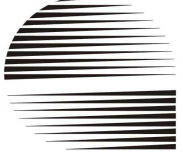




TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ

# YÜKSEK GERİLİM TESİSLERİNDE KISA DEVRE HESAPLARI

Not: Bu çalışma EMO eğitimlerinde kullanılmak üzere  
Elk. Y. Müh. **Taner İRİZ** ve Elk.Elo.Müh. **Gökay TURGUT** tarafından  
hazırlanmıştır.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

## **I. GİRİŞ**

- 1) IEC 909'un en önemli özelliği uzman olmayan mühendislere kolaylık sağlayan kalıp işlemler içermesidir.**
- 2) IEC 909 normlarında açıklanan bu yöntem, 230kV'a kadar tüm alternatif akım sistemlerine uygulanır.**
- 3) Tip test için yapılan kısa devre güç deneyleri bu normun dışındadır.**
- 4) Söz konusu yöntem doğru akım sistemlerine uygulanmaz.**
- 5) Kısa devre akımlarının etkilerini incelemek için IEC 865'e başvurulmalıdır.**



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

## **II. Kısa devre olayının ve kısa devre büyüklüklerinin tanımlanması:**

### **IEC 909'daki tanım:**

Bir elektrik devresinde, farklı gerilimli iki ya da daha fazla noktanın, bağıl olarak düşük bir empedans üzerinden kaza veya kasıt ile birbirine değmesine **kısa devre** denir.

Başka bir deyişle **kısa devre**; elektrik tesislerinde, faz iletkenleri arasında veya yıldız noktası topraklanmış şebekelerde, faz iletkenleri ile toprak arasında, yalıtkanın delinmesi ya da iletken bir şekilde köprülenmesi sonucu meydana gelen bir olaydır.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

Kısa devre ile birlikte sistemde empedansı küçük yeni bir devre olduğundan, bütün besleme noktalarından kısa devre noktasına doğru büyük akımlar geçer. Normal işletme akımlarına oranla daha büyük olan kısa devre akımları, tesisat öğelerini termik ve dinamik bakımdan zorlar. Söz konusu bu termik ve dinamik zorlamaların önüne geçmek için, kısa devre olan kısım (arıza yeri), mümkün olduğunca çabuk sağlam kısımlardan ayrılmalıdır. Arızalı yerin seçilerek devre dışı bırakılmasına **selektif (seçici)** koruma denir.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Tanımlar:**

**Kısa devre akımı:** Kısa devrenin olduğu noktada kısa devre süresince akan akımdır. Alternatif akım sistemlerinde zamana bağlı değişen bir fonksiyondur.

**Simetrik kısa devre akımı:** Kısa devre akımının alternatif akım bileşenidir.

**Kısa devre branşman akımları:** Sistemin çeşitli kollarında akan kısa devre akımlarıdır.

**Başlangıç kısa devre akımı ( $I''_k$ ):** Kısa devrenin ilk meydana geldiği andaki kısa devre akımının etkin değeridir.

**Başlangıç kısa devre gücü ( $S''_k$ ):** Başlangıç kısa devre akımı  $I''_k$ , nominal faz arası gerilim  $U_n$  ve  $\sqrt{3}$  sayısının çarpımıdır.

$$S''_k = \sqrt{3}U_n I''_k$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Kısa devre akımının aperiyojik (doğru akım) bileşeni ( $i_{DC}$ ):** Zamanla değişen, kısa devre akımının; üst ve alt zarf eğrileri arasındaki ortalama değer olup başlangıç değeri A'dan zamanla sifıra düşer.

**Darbe kısa devre akımı ( $i_P$ ):** Zamana bağılı (ansal) kısa devre akımının olabileceği en büyük (tepe) değerdir.

**Simetrik kısa devre açma akımı ( $I_b$ ):** Beklenen kısa devre akımının simetrik AA bileşeninin, kesme aygıtının ilk faz kontağının ayrılmaya başladığı andaki etkin değeridir.

**Sürekli kısa devre akımı ( $I_k$ ):** Geçici olaylar sona erdikten sonraki kısa devre akımının etkin değeridir.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Jeneratörden uzak kısa devre:** Zamanla değişen kısa devre akımının genliğinin, kısa devre süresince yaklaşık sabit kaldığı kısa devredir.

$I_k = I''_k$  alınabilir.

**Jeneratöre yakın kısa devre:** Zamanla değişen kısa devre akımının genliğinin, kısa devre süresince bariz şekilde değiştiği kısa devredir.

$I_k = I''_k$  alınamaz.

Burada uzaklıktan kasıt elektriksel uzaklıktır.

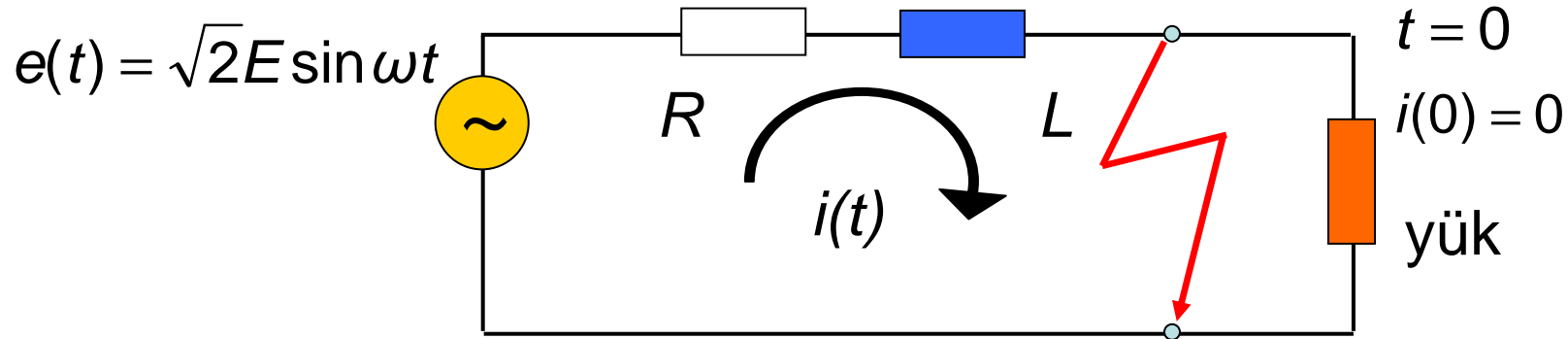
$a = (Z_G + Z_Ş) / Z_G$  ifadesi,

$a = (Z_G + Z_Ş) / Z_G < 2$  koşulunu gerçekliyorsa jeneratöre yakın kısa devre,

$a = (Z_G + Z_Ş) / Z_G \geq 2$  koşulunu gerçekliyorsa jeneratörden uzak kısa devre söz konusudur.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**



$$Z = R + jX = R + j\omega L$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\tan \psi = \frac{\omega L}{R} = \frac{X}{R}$$

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri = \sqrt{2}E \sin \omega t$$

$$i(t) = \sqrt{2} \frac{E}{Z} \sin \psi e^{-\frac{R}{L}t} + \sqrt{2} \frac{E}{Z} \sin(\omega t - \psi)$$

$$i_1(t) = \sqrt{2} \frac{E}{Z} \sin(\omega t - \psi)$$

Kısa devre akımının periyodik bileşeni

$$i_2(t) = \sqrt{2} \frac{E}{Z} \sin \psi e^{-\frac{R}{L}t}$$

Kısa devre akımının aperiodyk bileşeni

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t)$$





**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

$$\omega t = \psi + \frac{\pi}{2} \Rightarrow t = \frac{\psi + \frac{\pi}{2}}{\omega}$$

$$i_p = \sqrt{2} \frac{E}{Z} \sin \psi e^{\frac{R}{\omega L} \left( \psi + \frac{\pi}{2} \right)} + \sqrt{2} \frac{E}{Z}$$

$$i_p = \sqrt{2} \frac{E}{Z} \left( \sin \psi e^{\frac{R}{\omega L} \left( \psi + \frac{\pi}{2} \right)} + 1 \right)$$



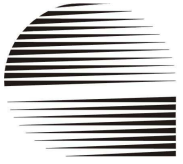
## TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI İZMİR ŞUBESİ

$$\tan\psi = \frac{X}{R} \Rightarrow \sin\psi = \frac{X}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{X}\right)^2}}$$

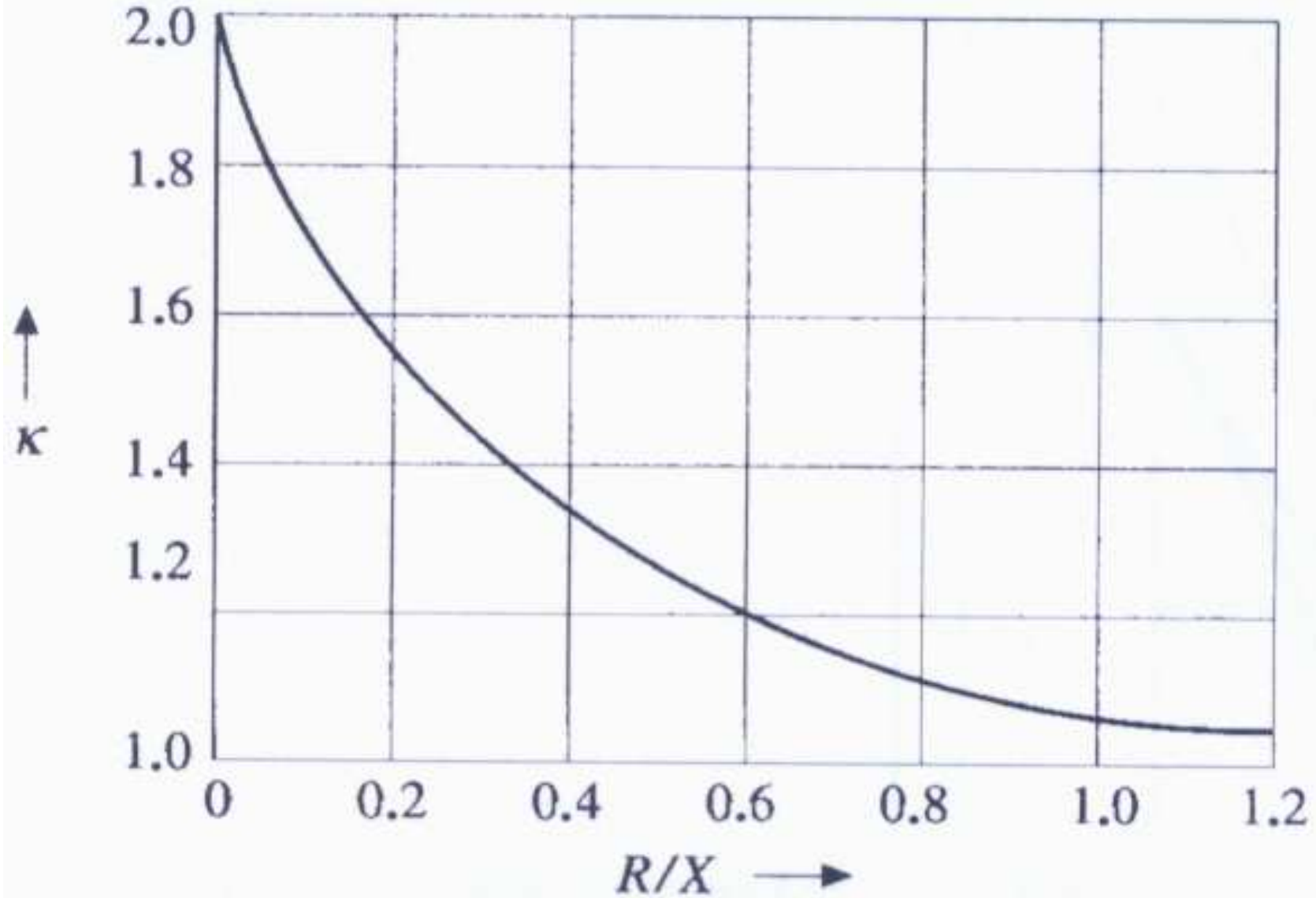
$$i_p = \sqrt{2} \frac{E}{Z} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{X}\right)^2}} e^{\frac{R}{X} \left( \psi + \frac{\pi}{2} \right)} \right) \quad K = 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{X}\right)^2}} e^{\frac{R}{X} \left( \frac{\pi}{2} + \arctan \frac{X}{R} \right)}$$

$$i_p = \sqrt{2} I_k'' K$$

$K$ 'ya darbe katsayısı,  $i_p$ 'ye darbe kısa devre akımı denir. Elektrik tesislerindeki dinamik zorlanmalarının analizinde  $i_p$  büyüklüğünden yararlanır.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**





**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

Simetrik açma akımı ile başlangıç kısa devre akımı arasında

$$I_b = \mu I_k''$$

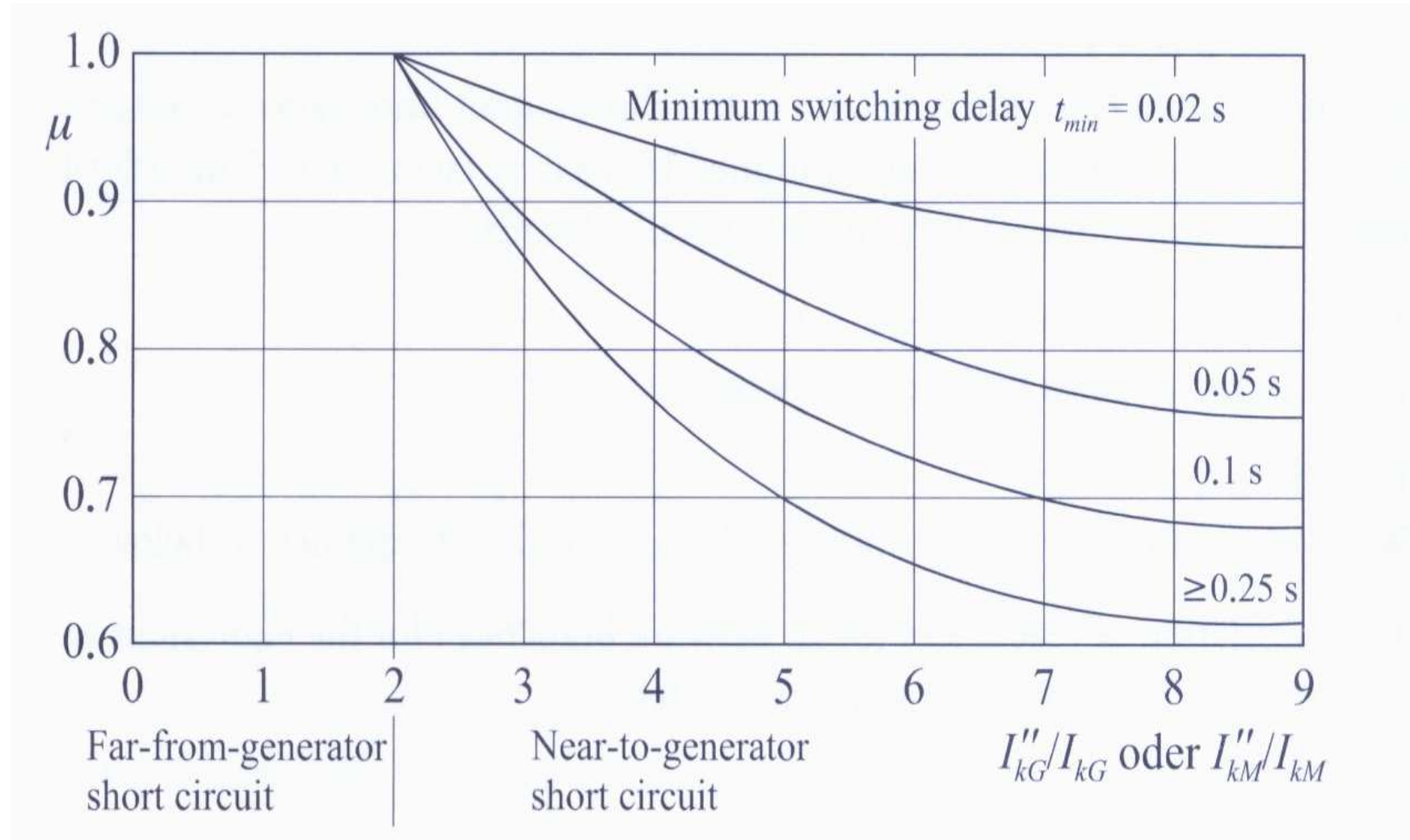
bağıntısı vardır.  $\mu$  çarpanı en küçük açma gecikmesine ve  $I_k'' / I_{NG}$  oranına bağlı olarak çizelgelerden alınır.

Burada  $I_{NG}$  kısa devreyi besleyen generatörlerin toplam gücüne karşı düşen anma akımıdır. AG şebekelerde  $\mu = 1$  alınır.

$$I_b = I_k'' \quad \text{kabul edilir.}$$

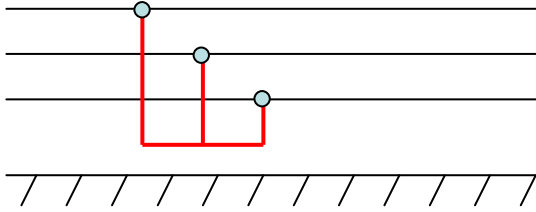


**TMMOB**  
**ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**İZMİR ŞUBESİ**

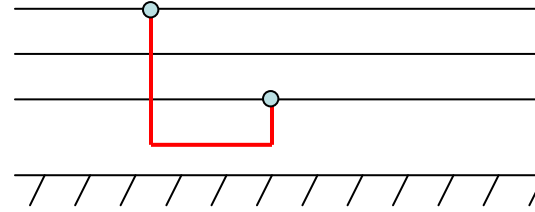




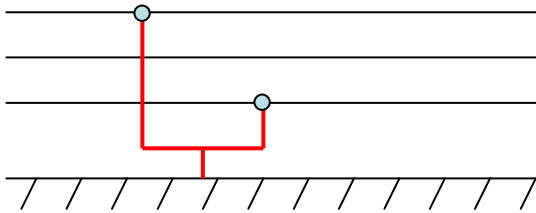
### III. Kısa devre türleri



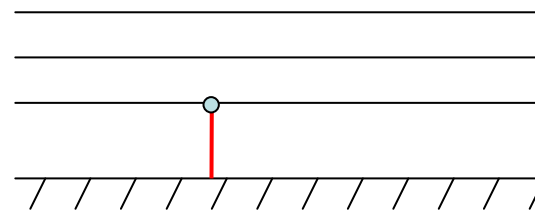
Üç faz kısa devre  $I''_{k3}$



İki faz kısa devre  $I''_{k2}$



İki faz toprak kısa devre  $I''_{k2E}$



Faz toprak kısa devre  $I''_{k1}$



## **IV. Simetrik bileşenler**

Bu yöntemde simetrik olmayan üç fazlı sistem, kendi içinde simetrik olan üç fazlı sistemlerin toplamı şeklinde gösterilebilir, başka bir deyişle simetrik olan bileşenlere ayrılabilir.

Herhangi bir asimetric  $\dot{I}_R, \dot{I}_S, \dot{I}_T$  akım fazörleri simetrik bileşenler cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{I}_R = \dot{I}_{R1} + \dot{I}_{R2} + \dot{I}_0$$

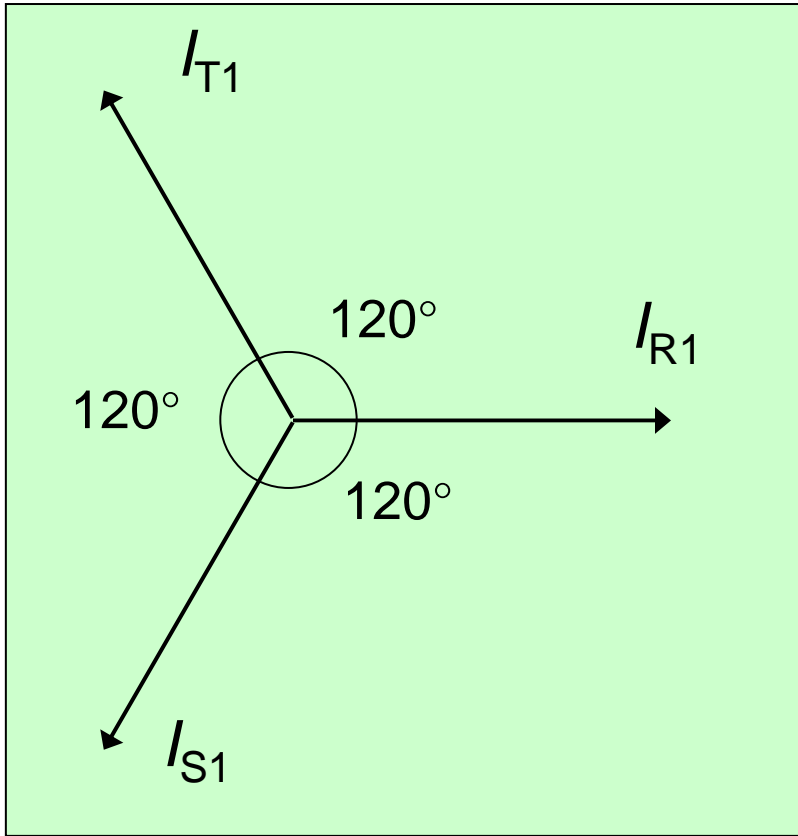
$$\dot{I}_S = \dot{I}_{S1} + \dot{I}_{S2} + \dot{I}_0$$

$$\dot{I}_T = \dot{I}_{T1} + \dot{I}_{T2} + \dot{I}_0$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Doğru sistem :**



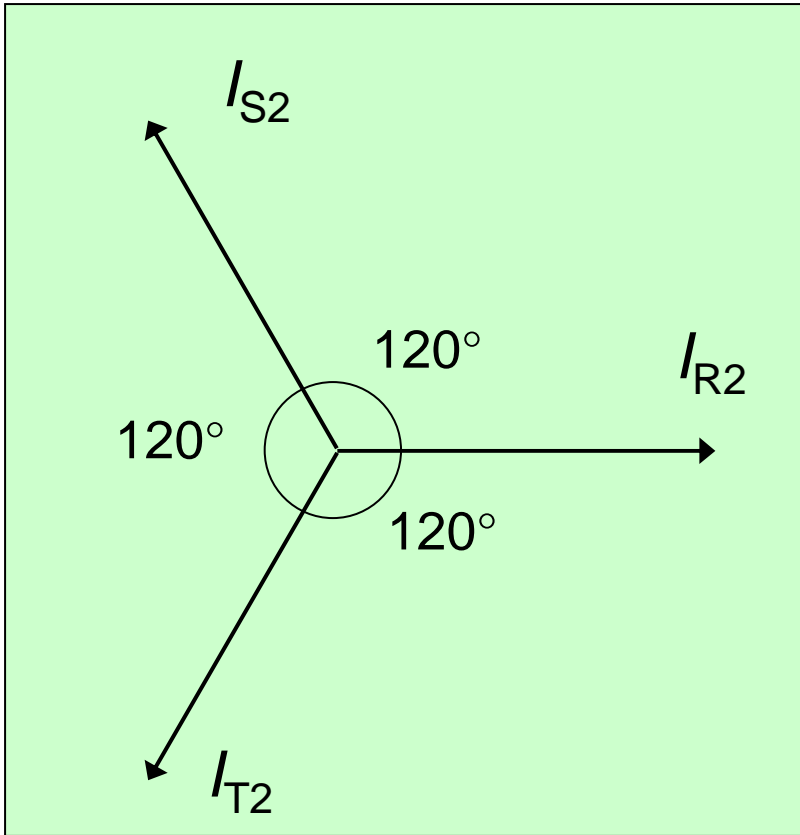
+ ya da pozitif sistem de denir. 1 alt indisi ile gösterilir. Bu sistemde bileşenler eşit, aralarında 120 faz farklı ve saat ibreleri dönüş yönündedir. R fazı referans alınır, doğru sistem yandaki şekilde gösterilir.





**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Ters sistem :**

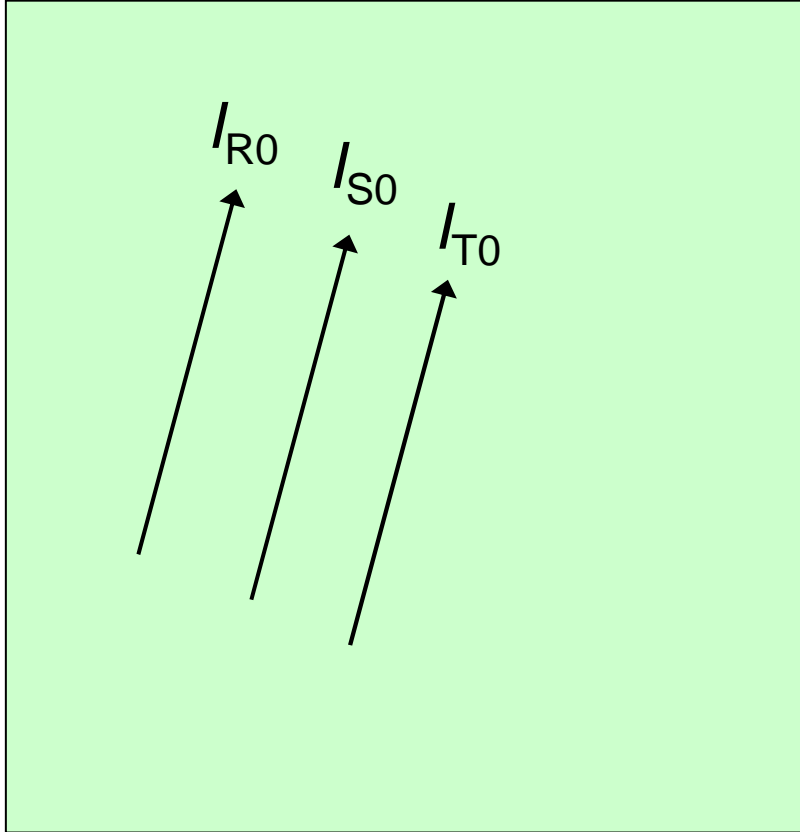


- ya da negatif sistem de denir. 2 alt indisi ile gösterilir. Bu sistemde bileşenler eşit, 120 faz farklı ve saat ibrelerinin dönüşünün tersi yönündedir. R fazı referans alınır, ters sistem yandaki şekilde gösterilir.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Sıfır sistem :**



0 alt indisi ile gösterilir. Bu sistemde bileşenler eşit, faz farksız ve aynı doğrultudadır.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

R fazını referans alarak,  $\dot{I}_R, \dot{I}_S, \dot{I}_T$  akım fazörlerini veren eşitlikleri  $\dot{I}_{R1}, \dot{I}_{R2}, \dot{I}_0$  cinsinden yazabiliriz.

$$\dot{i}_R = \dot{i}_{R1} + \dot{i}_{R2} + \dot{i}_0$$

$$\dot{i}_S = a^2 \dot{i}_{R1} + a \dot{i}_{R2} + \dot{i}_0$$

$$\dot{i}_T = a \dot{i}_{R1} + a^2 \dot{i}_{R2} + \dot{i}_0$$

Bu denklem takımındaki  $\dot{I}_{R1}, \dot{I}_{R2}, \dot{I}_0$  hesaplanırsa aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\dot{i}_{R1} = \frac{1}{3} (\dot{i}_R + a \dot{i}_S + a^2 \dot{i}_T)$$

$$\dot{i}_{R2} = \frac{1}{3} (\dot{i}_R + a^2 \dot{i}_S + a \dot{i}_T)$$

$$\dot{i}_0 = \frac{1}{3} (\dot{i}_R + \dot{i}_S + \dot{i}_T)$$

Aynı bağıntılar gerilim fazörleri için de geçerlidir. Eşitliklerde  $\dot{i}$  yerine  $\dot{U}$  konacaktır.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

Burada  $a$  bir karmaşık sayı olup  $120^\circ$  dönme,  $a^2$  ise  $240^\circ$  dönme tekabül eder.

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^3 = 1$$

$$a^4 = a$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Örnek:**

R fazında 10 A, S fazında 20 A ve T fazında 5 A akım aktığında, bu akımların simetrik bileşenlerini bulunuz.

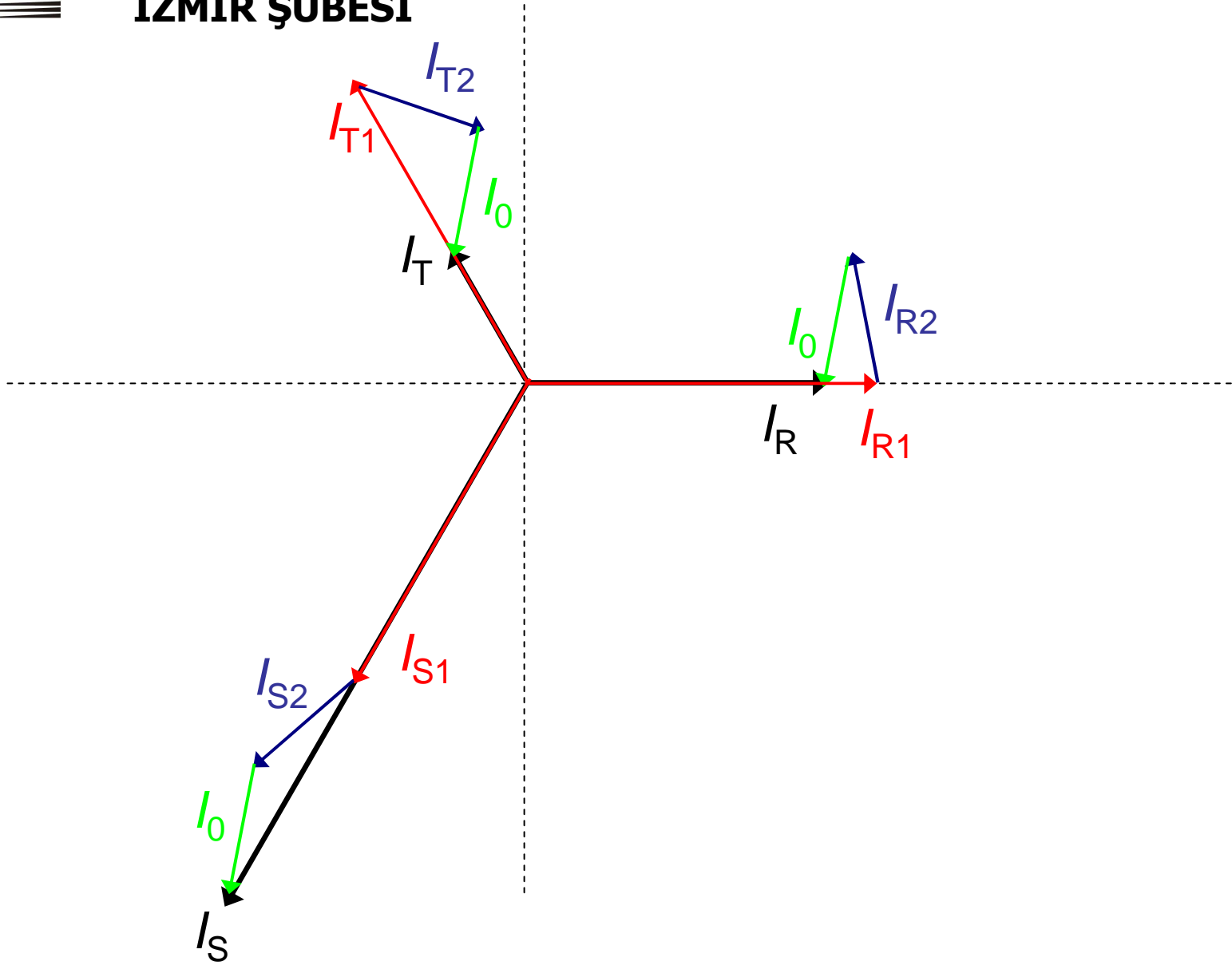
$$I_R = 10A$$

$$I_S = 20A$$

$$I_T = 5A$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**





**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Üç fazlı kısa devre:**

$$\dot{Z}_1 = \frac{\dot{U}_1}{i_1} \quad \dot{Z}_2 = \frac{\dot{U}_2}{i_2} \quad \dot{Z}_0 = \frac{\dot{U}_0}{i_0}$$

$Z_1$  doğru empedans,  $Z_2$  ters empedans ve  $Z_0$  sıfır empedanstır.

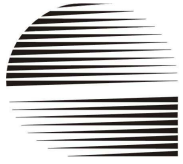
Öte yandan arıza noktasındaki gerilimle kaynak gerilimleri arasında,

$$\dot{U}_{R1} = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 i_{R1}$$

$$\dot{U}_{R2} = \dot{E}_2 - \dot{Z}_1 i_{R2}$$

bağıntıları vardır.

$$\dot{U}_0 = \dot{E}_0 - \dot{Z}_0 i_0$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

Ama gerilimler genellikle simetrik kabul edildiğinden  $E_2=E_0=0$  olacaktır. Bu durumda önceki bağıntılar,

$$\dot{U}_{R1} = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 i_{R1}$$

$$\dot{U}_{R2} = -\dot{Z}_1 i_{R2}$$

$$\dot{U}_0 = -\dot{Z}_0 i_0$$

biçimine dönüşür.

Üç fazlı kısa devrede  $U_R = U_S = U_T = 0$  olacaktır. Bu durumda R faz geriliminin simetrik bileşenleri de eşit ve 0 olur. Bunları kaynak gerilimleri ifadesinde yerine yazarsak,

$$i_{R1} = \frac{\dot{E}}{\dot{Z}_1} \quad i_{R2}=0 \quad i_0=0 \quad \text{eşitliklerini elde ederiz.}$$





**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

Gerçek akım fazörleri ise,

$$i_R = \frac{\dot{E}}{Z_1} \quad i_S = a^2 \frac{\dot{E}}{Z_1} \quad i_T = a \frac{\dot{E}}{Z_1} \quad \text{olur.}$$

Görüldüğü gibi üç fazlı kısa devrede, akım fazörlerinin mutlak değerleri birbirine eşit, faz farkları ise  $120^\circ$ 'dir.

Üç fazlı kısa devre akımının etkin değeri ise,

$$I_{k3} = c \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_1}$$

bağıntısıyla bulunur.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

## Faz toprak kısa devresi:

T fazında bir faz-toprak kısa devresi oluştuğunu varsayarsak,  $U_T = 0$ ,  $I_S = I_R = 0$  kabul edilebilir. Ara işlemlerle

$$\dot{I}_T = \frac{3\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0} = \frac{\sqrt{3}c\dot{U}_n}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}$$

bulunur.

Faz ile toprak arasındaki empedanslar 3 ile çarpılarak formüle konmalıdır. Döner makineler dışında genellikle  $Z_1 = Z_2$  kabul edilebilir.  $Z_0$  trafolarında sargıların bağlantı şekillerine göre değişir.  $Z_0 / Z_1$  bir trafonun yüklenebilmesinin de ölçütüdür.

## Trafoaların sıfır direnç ve reaktansları

Üçgen/zikzak trafolarda  $R_0 \cong 0,5.R_1$   $X_0 \cong 0,1.X_1$

Üçgen/yıldız trafolarda  $R_0 \cong R_1$   $X_0 \cong (0,85 - 1).X_1$

Yıldız/yıldız trafolarda  $R_0 \cong R_1$   $X_0 \cong (3 - 10).X_1$

*Yukarıdaki değerler kılavuz değerler olup, trafoanın sıfır direnç ve reaktanslarının gerçek değerleri ancak üretici firmalar tarafından verilebilir. Sıfır direnç ve reaktansın saptanması rutin deneyler kapsamında değildir.*

## Kabloların sıfır direnç ve reaktansları

$$R_0 \cong R_1 + 3.R_{nötr} \quad X_0 \cong 3.X_1$$

## Hatların sıfır direnç ve reaktansları

$$R_0 \cong R_1 + 3.R_{nötr} \quad X_0 \cong 4.X_1$$



## **Faz Faz kısa devresi:**

S ve T fazları arasında bir faz-faz kısa devresi oluştuğunu varsayarsak,  $U_S = U_T = 0$ ,  $I_R = 0$ ,  $I_S = -I_T$  kabul edilebilir. Ara işlemlerle

$$\dot{I}_S = \frac{\sqrt{3}\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{c\dot{U}_N}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

bulunur.

Faz Faz kısa devresinde sıfır empedans gözükmez.



## **Faz Faz toprak kısa devresi:**

S ve T fazları ile toprak arasında bir faz-faz-toprak kısa devresi oluştuğunu varsayarsak,  $U_S = U_T = 0$ ,  $I_R = 0$ , kabul edilebilir. Ara işlemlerle topraktan geçen kısa devre akımı

$$\dot{I}_{Toprak} = \frac{3\dot{E}\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0\dot{Z}_2} = \frac{\sqrt{3}c\dot{U}_N\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0\dot{Z}_2}$$

olarak bulunur.

Bu tür kısa devrede, fazlardan ve topraktan farklı kısa devre akımları geçer.



## **V. YG de kısa devre akımlarının hesabında dikkat edilecek hususlar:**

- 1)** Alçak Gerilim ve Yüksek Gerilim tesislerindeki kısa devre hesabı hemen hemen aynıdır. Genel ilkeler değişmese bile, aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.
- 2)** Jeneratörün doğrudan doğruya AG şebekesini beslemesi hali dışında, AG'deki kısa devreler jeneratöre uzak kısa devre sayılırlar. ( $\mu = 1, I_k'' = I_b = I_k$ )

YG de ise a değeri hesaplanır.

$a = (Z_G + Z_\varnothing) / Z_G < 2$  koşulunu gerçekliyorsa jeneratöre yakın kısa devre,

$a = (Z_G + Z_\varnothing) / Z_G \geq 2$  koşulunu gerçekliyorsa jeneratörden uzak kısa devre söz konusudur.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

- 3)** AG kısa devre akımları hesabında, şebeke gerilimi  $c$  güvenlik katsayısı ile çarpılır. 230 / 400 V gerilimde, IEC 909'a göre;  
En büyük akım hesabında  $c = 1,05$   
En küçük akım hesabında  $c = 0,95$  alınır.  
Yüksek Gerilimde;  
En büyük akım hesabında  $c = 1,1$   
En küçük akım hesabında  $c = 1$  alınır.
- 4)** YG tesislerinde açma gücü-açma akımı, AG tesislerinde ise açma akımı deyimi kullanılır.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

- 5)** YG de kısa devre akımlarının hesabı sonucu elde edilen değerlerden ;
- a) Hattın ya da kabloların kısa devreye dayanıp dayanamayacağını tahkikinde,
  - b) Baraların mekanik davranışlarının saptanmasında,
  - c) Koruma cihazlarının yeterli sürede çalışıp çalışmayacağını belirlemede,
  - d) Koruma elemanlarının kesme kapasitelerinin doğrulanmasında,
  - e) Seçicilik analizinde,
  - f) Topraklama ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde,
  - g) Ölçü trafolarının kısa süreli termik akım değerlerinin saptanmasında,
- yararlanılır.





**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

- 6)** YG tesislerindeki kısa devre hesaplarında, bazı hallerde YG şebekesinin iç direnci ve reaktansı savsaklanır (IEC 909 da ise bu ihmal yapılmaz).
- 7)** En büyük kısa devre akımı, çoğunlukla üç fazlı kısa devrede oluşur. Üç fazlı kısa devre hali, dengeli işleme hali olduğundan bir fazın direnç ve reaktansları esas alınır.
- 8)** Faz toprak ya da faz faz toprak kısa devreleri ise dengesiz işleme halleridir. Bu durumda simetrik bileşenler yöntemini kullanmak gerekir. Ama bazı durumlarda devre öğelerinin doğru ve ters bileşenleri eşit, sıfır bileşende doğru bileşene çok yakın olduğunda, klasik devre çözümlerine dayanan hesap yönteminden yararlanılabilir.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

- 9)** Genel AG şebekelerinde asenkron motorların kısa devre akımlarına etkisi göz ardı edilebilir. YG Şebekelerde asenkron motorların kısa devreye etkisi tahkik edilmelidir.
- 10)** AG kısa devre hesaplarında, bara direnç ve reaktansları göz önüne alınmalıdır. YG tesislerinde ise bu durum ihmal edilebilir.
- 11)** YG şebekelerde ohmik dirençler çoğu kez ihmal edilir. AG kısa devre hesaplarında ise ohmik dirençler hesaba katılmalıdır.  $R < (0,3.X)$  ise ohmik dirençler savsaklanır.
- 12)** AG de kısa devre hesapları genellikle empedans yöntemi ile yapılırsa da, bazen YG'de güç yöntemini yeğlemek kolaylık sağlar.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

## **VI. Kısa devre hesaplarında kullanılacak devre öğelerinin saptanması:**

### **Ulusal Ağ Şebeke:**

Kısa devre hesabını yapacak mühendis, ulusal ağ şebekenin karmaşık eşdeğer şemasını ve bu şema ile ilgili empedans değerlerini bilemez.

TEİAŞ kendi trafo merkezlerine kadarki kısa devre yolunun  $Z_Q$  empedansını ve  $S''_{kQ}$  başlangıç kısa devre gücünü her yıl hesaplar ve bu değerleri “..... yılı puant yük şartlarında yük akışı ve üç faz kısa devre etüdü” adı altında yayınlar.

$S''_{kQ}$  başlangıç kısa devre gücü biliniyorsa kısa devre empedansı

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_n^2}{S''_{kQ}}$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. YG’de c katsayısı 1,1 alınır.



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

Eğer  $R_Q$  ve  $X_Q$  değerleri bilinmiyorsa YG şebekeleri için iyi bir yaklaşıklıkla  $R_Q = 0,1 \cdot X_Q$  alınabilir.

$$Z_Q = \sqrt{R_Q^2 + X_Q^2} = \sqrt{1,01}X_Q$$

$$X_Q = 0,995 \cdot Z_Q$$

$$\frac{R_Q}{0,1} = 0,995 \cdot Z_Q$$

$$R_Q \cong 0,1 \cdot Z_Q$$

eşitlikleri göz önüne alınabilir.



## **Transformatörler:**

### **Bağıl aktif gerilim düşümü:**

Transformatörün  $R_T$  direncinde, anma akımında oluşan gerilim düşümünün anma gerilimine oranıdır;  $u_r$  ile gösterilir.

$$u_r = \frac{R_T I_n}{\left( \frac{U_n}{\sqrt{3}} \right)}$$

$$S_n = \sqrt{3} U_n I_n$$

$$R_T = u_r \frac{U_n^2}{S_n}$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Bağıl reaktif gerilim düşümü:**

Transformatörün  $X_T$  reaktansında, anma akımında oluşan gerilim düşümünün anma gerilimine oranıdır;  $u_x$  ile gösterilir.

$$u_x = \frac{X_T I_n}{\left( \frac{U_n}{\sqrt{3}} \right)}$$

$$S_n = \sqrt{3} U_n I_n$$

$$X_T = u_x \frac{U_n^2}{S_n}$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Bağlı kısa devre gerilimi:**

Bir transformatörün sekonder tarafı kısa devre iken, primer taraftan anma akımını geçiren gerilimin anma gerilimine oranıdır.  $u_k$  ile gösterilir.

$$u_k \left( \frac{U_n}{\sqrt{3}} \right) = Z_T I_n$$

$$u_k \left( \frac{U_n}{\sqrt{3}} \right) = Z_T \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n}$$

$$Z_T = u_k \frac{U_n^2}{S_n}$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

$Z_T$ ,  $R_T$  ve  $X_T$  arasında  $Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$

$u_k$ ,  $u_r$  ve  $u_x$  arasında  $u_k = \sqrt{u_r^2 + u_x^2}$

bağıntıları vardır.

$U_n$ ,  $S_n$  ve  $u_k$  plaka değerleri olduğundan  $Z_T$  kolayca hesaplanabilir. Çoğu kez  $u_r$  ve  $u_x$  yapımcı tarafından verilmeyebilir. Bu durumda  $R_T$  ve  $X_T$ 'yi bulmak için başka bir plaka büyüklüğünden yararlanılır.





**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

Bu büyüklük  $P_{Cu}$  ile göstereceğimiz bakır kayıplarıdır.

$$3R_T I_n^2 = P_{Cu}$$
$$3R_T \left( \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} \right)^2 = P_{Cu}$$

$$R_T = P_{Cu} \left( \frac{U_n}{S_n} \right)^2$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

Sonuç olarak  $U_n$ ,  $S_n$ ,  $u_k$  ve  $P_{Cu}$  değerleri bilinen bir transformatörde;

$$Z_T = u_k \frac{U_n^2}{S_n}$$

$$R_T = P_{Cu} \frac{U_n^2}{S_n^2}$$

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



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

YG/YG Trafolarında  $R$  ihmal edilecek mertebede olup,  $Z = X$  ve  $u_x = u_k$  alınabilir. Bu durum  $u_r \approx 0$  ve  $R \approx 0$  kabul edilmesi anlamına gelir.

ÇYG/YG Trafolarında  $u_k = \%10...15$

YG/YG Trafolarında  $u_k = \%6...10$  mertebesindedir.



**Bir trafonun 3 fazlı kısa devre akımının  
pratik hesabı:**

$$Z = u_k \frac{U_n^2}{S_n}$$

$$S_n = \sqrt{3} U_n I_n$$

$$I_{k3}'' = \frac{U_n}{\sqrt{3} Z}$$

$$Z = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_{k3}''}$$

$$\frac{U_n}{\sqrt{3} I_{k3}''} = u_k \frac{U_n^2}{S_n}$$

$$\frac{1}{\sqrt{3} I_{k3}''} = u_k \frac{U_n}{S_n} = u_k \frac{U_n}{\sqrt{3} U_n I_n}$$

$$I_{k3}'' = \frac{I_n}{u_k}$$



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

**Kablolar:**

Ohmik direnç  $R = L / \kappa \cdot q$  ifadesinden hesaplanır. Burada  $\kappa$ , özgül iletkenlik olup

bakır için  $\kappa = 56 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$ ,

alüminyum için  $\kappa = 35 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$  alınır.

X kablo kataloglarından yada konu ile ilgili yayınlardaki tablolardan belirlenebilir.

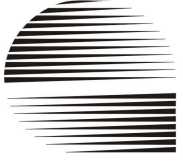


**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

	Yanyana	Üçgen form
$q$	$X (\Omega/\text{km})$	$X (\Omega/\text{km})$
25	0,251	0,172
35	0,241	0,164
50	0,232	0,156
70	0,221	0,147
95	0,213	0,140
120	0,206	0,135
150	0,199	0,130
185	0,193	0,126
240	0,186	0,121

**20,3/35 kV XLPE tek damarlı kabloların reaktans değerleri**

(İyi bir yaklaşıkla çok damarlı kabloların reaktans değerleri üçgen form sütunundan alınabilir)



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

	$R$ ( $\Omega/\text{km}$ )	$X$ ( $\Omega/\text{km}$ )
<b>SWALLOW (3AWG)</b>	1,267	0,4644
<b>RAVEN(1/0)</b>	0,67	0,4619
<b>PIGEON(3/0)</b>	0,4329	0,4433
<b>PARTRIDGE (267 MCM)</b>	0,239	0,3626
<b>HAWK(477 MCM)</b>	0,1341	0,3427

**36 kV ve GOM = 210 cm için çelik alüminyum iletkenlerin direnç ve reaktans değerleri**



**TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

## **Kaynaklar**

1. EMO İzmir Şubesi Yayını / OG Transformatör Merkezlerinin Tasarımı
2. KAŞIKÇI, İsmail / Short Circuits in Power Systems.
3. ALPERÖZ, Nusret / Elektrik Enerjisi Dağıtımı.
4. BAYRAM, Mustafa-İLİSU, İsa / Elektrik Tesislerinde Güvenlik ve Topraklama.
5. SANER, Yetkin / Güç Dağıtımı – IV (Kısa Devre Hesapları)