

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, işaret İşleme, 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 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.

Üniversite-sanayi işbirliğinin geliştirilmesi ve Kongremize yansımalarının sağlanması amacı ile ilk kez 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  
DEO REKTÖRLÜK BİNASI - İZMİR

DÜZENLEYEN 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. - DEO)
Macit MUTAF	(EMO izmir Şubesi)
Sedat GÜLSEN	(EMO izmir Şubesi)
Mehmet KUNTALP	(Araş. Gör. - DETJ)

DANIŞMA KURULU

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

BİLİM KURULU

Abdullah ATALAR	(Prof.Dr.-BILKENT)	Erol KOCAOĞLAN	(Prof.Dr.-ODTÜ)
Süha BAYINDIR	(Doç.Dr.-DEU)	Tarık ORANÇ	(Y.Doç.Dr.-DEÜ)
Atila BİR	(Prof.Dr.-İTÜ)	Emrah ORHON	(Prof.Dr.-EÜ)
Yurdakul CEYHUN	(TELETAŞ)	Kadri ÖZCALDIRAN	(Doç.Dr.-EÜ)
İlhami ÇETİN	(Prof.Dr.-İTÜ)	Kemal ÖZMEHMET	(Prof.Dr.-DEÜ)
Muammer ERMİŞ	(Doç.Dr.-ODTÜ)	Osman SEVAIOĞLU	(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 TANYOLAC	(Prof.Dr.-BU)
Hasar. GÜRAN	(Prof.Dr.-ODTÜ)	Turhan TUNALI	(Doç.Dr.-EÜ)
Güngör GÜRSEL	(EMO)	Erginer UNGAN	(Y.Doç*.Dr.-DEÜ)
Kemal HALICI	(Prof.Dr.-YÜ)	Yıldırım ÜCTÜ3	(Doç.Dr.-ODTÜ)
Erare HARMANCI	(Prof.Dr.-İTÜ)	Zafer ÜNVER	(Prof.Dr.-ODTÜ)
Altuncan HIZAL	(Prof.Dr.-ODTÜ)	Birgül YAZGAN	(Prof.Dr.-İTÜ)
Mithat. IDSMEN	(Prof.Dr.-TÜBİTAK)	Erdem YAZGAN	(Prof. Dr. -liüJ
Oacan KALENDERİ,!	(Y.Doç.Dr.-İTÜ)	Melek YÜCEL	(Doç.Dr.-ODTÜ)
Haldun KARACA	(Y.Doç.Dr.-DEÜ)	Nusret YÜKSELER	(Proi".Zir.-iTu';

SOSYAL KURUL

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

Not: Danışma Kurulu ve Bilim Kurulu alfabetik olarak dizilmiştir.

İSDEMİR UÇAR MAKAS MODERNİZASYONU,  
Dr.S.SİSBOT, A.AYTAÇ, K.L.ERDEM, t.KAVALCI

EKA ELEKTRONİK KONTROL ALETLERİ A.S.  
İSTANBUL

### ÖZET

Bu bildiri ile, IDC Fabrikaları Hafif Profil Haddehanesinde bulunan ve profilleri öngörülen boyda kesmekte kullanılan uçar makasın modernizasyon çalışmaları anlatılmaktadır. Modernizasyondan kastedilen bakım sorunlarının azaltılması ve kesme doğrulunun artırılmasıdır. Profil kesme doğrulusu, 6803 mikroislemcili ölçüm ve kontrol düzeni, hassas algılayıcılar ve yazılım ile artırılmış olup bakım sorunları ise, dolaşım akımlı AC/DC konvertörün günümüz teknolojisi ürünü güvenilir ters paralel AC/DC konvertöre dönüştürülmesiyle azaltılmıştır. Zamanında Doğu Alman/Sovyet teknolojisi ile çalışan sistem şimdi yerli mühendislik ürünü bir çözümle çalışmaktadır. Kapasitesi 400.000 Ton/Yıl olan haddehanede hedeflenen üretim verimliliğine ulaşılmış bulunmaktadır.

### 1. Giriş

Yıllık üretim kapasitesi  $4 \gg 0,000$  ton olan İSDEMİR Hafif Profil Haddehanesi tav fırınından ısıtılarak gelen  $8*8*1200$ cm boyutlarındaki kütükleri 3 kademeli hadde gurubunda işleyerek 12-32mm çapında nervürlü, nervürsüz veya lama profile dönüştürdükten sonra Uçar Makas yardımı ile 60-120m'lik parçalara bölmektedir. Daha sonra soğuk makasta 6,9 veya 12m'lik çubuklara bölünecek olan bu profiller Uçar Makasın yaptığı boy kesme hatası ile oluşan fire miktarını en aza indirmek için normalden 1-2m fazla kesilmekteydi, istenilen boy DARBE-SAYISI\*UZUNLUK tabloları ile hesaplanmaktaydı. Kesilen profil boyunun ölçülmesinden ve merdanelerin zamanla aşınmasından dolayı hatalı kesim yapılmaktaydı. Uçar Makas Tahrik sistemi eski Doğu Alman/SSCB teknolojisi ürünü 96 tristörlü dolaşım akımlı AC/DC Konvertörle yapılmış olup sık sık tristör arızası yaratmakta, dolaşım akımlı olmasından dolayı da enerji kaybına r.ebeb olmaktadır.

Modernizasyon çalışması; mikroislemcili kontrol sistemi, 24 tristörlü geliştirilmiş anti-paralel AC/DC konvertör ile saha elemanlarını içermektedir.

Yapılan modernizasyon çalışmasını tahrik sistemi ve sistem otomasyonu olarak iki grupta inceleyebiliriz.

### 2.Tahrik Sistemi

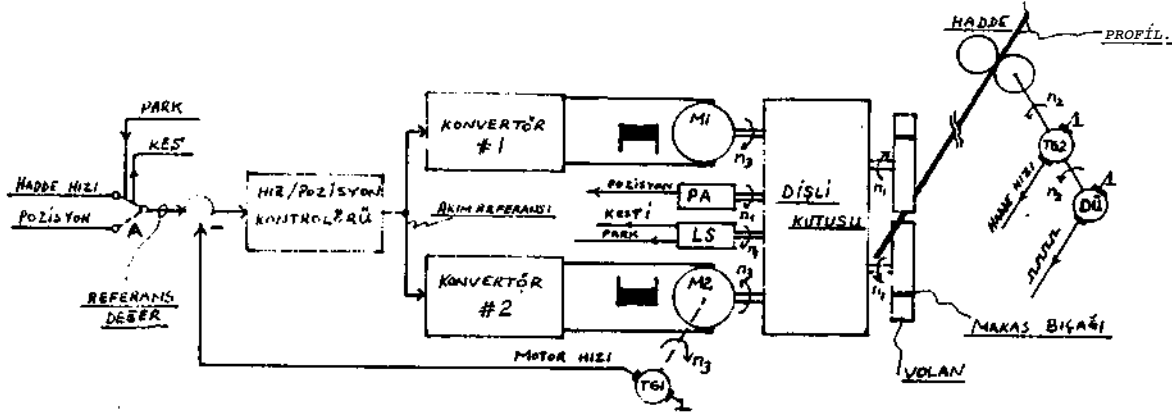
Makası oluşturan ana elemanlar şekil.1 de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi sistem; volanlar, dişli kutusu, doğru akım motorları, konvertörler ve algılayıcılardan oluşmaktadır. Makas uçar makas prensibiyle kesme yapacak biçimde tasarlanmıştır.

Sistemde dişli kutusu üzerinden volanları iki adet doğru akım motoru tahrik etmektedir. Doğru akım motorlarının milleri birbirlerine dişlilerle bağlı olduğu için miller aynı hızda dönmek zorundadır. Motorlar arasındaki yük paylaşımının eşit olması içinde motorların uyarma akımları sabit ve aynı değerde tutulmalı, rotor akımları ise; birbirine her zaman eşit olacak şekilde kontrol edilmelidir. Bu durumu doğru akım motoruna ilişkin (1) bağıntısından görebiliriz.

Bg\* Kp. 1^

(1)

Burada m\* endoklenen momenti, Kq uyarma akısı ile ilgili motor sabitini ve I, rotor akısını göstermektedir. Uyarma akımları eslt olduğundan K\*\*ler eşittir. Her iki motordada aynı moment üretilmek istendiğinde, denklemden I« rotor akımlarının eşitlenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Burada hemen bu iş için neden yalnız bir doğru akım motoru kullanılmadığı sorulabilir. Cevap sudur : Ekteki bilgiler incelendiğinde sisteme ait eylemsizlik momentleri ile istenen maksimum hat hızını tutturabilmek için 200kw'lik değilde 400kw'lik bir motora ihtiyaç vardır. Doğal olarak konvertör gücünde büyümesi gerekir. Halbuki, bu sistem kurulurken. Doğu Almanların elinde bulunan tristör nominal değerlerinin 400kw'a sorunsuz çıkmaya uygun olmadığını ve şimdi sökülen eski sistemde bile bir konvertör ünitesinde 48 tristör kullanıldığını hatırladığımızda, zorunlu olarak yükü 2 motora paylaştırdıkları anlaşılır. Bugün elde bulunan olanaklar bir motor ve uygun dişli düzeni ile sorunu çözmeye yeterlidir, ama burada modernizasyon kapsamında yapmak

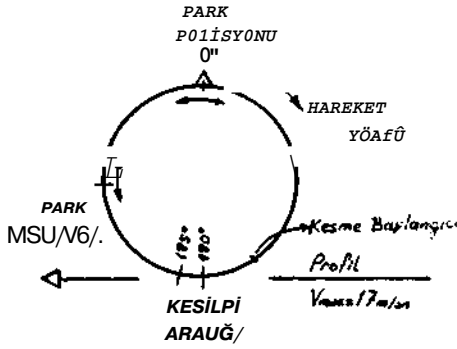


ŞEKİL 1 Makasın Tahmin Mekanizması ve G<sub>1</sub> ve G<sub>2</sub> Motorlarının Değerleri ve A Anahtarının

artan maliyetler nedeni ile mümkün değildir. Makasa uçar makas; dinimesinin nedeni, gerçekleşen makas bıçaklarının havada uçarak profiline kesme noktasında kesmesidir. Kesilecek profilin hem altında ve hem üstünde sokak 11.2 di: gösterilen ve dişli kutusundan

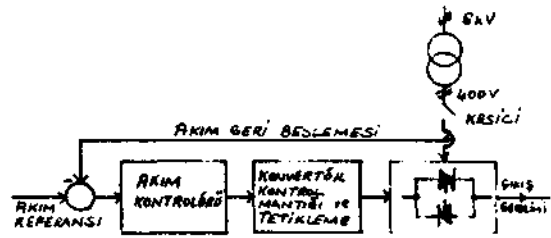
parametreleride eşlendiğinde her iki motordan geçeri ve sürekli rejimde aynı rotor akımı akar.

Makasın bir kesme periyodunu inceliydim. Volanlar arasından geçen profil istenen uzunluğa erişinceye kadar, bıçaklar park pozisyonunda bekler. Yani A anahtarı pozisyon referansını hız/pozisyon kontrolörüne ulaşılacak konumdadır. Pozisyon referansı bıçak 0 derecede I:K= 0 volt pozisyon referansı göndermektedir. Profilin istenen uzunluğa (jeldirçini hesaplayan mikroislemci kes kumandasını göndererek A anahtarını hadde hızı referansına getirir. Bu işaret motor hızı ile karşılaştırıldıktan sonra hız/pozisyon PI kontrolöründen geçerek akım referansını oluşturur. Bu sayede kesine sırasında motor hızı hadde çizgisel hızına yani profil hızına getirilmiş olmaktadır. Kesme yapıldıktan kısa bir süre sonra park başlangıç noktasına girilir. Dişli kutusuna bağlı LS elektronik limit anahtar bu pozisyonu yakalar ve park j:arot.1 üretir. Bu işaret yine A anahtarını kontrol ederek referans değer in PA pozisyon dönüştürücüsü çıkışı olan pozisyon bilgisi olmasını sağlar. Referanstaki ani düşme motorların dinamik frenlenmesine nedendir. Böylelikle



ŞEKİL 2 Bıçak Çarpma Diyagramı (Profil Eksenine Göre Simetrik)

tahrik edilen volanlar bulunur. Bu volanların üstünde kesmeyi yapacak bıçaklar vardır. Hakan bıçakları kendine özgül bir morkan i qe :;:;h ip ll r. Ilıcaklar park pozisyonunda içerdi", kesme bayldinji çında profjl il/. lemas edecek kadar dışardadır. Kcr.me bittiğinde ise tekrar içeri <llrerlei. Tcerdon dışarıya çıkışlar veya t:orüi ok/.ant. irik illylısı ile olur. Kesme iirasındii profil hızı ile volan çiz<jisel hızının birbirine eşit olması gerekir. Bu yozden hıat. hızı Tr:2 ile 0lc'lnnektedir. :;:V. :. 1 il<- M.1TUI1mı Vmıvert.ö. ler A JW11<JO:1 ..,ıl :;:;m dn lafını .ıkım'(/. y.ii)1 ani ip.ıralıl Kulliver ltu lerdır. Hu konvertürlerin akım ıriler ,lll; I.irı aynı ll ll'.urçundadı uckı 1.3 de <lo:;lel i ! en PI .ıkım kıl11rolürü



ŞEKİL 3 KONVERTÖRÜN BLOK ŞEMASI



X : istenilen uzunluk için gerekli darbe sayısı

$$X = \frac{T \cdot P_3}{32} \quad (2)$$

Fakat profilin ucu HMD3'e ulaştığında anda makas hemen kesme bile profilin ucu r.2ır.3- 13m mak.ıt'ı gecmiş o.la:ıgıtalan

$$X = \frac{t_i \cdot 43 \cdot P_3}{32} \quad (3)$$

olarak denklem düzeltilir. Mikroişlemci makasa start verdikten sonra profili kesme .ını nı k.ıd.ır gecen sürede sayılan darbe .sayım M ise (3) nolu denklem apacıdaki şekli Hır.

$$X = \frac{(L \cdot 43) \cdot P_3}{32} \quad (4)$$

Böylece profilin ucu HMD3'e ulaştığında (4) nolu denklem kullanılacak kaç darbe r.ourü makası start verileceği hesabınır. Kesme anında yeni M il; M'nin eski <leqoriniri ortalamanı alınarak bir sonraki kesme için gerekli M değeri hesaplanır.

Örnek .ını .iştirimi, haddeden gecen profilin sonundan im uzunlukta örnek parça kesmeye denir. nu telem için Li «ıralığında .ıyılun dırhe >tiyısı Pl Hır, profilin sonu HMDI t.ıf,ı lı m'an .ı,ıjılamıjı <ıudj

$$L = \frac{P_1 \cdot P_3}{P_3} \cdot 32 \cdot M \quad (5)$$

(T) nolu denklem kullanılarak gerekli darbe sayısı .ıjı-un 11. Makas'ı r.tart verilili(i) and.ıra.ık.ı;-. çıkışındaki tampona P31 aracılığı ile enerji vertlorok kesilen orneğin .ı,ıy>-ıncjuK havu'/.una girmesi sağlanır.

#### 4.Sonuç

İhu c.ılı;»ı ile 100m'dt: 50cm olan kuumu hatası Rcın'yi! indirilmiştir. Profil boyunun tablolardan uııyıcı larj yfıklenmtisi yerine metre olarak kesilecek profil boyunun mikroijletik'iye <jirilme;ı .ılaflanarak imletme kol.ıyl dıjı canlanmıştır, örnek alma otomatik hale <jeti rilmıştır. Dolaşım Akımlı Konvrtö'ler yerine antipatalel konvrtı"ırl«sr kullanılarak sistemin <jüvenilirliOi artırılmış hacmi \*0B küçülmüş ve eıH-rji kayıpları azaltılmıştır. tSDEMİR de 1 yıldır test edilen sistem bakım Sütunları yetirmeden verimli bir. gekilde ç:ılıhmaktadır.

KK1 :Mekanik ve Elektriksel Sistem Ssyil.ii 1

Motor Eylemsizlik MomenLi	~77k<jm
Toplam Motor Mil Momenti	221kym
fiüc	~20HkW
Endüklenen Nominal Cüc	37-İkajm
Emlaklenen Mıxlıma GOG	~fufıkym
Nominal Hız	~60fld/dük
Motor Rotor Gerilimi	H0V
Motor Rotor Akıraj	~880A
Uy.ım-> Gerilimi/Akımı	-22BV/11A
Giriş Trafosu Gücü	=3f>6kVA Y/Y
Trafo Primer/Seeondnr Oeri l imi =G>Bfl/'148V	
Konvertör Nominal Cıkıs Akımı	=612A
Kon ver tür Maksimum C/kiü Akımı	-1B3f.A
Volan Çapı	~80cm

#### REFERANSLAR:

- /1/ I.Urquhart, R.D.Prabhakar, r.P.M.Vugt;; , Dtgital Control System fut a Rotary Crop She.tr, IEK Power Kletronics Confcrcnce Proceedınts, 1990.
- /2/ W.Hejmo, A.Oleniak, nhearın<j Optimlzation of the Rolled Ollet Accordıny to a Minumum W.ı;le Cnl.ii mn, IKEE Transactions on Autoin.ı:ıe Cont:ıol, vol. AC-25, No.2, April 1980.
- /3/ CEC Industrial Controls Ltd., Kingsgrove, ST7 TTW, Entjland, Ccmdrive- Antiparallel Technıcul Manu.ıl 7R20C, 1988
- /4/ M.Can, Dölroe Makası işletme Kılavuzu, tDC Yayınları, tskendnrn, 1980

# KATI ROBOT KOLLARIN ADAPTİF KUTUP YERLEŞİMLİ DENETİMİ

Mehmet BODUR  
ODTÜ Elektrik ve Elektronik  
Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Erol SEZES  
Bilkent Üniversitesi  
Elektrik Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

*Katı ve artıksız robot kollarn dinamik denetimi için bir adaptif denetim algoritması geliştirilmiştir. Algoritma, kol modelinin kesikli biçiminin parametrelerinin ardtsımlı karesel kestirimine dayanmaktadır. Parametrelerin kestirimleri kullanılarak, izleme hata denkleminin Szdeterleri, konum ve hız geribeslemeleriyle istenen yerlere kaydırılmaktadır. Algoritma iki eklemli bir kolun sayısal benzetimi üzerinde başarıyla denenmiştir.*

## 1. GİRİŞ

Robot kollan, hareketli eklemlerle birleştirilmiş, genellikle esnemeyen, bağlantı birimlerinden oluşur. Eklemlerin hareketli, de veya hidrolik sürücülerle saflanır. Sürücülerindik iş tork ya da kuvvetleri, giriş sinyali ile oranlıdır. Kolun eklem sayısı, uc noktasının Kartezyen konum [position] ve yönelim [orientation) uzayının boyutlarına eşitse kol arlıktadır. Bu tur katı bağlantılı, artıksız bir kolun acık matematiksel modeli Lagrange Emler ve Genel d'Alembert yöntemleri ile; kapalı modeli ise ardışık Lagrange ya da Nevrtion-Euler yöntemleriyle elde edilir. Sürtünme ve benzeri tedirgtler ihmal edilirse, n eklemli bir kolun eklem-koordinat uzayındaki acık modeli

$$\tau = A_q(\dot{q})\ddot{q} + B_q(q)\dot{q} + C(q, \dot{q}) \quad (D)$$

olarak bulunur İM. Burada  $T \ll R$  eklem tork veya kuvvetlerini (ya da dengi surucu girişlerini)-,  $q \in R^n$  eklem konumlarını;  $A_q(q) \in R^{n \times n}$  kolun tekil olmayan pozitif kütle matrisini;  $B_q(q) \in R^{n \times n}$  sonum matrisini;  $C(q, \dot{q})$  ise merkezkaç, koriolis ve yerçekim etkilerinin oluşturduğu kuvvetleri göstermektedir.  $A_q$ ,  $B_q$  ve  $C_q$  matrisleri kolun yuku, duruşu ve hızına bağlı olarak doğrusal olmayan yapıda büyük oranlarda değişir. Bu model kolun katı bağlantılarındaki rezonans modlarını kapsamamaktadır.

Kolun denetimi, istenen hareketi belirleyen  $q_d(t)$ , eklem konumları vektörü için, kolun gerçek eklem konumu  $q(t)$  ile  $\hat{q}(t)$  arasındaki izleme halasını azaltmayı amaçlar.  $q_d(t)$ 'nin robot kolunun çalışma alanında kaldığı ve kolun  $q_d(t)$ 'yi izlemesi için gereken  $T(U)$  girişinin uygulanabilir sınırlarda olduğu kabul edilmektedir, önemli derecedeki doğrusalsızlığına karşın robot kollarn geleneksel yollardan (frekans bölgesinde geçiş işlevleriyle) ayırık denetimleri sağlanabilir. Ancak bu tur denetimlerin kullanıldığı en ileri robotlarda bile (örneğin PUMA 560) düşük hızlardan başlayarak kendini gösteren titreşimler gözlenmektedir İZİ. Kolun yukunun önceden kestirilebilmesi durumunda  $co|u$  etkilerin uygun bir ileri-besleme ile giderilmesi sağlanabilir.  $A_q$ ,  $B_q$  ve  $C_q$ 'nin değişken olması ve hesaplanmasındaki karmaşıklık, bu giderimlerin uygulama anında yapılabilmesine olanak vermemektedir.

Dinamik parametrelerinin kısmen belirsiz olması yüzünden, robot kollar parametre-uyarlamalı denetim yöntemleri için çok uygundur. Çeşitli model referans ve kendiliğinden ayarlamalı yöntemler robot kolu denetimine uygulanmıştır İZİ,İM. Bunlar arasında adaplif kutup yerleşimi İZİ yaygın olarak kullanılmıştır. Adaptif denetimde kutup yerleşiminin diğer şemalara göre fazla işlem gerektirdiği bilinmektedir. Ancak, yeterince basit bir modelden yola çıkılır ve bazı basilleştirici varsayımlar yapılırsa, kutup yerleştirme adaptif yöntemlerin işlem gereksinmesi önemli derecede azaltılabilir. Bu çalışmada, kutup yerleşiminden yola çıkılarak robotlarda bugünkü teknolojiyle kolayca uygulanabilecek etkin bir algoritma geliştirilmiştir. Yöntem, aynı zamanda doğrudan taban koordinatlarında konum denetimine de uygulanmış ve her iki tur denetim de iki eklemli bir kolun simülasyonu üzerinde başarıyla denenmiştir.



## 2. EKLEM UZAYINDA DENEYİM

Robot kolların denetimi yoğun işlem gerektiren karmaşıklıkta olduğundan, uygulaması, günün sayısal sinyal işleme teknikleriyle ancak kesikli-zaman kullanılarak saflanabilir. (1) denklemleriyle verilen sürekli-zaman modeli,  $t_k = kT$  ve  $q_k = q(kT)$  biçiminde tanımlanıp,

$$\dot{q}(kT) = T^{-1}(q_k - q_{k-1}), \quad \ddot{q}(kT) = T^{-2}(q_k - 2q_{k-1} + q_{k-2}) \quad (2)$$

yaklaşımlarıyla.

$$T^{-2}K_{q,k}(q_k - 2q_{k-1} + q_{k-2}) + T^{-1}B_{q,k}(q_k - q_{k-1}) + C_{q,k} \dot{q}_k = \tau_k \quad (3)$$

kesikli zaman modeline dönüştürülür. Burada  $A^{k,k}$ ,  $B_{q,k}$  ve  $C_{q,k}$  sürekli modeldeki  $A^k/q$ ,  $B_q$  ve  $C_q(q, \dot{q})$  parametrelerinin  $k$ 'inci örnekleme sırasındaki sabit yaklaşıklarıdır. (Denklemlerin karmaşıklaşmaması için  $A_{q,k}$ ,  $B_{q,k}$  ve  $C_{q,k}$  parametrelerindeki keşikleme indislerini bandan bayie kullanmayacağız.) (3) denklemleriyle verilen kol dinamiğinin denetimi için tork girişleri

$$\tau_k = T^{-2}\hat{A}_{q,k}(q_{d,k} - 2q_{d,k-1} + q_{d,k-2}) + T^{-1}\hat{B}_{q,k}(q_{d,k} - q_{d,k-1}) + C_{q,k}K_{1,k}(q_{d,k-1} - q_{d,k-2}) + K_{2,k}(q_{d,k-2} - q_{d,k-1}) \quad (4)$$

biçiminde seçilmiş olsun. Burada  $\hat{A}_q$ ,  $\hat{B}_q$  ve  $\hat{C}_q$  matrisleri  $\forall p \forall l \forall c \forall k$  Parametre örneklerinin kestirimleri;  $q_{d,k}$  ise izlenmesi istenen yörüngenin eklem konumları uzayında  $kT$  anındaki örneğidir.  $A_{q,k}$ ,  $B_{q,k}$  ve  $C_{q,k}$  tam olarak kestirilebilir» (4) denkleminde bulunan kuvvet ve torklar (3)'e uygulandığında, izleme hatası dinamiği

$$T^{-2}A_q(e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) + T^{-1}B_q(e_k - e_{k-1}) + K_{1,k}e_{k-1} + K_{2,k}e_{k-2} \quad (5)$$

ya da eşdeğer olarak

$$(A_q + TB_q)e_k + (T^2K_{1,k} - 2A_q - TB_q)e_{k-1} + (A_q + T^2K_{2,k})e_{k-2} = 0 \quad (5)$$

olarak elde edilir.

$A_q$  kolun kütle matrisi olduğundan tekil olamaz ve köşegen baskındır.  $B_q$  ise sürücülerin sönümlerinden oluşan köşegen bir matristir. Bu yüzden  $[A_q + TB_q]$  da tekil olamaz ve  $K_{1,k}$  ile  $K_{2,k}$  uygun biçimde seçilerek (5)'in kutupları istenen yerlere kaydırılabilir. İşlemleri basitleştirmek için

$$\left. \begin{aligned} A_w &= (A_q + TB_q)^{-1} A_q \\ B_w &= T(A_q + TB_q)^{-1} \\ C_w &= T(A_q + TB_q)^{-1} C_q \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

matrisleri tanımlanırsa (5)le verilen hata denklemi

$$e_k + (TB_w K_{1,k} - I - A_w)e_{k-1} + (A_w + TB_w K_{2,k})e_{k-2} = 0 \quad (7)$$

biçimine dönlür. Keşim hatasızsa

$$K_{1,k} = T^{-1}B_w^{-1}(Z + A_w^{-1}I) \quad (8)$$

ve

$$K_{2,k} = r^{-1}B_w^{-1}(Z - A_w) \quad (9)$$

olarak seçildiğinde, izleme hatası denklemi

$$V^Z]^{k-1} Z^k f - Z = 0 \quad (10)$$

biçimini alır.

Parametrelerin kestirimi ardışıklı karesel kestirim (AKK) yöntemiyle gerçekleştirilebilir. İşlem miktarını azaltmak için, kestirimde (3) denklemleri yerine eşdeğeri olan eklem hızları denklemi

$$w_k = A_w w_{k-1} + B_w \tau_k + C_w \quad (11)$$

kullanılabilir. Burada  $w_k = T^{-1}(q_k - q_{k-1})$  örnekleme eklem hızları vektörü;  $A_w$ ,  $B_w$  ve  $C_w$  ise (6) ile tanımlanmış matrislerdir, (11)'in IJCI satırı

$$\alpha_{i,k} = [\text{satır}(i, A_w, k); \text{satır}(i, B_w, k)] - C_w^{-1} \quad (12)$$

parametre vektörü ve

$$VK - I^{-1} : T_k^{-1}; D^T \quad (13)$$

gözlem vektörü kullanılarak

$$w_{i,k} = \langle i, 1 \rangle_k \quad (14)$$

biçiminde yazılabilir.

$a_{i,k}$ 'nin kestirimi  $\hat{a}_{i,k}$  ile gösterilip, kestirim sonrası hata

$$e_{oi,k} = w_{i,k} - \hat{a}_{i,k} \quad (15)$$

olarak tanımlanırsa, AKK ile en aza indirilen hata ölçüsü

$$E(a, k) = \sum_{j=1}^k \gamma^{k-j} e_{oi,j}^2 \quad (16)$$

olarak yazılabilir. Burada  $0 < \gamma < 1$  unutma faktörü, geçmişteki hataların etkisini üstel olarak azaltmak için kullanılmaktadır /4/. Kestirim

$$P_k = \gamma^{-1} [P_{k-1} - \gamma^{-1} k > k^T P_{k-1}] \quad (17)$$

ve

$$\hat{a}_{i,k} = \hat{a}_{i,k-1} + P_{i,k} \phi_k (w_{i,k} - \alpha_{i,k-1}^T \phi_k) \quad (18)$$

işlemlerinin her örnekte ardışık olarak yapılmasıyla gerçekleştirilir. Burada  $P_k$  matrisi bakışlı kesinti bir matristir ve ilk değeri olarak birim matris kullanılabilir. Kestirilen parametrelerin hızlı yaklaşımını garantilemek için (4)'e ek olarak eklem torklarına sürekli kalıcı uyarı (SKU-Continuous Persistent Excitations) uygulamak gerekir [1]. SKU, ortalaması sıfır, genliği  $T_0$ , ve periyodu  $u/T$  ( $u/u_k$ ;  $i/k$ ) olan üçgen dalgalar örneklenerek elde edilmiştir.  $T_0$  deneysel olarak  $P_k$  matrisinin patlamadığı ve uç noktada SKU sonucu oluşan titreşimlerin izleme hatasını asmayacağı sabit bir değerde seçilmiştir.

Uygulamada işlem sayısını azaltmak için giriş torku,  $\hat{A}_w$ ,  $\hat{S}_w$  ve  $\hat{C}_w$  cinsinden SKU ile birlikte

$$\tau_k = \hat{B}_w^{-1} \left\{ W^T d_k - \hat{A}_w W_{d,k} - \hat{C}_w T^i (I - Z_{11} Z_2) e_{k-1} + 4(\hat{A}_w - Z_2) e_{w>k}, \right. \\ \left. + \tau_0 S_{\text{ütun}}^{mod(l,k) - (M \cdot I)} \right\} \quad (19)$$

biçiminde hesaplanmaktadır. Burada  $e_{w,k} = w_{d,k} - w_k$  hız hatasıdır, örnek basına gereken işlem sayısı  $n^3 \gg 12n^2 + 17n + 2$  toplama ve  $n^3 \gg 16n^2 + 20n + 5$  çarpmadır. 8 MHz'lik tek 80286 kullanarak 6 eklemli bir kolu 8 ms örnekleme periyoduyla denetlemek mümkündür. Denetim yöntemi,  $A_w = I$  kabul edilerek basitleştirilirse hem kestirim boyutu  $2n+1$  den  $n+1$ 'e düştüğü için, hem de

(19) içinde tek matris işlemi olarak  $B_w$  kaldığı için işlem sayısı önemli derecede azalmaktadır.

### 3. KARTEZYEN UZAYDA DENETİM

İzlenecek yörüngenin eklem-koordinatları uzayındaki ifadesi olan  $q_d(t)$ , genellikle, kol ucunun Kartezyen koordinatlarda verilen  $p_d(t)$  konum yörüngesinden, ters dinamik bağıntılar kullanılarak hesaplanır. Ancak bu hesaplamalar genellikle uygulama anında yapılamayacak kadar karmaşıktır. Öte yandan kol eklemlerinin konumu  $q$  biliniyorsa, daha basit olan düz kinematik bağıntılar kullanılarak kol ucunun kartezyen koordinatı  $p$  kolayca elde edilebilmektedir. Bu nedenle denetimin doğrudan Kartezyen koordinatlarda yapılması önem kazanmaktadır. Denetim yönteminin parametre kestirimine dayanması, denetimin ters kinematik çevrim kullanmadan gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Robot kolların Kartezyen-koordinat sistemindeki modeli, eklem hızları ile uç noktasının Kartezyen-koordinatları arasındaki

$$\dot{p} = N(q, \dot{q}) \quad (20)$$

bağıntısı ve ivmeler arasındaki

$$\ddot{p} = N(q, \dot{q}) \dot{q} + \dot{N}(q, \dot{q}) \dot{q} \quad (21)$$

bağıntısı kullanılarak elde edilir. Burada,  $N$  Jacobian matrisidir. [20] ve (21) denklemleri kullanılarak, (1) denklemi

$$T(t) = A_p(p) \ddot{p}(t) + B_p(p) \dot{p} + C_p(p, \dot{p}) \quad (22)$$

biçimine dönüştürülür. Burada,  $A_p(p)$ ,  $B_p(p)$  ve  $C_p$ ,

$A_q$ ,  $B_q$  ve  $C_q$  ile  $N$  ve  $\dot{N}$  türünden belirlenir. (22)'nin kesikli biçimi

$$\tau_k = T^{-2} A_{p,k} (p_k - 2p_{k-1} + p_{k-2}) + T^{-1} B_{p,k} (\dot{p}_k - \dot{p}_{k-1}) + C_{p,k} \quad (23)$$

veya kartezyen hızlar  $v_k = T^{-1} (P_k^{-1} \dot{p}_k)$  cinsinden

$$v_k = J^{-1} v_{v,k} \quad (24)$$

olarak yazılır.

Hareket bağıntısının (24) biçiminde yazılabilmesi  $\hat{A}_{v,k}$ ,  $\hat{B}_{v,k}$  ve  $\hat{C}_{v,k}$  parametre kestirimlerinin AKK ile kolayca elde edilmesini sağlamaktadır. Kestirilen parametreler hatasız kabul edilirse

$$\tau_k = \hat{B}_{v,k}^{-1} \left\{ v_{d,k} - \hat{A}_{v,k} v_{d,k} - \hat{C}_{v,k} \right. \\ \left. + r'(I - Z_1 Z_2) e_{p,k-1} + (\hat{A}_w - Z_2) e_{v,k}, \right\} \quad (25)$$

biçimindeki tork girişleri altında Kartezyen hala denklemi

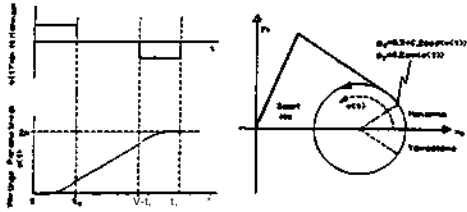
$$p_k = T^k p_0 + T^{k-1} z^2 p_k - 2 = 0 \quad (26)$$

olarak bulunur. Dikkat edilirse, hem denetim bağıntısının hem de hata denklemlerinin eklem ya da kartezyen uzaylarda aynı kaldığı gözlenmektedir. Eklem-uzayında denetimden fazla olarak, Kartezyen denetimde bir de ut noktasının koordinatlarını hesaplamak için düz kinematik gerekmektedir. Kartezyen denetimde de  $A_{v,k} = I$  kabul edilerek örnek basına işlem sayısı önemli derecede azaltılabilir. Bu şekilde 6 eklemli bir kolun tek 80286 ile denetimi 6 ms örnekleme periyodunda gerçekleştirilebilir.

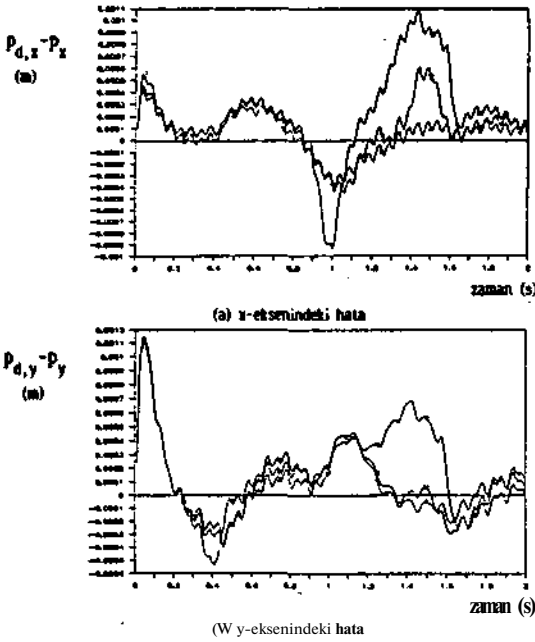
### 4. SİMULASYON SONUÇLARI

Geliştirilen denetim yöntemleri iki döner eklemli düzlemsel bir kolun simülasyonu üzerinde denenmiştir. Şekil 1'de görülen, bağlantıların uzunlukları 0.5 m, kütleleri 10 kg olan ve sabit miknatıslı de servo-motorlarla sürülen, PUMA 560 benzeri bir kolun omuz ve

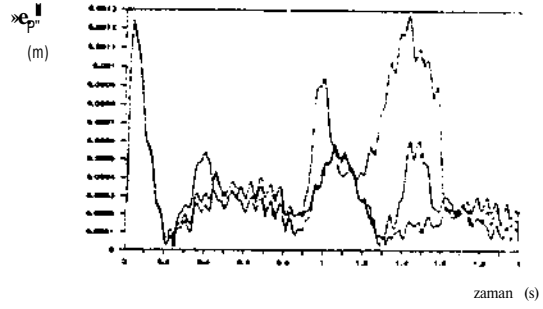
önkol bölümünün benzeri sayılabilen kol modeli x-y düzleminde 0.4 m çaplı bir çemberi 2 saniyede çizmek üzere eklem uzayında 10 ms örnekleme periyoduyla denetlendiğinde Sekil 2.deki izleme hatası elde edilmiştir. Hızlı oynamalar SKU'dan kaynaklanmaktadır, y-eksenindeki başlangıçta görülen yüksek hata, kestirimlerin henüz yakınsamamasından kaynaklanmaktadır. A ile işaretli eğriler varsayımsız, x işaretli olanlar köşegen  $A_w$  ile, V işaretliler ise  $A_w=I$  varsayımı ile elde edilmiştir.  $A_w=I$  alındığında izleme hatasının lmm.yi ancak aştığı görülmektedir. Kola aynı hareketi doğrudan kartezyen denetimle yaptırırken çıkan hatanın norm eğrisi Sekil 3.te görülmektedir. Şekildeki i, İ ve V ile işaretli hata eğrileri kolun yuku sırasıyla 0, 2kg ve 4kg iken çıkmıştır. Hatanın yuk kütesinden hemen hemen bağımsız olması kestirim sayesinde gerçekleşmektedir. Kestirilen parametreler arasında bulunan sonuncu bağlantının eylemsizlik momentinden kolun yuku de kolayca hesaplanabilmektedir.



Sekil 1. Benzeşimde Kullanılan İd ve İzlenmesi İstenen Hareket



Sekil 2. Eklem Uzayındaki Denetimde Oluşan İzleme İbtası



Sekil 3. Kartezyen Denetimde Hatanın Normu:  $\|e_p\| = \sqrt{e_{p,x}^2 + e_{p,y}^2}$

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada katı ve artıktz robot kolların dinamik denetimi için eklem uzayında ve kartezyen uzayda kullanılabilen bir adaptif denetim algoritması geliştirilmiştir. Kolun dinamik parametreleri AKK ile kestirilmekte ve kolun izleme hatası denkleminin özdeğerleri, konum ve hız geribeslemeleriyle istenen yerlere kaydırılmaktadır. Geliştirilen yöntemin en önemli özelliği örnek başına çok az işlem gerektirmesi ve anında [on-line] denetim için elverişli olmasıdır. İki eklemlilik bir kolun sayısal benzetimi üzerinde yapılan uygulama sonucunda yöntemin uygulamada kullanılabilir hassaslıkta olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- İM Bodur M., «Jynamic Position Control of Robot Manipülöre. PhJ). Thesis, METU, Ankara, June 1991
- 121 Fu K.S., Conzales R.C., Lee C.S.G., Robotics Control. Sensing, Vision, and Intelligence, McGraw-Hill Int. Ed. Singapore, 1988
- fil Craig J.J., Adaptive Control of Mechanical Manipülöre, Addison Wesley Publ. Inc. USA, 1988
- İM Koivo, A.J., -Şelf Tuning Manipülör Control in Cartesian Base Coordinate System". Trans. ASME, Journal of Dyn. Sys. Meas. and Control, Vol.107, No.3, pp.316-323, Dec, 1985
- ISI Vwalters R.G., Bayoumi M.M., "Application of a Şelf Tuning Pole Placement Regülör to an Industrial Manipülör." Proc. 21<sup>st</sup> IEEE Conference on Decision and Control, Orlando, Fl, Dec. 1982.
- İdi Goodv/in G.C., Sin K.S., Adaptive Filtering Prediction and Control. pp. 47-99. 178-234, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1984.



sözde eklemelerin esneme ve viskoz sönüm katsayıları matrisleridir. (1) ve (2) birleştirildiğinde esnek kolun dinamik modeli

$$\begin{bmatrix} A_{qq} & A_{q\delta} \\ A_{\delta q} & A_{\delta\delta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}(t) \\ \ddot{\delta}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{qq} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}(t) \\ \dot{\delta}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_q \\ C_\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau \\ -K_s \delta - K_d \dot{\delta} \end{bmatrix} \quad (3)$$

biçiminde elde edilir.  $T=T_q$  giriş tork vektörüdür.

### 3. ULAMASIZ ÖLÇÜMLÜ DENETİM

Esnek bağlantılı bir kolun ulamasız denetiminde temel güçlük istenen yörüngenin eklem konumları uzayında verilememesinden kaynaklanmaktadır. Nemir ve arkadaşları bu gUclUğU sözde-bağlantı [pseudolink] kavramı ile kısmen çözmüşlerdir /4/,/S/. Burada geliştirilen çözüm ise kolun doğrudan kartezyen uzayda modellenmesi temeline dayanmaktadır. Kartezyen uzayda modelleme için

$$MO-IN, N, J \begin{bmatrix} \dot{q}(t) \\ \dot{\delta}(t) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\ddot{p}(t) = [N_q \ N_\delta] \begin{bmatrix} \ddot{q}(t) \\ \ddot{\delta}(t) \end{bmatrix} + [K \quad \dot{K}^*] \begin{bmatrix} \dot{q}(t) \\ \dot{\delta}(t) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Jacobian dönüşümleri kullanılır. Bu dönüşümler [3]'e uygulanarak

$$\begin{bmatrix} A_{pp} & A_{pe} \\ A_{ep} & A_{ee} \end{bmatrix} \ddot{p}(t) + \begin{bmatrix} B_{pp} & B_{pe} \\ B_{ep} & B_{ee} \end{bmatrix} \dot{p}(t) + \begin{bmatrix} C_p \\ C_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau \\ -K_s \epsilon - K_d \dot{\epsilon} \end{bmatrix} \quad (11)$$

elde edilir. Burada  $A_{ee}$  ile  $A_{ep}$ 'nin birbirine karışması için  $e=6$  notasyonu kullanılmıştır.

Zaman değişkeni  $t_k = kT$  biçiminde kesiklenir, ve  $p_k = p(t_k)$  ve  $\epsilon_k = \epsilon(t_k)$  biçiminde tanımlanırsa, (11)'deki sllrekli-zaman modelinden

$$T^{-2} A_{pp} (p_k - 2p_{k-1} + p_{k-2}) + T^{-2} A_{pe} (\epsilon_k - 2\epsilon_{k-1} + \epsilon_{k-2}) + T^{-1} B_{pp} (p_k - p_{k-1}) + T^{-1} B_{pe} (\epsilon_k - \epsilon_{k-1}) + C_p = \tau_k \quad (12)$$

ve

$$T^{-2} A_{ep} (p_k - 2p_{k-1} + p_{k-2}) + T^{-2} A_{ee} (\epsilon_k - 2\epsilon_{k-1} + \epsilon_{k-2}) + C_e = -K_s \epsilon_k - \dot{T}^* K_d U_k - \dot{\epsilon}_k \quad (13)$$

denklemleriyle verilen kesikli zaman modeli elde edilir. Burada  $A_{pp}$ ,  $A_{pe}$ ,  $B_{pp}$ ,  $B_{pe}$ ,  $C_p$ ,  $C_e$  parametrelerinin k altsimgesi gösterimi basitleştirmek amacıyla kaldırılmıştır.

Uygulamada sözde eklem konumlarını gösteren  $\epsilon_k$ 'nin, uç konum değişkenlerini içeren  $p_k$ 'dan çok hızlı değişerek sönmesi istenir.  $\epsilon_k$ 'daki  $p_k$ 'nın değişiminden kaynaklanan yarı-değişmez [çuasi-constant] kısmı  $\epsilon_{s,k}$  ile, esneme-lerden kaynaklanan hızlı kısmı ise  $\epsilon_{f,k}$  ile gösterilirse

$$\epsilon_k = \epsilon_{s,k} + \epsilon_{f,k} \quad (14)$$

biçiminde yavaş ve hızlı modlara ayrılabilir. Buna uygun olarak, giriş torku da

$$V^T s, k^{+T}, k \quad (15)$$

biçiminde yavaş ve hızlı iki parçadan oluşturulursa (12) denkleminde

$$T^{-2} A_{pp} (p_k - 2p_{k-1} + p_{k-2}) + T^{-1} B_{pp} (p_k - p_{k-1}) + C_p + T^{-2} A_{pe} (\epsilon_{f,k} - 2\epsilon_{f,k-1} + \epsilon_{f,k-2}) + T^{-1} B_{pe} (\epsilon_{f,k} - \epsilon_{f,k-1}) = \tau_{s,k} + \tau_{f,k} \quad (16)$$

elde edilir. Böylece  $p$ 'nin yavaş davranışı

$$T^{-2} A_{pp} (p_k - 2p_{k-1} + p_{k-2}) + T^{-1} B_{pp} (p_k - p_{k-1}) + C_p = \tau_{s,k} \quad (17)$$

biçiminde modellenir.

$A_{pp}$ ,  $A_{pe}$ ,  $B_{pp}$ ,  $B_{pe}$ ,  $C_p$ ,  $C_e$  parametrelerinin bilindiği varsayılarak yavaş denetim

$$\tau_{s,k} = [(17)^{+n} \text{insolitarar}] p, p^{+k} p^1 P, K, -1 + K_{p2} e_{p,k-2} \quad (18)$$

biçiminde seçilebilir. Burada  $p_{d,k}$  istenen yörünge ve  $e_{p,k} = p_{(d,k)} - p_k$  uç konumundaki hatadır. (18) ile verilen yavaş denetim (17)'ye uygulandığında hata denklemi

$$(A_{pp} + TB_{pp}) e_{p,k} + (-2A_{pp} - TB_{pp} + T^2 K_{p1}) e_{p,k-1} + (A_{pp} + T^2 K_{p2}) e_{p,k-2} = 0 \quad (19)$$

olarak elde edilir.

$$\left. \begin{aligned} K_{p1} &= T^{-2} [A_{pp} + (A_{pp} + TB_{pp})(I + Z_{s1})] \\ K_{p2} &= T^{-1} B_{pp} + T^{-2} (A_{pp} + TB_{pp})(Z_{s2} - I) \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

seçilerek hata denklemi istenen

$$e_{p,k}^{+2} 51^p, k-1^{+z} 2^p, k-2 = 0 \quad (21)$$

biçimine getirilebilir.

Esnek modların bulunup denetlenmesi için (16)'dan ÇÖZÜ-len  $(p_k - 2p_{k-1} + p_{k-2})$ , (13) ve (14) e konarak

$$\begin{aligned} A_{ep} A_{pp}^{-1} \tau_{s,k} - T^{-1} A_{ep} A_{pp}^{-1} B_{pp} (p_k - p_{k-1}) + C_e - A_{ep} A_{pp}^{-1} C_p + K_s \epsilon_{s,k} \\ + T^{-2} (A_{ee} - A_{ep} A_{pp}^{-1} A_{pe}) (\epsilon_{f,k} - 2\epsilon_{f,k-1} + \epsilon_{f,k-2}) \\ + r^1 K_d - A_{ep} A_{pp}^{-1} B_{pe} \text{ fcf, r} \langle r, 1 \rangle \\ + K_s \epsilon_{f,k} + A_{ep} A_{pp}^{-1} \tau_{f,k} = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

elde edilir. (22)den,  $\epsilon_{f,k}$ 'nin yavaş davranışı

$$\epsilon_{s,k} = -K_s^{-1} [A_{ep} A_{pp}^{-1} \tau_{s,k} - T^{-1} A_{ep} A_{pp}^{-1} B_{pp} (p_k - p_{k-1}) + C_e - A_{ep} A_{pp}^{-1} C_p] \quad (23)$$

olarak, hızlı davranışı ise

$$\begin{aligned} & (A_{\epsilon\epsilon} - A_{\epsilon p} A_{pp}^{-1} A_{p\epsilon})(\epsilon_{i,k} - 2\epsilon_{i,k-1} + \epsilon_{i,k-2}) \\ & + T(K_{\epsilon} - A_{\epsilon p} A_{pp}^{-1} B_{p\epsilon})(\epsilon_{i,k} - \epsilon_{i,k-1}) \\ & * T^2 K_{\epsilon} \epsilon_{i,k} + T^2 A_{\epsilon p} A_{pp}^{-1} \tau_{i,k} = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

olarak ayrıştırılır. Hemen eklemeliyiz ki  $T_{i,k} = 0$  alınrsa (24) denklemi, yörüngeye bağlı olarak kararsız yapıda olabilir. Bu durumda,  $\xi_{i,k}$ 'nin hızla söneceği varsayımı geçersizleşir ve kol kararsız bir davranış gösterebilir,  $i_{i,k}$ 'nin kararsızlığını enlemek için

$$T_{i,k}^k n^k r_{i,k-1} * B^k f_{i,k-2} < 25 >$$

seçilebilir. Böylece

$$\begin{aligned} A_{\epsilon p} W_1 &= -A_{\epsilon\epsilon}(2I + Z_{11}) - T^2 K_{\epsilon} Z_{11} - T K_{\epsilon}(Z_{11} - I) \\ A_{\epsilon p} W_2 &= -A_{\epsilon\epsilon}(I - Z_{12}) - T^2 K_{\epsilon} Z_{12} - T K_{\epsilon} Z_{12} \end{aligned} \quad (27)$$

eşitliklerini sağlayan  $W_1$  ve  $W_2$  hesaplanıp

$$\begin{aligned} K_{11} &= T^{-1} B_{p\epsilon}(I - Z_{11}) - T^{-2} [A_{pp} W_1 + A_{p\epsilon}(2I + Z_{11})] \\ K_{12} &= -T^{-1} B_{p\epsilon} Z_{12} - T^{-2} [A_{pp} W_2 + A_{p\epsilon}(Z_{12} - I)] J \end{aligned} \quad (26)$$

alınrsa hızlı modların denklemi istenen

$$r_{i,k}^k Z_{11}^k \epsilon_{i,k-1} + Z_{12}^k (\epsilon_{i,k-2} - \epsilon_{i,k-1}) I >$$

biçimine dönüştürülebilir.

$T_{i,k}$  ve  $T_{i,k}$ 'i uygun seçerek hem yavaş hem de hızlı kutupların istenilen yerlere yerleştirilebildiğini gösterdiğimiz göre, başlangıçta yaptığımız esnek dinamiğin daha hızlı olması varsayımını geçerli yapmamız mümkündür.  $Z_j^k \wedge O$  seçilerek hızlı davranışı yoketmek [deadbeat] en iyi ÇDZÜD gibi görünse de surucu çıkışlarının sınırlı olması ve katı bağlantıların modellenmemiş modlarını sürme tehlikesi buna engeldir.

Denetleç çıkışı (18)deki  $T_{s,k}$  ile (25)'te verilen  $T$ , ydan oluşur. Ancak  $\xi_{i,k}$  doğrudan ölçülemediği için,  $e_{s,k} = \xi_{i,k}$ ,  $= \xi_{i,k-2}$  varsayımından

$$\tau_{i,k} = K_{11} \epsilon_{i,k-1} + K_{12} \epsilon_{i,k-2} - (K_{11} + K_{12}) \epsilon_{s,k} \quad (29)$$

biçiminde oluşturulur,  $e_{s,k}$  (23)'ün çekilip (29)'a konarak

$$T_{i,k}^k f_{i,k-1}^k k - 1 * f_{i,k-2}^k k - 2$$

$$\begin{aligned} & + (K_{11} + K_{12}) K_{\epsilon}^{-1} [T^{-2} A_{\epsilon p} (p_{d,k} - 2p_{d,k-1} + p_{d,k-2}) \\ & + T^{-1} A_{\epsilon p} A_{pp}^{-1} B_{pp} \epsilon_{p,k} + A_{\epsilon p} A_{pp}^{-1} (K_{p1} - T^{-1} B_{pp}) \epsilon_{p,k-1} \\ & - K_{p2} \epsilon_{p,k-2} + C_{\epsilon}] \end{aligned} \quad (30)$$

elde edilir. Buradaki bütün değişkenler ya ölçülebilir yada  $T_{s,k}$  gibi hesaplanabilir.

#### 4. YÖNTEMİN UYGULANMASI

(18)'deki  $T_{s,k}$  ve (30)'daki  $T_{i,k}$ 'nin hesaplanması için  $A_{pp}$ ,  $A^{\wedge}$ ,  $-$ , parametrelerinin kestirimi ile pek çok matris işlemleri gerekmektedir. Hem parametre kestirimi hem de denetimi basitleştirmek için  $B_{pp} = 0$ ,  $B_{p\epsilon} = 0$  alınabilir, Böylece, kesikli model

$$\begin{aligned} T^{-2} A_{pp} (p_k - 2p_{k-1} + p_{k-2}) + T^{-2} A_{p\epsilon} (\epsilon_k - 2\epsilon_{k-1} + \epsilon_{k-2}) + C_p = \tau_k \\ T^{-2} A_{\epsilon p} (p_k - 2p_{k-1} + p_{k-2}) + T^{-2} A_{\epsilon\epsilon} (\epsilon_k - 2\epsilon_{k-1} + \epsilon_{k-2}) + C_{\epsilon} \\ = -K_{\epsilon} \epsilon_k - T^{-1} K_{\epsilon} (\epsilon_k - \epsilon_{k-1}) ; \end{aligned} \quad (31)$$

ve (18)'deki yavaş denetim

$$\tau_{i,k} = T^{-2} A_{pp} (p_{d,k} - 2p_{d,k-1} + p_{d,k-2}) + C_p + K_{p1} e_{p,k-1} + K_{p2} e_{p,k-2} \quad (32)$$

biçimine indirgenir. Burada,  $K_{ij}$  ile  $K^{\wedge}$ , (20)'den elde edilen

$$\begin{aligned} K_{p1} &= T^{-2} A_{pp} (2I + Z_{11}) \\ K_{p2} &= T^{-2} A_{pp} (Z_{12} - I) \end{aligned} \quad (33)$$

basitleştirilmiş ifadelerden hesaplanır. Basitleştirilmiş denklemler kullanılarak, hızlı denetim

$$\begin{aligned} \tau_{i,k} &= K_{11} \epsilon_{i,k-1} + K_{12} \epsilon_{i,k-2} + [K_{11} + K_{12}] K_{\epsilon}^{-1} C_{\epsilon} \\ & + T^{-2} (K_{11} + K_{12}) K_{\epsilon}^{-1} A_{\epsilon p} [p_{d,k} - 2p_{d,k-1} + p_{d,k-2} \\ & + (2I + Z_{11}) \epsilon_{p,k-1} + (Z_{12} - I) \epsilon_{p,k-2}] \end{aligned} \quad (34)$$

biçiminde hesaplanır.  $K_{\epsilon}$  ve  $K^{\wedge}$ , (26)'dan  $8^{\wedge} = 0$  alarak hesaplanır.

(31)'deki modelin parametreleri kestirilebilirse (32)-(34)'teki basitleştirilmiş ifadeler yalnızca birkaç vektörel işlem gerektirmektedir. Parametreler,

$$\begin{aligned} v_k &= T^{-1} (p_k - p_{k-1}) \\ w_k &= T^{-1} (\epsilon_k - \epsilon_{k-1}) \end{aligned} \quad (36)$$

alınıp (31)'e denk olan

$$\begin{bmatrix} v_k \\ w_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{k-1} \\ w_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{pp} & A_{p\epsilon} \\ A_{\epsilon p} & A_{\epsilon\epsilon} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} T T_k - T C_p \\ -T K_{\epsilon} \epsilon_k - K_{\epsilon} (\epsilon_k - \epsilon_{k-1}) - T C_{\epsilon} \end{bmatrix} \quad (35)$$

denklemleri kullanılarak, ardışık karesel kestirim  $IZI/V$  ile hesaplanabilir. (35) denklemi

$$\begin{aligned} y_k &= [v_k^T, w_k^T]^T \text{ ve } u_k = \begin{bmatrix} T T_k \\ -K_{\epsilon} \epsilon_k - K_{\epsilon} (\epsilon_k - \epsilon_{k-1}) - T C_{\epsilon} \end{bmatrix} ; \\ E_k &= \begin{bmatrix} A_{pp} & A_{p\epsilon} \\ A_{\epsilon p} & A_{\epsilon\epsilon} \end{bmatrix}^{-1} ; F_k = -T E_k \begin{bmatrix} C_p \\ C_{\epsilon} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (37)$$

tanımlarıyla

$$v_k = v_{k-1} + E_k u_k + F_k \quad (38)$$

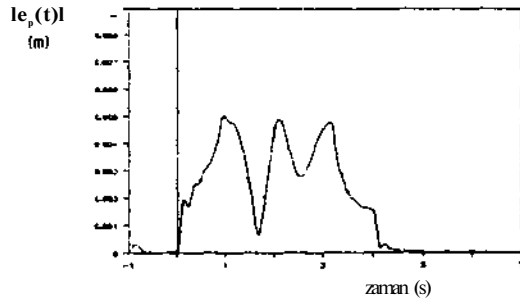
standart biçimine getirilir.  $u_k$  içindeki  $e_k$  ve  $c_k$  için ölçüm değerleri kullanılarak,  $\hat{E}_k$  ve  $\hat{F}_k$  kestirimleri ile

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \hat{A}_{pp} & \hat{A}_{pk} \\ \hat{A}_{cp} & \hat{A}_{ck} \end{bmatrix} = \hat{E}_k^{-1} \\ \begin{bmatrix} \hat{C}_p \\ \hat{C}_k \end{bmatrix} = -T^{-1} \hat{E}_k^{-1} \hat{F}_k \end{cases} \quad (39)$$

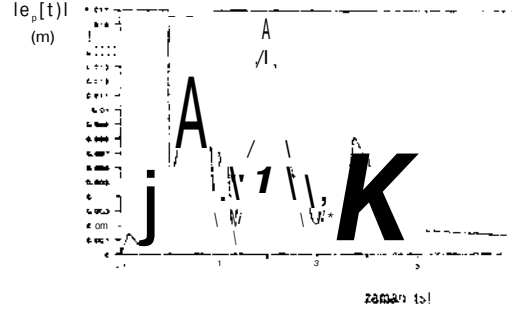
elde edilir. Görüldüğü gibi kestirimler için yalnız  $(n \times m)$ 'lik bir matrisin tersi gerekmektedir.

### S. UYGULAMA

Geliştirilen yöntem ilk bağlantısı esnek, düzlemsel, iki eklemlili bir kolun sayısal bilgisayar benzetimi üzerinde denenmiştir. Ağırlıkları 10 kg uzunlukları 0.5m olan ezdes bağlantılardan esnek olan bağlantı için sözde eklem esnekliği  $\omega = 400$  (serbest rezonansı 3Hz) olarak alınmıştır. Kolun yavaş modları  $z_{(1)} = 1/(1+20Ts)$ , ( $\omega_n = 20 \text{ rad/s}$ ) ve hızlı modları  $z_{(2)} = 1/(1+50Ts)$ -e kaydırılarak yapılan denetimde, yörünge olarak 0.4 m çaplı bir çemberin 4 saniyede dönülmesi seçilmiştir. Benzetimde keşikleme periyodu 5 ms alınmıştır. İzleme hatalarının normu, hesaplanan parametrelerle gerçekleştirilen denetim için Şekil 1.de, kestirilen parametrelerle gerçekleştirilen denetim için ise Şekil 2.de görülmektedir. Katı kol varsayımıyla yapılan denetimlerde halanın ortalama 5 cm olmasına karşılık geliştirilen denetimde hata seyrek olarak 1 cm'nin üzerine çıkmaktadır.



Şekil 1. Hesaplanan parametrelerle denetimde izleme hatasının normu



Şekil 2. Adaptif denetimde izleme hâlinin normu

### 7. SONUÇ

Esnek robot kollar için, basit bir modellemeye başlanarak, Kartezyen yörüngeleri izletmek üzere bir konum denetim yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem, adaptif parametre kestirimiyle anında denetim için, guntin mikroislemci teknolojisiyle uygulanabilecek derecede az işlem gerektirmektedir. Benzetim sonuçları yöntemin başarıyla kullanılabilceğini göstermiştir.

### KAYNAKLAR

- /1/ Cannon, R. H. Jr., Schmitz, E., "Precise Control of Flexible Manipulators-, Robotics Research, The First International Symposium, ed. Brady, M., Paul, R., pp.8-41-861, The MIT Press, Cambridge, 1984
- /2/ Bodur M., Dynamic Position Control of Robot Manipulators, PhJ. Thesis, METU, Ankara. June 1991
- /3/ Bodur M., Sezer E., "Katı Robot Kollar İçin Adaptif Kontrol Yerleşimli Denetim". Elektrik Mühendisliği 4. Ulusal Kongresi, 1991
- /4/ Nentir, D. C., Koivo, A. J., Kashyap, R. L., "Pseudolinks and the Self-Tuning Control of a Nonrigid Link Mechanism". IEEE Trans. on System Man and Cybernetics. Vol.18. No. 1, pp. 40-48. January, 1988
- /5/ King J. O., Goorishankar V. G., Rink R. E., -Composite Pseudolink End-Point Control of Flexible Manipulators-, IEEE trans. on Systems, Man and Cybernetics. Vol. SMC-20, No. 5, pp. 969-977, September 1990.

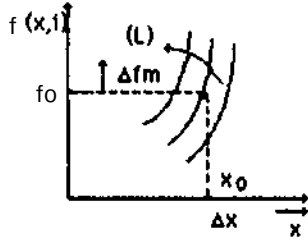




Çapı 1 mm olan izoleli bakır tel kullanılmıştır. Sargı direnci (R) 42 ohm, indüktans (L) 0,995 H'dir. Toplam bobin yüksekliği 280 mm'dir. Havada tutulan cismin ağırlığı 11,36 gram ve denge durumundaki akım (IQ) 0,59 Amperdir. Şekil-2'de elektromıknatis ve havada tutulan cismin boyutları görülmektedir.

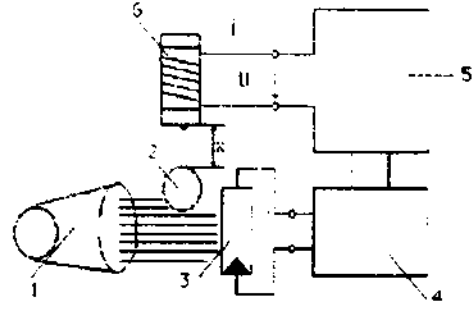
### 3. K\*atr«l Dtvrcsimı Tasarı Mı

Kontrol devreleri tasarlanırken cismin sadece düşey yönde hareket ettiği, yatay hareket yapmadığı varsayılmıştır. Sabit bir akımla kesinlikle kararlı bir durum elde edilemeyeceği görülmüştür. Şekil-3'de manyetik çekim kuvvetinin x mesafesine bağılı olarak değişimi görülmektedir. Deneyler x'in sabit tutulması durumunda, manyetik çekim kuvvetinin elektromıknatis akımı ile oldukça geniş bir aralıkta lineer olarak değiştiğini göstermektedir.



Şekil-3. Elektromanyetik çekim kuvvetinin, cismin uzaklığına göre değişimi

Şekil-3'de fm manyetik çekim kuvvetini, x0 cismin üst noktasıyla zemin arasındaki mesafeyi, f, denge durumundaki çekim kuvvetini göstermektedir. Sistemde ferromanyetik cismin pozisyonu (yeri) bir ışık kaynağı ve bir fotodirençle belirlenmektedir (Şekil-4).



Şekil-4. Elektromanyetik seviye kontrol sisteminin blok diyagramı

Şekil-4'de: 1. Işık kaynağı, 2. Ferromanyetik cisim, 3. Foto direnç, 4. Kontrolör, 5. Güç kuvvetlendiricisi, 6. Elektromıknatis göstermektedir.

Kontrol işlemi sonunda cismin elektromıknatisa olan uzaklığı aynı kalır, yerçekimi kuvveti elektromıknatisin çekim kuvvetine eşitlenmiş olur. Hava sürtünmesinin ihmal edilme durumunda cisme elektromanyetik çekim ve yerçekimi kuvveti etki eder. Bu kuvvetler arasındaki fark cismin aşağı veya yukarı hareketine sebep olur. Kontrolör cismi ağırlık merkezi etrafında dengede tutar.

Sistemin dinamik davranışı aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = m \cdot g - f(x, i) \quad (2)$$

$$f = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{d^2 i}{dx^2} \quad \text{ve} \quad i = I + \frac{L_0 \cdot X_0}{2} \quad \text{olduğundan}$$

$$f = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{d^2}{dx^2} \left( I + \frac{L_0 \cdot X_0}{2} \right)^2 \quad (3)$$

elde edilir. Burada a » (1/2) . L2 denilirse

$$f = 3 \cdot 10^8 \text{ Hz} \quad (4)$$

$$t = r > 1 \cdot 10^{-8} \text{ s} \quad (5)$$

o'ur Q?nr.trn col kucuk ?alınımhnn<l> L sabit ksbul «dile-  
teledegunden

i 6;

..jişrii e-? edilir

Burada, f Elektromanyetik çekim kuvveti, x Elektromik-  
natizasyon aralısındaki mesafedir

i i; i; i; (i i fenHemleri O'Orjii! ileöildir **Doleqırtıle**  
iittemini dir,i-r-i: denUernier: Ar cilitn) notrtâii etrafında  
«y»r,i:jif,i:r'in'r'rid!- S;r'e,i;Incogruñ-ji denklemleri şş-  
fldila g:ri rd? esilir

$$m = \frac{dJ}{dt} = -f \cdot i \quad (7)$$

$$i = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{2} \quad (8)$$

$$i = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{2} \cdot X \quad (9)$$

elöe eclair Surijd», f = m i; = ; (i i X) dir

tji deijiken'eri sıfır

«e çşlijma 'Or-ta-si etrafındaki değısv'riiler de Mr mdısiyle  
çusteritav;lerdir

ı ?) - (9; f-ıitli» lerifı lap! as dónuü mi eriyle

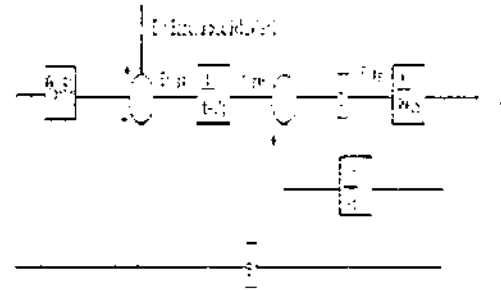
$$m \cdot i = \dots = -F_i \cdot i \quad < \ 0 \quad (10)$$

$$E_i \cdot \vec{v}_i = (K+L'S) \cdot f \cdot i \quad (11)$$

$$E = C \cdot i \cdot (S) - \frac{1}{X} \cdot X \quad (12)$$

eldeedilir Burada C= ; a i i Q:

Buna göre sistemin blok diagramı Şekil-5'de görülmekte  
edilir.



Şekil-5 Sistemin blok-diagramı

Sistemin karakteristikler>:!Tm!

$$Q(S) = X_j \cdot L \cdot M \cdot S^2 + X' \cdot R \cdot M \cdot S - C \cdot i_0 \cdot L \cdot S - C \cdot i_0 \cdot R + A \cdot i_0 \cdot S \cdot C \cdot X_0 \cdot B = 0 \quad (13)$$

(. 13) ejiitli'Ji yeniden du;enlendir-c

$$Q(S) = \dots$$

ve

$$Q(S) = 1 + \frac{C \cdot i_0 \cdot S}{(S + \dots) \cdot (S + \dots)}$$

eldeed'i'ir Burada

$$X_0 = 3 \text{ cm} = 50 \text{ m m;}$$

$$m = 1 \cdot 36 \text{ gr}$$

$$R = 42 \text{ //}$$

$$I = 0,995 \text{ H}$$

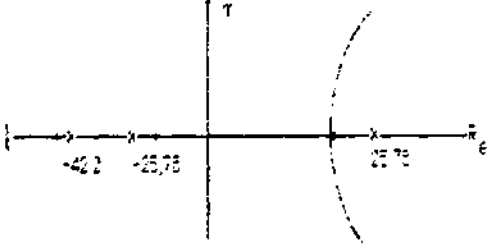
$$i_0 = 0,59 \text{ A}$$

$$a = f \cdot \left(\frac{X_0}{i_0}\right)^2 = 0,01136 \times 10^8 \left(\frac{0,03}{0,59}\right)^2 = 2^2 \cdot f \cdot i_0 \cdot N \cdot \frac{m}{H}$$

$$C = 2 \times 10^{-4} \text{ N/m} = 2 \times 10^{-4} \cdot 9,81 \text{ N} = 1,962 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$B = t \cdot O \cdot 10^3 \text{ Y/m}^2 \text{ dir.}$$

Kontrolör sadece bir kuvvetlendiricimle gerçekleştirilirse sistem kesinlikle kararlı hale getirilemez. Bu duruma ilişkin kök eğrisi şekli 6'da görülmektedir



Şekil 6. Sabit Vükselteç kazancıyla sistemin kök esrısı

Kararsızlığa sebep olan sağ yarı düzlemdeki kutbun, sol yarı düzleme kaydırılması için kontrolör PID veya PD kontrolörü olarak düşünülebilir, integral zaman sabiti çok küçük olduğundan sistemde PD kompozatörü kullanılmıştır. Kompanzasyonun kutbu, pratik olarak sıfırın reel eksenindeki yerinden 10 kat uzağa yerleştirilir. Bu durumda karakteristik denklem;

$$1 + \frac{K}{s} (s+25.78) (s+42.2) = 0 \quad (1)$$

olarak elde edilir. Buradan minimum ve maksimum sistem kazançları köklerin yer eğrisiyle hesaplanır. Ferromanyetik cismin denge durumundan sapsması halinde foto direnç üzerinde düşen ışık miktarı dolayısıyla üzerindeki gerilimi değiştirir. Bu değişim, ferromanyetik cismin pozisyonu kontrol etmek için bir geri besleme büyüklüğü olarak kullanılabilir. Tasarımda türev devresindeki dirençlerin seçimi nedikkat edilmalıdır.

! İon:iv

Ferromanyetik cismin ortasındaki boşluğa değişik ağırlıklar eklenmiş ve türev devresi dirençleri değiştirilerek denge durumları elde edilmiştir. Yaklaşık 5 gr'lık ek ağırlıklara kadar türev devresi dirençlerinin ayar edilmesiyle sistem dengeye getirilebilmiştir. Literatürde gerçekleştirilen benzer sistemlere göre gerçekleştirilen sistemin ağırlık değişim sınırlarının daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Sistemde cismin ortasındaki boşluğa değişik ağırlıklar eklenmiş ve türev devresi dirençleri değiştirilerek denge durumları elde edilmiştir. Yaklaşık 5 gr'lık ek ağırlıklara kadar türev devresi dirençlerinin ayar edilmesiyle sistem dengeye getirilebilmiştir. Literatürde gerçekleştirilen benzer sistemlere göre gerçekleştirilen sistemin ağırlık değişim sınırlarının daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Suni rüzgar etkisi oluşturulmuş. Cismin denge noktasından 2-3 mm kadar sapmalarda dahi tekrar denge durumuna ulaşabildiği görülmüştür.

#### Referanslar

- /I/ Hoshino, Şato, N, Hayashi, Y, Ogura, Y, An Application of the Observer to the Attractive Type Magnetic Levitation, Electrical Engineering in Japan, Yol. 99, No. 4, 1979.
- /II/ Ergeneli, A., Elektroteknik, 11, Dezir Konra Matbaası, İstanbul, 1972.
- /III/ Orhan, A., Ferromanyetik Bir Cismin Elektromıknatis Yardımıyla Hava da Konum Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 1987.
- /IV/ Hugel, Yon, J, Der sehwebende Körper veränderlichen Gewichts mit selbstanpassender Regelung, 10. Heft 1 (16 Jahrgang 1968) Regelungstechnik.
- /V/ Felderhef, R., Leistungs-Elektronik, Lerbucher Der Technik, Berlin, 1984.
- /VI/ Werner, L., Einführung in die Regelungstechnik, Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1984.

VUKSEK GERİLİMLİ HAVA İLLTİM HATLARINDA  
OPTİMAL GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ

E. Kani kođlu\*

\*I. T. U. S. M. F. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
SAKARYA

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek gerilimli hava iletim hatlarında sistemin daha güvenilir hale gelmesi için optimal güvenilirlik değeri endirmesi yapılmıştır. Seri-parallel ileti» hatları, generatörler, kesici ve diğer tesis elemanlarından oluşan elektrik enerjisi iletim tesisinde iletim hatları hariç tüm tesis elemanları tam güvenilirlik kabul edilmiştir. Optimal güvenilirlik değeri endirmesi için Lagrange çarpınları yöntemi kullanılmıştır. Hesaplama kolaylığı açısından sıralama olarak sistemdeki toplam eleman maliyeti alınmıştır. Herbir elemana uygun miktarda paralel eleman ilavesi ile elemanların güvenilirlik değeri artmakta ve konulan maliyet sınırlaması ile sistemin optimal güvenilirliği bulunmaktadıdır. Uygulama olarak dört bara ve dört iletim hattından oluşan bir örnek sistem için optimal güvenilirlik analizi yapılmıştır.

1. GİRİŞ

Sayısal güvenilirlik değeri endirmesi sistemin uygun çalışmasını tahmin için önemli bir ölçüttür. Elektrik santrallerinde Üretilen enerjinin tüketiciye ulaştırılmasının en ekonomik biçimde gerçekleşmesi ve enerjinin sürekliliği, kalitesinin amaçlanan düzeyde sağlanması modern bir ađ şebekenin başlıca görevidir. Üretimi enerjinin üretim yerinden tüketiciye ulaştırılmasında kullanılan iletim hatlarının güvenilirliğine artan ilgi özellikle aşağıdaki şu etkenlere dayanır. 1> Artan elektrik enerjisi talebinin kaliteli olarak karşılanabilmesi ve güvenilirliğinin hesaplanabilme sorumluluğu, 2> bu durumda sisteme eklenecek yeni iletim hatlarının güvenilirlik ölçütünden önce saptanması. 3> güvenilir olmayan iletim tesislerinin, saptanıp ülke ekonomisine vereceği zarar ve mali kaybın planlamada gözönünde tutulmasıdır. Güvenilirlik hesaplaması, elektrik enerjisi üretimi ve iletim tesislerinin istatistiksel verilerinden yararlanarak yapılan, mühendislik

ve ekonomi yöntemlerini kullanan bir ön-görüm çalışması ve planlamanın doğal unsurudur. Günümüzde güvenilirlik çalışmaları teknolojik ürünlerin çoğunda yaygınlaşmıştır. Enerji kurumları artık, elektrik enerjisi iletim tesisinin planlaması üretimi, iletimi ve işletmesi aşamalarındaki doğal kaynak etkisinin, maliyet kısıtlamalarının doğadaki zararının bilincine varmışlardır ve en az yatırımla en güvenilir aramaya koyulmuşlardır. Bundan dolayı bazı kısıtlamalar altında optimal güvenilir bir sistem donanımı çalışmalarını yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada yüksek gerilim hava hatlarında maliyet kısıtlaması koşulu ile optimal sistemin güvenilirliği değerlendirilmesi yapılmıştır.

Güvenilirlik ile ilgili literatürlerde bazı kısıtlamalar altında optimal sistem tasarımı için birçok yöntem vardır. Çoğu yayınlarda düşünülen problem sistemin güvenilirliğini optimize etmektir. Bu problemde veriler birbir elemanın güvenilirliği ve Ü;darın kısıtlamalarıdır. Bu sistemin kısmi optimizasyonu için ten tasarımı; / ar : ;3t-cin U^u: r: u: Ja birçok seçeneğe jahi pti: , b-j;la: L\_10;J: güvenilirliği Jü^i l;ck v- paralel eleman kullanmak ; . Bu çalışmada ikir: kavramın kullanılmasıyla optimize i: r -1; tem tasarımı na varmanın oluru UCUU a^ termektedir. Basitleştirmek için, yalr, mali/et kiGitılması )ullarıJ di bljimi^ beraber bu yaklaşıJit çok gorjelür -c i; CCK kısıtlamaya kadar geniŞIC-UILLI III

Genel bir sistem birçok alt sistemden oluşur. Bu alt sistemler den ho: • i-1 ^ nin bozulması ve fonksiyon bozukluğu tüm sistemin arızasına veya bozulmasına sebep olabilir. Buda para ve zaman kaybıyla sonuçlanabilir. Bundan dolayı sistemin güvenilirliğini düzeltmek kaçınılmazdır. Herbir alt sistem, sistemin aği evini tam başarılı olarak yapabilecek uygunlukta olduğu düşünülür. Sistem modelinde seri olarak çalışan alt sistemler matematiksel olarak ifade edilebilir. Önce sistem modellenir, standard prosüdürlü model analiz edilir /I . Temel olarak yüksek sistem güvenilirliği

gerçekleştirmenin iki yolu vardır. Bunlardan biri çok güvenilir elemanları geliştirmek diğeri ise paralellığı sağlamak veya paralel eleman kullanmaktır /cV. Dünn yanı sıra verilen sınırlamalar altında özel eleman güvenilirlikleri ile sistem güvenilirliğinin optimizasyon problemi dUsUnUmUstUr ^3-3-^ . Bu kısmi bir optimizasyondur, yüksek güvenilir eleman Ürötmenin çok pahalı olduğu gerçeği gözden kaçırılmıştır. Bir elemanın çiftinin maliyeti, çiftleşmiş alt sistemin güvenilirliğine eşit gUvenilirlikli bir elemanın üretim maliyetinden ekseriya daha azdır . Bu bir elemanın üretim maliyetinin, onun güvenilirliği ile Üstel olarak artmasından dolayıdır ve 2400 gUvenilir bir elemanın üretim maliyeti sonsuzdur .4S. Örneğin bir alt sistemin gUvenilirliği 0,95 ise bu elemana aynı gUvenilirliğe sahip bir eleman paralel olarak bağlandığında sistem maliyeti iki katına çıkarken güvenilirlik 0.3973 olur ancak diğer kısıtlamalar ihmal edilmiştir. Fakat 0,9075 gUvenilirliğe sahip bir eleman yahut bir alt sistemin Üretim maliyeti aşırı miktarda olacaktır. Bundan dolayı bir sistem tasarlanırken, sağlanabilir mUnkUn kaynaklar dahilinde sistem gUvenilirlik optimizasyonu yapılabilir, burada değişken olarak paralel eleman sayısı ve eleman güvenilirliği dUsUnUIUr.

## 2. OPTİMAL SİSTEM GÜVENİLİRLİĞİNDE LAORANGE ÇARPANLARI

Genel olarak doğrusal olmayan programlama problemi aşağıdaki karakteristiklere sahip problemler için lagrange çarpanları yöntemi ile çözülebilir.

- 1> Sınırlamalarda hiçbir eşitsizlik görUl-momeli.
- 0 Değişkenler Üzerine negatif olmama veya ayrıklık sınırlamaları konulmamalıdır.
- 3> Eşitlik sınırlaması sayısı değişken sayısından ardır.
- 4) Sınırlama ve amaç fonksiyonları sUrekli ve ikinci dereceden kısmi tUrovleri vardır.

Gerek ve yeterli koşullar tayler serisi yaklaşımı ile geliştirilir /5V. Eşitsizlik sınırlaması ve? negatif olmayan değişkenleri içeren problemleri çözmek için lagrange çarpanları metodu genelleştirilebilir. Optimizasyon problemleri için zorunlu koşullar klasik kuhn-Tucker koşullarıdır. Zorunlu koşullar eğer amaç fonksiyonu konveks ise ve sınırlamalar çözüm bölgesinde bir konveks küme oluşturuyorsa global bir minimum için uygundur vade amaç fonksiyonu konkav ise ve sınırlamalar çözüm bölgesinde konveks bir küme oluşturuyorsa zorunlu koşullar global bir maksimum için uygundur.

## 2.1. Tek Kısıtlı Problemler için Lagrange Çarpanları Yöntemi

Tek kısıtlı problemler için X lagrange çarpanı, yeni fonksiyonun kısıtlı maksimumunu elde etmek için eklenmelidir .

$$L(\bar{x}) = R_0 - X \left( \sum_{j=1}^N C_j x_j - b_1 \right) \quad (1)$$

Eşitlik (1)'in lagranciernini maksimum yapan çözüm kısıtlı maksimum problemi için çözümdür. Kısıtlama tüketilebilecek kaynak miktarıdır. Gencide X'mr, farklı seçimleri farklı kaynak seviyelerine ulaşır v© sağlanabilen maksimum kaynak b\_1'den yararlanmak için deneme ve yanıl-mayla ayarlamak zorunlu olabilir. Bundan dolayı X'nın ayarlanması gereklidir. Sistem güvenilirliğinin logaritmasının maksimizasyonu amaç fonksiyonunu maksimum yaptığından problemi güvenilirlik fonksiyonunun logaritmasına çeviririz,

$$H = \ln R_0 - \sum_{j=1}^N \lambda_j \ln [1 - t t - R_j]^{x_j} \quad (2)$$

Verilen X için, lagrange çarpanı fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilecektir.

$$L(\bar{x}) = \sum_{j=1}^M \ln t_1 - \langle 1 - R \rangle^J - X \langle \sum_{j=1}^N C_j x_j - b \rangle \quad (3)$$

xil. J=1,2,3... N olmak Uzoro.

Eşitlik <3> olağan yöntemde x\_j ye göre tUrev olarak maksimum yapılabilir ve optimal x\_j'yi elde etmek için sıfıra eşitlenir sonunda en yakın tamsayı değerine tamamlanır.

$$\frac{dL(\bar{x})}{dx_j} = 0 \quad (4)$$

yahut

$$\frac{-\langle 1 - R_j \rangle^{x_j} \ln \langle 1 - R_j \rangle^{x_j}}{\langle 1 - \langle 1 - R \rangle^J \rangle^2} = X C_j = 0 \quad (5)$$

Herbir katta x\_j için çözüm,

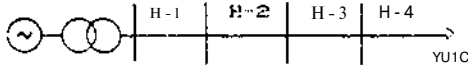
$$x_j = \frac{\ln \langle 1 / (1 - \ln \langle 1 - R_j \rangle / \lambda C_j) \rangle}{\ln \langle 1 - R_j \rangle} \quad (6)$$

olarak bulunur. Kısıtlama limitleri içinde. R\_0'in on bü-

yük değerindeki sonuçları  $C_x$  leri) sap-  
tacak için  $x_j$  İcrin en yakın olduğu tam-  
sayıları bulana kadar denenir.

### 3. UYGULAMA

Sekil <3. D'de verilen örnek bir sis-  
temi ele alalım.  $R_{k, max}$  güvenilirliğine  
UCTk gösteren eri az maliyetle N-tabaka-  
lı seri bir enerji iletim hattının  
 $S^2 \wedge R_{k, max}$  güvenilirliğini verebilmesi  
için gerekli eleman yerleşimini tayin  
edelim. Örneğin  $R_{k, max} = 0.09$  ve toplam  
maliyet  $b_j \leq 61$  den az olacak dört tabaka-  
lı bir enerji iletim hattı göz önüne alı-  
nı. Bu sistemde enerji iletim hatları  
hariç tüm tesis elemanları tam güvenilir  
kabul edilmiştir (generatör, transforma-  
tör, kesici, ayırıcı, koruma elemanları,  
v. s.). Örnek sistem sekil C3.1'de gö-  
rül maktadır.



Sekil-3.1. Örnek Sistem

Su sistemdeki iletim hatlarına ait güve-  
nilirlik ve maliyet değerleri tablo-3.1.  
de verilmiştir.

Tablo 3.1. Örnek Sistem için Güvenilir-  
lik ve Maliyet Değerleri

Hatlar, j	1	2	3	4
Maliyet, $C_j$	1,2	21,3	3,4	4,5
Güvenilir- lik, $R_j$	0,8	0,7	0,75	0,85

$$g = \prod_{j=1}^N C_j x_j b_j \quad \text{ve} \quad R_k \geq R_{k, max}$$

); isisli amaları ile,

$$K_k = \prod_{j=1}^N (1 - (1 - R_j)^{x_j})$$

maksimum olmalıdır.

Tek sınıriamali problemi çözmek için bas-  
sit lagrange çarpanları yöntemi kullanı-  
labılır. Bu yaklaşımda tüm kaynaklar tü-  
keninceye kadar kullanılır. Burada para-  
lellik sayısı, tamsayı olması zorunlu  
ise de sürekli olacağı kabul edilir.

>vnm bir dizi değeri için daha önce ge-  
listirildiği gibi lagrange çarpanları  
uygulaması tablo 3.2'de olde ediler. çö-  
zümleri verir.

Tablo-3.2.

$\lambda$	MALİYET	SİSTEM GÜVENİLMEZLİĞİ	ELEMAN YERLEŞİMİ T1 T2 T3 T4
0.0009	44. e	0.000907	5 5 4 3
0.000e	48,0	0.007086	5 5 5 3
0.0007	50.3	0.005392	5 6 5 3
0.000e	54,8	0.002330	5 6 5 4
0.000S	54,8	0.002530	5 6 5 4
0.0004	54.6	0.002530	5 6 5 4
0.0003	54,8	0.002530	5 e 5 4
0.0002	31.7	0.001033	e 7 e 4

T1=tabaka sayısı <T1, T2, T3, T4>

Bu sonuçların incelenmesi, biri hariç  
bütün durumlarda çözümde çözüme eleman  
yerleştirme değişimleri maksimum bir  
tabakada maksimum bir ilave elemandan  
ibarettir. Bundan dolayı eleman sayısı  
ile tek düze olarak artan güvenilirlik  
ve maliyet kullanılır. Bu çözünü-  
arasında yeni çözümler oluşturabilen  
yoktur. Bununla beraber \-0,003'de:  
0,0002 ye geçiş Ue tabakada bir  
oluşturmuştur ve \ orta değerleri içir.  
bu aralıkta başka çözümler beklenebili-  
riz. Bu bölgenin ilave hesaplamaya ile  
ilgili yeni sonuçlar tablo-3.2'de  
düğü gibidir.

Tablo-3.3.

X	MALİYET	SİSTEM GÜVENİLMEZLİĞİ	ELEMAN YERLEŞİMİ T1 T2 T3 T4
0.000225	54,3	0.002530	5 5 5 4
0.000220	57,1	0.002020	5 7 5 4
0.000215	00,5	0.001288	5 7 5 4
0.000210	61,7	0.001033	5 7 5 4

T1=tabaka sayısı (T1, T2, T3, T4)

Optimal eleman yerleşimi,

$R_k = 0.001288-0$ , Güç: 1,1 ile

$[X_1, X_2, X_3, X_4] = (5, 7, 5, 4)$  dür ve maliyet

$\sum_{j=1}^4 C_j w_j = 60,5$  değerleri bulunmuştur.

REFERANSLAR

- 11/ K. B. Misra, "An Algorithmic Reliability Evaluation of Redundant Networks," IETE Trans. Vol. K-10, PP. 1-10, Nov. 1970.
- 12/ K. B. Misra, "Reliability Optimization of a Series-Parallel System," IEEE Trans. Rel. Vol. R-21, pp.230-235, Nov. 1972.
- 13/ C.L. Liang, L.T. Fan, F. A. Tillman and S. Kumar, "Optimization of Life Support Systems Reliability by An Integer Programming Method," AIIE Trans., Vol. III, pp. 229-338, Sept. 1971.
- 14/ T. G. Rav, Optimization and Probability in Systems Engineering. New York: Reinhold, 1970.
- 15/ Liang, C.L., P.K. Gupta and L.T. Fan, Method of Lagrange Multipliers and the Kuhn-Tucker Conditions, Institute for Systems Design and Optimization Report No. S0. Kansas State University, 1974.

FAST NODE ELIMINATION METHOD IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS  
USING SPARSE MATRIX AND SPARSE VECTOR TECHNIQUES

A.Cichy, T.Yalçınöz

Electrical and Electronics Engineering Department  
Faculty of Engineering and Architecture  
Çukurova University, 01330 Adana

ABSTRACT

This paper presents a simple fast method of large electrical networks reduction. The method is based on the explicit interpretation of Shiple-Brown formula for the partially inverted matrix together with utilization of sparse matrix and sparse vector methods. It can be used for computation of transfer admittance matrices or obtaining the equivalent of a large external network. In both cases it is possible to use the compensation method for obtaining several variants of transfer matrix or external equivalent for switching in network.

INTRODUCTION

The elimination of nodes in electrical power systems has usually been used in the following areas of application:

1. computation of the transfer admittance matrix reduced to the internal generator nodes for pre-fault and post-fault states (Lyapunov method /1/, topological coherency recognition /2/, transient energy function /3/). Using the compensation method /4/ and sparse vector methods /5/ it is possible to obtain several variants of the transfer matrices for different faults very fast without calculating them from the very beginning /6/, /7/, /8/.
2. reduction of network to obtain a more computational efficient equivalent of a large external network for arbitrary but strictly defined set of retained nodes (unreduced and reduced Ward-PV equivalents /2/).

In both cases the set of boundary nodes is strictly defined. Therefore it is unnecessary to apply the adaptive reduction /9/ with appropriate choice of boundary /10/. A simple method is presented based on the explicit interpretation of Shiple-Brown formula /11/ for the partially inverted admittance matrix together with utilization of sparse matrix/vector techniques.

PRELIMINARY CONSIDERATION

Nodes elimination in electrical networks is equivalent to the removal of a given group of nodes with the certain assumptions concerning the corresponding nodal voltages and injected currents. Each node belongs to either of two subsets: subset of retained nodes X or subset of eliminated nodes Y.

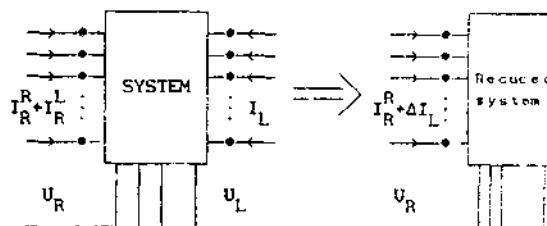


Fig. 1. Nodes elimination: (a) system before elimination (b) system after elimination. R, L - indexes for retained and eliminated nodes.

The network before elimination is described by the following nodal equation

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{RR} & Y_{RL} \\ Y_{LR} & Y_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ U_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

The lower indexes R and L correspond to the partition of nodes into subsets K and L. With the assumption that the loads are replaced by the constant admittances. They can be added to the appropriate diagonal elements of submatrix Y<sub>LL</sub>. It results

in zeroing the nodal injected currents at the nodes from L, i.e. I<sub>L</sub> = 0. After a simple algebraic transformations equation (1) takes the form

$$\begin{bmatrix} I_R \\ U_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y & -Y Y^{-1} Y & -Y Y^{-1} \\ -Y_{RR} & Y_{RL} Y_{LL}^{-1} Y_{LR} & Y_{RL} Y_{LL}^{-1} \\ -Y Y^{-1} & & -Y_{LL}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

The transformed admittance matrix is called the partially inverted matrix /11/. The equation for the subset R is as follows

$$I_R = Y^R U_R = \dots - I \quad (3a)$$

where

$$Y^R = \begin{bmatrix} Y & -Y Y^{-1} Y \\ Y_{RR} & Y_{RL} Y_{LL}^{-1} Y_{LR} \end{bmatrix} \quad (3b)$$



Equation (3b) describes the reduced admittance matrix of the reduced network. The retained nodes directly connected with the eliminated nodes constitute a subset S of border nodes. Besides the original branches the reduced network includes also the equivalent branches directly connecting every pair of border nodes, if there was an external path between them.

Expression (3b) is only a formal description of the reduced matrix. In practice there are several different methods of computing the reduced matrix:

- stepwise elimination method: it is the most popular approach based on Gauss elimination. Using sparse matrix techniques one bus from  $t$  is eliminated at a time. Even if the ultimate number of equivalent branches is acceptable in terms of computer memory, it may happen that during the final steps the number of equivalent lines (nonzero elements in the matrix) can increase prohibitively. Therefore elimination of a new nonzero elements should be taken into account, if possible. The following rule can be applied: stop the elimination if only the number of equivalent lines increases instead of decreasing. It results in retaining some extra nodes  $/12/$ . The normal elimination ordering cannot be used to a full extent,
- timed fast method: it is especially suitable for the dense reduced matrices like the transfer matrices. It has been derived from the Adams method of an Laplace transform  $/11/$ . The reduced network matrix is forced by stepwise expansion and reduction process performed for the successive nodes and their neighbours (i.e. after collecting all neighbours of a successive node, we eliminate this node).
- adaptive reduction method  $/9/$ : entire admittance matrix for S and  $f$  subsets is factorized in optimally ordered way. Any required reduced network can be extracted from the obtained factors. Besides the specified retained nodes some extra unspecified nodes must also be retained.

The first two methods require that either the matrix being reduced or both the network data and matrix being forced must reside in computer memory. In the case of large electric power systems and relatively small computer memory (for instance power network with 2000 nodes and 3000 branches, 640KB of memory) these methods cannot be applied.

The presented method factorizes the admittance matrix for subset Z in optimally ordered way (minimum degree method). Afterwards the parameters of the equivalent branches can be computed in orderly manner for successive nodes from S, and can be written instantly into the external storage. Adaptive reduction also offers the same possibility but requires retaining some additional nodes. Besides in presented method the basic procedure from sparse matrix software remain unchanged, whereas adaptive reduction requires changes in the sparse matrix software.

## OUTLINE OF METHOD

The expression (3) for the reduced admittance matrix of subset X can be rewritten as follows

$$Y^R = Y_{RR} + \Delta Y_{RR} \quad (4)$$

where

$$\Delta Y_{RR} = - Y_{RL} Y_{LL}^{-1} Y_{LR} \quad (5)$$

The matrices from (4) and (5) have the following features:

- $Y^R$  is a sum of the admittance submatrix  $Y_{RR}$  for the retained nodes Z and a correction admittance matrix  $\Delta Y^R$ . Thus the matrix  $\Delta Y^R$  describes the superposition of two networks: original network with the retained nodes X, linked by the original branches, and the network consisting of the border nodes S linked by the equivalent branches. In certain application it is sufficient to compute only the correction matrix, i.e. the parameters of equivalent branches.
- matrices  $Y_{RL}$  and  $Y_{LR}$  correspond to the links between the eliminated nodes from I and the retained nodes from H. The k-th column of matrix  $T_{LR}$  comprises the admittances of branches connecting the k-th node from R with nodes from  $f$ . For unreduced network each column of matrix  $Y_{LR}$  contains few nonzero elements, corresponding to the neighbours of the k-th node. Matrix  $T_{RL}$  and  $T_{LR}$  does not change during factorization of  $Y_{LL}$ .
- matrix  $Y_{LL}$  is the admittance submatrix of the subset  $f$  with load admittances added to the diagonal elements. Matrix  $T_{LL}$  is sparse and retains sparsity if the optimally ordered factorization is used,
- product  $Y_{LL}^{-1} Y_{LR}$  is the matrix with dimensions  $n_f \times n_R$ , where  $n_f$  and  $n_R$  are the numbers of elements in  $f$  and S, respectively. The k-th column of this matrix is a solution  $x^k$  of the linear algebraic equations

$$Y_{LL} x^k = Y_{LR}^k \quad (6)$$

Eventually the elements of the correction matrix  $\Delta Y_{RR}$  are computed from the following formula

$$\Delta y_{ik}^{RR} = - y_{i.}^{RL} \cdot x^k \quad (7)$$

which is a scalar product of the i-th row of  $Y_{LR}$  and the solution vector  $x^k$ . If the i-th column of  $Y_{LR}$  is empty, it means that there is no link between the i-th node from I and subset  $f$ , and the i-th node is not a border node. Hence the i-th

column and 1-th row of the correction matrix are zero. Therefore in order to obtain all elements of the correction matrix it is sufficient to calculate only  $n_{ei}$  solutions of equation (6), where  $n_{ei}$  is the number of the border nodes.

To calculate the k-th column of the correction matrix (only nonzero elements), we need the solution  $x$  for  $k \in B$ . Matrix  $Y_{LR}$  is very sparse and remains unchanged during factorization of  $Y_{LL}$ . Thereby the columns  $Y_{LR}^k$  are also very sparse, and it is reasonable to apply the fast forward and full backward substitution [5] to solve equation (6). The scalar product (7) is calculated only for non-empty rows of  $Y_{LR}$ .

For the transfer matrix subset  $X$  consist of the internal generator nodes  $S$ . Every node of  $S$  is directly connected by a radial line with a generator terminal node from  $t$ . Hence  $X - S = S$ . Matrix  $Y_{RR}$  is diagonal, where  $Y_{RR} = Y_{gg} * \text{diag}(y_{gk})$ , and  $y_{gk}$  is the equivalent admittance of the k-th generator. Every nonzero column of matrix  $Y_{LR} = Y_{LR} + Y_{LR} Y_{RR}^{-1} Y_{RL}$  consists of exactly one nonzero element  $-y_{gk}$ .

Therefore the solution  $x$  takes the simple form

$$x^k = -y_{gk} Z_{ik} \quad (8)$$

where  $Z_{ik}$  is the k-th column of the impedance matrix  $Y_{LL}^{-1}$ . Using fast forward and full backward substitution,  $Z_{ik}$  may be obtained from the following equation

$$Y_{LL} Z_{ik} = e_i \quad (9)$$

where  $e_i$  is the i-th column of unit matrix. Taking into account that  $Y_{LR}^{-1} = -y_{gk}^{-1} e_k^T$  and  $Y_{RL} = \text{diag}(y_{gi})$  the elements of correction matrix can be computed as follows

$$\Delta_{ik}^{RR} = -y_{gi} y_{gk} Z_{ik} \quad (10)$$

Finally the elements of transfer matrix in the post-fault state take the following form

$$Y_{ik}^G = -y_{gi} y_{gk} Z_{ik}, \quad i \neq k \quad (11a)$$

$$Y_{ii}^G = y_{gi}^{-2} Z_{ii} \quad (11b)$$

Most of the faults can be modelled as the corrections  $\Delta Y$  of matrix  $Y_{LL}$ . Equation (9) for post-fault state may be modified as follows

$$Y_{LL}^{-1} (Y_{LL} + \Delta Y) Z_{ik} = e_i \quad (12)$$

Using compensation method [4] it is possible to obtain the postfault transfer matrix as a modification

of the prefault matrix  $Y^G$  without refactorization of  $Y_{LL}$ . Hence the elements of postfault matrix  $Y^G$  are equal to

$$Y_{ik}^G = Y_{ik}^G - y_{gi} \Delta Z_{ik} y_{gk} \quad (13)$$

Let assume that the fault occurs in line  $(j, l)$ . To obtain the correction  $\Delta Z_{ik}$  it is necessary to calculate only the j-th and l-th column of the prefault impedance matrix using (9).

#### IMPLEMENTATION OF METHOD

The presented method can use any sparse matrix (SM) package for the solution of symmetric algebraic equations. The applied SM packages have been implemented in FORTRAN 77 [13] and lately also in C. To test possibility of using C language for power system analysis [14]. Both packages utilize the linked lists storage scheme in array representation (FCKTRAN) and pointer representation (C). SM is stored in row wise manner. Because of it and because of the admittance matrix symmetry it is sufficient to use and store only matrix  $Y_{LL}$ . After a

simple modification it is possible to use the same storage scheme and store both  $Y^G$  and  $Y^G$  in the form  $Y^G, \dots$ , but factorize only  $Y_{LL}$ . The linked list storage scheme has been chosen because it is flexible and facilitates in situ factorization. Hence it allows to process large networks using relatively small computer memory. Besides it has been found that the linked list storage scheme is very efficient in C implementation.

The presented method has been applied for the calculation of the equivalent network for the reduced Ward-PV equivalent [2], 2 transfer admittance for prefault and postfault states [6, 7].

Input data consist of line data (network topology and line parameters), bus data (output of load flow program), partition data (e.g., a list of nodes from  $X$ ). The two basic matrices, namely  $Y_{LL}$  and  $Y_{RL}$ , are created during data input.

During calculation of the equivalent network only the correction matrix  $\Delta Y^G$  is computed, without forming the matrix  $Y_{pp}$ . The results comprise the parameters of equivalent lines, connecting the border nodes and the equivalent shunts at these nodes. The impedances of equivalent lines are derived from the appropriate off-diagonal elements of correction matrix. The equivalent line shunts are assumed to be zero. The equivalent lines data are appended at the end of file, following the retained lines data. During calculation of equivalent lines parameters the equivalent shunts for nodes are also calculated.

## ALGORITHM

1. Input bus data.
2. Input a partition into subsets:  $t$  and  $f$ .
3. Input bus data and form the matrices  $Y_{LL}$ ,  $Y_{LR}$ ,  $Y_{RL}$ ,  $Y_{RR}$ .
4. Factorize the matrix  $Y_{LL}$  in optimally ordered way.
5. Compute successive columns of the correction matrix  $\Delta Y_{LL}$  for nodes from  $f$ . The  $(i,k)$ -th element of matrix  $\Delta Y_{LL}$  is treated as an admittance of the equivalent line  $(i,k)$  equal  $-\Delta Y_{i,k}$  (in pu). Write lines parameters onto disk.
6. Compute the equivalent shunts at border nodes from the power balance for a node.

## TEST RESULTS

The presented method was tested on several small, medium and large systems. Two test systems have been chosen for presentation of transfer matrix and equivalent network calculation:

1. transfer matrix - network:  $n=271$ ,  $b=361$ ,  $g=70$ ,  $n_f=70$ ,  $b_f=2415$ ,  $t_{off}=5.3s$ ,  $t_s=0.13s$ ,  $t_{tm}=11.0s$ ,  $t_{tmm}=1.1s$ . Computer: VAX11/750.
2. equivalent network - network:  $n=1585$ ,  $b=2560$ ,  $n_f=6$ ,  $n_f=5600$ ,  $t_{off}=25.3s$  (6.9s),  $t_s=2.5s$  (0.66s),  $t_{eq}=17.25s$  (4.5s) in parenthesis - times for C language. Computer: AT386 25MHz with 80387-20MHz.

Abbreviations:  $n, b, g, n_f$  - number of nodes, branches, generators and retained nodes,  $t_{off}$  - factorization,  $t_s$  - solution,  $t_{tm}$ ,  $t_{tmm}$  - transfer matrix and its modification,  $t_{eq}$  - equivalent network.

## CONCLUSIONS

The proposed method shows the characteristic features and several following advantages:

- the new elements of reduced matrix are computed in orderly manner, for instance all equivalent lines incident with a given border node. Therefore the parameters of equivalent lines can be written into the external file immediately after their computation,
- the only matrices which must be kept in memory during elimination are: optimally factorized sparse admittance matrix  $Y_{LL}$  for subset  $t$ , and very sparse matrix  $Y_{LR}$ . They remain unchanged during calculation of equivalent lines. Therefore large power networks can be processed using relatively small computer,
- all equivalent lines incident with a given border node can be obtained in time proportional to the solution time. Therefore application of sparse vectors techniques can reduce substantially the overall computation time,

- the formulas for the reduced matrix has been derived using the algebraic consideration. This approach allows to apply the algebraic version of compensation method /4/ in the same way for various faults occurred in the eliminated part of network. In /5/ the similar formula for the transfer matrix has been presented, but derived from the electrical consideration, and therefore different types of faults were treated in different way (e.g. fault at bus was treated in different way than the line outage).

## REFERENCES

- /1/ Ribbens-Pavella, M., Evans, F.J.. Direct methods in the study of the dynamics of large-scale electric power systems - a survey, IFAC VIII, vol. XX, Aug. 1981, Japan, Kyoto,
- /2/ Machowski, J., Cichy, A., Gubina, F., Omahen, P., External subsystem equivalent model for steady-state and dynamic security assessment. IEEE Trans.PWRS, vol.3, no 4, 1988.
- /3/ Marja, G.A., Tang, C.. Kim, J., Hybrid transient stability analysis, IEEE Trans.PWRS, vol. 5, No 2, May 1990. pp.384-393
- /4/ Alsac, O., Stott B., Tinney W.F.. Sparsity-oriented compensation methods for modified network Solutions, IEEE Trans.PAS, vol.102, No 5, May 1983. pp.1050-1060
- /5/ Tinney, U.F., Branduajn, V., Chan, S.M.. Sparse vector methods, IEEE Trans.PAS, vol.104, No 2, Feb 1985. p.295-301
- /6/ Cichy, A., Fast preliminary computations in power system model reduction, National Seminar on Recent Trends in Electric Energy Systems, New Delhi, India, May 1986
- /7/ Cichy, A., Kloß, A., Machowski, J., Coherency based power system model reduction using sparse matrix techniques. UPEC87, Sunderland, UK. 1987
- /8/ Xue, Y., Van Cutsem, Th., Ribbens-Pavella, M., A simple direct method for fast transient stability assessment of large power systems, IEEE PES 1987 Winter Meeting, 104-3
- /9/ Tinney W.F., Bright J.M. "Adaptive reductions for power flow equivalent". IEEE Trans.PWRS, vol.2, No.2, May 1987, p.351-360
- /10/ Chen, Y., Bose, A.. Choosing the appropriate boundary for adaptive reduction, IEEE Trans. PWRS, vol.3, No.2. May 1988, p.747-752
- /11/ Broun, H.E., Solution of large networks by matrix methods, J.Ulley 8. Sons Inc., 1975
- /12/ Tinney, W.F., Pouell, W.L., Peterson, N.H., Sparsity oriented network reduction, PICA Conference, Minneapolis 1973, p.384-390
- /13/ Cichy, A., Sparse matrix techniques in transient stability studies of large electrical power systems, Ph.D.Thesis (in Polish), Warsaw Technical University, 1987
- /14/ Future role of high level languages in power system control centers, IEEE Trans PWRS, vol.3, No.3, Aug 1988, pp.1026-1212

DAĞITIM ŞEBEKELERİ PLANLAMALARINDA YATIRIMLARIN GECİKMESİ VE SONUÇLARI  
-BİR ÖRNEK HİLAL-  
K.Kurtuluş tzbek  
GALKON-Galvanizli Konstrüksiyon San.Ve Tic.A.Ş. izmir şantiyeleri B.Müh.

GİRİŞ

Basit verim hesaplarından oluşan bu çalışma, dağıtım şebekelerimizde halen çok yüklü çalışan hat parçalarının mevcut kayıplarında çok büyük azalmalar sağlayacak programlı yatırımlarda görülen gecikmelerin önemine dikkat çekmek amacı taşımaktadır. Bunun için tesadüfi bir konu seçilmiştir, Hilal Fideri.

Halen 34,5 kV işletme gerilimine sahip adı geçen dağıtım hattının şu andaki ve yatırım programı gerçekleştirildiğinde sahip olacağı 154kV işletme gerilimindeki kayıplarının dökümü ve sonuçları ekte dir.

Kayıp hesaplarında hattın sadece Joule kayıpları dikkate alınmıştır. Hesaplara veri olarak giren sürekli hat akımı, son beş aylık dönemde çekilen toplam enerjiden hesaplanan matematik ortalama değerdir, örneğin fider ortalama akımı 644 A. alınmış iken, günün büyük bölümünde bu akım 900 A. puant saatlerinde ise 980 A.'e varan mertebelere ulaşmaktadır. Joule kayıplarının akımın karesiyle orantılı olduğunu düşünürsek gerçek tablonun aşağıda verilen sonuçlardan daha da acı gerçekleri içerebileceği unutulmamalıdır.

Kayıp hesaplarında sadece hat kayıplarının dikkate alındığını, anılan liderden beslenen çok aşırı yüklü trafoların kayıplarının hesaplara dahil olmadığını bir kez daha hatırlatmak isterim. Fuar T.M. de 34,5/10,5 kV, 2x15 KVA trafoların son beş aylık ortalama rakamlara göre puant yükleri sırasıyla 14,4 ve 17,25 MVA'dır. 3u, 15 MVA'lık bir trafonun %115 lere varan aşırı yüklenmesinin, kayıplar bir yana, trafonun ömrü ve işletme-bakım maliyetleri üzerindeki etkisi, ayrı bir araştırma konusu olabilir görünüyor.

Unutulmamalıdır ki, hesaplarda dikkat çekici sonuçlar veren anılan hat, İzmir ili metropolitan alanı içinde halen yer alan 12 adet 34,5/10,5kV merkezden sadece biri ne aittir.

Ülke genelinde yatırımların gecikmesinin önemi konusunda kamuoyunda küçük bir soru işareti uyandırabilirse, bu basit çalışma amacına ulaşmış sayılacaktır.

NOT: Benzer hesaplar, gene tesadüfi seçilen "Soğukkuyu T.M." hatlarında uygulanmış olup, sonuçlar dileyenlere tarafımdan sunulacaktır.

HESAP ÖZETLERİ VE SONUÇLARI

1-MEVcut DURUM. YATIRIM AKSAMALARI:

Halen Fuar T.M.'yi besleyen 2(3x477) KCM iletkenli Işıklar-Hilal havai hattı 15.02.1987 yılından beri işletmededir. Anılan tarihte 154 kV'a göre projelendirilip 154 kV'a göre tesis edilen bu hat, 154 kV trafolar bu güne kadar tesis edilemediği için halen 34,5 kV ile işletilmektedir. Hilal T.M. Yatırım Programı çerçevesinde 85.D.02.0460 yatırım nosu ile 1985 yılı yatırım programında yer alıp 198b yılında devreye alınması öngörülen 154/34,5 kV.100 ve 50 MVA iki adet trafo aradan beş yıl geçmesine rağmen, Kart 1991 itibarıyla dahi tesis edilememiş bulunmaktadır. 1985 yılı yatırım programında bu trafoların yatırım tutarı 690.000.000 TL'dir.

2-YATIRIM AKSAMASININ SONUÇLARI:

a) Proje maliyetinin büyümesi açısından: 198b yılı yatırım programında 0'10 m'liyor. T.L. olarak yer alan Hilal tz-afonun maliyeti, 31.12.1985 tarihli T.O. Merkez Bankası'nın ilan ettiği kurla i Döv Ir. alış-IŞ:374 T.L.) 1.202.090 & iken, birü:ı (08.03.1991) gene T.C. Merkez Bankası fi- atlarıyla (Döviz alış IŞ:3390, I9 T. i.; 4.082.528.049 T.L. 'dir.

Trafoların dolar endeksli maliyeti 1985 yılında 690 milyon T.L. iken, 1991 yılında 4 milyarı aşmıştır.

b) Kayıplar açısından: Hesap eklerinden görüleceği gibi, sözü edilen hattın şu anki kayıpları 1066,7086 kW'tır. Trafo yatırım programı gerçekleştirildiğinde hattın işletme geriliminin

34,5 kV'tan 154 kVa çıkarılması durumunda mevcut taşınan enerjinin yol açacağı hat kaybı 55,3576 kWa düşecektir. Aradaki fark 1011,35 kW tır. Sonuç olarak trafo yatırımı şu ana dek beş yıl gecikmiş olduğu için ekonomimizin 44297 Mwh'lık bir kaybı vardır.

01.03.1991 itibariyle ülkemizde yürürlükte bulunan, T.E.K. Genel Müdürlüğü Yüksek Tensiyon Dairesi Başkanlığı'nın 26.2.1991 tarih, 34.20.1.118 sayılı elektrik enerjisi satış tarife kategorisi'nde köylü abonelere uygulanan ve en düşük satış tarifesi olan 150 T.L./kwh bas alınır, bu 44297 Mwh'lık kayıp enerjinin karşılığı en az 6,64 milyar T.L.dir. Görüldüğü üzere şu anki değeri 4 milyar olan trafolar programda öngörüldüğü gibi 1986 yılında devreye alınabilseydi, kendilerini amorti etmekle kalmayıp en az 2,6 milyar T.L.yide Ülke ekonomimize kazandırmış olacaklardı.

Bu rakamların ekonomik çevrimdeki ifadesini ekonomistlerimize bırakıyorum.

### VERİM HESAPLARI

a) 94.5 kT, 2(9x4T7; NCN IŞIKLAR-HILAL HAMIMI) mTOR İŞLERHİ KOŞULLARINDAKİ TBİRİHİ TI JOOIS KATIPULM:

Kart 1991 itimariyel» son bşş ay içinde fiderden çekillea toplası aarjltea haaajlaaan fider ortalqaa akma : \*44 a.

$$V_{\text{srım}} : \rho \ll \frac{r \cdot l}{u_e} \quad (\neq 0)$$

Burada  $C_1 = \frac{\sqrt{2}}{3 \cos \phi} = 0,589255651$  ( $\cos \phi =$

0,8 «linmiştir»)

$$C_2 = 3$$

$$U_e = \frac{U \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 28,143131 \quad (F_{\text{az-toprak}}$$

geriliminin max. değeri) - kV -

$$J = i \cdot \sqrt{5} / \text{I} \text{ LS3Z5 A/mm}^2$$

→

$$123 \text{ km.}$$

$$\Rightarrow \eta = \% 96,5350851$$

Çekilen sürekli ortalama güç (P) =

$$\sqrt{3} \cdot 34,5 \cdot 644 \cdot 0,8 = 30786 \text{ kw}$$

Toplam Joule kaybı =  $\Delta P$

$$\Delta P = 30786 \frac{(100 - 96,5350851)}{100}$$

$$= 1066,7086 \text{ kw}$$

Hattın mevcut kayıpları = 1066,7086 kw.

b-) 154 kV TRAFOLAR DEVREYE GİHDİĞİ\OE, AYNI HATTIN MEVCUT KONŞTÜK: İYON İL-; 154 kV İŞLETME GERİLİMİ SEVİYK.-İN-; İİ- KAKILDİĞINDA MEVCUT YUKÜK OL'J^V. f. AC-Yj; KAYIPLAR-VERİK:

$$(Verim) \eta = \frac{1}{C_1 \cdot C_2 \cdot l} - r/l //$$

Durada :

$$U_{\text{a.}} \sim t_{\text{ü}} = 12,5, T40if?53 \text{ kv}$$

$$\hat{i} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{a.}}} = \frac{30786}{\sqrt{3} \cdot 12,5} = 1422,7272 \text{ A}$$

$$\Rightarrow J = 0,29851588 \text{ A/mm}^2$$

$$C_1 = \frac{\sqrt{2}}{3 \cos \phi} = 0,589255651 \quad (\cos \phi = 0,8$$

alınmıştır

$$C_2 = 3$$

$$\rho = 0,028571428 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$l = 15,022 \text{ km}$$

$$\Rightarrow \eta = \% 99,82$$

Olunacak toplam joule kaybı =  $\Delta P$

$$\Delta P = 30786 \frac{(100 - 99,82)}{100} = 55,3576 \text{ kw}$$

e-) SOBÜÇ:

Işıklar-Hilal hattının mevcut işletme geriliminin 154kV'a çıkarılmasıyla, mevcut koşullarda toplam kayıplarda görülecek asılma: 1066,7006-55,3576-1011,35 kv.

Gerilim seviyesinin yükseltilmesinin geciktirilen her yıl için ekonomimize verdirdiği kayıp: 1011,35x24x365-8859,43 Mwh/yıl

Beş yıl için toplam kayıp: 44297 Mwh.

### REFERANS

(/I):Orta Gerilim Şebekeleri Prof.M.ınan S.8

# Aydır»1.a'tma eta Son Yı-lleir-ır» Eğ i l t m T i METAL HALOVJEM LAMBALAR

Sermin ONAVGİL. Dilek ENARUN  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Gümüşsuyu - İstanbul

## ÖZET

Bu çalışmada, son yıllarda geniş kullanım alan bulan metal halojen lambaların doğru ve verimli kullanılabilmesi için kullanıcıya ön bilgiler verilme çalışılmıştır. Bu amaçla lambaların yapısı, çalışma prensibi, çeşitleri ve teknik özellikleri verilerek, kullanılacakları yerler açıklanmıştır. Ayrıca, lambaların teknik özellikleri konusunda deneyler yapılarak, bu konuda da örnekler ortaya konulmuştur, özellikle iç aydınlatmada akkor telli lambaların yerine kullanılabilen bazı metal halojen lambaların ekonomik etüdüleri de yapılarak, sağlanabilecek tasarruf oranı hakkında bilgiler verilmiştir. sonuç olarak, metal halojen lambaların kullanımında aydınlatmanın amacına uygun lamba tipinin belirlenmesinin aydınlatmanın kalitesi ve ekonomisi üzerinde çok etkili olduğu anlaşılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Özgülünün başlarında akkor telli lambalar içinde halojen «e tungsten arasında, buharlaşan tungsteni flarına geri döndüren bir kıyasal reaksiyonun olabildiği ortaya çıkmıştır. Fakat bu dönemde çaba eksikliği, kıyasal reaksiyonun iyi anlaşılması; olması «e ulun vetersizliği bu bilginin pratik bir lamba yapıtında kullanılabilmesini engellemiştir. Ancak 1955 senesinde öze) olarak tasarlanmış bir lambanın dolgu şalına iododin gibi bir halojenin eklenmesi n laiba («Derinin sıcaklığının 250°C in üstünde tutulması ile bir yenilme çevrili gerçekleştirilmiştir, fiövlece birçok açıdan hala gelişmekte olan vsni bir laiba tını ortaya çıkışıdır.

akkor telin üstünden buharlaşarak kocan tungsten lto0't' in altındaki ısılarda dolgu şazına katılış halojen il; birleşir. Böylece oluşa tungstenhalojenid konfeksiyon volu ili tekrar fların civarına döner, burada vü-sek ısı nedeni ile ayrılır, tungsten parçacıkları akkor tel «e iletkenler üzerine yerleşirler, halojen parçacıkları »eni bir çevril süreci için serbest kalırlar.

Ketal halojen laibalarda kullanılan halojenler, klor, iyot >e bromdur. Ancak ivodu ttk başına bövle bir yenilme çevrili içinde kollamak lükün değildir. Stabil tungstenoksiiyodid bileşimlerinin oluşabilmesi için dolgu gannada oksijen gerekmektedir. Diğer halojenler tek başlarına da tungsten ile stabil bileşimler Yapabilmektedirler.

Değişik tip ve güçlerde iul edilen letal halojen laibalının gerilimleri tiplerine göre farklılıklar göstermektedirler. Bazıian 220V noinal şebeke gerilinin bağlanabilirken, banları noinal şebeke geriliminde çahşyak için gerilim düşürücü ara elemanlar gerektirmektedirler /1/ • /2/ • /3/ • /4/ • /5/.

Bir elemanın doğm ve yerinde kullanılabilmesi için özelliklerinin tarı olarak bilimesi şarttır. Su nedenle, tipi, gücü, fotoelektrik özellikleri ve çaltışa gerilim' çok farklı olabilen letal halojen laibalının yapılarının, teknik ölçüklerinin ve çalışma leiliUrinin iyi olarak bilimesi, bunların verimli şekilde kullanılmalarını kolaylaştırıcaktır.

Bu çalışmada da, letal halojen laibalann yapı ve özelliklerinin avnıtlı olarak incelemesi, kullanıcıta bu ışık kaynaklarının doğru ve yerinde kullanım için ön bilgiler verilmesi amaçlamıştır.

## 2. UUL HALOJEN LAUBALISIN ÇEŞİTLERİ VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Bu bölüde utal halojen laibalann çeşitleri, teknik özellikleri ve kullanılacakları yerler açıklanacaktır.

### 2.1. ÇUBUK KETAL HALOJEN LAMBALAI

Uzunlukları 78.k ..' den 334,\* ..' ve kadar, güç-leri ise 100 V dan 2000 »' a kadar değişebilen iki uçlu çubuk şeklinde laibalardır. Işık akılan güce bağlı olarak yaklaşık IS00 !• ile S0000 lı arasındadır, Işık akılarına loşluk anahtarları ile kusanda edilebilir. Etkinlik faktörleri IS,S lı/\* ile 2k,2 lı/< arasındadır. Bu laibalalar. 220 V luk şebekede hiçbir ara eleman gerektirmeden kullanılabilirler. Gücü S00 V a kadar olanlar her konuda yanabilirler. Laibalaların renk sıcaklığı 2900il ile 30001 arasındadır. Ortalama ölümleri ise 2000 saattir.

Tablo-1. metal Halojen lambaların Çeşitleri « Tekn » Özellikleri

lamba tipi	Serilili iv)	Öç iv)	Işık »kış (ili	Etkinlik Faktörü Mı/VI	Ortalan Ölür isaatl	Kullanıl Alanları
Çubuk		100	1650	11,5		Ev.dükkan,
O.i.	220	300	5100	11.7		»ze. soor
		500	1100	19,1	2000	salonu.
		2000	Mt00	2» .2		otooark.vs.
Seflektörlü		20	100	15«	2101	Sergilere
K.H.L.	12	50	1125	22.5»	IHI	ve dikkat çekici
(tanıma açısıIII'a		(S	1510	2 M	3SH	aydınlatma amacı iü
Metal Halojen		S	ti	I*		»isa isti.
»JDSÜl	12	SI	III	II»	2111	< vitriil ve
»latav fl.l		II	2551	25 .S'		»eisel aydınlatu
Çiçik »içli		)S	IHI	U .S	I	Ev,otel,fabrika.liriş,park veri.
Çift Kılıflı	220	IH	M1	11	2IH	»icil ibtivaç,
D.N.l.		ISI	2551	17		»finalik aydınlatması
filisei ü çü		sil	II2SI	21,8		Spor sabaları.park yerleri,bava-
Çift Kılıflı	221	IHI	2IMI	U	> im	alan pistleri.cepte ve »eailil
i»i.		2MI	SU>	>		aydınlatması

> Trafo kartı btriç etki.lilik faktör.

Çıbık «tal balojetü inialar »el ai»nlatma aacılarını »yşadılar.  
f«. Nışa:1, »i» spor saltan, otopark gibi »erlere »artatır [OIM]  
ratatılıkla ktlaaabilirler // / - / / - IH.

## 2.2. IEFUKT5UI HETAL NA10JU IHKJAU5

Dışıt ferillili (I2V) »alojea kapsilin özel bir reflektöria odak aoktasıaa ferleştiriikişyle oluşan 35 » vtia \$1 M kavanoz çaplı laçkalardır, leflektörii ön» açık lera caı kaplıdır. Caı kaplı olusun elle dokunulma »e reflektöre toz. kir biriktetiaia öilenesi gibi fafdalan «ardır, itaba tinine «öre ışışia ra»ıl» açısı 7° den 55° ve kadar dfişebiliktidir. 6» savede sierlaadınlı; »o»» ışın istenilen doşraltuva vöalendirilebillektedir. Aydınlatılan yüzeyler üzerinde ısıma ve renk solialjri önemli bir sorun haline gelince, serin beyaz ışıklı halojen laabalar ortaya çıkıştır. Bu laabaların çok yüzlü (dichroic) reflektörUri. laabanın ürettiği kızılötesi ışınları (1»2) reflektörün gerisine, görülebilir ışınları (ışık) ise aydınlatılacak «üzev doşrultusuna yansıtıaktadırlar. izel reflektör sayesinde laabanifi fazla ışıması önlendiği gibi, vavılan ışık da serin beyaz olaaktadır.

20 »' dan 75 'a kadar çeşitli güçlerde ial edilen reflektörlü habiçn laabaların ortalamaa ölürleri, güce başlı olarak 2000 saat ile 1000 saat arasında deşışaaktadır.

221 I' I» »tekt» tirilili dışırici olmaalarla kullanılabile bu tip laaklrlıa etkilil faktörleri trafo kullanıldığında kailli dışıatıdır (II. Tablo I). Serillili difiruk için »orıl trafo yeria» eleitronik trafolar 4a kulla»labılırlar. tatioları dışık olan ve çalıpa ırasıtia az ISIMI bu elmalar kallanı İdi»ında sistemin etkililik faktörü »e giyeilifi ırtMktıdır. loşluk anahtarlı da olıebile elektrolit balastlarla enerji tasarrufu saçıtıabilektedir. 8ı balastlar 75 V a kadar deşışik güçlerde ve tiolerde ial »ilektedirler //I.

»eflektörlü kalojes laatalar bu özelliklerinden dolayı sergilenen cisilerin istenilen özelliklerini ortaya çıkıriak ve dikkat çekici bir aydınlatma yapıak ilacıyla kullanılabılırlar // / - / / - / / . mı » / 11/.

## 2.3. METAL HALOJEN KAPSÜL LAMBALA

i V, 12 V ve 24 V gönüllerinde çalıştırılabilen. dayanıklı »e cok küçük boyutlu laabalaradır. Caı balonları geffaf veya buzlu caı olabilir. Halanları dikey veya yatay olarak tonte edilaıştır. Cikey flaaanlı laaba ile elde edilen ışık ro'jun ve dar açılı, «ata» flaaanlı ile elde edilen ise ra»jin oluktadır. Güçleri 5 < İU 103 t arasında, tsık akıları da tip ve güce batlı olarak 60 Iı ile 2550 Iı arasında deşışeaktadır. ortalalan ölürleri 2000 saat, renk sıcaklıkları JOOO»' dir. Düşük gerillili laabalar oldukları için gerillili düşürücü olarak trafo kullanıldığında etkinlik faktörleri trafo kaybından dolayı azalıaktadır.





Tablo-1. Reflektörlü Metal Halojen Lambalarda Ölçülen ve Hüsaede Edilen En Yüksek Sıcaklıklar

Lamba Tipi	Reflektörde (°C)		En Cıva (°C)		Duyda (°C)	
	Ölçülen	Hüsaede edilen	Ölçülen	Hüsaede edilen	Ölçülen	Hüsaede edilen
Önü açık i.K.H.L.	220	150	-	-	150	150
Önü Cıva Kaplı S.K.K.L.	-	-	120	20	110	350

Sonuçlardan da açıkça görüldüğü gibi, halen uygulamada kullanılan 220 V/12 V. 50 W'lık trafolar en iyi halde bile şebekeden 1) V'lık güç çekmektedirler. Bu duruma kullanılan ıstetal halojen lambanın etkinlik faktörünü büyük ölçüde düşürmektedir (bkz. Tablo-U).

**ÖNEY-2: Isıma Denenleri:**

12 V luk nominal gerilimi elde etmek için trafonun orijer tarafının gerilimi 252 V 3 yükseltilmiştir. Trafo aracılığıyla 252 V luk şebekevr başlı olan lambalar 6 saat (andıktan sonra her iki tip lambada >e trafoda sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

207.'lık ortal sıcaklığında, trafo çekirdek ve sınırlarında 80°C'lık sıcaklıklar kavdedilmiştir. TSE'ye göre 100°C'lık sıcaklık artışına hüsaede edilmektedir. Bu durumda trafodaki 80°C'lık sıcaklık artışı normal kabul edilebilir. Ata daha uygun gerilim düşürücü elemanlar kullanılması, lambanın verimli çalışması açısından çok önemli bir unsurdur.

Reflektörlü metal halojen lambalarda ölçülen sıcaklıklarla, literatürde bu lambalar için hüsaede edilen en yüksek sıcaklıklar toplu olarak Tablo-1)'de verilmiştir.

B> tablodan açıkça görüldüğü gibi lambanın lalzesine zarar verebilecek kritik bir sıcaklık oluşmaktadır.

Kullanıcılar tarafından, özellikle iç aydınlatmada kullanıldığında çubuk metal halojen lambaların çevreye ısı yaydıkları ifade edilmiştir. Bu amaçla, her projektör tiDi kapalı arıatürlerde, her de avaklı abajurlarda sıcaklık ölçümleri yapılmış, en yüksek değer olarak projektör arıatürün iç reflektöründe 200°C'lık sıcaklık ölçülmüştür. Çubuk metal halojen lambaların cıva tüplerinde 900°C. duylarında 150°C, bağlantı uçlarında ise 250°C'lık sıcaklık artışlarına hüsaede edildiğinden, söz konusu en yüksek sıcaklık bile lambaya zarar verecektir. Ancak kullanılan arıatürün bu ısıya dayanıklı malzemenin oluşması da zorunludur.

**S. SONUÇ**

tapılan ekonomik etüdlerin sonucunda t Mltb' in fiyatı, yaklaşık aynı ışık akısını veren 100 W'lık akkor telli lamba için 11110 TL,

6) V'lık reflektörlü metal halojen lamba için UI00 T1, ber'ar şekilde aynı ışık akısını veren 200 W'lık akkor telli >lamba için 8821 T1, 150 W'lık çubuk metal halojen lamba için <51' T1, ve çift kılıflı metal halojen lamba için 1215) T1 olarak bulunmuştur. Bu-adif, da anlaşıldığı gibi, metal halojen lambalar çoğu yerde >urula-...?' gibi enerji tasarrufu sağlayan lambalar değİldirler. Trafo ile birlikte kullanılan çerektiğinde ise normal alışıagına; al'-' telli lamba'ardan daha da cahaliye lalceaktadırlar.

Çiğer fandan, yaydığı ışığın sınırlandırılması ve renk seçic' özelliklerinin çok iyi olması nedeniyle cisimlerin nıplması ve sergilemesinde, özellikle reflektörlü tipleri ideal ışık kaynaklarıdır. Sadece bu kaynaklar kullanıldığında aydınlatmanın kalitesi açısından kalışta probleminin üzerinde önelle durulması ve gerekli önlemler alınmalıdır. Ayrıca kullanılan gerilim düşürücü elemanların olabildiğince az kayıplı olmasına da çalışmalıdır.

Sonuç olarak, metal halojen lambaların kullanımında aydınlatmanın atacına uygun lamba tipinin belirlenmesi ve kullanılması gereken ar; elemanların doğru seçili aydınlatmanın kalitesi ve ekonomisi üt'i'nde son derece etkilidir.

**KAYNAKLAR**

- /1/ Henderson, S.T., Kariden, J.K., Lamps and Lighting, Edis.'d Arnold, 1972
- H1 Handbuch der Beleuchtung, Verlag >. Girardet, 1915
- İM Neumann, G.k., Oer dechanismus des Yclfrat-Haloginkreisro.'-fs#3 in Kalogenglühlampen, Lichttechnik, Nr.2k, 5.805-507. 1952
- /M/ Philips, lighting Manual, Fourth Edition. il-u. 1385
- IH Kaufman, J.E., Christensen, J.F., IES Lighting Handbook, Sefernce Volute. 8-1, 191>
- IH Philips Lighting, Compact lighting Catalogue, 80-92, 1130;1
- /?/ Üsraı, Indoor and Outdoor lighting
- /I/ General Electric, Lamp Catalog. ILC-9200,1591-92
- IH Philips Lighting, High-performance Electronic Trans'ctien '1' Halogen Lamps, 1990
- /I0/ General Electric, Precise Display Lamps, 1850
- /I1/ Philips Lighting, Lita, Architectural Lighting, 1850
- /I?/ Lamp 63, Halat Katalogları

# BİLGİSAYAR DESTEKLİ AYDINLATMA TASARIMI

Oilek ENARUN. Orhan DİRİL. Nesrin OEMİR  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektronik-Elektronik Fakültesi  
Gümüşsuyu - İstanbul

## ÖZET

Bu çalışmada, dikdörtgenler prizması şeklinde. düs?v dikdörtgen Dencere'i bir hacimde, gece aydınlatması için gerekli armatür sayısını, düzenini ve bi-lirli ay. gün. saat ve enlemde oluşan doğal ışık dağılımını belirleyen, ayrıca vaoav ısı ile doğal ışığın ortak etkilerini gösteren bir bilgisayar- Drojramı tamti İnaktadır.

## 1. Giriş

Ülkemizde aydınlatma hesabı genelde verim yöntemi ile yapılmaktadır. Verim yöntemi oratik bir yöntem olmakla birlikte aydınlatma tasarımcısına, tasarımı yapılan hacimde sonuçta ortaya çıkacak aydınlık düzeyi ve Darı İti dağılımı konusunda hır fikir vermez. Bu yöntemle elde edilen değerler ortalama deg-rlerdir. Ovsa bugün artık bilgisayarların ve uygun programların kullanımı ile hacim içinde sağlanacak olan aydınlık düzeyinin ve parıltının dağılımını bulmak zahmetli bir iş olmaktan çıkmıştır.

Vurt dışında bu tür paket programlar piyasada mevcuttur. Ancak ülkemizde bu konuda geliştirilmiş bir paket program yoktur. Avrupa', da yapılmış olan çalışmalar yapay aydınlatma ve doğal avdınlatma programları olarak iki avn grupta kalmışlardır. Bu çalışmada kendi geliştirdiğimiz, doğal ve yapay aydınlatmayı birlikte ele alan bir paket program tanıtılacaktır.

## 2. Yapay Aydınlatma İçin Armatür Sayısının ve Düzeninin Belirlenmesi

Üece durumu, vani doğal ışığın mevcut olmaması h3İi, için armatür sayısının beliri-inmesi kl.wi'k olarak ışık akısı - verim yöntemi ile V3pii:r. Verim yönteminde hesap, tablolar koi lanı 1 ar-jk ortalama değerler üzerinden yapıir.

### 2.1. Verim Tabloları

Verim yöntemi ile hesapta verim tabloları kullanılır. Bu tablolar-, hacim vüzevlerinin ışık yansıtma katsayıları, armatür ışık dağılım eğrisi tipi ve her tablo türü için farklı şekillerde belirlenen oda endeksine bağlı olaran deneysel elde edilmiş tablolarıdır.-

Bu çalışmada kullanılan verim tabloları LITG' nin (Lichttechnische Gesellschaft 4.V.> yayınladığı tablolarıdır / ) / . Tercih edilmelerinin nedeni. ışık yansıtma katsavı lar, seçeneklerinin diğ-er- tablolarla cüre dılı.3 \*genis olmasıdır.

Verim tabloları, çalışmamızda uygun eğrilere uydurulmuşlardır. Böylece hem tabloların kaplayacağı bellek alanı azaltılmış, hem de oda endeksi ara değerleri için vapılması gereken enterpolasyon işleminden kurtulunmuştur. Tabloların eğriye uydurulmaları işleminin sunduğu bir diğ-er avantaj, ara değe/'lerde klasik yöntemlerle yapı lan hesaolarda kullanılan 1 in-?er enterpolasyonun getirdiği hatalardan kurtulmaktır.

### 2.2. Düzgünlük

Verim yöntemi ile ortalama değerler' üzerinden savılan belirlenen armatürlerin çalışma düzleminin üzerinde mümkün olduğunca dı'gür bir



dikdörtgen pencere hacimleri için hazırlanmıştır. Programın çalıştırılacağı bilgisayarın VGA (Video Graphics Adapter) ekran kartına sahip olması gerekmektedir.

DED1 programının beş ana adımı aşağıda verilmiştir.

Dikdörtgenler prizması şeklinde, düşey dikdörtgen pencere haciminde.

1- gece aydınlatması için verim yöntemi ile, istenilen bir ortalama aydınlık düzeyi için. seçilen armatür tipinden kaç tane kullanılması ve bunların nasıl yerleştirilmesi gerektiğini belirler.

2- belirli ay, gün, saat ve enlemde kapalı gök tipi için doğal ışıktan kaynaklanan çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyi dağılımını verir.

3- çalışma düzlemi üzerinde belirli bir ortalama aydınlık düzeyini sağlamak için doğal ışıktan kaynaklanan aydınlık düzeylerinin nerelerde ve ne kadar yapay ışıkla desteklenmesi gerektiğini gösterir.

U- gece aydınlatması için belirlenmiş aydınlatma sisteminin çalışma düzleminde yarattığı aydınlık düzeyi dağılımını verir.

5- (2) şıkında belirlenmiş olan doğal ışık dağılımının üzerine (U) şıkında belirlenmiş olan yapay ışık dağılımını ekler. Bu aşamada, armatürlerin çalışma düzlemi üzerinde oluşan aydınlık düzleminin teker teker katkılarını izlemek mümkündür.

## 7.Sonuç

DED1 programı, aydınlatma vs iç tesisat projeleri yapılırken aydınlatma tasarımında. bina otomasyonu içinde önemli bir yer tutan otomatik aydınlatma kontrolünün Projelendirilmesinde ve kumanda düzenlerinin belirlenmesinde elektrik mühendislerine, bir açıdan pencere tasarımında mimarlarla çalışmaları için geliştirilmiş bir programdır.

Gerçek gök koşullarına daha yakın gök modeli, ortalama gök modeli henüz araştırma safhasındadır. Bu gök modelinin standardi zarfonu tamamlandıktan sonra programın bu yönde geliştirilmesi gerekmektedir. DED1 programı daha kapsamlı ve detaylı bir paket programın ilk safhasıdır.

## Kaynakça

- / 1 / LITG, Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren, Publikation Nr.3.5. 1986
- /2/ Özkaya, M., Aydınlatma tekniği, Bursa üniversitesi Yayınları. 1981
- /3/ Enarun, D., Bina tasarımı aşamasında hacim içindeki doğal ışık dağılımını belirlemek için bir model, t.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, 1987
- A/ Enarun, D., Formeln für die Berechnung des Himmelslichtanteils des Tageslichtquotienten bei bedecktem Himmel im Innenaum. Proc. of the Sixth European Light Congress, c.2, s. 163-173. 1989
- /5/ Enarun, D., Tools for computer aided daylight design in interiors for overcast sky conditions, Bulletin of the Technical University of Istanbul. c.U2, sayı 3. S.343-351. 1989

## YÜKSEK GERİLİM KESİCİLERİNDE TOPARLANMA GERİLİM ETÜTLERİ

Nevzat Özay Nezih Güven Tufan Can Uzuner  
Elektrik ve Elektronik Müh. Böl.  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Ankara

### ÖZET

Bilindiği üzere iletim hatlarında kullanılan yüksek gerilim kesicileri toparlanma gerilimleri açısından sorunlu olmaktadır. Bu çalışmada, TEK 380 kv sisteminde kurulması planlanan Atatürk-Yeşilhisar-Temell11 seri kapasitörlü hatlarında, bir arıza sonucu kesicilerin açmasıyla, kesici kutupları arasında oluşabilecek toparlanma gerilimleri (transient recovery voltage) bilgisayar simülasyonları ile incelenmiştir. Ayrıca, kesicilerde kullanılan açma dirençlerinin değerinin toparlanma gerilimlerini düşürmekteki etkileri araştırılmıştır. Çalışmalar, bu hatlarda, toparlanma gerilimlerinin artış hızı (rate-of-rise-of recovery voltage) açısından bir sorunun olmadığı, ancak toparlanma gerilimlerinin tepe değerlerinin yüksek olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar bu konuda mevcut uluslararası standartların ışığında değerlendirilmiş ve seri kapasitörlü uzun hatlarda kullanılacak kesicilerin karakteristiklerinin belirlenmesinde detaylı çalışmalara gerek olduğunu ortaya çıkarmıştır.

### 1. GİRİŞ

Bir güç sisteminde kullanılacak kesicilerin teknik özelliklerini belirlemek için istenen bilgilerden bir tanesinde kesicinin açması sonucu, 1klye bölünen elektriksel sistemden dolayı, kesicinin kutupları arasında oluşan toparlanma gerilimidir. Bu gerilim, kesiciden geçen akıma, kısa devre X/R oranlarına ve sistem gerilimine bağımlı olduğu gibi, değişiklik nedeniyle oluşan yürüyen dalgalara ve bunların yansımalarına, dolayısı ile sistem konfigürasyonuna bağımlı olmaktadır. Bu nedenle kesici karakteristiklerinin belirlenmesinde detaylı sistem çalışmalarına gerek vardır.

Yürüyen dalga etkisi ihmal edildiğinde (örneğin kesicinin her 1k1 tarafında sonsuz hat varsayımıyla), bir arıza sonucunda meydana gelecek toparlanma gerilimi, basit olarak, süperpozisyon prensibi kullanılarak bulunabilir. Bu yöntemde, kesildikten önce kesiciden geçen akım bir akım kaynağı olarak kesildikten kutupları arasında ters yönde enjekte edilir ve bunun sonucunda meydana gelen gerilimler, kesildikten önce kutupları ile toprak arasında mevcut olan gerilimlerle toplanır.

Dolayısı ile toparlanma gerilimi:

$$E = \frac{1}{t} (Z_o' + Z_o'') I_{rms} \sin \omega t \\ = -Tl (Z_o' + Z_o'') I_{rms} \omega t \quad (11)$$

olmaktadır. Burada  $Z_o'$  ve  $Z_o''$  kesicinin 1k1 tarafındaki hatların doğal empedansları,  $I_{rms}$  ise simetrik kısa devre akımıdır. Toparlanma geriliminin artış hızı ise bu ifadeden çıkarılabilir  $U_r$ .

Toparlanma gerilimini etkileyen diğer önemli etken ise, kesicinin açması sonucu 1k1 tarafa enjekte edilen yürüyen dalgalardan, kaynak ve arıza yönünde ilerleyerek değişik doğal empedans özellikleri taşıyan bir noktaya geldiklerinde yansımalar kesici yönüne geri gelmeleridir. Arıza noktasında yansıma katsayısı (-1) olduğundan, hattın uzunluğuna, dolayısı ile dalgalanın gidip-geliş süresine, bağımlı olarak yansımanın meydana getirdiği ters yöndeki gerilim toparlanma geriliminin artışını önleyecektir. Nitekim, bugün dünyada yüksek gerilim kesicilerinin teknik karakteristikleri ile ilgili olarak kullanılan IEC ve ANSI standartlarının özü bu nedene dayalıdır /2,3/.

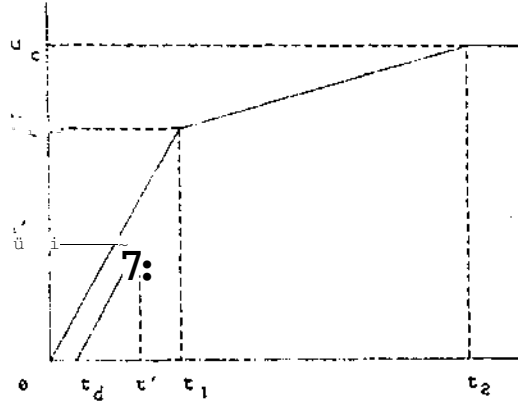
Ülkemizde de kullanılan IEC-56 standardı kesicilerin dayanabileceği toparlanma gerilimi dalgasını 4 parametre (üç doğru parçası) yöntemi ile belirlemektedir (Şekil 1) /2/. Şekildeki köşe noktaları sistemin anma gerilimi,  $U$ , cinsinden şu şekilde bulunabilir:

$$U_1 = 1.3 / \sqrt{3} U$$

$$U_c = 1.4 U_1$$

Şekilde verilen değerler 420 kV'luk sistem için geçerlidir. Diğer gerilim seviyelerinde eğimler aynı kalmaktadır. Sistemde oluşan toparlanma gerilimlerinin sistemin anma gerilimi için elde edilen test karakteristiğinin altında olması gerekmektedir. Bu yöntemde toparlanma geriliminin başlangıçtaki artış hızı  $U_1/t_1$  (Denklem 1) standart olarak 2 kV/usan tanımlanmıştır. İlk yansımanın kesici noktasına geri geliş süresi ( $t_1$ ) ise 223 usan olmakta, bu ise yaklaşık 100 km'lik bir arıza hoktası uzaklığına karşılık gelmektedir.

GERİLİM



ZAMAN

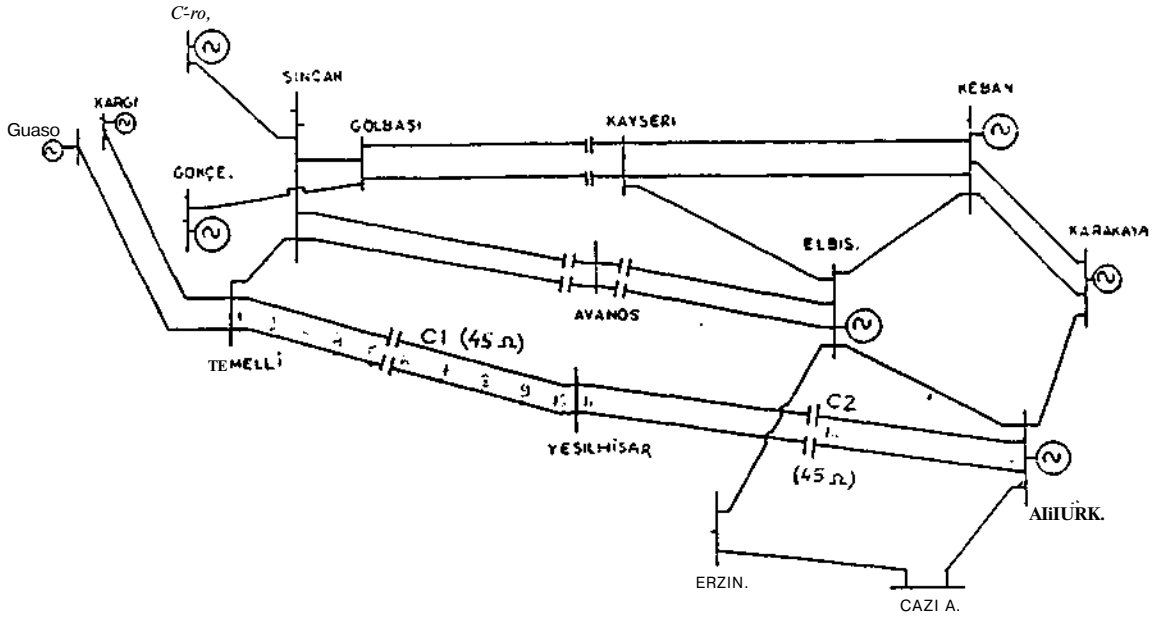
$U_1=446$  kV,  $U_c=624$  kV,  $U'=223$  kV  
 $t_1=223$  usan,  $t_2=669$  usan,  $t_d=2$  usan

Şekil 1. IEC'Mn toparlanma gerilimleri için önerdiği dört parametre karakteristiği.

2. SIMULASYONLAR

Bu çalışmada 1994 yılı TEK 380 kV sistemi laaz olarak alınmış ve geçici rejim simülasyonlarındaki başlangıç değerlerini belirlemek için sisteme yük akışı analizi uygulanmıştır. 380 kV sistemindeki yükler baralardaki kurulu transformatör kapasiteleri göz önüne alınarak tayin edilmiştir. Puant yükte transformatörlerin % 80 oranında yükleneceği ve güç faktörlerinin 0.9 endüktif olacağı varsayılmıştır. Ayrıca, arıza akımlarını maksimize etmek için Doğu Anadolu bölgesindeki generatörlerin hemen hemen tamamen yükleneceği kabul edilmiştir.

Geçici rejim simülasyonları EMTP (Electromagnetic Transients Program) kullanılarak bilgisayarda yapılmıştır. Sistemin baz olarak alınan çalışma şartlarına ait yük akışı verileri ve sonuçları kullanılarak, sistemdeki hatlar, seri kapasitörler, şönt reaktörler, transformatörler, makineler ve yükler, EMTP'ye uygun şekilde üç faz olarak gösterilmiştir. Simülasyonlarda göz önüne alınan sistem Şekil 2'de verilmiştir. TEK 380 kV sisteminin modele alınmayan kısımları eşdeğerleri ile gösterilmiştir. Modelde, iletim hatları dağılmış parametreler ile, şönt reaktörler ve yükler pasif empedanslar olarak gösterilmiştir.



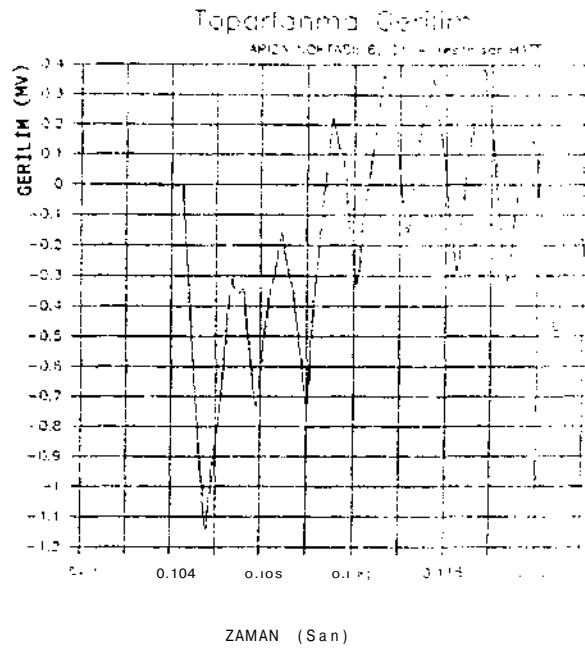
Şekil 2. Bilgisayarda modellenen TEK 380 kV sistemi

Transformatörler ise buldukları barada devredeki ünite sayısına dayanarak eşdeğer seri reaktanslar olarak modellenmiştir. Her baradaki generatörler eşdeğer tek bir makina ile, büyüklüğü sabit olan bir gerilim kaynağı ve buna seri bağlı eşdeğer subtransient reaktans olarak gösterilmiştir. Bu sinusoidal gerilim kaynaklarının genlik ve açıları yük akışı sonuçları baz alınarak hesaplanmıştır. İncelenen hatlardaki seri kapasitörler 45'er ohmluk toplu kapasitif reaktanslar olarak, bunlara paralel bağlı non-Hneer metal oksit koruma dirençleri ise kısmi doğrusal dirençler olarak modellenmiştir.

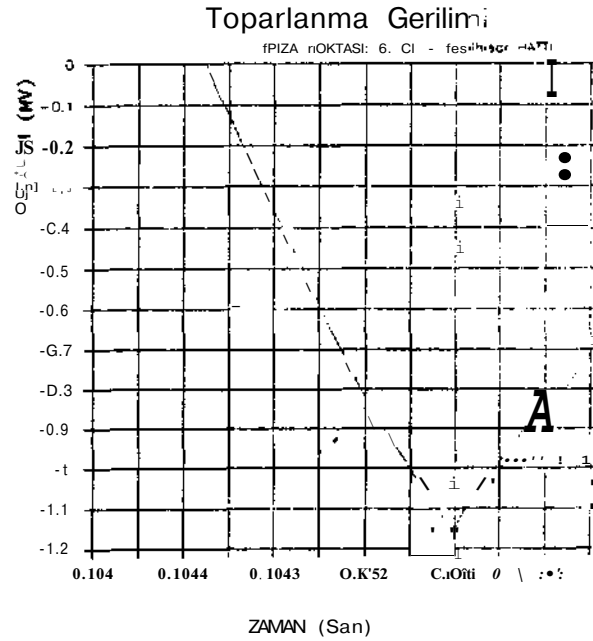
Atatürk-Yeşilhisar-Temelli hatları kesicilerinde oluşabilecek toparlanma gerilimlerini incelemek amacı ile, bu hatların yirmi çeğişik noktasında üç faz arıza uygulanmış ve hat kesicilerinin arızadan 100 msan sonra akımın ilk sıfırdan geçtiği anda açtığı varsayılmıştır. Bu arıza noktaları hat uçlarında ve hattı dört eşit parçaya bölecek şekilde düşünülmüştür. EMTP'den çıktı olarak arıza akımının, kesicilerin her fazında oluşan toparlanma gerilimlerinin vs kesici kontakları ile toprak arasındaki gerilimlerinin zamana göre değişimi alınmıştır, örnek olarak, Şekil 3 'de 6 no'lu noktadaki arıza için Temelli kesicisinin b fazında elde edilen toparlanma gerilimi verilmiştir. Tablo 1 incelenen her bir durumda simülasyon sonucu bulunan toparlanma gerilimlerinin ve arıza akımının tepe değerlerini özetlemektedir. Tabloda verilen değerlerde tepe değeri en yüksek faz göz önüne alınmıştır.

Arıza No.	Toparlanma Gerilim Tepe Değeri (kV)		Arıza Akımı Tepe Değeri (kA)
	Batı Kesicisi	Doğu Kesicisi	
1	503	1074	+18.7/-28.1
2	561	1107	+14.1/-20.1
3	653	1156	+12.4/-16.8
4	664	1187	+11.7/-15.3
5	771	1370	+12.2/-15.0
6	1149	801	+14.5/-14.7
7	1077	885	+16.3/-14.7
8	1097	898	+18.2/-15.2
9	1136	958	+19.1/-17.7
10	1046	985	+22.4/-20.6
11	910	1100	+22.4/-20.6
12	871	1084	+19.1/-17.5
13	876	1079	+17.8/-15.1
14	767	1118	+16.4/-15.0
15	609	1257	+15.3/-15.3
16	1193	725	+12.6/-15.8
17	1239	645	+12.7/-16.5
18	1259	63«	+14.1/-19.4
19	1275	599	+17.1/-26.1
20	1084	445	+24.6/-52.B

Tablo 1. Simülasyon sonuçları



(a)



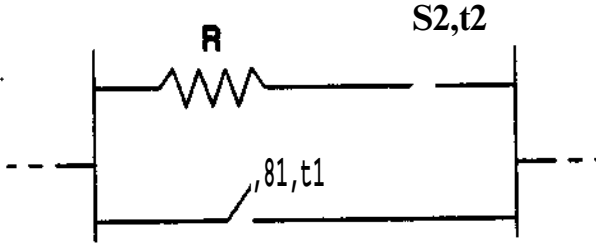
(b)

Şekil 3. T«M111 kasıdli toparlanma gerilimi, Arıza noktası = 6, Faz = B

### 3. SONUÇLAR

Sonuçlar incelendiğinde, Temelli-Yeşilhisar hattı kesicileri için en yüksek toparlanma gerilimlerinin Yeşilhisar'da 1370 kV ve Temelli'de 1149 kV, Yeşilhisar-Atatürk hattı kesicileri için ise Yeşilhisar'da 1275 kV, Atatürk merkezinde 1257 kV olduğu görülmektedir. Bu değerler mevcut 380 kV kesicilerin dayanabileceği toparlanma gerilimi tepe değerleri (1085 kV, RRRV=1 kv/usan) zorlamakta, hatta çoğu kez aşmaktadır. Toparlanma geriliminin artış hızı bakımından ise, bir sorun gözlenmemiş, incelenen bütün durumlarda bu değer 1 kv/usan'den ufak bulunmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde, Atatürk veya Temelli hatlarına bağlı bir veya iki hattın devre dışı olmasının toparlanma gerilimlerine etkileri gözlenmiştir. Bu durumlarda elde edilen toparlanma gerilimi tepe değerleri ve artış hızı baz sisteme göre % 10 - 20 yüksek çıkmaktadır /4/. Bunun nedeni ise kesicinin bulunduğu baraya bağlı hat sayısının azalmasının o noktadaki eşdeğer doğal empedansı ( Denklen 1'deki  $Z_0'$  veya  $Z_0''$  ) artırmasıdır.



Şekil 4. Kesici açma dirençlerinin endellenmesi

Son olarak, yapılan simülasyonlar kesicilerde değişik açma dirençleri kullanılarak tekrarlanmıştır. Açma dirençlerinin bilgisayarda modellenmesi Şekil 4'te verilmiştir, şekildeki  $t_1$ ,  $S_1$  anahtarının arızadan 100 msan sonraki ilk akım sıfır anım,  $t_2$  ise,  $S_2$  anahtarının açması.  $t_1$  ve  $t_2$  msan sonraki ilk akım sıfır anımını göstermektedir. Denenen açma dirençleri için en iyi sonucu <SÜĞ ohmluk direnç vermiş ve toparlanma gerilimlerinin 600 kV mertebelerine düşmesini sağlamıştır.

Elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere, bütün durumlarda toparlanma gerilimi artış hızı yaklaşık 0.8 kv/usan olmakta, bu değerde kesicilerin özelliklerinin ve standartlarda belirtilen değerlerin çok altında kalmaktadır. Diğer taraftan toparlanma gerilimleri tepe değerleri ise, kesici açma dirençleri kullanılmadığı durumlarda, incelenen seri kapasitörlü hatların uzun olmasından dolayı yüksek değerlere erişmektedir. IEC'de belirtildiği üzere bu tür hatlarda kullanılacak kesicilerin teknik karakteristiklerinin detaylı sistem çalışmaları sonucu imalatçıya belirtilmesi gerekmektedir.

### KAYNAKLAR

1. C. L. Vagner and M. Snth, Analysis of Transient Recovery Voltage Rating Concepts, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 103, Kasım 1984, pp. 3384-3363.
2. IEC Publication 56, High Voltage Alternating Current Circuit Breakers, Fourth Ed., 1987.
3. ANSI/IEEE C37.011-1979, Application Guide for Transient Recovery Voltage for AC High Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.
4. N. Ozay ve N. Ooven, Atatürk-Yeşilhisar-Temelli Hatları Kesicileri Toparlama Gerilim Etütleri, TEK-PAWttş, Haper No:2. Ankara, Ekim 1990.