

# ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 4. ULUSAL KONGRESİ

16 - 22 EYLÜL 1991 • DEÜ • İZMİR

1

EMO • TÜBİTAK • DEÜ



## ÖNSÖZ

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası ve Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'nun işbirliği ile 16-22 Eylül 1991 tarihleri arasında düzenlenen Elektrik Mühendisliği 4. Ulusal Kongresine hoşgeldiniz.

Üç paralel oturum halinde D.E. t). Rektörlük binası anfilerinde gerçekleşecek Kongremizde 54'ü poster olmak üzere toplam 213 bildiri sunulacaktır.

İki ayrı ciltte toplanan bildirilerin, Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği. Kontrol ve Sistemler ile Enerji Sistemleri konuları birinci ciltte, Bilgisayar, Elektronik, Haberleşme, İşaret İşleme, Biomedikal ve Enstrümantasyon, Elektromagnetik Alanlar, Mikrodalga ve Antenler ile Eğitim konuları ise ikinci ciltte yer almıştır.

İki ay önce yaptığımız kongremize 299 adet bildiri özeti gönderilmiş, Bilim Kurulu bunlardan 277'sini kabul etmiş, 22 adet bildiri özetini ise iade etmiştir. 64 adet bildiri basıma verildiği tarihe kadar elimize ulaşmadığı için Kongre Bildirileri kitabında yer almamıştır.

Universite-sanayi işbirliğinin geliştirilmesi ve Kongremize yansımalarının sağlanması amacıyla ilk kez oluşturulan Kongre Danışma Kurulunda, EMO ve üniversitelerin temsilcilerinin yanı sıra kamu ve özel sektör temsilcileri de yer almıştır.

Süperiletkenlerin Elektrik Mühendisliğinde Uygulamaları, 2000'li Yıllarda Ülkemizin Haberleşme Sistemleri ve Ülkemiz Elektrik Enerjisi Sistemleri konularında sunulacak çağrılı bildirilerle Kongremizin yalnız izleyicilere değil tüm kamuoyuna önemli mesajlar vereceği inancındayız.

Kongremizde Elektrik Mühendisliği Eğitimi ve Elektronik Teknolojisi konularında sorunların tartışılacağı, çözüm ve önerilerin geliştirileceği, ilgili kurum ve kuruluşlara önemli yararlar sağlayacağını umduğumuz bir ortam yaratacak panellerimiz olacaktır.

Çağrılı Bildiri ve panellerimize katılacak değerli bilim adamları ile özel ve kamu kuruluş yetkilisi meslektaşlarıma çok teşekkür ediyorum.

Sunulacak tüm bildirilerin özverili çalışmalarla ortaya çıktığını hepimiz biliyoruz. Yürütme Kurulumuz bu çabaları desteklemek ve genç araştırmacıları teşvik etmek amacıyla kongrede sunulan en iyi üç bildiri sunucusunu ödüllendirmeyi kararlaştırmıştır. Beş kişilik jüri tarafından yapılacak değerlendirme sonucu üç sunucuya ödülleri kapanışta verilecektir.

Kongremizin, izleyiciler ve delegeler için başarılı olmasını, ülkemizin bilimsel ve teknolojik çalışmalarına yön ve ivme vermesini diliyor, hazırlık çalışmalarımıza özenle katkı koyan değerli Bilin Kurulu, Danışma Kurulu, Yürütme Kurulu ve Sosyal Kurul üyeleri ile emeği geçen tüm arkadaşlarıma destek ve katkıları için teşekkür ediyorum.

Prof. Dr. Kemal ÖZMEHMET  
Yürütme Kurulu Başkanı

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ  
4, ULUSAL KONGRESİ  
16-22 EYLÜL 1991  
DEÜ REKTÖRLÜK BİNASI - İZMİR

DUZENLEVEN KURULUŞLAR

- . TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODACI
- . DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
- . TÜBİTAK

**YÜRÜTME KURULU**

Kemal ÖZMEHMET (Prof. Dr. - Başkan)  
Nihat ÖZGÜL (EMO - Koordinatör)  
Teoman ALPTÜRK (TMMOB - EMO Başkanı)  
Canan TOKER (Prof. Dr. - ODTÜ - TÜBİTAK)  
Süha BAYINDIR (Doç. Dr. - DEÜ)  
Macit MUTAF (EMO İzmir Şubesi)  
Sedat GÜLSEN (EMO İsinir Şubesi)  
Mehmet KUNTALP (Araş. Gör. - DEÜ)

**DANIŞMA KURULU**

Ufuk ATAÇ (EMO)	Atilla OKYAR (VESTEL)
İbrahim ATALI (EMO-ADANA)	Vuslat OZTOPÇU (TRT)
Emir BİRGÜL (EMO-BURSA)	Serhat ÖZYAR (EMO-ANKARA)
Yurdakul CEYHUN (TELETAŞ)	Muharrem SAYIN (M.G.)
Sıtkı ÇİÖDEM (EMO-İSTANBUL)	Hasan S. ŞİŞİKOĞLU (PTT)
Orhan ERYOL (PTT)	Necmi OYAR (ETİ TAŞ)
Aykut GÜSAR (SIMKO)	Cengiz ÜNDEYOĞLU (TEK)
Cihan İLKER (ASELSAN)	Turhan TUNALI (EÜ)
Aydın KAYACIK (ALPET)	

**BİLİM KURULU**

Abdullah ATALAR (Prof.Dr.-BİLKENT)	Erol KOCAOĞLAN (Prof.Dr.-ODTÜ)
Süha EYİNDİR (Doç.Dr.-DEÜ)	Tarık ORANÇ (Y.Doç.Dr.-DEÜ)
Atilla BİR (Prof.Dr.-İTÜ)	Emrah ORHON (Prof.Dr.-EÜ)
Yurdakul CEYHUN (TELETAŞ)	Kadri ÖZÇALDIRAN (Doç.Dr.-EÜ)
İlhami ÇETİN (Prof.Dr.-İTÜ)	Kemal ÖZMEHMET (Prof.Dr.-DEÜ)
Muammer ERMiŞ (Doç. Dr. -ODTÜ)	Osman SEVAIOOLU (Doç.Dr.-ODTÜ)
Bülent ERTAN (Prof.Dr.-ODTÜ)	Mete SEVERCAN (Prof.Dr.-ODTÜ)
Mustafa GÜNDÜZALP (Y.Doç.Dr.-DEÜ)	Oğuz SOYSAL (Doç. Dr. -KTÜ)
Avni GÜNDÜZ (EMO)	Necmi TANYOLAÇ (Prof.Dr.-Bü)
Hasan GÜRAN (Prof.Dr.-ODTÜ)	Turhan TUNALI (Doç. Dr. -EÜ)
Güngör GÜRSEL (EMO)	Erginer UNGAN (Y. Doç. ' . Dr. -DEÜ)
Kemal HALICI (Prof.Dr.-YÜ)	Yıldırım ÜÇTUŞ (Doc.Dr.-ODTÜ)
Emre HARMANCI (Prof.Dr.-İTÜ)	Zafer ÜNVER (Prof.Dr.-ODTÜ)
Altunkan HIZAL (Prof.Dr.-ODTÜ)	Birgül YAZGAN (Prof. Dr. -İTÜ)
Mithat. İDEMEM (Prof.Dr.-TÜBİTAK)	Erdem YAZGAN (Prof. Dr. -İTÜ)
Öscaıı KALENDERİ.!. (Y.Doç.Dr.-İTÜ)	Melek YÜCEL (Doç. Dr. ••ODT'J)
Haldun KARACA (Y.Doç.Dr.-DEÜ)	Nusret YÜKSELER (Prof.iÜ.-İTÜ)

**SOSYAL KURUL**

Macit MUTAF (EMO)	Birsen MALKOÇ (EKO)
Recai KOLAY (DEÜ)	Gülderen YARIM (DEti)

Not: Danışma Kurulu ve Bilim Kurulu alfabetik olarak dizilmiştir.

SPICE YARDIMIYLA ORTA GERİLİM ŞEBEKELERİNİN ANALİZİ

F. Arslan, S. Ay\*

İstanbul Üniversitesi, Tek. Bil. M.Y.O. Avcılar, İstanbul  
\*Yıldız Üniversitesi, Elektrik Müh. Bölümü 80750 İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, orta gerilim şebekeleri SPICE yardımıyla analiz edilmiştir. 15 kV luk bir enerji dağıtım şebekesi üzerinde yapılan hesaplama sonuçlarından, bara gerilimlerinin ve hat akımlarının kompleks düzlemdeki değerleri elde edilmiş, sonuçlar incelenmiştir.

1.0 GİRİŞ

Enerji iletiminin sona erdiği noktalardan tüketicilere kadar uzanan enerji dağıtımı, bilindiği gibi, orta gerilim şebekeleri üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Orta gerilim şebekelerinin akım dağılımı, hatların kayıp optimizasyonu, gerilim düşümü, ısınma kontrolü vb. analizlerinde, çoğunlukla hatların seri kapasiteleri ve fazlar arasındaki, karşılıklı kuplajın ihmal edilmesi yoluna gidilir. Analiz aşısından çeşitli yöntemler /1/-/3/ ve modellenen teknikleri /4/, /5/ öngörülebilmektedir.

f-v. çalışmada orta gerilim şebekeleri, öncelikle Devre Teorisinden bilinen kurallara çerçevesinde modellenmiş; ve ardından SPICE yardımıyla sistemin simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.0 PROBLEMIN TANITIMI VE MODELLENME

Çok yönlü bir çözümleme programı olan SPICE (Simulation Program for Integrated Circuit Electronics), ilk kez 1970 li yılların başında, Elektronik Devre Tasarımına yönelik olarak ortaya çıkmıştır; o yıllarda ancak büyük bellekli bilgisayarlarla kullanılabiliyordu. 1982 yılından itibaren ticari program olarak piyasaya sürülen SPICE, 1985 yılından itibaren kişisel bilgisayarlar seviyesine inmiştir. Bu yolla, geçici rejimlerin grafiklerle incelenmesi, Bode diyagramlarıyla analiz vb. bir dizi fonksiyonun gerçekleştirilmesi olanağı doğmuştur.

Şebekenin modellenmesi esnasında bara yükleri pasif empedanslara dönüştürülmüştür. N, şebekedeki yük sayısı olmak üzere i. yükün empedansının değeri

$$Z_i = S_i / I_i^2 \quad (i=1,2,\dots,N) \quad (D)$$

olacaktır. Burada Z, S ve I, sırasıyla, bir faza ilişkin yükün empedansını, görünen gücünü ve akımını göstermektedir. "-" sembolü ise, fazör işareti olarak kullanılmıştır. Analiz sırasında, indirici transformatör merkezlerindeki çıkış gerilimlerinin dengeli kaldıkları ve yüklerin simisoidal-dengeli oldukları kabul edilmiştir.

Diğer taraftan j ve k gibi iki düğüm (bura) arasındaki hat parçası, seri RL devresi olarak eşdeğere alınmıştır. Şebekedeki hat parçası sayısı M olmak üzere, hattın omik direnci

$$r_{jk} = x_{jk} \cdot l_{jk} \quad (i=1,2,\dots,M) \quad (2)$$

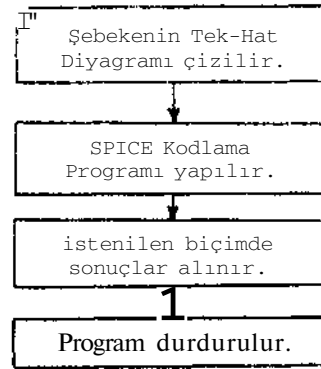
ve hattın endüktansı

$$L_{jk} = x_{jk} \cdot l_{jk} / (2\pi f) \quad (i=1,2,\dots,M) \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Burada r ve x, birim hat uzunluğuna ilişkin direnç ve reaktans (ohm/km) değerleridir. l<sub>jk</sub>, j-k arasındaki hat parçasının uzunluğu (km) ve f işletme frekansı (Hz) dir.

SPICE programının şebekeye uyarlanmasıyla, kodlama programına:

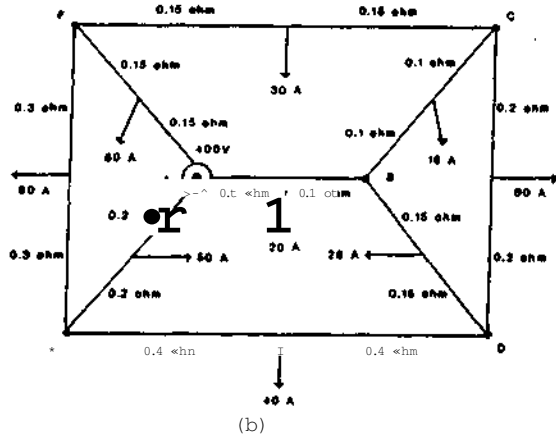
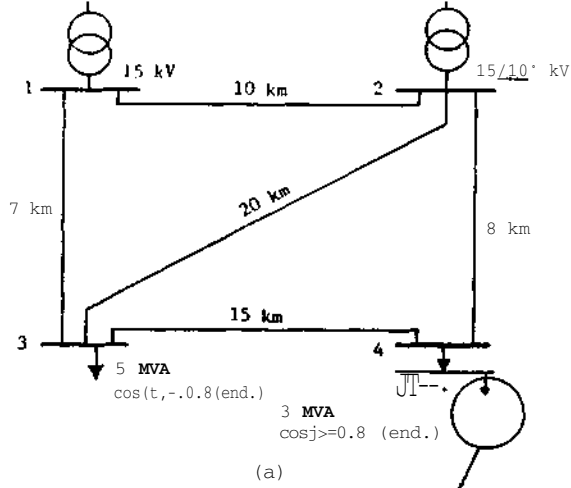
- Elemanın ne tür olduğu (R, L, C)
  - Elemanın hangi düğümler arasında bulunduğu
  - Elemanın sayısal değeri
- verilmelidir. Bunun için, şebekeye ilişkin, her bir hat diyagramının çizilmesi gerekir. 1000 düğümün kariai çözüm yapabilen, sonu 32 bitlik 'x' L. W. 's' i' i' da "kartezyen" düzleminde alınabildiği SPICE programının /S/ lojik işlem sırası Şekil 1. olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. İşlemin lojik sırası.

i.O SAYISAL UYG'ULAMA

Sayısal uygulama için, Şekil 2. de verilen 15 kV Uçak k-irali bir h.nvii k-ri şebekesi seçilmiştir.



Şekil 2. Sayısal uygulama için seçilen orta gerilim şebekesi (a) ve A numaralı baradan beslenen alçak gerilim şebekelerinden birisi (b).

Orta gerilim şebekesinde birim uzunluğa ilişkin ortalama hat empedansı 0.3+j0.1 ohm/km.faz dır. Sözkonusu şebekeye ilişkin SL'ICE Kodlama Programı ve hesaplarca sonuçları Tablo 1 de, alçak gerilim şebekesine ilişkin hesaplama sonuçları ise Tablo 2 -k' verilmiştir.

Tablo 1

OrLa gerilim şebekesine (Şekil 2) alçak gerilim şebekesi için Kodlama Programı ve Hesapları NIKK!>.11

```

*****
n1 j 2 r.
L i 2 3 1 : . 71-:
v j j o p'c iif/o o
VH1 3 < AC O 10
Rr 1 5 ? .1
Lr ^ 6 D .5fi
VH7 6 7 AC O O
v? a o PIC Gc.70 H'P
D3 0 7 .
L3 9 Or 5 . M
m i 4 9 r,c p o
R1 i ? I j 2 . d
L1 14 IT 10.811
V (t4 4 I 3 AC O O
n5 7 JO 4 . f.
LJ 10 11 19. J M
VHS 11 12 HI: o o
R6 7 17 36
[-6 17 iB B5.9BN
W6 10 0 >C O O
07 12 15 10
L7 1 fi K, i 13 . T H
VY7 1E. O AC O O
.p'c DfC 1 t>0 50
.PRIN1 AC V(i(7) VP(7) VM(i:1 H'i i .]
.PRIIMT pPJ JM(VH1) JP(VH1)
.PRIIMT AC II-KVII'J) IPiVH.'I n-KVII.'J) II ., ta L.
.PRINT AC IM(VII-1) i'IVH-11 i'IVH'KN) i'IVH'V'
.PRIINI AC IMiVV6) II'IVV6) IMiVV6) II'IVV6)
.END
*****

```

rnro

```

5. 0000orp oi
VM (7) VP i 7) VI-1(12) VI-1(12)
n.i92E<0.: 7 .0201-: M:.. LI.: : : .K.
iHi VIIJ ) iP (VIII )
T..027i;>02 -1.ii'Jii iE.'
IMiVii2) IPiVii2) II-iVii2) II'iVii2)
i.061-IT<-02 -T.-ii'r poi L.L.'tr.'*'. i. ti'jr .MI
II-KVH4) IP(VII4) INiVHf1) IF'iVMS)
I.S7.3E + 02 -; .207E<00 " .MTJf'OI -J. >101E>02
JMiiVV6) 1P(VYi.) II-:(V.' ) 1PIVY7)
1.020Ef0I> - -.. iiiiE POI 1.0""5f.o2 - j . </Q</C < VJ I
i'Ü.I.L JUD TIMC 17.ii

```

Tablo 2  
Alçak gerilim şebekesine (Şekil 2-b) ilişkin  
İHSP programına sonuçları

```

*****
i H I V I I I I I ( v i i )
: P I - 14 L * 01 0.000F'00
III(VI1) IP(VT>
1.111EF>00 0. UjüE * u0
IMIVJI ITiVJ]
6.70üE * 01 11.000E'00
IM(V1 I IPi VI I
1.1'11E101 0.000E>00
III(V5) IPiv'5)
i . . 272E * ü? 0.000E'00
: N(VI.1 i P i VM
1.0V8L * 01'0.000E'00
IMIV;') IPiV7)
;'.757F>0J 0.000E * Ü0
I M ( V I I I P i ' E I )
S.2-J;C->OI 0.000r'00
IM(V>) IP(V9)
7. . E. ; > E * 01 ij.000E'00
I H i : ( 10) I P I V i u )
1.7t.3E'01 0.000E i-00
! H ( V I I ) I P . V I I )
fi.'^UC'0J 0.0u0E < 00
!M i V I : i i n v j i !
2.96PE->0i ' * .000E'00
I M ( v j 3 ) i P I V : 3 )
a.ÖME'0) 0.000r i O"
I N ( V I I ) I P I V I ' '
7. 12JE'0! 0.0001-I+JO
I n i v i > i i P i v i i : >
i . C i J M : ' o r " . u o o i : ' o o
1. J ( V J 6 ) I P ( > I f . )
r. f. o ' t * f 1 0.000c * 00
JM(V17 I IP<v'7)
2.7-0812'01 0.000L'00
:IM(V10) |P(V18)
j. i . ' o r t > O J 0 * 000c * 00

```

(...devam)

```

V(1.0 W(7) 0.0( ) 0.0.11
7. . A . > c ' o o 7 . . 77.0 . > * 7. . m . i ( . . . ) I . < . . ' r '
IM(V1'2I i P i V I 7 I
T. . '56E*01 . . . .000C'00
V(J.r'1 Vi ; / , I ' ? I V I 19, ti) V.11.1)
3.7'29C*00 y. T = ; H F . n n E . - r j i " M . . . . . [
v ( 1 , 11' ) v ( I . r . v . 1 v ( ? < , 1 91 v i r . . . - ; 1
/ . P I ' E ' 00 . 1 . 71 / B ; I i " . . . . V . E ' . . I * . . . . - . . . . )
V(7.1 V(6) VM.1) Vir">
r. . t . 73E->0r 3.014E * 0r . . . . . ' i n k ; . . . . . i - r . . . .
V(10) V(74) V(71) V(17)
3.795E*or 2..?ov:ioi' 7.6ürr: 107 7.sü * t: . . . .
1ÜTOI. JCIB İİMİ. >li . . . .
4.0 SONUÇ

```

Bir enerji dağıtım şebekesinde tasarım ve işletme açısından önemli olan akım dağılımının ve bara gerilimlerinin belirlenmesi, SPICF, programı yardımıyla gerçekleştirilmiş; sonuçlar kompleks düzlemde alınmıştır. Bu yolla, şebeke topolojisindeki değişiklikler (hat/hatların devreye girilmesi/ çıkması) ile yüklerdeki değişiklikler (gece saatlerinde yüklenme oranlarının değişmesi, kompanzasyon ünitelerinin devreye girip çıkması vb.) için öngörülecek bir analiz, kodlama programında yapılacak küçük bir değişiklikle gerçekleştirilebilir.

Şebekenin topolojisi, eleman sayısı, hat reaktansının ihmal edilmesi/edilmemesi, yüklerin omik olması/olmaması vb. bir dizi etken, çözümlene suresini etkilemektedir. Örneğin, nrta gerilim şebekesi için çözüm süresi yaklaşık 20 saniye iken, alçak gerilim şebekesi için yaklaşık 22 saniyedir.

REFERANSLAR

- I/1 Briçe, C.W., Comparison of Approximate and Exact Voltage Drop Calculations Tor Distribution Lines, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-101, pp. 42.S-'..4 il. 1982.
- III EPRI EL-3591, vol. 2 , ' Di str i but İOİ- S v st em Analysis and Simulatiun Program, Octob^r 1984'.
- izi Brodsky, S.F.J., P.S. Krobl an.I .I.I., ' . . İlli., Comparison of Di^tribution Circuit Vnli.1^ Modeling and Calculation Mctbods, I E I " T. Trans. on Power Delivery, vol. PWRD-2. pp. 97J-üU, 1987.
- Ih/ Arrillaja, J. , C.P. Arnold and İS.J. üarker, Computer Modeiing of Electrifaı P İM^ Systems, John Kiley, 1083.
- /5/ Kusic, G.L., Computer-aided Pover S\slcm Analvsis, Prentjcc-Hall, 1986.
- /6/ Tuinenga, P.W., A Guide to Circuit: Simuaion and Analysis İ;sing PSPH'E. Prcn'İi :- Hail, 1988.

## ENDÜSTRİYEL MS-DOS BİLGİSAYAR TABANLI

### ELEKTRİK DAĞITIM MERKEZİ DENETİMİ VE İZLEMESİ

İzzet Batur  
ASELSAN  
Ankara

Nezih Güven Nevzat Özyay  
Elektrik ve Elektronik Müh. Böl.  
ODTÜ, Ankara

Özet: Bu çalışmada, sUcon disk tabanlı endüstriyel bir bilgisayar ile, elektrik dağıtım sistemleri otomasyonu araştırmamızın bir parçası olarak, dağıtım merkezlerinin denetimi ve izlemesi amaçlanmıştır. Geliştirilen sistemin donanımı MS-DOS işletim sistemi ile çalışan endüstriyel bir bilgisayar olup, uygulama yazılımı PASCAL programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yazılım tüm giriş/çıkış, veri toplama, değerlendirme, yorumlama ve eylem üretme işlerini yönlendirmek üzere esnek bir yapıda tasarlanmıştır. Dağıtım merkezinde ölçülen bara gerilimi ve akımlar yardımı ile güç, güç faktörü, frekans, gerilin ve akımı ardaki toplam harmonik bozulmalar hesaplanmakta, genel izleme işlevlerinin yanı sıra tümleşik volt/ver denetimi ve aşırı yük koruması gerçekleştirilmektedir. Sistemin röle, terminal, yazıcı ve SCADA çıkışları mevcut olup, denetim, izleme ve koruma ile ilgili parametreleri kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

#### 1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisindeki son gelişmeler endüstriyel otomasyon dalındaki uygulamaların güvenilir, yüksek kapasiteli ucuz örneklerinin yapılmasını mümkün kılmıştır. Bu gelişmeler ışığında elektrik dağıtım sistemlerinin de otomasyonuna olan ilgi artmış, ve getireceği sermaye tasarrufu, işletme ve bakımda sağlayabileceği yararlar açısından ülkemizde de uygulanması kaçınılmaz duruma gelmiştir.

Bu çalışmada, dağıtım sistemleri için tümleşik koruma, denetim ve izleme işlevlerini yerine getirebilecek bir sistemin kurulmasına yönelik geniş kapsamlı bir araştırmanın bir adımı olarak, 34,5 kV'luk dağıtım merkezlerinde genel izleme ve değerlendirme işlevleri ve tümleşik volt/var denetimi (reaktif güç kompanzasyonu) amaçlanmıştır. Geliştirilen sistemin donanımı endüstriyel bir bilgisayar olup üzerinde MS-DOS işletim sistemi çalışmaktadır. Uygulama yazılımı ise PASCAL bilgisayar programlama dili kullanılarak geliştirilmiş olup tüm giriş/çıkış, veri toplama, değerlendirme, yorumlama ve eylem üretme işlerini yönlendirmek üzere tasarlanmıştır. Silikon disk tabanlı bu bilgisayar özel bazı donanımlarla elektrik sistemine bağlanmıştır. Bu donanımlar bara gerilimini, fider ve transformatör akımlarını, ve şönt kapasitör gruplarındaki dengesizlikleri akım veya gerilim olarak algılayacak cihazlardır. Ayrıca, bilgisayara merkezdeki kesicilerin statülerini belirleyen sayısal girişler mevcuttur. Bu ölçülen değerler yardımıyla, güç, güç faktörü, bara gerilimi ve akımlarda toplam harmonik bozulma hızlı bir şekilde hesaplanmakta ve değerlendirmeler sonucu alarm veya kesici kumanda devrelerine bağlı röleler çalıştırılmaktadır.

Adaptif ve modüler yapıya sahip bu sistem tümüyle programlanabilmektedir. Bir konsol ve yazıcı aracılığı ile kullanıcı ile iletişim kurulabilmekte, ayrıca ölçülen ve hesaplanan değerlerin uzaktaki ana merkeze aktarımı için SCADA çıkışı sağlanmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde geliştirilen sistemin donanım ve yazılımı ve dağıtım merkezlerindeki uygulaması özetlenmektedir.

#### 2. SİSTEM DONANIMI

##### 2.1. Endüstriyel Bilgisayar Mimarisi

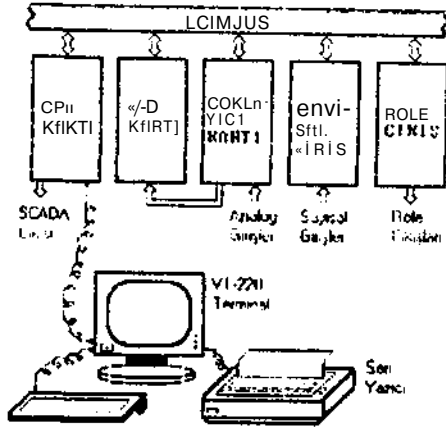
Endüstriyel bilgisayarların yapısı, endüstriyel çevre koşulları tarafından belirlenir. Bu koşulların normal koşullarla karşılaştırıldığında çok daha zorlayıcı oldukları ortadadır. Endüstriyel bilgisayarların çalışma ısı aralığı -40°C'den +85°C'ye kadar uzanır. Genelde ticari bilgisayarlarda bu aralık oda sıcaklığının 20°C altı ve üzerini geçmez. Önemli kriterlerden bazıları da sarsıntılara ve korozyona karşı dayanıklılık ve endüstriyel çalışma ortamındaki elektriksel gürültüden etkilenmemesidir. Bütün bu özellikleri sağlamak için iyi malzeme ve kaliteli işçilik şarttır. Bu koşullar endüstriyel bilgisayarların pahalı olmasının da nedenidir.

Endüstriyel bilgisayarlar genelde özel amaçlar için tasarlanıp programlanır, özel amaçlı sistemler çalışma mantık ve stratejilerini kendi içlerinde gizleyip genelde kullanıcı ile iletişim halinde değildirler. Bu çalışma da, özel amaçlı bir endüstriyel otomasyon uygulamasıdır. Gömülü bir sistem olmasına rağmen kullanıcı ile iletişim kurarak gerekli mantık dizgesini çalışma anında değiştirme olanağı da sağlar.

##### 2.1. Donanım

Donanımın çekirdeğini ECB-BUS veri yolu standardına uyumlu endüstriyel bir bilgisayar oluşturur. Bu bilgisayar bir anakart çevresinde toplanmış bir merkezi işlem kartı ve dış dünya ile iletişimi sağlayan giriş/çıkış kartlarından oluşur. Bu donanımın kullanıcı ile iletişimi VT-220 standardına uyumlu bir terminal ve bu terminale bağlanmış bir seri yazıcı aracılığı ile sağlanır. Terminal bağlantısı RS-232 standardına uyumlu çift yönlü seri iletişimi kanalı ile gerçekleştirilir. Şekil 1'de sistemin blok şeması gösterilmiştir. ECB-BUS veri yolu standardı ve kartların özellikleri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

ECB-BUS Yapısı: ECB-BUS endüstriyel kontrol uygulamalarının temel gereksinimlerini karşılamak amacıyla tasarlanmış 8-bitlik bir mikrobilgisayar veri yoludur. Modüler yapısı ve zengin giriş/çıkış özellikleri ile basit endüstriyel uygulamalarından karmaşık gerçek



Şekil 1. Sistemin Blok Şeması

zamanlı «istemlere kadar geniş bir yelpazede kullanımı mümkündür. Çok kullanılan ve bilinen 8085, Z80 ve 8088 gibi mikroşlemlerli merkezli işlem kartlarını bu yapıda kullanmak mümkündür. Standart kart boyutları, konektör yapısı ve mekanik boyutları ile değişik kart konfigürasyonları kullanılarak çeşitli gereksinimler rahatlıkla sağlanabilir. EC8-BUS bellek boyu 16 MByte'a kadar çıkabilir. Kesici (interrupt) yapısı ile dış dünyadan gelen asenkron olaylara servis verme olanağı mümkündür. Birden fazla mikroşlemci yapısı akıllı mikroşlemci kartları ile oluşturulabilir. EC3-BUS arayozu, merkezi işlem kartı ile giriş/çıkış kartları arasındaki iletişimi sağlamak için kullanılır. Dış dünya ile olan iletişim her kartın ön panelinde bulunan konektörler aracılığı ile olur. Bu şekilde çok modüler yapılar oluşturmak mümkündür.

**Merkezi İşlem Kartı:** Merkezi işlem kartı 8088 mikroşlemcisinin az göç gerektiren yüksek hızlı CMOS tipi temel alınarak üretilmiştir. Çalışma hızı 8 MHz'dir. Kartın üzerinde yüksek teknolojili programlanabilir ve yüzey monteli yongalar kullanılarak kartın birçok ihtiyaca cevap vermesi hedeflenmiştir. Kartın üzerindeki "watch-dog" devresi sistemin insansız ortamlarda çalışmasını garantiler. Kartın üzerinde 3 adet 18 bitlik sayıcı, bir seri kanal, 8 adet girişi olan programlanabilir kesil denetleyicisi ve tarih ve zaman tutmak için bir gerçek zaman saati vardır. Kartta 256 KByte ROM ve pil beslemeli 256 KByte RAM (toplam 512 KByte bellek) takmak mümkündür.

**A/D Çevirici Kartı:** Analog/sayısal çevirici kartı dış dünyadan gelen analog bilgileri sayısal karşılıklarına çevirir. Çevirim 8 veya 12 bit olabilir. Kart sadece tek girişle sahip olup analog çoklayıcı kartları kullanılarak bu sayıyı 128'e kadar (çift giriş) arttırmak mümkündür. Giriş voltaj aralığı 0-5V, 0-10V, +/-5V ve +/-10V olarak ayarlanabilir. Hızlı merkezi işlem kartları ile çalışmayı sağlayan bekleme devresi (\*ait state generator) vardır. Giriş kanalı alçak geçiren bir filtre ile A/D çeviricisine bağlanır.

**Analog Çoklayıcı Kartı:** 16/32 analog çoklayıcı kartı A/O çevirici kartının giriş kapasitesini arttırmak için kullanılır. Bu kart A/O çevirici kartının bir uydusu gibi çalışarak gerekli sinyalleri bu karttan alır ve 16 çift girişi veya 32 tek girişi A/D kartına bağlar. Kart üzerinde bulunan programlanabilir kazanç devresi ile her giriş kanalı ayrı ayrı kazançlarla çevrime

yönlendirilebilir. Kartın girişleri akım veya gerilim için ayarlanabilir.

**OPTO İzole Sayısal Giriş Kartı:** OPTO izole sayısal giriş kartı, 24 adet OPTO izole sayısal girişle sahiptir. Kart üzerinde bulunan 12V-8V DC-OC izole çevirici dış dünyaya gönderilecek olan izole akım üretir. Kartın dış dünyadan olan izolasyonu 300V OC ve 240V AC'dir. Her sayısal girişin konumunu gösterecek LED vardır. Herhangi bir girişteki herhangi bir değişimi mikroşlemciye kesici (interrupt) kanalı aracılığı ile bildirilir.

**Röle Kartı:** Röle kartı 24 adet tek kontak röle içerir. Dış dünyanın röleler aracılığı ile sağlanan izolasyonu 1000V DC'dir. Her bir rölenin normaldeki (normal açık, normal kapalı) durumları kart üzerinden ayarlanabilir. Röle kontaklarına bağlanabilen opsiyon terminatörler kontak ömürlerini arttırır. Rölelerin durumları LED'ler aracılığı ile gösterilir.

### 3. SİSTEMİN TEMEL YAZILIMI

Bu çalışmanın birinci fazı, MS-DOS işletim sisteminin sahip olduğumuz donanım altyapısında çalışmasını gerçekleştirmektir. Donanım altyapımız MS-DOS işletim sisteminin kullanıldığı donanım ile tamamiyle farklı (sadece mikroşlemci aynı) bir yapıya sahiptir. Bu altyapıda MS-DOS işletim sisteminin çalıştırılması için yeni bir BIOS modülü yazıldı. BIOS modülü, silikon belleklerin disk olarak, VT-220 uyumlu bir terminalin konsol olarak, VT-220 uyumlu terminale bağlanan bir seri yazıcının standart yazıcı olarak, merkezi işlem kartındaki gerçek zaman saatinin işletim sistemi saati olarak, uyumsuz seri iletişim denetleyicilerinin uyumlu olarak işletim sistemine tanıtılması işini gerçekleştirebilecek şekilde tasarlandı. Sonuç olarak ortaya çıkan sistem endüstriyel çevre koşullarına uyumlu silikon disk tabanlı bir MS-DOS bilgisayarı oldu. Bu donanım altyapısı, MS-DOS işletim sisteminin kabul yapısına sahip olması avantajı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böyle bir altyapı geliştirme ihtiyacı özel amaçlı sistemlerin geleneksel yapısı ve bu yapının problemlerinden kaynaklanmaktadır.

**Endüstriyel otomasyonda kullanılan en genel amaçlı tasarımlar bile çoğu zaman, ek sistem gereksinimleri karşısında yetersizdirler. Bu gibi durumlarda yapılan iş bu gereksinimlerin karşılanabilmesi için özel olarak yeni bir yazılım geliştirilmesidir, özel amaçlı sistemlerde yazılım geliştirmek bu sistemlerin yapısından ötürü başlı başına bir problem kaynağı oluşturur. Bu sistemler için kullanılan yazılım geliştirme teknikleri çapraz "assembler", "compiler" ve "debugger"lara dayanır. Bu yardımcı yazılımların sağladıkları olanakların kısıtlılığı yazılım tekniğini, üretilen kodu ve kodun testini olumsuz yönde etkilediği gibi sonuçların güvenilirliğini de azaltır. Bu teknikte, özellikle sistem donanım giriş/çıkış standardı olmadığı için çok büyük miktarlardaki kodun geliştirilmesi de olumsuz yönde etkilenmiş olur. Ayrıca, yazılımı geliştiren insanların kesin bir donanım hakimiyetine gereksinimleri vardır. Bu da, sistem geliştirilmesi sırasında kullanılacak olan geliştirme ekibinin oldukça sınırlı bir insan grubundan oluşturulması zorunluluğunu ortaya çıkarır.**

MS-DOS işletim sistemi öğrenmesi kolay, birçok üretici tarafından destek ürünleri açısından beslenen, az bellek gereksinimi, ucuz ve popüler bir işletim sistemidir. Belli bir işletim stardardına sahip olması, kolay bulunur, ucuz, verimli, güvenilir ve üstün yazılım geliştirme destek ürünlerine sahip olması bu işletim sisteminin dağıtım otomasyonu alanında da



verimi t bir şekilde kullanılmasını mümkün kılar. En önemli yararlarından birisi de, otomasyon dalında uzmanlaşmış fakat programlamada deneyimsiz insanların, sınıem geliştirme grubuna katılmalarının sağlanmasında bir köprü va:ifesi yapmasıdır. 9'j hem üretilen sistemin yaratıcılık unsuru hem de rekabet olanaklarını zorlayabilmesi açısından önemli bir araçtır.

#### 4. UYGULAMA YAZILIMI

Uygul.vr.d yazılımı ile, sistem donanım ve yazılım alt yapısı kullanılarak, dağıtım sistemlerinin otomasyonu çalışmalarımızın bir adımı olan elektrik dağıtım merkezlerinde denetleme ve izleme işlevleri hedeflenmiştir. Buradan itibaren "Sistem" teriminden amaçlanan yapı, dağıtım merkezi kontrolü ve izlemesi için geliştirilmiş olan donanım ve yazılım bütünüdür.

##### 4.1. Genel Bakış

Sistem tarafından ölçülen, hesaplanan ve/veya değerlendirilen parametreler şunlardır: bara gerilimi, fider ve transformator akımları, güç faktörü, frekans, aktif ve reaktif güçler, bara gerilimi ve akımlardaki harmonikler (15. harmoniğe kadar). Ayrıca, merkezdeki kesici ve ayırıcıların konumları sayısal giriş olarak sisteme bağlanır. Bu değerler ile elektrik şebekesinin zaman içindeki durumunu belirlemek ve daha önceden belirlenmiş bir takım stratejiler doğrultusunda karar mekanizmalarını çalıştırmak mümkündür.

Sistem tarafından ölçülen değerler sistem içerisinde hem kontrol hem de izleme parametreleri olarak değerlendirilirken, tek tek harmonik değerler sadece izleme amaçlı olarak kullanılırlar. Ham izleme hem de kontrol değerlendirmelerinde kullanılan parametrelerin yorumlanma stratejileri tamamı ile aynı olup aralarındaki farkı ölçüm yöntemleri ve değerlendirme algoritmasının her parametre için daha önceden belirlenmiş olan kurallar dizisi belirler.

Değerlendirme algoritması mümkün olduğu düzeyde genel amaçlı ve çalışma esnasında programlanabilir bir yapıda tasarımıaranıştır. Değerlendirme işlemleri bilgi toplama, filtreleme, karşılaştırma ve karar verme, ve eylem üretme olarak ana başlıklarda incelenebilir. Algoritma ayrı ayrı her parametre için çalıştırılır ve sonuçları ayrı ayrı değerlendirilir. Her parametre kendi kurallar dizgesine sahiptir ve algoritma bu kurallar dizgesini referans alarak çalıştığı için aynı algoritma uygulandığı halde değişik parametreler için izlenen değerlendirme yöntemi bambaşka karakterleri ve eylem sonuçlarını doğurabilir. Bu adaptif ve modüler yapı, zaman içerisinde ortaya çıkabilecek yeni sisten gereksinimlerini karşılama olanağı sağlayacaktır.

Eylem üretme, bir röleye kumanda etme, ekrana bir bilgi yazma, yazıcıya bir bilgi yazma veya SCAOA'ya bilgi yollama olarak gerçekleşir. Değerlendirme algoritmasının sonucunda üretilen bu eylemlerin her birisi kendine özgü ve daha önceden belirlenmiş kurallar gereği devreye alınırlar. Her bir eylem kendi çalışma özelliklerini üzerinde gizler. Bu özellikler bu eylemin süresini, aktif ve pasif durum özelliklerini, uygulanabilir olup olmadıklarını, eylem türlerini içerirler.

##### 4.2. Ölçüm Yöntemleri

Bara gerilimi ve fider akımları gerçek RMS dönüştürücüler veya tepe tutucu devreler aracılığı ile OC gerilime dönüştürülür ve analog çoklayıcı kartına uygulanarak her 100 msan'de bir okunur. Sistem frekansı ve güç faktörü, bara geriliminden üretilen sıfır-geçme (zero-crossing) bilgileri referans alınarak 1 mikrosaniye hassasiyette bir sayıcı tarafından ölçülürler. Akım ve

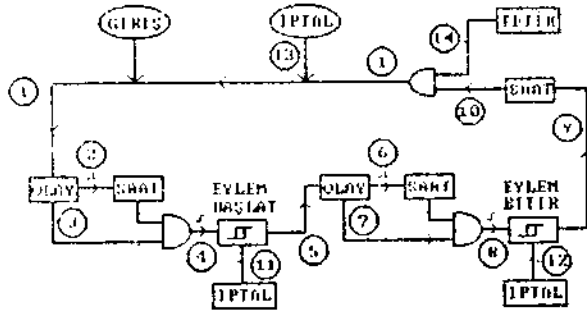
gerilim arasındaki faz farkı üretilen tetik bilgilerinde bir gecikme yaratır ve bu gecikme sayacı tarafından sayısal bilgiye dönüştürülür. Bu gecikme değeri ile toplam sayım değeri (bir period boyu) arasındaki oran faz farkını (güç faktörünü), toplam sayım değeri de frekansı verir. Harmonik bozulmalar ise gerilim ve akımın bir period boyunca örnekleme ve alınan değerlerin FFT (Fast Fourier Transform) algoritmasına uygulanarak frekans spektrumunun yorumlanması ile hesaplanırlar. Aktif ve reaktif güç bilgileri ise gerilim, akım ve güç faktörü bilgilerinden bulunur.

##### 4.3. Değerlendirme Algoritması

Değerlendirme algoritmasının çalışma prensibi Şekil 2'de gösterilmiştir. Algoritmada kullanılan tüm değerler (örnekleme sayıları, mantıkları, zamanlama değerleri, filtreleme teknikleri, şart ve gerek koşul girdilerinin tümü) her parametre için ayrı ayrı ve tek tek çalışma sırasında programlanabilir. Yeni değişiklikler için yazılım değiştirme gerek duyulmaz. Algoritma ilk olarak çalışmaya başladığında 1 no'lu noktada bulunur. Bu noktada sistem, algoritmanın uygulandığı parametre için bilgi toplama, filtreleme ve karşılaştırmanın yapıldığı OLAY bölümündedir. Her bir değerlendirme için 1'den 99'a kadar örnek alınır. Bu değerler büyüklük sırasına sokularak en büyük değer, en küçük değer veya ortalama değer (toplam örnek sayısının X 10 kadarı en büyük ve en küçük değerlerden atılarak gori kalanın aritmetik ortalaması) alınarak daha önceden girilmiş bir değerle karşılaştırılır. Karşılaştırma büyüklük veya küçüklük testi olarak gerçekleştirilir. Bu karşılaştırma iptal de edilebilir. Bu durumda algoritma doğrudan 1 noktadan 5 noktaya atlayacaktır. Algoritma OLAY kutucuğunun karşılaştırma noktasını başarı ile geçtiğinde 2 ve 3 no'lu noktalarda bulunur. Burada bir gecikme başlatılır. Bu gecikme 0'dan 5000 saniyeye kadar ayarlanabilir. Bu süre sonunda OLAY kutucuğu karşılaştırma sonucunu korumakta isa (gecikme başlatıldıktan sonra örnek toplama ve değerlendirme devam eder) 4 no'lu noktaya ulaşılır. Burada eğer daha önceden belirlenmiş ise bir eylem üretilir. Eylem, bir rölenin aktif duruma geçirilmesi, ekrana veya yazıcıya ölçülen parametrenin değeri tarih ve saat bilgileri ile yazılması veya SCAOA'ya parametrenin gönderilmesi olabilir. SCADA'ya gönderilecek olan r:ssijın byte'ları tek tek değiştirilebilir.

Algoritmanın 5 no'lu noktadan 9 no'lu noktaya gelmesi 1 no'lu noktadan 5 no'lu noktaya gelmesi iis aynı mantık dizgesi içerisinde gerçekleşir. Tek fark 9 no'lu noktaya gelindiğinde, 5 no'lu noktada başlatılan eylemin, sona erdirilme kararının verilmesidir. 9 no'lu noktadan sonra yeni bir çevrime girmeden önce bir uyuma saati kurulur. Bu süre 0'dan 5000 saniyeye kadar olabilir. Bu uyumanın amacı ölçülen parametrenin dalgalanmalarına karşı sistem duyarlılığının optimum düzeyde azaltılmasıdır. Bu süre sonunda bir gerek koşul testi yapılır. Bu test başarılı olursa algoritma tekrar 1'e gelir ve algoritma en baştan çalışmaya başlar.

Değerlendirme algoritması senkron bir yapıya sahiptir. Bu yapıda bir seri olaylar dizgesi saptanıp değerlendirilir. Ancak sistemin bir de gerek ve şart koşul girişleri vardır. Gerek koşullar senkron yapının bir parçası olduğu halde, şart koşullar asenkron olarak (algoritma hangi noktada olursa olsun) yapıya etki ederler. Gerek koşul algoritmanın her dönüşünde sadece 10 no'lu noktadan 1 no'lu noktaya geçerken kontrol edilir ve bu koşul sağlanıncaya kadar beklenir. Bir defa sağlanırsa algoritma sona erinceye kadar bir daha bakılmaz. Şart koşullar algoritma hangi noktada olursa olsun doğrudan mekanizmayı etkiler, aktif hale geçiş



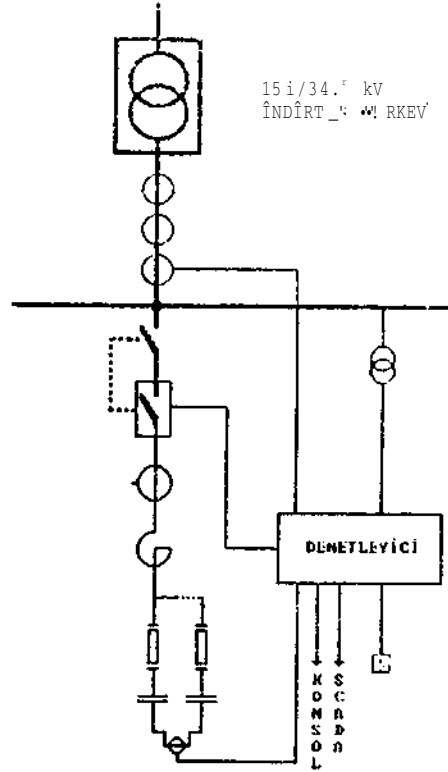
Şekil 2.  
Değerlendirme Algoritmasının Çalışma Prensibi

tüm eylemler iptal edilir ve algoritma 1 no'lu noktaya zorlanır. Gerek koşullar algoritma için tetik girişleri, şart koşullar ise iptal girişleri (11, 12, 13 no'lu noktalar) olarak yorumlanırlar. Bu girişlerin anacı sonsun döngüleri ortadan kaldırmak, işleme insan müdahalesi opsiyonu sunmak ve yönlendirilen cihazlar için güvenli çalışma düzeri sağlamaktır. Sisteme giren sayısal kanallardan birisinin herhangi bir durumu veya analog girişlerden herhangi birisinden alınan bir örnek değer karşılaştırılması bir şart veya gerek koşul girişi olarak sistemdeki herhangi bir parametreye yönlendirilebilir.

#### 5. UYGULAMA

Gerek konunun genişliği ve gerekse test ortamının fiziksel kısıtlamalarından ötürü, pilot uygulama olarak, bir dağıtım merkezinde tümleşik volt/var uygulaması temel alınmıştır. 34.5 kV merkezlere gerilim regülasyonu amacı ile koyulan kapasitör gruplarının bara gerilimine bağlı olarak denetimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3, bilgisayar sisteminin 154/34.5 kv indirici merkezdeki konumunu göstermektedir. Merkezde, nötrleri birbirine bağlı iki adet 5 MVar'lık (yıldız) kapasitör grubu bağlıdır. Burada reaktif güç kontrolünü bu kapasitör gruplarını devreye alıp çıkararak ve/veya transformatörün kademelerini yük altında değiştirerek yapmak mümkündür. Değerlendirme algoritmasının merkezdeki volt/var denetimi için belirlenen parametrik değerleri şunlardır: Merkezdeki bara geriliminin 30 saniye boyunca 0.95 p.u.'e karşılık gelen değer altında kalması durumunda, bilgisayar transformatörün sekonder gerilimini kademe değiştirerek artırması için ilgili röleye sinyal gönderir. Şayet gerilim yükseltilmesi kademe değiştirerek yapılamıyor ve de kapasitör grupları devrede değil ise, kapasitör gruplarının kesicilerini kapatıp yardımcı röleler enerjilendirilir. Barada yüksek gerilim olması durumunda da (30 san., 1.1 p.u.), benzer şekilde transformatörün kademe ayarı değiştirilerek ve/veya kapasitör gruplarını devreden çıkararak gerilim regülasyonu sağlanır.

Ayrıca, kapasitör gruplarında bir sigortanın atması sonucu oluşan dengesizlik, yıldız bağlı ıkl grubun nötrleri arasındaki akımın değerlendirilmesi sonucu algılanarak alarm verilir, iki veya daha fazla sigortanın atması sonucu, hesaplanan bir değer üzerinden ç'kan dengesizlik akımı, kapasitörlerin devreden çıkarılmasına neden olur ve bu sigortalar değiştirilene kadar bu grupların tekrar devreye alınmalarını engeller.



Şekil 3.  
Geliştirilen Sistemin Bir Dağıtım Merkezinde Uygulanması

Geliştirilen sistemin performansı laboratuarda hassas ölçü cihazları kullanılarak değişik testlere tabi tutulmuş ve başarılı bulunmuştur.

#### 6. SONUÇ

Elektrik dağıtım merkezi denetimi ve izlemesi amacı ile geliştirilen bu sistemin adaptif ve modüler bir yapıya sahip olması gelecekte değişen gereksinimlere cevap verebilmesi açısından önemlidir. Mevcut yazılıma az bir çabayla eklenebilecek olan parçalarla sistemin merkezdeki koruma ve denetim işlevleri genişletilebilir. Bu konuda çalışmalarımız devam etmektedir.

Endüstriyel otomasyon gereksinimleri arttıkça, var olan sistemlerin klasik yöntemlerle yönetilmesi pratik olmaktan uzaklaşmaktadır. Çok fazla verinin bir araya getirilmesi, değerlendirilmesi ve yorumlanması için bilgisayar teknolojisi yeni gelişmelerle ÇOK olası alternatifler sunabilmektedir. Yeni sistemler eskilere oranla çok daha güvenilir, yüksek kapasiteli, adaptif, fiziksel olarak küçük ve ucuzdur.

Günümüzde kesintisiz ve kaliteli enerji dağıtımının önemi göz önüne alındığında dağıtım merkezlerinin otomasyonunun anlamı daha da artmaktadır. Bu gereksinime bilgisayar denetimli sistemlerin önemini ve öncelliğini vurgulamaktadır.

Ö.Kaler,derli, H. ismailoğlu

t.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Yüksek Gerilim Laboratuvarı, istanbul

#### ÖZET

**Basınçlı gaz yalıtımlı sistemlerde, yüksek gerilim iletkenlerini tanıyan yalıt/tan ara tutucuların varlığının, sistemin elektriksel, mekanik ve ısısal özelliklerini etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada, ara tutucuların sistemin elektrikselsel alan dağılımına etkileri, sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, geliştirilen bir bilgisayar programı tanıtılmakta, programın çalışması bir örnek örneğinde gösterilerek sonuçları verilmektedir.**

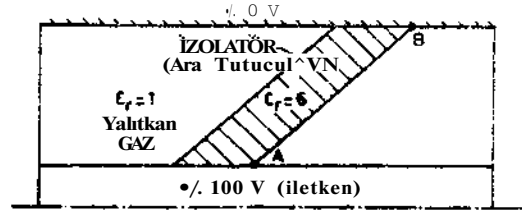
#### 1. Giriş

Yerleşim sınırlamaları, kirlenme, çevre koşulları ve güvenlik gibi etkenler nedeniyle gaz yalıtımlı sistemlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Baemçlı gaz veya vakum yalıtımlı bu sistemlerde, metal mahfazaları ile yüksek gerilim iletkenleri arasındaki açıklığın Başlanması ve iletkenlerin mekanik olarak tutturulma amacıyla ara tutucu (spaoer) adı verilen (yalıtkan) mesnet izolatorlarından yararlanılmaktadır. Ancak ara tutucuların kullanımı bu tür sistemlerin elektrikselsel, mekanik ve ısısal özelliklerini dolayısıyla güvenilirliklerini etkiler. Ara tutucu/gaz ara yüzeyinde tegetsel alan şiddetinin değeri, ara tutucunun elektrot açıklığı köprülemesi nedeniyle basınçlı gaz yalıtımlı sistemin delirme dayanımına sınırlama getirir. Yalıtkan ara tutucuların biçimi, boyutları, yüzey durumu, yerleşimi, malzemesi, kirlenmesi ve iletken parçacıklar gaz yalıtımlı sistem içindeki elektrikselsel alan dağılımını değiştirir /1-3/.

Ara tutucuların gerek yüzeylerinde gerekse buldukları bölge içinde elektrik alan dağılımındaki etkileri gözönünde bulundurulmalıdır. Bu amaçla deneysel ve kuramsal çalışmalar yapılmaktadır.

Kuramsal çalışmalarda bilgisayar destekli incelemeler ön planda yer alır. Bu çalışmada da, bilgisayarla sayısal alan incelemelerinde etkin ve yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan sonlu elemanlar yöntemi (SEY) den yararlanılmıştır. Yöntemin adından da anlaşılacağı üzere, sisteme ilişkin elektrot modelinin alanı sonlu sayıda elemana bölünerek incelenir. Çözüm, her bir elemenda minimum enerji ilkei uygulanarak, potansiyel fonksiyonu ile bulunur /4-7A

Bu çalışmada, huni tipi ara tutuculu basit bir gaz yalıtımlı sistem (eş eksensli silindirselsel elektrot sistemi) gözönüne alınmıştır (Şekil-1).



Şekil-1.

Sistemde, uygulamadaki gerçek sistemlere benzerlik sağlamak üzere, ara tutucu malzemesi epoksi reçine ( $\epsilon_r \approx 6$ ) ve gaz ortamı,  $SF_6$  gazı ( $\epsilon_r \approx 1$ ) seçilmiştir. Ara tutucunun yan yüzeylerinin iç iletkenle ( $V = 100$ ) 40° lik açı yaptığı varsayılmıştır. Problemin çözümü, sonlu elemanlar yöntemine dayanarak hazırlanan bir bilgisayar programı ile yapılmıştır.

#### 2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Şekil-1 de gösterilen huni tipi ara tutuculu gaz yalıtımlı sistemde potansiyel ve alan dağılımının incelenmesinde problem, bir elektrostatik alan problemi olarak gösöntne alınmıştır. Sistemin eksensel simetrisi nedeniyle çözüm, silindirselsel koordinat ( $r, \theta, z$ ) sisteminde yapılmıştır. İncelenen elektrot sisteminde potansiyelin  $d$ 'dan bağımsız olması nedeniyle üçgen elemanlar  $r-z$  koordinat sisteminde tanımlanabilir ve potansiyelin gradyanı

$$\text{Grad } V = \frac{\partial V}{\partial r} \mathbf{i}_r + \frac{\partial V}{\partial z} \mathbf{i}_z \quad (1)$$

olarak alınabilir. Sistemin simetri ekseninden geçen düzlem üzerindeki çözüm bölgesinin yarıçapı simetri eksenini çevresinde  $2n$  kadar döndürülürtefi ile oluşan hacim içerisinde depolanan potansiyel enerji

$$W = \frac{1}{2} \int \int \left[ \left( \frac{\partial V}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] r \, dr \, dz \quad (2)$$

olarak bulunur. Öğgen elemanlar içinde potansiyelin lineer defeiştigi varsayılırsa, potansiyel

$$V = p_1 + p_2 r + p_3 z \quad (3)$$

sekinde bir bağıntı il\* verilebilir. Bu bafimtı. üçgenin her düğümü için ya-til n-2;a açığıdükü df-ik-lem sistemi elde edilir.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_1 & z_1 \\ 1 & r_2 & z_2 \\ 1 & r_3 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Bu denklem sisteminden, daha sonra kullanılacak olan  $p_2$  ve  $p_3$  katsayıları

$$p_2 = \frac{1}{2A_e} [(z_3 - z_2)V_1 + (z_1 - z_3)V_2 + (z_2 - z_1)V_3] \quad (5)$$

$$p_3 = \frac{1}{2A_e} [(r_3 - r_2)V_1 + (r_1 - r_3)V_2 + (r_2 - r_1)V_3]$$

olarak elde edilir. Bu bağıntılarda

$$2A_e = \begin{vmatrix} 1 & r_1 & z_1 \\ 1 & r_2 & z_2 \\ 1 & r_3 & z_3 \end{vmatrix}$$

ve  $A_e$  bir üçgen elemanın alanıdır. (2) bağıntısındaki integral ifadesi için

$$\iint_{A_e} r \, dr \, dz = \frac{A_e}{3} (r_1 + r_2 + r_3) = A_e \cdot r_o \quad (6)$$

esitliji yazılabilir. Böylece, eleman içinde depolan enerji bafimtı

$$W_e = \epsilon_{re} \cdot \epsilon_o \cdot \pi \cdot A_e \cdot (P_2^2 + P_3^2) \cdot r_o \quad (7)$$

biçimine dönüşür. Burada  $\epsilon_{re}$ , eleman içindeki ortamın bağıl dielektrik sabitidir.

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), tüm bölge içinde enerjinin minimumlaştırılması ilkesine dayanır. Eleman içindeki enerji, düğüm potansiyellerine göre minimumlaştırılır

$$\frac{\partial W_e}{\partial V_k} = e \cdot r_o \cdot \epsilon_o \cdot \pi \cdot A_e \cdot \left( 2P_k \frac{\partial P_k}{\partial V_k} + 2P_k \frac{\partial P_k}{\partial V_k} \right) \cdot r_o \quad (8)$$

ve  $k=1,2,3$ , için

$$[\cdot] \cdot [N]_{2 \times 1} = 0 \quad (9)$$

3x3 boyutunda "Katılık matrisi"  $U$  tanımlanarak matris filde edilir. Katılık matrisi simetrik bir matris olup eleman  $U_{ij}$

$$s_{11} = \frac{\epsilon_{re} \cdot \pi}{2A_e} [(r_3 - r_2)^2 + (z_2 - z_3)^2] \cdot r_o$$

$$s_{12} = \frac{\epsilon_{re} \cdot \pi}{2A_e} [(r_3 - r_2)(r_1 - r_2) + (z_2 - z_3)(z_1 - z_2)] \cdot r_o$$

$$s_{13} = \frac{\epsilon_{re} \cdot \pi}{2A_e} [(r_3 - r_2)(r_1 - r_2) + (z_2 - z_3)(z_1 - z_2)] \cdot r_o$$

$$\vdots$$

biçiminde, (9) bağıntısından cebirsel işlemler sonucunda bulunabilir /S/. Minimumlaştırma ilkesi, çözüm bölgesi içindeki tüm elemanlara aynı anda uygulanırsa, tanımlanan elemanların düğüm potansiyelleri arasındaki bağıntı aşağıda verilen lineer bir denklem sistemine dönüşür.

$$[S_{sist}] \cdot [M] = 0 \quad (11)$$

Burada  $[V]$ , sistemin düğüm noktalarının potansiyellerinden oluşan bir sütun matristir.  $F_s$  matrisi 6iroetrik ve tekil olmayan, oldukça seyrek bir matristir (Sparse matrix). Elde edilen lineer denklem sistemindeki katsayılar matrisini seyrek olması dolayısıyla, doğrudan çözüm yöntemlerinden yararlanmak hem gereksiz bilgisayar belleği kullanımına, hem de büyük boyutlu matrisler için bilgisayarın yuvarlatma hatasının büyümesine (-irtinasi-na) neden olur. Bilinmeyen sayısı birkaç yüüü geçtiği zaman iteratif yöntemler önem kazanır. Bu çalışmada iteratif çözüm yöntemi olarak 3.O.R. (Successive-Over-Relaxation) yöntemi kullanılmıştır.

İterasyonda önce, elektrotlar üzerinde kalanlar dışındaki tüm düğümlerin potansiyellerine başlan-gıç olarak

$$V_{ort} = \frac{1}{A} (V_{m_{ax}} - V_{m_{min}}) \quad (12)$$

ortalama değeri verilir, sonra bu düğümler sırasıyla iterasyona sokulurlar. Buna göre  $k$ . düğümün  $V_k$  potansiyelinin değeri

$$V^{(n+1)} = V^{(n)} + \omega (V_k - V^{(n)}) \quad (13)$$

iteratif bağıntısı ile hesaplanır. Burada  $\omega$  hislandırma katsayı  $0 < \omega < 2$  arit; mda  $\omega > 1$  için bir " değeri için iterasyonun en hızlı yakınsamasını sağlar. Bu değer deneme-yanılma ile bulunabilir.

Elektrotlar üzerindeki düğümler iterasyona sokulmayıp, işlem süresince sabit bırakılırlar.

Her iterasyon tamamlandıktan sonra düğüm potansiyellerinin bir önceki iterasyona göre bağlı değişimlerinin maksimum değeri belirli bir H hata sınırı altında kaldığında, yani

$$\max \left| \frac{V^{n+1} - V^n}{V^n} \right| < H \quad (14)$$

olduğunda iterasyon durdurulur.

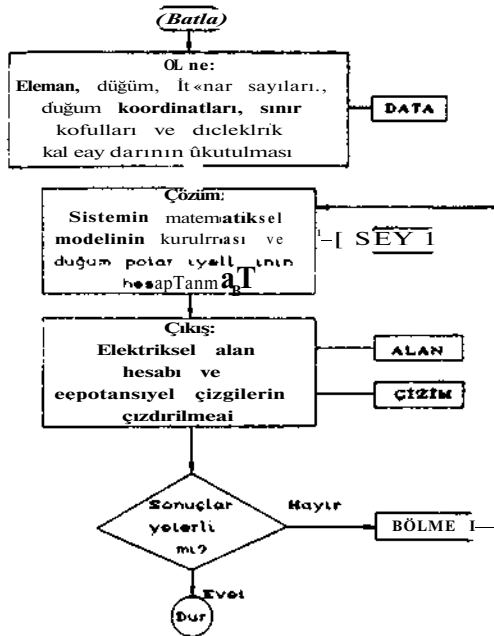
Elektriksel alan şiddeti, potansiyelin bir üçgen eleman içinde lineer olarak değişmesi nedeniyle sabit bir değer alır ve

$$E = -\nabla V = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (15)$$

bağıntısı ile bulunur.

### 3. Problemin Çözümü

Problemin çözümünde, 2.Bölüm de verilen bağıntılar kullanılarak Şekil-2 de gösterilen akış çizeneğine göre hazırlanan bilgisayar programından yararlanılmıştır.

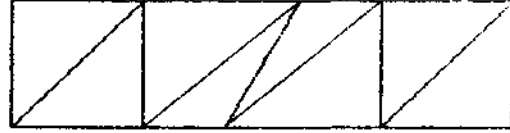


Şekil-2. Akış çizeneği

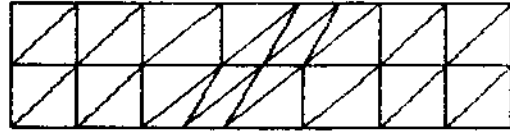
Sistemin geometrisi, eleman, düğüm, kenar sayıları, düğüm koordinatları, ortamın dielektrik katsayıları ve sınır koşulları gibi bilgileri içeren ana programa giriş dosyası, DATA adı verilen bir altprogramla hazırlanmıştır. Hazırlanan bu dosya ile ana program SEY koşturularak, bu başlangıç durumuna ilişkin eşpotansiyel çizgi dağılımı elde edilmiştir. Giriş dosyası ve SEY den elde edilen

potansiyel dosyası, ALAN alt programına girilerek, her bir elemandaki alan şiddeti birim defter (p.u.) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bölmelemelerin ve eşpotansiyel çizgilerin çisijni, ÇİZİM altprogramı ile yapılmıştır.

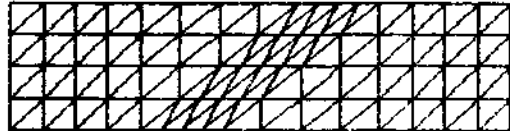
Çözümün doğruluğunu arttırmak üzere, BÖLME altprogramı kullanılarak, her bir eleman dört alt elemana bölünerek bölgedeki eleman sayısı arttırılmıştır. Her aşamada elde edilen deryalar, nlt.programlarda yukarıda verilen sıra ile koşturularak bulunan bölmelemeler, sırasıyla Şekil-3 de verilmiştir.



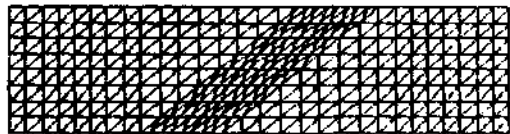
(a)



(b)



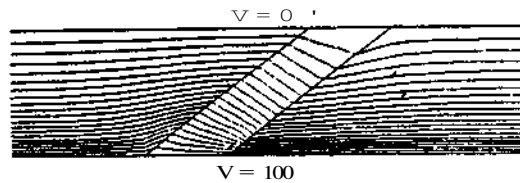
(c)



(d)

Şekil-3. Bölmeleme aşamaları

Şekil-4 de, Şekil-3d de verilen bölmeleme ile elde edilen potansiyel dağılımı gösterilmiştir.

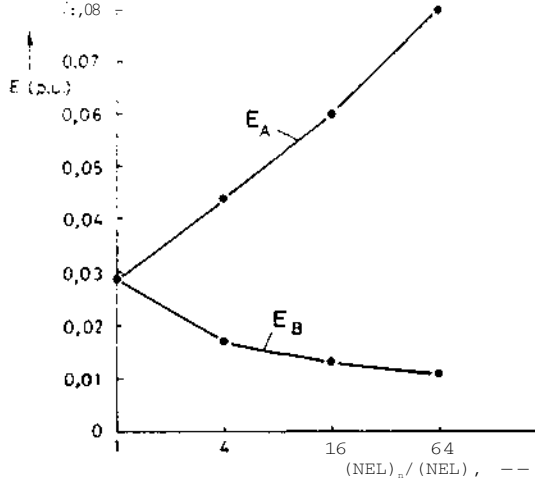


Şekil-4. Potansiyel dağılımı

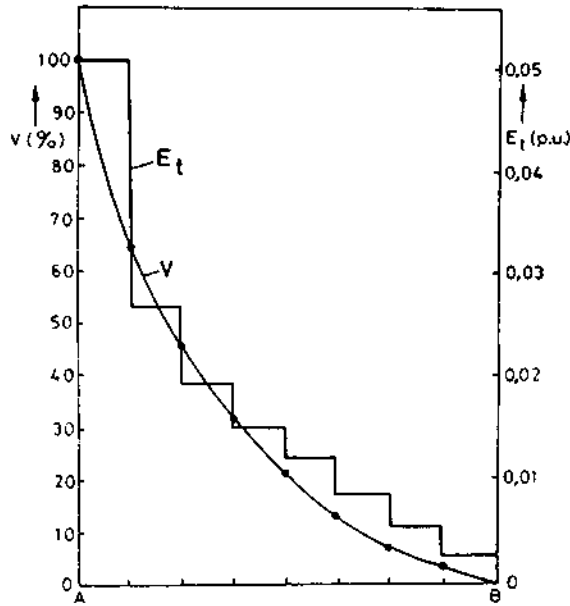
Şekil-1 deki A ve B noktalarındaki alan şiddetlerinin değerleri, her adımda ALAN altprogramından yararlanılarak hesaplanmış ve bölmelemedeki eleman sayıları (NEL) deki değişime göre Şekil-5 te çizilmiştir. Bu şekilden A noktasındaki alan şiddetinin belirli bir değere yakınsamadığı görülmektedir. Bu durum, A noktasındaki potansiyel çizgi-

derinlik ve keskinlik kayınlarmakta olup, kaynak  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..



Şekil-5. Alan şiddetinin eleman sayısı ile değişimi



Şekil-6. Tegetsel alan şiddeti ve potansiyel değişimi

## B. Sonuçlar

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

## B. Kaynaklar

- 1/ KIND, D., KARNER, H., High-Voltage insulation Technology, Friedr. Vieweg and Sohn, Braunschweig, 1985.
- 2/ ITAKA, K., IKEDA, G., Dielectric Characteristics of Compressed Gas Insulated Cables, ICCC Trans. on PAS, Vol. PAS-89, No. 8, Nov. A, pp. 1970-1986-1994.
- 3/ BEKTAS, S. I., FARISH, O., HIZAL, M., Computation of The Electric Field At A Solid/Gas Interface in The Presence of Surface And Volume Charge, IEEProc., Vol.133, Pt. A, No.9, Dec 1986, pp.577-586.
- 4/ SILVESTER, P.P., FERRARI, R.L., Finite Elements For Electrical Engineers, Cambridge Univ. Press, 1983.
- 5/ SADIKU, M.N.O., A Simple Introduction To Finite Element Analysis of Electromagnetic Problems, IEEE Trans. on Education, Vol.32, No.2, May 1989, pp.85-93.
- 6/ KUFFEL, E., ZAENGL, W.S., High Voltage Engineering Fundamentals, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- 7/ RYAN, H.U., MATTINGLEY, J.M., SCXN, M.F., Computation of Electric Field Distributions in High Voltage Equipment, IEEE Trans. on Elec. Insul., Vol.EI-6, 1971, pp.148-154.
- 8/ OVACIK, L., KALENDERLİ, Ö., Sivri Uç-Yarıküre Elektrot Sisteminde Elektrostatik Alan Dağılımının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Bulunması, ODTÜ EEMB 30. Yıl Sempozyumu, Ankara, 1989, e.166-169.
- 9/ OKUBO, H., HONDA, M., MENJİ, S., Calculation Error And The Field Discretisation of Finite Element Method, 3rd ISH, Paper 11.05, Milan, 1979.

Mehmet Tümay ve M.İğür Unver

Gaziantep Üniversitesi, Elektrik- Elektronik Müh. Böl., Gaziantep

ÖZET

Bu çalışmada kir yeraltı kablosuyla, buna bağlı bir alçaltım trafosu ve bu sistemin kablo ucundan veya trafodan enerji verildiği zaman meydana gelen aşırı gerilimlerin bilgisayar ile hesaplanmıştır.

Çözümüne Udu olarak tadel di İni s rouritr Jönüsin ne t ödu kullanılmıştır. Önceki «erilimler önce frekans »Sitesinde hesaplanmış, daha sonra Fourier dönüşüm integralinin tersi alınarak zaman bölgesinde bulunmuş ve eğrileri bilgisayar yardımı ile çizilmiştir. Kablo uzunluğu, üretic empedansı ve kapasite reaktörleri bu dinamik sistemin parametrelerinin çözümünde meydana gelen aşırı gerilimleri nasıl etkilediği incelenmiştir.

1. GİRİŞ

Yerleşim birimlerinde, elektrik enerjisinin taşınmasında yeraltı kablosuna talep giderek artmaktadır. Şehirlerarası enerji naklinde arazi şartlarının müsait olmaması halinde yani, havai hatların kullanılmadığı yerlerde yeraltı kabloları büyük bir rağbet görmektedir.

Yüksek gerilimle enerji iletiminde, sisteme enerji verilmesi veya enerjinin kesilmesi anlarında işletme geriliminin seviyesine bağlı olarak sistemde geçici aşırı gerilimler meydana gelir. Bu aşırı gerilimler şebeke gerilimi arttıkça, yıldırım darbelerinden dolayı meydana gelen aşırı gerilimlerden çok daha fazla önem arz etmektedir. Aşırı gerilimlerin etüdü sistemde kullanılacak koruma aygıtlarının ve sistemin izolasyon seviyesinin belirlenmesinde büyük önem arz etmektedir.

Güç sistemlerinde meydana gelen aşırı gerilim ve akımların hesaplanmasında değişik analitik metodlar kullanılmaktadır. Burada çözüm metodu olarak modal analiz ve tadel edilmiş Fourier dönüşüm /1,2,3,4/ metodu kullanılmıştır. Geçici gerilimler önce frekans bölgesinde, daha sonra Fourier Dönüşüm integralinin tersi alınarak zaman bölgesinde bilgisayar yardımıyla bulunmuştur. Bu çözüm metodu, sistemin frekansa bağlı seri empedans ve sönüt admitans parametrelerini kolaylıkla gözönüne almaktadır.

2. GEÇİCİ GERİLİMLERİN MATEMATİKSEL İFADESİ

Yeraltı kablosuyla enerji iletimi yapılan homojen bir sistemde, üreticden x uzaklıkta meydana gelen gerilim ve akım denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\frac{d\vec{V}}{dx} = -Z\vec{I} \quad \frac{d\vec{I}}{dx} = -Y\vec{V} \quad (1)$$

Burada Z ve Y, kablunun birim uzunluktaki seri empedans ve sönüt admitans matrislerini göstermektedir. V ve I ise sütun vektörleri olup faz gerilimi ve akımlarını temsil etmektedir.

Eğer (1) nolu denklemin x'e göre türevi alınıp gerekli düzenlemeler yapılırsa aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\frac{d^2\vec{V}}{dx^2} = ZY\vec{V} = P\vec{V} \quad (2)$$

$$\frac{d^2\vec{I}}{dx^2} = YZ\vec{I} = P\vec{I} \quad (3)$$

Kılıfı çapraz bağlanmış kablolar için Z ve Y matrisleri simetriktir. Diğer taraftan, P ve P' kare matrisleri köşegen olmayan matrislerdir. Bundan dolayı, yukarıdaki diferansiyel denklemlerin çözümü zorlaşır. Çözümü kolaylaştırmak için gerilim ve akım vektörlerine lineer dönüşüm işlemi uygulanır. Yani P ve P' matrisleri köşegen matris haline getirilerek çözüm kolaylaştırılır/1,2,3/.

Hattın gönderici ucundan x kadar uzaklıktaki bir noktanın gerilim ve akım vektörleri denklemler (2) ve (3) ün çözümünden yararlanarak hiperbolik terimler cinsinden matris denklemleri halinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir /S/:

$$\begin{bmatrix} \vec{V}_x \\ \vec{I}_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_0 \coth(\gamma x) & -Y_0 \operatorname{cosech}(\gamma x) \\ -Y_0 \operatorname{cosech}(\gamma x) & Y_0 \coth(\gamma x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{V}_0 \\ \vec{I}_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sınır şartları gözönüne alınarak \*t için.  $\vec{V}_x$  ve  $\vec{I}_x$  yazılırsa denklemler (4) aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} \vec{V}_s \\ \vec{I}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_0 \coth(\gamma D) & -Y_0 \operatorname{cosech}(\gamma D) \\ -Y_0 \operatorname{cosech}(\gamma D) & Y_0 \coth(\gamma D) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{V}_R \\ \vec{I}_R \end{bmatrix} \quad (5)$$

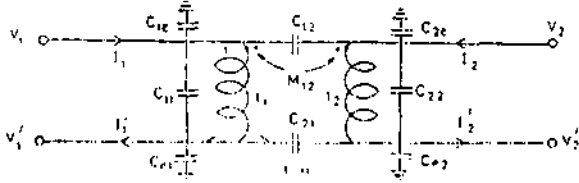
veya

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_c & -\mathbf{B}_c \\ \mathbf{I}_R & \mathbf{A}_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_S \\ \mathbf{V}_R \end{bmatrix} \quad (6)$$

sekinde ifade edilebilir. Burada  $\mathbf{A}_c = \mathbf{Y}_0 \coth \mathbf{OO}$  ve  $\mathbf{B}_c = \mathbf{Y}_0 \text{cosech} \mathbf{OO}$  olup kabloya ait alt matrislerdir.

## 2.1 Trafonun Admitans Matrisinin Oluşturulması

Tek fazlı bir trafonun Sekil 1 de görülen eşdeğer devresinden faydalanarak aşağıdaki akım denklemleri yazılabilir.



Sekil 1 Tek fazlı bir trafonun geçici rejim analizinde kullanılan eşdeğer devresi

Primer sargısı için akım denklemleri:

$$I_1 = i_1 + C_{11} pV_1 + C_{12} p(V_1 - V_2) + C_{12} p(V_2 - V_1) \quad (7)$$

$$I_2 = i_2 + C_{21} pV_1 + C_{22} p(V_2 - V_1) + C_{21} p(V_1 - V_2) \quad (8)$$

Segonder sargısı için akım denklemleri ise:

$$I_2 = i_2 + C_{21} pV_1 + C_{22} p(V_2 - V_1) + C_{21} p(V_1 - V_2) \quad (8)$$

$$I_1 = i_1 + C_{11} pV_1 + C_{12} p(V_1 - V_2) + C_{12} p(V_2 - V_1) \quad (9)$$

Sargılar arasındaki potansiyel farkları ise:

$$V_1 - V_2 = L_{12} pI_1 + M_{21} pI_2 \quad (9)$$

$$V_2 - V_1 = L_{21} pI_2 + M_{12} pI_1$$

dir. Burada p diferansiyel operatör olup  $p = d/dt$  dir. Akım ve gerilim denklemlerinden faydalanarak aşağıdaki genel denklem yazılabilir /5/:

$$\mathbf{I} = \left( \frac{1}{p} \mathbf{L} + \mathbf{C} \right) \mathbf{V} = \mathbf{Y} \mathbf{V} \quad (10)$$

Burada:  
 $\mathbf{I}$  = Gönderici uç akımı  
 $\mathbf{V}$  = Alıcı uç gerilimi  
 $\mathbf{L}$  = Trafonun eşdeğer endüktansı  
 $\mathbf{C}$  = Trafonun eşdeğer kapasitansı  
 $\mathbf{Y}$  = Trafonun eşdeğer admitansı

$$\text{olup} \quad \mathbf{Y}_i = \frac{1}{p} \mathbf{L}_i + \mathbf{C}_i$$

## 2.2 Sistemin Genel Matris Denkleminin Oluşturulması

Sistemde ele alınan yeraltı kablosunun kılıfı direkt olarak topraklanmıştır. Üreteç Norton eşdeğer devresi sekinde gösterilerek ele alınmıştır. Yani bir akım kaynağı ile buna paralel bağlı bir eşdeğer admitans olarak düşünülmüştür.

## 2.2.1 Kablo Tarafından Enerji Verilmesi Hali

Kablo tarafından enerji verilmesi halinde sistemin eşdeğer devresi Sekil 2 'deki gibi ele alınmıştır. Trafo kabljun sonuallj lü y-pak gı-lı k düşünölmüştür.



Sekil 2

Alıcı uç yani kablo ucu yüksüz varsayılmıştır. Bu durumu temsil etmek üzere aşağıdaki matris denklemleri yazılabilir /5/:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_S \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_c & -\mathbf{B}_c \\ -\mathbf{B}_c & \mathbf{A}_c + \mathbf{Y}_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_S \\ \mathbf{V}_R \end{bmatrix} \quad (11)$$

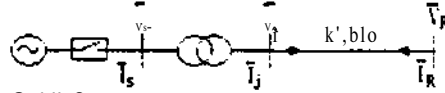
Bu denklemden faydalanarak gönderici uç akım vektörü ve alıcı uç gerilim vektörü frekans bölgesinde sırasıyla, aşağıdaki şekilde ifade

$$\mathbf{V}_R = \mathbf{C}_c + \mathbf{Y}_t \mathbf{B}_c \mathbf{V}_S$$

$$\mathbf{I}_S = \left[ \mathbf{A}_c - \mathbf{B}_c (\mathbf{A}_c + \mathbf{Y}_t)^{-1} \mathbf{B}_c \right] \mathbf{V}_S$$

## 2.2.2 Trafo Tarafından Enerji Verilmesi Hali

Eğer kablo sistemine trafo tarafından enerji verilirse sistemin eşdeğer devresi Sekil 3 'teki gibi olur:



Sekil 3

Kablo sisteminin gönderici ve alıcı uçlarına ait akım ve gerilimler matris denklemleri halinde şu şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_S \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & -\mathbf{B}_c \\ \mathbf{I} & \mathbf{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_S \\ \mathbf{V}_R \end{bmatrix} \quad (12)$$

Denklem 12 'den faydalanarak, alıcı uç gerilim vektörü ve gönderici uç akım vektörü elde edilebilir:

$$\mathbf{V} = \mathbf{A} \mathbf{J} \mathbf{B}_c \mathbf{V}_S$$

$$\mathbf{I}_S = \left[ \mathbf{A}_c + \mathbf{Y}_t \right] - \mathbf{B}_c \left[ \mathbf{A}_c + \mathbf{Y}_t \right]^{-1} \mathbf{B}_c \mathbf{V}_S$$

## 3. UYGULAMA ÇALIŞMALARI

### 3.1 Kablo Uzunluğunun Etkisi

Bu çalışmada 275 kV 'luk bir yeraltı kablo sistemi ele alınmıştır. Kablo kılıfı çapraz bağlı olup toprağa doğrudan irtibatlıdır. Trafo ise 275/17 kV 'luk olup priüer O'.G.) tarafı yıldız, segonder (I.A.G.) tarafı ise üçgen bağlıdır. Trafo bir yük olarak kablo ucunda düşünülmüştür. Sisteme kablo ucundan ve üç faza aynı anda enerji verilmiş, bunun sonucu olarak alıcı uçta yani trafonun segonder tarafında meydana gelen geçici gerilimler etüt edilmiştir. Bu çalışmada 20.57 km, 27.43 km,



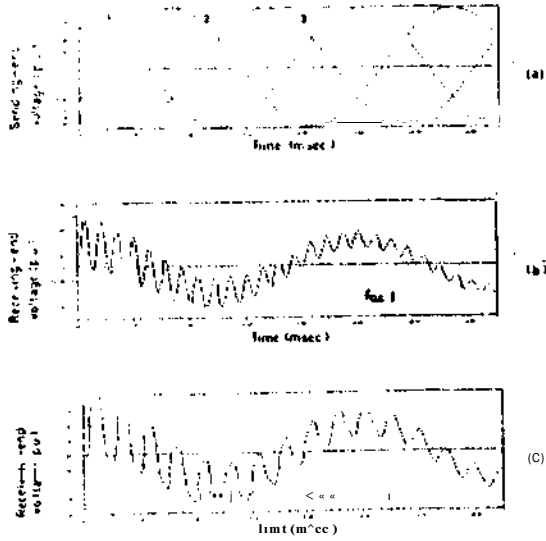
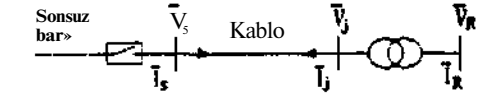
34.29 km, 41.15 km uzunluğundaki kablolar ele alınmış ve bilgisayar yardımıyla elde edilen geçici gerilimlerin eğrileri Sekil 4(b) ve (c) 'de gösterilmiştir. Her bir kablo uzunluğu için, kablonun alıcı ucunda görülen geçici gerilimlerin ulaşabildiği maksimum tepe değerleri Tablo 1 'de verilmiştir.

Kablo uzunluğu arttıkça yürüyen dalgaların alıcı uca gidip gelme süresi artmaktadır. Bundan dolayı, kablo uzunluğu arttıkça yansıyan dalgaların sıklığında azalma olmaktadır. Bir başka deyimle, ana harmonik üzerindeki salınışların frekansı azalmaktadır. Bu durum, ilgili şekillerde görülmektedir.

Tablo 1 Kablo uzunluğunun etkisi

Kablo uzunluğu (Cm)	Maksimum alıcı uç gerilimi <p.u.>		
	faz 1	faz 2	faz 3
20574	2.006	1.451	1.351
27432	1.973	1.469	1.357
34290	1.909	1.558	1.369
41148	1.951	1.614	1.421

Tablo 1 'den görüldüğü gibi kablo uzunluğu arttıkça meydana gelen geçici gerilimlerin genlikleri de artmaktadır.



Sekil 4 Kablo uzunluğunun etkisi

- Gönderici uç faz gerilimleri
- 20.5 km için alıcı uç faz 1 gerilimi
- l=34.29 km için alıcı uç fazı gerilimi

### 3.2 Üreteç Empedansının Etkisi

Üreteç empedansının meydana gelen geçici gerilimlerin genlikleri üzerindeki önemi büyüktür. Çünkü, sistemin gönderici ucunda görülen gerilim tamamen üreteç empedansına bağlıdır.

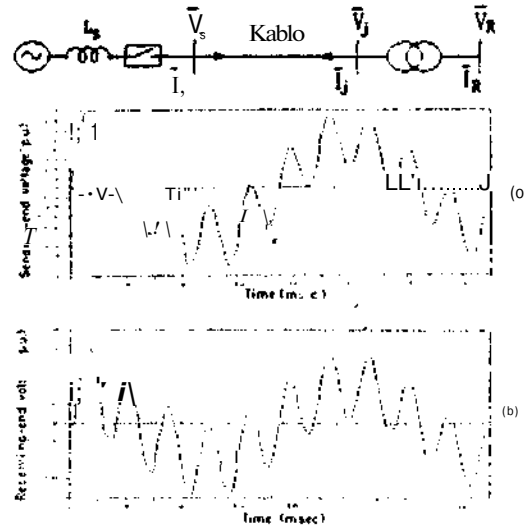
Değişik üreteç empedansları için elde edilen geçici gerilimlerin eğrileri Sekil 5 ve 6 'da görülmektedir. Üreteç empedansı arttıkça sistemin baskın frekansı üreteç frekansına yaklaşır ve belli bir üreteç empedansı değerinde sistem rezonans durumuna gelir. Böylece, üreteç empedansındaki artış rezonans asın gerilimlerinin meydana gelmesine neden olabilir.

Sisteme kablo tarafından enerji verilmesi halinde, ele alınan üreteç empedansları -8.016 H, 0.048 H, 8.24 H ve 0.48 H dir. Bu empedans değerleri için, kablonun gönderici ve alıcı uçlarında görülen geçici gerilimlerin ulaşabildiği maksimum tepe değerleri Tablo 2 'de verilmiştir.

Tablo 2 Üreteç Empedansının Etkisi

Üreteç empedansı (H)	Maksimum gönderici uç gerilimi <p.u.>			Maksimum alıcı uç gerilimi <p.u.>		
	faz 1	faz 2	faz 3	faz 1	faz 2	faz 3
0.016	1.622	1.317	1.344	2.063	1.554	1.479
0.048	1.914	1.532	1.589	2.091	1.605	1.582
8.240	2.602	1.950	1.883	2.651	1.985	1.917
0.480	3.486	3.330	4.865	3.529	3.386	4.937

Sonuçlardan da görüldüğü gibi üreteç empedansı arttıkça asın gerilimlerin genliği de artmaktadır. Üreteç empedansı 0.480 H. olduğu zaman sistem rezonans durumuna girmekte ve rezonans asın gerilimleri oluşmaktadır.



Sekil 5 Üreteç empedansının etkisi (L=0.048 H)

- Gönderici uç faz 1 gerilimi
- Alıcı uç faz 1 gerilimi

#### 4. SD.UC L\fi

Bu çalışmada kablo uzunluğu  $\ll \lambda$  olduğu için, giriş ve çıkış uçlarındaki gerilimlerin ve jont kompanzasyonun etkisi,  $\lambda$  ile  $\lambda/2$  arasındaki kablo sisteminde meydana gelen aşırı gerilimleri,  $\lambda$  üzerindeki etkileri sırayla incelemektedir.

Kablo uzunluğu arttıkça yürüyen dalgaların alıcı uca gidip gelme süreleri ve meydana gelen aşırı gerilimlerin genlikleri artmaktadır. Ayrıca, gerilim eğrilerindeki salınımlarda da artma görülmektedir.

Üreteç empedansı arttıkça sistemin baskın frekansı üreteç frekansına yaklaşmakta ve giderek sistem rezonans durumuna gelmeye çalışmaktadır. Eoylece, üreteç empedansı arttıkça rezonans aşırı gerilimleri gibi, yüksek genlikte aşırı gerilimi meydana gelebilmektedir.

**Kablo sisteminde meydana gelen aşırı gerilimler, sönk kompanzasyon reaktörleri kullanılarak düşürülebilmektedir, kullanılan sönk reaktörlerinin gücünün meydana gelen geçici aşırı gerilimlerin genliklerini düşürmekte etkili olduğu görülmüştür.**

#### REFERANSLAR

- /1/ Bickford, J.P., ve Mullineux, M: Computation of Power System Transients, IEE Monograph Series 15, 1976
- /2/ Bickford, J.P. ve Doepel, P.C.: Calculation of Switching Transients with Particular Reference to Line Energization, Proc. IEE, Vol. 114, Ko.4, 1967
- /3/ Wedepohl, L.M. ve Wilcox, D.J.: Transient Analysis of Underground Power Transmission System, Proc. IEE, Vol.120, No.2, 1973
- /A/ Wedepohl, L.M. ve Indulkar, C.S.: Switching Overvoltages in Short Crossbonded Cable Systems Using the Fourier Transform, Proc. IEE, Vol.122, No.11, 1975
- /S/ Tümay, M.: Transient Analysis in Power Systems, M.Sc. Thesis, Gaziantep Üniversitesi, 1991

Şekil 6 Üreteç empedansının etkisi  $\lambda/4$  gönderici uç faz 1 gerilimi  
a) Alıcı uç faz 1 gerilimi

#### 3.3 Sönk Kompanzasyonunun Etkisi

Kablo sisteminde meydana gelen açma-kapama aşırı gerilimleri sönk reaktörleri kullanılarak düşürülebilmektedir. Bu çalışmada gönderici uca veya alıcı uca sönk reaktörler bağlanarak meydana gelen geçici gerilimlerin genliklerindeki değişim incelenmiştir. Sönk reaktörler gönderici uca ve trafonun sekonder ucuna bağlanmış ve üreteç empedansı da 0.450 H. olarak alınmıştır. Kullanılan kompanzasyon reaktörleri 12 H. (200 MVar) ve 2.4 H. (400 MVar) değerlerindedir. Bu reaktörler alıcı uca ve/veya gönderici uca bağlanarak bu uçlarda meydana gelen aşırı gerilimlerin genliklerini düşürücü etki yapmışlardır. Sönk reaktörlerin etkileri Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3 Sönk kompanzasyonunun etkisi

Sönk reaktörleri $\lambda/4$ gönderici uca	Maksimum gönderici uç gerilimi $\lambda/4$ gönderici uca	Maksimum alıcı uç gerilimi $\lambda/4$ alıcı uca					
		faz 1	faz 2	Kaz 3	faz 1	faz 2	faz 3
-	1.2	2.645	2.270	2.014	2.671	2.232	2.024
1.2	1.2	2.050	1.776	1.830	2.073	1.752	1.845
-	2.4	2.054	1.750	1.771	2.063	1.730	1.774
2.4	1.4	1.412	1.093	1.501	1.115	1.094	

Geçici aşırı gerilimlerin ulaşabildiği maksimum genlik  $S=3P$  kompanzasyon olmadığı zaman 4.937 p.u. iken sönk kompanzasyon olduğu zaman bu değer 2.671 p.u. olarak düşürülmüştür. En sonuçla, da göstermektedir ki, sönk kompanzasyon reaktörleri meydana gelen geçici aşırı gerilimlerin genliklerini düşürücü etki yapmaktadır.

# İLETİCİ HATLARININ USA DEVEE OLAYLARI KARSISINDA GEÇİCİ BEJİM ANALİZİ

Ilyas Eker ve M.Uğur Unver

Gaziantep Üniversitesi. Elektrik-Elektronik Müh. Böl. Gaziantep

## ÖZET

ki ki Mjri\* bayı tiki! hatlarıdaki kıta Uvr\* olayları tstaşı»\* Mflui fllt» ttoici akım \*i ftrilnltlr İMİMMİftir. İ»\*\* MM alarak aulitik kir ntttt »I» tañil »ilini\* ftmir Kmñin ntttta kullanılmıtır. Stcici akta «• nrilUum itattmatiksil «trilnltlr tuñ tñkans Ulatlaar #14» Oiluñ, «ha starı, Fovitr Wn S0ta Ursi abarak ıkın «\* #a>il»ltr utun biletsin\* ti\* rñlñstir. Saki kattıaB itri trñtaas vt »ñnt attñtaas vapamtrñcri fMkaas kaali «lrak tñt almıtır. m>ñt «vttoası, haf •Mñta «t »114 «ırmaUia kıta dtm akım »t Mñilñltri tarñm «laa itkilñri sırayla m>ñt«ñt»ñtñt. Kısa atıv İHM İMM t\*ei«i akım vt ftrilnltlr ait »SriUr tiU»»»» kñlMılarak tñt tñilñtñt».

## 1.GKIS

EMjli sistMlariurfe yıldata, açaa-kapama ve kısa devri arızaları gibi geçici olayların olutnrabücegi atr> akn ve gerilimler, enerji ststealrñln Dlanlan>asi ve veriali çalışması veya listenin genişletilmesi çalışmalarında önem arz etmektedir. Ayrıca sistemin düzenli çalışmasında önemli rohi olan koruyucu cihazların (kesici, röle, sigorta gibi) seçiminde geçici akım ve gerilimlerin analizinin önemi büyüktür. Sistemde meydana gelebilecek geçici asın akım ve gerilimlerin hesaplanmasında bilgisayar büyük kolaylık ve zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Geçici akıa ve gerilimlerin analitik metotlarla analizinde bugün bilgisayar kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Analitik metotlardan zaman belgesinde çñim sağlayan 'Lattice Diagram' /2,4/ ve frakant bölgesinde çözümlü elde ettikten sonra zaman bölgesinde sonuçları veren 'Fourier Dönüşüm' /i, 2,3,5,6,7/ metotları bugün en fazla kullanılanlardır.

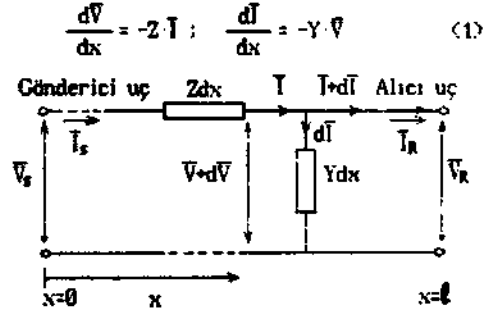
Burada çözüm metodu olarak Fourier Dönüşüm metodu kullanılmıştır. Böylece, frekansa oldukça bağımlı olan iletim sistemine ait parametrelerin özelliği ele alınmış olmaktadır. İletim sistemi gönderici uçtan beslendiği sırada ve alıcı uç boşta iken, alıcı uçta meydana gelen bir kısa devre arızası esnasında gönderici uçta meydana gelen geçici akım ve gerilimler ile arıza noktasında meydana gelen geçici gerilimlerin genlikleri hesaplanarak eğrileri bilgisayar yardımıyla elde edilmiştir. Üreteç empedansı ve hat uzunluğu gibi parametrelerin, meydana gelen asın gerilimlerin

genlik ve dalga sekline olan etkileri ayrıca etüt edilmiştir.

Ele alman nakil hattı 380 kVluk olup üç adet faz iletkeni ile bir adet koruma iletkeninden meydana gelmektedir.

## 2. HAVAI NAKİL HATTININ ANALİZİ

Sekil 1 'deki hat parametreleri gözönünde bulundurularak n-iletkenli hatlar için N uzaklıktaki bir noktanın frekans bölgesindeki akım ve gerilimlerinin ifadeleri:



Sekil 1 Havai nakil hattının dağılmış parametreler halinde gösterilişi.

Burada. Z ve Y : Nakil hattının birim uzunluktaki seri empedans ve sön t admitans parametrelerini göstermektedir.

<D 'deki denklemlerin tekrar türevleri alınırsa:

$$\frac{d^2V}{dx^2} = ZYV = P^2V \quad \frac{d^2I}{dx^2} = YZ I = P^2 I \quad (2)$$

ifadeleri elde edilir. P ve P<sup>T</sup> matrisleri kare ve köşegen olmayan n elemanlı matrislerdir. Denklem (2) 'yi çözmek hayli zor olduğundan, gerilim ve akım vektörlerine lineer dönüşüm işlemi uygulanır. Yani, P ve P<sup>T</sup> matrisleri köşegen matrisler haline getirilerek çözüm kolaylaştırılabilir /2,3/. Böylece, hattın gönderici ucundan x kadar uzaklıktaki bir noktanın gerilim ve akım vektörleri su şekilde ifade edilebilir:



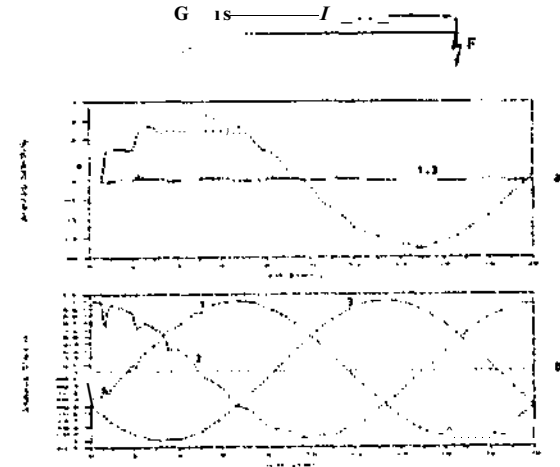
edilen sonuçların, 2 no'lu referanstaki sonuçlarla uyum halinde olduğu görülmüştür.

### 3.1 Üreteç Empedansının Etkisi

üreteç empedansı, üreticinin arıza seviyesine göre değişir, kısa devre arızası esnasındaki hat bası akım ve gerilim eğrileri muhtelif üreteç empedansları için Şekil 4 ve 5 'te gösterilmektedir. Burada arızanın 2 no'lu fazda ve bu fazdaki gerilimin arıza sırasında pozitif tepe değerinde olduğu varsayılmıştır. Şekillerden de görüleceği gibi, en fazla etkileşim «distorsiyon» arızalı faz olan 2 no'lu fazda olmaktadır. Arıza olmayan fazlardaki etkileşimler ise fazlar arası karşılıklı etkileşimden oluşmaktadır. Kısa devre olan faza ait gerilim ve akım eğrilerindeki etkileşimler, faz iletkenleri üzerinde ilerleyen yürüyen dalgaların yansıma ve kırılmalarından ileri gelmektedir.

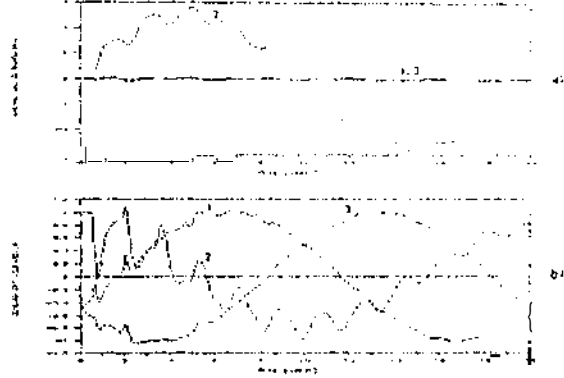
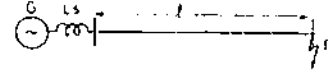
Üreteç empedansı gönderici uca ait geçici akım eğrilerinin maksimum değerine etki yapmaktadır. Üreteç empedansının büyümesi, akımın tepe değerinin azalmasına sebep olmaktadır. Üreteç empedansının geçici gerilimler üzerindeki etkisi ise, üreteç empedansı azaldıkça arıza olan faza ait gerilimin tepe değerinin azalması şeklinde olmaktadır.

Muhtelif üreteç empedansları için hat bası akım ve gerilimleri ile arıza noktası geriliminin ulaşabildikleri maksimum değerler Tablo 2'de gösterilmektedir.



Şekil 4 Tek faz toprak arızasında geçici akım ve gerilimler. Üreteç empedansının etkisi;  $L_s = 0.0313$  H.  $l = 190$  km.

- a) Gönderici uç akımları (kA)  
b) Gönderici uç gerilimleri (p.u.)



Şekil 5 Tek faz toprak arızasında geçici akım ve gerilimler. Üreteç empedansının etkisi:  $U = 0.09192$  H.  $l = 190$  km.

- a) Gönderici uç akımları (kA)  
b) Gönderici uç gerilimleri (p.u.)

Tablo 2 Farklı üreteç endüktanslarında akım ve gerilimlerin genlikleri.

Üreteç endüktansı $L_s$ (Henry)	Hat bası akımı $I_s$ (kA)	Hat bası gerilimi $V$ (p.u.)	Arıza noktası gerilimi $V_r$ (p.u.)
0.45960	1.490	1.241	1.068
0.09192	2.576	1.045	1.235
0.045%	3.194	1.034	1.311
B.01313	3.545	1.020	1.402

### 3.2 Hat Uzunluğunun Etkisi

Ele alınan iletim sistemi 5000 MYA'lık bir alternatörle beslenirken, yani üreteç endüktansı 0.09192 H.'de sabit tutulurken, değişik hat uzunluklarının meydana gelen geçici kısa devre akım ve gerilimleri üzerine olan etkileri burada incelenmiştir.

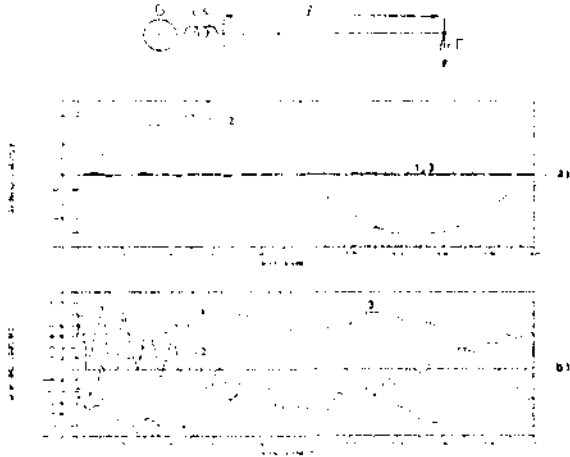
Gönderici uçtaki geçici akım ve gerilimler ile arıza noktasındaki geçici gerilimlerin değişimlerini gösteren eğriler Şekil 6 ve 7 'de gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, hat uzunluğu arttıkça, kısa devre olan faza ait akım eğrilerindeki salınımlar da artmaktadır. Kısa devre olmayan fazlara ait akım eğrilerindeki salınımlar ise oldukça düşüktür. Hat uzunluğu arttıkça, hat empedansı da artmakta ve dolayısıyla hat kayıplarından dolayı akımların genlikleri azalmaktadır.

Gönderici uç ve arıza noktasına ait geçici gerilimlerin genlikleri hat uzunluğu arttıkça azalmaktadır. Hat uzunluğu azaldıkça, yansıyan

dalgalar daha kısa zamanda hattın karşı ucuna ulaşacağından akım ve gerilim eğrilerindeki sahnir. iann frekansları 2.rtinal.tadır. Tablo 4 'te muhullit h ll uzunlukları için skim % gerilimlere ait şenlik değeri g'irilmektedir.

Tablo 4 Değişik hat uzunlukları için secici akım ve gerilimlerin genlikleri

Hat uzunluğu (km)	$I_s$ (kA)	$V_s$ (pu)	$V_r$ (pu)
100	4.274	1.211	1.295
150	3.320	1.164	1.285
300	2.075	1.097	1.350
400	1.727	1.032	1.323
500	1.570	1.057	1.313



Sekil 6 Tek faz toprak arızasında geçici akım ve gerilimler. Hat uzunluğunun etkisi; U=0.09192 H, l=100 km.

- a) Gönderici uç akımları <math>I\_s</math>  
b) Gönderici uç gerilimleri <math>V\_r</math>

### 3.3 Arıza Direncinin Etkisi

Arıza noktasının admitans matrisi  $C_{ij}$ , kısa devre arızasının tipini belirleyici bir rol üstlendiğinden geçici akım ve gerilimlerin hesaplanmasında önemi büyüktür. Buraya kadar yapılan kısa devre çalışmalarında kısa devre direnci 10<sup>ohm</sup> olarak alınmıştır. Arıza direncinin etkisini görmek için sırayla 1, 5 ve 10 ohm'luk dirençler üzerinden kısa devre arızası olduğu varsayılmıştır. Hat uzunluğu 190 km ve üreteç endüktansı ise 0.09192 H. olarak alınmıştır.

Arıza direncindeki artış kısa devre olan fazın gönderici uç geriliminin <math>V\_r</math> daha fazla bozulmasına sebep olmaktadır. Bir başka deyimle, arıza direncinde; artış arıza noktasındaki gerilimin yükselmesine neden olmaktadır. Diğer taraftan, arıza direncinin artması, gönderici uca ait akımın yavaşında azalmaya neden olmaktadır. Tablo 4 'te

Sekil 7 Tek faz toprak arızasında geçici akım ve gerilimler. Hat uzunluğunun etkisi; U=0.09192 H. ve 1300 km.

- a) Gönderici uç akımları <math>I\_s</math>  
b) Gönderici uç gerilimleri <math>V\_r</math>

geçici akım ve gerilimlerin genliklerinin değişik arıza dirençlerine göre değişimi görülmektedir.

Tablo 4 Değişik arıza dirençlerinde akım ve gerilimlerin genlikleri

Arıza direnci $R_f$ (ohm)	$I_s$ (kA)	$V_s$ (pu)	$V_r$ (pu)
1	2.888	1.054	0.009
5	2.506	1.076	0.045
10	2.871	1.077	0.090

### REFERANSLAR

- Unver, H.: Ardışık Bağlı Bir Xablo-Enerji Nakil Hattı Sisteminin Geçici Rejin Analizi, Elektrik Müh. 1. UlusU Kongresi, 1985, Adana
- Bickford, J.P., Sanderson, J.V.H., Abdelsalan, M.H., Mohamed, S.E.L., Horris, Ş.A. ve Olipade, O.: Developments in the Calculation of Half-cycle and Frequency Spectra for Transient Fault Current and Voltages, IEE Proc., Vol.127, Pt.C, No.3, 1988
- Attetani, A. ve Aitanishi, K.: Development of E<sup>on</sup>ntui Fourier Transform and its Application to Electrical Transients, IEE Proc., Vol.128, No.1, 1997
- Eickford, J.P. ve Abdel-Kalnan, M.H.: Application of Trauallins Hane Method to the Calculation of Transient Fault Currents and Voltages in Pov'er/ Svten Het'./orks, IEE Proc., Vol.127, Pt.C, No.3, 1988
- Beijuan, G. ve Ponsioen, M.: Calculation of Electrical Transients in Tovev Svsteris, IEE Proc., Vol.126, No.5, 1979
- AMetani, A. ve Nayaoka, N.: A Development of a Generalized Frequency-Domain Transien\ Pi-O/ tMn F.T.P., IEEE, Vol.3, 1988
- Eker, I.: Transient Analysis of TransHSiron Line-, with Reference to Short-Circuit Faults, M.Sc. ii ^ i . . Gaziantep üniversitesi, 1991

FLÜORESAN LAMBA VE DEŞARJ LAMBALARI İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN  
AYDINLATMA DEVRELERİNDE OLASI SORUNLAR

t.MISIR

İTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Aydınlatma devrelerinde oldukça geniş kullanım alanı bulan flüoresan lamba ve deşarj lambalarının lineer olmayan akım-gerilim karakteristiği nedeniyle, devre dengeli tesis edilmiş olsa bile gözönüne alınması gereken bir takım problemleri beraberinde getirmektedir. Çalışmada bunlardan şebekeden çekilmek durumunda kalınan harmonik akımlar, nötr hattından akmak durumunda kalan ve ağırlıklı olarak 3. harmonikli olan akımlar ve bunların oluşum nedenleri irdelenmiştir. Bu inceleme için lambanın lineer olmayan akım-gerilim karakteristiğinin basit bir modelinden faydalanılmıştır. Bunlar yanında aydınlatma devresi ve beslediği sistemde oluşabilecek faz ve nötr hatalarına değinilmiştir. Son olarak tüm bu sorunlara olası pratik çözümler önerilmiştir.

1. GİRİŞ

Günümüzde insanların giderek artan konfor gereksinimleri nedeniyle, aydınlatma ihtiyacı da buna paralellik göstererek artış göstermektedir. Yeni yeni aydınlatma aygıtları, ışık kaynakları tasarım ve üretimleri tüketicilere sunulmaktadır. İç hacimlerin aydınlatılmasında kullanılan flüoresan lambalar, dış aydınlatma, büyük endüstriyel tesisler, sokak ve yollar... aydınlatılmasında kullanılan deşarj lambalarının yüksek güçlerde tesis edilip kullanımları söz konusu olmaktadır. Bilhassa bu yüksek tesis güçlerindeki uygulamalarda ortaya çıkan ya da çıkabilecek bazı sorunların aydınlatma cihazlarına, tesisat ve şebekeye bazı etkileri söz konusu olabilmektedir.

2. AYDINLATMA DEVRELERİNDE OLASI SORUNLAR

Aydınlatma devrelerinde ortaya çıkabilecek sorunların bir kısmı sistem pratik acıdan dengeli olarak tesis edilmiş olsa bile kendini gösterebilmektedir. Bunlar nötr hattından akmak durumunda olan ve bazen (ki oldukça uç bir örnektir) faz akımının temel bileşeninden daha büyük değerlere erisebilen akımlardır İM. Bunlar harmonik akımları ve nötr akımları başlığında irdelenecektir. Bundan başka gerek gücün yüksekliği, gerekse aydınlatma devresi

olduğundan dolayı mutlaka dikkat edilmesi gereken faz hatası ve nötr hatasıdır. Ayrıca aydınlatma yüklerinin ilk devreye girmelerindeki ani yüksek değerli akımlar ve devreden çıkmalarında oluşabilen (aydınlatma düzenlerinin endüktif karakterlerinden dolayı) büyük değerli gerilimler oluşabilmektedir/27.

2.1. HARMONİK AKIMLARI VE NÖTR AKIMLARI

Büyük güçlü tesislerdeki ölçümler /I/ ve laboratu-ardaki temel üç fazlı devredeki ölçümler, sistem dengeli olsa dahi nötr hattından akım akmak durumunda olduğunu göstermektedir, ölçümlerde nötr hattındaki akımın faz akımının 1,5 katına kadar ulaşabildiği görülmüştür. Nötr hattında akan bir akımın büyük bir kısmı ağırlıklı olarak üç ve üçüncü katı olan harmoniklerden oluşmaktadır. Ayrıca faz akımları da lambaların lineer olmayan akım-gerilim karakteristiği nedeniyle harmonikler içerir. Bunlar ağırlıklı olarak 3 ve 3'ün katı olan harmoniklerdir. Bu durum lamba akım-gerilim ilişkisi için

$$V_e(t) = A \operatorname{sign} (i_e(t)) \begin{cases} A, i_e(t) > 0 \\ 0, i_e(t) = 0 \\ -A, i_e(t) < 0 \end{cases}$$

verilen model ve şebeke geriliminin  $U \sin(\omega t + \psi)$  ve balastın admitansının  $Y \angle -\theta$  şeklinde alınmasıyla lamba akımı (ki şu şebekeden çekilecektir)

$$i(t) = Y_1 U \sin(\omega t + \psi + \delta_1) - \frac{4A}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(n\omega t + \delta_n)$$

olmasından rahatlıkla görülebilir /3/, /4/, /5/.

Faz akımlarının bileşkesi sonucu nötr hattında üç fazlı akım teorisince sadece 3 ve 3'ün katı olan akımlar birbirlerini yok etmeden kalır, diğer harmonikler ve esas bileşenler birbirlerini yok etmeye çalışırlar.

Her fazda demir çekirdekli endüktif balast, lamba ve güç faktörü düzeltici kondansatör içeren laboratuvar test devresinde flüoresan lamba ve yüksek basınçlı çıva buharlı lamba için ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerin bir kısmı Tablo 1'de verilmiştir. Yapılan bu ölçümler sonucu dengeli yük halinde  $I_0/I_n$  oran :.20-30, güç faktörü düzeltici kondansatörler varken bu oran daha da artmaktadır. Ancak bunlar pratikte bir tesiste yapılan ve 150 dolayın-

daki oram açıklamakta yetersiz kalmaktadır. //.

Tablo 1. Laboratuvar temel üç Fazlı flüoresan lamba ve deşarj lambaları devresi deney sonuçları :

Mod	R (A)	S (A)	T (A)	N (A)	(%)	
I	a	0,38	0,38	0,39	0,09	24
	b	0,23	0,24	0,23	0,09	39
II	a	1,98	2,04	1,92	0,59	30
	b	1,38	1,42	1,33	0,59	42

Mod i : 40W'lık flüoresan lamba, 03,5 pF  
Mod ii: 250W'lık yüksek basınçlı çıva buharlı lamba, C 10 uF  
a: Sadece lambalar devrede  
b: Güç faktörü düzeltici kondansatörler de devrede.

Aydınlatma yükünün büyük olduğu durumda harmonik akımları sebebiyle besleme çıkışlarında harmonik akımı arınan kaynaklanan hat gerilimi düşümü nedeniyle gerilimde harmoniklere sebebiyet verebilecek distorsiyonlar oluşabilir. // Bu distorsiyonlu kaynak gerilimindeki 3. harmonik gerilimi, beklenmedik değerde 3. harmonik akımının geçmesine neden olur. Bu olayın sebebi tahmin edilebileceği üzere artan frekans değeriyle güç faktörü düzeltici kondansatörün reaktansının düşmesidir.

Şebekeden çekilen bu akımdaki harmonikler aydınlatma devresinin sahip olduğu güç faktöründe düşüşlere yol açacaktır. Dolayısıyla bu güç faktöründeki düşüşlere sebep olan harmonikler ya da bunlarla ilişkili olan büyüklüklere ilişkin standartlar gözönüne alınmak durumundadır. // 1/, /4/, /6/, /7/.

## 2.2. NÖTR VE FAZ HATALARI

Nötr hataları 4 iletkenli yıldız bağlı bir sistemde üç fazlı yükün beslenmesi durumunda nötr hattının herhangi bir sebeple ortadan kalkması olarak özetlenebilir. Nötr iletkeninde, sistemde topraklanmış iki yıldız noktası arasında, bir kısım meydana gelirse fazlar dengesiz olduğunda en az bir faz ile nötr arasında aşırı bir gerilim oluşabilir. Esasen aydınlatma yükleri durumunda yükler dengeli dahi olsa nötr hattından akacak olan akım, yolunu faz devrelerinden tamamlamak durumunda kalacağından bu tür sorunlar yine ortaya çıkabilecektir. Su tür sorunlar da hem tesise hem de aydınlatma cihazlarına zarar verebilecektir.

Yüksek güçlerdeki bazı tür lambalar (örneğin 1000-3500W'lık yüksek basınçlı metal buharlı lambalar) yüksek çalışma gerilimleri için tasarlanmışlardır. Bunlar bu nedenle faz arası çalışmalar için uygun olabilmektedir. // Bu tür yükler dengeli tesis edildiklerinde sistem nötr hattına ihtiyaç duymaksızın çalıştırılabilir. Çalışma esnasında, gevsek bir bağlantı, kablo veya iletkende hata ve bunun zarar görmesi, sigorta hatası, şebeke fazlarından birisinin kaybolması ile faz hatası oluşur.

Endüktif ve kapasitif elemanların varlığı şebeke fazlarından birisini besleyen diğer fazlara Lağlanırlar> "C1:11" < bu tür hataların oluşmasına sebep oluşturmaya sebep oluyur. // Bu rezonans ri. hataları nedeni ile şebeke fazlarının oluşmasına sebep olabilir. DoOa idi < bu, şebekar ve tesisata zânır verebilecektir. Şe&ef normal düzenine ulaştığında, aydınlatma gihazı zindî normal çalışması gerçekleşmeyebilir.

## 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Görüldüğü üzere aydınlatma devreleri içeren tesislerde sistem pratik olarak dengeli olsa bile nötr akımları, harmonik akımları oluşabilmektedir. Bunlar bazen kendilerine ilişkin standartlara umayabilemektedir. Ayrıca faz ve nötr hataları yine bu tür tesislerde etkili olabilmektedir.

Harmonik akımlarının ve nötr akımlarının etkilerini azaltmak mümkünse yok etmek için bir takım önlemler alınabilir. Nötr hattındaki akımı paylaşmak üzere paralel bir nötr iletkeni kullanmak veya nötr iletkenin kesitini büyük seçmek olabilir. Faz veya nötr akımını azaltmak üzere yükün bir kısmını mümkünse başka bir panodan beslemek, tasarruf olacak diye bazı lambaların çıkarılmamasına, iptal edilmesine dikkat etmek, özellikle gerilim distorsiyonu oluşabilecek tesislerde güç faktörü düzeltici kondansatörlerin değerlerinin çok büyük olup olmadığının kontrol edilmesi ve gerekiyorsa düzeltilmesi iyi sonuç verebilir. Aydınlatma devresinin beslediği panodan, aşırı nötr akımlarını önlemek üzere özellikle 3. harmonik üretmeyen diğer yükleri de beslemek olasıdır.

Nötr hatası durumunda, her fazın ve nötrün gerilimi izleyen ve bu değerler olması gereken değerlerde olmayınca kumanda veren faz kontrol röleleri kullanılabilir.

Faz hatası için, herhangi bir faz gerek gerilim gerekse açı olarak bir dengesizlik gösterdiğinde kumanda verecek faz denge rölesi tesis edilebilir. Bu rölenin çıkışı ile üç kutuplu bir kontaktör üzerinden aydınlatma yükü devreden çıkarılır. Arıza geçtiğinde yükler tekrar devreye alınır.

Tüm bunların yanında aydınlatma yükünü gerek devreye alırken gerekse devreden çıkarırken bir takım geçici ve yüksek değerli akım ve gerilimler oluşmakta olup kontaktör ve anahtarlar bunları dikkate alarak boyutlandırılmalıdır.

## REFERANSLAR

- 1/ A.H.Choy, LIEW, Excessive Neutral Currents in Three-Phase Fluorescent Lighting Circuits, IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 25, No. 4, July/August 1989.
- 2/ Chapman, D.F., Phase and Neutral Failure m Lighting Circuits, Light and Lighting, Nov/Dec 1977.
- 3/ Gluskin, E., The Non-linear Theory of Fluorescent Lamp Circuits, Int. 7. Electronics, 1987, Vol. 63, No. 5, 1987.



- 14/ Gluskin, E., High Harmonic Currents in Fluorescent Lamp Circuits, IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 26, No.2, March/April 1990.
- 15/ Elenbaas, W., Fluorescent Lamps and Lighting, Philips Technical Library, 1962.
- 16/ İüp Biçimi Flüoresan Lamba Balastları, Türk Standartları, TS 58, Aralık 1975.
- 17/ Specification for Ballasts for the Operation of Tubular Fluorescent Lamps on A.C. 50 Hz Supplies, British Standard Institution, BS 2818, 1962, 1973.

# ALÇAK GERİLİM ŞEBEKELERİNİN DİZAYNINDA KAYIPLARIN ETKİSİ

S.Küçük - H.Çakır

TÜRKİYE İZMIT KAFİNERİSİ  
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

## ÖZET

elektrik enerji sistemlerinde iletkenlerin dirençlerinden dolayı önemli ölçüde sayılabilecek bakır kayıpları meydana gelmektedir.

Bu kayıpların büyük bir kısmında sistem içinde hat uzunluğu olarak oldukça geniş bir yer kaplayan dağıtım sistemlerinde oluşmaktadır.

Dağıtım sisteminin en son halkası olan alçak gerilim şebekelerinde kayıplar daha özel bir önem arz etmektedir. Bu maksatla bu çalışmada alçak gerilim şebekelerinde müsaade edilen gerilim düşümünü aşmadan, minimum iletken malzemesi kullanarak kayıpların nasıl azaltılabileceği verilecektir.

Çalışma iki kısımda ele alınacaktır birinci kısımda kayıpların dalbudak şebekesinin gerilim düşümünün dağılımına etkisi, ikinci kısımda ise kayıpların düşüm noktaları arasındaki kısmi uzunluk ve kesitlerin belirlenmesindeki etkisi.

## 1.Giriş

Alçak gerilim şebekesini oluşturan elemanların tesis ve boyutlandırılması için çok çeşitli teknikler yıllardan beri başarı ile kullanılmakta ve geçen zaman içinde ya bu teknikler geliştirilmekte ya da yeni teknikler ilave edilmektedir.

Bu tekniklerin önemli bir kısmında alçak gerilim şebekelerin iletkenlerinin boyutlandırılmasında kullanılmaktadır. Burada sunacağımız teknik daha ziyade dalbudak şebekelerin endüktif reaktansı sıfır kabul edilen kablolar ile düzenlenmesi haline uygulanabilmektedir.

Ele alınıp boyutlandırılacak sistemin dengeli, üç fazlı,homojen olarak

yüklendiği ve güç faktörünün bütün alıcılar için aynı olduğu varsayılmıştır. Formülasyonda besleme noktası ile en son alıcı arasındaki gerilim düşümünü sabit alınmış, buna karşılık iletken fiyatlara ile sistemde meydana gelen kayıplar değişken olarak kabul edilmiştir.

## 2. Kayıpların Şebeke Büyüklükleri Üzerindeki Etkisi.

### 2.1-Kayıpların İletkenlerin Kesitleri üzerindeki Etkisi.

Alçak gerilim şebekelerinde meydana gelen kayıplar, güç sisteminin diğer kısımlarında meydana gelen kayıplardan daha önemlidir ve azaltılması daha büyük anlam taşır.

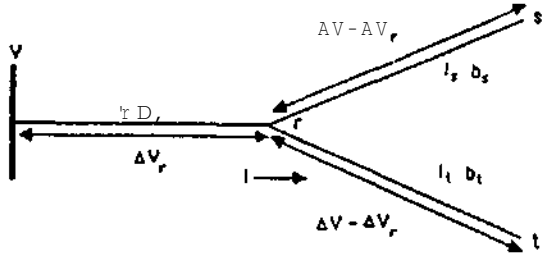
Bu maksatla kabloların ömrü boyunca meydana gelen kayıpların güncelleştirilmesi aşağıdaki (1) no'lu eşitlik yardımı ile yapılmalı ve ekonomik hesaplara satılmalıdır.

$$k = 0.750 F_{33} k_1 \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \left[ \frac{TL}{k_1} \right] \quad (D)$$

Yukarıdaki ifade:

- $k_{LS}$  kayıp faktörüdür ve yük faktörüne anaprik bir eşitlikle ballıdır  $j;u$ .
- $k_1$ , elektriğin birim satış fiyatı  $TL/kUh$ ,
- $i$ , faiz oranı  $[o/o]$ ,
- $n$ , kablonun ömrüdür yıl.

Şekil-1'deki dalbudak şebekesinin ana hat-



Şekil-1. Alçak gerilimli dalbudak bir şebeke.

tının minimum iletken kesiti, bu batta ilişkin yazılacak gerilim düşümü, güç kaybı ve iletken hacminin beraber aynı formülde kullanılması ile elde edilecek fonksiyonun minimum yapılması ile

$$\alpha(x) = \sqrt{\frac{k l^2 \rho \left(\frac{1}{l} + x\right)^2 + \lambda^2 \left(\frac{1}{l} + x\right)}{c}} \quad (2)$$

şeklinde bulunur.

Kayıpların dikkate alınmaması halinde kesit

$$\alpha(x) = \lambda \sqrt{\frac{x + \frac{1}{l}}{c}} \quad (5)$$

olarak elde edilir.

Yukarıdaki (2) no'lu eşitlik (3) no'lu eşitliğe nazaran daha büyük bir değer verecektir. Bunun manası daha az gerilim düşümü, daha az kayıp, bunlara karşılık daha fazla iletken malzemesi demektir. Aynı karşılaştırma radyal kollar içinde geçerlidir.

## 2.2-Kayıpların Gerilim Düşümünün Dağılımındaki Etkisi.

(2) no'lu eşitlik gerilim düşümü, iletken hacmi ifadelerinde yerine konur entegre edilir ve düzenlenirse ana hat için

$$v_r = M + \frac{l_r b_r k}{2 \beta c} \Delta V_r \quad (4)$$

radyal kollar için ise

$$v_s = N_s + \frac{l_s b_s k}{2 \beta c} (\Delta V - \Delta V_r) \quad (5)$$

ifadeleri bulunur.

Her iki ifadedeki birinci terimler gerilim düşümünden bağımsızdır. Güç kaybının hesaba alınmaması halinde bu eşitlikler sırası ile

$$v_r = \frac{\lambda^2}{l_r c \rho} \Delta V_r \quad (6)$$

$$v_s = \frac{\lambda^2}{l_s c \rho} (\Delta V - \Delta V_r) \quad (7)$$

olarak bulunur.

Şekil-1'deki alçak gerilim şebekesinin toplam iletken hacmi

$$v_{top} = v_r + v_s + v_t \quad (8)$$

şeklinde yazılır ve hangi gerilim düşümünde minimum olduğu kısmi türevle bulunmaya çalışılırsa

$$\frac{\partial v_{top}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\lambda^2}{l_r c \rho} \Delta V_r + \frac{\lambda^2}{l_s c \rho} (\Delta V - \Delta V_r) \right) = 0 \quad (9)$$

şartı elde edilir.

Aynı işlem güç kaybının hesaba alınmadığı bir sistem için yapılırsa (9) no'lu şart tekrar elde edilir.

ifadelerde geçen gerilim düşümü ve Lagrange Çarpanları gibi büyüklükler (9) no'lu şartla beraber her kol için yazılacak gerilim düşümü ifadelerinin oluşturduğu non-linear denklem takımının çözümü ile bulunur.

İki radyal kollu şebeke için geliştirilen eşitlikler, aynı mantıkla çok dallı ve çok düğümlü şebekeler içinde kolayca geliştirilebilir.

Kayıpların hesaba alınması halinde, kayıpların gerilim düşümünün dağılımını nasıl etkilediğini yorumlamak, sayısal bir işlem yapmadıkça zordur. Bu nedenle karşılaştırmayı örnek sitem üzerinde daha sonra yapacağız.

## 2.5-Kayıpların Düşüm Noktaları Arasındaki Kısmi Uzunlukların Belirlenmesindeki Etkisi.

(2) no'lu eşitlikte görüldüğü gibi

kesit hat boyunca değişmektedir, bu yapıdaki bir kabloyu imal etmek hem zor ve pahalıdır, hemde pratik uygulama imkanı yoktur, bunun yerine kabloyu belirli uzunluk ve nom kesitlerde tasarlayarak daha ekonomik sonuçlar elde etmek mümkündür, bu maksatla daha önceki kabuller doğrultusunda Lagrange Çarpınları Metodu kullanılacaktır.

şekil-1'deki şebekenin ana hattının n adet farklı kesit ve uzunlukta olduğu kabulü ile, fiyat fonksiyonu

$$F = \frac{k}{c} \rho l^2 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{q_i} \left[ \frac{l_i^2}{3} + l_i \left( s_{i-1} + \frac{l_i}{l} \right) + \left( s_{i-1} + \frac{l_i}{l} \right)^2 \right] + \sum_{i=1}^n l_i q_i + \lambda \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{q_i} \left( \frac{l_i}{2} + s_{i-1} + iht \right) \quad (10)$$

şeklinde yazılır.

İfadenin hangi uzunluklarda minimum olduğu l'den n'e kadar kısmi türevlerin alınıp, elde edilecek eşitliklerin çözümlenmesi ile

$$l_1 = \frac{-\lambda + \sqrt{\lambda^2 + 4\gamma q_1 q_2}}{2\gamma} - \frac{l}{l} \quad (11)$$

$$l_i = \frac{\sqrt{\lambda^2 + 4\gamma q_i q_{i+1}} - \sqrt{\lambda^2 + 4\gamma q_i q_{i-1}}}{2\gamma} \quad i=2, 3, 4, \dots, n-1$$

$$l_n = b - \frac{-\lambda + \sqrt{\lambda^2 + 4\gamma q_n q_{n-1}}}{2\gamma} + \frac{l}{l}$$

olarak elde edilir.

(11) no'lu ifadelerdeki her uzunluk bir nom keşide karşılık gelmektedir. Kayıpların dikkate alınmaması halinde uzunluklar aynı metotla

$$l_1 = \frac{Q_1 S_1}{\lambda} - \frac{l}{l} \quad (12)$$

$$l_i = \frac{q_i (q_{i+1} - q_{i-1})}{\lambda} \quad i=2, 3, 4, \dots, n-1$$

$$l_n = b - \frac{q_n q_{n-1}}{\lambda} + \frac{l}{l}$$

şeklinde elde edilir.

(11) ve (12) no'lu eşitliklerden görülmüyor ki kısmi hat uzunlukları güç kayıplarının hesaba alınması halinde değişmektedir. Değişimin büyüklüğü yine sayısal bir örnekle gösterilebilir.

Diğer taraftan halen pratik uygulamalarda kesit hat boyunca hesaplanırlardaki kolaylık nedeni ile t ar. an en aynı alınmaktadır.

Halbuki son yıllarda bilgisayar teknolojisinde önemli gelişmeler, çok komplike problemlerin dahi çok daha kısa sürede ve daha az hata ile çözülebilirliğine imkan vermiştir. Dolayısıyla kolaylık nedeniyle göz ardı edilen kayıpların, yeni yöntemlerle hem işletmelere ve hemde ülkeye yük olmaktan çıkarılması gerekir.

## 2.4-Sonuç

bu çalışma bir önceki bölümün sonunda dile getirilen arzuyu gerçeye dönüştürmeye yönelik bir gayrettir.

Yöntemin dezavantajı gibi gözükken birleştirme noktalarının modem dağıtım sistemlerinde hiç bir önemi yoktur, hatta avantaj olarak alınabilir.

Bu şekildeki sistemlerde her birleştirme noktası, satıhta tüketiciler için tesis edilmiş bir dağıtım merkezidir, her türlü birleştirme, arıza tespiti, ölçme ve koruma bu merkezlerde çevreyi bozmadan, trafiği engellemeden yapılır.

Ek'teki örnek sistemin çeritli yöntemlerle boyutlandırılmasından elde edilen sonuçların değerlendirilmesinden görüleceği gibi bu yöntem, güç kayıplarının hesaba alınmadığı;

a-Düğüm noktaları arasında farklı kesitlerde tesis edilmiş sisteme göre güç kaybında o/o 0.4-3, iletken hacminde o/o 0.097 ve toplamda o/o 0.106,

b-Kesitlerin düğüm noktaları arasında aynı alındığı sisteme göre güç kaybında o/o 58.55, iletken hacminde o/o 10.82 ve toplamda o/o 11.6

oranında daha ucuza tesis edilebilmektedir.



DUZGÜN OLMAYAN ALANDA ELEKTROT YÜZEY F'URUZLULUĞUNUN  
HAVANIN DELİNME GERİLİMİNE ETKİSİ

C.Yenidogan, o.Kalenderi i , M.ozkaya

t.T.u. Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Yüksek Gerilim Laboratuvarı, İstanbul

ÖZE!

Bu çalışmada, havada, düzgün olmayan alanda, yüksek basınçta, Çubuk-düzlemlere ve küre-düzlem elektrot sistemlerinde elektrot yüzey pürüzlülüğünün havanın delinme gerilimine (dayanımına) ve korona başlangıç gerilimine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, pürüzsüz durum için de deneysel olarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, genelde elektrot yüzey pürüzlülüğünün havanın delinme dayanımını azalttığını ve bu etkinin elektrot açıklığı arttıkça arttığını göstermiştir. Pürüzlülük etkisinin küre-düzlem elektrot sisteminde ve negatif doğru gerilimde daha belirgin olarak ortaya çıktığı görülmüştür.

1. Giriş

Uygulamalar, basınçlı gazların, yüksek gerilim cihazlarında, elektriksel yalıtımı sağlamak amacıyla kullanıldığında dielektrik dayanımındaki azalmasının göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermiştir. Elektrot yüzeylerindeki pürüzlerin veya yabancı parçacıkların varlığı basınçlı gazların dielektrik dayanımını azaltıcı etkenlerdendir. Elektrik alanındaki bu gibi pürüzler; gaz ortamın iyonizasyon sabitini elektrik alanına bağlı olarak kuvvetli bir şekilde değiştirerek gazların dielektrik dayanımının azalmasında önemli bir rol oynarlar /1-2/.

Yüksek gerilim tekniğinde hava ve diğer gazlar, az veya çok ölçüde yalıtıma katıldıklarından, gazların elektriksel davranışlarının bilinmesi önemli olmaktadır. Düzgün ve düzgün olmayan alanlarda, çeşitli elektrot sistemleri için hava, azot, SF<sub>6</sub> veya karışık gazlar gibi yüksek gerilim sistemlerinde yalıtım amacıyla kullanılan gazların alternatif, doğru ve darbe gerilimlerinde delinme gerilimlerinin ve dayanımlarının elektrot açıklığı, basınç, sıcaklık ve nem gibi değişkenlere bağlı olarak değişimleri çok uzun zamandan beri incelenmektedir /2-3/. Bu incelemelerden topraklı elektrodun yüzey pürüzlülüğünü etken olarak alanların sayısı diğerlerine göre daha azdır. Elektrotlar üzerindeki pürüzler, elektrotların yapımı sırasında veya sonradan örneğin kötü kontak, ark, çarpma gibi çeşitli nedenlerle veya ortam içinde bulunup elektrot yüzeyine konan iletken toz veya parçacıklar sonucu oluşur /4-V/.

Bu çalışmada, havada, düzgün olmayan alanda, yüksek basınçta, topraklı elektrotun yüzey pürüzlülüğünün havanın delinme gerilimine (dayanımına) etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler t.T.u. Fuat Külünk Yüksek Gerilim Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

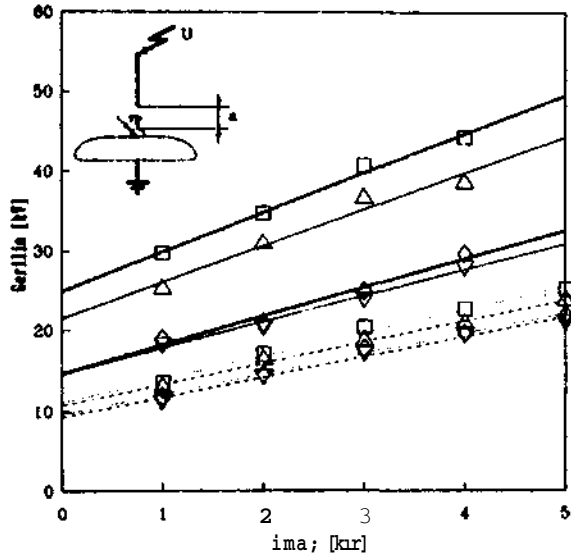
Uygulamada pürüzlü elektrotların etkilerini incelemeye yönelik çalışmalarda doğal veya yapay pürüzlü elektrot sistemleri kullanılır. Bu çalışmadaki incelemeler boyutları belirli yapay pürüzlerle gerçekleştirilmiştir. Yapay pürüzlerin boyutları, üretim sırasında ortaya çıkabilecek pürüzlerle karşılaştırılabilir büyüklüklerde seçilmeyle çalışılır. Deneylerde, gerçekleştirme zorluğu nedeniyle boyutları doğal pürüzlerin boyutlarına göre çok daha büyük olan yapay pürüzler kullanılmak zorunda kalmıştır. Kullanılan yapay pürüzler, gerçekteki durumları tam olarak karakterize edemediği için, bu gibi pürüzlerin kullanıldığı deneylerden elde edilen sonuçların pratik durumda, kullanımları sınırlı olur.

2. Deney Sonuçları

Çalışmamızda çubuk-düzlem ve küre-düzlem elektrot sistemlerinde yapay olarak oluşturulan iletken 2 mm yarıçaplı yarı küresel pürüz, elektrot site-minin alttaki (topraklı) düzlem elektrotunun ortasına yerleştirilerek delinme geriliminin sabit açıklıkta basınç ile değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, pürüzsüz (rp=0) ve yarı küresel pürüzlü (rp=2 mm) elektrot durumları için ayrı ayrı yapılmıştır. Deneyler, 50 Hz alternatif gerilimin yanı sıra pozitif ve negatif doğru gerilimde de yapılarak kutbiyetin delinme gerilimi bakımından önemi araştırılmıştır.

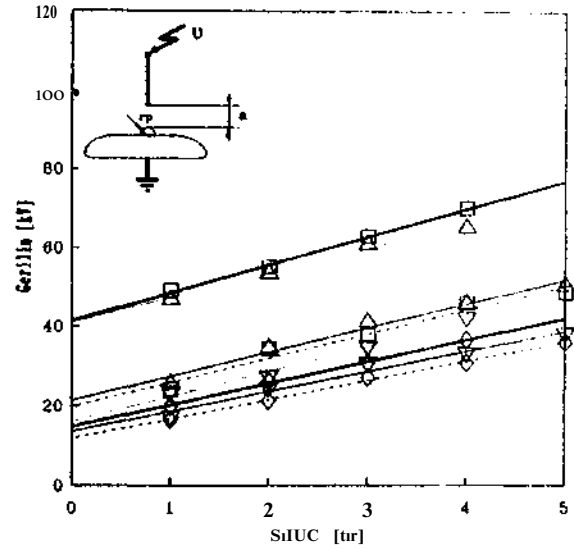
Eğrilik yarıçapları 1 mm olan küre ve Çubuk elektrotlar kullanılarak, delinme ve korona başlangıç gerilimlerinin basınçla değişimi pürüzsüz ve pürüzlü durumlar için ayrı ayrı Şekil 1-Hi 'da verilmiştir.

Düzgün olmayan alanda, 50 Hz alternatif gerilim ve pozitif ve negatif doğru gerilimde a=20 mm :jjbit elektrot açıklığında, (r=1 mm) eğrilik yarıçapı 11 Çubuk-düzlem ve küre-düzlem elektrot sistemleri için delinme gerilimlerinin basınçla doğrusal olarak gösteren karşılaştırmalar Şekil 7 ve Şekil 8 'de verilmiştir. Şekil 1-Hi 'dan görüldüğü gibi



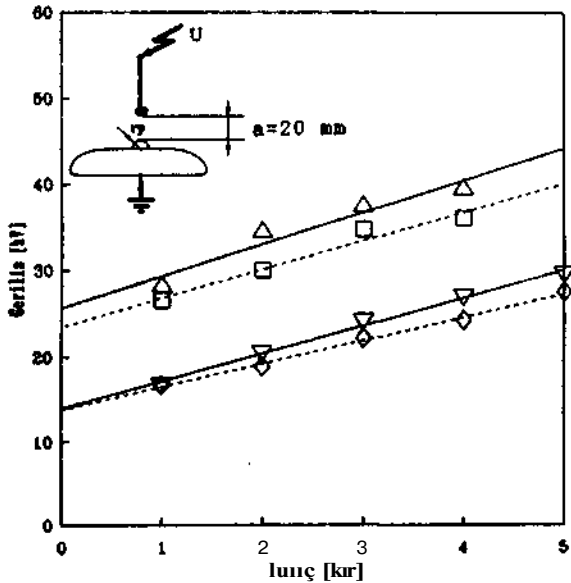
Delim (çerçilli)		Korona Başlangıç Gerilimi (çerçilli)	
a=10 mm	•- rp-0 -V- rp-2	•- rp-0	-V- rp-2
a=20 mm	-B- rp-0 -A- rp-2	-B- rp-0	A- rp-2

Şekil 1. Eğrilik yarıçapı 1 mm olan çubuk - düzlem elektrot sistemi için, pürüzlü ve pürüzsüz elektrot yüzey durumlarında, alternatif gerilimde, delinme ve korona başlangıç gerilimlerinin basınçla değişimi.



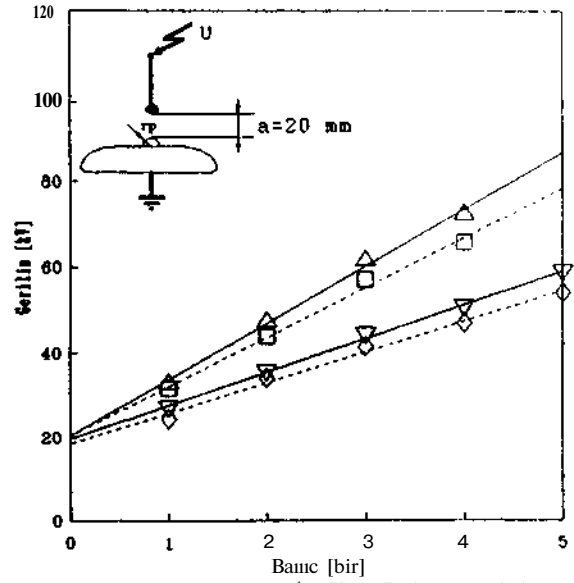
Delim Gerilimi		Korona Başlangıç Gerilimi	
a=10 mm	•- rp-0 -V- rp-2	•- rp-0	-V- rp-2
a=20 mm	-B- rp-0 -A- rp-2	-B- rp-0	A- rp-2

Şekil 3. Eğrilik yarıçapı 1 mm olan çubuk - düzlem elektrot sistemi için, pürüzlü ve pürüzsüz elektrot yüzey durumlarında, pozitif doğru gerilimde, delinme ve korona başlangıç gerilimlerinin basınçla değişimi.



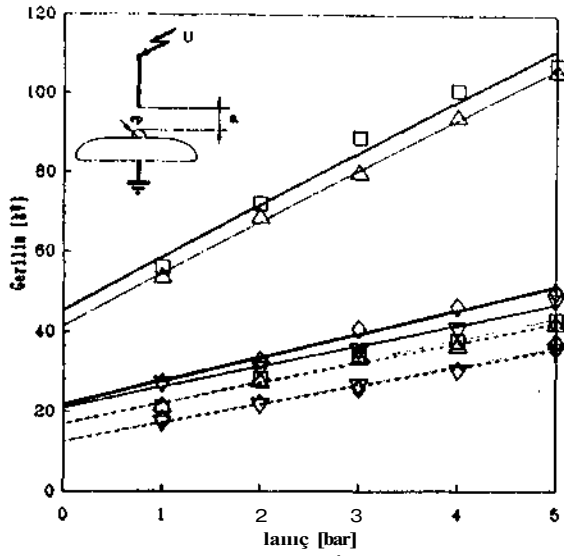
Delim Gerilimi		Korona Başlangıç Gerilimi	
-A- rp-0	•- rp-2 mm	•- rp-0	•- rp-2 mm

Şekil 2. Eğrilik yarıçapı 1 mm olan küre - düzlem elektrot sistemi için, pürüzlü ve pürüzsüz elektrot yüzey durumlarında, alternatif gerilimde, delinme ve korona başlangıç gerilimlerinin basınçla değişimi.



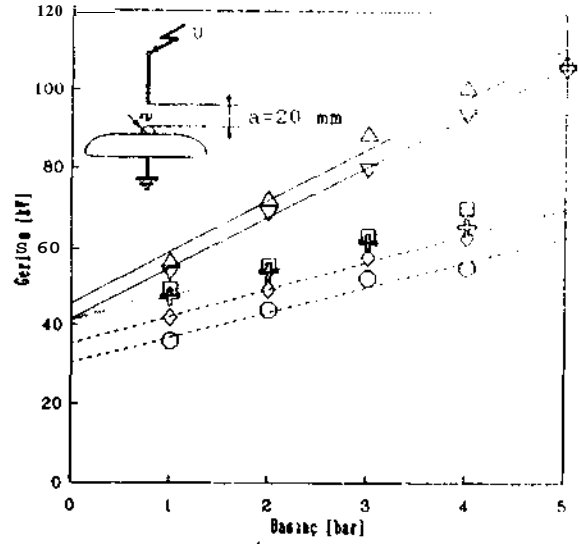
Delim Gerilimi		Korona Başlangıç Gerilimi	
-A- rp-0	•- rp-2 mm	•- rp-0	•- rp-2 mm

Şekil 4. Eğrilik yarıçapı 1 mm olan küre - düzlem elektrot sistemi için, pürüzlü ve pürüzsüz elektrot yüzey durumlarında, pozitif doğru gerilimde, delinme ve korona başlangıç gerilimlerinin basınçla değişimi.



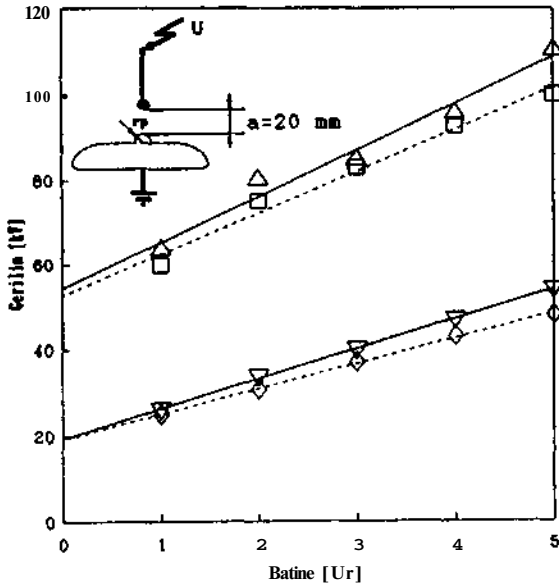
Delinme Seriliği!		Uron Başlangıç Gerilimi!	
a=10 mm	rp=0 "A" rp-2	O rp-0	V rp-2
a=20 mm	rp=0 "A" rp-8	D rp-0	A rp-2

Sekil 5. Eğrilik yarıçapı 1 mm olan Çubuk - düzlem elektrot sistemi için, pürüzlü ve pürüzsüz elektrot yüzey durumlarında, negatif doğru gerilimde, delinme ve korona başlangıç gerilimlerinin basınçla değişimi.



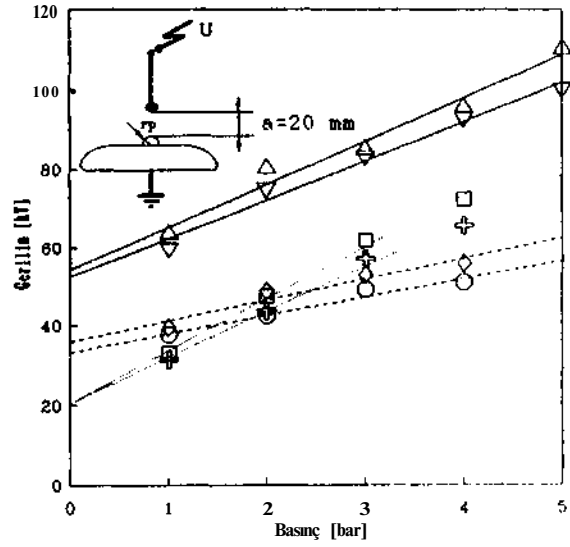
Delinme Gerilimi		Korona Başlangıç Gerilimi	
-DG	+DG	-DG	+DG
AG	AG	AG	AG

Sekil 6. Eğrilik yarıçapı 1 mm olan çubuk - düzlem elektrot sistemi için, alternatif ve doğru gerilimde, pürüzlü ( $r_p=2$  mm) ve pürüzsüz ( $r_p=0$ ) elektrot yüzey durumlarında delinme gerilimlerinin basınç ile değişimlerinin karşılaştırılması.



Delinme Seriliği!		Korona Başlangıç Gerilimi!	
-A- rp-0	"D- rp-2 mm	"A" rp-0	"V" rp-2 mm

Sekil 7. Eğrilik yarıçapı 1 mm olan küre - düzlem elektrot sistemi için, pürüzlü ve pürüzsüz elektrot yüzey durumlarında, negatif doğru gerilimde, delinme ve korona başlangıç gerilimlerinin basınçla değişimi.



Delinme Gerilimi		Korona Başlangıç Gerilimi!	
-A- -DG	G +DG	-O	AG
-DG	"8- +DG	O	AG

Sekil 8. Eğrilik yarıçapı 1 mm olan küre - düzlem elektrot sistemi için, alternatif ve doğru gerilimde, pürüzlü ( $r_p=2$  mm) ve pürüzsüz ( $r_p=0$ ) elektrot yüzey durumlarında delinme gerilimlerinin basınç ile değişimlerinin karşılaştırılması.



pürüzün varlığı korona başlangıç gerilimini çok değiştirmemiştir. Bu yüzden düzgün olmayan alan için yapılan karşılaştırmalarda korona başlangıç geriliminin basınçla değişimleri verilmeyip yalnızca delinme gerilimlerinin basınçla değişimleri verilmiştir.

Düzgün olmayan alanda negatif doğru gerilimdeki delinme gerilimleri, pozitif doğru ve alternatif gerilimdekilerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Pozitif doğru gerilimdeki ile alternatif gerilimdeki delinme gerilimi değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu ancak basınç arttıkça bu yakınlığın bozulmaya başladığı görülmüştür.

### 3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elektrot yüzey pürüzlerinin delinme öncesinde dikkate değer bir akıma sebep olduğu bilinmektedir. Bu damanın uzay yüklerinin oluşumuna yol açarak elektrotlar arasındaki havanın iyonizasyonuna ve boşalmanın yolunu etkileyerek daha küçük gerilimlerde delinme oluşmasına yol açtığı kabul edilebilir.

50 Hz Alternatif gerilimde elektrot yüzey pürüzlülüğü varlığının delinme geriliminin basınçla değişimi üzerine azaltıcı etkisi olduğu, bu etkinin basınç ve elektrot açıklığı arttıkça belirginleştiği ancak çalışılan basınç aralığında pürüzün etkisinin fazla olmadığı görülmüştür. Doğru gerilimde de alternatif gerilim durumunda gözlemlenen etki ve değişimler izlenmiştir. Bu durumda negatif doğru gerilimdeki delinme gerilimleri değerlerinin pozitif doğru gerilimdekilere göre daha yüksek ölçülmüş olması, kutbiyet etkisinin gözardı edilemeyeceğini göstermiştir. Gerek alternatif gerekse doğru gerilimde delinme geriliminin 0-5 bar basınç aralığında lineer bir değişim gösterdiği görülmüştür.

Düzgün olmayan alanda, alternatif ve doğru gerilimde, topraklı elektrot yüzey pürüzlülüğünün delinme ve korona başlangıç gerilimleri üzerine olan etkilerinin incelenmeye çalışıldığı bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- 1) Topraklı elektrot yüzey pürüzlülüğü elektrot sistemin delinme dayanımını düşürmektedir.
- 2) Havanın delinme dayanımı üzerine pürüzlülüğün etkisi basınç ve elektrot açıklığı arttıkça artmaktadır.
- 3) Negatif doğru gerilim durumunda delinme gerilimi değerlerinin alternatif ve pozitif doğru gerilim değerlerinden yüksek ölçülmüş olması kutbiyet etkisinin gözardı edilemeyeceğini göstermektedir.

- 4) Gerek alternatif gerekse doğru gerilimde delinme geriliminin, 20 mu elektrot açıklığı için, 0-5 bar basınç aralığında basınç ile lineer bir değişim gösterdiği görülmüştür. Beklendiği gibi delinme gerilimi basınç veyj oloktrot açıklığı arttıkça artmakta, azaldıkça azalmaktadır.

Deneyssel olarak hava için yapılan bu çalışssa topraklı elektrot üzerindeki yüzey pürüzlerinin etkilerinin gözardı edilmemesi gerektiğini göstermiştir. Uygulamada karşılaşılan elektrot sistemleri, gaz veya gaz karışımları ve gerilim türleri Kın çalışmaların sürdürülmesi, güvenilir ve ekonomik düzenler elde edilmesi bakımından yararlı bilgiler sağlayacaktır.

### Kaynaklar

- /1/ McALLISTER, I.W., On The Concept of Electrode Surface Roughness With Reference to Discharge Phenomena in Strongly Electronegative Gases, IEEE Trans. Electrical Insulation, Vol. EI-21, No.4, Aug. 1986, pp. 659-661.
- /2/ PEDERSEN, A., The Effect of Surface Roughness on Breakdown in SF<sub>6</sub>, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-94, No.5, Sept./Oct. 1975 pp.1749-1753.
- /3/ BERGER, S., Onset of Breakdown Voltage Reduction by Surface Roughness in Air and SF<sub>6</sub>. IEEE Trans. PAS, Vol.95, No.4, 1976, pp.1073-1079.
- /4/ PEDERSEN, A., On the Electrical Breakdown of Caseous Dielectrics, IEEE Trans. Electrical Insulation Vol. 24, No. 5, October 1989, pp. 721-739.
- /5/ KIND, D., An Introduction to High Voltage Experimental Technique, Vieweg, 1978.
- /6/ KIND, D., KARNER, H., High Voltage Insulation Technology, Friedr.Vieweg and Sohn, Braunschweig, 1985.
- /1/ GALUGHER, T.J., PEARMAIN.A.J., High Voltage Measurement Testing and Desing, John Hiley and Sons, Chichester, 1984.