

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 14. 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, işaret işleme, Biomedikal ve Enstrümantasyon, Elektromagnetik Alanlar, Mikrodalga ve Antenler ile Eğitim konuları ise ikinci ciltte yer almıştır.

İlk duyurularını bir yıl önce yaptığımız kongremize 299 adet bildiri öseti 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 amacı ile ilk kes oluşturulan Kongre Danışma Kurulunda, EMO ve üniversitelerin temsilcilerinin yanısıra 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 amacı ile 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 Bilim 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

DÜZENLEYEN KURULUŞLAR

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

YÜRÜTME KURULU

Köral 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 İzmir Şubesi)
Mehmet KUNTALP	(Araş. Gör. - DEÜ)

DANIŞMA KURULU

Ufuk ATAÇ	(EMO)	Atilla OKYAR	(VESTEL)
İbrahim ATALI	(EMO-ADANA)	Vuslat OZTOPÇU	(TRT)
Emir BİRC.ÜL	(EMO-BURSA)	Serhat ÖZYAR	(EMO-ANKARA)
Yurdakul CEYHUN	(TELETAŞ)	Muharrem SAYIN	(M.G.)
Sıtkı ÇİĞDEM	(EMO-İSTANBUL)	Hasan S. SIŞIKO3LU	(PTT)
Orhan ERYOL	(PTT)	Necini UYAR	(ETİ TAŞ)
Aykut GÜSAR	(SIMKO)	Cengiz ÜNDEYOGLO	(TEK)
Cihan İLKER	(ASELSAN)	Turhan TUNALI	(EÜ)
Aydın KAYACIK	(ALPET)		

BİLİM KURULU

Abdullah ATALAR	(Prof.Dr.-BİLKENT)	Erol KOCAOĞLAH	(Prof.Dr.-ODTÜ)
Süha BAYINDIR	(Doç.Dr.-DEÜ)	Tarık ORANÇ	(Y.Doç.Dr.-DEÜ)
Atilla BİR	(Prof.Dr.-İTÜ)	Emrah ORHON	(Prof.Dr.-EÜ)
Yurdakul CEYHUN	(TELETAŞ)	Kadri OZÇALDIRAN	(Doç.Dr.-EÜ)
İlhami ÇETİN	(Prof.Dr.-İTÜ)	Kemal ÖZMEHMET	(Prof.Dr.-DEÜ)
Muammer ERMiŞ	(Doç.Dr.-ODTÜ)	Osman SEVAIOGLU	(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 ÜÇTÜS	(Doç.Br.-ODTÜ)
Emre HARMANCI	(Prof.Dr.-İTÜ)	Zafer ÜNVER	(Prof.Dr.-ODTÜ)
Altınkan HIZAL	(Prof.Dr.-ODTÜ)	Birgül YAZGAN	(Prof.Dr.-İTO)
Mithat. İ DEMEN	(Prof.Dr.-TÜBİTAK)	Erdem YAZGAN	(Prof.Dr.-liü)
Ösca KALENDERLİ	(Y.Doç.Dr.-İTÜ)	Melek YÜCEL	(Doç.Dr.-ODT-J)
Haldun KARACA	(Y.Doç.Dr.-DEÜ)	Nusret YÜKSELER	(Prof. İ. İ. Tu;

SOSYAL KURUL

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

Not: Danışma Kurulu ve Bilim Kurulu alfabetik olarak dizilmiştir.

Burada,

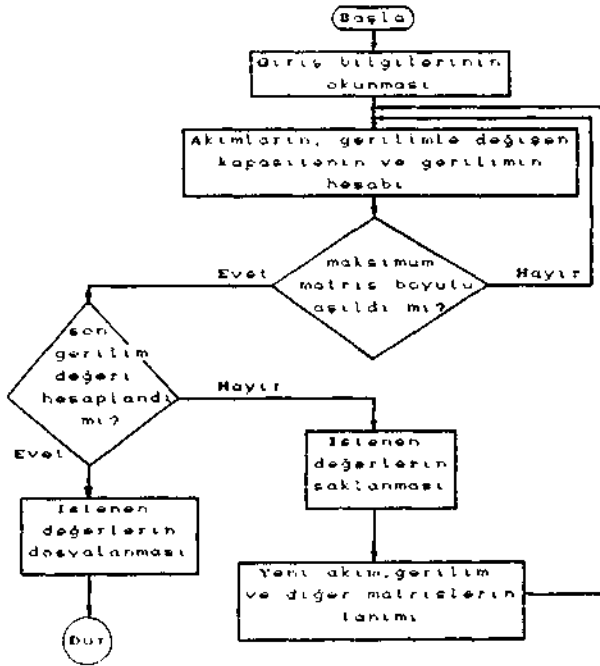
$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{2h}} \cdot 10^{-11} \cdot (F \cdot \pi) \cdot (1,1) \quad (12)$$

dir. Bu bağlantıyı hesabi Kaynak/1.1'de verilmiştir.

Bir q u eğrisini tanımlayan beş büyüklük m_1, s_{c1} i veya k, i, m_2, e_z (veya k_i ve V_x dir. Bu büyüklükler, hesaplanan dalga tekli düzeyrel olarak ölçülenlere benzeyene kadar d-KIT'tiri l'rr-ik istenen sonuca uiasilabiiir.

4. Sayısal Uygulamalar

Bağıntıları 3. Bölümde verilen yöntemle uygun olarak hasırlanan ve akl.; diyagramı Seki 1-3 de gösterilen bir bilgisayar programında, ikili demet iletkenli bir hat için, esdefer hat yarıçapı $r=1,265$ cm, hat yüksekliği $h=14$ m, hattın fcoronasia durum-daki karakteristik empeclans $Z = 316$ ohm, hattaki yürüyen dalga hızı $c=300$ m/Js ve korona başlangıç gerilimi $J_0=421$ kV alınmıştır. Q-U eğrisi için $s_{c1}=25$, $i_1=-2$, $6_{c2}=15$, $m_2=2,1$ ve $U_x=3\&0$ kV defterleri kullan ilmi et ir.



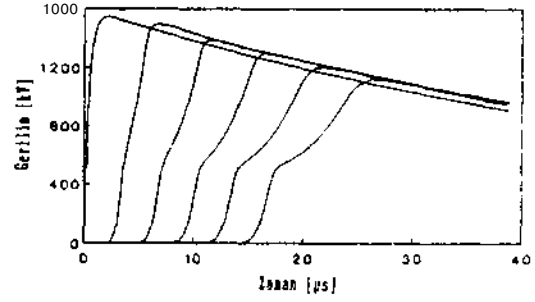
Şekil-3- Akış diyagramı

İncelemede hattın başından

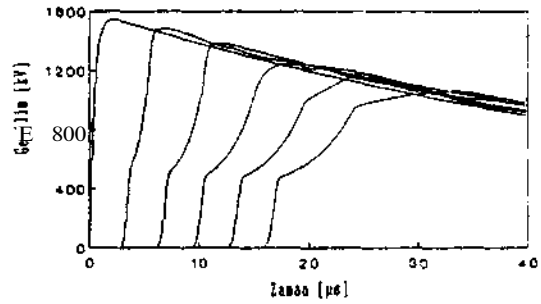
$$U(t) = 1600 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-1,50 \cdot 10^{-5} \cdot t} - 1,50 \cdot 10^{-5} \cdot t \quad (13)$$

2-kilind" bir standart clırhe ...riiüm ...
...landii ve hattın ...
...lduğu kabul rdilRie.tr

Bu verilerle, uygulama ...larık s knı U:-l:l:l:ı Sunda ikili demet iletkenli bit' hat ...
giride Ax=36,26 m ve At, U.IIS ur. ...
kil-4'te verileri değişimler ve Ax-141 m ve
At=0,2 (JS alarak Şekil-b de verile-ü de;;i
simler elde edilmiştir. l'okil-1 ve ...
deki dalga Şekilleri, yürüyen dallanıl, rv?
boyunca birer kilometr'-lik aral ,tl.'ir'.ı
f isimlerini göctermoktedir.

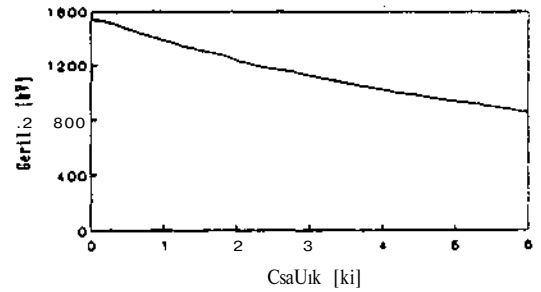


Şekil-4



SekiJ-5

Şekil-6'da da 8 km'lik örnek hatta Seki 1-4 teki dalgaların tepe değerlerinin hat. boyunca değişimi verilmiştir. Şekil-6 dan yürüyen dalganın hat boyunca genlii; indeki azalma belirgin olarak görölmektedir'.



Şekil-6

Elde edilen dalga şekillerinin gerçek dalga şekillerine benzerlimi literatürde verilen deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak görülebilir. Ancak hesaplardaki uyum, lineerleştirme için alınan fonksiyon sayısı ile arttırılabilir. q-u eğrisini tanımlayan büyüklükler yanında, hesapları etkileyen diğer büyüklükler de Benlik hat parçası uzunluğu (Ax) ve t/dx ...ramdır. Şekil-4 ve 5 te bu durum gözlenmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, yüksek «erilim hatlarında koronanın yürüyen dalgalara etkisini görebilmek ve hesaplayabilmek için, q-u eğrisinde $Qq/1^u$ eğimine bağlı olarak lineer olmayan dalga denklemlerinin sonlu farklar yöntemine göre hesabı ve çözümü açıklanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan, koronanın, yürüyen dalgaların genliğindeki azalmaya, cephesindeki yatıklaşmaya ve şeklindeki bozulmaya yol açtığı görülmektedir. Açıklanan yöntemle yapılan bilgisayar çalışmalarında, hattın sonlu küçük parçacıklara bölünerek incelenmesi hesap doğruluğunu ve hesap süresini etkilemektedir. q-u eğrisinin lineerleştirilmesinde kullanılan fonksiyon sayısı, dalganın cephesini; At/Ax oranı da dalganın genliğini etkiler.

Kaynaklar

/1/ Inoue.A., Propagation analyseis of Overvoltages Surgee With Corona Baeed Upon Charge Vereue Voltage Curve, IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-104, No.3, March 1985, pp.655-660.

/2/ Gary.C.,Dragan.G..Criteecu.D., Attenuation of Traveiling Wave6 C&ueed By Corona, CIGRE, International Corif erence on Large High Voltage Electric Syeteme, btudy Committe no.33, Report 13, Vol.II, 1S73, pp.1-3S.

/3/ Harrington, R. J. , Afgahani, M. , Implementation of a Computer Model to Include the Effecte of Corona in Tran6ient Overvoltage Calculation, IEEE Trans. on PAS, Voi. PAS-1.02, No.4, April 1983. pp.302-910.

/4/ S.Tily-n.A. Gang , H. W. , Corona Modeling filr the Calcu. :it:cn of Transients on Transmission Lines, TEEE Trans. on Power Delivery, Voi. PWRD-1, No.3, July 1986, pp.223-239.

/5/ Li,X. .Malik,O.P,Zhao.Z. , A Practical Mathematical Model of Corona for Calculation of Transients on Transmission Lines, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-4, No.2, April 1989, pp.1145-1152.

/6/ Skilling.H.H., Dykes, P.de K., Distort lon of Traveiling Waves by Cor... Trans. of AIEE. Voi.56, .July 1937. Pp.S50-8',7

/7/ Lee, K. C. , Nonlinear Corona Model: An Electromagnetic Trina i e... (EMTPi . IEEE Trans on PAS, Vo ! . PA:; : No.4, Sept 19S.?. pp.:936-2941.

/8/ Ovick, N.L.Kusic.Ü.L. , Incitulin,, C. Effecte for Ti-avelling Waves on Transmission L^nes, IEEE Trans. on PAS, Vol.PAS-103, No.12, Dec.1984, pp.3643-3650.

eşitliği de dikkate alınarak (10) ve (16) eşitliklerinden, korona kolunun akım ve gerilimi arasında

$$o(t) = c^-(t) = R_m \cdot i_k(t) + V_{ko} \quad (20)$$

lineer bağıntı161 çıkarılır. Burada

$$R = (R_F) / (R_+ + R_-) \quad (21)$$

$$V_{ko} = (R_c V_{ko} + R_r V_{co}) / (R_c + R_r) \quad (22)$$

dir.

Ergerson çözümüne ilişkin (7) eşitliği ile korona koluna ilişkin (20) eşitliği birleştirilerek, m noktasındaki gerilim ve akımlar

$$c_m(t) = \frac{R_m}{Z + 2R_m} \frac{A(t-r) - 2V_{ko}}{Z + 2R_m} + V_{ko} \quad (23)$$

$$i_k^*(t) = \frac{A(t-T) - 2V_{ko}}{Z + 2R_m} \quad (24)$$

ve (4), (6), (9) ve (19) eşitliklerinden hesaplanır.

5. SAYISAL ÖRNEKLER

4. Bölümde matematiksel bağıntıları verilen yöntem programlanarak, yarıçapı $r=1,265$ cm, yerden yüksekliği $h=22.2$ m olan 2400 m uzunluklu hat örneği için bazı deneyler yapılmıştır. Hattın dalga empedansı $Z=375$ ohm, hat üzerindeki yürüyen dalga hızı $c=300$ m/ps, korona başlangıç gerilimi $V=303$ kV ve korona parametreleri olarak $\epsilon = 30$ F/m, $\sigma_r = 2.1 \cdot 10^{-10}$ mho/m alınmıştır.

Simülasyonda hattın sonu kadevreye edilmiş ve hat başına

$$U(t) = 1600 \cdot (e^{-1/68.5} - e^{-1/0.4}), \quad t[\text{Ms}] \quad (25)$$

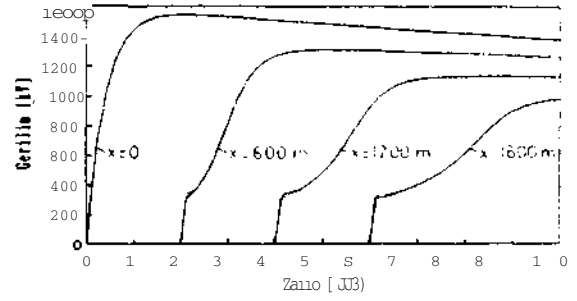
şeklinde 1,2/50 μ s'lik Standart Darbe Gerilimi uygulanmıştır. Tüm simülasyonlarda ve hat başından $x=600-1200-1800$ m uzaklıklardaki gerilimler Şekil-3'de verilmiştir. Görüldüğü gibi sonuçlar arasında belirgin bir farklılık yoktur.

Zaman adımı,

$$\Delta t = T/2 = \Delta x / 2c \quad (26)$$

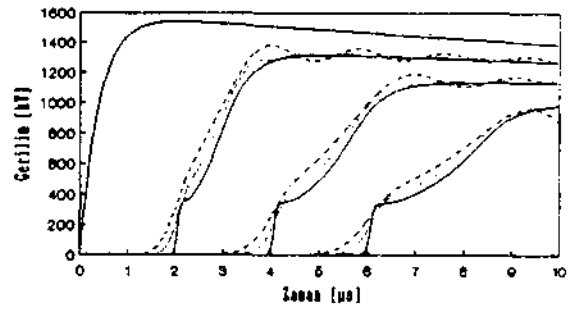
olarak seçilmiştir.

İlk olarak $\Delta x=6$ m seçilerek, yürüyen dalga denklemleri Sonlu Farklar Yöntemiyle ve önerilen yöntemle çözülmüştür. Hat başında

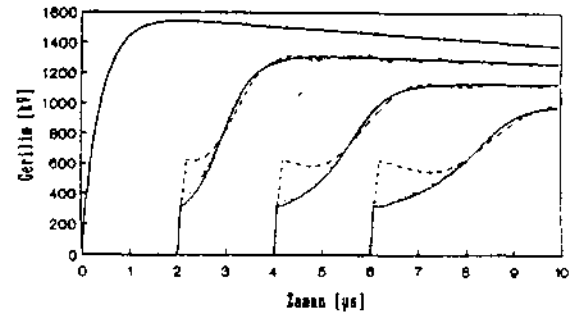


Şekil 3-. $\Delta x=6$ m değeri için örnek hattın çeşitli noktalarındaki gerilimler Sonlu Farklar Yöntemi - önerilen Yöntem

İkinci olarak yine aynı yöntemlerle $\Delta x=12-30-60-120$ m değerleri için dalga denklemleri çözülmüş ve sonuçlar Şekil-4 ve Şekil-5'de verilmiştir.



Şekil-4. Farklı Δx değerleri için örnek hattın çeşitli noktalarındaki gerilimler (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
— $\Delta x=6$ m
--- $\Delta x=60$ m
... $\Delta x=120$ m
- . - $\Delta x=180$ m



Şekil-5. Farklı Δx değerleri için örnek hattın çeşitli noktalarındaki gerilimler (önerilen Yöntem)
— $\Delta x=6$ m
--- $\Delta x=60$ m
... $\Delta x=120$ m
- . - $\Delta x=180$ m

**KÜÇÜK BOZUCU ETKİLERE KARŞI GÜÇ SİSTEMLERİNİN
DİNAMİK DAVRANIŞI, KİSİM 1 - MATEMATİKSEL MODEL.**

T. Asan . E. Tacer

**1. T. U. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü. İstanbul**

ÖZET

Bir enterkonnekte güç sisteminin küçük bozucu etkilere karşı dinamik davranışı, temel altsistem modellerinin kullanımıyla incelenmektedir. Küçük bozucu etkiler altında kararlılık incelemeleri için altsistemleri tanımlayan diferansiyel ve cebrik denklem takımlarının lineerleştirilmiş modellerine gerek duyulur. Bu çalışmada, güç sistemini oluşturan altsistemlerin bir çalışma noktası civarında lineerleştirilmesi ile elde edilmiş modellerden yola çıkılarak bütün güç sisteminin durum uzayı formundaki matematiksel modeli elde edilmiştir. Ayrıca sonsuz baraya bağlı bir buhar istasyonunun elektromekanik gösterilimi, yöntemi örneklemesi bakımından sunulmuştur.

1.Giriş

tki kısımda düşünülen çalışmada amaç, küçük bozucu etkilere karşı güç sisteminin dinamik davranışlarını incelemektir. Matematiksel modellerin belirlendiği birinci kısımda, buhar ve su türbinleri, mekanik regülatörler, senkron generatörler, gerilim regülatörleri ve uyarma sistemlerinden oluşan sistemin lineer matematiksel modelleri elde edilmiştir.

Bir güç sisteminin temel olarak mekanik ve elektriksel altsistemlerden oluştuğu bilinmektedir.

y_i : i. altsistemin durum değişkenleri

u_i : i. altsistemin giriş değişkenleri

x_i : i. altsistemin çıkış değişkenleri

f_j, g_j : zamanla değişen lineer olmayan fonksiyonları göstermeleri halinde i. altsisteme ilişkin matematiksel modeli durum uzayında,

$$\dot{x}_i = f_i(x_i, u_i, t) \quad (D)$$

$$y_i = g_i(x_i, u_i, t)$$

C:>

şeklinde kurmak mümkündür /1/. Bu altsistemler arasındaki etkileşimler ise,

$$U = FY + GV \quad (1?)$$

$$W = JY + KV \quad (4)$$

ile modellenir /2/. Öyleki burada;

0: u_i 'lerin oluşturduğu vektör

Y: y_i 'lerin oluşturduğu vektör

V: tüm sistemin giriş değişkenleri vektörü
W: tüm sistemin çıkış değişkenleri vektörü
F, G, J, K: zamanla değişen etkileşim matrisleridir.

Belli bir çalışma noktası etrafında lineerleştirme yapıldıktan sonra durum uzayında tüm sistemin matematiksel modeli özerk bir sistemle

$$\dot{X} = AX \quad (5)$$

şeklinde modellenir. Burada,

X: özerk sistemin durum değişkenleri vektörü

A: tüm sistemin katsayı matrisidir. (5) eşitliği ile verilen sistemin çözümü yapıldığında,

$$X = C_1 M_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 M_2 e^{\lambda_2 t} + \dots + C_n M_n e^{\lambda_n t} \quad (6)$$

Burada,

λ_i : A matrisinin özdeğerleri

M_i : A matrisinin özvektörleri

C_i : başlangıç koşullarından elde edilen

sabitleri gösterir /3/. Böylece (b) eşitliğindeki A matrisinin özdeğerleri belirlenerek sistemin kararlılık analizi yapılabilir. Dinamik kararlılığın iyileştirilmesi ise özdeğer duyarlılığı ve lineer programlama teknikleri ile gerçekleştirilebilir.

2. Toplam Sistem Modelinin Oluşturulması

Altsistemlerin matematiksel modellerinin elde edilmesinde IEEE'nin oluşturduğu komisyonca hazırlanan modeller kullanılmıştır /4/, /5/. Bu modellerden hareketle her bir altBistem için;

$$\dot{X} = AX + BU \quad (V)$$

sekindeki durum uzayı matematiksel modellerini elde etmek için A ve B matrislerinin oluşturulmasında uygulanacak yöntem aşağıda verilmiştir /1/, /3/.

1. Her transfer fonksiyonuna eşdeğer temel blokların serileri olarak yer verilir (toplama, sabitle çarpma, türev ve integral blokları).

2. Durum, giriş ve çıkış değişkenleri tanımlanır.

a. Durum değişkenleri (integral blokların çıkışları).

b. Giriş değişkenleri.

c. Türev alıcı blokların girişleri (elimine edilen değişkenler).

d. Cebrik blokların çıkışları (elimine edilen değişkenler).

3. Tanınarak isimlendirilen bloklara ait eşitlikler matris formunda yazılarak genişletilmiş bir katsayı matrisi elde edilir.

4. Cebrik blokların çıkışlarına ait değişkenler elimine edilir. Elimine edilecek eşitliklerin sol yanları sıfır yapılmalıdır.

5. Türev alıcı blokların çıkışlarına ait değişkenlerin eliminasyonu için durum değişkenlerini ortaya çıkaran sol yanları aynı eşitlikler indirgenir.

6. 5. adımdan sonra 4. adımda izlenen aynı yolla türev alıcı blokların çıkışlarına alt değişkenler elimine edilir. Böylece katsayı matrisleri bulunmuş olur. Buradan yola çıkılarak birçok altsistem ve çok sayıda makineyi içeren enterkonnekte sistemde her bir altsistemin dinamiği aşağıdaki matematiksel modelle elde edilir.

$$\dot{x}_i = A_i x_i + B_i u_i \quad (8)$$

$$y_i = C_i x_i + D_i u_i \quad i=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Altsistemler arasındaki etkileşim işe,

$$\{u_1, u_2, \dots, u_n\}^T = F \cdot \{y_1, y_2, \dots, y_n\}^T + G \cdot V \quad (10)$$

olarak ifade edilir /2/, (9) eşitliğindeki her bir altsistemin çıkışları (10) eşitliğinde yerlerine konularak,

$$0 = (FC)X + (FD-I)\dot{U} + GV \quad (11)$$

ifadesi elde edilir /1/. Bu eşitliklerde kullanılan değişkenler aşağıda tanımlanmıştır.

X_i : i. alt.6istemin durum değişkenleri,

V : i. alt6istemin giriş değişkenleri,

$\dot{Y}$: i. altsistemin çıkış değişkenleri,

X : toplam sistemin durum değişkenleri,

U : toplam sistemin giriş değişkenleri,

V : toplam sistemin çıkış değişkenleri,

I : birim matris.

(8) ve (11) eşitlikleri matris formunda düzenlenerek toplam 6istemin modeli verilir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \vdots \\ \dot{x}_n \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & & & & & \\ & A_2 & & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & A_n & & \\ \hline & & & & [FC] & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \\ u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \\ V \end{bmatrix} \quad (12)$$

Bu eşitliğin genel şekli (13) eşitliğinde gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & 0 \\ \hline FC & [FD-I] & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ U \\ V \end{bmatrix} \quad (13)$$

U değişkenlerine ait sol yanların sıfır olmasıyla gerekli eşitlikler elimine edilerek,

$$\dot{X} = [A - B(FD-I)^{-1}FC]X + [-B(FD-I)^{-1}G]V \quad (14)$$

veya

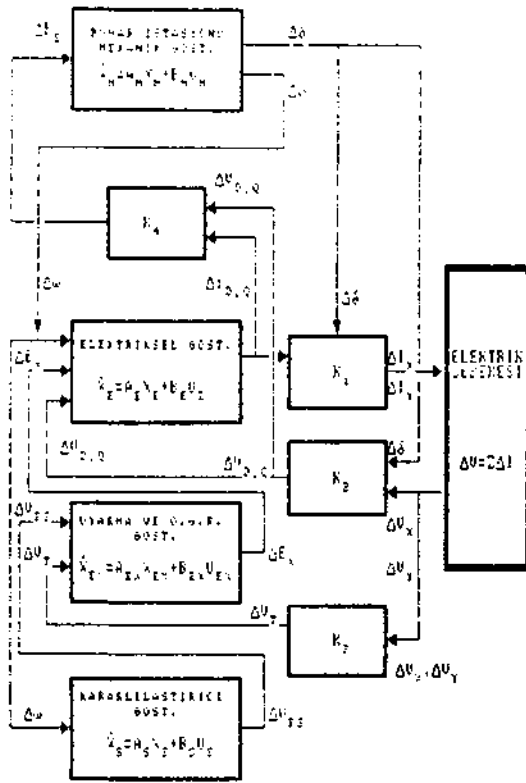
$$\dot{X} = AX + BV \quad (15)$$

sistem gösterilimi elde edilir /1/.

3. Örnek Bir Sistem: Sonsuz Baraya Bağlı Bir Buhar Santralinin Elektromekanik Gösterilimi

Şekil-1'de bir iletim sistemi ile sonsuz baraya bağlı bulunan buhar istasyonunun dinamik gösterilimi verilmiştir. Bu sistemin için aşağıdaki varsayımlar gösönüne alınmıştır.

1. Buhar istasyonu, tandem, ön ısıtmasız buhar güç santralidir /4/.



Sekil-1. Sonsuz baraya bağlı buhar istasyonunun dinamik gösterilimi.

2. Senkron generatör dinamik modeli, beşinci dereceden modeldir /1/.
3. Senkron makinanın uyarma düzeni ve otomatik gerilim regülatörü 1. tiptendir. /5/.
4. Uyarma düzeni güç kararlılaştırıcı devre içermektedir /5/.
5. Transformatörü de içeren iletim Bi6temi bara empedans matrisi yoluyla gösterilmektedir /1/.

Aşağıdaki eşitliklerde, lineerleştirmeden sonra elde edilen K matrisleri ($K^{1 \times 1} K_{s1}$

K_4) verilmektedir //.

$$\begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin 5 & \cos 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta I_x \\ \Delta I_y \end{bmatrix} = K_1 \cdot \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_q \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$K_1 = \begin{bmatrix} \sin 5 & \cos 5 \\ -\cos 5 & \sin 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta V_x \\ \Delta V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & -X \\ X & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta I_x \\ \Delta I_y \end{bmatrix} = Z \begin{bmatrix} \Delta I_x \\ \Delta I_y \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta V_d \\ \Delta V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \sin 5 & -\cos 5 \\ \cos 5 & T \sin 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_x \\ \Delta V_y \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta V_d \\ \Delta V_q \end{bmatrix} = K_2 \begin{bmatrix} \Delta V_x \\ \Delta V_y \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$V = \begin{bmatrix} \sin 5 & -\cos 5 \\ \cos 5 & T \sin 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \cos 5 + V_y \sin 5 \\ V_x \sin 5 - V_y \cos 5 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2 \quad (23)$$

$$\Delta V = \begin{bmatrix} V_x \cos 5 + V_y \sin 5 \\ V_x \sin 5 - V_y \cos 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_x \\ \Delta V_y \end{bmatrix} = K_3 \Delta V \quad (24)$$

$$P_e = V_d i_q + V_q i_d + r_a (i_d^2 + i_q^2) \quad (25)$$

$$K_4 = \begin{bmatrix} (2r_a i_d + V_d) & (2r_a i_q + V_q) \\ i_d & i_q \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$A^P e = K_4 \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_q \\ \Delta V_d \\ \Delta V_q \end{bmatrix} \quad (27)$$

Bu sistem için durum uzayı formunda elde edilen matematiksel modelde durum ve giriş değişkenleri,

$$X^T = [A_6, A_0, A_P, m^{AP}, V^{AI}, d^{AI}, q^{AI}, t^{AI}, k_d^{AI}, k_q^{AI}, AV^-, AV_a, AV_b, AV_r, AV_l, AV_2, AV_{psj}] \quad (28)$$

$$U^T = [A_l^{AI}, A_y^{AI}, AV_x, AV_y, AV_d, AV_q, AV_t, A_p^e, AV_{3j}] \quad (29)$$

olarak ortaya çıkmaktadır //.

4.Sonuç

Bu çalışmada, modern enterkonnekte güç sistemlerini oluşturan temel alteistemler ve bunların her biri için bir çalışma noktası etrafında lineerleştirilmiş matematiksel modellerden hareketle, dinamik davranışlarının incelenebilmesi için durum uzayı modelleri oluşturulmuştur. Durum uzayı formunda ortaya çıkan katsayı matrisleri A ve B'nin elde edilme yöntemi verilmiştir. Tüm enterkonnekte güç sisteminin matematiksel modelinin durum uzayı formunda elde edilmesi, kararlılık analizleri ve kararlılığın iyileştirilmesi konularında kolaylık sağlayan temel adımlardan biri olarak öngörülmüştür.

Bildirinin ikinci kısmında, bu matematiksel modelden hareketle kararlılık incelemelerinin nasıl yapılacağı sunulmaktadır.

Kaynaklar

- /1/ Aşan, T., Küçük Bozucu Etkiler Altında Güç Sistemlerinin Dinamik Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, t.T.t). Eylül, 1990.
- /2/ Stagg, G., El-Abiad, A.H., Computer Methode in Power System Analysis, McGraw-Hill, New York, 1968.
- /3/ Deruaso, P.M., Roy, E.J., Close, C.M., State Variables for Englneers, John Hiley and Sone Inc., NAH York, 1965.
- /4/ IEEE Comaittee Report, Dynamlc Modele for Steaa and Hydro-Turbinee, IEEE Trans.on PÖwer Apparatus on Systems, Vol.PAS-92, No.6, NoHenber/December, pp.1904-1915, 1973.
- /5/ IEEE CoBBitte* Report, Computer Representation of Excitation Systeeas, IEEE Trane.on Power Apparatus on Systems, Vol.PAS-87, No.6, June, p.1460-1464, 1968.

KUCUK BOZUCU ETKİLERE KARSI GUC SİSTEMLERİNİN
DİNAMİK DAVRANIŞI, KISIM 2 - KARARLILIK ANALİZİ

F. Tacer , T. Açıan

I. T. U. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, birinci kısımda geliştirilen matematiksel modellerden yola çıkılarak enerji sisteminin dinamik kararlılığı incelenmiştir. inceleme, tüm enerji sistemi için elde edilerek durum uzayı matematiksel modeli olan $\dot{X}=AX+Bu$ matris gösterilimindeki A matrisinin özdeğerleri belirlenerek yapılmıştır. Dinamik kararlılık incelemesinden sonra özdeğer duyarlılığı ve lineer programlama ile belirlenen sistem parametrelerinde yapılacak değişikliklerle safi yarı düzlemdeki özdeğerler, sol yarı düzleme kaydırılarak sistemin kararlı duruma sokulabileceği gösterilmiştir.

1. Giriş

Güç sistemlerinin güvenilirliği ve kararlılığı sistemi oluşturan tüm alt sistemlerin uyumlu bir biçimde işletimine bağlıdır. Uyumlu işletim için mekanik giriş enerjisi ile elektriksel çıkış enerjisi arasında sürekli bir dengenin olması gereklidir. Bütün bunların ışığı altında, güç sistemlerinin kararlılığı, üretici ve tüketici sistemlerin her türlü bozucu etki altında paralel olarak senkron işletimlerinin sağlanması şeklinde tanımlanabilir. Küçük bozucu etkiye maruz kalan güç sisteminin dinamik kararlılık analizinin yapılabilmesi için durum uzayı formunda matematiksel modeli elde edilmiş sistemin, lineer sistem analizleri yapılmıştır /1/. Temel amaç, sistem davranışında kapsamlı iyileştirmeler yapmak için belirli kontrol sistemi parametrelerini değiştirmektir. Bununla birlikte, ne sistemin geçici cevabı ne de özdeğerlerin konumu, dinamik davranışı iyileştirmek için sistem parametrelerinin nasıl değiştirileceği hakkında bir fikir vermez. Dinamik davranışın iyileştirilmesinin bir yolu, sistem parametrelerinin birkaç bileşimi için geçici cevapları hesaplamak ve en uygun cevabı sağlayan bileşimi seçmektir. Ancak, Ayarlanabilen parametrelerin çok sayıda olduğu büyük bir sistemde hesaplamaların çokluğu engelleyici bir rol oynar, özdeğer duyarlılığı, s-düzleminde

özdeğerlerin daha çok istenilen konuma getirilmesinde hangi sistem parametrelerinin en etkili olduğunu gösterir.

Bu çalışmada, kararlılık analizi için seçilen yöntemin temeli, tfzdeğer duyarlılığı incelemelerine dayalıdır. Sistemin katsayı matrisi A'nın özdeğerleri elde edilerek sistemin kararlı olup olmadığı araştırılır. Sistemi karasız kılan özdeğerler varsa, bunlar için özdeğer duyarlılığı analizleri yapılarak hangi parametrelerde ne kadar değişiklik yapılacağı bulunur. Sistem parametrelerinde gerekli değişimler yapıldıktan sonraki özdeğer hesaplamalarının sonucunda, sistem kararlılığının sağlandığı gözlenir.

2. Özdeğer Duyarlılığı /I/, /2/

Özdeğer duyarlılığı, a sistem parametrelerine ve A matrisinin elemanlarına göre alınacak kısmi türevlerden elde edilir. Eğer,

$$AM_i = \lambda_i M_i \quad (1)$$

eşitliğinin her iki yanının da a parametrelerine göre türevleri alınır,

$$\left(\frac{\partial A}{\partial a} \right) M_i + A \left(\frac{\partial M_i}{\partial a} \right) = \lambda_i \left(\frac{\partial M_i}{\partial a} \right) + \left(\frac{\partial \lambda_i}{\partial a} \right) M_i \quad (2)$$

bulunur. Burada M_i , 1. Özdeğere ait özvektör olarak tanımlanmıştır.

A matrisi için /I/ de yapılan özdeğer analizinin aynısı A matrisinin devriği için de yapılır;

$$AM = M[\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n] \quad (3)$$

eşitliğine eşdeğer olan aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$A^T W = W A \quad (4)$$

Burada , A köşegen elemanlarını

özdeğerlerin oluşturduğu **diagonal** bir dönüşüm matrisidir. Her iki durum için de özdeğerlerde bir değişim olmaz. Ancak yeni bir W vektör takımı şekillenir. (4) eşitliği, özel bir özdeğer ve buna ait vektör için (1) eşitliğine benzer şekilde yazılabilir:

$$A^T W = W \lambda \quad (5)$$

; 2' eşitliğinin ve W $n \times m$ her bir teriminin skaler ürünü aşağıdaki şekilde oluşturulur.

$$\left(\left(- \right) M_i, W_i \right) + \left(A^T W_i \right) \lambda_i \left(- \right) W_i \lambda_i \quad (6)$$

(5) eşitliği, (6) eşitliğinin sağ yanının ilk teriminde yerine konulursa, aşağıdaki hale gelir.

$$X_i \left(- \right) W_i \lambda_i = \left(- \right) A^T W_i \lambda_i \quad (7)$$

Bu eşitliğin, (6) eşitliğinin BOI tarafının ikinci terimine eşdeğer olduğu görülür. Buradan;

$$\lambda_i = \frac{\left(\left(- \right) M_i, W_i \right)}{\left(- \right) A^T W_i} \quad (8)$$

elde edilir.

3. Parametrelerin Ayarlanması için Lineer Programlama ile Birleştirilmiş Özdeğer Duyarlılığı /I/

Maliyet ve fiziksel özelliklerin ilişkisinden dolayı diğerlerinden daha kolay değiştirilebilen bazı sistem parametreleri bulunduğundan, sistem parametrelerinin ayarlanması, verilen çalışma noktasındaki kritik özdeğerlerin sola geçirilmesini sağlamak için problemin aşağıdaki şekle dönüştürüldüğü lineer programlama kullanılarak yapılmaktadır/3/.

$$\min \left[\sum C_i \left| \Delta \alpha_i \right| \right] \quad (9)$$

$$\operatorname{Re} \left[\frac{\partial \lambda_j}{\partial \alpha_i} \Delta \alpha_i \right] \leq \operatorname{Re} \left[\Delta \lambda_j \right] \quad \alpha_i \leq \alpha_i \leq \alpha_i \quad (10)$$

C_i : i . parametreye ayrılan rölaf maliyet değeri

$\Delta \alpha_i$: i . parametredeki değişim

$\partial \lambda_j / \partial \alpha_i$: i . parametreye rölaf duyarlılık

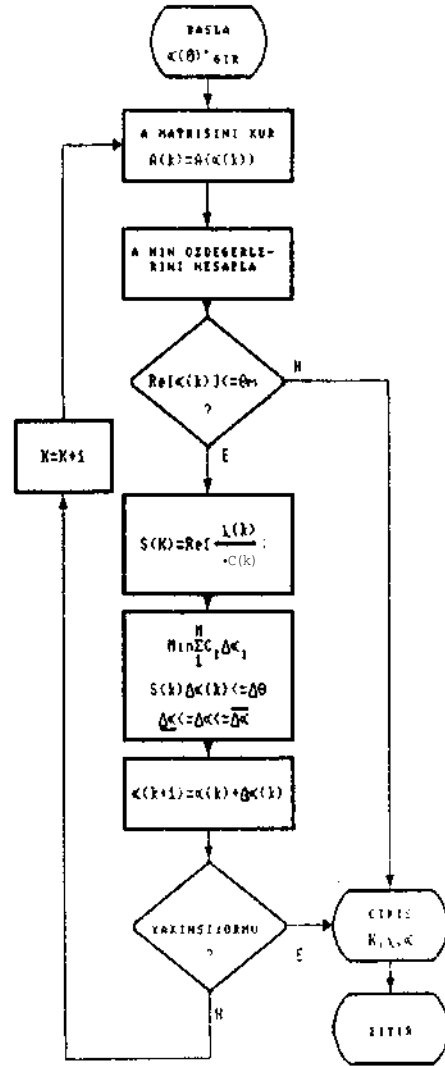
Özdeğerlerinin d'uyarlılığı

λ_j : j . kritik özdeğerlerin rölaf değeri

α_i : i . parametrenin maksimum

minimum değerleri

Özdeğer ve parametreler arasındaki ilişki lineer olmadığı için özdeğer duyarlılığı çok küçük oluncaya kadar işlem iteratif olarak yolla uygulanmaya devam edilir. Çalışma noktası izlenen akış eğilimi Şekil-1'de verilmiştir.



Şekil-1. Akış şeması

T_z :GUÇ kararlılaştırıcı ikinci saman sabiti
0.15B 'den 0.44 s 'ye
değiştirilmiştir.

4. Sonuç

özdejer ve özdeğer duyarlılığı incelemelerinden yararlanılarak dinamik kararlılığın iyileştirilmesi farklı dinamik davranışlara sahip sistemlere başarı ile uygulanabilecek bir yöntem olarak görülmektedir. Bunun yanında bu yöntem, sistem tasarımcıları tarafından maliyet ve sistem davranışının optimizasyonu ve sistem parametrelerinin keein olarak belirlenmesinde kullanılabilir. Ayrıca bu yöntem geliştirilerek lineerleştirilmiş bir dinamik sisteme kolaylıkla uygulanabilir.

Kaynaklar

- ```

/1/ Açan, T., Küçük Bozucu Etkiler Altında
Güç Sistemlerinin Dinamik Davranışının
İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi
İ.T.U., Eylül, 1990.

/2/ Van Neso, J.E., Böyle, J.M., İmad,
F.P., Sensitivities of Large
Multiple-Loop Control Systems, IEEE
Trans.on Automatic Control, Vol.AC-10,
July, pp.308-315, 1965

/3/ Kİ-Ablad, A.H., ManBour. M.O.,
Aguilar, A., Optimal Parameter
Selection of Linearized Dynamic
Systems with Application to
Synchronous Generators, PICA
Proceedings, 1975.

```

## FOTOVOLTAİK ENERJİ KAYNAKLARI KONUSUNDA TAEAGE'DE YÜRÜTÜLEN ARASTIRMA-CELİSTİRME ÇALIŞMALARI

Muammer QM1S, Unsal (ULU, Netin BASU\*, Turgay MALHI\*, Mehmet BODUJ), Osman KAVA\*\*

TUBİTAK Ankara Elektronik Araştırma Geliştirme Enstitüsü  
ODTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü ANKARA

### Özet

Bu bildiride TÜBİTAK Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsünde yürütülen fotovoltaik enerji kaynakları konusundaki araştırma ve geliştirme çalışmalarını anlatılacaktır. Bu çalışmalar, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi, bu enerjinin depolanması ve d.a. veya a.a. biçiminde kullanımına olanak sağlayan güç işlevi, denetim ve çevirgeç (d.a. ve a.a. çevirgeçler) devrelerinin tasarım ve gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Başlı konu başlıkları aşağıdadır:

- Optimum sistem tasarımı
- Tarihî işletmeler için geliştirilen ağırlık iç ve dış aydınlatma sistemi
- Fotovoltaik kaynaktan beslenen aydınlatma aparatlarının yüksek frekansta çalıştırılması
- Fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasının izlenilmesi amacıyla geliştirilen, 1) mikroşarj tabanlı, 2) Omskal devre tabanlı denetlemler.

### Giriş

Bu bildiride ODTÜ Elektrik-Sektronik Mühendisliği Bölümü içinde yerleşik, TUBİTAK Ankara Elektronik Araştırma Geliştirme Enstitüsü (TAEAGE)'nde yürütülen fotovoltaik enerji kaynakları konusundaki araştırma ve geliştirme çalışmalarını anlatılmaktadır.

Silikon ve Gallium arsenide gibi yarı iletkenlerden oluşan fotovoltaik hücreler, güneş ışınlarına maruz bırakıldıklarında, D.A. gerilim üretirler. İstenen (erilim seviyesini elde etmek için yeterli sayıda hücre seri olarak birleştirilir ve paketlenir. Bu şekilde oluşturulan bir yapı fotovoltaik panel olarak adlandırılır. Belirli bir yükü beslemek amacıyla tasarlanan bir fotovoltaik sistemde, yeterli sayıda fotovoltaik panel seri/paralel bağlanarak hem gerekli güç düzeyi hem de gerilim seviyesi elde edilecektir.

Fotovoltaik güç kaynakları: çeşitli yerleşim birimleri ve mevcut elektrik şebekesinden uzak bölgelerde kurulu çiftlikler, mikrodalga tekrarlayıcı istasyonları, deniz fenerleri, yangın gözetleme kuleleri, deniz ve dağ evleri, haberleşme sistemleri, katodik koruma sistemleri gibi kurulu güç düşük, tekil yüklerin elektrik enerjisi gereksinimini karşılamakta kullanılabilmektedir. Bu tür yükler için alışılagelmiş enerji kaynaklarının kullanılması veya elektrik şebekesinin götürülmesi genellikle ekonomik bir seçenek oluşturamamakta hatta bazen mümkün olamamaktadır.

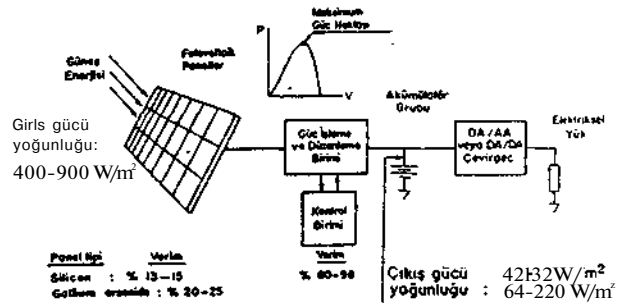
Fotovoltaik güç kaynaklarının tasarımında temel ilkelerden en önemlisi, yıl ve gün boyunca, sistemin kurulacağı konuma ulaşan güneş akısından en iyi bir biçimde yararlanmadır. Maksimum yararlanma, fotovoltaik panellerin üzerine güneş ışığı daima dik düşecek şekilde (güneş izleyerek/ sun tracking) hareket ettirilmesi ile sağlanır. Bu yöntem (fotovoltaik güç kaynağının pahalı bir elektromekanik güneş izleme düzeneği ile donatılmasını gerektirmektedir. Küçük ve orta boy (birkaç kWp kurulu e'ci) fotovoltaik sistemler genellikle operatörsüz çalıştırılacak şekilde tasarlanmaktadır ve bu sistemlerin kurulacağı yerlerde genellikle teknik eleman bulunmadığından, fotovoltaik paneller yerlerine göre sabit açı yapacak şekilde monte edilirler.

Fotovoltaik panellerin üzerine düşen güneş enerjisinin en iyi şekilde kullanılabilmesi için, paneller yüzleri güneşe (kuzey yarımkürede) bakacak şekilde monte edilirler. Panel yüzünün yatayla yapacağı sabit açının belirlenmesinde ise iki yaklaşım söz konusudur:

1. Yıllık elektrik enerjisi üretimini en iyilemek. Bu amaçla sözü edilen açının, konumun enlem derecesine eşit alınması yeterlidir.

2. En kış ayındaki enerji üretimini en iyilemek. En kış ayı, enerji girişinin en düşük, istemin ise en yüksek olduğu aydır. Sözü edilen açı, konumun enlemine bağlı olarak hesaplanmalıdır. Örneğin, Ankara konumu için ve çevre aydınlatmasında en kötü dönem Aralık-Ocak ayları olup, enerji girdisini en iyilemek için paneller yatay ile 55 derecelik sabit açı yapacak şekilde monte edilmelidir.

İyi tasarlanmış bir (fotovoltaik sistemde güneş enerjisi girdisinin en iyi şekilde kullanılması yeterli olmayıp, bu gücün en yüksek verimlilikle elektriksel güce dönüştürülmesi de gerekmektedir. Bir fotovoltaik panelin verimliliği, dolayısıyla çıkış gücü (sabit panel sıcaklığı ve güneş ısıma şiddetinde), panel çıkış gerilimine bağlı olarak 0-max değerleri arasında radikal bir değişim göstermektedir. Bu nedenle, tasarımda temel kısıtlarlar bir diğeri, panelin en verimli çalışma noktası olan maksimum güç noktasında çalışmasını sağlanmasıdır (Bkz. Şekil D. Maksimum güç noktasının sağlandığı panel gerilimi, panel yüzey sıcaklığına ve ısıma şiddetine ba-



Şekil 1. Tipik bir fotovoltaik sistemin kitle gösterimi ve giriş-çıkış güç yoğunlukları

(\*) Su anda Dvitet nanlana Teşkilatında çalışmaktadır.  
DUT Victoria Univcnity d Tectnotafy, Melbourne-Avustralya'da çalışmaktadır  
O Türk SEKNS'te çalışmaktadır.



Etiklik değeri dala da artırmak için kare dala evirge kullanılmış ve dnaharılma eleman: olarak Power MOSFET seçilmiştir. Bu konfigürasyonu için elektriksel lcu.r: .sık aksına dönüşümünde optimum çalışma aralığı 100-ISO kHz olarak hılunmıstır. Bu nedenle evirge sürekli rejimde 130 kH2'de CdiSdCok şekilde tasarlanmıştır. Sozkonusu alsıma İrekanı evircigen Mınbaya munken "klugunca yakın monte edilmesi:" gerektirmektedir.

Su jvgulamanm amaçlarına uygun olarak geliştirilen evirgecin teknik özellikleri şöyledir:

1. Tüm çalışma koşullarında 7.80'in üzerinde bir elektriksel verim;
2. Elektronik akım sınırlama (elektronik balast);
  1. Elektronik başlatma (elektronik starter), bu amada yeterli süre aydınlatma apara:: 250 kHz'de beslenmektedir;
4.  $-40/^{\circ}\text{C}$  > 55 der'e çalışma sıcaklığı;
5. Otomatik devreye girip/cıkma, bu amada özel bir gun ışığı duyurga devresi geliştirilmiştir.

### 3. Tarım İşletmeleri İçin Açıl Aydınlatma Sistemi

ülkede faaliyet halinde bulunan crık sayıda koyun ve tiftik keçisi ağılları hayvan otlatmaya müsait yerlerde tesis edilmişlerdir. Bu nedenle yerleşim merkezlerine (dolayısı ile elektrik şebekesinin oldukça uzak bir noktada bulunmaktadırlar. Bu tesislerde yeterli bir çalışma ortamının yaratılabilmesi ve yavrulama döneminde yavru kayıplarının daha da azaltılabilmesi için petro! (enerjisi ile sağlanan aydınlatmanın elektrik enerjisine dayandırılması gerekmektedir. Fakat çok tesis için bu amada elektrik şebekesinin tesise götürülmesi yada ihtiyacın motor-generatör gibi konvansiyonel kaynaklardan sağlanması ekonomik çözümler olmamaktadır.

Bünyesinde teknik koşullara uygun ve modern kocuk bas hayvan ağılları bulunduran Tarım işletmeleri Genel Müdürlüğü, Anadolu Tarım işletmelerine bağlı olarak çalışan tipik bir tiftik keçisi ağıllını fotovoltaik kaynak kullanılarak aydınlatmaya karar vermiş ve gerekli ic ve dış çevre aydınlatma sistemleri tasarlanıp imal edilmiştir.

Sistem bina içi ve dış çevre aydınlatma sistemleri olarak iki alt sistemden oluşmaktadır. Gerçekleştirilen sistemlerin en belirgin özellikleri şöyle özetlenebilir.

- Cenisletilebilir bir sistemdir (sistem gucu ve elektrik enerjisi depolama kapasitesi modüler olarak arttirilabilir;
- -25°\*55 derece? dıs çevre ve 0/\*40 derece ağı!! ici sıcaklık aralığında çalışabilir;
- Otomatik olarak çalışacak ve yılda bir defa periyodik bakıma ihtiyaç duyacak şekilde tasarlanmıştır;
- Fotovoltaik enerjinin üretilmesi, depolanması, islenmesi ve ışık akısına dönüştürülmesinde donusum verimlerinin en iyienmesi hedeflenmiştir.

Ağıl içi aydınlatma sistemi, ağıl çatısına monte edilen 2x4 adet fotovoltaik panel, ağıl içinde bir kabine monte edilen 4 adet tam kapalı ve bakım gerektirmeyen, doldurma, boşaltma ve il boşaltma kayıpları son derece düşük kursun-asit akümülatör, güç işleme ve koruma birimi, yüksek etkinlik değeri nne sahip PL tipi floresant lambalar, armatürleri ve armatürlerin içine monte edilen d.a./a.a. dönüşümünü gerçekleştiren yüksek verimli evirgederden oluşmaktadır. Çok sayıda aydınlatma armatürü özel mekanik anahtar ve elektronik röleler yardımıyla devreye alınıp/çıkarılmaktadır. Burada 48 Volt gerilim değerindeki d.a. gücün dağılım kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. Ağıl U şeklinde, toplam kullanım alanı yaklaşık olarak 600m<sup>2</sup> dolayında olan ve güneye yönlendirilmiş bir yapıdır. Fotovoltaik paneller güneye bakacak ve yatay ile 55 derece sabit açı yapacak şekilde, eloksallı alüminyum profilden imal edilen bir mekanik yapı yardımıyla çatıya monte edilmiştir. Armatürler ağılın ortasında ağıl boyunca uzanan bağlama tahtalarına monte edilmiştir. Enerji iletimi ağıl içinde bağlama tahtaları boyunca çöbon odası, depo, tuvalet gibi sosyal mekanlarda çatı arasından geçen bir kablo sistemi ile gerçekleştirilmektedir.

İzmir'e ! • Yülcük frek.ınnlı evirjev 'LİVv-ı Lırık vr' L' :  
!Mk akısı evirici; iiv>: 'ijrv' 'er in. 6 r.~. 'L' r-r , ' 1 . .

|             | KonTonsiyonel kullanımlarım<br>( 50Hi ) |               |         | YV Fv,r <sub>c</sub> eç |               |             |
|-------------|-----------------------------------------|---------------|---------|-------------------------|---------------|-------------|
|             | L<br>jLumen]                            | Pir.<br>< V 1 | L *Pir. | t.<br>(Ijin-.er.;       | t-in<br>( * ) | t.<br>( * ) |
| t'brtun 11V | 900                                     | 18            | 60      | 972                     | 12.5          | 77.8        |
| M3X- f : SW | 1800                                    | 27            | 68.7    | 2012                    | 23.3          | 68.5        |

Çevre aydınlatma sistemi, bağımsız bir aydınlatma direği ve iç aydınlatma sisteminin merkezi akümülatör grubundan beslenen ve ağırlık iç bahçeye bakan duvarlarına monte edilen 5 adet floresant armatürden oluşmaktadır. Floresan armatürlerden oluşan kısım sadece yaz ayları boyunca ve hayvanın tohcede geçirdiğinde kullanılır.

Bağımsız aydınlatma direği 2 adet paralel bağlanmış fotovoltaik panel, aydınlatma aparatı, güç düzenleme ve koruma birimi, akümülatör ve gerekli mekanik yapıdan oluşmaktadır. Paneller zeminde 5.S metre yükseklikteki direğin tepesine yatay ile 55 derecelik açı yapacak şekilde konumlandırılmışlardır. Güç düzenleme ve koruma birimi ile akümülatör, sıcaklık faktörü göz önüne alınarak toprak altına yerleştirilmiştir. (Bkz. Bölüm 2).

Lambanın yanıp sönmesi özel bir ışık duyargası yardımıyla otomatik olarak gerçekleştirilmektedir, ancak istenildiğinde lambanın manuel olarak sonlandırılması mümkündür. Bu sistemin çalışma sıcaklık aralığı 25°S5 derece olarak tasarlanmıştır.

•25 derece ortam sıcaklığı için, aydınlatma sistemlerinin etkinlik (efhcacy) ve toplam verimlilik değerleri çizelge t 'dt verilmişti!.

#### 4. Maksimum GÜC Noktasının İzlenmesi

Fotovoltaik paneller, optimum güç transferini sağlamak üzere doğru akım kıyıcıları ile kullanılabilir. Doğru akım kıyıcısı, yük ile güne; panelinin maksimum çalışma noktalarını birbirine uydurmak için panel ile yak arasında bir DA Transformörü gibi kullanılır. Pnöten değişen kusatırız rkraksima güç transferi yapılabilmesi için, koşullar değıştikçe kıyıcının akım transfer oranının maksimum güç transferi sağlayacak şekilde ayarlanması gereklidir. Maksimum güç noktası olarak adlandırılan, panelin I-V karakteri:slığı üzerindeki en iyi güç aktarma noktasın: bulmak ;in cestli tekniikle: denenmiştir. Bunlar arasında adaptif kontrol teknikleri iPerturb ar.d Oiecki, pilot gunes hücresi (Pilot Cell) ^sayılabilir. Ancak bu yöntemlerde gerekli kontrol ünitesi ya dikkate değeri:boyutlarda bir güç tüketmekte ya da maksimum güç noktası karmaşık işlemlerin hesaplannmasıyla eld? edilmektedir. Özelliinde dusuk guclu sistemlerde (50W-1kW) kıyıcı kayıpları ve denetleme biriminin elektriksel güç talebi buyuk önem taşımaktadır.

a) Örneksele Tabanlı Maksimum Güç Noktası İzleyicisi

Birkaç panelden oluşan sistemlerde maksimum güç noktasının izlenmesi amacıyla örneksel bir devre geliştirilmiştir. Bu kontrol birimi çeşitli işletim kiplerinde sadece 40 - 200 mW tüketmektedir.

Maksimum euc noktasını elde etmenin bir yolu da panelin çalışmakta olduğu koşullarda i-v karakteristiğini ölçülerek bu eğri üzerinde guc maksimumu yapan noktanın matematiksel olarak hesaplanmasıdır. Bu araştırmalarda panelin i-v karakteristiğini belli aralıklarla ölçecek ne bir dizi matematiksel işlemler sonucu maksimum güc noktasını bulacak bir örnek elektronik devre tasarlanıp gerçekleştirilmiştir.

372 - KL;:K|'I<sup>h</sup>:K MüIFNP' ;:I. K:j TV. iJLUS'A:. KONGKE! i 1901

H. Yıldırım, O. Kalenderli, M. Öskaya

I.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Yüksek Gerilim Laboratuvarı, İstanbul

### ÖZET

Bu çalışmada, elektrik alan incelemelerinde kullanılan sayısal yöntemlerden biri olan "Yük Benzetim Yöntemi" (Charge Stimulation Method) tanıtarak yöntem yüksek gerilimdeki uygulamalarına örnekler verilmiştir. Son olarak, bir kire-diye em. «I» M (rot itimlenin\* yenimin uygulaması yapılarak, uygulama kolaylığı M\* dojrultırır gösterilmiştir.

#### 1. Giriş

Bir yüksek gerilim «x» tasarımında, aygıtın elektriksel alan dağılımının bilinmesine «ei-eksi-nin duyulmaktadır. Elektriksel alanın hesabı ise yeterli sayıda alan ir koşulu ile Laplace ve Poisson denklemlerinin çözümünü gerektirir. Elektrot sisteminin geometrik şeklinin basit olduğu (örneğin dairesel elektrot sistemleri gibi) problemlerde analitik çözümler bulmak genellikle mümkündür. Bununla beraber, uygulamada birçok durumda fiziksel «İstemler, analitik çözümler bulmanın çok zor veya olanaksız olduğu oldukça karmaşık elstenlertir. Bu yüzden ntihendinlik uygulamalarındaki elektrik alan hesaplarında çoğunlukla sayısal çözüm yöntemleri kullanılır. Mevcut sayısal yöntemler genellikle diferansiyel veya integral kavramlarına dayanır. Bu yöntemlerden bazıları: Sonlu Farklar Yöntemi (SFY), Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), Yük Benzetim Yöntemi (YBY) ve Monte Carlo Yöntemi (MCI) dir. Bu çalışmada, ayrık yükler kavramına dayanarak "Yük Benzetim Yöntemi" tanıtılacak ve yüksek gerilimdeki uygulamalara örnekler verilerek basit bir örnek «berinde yöntemin uygulaması açıklanacaktır. Bu yöntemin diğer sayısal yöntemlere göre üstün yanları, kapalı (sonlu, sınırlı) bir alan bölgesi gerektirmemesi ve ekekel simetrisini olmayın Oc-boyutlu «lanırsra ve uay yükü bulunan problemlere de daha kolaylıkla uygulanabilir olmasıdır /1/.

#### 2. Yük Benzetim Yöntemi

Yük benzetim yönteminde, gerçek elektriksel alan yerine alanın çözülmesi için bir fonksiyon dışına yitirileceği belirli sayıda ayrık yükün oluşturduğu alan alınır. Burada, fiziksel olarak elektrotların yüzeyini tanımlayan yüzeyel yükler yerine ayrık yükler (benzetim yükleri) konur. Bu yüklerin dağılımı, sınırlar üzerinde seçilen belirli sayıda emir

noktasında sınır koşullarının sağlanmasıyla ivrilir. Rı yüklerin oluşturduğu potansiyeller, alan bölgesi içinde Laplace veya Poisson denklemleri ile saftladığından, çözüm bu bölge için bir çözüm tekniği. Benzetim yönteminin yerlerinin ve değerlerinin bilinmesi, çözümün bu bölge içinde herhangi bir noktadaki potansiyel ve alan değerlerinin kolaylıkla hesaplanmasını sağlar. Bu yöntemde yeterli doğruluk elde etmek için çok sayıda benzetim yükü kullanılması ve bu yüklerin uygun yerleştirilmesine gerektirir. Bu da sayısal hesabı gerektirmektedir.

Yük benzetim yöntemiyle sayısal alan hesapları için ilk çalışmalar Loeb ve arkadaşları ile Ab: Seada ve Haseer tarafından yapılmıştır /2-3/. Bu çalışmalarda çubuk-dülem ve elilendir-dülem elektrot sistemlerinin alan hesapları bulunmuştur. Ayrıca Singer ve arkadaşları tarafından, kapsamlı bir makale /4/ ile YBY ve bu yöntemin diğer simetriye sahip iki ve üç-boyutlu alanlara uygulanışının ayrıntıları verilmiştir. Kaynak /5/ te de YBY nin diğer bir sayısal yöntemle birlikte kullanma gösterilmiştir.

#### 3. Yöntemin temeli

Yük benzetim yönteminin ilkesi temel elektroteknik bilgisine dayanır /6-7/. Bir bölge içerisinde herhangi bir tipten (örneğin noktasal, cisimsel veya halkasal) birçok ayrık yük varsa, herhangi bir A noktasındaki elektrostatik potansiyel, her bir yükün ayrı ayrı bu noktada oluşturduğu potansiyellerin toplamına eşittir (Şekil-1). n adet ayrık yükün bu bölge içerisinde herhangi bir noktada oluşturdukları potansiyel, toplam ilkesine göre

$$V_A = \sum_{j=1}^n p_j \cdot q_j \quad (1)$$

dir. Burada  $p_j$ , çeşitli benzetim yükü tipleri için, Laplace veya Poisson denklemlerinin çözümüyle değeri hesaplanabilen potansiyel katsayılarıdır, örneğin Şekil-1 deki durumda A noktasındaki potansiyel

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_1} q_1 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_2} q_2 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_3} q_3$$
$$V = p_1 \cdot q_1 + p_2 \cdot q_2 + p_3 \cdot q_3$$

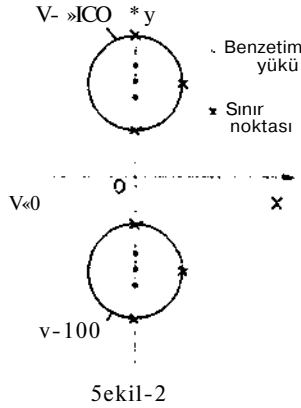
benzetimiyle verilmektedir.



Görülmesi eibi çok sayıdaki yalıtkan sınırının benzetiminin daha katmadık oMugu acıktır. Üstelik yılıVm sınır kısımaşık bir s\*?de sahip olduğu M-rın Kn-e-timin uoöruhiğu da kötöleşmektedir. İtefit'hl-r...mekin iki yalıtkanlı sistemi-? sınır-l-r, >-lml-5 oljlm m u j.-l>»şloriv.l^n biri bu olsa ->:kiir.

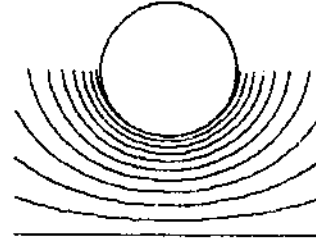
### 1. Yük Benzetim Yönteminin Küre-DLhrlem Elektrot Sistemine- Uygulanması

İj i/i•ur'le, dal is'ono~ verilen bilgilerden yararlar: i J i-l 'a > >H;it, bir Oniek.ö-f-rMide yük benzetim yön- \* llllilil > r iygultuı^'ji y«pıLrııtır. Bir K.öre-chis- i-rı vl-rktK't fıstri-minin \*(<n 'y\*&ılımini ino/ilemek -v-r ıylh :->jr.il-2 dğ gösterileri V=+100 vo V=-100 i>:r.vie"iyellnde eççfrplı kÖre-kİre elektrot şifjtemi t.ö'niS'le sınımlı;tu'. y eksenine göre simetrik olan ka fci&t.rTürJe, y=0 dİsle.fim'-Je pr.it«riElyel sıfır cla- ı-nktır. P.v.yico; bir küre-düBlem elektrot eisteitii- nin \*%t\ cbfıılımlı elde edilebilir (Şekil 3.ö). Bı örn-k, şjlmn-ı;2 bölZe içinde inoelendifeinden, »r- nef'ü ?<>njı Farklar Yönt'ani veys Sonlu Elemanl&r Yöntemiyle çözümlenir. ?orlukla karşılanılır.

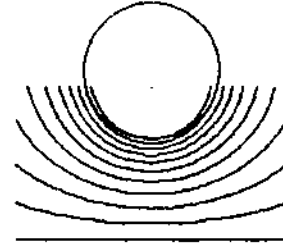


Şekil-2

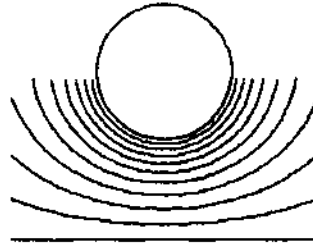
Rırada, pn-jblein yük benzetim yöntemiyle noktaeol yük tipi kullanılarak çöşöliniVçtür. örice, küre merkezlerine yerleştirilen birer adet noktaeal ytlkle tfeitoi arsnmıçtır. Şekil-3. « da bu çözüme ait eşpo- tnsiyel çizgiler görölmektedir. Darada V=+100 eij- pr.t.wsiyel çizgisinin, kürenin eeklini gösteren sınır cinsisinden bir miktar saptığı gÖrölmekte- dir. Bu, yeterli eayıda yüküba kullanılmadığı kötü bir fencetimidir. Bı yüzden, yük sayısı arttırıla- rak bf-n-etimin de^niluâu art.ırılmaya çalışılmış- tır-. Küre ı;mirlerinin y ekcerini kestifti noktalar «inir noktal'ırı olarak alınmıştır. Yüklerrn sayısı v« y eksenı illerindeki yerleri defeistirilerek h:- s'-plır yinelenmiştir (Ş<skil-3.b,c). Şekil-3.d de. :f d.^r; r.-.nr.etimin elde edildığı durumdaki er,po- t-Hnj'iy-1 ...»iler {ri&teri lni.fıti.r. BJ dun.inri9. <"il" k- tr.>lun qf-r'«-M sınırları ile he.:apl.w»n V'n-lrO eç- >> r.-mr;iv-i' i' i-pifji ariisind.^ki ny.if.unH?lık İiek'L.l-3.a VT i. !. v. o -i l- vriden r="k ?)HK'ı kil-şük o lop İjfrn^timln .l.-^nuluKiirniM -irt.fifei g.VP'lr(l.-l.-.lir. rv>fin.t3ı(fiu wt- Mm->k '• U: <lyv.'i :>: f.-yKla ytlkle hı-oup yapı.liibi- l'-...; pibi. »vK-m yerU-^tiriltıni.'; dahia as oayırta y.üjı: il. y.a.-yılı diğ-iMluk elde <ililebilir.



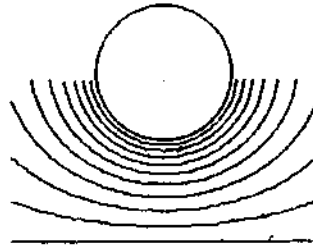
(a)



(b)



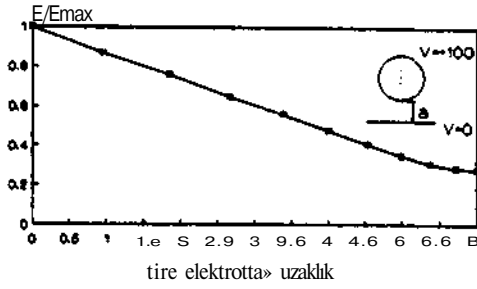
(c)



(d)

Şekil-3

İ>\*kil-3.d deki dunun i.pin el'Sktnr-tl.-tr ora-.inil-- , kritik alan ol.-gisi ür.erindv ^lektri]-j.-t /]acı <... Af'inin ifokfin>ım alan <^/..-flw? • nvüi in in k r; r- v-i e.lekt.rot.t.an uscıklık ile delicimi <-hi-l-i t~ »2.~ teri İmiktir.



Sekil-4

Bu örnekten başka, YBY nin yüksek gerilim tekniğinde uygulanmakta olduğu alanlardan bazıları: elektrot sistemleri, hava hatları ve kablolar, her türlü izolatörler (geçit, sincir, mesnet, ara tutucu gibi), yüksek gerilim aygıtlarındaki alan optimizasyonu ve boşalma olaylarıdır [1-7].

#### 5. Sonuç

Yük benzetim yöntemi, ilkesi temel elektroteknik bilgisine dayanan, özellikle açık bölgeli problemlere uygulaması diğer sayısal yöntemlere (SEY, SFY) göre kolay olan bir yöntemdir. YBY nin bu özellikleri, yöntemin yüksek gerilim alan incelemelerinde yaygın kullanımına yolaçmaktadır. Bu çalışmada da görüldüğü gibi yöntemin doğruluğu, kullanılan benzetim yükü tipine, sayısına, yerine ve sınır noktalarına yakından bağlıdır. Karşılaşılan problemlere uygun yeni yük tipleri tanımlanarak yöntemin verimi artırılabilir. Bu bakımdan YBY, yeni uygulamalara açık bir yöntemdir.

#### 7. Kaynaklar

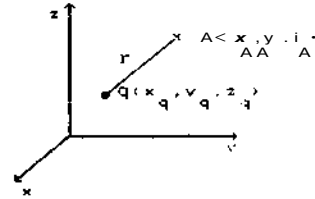
- [1] MALIK, N.H., A Review of the Charge Simulation Method and its Applications. IEEE Trans. on Elec. Insul., Vol.24, No.1. Feb. 1989, pp.3-20.
- [2] ABOO-SEADA, M.S., NASSER, E., Digital Computer Calculation of the Potential and Field of a Rod Gap, Proc. IEEE, Vol.56, 1968, pp.813-820.
- [3] ABOO-SEADA, M.S., NASSER, E., Digital Computer Calculation of the Potential and its Gradient of a Twin Cylindrical Conductor, IEEE Trans. on PAS, Vol. 88, 1969, pp. 1802-1814.
- [4] SINGER, H., STEINBIGLER, H., HEISS, F., A Charge Simulation Method for the Calculation of High Voltage Fields, IEEE Trans. on PAS, Vol. 93, 1974, pp. 1660-1666.
- [5] STEINBIGLER, H., Combined Application of Finite Element Method and Charge Simulation for the Computation of Electric Fields, 3rd ISH Symp., Hilan, 1979, paper 11.11.
- [6] KILFEELE, ZAENGLWS., High Voltage Engineering Fundamentals, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [7] GAUAPHEP, T.J., PEAPMAIN, A.J., High Voltage Measurement, Testing and Design, John Wiley & Sons, Chichester, 1984.

#### 8. Ek

Burada, noktasal ve sonsuz çizgisel yüklerin potansiyel ve alan katsayıları için formüller verilmektedir.

##### 8.1 Noktasal Yük

Sekil-5 ten yararlanılarak bir noktasal yükün herhangi bir noktada oluşturduğu potansiyel ve alan şiddetinin hesabı için gerekli potansiyel ve alan katsayıları



Sekil-5

$$p = 1/4\pi\epsilon_0 r$$

$$f_x = (x_A - x_q) / 4\pi\epsilon_0 r^3$$

$$f_y = (y_A - y_q) / 4\pi\epsilon_0 r^3$$

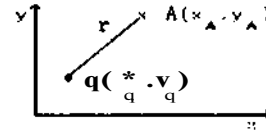
$$f_z = (z_A - z_q) / 4\pi\epsilon_0 r^3$$

$$r = \sqrt{(x_A - x_q)^2 + (y_A - y_q)^2 + (z_A - z_q)^2}$$

bağıntılarını bulur.

##### 8.2 Sonsuz Çizgisel Yük

Sekil-6 da gösterilen, x-y düzlemine dik bir sonsuz çizgisel yükün bir A noktasında oluşturduğu potansiyel ve alan şiddetinin hesabı için gerekli potansiyel ve alan katsayıları ise



Sekil-6

$$p = (1/2\pi\epsilon_0) \ln(r_0/r)$$

$$f_x = (x_A - x_q) / 2\pi\epsilon_0 r^2$$

$$f_y = (y_A - y_q) / 2\pi\epsilon_0 r^2$$

$$r = \sqrt{(x_A - x_q)^2 + (y_A - y_q)^2}$$

bağıntılarından bulunur. Burada  $r_0$ , çizgisel yükün potansiyeli sıfır olan düzleme uzaklığıdır. Bu düzlemlerde eğer potansiyelli düzlem em- --t- --k için kullanılan görüntü yüklerini etkisi potansiyel alınmamıştır.