



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 umundayız. 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 dileğindediriz.

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 (K1U)  
Yakup AYDIN (EMO) Sefa AKPINAR (KTU)  
Canan TOKER (ODTÜ) Kaya BOZOKLAR (EMO)  
Hasan D INCER (KTU) A.Oğuz SOYSAL (IU)  
Abdul İlah 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 (ELIMKO) Sedat SİSBOT (METRONİK)  
Emir BİRGÜN (EMO) Atıf URAL (Kocaeli U.)  
Sıtkı CİGDEM (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 (ITU)  
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 (ITU)  
İnci AKKAYA (ITU)  
A.Sefa AKPINAR (KTU)  
Ayhan ALTINTAŞ (BiI.U)  
Fuat ANDAY (ITU)  
Fahrettin ARSLAN (IU)  
Murat ASKAR (ODTÜ)  
Abdullah ATALAR (Bil.U)  
Selim AY (YTU)  
Ümit AYGÖLU (ITU)  
Atalay BARKANA (Anadolu U)  
Mehmet BAYRAK (Selçuk U)  
Atilla BİR (ITU)  
Galip CANSEVER (YTU)  
Kenan DANIŞMAN (Erciyes U)  
Ahmet DERVİSOĞLU (ITU)  
Hasan DİNCER (KTU)  
M.Sezai DİNCER (Gazi U)  
Günsel DURUSOY (ITU)  
Nadia ERDOĞAN (ITU)  
Aydan ERKMEN (ODTÜ)  
İsmet ERKMEN (ODTÜ)  
H.Bülent ERTAN (ODTÜ)  
Selçuk GEÇİM (Hacettepe U)  
Cem GÖKNAR (ITU)  
Remzi GULGUN (YTU)  
Filiz GUNES (YTU)  
İrfan GÜNEY (Marmara U)  
Fikret GÜRGEN (Boğaziçi U)  
Fuat GURLEYEN (ITU)  
Cemil GURUNLU (KTU)  
Nurdan GUZELBEYOĞLU (ITU)  
Emre HARMANCI (ITU)  
Altuğ İFTAR (Anadolu U)  
Kemal İNAN (ODTÜ)  
Asım KASAPOĞLU (YTU)  
Adnan KAYMAZ (ITU)  
Ahmet H. KAYRAN (ITU)  
Mehmet KESİM (Anadolu U)  
Erol KOCAOĞLAN (ODTÜ)  
Muhammet KOKSAL (İnönü U)  
Hayrettin KÖYMEN (Bil. U)  
Hakan KUNTMAN (ITU)  
Tamer KUTMAN (ITU)  
Duran LEBLEBİCİ (ITU)  
Kevork MARDİKİYAN (ITU)  
A.Faik MERGEN (ITU)  
Avni MORGUL (Boğaziçi U)  
Güven ÖNBİLGİN (KTU)  
Bülent ÖRENCİK (ITU)  
Bülent ÖZGUC (BiI.U)  
A.Bülent ÖZGÜLER (BiI.U)  
Yılmaz ÖZKAN (ITU)  
Muzaffer ÖZKAYA (ITU)  
Kemal ÖZMEHMET (DEU)  
Osman PALAMUTCUOĞLU (ITU)  
Erdal PANAYIRCI (ITU)  
Halit PASTACI (YTU)  
Ahmet RUMELİ (ODTÜ)  
Bülent SANKUR (Boğaziçi U)  
M.Kemal SARIOĞLU (ITU)  
Müzeyyen SARITAS (Gazi U)  
A.Hamit SERBEST (CU)  
Osman SEVAİOĞLU (ODTÜ)  
A.Oğuz SOYSAL (IU)  
Taner SENGÖR (YTU)  
Emin TACER (ITU)  
Nesrin TARKAN (ITU)  
Mehmet TOLUN (ODTÜ)  
Osman TONYALI (KTU)  
Ersin TULUNAY (ODTÜ)  
Nejat TUNCAY (ITU)  
Atıf URAL (Kocaeli U)  
Alper URAZ (Hacettepe U)  
Gökhan UZGÖREN (IU)  
Yiğdirim UCTUG (ODTÜ)  
Asaf VAROL (Fırat U)  
Siddik B. YARMAN (IU)  
Mümtaz YILMAZ (KTU)  
Melek YÜCEL (ODTÜ)  
Nusret YUKSELER (ITU)  
Selma YUNCU (Gazi U)

UZAY VEKTÖR MODÜLASYON METODUNDA MAKSİMUM  
MODÜLASYON FAKTÖRÜNÜN HESABI

Ramazan AKKAYA

Y.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Elektrik Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL

ÖZET: Bu bildiri de, son yıllarda tercih edilen bir metod haline gelen uzay vektör PWM metoduyla elde edilebilecek olan maksimum çıkış gerilimine ilişkin teorik bir çalışma yapılmıştır. Bu metodda sinüsoidal referans yerine, inverter çıkışındaki fazlararası gerilimlerin meydana getirdiği akı dairesi kullanılır. Çıkış geriliminin temel bileşeni, akı dairesinin yarıçapıyla orantılı olduğundan Modülasyon Faktörü, akı dairesi üzerinde yapılan teorik bir çalışmayla çıkarılmış ve seçilen PHM örneğinin uzay vektör ifadesinin bir periyodunda sıfır vektörlerin içeriğiyle orantılı olan çıkış gerilimi ifadesi elde edilmiştir.

### 1. GİRİŞ

Değişken gerilim ve frekans ile asenkron. motor kontrolü için çeşitli Darbe Genişlik Modülasyon (PHM) Metodları kullanılmaktadır. PWM'in temel prensibinden dolayı, hem motor frekansı hem de motor gerilimi sürekli olarak ayarlana bilir. Frekansın değeri, motorun hızını belirlerken stator gerilimini belirleyen modülasyon faktörünün değeri, kullanılan modülasyon metoduna bağlı olarak değişir.

Sinüsoidal modülasyon metodu, basitliğinden dolayı diğer metodlara göre daha çok tercih edilmiştir. Bu metod da gerilim modülasyon faktörü (M), sinüsoidal referans dalga genliğinin üçgen taşıyıcı dalganın genliğine oranı olarak ifade edilir. Referans ve taşıyıcı dalgaların genlikleri eşit olduğu zaman modülasyon faktörü  $M=1$  olur. Bu değer, sinüsoidal modülasyon ile elde edilebile-

cek olan maksimum sinüsoidal çıkış gerilimini verir.  $M>1$  durumunda, bu metodun performansı düşer ve düşük dereceden harmonikler ortaya çıkar. Kare dalga çalışmada, maksimum fazlararası gerilimin temel bileşeninin de kaynak gerilimine oranı %110 iken, sinüsoidal modülasyonda bu değer %86'dır. Bu da de güç kaynağının verimsiz kullanıldığını gösterir [1]. Sinüsoidal referans dalgaya üçüncü dereceden harmonik dalganın eklenmesiyle fazlararası gerilimin temel bileşeninin genliği, sinüsoidal referansa göre %15 artırılabilir. Böylece, de kaynak geriliminin daha verimli kullanılması sağlanabilir [2].

Özellikle son yıllarda, tercih edilen bir metod haline gelen uzay vektör PWM metodu, çeşitli örnekleme metodları ve sinüsoidal PWM metoduna göre temel bileşeni, giriş gerilimi kadar yüksek olan maksimum çıkış gerilimi verme özelliğine sahiptir. Bu metodla  $M=1.15$ 'lik bir modülasyon faktörüne herhangi bir sınırlama olmaksızın erişilebilir. Ayrıca, inverter çıkış akım ve gerilimlerinin harmonik içeriği sinüsoidal modülasyona göre daha azdır [3,4].

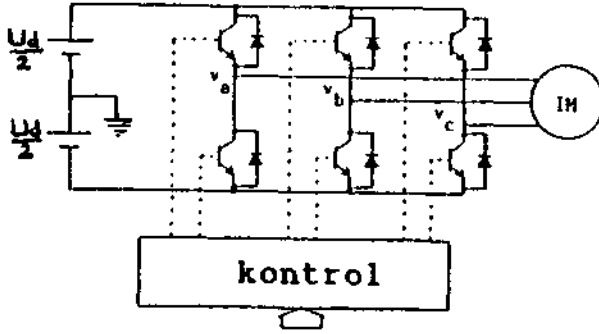
Uzay vektör modülasyon metodunda gerilim modülasyon faktörünün maksimum değerine ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır [5,6,7].

Bu bildiri de, gerilim modülasyon faktörü, inverter çıkışındaki fazlararası gerilimlerin meydana getirdiği akı dairesi üzerinde yapılan teorik bir çalışmayla çıkarılmıştır.

## 2. AKI DAİRESİNİN UZAY VEKTÖR İFADESİ

### 2.1. UZAY VEKTÖR PWM METODU

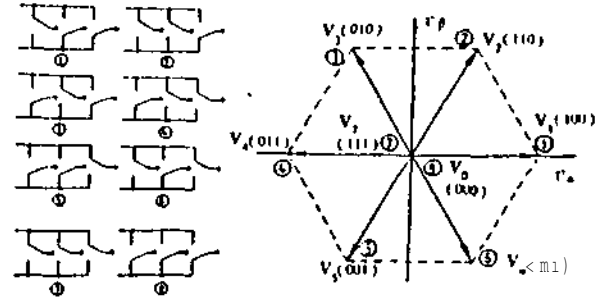
Gerilim beslemeli PWM inverterlerde kullanılan anahtarlama düzenlerini ayrıntılı olarak incelemek için gerilim vektörleri ve onların dönme kavramını kullanmak uygundur. Şekil 1'de verilen üç fazlı gerilim beslemeli bir inverterin muhtemel anahtarlama durumları Şekil 2'de görüldüğü gibi sekiz farklı gerilim uzay vektörü yardımıyla ifade edilebilir. Genlikli altı gerilim vektörü ( $V_1 \dots V_6$ ) ve bütün fazlar aynı konumda olduğu için inverter sıfır gerilim ürettiğinden genliksiz iki sıfır gerilim vektörü ( $V_0, V_7$ ) vardır. Parantez içindeki ikili sayılar (a,b,c) faz sırasına göre anahtarlama durumunu gösterir. "1" üstteki transistörün "9" ise alttaki transistörün iletimde olduğunu ifade eder. Inverterin her PWM örneği, bu gerilim vektörlerinin bir kombinasyonuna göre ifade edilir.



Şekil 1. üç fazlı gerilim beslemeli inverter.

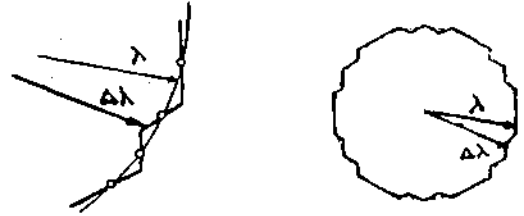
Motora, üç fazlı sinüsoidal gerilimler uygulandığı zaman, akı vektörü ideal bir daire çizer. Uzay vektör PWM metodu, sekiz gerilim vektörünün uygun şekilde değiştirilmesiyle ideal daireyi mümkün olduğu kadar yakından izleyen bir akı vektörünü sağlamayı amaçlar. Bu durum Şekil 3'de görülmektedir.

1136



(a) (b)

Şekil 2. (a) inverter anahtarlama durumları ve (b) çıkış gerilim uzay vektörleri.



Şekil 3. PWM inverterin meydana getirdiği akı dairesi.

Inverter çıkış gerilimlerinden üretilen akı dairesi, PWM örneğinin kontrol aralığına karşı gelen bloklara bölünmüştür. Inverter çıkışındaki fazlararası gerilimlerin meydana getirdiği akı vektörünün ideal bir daire boyunca hareket edebilmesi için gerilim vektörü, her aralıkta yeniden seçilmelidir. Bunun için, motor frekansının her 30°'lik fazında sıfır vektörlerden biri ve sıfır olmayan vektörlerden ikisi seçilir, iki komşu vektör ve uygun bir sıfır vektörün seçimi avantajlıdır. Zira bu durumda inverterin sadece bir fazının anahtarlama pozisyonu değişir.

## 2.2. AKI DEĞİŞİM VEKTÖRÜ

Gerilim, sinüsoidal bir dalga şeklinde olduğu zaman gerilim uzay vektörü.

$$v = (\sqrt{3}/2) \cdot V_1 \cdot \exp(j\omega t) \quad (D)$$

olarak yazılabilir. Burada  $V_1$  temel bileşenin efektif değeridir. Motorun hava aralığındaki akı vektörü ise (1)'deki gerilim vektörünün integraliyle verilir.

$$i = jv \cdot dt \quad (2)$$

$$\lambda = (\sqrt{3}/2) \cdot (V_1/w) \cdot \exp(j(\omega t - \pi/2))$$

Bu vektör,  $w$  sabit açısal hız\*1 ile gerilim vektörü yönünde ideal bir daire boyunca döner. Bu dairenin çevre uzunluğu.

$$L_1 = 2 \cdot x \cdot IAI \quad (3)$$

olarak hesaplanabilir. PHM inverter çalışma durumunda sadece sekiz gerilim vektörü vardır. Bu yüzden  $\lambda$ , tam olarak bir daireyi izleyemez. Inverterin bir anahtarlama aralığında çıkış gerilim vektörlerine bağlı olarak meydana gelen akı vektörü (2) eşitliğine göre.

$$\Delta \lambda = \int_0^{T_s} v \cdot dt \quad (4)$$

ifadesiyle verilebilir. Bu anahtarlama aralığında akı vektörünün genliğindeki değişim ise.

$$IAAI = T_s \cdot \bar{v} \quad (5)$$

eşitliğiyle verilebilir. Burada  $\bar{v}$ , inverterin de kaynak gerilimi ve  $T_s$  de inverterin anahtarlama aralığı olup,

$$T_s = 2x / (n \cdot w) \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $n$ , PHM kontrolün bir çevrimindeki blokların sayısı ve  $w$ 'da motor frekansıdır.

## 2.3. AKI EĞRİSİNİN ÇEVRE UZUNLUĞU

Eğer motor frekansının bir per-ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

yodu eşit anahtarlama aralıklarına bölünürse,  $n$  bloklarının sayısı, sıfır ve sıfır olmayan vektörlerin sayılarının toplamı olarak verilebilir. Motor frekansının bir periyodunda sıfır vektörlerin içeriği  $m$  olursa gerilimleri üreten sıfır olmayan vektörlerin sayısı  $n(1-m)$  olarak verilebilir,  $n(1-m)$  kenarlı bir çokgen olan şekil, sadece sıfır olmayan vektörlerden ibarettir. Çünkü akı eğrisi, sıfır vektör çıkışı olduğu zaman hareket etmez. Akı vektörünün meydana getirdiği çokgenin daire uzunluğu,

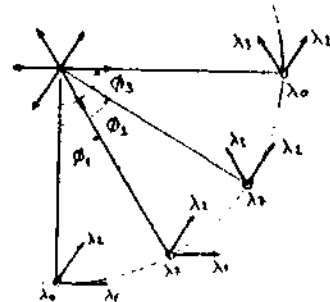
$$L_2 = n(1-m) \cdot |AXI \quad (7)$$

olarak ifade edilir.

## 3. UZAY VEKTÖR PHM METODUNDA GERİLİM MODÜLASYON FAKTÖRÜ

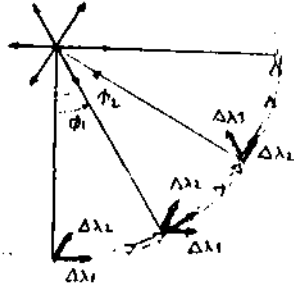
### 3.1. AKI VEKTÖRÜNÜN TEÖETSEL BİLEŞENİ

Seçim kuralına göre, her  $30^\circ$ 'de üç vektör seçilebilir, örneğin şekil 4'de görüldüğü gibi  $0_1$  faz açısında PHM darbe örnekleri üretmek için,  $(100)$ ,  $(110)$  ve  $(111)$  anahtarlama durumları kullanılır.  $0_1$  ve  $0_1$  faz açıları arasında, sıfır olmayan vektörler  $\lambda_1$ ,  $X_1$  ve sıfır vektör  $\lambda_+$  kullanılır.  $0_1$  faz açısında ideal dairenin teğetsel bileşeni yönünde akı vektörü elde etmek için  $\lambda_1$  ve ASL eşit olarak seçilmelidir. Diğer taraftan,  $0x$  faz açısında  $\lambda_x$ 'nin yönü ideal dairenin teğetsel bileşeni olduğundan sadece bu vektör seçilir.



Şekil 4. Akı vektörlerinin seçimi.





Şekil 5. Ortalama akı vektörünün uzunluğu.

Eğer  $n$ , yeterince büyük bir sayı olarak kabul edilirse akı vektörünün teğetsel bileşeninin ortalama uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \overline{IAM} &= (6/\pi) \cdot |AAI| \cdot f \cos \alpha \cdot de \\ &= (3/x) |f| |A| \end{aligned} \quad (8)$$

Bu durumda, ortalama akı vektörünün eğrisi, şekil 5'de beyaz oklarla gösterilen  $n(1-m)$  kenarlarının düzenli bir çokgeni olarak düşünülebilir.

### 3.2. İNVERTER ÇIKIŞ GERİLİMİ

Şekil 5'de beyaz oklarla gösterilen düzenli çokgenin çevresi, ortalama akı vektöründen hesaplanabilir.

$$L3 = n(1-m) \cdot |\overline{\Delta\lambda}| \quad (9)$$

$n$  yeterince büyükse, çokgen bir daire olarak kabul edilebilir. Böylece çokgenin çevre uzunluğu daireninkiyle aynı olacaktır. Bu durumda (3) ve (9) ifadeleri birbirine eşit olur ve,

$$V_1 = (\sqrt{2}/\sqrt{3}) \cdot n(1-m) \cdot |\overline{\Delta\lambda}| \cdot (w/2x) \quad (10)$$

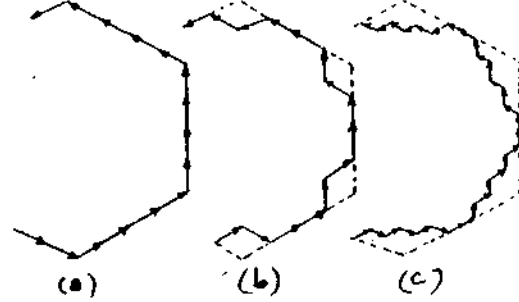
olarak gerilimin temel bileşeninin efektif değeri elde edilir. (5), (6) ve (8) eşitlikleri (10) da yerlerine yazılıp denklem yeniden düzenlenirse.

$$V_1 = (\sqrt{3}/\sqrt{2}) \cdot (4/x) \cdot (1-m) \cdot Ud/2 \quad (11)$$

olmak üzere,  $(1-m)$  ile orantılı olan çıkış geriliminin temel bileşeni elde edilir.  $m=0$  olduğu zaman çıkış geriliminin maksimum değeri  $(4/x) \cdot Ud$ 'dir. Bu durum kare dalga çalışmayı ifade eder meydana gelen akı eğrisi ise Şekil 6.(a)'da görüldüğü gibi bir altıgen şeklindedir.

### 3.3. DAİREYE YAKLAŞIM

İdeal daireye yaklaşım durumu, Şekil 6'da verilen üç eğriyle açıklanabilir, şekildeki (b) ve (c) çokgenlerinin çevresi (a) ile aynı uzunluktadır. Oysa (b) ve (c) dairelerinin yarıçapları (a)'dan daha küçüktür.



Şekil 6. İdeal daireye yaklaşım.

Eğer bir köprü inverter tarafından üretilen akı vektörü, ideal bir daire boyunca hareket ederse akı eğrisinin daire uzunluğu bir altıgenin çevresi olur. Bu dairenin yarıçapı ise altıgenin kenar uzunluğunun  $(3/x)$  katı olur. Böylece, PWM çıkış geriliminin temel bileşeni,

$$V_{pwm} = (\sqrt{3}/\sqrt{2}) \cdot (3/x) \cdot (1-m) \cdot Ud/2 \quad (12)$$

olur. Burada  $V_{pwm}$ , vektörler ideal daire boyunca hareket edecek şekilde seçildiği zaman meydana gelecek olan çıkış gerilimi temel bileşeninin efektif değeri ve  $(3/x)$  çarpanı da altıgenden daireye dönüşüm faktörüdür. Bu değer, akı eğrisi bir altıgen olduğu zaman bir olacaktır. Buradan,

$$M = (12/j_1') \cdot (1-m) \quad (13)$$

$$V_{pwm} = (V_3/-T_2) \cdot M \cdot U_d / 2 \quad (14)$$

olur. Burada, M gerilim modülasyon faktörünü ifade eder ve 9 ile  $12/T_1^*$  arasında değerler alır.

(13) ifadesine göre Modülasyon faktörü, (1-m) ile orantılıdır,  $m = 0$  olduğu zaman modülasyon faktörünün maksimum değeri ( $12/**$ ) olur. (14) ifadesinde  $0 < M \leq 1$  durumunda çıkış gerilimi sinüsoidal modülasyon ile elde edilenle aynıdır. Uzay vektör PWM metodunda ise, gerilim modülasyon faktörü  $0 < M \leq (12/T_1^*)$  arasında değiştiğinden çıkış gerilimi bu metod sayesinde aşırı modülasyon bölgesinde bile lineer olarak kontrol edilebilir.

#### 4. SONUÇ

Uzay vektör modülasyon metodunda, çıkış gerilimi ve uzay vektör PWM örneği arasındaki bağıntı çıkarılarak PWM örneğin bir periyodundaki sıfır vektörlerin içeriğiyle orantılı olan gerilim modülasyon faktörü ifadesi elde edilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi çıkış geriliminin temel bileşeni sıfırdan  $12/1c^*$ ye kadar modülasyon faktörünün değiştirilmesiyle lineer olarak kontrol edilebilir. Ayrıca, temel bileşenin maksimum değeri sinüsoidal modülasyona göre %22 artırılabilir.

#### REFERANSLAR

/1/ T. Ohnishi, and H. Okitsu, "A Novel PWM Technique for Three-Phase Inverter/Converter", Trans. IEE of Japan, Vol. 104, No.9/10, Sept/Oct 1984, pp.193-201.

121 K. Taniguchi, Y.Ogino, and II. Irie, "PWM Technique for Fower: MOSFET I nv er ter ", IEEE Trans.Power Electron. Vol.3, July 1908, pp.328-334

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

/3/ II.W. van der Broeck, II.CH. Skudelny, and G. Stanke, " Analysis and Realization of a Pulswidth Modulator Based on Voltage Space Vectors ", IEEE Trans.Ind. Appl. Vol.24, No.1, Jan Feb 1988, pp.142-150.

/4/ P.O. Handley and J.T. Boys " Practical Real-Time PWM Modulators: An Assessment" IEE Proc. Part-B, Vol.139, No.2, March 1992, pp.96-102.

/5/ J. Holtz, " Pulsewidth Modulation-A Survey ", IEEE Trans. Ind. Electron. Vol. 39, No.5, Dec.992, pp.410-420.

/6/ M. Morimoto, S.Şato, K.Su- mito, and K. Oshitani, " Voltage Modulation Factor of the Magnetic Flux Control PWM Method for Inverter ", IEEE Trans. Ind. Electron. Vol.28, NO.1 Feb 1991, pp.57-61

/7/ Y. Murai, K. Ohashi, and I. Hosono, "New PWM Method for Full Digitized Inverters ", IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. IA-23, No.5, Sept/Oct.1987, pp.887-893.



i Ramazan ARKAYA, 1963 yılında Aksaray 'da doğdu. 1986 yılında Lisans ve 1988 de Yüksek Lisans eğitimi Yıldız Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Aynı üniversitede, 1987 yılında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya ve 1989 da Güç Elektroniği dalında Doktora eğitime başladı. Halen, görevine ve doktora tez çalışmasına devam etmekte olup evli ve bir çocuk babasıdır.

# SÖZDE-REZONANT ANAHTARLAMALI GÜÇ KAYNAKLARININ TASARIMA YÖNELİK ÇÖZÜMLEMESİ

Özge ŞAHİN , Haldun KARACA

D.E.Ü. Müh. Fak. Elektrik ve Elektronik Müh. Bölümü , İZMİR

## ÖZET

Günlükte klasik PWM tipi anahtarlamalı güç kaynakları yerine , önemli üstünlüklerinden dolayı sözde-rezonant (Quasi-Resonant) kaynaklar üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada sıfır-gerilim anahtarlama yöntemine dayalı " Buck " tipi sözde-rezonant güç kaynağı kuramsal olarak incelenmiştir.

Devre öncelikle , geri beslemesiz ve sıfır-gerilim anahtarlarma işlemi sinyal generatöründen ayarlanarak çalıştırılmış ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra , sıfır-gerilim anahtarlama ve regüleli çıkış gerilimi sağlamak amacıyla prototip bir devre önerilmiştir. Tasarlanan devre ile sıfır-gerilim rezonant anahtarını sürme işareti elde edilmiş ve çıkış gerilimi , geri besleme devresi yardımıyla regüle edilmiştir.

Elde edilen deney sonuçlarından , sözde-rezonant tipi kaynakların temel özelliklerinden olan yüksek verim ve düşük elektriksel stres konusu araştırılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi anahtarlamalı güç kaynakları iki temele göre işlev yaparlar : PWM ve rezonans ilkesi [1],[2]. Rezonant ve sözde-rezonant çevirgeçler yüksek frekanslı anahtarlamalar için daha uygundur. Çünkü yüksek frekanslarda ortaya çıkan parazitik endüktans ve kapasiteler , rezonans devresinin bir parçası olarak kullanılabilir [3]. Anahtarlamaya kayıpları ve yarıiletken elemanlar üzerindeki güç kayıpları yeni anahtarlama teknikleri kullanılarak azaltılabilir. Bunlar sıfır-akım ve sıfır-gerilim anahtarlama olmak üzere iki çeşittir [4],[5].

Sıfır-akım anahtarlama yönteminde , anahtarlama elemanının akımı sıfıra düştükten sonra anahtar açılır. Böylelikle akım-gerilim çarpımının integrali anahtarlama süresince en aza indirgenerek anahtar üzerindeki güç kaybı azaltılır. Fakat anahtarlama elemanının eklem kapasitesinden dolayı , anahtar kapandığı anda üzerindeki gerilim sıfırdan farklıdır. Bu nedenle , kapasite üzerinde depolanan enerji , anahtar kapalı olduğu sürece , anahtar üzerinden boşalır ve güç kaybına yol açar.

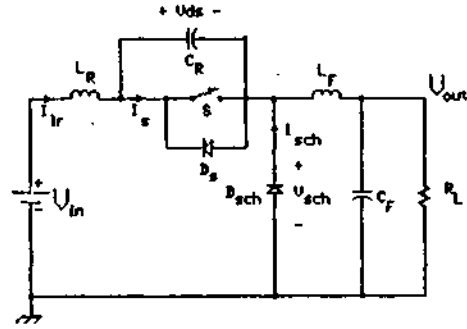
Sıfır-gerilim anahtarlama yönteminde ise , anahtar kapanmadan önce uçlarındaki gerilim sıfıra düşer. Bu yüzden eklem kapasiteleri güç kaybına yol açmaz. Sonuçta , sıfır-gerilim anahtarlamalı güç kaynakları ,

sıfır-akım anahtarlamalı olanlara göre daha yüksek frekanslarda çalışabilir.

Bu çalışmada , " Buck " tipi sıfır-gerilim anahtarlamalı sözde-rezonant güç kaynağı ele alınarak kuramsal ve deneysel yönlerden incelenmiştir.

## 2. DEVRENİN ANALİZİ

Buck tipi sıfır-gerilim anahtarlamalı sözde-rezonant güç kaynağının temel devresi Şekil 1' de gösterilmiştir [6],[7],[8].



Şekil 1 Buck tipi sıfır-gerilim anahtarlamalı sözde-rezonant güç kaynağı

$L_r$  ve  $C_r$  elemanları rezonans devresini oluşturur. S anahtarı ve  $D_s$  diodu MOSFET'i temsil etmektedir. MOSFET'in eklem kapasitesi  $C_r$  ile gösterilmiştir. Çıkış filtresi  $L_f$  ve  $C_f$  elemanlarından oluşur.  $D_{sch}$  sebest dolaşım diodudur.

$L_f$  ,  $C_f$  , ve  $R_L$  elemanlarının belirlediği zaman sabiti anahtarlama periyodu yanında çok büyük kalıyor ise bilindiği gibi bu kısım sabit akım kaynağı olarak modellenebilir. Başlangıçta S anahtarının kapalı olduğu varsayılırsa sürekli halde devre  $U_c$  aşamada incelenebilir:

**$t_0-t_1$  aralığı:** S anahtarı  $t_0$  anında açılır.  $C_r$  kapasitesi doldukça  $U_r$  akımı sinüzoidal olarak azalacağından  $10$  ile arasındaki fark  $D_{sch}$  diodu üzerinden akar.  $I_{sch}$  akımı  $10'$  a eşit olduğunda  $I_r$  sıfır olur. Bu durumda  $C_r$  kapasitesi  $L_r$  ,  $V_{in}$  ve  $D_{sch}$  üzerinden boşalmaya başlar.  $C_r$  boşaldıktan sonra ters yönde tekrar dolmak isteyecektir; fakat  $D_s$  diodu iletme geçerek bunu engeller ve  $V_{ds}$  gerilimi sıfıra eşit olur.

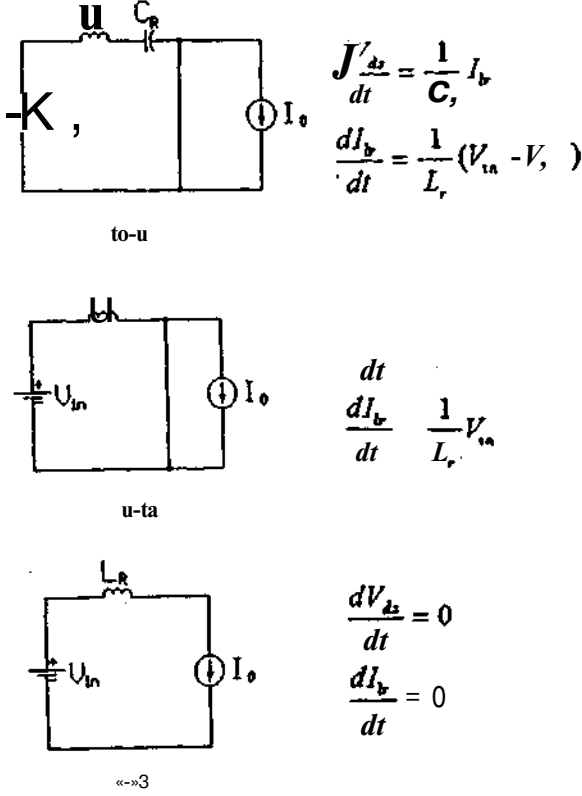
**$t_1-t_2$  aralığı:**  $V_{ds}$  gerilimi sıfır,  $D_s$  iletimde ve  $U_r$  ,  $10'$  a eşittir. Sıfır-gerilim anahtarlama yapılabilmesi için S

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

anahtarının bu sırada kapanması gerekir,  $t_1$  anında anahtar kapanır. Vin gerilimi doğrudan  $L_r$  endüktansına uygulanır,  $I_r$  akımı lineer olarak 10 değerine kadar artar.

$t_2-t_3$  aralığı:  $t_2$  anında  $I_r$  akımı 10'a eşit olur ve  $D_{sch}$  diodu yalıtıma geçer.  $L_r$  üzerindeki gerilim sıfır olur.

Herbir aralık için eşdeğer devre ve diferansiyel denklemler Şekil 2' de verilmiştir.

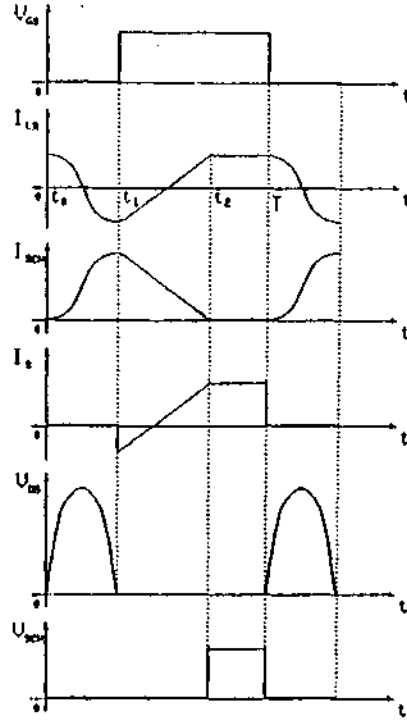


Şekil 2 Eşdeğer devre ve diferansiyel denklemler

Farklı elemanlar için gerilim ve akım diagramaları Şekil 3'te verilmiştir.

### 3. ÜNEYSKLSONUÇLAR

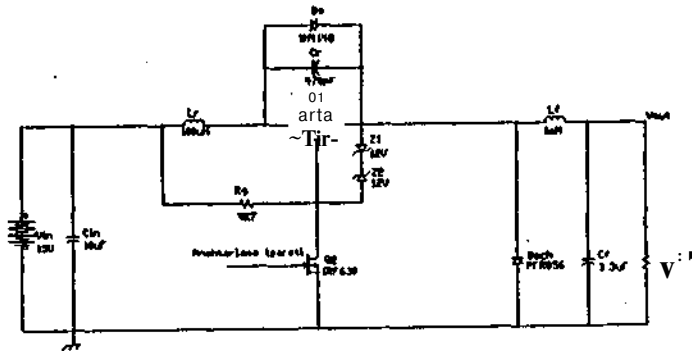
Uygulaması yapılan devre Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3 Gerilim ve akım şekilleri

Anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanılmasının nedeni, bipolar güç transistörlerine göre çok daha hızlı olmalarıdır. Bu şekilde, yüksekçe anahtarlama frekanslarına çıkılabilmekte ve gerekli olan endüktans ve kapasite değerleri küçülmektedir.

MOSFET Q1, diğer bir MOSFET Q2 ile sürülmekte ve Q2 bir sinyal generatörü ile kontrol edilmektedir. Uygulanan işaret, Q1 anahtarı sıfır-gerilimde kapanacak ve çıkışta istenen doğru gerilim elde edilecek şekilde kapalı kalma süresi ayarlanır.



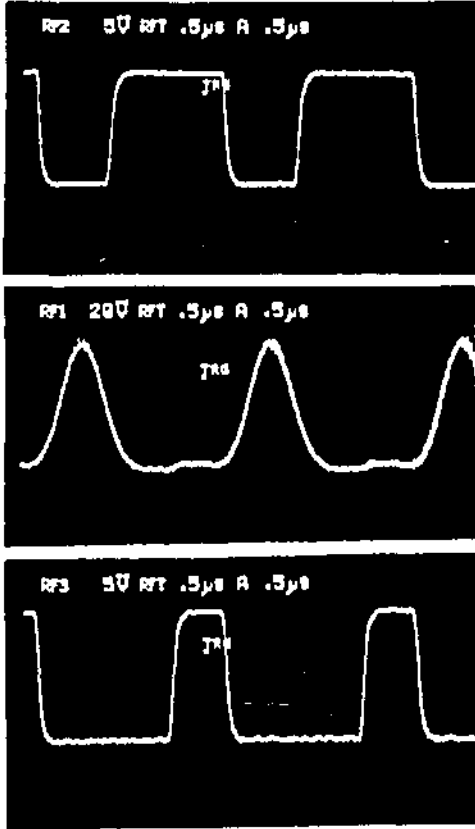
Şekil 4 Uygulanan devre

Q2 açık olduğunda Q1 iletimdedir ve  $V_{sch}$  gerilimi yaklaşık olarak giriş gerilimi  $V_{in}$ 'e eşittir. Q2 kapandığında Q1'in Gate ucundaki gerilim yaklaşık sıfıra düşer. Bu arada Q1'in Source ucundaki gerilim,  $D_{sch}$  diodunun eklem kapasitesinden dolayı yaklaşık  $V_{in}$  düzeyinde kalır. ÜJ'ın Gate ve Source uçları arasında ters gerilim uygulandığından Q1 yalıtıma girer ve Drain-Source arasında yarı sinüsoidal bir işaret görülür.

MOSFET Q1'in Gate-Source uçları arasına parazitik endüktans ve kapasitelerin ortaya çıkaracağı çok kısa süreli yüksek gerilimlerin uygulanmasını engellemek için , sırt-sırtta iki adet 12 Volt'luk zener diod bağlanmıştır. Böylece , Gate-Source gerilimi 12.6 Volt ile sınırlandırılmış olur. Bu şekilde MOSFET'in , ortaya çıkabilecek aşırı yüksek gerilimden dolayı bozulması önlenmiş olmaktadır.

$V_{ds}$  fark geriliminin ölçülmesi sırasında dikkat edilmesi gereken bir toprak sorunu söz konusudur. MOSFET Q1 in Drain-Source uçları arasına osiloskobun problemlerini bağlandığında DC kaynağın toprağı ile osiloskobun toprağı ortaksa MOSFET Q1 in Source ucu doğrudan toprağına çekilmiş olacaktır. Bu problemi ortadan kaldırmak için bir izolasyon yükselticiden yararlanılmıştır.

Osiloskopta elde edilen  $V_{gs}$  ,  $V_{ds}$  ve  $V_{sch}$  gerilimleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5  $V_{gs}$  ,  $V_{ds}$  ve  $V_{sch}$  gerilim şekilleri

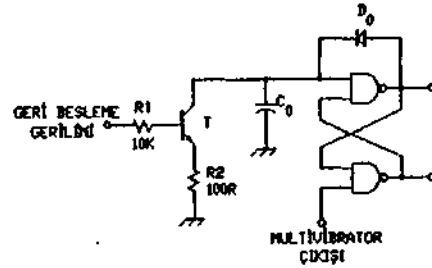
#### 4 . REGÜLELİ DEVREDE SIFIR-GEKİLİM KONTROLÜ

Sıfır-gerilim anahtarlamalı sözde-rezonant güç kaynaklarının yapısı gereği , anahtar açıldığı anda gerilimin değeri sıfırdır. Sağlanması gereken koşul, anahtara paralel rezonans kapasitesinin uçları arasındaki gerilim sıfıra düştüğünde anahtarın kapanmasıdır. Bunun için , sıfır-geilimi sezen bir karşılaştırma devresi tasarlanmıştır. Bu karşılaştırma devresinin çıkışına tek kararlı multivibratör devresi yerleştirilerek  $V_{ds}$  geriliminin sıfıra düştüğü anda bir vuru üretilmesi sağlanmıştır. Tek kararlı multivibratör çıkışı , bir gerilim kontrollü osilatör devresini kontrol etmek için eşzamanlama vurusu olarak kullanılmaktadır.

Regüleli çıkış gerilimi sağlanabilmesi için çıkış gerilimi, bir referans gerilimi ile karşılaştırılarak belli bir oranda , gerilim kontrollü osilatör girişine geri beslenmiştir. Çıkış gerilimindeki değişime göre gerilim kontrollü osilatör frekansı değişeceğinden anahtar sürme devresi , gerilim kontrollü osilatörün çıkış işareti ile kontrol edilir (Şekil 6).

Yük değişimi nedeniyle çıkış geriliminin attığı düşünülün. Bu durumda gerilim kontrollü osilatörün frekansı , yani anahtarlama frekansı yükselecektir (Şekil 6) . Anahtarlama frekansının yükselmesi , anahtarın açık olduğu aralıkların sayıca çoğalması demektir. Çıkış gerilimindeki artış kompanze edilene kadar bu durum devam eder.

Tasarlanan ve uygulanan devrenin blok şeması Şekil 7 de gösterilmiştir.



Şekil 6 Gerilim kontrollü osilatör devresi

#### 5. SONUÇ

Bu çalışmada yüksek verimlere daha kolay erişilebilmesi ve diğer üstünlüklerinden dolayı son yıllarda üzerinde çok durulan sözde-rezonant çevirgeçlerden sıfır-gerilim anahtarlama yöntemine dayalı bir topoloji incelenmiştir.

Öncelikle gerçekleştirilen devre geri beslenmesiz ve anahtar elemanını sürme işareti bir sinyal generatörden elde edilerek çalıştırılmıştır. Bu durumda sistemin çalışması dışarıdan uygulanan bu bağımsız sürme işaretine çok duyarlı olmaktadır. Anahtarın kapatıldığı anlarda  $C_r$  kapasitesinin gerilimi sıfırdan farklı ise verim çok

dilşmekte ya da anahtar yanabilmektedir. Ayrıca yük ve hat regülasyonlarının bu durumda iyi olamayacağı açıktır.

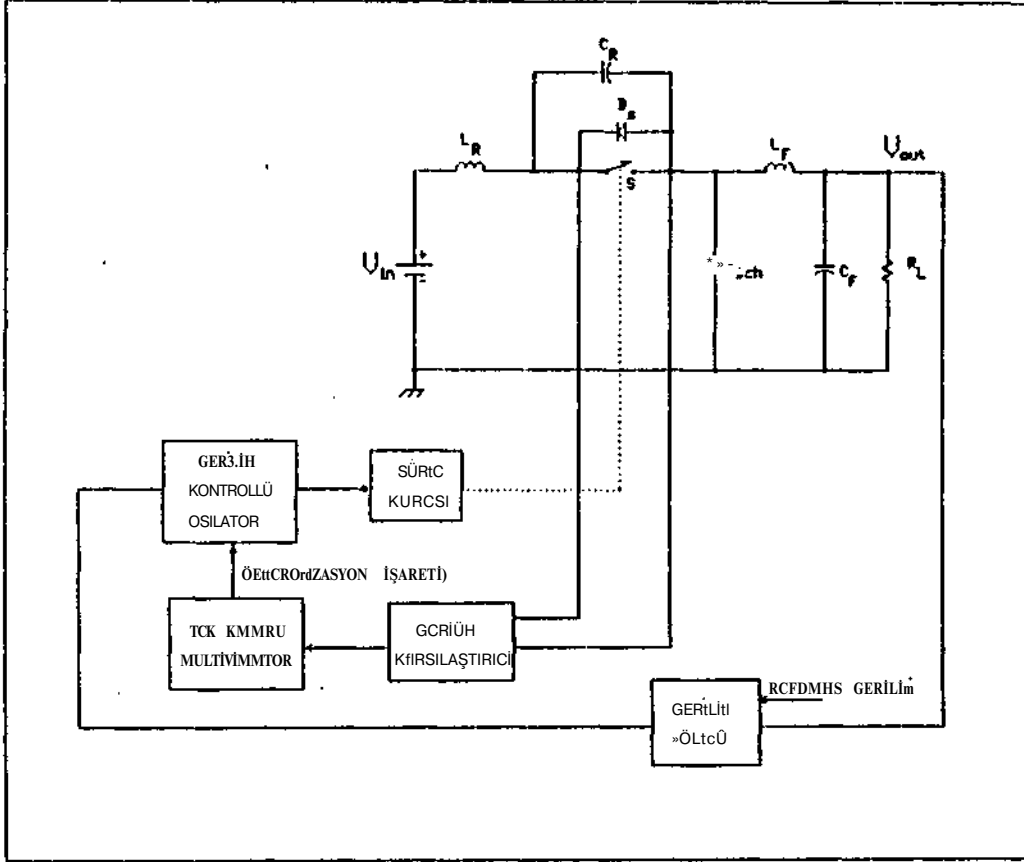
Sistemi daha güvenilir ve yüksek başanlı duruma getirmek amacıyla , gei besleme ve sıfır-gerilim anahtarlamaı sağlayan düzenekler tasarlanmıştır, üzgün olarak tasarlanmış olan bu kontrol devresi denenmiş ve gerçeklenen kaynağın gerilim regülasyonunun çok daha iyi bir duruma gelerek verimin arttığı (%85-90) gözlenmiştir.

Bu yöntem , diğer çevirgeç türlerine de uygulanarak daha verimli anahtarlamaı güç kaynaklan elde edilebilir.

Sonuç olarak uygun bir kontrol devresi ile ele alınan sözde-rezonant kaynağın yüksek başrunlata erişebildiği ve PWM kaynaklar ile tam rezonant kaynakların ayrı ayrı olan üstün yönlerinden bazılarını kendi Üzerinde toplamış olmasından dolayı önümüzdeki yıllarda bu kaynaklara olan ilginin devam edeceği beklenmektedir.

## REFERANSLAR

1. S.Cuk, R.D.Middlebrook, "Advances in svitched mode po'wer conversion - Part 1," IEF.E Trans. on Industrial Electronics, Vol.IE-30, No. I. pp.10-19, Febr.1983.
2. S.Cuk, R.D.Middlebrook, "Advances in switched mode power couversion - Part 2," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.IE-30, No.1, pp.10-19, Febr. 1983.
3. K.Liu and F.C.Y.Lee, "Zero-voltage switching technique in DC7DC converters," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.5, No.3, pp.293-304, July 1990.
4. M.M.Jovanovic, R.Fairrington, and F.C.Y.Lee, "Comparison of half-bridge off-line , ZCS-QRC and ZVS-MRC," HİEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol.26, No.2, pp.326-336, March 1990.



Şekil 7 Devrenin blok şeması

5. F.C.Y.Lee, "High frequency (quasi-resonant) converter technologies," Proc. IEEE , Vol.76, No.4, pp.337-390, April 1990.
6. M.K.Kazimierczuk and J.Jozwik, "Analysis and design of buck zero-voltage-switching resonant DC/DC converter," Proc. 12th Int. PCI'86 Conf., Oct. 1986.
7. W.A.Tabisz, P.M.Gradzki and F.C.Y.Lee, "Zero-voltage switched quasi-resonant buck and flyback converters : Experimental results at 10MHz," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.4, No.2, pp.194-204, Apr. 1989.
8. A.K.S.Bhat, "A unified approach for the steady-state analysis of resonant converters," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.38, No.4, pp.251-259, August 1991.

#### Yazarlara İlişkin Bilgiler



ÖZGE ŞAHİN : 1967, İzmir doğumludur. Lisans ve Yüksek lisans eğitimlerini D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünde sırası ile 1989 ve 1992 yıllarında tamamlamıştır. 1993 yılında Doktora eğitimine başlamıştır.

Halen D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi , Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

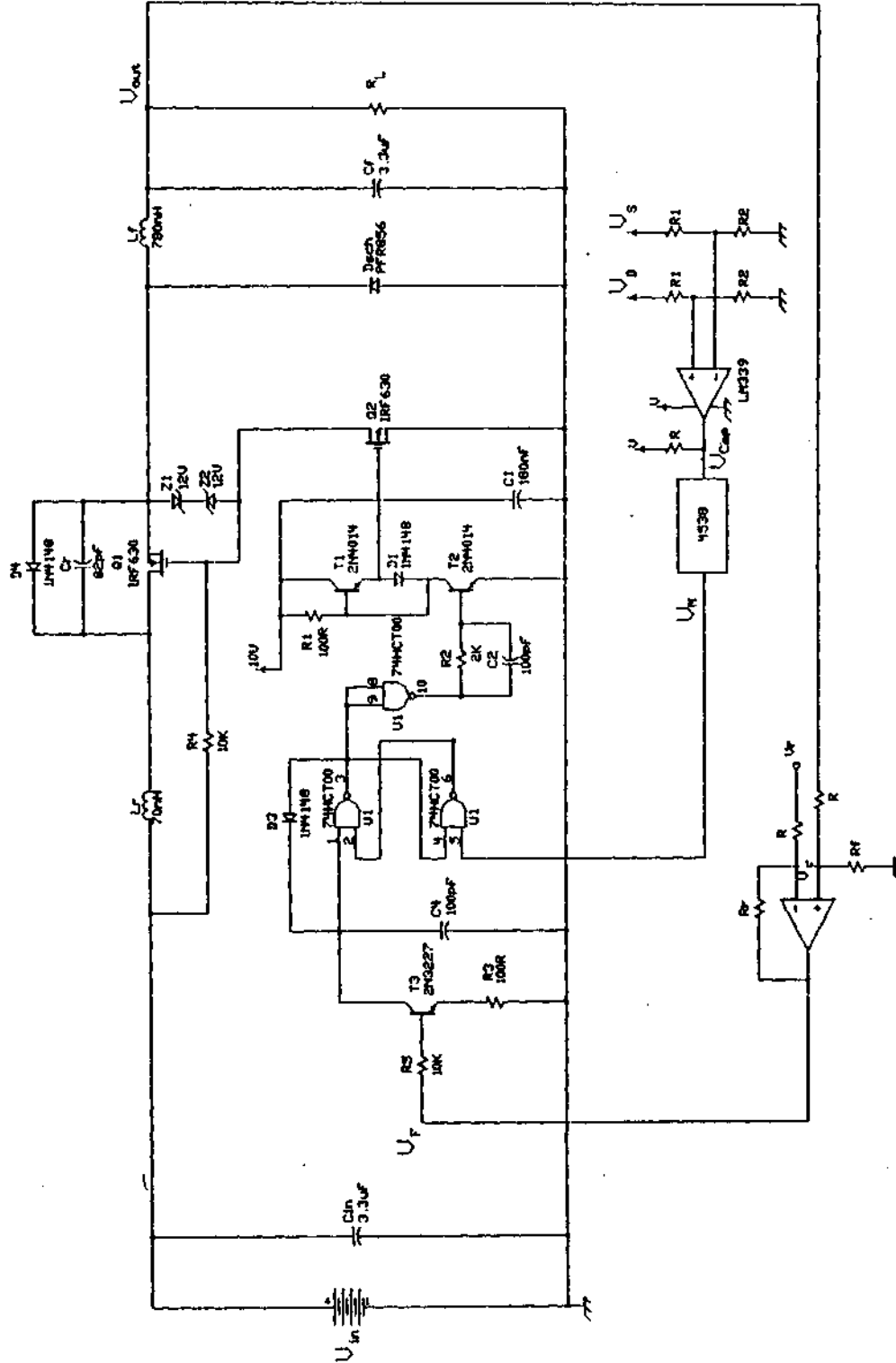
Anahtarlamalı güç kaynakları ilgi alanı içindedir.

HALDUN KARACA : Doğum yeri Denizli (1952) dir. Lisans ve lisans üstü eğitimlerini Elektronik Mühendisliği dalında İ.T.Ü. Elektrik Fakültesinde sırası ile 1975 ve 1978 yıllarında tamamlamıştır.

Halen D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi , Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesidir.

Yüksek frekansla güç aktarımına yönelik sistemler ile bunların PLL (Evre Kilitli Döngü)' den yararlanarak kontrol edilmesi üzerinde çalışmaktadır.

Tasarlanan ve gerçekleştirilen geliştirilmiş devrenin ayrıntılı şeması





H VAÎ. <:TW rv. ^f. AR-

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

anbun

HF.SPÎW TAR'KAN, Prof. Dr.

i < z t nyftiti) 7\*\*hrtiy? ihxneresites

Ft \*~\*h / )-? fa Fnfail t \*si. (önm>:;=) / Δn/

ÖZET

fi 11 > plie, m H n r > n' r- oli il' lo v < \* \* \* \* »  
V ^ n V n h n l l i k n K | /- 1 n ? t t i n n k i m  
I n ç i m n k n p n e i f ^ t o r i l » « " > r i k y r > l ~  
H n n t t i < \* \* \* I A n n i e , j n n r t m k i n i f i d f \* l r r .  
> \* e c i t t i t | « H n n r l \* r ^ n 7 ' i n i j n 0 o l -  
n n r n r < a | H \* v e H i l m i e f i r . n 11 r n H u i l ' t  
y r e t l i s i m , k n K l n l n r t t i i 1 0 1 l G e t t i k e t  
r j ö v r A « 1 n i n l u r u l u n r i e 1 n i V \* > X Q \  
Y n y i l \ m l C n n r r i i n n v « u y r j u l r i m n q t ; n  
d e y a n m e k t e d i r .

h e « r % r » v n , o l A n l 1 n n r i k r i l > l n  
ö r n \* ö i i i 7 o r i n d A y n p 1 m r 1 l t r a l i n ~  
r l n d e n A V e A l d ( n r n k k i t l i H M i t n r i  
n | r l m r l ö i ^ a r l o r i n \* l » n r 1 k A l n r « i r  
u l n e i l m n y n r ; n l 1 ç i l m i ç , « c n i r l n r i n  
k i r k i l i n « » y n i r 1 r l \* Ö \* C j ^ 7 l f t n m i < . l r .  
f i n n r n e t i r m ^ H r i , n h m l n e j m n k e -  
f o ö i l \* \* o t n t h \* \* o r t i ^ l \* m . i m r t V ^ i ^ r ^ y n r  
t r i r « l o q < r t l m « H n l s < r l i m i ç t t r .

1 - GİRİŞ

Hava hattı i i ot.V\*nl\*ri n<~i\*\* ol —  
Hucjn ni hi yora 1 ti lfahi ol arını ri  
Hriyü\* 1 au Hri 1 n n < ; r l a r ^ o l ' = a y i d a  
l-ourf.rfila < " | S > » yapı 1 t i a k " t . a r i i - . O r t . s  
v \* » y i j l ' c : « = l ' f | a r i 1 i m < < > > « s i p r i n i n  
p i - o j » = l o n H i i i 1 m » 5 i n r - ) ^ I Ç T I ) l a n 1 1 a n  
lcahl ol ar i r i n l c i « a H o v r p y p V e >  
o n o r j i V a y h > i n a r f ö i - p » h i n t i v i l 1 a r  
y a p ı 1 m a r - l a h i r l i H . P a l r : n k r j » = r i -  
l i m k e > r t o r i 1 i m H ü r ü m ü " o n p l a n a  
r - 1 W i n a l c , t a r l ı r H k r i V i h a l i e > r l o  
« o l - o n o m i V t a H r i r l o r r i i l < l ' a + ^ a l i n -  
m a 1 r i r i ? . . F < t t n u n l a h i r l i l ' t . p , i 1 » t i m  
c ; i e j , = m l f r i n H p i 1 p t . l c p n l e r i n a v i m  
• a ? i m a K - a p a ^ i i < \* » e \* r i n i n ( " t a ç : ! y a -  
h i 1 e \* r - t \* ) : 1 f > r i m » k < ; i m i t m a l c i m r l < » j \* » r -  
1 < ^ i n i n - ) r | p r j ö ^ ö n i i n < » a l i n n i a « s i .  
i i ^ f V ^ n l p r i l T l n v » r i 1 « M l i r i = : t

• sınırları dahi 1 in rlo t i t m a ^ r - 1  
« r r i a n = ; o n H e r f r - o ö n k e > m l i r \ r .  
i r r \* \* \ 1 i k 1 » V a h i e > « İ l « P M U l p r i i r l p » .  
r - 1 p l a c i l « t l > n n H r = n b a < k a l c a h l o  
y a 1 i t i f a n ı n ı n i ^ i m a « i m n n i H a  
r - l i U f a t p a l n i a l ^ r j o r « t . t i n i n r l p n , h i t  
k a v i a m t l a h i a h ' i y r i t h i r ö n e m t a " ? i -  
m a l c . t a r i r . K ' a h n l e » r i i 1 o m ^ r r i r ^ a & r -  
t l e > V i y i b < f > - i 1 p t . l ' p n ^ i r a H i l d s n  
V e " » s ı r ı « İ r a l c 1 i r f a r k l a r ı , l c a h -  
1 o r i a y i p r a n m a y a = > h e > h i y ^ t . v p r p -  
r e H . i r . F i t t n e > H e n l \* » l r a h l o l a r i r i n  
a l c i m : a < ş ı m a k a p a r i t . p < ; i h p ^ a h ı n ı n  
ö z e n l e : y a j i i 1 m a = : i g < r o l r t t i P l f t « r ) r .

İ. - ff.RTKFN DİRENÇİ

i ) \* f k « = n l » r , = ; o r i 1 H i k 1 . o r i m » t a 1 -  
l o r i t , i b a r i y i P f a r k l ı a k ı m t a " = j -  
m a k a p a r i t < = i n p < ^ a h i p o l u r 1 a r .  
C F < a k ı r : ^ ^ n i ^ O . m m ^ , a l i t m i n v i n i r  
: < f m - < > m m > . r l ( > ' < ? H o k i r l o n r u  
a k ı m H i r « = > n r i P ' o l a n h i r i 1 p t -  
k o n i n h i p p l i a n g i ? a h i r T = ; r a k l ı -  
r j i n r l a k i H \* r j ö | - i R - i « » , h u i k i H i -  
r < = > n r a r a ^ i n H a ;

$$\frac{F}{20} = \frac{K+T}{K+20} \quad (1)$$

h a n ı n t . 1 ^ 1 v a r H 1 r . f 1 , 2 . . : ^ 1  
R i i r a H a K , i 1 \* » t . k f « n m a l 7 p n i o ^ i y l o  
i 1 r j i 1 i h i r « ; a h i t o l u p t . a v l 1 h a -  
k ı r i r j n r . A . , F S ; « ^ o r j i k h a H H ^ d e n  
r j = r i r i l m i < ? h a k i r i r - i n r . A - 1 . ' S v e  
a l ü m i n y u m i r j n c l \* \* i . r ' f i , l H o r j o r l e -  
r i n i a 1 m a k t . a H 1 r .

r m q r t ı a k ı m i a y ^ p ı 1 a n i 1 \* » t i m d e ,  
a k ı m ı n i l f t . l c p n k o ^ i t i Ü T ^ r i n d e  
H i i T n ' i r h i r < j f ^ k i 1 H > H a c ' j i 1 1 m i « 5 0 7

konusu rilmalf 1 a hirl tW.o; alt. er-  
nat.it akımı a i 1 otimHo aynı Hurum  
r<sub>u</sub> = r<sub>u</sub> \* 1 i Horji 1 Hir.

Horji-u nki m Hi r -oni<sup>m</sup> i<sup>r</sup> ol an hi r  
i 1 ot V<sup>h</sup> ni<sup>r</sup> hi r i m i l t m i u g u n u r i a l -  
t p n a t i s \ \* 1 \ x r i i p o p . r - i . 5 \* . 1 ! o p ; i > t i t  
akımla ji , atimin sonur-ıı r . 1 arak  
moyHana rjol r>n fiironr srt işı AR  
ol m<sup>h</sup> k i l t i j > t . o .

$$V_a = E + AR' fOI \quad (2)$$

harj nt.ı sı \-l a ol Ho orli lir Ru Hi -  
ronr artışını yaratan katsayılar  
y<sub>a</sub> : y<sub>p</sub> : X<sub>v</sub> vo X<sub>o</sub> 1 ma Vi \-ere .

$$R' = (C' | + v + y + X + X ! R - fOI \quad (3)$$

şeklinHo katsayılar r-insinden  
yazı 1 ahi 1 ir RuraHa y Hori olayı  
otkisini , y<sub>a</sub> yakınlık ol.kisi 1 i i .  
X<sub>v</sub> kılıf i'gl'rrbpi akımları otki-  
sini , X<sub>o</sub> iso liistpr<>7İs <~ . ?yrh)  
kayıpları ot.iri sini rfoşt.t=r mok to -  
Hir. r/ , ^ , 41

7. 4. T>\*rİ Ol işı r f f t i o i

fi ot.kon kosit.inHo tınıform ol -  
mayan akı Hanj ı m i sonur-ıı i 1 ot -  
konHon rjorıı akımın , ilot.kon ko-  
si t.inin r-ovrosino yakın olan kı-  
şıl arı nHa toplarması olayına  
"Hori olayı " HonHirjini hi lmokr.ö-  
yi 7. Ru olayı otkisiyo i l p t . k e n  
kosit.i , akim taşıma kapasitesi  
bakımı nHan kiir-ijl müş rji hi ol nr vo  
bunun sintoninHa i 1 ot.konin Hiron-  
ri artar.

Dori olayı art.ış katsayısı ,

$$y_a = \frac{1}{Afi} \left[ \frac{r_w}{\delta} \right]^{4} \quad \langle " - i " \rangle$$

harj nt.ı sı nHan hesaplanır. RuraHa  
r<sub>u</sub> i 1 ot.konin t.ol \ r<sup>r</sup> r i c<sup>h</sup> P<sup>m</sup> i < \* >  
iso Hori kalınlı rjını rjöst.ormokf.o  
ol tıp.

$$\delta_{ak} = \sqrt{\frac{2}{WV11}} \quad (5)$$

i>arj nt.ı <5 i nHan r<sup>r</sup> r i kalınlı gi ho -  
saplanır. RiiraHa r<sup>h</sup> w frokan<sup>h</sup> ,  
<~ \ r i h / . r r i " > , M ÖTM 1 of kon 1 j r j i , // Ha  
hnçl itrım marjnot.ik rjor-ı rjjonl i ni ni

( , u - 4 . ; r . 1 ( 1 ^ 7 ) l l - l l l l f f j o d ; t e r m o k t o H i r -  
( f S i Honkl o m i n H o n c j ö r i i l r i ü r i t t q i b i  
t r o k a n d . i n . i 1 o t . k o n t . o l y a p ı n ı n v o  
ö , - i 1 o t . k o n l i r j i n a r + n i a = : y i a H o r i  
f i l a y ı , = . t k i < r j a r t m a k t . a H i r . r A . n 1

2 2 YAKINLIK RİJİTESİ

t 1 ot.kon , konHi e i n H o n r j o r ^ n a k ı -  
m ı n m o y H a n a r j o t i r H i q i a l a n i r i n -  
H > k a l H i t p r j i h i k o r n e t i i 1 o t . k o n i o r -  
i n v a r 1 ı n ı n o H o n i y i o r - [ t ^ h i r -  
a l a n i r i n H o H i r . R u a l a n ı n i 1 o t . -  
k o n H o m o y H a n a r j o t i r r \ i g i c . o l t " o n -  
r i l i k l i y o n o l o k t r o m o t o r k u v v e t i .  
i 1 « a t . [ f o t i H o n r ] p r i » n a k ı m ı T a y ı t " 1 a -  
t a r a k y ö r r i l o h i r a k ı m ı ı H n g m a « ; n a  
n p i f i p n o 1 t ı r .

Yakınlık ot.ki «H arlı.ış; katmayı -  
<5 1 ,

$$v = \frac{1}{I(S)} f_{-} \sim^w 1 \quad (6)$$

harj nt.ı = : i t i H a n h o c ; a p l a n ı r . p t i r a H a  
r i 1 o t k o n i ı t . o l y a r ı r a p ı m . r S  
w p k  
r S n o o H o n h i r l u n a n H o r i k a l ı n 1 i r p n ı ,  
a i s o j l o t k o n l o r a r a « ; i a r ı k l ı r j i  
ñ ö < 5 1 . o r m o k t . o H i r F r o k a n " . i n . i 1 o t -  
k o n t . o l r ^ a p ı n ı n v o ö v i 1 o t . k o n i i -  
f i i i a r t m a = : y i a y a k ı n l ı k o t k i = : i  
r j o a r t m a k t a , f a k a t . i l o t . k o n l o r  
a r a = : i a r ı H . i n " i a r t m a s ı y ı a a ? a l -  
m a k t . a H i r Y a k ı n l ı k o t k i s i , r ^ o k  
r l a m a r 1 ı k a h i o l a r H a v o y a a y ı n ı k a n -  
n a l H a h t ı l ı m a n t . o k r i f < m a t - 1 ı k a h l o -  
1 a r r \ s t , 0 7 0 i 1 i k 1 o r l o h i y i i k C ^ p ' ' i  
i 1 o t . k o n i o r i n k 1 i l 1 a n 1 1 H ı r p H i i r 1 m i -  
r i a H i i r k a t . o a l ı n m a 1 1 H 1 r . f A . S 1

7. 5. Tok Hamarlı Akımları (FİHSA)

Tok Hamarlı kahl ol arHa i 1 ot -  
koni #rHr>n rjorıı al t.ornatıf akımlar,  
kablo kılıflarınHa a 1 t.01 -  
nat.ıf rjori 1 imi r<sup>r</sup> - onHiik 1 f \* r 1 o r .  
kılıfların ar-ılr Hoyro ol t k 5 , i r m a -  
< : 1 h a l i n H o k ı l ı f l a r a r a s ı ı H a  
moyHana rjol mosi miimkiin t.ohl kol i  
gori 1 i m i o r H o n H o l a y ı I r a b l o k i -  
1 1 f 1 a r 1 h o r i k i u ç t a h i r b i r 1 o -  
r i y i o b i r 1 o ş t . i r i 1 i r . R u H u r i t m H a  
kılıflar arası nHaki rjorilim or-  
t.aHan kalkar fakat. onHiiklonon  
ije \* r i l i n l o r k a h l o k ı l ı f l a r ı n H a  
k i 1 t f i ' g i r H a p " ) a k ı m l a r ı n a v o H o l a -  
e : i - . . 1 a i l \ i 1 a v o k a y ) p l a r a n o H o n

olur. Bu kayıpların «snnuru nla- rak i 1 ot k on H i r . onr i nHo arlı. =; moydana .jol ir

Ki 1 l f akımı artıç katlayıcı

$$\lambda_1 = \frac{P_M}{p} \cdot \frac{V_M^2}{E_M T X_M} \quad (7)$$

bağlıt i =; indan hp^aplanır. RuraHa pTO/m1 kılıf dironrini. X\_M [O]m1 i\_M o fa 7' ba =; i na nr t ak re» ak tansı göst. mektordir. [2. 3, 4]

7.4. || i o l a r v r \ c K r i y i l i r r i T i v i « i

Kabl nları momek 7nr1 amal ara Var?1 J.-nrumak amarıyla 7"1 rh kul- 1 anılır. Mal T-omoc; i rjonol nlarak rja 1 va ni 7 l i 7 o l i k n l s n bu 7 i r h, ilironr, artı =; nna vo onorji kayıplarına noifon nHırgu irin tok da- mar 11 V'abl nlarHa Vul 1 anı 1 mamakta, kullanılmaklı rnrınlı nlan hal- lerde ise ferromagnetik malzeme- don yapı 1 mamakt adır

Kab 1 n 1 a r d a 7 o 1 i V - 7 i r h b 1 1 1 1 n H 1 1 - r j u n l a , m a 7 i n o t i V V u t . b i y o t i n y a S n H o r j i - > . t i r n o < ; i k o n u r u 7 i r h t a i l a v o k a y ı p l a r m e y d a n a r j o 1 o r - p k v o i 1 o t . - İronin Hnrju al'1 m dironri hir kö- re» daha artı 5 rjn =; t o r o r o V t . i r .

T'ırh kayıpları artı? kat =; ayı =; .

$$\lambda_2 = -i - \left[ \frac{r_n}{\delta_{ak}} \right]^4 \quad (8)$$

barjınt 1 tından ho =; ap 1 an 1 r . RuraHa r 7 i r l i t o 1 i y a r 1 7 a p 1 n 1 , > ' > i = o r Ş r o r o n b u l i m a n A < = r i k a l i n i 1 r j i n i r j n ^ t o r n o k t o d i r X % . ' A : F > 1

7.5. AKTM TAŞTMA KAF'ASTTET HESAFAT

Kab 1 n ^ i ^ t p i i l p r i , i 1 o t V o n 1 0 1 i n - (-) o n o v d a r i a f f < > 1 ^ n I n u l o k a y ı p l a r ı n o r l o n i y e » 1 c ; 1 m r 1 a r . F r j o r i 1 o t i m a 1 t 0 1 n a t i f a k ı m ı a y a p 1 1 m a V t . a y ^ - a , h 1 1 n u 1 o k a y ı p l a r ı « n a m s t a 1 V n r 1 1 - y u n i l a r d a k i k a y ı p l a r v o y a l 1 i k a - n ı n d i o 1 o k \ y i V k a y ı p l a r ı r 1 a i 1 a - v o e \* r i 1 i r . P i o 1 o k t r i V - k a y ı p l a r ; U , U , < . ^ , - r \ k V ' a k a r l a r - n l a n P V C k â b l n l a r d a . l f < s . ' O k v ' a k a d a r n l a n k a n ı l v a ) 1 t . V a n 1 1 a b 1 n 1 a r r l a v o h . i / 1 1 ( i k v ' a k a r l a r n 1 a n V I . F F . y a -

1 it. Vanlı kabiniarda ihmal odil- rak i 1 ot k on H i r . onr i nH o a r l ı . = ; m o k t o d i r . f ? , 1

Kabiniarda T =; Yayı 1 i n Kanunu. okoktriVt. on hi 1 i n o n ("İhm Kanunu" - na l i p i i 7 p r « y o V i 1 d o u y n ' i l a n a r a k ,

$$AT_r = p . T S \quad r^n \quad e Q^3$$

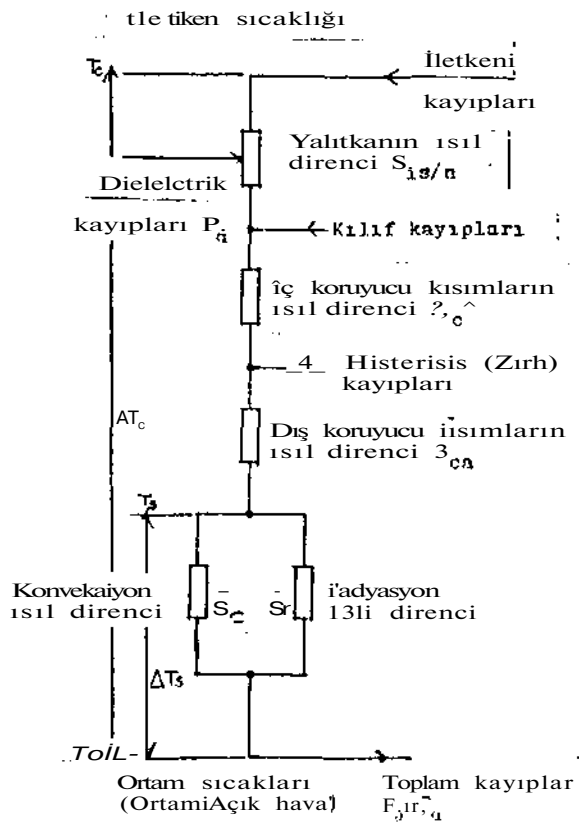
ya 7 i l i r . RuraHa p r W l t n p l a m k a - y ı l l a r ı . . ~ S f ( . ) n W 1 t . n p ] a m 1 = : . 1 1 H i 1 p n r i . A T f ^ < " ! ! i - ^ c i 1 o t l - = n l « n r t ^ m ^ 1 r - a f - 1 1 r f i a r a c ı n d a k i f a r V 1 r j S c ; t i = m o k l ( = r i r . P b i i v j V 1 i r j i i 1 « 1 f V t . r i i r a k 1 m ı n a , > S b i y i M 1 i i n \* i P H i r ^ n r i n o . A T i = U q p r i 1 i m i n e » V a r ? i H i i ^ t n ^ k t » r j i r . P . t . n p l a t n V a - y i p l a r ı , i l f a 1 - p n k 1 « s 1 m i a r H a k - i T n u l » v « y a l 1 i V a n V i = ; 1 m i a r H a k i r l i P I P H r i k V a y ı p l a r 1 n 1 n t . n p l a m 1 \* ? > V 1 i i H = » 1 r ) p p r i 1 \ r .

Kayıplar 1 n n l 1 1 5 1 u r H i H i l b ' i 1 « 1 , V a b l f > r ) a y a y ı 1 m a y a b a ? l a y a r - a r j i i 1 k n n V t . a H a n H i 5 n r t a m a u l . 1 5 1 r i - < ~ a v a k a d a r V a b l n n n ^ ( " a l t o r n a - t i f a k 1 m H a S ' " ) i 1 o r n < r : \ » i 1 « n 1 « ; 1 1 d i r p n r i i 1 o n r t a m 1 1 1 1 c : 1 1 H i r o n r ~ i n i a < ? m a k y n t i t i n d a d 1 r . K a b - i n i a r 1 n 1 = ; 1 1 d i r o n r ~ i , a k 1 m t a ? 1 - y a r ı i l o t k o n - ^ a y ı ^ i n n l m a k Ü 7 P T O ,

$$S_v = \frac{S_{1a}}{n} + s_{ci} + S_{ca} \quad r^c : m/w \quad eio >$$

İarjınt. i =; \ y i a y e r i 1 1 1 . 1 y a 1 1 t k a t ı 1 1 i p i l d i r o n f i , S i c k n r u y u r u k ı r ı m l a r ı n 1 « ; 1 r i l r p n r i v o > C d a d 1 . ? k n r u y u < ~ u k ı s ı m l a - r ı n i f i l d i r p n r - i d i r .

T =; 1 . k a h ı n y i i r p y i n o V n n r l i i l r « i - y n n l a y a y ı 1 1 r v o e ^ C \ e \ \ ~ k a b l n a r ı k h a v a d a b u l > t n n a k t a y = ; a d i ? n r t a m a k n n v p k < ; i y n n v o r a d y a ^ y n n y n l u y l a ; y o r a l t . i n d a b u l u n u y n r 7 a V a b l n y t i , ~ o v r o l o y o n t . n p r a k ü ~ o r i n d p n i 1 f f ~ t i 1 i r . K ' n n v o k = ; i y n n 1 ^ 1 1 d i t p n r i - ^ v o r a r | y a ? : y n n ' ^ 1 1 d i r o n c i d o 5 ^ i f o q r i s t ö r i t i r « S = S / < " " > » n l a - r a V h a v a n ı n 1 « = 1 1 d i r r o r i f H b u l u n u r . ' i ' o r a l l ı V a b l n l a r ı i r - i n i « İ O . t . n p - 1 a r 1 n S 1 « 1 d i r o n r i 5 0 7 k o n i K u n l a r a k t . f r T = 1 a k ı « 5 1 v o P i o H r i k a k ı m ı a r a c ı n d a k i h c i i z p r l i q p u y - q ı n n l a r a k , b i r h a v a h a t t i k a b - l n r ; t i r i n 1 « 1 1 p < j r l p q p r i - ) o v r o S a k i l i d e v o r i i m i \$ t i r .



rti av 1 III i <= 11 Hi k=>nr i ni p, (" | -1 >, +λ )  
 li-a (• 1 ml ac-av • 1 r. tr- l ntiyi,,,-, t f-  
 <5l ml ardaki artış; >. N' . rii § V o-  
 r'tyuru ki ^ 1 ml arri-nV i " art 1 ç  
 < X +A 2 ) S f> l-rp l-ahl nnnn fiktit  
 ts^ 1 fiir p S^ci.

$$(1 + X + X^2) S^2 = \frac{P_a}{T_c - T_0} + \dots$$

hağır n.1 > M yarırlı mıyia hulumir.  
 Fi PI PH n t t-a yıpl ar 1 i l rj i l t i -  
 rli rpri fi V \ i f 1 <= 11 Hiron ç i = r =.  
 yal t.k-am n nrt ,k=> nrlan i ti har on  
 ha 5 l nri n 1 K'ahl 11 PH 1 PI PI?

$$S_{rd} = \frac{S_c}{F} + S_{ca} + S_{ca} T^2 C_m W$$

h-^ni nt t=; 1 urları lip^ apları r. Riua  
 rjcSro, alt.Pinat if ak 1 IDI 1 i 1 oti indo  
 Vahl on' 111 aV 1 III ta <j 1 ma Vapiasito ^ i.

$$T = \sqrt{\frac{AT_c - p e S_{ca} T^2}{n F (S_c + S_{ca})}}$$

şoklindo oldu orti 1 ir. Yukar Vi  
 donk] om hava hattı kahl os 11 i Cin  
 yakılmış olup. yoraiti kahlосу  
 durumunda S> vorino tnpranıu ^  
 fiirpnrı rtp/r/ e^ 1 i o1 araHir

Hava hattı kahl oları ayrı ra  
 njinos ışınlarının ot.kisi rido ka-  
 1 araçp ri' isn. i l Rı donk 1 omi ndo ila-  
 vo hir sı-ra ki ik yüksol mosi daha  
 sö7 konusu ol ar-ak vo akım taşı ma  
 kapasitosi a7al maya riPvam pr | p-  
 rokt.ir. Ri sı ralf 1 ik yiiksol mosi ,

$$AT = \gamma \cdot F \cdot T^2$$

hağır n.1 sı vı a oldu odi 1 ir. F<iii' ada  
 p\_kahl onun yit-oy rı-apı dir. ri\_a,  
 kahl o yiit-r-yi ni 11\_n'inos ışınlarını  
 rjor7 ir mo kat sayı <= 1 ol tip PV'! di ş  
 kılıf ir-ii u (" ) ; ö; PF rli ş kılıf içri ri  
 0,4. rlogorini almaktadır. F i so  
 rjinos ışınları rariyasyon şitidoti  
 ol tip hp^aplarda 1 VV/iii^ alı mr

fi onklom IR'doki AT r|egpri , Ço-  
 ki 1 l i do iii^ tjör 111 dü rj i gi hi i 1 ot-  
 kon sı-r-ak 1 trı i 1 o nrt.anı sı-r-ak 1 i-  
 rjı arasındaki farkı rj rS^to-i- mok 1. o-  
 dir. (İpriPi 1 iHP topı ak sı-r-a 1: 1 rjri  
 olarak ,'-<j) .". hava sı-r-aki rjri ola-

ŞE VİL 1. H<<1 II, III > K-n Kİ o s u k=> , I  
 F( ) ö j j or D, ç v r e s i

Rttna qürp rlngrü avımı r i i ot. im -  
 H=> lcflbl oliin akım 1351 m» kapasi -  
 toşi , (\* ö> harjını 1 sında P yorino  
 RT^ vs7 araV VP T ahmini ç ekerek.

$$T = \sqrt{\frac{AT_c}{F S_c}} \quad TAT \quad (11)$$

hağır n.1 sı vı s oldu odi 1 ir.  
 Hava hatt 1 Wahıosu i 17 i 1 1  
 $F S = S_c + S_a$   
 $V = 1.$   
 Y<=>ral t.ı kahlосу için  
 $S_a = S_v + S_r$  (12)

<= 1 dirpçlori fjprpr 1 i Hir.  
 Alt.ornat.if. aVının noydana <T\_c =  
 t.irdiğ i pf.Vi 1 pr rinlayı 11, ya ısıl  
 < i ronc do rı rj i ş or-ok vo fiktit f  
 dorjori S07 konusu nI araH.ir. S^  
 i 1 o rjöst.ori 1 or-ok olan hu fiktit"  
 ısıl dironr. 17 lrisp alfimi V> hi <= -  
 t.pri=>7 l = kayıp l' ->n ot.iri=i v j > Horj -

rak Ha  $\approx \frac{1}{2} \cdot r_i P_{np} f_{lori} < 5 t a n r l$   
 Herler" kabul eHi 1 ir ve a kım t a -  
 şima Vspa «sit.Pisri bu ^ ir s H ik -  
 1 ardayapı 1 an r > 1 r i i n 1 e r l e y a p ı m r - 1  
 firmalar tarafı nrlan t a h l n ] a r h a -  
 1 j n H e v o r i 1 i r i t e l c p n « s i r a l 1 i r j i  
 i i r e r i n i - i ' - i y a ] i f l c a n m a l 7 P n e « s i n i n i  
 r \ n « s i n e b a g l ı n i a r a k r o « j t . l i H e -  
 g e r l o r a l ı r ( ' Y i . F ' F . O O " Y ; P R v e »  
 F V < : 7 Ö < " ! ; l a f ( i t . Ö S ( " ) t 1 o l . İ r s r i n  
 o r t a i n « i r s H ı g ı i i ? o r i n H e e r i ş e -  
 b i l e « e r [ i m r ] V n i m 1 1 m « i r a t : 1 i k H e r e -  
 < e « i i , t a ş ı y s h i 1 « r e r j i m a t - « s i m u m  
 a k ı m ı b e l i r l P H I O H P ö n e m i i h i r ö l -  
 r - i i n l i n a H . a H i r .

Al'ın tanıyan i Ist.Iron «sayıcı n  
 ol an l - a l ı l n r l a l o t i l e V a y i p l a r ı ,

$$P_{11} = n \cdot R_v \cdot T^2 \cdot r_{wi} \quad (17)$$

olup bura Haki alt.Prnalif akım  
 rü ronfi < \* V i b a r p n l i « i y i a v p p i l -  
 i n i Ş i r

PH o) oH.rit kayıpları i «<sup>2</sup>, l f a y ı p  
 faktörü lan r i ve V a h i o n u n m e t r e  
 h a c ı n a l f . i p a ^ i f e « i H e C . o l i n a i t -  
 i z e r e ,

$$p_H = n w . < 1 . V > T W I < 1 r t >$$

h a g ı n t ı « s ı y l a h e s a p l a n ı r . F < u r a H a  
 H a V . i l e t . k e n i e k ı l ı f a r a s ı n H a k i  
 r j e i - i l i m f a r k ı n ı f V I 5 w i l e t i m  
 f f - o k a n s ı n ı f r a r l / = : 1 g ö s t . e r m e k t . e H i r .

Kabl on' m : ^ v f i k t . i f i ş ı l r j r e n r i ,

$$S_v = \frac{AT}{P + F} - S_r \quad f \hat{=} R l n / W I$$

< 10 >

barj nt ısıyla « l r l o » d i l i r . R 1 1 H i -  
 p p p r , y a l ı t . l c a n ( - > ö l ü m l e r i n Ö T " J I I I  
 i ş ı l r l i r e n r l e r i y e ( " y a 1 i t V a n ı n  
 r r , a r a | < o r i j v i i t - i t y a l ı t . V a n ı n o -  
 H i ş V i 1 i f i n / T ' ) t . a n ı n ı l a n ı r .

Y e r a l t ı i c a h l n ^ i n n ı r - e v r e l e y e n  
 l . n p r a r j ı n i « 1 1 H i r e n < i ,

$$S_F = \frac{F}{r - r r} \cdot l n \frac{r / t h}{D} \quad T \hat{=} d m / W I$$

( 20 )

barj nt ısıyla e l r l e e H i 1 i r . T o p r a -  
 ğ ı n i ş ı l H i r e n i ~ i l r a b l o r - a p ı n a ,  
 k a b l o n u n 7 P ı H ı n H e n o l a n y ü k s e k l i -  
 r t i n e v e t . o p r a r p n r i t r j i i l i ş ı l H i -  
 r e n e r i n e 1 " r r " > b a r j l ' H i r .

Havanın i = : 1 H i r e n < i d e ,

$$S = \frac{1}{m \cdot D \cdot (i \cdot \alpha + f \cdot \alpha_v)} \quad r \hat{=} m / w i$$

< 11 >

barj nt ısı y i a j - i p ç a p l a n i n a k t a r l ı r .

Pütrarla et ve r « « ü r a ^ t y i a k o n -  
 v l : s i y o n v e r a H y a ş v n n l a i « i v a -  
 y i 1 i n V a t . s a y ı l a r ı n ı ; t " \ o f r U  
 k - a b i o H ö ş e n m e - : t k 1 i n e b a r j l ı f a t . -  
 « s a y ı l a r ı g ö « ; t e r m e V t e H i r . f 2 . , M 1

Kabloların a l r i m t a c ı m a k a p a « i -  
 t e l e r i n i h p r a p l a m a y a y a r a y a n b i r  
 a 1 r j o r i l m a , " : > e k i l " i r ' H e v e r i t m i ş -  
 t i r

**A- SAYTSAL ÖRNEK**

RuraHa . son yıllarHa üstün  
 e l e k t r i k s e l ö r e 1 1 i k 1 e r i n H e n ö t ü -  
 r i i t . e r r i h e H i 1 e n X I . P R y a 1 ı t l r a n ı 1  
 b i r n r ( . . i ç e r - i l i m k a b l o ö r n e r j i  
 a l ı n m ı ş t ı r . f 3 , r t 1

S < i 1 p n k a b l o t . e k H a m a r 1 1 . a l i i -  
 m i n y ı m ı i 1 e t . k p n l i v e p F H ı ş k ı -  
 l ı f l ı l v l " O m m ' k e ş i t i n H e o l u p  
 b u k a b l o H a n . \* \* a r l e t . a r ı k h a v a y a  
 H ö ş e i m e k s u r e t i y i e i i r ; f 3 7 i 1 j 1 P -  
 t i m r j e r r o l f 1 e ş t i r i 1 m e k t e H i r . f C a b -  
 1 o l a r H a k i h i s t . e r e ^ i s v e H i e l e k -  
 t r i k k a y ı p l a r ı i h m a l e H i . 1 m e k . t , e -  
 r l i r . F c u n a ç j ö r e ,

( 4 . ) b a r j ı n t ı ş ı n H a n v = 0 , 0 0 r 2 4 -  
 C t " ) b a r j ı n t ı ş ı n H a n 0 , 0 0 0 0 . ? ( 4  
 ( 7 t b a r j ı n t ı ş ı n H a n 0 , 0 7 f i  
 v e b u n ü n s o n u r u n H a ( " l » , ( p . ~ ) v e  
 b a r j ı n t ı 1 a r ı n H a n ,

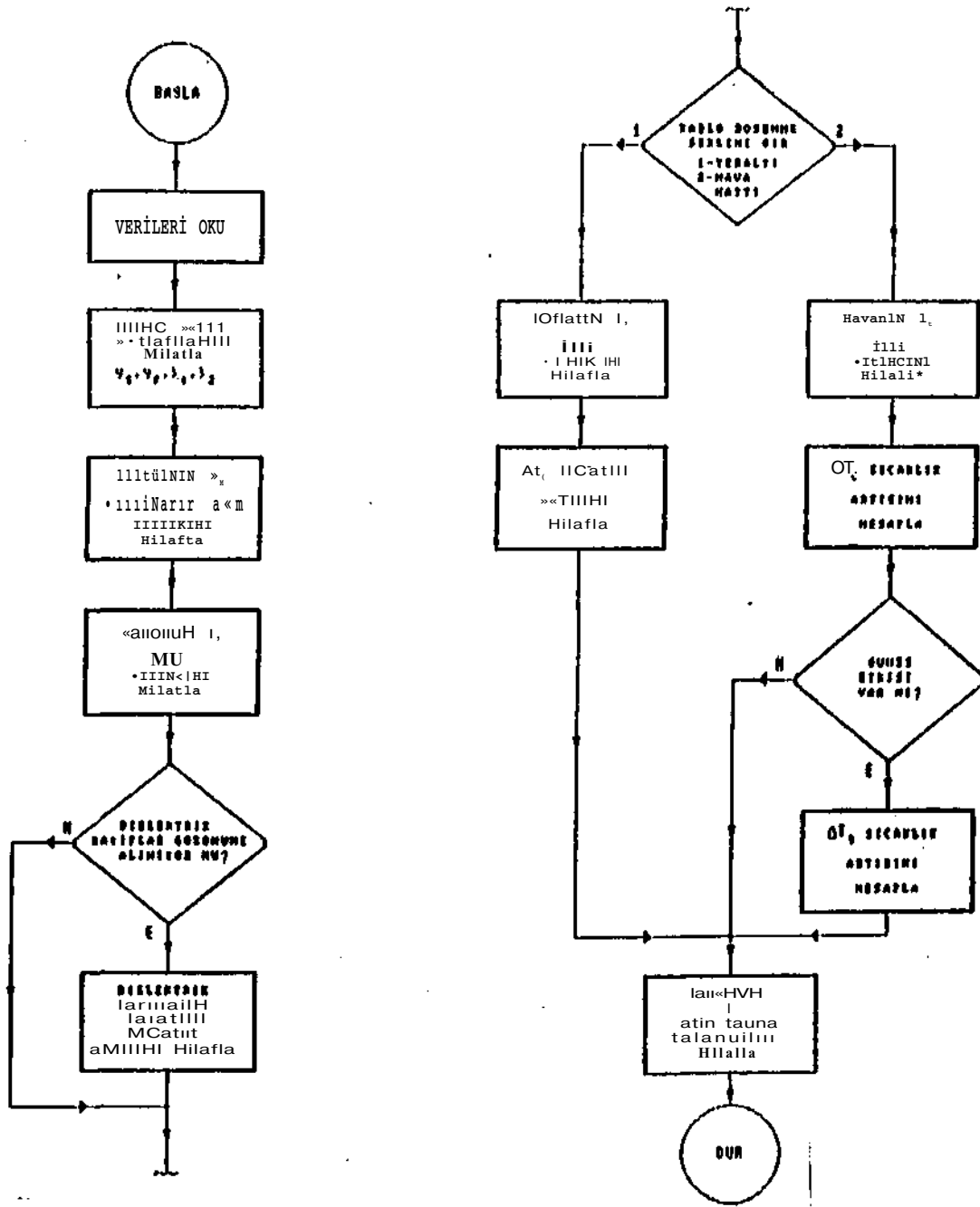
$$v \hat{=} 0 0 2 . 5 = 0 , 2 8 5 O / k m ;$$

< " l . \* ) b a g ı n t 1 s ı n r l a n S ' = O , i 4 f t " c : m . W  
 < ? A ' ) . < « ? » v e < 1 R > b a r j ı n t 1 1 a r 1 n H a n  
 H a , b i 1 r j i s a y a r y a r d ı m ı y l a y a p ı 1 a n  
 r - o k s a y ı c l A i t . e r a s y o n s o n u r ~ i m H a ,

- o r t a H a k i k a b l o i r i n ,  
 > = ö , 7 0 d ( " . m / W v e T = A 2 . 7 A ,  
 - y a n 1 a r H a k i k a b l o l a r i 1 7 i n ,  
 ^ = 0 . 1 " l - 7 ' V : m / W v e T = A : < r i A e l H e  
 e H i 1 m i ş t i r . f 6 1

V a p ı n < 1 f i r m a l a r ı n v e r H i r j i r l e -  
 r j \* r i s e A r l ' < A ' H i r . T 3 1

H e - a p y o l u y l a e l H e e H i 1 e n s o -  
 n t ı r ; 1 a r b u H e r j e r e r - o k y a k ı n o l u p  
 a r a H a k i f a r k ı n y a p ı l a n i h m a 1 l e r -  
 H e n ( " h i s t e r e ^ i s k a y ı p l a r ı , H i e -  
 1 e k t r i k k a y ı p l a r 1 \* > k a y n a k 1 a n H ı g ı  
 c i S y l e n e b i l i r .



Şekil 7. Formülün Akım Tefimü Kopuü Ulerinin Hocıpl n.mam ndo.  
Kull.nm.l.fn Bir Algoritmı

ç4 pl al i 1 ot kmı vo l-ahînl arını hnyut.lanHırı 1 m;«nHa al-im ta<^i ma kaparit<^1 pı-ini ri H» rıöT- nnüüHo tut il ma<=i. kullanılarak !\*"-=; it ri>^ — gprlprini n holir 1 Ptımo=i nHo nnom— ti hir rSl r:11 ol maki aHır Ha<^a=; hir alcı m iif>r<|-,ıru n y-^P' .`ahi 1 ııo— <^i i17r11, rıplak i 1 ft.lfftn VP kahl o- ların akım ta51 ma1 snns ot Vi<• (» bul 1 man r'akt'nı- 1 or ayr1 nt.ı11 hi- rj mHo inrol onııol i Hir . TI (» lepn VP V:ahl nl arını a k 1 m t:acı ma l fspaçı t o — 1 \*»ri , hiıytik 'nl rıjrjo hat.l ar«Sa< i kayı p1 ^rA har-ı 1 1 nl maHaHır .K'ah 1 o «Si «:toml or-i nH»\*. i 1 ot.k^n lıfSl iiml <=1— Hoki Triıl o tayı pl arından ha?şka yal 1 tlan lıol iiml orHoki Hi ol PHTİK l-ayı pl arı r\pt rñi-rñüno al inak 0» — re-tir F<:nl arını Hi 51 nHa i 1 <of kon vo nrt.am c:ırsHıqı f"arır 1 i 1 o kahl n v» r>rtamin 1 >1 Hir^tır-1 e\*ri H> al in ta<^i ma kaparit:»^i n\*» ^t.H yaparlar . Ayrıra hava hatt^i Vah- ini ar 1 nHa , niirif^ç; ısınlarının »t— lı çıyi » vpya HF>ıll T ÇOVI y»rıl nH»tı nl an yük=:P1 l i V xvi\ 1 lcr-a r\^ hu akım Hcr|r»ri »7.11 mal'i adır .

ilava ha) tı il»=tlf^>=>nl»ariy1»=> kah- in «:i<:temi Pı-ini ri airim Ucuma Va— pa<:it.^1 «t i hal" 1 tııı nHan hir lcar «51 — 1 a «t 1 r ma <s 1 ya pı 1 1 rçaj alalc 0"" r i 1 i nH^ 1-ahl n «i ^t pmiPri . melra — riik' Hayam l'1 1 1 k prnhl ^mi ni 11 nl — nama=: 1 nHan^nt iirıi yiıl<:\*=lc i 1 of,lcfatı- 1 irjo t;alıp i 1 <f W »>rl ^r taç: 1 r 1 xt~ \ve\* hunim «5nnii"-ii nlaralr Ha hava har.t 1 i 1 Pl>pnlf>rin» nazaran Haha yiil =>f aVı m ta=:ı ma Vapa^it f<:i n^ <:ahi p olurlar .

(V> r ilim H^rj^ri yiilr^P>l Hi rti H»^ i ^r» Vahi nl arHa yal 1 tı m prnhl »m — 1 f>ri HnqınaH.a V^ Hie\* \ \*\*Vt:1 ilr lra- yı pl arı art maH.a nl HitrjunHan nrt.a vo viV=e>V nğori 1 imi orrip hava hat.— t 1 rıplak il»=>t l r»nl <=ri ayn 1 l o - =; 1 t t r."y: i l-ahl nl ara nranla Haha yi j<=ıo- alrı m t.ıı;ı ma icapa<:it <=! »ri — »» \*scahi p ni ur 1 ar

F1 1,rai 1 «ıııa Ha <=ı e\* al 1 rian ha<:;ap yñnt »m i 1 1 > >1 n\*» pri i 1 f n «snıvr\ a — r 1 n. rtprrıolf ,lorif=>r 1 \*»r 1 «= nl Hulrr:a hiıııit: hir val< i .«s l r 1 1 l r ^arıl arlın' gn?l pınıolı t.frii r. i^\*»l r-f l r H>»pa 1 er i «ra arı~aV rlon^y ynl ıryl a =;apt.an- mat t.ar'ur

1. AYIÇI, (i V. . Hava Hal 1 arını n AK' 1 m Yıil' 1 o n mo Yet pn<ı| i , Kİ plct.rnt « V-rii V Mw , Mar-t | Q'r<
2. HİT WH("j] T.; I. . pnw\*»ı« O^h !,=;< ; ^ınrı Th»i»» Appli<:> \*i.ion, Sli«m^M<s, 1 v70
- M HFİNİİÖİD, I. . Fowp>r- CalııPK .ıı, | TIİPIİ^ App 1 irat. inıı.Si ^»ın»r«5 , 1 v00
4. r-İÖNFN. T. , Rıprt.rin Pnwpp Tran«s- missirtı Syst.\*»»»» Fng. . 1 987
5. V/FRHV, R M. .Pr<frlırt.inn of Return Currents & İ,ns<!Ps ırı Underwater Single-Core Arııııı>\*»>H ACI Clahıes Wit.h l.^f-g\*» SparıııjRıjR . P. System Research, Vol 1 O, No 1 . J?»ıı . 1 986

<S DA<4 AR, H. Y. , » raltı K'ahl nl arı - n 1 n AV 1 m Ta<şima k'apa=: it <=ı i . YW • <= olr f . i c; a n «TF> v j . T . T . 11 . İ P M İ

H.Yalçın DAĞI AR



İ.Cipf.^ İst.anhtıl dnıııın— 1 uHur. l &L<?: yi 1 i nHa ^a i nt. T ns o p h l i ^\*=; i ' - ni . İ ME<W rı^ T T t l Fıok t.rik Fakiri t.pci ' Mİ hi tır Hi . İ QHO yılı nHa morhum Prnf Dr (ıııpr Vura 1 AY<ıFN ' in vorHi - gi " <Tlıı Kahl nl arını n Aki m Ta? ' " i a kapa «it <= — İ pri "knıı=: unHa yiil =: ok 1 i «s a n> t OT- ra 1 i <f ma 1 arını a ha 5 l adı Hal on CF.nFTAÇ İ.TP). ŞTT . ' nHo projp miıhPııHi «i nl arak ra 1 1 «jmak t ad 1 r .

Prnf . P>. N^«sr in TA^k'ArU

T. T. 11. Fıok t.rik -F 1 ok- tron.İV Fak . Fıok t.rik Müh. F<nl ümi.i. F 1 ok t.rik TP<: İ <S 1 f=ri Ana Fi 1 im Pa 1 1 ' nHa İ rıj rpt. i in ijyo^ i Hir .

F1 « k t.rik CMic Si == tom 1 or in in analı — Tı . pları anmadı vo npt imı va<=: ynnu Vııııı«sııııda rai 1 şıııalftadı r . ^nnur- 1 anını «? = HnVt.nra , r>O'a yakın yük- «İok 1 i «san"=, t OT- i yñnot mi ştir Ayn 1 knn 11 arHa <O' 11 a «şan yayın vo ra — 1 i 5 ıııa<s.ı V7>r Hir

## ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÖZLENEBİLİRLİK İNCELENMESİ

Müşfik TOMAÇOĞLU  
FARPLAS A.Ş. Esenyurt AVCILAR

Prof Dr Nesrin TARKAN  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik Elektronik Fakültesi

### ÖZET

Sayısal yöntemlerin gelişmesi ve bilgisayar kullanımının yaygınlaşması, güç sistemlerinin güvenilir olarak çalışmasını sağlamak amacıyla kurulan kontrol merkezlerinin etkinliğini arttırmaktadır. Bu merkezlerin işlevleri iki ana grupta toplanır. Programların bir kısmı veri ve ölçümleri doğrudan doğruya kullanarak şebekenin durumu hakkında bilgi vermektedir. Durum kestirimi, hatalı verinin belirlenmesi, gözlenebilirlik analizi bu gruba dahil edilebilir. İkinci grupta ekonomik yükleme, reaktif güç optimizasyonu çalışmaları yer almaktadır.

Bu çalışmada gözlenebilirlik analizi incelenmiş ve bir matematiksel model verilmeye çalışılmıştır.

### ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÖZLENEBİLİRLİK

#### 1. GİRİŞ

Güç sistemine işleme şartları hakkında doğru ve eksiksiz bilgi alabilmek kontrol merkezlerinin sahip olduğu olanaklarla orantılıdır. Bir kontrol merkezinin temel işlevi olan emniyet gözleme fonksiyonunun amacı şebekeye ilişkin verileri toplamak

ve kontrol merkezlerine aktarmaktır. Bu merkezlerin teknolojik olanaklarla emniyet faktörünü belirli bir seviyenin üstünde tutabilmeleri, kontrollerle doğrudan bağlantılı olan yük akışı, kısıtlılık analizi ve durum kestirimi gibi fonksiyonların da emniyet kavramı içine alınmasına olanak sağlamaktadır. Tüm bu fonksiyonlara ilişkin verilerin ortak olması güç sistemine ilişkin yazılımlarda büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Bir şebekeye ilişkin veriler değerlendirilerek şebekenin tüm baralarında gerilim değerleri ve bu gerilimlerin faz açıları belirlenebiliyorsa incelenen şebeke gözlenebilirliğe sahiptir. Bu değerlerin aynı zamanda durum kestiriminde de kullanılması gözlenebilirlik analizi kavramının önemini arttırmaktadır.

Gözlenebilirlik analizinde kullanılan veriler güç akışı değerleri ve şebekenin topolojik yapısıdır. Bu incelemede amaç eldeki verilerin yeterli olup olmadığını belirlemek ve gerekirse ek ölçüm sayısını ve bu ölçümlerin yapılacağı yerleri belirlemektir. İncelenen şebekenin çok büyük boyutlarda olması halinde bu işlem şebeke bir kaç bölüme ayrılarak veya dış şebekeye ilişkin modeller kullanılarak yapılabilir. [1,2,3]



## 2. ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÖZLENEBİLİRLİK

Gözlenebilirlik analizinin amacı bir devrede yapılan ölçümlerin sayı ve yerlerinin ele alınan sistemin durum vektörünü oluşturmak için yeterli olup olmadıklarının belirlenmesidir. Bu analiz sonucunun olumlu olması halinde devrenin gözlenebilir özelliğe sahip olduğu anlaşılacaktır.

### 2.1. Yaklaşık Model

Bara sayısı  $n$  olan bir güç sisteminde statik durum vektörü

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} \underline{x}_\delta \\ \underline{x}_v \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

ifadesi ile verilmiştir.

Burada  $\underline{x}_\delta$  referans alınan baraya göre diğer bara gerilimlerinin açıları gösteren  $(n-1)$  satırlı matristir.  $\underline{x}_v$  ise bara gerilim genliklerini veren  $n$  satırlı matristir. Statik durum kestirimi için kullanılan ölçü modeli

$$y = h(x) + n \quad (2.2)$$

şekindedir. [4]

Statik durum kestirimi ölçü vektörü

$$\begin{bmatrix} \underline{Y}_p \\ \underline{Y}_a \\ \underline{Y}_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{h}_p \\ \underline{h}_a \\ \underline{h}_v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{n}_p \\ \underline{n}_a \\ \underline{n}_v \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

bileşenlerine ayrılır.

Bu ifadede  $\underline{Y}_p$  ve  $\underline{Y}_v$  aktif ve reaktif güçlere ilişkin ölçümleri,  $\underline{Y}_v$  ise gerilim genliklerine ait değerleri belirtmektedir,  $n$  matrisi ise bu değerlere ait gürültü vektörüdür.

Ele alınan güç sisteminin şu şartları sağladığı kabul edilirse

- İletim hatlarında  $x/r$  oranı yeterince büyüktür.
- Hatlarda gerilim açılan yakındır.

Bu şartları sağlayan bir sistemin  $l$  adet iletim hattı ve  $n$  adet baradan oluştuğu kabul edilir ve hatların  $n$  eşdeğeri alınırsa şu matrisler tanımlanabilir.

- Hatların admitanslarından oluşan  $1 \times 1$  boyutlu  $\underline{Y}$  admitans matrisi

- Hatların toprak kapasitelerinden oluşan  $21 \times 21$  boyutlu  $\underline{Y}_s$  matrisi

-  $\underline{A}_1$  düğüm matrisi

$\underline{C}$   $n \times 21$  boyutlu şönt admitans orlara ilişkin düğüm matrisidir.

$\underline{M}$  ve  $\underline{M}_a$  matrisleri güç akışı ölçümleri ile elemanların ilgisini belirlemektedir. Benzer yol ile şönt elemanlara ait  $\underline{N}_a$  matrisi tanımlanmıştır.

Bu tanımlarla elde edilen matematiksel model şu şekilde yazılabilir :

$$\underline{Y} = \underline{H} \underline{X} + \underline{C} + n \quad (2.4)$$

Bu tanımda

$\underline{H}$  matrisi  $\underline{H}_r$  ve  $\underline{H}_v$  den oluşan matristir.

$$\underline{H} = \underline{M} \underline{Y} \underline{A}^T \quad (2.5)$$

$\underline{5}_p \gg *$

$$H_v = \begin{bmatrix} M & Y_B & A_i^T & -2N & Y_a & C_{or}^T \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & H_v & & \\ & & & & & \end{bmatrix}$$

olarak tanımlanmıştır.

Bir şebekenin gözlenebilirliği 1-ğ'i sayısal ve cebirsel gözlenebilirlik olarak iki ana bölümde incelenebilir. Şebekenin cebirsel olarak gözlenebilmesi için 2.4. de görülen H matrisinin rangının (2n-1) e eşit olması gerekmektedir.

Sayısal gözlenebilirlik cebirsel gözlenebilirlikten farklı olarak ele alınmıştır. Bu tip bir için (2.4) de görülen denklemin bir başlangıç değeri için çözülmesi gerekir.

Sayısal gözlenebilirlik cebirsel gözlenebilirlikten farklı olarak ele alınmıştır. Bu tip bir şebekenin sayısal olarak gözlenebilmesi için 2.4 de ki denklemin bir başlangıç değerine göre çözülmesi gerekir.

Eğer bir şebeke sayısal olarak gözlenebilirse cebirsel olarak da gözlenebilmektedir. Fakat bunun tersi doğru değildir. Cebirsel gözlenebilirlik sayısal gözlenebilirlik için sadece gerek şartı sağlamaktadır. H matrisinin yapısının çözüme elverişli olmaması durumu bu farklılığı açıklamaktadır. Ancak güç sistemlerinde yapılan analizlerde normal şartlarda cebirsel gözlenebilirlik bulunması halinde sayısal gözlenebilirliğe ulaşılmaktadır.[5]

## 2. 2. Topolojik Gözlenebilirlik

Bir şebekeye ilişkin düğüm admitans matrislerinin bilinmesi o devreye ilişkin temel çevre matrisinin bulunması için yeterlidir. Bu nedenle cebirsel gözlenebilirlik ile topolojik gözlenebilirlik kavramları arasında bir paralellik bulunmaktadır.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

Ele alınan devre grafına ilişkin temel çevre matrisi B olarak verilirse dal admitans matrisinin tersi  $Y_B^{-1} = Z_B$  ise

$$\begin{bmatrix} M \\ B Z \\ I B \end{bmatrix} \text{ nin rangı } = \begin{bmatrix} M Y A \\ B I \end{bmatrix} \text{ nin}$$

$$\text{rangı} + (1-n+1) \text{ yazılır. (2.6)}$$

Bu yaklaşımla bir devrenin gözlenebilirliği ele alınan

$$\begin{bmatrix} H \\ B Z \\ I B \end{bmatrix} \text{ matrisinin hat sayısına}$$

eşit olmasına denk hale gelmiştir.

Ele alınan devre grafı bir ağaç ise çevre matrisi kurulamayacak, dolayısı ile devrenin gözlenebilirliği M matrisinin rangının ı ye eşit olmasına bağlı olacaktır. Bu teoremin tersi de doğru olacağından gözlenebilir özellik taşıyan bir grafa ait güç akışı ölçümlerine ilişkin matrisin rangı (n-1) olacaktır.

Gözlenebilirlik kavramının topolojik olarak açıklamak için kullanılan bazı kavramların verilmesi gerekmektedir. Ele alınan devrede sadece dallardan oluşan alt graf çevre oluşturmayan alt graf "forest" olarak tanımlanmıştır.

Herhangi bir X devresinde o devreye ilişkin ağaç T ile Bu devrede üzerlerinde ölçüm ölçüm yapılan baralar  $\hat{t}$  ile gösterilsin. Güç akışı ölçümleri yapılan "forest" F ile verilsin. Bu durumda T ye ilişkin şu tanımlar verilebilir.[6]

tki ölçüm yapılmamış düğüm arasında T nin elemanlarından oluşan yolda en az bir adet üzerinde güç akışı yapılan eleman varsa ve bu tüm yollar için geçerli ise ağaç yol özelliğine sahiptir denilir.

Ele alınan ağaca ilişkin tüm elemanlarda güç akışı veya bara güçleri biliniyorsa o ağaç için ölçme fonksiyonu tanımlıdır.

Bir ağaca ait ölçüm matrisinin rangı o ağacın elemanlarının sayısına eşit ise o ağacın rangının dolu olduğu söylenir.

Ele alınan T ağacının rangı dolu olsun ve bu ağacın dışındaki tüm düğümlere ilişkin veriler bulunsun.

Bu durumda o ağacı içine alan her ağacın rangı da dolu olacaktır. Bu özelliği gösteren bir T ağacı kritik ağaç olarak tanımlanmıştır. Bu tanımdan bir devrenin gözlenebilir olması için bir kritik ağaç içermesi gerektiği sonucuna varılabilir. Böyle bir yaklaşımda bulunabilmek için ölçme yapılmamış düğümleri kritik ağaca dahil ederek gözlenebilirlik analizi yapılabilir.

Yapılan ölçülere ilişkin "forest" F ise , F in haralarından oluşan düğümlere ait ölçmeler , eğer söz konusu bara sadece F e ait elemanlarla bağlantılı ise ölçmeler ölçüm matrisinin rangını değiştirmeyecektir, bir baradan yapılan ölçüm eğer o bara F ile çevre oluşturmayan en az bir elemana komşu ise sınır ölçüm olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak rangı dolu ağaçta ölçüm yapılmış bir düğümle ölçüm yapılmamış bir düğüm arasında , yapılan ölçümün sınır ölçüm olması şartı altında ağacın güç akışı ölçümleri yapılmamış dalların-

dan oluşan bir yol vardır.

### 2.3.Gözlenebilirlik algoritması

Gözlenebilirlik algoritmasının açıklanabilmesi için eşdeğer sınıf kavramı öngörülmüştür.

Göz önüne alınan bir G grafında B grafı G e alt bir alt graf ise ; B alt grafındaki eşdeğer sınıf içeren elemanlar şu özellikleri gösterirler :

- G grafına ait iki düğüm arasında B grafının dallarından oluşan bir yol varsa bu iki düğüm aynı eşdeğer sınıfın elemanlarıdır.

- G alt grafına ait olan fakat B alt grafında hiç bir dala bağlantısı olmayan baralar tek bir sınıf oluşturur.

Gözlenebilirlik analizinde kullanılan yöntem , bara güçleri incelenmesinden yola çıkarak tek bir eşdeğer sınıf elde etmektir. Bu amaçla - yapılan bara güçleri inceleme sinde şu yol uygun görülmüştür.

1. İncelenen graftaki tüm dallar numaralanır.

2. Güçleri bilinen tüm dallar belirlenir.

3. Her baranın bağlı olduğu dallar o bara için oluşturulan dal listesine alınır.

4.Güçleri bilinen baraların dal listesi ele alınır. Bir baranın dal listesindeki tüm elemanlar , o alt grafın ya da onu tamamlayan grafın elemanı ise o bara incelemeye alınmaz.

Bu incelemelerde ele alınan haraların sayısı m ile gösterilir.

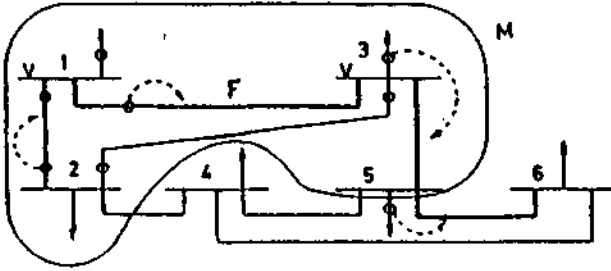
Yukarıda izlenen algoritmada ikinci aşamada m adet bara gücünü dallara karşı düşürerek gözlenebilirlik araştırılacaktır. Bu işlem şu şekilde özetlenebilir :

1. Her bara gücü kendi uygun üstesinde bulunan dallardan birine karşı düşürülür. Böylece m adet dal ve bara gücü çifti elde edilir.

2. Güç akısı değeri bilinen dallar ve bara güçlerinin karşı düşürüldüğü dalların birlikte ele alındığı genişletilmiş graf için eşdeğer sınıf araştırması yapılır.

3. Tüm olasılıklar denendiği zaman eşdeğer sınıf sayısı devre gözlenebilir değildir.

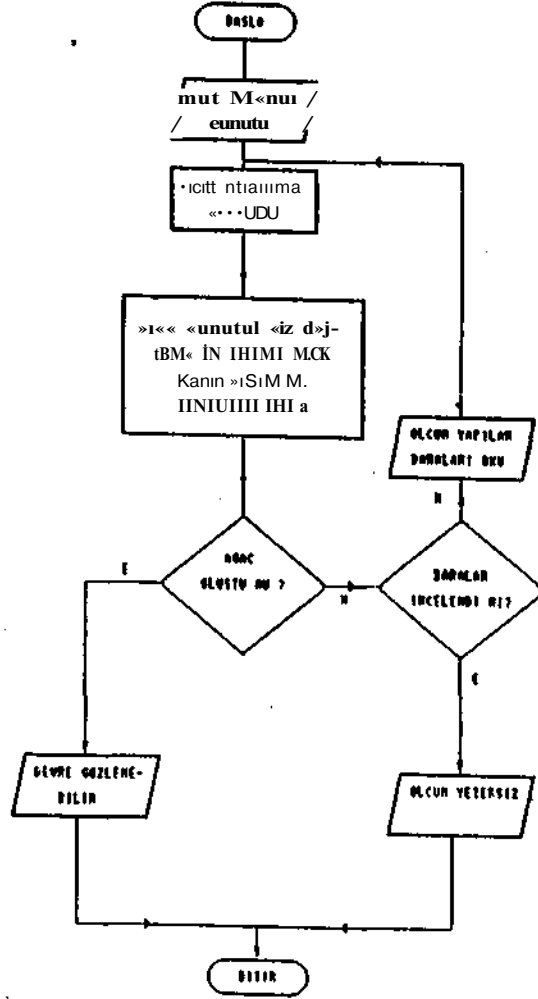
Şekil 1 de verilen devrede bu süreç gösterilmiştir. Güç ölçümleri çift olarak alınmıştır. Rangı dolu olan bir ağaç olmaması nedeni ile devre gözlenebilir değildir.



Sekil 1. Gözlenebilir olmayan devre

Burada rangı dolu olan bir "forest" kalın çizgilerle gösterilmiştir. Devrenin gözlenebilir olması için yapılması gereken ölçüm sayısı birdir.

Gözlenebilirlik algoritmasında her bara kendi üstesinden bir dalla işlem görmektedir. Bu algoritma şekil 2 de verilmiştir.



Sekil 2 Gözlenebilirlik algoritması

Bu algoritmada bara ve dallar arasında oluşturulabilen tüm birleşimler denendiği için algoritma gerek ve yeter şartı sağlamaktadır. [7]

### 3.SONUÇ

Gözlenebilirlik analizinde kısa sürede doğru sonuca ulaşılması ölçüm yapılan haraların uygun s çilmemesi halinde uzayacaktır, özellikle ölçüm yapılmamış bir hattın her iki barasında güç akışı ölçümleri yapılmışsa şebekenin yapısına bağlı olarak sonuca ulaşmak bir çevrim gecikebilir. Yapılan sayısal araştırmalarda bara ve elemanların uygun numaralandırılmasının bu gecikmeyi önlediği görülmüştür.

Gözlenebilirlik analizi incelemelerinde ele alınacak şebekelerin topolojik yapısında olabilecek değişiklikler genelde bir veya bir kaç hattın devreye girip çıkması ile sınırlıdır. Bu durum göz önüne alınarak bara ve eleman bağlantıları program içinde sabit kabul edilir. Bu şekilde programın hızı artmaktadır. Sadece yapısal

değişiklik halinde bunu bilgisayara bildirmek yeterli olacaktır.

### KAYNAKLAR

- 1.ANZOLA , CHEN ... Application of the new technologies to improved systemn operation, CIGRE Symposium 11-85 ,320-03 .DAKAR
2. LIACCO ... The impact of security of power system., CIGRE Symposium 39-83 , Florence
3. MERLIN ... Evaluation de la securite des reseaux en temps reel CIGRE Symposium , Florence 1983
4. KRUMPOLZ, CLEMENTS ... Power System observability : A practical algorithm IEFÉ Transactions on power apparatus and system Vol 99, no 4 1980

1158

5.IIOLIIN , ... l:xperience with the use of power system state estimation , CIGRE Symposium 39-89 BANGKOK ,1989

6.CUTSEM , ... A simple algorithm for power system observability and related fonctions, CIGRE Symposium 39- 83 , 101-05 Florence 1983

7.TOMAÇOĞLU M , Elektrik enerji sistemlerinin bilgisayar destekli incelenmesi ve gözülenebilirlik analizi , Yüksek Lisans Tezi



Müşfik TOMAÇOĞLU

Farplas A.S-kuru lusunda proje sorumlusu olarak görev yapmaktadır. l.T.ü Elektrik fakültesinde lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı fakültede Prof. Dr Nesrin TARKAN yönetiminde yüksek

lisans çalışması yapmıştır. Halen aynı üniversitede doktora çalışması yapmaktadır.

Prof.Dr. Nesrin TARKAN

l.T.ü. Elektrik Elektronik Fakültesi .Elektrik Müh. bölümü .Elektrik tesisleri ana bilim dalında öğretim üyesidir.

Elektrik güç sistemlerinin analizi, planlanması ve optimizasyonu konusunda çalışmaktadır. Sonuçlanmış dört doktora ve atmışa yakın yüksek lisans tezi yönetmiştir. Aynı konularda otuzu aşan yayın ve çalışması vardır.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

Aydojjan Ö/DKM! U

I.T.Ü. Klekfrik - F.Iokt.ronik Fakii I1.osi  
Klokl.rik Mühendisliği Holümü  
Cürnüşsiyu / I. STANHUL

ÖZET

Geniş bir birleşik şebekede optimizasyonu işleminin çok karmaşık ve zaman alıcı bir işlem olması nedeniyle, sistem eşitliklerinin ve değişkenlerin amaç ölçütüne uygun olarak sınıflandırılması yeğlenir [1,2]. ikincil sistem eşitliklerinin ihmal edilmesi ve yaklaşık hesap tekniklerinin kullanılması sayesinde hızlı ve güvenilir bir yakınsama sağlanmasına karşın, bazı sakıncalar da doğabilmektedir. İki sakıncalardan biri de aktif güç optimizasyonu sürecinde enerji iletim kayıplarındaki değişimin belirsizliğidir.

(Bu çalışmada enerji iletim kayıplarının ek bir kısıtlama olarak dikkate alındığı bir aktif güç optimizasyonu gösterilimi ve bazı örnek sistemler üzerindeki deneme sonuçları verilmiştir.

1. AKTİF GÜÇ OPTİMİZASYONU

Enerji iletim sistemlerinde, iletim kayıplarının optimizasyonu reaktif güç optimizasyonu; ısıtıcıların saatlik yakıt giderlerinin optimizasyonu ise aktif güç optimizasyonu olarak bilinir. Bu iki tür optimizasyon işleminin ardışık olarak yinelenmesi sonucu kayıp ve saatlik yakıt giderlerinin birlikte optimizasyonu ayrıştıırılmış optimal yük akışı (Decomposed Optimal power dispatch, active and reactive power optimization) olarak isimlendirilir.

Aktif güç optimizasyonu, NG adet üreticinin aktif güçlerinin  $(P_{Gi})$  polinomsal bir fonksiyonu olarak

$$f_p([x_p], [u_p]) = \sum_{i=1}^{n_p} f_{P_i}(P_{Gi}) \quad (1)$$

$$= \sum_{i=1}^{n_p} a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i$$

şeklinde verilen saatlik yakıt giderini minimum yapan ve

$$C_{g_0} I = [g_p([x_p], [u_p])] = [0] \quad (2)$$

eşitliklerini ve

$$[h_p] = [h_p([x_p], [u_p])] \geq [0] \quad CD$$

eşitsizliklerini sağlayan  $(n_p)$  kontrol değişkenlerinin birleştirilmesi olarak tanımlanır [1-3]. Burada  $[u, 1, [x, 1]$   $[g_p, 1, [h_p, 1]$  ve  $[0]$  sırasıyla kontrol değişkenleri, durum değişkenleri, sistem eşitlikleri, sistem eşitsizlikleri ve sıfır vektörleridir.

Kontrol değişkenleri, salınım üretici dışındaki üreticilerin aktif güçleri; durum değişkenleri ise bara gerilim açılarıdır.

$[g_p, 1]$  sistem eşitlikleri vektörü,

- $c_{i1}$  : i. bara verilen aktif güç,
- $c_{i2}$  : i. baradan çekilen aktif güç,
- $c_{i3}$  : i. baranın gücü,
- $c_{i4}$  : i. baranın karmaşık gerilimi,
- $V_i^*$  : i. bara geriliminin eşleniği,
- $Y_{i,j}$  : Bara admilans matrisinin  $(i, j)$  elemanı,

$N$  : Bara sayısı

olmak üzere, salınım barası dışındaki  $(N-1)$  bara ile ilgili aşağıdaki aktif güç dengesi eşitliklerinden oluşur.

$$g_{P_i} = P_{G_i} - P_{L_i} - P_i = P_{G_i} - P_{L_i} - \Re(V_i \cdot \sum_{j=1}^N Y_{i,j} V_j^*) \quad (4)$$

$i=2,3,\dots,N$

Enerji iletim hatlarının yüklenme sınırları  $[h_p]$  eşitsizlikler vektörünü oluştururlar.

Reaktif güç dengesini belirleyen bara gerilim genlikleri, reaktif güç üreteçlerinin çıkışları ve kademe değiştirici transformatörlerin kademe ayarları sabit alınır. Dolayısıyla reaktif güç dengesi eşitliklerinde önemli bir değişiklik olmayacağı, için bu eşitlikler optimizasyon işleminde dikkate alınmaz [3].

Aktif güç optimizasyonuna ilişkin genişletilmiş amaç ölçütü,

$$\mathcal{L}_p = f_p([x_p], [u_p]) + [\lambda_p]^T [g_p(x_p, u_p)] \quad (5)$$

nin  $f_p$ ] (Lagrange Çarpanları Vektörü),  $[x_p]$  ve  $[u_p]$ 'ye göre kısmi türevlerinden oluşan,

$$\left[ \frac{\partial \mathcal{L}_p}{\partial \lambda_p} \right] = [g_p([x_p], [u_p])] = [0] \quad (6)$$

$$\left[ \frac{\partial \mathcal{L}_p}{\partial x_p} \right] = \left[ \frac{\partial f_p}{\partial x_p} \right] + \left[ \frac{\partial g_p}{\partial x_p} \right]^T \cdot [\lambda_p] = [0] \quad (7)$$

$$\left[ \frac{\partial \mathcal{L}_p}{\partial u_p} \right] = \left[ \frac{\partial f_p}{\partial u_p} \right] + \left[ \frac{\partial g_p}{\partial u_p} \right]^T \cdot [\lambda_p] = [0] \quad (8)$$

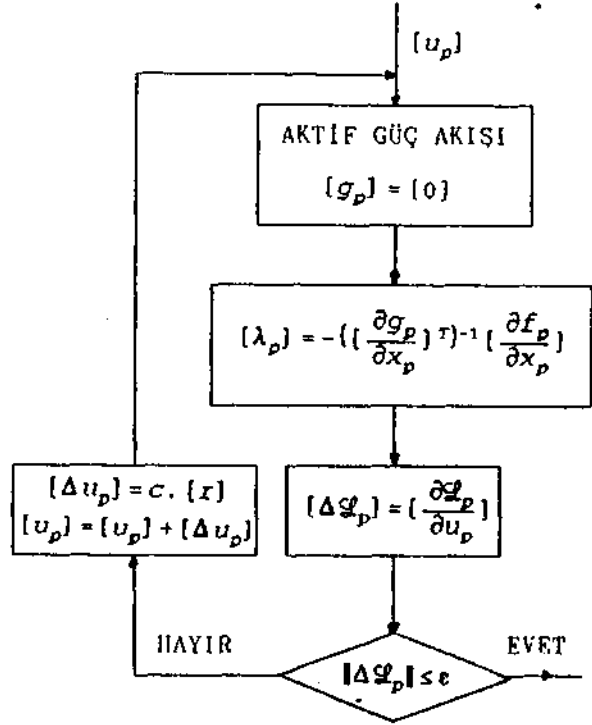
lineer olmayan denklem takımının çözülmesi ile optimal büyüklükler belirlenir. (7) eşitliğinde, amaç ölçütünün durum değişkenlerine göre türevini gösteren  $[5f_p/9x_p]$  terimi,

$$\left[ \frac{\partial f_p}{\partial x_p} \right] = \frac{\partial f_p}{\partial P_1} \cdot \left[ \frac{\partial P_1}{\partial x_p} \right] = \frac{\partial f_p}{\partial P_1} \cdot \left[ \frac{\partial P_1}{\partial x_p} \right] \quad (9)$$

şeklinde hesaplanır. Çözümün akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.

Akış şemasının giriş ve çıkış noktaları optimizasyon türüne göre değişebilir.  $[A_{>}]$  artımı ifadesinde;  $c$  ağırlıklı bir sabit,  $[r]$  ise  $[A_{>}]$ 'nin ardışık artımlar yöntemi (Conjogate Gradient Method) uyarınca belirlenen bir fonksiyonudur [3].

1160



Şekil t. Aktif Güç Optimizasyonu Akış Şeması.

## 2- ENERJİ İLETİM KAYIPLARI (EİK)

Enerji iletim kayıplarının aktif güç optimizasyonunun kontrol ve durum değişkenleri cinsinden ifadesini çıkaralım. N-baralı bir enerji iletim sisteminde EİK bara net güçlerinin toplamıdır.

$$EİK = \sum_{i=1}^N P_i = \sum_{i=1}^N P_{G_i} - P_{L_i} \quad (10)$$

$$= EİK([x_p], [u_p])$$

Taylor serisi açılımında 2 ve daha yüksek mertebeden türev içeren terimler ihmal edilerek; EİK'daki değişimin kontrol ve durum değişkenleri cinsinden ifadesi,

$$\Delta EİK = \left[ \frac{\partial EİK}{\partial x_p} \right]^T \Delta x_p + \left[ \frac{\partial EİK}{\partial u_p} \right]^T \Delta u_p \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. (11) eşiği içindeki duyarlık matrisleri (9) ve (10)

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

eşitliklerinden yararlanarak,

$$\left\{ \frac{\partial EİK}{\partial x_p} \right\} = \frac{\partial EİK}{\partial P_1} \cdot \left\{ \frac{\partial P_1}{\partial x_p} \right\} = \left\{ \frac{\partial P_1}{\partial x_p} \right\} \quad (12)$$

$$\left\{ \frac{\partial EİK}{\partial u_p} \right\} = \left\{ \frac{\partial EİK}{\partial P_G} \right\} - [1], \quad (13)$$

$$[1]^T = [11 \dots 1]$$

şeklinde basitleştirilebilir. (12) ve (13) eşitlikleri (11) eşitliğinde yerine konursa;

$$\Delta EİK = \left\{ \frac{\partial P_1}{\partial x_p} \right\}^T [\Delta x_p] + [1]^T [\Delta u_p] \quad (14)$$

elde edilir. Optimizasyon sonucunda, (2) eşitlikleri sağlandığına göre, bara aktif güçlerindeki net değişim sıfır olur. Yine 2 ve daha yüksek mertebeden türev içeren terimler ihmal edilerek,

$$[\Delta g_p] = \left\{ \frac{\partial g_p}{\partial x_p} \right\} [\Delta x_p] + \left\{ \frac{\partial g_p}{\partial u_p} \right\} [\Delta u_p] = 0 \quad (15)$$

bulunur. (15) eşitliğinden  $\Delta x_p$  çekilirse

$$[\Delta x_p] = - \left\{ \frac{\partial g_p}{\partial x_p} \right\}^{-1} \left\{ \frac{\partial g_p}{\partial u_p} \right\} [\Delta u_p] \quad (16)$$

elde edilir. Diğer taraftan (9) eşitliğinden,

$$\left\{ \frac{\partial P_1}{\partial x_p} \right\} = \left\{ \frac{\partial f_{P_1}}{\partial P_1} \right\}^{-1} \left\{ \frac{\partial f_p}{\partial x_p} \right\} \quad (17)$$

türetilir. (16) ve (17) eşitlikleri (14) eşitliğinde yerine konursa,

$$\Delta EİK = - \left\{ \frac{\partial f_{P_1}}{\partial P_1} \right\}^{-1} \left\{ \frac{\partial f_p}{\partial x_p} \right\}^T \left\{ \frac{\partial g_p}{\partial x_p} \right\}^{-1} \left\{ \frac{\partial g_p}{\partial u_p} \right\} + [1]^T [\Delta u_p] \quad (18)$$

elde edilir. Lagrange Çarpanları vektörünün evriği, (7) eşitliğinden,

$$[\lambda_p]^T = - \left\{ \frac{\partial f_p}{\partial x_p} \right\}^T \left\{ \frac{\partial g_p}{\partial x_p} \right\}^{-1} \quad (19)$$

olduğu dikkate alınarak (18) eşitliği düzenlenirse,

$$LEİK = \{ (s[\lambda_p]^T \left\{ \frac{\partial g_p}{\partial u_p} \right\} + [1])^T \} [\Delta u_p]$$

$$s = (\partial f_p / \partial P_1)^{-1} \quad (20)$$

elde edilir.  $\{W\}$  eşitliğindeki  $[dgp / \partial u_p]$  terimi aktif güç dengesi eşitliklerinin, üretic aktif güçlerine göre kısmi türevlerini göstermektedir. Bu matrisin (i,j)'inci elemanının (4) eşitliğinden ve kontrol değişkenlerinin tanımından,

$$\left\{ \frac{\partial g_p}{\partial u_p} \right\}_{i,j} = \begin{cases} 1 & j=i=2,3, \dots, NG \\ 0 & j \neq i \text{ ve } i,j > NG \end{cases} \quad (21)$$

şeklinde olacağı çıkarılabilir. Bu duruma dikkate alınıp, (20) eşitliğinde,

$$[\lambda_p]^T \left\{ \frac{\partial g_p}{\partial u_p} \right\} = [\lambda_{P_2}, \lambda_{P_3}, \dots, \lambda_{P,NG}] = [\bar{\lambda}_p]^T \quad (22)$$

büyüklüğü kullanılarak,

$$\Delta EİK = (s \cdot [I_p] + [1])^T \Delta u_p = [Z]^T \Delta u_p \quad (23)$$

bulunur. (23) eşitliği aktif güç optimizasyonunun bir aşamasında kayıptaki değişimin sistem kontrol değişkenleri cinsinden ifadesidir.

### 3. EİK KISITLAMMUT AKTİF GÜÇ OPTİMİZASYONU

Aktif güç optimizasyon sürecinde amaç yakıt giderlerini minimum yapmak olduğu için, enerji iletim kayıplarındaki değişim belirsizdir. Kayıptaki değişim, sistem parametrelerine bağlı olarak, artım yada azalma yönünde olabilir [3].

Gerçekte, yukarıda da belirtildiği gibi, EİK optimizasyonu, bu süreçte sabit alınan, diğer birtakım büyüklüklerle minimumlaştırılır. Fakat, kayıpta bir artım olmaksızın yakıt giderleri minimum yapılmak isteniliyorsa, kaybın (kayıptaki değişimin) ek bir



kısıtlama olarak dikkate alınması gerekir.

Lineer programlama yöntemlerinin kullanılmasında (23) eşitlikleri sözkonusu kısıtlamalar yerine kullanılır. Lineer olmayan programlama yöntemleri için, kontrol değişkenlerinden sadece,

$$(s.k_{p_i}) \Delta U_{p_i} \leq 0 \quad i=2, 3, \dots, NG \quad (24)$$

koşulunu sağlayanlara artırım uygulanır. Bu çalışmada benimsenen ikinci programlama yönteminde,

$$\Delta U_{p_i} = \begin{cases} p_i & (s.X_n + 1) \Delta U_{p_i} \leq 0 \\ 0 & (s.\lambda_{p_i} + 1) \Delta U_{p_i} > 0 \end{cases} \quad (25)$$

alınmıştır. Kayıp kısıtlaması, optimizasyonun sadece son kısmında yapılan bu düzeltme ile sağlandığı için, önerilen gösterilim önemli bir zaman kaybına yol açmamaktadır.

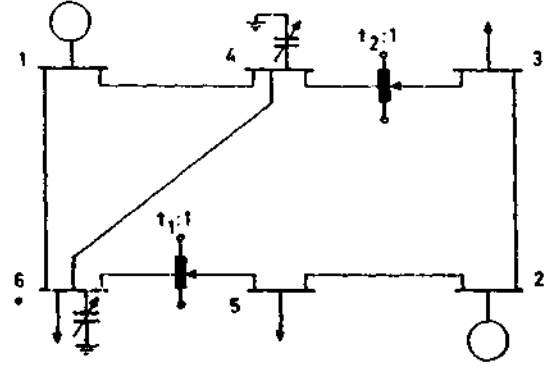
#### 4. ÖRNEK SİSTEMLER ÜZERİNDE DENEMELER

Önerilen gösterilim, ayrıştırılmış optimal yük akışı yöntemi benimsenerek, IEEE 6-bara ve IEEE 30-bara örnek sistemleri üzerinde denenmiştir.

Minimum maliyet (MINMA) probleminde alışlagelmiş reaktif güç optimizasyonu-Elk minimizasyonu, aktif güç optimizasyonu-yakıt gideri minimizasyonu ilkesi benimsenmiştir. Minimum kayıp (MINKA) probleminde ise, reaktif güç optimizasyonu gösteriliminde bir değişiklik yapılmaksızın, aktif güç optimizasyonu için yukarıda önerilen kayıp kısıtlaması dikkate alınmıştır.

Şekil 2 ve Tablo la.b.c de gerekli bilgileri verilen IEEE 6-bara örnek sistemine ilişkin sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

IEEE 30-bara örnek sistemine [4] ilişkin deneme sonuçları Tablo 3a ve 3b'de verilmiştir.



Şekil 2. IEEE 6-bara Örnek Sistemi

Tablo la. IEEE 6-bara Sistemi Hat Verileri

Bağlantı Baraları	Hat Empedansı		KDT (*) Kademesi
	R [pu]	X [pu]	
1-6	0.123	0.518	-
1-4	0.080	0.370	-
4-6	0.097	0.407	-
6-5	0.000	0.300	1.025
5-2	0.282	0.640	-
2-3	0.723	1.050	-
4-3	0.000	0.133	1.100

\* KDT:Kademe Değiştirici Transformatör

Tablo lb. IEEE 6-bara Sistemi Kısıtlamaları

Bara	Gerilim Çeşnlik Sınırları [pu]		Üreteç Çıkış Güç Sınırları [pu]			
	Sınırlan [pu]		Aktif		Reaktif	
			Min.	Max.	Min.	Max.
1	1.0	1.10	0.1	1.0	-0.2	1.0
2	1.1	1.15	0.1	1.0	-0.2	1.0
3	0.9	1.00	-	-	-	-
4	0.9	1.00	-	-	0.0	0.05
5	0.9	1.00	-	-	-	-
6	0.9	1.00	-	-	0.0	0.055

$t_{1min} = t_{2min} = 0.90$        $t_{1max} = t_{2max} = 1.10$

Tablo 1c. IEEE 6-bara Sistemi Yük ve Gider katsayısı Verileri

Bara	Çekilen Güç		Yakıt Gider Katsayıları		
	$P_L$ [pu]	$Q_L$ [puJ]	a	b	c
1	0.000	0.000	500	100	0
2	0.000	0.000	100	100	0
3	0.550	0.130	-	-	-
4	0.000	0.000	-	-	-
5	0.300	0.180	-	-	-
6	0.500	0.050	-	-	-

Tablo 3a. IEEE 30-bara Örnek Sistemi Deneme Sonuçları

		Sınırlar		Sonuçlar	
		Alt	Üst	MİNMA	MİNKA
Pc.2 TY.5 Pes f>n f'ci3	pu	0.50	2.00	1.8144	1.1088
		0.20	0.80	0.5145	0.5029
		0.15	0.50	0.2028	0.5000
		0.10	0.35	0.1803	0.3500
		0.10	0.30	0.1000	0.3000
%i %2 <05 %S <C11 <.13 <C10 <C12 <c1s <C17 <C20 <C21 <C23 <C24 <C29	pu	-0.20	2.00	0.2739	-0.2925
		-0.20	1.00	-0.0116	0.3521
		-0.15	0.80	0.3798	0.2614
		-0.15	0.60	0.2429	0.4123
		-0.10	0.50	0.3100	0.2868
		-0.15	0.60	0.3236	0.2604
		0.00	0.05	0.0108	0.0140
		0.00	0.05	0.0000	0.0000
		0.00	0^05	0.0139	0.0200
		0.00	0.05	0.0131	0.01H8
		0.00	0.05	0.0201	0.0298
		0.00	0.05	0.0203	0.0293
		0.00	0.05	0.0242	0.0330
		0.00	0.05	0.0335	0.04G6
		0.00	0.05	0.0387	0.0413
ti t2 t3 t4	pu	0.90	1.10	1.0401	1.0377
		0.90	1.10	1.0404	1.0382
		0.90	1.10	1.0522	1.0540
		0.90	1.10	1.0100	1.0106
Gider [\$/saat]				802.06	882.45
Kayıp [MW]				9.783	4.779

Tablo 11. IEEE 6-bara Sistemi Deneme Sonuçları

		Başlangıç	Sonuç	
			MİNMA	MİNKA
Pc1 Pc2	pu	0.9663	0.8578	0.9323
		0.5000	0.5902	0.5073
QGI %2	pu	0.3817	0.3966	0.3654
		0.3482	0.1611	0.1900
		0.0000	0.0500	0.0500
		0.0000	0.0550	0.0550
V1 v2 v3 v4 v5	pu	1.0500	1.0990	1.0925
		1.1000	1.1500	1.1500
		0.8552	1.0015	1.0005
		0.9525	1.0022	1.0005
		0.9009	1.0005	1.0010
v6 <2 63 <4 <S <6	0	-6.146	0.40	-3.18
		-13.831	-10.54	-11.67
		-9.924	-7.92	-8.83
		-13.425	-9.35	-11.20
		-12.651	-9.87	-11.03
t1 t2	pu	1.025	0.950	0.9554
		1.100	0.981	0.9835
Kayıp [MW]		638.51	547.58	604.32
Gider [\$/saat]		11.63	9.804	8.965

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneme sonuçlarından da görüleceği gibi minimum gider ve minimum kayıp problemlerinin sonuçları oldukça farklıdır. Tercih, üretim kapasitesinin ve yük isteminin durumuna bağlı olarak değişir. Minimum kaybın tercihi durumunda aktif güç optimizasyonu sürecinde muhakkak bir kayıp kısıtlaması gerekir.

Önerilen gösterilim optimizasyonun sadece son aşamasında bir değişiklik yarattığı için ek bir zaman harcanması söz konusu değildir. Ayrıca bu gösterilim hem tekil aktif güç optimizasyonu hem de ayrıştırılmış optimal yük akışının aktif güç optimizasyonu sürecinde kullanılabilir esnekliğine de sahiptir.

Tablo 3b. İKKK 3(.)-bara Örnek Sistemi  
liçk'ifio Sonuçları

Bara	Son Doğer			
	MİNMA		MİNKA	
	V	8	V	r>
	ip>]	[derece]	[pu]	[derece]
1	1.085	0.00	1.056	0.00
2	1.056	-3.29	1.058	-2.34
3	1.0-19	-5.44	1.050	-3.91
4	1.042	-6.58	1.019	-4.69
5	1.030	-10.11	1.04Ü	-6.65
6	1.031	-7.69	1.048	-5.32
7	1.02G	-9.17	1.036	-6.35
8	1.030	-7.94	1.053	-5.32
9	1.018	-10.05	1.030	-6.30
10	1.000	-11.91	0.914	-8.63
11	1.078	-8.96	1.083	-3.10
12	1.018	-11.24	1.020	-8.53
13	1.061	-10.35	1.055	-7.64
14	1.001	-12.23	1.008	-9.45
15	1.000	-12.37	1.007	-9.59
16	1.004	-11.83	1.011	-8.89
17	0.997	-12.12	1.009	-8.96
18	0.989	-12.99	0.999	-10.04
19	0.98G	-13.16	0.997	-10.11
20	0.990	-12.94	1.002	-9.84
21	0.990	-12.44	1.004	-9.23
22	0.991	-12.43	1.005	-9.23
23	0.993	-12.87	1.003	-10.03
24	0.984	-12.98	0.998	-10.01
25	0.991	-12.76	1.005	-9.96
26	0.973	-13.21	0.987	-10.39
27	1.004	-12.35	1.017	-9.65
28	1.028	-8.22	1.042	-5.77
29	0.995	-13.97	1.010	-11.25
30	0.979	-14.73	0.993	-11.98



Aydođan **ÜZDEMİR** 1957 yılında Artvin'de doğdu. Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora öğrenimlerini t.T.Ü.'de sırasıyla 1980, 1982 ve 1990 yıllarında tamamladı. 1980-1991 yılları arasında İ.T.Ü. Fuat Külük Yüksek Gerilim İtiborat.uv.iri uğa Miilendis/Yük.Mühendis olarak çalışan ÜZDEMİR, 1991 yılından itibaren İ.T.İh Elektrik-Elektronik Fakültesinde Yrd.Doç. olarak görev yapmaktadır. ÜZDEMİR çalışmalarını Yüksek Gerilim, Enerji Sistemlerinin Analizi ve Güvenilirlik konularında sürdürmektedir.

#### KAYNAKÇA

- /1/ SHOUL.TZ R.R., SUN İ.T., Optimal Power Flow Based Upon P-Q Decomposition, IEEE Trans. on PAS, Vo.l.PAS-101, pp 397-405, Feb.1982.
- /2/ BURCHETT R.C., İIAPP İI.H., VİF.RATH D.R., WİRGAU K.A., Developnients in Optimal İ'OK'T Flow, IEEE Trans. on PAS, Vo.l.PAS-101, pp 406-414, February 1982.
- /3/ Özdenir A., Reni and Reactive Power Optimization by Appro.K imale Sub-optimum Tecnicjues, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bi Hinleri Enstitüsü, Eylül 1990.