



EMO



KTÜ



TÜBİTAK

ÖNSÖZ

Giderek gelenekselleşen Elektrik Mühendisliği Ulusal Kongrelerinin beşincisinde Trabzon'da buluşuyoruz. EMO ile KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün işbirliği ve TÜBİTAK'ın katkısıyla gerçekleşmekle olan Kongremizin başarılı ve verimli geçmesi umudundayız. Kongre sonuçlarından kıvanç duymak istiyoruz.

Kongre'de, bugüne kadar yapılmış çalışmalar ve yayınlanmış duyurulardan da anlaşılacağı gibi, bilinen yöntemlerin yanı sıra gelecek yıllara deneyim aktarabilecek yeni yaklaşımlar uygulanmaya çalışılmıştır. Bildiri özetlerinin değerlendirilmesine katılan uzman sayısının sistematik olarak artırılması, değerlendirme biçiminin daha da nesnelleştirilmesi, bildiri kitabında yeni yazım ve sunuş biçimlerinin oluşturulması gibi teknik gelişmelerin dışında ilginç olacağı sanılan panellerle güncel sorunların irdelenmesi ve yöresel öğelerle sosyal etkinliklere renk katılması amaçlanmıştır.

Kongrenin hazırlık ve düzenleme çalışmalarında bazı aksaklıklar olmuştur. Öncelikle kongre kararının olması gerekenden daha geç alınabilmiş olması, özet değerlendirme sürecinin posta trafiğinin çok yoğun olduğu bayram dönemlerine rastlaması hem Yürütme Kurulu'nu hem de Kongre'ye katılmak isteyenleri zor durumda bırakmıştır.

Kongrenin düzenlenmesi sırasında edinilen deneyimler ışığında sorunları çözücü ilkesel önerilerin ortaya konması yararlı olacaktır. Bunları kısaca sıralayabiliriz. Örneğin 6. Kongre'nin ya da kısaca EMUK'95'in nerede ve ne zaman yapılacağını şimdiden kararlaştırmak gerekmektedir. Bundan sonra Konferans olarak adlandırılması daha uygun olacak Kongre için sürekli ya da uzun süre görevli bir 'Ulusal Düzenleme Kurulu'nun oluşturulması ve bu Kurul'un temel ilkesel karar ve yöntemleri üretmesi daha elverişli olacaktır. Kongre'nin yapılacağı konumdaki işleri ise 'Yerel Düzenleme Kurulu' üstlenmelidir. 'Bilimsel Değerlendirme Kurulu'nun da ayrıntılı bir sınıflandırma ve nitelik belirlenmesi ile bir kere oluşturulması, yalnızca gelişen koşullara göre güncelleştirilmesi düşünülebilir.

EMUK, böylesi bir yapılaşma ile daha sağlıklı, zaman planlaması daha verimli bir konferansa dönüşecektir kanısındayız. Örneğin bu durumda bildiri tam metninin de değerlendirme ve denetim sürecine girmeleri olanaklı kılınacak, şu ana kadar ancak Yürütme Kurulları'nın ayrıntılı olarak bilincine varabildiği teknik sorunlar ortadan kalkacaktır. Konferansda da içerik ve düzey açısından belirli bir iyileştirme sağlanabilecektir. Bunu en yakında, EMUK'95'de gerçekleştirmiş olarak görmek dileğindeyiz.

Bilindiği gibi Kongremiz Elektrik, Elektronik-Haberleşme, Kontrol ve Bilgisayar Sistemleri alanlarında bilimsel-teknolojik özgün katkıların tartışılıp değerlendirilmesi ile araştırma, geliştirme, uygulama ve eğitim süreçlerindeki kişi ve kuruluşların birbirleriyle doğrudan iletişimini sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca sosyal yakınlaşma ve dayanışmaya da

katkıda bulunmaktadır. Ancak Kongre ve onunla birlikte oluşturulan sergi/fuarın çok değerli bir 'Mesleki Eğitim ve Geliştirme' aracı olduğu bilincinin kişi ve kurumlarda daha çok yerleşmesi için çaba gösterme gereği de ortaya çıkmaktadır.

Kongrenin gerçekleşmesini sağlayan, hazırlık ve düzenlemeleri üstlenen KTÜ, EMO ve TÜBİTAK'a, oluşturulmuş olan kurulların üyelerine, ayrıca burada adlarını saymakla bitmeyecek kişi ve kamu - özel - akademik nitelikli kuruluşlara, yardım ve katkıları nedeniyle, Kongre'nin yararlı sonuçlarını paylaşacak olan topluluğumuz adına teşekkürlerimizi sunmak isteriz.

Kongremizin başarılı ve verimli bir biçimde gerçekleşmesi, ülkemiz için bilimsel - teknolojik kazanımlar üretmesi dileğiyle Yürütme Kurulu olarak saygılarımızı iletiriz.

Doç. Dr. Güven ÖNBİLGİN
Yürütme Kurulu Başkanı

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

YÜRÜTME KURULU

Güven ÖNBİLGİN (KtU)
Yakup AYDIN (EMO) Sefa AKPINAR (KTU)
Canan TOKER (ODTÜ) Kaya DOZOKLAR (EMO)
Hasan D INCER (KTU) A.Oğuz SOYSAL (IU)
Abdül İlah SEZGİN (KTU) İrfan SENLİK (EMO)
Kenan SOYKAN (EMO) Y.Nuri SEVGEN (EMO)

DANIŞMA KURULU

Rasim ALDEMİR (BARMEK) Mehmet KESİM (Anadolu U)
Teoman ALPTURK (TMMOB) Macit MUTAF (EMO)
Ahmet ALTINEL (TEK) Erdiñç ÖZKAN (PTT)
İbrahim ATALI (EMO) Kamil SOGUKPINAR (TETSAN)
Malik AVİRAL (ELİMKO) Sedat SİSBOT (METRONİK)
Emir BİRGUN (EMO) Atıf URAL (Kocaeli U.)
Sıtkı ÇİĞDEM (EMO) I. Ata YİĞİT (EMO)
R. Can ERKÖK (ABB) Fikret YÜCEL (TELETAS)
Bülent ERTAN (ODTÜ) Hamit SERBEST (CÜ)
Uğur ERTAN (BARMEK) Canan TOKER (ODTÜ)
İsa GÜNGÖR (EMO) Nusret YUKSELER (İTU)
Ersin KAYA (Kaynak) Kemal ÖZMEHMET (DEU)
Okyay KAYNAK (Boğaziçi U)

SOSYAL ETKİNLİKLER KURULU

Y. Nuri SEVGEN (EMO)
Necla ÇORUH (PTT) Hatice SEZGİN (KTU)
Esen ÖNKİBAR (TEK) Yusuf TANDOGAN (PTT)
Abdullah SEZGİN (KTU) Ömer K. YALCIN (TELSER)

SEKRETERLİK HİZMETLERİ

Necmi İKİNCİ (EMO) Elmas SARI (EMO)

BİLİMSEL DEĞERLENDİRME KURULU

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

ENERJİ İLETİM HATLARINDA YÜK BENZETİM YÖNTEMİ İLE ALAN HESABI

Nurettin UMURKAN Hayri YILDIRIM* Özcan KALENDERLİ*

Y.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Beşiktaş/İSTANBUL

* İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Gümüşsüyü /İSTANBUL

ÖZET

Hu çalışmada elektriksel alan incelemelerinde kullanılan sayısal yöntemlerden biri olan Yük Benzetim Yöntemi tanıtılmış, bilgisayar destekli analize yönelik temel bağıntıları verilmiştir. Yöntemin yüksek gerilim enerji iletim hatlarına uygulanması ile ilgili olarak üç fazlı bir hat seçilmiş toprak seviyesinin bir metre üzerinde ve hat merkezinden çeşitli uzaklıklarda yapılan elektriksel alan ölçüm değerleri ile Yük Benzetim Yöntemine göre geliştirilen bilgisayar algoritması yardımıyla yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Yöntem, Türkiye'de kullanılmakta olan 3X0 kV hık bir halfa uygulanarak, hu haftaki elektriksel alan şiddeti değerleri hat merkezinden çeşitli uzaklıklar için hesaplanmıştır.

I. ÇIRIŞ

Yüksek gerilim aygıtlarının en uygun tasarımlarının yapılabilmesi için elektriksel alan dağılımı hakkında lam bir bilgiye sahip olmak gerekir. Elektrik alan hesabı, yeterli sayıda sınır koşulu ile Laplace ve Poisson denklemlerinin çözümünü gerektirir. Elektrot sisteminin geometrik şeklinin basit olduğu problemlerde analitik çözüm bulmak genellikle mümkündür. Bununla beraber endüstriyel uygulamalarda bir çok durumda fiziksel sistemler öyle karmaşık bir yapıya sahiptir ki, analitik çözümler bulmak

zorlaşır. Bu nedenle mühendislik uygulamalarında elektriksel alanların hesabında çoğunlukla sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Mevcut sayısal yöntemler ise genellikle diferansiyel veya integral kavramlarına dayanmaktadır.

Elektriksel alan hesabında kullanılmakta olan sayısal yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz: Sonlu Farklar Yöntemi, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Monte Carlo Yöntemi, Moment Yöntemi, Görüntü Yöntemi, Yük Benzetim Yöntemi (YBY) ve Yüzeysel Yük Benzetim Yöntemi. Bu yöntemlerden ayrık yükler kavramına dayanan YBY, elektriksel alan hesabında etkin ve doğruluk oranı yüksek bir sayısal yöntem olarak ortaya çıkmış ve son yıllarda önemli gelişmeler kaydederek yüksek gerilim tekniğinde birçok probleme başarıyla uygulanmıştır /1-6/.

Yük Benzetim Yöntemi diğer yöntemlerle beraber kullanılabilir. Örneğin, Sonlu Farklar Yöntemi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile beraber kullanılmasına ilişkin geliştirilen birleşim yöntemlerine kaynak /2, V'den bakılabilir. Bu kaynaklarda, birleşim yöntemlerin her bir yöntemin avantajına sahip olduğu ve böylelikle açık uzayda çok yalıtkanlı sistemlere ve eğrisel geometriye elektrotlara uygulanabilir olduğu belirtilmektedir.

2. YÜK BENZETİM YÖNTEMİ

Yük Benzetim Yöntemi ile elektriksel alan hesabının temel ilkesi, elektrodun yüklerle benzetilmesine dayanır. Murada elektrotların yüzeyine fiziksel olarak dağılmış yüzeysel yükler yerine *ayrık yükler* (noktasal, sonsuz çizgisel, sonlu çizgisel, halkasal vb.) yerleştirilir. Ayrık yüklerin değerleri, sınır üzerinde seçilen belirli sayıda sınır noktasında sınır koşullarının sağlanmasıyla belirlenir. Bu yüklerin oluşturduğu potansiyeller incelenen bölge içinde Laplace ve Poisson denklemlerini sağlamaktadır. Ben/elim yüklerinin yerleri ve değerleri bilirse, her hangi bir noktadaki potansiyel ve alan şiddeti hesaplanabilir. Bu yöntemde yeterli doğruluk elde edilmesi, yük tipine, yük sayısına ve bu yüklerin uygun yerleştirilmesine bağlıdır **141**.

Noktasal, çizgisel, halkasal vb. benzetim yüklerinin herhangi bir noktada meydana getirdikleri potansiyel, süperpozisyon prensibi kullanılarak yüklerin oluşturduğu potansiyellerin toplamından bulunabilir. Göz önüne alınan n tane yükten her birinin yükü q_j , bu yüklerin herhangi bir noktada oluşturdukları potansiyel de V_j ile gösterilir ise, herhangi bir noktadaki potansiyel

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} q_j \quad d)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Burada p_{ij} , Laplace ve Poisson denklemlerinin özel çözümlerinin yapıldığı bir çok yük tipi için bilinen potansiyel katsayılarıdır, n tane q_j yükünün varlığı kabul edilirse, bilinmeyen yükleri denklemler (1) 'den bulmak için en az n tane bilinen potansiyel ihtiyaç vardır. Bunun için de, verilen elektrot şekline uygun olarak, iletkenlerin yüzeyinde n tane V_j potansiyelli nokta tanımlanır. Bu noktalara *sınır noktası* denir. Sınır noktalarının sayısı, benzetim yüklerinin sayısına eşit seçilir.

Yüklerin tipi ve yerleri tanımlandıktan sonra her hangi bir sınır noktasında V_j ile q_j arasında matematiksel bir bağıntı kıninak mümkündür.

1250

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix} \quad i)$$

Bu bağıntılardan, Yük Benzetim Yönteminin temel bağıntısı olan denklemler sistemi (2) elde edilir. Denklemler sistemi bilinen sayısal yöntemlerden biri ile çözülerek yük değerleri elde edilir. Hesaplanan yük değerleri ile mevcut sınır koşullarının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. (2) denklemini elde etmek için gerçek elektrot sisteminin n ayrı sınır noktasının kullanılmış olduğu dikkate alınır.

Ayrıca benzetimin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla potansiyeli bilinen ve elektrot sınırına yerleştirilmiş birkaç konum noktasında potansiyeller hesaplanır. Hesaplanan kontrol noktası potansiyelleri ile verilen sınır noktası potansiyelleri arasındaki fark, benzetimin doğruluğunun ve uygulanabilir olmasının bir ölçüsüdür.

Uygun bir yük sistemi belirlendikten sonra, ortamdaki potansiyeller ve alan şiddetleri süperpozisyon uygulanarak hesaplanabilir. Herhangi bir noktadaki alan şiddeti

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (3)$$

bağıntısıyla

$$\vec{E}_i = \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial x} q_j \right] \vec{i}_x + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial y} q_j \right] \vec{i}_y + \left[\sum_{j=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial z} q_j \right] \vec{i}_z \quad M)$$

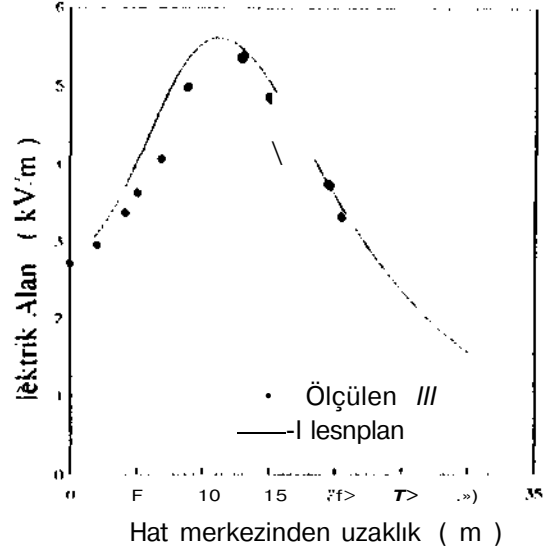
şeklinde elde edilir. Burada $\vec{i}_x, \vec{i}_y, \vec{i}_z$ sırasıyla x, y, ve z yönündeki birim vektörlerdir.

(1), (2) ve (4) bağıntılarından yararlanılarak elde edilen bilgisayar algoritması ile sayısal hesaplamalar yapılır. Çalışmada da kullanılan böyle bir akış diyagramı Şekil 1 'de verilmiştir.

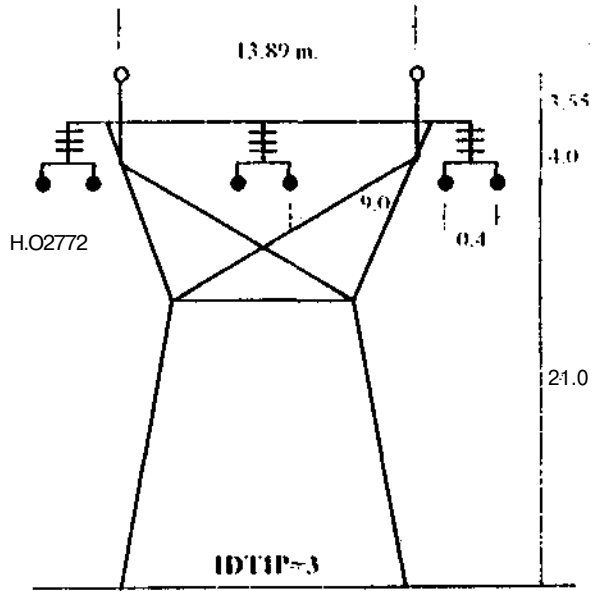
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ



Şekil 1. Yük Benzetim Yöntemi ile alan ve potansiyel hesabı için akış diyagramı
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ



Şekil 2. 525 kV kik hatlın toprak seviyesinin 1 metre üzerinde yapılan ölçümler ile geliştirilen algoritma ile hesaplanan sonuçlar

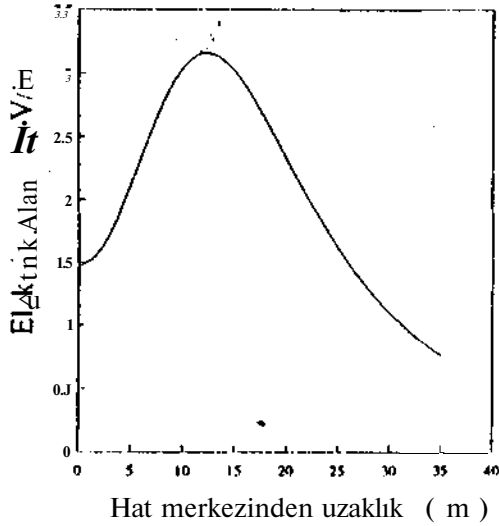


Şekil 3. Üçüyükteki 180 kV hık ikili demel (eneji iletkeni) eneji iletim hattı boyutları /8/. (ölçüler metre cinsindedir)

3. YÖNTEMİN ENERJİ İLETİM HATLARINA UYGULANMASI

Bu bölümde, enerji iletim hatları çevresindeki elektrik alan hesabı için Yük Benzetim Yöntemine dayanan ve akış diyagramı Şekil 1 de gösterilen bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ilk olarak kaynak III 'de 525 kV luk, ikili demet ilekenli enerji iletim hattı için verilen elektrik alan ölçme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kaynak III 'de elektrik alan ölçmeleri yapılan hattın geometrik özellikleri, hattın yerden yüksekliği 13.4 m., fazlar arası açıklık 8.84 m., demet iletkenler arası açıklık 0.46 m. ve iletken çapı 0.0407 m. olarak verilmektedir. Bu veriler kullanılarak yöntemin bu hatta uygulanmasıyla yapılan hesaplamamızın sonuçları ile Kaynak III 'de verilen ölçme değerleri Şekil 2 'de verilmiştir. Görüldüğü gibi geliştirilen algoritma, ölçme değerleri ile uyumlu sonuçlar vermektedir.

Algoritmanın geçerliliğinin sınındığı ilk örnekten sonra yöntem Şekil 3 'de gösterilen ve Türkiye 'de de kullanılan 380 kV luk ikili demet iletkenli, tek devreli enerji iletim hattına uygulanmıştır. İletkenler ile toprak arası mesafenin 15 metre olduğu uzaklıkta ve toprak seviyesinde hat merkezinden çeşitli uzaklıklarda elektriksel alan şiddeti hesabı yapılmıştır. Hesap sonuçları Şekil 4 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Şekil 3' deki enerji iletim hattı için elektriksel alan şiddetinin hat merkezinden uzaklıkla değişimi

Hattın benzetimi için benzetim yükü olarak ayrıık yük tiplerinden sonsuz çizgisel yük tipi seçilmiştir. Hesaplamalarda sonsuz çizgisel yük lipi için.

$$p = (2\pi\epsilon)^{-1} \ln(r_0/r) \quad (4)$$

potansiyel katsayısı bağıntısı kullanılmıştır. Hattın herbir iletkeninin eksenine birer sonsuz çizgisel yük yerleştirilmiş, iletkenler üzerindeki potansiyelin belli olmasından yararlanılarak bu yüklerin değerleri hesaplanmıştır. Burada sınır noktalarının potansiyelleri kompleks olarak tanımlanmış; bu durum, yüklerin kompleks değer olarak bulunmasını ve kullanılmasını gerektirmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Yük Benzetim Yönteminin tanııtılıp açık sınırlı problem tipi olarak zorluk gösteren iletim hatları çevresindeki elektriksel alan şiddeti hesabına bir uygulama yapılmıştır. Geliştirilen algoritmada kompleks yük kavramı kullanılmış ve iki farklı enerji iletim hattı örneği için hesaplamalar yapılmıştır.

Yapılan hesapların geçerliliği, ölçme sonuçları ile karşılaştırılarak gösterilmiş ve algoritmanın bu tip problemler için uygunluğu saptanmıştır.

5. KAYNAKLAR

/I/MALİK, N.II, *A Revm of (İte Charge Sinnlotion Methoi and its Application*, IEEE, EI- Vol. 24, pp. 3-20, Feb 1989.

121 ABDEL-SALAM, M, EL-MOHANDES, M.T., *Combined Method Hascd on Fini/e Diffeences and (hage Sinnlialion for Ca/cu/afing Electric lields*. IEEE, IA- 'Vol.25, pp. 1060-1066, Nov 1989.

/3/ STEINBERGER, IL. HALLER. D.,
(*Analytical Methods for 2-D and 3-D Electric Fields*,
IEEE, EI- Vol.26, pp 529-536. June 1991).

AI/ YILDIRIM, II., *Elektrostatik Alanların
Yüksek Gerilim Yöntemiyle İncelenmesi*,
İTÜ, Y. Lisans Tezi, Ocak 1992

15/ ABDEL-SALAM, M. JIL-MOHANDES,
M.I., *Electric field around Parallel and
Multiphase AC Transmission Lines*, IEEE,
EI-VOL 25, pp 145-152, Dec. 1990.

/6/ SINGER, H., STEINBIGLER, II., WEISS,
P., *A Charge Simulation Method for the
Analysis of High Voltage Helix*, IEEE,
PAS- Vol.9.1, pp 1660-1668, 1974

III BRACKEN, T.D., *Measurement and
Calculations of Electrostatic Effects of
High Voltage Transmission Lines*, IEEE, PAS-
Vol 95, pp.494-504, April 1976.

/8/ TÜRKİYE ULUSAL ELEKTRİK AĞIN-
DAKİ HAVAI MATLARIN, (JENERATÖR
VE TRAFOLARIN ELEKTRİK KARAK-
TERİSTİKLERİ, TEK İletim Şebekeleri
İşletme Dairesi Başkanlığı, SA-83/1



İlayn YILDIRIM. 1965 yı-
lında İskenderiye 'da doğdu.
1988'de İTÜ Elektrik- Elek-
tronik Fakültesi (EEF) Elek-
trik Mühendisliği Bölümü
(EMB) den Müh., 1992'de
İTÜ FBE, Elk. Müh. prog-
ramından Y.Müh. olarak me-
zun oldu. YILDIRIM, 1992 'den beri İTÜ FBE
Elektrik Mühendisliği programında doktora
çalışmalarını sürdürmekte ve 1989 'dan beri İTÜ
EEF EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı' uda
Araş. Gör. olarak çalışmaktadır.



Özcan KALENDERLİ. 1956
yılında İstanbul 'da doğdu.
İTÜ EEF'den 1978 'de Müh.,
1980 de Y.Müh. olarak me-
zun oldu. 1990'da İTÜ FBE
Elektrik Mühendisliği prog-
ramında doktora çalışmaları-
nı tamamladı. İTÜ EEF
EMB, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı' nda
1979-1980 arasında Müh. 1980-1991 arasında
Y.Müh. olarak çalışan KALENDERLİ 1991
den beri aynı bölümde Y.Doç. olarak görev
yapmaktadır. KALENDERLİ, çalışmalarını
ağırlıklı olarak yüksek gerilim tekniği
konularında sürdürmektedir.



Nurettin UMURKAN, 1964
yılında Tokat 'ta doğdu.
1988 de Yıldız Teknik Üni-
versitesi Mühendislik Fa-
kültesi Elektrik Mühendis-
liği Bölümünden Müh.,
1991' de Yıldız Teknik
Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü (FBE) Elektrik Müh. programından
Y.Müh. olarak mezun oldu. UMURKAN, 1991
'den beri Yıldız Teknik Üniversitesi FBE
Elektrik Müh. programında doktora çalışmaları-
nı sürdürmekte ve 1991'den beri İTÜ Elektrik
Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabi-
lim Dalı' uda Araştırma Görevlisi olarak
çalışmaktadır.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

ORTA GERİLİM TRANSFORMATÖR MERKEZLERİNİN
PLC KULLANILARAK TASARIMI

OOC.ÜR. İRFAN GÜNEY
ARS.GÜR. M.CANER AKÜNER

M.U.
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ ELEKTRİK BÖLÜMÜ

ÖZET

Bu çalışmada, orta gerilim transformatör merkezlerinin PLC'nin orta gerilim transformatör merkezlerinin ölçü ve koruma sistemine uyandırılması amaçlanmıştır. Ölçü sistemine uyandırılan PLC'ye gerilim bilgisi girilerek ve belirli noktalardan yapılan ölçümler ile transformatör merkezinin ölçü devresindeki herhangi bir arıza algılanmaktadır. Bu şekilde enerjinin tüketiciye ücretsiz veya eksik ücretle akması önlenmektedir. Ayrıca koruma sisteminde meydana gelebilecek bir arıza sistemi arızalara karşı korumasız bırakabilecektir. Koruma rölelerini besleyen koruma transformatörlerinde meydana gelebilecek bir arızada geliştirilen sistem sayesinde tesbit edilebilmekte ve PLC'de koşturulan programın özelliği, neticende sisteme gerekli cevap verilmektedir.

1 Giriş

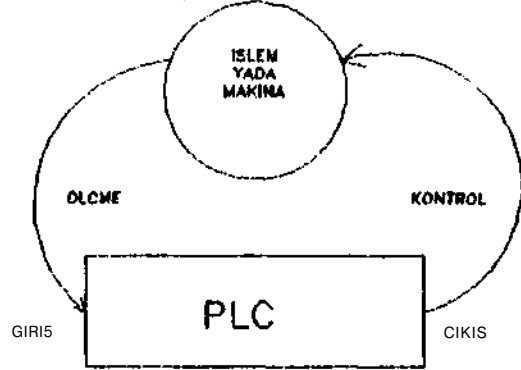
Gelişen teknolojinin defalarca sonu olarak ortaya çıkan gelişmiş endüstriyel aletler her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Programlanabilir lojik kontrol aletleri (PLC) gelişen teknolojinin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır.

PLC'ler endüstriyel otomasyonunda : konvansiyonel sistemlere uszan büyük üslûmlar göstermektedir. Bu üstün özellikleri :
- Esnek ve hızlıdır.
- Az yer kaplar.

- Gerektiğinde defalarca kolay uygulanabilir.
- Otomatik dölünür olma.
- Yüksek hassasiyette pozisyon ve ısı kontrol imkanı.
- Sıralı da sıra 1 anabilir (1).

2- PLC'nin Yapısı ve işleyişi

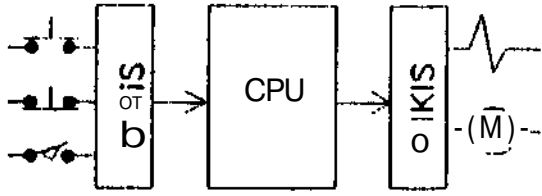
Programlanabilir lojik kontrol cihazı kısaca PLC olarak, adlandırılır. Amerikan National Electrical Manufacturers Association (NEMA) PLC'yi şu şekilde tanımlamaktadır: Bir PLC, makina ve süreçleri denetlemek için mantık, sıralama, zamanlama, sayma ve aritmetik gibi bazı belirli işlemleri gerçekleştirmeyi sağlayacak komutların depolandığı programlanabilir bir belleği olan sayısal elektronik alettir. Şekil 1'le bir PLC uygulamasının kavramsal diyagramı gösterilmektedir.



Sekil 1
PLC Uygulamasının Kavramsal
Diyagramı

PLC iki temel bölümün birleşimindedir. Bunlar sırasıyla;

M?rkezi İşlem Birimi
(Central Processing Unit; CPU)
- Giriş/Çıkış sistemi.
Bu bölümler çpkiil /'deki böl-
divagramda görölmektedir.

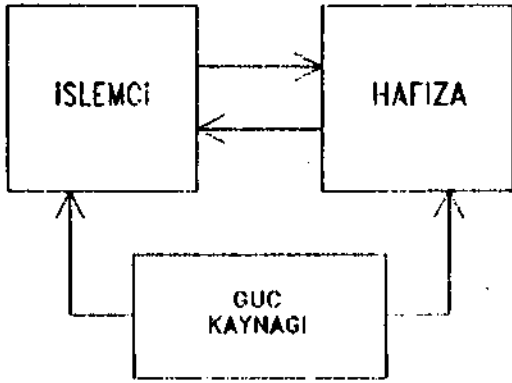


Sekil 7.
PLC Klok Oluşturucu

Sekil 7'de görülen CPU sistemi
Uc eleman tarafından işletil-
mektedir. (?)

- İşleme
- Hafıza (Memory) sistemi
- Sistemin güç kaynağı

Sekil 3'de CPU sisteminin
oluşturduğu bu Uc eleman
görülmemektedir.



Sekil 3
Temel CPU elemanlarının Klok
Oluşturucu

Sekil 7'de görülen bir
birimine ait olan giriş/çıkış
anahtarları, basma tuşları,
lar, basma tuşları, motor
star (erlendirme) hMIO (HMI), v.b.
ba01kumitlerdir. (Giriş-Çıkış biriminde
işletim kontrol biriminde) işletim
alan <M> ile <M> ları b.Tjld 11.

1? K?im <trMS'ında CPU alandan
cielen dijital yada analo-
dal:aları a ciiin» çıkışların
konusuMi.i viuf atalog vada
dijital otomatik kontrol erler.
İşletimci Hafıza sistemi
VORIO bu tıman I-ŞİTİOL
><X.ıramlı-ı a>ı1 inıyla
aer<;el-leslirir. (Giriş-Çıkış
dalalar doğrudan;usu11da çıkış
sllrok1i (Update) tjiurr-1 |o_F-
tini1ir. Bu sıralı olarak
çiris1er in okunması. baf 17a
dal-i programın enliştiri1ması
ve çıkışların r afineoll<sti-
ri1rneç i is lnrni tarıma
(p<anılncı) c>1arak adlandır-
lıır.

Giriş/Çıkış sistemi alan ri-
dazlarının PLC'ye baClı olduğu
ar-ılo >01-ırrı-ıvı (İnlet" laoe >
i silolir. Araba tıla 111 111 ııt:emo l
amacı hariri alan r iha? ları
tararından verilen ve alınan
sinyal1er i diirene sokmak Kir.

Sınır anahtarları, basma
tıHon lırırı. c-na loq sensörler.
seci< i anahtarlar qibi
SPİTİO1 prden ciiitlerilen giriş
siuvalleri giriş ara-
hafılantısı Özer inleki termi-
nal IPI P hadlanır. Motor
slrıl.orsri. ?plenoid val1er.
sil1val lambaları cıibi kontrol
e'ileleok cihazlar ir?e çıkı?
-ırabao;1aulısının termina1
l*line bad1anır.

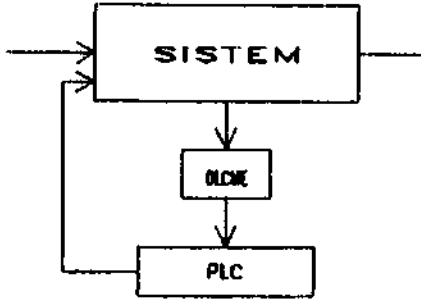
Sistem itı uOc kaynaçtı İse
değişik CPU b<İllm'lerine uygun
işletimci iei11 aere1- |i
eter ilim leri saö1ew.

Genel olarak bir PLC'in
>ar<;ası olarak kabul edilmese>
CIP programlama c iha? ları
kontrol programını hal" larıya
a irme1; için gerek1idir.
f'roçuramlama <"iha?ı en basit
,?<..[. li ile PLC'nin vanmdal-;i
bir- inç takımı veya PLC'ye bir-
kal- lo ile ba0lanan. olde
tutu1atı. vire bir di7. i
luslard- n olusturu1mus bir
fin il;?dir. Daha aelismis
>..>itl>..> inde ekran ve klavye
ku1lanılın ve böyi--e

programın daha iyi bir şekilde görülmesi ve otomatik program dokümantasyonu sağlar. Bazı PLC'ler ise bir üst düzey denetleyici bilgisayar tarafından programlanabilir (3).

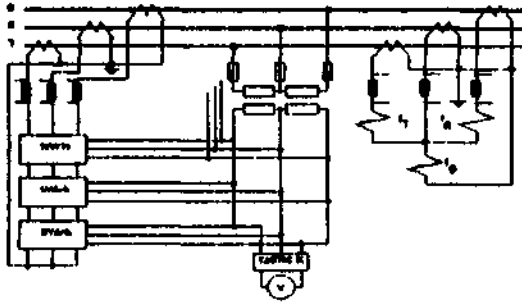
3- Orta Gerilim Transformatör Merkezlerinde PLC Uygulaması

Orta Gerilim Transformatör Merkezlerinin ölçme ve koruma devrelerinin kontrolü PLC ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin blok diyagramı şekil 4'de görülmektedir (4).



Sekil 4
Sistemin Blok Diyagramı

Transformatör merkezinin ölçü devresindeki sayaçları besleyen akım transformatörlerinde bir arıza olduğunda sistemdeki enerji akışı eksik ücretlendirilebilecektir. Ayrıca koruma devresindeki röleleri besleyen akım transformatörlerinde bir arıza meydana geldiğinde sistem korumasız kalabilecektir. Bu durum Sekil 5'de görülmektedir (4).



Sekil 5
Koruma devresi bağıntı seması

Tasarlanan sistemin çalışması için gerekli olan gerilim bilgisi, kullanılan direneler yardımıyla akını bilgisinden elde edilmektedir. Ayrıca ölçü gerilim transformatörlerinin sekonderindeki gerilim bilgisi ilave bir transformatör ile PLC'ye gerilime düşürülerek PLC'nin giriş terminallerine uygulanmaktadır. Sistemde gerilim bilgisi elde etmek için kullanılan dirençlerde ölçü transformatörlerini etkileyecek derecede bir güç kaybı olmamaktadır.

PLC'nin hafızasındaki program doğrultusunda giriş dataları okunup değerlendirilerek gerekli çıkışlar güncellenmiştir.

Tasarlanan sistemin PLC programı, IDEC IZUMI firmasının FA-1 Junior serisi PLC'si ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin Ladder diyagramı Sekil 6'da ve program listesi Tablo 1'de verilmiştir (5).

Tablo 1
Program Listesi

0	LOÜ	2
1	ANÜ N	3
2	LOD N	2
3	ANÜ	3
4	OR LÜD	
5	ANI)	1
6	LOD N	1
7	AND	2
8	AND	3
9	OR LOD	
10	OÜT	400
11	LOD N	4
12	OR N	5
13	OR N	6
14	OUT	40 I
15	LOD	12
16	AND N	13
17	LÜD N	12
18	AND	13
19	OR LOD	
20	AND	11
21	LOD N	11
22	AND	17

23	AND	13		
24	OR	LOD		
25	OUT	402		
26	LOÜ	401		
27	OU1	200		
28	LOD	400		
29	OR	401		
30	OR	402		
31	OUT	201		
32	LOÜ	7		
33	OR	C	1	
34	LOD	400		
35	OR	402		
36	AND	714		
37	CNT	1	60	
39	LOÜ	7		
40	ÜR	C	2	
41	LOD	C	1	
42	CNT	2	60	
44	LOD	7		
45	LOD	C	2	
46	CNT	3	9999	
48	LOD	10		
49	FUN	147	10	
51	FUN	147	903	
53	LOD	10		
54	TUN	147	20	
56	FUN	147	710	
58	ENİ.)			

0	ARIZA	ARIZA	ARIZA	ARIZA
	I 1	1/I	I I	(OUT)
	2	3	I	400
	AR IZA	AR IZA		
	I/I	I 1		
	2	3		
	AR IZA	AR IZA	AR IZA	
	I/I	I I	I I	
	1	2	3	
11	AR IZA		AR IZA	
	I/I		(OUI)	
	4		401	
	AR IZA			
	I/I			
	5			
	AR IZA			
	I/i			
	6			
15	AR IM	AR IZA	AR IZA	AR IZA
	1 1	1/1	I I	(OUI)
	12	13	1 I	402

	AR IZA	AR IZA I		
	I/I	i i. I		
	12	13		
	AR IZA	AR IZA	AR IZA	
	I/I	1 1	1 I	
	I 1	12	13	
26	AR IZA		KOR. AR IZ.	
	I I		(OUT)	
	401		200	
28	AR IZA		ARZ. i I IR	
	I 1		(OUT)	
	400		201	
	AR IZA			
	1 1			
	40 I			
	AR IZA			
	I I			
	402			
3	RESET		SANIYE	
	I 1		<CNT 1 >	
	7		60	
	SANIYE			
	1 I			
	C 1			
34	AR IZA		SAYMA	
	1 1		I I	
	400		714	
	AR IZA			
	I 1			
	402			
39	RESFT		DAK İKA	
	7		<CNI 7 >	
			60	
	DAK İKA			
	I I			
	C 2			
41	SANIYE			
	I I		< >	
	C I			
44	RESET		SAAT	
	I I		<CNI 3 >	
	7		9999	
45	DAK İKA			
	1 I		< >	
	C 2			

40 SAAI OK
I ! \NM7>TNI<7>
10 10903

53 SAAI OK
IIM1A / - < r-N) -17 >
10 ?0 210

58 .IIND>

Şeli 16

PLC Fritar Anı Ladder (İvfiçiamt

hinslnnii.il ör meri ez inden
cel-i i erı yilk sıfır ol d u d u n d a
d ü e n e l e r ü / e r i n d e l i c i e r i 1 i m
d i ş t i m i l y e t e r l i d i l i e v d o
o l m a v a c a d u n d a n ? ; i s t e m i 1 1 h a t a
s i n y a l i v o r m e m e s i i ç i n p r o c i r a n ı
< j i r i . ? l e r e l . ? d i b o r l a u u i b i r i < i
p a s i l o l . I n Q u m d i c a l ı s a r - a l -
s e k i i d e f f i 7 . e r i 1 e n m i s t i r . A v r i c .)
g e r ç e k l e ? t i r i 1 e n s a a t a r a c ı
1 i 0 T y 1 a ö l ç ü d e v r e s i n d e k i
a r ı z a a n ı h e l i r l o m n e k t f i v e
a r ı z a a i d e r i l e n e k a d a r g e ç e c e k
s ü r e i ş l e m o l t e d i r . D o l a y ı
s ı y l a e n e r j i a k ı s ı n d a k i e k s i k
O n e t İ f f i r l i r m e n i n d e ö r O n e
g e ç i 1 m i s o 1 a c a k t ı r . A r ı z a
g i d e r i i d i t e n s o n r a s a a t o k u m a
b u t o n u n a b a s ı l d ı ğ ı m d a 2 1 0
n u m a r a 1 ı < i l - ı s l a r d a n i t i h a r e n
s i s t e m i n i n a r ı z a d a k a l d ı a r s ü r e
b i n a r v o l a r a k o k u n m a k t a d ı r .
İ s t e n d i Q i t a k t i r d e s a a t
b i l g i s i c ı k ı s ı l a r a i l a v e b i r
s i s t e m L C D d i s p l a y ' e d e
a k t a r ı l a b i 1 i r . A r ı 2 0 s l l r e s i n i n
o k u n m a s ı 1 i s i e n i b i 1 1 i n d e
g i r i ş t e n y a p ı l a c a k r e . e . l i l e m e
i l e s a a t t e k r a r c a l ı s ı n a y a
h a 7 . 1 r k o n u m a g e l e c e t i r (1) .

4— Sonuç

EndMj?ti'inin hei" n l e i i n d a
y a y g 1 1 1 o l a r a k k u l l a n ı l m a y a
b a ş l a y a n P r o g r a m 1 a n a l ı 1 i r
l o , i i k K o n t r o l a l e t l e r i (P L C)
y e n i b i r u y t u l a m a a l a n ı o l a r a k
g e r ç e k l e s t i r i l e n s i s t e m
a r a ç 1 1 1 Q 1 y 1 a U r t a S & r i l i m
i r a n s f o r m a l ? n M e i l - e ? l e r i n i n
(0 0 1 M) ö l e n i " v e k o r u m a

do:ı es inde pk b i r k o r u m a
a r a c ı f . ? . l o ? l i t i i m i s t i r .

< 5 l < ü d e v r e s i n d e m e y d a n a
n » l e b i l ö o « k b i r a r 1 7 a d a
p n f i " i i i n k < ? s j 1 n e x i n e a e r p k
0 l i n a d M i 1 i n l a l 1 v a 1 1 1 1 7 c a 5 i s I P i M I M
a r ı 7 a d a (a l d 1 Q 1 5 f i r e 1 1 i 1 1
1 . < b i l i 1 1 e a i d i l i n i s t i r . T a l - a l -
k o r u m a d e v i e k i n d e k i a r 1 7 a d a
d o ç i r u d a n s i s (e m l ' p s i c i s i n i n
a c t 1 r 1 1 m a s 1 p l a n 1 - T u n i s t 1 r .
D < . > 1 a y 1 s 1 v l a l - 0 1 u m a ? n k a l a n
b i r s i s t e m d e l i - l i s a (i < ? v / r e > c r i b i
l i r a r 1 7 - 1 1 1 1 1 1 y o l a c a b i l e c e < 3 i
r a i t a r ı n ö n l e n m e s i p l a n l a n -
m i s t i r . B u n u n l a b i r l i l - . l : & O r t a
l) " ! i l i m t r a n s f o 1 m a t ö r M e i l - e r
l e r i n i n d a h a a O v e r l i o l a r a k
k o r u n m a ? ! i v e i s l e t i l i n o s i
a m a ç l a 1 1 m 1 ş l - i r (/) .

Kaynaklar

[1] --J. G. Wainock , Pt ogramnab le
Controllers 1988

[2] --L. A. Bryan . f. A. Bryan.
Programnab le Control ler
fheory and Imp1 ementa ton
1988 USA.
ISBN 0-94*1 107-30-0

[3] --R. A. . Gilbert, J. L. . .
Liewellyn. Programnab le
Controllers. Practiecs
and Concepts, International
Training Corporation, 1985

[4] --AKUNF. R. M. C. , M. U. FF. N
Bilimler F. inst. . Yüksek
1: i ş a n s V. ? z i . 1993

[5] --I DEC Pr ogramnab le

Control Ier t'sers Manua 1 .

Yazarlara ilişkin Bilgiler

1) < . . Dr . irfan GÜNEY



1957 senesinde
İstanbul'da dofldu.
1. D. M. M. A Elektrik
Mühendisi idinden
1979 cı a , mezun
o l a r a k (*) a p a z a r 1
S e l , e r f a b r i k a s ı n d a
g ö t e v e b a s 1 ' d i .
Daha sonra I . F . K

na geçti. 1.1.0. İ. İekli il,
Tal<OI:esi 1ıdeVük? ek 1is>.11^ a
bar?1:ıdı yp 190? e? menin oldu.
Kısa dönem askertik aör»viıdon
sonra I.f..K (ia cesitli
birim lıı-tlp nörpv aldı. 148/
yılıncla dok lıor a ca lır? mas ııı
t^ll'İIM 1adı vş Marmara
Üniversitesi İ>>t i• La ilin
Fakültesine yardımcı docent
olarak a t-sn dı. 1989 da
Elektrik fasisleri Anabilim
Ualında doçent oldu. Ha İTı
aynı fakültenin >>Kim
baş^iı l^0ı «i.irpv ini
«sürdMı nıftl-- if?d ir.

Ars. Gör. M. Cansır AKÜNİ İ?



1988 seri ~ si r k l e
Samsun 'da do-adı .
1986-1987 Ödret im
Yılı utla Marmara
Üniversitesi
İeknik f'aitim
r.Jik.ül tes i Flektr ik
Bölümünde yüksel-
ğrenimine

bar?1."ıdı. 1990 senesinde me/un
olarak. ayrı oku Ula Elektrik
Ea itim i Bölümü Tlel- tr ik
İe?isieri An ab ilim dal ııı da
ara? ırma cıörev 1 isi o 1aı?ık
aöreve başladı. 1990 sf-m?r- inde
M.Ü. Fen Pili inl«ri
Enstitüsünde Yüksek lisans
öÇJren imine başladı ve 1993
me/un oldu. Halen Marmara
Universitesi İel ni F Ö it im
fak ü 1 l: esi n F l e k t r i k F ö i t i m i
Bölümü Elektrik Tesisleri Ana-
bilim İm 1ında araştırma a<?ı ev-
li.Şiolarakcn 1ısma l t'ıdır.

GÜC KATSAYISININ ENERJİ İLETİMİ VE TESİS
MALİYETİ ÜZERİNDEKİ EKONOMİK ETKİSİ

Doc.Dr. irfan GÜNEY
Ars-Gör. Adnan KAKILLI

M.U.T.E.F.
ELEKTRİK EĞİTİMİ BÖLÜMÜ

ÖZET

Elektrik enerji sistemleri tesis edilmeden önce. planlama aşamasında tesise ait maliyet modelleri oluşturulur ve hancı durumlarda ne gibi sonuçların ortaya çıkacağı önceden irdelenebilir.

Tesis işletmeye alınmadan önce sistemi etkileyen parametrelerin sonuçları önceden ortaya konulabilir. Elektrik enerji sistemlerinde de güç katsayısı, enerjinin maliyetinde ve iletiminde önemli rol oynayan bir büyüklük - olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada , enerji iletim hattına ait maliyet denklemleri ile transformatör posta merkezlerine ait maliyet denklemleri birlikte ele alınarak sisteme ait tek bir maliyet modeli elde edilmiştir. Maliyet terimlerine etki eden teknik ve ekonomik parametreler- incelenmiş. deÇişik güç katsayılarında 100 MVA Vık gücün farklı mesafelere iletilmesi için yapılması gereken yatırım harcamaları araştırılmış ve yorumlar yapılmıştır.

1. GİRİŞ

Ekonominin ve sosyal kalkınmanın temel unsurlarından birini teşkil eden elektrik enerjisi, günümüzde vazgeçilmez enerji kaynakları arasında birisi haline gelmiştir.

Elektrik enerjisinin tüketilmesindeki yoçlunluk, gelişmenin önemli bir göstergesi sayılmaktadır. Nitekim gelişmiş ülkelerdeki kişi başına enerji tüketiminin , gelişmekte olan ülkelere nazaran daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Elektrik enerjisi üretiminde tüm birincil enerji kaynakları kullanılmaktadır. Ekonomik ve sosyal kalkınmaya paralel olarak elektrik enerjisi tüketimi artış kaydetmektedir. Bu sebeple yurt içi enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve arttırılması ile birlikte tüketimde verimlilik ve tasarruf sağlanması yoluna gidilmelidir.

2. İLETİM HATTI VE
TRANSFORMATÖR POSTA
MERKEZLERİNİN MALİYET
FONKSİYONLARININ ÇIKARTILMASI

Enerji üretimi ve dağıtımı için yapılan büyük parasal yatırımlar ve üretim kaynaklarının sınırlılığı , elektrik enerji sistemlerinin gelişmesi ve kullanılmasında optimizasyon çalışmasının yapılmasını gerekli kılmaktadır. Üretim ve tüketim noktaları arasındaki iletim münferit olabildiği gibi enterekte sistem içerisinde de olabilir.

Havai hattın maliyeti güzergahın yapısına. kullanılacak gerilim kademesine ve iletkenin kesitine bağlıdır. Arazinin düz vya engebeli olması direk tipini ve mesafesini dedis-

tiirecek bu da maliyete etki edecektir. İletim hattına ait ortalama bir deşer verebilmek için 1 km. Tik hattın maliyeti esas alınır. Bu maliyet içerisinde ; direk, temel, askı takımı, izolatörler, hat çekimi ve kontrolörlük gibi çeşitli maliyet unsurları vardır. Bunlar ;

-iletkenin kesitin» bağıllı terim

-Gerilime bağıllı terim

-Kesit ve gerilimden bağımsız terini

olarak Uc ayrı terim içerisinde tanımlanabilir. İletim hattına ait maliyetleri yapım maliyetleri ve işletme maliyetleri olarak iki grupta toplamak mümkündür. Yapım veya kuruluş masrafları ; sabit, gerilime bağıllı ve kesite bağıllı masraflardan oluşur. İşletme maliyeti ise ; hattın işletilmesi esnasında meydana gelen Joule kayıplarının etkisi olarak tanımlanabilir.

Bir enerji iletim sistemine ait kilometrelik maliyet fonksiyonu ;

$$L = L_0 + L_1 U + L_2 q + J - \dots \quad (1)$$

olarak yazılabilir.

Bu ifadede L_0 sabit. L_1 gerilime bağıllı, L_2 de kesite bağıllı terimleri ifade etmektedir. $J_0 = J \cdot I^* / q$ ise işletme maliyetlerini yansıtan terimdir.

Transformatör posta merkezlerinin maliyet fonksiyonu da benzer şekilde akımı, gerilimi ve gtlc terimlerine bağıllı olarak ifade edilebilir. Optimizasyon analizlerinde güç katsayısı yaklaşık bir öldufu1 varsavı-

olarak P-S alınır. Bu açıklamalar ışığında bir transformatör posta merkezine ait maliyet fonksiyonu :

$$A = A_0 + A_1 H + A_2 P + A_3 I + TL \quad (2)$$

olarak yazılabilir.

Bu ifadede A_0 sabit. A_1 perime bağıllı giderleri, A_2 çilce bağıllı giderleri. A_3 ise akıma bağıllı giderleri göstermektedir. Transformatör posta merkezi maliyet fonksiyonlarında bulunan güce bağıllı terim akım ve gerilim değerleri cinsinden yazılabilir. Optimizasyon analizi 7 Terinde gtlc katsayısı yaklaşık bir alındığı için $A_2 = P \cdot I$ ifadesi yerine $A_2 = J \cdot U$ yazmak mümkündür.

Gerçek bir sistemde ne işletim hatları ne de transformatör posta merkezleri tek başına kullanılmazlar. Münferit v&ya genellikle enterkonnekte sistem içerisinde birlikte tesis edilip işletmeye alınırlar. Uygulamaya dönük optimizasyon çalışmalarında -her iki maliyet fonksiyonu birleştirilerek sisteme ait tek bir maliyet fonksiyonu olarak ifade edilir. Toplam maliyet fonksiyonunu akım, gerilim, kesit ve mesafe etkilemektedir. Bunların çeşitli şekillerde düzenlenmesiyle farklı akım, kesit ve iletim mesafesi için sisteme ait maliyet fonksiyonları çıkarılabilir.

Enterkonnekte sistemden izole edilmiş bir iletim hattı ve transformatör posta merkezine ait toplam maliyet fonksiyonunu elde edebilmek için (1) no lu iletim hattı maliyet fonksiyonu ile (2) no lu denklemlerle ifade edilen posta maliyet fonksiyonlarının toplanması çtorekir. Yani :

$$T = L_1 U + A + TL \quad (3)$$

[2] GÜNEY. I. . Enerji Metim Şebekelerinin Donanım Planlaması'na Optimizasyon. M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. Temmuz. 1989.

[3] GÜNEY. I. . Enerji Metim Sistemlerinin Optimal Çalışma Parametrelerine Göre Analizi, M.Ü. Fen Bilimleri Dergisi. Sayı 7. İstanbul 1990

[4] KAKILLI. A. . Elektrik Enerjisi Talemi ve Tüketiminin Optimal Planlaması. M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları. İstanbul 1993

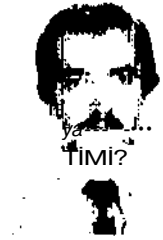
Ars. Gör. Adnan KAKILLI



1966 yılında Nevşehirde doğdu. 1989 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 1993 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansını tamamladı. Halen M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Yazarlara ilişkin Bilgiler

Doc. Dr. İrfan GÜNEY



1957 yılında İstanbul'da doğdu. İ.D.M.M.A Elektrik Mühendisliğinden 1979'da mezun olarak Adapazarı Seker fabrikasında göreve başladı. Daha sonra İ.E.K'na girdi. İ.T.Ü. Elektrik Fakültesinde yüksek lisans yaptı ve 1982'de mezun oldu. Kısa dönem askeri görevinden sonra İ.E.K'da çeşitli birimlerde görev aldı. 1987 yılında doktora çalışmasını tamamladı ve Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesine yardımcı doçent olarak atandı. 1989'da Elektrik Tesisleri Anabilim Dalında doçent oldu. Halen aynı fakültenin bölüm başkanlığı görevini sürdürmektedir.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

$L_0 = EtUd \text{ gideri} +$
 istihlak zarar ziyan
 vs. giderler »-Toprak
 teli gideri + Toprak
 teli çekimi gideri.

$L_1 = \text{izolatör gideri} +$
 Hırdavat gideri.

$L_2 = \text{iletken giderleri} +$
 Demir giderleri +
 iletken çekim
 giderleri.

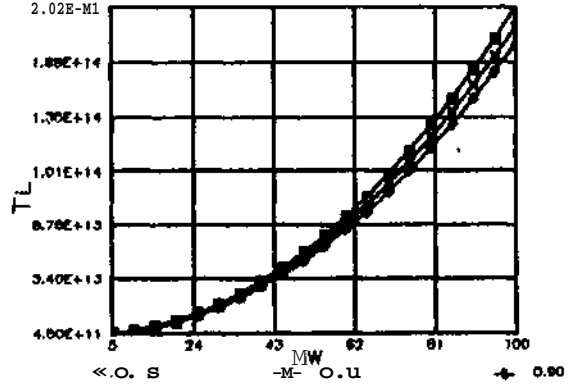
Hattın işletme maliyeti J_0 ,
 hattın direncine, kullanım
 süresine, hat akımına, hat
 kesitine, güncelleştirme katsa-
 yısına ve kayıpların ortalama
 fiyatlarına bağlı olarak
 hesaplanır [4].

$$J_0 = J \cdot \frac{r}{a} \quad (7)$$

$$J = 3 \cdot GK \cdot r \cdot h \cdot k \quad (8)$$

Elektrik enerjisini diğer
 enerji kaynaklarından ayıran en
 önemli özellik; taşınmasının,
 dağıtılmasının ve kullanıl-
 masının kolay olmasıdır. Ülke
 genelinde düşünüldüğünde elek-
 trik enerjisinin dağıtılması
 büyük mali yatırımlar gerek-
 tirmektedir. Yapılan bunca
 yatırımlar karşısında verilen
 hizmet kesintisiz ve güvenilir
 olmalıdır. Dağıtım merkezleri
 tasarlanırken bir çok faktör
 göz önünde bulundurulmalıdır,
 öncelikle imar planına uygun
 olarak merkezi yerlerde tasar-
 lanmalı gelecekte olması
 muhtemel gelişmeleri de göz
 önüne alarak uygun gerilim
 kademesi ve posta merkezi gücü
 tayin edilmelidir. 154 kV'lık
 transformatör posta merkezi
 için maliyet terimleri 1991
 yılı T.E.K. birim fiyatları baz
 alınarak hesaplanmıştır. Hat
 ve posta merkezi maliyet terim-
 lerinin birlikte kullanılma-
 sıyla sisteme alt maliyet GÜC

katsayısına bağlı olarak (4)
 nolu ifade de elde edilen
 rakamlar şekil 2 de grafik
 olarak verilmiştir.



Şekil 2 Farklı Güç
 Katsayılarında İletim ve Tesis
 Maliyeti

4. SONUÇ

GÜC katsayılarının farklı
 olması halinde iletim ve
 dağıtımın maliyetleri değişik
 güç kademeleri için incelenmiş
 ve grafik olarak şekil 2 de
 verilmiştir. Şekilde görüldüğü
 gibi güç katsayısının artması
 maliyeti azaltmaktadır. Küçük
 güçlerde ve kısa mesafelerde
 güç katsayısının artması fazla
 etkili olmamasına karşılık bü-
 yük güçlerde ve uzun mesafe-
 lerde maliyeti düşürücü unsur
 olarak karşımıza çıkmaktadır.
 Bu da iletim hatlarının ve
 şebekelerin kompanse edil-
 mesinin gerekliliğini ortaya
 koymaktadır [4].

KAYNAKLAR

- [1] TARKAN. N. Optimisation
 «t Estimation d'Etat des
 Systemes d'Unergie
 Electrique, Premlere Par ti e.
 I.T.Ü. Fen Bilimleri
 Enstitüsü, Rektörlük
 Matbaası, 1984.

ENERJİ İLETİM HATLARINDA KASKAT BAĞLANTI YAKLAŞIMI KULLANILARAK TOPRAK YOLU ANALİZİ

S. Ay

Y.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Müh. Bölümü 80750 İSTANBUL

Özet - Topraklanmış enerji iletim hatlarında dengesiz yük akımlarının bulunması halinde, toprak yolu üzerinde bir akım (artık akım) dolaşımı söz konusu olacaktır. Bu akım, toprakla ilgili anza akımlarının aksine, geçici olmayıp sürekli karakterlidir. Bu çalışmada, toprak yolu lineer 4-üçlü blokları bileşimi olarak modellenmiş ve "Kaskat Bağlantı Yaklaşımı" yardımıyla toprak yolu analizi yapılmıştır. Sayısal uygulama bölümünde, seçilen bir iletim hattı için çeşitli parametrelerin de değiştirilmesiyle ilgili hesaplama sonuçlarına yer verilmiş, sonuçlar irdelenmiştir.

1. GİRİŞ

Enerji iletim hatları, genel kabulün dışında, bazı durumlarda dengesiz olarak da yüklenebilirler. Bu durumda, topraklanmış şebekeler için toprağa "Artık Akım(lar)"ın akması söz konusu olacaktır. Artık akımın mertebesi, yüklerin asimetri derecesi, fazların güç (MVA) değerleri, şebeke topolojisi vb. etkenlere bağlıdır [1, 2]. Bu akımın toprak yolundaki dağılımı, iletim hatlarının yanı sıra transformatör gibi şebeke elemanları açısından da önemlidir [3].

Toprak yolu kavramı literatürde ilk kez, faz-toprak kısa devresi akımının analizi sırasında yer almıştır [4]. Geçen yıllar içerisinde, toprak yolu analizine yönelik çeşitli teknikler ortaya konulmuştur; bu tekniklerin ortak noktasını faz-toprak kısa devresi akımının dağılımı oluşturmaktadır [5-10].

Sürekli dengesiz yüklenme sonucu, toprak yolunda yapılacak bir analiz, yöresel gerilim düşümlerini (veya gerilim yükselmelerini) ve I^2R kayıplarını hesaplamayı sağlayacaktır. Bu analiz, geleneksel güç akışından bağımsızdır. Çalışmada yük asimetrisi nedeniyle gündeme gelen toprak yolu analizi, 4-üçlü formülasyonu ile gerçekleştirilmiş; sayısal örnek üzerinde hesaplama sonuçları ortaya konulmuştur.

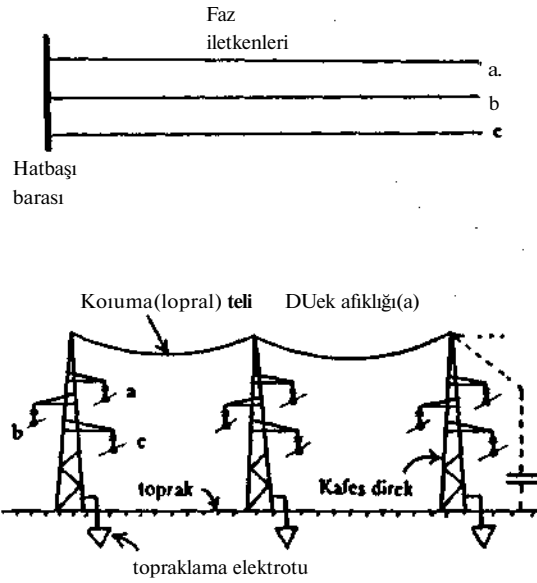
2. ENERJİ İLETİM HATTINDA TOPRAK YOLUNUN GENEL TANITIMI

Geleneksel analizlerde -dengeli yüklenme kabulü geçerli olduğundan- hesaplara girmeyen; toprak yolu, dengesiz yüklenme halinde göz önüne alınması gereken bir kavramdır. İki bara arasındaki bir iletim hava

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

hattının toprak yolu elemanları aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Direklerin koruma (toprak) teli
- Direklerin topraklama elektrotları
- Direklerle toprak arasındaki kaçak kapasiteler



Şekil 1. Bir enerji iletim hava hattının iki bara arasındaki toprak yolu elemanları (iletim hattının tek devreli olduğu kabul edilmiştir)

Bir direktteki koruma teli sayısı 1 veya 2 olabilir. Çoğu kez çelikten yapılan koruma telinin empedansı, telin kesiti ve direk modeliyle yakından ilgilidir. İki direk arasındaki telin empedansı (Z_J , direk açıklığı ile doğru orantılı olarak değişir. Diğer taraftan, direklerin topraklama elektrotlarının dirençleri geniş ölçüde toprağın fiziksel yapısına bağlıdır.

Bir üretim (veya tüketim) harasının toprak yolu elemanları ise şu şekilde özetlenebilir:

- Bara (istasyon) topraklaması
 - Bara toprak kaçak kapasitesi (ihmal edilebilir)
- Bara topraklaması da, elektrot geometrisi ve toprağın fiziksel yapısı ile yakından ilgilidir.

3. MODELLEME VE ANALİTİK FORMÜLASYON

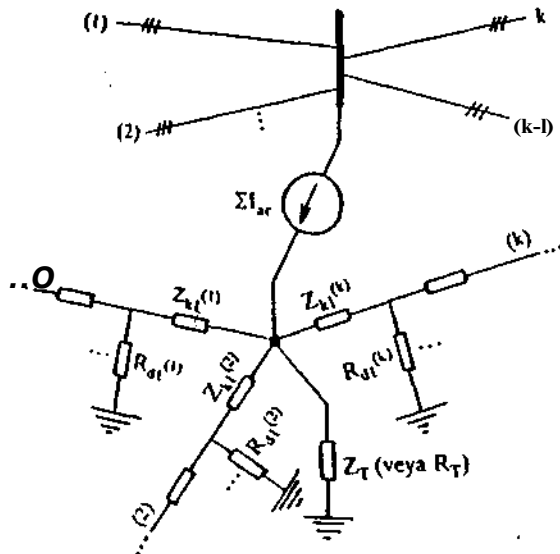
Enerji iletim hattının modellenmesinde öncelikle aşağıdaki varsayımların geçerliliği kabul edilmiştir:

- Sistem elemanları lineer özelliktedir.
- Faz akımları ve gerilimleri sinüsoidaldir.
- Toprağa olan tüm kaçak kapasiteler ve toprağın empedansı ihmal edilebilir düzendedir.
- Enerji sistemi (şebeke) tamamen topraklanmıştır.
- Toprağın tek tabakalı (üniform) olduğu varsayılmıştır.

Toprak yolu modellemesini geleneksel güç akışı modellerinden ayıran başlıca farklılıklar da şöylece sıralanabilir:

- Modelde gerilim kaynağı (üreteç) bulunmamaktadır.
- Modelde doğrudan aktif veya reaktif güç alışverişi yoktur; yalnızca yük baralarındaki artık akım kaynakları dikkate alınmaktadır.
- Modelde iki bara arasında toprak yolu yönünden saplama bulunmamaktadır.
- Modelde transformatörlerin varlığı söz konusu olmadığından, doğrudan akım dağılımı hesaplanabilir.
- Model, faz iletkenleri için öngörülen modellerden bağımsızdır. Bu nedenle, fazların dengesiz yüklenmesine karşılık, toprak yolu için gerçek (fiziksel) büyüklükler kullanılabilir.

k tane iletim hattının bağlı bulunduğu bir tüketim harasının toprak yolu Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. k tane hattın bağlı bulunduğu bir tüketim harasında toprak yolunun gösterimi

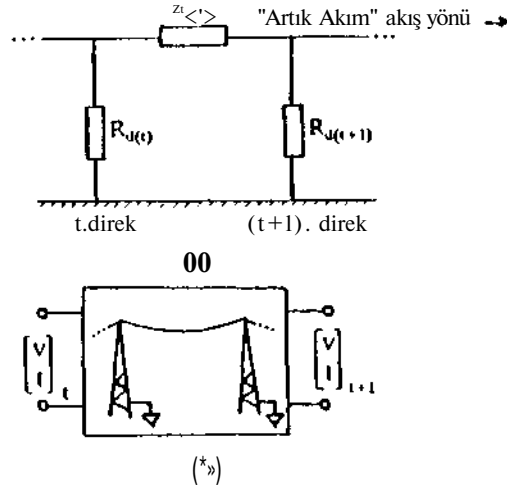
1266

Şekil 2'de $2I_{ar}$ ile gösterilen akım kaynağı, haraya ilişkin (net) toplam artık akımı simgelemektedir.

$$S'_{ar} = \sum_{j=1}^k (I_a M_b + F)j \quad (i)$$

Baraya bağlı iletim hatlarından dengeli yüklenenler var ise, bu kolların toplam artık akıma bir katkısı olmayacaktır. "." ile, kompleks büyüklük gösterilmiştir.

Herhangi bir iletim hattının toprak yolu göz önüne alındığında, 4-üçlü (veya 2-kapılı) şeklinde modelleme yoluna gidilebilir (Şekil 3.)



Şekil 3. İki direk arasındaki toprak yolunun fiziksel gösterimi (a) ve buna karşılık düşen 4-üçlü modeli (b)

t . direk ile $(t+1)$. direk ve koruma teli için sırasıyla aşağıdaki matris ifadeleri oluşturulabilir:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ R_d^{-1} & 1 \end{bmatrix}_t ; \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ R_d^{-1} & 1 \end{bmatrix}_{t+1} ; \begin{bmatrix} 1 & Z_k \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_t$$

(2x2) boyutundaki bu matrislerin iki bara arasındaki toprak yolu boyunca

$$[\dot{T}] = [\dot{T}_1] [\dot{T}_2] \dots [\dot{T}_n] \quad (2)$$

şeklindeki ardışık çarpımı, her baş ve her sonundaki toprak yolu gerilim ve akımları için bir zincir bağlantı oluşturacaktır. Bu matrislerin her birinin ve çarpım matrisinin determinantları için 1 eşitliği gerçekleşir.

$$\det(\dot{T}_1) = \dots = \det(\dot{T}_n) = \det(\dot{T}) = 1 \quad (3)$$

Tüketim barasındaki topraklama ağının empedansı üzerindeki akım ve gerilim, hesaplama için başlangıç

değerleri olacaktır. Bamya giren net artık akımın, toprak yolu kollarına (1,2,...,k) ve topraklama ağına paylaşımı için "zincir empedans" tanımı kullanılmıştır. Her kol için zincir empedans, $Z_k \ll R_d$ koşulu altında

$$\dot{Z}_{zi} = \sqrt{R_{di} \dot{Z}_{ki} (1 - \mu_i)} \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir; bu empedans iletim hattının uzunluğundan bağımsızdır. Burada R_d ve \dot{Z}_k , sırasıyla, iki bara arasındaki direk topraklama direncinin ortalama değerini ve iki direk arasındaki koruma telinin empedansını göstermektedir. J_i ise, hat boyunca faz iletkenleri ile koruma teli arasındaki ortalama kuplaj faktörüdür.

Zincir empedansların paralel eşdeğeri $\dot{Z}_{z,e}$ ile gösterilecek olursa, topraklama ağından geçecek akım

$$\dot{I}_T = [\dot{Z}_{z,e} / (\dot{Z}_{z,e} + \dot{Z}_T)] \sum \dot{I}_{ar} \quad (5)$$

ve topraklama ağındaki gerilim de

$$\dot{V}_T = \dot{Z}_{z,e} \dot{I}_T \quad (6)$$

olarak hesaplanır. (5) ve (6) ifadeleri, (2) bağıntısında "başlangıç hesaplama değerlerini oluşturmaktadır. Buradan, kolları akacak akımlar ise

$$\dot{I}_{ji} = \dot{V}_T / \dot{Z}_{zi} \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (7)$$

olacaktır.

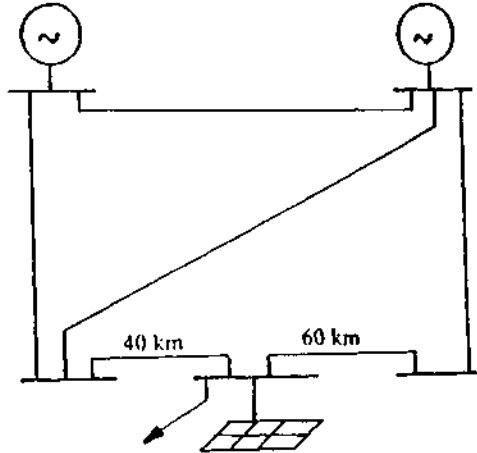
Hesaplamaya ilişkin yazılım algoritması şu şekilde özetlenebilir:

- 1.adım: Ele alınan haraya ilişkin topolojik yapı ve toprak yolu parametreleri topluca belirlenir.
- 2.adım: Baranın toplamı artık akımı hesaplanır.
- 3.adım: (4), (5), (6) ve (7) bağıntıları yardımıyla başlangıç değerleri hesaplanır.
- 4.adım: (2) ifadesi yardımıyla, toprak yolunun tüm akım ve gerilimleri (direk topraklama direnci ve koruma telleri üzerindeki akım ve gerilimler) hesap edilir; omik kayıplar bulunur.
- 5.adım: Bir sonraki baraya geçilerek aynı işlemler tekrar edilir. Hesaplanacak bara kalmadığında, işleme son verilir.

4. SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama için Şekil 4.deki 154 kV luk sistem göz önüne alınmıştır. Dengesiz yüke ilişkin faz güçleri, sırasıyla, 25.4t-j!2.7 MVA, 14.6fj7.3 MVA ve 20.0 i-j 10.0 MVA dır. Koruma telinin empedansı

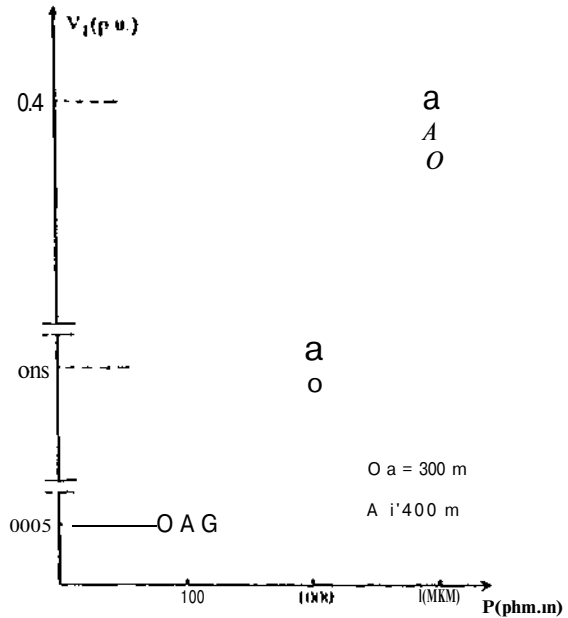
2+J0.3 ohm/km olup, direklerin topraklama direnci $0.05 p$ ve baranın topraklama direnci $0.0005 p$ olarak verilmektedir.



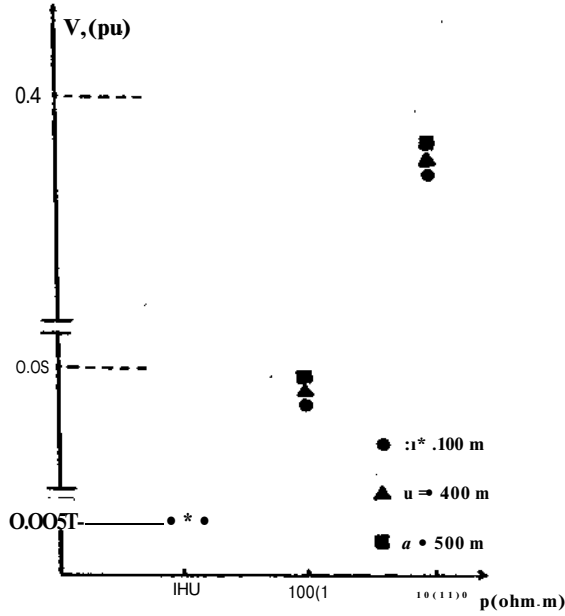
Dengesiz Yük
(çekilen güç duıma sabittir)

Şekil 4. Örnek sistem

Hesaplama sonuçları yarı logaritmik eksen takımları üzerinde, Şekil 5. ve Şekil 6.da gösterilmiştir. (Baz gerilim olarak 1 kV seçilmiştir.)



Şekil 5. Terminal geriliminin toprak özgül direncine bağlı değerleri (I=0 alınmıştır.)



Şekil 6. Terminal geriliminin toprak özgül direncine bağlı değerleri (*=0.2 alınmıştır.)

SONUÇLAR

Terminaldeki topraklama ağının gerilimi, toprak özgül direnci, direk açıklığı ve kuplaj etkisi gibi parametrelere bağlı olarak şu şekilde değişmektedir:

- Gerilim, toprağın özgül direnciyle artmaktadır.
- Direk açıklığı arttıkça, gerilim de yükselmektedir.
- Kuplajın ihmal edilebilir olması, gerilimi arttırmaktadır.
- Toprak özgül direncinin düşük değerinde (100 ohm.m), direk açıklığı ve kuplaj etkisi gibi parametrelerin gerilim üzerinde fazlaca etkinliği olmamaktadır.
- Gerilimin değeri, artık akıma ve dolayısıyla faz güçlerine bağlıdır. Ancak, çekilen gücün sabitliği koşulu altında faz güçleri değişebiliyorsa, söz konusu gerilimin de farklı değerler alacağı açıktır.

KAYNAKLAR

- [1] Ay, S. and N.Tarkan, "The Effect of Unbalances in Electric Power Systems Upon Line Losses", Bull. Tech. Univ. Istanbul, vol. 43, pp. 57-75, 1990.
- [2] Ay, S., "Analysis of Earth-Path Losses in Power Systems Resulting from Unbalanced Loading", Proc. Intern. Conference Signals-Systems, Al-Ain, U.A.E., Jan. 29-31, 1990, vol. 2, pp. 223-234.
- [3] Ay, S., "The Effects of Current and Voltage Unbalances in Power Transformers upon Optimal Operation", Florence World Energy Research Symposium - FLOWERS'90, 28 May-1 June 1990, Firenze, Italy, Proc. of the Symposium (printed by Pergamon Press) pp. 929-936.
- [4] Endreyne, J., "Analysis of Transmission Tower Potentials During Ground Faults", IEEE Trans., vol. PAS-96, pp. 1274-1283, 1967.
- [5] Sebo, S.A., "Zero Sequence Current Distribution Along Transmission Lines", IEEE Trans., vol. PAS-88, pp. 910-919, 1969.
- [6] DeSieno, C.F., P.P. Marchenko and G.S. Vassell, "General Equations for Fault Currents in Transmission Line Ground Wires", IEEE Trans., vol. PAS-89, pp. 1891-1900, 1970.
- [7] Verma, R. and D.Mukhedkar, "Ground Fault Current Distribution in Sub-Station, Towers and Ground Wire", IEEE Trans., vol. PAS-98, pp. 724-730, 1979.
- [8] Dawalibi, F., "Ground Fault Current Distribution Between Soil and Neutral Conductors", IEEE Trans., vol. PAS-99, pp. 452-460, 1980.
- [9] Dawalibi, F. and G.B. Nilcs, "Measurements and Computations of Fault Current Distribution on Overhead Transmission Lines", IEEE Trans., vol. PAS-103, pp. 553-560, 1984.
- [10] Wittgenfeld, G., "Power System Ground Fault Current Distribution Using the Double-Sided Elimination Method", IEEE Trans., vol. PVRS-1, pp. 17-25, 1986.

EK

Toprak Yolu Parametrelerinin Hesaplanması

Kıplaj faktörü aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır [E1]:

$$\mu = \log (h/c)/U > g (2h/r) \quad (E.1)$$

Burada: h toprak telinin görüntü uzaklığını, c faz iletkenleri ile koruma İcli arasındaki açıklığı, h koruma telinin yerden yüksekliğini ve r koruma telinin yarıçapını göstermektedir.

Direk ve İstasyon topraklama dirençleri, toprak özgül direncinin fonksiyonu olarak

$$R_d = O_f \cdot p \quad \begin{matrix} (\text{ohm}) \\ (\text{ohm}) \end{matrix} \quad (E.2)$$

ifade edilebilir, p (olun.m) toprağın Özgül direnci, O ve P ise I den küçük reel katsayılarıdır. Bu katsayılar, ölçme veya hesap yoluyla belirlenebilir.

[E1] Electrical Transmission and Distribution Reference Book, East Pittsburgh, Westinghouse Electric Co., 1950, pp. 592.



Selim Ay 1959 yılında İstanbul'da doğdu. İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisinden Elektrik Mühendisi olarak mezun olduktan sonra (1980), Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarını İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamladı (1983). - 1983 yılında Yıldız Tek-

nik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi- Elektrik Tesisleri Anabilim Dalında görev yapmaktadır. Enerji sistemlerine yönelik olarak optimi/asyon, denge- sız yüklenmeler ve harmonikler başlıca çalışma konuları arasındadır.

ENERJİ İLETİMİNDE YÜK KARAKTERİSTİKLERİNİN
GERİLİM KARARLILIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Y.Müh.M.Ali YALCIN

Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
54187 ADAPAZARI

ÖZET

Enerji iletiminde klasik kararlılık incelemelerinin yanında son zamanlarda gerilim kararlılığı üzerine oldukça yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Gerilim kararlılığını etkileyen faktörler incelenirken, özellikle kararsızlık sürecini hızlandıracak olan dinamik etkilerin göz önüne alınması gerekir. Bu çalışmada olay yllk karakteristikleri yönünden incelenmiş ve farklı yllk bileşimlerinin gerilim kararlılığı üzerine etkileri araştırılmıştır.

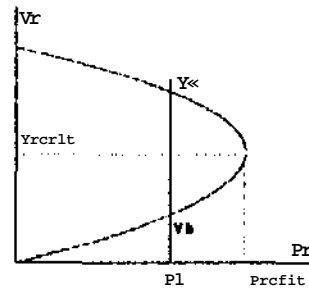
GİRİŞ

Enerji sistemlerinin planlanması, işletimi ve kontrolü açısından kararlılık önemli bir yönlendirici kavramdır. Son yıllarda klasik kararlılık analizlerinin yanında, yük baralarının gerilimlerinin genliklerini gerek sllrekli halde gerekse geçici olaylar sırasında belirli işletme limitleri içinde tutabilme yeteneği olarak tanımlanan gerilim kararlılığı konusuna artan bir ilgi uyanmaktadır.

Gerilim kararsızlığının birincil nedeni, normal olmayan sistem çalışmaları veya kontrolör davranışları altında yllk taleplerini karşılamaya çalışan belirli sistem baralarına yeterli reaktif güç verilememişidir. Bunun sonucunda olay, bir bölgede gerilimin ardışıl olarak düşmesi ve sonunda sistemin tümünde gerilim çökmesi şeklinde sistem içinde yayılması biçiminde karakterize edilebilir.

Gerilim kararlılığı incelemelerinin klasik yolu, statik yllk akısı analizlerine dayanmaktadır. Sonuçlar geneliikle aktif güç - gerilim ordinatlarında F-V eğrileri ile gösterilirler (Şekil 1). Bu eğriler üzerinde kararsızlık noktası kolayca görülebileceğinden, statik analizler gerilim kararlılığı açısından

maksimum güç transferi ve bunu etkileyen faktörleri incelemek bakımından son derece yararlıdır [1],



Şekil 1. Radyal bir iletim hattına ait P-V eğrisi

Ancak sllrekli hal gerilim kararlılığı analizleri, yüklerin dinamiğine bağlı olarak hızlı değişen olayların incelenmesinde yetersiz kalmaktadır. Zira statik analizlerde P-V eğrilerinin karakterize eden olayların, dakikalar mertebesinde saatler mertebesine uzanan geniş periyotlar içinde oluştuğu öngörülmektedir. Oysaki, örneğin herhangi bir arıza sonucu, sabit güç karakteristikli bir yllkl besleyen paralel iletim hatlarından birinin devre dışı çıkması durumunda, bu yllklerin hızlı transiyent karakteristikleri nedeniyle yerel olarak ani gerilim çökmeleri görülecektir.

Bu nedenle kontrol ve koruma düzenlerinin hızlı değişen bu tür olaylara cevap verecek nitelikte olması gerekecektir. Bu açıklamalara dayanarak, klasik kararlılık bakımından senkron generatörlerin önemine karşılık, gerilim kararlılığı açısından elektriksel yllklerin aynı derece önemli olduğunu söyleyebiliriz.

ELEKTRİKSEL YÜKLER

Gerilim değişimlerine karşı davranışları bakımından yükleri Uc ana grupta toplayabiliriz [2]:

- 1- Sabit Empeđans Yükleri,
- 2- Sabit Akım Yükleri,
- 3- Sabit Güc Yükleri.

Ayrıca bir yük, karakteristiğine bağlı olarak, gerilim değişimlerine karşı zaman içinde farklı gruplarda bulunabilmektedir.

- 1- Sabit Empeđans Yükleri

$$\frac{dP}{dT} = 2 \cdot \frac{I_0}{T^2} \quad (D)$$

Gerilimdeki küçük değişimler için güc değişimi yaklaşık iki kat olmaktadır. Bu tür yüklerin sistemde fazla olması gerilim kararlılığını olumlu yönde etkilemektedir. Aydınlatma, Kontrolsüz, ısıtma, ark ocakları tipik örneklerdir.

- 2- Sabit Akım Yükleri

$$\frac{dP}{P} = \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

Gerilimdeki değişimler aynı oranda güc değişimine yansımaktadır. Özellikle Elektrokimya ve metalürji sektöründe, elektroliz, metal parlatma, metal kaplama bu tür yüklerle örnektir.

- 3- Sabit Güc Yükleri

Klasik yük akısı analizlerinde, her yük barasındaki aktif ve reaktif güçlerin sabit olduğu kabul edilmektedir. Oysa gerçek sistemde bu yükler çeşitli faktörlere bağlı olarak değişirler, örneğin Sekil 2 den görüleceği gibi bir baradaki gerilimin ani artısını aynı şekilde izleyen ve daha sonra yaklaşık olarak başlangıç değerine dönen bir güc değişimi dinamik analizler için karakteristik bir örnektir.



Seki 1.2 Dinamik Yükün Cevabı

Konunun basında pratik olarak Uc ana grupta toplanan yüklerin zaman içinde ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

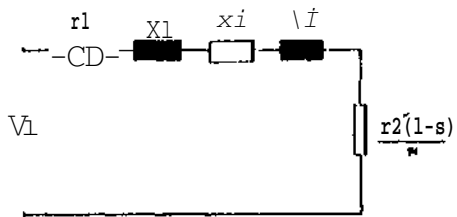
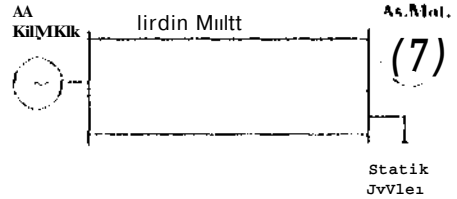
bir gruptan başka bir gruba geçebildiği söylenmişti. Sekil 2 incelendiğinde, ilk andaki gerilim artışı ile artan F yükü tipik bir sabit empedans yüküdür. Bunun neden, motorun kütlesi ataleti veya kontrolör cevabının gecikmesi olabilir. Daha sonra ise, mekanik motor yükünün öz-kontrollü sabit güc karakteristiği veya kontrolörün sabit güc karakteristiği nedeniyle yük sabit gücüne dönmektedir.

Açıklamalardan anlaşılacağı üzere iki tip dinamik yük elemanı vardır. Motorların (asenكرون mot.) hızlı transiyent karakteristikli olmasına karşılık kontrollü omik yükler (sabit sıcaklık kontrolü vb.) veya yük altında kademe değiştiriciler yavaş transiyent karakteristikli dirler.

Bu çalışmada fiziksel özelliklerinin kolay anlaşılır olması ve geniş uygulama alanları nedeniyle dinamik yük elemanı olarak asenكرون motorlar ele alınacaktır.

ÖRNEK SİSTEM

Örnek sistem, paralel çalışan uzun iki iletim hattıyla beslenen yük gruplarından oluşmuştur. İletim hatları pi esdegeri ile gösterilmiş, dinamik yük elemanı olarak göz önüne alınan asenكرون motorların ise basitleştirilmiş yaklaşık eşdeğer devresi kullanılmıştır. (Sekil 3).



Seki 3. a.örnek Sistem b.As.Motorun Basitleştirilmiş Eşdeğer Devresi

ANALİZLERDE İZLENEN YOL

Burada bir faza ait olmak üzere, VI: Stator faz-nötr gerilimi, r_1 : Stator sargı direnci, r_2 : Rotor sargı direncinin statora indirgenmiş değeri, XI: Stator kaçak reaktansı, X_2' : Rotor ile faz kaçak reaktanslarının statora indirgenmiş değerleri, s: kaymayı göstermektedir. Sisteme ilişkin parametreler ise (100 MVA 380 kV bazında):

$\omega = 314$ rad/s,

İletim Hattı:

$R_h = 0.0065$ pU, $X_h = 0.06$ pU, $B/2 = 1.5$ pU

Asenkron Motorlar (1.6 MVA bazında): Ref. [3]

$r_1 = 0.015$ pU, $r_2 = 0.015$ pU, $X_1 = 4.09$ pU,

$X_2 = 4.09$ pU, $H = 1.0$ kWs/kVA dır.

incelemeler radyal hatlarla beslenen yükler üzerinde yapılmakla beraber dinamik simülasyonun esasları N baralı bir sistem üzerinden açıklanarak analizin tüm sistem için geçerliliği gösterilmektedir.

incelemenin esaslarına geçmeden önce simülasyonun yapıldığı k. baraya bağlı asenkron motoru çektiği güçlerin Sekil 3.b.ye göre belirlenmesi gerekir. Burada,

$V_k = e_k + j f t_k$: k. bara gerilimi,

S_k : k. motorun kayması olmak üzere,

$$P_{ek} = \frac{-4 - \sqrt{16 - 4 \cdot X_k^2}}{X_k^2 + X_k} \cdot (e_k^2 / f) \quad (3)$$

$$Q_{ek} = \frac{X_k}{X_k^2 + X_k} \cdot (e_k^2 + f^2) \quad (4)$$

sekinde güçleri belirleyebiliriz. Sürekli halde motorun elektriksel giriş gücü mekanik çıkışı s gücü ile dengededir:

$$P_{ek} C^1 - s_k - P_{mk} = 0 \quad (5)$$

Asenkron motorun dinamik denklemi de hareket denkleminde türetilir:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{T_k \cdot \omega_s} \cdot \left(\frac{P_{mk}}{1 - s_k} - P_{ek} \right) \quad (6)$$

J_k : k. motorun atalet momenti.

Gerilim kararlılığı açısından dinamik yllk elemanları ile yapılan analizlerde izlenen yolu şöyle özetleyebiliriz:

1.Adım: YÜk akısı analizleri ile VI, V2, ..., V_k, ..., V_n bara gerilimleri belirlenir. Analiz için örnek alınan k. baraya bağlı yüklerin sllrekli hal çözümleri (P_{ek}, Q_{ek}, P_{mk}.sk..) elde edilir,

2.Adım: Paralel çalışan hatlardan birinin devre dışı olması, mekanik mil yllkUnUn ani artımı, büyüklük bir yerel VAR kaynağının devre dışı kalması gibi bir bozucu etki ile gerilim kararlılığına karşı bir tetikleme yapılır. Bozucu etkinin olduğu ilk anda, klltle ataletinden dolayı motorun kayması (sk) sabit kalır. Dolayısı ile bozucu etki öncesi ve hemen sonrasında yllklln eşdeğer empedansı degismemektedir. Bu hipotez altında, YÜk akısı hesaplamalarıyla başlangıç durumuna ilişkin bir çözlüm elde edilir. Yapılan bir başka kabul de generatör ve iletim hatlarının transiyent davranışlarının yüklerden daha önce bastırıldığı varsayımdır [4].

Bu hipotezler altında, transiyent gerilim kararlılığı sllreci su şekilde belirlenir:

a) Asenkron motorların t+ t anındaki kaymaları, güc sisteminin t anındaki durumunu göz önüne alınarak (6) dinamik denkleminin 4. mertebe Runge-Kutta metodu kullanılarak çözümler ile hesaplanır,

b) Güc sisteminin her düğümündeki gerilim aktif güc ve reaktif güc ile temsil edildiği yeni durumu YÜk akısı denklemlerinin ve YÜk karakteristik denklemlerinin çözümler ile elde edilir,

c) Süre t kadar arttırılarak (a) sıklıkına dönülerek işlemlere devam edilir,

d) Analizler için tanımlanan zaman aralığı (t1-12) dolunca işlemler durdurulur.

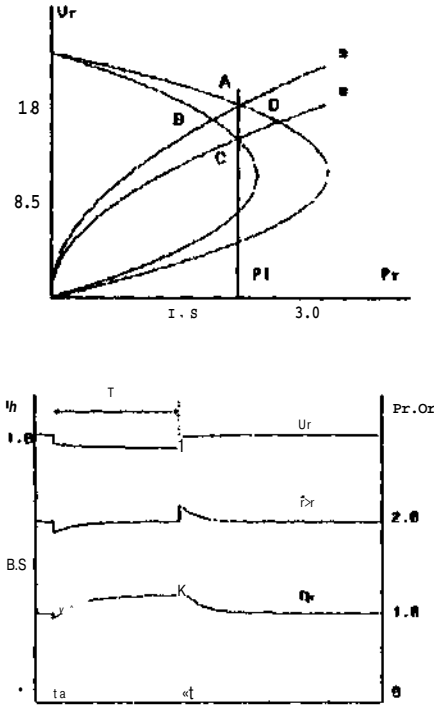
İNCELENEN DURUMLAR

1.Durum. Küçük Bozucu etkiler :

Sabit Pl gücü çeken asenkron motorun bozucu etkinin olduğu ilk anda sabit sl kaymasında, sabit empedans karakteristiği gösterdiği (A-B) daha sonra ise kaymanın attığı (s1-s2) ve sistemin yeni çalışma noktasına (C) otur-

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

duğu, yıllık karakteristik eğrileri ve sisteme ilişkin F-V eğrileri yardımıyla şekil 4.a da gösterilmiştir. 4.b de ise elektriksel büyüklüklerin zaman ekseninde değişimleri gösterilmiştir.

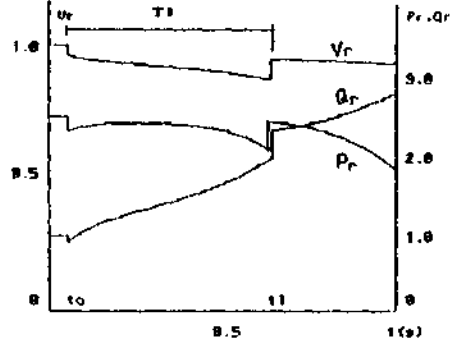
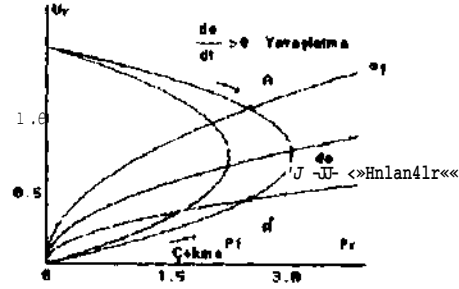


Sekil 4. KÜçlük bozucu etkilerin, a) P-V eğrileri Üzerinde , b) Zaman ekseninde gözlenmesi.

Bu durumda herhangi bir kararsızlık söz konusu olmamaktadır. T süresi sonunda bozucu etkinin giderildiği öngörülmüşürse, yine P-V eğrileri Üzerinde önce sabit empedans sıçraması (C-D) sonra kaymanın azalarak sistemin başlangıç noktasına (A) oturması şeklinde bir süreç görülmüştür.

2.Durum. Büyüklük Bozucu Etkiler

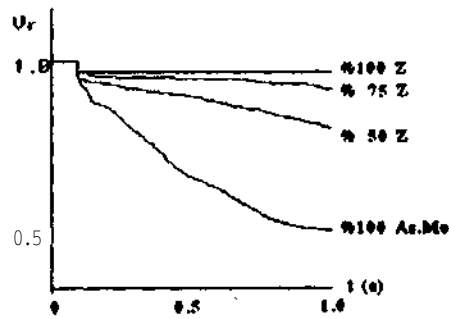
Bu durumda iletim sistemine ait P-V eğrisi ile sabit güç P_l eğrisi çakışmaktadır. Dolayısıyla arıza temizleme süreci yeterince kısa tutulamazsa, kayma artmaya devam ederek yük karakteristiklerini sistemin kararsızlık bölgesine taşır ki (A - 0) bu bölgede iken arıza temizlense dahi sistem A noktasına oturur basaka bir deyişle sistem çöker. Ancak arıza (A - A) bölgesinde temizlenirse yük karakteristikleri sistemin tekrar toparlanmasına imkan vermektedir. Sekil 5.



Sekil 5. Büyüklük bozucu etkilerin, a) P-V eğrileri ile b) Zaman ekseninde gözlenmesi. $T_1 > T$ seçilmiştir.

3.Durum. Karma Yükler:

Yük asenkron motorlar + sabit empedans karakterli yüklerin karışımı olarak göz önüne alınmış ve sabit empedans yüklerinin artımıyla gerilim kararlılığı açısından iyileşme görülmüştür.



Sekil 6. Karma YÜklerin Gerilim Kararlılığına Etkisi

4.Durum. Motor Mil YÜkÜnün Etkisi :

Yükün tamamen As.Motorlardan oluştuğu ve mil yükünün sabit momenti olduğu göz önüne alınarak, yük % 25 ten kademeli olarak % 100 e kadar arttırıldı.

ENERJİ İLETİMİNDE YENİ BİR BOYUT: ALTI VEONİKİ FAZLI SİSTEMLER

Nurettin UMURKAN

Hüseyin ÇAKIR

Y.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü
Beşiktaş/İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada. üç fazlı enerji iletimine alternatif olarak kullanılan doğru akımla enerji iletim hatlarının dezavantajları belirlerken, Uç faz ve doğru akım iletim sistemlerine alternatif olarak araştırılan çok fazlı enerji iletim sistemlerinin tarihi gelişimi, özel direk tipleri ara mesafe kolonları, transformatörlerin gruplandırılması, hat güzergahı (right of way) ihtiyacı, çevresel etkilerden gürültü ve elektriksel alan şiddeti incelenmiştir. Altı ve oniki fazlı iletim sistemlerinin üç fazlı sistemlerle karşılaştırılması yapılmıştır.

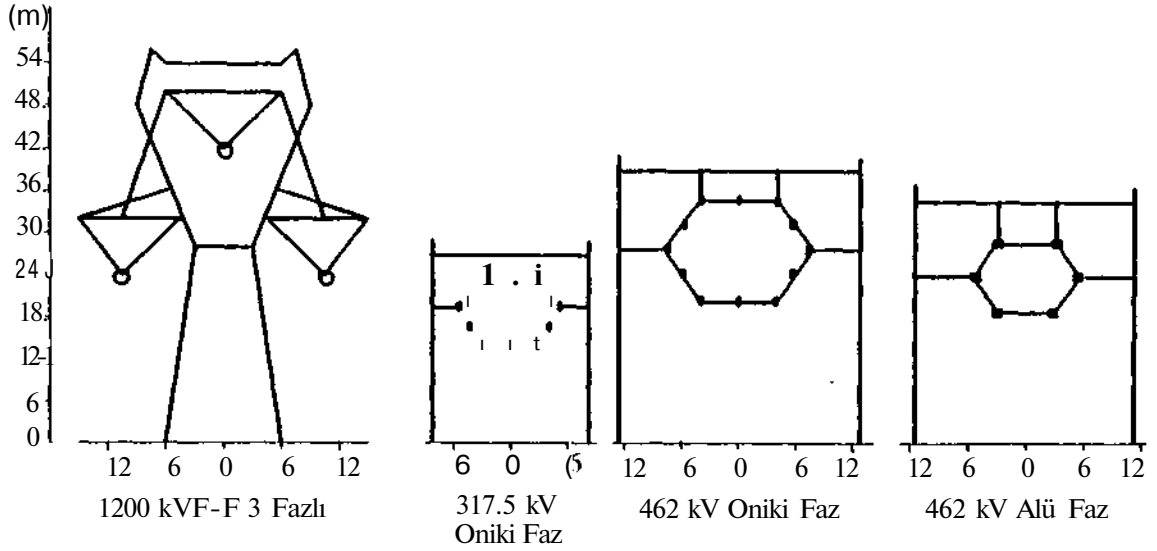
1. GİRİŞ

Elektrik enerjisine olan talebin kalkınma ile orantılı olarak artması enerji iletiminde sorunları ortaya çıkarmaktadır. İletim sorunlarının çözümünde alternatif olanaklar mevcuttur. Alternatif akımda daha yüksek gerilim kademelerine çıkılması, doğru akım ile iletim ve çok fazlı iletim gibi yöntemler, daha fazla enerjinin iletilmesi için kullanılmakla ve araştırılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanılmasında belirli sınırlamalar ve bir diğerine göre faydalı veya mahzurlu durumlar söz konusu olmaktadır.

Enerji **ilolun** kapasitesinin gerilim kademesinin yükseltilmesi ile artımı, maksimum gerilim değerlerine çıkılarak tamamlanmıştır. Daha yüksek gerilimlere çıkılması, izolatör tasarımı, yalıtım mesafeleri, korona ve gürültüler gibi

etkiler, iletim hatlarının kapasite artırımı gereken fakat hat güzergah alanı sınırlı olan ülkelerde bu konu daha büyük bir önem kazanmıştır.

Doğru akım ile enerji iletiminde ise, hat maliyetlerinin alternatif akımı hat maliyetlerine göre nispeten düşük olması buna karşılık çevirici merkez maliyetlerinin çok yüksek değerlerde olması, bu sistem ile enerji iletiminde ekonomik açıdan sınırlayıcı 10I oynamaktadır. Doğru akım hava hatları önemli miktardaki bir gücü 400 - 800 km 'den daha fazla bir uzaklığa iletilmesi gerektiğinde alternatif akım hava hatlarına göre daha ekonomik bir iletim sağlamaktadır. Doğru akım ile enerji iletimi detaylı olarak Kaynak *İM* 'de incelenmiş ve doğru akımı ile ancak bir noktadan bir noktaya iletimin söz konusu olduğu, dört veya daha fazla çok terminalli Yüksek Gerilim Doğru Akım uygulamalarının mümkün olmadığı buna karşılık enterkonnekte şebekenin her yönden dallanarak genişlemekle olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle doğru akım ile iletimin daha çok uygun olduğu durumlar; büyük alternatif akım şebekeleri arasındaki bağlantılar, su yolları (boğaz, nehir, vs.) atlamaları ve adalara enerji iletimi, elektrik enerjisinin uzak mesafelere (400 km ve sonrası) iletimi gibi durumlarda elverişli olduğu belirtilmiştir. İletim sistemlerinde önemli kavramlardan biri olan güvenilirlik ve kullanılabilirliğin, büyük güç iletimi düşünülen halkanın doğru akım olması durumunda, herhangi



Şekil 2. 8 kV/m'lik toprak seviyesi elektrik alanı için direk boyutlarının karşılaştırılması /5/.

elektrik alan değerinin çok fazlı sistemlerde daha düşük değerlerde olması, hal gü/cıhahının da önemli miktarda küçülmesini sağlamaktadır.

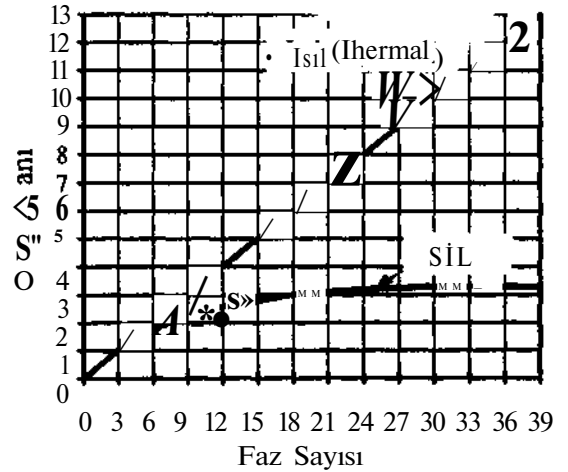
Şekil 2 'de 8 kV/m 'lik toprak seviyesi elektrik alan değeri sabit tutulduğunda üç, altı ve oniki fazlı sistemlerdeki çeşitli gerilim kademelerinde direk boyutları karşılaştırılmıştır. Çok fazlı sistem için önerilen çeşitli direk dizaynlarının mekanik zorlanmaları Kaynak 151 ' detaylı olarak incelenmiştir.

Çok fazlı sistemde, iletkenlerin dairesel olarak dizilişlerinden dolayı, iletkenlerin serbest şahmında birbiri ile temasını (inlemek, yalıtım mesafelerini korumak ve direk açıklıklarını arttırmak amacıyla ara mesafe yalıtım kolonları kullanılmaktadır. Yalıtım kolonları için çeşitli dizayn tipleri üzerindeki araştırmalar Kaynak /6/ incelenmiştir.

Tablo 2.

Faz Sayısı	Hat Z	Hal Kapasiteleri				
		SİL	Isıl	Kesici	Demet	İletken
JsY	ulun	M\$L	h£&	SİL	Bojuul	Cap
3	1200	229	6300	23900	12500	8 4.06
6	462	266	4800	17900	16600	4 4.47
12	462	458	5600	17900	33300	2 4.47
12	317	434	2800	13400	"2800	2 4.57

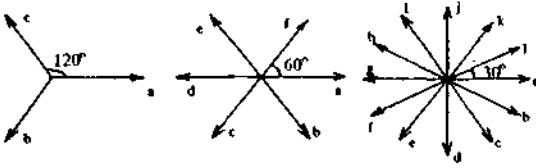
Tablo 2 'de, Şekil 2' de verilen direk tiplerinin karakteristik yapılarına ilişkin bilgiler verilmiştir 151. Bu tablodan da görüldüğü gibi hatların SİL kapasiteleri yaklaşık olarak aynıdır. Hat dizaynlarında kesici gücü,Uç fazlı sistemde önemli miktarda sınırlayıcı rol oynamakla oysa çok fazlı sislem üzerinde sınırlayıcı bir etki göstermemektedir.



Şekil 3. Faz sayısı ile ısıl kapasite ve SİL kapasitesi arasındaki bağıntı

bir arıza nedeniyle devre dışı kalması, ilim sistemin kararlılığı için güvenilirliği sağlamada olumlu görülmemektedir. Diğer bir konu doğru akımı teknolojisindeki gelişmeler alternatif akım 'da sağlanan gelişmelere göre henüz oldukça geridedir. Çevrim merkezleri henüz çok pahalı ve çok karmaşık teknolojileri içermektedir. Harmonik sorunları, reaktif güç gereksinimleri, aktif kayıplar ve terminal sayılanımı kısıtlı olması doğru akım sistemlerinin dezavantajları olarak sıralanabilir /I -3/.

Enerji iletim sistemlerine alternatif olarak araştırılan çok fazlı sistemlerde ise, fazlar arası gerilimin, faz-nötr gerilimine eşit (altı fazlı sistem) veya faz-nötr geriliminden küçük (oniki fazlı sistem) olması nedeniyle fazlar arasındaki izolasyon mesafelerinde üç fazlı sistemlere göre oldukça daha küçük direk boyutları, daha küçük hal güzergahı ihtiyacı, daha az çevresel etki gibi avantajlara sahiptir. Şekil 1' de üç, altı ve oniki fazlı sistemlerin gerilim fazör diyagramları verilmiştir.



Şekil 1. Üç, Altı ve Oniki Fazlı Sistemlerin Gerilim Fazör Diyagramları

Çok fazlı sistemlerde, günümüzde alternatif akım sistemlerinde kullanılmakla olan yüksek gerilim teçhizatlarının rahatlıkla kullanılabilir olması önemli bir avantajdır. Çok fazlı sistem transformatör merkezi maliyeti ile iletim hattı maliyetlerinin, üç fazlı sistemlerle karşılaştırılmasında elde edilen kritik mesafe değerinin yaklaşık 50 km civarında olması, yani bu mesafeden daha uzak mesafeler için üç fazlı sisteme göre, çok fazlı sistemin daha ekonomik olduğunu göstermektedir /4/.

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

2. ÇOK FAZLI SİSTEMLER

Tarıftı Gelişimi

Çok fazlı sistemlerle enerjinin belirli mesafelere iletimi fikri yeni değildir. İlk olarak 1966' da bir patentin konusu olmuş, 1970' lerde teknik ve ekonomik karakteristikleri detaylı olarak incelenmiş, 1978' de altı ve oniki fazlı deney hatlarının kurulması için bir proje yapılmış ve ilk olarak 1980' de 80 kV faz-nötr gerilimli bir altı fazlı hat ABD Saraloga Araştırma ve Geliştirme Merkezi' nde kurularak sisteme enerji verilmiştir. Bu sistemin elektrik ve mekanik testleri iki yıllık bir periyot üzerinden yapılmıştır. Daha sonra oniki fazlı bir hal inşa edilerek bu hattın mekanik testlerinin yapılması olumlu neticeler alınmasından sonra bu hat da 138 kV faz-nötr gerilimi ile beslenmiştir. Bu ilk hatları takiben gelişen çok fazlı sistem dizaynları neticesinde çeşitli gerilim kademelerinde test hatları yapılmıştır. Bu test hatları üzerinde mekanik zorlanmalar, iletken hareketleri ve çevresel etkiler (gürültü, elektrik alan vb.) araştırılmaktadır/4-10/.

Tablo I.

Faz-Nötr (kV)	Faz-Faz (kV)			
	3 Faz	6 Faz	12 Faz	24 Faz
8ü	138	80	41	21
133	230	133	69	35
199	345	199	103	52
289	500	289	15ü	75
442	765	442	229	115

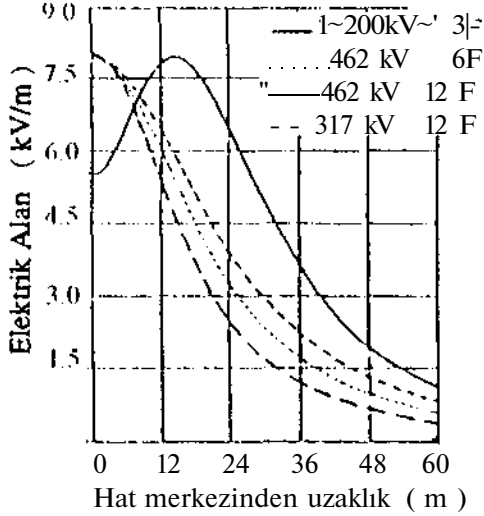
Direk Dizaynları

Tablo F de görüldüğü gibi, çok fazlı sistemlerde fazlar arası gerilimin faz-nötr gerilimine eşit yada daha küçük olmasından dolayı iletkenler arasındaki izolasyon mesafesi küçülmekte ve bunun sonucu olarakta direk boyutlarının, üç fazlı hatlarda kullanılan direk boyutlarından daha küçük olması durumunu meydana getirmektedir. Gerilim seviyesine bağlı olan çevresel etkilerden, top ık seviyesi

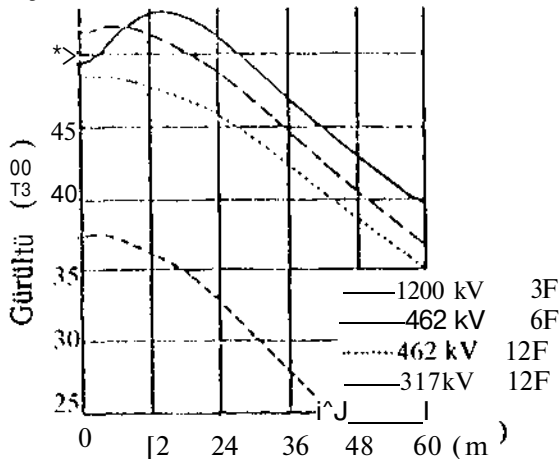
Çok fazlı sistem üzerinde hal empedansları kaynak III 'de detaylı olarak incelenmiş ve üç fazlı sistem empedans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Burada elde edilen sonuçla faz sayısı arttıkça ısı kapasite artmakta buna karşılık SİL kapasitesindeki artış daha az olmaktadır. Bunu gösteren eğriler Şekil 3 'de verilmiştir.

Çevresel Etkiler

Enerji sistemlerinin karşılaştırılmasında en önemli faktörlerden biri de çevresel etkilerdir. Bu etkileri elektrik alan şiddeti ve radyo gürültüleri şeklinde tanımlayabiliriz. Şekil 2 'deki üç fazlı ve çok fazlı test balları üzerinde hal merkezinden çeşitli uzaklıklar için yapılan ölçüm ve analizler neticesinde elde edilen değerler Şekil 4 ve 5 'te verilmiştir.



Şekil 4. Toprak Seviyesi Elektrik Alanı 151.



Şekil 5. Radyo Gürültüleri 151.

Çok Fazlı Sistem üzerinde yapılan ekonomik analizler Kaynak 191 da incelenmiş ve transformatör merkezi maliyeti, izolatörlerin maliyeti, hat güzergahı ve elektrik alan şiddeti değerlerinin, üç fazlı ve çok fazlı sistem üzerindeki maliyet etkileri araştırılarak duyarlık (sensitivite) analizi yapılmıştır.

Çok fazlı sistemlerin mevcut üç fazlı sistem hatlarına önemli bir leğışikliğe gerek olmadan uygulanabilir olması önemli bir avantajdır. Örnek olarak, Türkiye'deki Keban - Gölbaşı çifl devre 380 kV üç fazlı hat ele alınır, bu hatın altı faz işletilmesi durumunda mevcut kapasitenin % 73 otımında bir artış meydana gelecektir. Bu da yeni bir hal inşa etmeksizin kapasite artırımını gerçekleştirebilme imkanını vermektedir.

3. SONUÇ

Çok fazlı iletim sistemlerinin transformatör merkezlerinde faz ayısına bağlı olarak artan ekipman ihtiyacından dolayı, üç fazlı iletim sistemlerinin transformatör merkezi maliyetlerinden genel olarak daha fazladır. Aynı gücün iletimi söz konusu olduğunda, çok fazlı iletim hatları maliyetleri, üç fazlı hal maliyetinden daha düşüktür.

Çok fazlı iletim sisteminin transformatör merkezi ilave maliyetleri ile iletim hatlından doğan tasarrufun dengelendiği kritik mesafenin küçük bir değer (yaklaşık 50 km) olması çok fazlı sistemin üç fazlı sisteme alternatif olarak kullanılabileceği ve yakın gelecekte uygulama alanı bulabileceği görülmektedir.

Çok fazlı iletim sistemleri mevcut üç fazlı iletim sistemleri ile enterkonnekte olarak beraber kolaylıkla işletilebilir. Üç fazlı sistemin çok fazlı sisteme, çok fazlı sistemin üç fazlı işleme dönüşümü, doğru akım sistemlerindeki gibi ilave ve pahalı teknolojilere gereksinim duyulmadan klasik ekipmanlarla rahatlıkla yapılabilir olması çok fazlı sistemlerin önemli avantajlarından biridir.

4. KAYNAKLAR

İM N. YÜKSELER, *Doğru Akımla Enerji İletim Olanakları ve Türkiye' de Görünüm* Kaynak Dergisi. Sayfa 35-38, Eylül 1990.

121 N. YÜKSELER, N. ARI, *Çok Fazlı İletim Hatlarında Geçici Olaylar*, Elk.Müh. 3.Ulusal Kongresi, Sayfa 53-55, İTÜ 1989.

/3/ P.G. ÜNLÜ, MA. YALÇIN, M. BAĞRIYANIK, N. YÜKSELER, *Çok Fazlı Enerji İletim Sistemlerinde Kompanzasyon Tesislerinin Konumlandırma Etkileri* Elk.Müh. 4.Ulusal Kongresi, Sayfa 345-348, DEÜ 1989.

141 D.D. WILSON, J.R. STEVART, *12-Phase as a Transmission Alternative*, IEEE/CSEE Joint Conference on High Voltage Transmission Systems in China, pp. 695-700, üct. 1987.

151 I.S. GRANT, J.R. STEVART, *Mechanical and Electrical Characteristics of EHV High Phase Order Overhead Transmission*, IEEE, PAS-103, pp. 3380-3385, Nov 1984

161 J.R. STEVART, I.S.GRANT, *High Phase Order- ReadyforApplication*, IEEE, PAS- 101,pp.1757-1764,June 1982

III J.R. STENVART, D.D. WILSON, *High Phase Order Transmission —A Feasibility Analysis Part I Steady State Considerations*, IEEE,PAS-97, pp.2300 - 2307, Nov 1978.

/8/ J.R. STENVART, D.D. WILSON, *High Phase Order Transmission -A Feasibility Analysis Part II—Overvoltages and Insulations Requirements*, IEEE.PAS-97, pp.2308 -2315, Nov 1978.

191 J.R. STEWART, E. KALLAUR, I.S. GRANT, *Economics of EHV High Phase Order Transmission*, IEEE, PAS-103, pp.3386 -3392, Nov 1984.

/10/ Y.ONOGI, K.ISAKA, A.CHIIBA, Y.OKUMOTO, *A Method of Suppressing Fault Currents and Improving The Ground Level Electric Field in a Novel Si.-Phase Power Transmission System*, IEEE.PAS-102, pp. 870-880, Apul 1983.



Nurettin UM UR KAN, 1964 yılında Tokat ' ta doğdu. 1988 "de Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden Müh. 1991 de Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE) Elektrik Müh. programından Y.Mül. olarak mezun oldu. UMURKAN, 1991' den beri Yıldız Teknik Üniversitesi FBE Elektrik Müh. programında doktora çalışmalarını sürdürmekte ve 1990' dan beri YTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı' nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



Hüseyin ÇAKIR, 1948 yılında Işkeçe' de doğdu. 1972' de Y.Mül. olarak Yıldız Teknik Üniversitesinden mezun oldu. Doktora, Doçentlik ve Profesörlüğünü Yıldız Teknik Üniversitesi' nde tamamladı. 1977-1978 yılları arasında ABD George Washington Üniversitesinde araştırmalar yaptı. Kısa süreli görevler ile İngiltere ve Almanya' daki üniversitelerde bulundu. Yıldız Teknik Üniversitesi dekan yardımcılığı, ve halen Elektrik Mühendisliği Bölüm Başkanlığını yürütmekte olan Hüseyin ÇAKIR' ın yayınlanmış 4 kitabı ve 30 civarında makale, ulusal ve uluslararası bildirileri vardır.

SHANNON ENTROPİSİNİN HATA AĞACI TANISINDA KULLANILMASI VE ENERJİ SİSTEMLERİNE UYGULAMA

Ramazan Çağlar

Serhat Şeker

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi,
Elektrik Mühendisliği Bölümü, Günüşsıyın, 80191 İstanbul

Özet : Ru çalışmada sistem gttvenilirlik ve risk değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan Hala Ağacı Analizi ne (HAA) dayalı olarak, minimum denetleme ile sistemin arızalı olmsnı durumunu veren kritik (gerçek) Minimum Keşideme Takımının (MKT) bulunmasua götüren, bir yöntem tauılmaktadır. Tanı aşamasında bilgedeki belirsizliği kestirmek için Shannon entropisi tanımlanmakta ve bu minimize edilecek amaç fonksiyonu olarak seçilmektedir. Bilgi belirsizliğini azaltabileceğinden maksimum bilgiyi sağlayan denetlemeler seçilmelidir. Bu da minimum sayıda ardışıl denetlemelerle kritik MKT nin bulunmasına götürecektir. Kritik MKT yi bulmak üzere kullanılan bilgi toplama işlemi olan tam için, önem sıralarına göre bütün MKT ler tanımlanmakta ve minimum maliyette gerçek MKT yi bulan, bilgi toplamaya dayalı - bilgi temelli- bir algoritma sunulmaktadır. Sözkonusu algoritmanın enerji sistemlerinin temel bir bölümüne uygulanması verilmektedir.

1. GİRİŞ

Hata ağacı üst olaya,yani bizi ilgilendiren ana olaya neden olan olayların paralel ve ardışıl bileşimlerinin gösteren bir Bool-lojiği modelidir. Üst olay, genellikle istenmeyen bir sistem durumunu veya telükeli koşulu gösterir. HAA run ilk adımı üst olayın seçilmesi ve buna uygun hata ağacının oluşturulmasıdır. Yani bağlantıların ve üst olayın oluşması için gerekli koşulları üretebilen sistem bileşenleri arasındaki ilişkilerin sistematik bir tanımlanması ve standart bir fonnta göre grafik gösterilimidir. Bir kez oluşturulduktan sonra, ya nitel yada nicel olarak değerlendirilir. Nitel değerlendirmede önemli bir adım, MKT lerin, yani oluşması üst olayın oluşmasına neden olan temel (basit) olaylar kümelerinin, belirlenmesidir. Nicel değerlendirmeler, üst olayın olasılığı, basit olayların önemlilik olasılığı veya MKT gibi, hata ağacı olasılık karakteristiklerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Bileşenlerinin tümü arızalandığında sistem arızasına yol açan ama en az biri çalıştığında sistem arızasının ortadan kalktığı bileşen kümesini gösteren kesitleme olarak adlandırılan MKT yöntemi, çözüm bulmadaki etkinliği, hızı, sistemin hata modları ile doğrudan ilişkisi, bilgisayarlara kolay uygulanabilirliği nedeniyle güçlü bir yöntemdir. HAA değişik amaçlara uygun olaiak kullanılabilir. Hata ağacı kavramı, oluşturulması ve kullanımı ile ilgili ayrıntılı bilgilere kolayca ulaşılabilir [1], [2], [3], [4], [7]. Bu çalışmada, tanı aracı olarak kullanılmaktadır HAA nm, sistemin

bozulmasında en olası anza nedenlerini nasıl öngörebildiğimi, kritik basit olayı içeren MKT nin belirlenmesi bazında göstereceğiz. Bileşen durumları üzerindeki denetimler sırasının, iki dımlımlı onanabilir bir sistem için optimal tau ve onanın ardılığı bazı çalışmalarda verilmiştir [5], Tanının belirli bir aşamasında bir bileşenin arızalı olduğuna rastlanılırsa, bileşenin onarımı için bakım eylemine başlanır. Sonrasın da sistem hala anzada ise tanı ve onanın işlemleri sürdürülür. Böyle bir yaklaşım, tau ve onarımı karıştırdığından, iyi formüle edilememektedir. Tanı, sistemdeki kritik MKT yi bulmak için yapılan bir bilgi toplama işlemidir. Ve böylece sistemi minimum maliyet ile (zaman, para,vb.) eski durumuna getirmeye yarar. Optimal bir onanm stratejisi sadece iyi yürütülmüş bü-tanı sonrasında tasarlanabilir. Bu makalede ilgi tanı üzerinde yoğunlaşılacaktır. Tanı:

(1) İj önemlilikleri ile bütün MKTleri C_j ($i=1,2,\dots,n$) belirleyen,

(2) En düşük maliyette (yani en düşük minimum denetleme sayısı,vs.) gerçek MKT yi bulmak için soruşturarak bilgi toplamayı öneren,

bir işlem olarak ele alınmaktadır. En büyük önemli temel olay denetim için önceliğe salınpür. Temel olay önemliliğinin, yapısal önemlilikjoitliklik önemliliği, Fussell-Vesely önemliliği gibi, çeşitli tanımları sunulmuş durumdadır [4], [6], [7]. Tartışmak için, çok iyi tanımlanmışlardan biri olduğundan yaygın kabul gören Fussell-Vesely temel olay önemliliği ile ilgilenecektir.

De Kleer ve Williams tanı için maliyet fonksiyonu olarak Shannon entropisinin kullanılması düşüncesini başlatarak bir sonraki en uygun denetlemeyi minimum entropiye dayalı olarak seçtiler. Bu çalışmada, bir belirsizlik ölçüsü olarak, kesme takımı önemlilikleri Shannon entropisinin, gerçek MKT yi belirleyecek denetimlerin umulan minimum sayısına eşit olduğunu ortaya konulmaktadır. Tau, bilgi belirsizlik fonksiyonunu (Shannon entropisiü) minimumlaştırmak için bir bilgi toplama işlemi olarak göz önüne alınmaktadır. Bir denetim tarafından sağlanan bilgi kavramı "gerçek (kritik) MKT nin bulunmasına götürecektir denetlemelerin beklenen minimum sayısındaki, umulan azalmayı gösterir" biçiminde tanımlanmaktadır. Maksimum bilgiyi

sağlayacak ve minimum ardışı denetleme sayısında gerçek MKT nin keşfine götürecek bir sonraki denetlemenin seçimi için, bir a dun ileriye optimizasyon işlemi verildi. Zaman lusülaması olması durumunda entropinin alacağı biçim için bir öngöründe bulunuldu. Sayısal bir örnek de sunuldu.

2. KABULLER, TERMİNOLOJİ VE NOTASYON

2.1 Kabulde»

- (1) Temel olayın durumunu belirleyen heT denetleme eşit maliyettedir.
- (2) Çeşitli ve çok sayıda MKT ler eşzamanlı olarak oluşmazlar; yani üst olay için bir çok MKT dençerçek MKT olarak adlandırılan yalnızca biri, verilen bir zamanda oluşabilir. Bundan dolayı;

$$C_i \cap C_k = \emptyset \quad i \neq k \quad (D)$$

$$P(T) = \sum_{i=1}^N P(C_i) \quad (2)$$

- (3) Temel olaylar bağımsızdır.
- (4) Bir temel olayın olasılığı 1 den çok küçüktür. Yani;

$$P(B_j) \ll 1 \quad \text{dir.}$$

2.2 Terminoloji

Kesitleme takımının önemliliği (etkisi) : Üst olayın oluşması durumunda, MKT nin de oluşmuş olması olasılığıdır.

Bilgi belirsizliği: Gerçek MKT bulmak için gerekli denetlemelerin, umulan minimum sayısıdır.

Bir denetleme tamundan sağlanan bilgi: Bir denetlemenin yapılmasından sonra bilgi belirsizliğinde beklenen azalmadır.

2.3. Rotasyonlar

B_j : Sistemdeki bir temel olay

\bar{B}_j : B_j temel olayının tümleyeni

C_j : Bir hata ağacının MKT si

2.2 Terminoloji

N : MKT lerin sayısı,

S_j : B_j temel olayını içeren MKT lerin kümesi,

$$B_j \cdot n \subset S_j \quad (3)$$

$S_j \cdot \bar{B}_j$ yi içeren MKT lerin kümesi,

$$B_j \cdot n \subset S_j \quad (/e S_j) \quad (4)$$

T : Bir hata ağacının üst olayı,

$$T = \bigcup_{i=1}^N C_i = \left(\bigcup_{i \in S_1} C_i \right) \cup \left(\bigcup_{i \in S_2} C_i \right) \cup \left(\bigcup_{i \in S_j} C_i \right) \quad (5)$$

$P(B_j)$, $P(C_j)$, PCD : Sırasıyla, bir temel olayın, bir MKT nin ve üst olayın anza olasılıkları,

I_j : B_j temel olayının Fussell-Vesely önemliliği; Üst olayın arızalı olduğu durumda, B_j yi içeren en azından bir minimal kesme takımının arızalı olman olasılığı olarak tanımlanmaktadır.

I_j : Kesme takımı C_j nin önemliliği, yani üst olayın arızalandığı durumu veren C_j MKT sinin meydana gelme olasılığı :

$$I_j = \frac{P(C_j)}{P(T)} = \frac{P(C_j)}{\sum_{i=1}^N P(C_i)} \quad (6)$$

I_j' : Güncelleştirilmiş I_j , yani denetleme sonucu elde edilen, üst olayın arızalı olduğu durumu veren MKT sinin oluşma olasılığıdır.

Eğer B_j temel olayının arızada olduğu denetlenerek görülmüşse, varsayımlar gözönünde tutularak;

$$I_j' = \begin{cases} \frac{I_j}{P(B_j = 0)} & (i \in S_{j_1}) \\ \frac{I_j P(B_j)}{P(B_j = 0)} & (i \in S_j) \\ 0 & (i \in S_{j_2}) \end{cases} \quad (7)$$

elde edilir. Benzer olarak arızalı olmadığı denetlenerek görülmüşse;

$$I_i = \begin{cases} \frac{I_i}{P(B_j = 0)} & i \in S_{j-} \\ \frac{I_i(1 - P(B_j))}{P(B_j = 0)} & i \in S_{j+} \\ 0 & i \in S_{j+} \end{cases} \quad (8)$$

olarak elde ederiz. Fussell-Vesely temel olay önemliliği de aşağıda ki gibidir.

$$\hat{I}(B_j) = \frac{P(U_{i \in S_{j+}}, C_i)}{P(T)} = \frac{\sum_{i=1}^{S_{j+}} P(C_i)}{\sum_{i=1}^N P(C_i)} \quad (9)$$

H : Tanı problemi ile ilgili bilgi belirsizliği,

$P(B_j = 1)$: Verilen sistem arızalı iken, S_{j+} nin denetlendiğinde arızalı olduğunun bulunması olasılığı;

$$P(B_j = 1) = \frac{P(B_j C \setminus T)}{P(T)} \quad (10)$$

Bu bağıntıyı Fussell-Vesely temel önemliliğine bağlı olarak yazılmak istenirse;

$$P(B_j = 1) = \hat{I}(B_j) + P(B_j) \sum_{i \in S_{j+}} I_i \quad (11)$$

$P(B_j) \ll 1$ olduğundan,

$$P(B_j = 1) \approx \hat{I}(B_j) \quad \text{dir.}$$

$P(B_j = 0)$: Sistem arızalı iken, B_j nin denetlendiğinde arızalı olmadığı bulunması olasılığı,

$$P(B_j = 0) = 1 - P(B_j = 1) \quad (12)$$

$H(B_j = 1)$: S_{j+} nin arızalı olduğunun bulunduğu zaman ki, kalan bilgi belirsizliği,

$H(B_j = 0)$: B_j nin arızalı olmadığı bulunmuş zaman ki, kalan bilgi belirsizliği,

$H_e(B_j)$: B_j nin denetlenmesi sonrasında beklenen bilgi belirsizliği kalanı :

$$H_e(B_j) = P(B_j = 1) * H(B_j = 1) + P(B_j = 0) * H(B_j = 0) \quad (13)$$

$SB(B_j)$: B_j yi denetleyerek sağlanan bilgi;

$$SB(B_j) = H - H_e(B_j) \quad (14)$$

BİT : Bilgi belirsizliği birimidir.

3. TEMEL OLAY ÖNEMLİLİĞİ VE TANI

Bir üst olay için, homojen dağılımlı, yani kesme takımı önemlilikleri eşit olan Nadet MKT den oluşmuş bir listenin olduğu varsayalım:

$$I_1 = I_2 = \dots = I_N = 1/N$$

Denk.9dan B_j temel olay etkisi K/N eşittir.

Burada K_j B_j temel olayını içeren MKT leinin sayısıdır. $K_j = K, /N$. $K_j = \hat{I} * N$

B_j yi içermelerin sayısı K_2 olsun,

$$K_2 = (1 - \hat{I}) * N \quad \text{dir.} \quad \text{Denk.(11)den,}$$

$$P(B_j = 1) = K_j / N + P(B_j) * K_j / N$$

$P(B_j = 0) \ll 1$ olduğundan, $P(B_j = 1) \approx K_j / N = \hat{I}$ dir.

Eğer Z_j arızalı diye bir denetleme sonucu varsa (bunun olasılığı \hat{I} dir), daha ileri kontrol için K_j MKT lerini içeren bir alt liste üzerinde durulacaktır. Beklenen denetleme sayısı:

$$f(K_j) = f(\hat{I} * N)$$

dir. Benzer olarak B_j arızalı değil diye bir denetleme sonucu varsa (bunun olasılığı $1 - \hat{I}$) daha ileri kontrol için K_2 MKT lerini içeren bir alt liste üzerinde ilgi yoğunlaşılacaktır. İlave denetimlerin beklenen sayısı:

$$f(K_2) = f((1 - \hat{I}) * N)$$

olduğu beklenir. Böylelikle aşağıdaki bağıntı elde edilebilir.

$$f(N) = \hat{f}(\hat{f}^N) + (1 - \hat{f})f[(1 - \hat{f})N] + 1 \quad (15)$$

Tanı işlemi, denetleme sonuçlarına dayalı sadece bir MKT içeren bir liste elde edinceye kadar devam eder. Yani,

$$f(1) = 0 \quad (16)$$

$f(N)$ nin denk.(17) ve (18) i sağlayan bir ifadesi de;

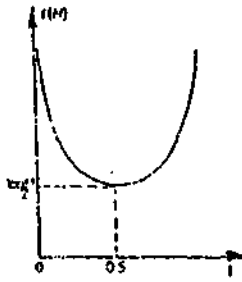
$$f(N) = \frac{\sqrt{nN}}{-\hat{f} \ln \hat{f} - (1 - \hat{f}) \ln (1 - \hat{f})} \quad (0 < \hat{f} < 1) \quad (17)$$

dir.

Sekili, de \hat{f} nin fonksiyonu olarak $f(N)$ eğrisi gösterilmiştir. Eğriden şu sonuçlar çıkarılabilir.

- (1) Kritik MKT yi ortaya çıkaracak denetlemelerin umulan sayısı $I(N)$, / 1 'e ve 0 "a yaklaştıkça sonsuza gider. Sonuç göstermektedir ki; bir sonraki denetlenecek olarak, en büyük önemliliğe sahip temel olayın seçilmesi hep iyi bir seçim değildir.
- (2) $\hat{f} = 0.5$ olduğunda $f(N)$ minimum değerine erişir. Bundan dolayı, bir sonraki denetlenilecek olarak, Fussell-Vesely önemliliği 0.5 yakınında olan temel olay seçilmelidir.
- (3) Homojen bir dağılım da \hat{f}_i önemliliğindeki kritik MKT yi tanımak için minimum beklenen denetleme sayısı aşağıdaki gibi olur.

$$[f(N)]_{\min} \approx \log_2 N = -\log_2 \hat{f}_i \quad (18)$$



Şekil 1. \hat{f} nin fonksiyonu olarak $f(N)$

4. SHANNON ENTROPİSİ: BİR BİLGİ BELİRSİZLİĞİ FONKSİYONU

HAA dan C_i leri ve bunların önemliliklerini I_i leri elde edilir.

$$\sum_{i=1}^N I_i = 1 \quad (19)$$

dir. Eğer önemlilikleri yaklaşık olarak eşit bir çok MKT varsa ve baskın bir MKT yoksa, hangi MKT nin ortaya çıkacağı ile ilgili şüphe ve kaşıkılık söz konusudur. Eğer $I_1 = 0.5$ ve $I_2 = 0.5$ önemlilikli C_1 ve C_2 gibi iki MKT söz konusu ise, hangisinin Sistemin arızalı olmasına neden olduğu hakkında, emin olunamaz. Böyle bir belirsizliği daha ileri bilgiler toplayarak azaltmak kaçınılmazdır. Bu nedenle belirsizliğin değerini hesap etmek için bir belü sızlık fonksiyonuna gereksinim duyulur. Böl.3 de kritik MKT lerin bulunması için umulan minimum denetleme sayısı olarak tanımlanan bilgi belirsizliği verilmiştir. Böyle bir bilgi belirsizliği aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

- (1) I_1, I_2, \dots, I_N nin bir fonksiyonudur.
- (2) H Bütün I_j ler için sürekli olmalıdır.
- (3) Eğer bütün I_j ler eşit ise $I_j = 1/N$, o zaman Böl.3 den:

$$H = -\log_2 I_j = \log_2 N$$

- (4) Eğer bir tanı iki ardışıl taru sürecine bölünebüyorsa, orijinal bilgi belirsizliği her ayn bilgi belirsizliği değerlerinin toplantiyla arbnlnı alıdır.

Bu özelliklere sahiip fonksiyon, MKT önemliliklerinin Shannon entropisidir. Yani,

$$H = -\sum_{i=1}^N I_i \log_2 I_i \quad (20)$$

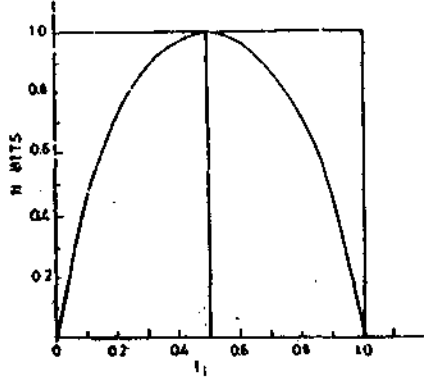
Bu fonksiyonun önemli bazı özellikleri vardır:

- (1) Eğer bütün I_i ler eşit ise H maksimumdur. Bu aynı zamanda en belirsiz durumdur.
- (2) $H = 0$, yalnız ve yalnızca biri dışında diğerleri sıfır ise (bu bir tanesinde T değerini alır) gerçekleşir. Bu nedenle yalnızca taru sonuçlarından emin olduğunda H sıfır olur.

I_j ve $I_2 = 1 - I_1$ önemlilikli iki MKT durumunda entropi,

$$H = -I_j \log_2 I_j - (1 - I_j) \log_2 (1 - I_j) \quad (21)$$

olur. Bunun eğrisi Şek.2 de I_1 nin fonksiyonu olarak çizilmiştir.



Şekil 2. İj ve İ2 önemliliği iki MKT durumunda entropi

5. OPTİMAL TANI

S.1. Maksimum bilgi: Denetleme seçimi için kriterler

Kriter 1: n temel olaylı B_1, B_2, \dots, B_n l'ir sistem için

$P(B_j = 1)$ aşağıdaki bağıntıyı sağlıyorsa B_j ilk denetlenecek olarak seçilmelidir.

$$|P(B_j = 1) - 0.5| = \min_j |P(B_j = 1) - 0.5| \quad j \in [1, n]$$

Bu denklem varsayımlar gözönüne alınarak,

$$|P(B_j = 1) - 0.5| \approx |\hat{I}(B_j) - 0.5|$$

olarak yazılabilir.

Kriter 2: n temel olaylı bir sistem için B_j nin Fussell-Vesely önemliliği aşağıdaki bağıntıyı sağlıyorsa ilk denetlenecek olarak seçilmelidir.

$$|\hat{I}(B_j) - 0.5| = \min_j |I(\#) - 0.5| \quad i \in [1, n]$$

5. 2. Shannon entropisini minimumlaştırma işlemi

$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$ biçimi tanı yönteminde merkezi bir rol oynar. Bu entropiyi sıfıra götürmek idealdir. Bu ancak, yalnız ve yalnızca biri hariç diğer bütün I_i lerin sıfır olduğunu biliniyorsa söz konusu olur. Bu da sonuçtan emin olduğu durumdur. Pratikte bir H_c eşik değeri tanımlanır. $H \leq H_c$ ise tanı işlemi biter.

Bir tanı algoritması aşağıdaki gibi tasarlanabilir.

- (1) I_i önemlilikleri ile bütün MKT leri belitle,
- (2) Böl.5.1 deki kriterlere göre denetleme için temel olay seç,

- (3) Denk.(7) veya (8) ile denetleme sonuçlarına göre kesme taktını önemliliğini güncelleştir,
- (4) Güncelleştirilmiş önemliliklerle H entropisini hesapla, eğer $H \leq H_c$ ise dur ve sonuçları ver. Değilse adım 2 ye git ve tanıya devam et.

5.3. Bilgi: Bir denetlemenin etkisi

Denetleme sonunda geriye kalan, umulan bilgi belirsizliği $H_c(B_j)$ denk.(13) de verilmiştir. Her adımda, mevcut önemlilikler güncelleştirilerek $H(B_j)$ hesap edilir. Denk.(7) ve (8) kullanılarak $H(B_j = 1)$ ve $H(B_j = 0)$ hesaplanır. Denk.(13),(7),(8) ve (20) den

$$H_c(\#) = H + P(B_j = 1) \log_2 P(B_j = 1) +$$

$$P(B_j = 0) \log_2 P(B_j = 0) -$$

$$\{P(B_j) \log_2 P[B_j] + [1 - P(B_j)] \log_2 [1 - P(B_j)]\} \quad Z_{i \in S} /; \quad (22)$$

elde edilir. $P(B_j) \ll 1$ olduğundan kıvımlı ayracın içindeki ifade sıfıra gider. Böylece,

$$H_c(B_j) \approx H + P(B_j = 1) \log_2 P(B_j = 1) + P(B_j = 0) \log_2 P(B_j = 0) \quad (23)$$

$H_c(B_j)$ önemliliği etkisinin değeri, denetlemeden sonra belirsizlikteki umulan azalmadan hesap edilebilir.

$$SB(\#) = H - H_c(B_j) = P(B_j = 1) \log_2 P(B_j = 1) - [1 - P(B_j = 1)] \log_2 [1 - P(B_j = 1)] \quad (24)$$

6. ZAMAN KISITLAMASI ALTINDA TANI

Bu bölümde, bileşenleri denetlemek için gereksinen zamanı göz önüne alarak, Shannon entropisinin alacağı biçim hakkındaki öngörü bir katkı olarak sunulmaktadır.

Elementler kontrol etmek için gereksinen zamanlar aynı ise daha önceki ifadeler geçerli olacaktır. Ama zamanlar eşit değilse sıralama değişebilir. Sistemdeki bir bileşeni kontrol ettiğimizde, aşağıdaki üç olası sonucu göz önüne alınarak, gereksinen zamanı minimumlaştıran bileşen kritikliği kavramı geliştirilebilir.

- (1) Bileşen arızalı değil.
- (2) Bileşen arızalı, ama sistem arızası için kritik değil.

Olayların gereksinen zaman bakımından da bağımsız okluğu varsayarak, aşağıdaki tanımlarlar yapılabilir:

T_i : i. bileşeni kontrol etmek için gereksinen zaman

T_s : Sistem hatasını tanılamak için gereksinen zaman

Bunlara bağlı olarak geliştirilen, gereksinen zaman bakımından kesme takımı önemlilikleri

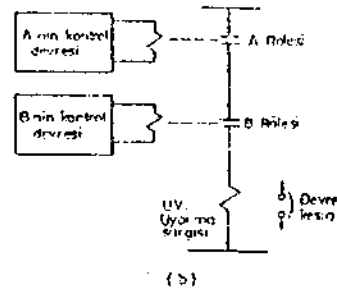
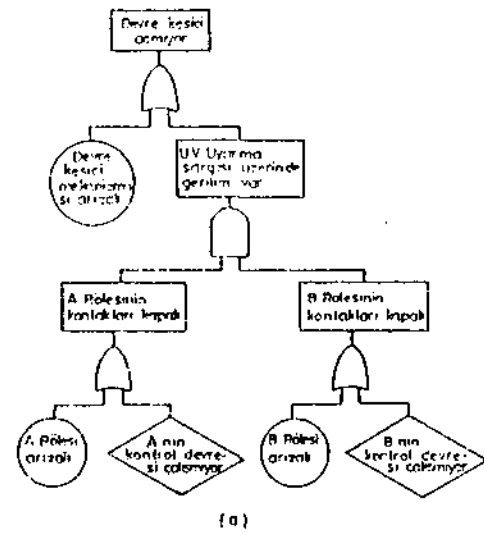
I_{p_i} olsun. Bu durumda Shannon entropisi I_i ; v_i I_j ; kümeleri üzerinde tanımlı koşullu, olasılıklar ile verilebilir. (I_i | I_j) koşullu olasılık değerleri olmak üzere entropi;

$$H(I_i | I_j) = - \sum (I_i | I_j) \log_2 (I_i | I_j) \quad (25)$$

olur.

7. SAYISAL BİR ÖRNEK

Şekil 3a ve 3b. devre kesici sistemi ve bunun arızası için hala ağacını göstermektedir. Bu örnek ref [1] den alınmıştır.



Şekil 3a ve 3b. devre kesici sistemi ve bunun arızası için hata ağacı

Temel olay olasılıktan

$$P(B_1) = 10^{-4} \quad P(B_2) = 10^{-1}$$

$$P(B_3) = P(B_4) = P(B_5) = 10^{-2}$$

olarak verilmiştir [1] Denk 2 den üst olayın arıza olasılığı

$$P(T) = 2.3 * 10^{-3}$$

olur. Kesme takımı olasılıklarını $P(C_i)$ ve önemlilikleri önemliliklerini (I_i) içeren MKT karakteristikleri Tablo 1(a) da hesaplanmıştır. Fussell-Vesely önemlilikleri tablo 1(b) de hesaplanmıştır. Tablo 1(b) den B_2 , (veya B_j) temel olayı ilk denetlenecek olarak seçilmelidir. Böyle bir denetleme iki baskın MKT arasında ayırım yapmak için yardımcı olur. (B_2 B_3 , ve B_2 B_4 iki baskın MKT dir.) B_4 temel olayının arızalı olduğunun denetlenerek bulunduğu varsayılırsa, güncelleştirilmiş MKT önemliliklerinden (Tablo 2) B_2 ö₄ gerçek MKT olmasının büyük olasılıklı olduğu sonucunu çıkarılabilir.

Kıyaslama için, Tablo. 1 deki Fussell-Vesely önemliliği en büyük olan B_2 nin denetlenecek olarak seçildiği durumu düşünülebilir. Eğer B_2 temel olayının arızalı olduğu denetlenerek görülmüşse, Tab.3(a) daki güncelleştirilmiş önemlilikle denk.(7) aracılığıyla hesaplanır. Önemlilikleri aynı olduğundan B_2 B_3 , veya B_2 B_4 in hangisinin gerçekte oluştuğu hakkında çok şüpheli bir durum ortaya çıkar. Eğer B_2 temel olayının arızalı olmadığı görülmüşse denk.(10) aracılığıyla Tab.3(1) deki güncelleştirilmiş MKT önemlilikleri hesaplanır. B_j , B_3 , B_4 ve B_3 B_5 aynı önemlilikte olduğundan, hangi MKT nin gerçekte oluştuğunu ayırt etmek güçleşir.

Özet olarak B_4 temel olayı üzerindeki denetleme. B_2 temel olayı üzerindeki denetlemeden daha iyi olarak MKT leri ayırt etmektedir.

Tablo 1

Örnek için kesme takımı ve temel olay önemlilikleri

(a) Kesme takımı önemlilikleri

i	C_i	$F(C_i)$	$\gg 1$
1	B_1	10^{-4}	0.044
2	B_2 B_3	10^{-1}	0.435
3	B_2 B_4	10^{-3}	0.435
4	B_3 B_4	10^{-4}	0.044
5	B_3 B_5	10^{-1}	0.044

$B_2 B_4$ ve $B_2 B_5$ baskın MKT lerdir.

fb) Temel olay önemlilikleri

J	W	$ /(S_j)-0.5 $
1	0.044	0.456
2	0.870	0.3370
3	0.087	0.413
4	0.479	0.021
5	0.479	0.021

$$|\hat{J}(B_4) - 0.5| = \min_j |/(i?J-0.5|$$

Tablo 2

B_4 ttn denetimi sonrasında kesme takımı önemlilikleri

(3J) B_4 ün arızalı olduğu görülmüştür.

I	C_i	I_i
1	B_4	~0
2	$B_2 B_4$	0.91
3	$B_2 B_5$	~0
4	$B_3 B_4$	0.09
5	$B_3 B_5$	~0

Sonuç: $B_2 B_4$ ün gerçek MKT olması oldukça mümkündür

(b) B_4 ün arızalı olmadığı denetlenerek görülmüş.

i	C_i	I_i
1	B_4	0.08
2	$B_2 B_4$	0
3	$B_2 B_5$	0.84
4	$B_3 B_4$	0
5	$B_3 B_5$	0.08

Sonuç: $B_2 B_4$ ün gerçek MKT olması oldukça mümkündür

Tablo 3

B_2 nin denetimi sonrası kesme takımı önemlilikleri

(a) B_2 nin arızalı olduğu denetlenerek görülmüş.

i	C_i	I_i
1	B_2	~0
2	$B_2 B_4$	0.500
3	$B_2 B_5$	0.500
4	$B_3 B_4$	~0
5	$B_3 B_5$	~0

Sonuç : Gerçek MKT $B_2 B_4$ ve $B_2 B_5$ arasındadır,

(b) B_2 arızalı olmadığı denetlenerek görülmüş.

i	C_i	I_i
1	B_2	0.33
2	$B_2 B_4$	0
3	$B_2 B_5$	0
4	$B_3 B_4$	0.33
5	$B_3 B_5$	0.33

Sonuç : Gerçek MKT $B_2 B_4$ ve $B_3 B_5$ arasındadır.

8. SONUÇLAR

Burada sunulan makale, Shannon entropisüün bir tanı problemi ile ilgili bilgi belirsizliğinin bir ölçüsü olarak, gerçek MKT yi bulmak için gereksinen denetlemelerin beklenen minimum sayısı olduğunu ortaya koymaktadır. Bir denetleme tarafından sağlanan, gerçek MKT yi bulmak için denleme sayısında beklenen azalmayı gösteren bilgi kavramı tanıtılmaktadır. Çalışma sorasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

Kesme takımı önemliliği hata ağacı tanısı için çok yararlıdır. Bu önemliliklere dayalı, tanı aşamasındaki bilgi belirsizliğini ifade etmek için bir entropi fonksiyonu tanımlanabilir. Tanı bu fonksiyonu minimumlaşırarak bir işlem olarak formüle edilebilir. Minimum sayıda ardışıl denetlemelerle gerçek MKT yi bulmak için maksimum bilgiyi sağlayan denetleme seçilmelidir.

