

YERALTI ENERJİ KABLOLARINDA OLUŞAN MANEVRA AŞIRI GERİLİMLERİNİN GEÇİCİ REJİM ANALİZİ: KABLO UZUNLUĞUNUN VE ŞÖNT REAKTÖRLERİN ETKİSİ

Yılmaz UYAROĞLU * M.Uğur ÜNVER *

* SAÜ. Mühendislik Fakültesi., Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada, yeraltı enerji kablosunda anahtarın kapanması esnasında kablo başında ve kablo sonunda meydana gelen geçici aşırı gerilimlerin maksimum genlikleri ve dalga şekilleri bilgisayar yardımıyla elde edilmiştir. Geçici aşırı gerilimler önce frekans domeninde elde edilmiş, daha sonra ters fourier dönüşüm tekniği kullanılarak zaman domeninde elde edilmiştir.

1.GİRİŞ

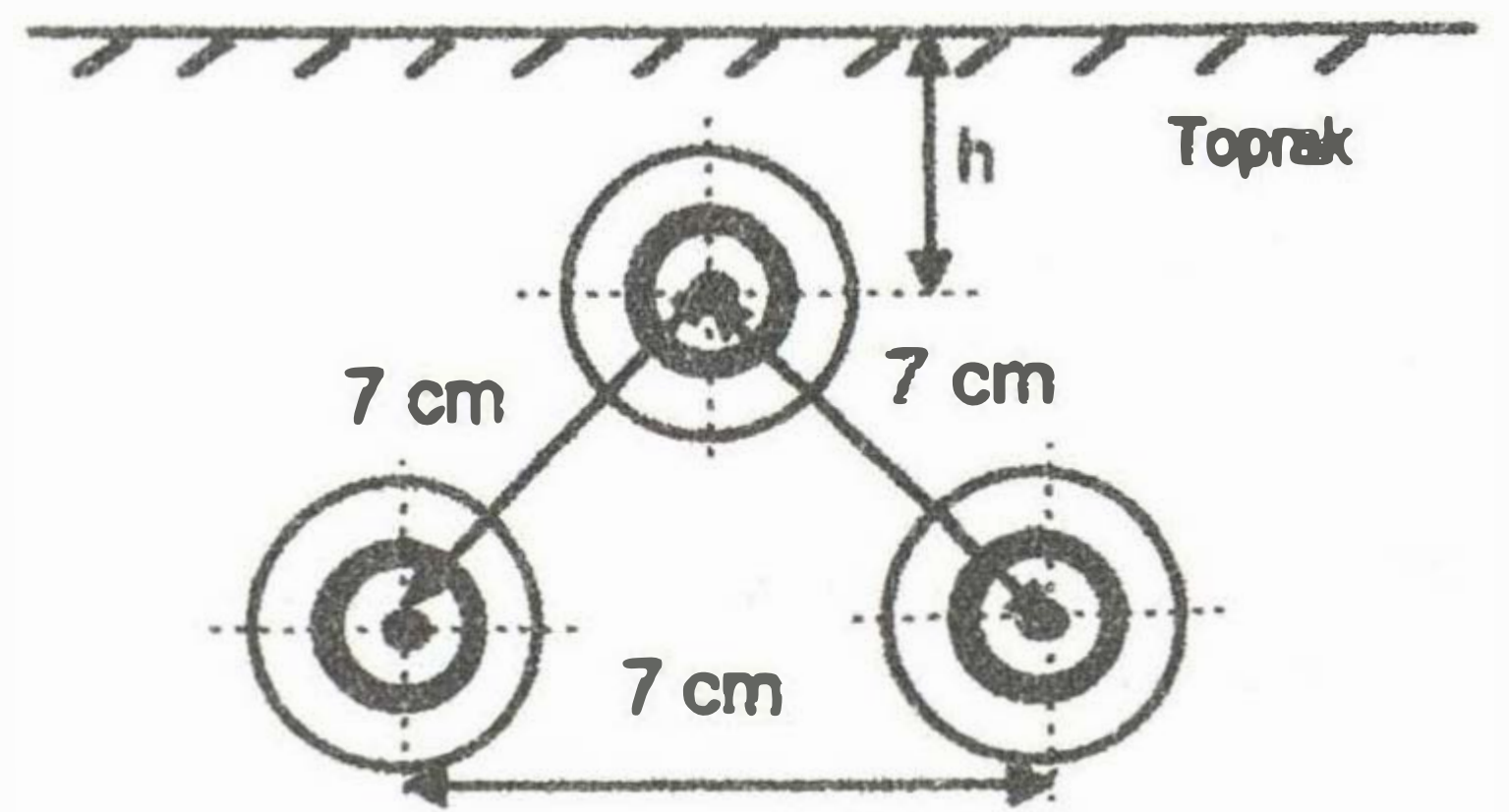
Bir yeraltı enerji kablo sisteminde bulunan kesicilerin açma kapama yapmaları sırasında sistemde geçici aşırı gerilimler oluşmakta ve bu aşırı gerilimler, güç transformatörleri ve şalt cihazları üzerinde büyük zararlara neden olabilmektedir. Bu zararlara karşı gereken önlemleri almak için önce sistemde meydana gelebilecek en yüksek gerilim değerlerini hesaplayıp, koruma sistemlerini bu değerlere göre tasarlamak ve ayarlamak gerekir.

Bu çalışmada kablo sistemine bir faza veya üç faza aynı anda enerji verilmesi sırasında meydana gelen kapama aşırı gerilimleri incelenmiştir. Oluşabilecek en yüksek geçici aşırı gerilimin büyüklüğünü belirlemek için sisteme, alıcı uç boşta iken enerji verilmiştir.

Kablo uzunluğu değişimlerinin, kablo sonunda oluşan aşırı gerilimler üzerine olan etkileri incelenmiştir. Çözüm metodu olarak modal analiz ve geliştirilmiş Fourier dönüşüm metodu kullanılmıştır. Geçici gerilimler önce frekans bölgesinde, daha sonra Fourier dönüşüm integralinin tersi alınarak zaman bölgesinde bilgisayar yardımı ile elde edilmiştir [1].

II. KABLO SİSTEMİNİN ANALİZİ

Ele alınan kablo sisteminin yerleşim planı ve elektriksel özellikleri sırasıyla Şekil 1. ve Tablo 1'de verilmiştir.



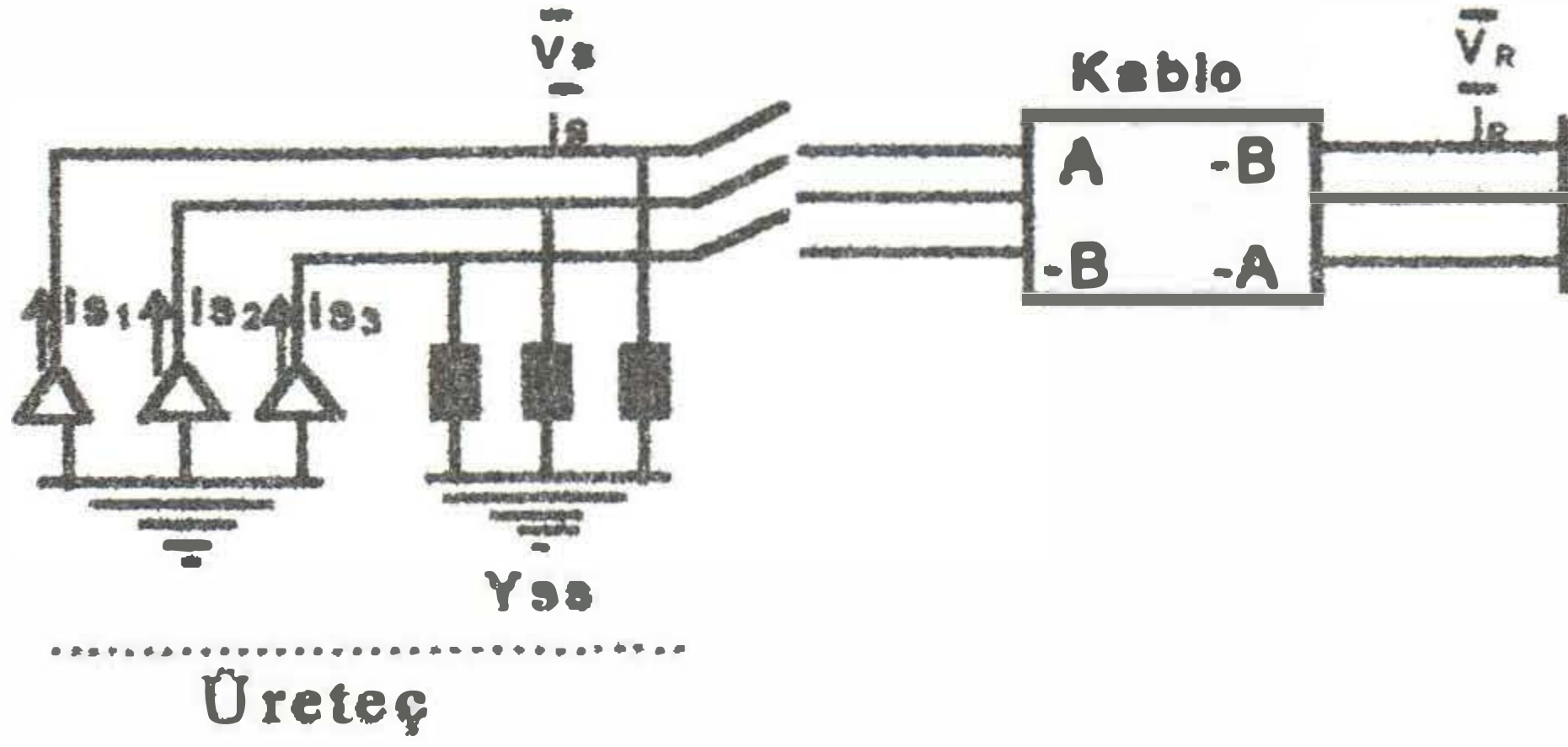
Şekil 1. Kılıfı çapraz bağlı yeraltı kablosunun toprak altındaki yerleşim planı

Tablo 1. Kablo verileri

En üst fazın toprak seviyesinden derinliği	h=70 cm
Nüve yarıçapı	3 mm
kılıf iç yarıçapı	14 mm
kılıf dış yarıçapı	15 mm
kablo toplam yarıçapı	17 mm
Nüve öz direnci (ohm-m)	$1.72 \cdot 10^{-8}$
Kılıf öz direnci (ohm-m)	$1.72 \cdot 10^{-8}$
Nüve izolasyonunun dielektrik sabiti	2.3
Kılıf izolasyonunun dielektrik sabiti	7
Toprak öz direnci (ohm-m)	20

III. GEÇİCİ DENKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Yeraltı kablosunun her ana bölmesi üç ara bölmenin ardışık bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Her bir ana bölme uçları direkt olarak topraklanmış olduğundan, kablo kılıfı üzerinde endüklenen gerilim değeri sıfırdır. Bu nedenle, kablounun empedans ve admitans matrisleri 3x3 'lük matrisler halindedir.



Şekil 2. Ele alınan sistemin eşdeğer şeması

Gönderici ve alıcı uçlara ait akım ve gerilim bağlantısı $x=l$ için aşağıdaki matris denklemleriyle ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_s \\ \bar{I}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & -B \\ -B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_s \\ \bar{V}_R \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada; A ve B alt matrisleri 3x3 boyutunda olup aşağıda ifade edilmektedir.

$$A = Y_0 \coth(\gamma l)$$

$$B = Y_0 \operatorname{cosech}(\gamma l)$$

Denklem (1)'den yararlanarak kablo başı ve kablo sonu gerilimleri matris biçiminde şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_s \\ \bar{V}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ B' & A' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_s \\ \bar{I}_R \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada;

$$A' = Y_0^{-1} \coth(\gamma l)$$

$$B' = Y_0^{-1} \operatorname{cosech}(\gamma l)$$

Denklem (2)'den yararlanarak aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$\bar{V}_s = A' \bar{I}_s + B' \bar{I}_R \quad (3)$$

Kablo sonu boşta olduğundan ;

$\bar{I}_R = 0$ 'dır. Dolayısıyla buradan,

$$\bar{V}_s = A' \bar{I}_s \quad (4)$$

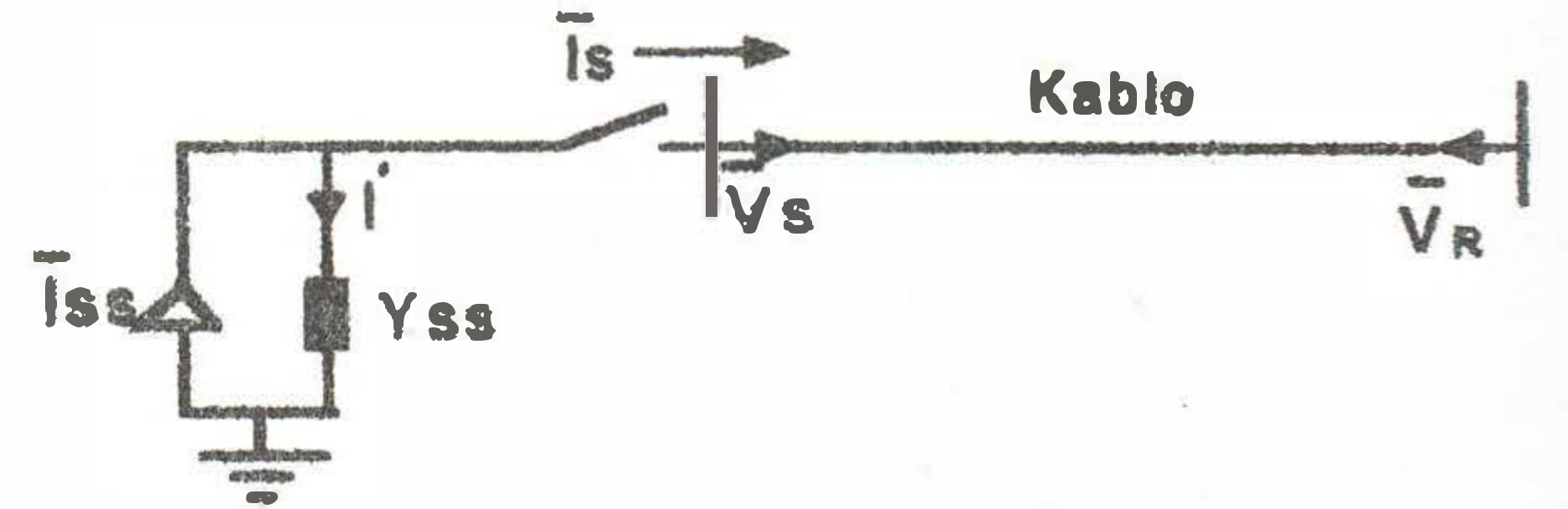
$$\bar{I}_s = (A')^{-1} \bar{V}_s \quad (5)$$

yazılabilir. Denklem (2) ve (5)' den yararlanarak;

$$\bar{V}_R = B' \bar{I}_s \quad (6)$$

$$\bar{V}_R = B' (A')^{-1} \bar{V}_s \quad (7)$$

elde edilir. Böylece sonsuz baradan kabloya enerji verilmesi halinde kablo başı gerilimi V_s belli olduğundan denklem (5) ve (7) kullanılarak sırasıyla kablo başı akımı ve kablo sonu uç gerilimi bulunabilir.



Şekil 3. Sistemin tek hat Norton Eşdeğer Devresi

Şekil 3'teki devreye ve Kirchof'un akım yasası uygulanırsa;

$$\bar{I}_{ss} = \bar{I}_s + I' \quad (8)$$

$$I' = Y_{ss} \bar{V}_s \quad (9)$$

olarak yazılabilir. Denklem (1)'den

$$\bar{I}_s = A \bar{V}_s - B \bar{V}_R \quad (10)$$

$$\bar{I}_R = -B \bar{V}_s + A \bar{V}_R \quad (11)$$

yazılabilir. Denklem (9) ve (10), denklem (8)'de yerine konursa ;

$$\bar{I}_{ss} = A \bar{V}_s - B \bar{V}_R + Y_{ss} \bar{V}_s \quad (12)$$

$$\bar{I}_{ss} = (A + Y_{ss}) \bar{V}_s - B \bar{V}_R \quad (13)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (11) ve (13) matris biçiminde aşağıdaki şekilde yazılabilir :

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{ss} \\ \bar{I}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (A + Y_{ss}) & -B \\ -B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_s \\ \bar{V}_R \end{bmatrix} \quad (14)$$

Kablo sonu boşta olduğundan $I_R=0$ 'dır. Denklem (18)'den;

$$\bar{I}_{ss} = (A + Y_{ss}) \bar{V}_s - B \bar{V}_R \quad (15)$$

$$0 = -B \bar{V}_s + A \bar{V}_R \quad (16)$$

yazılabilir. Denklem (16)'dan faydalanarak kablo sonu gerilimi şu şekilde yazılabilir :

$$\bar{V}_R = A^{-1} B \bar{V}_s \quad (17)$$

Denklem (17), denklem (15)'te yerine konursa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\bar{I}_{ss} = [(A + Y_{ss}) - B A^{-1} B] \bar{V}_s \quad (18)$$

elde edilir. Denklem (18) kısaca ifade edilirse;

$$\bar{I}_{ss} = T \bar{V}_s \quad (19)$$

olarak yazılabilir. Burada;

$$T = [(A + Y_{ss}) - B A^{-1} B] \text{ dir.}$$

Kablo başı gerilim vektörü ise, denklem (19)'dan

$$\bar{V}_s = T^{-1} \bar{I}_{ss} \quad (20)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Denklem(20), denklem(17)'de yerine konursa kablo sonu gerilim vektörü aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{V}_R = A^{-1} B (T^{-1}) \bar{I}_{ss} \quad (21)$$

Böylece denklem (20) ve (21) ile kablo başı ve kablo sonu gerilimleri ifade edilmiş olur [2].

3.1. Kablo Sonunda Şönt Reaktörlerinin Olması Hali

Sadece kablo sonunda şönt reaktör olması halinde kablo başı ve kablo sonuna ait akım ve gerilimler arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{ss} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A + Y_{ss} & -B \\ -B & A + Y_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_s \\ \bar{V}_R \end{bmatrix} \quad (22)$$

Bu matris denkleminde yararlanılarak aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$\bar{I}_{ss} = (A + Y_{ss}) \bar{V}_s - B \bar{V}_R \quad (23)$$

$$0 = -B \bar{V}_s + (A + Y_R) \bar{V}_R \quad (24)$$

Denklem (24)'ten

$$\bar{V}_R = (A + Y_R)^{-1} B \bar{V}_s \quad (25)$$

Denklem (25), (23) de yerine konulursa ,

$$\bar{I}_{ss} = [(A + Y_{ss}) - B(A + Y_R)^{-1} B] \bar{V}_s \quad (26)$$

elde edilir. Buradan kablo başı gerilim vektörü şu şekilde yazılabilir;

$$\bar{V}_s = [S_{R1}]^{-1} \bar{I}_{ss} \quad (27)$$

Burada, $S_{R1} = [(A + Y_{ss}) - B(A + Y_R)^{-1} B]$

Denklem (27) , (25)'te yerine konursa

$$\bar{V}_R = (A + Y_R)^{-1} B [S_{R1}]^{-1} \bar{I}_{ss} \quad (28)$$

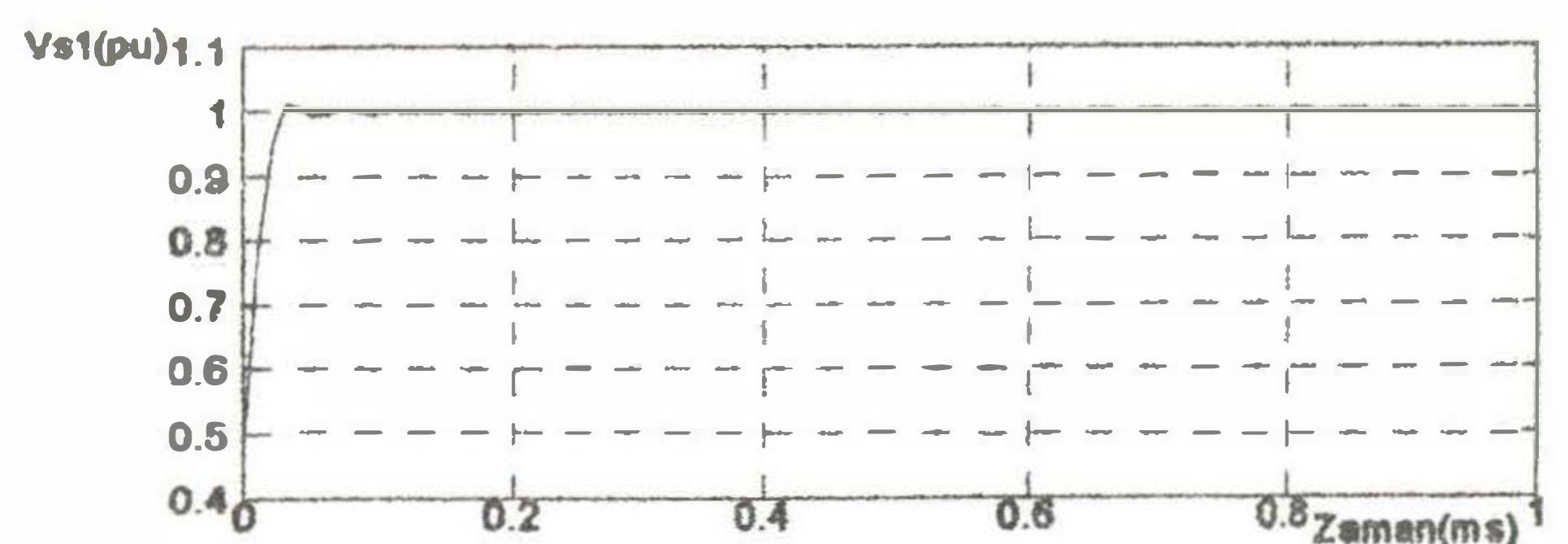
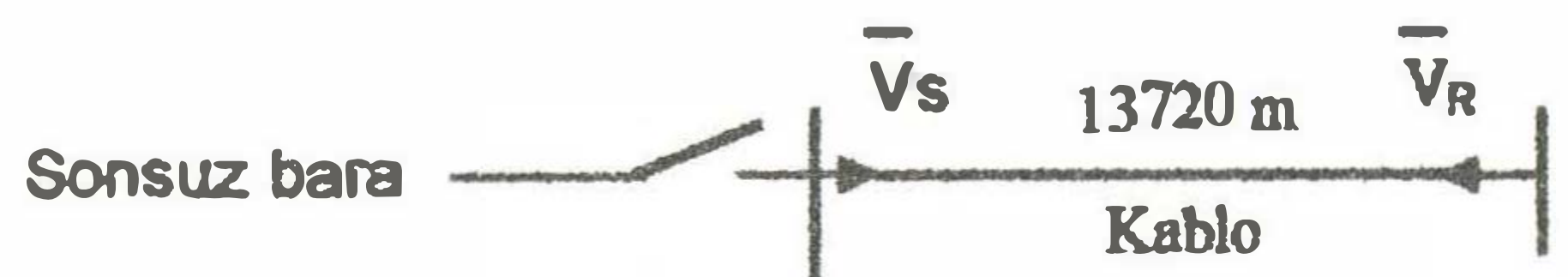
IV. KABLO SİSTEMİNDE YAPILAN BİLGİSAYAR UYGULAMALI ANALİZLER

Ele alınan sistemde, yeraltı enerji kablosunun ana gerilimi 34,5 kV olup, kılıfı çapraz bağlı ve ana bölme uçlarında direkt topraklanmıştır[3].

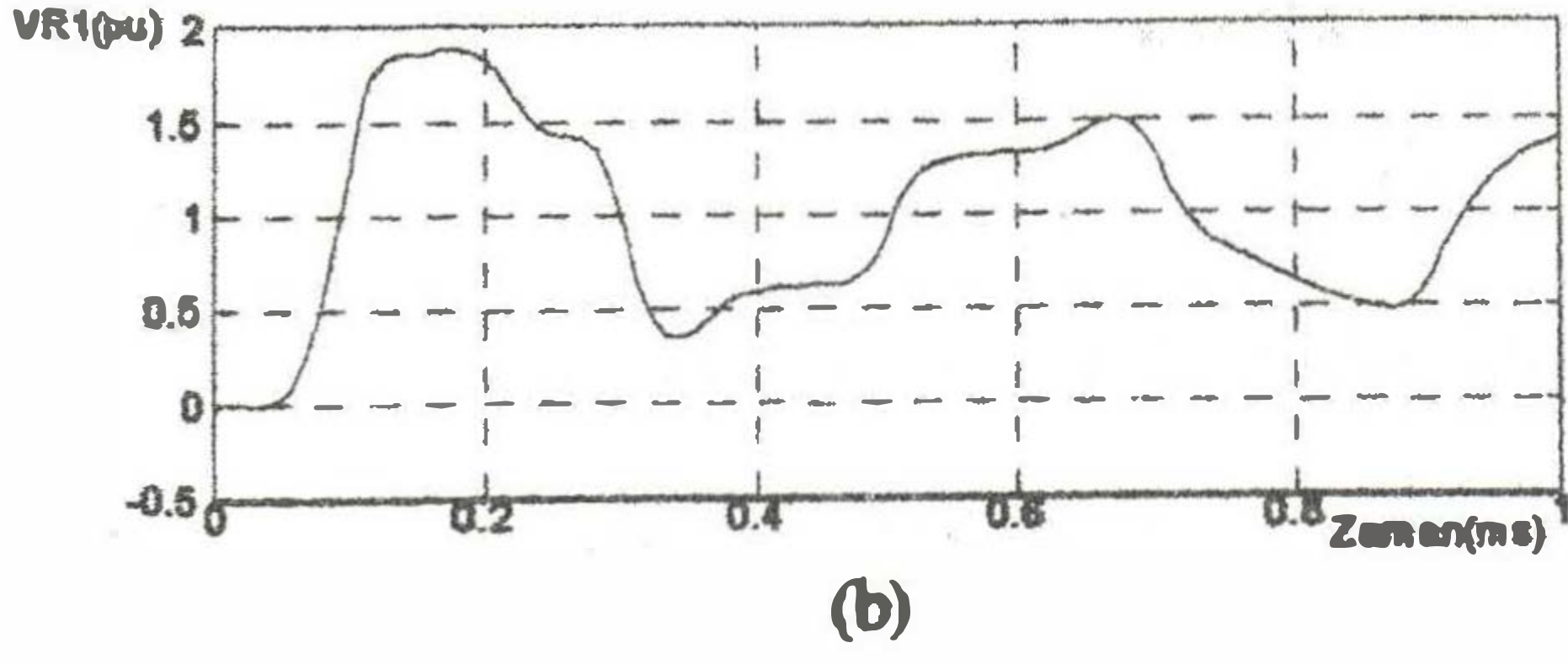
Kablo sonundan herhangi bir yük çekilmemektedir. Burada, bir faz veya üç fazın aynı anda kapanması esnasında kablo sisteminde oluşan geçici olaylar bilgisayarla incelenmiştir.

4.1. Tek Faza Enerji Verilmesi

Bu çalışmada 13720 metre uzunluğunda çapraz bağlı yeraltı enerji kablosunun 1. fazına birim basamak gerilimi uygulanmıştır. Bu durumda kablo sonunda aynı fazda 1.88 pu değerinde bir gerilim yükselmesi meydana geldiği Şekil 4'ten gözlenmektedir.



(a)



Şekil 4. Bir faza birim basamak gerilimi uygulanması
(a) Kablo başı gerilimi
(b) Kablo sonu gerilimi

4.2. Kablo Uzunluğunun Etkisi

Bu çalışmada sonsuz bara üzerinden üç faza aynı anda olmak üzere, çeşitli uzunluklardaki kablo sistemlerine sinüsoidal gerilim uygulanmıştır. Enerji verilmesi sırasında kablo başında 1. faz geriliminin maksimum değerde, olduğu varsayılmıştır.

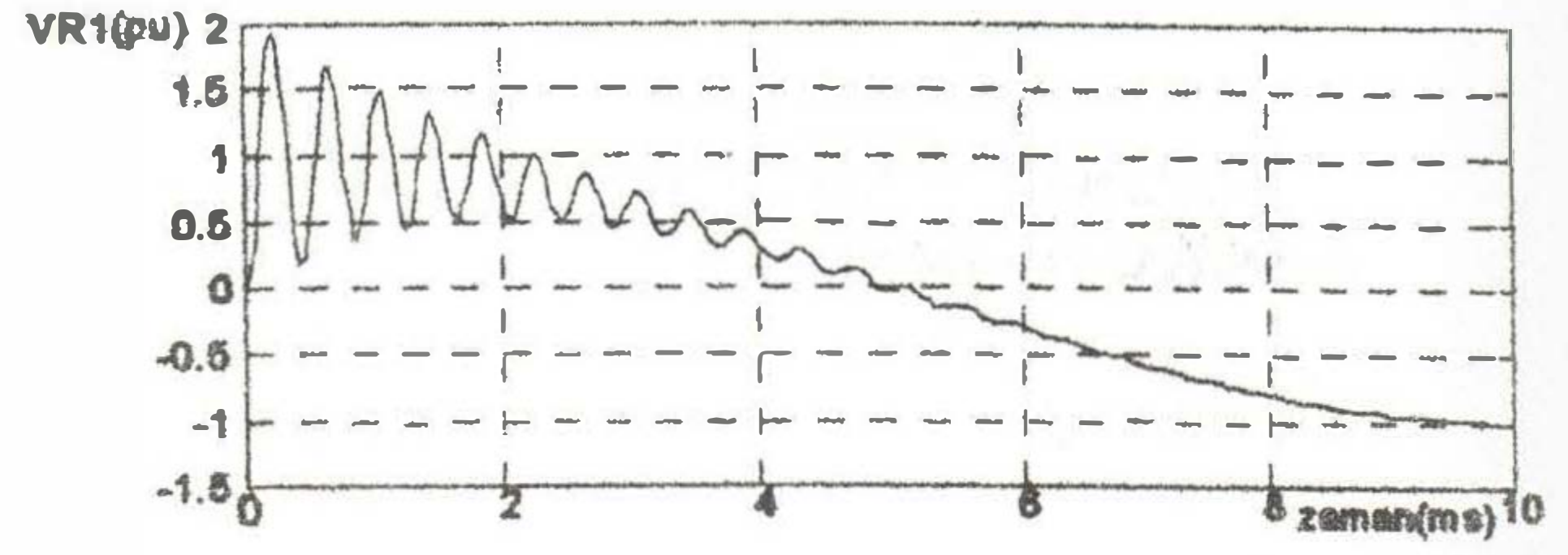
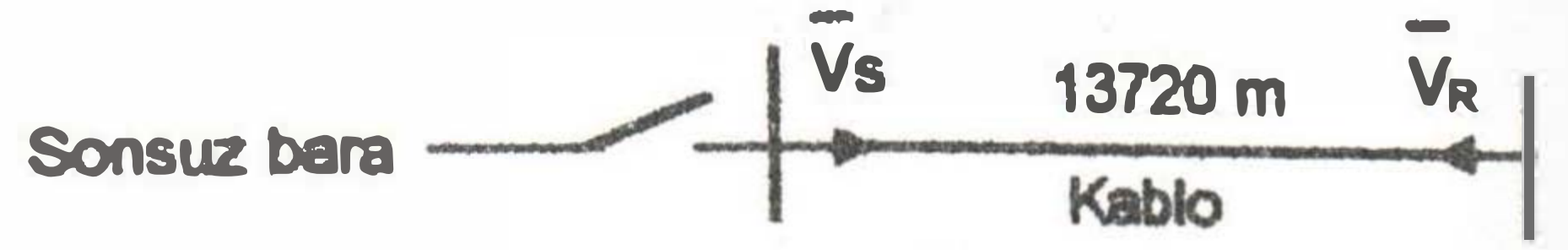
Kablo uzunluğu arttıkça yürüyen dalgaların yol alma süresi uzadığından, kablo sonundaki geçici gerilim eğrilerinde görülen salımların frekansı azalmaktadır.

Örnek olarak ele alınan 13720 m ve 34290 m uzunluklarındaki kablolarda sisteme enerji verilmesini müteakip ilk 2 ms'lik süre esnasında salınım sayılarının, sırasıyla 5 ve 2 olduğu Şekil 5, ve şekil 6'dan görülmektedir.

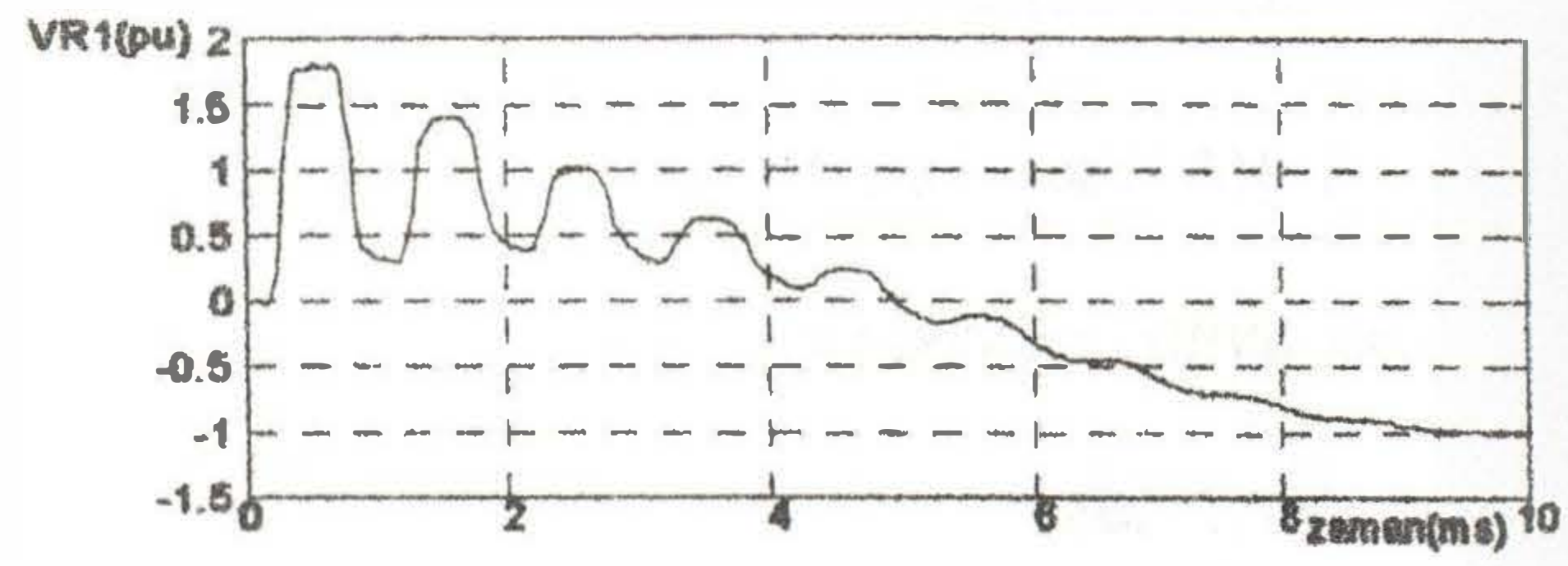
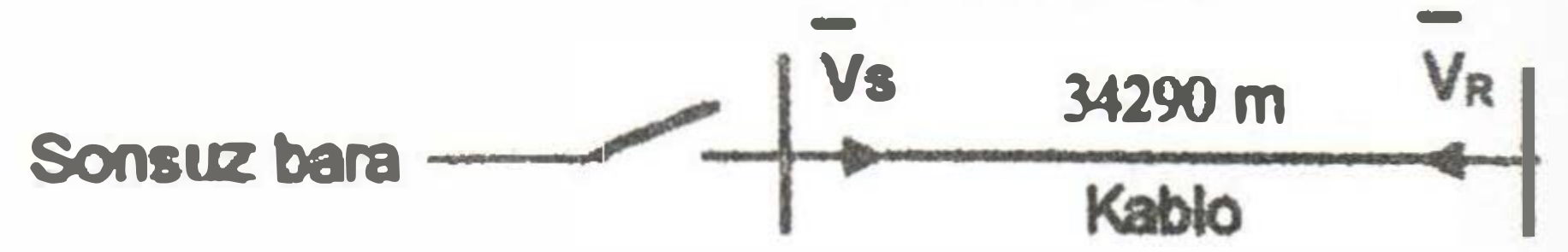
Diğer taraftan kablo sonunda en yüksek gerilimin olduğu 1.fazda, kablo uzunluğu arttıkça aşırı gerilimlerde de bir azalma olduğu görülmekte olup bu durum Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kablo sonunda meydana gelen geçici aşırı gerilimler: Kablo uzunluğunun etkisi

Kablo Uzunluğu (m)	Kablo sonundaki maksimum gerilim değerleri. Faz 1 (pu)
13720	1.9254
20574	1.8685
27432	1.8320
34290	1.7936



Şekil 5. Üç faza birden aynı anda enerji uygulanması halinde kablo sonu gerilimleri: Kablo uzunluğunun etkisi $l = 13720$ m



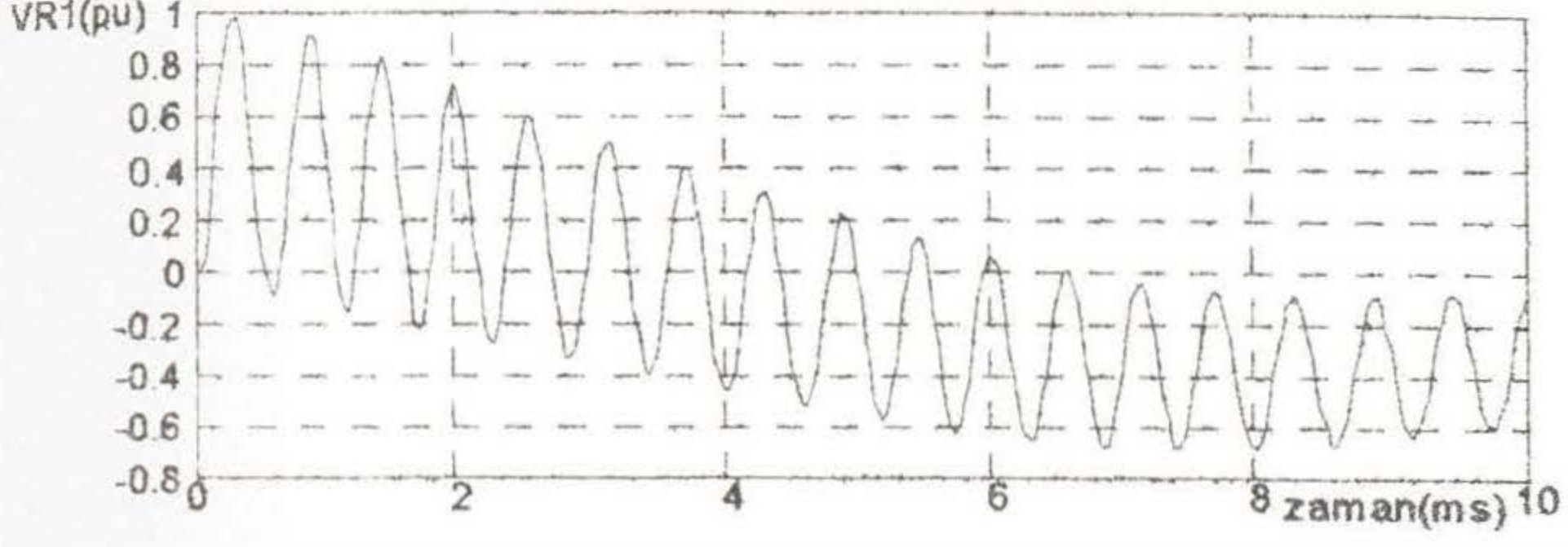
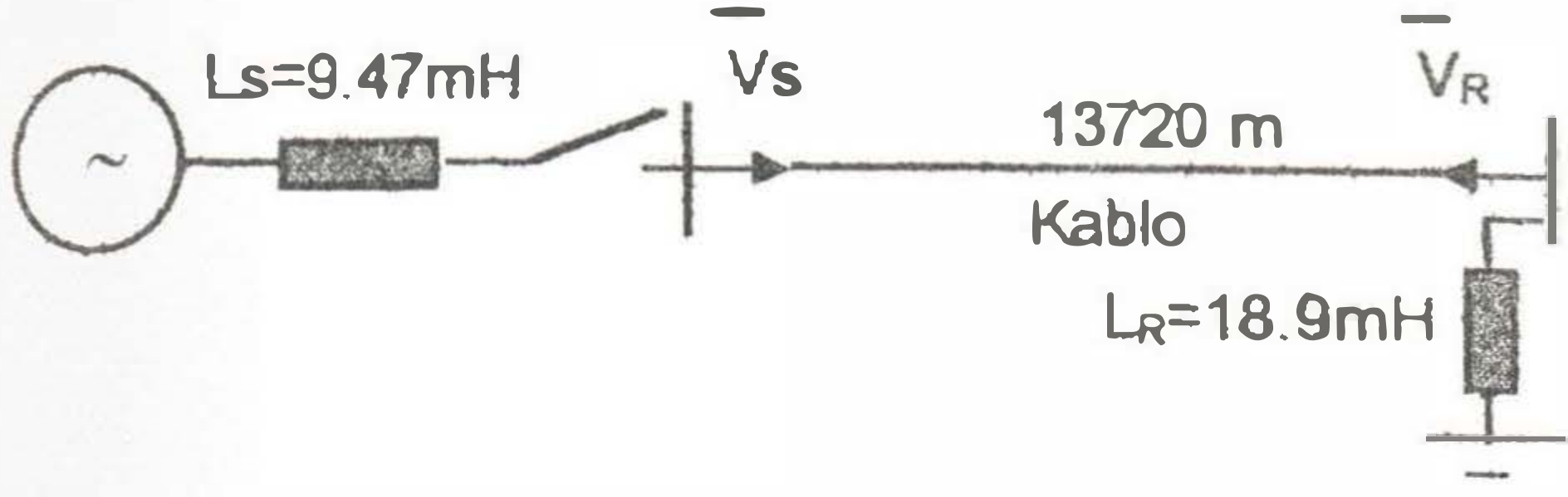
Şekil 6. Üç faza birden aynı anda enerji uygulanması halinde kablo sonu gerilimleri: Kablo uzunluğunun etkisi $l = 34290$ m

4.3. Şönt Reaktörlerin Etkisi

Şönt reaktörler ile aşırı gerilimlerin genliğini azaltmada etkin bir rol üstlenmektedir. Şönt reaktörün güçü arttıkça, yani endüktansı azaldıkça meydana gelen aşırı gerilimlerin genliğinde azalma olmaktadır.

Tablo 3. Kablo Sonunda Şönt Reaktörlerin Etkisi

Üreteç empedansı mH	Reaktör yokken	Reaktör varken (200 MVar)
9.47	2.0334	0.9809



Şekil 7. Üç faza birden aynı anda enerji verilmesi halinde kablo sonu gerilimleri, Kablo sonunda şönt reaktörün etkisi, $L_R=18.9$ mH

V. SONUÇLAR

Kablo uzunluğu değişiminin ve şönt reaktörlerin etkisi ile kablo sonunda oluşan aşırı gerilimler üzerine olan etkileri incelenmiştir. Kablo uzunluğu arttıkça meydana gelen geçici aşırı gerilimlerin maksimum değerinde bir azalma görülmektedir. Kablonun kapasitif etkisi nedeniyle, uzunluğu arttıkça gerekli koruma aygatlarının koruma seviyelerinin azaltılabileceği veya bu gibi aygıtlara gerek duyulmayabileceği söylenebilir. Şönt reaktörler, kompanzasyon seviyesine göre geçici aşırı gerilimlerin büyüklüğünü azaltacak bir rol oynamaktadır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] UYAROĞLU, Y., "Yeraltı Enerji Kablolarında Kapama Aşırı Gerilimlerinin Geçici Rejim Analizi". Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 1997.
- [2] WEDEPOHL, L.M., INDULKAR, C.S. "Switching Overvoltages in short crossbonded Cable Systems Using the Fourier Transform" Proc.IEE, Vol.122, No 11, November, 1975.
- [3] ÜNVER, U., "E.N.H. ile Ardışık Bağlı Bir Yeraltı Enerji Kablosunda Oluşan Manevra Aşırı Gerilimleri" Kaynak dergisi, 1987.

