

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – **IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 61**

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (14)
- TEPE KISA-DEVRE AKIMI *ip* (2)
- ÜÇ FAZ KISA-DEVRE / Gözlü şebekelerde kısa-devreler(1)

- Gözli şebekelerde tepe kısa-devre akımı i_p 'yi hesaplarırken aşağıdaki metodlardan biri kullanılır :

Metod a) Değişmeyen R/X veya X/R oranı

Bu metod için, tüm kollardaki en küçük R/X veya en büyük X/R oranı alınır ve Şekil-10.21'den K faktörü belirlenir .

Metod b) Kısa-devre noktasındaki R/X veya X/R oranı

Bu metod için, K faktörü 1,15 ile çarpılır. Bu, R_k / X_k oranınının kompleks empedanslar ile bir şebeke azaltma ile bulunmasından

kaynaklanan hataları kapsar.
$$i_{p(b)} = 1,15K_{(b)} \sqrt{2} I_k''$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 62

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (15)
- TEPE KISA-DEVRE AKIMI i_p (3)
- ÜÇ FAZ KISA-DEVRE / Gözli şebekelerde kısa-devreler(2)

- Metod b(devamı) : R/X tüm kollarda 0,3'ten küçük kaldığı sürece, 1,15 faktörünü kullanmak gerekli değildir. $1,15 \cdot K_{(b)}$ çarpımının, alçak-gerilim şebekelerinde 1,8'i ; orta ve yüksek gerilim şebekelerinde 2,0'ı geçmesi zorunlu değildir.

- Metod c) Eşdeğer f_c frekansı

Sistemin kısa-devre noktasından görülen bir eşdeğer \underline{Z}_c empedansı, bir $f=50$ Hz'lik nominal frekans için $f_c=20$ Hz veya bir $f=60$ Hz'lik nominal frekans için $f_c=24$ Hz farzedilerek hesaplanır. R/X veya X/R oranı :

$$\frac{R}{X} = \frac{R_c}{X_c} \cdot \frac{f_c}{f} \quad \frac{X}{R} = \frac{X_c}{R_c} \cdot \frac{f}{f_c} \quad \underline{Z}_c = R_c + jX_c$$

$\underline{Z}_c = R_c + jX_c$: Sistemin kısa-devre noktasından görülen, farzedilen f_c frekansı için eşdeğer empedansıdır.

R_c : \underline{Z}_c 'nin reel(gerçek) kısmıdır (R_c , genellikle nominal frekanstaki R 'ye eşit değildir).

X_c : \underline{Z}_c 'nin sanal kısmıdır. (X_c , genellikle nominal frekanstaki X 'e eşit değildir).

Metod c) , gözlü şebekeler için tavsiye edilir.

Bu metodu gözlü şebekeler için kullanırken, transformatörlerin, generatörlerin , güç istasyonu ünitelerinin K_T , K_G , K_S ve K_{SO} empedans düzeltme faktörleri için 50 Hz veya 60 Hz'deki aynı değerleri kullanılır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 63

● KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (16)

- TEPE KISA-DEVRE AKIMI i_p (4)
- FAZ-FAZ KISA-DEVRE

- Bir faz-faz kısa-devresi için tepe kısa-devre akımı : $i_{p2} = \kappa \sqrt{2} I''_{k2}$

κ faktörü , sistem konfigürasyonuna göre (gözlü şebeke veya gözlü olmayan şebeke) hesaplanır. Kolaylaştırması için, üç faz kısa-devre için kullanılan κ faktörünün aynısının kullanılmasına izin verilir.

$\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$: olduğu zaman, faz-faz tepe kısa-devre akımı i_{p2} , üç faz tepe kısa-devre akımından daha küçüktür :

$$i_{p2} = \frac{\sqrt{3}}{2} i_p$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 64

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (17)

- TEPE KISA-DEVRE AKIMI i_p (5)
- FAZ-FAZ-TOPRAK VE FAZ-TOPRAK KISA-DEVRE
- Bir faz-faz-toprak ve faz-toprak kısa-devresi için tepe kısa-devre akımları :

$$i_{p2E} = \kappa \sqrt{2} I''_{k2E} \quad i_{p1} = \kappa \sqrt{2} I''_{k1}$$

κ faktörü , sistem konfigürasyonuna göre (gözlü şebeke veya gözlü olmayan şebeke) hesaplanır. Kolaylaştırması için, üç faz kısa-devre için kullanılan κ faktörünün aynısının kullanılmasına izin verilir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 65

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (18)

- **KISA-DEVRE AKIMININ DC BİLEŞENİ**
- Kısa-devre akımının maksimum d.c. bileşeni $i_{d.c.}$, yeterli hasasiyet ile aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir :

$$i_{d.c.} = \sqrt{2} I_k'' e^{-2\pi ftR/X}$$

I_k'' : başlangıç simetrik kısa-devre akımı

f : nominal frekans

t : zaman

$f \cdot t$	<1	<2,5	<5	<12,5
f/f	0,27	0,15	0,092	0,055

Gözlü şebekelerde, R/X veya X/R oranı metod c)'ye göre belirlenir. $f \cdot t$ çarpımına göre, f :frekans ve t : zaman, f_c eşdeğer frekansı gösterildiği şekildedir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 66

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (19)
- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (1)
- Kısa-devre noktasındaki kesme akımı, bir simetrik kesme akımı I_b ve bir d.c. akımı $i_{d.c.}$ 'den oluşur.
- GENERATÖRDEN UZAK KISA-DEVRE
Generatörden uzak kısa-devreler için, kısa-devre kesme akımları başlangıç simetrik kısa-devre akımlarına eşittir:

$$I_b = I_k''$$

$$I_{b2} = I_{k2}''$$

$$I_{b2E} = I_{k2E}''$$

$$I_{b1} = I_{k1}''$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 67

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (20)
- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (2)
- GENERATÖRE YAKIN KISA-DEVRE (1)
- TEK KAYNAKLI ÜÇ FAZ KISA-DEVRE (1)
- Generatöre yakın bir kısa-devre için, tek kaynaklı veya gözlü olmayan bir şebekeden beslenen kısa-devrede simetrik kısa-

devre akımı : $I_b = \mu I_k''$

$$\mu = 0,84 + 0,26 e^{-0,26 I''_{kG} / I_{rG}} \quad \text{for } t_{\min} = 0,02 \text{ s}$$

$$\mu = 0,71 + 0,51 e^{-0,30 I''_{kG} / I_{rG}} \quad \text{for } t_{\min} = 0,05 \text{ s}$$

$$\mu = 0,62 + 0,72 e^{-0,32 I''_{kG} / I_{rG}} \quad \text{for } t_{\min} = 0,10 \text{ s}$$

$$\mu = 0,56 + 0,94 e^{-0,38 I''_{kG} / I_{rG}} \quad \text{for } t_{\min} \geq 0,25 \text{ s}$$

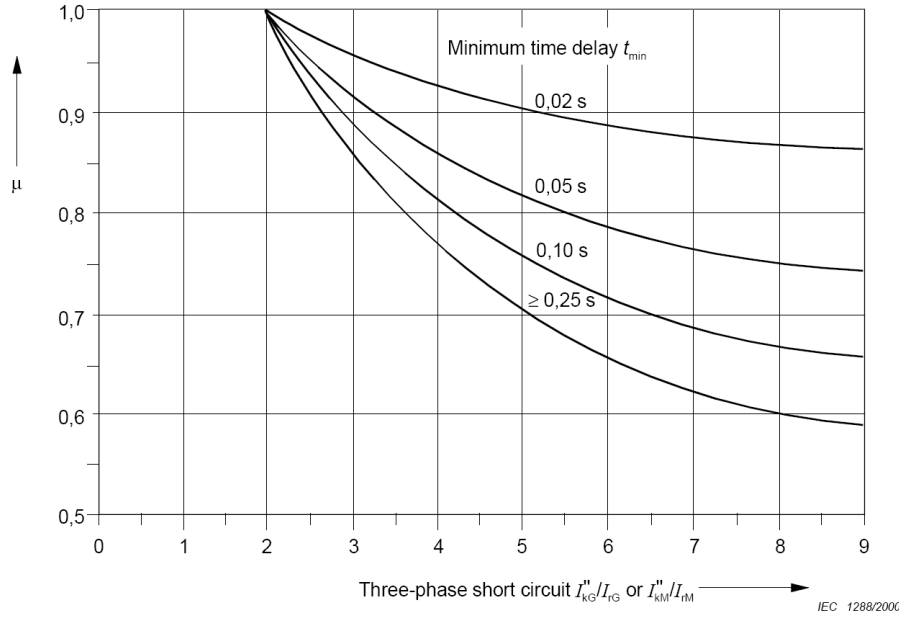
μ faktörü, minimum zaman gecikmesi t_{\min} ve I''_{kG} / I_{rG} oranına bağlıdır. I_{rG} , generatörün anma akımıdır. Bu denklemlerdeki μ faktörü, eğer senkron makineler, dönen uyartıcılar tarafından veya statik dönüştürücü uyartıcılar tarafından uyarılıyor ise kullanılır. (Statik uyartıcılar için minimum zaman gecikmesi, t_{\min} , 0,25'den küçük ise ve maximum uyartım gerilimi anma yükü uyartım geriliminin 1,6 katından küçük ise...). Diğer tüm durumlar için, eğer gerçek değer bilinmiyorsa $\mu = 1$ alınır.

Generatör ve kısa-devre noktası arasında bir ünite transformatörü olduğu zaman, ünite transformatörünün YG kısmındaki kısmi kısa-devre akımı I_{kS}'' , anma dönüştürme oranı ile generatörün terminallerine transfer edilecektir. $I_{kG}'' = t_r I_{kS}''$

Eğer, I_{kG}''/I_{rG} oranı 2'den büyük değil ise; minimum zaman gecikmesi t_{min} 'in tüm değerleri için $\mu = 1$ alınır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 68

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (21)
- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (3)
- GENERATÖRE YAKIN KISA-DEVRE (2)
- TEK KAYNAKLI ÜÇ FAZ KISA-DEVRE (2)



Şekil-10.22-Kısa-devre kesme akımı I_b 'nin hesaplanması için μ faktörü

μ faktörü, şekil-10.22'den de elde edilebilir. Minimum zaman gecikmesi t_{min} 'in diğer değerleri için eğriler arasında lineer enterpolasyon kabul edilebilir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – **IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 69**

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (22)
- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (4)
- GENERATÖRE YAKIN KISA-DEVRE (3)

- GÖZLÜ OLMAYAN ŞEBEKELERDE ÜÇ FAZ KISA-DEVRE (1)
- Gözlü olmayan şebekelerdeki üç faz kısa-devreler için; kısa-devre noktasındaki simetrik kısa-devre akımı, bağımsız kesme akımı iştiraklerinin toplamı ile hesaplanabilir :

$$I_b = \sum_i I_{bi}$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 70

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (23)
- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (5)

- GENERATÖRE YAKIN KISA-DEVRE (4)
- GÖZLÜ OLMAYAN ŞEBEKELERDE ÜÇ FAZ KISA-DEVRE (2)

- Asenkron motorlar durumunda : $I_{bM} = \mu q I''_{kM}$

ve μ faktörünün hesaplanmasında I''_{kG} / I_{rG} yerine I''_{kM} / I_{rM} kullanılır.

- Asenkron motorlar için simetrik kısa-devre kesme akımının hesaplanması için, q faktörü minimum zaman gecikmesi t_{min} 'in bir

$$q = 1,03 + 0,12 \ln(P_{rM}/p) \quad \text{for } t_{min} = 0,02 \text{ s}$$

$$q = 0,79 + 0,12 \ln(P_{rM}/p) \quad \text{for } t_{min} = 0,05 \text{ s}$$

$$q = 0,57 + 0,12 \ln(P_{rM}/p) \quad \text{for } t_{min} = 0,10 \text{ s}$$

$$q = 0,26 + 0,10 \ln(P_{rM}/p) \quad \text{for } t_{min} \geq 0,25 \text{ s}$$

fonksiyonu olarak belirlenebilir :

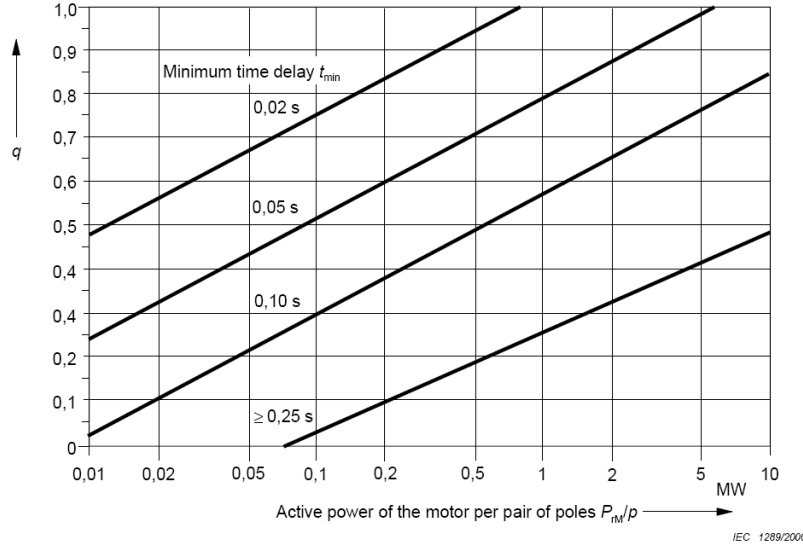
P_{rM} : MW cinsinden anma aktif gücü

p : Motorun kutuplarının çiftlerinin sayısı

Eğer bu denklemlerdeki ‘‘q’’ değeri, 1’den büyük çıkar ise $q=1$ alınır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 ’A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 71

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (24)
- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (6)
- GENERATÖRE YAKIN KISA-DEVRE (5)
- GÖZLÜ OLMAYAN ŞEBEKELERDE ÜÇ FAZ KISA-DEVRE (3)



Şekil-10.23- Asenkron motorların simetrik kısa-devre kesme akımının hesaplanması için “q” faktörü

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 72

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (25)
- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (7)
- GENERATÖRE YAKIN KISA-DEVRE (6)
- GÖZLÜ ŞEBEKELERDE ÜÇ FAZ KISA-DEVRE (1)

- İlk olarak, kesme zamanı için kısa-devre noktasındaki akım , ve sonra devre kesicilerinin olduğu kollardaki kısmi akımlar hesaplanır.
- Gözli şebekelerdeki kısa-devre kesme akımı, $I_b : I_b = I_k''$
- Bu denkleme göre hesaplanan akımlar, gerçek simetrik kısa-devre akımlarından daha büyüktür.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 73

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (26)
- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (8)
- GENERATÖRE YAKIN KISA-DEVRE (7)
- GÖZLÜ ŞEBEKELERDE ÜÇ FAZ KISA-DEVRE (2)

- Daha yüksek hassasiyet için aşağıdaki denklemler kullanılabilir :

$$\underline{I}_b = \underline{I}''_k - \sum_i \frac{\Delta U''_{Gi}}{cU_n / \sqrt{3}} (1 - \mu_i) \underline{I}''_{kGi} - \sum_j \frac{\Delta U''_{Mj}}{cU_n / \sqrt{3}} (1 - \mu_j q_j) \underline{I}''_{kMj} \quad \underline{\Delta U}_{Gi} = j X''_{diK} \underline{I}''_{kGi}$$

$$\underline{\Delta U}_{Mi} = j X''_{Mj} \underline{I}''_{kMi}$$

μ_i, μ_j : Senkron ve asenkron makineler için μ faktörleri

q_j : Asenkron motorlar için q faktörü

$cU_n / \sqrt{3}$: Kısa-devre noktasındaki eşdeğer gerilim kaynağı

$\underline{I}''_k, \underline{I}_b$: Tüm sistem fiderlerinin, senkron makinelerin ve ve asenkron makinelerin etkileri ile başlangıç simetrik kısa-devre akımı ve kısa-devre kesme akımı

Bu denklemlerde, \underline{I}'' ve $\underline{\Delta U}''$ değerleri, makinenin terminallerinde ölçülen değerler olup aynı gerilim ile ilişkilidir.

Eğer kısa-devre , motordan uzak bir kısa-devre ise, yani $\mu_j = 1$ ise; q_j değerinden bağımsız olarak $1 - \mu_j q_j = 0$ alınır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 74

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (27)
- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (9)

- GENERATÖRE YAKIN KISA-DEVRE (8)
- GÖZLÜ ŞEBEKELERDE ÜÇ FAZ KISA-DEVRE (3)

$\underline{\Delta U''_{Gi}}, \underline{\Delta U''_{Mj}}$: Senkron makinelerin ve asenkron motorların terminallerindeki başlangıç gerilim düşümleri

X''_{diK} : Senkron makinenin düzeltilmiş subtransient reaktansı
 $X''_{diK} = K_v X''_{di}$ $K_v = K_G, K_S$ or K_{SO}

X_{Mj} : Asenkron motor için reaktans

$\underline{I''_{kGi}}, \underline{I''_{kMj}}$: Senkron makinelerin ve asenkron motorların başlangıç simetrik kısa-devre akımına iştirakleri

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 75

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (28)

- SİMETRİK KISA-DEVRE KESME AKIMI, I_b (10)
- GENERATÖRE YAKIN KISA-DEVRE (9)
- DENGESİZ KISA-DEVRELER
- Dengesiz kısa-devreler için, generatördeki akış azalması dikkate alınmaz ve aşağıdaki denklemler uygulanır :

$$I_b = I_k''$$

$$I_{b2} = I_{k2}''$$

$$I_{b2E} = I_{k2E}''$$

$$I_{b1} = I_{k1}''$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 76

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (29)

- İSTİKRARLI HAL KISA-DEVRE AKIMI, I_k (1)
- Bir generatörde veya bir güç istasyonu ünitesinde üç faz kısa-devre(1)
- Yalnızca bir senkron generatörden veya bir güç istasyonu ünitesinden beslenen , generatöre yakın üç faz kısa-devreler için; istikrarlı hal kısa-devre akımı I_k , uyartım sistemine, voltaj regülatörü etkisine ve doyma etkilerine bağlıdır.
- Statik uyartıcıları terminalinden beslenen senkron makineler (generatörler, motorlar veya kompanseörler) , makine terminallerindeki kısa-devrede I_k ‘ya iştirak etmezler, ancak eğer terminaller ile kısa-devre noktası arasında bir empedans var ise I_k ‘ya iştirak ederler. Bir güç istasyonu ünitesi durumunda, eğer kısa-devre ünite transformatorünün YG kısmında ise bir iştirak söz konusudur.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 ’A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 77

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (30)

- İSTİKRARLI HAL KISA-DEVRE AKIMI, I_k (2)
- Maksimum istikrarlı hal kısa-devre akımı
- Maksimum istikrarlı hal kısa-devre akımının hesaplanması için, senkron generatör maksimum uyarıtıma ayarlanabilir.

$$I_{k\max} = \lambda_{\max} I_{rG}$$

- λ_{\max} , değişik tipte generatörler için IEC 60909-0'daki eğrilerden alınabilir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 78

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (31)

- İSTİKRARLI HAL KISA-DEVRE AKIMI, I_k (3)
- Minimum istikrarlı hal kısa-devre akımı
- Bir generatörden veya bir güç istasyonu ünitesinden tek-kaynaklı beslenen bir kısa-devre durumunda, minimum istikrarlı hal kısa-devre

akımı için : $I_{kmin} = \lambda_{min} I_{rG}$. λ_{min} , IEC 60909-0'daki eğrilerden elde edilir.

- Minimum istikrarlı hal kısa-devre akımı için $c = c_{min}$ alınır.
- Bir veya birkaç benzer ve paralel çalışan generatörden beslenen, generatöre yakın bir kısa-devre durumunda; hesaplama :

$$I_{kmin} = \frac{c_{min} U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + X_k^2}}$$

$$X_{dP} = \frac{U_{rG}}{\sqrt{3} I_{kP}}$$

Generatörlerin etkin reaktansı :

I_{kP} , bir generatörün üç faz terminal kısa-devresindeki istikrarlı hal kısa-devre akımıdır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 79

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (32)
- İSTİKRARLI HAL KISA-DEVRE AKIMI, I_k (4)
- Gözlü olmayan şebekelerde üç faz kısa-devre
- Gözlü olmayan şebekelerde bir üç faz kısa-devre durumunda, kısa-devre noktasındaki istikrarlı hal kısa-devre akımı; bağımsız istikrarlı hal kısa-devre akım iştiraklerinin toplamıyla hesaplanabilir :

$$I_k = \sum_i I_{ki}$$

- Sistem fiderleri veya transformatöre seri bağlı sistem fiderleri durumunda, $I_k = I_k''$. (generatöre uzak kısa-devre)
- I_{kmax} veya I_{kmin} 'i hesaplariken c_{max} ve c_{min} kullanılır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 80

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (33)
- İSTİKRARLI HAL KISA-DEVRE AKIMI, I_k (5)
- Gözlü şebekelerde üç faz kısa-devre
- Birkaç kaynaklı gözlü şebekelerde, istikrarlı hal kısa-devre akımı yaklaşık olarak :

$$I_{k\max} = I''_{k\max M}$$

$$I_{k\min} = I''_{k\min}$$

- Bu denklemler, generatöre uzak ve generatöre yakın kısa-devreler için geçerlidir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 81

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (34)
- İSTİKRARLI HAL KISA-DEVRE AKIMI, I_k (6)
- Dengesiz kısa-devreler
- Tüm istikrarlı hal dengesiz kısa-devreler için, generatördeki akış azalması dikkate alınmaz ve aşağıdaki denklemler uygulanır :

$$I_{k2} = I''_{k2}$$

$$I_{k2E} = I''_{k2E}$$

$$I_{kE2E} = I''_{kE2E}$$

$$I_{k1} = I''_{k1}$$

- Minimum istikrarlı hal kısa-devre akımları durumunda, $c = c_{\min}$ alınır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 82

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (35)
- Asenkron motorların terminallerindeki üç-faz ve faz-faz kısa-devreleri durumunda, kısmi kısa-devre akımları I''_{kM} , i_{pM} , I_{bM} , ve I_{kM} tablo 10.3 'e göre belirlenir :

Short circuit	Three-phase short circuit	Line-to-line short circuit	Line-to-earth short circuit
Initial symmetrical short-circuit current	$I''_{k3M} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_M} \quad (91)$	$I''_{k2M} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3M} \quad (92)$	See 4.7
Peak short-circuit current	$i_{p3M} = \kappa_M \sqrt{2} I''_{k3M} \quad (93)$	$i_{p2M} = \frac{\sqrt{3}}{2} i_{p3M} \quad (94)$	$i_{p1M} = \kappa_M \sqrt{2} I''_{k1M} \quad (95)$
	Medium-voltage motors: $\kappa_M = 1,65$ (corresponding to $R_M/X_M = 0,15$) for motor powers per pair of poles <1 MW $\kappa_M = 1,75$ (corresponding to $R_M/X_M = 0,10$) for motor powers per pair of poles ≥ 1 MW Low-voltage motor groups with connection cables: $\kappa_M = 1,3$ (corresponding to $R_M/X_M = 0,42$)		
Symmetrical short-circuit breaking current	$I_{b3M} = \mu q I''_{k3M} \quad (96)$	$I_{b2M} \approx \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3M} \quad (97)$	$I_{b1M} \approx I''_{k1M} \quad (98)$
	μ according to equation (70) or figure 16, with I''_{kM}/I_{rM} q according to equation (73) or figure 17.		
Steady-state short-circuit current	$I_{k3M} = 0 \quad (99)$	$I_{k2M} \approx \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3M} \quad (100)$	$I_{k1M} \approx I''_{k1M} \quad (101)$

Tablo 10.3- Terminallerdeki bir kısa-devre durumunda, asenkron

motorların kısa-devre akımlarının hesaplanması

Topraklı sistemlerde, motorların faz-toprak kısa-devre akımına etkisi ihmal edilemez. Motorların empedansları, $Z_{(1)M} = Z_{(2)M} = Z_M$ ve $Z_{(0)M}$ alınır. Eğer, motor topraklı değil ise, sıfır-bileşen empedansı, $Z_{(0)M} = \infty$ olur.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 83

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (36)
- Kısa-devre akımının Joule entegrali ve termik eşdeğeri (1)
- Joule entegrali $\int i^2 dt$, sistemin rezistif elemanında kısa-devre akımı tarafından oluşturulan enerjinin bir ölçüsüdür. Joule entegrali, kısa-devre akımının d.c. bileşeninin zamana bağlı ısı etkisi için bir “*m*” faktörü kullanılarak ve kısa-devre akımının a.c. bileşeninin zamana bağlı ısı etkisi için bir “*n*” faktörü kullanılarak hesaplanır :

$$\int_0^{T_k} i^2 dt = I_k''^2 (m+n) T_k = I_{th}^2 T_k$$

Kısa-devre akımının termik eşdeğeri :

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m+n}$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 84

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (37)
- Kısa-devre akımının Joule entegrali ve termik eşdeğeri (2)
- i ($i = 1, 2, \dots, r$) üç faz ardışık bağımsız kısa-devre akımlarının bir serisi için, Joule integralinin veya termik kısa-devre akımı eşdeğerinin hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılır:

$$\int i^2 dt = \sum_{i=1}^{i=r} I_{ki}''^2 (m_i + n_i) T_{ki} = I_{th}^2 T_k \quad I_{th} = \sqrt{\frac{\int i^2 dt}{T_k}} \quad T_k = \sum_{i=1}^{i=r} T_{ki}$$

I_{ki}'' : Herbir kısa-devre için başlangıç simetrik üç faz kısa-devre akımı

I_{th} : Termik eşdeğer kısa-devre akımı

m_i : Herbir kısa-devre akımının d.c. bileşeninin ısı etkisi için faktör

n_i : Herbir kısa-devre akımının a.c. bileşeninin ısı etkisi için faktör

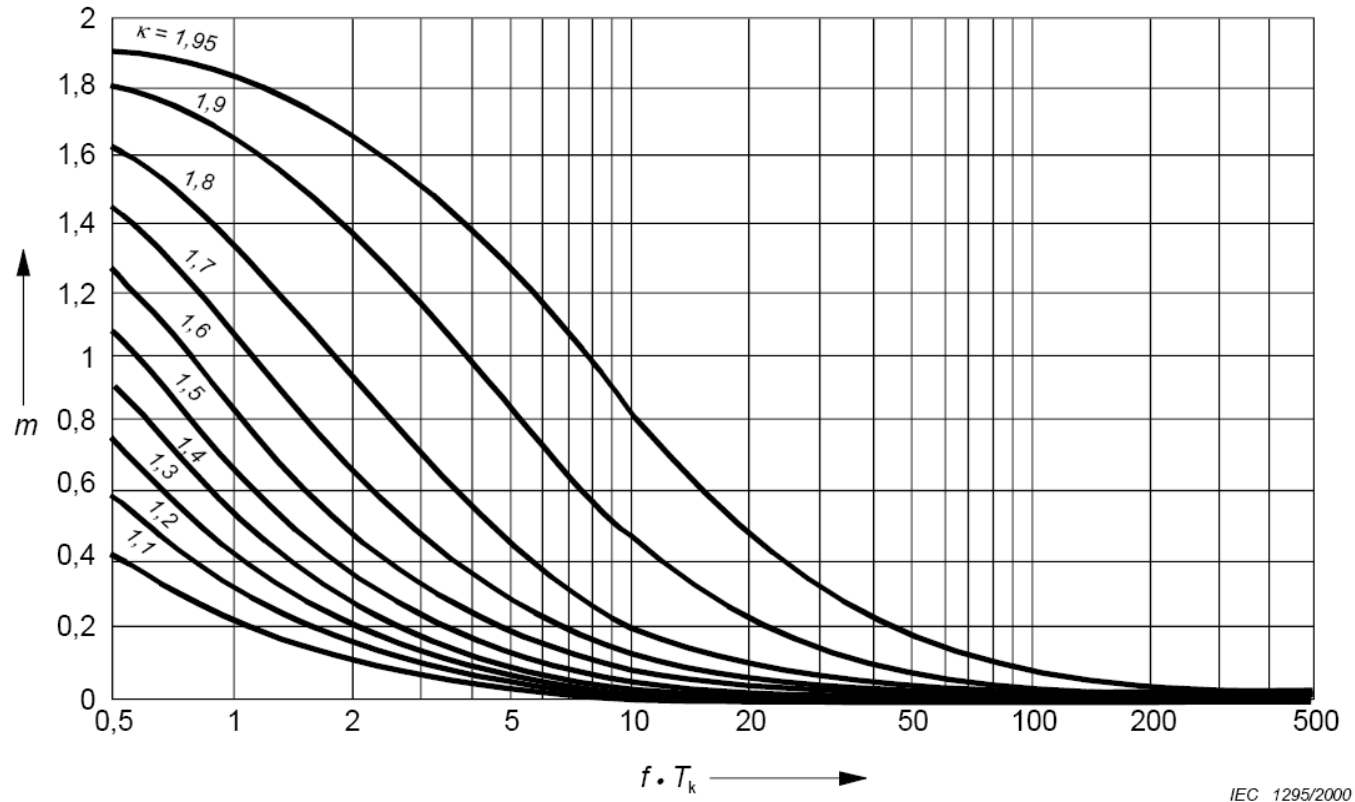
T_{ki} : Herbir kısa-devre için kısa-devre akımının süresi

T_k : Herbir kısa-devre akımı için sürelerin toplamı

Joule integral ve termik eşdeğer kısa-devre akımları, daima kısa-devre süreleri ile birlikte verilmelidir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 85

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (38)
- Kısa-devre akımının Joule entegrali ve termik eşdeğeri (3)

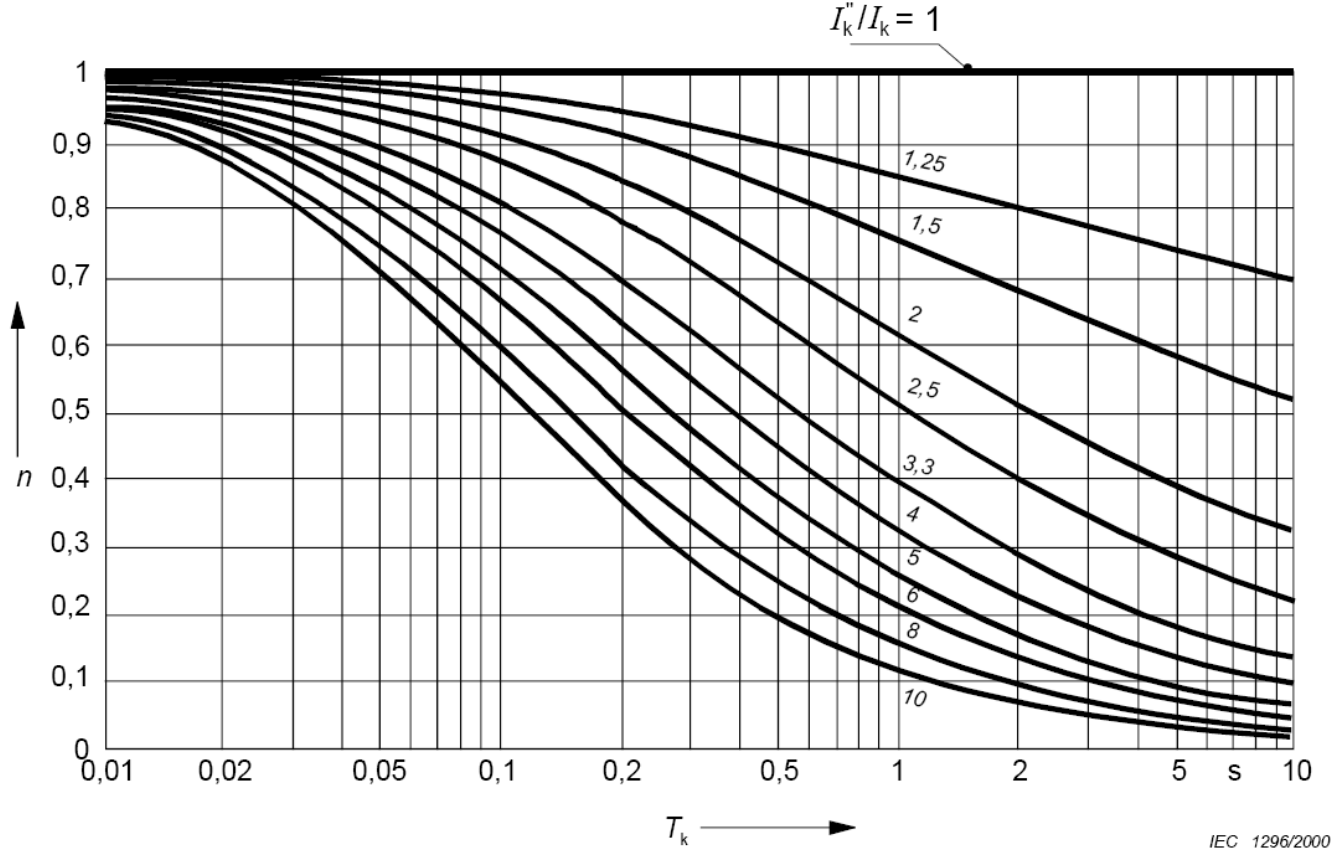


IEC 1295/2000

Şekil-10.24- Kısa-devre akımının d.c.bileşeninin ısı etkisi için ‘ m ’ faktörü

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 86

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (39)
- Kısa-devre akımının Joule entegrali ve termik eşdeğeri (4)



Şekil-10.25- Kısa-devre akımının a.c.bileşeninin ısı etkisi için “ n ” faktörü

Dağıtım şebekeleri için (generatöre uzak kısa-devreler) , genellikle $n = 1$ kullanılır.

Eğer, dengesiz kısa-devreler için Joule integrali veya termik eşdeğer kısa-devre akımı hesaplanacak ise, I''_{ki} uygun dengesiz kısa-devre akımları ile yer değiştirir.

Bir devre, sigortalar ile veya akım sınırlayıcı devre-kesiciler ile korunduğu zaman, Joule integrali denklemlere göre hesaplanan değer in altında bir değere sınırlar. Bu durumda, joule integrali, akım-sınırlayıcı cihazın karakteristiğinden belirlenir.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – IEC 60909 'A GÖRE HESAPLAMA ESASLARI - 87

- KISA-DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI (40)
- Kısa-devre akımının Joule entegrali ve termik eşdeğeri (5)
- m ve n faktörlerinin hesaplanması için denklemler :

$$m = \frac{1}{2 f T_k \ln(\kappa-1)} \left[e^{4 f T_k \ln(\kappa-1)} - 1 \right] \quad \frac{I_k''}{I_k} = 1: \quad \rightarrow \quad n = 1$$

$$n = \frac{1}{(I_k'' / I_k)^2} \left[1 + \frac{T_d'}{20 T_k} \left(1 - e^{-20 T_k / T_d'} \right) \left(\frac{I_k''}{I_k} - \frac{I_k'}{I_k} \right)^2 + \frac{T_d'}{2 T_k} \left(1 - e^{-2 T_k / T_d'} \right) \left(\frac{I_k'}{I_k} - 1 \right)^2 \right.$$

$$\left. + \frac{T_d'}{5 T_k} \left(1 - e^{-10 T_k / T_d'} \right) \left(\frac{I_k''}{I_k} - \frac{I_k'}{I_k} \right) + \frac{2 T_d'}{T_k} \left(1 - e^{-T_k / T_d'} \right) \left(\frac{I_k'}{I_k} - 1 \right) \right]$$

$$\frac{I_k''}{I_k} \geq 1,25: \quad \left. + \frac{T_d'}{5,5 T_k} \left(1 - e^{-11 T_k / T_d'} \right) \left(\frac{I_k''}{I_k} - \frac{I_k'}{I_k} \right) \left(\frac{I_k'}{I_k} - 1 \right) \right]$$

$$\frac{I_k'}{I_k} = \frac{I_k'' / I_k}{0,88 + 0,17 I_k'' / I_k} \quad T_d' = \frac{3,1s}{I_k' / I_k}$$

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI – PER-UNIT METODU - 1

- *per unit = Gerçek değer / Baz değer*
- Bu metod kullanılarak, tüm nicelikler bazı baz değer veya değerlerin oranı şeklinde ifade edilir. Gerçek bir güç sistemini analiz ederken, tüm parametreler, gerilim, akım, güç ve empedans, per-unit şekline dönüştürülebilir.
- TEMEL PROSEDÜR :
 - 1) Baz değerleri seçin
 - 2) Herbir niceliği(volt, amper, ohm v.b.) per-unit değerlere çevirin.
 - 3) Per-unit değerleri kullanarak sistem empedans şemasını çizin.
 - 4) Akım değerlerini per-unit cinsinden belirlemek için devre analizini yapın.
 - 5) Per-unit akımlarını ve gerilimlerini Volt ve Ampere dönüştürün.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI

PER-UNIT METODU - 2

● **BAZ DEĞERLERİN SEÇİLMESİ - BAZ Seçim Kriteri :**

Baz Niceliği : Sembol : Seçim şekli :

kVA

kVA_B

Rasgele seçilir.

Volt

kV_B

Ekipmanın konumlandığı voltajı seçin.
Örneğin, bir kablo 34,5 kV sistemde kullanılıyor ise 34,5 kV seçilir. Faz-faz kV değeri kullanılır.

Akım

I_B

$$I_B = \frac{kVA_B}{kV_{LL} \times \sqrt{3}}$$

$$Z_B = \frac{kV_B \times 1000}{I_B \times \sqrt{3}}$$

$$Z_B = \frac{kV_B^2 \times 1000}{kVA_B}$$

Empedans

Z_B

veya

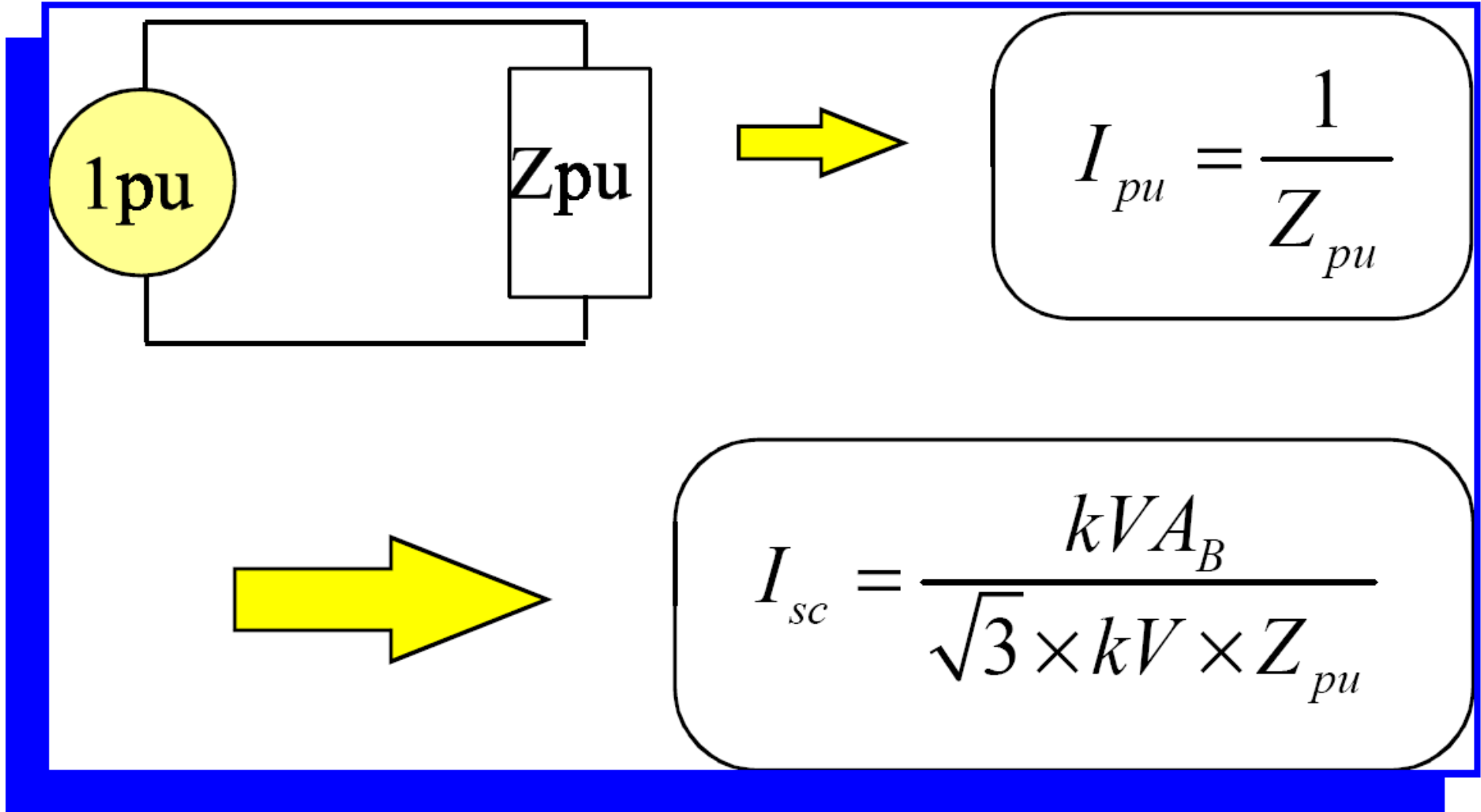
10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI
PER-UNIT METODU - 3

● **BAZ DEĞERLERİN DEĞİŞTİRİLMESİ :**

$$Z_{pu}^{yeni} = Z_{pu}^{old} \left(\frac{kV_B^{eski}}{kV_B^{yeni}} \right)^2 \frac{kVA_B^{yeni}}{kVA_B^{eski}}$$

B : Baz

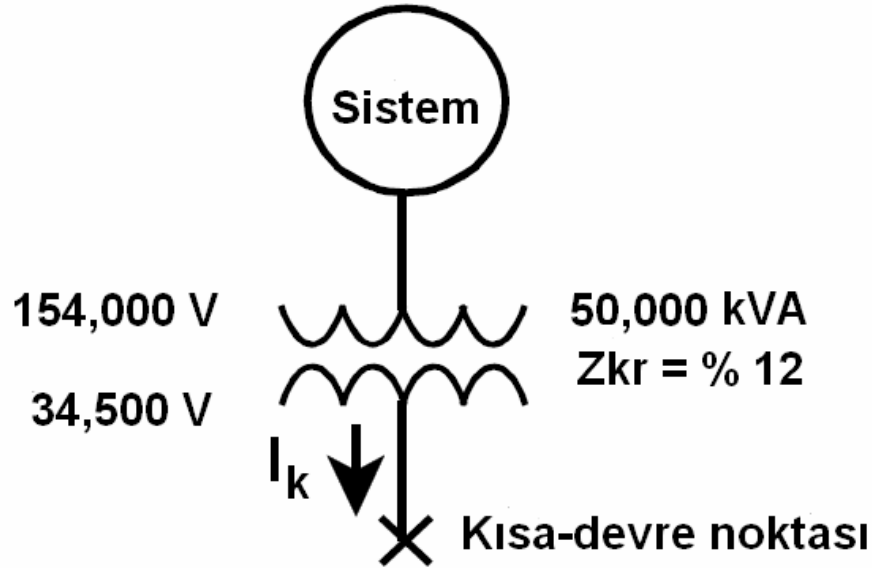
10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI **PER-UNIT METODU - 4**



10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI

PER-UNIT METODU - 5

ÖRNEK # 1)



$$I_B = \frac{kVA_B}{kV_B \times \sqrt{3}} = \frac{50,000}{34.5 \times \sqrt{3}} = 836.74 \text{ A}$$

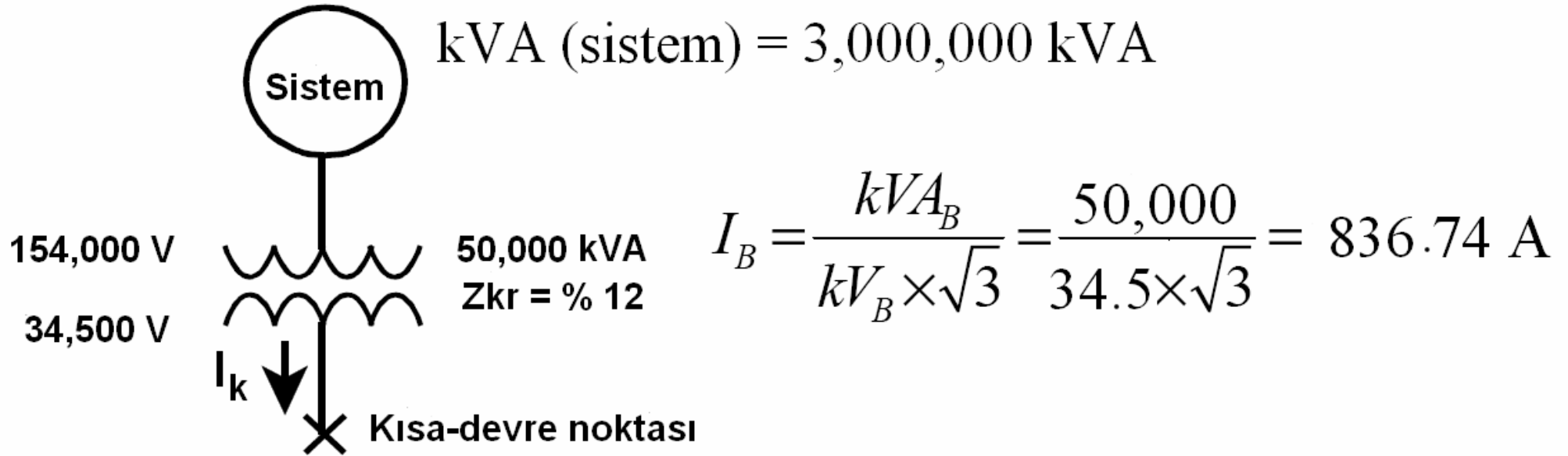
Şekil-10.26- Sonsuz sistem kaynağı farzedilerek arıza analizi

$$Z_{pu} = \frac{Z\%}{100} = \frac{12}{100} = 0.12 \text{ pu} \quad I_k = \frac{I_B}{Z_{pu}} = \frac{836.74}{0.12} = 6,972.83 \text{ A}$$

Kısa-devre noktasındaki maksimum arıza akımı ?
Eğer, sistem sonsuz bir kaynak ise (“0” empedans) ,
transformatörün sekonderine maksimum akım akar , Ik

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI PER-UNIT METODU - 6

● ÖRNEK # 2)



Şekil-10.27- Sonsuz olmayan sistem kaynağı farzedilerek arıza analizi

- Bu örnekte, sistem maksimum kısa-devre gücü 3,000,000 kVA'dır. Bu demektir ki; sistemin bir kısa-devre empedansı vardır ve bu transformatörün empedansına ilave edilerek arıza akımı sınırlanır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI PER-UNIT METODU - 7

- ÖRNEK # 2) (devamı)
- Öncelikle, $kVA_B = 3,000,000$ kVA alalım.

$$Z_{pu}(\text{ sistem }) = \frac{kVA_B}{kVA_{sc}} = \frac{3,000,000}{3,000,000} = 1 \text{ pu}$$



- Sistem empedansını transformatör bazına dönüştürelim :

$$Z_{pu}^{yeni} = Z_{pu}^{eski} \left(\frac{kV_B^{eski}}{kV_B^{yeni}} \right)^2 \frac{kVA_B^{yeni}}{kVA_B^{eski}} = 1 \times \frac{34.5}{34.5} \times \frac{50,000}{3,000,000} = 0.0167 \text{ pu}$$

- Transformatörün baz gerilimi 34.5 kV'tur. Çünkü per-unit empedansı her iki tarafta da aynıdır. Toplam empedans transformatör+sistem empedansıdır.

10- KISA DEVRE AKIMLARININ HESAPLANMASI PER-UNIT METODU - 8

- ÖRNEK # 2) (devamı)
- Not : Basitlik yönünden faz açısı farkları ihmal edilmiştir.
- Bu durumda, I_k kısa-devre noktasındaki maksimum kısa-devre akımı :

$$I_k = \frac{kVA_B}{\sqrt{3} \times kV \times Z_{pu}} = \frac{50,000}{\sqrt{3} \times 34.5 \times (0.12+0.0167)} = 6,121 \text{ A}$$

NOT : Bu örneklerde IEC 60909 standartındaki faktörler uygulanmamıştır.

Örnek-1 ve 2'deki maksimum kısa-devre akımları birbirine yakın çıkmıştır, bunun nedeni ise sistem kısa-devre gücünün 3,000,000 kVA gibi çok yüksek bir değer olması ve dolayısı ile sistem kısa-devre empedansının da 0.0167 gibi küçük bir değer olmasıdır.