



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 metninin 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 dileğindeyiz.

Bilindiği gibi Kongremiz Elektrik, Elektronik-Haberleşme, Kontrol ve Bilgisayar Sistemleri alanlarında bilimsel-teknolojik özgün katkılarını 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/fuarin 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)  
Abdullah SEZGİN (KTU) İrfan SENLİK (EMO)  
Kenan SOYKAN (EMO) Y.Nuri SEVGEN (EMO)

## DANISMA KURULU

Rasim ALDEMİR (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 ÇİĞDEM (EMO) I. Ata YİĞİT (EMO)  
R. Can ERKÖK (ABB) Fikret YÜCEL (TELETAS)  
Bülent ERTAN (ODTÜ) Hamit SERBEST (ÇU)  
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

Necini İKİNCİ (EMO) Elmas SARI (EMO)

BİLİMSEL DEĞERLENDİRME KURULU

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

ENERJİ UACITIM TRANSFORMATÖRÜNÜN MIKNATISLANMA  
PARAMETRELERİNİN İLETİŞİM FREKANSLARINDA ANALİZİ

Yrd. Doç. Dr. E tein KÖKLÜKAYA  
Sakarya Üniversitesi Müh.Fak  
Elk-Elektronik Müh. Böl.  
Adapazarı

M. Server FIRAT  
Sakarya Üniversitesi Müh.Fak  
Elk-Elektronik Müh.Böl.  
Adapazarı

ÖZET

Son yıllarda enerji dağıtım sisteminde otomasyonun sağlanması ve otomasyon amaçlı iletişimin dağıtım sistemi üzerinden gerçekleştirilmesine yönelik yoğun çalışmalar yapılmaktadır, iletişimin dağıtım sistemi üzerinden gerçekleşmesini engelleyen birçok olumsuz faktör vardır Bu olumsuz faktörlerin çoğu özellikle dağıtım transformatörlerinin yapısal parametrelerinin frekansla değişimlerinden kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada transformatörlerin fiziksel parametrelerinin frekansla değişimleri matematiksel ve deneysel olarak analiz edilmiştir. Orta gerilim seviyesinde sargıları bulunan 0.4 KVA gücündeki bir fazlı model transformatörün manyetik geçirgenliği ile demir kayıpları gibi fiziksel parametreleri 5-20 kHz frekanslarda deneysel olarak incelenmiştir. Aynı parametreler 5-20 frekanslar için teorik olarak hesaplanmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

GİRİŞ

Enerji dağıtım sistemi otomasyonunda iletişimin dağıtım sistemi üzerinden gerçekleşmesini engelleyen faktörlerden birinde transformatörün yapısal parametreleri ve bu parametrelerin frekansla değişimleridir. Transformatörlerin iletişim frekanslarındaki davranışını belirlemek amacıyla değişik deneysel çalışmalar yapılmaktadır. 25KVA gücün

deki dağıtım transformatörünün 5-20 kHz frekanslardaki empedans değişimleri Ken C.SHÜEY tarafından analiz edilmiştir [13. Roger M.VINES , H.Joel TBUSSEL, Ken C.SHÜEY ve J.B.O'NEAL, 15 KVA 25 KVA ve 37,5 KVA güçlerindeki dağıtım transformatörlerinin yük lü ve yüksüz durumlarında sekonder empedanslarının ölçümleri üzerinde çalışmışlardır [2].

Dağıtım transformatörüne bağlı dağıtım hatları empedans değişimlerinin analizi üzerine ise F.K. AMOURA, J.Ü.O'NEAL tarafından deneysel çalışmalar yapılmış ve dağıtım transformatörünün sekonder empedansma olan etkisi incelenmiştir[3].

Bu çalışmada transformatörün manyetik geçirgenliği ve demir kayıpları gibi fiziksel parametrelerin 5-20 kHz frekanslardaki değişimleri matematiksel ve deneysel olarak analiz edilmiştir. Deneyde orta gerilim seviyesinde sargıları bulunan çekirdek tipi 0.4 KVA gücündeki bir model transformatör kullanılmıştır.

TRANSFORMATÖRÜN MAGNETİK  
GEÇİRGENLİĞİNİN FREKANSLA  
DEĞİŞİMİ

Alçak ve orta gerilim değerlerinde 50 HZ Güç frekansında çalışmak üzere imal edilmiş bir transformatörün manyetik çekirdekindeki histerizis eğrisi, sekonder yüksüz iken yaklaşık primer anma gerilim değerinde doyu-

ma ulaşır[4]. Primere uygulanan iletişim frekanslarındaki gerilimin magnetik çekirdek üzerinde oluşturduğu akı yoğunluğu maksimum değerinden daha düşüktür. İletişim frekanslarında belirli bir gerilim değeri için magnetik endüksiyon (Bm),

$$B_m = \frac{0m}{A} \text{ (Wb/m}^2\text{)} \quad (1)$$

ifedeleri bulunabilir.

Primer gerilimi (U<sub>1</sub>) ve frekans (f) sabit ise, (eü akı değeri

$$\Phi_0 = \frac{U}{4,44 N \cdot f} \text{ (Weber)} \quad (2)$$

bağıntısı ile elde edilir ve sabittir. 0'ninbu değeri (1) ifadesinde yerine konulursa.

$$B_m = \frac{U}{4,44 N \cdot f \cdot A} \text{ (Wb/m}^2\text{)} \quad (3)$$

bağıntısı elde edilir.

$$B_m =: ur \cdot uO \cdot H \quad (4)$$

$$H \cdot l = N \cdot I \quad (5)$$

ifadelelerinden yararlanılarak ur

$$ur = \frac{U \cdot l}{4,44 N \cdot f \cdot A \cdot uO} \quad (6)$$

olarak elde edilir.

Tablo-i de üzerinde ölçme yapılan model transformatörün bası etiket değerleri verilmiştir.

Tablo-1. model transformatörün etiket değerleri.

Gücü : 0,4 KVA  
Anma gerilimi : 110/1350 V  
Primer sarım sayısı : 300  
Sekonder sarım sayısı : 3600

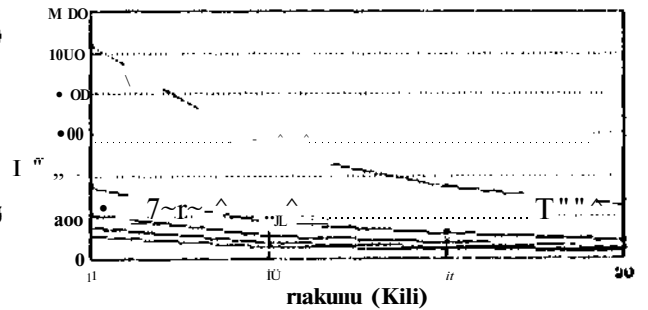
Magnetik nüve kesiti : 8.10 m<sup>2</sup>  
1312

Magnetik akı yolu uz. : 0,42 m  
Boşluğun mag. geçr. : 4.7T. 10 H/m

Tablo-1 deki değerler yardımı ile I parametre olmak üzere (6) formülü kullanılarak (jır) değerleri hesaplanmış ve tablo-2 de verilmiştir. (ur)'nin frekansla değişimini veren eğriler ise şekil-1 de gösterilmiştir.

Tablo 2. U =5 Volt ve I 'm değişik değerleri için \xr nin frekansla değişimi.

f	10 (mA) \xy	7 (mA) lir	5 (mA) .ir	3 (mA) )xr	1 (mA) tu-
5	104,5	149,3	209,1	348,4	1045
10	52,2	74,6	104,5	174,2	522,7
15	34,8	49,5	69,7	116,1	348,4
20	26,1	37,3	52,2	87,1	261,3

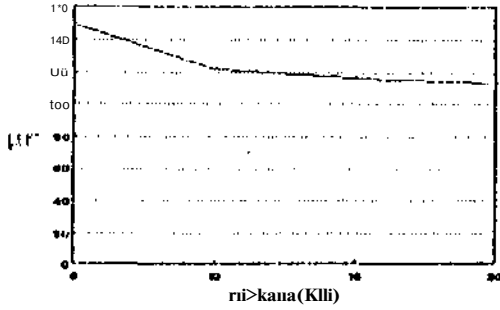


Şekil-1. ur nin frekansla değişimleri.

Model transformatör üzerinde yapılan ölçme sonucu elde edilen magnetik geçirgenlik değerleri tablo-3 de ve pr nin I akınımına bağlı olarak frekans değişimini veren eğriler şekil-2 de gösterilmiştir.

Tablo 3. Ölçme ile elde edilen magnetik geçirgenlik değerleri.

I (i.A) 10	7	4.3	3	2,3
f(kHZ)	5	10	15	20
lir	149,3	121,5	116,1	113,6



Şekil 2. Magnetik geçirgenliğin frekansla değişimi.

Transformatöre uygulanan iletme frekanslarındaki gerilim frekansı yükseldikçe iletkenin akım yüzeyden veya yüzeye yakın akmaya başlar. Böylece iletkenin reel iletme kalınlığı (6) frekans arttıkça azalır. Reel iletme kalınlığı (6)

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad (10)$$

olarak elde edilir[5]. Burada

$\mu$  : Magnetik geçirgenlik  
 $\sigma$  : İletkenin özgül iletkenliği  
 $f$  : Frekansı  
**göstermektedir. Transformatör üzerinde oluşan magnetik alan şiddeti ise ;**

$$H = \frac{N \cdot I}{l} \quad (11)$$

Transformatörün bir saç levhasının kalınlığı  $t$  ile gösterilirse etkin magnetik alan şiddeti ;

$$H_{eff} = H \cdot \frac{\delta}{t} \quad (12)$$

olarak elde edilir. Buradan magnetik alan şiddeti ile frekans arasındaki ilişkiyi belir-

leyen,

$$H_{eff} = \frac{H}{t} \cdot \frac{1}{\sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad (13)$$

ifadesi elde edilir[6].

#### TRANSFORMATÖRÜN DEMİR KAYIPLARININ FREKANSLA DEĞİŞİMİ

Transformatördeki demir kayıplarını magnetik devredeki aktif güç kayıpları oluşturur. Histerizis ve girdap akımları kayıplarının toplamı ile demir kayıpları;

$$P = P_{Fe} + P_H + P_g \quad (7)$$

olarak elde edilebilir.

Histerizis kayıplarını bilen histeriais eğrisinin oluşturduğu kapalı alan tanımlar. Kayıplar diğer elektrik makinelerinde olduğu gibi magnetik devrenin yapıldığı malzemenin cinsine göre değişir[7].

Steinmetz yaptığı deneysel çalışmalar sonucu histerizis kayıplarını ;

$$P_H = 1.6 \cdot f \cdot B_{max}^2 \quad (W/kg) \quad (8)$$

formülü ile tanımlanmıştır. Burada

$a$  : Magnetik malzeme sabiti  
 $f$  : frekansı  
 $B_{max}$  : Magnetik endüksiyonun maximum değerini ifade eder[8].

Girdap akımları kaybının magnetik devrenin , üzeri yalıtkan kaplanmış silisyumlu saçlardan yapılması ile azaltılabildiği bilinmektedir. Magnetik devrede oluşan bu kayıplar ;

$$P_g = a \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot B^2 \quad [W/kg] \quad (9)$$



formülü ile ifade edilmektedir [7].

o • Sacın kalite ve kalınlığı g ile ilgili malzeme sabitini.

f : Frekansı.

t : Sac kalınlığını.

B : Magnetik endüksiyonu göstermektedir.

(9) ve (10) formüllerinden de görüldüğü gibi histerisis ve girdnp akımları kayıpları frekansla artmaktadır. Tin kayıplar transformatörün boшта çalışma durumundaki harcadığı gücün aktif bileşeni (P<sub>Fe</sub>) ile belirle-

nebilir. Deneyde 110 V 50 Hz güç frekansı için bu aktif gücün toplamı 21 Watt olarak ölçülmüştür. Transformatöre aynı anda 50-20 kHz frekanslarda sinüoidal iletişim gerilimi uygulandığında, mafine tik devrede oluşan, kayıp güçlerin artışı ölçülerek tablo-4 de verilmiştir.

**Tablo 4.** Demir kayıplarının frekansla değişimi.

f(KHZ)	5	10	15	2ü
P(Watt) Fe	23	25	28	31

#### SONUÇLAR

Magnetik geçirgenliğin frekansla değişimi matematiksel olarak elde edilmiş ve frekans arttıkça magnetik geçirgenliğin azaldığı görülmektedir. Belirli gerilim değeri için akım parametre olmak üzere bulunan ölçüm değerleri ile hesaplanan sonuçların birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür. Deneyde kullanılan transformatörün özel bir transformatör olması, transformatör yapısından kaynaklanabilecek olumsuzlukların en alt düzeye inmesini sağlamıştır. Ancak uygulamada kullanılan transformatörlerde kullanılan malzemelerin

kalitesi, yapım hatası gibi fiziksel özelikleri magnetik geçirgenliği olumsuz yönde etkileyecektir, özellikle frekans yükseldikçe geçirgenliğin azalması daha kaliteli ve magnetik geçirgenliği yüksek malzemeler kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

Genellikle transformatörler sürekli rejimde çalışırlar. Bu yüzden azda olsa boшта çektikleri akımlar, sürekli olunca önem kazanmaktadır. Sürekli boшта akıma bağlı olarak oluşan boшта kayıpların frekans yükseldikçe arttığı deneylerden görülmüştür. Transformatör kayıplarının artmasının enerji kaybına neden olduğu gibi iletişim frekanslarındaki işareti zayıflatarak dağıtım transformatörünün iletişimde kullanılmasını zorlaştıracaktır. Sonuç olarak frekans yükseldikçe kayıpların özellikle transformatörün yapısıyla ve kullanılan malzeme ile çok yakından ilişkili olduğu görülmüştür.

#### KAYNAKLAR

- [1] SHUEY.C.Ken., "Distribution Transformers at Powerline Carrier Frequencies", GLOBE COM'8.3 IEEE Global Telecommunications Conference, Conference Record, San Diego, CA USA, pp483-6, Vol.1 28 Nov-1 Dec.1983.
- [2] VINES.Roger M., TRUSSEL, H.Joel. SHUEY, C. Ken and O'NEAL, J.B. "Impedance of the Residential Power-Distribution Circuit", IEEE Vol.EMC-27, No.1, pp.6-12 February 1985.
- [3] AMOURA.F.K. .O'NEAL. J.B. , "Analysis of Distribution Line carrier Propagation Using the Bus Impedance Hat-rix", Center for Communications and Signal Processing, Electrical and Computer Engineering Department, Nort Carolina State Universty, Raleigh NC 1988

- [4] LYNNDA K.ELL,M.EARLE COUNCIL  
"Distribution Transformer  
excitation Harmonics"  
Electric Power Systems Re-  
search 17 , 13-19 1989.
- [5] ATALAY, H., "Transmisyon Tek-  
niği" Karadeniz Teknik üniver-  
sitesi, Makina Elektrik Fakül-  
tesi Yayınları, No:5 1977.
- [6] MARTIN, A. Plonus., "Applied  
Electromagnetics", Mc. Graw-  
Hill International Editions  
6th Printing Singapore 1988.
- [7] ÇETİN, İlhami. , "Transforma-  
törler, I.kısım", Arpac mat-  
baacılık, İstanbul 1931.
- [8] BODUROGLU. Turgut.. "Elektrik  
makinaları dersleri -T'.beta  
basım yayını dağıtım A.Ş. ,  
6. Baskı, İstanbul 1981.
- [9] MERGEN.P. , "Effect of Supply  
Voltage Wave Forms upon Iron  
Losses In An Induction Motor"  
Bulletin of The Technical U-  
niversity of İstanbul, Voi.43  
No.1, İstanbul-199Ü.



M. Server FIRAT,  
1962 senesinde Diyar-  
bakır'da doğdu. Gazi  
Universitesi Teknik  
Fğitim Fakültesinden  
1987 yılında mezun  
olduktan sonra, Bakır-  
köy Endüstri Meslek  
Lisesi \* ıda göreve baş-  
ladı. 1989 yılında  
İ.T. U. Sakarya Mühendislik Fa-  
kültesi Elektrik Mühendisliği  
Bölümüne Uzman kadrosu ile a-  
atandı. Yüksek lisans çalışma-  
sını Marmara Üniversitesi Fen  
Bilimleri Enstitüsünde bitirdi.  
Halen Sakarya Üniversitesi Mü-  
hendislik Fakültesi Elektrik Ma-  
kinaları Anabilim Dalında Uzman  
olarak görev yapmaktadır.



Etem KÖKLÜÇAYA,  
1955 yılında Isparta  
da doğdu. 1972 yılın-  
da Isparta Lisesi 'n-  
den, 1978'de İ. T. U.  
Elektrik Fakültesi  
Elektronik ve Labora-  
tuvar Bölümünden me-  
zun oldu. İki yıl  
İ. T. U. 'de mühendis  
olarak çalıştıktan sonra. Eylül  
1980'de Sakarya D. M. M. Akademi-  
si 'nde Uzman- Asistan olarak  
göreve başladı. 1982'de Yıldız  
Teknik Üniversitesi 'nde yüksek  
lisans, 1988'de İ. T. U. r&u  
Bilimleri Enstitüsünde dokto-  
ra 'yı tamamladı. Halen Sakarya  
Üniversitesi Mühendislik Fakül-  
tesinde Elektrik- Elektronik Mühen-  
disliği Bölümü'nde Öğretim Üyesi  
olarak çalışmaktadır.

# İLETİŞİM SİNYALLERİNİN DAĞITIM TRANSFORMATÖRLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Doç. Dr. İrfan GÜNEY  
Marmara Üniversitesi  
Teknik Eğitim Fakültesi  
Elektrik Eğitimi Bölümü  
İSTANBUL

M. Server FIRAT  
Sakarya Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Elektrik - Elektronik  
Mühendisliği Bölümü  
ADAPAZARI

## ÖZET

21. yüzyıla girmek üzere olduğumuz bugünlerde bilginin en kısa zamanda iletilmesi büyük önem kazanmaktadır. Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artışı, bilgi iletimi ile haberleşme ve sistem kontrollerinin daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirme yönündeki çalışmaları da yoğunlaştırmıştır. Bu amaçla enerji dağıtım üniteleri üzerinde bilgi iletimi çalışmaları da devam etmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar da, ağırlıklı olarak, iletişim sinyalleri üzerinde enerji dağıtım hatlarındaki bozucu ve zayıflatıcı etkiler incelenmiştir [13].

Yapılan çalışmalarda, özellikle, transformatör gibi endüktif karakterli sistem elemanlarının önemli derecede iletişim sinyallerini bozucu etkileri olduğu gözlemlenmiştir [23].

Bu çalışmada ise, iletişim sinyallerinin transformatör parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Orta gerilim seviyesinde işletme büyüklüklerinde seçilen bir fazlı model transformatörün ilkel parametreleri üzerinde  $S \sim 20$  KHz aralığındaki iletişim sinyallerinin etkileri ortaya konmuştur.

## 1. GİRİŞ

Bir enerji dağıtım hattı üzerine iletişim sinyallerinin uygulanması halinde, hat ve transformatör parametrelerinde özellikle sinyal frekansına bağ-

lı değişimler görülecektir [33].

Dağıtım transformatörlerinin işletme büyüklükleri ile iletişim sinyallerinin farklı genliklerde oluşları ve iletişim frekanslarının transformatör işletme frekansına göre daha büyük değerlerde bulunması, transformatör parametrelerinin yüksek frekanslarda analizini gerektirmektedir.

Transformatör işletme sinyali ile iletişim sinyalinin ortak formda (sinüsoidal) çalışmaları, transformatör parametrelerinin hesaplanmasında önemli kolaylıklar sağlamaktadır.

İletişim frekanslarındaki transformatör sargılarının R,L,C ilkel parametrelerinin hesaplanması ise ancak yüksek frekans eşdeğer devre modelinin oluşturulması ile mümkündür [14].

Sistem frekansının yükselmesi ile birlikte transformatör sargı iletkenlerinde oluşan deri etkisinin incelenmesi ise konunun önemli bir diğer noktasıdır.

Nominal işletme büyüklüklerinde çalışmakta olan bir transformatör için, pratikte kapasitif bileşen ihmal edilirken yüksek frekans sinyali uygulanmış bir transformatör için kapasitif bileşenin varlığı gözönüne alınacaktır [13], [63].

Bu çalışmada, sargı kapasitelerinin hesaplanmasında [63]'deki sargı modeli yardımı ile iletişim frekanslarındaki sargı kapasiteleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda, eşdeğer sargı modeli

için R, L, C ilkel parametreleri kullanılarak sargı empedansları frekans domeninde bulunmaktadır.

## 2. İLETİŞİM SINYALI VE R, L, C SARGI PARAMETRELERİ

Transformatör sargılarına uygun sinyal frekansını artması ile meydana gelen deri etkisi ifadesi (8),

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \sigma \mu f}} \quad (\text{m.}) \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır [7].

(1) ifadenin (1), öziletkenlik,  $\langle \mu \rangle$  iletkenlerin permeabilitesi,  $\langle \sigma \rangle$  uygulanan sinyalin frekansı olduğuna göre, iletkendeki polarizasyon sabiti ( $\epsilon$ ),

$$u = r \sqrt{\mu \sigma \omega} \quad (2)$$

olarak [7], [8].

(2) eşitliğinde  $\langle r \rangle$  iletkenin yarıçapı ise,  $\langle l \rangle$  uzunluğundaki iletkenin doğru akımdaki direnci  $\langle R_0 \rangle$ ,

$$R_0 = \frac{l}{\sigma S} \quad (\Omega) \quad (3)$$

dir. İletkene  $\langle f \rangle$  frekans değerinde sinyal uygulandığında, iletkenin alternatif akım direnci  $\langle R \rangle$ ,

$$R = R_0 \left( 1 + \frac{u^4}{194} \right) \quad (\Omega) \quad (4)$$

ifadesi ile bulunmaktadır [8].

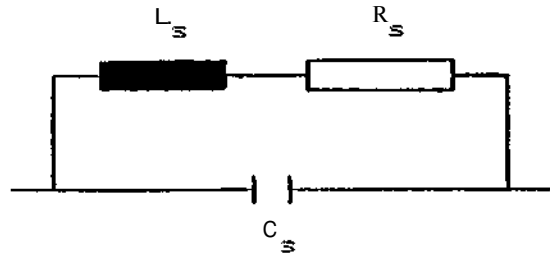
Sargı özinduktansı  $\langle L \rangle$ , açısal frekansın değeri,  $\omega = 2\pi f$

olarak bilindiğine göre, sargı iletkenlerinin iletme frekanslarındaki leaktansı  $\langle \omega L \rangle$ ,

$$\omega L = R \frac{u^2}{8} \left( 1 - \frac{u^4}{6 \times 64} \right) \quad (5)$$

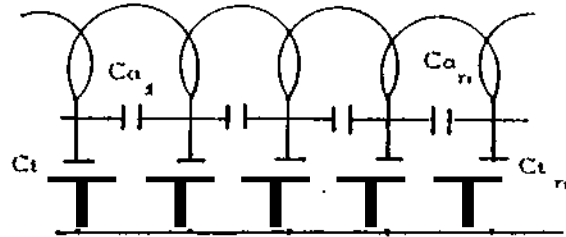
ifadesi ile bulunur [8].

Transformatörün işletme frekansında çalışması halinde kapasite, önemsenmeyecek kadar küçük olmasına rağmen iki iletken arasında teorik olarak mutlaka bir kapasite bulunmaktadır [6]. Bu durumda endüktif özellikli bir bobinde kapasitif elemanın varlığı Çekil 1'deki gibi gösterilmektedir [9].



Çekil 1. Transformatör sargılarının R, L, C parametreleri ile gösterilmesi örneği.

Düşük frekanslarda, kapasitenin ihmal edilecek kadar küçük değerde olması nedeniyle tipik bir endüktif bobin özelliklerine sahip trafo sargılarının kapasitif modeli K. W. Wagner tarafından Çekil 2'deki gibi verilmiştir [6].



Çekil 2. Transformatör sargısının kapasitif bileşenleri.

Sekil 2. 'deki silindirik sarılmış trafo bobini modelinde bir sarımın iki ucu arasındaki kapasite ( $C_a$ ) olarak verildiğinde, bobinin iki ucu arasındaki kapasite ( $C_s$ ),

$$C_s = \frac{C_a + 4 C_a C_r / S}{n} \quad (F.) \quad (6)$$

olarak tanımlanmaktadır [6],

<6> ifadesinde <S> bir bobindeki sarım sayısı, <n> bir sargıdaki dilim sayısıdır. Bu durumda sarımlar arası kapasite ( $C_r$ ) ise.

$$C_r = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \pi h}{\delta r_m} \quad (F.) \quad (7)$$

dir [6]. <6> ifadesinde,  $h$  iletkenlerin yüksekliği,  $r_m$  iletkenler arası uzaklık,  $\delta$  iletkenlerdeki kalınlığı,  $\epsilon_0$  ve  $\epsilon_r$  ise yalıtkan malzemelerin dielektrik katsayılarıdır.

Bir fazlı bir transformatörde sargı empedansı  $R, L, C$  parametreleri cinsinden frekans domeninde,

$$Z = \frac{R^2 + [1/(\omega C_s - \omega L J)^2]}{L/(\omega C_s)^2 + u} \quad (8)$$

ifadesi ile hesaplanır [4].

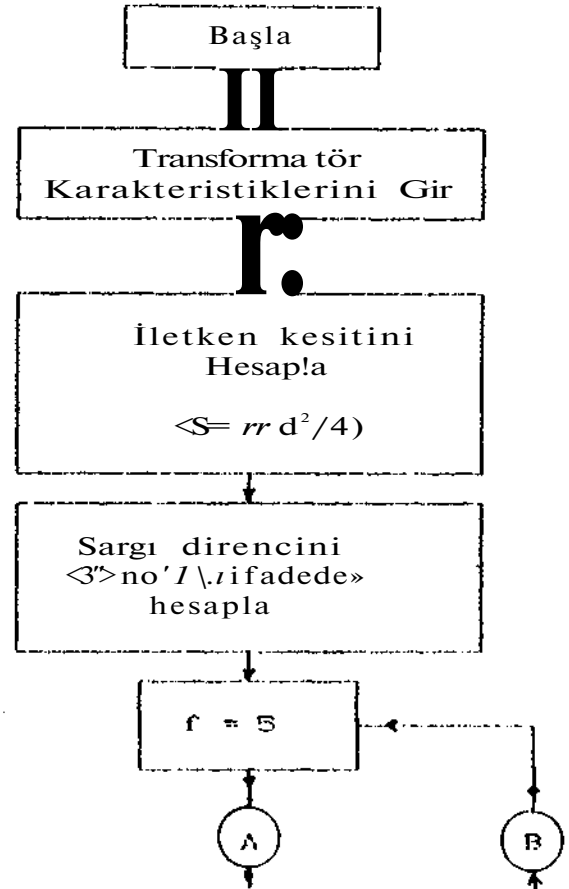
### 3. SAYISAL UYGULAMA

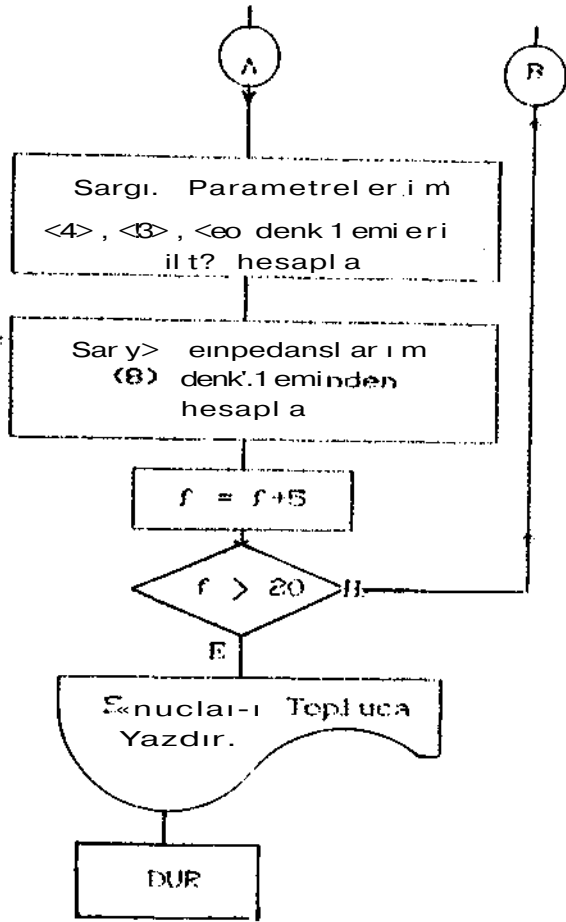
Bir fazlı çekirdek tipi model transformatör için Tablo 1. 'de

verilen karakteristik değerler kullanılarak, Sekil 3. 'de akış diyagramı verilen program yardımıyla, sargı iletkenlerindeki iletkenler arasındaki frekansları ile değişimleri hesaplanmaktadır.

Tablo 1. Sayısal örnek için ele alınan transformatör karakteristikleri.

tesietme frekansı :	50 Hz.
Güç :	0.4KVA
Gerilimi :	110/1350V
Trafo tipi :	Çekirdek
Prim. sarım sayısı :	300
Sek. sarım sayısı :	3600
Pri. iletken çapı :	0.001m.
Sek. iletken çapı :	0.0003m.
Prim. bobin sayısı :	1
Sek. bobin sayısı :	1
Öziletkenlik ( $C_u$ ) :	$5.8 \cdot 10^{-7} \text{ } \Omega/\text{m}$
Dielektrik kat. :	
Hava için :	$9.84 \cdot 10^{-12} \text{ } \text{FSrr.}$
Kağıt presb. :	3





Şekil 3. 11) el parametrelerinin i ile tişim frekansları için deyişimi ile hesaplanmasını için kullanılan akış diyagramı.

13-20 KHz aralığı frekans değerleri için yapılan hesaplamaların sonucunda elde edilen deri kalınlıklarının i ile tişim i - kanstları ile ifadesim değerleri için parametre değerleri için Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmektedir.

<7> ifadesi kullanılarak hesaplanan primer ve sekonder sargı empedanslarının 3-P.O KLT frekans aralığında i değeri için i ile Tablo 2'de verilen i ile i - nektendir.

Tablo 2. İletim frekanslarında model trafo için elde edilen deri kalınlığı değerleri.

f <KHz>	$\delta_1$ <m>	$\delta_2$ <m>
5	0.0295	0.0290
10	0.0209	0.0209
13	0.0170	0.0170
20	0.0147	0.0148

Tablo 3. Model trafo primer sargı parametrelerinin i ile tişim frekanslarındaki değerleri.

f <KHz>	$R_1$ < $\Omega L_1 <H> C_1 <F> $	$L_1$ <H>	$C_1$ <F>
5	1.160	$9 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-15}$
10	1.39(5)	$2 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-14}$
13	1.239	$3 \cdot 10^{-6}$	$1.3 \cdot 10^{-14}$
20	1.3'3'3	$4 \cdot 10^{-6}$	$1.7 \cdot 10^{-14}$

Tablo 4. Model Trafo sekonder sargı parametreleri için i ile tişim frekanslarındaki değerleri.

f <KHz>	$R_2$ < $\Omega L_2 <H> C_2 <F> $	$L_2$ <H>	$C_2$ <F>
5	124.05	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-15}$
10	124.015	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-14}$
13	124.13	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-14}$
20	124.31	$4 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-14}$

Tablo 5. İletişim frekanslarında sargı empedansları.

<\*>

f (KHz)	Z <sub>1</sub> (Ω)	Z <sub>2</sub> (Ω)
5	1.187	124.12
10	1.212	125.15
15	1.310	129.36
20	1.534	141.77

↳ Tablolardaki parametre indisleri, d) primer ve 2y sekonder sargıları göstermektedir.

#### 4. SONUÇ

Bir fazlı çekirdek tipi model transformator karakteristik değerleri için gerçekleştirilen örnek uygulamada iletişim frekanslarındaki artışın sargı kapasitelerinin yanı sıra sargı direncinde de, iletişim frekansı için önemli sayılabilecek şekilde büyümeye neden olduğu görülmektedir.

İletişim sinyalinin trafo sargılarını ilkel parametreleri üzerinde meydana getirdiği büyüme etkileri, iletişim sinyalinin orta gerilim transformatörleri üzerinden iletilmesi bakımından istenmeyen bir sonuçtur. Ancak, dağıtım sistemleri üzerinden bilgi iletimini amaçlayan çalışmalarda özellikle transformator kayıpları ve iletişim sinyallerinin miktatsızlık üzerine etkilerinin deneysel çalışmalar ile incelenmesi halinde konunun bu yönü daha iyi açıklanmış olacaktır. Dağıtım tesislerinin kontrolü ve iletimini sinyallerinin iletimi problemlerinin çözümüne çalışmalarının önemi bu bakımdan giderek artmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Whang, K. V., Cagle, G.C., Sinar t, J. W., "The Power Distribution Systems for a Communication Medium for Load Management and Distribution Automation", GLOBECOM 83, IEEE Global Telecommunications Conference, Conference Record, San Diego CA, pp. 478-482, Vol.1.28, Dec'83.
- [2] Shuey, C. Ken., "Distribution Transformer at Power Line Carrier Frequencies", GLOBECOM 83, IEEE Global Telecommunications Conference Record, San Diego CA USA, pp.483-486, Vol.1 No.28 Dec.1983.
- [3] O'Neal, J.B., "Substation Noise at Distribution Line Communication Frequencies", North Carolina State University, CCSP-WP-86/6, Report, July-1986.
- [4] Fırat, M. Server., "Orta Gerilim Transformatörleri için Yüksek Frekanslardaki Empedans Değişimleri", Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek İnceleme Tezi, İstanbul-1993.
- [5] Tarkan, N., Güney, I., "Transformatörlerin Sinüsoidal Olmaya Neden Olduğu Güç Modelendirilmesi", İ.T.U. Dergisi, Cilt.47, Sayı.2 İstanbul-1989.
- [6] Güselbeyoğlu, H., "Transformator Sargılarında Akım Gerilim Dağılımı Sorununa Katkılar", İ.T.U. Elektrik Fakültesi, Doktora Tezi, İstanbul 1975.
- [7] Martin, A.P., "Applied Electromagnetics", Mc. Graw-Hill International Editions, 6th Printing, Singapore-1988.
- [8] Atalay, H., "Transmisyon Tekniği", K.T.İ. Elektrik-Makina Fakültesi Yayınları, Trabzon 1977.
- [9] Thoraas, L.F., "Principles of Circuits", Merit Electric Publishing Company, U.S.A. 1989.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ



İrfan GÜNEY,  
1957 senesinde İstanbul'da doğdu. TMMOB  
Elektrik Mühendisliği  
Bölümü'nde 1979 yılında  
mezun olarak Adapsza-  
rj Seker fabrikasında  
görev başlandı. Daha  
sonra T. E. K. 'na geçti  
T. U. Elektrik Fakül-  
tesinde yüksek lisan-  
sa başladı. 1982'de me-

zun oldu. Kısa dönem askerlik  
görevinden sonra, T. E. K. 'da ce-  
siti birliğinde görev aldı. 1987  
yılında doktora çalışmasını ta-  
mmadı ve Marmara Üniversitesi (Esi-  
Teknik Eğitim Fakültesi'ne Ya-  
dımci doçent olarak atandı. 1989  
yılında Elektrik Tesisi ve Ana  
Bilim Dalında doçent oldu. Halen  
aynı fakültenin bölüm başkanlığı  
görevini sürdürmektedir.



M. Server ELRAT,  
1955 senesinde Diyar-  
bakır'da doğdu. Gazi  
Üniversitesi Teknik  
Eğitim Fakültesi'nden  
1987 yılında mezun  
olduktan sonra, Bakır-  
köy Endüstri Meslek  
Lisesi'nde göreve baş-  
ladı. 1989 yılında

T. U. Sakarya Mühendislik Fa-  
kültesi Elektrik Mühendisliği  
Bölümüne Uzman kadrosu ile a-  
tandı. Yüksek lisans çalışma-  
sını Marmara Üniversitesi Fen  
Bilimleri Enstitüsünde bitirdi.  
Halten Sakarya Üniversitesi Müh-  
endislik Fakültesi Elektrik Ma-  
kinaları Ana Bilim Dalında Uzman  
olarak görev yapmaktadır.



KNKRJI DAÜITIM TRANSFORMATÖRÜ EMPEDANS DEĞİŞİMLERİNİN  
İLETİŞİM FREKANSLARINDA ANALİZİ

Yrd.Doç.Dr.Etem KÖKLÜKAYA  
Sakarya Üniversitesi Müh.Fak  
Elk-Elektronik Müh.Böl.  
Adapazarı

ÖZET

Enerji dağıtım sistemi üzerinde otomatik besleme, sayaç okunması transformatör gözetleme ve benzeri bir çok fonksiyonun gerçekleştirilerek sistem otomasyonunun sağlanması yönünde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Otomasyonun sağlanmasında iletişimin oldukça önemli rolü vardır özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar iletişimde enerji dağıtım sisteminin kullanılmasına yöneliktir. Dağıtım sisteminin iletişim frekanslarında deneysel ve matematiksel olarak analiz edilmesi ile dağıtım sistemi üzerinden iletişimi engelleyen faktörlerin etkileri belirlenebilecektir.

Bu çalışmada 5-20 kliz iletişim frekanslarında çeşitli güçteki dağıtım transformatörlerinin empedans değişimleri matematiksel ve deneysel olarak incelenmiştir. Dağıtım transformatörü için 2 kapılı bir model verilmiştir. Modelde tanımlanan primer, sekonder ve pirimerden sekondere veya sekonderden primere geçiş adını tans parametrelerinin 5-20 kliz frekanslardaki değişimleri deneysel olarak elde edilmiştir. Frekans değiştiğiçe sarğaların endüktif ve kapasitif etkileri incelenerek yorumlanmıştır.

GtRiy

Son yıllardaki İnalı teknolojik gelişmelerle birlikte özellikle elektronik ve otomasyon alanındaki araytırmalar oldukça artmıştır. Üretilen elektrik e-

nerjisinin en az kayıpla iletilmesi ve yüksek verimli olarak kullanılabilmesi büyük oranda enerji dağıtım sistemindeki otomasyona bağlıdır. Genel olarak enerji dağıtım sistemi, ana istasyon (transformatör merkezi), alt istasyonlar (dağıtım merkezleri) ile bunlara bağlı dağıtım hatları ve yüklerden oluşur. Ayrıca sistem üzerinde ölçü, kontrol ve koruma cihazları ile bağlama elemanları bulunur.

Dağıtım sistemi otomasyonunun gerçekleştirilmesinde iletişimin önemi oldukça büyüktür, özellikle iletişimin hızlı, ekonomik ve yüksek verimde sağlanabilmesi sistem otomasyonu için mutlaka gerekmektedir. Bu amaçla uygun olarak dağıtım sisteminin aynı zamanda iletişim içinde kullanılmasını engelleyen faktörlerin belirlenmesine yönelik yoğun çalışmalar yapılmaktadır. İletişim frekanslarında dağıtım hatlarına bağlı yüklerin değişken oluşu, dağıtım hatlarının farklı kesit ve özellikte iletken ve kablolardan oluşması, dağıtım transformatörlerinin iletişim frekanslarında değişik özellikler göstermesi dağıtım sisteminin iletişimde kullanılmasını güçleştirmektedir.

Dağıtım sisteminin empedans değişimlerinin analizi amacıyla Ken 0. S11U İY, dağıtım transformatörleri üzerine deneysel çalışmalar yapmış ve 5-20 kliz frekanslarda 25 KVA gücündeki dağıtım transformatörünün davranışını incelemiştir t.) [2]. Ayrıca Ro-

ger M.VINES , H. Joel TRUSSEL , Ken C. SHUEY ve J.B.0'MEAL.15KVA 25KVA ve 37,5 KVA <Liglerindeki dağıtım transformatörlerinin yüklü ve yüksüz durulularında sekonder empedans değişimlerinin ölçümleri üzerine çalışmışlardır [33. Menus literatürde bugün için pratikte yaygın olarak kullanılan 50 KVA ve daha yüksek güçlerdeki dağıtım transformatörlerinin iletişim frekanslarının da deneysel analizi ile ilgili çalışmalara rastlanmamıştır.

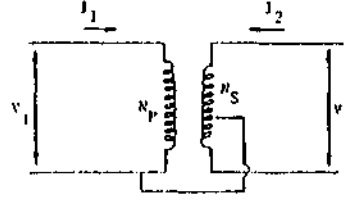
Bu çalışmada 50 KVA,100 KVA ve 250 KVA güçlerindeki dağıtım transformatörlerinin 5-20 KHZ frekanslardaki empedans değişimleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde seçilen frekans aralığı sayısal iletişim için uygun frekanslar olup,deri olayı nedeniyle 20 KHZ'in üzerindeki frekanslara yıkılmamıştır [4].

#### DACİTİM TRANSFORMATÖRÜNÜN MODELLENMESİ

Dag111mTrans formatör ün ün 50 Ha güç frekansı için verilen eşdeğer devrelerini ve hesaplama yöntemlerini iletişim frekanslarında kullanmak çok zordur. Bunun başlıca nedeni,iletişim frekanslardaki çalışma akım ve gerilimlerinin 50 Uz deki değerler yanında oldukça küçük olmaları ve frekans yükseldikçe sargılar arasındaki endüktif ve kapasitif etkilerin artmasıdır [53 Aynı zamanda transformatörün yapılış biçimine bağlı olarak da değişen bu etkileri belirlemenin bir yolu deneysel çalışmalardır.

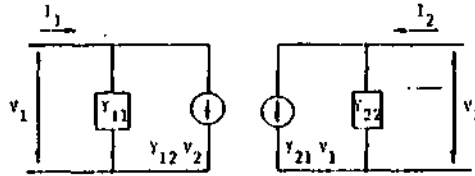
Bir üç faslı dağıtım transformatörünü kolayca inceleyebilmek amacıyla şekil-1 -deki gibi bir faza indirgenmiş iki generatörlü model biçiminde göstermek mümkündür. Bu gösteriliş biçimi endüstriyel uygulamaların çoğunda kullanılabilir ve ayrıca yüklenmiş bir transformatörü model-

le mey e uygundur .



Şekil 1. Bir faza indirgenmiş dağıtım transformatörü şematik gösterilişi.

Sargılar arasındaki simetri nedeniyle bu gösteriliş biçiminin doğruluğu çok sayıda transformatörden elde edilen deney sonuçlarıyla saptanmıştır [13. Şekil-1 de tanımlanan transformatörün bu gösteriliş biçimine uygun iki kapılı modeli şekil-2 de verilmiştir.



Şekil 2. İki kapılı transformatör modeli.

Modelde gösterilen parametreler transformatörün iletişim frekanslardaki giriş-çıkış değişkenleri arasındaki ilişkileri belirler. Bu parametreler klasik usulde kısa devre ölçümleri ile bulunabilir. Bu ölçümlerle

$$Y_{11} = I_1 / V_1 ; V_2 = 0 \text{ iken (sekonder kısa devre)}$$

$$Y_{21} = I_2 / V_2 ; V_1 = 0 \text{ iken (sekonder kısa devre)}$$

$$Y_{22} = I_2 / V_2 ; V_1 = 0 \text{ iken (primer kısa devre)}$$

$Y_{12} = I_1 / V_2$  ;  $V_1 = U_1$  iken (primer kıs a dev r e)

( $Y_{12} = Y_{21}$ ) elde edilir.

Yukarıda tanımlanan bu parametreler yardımı ile iki kapılı transformatör modelinin metemaliksel tanımı şu denklemlerle ifade edilebilir.

$$I_1 = Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2$$

$$I_2 = Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2$$

Bu denklemlerdeki  $I_1, V_1, V_2$  giriş-çıkış akım ve gerilim değerleridir.

$Y_{11}$  : Primer admıtarısı.

$Y_{21}$  : Sekonderden primere geçiş admıtarısı.

$Y_{12}$  : Primerden sekondere geçiş admıtarısı.

$Y_{22}$  : Sekonder admıtarısı.

Yukarıda tanımlanan admıtans parametrelerinin frekasla değişimleri kritik iletişim parametreleri olarak ifade edilebilir.

#### İLETİŞİM FREKANSLARINDA DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜNÜN ADMİTANS PARAMETRELERİ

Dağıtım transformatörünün iletişim frekanslarındaki empedans değişimlerinin ölçümü ve analizi amacıyla Şekil-2 deki iki kapılı model kullanılmıştır. Bu modelde tanımlanan büyüklükler deneysel ölçümlerle belirlenmiştir [5]. Ölçmede kullanılan aygıtlar (0-1 MHz) lik bir işar-ıt üretici ve kuvvetlendirici ile iki kanallı 20 MHz lik osiloskop ve yardımcı ölçme aksesuarlarıdır, ölçü değerleri osiloskoptan alınan akım ve gerilim değerleridir.

5-20 kHz ilerisim frekans-

1324

lan içiii belirlenen koşullar altında aşağıdaki kritik iletişim büyüklükleri belirlenebilir.

$$Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} \text{ sekonder kısa devre iken } I_2 \text{ ve } V_2 \text{ in ölçümü ile } I_1$$

$$Y_{21} = \frac{I_2}{V_1} \text{ sekonder kısa devre iken } I_1 \text{ ve } V_1 \text{ in ölçümü ile } I_2$$

$$Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \text{ primer kısa devre iken } I_2 \text{ ve } V_2 \text{ in ölçümü ile } I_1$$

$$Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \text{ primer kısa devre iken } I_1 \text{ ve } V_1 \text{ in ölçümü ile } I_2$$

#### DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Dağıtım transformatörünün iletişim frekanslarındaki admıtans parametrelerini belirlemek amacıyla yapılan deneyler farklı güçlerdeki transformatörler üzerinde gerçekteştirilmiştir. Deneyde kullanılan transformatörlerin güçleri 50 KVA, 100 KVA ve 250 KVA değerlerinde olup etiket değerleri tablo-1 de verilmiştir

Tablo-1 . Deneysel çalışma yapılan transformatörlerin etiket değerleri.

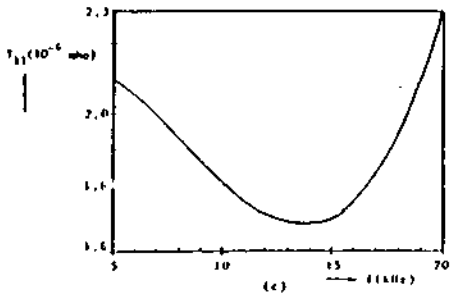
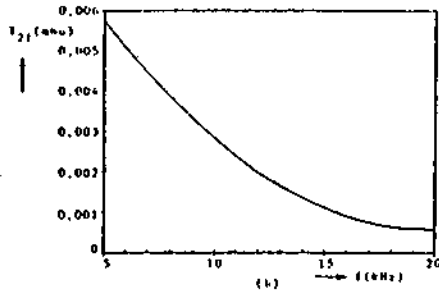
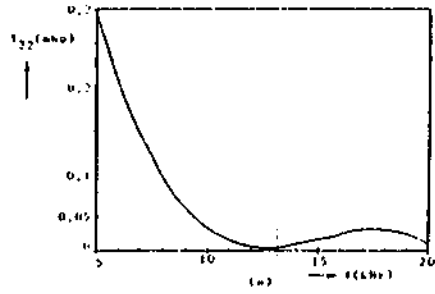
Tr.Gücü	'Yapım.	Gir-Çık Ger. llşk	Seri No
50 KVA	ETİTAŐ	15KV/400V	28542
		Yan 5	
100 KVA	AEG ETI6,	3KV/400V	DT0580
		GYs 11	
250 KVA	ETİTAŐ	15KV/400V	32522
		Dy 11	

Transformatörlerle ilgili ölçülen kritik iletişim büyüklükleri tablo-2 de verilmiştir.

Tablo 2.ölçme ile bulunan kritik iletişim büyüklüklerinin frekans la demişim değerleri.

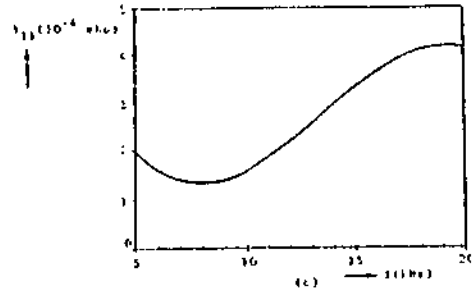
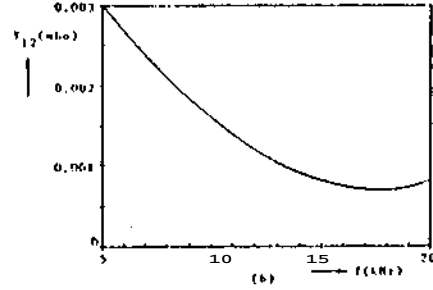
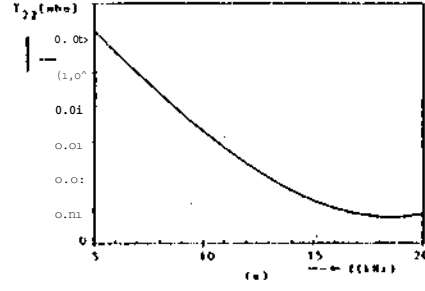
	> Litr	10 kilv	>5 kilv	24 Litr
50 KVA	0.2*	U.ÜJ&	0.027	0.010
	U.ÜJ17	U.ÜJf6	0.0011	0.0006
100 KVA	2.1	1.4	3.7	4.1
	U.ÜJ	U.ÜJ	0.Ü17	0.0006
	U.ÜJ	U.ÜJ	0.ÜJf6	0.0006
250 KVA	0.Ü	Ü.ÜH	0.Ü1	0.Ü1
	U.ÜHf6	U.ÜJ	0.001	U.ÜJf6
	3	2.5	3.75	

Şekil 3,4 ve 5 de 50 KVA,100 KVA ve 250 KVA güçlerindeki Transformatörlerin 5-20 klız frekanslarındaki değişimleri gösterilmiştir.



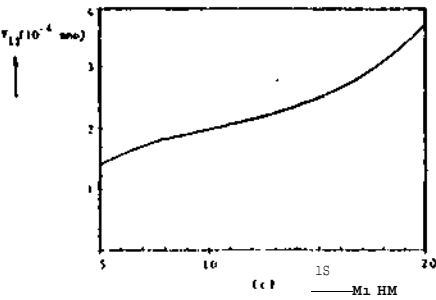
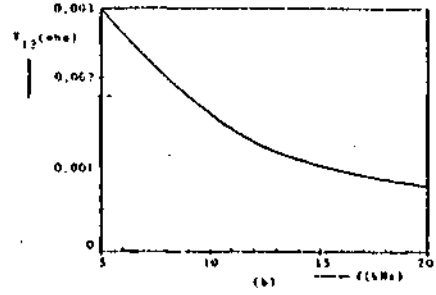
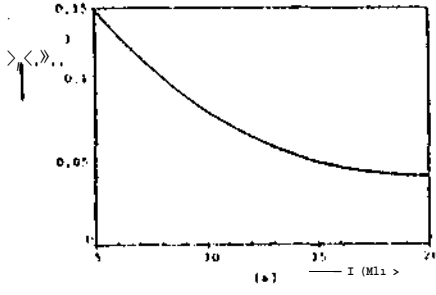
Şekil 3. 50 KVA lık dağıtım transformatörünün admitans değerlerinin frekansla değişimi.

- a)  $Y_{22}$  nin değişimi.  
22  
b)  $Y_{21}$  (  $Y_{12}$  ) nin değişimi,  
21 12  
c)  $Y_{11}$  m değişimi.  
11



Şekil 4. 100 KVA lık dağıtım transformatörünün admitans değerlerinin frekansla değişimi.

- a)  $Y_{22}$  nin değişimi.  
22  
b)  $Y_{21}$  (  $Y_{12}$  ) nin değişimi.  
2.1 12  
c)  $Y_{11}$  in «değişimi»  
11



250 KVA İLİ: dağıtım transformatörünün admitans değerlerinin frekansla değişimi.

- Y<sub>2</sub> / Y<sub>1</sub> nin değişimi.
- Y<sub>2</sub> / Y<sub>1</sub> (Y<sub>2</sub> / Y<sub>1</sub>) nin değişimi.
- Y<sub>2</sub> / Y<sub>1</sub> in değişimi,

#### SONUÇLAR

Dağıtım transformatörleri üzerinde yapılan ölçümlerin değerlendirilmesinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

Sekonderden primere akım geçiş oranının Y<sub>2</sub> / Y<sub>1</sub> oranı ile orantılı olduğu ölçülen büyüklüklerden çıkarılabilir. Ay-

rica çalışılan alçak frekanslar da Y<sub>2</sub> / Y<sub>1</sub> oranının Ms/Mp sarım il 22 sayısı oranına çok yakın çıktığı görülmüştür.

Primerden sekondere gerilim geçiş oranının Y<sub>2</sub> / Y<sub>1</sub> ile oran tılı olduğu yine ölçülen büyüklüklerden ve 2 kapılı, model için verilen denklemlerden yararlanılarak bu bulunabilir.

Pritner adını taşıyan Y<sub>2</sub> büyük ölçüde besleme hattının kayıpları, intallimlar, Transformatorlerin yüksek empedanslı olması istene bir özellik olup, bu özelliğinin sağlanması ile dağıtım hatlarından iletişimin kolaylaşacağı ifade edilebilir.

Transformatörün sekonder admitansı iki yönlü iletimde işaretin hatta yönlendirilişi bakımından kritik bir büyüklüktür. İletişim frekanslarındaki işaretin genliği sistemin yapısından gelen sınırlamalarla belirlenir. Alıcı duyarlılığı, modülasyon teknikleri gibi özellikler ayrıca işaret seviyeleri üzerinde etkilidir. Sekonder empedansı genel olarak frekansla artar. Bununla birlikte dağıtım transformatörünün sekonderinden iletişim frekanslarındaki işareti sürebilmek için ideale yakın bir işaret akım kaynağı kullanılabilir. Ayrıca transformatörün sekonder empedansı ile dağıtım hattına bağlı tüketici empedansları birbiri üzerinde etkilidir.

Transformatörlerin gücü büyüdükçe tel kesitlerinin büyümesi sonucu sargılar arası kapasitif etkinin artmaya başladığı ve sargıların endüktansları ile rezonansa yaklaştığı ölçülen değerlerden ve eğrilerden görülmektedir.

Tüm admitans değerleri fre-

kans\ a ters orantılı olarak değişmektedir. Ancak primer admittansı farklı bir özelliklerle antirezonsans bir karakteristik gösterir. Bunun nedeni kaçak reaktans ile sargılar arası kapasitenin paralel rezonsans oluşturmasıdır [6].

Transformatör empedans parametrelerinin iletişim frekanslarındaki analizi yanında, transformatörde oluşan gürültünün, transformatör tipinin ve veriminin iletişime olan etkileri incelenmesi gereken konular olarak önerilebilir.

#### KAYNAKLAN

- [1] SHUEY, C. Ken. . "Distribution Transformers at Poverline Carrier Frequencies" ,GLOBE COM'83 IEEE Global Telecomm.unications Conference,Conference Record, San Diego, CA USA, pp-483-6, Vol. 1 23 Nov-] Dec. 1983.
- [2] AMÜURA.F.K.,O'NEAL, J.B., "Analysis of Distribution Line carrier Propagation Hsing the Bus Impedance Matrix",Center for Communications and Signal Processing, Electrical and Computer engineering Department,Nort Caroline State Üniversty,Raleigh NC 1988
- [3] VINES.Roger M..TRUSSEL. H.Joel.SHUEY, C.Ken and O'NEAL. J.B. ,"Impedance of the Residential Power-Distribution Circuit",IEEE Vol.EMC-27. No. 1.pp. 6-12 February 1985.
- [4] ATALAY, H. ,"Transmisyon Tekniği'Karadeniz Teknik Üniverstesi,Makina Elektrik Fakültesi Yayınları.No:5 1977.
- C5] KÖKLUKAYA.Eteni.. "Enerji Daşı tım Sistemi Empedans Değişimlerinin İletişim Frekanslarımda Analizi" , I. T. ü Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. İstanbul 1990

[6] VINCENT,W.R..CLEMMESSEN,J.M. BÜLLRN,R.L. ,"The measurement of Radio Noise Associated With Distribution Lines",83 CH 1956-2/83/0000-0473,IEEE 1983.



Etem KÖİCLUKAYA,  
1933 yılında İsparta'da doğdu. 1972 yılında İsparta Lisesi'nden, 1978'de İ.T.U. Elektrik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü'nden mezun oldu. İki yıl T. R. T. 'de mühendis olarak çalıştıktan sonra, Eylül 1980'de Sakarya D. M. M. Akademisi'nde Uzman-Asistan olarak göreve başladı. 1982'de Yıldız Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans, 1990'da İ. T. U. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde doktora'yi tamamladı. Halen Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

# BÜHİRJİ NAKİL HATTI BOYUNCA OPTİMUM DİREK TEVZİATI

Lokman ERZEN ve Celal KORAŞLI  
Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
27310 Gaziantep

## ÖZET

Ar «i profili üelirlenmiş bir enerji nakil hattı giiergaht b'jyuna direk yerlerini, tiplerini ve boylarını optituu olarak tespit etmek için bir yöntem geliştirilmiş ve bir' programı hazırlanmıştır. Arazi profili bilgilrrri çirdi olarak verilen progrj» direk tiplerini, b>yl;rını ve yerlerini, ve direk dikili için uygun olayan yerleri arazi profili boyunca tespit eder.

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisine olan talep sanayileşen ülkelerde gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik enerjisinin üretimiyle birlikte enerjinin ilptim sorunu da ortaya çıkmaktadır. Enerji iletiminde nakil hattının kurulmasında önemli bir adım direk boyutlarının, yerlerinin ve tiplerinin opti.-num olarak seçilmesidir. Günümüzde nu is parabolik bir şablon kullanılarak elle yapılmaktadır. El yönteminin etkinliği büyük ölçüde kişinin başarısına ve deneyimine bağlıdır. Buna rağmen bu yöntem kullanılarak bir kişinin bütün olası direk dik\> noktalarının kombinasyonlarını denemesi mümkün değildir. Bu nedenle bu konuda bilgisayarların kullanılması gerçek bir kazanç sağlamış, daha hassas ve süratli bir Çözüm elde edilmiştir. Bu mc?tod ilk defa 1962 yılında uygulanmıştır [H. Uygulamanın uenel sayısal çözüm yöntemlerinin genel algoritm.ç.1 şöyledir; ara?,i ölçüm bilgilerinden ana profil, yan profil yükseltisi , giriş bilgisi olarak bilgisayara yüklenir. önce birinci direğin yeri ve tipi belirlendikten sonra kuralları(böl.2.4) ihlal etmeden birkaç tane direk dikilir. Daha sonra her direk aralığı için iletkenin sehim formülü kullnnılarak yere olan uzaklık bulunur. Yerleştirilen bu direklerin toplam fiyatları hesaplanır ve katedilen mesafeye bölünür, sonuç hafızaya alınır. Bu işlem her boy ve tipler için

tekrarlanır. Toplam fiyatın mesafeye olan oranının'en düşük olduğu direk grubu seçilir. Seçilen bu grup direklerden son birkaç tanesi atılır ve yeni bir grup direk dikilir. İşlemlere böyle devam edilerek optimum çözüm bulunur.

## 2. ÖNSİRLTLAR

### 2.1 Direk Tipleri

ENH da tjenpl olarak kullanılmakta olan direk tipleri fonksiyonlarına göre üç bölüme ayrılır ve seçim aşağıdaki (jrup)ar içinden yapılır.

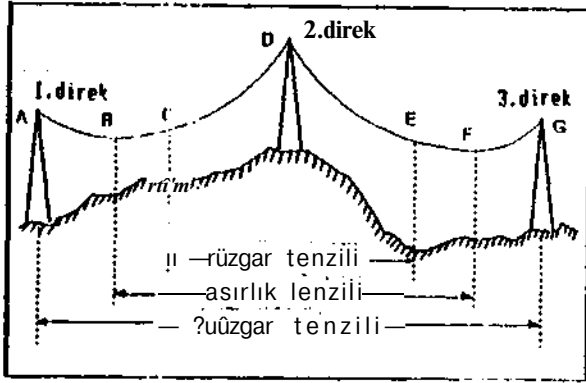
- i) Taşıyıcı direkler (TAL.RAL)
- ii) Durdurucu direkler (VAL)
- iii) Nihayet direkleri (ZAD)

### 2.2 Direklr-rı? etki eden kuvvetlerle ilrjili sınırlamalar

Direklere çeşitli yönlerden uygulanan kuvvetler göz önüne alındığında bir profil ÜZE·ine Jikilebilmeleri için belirli şa'tların yerine getirilmesi gerekmektedir :

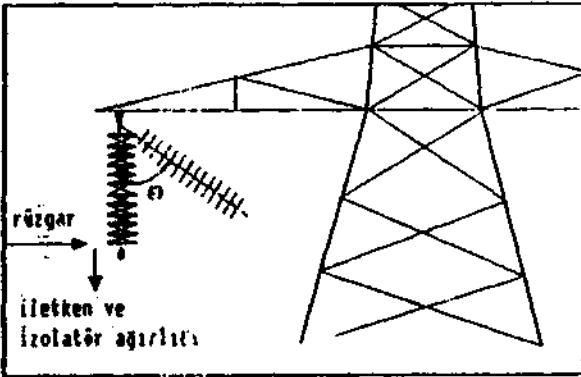
i- Buz yüklü \>ya çıplak olan iletken ağırlığı direk üzerine düşey bir kuvvet uygulue". Toplam düşey kuvvet Şekil 1' de gösterilen BD+DF mesafesiyle orantılıdır. Direğin maximum bir düşey kuvveti olduğundan dolayı BF mesafesi belli bir değerden fazla olmamalıdır. Bu değer iklim koşullarına bağlı olarak değişir. Sekil 1' de gösterilen BF mesafesi ikinci direğin ağırlık menzildir. Bu özelliklerden dolayı ardışık iki direk arasındaki uzaklık belirli bir değerle sınırlıdır.

ii- Rüzgar iletkenlere yatay bir kuvvet uygular ve bu direğe transfer kuvvet olarak etki eder. Rüzgar kuvvetinin düzenli dağılmış olduğu düşünülürse, direğe etki eden toplam kuvvet CE mesafesiyle doğru orantılıdır. Sekil 1' de gösterilen CE mesafesi ikinci direğin rüzgar menzildir ve brll i bir değerden fazla olamaz. .



Sekil 1. Hüzgar ve ağırlık menzili

iii- Rüzgarın istenmeyen bir etkisinde taşıyıcı direklerde iletkenleri birbirine yaklaştırmasıdır. Bu yüzden faz-toprak kısa devresinin engeçlenmesi için salınım açısının belli bir değerden küçük olması gerekmektedir.



Sekil 2. 1.öl at ör salınım açısı

2.3 İklim koşullarıyla ilgili sınırlamalar

Enerji nakil hatlarının tasarımında iklim koşulları, buz yükü, rüzgar basıncı ve ısı değişimleri dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir.

2.4 Uyulması gereken işletme koşulları

Direk dikimi yapılırken teknik bazı işletme şartlarına uyulması gerekmektedir. Bunlar yayınlanmış makalelerden ve TEK'in bu konudaki yönetmeliğinden elde edilmiştir.

1- Rüzgar menzili direğin tipine ve iklim koşullarına göre belli bir değerden az olmalıdır [61].

2- Ağırlık menzili direğin tipine ve iklim koşullarına göre belli bir değerden az olmalıdır [6].

3- İki ardışık direk arasındaki

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

açıklık bel) i bir değerden fazla olmamalıdır [6,7]1.

4- İki ardışık direk arasındaki açıklık belli bir değerden az olmamalıdır. Eğer bu değer sözü edilen değerden az ise her iki direğin durdurucu tipte olması gerekir [63].

5- Taşıyıcı direk için;

$$WDS \leq WGS + y$$

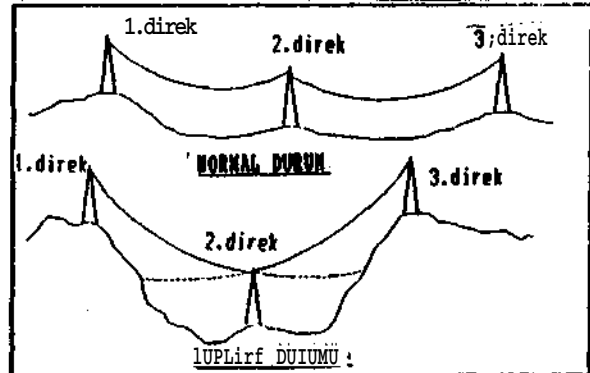
esneklikli saklanmalıdır. Burada (i ve y) değerleri sabittirler, direk tipine ve iklime göre değişir [63].

6- Taşıyıcı direk için; ardışık iki menzilin oranı (SR ve 1/SR) verilen iki değerleri arasında olmalıdır [73]. Burada SR ardışık iki menzilin oranıdır.

7- En alt faz iletkeni ile yer arasındaki açıklık hattın gerilimine ve yerdeki cisimlerin tipine bağlı olarak belli bir değerden az olmamalıdır [73].

8- Direk dikimine uygun olmayan bazı bölgelerin (yerleşim merkezleri, yollar, fabrikalar vb.) arazi profili üzerinde sınırları gelecekteki gelişmeleri dikkate alınarak belirtilmelidir.

9- Üst gerilim (uplift) durumu: taşıyıcı tipteki bir direk çekilme durumunda kalmamalıdır [7].



Sekil 3. İkinci direk üzerinde gerilme (uplift) durumu

10- İletken normal buz yükünün iki katı buz yüklendiğinde askı noktalarında oluşacak gerilme iletkenin kopma kuvvetinin % 70 inden az olmalıdır.

3. SAYISAL YÖNTEM

3.1 Problemin Matematiksel İfadesi

Bu sınırlayıcı koşullar altında bir



hat güzergahı boyunca optimizasyon için gerekli matematiksel ifadeler aşağıda açıklanmıştır. Sistem değişkenleri;

R hattın uzunluğu,  
L direkler arası mesafesi,  
'kin'li direklerin min. ve max. yüksekliği  
G hnttır yerp olan minimum yüksekliği,  
x,  $0 < x < R$ , başlangıç noktaları  
itibaren mesafe,  
u(x) x noktasının kotu,  
v(x) ilf?tkeniti deniz seviyesinden, yüksekliği,  
f(x,t,h) x noktasındaki t tipinde ve h yüksekliğindeki direğin fiyatı,  
tki askı noktasında asılı bulunan iletkenin t?himi bir parabol olduğun..» göre v(x) aşağıdaki gibi yazılabilir [31].

$$v(x) = Ax^2 + JStx + C$$

burada A, B ve C değerleri iletkenin çeşitli özelliklerine bağlı olan sabitlerdir. CB3. Direğin yeri, tipi ve boyu serildikten sonra v(x) hesaplanabilir.  
Hattın yer\*? olan yüksekliğini tam olarak ifade etmek için deniz yüzeyinden olan minimum yükseklik fonksiyonu

$$g(x) \quad 0 \leq x \leq R$$

tarif edilebilir. Bu fonksiyonun belirttiği noktalar kümesi de profil üzerinden en az G kadar yükseklikte olur. Böylece, hattın yere olan uzaklığı <1

$$g(x) \geq u(x) + G$$

şeklinde ifade edilir. Optimum direk dikimi pozitif bir N sayısı için direk dikim yerleri  $x_1, \dots, x_N$  direk tipleri  $t_1, \dots, t_N$  ve bunlara karşılık gelen  $h_1, \dots, h_N$  direk yükseklikleri aşağıdaki verilen maliyet fonksiyon ifadesini minimum yapmasıyla elde edilir.

$$F = \sum_{j=0}^N f(x_j, t_j, h_j)$$

Seçilen değişkenler aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

$$0' . X_0 < X_1 < \dots < X_N = R$$

$$X_{j-1} - X_j \leq L \quad (j=0, 1, 2, \dots, N-1)$$

$$H_{min} \leq h_j \leq H_{max} \quad (j=0, 1, 2, \dots, N)$$

$$v(x) \geq g(x) \quad (0 \leq x \leq R)$$

ve herhangi bir j noktasındaki direk için de

$$\frac{X_{j+1} - X_{j-1}}{2} \leq WDS(t_j, h_j) \quad 0 \leq j \leq N-1$$

Durada WDS(t<sub>j</sub>, h<sub>j</sub>) j noktasındaki t tipli h tiyülu direğin rüzgar menzildir. Eğer j noktasındaki direk taşıyıcı tipte ise aşağıdaki eşitsizliği sağlamalıdır.

$$\frac{1}{SR} \quad v(x_{j-1}) < SR$$

Eğer  $X_{j-1}$  mesafesi j-1 ile j direkleri arasındaki iletkenin minimum noktası ise ve  $X_{j+1} - X_{j-1} \leq 2 \cdot J \cdot \dots \cdot j+1$  direkleri arasındaki minimum noktası ise

$$X_{minj} - X_{minj-1} \leq WGS(t_j, h_j) \quad (j=1, 2, \dots, N-1)$$

şartını sağlanmalıdır. Pratikte q(x), (n<sub>j</sub>, i=0, 1, ..., A) lerden oluşan bir noktalar kümesi. Mir. Vani,

$$0 = \langle t_1 < \dots < t_N \rangle$$

$$\text{Böylece } v(x_j) = v_j > u(x_j) + G_j$$

sağlandığında

$$v(x) = Ax^2 + Bx + C$$

olur. Yukarıdaki denklem W+1 tane eşitsizlik kümesini oluşturur. Her bir a<sub>j</sub> için

$$Ax_j^2 + Bx_j + C - W(a_j) \geq 0$$

sağlanmalıdır.

### 3.2 Kullanılan Uplimiyasyon Yöntemi

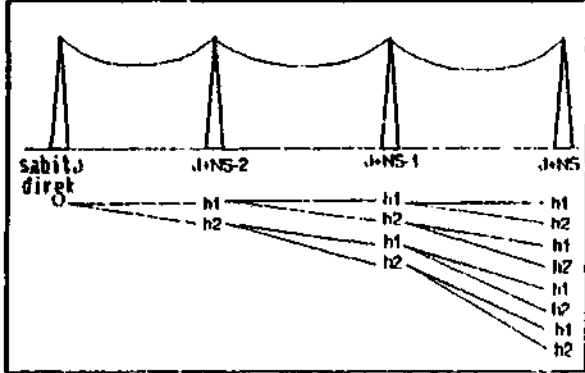
Durada kullanılan yöntem kısmi kademeli tasarım yöntemidir. Cipi.imizasyon yapılırken sadece direk boyları iciri değil, boylar ve tipleri için yapılmıştır. Çözüm yönteminde (toplam fiyat)/(katedilen mesafe) = (FBM) değişkenini en az kılan bir direk grubu aranırken bütün muhtemel kombinasyonlar denenir. Çünkü bir direğin yeri ve tipi bir önce gelen direğin doğru olup olmadığını seçilmiş yeri ve tipine bağlıdır.

İlk direğin yeri ve detayı önceden bulunur. Sonr.» NS tane direk başarılı bir şekilde dikilir. Dikilen bu NS tane direğin FBM' si aşağıdaki

formülle hesaplanır.

$$FBM = \frac{\sum_{k=1}^{KB} f_j(t_{j,k}, h_{j,k})}{X_{j+NS} - X_j}$$

ve j → NS direğinin yeni boyu denendir. Bu da tabii ki yeni bir yeri? yerleştirilecektir. Sonra FBM yeniden hesaplanır. Eğer hesaplanan FBM bir öncekinden az ise bu grup direklerin bilgileri hafızaya alınır. Aynı şekilde bütün ti() ve boylar j+NS direği için denendir (Şekil 14),



Şekil 4. Muhtemel direk kombinasyonları (NS=3)

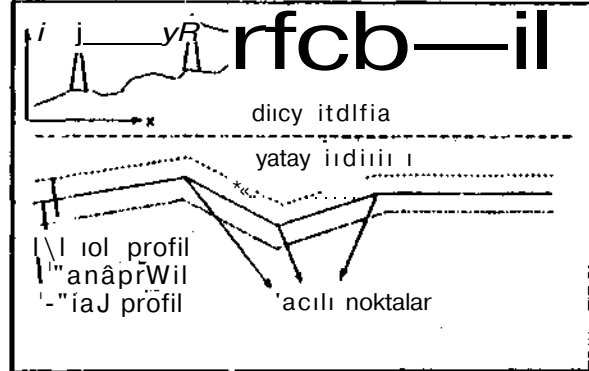
j+NS direfli için bütün direkier denendikten sonra, j+NS-1 deki direğin yeni boyu alınır. Bu yeni alınan boydaki direk için j+NS direği için bütün direk tipleri yeniden denendir. Her defasında FBM hesaplanır, en ekonomik olanı hafızaya alınır. j+NS-1 direği için de bütün tip ve boylar denendikten sonra j+NS-2 direğinin yeni boyu alınır. İşlemler bu şekilde devam ettirilir ve bütün kombinasyonlar denendir. En ekonomik olan grup seçilir. Bütün kombinasyonları denemekten amaç j+1 direği için en uygun tip, boy ve yeri seçmektir, j+1 direği tespit edildikten sonra, j+1 direği ilk direk kabul edilerek işlemler yeniden yapılır.

#### 4. PROGRAMIN AÇIKLANMASI

##### 4.1 Koordinat sistemi

Koordinat sistemi, x hattın gittiği yöndeki uzaklığı, y ise arazinin kotunu temsil edecek şekilde x-y düzlemi seçilmiştir. Hattın enkim yönünde bazı açısapmalar olabilmektedir. Fakat bazı işlemsel kolaylıklar nedeniyle hat tmslangıç!

doğrusal olduğu düşünülmüştür. Yalnız gerçek acılı noktalar giriş bilgisinde? belirtilmiş ve bu yerler zorunlu direk yerleri olarak kullanılmıştır, flnn profil ile birlikte ilplkenlur altındaki saç ve sol arazi profil yükseltileri ele bu koordinat sistemine göre ölçülmüştür. (Şekil 5).



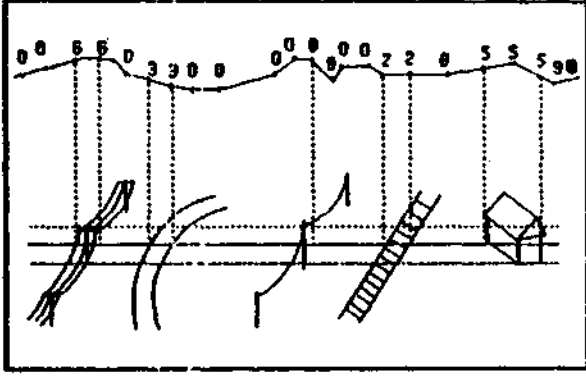
Şekil 5. Koordinat sistemi

##### 4.2 Profil

Program için gerekli olan arazi bilgisi bu profilden doflrudpn sayısal lastirıcı kullanılarak veya el lı? ilk direk noktasından başlamak sırtitiyİL' elde? edilir. Her bir noktanın koordinatıyla birlikte hal güzergahındaki engellerin koordinatları ve tipleri belirli kodlarla girdisi yapılır (Şekil 6). Ana profil bilgisiyile birlikte yan profil yükseltilerinin koordinatlarını içeren bilgiler hazırlanan bilgi giriş tablosunda yer alır. Koordinat noktalarına karşılık gplen enqf.'llerin cinsi (yollar, akarsular, meyva bahçeleri» telefon hatları vb.) de Şekil 6' da görüldüğü gibi belli bir sayı ile kodlanarak alınır. Başka bir bilgi de hattın sapma yapıp yapı'adiijını belirleyici her noktaya ait bir acı yazılır. Program iki nokta arasını uygun bir şekilde bölerek dirpk dikimi için aday noktaları çoğaltır.

##### 4.3 Direk lıiltısı

Kullanılan direklere ait bilgiler bir kütüije yazılır. Bu bilgiler her tip direğe ait bütün boylar, bunlara ait fiyatlar, maximum menzil, direğin kullanılabilidiği maximum açısapma ve buna nil maximum rüzgar ve alırlık metizil1eridir.



Şekil 6. Çeşitli cisimlerin kodları

#### 4.4 Program

Program çalışırken bölüm 2.4 te açıklanan önsartlar sırasıyla kontrol edilerek direk tevziyatı yapılır. Programda çeşitli alt programlar kullanılmıştır;

LOAD: Bu alt program direklerin üzerine rüzgardan ve buzdan dolayı gelen yükleri hesaplar.

UPLIFT: Taşıyıcı tipte direklerin uplift durumunda kalıp kalmadığını kontrol eder.

COEF: Ardışık direkler arasındaki iletkenin sehim formülündeki katsayılar olan A, D ve C yi hesaplar.

CATENARY. Profil üzerine iletkeni ve direkleri çizer

OUTPUT: Çıktı» bilgilerini yazar.

#### 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Program 114 kV luk, çift devre Gölbaşı-Emirler enerji nakil hattının ilk 13 km' lik bölümüne uygulanmıştır. Bu güzergah üzerinde kayalıklar, vadiler, meyve bahçeleri, telefon hatları, dereler ve çok sayıda köy yolları bulunmaktadır. Büyük bir bölümü de tarlalar ve hafif dalgalı düz araziden oluşmaktadır.

Şekil 7' de görülen en alt çizgi ana profili, onun üzerindeki çizgi ise ana profilden en az 2 m yüksek olan yan profili göstermektedir. Koyu çizgi ile belirtilen hat bilgisayar ile yapılan çözümü, kesik çizgi ise elle yapılan çözümü göstermektedir.

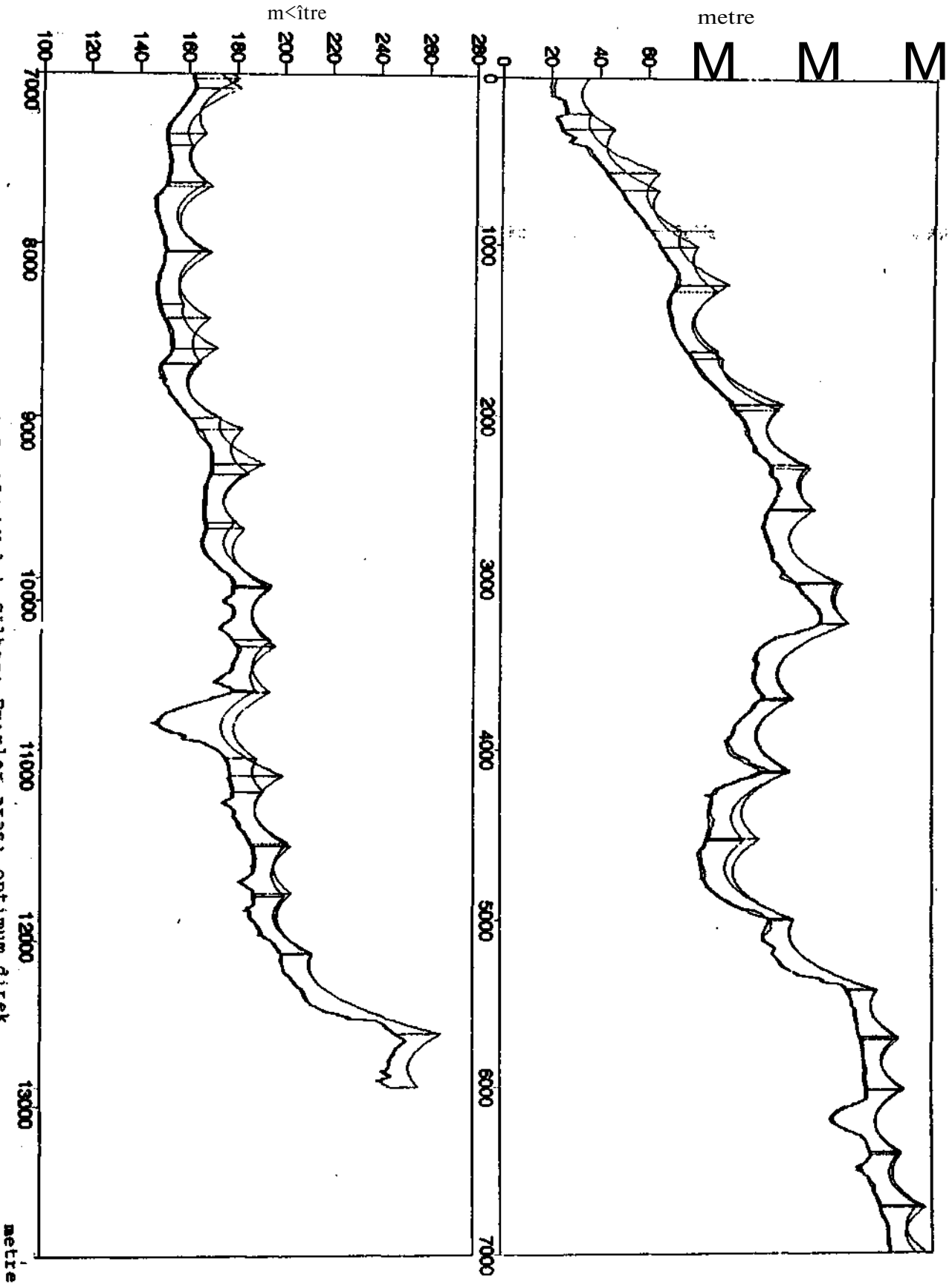
Direk dikilecek aday noktaların arasındaki uzaklık kişinin istenilen göre rteflistirilebilir. Program sonuçlarından elde edilen dt?nyime göre bu ardışık noktalar arasının 10 m den az olması gerektirmektedir.

Yapılan çözümde ise bu aralıklar 3 m olarak alınmıştır. Profilden doğrudan alınan 560 adet koordinat noktası ilaha sonra 3 m aralıklarla 1330 adet noktaya çıkarılmıştır. Bu noktaların bir kısmı da bazı engeller veya direk dikilmeye elverişli olmayan bölgelerin koordinatlarıdır.

Şekil 7' de görüldüğü gibi program kısa boylu direkleri dalların tepe noktalarına yerleştirerek arazinin yapısından en uygun bir şekilde faydalanılmıştır. Gerçekten de bu doğrudur, zira kısa boylu direklerle uzun mesafe katetmek maliyetin düşük olmasını sağlar. Oysa bir direğin tepenin önüne veya arkasına dikilmesi optimum olmayan bir çözüm verebilir, örneğin, Şekil 7' de bilgisayar çözümündeki ikinci direk böyle bir yer dikilmişir. Bu noktadaki direk en kısa boylu hafif taşıyıcı tipteki direktir. Fakat el çözümündeki ikinci direk daha yüksek bir direk çukura dikilmiştir. II, 12, 13, 15 ve 16 ncı direkler de bu tip yerlere dikilen kısa direklerdir. Düz arazide ise bilgisayar, uzun mesafe katetmek için uzun boylu direkleri seçmiştir. Profil boyunca iki tane acılı nokta vardır. Birincisi 400 den büyük ve 3 üncü km de, ikincisi de 2-30 ve 12 nci km de dir. Bilgisayar birinci noktaya aklırdurdurucu, ikinci noktaya da ağırd taşıyıcı bir direk yerleştirmiştir.

Bilgisayar 13 km' lik hat için toplam olarak 38 adet direk dikmiştir. El metodunda ise toplam 38 adet direk kullanılmıştır. Bilgisayar çözümündeki bu fazla direk 11. km de dir. Bu bölge-de el metoduyla üç adet direk kullanılmasına karşıt bilgisayar el çözümündeki direklere kıyasla daha kısa ve hafif taşıyıcı tipteki 4 adet direk seçmiştir. Programın toplam çalışma süresi 44.51 dakikadır.

Bu çalışmada optimizasyon sadece direk tevziyatına uygulanmıştır. Bu optimizasyon ile birlikte daha geniş bir arazi bandı bilgileri de alınarak optimizasyona dahil edilirse daha ekonomik bir sonuç elde edilebilir.



Sekil 7. 154-kV lük GÖlbaşı-Emirler arası optimum direk tevziatı uyqulamasi.

## 6. SONUÇ

Enerji nakil hatları boyunca optimum direk taşıma yapacak sayısal tür yöntem geliştirilmiş ve bu programın uygulanması için bir program geliştirilmiştir. Bu program 154 kV lütfen için Gölbaşı Emirler hattının ilk kilometrelik bölümünün inşaatı ve toplam maliyetlerinden 7.301 M Lük bir katkı, başarılan sonuçlarıdır.

### REFERANSLAR

C1] Conventi, V., Hyland, E.J., arui Tickle, D. ff., "Optimum Tower Spacing on Digital Transmission Lines". A.I.E.E. Paper Afairat. 1962, No. 53, pp. 55-63 A)ril 1, 1962

C2] Ohlhorst, F. anı Palm, Y., "Optimum Tower Spacing on Transmission Lines by Means of Electronic Computer". 50th IEEE Power Apparatus and Systems Conference, 1963, pp. 136-137.

[3] Pappas, R.E., Dabekis, C.F., Fullerton, T.M., "Optimum Tower Spacing for Transmission Lines". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 3, pp. 1196-1203, 1981.

[4] Purcuhit, Ü.C. "Optimum Tower Spacing of Transmission Lines". J. Inst. Eng. (India) Part B, Vol. 60, No. 6, Oct. 1972

C5] Kitano, F., "Optimum Tower Spacing for an Overhead Line". (IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 5, No. 1, pp. 34-38, 1963).

[6] Drnqvist, H., "Energy Losses in Transmission Lines". Elek. Tidskrift, 1962.

[7] "Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği". İEKB, Ankara, 1978.

C8] Erzon, L., "Optimal Tower Spacing Along A Transmission-Line Route". M.Sc. Thesis, Univ. of Georgia, 1972



1967 yılında İstanbul'da doğan, Orta ve İleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi (Eski Gaziantep) Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Ankara'da Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında doktora çalışarak "Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" üzerine doktora tezi yazdı. 1992 yılında çalışmalarını tamamlayarak "Yüksek Gerilim Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" üzerine doktora tezi yazdı. Halen aynı bölümde Doçent olarak çalışmaktadır. Yüksek Lisans ve Doktora tezleri "Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" üzerine yazılmıştır. "Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" üzerine yazdığı makaleler, "Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" dergisinde yayımlanmıştır.



1967 yılında İstanbul'da doğan, Orta ve İleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi (Eski Gaziantep) Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Ankara'da Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında doktora çalışarak "Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" üzerine doktora tezi yazdı. 1992 yılında çalışmalarını tamamlayarak "Yüksek Gerilim Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" üzerine doktora tezi yazdı. Halen aynı bölümde Doçent olarak çalışmaktadır. Yüksek Lisans ve Doktora tezleri "Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" üzerine yazılmıştır. "Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" üzerine yazdığı makaleler, "Elektrik Makinaları ve İletim Hatları" dergisinde yayımlanmıştır.

# Kesişen Elektrik ve Manyetik Alanlar Altında N<sub>j</sub> Gazının Yalıtkanlığı

M.Sezai Dinçor ve Timur Aydın  
F.lektrik F.lektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi  
(M5570 Maltepe ANKAITA)

ÜZRT

2. TKOUT VK DKNKYSKL. MKİÖD

Bu çalışmada  $1 < p < 14$  torr-cm basınç-aralık bölgesinde N<sub>j</sub> gazının F.xB davranışı eşmerkezli silindirik elektrod sistemi kullanılarak araştırılmıştır, incelenen bölgede, verilen bir basınç-aralık çarpımı için, N<sub>j</sub> gazı delinme geriliminin uygulanan manyetik alanla yükseldiği gözlenmiştir. KxB alanları altımla Eşdeğer Basınç Kavramı geliştirilerek elektron-molekül çarpışma frekansları N<sub>j</sub> gazıyla ölçülen delinme gerilimleri yardımı ile  $\sqrt{U} = 1.087$  geometrisi için bulunmuştur.

## 1. GİRİŞ

Kesişen elektrik ve manyetik alanlar altında Townsend boşalımı son yıllarda araştırmacıların dikkatini çekmiştir (1,2,3). İlginç bir minimum noktadan daha büyük basınç aralığı bölgesinde elektrik alanına dikey olarak uygulanan manyetik alan delinme geriliminin yükselmesine neden olmaktadır. KxB gaz boşalımının bu davranışı Heylen (1) tarafından efektif elektrik alanı kavramı ile açıklanmıştır. Bu kavrama göre uygulanan manyetik alan elektrik alan etkisini efektif olarak imi i r gemekte v e yalıtkanlık seviyesinin yükseltmektedir. Govinda Haju ve Dinçer (2), N<sub>j</sub> gazının KxB davranışını temel parametreler ışığında incelemişler ve uygulanan manyetik alanla elektron çıkışının ortalama enerjisinin düştüğünü ve verilen bir K/p (Vcm<sup>-1</sup> torr<sup>-1</sup>) değerinde artan manyetik alan ile iyonlaşma sabitlerinin azaldığını göstermişlerdir.

Bu çalışmanın amacı t<sub>i</sub> gazında ExB alanları için delinme gerilimlerinin ölçülmesi ve deneysel sonuçlar yardımı ile elektron-molekül çarpışma frekansı, v, değerlerinin bulunmasıdır.

Heylen tarafından efektif eşdeğer elektrik alanı (K/p) :

$$(E/p)_{\text{eff}} = (E/p) \left[ \frac{1}{\left(\frac{v}{p}\right)^2 + v^2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

olarak verilmiştir. Bu ifadelerde F. uygulanan elektrik alanı, p gaz basıncı, v bir torr gaz basıncında elektron-molekül çarpışma frekansı ve  $u = eB/m$  olup e/m elektron-molekül yükünün kütle sine oranı ve B ise elektrik alanına dikey olarak uygulanan manyetik alandır. Düzgün elektrik alanı veren bir elektrod sisteminde Denklem (1)

$$\left(\frac{v_e}{pd}\right)_{\text{eff}} = \frac{v_e}{1 + \frac{v^2}{v_e^2}} \quad (2)$$

olarak yazılabilir. Burada, d elektrod aralığı  $v < v_e$  delinme gerilimidir.

Ancak F.xB yönünde oluşabilecek test çemberi duvar kaybını önlemek için tercih edilen geometri düzlem-düzlem elektrod sistemi yerine eşmerkezli silindirik sistemdir. Bu çalışmada iç çapı 10.7 cm ve uzunluğu (5.0 cm olan silindirik bir pirinç test hücresi ile beraber iç ve dış yüzeyleri altın kaplı silindirik elektrodlar kullanılmıştır. Bir "indigibi eşmerkezli silindirik elektrod sisteminin alan düzgünlüğü H<sub>i</sub>/U<sub>i</sub> oranına (H<sub>i</sub>: dış elektrod iç yüzey yarıçapı ve U<sub>i</sub> iç elektrod dış yüzey yarıçapıdır) bağlıdır. Kullanılan elektrod sisteminde H<sub>i</sub>/U<sub>i</sub> oranı 1.0M7 ve I. 14) olarak seçildiği için im elektrod sistemi düzlem-düzlem elektrod sistemi gibi davranmakta olup ön deneylerde polarite bağımlılığı görülmemiştir.

Denklem 2 'de  $d = 1/2 \cdot H_i$  konulursa ve

$V_j$  delinme gerilimleri aynı değerde tutulabilirse,

$$[D(R_2 - R_1)]_{ess} = D(R_2 - R_1) \left[ 1 + \frac{(\frac{\sigma}{\rho})^2}{v^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

olarak yazılabilir. O linkle,

$$[D(R_2 - R_1)]_{ess} = D(R_2 - R_1) \left[ 1 + \left( \frac{\sigma}{m} \times \frac{1}{v} \times \frac{B}{D} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

olur ve sabit bir  $(R_2 - R_1)$  aralığı için

$$P_{ess} = P \left[ 1 + \left( \frac{\sigma}{m} \times \frac{1}{v} \times \frac{B}{D} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

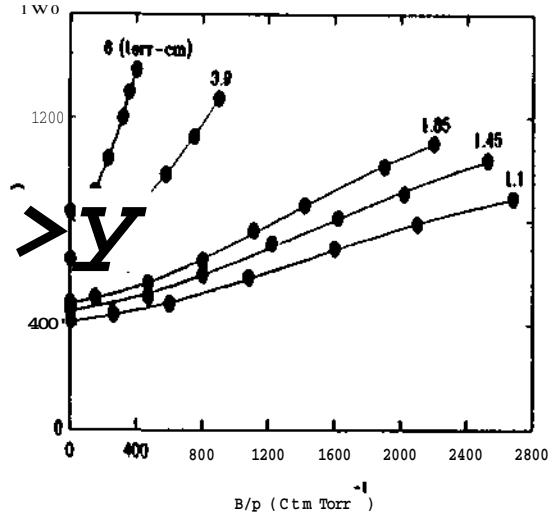
yazabiliriz.

Denklemleri "Eşdeğer Basınç Kavramı" olarak tanımlanabilir. Uygulanan manyetik alan gaz basıncını efektif olarak yükseltmektedir. Kger değişik D değerlerinde ve  $D=0$  olduğu zaman basıncı değiştirerek  $V_j$  değerini sabit tutabilirsek Denklem 4 yardımı ile  $\hat{I} \times D$  alanlarında elektron-molekül çarpışma frekanslarını saptayabiliriz.

Deneylerde iç elektrod anod ve dış elektrod katod olarak kullanılmıştır. Elektrik alanına dik yönde uygulanan manyetik alan Varian E12 EL'H Spektrometresi elektromagneti (çap:30 cm) yardımı ile elde edilmiştir. 1-13000 Gauss arasında değişebilen manyetik alan düzgünlüğü elektrod aralığında en çok XI.5 değişim göstermektedir. İstenilen basınçta  $N_2$  gaz örneği test hücresine 0.06 torr duyarlıklı silikon yağlı manometre ile ölçülerek alınmıştır. D.C. delinme gerilimleri %2 hata ile ölçülmüştür.

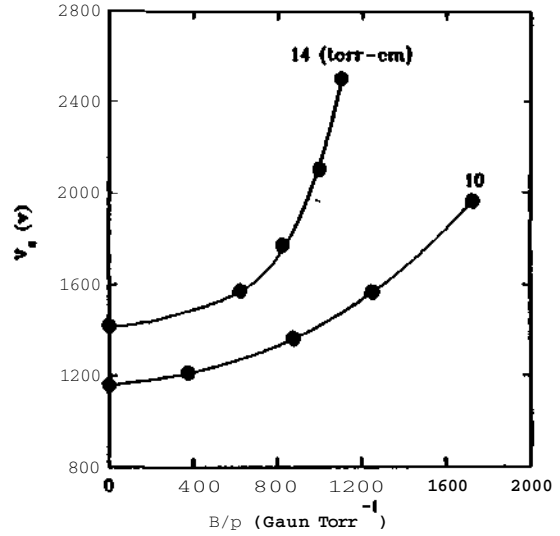
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR

Şekil 1 'de  $V_j = r(n/p)$  eğrileri  $t_y$ ,  $H_2 = 0.295$  cm ve  $R^2/R_1 = 0.007$  geometrisi için sabit basınç-aralık değerlerinde verilmiştir. Şekil 1 'den görüldüğü gibi verilen torr-cm değeri ile  $V_j$  geri-



Şekil 1  $N_2$  gazında delinme gerilimleri  $H_2/H_1 = 1.077$ .  $U - U_0 = 0.295$  cm.

1 imi basınca indirgenmiş manyetik alan yükseldikçe artmaktadır. Bu davranış incelediğimiz  $Kp < 1$  torr cm aralığında her sabit torr-em değeri için geçerlidir. Şekil 2 'de ise benzer eğriler  $O_y - H_1 = 0.105$  cm ve  $I_2/H_1 = 1.43$  geometrisi için verilmiştir.



Şekil 2  $N_2$  gazında sabit basınç-aralık çarpımlarında  $ExD$  delinme gerilimi.  $H_2/N_2 = 1.43$ .  $H_2 - H_1 = 0.4R_1$  an.

F.xB gaz boşalimlarında elektron-molekül çarpışma frekansı,  $\nu$ , önemli bir parametre olup delinme geriliminin teorik bulunmasında kullanılır. Biz bu çalışmada "Eşdeğer Basınç Kavramı" yardımı ile  $N^{\wedge}$  gazı için  $\nu$  değerlerini ( $H,-H$ )=0.295 cm geometresinde  $V$ , delinme gerilimini  $XI$  değişimle sabit tutarak saptadık. Flektron-molekül çarpışma frekansları Tablo 1 "de aynı (F./p), değerlerimle değişen basınca indirgenmiş manyetik alanlara göre verilmiştir. Genel olarak  $\nu$  arlan (E/p) ile yükselmekte ve aynı (F/p) değeriinde uygulanan farklı manyetik alanlar için farklı değerler almaktadır.

Tablo I N, dazında F.xM elektron -molo-kül çarpışma frekansları

K/H <sub>e</sub>	Bp	\	P <sub>es</sub>	I'	>
(Vra^Tcrr')	iGNissTorr"	(V)	(Torr)	(Torr)	(IQV>
104.4	340	127	41.4	20.3	2.93
104.4	900	1270	41.4	13.2	5.05
117.6	220	1000	28.8	20.3	3.85
117.6	620	1000	28.8	13.2	5.61
138.4	380	830	20.3	13.2	4.35
138.4	1360	830	20.3	6.3	7.36
138.4	1740	830	20.3	4.9	7.39
138.4	2320	830	20.3	3.7	7.49
166.7	800	650	13.2	6.3	7.68
166.7	1440	650	13.2	3.7	7.75
264.8	690	190	6.3	3.7	7.82

#### 4. SONUÇ

tncelenenbasınç-ara11k'lx51gesiti de delinme geriliminin artan 13/p ile yükseldiği görülmüştür. FxU Tovnsend boşalımı için Eşdeğer Basınç Kavramı kullanılarak Nj gazında clektron-molc-kül çarpışma frekansları saptanmıştır.

#### K/VYNAKIJVR

- 111 A.E.D. Heylen, Dr. J. Appl. l'hys. , Vol.16. 1151-1159, 19(55).
- 121 G.R. Govinda Haju ve M. S. Dinçer, I.F.F. Trans. Plasma Sci., Vol.1R, R19-R25. 1990.

- 13) M.S.Dinçer ve A, dökmen, .1. Phys. I): Appl. l'hys. , Vol.25. 912-911, 1992.



Doç. Dr. M. Sezai Dinçer 1Ü.G.J9S2 larihinde Ankara 'da doğmuş I ur. Yüksek Geri I im gaz boşal imlan konusunda çeşitli uluslararası yayını bulunan yazar 1979 ODU) Elektrik Mühendisliği Holümün "den Yüksek Mühendis

ve 19R5 >i I imla Depar!meni of F.leelrica I F.ngineoring. llniv(>rsi ly of Windsor "dan l'h.D. derecelerini almıştır. 19RO->I yıllarırvla Windsor 'da asistan olnrak çalışmış ve 1901-Hfı yıllarında »ynı üniversitenin F. lektrik Mühendisi iği IVijümü 'ndc öğretim g<>revlisi olarak görev almıştır. ODltM'lektrik-Elekl ronik Mühendisliği Dölümün 'de I9»B yılında Doçei\ t olan yazar halen Gazi Universit.esi i Fiek I rrik-F.lıktronik Mühendisi işi IV.Hümünde ICloktrik 'l'esish'ri Ana lU I im Dalı başkanıdır.



Timur Aydın 12.S.1907 yılında Sm-sun 'da doğan yazar Samsun Anadolu Lisesi-ni 19ör> tarihinde hi-tirmiş ve J990 yıl imla Gazi Üniversitesi F-lektrik-Elektronik Mühemlisliği I3ölümü 'nden Flektrik-Elektronik Mühendisi ve 1993 yılında Yüksek

Lisans derecelerini almıştır. Aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışan yazarın çalışma alanları yüksek gerilim gaz boşalimleri üzerinedir.