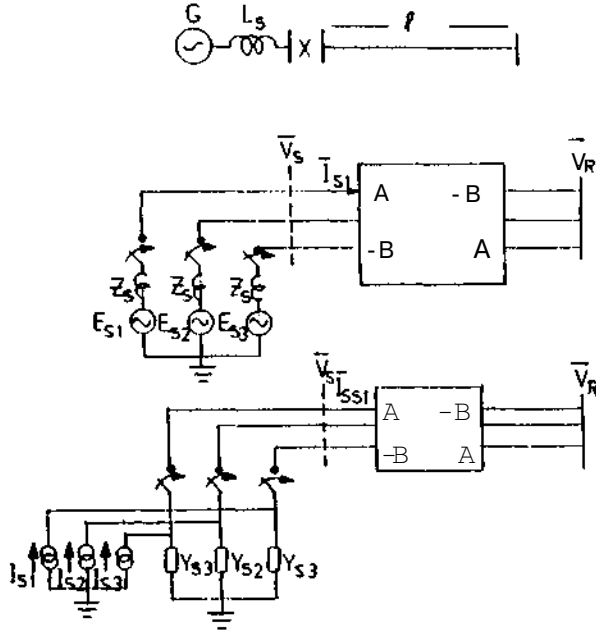
incelenmiş ve meydana gelen manevra aşırı gerilimlerinin ılalqa şekilleri bilgisayar yardımı ile olde edilmiştir.



Sekil 1 İletim hattı profili

Tablo 1 Hat iletkenlerinin detayları

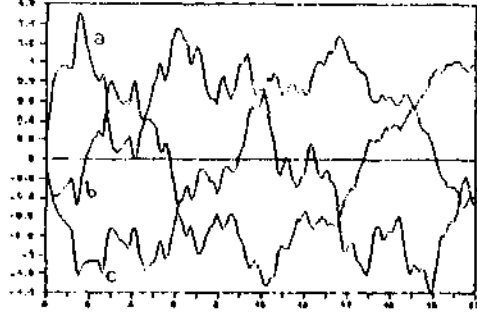
	Faz	Toprak
Çapı (cm)	30.902	2.85H
Damar çapı (cm)	0.31H	0.31H
Özdirenç (ohm-m)	$3.21 \cdot 10^{-8}$	$3.21 \cdot 10^{-8}$
Dış damar sayısı	24	24
Etkin damar sayısı*	54	54
Endüktans faktörü	0.21088	0.21088
Demet sayısı	4	
Toprak iletkeni sayısı	1	



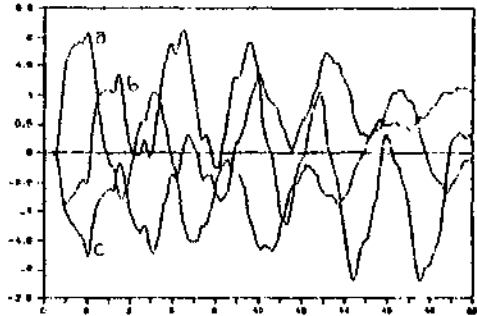
Sekil 2 Tek hat seması ve blok şemaları

JL\_A üfA? .tec\_Emoedansının\_Etkisi

Dir nakil hattına endüktif bir kaynaktan enerji verildiğinde meydana gelen aşırı gerilimin şekli sistemin R,L,C parametrelerine göre değişir. Hatta meydana gelen yansımalar sonucu, hat sonu açık ise, hat sonu voltajının çok çabuk yüksek değerlere ulaştığı görülür. Üreteç endüktansına farklı değerler verilerek 150 km'lik bir hat için sonuçlar hesaplanmıştır.  $L_g=0.034H$  ve  $l=1H$  için elde edilen grafikler şekil 3 ve 4 de gösterilmiştir. Şekillerde yapılan karşılaştırmalarda ise üreteç endüktans değeri büyüdükçe gerilim değerlerinin de büyüdüğü gözlenmiştir.



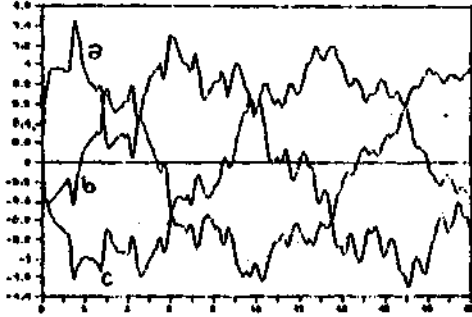
Sekil 3  $L_s=0.034 H$ ,  $l=150 km$ , gönderici uç gerilimleri.



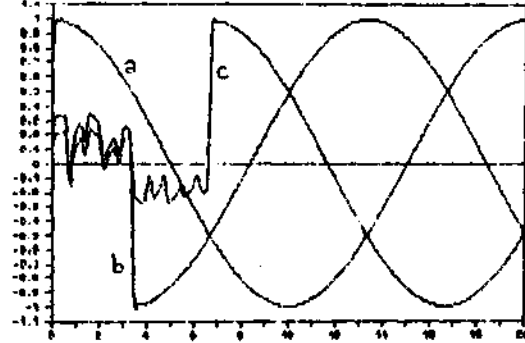
Sekil 4  $L_s=0.034 H$ ,  $l=320 km$ , alıcı uç gerilimleri.

### 3.2 Hat Uzunluğunun Etkisi

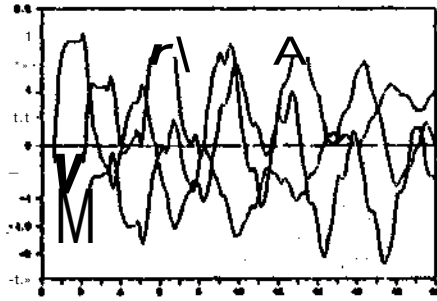
Ele alınan iletim sistemi 15000 MVA'lık bir alternatörle beslenirken, yani üreteç endüktansı  $0.034 H$ 'de sabit tutulurken, değişik uzunluklardaki hatlara enerji verilmiş ve  $l=200 km$  ile  $l=320 km$ 'lik hatlar üzerinde yapılan inceleme çalışmaları sonucunda elde edilen hat sonu gerilim eğrileri şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir.



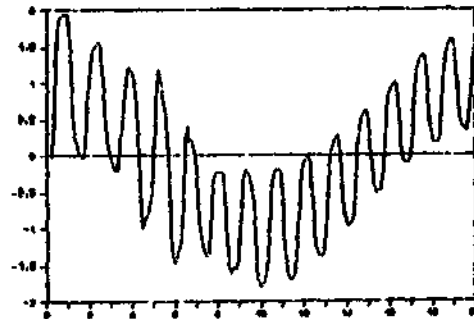
Sekil 5.  $l=200$  km, Gönderici uç gerilimleri



Sekil 7.  $l=100$  km, gönderici uç gerilimleri.



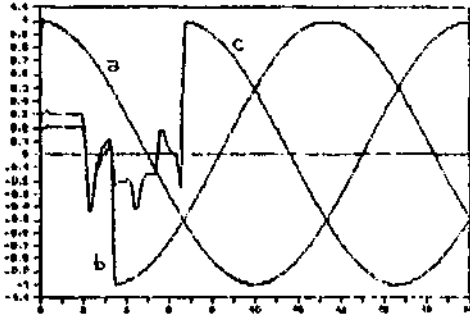
Sekil 6.  $l=200$  km, Alıcı uç gerilimleri.



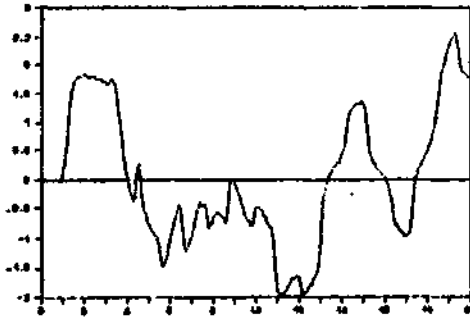
Sekil 8.  $l=100$  km, alıcı 'a' fazı.

### 3.3 Kesici Kontaktlarının Fırçalık Kaotikliği

Kesici kontaktlarının ardışık kapanması esnasında ikinci ve üçüncü faz kontaktlarının kapanma zamanları, işletme gerilimini oldukça etkilemektedir. Burada  $T_1=0$ ,  $\hat{I}_2=3.32$  ms ve  $T_2=6.6$  ms alınarak derişik hat uzunlukları için sonsuz bir baradan hatta enerji verilmesi sırasında hat basında elde edilen gerilim esrileri şekil 7,8,9 ve 10 'da gösterilmiştir.



Şekil 9  $J=320$  km, Gönderici uç gerilimleri.



Şekil 10  $J=320$  km, alıcı uç 'a' fazı

#### 4. SONUÇLAR

Havai nakil hattına enerji verilmesi esnasında meydana gelen aşırı gerilimlerin genliği ve dalga şekline birçok faktör etki etmektedir.

Burada meydana gelen ayın gerilimin, hat boyu uzadığı zaman arttığını, üreteç endüktans devrinin artmasıyla azaldığı gözlenmiştir. Kesici kontaklarının kapanma açısında ise ikinci veya üçüncü fazdan en az birisinin faz gerilimi sıfır iken kapatıldığında hat sonunda minimum

asın gerilim oluşacağını, ardışık kapanmayla ise aşırı gerilim delerlerinin değiştiği gözlenmiştir.

#### REFERANSLAR

1-) ÜNER, U: "Transient Analysis of Cable Systems Including the Effect of Non-linear Protective Devices" Ph.D, Thesis, University of Manchester Institute of Science and Technology, 1979.

2-) BICKFORD, J.P ve MULLIN, N: "Computation of Power System Transients", IEE Monograph Series 1G.1976 (Book)

3-) BICKFORD, J.P ve DOFFEL, P.C: "Calculation of Switching Transients with Particular Reference to Line Protection", Proc. IEE, Vol. 114, No. 4 1976.

4-) HENGİRMEN, M.ÖĞÜZ: "Analysis and Control of Energisation Over Voltages on Transmission Lines", M.Sc. Thesis, Gaziantep Üniversitesi, 1992.



M. Öflü\* HENGİRMEN

1966 yılında Gaziantep'te doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini

Gaziantep'te bitirerek

1989 yılında Orta Doğu

(Teknik Üniversitesi,

Gaziantep Kampusu,

Elektrik-Elektronik

Mühendisliği Bölümünden mezun

olmuştur. Aynı tarihte Araştırma

Asistanı olarak Gaziantep

üniversitesinde görev başlamıştır.

1992 yılında yüksek lisans

çalışmalarını tamamlayarak M.Üc

diploması almıştır. Aynı yıl doktora

çalışmalarına Gaziantep

üniversitesinde başlamış ve halen de

devam etmektedir.

# SÖNT KAPASİTÖR GURUPLARINDA ANI ENERJİLEME AKIMLARI VE SINIRLANDIRILMASI

Doc.Dr.irfan GÜNEY  
Arş.Gör.ü.Kemal ettin TERZİ

M.ü.  
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ ELEKTRİK BÖLÜMÜ

## ÖZET

Elektrik tesislerinde orta ve yüksek gerilim merkezlerinde kullanılan kesicilerin temel ödevleri kısa devre akımlarını kesmektir. Kısa devre akımları genel olarak endüktif karakterdedir. Kesicilerin endüktif karakterdeki akımların yanı sıra kapasitif karakterdeki akımları da kesmesi gerekebilir. Kapasitif akımların kesilmesinde geri atlama olması durumunda tesislerde kullanılan kapasitör gruplarında kalıcı gerilim yükselmeleri görülür ve giderek artan değerler almaktadır.

Bir sönt kapasitör gurubu enerjilendiği zaman yüksek genlikli ve yüksek frekanslı enerjileme akımları akar. Bu çalışmada meydana gelen bu ani enerjileme akımları dikkate alınarak nelere bağlı olduğu ortaya konmuş, tek ve paralel olarak kapasitör gruplarının enerjilenmesi halinde nasıl değiştiği açıklanmıştır.

### 1.Giriş

Orta ve yüksek gerilim altındaki elektrik tesislerinde kullanılan kesicilerin kapasitif ve endüktif akımları kesmesi gerekebilir. Kapasitif akımlar yüksek hava hatlarında 10 A'e kadar, yüksek gerilim kablolarında 100 A'e kadar ve sönt kapasitör gruplarında 2000 A'e kadar değer almaktadır. Söz konusu kapasitif akımların

kesilmesi sırasında geri atlama nedeniyle kapasitör gruplarında kalıcı gerilim yükselmeleri olabilir. Bu durumun sürmesi, gerilimin giderek daha da büyük değerler almasına sebep olur. Ayrıca yüksek gerilim transformatörlerinde 20A'e kadar topraklama bobinlerinde 2000A'e kadar, sürekli rejimde çalışan motorlarda 1000A'e kadar ve motorların devreye alınmasında 5000A'e kadar endüktif akımların kesilmesi gerekebilir. Alternatif akımların kesilmesinde, akımın sıfırdan geçtikten sonra kontaklar arasındaki dielektrik dayanımın oluşturulması da çok önemlidir. Kesiciler dizayn edilirken, kontakları minimum bir ark uzaklığına ulaştıncaya kadar ve ayrıca gelecek sıfır noktasına ulaşmadan önce ark ortamının soğutulması da göz önünde bulundurulur.

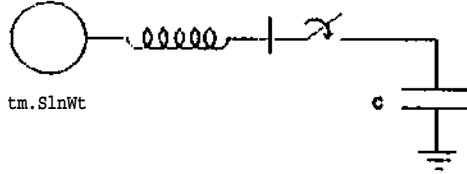
Kapasitör gruplarının enerjilenmesi sırasında yüksek genlikli ve yüksek frekanslı enerjileme akımları akmaktadır, kapasitör grubunun büyüklüğü, devrenin endüktansı ve kapasitör grubunda olabilen elektrik yükü, bu akımın genişliğini ve frekansını belirler. Akımın genliği kapasitör grubunun topraklı veya topraklı olmasına da bağlıdır. Ani enerjileme akımları kesicinin kapanması durumunda kontaklar arasındaki



UET11 imi in deflerine bağı olarak da değişir [1].

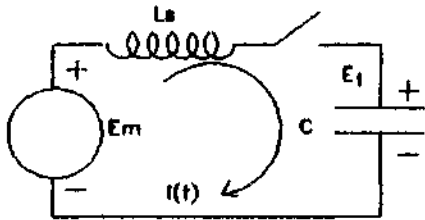
2. Bir Kapasitör Grubunun Enerji lenmesi Halinde Ani Enerji Akımı

Topraklı bir kapasitör grubuna ait tek kutuplu sema şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Topraklı bir kapasitör grubu tek kutup seması.

Şekil 1 de verilen tek kutup semasına alt eşdeğer devre ise şekil 2 deki gibidir.



Şekil 2. Topraklı bir kapasitör grubuna ait eşdeğer devre.

Anı enerjileme akımı  $i(t)$  şekil 2 deki devreden

$$i(t) = \frac{E_m - F \cdot t}{\sqrt{L_s C}} \cdot \sin\left(\frac{t}{\sqrt{L_s C}}\right) \quad (\text{kA}) \quad (1)$$

olarak ifade edilebilir [2]. Bu eşitlikte  $E_m$  faz toprak geriliminin tepe değerini (kV),  $E^$  kapasitör grubunda kalan elektrik yüküne ait gerilimi (kV),  $L_s$  kaynak eşdeğer endüktansını (Henry),  $C$  enerjilenen kapasitörün sığasını (Farad),  $t$  zamanı (saniye) ve  $i(t)$  ani

enerjileme akımının ani deflerini (kA) olarak göstermektedir. (1) ifadesinden

$$\sin\left(\frac{t}{\sqrt{L_s C}}\right) = 1 \quad (2)$$

$$E_t = E_m \cdot I$$

koşulları gerçekleştiğinde ani enerjileme akımı  $i(t)$  maksimum genliğe ulaşır. Buna göre maksimum ani enerjileme akımı

$$i_{\max} = \frac{2 E_m}{\sqrt{L_s C}} \quad (\text{kA}) \quad (3)$$

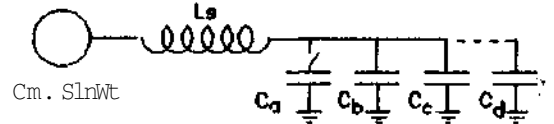
olur. Ani enerjileme akımlarındaki salımların doğal frekansı  $f_n$  için ;

$$f_n = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_s C}} \quad (\text{Hz}) \quad (4)$$

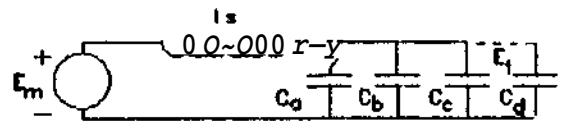
yazılabilir. Birikmiş elektrik yüklerini boşaltmak ve uluslararası standartlarda belirtilen değerlere getirebilmek için kapasitör gruplarında dirençler kullanılır [3].

3. Topraklı Kapasitör Gruplarının Paralel Enerjilenmesi Halinde Ani Enerji Akımı

Bu durumla ilgili olarak tek kutup seması ve eşdeğer devresi şekil 3 de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 13 a) Topraklı kapasitör gruplarının paralel enerjilenmesi halinde tek kutup seması

b) Eşdeğer devre

Enerji lenen kapasitör grubu birden fazla enerjilenmiş gruplar bulunabilir. Bu durumda maksimum ani enerjileme akımı en sonda yer alan grubun enerjilenmesinde oluşur. Sekil 3 a da  $C_b$ ,  $C_c$  ve  $C_d$  enerjili grupları.  $C_a$  enerjilenen grubu göstermektedir. Esdefler devrenin basitleştirilmesi bakımından, enerjili kapasitörlerin esdeçleri  $C_{ee}$  için

$$C_{ee} = C_b + C_c + C_d \quad (5)$$

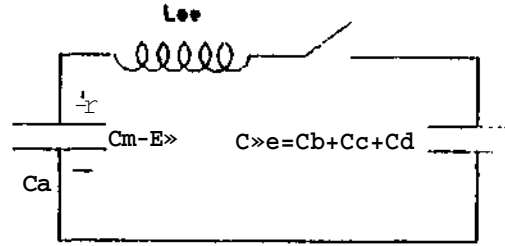
yanılabılır. Enerjileyen şebekenin kaynak endüktansı  $L_3$  ile kapasitör Onitelerinin endüktansının ihmal edilmesi, hesaplamaların doğruluk derecesini %5 değiştirmektedir. Bununla ilgili olarak, tablo 1 de verilen uygulamadan alınan endüktans defleri ile hesaplamalar yapılabilir- [4J.

Tablo 1

Maksimum Isletme gerilimi $E_n$ (kV)	Baranın Faz Basına Fndf. lktans 1 pll/foot	*Kapasitör Gurup lari Arasındaki Endüktans $\mu H$
15.5 <	0.214	10 - 20
36	0.23 8	15 - 3 0
72.5	0.256	20 - 40
170	0.268	6 0 - 12 0

\* Buradaki deflerler kapasitör gruplarındaki endüktans 1 kapsarna2. Kapasitör gruplarının endüktans 1 3likV ve daha asaöl gerilimlerde 5 mikrohenrv. 170kV isletme geriliminde ise 10 mikrohenr-y alınabilir.

(5) ifadesine göre basitleştirilmiş esdefler devre sekil 4 de verilmiştir. Esdefler devrede isletme altında olan kapasitör grubuyla enerjilenen kapasitör grubu arasındaki endüktans  $L_{ee}$  ile gösterilmiştir.



Sekil 4. Basitleştirilmiş esdefler sema

Seri bafllı olan  $C_a$  ve  $C_{ee}$  nin eşdeğeri  $C_j$  ile ifade edilecek olursa  $i(t)$  ani enerjileme akımı

$$i(t) = \frac{E_m - E_t}{\sqrt{(L_{ee}/C_t)}} \cdot \sin \left( \frac{t}{\sqrt{(L_{ee}C_t)}} \right) \quad (\text{kA}) \quad (6)$$

olur. Burada  $C_a$  ve  $C_{ee}$  nin esdeçleri olan  $C_j$

$$C_t = \frac{C_a \cdot C_{ee}}{C_a + C_{ee}} = \frac{C_a (C_b + C_c + C_d + \dots)}{C_a + C_b + C_c + C_d + \dots} \quad (7)$$

olarak yazılır. Ani enerjilenme akımının maksimum genliği topraklı kapasitör grupları için

$$I_{na} = \frac{E_{nl} \sim E_t}{\sqrt{(L_{ee}/C_t)}} \quad (\text{kA}) \quad (8)$$

olmaktadır. F.ğernö"türnokta»1 topraklanmamış kapasitör bankları dikkate alınır (8) ifadesinde bulunan değer 1.15 ile çarpılmalıdır [5-6]. Ani enerjileme akımı Frekansı

$$f_n = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_{ee}C_t)}} \quad (\text{Uz}) \quad (9)$$

olur. Kapasitör gruplarının paralel çalışması halinde ani enerjileme akımının zamana göre

olan değişiminin maksimum değeri de dikkate alınarak kesici secimi yapılabilir.

#### 4.Sonuç

Kapasitör gruplarının enerjilenmesinde oluşan yüksek genlikli ve yüksek frekanslı ani enerjileme akımları, kapasitör gruplarının bu- yükü devrenin endüktansına ve kapasitör grubunda olabilen elektrik yüküne, kapasitör grubunun topraklı veya topraksız oluşuna bağlı olarak derişmektedir. Bir kapasitör enerjilenirken diğer kapasitör grupları enerjili olduğu halde bu akım hesaplanmalıdır. Kapasitör grupları arasındaki endüktans ile kapasitör gruplarının kendi endüktansları dikkate alınarak L endüktansı azaltılabilir. Ayrıca baraların endüktansının hesaplamalarda gözönünde bulundurulması, gerekmekte olup ani enerjileme akımının osilasyon frekansıyla akımın yükselme hızı belirlenir. Akımın yükselme hızını sınırlamak için seri reaktörler kullanılmaktadır. Aksi durumda yükselme hızı önlenmezse bazı kesicilerde sok darbeler sonucunda, kesicilerin hasar görmesine yol açar. Vakumlu kesicilerde seri reaktör gerekli olmayabilir. Ancak SF5 gazlı kesicilerde reaktör kullanılması zorunludur. Osilasyon frekansının çok yüksek olması sonucunda ani kapama akımının yükselme hızının fazlalığı nedeniyle kesici imalatçıları gazlı kesiciler için seri reaktörün değerinin belli sınırların altında **olmamasını** tavsiye etmektedir. \*

#### Kaynaklar

- [1] Alparslan, YURDAKUL " Orta Yüksek Gerilimde Az Yağlı, SF5 ve Vakum Tıplı Kesicilerin Geliştirilmesi ", T.E.K. • Eğitim Dairesi Başkanlığı Yayınları, 1990
- [2] Blower, R.W., " Distribution Switchgear, ColUns, 1986
- [3] Slade, P.G., " The Vacuum Interrupter Contact ", IEEE Trans. on components, Hybrids and Manuf. Tech. Vol.CHMT-7, No.1, 1984
- [4] Uashal, R.E., Klmblln, C.W., Slade, P.G., Garman, J.G., " Experiments on Vacuum Interrupters in HV 72 kV Circuit ", IEEE Trans. Pas- 99, No.2, 1980
- [5] Kuffel, E., Zaengl, W.S., " High Voltage Engineering ", Pergamon Press. 1984
- [6] Kreuger, F.H., " Letters to the Editor ", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.4, No.1, 1988

#### Yazarlara İUskln Bilgiler

Doc.Dr.irfan GÜNEY



1957 senesinde İstanbulda doğdu. I.D.M.M.A Elektrik Mühendisi iğinden 1979 da mezun olarak Adapazarı Seker fabrikasında göreve başladı. Daha sonra T.E.K na geçti. I.T.Ü. Elektrik Fakültesinde yüksek lisansa başladı ve 1982 de mezun oldu. Kısa dönem askerlik görevinden sonra T.E.K da çeşitli birimlerde görev aldı. 1987 yılında doktora çalışmasını tamamladı ve Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde yardımcı doçent olarak atandı. 1989 da Elektrik Tesisleri AnabUim

Dalında doçent oldu. Halen aynı fakültenin bölüm başkanlığı görevini sürdürmektedir.

Ars.Gör Ü.Kemalettin TERZİ



17-04-1968 Tarihinde, Zonguldak da doğdu. 1989 senesinde M.ü. Teknik Eğitim Fakültesine lisans eğitimine başladı. 1989 senesinde mezun olarak aynı okulun

Elektrik Eğitimi bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Arıca

aynı sene M.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitiminin başlangıcını yaptı. II a I en M.Ü.T.E.F Elektrik Eğitimi Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.