

# TEK TARAFTAN BESLENEN YERALTI ENERJİ KABLOLARINDA MEYDANA GELEN KISA DEVRE OLAYLARININ GEÇİCİ REJİM ANALİZİ; ARIZA YERİNİN ETKİSİ

Vedat Gün

Kırkağaç Meslek Yüksek Okulu  
Celal Bayar Üniversitesi  
Manisa

M. Uğur ÜNVER

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Sakarya Üniversitesi  
54040 Sakarya

## ABSTRACT

*In this study, transient analysis due to short current fault conditions on underground power cables are investigated. The method of solution developed is based on the modified Fourier Transform technique. Mathematical formulations of the transient responses are first obtained in frequency domain. Then the solutions are found in time domain using inverse Fourier Transform Technique. The effect of fault location are investigated. This investigations are based on computer simulation.*

## 1.GİRİŞ

Bu çalışmada yeraltı enerji kablolarında kablo yüksüz iken meydana gelen kısa devre arızalarından dolayı oluşan geçici akım ve gerilimler incelenmiştir. Kaynak empedansının etkisi özel olarak ele alınmıştır. Analiz yöntemi olarak geliştirilmiş Fourier Dönüşüm Tekniği kullanılmıştır.

Ele alınan kablo 154 kV' luk tek çekirdekli bir kablo olup kablo çaprazlanmış ve ana bölme uçlarından doğrudan topraklanmıştır.

## 2. BİR YERALTI KABLO SİSTEMİNİN EMPEDANS VE ADMİTANS MATRİSLERİ

Kablo empedans ve admitans matrisleri 1' No' lu kaynakta belirtildiği şekilde elde edilmiştir [1].

Bir hattın dağılmış hat parametreleri gözönüne alındığında n iletkenli bir sistemde x mesafesi için için frekans domeninde;

$$d^2 \tilde{V} / dx^2 = Z.Y. \tilde{V} = P. \tilde{V} \quad (2.1)$$

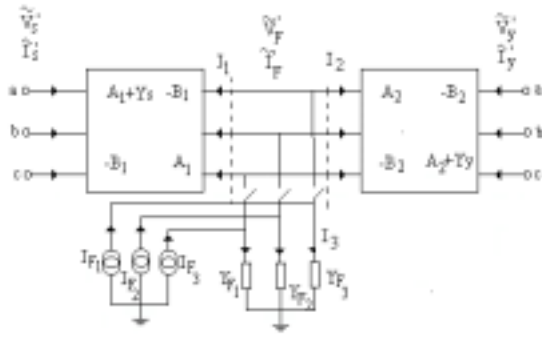
$$d^2 \tilde{I} / dx^2 = Y.Z. \tilde{I} = P^T. \tilde{I} \quad (2.2)$$

denklemleri yazılır. Bu denklemler gerekli düzenlemeler yapılarak kablo başı ve kablo sonu değerleri cinsinden matris biçimde;

$$\begin{bmatrix} \tilde{I}_S \\ \tilde{I}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_0 \cdot \coth(\psi l) & -Y_0 \cdot \operatorname{cosech}(\psi l) \\ -Y_0 \cdot \operatorname{cosech}(\psi l) & Y_0 \cdot \coth(\psi l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{V}_S \\ \tilde{V}_R \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Denklem (3. 20), homojen bir sistemin admitans matrisini gösterir ve iki kapılı düğüm denklemi olarak da ifade edilebilir. Kablo başı ve kablo sonu gerilimleri bu matris denkleminde elde edilebilir.

Bundan sonra kablo sistemine ait simülasyon yapılı ve gerekli bağıntılar elde edilir [2]. Daha sonra Şekil 2.1' den arıza durumuna ait denklemler elde edilir.



Şekil 2.1 Toprak arızası olan bir kablonun indirgenmiş diyagramı.

Arıza noktasının sağ ve sol taraflarındaki uçlarına ait gerilim ve akımlarını ifade eden matris denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} \tilde{I}'_s \\ \tilde{I}'_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 + Y_s & -B_1 \\ -B_1 & A_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{V}'_s \\ \tilde{V}'_F \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{I}'_2 \\ \tilde{I}'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & -B_2 \\ -B_2 & A_2 + Y_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{V}'_F \\ \tilde{V}'_y \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Burada  $A_1$  ve  $B_1$  sol tarafa ait alt matrisleri ve  $A_2$  ve  $B_2$  ise sağ tarafa ait alt matrislerdir yani;

$$A_1 = Y_0 \cdot \coth(\psi x), \quad B_1 = Y_0 \cdot \operatorname{cosech}(\psi x),$$

$$A_2 = Y_0 \cdot \coth(\psi(l-x)), \quad B_2 = Y_0 \cdot \operatorname{cosech}(\psi(l-x))$$

$\psi$  = kablonun propagasyon katsayısı

$l$  = toplam kablo uzunluğu

$x$  = arıza noktasının 1.inci baraya olan uzaklığı

$Y_s$  kaynağa ait admitans matrisi ve  $Y_y$ , yüke ait admitans matrisleridir. Arıza noktasına Kirchoff'un akım kanunu uygulandığında Şekil 2.1'den;

$$\tilde{I}'_1 + \tilde{I}'_2 + \tilde{I}'_3 - \tilde{I}'_F = 0 \quad (2.6)$$

yazılır. Burada;

$$\tilde{I}'_3 = Y_F \cdot \tilde{V}'_F; \quad \tilde{I}'_F = -Y_F \cdot \tilde{V}'_F \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir ve  $Y_F$ , arıza admitans matrisidir.  $\tilde{V}'_F$ , arıza noktasında arıza öncesi işletme gerilimlerinin gerilim vektörüdür.  $\tilde{V}'_F$ , arıza noktasına uygulanan temsili kaynağa ait gerilim vektörüdür.

Denklem (2.4), (2.5) ve (2.6) birleştirildiğinde komple sistemin ifadesi elde edilir;

$$\begin{bmatrix} \tilde{I}'_s \\ \tilde{I}'_F \\ \tilde{I}'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 + Y_s & -B_1 & 0 \\ -B_1 & (A_1 + A_2 + Y_F) & -B_2 \\ 0 & -B_2 & A_2 + Y_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{V}'_s \\ \tilde{V}'_F \\ \tilde{V}'_y \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Sınır şartları dikkate alınarak (2.8) denklemi çözülmüş;

$$\tilde{V}'_F = \begin{bmatrix} -B_1(A_1 + Y_s)^{-1}B_1 + (A_1 + A_2 + Y_F)^{-1} \\ -B_2(A_2 + Y_y)^{-1}B_2 \end{bmatrix}^{-1} \tilde{I}'_F \quad (2.9)$$

ifadesi elde edilir. Burada  $\tilde{I}'_F$ , denk (2.7) de yazıldığından;

$$\tilde{V}'_s = (A_1 + Y_s)^{-1}B_1 \cdot \tilde{V}'_F \quad (2.10)$$

$$\tilde{V}'_y = (A_2 + Y_y)^{-1}B_2 \cdot \tilde{V}'_F \quad (2.11)$$

yazılır. Burada  $\tilde{V}'_F$  denk (2.9)'da verilmiştir. Temsili kaynaktan dolayı oluşan akımlar;

$$\begin{bmatrix} \tilde{I}'_s \\ \tilde{I}'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Y_{s1} \\ -Y_{s2} \end{bmatrix} \tilde{V}'_F \quad (2.12)$$

dir. Şekil 2.1'den görüldüğü gibi;

$\tilde{V}'_s = \tilde{V}'_s$  ve  $\tilde{V}'_y = \tilde{V}'_y$  dir. Böylece  $\tilde{I}'_s$  ve  $\tilde{I}'_y$ , denklem

(2.12)'de  $\tilde{V}'_s$  ve  $\tilde{V}'_y$  yerine  $\tilde{V}'_s$  ve  $\tilde{V}'_y$  konularak

ifade edilir.  $\tilde{V}'_s$  ve  $\tilde{V}'_y$ , denklem (2.10) ve denklem

(2.11)'de ifade edilmiştir.

Sonuçta elde edilen cevap akımları, temsili kaynağın uygulanmasıyla elde edilen akımları ve arıza öncesi sistemden akan yük akımının toplamıdır. Sonuç gerilimleri ise arıza öncesindeki sürekli hal gerilimleri ve arıza anında sisteme uygulanan hayali kaynağın etkisiyle meydana gelen gerilimlerin toplamıdır;

$$\tilde{V}_s = (\tilde{V}_s)_{ss} + \tilde{V}'_s \quad (2.13)$$

$$\tilde{V}_y = (\tilde{V}_y)_{ss} + \tilde{V}'_y \quad (2.14)$$

Aynı şekilde arızalı noktaya ait gerilimler de aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\tilde{V}_F = (\tilde{V}_F)_{ss} + \tilde{V}'_F \quad (2.15)$$

$\tilde{V}_F$ , arızalı noktanın sonuç gerilim vektörüdür.  $(\tilde{V}_F)_{ss}$ , sürekli hal gerilimi ve  $\tilde{V}'_F$ , arıza anındaki temsili kaynaktan dolayı oluşan gerilim değeridir.

Frekans domeninde elde edilen bu değerler, Fourier Dönüşüm Yöntemiyle zaman domeninde elde edilir [3].

### 3. UYGULAMA ÇALIŞMALARI VE SONUÇLAR

Uygulamada 2XS(FL)2YX1X1000 RMF 89/154 Kv tipi tek çekirdekli bir kablo kullanılmış olup kabloya ait değerler Tablo 1' de verilmiştir. Sistem 154 kV' luk olup kablo uzunluğu 30 km' dir. Arıza kablonun 15.inci km' sinde meydana gelmiştir ve arıza esnasında yük akımı 0' dır.

Kabloların toprak altında yerleşimi Şekil 3.1' de gösterilmiş olup ölçüler metre cinsindedir.

TABLO 1. Kullanılan Kablonun Karakteristik Değerleri

Çekirdek Yarıçapı:1.55 cm  
Kılıfın İç Yarıçapı:4.1 cm  
Kılıfın Dış Yarıçapı:4.55 cm  
Kablo Dış Yarıçapı:5.00 cm

Çekirdeğin Öz direnci:1.71.10<sup>-8</sup> ohm-m

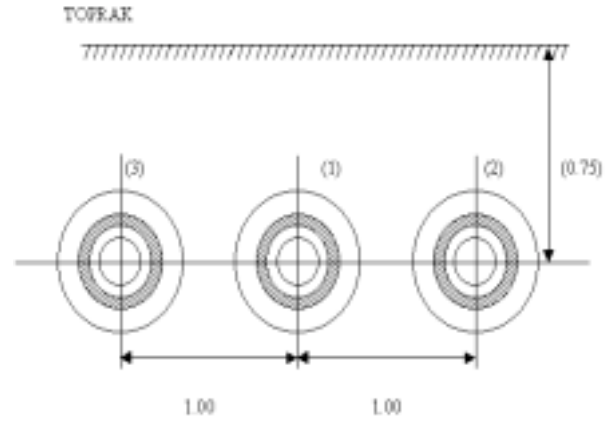
Kılıfın Öz direnci:3.58.10<sup>-8</sup> ohm-m

Ana İzolasyonun Bağlı Dielektrik Sabiti: 4.2

Çekirdek İzolasyonunun Bağlı Dielektrik Sabiti: 2.4

Çekirdeğin Geçirgenlik Katsayısı:1.0

Kılıfın Geçirgenlik Katsayısı:1.0



Şekil 3.1 Kablo Sisteminin Konumu

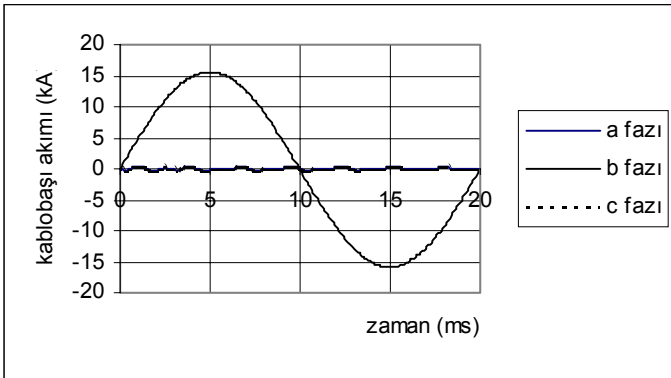
Arıza yerinin etkisi incelenirken sistem, tek taraftan beslenmiş ve ikinci tarafındaki yük akımı sıfır kabul edilmiştir. Arızanın ikinci fazda tek faz-toprak arızası olduğu kabul edilmiştir. Arıza yerinin etkisinin görülebilmesi için arıza noktası önce kablo başına çok yakın bir noktada (2 km) seçilmiş ve daha sonra kablo başına çok uzak bir noktada arızanın olması durumu için (29 km) yeniden hesaplamalar yapılmıştır. Toplam kablo uzunluğu 30 km alınmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen grafikler Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te görülmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi, arıza yeri kablo başından uzaklaştıkça, kablo başına ait akımların maksimum değerinde azalma görülmüştür. Arıza yeri kablo başına 2 km mesafede iken arızalı faza ait kablo başı akımın maksimum değeri 15.5626 kA iken arıza yeri kablo başından 29 km uzaklıkta iken bu değer 8.9 kA değerindedir ve akımın dalga şeklinde yansımalarından dolayı salınımlar görülmektedir. (Şekil 3.2 (a) ve Şekil 3.3 (a))

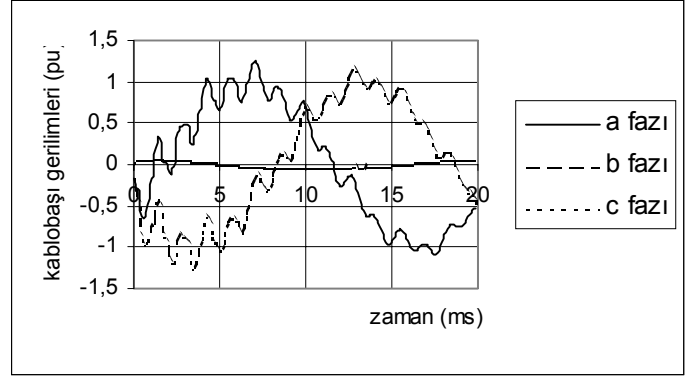
Kablo başı gerilimleri incelendiğinde arızalı faza ait gerilimin dalga şeklinde, arıza noktası kablo başından uzaklaştıkça büyük genlikli salınımlar oluştuğu görülmüştür. Sağlam fazlara ait gerilimlerin dalga şekilleri incelendiğinde ise arızanın yeri kablo başına yaklaştıkça dalga şeklindeki salınımların arttığı, uzaklaştıkça azaldığı görülmüştür. (Şekil 3.2 (b), 3.3 (b)).

Kablo sonu gerilimleri ele alındığında, arızalı faza ait gerilimin arıza noktasının kablo başına yakın olduğunda hemen sıfıra gitmeyip kablo uzunluğunun oluşturduğu empedansın etkisiyle bir müddet yansıma ve kırılmaya uğramasından dolayı dalga şeklinde salınımlar oluştuğu görülmüştür. Arıza noktası kablo sonuna yaklaştığında arızalı faza ait gerilim, hemen sıfıra düşer. Sağlam fazlara ait gerilimlerin dalga şekilleri incelendiğinde ise arızanın yeri kablo başından uzaklaştıkça dalga şeklindeki salınımların sıklığının arttığı fakat genliğinin azaldığı görülmüştür. (Şekil 3.2(c), 3.3(c))

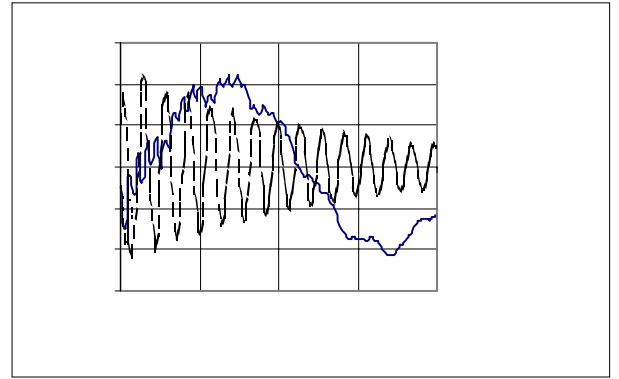
Arıza noktası gerilimlerde, arızalı fazın gerilimi sıfır olduğu, sağlam fazlara ait gerilimlerde ise kablo başından uzaklaştıkça salınımlarının arttığı ancak salınımların genliklerinde azalmanın olduğu görülmüştür. Şekil 3.2(d) ve Şekil 3.3(d)).



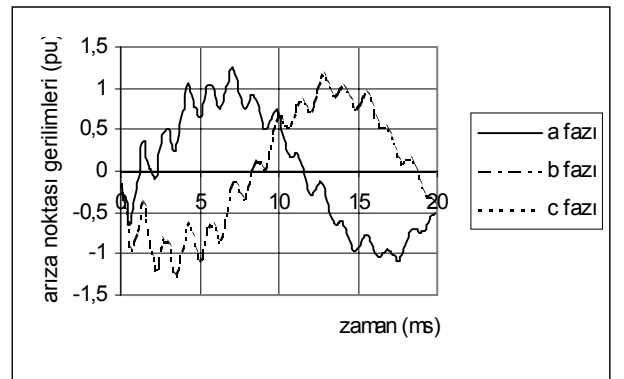
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.2 Tek Faz Toprak Arızasında Arıza

Yerinin Etkisi  $L_x = 2$  km

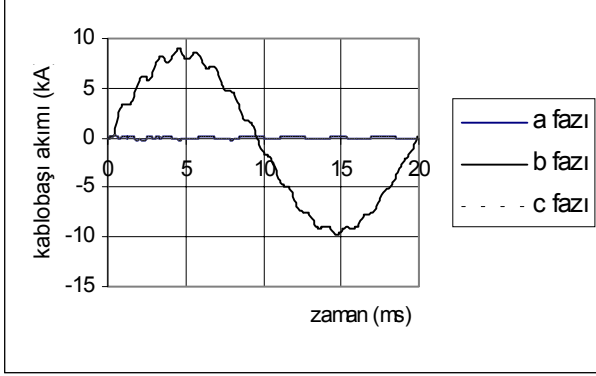
a- Kablo başı akımları

b- Kablo başı gerilimleri

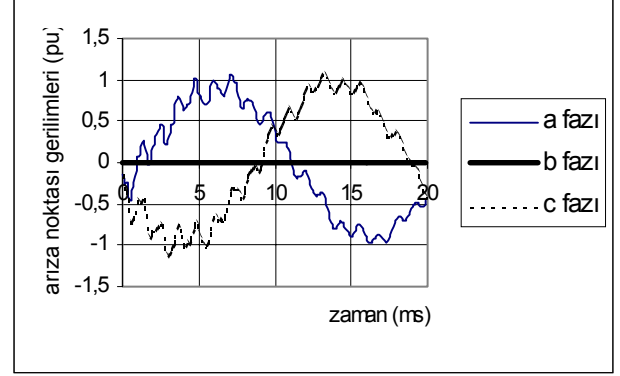
c- Kablo sonu gerilimleri

d- Arıza noktası gerilimleri

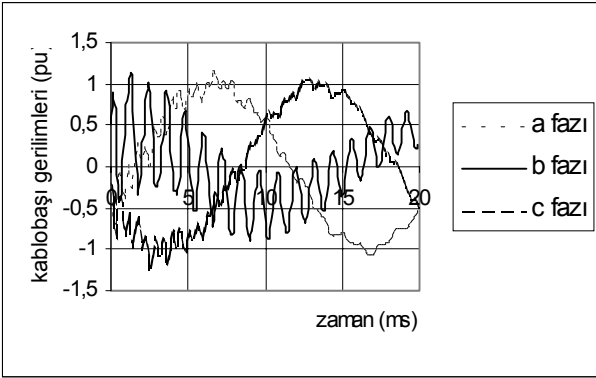
(c)



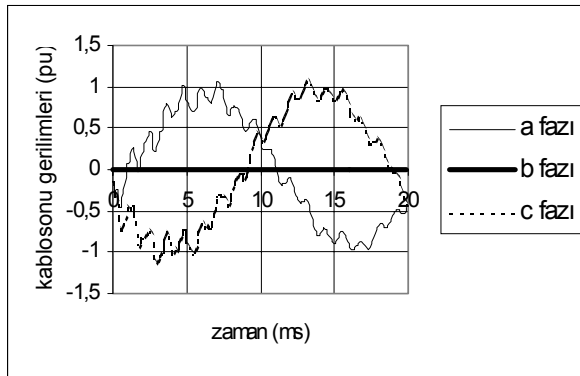
(a)



(d)



(b)



Şekil 3.3 Tek Faz Toprak Arızasında Arıza

Yerinin Etkisi  $L_x = 29$  km

a- Kablo başı akımları

b- Kablo başı gerilimleri

c- Kablo sonu gerilimleri

d- Arıza noktası gerilimleri

#### 4.Kaynaklar

[1] Wedepohl and Wilcox, D.J. "Transient Analysis of Underground Power Transmission Systems. System Model and Wave Propagation Characteristic", Proc.IEE, Vol. 120, 1973, pp.243-257.

[2] Unver, U. "Transient Analysis of Cable Systems Including The Effect of Non-Linear Protective Devices", Ph. D. Thesis, UMIST, Manchester, October, 1979.

[3] Unver U., "Enerji Nakil Hatlarının Kısa Devre Analizi: Çift Taraftan Beslenen Hatlar.", Elektrik Mühendisliği 6. Nci Ulusal Kongresi, 1995, pp. 180-196.