

A.G. ELEKTRİK TESİSATINDA GERİLİM DÜŞÜMÜ

❖ İletken (kablo ve busbar) Boyutlandırma Kriterleri;

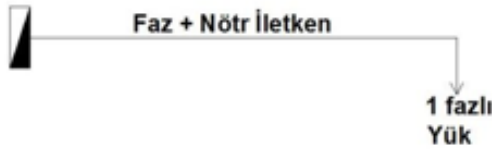
- 1- Gerilim Düşümü
- 2- Aşırı Yük Akımına Karşı Koruma
- 3- Kısa Devreye Karşı Koruma ve Açma Süresi (Canlı güvenliği)

❖ Gerilim düşümünü etkileyen ana faktörler;

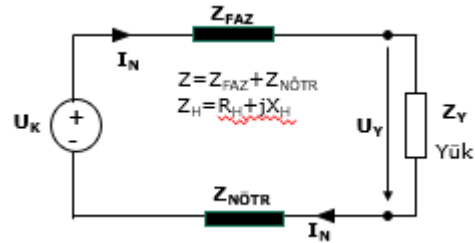
Elektrik tüketicisinin klemenslerine kadar oluşacak toplam gerilim düşümü, kablo ve busbar boyutlandırılmasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Gerilim düşümünü etkileyen 5 ana faktör:

- 1- İletken kesiti "S" (mm²)
- 2- İletken boyu "L" (m)
- 3- Yük Akımı "I_B" (A)
- 4- Güç faktörü "Cosφ"
- 5- İletken malzemesi "Cu, Al, vs"



(Basit devre şeması)



(Eşdeğer devre şeması)

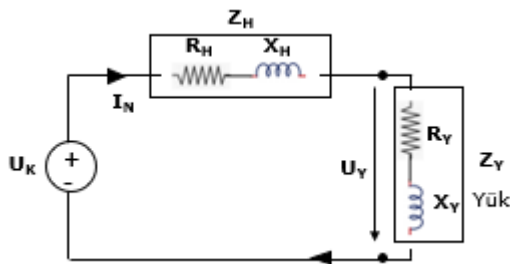
- U_K: Kaynak gerilimi (V)
 U_Y: Yük gerilimi (V)
 I_N: Yük akımı (A)
 Z_{FAZ}: Faz iletken empedansı (Ω)
 Z_{NÖTR}: Nötr empedansı (Ω)
 Z_Y: Yük Empedansı (Ω)

Hattan yük akımı geçtiğinde, ihmal ettiğimiz o küçük empedans, gerilimi düşürmeye yetmektedir. Hattın empedansı, akımı belirlerken ihmal edilir, gerilimi belirlerken dikkate alınır.

$$U_K = I_N \cdot Z_H + U_Y$$

$$U_K = I_N \cdot (R_H + jX_H) + U_Y$$

$$U_K = I_N \cdot R_H + jI_N \cdot X_H + U_Y$$



(Eşdeğer devre şeması)

❖ Hat Empedansı (Z_H):

Bir işi yapmak için belirli bir şiddette akım çekmek zorundayız, haliyle gerilim düşümünü azaltacağız diye yük akımını azaltamayız. Yapacağımız tek şey yük akımını taşıdığımız iletkenin empedansını doğru seçmektir.

Empedansın iki bileşeni vardır:

- 1- Direnç (R_H)
- 2- Reaktans (X_H)

❖ Hat Direnci (R_H):

1m uzunluğunda ve 1mm² kesitindeki bir iletkenin, elektrik akımına karşı gösterdiği dirence öz direnç (R₀) denir. Öz direnç değeri, malzemenin yapısından kaynaklanan ve o malzemeye özgü bir değerdir.

- Alüminyum için R_{0Al} = 0,028264 Ωmm²/m
- Bakır için R_{0Cu} = 0,017857 Ωmm²/m dir.

Özdirencin tersine iletkenlik (κ) denir.

- * Alüminyum için $\kappa_{Al} = 35,38 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$
- * Bakır için $\kappa_{Cu} = 56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$ dir.

$$R = \frac{R_0 \cdot L}{S}$$

$$R = \frac{L}{\kappa \cdot S}$$

❖ Direnç ve Sıcaklık:

Direnç değeri sıcaklıkla değişir. Verilen değerler 20°C ortam sıcaklığındaki değerlerdir. İletken üzerinden akım geçip iletken ısındıkça direnç değeri artacaktır. Haliyle gerilim düşümü hesaplarında da iletkenin işletme sıcaklığındaki direnç değerlerini hesaba almak doğru olur.

Bir iletkenin T_1 sıcaklığındaki direnci R_1 olsun, sıcaklık T_2 sıcaklığına geldiğinde iletkenin direnci R_2 olacaktır. Buna göre direncin sıcaklıkla değişimi aşağıdaki denkleme göre gerçekleşir:

$$(R_2 - R_1) / R_1 = \alpha (T_2 - T_1) \text{ veya}$$

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha (T_2 - T_1)]$$

α = İletken direncinin sıcaklığa göre değişim katsayısıdır. Her maddenin kendine özgü bir değişim katsayısı bulunur.

(Bakır iletkenlerde $\alpha = 0,00393$)
(Alüminyum iletkenlerde $\alpha = 0,00403$) alınır.

Buradan iletkenin ortam sıcaklığına bağlı direnç değeri 50°C için:

$$R'_{50^\circ\text{C}} = 1,12 \cdot R_{20^\circ\text{C}}$$

olarak bulunur.

❖ Direnç ve Deri Etkisi:

Bir alternatif akım sisteminde gerilim düşümü hesabı yapıyorsak, hesaplara DC direnç değil AC direnci esas almak durumundayız. Kablo kataloglarında 20°C sıcaklıkta DC direnç değerleri verilir. Halbuki işletme şartlarında bu direncin değerini arttıran başka faktörler oluşur. Alternatif akım sistemlerinde ortaya çıkan, deri etkisi (skin effect) söz konusudur.

DC gerilimde iletkenin akan akım, iletkende homojen olarak dağılır. Yani deri etkisi DC sistemlerde görülmez. Sadece AC sistemlerde görülen deri etkisi frekans arttıkça artar. Bir başka deyişle frekans arttıkça akım iletkenin merkezinden uzaklaşarak dış yüzeyine daha fazla yaklaşır.

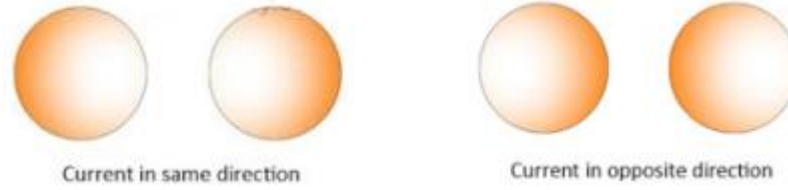


Deri etkisinde akım iletkenin dış yüzeyine doğru yoğunlaştığı için iletkenin tüm kesiti kullanılmaz. Deri etkisinin bir sonucu olarak iletkenin akım taşıyan kesiti küçüldüğü için empedansı artar ve sonuçta kayıpların artmasına neden olur.

❖ Direnç ve Yakınlık Etkisi:

Mantık olarak deri etkisiyle aynıdır. Alternatif akım taşıyan iletkenlerde akım homojen olarak dağılmaz. İki veya daha fazla sayıda iletken birbirlerinin elektromanyetik alanlarından etkilenirler.

Aynı yönde akım taşıyan iletkenlerde akım dış kısımda (uzak tarafta), farklı yönde akım taşıyan iletkenlerde akım iç kısımda (yakın tarafta) akar. Buna sebep olan etken birbirlerinin manyetik alanından etkilenme yönüdür.



Bu 2 etkinin sonuçlarının nasıl hesaplandığı IEC 60287-1-1 'de detaylı olarak anlatılmaktadır.

❖ **Direnç:**

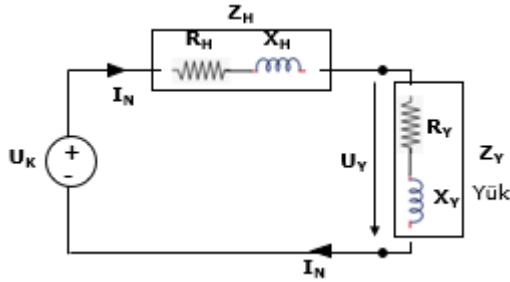
Deri ve yakınlık etkilerini hesaba alarak kablo kesiti bazında izin verilen işletme sıcaklıklarına göre 70°C veya 90°C sıcaklıkta AC direnç karşılığını bulmak için firma ürün kataloglarındaki teknik bilgi sayfalarını kullanabiliriz.

Tablolardan da görüleceği gibi AC direnç değerini kullanmak, küçük kesitli kablolarda pek önem arz etmese de özellikle büyük kesitli kablolarda önemli değişikliklere yol açmaktadır.

Kabloların müsaade edilen sınır işletme sıcaklıkları:

PVC yalıtkanlı = **70°C**

XLPE yalıtkanlı = **90°C**



(Eşdeğer devre şeması)

❖ **Reaktans (X):**

Alternatif akım, iletken üzerinde bir manyetik alan ve elektrik alan oluşturacaktır. Bu alanların oluşması neticesinde iletken üzerinde endüktans ve kapasitans değerleri meydana gelir. Aslında bunların direkt bir enerji kaybına yol açmaları söz konusu değildir ama manyetik ve elektrik alanların oluşması için kaynaktan bir miktar akım çekilecektir. Bu akım I^2R kaybında küçük de olsa artışa sebep olur.

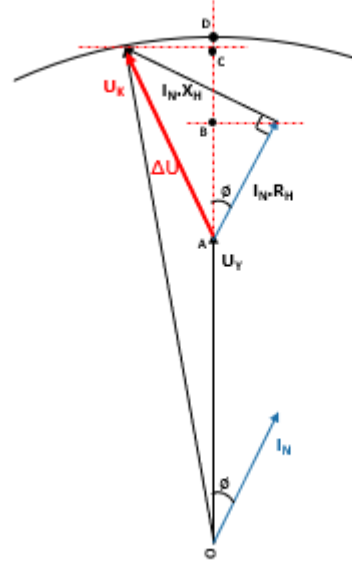
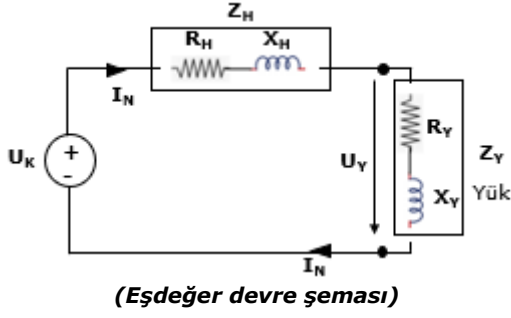
İletkenlerin endüktif ve kapasitif direnç değerlerinden toplam reaktans değeri oluşur. Bu değer, iletkenin tesis edildiği yer, yakınındaki çelik konstrüksiyon, başka kablolara komşuluk gibi birtakım parametrelere göre değişir. Ancak her zaman bu detaylara göre hassas hesaplama yapılamayacağı için çeşitli kaynaklarda verilen iletken reaktans değerlerinden yola çıkılarak hesaplamalara devam edilir.

Önemli Not:

AG elektrik tesislerinde gerilim düşümü hesapları için 16 mm² bakır ve 35 mm² alüminyum kablo ve iletkenlerin daha düşük kesitlerinde endüktif dirençler ihmal edilebilir.

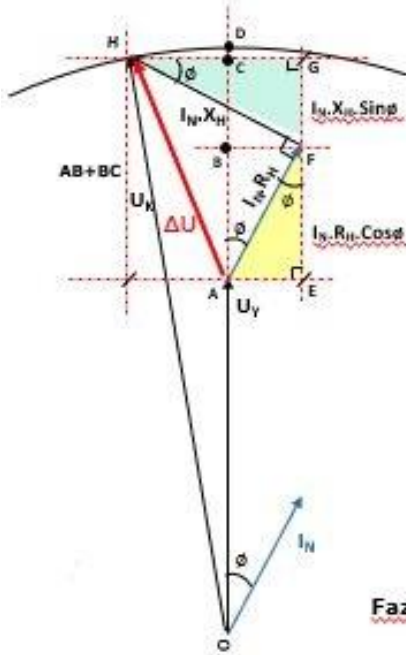
Pratikte ise 50 mm² 'ye kadar olan kesitlerde (50 mm² hariç) endüktif dirençler ihmal edilir. Havai hatlarda bu kural geçerli değildir.

Binalarda ve endüstride yapılan gerilim düşümü hesaplarında ortam sıcaklığının en fazla 50°C alınması önerilir.



Bu diyagramda;

- Gerilim düşümü aslında A ve D noktaları arasındaki mesafedir.
 $\Delta U = AB+BC+CD$
- Ancak C ve D noktaları arası ihmal edilir ve gerilim düşümü A ve C noktaları arası kabul edilir.
 $\Delta U = AB+BC$
- Yani, A ve C noktaları arasındaki mesafe kadar gerilim, kaynaktan yüke ulaşırken hat üzerinde kaybolmuştur.



□ AEF Dik üçgeninde; $EF=AB$ dir. $\cos\phi = \frac{\text{Komşu Dik Kenar}}{\text{Hipotenüs}} = \frac{AB}{I_N \cdot R_H}$

$AB = I_N \cdot R_H \cdot \cos\phi$

□ FGH Dik üçgeninde; $FG=BC$ dir. $\sin\phi = \frac{\text{Karşı Dik Kenar}}{\text{Hipotenüs}} = \frac{BC}{I_N \cdot X_H}$

$BC = I_N \cdot X_H \cdot \sin\phi$

$\Delta U = AB + BC$

$\Delta U = I_N \cdot R_H \cdot \cos\phi + I_N \cdot X_H \cdot \sin\phi$

$\Delta U = I_N \cdot (R_H \cdot \cos\phi + X_H \cdot \sin\phi)$ olarak bulunur.

❖ **Bir fazlı devrelerde gerilim düşümü:**

Hesaba konu iletkenin metre başına R_{brm} ve X_{brm} değerlerini tablolardan aldıktan sonra iletken uzunluğu (L) ile çarparak iletkenin toplam R_H ve X_H değerleri bulunur.

Bir fazlı devrelerin gerilim düşümü hesaplarında nötr hattının empedansının da toplam kablo empedansına eklenmesi gerekmektedir. Bu sebeple L kablo boyunun 2 katını almamız gerekir.

DİKKAT: R için alternatif akım ve ortam sıcaklığına bağlı (50°C alınması önerilir) direncini kullanmayı lütfen atlamayalım, benzer şekilde X değerini de tablodan kablo yerleşim tipine göre alalım...!

$\Delta U = I_N \cdot (R_H \cdot \cos\phi + X_H \cdot \sin\phi)$ olduğunu bulmuştuk. Buradan;

● $\Delta U = 2L \cdot I_N \cdot (R_H \cdot \cos\phi + X_H \cdot \sin\phi)$ formülü bulunur.

1

❖ Üç fazlı devrelerde gerilim düşümü:

Üç fazlı devrelerde, şayet dengeli yük varsa nötr hattından bir akım geçmez. Böylece nötr hattında bir gerilim düşümü olmaz ve haliyle sadece faz iletkeninin empedansı hesaba katılır. Yani bir fazlı devrelerde yaptığımız gibi uzunluğu 2 ile çarpmayız.

İlgili tablolardan metre başına R_{brm} ve X_{brm} birim değerleri alınıp hat uzunluğu (L) ile çarpılarak hattın toplam R_H ve X_H değerleri tespit edilir.

Üç fazlı sistemlerde gerilim faz arası değeriyle anıldığı için gerilim düşümü değerini de faz arası değere dönüştürmek adına $\sqrt{3}$ katsayısını da eklersek dengeli üç fazlı devrelerdeki gerilim düşümü formülümüz şu hale gelmiş olur:

$$\bullet \Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_n \cdot (R_H \cdot \cos\phi + X_H \cdot \sin\phi) \quad 2$$

SONUÇ:

- 1- Gerilim düşümü hesaplarında iletkenlerin işletme sıcaklığındaki AC omik dirençleri (R) dikkate alınmalıdır.
- 2- Ortam sıcaklığı için 50°C alınması yeterlidir.
- 3- Endüktif reaktans (X_L) değeri tablodan, kablo yerleşim tipine göre belirlenmelidir.
- 4- Kesiti 50 mm² 'ye kadar olan iletkenlerde endüktif reaktans (X_L) ihmal edilebilir ve aşağıda belirtilen formüller kullanılabilir.

- 50 mm² 'ye kadar Monofaze Sistemde Gerilim Düşümü:

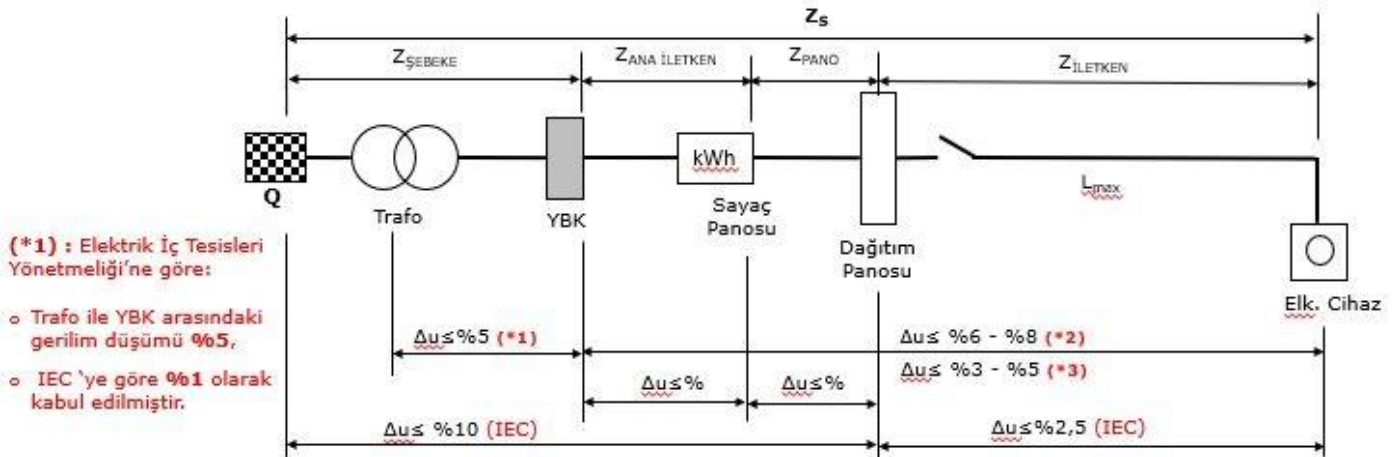
$$\Delta U = 2L \cdot I_n \cdot (R_H \cdot \cos\phi) \quad \text{olarak bulunur.} \quad 3$$

- 50 mm² 'ye kadar Trifaze Sistemde Gerilim Düşümü:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_n \cdot (R_H \cdot \cos\phi) \quad \text{olarak bulunur.} \quad 4$$

❖ Gerilim düşümünde izin verilen sınır değerler:

(IEC 60364-5-52)

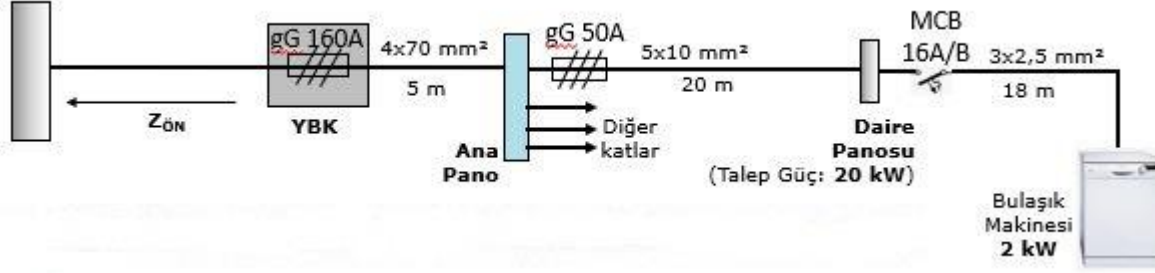


Yapı Bağlantı Kutusundan (YBK) itibaren:

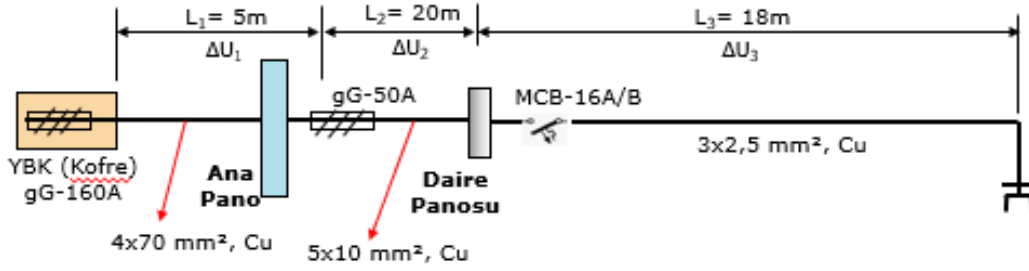
- 1- Kendi trafosu varsa (*2):
 - Aydınlatma ve priz devrelerinde; $\Delta u \leq \%6$
 - Diğer devrelerde; $\Delta u \leq \%8$ alınmalıdır.
- 2- Kendi trafosu yoksa (*3):
 - Aydınlatma ve priz devrelerinde; $\Delta u \leq \%3$
 - Diğer devrelerde; $\Delta u \leq \%5$ alınmalıdır.

❖ Gerilim düşümü ile ilgili örnek çözümler:

Örnek-1:



- Şekildeki tesiste kofreden prize kadar olan gerilim düşümünü 50°C ortam sıcaklığına göre hesaplayınız.



$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_B \cdot \left(\frac{1,12}{K_{Cu} \cdot S} \cdot \cos\phi + X_H \cdot \sin\phi \right) \quad R_H = \frac{L}{K_{Cu} \cdot S} \quad \% \Delta U = 100 \cdot \frac{\Delta U}{U_n}$$

$$\Delta U_1 = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_{B1} \cdot \left(\frac{1,12}{K_{Cu} \cdot S_1} \cdot \cos\phi + X_{H1} \cdot \sin\phi \right) \quad \Delta U_1 = \sqrt{3} \cdot 5 \cdot 160 \cdot \left(\frac{1,12}{56,70} \cdot 0,8 + 0,0798 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6 \right)$$

$$\Delta U_1 = 0,48 \text{ V}$$

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_{B2} \cdot \left(\frac{1,12}{K_{Cu} \cdot S_2} \cdot \cos\phi + X_{H2} \cdot \sin\phi \right) \quad \Delta U_2 = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 50 \cdot \left(\frac{1,12}{56,10} \cdot 0,8 \right)$$

$$\Delta U_2 = 2,77 \text{ V}$$

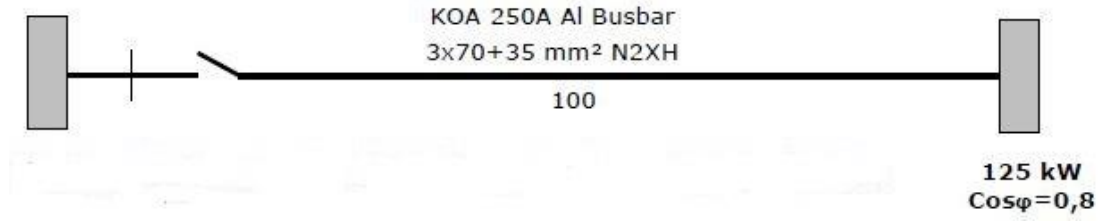
$$\Delta U_3 = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_{B3} \cdot \left(\frac{1,12}{K_{Cu} \cdot S_3} \cdot \cos\phi + X_{H3} \cdot \sin\phi \right) \quad \Delta U_3 = \sqrt{3} \cdot 18 \cdot 16 \cdot \left(\frac{1,12}{56,2,5} \cdot 0,8 \right)$$

$$\Delta U_3 = 3,18 \text{ V}$$

$$\% \Delta U_1 = 100 \cdot \frac{0,48}{400} = \%0,12 \quad \% \Delta U_2 = 100 \cdot \frac{2,77}{230} = \%1,2 \quad \% \Delta U_3 = 100 \cdot \frac{3,18}{230} = \%1,38$$

$$\Delta u_T = 0,12 + 1,2 + 1,38 = \%2,7$$

Örnek-2:



- Yukarıda 3 fazlı, 400V dengeli olarak çalışan bir tali pano beslemesi gösterilmiştir. Bu panoyu besleyen kablo ve busbar üzerindeki gerilim düşümünü ayrı ayrı bulalım.

A- Kabloya göre çözüm:

Bu bağlantıda geçen kablonun birim uzunluk başına R_H ve X_H değerlerini tespit edelim. Kablomuz N2XH tipinde olduğundan malzemesi bakır ve işletme sıcaklığı 90°C dir. 70mm^2 bakır için *tablo-1* 'den alternatif akım direnci $R=0,342 \Omega/\text{km}$ olarak bulunur. Ayrıca kablomuz 3+1 formunda yani *tablo-2* 'ye göre Tip-1 olduğundan $X=0,0798 \Omega/\text{km}$ değerini buluruz.

$\text{Cos } \varphi = 0,8$ ise dik üçgen bağıntısından (6 8 10 üçgeni) $\text{sin } \varphi = 0,6$ bulunur.

$P = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \text{Cos } \varphi$ bağıntısından I_n 'i çekelim;

$$I_n = \frac{125.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 225,5 \text{ A bulunur.}$$

Değerleri **2** no.lu formülde yerine koyarsak;

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_n \cdot (1,12 R_H \cdot \text{Cos } \varphi + X_H \cdot \text{Sin } \varphi)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot 225,5 \cdot (1,12 \cdot 0,342 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 + 0,0798 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6)$$

$$\Delta U = 13,8 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta u = \Delta U \cdot 100 / U_N = 13,8 \cdot 100 / 400 = \mathbf{\%3,45}$$
 olarak bulunur.

B- Busbara göre çözüm:

Bu bağlantıda geçen busbarın birim uzunluk başına R_H ve X_H değerlerini tespit edelim. Busbar KOA (alüminyum) olduğu için *tablo-4* 'den 35°C ortam sıcaklığında direncini $R_{35}=0,309 \text{ m}\Omega/\text{m}$, reaktansını $X=0,158 \text{ m}\Omega/\text{m}$ değerini buluruz.

$\text{Cos } \varphi = 0,8$ ise dik üçgen bağıntısından (6 8 10 üçgeni) $\text{sin } \varphi = 0,6$ değerini bulmuştuk.

$I_n = 225,5 \text{ A}$ olarak bulmuştuk.

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha(T_2 - T_1)] \text{ formülünden; } R_2 = 0,309 [1 + 0,00403(50 - 35)] = \mathbf{0,327 \text{ m}\Omega/\text{m}}$$

Değerleri **2** no.lu formülde yerine koyarsak;

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_n \cdot (R_H \cdot \text{Cos } \varphi + X_H \cdot \text{Sin } \varphi)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot 225,5 \cdot (0,327 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 + 0,158 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6)$$

$$\Delta U = 13,9 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta u = \Delta U \cdot 100 / U_N = 13,9 \cdot 100 / 400 = \mathbf{\%3,48}$$
 olarak bulunur.

C- Kabloya göre çözümü bir de EİTY 'ne göre yapalım. Değerleri tabloda verilen gerilim düşümü formülüne yerleştirelim.

$$\%e = 0,0124 (L.N / S)$$

$$\%e = 0,0124 (100.125 / 70)$$

$$e = \%2,21$$

EİTY 'de verilen gerilim düşümü formülü ile hesap yapıldığında, yukarıdaki örneğimize göre sonuç %2,21 çıkmaktadır. Bu da gerçek gerilim düşümü ile karşılaştırıldığında;

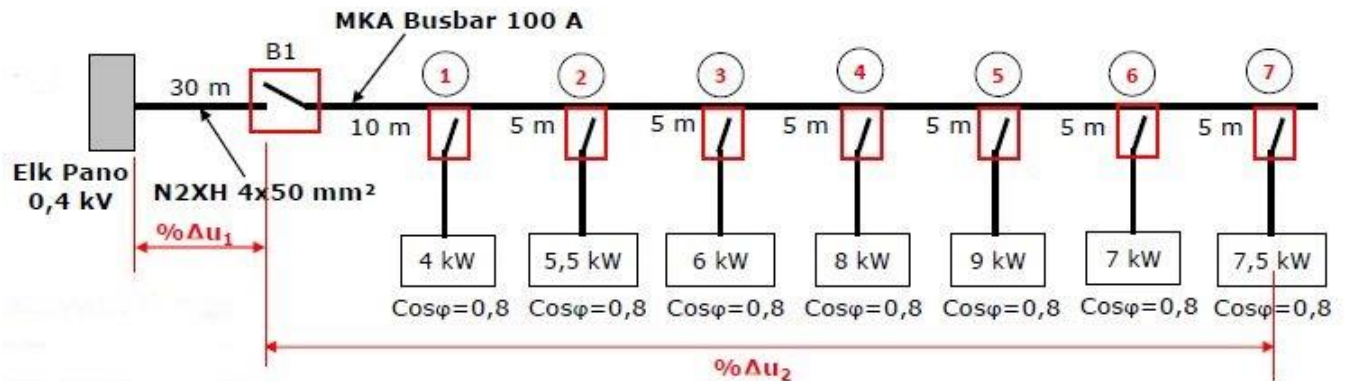
Kablo ile çözüme göre; $\Delta u = \%3,45$ 'e oranla **%35,9**
Busbar ile çözüme göre; $\Delta u = \%3,48$ 'e oranla **%36,4** hata payı söz konusudur.

İnternet ortamında dolaşan ve aşağıda bulunan tablodaki formüller ile EİTY 'nin eski usul hesap yöntemi yerine, IEC 60364-5-52 'ye göre hesap yapılmasını öneriyoruz.

GERİLİM DÜŞÜMÜ			
DEVRELER	VOLT	FORMÜLLER	SONUÇ
3 Faz	220/380	$\%e = \frac{100LN}{K.S.U^2} = \frac{10^5 LN.(kW)}{56.S.(380)^2}$	0,0124 $\frac{LN}{S}$
1 Faz		$\%e = \frac{200LN}{K.S.U^2} = \frac{2 \times 10^5 LN.(kW)}{56.S.(220)^2}$	0,074 $\frac{LN}{S}$
3 Faz	24/42	$\%e = \frac{100LN}{K.S.U^2} = \frac{10^5 LN.(kW)}{56.S.(42)^2}$	1 $\frac{LN}{S}$
1 Faz		$\%e = \frac{100LN}{K.S.U^2} = \frac{2 \cdot 10^5 LN.(kW)}{56.S.(24)^2}$	6,2 $\frac{LN}{S}$

%e=GERİLİM DÜŞÜMÜ..... (yüzde) S=İLETKEN KESİTİ..... (mm²)
N=GÜÇ..... (kW) K=İLETKENLİK KATSAYISI..... (m/1mm²)
U=GERİLİM..... (volt) K (Cu)..... 56 m/1mm²
L=HAT MESAFESİ..... (metre) K (Al)..... 35 m/1mm²
Gerilim düşümü formülleri

Örnek-3:



- Busbar akım kademesini kontrol ediniz. Toplam Gerilim düşümünü hesaplayınız.

A- Kablo için gerilim düşümü:

Bu bağlantıda geçen kablunun birim uzunluk başına R_H ve X_H değerlerini tespit edelim. Kablomuz N2XH tipinde olduğundan malzemesi bakır ve işletme sıcaklığı 90°C dir. 70mm² bakır için *tablo-1* 'den alternatif akım direnci $R_K=0,494 \Omega/km$ olarak bulunur. Ayrıca kablomuz 3+1 formunda yani *tablo-2* 'ye göre Tip-1 olduğundan $X_K=0,0826 \Omega/km$ değerini buluruz.

$$P_t = 4+5,5+6+8+9+7+7,5 = 47 \text{ kW}$$

$$I_n = \frac{47.000}{\sqrt{3.400.0,8}} = 85 \text{ A bulunur.}$$

$\cos \varphi = 0,8$ ise dik üçgen bağıntısından (6 8 10 üçgeni) $\sin \varphi = 0,6$ bulunur.

Değerleri **2** no.lu formülde yerine koyarsak;

$$\Delta U_1 = \sqrt{3.L.I_n. (1,12R_H. \cos\theta + X_H. \sin\theta)}$$

$$\Delta U_1 = \sqrt{3.30.85.(1,12.0,494.10^{-3}.0,8+0,0826.10^{-3}.0,6)}$$

$$\Delta U_1 = 2,17 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta u = \Delta U_1 * 100 / U_N = 2,17 * 100 / 400 = \%0,54 \text{ olarak bulunur.}$$

B- Busbar için gerilim düşümü:

Bu bağlantıda adı geçen busbarın birim uzunluk başına R_H ve X_H değerlerini tespit edelim. Busbar MKA (alüminyum) olduğu için *tablo-3* 'den 35°C ortam sıcaklığında direncini $R_{35}=0,787 \text{ m}\Omega/m$, reaktansını $X=0,154 \text{ m}\Omega/m$ değerini buluruz.

$$R_2 = R_1.[1+\theta(T_2-T_1)] \text{ formülünden; } R_2 = 0,787[1+0,00403(50-35)] = 0,834 \text{ m}\Omega/m$$

Değerleri **2** no.lu formülde yerine koyarsak;

$$\Delta U = \sqrt{3.L.I_n. (R_H. \cos\theta + X_H. \sin\theta)}$$

• **Alternatif-1; Yükn tamamı hat sonunda ise:**

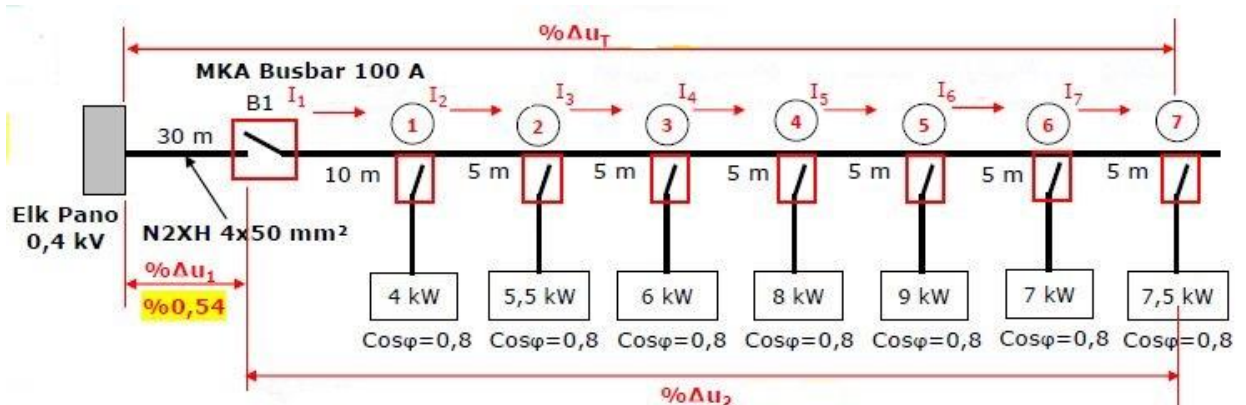
$$\Delta U_2 = \sqrt{3.40.85.(0,834.10^{-3}.0,8+0,154.10^{-3}.0,6)}$$

$$\Delta U_2 = 4,46 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta u_2 = \Delta U_2 * 100 / U_N = 4,46 * 100 / 400 = \%1,12 \text{ olarak bulunur.}$$

Toplam gerilim düşümü; $\% \Delta u_T = \%0,54 + \%1,12 = \%1,66$ olur.

• **Alternatif-2; Yüklr Busbar üzerinde dağıtılmış ise:**



$$I_1 = \frac{47.000}{\sqrt{3.400.0,8}} = 84,8 \text{ A} \quad I_2 = \frac{43.000}{\sqrt{3.400.0,8}} = 77,5 \text{ A} \quad I_3 = \frac{37.500}{\sqrt{3.400.0,8}} = 67,6 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{31.500}{\sqrt{3.400.0,8}} = 56,8 \text{ A} \quad I_5 = \frac{23.000}{\sqrt{3.400.0,8}} = 42,4 \text{ A} \quad I_6 = \frac{14.500}{\sqrt{3.400.0,8}} = 26,1 \text{ A}$$

$$I_7 = \frac{7.500}{\sqrt{3.400.0,8}} = 13,5 \text{ A}$$

Değerleri **2** no.lu formülde yerine koyarsak;

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_N \cdot (R_H \cdot \cos\theta + X_H \cdot \sin\theta)$$

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} \cdot [(10.84,8) + (5.77,5) + (5.67,6) + (5.56,8) + (5.42,4) + (5.26,1) + (5.13,5)] \cdot (0,834 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 0,154 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6)$$

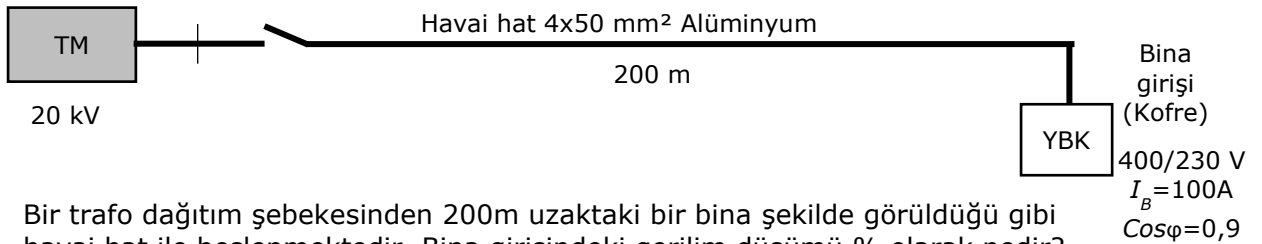
2267,5

$$\Delta U_2 = 2,98 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta u_2 = \Delta U_2 \cdot 100 / U_N = 2,98 \cdot 100 / 400 = \%0,74 \text{ olarak bulunur.}$$

Toplam gerilim düşümü; $\% \Delta u_T = \%0,54 + \%0,74 = \%1,28$ olur.

Örnek-4:



- Bir trafo dağıtım şebekesinden 200m uzaktaki bir bina şekilde görüldüğü gibi havai hat ile beslenmektedir. Bina girişindeki gerilim düşümü % olarak nedir?

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_B \cdot \left(\frac{1,12}{K_{Cu} \cdot S} \cdot \cos\theta + X_H \cdot \sin\theta \right)$$

$$R_H = \frac{L}{K_{Al} \cdot S}$$

$$K_{Al} = 34 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$$

$$X'_{Al} = 0,33 \text{ m}\Omega/\text{m}$$

$\cos \varphi = 0,9$ ise; $\sin \varphi = 0,435$ olarak bulunur.

$$R_H = \frac{1}{34 \cdot 50} = 0,525 \text{ m}\Omega$$

Değerleri **2** no.lu formülde yerine koyarsak;

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_N \cdot (1,12 R_H \cdot \cos\theta + X_H \cdot \sin\theta)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 200 \cdot 100 \cdot (1,12 \cdot 0,525 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9 + 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 0,435)$$

$$\Delta U = 23,28 \text{ Volt}$$

$$\% \Delta u = \Delta U \cdot 100 / U_N = 23,28 \cdot 100 / 400 = \%5,82 \text{ olarak bulunur}$$

Faydalanılan Kaynaklar:

- 1- Elektrik Tesisleri Güvenlik, Koruma ve Uygulama Esasları (Prof. Dr. İsmail Kaşıkçı)

Bu teknik bilgi ve dokümanlar TESLA MEKANİK ELEKTRİK TAAH. SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ. tarafından hazırlanmıştır. Sadece bilgi ve eğitim amaçlı olup, hiçbir şekilde çoğaltılamaz, yayınlanamaz, basılamaz ve başka ortamlara aktarılamaz.

□ İşletme Sıcaklığı 70°C için Direnç Değerleri

Kesit	DC Direnç 20°C	DC Direnç 70°C	Deri Etkisi Katsayısı	Yaklaşım Etkisi Katsayısı	AC Direnç Katsayısı	AC Direnç 70°C
mm ²	Ohm/km	Ohm/km				Ohm/km
Bakır İletkenler (Yuvarlak Kesitli)						
1,5	12,1	14,5	0,0000	0,0000	1,0000	14,5
2,5	7,41	8,87	0,0000	0,0000	1,0000	8,87
4	4,61	5,52	0,0000	0,0000	1,0000	5,52
6	3,08	3,69	0,0000	0,0000	1,0000	3,69
10	1,83	2,19	0,0000	0,0000	1,0000	2,19
16	1,15	1,38	0,0000	0,0000	1,0000	1,38
25	0,724	0,866	0,0001	0,0000	1,0001	0,866
35	0,524	0,627	0,0002	0,0000	1,0002	0,627
50	0,387	0,463	0,0004	0,0001	1,0005	0,463
70	0,268	0,321	0,0008	0,0006	1,0014	0,321
95	0,193	0,231	0,0015	0,0021	1,0037	0,232
120	0,153	0,183	0,0024	0,0054	1,0078	0,184
150	0,124	0,148	0,0037	0,0124	1,0161	0,151
185	0,0991	0,1186	0,0058	0,0299	1,0357	0,1228
240	0,0754	0,0902	0,0100	0,0847	1,0948	0,0988
300	0,0601	0,0719	0,0157	0,1887	1,2045	0,0866
400	0,0470	0,0562	0,0255	0,3948	1,4203	0,0799
500	0,0366	0,0438	0,0415	0,6817	1,7231	0,0755
600	0,0283	0,0339	0,0678	0,9645	2,0323	0,0688

□ İşletme Sıcaklığı 90°C için Direnç Değerleri

Kesit	DC Direnç 20°C	DC Direnç 90°C	Deri Etkisi Katsayısı	Yaklaşım Etkisi Katsayısı	AC Direnç Katsayısı	AC Direnç 90°C
mm ²	Ohm/km	Ohm/km				Ohm/km
Bakır İletkenler (Yuvarlak Kesitli)						
1,5	12,1	15,4	0,0000	0,0000	1,0000	15,4
2,5	7,41	9,45	0,0000	0,0000	1,0000	9,45
4	4,61	5,88	0,0000	0,0000	1,0000	5,88
6	3,08	3,93	0,0000	0,0000	1,0000	3,93
10	1,83	2,33	0,0000	0,0000	1,0000	2,33
16	1,15	1,47	0,0000	0,0000	1,0000	1,47
25	0,724	0,923	0,0001	0,0000	1,0001	0,923
35	0,524	0,668	0,0002	0,0000	1,0002	0,668
50	0,387	0,493	0,0003	0,0001	1,0004	0,494
70	0,268	0,342	0,0007	0,0004	1,0011	0,342
95	0,193	0,246	0,0014	0,0017	1,0030	0,247
120	0,153	0,195	0,0022	0,0042	1,0063	0,196
150	0,124	0,158	0,0033	0,0096	1,0129	0,160
185	0,0991	0,1264	0,0051	0,0233	1,0285	0,1300
240	0,0754	0,0961	0,0088	0,0669	1,0757	0,1034
300	0,0601	0,0766	0,0138	0,1521	1,1660	0,0894
400	0,0470	0,0599	0,0225	0,3318	1,3543	0,0812
500	0,0366	0,0467	0,0367	0,6059	1,6425	0,0767
600	0,0283	0,0361	0,0601	0,9005	1,9606	0,0707

(Tablo-1): 70 ve 90 °C sıcaklık değerlerine göre kabloların "AC direnç" değerleri.

Kesit	Reaktans Ohm/km	Reaktans Ohm/km	Reaktans Ohm/km
mm ²	TİP1	TİP2	TİP3
1,5	0,1150	0,2150	0,1484
2,5	0,1068	0,1997	0,1378
4	0,1065	0,1991	0,1374
6	0,1008	0,1886	0,1301
10	0,0946	0,1768	0,1220
16	0,0895	0,1681	0,1166
25	0,0861	0,1615	0,1100
35	0,0820	0,1561	0,1046
50	0,0826	0,1536	0,1021
70	0,0798	0,1486	0,0971
95	0,0795	0,1464	0,0949
120	0,0785	0,1439	0,0924
150	0,0776	0,1426	0,0911
185	0,0779	0,1417	0,0902
240	0,0770	0,1398	0,0883
300	—	0,1370	0,0865
400	—	0,1343	0,0848
<p>TİP1: Aynı dış kılıf içinde Bakır iletken 3+1 damarlı kablo</p> <p>TİP2: Tek damarlı bakır iletkenli kablolar 3 adedi yan yana yatay düzlemde yerleştirilmiş</p> <p>TİP3: Tek damarlı bakır iletkenli kablolar 3 adedi üçgen formda yerleştirilmiş</p>			

(Tablo-2): Damar ve döşenme şekillerine göre kabloların "reaktans" değerleri.

Beyan Akımı	I _n	A	Alüminyum İlet. (MKA)			Bakır İletkenli (MKC)		
			100	160	225	100	160	225
Busbar Kodu			10	16	22	10	16	22
Standartlar	IEC 61439-6, TS EN 61439-6, IEC 61439-1, TS EN 61439-1							
Beyan Yalıtım Gerilimi	U _i	V	690					
Maks. Beyan Çalışma Gerilimi	U _e	V	690					
I_s AKIMINDA ORTALAMA FAZ İLETKENLERİ KARAKTERİSTİKLERİ								
20 °C İletken Sıcaklığında Direnç	R ₂₀	mΩ/m	0,640	0,391	0,299	0,747	0,405	0,251
35 °C Ortam Hava Sıcaklığında Direnç	R	mΩ/m	0,787	0,506	0,411	0,942	0,535	0,341
Reaktans (Sıcaklıktan Bağımsız)	X	mΩ/m	0,154	0,138	0,107	0,191	0,158	0,135
35 °C Ortam Hava Sıcaklığında Negatif ve Pozitif Empedans	Z	mΩ/m	0,802	0,525	0,425	0,961	0,558	0,367
20 °C Ortam Hava Sıcaklığında Negatif ve Pozitif Empedans	Z ₂₀	mΩ/m	0,658	0,415	0,318	0,771	0,435	0,284
35 °C'deki Beyan Kayıp Güç		W/m	23,4	37,6	62,4	27,7	40,3	49,7
Faz İletkenleri İçin 20 °C İletken Sıcaklığında Ortalama DC Direnç	R/ort ₂₀	mΩ/m	0,608	0,378	0,306	0,699	0,389	0,242
Nötr İletkeni İçin 20 °C İletken Sıcaklığında DC Direnç	R _n	mΩ/m	0,603	0,377	0,317	0,702	0,386	0,241
Toprak İletkeni İçin 20 °C İletken Sıcaklığında DC Direnç	R _{ve}	mΩ/m	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885
Temiz Toprak İletkeni İçin 20 °C İletken Sıcaklığında DC Direnç	R _{ve}	mΩ/m	0,609	0,378	0,315	0,702	0,385	0,242

(Tablo-3): 225 A'e kadar MK serisi Busbar "direnç" ve "reaktans" değerleri. (EAE Kataloğundan alınmıştır.)

Beyan Akımı	I _n	A	Alüminyum İletkenli (KOA)							Bakır İletkenli (KOC)				
			160	250	315	400	500	600	800	250	315	400	600	800
Busbar Kodu			01	02	03	04	05	06	08	02	03	04	06	08
Standartlar	IEC 61439-6, TS EN 61439-6, IEC 61439-1, TS EN 61439-1													
I_s AKIMINDA ORTALAMA FAZ İLETKENLERİ KARAKTERİSTİKLERİ														
20 °C İletken Sıcaklığında Direnç	R ₂₀	mΩ/m	0,314	0,238	0,200	0,115	0,094	0,075	0,049	0,170	0,135	0,109	0,066	0,044
35 °C Ortam Hava Sıcaklığında Direnç	R	mΩ/m	0,379	0,309	0,271	0,151	0,127	0,104	0,066	0,213	0,172	0,145	0,090	0,061
Reaktans (Sıcaklıktan Bağımsız)	X	mΩ/m	0,169	0,158	0,147	0,111	0,094	0,083	0,064	0,171	0,159	0,147	0,112	0,085
35 °C Ortam Hava Sıcaklığında Negatif ve Pozitif Empedans	Z	mΩ/m	0,415	0,347	0,308	0,188	0,158	0,133	0,092	0,273	0,234	0,206	0,143	0,104
20 °C Ortam Hava Sıcaklığında Negatif ve Pozitif Empedans	Z ₂₀	mΩ/m	0,356	0,286	0,248	0,160	0,133	0,112	0,081	0,241	0,208	0,183	0,130	0,096
35 °C'deki Beyan Kayıp Güç		mΩ/m	29,0	56,2	78,1	69,0	91,4	110,0	123,8	38,3	49,5	67,9	94,0	112,5
Faz İletkenleri İçin 20 °C İletken Sıcaklığında Ortalama DC Direnç	R/ort-Ph	mΩ/m	0,292	0,221	0,189	0,108	0,087	0,072	0,043	0,151	0,119	0,098	0,058	0,039
Nötr İletkeni İçin 20 °C İletken Sıcaklığında DC Direnç	RN	mΩ/m	0,292	0,219	0,188	0,111	0,089	0,072	0,044	0,152	0,119	0,098	0,059	0,039
Toprak İletkeni İçin 20 °C İletken Sıcaklığında DC Direnç	RPE	mΩ/m	0,320	0,303	0,295	0,273	0,318	0,296	0,232	0,299	0,305	0,302	0,255	0,240

(Tablo-4): 800 A'e kadar KO serisi Busbar "direnç" ve "reaktans" değerleri. (EAE Kataloğundan alınmıştır.)

Beyan Akımı	I _n	A	630	800	1000	1250	1600	2000
Busbar Kodu			06	08	10	12	17	20
Beyan Kısa Süreli Akım (I _s)	I _{kw}	kA	25	35	35	50	70	100
Beyan Tepe Dayanma Akımı	I _{pk}	kA	52,5	74	74	105	154	220
Koruma Devresi İçin Beyan Kısa Süreli Akım (Gövde) (I _s)	I _{kw}	kA	15,0	21	21	30	42	60
Koruma Devresi İçin Beyan Tepe Dayanma Akımı (Gövde)	I _{pk}	kA	31,5	44,1	44,1	63,0	92,4	132,0
I_s AKIMINDA ORTALAMA FAZ İLETKENLERİ KARAKTERİSTİKLERİ								
20 °C İletken Sıcaklığında Direnç	R ₂₀	mΩ/m	0,121	0,088	0,076	0,055	0,037	0,027
I _s Akımında Sıcaklık Dengeleyen Ortalama Direnç	R	mΩ/m	0,159	0,116	0,100	0,073	0,047	0,034
Reaktans (Sıcaklıktan Bağımsız)	X	mΩ/m	0,027	0,021	0,019	0,015	0,010	0,008
Negatif ve Pozitif Empedans	Z	mΩ/m	0,161	0,118	0,102	0,075	0,048	0,035
20 °C Ortam Hava Sıcaklığında Negatif ve Pozitif Empedans	Z ₂₀	mΩ/m	0,124	0,091	0,078	0,057	0,038	0,028
Faz ve Nötr İletkenleri İçin 20 °C İletken Sıcaklığında DC Direnç	R/ort ₂₀	mΩ/m	0,124	0,087	0,075	0,060	0,040	0,026
Toprak İletkeni İçin 20 °C İletken Sıcaklığında DC Direnç (Gövde)	R _{pe}	mΩ/m	0,028	0,024	0,042	0,032	0,025	0,024

(Tablo-5): 2000 A'e kadar KX serisi Busbar "direnç" ve "reaktans" değerleri. (EAE Kataloğundan alınmıştır.)