

## **10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI –** **IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 12**

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (1)
- GENEL :

- Sistem fiderlerinde, transformatörlerde, havai hatlarda, kablolarda, reaktörlerde ve benzer akımlarda doğru ve ters-bileşen kısa-devre empedansları birbirine eşittir:  $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$
- Sıfır-bileşen kısa-devre empedansı  $\underline{Z}_{(0)} = \underline{U}_{(0)} / \underline{I}_{(0)}$  , üç paralellenmiş iletken ile geri-dönüş birleşme yeri arasında bir a.c. Voltaj uygulandığı varsayılarak belirlenir. Bu durumda, geri-dönüş birleşme yerine doğru sıfır-bileşen akımının üç katı akım akar.
- Bu standarta göre, kısa-devre noktasında eşdeğer gerilim kaynağı ile kısa-devre akımları hesaplandığı zaman; Generatörlerin (G) , sistem transformatörlerinin (T) ve güç istasyonu ünitelerinin empedansları empedans düzeltme faktörleri  $K_G$  ,  $K_T$  ,  $K_s$  veya  $K_{so}$  ile çarpılacaktır.

Not : Kısa devre empedanslarının doğru olarak belirlenmesi , kısa devre akımlarının hesaplarındaki hatayı minimize ettiğinden dolayı , çok önemlidir. Hesaplamalarda, tabii ki bir takım yaklaşımlar ve varsayımlar yapılabilir. Ancak, burada önemli

olan , hesaplamalarda istenilen hassasiyet ve bu yaklaşım ve varsayımların sonucu ne kadar etkilediğidir.

## **10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 13**

### **ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (2)**

## ● Sistem Fiderleri (1)

$$Z_Q = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3} I''_{kQ}}$$

Eğer  $R_Q / X_Q$  biliniyorsa →

$$X_Q = \frac{Z_Q}{\sqrt{1 + (R_Q / X_Q)^2}}$$

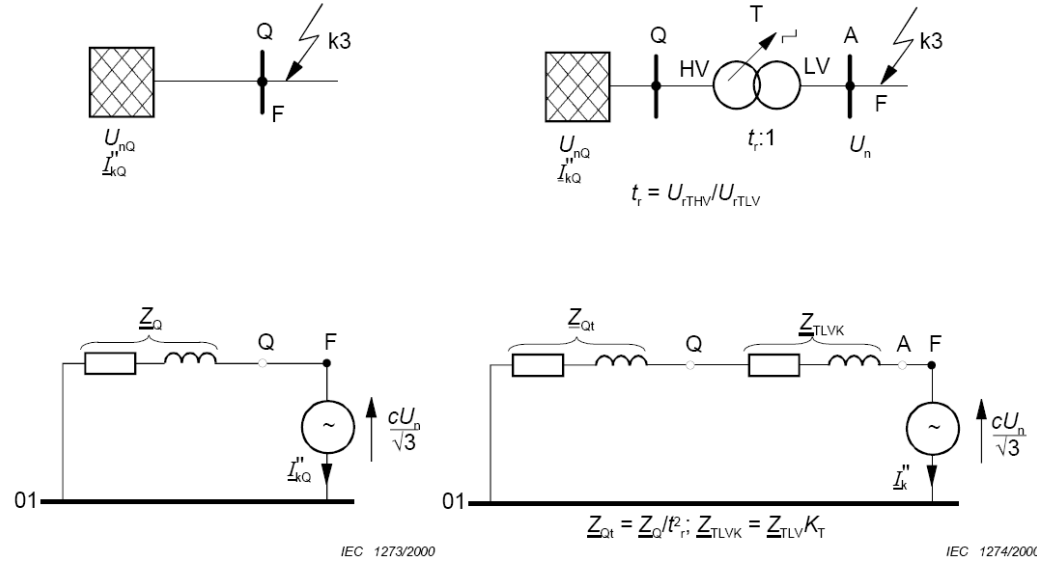
$Z_Q$  : Sistem eşdeğer empedansı

$I''_{kQ}$  : Başlangıç simetrik kısa-devre akımı

## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 14

### ● ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (3)

### ● Sistem Fiderleri (2)



Şekil- 10.11- Sistem fiderleri için sistem şeması ve eşdeğer devre şeması.a) Transformatörsüz b ) Transformatör ile

## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 15

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (4)
- Sistem Fiderleri (3)

Şekil-10.11 b 'e göre :

$$Z_{Qt} = \frac{c U_{nQ}}{\sqrt{3} I_{kQ}''} \cdot \frac{1}{t_r^2}$$

$U_{nQ}$  : Q fider bağlantı noktasındaki nominal sistem gerilimi

$I_{kQ}''$  : Q fider bağlantı noktasındaki başlangıç simetrik kısa-devre akımı

$c$  :  $U_{nQ}$  gerilimi için gerilim faktörü

$t_r$  : Transformatorün kademe değıştiricisi ana pozisyonda iken dönüştürme oranı

## **10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 16**

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (5)
- Sistem Fiderleri (4)

- Yüksek gerilim fiderlerinin 35 kV'un üzerindeki bir nominal gerilim ile havai hatlar tarafından beslenmesi durumunda;  $Z_Q$  eşdeğer empedansı, bir çok durumda bir reaktans olarak göz önüne alınabilir.

Yani,  $\underline{Z}_Q = 0 + jX_Q$ .

- Diğer durumlarda, sistem fiderlerinin  $R_Q$  direnci için kesin bir değer bilinmiyorsa,  $R_Q = 0,1 X_Q$ ,  $X_Q = 0,995 Z_Q$  alınır.
- Transformatörün YG tarafındaki  $I''_{kQmax}$  ve  $I''_{kQmin}$  başlangıç simetrik kısa-devre akımları enerji tedarik eden şirket tarafından verilmeli veya bu standarda göre uygun bir şekilde hesaplanmalıdır.
- Özel durumlarda; sistem fiderlerinin sıfır-bileşen eşdeğer kısa-devre empedansı, transformatörün sargı şekline ve yıldız-noktası topraklamasına bağlı olarak gözönüne alınmayabilir.

## **10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 17**

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (6)
- Transformatörler (1):

● Transformatörlerin doğru-bileşen kısa-devre empedansları :

$$\underline{Z}_T = R_T + jX_T$$

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}}$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3 I_{rT}^2}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

Bu formüllerde :

$U_{rT}$  : Transformatörün YG veya AG tarafındaki anma gerilimi

$I_{rT}$  : Transformatörün YG veya AG tarafındaki anma akımı

$S_{rT}$  : Transformatörün anma görünen gücü



$P_{krT}$  : Transformatörün anma akımında, sargılarındaki toplam kayıp

$u_{kr}$  : Anma akımındaki, % olarak kısa-devre gerilimi

$u_{Rr}$  : Kısa-devre geriliminin % olarak anma rezistif bileşeni

$u_{Rr}$  rezistif bileşen,  $I_{rT}$  anma akımındaki  $P_{krT}$  toplam kayıpları üzerinden hesaplanabilir.

$R_T/X_T$  oranı, genelde transformatörün büyüklüğü ile düşer. Büyük transformatörler için, direnç o kadar küçüktür ki kısa-devre akımları hesaplanırken transformatör empedansının yalnızca reaktanstan oluştuğu varsayılabilir. Eğer  $i_p$  tepe kısa-devre akımı veya  $i_{d.c.}$  d.c. bileşen hesaplanıyor ise direnç göz önünde bulundurulmalıdır.

Transformatörlerde doğru ve ters bileşen empedansları birbirine eşittir. ( $Z_1=Z_2$ ) Sıfır bileşen empedansı,  $Z_0$  ise farklıdır.

Transformatör doğru-bileşen kısa-devre empedansının hesaplanması için gerekli veri, anma plakasından alınabilir. Sıfır-bileşen kısa-devre empedansı, anma plakasından veya imalatçıdan edinilebilir.

$S_{rT}$ , transformatörün plakasındaki düzeltilmemiş güçtür. Örneğin 80(100) MVA ONAN/ONAF bir güç transformatörü için anma gücü 80 MVA alınmalıdır.

## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 18

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (7)
- Transformatörler (2):
- Eğer “n” adet ve eşdeğer anma değerlerine sahip transformatör paralel bağlanırsa, bunların  $Z_t$ ,  $X_t$  ve  $R_t$  değerleri n’e bölünerek hesaplama yapılır.

$$I_{sc} = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_{up} + Z_T)}$$

- Transformatörün kısa devre akımı :

- Sistem(şebeke) empedansı  $Z_{up}$  ihmal edilir ise :

$$I'_{sc} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_T}$$

ve bağıl hata :

$$\frac{\Delta I_{sc}}{I_{sc}} = \frac{100}{u_{sc}} \frac{S_n}{S_{sc}}$$

Örneğin,  $S_{sc} / S_n = 300$  ise hata yaklaşık %5'tir

**Not : Sistem empedansının ihmal edilmesi, yani  $Z_{up}=0$  alınmasına sonsuz bara da denir. Eğer, sistem kısa devre gücü  $S_{sc}$ , trafonun nominal gücü  $S_n$ 'e göre çok yüksek ise bağıl hata düşük olacaktır.**

## **10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 19**

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (8)
- Transformatörler (3):

MVA	Z% HV/LV	X/R	Tolerance on Z%
<0.630	4.00	1.5	±10
0.631-1.25	5.00	3.5	±10
1.251 - 3.15	6.25	6.0	±10
3.151 - 6.3	7.15	8.5	±10
6.301-12.5	8.35	13.0	±10
12.501- 25.0	10.00	20.0	±7.5
25.001 - 200	12.50	45.0	±7.5
>200	by agreement		

*Table 5.4: Transformer impedances - IEC 60076*

### **Tablo 10.2 – IEC 60076 Transformatör empedansları (< 200 MVA)**

## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 20

### ● ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (9)

#### ● Transformatörler (4):

$S_T$  (kVA)      <630    800    1.000    1.250    1.600    2.000

%  $u_{kr}$             4      4.5      5      5.5      6      7

(Transformatör anma gücüne göre %kısa devre gerilimi referans değerleri)

Power  
rating  
in MVA

0.25

0.63

2.5

6.3

12.5

31.5

$u_R$  in %

1.4...1.7

1.2...1.5

0.9...1.1

0.7... 0.85

0.6...0.7

0.5...0.6

(Üç fazlı transformatörlerde , anma MVA gücüne göre % omik direnç değerleri)

31.5 MVA'nın üzerindeki güçlerde  $u_R < 0.5$  %

## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 21

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (10)
- Transformatörler (5):

Dağıtım transformatörlerinde sıfır bileşen empedansları :

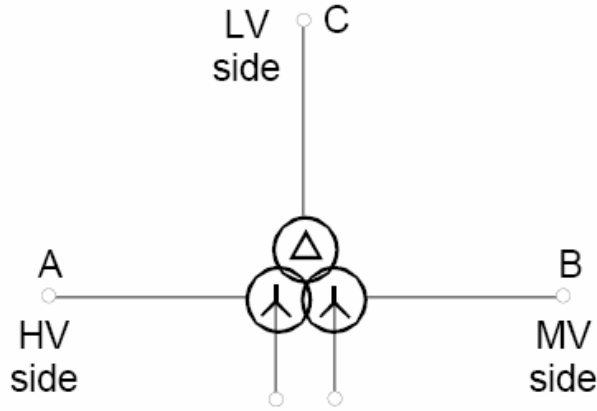
$$R_{0T} \approx R_T \quad X_{0T} \approx 0.95 X_T$$

$$R_{0T} \approx 0.4 R_T \quad X_{0T} \approx 0.1 X_T$$

Dy bağlı Tr.  $R_{0T} \approx R_T \quad X_{0T} \approx 7...100^2) X_T$   
Dz, Yz bağlı  
Yy bağlı

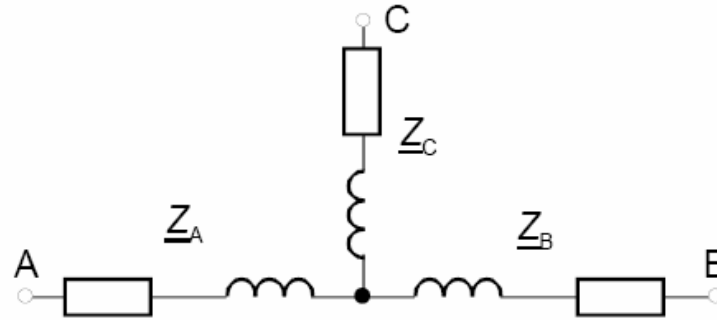
## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 22

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (11)
- Üç bobinli transformatörler (1)



IEC 1275/2000

Figure 7a – Denotation of winding connections



01

IEC 1276/2000

Figure 7b – Equivalent circuit diagram  
(positive-sequence system)

Figure 7 – Three-winding transformer (example)

### Şekil- 10.12- Üç bobinli Transformatör(Örnek)



## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 23

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (12)
- Üç bobinli transformatörler (2)
- Üç bobinli transformatörün “A” kısmına refere edilmiş doğru-bileşen kısa-devre empedansları  $Z_A$  ,  $Z_B$  ve  $Z_C$  , üç kısa-devre empedansı ile hesaplanabilir :

$$\underline{Z}_{AB} = \left( \frac{u_{RrAB}}{100\%} + j \frac{u_{XrAB}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} \quad (\text{C kısmı açık})$$

$$\underline{Z}_{AC} = \left( \frac{u_{RrAC}}{100\%} + j \frac{u_{XrAC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} \quad (\text{B kısmı açık})$$

$$\underline{Z}_{BC} = \left( \frac{u_{RrBC}}{100\%} + j \frac{u_{XrBC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}} \quad (\text{A kısmı açık})$$

$$u_{Xr} = \sqrt{u_{kr}^2 - u_{Rr}^2}$$

Bu formüllerde :

$U_{rTA}$  : A kısmının anma gerilimi

$S_{rTAB}$  : A ve B kısımları arasındaki anma görünen gücü

$S_{rTAC}$  : A ve C kısımları arasındaki anma görünen gücü

$S_{rTBC}$  : B ve C kısımları arasındaki anma görünen gücü

$u_{RrAB}, u_{XrAB}$  : A ve B kısımları arasındaki, % olarak kısa-devre gerilimlerinin anma rezistif ve reaktif bileşenleri

$u_{RrAC}, u_{XrAC}$  : A ve C kısımları arasındaki, % olarak kısa-devre gerilimlerinin anma rezistif ve reaktif bileşenleri

$u_{RrBC}, u_{XrBC}$  : B ve C kısımları arasındaki, % olarak kısa-devre gerilimlerinin anma rezistif ve reaktif bileşenleri

Üç bobinli transformatörlerin sıfır-bileşen empedansları imalatçıdan alınabilir.

## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 24

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (13)
- Üç bobinli transformatörler (3)

$$\underline{Z}_A = \frac{1}{2} (\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{AC} - \underline{Z}_{BC})$$

$$\underline{Z}_B = \frac{1}{2} (\underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{AB} - \underline{Z}_{AC})$$

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{2} (\underline{Z}_{AC} + \underline{Z}_{BC} - \underline{Z}_{AB})$$

## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 25

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (14)
- Transformatörlerin empedans düzeltme faktörleri (1)
- Bir şebeke transformatörü, farklı gerilim seviyelerinde iki veya daha fazla şebekeye bağlanan bir transformatördür.
- İki bobinli transformatörler için tanımlanan  $K_T$  empedans düzeltme

faktörü :

$$K_T = 0,95 \frac{c_{\max}}{1+0,6 x_T}$$

- Düzeltilmiş empedans :  $\underline{Z}_{TK} = K_T \underline{Z}_T$
- $x_T$  , transformatörün bağıl reaktansıdır :  $x_T = X_T/(U_{rT}^2/S_{rT})$
- $c_{\max}$  , şebeke transformatörünün alçak-gerilim tarafına bağlı şebekenin nominal gerilimine ait gerilim faktörüdür.

- Bu düzeltme faktörü, güç istasyonu ünitelerinin ünite transformatörlerine uygulanmaz.

Not : Eğer, şebeke transformatörlerinin kısa-devre öncesindeki uzun süreli çalışma şartları kesin olarak biliniyor ise empedans düzeltme faktörü, IEC 60909-0 'a göre , farklı bir formül ile hesaplanır. Bunun için kısa-devre öncesindeki en yüksek çalışma gerilimine , en yüksek çalışma akımına ve güç faktörü açısına ihtiyaç duyulur.

Dengesiz kısa-devre akımları hesaplanırken , empedans düzeltme faktörleri transformatörün ters-bileşen ve sıfır-bileşen empedanslarına da uygulanmalıdır. Transformatörlerin yıldız-noktası ve toprak arasındaki  $Z_N$  empedansları , sıfır-bileşen sistemine  $3 Z_N$  olarak ve düzeltme faktörü kullanılmadan alınmalıdır.

$$K_T = \frac{U_n}{U^b} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + x_T \left( I_T^b / I_{rT} \right) \sin \varphi_T^b}$$


---

Where :

$c_{\max}$  is the voltage factor from table 1, related to the nominal voltage of the network connected to the low-voltage side of the network transformer;

$x_T = X_T / (U_{rT}^2 / S_{rT})$ ;

$U^b$  is the highest operating voltage before short circuit;

$I_T^b$  is the highest operating current before short circuit (this depends on network configuration and relevant reliability philosophy);

$\varphi_T^b$  is the angle of power factor before short circuit.

---

## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 26

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (15)
- Transformatörlerin empedans düzeltme faktörleri (2)
- Üç bobinli transformatörler için , transformatörün reaktanslarının bağıl değerlerini kullanarak 3 düzeltme faktörü bulunabilir :

$$K_{TAB} = 0,95 \frac{c_{\max}}{1+0,6 x_{TAB}}$$

$$K_{TAC} = 0,95 \frac{c_{\max}}{1+0,6 x_{TAC}}$$

$$K_{TBC} = 0,95 \frac{c_{\max}}{1+0,6 x_{TBC}}$$

Bu düzeltme faktörlerine göre , düzeltilmiş değerler :  $\underline{Z}_{ABK} = K_{TAB} \underline{Z}_{AB}$

$\underline{Z}_{ACK} = K_{TAC} \underline{Z}_{AC}$   $\underline{Z}_{BCK} = K_{TBC} \underline{Z}_{BC}$  ve eşdeğer empedanslar da hesap edilebilir.

(  $\underline{Z}_{AK}$ ,  $\underline{Z}_{BK}$   $\underline{Z}_{CK}$  )

## 10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 27

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (16)
- Havai Hatlar ve Kablolar (1)
- Doğru-bileşen kısa-devre empedansı  $\underline{Z}_L = R_L + jX_L$  , iletkenin kesitlerinden ve iletkenlerin birbirine olan mesafelerinden bulunabilir.
- Havai hatların, 20 derece iletken sıcaklığında, birim uzunluk başına etkin direnci :

$$R'_L = \frac{\rho}{q_n} \quad \rho : \text{Özgül direnç ( } \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \text{ )}$$

$q_n$  : Nominal kesit (mm<sup>2</sup>)

- Özgüldirenç değerleri olarak aşağıdakiler kullanılabilir :

$$\text{Bakır için } \rho = \frac{1}{54} \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \quad ; \text{ alüminyum için } \rho = \frac{1}{34} \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{Alüminyum alaşımı için } \rho = \frac{1}{31} \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$$



NOT :  $\rho$  değeri, yapılan kısa devre hesabına göre (max. veya minimum) değişir.

Alçak-gerilim ve yüksek-gerilim kablolarının doğru ve ters bileşen empedansları, IEC 60909-4'den alınabilir veya tekst kitaplarından veya imalatçının verilerinden elde edilebilir.