



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 de 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 dileğindedeyiz.

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 yaklaşma 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 ÜINCER (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 SOGUKPINAR (TETSAN)  
Malik AVİRAL (ELİMKO) Sedat SİSBOT (METRONİK)  
Emir BİRGÜN (EMO) Atıf URAL (Kocaeli U.)  
Sıtkı CİĞDEM (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 TANDOGAN (PTT)  
Abdullah SEZGİN (KTU) Ömer K. YALCIN (TELSER)

## SEKRETERLİK HİZMETLERİ

Necini 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 MARDİKYAN (İTU)  
Fahrettin ARSLAN (IU) A.Faik MERGEN (İTU)  
Murat ASKAR (ODTÜ) Avni MORGUL (Boğaziçi U)  
Abdullah ATALAR (Bil.U) Güven ÖNBİLGİN (KTU)  
Selim AY (YTU) Bülent ÖRENCİK (İTU)  
Ümit AYGÖLU (İTU) Bülent ÖZGUC (BiI.U)  
Atalay BARKANA (Anadolu U) A.Bülent ÖZGÜLER (BiI.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 SARI TAS (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) Atıf URAL (Kocaeli U)  
Emre HARMANCI (İTU) Alper URAZ (Hacettepe U)  
Ali tuğ İFTAR (Anadolu U) Gökhan UZGÖREN (IU)  
Kemal İNAN (ODTÜ) Yi İdirim UCTUG (ODTÜ)  
Asım KASAPOĞLU (YTU) Asaf VAROL (Fırat U)  
Adnan KAYPMAN (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)

**Doğrultucu - Inverter Grubu İle Beslenen Asenkron Motor  
Tahrikli Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Şebeke  
Filtresinin Tasarlanması**

"Mithat SEÇİLMİŞ  
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
ELEKTRİK MÜH. BÖL. ANITPARK İZMİR

**ÖZET:** Doğrultucu - inverter grubu ile beslenen lokomotiflerin tren şebekesinde çalıştırılması esnasında her zaman için şebekeye olan olumsuz etkilerin de hesaba katılması gerekmektedir. Bu nedenle demir yolu taşıtlarının emniyet ve haberleşme donanımlarını olumsuz etkilememesi için bu taşıtlara şebeke filtreleri monte edilmesi gerekmektedir. Şebeke filtresi bileşenlerinin boyutlandırılması, şebeke davranışını mümkün olduğunca genel olarak tarif eden parametrelerin tayini ile mümkün olmaktadır. Böylece seçilmiş bulunan filtre devresinin etki şekli projelendirme aşamasında bile tahmin edilebilmektedir.

**1 .Giriş:** Gün geçtikçe üç fazlı asenkron motorlarıyla tahrik edilen demiryolu lokomotiflerin sayısında artış görülmektedir. Modern demiryolu lokomotiflerinin tahrik sistemlerinde doğrultucu - inverter grubu teknolojisi uygulanmaktadır.

Bu tür doğrultucu inverter grubundan oluşan ikiz dönüştürücü devresinin belirgin özelliklerini tam olarak faydalı hale getirmek için. çalışma prensibinden kaynaklanan özelliklerinede projelendirilme esnasında daha fazla dikkat verilmesi gerekir. Burada özellikle ikiz dönüştürücüsü ve besleyen şebeke arasındaki etkileşim olduğu kadar çevredeki donanımlarla olan etkileşimin iyi tanınması önemlidir. İkiz dönüştürücüler lineer olmayan tüketicileri temsil ettiğinden harmoniklerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu harmonikler ise komşu çevrede bulunan alçak gerilimli teknik cihazları etkilemektedir [ 1-3 ].

**2. ALTERNATİF GERİLİM ŞEBEKESİNDE  
AKIM DÖTLÜSTURUCULU ARAÇLAR:**

Besleyen alternatif gerilim şebekesiyle ilgili olarak bir lokomotifin  
1044

davranışı genelde toplam güç faktörünün belirtilmesiyle tarif edilmektedir.

$$\lambda = g_4 \cos \varphi > 1.$$

$Q_1$  : Şebeke akımının temel harmonik içeriği

$\cos \varphi_1$  : Şebeke gerilimine göre şebeke akımının kayma faktörü

güç faktörüdür. Şebekeden çekilen aktif güç P ile görünen güç S arasındaki oranı ifade eder.

$$\lambda = P / S$$

Enerji nakil sistemini olabildiğince ekonomik bir biçimde çalıştırmak için, güç faktörü mümkün olduğu derecede 1 değerine yakın olmalıdır.

Buna göre prensip bakımından A faktörünü, lokomotifin o anki konumunda uygun bir şekilde etkilemenin iki tane olasılığı vardır:

- Şebeke akım ve gerilimin temel harmonikleri arasındaki faz kayması mümkün olduğunca küçük tutulmalı.

- Şebeke akımının yüksek frekanstaki harmoniklerinin düşürülmesi

Temelde  $\cos \varphi$ 'yi, lokomotive monte edilen süzgeç devreleri veya trenin girişteki dönüştürücülerine özel kumanda yöntemleri uygulamakla düzeltmek mümkündür [5].

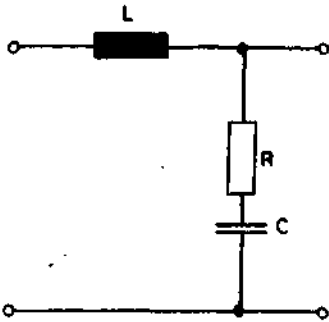
Şebeke akımındaki yüksek derecedeki harmonik miktarı sadece daha faydalı toplam güç faktörü açısından önem taşımamaktadır. Bunun yanında örneğin Alman demir yollarında (DB), 9.5 kHz ila 14.5 kHz arasında bulunan ses frekans bölgesinde çalışan, 42 - Hz ve 100 - Hz doğru akım devreleri olduğu kadar emniyet tesisleride dikkate alınma-  
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

lıdır. Bu frekanslar için sınır değerler tanımlanmıştır. Bu sınır değerlerin aşılması tehlike potansiyelini göstermektedir. Genelde 300 Hz ile 3400 Hz arasındaki frekans bölgesinde çalışan haberleşme tertibatlarının elektromanyetik bakımından ne derecede etkilendiğini tesbit etmek için, harmonik spektrumun her bir genliği değerlendirilmektedir. Buradan akım dönüştürücülerin haberleşmeye olan olumsuz etkilerini gösteren ipe farazi gürültü akımı tarif edilmektedir. Şebeke filtrelerinin monte edilmesiyle birlikte farazi gürültü akımı sınırlar dahilinde tutulmaktadır.

### 3. Akım Dönüştürücü Tahrik Sistemlerinde Şebeke Filtrelerinin Yerleştirilmesi ve Tasarımı

Esasen bir şebeke filtresinin aşağıdaki şartları sağlaması gerekir:

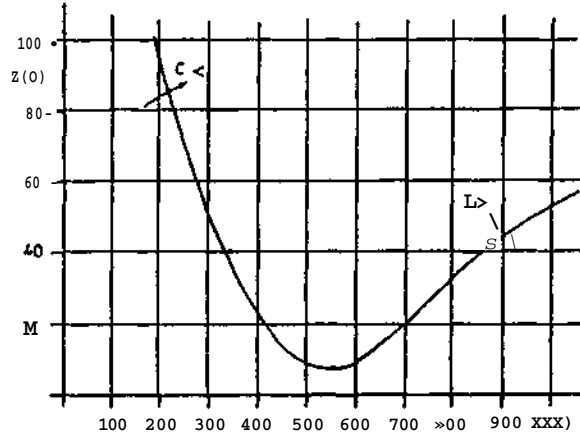
- Lokomotifin dönüştürücü devresi tarafından oluşturulan yüksek dereceden harmonikler seyir iletkenden uzak tutulmalıdır.
- Şebeke akımının temel harmoniği mümkün olduğunca etkilenmeden lokomotive iletilmelidir.



Şekil 1: Alçak geçiren şebeke filtresi

Uygun şebeke filtre devresinin seçimi esnasında besleyen alternatif gerilim şebekesinin davranışa özel dikkat sarf edilmesi gereklidir. Lokomotif çoğu hallerde değişen şebeke şartları altında bulunmaktadır. Bu nedenle bir şebeke filtresi devresi en azından ilgili lokomotif için tanımlanmış şartları alternatif gerilim şebekesi açısından sağlamak zorundadır. Bunu da şebeke tarafından baktığımızda alçak geçiren filtre

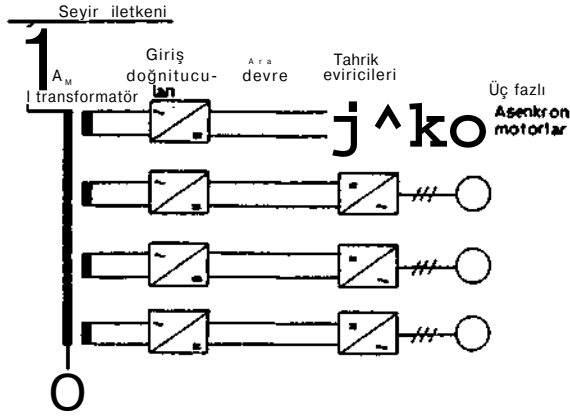
olarak tanımlıyabileceğimiz davranışı gösteren bir kapasite ve bir endüktanstan oluşan tertiple sağlamamız mümkündür. Şekil 1 uygun bir filtre devresini göstermektedir. Burada bobin şebekede duruma göre oluşabilecek yüksek frekanstaki harmonikleri bloke etmektedir. Şebeke filtresinin rezonans frekansının belirlenmesinde rezonans frekansının yüksek şebeke akımı harmoniklerinin bulunduğu kışıma düşmemesine dikkat edilmelidir. Bu durumda filtreye ek bir yük binecektir. Diğer bakımdan kapasite ve süzme direncinden oluşan filtresinin çapraz dalı, özellikle ses frekans bölgesindeki frekanslara karşı şebekeye karşı çok düşük bir direnç göstermek zorundadır. Çünkü bu şekilde yüksek frekanslı akımların seyir iletkenden akması önlenmektedir, örneğin şekil 2 bu tür bir filtresinin boşta çalışma giriş empedansını göstermektedir.



Şekil 2: Bir L-R-C filtresinin boşta çalışma giriş empedansı.

Lokomotifin tahrik düzenlerinin devreye alınması veya devreden çıkartılmasıyla akım dönüştürücüler tarafından üretilen harmoniklerin spektrumları değişmektedir. Fakat bir şebeke filtresinin bileşenleri şekil 1'e göre bir kere belirlenmiş işe filtre karakteristiğinin bir daha ayarlanması mümkün olmamaktadır. Filtresinin belirlenmesi esnasında bu hususa dikkat edilmelidir,^ Esasen şebeke filtreleri lokomotifin ana transformatörü önüne, yani yüksek gerilim tarafına monte edilebildiği gibi ana transformatörünün sekonder tarafında monte etmek mümkündür.

Fakat şebeke filitre masraflarının mümkün olduğunca minimum tutulması istendiğinden lokomotifte birden fazla tahrik akım devresi bulunması durumunda şebeke filtresinin yüksek gerilim tarafında bulunması söz konusu olmaktadır. Şekil 3" deki gibi bir ana akım devresi incelendiğinde bunu açıkça görmekteyiz.



Şekil 3: Dört tane tahrik devresine sahip akım dönüştürücülü lokomotifin ana akım prensip devre seması

Alçak gerilim tarafında dört tane şebeke filtresi yerleştirilmesi gereklidir. Buna karşın transformatorün yüksek gerilim tarafında sadece bir tane filtreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun dışında, eğer girişteki akım doğrultucuları faz kaydırma yöntemiyle tetiklemek suretiyle ilk baştan birçok gizli harmonik bileşenleri azaltılırsa veya bu harmonikler tamamen ortadan kaldırılırsa. Bu durumda en azından 15 kV luk tren şebekelerinde arıza akım filtresinin yüksek gerilim tarafında ter-tiplenmesine öncelik tanınmalıdır. Fakat bu esnada doğrudan seyir iletkenine bağlı olan kondensatör bakımından özel koruma önlemleri alınmalıdır.

#### 4. Şebeke Filtre Bileşenlerinin Tesbit Edilmesi:

Genel olarak incelediğimizde bir şebeke filtresinin elektriksel değerlerinin belirlenmesinde iki değişik büyüklüğün bilinmesi veya tahmin edilmesi yeterli olmaktadır.

- Tahrik aracı tarafından üretilen gerilimlerin harmonik spektrumu ( $U_{<u-1>} = F(f)$  şeklinde).

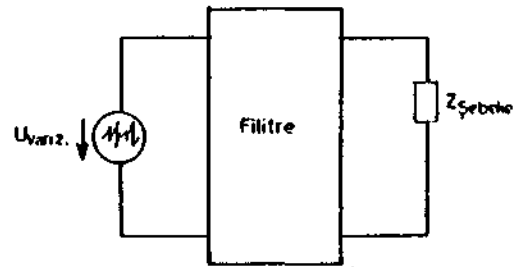
- Şebeke, araç, seyir iletkeni, ve tali istasyonu tarif eden eşdeğer empedans  $Z_{\text{Şebeke}}$

Belirlenecek olan şebeke filtresiyle birlikte bu büyüklükler şekil 4' de gösterilen eşdeğer devre semasıyla tarif edilmektedir. Buradan herhangi bir filtre devresi için  $U_{\text{v<M>-a}} \ll \gg$  ve  $Z_{\text{e}} \gg \ll \gg$  değerlerinin bilinmesi halinde  $I_{\text{p<e>}}$  akımını genelde geçerli olan şebeke analizi kurallarıyla tesbit edebileceğimiz açıkça görülmektedir. Verilmiş olan şartlar için şebeke filtresi değerlerinin adım adım değiştirilmesiyle minimum arıza akımı bulunmaktadır. Seçilmiş olan evirici devresine bağlı olarak akım dönüştürücülü tahrik sistemi tarafından üretilen gerilimlerin harmonik spektrumunu yapılan simülasyon hesaplamalarıyla önceden belirlemek mümkündür. Bu nedenle bu harmonik spektrumunun bilindiğini kabul edebiliriz. Böylece lokomotif arıza gerilimi üretici olarak görmemiz mümkündür. Burada

$$U_{\text{varaa}} = F(f) \text{ dir.}$$

$Z_{\text{Şebeke}}$  karmaşık empedansı bize sadece hesaplamalarda yardım sağlamaktadır ve şebekenin aşağıdaki kısımlarını temsil etmektedir.

- Besleyen tali istasyonun veya istasyonların eşdeğer verilerini
- Lokomotifin o andaki konumu ile tali istasyon arasındaki seyir iletken kısmının elektriki değerleri
- Lokomotifin ana transformatorünün eşdeğer büyüklükleri



Şekil 4 : Şebeke filtresinin boyutlandırılması için basitleştirilmiş bir eşdeğer devre şeması



Bunun dışında  $Z_w, \gamma, \beta, \dots$  eşdeğer empedansını uygun seçmek suretiyle aynı yol mesafesinde başka lokomotiflerin bulunmasını da simule edilmesi mümkündür. Fakat bu durum bundan sonra yapılacak incelemelerde karışıklık yaratmaması açısından ele alınmayacaktır. Böylece sadece incelenecek olan lokomotifin arıza etkisi ele alınacaktır.

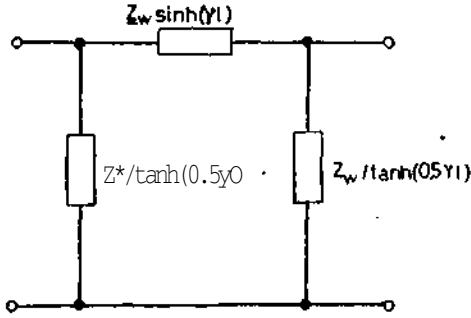
Tali istasyonlarının  $Z_{e(t)}, K$  empedansına olan etkisi orada monte edilmiş olan transformatörler ve bunların kısa devre empedansları, böylece

$$Z_{uw} = R_k(uw) + j\omega L_k(uw)$$

tarafından yeterince hassas tarif edilmektedir. Aynı durum lokomotifin ana transformatörü içinde geçerlidir. Benzer şekilde lokomotifin ana transformatörünün  $R^*$  kısa devre direnci ve  $L^*$  kısa devre endüktansının verilmesi durumunda, transformatörün empedansı:

$$Z_T = R_k(\omega) + j\omega L_k(\omega)$$

olarak tanımlanabilmektedir.



Şekil 5: Homojen bir hattın eşdeğer devre şeması

örneğin homojen hatlarda seyir iletkeni şekil 5 'de gösterildiği gibi bir eşdeğer devresiyle tarif edilmektedir. Hattın empedans katsayılarından  $Z_w$  dalga direnci ve yayılma hızı aşağıdaki gibi bulunur.

$$Z_w = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

$$\gamma = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')}$$

$R', L', G'$  ve  $C$  büyüklükleri uzunluğa bağlı parametrelerdir.

Böylece eşdeğer empedanslarda yola bağlı olarak değişmektedir. Akım dönüştürücülü lokomotifin tali istasyona olan mesafesi 1 ise bu durumda eşdeğer empedanslar

$$Z_{FLL} = Z_w \sinh(\gamma l)$$

$$\text{ve } Z_{FLO} = Z_w / \tanh(\gamma l) \text{ olur.}$$

Alternatif gerilim tren şebekesinde yapılan ölçümler seyir iletkeninin frekansa bağlı  $R'$  direnci ve  $L'$  endüktansları için değişik değerler vermektedir. Çünkü seyir iletkeni şebekesi kısımlarının aralarındaki değişik bağlantı olasılıkları, çok büyük bir etki yaratmaktadır. Bunun dışında çoğu şebekede oluşmakta olan ve şebeke rezonans noktaları olarak adlandırılan noktalar bulunmaktadır. Bu nedenle bahis konusu olan seyir iletkeni sisteminin eşdeğer büyüklüklerle genelde geçerli olan bir modellenmesi zorlaşmaktadır. Olabildiğince genelde geçerli olan ifadelerin bulunmasında karşılaşılan zorluklara karşın literatürlerde seyir iletkeninin kapasite değeri hakkında nisbeten birbirine benzeyen bilgiler bulunmaktadır. Böylece iki seyir iletkeni ile donatılmış olan çift yönlü demiryolu mesafesi için 18 nF/km civarında olan bir kapasite değerini kabul etmek mümkündür [7].

$G'$  türevi ihmal edilebilecek ölçüde küçüktür ve bu nedenle bundan böyle ihmal edilecektir.

##### 5. Bir Şebeke Filtresinin Boyutlandırma İşlemine Ait örnek:

Tarif edilen ilişkilerin uygulanması tren tahrik aracı olarak Alman demir yollarının Intercity Experimental lokomotifi somut örneği ile açıklığa kavuşturulacaktır. Yapı sınıfı 410 olan her iki tahrik aracında akım doğrultuculu bir tahrik tesisini içermektedir. Dönüştürücülü bu tahrik sistemi şekil 3' de gösterilmiş olan şemaya uymaktadır. Girişteki akım doğrultucularına özel tetikleme yöntemleri uygulamak suretiyle  $\cos = 1$  'e ulaşmak mümkün olsa da ve bununla harmonik arıza spektrumunun kısımları tamamen yok edilebilse de, herbir tahrik aracı için yüksek gerilim tarafında bir şebeke filtresinin öngörülmesi mecburidir. Ancak bu sayede

tüm tren için yani Tfz BR 410 için belirtilen bu sınır değerlerin aşılmaması sağlanır.

$Z_{FO}$ : Şebeke filitresinin empedansı

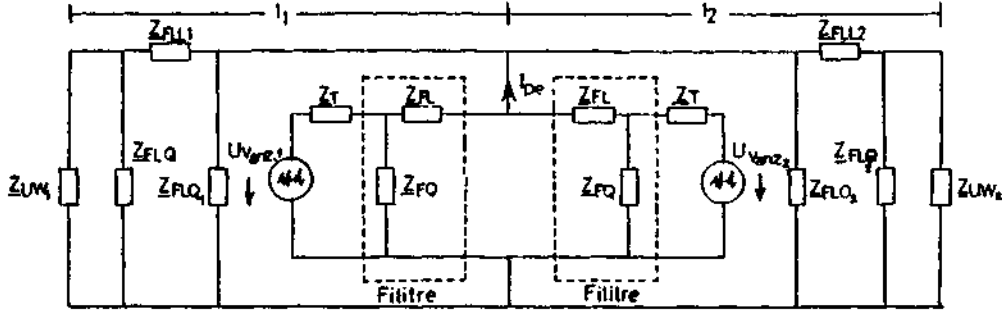
$$Z_{FO} = R_0 + \frac{1}{j\omega C}$$

$I_{i00Has} \leq 2 \text{ A (0.5S)}$

$I_{s.s.} \cdot 14.5^{***} \leq 20 \text{ mA}$

$i_p \leq 1 \text{ A (sürekli)}$

$Z_{FL}$ : Şebeke filitresinin boyuna empedansı  $Z^*x = R_L + j\omega L$



Şekil 6: Şebeke filitresi bileşenlerinin hesaplanması için eşdeğer devre seması (BR 410 lokomotif için).

Tüm tren için yani Tfz BR 410 için. bu sınır değerlerin aşılmaması için burada L-R-C<sup>1</sup> li seri rezonans filitre devresi seçilmiştir. Şebeke filitreleri tarif edilmiş olan prensibe göre ölçülandırılmıştır. Bu somut örnek için bu sayede şekil 6'da gösterilmekte olan eşdeğer devre elde edilmiştir. Bu şekilde gösterilmekte olan kompleks empedanslar şu anlamları taşımaktadırlar.

RL: Şebeke endüktansının omik kısmıdır.

$Z_{UW1/a}$ : Uç tane paralel olarak 15 - kV-Seyir iletkenini besleyen 15-MW-Transformatörlerinin 15 kV bazındaki ortaya çıkan kısa devre empedanslarıdır. Bunların herbiri tali istasyon 1 ve tali istasyon 2 de monte edilmiştir:

$$Z_{UW} = R_{K(UW)} + j\omega L_{K(UW)}$$

$Z_{FL1/2}$  ve  $Z_{FL1/2}$  ise 1 ve 2 nolu havai hat bölümlerinin dördüncü kısıma uygun boyuna-/enine empedansları. Burada  $R' = F(f)$  ve  $L' = F(f)$  frekansın fonksiyonudur.

$$C = 18 \text{ nF/km}$$

$$l_1 + l_2 = 50 \text{ km}$$

$5r$ :  $T_k$  - Ana transformatörünün 15 kV bazında eşdeğer empedansı.

$$Z = R_{K(10K)} + j\omega L_{K(10K)}$$

Her iki akım dönüştürücüsü düzeneğinin harmonik spektrumu arıza gerilim kaynakları olan  $\sqrt{J^2 ar_{xyz}}$  ile temsil edilmektedir. Harmonik gerilimler frekansın fonksiyonuyla değişmektedir. Ayrıca çalışmakta olan tahrik devresi sayısına bağlı bulunmaktadır. Bir tahrik aracının oluşturduğu harmonik içeriği aracın o anki yükleme durumundan iyi bir yaklaşımla bağımsız olmasına rağmen, giriş doğrultucularının faz kaydırma yöntemiyle tetiklenmesi tercih edilmiş olduğundan, lokomotifin bir yada iki tahrik motorunun devrede olup olmamasından önemli ölçüde etkilenmektedir. Bir lokomotifin iki tahrik motorunun çalışması durumunda harmonik gerilimlerinin spektrumu Şekil 7'de gösterilmiştir. Uygun bir hesaplama programının çıkarılmasından sonra giriş verilerinin değiştirilmesi sayesinde  $Z_{r0}$  ve ZKL bölüm 4'de tarif edilen gidiş yolu ile filitre bileşenleri optimum ölçülandırılabilir. Elektrik veriler aşağıdaki gibi bulunmuştur.

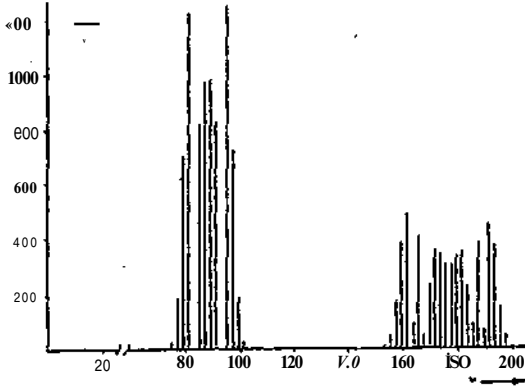
$$L = 12 \text{ mH}$$

$$C = 7.5 \text{ uF}$$

$$R = 5.4$$

Tasarım bakımından şebeke filitresi yağlı soğutmalı bobin - direnç ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

birimi ve dışarda bulunan (ayrı) tek fazlı elektrolit kondensatör (içinde bulunan bir boşalma dirençli) şeklinde tasarlanmıştır [8].



**Sekil 7:** örneğin (BR 410 tipi) iki lokomotifin çalışması durumunda harmonik gerilimler.

**SONUÇ:** ikiz dönüştürücülü elektrikli ulaşım sistemlerinde şebeke filitrelilerinin boyut 1 anılrı İması için harcanan gayret ve masrafları azaltmak için bazı kolaylaştırıcı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu kabullerden birisi besleyen seyir iletkeninde tam sinüs şeklindeki alternatif gerilim bulunduğunun varsayılmasıdır. Özellikle başka demiryolu lokomotiflerinin çalışmasıyla, şebeke şartlarından kaynaklanan ve demir yolu seyir iletkeninde oluşan rezonans noktaları neticesinde gerçek şartlar az yada çok bu kabillere uymamaktadır. Bu nedenle hesaplamalar sonucunda, bir şebeke filitresinin etki şekli belirli bir konfigürasyon için nisbeten hassas bir çözümü verebilir. Tasarlanan bu filitrenin gerçek demiryolu şebekesinde tüm şartları sağlayıp sağlamadığını, ancak orijinalde yapılan ilgili ölçümlerle belirlemek mümkündür. Ayrıca demiryolu taşıtına sınırsız çalışma izninin verilip verilmeyeceğine ait kararda, bu incelemenin sonucuna bağlı olacaktır. Aksi halde şebeke filitre bileşenlerinin yem bir optimizasyonuna ihtiyaç duyulacaktır.

#### Kaynaklar:

[1] Buckel. R.: Oberschwingungen im Fahrleitungsnetz von V/echselstrombahnen. ETZ - A 80 (1967), H.17, ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

3.429-436.

[2] Buckel. R.: Elektromagnetische Umweltbeeinflussungen durch Thyristorfahrzeuge. ZEV-Glasers Annalen 97 (1.973). Mr. 2/3, 1973.

[3] Brutscher. II.; Lekkas. G.: I/v-laboratoriumsmodell zur Untersuchung der Avisbreitung und Suporposition von Ober-schwingungen im Dahnnetz. Elektrische Bahnen 49 (1978), II.2, S.65-72.

[4] Möltgen, G.: Der Imstungsfaktor bei Stromrichtern auf fahnrahtgespeisten Dchienfahrzeugen. Elektrische Bahnen 46 (1975), 11.9, S.207-213.

[5] Kehrman. H.; Lienau, W. ve Ni 1.1. R.: Vierquadrantensteller - eine netzfrendliche Einspeinung für Triefahrzeuge mit Drehstromant)-ieb. Elektrische Bahnen 45 (1974), II.6. S.135-141.

[6] DİN 57228/VDE 0228, Teil 1: Mn|V riahnen bei Beeinf lussung von FernmeldeanJngen durch Starkstromanla-gen, Allgemeine Grundlagen.

[7] (JRI İ-TİAGE A122: f5chwingvingfivoi--gaenge im Traktionsstromkreis. ORE Technisches üolament DV 92 (A122), Utrecht. 1979.

[8] F'alk.F.; LöBel, W. urxl Wirvlen. R.: Die elektrische Ausrüstung der ICE -Trieblöpfe. Elektrische Bohnen 83 (1985), H.10, S. 319 -3.34.

[9] Ural, A. Modern Elektrikli Ulaşım Sistemleri, Kocaeli üniversitesi. İzmit, 1991.



**Mithat**

**Seçilmiş,**

1.03.1967 tarihinde Aksaray' da doğdu. Orta öğrenime denk öğrenimini Almanya'da gördü. 1990 yılında Yıldız üniversitesi Kocaeli Müh. Fak. Elektrik Müh. unvanım aldı. 1992 yıllıyla

Yıldız üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden Elektrik Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. Halen Kocaeli üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde doktora öğrenimi görüyor aynı zamanda bu üniversitede elektrik maki nal arı ÖUC\ bilim dalında araştırma görevlisi olarak çalışıyor. İlgi alanları elk. tahrik ve ulaşım sistemleridir.

# DOĞRU AKIM MAKİNAŞI YÜKLÜ TEKFAZU TAM DALGA DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİNİN P Spice KULLANILARAK İNCELENMESİ

Asım KASAPOĞLU M. Salih TACİ

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ELEKTRİK-ELEKTRONİK FAKÜLTESİ  
ELEKTRİK MÜH. BÖL. 80750 Yıldız-BEŞİKTAŞ İSTANBUL

## ÖZET

Yan dalga doğrultucu, tam dalga yan kontrollü doğrultucu ve tam dalga tam kontrollü dönüştürücüde endüvi alımı tek yönlüdür.

Fakat (Birbirine ters paralel bağlanarak elde edilen) çift yönlü dönüştürücüde, endüvi alımı her iki yönde olabilir. Yan kontrollü doğrultucuda ve tam dalga yan kontrollü doğrultucuda endüvi geriliminin polaritesi değiştirilemez.

Tam dalga tam kontrollü dönüştürücü; pozitif yada negatif endüvi gerilim uygulanmasına, çift yönlü dönüştürücüde ise; endüvi gerilim-alım düzleminde dört bölgenin her hangi birinde çalışmasına izin verir.

Bu çalışmada, gerilim kontrol anahtarlı tristör modeli. PSpice devre simülöründe kullanılarak, çeşitli işletme şartlarında, D. A. makinesi yüklü, tek fazlı tam dalga; yan ve tam kontrollü dönüştürücülerin simülasyonu yapılmıştır.

## 1.GİRİŞ

Tek fazlı tam dalga dönüştürücüler, 20HPye kadar olan doğru akım motorlarının hız ayarında kullanılmaktadır. Yan dalga doğrultucu, tam dalga yan kontrollü doğrultucu ve tam dalga tam kontrollü dönüştürücüde endüvi akımı tek yönlüdür. Fakat (Birbirlerine ters paralel bağlanarak elde edilen) çift yönlü dönüştürücüde, endüvi akımı her iki yönde olabilir. Yan dalga doğrultucuda ve tam dalga yan kontrollü doğrultucuda; endüvi gerilimi-

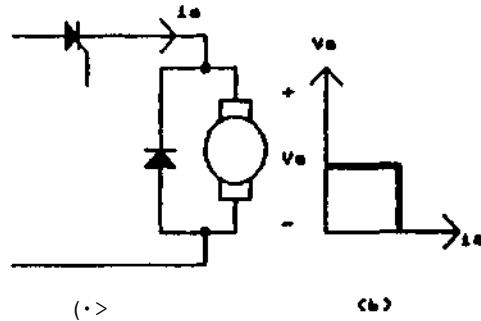
nin polaritesi değiştirilemez (Şekil 1, Şekil 2).

Tam kontrollü dönüştürücü; pozitif yada negatif endüvi gerilimi uygulamasına (Şekil 3), çift yönlü dönüştürücü ise endüvi gerilimi-alım düzleminde dört bölgenin herhangi birinde çalışmasına izin verir (Şekil 4) [2].

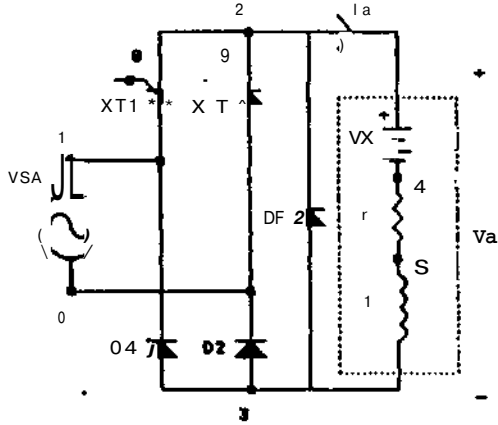
## A-TRİSTÖR P Spice MODELİ

Tristör modelinde;

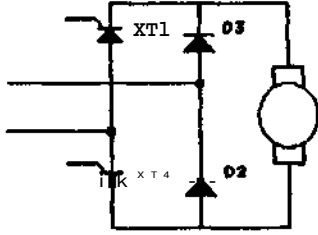
- Tristörün; küçük bir kapı gerilimi ve pozitif anot-katod geriliminde iletme geçim',
- Tristörün anot akımının, tutma değerinin üstünde kaldığı sürece iletimde kalması
- Tristörün, anot akımının tenine dönerken kesime geçmesi beklenir [3].



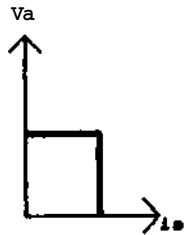
ŞEKİL 1-YAN DALGA DOĞRULTUCU VC ÇALIŞMA ŞEKLİ



(a)



(b)

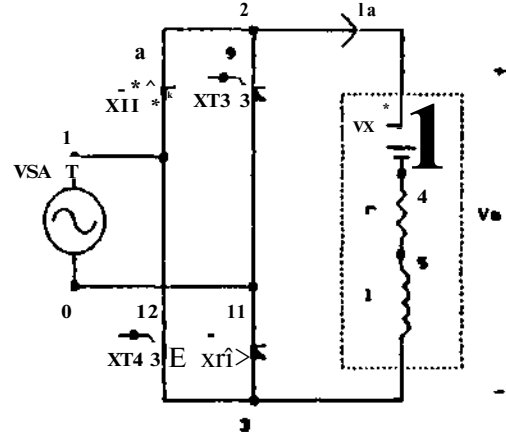


(c)

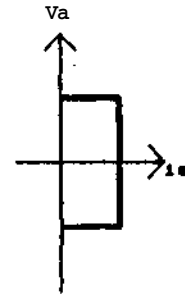
ŞEKİL 2-TAĖ DALCA YARI KONTROLLÜ DÖNÜŞTÜRÜCULAR  
VC ÇALIŞMA BÖLÜMLERİ

Bu şartları yerine getiren triyot modelinin teması, Şekil 5'de ve alt devre tanımı da Şekil 6'da verilmiştir. Bu modelde F1 triyot iletme ve kesime geçmek için kullanılan bağımlı  $i_{a,m}$  kaynağıdır. Anot-katod uçları anısına bağlı bulunan DT diyodu iletme geçme olayı eşleşmesinde akımın tek yönlü  $i_{a,m}$  güvenli kılabilir.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ



(a)



(b)

ŞEKİL 3-TAĖ DALCA TAM KONTROLLÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜ  
VC ÇALIŞMA BÖLÜMLERİ

## B - TRİSTÖRLERİN VE DİYOTLARIN BELİRLENMESİ

Burada seçilen DA motorunun sürülmesi ile ilgili olarak yapılan Örnekle, SİEMENS BSTFO U96 tipi triyotlar, MDA 3508 tipi diyotlar seçilmiştir. Bu güç elemanlarına ait katalog verileri ve hesaplanan model parametreleri aşağıda verilmiştir.

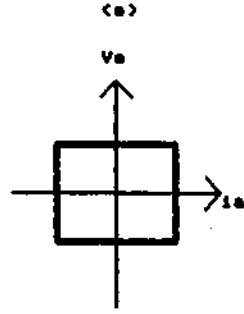
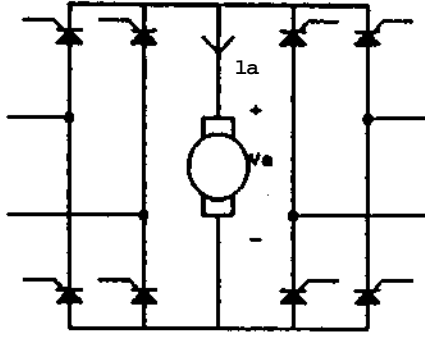
### Diyot

#### Katalog verileri

$I_{or}=35A$   
 $V_{RRM}=800V$

$;FSM=400A$   
Max. Sıcaklık-175 C

1051



ŞEKİL 4-ÇİFT YÖNLÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜ VE ÇALIŞMA TÖLÇCLERİ

#### Model Parametreleri

IS=2.2E-15 A  
BV=800V  
TT=0

#### Tristor

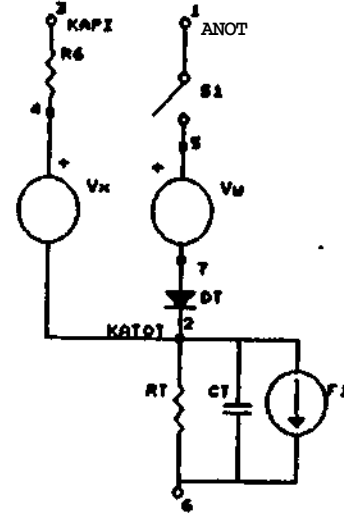
##### Katalog verileni

IH=120mA(25°C)  
-W mA(110°C)  
ITAVi30A  
VfaSfn (ters geri \* 100 V)  
IDRM^mA  
VDRM=700V  
VTM=1.3 V (110°C ve IT=25A)  
ITM=25A  
IOmin=100inA (2V, e<sub>L</sub>+2°C)  
-50mA (1.5V, e<sub>k</sub>+100°C)

#### Model Parametreleri

RDN=0.052^1.  
ROFF=175KA  
VON=0.7V  
VOFF=0V

1052



ŞEKİL f-TRİSTÖR NOOCLİ DCVRC ŞEMASI

RG=20Ω

RT=1 -n.

CT=10yuF

DT0S-2.2E-15A BV=800V TT=0

F1(P1=50 P2=11)

#### ii. YARI KONTROLLÜ DOÖRULTUCU DJI MAKINASININ SOROLMESİ

Şekil 2'de eoçok kullanılan VB çdaj gerilimi dalga şekilleri birbirinin aynı olan iki adet yan kontrollü doğrultma devresi verilmiştir. Her iki devre için çalışma bölgesinin birinci bölge olduğu açıktır. Şekil 2 j'i'da kullanılan diyotların ortalama alam değerleri Şekil 2.b'dekileiden küçüktür.

Burada Şekil 2.a'daki devrede diyot ve tristötler için R • C koruma elemanları da kullanılarak «, (t)=597/1s, tristor tetiklenme gecikme zamanı için bir uygulama yapılmıştır. 230 V, 850 dJd, 7.5 BG (5.6 KW). In=29 A, endüvi direnci r=0.762^v endüvi şelfi L=12.5mH, uyarma sargısı gücü 200 W olan serbest uyarmalı bir motor seçilmiştir. Şebeke ise; 260V.50Hzdir. BQ t Qn çalışma durumları için uyarma E<sup>1</sup>^nmm\ nominal ^f^ n<sup>11</sup>\* değerinde ve sabit kaldığı, ayrıca zıt ELMK (Vx)\*nmda zamanla değişmediği kabul edilmiştir. oc (t)=597/1s Vx=210 V seçildiği sürekli akımlı çalışmaya ait PSpice programı ve dalga şekilleri Şekil 6.a ve b'de verilmiştir.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

```

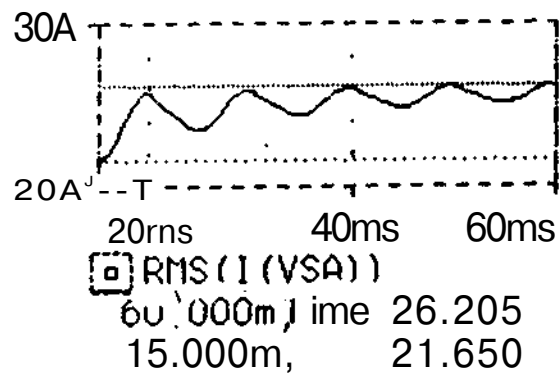
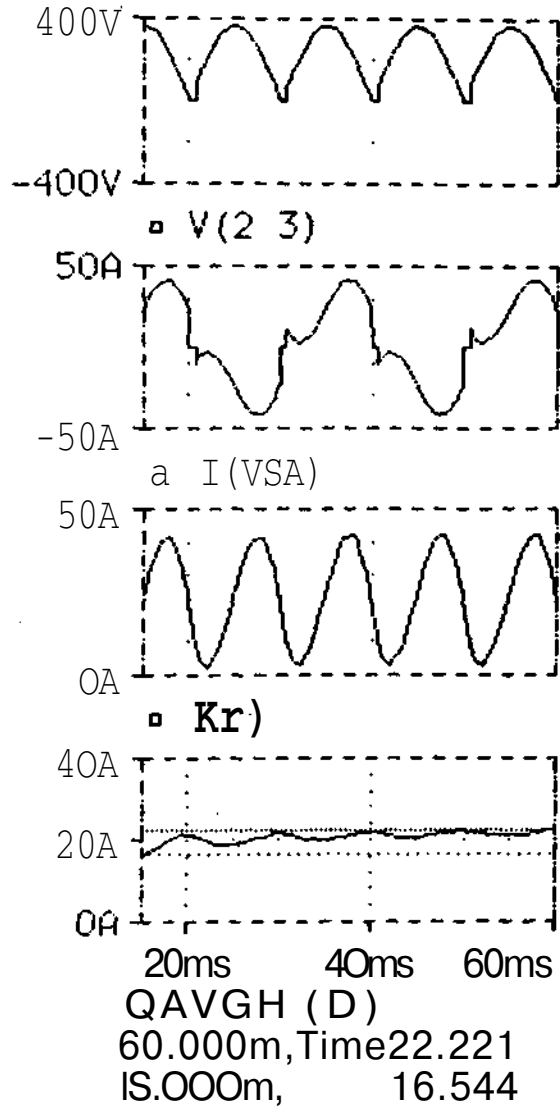
P0NER45
VSA 1 0 SIN (0 367.7 50Hz)
İTİ 1 2 B 2 SCR
D2 3 0 OHOD
JT3 0 2 1 0 SCR
D4 3 1 DNOD
R1 I 13 470
C1 13 2 22n
R2 3 14 470
C2 14 0 22n
R3 2 15 470
C3 15 0 22n
R4 3 16 470
C4 16 1 22n
VG1 8 2 PULSE 10 5v 597u İN İN 5000u 20000u)
V63 9 2 PULSE 10 5v 10597u İN İN 5000U 20000U)
r 4 5 .762
1 5 3 12.5i
vk 2 4 de 210v
DF 3 2 DMOD
.MODEL DNOD D(LS=2.2E-5 BV=800V TT=0)
I Subcircuit for switched thyristor lodel
.SUBCH SCR 1 2 3 2
> todcl anode cathodi «control -control
* nite voltage voltage
Sİ 1 5 6 2 SMOD ; S«itch
R6 3 4 20
VI 4 2 DC OV
VY 5 7 DC OV
DT 7 2 DNOD ; Switch diode
Rİ 6 2 1
CT 6 2 İOÜF
Fİ 2 6 POLYI2) VI VY 0 50 II
.MODEL SHOD VSHITCH İRON=0.052
•R0FFM75K VCH<.7V VDFP*OV)
.MODEL OHOD D(LS=2.2E-İ5
•8V=800V TT=OI ; Diotfe todel paraeters
.ENDS SCR ; Ends subcircuit definition
.tran/op 1.000a .06 0 0 uic j «ipspt
.four SO I(vsa) ; »ipsp*
.PROBE i Graphics post-processor
.options abstol . 1.On riltol . .01
.vntol * 0.01 İTL5*10000
.END

```

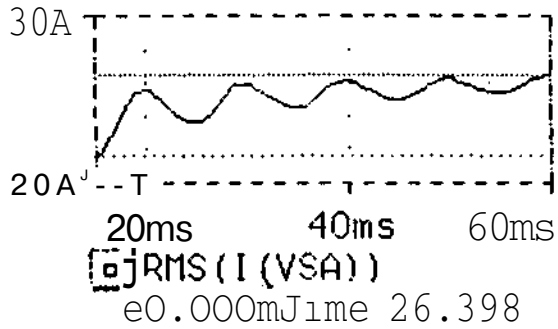
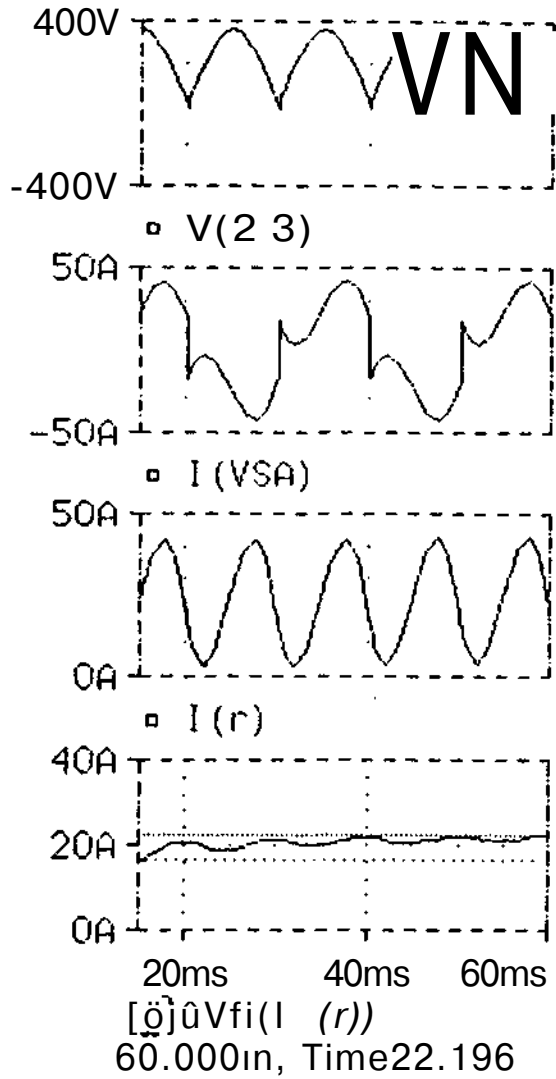
SEKİL 3.A-ŞEKİL 2.A'DAKİ DCVMOC««t\*)|»7 fım  
ve VME>IO v için psrice PROCRMU

### m. TAM KONTROLLÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜ İLE DA MAKİN ASININ SÜRÜLMESİ

Şekil 3.a'da verilen iki bölgede çalışabilen, dört  
hıstüdo,tenkQatndIQ dâaOşUkOcü devrede, XT1,  
XT4 triMiff çiftleri ile XT2.XT3 tristör çiftleri  
mOmnbeli obnk calısünlabüüikr. Secüeamotor  
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ



SİKİL ...»KİL a.A'MM» OCVKOC ««Ct»MT |t\*  
VC VH«210 v İ<fİH OAt«A fKKXU.KM

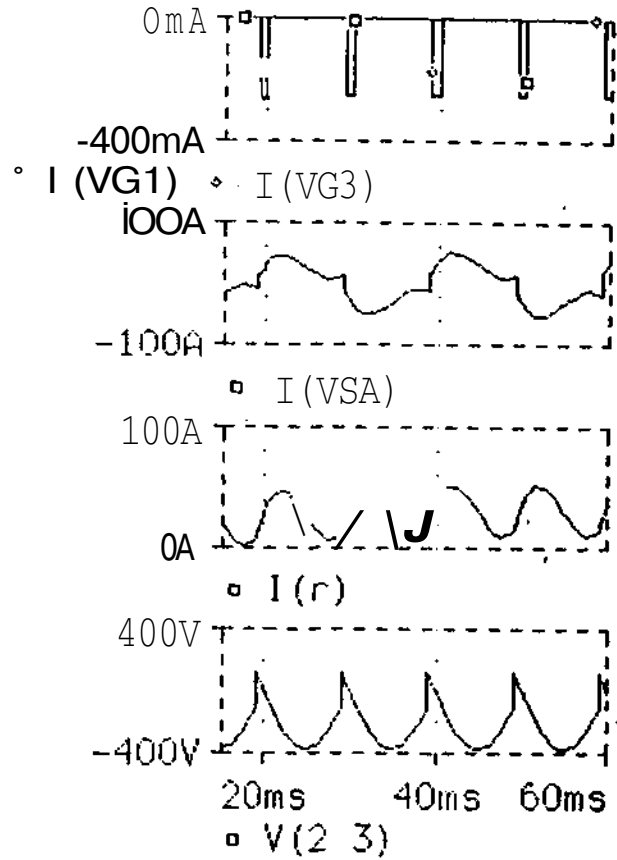


ŞEKİL 7-ŞEKİL 5.A'DAKİ DEVREDE <<t>>5000 /J>  
VE VKB210 v İCİN DALCA ŞEKİLLERİ

v> tristörlere ait parametreler İL ayrıtta seçilenler ile aynıdır.

Tam kontrollü doğrultucu ile yan kontrollü doğrultucunun şebekeden çektikleri akımların

1054



ŞEKİL 8-ŞEKİL 1.A'DAKİ DEVREDE <<t>>5000 /J>  
VE VK.-250 v İCİN DALCA ŞEKİLLERİ

karşılaşılmasa amacayla, tam kontrollü doğrultucu da tetüdemc darbelerinin gecikme açını; (<x(t)=9000 us) DA. motonmun yan kontrollü doğrultucu ile sürülmesi halinde verdiği mekanik gücün, tüm kontrollü doğrultucu ile sürülmesi halinde verdiği mekanik güce eşit olacak şekilde, seçilmiştir. Ayrıca her ild durumda da aynı devir sayılan ddc edilecek şekilde  $V_x = 210$  V seçilmiştir. Buna ait PSpice programı; Şekil 6a'daki programda DF diyodu kaldırılıp XT2 ve XT4 trislödrü için;

VG2 11 0 PULSE (0 5V 150U İN İN +5000U 20000U)

VG4 12 1PULSE(0 5V 10150U İN + İN 5000U 20000U)

yazılarak eldo edilmiştir. Dalga şekilleri de Şekil 7 de verilmiştir.

Tam kontrollü dönüştürücünün inverkr, malnamn generatör olarak çalışmasına ait, <t>-9000 us  $V_x = 250$  V seçilerek elde edilen dalga şekilleri ise Şekil 8'de verilmiştir.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ



DC COMPONENT = -4.192573E-02

DC COMPONENT = -1.371512E-01

HARMONIC NO	AMPLITUDE (A)	PHASE (DEGREES)	AMPLITUDE (A)	PHASE (DEGREES)
1	5.000E+01	3.544E+01	1.000E+00	
2	1.100E+02	1.134E+01	4.047E-03	
3	1.500E+02	9.590E+00	2.792E-01	
4	2.000E+02	1.769E+01	4.990E-03	
5	2.500E+02	4.310E+00	1.219E-01	
6	3.000E+02	2.203E-01	6.385E-03	
7	3.500E+02	2.710E-00	7.470E-02	
8	4.000E+02	2.675E-01	7.548E-03	
9	4.500E+02	1.115E+00	4.783E-02	

HARMONIC NO	AMPLITUDE (A)	PHASE (DEGREES)	AMPLITUDE (A)	PHASE (DEGREES)
1	5.000E+01	3.516E+01	1.000E+00	
2	1.000E+02	3.391E-01	9.611E-03	
3	1.500E+02	1.014E+01	3.024E-01	
4	2.000E+02	3.451E-01	9.310E-03	
5	2.500E+02	5.134E-00	1.400E-01	
6	3.000E+02	3.500E-01	9.165E-03	
7	3.500E+02	3.410E+00	9.910E-02	
8	4.000E+02	3.571E-01	1.015E-02	
9	4.500E+02	2.503E+00	7.400E-02	

TOTAL HARMONIC DISTORTION=3.180101 PERCENT

TOTAL HARMONIC DISTORTION=3.514013 PERCENT

SEKIL 9-SEKIL 10'A GÖRE HAT AKIMI FOURIER ANALİZİ ÇIKIŞLARI

SEKIL 10-SEKIL 9'VE GÖRE HAT AKIMI FOURIER ANALİZİ ÇIKIŞLARI

#### IV SONUÇLAR

Yan kontrollü do&nitucu ilü beslenen motorun serbest geçii) diyodunun sağladığı iukan saycsin^ie birinci bölgenin dalu gerüş bir aluuuda, undüvi ukinmun kesintisi/ çalıştığı bilinen bir gerçektir.

Şekil 2.u vo Şekil 3.a ile vrilun yan kontrollü ve tanı kontrollü devrelerin aynı çüa ş gücü vo aynı motor devir say t siyle çalışmaları durumunda kaynaklan çekilen akımların efektif değerleri (Şekil 6.b vo Şekil 7 ) mukayese edilecek olursa; yan kontrollü (Serbest geçiş diyollu) doğrultucunun kaynaklan, iımı kontrollü doğrullucunun kiodeu 29.398-26.205-O.193 A kadar daha azolduftu gözlenir. Aynca bu iki devrenin kaynak aları ("ür'itr ana'n çıkışlarına bakılacak olursa (Şekil 9, Şekil 10) yan kontrollü devrede 1. harmoiük 35.44 A iken tam kontrollü devrede 35.18 A'dir. Diğer gpi kalan bütün ltmmonik genlikler yan kontrollü devrede daha küçüktür.

Aynca toplam Lurmonik distorsiyonunun; yan kontrollü devrede %31.8 iken, tam kontrollü devrede %35.84 olduğu gözlenir.

#### KAYNAKLAR

[1] P.V.ITJINENOVA, SPICE: A Guide To Circuit Simulation and Analysis Using PSpice, 1992

[2] S.B. DEV/AN, O.R.SLEMON and A. STRAUGHEN. Power Semiconductor Diodes JULY 1984

[3] L.J. OIACOLA'ITO . "Simple SCR and TRIAC PSpice Computer Models.", UÜK Trans. Ind. accbon.Vol.36. No 3, August 1989

[4] V.AORAVVALA.K-AORAVVAL and K.KANT " A Study of Single-Pba.sc lo İTucc -Phase Cycloconverter Using PSpice" İİ^EE Trans.Ind. Electron .Vol. 39>lo 2^pril 1992

#### Yazarlar:



İ. KASAPOĞLU Asım, 1947 yılında Kula'da doğdu. 1972 yılında t.T.Ü. Elektrik Fak.'den mezun oldu. 1984'de Doktor Mühendis. 1988'de Elektrik Mak. Ana Dilim Dalı Doçenti ünvanını aldı. Halen Y.T.O Elektrik Elektronik Fak.'de görev yapmaktadır.



TACİ M Salih, 1959 yılında İstanbul'da doğdu. 1985 yılında İ.T.O. Sakarya Müh. Fak. Elektrik Müh. Böl.'den mezun oldu. 1992 yılında Y.O. Fen BU. Ens.'den Elektrik Yüksek Müh. ünvanını aldı. Halen Y.T.O. Elektrik Böl.'de Anj.Gör. olarak görev yapmaktadır.

FARKLI STATOR SARGILI ASENKRON MOTORLARDA BOŞTA ÇALIŞMA  
KAYIPLARININ ANALİZİ

ÖGR.GÖR. İSMAIL TEMİZ  
M.ü.

TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ ELEKTRİK BÖLÜMÜ

ÖZET

Asenkron makinalar günümüzde en yaygın olarak kullanılan elektrik makinaları olup genellikle motor olarak kullanılmaktadır. Motorlardaki kayıpları minimum düzeyde tutabilmek için boşta çalışma kayıplarının küçük olması gerekir.

Bu çalışmada 36 oluklu 4 kutuplu 1.1 kW lık 90 S-4 tipi 7 adet asenkron motora değişik stator sargısı uygulanarak, boş çalışmadaki kayıplar deneysel olarak bulunmuştur. Hata oranım minimum düzeyde tutmak için aynı rotor ve kapaklar kullanılmıştır.

Farklı sarım şekilleriyle gerçekleştirilen asenkron motorlarda kayıplar ele alınarak, kayıpların minimum olduğu ideal motor elde edilen deneysel sonuçların karşılaştırılmasıyla ortaya konarak diğer motorlarla karşılaştırılmıştır.

1 GİRİŞ

Sanayide ve diğer birçok alanda kullanılan elektrik motorlarının %90 m kafesli asenkron motorlardan oluşmaktadır. Kafesli asenkron motorun bu kadar çok kullanılması (yapımının kolay, dayanıklı, işletme güvenliğinin yüksek olması, periyodik bakımının az ve ucuz olması önemli bir etkidir.

Bu motorların statorunda normal Uç fazlı alternatif

akım sargısı bulunur. Rotor sargısı ise rotora açılmış oluklara alüminyum dökümle elde edilir.

Bu çalışmada 36 oluklu 4 kutuplu 1.1 kW lık aynı tip 7 asenkron motorun stator oluklarına aynı sipirde de Çmsik sargılar uygulanmıştır. Uygulanan sargıları şu şekilde sıralayabiliriz.

1.motor; Bir tabakalı iki katlı sargı  
2.motor; Bir tabakalı üç katlı sargı  
3.motor; Bileşik Uç fazlı sargı  
4.motor; Bileşik Uç fazlı daşı-tılmış sargı  
5.motor; İki tabakalı kısaltılmış adımlı sargı  
6.motor; İki tabakalı sargı  
7.motor; İki tabakalı farklı adımlı sargı.

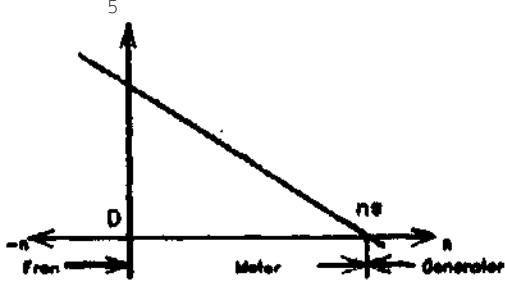
Uygulanan bu sargıların motorun boşta çalışmadaki kayıplarının nasıl değiştiği deneysel olarak incelenmiştir [1-4].

2 EŞDEĞER DEVRE VE ÇALIŞMA  
PRENSİBİ

Asenkron motorun çalışma ilkesi bir döner alan varlığına dayanır. Çok fazlı bir stator sargısında aynı faz sayısında çok fazlı bir akını geçerse hava aralığında sabit genlikte bir döner alan oluşur. Bu döner alan rotor sargısı iletkenlerinde  $U_n = B.l.v$  yasasına göre gerilim endükler bu yasaya göre bir döndürme momenti oluşur. Bu moment etkisiyle rotor döner alan yönünde hızlanarak

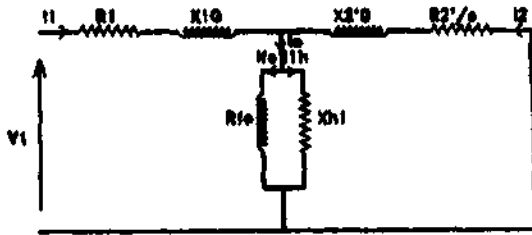
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

çalışma sekine göre  $n$  devir sayısına ulaşır. Sekil 1 de  $s$  kaymasının rotor dönme sayısına göre değişimi verilmiştir.



Sekil 1  
 $s$  kaymasının rotor dönme sayısına göre değişimi

Asenkron motorun statoruna uygulanan değişik sargılar motorun genel eşdeğer devresinde devre parametrelerini değiştirmektedir. Sekil 2 de asenkron motorun genel eşdeğer devresine sinüsoidal bir gerilim uygulandığında devre akımı, demir nüve kayıp akımı, mıknatıslanma akımı ve yuksuz akımı içeren eşdeğer devre gösterilmiştir.



Sekil 2  
Asenkron motorun T eşdeğer devresi

Mıknatıslanma akımının bulunması devreye uygulanan VI geriliminin dalga biçimi ve genişliğiyle makinede kullanılan sacın kalitesine ve öz eörisiyle sarım tipine, stator ile rotor arasındaki hava boşluğuna bağlıdır. Söz konusu nedenlerden ötürül incelemedeki hatayı minimum düzeyde tutmak için aynı tip motor gövdeleri ve her motor için aynı rotor ve kapaklar kullanılmıştır. Böylece üç fazlı asenkron motorların yuksuz durumda sargı ve demir göbek kuvvetlerinin kayıpları hesaplanabilir [1, 2.5].

### 3 BOS ÇALIŞMA DURUMU

Giriş bölümünde belirtilen 7 adet farklı stator sargılı kafesli asenkron motor yıldız bağlanarak boşta çalıştırılmıştır. Frekans ve gerilimden dolayı meydana gelebilecek hataların önlenmesi için, motorlar bir jeneratör tarafından beslenmiştir. Bu deney sonundaki alınan sonuçlar Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1  
Asenkron Motorların boşta çalışma değerleri

motor	Akım (A)	GÜC (w)	GÜC Rüt. (Cos(0))
1	1.52	172	0.1691
2	1.61	154	0.1452
3	1.44	173	0.1816
4	1.56	162	0.1577
5	3.04	407	0.2029
6	1.55	160	0.1568
7	1.61	184	0.1766

Tablo 1 deki değerler sabit gerilim 380 volt ve 50 Hz frekansta elde edilmiştir.

Motorun şebekeden aldığı toplam gdc  $P_o$ , su kayıpların toplamıdır.  $P_{fd}$  demir kaybı.

$P_{cu}$  stator bakır kaybı ve  $P_{me}$  (sürtünme ve ventilasyon kaybıdır. Buna göre;

$$P_o = P_{fe} + P_{cu} + P_{mek} \quad (1)$$

vaşılabilir. Burada

$$P_{cu} = 3 \cdot I_o^2 \cdot R_s \quad (2)$$

olduğu için motorun stator bakır kayıpları bilinmesi gerekir.

Motorlar-in soçluk doşru akım dirençleri voltmetre-ampermetre yöntemi ve RLC metre ile ölçülmüştür. Motor etkin direnci olimik DC direncinin yaklaşık 1.5 katı olduğundan 1.5 ile çarpılarak motor etkin dirençleri bulunmuş ve sonuçlar tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2  
Motor etkin dirençleri

Motor No	Direnci ( $\Omega$ )
1	9.663
2	8.49
3	9.76
4	8.54
5	8.25
6	9.43
7	9.68

Mekanik kayıpları bulmak için asenkron motoru dışardan aynı şebekede 4 kutuplu bir senkron motorla döner alan yönünde döndürülmüştür ve bu durumda kayma sıfır yapılmıştır.  $S=0$  durumunda rotor sargısında endüklenen gerilim  $U_r = S \cdot U$  ve akım da  $I_r = 0$  olmaktadır, Sürtünme ve ventilasyon kayıpları senkron motor tarafından karşılandığın dan stator sarısının şebekeden çektiği  $I_o$  akımı mıknatıslanma akımı ile demir kayıplarının fa7.örlerinin toplamından meydana gelmektedir. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 3 de verilmiştir [2].

Tablo 3  
Senkron Çalışma durumu

motor	Akım (A)	Güc (W)	Güc Kat. (Cos(0))
1	1.52	140	0.1369
2	1.61	122	0.1151
3	1.44	141	0.1487
4	1.56	130	0.1266
5	3.04	375	0.1056
6	1.55	12B	0.1254
7	1.61	152	0.1140

Tablo 3 deki değerisi alınırken gerilim 380 volt, frekans 50 Uz. devir 1500 d/dak olarak sabit alınmıştır.

$$P_{mek} = P_o - P_{senkron} \quad (3)$$

3 numaralı esitilikten  $P_{mek}$  kayıpları 32 W olarak bulunmuştur. Bu sonuçta görüldüğü gibi sürtünme ve ventilasyon kayıpları Cos(0) ye bağli olarak değişmiştir. Motorların mıknatıslanma ve demir kayıplarını bulmak mümkündür. Elde edilen sonuçlar tablo 4 de görülmüştür.

Tablo 4  
Mıknatıslanma ve Demir kayıpları

motor	$P_o$ (W)	$P_{mek}$ (W)	$P_{cu}$ (W)	$P_{fe}$ (W)
1	172	32	101.25	36.75
2	154	32	99.03	22.97
3	173	32	91.07	44.93
4	162	32	94.24	35.76
5	407	32	343.09	31.95
6	160	32	101.95	26.05
7	184	32	123.50	28.50

#### 4 SONUÇ

Farklı sarım şekilleriyle gerçekleştirilen asenkron motorlarda, kayıpların minimum olduğu ideal motorun bulunması amacıyla 36 oluklu 4 kutuplu 1.1 kW lık 7 adet asenkron motor üzerinde gerçek-

leştiren deneylerden boşta ve senkron çalışma durumlarında 7 adet motorun devreden çıktıkları etkin akım, gerilim ve frekansın değişimi (C) i gözlenmiş ancak güç katsayılarının ve buna bağlı olarak güçlerinde Q istigi görülmüştür. Tablo 1 de karakteristikleri verilen 2 numaralı 1 tabakalı üç katlı sargı tipi uygulanan motorun minimum mıknatıslanma akımı cektioi ve boştaki ve senkron çalışma durumlarında şebekeden c^ktişi gücün minimum olduğu Tablo 4 de ortaya konmuştur. Aynı tabloda 6 numaralı 2 tabakalı sargı uygulanan motorun boştaki kayıplarının diğerlerine göre daha az olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre 2 numaralı bir tabakalı üç katlı sargı tipi uygulanan motorun ideal olduğu sonucuna varılmıştır.

## Yazara ilişkin Bilgiler

ögr.Gör. İsmail TEMİZ



10-08-1959 tarihinde Malatyada doğdu. İlk Orta ve Lise eğitimi Mİİstanbul'da tamamlandı. 1984 senesinde M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesinden Mezun oldu. Bir sene serbest çalıştıktan sonra 1985 yılında aynı Fakülteye Ars-Gör. olarak göreve başladı. 1988 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden Yüksek Lisans programını tamamladı, Askeriik görevinden sonra 1992 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde doktora programına girdi. Halen tez aşamasında olup, aynı fakültede öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

## Kaynaklar

- [1]-CETİN, I., SCHUISKY, W., Elektrik Motorları, İstanbul 1987
- [2]-SARIOĞLU, K., Asenkron Makinalar, İstanbul, 1983
- [3]-BODUROĞLU, T., Elektrik Makina Dersleri Asenkron Makinalar, İstanbul, 1981
- [4]-UNALAN, E., Elektrik Makinalarının Sargıları ve Bunların Yapılması, İstanbul, 1977
- [5]-FUCHS, E.F., CHANG, L.H., APPELPAUM, J., Magnetizing Current, Iron Losses and Forces of Three-Phase Induction Machines at Non-sinusoidal Terminal Voltages, November. IEEE. I 904

## ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANARAK BİR TRANSFORMATÖRÜN MANYETİK ALAN DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Hanifi GÜLDEMİR  
F.Ü. Elek-Elektronik Müh. Bl.  
23279 ELAZIĞ

Hasan KÜRÜM  
F.Ü. Elek-Elektronik Müh. Bl.  
23279 ELAZIĞ

Sefa AKPINAR  
K.T.Ü. Elek-Elektronik Müh. Bl.  
TRABZON

### ÖZET

Bu çalışmada Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yönteminin Elektrik ve Manyetik Alan Problemlerine uygulanması için gerekli ifadeler türetilmiştir. Uygulama olarak bir transformatör ele alınıp incelenmiştir. Transformatör üç boyutlu birinci dereceden tetrahedral elemanlara bölünerek bu tetrahedral elemanların düğümlerindeki potansiyeller, geliştirilen bilgisayar programı ile hesaplanmış ve eş potansiyel eğrileri çizdirilmiştir.

### 1. GİRİŞ

Sonlu Elemanlar Yöntemi matematiksel olarak diferansiyel denklemlerle ifade edilebilen fiziksel sistemlerin yada problemlerin çözümü için kullanılan bir yöntemdir.

Yöntem ele alınan çözüm bölgesinin tümü için bir potansiyel fonksiyonu bulmanın mümkün olmadığı durumlarda parça parça bir yaklaşımla çözümün tanımlanan sonlu küçük elemanlar içinde aranmasına dayanır. Bunun için öncelikle çözüm bölgesi sonlu küçük elemanlara bölünür ve bu bölgedeki her düğüm için potansiyel denklemleri yazılarak elde edilen denklem takımı iteratif yada doğrudan çözüm yöntemlerinden biri kullanılarak çözülür.

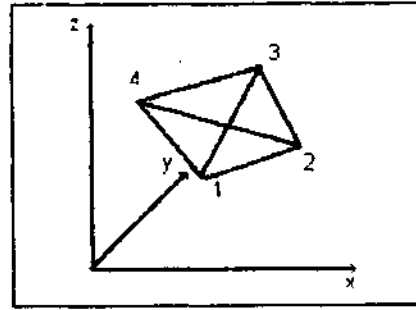
### 2. ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Şekil.1. 'deki gibi birinci dereceden bir tetrahedral elemanın içerisinde ve köşelerinde geçerli olan deneme fonksiyonu

$$\Phi(x, y, z) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3 z$$

olarak birinci dereceden bir fonksiyonla ifade edilir. Buradan görüldüğü gibi  $\Phi$  değeri x, y ve z'

ye göre lineer olarak değişmektedir  $\Phi$ .



Şekil. 1. Üç Boyutlu Tetrahedral Eleman

Tetrahedral elemanın köşelerinde potansiyeller  $\Phi_i, \Phi_j, \Phi_m, \Phi_p$  ise  $\nabla \cdot \mathbf{i}_m$  ve  $\nabla \cdot \mathbf{i}_p$  ise  $\nabla$  köşelerde de geçerli olduğundan

$$\Phi_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_i + \alpha_2 y_i + \alpha_3 z_i$$

$$\Phi_j = \alpha_0 + \alpha_1 x_j + \alpha_2 y_j + \alpha_3 z_j$$

$$\Phi_m = \alpha_0 + \alpha_1 x_m + \alpha_2 y_m + \alpha_3 z_m$$

$$\Phi_p = \alpha_0 + \alpha_1 x_p + \alpha_2 y_p + \alpha_3 z_p$$

olarak yazılabilir. Bu denklem sistemi  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  'e göre çözüldüğünde

$$\alpha_0 = (\mathbf{a}_i \Phi_i + \mathbf{a}_j \Phi_j + \mathbf{a}_m \Phi_m + \mathbf{a}_p \Phi_p) / 6v$$

$$\alpha_1 = (\mathbf{b}_i \Phi_i + \mathbf{b}_j \Phi_j + \mathbf{b}_m \Phi_m + \mathbf{b}_p \Phi_p) / 6v$$

$$\alpha_2 = (\mathbf{c}_i \Phi_i + \mathbf{c}_j \Phi_j + \mathbf{c}_m \Phi_m + \mathbf{c}_p \Phi_p) / 6v$$

$$\alpha_3 = (\mathbf{d}_i \Phi_i + \mathbf{d}_j \Phi_j + \mathbf{d}_m \Phi_m + \mathbf{d}_p \Phi_p) / 6v$$

elde edilir. Burada Tetrahedral elemanın hacmini göstermekte ve

$$a_i = \begin{vmatrix} x_j & y_j & z_j \\ x_k & y_k & z_k \\ x_p & y_p & z_p \end{vmatrix}$$

$$b_i = \begin{vmatrix} 1 & y_j & z_j \\ 1 & y_k & z_k \\ 1 & y_p & z_p \end{vmatrix}$$

$$c_i = \begin{vmatrix} x_j & 1 & z_j \\ x_k & 1 & z_k \\ x_p & 1 & z_p \end{vmatrix}$$

$$d_i = \begin{vmatrix} x_j & y_j & 1 \\ x_k & y_k & 1 \\ x_p & y_p & 1 \end{vmatrix}$$

$$\Gamma_i = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i & z_i \\ 1 & x_j & y_j & z_j \\ 1 & x_m & y_m & z_m \\ 1 & x_p & y_p & z_p \end{vmatrix}$$

olmak üzere

$$N_i = (a_i + b_i x + c_i y + d_i z) / 6V$$

$$N_j = (a_j + b_j x + c_j y + d_j z) / 6V$$

$$N_m = (a_m + b_m x + c_m y + d_m z) / 6V$$

$$N_p = (a_p + b_p x + c_p y + d_p z) / 6V$$

tanımlamaları kullanılarak tetrahedral eleman içinde ve köşelerinde geçerli olan potansiyel fonksiyonu

$$\psi(x,y,z) = N_i \psi_i + N_j \psi_j + N_m \psi_m + N_p \psi_p$$

olarak elde edilir. Burada kullanılan N fonksiyonlarına şekil yada enterpolasyon fonksiyonları denir.

Tetrahedral elemanın içinde potansiyel

fonksiyonunun Laplace Diferansiyel Denklemi'ni sağladığını varsayalım. Homojen sınır koşullarında Laplace Diferansiyel Denklemine karşı düşen enerji fonksiyoneli

$$W = \int_V \left( \frac{1}{2} \epsilon \left( \frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \psi}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} \right)^2 \right) dx dy dz$$

olduğundan burada potansiyel fonksiyonu yerine yukarıda elde edilen deneme fonksiyonu kullanılırsa

$$\frac{dW}{d\psi_i} = \frac{\phi_i b_i + \phi_j b_j + \phi_m b_m + \phi_p b_p}{6V}$$

$$\frac{dW}{d\psi_j} = \frac{\phi_i c_i + \phi_j c_j + \phi_m c_m + \phi_p c_p}{6V}$$

$$\frac{dW}{d\psi_k} = \frac{\phi_i d_i + \phi_j d_j + \phi_m d_m + \phi_p d_p}{6V}$$

olarak elde edilir.

$$\iiint dx dy dz = V$$

tetrahedral elemanın hacmi olarak alınıp F. fonksiyoneli yerine konulur ve Fi minimum yapacak  $\psi$  değerlerini bulmak için değişkenlere göre kısmi türev alınırsa

$$\frac{dF}{d\psi_i} = 2 (S_{ii} \psi_i + S_{ij} \psi_j + S_{im} \psi_m + S_{ip} \psi_p)$$

$$\frac{dF}{d\psi_j} = 2 (S_{ji} \psi_i + S_{jj} \psi_j + S_{jm} \psi_m + S_{jp} \psi_p)$$

$$\frac{dF}{d\psi_m} = 2 (S_{mi} \psi_i + S_{mj} \psi_j + S_{mm} \psi_m + S_{mp} \psi_p)$$

$$\frac{dF}{d\psi_p} = 2 (S_{pi} \psi_i + S_{pj} \psi_j + S_{pm} \psi_m + S_{pp} \psi_p)$$

Burada

$$S_{ii} = (1/1 + c_j + c_f) / 36V$$

### 3. BİR TRANSFORMATÖRÜN İÇİNDEKİ AKI DAĞILIMININ İNCELENMESİ

İkinci kısımda türetilen denklemler kullanılarak geliştirilen bilgisayar programı ile Şekil.2 'de verilen transformatör tetrahedral elemanlara bölünmüştür. Tetrahedral elemanlardan oluşan çözüm bölgesi Şekil 3.'de gösterilmiştir

$$S_{jj} = (b_j^2 + c_j^2 + d_j^2) / 36V$$

$$S_{mm} = (b_m^2 + c_m^2 + d_m^2) / 36V$$

$$S_{pp} = (b_p^2 + c_p^2 + d_p^2) / 36V$$

$$S_{ij} = S_{ji} = (b_i b_j + c_i c_j + d_i d_j) / 36V$$

$$S_{im} = S_{mi} = (b_i b_m + c_i c_m + d_i d_m) / 36V$$

$$S_{ip} = S_{pi} = (b_i b_p + c_i c_p + d_i d_p) / 36V$$

$$S_{jm} = S_{mj} = (b_j b_m + c_j c_m + d_j d_m) / 36V$$

$$S_{pm} = S_{mp} = (b_p b_m + c_p c_m + d_p d_m) / 36V$$

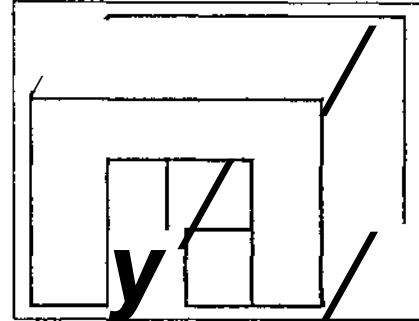
$$\begin{bmatrix} S_{ii} & S_{ij} & S_{im} & S_{ip} \\ S_{ji} & - & - & - \\ S_{mi} & S_{mj} & - & - \\ S_{pi} & S_{pj} & S_{pm} & S_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \phi_m \\ \phi_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Bu matris eşitliği çözüldüğünde tetrahedral elemanın her köşesindeki ve deneme fonksiyonu ile içindeki her noktada potansiyel değerleri bulunur 121111 İM.

Çözüm bölgesi birden fazla tetrahedral eleman içerdiğinden bütün bu işlemler her bir tetrahedral eleman için tekrarlanacaktır. Çözüm bölgesi için geçerli olan fonksiyonel bu defa

$$F = \sum F(e)$$

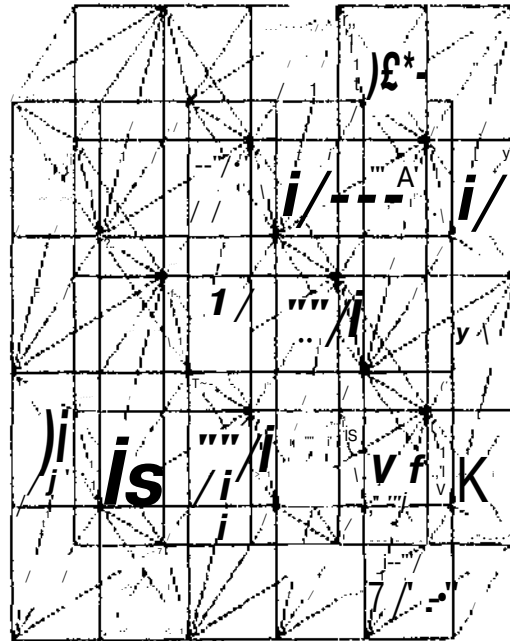
olarak ifade edilir. Her elemanın ayrı ayrı minimizasyonu ile elde edilen denklem takımı uygun biçimde birleştirilerek doğrudan yada iteratif yöntemlerle çözümlenerek, çözüm bölgesi içindeki bütün noktadaki potansiyel değerleri elde edilir.



Şekil.2. Çözümü Yapılan Transformatör

Bu çalışmada incelenen transformatörün tetrahedral elemanlara bölünmesinde Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar için Otomatik Veri Üretimi programından yararlanılmıştır.

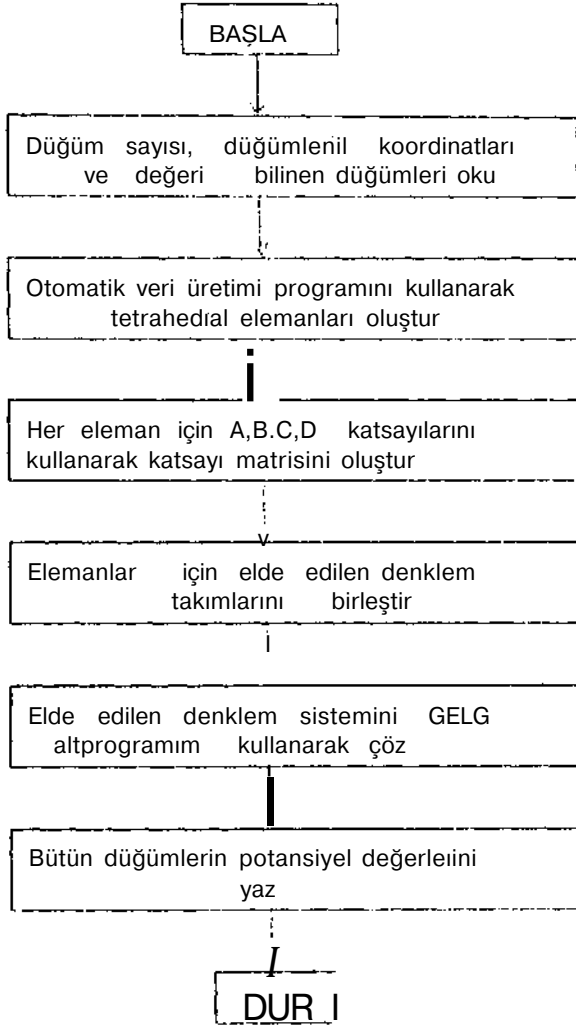
Çözüm Bölgesi 800 tetrahedral elemandan oluşturulmuş ve düğüm sayısı ise 277 dir Fakat şeklin karmaşıklığı nedeniyle çözüm bölgesinin 100 eleman ve 60 düğümünden oluşturulmuş şekli burada verilmiştir.



Şekil.3. Tetrahedral Elemanlardan Oluşmuş Çözüm Bölgesi

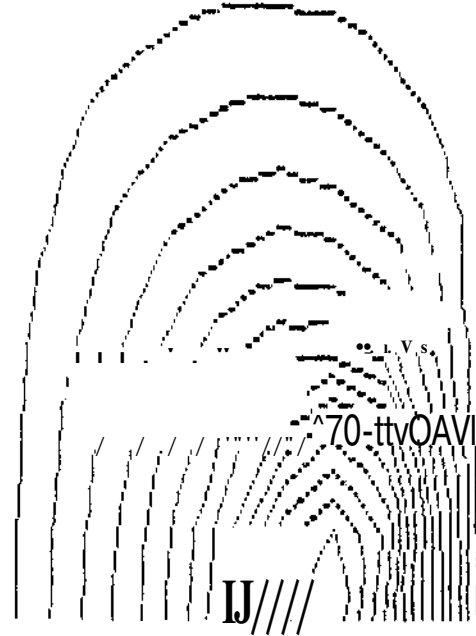


#### 4. ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İÇİN AKIŞ DİYAGRAMI



#### 5. EŞ VEKTÖR POTANSİYEL EĞRİLERİ

Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile incelenen transformatörün vektör potansiyel değerleri geliştirilen bilgisayar programı ile hesaplatılmıştır. Elde edilen bu değerlerden eş vektör potansiyel eğrileri üç boyutlu çözüm bölgesi içinde çeşitli kesitlerden çizilmiştir. Fazla yer kaplamaması açısından sadece x-z düzlemindeki bir kesite göre elde edilen eş vektör potansiyel eğrilerine burada yer verilerek Şekil 4.'de gösterilmiştir.



Şekil. 4. Eş Vektör Potansiyel Eğrileri

#### 6. SONUÇ

Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi için geliştirilen bilgisayar programı ile önce problemin basitliği açısından bir çift elektrot sistemi ele alınıp üç boyutlu olarak incelenmiş ve program sonuçları gözlenmiştir /6/.

Bu çalışmada ise çözüm bölgesi içerisindeki özellikli bölgeler, örneğin akım taşıyan iletkenler, ferromanyetik malzeme de hesaplamalara katılarak, bir transformatör içindeki akı dağılımının bulunması için çözüm yapılmıştır. Çözüm bölgesi 800 tetrahedral eleman ve 277 düğümden oluşturulmuş ve akı dağılımı çizdirilmiştir.

Alan dağılımı Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile birlikte İki Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile de hesaplatılmıştır. Eş vektör potansiyel eğrileri üç boyutlu hesaplamalarla değişik kesitlerde çizdirilmiş ve İki Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile çizdirilen eş vektör potansiyel eğrileri ile aynı olduğu gözlenmiştir.

#### 6. KAYNAKLAR

/1/ Chai, M. V. K., Silvester, P., Finite Element in Electrical and Magnetic Field Problems, John Wiley and Sons, New York, 1984.

/2/ Silvester, P., Fenn, R. L., Finite Elements for Electrical Engineers, Cambridge University Press, 1978.

/3/ Chari, M. V. K., Silvester, P., Konrad, A., Three Dimensional Magnetic Field Analysis of

Electrical Machinery by the Finite Element Method  
IEEE Transaction on Power Apparatus and  
Systems, Vol-PAS 100. No 8, August 1981.

141 Demerdash, N A., Fonad, A., Three  
Dimensional Finite Element Vector Potential  
Formulation of Magnetic Fields in Electrical  
Apparatus; IEEE Transaction on Power Apparatus  
and Systems, Vol-PAS 100, No 8, August 1981.

151 Kürüm, H., Çift Yanlı Lineer Asenkron  
Motorların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi,  
Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi. Elazığ, 1990.

152 Güldemir, H., Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar  
Yöntemi ile Elektrik ve Manyetik Alan  
Problemlerinin Çözülmesi. Doktora Tezi, Fırat  
Üniversitesi, Elazığ, 1993.



GÜLOEMR, H. 1964 yılında Elazığ'da doğdu. Elazığ Teknik Lisesi Elektrik Bölümünü bitirdikten sonra ODTÜ Gaziantep Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde Üniversite eğitimi başladı. Hazırlık bir ve ikinci sınıfları burada okuduktan sonra Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında Yüksek Lisansını tamamladı (1991) YÖK/Dünya Bankası II. Endüstriyel Eğitim Projesi kapsamında bir aylık araştırma için Amerika'daki Purdue Üniversitesine gitti. Halen Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında Doktora yapmakta ve Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



KÜRÜM H. 1968 yılında Elazığ'da doğdu. 1979 yılında Lisans eğitimi tamamladı. 1984 de Kapasitif Yüklü Transformatörlerde Transien Akımlar konusunda Yüksek Lisans çalışmasını, 1990 yılında da Çift Yanlı Çelik Sekonderli Lineer Asenkron Motorların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi konulu Doktora çalışmasını tamamladı. Halen Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Yarı Zamanlı Doçent olarak çalışmalarını

sürdürmektedir



AKPINAR S. 1948 yılında Erzurum'da doğdu. 1972'de İTÜ Elektrik Mühendisliği Fakültesinden Yüksek Mühendis olarak mezun oldu. 1973 de KTÜ'de Asistan olduktan sonra 1976'da Doktora yapmak

üzin University of Stralsund (Iskocya) gitti. 1980 yılında KTÜ'ye döndükten sonra 1982 yılında Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Elektrik Makinaları Anabilim Dalında Yardımcı Doçent oldu. 1986 da Doçent ve 1992 de Profesör olan Sefa Akpınar 1986 yılından beri çeşitli idari görevlerde bulundu.

Ulusal ve uluslararası konferanslarda savunulmuş 34 bildiri ve Yurt Dışı Bilimsel Makaleleri yanında, bir dizi kitabı, dizi dizi notu, ve bir Fulbright Bursu ile desteklenmiş araştırmaya katılmıştır. Özellikle dil ve dil çocuklarıdır.

# ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İÇİN OTOMATİK VERİ ÜRETİMİ

Hasan KÜRÜM  
F.Ü. Elek-Elektronik Müh. Bl  
23279 ELAZIĞ

Hanifi GÜLDEMİR  
F.Ü. Elek-Elektronik Müh. Bl.  
23279 ELAZIĞ

Sefa AKPINAR  
K.T.Ü. Elek-Elektronik Müh. Bl.  
TRABZON

## ÖZET

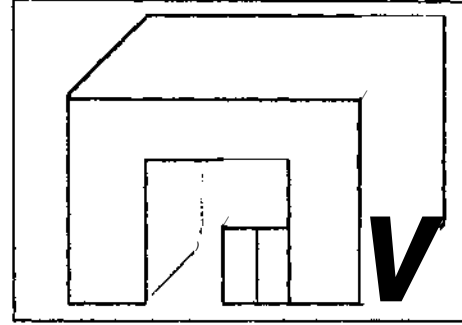
Sonlu Elemanlar Yönteminin Elektrik Mühendisliğinde kullanımı 1970'li yıllardan sonra büyük bir hızla artmaktadır. Elektrik Makinalarının performansı ve tasarımı hesaplarında yaygın şekilde kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi ile iki boyutlu yada üç boyutlu hesaplamalar yapmak mümkündür. Yakın tarihlere kadar hesap basitliği bilgisayar hafıza yetersizliği ve bilgisayar hesaplama süresinin uzun olması nedeniyle İki Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi tercih edilmiştir. Bilgisayardaki hızlı gelişmeler ve iki boyutlu hesaplamaların yetersiz kalması üç boyutlu hesaplamaların yapılmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yönteminde birinci dereceden tetrahedral eleman kullanan programlar için otomatik veri elde edilmesi gerçekleştirilmiştir.

## 1.GİRİŞ

Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, vektör potansiyel değerinin fazla olduğu bölgelerde tetrahedral elemanların sayısı çoğaltılarak çözümün doğruluğu artırılır. Çözüm bölgesini çok sayıda tetrahedral elemana bölümü elle veya bilgisayar yardımı ile yapılabilir. Elle yapılan bölümlendirmeler çok uzun zaman alacağı gibi numaralandırma ve koordinatların belirlenip bilgisayara yazılması esnasında çok sayıda yanlışlık yapılabilir. Ayrıca bir problemi değişik bölümlendirmelerle çözmeye ihtiyaç olan durumlarda, bilgisayar yardımı ile otomatik olarak yeterli sayıda bölümlendirmenin kolaylığı daha iyi anlaşılır.

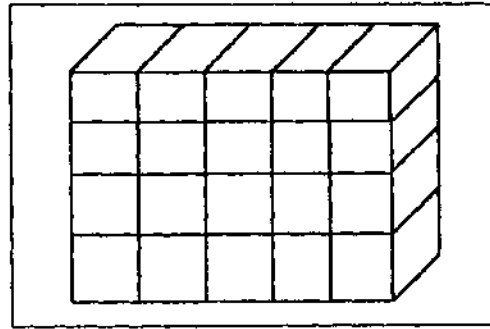
Bu çalışmada birinci dereceden tetrahedral eleman kullanan Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi için her türlü hesaplamalarda kullanılabilen otomatik veri üretimi yapılmıştır. Örnek olarak bir transformator hesabı için otomatik veri hesabından bahsedilecektir.

Bir transformatorun performansını ve alan dağılımını incelemek için simetriden dolayı Şekil.1.'de görülen parçasını almak yeterlidir. Bu parçayı doğrudan tetrahedral elemanlara bölmek oldukça zordur.



Şekil. 1. Bir Transformatorün Simetrik Yapıya Göre Kesiti

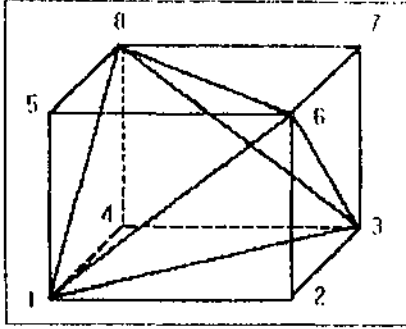
Bu nedenle parçanın önce basit dikdörtgenler prizmasına (hexahedral) bölünmesi tercih edilir /!/. Basit dikdörtgen prizmalara bölümlendirirken vektör potansiyel değişimin fazla olduğu bölgeleri daha küçük dikdörtgen prizmalara bölmek gereklidir. Vektör potansiyel değişimin fazla olduğu bölgeleri belirlemek için en basit yöntem, ilk basit bölümlendi medeti sonra eşvektör potansiyel değişimle çizdirip: vektör potansiyel değişimin fazla olduğu bölgeleri belirleyip, bundan sonra bu bölgeleri yeniden daha küçük dikdörtgen prizmalara bölmektir. Şekil.2.'de transformator kesitinin basit dikdörtgen prizmalara bölünmüş hali görülmektedir.



Şekil.2. Dikdörtgen Prizmalara Bölünmüş Hal

Bu bölümlendirmede her dikdörtgen prizmayı tanımlayan sekiz düğümün numarası, bu

düğümlemler >:yz koordinatları ve bu dikdörtgen prizmanın hangi bölgeye ait olduğu bilgisi, otomatik veri üretimi programı için yeterli dala bilgisi olmaktadır. Bu aşamadan sonra geliştirilen program her prizmadan Şekil.3.'de görüldüğü gibi beş tane tetrahedral eleman elde etmektedir! ,?'



Şekil.3. Dikdörtgen Prizmadan Tetrahedral Eleman Edilmesi

tetrahedral eleman elde etmek için tetrahedralin 6 kenarının orta noktalarının koordinatları iki komşu düğümün koordinatlarından faydalanarak aşağıdaki gibi hesaplanır

$$X_1 = \frac{X_1 + (X_2 - X_1)}{2}$$

$$Y_1 = \frac{Y_1 + (Y_2 - Y_1)}{2}$$

$$Z_1 = \frac{Z_1 + (Z_2 - Z_1)}{2}$$

$$X_2 = \frac{X_2 + (X_3 - X_2)}{2}$$

$$Y_2 = \frac{Y_2 + (Y_3 - Y_2)}{2}$$

$$Z_2 = \frac{Z_2 + (Z_3 - Z_2)}{2}$$

$$X_3 = \frac{X_3 + (X_4 - X_3)}{2}$$

$$Y_3 = \frac{Y_3 + (Y_4 - Y_3)}{2}$$

$$Z_3 = \frac{Z_3 + (Z_4 - Z_3)}{2}$$

$$X_4 = \frac{X_4 + (X_5 - X_4)}{2}$$

$$Y_4 = \frac{Y_4 + (Y_5 - Y_4)}{2}$$

$$Z_4 = \frac{Z_4 + (Z_5 - Z_4)}{2}$$

X?İL3İL6daJ\_EJenafL\_No Düğümjeri

1	1 2 3 6
2	3 8 6 7
3	1 3 4 5
4	1 6 8 5
5	1 3 8 6

Bu bölümlendirmeden sonra çözüm bölgesindeki toplam tetrahedral eleman sayısı (TTES)

TTES-Dikdörtgen Prizma Sayısı X 5

olmaktadır.

## 2. OTOMATİK TETRAHEDRALLERE BÖLÜMLENDİRME

Çözüm bölgesini dikdörtgen prizmalara böldükten sonra her prizma içinde Şekil.3.'de gösterilen beş adet tetrahedral eleman oluşturulur. Bu elemanların toplam sayısı çözüm için yeterli sayıda olmayabilir. Bu durumda geliştirilen bilgisayar programı her tetrahedral eleman içinde Şekil 4.'de gösterilen yeni sekiz adet tetrahedral eleman elde etmektedir. Eğer oluşan elemanların sayısı yine yeterli değil ise tekrar bölümlendirme yapılarak yeniden her elemandan yeni sekiz adet eleman oluşturulabilmektedir.

Bölümlendirme yeterli oluncaya kadar işleme devam edilebilmektedir.

Bir tetrahedral elemandan yeni sekiz adet

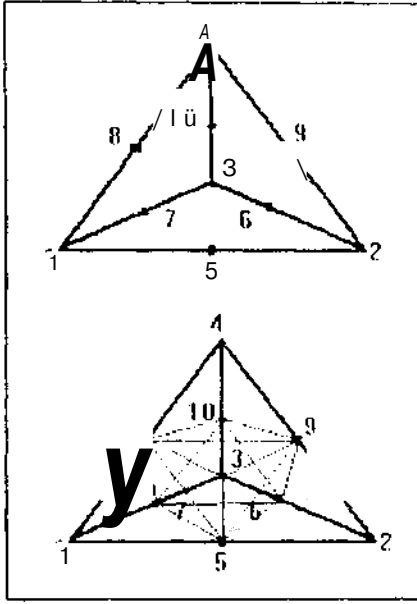
Şekil 4 'de tetrahedrali belirleyen düğümler 1.2.3,4 düğümleri ve bu düğümlerin koordinatlarıdır. Her kenarın orta noktasını bularak elde edilen yeni altı adet düğüm 5.6.7.8,9,10 nolu düğümlerdir. Bir tetrahedral elemanın bölünmesiyle elde edilen 8 adet tetrahedrali belirleyen düğümler ise aşağıda gösterildiği gibidir.

Tetrahedral Eleman No	Düğümüleri
1	1 5 7 8
2	5 2 6 9
3	7 6 3 10
4	8 9 10 4
5	7 9 10 8
6	7 6 10 9
7	5 9 7 8
8	5 6 7 9

Bu durumda çözüm bölgesindeki tetrahedral elemanların toplam sayısı, bölümlendirmeden önceki eleman sayısının sekiz katı kadar olacaktır.

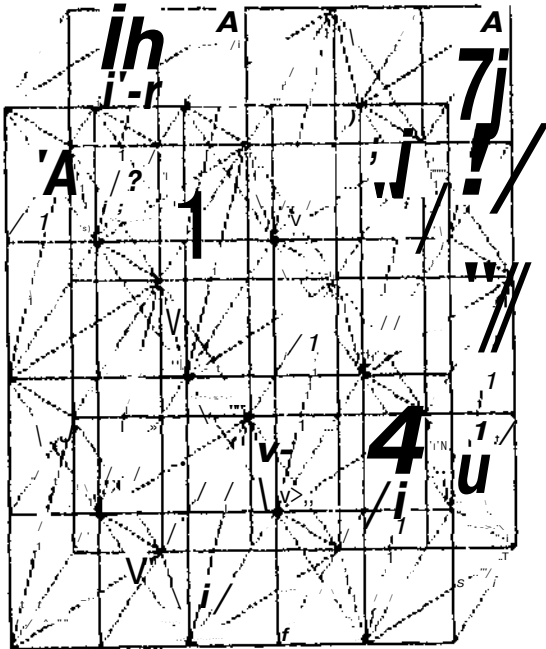
Bu bölümlendirmenin ilk dataları ile birlikte bir tetrahedral elemanın kaç defa bölümlendirileceği data bilgisi olarak bilgisayara girilir ve bölümlendirme gerçekleştirilir.

Bölümlendirmede demir, hava ve iletken bölgelerdeki elemanları tanıma bilgileri korunur. Bununla birlikte sınır değerlerin verildiği düğümler arasındaki yeni sınır düğümleri, bu düğümlere komşu diğer sınır düğümlerinden hesaplanarak yeni sınır düğümleri ve değerleri de verilir.



Şekil.4. Bir Tetrahedral Elemandan Yeni Sekiz Adet Eleman Elde Edilmesi

Sonlu Elemanlar Yönteminde elde edilen esas matrisin band genişliği, tetrahedral elemanın iki düğüm numarası arasındaki farkın en büyüğüne eşittir. Band genişliğinin mümkün olduğu kadar küçük tutulması bilgisayar hafızasında işgal edilen yer tasarımı ve hesaplama süresinin düşük tutulması bakımından oldukça önemlidir.

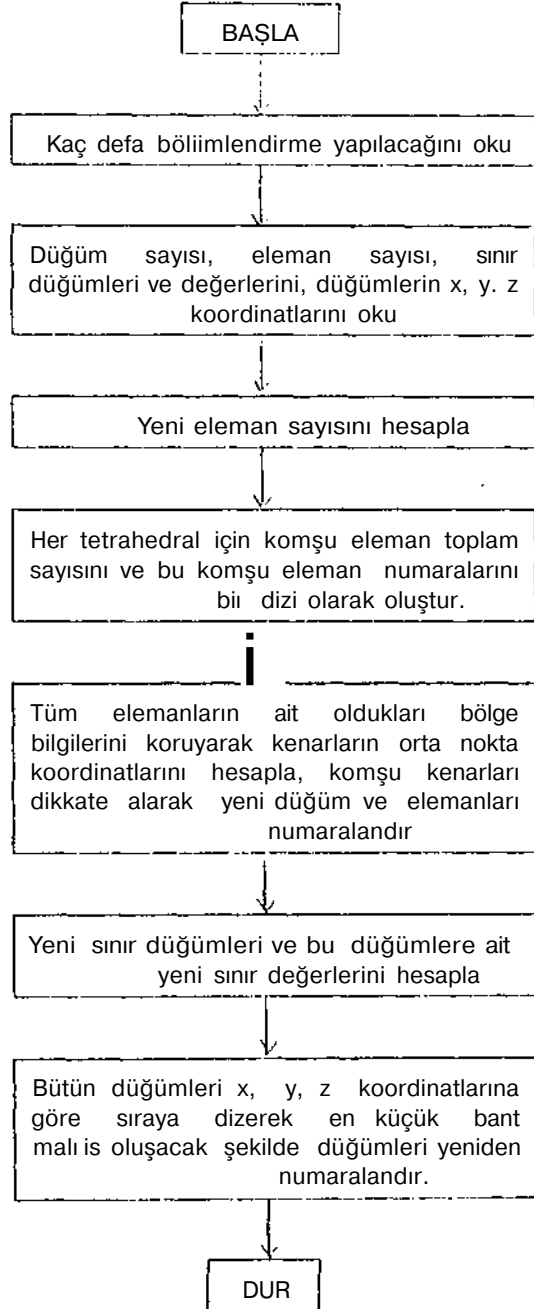


Şekil.5. Tetrahedrallerden Oluşan Çözüm Bölgesi

Bu bakımdan bir İprahedralın iki düğüm numarası arasındaki farkı küçük tutabilmek için düğümler numaralandırılırken önce x, y ve z koordinatlarına göre sıraya dizilmiş, bundan sonra en küçük band oluşacak şekilde yeniden numaralandırılmıştır [3].

Böliimlendirme bilgisayar ekranında üç boyutlu olarak değişik perspektiflerde her tetrahedral eleman önce ayrı ayrı daha sonra hep birlikte çizilmiştir. Tetrahedrallerden oluşan çözüm bölgesi Şekil.5.'de görülmektedir.

### 3. AKIŞ DİYAGRAMI



#### 4. SONUÇ

Bu Çalışma sonunda geliştirilen bilgisayar programı her türlü Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanan problemlerin çözümü için otomatik olarak veri (iletmektedir, fiu piogramn çözüm bölgesinin basit dikdörtçjenler prizmasına bölünerek bu prizmalain koordinattandın girilmesi yeterlidir. Çözüm bölgesinin sınır düğümleri ve bu düğümlerin değerleri ile özellikli bölgelerin eleman numaraları girildiğinde otomatik veii üretimi sonunda bu sınırlardaki yeni düğümleri ve değerleri ile özellikli bölgelerin yeni elemanları üretilen yeni veriler içinde elde edilmektedir.

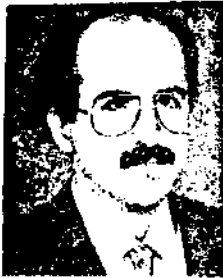
#### 5.KAYNAKLAR

/1/ Demerdash, N. A., Fouad, A, Three Dimensional Finite Element Vector Potential Formulation of Magnetic Fields in Elpcticnl Aparatus. IEEE Tiansaction on Power aparatus and Systems,Vol-PAS 100. No 8, August 1981

121 Silvester, P., Ferrari, R. L., Finite Elements for Electrical Engineers, Cambridge University Press, 1978.

/3/ Chari, M. V. K., Silvester, P., Konrad, A.. Three Dimensional Magnetic Field Analysis of Electrical Machinery by the Finite Element Melliod IEEE Transaction on Power aparalus and Systems,Vol-PAS 100, No 8, August 1981.'

/A/ Kürüm, H., Çift Yanlı Lineer Asenkron Motorların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 1990.



KÜRÜM H. 1956 yılında Elazığ'da doğdu. 1979 yılında Lisans eğilimini tamamladı. 1984 de Kapasitif Yüklü Transformatörlerde Transient Akımlar konusunda Yüksek Lisans çalışmasını, 1990 yılında

da Çift Yanlı Çelik Sekonderli Lineer Asenkron Motorların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi konulu Doktora çalışmasını tamamladı. Halen Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölünü'nde Yardımcı Doçent olarak çalışmalarını sürdürmektedir.



GÜLDEMR, H. 1964 yılında Elazığ'da doğdu. Elazığ Teknik Lisesi Elektrik Bölümünü bitirdikten sonra ODTÜ Gaziantep Elektrik - Elektronik Mühendisliğinde Üniversite öğrenimine

başladı. Hazırlık, bir ve ikinci sınıfları burada okuduktan sonra Fırat Üniversitesinin aynı bölümüne yatay geçiş yaptı. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik- Elektronik Anabilim Dalında Yüksek Lisansını Tamamladı (1991). YÖK/Dünya Bankası II. Endüstriyel Eğitim Projesi Kapsamında bir aylık araştırma için Amerika'daki Purdue Üniversitesi'ne gitti. Halen Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında Doktora yapmakta ve Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik-Bilgisayar Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

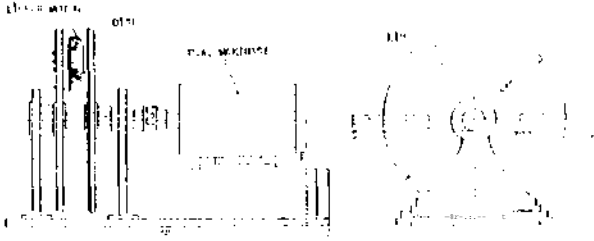


AKPINAR S. 1948 yılında Erzurum'da doğdu. 1972'ie İTÜ Elokttik M ü h e n d i s l i ğ i Fakültesinden Yüksek Mühendis olarak mezun oldu. 1973 de KTÜ 'de Asistan olduktan sonra 1976'ria Dokloia yapmak

üzere Univeisily of Slathclyde (Iskoçya) gitti. 1980 yılında KTÜ' ye döndükten sonra 1982 yılında Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Elektrik Makinaları Anabilim Dalında Yardımcı Doçent oldu. 1986 da Doçent ve 1992 de de Profesör. olan Sefa Akptnr 1986 yılından beri çeşitli idari görevlerde bulundu.

Ulusal ve uluslararası konferanslarda savunulmuş 34 bildiri ve Yurt Dışı Bilimsel Makaleleri yanında, bir ders kitabı, dört ders notu, ve bir Fulbright Bursu ile desteklenmiş araştırma Projesi bulunmaktadır. İngilizce bilip dört çocuk babasıdır





Şekil 1. Linear Motor Deney Seti

3 Cadet acil' = \*  $\hat{u}$ , i - l l a y u k i ç e -  
cek şekilde, ? t n. s ar l a n n ı ş t ı r . L e -  
mir-rjislc ile sac-ııüve yüzeyleri  
arasındaki mesafe yaklaşık 5 mm  
olup diğer- özellikleri Tablo 1' -  
de görülmektedir. I, lll' un simü-

Tablo 1. L.M parametreleri

Kutup say ısı	$2p = 4$
Faz say ısı	$m = 3$
Stator uzun l'ü	1-360 mm
Stator genişliği	$b = 105$ mm
Stator oyuk say ısı	X-36
KUtUp adımı	$T_u = 81$ mm
Oyuk adımı	$T_o = 8$ mm
Hava aralığı (stator-A1)	$S = 3$ mm
Disk Al-kalınlığı	$d_n = 2$ mm
Disk Fe-kalınlığı	$d_r = 4$ mm
Disk çapı	$D_{disk} = 600$ mm
Oyuktaki iletken sayısı	2x60
Tel çapı	2x0,75mm
Sargı adımı	1:8/10/12

Tablo 2. ASM statoru ve rotorlarının özellikleri

	Stator	Rotor 1	Rotor 2
Kutup sayısı	4		
Kutup adımı	20.69 BB		
Oyuk sayısı	36	26	
Stator iç çapı D <sub>i</sub>	90 mm		
Rotor dış çapı D <sub>d</sub>	-	89.5 mm	89 mm
Saç paket boyu l <sub>r</sub>	115 mm	115 mm	115 mm
Hava aralığı S	-	0.25 mm	0.5 mm
Rotor 2 saç paketi dış çapı	-	-	86 mm
Bir oyuktaki ilet- ken sayısı	2x32		
Tel çapı	0,75/0,90		
Sargı adımı	1:8/10/12		

I. v r i n l l I . . . i a k u l l a n ı l a n 0.7 f 3 z I 1  
A. f i ' ' l r l e l l c r i , l a h o r a t u v a r o l ç m ' -  
imkanlar 1 göz önünde bulundur u-  
l-ı r r . I : " < 1 : W n } M i a k s e c i l m i ş t i r  
< R o t o r - 1 i l . 3 t i r l i k t e A G M ] 0 0 L  
\* \ b t i p i A S M ) . R o t o r - 2 . T a b l o 2 . ' -  
de . v e r i l e n ö l ç ü l e r d e A l u m i n y u m  
g ö m l e k l i ( \* - . 3 0 i n / Q m i n - ) v e o -  
y u k s u z o l a r a k i m a l e d i l m i ş t i r .  
A 3 M ' l a 1 b i r d i n a m o f r e n y a r d ı m ı y -  
l a y ü k l e n m i ş v e y a d ı ş a r ı d a n t a h -  
r i k e r i i l m i ş t i r d i r . G e r e k L t m v e  
g e r e k s e A S M ü ç f a z l ı O t o T r a n s -  
f o r m a t ö l ü i l e ü ç f a z l ı f l e k a n s  
d e ğ i ş t i r i c i g ü ç k a y n a ğ ı ( S A M E L  
P U M - 1 / 1 0 0 ) ü z e r i n d e n d e ğ i ş i k f r e -  
k a n s l a r d a v e d e ğ i ş i k g e r i l i m s e -  
v i y e l e r i n d e b e s l e n m i ş t i r .

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR:

### 2.1. Hoç t; \* Ç a l ı ş m a D a n e y l e r i :

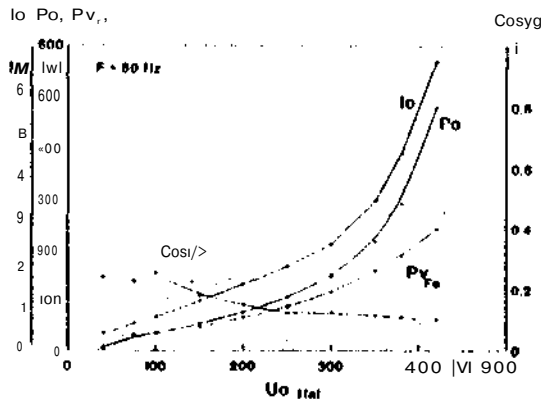
Genel olarak yüksüz çalışmakta olan makinalarda magnetik devre özelliklerini ve boştaki kayıplarını belirlemek için boşa çalışma deneyleri yapılır. Bu deneylerde ASM'un ve LIM'un sürütme kayıpları mekanik olarak dışarıdan karşılanmıştır. Bu amaçla söz konusu motorlar, millerine akuple edilmiş Doğru Akım Makinaları yardımıyla, senkron devir sayılarında veya senkron hızlarında tahrik edilmişlerdir. Böylece, her iki tip makinanın sekönder devrelerinde herhangi bir gerilim indüklenmeyeceğinden, sekönder devrelerin primer devreler üzerindeki etkileri sözkonusu değildir, ölçülen boştaki akım değeri ( $I_0$ ), güç ( $P_0$ ), güç-faktörü ( $\cos \phi_0$ ) ve stator sargı dirençleri ile bu değerlerin kullanılması sonucu elde edilen demir kayıpları ( $F'_{VF}$ ), ilgili motorlar için sırasıyla Şekil 2., 3. ve 4.'de verilmiştir.

### 2.2. Kısa Devre (Kilitli Rotor)

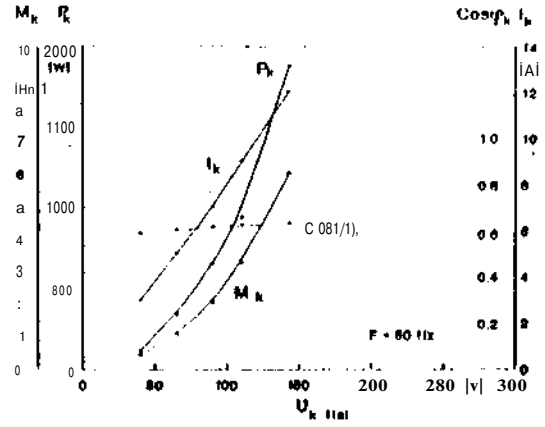
Dorleylori :

Her iki ASM tipi ile LIM'un yol alma momentleri ( $M_k$ ), Kısa Devre kayıpları ( $P_s$ ), güç-faktörleri ( $\cos \phi^*$ ) ve yol alma skımları ( $I_U$ ) ile ilgili özelliklerin araştırılabilmesi için kısadevre de-  
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

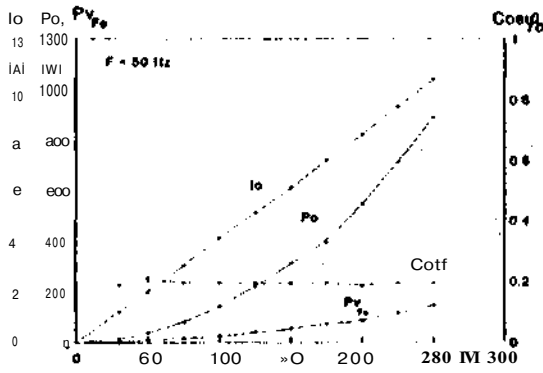




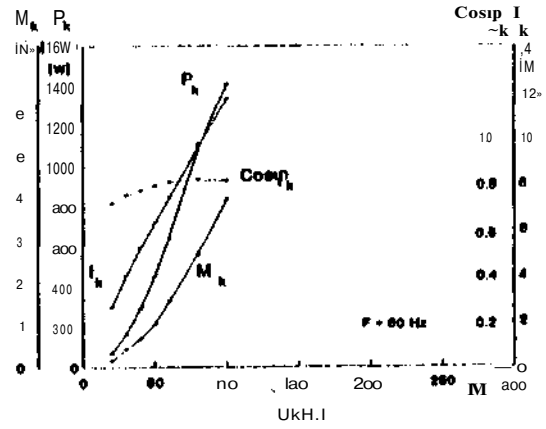
Şekil 2. ASM Rotor-1 ile ölçülen Boşta Çalışma Karakteristikleri



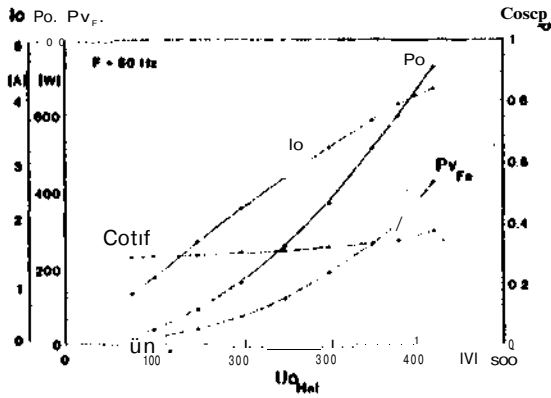
Şekil 5. ASM Rotor-1 ile ölçülen Kısa Devre Karakteristikleri



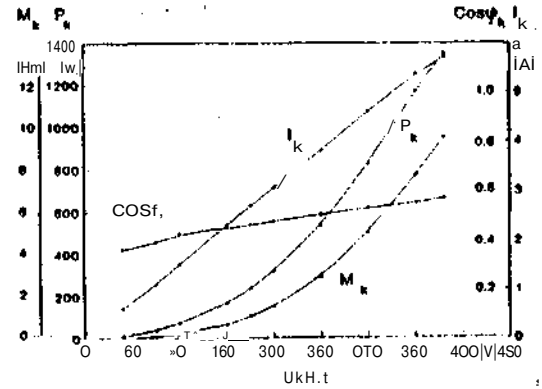
Şekil 3. ASM Rotor-2 ile ölçülen Boşta Çalışma Karakteristikleri



Şekil 6. ASM Rotor-2 ile ölçülen Kısa Devre Karakteristikleri



Şekil 4. LİM ile ölçülen Boşta Çalışma Karakteristikleri



Şekil 7. LİM ile ölçülen Kısa Devre Karakteristikleri

neyleri yapılmıştır, ölçülen değerler Şekil 5.,6. ve 7.'de verilmiştir.

2.3. Değişik Besleme Frekanslarındaki YÜKLÜ Çalışma Karakteristikleri:

Bu bölümde makina Özelliklerinin değişik sLator besleme frekanslarına bağımlılığı Ölçülmüştür. ölçülen değerlerin birimleri ile karşılaştırılabilirleri için  $E / F_i \ll U / F$ , oranının aşağıda açıklandığı gibi belirlenmesi gerekmektedir. Bir motorun döndürme momenti için

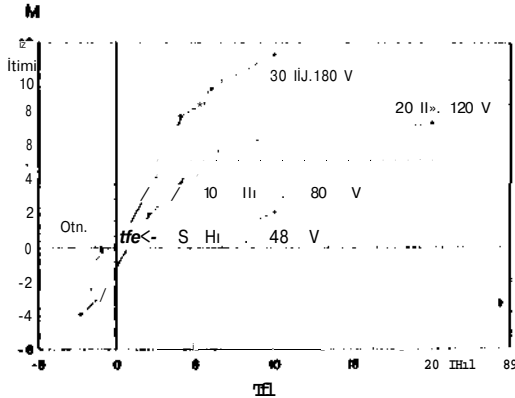
$$M_D = C_r \cdot \Phi \cdot I_2 \quad (1)$$

eşitliği geçerlidir. Döndürme momentinin büyüklüğü, sabit magnetik akı  $\Phi$  için, rotor akımı  $I_2$ 'nin oluşmasını sağlayan rotor frekansına bağımlıdır. Şayet bir motorun  $\Phi$  akısı değişik besleme frekanslarında sabit tutulabilirse, yokün aynı kalması durumunda rotor frekansı da sabit kalır. Sadece rotor devir sayısı değişir. Bir bobinde indüklenen gerilim;

$$E = C_r \cdot \Phi \cdot F,$$

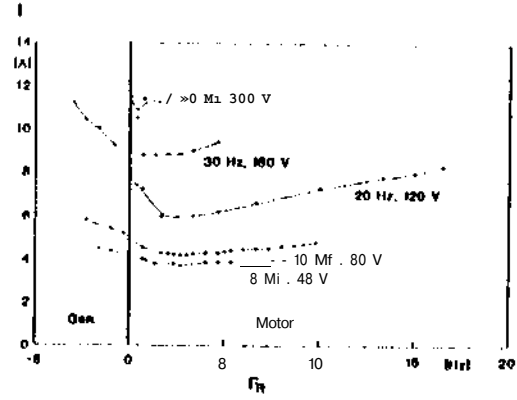
$$C_r \cdot \Phi = E / F, \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Magnetik akının frekansı  $F_i$ , düşer veya yükselirse indüklenen gerilimin büyüklüğünde de aynı oranda bir değişme görülecek, ancak bu durumda magnetik akı sabit kalacaktır. Bu tesbitten sonra ön ölçümler sonunda  $U_{ind} / F_i = 6$  olarak seçilmiş ve bu değer yapılan deneylerin tümü için sabit tutulmuştur. ASM (Rotor-2) ve LIM'a ait değişik ejrilerden

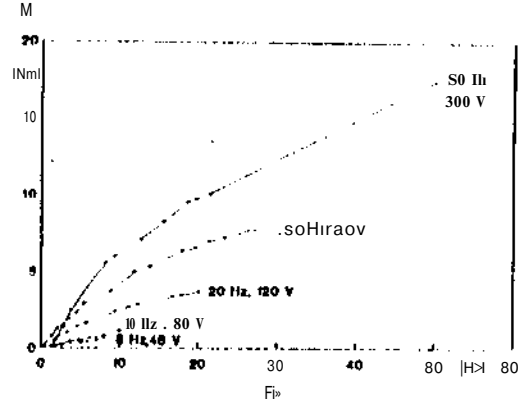


Şekil 8. ASM Rotor-2 Ölçülen Döndürme Momenti (M) - Rotor Frekansı (FR) Karakteristikleri  
1072

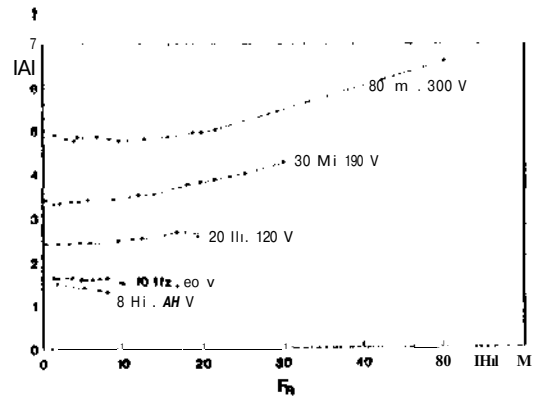
Moment  $v < ?$  Stator akımının rotor frekansına göre değişimlerini gösteren örnekler Çekil 8., 9., 10. ve 11.'de verilmiştir.



Şekil 9. ASM Rotor-2 Ölçülen Stator Akımı (I) - Rotor Frekansı (FR) Karakteristikleri



Şekil 10. LIM'UN Ölçülen Döndürme Momenti (M) - Rotor Frekansı (FR) Karakteristikleri



Şekil 11. LIM'un Ölçülen Stator Akımı (I) - Rotor Frekansı (FR) Karakteristikleri

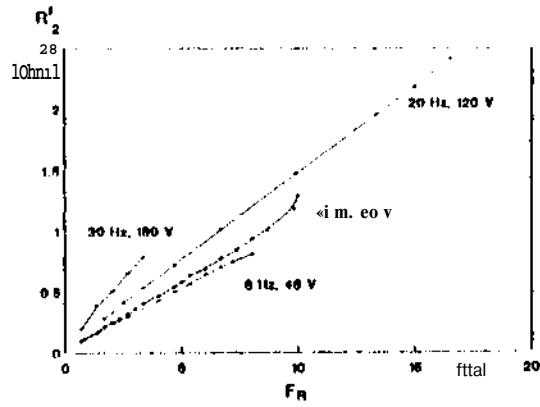
### 3. DEĞERLENDİRMELER:

Bu çalışmadan elde edilen ve literatürde bu paralelde yapılan bulgularla da iyi bir uyum gösteren deneysel ve teorik sonuçları öz olarak değerlendirmek gerekirse, aşağıdaki önemli noktaları vurgulayabiliriz;

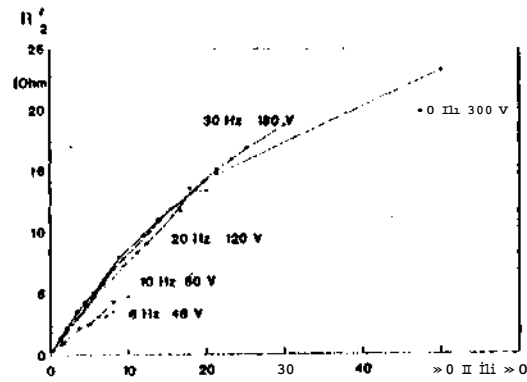
- 1) Şekil 2 normal sincap kafesli ASM'un (Rotor-1) boşta çalışma karakteristiklerini göstermektedir.
- 2) Şekil 3 ve Şekil 4'de boşta çalışma durumunda Rotor-2'de ve LIM'da magnetik devre doyuma gitmemektedir. Rotor-2'de bakır kayıplarının demir kayıplarına göre %300 daha fazla olduğu görülmektedir.
- 3) Şekil 5 normal sincap kafesli ASM'un (Rotor-1) kısa devre karakteristiklerini göstermektedir.
- 4) Şekil 6 ve Şekil 7'de Rotor-2 ve LIM için 50 Hz, 300 V besleme geriliminde, yol alma akım karakteristiklerinde doyuma ulaşılmadığı gözlenmiştir.
- 5) Şekil 8 ve Şekil 9, Rotor-2 ile ölçülen döndürme momenti ve stator akımı değerlerinin rotor frekansına göre değişimlerini göstermektedir. Şekil 10 ile Şekil 11 ise LIM'a ait benzer karakteristikleri sergilemektedir. Her iki motor tipinin karşılaştırılmasından ilgili karakteristik eğrilerinin birbirlerine benzer oldukları izlenmektedir. Moment karakteristiklerinden görüldüğü gibi devrilme moment değerleri rotor direncinin yüksek olmasından dolayı yol alma bölgesine kaymaktadır. Dolayısıyla, işletmede LIM'ların büyük kayma değerlerinde çalıştırılmalarının mümkün olabileceği görülmektedir.
- 6) Besleme gerilimi / Besleme frekansı oranı = 6 değerinde sabit tutularak yapılan deneysel çalışmalarda, LIM ve diğer iki tip rotorun sel önder büyüklüklerinin rotor frekanslarına bağımlı oldukları tesbit edilmiştir. Aynı-

ca sekönder reaktanalarının, sabit rotor frekansında besleme frekansı azaldıkça küçüldüğü gözlenmiş ve sekönder ohmik dirençlerinde ise (Şekil 12 ve Şekil 13) deri olayına bağlı olarak frekans bağımlılığı tesbit edilmiştir.

- 7) Dengeli Uç fazlı gerilimle beslenen ASM'larda faz akımları eşit değerlerde iken, Oç fazlı LIM'larda faz akımları arasında % 15 dolaylarında farklılık tesbit edilmiştir.



Şekil 12. ASM Rotor-2 için Hesaplanan Rotor Direnci-Rotor Frekansı Karakteristikleri



Şekil 13. LIM için Hesaplanan Rotor Direnci-Rotor Frekansı Karakteristikleri

### 4. SONUÇLAR:

Bu çalışmada standart bir ASM, rotoru Alüminyum gömlekli ASM ve LIM olmak üzere üç ayrı özellikteki makinelerle deneysel çalış-

malar yUi ütu1müş Mjr. [igney sonuçları bir bilgisayar programı hazırlanarak Hpiçerl ?ndiri İniştir. Eşdeğer Şema büyüklükleri hesaplanarak bu karakteristik eğrilerin incelenin^sinden, LIM ile rot,oru Aluininyum gOmlekIi ASM'u11 işletme ör.el I iklerinin benleri i-gi dolayısıyla, LIM'un sınırlı olarak sim01e edilebilirliisi sonucuna varılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında L,İM'un ana akımı civarında, sekaneler kısmı esnetecek büyüklükte stator. ile disk arasında di1: kuwetlerin o.1uştuguvelı Wkuvvel. Iei-inmotorun verimini menfi yönde etkilediği gözlenmiştir. Bu çalışmanın devamı olarak ileride tek kutup sayılı ve uçlardaki kutupları yarım sargılı Llli'lar ile çok kutup sayılı LIM'ların incelenmesinde yarar görülmektedir. Ayrıca, yüksek hızlar için 50 Hİ-clen büyük frekanslarda çalışmaların sürdürülmesi, hızlı trenlpr ve diğer taşıma sistemlerindeki tahrik motorlarının özellikleri hakkında tamamihyıcı bilgi elde etmel; açısından, önem kazanmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] BOLDEA, !., BABESCU, M., 1978. Multilayer Approach To The Analysis of Single-Sided Linear Induction Motor, IEE, Vol.125, No.4, s.283-287.
- [2] GIERAS, J.F., DAWSON, G.E., EASTHAM, A.R., 1987. A New Longitudinal End Effect Factor For Linear Motors IEEE Trans.on Energy Conver. Vol. EC-2, No.1 s.152-159.
- [3] MCLEAN, G.U., 1988. Review of Recent Progress in Linear Motors, IEE, Vol.135, Pt.B, No.6, s.380-416.
- [4] BUDİG, P K., 1975. Theoretisehe Ergebnisse Der Gemeinsamen Forsehungsarbeit UdSSR -DDR zur Bemessung von DrehstromlinearmotorenFür 1:1 eine synehronne Geschwindigkeit, Elektrie 29 H.5, s.245-251.
- [5] TIMMEL, H., 1979. Zur Bedämpfung des Quereffektes

beiWan.1erfeIdline3rmotoren durı.h İcdıl itfirung der İanıer-scheibeHiç1;trie33 H.7, s.370-375.

C6] L'EL,ERU I, W., 1973.

Darstellung des Pftriebs-veihalteriseinePLinear-motors3IsPsçııdo-Au?-gIeichsvorgang einer normal-en Asynchronniüschine, ET2 -A Bd.9/ı H.4 s.209 - ?.. 15.

MoliniHt BAYRAK



1942 yılında Konya-dadogdu.İngilttere-de Sheffield üniversitesinden 1969 yılında Lisans (P. - Eng.) 1971 yılında yüksek Lisans (M.-Fing.) 1975 yılında Doktora (Ph.D.) de-

rece!erini alrılı. 1981 yılında M.Ü.'de Mikrodaİga dalıııüs Doçent unvanını aldı. 1988 yılında S.ü.'de profesörlüğe atandı.1908 yılından bu yana S.O. Mt.h.-Mim. Fak., Elk.-EIL. Müh. Bölümü'nde Bölüm Başkanlığı görevini yürüt-mektedir.

Abdul İah ÜRKMRZ



1345 'de5'-ınnı'da doğdu.1965 yılında Ankara Erkek Teknik Yüksek öğrt. Okulu Elektrik Bölümünü bitirdi. 1966-1973 arasında Almanya Braunschweig Teknik Universitesinden

Lisans ve yüksek Lisans derecelerini aldı. 1980'e kadar öğretim Görevliliği ve değişik işyerlerinde Elk.Yük.Müh. olarak çalıştı. 1980 yılından bu yana S.U., Müh.-Mim. Fak.'de ügr.Görevliliği yapmaktadır. 1993'de S.O.'nde Doktor Unvanını almıştır. Halen S.ü. MUh.-Mim. Fak. Elk.-Elt. Müh. Bölümünde Enerji Tesisleri ABD. başkanıdır.