



**TMMOB
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ**

ALÇAK GERİLİM TESİSLERİNDE KISA DEVRE HESAPLARI

Not : Bu çalışma Elk.Y.Müh. Taner İRİZ ve Elk. Elo. Müh. Ali Fuat AYDIN tarafından Elektrik Mühendisleri Odası adına hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

- I. Kısa devre olayının ve kısa devre büyüklüklerinin tanımlanması**
- II. AG tesislerinde kısa devre hesabının hukuki dayanakları**
- III. AG tesislerinde kısa devre akımlarının hesabında dikkat edilecek hususlar**
- IV. Kısa devre hesaplarında kullanılacak devre elemanlarının karakteristiklerinin saptanması**
- V. AG'de kısa devre akımlarının hesaplanması**
- VI. Örnek sorular ve çözümleri**

I. 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.

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.

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 faz katsayısının çarpımıdır.

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

Kısa devre akımının aperiyyodik (doğru akım) bileşeni

(i_{DC}): Zamanla değişen, kısa devre akımının; üst ve alt zarf eğrileri arasındaki ortalama değer olup başlangıç değeri A'dan zamanla sıfıra dűřer.

Darbe kısa devre akımı (i_p): Zamana bađlı (ansal) kısa devre akımının olabileceđi en bűyűk (tepe) deđerdir.

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

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

Jeneratörden uzak kısa devre: Zamanla değişen kısa devre akımının genliğinin, kısa devre süresince yaklaşık sabit kaldığı kısa devredir. Bu durumda $I_k = I''_k$ alınabilir.

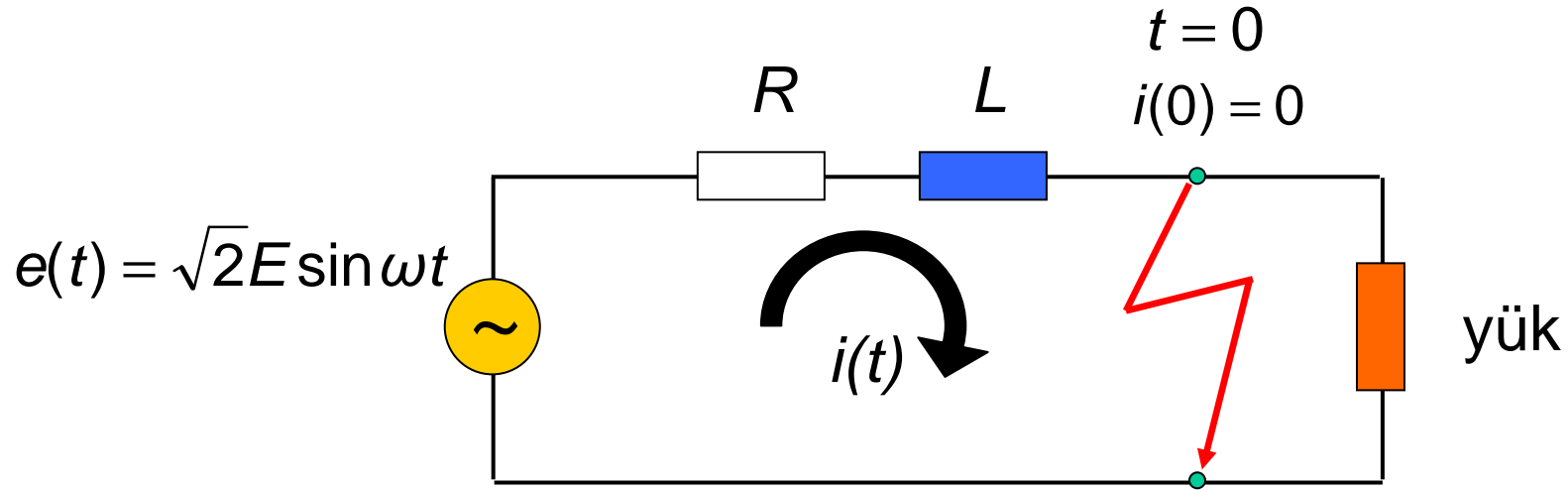
Jeneratöre yakın kısa devre: Zamanla değişen kısa devre akımının genliğinin, kısa devre süresince bariz şekilde değiştiği kısa devredir. Bu durumda $I_k = I''_k$ alınamaz.

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.



Şekil-1

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

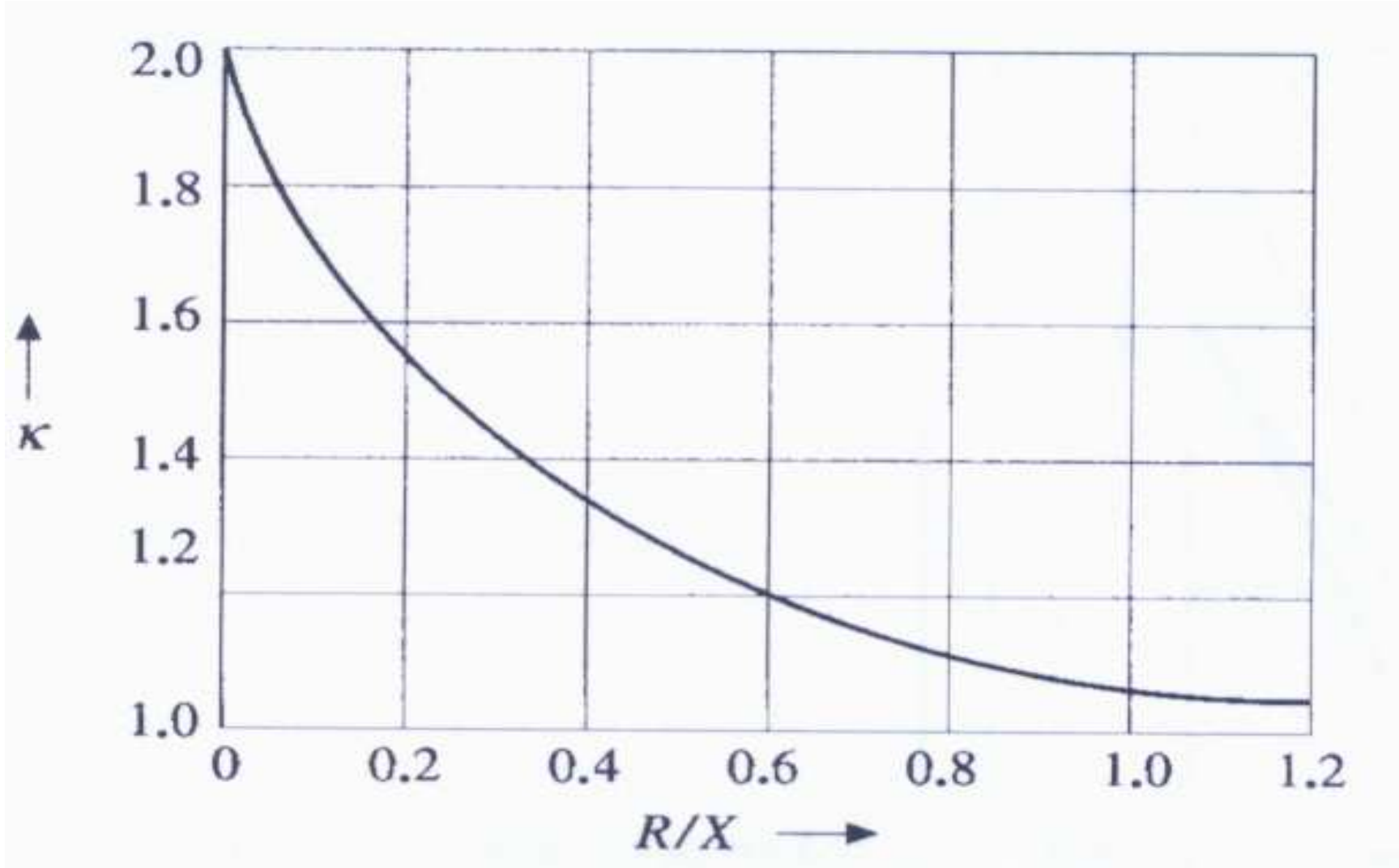
$$\tan \psi = \frac{X}{R} \Rightarrow \sin \psi = \frac{X}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{X}\right)^2}}$$

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

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

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

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



Şekil-2 κ darbe katsayısının, R/X oranına göre değişimi

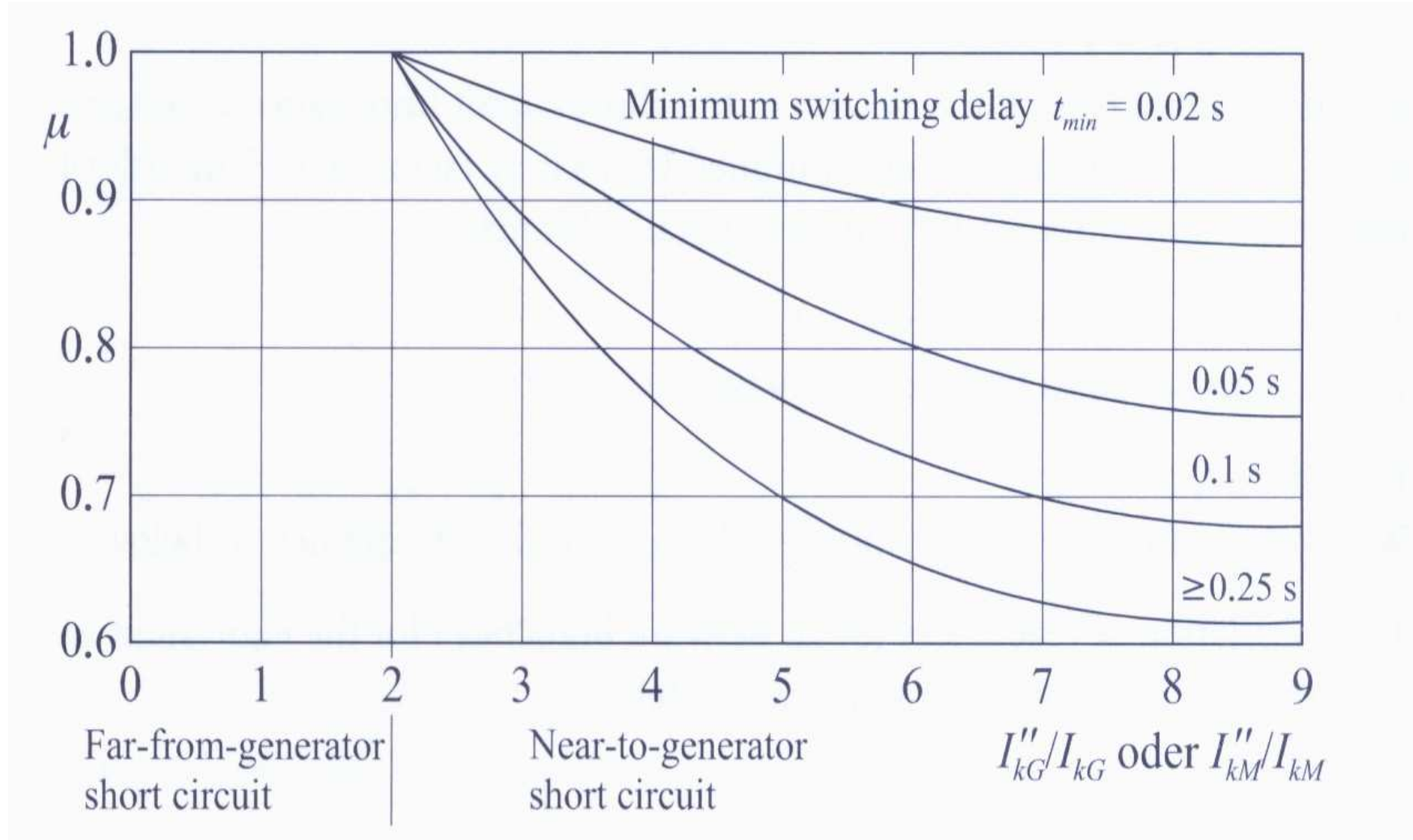
Simetrik açma akımı ile başlangıç kısa devre akımı arasında

$$I_b = \mu I_k''$$

bağıntısı vardır. μ çarpanı en küçük açma gecikmesine ve I_k''/I_{nG} oranına bağlı olarak çizelgelerden alınır.

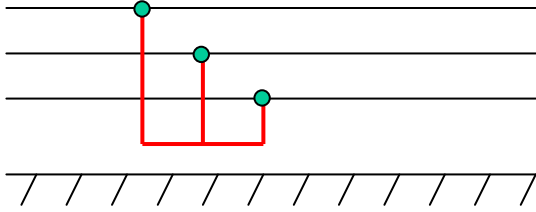
Burada I_{nG} kısa devreyi besleyen generatörlerin toplam gücüne karşı düşen anma akımıdır. AG şebekelerde $\mu = 1$ alınır.

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

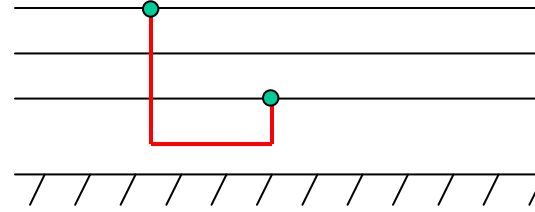


Şekil-3 μ çarpanının, I_k''/I_{nG} oranına göre değişimi

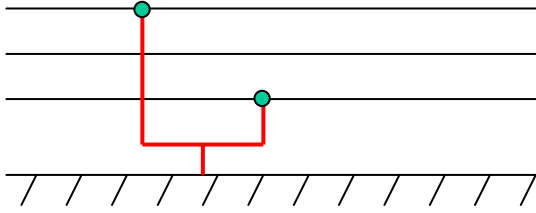
Kısa devre türleri:



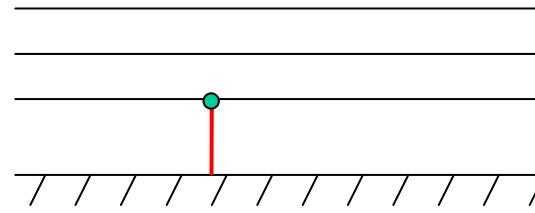
Üç faz kısa devre I''_{k3}



İki faz kısa devre I''_{k2}



İki faz toprak kısa devre I''_{k2E}



Tek kutuplu kısa devre I''_{k1}

Şekil-4

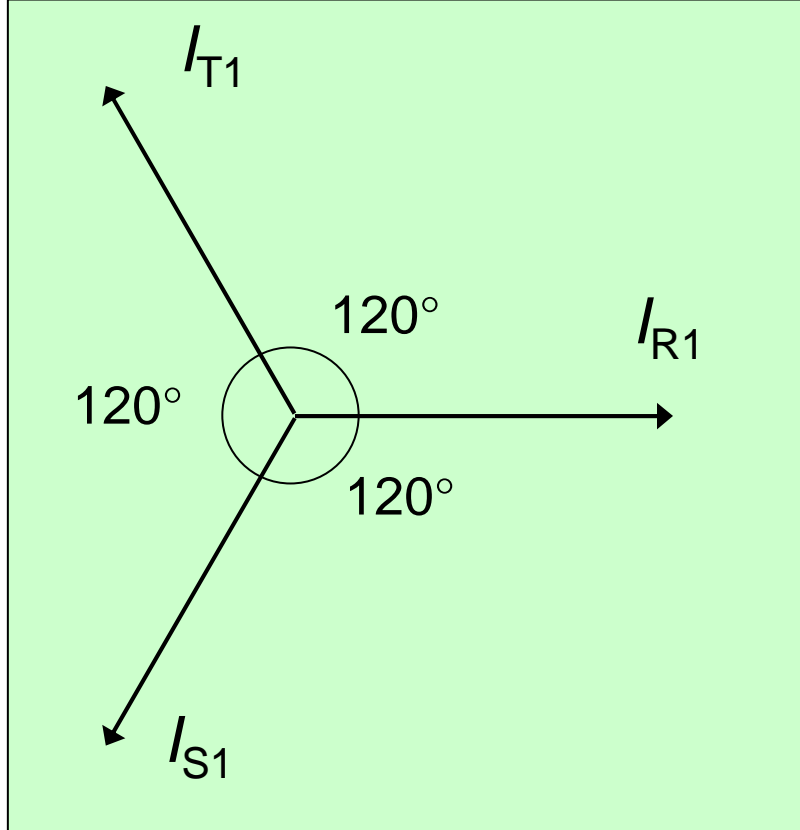
Simetrik bileşenler:

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 i_R , i_S , i_T akım fazörleri simetrik bileşenler cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}i_R &= i_{R1} + i_{R2} + i_0 \\i_S &= i_{S1} + i_{S2} + i_0 \\i_T &= i_{T1} + i_{T2} + i_0\end{aligned}$$

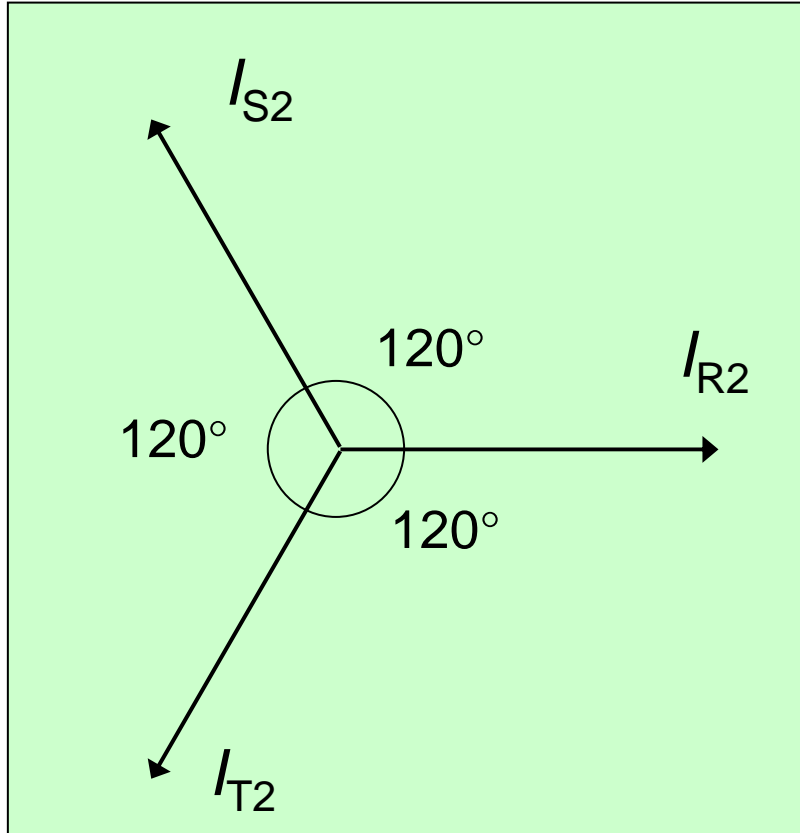
Doğru sistem :



Şekil-5

+ 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.

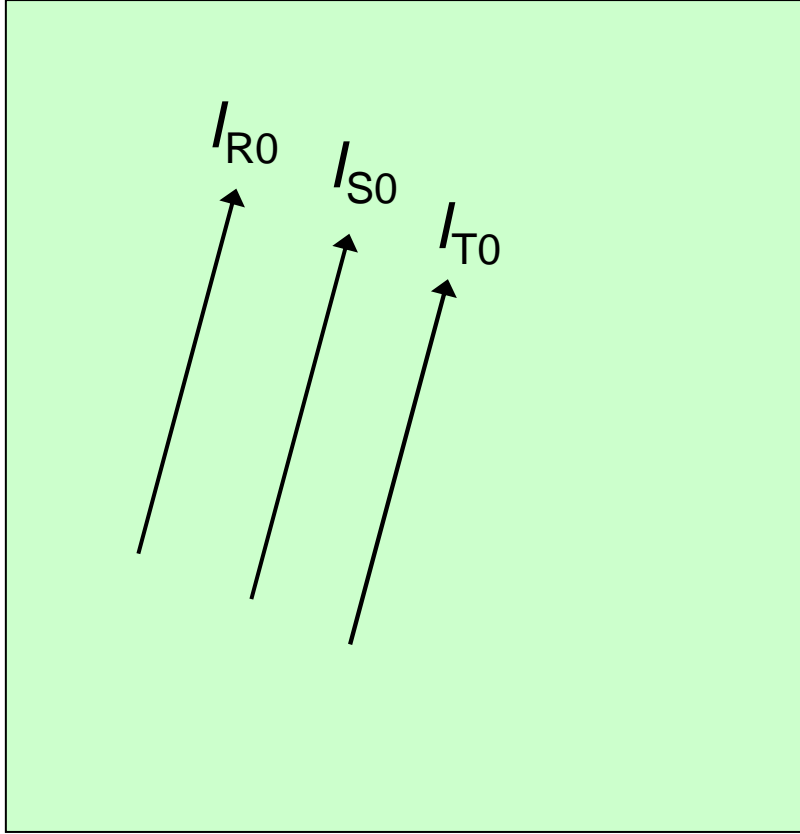
Ters sistem :



Şekil-6

- 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, doğru sistem yandaki şekilde gösterilir.

Sıfır sistem :



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

Şekil-7

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.

Burada a bir karmaşık sayı olup 120° dönmeye, a^2 ise 240° dönmeye tekabül eder.

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

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

$$a^3 = 1$$

$$a^4 = a$$

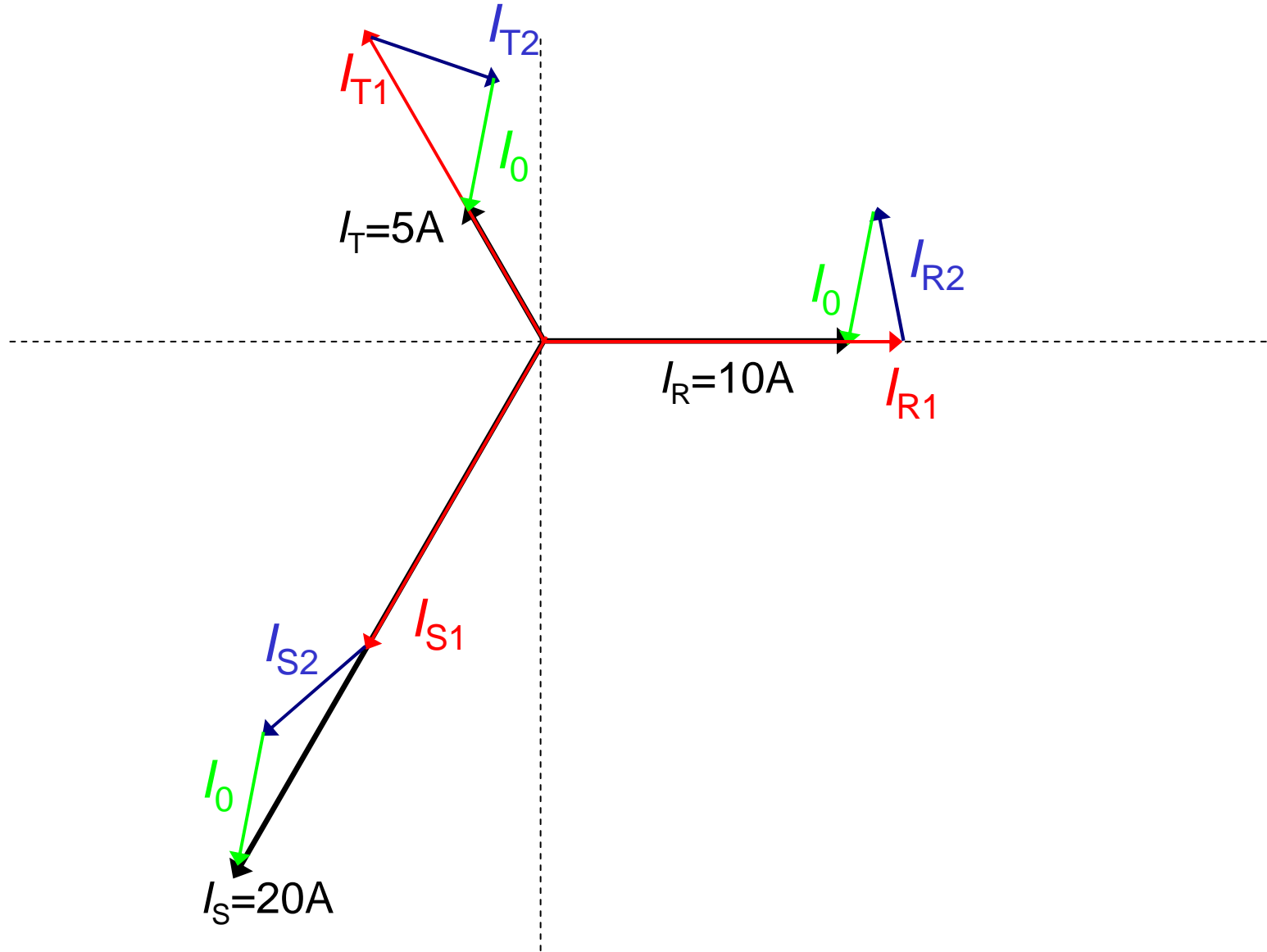
Örnek:

Simetrik 220 / 380 V gerilim ile beslenen sistemde R fazında 2,2 kW, S fazında 4,4 kW ve T fazında 1,1 kW aktif güç vardır. Fazlardaki akımların simetrik bileşenlerini bulunuz.

$$I_R = \frac{2200}{220} = 10A$$

$$I_S = \frac{4400}{220} = 20A$$

$$I_T = \frac{1100}{220} = 5A$$



Şekil-8

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.

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

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,

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

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° 'dir.

Üç fazlı kısa devre akımının etkin değeri ise,

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

bağıntısıyla bulunur.

c gerilim katsayısıdır.

IEC 909'a göre c gerilim katsayısı

Tablo-1

Anma gerilimi, U_n	En büyük kısa devre akımının hesaplanması için C_{max}	En küçük kısa devre akımının hesaplanması için C_{min}
AG	1,05	0,95
$1 \text{ kV} < U_n < 35 \text{ kV}$	1,1	1
$35 \text{ kV} < U_n < 230 \text{ kV}$	1,1	1

Tek kutuplu kısa devre:

R fazında bir tek kutuplu kısa devre oluştuğunu varsayarsak, $U_R=0$, $I_S=I_T=0$ kabul edilebilir. Ara işlemlerle,

$$i_R = \frac{3\dot{E}}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0} = \frac{\sqrt{3}cU_n}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0} \quad \text{bulunur.}$$

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 yıldız noktasının yüklenebilmesinin de ölçütüdür.

Trafoaların sıfır direnç ve reaktansları

$$\text{Üçgen/zikzak trafolarında} \quad R_0 \cong 0,5.R_1 \quad X_0 \cong 0,1.X_1$$

$$\text{Üçgen/yıldız trafolarında} \quad R_0 \cong R_1 \quad X_0 \cong (0,85 - 1).X_1$$

$$\text{Yıldız/yıldız trafolarında} \quad R_0 \cong R_1 \quad X_0 \cong (3 - 10).X_1$$

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

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

II. AG tesislerinde kısa devre hesabının hukuki dayanakları

1) Elektrik iç tesisleri yönetmeliği (1996) madde 57/iii-2 de; ***“Konutlara ait elektrik tesisleri için kısa devre akımının hesaplanması zorunlu değildir. Bu tesislerin projelendirilmesinde, bu tesislerde kullanılan koruma aygıtları için yürürlükteki ilgili standartlarda belirtilen sınır kısa devre açma yetenekleri göz önüne alınacaktır. Fabrika, atölye, imalathane, büyük ticarethane, hastane, okul vb. gibi büyük güçlü alçak gerilim iç tesislerinin projelendirilmesinde projeyi yapanın gerekli görmesi durumunda kısa devre hesabı yapılacaktır”*** hükmü bulunmaktadır.

- 2) TS-IEC 60364/Mart 1999 standardının 434.2 maddesinde, tesisatın ilgili bütün noktalarında beklenen kısa devre akımının belirlenmesi önerilmektedir.
- 3) Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği (2000) madde 9'da tesislerdeki sigorta, minyatür kesici ve kesicilerin, buldukları yerde ulaşılabilecek en büyük kısa devre akımını güvenle kesebilecek değerde seçilmesi gerektiği belirtilmektedir.
- 4) Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin (2002) ikinci bölümü madde 68/ b'de;
“Bütün bina ve yapılarda elektrik tesisatında kullanılacak tüm cihazlar ve malzemeler, kısa devre hesapları yapılarak seçilecektir. Kullanılacak anahtarlama ve koruma düzenleri ile bu düzenlerin kurulması için gerekli aygıtlar hesap sonuçlarına uygun elektriksel karakteristiklere sahip olacaktırlar” denmektedir.

5) Elektrik iç tesisleri proje hazırlama yönetmeliğinin (2003) proje aşamaları kısmının 10/c maddesinde; kesin proje kapsamında kısa devre hesaplarının yapılması öngörülmektedir.

6) Taslak halindeki yeni elektrik iç tesisleri yönetmeliği madde 52 b'de; **“Beklenen (olası) hata akımı, hem kısa devre ve hem de toprak hatası için, tesisatın ilgili her türlü noktasında belirlenecektir”**; madde 52c'de; **“Aşağıdaki paragrafın uygulandığı durumların dışında, her bir cihazın kesme kapasitesi, cihazın bağlandığı noktadaki kısa devre akımından daha düşük olmayacaktır.**

Besleme tarafında gerekli kesme kapasitesine sahip başka bir koruma cihazı yada cihazları kullanılmış ise; yük tarafında daha düşük bir kesme kapasitesine izin verilebilir. Bu durumda cihazların karakteristikleri, bu cihazlardan geçen enerji, yük tarafındaki cihazın hasara uğramaksızın dayanabileceği enerji miktarını aşmayacak şekilde koordine edilmelidir” hükmü vardır.

III. AG tesislerinde kısa devre akımlarının hesabında dikkat edilecek hususlar

- 1) Alçak gerilim tesislerinde kısa devre akımlarının hesabı, aynen YG tesislerinde olduğu gibi yapılır. 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. ($\mu = 1, I_k'' = I_b = I_k, a \geq 2$)
- 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.
- 4) AG tesislerinde açma gücü yerine çoğunlukla açma akımı kullanılır.

- 5)** AG tesislerinde kısa devre akımlarının hesabı sonucu elde edilen değerlerden ;
- a) Hattın kısa devreye dayanıp dayanamayacağına tahkikinde,
 - b) Baraların mekanik davranışlarının saptanmasında,
 - c) Koruma cihazlarının yeterli sürede çalışıp çalışmayacağına belirlenmesinde,
 - d) Koruma elemanlarının kesme kapasitelerinin doğrulanmasında,
 - e) Bir trafo yada jeneratöre direkt bağlanacak en büyük motor gücünün hesabında,
 - f) Trafo yada jeneratör gücü tespitinde,
 - g) Kompanzasyon hesaplarında,
 - h) Topraklama ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde, yararlanır.

- 6)** AG tesislerindeki kısa devre hesaplarında, YG şebekesinin iç direnci ve reaktansı genellikle 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 nötr kısa devreleri ise dengesiz işleme halleridir. Bu durumda simetrik bileşenler yöntemini kullanmak gerekir. Ama AG tesislerinde devre öğelerinin doğru ve ters bileşenleri eşit, sıfır bileşende doğru bileşene çok yakın olduğundan, klasik devre çözümlerine dayanan hesap yönteminden yararlanılır. AG'de simetrik bileşenler yöntemini kullanmak yerine, klasik devre çözümlerini kullanmakla yapılan hata ihmal edilecek mertebededir.

- 9)** Genel AG şebekelerinde asenkron motorların kısa devre akımlarına etkisi göz ardı edilebilir.
- 10)** AG kısa devre hesaplarında, bara direnç ve reaktansları göz önüne alınmalıdır.
- 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)** Direnç ya da reaktanslar mΩ cinsinden hesaplanır.
- 13)** YG de kısa devre hesapları genellikle birim değerlerle (per-unit) yapılırsa da, AG'de bir tek gerilim seviyesi olduğundan mutlak değerlerle hesap yapılır.
- 14)** Üç fazlı en büyük kısa devre hesabında, hat ve kabloların 20 °C'deki direnci, bir fazlı en küçük kısa devre hesabında ise hat ve kabloların dayanabilecekleri en yüksek sıcaklıktaki direnci esas alınmalıdır.

IV. Kısa devre hesaplarında kullanılacak devre elemanlarının karakteristiklerinin saptanması

YG şebekesi:

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.

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.

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

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

Bağıl reaktif gerilim düşümü:

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

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

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

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

Bağıl kısa devre gerilimi:

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

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

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

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

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.

Bu büyüklük P_{Cu} ile göstereceğimiz bakır kayıplarıdır.

$$3R_T I_n^2 = P_{Cu}$$

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

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

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

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

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

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

Yapımcılar, boşta ve yükte (75 °C) olmak üzere iki ayrı P_{Cu} değeri vermektedirler. Hesaplarda yükteki (75 °C) P_{Cu} değerleri kullanılmalıdır.

Tablo-2

Trafo gücü (kVA)	Yükte kayıplar (W)		Bağıl kısa devre gerilimi (%)	
	15 kV'a kadar	36 kV'a kadar	15 kV'a kadar	36 kV'a kadar
50	1100	1050	4	4,5
100	1750	2100	4	4,5
160	2350	2800	4	4,5
250	3250	3500	4	4,5
400	4600	5850	4	4,5
630	6500	8000	4	4,5
800	8300	9700	5	6
1000	10000	12200	5	6
1250	12000	14000	5	6
1600	14500	16500	5	6

Bu tablo BEST Trafo kataloglarından faydalanılarak hazırlanmıştır. Başka firmalara ait değerler az da olsa farklı olabilir. Kuru tip trafolar da bu değerlerin değişebileceğini unutmamak gerekir.

Bir dağıtım trafosunun 3 fazlı kısa devre akımının pratik hesabı:

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

$$\frac{U_n}{\sqrt{3} I_{k3}''} = u_k \frac{U_n^2}{S_n}$$
$$\frac{1}{\sqrt{3} I_{k3}''} = u_k \frac{U_n}{S_n} = u_k \frac{U_n}{\sqrt{3} U_n I_n}$$
$$I_{k3}'' = \frac{I_n}{u_k}$$

SONUÇ: Bir trafonun AG tarafındaki anma akımının, bağıl kısa devre gerilimine oranı, AG çıkışındaki 3 fazlı kısa devre akımını verir.

$$I_n(A) = \frac{S_n}{\sqrt{3.400}} \cong 1,5.S_n(kVA)$$

$$I''_{k3} = \frac{1,5.S_n(kVA)}{u_k}$$

$$u_k = 0,04 \Rightarrow I''_{k3}(A) = 37,5.S_n(kVA)$$

$$u_k = 0,045 \Rightarrow I''_{k3}(A) = 33.S_n(kVA)$$

$$u_k = 0,05 \Rightarrow I''_{k3}(A) = 30.S_n(kVA)$$

$$u_k = 0,06 \Rightarrow I''_{k3}(A) = 25.S_n(kVA)$$

SONUÇ: Bir dağıtım trafosunun anma görünür gücünün 1,5 katının, bağıl kısa devre gerilimine oranı, AG çıkışındaki 3 fazlı kısa devre akımını verir.

Örnek: 34,5/0,4 kV – 1000 kVA bir dağıtım trafosunun AG buşinglerindeki 3 fazlı kısa devre akımını bulunuz.

Bağıl kısa devre gerilimi $u_k=0,06$ olduğundan,

$$I''_{k3} = \frac{1,5.S_n(\text{kVA})}{u_k} = \frac{1,5.S_n(\text{kVA})}{0,06}$$
$$= 25.S_n(\text{kVA}) = 25.1000 = 25 \text{ kA}$$

Baralar:

Ohmik direnç $R = L / \kappa.q$ ifadesinden hesaplanır. L metre cinsinden bara uzunluğu olmak üzere, bara reaktansı (X), $m\Omega$ cinsinden $X = (0,12-0,15).L$ bağıntısıyla bulunabilir.

Termik manyetik şalterler:

$R = 0$ alınır da, X yapımcı kataloglarından bulunur. Genellikle termik manyetik şalterlerde $X = 0,1-0,15 m\Omega$ mertebesinde dir. IEC 909'da göz önüne alınmaz.

Kablolar:

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

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

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

X kablo kataloglarından yada konu ile ilgili yayınlardaki tablolardan belirlenebilir.

Tablo-3

**Trifaze
kablolarda**

q	X (Ω/km)
16	0,0890
25	0,0860
35	0,0820
50	0,0810
70	0,0800
95	0,0795
120	0,0785
150	0,0780
185	0,0775
240	0,0770

16 ve 25 mm² $X = 0,09 \Omega/\text{km} = 0,09 \text{ m}\Omega/\text{m}$

$q \geq 35 \text{ mm}^2$ $X = 0,08 \Omega/\text{km} = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$

almakla büyük bir hata yapılmaz.

Tablo-4

**Monofaze
kablolarda**

	$X (\Omega/\text{km})$
16	0,168
25	0,161
35	0,156
50	0,153
70	0,148
95	0,146
120	0,143
150	0,142
185	0,141
240	0,139

Ortalama olarak $X = 0,15 \Omega/\text{km} = 0,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$ almakla büyük bir hata yapılmaz.

Havai hatlar:

Alçak gerilimde üç fazlı hatta; üç faz, bir nötr ve bir de genel aydınlatma olmak üzere beş iletken vardır. Bu iletkenler genellikle şu tertiplerde kullanılmaktadır.

3xRose+Rose/Rose

3xLily+Rose/Lily

3xIris+Rose/Lily

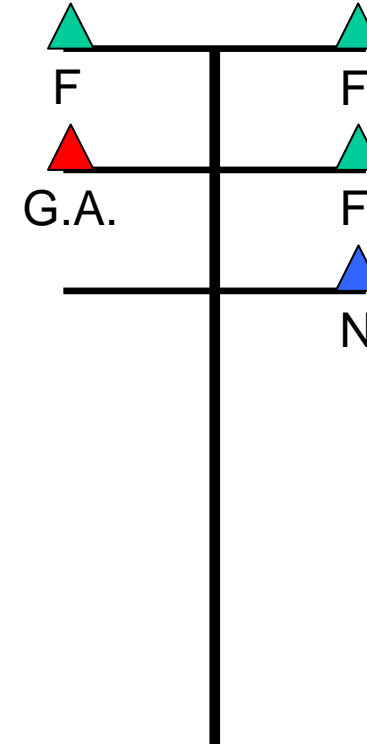
3xPansy+Rose/İris

3xPoppy+Rose/Pansy

3xAster+Rose/Pansy

3xPhlox+Rose/Poppy

3xOxlip+Rose/Aster



Tablo-5

	Kesit	R_{DC} 20°C (Ω /km)	X (Ω /km)
ROSE	21,44	1,3510	0,345
LILY	26,66	1,0720	0,337
IRIS	33,65	0,8498	0,330
PANSY	42,37	0,6739	0,322
POPPY	53,49	0,5341	0,315
ASTER	67,45	0,4236	0,307
PHLOX	84,99	0,3360	0,300
OXLIP	107,30	0,2664	0,293

Alüminyum iletkenlerin direnç ve reaktanslarını gösterir tablo. Alüminyum havai hatlarda Rose, Lily, Iris için $X=0,35 \Omega/\text{km} = 0,35 \text{ m}\Omega/\text{m}$, diğerleri için $X=0,3\Omega/\text{km}=0,3\text{m}\Omega/\text{m}$ alınabilir.

Tablo-6

	R_{DC} 20°C (Ω /km)	X (Ω /km)
1x10+16	3,020	0,085
1x16+25	1,910	0,083
1x25+35	1,200	0,081
1x35+50	0,868	0,080
3x10+16	3,020	0,115
3x16+25	1,910	0,110
3x25+50	1,200	0,106
3x35+50	0,868	0,104
3x50+70	0,641	0,101
3x70+95	0,443	0,098
3x16+1x16+25	1,910	0,110
3x25+1x16+25	1,200	0,106
3x25+1x16+50	0,868	0,104
3x35+1x16+70	0,641	0,101
3x70+1x16+95	0,443	0,098

Askı telli alçak gerilim havai hat kablolarında direnç ve reaktanslarını gösterir tablo.

Askı telli monofaze alçak gerilim havai hat kablolarında $X=0,08 \Omega$ /km =0,08 m Ω /m alınabilir.

Askı telli trifaze alçak gerilim havai hat kablolarında $X=0,1 \Omega$ /km =0,1 m Ω /m alınabilir.

Busbarlar:

Tablo-7

Anma akımı (A)	Al iletkenli busbarlar		Cu iletkenli busbarlar	
	Direnç (mΩ/m)	Reaktans (mΩ/m)	Direnç (mΩ/m)	Reaktans (mΩ/m)
800	0,057	0,031	-	-
1000	0,043	0,026	0,034	0,031
1250	0,034	0,019	0,026	0,026
1600	0,029	0,016	0,020	0,019
2000	0,021	0,013	0,017	0,015
2500	0,017	0,010	0,013	0,013
3000	0,014	0,009	0,010	0,010
4000	0,011	0,006	0,008	0,009

Bu tablo EAE kataloglarından faydalanılarak hazırlanmıştır. 40 °C'lik ortam sıcaklığı baz alınmıştır. Cu iletkenli busbarlarda, birim direnç ile birim reaktansın yaklaşık eşit olduğu dikkat çekmektedir.

V. AG'de kısa devre akımlarının hesaplanması

III. Bölümdeki hususları dikkate alarak ve IV. Bölümde saptanan R - X değerlerinden yararlanarak, 3 fazlı en büyük kısa devre akımı

$$I''_{k3} = \frac{1,05.U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum R_F)^2 + (\sum X_F)^2}}$$

bağıntısıyla,

bir fazlı en küçük kısa devre akımı ise, iyi bir yaklaşıklıkla

$$I''_{k1} = \frac{0,95.U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum R_{FN})^2 + (\sum X_{FN})^2}}$$

bağıntısıyla hesaplanır.

I''_{k1} değeri tam olarak hesaplanmak isteniyorsa

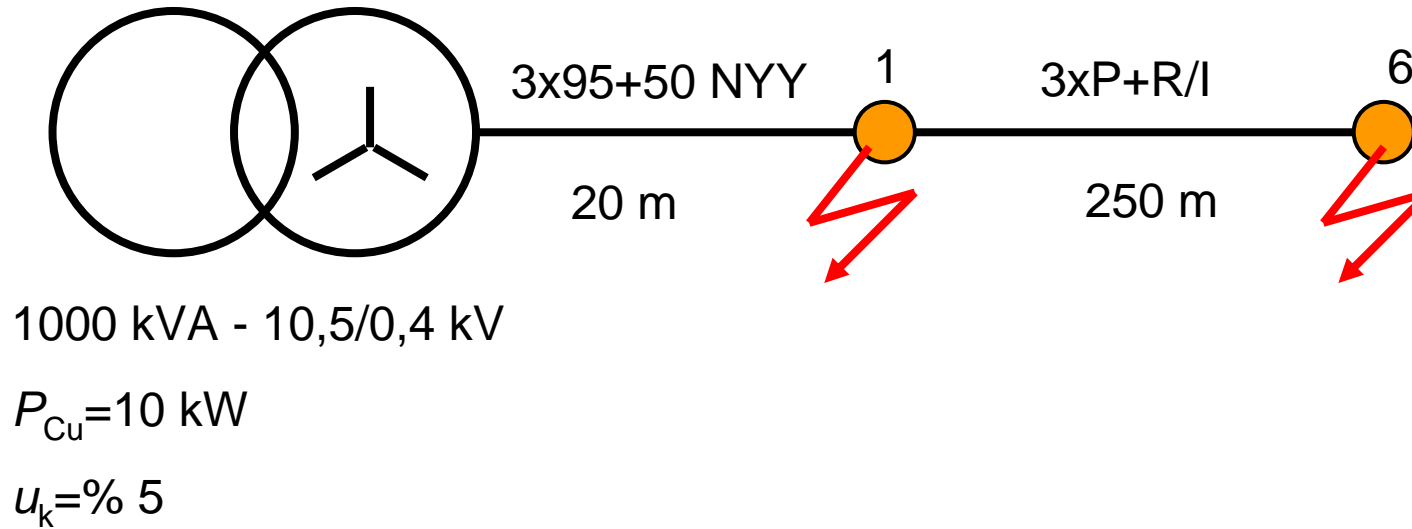
$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3 \cdot 0,95 \cdot U_n}}{2Z_1 + Z_0}$$

bağıntısı kullanılmalıdır.

- 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.

VI. Örnek sorular ve çözümleri

1. 1000 kVA; 10,5/0,4 kV'luk bir TEDAŞ dağıtım trafosunun A kolunda, aralarında yaklaşık 50 m mesafe olan 6 adet direk bulunmaktadır. A kolunda 3xP+R/I hat tertibi vardır ve trafo dağıtım panosu ile hattın ilk direği arasındaki irtibat ise 20 m'lik 3x95+50 NYY kablo ile sağlanmaktadır. 1000kVA'lık trafonun 75°C'deki bakır kayıpları 10 kW ve bağıl kısa devre gerilimi %5'tir. Trafonun YG tarafındaki şebekenin ve AG baralarının empedansını ihmal ederek,



- a)** 1 ve 6 nolu direklerdeki en büyük 3 fazlı devre akımlarını hesaplayınız.
- b)** 6 nolu direkten 18 m'lik 4x6 NYY kablo ile bir şantiye elektrik tablosu beslenmektedir. Bu tablodaki tüm minyatür kesiciler 3 kA'lıktır. Bu durumda tablodaki minyatür kesicilerin, açma kapasitesi yönünden yönetmeliklerdeki şartları sağlayıp sağlamadığını inceleyiniz.
- c)** 6 nolu direk yakınlarındaki bina bitince, müteahhit 1 nolu direk yanındaki arsa üzerinde inşaat yapmaya karar veriyor ve bu yeni şantiyeye enerji bağlatmak istiyor. Eski şantiye tablosu sökülerek ve hiçbir değişiklik yapılmaksızın yeni şantiye tablosu olarak kullanılmaya başlanıyor. Yeni branşman 15 m uzunluğunda 4x6 NYY kablodur. Bu yeni durum için minyatür kesicilerin açma kapasitesini tahkik ediniz.

Çözüm:

a)

$$Z_T = 0,05 \cdot \frac{(400)^2}{1000 \cdot 10^3} = 8 \text{ m}\Omega$$

$$R_T = 1000 \cdot \left(\frac{400}{1000 \cdot 10^3} \right)^2 = 1,6 \text{ m}\Omega \quad X_T = \sqrt{8^2 + (1,6)^2} = 7,84 \text{ m}\Omega$$

$$R_k = \frac{20}{56.95} = 3,76 \text{ m}\Omega$$

$$X_k = 0,08 \cdot 20 = 1,6 \text{ m}\Omega$$

$$R_h = \frac{250}{35.42,37} = 168 \text{ m}\Omega$$

$$X_h = \frac{0,322}{4} = 80 \text{ m}\Omega$$

$$Z_1 = (1,6 + 3,76) + j(7,84 + 1,6) = 5,36 + j9,44 \text{ m}\Omega$$

$$Z_6 = (1,6 + 3,76 + 168) + j(7,84 + 1,6 + 80) = 173,4 + j89,44 \text{ m}\Omega$$

$$|Z_1| = \sqrt{28,73 + 89,11} = 10,85 \text{ m}\Omega$$

$$|Z_6| = \sqrt{30067,5 + 7999,5} = 195 \text{ m}\Omega$$

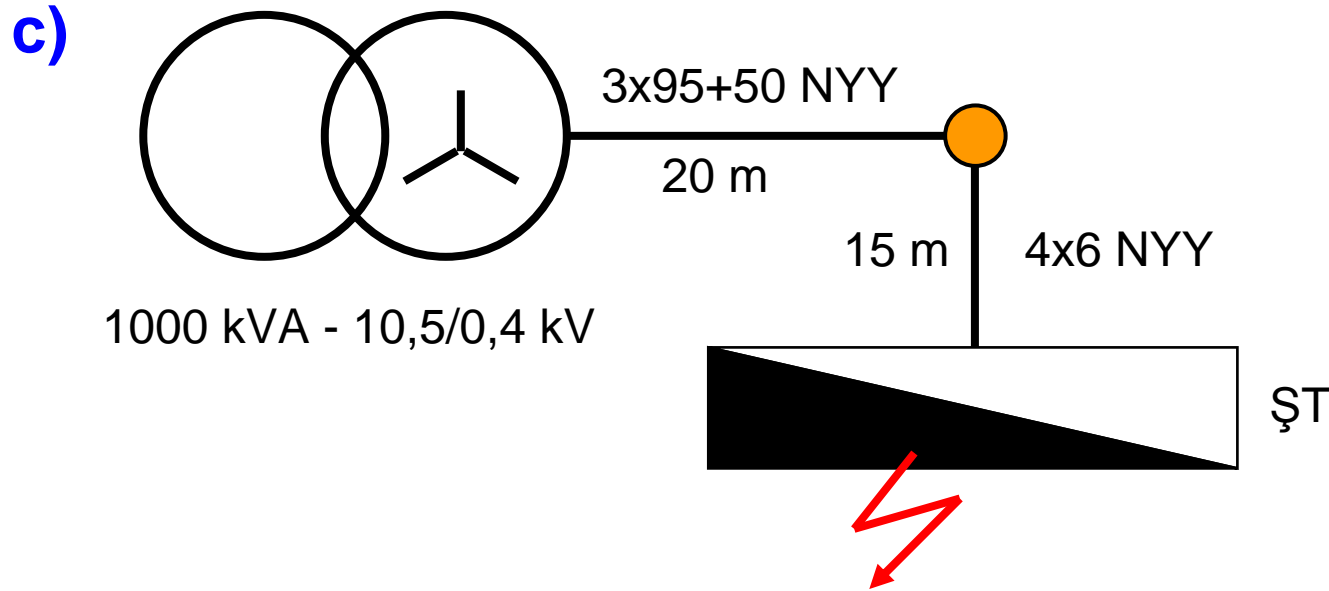
$$I''_{k3_1} = \frac{1,05.400}{\sqrt{3.10,85}} = 22,35 \text{ kA}$$

(1 nolu direktteki en büyük 3 fazlı kısa devre akımı)

$$I''_{k3_6} = \frac{1,05.400}{\sqrt{3.195}} = 1,24 \text{ kA}$$

(6 nolu direktteki en büyük 3 fazlı kısa devre akımı)

b) 1.24 kA < 3 kA olduğundan, 6 no'lu direk yanındaki minyatür kesiciler açma kapasitesi yönünden uygundur.



$$R_k = \frac{15}{56.6} = 44,6 \text{ m}\Omega$$

X_k ihmal edilebilir (4x6 NYY kablo için)

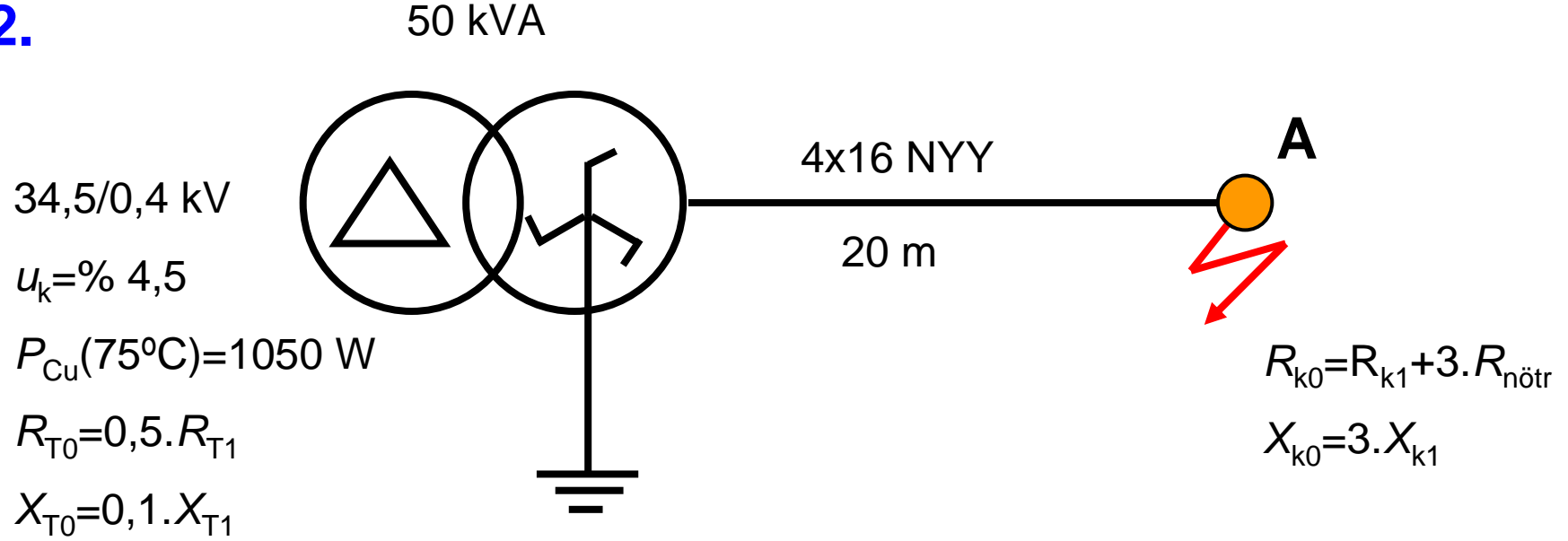
$$Z_A = 5,36 + j9,44 + 44,6 = 50 + j9,44 \text{ m}\Omega$$

$$|Z_A| \approx 50,9 \text{ m}\Omega$$

$$I''_{k3A} = \frac{1,05.400}{\sqrt{3} \cdot 50,9} \cong 4,8 \text{ kA}$$

4,8 kA > 3 kA olduğundan minyatür kesiciler açma kapasitesi yönünden uygun değildir. Ne yapılması gerektiği okuyucuya bırakılmıştır.

2.



Şekildeki tesiste A noktasında oluşabilecek tek fazlı en küçük kısa devre akımını,

- Simetrili bileşenler yöntemi ile,
- Klasik devre çözümü yöntemi ile (yaklaşık yöntem) ayrı ayrı çözüp, sonuçları karşılaştırınız.

Çözüm:

a) Simetrik bileşenler yöntemi

$$R_T = 1050 \cdot \left(\frac{400}{50 \cdot 10^3} \right)^2 = 67,2 \text{ m}\Omega$$

$$R_k = \frac{1,24 \cdot 20}{56 \cdot 16} = 27,7 \text{ m}\Omega$$

$$R_{T1} = R_{T2} = 67,2 \text{ m}\Omega$$

$$X_{T1} = X_{T2} = 127,4 \text{ m}\Omega$$

$$R_{k1} = R_{k2} = 27,7 \text{ m}\Omega$$

$$X_{k1} = X_{k2} = 1,78 \text{ m}\Omega$$

$$Z_T = 0,045 \cdot \frac{400^2}{50 \cdot 10^3} = 144 \text{ m}\Omega$$

$$X_T = \sqrt{144^2 - 67,2^2} = 127,4 \text{ m}\Omega$$

$$X_k = 0,089 \times 20 = 1,78 \text{ m}\Omega$$

0,089 mΩ/m değeri Tablo-3'ten alınmıştır.

$$R_{T0} = 0,5 \cdot R_{T1} = 33,6 \text{ m}\Omega$$

$$X_{T0} = 0,1 \cdot X_{T1} = 12,74 \text{ m}\Omega$$

$$R_{k0} = 110,8 \text{ m}\Omega$$

$$X_{k0} = 5,34 \text{ m}\Omega$$

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 67,2 + 33,6 + 2 \cdot 27,7 + 110,8)^2 + (2 \cdot 127,4 + 12,74 + 2 \cdot 1,78 + 5,34)^2}}$$

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 400}{\sqrt{(334,2)^2 + (276,4)^2}} \approx 1,516 \text{ kA} = 1516 \text{ A}$$

b) Yaklaşık yöntem

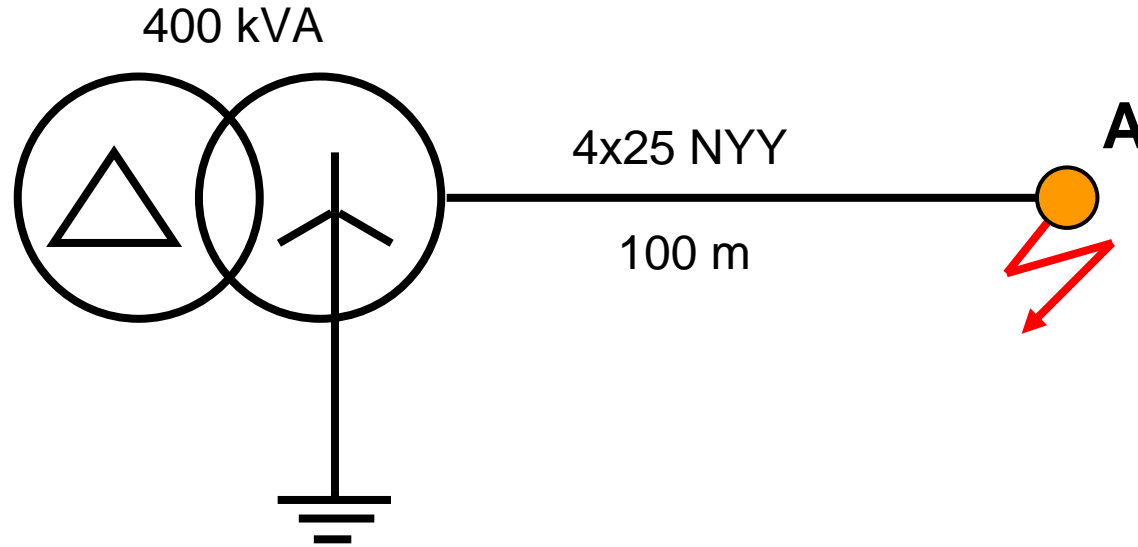
$$I''_{k1} = \frac{0,95.231}{\sqrt{(67,2 + 2.27,7)^2 + (127,4 + 2.1,78)^2}}$$

$$I''_{k1} = \frac{0,95.231}{(122,6)^2 + (130,96)^2} = 1,223 \text{ kA} = 1223 \text{ A}$$

$$\frac{1516 - 1223}{1516} \cdot 100 = \%19,3$$

Bu örnekte yaklaşık yöntemi kullanmakta %19,3 oranında hata yapılmıştır.

3.



$$\begin{aligned} 34,5/0,4 \text{ kV} \quad R_{k0} &= R_{k1} + 3R_{\text{nötr}} \\ P_{\text{Cu}} &= 5850 \text{ W} \quad X_{k0} = 3X_{k1} \\ u_k &= \% 4,5 \\ R_{T0} &= R_{T1} \\ X_{T0} &= 0,9 X_{T1} \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} R_{k0} \\ P_{\text{Cu}} \\ u_k \\ R_{T0} \\ X_{T0} \end{aligned}} \right\} \text{İmalatçıdan}$$

Şekildeki tesiste A noktasında oluşabilecek tek fazlı en küçük kısa devre akımını

- Simetrik bileşenler yöntemi ile,
- Yaklaşık yöntem ile, ayrı ayrı çözüp sonuçları karşılaştırınız.

a) Simetrlili bileşenler yöntemi

$$Z_T = 0,045 \cdot \frac{(400)^2}{400 \cdot 10^3} = 18 \text{ m}\Omega$$

$$R_T = 5850 \cdot \left(\frac{400}{400 \cdot 10^3} \right)^2 = 5,85 \text{ m}\Omega$$

$$X_T = \sqrt{18^2 - 5,85^2} = 17 \text{ m}\Omega$$

$$R_k = \frac{1,24 \cdot 100}{56 \cdot 25} = 88,6 \text{ m}\Omega$$

$$X_k = 0,086 \times 100 = 8,6 \text{ m}\Omega$$

0,089 mΩ/m değeri Tablo-3'ten alınmıştır.

$$R_{T1} = R_{T2} = 5,85 \text{ m}\Omega$$

$$X_{T1} = X_{T2} = 17 \text{ m}\Omega$$

$$R_{k1} = R_{k2} = 88,6 \text{ m}\Omega$$

$$X_{k1} = X_{k2} = 8,6 \text{ m}\Omega$$

$$R_{T0} = 5,85 \text{ m}\Omega$$

$$X_{T0} = 0,9 \times 1,7 = 15,3 \text{ m}\Omega$$

$$R_{k0} = 4 \times 88,6 = 354,4 \text{ m}\Omega$$

$$X_{k0} = 25,8 \text{ m}\Omega$$

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 400}{\sqrt{(2 \times 5,85 + 5,85 + 2 \times 88,6 + 354,4)^2 + (2 \times 17 + 15,3 + 2 \times 8,6 + 25,8)^2}}$$

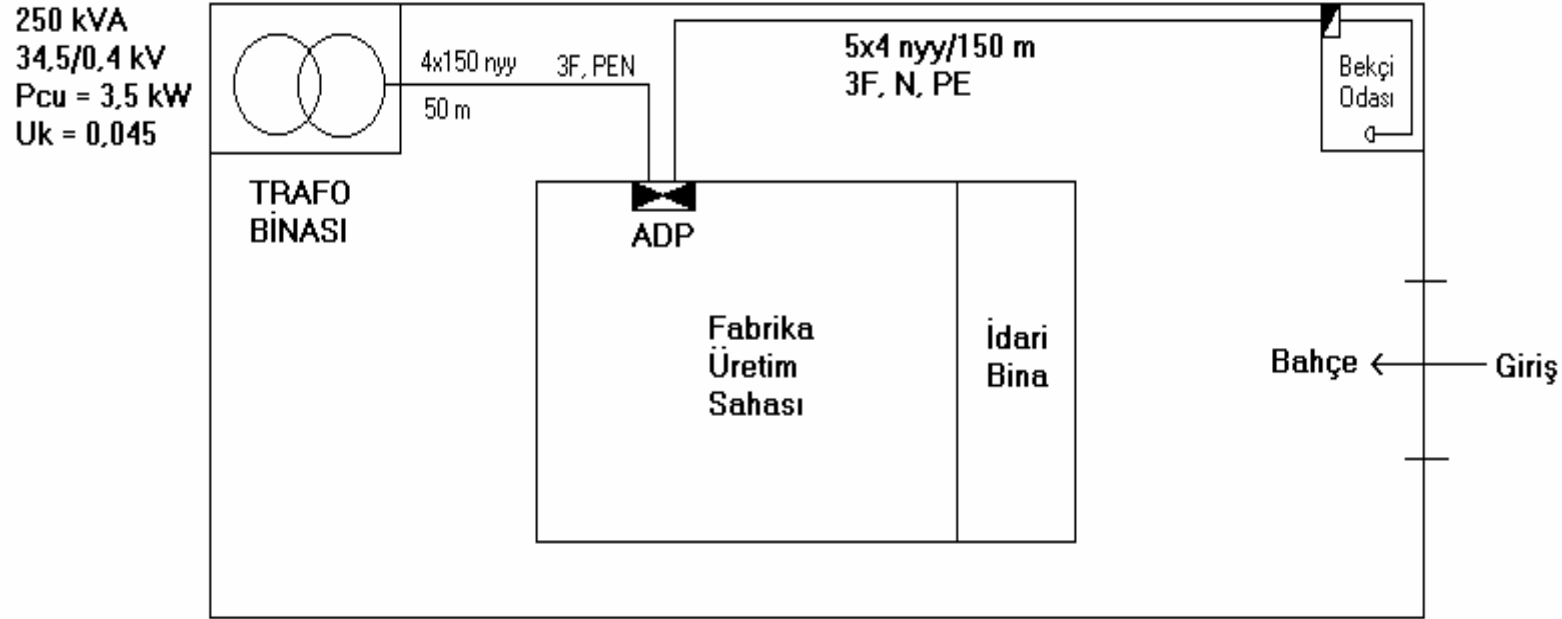
$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 400}{\sqrt{(549)^2 + (92,3)^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 400}{\sqrt{301401 + 8519,29}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 400}{556,7} = 1,18 \text{ A}$$

b) Yaklaşık yöntem ile

$$I''_{k1} = \frac{0,95 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(5,85 + 2 \times 88,6)^2 + (17 + 2 \times 8,6)^2}} = \frac{0,95 \cdot 231}{\sqrt{(183)^2 + (34,2)^2}} = 1,179 \text{ A}$$

Yaklaşık yöntem ile elde edilen değer, simetrik bileşenlere hesaplanan değerden farklı değildir.

4.



Yukarıdaki fabrikada **TN-S** sistemi kullanılmaktadır. Bekçi odasındaki BT tablosuna 6 m uzunluğunda müstakil priz linyesi bağlıdır. Bu linye ile C16 A minyatür kesici ile korunmaktadır. Bu priz için, can güvenliğinin sağlanıp sağlanmadığını tahkik ediniz.

Çözüm:

$$Z_T = 0,045 \cdot \frac{400^2}{250 \cdot 10^3} = 28,8 \text{ m}\Omega$$

$$R_T = 3500 \cdot \left(\frac{400}{250 \cdot 10^3} \right)^2 = 8,96 \text{ m}\Omega \quad X_T = \sqrt{28,8^2 - 8,96^2} = 27,37 \text{ m}\Omega$$

$$R_{k1} = \frac{1,24 \cdot 50}{56 \cdot 150} = 7,38 \text{ m}\Omega$$

$$R_{k1PEN} = 7,38 \text{ m}\Omega$$

$$X_{k1} = 0,078 \cdot 50 = 3,9 \text{ m}\Omega$$

$$X_{k1PEN} = 3,9 \text{ m}\Omega$$

$$R_{k2} = \frac{1,24 \cdot 150}{56 \cdot 4} = 830 \text{ m}\Omega$$

$$R_{k2PE} = 830 \text{ m}\Omega$$

$$R_{LF} = \frac{1,24 \cdot 6}{56 \cdot 2,5} = 53 \text{ m}\Omega$$

$$R_{LPE} = 53 \text{ m}\Omega$$

$$I''_{k1} = \frac{0,95 \cdot 231}{\sqrt{(8,96 + 2 \cdot 7,38 + 2 \cdot 830 + 2 \cdot 53)^2 + (27,37 + 2 \cdot 3,9)^2}}$$

$$I''_{k1} = \frac{0,95 \cdot 231}{\sqrt{(1790)^2 + (352)^2}} = \frac{0,95}{1790,4} = 0,122 \text{ kA} \approx 122 \text{ A}$$

C 16 A için $I_a=16.10=160$ A

$I'_{k1}=122$ A

$I_a=160$ A $>$ $I'_{k1}=122$ A olduğundan söz konusu prizde güvenlik yoktur.

Bu durumda ne yapılabilir?

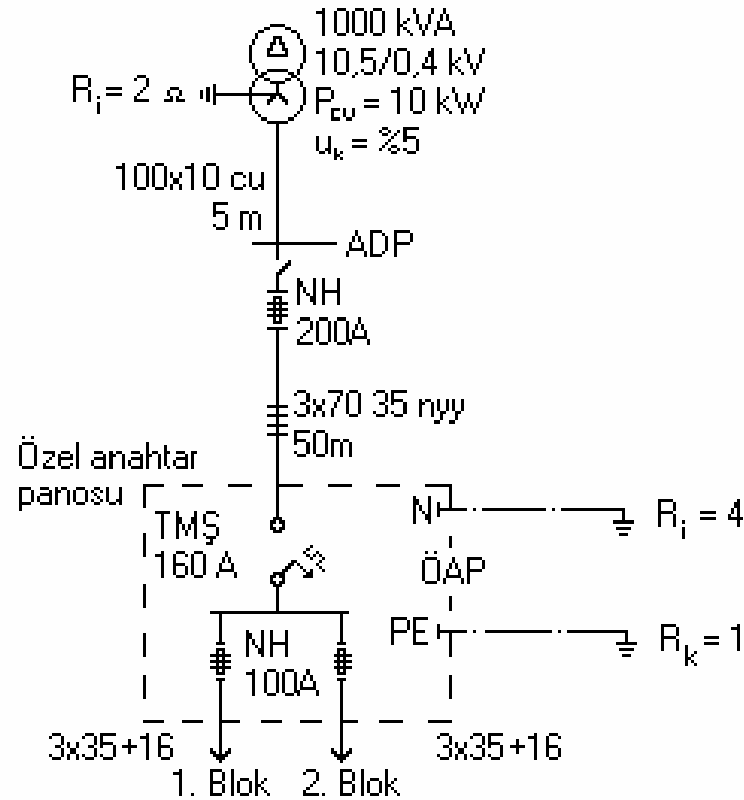
1. C 16 A yerine B 16 A minyatür kesici kullanılabilir.

B16 A için $I_a=16 \times 5 = 80$ A

$I_a=80$ A $<$ $I'_{k1}=122$ A olacağından güvenlik sağlanır.

2. Anılan lineye için hata akım anahtarı (RCD) kullanılabilir.
3. 5x4 NYY yada 3x2,5 NYM kabloların kesitleri arttırılabilir.

5. TT sisteminin kullanıldığı bir şebekede 2 bloklu bir kooperatifi besleyen özel anahtar tesisi aşağıdaki gibidir.



Özel anahtar panosunun can güvenliği bakımından uygun olup olmadığını araştırınız

1000 kVA trafonun R_T ve X_T değerleri daha önce bulunmuştu.

$$R_T = 1,6 \text{ m}\Omega \quad X_T = 7,84 \text{ m}\Omega$$

Şimdi de sırasıyla bara ve kablonun R - X değerlerini hesaplayalım.

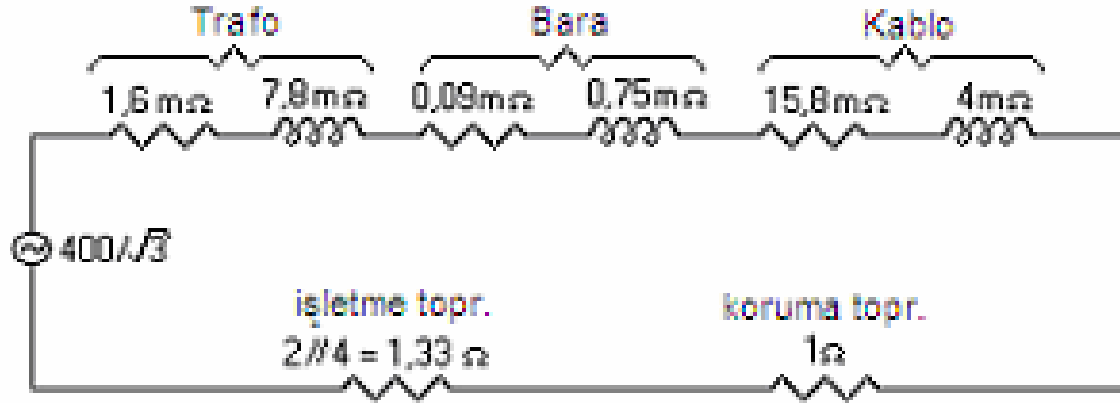
$$R_B = \frac{5}{56.1000} = 0,09 \text{ m}\Omega$$

$$X_B = 0,15.5 = 0,75 \text{ m}\Omega$$

$$R_k = \frac{1,24.50}{56.70} = 15,8 \text{ m}\Omega$$

$$X_k = 0,08.50 = 4 \text{ m}\Omega$$

Eşdeğer şema aşağıdaki gibidir



$16,5 + j12,6 \text{ m}\Omega$, $2,33 \text{ Ohm}$ değerinden çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Böylece hata akımı,

$$I_n = \frac{0,95.231}{2,33} \approx 94 \text{ A olarak bulunur.}$$

Sonuç:

200 A NH, 160 A TMSŞ ve 100 A NH için 94 A'lık akım, yük akımı hükmündedir. Özel anahtar panosunda herhangi bir gövde kaçağı durumunda açma söz konusu olamaz.

Çözüm:

- Duruma göre 1-3-5 A hata akım anahtarı konmalı, (S tipi)
- Ya da TN sistemi seçilmelidir.

TN sistemi uygulanması durumunda güvenlik nasıl sağlanır?

$$R_T = 1,6 \text{ m}\Omega$$

$$X_T = 7,84 \text{ m}\Omega$$

$$R_B = 0,09 \text{ m}\Omega$$

$$X_B = 0,75 \text{ m}\Omega$$

$$R_{B,PEN} = 0,09 \text{ m}\Omega$$

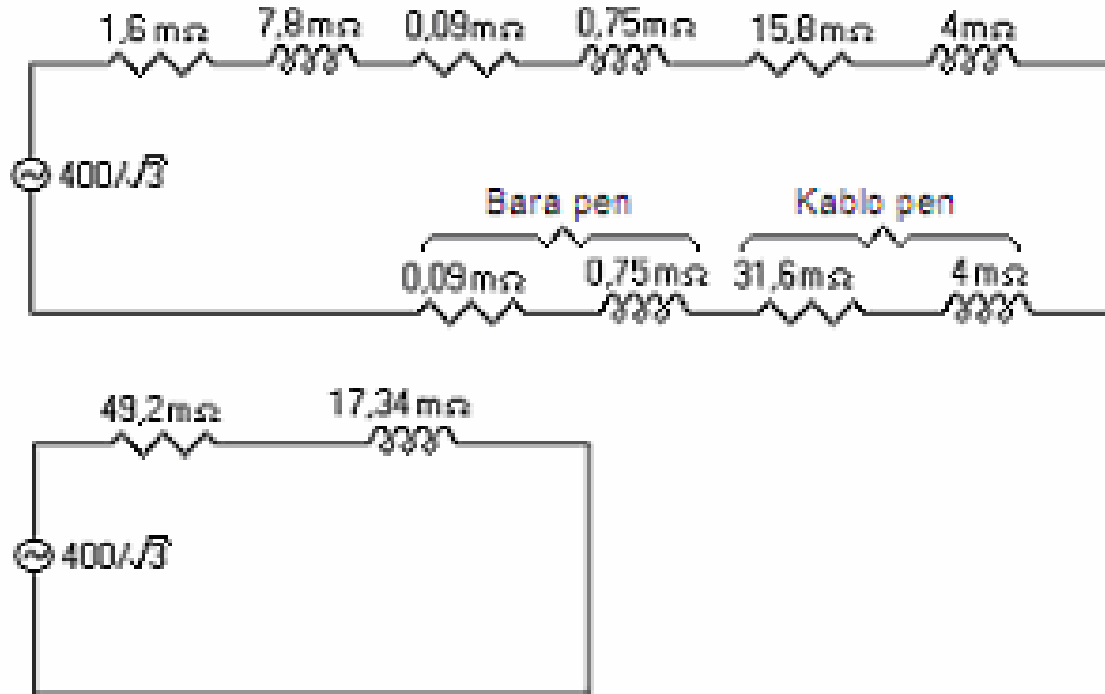
$$X_{B,PEN} = 0,75 \text{ m}\Omega$$

$$R_K = 15,8 \text{ m}\Omega$$

$$X_K = 4 \text{ m}\Omega$$

$$R_{K,PEN} = \frac{1,24 \cdot 50}{56 \cdot 35} = 31,6 \text{ m}\Omega \quad X_{K,PEN} = 4 \text{ m}\Omega$$

Eşdeğer şema



$$I''_{k1} = \frac{0,95.231}{\sqrt{(49,2)^2 + (17,34)^2}} = \frac{0,95.231}{52,2} = 4,2 \text{ kA}$$

NH ve TMOŞ'lerin akım-zaman karakteristikleri incelenecek olursa,

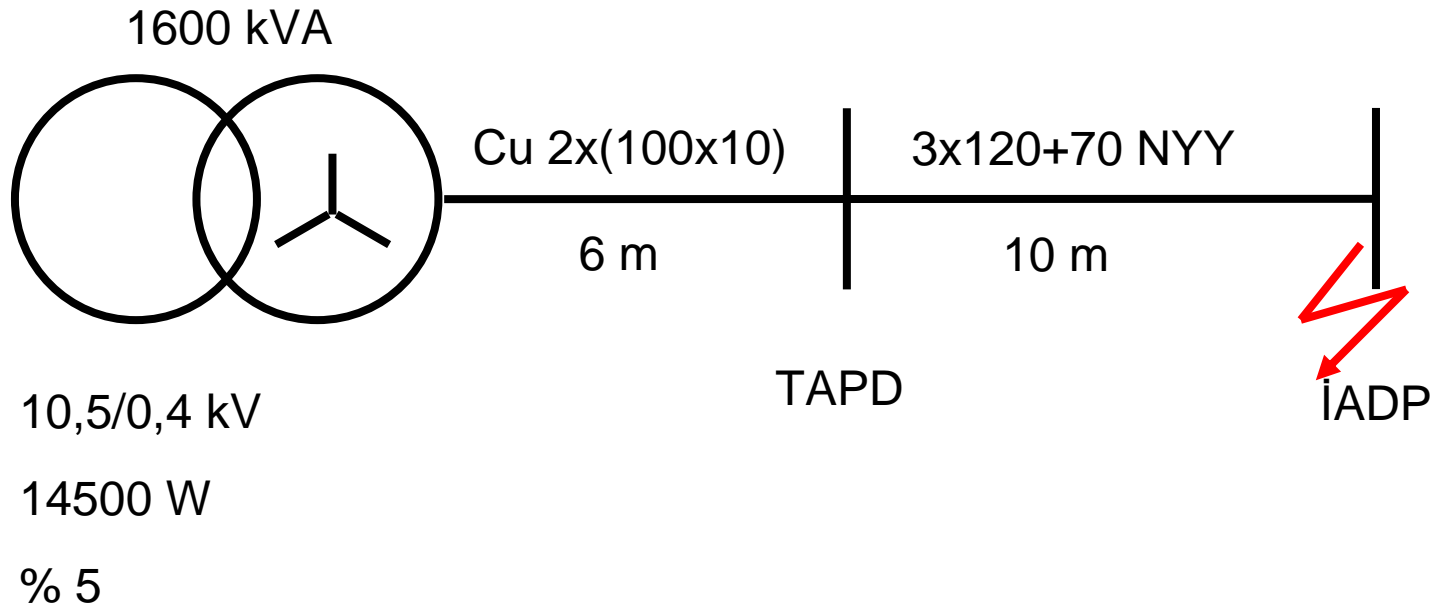
200 A NH 4,2 kA akımı yaklaşık 10 ms'de

100 A NH 4,2 kA akımı yaklaşık 1,5 ms'de

160 A TMOŞ 4,2 kA akımı yaklaşık 40 ms'de kesecektir.

Dış şebekede hatalı kısmın 5 s içinde devre dışı olması istenir. Dolayısıyla TN sistemi uygulanması durumunda güvenlik sağlanmaktadır.

6. 10,5/0,4 kV – 1600 kVA'lık bir TEDAŞ dağıtım trafo merkezi bir işhanının zemin katına tesis edilecektir. Trafo AG buşingleri ile trafo dağıtım panosu arasındaki irtibat, 2x(100x10) Bakır bara ile yapılacaktır. Söz konusu bara uzunluğu $l = 6$ metredir. Trafo dağıtım panosu ile işhanı dağıtım panosu arasındaki mesafe 10 m olup, irtibat kablosu 3x120+70 mm² NYY'dir.



a) İşhanı dağıtım panosundaki ana şalter, 250 A kompakt şalter olarak seçilmiştir. Şalter yapımcısı 250 A kompakt şalter için 3 seçenek olduğunu ifade etmektedir.

Ekonomik tip	30 kA
Standart tip	50 kA
Yüksek performans tipi	100 kA

Tasarımcı hangi tip şalteri seçmelidir?

b) Proje işhanı sayaç panosundaki barayı, tesis nominal akımına göre seçmiştir. Bu seçimi kısa devre yönünden değerlendiriniz.

a)

$$Z_T = 0,05 \cdot \left(\frac{400^2}{1600 \cdot 10^3} \right)^2 = 5 \text{ m}\Omega$$

$$R_T = 14500 \cdot \left(\frac{400}{1600 \cdot 10^3} \right)^2 = 0,906 \text{ m}\Omega$$

$$X_T = \sqrt{5^2 - 0,906^2} = 4,917 \text{ m}\Omega$$

$$R_B = \frac{6}{56 \cdot 2000} = 0,054 \text{ m}\Omega$$

$$X_B = 0,15 \cdot 6 = 0,9 \text{ m}\Omega$$

$$R_k = \frac{10}{56 \cdot 120} = 1,49 \text{ m}\Omega$$

$$X_k = 0,08 \cdot 10 = 0,8 \text{ m}\Omega$$

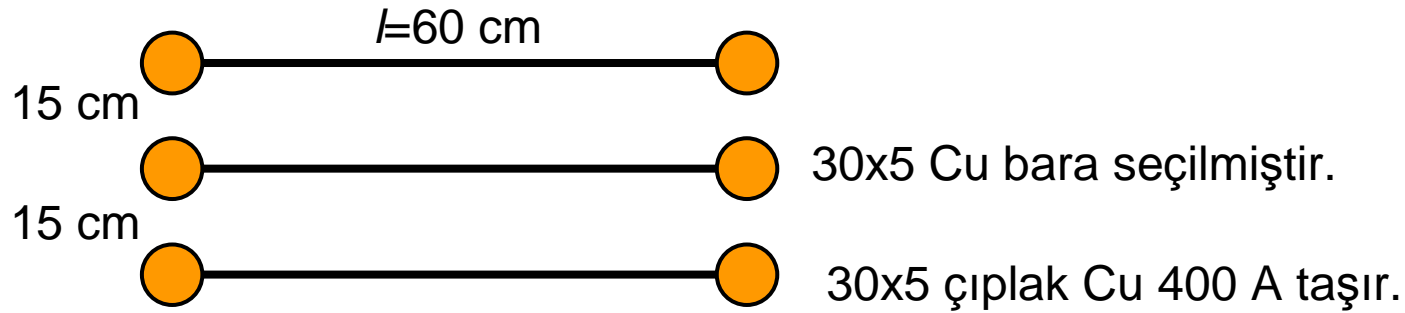
$$\sum R = 0,906 + 0,054 + 1,49 = 2,45 \text{ m}\Omega$$

$$\sum X = 4,917 + 0,9 + 0,8 = 6,617 \text{ m}\Omega$$

$$I_{k3}'' = \frac{1,05 \cdot 231}{\sqrt{(2,45)^2 + (6,617)^2}} = \frac{1,05 \cdot 231}{7,05} \approx 34,4 \text{ kA}$$

50 kA'lık standart tip kompakt şalter seçilmelidir.

b)



$$I''_{k3} = 34,4 \text{ kA} \quad \frac{R}{X} = \frac{2,45}{6,617} = 0,37 \quad \text{olduğundan Şekil-2 uyarınca } \kappa=1,4 \text{ alınır.}$$

$$I_p = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 34,4 = 68 \text{ kA} \quad (\text{darbe kısa devre akımı})$$

Baralar arasında oluşan kuvvet

$$F = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{\mu_0}{2\pi} \right) (i_p^2) \left(\frac{l}{a} \right) \quad \text{bağıntısı ile bulunabilir.}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \quad (\text{manyetik alan sabiti})$$

$$F = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot (68000)^2 \cdot \frac{60}{15}$$

$$F = \sqrt{3} \times 10^{-7} \cdot (68000)^2 \cdot 4 \approx 3200 \text{ N}$$

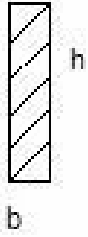
σ_m (N/m²) baralar üzerindeki bükme gerilmesini göstermek üzere,

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F \cdot l}{8 \cdot Z}$$

V_σ ve V_r dinamik zorlanmalara ilişkin çarpanlar olup, AG tesislerinde 1 alınabilir.

β mesnetleme çarpanı olup, örneğimizde $\beta=1$ 'dir.

Z = Baraların kesit atalet momentidir (m³).



$$W_y = \frac{b^2 \cdot h}{6} \quad W_x = \frac{b^2 \cdot h}{6}$$

$$b = 5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$h = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$$

$$W_y = \frac{(0,005)^2 \cdot 0,03}{6} = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_m = \frac{F \cdot l}{8 \cdot Z} = \frac{3200 \cdot 0,6}{8 \cdot 1,25 \cdot 10^{-7}} = 192 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 = 1920 \text{ N/mm}^2$$

Baraların deforme olmadan kısa devre kuvvetlerine dayanabilmesi için,

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{P0,2}^{\min} \quad \text{koşulu gerçekenmelidir.}$$

Burada

q =Plazite çarpanı olup, dikdörtgen kesitli baralar için 1,5 alınabilir.

$R_{P0,2}^{\min}$ = Bakırın akma dayanımının alt sınırı olup, 250N/mm²'dir.

$$\sigma_m = 1920 \text{ N/mm}^2$$

$$q \cdot R_{P0,2}^{\min} = 1,5 \cdot 250 = 375 \text{ N/mm}^2$$

1920 N/mm² > 375 N/mm² olduğundan baralar yetersizdir. Bara olarak 80x5 Cu seçelim. Bara uzunluğunu $l=0,5$ m; bara arası açıklıkları $a=0,2$ m yapalım.

$$F = \sqrt{3} \cdot (68000)^2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{0,5}{0,2} = 2000 \text{ N}$$

$$b = 5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

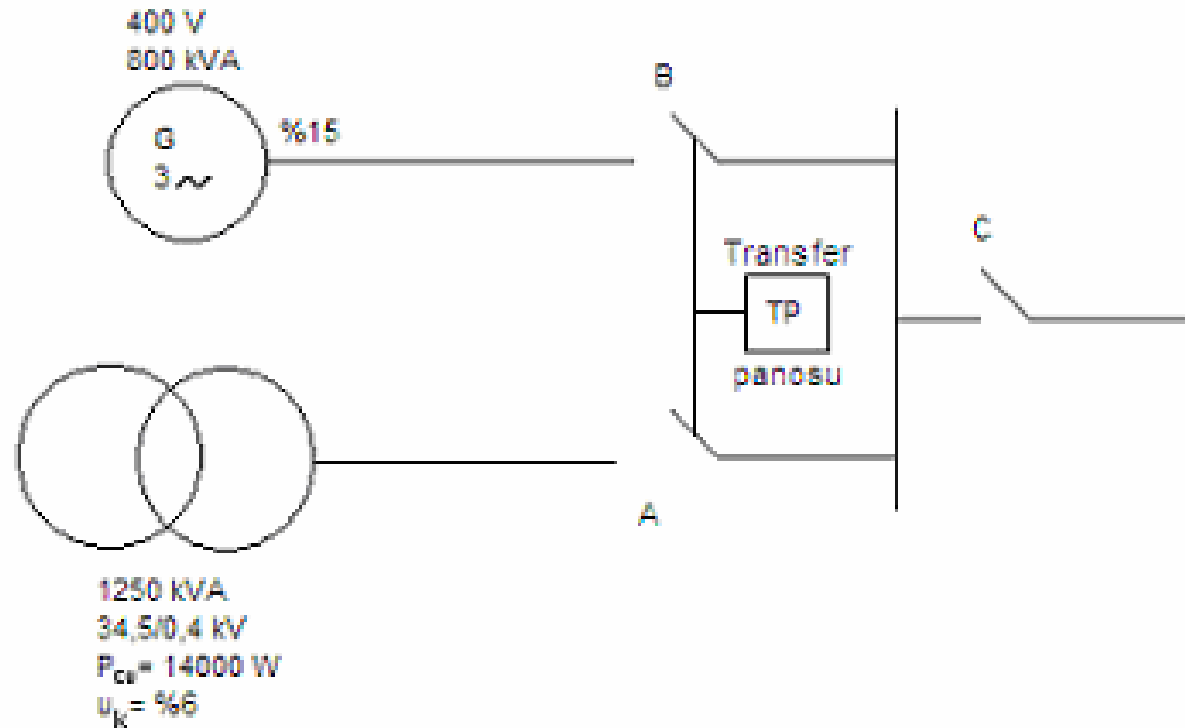
$$h = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$$

$$W_y = \frac{(0,005)^2 \cdot 0,08}{6} = 3,33 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma_m = \frac{2000 \times 0,5}{8 \times 3,33 \times 10^{-7}} = 375 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 375 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_m = 375 \text{ N/mm}^2 \cong q \cdot R_{P0,2}^{\min}$ olduğundan 80x5 Cu bara uygun seçilmiştir. Ayrıca bu baraları mesnetlemek amacıyla kullanılan izolatörlere gelen kuvvetin izolatör imalatçısı tarafından verilen kuvvetlerden küçük olduğu kanıtlanmalıdır. Bu araştırma okuyucuya bırakılmıştır.

7.



A, B ve C noktalarındaki I''_{k3} kısa devre akımlarını bulunuz.

Bir jeneratörde $Z_g = \sqrt{X_d''^2 + R_g^2}$

$$X_d'' = x_d'' \cdot \frac{U_n^2}{S_n^2} \quad (\text{subtranzient reaktans})$$

$$S_n > 100 \text{ MVA} \quad R_g = 0,05 X_d''$$

$$S_n < 100 \text{ MVA} \quad R_g = 0,07 X_d''$$

Alçak gerilim jeneratörlerinde $R_g=0,15 \cdot X_d''$ alınabilir. x_d'' ise %10 - %15 arasında değişmektedir. Bunlar kılavuz değerler olup gerçek değerler ancak üretici firmalar tarafından verilebilir.

$$Z_T = 0,06 \cdot \frac{(400)^2}{1250 \cdot 10^3} = 7,68 \text{ m}\Omega$$

$$R_T = 14000 \cdot \left(\frac{400}{1250 \cdot 10^3} \right) = 1,43 \text{ m}\Omega$$

$$X_T = \sqrt{7,68^2 - 1,43^2} = 7,54 \text{ m}\Omega$$

$$I''_{k3A} = \frac{1,05 \cdot 231}{7,68} = 31,6 \text{ kA}$$

$$X''_d = 0,15 \cdot \frac{(400)^2}{800 \cdot 10^3} = 30 \text{ m}\Omega$$

$$R_g = 0,15 \cdot 30 = 4,5 \text{ m}\Omega$$

$$I''_{k3B} = \frac{1,05 \cdot 231}{\sqrt{(4,5)^2 + (30)^2}} = \frac{1,05 \times 231}{30,33} \approx 8 \text{ kA}$$

$$I''_{k3C} = I''_{k3A} + I''_{k3B} = 31,6 + 8 = 39,6 \text{ kA}$$

$$I''_{k3g} = \frac{C.u_n}{\sqrt{3}.X_d''} \quad I''_{k3T} = \frac{C.u_n}{\sqrt{3}.Z_T}$$

$$\frac{I''_{k3g}}{I''_{k3T}} = \frac{Z_T}{X_d''} = \frac{u_k \cdot \frac{u_n^2}{S_{nT}}}{X_d'' \cdot \frac{u_n^2}{S_{ng}}} \quad \frac{I''_{k3g}}{I''_{k3T}} = \frac{u_k}{X_d''} \cdot \frac{S_{ng}}{S_{nt}}$$

$$\left(\frac{u_k}{X_d''} \right) < 1 \quad \frac{S_{ng}}{S_{nT}} \leq 1 \quad \frac{I''_{k3g}}{I''_{k3T}} \leq 1$$

8.

$$X_T = n \cdot u_x \cdot \frac{u_n^2}{S_n}$$

$$X_c = \frac{u_n^2}{n \cdot Q_c}$$

$$Q_c = Q_{kritisik} \rightarrow X_T = X_c$$

$$n \cdot u_x \cdot \frac{u_n^2}{S_n} = \frac{u_n^2}{n \cdot Q_{kritisik}}$$

$$Q_{kr} = \frac{S_n}{n^2 \cdot u_x} = \frac{S_n}{n^2 \cdot u_k \cdot \sin \varphi_k}$$

34,5/0,4 kV – 1000 kVA'lık bir trafoya haiz tesiste kurulu güç 1200 kW, eşzamanlılık faktörü %60'tır. Kompanzasyon hesabını yaparak, bu tesiste rezonans tehlikesi olup olmadığını araştırınız. ($u_k = \%6$, $P_{Cu} = 12200$ W, $i_0 = \%1,5$)

$$Q_{sabit} = \sqrt{3} \cdot u_n \cdot \%i_o \cdot I_N$$

$$I_n = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1445 \text{ A}$$

$$Q_{sabit} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,015 \cdot 1445 \cong 15 \text{ kVAr}$$

$$P_{talep} = 1200 \cdot 0,6 = 720 \text{ kW}$$

$$720 \text{ kW} \cdot 1,1 / 0,8 = 990 \text{ kVA}$$

$$k = 0,69$$

$$Q = 720 \cdot 0,69 = 497 \text{ kVAr} \cong 500 \text{ kVAr}$$

$$u_k = 0,06$$

$$u_r = \frac{12200}{1000 \cdot 10^3} = \%1,22$$

$$u_x = \sqrt{(\%6)^2 - (\%1,22)^2} = \%5,87 = 0,0587$$

$$Q_{kr} = \frac{1000}{n^2 \cdot 0,0587} = \frac{17035}{n^2}$$

$$\begin{aligned} n=1 \text{ için} \quad Q_{kr} &\cong 17 \text{ MVAr} \\ n=3 \text{ için} \quad Q_{kr} &\cong 1893 \text{ kVAr} \\ n=5 \text{ için} \quad Q_{kr} &\cong 681 \text{ kVAr} \\ n=7 \text{ için} \quad Q_{kr} &\cong 348 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

7nci harmonik için rezonans tehlikesi vardır.

Rezonans olayı sonucu

- 1) Devrede sadece R_T kaldığından kısa devre akımları beklenenden büyük olur.
- 2) Aşırı gerilimler oluşur. Trafo sargıları ya da kapasitörler aşırı gerilimle zorlanır.

Kaynaklar

1. SIEMENS / Switching, Protection and Distribution in Low-Voltage Networks.
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)