

# Yeni Üretilen XLPE İzolasyonlu Tek Damarlı Bir Güç Kablosunun Kaçak Empedansının Hesabı

## Calculation of the Leakage Impedance of a Newly Produced XLPE Insulated Single-Core Power Cable

Hakan Çanta<sup>1</sup>, Reşat Mutlu<sup>2</sup>, Rabia Korkmaz Tan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ünika Üniversal Kablo Sanayi ve Tic. A.Ş., Tekirdağ, Türkiye

[hakan@unika.com.tr](mailto:hakan@unika.com.tr)

<sup>2</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

[rmutlu@nku.edu.tr](mailto:rmutlu@nku.edu.tr)

<sup>3</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

[rkorkmaz@nku.edu.tr](mailto:rkorkmaz@nku.edu.tr)

### Öz

Tek damarlı kablolar elektrik sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaçak empedans bu kabloların önemli bir parametresidir. XLPE güç kablolarında yalıtkan olarak kullanılan en yaygın malzemedir. Kablonun XLPE ve Bakır Polyester band katmanlarının kompleks elektriksel geçirgenliği kabloun kaçak akımını belirler. XLPE'nin ve Bakır Polyester bandın (Mylar) kompleks elektriksel geçirgenliği, hem çalışma frekansının hem de sıcaklığın bir fonksiyonudur. Bir güç kablosunda sıcaklık, yarıçapın bir fonksiyonu olarak değişir ve bu da kablo kaçak empedansının hesaplanmasını zorlaştırır. Bu çalışmada literatürden alınan veriler ve sayısal entegrasyon kullanılarak kabloun kaçak empedansının nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kablo modelleme, Tek Damarlı Güç Kablosu, Kablo Kaçak Empedansı, XLPE Malzemesi.

### Abstract

Single-core cables are widely used in electric power systems. Their leakage impedance is an important parameter. XLPE is the most common material used as an insulator in power cables. The complex permittivities of XLPE and Copper Polyester tape layers (Mylar) of the cable determine its leakage current. The complex permittivity of XLPE and Copper Polyester tape are functions of both operation frequency and temperature. In a power cable, the temperature varies as a function of radius, which makes the calculation of the leakage impedance difficult. In this study, it is shown how to calculate the leakage

impedance of the cable using the data taken from the literature and numerical integration.

Keywords: Cable modeling, Single-Core Power Cable, Cable Leakage Impedance, XLPE Material.

### 1. Giriş

Tek damarlı güç kabloları genellikle güç iletimi için kullanılır [1]. AC direnci [1, 2] ve yalıtkan admitansı [1, 3] gibi kablo parametrelerinin hesaplanması karmaşık ve zor süreçlerdir. Kabloların analitik modellenmesi, geçici hal veya kararlı esnasında da oldukça zordur [4, 5]. Şebeke frekanslarında, bir kablo modelinin en az dört kablo parametresine, R, L, C ve G, ihtiyacı vardır [5]. C ve G, kaçak admitansını veya buna karşılık gelen kaçak empedansını hesaplamak için kullanılır. XLPE genellikle Tek damarlı güç kablolarında yalıtkan olarak kullanılır ve kompleks elektriksel geçirgenlik gibi parametreleri ve yaşlanması büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır [1, 6]. Ayrıca, artan sıcaklık ve kabloun yaşı ile XLPE özdirenci ve kaçak akım artar [7, 8]. IEC 60287 standardı, bir çalışma koşulu altındaki bir kabloun Ampasite değerini (akım taşıma kapasitesi) hesaplamak için kullanılır [9, 10]. Bu nedenle XLPE güç kablolarını bir FEM programı kullanarak termal olarak analiz etmek önemlidir [10]. Aşırı ısınma ve gerilim stresi kabloları erken yaşlandırabilir [11]. Bu kabloların ampasite azalmasının hesaplama yöntemleri [12]'de değerlendirilmiştir. Akımda harmoniklerin varolması da kabloun ampasitesinde bir azalmaya neden olmaktadır [13]. Yalıtkan yapısal kusurlarının (defolarının) kablo içindeki elektrik alan dağılımı ve dolayısıyla kabloların kaçak akımı üzerinde de etkisi vardır [14]. XLPE çok önemli bir malzemedir, Bundan dolayı daha iyi kullanımı için kaçak akımı, sulu ağaçlanma ve temas açısı gibi özelliklerinin incelenmesi gerekir [15-17]. Bir XLPE numunesinin kaçak

akımı ve kompleks bağıl elektriksel geçirgenliği ölçülür ve sıcaklık ve frekansın bir fonksiyonu olarak verilir [17]. XLPE yaşlanmasının kaçak akımı üzerindeki etkisi [18]'de incelenmiştir. [17, 18]'de deneyler esnasında dikdörtgen bir prizma XLPE örneği kullanılmıştır, ancak tek damarlı bir güç kablosundaki XLPE silindirik bir geometriye sahiptir ve bu nedenle kaçak empedansını hesaplamak için silindirik geometri dikkate alınmalıdır. Ayrıca, uzun tek damarlı bir güç kablosunda kararlı halde sıcaklık, radyal mesafenin bir fonksiyonudur ve güç kablosunun Mylar, Zırh ve Hffr gibi başka kısımları da vardır. Bu bölgeler, tek damarlı bir güç kablosunun kaçak empedansının hesaplanmasını daha zorlaştırır. Bu çalışmada, XLPE için [17]'deki veriler ve kablunun diğer kısımları için [19-21]'deki veriler kullanılarak, XLPE ve Mylar malzemelerin frekans ve sıcaklık bağımlılığı dikkate alınarak, silindirik koordinatlarda sayısal integral olarak ve Matlab programında gerekli kodu yazarak, yaşlanmamış tek damarlı bir güç kablosunun kaçak empedansı hesaplanmıştır. Böyle bir program, tek damarlı güç kablolarını tasarlamak ve analiz etmek için kullanılabilir.

Bu makale takip eden sırada düzenlenmiştir. İkinci bölümde ise tek damarlı kablunun ısı transfer modeli verilmiştir. Üçüncü bölümde ise XLPE ve Mylar yalıtkanların elektriksel geçirgenlik modelleri sunulmuştur. Dördüncü bölümde, bu güç kablosunun kaçak empedansı bu elektriksel geçirgenlik modelleri kullanılarak hesaplanır. Makale sonuç bölümü ile sonuçlandırılmıştır.

## 2. Tek Damarlı Kablonun Isı Transfer Modeli

Tek damarlı kablo topolojisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Kablo iletkeninde harcanan elektrik gücü şu şekilde verilir:

$$p = R_{AC} I_{rms}^2 \quad (1)$$

Burada  $I_{rms}$  faz akımı ve  $R_{AC}$  kablunun AC direncidir.

Uzun bir silindirin termal direnci [22] şu şekilde verilir:

$$R_{TH} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} \quad (2)$$

Burada  $L$ ,  $r_2$ , ve  $r_1$  sırasıyla silindirin uzunluğu, dış yarıçapı ve dış yarıçapıdır, ve  $k$  termal iletkenliğidir.

Uzun bir kablo için, XLPE, Bakır polyester (Mylar) bant, Bakır zırh ve HFFR yalıtkan katmanlarının termal direnci sırasıyla şu şekilde verilir:

$$R_{THXLPE} = \frac{\ln(r_{XLPE}/r_c)}{2\pi k_{XLPE}L} \quad (3)$$

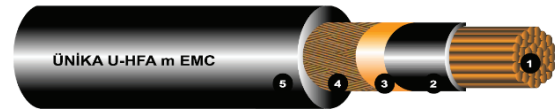
$$R_{THMylar} = \frac{\ln(r_{Mylar}/r_{XLPE})}{2\pi k_{Mylar}L} \quad (4)$$

$$R_{THArmour} = \frac{\ln(r_{Armour}/r_{Mylar})}{2\pi k_{Armour}L} \quad (5)$$

$$R_{THHffr} = \frac{\ln(r_{Hffr}/r_{Armour})}{2\pi k_{Hffr}L} \quad (6)$$

Burada  $r_c$  bakır iletkenin yarıçapıdır,  $r_{XLPE}$  XLPE tabakasının dış yarıçapıdır,  $r_{Mylar}$  mylar tabakasının dış yarıçapıdır,  $r_{Armour}$  bakır zırhın dış yarıçapıdır,  $r_{Hffr}$  Hffr tabakasının dış yarıçapıdır,  $k_{XLPE}$  XLPE'nin termal iletkenliğidir,  $k_{Mylar}$  Mylar'ın termal iletkenliğidir,  $k_{Armour}$

zırhın termal iletkenliğidir ve  $k_{HFFR}$  hffr'nin termal iletkenliğidir.



### MAKE UP

1. Conductor : Annealed Bare or Tinned stranded copper in accordance with IEC 60228 CL2 or CL5
2. Insulation : Cross-linked polyethylene XLPE in accordance with IEC 60092-360
3. Tape : Copper polyester tape
4. Armour : Bare or Tinned copper wire braid in accordance with IEC 60092-350
5. Outer Jacket : Halogen free extruded compound, SHF1 or SHF2 in accordance with IEC 60092-360

Şekil 1: Tek damarlı kablo yapısının yandan görünümü (Ünika Universal Kablo Sanayi ve Tic. A.Ş.'nin izniyle kullanılmıştır)

Kararlı halde, Fourier yasası kullanılarak, kablo içinden aktarılan güç şu şekilde hesaplanır:

$$p = \frac{T_c - T_s}{R_{THXLPE} + R_{THMylar} + R_{THArmour} + R_{THHffr}} \quad (7)$$

Burada  $T_c$  bakır iletken sıcaklığıdır ve  $T_s$  ortam sıcaklığıdır.

Bakır zırh bir Faraday kafesi gibi davranır ve iletken ile zırh arasındaki XLPE ve Mylar katmanları, kablunun kaçak empedansını ve akımını belirler. Bundan dolayı XLPE ve Mylar tabakalar içindeki sıcaklık dağılımı bilinmelidir. Katmanların iç ve dış yarıçaplarında sıcaklığı biliniyorsa, kararlı halde radyal konumun (yarıçapın) bir fonksiyonu olarak iç (dahili) sıcaklıkları Denklem (2) kullanılarak bulunabilir. Elektriksel-termal analogiyi kullanarak, kararlı halde, XLPE katmanı boyunca sıcaklık farkı şu şekilde bulunur:

$$T_c - T_x = p R_{THXLPE} \quad (8)$$

Burada  $T_x$  XLPE'nin dış yarıçapındaki sıcaklıktır ve

$$T_x = T_c - \frac{R_{THXLPE}(T_c - T_s)}{R_{THXLPE} + R_{THMylar} + R_{THArmour} + R_{THHffr}} \quad (9)$$

olarak hesaplanır.

Simülasyonlarda [23]'ten alınan ve Tablo 2'de verilen termal iletkenlikleri kullanılmıştır. Kablunun yeterince uzun olduğu varsayılırsa, kararlı halde, XLPE yalıtkan tabakası içindeki sıcaklık dağılımı şu şekilde verilir:

$$T(r) = (T_c - T_x) \frac{\ln(r/r_{XLPE})}{\ln(r_c/r_{XLPE})} + T_x \quad (10)$$

Kararlı durumda, Mylar tabaka içindeki sıcaklık dağılımı şu şekilde verilir:

$$T_x - T_m = p R_{THMylar} \quad (11)$$

Burada  $T_m$  Mylar'ın dış yarıçapındaki ( $r = r_{Mylar}$ 'daki) sıcaklıktır ve

$$T_M = T_X - \frac{R_{THMylar}(T_X - T_M)}{R_{THXLPE} + R_{THMylar} + R_{THArmour} + R_{THHffr}} \quad (12)$$

olarak hesaplanır. Kararlı durumda, Mylar tabaka içindeki sıcaklık dağılımı şu şekilde verilir:

$$T(r) = (T_X - T_M) \frac{\ln(r/r_{Mylar})}{\ln(r_{XLPE}/r_{Mylar})} + T_M \quad (13)$$

Sıcaklık dağılımı ve çalışma frekansı kullanılarak kablunun kaçak empedansı bulunabilir.

Tek damarlı kablunun fiziksel boyutları Tablo 1'de sunulmuştur. Bakır ve HFFR'in termal iletkenlikleri [19]'den alınmıştır. Mylar'ın termal iletkenliği [20]'den alınmıştır. XLPE'nin termal iletkenliği [23]'ten alınmıştır. Malzemelerin termal iletkenlikleri Tablo 2'de verilmiştir. İç iletken sıcaklığı 90 °C ile sınırlandırılmalıdır [10]. Simülasyonlarda iletken ve ortam sıcaklığı sırasıyla 90 °C ve 20 °C olarak alınmıştır. Kararlı hal ısı transfer analizi Denklem (3) - (13) kullanılarak yapılmış ve katman sınırlarındaki sıcaklıklar Tablo 3'te verilmiştir. Bir sonraki bölümde malzemelerin elektriksel geçirgenliklerini ve elektriksel iletkenliklerini hesaplamak için kullanılacak olan XLPE ve Mylar yalıtkanlarının içindeki sıcaklık dağılımları Şekil 2'de görülebilir.

Tablo 1: Tek damarlı kablunun fiziksel boyutları.

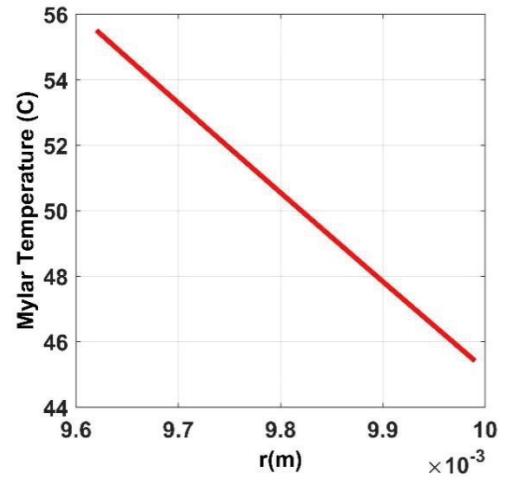
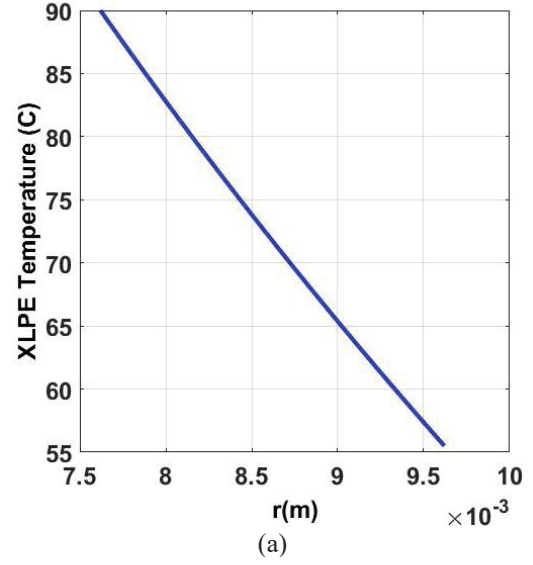
Boyutun İsmi	Boyutun Sembolü	Boyutun Değeri (mm)
Bakır iletken yarıçapı	$r_c$	7.62
XLPE iletken dış yarıçapı	$r_{XLPE}$	9.62
Mylar dış yarıçapı	$r_{Mylar}$	9.99
Zırh dış yarıçapı	$r_{Armour}$	10.59
HFFR dış yarıçapı	$r_{HFFR}$	12.19

Tablo 2: Tek damarlı kablo tabakalarının ısı iletkenlik parametreleri, k [W/m.°K].

Malzeme	Termal İletkenlik Sembolü	Termal İletkenlik Değeri
Bakır	$k_{Armour} = k_{Copper}$	398
XLPE	$k_{XLPE}$	0.28
Mylar	$k_{Mylar}$	0.155 (25.0 - 75.0 °C sıcaklık bölgesi aralığında)
HFFR	$k_{HFFR}$	0.25

Table 3: Arayüz sınırlarındaki sıcaklıklar [°C]

The temperature	Its value
$r = r_c$ 'deki iletken sıcaklığı, $T_c$	90 °C
$r = r_{XLPE}$ 'deki XLPE sıcaklığı, $T_X$	55.505 °C
$r = r_{Mylar}$ 'deki bakır polyester (Mylar) bandın sıcaklığı, $T_M$	45.414 °C
$r = r_{Armour}$ 'deki zırh sıcaklığı, $T_{Armour}$	45.408 °C
$r = r_{HFFR}$ 'deki HFFR sıcaklığı yada ortam sıcaklığı, $T_{HFFR}(= T_S)$	20 °C



Şekil 2: a) XLPE ve b) Mylar tabakalarının içindeki sıcaklığın yarıçapa göre değişimi

### 3. Yalıtkanların Kompleks Elektriksel Geçirgenlik Modelleri

Bu bölümde, XLPE ve Mylar malzemelerinin bağlı kompleks elektriksel geçirgenlik modelleri verilmiştir.

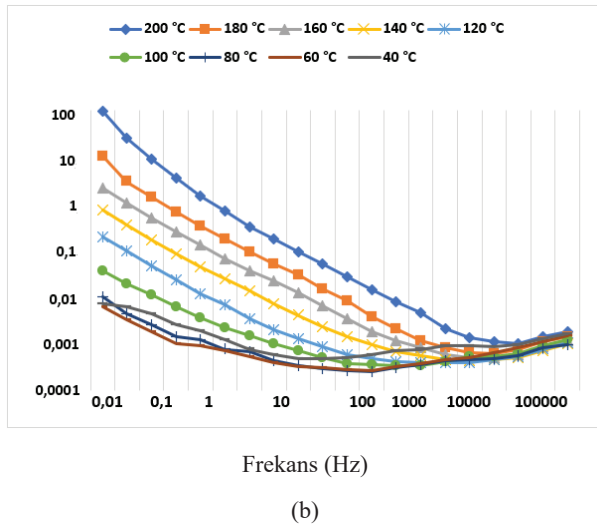
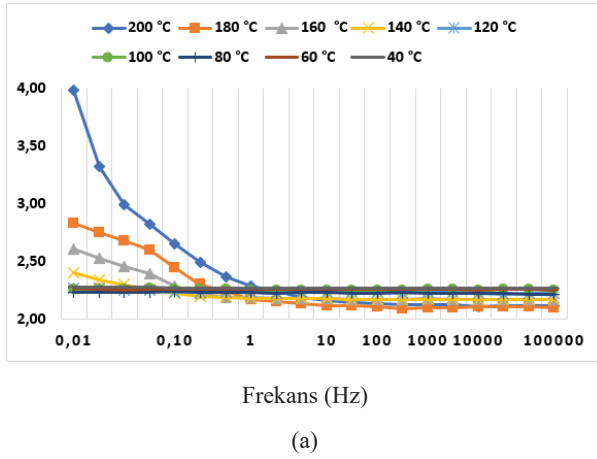
#### 3.1 XLPE Yalıtkanının Kompleks Elektriksel Geçirgenlik Modeli

Bu bölümde, XLPE kablusunun bağlı kompleks elektriksel geçirgenlik özellikleri verilmiştir. [17]'de, XLPE malzemesinin kompleks elektriksel geçirgenliği ölçülmüş ve sunulmuştur. Bu çalışmada bahsedilen veriler Getdata programı kullanılarak yeniden üretilmiştir [24]. Geçirgenliğin hem gerçek hem de sanal kısımları, sıcaklık (T) ve frekansın (f) bir fonksiyonu olarak alınmıştır. Bunlar Şekil 3'te gösterilmiştir. XLPE 'nin

bağıl kompleks elektriksel geçirgenliği,  $\epsilon_{XLPE}(\omega, T)$ , şu şekilde verilmiştir:

$$\epsilon_{XLPE}(\omega, T) = \epsilon_0 \epsilon'(\omega, T) - j\epsilon_0 \epsilon''(\omega, T) \quad (14)$$

Burada  $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$  bağıl kompleks elektriksel geçirgenliğin gerçek ve sanal kısımlarıdır,  $\epsilon_0$  boşluğun geçirgenliğidir ve  $\omega = 2\pi f$  açısal frekanstır.



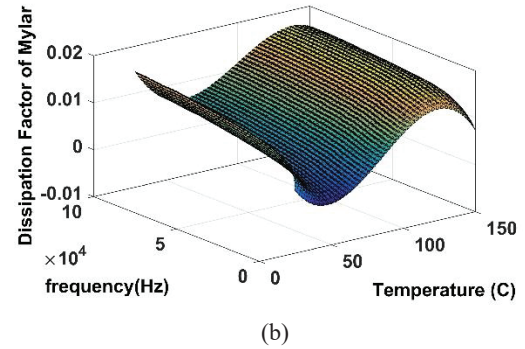
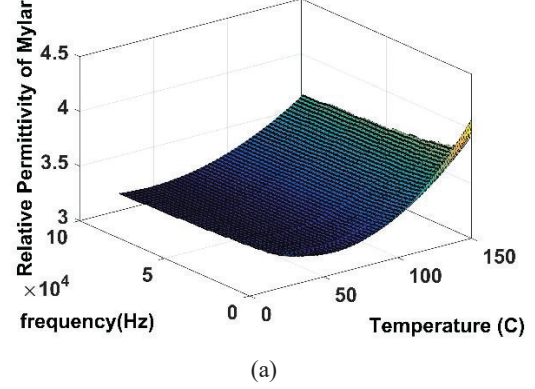
Şekil 3: [17]'den alınıp yeniden üretilmiş frekansa ve sıcaklığa bağlı ölçülmüş bağıl kompleks elektriksel geçirgenliğin a) gerçek kısmı  $\epsilon'$  ve b) sanal kısmı  $\epsilon''$ .

### 3.2 Mylar Yalıtkanının Kompleks Elektriksel Geçirgenlik Modeli

Bu bölümde Mylar'ın bağıl elektriksel geçirgenlik ve dielektrik kayıp faktörü özellikleri verilmiştir. Mylar'ın elektriksel özellikleri de Getdata veri alma programı kullanılarak [21]'den alınmıştır. Ne yazık ki, [21]'den alınan veriler [16]'dan alınan XLPE verileri kadar zengin değildi. Mylar'ın hem bağıl elektriksel geçirgenliği,  $\epsilon_{Mylar}(\omega, T)$  hem de dielektrik kayıp faktörü,  $DP_{Mylar}(\omega, T)$ , sıcaklık (T) ve frekansın (f) iki boyutlu bir fonksiyonu olarak kabul edilmiştir ve her ikisi de Şekil 4'te gösterilmiştir. Mylar'ın bağıl elektriksel ve kayıp faktörü kullanılarak, Mylar'ın elektriksel iletkenliği

$$\sigma_{Mylar}(\omega, T) = \omega \epsilon_0 \epsilon_{Mylar}(\omega, T) DP_{Mylar}(\omega, T) \quad (15)$$

olarak hesaplanır.



Şekil 4: Mylar'ın sıcaklık ve frekansa bağlı olarak a) bağıl elektriksel geçirgenliği ve b) dielektrik kayıp katsayısı.

### 4. XLPE Kablonun Kaçak Empedansı

XLPE'nin kaçak empedansa katkısı şu şekilde bulunabilir:

$$Z_{S1} = \int_{r_C}^{r_{XLPE}} \frac{dr}{j\omega \epsilon(\omega, T) 2\pi r L} \quad (16)$$

$$Z_{S1} = \int_{r_C}^{r_{XLPE}} \frac{dr}{j(\epsilon_0 \epsilon'(\omega, T) - j\epsilon_0 \epsilon''(\omega, T)) 2\pi r L} \quad (17)$$

Bu kaçak empedans integrali, toplam XLPE katman sayısı  $N_{XLPE}$  olarak alınarak sayısal olarak hesaplanabilir:

$$Z_{S1} = \sum_{i=0}^{N_{XLPE}} \frac{\Delta r}{(\epsilon_0 \epsilon'(\omega, T(i)) - j\epsilon_0 \epsilon''(\omega, T(i))) 2\pi r(i) L} \quad (18)$$

Burada  $i$  XLPE katman numarasıdır,  $r(i) = r_C + i\Delta r$   $i$ .inci XLPE katmanının dış yarıçapıdır ve  $T(i) = (T_C - T_X) \frac{\ln(r(i)/r_{XLPE})}{\ln(r_C/r_{XLPE})} + T_X$   $i$ .inci XLPE katmanın dış yarıçaptaki sıcaklığıdır.

Mylar'ın kaçak empedansa katkısı şu şekilde bulunabilir:

$$Z_{S2} = \int_{r_{XLPE}}^{r_{Mylar}} \frac{dr}{(\sigma_{Mylar}(\omega, T) + j\omega\epsilon_{Mylar}(\omega, T))2\pi rL} \quad (19)$$

Benzer şekilde, kaçak empedans integrali, toplam Mylar katman sayısı  $N_{Mylar}$  olarak alınarak sayısal olarak hesaplanabilir:

$$Z_{S2} = \sum_{i=0}^{i=N_{Mylar}} \frac{\Delta r}{(\sigma_{Mylar}(\omega, T(i)) + j\omega\epsilon_{Mylar}(\omega, T(i)))2\pi r(i)L} \quad (20)$$

Burada  $i$  Mylar katman numarasıdır,  $r(i) = r_{XLPE} + i\Delta r$   $i$ .inci Mylar katmanının dış yarıçapıdır, ve

$$T(i) = (T_X - T_M) \frac{\ln(r(i)/r_{Mylar})}{\ln(r_{XLPE}/r_{Mylar})} + T_M$$

$i$ .inci Mylar katmanının dış yarıçaptaki sıcaklığıdır.

Kablonun kaçak empedansı, Mylar ve XLPE katkılarının toplamı olarak hesaplanır:

$$Z_P = Z_{S1} + Z_{S2} \quad (21)$$

Kablonun kaçak empedansının eşdeğer direnci ve eşdeğer reaktansı sırasıyla

$$R_S = Re\{Z_P\} \quad (22)$$

ve

$$X_S = Re\{Z_P\} \quad (23)$$

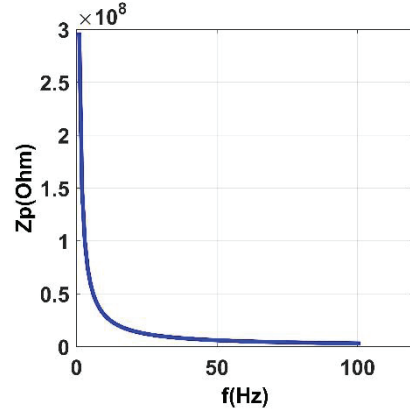
olarak verilmiştir: Kablonun kaçak empedansının mutlak değeri

$$Z_P = \sqrt{R_S^2 + X_S^2} \quad (24)$$

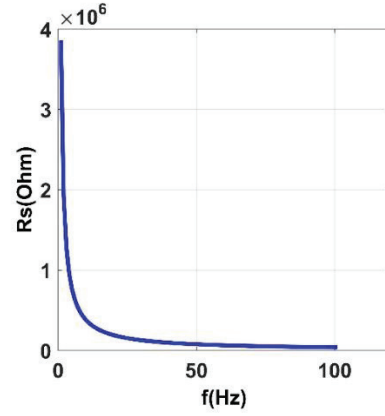
olarak hesaplanabilir. Kablonun kayıp faktörü veya kayıp tanjantı

$$\tan\delta = \frac{R_S}{X_S} \quad (25)$$

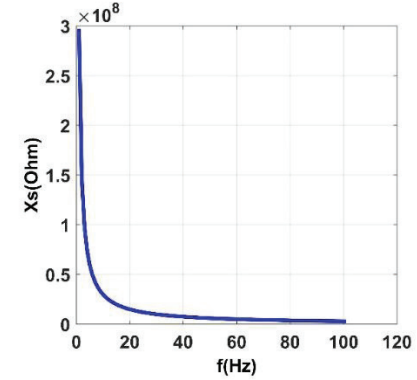
olarak hesaplanabilir. Bu çalışmada kablonun akımı ve gerilimi sinüzoidal olarak kabul edilmiştir. Kablonun kaçak empedansını hesaplamak için Matlab'da bir kod yazılmıştır. Matlab dosyasının girişleri Tablo 1-2'de verilen parametreler; kablo uzunluğu, XLPE kompleks geçirgenlik fonksiyonu, Mylar elektriksel iletkenlik ve elektriksel geçirgenlik fonksiyonları, iletken sıcaklığı ve ortam sıcaklığı olarak seçilmiştir. XLPE tabakasının birim uzunluk başına kaçak empedansı, kaçak reaktansı ve kaçak direnci ( $L = 1$  metre) Tablo 1-3'te verilen parametreler için hesaplanmıştır ve Şekil 5-8'de gösterilmiştir.



Şekil 5:  $T_S=40$  °C ve  $T_C=80$  °C için bu güç kablosunun kaçak empedansının ( $Z_P$ ) frekansa göre değişimi



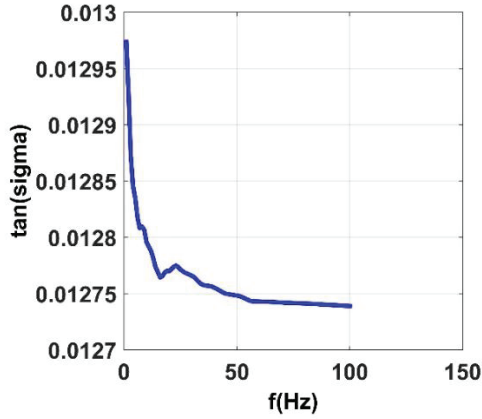
(a)



(b)

Şekil 6:  $T_S=40$  °C ve  $T_C=80$  °C için bu güç kablosunun a) eşdeğer kaçak direncininin ( $R_P$ ) ve b) eşdeğer kaçak reaktansının ( $X_P$ ) frekansa göre değişimi





Şekil 7:  $T_S=40\text{ }^\circ\text{C}$  ve  $T_C=80\text{ }^\circ\text{C}$  için  $\tan\delta$ 'nın frekansa göre değişimi.

## 5. Sonuç

[16]'da, XLPE malzemesinin kompleks elektriksel geçirgenliği, bir dikdörtgen prizma XLPE örneği için ölçülmüştür. Bununla birlikte, tek damarlı bir güç kablosu silindirik bir geometriye ve yarıçapa bağlı bir sıcaklığa sahiptir. Bu çalışmada, tek çekirdekli bir XLPE güç kablosunun kaçak empedansı, deneysel XLPE verileri ile Mylar kataloğunun verileri kullanılarak hesaplanmış ve hesaplanmasında silindirik geometri nedeniyle sayısal integralin kullanılabileceği gösterilmiştir. Kararlı halde XLPE tek damarlı kablunun kaçak empedansının reel ve sanal kısmı yani eşdeğer kaçak direnci ve eşdeğer kaçak reaktansı ile dielektrik kayıp faktörü  $\tan\delta$  da frekansın bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.

## 6. Teşekkür

Bu çalışma Ünika Üiversal Kablo Sanayi ve Tic. A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: **UPN-2002**.

## 7. Kaynaklar

- [1] G. F. Moore (Ed.), *Electric cables handbook*. Blackwell Science, UK, 1997
- [2] Dai D., X. Zhang, & J. Wang, "Calculation of AC resistance for stranded single-core power cable conductors", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 50, no. 11, pp. 1-4, 2014.
- [3] P. Wagenaars, P. A. Wouters, P. C. Van Der Wielen, & E. F. Steennis, "Approximation of transmission line parameters of single-core and three-core XLPE cables", *IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation*, vol. 17, no. 1, pp. 106-115, 2010.
- [4] B. Gustavsen, "Panel session on data for modeling system transients insulated cables", *2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Conference Proceedings (Cat. No. 01CH37194)*, COLUMBUS, OHIO, USA, 2001, vol. 2, pp. 718-723. doi:10.1109/PESW.2001.916943.
- [5] Z. H. Yuan, & Y. Du, "Harmonic impedance of single-core armored cables", *2003 IEEE PES Transmission and*

*Distribution Conference and Exposition (IEEE Cat. No. 03CH37495)*, Dallas, TX, USA, 2003, vol. 1, pp. 45-48. doi: 10.1109/TDC.2003.1335154

[6] O. E. Gouda & Z. Matter, "Effect of the temperature rise on the XLPE dielectric properties", *IEEE Proceedings of the 35th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, 1992, pp. 95-98. doi: 10.1109/MWSCAS.1992.271325.

[7] W. A. Thue (Ed.), *Electrical power cable engineering*, CRC Press, Boca Raton, 2017.

[8] G. J. Anders, *Rating of electric power cables in unfavorable thermal environment*, Hoboken, NJ, USA, Wiley-IEEE Press, 2005.

[9] IEC Publication 60287, *Calculation of the continuous current ratings of cables*, 1982, 3. Ed., 1995.

[10] F. Aras, & C. Oysu, "Thermal analysis of 154 kV underground cable joint using finite element method", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 22, no. 3, 281-286, 2007.

[11] F. Aras, V. Alekperov, N. Can, & H. Kirkici, "Aging of 154 kV underground power cable insulation under combined thermal and electrical stresses", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 23, no. 5, pp. 25-33, 2007. doi: 10.1109/MEI.2007.4318272.

[12] F. Aras, C. Oysu, & G. Yilmaz, "An assessment of the methods for calculating ampacity of underground power cables", *Electric Power Components and Systems*, vol. 33, no. 12, pp. 1385-1402, 2005. doi: 10.1080/15325000590964425.

[13] Y. G. Sahin, & F. Aras, "Investigation of harmonic effects on underground power cables", *2007 IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Setubal, Portugal, 2007, pp. 589-594. doi: 10.1109/POWERENG.2007.4380123.

[14] C. Uydur, O. Arıkan, & O. Kalenderli, "The Effect of insulation defects on electric field distribution of power cables", *2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, Athens, Greece, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICHVE.2018.8641936.

[15] M. Karhan & M. Uğur, "XLPE izoleli tek damarlı orta gerilim kablolarında elektrik alanının sulu ağaçlanmaya etkisinin incelenmesi", *Güç Sistemleri Konferansı (GSK2016)*, İstanbul, 2016.

[16] M. Karhan, M. F. Çakır, Ö. Arslan, F. İssi, & V. Eyüpoğlu, "XLPE dielektrik malzemelerde elektrik alanının temas açısına ve damlacık şekline etkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 36, no. 3, pp. 1747-1760, 2021. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.700362>.

[17] Y. Du, P. Geng, J. Song, M. Tian, & D. Pang, "Influence of temperature and frequency on leakage current of XLPE cable insulation", *2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, Chengdu, China, 2016, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICHVE.2016.7800648.

[18] P. Geng, J. Song, M. Tian, Z. Lei, & Y. Du, “Influence of thermal aging on AC leakage current in XLPE insulation”, *AIP Advances*, vol. 8, no. 2, 025115. 2018. <https://doi.org/10.3390/polym14153147>.

[19] B. Perka & K. Piwowarski, “A Method for Determining the Impact of Ambient Temperature on an Electrical Cable during a Fire”, *Energies*, vol. 14, no. 21, 7260, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14217260>.

[20] Anonim, “DuPont Teijin Films Mylar”, Matweb (Online), [https://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=981d85aa72b0419bb4b26a3c06cb284d](https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=981d85aa72b0419bb4b26a3c06cb284d), [June 06, 2023]

[21] Anonim, “Elektrikal properties”, DuPont Teijin Films (Online),

<https://europe.dupontteijinfilms.com/media/2431/info-mylar-a-electrical-properties.pdf>, [Access date; June 10, 2023]

[22] Y. A. Cengel, *Introduction to thermodynamics and heat transfer*, McGraw-Hill, New York, 1997.

[23] S. Manjang, & B. Armynah, “The radial distribution of temperature in XLPE cable an analysis the finite element numerical method”, *2006 IEEE 8th International Conference on Properties & applications of Dielectric Materials*, Denpasar, Bali, 2006, pp. 439-442. doi: 10.1109/ICPADM.2006.284209.

[24] Anonim, “GetData Graph Digitizer 2.26”, Software.informer (Online), <https://getdata-graph-digitizer.software.informer.com/> [Access date; June 02, 2023]

## Özgeçmişler



**Hakan Çanta**, 1984 Yılında Kırklareli’de doğdu. İlk ve orta öğrenimi Kırklareli Vize’de tamamladı. 2002 Yılında Kırklareli Teknik Lisesi Elektrik Bölümünü ikincilikle bitirdi. Lise stajını Tekirdağ, Çerkezköy’de bulunan o günkü adıyla Aksu iplik Dokuma T.A.Ş. Elektrik Bakım bölümünde tamamladı. 2002 Yılında Kocaeli Üniversitesi Elektrik Öğretmenliği bölümüne başladı. Üniversite yıllarında Kocaeli’de Hyundai, Crown metalbox gibi firmalara teknik destek sağlayan bir firmada staj yaptı, Staj sonrası tam zamanlı ve yarı zamanlı olarak elektrik teknisyeni görevinde çalıştı. Türkiye’nin en büyük sanayi kuruluşlarındaki teknik ekiplerle çalışma tecrübesine sahip oldu. 2006 yılında okul bittikten sonra askere gitti ve Bolu il jandarma komutanlığında kısa dönem jandarma çavuş olarak askerlik hizmetini tamamladı. Askerlik sonrası 2010’a kadar ücretli öğretmenlik ve üretim sorumlusu gibi alanlarda kamu ve özel sektörde görev aldı. 2010 yılında Ünika Universal Kablo Ar-ge ve Dizayn bölümüne çalışmaya başladı. 2016 yılı sonunda Ar-ge ve Dizayn şefi oldu. 2017 yılı içerisinde Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığında Ar-Ge Merkezi Lisansı olarak Ar-Ge Merkezi Müdürü oldu. Ardından bazı Tübitak projelerinde proje yöneticiliği yapmaktadır. 2022 yılında Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği’nde Yüksek Lisansını tamamladı. İş hayatına Ünika Universal Kablo’da devam etmektedir. Evli ve bir erkek çocuk babasıdır.



**Doç. Dr. Reşat Mutlu**, 1973 yılında Tekirdağ’da doğdu. Lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde, Yüksek lisans ve doktorasını ise Rensselaer Polytechnic Enstitü’de sırasıyla 1998 ve 2004 yıllarında tamamladı. An itibarıyla Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi’nde doçent olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları Elektronik sistemlerin modellenmesi, Memristör, Memristif sistemler, Rezistif RAM bellekler, Güç hattı haberleşme sistemleri, Rezistif sinterleme sistemleri ve Kablolardır.



**Dr. Öğr. Üyesi Rabia Korkmaz Tan**, 1984 yılında Erzurum’da doğdu. Lisans eğitimini Mersin Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde tamamladı. Yüksek lisans ve doktorasını ise Ege Üniversitesinde sırasıyla 2010 ve 2018 yıllarında tamamladı. 2011-2018 yılları arasında Ege Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. An itibarıyla Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi’nde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Ayrıca, Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür Yardımcısı olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları Optimizasyon, Parametre ayarlama, Etmen Tabanlı Modelleme, Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekadır.