

# **ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMALAR**

**21.08.2001 TARİHLİ YENİ YÖNETMELİĞİN GETİRDİKLERİ**

Not : Bu çalışma Elk.Y.Müh. Taner İRİZ tarafından Elektrik Mühendisleri Odası eğitimlerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. EMO dışındaki firma, kurum ve kuruluşlar tarafından kullanılması ya da metinlerin değiştirilmesi halinde hazırlayandan olur alınması etik kuralları açısından gereklidir.

**1337. Sokak No:16/8 Çankaya-İZMİR**

**Tel/Faks: 0 (232) 489 34 35, E-posta: [izmir@emo.org.tr](mailto:izmir@emo.org.tr)**

# **İÇİNDEKİLER**

## **1.GİRİŞ**

## **2.BİRİNCİ BÖLÜM**

**Amaç, Kapsam, Uygulama ve Tanımlar**

## **3.İKİNCİ BÖLÜM**

**Yüksek Gerilim Tesislerinde Topraklama**

## **4.ÜÇÜNCÜ BÖLÜM**

**Alçak Gerilim Tesislerinde Topraklama**

## **5.DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

**Yüksek ve Alçak Gerilim Sistemlerinde Topraklama  
Tesislerinin Birleştirilmesi**

## **6.BEŞİNCİ BÖLÜM**

**İletişim Sistemleri ve Bilgi İşlem Tesisleri için  
Topraklama Kuralları**

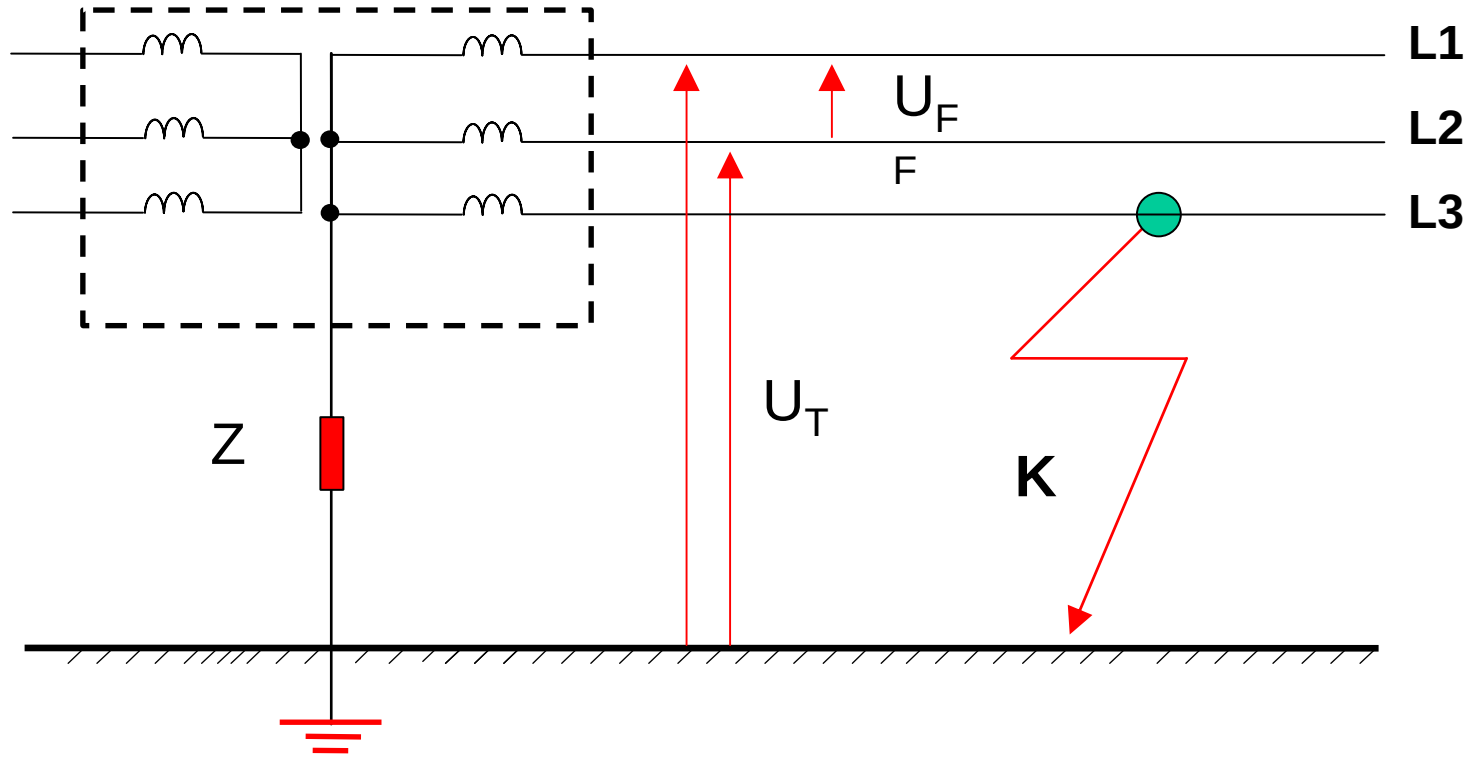
## **7.ALTINCI BÖLÜM**

**Yürürlükten Kaldırılan Hükümler**

## **8.EKLER**

## **9.SONUÇ**

# **YÜKSEK GERİLİMDE DAĞITIM ŞEBEKELERİ**



$L_1, L_2, L_3$ : Faz iletkenleri.

Z: Yıldız noktası topraklama empedansı.

K:  $L_3$  fazındaki toprak hatası.

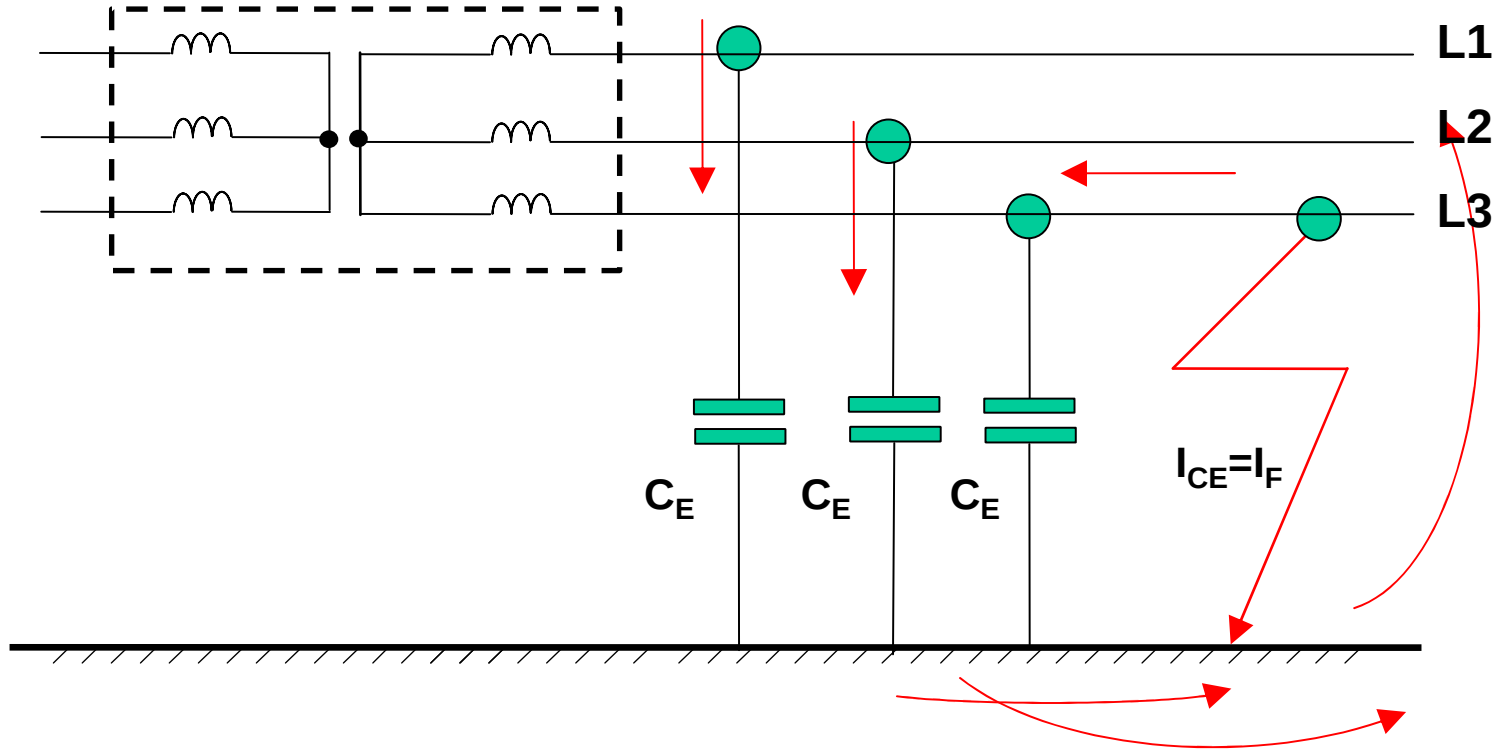
$U_{FF}$ : Arıza öncesi fazlar arası etkin gerilim.

$U_T$ :  $L_3$  fazında K gibi bir toprak hatası oluştuğunda sağlam faz iletkenlerinin toprağa karşı gerilimi.

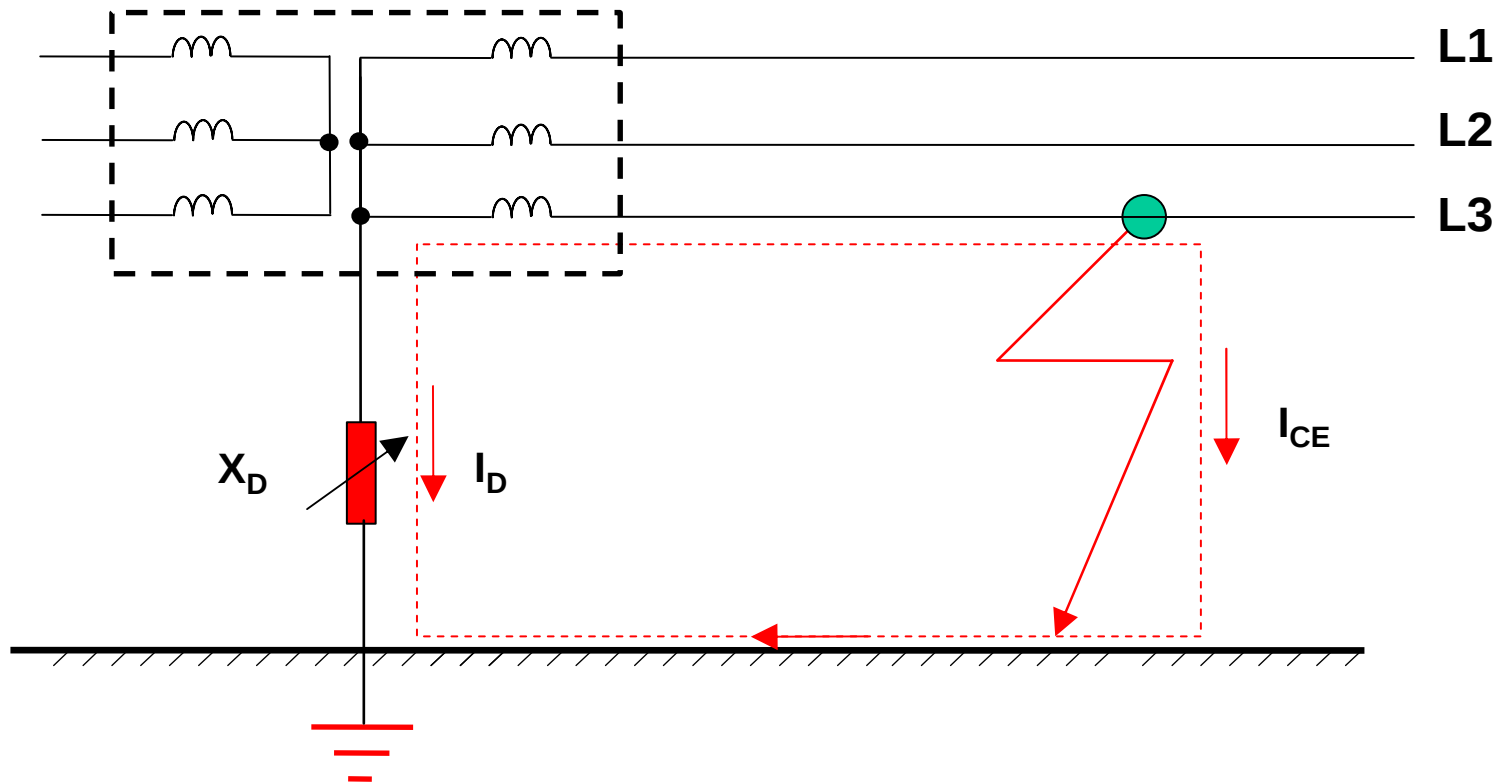
**Tanım:** Üç fazlı bir alternatif akım şebekesinde, bir toprak hatasından sonra,  $U_T / U_{FF}$  oranının alabileceği değere “topraklama katsayısı” denir ve e harfi ile gösterilir.

**Yıldız noktası nötrünün topraklama şekline göre 5 değişik tür YG dağıtım şebekesi vardır.**

**1) Yıldız noktası yalıtılmış şebeke;  $Z = \infty$**

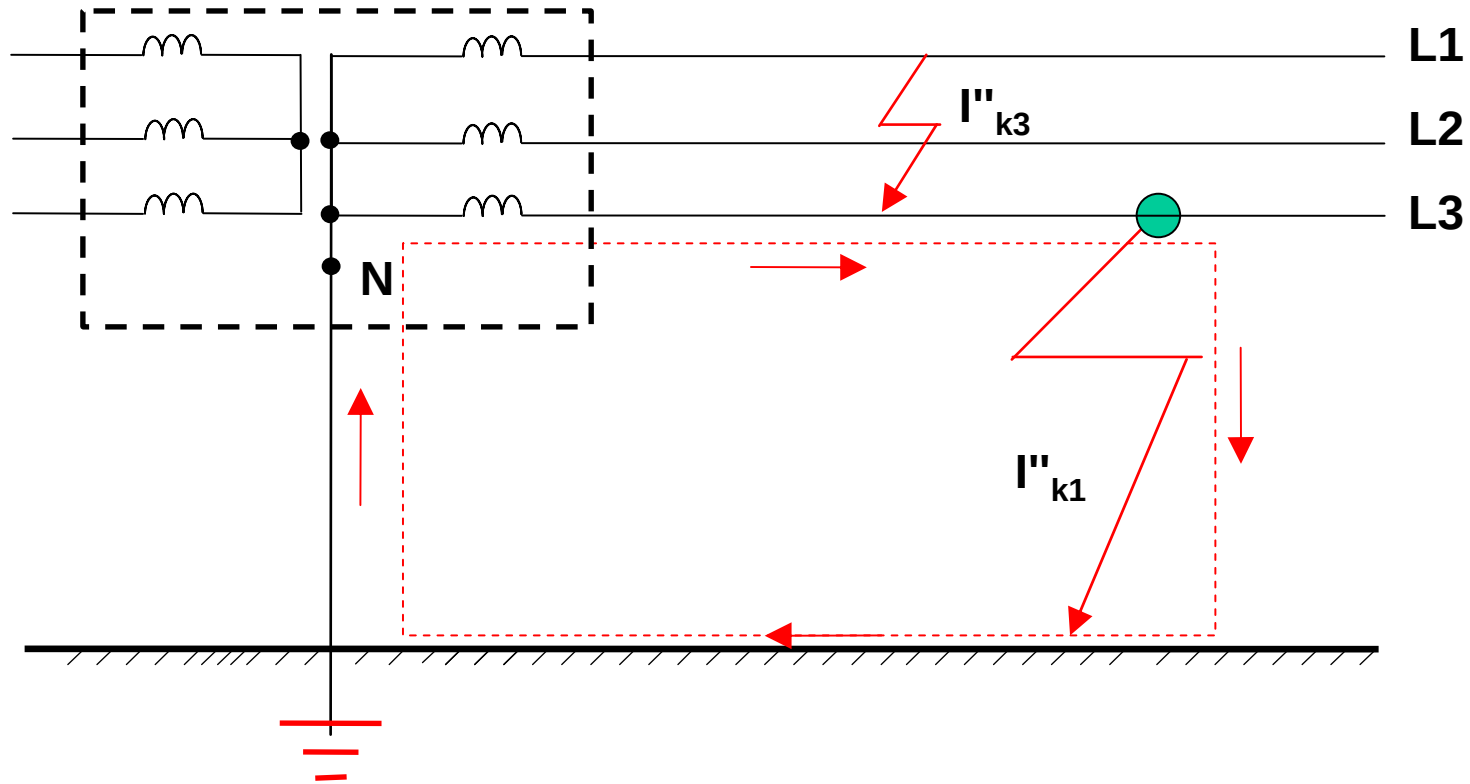


2) Toprak teması kompanze edilmiş şebeke;  $X \ll R$   
olmak üzere  $Z = R + jX$

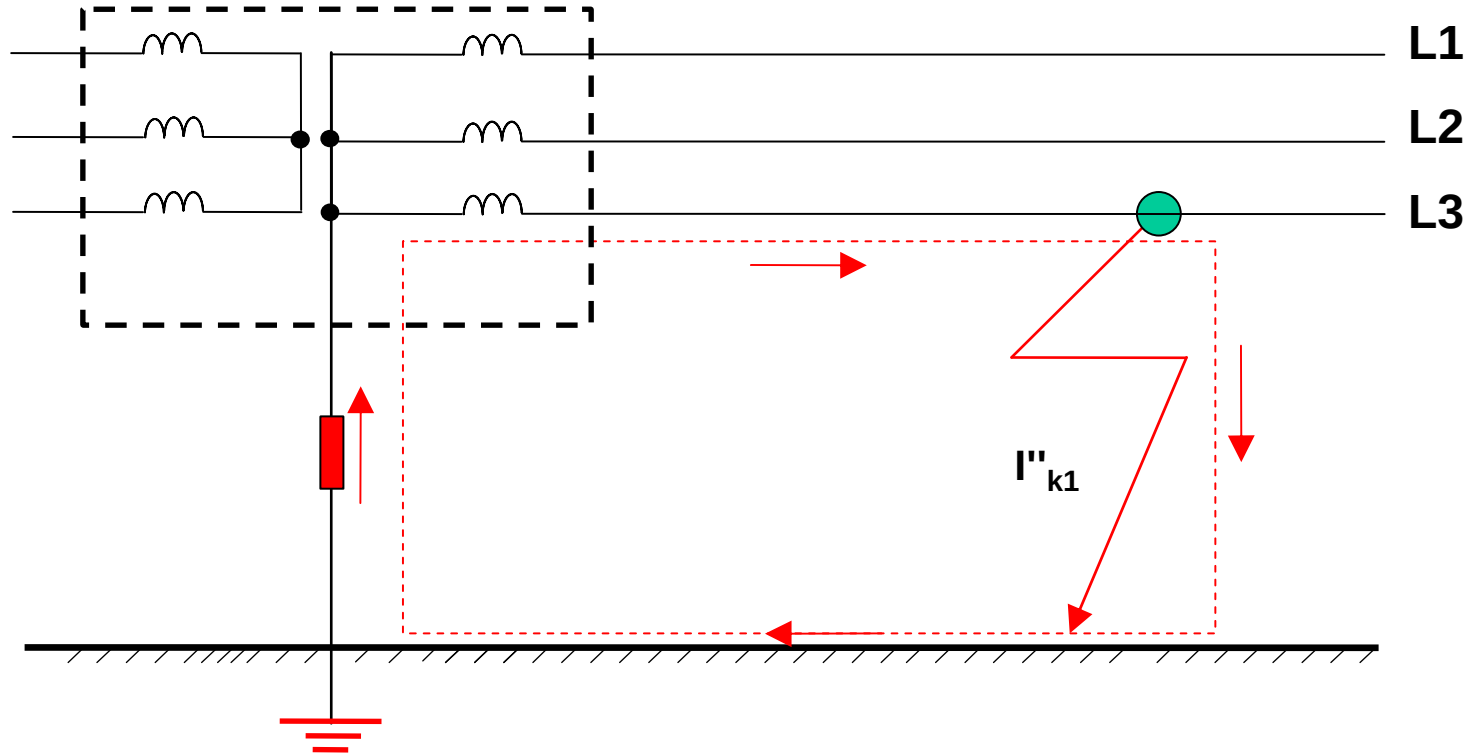




### 3) Yıldız noktası direkt olarak topraklanmış şebeke; $Z = 0$



4) Yıldız noktası direnç üzerinden topraklanmış şebeke;  
 $Z = R$



5) Toprak teması kompanze edilmiş ve geçici olarak yıldız noktası direnç üzerinden topraklanmış şebeke (2 ve 4'ün karması);

**Yıldız noktası yalıtılmış şebekelerde  $0,8 < e \leq 1$**

**Yıldız noktası topraklanmış şebekelerde  $e \leq 0,8$  dir.**

**Yıldız noktası direnç üzerinden topraklanmış şebekeler yalıtılmış şebeke sayılır.**

**Tanım:** Yıldız noktası yalıtılmış ya da bobin üzerinden topraklanmış şebekelerdeki toprak hatasına toprak teması denir. Bu durumda  $e = 1$  olur.

Toprak teması oluştuğunda hata yerinde sağlam fazların toprağa karşı gerilimleri; hatadan önce hata yerindeki fazlar arası gerilim değerine yükselir.

**Örnek:** Toprak teması durumunda gerilim artışı yüzde kaç olur?

Hatadan önce sağlam fazların toprağa karşı gerilimi  $U_n/\sqrt{3}$  iken; hatadan sonra fazlar arası gerilim değerine yani  $U_n$ 'e yükselir.

$$\frac{U_n - (U_n/\sqrt{3})}{U_n/\sqrt{3}} = \sqrt{3} - 1 = 0,73 = \%73$$

Yani artış, faz gerilimi cinsinden %73 kadardır. Bu durum şebekede birkaç saat sürebilir.

**Tanım:** Yıldız noktası direkt ya da direnç üzerinden topraklanmış şebekelerdeki toprak hatasına toprak kısa devresi denir.

Yıldız noktası direkt topraklanmış şebekelerdeki toprak kısa devre akımı, direnç üzerinden topraklanmış şebekelerdeki toprak kısa devre akımına göre daha büyüktür.

**Ulusal ağ şebekemizde 25 MVA'nın üzerindeki 154 / 34,5 kV trafoların yıldız noktaları;**

**-Havai hat çıkışlı merkezlerde 60  $\Omega$ ,**

**-Kablo çıkışlı merkezlerde 20  $\Omega$  dirençle topraklanmıştır.**

**Bu durumda havai hatla beslenen 34,5 kV YG şebekelerde faz toprak kısa devre akımı**

$$I''_{k1} = \frac{34500 / \sqrt{3}}{60} \cong 300 \text{ A ile}$$

**Kablo çıkışlı 34,5 kV şebekelerdeki faz toprak kısa devre akımı ise**

$$I''_{k1} = \frac{34500 / \sqrt{3}}{20} \cong 1000 \text{ A ile sınırlıdır.}$$

**Örnek:** 20 kV bir YG şebekesinde toprak temas akımının hesaplanması istenmektedir. Bu amaçla bu şebekeyi besleyen 110 / 20 kV trafo merkezinde 25 MVA yıldız noktası izole bir trafo vardır. Bu merkezden 20 km bir kablo hattı ile uzunlukları 45 km, 55 km ve 60 km olan 3 adet havai hat çıkmaktadır. Bu şebekede bir fazlı toprak teması oluştuğunda toprak akımını hesaplayınız. 20 kV kablonun birim kapasitesi 0,3  $\mu\text{F}/\text{km}$  ve 20 kV havai hattın birim kapasitesi 5 nF/km'dir.



$$\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314$$

$$I_{CE} = 3\omega \sum (cl) \cdot (U_n / \sqrt{3})$$

$$I_{CE} = 3.314 \cdot \left[ (0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 20) + 5 \cdot 10^{-9} \cdot (44 + 55 + 60) \right] \cdot (20 \cdot 10^3 / \sqrt{3})$$

$$I_{CE} = 3.314 \cdot (6 \cdot 10^{-6} + 0,8 \cdot 10^{-6}) \cdot (20 \cdot 10^3 / \sqrt{3})$$

$$I_{CE} = 3.314 \cdot (6,8 \cdot 10^{-6}) \cdot (20 \cdot 10^3 / \sqrt{3})$$

$$I_{CE} = 74 \text{ A}$$

**Örnek:** Bir önceki şebekede, toprak teması kompanze edilmek isteniyor. Tam kompanzasyon durumunda yıldız noktası ile toprak arasına bağlanacak bobinin değerleri ne olur?

**Bobin reaktansı**  $X = \frac{U_n / \sqrt{3}}{I_{CE}} = \frac{20.103 / \sqrt{3}}{74} = 156 \Omega$

**Bobinin gücü**  $Q = \frac{U_n}{\sqrt{3}} I_{CE} = \frac{20.103}{\sqrt{3}} 74 = 0,855 \text{ MVAr}$

**Örnek:** Toprak teması artık akımı  $I_{res}$ 'in hesabı:

$U_{\lambda}$ : Faz toprak gerilimi

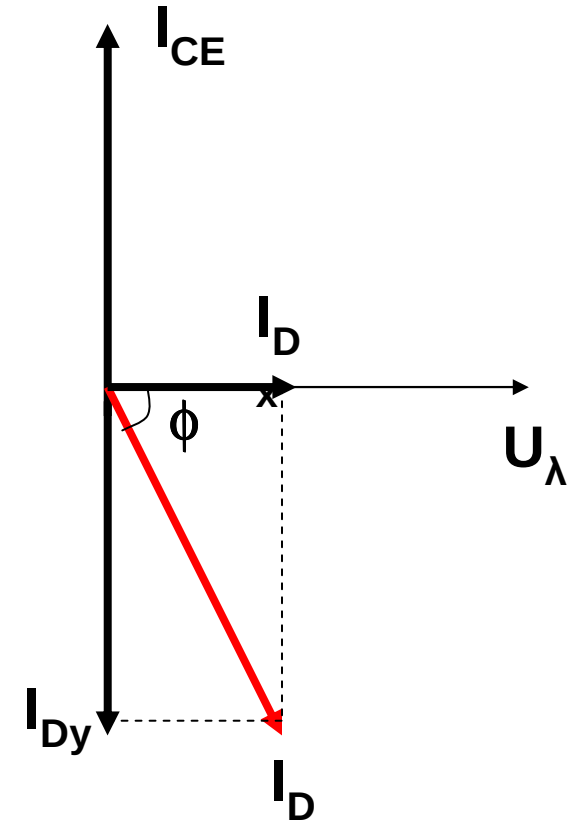
$I_{CE}$ : Kapasitif toprak akımı

$I_{Dx}$ : Bobin akımının aktif bileşeni

$I_{Dy}$ : Bobin akımının reaktif bileşeni

$R$ : Bobin direnci

$X$ : Bobin reaktansı



$$R \ll X$$

$$i_D = \frac{U_{\lambda}}{R + jX} = \frac{U_{\lambda}}{R + jX} \frac{R - jX}{R - jX} = \frac{R - jX}{R^2 + X^2} U_{\lambda}$$

$$i_D = \frac{R \cdot U_{\lambda}}{R^2 + X^2} - j \frac{X U_{\lambda}}{R^2 + X^2}$$

$$I_{Dx} = \frac{R \cdot U_{\lambda}}{R^2 + X^2}$$

$$I_{Dy} = \frac{X \cdot U_{\lambda}}{R^2 + X^2}$$

**Kompanzasyondan sonrası için**

$$i_{res} = \frac{RU_{\lambda}}{R^2 + X^2} + j \left( 3\omega C - \frac{X}{R^2 + X^2} \right) U_{\lambda}$$

**$i_{res}$ 'e toprak teması artık akımı denir.**

$$3\omega C > \frac{X}{R^2 + X^2} \quad \text{ise artık akım kapasitif,}$$

$$3\omega C < \frac{X}{R^2 + X^2} \quad \text{ise artık akım endüktiftir.}$$

**$R \ll X$  olduğundan**

$$\frac{X}{R^2 + X^2} = \frac{X}{X^2(1 + \frac{R^2}{X^2})} = \frac{1}{X(1 + \frac{R^2}{X^2})} \cong \frac{1}{X}$$

$$\frac{R}{R^2 + X^2} = \frac{R}{R^2(1 + \frac{X^2}{R^2})} = \frac{1}{R(1 + \frac{X^2}{R^2})} \cong \frac{1}{R(\frac{X^2}{R^2})} = \frac{R}{X^2}$$

**yaklaşıklıkları kabul edilebilir.**

**Bu durumda  $I_{res}$  için yaklaşık olarak**

$$i_{res} = \frac{R}{X^2} U_{\lambda} + j(3\omega C - \frac{1}{X}) U_{\lambda}$$

**ifadesi bulunur.**

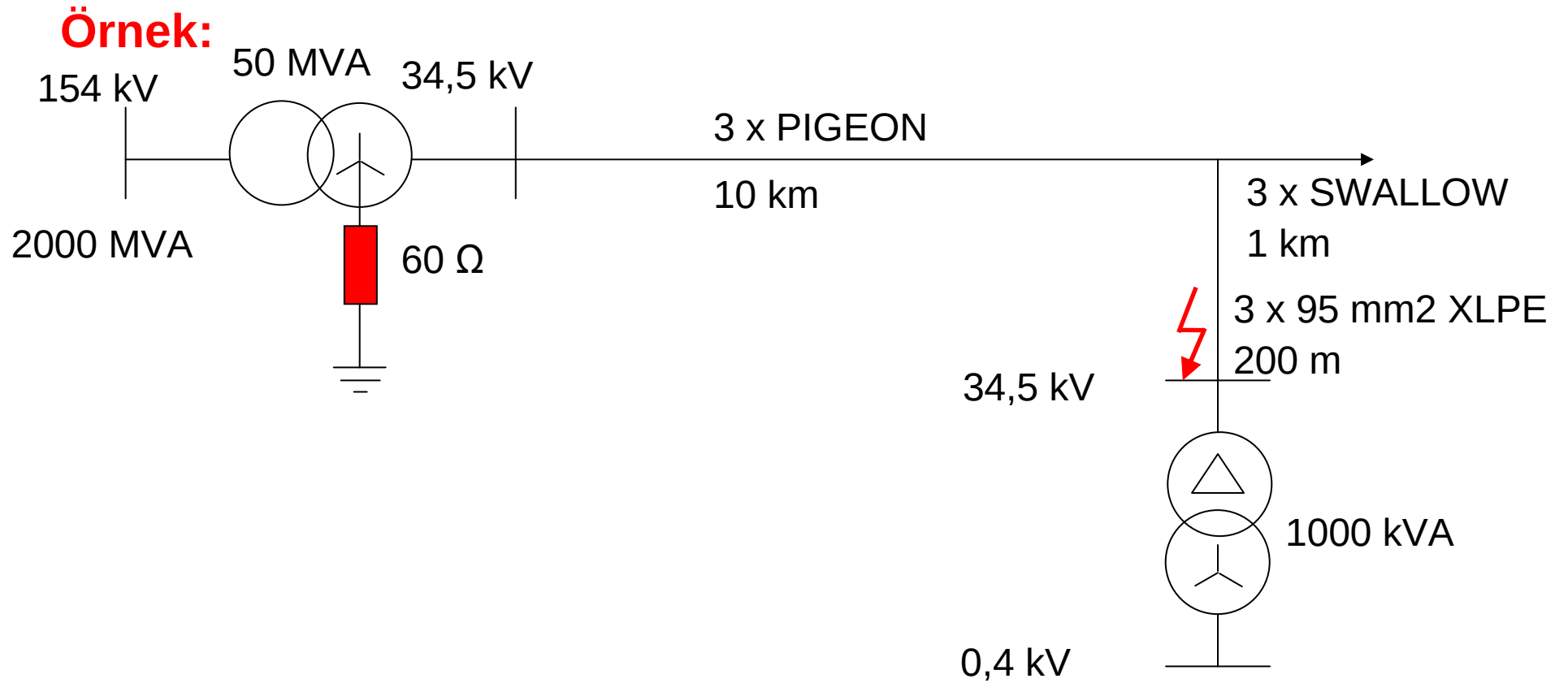
**Tam kompanzasyon durumunda  $3\omega C = \frac{1}{X}$  olur.**

**Böylece  $3\omega C - \frac{1}{X} = 0$  olacağından  $I_{res} \cong \frac{R}{X^2} U_{\lambda}$  yazılabilir.**

$$i_{res} \cong \frac{R}{X \cdot X} U_{\lambda} = \frac{R}{X} I_{CE}$$

**sonucuna ulaşılır.**

**Buradan görölüyor ki, tam kompanzasyon durumunda artık akım kapasitif toprak akımı ile  $R / X$  oranının çarpımına eşittir. Bobin direnci küçüldükçe şebekedeki artık akım da azalır. Artık akım için tam değer belli değilse kapasitif akımın %8-%10'u alınabilir.**



**154 / 34,5 kV merkezde sekonder tarafta yıldız noktası 60  $\Omega$  dirençle topraklanmış olduğundan  $I''_{k1}=300$  A ile sınırlanmıştır.**



**Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebekelerde toprak kısa devre akımı diğer YG şebekelerine göre çok daha büyüktür. Bu akım IEC 60909'a göre hesaplanır.**

**Simetrik bileşenler yöntemi anımsanacak olursa,  $Z_1$  doğru empedans,  $Z_2$  ters empedans ve  $Z_0$  sıfır empedans olmak üzere,**

**1 faz-toprak arızasında, arızalı fazdan geçecek akım,**

$$I''_{k1} = \frac{3cU_{\lambda}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

**2 faz-toprak arızasında topraktan geçen akım**

$$I''_{kEE} = \frac{3cU_{\lambda}}{Z_1 Z_2 + Z_0(Z_1 + Z_2)} Z_2$$

**2 faz arızasında**

$$I''_{k2} = \frac{\sqrt{3}.cU_{\lambda}}{Z_1 + Z_2}$$

**3 faz simetrik akım ise**

$$I''_{k3} = \frac{cU_{\lambda}}{Z_1}$$

**bağıntıları ile hesaplanır.**

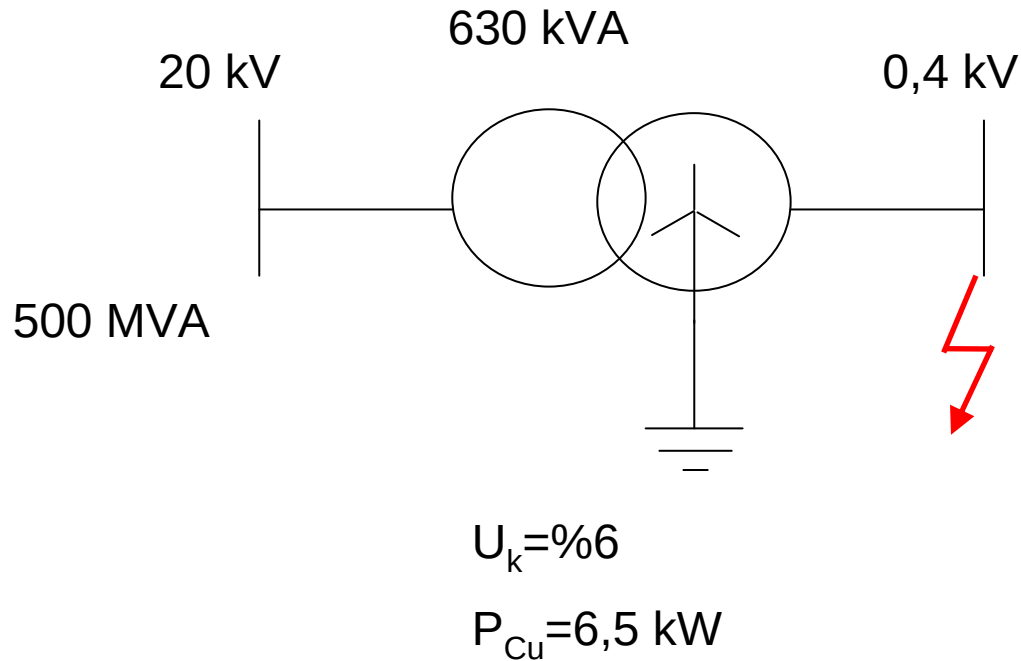
$Z_1 \cong Z_2$  alınırsa verilen bağıntılar daha pratik hale gelir ve tüm akımlar simetrik 3 fazlı akımlar cinsinden yazılabilir.

$$I''_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3}$$

$$I''_{kEE} = \frac{3}{1 + 2 \frac{Z_0}{Z_1}} I''_{k3}$$

$$I''_{k1} = \frac{3}{2 + \frac{Z_0}{Z_1}} I''_{k3}$$

## Örnek:



**0,4 kV baradaki 3 faz ve faz-toprak kısa devresini hesaplayınız. Transformatörün sıfır empedansı yaklaşık olarak doğru empedansa eşit alınacaktır.**

### 1) Ön şebeke empedansı:

$$Z_Q = \frac{cU_n^2}{S_{k''Q}} = \frac{11(400)^2}{500 \cdot 10^6} = 0,352 \text{ m}\Omega$$

$$R_Q = 0,1 \cdot Z_Q \quad \text{alınırsa}$$

$$X_Q = \sqrt{Z_Q^2 - R_Q^2} = \sqrt{Z_Q^2 - 0,01Z_Q^2} = 0,995Z_Q$$

$$R_Q = 0,1 \cdot 0,352 \text{ m}\Omega = 0,0352 \text{ m}\Omega$$

$$X_Q = 0,995 \cdot 0,352 \text{ m}\Omega = 0,35 \text{ m}\Omega$$

## 2) Trafonun empedansı

**Plaka değerleri**      $U_k = \%6 = 0,06$       $P_{Cu} = 6500 \text{ W}$

$$\%U_r = \frac{P_{Cu} \cdot 100}{S_{Tr}} = \frac{6500 \cdot 100}{630 \cdot 10^3} = \%1,03 \quad \%U_k = \%6$$

$$U_x = \sqrt{U_k^2 - U_r^2} = \sqrt{6^2 - 1,03^2} = \%5,91$$

$$X_{Tr} = \%U_x \frac{U_n^2}{S_{Tr}} = 0,0591 \frac{400^2}{630 \cdot 10^3} = 15 \text{ m}\Omega$$

$$R_{Tr} = \%U_r \frac{U_n^2}{S_{Tr}} = 0,0103 \frac{400^2}{630 \cdot 10^3} = 2,6 \text{ m}\Omega$$

### 3) Empedans toplamları

$$\Sigma R = R_Q + R_{tr} = 0,0352 + 2,6 = 2,63 \text{ m}\Omega$$

$$\Sigma X = X_Q + X_{tr} = 0,35 + 2,6 = 2,63 \text{ m}\Omega$$

### 4) Kısa devre yerindeki empedans

$$Z_k = \sqrt{2,63^2 + 15,35^2} = 15,657 \text{ m}\Omega$$

### 5) Kısa devre akımları $Z_0 / Z_1 = 1$ ise $I''_{k1} = I''_{k3}$ olacaktır.

$$I''_{k1} = \frac{c.U_n}{\sqrt{3}Z_k} = \frac{400}{\sqrt{3}.15,57} = 14,8 \text{ kA}$$

# **YÜKSEK GERİLİM ŞEBEKELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**



### **1) Yıldız noktası izole şebeke:**

İzole yıldız noktası kullanmak en kolay ve en ekonomik yoldur. Hata akım kompanzasyonu ve topraklama gibi yatırım gerektirmez. Toprak temas akımı 1-100 A arasındadır.  $I_{CE} < 35 \text{ A}$  ise toprak arkları bastırılabilir.  $35 \text{ A} < I_{CE} < 100 \text{ A}$  iken arkların bastırılması çok zordur. Kablolu sistemlerde iki ya da üç faz kısa devre olasılığı artar.  $I_{CE} \leq 20 \text{ A}$  ile sınırlı kalmıyorsa çok hızlı çalışan toprak arıza röleleri kullanılmak zorundadır.

**2) Toprak teması kompanze edilmiş şebeke:** Bu sistemde yıldız noktasına konan bobin ile  $I_{CE}$  kompanze edilir. Geriye çok küçük artık akım kalır.  $(\%8-\%10)I_{CE}$ . Bu sistemde ark tehlikesi yoktur. Hata sırasında beslemeyi kesmeden devrenin çalışmaya devam etmesi söz konusu yöntemin en büyük avantajıdır

**3) ve 4) Yıldız noktası direkt ya da direnç üzerinden topraklanmış şebekeler:** Toprak kısa devre akımı büyüktür. Topraklama diğerlerine göre daha fazla önem kazanır. Trafo ve tesislerdeki dokunma gerilimleri değerlendirilmelidir. Paralel giden kontrol ve iletişim hatları ile etkileşim olasılığı belirir. YG motor sargılarının yanma tehlikesi söz konusudur. Röle koordinasyonu önem kazanır.

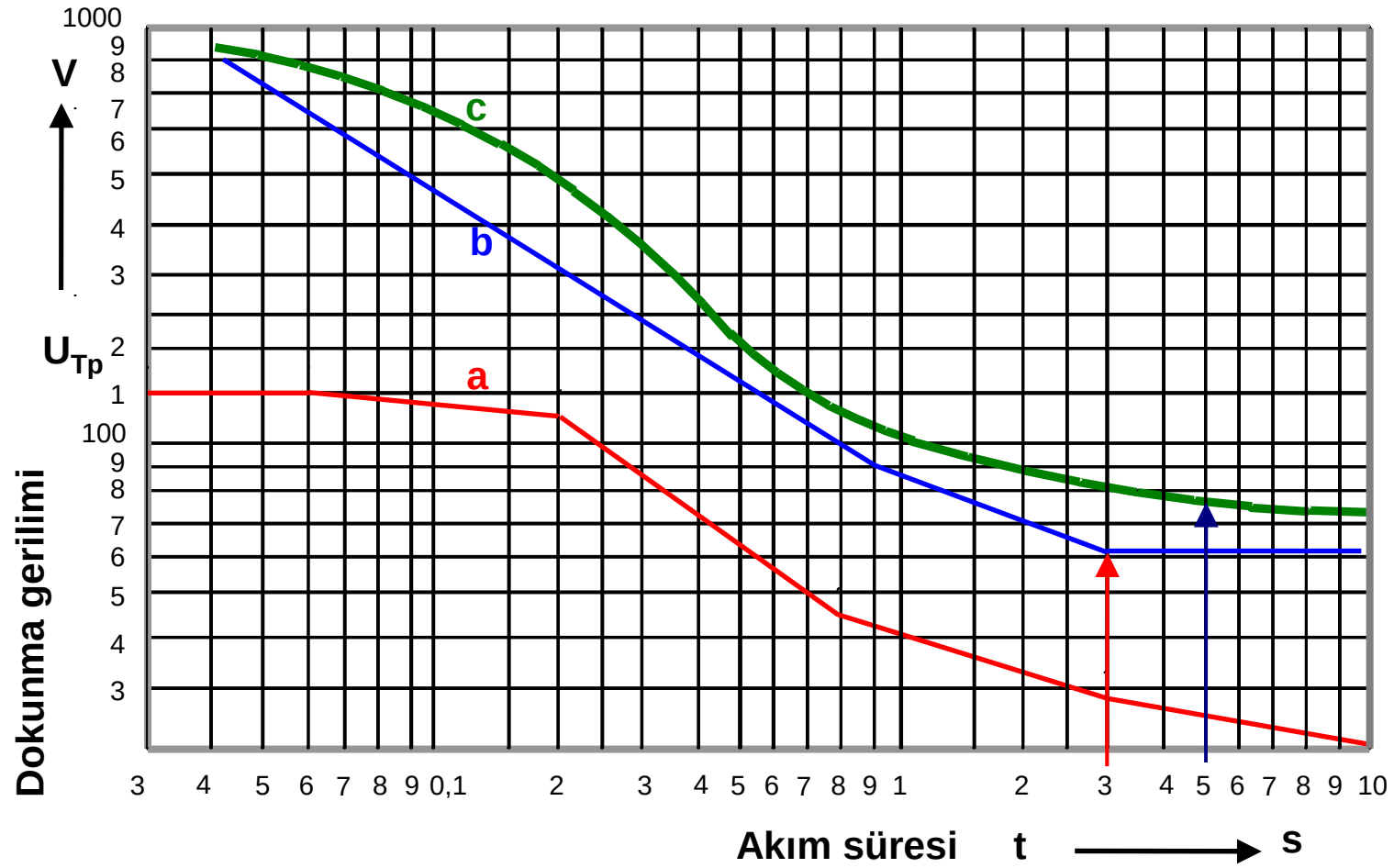
**5) Toprak teması kompanze edilmiş ve geçici olarak yıldız noktası direnç üzerinden topraklanmış şebeke: 2 ve 4 nolu şebeke yöntemlerinin karmasıdır. Bir fazlı toprak hatası oluştuğunda önce rezonans devresi söz konusu olur. Toprak hata akımları kendi kendini bastıramayan arklar oluşturursa, şalterin kapatılmasıyla direnç üzerinden topraklanmış yıldız modeline geçilir.**

## IEC 909'a göre c gerilim katsayısı

| Anma Gerilimi, $U_n$                   |              | En büyük kısa devre akımının hesaplanması için $c_{max}$ | En küçük kısa devre akımının hesaplanması için $c_{min}$ |
|----------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| AG                                     | 230/400 V    | 1                                                        | 0,95                                                     |
|                                        | Diğer AG'ler | 1,05                                                     | 1                                                        |
| $1 \text{ kV} < U_n < 35 \text{ kV}$   |              | 1,1                                                      | 1                                                        |
| $35 \text{ kV} < U_n < 230 \text{ kV}$ |              | 1,1                                                      | 1                                                        |

# Yüksek gerilim sistemlerinin karşılaştırılması

|                                                                    | Direkt topraklanmış                                     | Direnç üzerinden topraklanmış            | Bobin ile topraklanmış                             |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Toprak arıza akımı                                                 | Yüksek (Bazen üç fazlı kısa devre akımından bile fazla) | Azaltılmış                               | Yok edilir (Artık akım söz konusu)                 |
| Aşırı gerilimler, faz toprak arızasında sağlam fazlarda (50 Hz'de) | Fazlar arası gerilimin 0,8 katı                         | Fazlar arası gerilim kadar               | Fazlar arası gerilim kadar                         |
| Geçici toprak arızaları                                            | Kısa devreye dönüşür                                    | Kontrol edilebilir arıza akımına dönüşür | Bastırılır                                         |
| Parafudr kullanımı                                                 | %80 gerilimli parafudrların kullanımına olanak verir.   | Normal                                   | Normal                                             |
| İşletmesi                                                          | Basit                                                   | Basit                                    | Şebeke genişledikçe bobin reaktansı ayarlanmalıdır |
| Telefon enterferansı                                               | Ciddi                                                   | Azaltılmış                               | İhmal edilebilir                                   |
| Sistem işletme sürekliliği için ek şebeke                          | %100 rezerv kapasite gerektirebilir                     | %100 rezerv kapasite gerektirebilir      | İlave şebekeye gereksinim yoktur                   |
| Toprak arızası olan yer civarında yaşam tehlikesi                  | Çok ciddi                                               | Azaltılmış                               | En aza indirilmiş                                  |



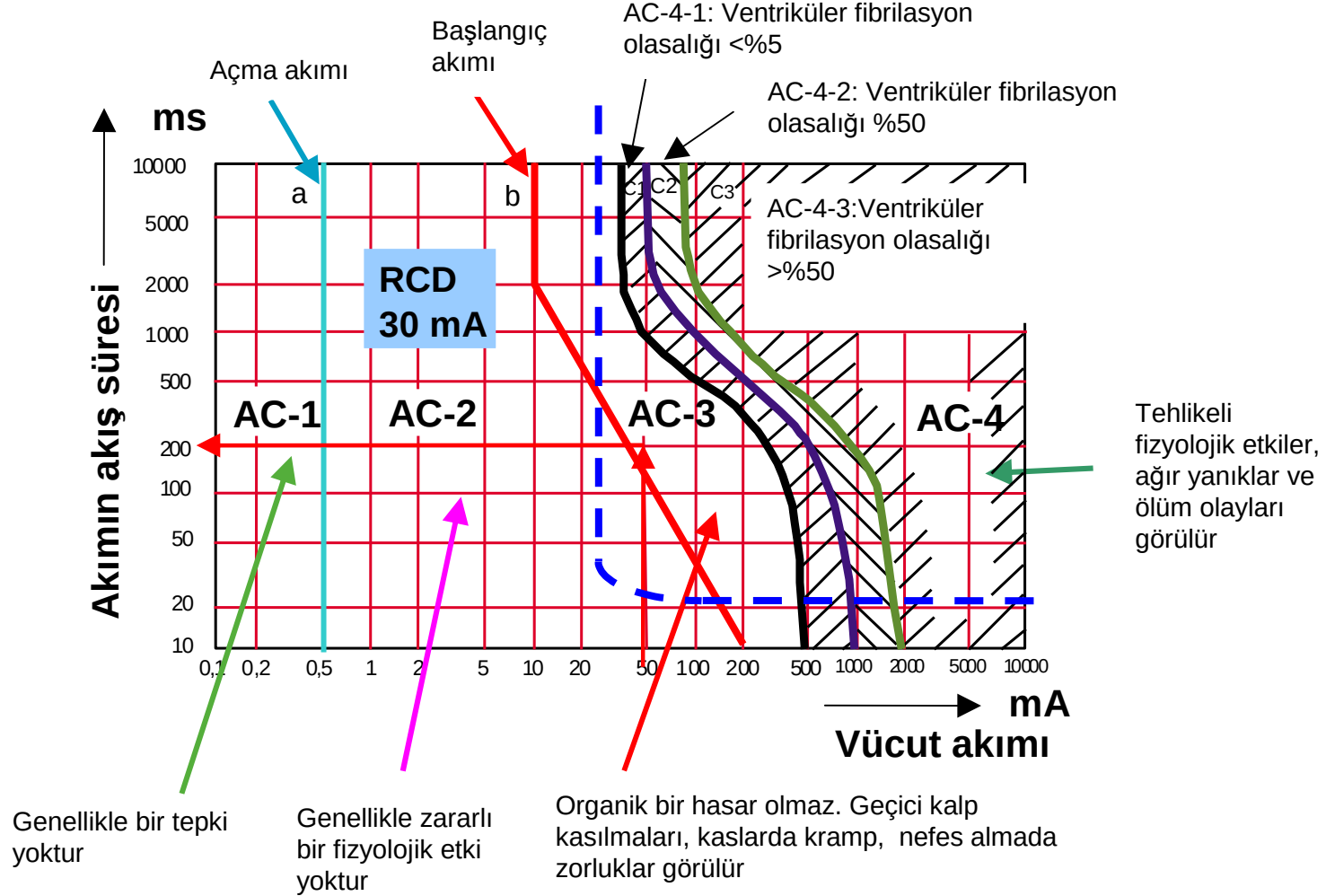
YG` de sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri

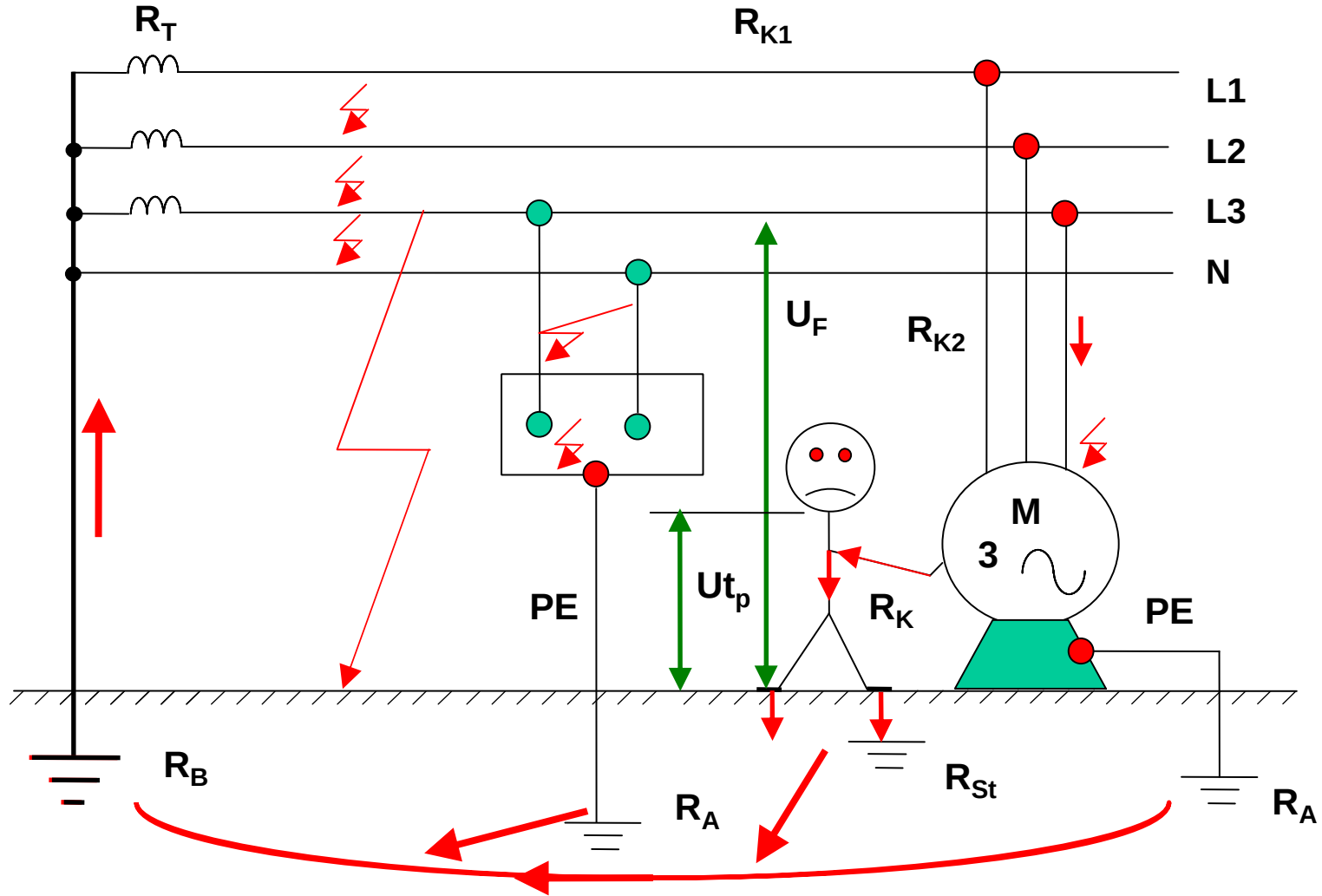
- a) Hayvanlardaki zamana bağımlı dokunma gerilimi
- b) Eski VDE 0141'deki dokunma gerilimi
- c) Yeni kabul edilen eğri

# **ALÇAK GERİLİMDE DAĞITIM ŞEBEKELERİ**



## 15 Hz'den 100 Hz'e kadar a.a etkilerinin akım-zaman bölgeleri





**Hata ve arızalar ile ilgili tanımlar (TT Sistem)**

## Tehlikeli vücut akımları

Ölüm olayları görülür.



1 A

Ventriküler fibrilasyon  
olasılığı artar.



80 mA

Tehlikeli fizyolojik ağır  
etkiler, yanıklar ve nefes  
almada zorluklar görülür.



30 mA

Genellikle zararlı bir fizyolojik etki  
yoktur. Kaslarda kramp görülür.



10 mA

Genellikle bir tepki yoktur



0,5 mA

RCD 300 mA



260 mA'de yangın  
tehlikesi oluşur

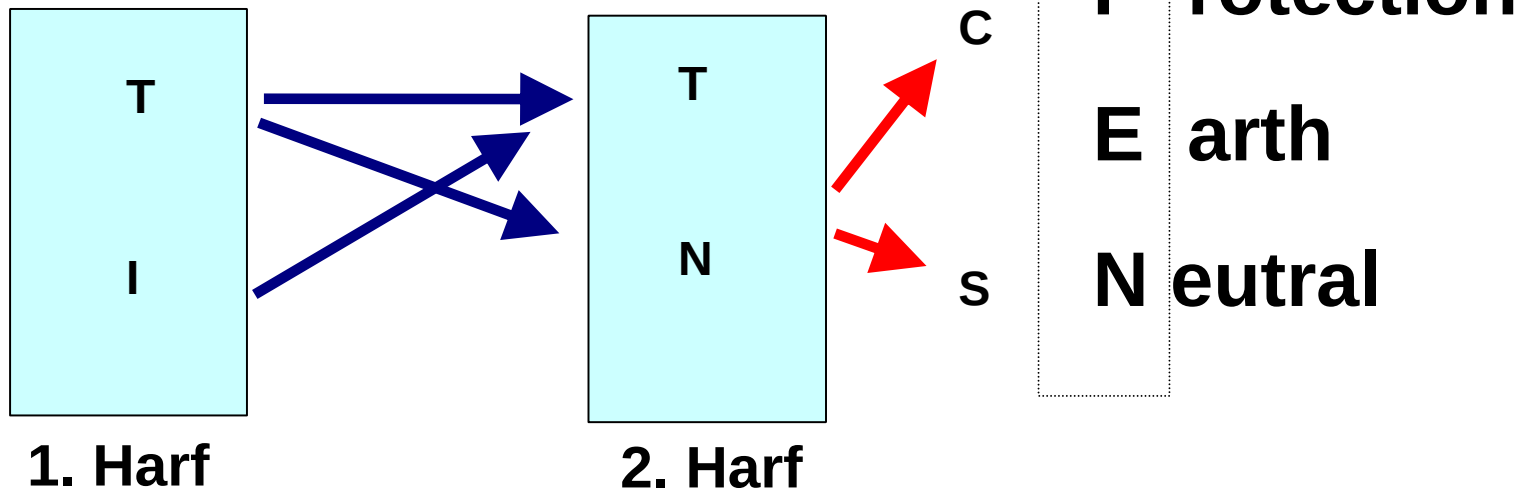
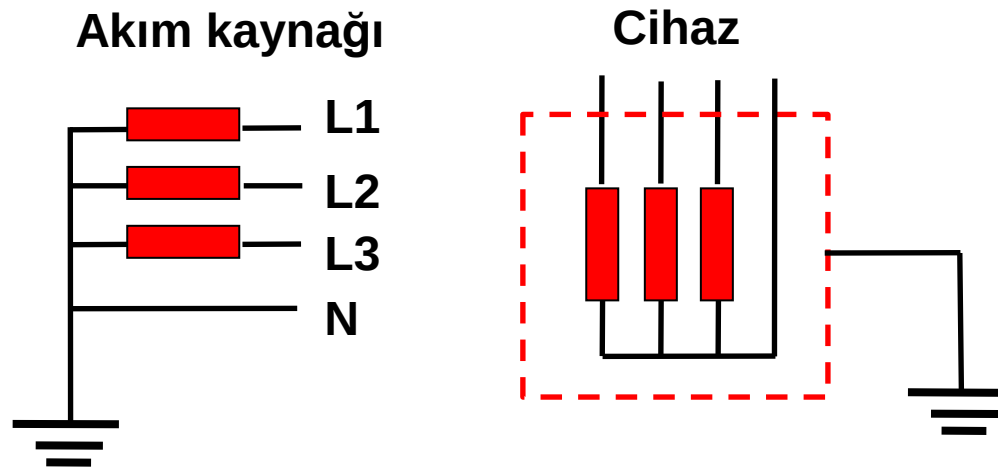


RCD 30 mA



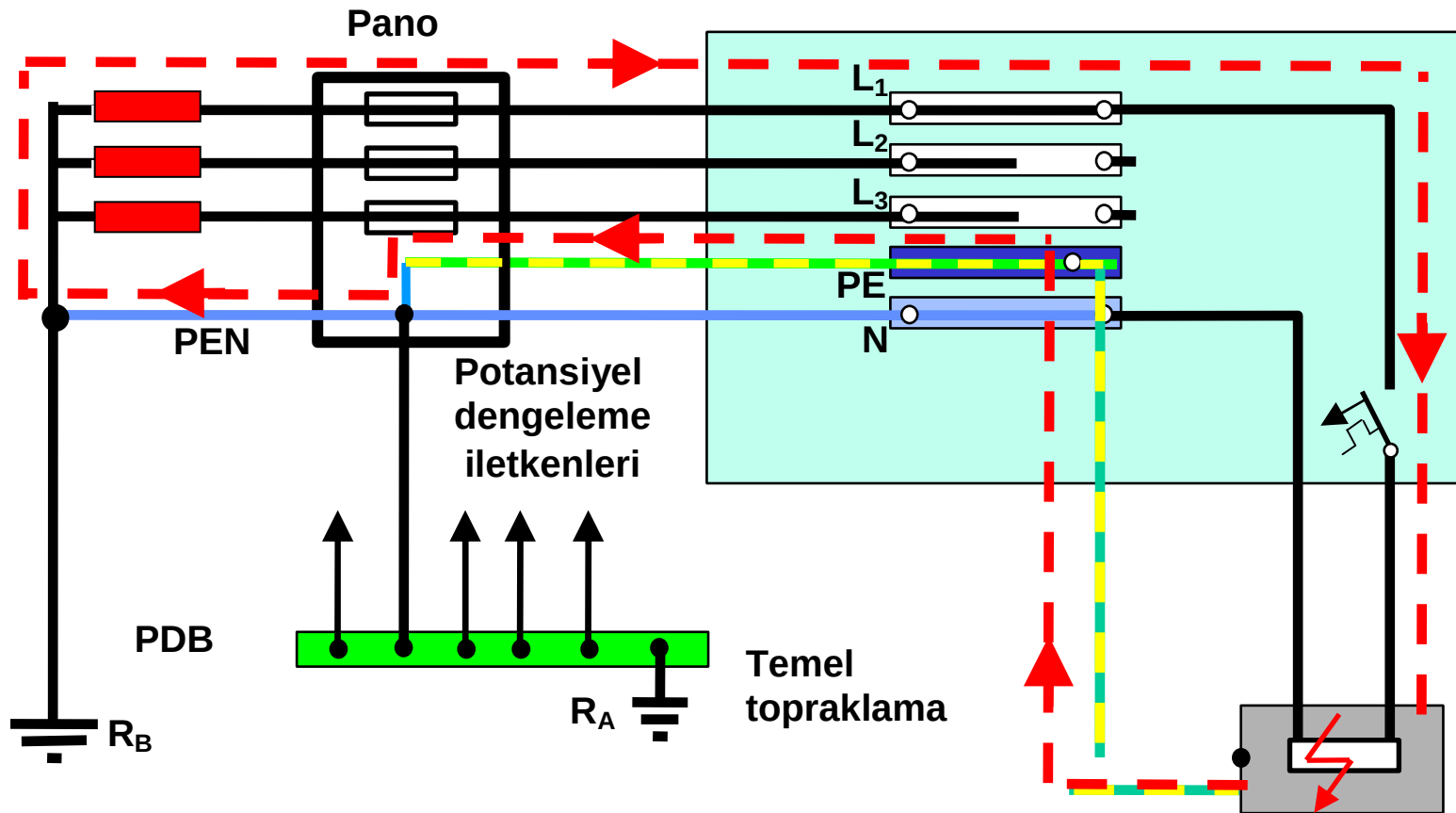
RCD 10 mA





**AG dağıtım şebekelerinde kodlama**

# TN-System



**TN sistemde topraklama tesisatın ana ögesi değildir !!!!!**

## TN-Sistemde devrenin ayrılması şartı:

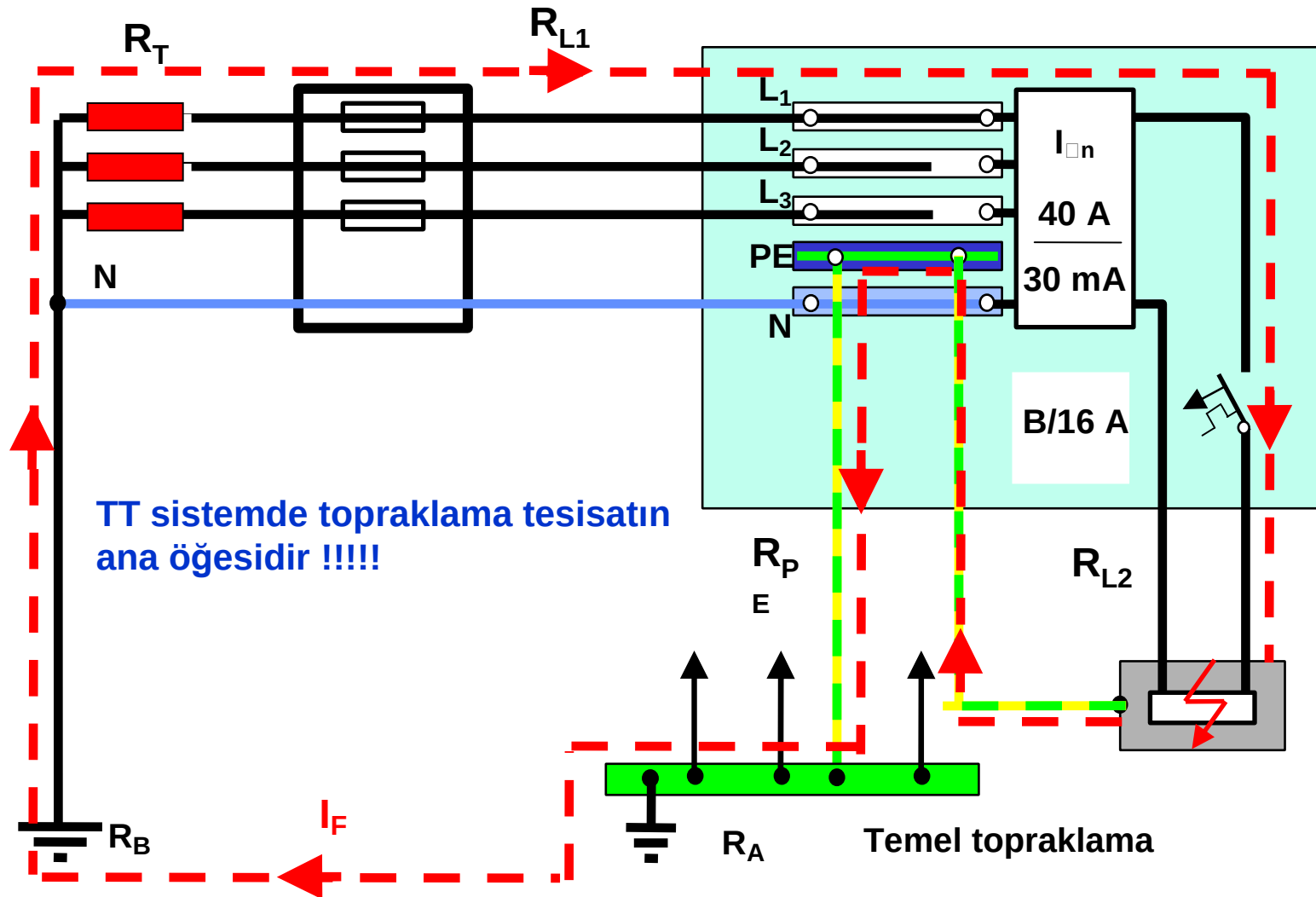
$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_a}$$

$Z_S$  : Arıza çevrim empedansı

$U_0$  : Faz nötr arası gerilim

$I_a$  : Kesicinin açma akımı

# TT-System



## TT- Sistemde topraklama direnci

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_a}$$

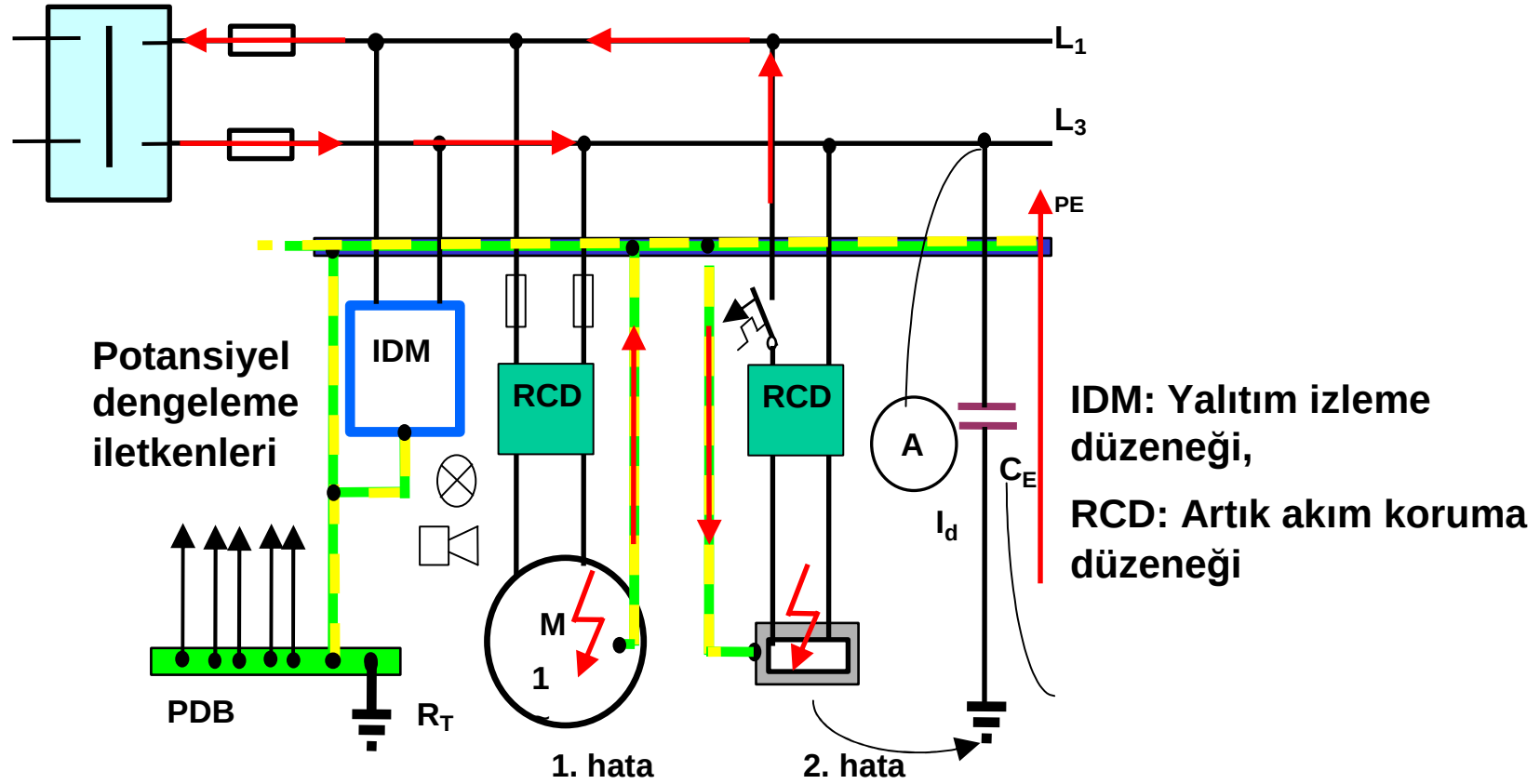
$R_A$  : Topraklama direnci

$U_L$  : Dokunma gerilimi

$I_a$  : Koruyucu düzenin  
otomatik çalışmasına  
sebebi olan akım



## IT-Sistem



**IT sistemde iki hata söz konusudur.**

**1. hatada devre kapanmaz, yalıtım izleme cihazı tarafından haber verilir ve bu hata kısa zamanda elektrik ustası veya teknisyen tarafından berteraf edilmelidir.**

**2. hata sigorta veya kesiciler tarafından TN veya TT sistemi oluşmasıyla derhal kesilir. Genellikle 1. hata 2. hatayı doğurur.**

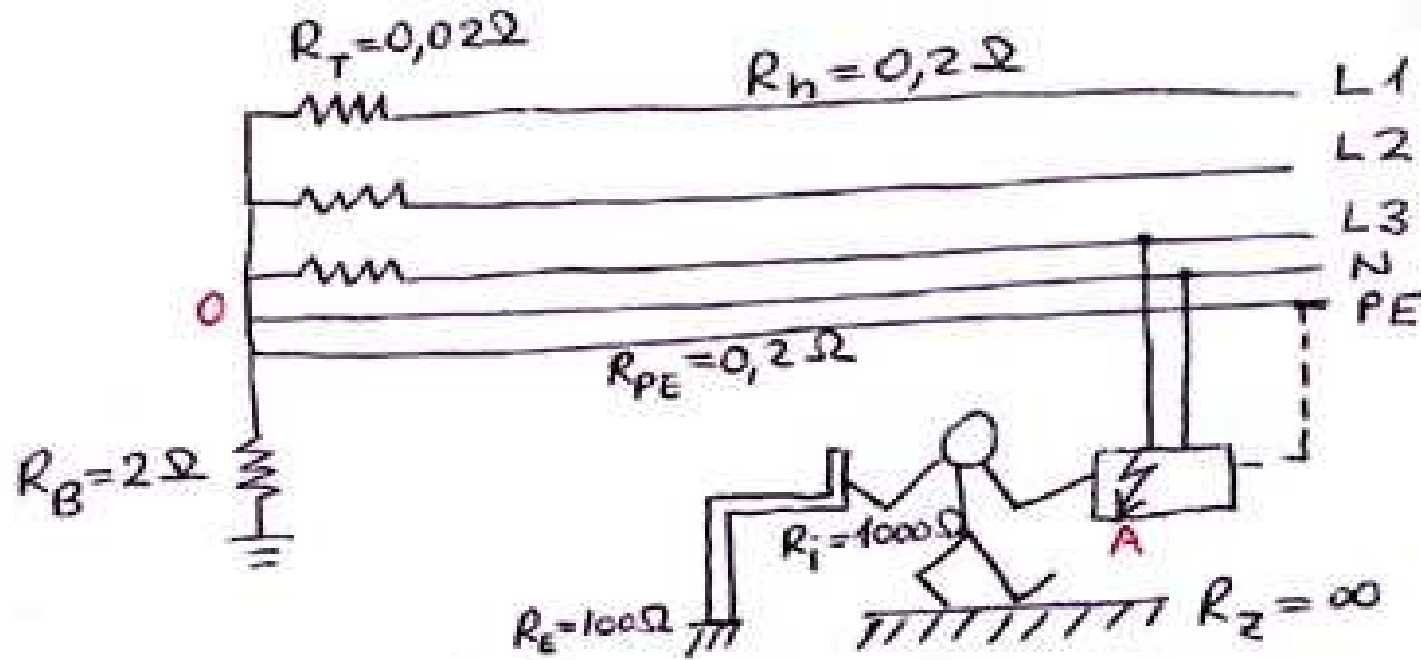
$$\text{1. Hata} \quad R_A \leq \frac{U_T}{I_d} \quad \text{2. Hata} \quad R_A \leq \frac{U_T}{I_a}$$

**$R_T$  : Topraklama direnci,  $U_L$  : Dokunma gerilimi**

**$I_d$  : Artık akım**

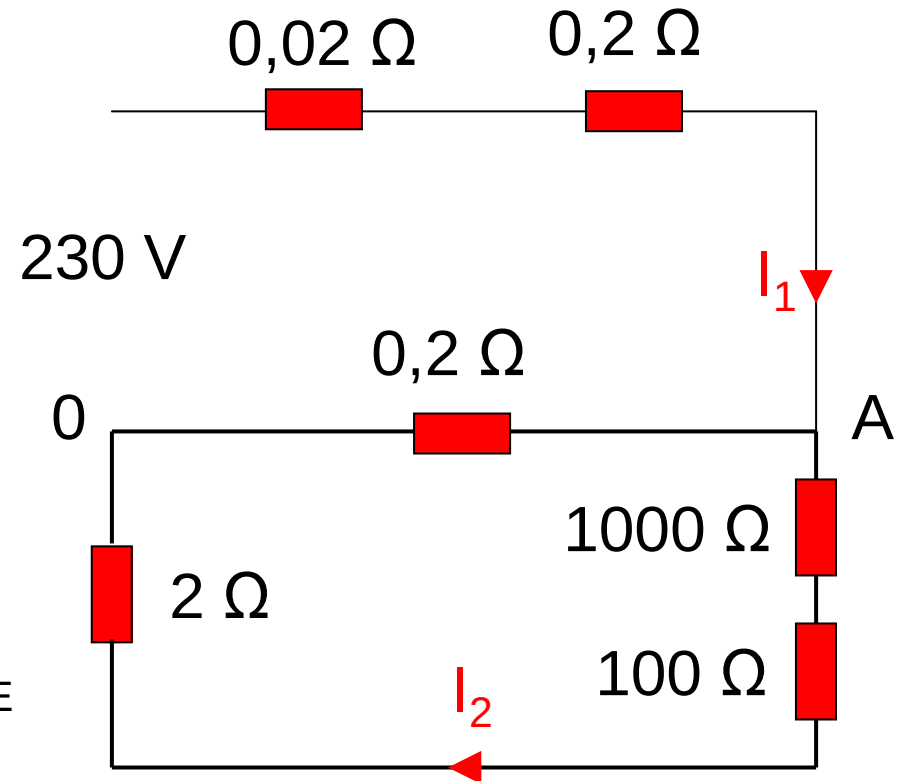
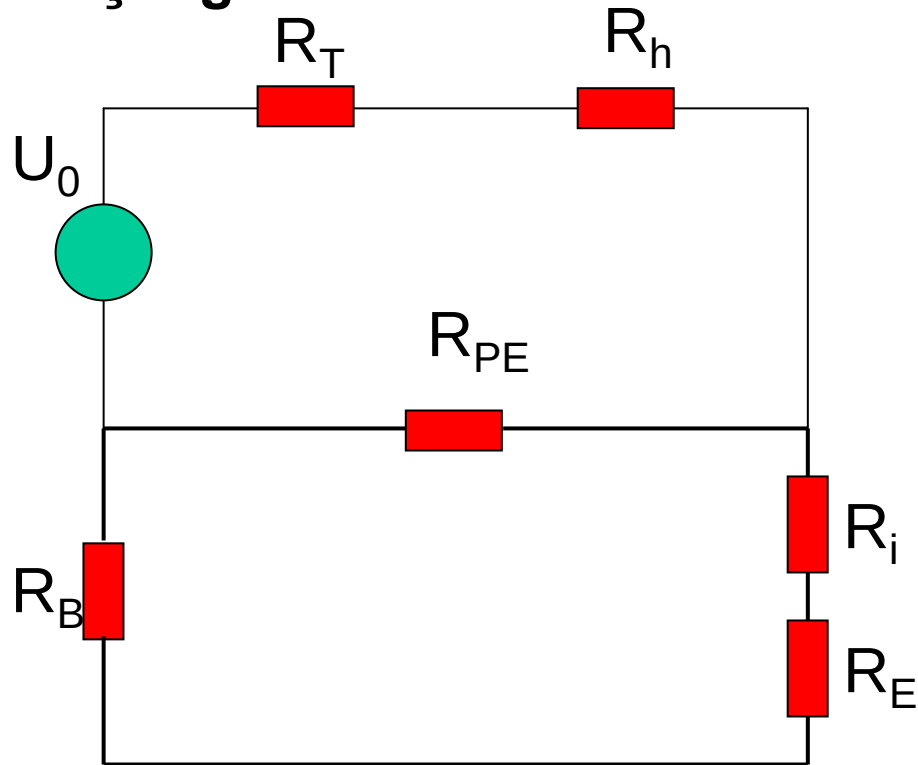
**$I_a$  : Koruyucu düzenin otomatik açma akımı**

## Örnek:



Şekildeki TN-S sisteminde dokunma gerilimini ve insan vücudundan geçen akımı bulunuz.

**Eşdeğer devre:**



$$I_1 = \frac{U_0}{R_T + R_h + R'_{PE}} = \frac{230}{0,02 + 0,2 + 0,2} = \frac{230}{0,42} = 547,6 \text{ A}$$

**OA arası Thevenin eşdeğeri:**

$$I_1 \cdot R'_{PE} = 547,6 \cdot 0,2 = 109,5 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot R'_{PE}}{R_i + R_E + R_B} = \frac{109,5}{1000 + 100 + 2} = \frac{109,5}{1102} = 99 \text{ mA}$$

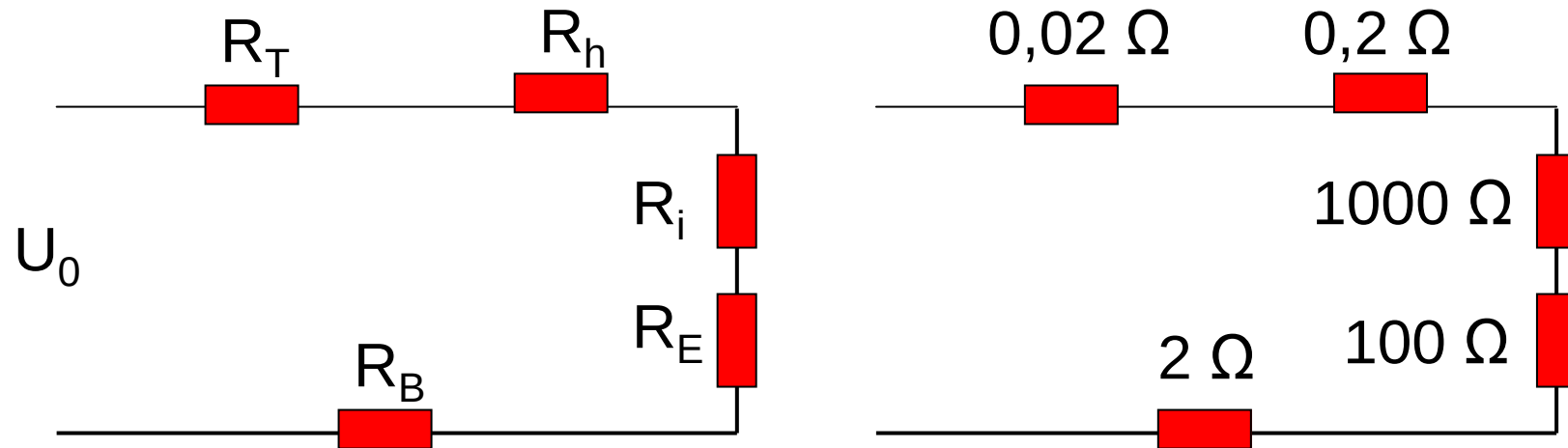
$$U_i = I_2 \cdot R_i = 99 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 99 \text{ V}$$

**Yukarıdaki örnekte insan vücudundan geçen akım 99 mA ve dokunma gerilimi 99 V'tur (Koruma iletkeni tesis edilmiş).**

## Örnek:

Bir önceki örnekte cihaz ile PE arasındaki bağlantının olmadığı durum incelenecektir (Koruma iletkeni tesis edilmemiş).

Eşdeğer şema:



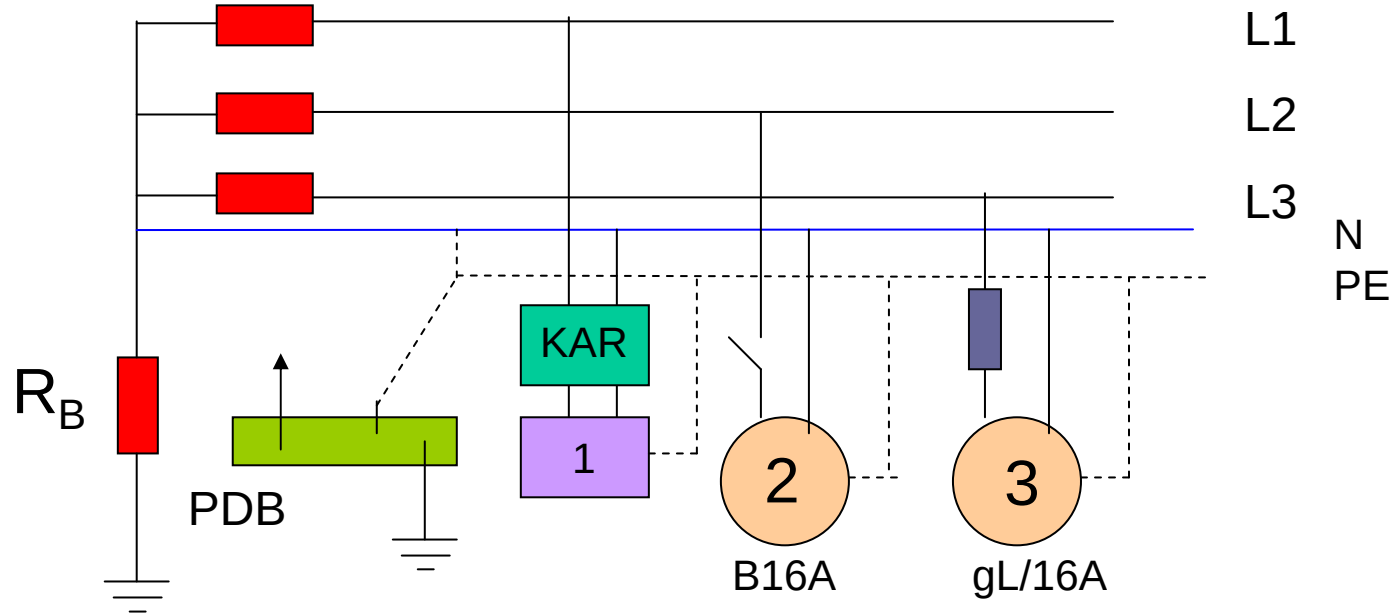
$$\sum R = R_T + R_h + R_i + R_E + R_B$$

$$\sum R = 0,02 + 0,2 + 1000 + 100 + 2 = 1102,22$$

$$I = \frac{U_0}{\sum R} = \frac{230}{1102,22} \cong 210 \text{ mA}$$

$$U_i = 210 \cdot 1000 = 210 \quad \text{V}$$

## Örnek:



**TN sisteminde yukarıda belirtilen 3 ayrı koruma düzeni için çevrim empedanslarını hesaplayınız.**



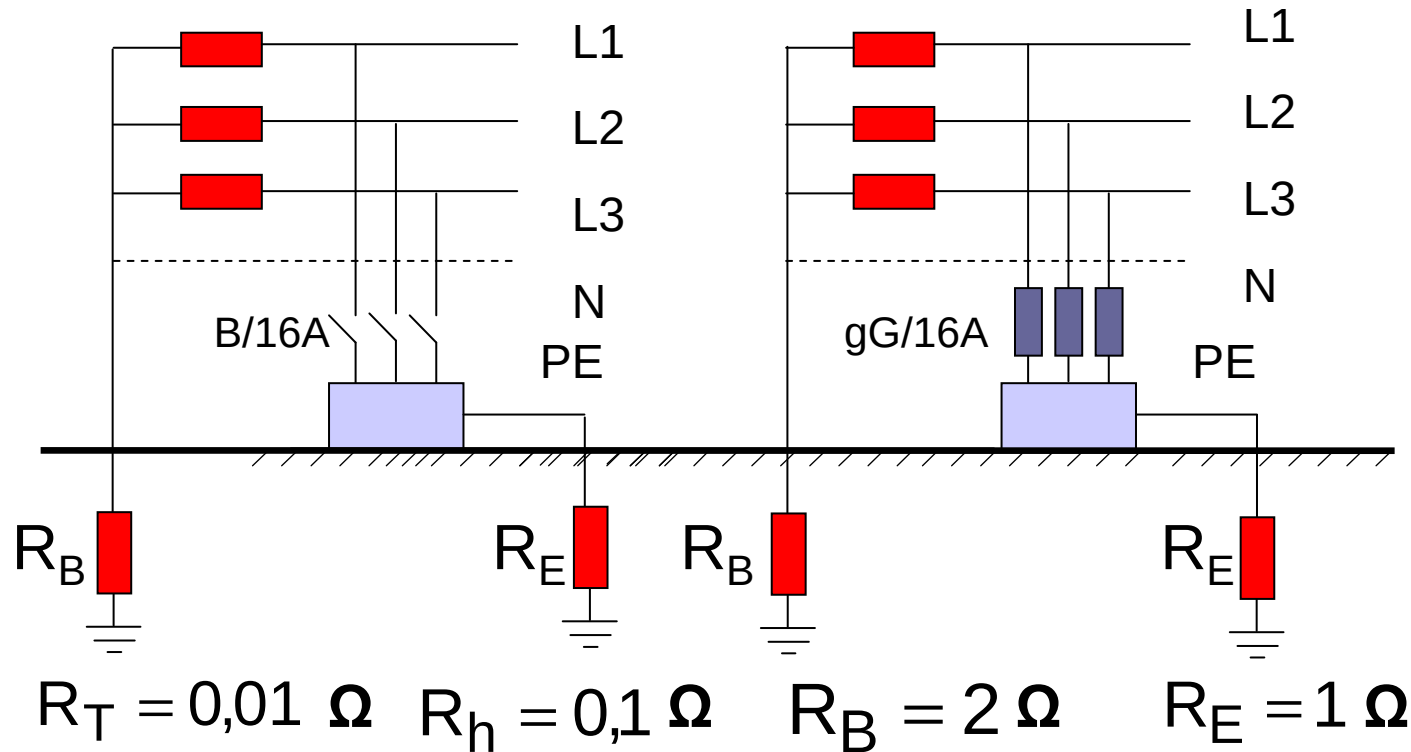
$$\mathbf{1) Z_s \leq \frac{U_0}{I_a} \leq \frac{230}{30 \cdot 10^{-3}} \leq 7666 \, \Omega}$$

$$\mathbf{2) Z_s \leq \frac{U_0}{I_a} \leq \frac{230}{80} \leq 2,88 \, \Omega \text{ (Çizelge 10 s.25)}}$$

$$\mathbf{3) Z_s \leq \frac{U_0}{I_a} \leq \frac{230}{160} \leq 1,43 \, \Omega \text{ (Çizelge 10 s.25)}}$$

Örnek:

## TT sisteminde otomatik açma ile korunma



$$\sum R = 0,01 + 0,1 + 2 + 1 = 3,11 \Omega$$

$$I = \frac{230}{3,11} = 74 \quad \text{A} \quad U_E = I \cdot R_E = 74 \cdot 1 = 74 \text{V}$$

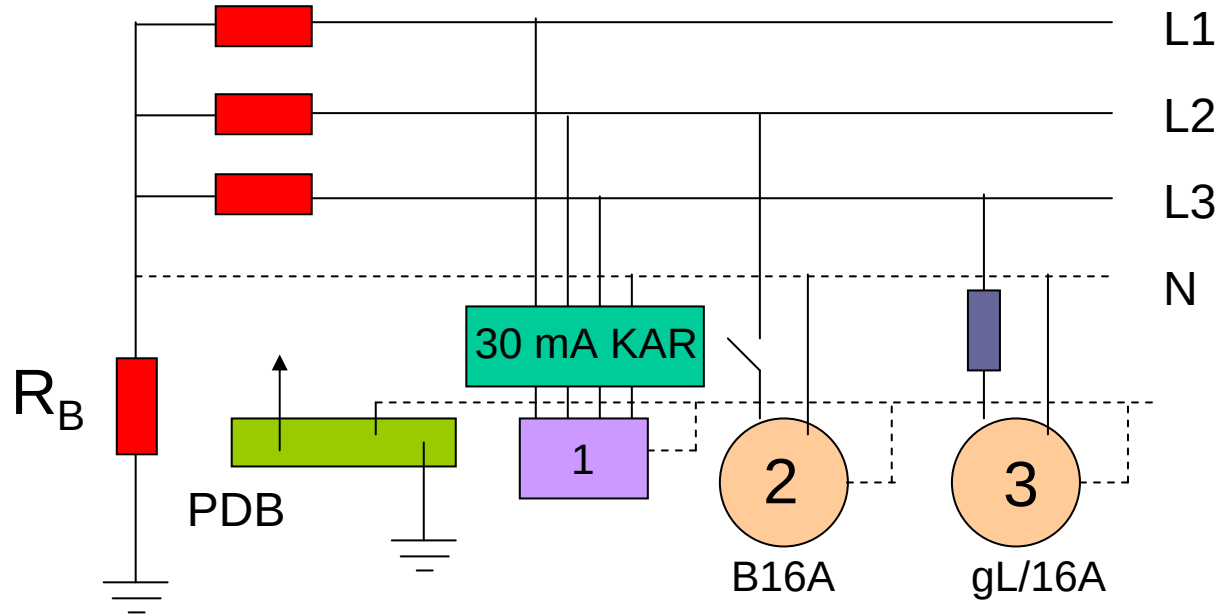
**gG/16A sigorta ile korunmuş**  $R_E \leq \frac{50}{I_A} \leq \frac{50}{72} \leq 0,7 \quad \Omega$

**B/16A kesici ile korunmuş**  $R_E \leq \frac{50}{I_A} \leq \frac{50}{80} \leq 0,625 \quad \Omega$

**Sonuç:** Her iki tesis de yönetmelikte istenen koşullara uymamaktadır. Mutlaka insan yaşamı eşikli kaçak akım rölesi kullanılmalıdır.

## Örnek:

TT sisteminde 3 ayrı koruma düzeni için toprak direncini hesaplayınız.

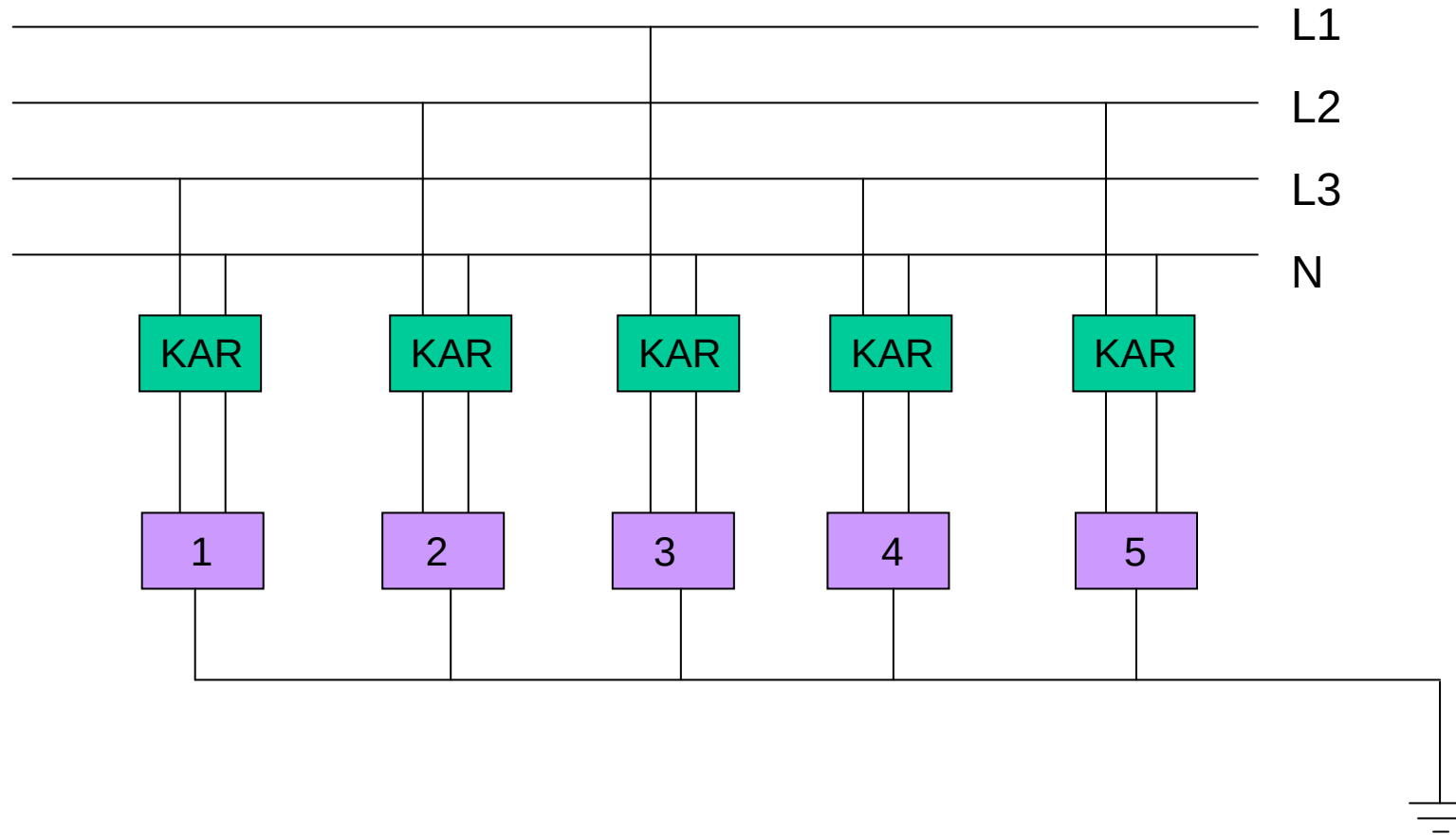


1) KAR için toprak direnci  $R_A \leq \frac{50}{30 \cdot 10^{-3}} \leq 1,67 \text{ k}\Omega$

2) B/16A için toprak direnci  $R_A \leq \frac{50}{80} \leq 0,625 \text{ }\Omega$

3) gL/16A için toprak direnci  $R_A \leq \frac{50}{70} \leq 0,714 \text{ }\Omega$

## TT SİSTEMİ:



**Tesiste bir RCD (KAR) var ise  $R_A \leq \frac{U_T}{I_{\Delta n}}$**

**Tesiste selektif RCD var ise  $R_A \leq \frac{U_T}{2 \cdot I_{\Delta n}}$**

**Tesiste ikiden fazla RCD var ise  $R_A \leq \frac{U_T}{n \cdot \sum I_{\Delta n}}$**

**n: RCD için eşzamanlama katsayısı**

**n = 0,5     RCD sayısı < 4**

**n = 0,35     RCD sayısı 4-10**

**n = 0,25     RCD sayısı > 10**

**Çok hassas RCD'ler dikkate alınmaz.**

**Soru:**

**1 nolu KAR      500 mA**

**2 nolu KAR      300 mA**

**3 nolu KAR      500 mA**

**4 nolu KAR      300 mA**

**5 nolu KAR      30 mA**

**Ortak topraklama direncini hesaplayınız.**

$$R_A \leq \frac{U_T}{n \cdot \sum I_{\Delta n}} \leq \frac{50}{0,35 \cdot (2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,3)} \leq 89,3 \, \Omega$$

**$R_{\text{ortak}} \cdot I_{\Delta \text{max}} \leq U_T$  tahkiki yapılması gerekir.**

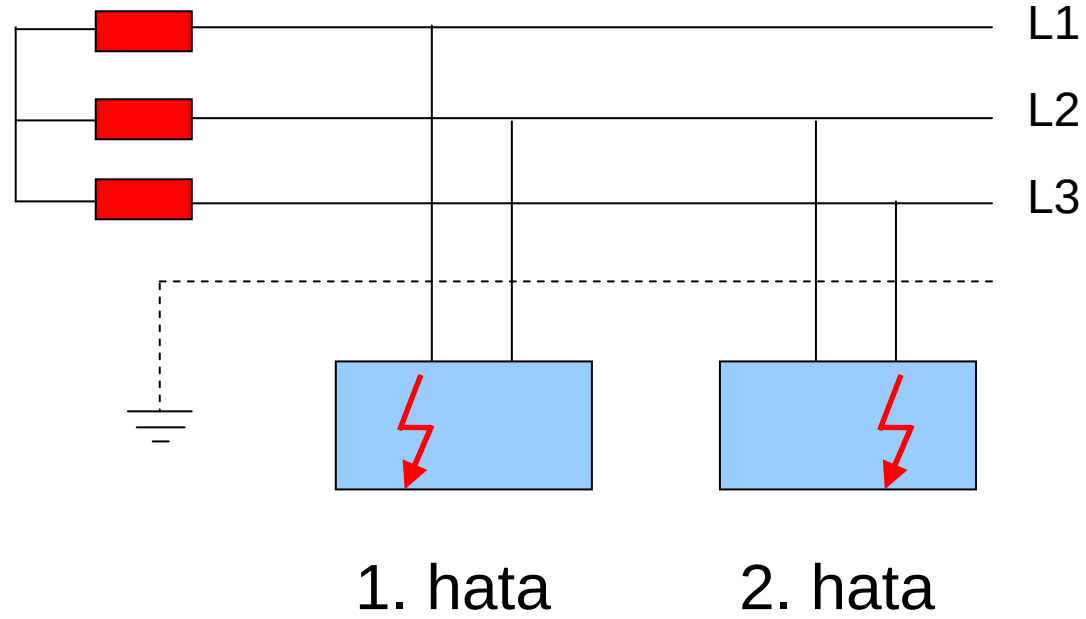
**$89,3 \cdot 0,5 = 44,6 < 50$  v olduğundan uygundur.**

**Soru:** Tek bağımsız bölümlü bir konutun ana panosunda 30 mA KAR kullanılmıştır. Topraklama direnci ne olmalıdır?

**Soru:** Bir apartmanda daire tablolarında 30 mA KAR ve ana girişte 300 mA KAR kullanılmıştır. Topraklama direnci ne olmalıdır?



## IT SİSTEMİ:

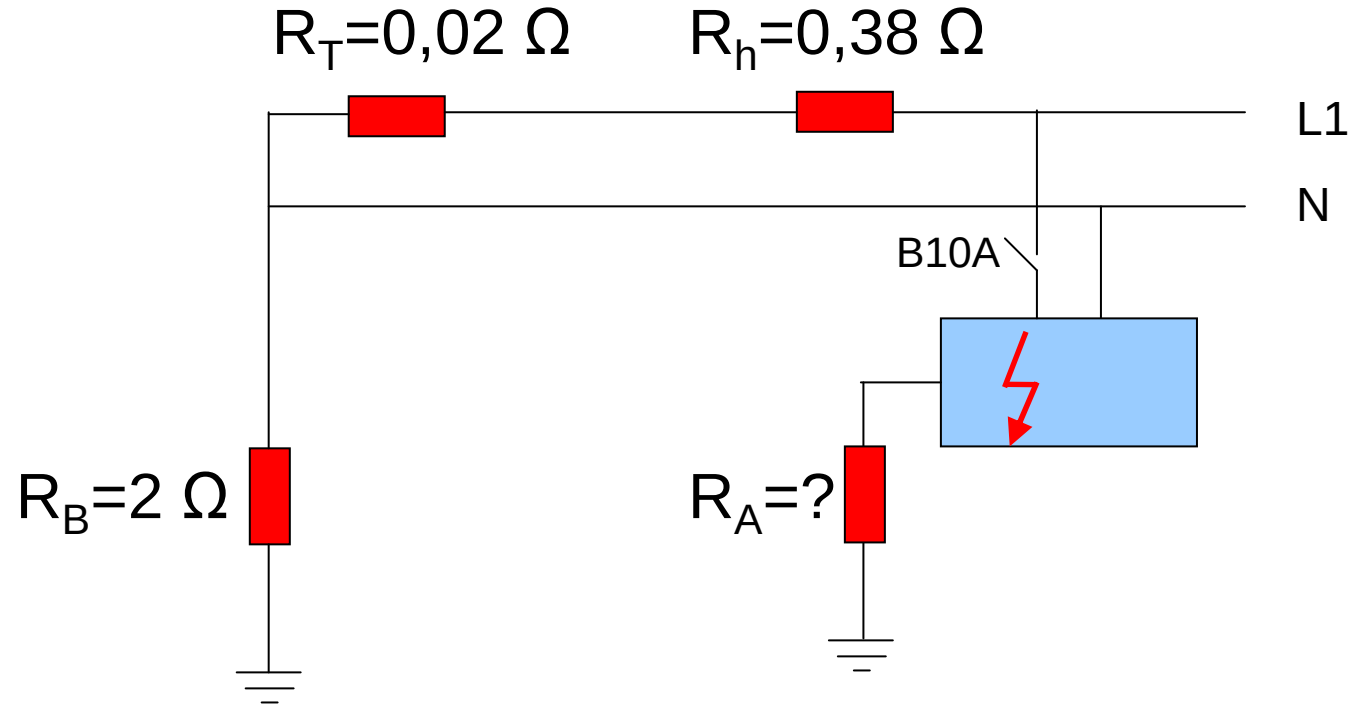


$U_T$ : dokunma gerilimi,  $I_d$ : artık akım

### **IT tesisat ilkeleri:**

- 1. Birinci hatada devre kesilmez.**
- 2. İkinci hatada normlarda belirtilen sürede devre kesilmelidir.**
- 3. Nötrü dağıtılmış sistemde  $U = U_0$ , nötrü dağıtılmamış sistemde  $U = \sqrt{3} \cdot U_0$  alınmalıdır.**

**Örnek:**



Şeması verilen tesiste, toprak özdirenci  $\rho = 200 \, \Omega\text{m}$  ve işletme topraklaması  $R_B = 2 \, \Omega$  ölçülmüştür. Koruma düzeni olarak B10A minyatür kesici kullanılmıştır.

- Topraklama direncini, hata akımını ve dokunma gerilimini bulunuz.
- Bu direnci elde etmek için ne kadar uzunlukta şerit kullanılacağını hesap ediniz (30x3,5 mm galvaniz şerit kullanılacaktır).

$$\text{a) } R_A \leq \frac{50}{I_a} \leq \frac{50}{50} \leq 1 \quad \Omega \text{ olmalıdır.}$$

$R_A = 1 \quad \Omega$  olması gerektiğini kabul ederek,

$$\sum R = R_T + R_h + R_A + R_B = 0,02 + 0,38 + 1 + 2 = 3,4 \quad \Omega$$

$$I_h = \frac{230}{3,4} = 67,6 \quad A$$

$$U_T = I_h \cdot R_A = 67,6 \cdot 1 = 67,6 \quad v$$

b) Bilindiği gibi D çaplı ve L uzunluğundaki silindirin,  $D \ll L$  ve yarısı havada, yarısı toprakta olması koşuluyla yayılma direnci

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{D}$$

bağıntısıyla verilir. Kesit dörtgen ise daireye irca edilmesi gerekir.

$$\zeta = 2(s + b) = \pi.D$$

Her iki çevreyi eşitlersek, eşdeğer çap

$$D = \frac{2(s + b)}{\pi} \quad \text{eşitliği ile bulunabilir. } 30 \times 3,5 \text{ mm kesitli}$$

galvaniz şeridin eşdeğer çapı

$$D = \frac{2(30 + 3,5)}{\pi} = 21 \text{ mm olur ( } D = 0,021 \text{ m).}$$

$$\frac{200}{3,14.L} \ln \frac{2L}{0,021} = 1 \quad \text{olmalıdır (Tesis güvenliği için).}$$

$$63,7.L \ln(95,2.L) = L \Rightarrow L \cong 707 \text{ m olmalıdır.}$$

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{D}$$

**yerine yaklaşık formülün kullanılması:**

$$R \propto \rho \quad R \propto (1/L) \quad R = k \frac{\rho}{L}$$

$$\text{MH: Mutlak hata} = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{D} - k \frac{\rho}{L}$$

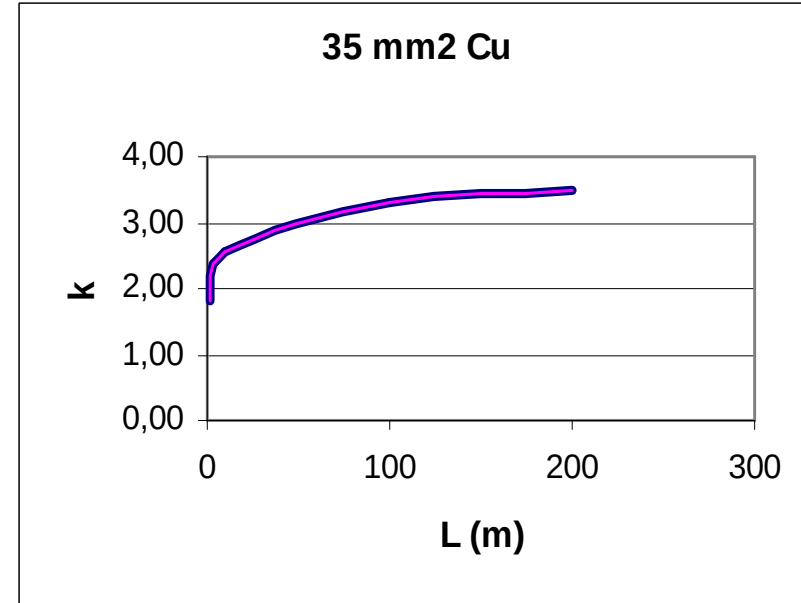
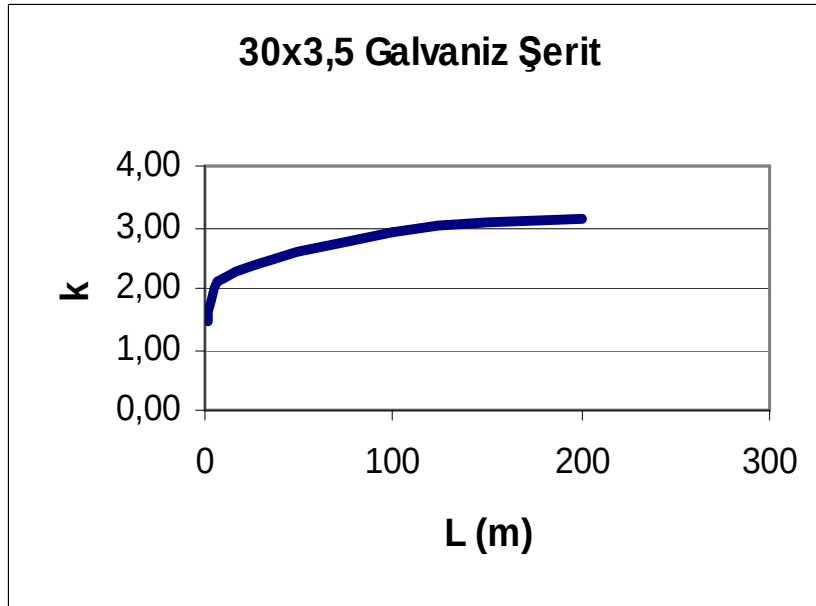
$$\text{BH: Bağıl hata} = \frac{\frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{D} - k \frac{\rho}{L}}{\frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{D}} = 1 - \frac{k \frac{\rho}{L}}{\frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{D}} = 1 - \frac{\pi k}{\ln \frac{2L}{D}}$$

**BH=0 olduğu durumu göz önüne alalım.**

$$\frac{\pi k}{\ln \frac{2L}{D}} = 1 \Rightarrow k = \frac{\ln \frac{2L}{D}}{\pi}$$

$$D = 0,021 \quad \text{m için (30x3,5 mm)} \quad k = \frac{\ln(95,24L)}{\pi}$$

$$D = 6,67 \cdot 10^{-3} \quad \text{m için (35 mm}^2 \text{ Cu)} \quad k = \frac{\ln(300L)}{\pi}$$



**Bu eğrilerden yaklaşık olarak şunu çıkarabiliriz.**

$$L < 10 \text{ m için , } k \cong 2 \quad R \cong \frac{2\rho}{L}$$

$$L > 10 \text{ m için , } k \cong 3 \quad R \cong \frac{3\rho}{L}$$



**Soru:**

**Bir parkta 10 m uzunluğunda 35 mm<sup>2</sup> Cu toprak iletkeni kullanılacaktır.**

**a) Bu iletkenin yeryüzüne serilmesi**

**b)  $h = 0,6$  m derinliğe gömülmesi durumunda yayılma dirençlerini karşılaştırınız.**

$$\text{a) } R_y = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{D}$$

$$35 \text{ mm}^2 \text{ Cu için } D = 6,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$R_y = \frac{\rho}{\pi \cdot 10} \ln \frac{2 \cdot 10}{6,67 \cdot 10^{-3}} = \frac{\rho}{\pi \cdot 10} \ln(3000)$$

$$b) R_h = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{L}{\sqrt{Dh}} = \frac{\rho}{\pi \cdot 10} \ln \frac{10}{\sqrt{6,67 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6}} = \frac{\rho}{\pi \cdot 10} \ln(158)$$

$$\frac{R_h}{R_y} = \frac{\frac{\rho}{\pi \cdot 10} \ln(158)}{\frac{\rho}{\pi \cdot 10} \ln(3000)} = 0,63$$

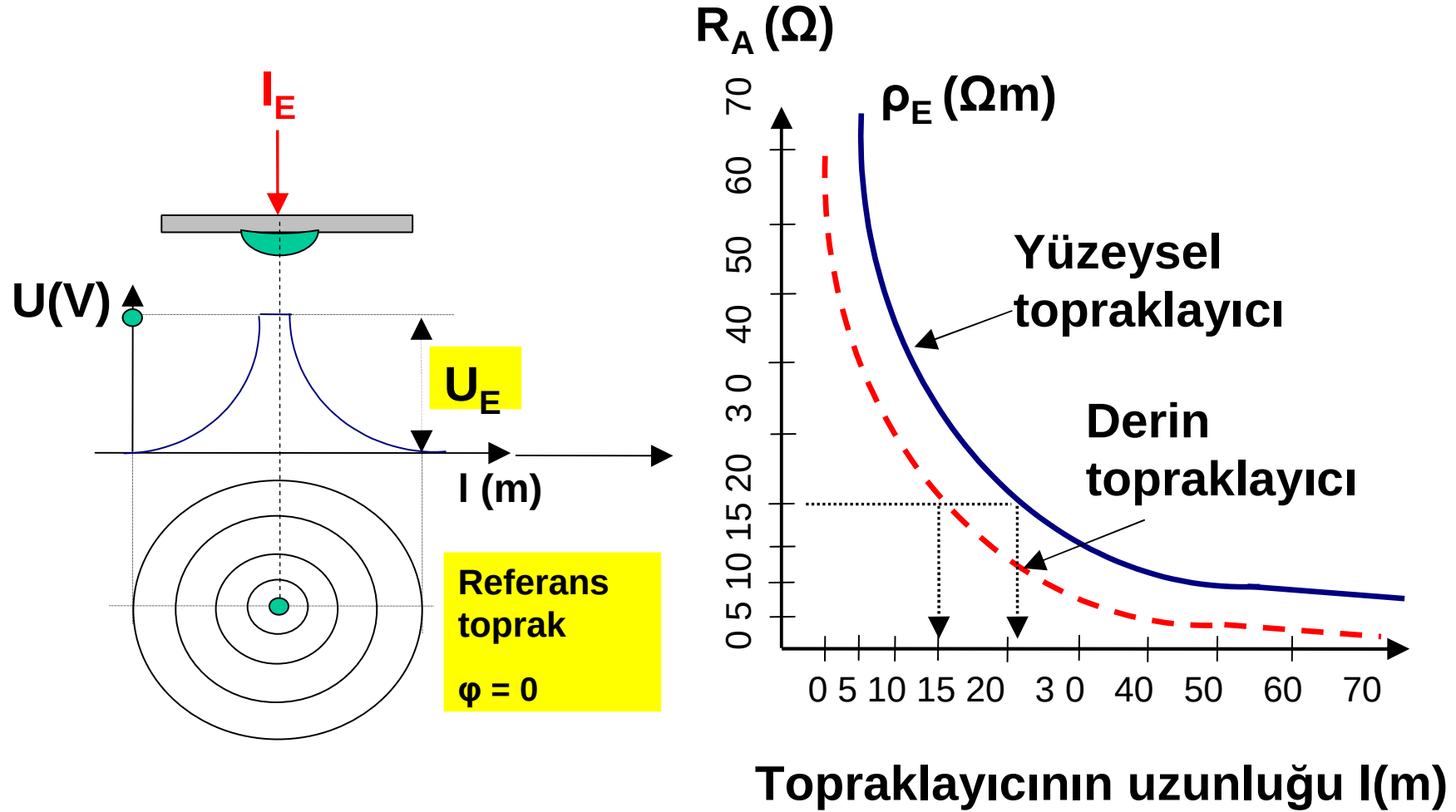
**Sonuç:** 10 m uzunluğundaki 35 mm<sup>2</sup> Cu iletkenin 60 cm derinliğe gömülmesi durumunda yayılma direnci yeryüzündeki yayılma direncine göre %37 oranında azalır.

## Topraklayıcı çeşitleri

Topraklayıcı olarak aşağıdaki malzemeler kullanılabilir.

- 1) Temel topraklayıcı **(Kullanılması tavsiye edilir)**
- 2) Gözlü topraklayıcı
- 3) Şerit topraklayıcı
- 4) Halka topraklayıcı
- 5) Derin topraklayıcı
- 6) Yıldız topraklayıcı
- 7) Ağ topraklayıcı
- 8) Levha topraklayıcı **(Kullanılması kesinlikle tavsiye edilmez)**

## Topraklayıcılarda potansiyel dağılımı ve yayılma dirençleri



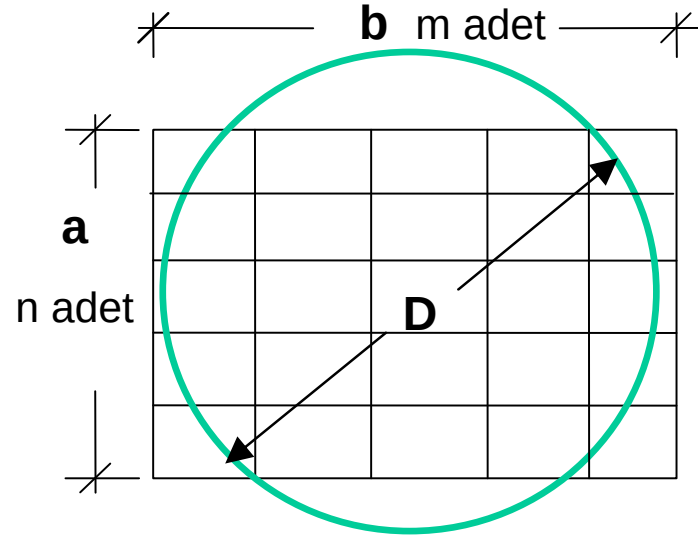
## Diğer elektrot tipleri için geçiş direnci hesapları

### Gözlü topraklayıcı

$$D = \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}}$$

$$L = a \cdot n + b \cdot m$$

$$R_E = \frac{\rho_E}{2D} + \frac{\rho_E}{L}$$



$R_E$ : Topraklama direnci

$D$ : Gözlü topraklayıcının eşdeğer daire alan çapı

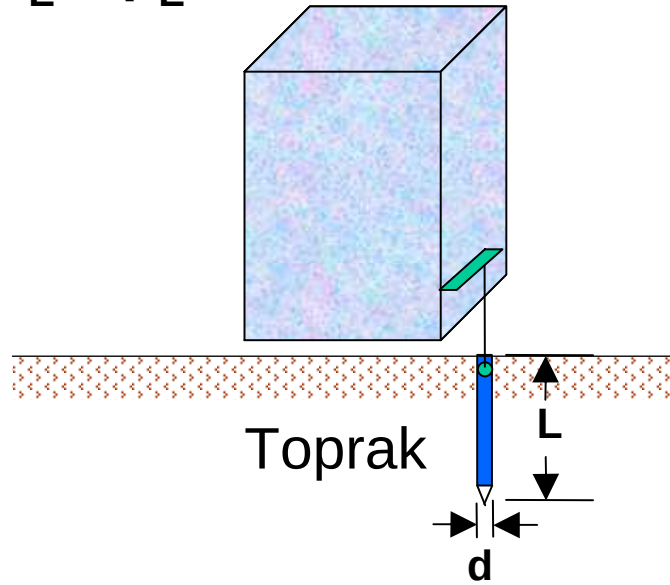
$\rho_E$ : Özgül toprak direnci

$L$ : Topraklayıcı toplam iletken uzunluğu

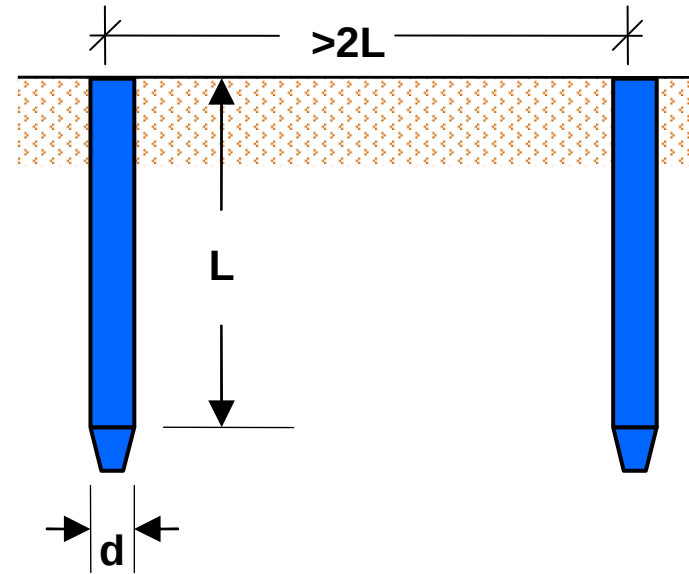
## Çubuk topraklayıcı (Derin topraklayıcı)

Yaklaşık hesap:

$$R_E = \rho_E / L$$



Başka elektrot varsa



# **ÇUBUK TOPRAKLAMA ELEKTROTLARININ YAYILMA DİRENCİNİN YAKLAŞIK HESABINDA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR**

**Taner İRİZ**

**EMO İzmir Şubesi Bülteni Sayı: 142 Mart 2002 s.21**



**21 Ağustos 2001 tarihli Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği'nin Ek-T bölümünde, çeşitli topraklayıcı tiplerine ilişkin hesaplama örnekleri yer almaktadır. Yönetmelik çubuk topraklayıcının yayılma direnci için;**

$$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$$

**ana formülünü vermektedir. Söz konusu yayılma direncinin,**

$$R_E = \frac{\rho_E}{L}$$

**basitleştirilmiş formülü ile bulunabileceği belirtilmektedir. Bu formüllerde L topraklayıcının boyu, d topraklayıcının çapı ve  $\rho_E$  toprak öz direncidir.**

Proje üreten ya da uygulamadaki mühendislerin; yönetmeliğin izin verdiği yaklaşık formülü kullanırken dikkatli olmaları gerekmektedir. Bu yazıda anılan ana formül yerine yaklaşık formülün hangi koşullarda kullanılabileceği açıklanacaktır.

X gibi bir büyüklüğün, yaklaşık büyüklüğü  $X_y$  olsun.  $(X - X_y)$  farkına “mutlak hata”,  $(X - X_y)/X$  ifadesine “bağıl hata” denir. Bağıl hata Grekçe’deki  $\varepsilon$  harfi ile gösterilir. Bu durumda çubuk topraklayıcı yayılma direnci için, ana formül yerine, yaklaşık formülün kullanılması durumunda yapılacak bağıl hata,

$$\varepsilon = \frac{\left( \frac{\rho E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d} \right) - \frac{\rho E}{L}}{\frac{\rho E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}}$$

olur.

**Bu ifade düzenlenirse;**

$$\varepsilon = 1 - \frac{2\pi}{\ln \frac{4L}{d}}$$

**eşitliği elde edilir.**

**Bilindiği gibi çubuk topraklayıcı çapının, yayılma direncine etkisi ihmal edilecek kadar azdır. Pratikteki çubuk elektrotlar 2 cm çapında imal edilmektedir.**

**Böylece  $d=2 \text{ cm}=0,02 \text{ m}$  olursa, hata fonksiyonu sadece  $L$ 'ye bağlı kalır.  $d=0,02\text{m}$  için;**

$$\varepsilon = 1 - \frac{2\pi}{\ln \frac{4L}{0,02}} = 1 - \frac{2\pi}{\ln 200L}$$

**Ana formül ile yaklaşık formül arasındaki hatanın olmadığı durumu saptamak için  $\epsilon = 0$  denklemini çözmek gerekir.**

$$1 - \frac{2\pi}{\ln 200L} = 0$$

**Bu eşitlik düzenlenirse  $L = e^{2\pi/200}$  elde edilir.  $L = 2,68$  m bulunur. Burada  $e$  bir doğa sabiti olup yaklaşık 2.72 alınabilir.**

**Bunun anlamı şudur: Elektrot uzunluğu  $L = 2,68$  metre ise, yaklaşık formül hatasız değer verir.**

**Şimdi de belirli bir elektrot uzunluk aralığında, hatanın hangi sınırlar içinde kalabileceğini saptayalım. - %5 ile + %5 bağlı hata aralığını göz önüne alalım.**

$$1 - \frac{2\pi}{\ln 200L} = -\%5 = -0,05 \quad L \cong 2 \text{ m}$$

$$1 - \frac{2\pi}{\ln 200L} = +\%5 = +0,05 \quad L \cong 3 \text{ m}$$

**Yani  $2\text{ m} < L < 3,8\text{ m}$  iken, ana formül yerine yaklaşık formül kullanılması durumunda, yapılacak hata %5'in altında kalmaktadır. Bağlı hata ifadesinin negatif olması, yaklaşık hesaplarda bulunan değerin ana formülle bulunan değerden daha büyük olduğunu; pozitif olması ise yaklaşık hesaplarda bulunan değerin ana formülle bulunan değerden daha küçük olduğunu göstermektedir.**

**2 m < L < 3,8 m aralığının dışında L = 50 cm = 0,5 m gibi bir değer için  $\varepsilon$  değeri hesaplanırsa**

$$1 - \frac{2\pi}{\ln 200 \cdot 0,5} \approx -0,36 = -\%36$$

**L = 0.5 m iken ana formül yerine, yaklaşık formülün kullanılması durumunda, -%36 gibi yüksek bir hata oranı karşımıza çıkar. Bu durumda yaklaşık formülün kullanılması uygun değildir.**



**Şimdi de pratikte en çok kullanılan çubuk elektrotlarını inceleyelim:**

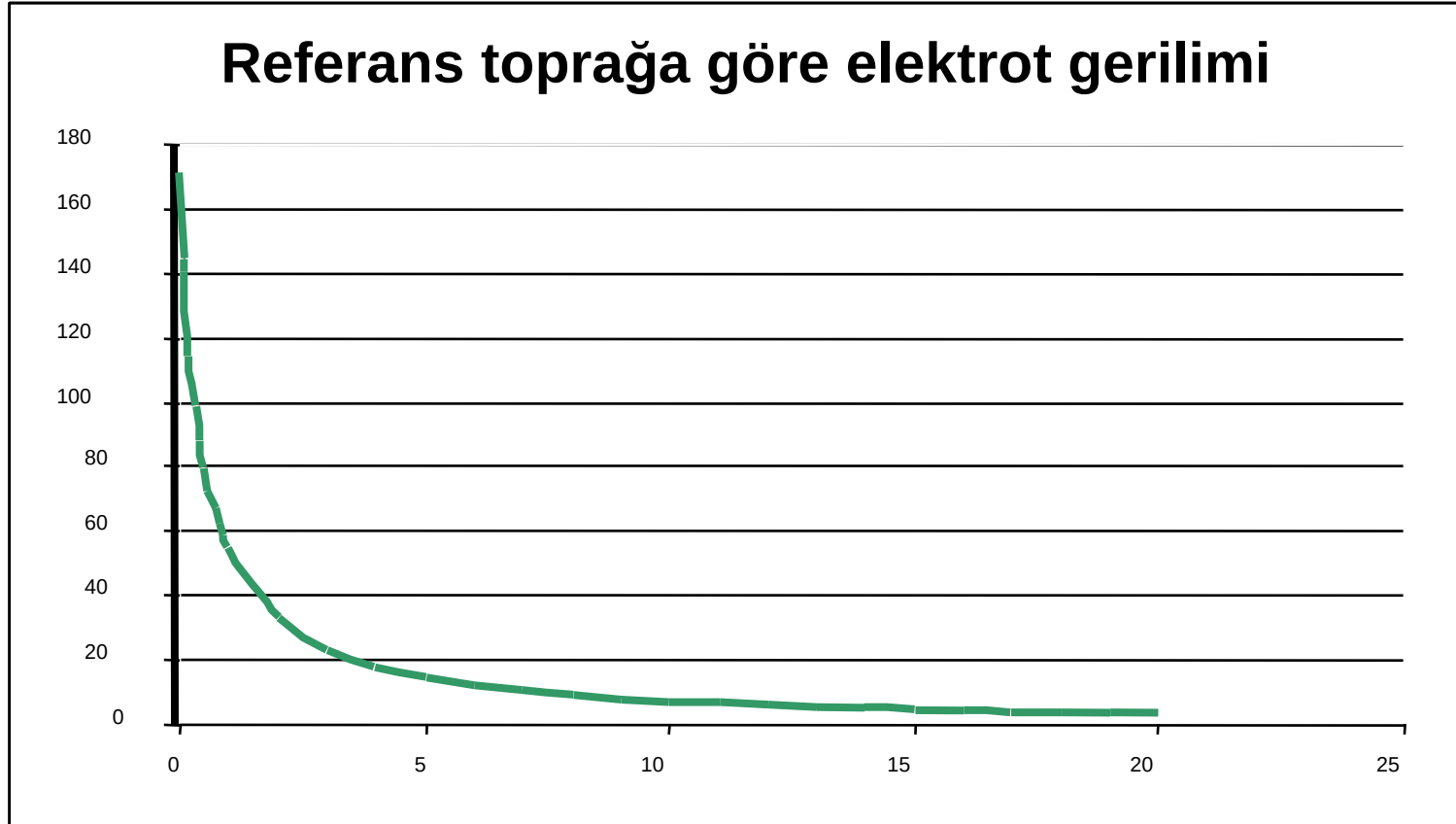
| <b>L (m)</b> | <b>d (m)</b> | <b>R<sub>E</sub> (ana formül)</b> | <b>R<sub>E</sub> (yaklaşık formül)</b> | <b>Hata (%)</b> |
|--------------|--------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------|
| <b>1,5</b>   | <b>0,02</b>  | <b>0,605 <math>\rho_E</math></b>  | <b>0,667 <math>\rho_E</math></b>       | <b>-10</b>      |
| <b>3</b>     | <b>0,02</b>  | <b>0,339 <math>\rho_E</math></b>  | <b>0,333 <math>\rho_E</math></b>       | <b>+1,8</b>     |

## **Sonuç:**

**1- Pratikte sık kullanılan elektrotlarda ana formül yerine, yaklaşık formülün kullanılması uygun olmaktadır.**

**2- Elektrot boyu küçüldükçe ( $l < 1$  m) ya da büyüldükçe ( $l > 4$  m) bağıl hata arttığından, bu tür elektrotların kullanılabileceği özel topraklama tasarımlarında dikkatli olunmalıdır.**

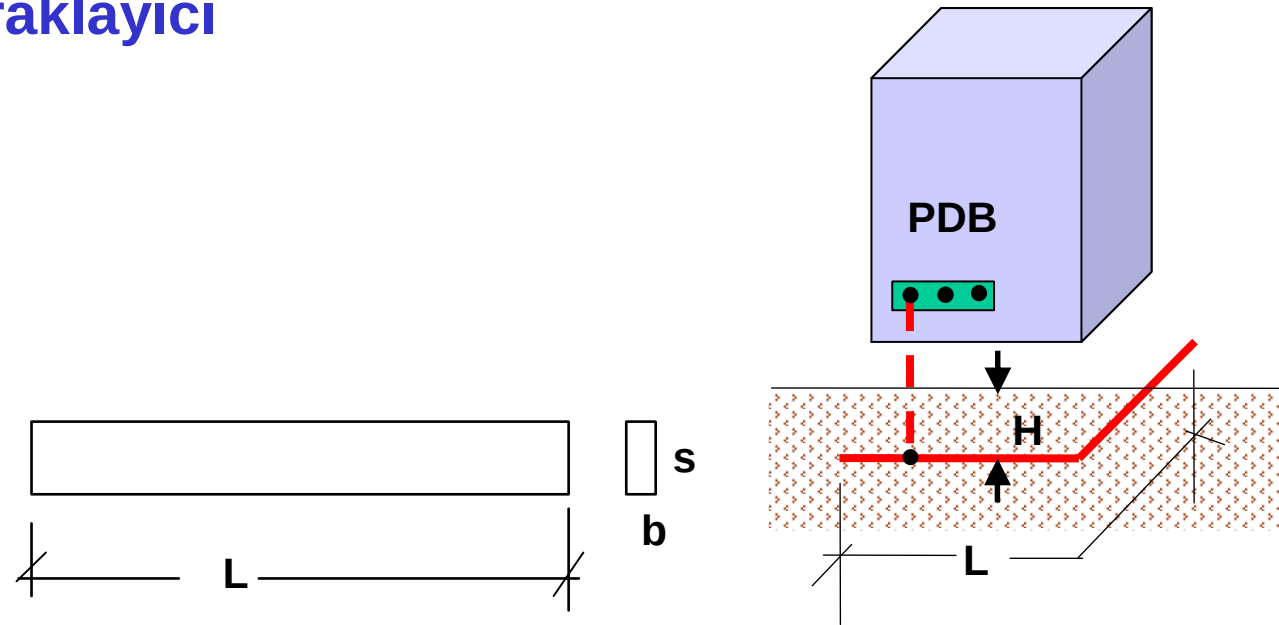
## ÇUBUK TOPRAKLAYICI ÇEVRESİNDE POTANSİYEL DAĞILIMI



**$L = 2 \text{ m.}$     $D = 2.5 \text{ cm.}$     $\rho_E = 10 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$**

**$I_E = 96 \text{ A.}$        $r = \text{Elektrottan uzaklık}$**

## Şerit topraklayıcı



$$d = \frac{2(b + s)}{\pi}$$

$$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{2L}{d} \left( 1 + \frac{\ln \frac{L}{2H}}{\ln \frac{2L}{d}} \right)$$

## **Levha topraklayıcı**

**Günümüzde önemini yitirdiğinden tavsiye edilmemektedir.**

**Yıldız topraklayıcı ve diğerleri için Yönetmelik Ek-T kullanılabilir.**

**Hesaplarda Yönetmelik Ek-K de verilen direnç eğrilerinden de yararlanılabilir.**

# **Ek-K ve Ek-L ile ilgili sorular**

**Soru:**

**Bir elektrik tesisatının gerçekleştirileceği yerde  $\rho = 100 \Omega\text{m}$  ölçülmüştür. Sistem topraklama direncinin  $\leq 2 \Omega$  olması isteniyor. Çeşitli tekil topraklama elektrotları için geçiş dirençlerini hesaplayarak, söz konusu yöntemle istenen geçiş direncinin gerçekleştirilemeyeceğini gösteriniz.**

**a) Şerit:**  $R = \frac{3\rho}{L} \Rightarrow L = \frac{3\rho}{R} = \frac{3.100}{2} = 150 \text{ m.}$

**b) Dikey topraklayıcı:**

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{D} \quad D=0,02 \text{ m} \Rightarrow R = \frac{100}{2\pi L} \ln \frac{4L}{0,02} = \frac{50}{\pi L} \ln 200L$$

$$\frac{\ln 200L}{L} = \frac{2\pi}{50} = 0,1256 \Rightarrow L \cong 80 \text{ m}$$

**Literatürde ve yeni yönetmelikte**  $\frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{D} \approx \frac{\rho}{L}$

$$L = \frac{\rho}{R} = \frac{100}{2} = 50 \text{ m (EMO İzmir Şb. Bülteni Mart 2002 sayısı)}$$

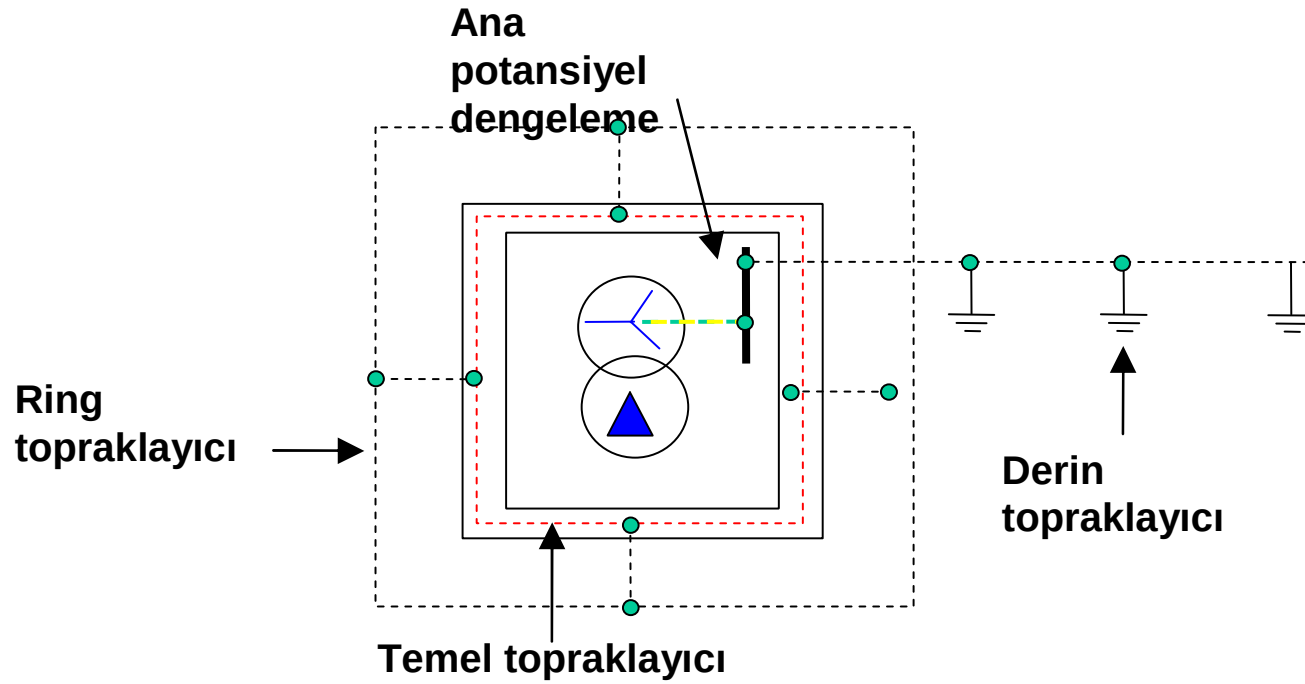
**Yönetmelikteki yaklaşık formül her zaman kullanılamaz.**

**c) Levha:**  $R_T = \frac{\rho}{4,5.a} \Rightarrow a = \frac{\rho}{4,5.R_T} = \frac{100}{4,5.2} = 11,1 \text{ m}$

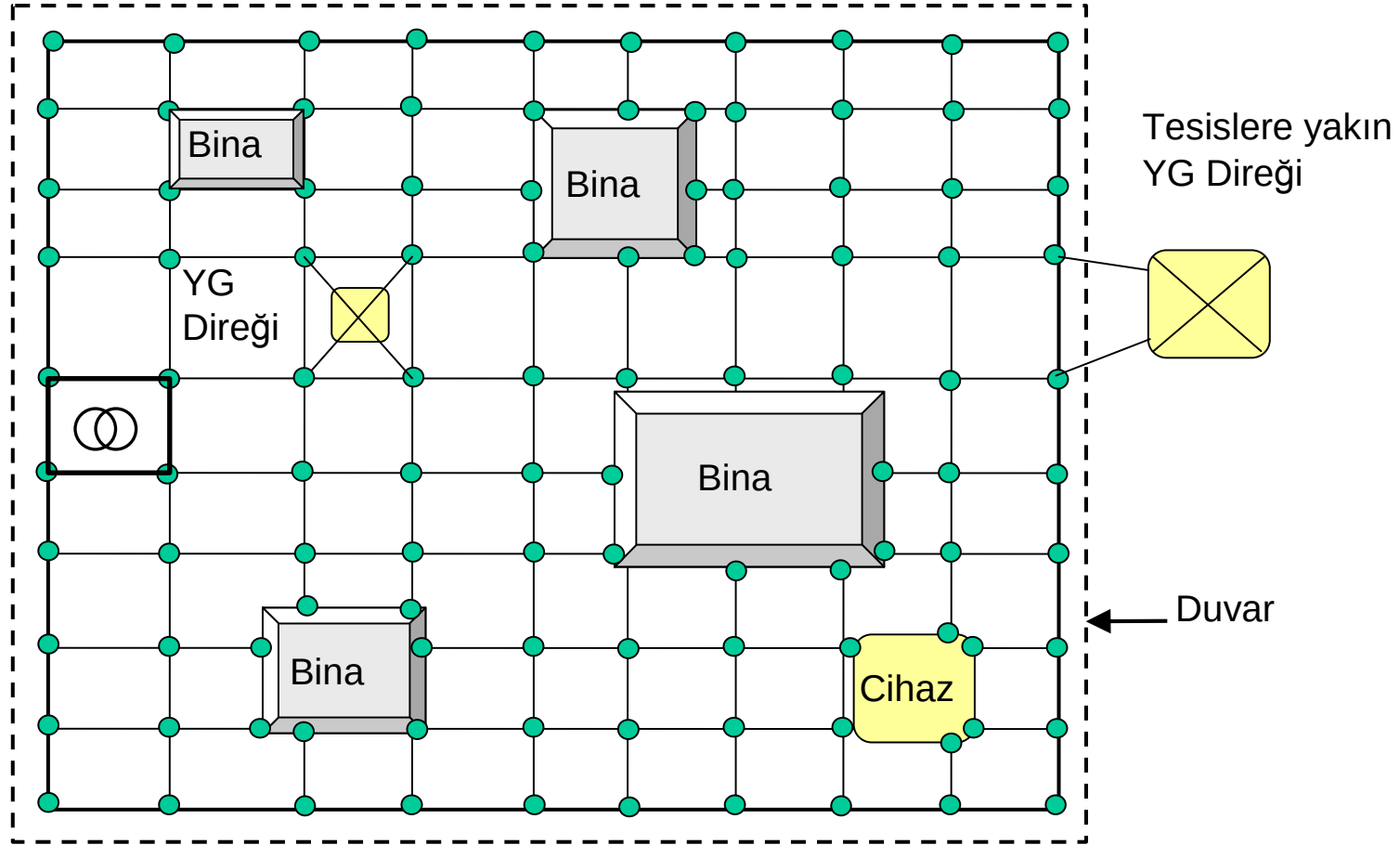
**11,1x11,1 boyutunda kare levha gerekli.**



## Transformatör Merkezlerinde Genel Topraklama Şeması

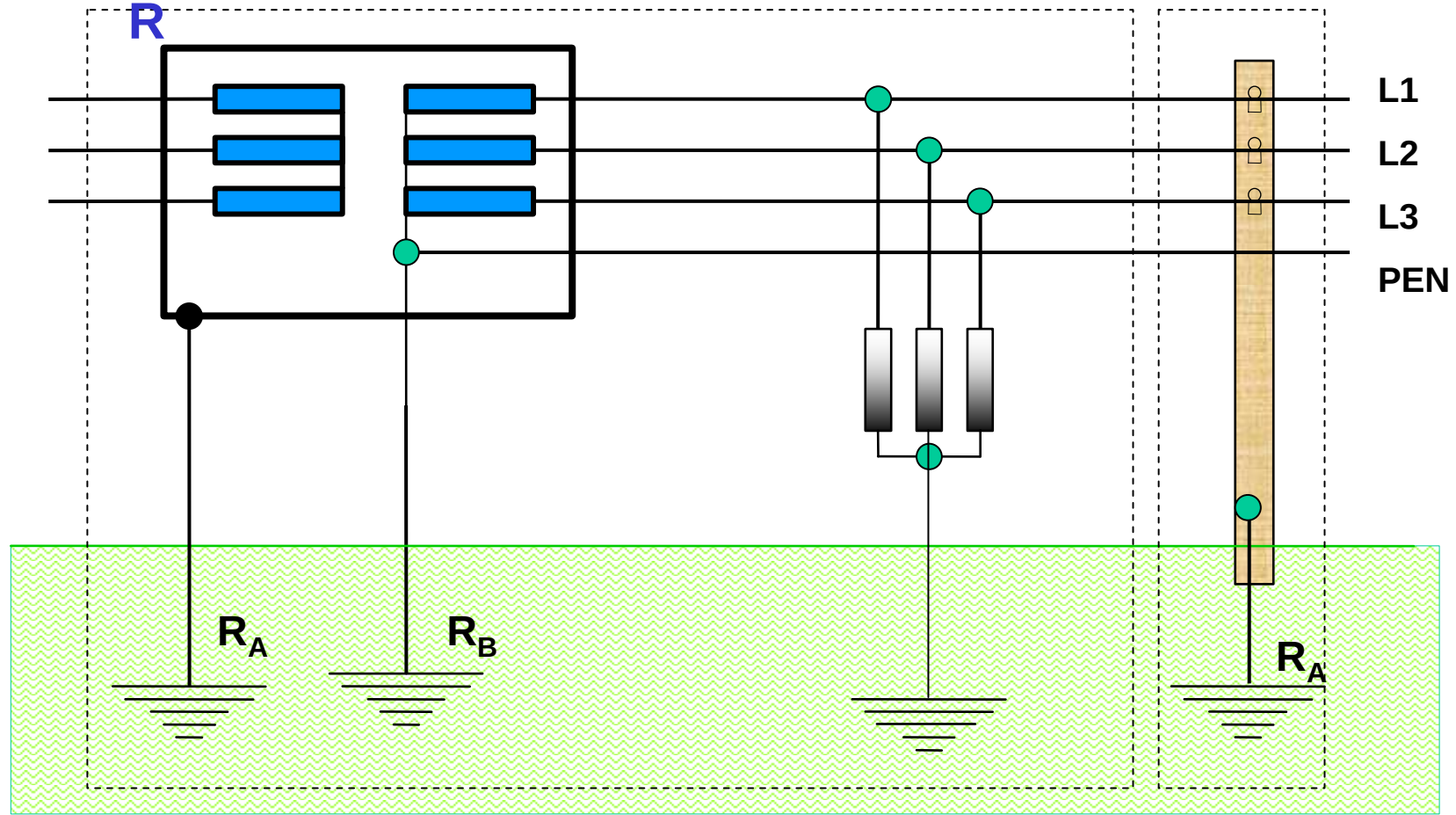


**Bir transformatör merkezi topraklaması**



**Bir endüstri merkezinde ağ şeklinde tesis edilmiş topraklama ve potansiyel dengeleme sistemi**

## TOPRAKLAMALA



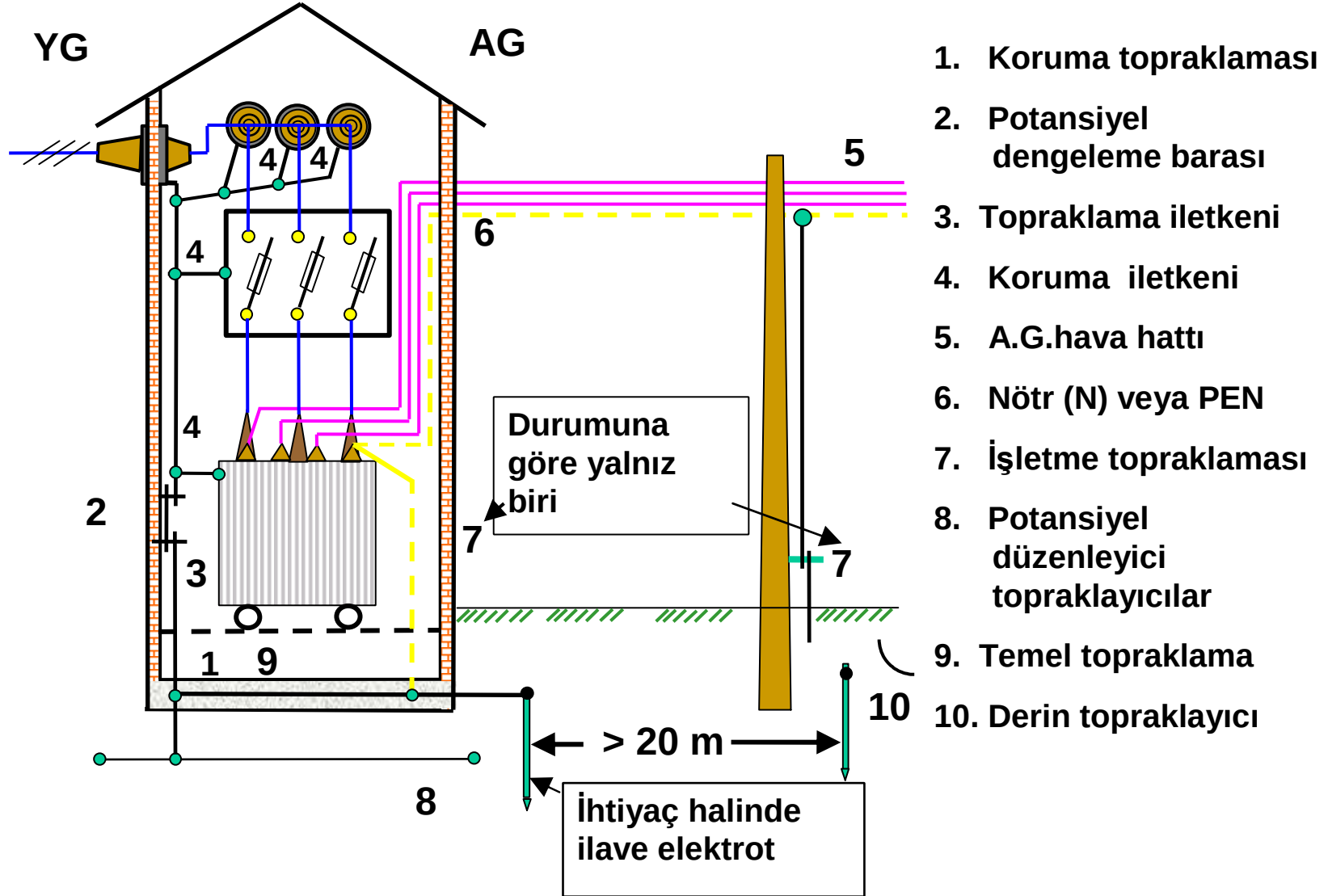
Koruma  
topraklaması

İşletme  
topraklaması

Fonksiyon  
topraklaması

Koruma  
topraklaması

## Topraklamada kullanılan önemli tanımlar



**Soru (Ek-D ile ilgili)**

5 m x 7 m boyutunda bina tipi 34,5 / 0,4 kV 400 kVA bir trafo postası için YG tarafı faz toprak kısa devre akımı  $I''_{k1}=1000$  A olarak verilmiştir. Toprak özgül direnci 200  $\Omega$ m ölçülmüştür. Bu tesiste topraklama direnci  $R_E$  ne olmalıdır?

**Önce temel topraklaması uygulanırsa,**

$$D = \sqrt{\frac{4.5.7}{\pi}} = 6,7 \text{ m}$$

$$R_T = \frac{2\rho}{\pi D} = \frac{2.200}{\pi.6,7} = 19 \text{ } \Omega$$

**Bu değer yüksek olduğundan ring topraklama yapılmalıdır.**

$$D = \sqrt{\frac{4.7.9}{\pi}} \cong 9 \text{ m}$$

$$R_r = \frac{200}{\pi^2 D} \ln \frac{2\pi D}{d} = \frac{200}{\pi^2 .9} \ln \frac{2\pi 9}{0,021} = 17.8 \text{ } \Omega$$

$$R_T // R_r = 19 // 17,8 = \frac{19.17,8}{19 + 17,8} = 9,2 \text{ } \Omega$$

$$U_E = 9,2.1000 = 9,2 \text{ kV}$$

**En fazla 10 adet L=1,5 m çubuk bağlanabilir.**

$$R_{\zeta} = \frac{\rho}{L} = \frac{200}{1,5} = 133 \quad \Omega \text{ (tek çubuk)}$$

**10 adet çubuk düşünüldüğünden,**

$$R_{\zeta} = \frac{133}{10} = 13,3 \quad \Omega$$

$$R_T // R_r // R_{\zeta} = 9,2 // 13,3 = \frac{9,2 \cdot 13,3}{9,2 + 13,3} = 5,44 \quad \Omega$$

$$U_E = 5,44 \cdot 1000 = 5440 \quad \text{V}$$



$t = 0,1 \text{ s}$  için  $U_{Tp} = 700V$  (ETTY s.14 Şekil 6)

$$U_E > 4U_{Tp} \quad 4U_{Tp} \cong 4 \cdot 700 = 2800V$$

$$5440 V > 2800 V$$

$t_F \leq 5 \text{ s}$   $U_E > 4U_{Tp}$  Çizelge D.1 gereği  $U_E \leq U_{Tp}$  ispatı

Trafo girişinde 34,5 kV XLPE kablo kullanılacağından  $r=0,45$  redüksiyon faktörü göz önüne alınabilir.

$$R'_E = \frac{2800}{0,6 \cdot 1000} = 4,67 \quad \Omega \text{ olmalıdır.}$$

$$R_T // R_r // R_\zeta = 5,44 \quad \Omega \text{ elde edilmişti.}$$

$$\frac{5,44 \cdot R}{5,44 + R} = 4,67 \Rightarrow 5,44R = 25,4 + 4,67R \quad 0,77R = 25,4 \Rightarrow R = 33$$

O halde 33  $\Omega$  paralel bir direnç daha tasarlamalıyız (9 m şerit ve 3 çubuk).

$$R_{\S} = \frac{2.200}{9} = 44,4 \quad R_{\C} = \frac{133}{3} = 44,3$$

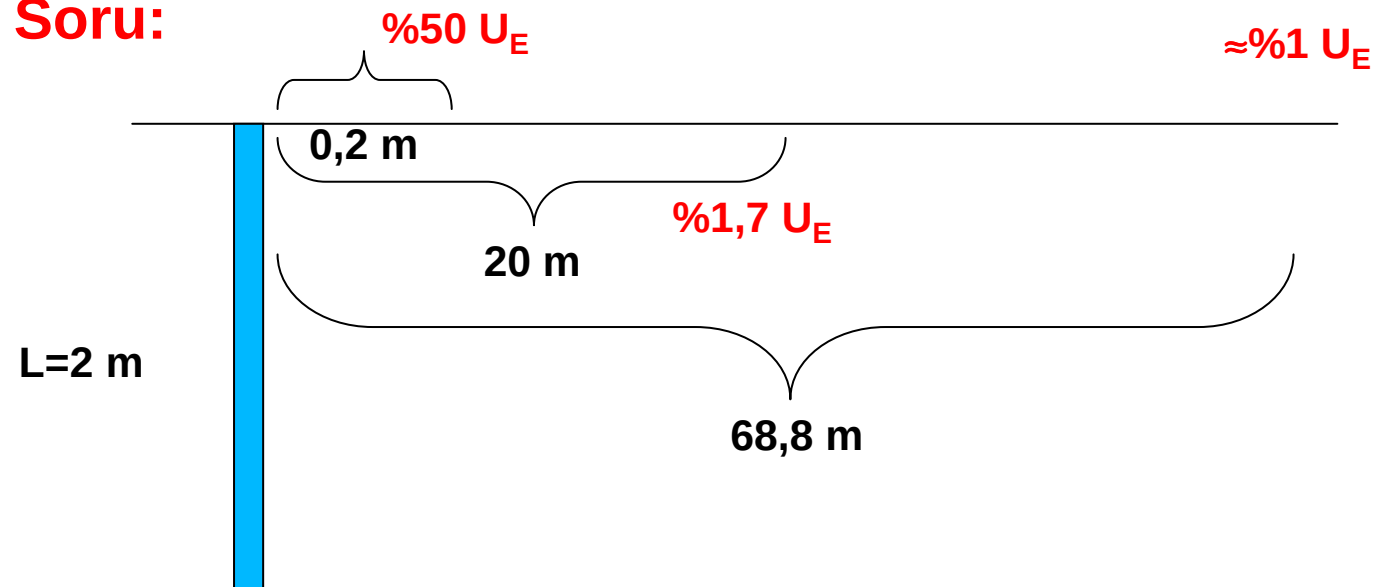
$$R_{\S} // R_{\C} = 22$$

$$5,44 // 22 = \frac{5,44.22}{5,44 + 22} = 4,36$$

$$600.4,36 = 2616 < 4U_{Tp} < 2800 \text{ v}$$

**Ek-D'de belirtilen ek önlemlerin alınması kaydıyla topraklama direnci 4,36  $\Omega$  kabul edilebilir.**

**Soru:**



$d_{\text{kabul}}=20\text{ m}$  ise  $U_k/U_E=?$

$$\frac{2Lc}{c^2 - 1} = 20 \Rightarrow 20c^2 - 20 = 2.2.c$$

$$20c^2 - 4c - 20 = 0$$

$$c^2 - 0,2c - 1 = 0 \Rightarrow c = 1,105$$

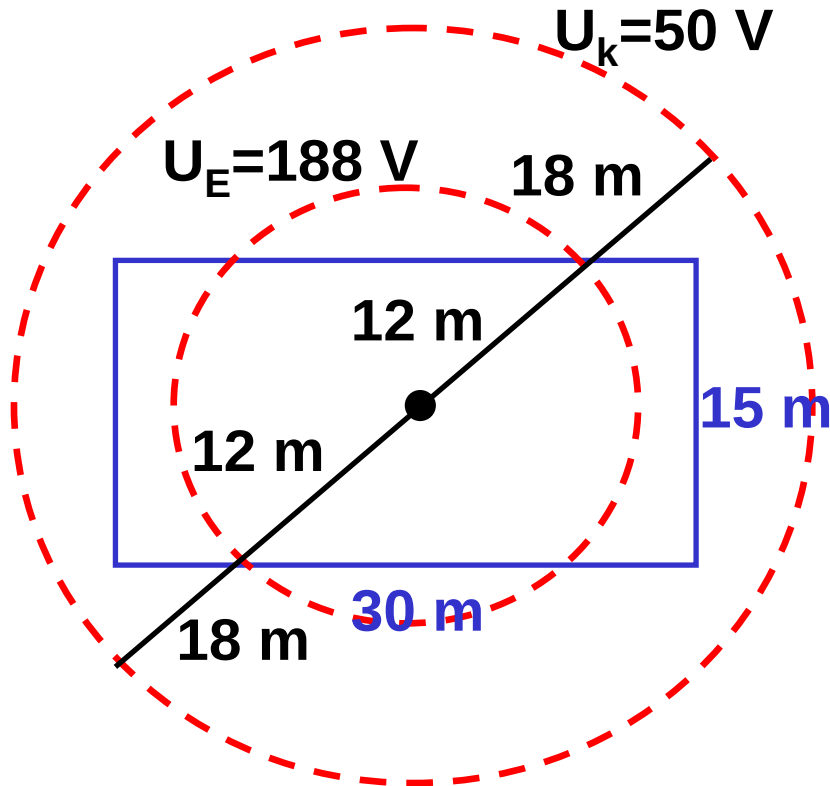
$$\left(\frac{4L}{d}\right)^{U_k/U_E} = c \Rightarrow \frac{U_k}{U_E} \ln \frac{4L}{d} = \ln c$$

$$\frac{U_k}{U_E} = \frac{\ln c}{\ln \frac{4L}{d}} = \frac{\ln 1,105}{\ln \frac{4.2}{0,02}} = \frac{0,09985}{5,99} = 0,0167$$

$$U_k = 0,0167.U_E = \%1,67.U_E$$

**Soru:**

30 m x 15 m boyutlarındaki gömülmüş ağ topraklama şebekesinden kaç metre ileride  $U_{\text{kabul}} = 50 \text{ V}$  olur? ( $U_E = 188 \text{ V}$  olarak hesaplanmıştır)



$$A = 30.15 = 450$$

$$d_{\text{kabul}} = \sqrt{\frac{450}{\pi}} \left( \frac{1}{\sin \frac{\pi \cdot 50}{2.188}} - 1 \right) = 1197.1466 = 17,6$$

$$U_k = I_t \frac{\rho}{\pi D} \arcsin \frac{D/2}{d}$$

$$d_{\text{kabul}} = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \left( \frac{1}{\sin \frac{\pi \cdot U_k}{2 \cdot U_E}} - 1 \right)$$

**Ek-M**

**Yarım küre:**

$$U_E = \frac{\rho l}{2\pi r} \quad U_{\text{kabul}} = \frac{\rho l}{2\pi(r + D_k)}$$

$$\frac{U_E}{U_{\text{kabul}}} = \frac{\frac{\rho l}{2\pi r}}{\frac{\rho l}{2\pi(r + D_k)}} = \frac{r + D_k}{r} = 1 + \frac{D_k}{r}$$

$$\frac{D_k}{r} = \frac{U_E}{U_k} - 1 \Rightarrow D_k = r \left( \frac{U_E}{U_k} - 1 \right)$$



### Derin topraklayıcı:

$$U_k = I_t \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L + \sqrt{d_k^2 + L^2}}{d_k} \quad U_E = I_t \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$$

$$\frac{U_k}{U_E} = \frac{\ln \frac{L + \sqrt{d_k^2 + L^2}}{d_k}}{\ln \frac{4L}{d}} \Rightarrow \frac{U_k}{U_E} \cdot \ln \frac{4L}{d} = \ln \frac{L + \sqrt{d_k^2 + L^2}}{d_k}$$

$$\ln \left( \frac{4L}{d} \right)^{\frac{U_k}{U_E}} = \ln \frac{L + \sqrt{d_k^2 + L^2}}{d_k}$$

$$\ln c = \ln \frac{L + \sqrt{d_k^2 + L^2}}{d_k} \Rightarrow c = \frac{L + \sqrt{d_k^2 + L^2}}{d_k}$$

$$d_{\text{kabul}} = \frac{2Lc}{c^2 - 1}$$

**Soru:**

**D = 0,02 m   L = 2 m bir topraklama kazığından kaç metre ileride**

**$U_k / U_E = 0.5$  olur? ( $U_k = 0,5 \cdot U_E$ )**

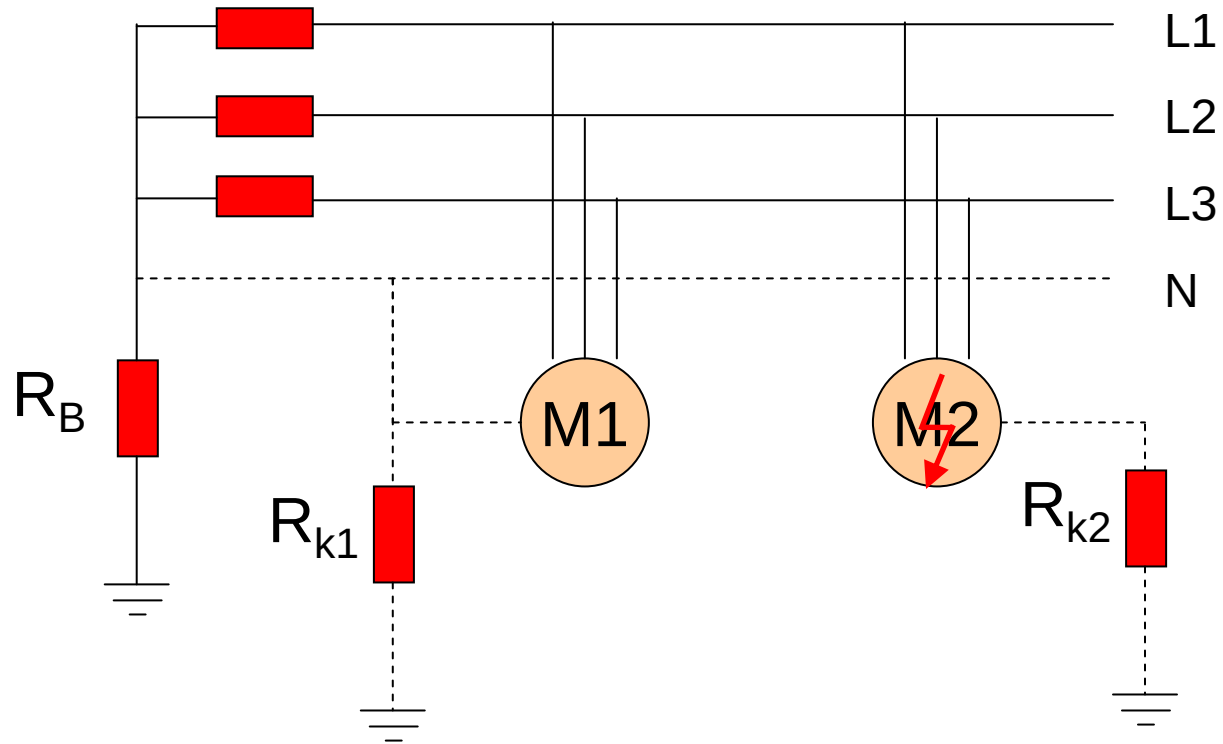
$$c = \left( \frac{4L}{d} \right)^{\frac{U_k}{U_E}} = \left( \frac{4 \cdot 2}{0,02} \right)^{0,5} = 20$$

$$d_{\text{kabul}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 20}{400 - 1} = 0,2 \quad \frac{U_k}{U_E} = 0,01$$

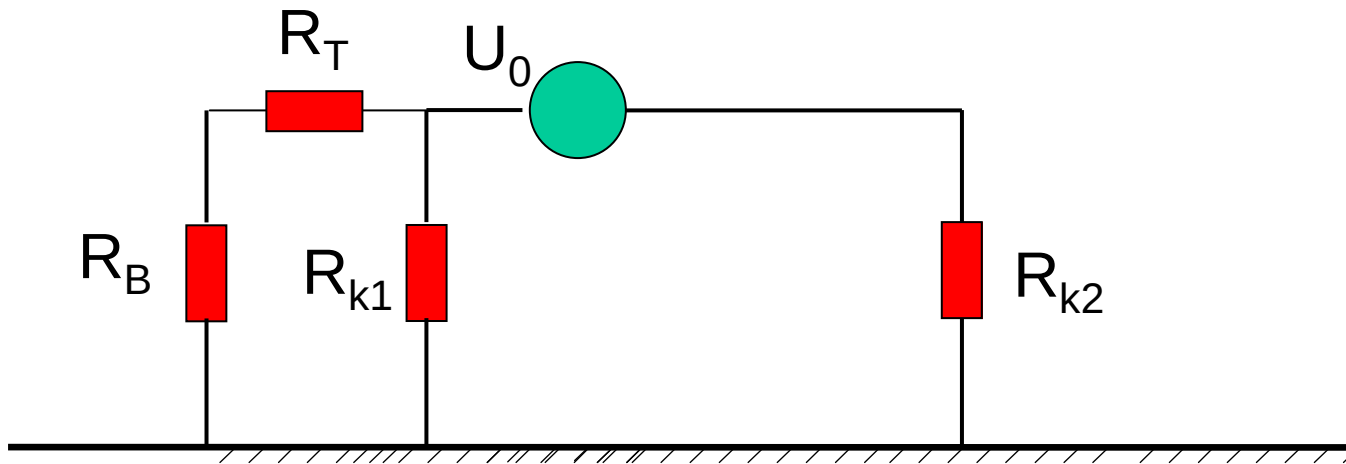
$$c = \left( \frac{4 \cdot 2}{0,02} \right)^{0,01} = 1,0617 \quad d_{\text{kabul}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1,0617}{0,0617} = 68,8$$

# **ŞEBEKE KARŞILAŞMALARI**

a) Şebeke tipi TT iken:



Eşdeğer devre



$$I = \frac{U_0}{R_{k2} + R_B // R_{k1}}$$

$$U_{d1} = U_B = U_0 - \frac{R_{k2} \cdot U_0}{R_{k2} + R_B // R_{k1}}$$

$$U_{d1} = U_B = U_0 \left( 1 - \frac{R_{k2}}{R_{k2} + R_B // R_{k1}} \right) = U_0 \frac{R_B // R_{k1}}{R_{k2} + R_B // R_{k1}}$$

$$U_{d1} = \frac{R_B \cdot R_{k1} \cdot U_0}{(R_B + R_{k2}) \cdot R_{k1} + R_B \cdot R_{k2}}$$

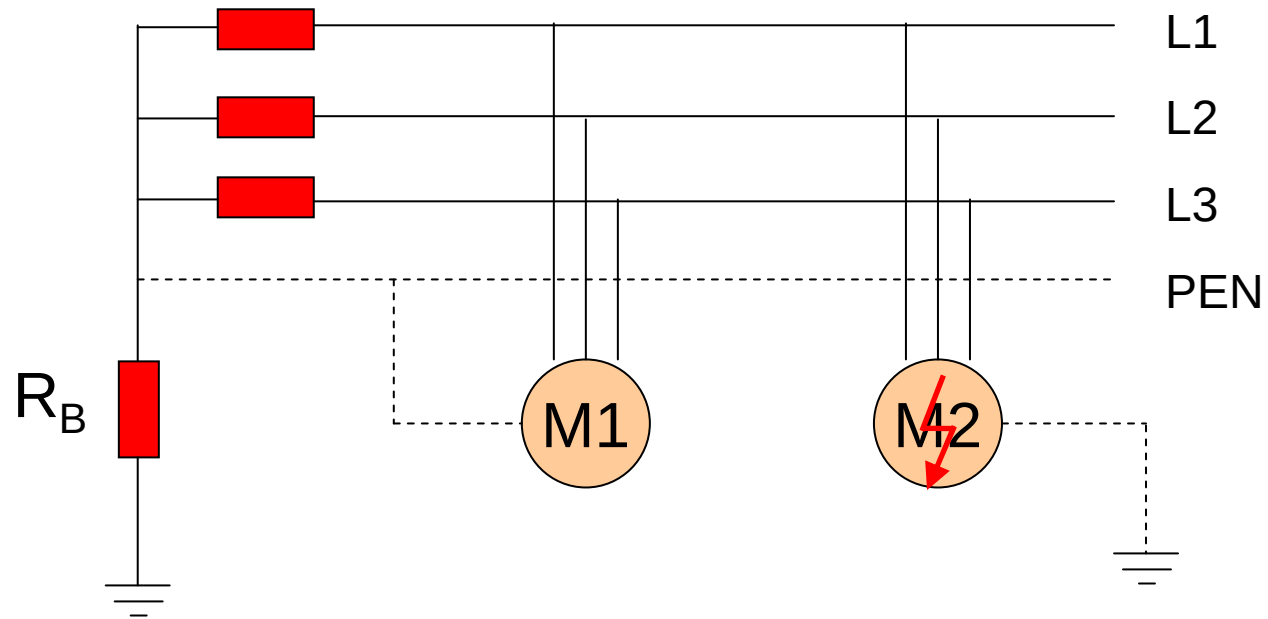
$$R_{k1} \rightarrow \infty \quad U_{d1} = \frac{R_B \cdot U_0}{R_B + R_{k2}}$$

**Soru:**

**Şebeke tipi TT iken tüm cihazlar müstakil topraklı; sadece biri hem topraklı hem de sıfır bağlantılıdır.**

**Tüm dirençler yaklaşık eşit ise M2'deki gövde kaçağı durumunda M1 gövdesinde şebeke faz-nötr geriliminin  $1/3$ 'ünün var olacağını gösteriniz.**

**b) Şebeke tipi TN iken:**





# **TN VE TT SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞMASI**

**Taner İRİZ**

**EMO İzmir Şubesi Bülteni Sayı:146 Temmuz 2002 s.20**

**TS 3994'e göre elektrik şebekeleri sınıflandırılarak üç tipe ayrılmış; gerek iç tesisler, gerekse topraklamalar yönetmeliğinde bu tiplerin özellikleri ve ne şekilde kullanılacakları uzun uzadıya anlatılmıştır.**

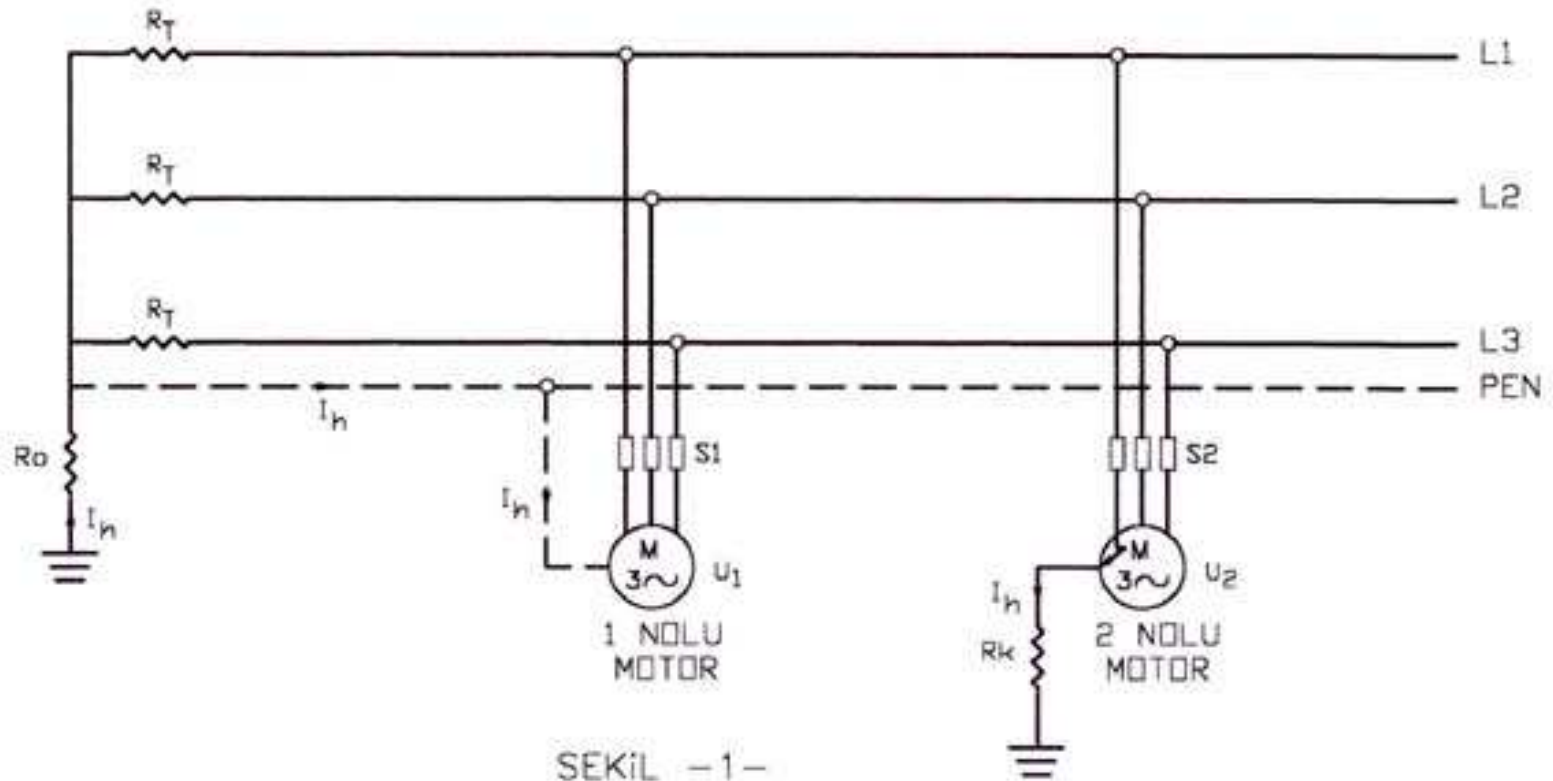
**Fakat pratikte yerel elektrik idarelerinin konuya gereken önemi vermemeleri ve bazı teknik elemanların bu konudaki bilgi eksiklikleri, şebeke karşılaşması tehlikesini ortaya çıkarmaktadır.**

**Bu yazıda TN-C sistemi ile TT sisteminin karşılaşması sonucu doğabilecek riskler araştırılacaktır. şekil-1'de müstakil bir trafodan beslenen bir fabrikanın elektrik dağıtım sistemi görölmektedir. Seçilen sistem TN-C (klasik sıfırlama)dır. Bu sistemde, tüm pasif kısımlar (gövdeler) PEN iletkenine irtibatlandırılır.**

**Dolayısıyla 1 no'lu motor sistem karakterine uygun olarak topraklanmıştır. 2 no'lu motorun gövdesi ise, teknik eleman hatası nedeniyle PEN iletkenine bağlanmamış, bu motora müstakil koruma topraklaması yapılmıştır. Böylece şekil-1 de göröldüğü gibi TN-C sistemi ile TT sistemi karşılaşmıştır.**

GERİLİM : 220V/380V

MÜSTAKİL TRAFÖ  
SEBEKE: TN-C



**2 no'lu motorda bir izolasyon hatası oluştuğunda, S2 sigortasının atmadığını varsayalım. Bu durumda 2 no'lu motor gövdesi ile toprak arasında  $u_2$  gibi bir temas gerilimi oluşur. Öte yandan  $I_h$  hata akımı,  $R_k$  koruma topraklaması ile  $R_0$  işletme topraklaması üzerinden şebekeye geri gider.**

**Bu hata akımı nötr iletkeninde ve buna bağlı bütün sıfırlanmış tüketiciler de bir hata geriliminin doğmasına neden olur. Böylece 1 no'lu motor gövdesinde potansiyel sürüklenmesi nedeniyle  $u_1$  gibi hata gerilimi meydana gelir. Daha açıkçası, oluşan bu hata devresinde;  $u_1$  gerilimi işletme topraklama direnci uçlarındaki gerilim ve  $u_2$  gerilimi ise koruma topraklama direnci uçlarındaki gerilimden başka bir şey değildir.**

**Trafo sargı direnci ve hat dirençlerini ihmal edersek, hata akımı için;**

$$I_h = u_\lambda / (R_0 + R_k) \quad (1)$$

**yazılabilir.  $u_1$  ve  $u_2$  için de,**

$$u_1 = R_0 \cdot I_h = R_0 \cdot u_\lambda / (R_0 + R_k) \quad (2)$$

$$u_2 = R_k \cdot I_h = R_k \cdot u_\lambda / (R_0 + R_k) \quad (3) \text{ bağıntıları elde edilir.}$$

**(2) ve (3) bağıntılarında pay ve paydalar  $R_0$ 'a bölünürse,**

$$u_1 = u_\lambda / (1 + R_k / R_0) \quad (4)$$

$$u_2 = (R_k / R_0) u_\lambda / (1 + R_k / R_0) \quad (5)$$

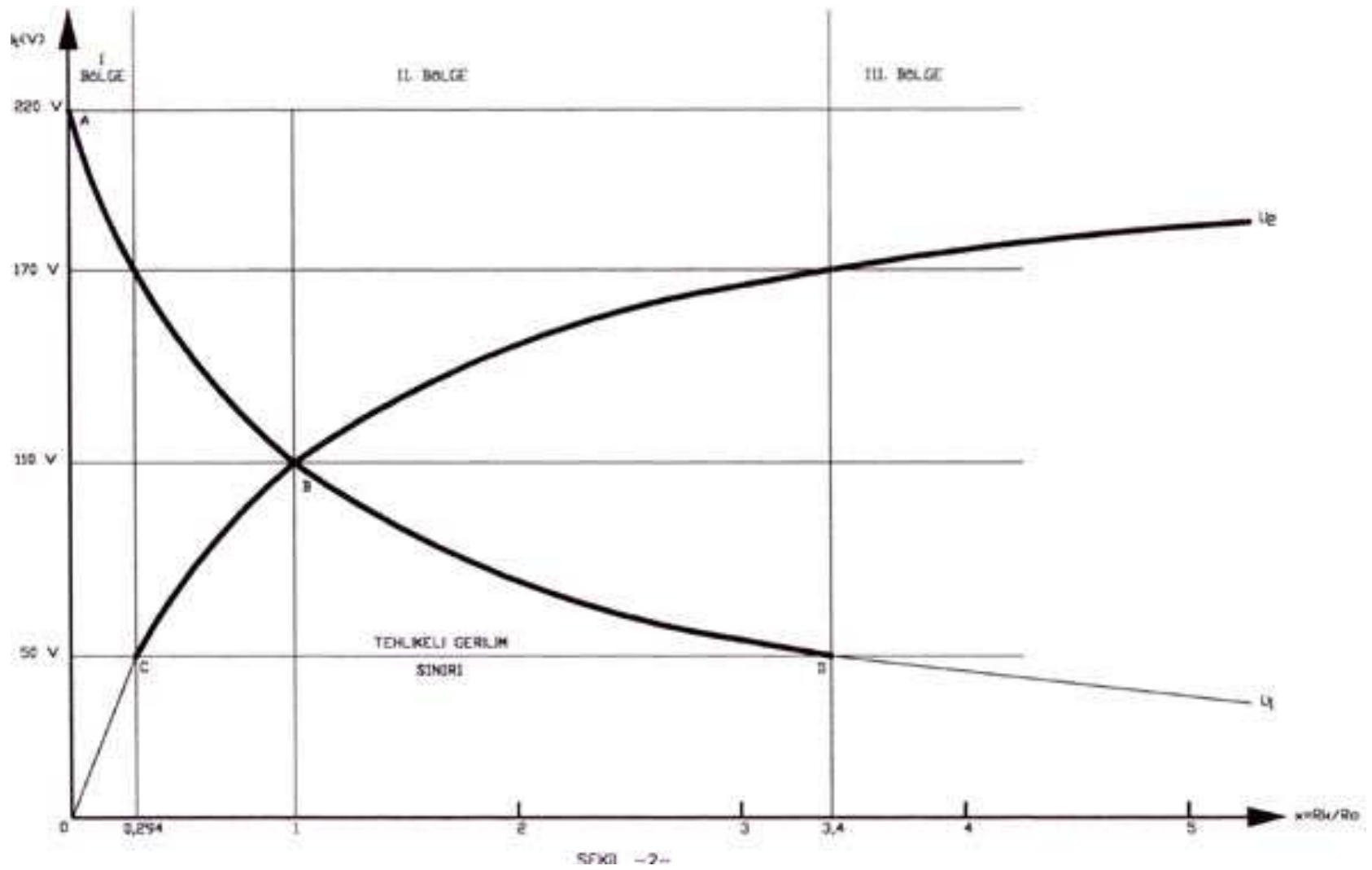
**bulunur. Koruma topraklama direncinin işletme topraklama direnci oranına  $x$  dersek,**

$$u_1 = u_\lambda / (1 + x) \quad (6)$$

$$u_2 = x \cdot u_\lambda / (1 + x) \quad (7)$$

**sonucuna ulaşırız.**

Faz-nötr gerilimi  $u_\lambda = 220$  V olduğundan,  
 $u_1 = 220 / (1+x) = f(x)$  ve  $u_2 = 220x / (1+x) = g(x)$  bulunur.  
Ordinat eksenine volt cinsinden temas gerilimini, apsis eksenine de boyutsuz  $x$  dirençler oranını götürerek, şekil-2'deki  $u_1 = f(x)$  ve  $u_2 = g(x)$  eğrilerini elde ederiz.





**Şekil-2 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara varılır:**

**1-  $u_1 = f(x)$  eğrisi monoton azalandır. En büyük değerini  $x=0$  iken alır.**

**$x=0$  iken  $u_1 = 220$  V'dır (A noktası). Ayrıca  $x \rightarrow \infty$  için  $\lim f(x) = 0$ 'dır. ( $x$  büyüdükçe 1 nolu motor gövdesindeki temas gerilimi azalır)**

**2-  $u_2 = g(x)$  eğrisi monoton artandır.  $x=0$  iken  $u_2 = 0$  olur (0 noktası) . Ayrıca  $x \rightarrow \infty$  için  $\lim g(x) = 220$  V olur. ( $x$  büyüdükçe 2 nolu motor gövdesindeki temas gerilimi artar)**

**3- Herhangi bir  $x=a$  değeri için,  $f(a)+g(a) = 220$  V tur.**

**4-  $R_0 = R_k$  iken ( $x=1$ ),  $u_{t1} = u_{t2} = 110$  V tur (B noktası)**

**5-  $u_1 = f(x)$  ve  $u_2 = g(x)$  eğrileri,  $u = 110$  V yatay doğrusuna göre simetriktirler.**

$u_1=f(x)$  eğrisinde A ile D noktaları arasında gerilim, 50 V luk tehlikeli gerilimin üzerinde olduğundan eğri koyu renk; D noktasından itibaren 50 V'un aşağısında olduğundan açık renk çizilmiştir.  $u_2=g(x)$  eğrisinde, 0 ile C arasında, gerilim 50 V'luk tehlike geriliminin altında olduğundan açık renk, C'den sonra ise gerilim 50 V'un üzerinde olduğundan koyu renk çizilmiştir.

(6) no'lu bağıntıda  $u_1=50$  V ve  $u_\lambda=220$  V değerlerini yerine koyup  $x$ 'i çözersek  $x= 0,294$  olarak hesap edilir (C noktası)

(7) no'lu bağıntıda  $u_2=50$  V ve  $u_\lambda=220$  V değerlerini yerine koyup  $x$ 'i çözersek  $x= 3,4$  olarak hesap edilir (D noktası).

$x= 0,294$  ve  $x= 3,4$  büyüklükleri, 1. kadranı 3 bölgeye ayırır.

I. bölgede  $R_k$  direncinin  $R_0$  direncinin yanında çok küçük olması gerekmektedir. Bu durumda hatanın olduğu 2 no'lu motorda bir tehlike yoktur. Ancak 1 no'lu motorda 170 V'un üzerinde tehlikeli bir gerilim oluşmaktadır. Pratikte en çok karşılaşılan durum II. Bölgeye tekabül eder. II. Bölgede her iki motorda da tehlikeli gerilim vardır. III. Bölgede  $x$  arttıkça 2 no'lu motor gövdesinde tehlikeli gerilim de artar.

Örnek :  $R_0 = 2 \Omega$ ,  $R_k = 1 \Omega$  iken, 2 no'lu motorda izolasyon hatası oluşursa,

$$x = R_k / R_0 = 1/2 = 0,5 \text{ (II.Bölge)}$$

$$u_1 = 220 / (1 + 0,5) = 146,6 \text{ V} \quad u_2 = 220 - 146,6 = 73,3 \text{ V}$$

Görüldüğü gibi her iki motor gövdesinde tehlikeli gerilimler meydana gelmiştir.

Örnek :  $R_0 = 2 \, \Omega$  iken 1 no'lu motorda tehlikeli gerilim olmaması için  $x > 3,4$  olmalıdır.

$$R_k / 2 > 3,4 \Rightarrow R_k > 6,8 \, \Omega$$

$R_k > 6,8 \, \Omega$  oldukça 1 no'lu motor gövdesindeki temas gerilimi 50 V'un altındadır.

**Buradaki ilgi çekici sonuç şudur :**

**$R_k$  küçük ise (koruma topraklaması iyi yapılmışsa) sıfırlama uygulanan motor risk altındadır. Koruma topraklaması yapılan motor tehlikesizdir.**

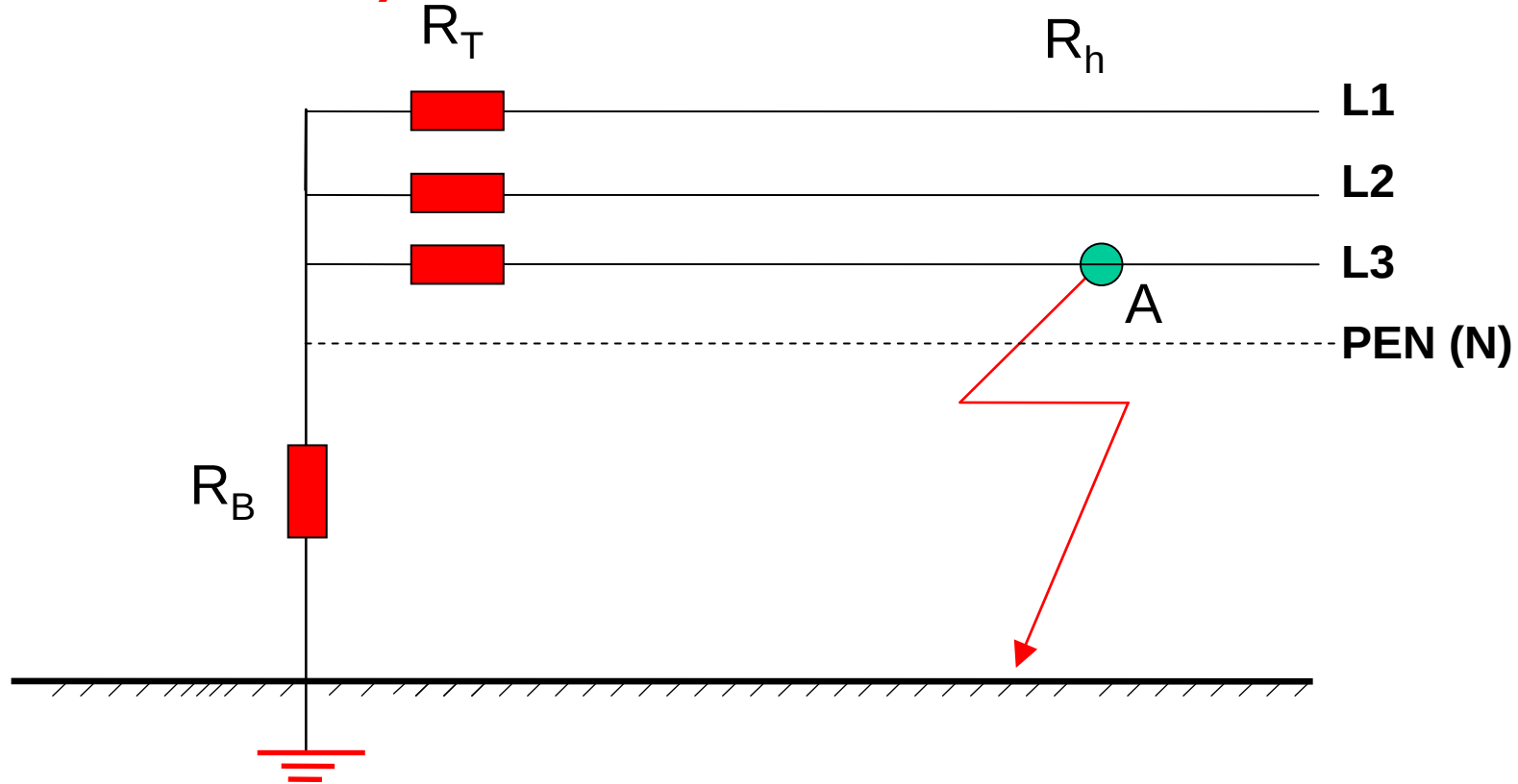
**$R_k$  büyük ise (koruma topraklaması iyi yapılmamışsa) sıfırlama uygulanan motor tehlikesizdir, bu durumda koruma topraklaması yapılan motor risk altına girmiştir.**

**Görüldüğü gibi şebeke karşılaşmaları,  $x$  dirençler oranına bağlı olmak üzere ölümcül kazalara neden olabilir. Sebeke karşılaşmalarının önüne geçmek için alınması gereken önlemler şu şekilde sıralanabilir.**

**1-Müstakil trafodan beslenen tüketicilerde sıfırlama sistemi uygulanacaksa, TN-C yerine TN-C-S seçilmelidir. Çünkü TN-C sisteminde, bu sistemin doğası gereği Kaçak Akım Koruma Şalteri(KAKŞ) kullanılamaz. TN-C-S sisteminde ise KAKŞ kullanılabilir. Bu durumda herhangi bir TN-C-S ile TT karşılaşmasında hata akımının algılanması olanaklıdır.**

**2-Elektrik projelerinde tek bir sistem uygulanmalı, planlarda cihazlar, prizler, kablo ve iletkenler numaralandırılmalıdır. Plan kopyaları panolara konmalı ve iletken renk kodlarına uyulmalıdır.**

## AG HAVA HATLARINDA FAZ-TOPRAK HATASI (FAZ KOPMASI)

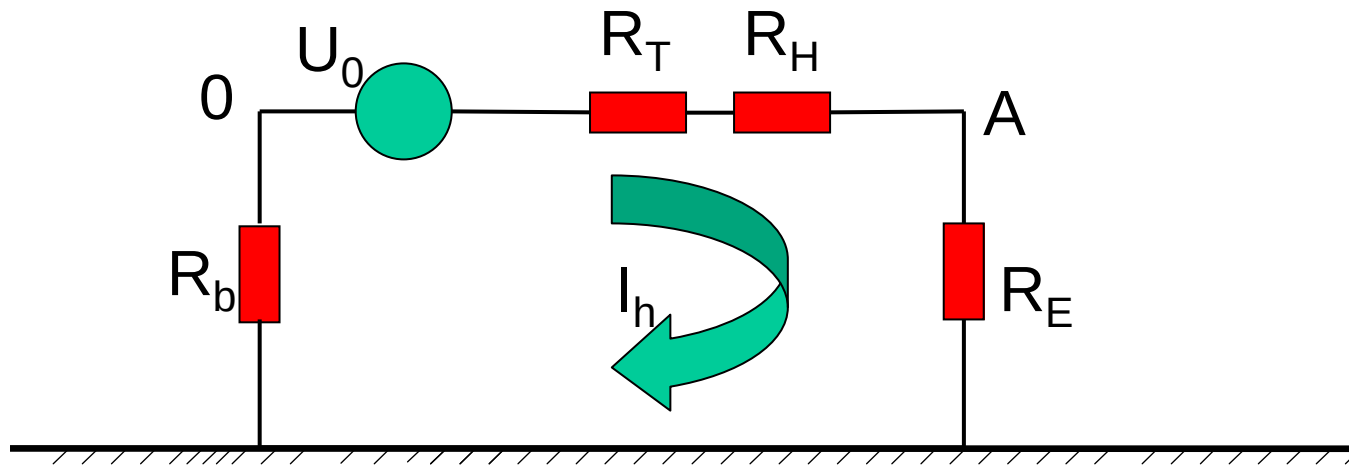


$R_B$ : İşletme topraklaması direnci

$R_E$ :  $L_3$  fazının toprağa temas direnci

$U_0$ : Toprağa göre anma a.a. gerilimi etkin değeri

**Eşdeğer devre:**





**$R_T$  ve  $R_H$  dirençleri ihmal edilirse**

$$I_h = \frac{U_0}{R_B + R_E} \quad U_B = R_B I_H = R_B \frac{U_0}{R_B + R_E}$$

**Madde 3.7 gereği**  $U_B \leq 50$

$$R_B \frac{U_0}{R_B + R_E} \leq 50 \quad \frac{R_B + R_E}{R_B U_0} \geq \frac{1}{50} \rightarrow \frac{R_B + R_E}{R_B} \geq \frac{U_0}{50}$$

$$1 + \frac{R_E}{R_B} \geq \frac{U_0}{50} \rightarrow \frac{R_E}{R_B} \geq \frac{U_0}{50} - 1 \rightarrow \frac{R_E}{R_B} \geq \frac{U_0 - 50}{50}$$

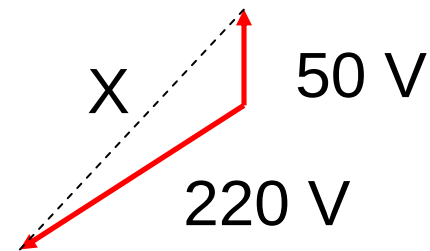
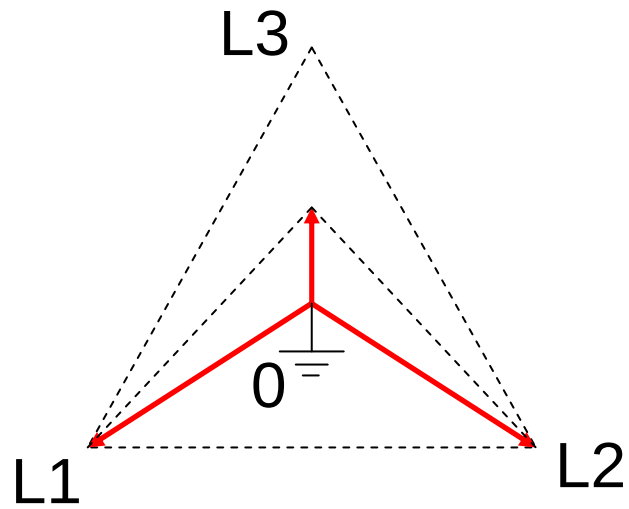
**ETTY s.17**

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_0 - 50}$$

**380/220 V şebekede  $U_0=220$  V**

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{220 - 50} \rightarrow \frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{170} \rightarrow \frac{R_B}{R_E} \leq 0,294$$

$$\frac{R_E}{R_B} \geq \frac{1}{0,294} \rightarrow \frac{R_E}{R_B} \geq 3,4 \rightarrow R_E \geq 3,4.R_B$$



$$X^2 = 220^2 + 50^2 - 2 \cdot 220 \cdot 50 \cdot \cos 120$$

$$X \cong 250 \text{ V}$$

**L uzunlukta, d çaplı silindirik topraklayıcının yayılma direnci**

**ETTY s.88 Şekil T-7'nin altında  $R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{D}$**

**şeklinde verilmiştir.**

|               | <b>d (mm)</b> | <b><math>\ln \frac{2.40}{d}</math></b> | <b><math>\frac{1}{\pi} \ln \frac{2.40}{d}</math></b> |              |
|---------------|---------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Rose</b>   | <b>5,58</b>   | <b>9,57</b>                            | <b>3,05</b>                                          | <b>Ort.3</b> |
| <b>Lily</b>   | <b>6,60</b>   | <b>9,40</b>                            | <b>2,99</b>                                          |              |
| <b>Iris</b>   | <b>7,41</b>   | <b>9,29</b>                            | <b>2,95</b>                                          |              |
| <b>Pansy</b>  | <b>8,34</b>   | <b>9,17</b>                            | <b>2,92</b>                                          |              |
| <b>Popy</b>   | <b>9,36</b>   | <b>9,05</b>                            | <b>2,88</b>                                          |              |
| <b>Aster</b>  | <b>10,50</b>  | <b>8,93</b>                            | <b>2,84</b>                                          |              |
| <b>Pholox</b> | <b>11,79</b>  | <b>8,82</b>                            | <b>2,81</b>                                          |              |

$$L=40 \text{ m} \quad R_E \approx \frac{3\rho}{L} \quad R_E \approx 0,075\rho$$

$$L=1 \text{ m} \quad R_E = \frac{\rho}{\pi \cdot 1} \ln \frac{2.1}{0,0086} = 1,73\rho$$

$$L=10 \text{ m} \quad R_E = \frac{\rho}{\pi \cdot 10} \ln \frac{2.10}{0,0086} = 0,25\rho$$

$$L=1 \text{ m} \quad \rho=100 \text{ } \Omega \text{ m} \quad R_E=173 \text{ } \Omega$$

$$L=10 \text{ m} \quad \rho=100 \text{ } \Omega \text{ m} \quad R_E=25 \text{ } \Omega$$

$$L=40 \text{ m} \quad \rho=100 \text{ } \Omega \text{ m} \quad R_E=7,5 \text{ } \Omega$$

O halde yönetmeliğin dayattığı en küçük temas direnci yaklaşık 40 m iletken uzunluğunda gerçekleşir.

$$R_E \geq 3,4R_B \quad R_{Emin} \cong 0,075\rho$$

$$R_E \geq 0,075\rho$$

$$0,075\rho \geq 3,4.R_B \Rightarrow \rho \geq \frac{3,4}{0,075}R_B \quad \boxed{\rho \geq 45.R_B}$$

$$R_B=0,1 \, \Omega \quad \rho \geq 4,5 \, \Omega \, m$$

$$R_B=1 \, \Omega \quad \rho \geq 45 \, \Omega \, m$$

$$R_B=2 \, \Omega \quad \rho \geq 90 \, \Omega \, m$$

**Soru:**

İşletme topraklamasının  $\leq 2 \Omega$  olması yeni ETTY açısından yeterli midir?

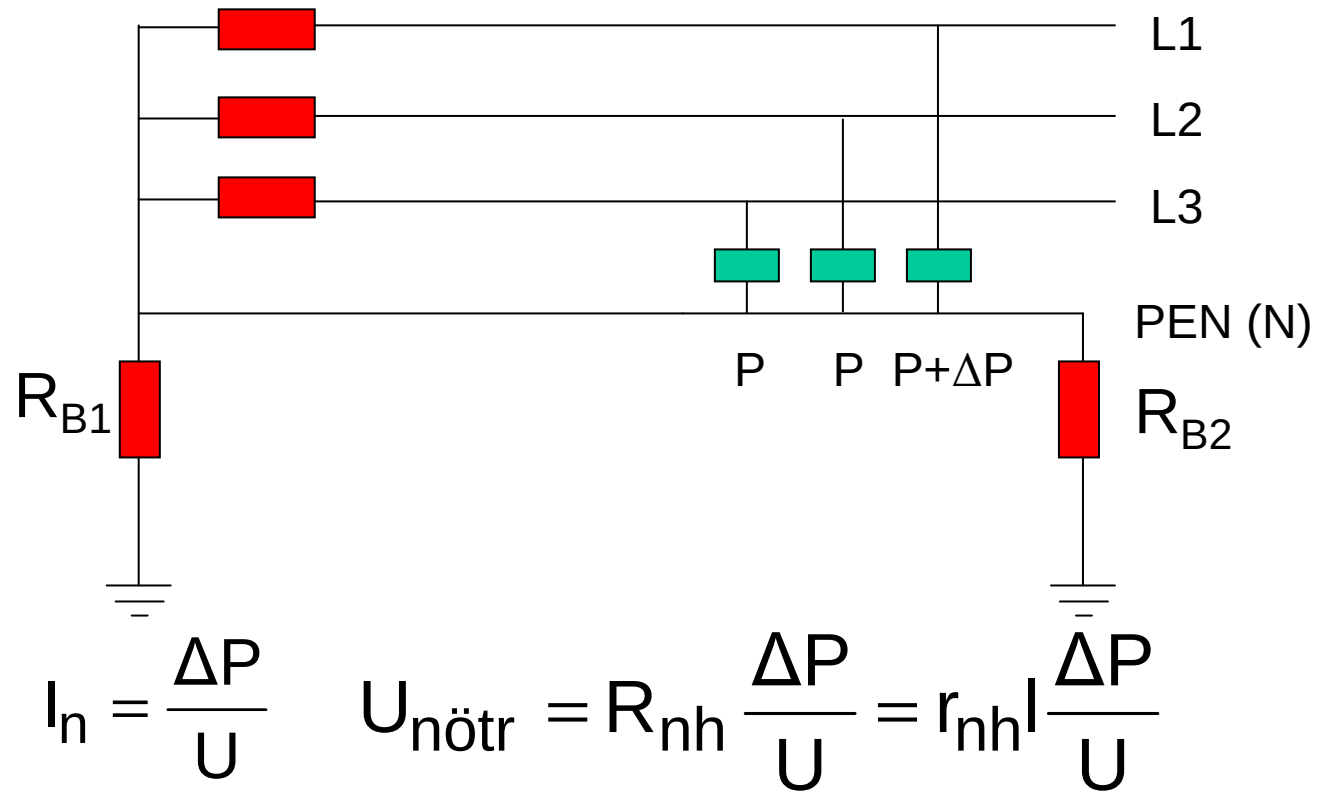
**Soru:**

AG havai hat altındaki toprak özgül direnci  $\rho$  küçüldükçe gerilim terazisini dengelemek kolaylaşır mı? Bu durumda direk topraklaması için ne dersiniz?

**Soru:**

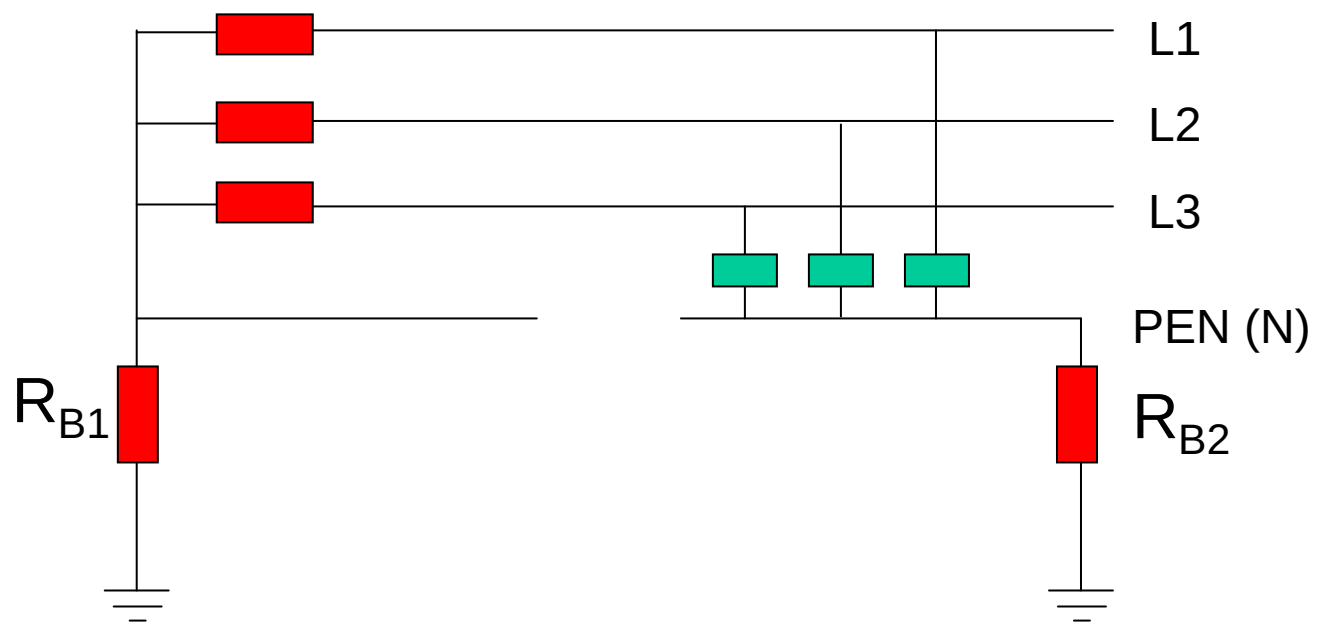
$R_T=0,02 \Omega$ ,  $R_H=0,3 \Omega$ ,  $R_E=7,5 \Omega$ ,  $R_B=2 \Omega$  için Madde 3.7'nin gerçekleşip gerçekleşmediğini tahkik ediniz.

## NÖTR KOPMASI

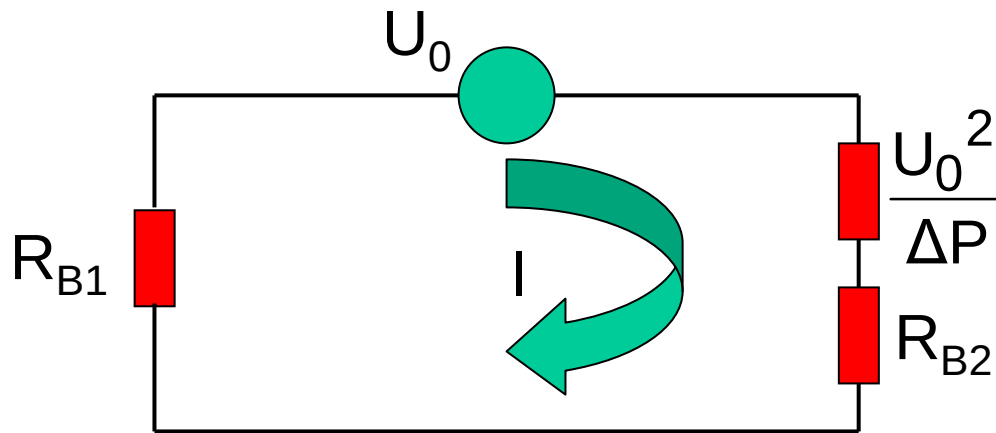


$$\Delta P = 0 \quad \text{ise} \quad U_{n\ddot{o}tr} = 0$$





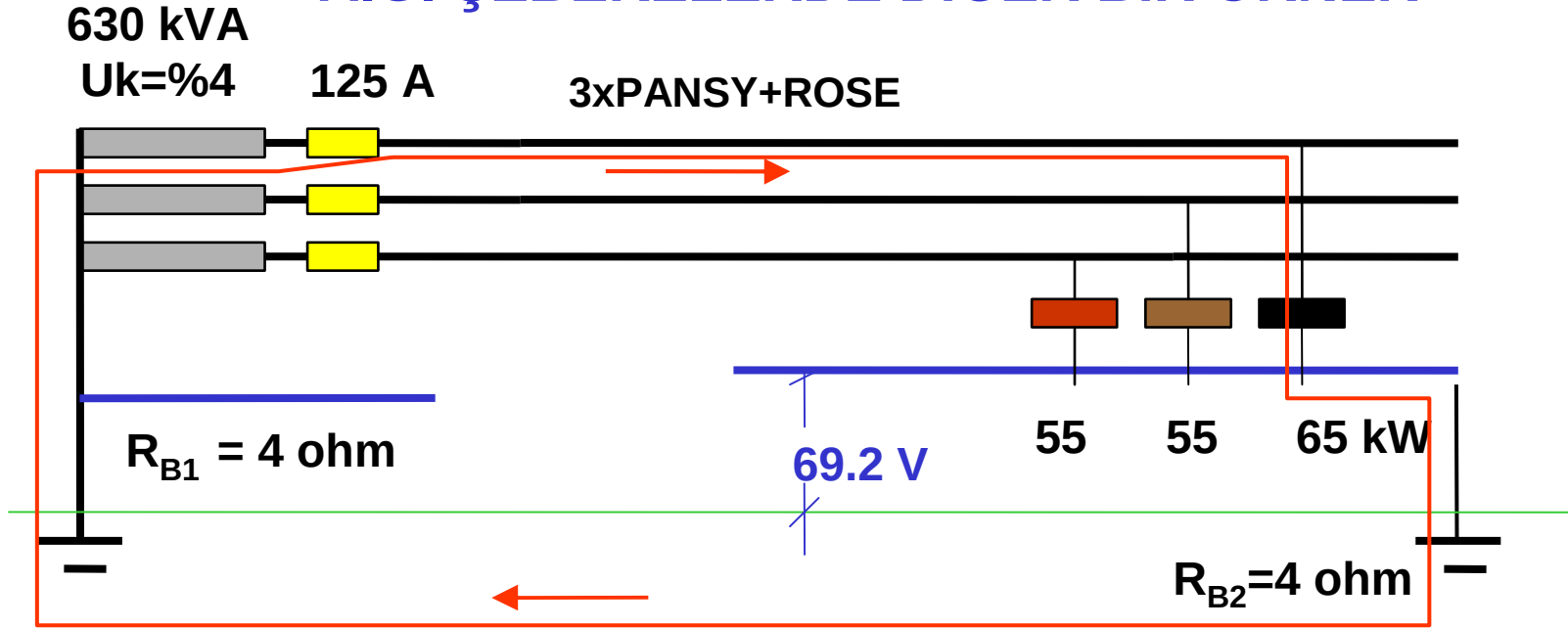
**Eşdeğer devre:**



$$I = \frac{U_0}{R_{B1} + R_{B2} + \frac{U_0^2}{\Delta P}} = \frac{\Delta P \cdot U_0}{\Delta P \cdot (R_{B1} + R_{B2}) + U_0^2}$$

$$U_{B2} = \frac{R_{B2} \cdot \Delta P \cdot U_0}{\Delta P \cdot (R_{B1} + R_{B2}) + U_0^2} \quad \Delta P = 0 \rightarrow U_{B2} = 0$$

## A.G. ŞEBEKELERDE DİĞER BİR ÖRNEK



Benzer olaylar nötr kopmalarında da yaşanır.  $R_{B1}=R_{B2} = 4 \text{ ohm}$  ve kopma sırasında dengesiz yük 10 kW olsun.  $Z_{dyük} = 230^2 / 10000 = 5,29 \text{ ohm}$

Çevrim empedansı  $Z_s = 5,29 + 4 + 4 = 13,29 \text{ ohm}$  Hat ve trafo empedansları ihmal edilmiştir.

Devreden geçen akım  $= 230 / 13,29 = 17,3 \text{ A}$ .

$R_{B2}$  üzerinde gerilim  $= 4 \times 17,3 = 69,2 \text{ V}$ . 50 V'luk limitin üzerindedir.

(Madde 8a 3.7)

# **TEMEL TOPRAKLAMASI**

### **Temel Topraklaması:**

**ETTY s.19 Madde 7.9 gereği yeni yapılacak binalarda temel topraklayıcı tesis edilmesi zorunludur.**

**\* Temel topraklayıcı, kapalı bir ring şeklinde yapılmalıdır.**

**\* Çevresi büyük olan binalarda temel topraklayıcı tarafından çevrelenen alan, enine bağlantılarla 20x20 m gözlere bölünmelidir.**

**\* Temel topraklayıcı her tarafı betonla kaplanacak şekilde düzenlenmelidir.**

**\* Temel topraklaması için en küçük kesiti 30x3,5 mm çelik şerit veya en küçük çapı 10 mm olan yuvarlak çelik çubuk kullanılmalıdır. Çelik çinko kaplı olabilir veya olmayabilir. Ama bağlantı filizleri mutlaka çinko kaplı çelikte yapılmış olmalıdır.**

**\* Çelik hasırlı olmayan temel içinde topraklayıcının beton içindeki yerini sabitlemek için mesafe tutucular kullanılmalıdır.**

**\* Çelik hasırlı temel ve su yalıtım malzemesi içinde yerleştirme için temel topraklayıcı en alt sıradaki çelik hasır üzerine yerleştirilmeli ve yerini sabitlemek için 2 m aralıklarla çelik hasıra bağlanmalıdır.**

**\* Dışardan basınç yapan suya karşı yalıtılmış binalarda temel topraklayıcı yalıtımın altındaki beton tabakasına yerleştirilmelidir.**

**\* Bağlantı filizleri bina içine girdikleri yerden itibaren en az 1,5 m uzunluğa sahip olmalıdır.**

**\* Temel topraklayıcı yıldırıma karşı koruma topraklaması olarak kullanılacaksa özel bağlantı filizi kullanılmalı ve bağlantı için dışarı çıkartılmalıdır.**

**.Asansör rayları gibi metalik konstrüksiyon kısımları temel topraklamaya bağlanacaksa ek bağlantı filizleri öngörülmalıdır.**

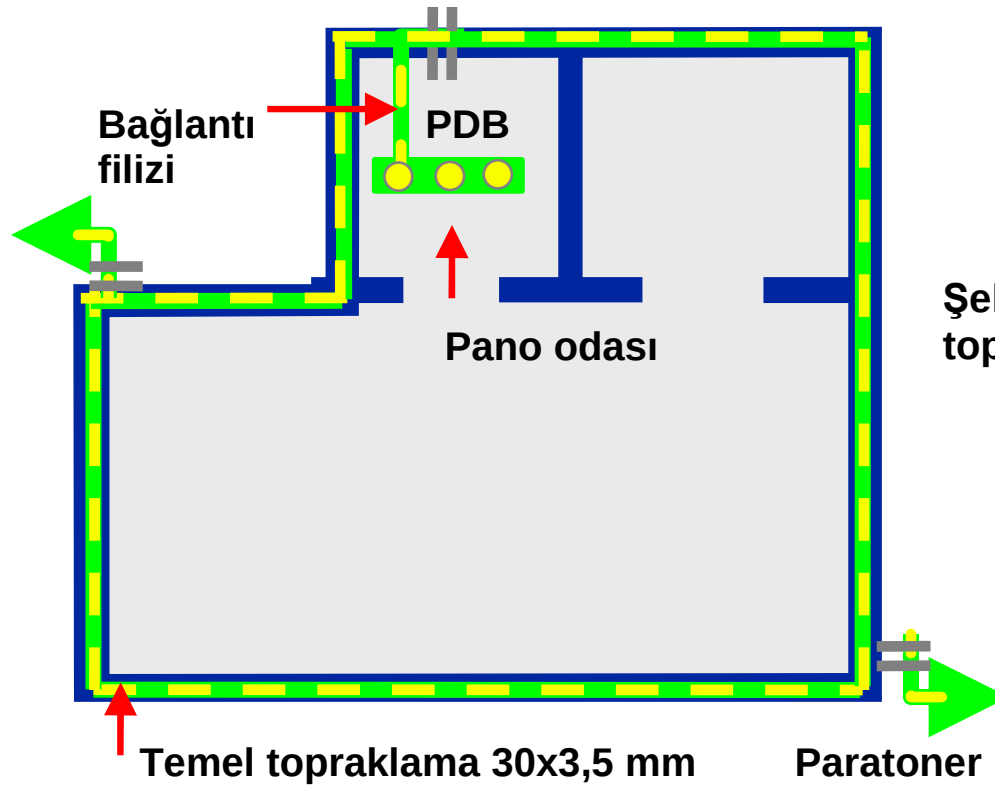
**\* Temel topraklama kısımlarını birbirine bağlamak için çapraz bağlayıcılar çelik donatıya bağlamak için de uygun bağlantı klemensleri kullanılmalıdır.**

**\* Dilatasyon derzlerinde genleşme köprüsü kullanılarak esnek bağlantı yapılmalıdır.**



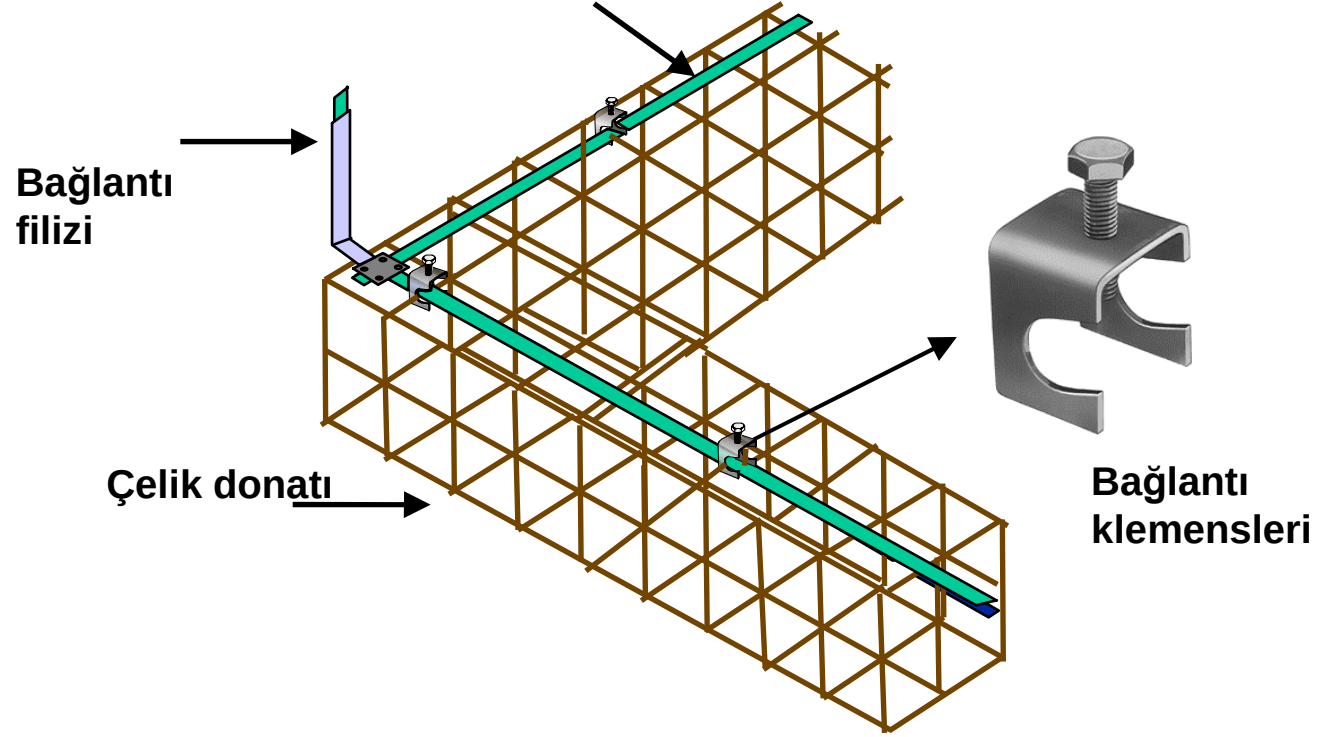
## Temel topraklayıcı tesisi

- Temel topraklaması, potansiyel dengelemesinin etkisini arttırır. Bunun dışında, Üçüncü Bölüm'deki kurallar yerine getirildiği takdirde, temel topraklaması kuvvetli akım tesislerinde ve yıldırıma karşı koruma tesislerinde topraklayıcı olarak uygundur.
- Bu topraklama, yapı bağlantı kutusunun arkasındaki elektrik tesisinin veya buna eşdeğer bir tesisin ana bölümüdür.



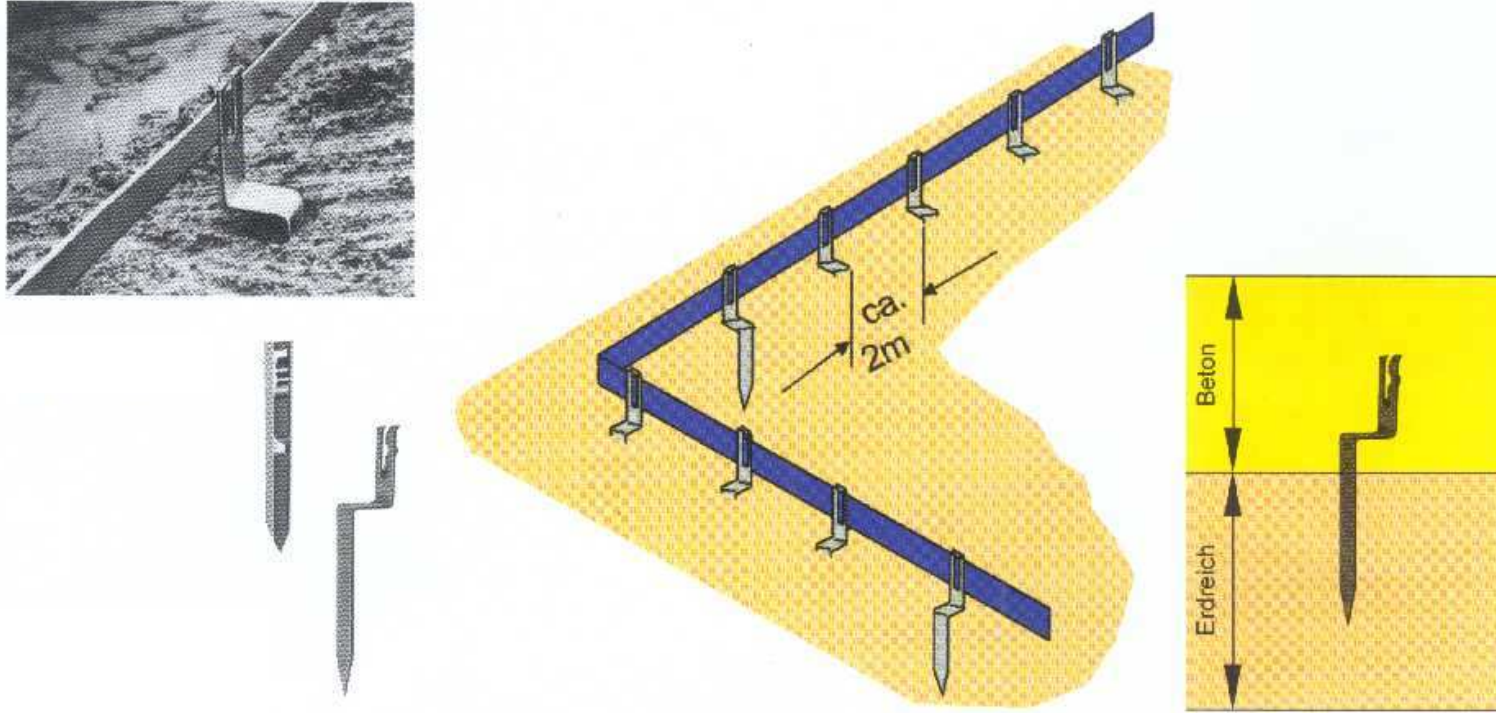
Şekil 16: Temel topraklama

**Temel topraklama şeridi (30x3,5 mm) en alt sıradaki elik hasır üzerine yerleştirilmelidir.**



**elik donatılı temel topraklayıcıya rnek**

## Temel topraklamada mesafe tutucuların görünüşü



**Temel topraklayıcı ve mesafe tutucular**



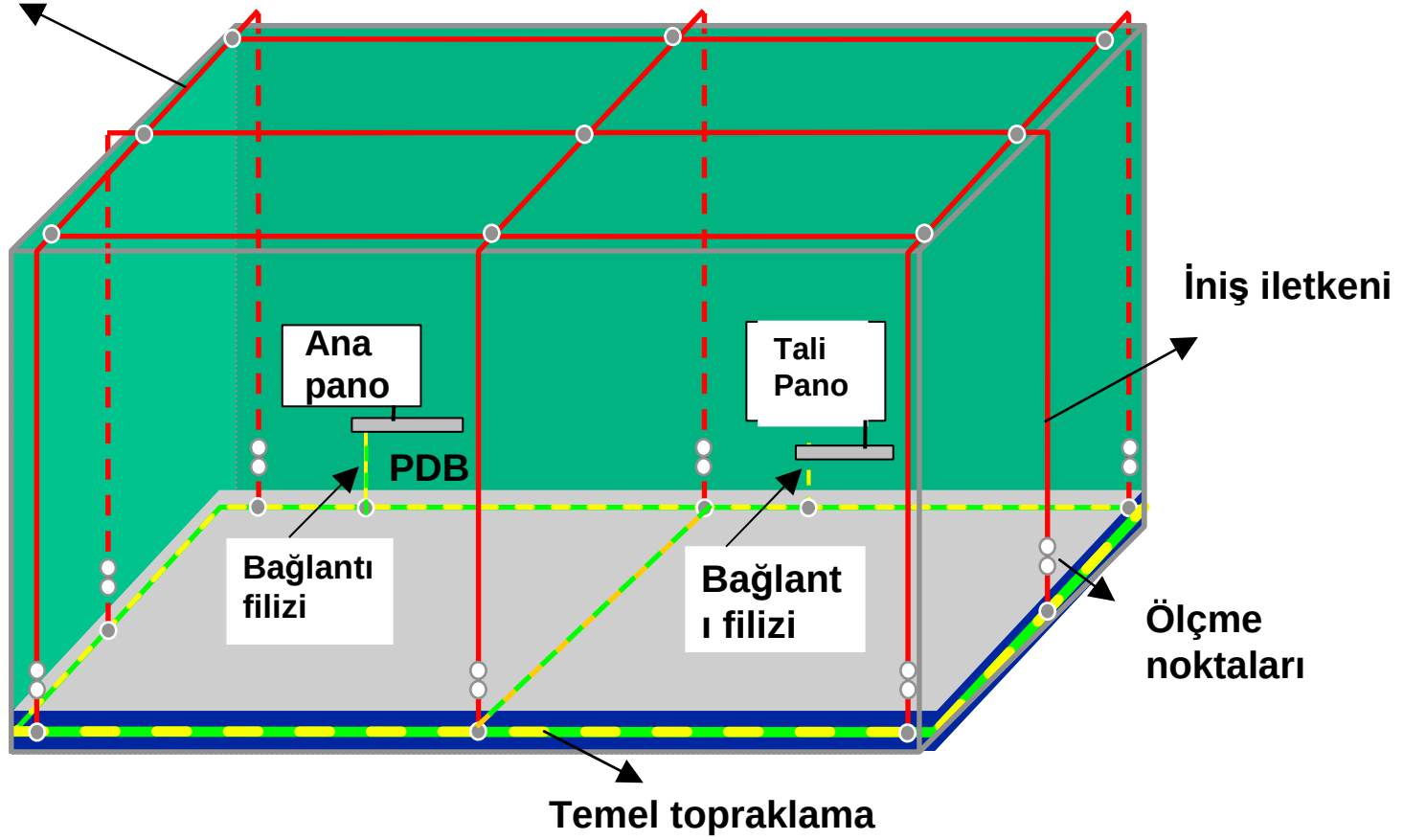
**Çelik donatılı temel topraklayıcının üstten görünüşü**



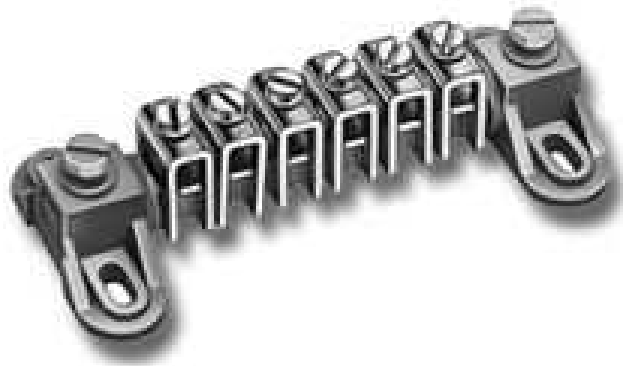


**Temel topraklamada şeridin tesisi**

Yakalama uçları



**IEC 61024-1'e göre bina dışı yıldırım koruması, temel topraklama ve potansiyel dengelemesinin birlikte tesisi**



**Örnek potansiyel denge baraları**

# **YG-AG SİSTEMLERİNDE TOPRAKLAMA TESİSLERİNİN BİRLEŞTİRİLMESİ**



## **Madde 11**

**a) Bir yüksek gerilim tesisinde toprak hatası esnasında alçak gerilim sisteminin nötr veya PEN iletkeni, yüksek gerilim tesis sisteminin topraklama tesisleri ile aşağıdaki koşullar yerine getirilmek kaydıyla bağlanabilir.**

- Alçak gerilim şebekesinde veya tesis edilen tüketim tesislerinde tehlikeli dokunma gerilimleri ortaya çıkmaz ise (Çizelge 13)**
- Tüketim tesislerinde alçak gerilim cihazlarının gerilim dayanımının (işletme frekansındaki) yüksekliği alçak gerilim yıldız noktasında bir potansiyel yükselmesinin sonucu olarak Çizelge 13'te izin verilen değerleri aşmaz ise,**

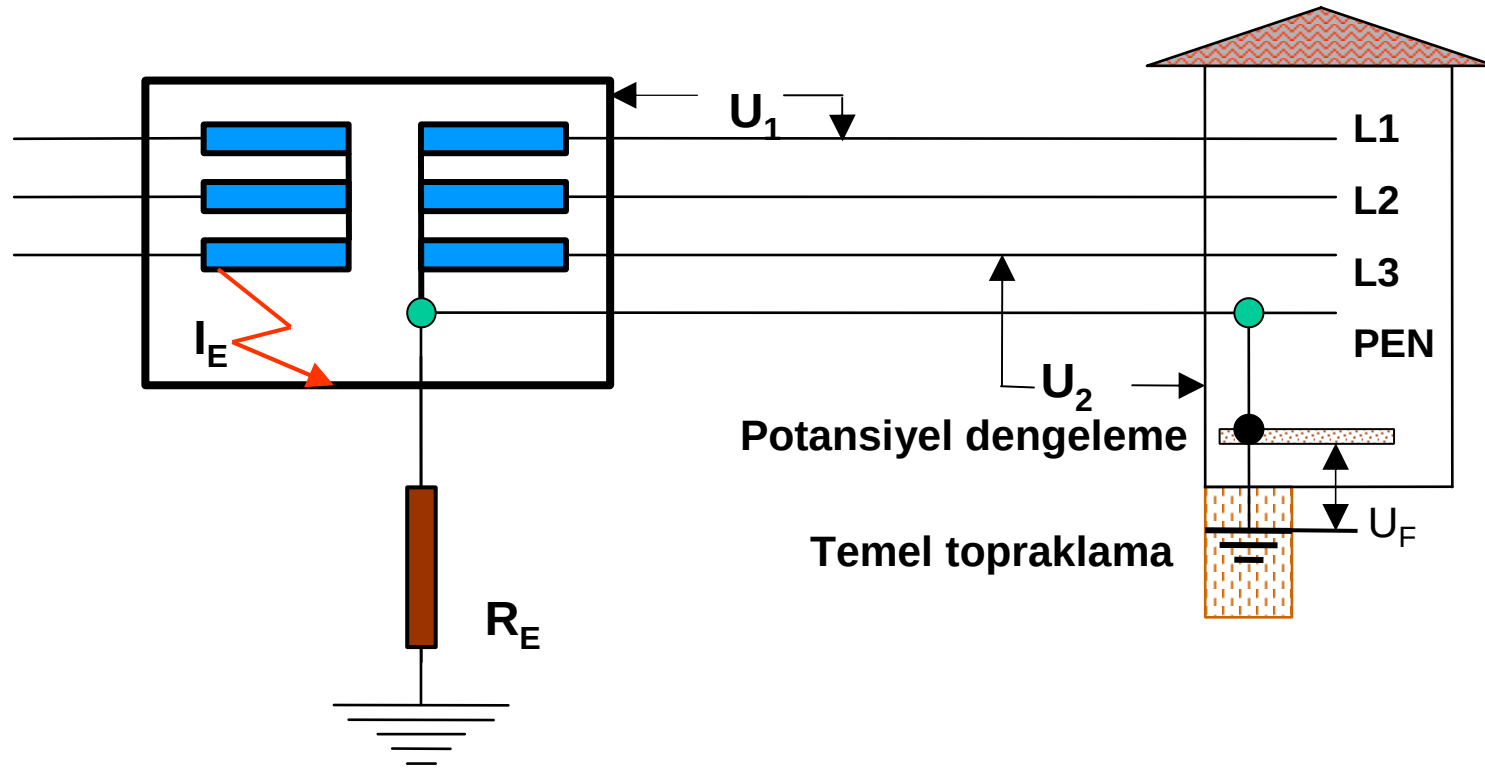
**b) Bir yüksek gerilim tesisi, topraklama alanı içindeki alçak gerilim tüketicilerini besliyorsa; YG topraklama tesisleri içindeki tüm işletme ve koruma topraklamaları birleştirilmelidir.**

**c) Yüksek gerilim topraklama tesisinin alanı dışındaki alçak gerilimli tesislerin beslenmesi:**

- Söz konusu yüksek gerilim topraklama tesisi global topraklama sistemine bağlanmış ise,**
- veya AG şebekesinde Çizelge 13'teki koşullar yerine getirilmiş ise,**

**ortak topraklama tesisinin yapılması önerilir.**

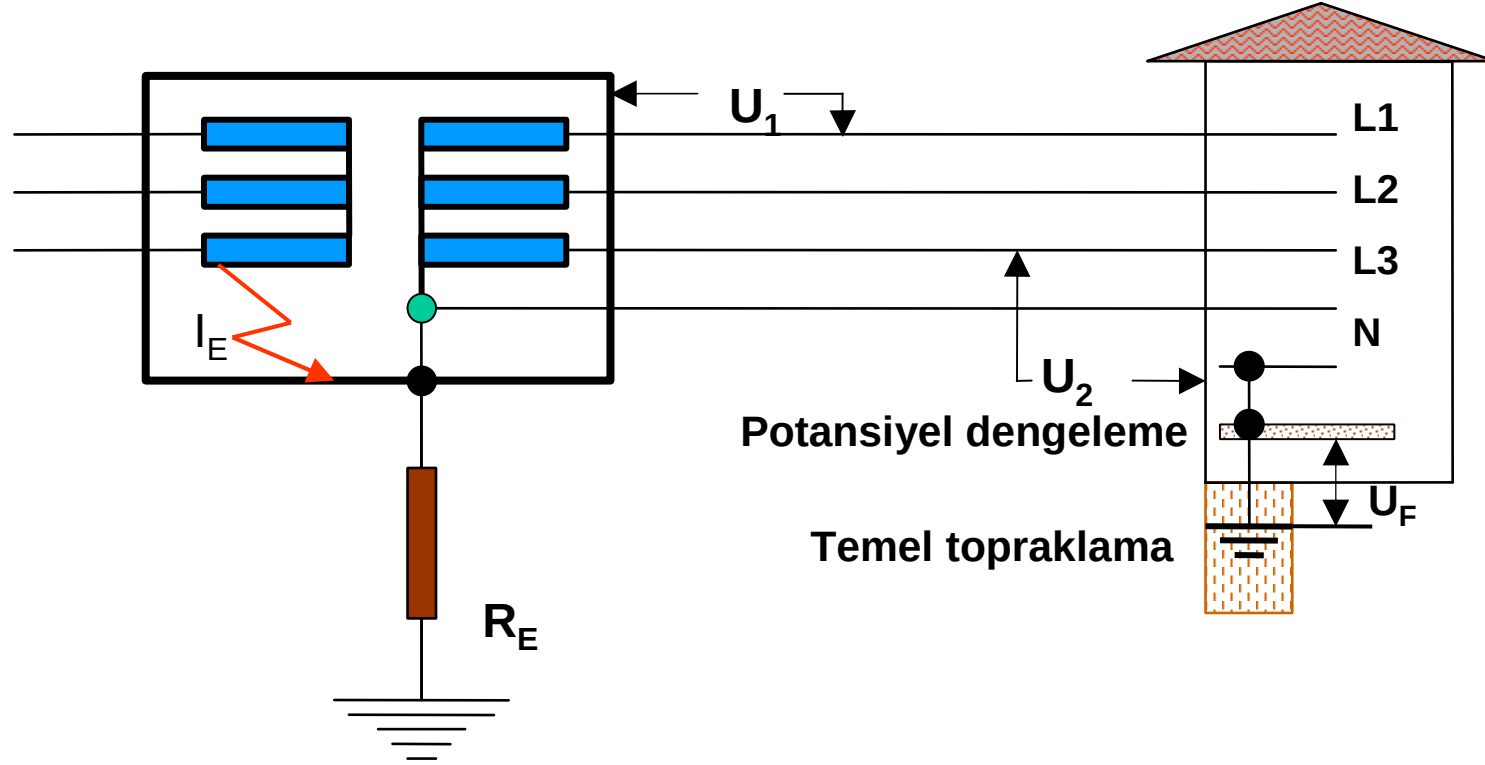
| AG Sistem Tipi | Hata Süresi                  | Ortak topraklama koşulları |                           |
|----------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                |                              | Dokunma Gerilimi           | Zorlanma Gerilimi         |
| TT             | $t \leq 5 \text{ s}$         | Uygulanmaz                 | $U_E \leq 1200 \text{ V}$ |
|                | $t > 5 \text{ s}$            |                            | $U_E \leq 250 \text{ V}$  |
| TN             | PEN sadece TM'de topraklı    | $U_E \leq U_{tp}$          | Uygulanmaz                |
|                | PEN bir çok noktada topraklı | $U_E \leq 2 \cdot U_{Tp}$  |                           |



TN sisteminde  $U_{Tp} = f(t)$  eğrisinden

PEN tek noktada topraklı ise  $U_E \leq U_{Tp}$

PEN birden fazla noktada topraklı ise  $U_E \leq 2.U_{Tp}$  olmalıdır.



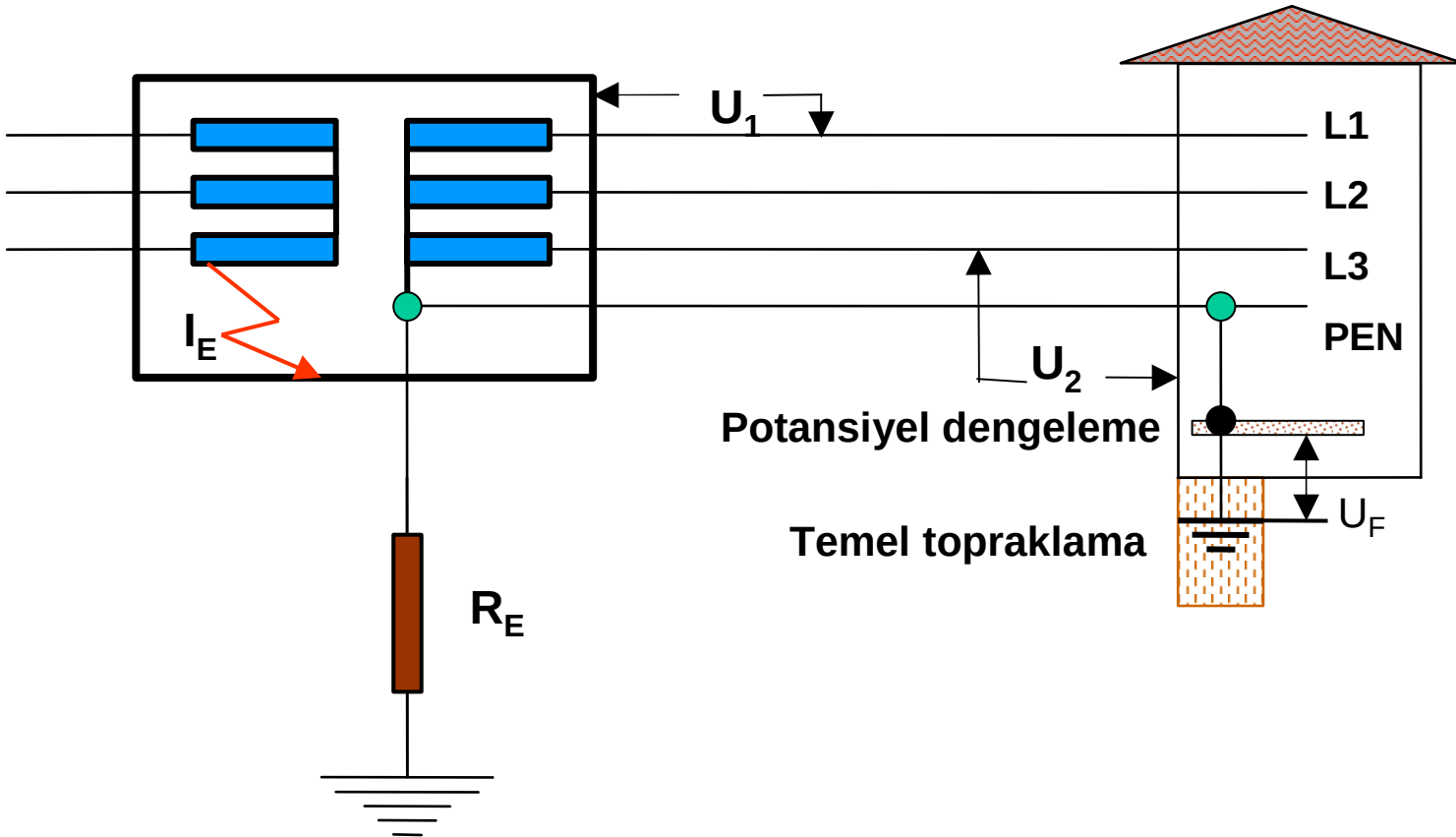
Açma süresi  $t > 5$  s ise AG cihazlarının izin verilen zorlanma gerilimi

$U_0+250$  V

Açma süresi  $t \leq 5$  s ise  $U_0+1200$  V

Çizelge 14'ten yararlanılarak  $U_E \leq 1200$  olarak bulunur (YG'nin yıldız noktası düşük değerli bir direnç üzerinden topraklı bir sistem, AG'nin TT sistemi olması kaydıyla).

**Soru: AG'de TN sisteminin uygulanması halinde**



**Verilenler:  $I_{k1} = 700 \text{ A}$ ,  $R_E = 1,5 \text{ } \Omega$ ,  $t = 0,5 \text{ s}$**

**s.14 Şekil 6'daki eğriden,**

**$t = 0,5 \text{ s}$  için  $U_{Tp} = 200 \text{ V}$**

**Topraklama gerilimi = Faz toprak akımı x topraklama direnci**

$$U_E = I_{k1} \cdot R_E = 700 \cdot 1,5 = 1,05 \text{ kV}$$

**PEN tek noktada topraklı ise  $U_E \leq U_{Tp}$**

**PEN birden fazla noktada topraklı ise  $U_E \leq 2 \cdot U_{Tp}$  olmalıdır.**

**a)  $1050 \text{ V} > 200 \text{ V}$  olduğundan topraklamalar birleştirilemez.**

**$700 \cdot R'_E \leq 200$  olacak şekilde  $R'_E$  direncini düşürmeliyiz.**

$$R'_E \leq 200 / 700 \leq 0,29 \Omega$$

$$R'_E = 0,2 \Omega \text{ olursa } 700 \cdot 0,2 = 140 \text{ V}$$

**b)  $U'_E = 140 \text{ V} < U_{Tp} = 200 \text{ V}$  olduğundan trafo koruma ve işletme topraklamaları birleştirilebilir.**

**(a)'daki durumda topraklamalar birleştirilmeyecekse 50 kV'un altındaki tesislerde olmalıdır.**



**Soru:**

Bir trafo merkezi için faz-toprak kısa devresi 1000 A olarak hesaplanmıştır. Arıza temizlenme süresi  $t_F = 0,5$  s olarak verilmiştir. PEN çok noktada topraklanmıştır.  $R_E$  direnci ne olmalı ki YGKT ile AGİT birleştirilebilsin?

$$R_E \cdot I_{k1} = U_E$$

**PEN çok noktada topraklandığından  $U_E \leq 2 \cdot U_{Tp}$  olmalıdır.**

$$R_E \cdot I_{k1} \leq 2U_{Tp} \Rightarrow R_E \leq \frac{2U_{Tp}}{I_{k1}}$$

**$I_{k1}=1000$  A,  $U_{Tp}=200$  V (0,5 s için)**

$$R_E \leq \frac{2 \cdot 200}{1000} \leq \frac{400}{1000} \leq 0,4$$

**$R_E$  direnci 0,4  $\Omega$ 'un altında gerçekleşirse YGKT ve AGİT birleştirilebilir.**

# **AG SİSTEMİ TT İSE YGKT-AGİT BİRLEŞTİRME ÖRNEKLERİ**

**Soru:**

$I''_{k1} = 2 \text{ kA}$ ,  $r = 0,6$  ise  $R_E$  ne olmalıdır?

$$R_E = \frac{U_E}{I_E} = \frac{1200}{r \cdot I''_{k1}} = \frac{1200}{0,6 \cdot 2000} = 1$$

**Soru:**

**Bir önceki örneği  $r = 1$  olarak tekrar gözden geçiriniz.**

$$R_E = \frac{1200}{1.2000} = 0,6$$

**Direnç şartı ağırlaştırmıştır.**

**Türkiye örneği (En kötü koşullar göz önüne alınarak)**

**154 / 34,5 kV yıldız noktası**

**1) 60  $\Omega$  ile topraklanmışsa,  $I''_{k1} = 300 \text{ A}$   $r = 1$   $I_E = 300 \text{ A}$**

**2) 20  $\Omega$  ile topraklanmışsa,  $I''_{k1} = 1000 \text{ A}$   $r = 0,6$**

**$I_E = 600 \text{ A}$**

**Yurdumuzda AG şebeke olarak genellikle TT kullanıldığından  $U_E \leq 1200 \text{ V}$  olmalıdır.**

**Bu durumda**

**1)  $R_E \cdot I_E \leq 1200$   $R_E \leq 1200 / 300 \leq 4 \Omega$**

**2)  $R_E \leq 1200 / 600 \leq 2 \Omega$**

### **Toprakların birleştirilmesi konusunda sağlamcı yaklaşım:**

Şekil 6'daki  $U_{Tp} = f(t)$  eğrisi incelenirse  $U_{Tpmin} = 75 \text{ V}$  olduğu görülür.  $t > 5 \text{ s}$  ise eğri doymuştur. Yukarıdaki hesaplamaları yapmak zor geliyorsa ve toprak değerini tutturmak güç değilse ( $\rho$  iyi mertebede veya global tesis söz konusu ise), ve  $R_E \leq U_{Tpmin} / I_E$  koşulunu gerçekleyebilirsek, koruma ve işletme topraklamaları güvenle bağlanabilir. Fakat bu sağlamcı yaklaşım güvenlik bakımından bizi rahatlatır ama topraklama tesisi pahalı olur.

$$R_E \leq \frac{75}{I_E} \leq \frac{75}{r \cdot I_{k1}''}$$

**Yıldız noktası 60  $\Omega$ ,  $I_k=300$  A  $R_E \leq \frac{75}{1.300} \leq 0,25$**

**Yıldız noktası 20  $\Omega$ ,  $I_k=1000$  A  $R_E \leq \frac{75}{0,6.1000} \leq 0,125$**

**olursa hiçbir tahkik yapılmaksızın topraklamalar  
birleştirilebilir.**



### Topraklamaların ayrılması:

$$U_2 = U_0 \quad U_1 = U_0 + R_E \cdot I_E$$

$U_B \leq U_{Tp}$  şartı her koşulda sağlanmalıdır.

### **20 metre sorunu:**

**Tekil topraklamalarda pek sorun yoktur. Madde 11.d'de belirtildiği gibi (s.28) topraklayıcının geometrik şekli dikkate alınmalıdır (Ek-M'deki örneklerle bakınız).**

**$d \leq d_{\text{kabul}}$  olan YG tesislerinin dışındaki alanlarda AG şebekelerinin topraklama bağlanmasına kesinlikle izin verilmez.**

## Örnek:

**Gömülmüş ağ**

$$A = 5 \cdot 7 \text{ m}^2$$

$$d_{\text{kabul}} = \sqrt{\frac{A}{\pi} \left( \frac{1}{\sin \frac{\pi U_k}{2U_E}} - 1 \right)}$$

$$d_{\text{kabul}} = 20 \text{ m} \quad A = 35 \text{ m}^2$$

$$U_k / U_E = 0,09 \text{ (Gömülmüş ağ)}$$

**$l=2 \text{ m}$ ,  $d=20 \text{ mm}$  çubuk için  $d_k=20 \text{ m}$**

$$\frac{U_k}{U_E} = 0,17 \quad \sqrt{\frac{4.35}{\pi}} = 6,7$$

# **TOPRAKLAMA, KORUMA VE POTANSİYEL DENGEME İLETKENLERİNİN SEÇİMİ VE TESİSİ**

## Topraklama iletkenlerinin akım taşıma kapasitelerinin hesaplanması:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}}$$

**A:** iletkenin kesiti (mm<sup>2</sup>)

**t<sub>k</sub>:** hata akım süresi (s)

**I:** iletken akımı (A)

**Kθ:** malzeme katsayısı (A.s<sup>1/2</sup>/mm<sup>2</sup>)

**θ<sub>i</sub>:** başlangıç sıcaklığı (°C)

**θ<sub>f</sub>:** son sıcaklık (°C)

### Örnek:

$I_{k1} = 1000 \text{ A}$ ,  $t = 1 \text{ s}$  için

1. Yöntem: Ek-B'deki çizelgeleri kullanarak

$$A = \frac{1000}{78} \sqrt{\frac{1}{\ln \frac{150 + 202}{20 + 202}}} = 19$$

2. Yöntem: Ek-B'deki eğrileri kullanarak s.54'teki eğriden  $t = 1 \text{ s}$  için (4 nolu galvanizli çelik)  $G = 75 \text{ A/mm}^2$  bulunur.

**Fakat Ek-A'da korozyon ve mekanik dayanım yönünden galvaniz çelik için şerit hali göz önüne alınırsa  $A_{\min} = 90$  mm<sup>2</sup> olduğu görülür. 30x3 galvaniz çelik şerit uygundur.**

## **Madde 9.**

- Tesisat bölgesinde toprağın toprak özgül direnci ölçülmelidir.
- Topraklayıcılar tespit edilmelidir.
- Topraklayıcının yayılma direnci  $R_A$  hesaplanmalıdır.
- Topraklayıcı tesis edilmelidir.
- Topraklama, koruma, potansiyel dengeleme iletkenleri varsa yıldırım karşı kurulan tesisin potansiyel dengeleme iletkenleri ana topraklama baralarına bağlanmalıdır.



## Potansiyel dengeleme iletkenlerinin kesiti

| Kesit   | Ana potansiyel iletkeni                       | Ek potansiyel dengelemesi                 |                              |
|---------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| Normal  | 0,5 x tesisin en büyük koruma iletkeni kesiti | İki gövde arasında                        | 1 x en küçük koruma iletkeni |
|         |                                               | İki gövde arası ve yabancı geçirgen kısım | 0,5 x koruma iletkeni kesiti |
| Minimum | 6 mm <sup>2</sup> Cu                          | Mekanik korumalı                          | 2,5 mm <sup>2</sup> Cu       |
|         |                                               | Mekanik korumasız                         | 4 mm <sup>2</sup> Cu         |
| Sınır   | 25 mm <sup>2</sup> Cu                         | -                                         | -                            |

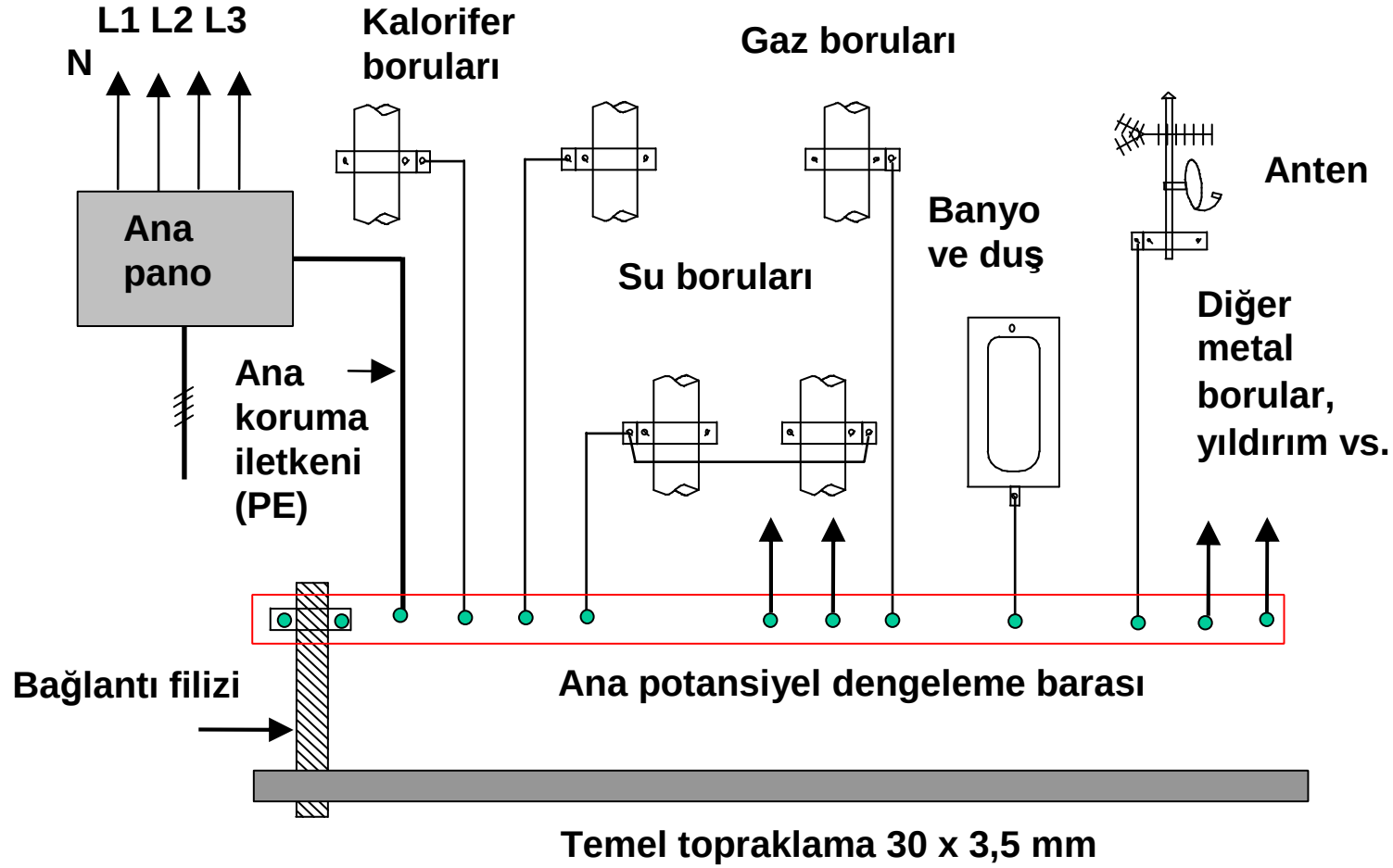
**Ana iletken kesitlerine bağlı koruma  
iletkeni kesitlerinin seçimi**

| <b>L1, L2, L3<br/>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>PE (mm<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------------------------|----------------------------|
| <b><math>S \leq 16</math></b>          | <b>S</b>                   |
| <b><math>16 &lt; S \leq 35</math></b>  | <b>16</b>                  |
| <b><math>S &gt; 35</math></b>          | <b><math>S / 2</math></b>  |

## Potansiyel dengeleme

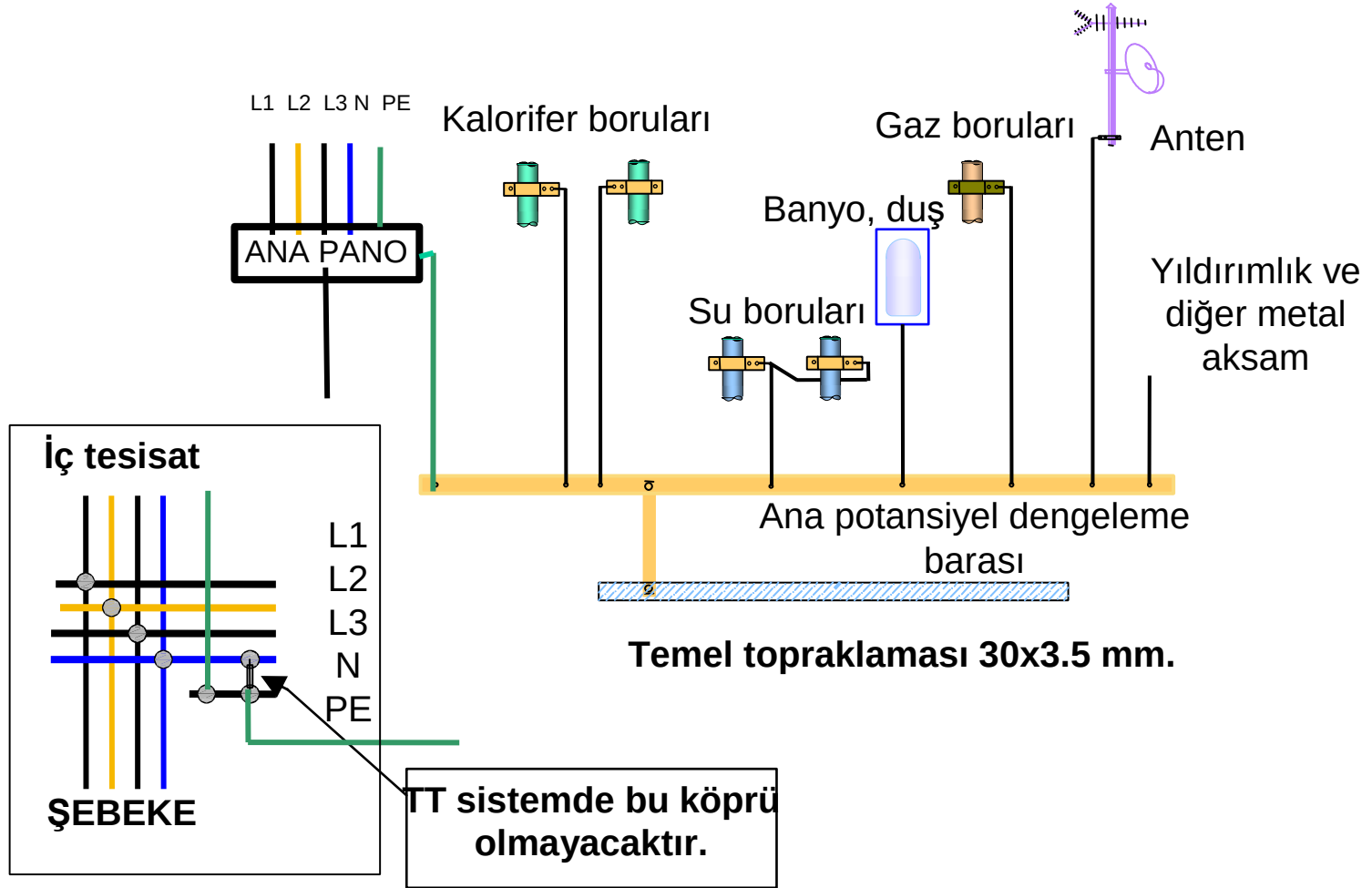
**Her binada, aşağıdaki iletken bölümler potansiyel dengeleme barasına bağlanmalıdır :**

- **Ana koruma iletkeni,**
- **Ana topraklama iletkeni ve ana topraklama bağlantı ucu,**
- **Gaz, su gibi bina içindeki besleme sistemlerine ait metal borular,**
- **Yapısal metal bölümler, uygulanabiliyorsa merkezi ısıtma ve iklimlendirme sistemleri.**



**TN sistemde ana potansiyel dengeleme şeması**

# ANA POTANSİYEL DENGELEME ŞEMASI



Ana pano detayı

### Örnek:

TN-S sistemi uygulanan bir tesiste ana panodan tali tabloları 4 x 150 NAYY ve 4 x 70 / 35 NYY kablolar çekilmiştir. Ana potansiyel dengeleme iletkenini seçiniz.  
APDİ=?

4 x 150 NAYY kabloyu esas alacağız.

# SONUÇ

## **Yeni yönetmelik ülkemize ne getiriyor?**

- 1. AG ve YG'de uluslararası topraklama standartları yönetmeliğe alınmıştır.**
- 2. İlk defa AG ve YG topraklamaları geniş bir şekilde örneklerle yönetmeliğe girmiştir.**
- 3. Temel topraklama geniş bir şekilde ele alınmıştır.**
- 4. Yeni yönetmeliğe göre temel topraklama yeni tesislerde kesinlikle uygulanacaktır.**
- 5. Artık Akım Koruma Cihazı (RCD) tüm sistemlerde tesis edilmesi tavsiye edilir.**



- 6. RCD TT sistemde zorunludur.**
- 7. Tüm sistemlerde potansiyel dengeleme tesis edilmelidir.**
- 8. AG ve YG tesislerinin ayrılması veya birleştirilmesi yönetmeliğe göre yapılacaktır.**
- 9. AG'de dokunma gerilimi 50 V, YG'de 75 V alınacaktır.**
- 10. YG'de adım gerilimi hesabına gerek yoktur.**
- 11. İletişim sistemleri potansiyel dengelemesi geniş bir şekilde ele alınmıştır.**
- 12. Levha topraklamanın tesisi önerilmez.**
- 13. Topraklama dirençleri şebeke ve sistemlerin yapısına göre boyutlandırılacaktır.**

**14. Tüm AG ve YG elektrik tesisleri işletmeye alınmadan önce ve sonra detaylı bir şekilde ölçme ve denetleme yapılacaktır.**

**15. TN ve TT sistemde koruma düzenekleri için **k** katsayıları (eski yönetmelik Çizelge 8) kesinlikle kullanılmayacaktır.**

**16. **k** katsayısı yerine IEC 60 364'de belirtilen faktörler alınacaktır.**

**17. Tüm sistemlerde çok düşük topraklama direnci hedeflenmelidir.**

**18. PE ve PD iletkenlerinde kaçak akımlar kesinlikle önlenmelidir.**

**19. PE ve N iletkenlerinin kesitlerine dikkat edilmelidir.**

**20. Tüm binada PEN kullanılmamalıdır.**

**21. N iletkeninin fazla yüklenmesi önlenmelidir.**

**22. Tüm iletkenler için RCM (kaçak akım izleme cihazı) kullanılmalıdır.**

# TEŞEKKÜRLER