

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 28

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA DEVRE EMPEDANSLARI (17)
- Havai Hatlar ve Kablolar (2)

Yapılan hesaplama göre iletken özgül direnç değerleri : (ρ)

	Özgül direnç ρ_0	Özgül direnç Değeri ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)		
		Bakır	Alüminyum	Alüminyum Alaşımı
Max.kısa-devre akımı	ρ_0	0.01851	0.02941	0.0323
Min.kısa-devre akımı				
Sigorta ile	$\rho_2 = 1,5 \rho_0$	0.028	0.044	0.048
Kesici ile	$\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0.023	0.037	0.041
TN ve IT sistemlerinde				
Arıza akımı	$\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0.023	0.037	0.041
Gerilim düşümü hesabı	$\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0.023	0.037	0.041
Koruyucu iletkenlerdeki				
Termik gerilme için aşırı akım				
Kontrolleri	$\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0.023	0.037	0.041

- ρ_0 : İletkenlerin 20 C'deki özgül dirençleridir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 29

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (18)
- Havai Hatlar ve Kablolar (3)
- Havai hatların birim uzunluk başına X_L ' reaktansı :

$$X'_L = 2\pi f \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4n} + \ln \frac{d}{r} \right) = f \mu_0 \left(\frac{1}{4n} + \ln \frac{d}{r} \right)$$

- $d = \sqrt[3]{d_{L1L2} d_{L2L3} d_{L3L1}}$: iletkenler arasındaki geometrik ortalama mesafe
- r : iletkenin yarıçapı
- n : iletken demetlerinin sayısı
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m.}$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 30

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (19)
- Kısa-devre sınırlayıcı reaktörler
- Geometrik simetri olduğu farzedilirse; doğru, ters ve sıfır-bileşen kısa-devre empedansları eşittir.
- Kısa-devre sınırlayıcı reaktörler, kısa-devre empedansının bir parçası olarak kabul görür.

$$Z_R = \frac{u_{kR}}{100 \%} \frac{U_n}{\sqrt{3} I_{rR}} \quad \text{ve} \quad R_R \ll X_R$$

u_{kR} ve I_{rR} anma plakasında verilir.

U_n , nominal sistem gerilimidir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 31

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (20)
- Senkron makineler-Senkron Generatörler (1)
- Ünite transformatörü olamayangeneratörlerden direk olarak beslenen sistemlerde, örneğin endüstriyel şebekelerde veya alçak-gerilim şebekelerinde , başlangıç simetrik kısa-devre akımı hesaplanırken doğru-bileşen sisteminde aşağıdaki empedans kullanılır :

$$\underline{Z}_{GK} = K_G \underline{Z}_G = K_G (R_G + jX_d'')$$

- Empedans düzeltme faktörü K_G :

$$K_G = \frac{U_n}{U_{rG}} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + x_d'' \sin \varphi_{rG}}$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 32

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (21)
- Senkron makineler-Senkron Generatörler (2)

c_{\max} : Gerilim faktörü

U_n : Nominal sistem gerilimi

U_{rG} : Generatörün anma gerilimi

\underline{Z}_{GK} : Generatörün düzeltilmiş subtransient empedansı

\underline{Z}_G : Doğru-bileşen sisteminde generatörün subtransient
Empedansı $\underline{Z}_G = R_G + jX_d''$

φ_{rG} : \underline{I}_{rG} ve $\underline{U}_{rG}/\sqrt{3}$ arasındaki faz açısı

x_d'' : Anma empedansı ile ilgili olarak, generatörün bağıl

subtransient reaktansı $x_d'' = X_d''/Z_{rG} \quad Z_{rG} = U_{rG}^2/S_{rG}$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 33

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (22)
- Senkron makineler-Senkron Generatörler (3)
- Tepe kısa-devre akımının yeterli hassasiyette hesaplanması için, imgesel R_{Gf} dirençleri için aşağıdaki değerler kullanılabilir :
- $R_{Gf} = 0,05 X_d''$, $U_{rG} > 1 \text{ kV}$ ve $S_{rG} \geq 100 \text{ MVA}$ generatörler için ,
- $R_{Gf} = 0,07 X_d''$, $U_{rG} > 1 \text{ kV}$ ve $S_{rG} < 100 \text{ MVA}$ generatörler için ,
- $R_{Gf} = 0,15 X_d''$, $U_{rG} \leq 1 \text{ 000 V}$ generatörler için ,
- Eğer generatörün terminal gerilimi U_{rG} 'den farklı ise ; üç faz kısa-devre akımlarını hesaplariken, empedans düzeltme faktörü denkleminde U_{rG} yerine $U_G = U_{rG} (1 + p_G)$ kullanılmalıdır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 34

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (23)
- Senkron makineler-Senkron Generatörler (4)
- Senkron generatörlerin ters-bileşen sistemindeki kısa-devre empedansları :

$$\underline{Z}_{(2)GK} = K_G (R_{(2)G} + jX_{(2)G}) = K_G \underline{Z}_{(2)G} \approx K_G \underline{Z}_G = K_G (R_G + jX_d'')$$

X_d'' ve X_q'' değerleri farklı ise; $X_{(2)G} = (X_d'' + X_q'')/2$ kullanılabilir.

- Senkron generatörlerin sıfır-bileşen sistemindeki kısa-devre empedansları : $\underline{Z}_{(0)GK} = K_G (R_{(0)G} + jX_{(0)G})$

Generatörün yıldız-noktası ile toprak arasında bir empedans var ise, bu empedansa KG düzeltme faktörü uygulanmamalıdır.

- Generatörlerin düşük uyarımlı çalışmalarından ötürü minimum kısa-devre akımlarının hesaplanması ihtiyacı ortaya çıkabilir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 35

●ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (24)

●Senkron makineler-Senkron Generatörler (5)

	<u>Turbogeneratörler</u>	<u>Amortisör (1) Sargılı Salient- Pole Generatörler</u>	<u>Amortisör Sargısız Salient- Pole Generatörler</u>
Subtransient Reaktans(doymuş) <u>x_d'' %</u>	9...22 (2)	12....30 (3)	20...40 (3)
Transient Reaktans(doymuş) <u>x_d' % (5)</u>	14...35 (4)	20....45	20...40
Senkron Reaktans (doymamış) <u>x_d %</u>	140...300	80.....180	80...180
Ters Bileşen Reaktans <u>x_2 % (6)</u>	9....22	10...25	30....50
Sıfır Bileşen Reaktans	3....10	5...20	5....25

x2 % (7)

Açıklamalar :

- 2) Değerler, makine anma gerilimi ve gücü ile artar. Düşük değerler AG generatörler içindir.
- 3) Yüksek değerler düşük hızlı rotorlar içindir.
- 4) Çok büyük (1000 MVA'nın üzerinde) makineler için..
- 5) Doymuş değerler %5 ile %20 arasında daha düşüktür.
- 6) Genelde $x2 = 0.5 (x_d'' + x_q'')$
- 7) sargı derecesine göre değişir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 36

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (25)
- Senkron kompansatörler ve motorlar.
- I_k ' başlangıç simetrik kısa-devre akımını, i_p tepe kısa-devre akımını, I_b simetrik kısa-devre kesme akımını ve I_k istikarlı hal kısa-devre akımını hesaplarken, senkron kompansatörlere senkron generatörler gibi davranılır.
- Eğer, senkron motorlarda bir voltaj regülasyonu var ise senkron generatörler gibi davranırlar , yok ise ilave durumlar gözönüne alınır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – **IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 37**

- **ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (26)**
- **Yük altında kademe deđiřtiricili Güç istasyonu Üniteleri (1)**
- **Yük altında kademe değiştiricili Güç istasyonu Ünitelerinin (S) kısa-devre akımlarının hesaplanmasında , ünite transformatorünün YG tarafındaki kısa-devreler için tüm güç istasyonu ünitesinin empedansı :**

$$\underline{Z}_S = K_S \left(t_r^2 \underline{Z}_G + \underline{Z}_{THV} \right)$$

- **Empedans düzeltme faktörü, K_S :**

$$K_S = \frac{U_{nQ}^2}{U_{rG}^2} \cdot \frac{U_{rTLV}^2}{U_{rTHV}^2} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + |x_d'' - x_T| \sin \varphi_{rG}}$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 38

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (27)
- Yük altında kademe deęiřtiricili Güç istasyonu Üniteleri (2)

\underline{Z}_S : Yük altında kademe değiştiricili bir güç istasyonu ünitesinin YG tarafına transfer edilmiş düzeltilmiş empedansı

\underline{Z}_G : Generatörün, K_G düzeltme faktörü kullanılmaksızın subtransient Empedansı $\underline{Z}_G = R_G + jX_d''$

\underline{Z}_{THV} : Ünite transformatörünün, K_T düzeltme faktörü kullanılmaksızın YG tarafı ile ilgili empedansı

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

U_{rG} : Generatörün anma gerilimi

φ_{rG} : I_{rG} ve $\underline{U}_{rG}/\sqrt{3}$ arasındaki faz açısı

x_d'' : Generatörün, anma empedansı ile ilgili bağıl subtransient reaktansı

$$x_d'' = X_d''/Z_{rG} \quad Z_{rG} = U_{rG}^2/S_{rG}$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 39

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (28)
- Yük altında kademe deęiřtiricili Güç istasyonu Üniteleri (3)

x_T : Yük altında kademe değiştiricinin ana pozisyonunda, ünite transformatorünün bağıl reaktansı $x_T = X_T/(U_{rT}^2/S_{rT})$

t_r : Ünite transformatorünün anma dönüřtürme oranı $t_r = U_{rTHV}/U_{rTLV}$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 40

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (29)
- Yük altında kademe deđiřtiricisiz Güç istasyonu Üniteleri (1)
- Yük altında kademe değiştiricisiz Güç istasyonu Ünitelerinin (SO) kısa-devre akımlarının hesaplanmasında , ünite transformatorünün YG tarafındaki kısa-devreler için tüm güç istasyonu ünitesinin empedansı :

$$\underline{Z}_{SO} = K_{SO} \left(t_r^2 \underline{Z}_G + \underline{Z}_{THV} \right)$$

- Empedans düzeltme faktörü, K_{SO} :

$$K_{SO} = \frac{U_{nQ}}{U_{rG} (1 + p_G)} \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} \cdot (1 \pm p_T) \cdot \frac{c_{\max}}{1 + x_d'' \sin \varphi_{rG}}$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 41

● ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (30)

● Yük altında kademe değiştiricisiz Güç istasyonu Üniteleri (2)

\underline{Z}_{SO} : Yük altında kademe değiştiricisiz bir güç istasyonu ünitesinin YG tarafına transfer edilmiş düzeltilmiş empedansı

\underline{Z}_G : Generatörün, K_G düzeltme faktörü kullanılmaksızın subtransient Empedansı $\underline{Z}_G = R_G + jX_d''$

\underline{Z}_{THV} : Ünite transformatörünün, K_T düzeltme faktörü kullanılmaksızın YG tarafı ile ilgili empedansı

- U_{nQ} : Ünitenin Q fider bağlantı noktasındaki nominal sistem gerilimi
- U_{rG} : Generatörün anma gerilimi, $U_{Gmax} = U_{rG} (1+p_G)$ ($p_G = 0,05$ ile $0,1$ arası)
- φ_{rG} : \underline{I}_{rG} ve $\underline{U}_{rG}/\sqrt{3}$ arasındaki faz açısı
- x_d'' : Generatörün, anma empedansı ile ilgili bağıl subtransient reaktansı
- $$x_d'' = X_d''/Z_{rG} \quad Z_{rG} = U_{rG}^2/S_{rG}$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI –

IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 42

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (31)
- Asenkron Motorlar (1)
- Orta-gerilim ve alçak gerilim motorları, başlangıç simetrik kısa-devre akımı I_k'' , tepe kısa-devre akımı i_p , simetrik kısa-devre akımı I_b 'ye, ve dengesiz kısa-devreler için aynı zamanda istikrarlı hal kısa-devre akımı I_k 'ya iştirak ederler.
- Orta gerilim motorları, maksimum kısa-devre akımının hesaplanmasında dikkate alınmak zorundadır. Alçak gerilim motorları, güç

istasyonlarındaki yardımcı tesislerde ve endüstriyel ve benzeri tesisatlarda dikkate alınır.

- Alçak gerilim sistemlerindeki asenkron motorların I_k '' kısa-devre akımına iştirakleri, eğer iştirakleri motorlar olamadan hesaplanan başlangıç kısa-devre akımının %5'inden büyük değil ise ihmal edilebilir.

Bir asenkron motor şebekeden ayrıldığı zaman, saniyenin bir kaç yüde biri kadar süre için terminallerinde bir gerilim üretir. Motorun terminallerinde bir kısa devre oluştuğu zaman , motor , hızlı bir şekilde ortadan kaybolan bir akım üretir.

Bu akımın zaman sabiti :

- Tek kafesli 100 kW'a kadar motorlarda 20 ms
- Çift kafesli motorlarda ve 100 kW'ın üzerindeki motorlarda 30 ms
- Çok yüksek güçlü YG motorlarda (1.000 kW) 30 ile 100 ms arası

Dolayısıyla, bir kısa devre anında , bir asenkron motor bir generatördür.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 43

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (32)
- Asenkron Motorlar (2)
- Asenkron motorların doğru ve ters-bileşen sistemlerindeki

$\underline{Z}_M = R_M + jX_M$ empedansı :

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} I_{rM}} = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}}$$

U_{rM}

I_{rM}

S_{rM}

I_{LR}/I_{rM}

: Motorun anma gerilimi

: Motorun anma akımı

: Motorun anma görünen gücü

: Kilitli rotor akımının motorun anma akımına oranı

$$(S_{rM} = P_{rM}/(\eta_{rM} \cos \varphi_{rM}))$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 44

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (33)
- Asenkron Motorlar (3)

- Eğer R_M/X_M oranı biliniyor ise;

$$X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{1 + (R_M/X_M)^2}}$$

$R_M/X_M = 0,10$, with $X_M = 0,995 Z_M$: Orta gerilim motorları , kutup çifti ≥ 1 MW

$R_M/X_M = 0,15$, with $X_M = 0,989 Z_M$: Orta gerilim motorları , kutup çifti < 1 MW

$R_M/X_M = 0,42$, with $X_M = 0,922 Z_M$: Alçak gerilim motor grupları ve bağlantı kabloları

- Motorun sıfır-bileşen sistem empedansı $Z_{(0)M}$, imalatçı tarafından verilir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 45

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (34)
- Asenkron motorların kısa-devre akımlarına iştiraki (1)
- Eğer aşağıdaki koşul sağlanıyor ise, Q fider bağlantı noktasındaki bir kısa-devre için , kısa-devrenin oluştuğu şebekeye transformatörler üzerinden bağlanan orta ve alçak-gerilim motorları ihmal edilebilir :

$$\frac{\sum P_{rM}}{\sum S_{rT}} \leq \frac{0,8}{\left| \frac{c100 \sum S_{rT}}{\sqrt{3} U_{nQ} I''_{kQ}} - 0,3 \right|}$$

$\sum P_{rM}$: OG ve AG motorların anma aktif güçleri toplamı

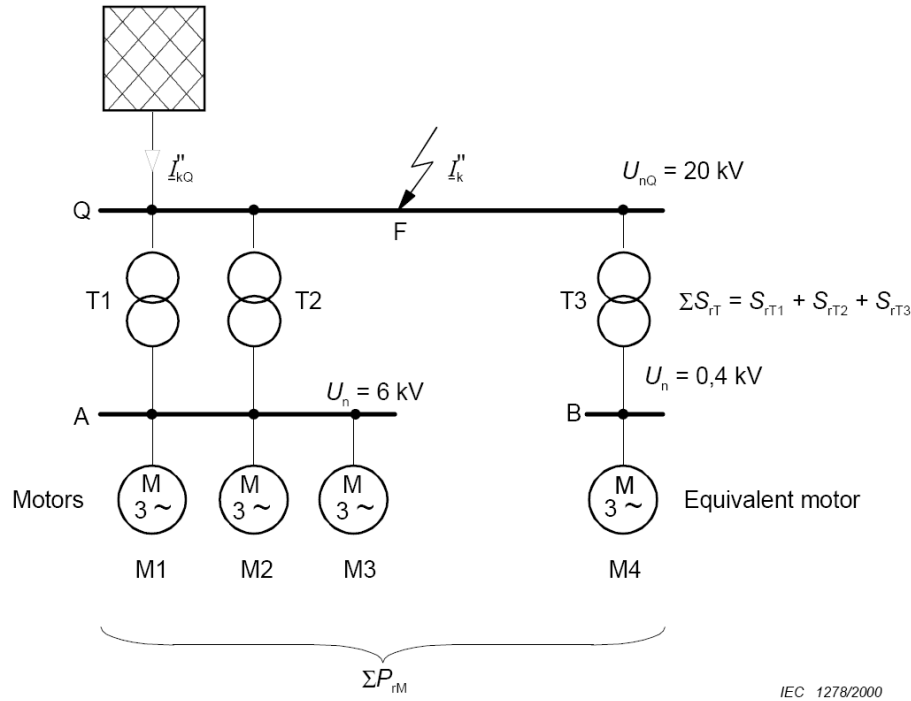
$\sum S_{rT}$: Motorların direk olarak üzerinden beslendiği transformatörlerin anma görünen güçleri toplamı

I''_{kQ} : Motorların ilavesi olmaksızın, Q fider bağlantı noktasındaki başlangıç simetrik kısa-devre akımı

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

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 46

- ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (35)
- Asenkron motorların kısa-devre akımlarına iştiraki (2)



IEC 1278/2000

Figure 9 – Example for the estimation of the contribution from the asynchronous motors in relation to the total short-circuit current

Şekil-10.13- Asenkron motorların kısa-devre akımına iştirakleri örneği
 Alçak-gerilim motorları, baralara genellikle farklı uzunluk ve kesitteki kablolar ile bağlanır. Hesaplamayı kolaylaştırmak için, motor grupları, (bağlantı kablolarını da içeren) tek bir eşdeğer motor şeklinde kombine edilebilir. (Şekil-10.13, M4 motoru)

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 47

● ELEKTRİK EKİPMANININ KISA-DEVRE EMPEDANSLARI (36)

● Kapasitörler ve dönmeyen yükler

Bu standarttaki hesaplama metodlarına göre, sıfır-bileşen sisteminin

hariç olmak üzere; hat kapasitansları, paralel admitanslar ve dönmeyen

yükler hesaba katılmaz.

● Kısa-devre tepe noktası akımının hesaplanmasında şönt kapasitörlerin deşarj akımları ihmal edilebilir.

● Seri kapasitörlerin paralel bağlı gerilim-sınırlayıcı cihazlar ile donatılması halinde, kısa-devre akımlarının hesaplamalarında ihmal edilebilir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 48

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (1)
- GENEL (1)
- Generatörden uzak bir kısa-devrede:
 - Tüm kısa-devre süresi boyunca sabit genlikli bir a.c. bileşen
 - “A” başlangıç değeri ile başlayıp “0” ‘a azalan periyodik olmayan bir d.c. bileşen
 - Simetrik a.c. Akımlar, I_k'' , I_b ve I_k r.m.s değerlerdir ve büyüklükleri birbirlerine yaklaşık olarak eşittir.
- Generatöre yakın bir kısa-devrede:
 - Kısa-devre süresince azalan genlikli bir a.c. bileşen
 - “A” başlangıç değeri ile başlayıp “0” ‘a azalan periyodik olmayan bir d.c. bileşen

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – **IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 49**

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (2)
- GENEL (2)
- Generatörler, güç istasyonu üniteleri ve motorlar tarafından beslenen sistemlerde (generatöre yakın va/veya motora yakın kısa-devreler) kısa-devre akımlarının hesaplanmasında, yalnızca başlangıç simetrik kısa-devre akımını ve tepe kısa-devre akımını bilmek yeterli olmaz; bunlarla birlikte simetrik kısa-devre kesme akımının ve istikrarlı hal kısa-devre akımının da bilinmesi gerekir. Bu durumda, simetrik kısa-devre kesme akımı, başlangıç simetrik kısa-devre akımından daha küçüktür. Normalde, istikrarlı hal kısa-devre akımı, simetrik kısa-devre kesme akımından küçüktür.
- Başlangıç simetrik kısa-devre akımının hesaplanmasında $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$ alınır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 50

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (3)
- GENEL (3)
- Başlangıç simetrik kısa-devre akımı I_k'' , simetrik kısa-devre kesme akımı I_b , ve istikrarlı hal kısa-devre akımı I_k' 'nın hesaplanması için , sistem kısa-devre noktasında eşdeğer bir \underline{Z}_k empedansına dönüştürülebilir. Bu prosedür, tepe kısa-devre akımı i_p nin hesaplanmasında geçerli değildir.
- Kısa-devreler bir veya daha fazla kaynağa sahip olabilir. Radyal sistemlerde dengeli kısa-devreler için yapılan hesaplamalar en basit olanıdır, bir dengeli kısa-devreye iştirakler her bir kaynak için ayrı ayrı değerlendirilebilir.
- Kaynaklar gözlü şebekede dağınık halde olduğu zaman ve dengesiz kısa-devrelerin tüm durumları için, kısa-devre noktasındaki kısa-devre empedanslarını ($\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$ ve $\underline{Z}_{(0)}$) hesaplamak için şebeke azaltma gereklidir.

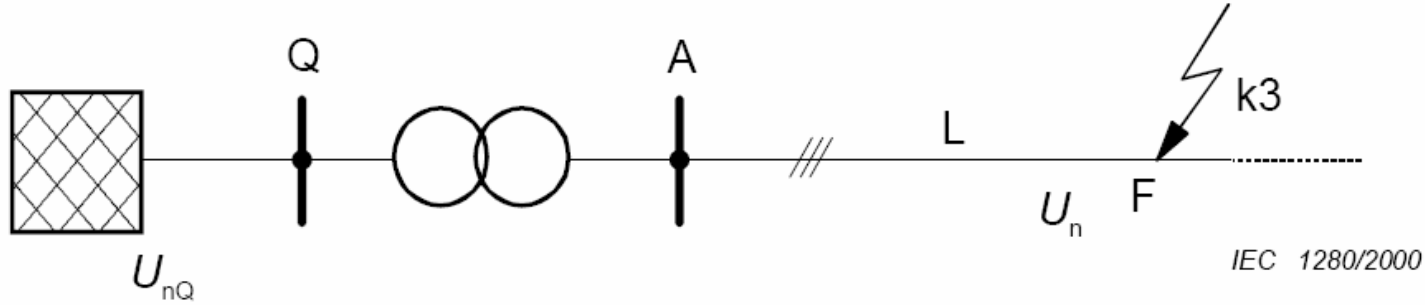
10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 51

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (4)
- BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI I_k'' (1)
- ÜÇ FAZ KISA-DEVRE BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI :

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3} Z_k} = \frac{cU_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad \underline{Z}_k = R_k + jX_k$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 52

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (5)
- BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI I_k'' (2)
- TEK KAYNAKLI KISA-DEVRELER(1)



Şekil-10.14- Bir sistem fiderinden, bir transformatör üzerinden beslenen Kısa-devre

$$R_k = R_{Qt} + R_{TK} + R_L$$

$$X_k = X_{Qt} + X_{TK} + X_L \quad \underline{Z}_{TK} = R_{TK} + jX_{TK} = K_T (R_T + jX_T)$$

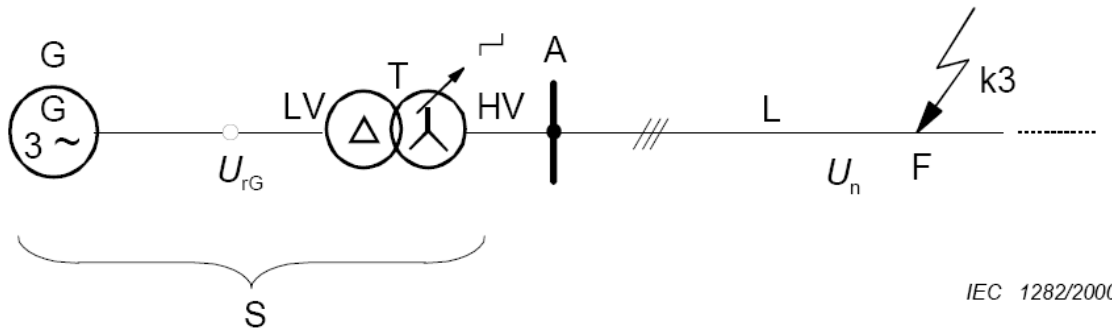
0.3 x X_k 'dan küçük olan R_k dirençleri ihmal edilebilir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 53

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (6)
- BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI I_k'' (3)
- TEK KAYNAKLI KISA-DEVRELER(2)



$$\underline{Z}_k = \underline{Z}_{GK} + \underline{Z}_L = K_G (R_G + jX_d'') + \underline{Z}_L$$

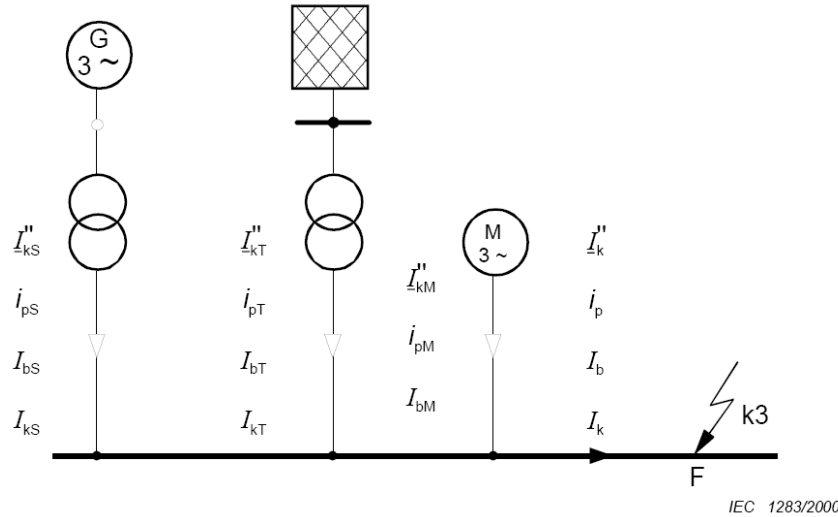


$$\underline{Z}_k = \underline{Z}_S + \underline{Z}_L = K_S (t_r^2 \underline{Z}_G + \underline{Z}_{THV}) + \underline{Z}_L$$

Şekil-10.15- a) Tek bir generatörden beslenen,
b) Bir güç istasyonundan beslenen kısa-devre

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 54

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (7)
- BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI I_k'' (4)
- Gözlü olmayan şebekelerden beslenen kısa-devreler(1)



Şekil-10.16 – Gözlü olmayan bir şebeke örneği

F noktasındaki başlangıç simetrik kısa-devre akımı, bağımsız kısmi kısa-

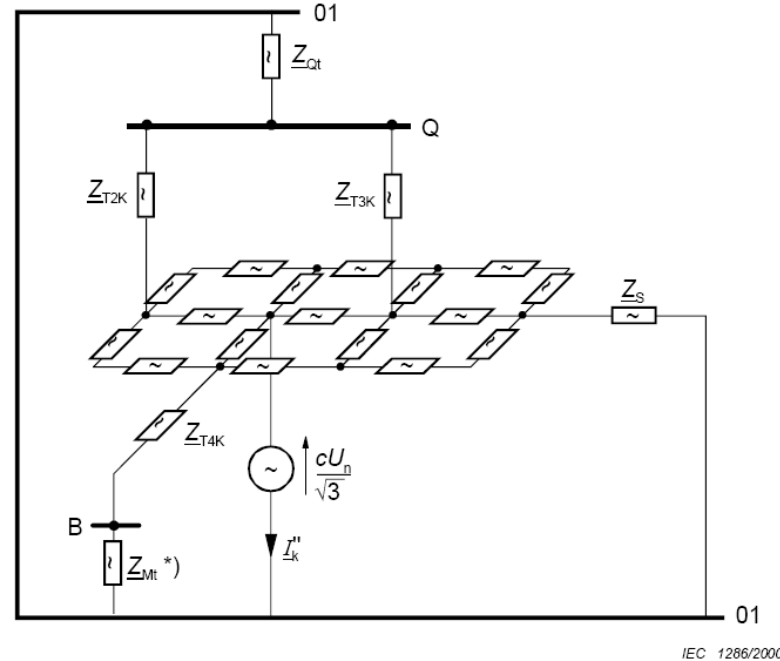
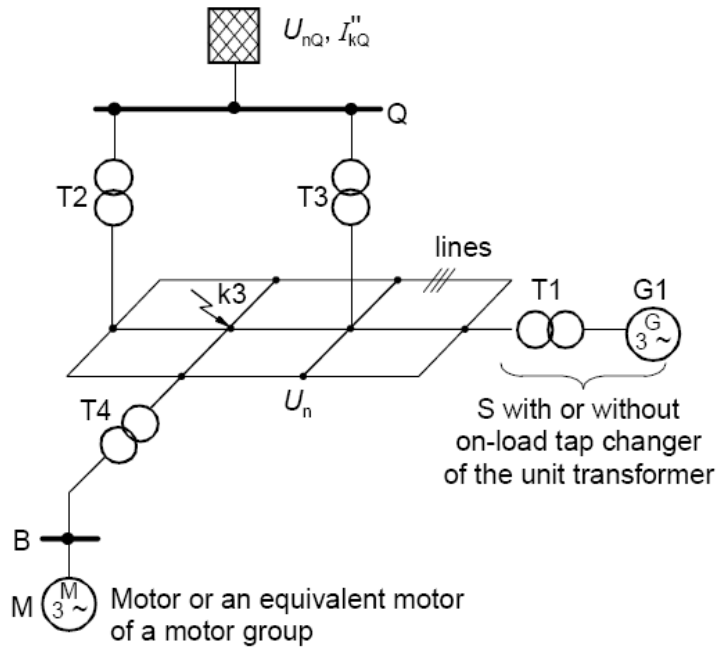
$$\underline{I}_k'' = \sum_i \underline{I}_{ki}''$$

devre akımlarının fazör toplamıdır:

Şekil-10.16’da gösterildiği üzere, kısa-devre akımına iştirak eden birden fazla kaynak var ise, ve kaynaklar gözlü değilse ; F kısa-devre noktasındaki I_k ’ başlangıç simetrik kısa-devre akımı , bağımsız kol kısa-devre akımlarının toplamıdır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 55

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (8)
- BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI I_k'' (5)
- Gözlü şebekelerdeki kısa-devreler



a) Sistem şeması

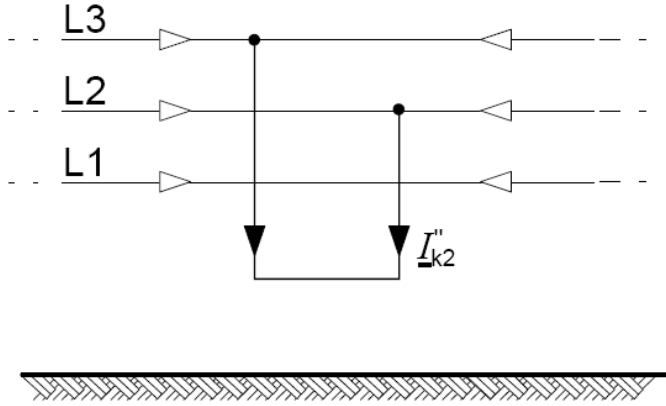
b) Eşdeğer devre şeması

Şekil-10.17 – Birkaç kaynaktan beslenen bir gözlü şebeke örneği

Şekil-10.17’de gösterilen bir gözlü şebekede, kısa-devre empedansını belirlemek için, genelde elektrik ekipmanının doğru-bileşen empedanslarını kullanarak şebeke azaltması/ sadeleştirilmesi gerekir.(örneğin seri bağlantı,aparalel bağlantı, üçgen-yıldız dönüşümü)

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – **IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 56**

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (9)
- BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI I_k'' (6)
- Faz-Faz Kısa-Devre



IEC 1265/2000

Şekil-10.18 – Faz-faz kısa devre şeması ve akımları

Şekil-10.18’de gösterildiği üzere, bir faz-faz kısa-devresi olması halinde; başlangıç kısa-devre akımı :

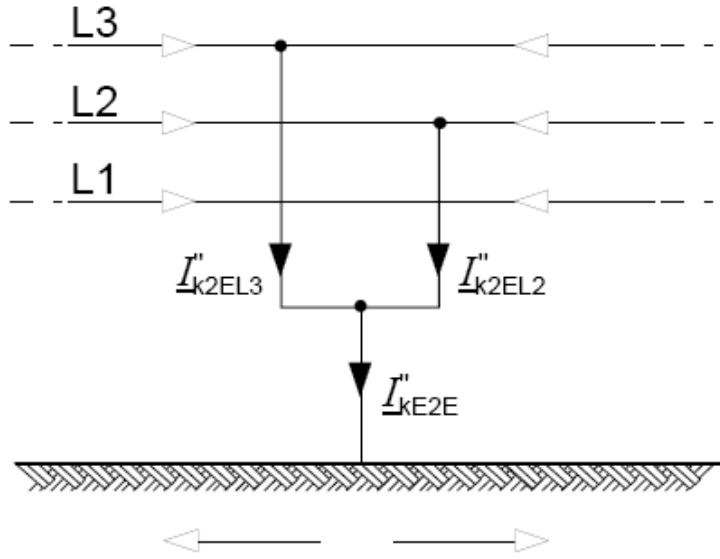
$$I''_{k2} = \frac{cU_n}{|\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)}|} = \frac{cU_n}{2|\underline{Z}_{(1)}|} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_k$$

Kısa-devrenin başlangıç süresinde , kısa-devrenin generatöre yakın bir kısa-devre veya generatörden uzak bir kısa-devre olmasından bağımsız olarak, ters bileşen empedans yaklaşık olarak doğru bileşen empedansına eşittir. Bu yüzden $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$ alınabilir.

Yalnızca transient veya istikrarlı hal sürecinde, eğer kısa-devre generatöre yakın bir kısa-devre ise, $\underline{Z}_{(2)}$ empedansı , $\underline{Z}_{(1)}$ ‘den farklıdır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 57

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (10)
- BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI I_k'' (7)
- Faz-Faz-Toprak Kısa-Devre (1)



Şekil-10.19– Faz-faz-toprak kısa devre şeması ve akımları
Başlangıç simetrik kısa-devre akımlarının hesaplanması için,
Şekil-10.19’da gösterildiği şekilde akımları ayırmak gerekir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 58

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (11)
- BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI I_k'' (8)
- Faz-Faz-Toprak Kısa-Devre (2)
- Genel durum : Generatörden uzak bir kısa-
devre ($\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$) için :

$$\underline{I}_{k2EL2}'' = -jcU_n \frac{\underline{Z}_{(0)} - \underline{a}\underline{Z}_{(2)}}{\underline{Z}_{(1)}\underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(1)}\underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(2)}\underline{Z}_{(0)}}$$

$$\underline{I}_{k2EL3}'' = jcU_n \frac{\underline{Z}_{(0)} - \underline{a}^2\underline{Z}_{(2)}}{\underline{Z}_{(1)}\underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(1)}\underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(2)}\underline{Z}_{(0)}}$$

$$I_{k2EL2}'' = cU_n \frac{|\underline{Z}_{(0)} / \underline{Z}_{(1)} - \underline{a}|}{|\underline{Z}_{(1)} + 2\underline{Z}_{(0)}|}$$

$$I_{k2EL3}'' = cU_n \frac{|\underline{Z}_{(0)} / \underline{Z}_{(1)} - \underline{a}^2|}{|\underline{Z}_{(1)} + 2\underline{Z}_{(0)}|}$$

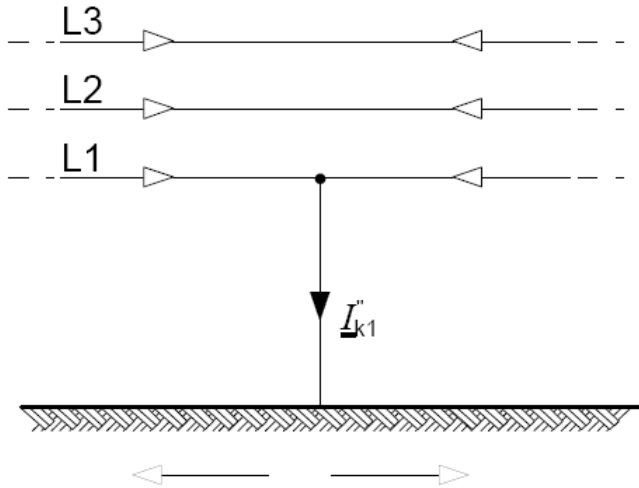
$$I_{kE2E}'' = \frac{\sqrt{3} cU_n}{|\underline{Z}_{(1)} + 2\underline{Z}_{(0)}|}$$

$$\underline{I}_{kE2E}'' = - \frac{\sqrt{3} c U_n \underline{Z}_{(2)}}{\underline{Z}_{(1)} \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(1)} \underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(2)} \underline{Z}_{(0)}}$$

Generatörden uzak bir kısa-devre için $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$. Genel formüller , mutlak değerler şekline ulaşır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 59

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (12)
- BAŞLANGIÇ SİMETRİK KISA-DEVRE AKIMI I_k'' (9)
- Faz-Toprak Kısa-Devre



Şekil-10.20– Faz-toprak kısa devre şeması ve akımları

$$\underline{I}_{kl}'' = \frac{\sqrt{3} cU_n}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(0)}}$$

Başlangıç faz-toprak kısa-devre akımı :

$$\underline{I}_{kl}'' = \frac{\sqrt{3} cU_n}{|2 \underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(0)}|}$$

Bir generatörden uzak kısa-devre için, $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$, mutlak değer :

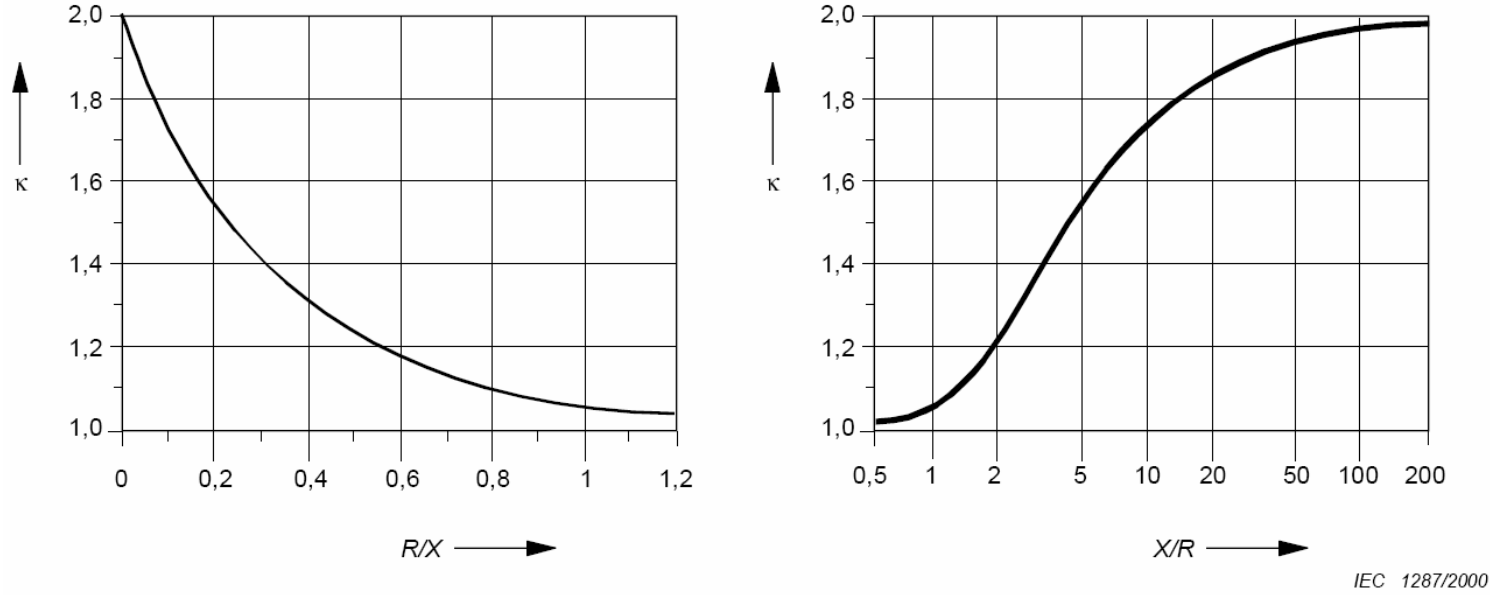
Eğer $\underline{Z}_{(0)}$, $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$ ‘den küçük ise; başlangıç faz-toprak kısa-devre akımı \underline{I}_{kl}'' , üç faz kısa-devre akımı \underline{I}_k'' ‘dan daha büyük , ancak faz-faz-toprak kısa-devre akımı \underline{I}_{kE2E}'' ‘den daha küçüktür.

Ancak, $1,0 > \underline{Z}_{(0)}/\underline{Z}_{(1)} > 0,23$. ise ; \underline{I}_{kl}'' bir devre kesici tarafından kesilen en yüksek akım olacaktır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 60

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (13)
- TEPE KISA-DEVRE AKIMI i_p (1)
- ÜÇ FAZ KISA-DEVRE / Gözli olmayan şebekelerde kısa-devreler

$$i_p = \kappa \sqrt{2} I_k'' \quad \kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R/X}$$



Şekil-10.21- R/X veya X/R 'nin fonksiyonu olarak k faktörü

Buradaki formüllerde, kısa-devrenin , gerilimin "0" değerinde başladığı ve i_p 'ye yaklaşık olarak 1.5 periyod sonra ulaşıldığı varsayılmaktadır.