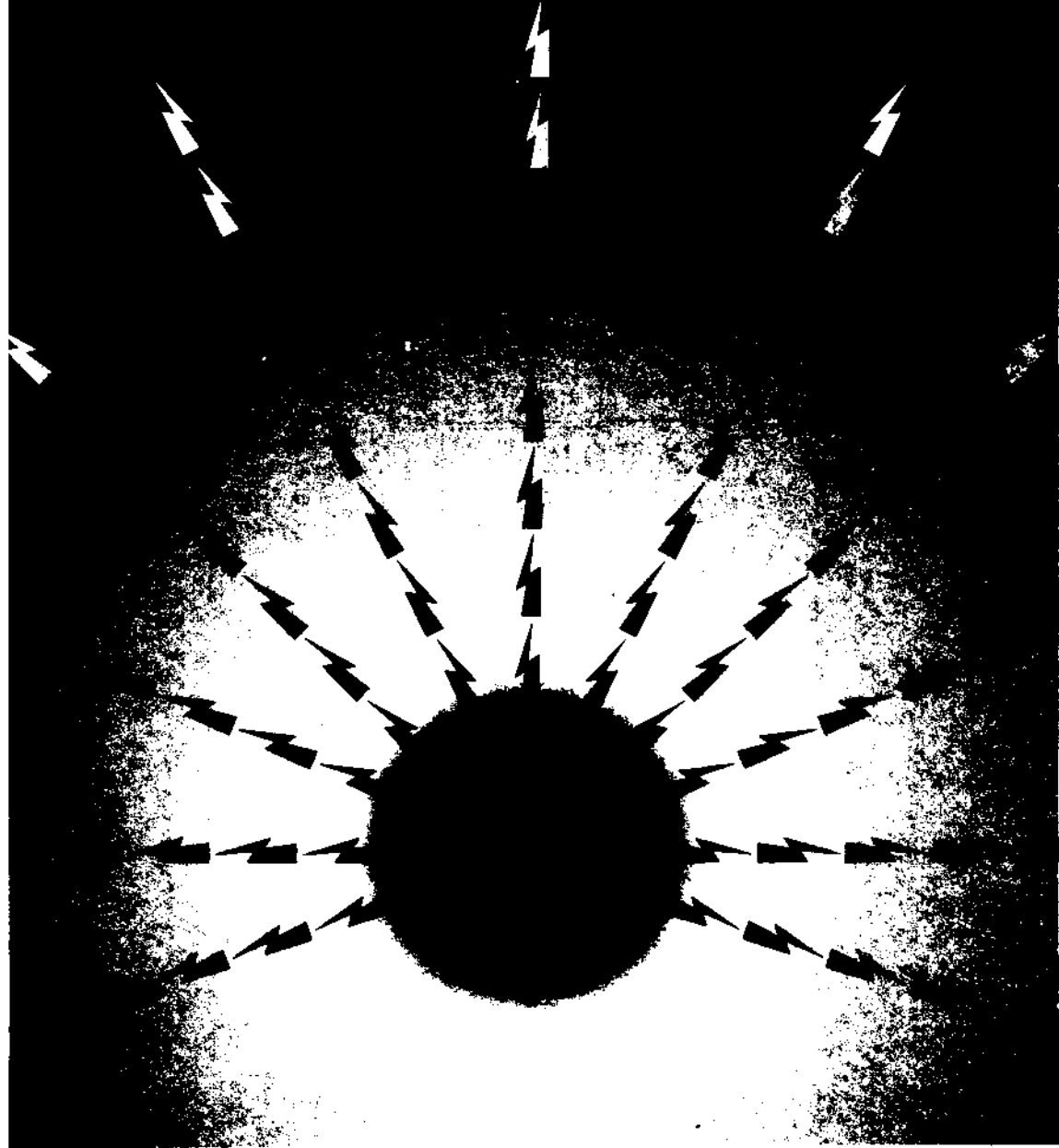


# TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

## ELEKTRİK - ELEKTRONİK BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ 7. ULUSAL KONGRESİ



TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
ANKARA ŞUBESİ



ODTÜ  
ELEKTRİK -ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



TÜBİTAK

## ÖNSÖZ

TBMMO Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresini ve Sergisini Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirmiş olmaktan onur ve sevinç duymaktayız. Üniversite olarak kongreye ikinci kez evsahipliği yapmamız bizi fazlasıyla mutlu etmiştir, ama mutluluğumuz asıl geçen süre içinde Odamızın, meslek yaşamımızın ve Üniversitemizin ne kadar gelişmiş olduğunu gözlemekten kaynaklanmaktadır.

Gerçekten de ilgi alanlarımızın çeşitlenmesi, bu alanlarda belli bir beceriye ulaşılmış olması, eskiden güçlü olduğumuz dallarda da gücümüzün sürmesi Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendislerimizin ülke genelinde giderek daha fazla söz sahibi olmaları olgusunu yaratmaktadır. Bireysel basanlarımızın kurumlanmızı da ülke ekonomisi ve gelişmesi bakımından güçlendirmekte olduğu açıktır. Nitekim bu sektörlerde faaliyet gösteren kuruluş sayısı hızla artmaktadır. Bu sayısal gelişmenin nitelik bakımından da aynı hızla sürdüğünü görmek sevindiricidir. Kongremiz ve sergimiz bunun en somut kanıtını oluşturmaktadır.

2002II yılların Türkiye'sinin ihtiyaçlarını yakahyabilmek için daha çok şeyler yapılması gerekmektedir. Endüstri-Eğitim Kurumları ve Meslek Odaları arasındaki iletişim ve karşılıklı etkileşimi güçlendirmek gerekmektedir. Bu geçmişe oranla daha sevindirici bir düzeyde sürüyor da olsa henüz gelişmiş ülkelerdeki başarı örneklerin uzağındadır. Önümüzdeki yularda bu konuda daha fazla çabaya ihtiyaç vardır.

Tüm katılımcılara Kongre ve Sergimize vermiş oldukları güç için teşekkür ediyorum. Sizleri Üniversitemizde görmenin kıvancıyla selamlıyor saygılarımı sunuyorum.

Prof. Dr. Fatik Canatan  
Yürütme Kurulu Başkan

ELEKTRİK-ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
7. ULUSAL KONGRESİ

YÜRÜTME KURULU

Fatih CANATAN (Başkan, ODTÜ)

M. Mete BULUT (ODTÜ)  
Cengiz BEŞİKÇİ (ODTÜ)  
Gönül SAYAN (ODTÜ)  
Cemil ARIKAN (TÜBİTAK)  
M. Hacim KAMOY (ASELSAN)  
Hüseyin ARABUL (BARMEK)  
Aydın GÜRPINAR (ENERSİS)

M. Asım RASAN (EMO)  
Cengiz GÖLTAŞ (EMO)  
H. Ali YİĞİT (EMO)  
Kubilay ÖZBEK (EMO)  
M. Sıtkı Çiğdem (EMO)  
Funda BAŞARAN (EMO)  
Mustafa ÖZTÜRK (EMO)

EDİTÖRLER

Fatih CANATAN

Mehmet Mete BULUT

## DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE KAYIP AZALTIMI AMAÇLI FİDER DÜZENLEMESİ

Adnan KAYPMAZ\*, Dilek DİNÇER\*\*

\* İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü.  
80626-istanbul,  
\*\*ÇEMAŞ Çorum Elek. Müh. A.Ş

## ABSTRACT

*In an electric power distribution network, one of the methods to reduce the power losses is to employ feeder automation. Under normal operating conditions, power losses can be minimized by reconfiguring the distribution system. In order to keep the system radial, when a tie switch is closed, a sectionalizing switch should be open. The reconfiguration algorithms that use different criteria to reduce computation time are presented. For this purpose, the literature survey of the existing algorithms is given in this study. An algorithm given by Civanlar et al. is introduced and the method is examined in detail. Then, a multi-terminal component concept is considered in solving the problem of reducing power losses in distribution system. The results obtained from both multi-terminal component approach and Civanlar et al.'s method are compared.*

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin üretildiği yerden en az kayıpla tüketicilere ulaştırılması verimlilik ve enerji tasarrufu açısından önemli hususlardan biridir. Kayıpları azaltmanın yollarından biri olan besleme(fider) otomasyonu; normal işletme koşullarında, sistemin yapısını yeniden düzenleyerek, güç kayıplarının minimize edilmesini amaçlamaktadır. Anahtarlama işlemleri, dağıtım sisteminin dallı yapısını koruyacak şekilde sistemde bir anahtar kapandığı zaman diğeri açılarak yapılmaktadır. Bu anahtarlama işleminde en önemli kriter şebekede oluşan kayıpları minimum yapan değişiklikleri yapmaktır.

Bilindiği gibi elektrik enerjisinin günlük yaşamda, her alanda yaygın olarak kullanılabilir hale gelmesi, enerji talebinin üstel bir biçimde hızla artmasına neden olmaktadır. Talebin artması yeni üretim merkezlerinin kurulması yanında, elektrik enerjisinin en verimli şekilde kullanılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Dağıtım sistemlerinde kayıpları azaltmanın bir yolu da fider düzenlemesidir. Fider düzenlemesi, dağıtım sistemlerinde bölmeleme (ayırma) ve bağlantı anahtarları da denilen iki tip anahtarın açık-kapalı durumlarının değiştirilmesiyle, dağıtım beslemelerinin topolojik yapısının değiştirilmesi olarak tanımlanır. Ayırma anahtarı normalde kapalı olup, hat kısımlarını birleştirmektedir. Bağlantı anahtarı ise iki primer besleyiciyi, iki ara istasyonu veya bir düğüm oluşturan kısımları

birleştiren hatlar üzerindeki normalde açık anahtarlardır.

Besleme hatlarının düzenlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır. Son durumda beslemeler dallı kalmalı, tüm yük gereksinimleri karşılanmalı ve hat kapasite limiti, gerilim düşümü limiti gibi işletme koşulları sağlanmalıdır. SCADA sistemleriyle dağıtım şebekesi bir merkezden izlenebilmekte ve anahtarlar uzaktan kumanda edilerek gerekli operasyonlar yapılabilmektedir.

Dağıtım sistemlerinde kayıpların azaltılmasını amaçlayan ilk çalışma [2]'de verilmektedir. Bu çalışmada dağıtım sistemi hatlar ve düğümler içeren ağaç yapısıyla modellenmiş ve çözüm için "branch and bound" metodu kullanılmıştır. Bu algoritma üzerinde daha sonra bazı değişiklikler yapılarak yeni bir algoritma ortaya konmuştur [3]. LIU.C.C. ve diğerleri kayıp minimizasyonunun global optimum koşulu belirleyen ve "eşit yayılı yük ve tekil yük modelleri"ni kullanan iki algoritma önermişlerdir [4]. Tüm anahtarlama seçeneklerini araştırmaksızın sistemdeki güç kayıplarını minimize eden ve hızlı bir çözüm sağlayan bir yöntem [5] de mevcuttur. Kimi zaman kayıpların azaltılmasında bir kereden fazla dal değişimi uygulayarak çözüm süresinin ve hesap güçlüğüünün azaltılması yoluna gidilmiştir. Çözüm süresini kısaltan diğer bir teknik ise, dağıtım şebekesinin daha küçük alt şebekelere bölünerek anahtarlama seçeneklerinin sayısının azaltılmasıdır [6]. Tüm bu çalışmalarda araştırmacılar, heuristik ve optimizasyon tekniklerinin karışımını kullanarak yakınsamayı ve kabul edilebilir bir çözüm süresini garantilemeyi amaçlamışlardır [1-6]. Dağıtım şebekesi düzenleme probleminin karmaşık yapısı, sadece heuristik çözüm yöntemlerinin kullanılmasına neden olmuştur [7-8]. Buna bağlı olarak "Dal değiştirme yöntemi"ni kullanarak sadece kayıpları azaltan ve lokal minimum sağlayan bir algoritma sunulmuştur [7]. Fider düzenlemesinde "yapay zeka"yı kullanan bazı yöntemler de geliştirilmiştir [9-11]. Yapay nöral şebekeler, minimum hat kayıplarını öneren bir şebeke yapısıyla, yük örneğinin doğrusal olmayan doğası arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılabilir olduğundan, fider düzenleme işleminde özellikle faydalıdır [9]. Genetik algoritmanın karakteristikleri karmaşık optimizasyon problemlerine uygun olduğu için, dağıtım sistemlerinde kayıp minimizasyon problemlerine rahatlıkla uygulanabilir [10]. Uzman sistemlerde de kullanılan kurallar,

heuristik kurallara dayalı algoritmalarla olduğu gibi, doğrudan kayıp azaltım ölçümlerine değil, sistem işletim koşulları üzerine kuruludur [11].

Bu çalışmada, fider düzenlemesi yoluyla dağıtım besleyicilerinden güç kayıplarının azaltılması problemi ele alınmıştır. 2. bölümde Civanlar ve arkadaşlarının önerdiği algoritma üzerinde daha ayrıntılı olarak durulmuştur. 3. bölümde kayıpların azaltılması konusuna "çok-uçlu eleman" kavramı ile yaklaşım ve her iki yaklaşımın bir karşılaştırılması yapılmıştır.

## 2. FİDER DÜZENLEMESİ

Orta büyüklükteki bir dağıtım sistemi düzenlemesinde ortaya çıkan anahtarlama seçeneklerinin sayısı oldukça fazladır. Bu ise, hesap yoğunluğu açısından son derece verimsiz bir durumdur. Kayıpların azaltılması probleminin çözümünde bazı özellikler istenmektedir.

Bu özellikler, hatların yeniden düzenlenmesiyle ortaya çıkan kayıplardaki değişikliği minimum hesap yükü ile tahmin edilebilmesi ve istenmeyen anahtarlama seçeneklerinin yok edilmesi için kullanılabilen bir kriter oluşturulmasıdır. Hat kayıplarını azaltan bir dağıtım şebekesi yapısını belirlemek amacıyla Civanlar ve arkadaşları bir algoritma sunmuşlardır (7). Sadece heuristik kuralları kullanan bu algoritmanın üstünlükleri:

1) Anahtarlama işlemi seçeneklerinin sayısını azaltmak için iki heuristik kuralın tanımı,

2) Özel bir anahtarlama işlemi yüzünden kayıplardaki bağımlı azalmayı saptamak için bir denklem formülasyonunun verilmesidir.

Civanlar ve arkadaşlarının yönteminde her açık anahtarın iki yanındaki baraların gerilim düşümü ilişkileri analiz edilerek, bu anahtarlamanın sistem kaybını azaltıp azaltmadığı saptanmaktadır. Bu yolla, anahtarlama olasılıklarının sayısı yaklaşık olarak yarıya inmektedir. Kayıp azaltımı, ancak açık durumdaki bağlama anahtarları arasında oldukça büyük bir gerilim farkı varsa ve bağlama anahtarının daha yüksek gerilim düşümlü tarafındaki yükler diğer tarafa iletiliyorsa başarılabilir. Bu heuristik kurallar uygulandığı zaman kalan anahtarlama işlemleriyle sağlanan kayıp azaltımı aşağıdaki denklemle saptanabilmektedir.

$$AP = \text{Re} \left[ 2 \left( \sum_{i \in D} I_i \right) (E_m - E_n)^* \right] + R_{\text{gözet}} \left| \sum_{i \in D} I_i \right|^2 \quad (1)$$

şeklinde olan bu denklemde,

D: 2. besleme hattından ayrılıp 1. besleme hattına bağlanan baralar

m: 2. hattan ayrılan yüklerin bağlanacağı 1. hattın bağlama barası

n: Bir bağlama anahtarıyla m barasına bağlanan 2. hattın bağlama barası

I<sub>i</sub>: i barasındaki kompleks bara akımı

R<sub>gözet</sub>: iki besleyici arasındaki yolların seri direnci  
E<sub>m</sub>: E=R<sub>bdrd</sub>I<sub>bdrd</sub> geriliminin m barasına karşılık gelen bileşeni. R<sub>bdrd</sub>, 1. besleme hattının yük transferi yapılmadan önceki bara direnç matrisi. I<sub>bdrd</sub>, 1. besleme hattı için bara akım vektörü.

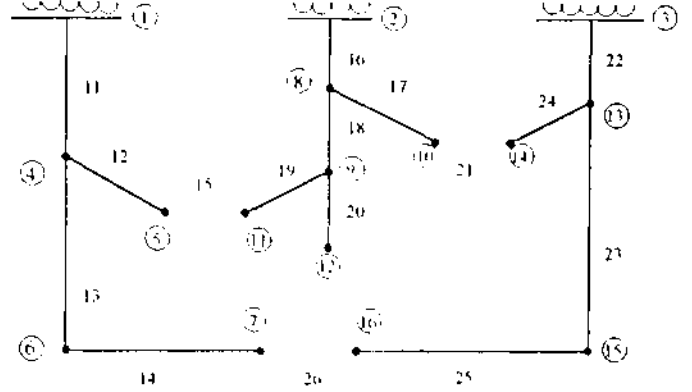
E<sub>n</sub>: 2. besleme hattının n barası için tanımlanır, E<sub>m</sub>'e benzerdir.

Re[.]: Reel kısım operatörü

\*: Kompleks konjuge

S. I: Genlik operatörü göstermektedir.

Civanlar yöntemini daha iyi açıklayabilmek amacıyla şekil.1'de üç fiderli örnek bir sistem ele alınmıştır.



Şekil.1 Üç fiderli örnek bir sistem

Sistemde fiderleri birbirine bağlayan bağlama anahtarları 15,21 ve 26 numaraları ile gösterilmiş ve sistemin diğer tüm dallarında ayırma anahtarları olduğu kabul edilmiştir. Sistem için gerekli bilgiler tablo.1 'de verilmektedir.

Tablo.1 Üç fiderli örnek sistem için hat verisi

| bara<br>bara | bolum<br>direnci<br>pu | bolum<br>reakt<br>pu. | son<br>bara<br>yuku<br>MW | son<br>bara<br>yuku<br>mvar | son<br>bara<br>yuku<br>mvar | son<br>bara<br>gerilimi<br>pu |
|--------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1-4          | 0,075                  | 0,11                  | 2,0                       | 1,6                         |                             | 0,991/-0,370                  |
| 4-5          | 0,08                   | 0,11                  | 3,0                       | 1,5                         | 1,1                         | 0,988/-0,544                  |
| 4-6          | 0,09                   | 0,18                  | 2,0                       | 0,8                         | 1,2                         | 0,986/-0,697                  |
| 6-7          | 0,04                   | 0,04                  | 1,5                       | 1,2                         |                             | 0,985/-0,704                  |
| 2-8          | 0,11                   | 0,11                  | 4,0                       | 2,7                         |                             | 0,979/-0,763                  |
| 8-9          | 0,08                   | 0,11                  | 0                         | 3,0                         | 1,2                         | 0,971/-1,451                  |
| 8-10         | 0,11                   | 0,11                  | 1,0                       | 0,9                         |                             | 0,977/-0,770                  |
| 9-11         | 0,11                   | 0,11                  | 0,6                       | 0,1                         | 0,6                         | 0,971/-1,525                  |
| 9-12         | 0,08                   | 0,11                  | 4,5                       | 2,0                         | 3,7                         | 0,969/-1,836                  |
| 3-13         | 0,11                   | 0,11                  | 1,0                       | 0,9                         |                             | 0,994/-0,332                  |
| 13-14        | 0,09                   | 0,12                  | 1,0                       | 0,7                         | 1,8                         | 0,995/-0,459                  |
| 13-15        | 0,08                   | 0,11                  | 1,0                       | 0,9                         |                             | 0,992/-0,527                  |
| 15-16        | 0,04                   | 0,04                  | 2,1                       | 1,0                         | 1,8                         | 0,9917-0,596                  |
| 5-11         | 0,04                   | 0,04                  |                           |                             |                             |                               |
| 10-14        | 0,04                   | 0,04                  |                           |                             |                             |                               |
| 7-16         | 0,09                   | 0,12                  |                           |                             |                             |                               |

Verilen bilgilere göre, heuristik kuralları kullanarak, sistemde maksimum güç kaybı azaltırınım sağlayan seçeneğin bulunması amacıyla, normalde açık olan bağlama anahtarlarının bulunduğu hattın uçlarındaki baraların gerilim düşümleri karşılaştırılarak, mevcut olan 15 anahtarlama seçeneği sayısı 8'e indirilmiştir. Tüm seçenekler incelendiğinde 10 nolu yükün 3. fidere aktarımının, güç kayıplarında maksimum azalma sağladığı görülmüştür.

Civanlar algoritmasının üstün tarafları ve sakıncaları:

Üstünlükleri:

1-Kayıpları azaltan bir anahtarlama yapısının hızla belirlenmesi

a) Heuristik kurallar sayesinde anahtarlama kombinasyonlarının sayısının azalması,

b) Kayıplardaki bağıl azalmayı saptamak için ampirik formülün kullanımı,

2-Yük akışına doğru yaklaşım dir.

Sakıncaları:

1 -Bir anda sadece bir çift anahtarlama işleminin düşünülmesi,

2-Kayıp minimizasyonunu değil sadece kayıplarda azalmayı garantileyen bir metod oluşu,

3-Hat elemanlarının varlığının ampirik formül tarafından dikkate alınmaması,

4-Amaçlanan şebeke yapısının ilk anahtar durumuna bağımlı oluşu, dur.

### 3. ÇOK-UÇLU ELEMAN KAVRAMI İLE YAKLAŞIM

Burada daha önce yapılan çalışmaların yanında dağıtım sistemlerinde kayıp azaltımı probleminin, devre teorisinden çok bilinen bir kavram olan, "çok-uçlu eleman" kavramıyla incelenmesi amaçlanmıştır. Burada her bir fider bir çok-uçlu gibi ele alınmakta, fider otomasyonu ile yapılan anahtarlama ile bu çok-uçlulara ya eleman eklenmekte ya da çıkarılmaktadır.

N baraya sahip bir şebeke bir çok-uçlu olarak ele alındığı takdirde, o şebeke üzerinde meydana gelen aktif güç kayıpları,

$$P_k = I_n^T \cdot R_{b,afa} \cdot I_n^* \quad (2)$$

biçiminde veya daha açık bir ifade ile,

$$P_{\text{kayıp}} = \begin{bmatrix} -f_i & T_i & \dots & 1 & 1 \\ -I_i & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & \dots & R_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ LR_{n1} & \dots & R_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix}^* \quad (3)$$

şeklinde olmaktadır. Burada,

$P_k$ : Aktif güç kaybı,

$R_{üa,fa}$ : Besleme hattına ait bara direnç matrisidir.

Elektrik şebekesinde planlama ve işletmenin gereği olarak zaman zaman değişiklikler yapılmaktadır (12,13). Şebekelerde söz konusu değişiklik, şebekeye yeni eleman eklendiğinde (fider düzenlemesi yapıldığında), şebekede yeni bir baranın ortaya çıkmasına neden olan değişiklik olarak düşünülmekte ve şebeke elemanlarının birbirleri ile kuplağı olmadığı kabul edilmektedir. Şebekeye kuplajsız bir eleman eklendiğinde yeni bara empedans matrisi,

$$Z_{n,n}^{(d)} = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix} + Z_{pp} \quad (4)$$

biçiminde basit bir algoritma ile verilebilmektedir.

$Z_{b,ara}^{(1)}$ =Değişiklik yapılmadan önceki bara empedans matrisi

$Z_p$ =Bara empedans matrisinin p barasına ait sütunu,

$Z_p^{1=}$ Bara empedans matrisinin p barasına ait satırı,

$Z_{pq}$ =p barasına eklenecek olan hattın empedansı,

$Z_{pp}$ = p barasından referans baraya kadar olan tüm elemanların empedanslarının toplamı.

Fider otomasyonu sonucu herbiri bir çok-uçlu eleman olarak modellenen dallı yapıdaki beslemelerden diğerine eklenmektedir. Bu iki durum arasında meydana gelen aktif güç kaybı farkı,

$$\Delta P_k = P_k^{(2)} - P_k^{(1)} \quad (5)$$

olarak verilebilecektir.

Bu  $\Delta P_k$  ifadesinin negatif olması, şebekede yapılan değişikliğin güç kayıplarını azaltacak yönde olduğunu göstermektedir.

Varılan bu sonucun doğruluğunu kanıtlamak amacıyla Civanlar yönteminde ele alınan 3 fiderli şebeke örneği çok-uçlu elemanlarla modellenmiş ve aktif güç kaybı farkları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar her iki yöntem için de aynıdır.

### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, radyal dağıtım sistemlerinde normal işletim esnasında meydana gelen kayıpları azaltmak amacıyla fider düzenlemesi konusu ele alınmıştır. Bu amaçla, Civanlar ve arkadaşlarının önerdiği algoritmanın yanısıra güç kayıplarının azaltılması konusuna çok-uçlular kavramı ile yaklaşmış, incelenen örneklerden alınan sonuçların benzerliğine dikkat çekilmiştir. Şebeke, çok-uçlularla incelendiği takdirde şebekede meydana gelen değişiklikler daha net görülebilmekte ancak hesap yoğunluğu nedeniyle sunulan heuristik kuralların kullanımı daha pratik ve avantajlı olmaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

1. SARFI, R.J., SALAMA, M.M.A., CHIKHANI, A.Y., A Survey of the State of the Art in Distribution System Reconfiguration for System Loss Reduction, Electric Power System Research 31, pp.61-70, 1994.
2. MERLIN, A., BACK, H., Search for a Minimal-Loss Operating Spanning Tree Configuration in an Urban Power Distribution System, Proc, 5th Power System Computation Conf. (PSCC), Cambridge, UK. 1975, pp.1-18.
3. SHIRMOHAMMADI, D., HONG, H.W., Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Losses Reduction, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4, No.2, pp.1492-1498.
4. LIU, C.C., LEE, S.J., VU, K., Loss Minimization of Distribution Feeders: Optimality and Algorithms, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4, No.2, pp.1281-1289, April 1989.
5. JASMON, G.B., CALLISTUS, L.H., LEE, C, A Modified Technique for Minimization of Distribution System Losses, Electric Power Systems Research 20, pp.81-88, 1991.
6. SARFI, R.J., SALAMA, M.M.A., CHIKHANI, A.Y., Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction: An Algorithm Based on Network Partitioning Theory, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.11, No.1, pp.504-510, February 1996.
7. CIVANLAR, S., GRAINGER, J.J., YIN, H., LEE, S.S.H., Distribution feeder Reconfiguration for Loss Reduction, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.3, No.3, pp.1217-1223, July 1988.
8. BARAN, M.E., WU, F.F., Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.4, No.2, pp.1401-1407, April 1989.
9. KIM, K., KO, Y., HUNG, K.H., Artificial Neural Network Based Feeder Reconfiguration for Loss Reduction in Distribution Systems, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.8, pp.1356-1366, 1993.
10. NARA, K., SATOH, T., KITAGAWA, M., Distribution System Loss Minimum Reconfiguration by Genetic Algorithm, Proc.3rd Symp. Expert Systems Application to Power Systems (ESAPS), Tokyo and Kobe, Japon, pp.724-730, 1991.
11. CHANG, G., ZRIDA, J., BIRDWELL, J.D., Knowledge-based Distribution System Analysis and Reconfiguration, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.5, pp.744-749, 1990.
12. KAYMAZ, A., Elektrik Şebekelerinin Çok-uçlu Eleman Kavramı Yardımıyla incelenmesi (Doktora Tezi), İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, 1981.
13. KAYMAZ, A., TOKAD, Y., The Use of Multi-Terminal Subnetworks in the Modification of the Bus(node) Impedance Matrix for Changes in the Network Containing Nonsymmetrical Couplings, ECCTD'83, Stuttgart, September 1983.

# DENGESİZ VE SİNÜSOİDAL OLMAYAN DALGA ŞEKLİNE SAHİP ÜÇ-FAZLI SİSTEMLERDE GÜÇ

Ömer GÜL, Adnan KAYPMAZ

İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü.  
80626-İstanbul

## ABSTRACT

Existing definitions for power terms in alternating current systems work well for single-phase and three-phase systems where both voltages and currents are sinusoidal with respect to time. This paper proposes definitions for power terms that are effective and practical when voltage and/or currents are distorted and/or unbalanced.

## GİRİŞ

Alternatif akım sistemlerindeki güç ifadelerine ait mevcut açıklamalar, akım ve gerilimin zamana bağlı ve sinusoidal olarak değiştiği durumda bir ve üç fazlı sistemler için doğru sonuçlar vermektedir.

Yıllar boyunca, sinusoidal olmayan şartlar altında, elektriksel güç büyüklüklerinin (aktif güç, reaktif güç, görünür güç, distorsiyon gücü v.s) nasıl değiştiğini açıklayabilmek amacıyla büyük çaba sarfedilmiştir/1,2,3,4,5,6,7/ Konuda halen yeni tanımlamalar da yapılmaya devam etmektedir. Bu konuda daha öncekilerden farklı bir çalışma yapanlar, öncelikle daha önce yayınlanan görüşlerdeki çelişkilere işaret etmekte ve bu çelişkileri yok etmek amacıyla izlenebilecek yolları tartışmaya açmaktadır/1,2,3,4,5/ Bununla birlikte öyle görünüyor ki her yeni çözüm bazı problemleri ortadan kaldırmakta ancak bir başka alanda üzerinde düşünülmesi gereken yeni çelişkileri gündeme getirmektedir/6,7/

Verilen açıklamaların tüm uygulamalarda karşılaşılabilecek problemlerin halledilmesinde yeterli olacağı şeklindeki açıklamaların sık sık tekrarlanmasına karşın, bu konudaki tartışmalar daha uzun yıllar devam edecek gibi görünmektedir. Bu tartışmalardan ortaya çıkan tek ortak düşünce şudur: Güç sistemlerindeki elektrik enerjisi akışını değerlendirmek amacıyla kullanılan açıklamalar, gerilim ve akımın sinusoidal olmadığı ve/veya çok fazlı sistemlerdeki dengesiz yüklerin akım ve gerilimde asimetrisizliğe neden olduğu hallerde, ekonomik açıdan uygun görülmemektedir.

Piyasada mevcut olan sayaçların birçoğu sayısal teknoloji avantajından yoksun olduğundan, Ülkemizde de her geçen gün artmakta olan lineer olmayan yüklerin ölçülerek fiyatlandırılması için güç tariflerinde ortak görüşe ulaşmak çok önemli bir durum arz etmektedir. Elektromekanik sayaçlar doğal olarak kendi teknolojileri ile ilgili tarifler ile sınırlıdır. Bu nedenle de bu sayaçların işletme formülleri sinusoidal

işaretler için uygun, ancak akım ve/veya gerilimin bozulmaya uğradığı durumlarda hatalı olarak görülmektedir.

Temel ve harmonik büyüklükleri birbirinden ayıran elektronik ölçüm elemanlarının sayaçlarda kullanılmasıyla bu güç büyüklüklerinin doğru olarak ölçülebilmesi mümkün olmaktadır.

Burada yapılan çalışma, gerilimin ve/veya akımın bozulmaya uğradığı ve/veya dengesiz olduğu durumlar için söz konusu olan güç terimlerini açıklamayı ve bunlara tanımlar getirmeyi amaçlayan çalışmaları sayısal örneklerle anlaşılır bir şekilde vermeye çalışılmaktadır. Ayrıca dengesiz ve sinusoidal olmayan durumda simetrik bileşen yönteminin kullanımı ayrıntılı olarak incelenecektir.

## TEMEL TANIMLAR:

Güç ve Güç faktörü: Güç ile ilgili üç standart büyüklük vardır.

Görünür Güç, S; Elemanın uçlarındaki akım ve gerilimin efektif değerlerinin çarpımıdır/6/

$$S = V \cdot I \quad (1)$$

Aktif Güç, P; Elemanın uçlarındaki akım ve gerilimin ani değerlerinin çarpımının ortalamasıdır./6/

$$P = \int_0^T f_v(t) \cdot i(t) \cdot dt \quad (2)$$

Güç Faktörü, PF; elemanın uçlarındaki Aktif Güç'ün Görünür Güç'e oranı olarak tanımlanmaktadır/6/

$$PF = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Toplam Harmonik Distorsiyonu:

THD, sinusoidal olmayan dalgaının harmonik bileşenlerinin efektif değerlerinden ölçülmekte olup,.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \quad (4)$$

biçimindedir. Burada; m(t) büyüklüğünün h inci harmoniğinin efektif değeri M<sub>h</sub> ve temel bileşeninin efektif değeri M<sub>1</sub> dir.



## BİR-FAZLI GÜÇ

Harmonikli bir fazlı enerji sisteminde güç ifadelerini elde etmek için, gerilim ve akımın zamana bağlı ifadelerini tanımlamak gerekmekte olup, bunlar sırasıyla,

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V_{h, \max} \cdot \sin(h \cdot \omega t + \alpha_h) \quad (5)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot \sum_{h=1}^{h_{\max}} I_h \cdot \sin(h \cdot \omega t + \beta_h) \quad (6)$$

biçiminde verilmektedir. Burada,  $[v(t), i(t)]$ ;  $[V_h, I_h]$  ve  $[\alpha_h, \beta_h]$  parametreleri sırasıyla, gerilim ve akımın ani değerini, h inci harmoniklerinin efektif değerlerini ve h inci harmoniklere ait açılarını göstermektedir.

Gerilim ve akımın efektif değerleri,

$$V_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{\max}} V_h^2} \quad I_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{\max}} I_h^2} \quad (7)$$

bağıntıları ile verilmektedir.

Gerilim ve akım ifadelerini, temel bileşen ve harmonik bileşenleri toplamı olarak göz önüne alacak olursak,

$$V^2 = V_1^2 + V_h^2 \quad \text{ve} \quad I^2 = I_1^2 + I_h^2 \quad (8)$$

bağıntıları elde edilir. Burada,

$$V_h = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{\max}} V_h^2} \quad \text{ve} \quad I_h = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{\max}} I_h^2} \quad (9)$$

dır. Denklem (1) de verilen Görünür Güç ifadesi (8) ve (9) bağıntıları yardımı ile

$$S = S_1 + S_h \quad (10)$$

olarak, temel bileşen ve harmonik bileşen güçlerinin toplamı olarak yazılabilir. Burada SN Temel Olmayan Görünür Güç olarak isimlendirilmektedir.

Gerilim ve akım için Toplam Harmonik Distorsiyonu

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{V_1} \quad THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} I_h^2}}{I_1} \quad (11)$$

bağıntıları ile verilmektedir. (8), (9) ve (11) bağıntılarından S görünür gücü

$$S = S_1 + THD_I^2 \cdot S_1 + THD_V^2 \cdot S_1 + THD_I \cdot THD_V \cdot S_1 \quad (12)$$

Gerilim ve akım ifadeleri toplam harmonik distorsiyonunun bir fonksiyonu biçiminde yeniden verilebilir.

Sinüsoidal olmayan gerilim ve akımın hıncı harmoniğine ilişkin bir fazlı Aktif ve Reaktif Güç,

$$9h = \alpha_h - \beta_h \quad (13)$$

olmak üzere,

$$P_h = I_h \cdot V_h \cdot \cos(\alpha_h - \beta_h) \quad (14)$$

$$Q_h = I_h \cdot V_h \cdot \sin(\alpha_h - \beta_h) \quad (15)$$

biçiminde verilmektedir. /3/

Sinüsoidal olmayan gerilim ve akımı sahip elemana ilişkin Aktif ve Reaktif Güç

$$P = \sum_{h=1}^{h_{\max}} P_h \quad Q = \sum_{h=1}^{h_{\max}} Q_h \quad (16)$$

biçiminde ifade edilmektedir.

Distorsiyon Gücü, D; farklı frekanslardaki akım ve gerilimlerin çarpımından oluşan Aktif Olmayan Güç büyüklüğü olup,

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (17)$$

biçiminde ifade edilmektedir.

## ÜÇ-FAZLI GÜÇ İFADESİ

Dengeli, çok fazlı sistemler, yukarıda tartışılan Görünür Güç ve bileşenleri için kullanılan yaklaşımlar ile analiz edilebilir. Ancak, dengesiz yükler ilave bazı kabuller gerektirir. Literatürde verilen çalışmalarda Sistemin Eşdeğer Görünür Gücü  $S_c$  lehinde artan bir destek söz konusu olmaktadır. Eşdeğer Görünür Güç

$$S_c = 3 \cdot V_c \cdot I_c \quad (18)$$

biçiminde verilmektedir. Burada,  $V_c$  ve  $I_c$  eşdeğer gerilim ve akım olup,

$$V_c = \sqrt{\frac{V_a^2 + V_b^2 + V_c^2}{3}} \quad (19)$$

$$I_c = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2}{3}} \quad (20)$$

bağıntıları ile tanımlanmaktadır.

Dört iletkenli bir sistemde,  $V_1, V_2, V_3, V_4$  efektif faz-nötür gerilimleridir. Üç iletkenli bir sistemde eşdeğer  $V_c$  gerilimi (20) bağıntısı kullanılarak, Ya da;

$$S_c = \sqrt{\frac{V_{a1}^2 + V_{b1}^2 + V_{c1}^2}{3}} \quad (21)$$

biçiminde hesaplanabilir. Burada efektif gerilimler faz arasında ölçülürler. Eşdeğer  $I_c$  akımı ise  $I_{a1}, I_{b1}, I_{c1}$  efektif akımları yardımı ile hesaplanabilir.

Bir-fazlı hale benzer şekilde, eşdeğer akım ve gerilim de temel ve harmonik olmak üzere iki bileşene ayrılabilir. Bu ifadeler

$$V_c = V_{c1} + V_{ch} \quad I_c = I_{c1} + I_{ch} \quad (22)$$

biçiminde yazılabilir.

Burada 1 indisi, efektif temel bileşeni ifade etmekte olup, bu değerler

$$V_{c1} = \sqrt{\frac{V_{a1}^2 + V_{b1}^2 + V_{c1}^2}{3}} \quad (23)$$

$$I_{c1} = \sqrt{\frac{I_{a1}^2 + I_{b1}^2 + I_{c1}^2}{3}} \quad (24)$$

biçiminde hesaplanır, h indisi ise temel olmayan efektif bileşenleri ifade etmektedir ve bu geçerler de

$$V_{efl} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} \left( \frac{V_{ah}^2 + V_{bh}^2 + V_{ch}^2}{3} \right)} \quad (25)$$

$$I_{efl} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} \left( \frac{I_{ah}^2 + I_{bh}^2 + I_{ch}^2}{3} \right)} \quad (26)$$

olarak ifade edilirler. Görünen güç bir fazlı durumda olduğu gibi aynı yaklaşımı kullanarak Temel Görünen güç, Temel olmayan görünen güç'e bağlı olarak,

$$S^2 = S_0^2 + S_N^2 \quad (27)$$

biçiminde hesap edilir

Gerilim ve akıma ilişkin Eşdeğer Toplam Harmonik Distorsiyonunun

$$THD_{V_r} = \frac{V_{efl}}{V_{efl}}, \quad THD_{I_r} = \frac{I_{efl}}{I_{efl}} \quad (28)$$

bağıntıları yardımı ile hesaplanması, bize  $\frac{S_{v,N}}{S_{efl}}$  gibi

Temel Olmayan Normalize Görünür Güç ifadesini yazabilme imkanını verir./9/

$$S_N = S_{efl} \sqrt{1 + THD_{V_r}^2 + THD_{I_r}^2 + THD_{V_s}^2 + THD_{I_s}^2} \quad (29)$$

Çok fazlı, dengesiz üç-fazlı bir sistemin söz konusu olması halinde bir başka görünen güç bileşeninin tarifi kaçınılmaz olmaktadır. Dengesiz yükler, temel pozitif dizi Aktif gücü, temel negatif ve Sıfır dizisi Aktif güce dönüştürür. Aynı sonuç reaktif Güç için de doğrudur.

Dengesiz durumda Temel Görünen Güç iki terimin toplamı olarak verilmekte olup

$$S_N^2 = S_1^2 + S_{01}^2$$

biçiminde verilmektedir. Burada,

$S_1^2 = 3 \cdot V_1 \cdot U$  olup buna Temel Görünen Güç'ün Pozitif Bileşen adı verilir.  $V_1$ ,  $U$  ise Temel Akım ve Gerilimin Pozitif Bileşen efektif değerleridir.

Sui bileşeni ise Dengesiz Temel Görünen Güç'tür. Bu da Aktif Güç ve Aktif olmayan Güç bileşenlerini içermektedir.

Sistem Görünür gücü  $S_0$  'yi parçalara ayıran bu yaklaşım aşağıdaki yararları yanında getirir.

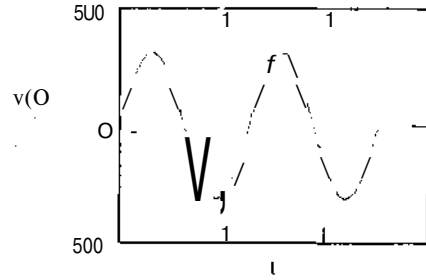
1. Görünen Güç, Temel Temel Olmayan Görünen Güç'e ve Temel Görünen Güç'ün Aktif ve Reaktif bileşenleri temel olmayan Görünen Güç'ten ayrılmıştır.

2.  $\frac{S_N}{S_{efl}}$  gibi bir normalize oranı ile harmonik bozulma derecesine ilişkin faydalı bir ölçüt temin edilmiştir.

3.  $\frac{S_{01}}{S_{efl}}$  oranı yardımıyla sistemdeki dengesizliğe ilişkin faydalı bir ölçüt sağlanmıştır.

## ÖRNEKLER

Aşağıda, şekil 1. de, linear bir elemanın uçlarındaki gerilim ve akımın ani değeri



Şekil 1.

biçiminde verilmiştir.

Bu elemana ait Gerilim ve akımın efektif değerleri ve toplam harmonik distorsiyonları

$$V=220 \text{ Volt} \quad THD_v=\%0$$

$$I=220 \text{ Amper} \quad THD_i=\%0$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu elemana ait diğer terimler ise

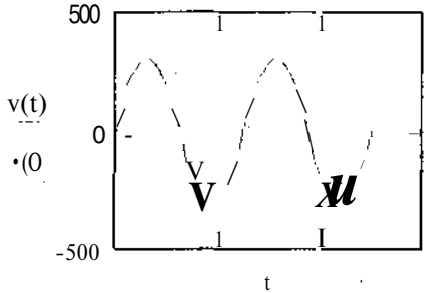
$$S=48,4 \text{ kVA} \quad P=45,48 \text{ kW} \quad Q=16,554 \text{ kVAr}$$

$$D=0 \text{ kVAr} \quad Ph=0 \text{ kW} \quad Qh=0 \text{ kVAr}$$

$$PF=0,94 \quad dF1=0,94$$

dir

2. Aşağıda Şekil 2. de, Lineer olmayan bir elemanın uçlarındaki gerilim ve akımın ani değeri



Şekil 2.

biçiminde verilmiş olup, bu elemana ait Gerilim ve akımın efektif değerleri ve toplam harmonik distorsiyonları

$$V=220,27 \text{ Volt} \quad THD_v=\%5$$

$$I=223,78 \text{ Amper} \quad THD_i=\%18,6$$

olarak hesaplanmıştır.

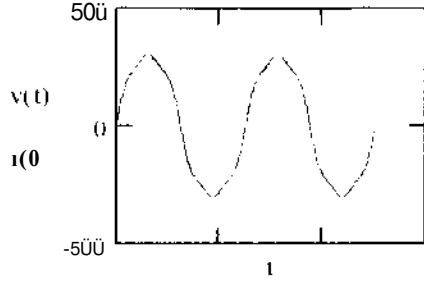
Bu elemana ait diğer terimler

$$S=49,295 \text{ kVA} \quad P=45,9 \text{ kW} \quad Q=16,707 \text{ kVAr}$$

$$D=6,62 \text{ kVAr} \quad Ph=0,42 \text{ kW} \quad Qh=0,153 \text{ kVAr}$$

$$PF=0,93 \quad dF1=0,94$$

3.Şekil 3. Lineer olmayan bir elemanın uçlarındaki gerilim ve akımın ani değeri aşağıdaki gibidir



Şekil 3.

Bu elemana ait Gerilim ve akımın efektif değerleri ve toplam harmonik distorsiyonları

$V=223,03\text{Volt}$        $\text{THD}_V=\%16,7$

$I=226,03\text{ Amper}$        $\text{THD}_I=\%23,6$

olarak hesaplanmıştır.

Bu elemana ait diğer terimler

$S=50,412\text{kVA}$        $P=46,74\text{kW}$        $Q=17,1\text{kVar}$

$D=8,18\text{kVar}$

$\text{Ph}=1,26\text{kW}$        $\text{Qh}=0,46\text{kVar}$

$\text{PF}=0,927$        $\text{dF1}=0,93$

olarak hesaplanmıştır

### SONUÇ

Bu çalışmada, sinüsoidal olmayan şartlar altında, elektriksel güç büyüklüklerinin ( aktif güç, reaktif güç, görünür güç, distorsiyon gücü v.s) tanımlanması ve üç-fazlı sistemlerde, üç-fazlı büyüklüklerin eşdeğerlerinin kullanımı tartışılmıştır ve bu yöntem ile aritmetik ve vektör büyüklükleri ile hesaptan vazgeçilmiştir.

Aynı zamanda harmonik distorsiyon ve dengesizlik bozulmasının hangi seviyede olduğunu ifade eden normalize büyüklüklerde tartışmaya açılmıştır.

Ayrıca, Sinüsoidal olmayan devrelerde ki elektriksel büyüklüklerin daha iyi anlaşılması için sayısal örneklerle açıklanmaya çalışılmaktadır.

### KAYNAKLAR

[1]A.Kusters, W. Moore,"On The definition of Reactive Power Under Nonsinusoidal Condition," IEEE Trans.on Power Apparatus and Systems, Vol.99 ,Sept.1980, pp.1845-1850.

[2]P.Filipski,"A New approach to Reactive Current and Reactive Power Measurement in Nonsinusoidal Systems," IEEE Trans.on Inst.&Meas., Vol.29, Dec.1980, pp.423-426

[3]LCzarnecki,"What is wrong with the Budeanu Concept of Reactive and Distortion Power and why it should be Abandoned," IEEE Trans.on Inst.&Meas., Vol.36, Sept.1987, pp.834-837

[4]A.Ferrero,G.Supert-Furga, "A new Approach to the Definitions of Power Components in Three-Phase Systems," IEEE Trans.on Inst.&Meas.,Vol.40, 1991, pp.568-577

[5]A.E.Emanuel,"Powers in Nonsinusoidal Situations-A Review of Definitions and Physical Meaning," IEEE Trans.on

Power Delivery,Vol.5,No.3,July1990,pp. 1377-1389

[6]IEEE Standart Dictionary of Electrical and Electronics Terms. ANSI/IEEE Std.100-1992(Fift Edition). The Inst. of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, 1992,pp 373,758, and 996

[7] IEEE Working Group on Nonsinusoidal Situations,"Practical Definitions for Powers in Systems with Nonsinusoidal Waveforms and Unbalanced Loads:A Discussion," IEEE Trans.on Power Delivery, Vol.11,No.1, January 1996, pp.79-87

[8] IEEE Guide 519-1992, IEEE Recommended Practice for Harmonic Control in Electric Power Systems

[9]A.E.Emanuel,"On the Definition of Power Factor and Apparent Power in Unbalanced Polyphase Circuits," IEEE Trans.on Power Delivery, Vol.8,No.3, July 1993,pp.841-852

# GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ YÜKLERİN KARARLILIK ANALİZİ İÇİN MODELENMESİNE AİT FARKLI BİR YAKLAŞIM

K.AYAN

Sakarya Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
54040 Adapazarı

N.TARKAN

Kocaeli Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Elektrik Mühendisliği Bölümü  
41300 Kocaeli

U.ARİFOĞLU

Sakarya Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
54040 Adapazarı

## ABSTRACT

*In this paper, system loads are represented by a different approximation for the transient stability analysis via the direct method. With proposed approximation, loads are expressed as current injections to the buses to which they are connected, without including them to the bus admittance matrix as the conventional constant admittances. When conventionally representing as constant admittances, the reduced bus admittance matrix is composed of the transmission lines and the system loads. In the transient stability analysis based on direct method, a certain error occurs, since the transfer conductances are generally neglected for simplicity of the computation. In this paper, also the amount of the error is determined as percentage and direct method is made more applicable to the transient stability analysis of the power systems.*

## 1. GİRİŞ

Güç sistemlerinin analiz edilebilmeleri için, sistemdeki her bir elemanın işletme sırasındaki gerçek davranışına uygun bir biçimde matematiksel olarak modellenmesi gerekmektedir. Sistem yüklerinin bugüne kadar en yoğun biçimde kullanılan matematiksel modeli klasik sabit admitans şeklinde gösterilen yük modelidir. Bu model, güç sistemlerinin hem güç akış analizleri [1] ve hem de geçici hal kararlılık analizlerinde [2-4] halen kullanılmaktadır.

Geçici hal kararlılık analizinde, büyük bir bozucu etkiye maruz kalan sistemin, bozucu etki süresince bu etkiye vermiş olduğu cevap ile ilgilenilir. Bunlar ise generatörlerin iç açıları, açılma hızları ve generatör iç gerilimlerdeki değişimlerdir.

Sistem yükleri, klasik sabit admitans gösteriminde bara admitans matrisinin içerisinde birer parametre olarak ifade edildiklerinden, admitans matrisi değişmez. Bundan dolayı yükler analizin her safhasında statik bir davranış sergiler.

Burada sunulan yaklaşım ile bağlı oldukları baralara akım enjeksiyonu olarak ifade edilen yüklerin sistem üzerine etkisi, dağıtım faktör matrisi [5] yardımı ile generatör iç baralarına ilave çıkış gücü olarak

yansıtılır. Bu ilave çıkış gücü, her bir generatöre ait salınım denkleminde gözönüne alınmak suretiyle geçici hal kararlılık analizi yapılır.

Bununla beraber bara admitans matrisindeki transfer kondüktansları iletim hatları ile sistem yüklerinden meydana gelir. Direkt metoda dayandırılan geçici hal kararlılık analizinde, hesaplama kolaylığı açısından transfer kondüktansları genellikle ihmal edilir. İletim hatlarından ileri gelen transfer kondüktanslar ihmal edilebilecek boyutta olmakla birlikte yükler ile ilgili transfer kondüktansları oldukça büyüktür ve ihmal edilmesi ile yapılan hata da büyük olur. Burada sunulan yük yaklaşımı ile transfer kondüktanslarının ihmal edilmesi ile yapılan hata minimuma indirilmiştir.

## 2. GÜÇ SİSTEMİNİN MODELENMESİ

$n$  makinalı bir güç sistemi için her bir makinanın salınım denklemi aşağıdaki gibidir:

$$M_k \frac{d^2 \delta_k}{dt^2} + n_k \frac{d \delta_k}{dt} - p_{mk} - P_{gk} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

(1) denklemindeki  $P_{gk}$  ifadesi nonlineer olduğundan, bunu basitleştirmek için aşağıdaki kabuller yapılır [6]:

1. Sönüm (amortisör) veya asenkron güç ihmal edilir.
2. Senkron makina, arıza öncesi sürekli hal koşullarından elde edilen sabit genlikli bir gerilim kaynağı ve ona seri bağlı bir reaktans ile gösterilir.
3. Geçici hal reaktansının gerisindeki gerilimin faz açısı  $\delta_k$  rotor açısına karşı gelir.
4. Yükler, arıza öncesi güç akışı sonuçlarına bağlı olarak elde edilen sabit admitanslar veya bağlı oldukları baralara ilave güç biçiminde gösterilirler.
5. Mekanik giriş gücü  $P_{mk}$  nın geçici hal süresince arıza öncesi değere eşit ve sabit kabul edilir.

Generatörlerin ve yüklerin bağlı olduğu  $n$  adet bara ile sadece yüklerin bağlı olduğu  $m$  adet baradan oluşan bir güç sisteminin iletim hatlarından meydana gelen düğüm admitans matrisi  $Y_{BARA}$  aşağıdaki gibi olur.

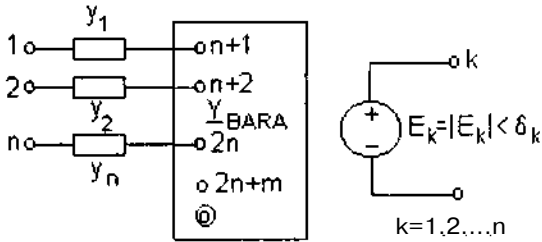
$$Y_{BARA} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 \\ Y_3 & Y_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Geçici hal reaktanslarından oluşan generatör admitansları  $y$ , yükler de  $\underline{Y}_i$  matrisi ile gösterilmek suretiyle büyütülmüş admitans matrisi  $\tilde{Y}_{BARA}$ ,

$$\tilde{Y}_{BARA} = \begin{bmatrix} \underline{y} & -\underline{y} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \\ -\underline{y} & \underline{Y}_1 + \underline{y} + \underline{Y}_{LG} & \underline{Y}_2 & \\ \mathbf{0} & \underline{Y}_3 & \underline{Y}_4 + \underline{Y}_{LL} & \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir (şekil 1).  $n+1, \dots, 2n+m$  numaralı baralardaki yüklerin sabit admitans gösterimleri aşağıdaki gibi verilebilir:

$$Y_{Li} = \frac{P\dot{U} - jQ\dot{U}}{iV_i^2} \quad (i = n+1, \dots, 2n+m) \quad (4)$$



Şekil 1. iç düğümlü generatör gösterimi ile büyütülmüş  $\tilde{Y}_{BARA}$  admitans matrisi

$\tilde{Y}_{BARA}$  ifadesinde, gerilim kaynaklarının bağlı olduğu iç baralar kaynak bağlı olmayan diğer baralardan aşağıdaki gibi ayrılır:

$$\tilde{Y}_{BARA} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{GG} & \underline{Y}_{GL} \\ \underline{Y}_{LG} & \underline{X}_{LL} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Bu durumda şebeke denklemleri aşağıdaki hale gelir:

$$P^G \mathbf{1} - [\tilde{Y} \begin{bmatrix} \underline{E}_G \\ \underline{V}_L \end{bmatrix}] \quad (6)$$

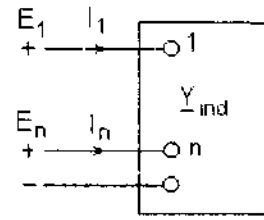
$\underline{V}_L$  yok edilmek suretiyle indirgeme yapıldığında,

$$Y_{nd} = \underline{Y}(\underline{S}_G - \underline{Y}_{GL} \underline{X}_{LL}^{-1} \underline{Y}_{LG}) \quad \text{olmak üzere,}$$

$$\underline{I}_G = \underline{Y}_{ind} \underline{E}_G \quad (7)$$

sonucuna ulaşılır. Şekil 2 de gösterilen  $\underline{Y}_{ind}$  matrisi sistemin iç bara tanımıdır. Bu tanıma göre aktif güç ifadesi aşağıdaki olur:

$$P_{ek} = \text{Re}\{E_k I_k^*\} = \text{Re}\left\{E_k \sum_{j=1}^n Y_{kj} E_j^*\right\} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$



Şekil 2. indirgenmiş düğüm admitans matrisi

$$Y_{kj} = G_{kj} + jB_{kj} = |Y_{kj}| \angle \phi_{kj}$$

$$G_{kj} = |Y_{kj}| \cos \phi_{kj}, \quad B_{kj} = |Y_{kj}| \sin \phi_{kj}$$

$$C_{kj} = |E_k| |E_j| |B_{kj}| = |E_k| |E_j| |Y_{kj}| \sin \phi_{kj}$$

$$D_{kj} = |E_k| |E_j| |G_{kj}| = |E_k| |E_j| |Y_{kj}| \cos \phi_{kj}$$

olmak üzere (8) denklemi tekrar düzenlenecek olursa aşağıdaki sonuca ulaşılır:

$$P_{Gk} = P_k + G_{kk} E_k^2 + \sum_{j=1, j \neq k}^n [C_{kj} \sin(\delta_k - \delta_j) + D_{kj} \cos(\delta_k - \delta_j)] \quad (9)$$

$$P_{ek} = \sum_{j=1, j \neq k}^n [C_{kj} \sin(\delta_k - \delta_j) + D_{kj} \cos(\delta_k - \delta_j)] \quad (10)$$

ve

$$P_k = P_{mk} - |E_k|^2 G_{kk} \quad (11)$$

olmak üzere (9) denklemini (1) denkleminde yerine koymak suretiyle aşağıdaki ifadeye gelinir:

$$M_k \frac{d^2 \delta_k}{dt^2} + D_k \frac{d \delta_k}{dt} = P_k - P_{ek} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

$$M_T = \sum_{k=1}^n M_k \quad \text{olmak üzere açısız ağırlık merkezi } \delta_0,$$

$$\delta_0 = \frac{1}{M_T} \sum_{k=1}^n M_k \delta_k \quad (13)$$

olarak tanımlanır ve sistemdeki bütün generatör iç açıları  $\theta_k = \delta_k - \delta_0$  şeklinde bu açısız ağırlık merkezine göre ifade edildiklerinde (12) denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$M_k \ddot{\theta}_k = -D_k \dot{\theta}_k + P_k - P_{ek} - \frac{M_k}{M_T} P_{AMR} \quad (k = 1, \dots, n) \quad (14)$$

cağ =  $\sum Q$ ,  $w_k = S_k$ ,  $\theta_k = \delta_k - \delta_0 = \delta_k - \frac{1}{M_T} \sum_{j=1}^n M_j \delta_j$  olmak üzere (14) denklemindeki  $P_{AMR}$  ifadesi,

$$P_{AMR} = \sum_{k=1}^n P_k - 2 \sum_{k=1}^n \sum_{j=k+1}^n D_{kj} \cos \delta_{kj} \quad (15)$$

şeklinde yazılabilir. Transfer kondüktansları ( $D_{kj}=0$ ) ihmal edildiğinde açısız ağırlık merkezi sabit yani  $\sum_{k=1}^n X_{P_k} = 0$  olur. Bu durumda  $P_{AMR}=0$  olacaktır. Buna göre arıza sonrası kararlı denge noktaları aşağıdaki nonlineer denklemler çözülerek elde edilir:

$$P_k - P_{ek} \quad (k = 1, 2, \dots, n-1) \quad (16)$$

### 3. YÜK GÖSTERİMİNDE FARKLI BİR YAKLAŞIM

Yükler bağlı buldukları baralara akım enjeksiyonu olarak ifade edildiklerinde, (3) denklemindeki  $\tilde{Y}_{BARA}$  matrisinde yüklere ait olan  $\underline{Y}_u$  ifadeleri ortadan kalkar. Böylece (6) denklemini,  $\underline{I} = [I_G > G_2 \dots G_n]^{v e}$   $\underline{I} = [I_{L1} I_{L2} \dots I_{Ln}]$  olarak üzere aşağıdaki gibi olur:

$$\begin{bmatrix} I_G \\ I_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{Y}_{BARA} \\ \underline{Y}_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_G \\ \underline{V}_L \end{bmatrix} \quad (17)$$

$I_G$  ve  $I_L$  sırasıyla generatör iç düğümlerine ve iletim şebekesi düğümlerine verilen akımlardır;  $E_G$  ve  $\underline{V}_L$  ise bu noktalarındaki gerilimlerdir.  $\tilde{Y}_{BARA}$ , arıza ve arıza sonrası şebekedeki değişiklikleri gözönüne alınarak her ikisi için hesaplanır.  $\underline{V}_L$  yok edilerek indirgeme yapıldığında,

$$I_G = \left[ Y'_{ind} \right] E_G + \left[ D_L \right] I_L \quad (18)$$

ifadesine gelir. Burada  $\underline{Y}'_{ind} = \left[ -Y_{GG} \quad -Y_{GL} \right] \left[ Y_L \quad Y_{LG} \right]$  indirgenmiş bara admitans matrisi ve  $[D_L] = \hat{G}_L \hat{L}^{-1}$  dağıtım faktör matrisi olarak ifade edilir. Yükler aynı zamanda,

$$I_{Li} = \frac{-P_{Li} + jQ_{Li}}{V_{Li}} \quad (19)$$

şekilde ifade edilebilir. Burada  $P_{Li}$  ve  $Q_{Li}$  i nci baradaki yükün aktif ve reaktif güç bileşenleridir, i nci baradaki akımın ( $i=1,2,\dots,m$ ) k nci generatör iç barasına ( $k=1,2,\dots,n$ ) etkisini yansıtan ilave çıkış gücü,

$$\Delta(P_{kLi} + jQ_{kLi}) = - \left( \frac{E_k}{V_{Li}} \right) d_{ki}^* (P_{Li} + jQ_{Li}) \Delta(a_{kLi} + jb_{kLi}) \cdot (P_{Li} + jQ_{Li}) \quad (20)$$

şeklinde elde edilir. Burada  $d_{ki}$ ,  $[D_L]$  dağıtım faktör matrisinin uygun ( $k,i$ ) elemanıdır. Geçici hal esnasında  $E_k$  generatör iç gerilimlerdeki değişim de gözönüne alındığında, (20) denklemindeki gerilimlerin kompleks oranından dolayı, yük etkisinin her sayısal integrasyon sonunda değiştiği görülecektir. Bu ise sistemdeki yüklerin doğru bir şekilde modellenmesi yolunda sağlanan ciddi bir gelişmedir. Salınım denkleminde gücün sadece aktif kısmı ile ilgilendiğinden dolayı aşağıdaki ifadeye gelir:

$$\Delta P_{kLi} = (a_{kLi} P_{Li} - b_{kLi} Q_{Li}) \quad (21)$$

Yüklerin k nci generatör iç barasındaki toplam etkisi,

$$\Delta P_{kL} = \sum_{i=1}^m (a_{kLi} P_{Li} - b_{kLi} Q_{Li}) \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (22)$$

olarak bulunur. Sistemdeki yüklerin etkisini gösteren  $a_{kLi}$  ve  $b_{kLi}$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) parametreleri arızalı ve arıza sonrası durum için de hesaplanır. (11) denklemindeki  $P_k$  ifadesi aşağıdaki gibi düzeltilmek suretiyle yüklerin sistem üzerine etkisi hesaba katılmış olur:

$$D_k - P_k - \Delta P_{kL} - i^2 k \hat{G}_k \quad (23)$$

### 4. GEÇİCİ HAL ENERJİ FONKSİYONU

Sönüm ve transfer kondüktansları ihmal edilmek suretiyle, açısız ağırlık merkezi referansına göre (14) denklemini ile tanımlanan salınım denklem takımına ait Lyapunov fonksiyonu aşağıdaki gibi verilir [7]:

$$V(\underline{\theta}, \underline{\omega}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n M_k \tilde{\omega}_k^2 - \sum_{k=1}^n \hat{P}_k (e_k - \theta_k^s) - \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \left[ C_{kj} (\cos \theta_{kj} - \cos \theta_{kj}^s) \right] \quad (24)$$

Bu Lyapunov fonksiyonundaki terimler (aynı zamanda geçici hal enerji fonksiyonu olarak da ifade edilir) fiziksel olarak aşağıdaki gibi yorumlanabilir:

$$(i) \quad \sum_{k=1}^n M_k \tilde{\omega}_k^2 = \sum_{k=1}^n M_k \omega_k - M_T (0) \quad (25)$$

$V_k = AMR$  ye göre rotor kinetik enerjisindeki toplam değişim = rotor kinetik enerjisindeki toplam değişim - AMR kinetik enerjisindeki değişim

$$(ii) \quad \sum_{k=1}^n P_k (0_k - \theta_k^s) = \sum_{k=1}^n P_k (\delta_k - \delta_k^s) - \sum_{k=1}^n P_k (\delta_0 - \delta_0^s) \quad (26)$$

$V_p = AMR$  ye göre rotor potansiyel enerjisindeki değişim = rotor potansiyel enerjisindeki değişim - AMR potansiyel enerjisindeki değişim

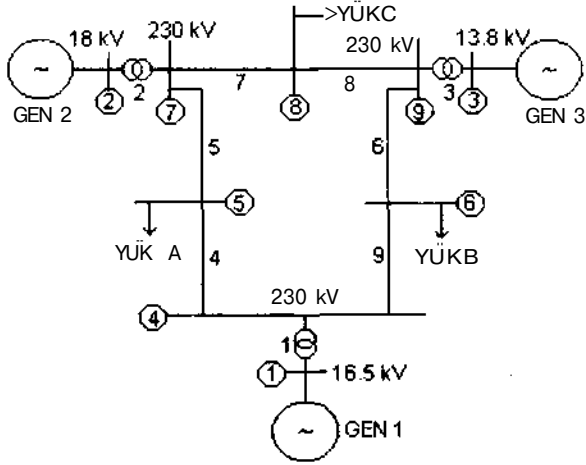
$$(iii) C_{ki}(\cos G_{ki} - \cos \alpha) \quad (27)$$

$V_d = ij$  kolunda depolanan manyetik enerjideki değişim

Kararsız denge noktasında  $\tilde{w}_k = 0$  olduğundan,  $V_{cr} = AV_{PE}(9^u) = V_p(0^u) + V_o(6^u)$  sonucuna ulaşılır. Yani  $V_{cr}$  arıza yerine bağlı kararsız denge noktası ( $9^u$ ) nda hesaplanan potansiyel enerjidir.

## 5. İNCELENEN SİSTEM

Şekil 3 de gösterilen 3 generatör ve 9 baralı sistemin geçici hal kararlılık analizi, klasik yük gösterimi ve burada sunulan yük gösterimi gözönüne alınmak suretiyle iki farklı şekilde yapılmıştır. Bu sisteme ait teknik bilgiler [6] referansında mevcuttur.



Şekil 3. incelenen sistem

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tablo 1 den de görüleceği üzere iki ayrı noktada arıza meydana geldiği düşünülmüş ve yine iki ayrı hat anahtarlanarak arızanın giderildiği gözönüne alınmak suretiyle geçici hal kararlılık analizi yapılmıştır.

Tablo 1 den, iki farklı yük yaklaşımı ile hesaplanan kritik arıza giderme zamanları arasında %4.36-%17.7 arasında değişen oranlarda fark olduğu görülmektedir. Geçici hal kararlılık analizlerinde 0.01 saniyenin ne kadar önemli olduğu düşünüldüğünde, bu oranların değeri o zaman daha iyi anlaşılabilir. Bununla beraber transfer kondüktanslarının ihmal edilmesi neticesinde yapılan hatanın boyutu da yaklaşık olarak ortaya çıkmış olur.

İleriki aşamada generatör açıları ve açısal hızlarının yanında generatör iç bara gerilimleri de durum değişkeni olarak alınırsa, yüklerin her bir generatöre ait salınım denklemine ilave güç olarak yansıtılan etkisi sürekli değişeceğinden, geçici hal süresince sistem yükleri için dinamik bir model elde edilmiş olur.

Bunun sonucunda Tablo 1 de verilen arıza giderme zamanlarının daha da değişeceği açıktır.

Tablo 1. incelenen sisteme ait geçici hal kararlılık analizi sonuçları

| Arıza yeri   |                         | Kritik arıza   | giderme zamanı (sn)                   |
|--------------|-------------------------|----------------|---------------------------------------|
| Arızalı bara | Anahtarlama yapılan hat | Sabit admitans | Bağlandıkları baraya akım enjeksiyonu |
| 7            | 5                       | 0 180          | 0 212                                 |
| 7            | 7                       | 0 202          | 0 211                                 |
| 9            | 6                       | 0 243          | 0 272                                 |
| 9            | 8                       | 0.241          | 0 252                                 |

## KAYNAKLAR

- [1] ARİFOĞLU, U., Alternatif Akım Doğru Akım Sisteminde Ayrık Yöntem Kullanımı ile Optimal Güç Dağılımı Hesabı İçin Yeni Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü. Aralık (1993)
- [2] EL-ABIAD, A.H., and NAGAPPAN, K, Transient Stability Regions of Multimachine Power Systems, IEEE Trans. PAS, Vol. 85, No. 2, pp.169-178, February (1966)
- [3] PRABHAKARA, F.S., and EL-ABIAD, A.H. A Simplified Determination of Transient Stability Regions for Lyapunov Methods, IEEE Trans PAS, Vol 94, No 2, pp 672-680, March/April (1975)
- [4] GUPTA, C.L., and EL-ABIAD, A.H.. Determination of the Closest Unstable Equilibrium State for Lyapunov Methods in Transient Stability Studies, IEEE Trans. PAS, Vol .95, No 5. pp. 1699-1712, September/October (1976)
- [5] TINNEY, W.F., and POWELL, W.L., The REI Approach to Power Network Equivalents. 1977 PICA Conference. Toronto, Canada, May (1977)
- [6] ANDERSON, P.M., and FOUAD, AA, Power System Control and Stability, Iowa State University Press, AMES, Iowa. USA (1977)
- [7] ATHAY, T, PODMORE, R., and VIRMANI, S.. A Practical Method for Direct Analysis of Transient Stability. IEEE Trans. PAS, Vol. 98, No. 2, pp. 573-584, March/April (1979)

Kürşat AYAN 1984 yılında İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesinde lisans, 1988 de ise yüksek lisans programını tamamladı. Halen aynı üniversitede doktora tez çalışmasını sürdürmekte olup. enerji sistemlerinde güç iletim sınırının artırılması konularında çalışmalar yapmaktadır. Halen Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır

Nesrin TARKAN Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi. Elektrik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesidir Elektrik güç sistemlerinin analizi, planlanması ve optimizasyonu konularında çalışmaktadır. Sonuçlanmış 6 doktora ve 60 dan fazla yüksek lisans tezi yönetmiştir Aynı konularda 50 civarında yayın ve çalışması vardır.

Uğur ARİFOĞLU 1984 yılında İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesinde lisans, 1987 de ise yüksek lisans programını tamamladı. 1993 yılında aynı üniversiteden doktor unvanını aldı 1995 de Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde yardımcı doçentliğe atandı Halen aynı üniversitede enerji sistemlerinde ac-dc güç akış optimizasyonu üzerine çalışmalarını sürdürmektedir

# Doğrusal Olmayan Yük Değişimlerinin Geçici Kararlılık Üzerindeki Etkileri

İ. H. ALTAŞ  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Böl.  
61080 - TRABZON, TÜRKİYE

W. J. SIMOLINSKI  
The University of New Brunswick  
Department of Electrical Engineering  
Fredericton, N.B, E3B 5A3 CANADA

## ABSTRACT

*Transient stability analysis of a power system fed by generators, one at each end, is studied for abnormal operating conditions such as sudden load changes. The system consists of two generators, one in each bus, four buses, two transformers, and two lines connected in parallel. Before the transient stability, a load flow analysis of the system is done using a Newton-Raphson based Ward and Hale algorithm to determine the load flows and bus voltages for normal operating conditions. Then the transient stability of the system is analyzed for linear and nonlinear load changes, which are modeled in terms of nonlinear active and reactive parts of the loads. Since the nonlinear load changes may cause instability in the system, a transient stability analysis is done to take precautions for a continuous stable operation.*

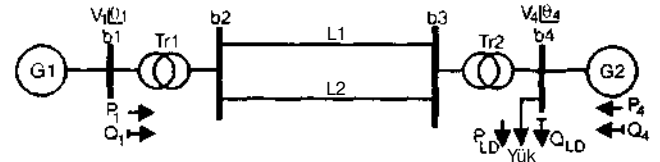
## 1. GİRİŞ

Normal koşullar altında elektrik güç sistemleri dengeli ve kararlı çalışırlar. Ancak, kısa devre, hat kopması, aniden aşırı yüklenme ya da yükte ani azalmalar olması gibi anormal durumlarda sistemde salınımlar meydana gelir. Bu salınımlar genellikle güç sistemini besleyen generatörlerin çıkış güçleri, frekansları ve yük açıları kendilerini gösterirler. Yük açısı, dolayısıyla da aktif güç çıkışında meydana gelen salınımlar, güç sisteminin kararlılığı ile doğrudan ilgilidir. Çünkü, eğer bu salınımlar kısa bir sürede sönmez ve zamanla artan bir eğilim gösterirlerse güç sistemi kararlılığını kaybeder ve besleyici generatörlerin şebekeyle olan senkronizasyonları bozulur. Tabii ki bu da istenmeyen sonuç ve hasarlara neden olur. Dolayısıyla güç sistemlerinde meydana gelecek arıza ya da ani yük değişimleri karşısında yük açısında meydana gelecek salınının sönüm süresi önceden belirlenerek devre kesicilerinin açma süreleri buna göre ayarlanabilir [1].

Geçici kararlılık konusunda literatürde oldukça fazla yayına rastlanabilir. Bu yayınların bir kısmı kısıtlı devre gibi durumlar sonucu oluşan geçici kararlılığı incelerken [1,2,3], bir kısmı da yüklerdeki ani artış/azalma gibi durumların neden olduğu geçici kararlılık problemini incelemektedir [4]. Yüklerdeki değişimlerin etkileri incelenirken bunların doğrusal yada doğrusal olmama durumları da göz önüne alınarak yük modelleri geliştirilmiştir [4]. Benzer şekilde, senkron generatörlerin geçici kararlılık çalışmalarının incelenmesi amacıyla da modeller geliştirilmiştir [5].

## 2. ÖRNEK GÜÇ SİSTEMİ VE PROBLEMİN TANIMI

Burada yapılan çalışmada, Şekil 1 de verilen dört baralı bir sistem ele alınarak, yüklerde meydana gelecek ani değişimler karşısında sistemin geçici kararlılığı incelenmektedir. Ele alınan sistemde, uçlardaki generatör baraları paralel bağlı iki iletim hattı ve iki transformator üzerinden birbirine birleştirilmiştir. Generatör baralarından birisi aynı zamanda yük barası olarak da kullanılmaktadır. Dolayısıyla enterkonnekte bir sistemi olarak düşünülebilir.



Şekil 1. Örnek güç sistemi.

Sistemin geçici kararlılığı incelenmeden önce Newton-Raphson yöntemine dayalı Ward-Hale algoritması [6] kullanılıp bir yük akış analizi yapılarak, normal çalışma koşullarındaki güç akışları ve bara gerilimleri belirlenmekte, daha sonra da yüklerde meydana gelecek doğrusal olmayan değişimler karşısında sistemin geçici kararlılığı incelenmektedir. Yüklerdeki değişimler ele alınırken, yükün aktif ve reaktif kısımlarındaki artış oranları doğrusal olmayan yük modeliyle işlemlere dahil edilmektedir [4]. Yüklerdeki artışların doğrusal olmamaları ve miktarlarının sistem değerlerinden farklılık göstermeleri halinde sistem generatörlerinin güç açıları değişimler meydana gelerek sistemi kararsızlığa sürükleyebilmektedir. Dolayısıyla, bu durum, stemde bir hata varmış gibi ele alınarak, hata giderme işlemleri uygulanabilir.

Yüklerde meydana gelen ani doğrusal yada doğrusal olmayan değişimler güç sisteminde kararsızlığa neden olabilecek salınımlar meydana getirirler. Özellikle sistemin güç açısı, frekansı ve gücünde meydana gelen bu salınımlar incelenerek gerekli önlemler alınır. Sistemin geçici kararlılığı ise Denklem (1) ile verilen ve güç (yük) açısındaki salınımları tanımlayan **salınım denkleminin** çözülmesiyle incelenir.

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi F}{H} (P_m - P_e) \quad (1)$$

Bu denklemde  $K=7tF/H$  ve  $AP=(P_m-P_e)$  atamaları yapıp,  $K'=1/K$  olarak alınırsa, salınım denklemini yeniden yazılarak

$$f_j = KAP \quad (2)$$



şeklinde kısaltılabilir. Burada  $\delta$  güç yada yük açısı,  $P_g$  generatöre verilen mekanik giriş gücü,  $P_e$  generatörün elektriksel çıkış gücü,  $K$  (radyan cinsinden terimler kullanılırsa) ivmelenme sabiti, ve  $H$  generatörün dönme hızı, eylemsizlik momenti, nominal gücü ve yer çekimi imesi, gibi büyüklüklere bağlı bir sabittir. Salınım denkleminin çözümü için,

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = K \cdot \frac{1}{H} \cdot P \quad (3)$$

şeklinde iki yeni değişken ataması yapılırsa, bu son denklemden;

$$d\omega = KAP dt \Rightarrow \omega = K \int AP dt \quad (4)$$

$$d\delta = \omega dt \Rightarrow \delta = \int \omega dt \quad (5)$$

iki çözüm integrasyonunu elde edilir. Bu son iki denklemin sayısal olarak çözülmesi ile  $\omega$  açısal hızı ve  $\delta$  yük açısı belirlenebilir. Ancak burada bir başka değişken daha tanımlanarak salınım ve hız denklemleri yeniden,

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = a \quad \text{ve} \quad \frac{d\omega}{dt} = \omega \quad (6)$$

olarak yazılabilir. Burada  $a = KAP$  dir. Fark denklemleri kullanılarak,

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \Delta P K \Rightarrow \Delta\omega = AP K \Delta t \quad (7)$$

yazılabilir. Burada,  $\Delta\omega = \omega(t_2) - \omega(t_1)$  ve  $\Delta t = t_2 - t_1$  dir. Hızdaki  $\Delta\omega$  değişimi elde edilince, yeni  $\omega$  hız değeri;

$$\omega_{YENI} = \omega_{ESK} + \Delta\omega = \omega_{ESK} + \Delta P K \Delta t \quad (8)$$

şeklinde belirlenir. Benzer şekilde güç açısı için de fark denklemleri kullanılarak,

$$\frac{\Delta\delta}{\Delta t} = \omega \Rightarrow \Delta\delta = \omega \Delta t \quad (9)$$

yazılabilir. Bunun çözümü ile  $\Delta\delta$  değişimi bulununca, yeni  $\delta$  değeri,

$$\delta_{YENI} = \delta_{ESK} + \Delta\delta = \delta_{ESK} + \omega \Delta t \quad (10)$$

ile elde edilir. Yukarıda Denklem (7) de verilen hız artımını yeniden yazalım:

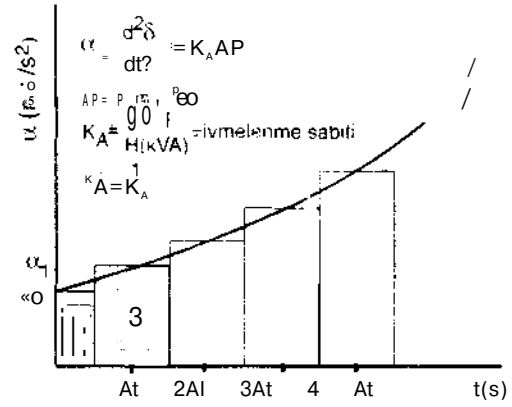
$$\Delta\omega = B \Delta t, \quad (11)$$

Burada,  $B = AP K$ ,  $a_1 = 1/2$  (anahtarlama anlarında) ve  $a_2 = 1$  (diğer zamanlarda) olarak alınmaktadır. Şekil 2 den görüleceği gibi anahtarlama anlarında  $\Delta t$  nin yarısı kullanılmaktadır,  $a_1$ ,  $\omega$  ve  $\delta$  nın değerlerini belirlemek için uygulanan integrasyon algoritmaları sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4 de verilmektedir. Sadece anahtarlama anlarında güç sıfır olduğu için, yani anahtarlama sonrasında sıfır olmadığı için, denklem (9) da verilen  $\Delta\delta$  ifadesi

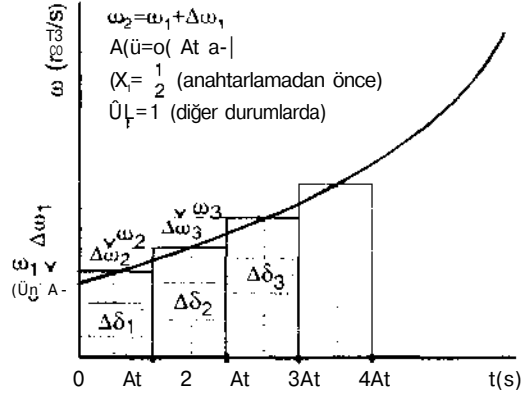
$$\Delta\delta = \omega \Delta t \quad (x_2) \quad (12)$$

olarak yazılabilir. Burada  $a_2 = 0$  (anahtarlama anlarında) ve  $a_2 = 1$  (diğer zamanlarda) alınabilir. Şekil 3 den görüleceği gibi,  $\Delta\delta = \omega_1 \Delta t$  dir ve anahtarlama anında  $\Delta\omega = \Delta\omega_1$ , fakat,  $\Delta\delta = \omega_1 \Delta t$  olduğu anlamını taşır.

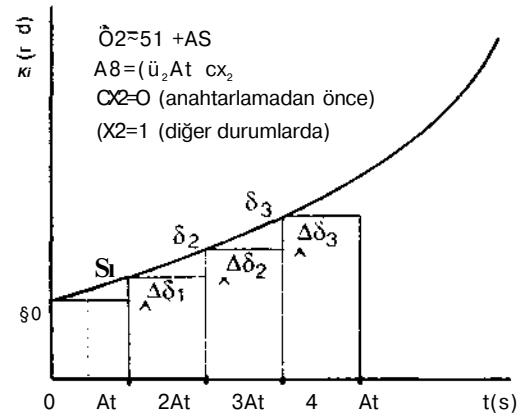
Salınım eğrisinin integrasyonu sırasında şebeke ve anahtarlama durumları Tablo 1 de sıralanmıştır.



Şekil 2. (x için integrasyon algoritması.



Şekil 3. ω için integrasyon algoritması.



Şekil 4.  $\delta$  için integrasyon algoritması.

Tablo 1. Salınım eğrisinin integrasyonu sırasında şebeke ve anahtarlama durumları.

| Durum | Eylem Adımları           | $a_1$ | $a_2$ | ŞDA  |
|-------|--------------------------|-------|-------|------|
| 1     | Başlangıç adımı          | 1/2   | 1     | 1    |
| 2     | Normal adım              | 1     | 1     | 1    |
| 3     | Anahtarlama öncesi adım  | 1/2   | 0     | 2,3* |
| 4     | Anahtarlama sonrası adım | 1/2   | 1     | 1    |

ŞDA : Şebeke durum anahtarı

\* 2 ->  $t = T_c$  de giderilen hata için.

3 ->  $t = T_r$  de yeniden devreye alınan hat için.

### 3. ÇÖZÜM ALGORİTMASI

Adım 1- Yük akış programı koşturularak, sisteme bağlı makinelerin hata öncesi gerilim ve yük açıları belirlenir ve kaydedilir. Bunlar geçici kararlılık probleminde başlangıç değerlerini oluşturduklarından önceden belirlenmeleri gerekir. Burada sistemin bara gerilimlerini ve yük akışlarını veren denklemler Newton-Raphson yöntemine dayalı Ward-Hale yaklaşımını kullanan bir algoritma ile çözülmüşlerdir. Yer darlığı nedeniyle güç akışı üzerinde fazla durulmayacaktır. Ancak yine de gerilim ve güç denklemlerinin geçici kararlılık probleminde nasıl uyarlandıklarına bir göz atmak yararlı olacaktır. Bu amaçla yük bağlı bir baranın akım denklemini

$$j_{nL} - |_{m} + Z |_{nm} = 0 \quad (13)$$

olarak yazalım. Burada n ve m bara numaraları olmak üzere  $|_{nL}$  n barasına bağlı yük akımı,  $|_{nm}$  n barasından m barasına akan akımdır. Bu akımlar gerilim ve admitans cinsinden yazılıp (13) de yerlerine konursa, ara işlemlerden sonra n barasının gerilim denklemini

$$\underline{V}_n = \frac{1}{\underline{Y}_{nn} + \underline{Y}_{nL} + \underline{Y}_{nF}} \left( \sum_{m=1}^N \underline{Y}_{nm} \underline{V}_m \right) \quad (14)$$

şeklinde elde edilir. Burada N toplam bara sayısı olmak üzere,  $V_n$  n barasının gerilimi,  $V_m$  m barasının gerilimi,  $Y_{nm}$  n barasına bağlı toplam bara admitansı,  $Y_{nL}$  yine n barasına bağlı yükü temsil eden admitans,  $Y_{nm}$  ise n ve m baraları arasındaki admitansdır. Denklem paydasında verilen  $Y_{nF}$  hata olması durumunda kullanılan fakat normal çalışmada sıfır değerine sahip bir hata admitansdır.

Denklem (14) de verilen  $Y_{nL}$  sabittir ve doğrusal yük gösterimi için geçerlidir. Dolayısıyla doğrusal olmayan yükler için bu denklem yeniden düzenlenmelidir, n barasına bağlı doğrusal olmayan yük akımı

$$-|_{nNL} = (P_n - jQ_n) / v; \quad (15)$$

olarak alınıp (13) deki yük akımı yerine kullanılırsa, n barasının gerilimini doğrusal olmayan yükler için veren gerilim denklemini elde edilir.

$$\underline{V}_n = - \left( \frac{P_n - jQ_n}{\underline{V}_n \underline{Y}_{nn}} \right) + \frac{1}{\underline{Y}_{nn}} \left( \sum_{m=1}^N \underline{Y}_{nm} \underline{V}_m \right) \quad (16)$$

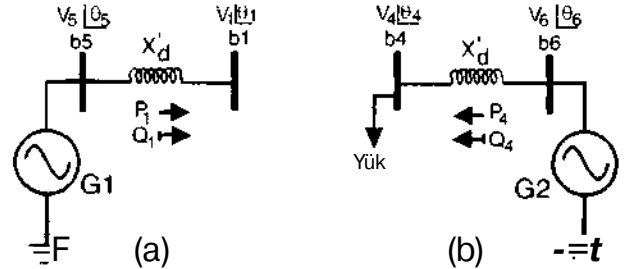
Burada n barasının doğrusal olmayan aktif ve reaktif güçleri aşağıdaki gibi temsil edilirler [4].

$$P_n = (P_0 + P_1 V_n + P_2 V_n^2) P_{ns} \quad (17)$$

$$Q_n = (Q_0 + Q_1 V_n + Q_2 V_n^2) Q_{ns} \quad (18)$$

$P_{ns}$  ve  $Q_{ns}$  sırasıyla aktif ve reaktif yük güçlerinin planlanmış normal değerleridir.  $V_n$  bara geriliminin genliği olup, her iterasyonda hesaplanır. Kullanılan yük çarpanları,  $P_0 + P_1 + P_2 = 1$  ve  $Q_0 + Q_1 + Q_2 = 1$  dir [4]. Bu yük çarpanlarından  $P_0$  ve  $Q_0$  sabit MVA yükü,  $P_1$  ve  $Q_1$  sabit akımlı yükü,  $P_2$  ve  $Q_2$  de sabit empedanslı yükü temsil etmektedirler.

Adım 2- Generatörlerde,  $X'_d$  reaktanslarının gerisindeki gerilimi temsil etmek amacıyla Şekil 5 deki gibi iç baralar oluşturulup, gerekli  $X'_d$  ve H parametreleri önceden girilerek iç bara gerilim ve yük açıları belirlenip kaydedilirler.



Şekil 5. Hata analizi ve geçici durum için Generator haralarının temsili.

Adım 3- Bütün yükler sabit empedans ya da admittanslarla temsil edilip, ilgili baraya şönt admittans olarak bağlanırlar.

Adım 4- Hatayı simule etmek için hata barasına bir şönt empedans bağlanır.

Adım 5- Generator iç gerilim ve açılarını hata öncesi değerlerde tutup, hatalı sistem için güç akış programı koşturularak, yeni generator çıkış güçleri hesaplanır. Gerilim ve açıları sabit tutulduğundan generator iç terminallerinde gerilim hesabı gerekmez.

Adım 6- Generatörlerin giriş güçleri sabit kabul edilip, çıkış güçlerinin Adım 5 deki yeni değerleri kullanılarak güç açılarındaki değişimler Denklem (10) yardımıyla belirlenip kaydedilir.

Adım 7- En son bulunan generator iç gerilim ve açıları kullanılarak hatalı sistemde yeniden bir yük akış programı koşturularak, sonrasında da Adım 6 tekrarlanarak yeni rotor açıları bulunur.

Adım 8- Adım 6 ve 7, 5 periyodluk bir hata süresince tekrarlanır.

Adım 9- Hatanın giderilmiş durumunu simule etmek için sistem admittansları değiştirilip, hata sonrası süresince Adım 5, 6,7 ve 8 tekrarlanır. Hatalı hattın yeniden devreye alınmasına ilişkin durum da (başarısız bir yeniden devreye alma durumu) sistem admittansları gerektiği gibi değiştirildikten sonra Adım 5, 6,7 ve 8 in yeniden devreye alma süresince tekrarlanmasıyla simule edilebilir.

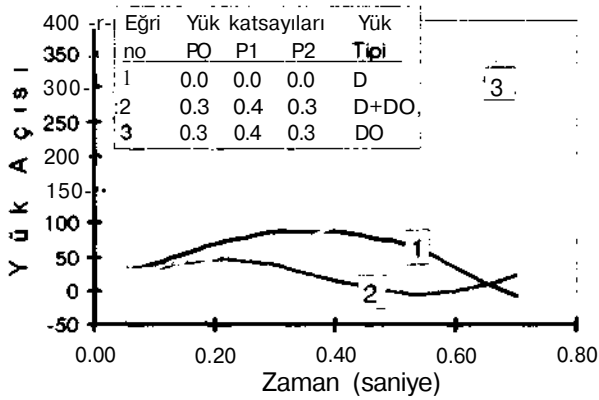
Adım 10- Elde edilen salınım eğrileri çizdirilir.

Generatörlerin uyarma ve hız denetimlerine ilişkin etkilerin işlemlere dahil edilmesi ek işlemler gerektirir. Eğer generatörler yeterince hızlı iseler, rotor hızlanıp yavaşlayacak, dolayısıyla generator giriş gücü değişecektir. Hız denetiminin dinamik etkileri Adım 6 da işleme dahil edilerek bu durum da simule edilebilir. Uyarma sistemi ise generatörün gerilimini etkilediğinden, gerekli ayarlama yapılarak bu terminal gerilimi hata öncesindeki değerinde sabit tutulur. Böylece generatörün iç gerilimi Adım 5 de kabul edildiği gibi değişecektir. Uyarma sistemine ilişkin dinamik denklemler Adım 5 de işleme sokularak bu durum da simule edilebilir.

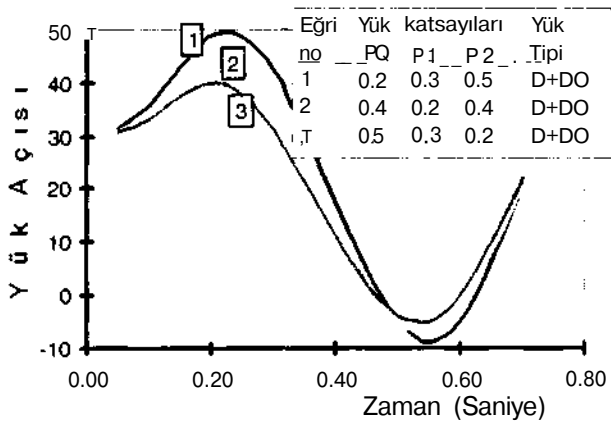
#### 4. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Kullanılan yük modelleri, (17) ve (18) denklemlerinde verilen güç katsayılarına göre doğrusal ya da doğrusal olmayan özelliklere sahip olabilmektedirler. Dolayısıyla, seçilen katsayılar göre, sistem hem doğrusal, hem de doğrusal olmayan yük durumları için incelenmiş ve ilgili sonuçlar Şekil 6, 7, 8 ve 9 da verilmiştir. Yük katsayıları seçilirken verilen sonuçlar için  $P_0=Q_0$ ,  $P^1=Q_1$ , ve  $P_2=Q_2$  olarak alınmıştır. Şekiller üzerinde sadece  $P_0$ ,  $P_1$  ve  $P_2$  değerleri verilmiştir. Bunlar aynı zamanda  $Q_0$ ,  $Q_1$  ve  $Q_2$  olarak alınmaktadır.

Simülasyon sonucu belirlenen yük açılarının zamana göre değişimleri çizilerek sistem kararlılığının izlenmesi kolaylaştırılmıştır. Örneğin Şekil 6 da 1 ve 2 nolu eğriler sistemin kararlı olduğunu, 3 nolu eğri ise kararsız olduğunu göstermektedir.



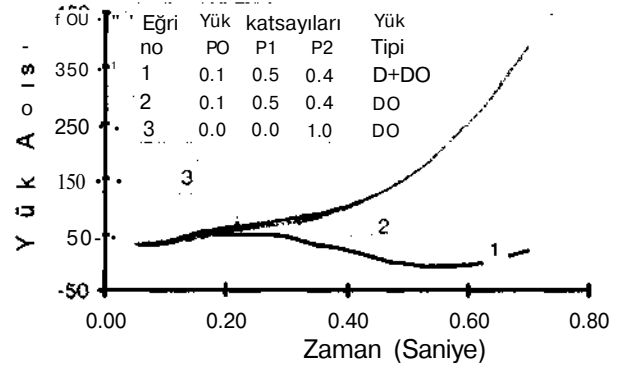
Şekil 6. Sadece doğrusal (D), doğrusal + doğrusal olmayan (D+DO) ve sadece doğrusal olmayan (DO) üç farklı yük durumunun karşılaştırılması.



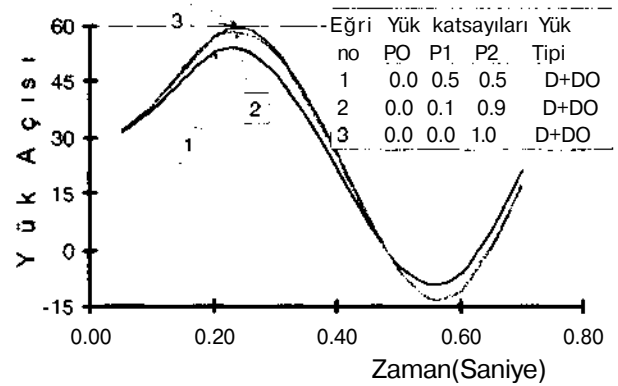
Şekil 7. Farklı değerlere sahip doğrusal olmayan üç ayrı yük tipinin karşılaştırılması.

Elde edilen sonuçlara göre, sadece doğrusal yük varken sistem kararlı, sadece doğrusal olmayan yük varken sistem kararsız, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan yüklerin eklenmesi halinde ise sistem yine kararlıdır. Bu durumda doğrusal olmayan yükler sistemi etkileyen bozucu (denetimsiz) etkiler olarak kabul edilebilirler.

Doğrusal yüklerin etkisi daha baskın olduğu için, doğrusal yüklerle ek olarak sistemi etkilediklerinde doğrusal olmayan yüklerin kararlılık üzerinde fazla etkileri olmamaktadır. Ancak sistemde sadece doğrusal olmayan yükler varsa, bu durumda sistem kararsızlığa sürüklenebilmektedir.



Şekil 8. Doğrusal+doğrusal olmayan, ve iki farklı doğrusal olmayan yük durumları.



Şekil 9. Farklı değerlere sahip doğrusal olmayan üç ayrı yük tipinin karşılaştırılması.

#### KAYNAKLAR

- [1]. C.A. Gross, "Power System Analysis", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1986.
- [2]. P.M. Anderson and A.A. Fouad, "Power System Control and Stability", Revised Printing, IEEE Press, 1994.
- [3]. Y. Dong and H. R. Pota, "Transient Stability Margin Prediction using Equal-area Criterion", IEE Proc. -C, Vol.140, No 2, March 1993, pp. 96-104.
- [4]. IEEE Committee Report, "System Load Dynamics-Simulation Effects and Determination of Load Constants", IEEE Trans. in PAS, Vol. PAS 92, march/April 1973, pp. 600-609.
- [5]. IEEE Committee Report, "Computer Representation of Excitation Systems", IEEE Transactions on PAS-87, 1460-1464, 1968.
- [6]. J.B. Ward and H.W. Hale, "Digital Computer Solution of Power-Flow Problems", Trans. AIEE, Vol. 75, Pt. III, 1956, pp. 398-404.

# ENERJİ İLETİM HATLARININ DİJİTAL KORUMASI VE ARIZA YERİNİN TESPİTİ

F. ARAŞ, H. KÜLÜNK  
Kocaeli Üniversitesi  
Tek. Eğt. Fak. Elektrik Bölümü  
41100-KOCAELİ

## ABSTRACT

*In this study digital relays (microprocessor based) used for protection of power lines are introduced and their function in fault location determination is examined by using Siemens 7SA511 üne Protection Relay. Parametres of Bolu-Gerkonsan line are entered by means of a suitable computer program (Digsı). Then, various faults are given to the relay by Instrument that is based on varying voltage and constant current. The results(fault types, fault detection, fault location in kilometers and percentage, trip and reset times) of application of digital system for the protection of transmission lines are presented. It is concluded that, the relay introduced can be used successfully to determine the fault type and location.*

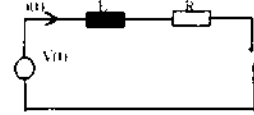
## 1. GİRİŞ

Bir koruma sistemi bir arızanın zararlı etkisinden güç sistemini korur. Bu arıza durumu bir kısıt veya sistemin normal olmayan şartlara maruz kalmasıdır. Koruma sistemi, arıza durumunda mümkün olduğu kadar hızlı olarak sisteme müdahale etmelidir. O halde sistemin hızlı temizleme özelliğine sahip olması gerekmektedir. Dijital Koruma sistemi bu işlevleri yerine getirmesinin yanında, programlanabilme özelliğine de sahiptir. Bu özelliği ile bir çok işlevi yerine getirebilir. Örneğin, otomatik tekrar kapama (auto recloser) işleminin yapılması sağlanır veya röle programlanarak yeni bir röle haline getirilebilir. Ayrıca haberleşme ile ölçülen bilgiler ve veriler bir merkeze veya bir bilgisayara aktarılır ya da uzaktan röle programlanabilir. Bu sayede arıza bilgilerini kaydetme, şebekenin yükünü ölçme, kesicileri kontrol ve izleme, röle set değerlerini değiştirme gibi işlemler yapılabilir. Yukarıda değinildiği gibi bir çok işleve sahip olan dijital rölelerin, bu alanda sağladığı önemli bir yararı da arıza yerinin tespittir. Bir arıza oluştuğunda, arızanın hızlı bir şekilde giderilmesi arıza yerinin tespit edilme

süresine de bağlıdır. Bugün kullanılan sistemle arıza yerini tespit etmek uzun süreler almaktadır. Kesinti sürelerinin fazla olması ise üretimi olumsuz etkilediği gibi, tüketici açısından da kuruma olan güveni sarsmaktadır. Dijital röle kullanılan sistemde ise oluşan arıza, hızlı bir şekilde temizlendiği gibi, aynı zamanda arıza yeri de mesafe (km) ve yüzde (%) olarak tespit edilmektedir. Böylece arıza süresi oldukça kısalmakta, tüketiciye güven verilerek üretimin devamlılığı sağlanarak, verim ve kazanç artmaktadır.

## 2- Hat Koruma Algoritması

Dijital röle, iletim hattının seri R-L modeline dayanan algoritmayı kullanarak, akım ve gerilim ölçümlerinden enaz üç çifti ile arıza empedansını hesaplamaktadır. Röle başlatma aldığı andan itibaren güncellenmiş değerleri kullanarak R ve L değerlerini hesaplamaktadır.



Şekil-1 Hattın seri R-L modeli

Şekil 1'de kapasitesi ihmal edilen bir iletim hattının matematiksel modeli:

$$V(t) = R i(t) + L \frac{d i(t)}{dt} \quad (1)$$

olur. Röle tarafından ölçülen akım ve gerilim değerleri kullanılarak, R-L parametreleri eşitlik (1) yardımıyla tahmin edilebilir. Bu da, röle noktası ile arıza noktası arasındaki mesafenin bulunması anlamına gelir.

Daha hasas bir şekilde R ve L'nin bulunması istenirse, hattın kapasitesi de eşitlik (1)'e eklenmelidir. Bu durumda hattın matematiksel ifadesi aşağıdaki gibi olur.

$$V(t) = \underbrace{R \cdot i(t) + L \frac{di(t)}{dt}}_{I.} - \underbrace{RC \frac{dv(t)}{dt} - LC \frac{d^2v(t)}{dt^2}}_{II.} \quad (2)$$

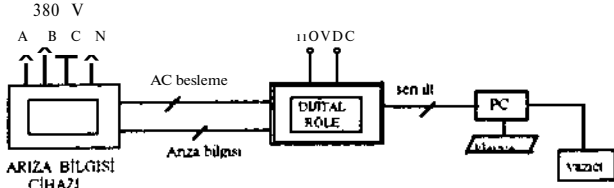
Bu ifade eşitlik (1)'e ikinci terimin ilave edilmiş halidir ve (1)'e göre, II. ifade kadar e (t) hata oranına sahiptir. Bu hata oranı e (t) ;

$$\varepsilon (t) = -RC \frac{dv(t)}{dt} - LC \frac{d^2v(t)}{dt^2} \quad (3)$$

olur. e (t) hata oranı göz önüne alındığında R ve L' nin tahmini daha doğru olarak yapılabilir.

### 3. Kurulan Sistemin Tanıtılması

Uygulanan sistemin blok diagramı Şekil-1'de görülmektedir. Bu sistemin en önemli elmanı dijital röle olmakla birlikte, sistemi tamamlayan diğer unsurlar unutulmamalıdır. Bu unsurlardan biri arıza bilgilerinin röleye verilmesidir. Diğeri ise uzaktan bilgisayar ile kontrol için gerekli olan yazılım programıdır.



Şekil-2 Sistemin blok diagramı

### 4. Arıza Bilgilerinin Elde Edilmesi

Arıza bilgilerini elde etmek amacıyla kullanılan cihaz, yapısı itibarıyla basit olmakla birlikte, empedans röleleri için uygun bir cihazdır. Çalışması ise basitçe değişen gerilim değerleri ve sabit akım oranı (  $Z=U/I$  ) ile çeşitli empedans değerlerini elde etmek olarak söylenebilir. Arıza gerilimleri elde etmek amacıyla çeşitli kademelere sahip gerilim trafoları kullanılmıştır. Bu kademeler iki anahtar yardımıyla kontrol edilir. Birincisi büyük kademe gerilim değişimlerini (100V/10-20-30-...-90V), ikincisi ise küçük kademe gerilim değişimlerini (100V/1-2-3-... -10V) kontrol eder. Sabit akım elde etmek için ise gerilim trafolarının 10V çıkışından yararlanır.

### 5. Dijital Mesafe Koruma Rölesi

Kurulan sistemde kullanılan Siemens 7SA511 dijital mesafe koruma rölesi 16 bitlik güçlü bir mikroişlemci ile donatılmıştır. Bu yapı, ölçülen değerlerin gerekli veri

yapısına dönüştürülerek açma ve kapama sinyalleri üretilmesine kadar tüm işlemlerin sayısal olarak gerçekleştirilmesini sağlar. Bundan başka röle, ölçüm bilgileri giriş ünitesi, analog giriş ünitesi, yükseltici, örnekleme ve tut elemanları, analog-dijital (A/D) çeviriciler, göstergeler, çeşitli arabirimler ve mikro işlemciye veri transferi için gerekli hafıza devrelerinden oluşmaktadır. Mikroişlemciye ait ikili (binary) giriş ve çıkışlardan ölçüm bilgileri veya karşı taraftaki röleden gerekli bilgiler alınmaktadır. Çıkışlardan aynı zamanda kesiciye açma bilgisi, gerekli sinyaller ve röle üzerindeki göstergeye de bilgiler iletilmektedir. Röle üzerinde bulunan tuş takımı ve gösterge yardımı ile röleye ayar değerleri, sistem bilgileri vb. değerler girilebilmekte, ayrıca seri arabirim aracılığı ile de röle uzaktan bir bilgisayar yardımı programlanabilmektedir. İstendiğinde ölçme ve arıza bilgileri ikinci bir arabirim ile merkeze aktarabilmektedir. Bu iletişim, donanıma eklenebilecek arabirim yardımıyla fiber optik kablo ihtiva eden sistem ile de gerçekleştirilebilmektedir. Tüm sistem yardımcı güç kaynakları ile beslenir. Röle çıkışı için 24 V de, analog girişler için 15 V de, mikroişlemci ve donanımı için 5 V de gereklidir.

### 6. Arıza Empedansının Hesaplanması

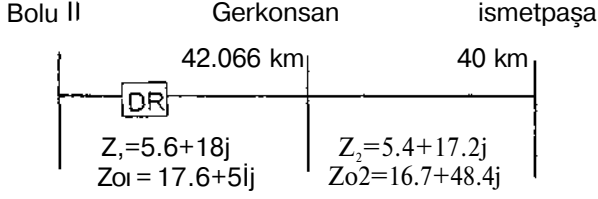
Başlama elemanı işleme başladığı andan itibaren hesaplamalar kesintisiz olarak yapılmaya başlanır. En son yarı periyottan itibaren güncellenmiş akım ve gerilim bilgileri hesaplamalarda kullanılır. Daha önce verilen eşitlikler kullanılarak, arıza anında ölçülen anlık değerler yardımıyla R ve L hesaplanır. Hesaplanan  $X_L$  reaktansı arıza noktasına kadar olan hat reaktansıdır.

Ölçülen değerlerin işlenmesine arızanın temizlenmesinden sonra başlanır. Filtrelenmiş ve belleğe alınmış değerlerden en az üç çift (akım, gerilim) R ve X hesaplanması için belirlenir. Eğer üç çiftten daha az değer mevcutsa arıza yeri verilmez. Kabul edilen son üç değer çiftinden ortalama değer ve standart sapma hesaplanır. Sapmayla çok farklılık gösteren değerler elendikten sonra X için yeni bir ortalama değer yeniden hesaplanır. Bu ortalama değer artık arıza reaktansı olarak alınır. Burada dikkat edilecek nokta mutlaka toprak bilgisinin röleye gelmesidir. Aksi takdirde empedans hesaplamasında hatalı sonuçlar elde edilebilir.

Herhangi bir arıza için arıza öncesi 5 periyottan açma komutu sonrasındaki 5 periyodun sonuna kadar en fazla 3 arıza bilgileri kaydedilir. Bu arıza bilgileri arıza analizi için hazır haldedir. Şebekede karşılaşılan her yeni arızaya ait bilgiler eski arıza bilgilerinin alınıp alınmadığına bakılmaksızın kayda alınır.

## 7. Röle Ayar Değerlerinin Girilmesi

Bilgisayar ile Rölenin ayar edildiği hat değerleri 154 kV luk Bolu II Gerkonsan ismetpaşa hattına aittir ve aşağıdaki gibi belirlenmiştir.



Şekil.3 : Bolu-Gerkonsan hattı

Empedans değerleri verilen hattın akım ve gerilim transformatörleri oranları ise şöyledir:

Akım Transformatör Oranı (ATO) = 800 A / 5 A  
Gerilim Transformatör Oranı (GTO) = 154 kV / 0.1 kV

Buna göre yapılan hesaplamalar sonucunda röleye bilgisardan DIGSI adlı program ile aktarılan bilgilerden bir bölümü aşağıdaki gibidir.

### Genel-Veriler

Akımlar durumu.....:Hatta doğru  
Sistemin yıldız noktası.....:Doğrudan topraklı  
Nominal gerilim (primer).....:154 kV  
Nominal gerilim (sekonder).....: 100 V  
Nominal akım (primer).....:800 A

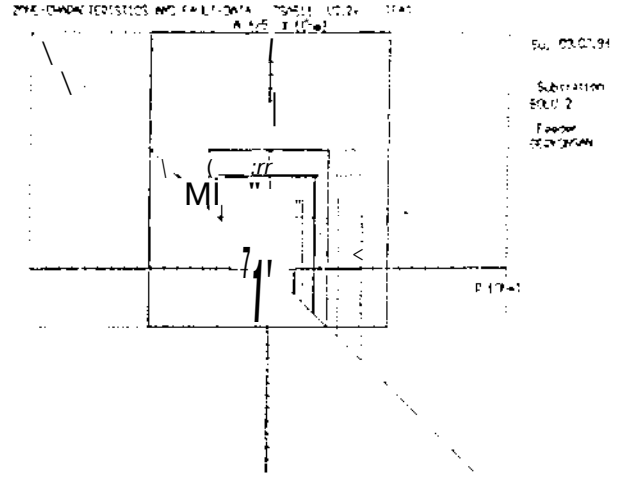
### Mesafe Koruma Kademe Ayarları

| Bölge  | X(Q)     | R(Q) | Re(O) | Zaman (s) | Yön   |
|--------|----------|------|-------|-----------|-------|
| 1.Kad. | 7.96     | 3.98 | 7.96  | 0.00      | ileri |
| 2.Kad. | 14.40    | 7.20 | 14.40 | 0.50      | ileri |
| 3.Kad. | 18.30    | 9.15 | 18.30 | 1.00      | ileri |
| A.M1B  | 10.60    | 5.30 | 10.60 | 0.00      | ileri |
| 4.Kad. | X+A=36.6 |      |       | 2.00      | ileri |
| 5.Kad. | X-A=9.15 |      |       | 2.50      | geri  |

### Arıza yeri tespit ayarları

Hattın reaktansı X(sekonder).....: 0.430  
Oh m/km  
Hattın uzunluğu L.....: 42.1 km

Girilen bu değerlere göre çizilen empedans karakteristiği şekil-4'de verilmektedir.



Şekil-4 Elde edilen empedans karakteristiği

## 8. Girilen Bilgilerin Analizi ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Uygulama sonucunda verilen çeşitli arızalara karşılık röleden alınan arıza bilgileri Tablo-1'de gösterilmektedir. Buradan da görüleceği üzere arıza zamanının ve yerinin(% ve km olarak) tespit edilmektedir. Türkiye'de iletim hatlarında arıza yeri tespiti saatler almaktadır. Bu süre günümüz için kabul edilmez, bir değerdir ve elektriğin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu işe, tüketici açısından kuruma olan güveni olumsuz etkileyen en önemli unsurdur.

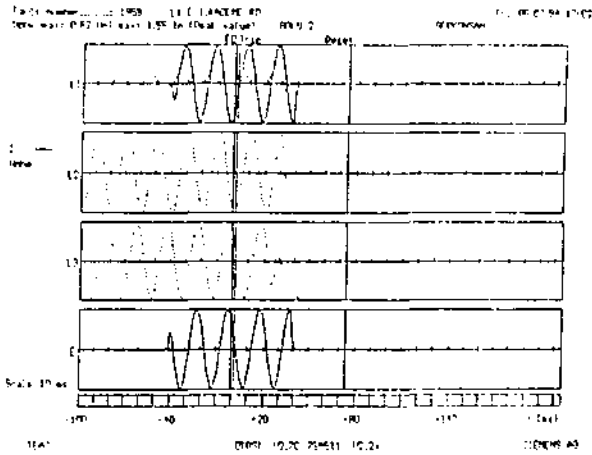
Kullanılan program, elde edilen bilgileri analiz etme özelliğine de sahiptir. Böylece sonuçları değer ve grafiksel olarak görmek mümkün olmaktadır. Verilen çeşitli arızalara karşılık röleden alınan ve program tarafından değerlendirilen arıza bilgileri, faz-toprak, faz-faz arızalarına ait 1.kademe, 2.kademe, 3.kademe, 4.kademe ve geri yönde R, X grafikleri, akım ve gerilim değişimi ve Fourier Analizi grafikleridir. Burada ancak çok az kısmına yer verilmektedir.

Tablo-1 Elde edilen sonuçlar

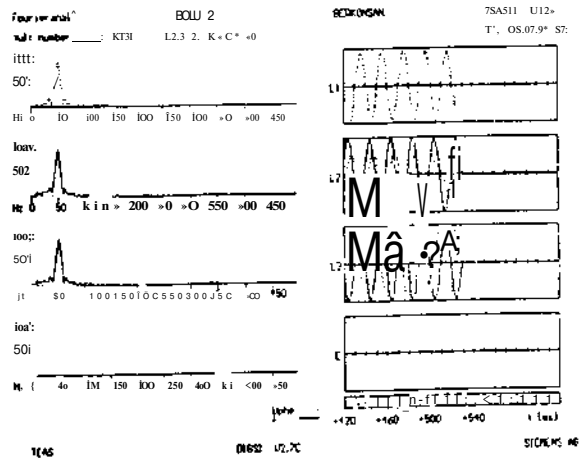
| Arıza tipi   | Ayar zamanı (ms) | Açma zamanı (ms) | Arıza yeri (%) | Arıza yeri (km) |
|--------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|
| faz - toprak | 0.00             | 2                | 44.8           | 18.9            |
| faz - toprak | 500              | 500              | 79.3           | 33.4            |
| faz - toprak | 1000             | 993              | 99.2           | 41.8            |
| faz - toprak | 2000             | 2000             | 151.7          | 63.9            |
| faz - toprak | 2500             | 2503             | -50.3          | -21.2           |
| faz - faz    | 0.00             | 2                | 37.0           | 15.6            |
| faz-faz      | 500              | 439              | 66.5           | 23.0            |
| faz-faz      | 1000             | 1003             | 85.5           | 36.0            |
| faz - faz    | 2000             | 2013             | 152.2          | 64.1            |
| faz-faz      | 2500             | 2510             | -43.4          | -20.4           |

Şekil-5'de faz-toprak 1. kademe arızasına ait çıktı incelendiğinde, arızanın röle tarafından algılanma

(Fault Detection-FD) anı ile açma(Trip) verme anı arasında 2 ms lik bir zaman farkı olduğu görülür. Her ne kadar bir zaman gecikmeyi ifade ediyor ise de klasik rölelerle karşılaştırıldığında mükemmel bir performansı göstermektedir. Röle açıldığından emin olduktan sonra sistemi sıfırlar (Reset). Burada sadece bir faz ve toprak arasında bir arıza olduğu düşünülerek röleye buna göre arıza bilgisi verildiğinden diğer fazlardan akım geçmemektedir. Şekil-6'da Fourier analizi görülmektedir. Arıza durumunda oluşabilecek harmonikler de görmek mümkün olacaktır.



Şekil-5 1.kademe faz-toprak arızası



Şekil-6 2. kademe faz-faz arızası Fourier analizi

Programın yaptığı diğer bir işlem ise Fourier Analizidir. Bilindiği gibi dijital röleye gelen ölçme bilgileri saf sinüs değişimi değildir ve harmonikler içerir. Bu Harmonikler her ne kadar filtrelense de, kısa devre durumunda etkileri ve değerleri daha büyüktür, işte bu amaçla her arıza öncesinde hem de arıza sırasında harmoniklerin durumunu görmek açısından bu analiz enerji sistemleri için gereklidir. Şekil-6'da Fourier analizi görülmektedir. Arıza durumunda oluşabilecek harmonikler de görmek mümkün olacaktır. Şeklin incelenmesinden görüleceği üzere, filtreye rağmen dalgalanma söz konusudur. Temel dalga dışında kalan, örneğin 3. harmoniğin ( 150 Hz) etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülebilir. Diğer arızaların analiz sonuçlarının incelenmesinden de benzer sonuçlar elde edilebilir.

## 9. SONUÇ

Bu çalışmada, uzaktan bilgisayar yardımıyla bir dijital röle tarafından, iletim hattının koruma ve kontrolünün yapılabilirliği ortaya konmaktadır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile de böyle bir korumanın sisteme birçok faydalar sağlayacağı sonucuna varılmaktadır. Bu faydaların biri de arıza yerinin tam olarak tespit edilmesidir. Burada gösterildiği gibi, dijital röle, arıza yerini başarıyla tespit etmektedir.

Enerji iletim hatlarının dijital rölelerle korunması ile arıza yeri hızlı bir şekilde tespit edilmektedir. Böylece arıza hızla giderilmekte, kesinti süreleri azalmakta ve kuruma olan güven artmaktadır.

Her alanda otomasyona gidildiği günümüzde, enerji iletim dağıtım sektöründe otomasyona gidilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Dijital rölelerin sahip olduğu işlevlerin (koruma, ölçme, haberleşme, kontrol, programlama vb.) uzaktan bir bilgisayar ile güvenli iletişim ortamı (fiber optik) içerisinde yapılması bu amacı gerçekleştirmeyi daha kolaylaştıracaktır.

## Kaynaklar

- 1-Phadke, A.G. " Computer Relaying for Power Systems" 1988- New York, USA
- 2-Aras, F. " Enerji iletim Hatlarının Bilgisayar Destekli Dijital Koruması ve Bolu-Gerkoşan Hattına Uygulanması" KOÜ Y.L. Tezi 1996, İZMİT
- 3-Siemens Numerical Line Protection Relay siemens AG.1992, GERMANY
- 4-Novasel, D- Udren, E- Hart, D. and Saha, M. " Fault Location Using Digital Relay Data" IEEE Computer Applications in Power, July 1995

# TOPRAKLAMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANS ANALİZİNDE ARIZA SEVİYESİ KONTROLÜ VE GÜVENLİK KRİTERİ İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR

M. H. HOCAOĞLU

University of Wales, Cardiff

H. GRIFITTHS

A. T. HOCAOĞLU

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

## ABSTRACT

*Since recent developments in computing technology now enable engineers to employ more detailed fault calculation methods, a series of new techniques, which are aimed to represent the network and its components in detail, have been proposed. Existing international standards, however, are still based on hand-calculation approaches. Generally, fault current calculations are required to determine fault current interruption requirements and, in the main, consider three-phase balanced faults. However, fault current calculations are also required to establish the extent and structural design of earthing systems, and in this sense the accurate calculation of single line-to-earth type of fault is required. In this paper, a review of existing earthing standards with respect to their fault current assessment techniques is represented and different fault current calculation techniques are compared on a simple network. In addition, a case study is presented based on an actual system to demonstrate the difference between dynamic and steady-state fault current calculations of earth fault current magnitude. The results show that, magnitude of the short circuit current highly over estimated by steady-state fault current calculation techniques. Also, there is clearly a need to assess dynamic potential rise specifically for systems at 132 kV and above. The consideration of dynamic earth potential rise also leads to an investigation on new dynamic safety criteria which is, presently, based on steady-state rms values.*

## 1. Giriş:

Gelişmekte olan ülkelerde güç sistemleri mühendislerinin karşılaştığı en önemli sorunlardan biri de mevcut sistemin performans ve kapasitesinin simulasyonu ve tespitidir. Özellikle, artan taleple birlikte hızla büyüyen sistemin termal sınırlarının, güvenilirliğinin, stabilitesinin, gerilim ve arıza akımı kapasitesinin ihtiyacı karşılanması en ekonomik yoldan sağlanmalıdır. Sistemin devamlılığı ve en önemlisi müşterinin ihtiyaç ve isteklerinin kesintisiz ve kaliteli bir şekilde karşılanması için bazı simulasyon çalışmalarının belirli aralıklarla veya her ihtiyaç duyulduğunda yapılması gerekmektedir. Arıza seviyesi tespiti genellikle kesici gücü belirlemesi için yapılmaktadır. Ancak, arıza seviyesinin (kısa-devre gücü) belirlenmesi elektrik istasyonlarındaki topraklama sistemlerinin performanslarının tahminleri için de önemlidir.

## 2. Topraklama standartları

Topraklama şebekesi için düzenlenmiş uluslararası ve ulusal standartlar şu şekilde sıralanabilir; BS 7354 [1], ve EA S34 [2], TS 41-24 [3] (İngiltere'de kullanılıyor), IEEE std.80 [4] (Amerikan standart), CENELEC CLC/CTC 112 draft [5] (Avrupa'da geçerli olacak) VDE/DIN 0141 [6] (Alman standart). Bu standartların ilgilendiği en önemli konu topraklama sisteminin empedansı,  $Z_c$ , ile bu sistemden akan akımın,  $I$ , oluşturduğu ve toprak şebekesi etrafında oluşan istenmedik gerilim yükselmeleridir.

$$GPR = I \cdot Z_c \quad 1.$$

Böylece arıza anında oluşacak olan adım (Step) ve dokunma (Touch) gerilimleri hesaplanabilir hale gelir ki bu gerilimler güvenli topraklama şebekesinin temelini oluştururlar. Gerçek hayatta  $I$ , dolayısıyla da GPR (Ground Potential Rise), dinamik bir karakter arzeder ve zamana bağlı olarak bir değişim gösterir. Fakat bu özellik hiç bir standart tarafından öngörülmemiştir. Hatta, özellikle İngiltere'de geçerli olan standartlarda arıza akımının nasıl hesaplanacağı yeterince açık değildir BS 7354 akımla ilgili herhangi bir yorum yapmazken, ER S34 arıza akımının dağıtımını çok güzel incelediği halde akımın kendisi ile ilgili sadece herhangi bir simetrik bileşen metodunu tavsiye eder. VDE/DIN 0141 ve CENELEC CLC/CTC 112 draft ise IEC 909 [7] da tarif edilmiş özel bir akıma (Initial symmetrical current) atıfta bulunurlar.

## 3. Elektrik Şokuna Karşı Emniyet Kriteri

İlave olarak, elektrik çarpması ve elektriksel şoka karşı koruma alanında yakın zamanlara kadar yapılan çalışmalar IEC tarafından standartlaştırılarak rapor haline getirildi (IEC 479) [8] Bu standartta çarpılma akımının zamana bağlılığı önemle vurgulanmakta ve bir Kuzey Amerika pratiği olan Daizel'in lineerleştirilmiş formülleri yerine 'Z' şekline benzer bir eğri tavsiye edilmektedir. Ayrıca IEC 479'da detaylı bir şekilde incelenen insan bedeninin direncinin gerilime bağlılığı topraklama uygulamalarında genellikle ihmal edilmektedir. Her ne kadar bu iki standartta da güvenli akım sınırlarının tespitinde zamana bağlılık kabul edilmiş olsa da IEEE std.80 haricindeki topraklama standartları bu özelliği dikkate almamaktadırlar.

## 4. Arıza Akımı Hesaplama Metotları

Kısa devre akımlarını hesaplamakta kullanılan uluslararası ve ulusal standartlar topraklama standartlarından farklıdır, bunlar şu şekilde sıralanabilirler. IEC 909 (Uluslararası elektroteknik komitesi, genellikle Avrupa'da



geçerli), IEEE/ANSI (Kuzey Amerika'da kullanılıyor) [9], BS 65865 (IEC 909 in aynısı) ve Electricity Association tarafından hazırlanan ER 74 (İngiltere) [10]. Bu standartlarda arızanın yerine ve ilgi konusu akım değerine göre anlatılan metotlarla anıza akımının değeri hesaplanabilir. Genellikle üç değişik akım değeri hesaplanmaktadır. Bunlar; (i) *Başlangıç anı akımı* (The initial symmetrical current), (ii) *Temizlenme akımı* (Contact parting or breaking current), (iii) *Tepe değeri* (Peak short circuit-current).

Bu hesaplamalar için standartlar sistemde kullanılan cihazlarla alakalı olarak bazı yaklaşık kabuller yapar; tabiidir ki bu kabuller hesaplanan değerlerin hassaslığını azaltır. Gösterilmiştir ki [11, 12, 13, 14] bu standartlar, sonuncusu dışında (ER G74), elle hesaplamaya dayalı, yaklaşık ve hayli konservatif dolayısıyla kötümser -olandan yüksek- sonuç üreten yaklaşımlardır.

Kısa-devrenin ilk anlarında arıza akımının değerinin, arızanın geç periyodlarına göre hayli yüksek olduğu bilinmektedir. Bu olayın, temelde, sistemdeki senkron makinalardan kaynaklanmakta olduğu söylenebilir. Şaşırtıcıdır ki, IEC 909 akımdaki bu azalmayı üç fazlı anıza için gayet sıhhatli bir biçimde saptamasına rağmen tek faz-toprak arızası için öngörmemiştir.

Son yularda, hesap makinaları ve hesap araçlarında ki hızlı gelişmeler neticesinde daha detaylı anıza hesaplama metotları ortaya çıkmaya başladı. Bu metotlardan bir kısmı [15] sadece asimetrik anıza akımının hesaplanmasını hedef alırken bir kısmı sadece üç fazlı dengeli anıza alakanmaktadır [16]. Son olarak, detaylı bir senkron makina modeli de içeren ve her tip anıza için geçerli olduğu iddia edilen bir metod Halpin et al. [17,18] tarafından teklif edildi. Fakat, yukarıda verilen referanslarda tek faz-toprak arızası ile ilgili herhangi bir sonuç verilmemiştir. Yukarıdakilere ilave olarak, ER G74 bilgisayara dayalı bir metod tavsiye etmekte ve detaylı bir makina modeli de içermekte olan bir teknik kullanılmaktadır.

### 5. Arıza Akımı Hesabı İçin Makina Modelleri

Bu çalışmada dört değişik makina modeli incelendi.

a) Standart IEC 909 hesap tekniği: Bu standartta senkron makinalar, pozitif sıra devresi için sabit bir gerilim kaynağının arkasında sabit bir empedansla simule edilmişlerdir. Dengesiz kısa-devreler için de Fortesque dönüşümleri tavsiye edilmiştir. IEC 909, d-eksen sub-transient reaktansı anızanın yerine ve makinanın tipine bağlı olarak çeşitli çarpanlar kullanarak, pozitif sıra için kullanılmaktadır. Dengesiz kısa-devreler için ise makinanın negatif ve sıfır sıra empedansları q-eksen reaktansları da dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Makinanın eşdeğer devreleri şekil 1 de sunulmuştur.

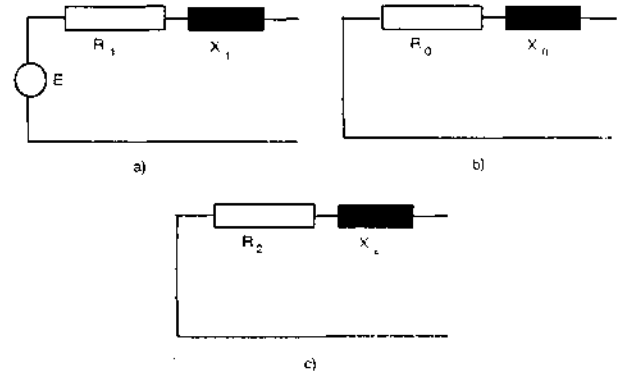


fig- 1 Standartlar için senkron makina modelleri, a) pozitif, b) sıfır, c) negatif sıra devreleri.

b) ER G74, Basitleştirilmiş Model: ER G74 bilgisayara dayalı bir yaklaşım biçiminde ve makina admitansı için aşağıdaki denklemi önermektedir.

$$\frac{1}{X_{a1}} = \frac{1}{X} + \frac{f}{LV} + \frac{H}{X} \exp(-t/T) U \left[ \frac{1}{X''} \right] \exp(-I''/T'') \quad (2)$$

Bu modelde, makinanın pozitif sıra eşdeğer devresi /amana bağlı bir denklemle ifade edilmektedir. Fakat, şurası bir gerçektir ki; q-eksen damper sargıları arıza akımındaki azalma üzerinde büyük bir etkiye sahiptir dolayısıyla akımdaki azalma bu modelde tam anlamıyla simule edilmiş değildir.

c) Tam Dinamik Model (FALCON): Arıza akımı hesabı için tam dinamik hesap teknikleride kullanılabilir. Bu durumda senkron makinalar enine ve toyuna eksen eşdeğer devreler ile modellenmektedirler. Bu modellerin karmaşıklığı eldeki dataya ve hesaplama araçlarının kabiliyetlerine bağlıdır. Yazında çok değişik seviyelerde modellerle karşılaşmak mümkündür. Ancak, bu modeller genellikle sistem kararlılığı ile alakalı çalışmalarda kullanılmaktadır [19]. Bu modellerden en meşhurlarından birisi aşağıdaki şekilde sunulmuştur.

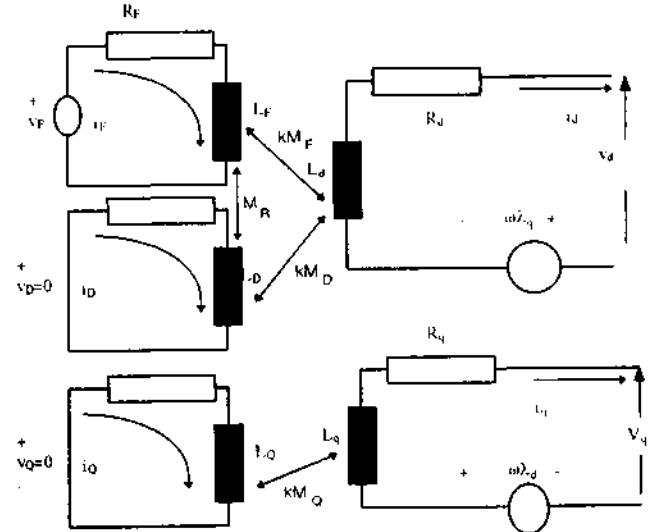


fig- 2 FALCON için senkron makina modeli.

Bu modelde makina d-eksende iki, q-eksende tek sargı düşünülerek simule edilmiştir (*model 2.1*). Bu şekildeki gösterim 'state of art model' olarak ismi mi endirilmekte ve bir standart olarak kabul edilmektedir [20]. Bu model CESI (Centro Elettrotecnico Sperimentale italiano) nin programı FALCON (Full Automatic Logic for Computation of Network) [21] tarafından da kullanılmaktadır.

d) Tanı Dinamik Model (EMTP): Bir başka tam dinamik model de EMTP (Electromagnetic Transient Program)'ın ATP (Alternative Transient Program) versiyonuna [22, 23] ait olan TYPE 59 senkron makinadır. Bu modelde her iki eksende iki devre ile modellenmiştir. Bu gösterim *model 2.1* olarak bilinmektedir.

## 6. örnekler

### Örnek 1

Bu çalışmada, tek faz toprak kısa devre arıza akımları bu bildiri de anlatılan dört değişik senkron makina modeli kullanılarak şekil 3 de verilen basit yatay devre için hesaplandı. Böylece değişik gösterimlerin arıza akımına etkisi incelendi.

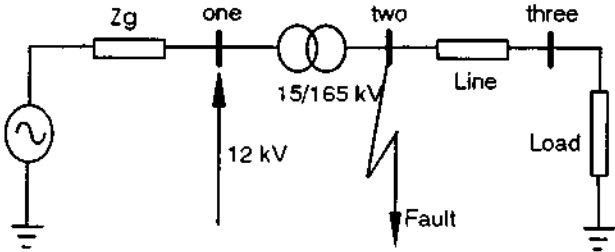


fig- 3 Birinci örnek devre.

Şekilde sunulan devre bir turbo alternatör bir yükseltici transformatör on kilometre uzunluğunda bir hat ve pasif bir yükten oluşmuştur. Tek faz-toprak kısa-devresi yükseltici transformatörün yüksek gerilim tarafına uygulanmış ve on sayıkl (200 ms) sonra temizlenmiştir. Devrenin alternatör dışında kalan tüm elemanları EMTP dışındaki tüm çözümler için simetrik bileşenler tekniği ile modellenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

**Tablo 1. Birinci örnek devreye ait sonuçlar (kA).**

| Modeller               | Başlangıç akımı | Temizlenme akını | Tepe değeri |
|------------------------|-----------------|------------------|-------------|
| IEC 909                | 3.3             | 3.3              | 8.6         |
| Basitleştirilmiş model | 2.84            | 2.44             | 5.82        |
| FALCON                 | 2.85            | 2.29             | N/A         |
| EMTP                   | 2.83            | 2.33             | 6.62        |

EMTP zaman domeninde sonuç üretmekte ve bu sonuç belli bir miktar doğru akım bileşeni içermektedir. Bu sebeble, CESI ve IEC 909 hesaplamalarıyla karşılaştırabilmek için EMTP sonuçları Fourier

transformasyonu yardımıyla harmonik analizine tabii tutuldu ve sonuçlar bu şekilde tablo 1 de sunuldu. Tablo 1 den açıkça görülebileceği gibi senkron makina modeli seçimi arıza akımının büyüklüğünün kestirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Yine dikkat çekicidir ki, akımdaki azalmayı hesaba katan modellerde akımın değeri gözle görülür bir biçimde azalmaktadır. Başlangıç akımı, şayet diğer üç dinamik metotla mukayese edersek standart hesap tekniği ile çok fazla bir şekilde kestirilmiştir. Dinamik metotlar bu değeri birbirine çok yakın olarak hesaplamışlardır. Diğer taraftan, tepe değeri ve temizlenme akımı için farklı hesap tekniklerinin ürettiği farklı sonuçlar dikkat çekicidir. Modellerin etkisi en belirgin bir biçimde bu değerlerde göze çarpmaktadır.

### örnek 2

Bu çalışmada, iki değişik model, IEC 909 ve CESI'nin dinamik modeli, 100 baralı gerçek bir sistem üzerine uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gerçek sistem İngiltere'de iletim seviyesi olan 400 kV tan dağıtım seviyesi olan 11 kV ye kadar olan beş değişik gerilim seviyesini kapsamakta ve bir çok yerel üretim merkezini barındırmaktadır. Tek faz-toprak kısa-devresi çeşitli gerilim seviyelerindeki düğüm noktalarına uygulanmıştır. Arıza süresi karşılaştırma yapabilmek için tüm gerilim seviyeleri için sabit (200 ms) tutulmuştur.

Başlangıç akımları IEC 909 ve FALCON teknikleri ile temizlenme akımı ise sadece FALCON ile hesaplanmış ve aşağıdaki şekil 4 te sunulmuştur.

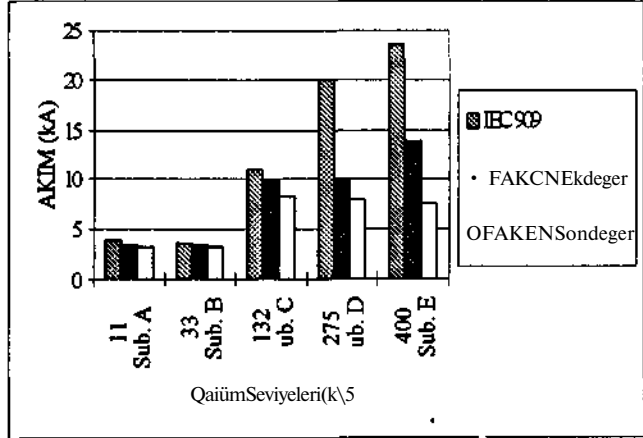


fig- 4 Gerçek bir sisteme ait arıza akımları.

Yukardaki şekilde çeşitli gerilim seviyelerine ait arıza akımları verilmiştir, özellikle 132 kV ve daha yüksek gerilimler için kestirilen akımlarda çok büyük farklar göze çarpmakta. Aynı şekilde, temizlenme akımları 132 kV ve daha yüksek gerilimler için hızla düşmektedir. Sonuçlar 132 kV ve daha yüksek gerilimler için topraklama sistemlerindeki elektrikli güvenlik analizinde dinamik arıza akımı hesap tekniklerinin ve dolayısı ile dinamik toprak gerilimi (GPR) hesabının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

## 7. Sonuçlar

1. Bir topraklama sisteminin performansının ve elektriksel şokun etkisinde kalabileceklerin güvenliğinin en ekonomik bir biçimde sağlanması için detaylı sistem modelleri ve dinamik arıza akımı hesap yöntemleri kullanılmalıdır. Bu yaklaşımın dizayn aşamasında uygulanması da daha ekonomik bir topraklama sistemi uygulanmasını sağlayacaktır.
2. IEC 479 da yer alan fakat standartlar tarafından doğrudan kullanılmayan güvenlik kriterlerinin kullanılması da daha kesin çok senaryolarının belirlenmesini sağlayacaktır.
3. Dinamik arıza akımı hesaplaması bizi dinamik GPR (Ground Potential Rise) hesaplamasına taşıyacaktır. Fakat, çok emniyet kriterleri hala sabit akım değerleri için geçerli olduğundan yeni ve dinamik bir emniyet kriteri geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

### Ekler

Birinci örnekte kullanılan data.

Senkron makina:

160 MVA, 15 kV,  $x''_d=0.185$ ,  $'_x d=0.245$ ,  $x_d=1.7$ ,  $x''_q=0.185$ ,  $'_x q=0.35$ ,  $x_q=1.64$ ,  $T''_{d0}=0.033$ ,  $T'_{d0}=5.9$ ,  $T''_{q0}=0.076$ ,  $T_{q0}=0.54$ ,  $r_a=0.0031$ ,  $r_2=0.016$ ,  $x_2=0.185$ ,  $\cos\phi=0.85$ .

Transformatör: 150 MVA, 15/165 KV, R=%1, X=%4.9

Hat: 0.285+J0.815 ohm/km

Yk: 100 MVA  $\cos\phi=0.85$

### Referanslar

1. BS 7354:1990, Code of Practice for Design of High-Voltage Open-Terminal Stations, BSI Standards.
2. EA Engineering Recommendation S.34:1986, A Guide for Assessing the Rise of Earth Potential at Substation Sites.
3. EA Technical Specification 41-24:1992 (Issued 1994), Guidelines for Testing and Maintenance of Main Earthing Systems in Substations.
4. ANSI/IEEE Std 80:1986, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding
5. CLC TC/112 Chapter 9: Earthing Systems (June 1993 Draft).
6. DİN VDE 0141:1989 (Technical Help to Exporters Translations) Earthing Systems for Power Installations with Rated Voltages Above 1 kV.
7. International Electrotechnic Commission, Short-Circuit Calculation in Three Phase ac Systems, IEC 909, IEC publication, 1988 First edition.
8. International Electrotechnic Commission, Guide to Effects of current on human beings and livestock, IEC 479, IEC publication, 1994.
9. ANSI/IEEE Std 242-1986, IEEE Recommended Practice for Protection and Co-ordination of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Buff Book.

10. EA Engineering Recommendation G74, Procedure to Meet the Requirements of IEC 909 for the Calculation of Short-Circuit Currents in Three Phase ac Systems, London 1992.

11. Dunki-Jacobs J. R., Lam B. P., and Stratford R. P., A Comparison of ANSI-Based and Dynamically Rigorous Short-Circuit Current Calculation Procedures, IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 24, No. 6, pp. 1180-1194, Nov./Dec. 1988.

12. Roennspiess O. E., and Efthymiadis A. E., A Comparison of Static and Dynamic Short-Circuit Analysis Procedures, IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 26, No. 3, pp. 463-475, May/June 1990.

13. Brizzi A., Massucco S., Silvestri A. and Zaninelli D., Short-Circuit Current Calculation: A Comparison Between Methods of IEC and ANSI Standards Using Dynamic Simulation as Reference, IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 30, No. 4, pp. 1099-1106, July/Aug. 1994.

14. Castelli-Dezza F., Silvestri A. and Zaninelli D., The IEC 909 Standard and Dynamic Simulation of Short-Circuit Currents, ETEP, Vol. 4, No. 3, pp. 213-221, May/June 1994.

15. Morched A. S., Tench G. A. and Kundur P., Accurate Calculation of Asymmetrical Fault Currents in Complex Power Systems, IEEE Trans. on PAS, Vol. 100, No. 8, pp. 3875-3790, Aug. 1981.

16. Giuseppe P., A New Approach to Calculate the Decaying AC Contributions to Short-Circuit: The "characteristics" Current Method, IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 31, No. 1, pp. 214-221, Jan./Feb. 1995.

17. Halpin S. M., Gross C. A. and Grigsby L. L., An Improved Method of Including Detailed Synchronous Machine Representations in Large Power System Models for Fault Analysis, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 8, No. 4, pp. 719-725, Dec. 1993.

18. Halpin S. M., Grigsby L. L., Gross C. A., and Nelms R. M., An Improved Fault Analysis Algorithm for Unbalanced Multi-Phase Power Distribution Systems, IEEE Trans. on PWD., Vol. 9, No. 3, pp. 1332-1338, July 1994.

19. Kundur P. and P. L. Dandeno, Implementation of Advanced Generator Models into Power System Stability Programs, IEEE Trans. on PAS, vol.102 No. 7, July 1983.

20. Dandeno P. L. and IEEE Task Force, Current Usage & Suggested Practices in Power System Stability Simulations for Synchronous Machines, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 1 No. 1, pp. 77-93, March 1986.

21. Babuder R. CESI's Reference Manual, 1993

22. Leuven EMTP Center, Alternative Transients Program Rule Book, 1987

23. Dommel H.W., Electromagnetic Transients Program Reference Manual (EMTP Theory Book), Bonneville Power Administration, 1986

# DAĞITIM OTOMASYONU UYGULAMALARI İÇİN TELEFON ŞEBEKESİNİ KULLANAN HİBRİD HABERLEŞME SİSTEMİ

Hasan Altınoluk  
Elektrik ve Elektronik Müh. Böl.  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
06531 Ankara

Ayhan Büyüksemerci      Nezih Güven  
TÜBİTAK-BİLTEN  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
06531 Ankara

**Abstract:** *Communication mediums play an essential role for the communication needs of electric distribution automation systems. In this work, a feasibility study has been performed for the possible main and back up communication mediums to be used in distribution netv/orks in Turkey and then hybrid communication configurations based on telephone network and fiber optic network have been suggested. Communication interface units have been developed by using 1200/2400 bps modem chips and microcontroller. Design of the units is based on open system architecture to realize a powerful and expandable system.*

## GİRİŞ

Günümüzde, elektrik dağıtım sistemlerinin kalitesini artırmak ve dağıtım sisteminde oluşacak arızalardan kaynaklanan enerji kesintilerinin sürelerini düşürmek bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bugün klasik yöntemler ile, orta gerilim dağıtım fiderleri üzerinde oluşan arızanın yerinin tesbiti, izole edilmesi ve enerjinin tekrar verilmesi ortalama 2-4 saat alabilmektedir. BİLTEN tarafından 1994 yılında Master Proje çalışmalarında İstanbul için önerilen ve TEDAŞ tarafından diğer büyük şehirlerimiz için de kabul edilen prensibe göre dağıtımda kullanılacak tek OG seviyesi olarak 34.5 kV seçilmiştir. Bu gerilim seviyesinde yapılacak dağıtımda arızanın yerinin tesbiti ve izolasyonunun klasik yöntemlerle çok daha uzun süreceği açıktır. Bu sorunu gidermek ve de şebekenin uzaktan (bir merkezden) gözlenmesini ve kontrolünü sağlamak amacı ile, BİLTEN tarafından geliştirilen Dağıtım Otomasyonu Sistemi (TÜDOSİS) arızanın yerinin tesbiti ve izolasyonunu otomatik olarak dakikalar mertebesinde gerçekleştirebilmektedir. Bu sistem, mevcut durumda, iletişim ortamı olarak fiber optik kabloları kullanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, fiber optik iletişim ortamına ilaveten, telefon şebekesinin, ana veya yedek iletişim ortamı olarak, söz konusu fider

otomasyonu sistemine entegre edilebilmesi için haberleşme üniteleri geliştirmektir.

## DAĞITIM OTOMASYONU HABERLEŞME ORTAMLARI

Elektrik dağıtım sistemlerinin otomasyonunda, iletişim ortamlarının rolü hayati önem taşır. Seçilen iletişim ortamı, her türlü koşulda çalışabilen, dağıtım otomasyonunun şimdiki ve gelecekte ortaya çıkabilecek haberleşme ihtiyaçlarını karşılayabilecek nitelikte olmalıdır.

Dağıtım otomasyonunda kullanılan haberleşme sistemlerinin yapısı, genelde, hiyerarşik seviyelerden oluşur. Böylece tüm şebekedeki kontrol ve veri toplama işlevlerinin tek bir merkezden yönetilmesi sağlanır. Klasik dağıtım otomasyonlarında kontrol ve veri toplama işlevleri 'Polling Approach' adı verilen yöntemle yapılır. Bu yöntemde, dağıtım şebekesinde yer alan her haberleşme birimi, çevresinde durum değişikliği sezsin yada sezmesin, bir üst haberleşme birimi tarafından soruşturulur. Polling Approach yöntemi, sağlıklı çalışmakla beraber haberleşme sisteminin gereksiz yere yüklenmesine neden olur. Dağıtım otomasyonunda kullanılan yeni yöntem 'Interrupt Driven Approach' yöntemidir. Bu yöntemde haberleşme alt birimleri ancak durum değişikliği sezdiklerinde ya da yukarıdaki seviyelerden kontrol bilgisi gönderildiği zaman üst birimlere bilgi akışı sağlarlar. Interrupt Driven Approach yöntemi, Polling Approach yöntemine göre haberleşme ortamını daha az yükler ve dağıtım sisteminin gerçek zamanda izlenmesini daha sağlıklı olarak gerçekleştirir. Bu çalışmada önerilen iletişim konfigürasyonlarında Interrupt Driven Approach yöntemi kullanılmıştır.

Bugün varolan teknolojilerle dağıtım otomasyonunda kullanılabilecek çok çeşitli haberleşme ortamları mevcuttur. Türkiye şartları göz önüne alınarak,

dağıtım otomasyonunda kullanılabilir, aşağıdaki iletişim alternatifleri belirlenmiştir:

- Radyo sistemleri
- Kiralık telefon hatları
- Paket anahtarlama data şebekeleri
- Aramalı telefon hatları
- Kablo TV sistemi
- GSM sistemi
- Uydu sistemleri
- Fiber optik (F/O) sistemler

Bu alternatiflerin her biri teknik ve ekonomik açılarından incelenmiş, veri iletim kapasiteleri, maliyetleri, büyük şehirlerde kurulacak dağıtım otomasyonu sistemlerine uygunlukları, avantaj ve dezavantajları irdelenmiş, yapılan çalışmalar ışığında, F/O sistemi ve telefon şebekesinin ortak kullanımından oluşan hibrid haberleşme sisteminin en uygun çözüm olduğu sonucuna varılmıştır *İZİ*.

#### HABERLEŞME SİSTEMİ KONFIGURASYONLARI

Dağıtım otomasyonu uygulamaları için kullanılabilir haberleşme ortamlarında, veri iletim kapasitesi ve veri hızı yönünden en uygun ortam F/O sistemidir. Yeni kurulacak dağıtım şebekelerinde haberleşme ortamının F/O olarak seçilmesi, maliyet açısından uygun olabilmektedir ve dağıtım otomasyonunun gelecekte ortaya çıkabilecek ihtiyaçlarını en üst seviyede karşılayabilmektedir. Ancak bilgi akışının yoğun olmadığı dağıtım otomasyonlarında ya da şehir merkezlerinde yer alan dağıtım şebekelerinin dağıtım otomasyonuna dahil edilmesinde F/O sisteminin kullanılması maliyet açısından son derece pahalı olabilir. Büyük şehirlerdeki dağıtım şebekesinin bir anda yenilenmesi mümkün görülmemektedir. Bu durumda varolan şebekeyi dağıtım otomasyonuna dahil edebilmek için haberleşme ortamı olarak telefon hatları seçilebilir. Telefon hatları dağıtım otomasyonunun bilgi akışının yoğun olmadığı yerlerde de kullanılabilir. Aramalı telefon hatları dağıtım otomasyonu haberleşme ortamı için ek bir yatırım gerektirmediğinden dolayı tercih sebebi olabilir.

Bu çalışmada, dağıtım otomasyonu sistemlerinde kullanılmak üzere F/O sistemi ve telefon şebekesinden oluşan 2 haberleşme konfigürasyonu önerilmiştir. Bu konfigürasyonlar şu şekilde özetlenebilir:

- 1) Aramalı telefon hatları F/O sistemine dayalı haberleşme ortamını genişletmekte kullanılabilir.
- 2) Aramalı telefon hatları F/O sisteminden oluşan haberleşme ortamının üst seviyelerinde yedek iletişim ortamı olarak kullanılabilir.

#### KONFIGURASYON 1

Bu konfigürasyonda haberleşme ortamı fiber optik ve telefon hatlarından oluşur. Telefon hatları haberleşme hiyerarşisinin alt katmanlarında kullanılır. Burada amaç, F/O sisteminin kullanılmasının pahalı olduğu yerlerde telefon şebekesinden yararlanarak dağıtım otomasyonunu genişletmektir. Bu konfigürasyon Şekil 1' de gösterilmiştir. Telefon şebekesi şekilde kesik çizgilerle belirtilmiştir.

Haberleşme ortamında yer alan F/O sistemi, hiyerarşik yapıya sahiptir. Hiyerarşik yapı 4 seviyeden oluşur *İM*. Bunlar yukarıdan aşağıya,

- a) Kontrol merkezi terminal ünitesi (CCTU)
- b) indirici merkez terminal ünitesi (STU)
- c) Hat başı terminal ünitesi (LETU)
- d) Dağıtım trafosu terminal ünitesi (DTTU)

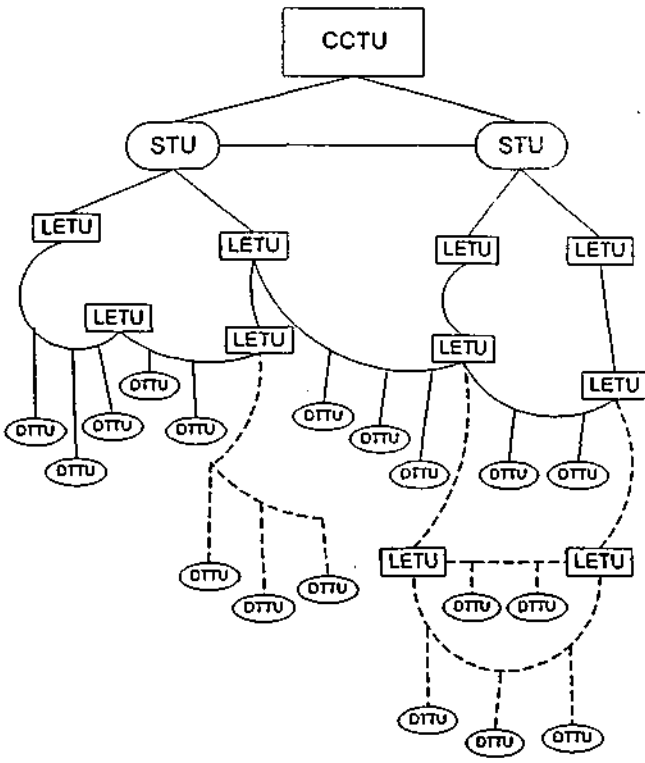
Burada DTTU'lar tarafından sezilen durum değişikliği DTTU'ların her iki tarafında bulunan LETU'lara iletilir. LETU'lar gelen bilgileri işler, gerekli işlevleri yerine getirir ve bu bilgileri STU'lara geçirirler. STU'lar belli sayıda LETU'ların kontrolünden sorumludurlar ve LETU'lardan gelen bilgilerin-eCTU'ya-aletanını ya tla-CCTU'dan gelen bilgilerin LETU'lara aktarımını sağlarlar. En üst seviyede CCTU yer alır. Kontrol merkezi CCTU aracılığı ile alt katmanlara kontrol amaçlı bilgi gönderebilir ve alt seviyelerden gelen durum bilgilerini değerlendirir.

Telefon şebekesinde ise hiyerarşik yapı aynen F/O sistemindeki gibidir. Ancak burada sadece DTTU'lar ve LETU'lar bulunur. Telefon hatlarının bulunduğu dağıtım otomasyonunun kontrol ve konfigürasyonu F/O sisteminde yer alan kontrol merkezi tarafından yapılır.

Hibrid haberleşme ortamında görev açısından üç farklı LETU ve 2 farklı DTTU bulunur. Bunlar;

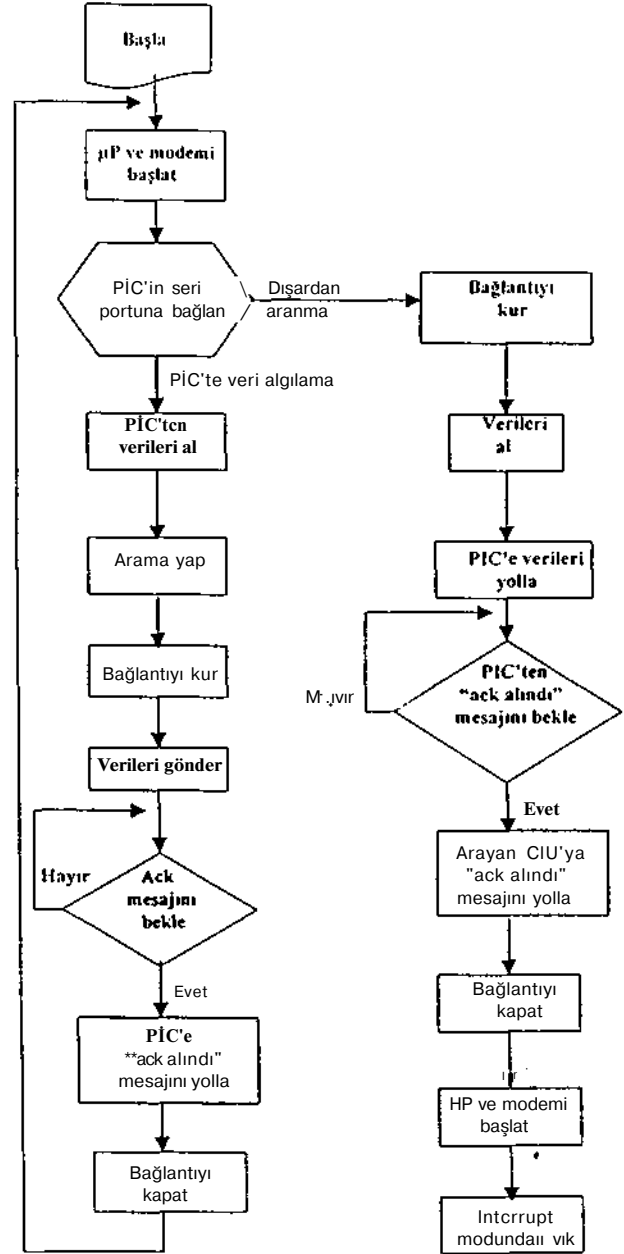
- a) Sadece fiber optik iletişime olanak tanıyan LETU'lar,
- b) Hem fiber optik hem de telefon şebekesine hizmet veren köprü LETU'lar,
- c) Sadece telefon şebekesine hizmet veren LETU'lar,
- d) Fiber optik iletişimine olanak tanıyan DTTU'lar,
- e) Telefon şebekesine hizmet verebilen DTTU'lar.

F/O sisteminde yer alan köprü LETU'laria telefon şebekesinde yer alan her DTTU ve LETU'da, telefon hatları üzerinden iletişimi sağlayacak bir haberleşme birimi bulunur. Telefon şebekesi içinde yer alan DTTU ve LETU'ların birbirlerine veya F/O sistemine bağlanmaları bu haberleşme birimleri ile gerçekleşir. DTTU' lar telefon şebekesinden dolayı bilgi

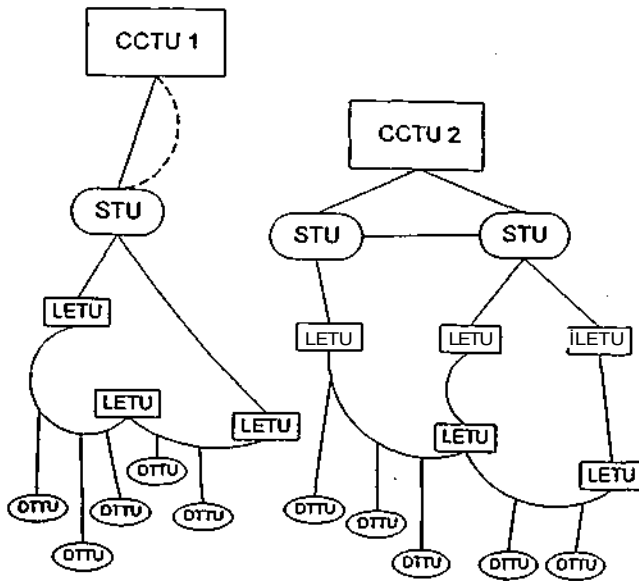


CCTU: Kontrol Merkezi Terminal Ünitesi  
 STU: İndirici Merkez Terminal Ünitesi  
 LETU: Hat-Başı Terminal Ünitesi  
 DTTU: Dağıtım Trafosu Terminal Ünitesi  
 —————Fiber Optik Şebeke  
 .....Telefon Şebekesi

Şekil 1. Habêrleşme Konfigurasyonu 1.



Şekil 3. Habêrleşme Birimi Çalışma Algoritması.



Şekil 2. Habêrleşme Konfigurasyonu 2.

aktarmaları gereken LETU ile bağlantı kuramazlarsa bir diğer LETU<sup>1</sup> yu arayıp bağlantı kurabilir ve veri aktarımını gerçekleştirirler.

## KONFIGURASYON 2

Bu konfigürasyonda, dağıtım otomasyonu haberleşme ortamı, temel olarak F/O sisteminden oluşur. Telefon şebekesi F/O haberleşme ortamının üst katmanlarında yedek iletişim ortamı olarak kullanılabilir. Kompleks dağıtım otomasyonu uygulamalarında, kontrol merkezlerinden bir tanesi alt seviyelere tek bir bağlantı ile bağlanmış olabilir. Herhangi bir şekilde bu hattın kopması kontrol merkezinin haberleşme sisteminden devre dışı kalmasına yol açar. Bu durumun engellenebilmesi için telefon hatları yedek iletişim ortamı olarak kullanılabilir. Konfigürasyonun yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Haberleşme ortamını oluşturan F/O sisteminin yapısı 1'inci konfigürasyondaki yapının aynıdır. Ancak, burada, tek bağlantıya sahip CCTU 1 ve bağlantı kurduğu STU, telefon hatları üzerinde çalışan haberleşme birimine sahiptir. Herhangi bir şekilde CCTU1 ve STU arasındaki bağlantı koptuğu zaman haberleşme birimleri telefon hattı üzerinden bağlantıyı gerçekleştirir ve veri akışını sağlarlar.

### HABERLEŞME BİRİMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Önerilen hibrid konfigürasyonlarda yer alan haberleşme birimleri, temelde, TUDOSIS mimarisi kapsamındaki terminal birimleri (DTTU, LETU, STU ve CCTU) içinde yer alır ve 7 katmanlı OSI modelinin fiziksel seviyesini oluştururlar. Haberleşme birimleri, fiziksel seviyeden 'Data Link Layer' denilen OSI katmanına bilgi gönderirken veya bu katmandan bilgi alırken, dağıtım otomasyonu iletişiminde yararlanılan Distributed Network Protocol 'ünü kullanırlar 14/. Fiziksel katmanda kendi aralarındaki haberleşme için V22, V22bis, V32 gibi fiziksel seviye protokollerinden yararlanırlar.

DTTU lar herhangi bir durum değişikliği sezindiği zaman üzerinde yer alan haberleşme birimine bu bilgiyi gönderir. Haberleşme birimi bu bilgiyi alır ve telefon hattını kullanarak aktif olan LETU'daki haberleşme birimine ulaştırır. LETU'daki haberleşme birimi bilgiyi alır ve bir diğer birime iletir. Bu esnada, iletildiği birimden gelecek -bilgi alındı- mesajını bekler. Haberleşme birimi, bilgi alındı mesajını alır almaz durum değişikliği bilgisini kendisine gönderen DTTU'daki haberleşme birimine bu mesajı iletir. DTTU'daki haberleşme birimide gelen -bilgi alındı- mesajını DTTU' nun kendisine durum değişikliğini gönderen ünitesine ulaştırır. Böylece mesaj transferi tamamlanmış olur.

Haberleşme birimi, temelde, 8051 mikro işlemcisi ve V22/V22bis protokolünde iletişim yapabilen modem.

entegresinden (Silicon Systems SSI73K2242) oluşmakta ve 1200/2400 bps ful duplex modunda haberleşme yapmaktadır. Haberleşme biriminin çalışma prensibini gösteren algoritma Şekil 3'te verilmiştir. Haberleşme birimi normal konumda OSI modelinin üst katmanlarını oluşturan PIC mikro işlemcisinin seri portuna bağlıdır ve burada beklemektedir. Eğer bu esnada, PIC mikro işlemcisinden gelen bir bilgiyi farkedirse, bilgiyi alır, gerekli aramayı yapar ve telefon hattı üzerinden mesajı ilgili birime gönderir. Daha sonra karşı taraftan gelecek -bilgi alındı- mesajını bekler. Mesajı alır almaz bu bilgiyi PIC mikro işlemcisine gönderir, telefon bağlantısını kapatır ve tekrar PIC ten bilgi beklemeye başlar.

Eğer haberleşme birimi, kendisinin arandığını farkedirse, bu durumda telefon bağlantısını kurar, karşı tarafın gönderdiği mesajı alır ve bunu PIC mikro işlemcisine gönderir. PIC'ten gelecek -bilgi alındı- mesajını bekler. Mesajı alınca bilgiyi kendisine arayan haberleşme birimine gönderir. Daha sonra telefon hattını kapatır ve tekrar PIC 'ten bilgi beklemeye başlar.

Geliştirilen haberleşme birimleri laboratuvar ortamında değişik -testlerden -geçirilmiş -ve -performansları tatminkar bulunmuştur.

### SONUÇLAR

Bu çalışmada, dağıtım otomasyonu uygulamalarında kullanılabilecek F/O kablo ve aramalı telefon hatlarından oluşan haberleşme konfigürasyonları önerilmiştir. Önerilen konfigürasyonlarda kullanılmak üzere geliştirilen ve telefon hatlarında işleyen bir cihazın çalışma prensipleri açıklanmıştır. Önerilen konfigürasyonlar işletilr merkezlerindeki dağıtım şebekelerinin fider otomasyonuna dahil edilmesinde kolaylıkla kullanılabilirler. Geliştirilen haberleşme birimi, esnek olup OSI modelinde fiziksel katmanı oluşturmasından dolayı her türlü haberleşme ortamına ikinci bir ortam olarak telefon hatlarının entegre edilmesini sağlayabilmektedir.

### KAYNAKLAR

1. "Tudosis Dağıtım Otomasyonu Sistemi Seminer Notları", Tübitak Bilten, 1995.
2. "Fundamentals of Supervisory Systems", IEEE Tutorial Course, 1991.
3. Altınoluk H., *Implementation of a Communication System For Distribution Automation Based On Telephone Network*, M.S. Thesis, METU, Aralık 1996.
4. Distributed Network Protocol, Harris Controls Division, Ver. 3, Basic Document Set.

# ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ İÇİN FİDER OTOMASYONU SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI

N. ÖZAY, N. GÜVEN  
Elektrik ve Elektronik Müh. Böl.  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
06531 Ankara

A. BÜYÜKSEMERÇİ, E. ŞAHİN, M. F. YAREN  
TÜBİTAK-BİLTEN  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
06531 Ankara

## Abstract

*This paper presents the functions and technical characteristics of the feeder automation system, TUDOSIS, designed and developed for the medium voltage distribution networks by TÜBİTAK-BİLTEN. This system is based on the highest communication, softv/are and hardware technologies. These technologies are combined together to produce robust, flexible, reliable and extendable system solutions. This system is designed by complying with the standards that were put forward by the international commissions. The layer network structure of the feeder automation system which is based on an open system architecture, easily brings solutions for the complex structure of the electchcal distribution system. This system is thoroughly tested according to IEC standards and is now being installed on medium-voltage feeders in İstanbul distribution-notwork.*

## GİRİŞ

Ülkemizde şu ana kadar ciddi ve önemli bir dağıtım sistemi otomasyonu işlevi gerçekleştirilmemiştir. Aslında alt iletim görevi gören 34.5 kV'luk sistem haricinde de, otomasyon için gerekli ve uygun altyapı bulunmamaktadır. Son yıllarda herkesin şikayetine sebep olan arıza ve kesintilerin sıklığı ve süreleri, bir şekliyle dağıtım sistemlerinin uzun süredir ihmal edilmesi ve gerekli yatırımların zamanında yapılmamasına dayandırılabilirse de, bunun yanında uygun dağıtım otomasyonu işlevlerinin kurulmamış olmasına da bağlıdır. Büyük şehirlerimizde bundan böyle dağıtımın 34.5 kV seviyesinde yapılacak olması, orta gerilim fiderlerindeki arızaların uzaktan algılanmasını, izole edilmesini ve sistemin tekrar enerjilendirilmesini hızlı bir şekilde yapabilecek bir fider otomasyonu işlevine öncelik kazandırmıştır.

1992-1994 yılları arasında ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü ve TÜBİTAK-

BİLTEN tarafından gerçekleştirilen İstanbul Avrupa Yakası Elektrik iletim ve Dağıtım Sistemi Master Planlaması Projesi kapsamında fider otomasyonu için öngörülen sistemin prototipi TÜBİTAK-BİLTEN tarafından geliştirilmiş olup şu anda İstanbul'da, 1996 yılında 34.5 kV'a dönüştürülen fiderler üzerinde, kurulma çalışmaları devam etmektedir. TUDOSIS adı verilen bu sistem "açık sistem" yaklaşımını *lbl* esas alarak ve en son teknolojileri kullanarak tasarlanmış ve yazılım ve donanımı tamamen BİLTEN'de geliştirilmiştir.

## SİSTEMİN ÖZELLİKLERİ

Bu sistem için gerekli iletişim ortamı, dağıtım transformatör merkezleri arasında, 34.5 kV güç kablolarının yanına yerleştirilen 4 fiberli multi-mode (62.5 mikron) fiber optik kablolar ile sağlanmaktadır. Bu fiber kablolar 1 inç çapında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) tüp içine döşenmektedir. 154/34.5 kV ana indirici merkezler arasında ise, bilgisayarlar için bir iletişim ağı oluşturma amacı ile, 4 veya 6 fiberli single-mode fiber optik kablolar kullanılacaktır.

TUDOSIS, dağıtım sisteminin yapısı gereği, hiyerarşik bir yapıda tasarlanmıştır. Bu nedenle dağıtım şebekesi, mevcut işletme ve Bakım Müdürlüklerinin sorumluluk alanları ve coğrafi koşullar göz önüne alınarak değişik bölgelere ayrılmaktadır. Bu bölgelerin herbirinde, tercihan bir 154/34.5 kV'luk merkeze kurulacak olan Bölge Kontrol Merkezi (BKM) bulunacaktır. BKM'ler bölgedeki indirici merkezler ve fiderler hakkındaki bilgilerin (röle, anahtarlama elemanları durum bilgileri, vs) toplandığı, gözlemlendiği, uzaktan kumanda (açma, kapama, kurma), arıza algılama ve izolasyon işlevlerinin yapılabildiği bir istasyon konumunda olacaktır. Bu bilgiler BKM'de operatörlere bir kullanıcı arabirim yazılımı ile sunulacaktır. Fider Otomasyonu sistemi, dolayısı ile dağıtım SCADA sisteminin alt yapısını da oluşturacak ve ileride kolaylıkla indirici merkezlerden gerilim, akım, güç, kademe gibi analog bilgileri de toplayabilecek duruma getirilebilecektir.



## Arıza Algılama ve İzolasyonu:

Arıza algılama ve izolasyonunun çalışma prensibi Şekil 1 üzerinde şu şekilde özetlenebilir, iki dağıtım transformatörü merkezi (örneğin 2 ve 3 no'lu merkezler) arasında oluşan bir arıza, ana indirici merkezdeki klasik koruma düzeni tarafından algılanır ve fider başı kesicisi açar. Her dağıtım transformatör merkezinde bulunan Uzak Terminal Birimleri merkez giriş ve çıkışında bulunan arıza akım algılayıcıları aracılığıyla algıladıkları arıza bilgisini fider başındaki terminal birimine fiber optik kablo üzerinden iletirler. Fider Başı Terminal Birimi ise arızanın yerini belirleyerek gerekli açma işlemlerini (2 no'lu merkezin çıkış yük ayırıcısı ile 3 no'lu merkezin giriş yük ayırıcısı) otomatik olarak gerçekleştirir. Daha sonra fider başı kesicisi kapatılarak sistemin sağlıklı kısımlarına ( Şekil 1'de 1 ve 2 no'lu dağıtım merkezlerine) enerji tekrar verilir. Arıza noktasından daha ileride bulunan ve enerjisiz kalan merkezlerin tekrar enerjilendirilmesi, fiderin sonunda normalde açık olan ayırıcının (NO) kapatılarak bu yüklerin diğer fidere aktarılması işlemi BKM'deki iş istasyonu aracılığı ile operatör tarafından gerçekleştirilir. Bütün bu işlemler en geç 1 dakikada gerçekleştirilecektir. İstenirse, tekrar enerjilenirme işlemleri de, BKM'deki iş istasyonu tarafından otomatik olarak da yerine getirilebilir.

## Donanımın Özellikleri:

- 34.5 kV orta gerilim güç kablolarına paralel olarak döşenen polietilen tüp içerisinden geçirilen fiber optik kablo, kiralık telefon hattı ve telsiz gibi iletişim ortamlarını kullanabilmesi,
- Yüksek hızlarda (fiber optik kablo üzerinden 38400 bit/san) veri iletişimi yapabilmesi İZİ,
- IEC 870-5'e uyumlu DNP (Distributed Network Protocol) 121 tabanlı iletişim protokolünü desteklemesi /4/,
- Mikroişlemci tabanlı mimariye sahip olması,
- 4 kanala kadar iletişim yapabilmesi,
- Laptop, analog ölçüm cihazları, güçmetre, uzak giriş-çıkış birimleri gibi birden fazla akıllı elektronik cihazlara bağlanabilmesi ve bilgi alışverişinde bulunabilmesi,
- Dağınık ağ yapısı içinde PLC cihazlarına oranla daha hızlı ve güvenli iletişim sağlaması,
- Değişik iklim koşullarında ve elektromanyetik ortamlarda güvenli çalışabilmesi,
- Modüler yapıya sahip olması,
- Genişlemeye açık, hiyerarşik ve dağınık ağ yapısına sahip olması,
- Giriş-çıkış sayısının artırılabilmesi,
- Enerjisiz 6 saat çalışabilmesi,
- Ayıklamalı raporlama yapabilmesi,
- Güvenlik amacıyla işlem öncesi seçim (Select Before Operate) özelliğini içermesi,

- Girişlerde optik, çıkışlarda ise galvanik izolasyon bulundurması.

## Yazılımın Özellikleri:

- Yüksek performanslı SUN Ultra iş istasyonları üzerinde çalışması,
- POSIX uyumlu UNIX işletim sistemi Solaris üzerinde koşabilmesi,
- X-windows, OpenLook pencereleme sistemini desteklemesi,
- Nesneye dayalı (object-oriented) tasarım ve programlama,
- Çok süreçli (multi-process) dağıtık (distributed) mimariye sahip olma,
- DNP tabanlı iletişim protokolünü desteklemesi,
- TCP/IP tabanlı süreçler arası iletişime sahip olma,
- Fare aracılığıyla, en az klavye kullanarak işaretle-ve-tıkla (point-and-click) yöntemi ile hızlı bilgiye ulaşılabilme,
- Görüntü ve çıktıların Türkçe fontlarla desteklenmesi,
- Çok pencereli ve tam grafik gösterim ile kullanım kolaylığı,
- Alarm durumlarında renk, hareket ve sesli uyarı ile operatörü uyarma,
- Şebeke bilgilerinin anında kullanıcı ekranında güncellenebilmesi,
- Farklı şebeke altyapı planları (su, gaz, v.b.) ile çalışabilmesi,
- Süreçleri bir PC kadar küçük veya çok istasyonlu bir ağ kadar büyük ortam üzerinde çalışabilmesi.

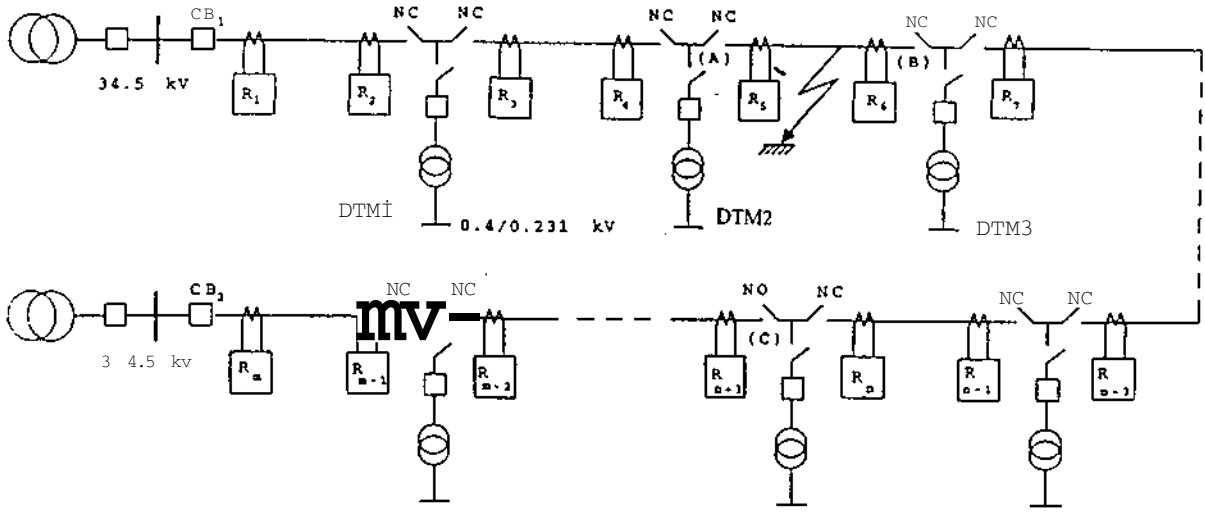
## Güvenlik ve Güvenirlilik:

- Erişim hakları tanımlı kullanıcılar ve şifreli erişim
- Hatalı erişimde uyarı ve engelleme,
- Süreçlerin durumlarını otomatik olarak izleme ve kontrol,
- Dağınık süreç yapısı ile yedekli (redundant) çalışma yeteneği.

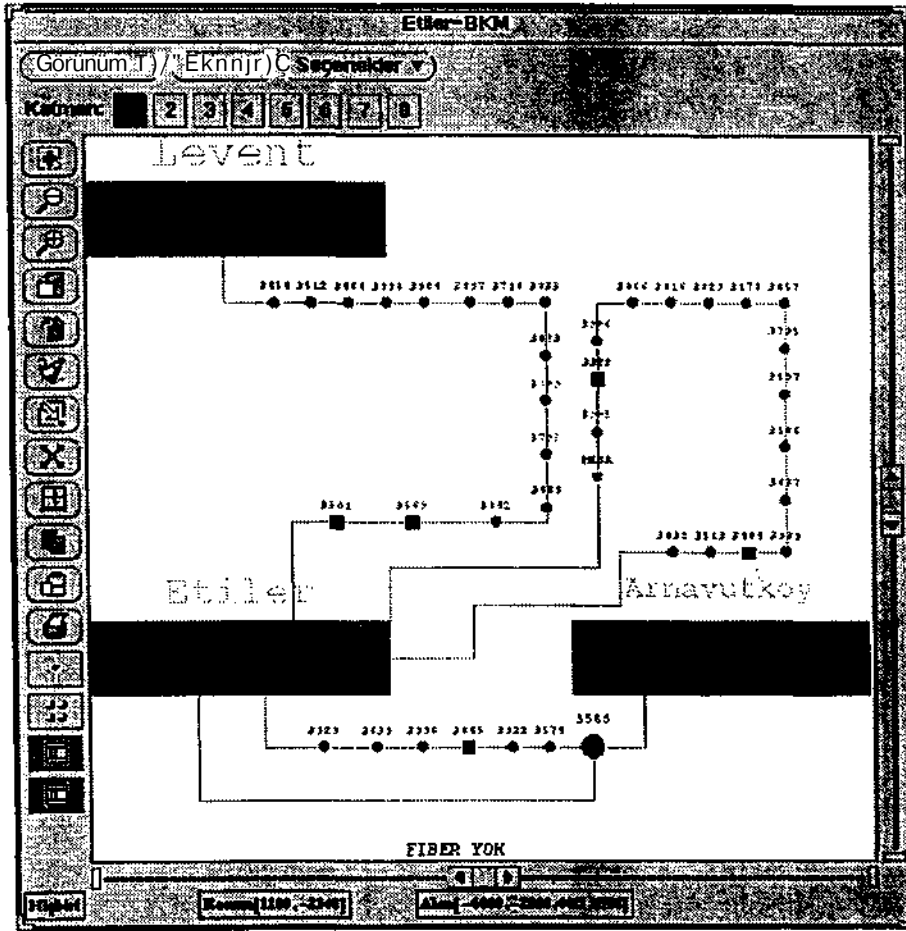
## Bölge Kontrol Merkezi Özellikleri:

TÜDOSİS Bölge Kontrol Merkezi'nin (BKM) işlevsel özellikleri şu şekilde saptanmıştır:

- Dağıtım şebekesinin çok pencereli grafik ortamda gözlenmesi, kesici-ayırıcı durumlarının ve şebeke bağlantı bilgisinin de dinamik olarak renklerle gösterilmesi.
- Sistem şemalarının çok katmanlı hiyerarşik bir yapıda tutulması ve vektör grafik özelliklerinden yararlanarak görüntünün kaydedilebilmesi, uzaktan ve yakından gösterilebilmesi.
- Kullanıcı arabirimi yazılımı ile operatörlerin sistem diyagramlarında nesnelere kumanda ve manevrası.



Şekil 1. Arıza Algılama ve İzolasyon Sistemi



Şekil 2. Kontrol Merkezi Yazılımı Editörü ekran görüntüsü

- Teçhizat ve sistemle ilgili alarm sinyallerinin yaratılması ve görüntülenmesi.
- Geçmişe dönük bilgilerin raporlanması ve analizi.
- Fider otomasyonu işlevleri: hat ve bara arızalarının algılanması, yerlerinin tespiti, izolasyonu.
- Operasyon ve manevra yapılmasının istenilmediği durumlarda nesnelere kilit vurulabilmesi (örneğin, bakım çalışmaları sırasında fider etiketlenmesi).
- Çeşitli verilerin saklanması ve kolay erişimi: tarihsel veriler (bakım, kumanda, arıza), statik veriler (şebeke elemanlarının değişmeyen verileri), grafiksel veriler.
- Veri toplama donanımının olmadığı veya çalışmadığı durumlarda operatör tarafından veri girilebilmesi.

BKM yazılımı yüksek performanslı iş istasyonlarında UNIX işletim sistemi üzerinde çalışmaktadır ve POSIX uyumludur, insan-makine arabirimi için X-Windows tabanlı OpenLook pencere yöneticisi kullanılmaktadır. BKM yazılımının tasarımı yazılım teknolojisinde yeni bir teknik olan nesneye dayalı programlama (Object-Oriented Programming: OOP) metoduyla ve C++ dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Veriler iletişim-alt-sistemi aracılığı ile toplanmaktadır. İletişim-alt-sistemi, OSI'nin 7 katmanlı modelinin üç katmanını kullanan EPA (Enhanced Performance Architecture) adlı protokol mimarisini temel almaktadır. TUDOSIS'in ağ yapısı üzerine kurulmuş olan iletişim protokolü, Harris Control firmasının uluslararası kabul görmüş olan DNP (Distributed Network Protocol) protokolüdür 121.

## UYGULAMA

Geliştirilen sistemde BKM'lere, indirici merkezler ve bu merkezlerdeki fider çıkışlarına, dağıtım transformatör merkezlerine yerleştirilecek bütün terminal cihazları ilgili IEC standartları uyarınca testlere tabii tutulmuş /7/ ve olumlu tip test raporları alınmıştır. Bu sistemin İstanbul Avrupa Yakasında 1996 yılında 34.5 kV'a dönüştürülen, dört bölgede toplam 15 fiderde uygulama çalışmaları devam etmekte ve 1997 yılının Eylül ayı sonunda bitirilmesi planlanmaktadır. Bu uygulama şu an için birbirinden bağımsız çalışan Levent, Yenibosna, Sağmalcılar ve Alibeyköy olmak üzere dört Bölge Kontrol Merkezi'ni kapsamaktadır. Levent Bölge Kontrol Merkezi'nden 5 fider üzerindeki toplam 41 adet dağıtım transformatör merkezi, ve Yenibosna Bölge Kontrol Merkezi'nden 6 fider üzerindeki toplam 86 adet dağıtım transformatör merkezi, Sağmalcılar Bölge Kontrol Merkezi'nden 2 fider üzerindeki toplam 21 adet dağıtım transformatör merkezi, Alibeyköy Bölge Kontrol Merkezi'nden 2 fider üzerindeki 19 adet dağıtım transformatör merkezi gözlenebilecek ve

kumanda edilecektir. Bu fiderler üzerinde meydana gelebilecek orta gerilim arızaları da otomatik olarak sistem tarafından izole edilebilecek ve yeniden enerjilendirme yapılabilecektir.

## SONUÇLAR

TÜBİTAK-BİLTEN tarafından geliştirilen ve uygulamaya geçirilmekte olan TUDOSIS otomasyon sistemi orta gerilim fiderlerindeki arızaları çok kısa bir sürede sistemden izole edip, arızasız kısımların yeniden enerjilendirilmesini gerçekleştirecek, dolayısıyla abonelere yansıyan kesinti sürelerini kısaltacaktır. Bu da enerji kalitesini artıracak, satılmayan enerji miktarını azaltacak, endüstride verimliliği sağlamada katkıda bulunacak ve enerjiyi tüketen kişi ve kurumların memnuniyetini artıracaktır.

Bu sistemin kurulmasıyla Dağıtım SCADA sisteminin altyapısı da kurulmuş olacak, indirici merkezlerde gerilim, akım, güç ve transformatör kademeleri gibi bilgilerin de sistem tarafından gözlenmesi için gerekli eklemelerin yapılmasıyla dağıtım SCADA sistemi gerçekleştirilmiş olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. "Tudosis Dağıtım Otomasyonu Sistemi Seminer Notları", Tübitak Biltten, 1995.
2. Distributed Network Protocol, Harris Controls Division, Ver. 3, Basic Document Set.
3. Büyüksümerci, A. Aydın, N. Abat; Dağıtım Otomasyonunda Çok-Modlu Fiber Optik İletişim, 6. Ulusal Elektrik Müh. Kongresi, Bursa, 11-15 Eylül 1995, s. 85-88.
4. İçtiyadi, M. F. Yaren, A. Ülkü; Dağıtım Otomasyon Sistem Terminalleri Arası Ağ Mimarisi ve İletişim Protokolü, 6. Ulusal Elektrik Müh. Kongresi, Bursa, 11-15 Eylül 1995, s. 89-92.
5. M. H. Güçsav, S. E. Şahin, H. Yunusoğlu, G. Ş. Şenyurt, O. Onay, N. Güven; Dağıtım Otomasyonu Sistemi Yazılımında Açık Sistem Yaklaşımı, 6. Ulusal Elektrik Müh. Kongresi, Bursa, 11-15 Eylül 1995, s. 93-96.
6. M. H. Güçsav, S. E. Şahin, H. Yunusoğlu, G. Ş. Şenyurt, O. Onay, N. Güven; Dağıtım Otomasyonu Kontrol Merkezi Yazılımı Tasarımı ve Geliştirilmesi, 6. Ulusal Elektrik Müh. Kongresi, Bursa, 11-15 Eylül 1995, s. 97-100.
7. Çiftçi, A. Türel; Dağıtım Otomasyonu Cihazlarında Elektriksel ve Çevre Koşulları Standartları: Önlemler ve Testler, 6. Ulusal Elektrik Müh. Kongresi, Bursa, 11-15 Eylül 1995, s. 105-108.