

ELEKTRİK TESİSLERİNDE DOLAYLI DOKUNMAYA KARŞI TOPRAKLAMA

ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
MESLEK İÇİ SÜREKLİ EĞİTİM MERKEZİ

Hazırlayan : Y.Müh. İsa İLİSU

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Emekli Öğr. Görevlisi

Giriş

Elektrik tesisleri hayatımıza geniş ölçüde girmiştir. Bugün artık elektrik enerjisinden yararlanmadan yaşamamanın kolay olmadığını söyleyebiliriz. Elektrik enerjisi sayılamayacak kadar çok yerde işimizi, normal şartlarda kolaylaştırırken, **yalıtım bozuklukları insanlar ve diğer canlılar için tehlike doğurabilir.**

Bu tehlike “ **Elektrik Çarpması** ” olarak adlandırılır. Yalıtım bozuklukları **yangınlara** da yol açabilir.

İnsanların ve diğer canlıların **elektrik çarpması** olayı etkisinde kalmaları için vücutlarının iki ayrı noktasının **farklı elektriksel potansiyellerde** olması ve bu sebeple üzerlerinden **akım geçmesi** gerekir.

Bir kişinin gerilim altındaki tesis bölümlerine dokunması doğrudan veya dolaylı yollardan olabilir. Bu çalışmada dolaylı yoldan dokunma sonuçları ve koruma yöntemleri ele alınacaktır.

Doğrudan dokunmaya karşı alınan önlemler **yapısal ve mekanik önlemler ile yalıtma** olarak özetlenebilir.

Elektrik arpması sonuçları

Elektrik arpması ile meydana gelen kazalar, etki bakımından üç grupta toplanabilir.

1. Elektrik akımının sinirler, adaleler ve kalp çalışması üzerindeki etkileri.
2. Elektrik akımından doğan ısınmanın ve arkların yaptığı zararlar, yanmalar.
3. Korku sebebi ile düşme, çarpma gibi mekanik zararlar.

İnsanlar ve hayvanlar üzerinde elektrik çarpması olayı aynı şekilde oluşur.

Elektrik akımının vücuttaki etkileri

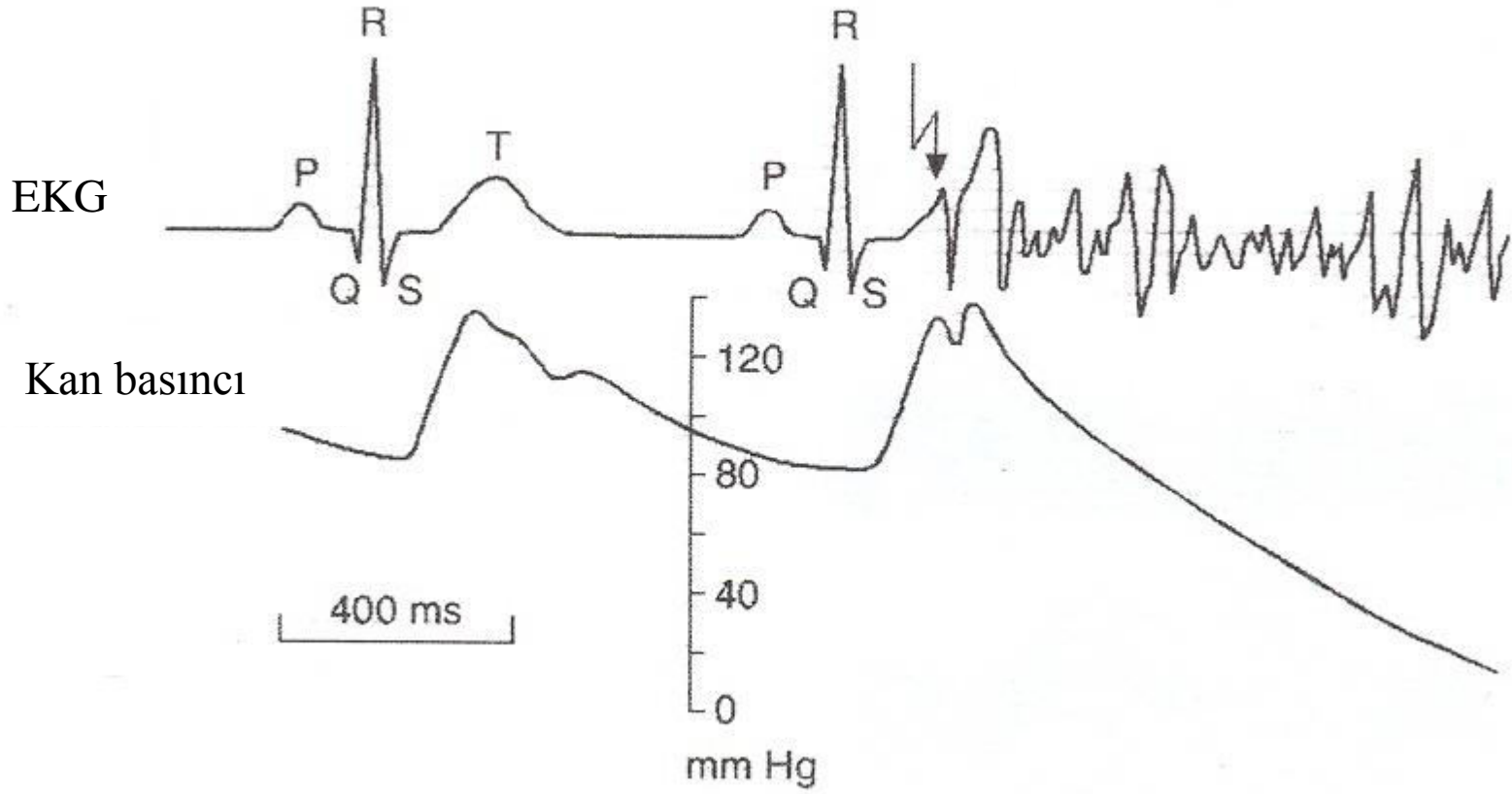
Vücudun iki noktası arasında farklı elektrik potansiyeli varsa, bu potansiyel farkına (gerilime) ve vücudun direncine bağlı olarak canlı üzerinden bir akım geçer. Akımın büyüklüğüne ve uygulama süresine göre çeşitli fizyolojik etkiler doğar.

Vücut direnci bir taraftan uygulanan gerilimin değerine, frekansına bağlı iken diğer taraftan kişinin özelliklerine ve gerilimin uygulanma noktalarına bağlıdır.

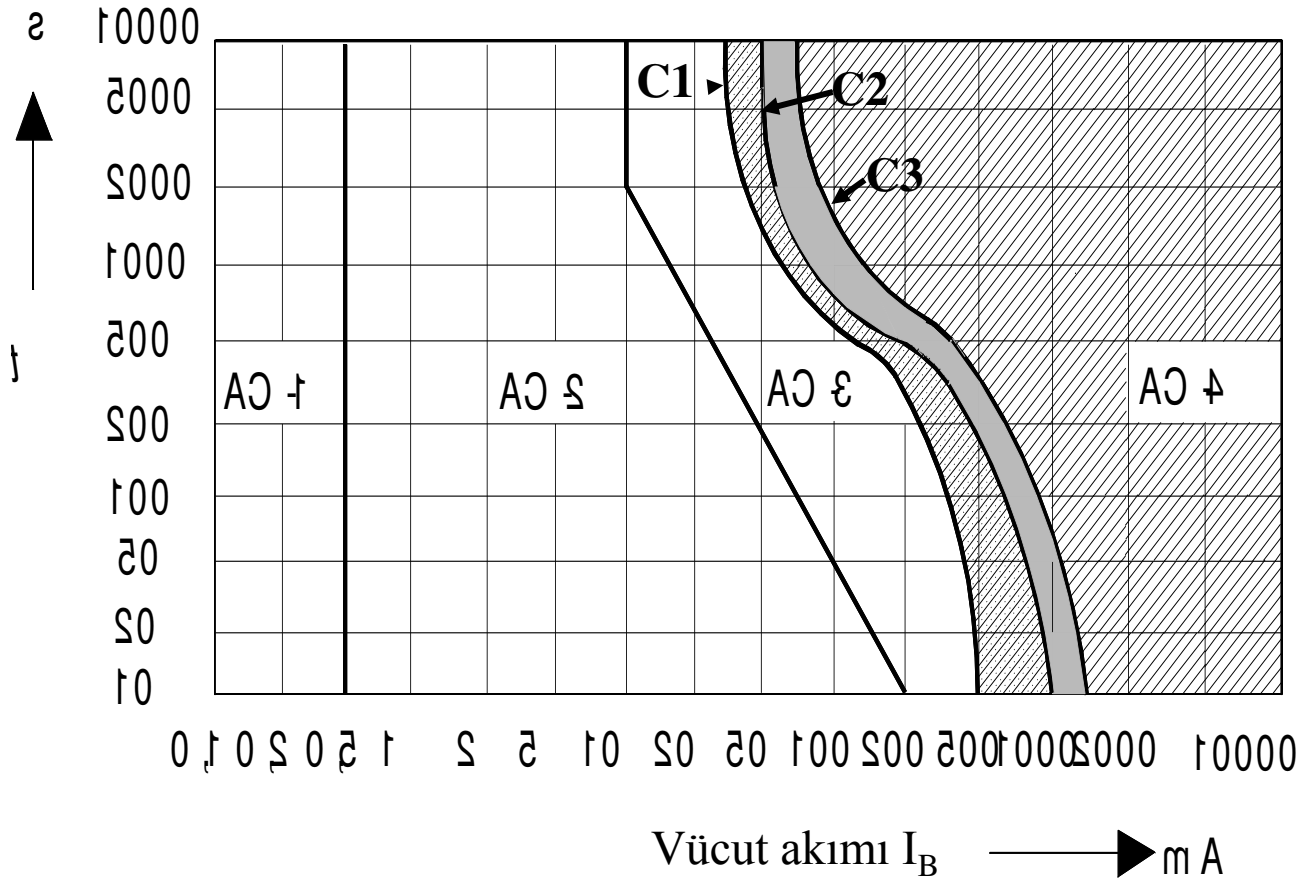
Vücuttan geçen akım kaslarda kasılmalara yol açar. Kalp adelesinin çalışma ritmini bozar. Bu olaya *ventriküler fibrilasyon* denir. Kalbin bozuk ritmi beyin kanla beslenmesini önlediği için beyin ölümü meydana gelir.

Yapılan deneyler sonucunda akımın büyüklüğü ve uygulanma süresine bağlı olarak elde edilen fizyolojik sonuçları gösteren ve uluslararası standartların kabul ettiği grafik ekte verilmiştir.

Ventriküler fibrilasyon



Alternatif akım etkilerinin akım/zaman bölgeleri



AC-1 : Genellikle tepki yoktur.

AC-2 : Zararlı bir fizyolojik etki yoktur.

AC-3 : Kalp atışlarında aksaklıklar görülür.

C1-C2 Vent. Fibr. olasılığı %5

AC-4 : Tehlikeli fizyolojik etkiler, ağır yanıklar. C2-C3

“ “ “ %50

İnsan iç direnci dokunma gerilimine olduğu kadar, kişiden kişiye; dokunma noktalarının yeri ve durumuna göre değişiklikler gösterdiği için akım büyüklükleri ile hesap yapmak olanaksızdır. Bu sebeple dokunma gerilimi ve etki süresi büyüklüklerine bağlı olarak tehlike sınırları tarif edilmiştir.

Dokunma gerilimi ve vücut akımı ile ilgili diğer bilgiler Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği Ek-C de bulunmaktadır.

Alçak gerilim için izin verilen dokunma gerilimi $U_L = 50 \text{ V}$ 'u aşmayacaktır. Şantiyeler, tarım alanları v.b. yerlerde bu değer 25 V olarak sınırlanmıştır. 230/400 V alçak gerilim şebekelerinde hatalı devre genel olarak:

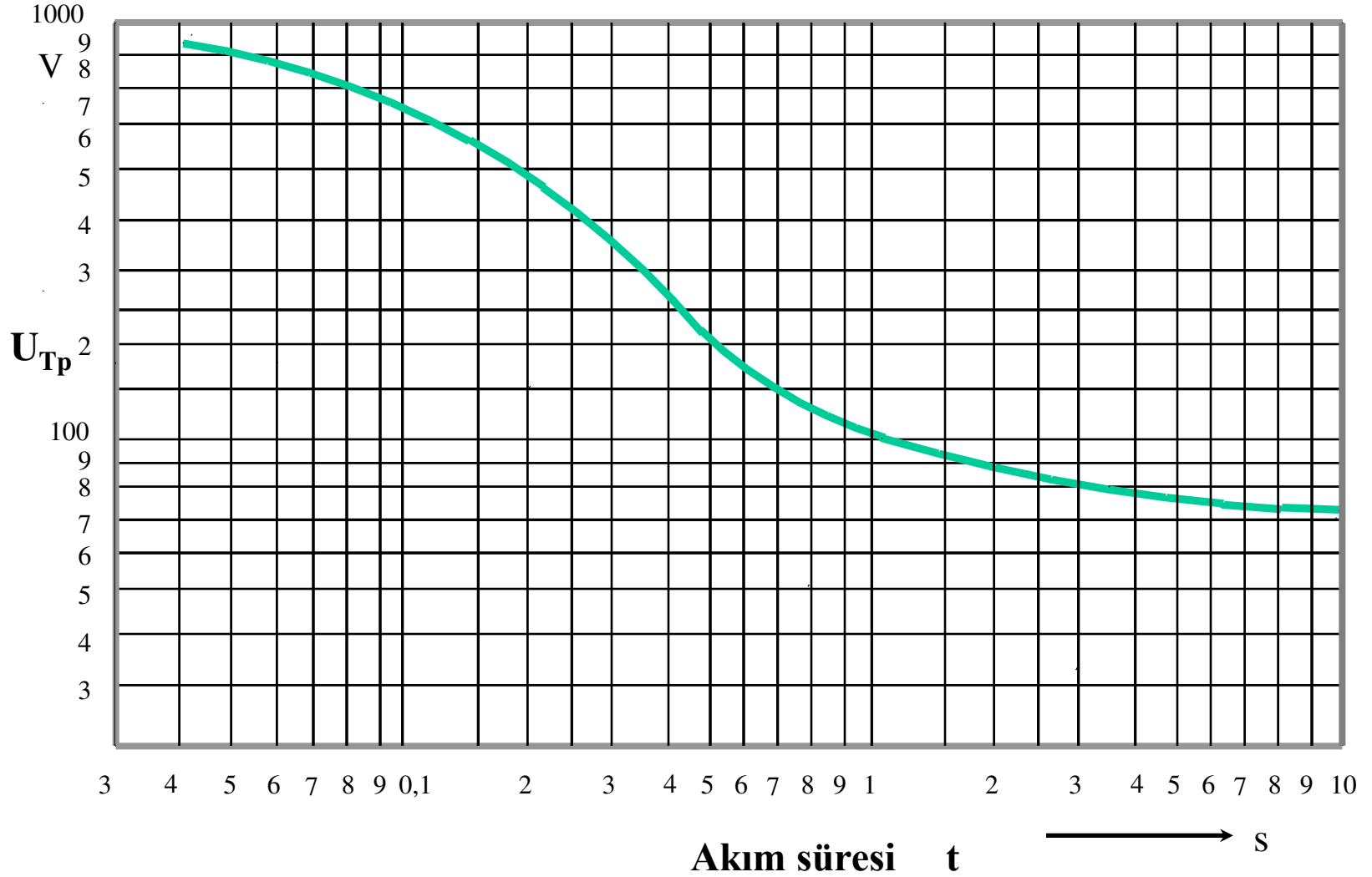
5 s ve

TN sistemde el aletleri ve portatif cihazlar için 0,4 s

içinde kesilmelidir.

Yüksek gerilim tesislerinde dokunma gerilimi sınırları ise aşağıdaki eğri ile verilmiştir.

Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri



Bu eğri sadece Y.G. şebekeleri için kullanılacaktır.

Alçak gerilim tesislerinde dolaylı dokunmaya karşı koruma yöntemleri:

- Beslemenin otomatik olarak ayrılması ile koruma,
- Koruma sınıfı II olan donanım veya eşdeğeri yalıtım ile koruma,
- İletken olmayan mahallerde koruma,
- Topraklamasız tamamlayıcı yerel eşpotansiyel kuşaklama ile koruma,
- Elektriksel ayırma ile koruma,
- Küçük gerilim,

olarak adlandırılan yöntemler ihtiyaca uygun olarak değişik yerlerde uygulanır.

Yüksek gerilim tesislerinde dolaylı dokunmaya karşı koruma yöntemleri:

Yüksek gerilim tesislerinde dolaylı dokunmaya karşı tek koruma yöntemi **topraklamadır.**

Topraklama

Tanım: Elektrikli işletme araçlarının (generatör, transformatör, motor, kesici, ayırıcı, direk, aydınlatma armatürü, buz dolabı, çamaşır makinası v.b.) **aktif olmayan** (normal işletmede gerilim altında olmayan) **metal kısımlarının** bir iletken üzerinden **toprakla birleştirilmesidir**.

Toprakla bağlantı çeşitli şekillerdeki topraklayıcılarla (toprak elektrotları) yapılır.

Topraklamanın amaca göre sınıflandırılması

Topraklama başlıca üç amaçla yapılmaktadır.

1. Koruma topraklaması

İnsanları tehlikeli dokunma gerilimlerine karşı korumak için işletme araçlarının aktif olmayan metal kısımlarının topraklanması. (Normal şartlarda gerilim altında olmayan kısımlar)

2. İşletme topraklaması

İşletme akım devresinin, tesisin normal işletilmesi için topraklanması. (Aktif kısımların topraklanması. Normal şartlarda gerilim altında olabilen kısımlar)

3. Fonksiyon topraklaması

Bir iletişim tesisinin veya bir işletme elemanının istenen fonksiyonu yerine getirmesi için yapılan topraklama.

Yıldırım etkilerine karşı koruma, raylı sistem topraklaması, İletişim tesisleri işletme topraklaması.

Koruma topraklamasının etki şekli:

- A- Topraklanacak cihaz veya bölüm ile referans toprak (topraklanan nesnenin elektrodundan oldukça uzak, en az 20 m, bir toprak parçası) arasındaki **direncin** (topraklama direnci, elektrot yayılma direnci) olabildiğince **küçük olmasını** sağlamak,
- B- Bu suretle doğacak **hata akımlarını yeteri kadar büyültmek** ve bu sırada dokunma gerilimini tehlike sınırları içinde tutmak,

Bu maksatla yapılan topraklamaya **KORUMA TOPRAKLAMASI** denmektedir.

İşletme topraklamasının etki şekli:

Şebekelerde **arızasız** normal işletme durumunda nötr noktasının toprağa karşı gerilimi, **dengeli yük hali için, sıfır kabul edilir. Bir fazda faz-toprak kısa devresi meydana gelmesi halinde nötr noktası topraklanmamış ise,** nötr noktası gerilimi faz-nötr gerilimine, **arızasız fazların gerilimi de toprağa karşı faz arası gerilime ulaşır.** Yalıtım bakımından istenmeyen bu durumu önlemek için nötr noktasının topraklanması yoluna gidilir. Diğer taraftan topraklama ile şebeke için sabit potansiyelli bir nokta elde edilir.

Şebekede oluşan **geçici aşırı gerilimler üzerinde de topraklamanın etkisi vardır.**

İşletme esnasında gerilim altında olabilen noktaların topraklanmasına

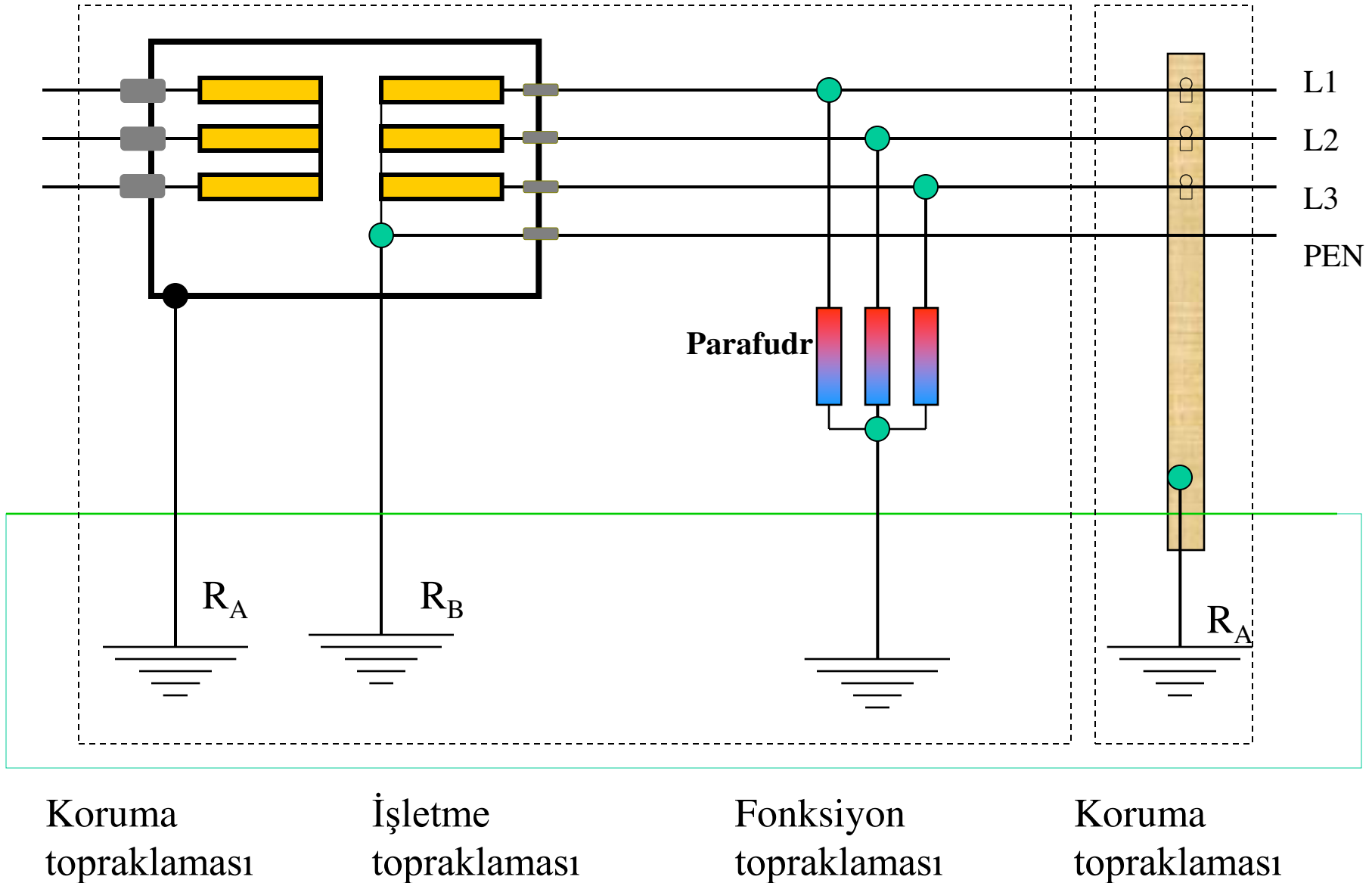
İŞLETME TOPRAKLAMASI adı verilir.

Fonksiyon topraklaması:

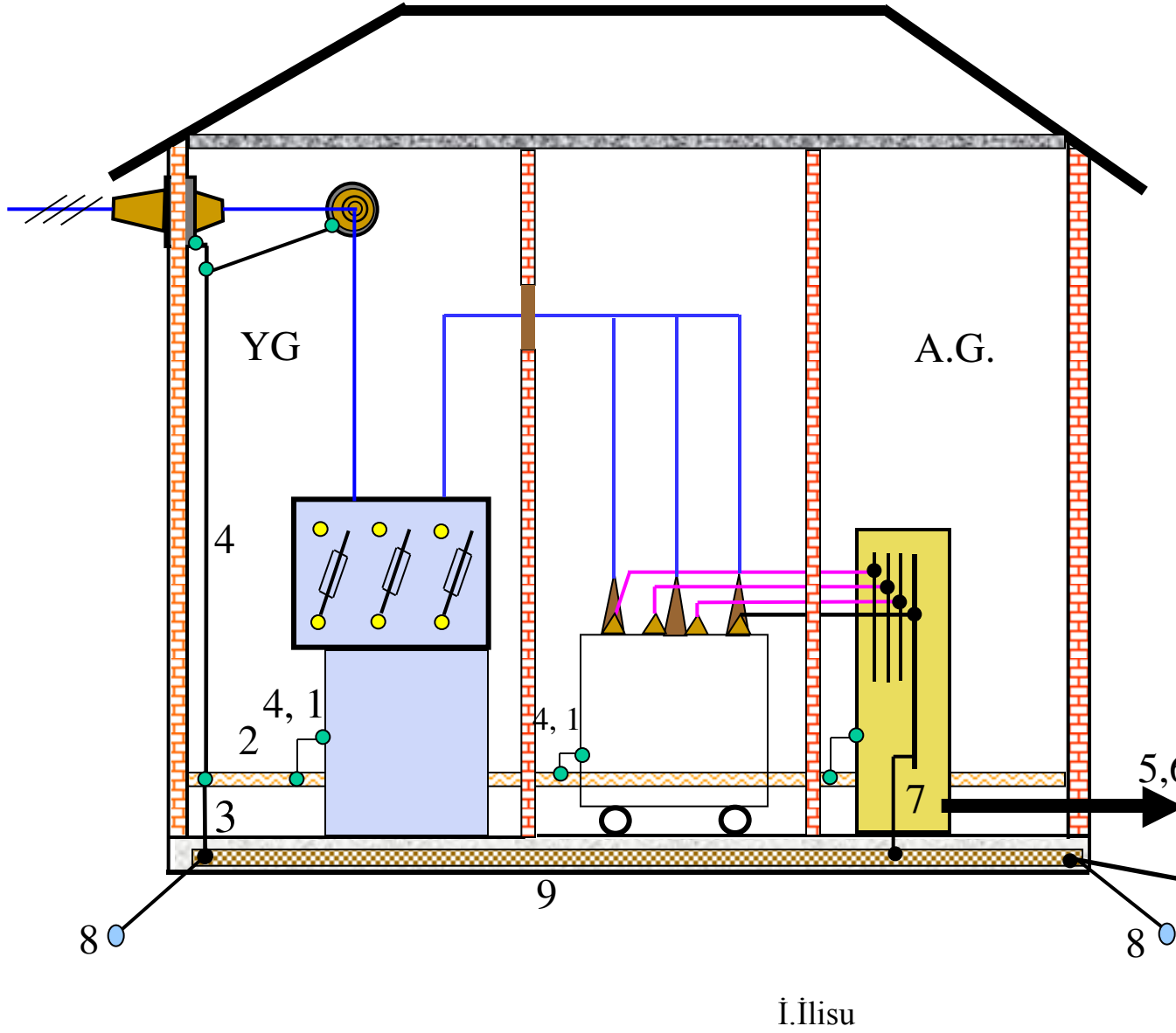
Dönüş hattı olarak toprağı kullanan iletişim tesislerinin çalışabilmesi için yapılan işletme topraklamasına **FONKSİYON TOPRAKLAMASI** denmektedir.

Raylı sistem topraklaması, parafudrların topraklaması da bu sınıf içinde düşünülmektedir.

Topraklamaların amaçlarına örnekler



Topraklamada kullanılan önemli tanımlar



1. Koruma topraklaması
2. Potansiyel dengeleme barası
3. Topraklama iletkeni
4. Koruma iletkeni
5. A.G.kabloları
6. Nötr (N) veya PEN
7. İşletme topraklaması
(Topraklamaların birleşmesi şartlarının geçerli olması halinde)
8. Potansiyel düzenleyici topraklayıcılar
9. Temel topraklama
10. Derin topraklayıcı

Topraklayıcıdan akım geçmesi

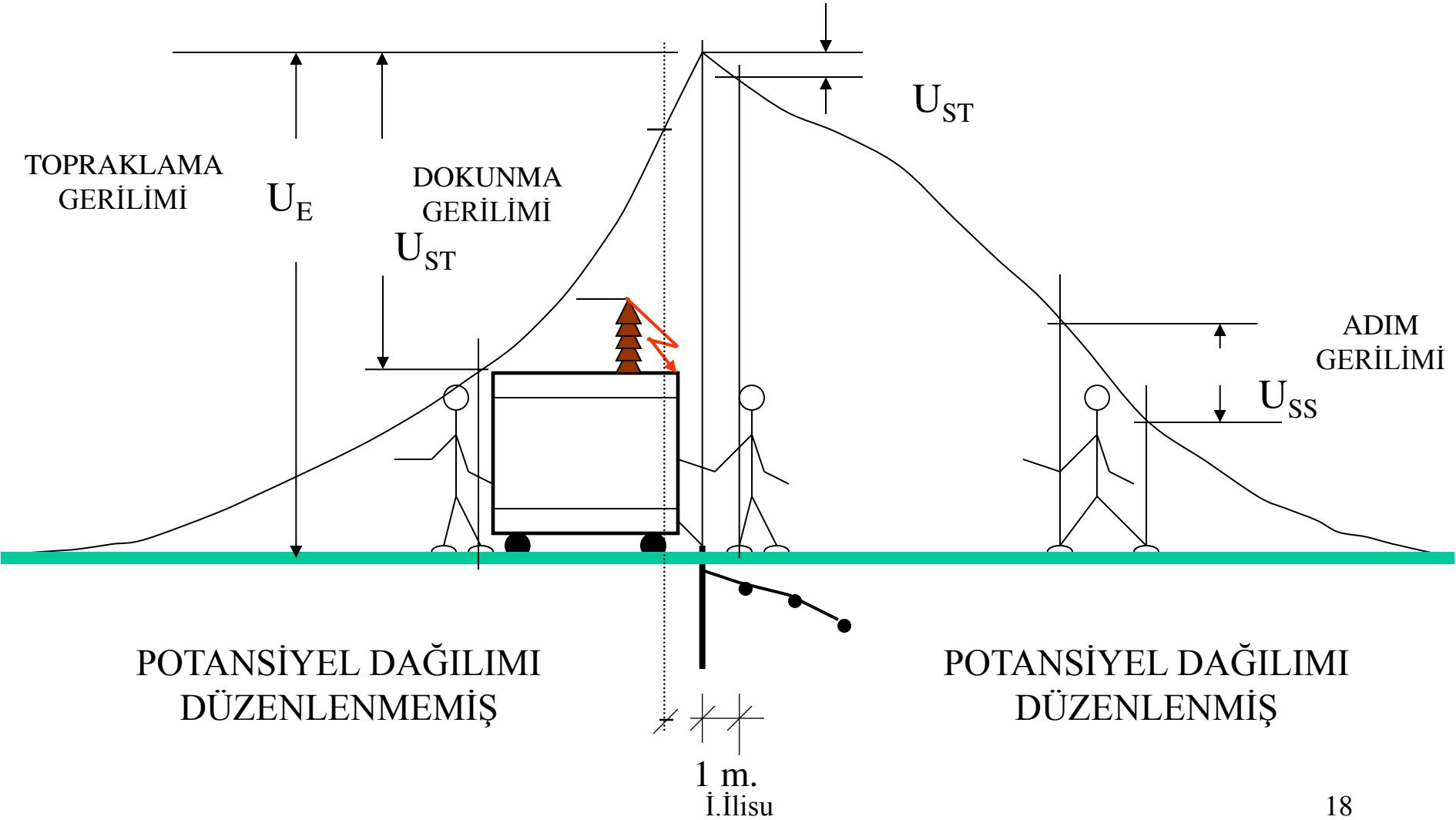
Bir topraklayıcıdan (topraklama elektrodundan) toprağa akım aktığı zaman, topraklayıcıdan itibaren çevreye doğru akım yayılması meydana gelir. Bu yayılma topraklayıcı çevresindeki potansiyelin yükselmesine yol açar. Toprak içinde eşpotansiyel noktaları birleştiren eğrilerin bir potansiyel çadırı veya konisi meydana getirdiği düşünülür. Topraklayıcı çevresindeki potansiyel değişimi, referans toprak ile topraklayıcıya doğru değişik noktalar arasındaki gerilim ölçülerek bulunur.

Aşağıdaki slaytlar da bir çubuk elektrot çevresindeki, gerçek değerlere göre çizilmiş, potansiyel dağılımı da gösterilmiştir. Elektrota yakın noktalarda potansiyel, hızla değişmektedir.

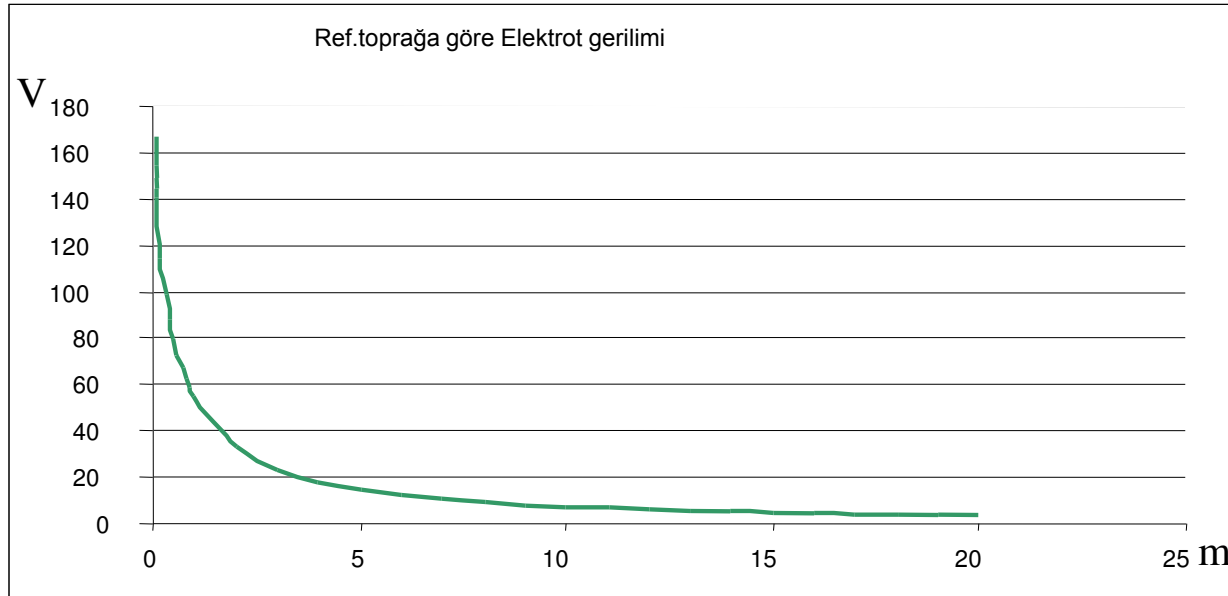
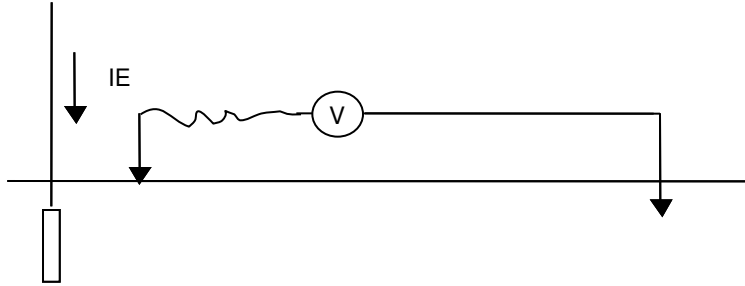
Bir topraklama elektrodunun yükselen potansiyeli, bu elektrodun etki alanında bulunan ikinci bir elektroda bağlı metal kısımlara taşınarak, bu kısımlarda referans toprağa karşı gerilim yükselebilir. Bu olaya Potansiyel sürüklenmesi adı verilmektedir.

Adım gerilimleri, şekillerden de görüldüğü gibi, elektrot çevresinde yüksek olacaktır. Potansiyel değişiminin yumuşatılması maksadı ile elektrot çevresine potansiyel düzenleme elektrotları yerleştirilir.

Potansiyel dağılımı



Çubuk topraklayıcı çevresinde potansiyel dağılımı

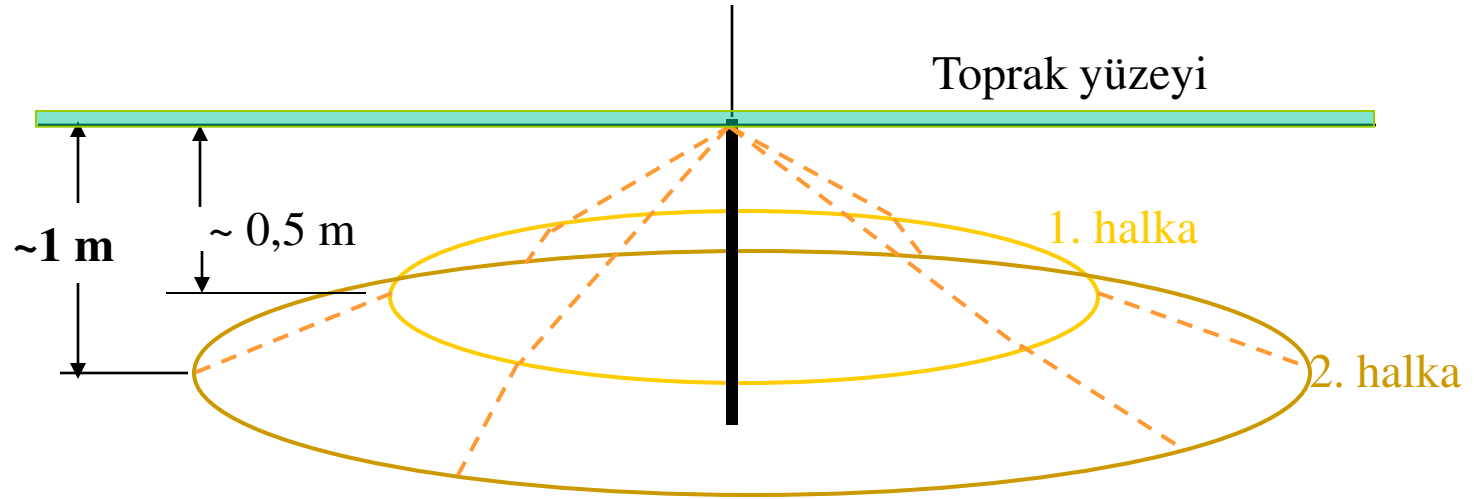


$L = 2 \text{ m.}$ $D = 2.5 \text{ cm.}$ $\rho_E = 10 \Omega.m$ $I_E = 96 \text{ A.}$ $r = \text{Elektrotdan uzaklık}$

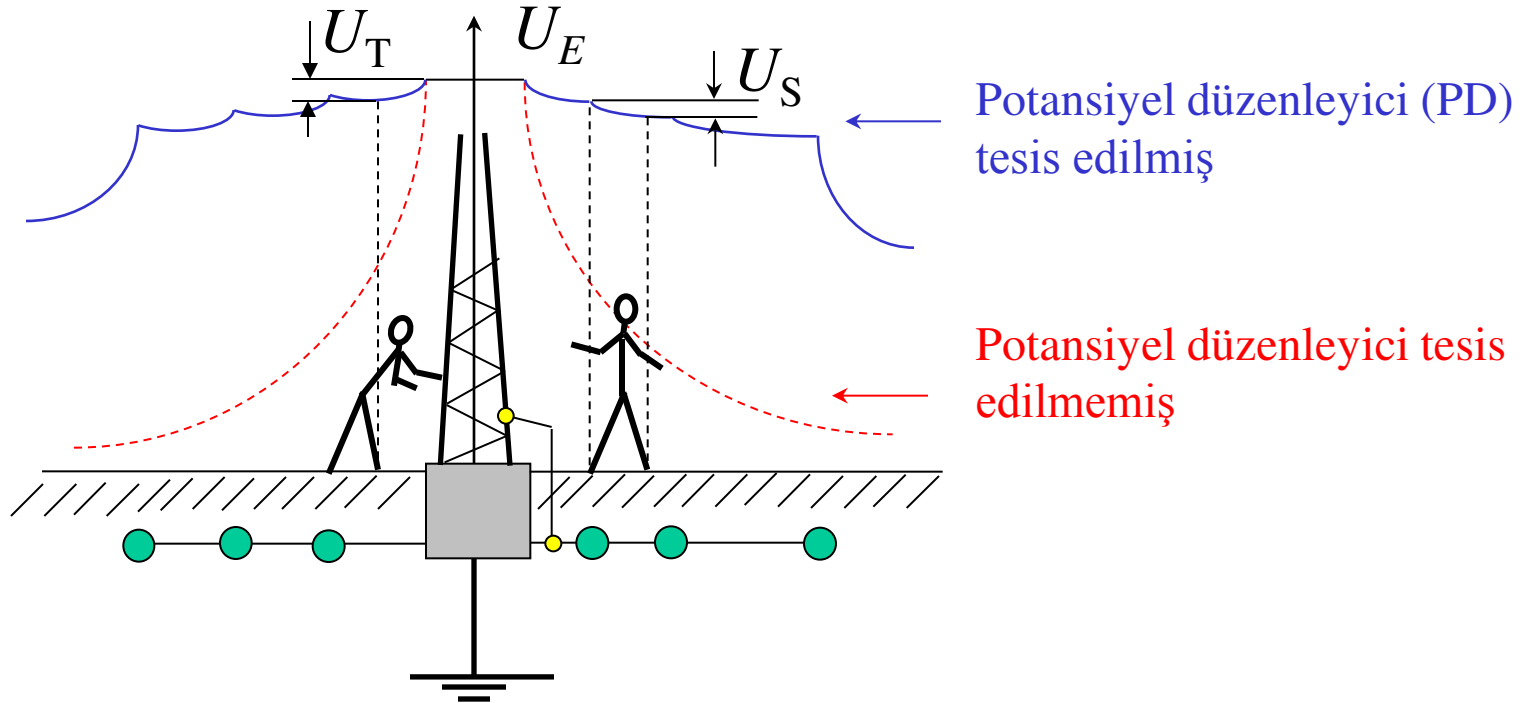
$$\varphi = U - \left(\frac{I_E \cdot \rho_E}{2\pi \cdot L} \right) \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot L \cdot r}{D(L + (r^2 + L^2)^{1/2})} \right)$$

İ.İlisu

Potansiyel düzenleme elektrotları



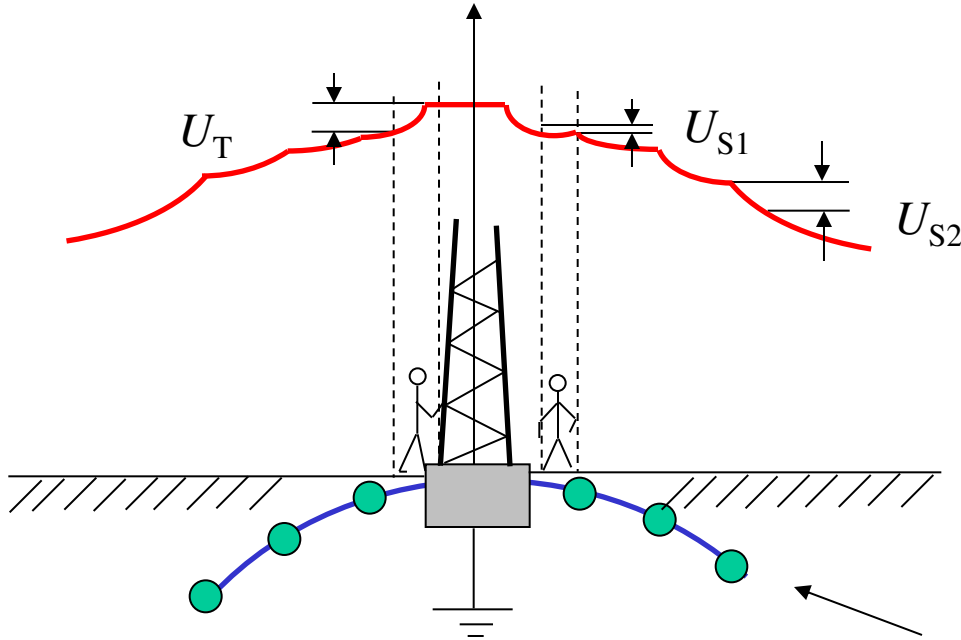
Potansiyel düzenleme



Eşit derinliklere tesis edilmiş potansiyel düzenleyici elektrotlar.

Potansiyel dağılımında dik bölümler oluşabilir.

Potansiyel düzenleyici topraklayıcıların yerleşimi

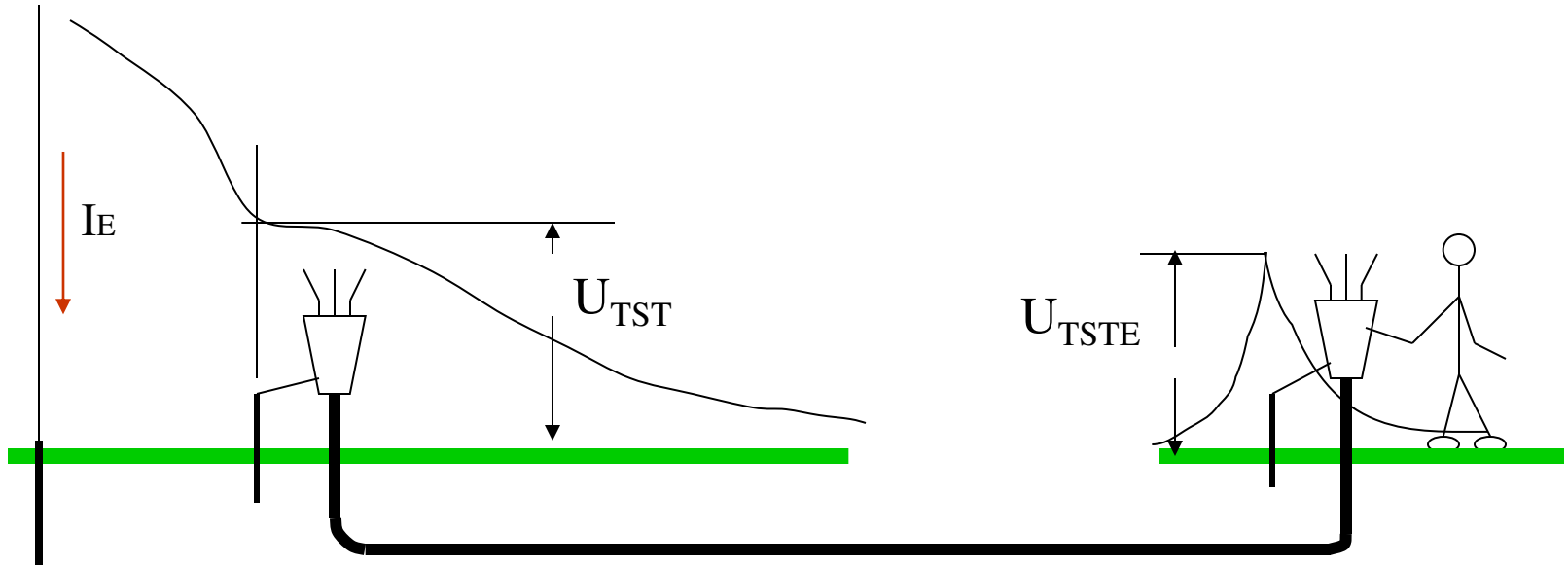


Farklı derinliklere tesis edilmiş potansiyel düzenleyici elektrotlar

Düzenleyici elektrotların çap ve derinliklerine göre adım geriliminde değişiklikler meydana gelir.

$$U_{S2} > U_{S1}$$

Potansiyel sürüklenmesi



Şebekelerde topraklama şekilleri

Yüksek gerilim şebekeleri:

Yüksek gerilim şebekelerinin nötr noktasının topraklama durumu üç şekilde olabilir.

Nötr:

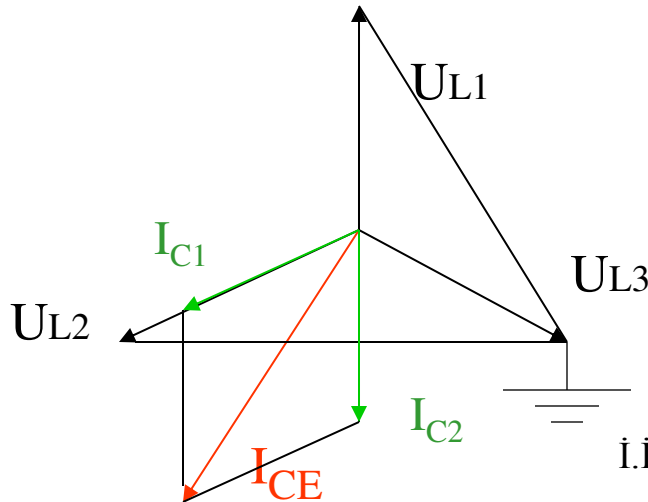
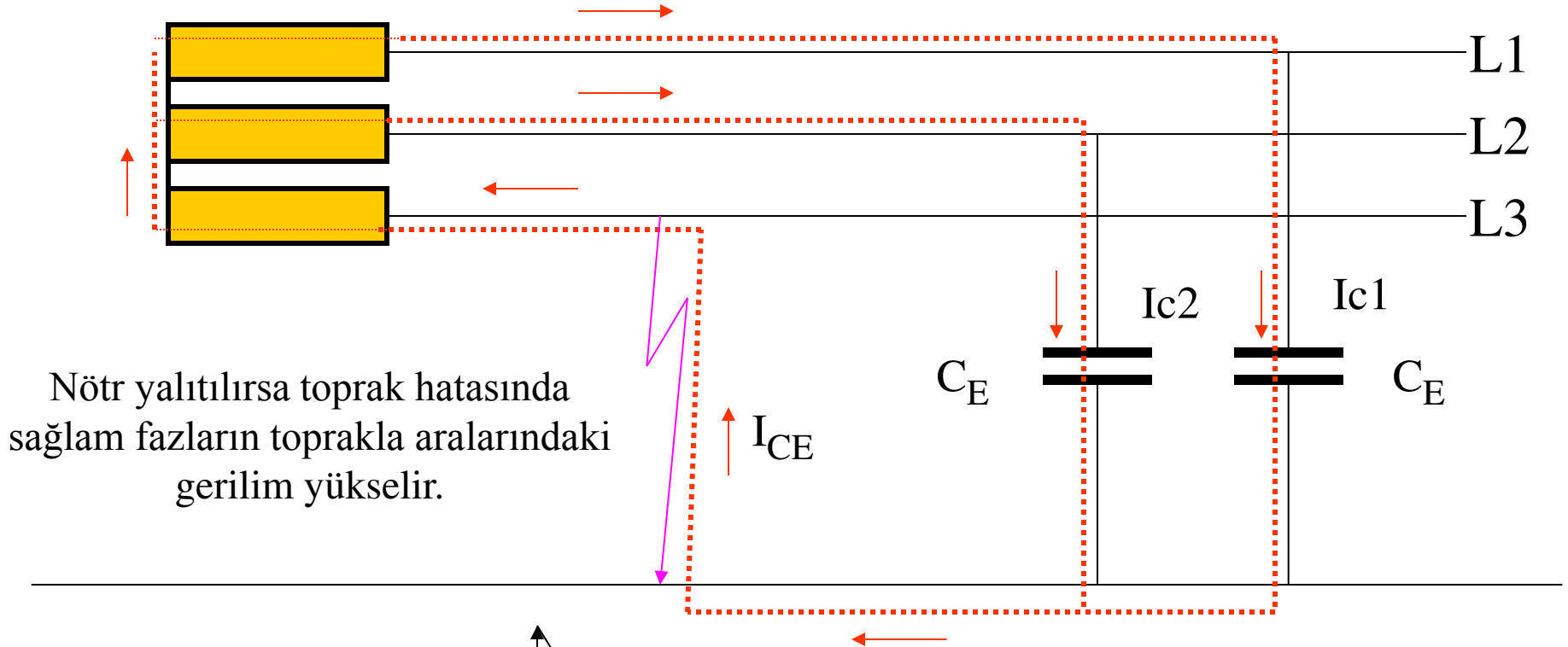
1. Yalıtılmış
2. Empedans üzerinden topraklanmış
3. Direkt topraklanmış

Nötr noktasının topraklanma durumu, Faz-Toprak kısa devrelerinde geçecek akıma etki ettiğinden, **kısa devre akımının küçültülmesi için**, nötr noktasının empedans üzerinden topraklanması tercih edilmektedir.

Orta gerilim şebekeleri toprak kısa devresi akımları 1000 A'ı aşmayacak şekilde sınırlandırılmaktadır. Yurdumuzda 34,5 kV'luk orta gerilim şebekelerinin 20 ohm'luk bir ohmik direnç ile topraklandığı bilinmektedir.

Diğer taraftan hata akımının röleler tarafından doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi ve **toprak kısa devresi halinde** sağlam fazlarda ortaya çıkan **aşırı gerilimleri** sınırlayabilmek için yüksek gerilimli iletim şebekelerinde **hata akımının, büyük ölçüde sınırlandırılmaması** yoluna gidilmektedir.

YILDIZ NOKTASI YALITILMIŞ ŞEBEKE

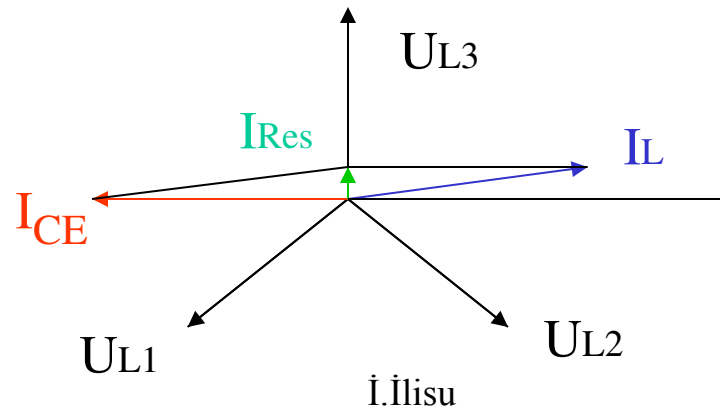
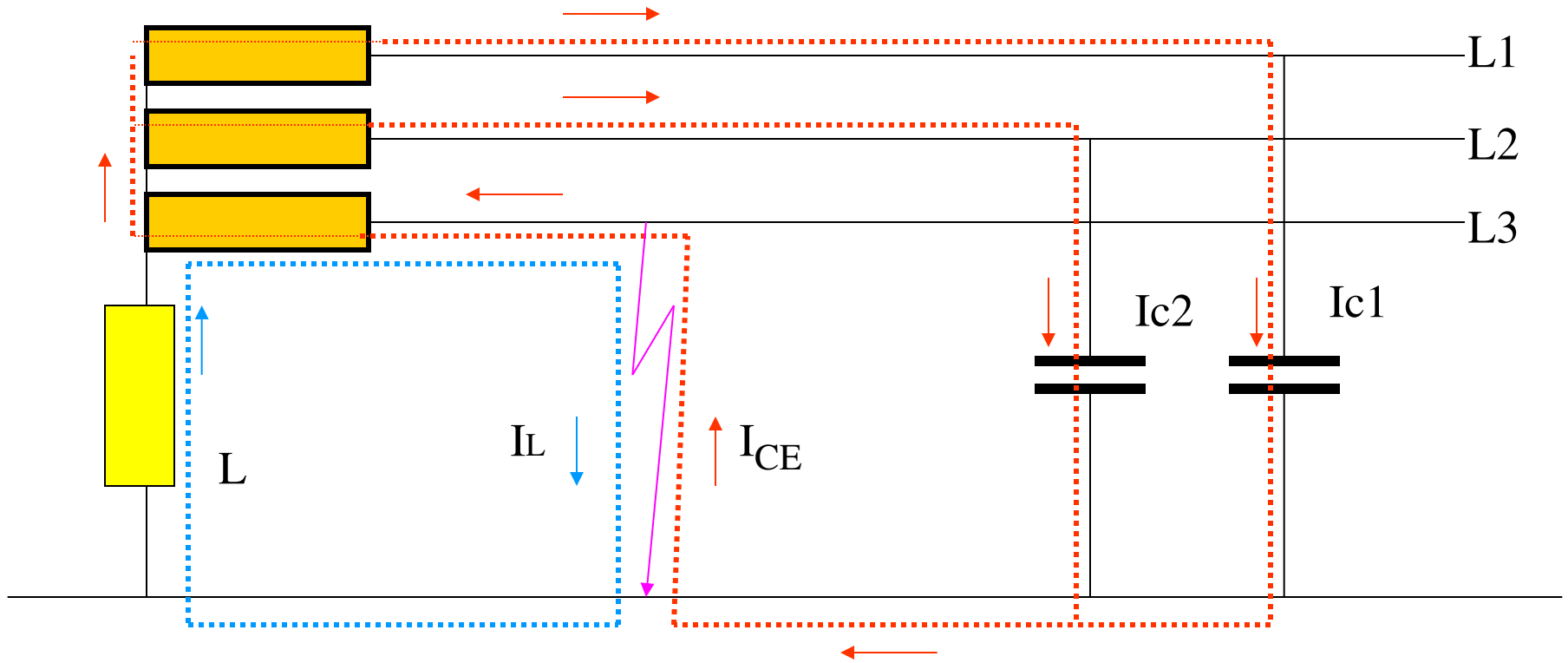


U_n : Faz arası gerilim olmak üzere

c : Gerilim faktörü

$$I_{CE} = 3 \cdot \omega C_E \cdot c U_n / \sqrt{3}$$

YILDIZ NOKTASI BOBİN ÜZERİNDEN TOPRAKLANMIŞ ŞEBEKE



$$I_{CE} = 3 \cdot \omega C_E \cdot c U_n / \sqrt{3}$$

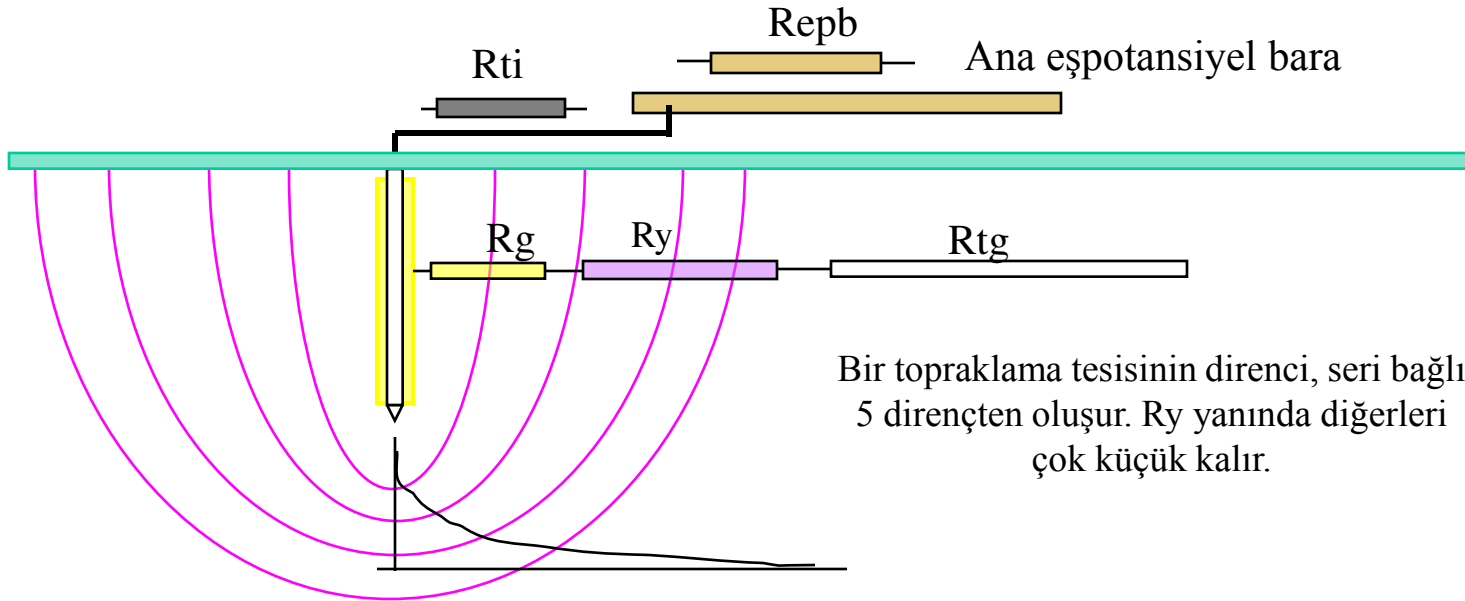
$$I_L = c \cdot U_n / \sqrt{3} \cdot \omega \cdot L$$

$$I_{CE} = I_L$$

$$3 \omega C_E = 1 / \omega L$$

Topraklama direnci

Topraklama direnci, **bir topraklama tesisi** ile bundan yeteri kadar uzakta bulunan **referans toprak** arasında **ölçülen direnç** değeridir. Bu değer topraklama barasından başlayarak, topraklama iletkeni ve barasının dirençleri, topraklama elektrotlarının yüzeyi ile toprak arasındaki geçiş direnci, topraklayıcıdaki yayılma direnci ve referans toprak noktasından sonraki toprak bölümünün direncinden oluşur.



Topraklama iletkenleri ve topraklama barasının dirençleri, yayılma direnci yanında çok küçüktür. Elektrot yüzeyindeki geçiş direnci de iyi yapılmış bir tesisde ihmal edilebilir. Referans topraktan sonraki bölümün direnci ise toprak özgül direncinin çok büyük olmasına karşın akımın toprak içinde geçtiği yüzeyin büyüklüğü dikkate alınarak, hesaplara girmez. Sonuç olarak topraklama direncinin, topraklayıcının *yayılma* direncinden oluştuğu kabul edilir.

Toprağın özgül direnci toprak cinsine, rutubet durumuna ve sıcaklığına bağlıdır. Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği Ek-K de çeşitli toprak cinsleri için toprak özgül direnç değerleri bildirilmiş ve bazı topraklayıcıların yayılma dirençleri de grafik olarak verilmiştir.

Toprak özgül dirençleri

Toprak cinsi	Toprak özgül direnci ρ_E ($\Omega.m$)
Bataklık	5-40
Çamur,kil,humus	20-200
Kum	200-2500
Çakıl	2000-3000
Hava etkisi ile dağılmış taş	çoğunlukla <1000
Kumtaşı	2000-3000
Granit	>50000
Buzultaşı	>30000
Çimento (saf)	50
1xÇimento+3xKum	50-300 (Rutubetli)

Değişik derinliklerdeki tabakaların farklı özgül dirençleri, ölçülen toprak özgül direncini etkiler.

Topraklayıcıların yayılma dirençlerinin hesabı

Yayılma direnci topraklayıcının şekline, boyutlarına ve toprağın özgül direncine bağlıdır. Bazı elektrot şekilleri için yayılma dirençleri aşağıdaki hesap yöntemi ile belirlenir.

ρ_E Toprağın özgül direnci ($\Omega.m$)

l Çubuk boyu (m)

d Çubuk çapı (m)

olmak üzere

Çubuk topraklayıcı (Derin topraklayıcı) için yayılma direnci

$$R_E = (\rho_E / 2 \cdot \pi \cdot l) \ln(4l/d)$$

l Şerit veya halka topraklayıcı uzunluğu (m)

$D=l/\pi$ halka topraklayıcının çapı (m)

d İletken kalınlığı veya şerit kalınlığının yarısı (m)

olmak üzere

Şerit topraklayıcı yayılma direnci $R_E = (\rho_E / \pi l) \ln(2l/d)$

Halka topraklayıcı yayılma direnci $R_E = (\rho_E / \pi^2 D) \ln(2\pi D/d)$

D Gözlü topraklayıcının alanına eşdeğer alanlı daire çapı (m) olmak üzere

Gözlü topraklayıcı yayılma direnci $R_E = (\rho_E / 2D) + \rho_E / l$

yaklaşık ifadeleri ile bulunur.

Yayılma direnci hesap örnekleri:

Örnek 1:

Çubuk Topraklayıcı	$R_E = (\rho_E / 2 \cdot \pi \cdot l) \ln(4l/d)$
Toprak özgül direnci	$\rho_E = 200 \, \Omega \cdot \text{m}$
Çubuk boyu	$l = 2 \, \text{m.}$
Çubuk çapı	$d = 0.025 \, \text{m.}$
	$R_E = 200 / (2 \times \pi \times 2) \times \ln(4 \times 2 / 0.025) = 91.8 \, \Omega$

Örnek 2:

Halka Topraklayıcı	$R_E = \rho_E / (\pi^2 \times D) \times \ln(2\pi D/d)$
Toprak özgül direnci	$\rho_E = 200 \, \Omega \cdot \text{m}$
Halka çapı	$D = 20 \, \text{m. (20m.eşdeğer çaplı halka)}$
Topraklayıcı çapı	$d = 0.015 \, \text{m.}$
	$R_E = 200 / (\pi^2 \times 20) \times \ln(2\pi \times 20 / 0.015) = 9.15 \, \Omega$

Ekte çeşitli topraklayıcıların boyutlarına bağlı olarak yayılma dirençleri verilmiştir. Çubuk topraklayıcılarda kullanılan malzemenin artmasına karşılık yayılma direncinin aynı oranda artmadığı görülmektedir. Levha topraklayıcı ile şerit topraklayıcı karşılaştırıldığında aynı malzeme miktarı için şerit topraklayıcıda yayılma direncinin yaklaşık % 66 azaldığı hesaplanmaktadır.

Çeşitli topraklayıcıların boyutlarına göre yayılma dirençleri												
		ÇUBUK			ŞERİT				GÖZLÜ			0,5 m2 LEVHA
Toprak özgül direnci	ro	100			100				100			100
Gömülme derinliği	h											
Uzunluk	L	2										
çap/eşdeğer çap	d	0,025										
Eşdeğer daire çapı	D											
Kenar boyu	s											0,75
		ÇUBUK			ŞERİT		GÖZLÜ				LEVHA	
			Malzeme artımı	Direnç azalımı	Gömme derinliği (m) 30x3,5 mm	0,50						
Çubuk çapı = 0,025 m					Şerit boyu (m)	Re (ohm)	Boyut	Eşdeğer çap (m)	İletken uzunluğu (m)	Re (ohm)	Yüzey (m2)	Kenar boyu(m)
	Çubuk boyu (m)	Re (ohm)										Re (ohm)
	0,5	139,48			0,5	267,36	4x5	5,05	20,00	9,91	0,50	0,71
	1	80,77	1,0	1,00	1	155,74	4x5	5,05	25,00	9,91	1,00	1,00
	1,5	58,15	1,5	1,39	2	88,90	4x5	5,05	30,00	9,91	1,5	1,22
	2	45,90	2,0	1,76	5	41,39	6x6	6,77	30,00	7,39	2	1,41
	2,5	38,14	2,5	2,12	10	22,90	6x6	6,77	36,00	7,39	2,5	1,58
	3	32,75	3,0	2,47	15	16,13	6x6	6,77	42,00	7,39	3	1,73
	3,5	28,77	3,5	2,81	20	12,56	6x6	6,77	48,00	7,39		
	3,6	28,10	3,6	2,87	30	8,80	10x10	11,28	60,00	4,43		
	3,7	27,46	3,7	2,94	40	6,83	10x10	11,28	70,00	4,43		
	3,8	26,85	3,8	3,01	50	5,61	10x10	11,28	80,00	4,43		
	4	25,71	4,0	3,14	100	3,02						
	4,5	23,27	4,5	3,47								
	5	21,28	5,0	3,80								
	5,5	19,62	5,5	4,12								
	6	18,22	6,0	4,43								
	6,5	17,01	6,5	4,75								
	7	15,96	7,0	5,06								
	7,5	15,05	7,5	5,37								
0,5 m2 levhadan 16,3 m; 3cm genişlikte şerit elde edilir. Levhanın yayılma direnci 47,14 ohm iken												
Bu şerit, topraklayıcı olarak kullanılırsa elde edilen direnç 16,13 ohm												

Topraklama tesislerinin boyutlandırılması.

Topraklama tesislerinin kurulması için temel koşullar:

1. Mekanik dayanım ve korozyona karşı dayanıklılığın sağlanması,
2. Isıl bakımdan en yüksek hata akımına (hesap yolu ile bulunan) dayanıklılık,
3. İşletme araçları ve nesnelerin zarar görmesinin önlenmesi,
4. En yüksek toprak hata akımı esnasında, topraklama tesislerinde ortaya çıkabilecek gerilimlere karşı insanların güvenliğinin sağlanmasıdır.

Bu koşulların sağlanması için

- Hata akımının değeri,
- Hatanın süresi,
- Toprağın özellikleri önemlidir.

1. Mekanik dayanım bakımından boyutlandırma:

Topraklama elektrodu ve topraklama iletkenleri korozyona karşı dayanıklı malzemedен yapılmalıdır.

1.Topraklama elektrodu en küçük boyutları El.Tes.Topraklamalar Yönetmeliği Ek-A da verilmiştir.

2.Topraklama iletkenleri için en küçük kesitleri El.Tes.Topraklamalar Yönetmeliği Çizelge-4a da, iletkenin mekanik olarak korunmuş veya korozyona karşı korunmuş olup, olmamasına bağlı olarak:

<u>Malzeme</u>	<u>Kesit</u>
Bakır	25 mm ²
Daldırma galvanizli demir	50 mm ²

olarak bildirilmektedir.

Ölçü trafolarının topraklanmasında en küçük kesit koruma durumuna bağlı olarak 2.5-4 mm² dir.

Potansiyel dengeleme iletkenleri ile ilgili en küçük kesitler ise El.Tes. Topraklamalar Yönetmeliği Çizelge-4b de gösterilmiştir.

Topraklayıcıların en küçük kesitleri (El.Tes.Topraklamalar Yönetmeliği Ek-A)

Malzeme		Topraklayıcı çeşidi	Minimum boyutlar				
			iletken			Kaplama/Dış kılıf	
			Çap (mm)	Kesit (mm ²)	Kalınlık (mm)	Tekil değerler	Ortalama değerler (u;n
Çelik	Sıcak daldırma galvaniz	Şerit ²⁾		90	3	63	70
		Profil (levhalar dahil)		90	3	63	70
		Boru	25		2	47	55
		Derin topraklayıcılar için yuvarlak çubuk	16			63	70
		Yüzeysel topraklayıcılar için yuvarlak tel	10				50
	Kurşun ¹⁾ kılıflı	Yüzeysel topraklayıcılar için yuvarlak tel	8			1000	
	Sıvanmış bakır kılıflı	Derin topraklayıcılar için yuvarlak çubuk	15			2000	
	Elektrolitik bakır kaplamalı	Derin topraklayıcılar için yuvarlak çubuk	14,2			90	100
Bakır	Çıplak	Şerit		50	2		
		Yüzeysel topraklayıcılar için yuvarlak tel		25 ³⁾			
		örgülü iletken	1,8*	25			
		Boru	20		2		
	Kalaylı	örgülü iletken	1,8*	25		1	5
	Galvanizli	Şerit		50	2	20	40
	Kurşun ¹⁾ kılıflı	Örgülü iletken	1,8*	25		1000	
		Yuvarlak tel		25		1000	

*)Örgülü iletkeni oluşturan her bir tel için

1)Beton içine doğrudan gömülenler için uygun değildir

2)Kenarları yuvarlatılmış, soğuk çekme veya kesilmiş şeritler

3)Deneyimlere dayanarak korozyon ve mekanik aşınma tehlikesinin çok az olduğu tespit edilirse olağanüstü koşullarda 16 mm² kullanılabilir.

Elek.Tes.Topraklamalar Yönetmeliği Çizelge 4a

Topraklama iletkenlerinin (Toprağa döşenmeleri durumunda) minimum kesitleri		
	Mekanik olarak korunmuş	Mekanik olarak korunmamış
Korozyona karşı korunmuş *)	Isınmaya göre hesap veya seçim	16 mm ² bakır 16 mm ² demir,daldırma galvaniz
Korozyona karşı korunmamış	25 mm ² bakır, 50 mm ² demir, daldırma galvaniz	
*) Korozyona karşı koruma, bir mahfaza ile sağlanabilir.		

Elek.Tes.Topraklamalar Yönetmeliği Çizelge 4b

Potansiyel dengeleme iletkenlerinin kesitleri

	Ana potansiyel dengeleme	Tamamlayıcı potansiyel dengeleme	
Normal	0,5 x Tesisin en büyük koruma iletkeninin kesiti	İki gövde arasında	1 x En küçük iletken kesiti
		Bir gövde veya yabancı iletken bölümler arasında	0,5 x Koruma iletkenlerinin kesiti
Enaz	6 mm ² Cu	Mekanik olarak korunmuş	Cu 2,5 mm ² veya Al ^{*)}
		Mekanik olarak korunmamış	Cu 4 mm ² veya Al ^{*)}
Yapılabilecek sınırlama	25 mm ² Cu veya eşdeğer iletkenlikte	-	-

^{*)} Alüminyum iletkenli hatların korumasız olarak döşenmesi durumunda, mümkün olan korozyon ve düşük mekanik dayanımından dolayı iletken kopma olasılığı yüksektir.

2. Isıl dayanım bakımından boyutlandırma:

Isıl bakımdan boyutlandırma için göz önüne alınacak akımlar El.Tes. Topraklamalar Yönetmeliği çizelge 1 de bildirilmiştir.

Yüksek gerilim sistemlerinde topraklama elektrodu ve topraklama iletkeni, yıldız noktasının topraklanma şekline bağlı olarak, genellikle bir kutuplu kısa devre veya çift toprak kısa devresi akımına göre boyutlandırılmaktadır.

Toprak kısa devreleri şebeke yönünden dengesiz işleme durumu olduğundan teorik olarak kısa devre akımlarının simetrik bileşenler kullanılarak hesaplanması gerekir.

Orta ve alçak gerilim şebekelerinde hata akımı yolu üzerindeki dirençler dikkate alındığında hesapların klasik devre hesabı şeklinde yapılması sakıncalı değildir.

Topraklama tesislerinde kullanılacak kısa devre akımlarının hesabı:

Nötrü topraklanmış şebekelerde bir kutuplu kısa devre akımı:

- c : Gerilim katsayısı,
- Z : Hata akımı yolu toplam empedansları,
- U_{FN} : Faz-Nötr gerilim,
- U_{FF} : Faz arası gerilim

olmak üzere

$$I'_{k1} = c \cdot U_{FN} / Z$$

dir.

Nötrü yalıtılmış şebekelerde çift toprak kısa devre akımı ise, toprak yayılma dirençleri hesaba girmezse en büyük değer olarak

$$I''_{KEE} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{K3} \quad I''_{K3} : \text{Üç fazlı kısadevre akımı}$$

şeklinde hesaplanır.

Gerilim katsayısı (c), en büyük akım hesabında kaynak E.M.K. ni ve yüksek işletme gerilimi halini dikkate almak için Y.G. ve A.G. de 1,1-1,05; en küçük akım hesabında ise düşük işletme gerilimi ve anahtar kontakları, ek yerleri v.b. yerlerdeki kayıpları karşılamak üzere Y.G. de 1.0 ve A.G. de 0,95 alınmalıdır.

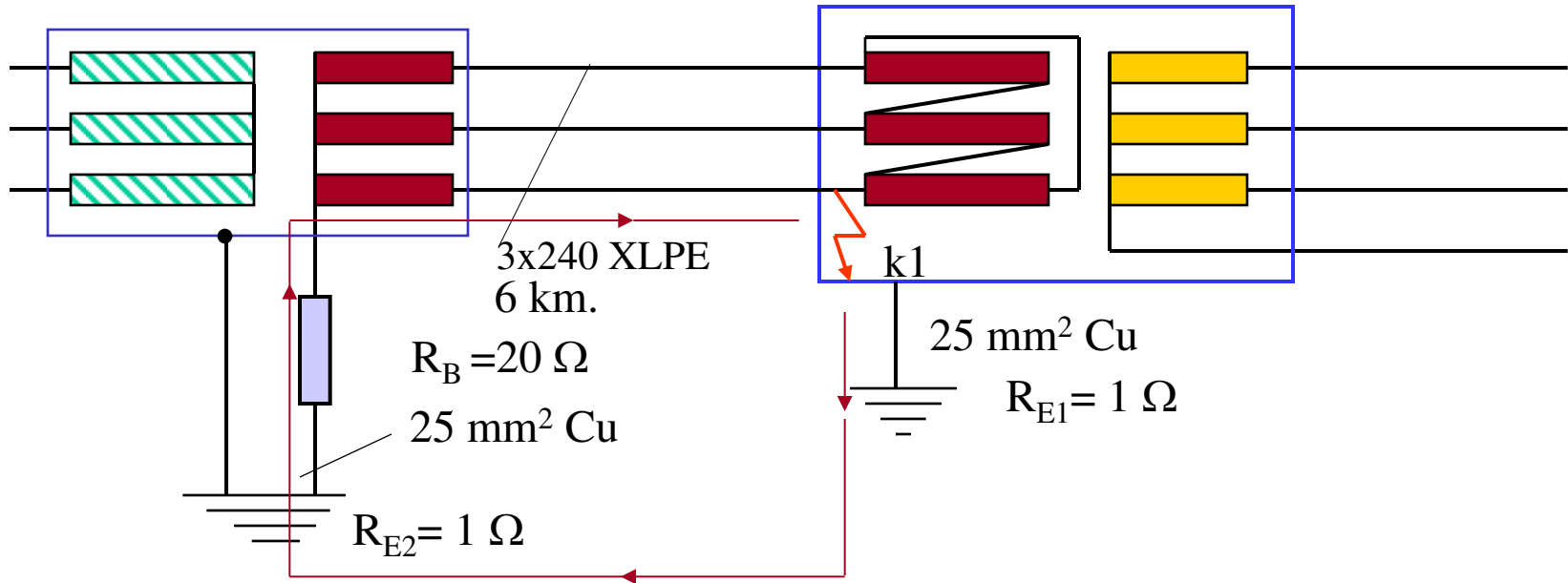
Devre elemanlarının akım taşıma kapasiteleri kontrol edilirken en büyük hata akımı değeri kullanılır.

Koruma cihazlarının hata halinde devreyi kesip kesemeyeceklerinin kontrolü ise en küçük hata akımına göre yapılmalıdır. Hat sonu toprak kısa devrelerinde eriyen telli sigortaların kesme kontrolü da en küçük hata akımına göre yapılır.

Örnek 3 Yüksek gerilim tesislerinde toprak kısa devresi akımı hesabı

50 MVA;154/34.5 kV; $u_k=\%12.5$

630 KVA;34.5/0.4 kV



Hesap aşağıda verilmiş olup; topraklama iletkenlerinin dirençleri, diğer dirençler yanında küçük kaldığından dikkate alınmamıştır.

Hata akımının belirlenmesi

$$X_{tr} = \frac{u_k \cdot U^2}{S} = \frac{12,5 \cdot 34,5^2}{100 \cdot 50} = 2,97 \, \Omega$$

$$R_{hat} = \frac{1}{\kappa \cdot S} = \frac{6000}{56 \cdot 240} = 0,44 \, \Omega$$

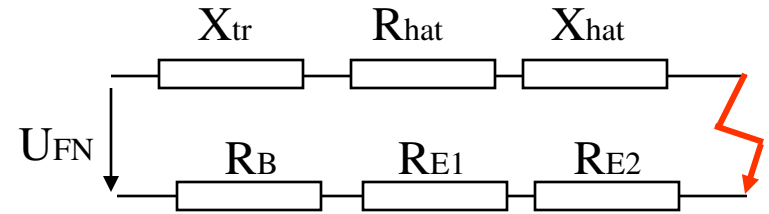
$$X_{hat} = x' \cdot l = 0,184 \cdot 6 = 1,104 \, \Omega$$

$$R_{top} = 0,44 + 22 = 22,44 \, \Omega$$

$$X_{top} = 2,97 + 1,104 = 4,074 \, \Omega$$

$$Z = \sqrt{R_{top}^2 + X_{top}^2} = \sqrt{22,44^2 + 4,074^2} = 22,82 \, \Omega$$

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{1,1 \cdot 34,5}{\sqrt{3} \cdot 22,8} = 0,96 \, \text{kA}$$



Isıl yönden boyutlandırma

Topraklama iletkenleri ve koruma iletkenleri kesitleri, El.Tes.Topraklamalar Yönetmeliği madde 9-e' ye göre hesaplanırlar. Bu iletkenler, hata süresinin 5 saniyeden küçük olduğu dikkate alınarak, hata akımının süresine ve büyüklüğüne göre seçilir.

A	Kesit (mm ²)
I	İletken akımı (A)
t	Hata süresi (s)
k	Malzeme katsayısı. (Yönetmelik çizelge B1'den)
β	Malzeme direncinin sıcaklık katsayısının tersi. Yönetmelik çizelge B1'den
θ_i	Başlangıç sıcaklığı (°C) Genellikle 20° C
θ_f	Son sıcaklık (°C)
alınarak	

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

formülü ile kesit kesaplanır.

Aynı sonuca daha kolay yoldan

I Hata akımı (A)

t Hata süresi (s)

k Malzeme katsayısı ($A.s^{1/2}/mm^2$) Yönetmelik çizelgeler 5-7'den alınarak

$$S=(I^2t)^{1/2}/k$$

formülü ile de varılmaktadır. Bulunan kesitten daha büyük kesit kullanılmalıdır.

Örnek 4:

I= 700 A.

t= 2 s

Malzeme: Çıplak bakır

Yukarıdaki şartlara göre kesit ne olmalıdır?

k katsayısı: Bakır malzeme, normal koşullar ($\theta_f = 200^\circ C$), komşu kısımların tehlike altında olmayacağı durum için çizelge 7'den $159 A.s^{1/2}/mm^2$ alınarak

$$S=(I^2.t)^{1/2} / k = (700^2 \times 2)^{1/2}/159 = 6,22 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

Isınma şartlarına göre nominal 10 mm² kesit seçilir. Bu kesit mekanik şartlara göre kontrol edilir. Minimum değerlerden küçük olmayacaktır.

Çizelge-5 Kablo veya iletkenlerin dışında bulunan yalıtılmış koruma iletkenleri için veya kablo dış kılıfları ya da iletken dış kılıfları ile temas eden çıplak koruma iletkenleri için malzeme katsayısı k

	Koruma iletkenlerinin veya kabloların ve iletkenlerin dış kılıflarının yalıtım malzemeleri		
	Polivinil Klorür (PVC)	Çapraz bağlı Polietilen (XLPE) Etilen-Propilen-Kauçuk (EPR)	Butilkauçuk (IHK)
Başlangıç sıcaklığı	30 °C	30 °C	30 °C
Son sıcaklık	160 °C	250 °C	220 °C
A. s ^{1/2} /mm ² cinsinden malzeme katsayısı k			
İletken malzemesi:			
Bakır	143	176	166
Alüminyum	95	116	110
Çelik	52	64	60

Çizelge-6 Çok damarlı kablo veya çok damarlı iletken içindeki yalıtılmış koruma iletkeni için malzeme katsayısı k

	Yalıtım malzemesi		
	Polivinil Klorür (PVC)	Çapraz bağlı Polietilen (XLPE) Etilen-Propilen-Kauçuk (EPR)	Butil kauçuk (IHK)
Başlangıç sıcaklığı	70 °C	90 °C	85 °C
Son sıcaklık	160 °C	250 °C	220 °C
A.s ^{1/2} /mm ² cinsinden malzeme katsayısı k			
İletken malzemesi			
Bakır	115	143	134
Alüminyum	76	94	89

Çizelge-7 Çizelgede verilmiş olan sıcaklıklarla komşu kısımların tehlike altında kalmayacağı durumlarda çıplak iletkenler için malzeme katsayısı k

İletken malzemesi	Koşullar	Görülen ve sınırlandırılmış bölgelerde *)	Normal koşullar	Yangın tehlikesi durumunda
Bakır	Maksimum sıcaklık	500 °C	200 °C	150 °C
	Malzeme katsayısı k	228	159	138
Alüminyum	Maksimum sıcaklık	300 °C	200 °C	150 °C
	Malzeme katsayısı k	125	105	91
Çelik	Maksimum sıcaklık	500 °C	200 °C	150 °C
	Malzeme katsayısı k	82	58	50
Not : İletkenin başlangıç sıcaklığı 30 °C olarak alınmıştır.				
*) Verilmiş olan sıcaklık dereceleri sadece, ek yerinin sıcaklığı ekin kalitesine etki etmediği taktirde geçerlidir.				

Çizelge-8 Ana iletken kesitlerine bağlı olarak koruma iletkeni kesiti

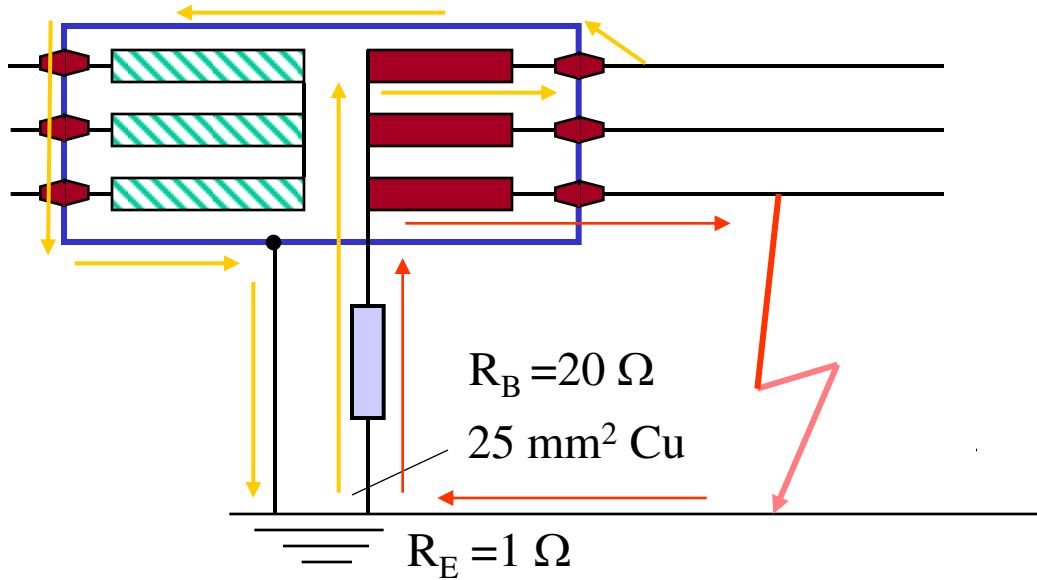
Tesisin ana iletken kesiti	Buna karşı düşen koruma iletkeninin minimum kesiti
S (mm ²)	S _p (mm ²)
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

Çizelge-8 deki değerler sadece, eğer koruma iletkeni, ana iletkenin malzemesi ile aynı malzemeden meydana gelmiş ise geçerlidir. Aksi takdirde koruma iletkeninin kesiti, Çizelge-8’de verilen değerlere karşı düşen iletkenlik değeri sağlanacak şekilde belirlenir.

iii) Başlama kablosunun veya bunun mahfazasının içinde bulunmayan her koruma iletkeninin kesiti hiçbir şekilde:

Örnek 5 İndirici merkezdeki 154/34,5 kV transformatör çıkışında toprak kısa devresi akımı hesabı

50 MVA;154/34.5 kV; $u_k=\%12.5$



Hata, transformatör çıkış izolatöründe veya şebekede olabilir.

Hesap aşağıda verilmiş olup; topraklama iletkenlerinin dirençleri, diğer dirençler yanında küçük kaldığından dikkate alınmamıştır.

Örnek 3'teki 50 MVA; 154/34.5 kV'luk transformatörün nötr noktası topraklama hattı için hesap:

50 MVA trafo: Çıkış izolatörlerinde bir toprak kısa devresi için bulunacak kısa devre akımı yaklaşık $I''_{k1} = 1,03 \text{ kA}$ dir. 20Ω 'luk direncin bağlantı hattı olarak çıplak bakır iletken kullanılacaktır.

$$S = (I^2 t)^{1/2} / k$$

bağintısında

$t = 5\text{s}$ ve k Çizelge-7'den $159 \text{ (A.s)}^{1/2}/\text{mm}^2$ alınarak

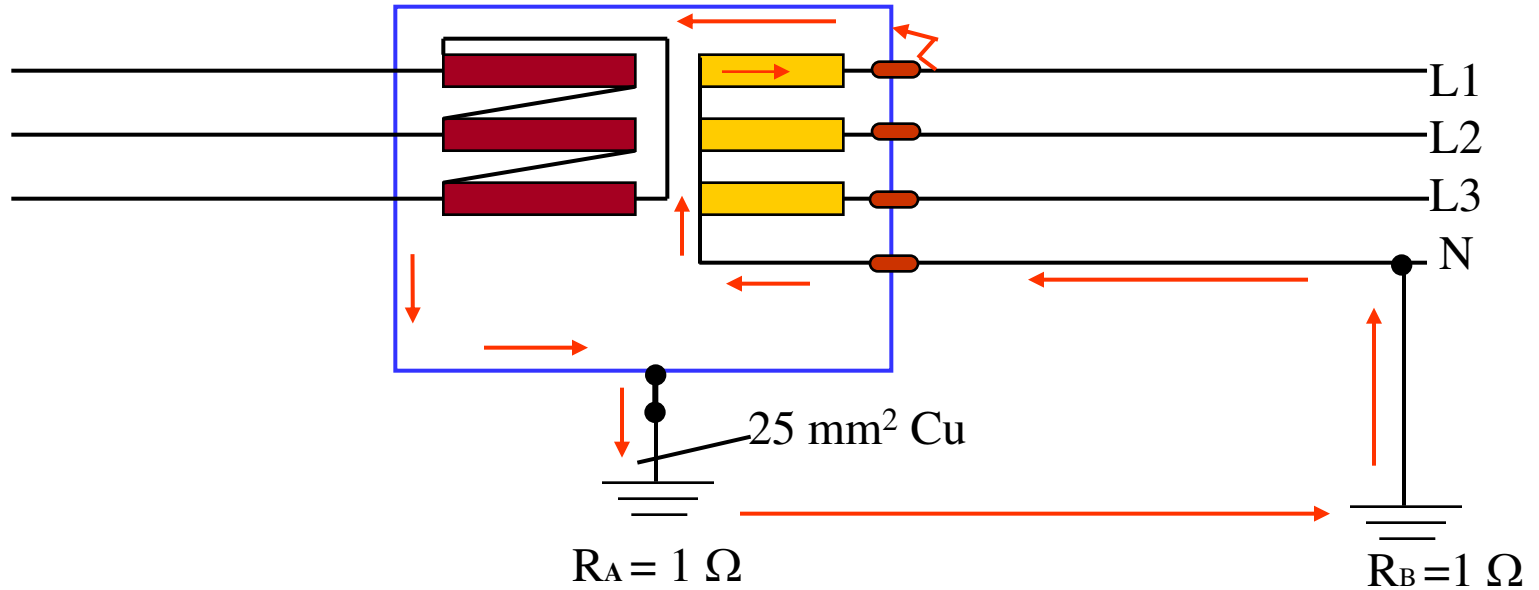
$$S = (1033^2 \cdot 5)^{1/2} / 159 = 14,5 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

Korozyona karşı ve mekanik olarak korunmamış ise nominal kesit 25 mm^2 alınır.

630 KVA trafo: Trafo gövdesini potansiyel dengeleme barasına bağlayan iletken, yukarıdaki gibi 0,96 kA.'lık Y.G. tarafı kısa devre akımı için 25 mm² bulunur.

Bu koruma iletkeni alçak gerilim kısa devrelerinde de akım taşıyacağından kesitin alçak gerilim tarafı kısa devreleri için de kontrolü gerekir.

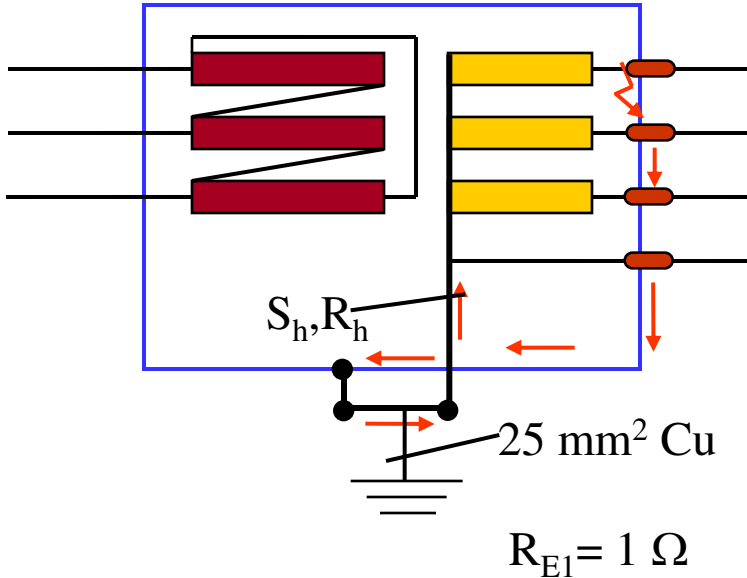
A - Verilen şekilde işletme topraklaması ile koruma topraklaması birleştirilmemiştir. Trafo A.G. çıkış izolatörlerinde kazana atlama olursa, kısa devre yolunda en az 1 ohm topraklama direnci bulunacaktır. A.G. kısa devre akımı 230 A. mertebesinde dir. Kesit yeterlidir.



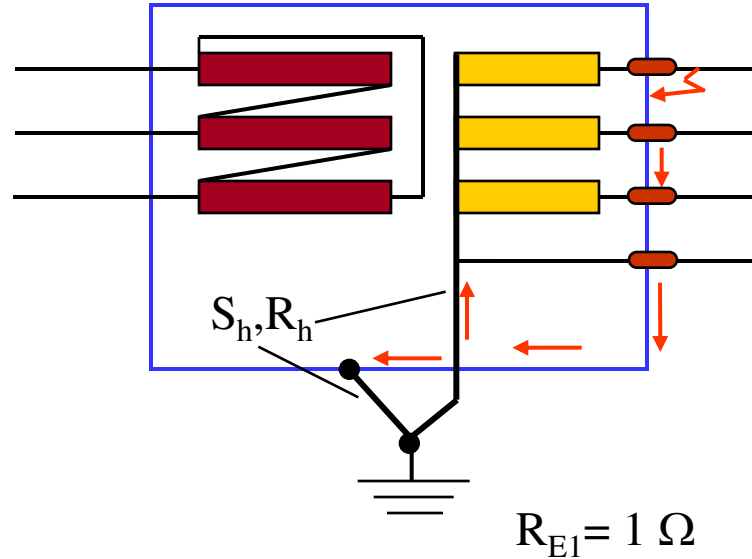
B – İşletme ve koruma topraklamaları birleştirilirse, yukarıdaki gibi bir kısa devrede, akım yalnızca trafo empedansı ve topraklama hatlarının dirençleri tarafından sınırlanır.

Hesap şekli ve şeması aşağıda verilmiştir.

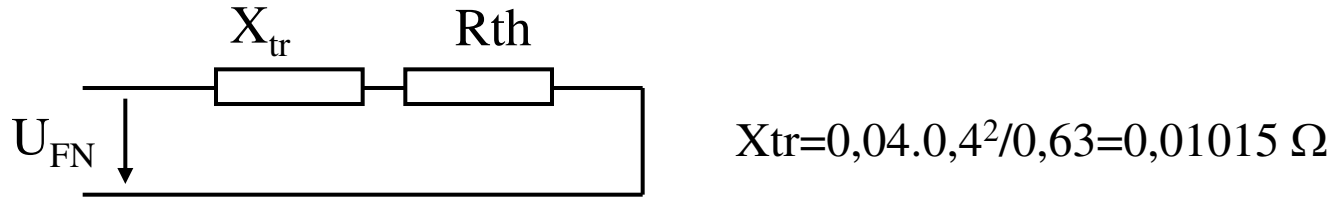
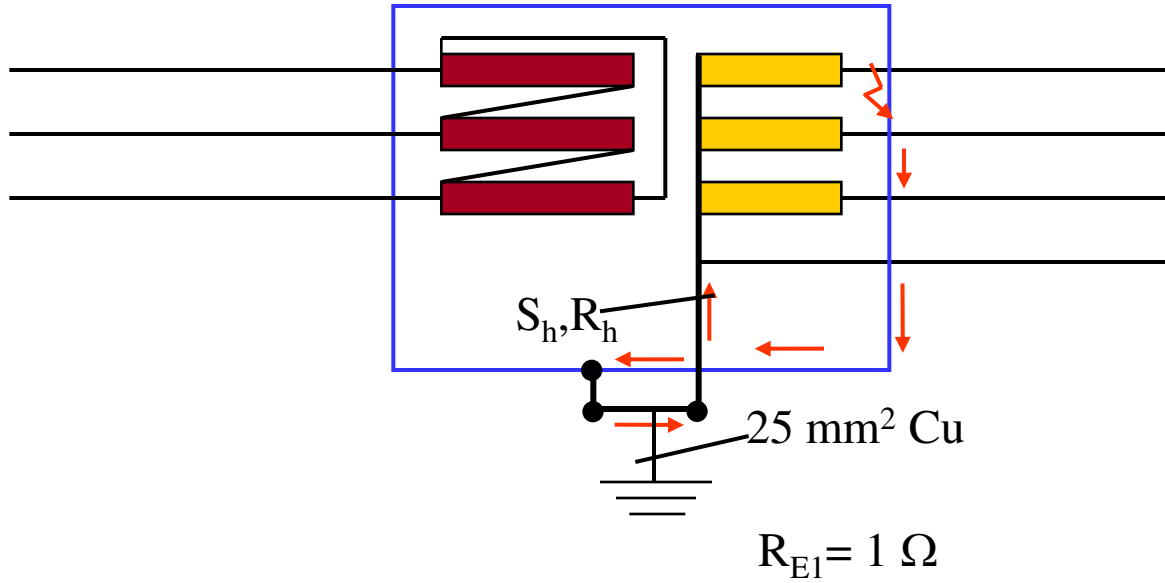
Koruma ve işletme topraklamalarının birleştirilme şekline göre iletken uzunlukları ve bağlantı noktaları değişir. Ancak akım hesabında değişiklik söz konusu değildir.



Topraklamalar bir barada birleşiyor.



Topraklamalar elektrotta birleşiyor.



$S_h = 50 \text{ mm}^2$ $L = 3 \text{ m}$. Seçilerek $R_h = 0,00142 \Omega$ ve $t = 1 \text{ s}$ $k = 159$

$I_{k1} = 1,1 \cdot 230 / 0,01015 = 24926 \text{ A}$. $S = (24926^2 \cdot 1)^{1/2} / 159 = 156,7 \text{ mm}^2$ bulunur.

$S_h = 150 \text{ mm}^2$ olmalıdır.

$R_{th} < 0,3 \cdot X_{tr}$ olduğundan dikkate alınmamıştır.

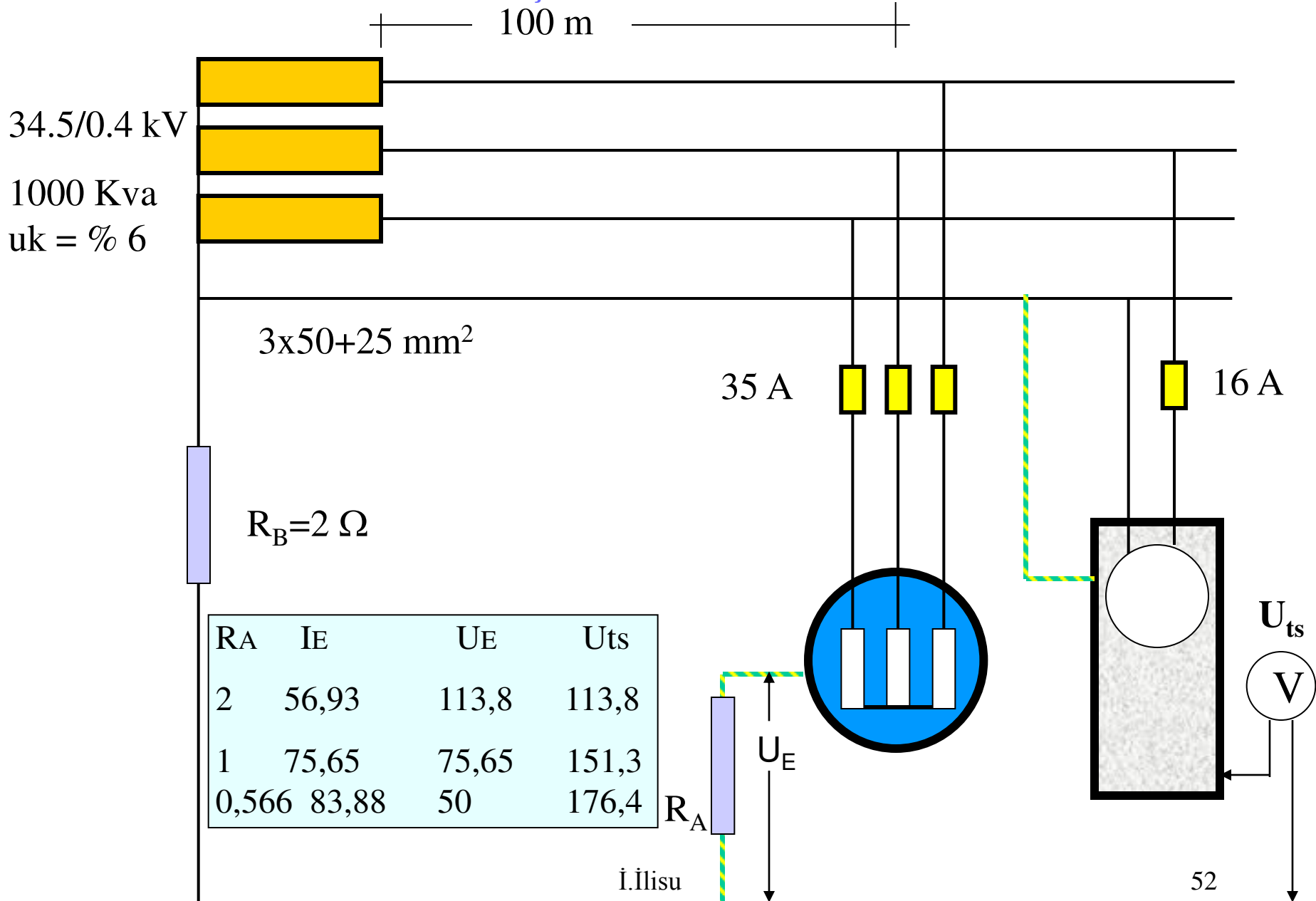
3.İşletme araçları ve nesnelerin zarar görmesinin önlenmesi:

Topraklama hatları, üzerlerinden geçecek akımların, çevrede meydana getireceği mekanik ve ısı etkileri dikkate alınarak tesis edilmelidir.

4.Dokunma ve adım gerilimine göre boyutlandırma:

Alçak gerilim ve yüksek gerilim tesislerinde topraklama bölümünde ayrı ayrı incelenecektir.

Örnek 7 Sistemlerin karışık kullanılması



Trafo reaktansı $X_{tr}=6/ 100 \times 0,4^2/ 1=0,0096 \Omega$

Şebekenin topraklı tüketiciye kadar olan kısmının direnci ve reaktansı :

$$R_h = 100/(56 \times 50) = 0.0357 \Omega \approx 0.04 \Omega \quad X_h = 8.478 \text{ m} \Omega$$

Hata akımı yolundaki toplam direnç ise

$$Z_{\text{toplam}} = R_A + 2.04 \Omega \text{ dir. (Reaktanslar küçük olduğu için ihmal edilmiştir.)}$$

Tüketicideki toprak elektrodunun R_A toprak yayılma direncine bağlı olarak hata akımı ve sıfır hattı potansiyeli için aşağıdaki değerler bulunur.

$R_A (\Omega)$	$I_E (A)$	$U_E (V)$	$U_{ts} (V)$
2	56,93	113,8	113,8
1	75,65	75,65	154,3

R_A toprak direncinin yeteri kadar küçük olmadığı görülmektedir.

R_A direnci, hata halinde üzerinde dokunma gerilimi, emniyet sınırı olan 50 V'ü aşılmayacak şekilde seçilirse

$230-50=180$ V. $180/2.04 = 88.23$ A. geçmeli ve $R_A = 50/88.23 = 0.566 \Omega$ olmalıdır.

Motor 35 A'lık $I_a=173$ A (5s) olan sigortalarla korunmaktadır.

$$I_a = 173 > 88.23 \text{ A}$$

Sigorta ani kesme akımının hata akımından büyük olduğu görülür.

Sonuç olarak sigortanın kısa sürede devreyi kesmeyeceği, trafo topraklaması üzerinde oluşan 176.4 V'luk gerilimin, sıfır hattı yolu ile arızasız cihaz üzerine geleceği ortaya çıkar.

Faz - nötr gerilimi 230 V olan bir şebekede, 5 s kesme akımı 173 A olan bir sigortanın hata halinde çalışabilmesi için, kısa devre yolundaki toplam direncin (çevrim direnci) 1.33Ω olması gerekir.

Örneğimizde geçebilecek en büyük kısa devre akımı $R_A = 0$ ohm için 112,7 A dir. Bu durumda, kısa devreye sigorta, oldukça geç cevap verecektir.

En büyük sigortası $I_n = 35$ A olan bir tesis için güvenli bir toprak geçiş direnci $50 / 173 = 0.289 \Omega$ olmaktadır. Ancak bu direnç değerinin her iklim koşulunda sağlanması şarttır. Böyle bir geçiş direnci değerini elde etmek için yapılacak yatırımı göze almak gerekir.

Bu arada belirtelimki şebeke nötr hattının toprağa nazaran geçiş direnci küçüldükçe, nötr hattına bağlı tesislerin güvenliği artacak; motor için yapılan topraklamanın direnci de küçülecektir.

Ölçmeler:

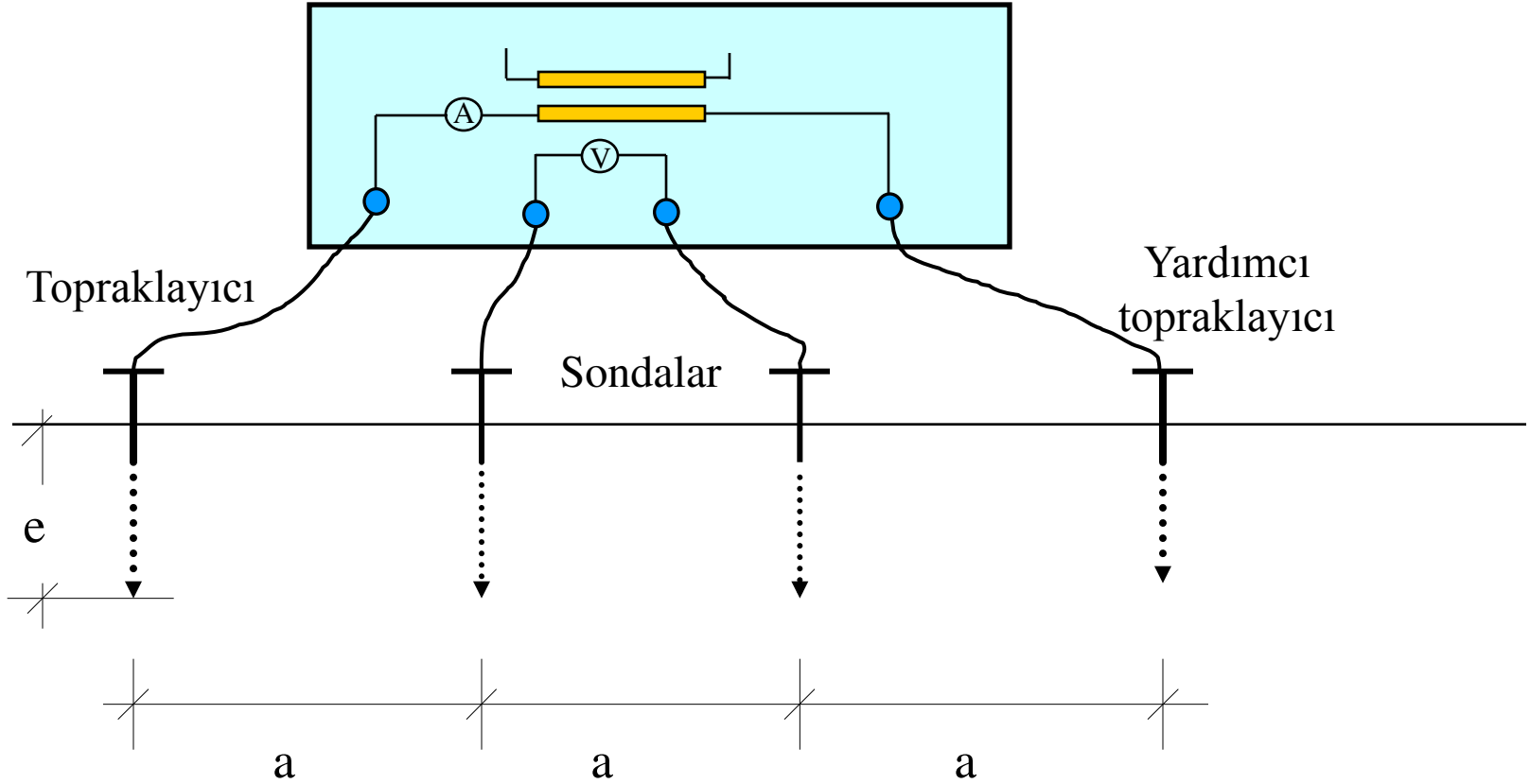
1.Toprak özgül direnci ve elektrot yayılma direncinin ölçülmesi.

1.1. Toprak özgül direncinin ölçülmesi.

Bu ölçme dört sonda yöntemi ile yapılmalıdır. Wenner Metodu adı verilen bu yöntem aşağıdaki slayd'da açıklanmıştır. Sondalar arası uzaklıklar için Yönetmelik Ek-N 2.2.1'e bakılabilir. Metodun uygulanması için özel cihazlar geliştirilmiştir. Ölçmenin prensibi dış elektrotlar arasına, frekansı 150 Hz'e kadar olan bir gerilim uygulanır. Geçen akım sebebi ile iç sondalar arasında oluşan gerilim ölçülür. Geçen akım ve ölçülen gerilimden bulunan direnç değeri ve ara mesafe ile özgül toprak direnci hesaplanır. Gelişmiş toprak direnci ölçüm aletlerinde, elektrotlar arası mesafenin girilmesi ile, direkt olarak özgül direnç ekrandan okunur. Ölçü yerindeki toprakta bulunacak diğer akımların etkisini ortadan kaldırmak için uygulanacak gerilimin frekansı değişken olmalıdır.

Topraklama özgül direncinin ölçülmesi

Wenner Medotu: TS.4363 de metod açıklanmıştır.



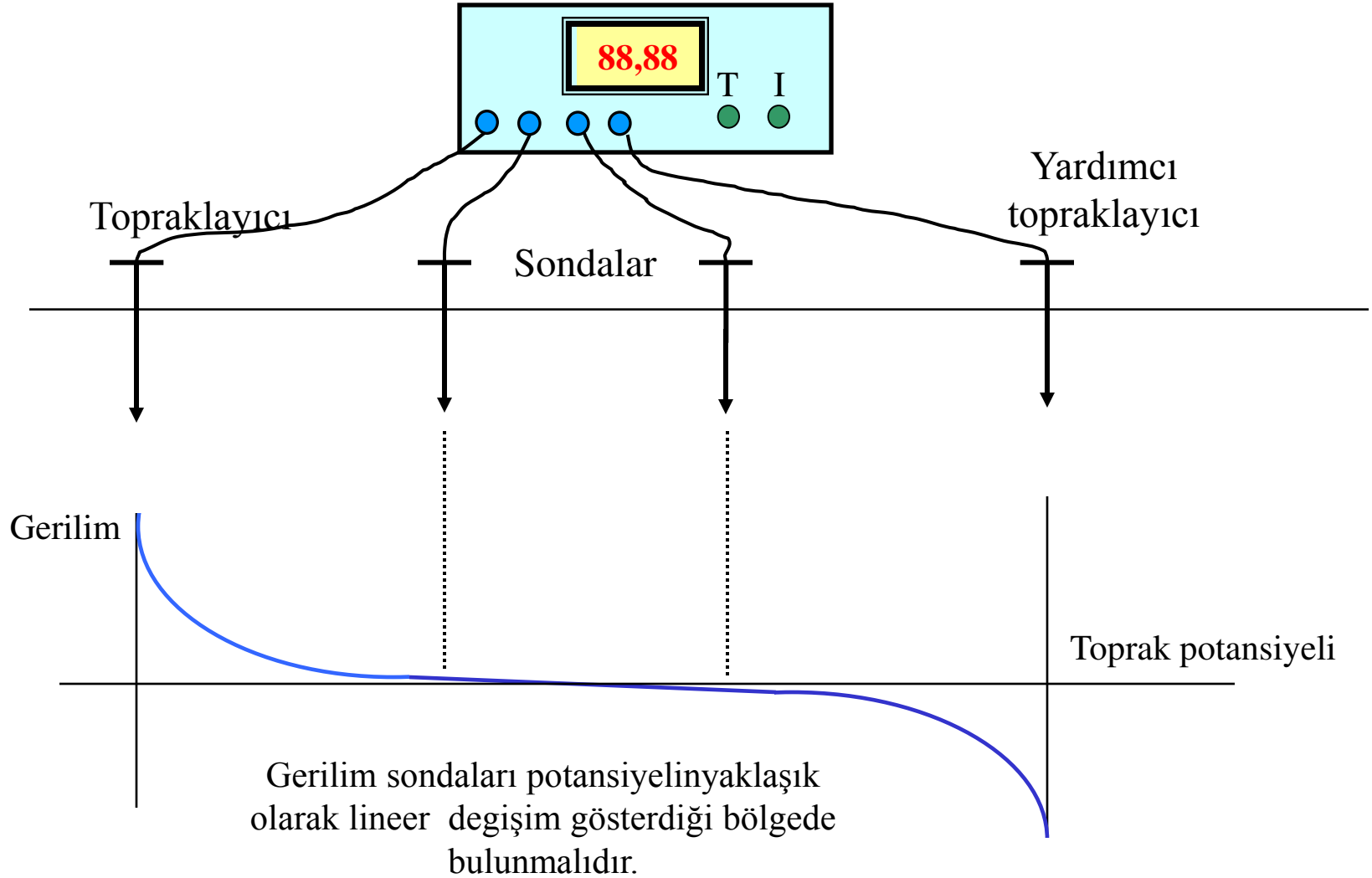
$e \leq a / 20$ olmak üzere $\rho_E = 2.\pi.a.R$ şeklinde bulunur.

a : Olabildiğince büyük olmalıdır.

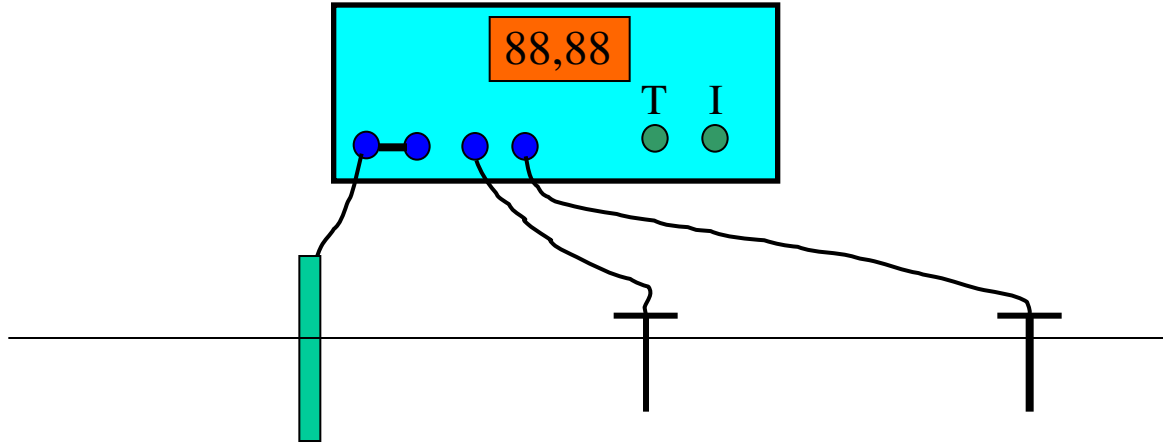
$R (\Omega)$ ölçülen direnç $\rho_E (\Omega .m)$ a ve $e (m)$ cinsindendir.

Topraklama özgül direncinin ölçülmesi

Elektrotların yeri:



1.2. Toprak yayılma dirençlerinin ölçülmesi.

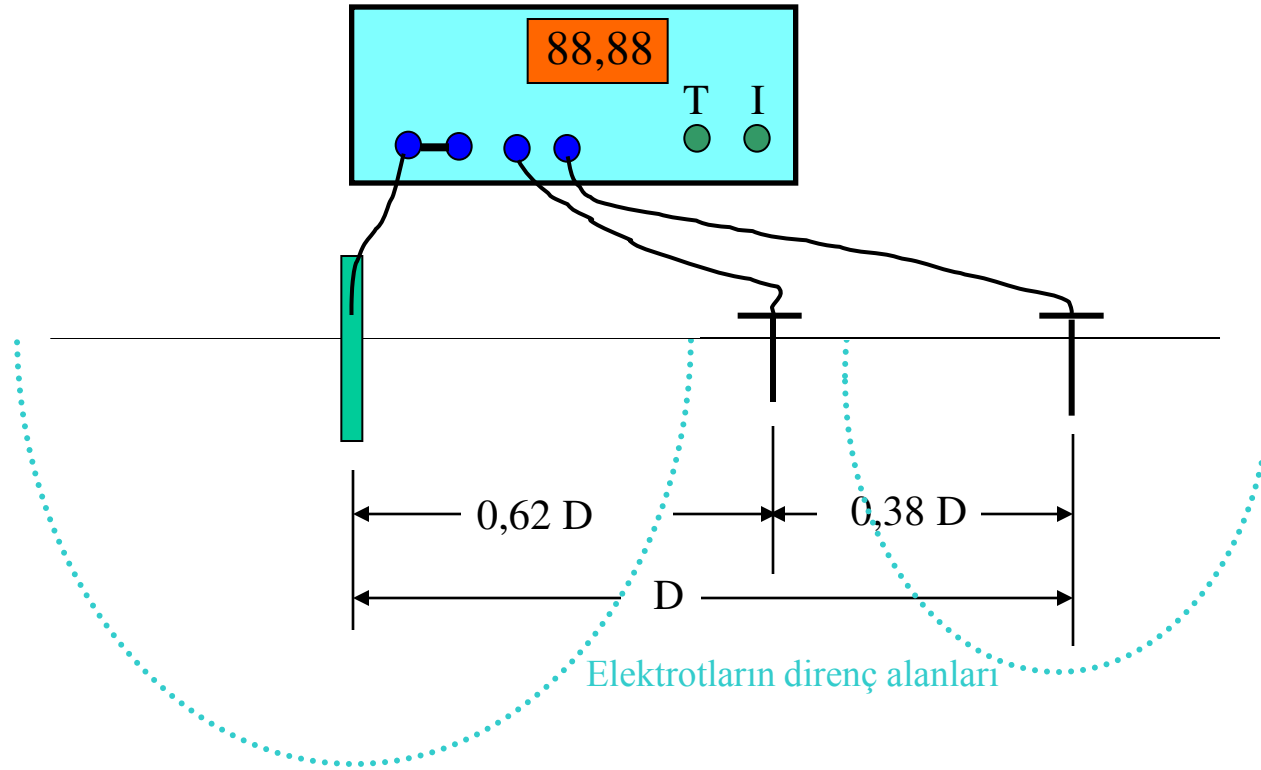


Topraklama sisteminin büyüklüğüne göre bir yöntem uygulanır. Yukarıda sözü edilen özel toprak direnci ölçüm aletleri ile topraklayıcıların yayılma dirençleri de ölçülebilir.

Daha basit bir metod Yönetmelik şekil 8b de verilmiştir.

Y.Gerilim indirici trafo istasyonları gibi büyük tesislerde, direklerde bulunan topraklama telleri veya kablo kılıfları istasyon topraklama tesisine bağlı olduklarından, hata akımı bu gibi bağlantılara da dağılır; topraklama tesisi üzerinden toprağa giden akım azalır. Yönetmelik Ek-N şekil N1’de ölçü yöntemi verilmiş ve hesap tarzı N.2.2.3 de açıklanmıştır.

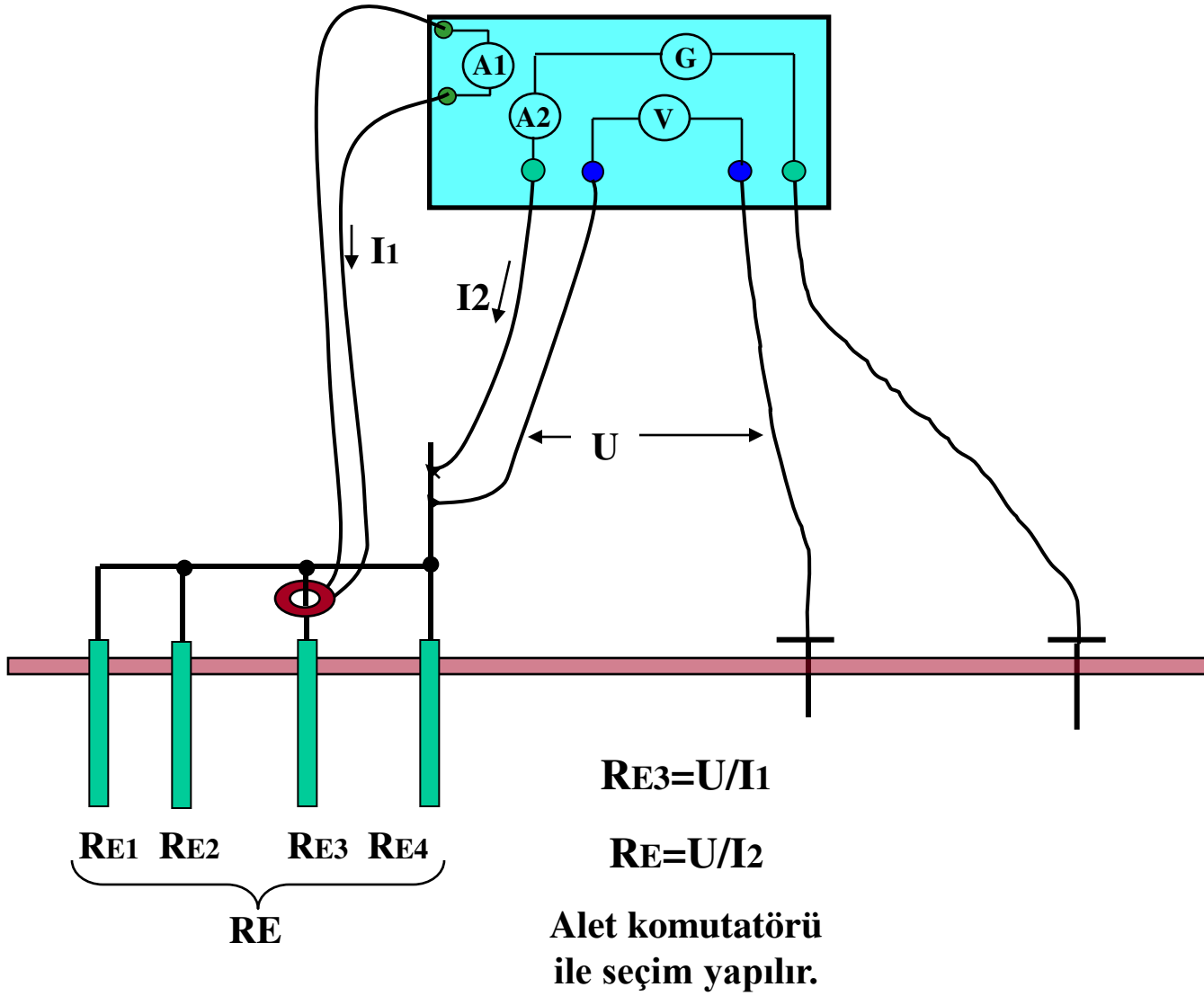
Toprak yayılma dirençlerinin ölçülmesinde ara uzaklıklar



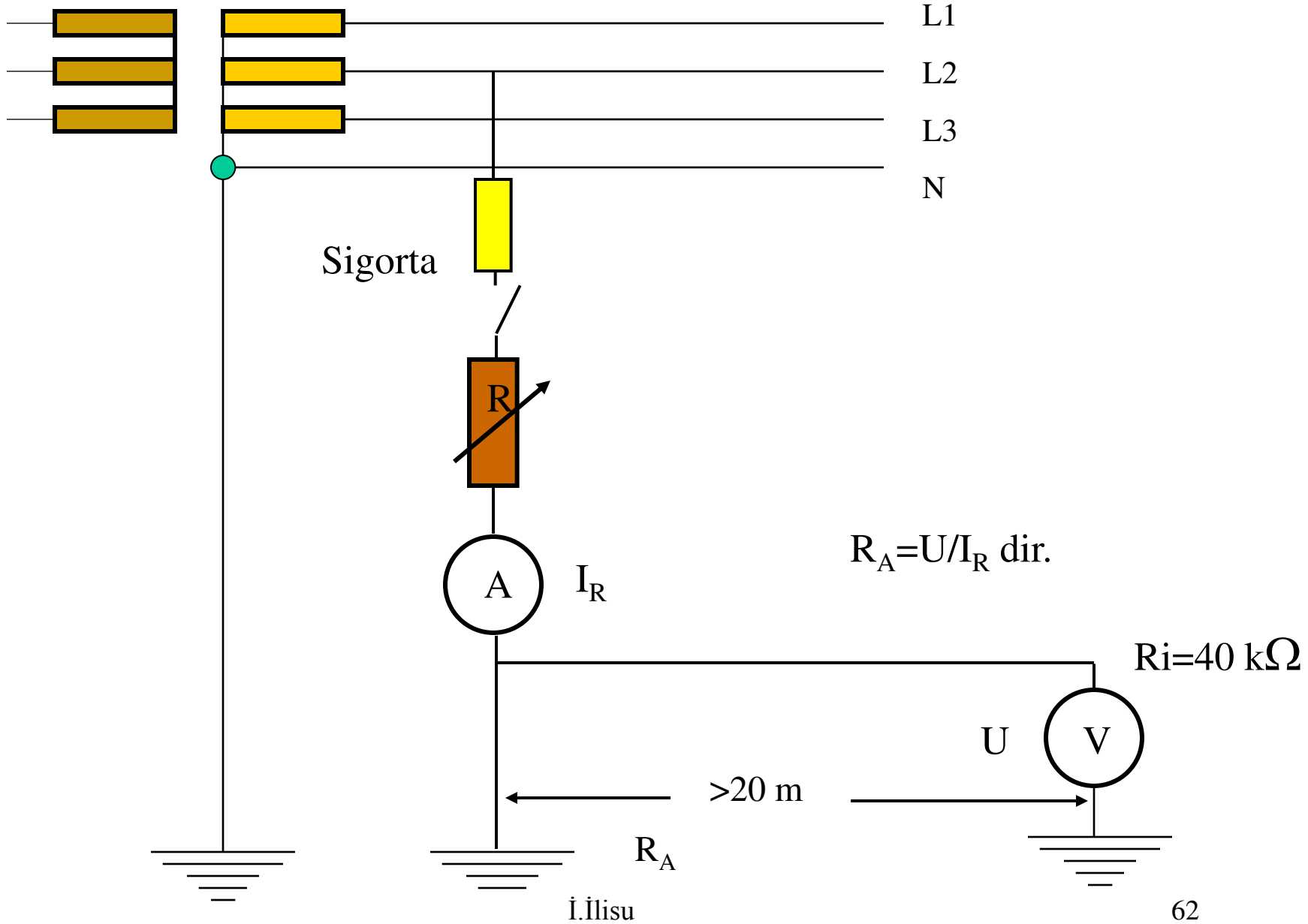
Ölçünün doğruluğundan emin olmak için ortadaki elektrot yeri iki tarafa %10 D değiştirilerek 3 ölçü yapılır. Bulunan değerler büyük farklılık göstermezse bu değer kabul edilir.

Küçük elektrotlarda D mesafesi en az 10 m olmalıdır. Kareye yakın elektrotlarda ara mesafenin, kenar uzunluğunun 3-4 katı olması istenir. Topraklama tesisinin büyüklüğüne göre ara mesafe daha da arttırılır.

Çoklu topraklamada akım pensi ile ölçüm



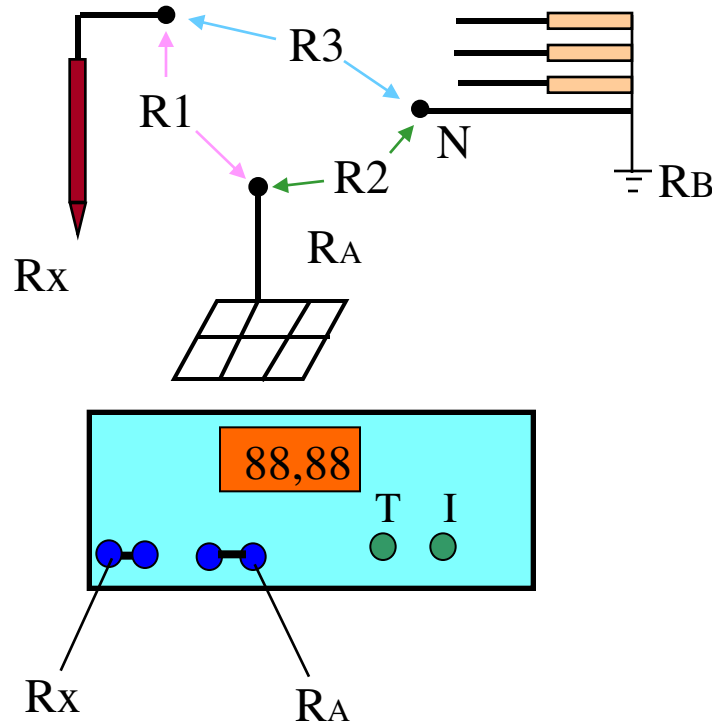
Ampermetre Voltmetre yöntemi ile topraklayıcı yayılma direncinin ölçülmesi



Üç nokta metodu ile toprak yayılma direncinin ölçülmesi

Topraklayıcıların yayılma direnci ölçümü, yeterli toprak yüzeyi bulunamaması gibi bazı olumsuz hallerde başka topraklayıcılardan yararlanılarak ölçülebilir.

Burada ölçünün doğru olabilmesi, diğer yardımcı topraklayıcıların yayılma dirençlerinin küçük olmasına bağlıdır. Bağlantı iletkenlerinin dirençleri ihmal edilirse



$$R_1 = R_x + R_A$$

$$R_2 = R_A + R_B$$

$$R_3 = R_B + R_x$$

değerleri ölçülecektir. Topraklayıcılar birbirlerinin etki alanında değilse, üç bilinmeyen ve üç denklem olduğuna göre

$$R_x = (R_1 - R_2 + R_3) / 2 \text{ olarak bulunur.}$$

Toprak direnci ölçme cihazı şeklindeki gibi bağlanarak değişik uçlar arasında ölçü yapılabilir.

1.3. Topraklama geriliminin tespiti.

Yayılma direnci ölçümünde kullanılan yöntemlere göre

$$U_E = \text{Topraklama empedansı} \times \text{Topraklama akımı}$$

şeklinde hesaplanır.

1.3. Topraklama geriliminin tespiti.

Yayıma direnci ölçümünde kullanılan yöntemlere göre

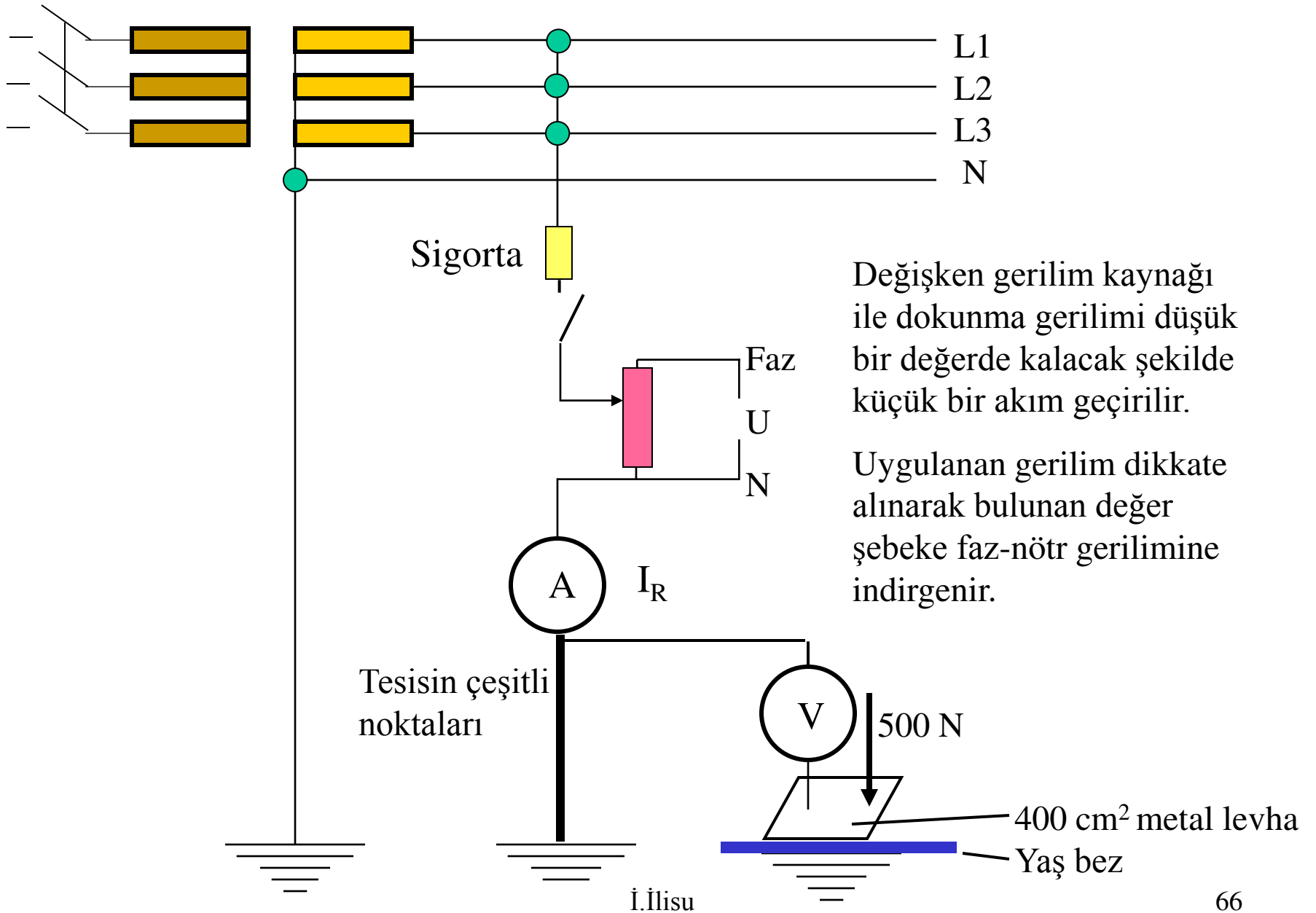
$$U_E = \text{Topraklama empedansı} \times \text{Topraklama akımı}$$

şeklinde hesaplanır.

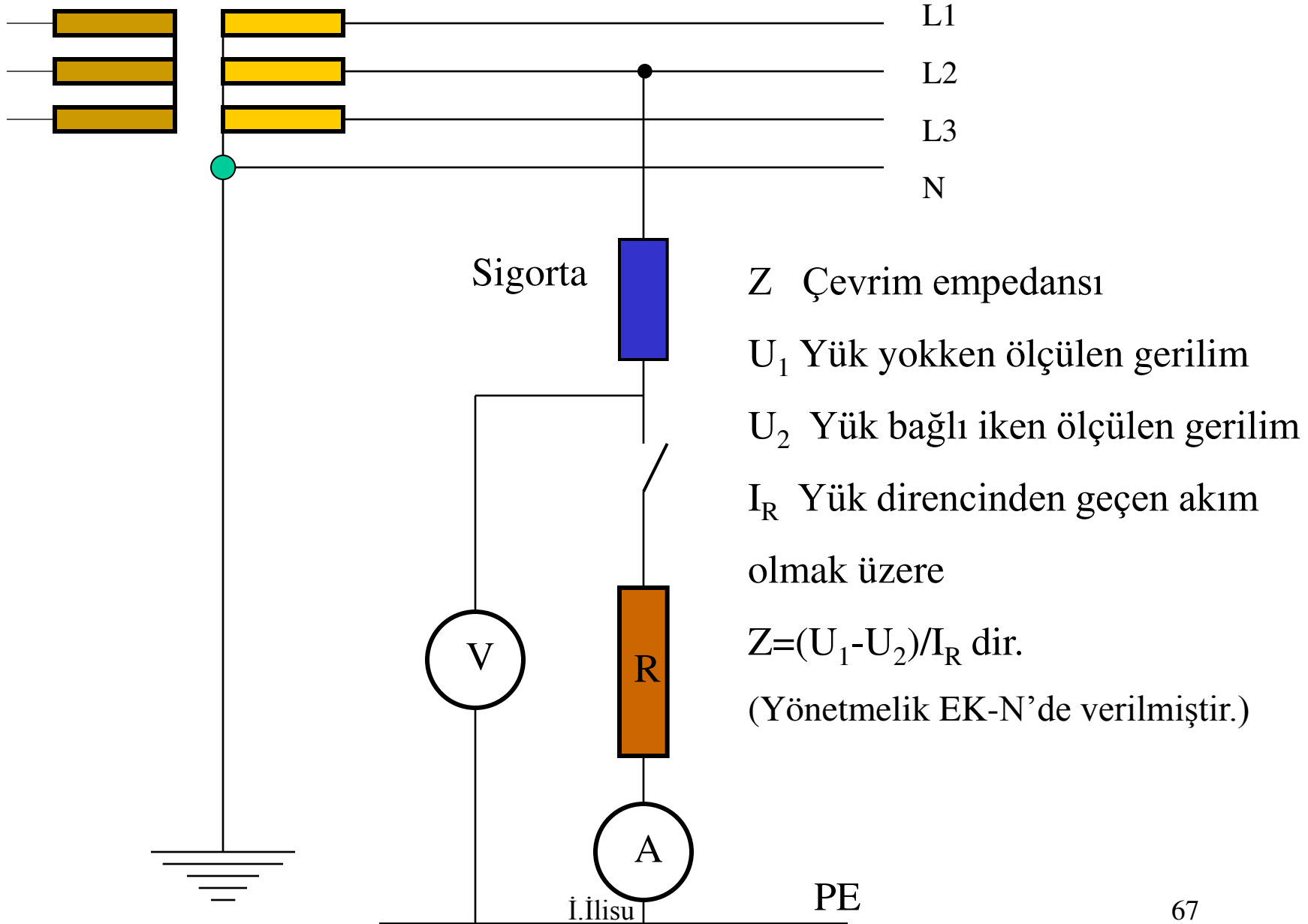
2.Dokunma geriliminin ölçülmesi.

Bu maksatla akım-gerilim yöntemi kullanmak zorunludur.

aşağıda yöntem açıklanmıştır. Deneyin yeni devreye girecek tesislerde numune deneyi olarak yapılması yeterlidir. Deney sonunda bulunan gerilim değeri, kullanılan kaynak gerilimine göre düzeltilmelidir. Tesisin durumuna göre deneyde küçük gerilim kullanılması tavsiye edilir.



3. Arıza Çevrim Empedansının Ölçülmesi



Topraklama tesislerinde muayene, ölçme ve denetleme:

Yönetmelik madde 10-a 'da açıklandığı üzere her topraklama tesisi, montaj esnasında ve işletme aşamalarında periyodik olarak kontrol edilecektir. Yapılacak kontroller

- Gözle muayene,
- Koruma iletkenlerinin, ana ve tamamlayıcı potansiyel dengeleme iletkenleri bağlantılarının sürekliliğinin ölçülmesi ve denetlenmesi,
- Elektrik tesisinin yalıtım direncinin ölçülmesi ve denetlenmesi,
- Toprak özgül direncinin ölçülmesi,
- Topraklama (yayılma) direncinin ölçülmesi,
- Beslemenin otomatik kesilip kesilmediğinin denetlenmesi,
- Çevrim empedansının kontrolü,
- Artık akım koruma düzeninin kontrolü,

şeklinde sıralanmaktadır.

Yapılacak kontrollarda Yönetmelik Ek-P'de verilen şekilde formların kullanılması tavsiye olunur. Kontrol periyotlarına da aynı ekte değinilmiştir.

Çeşitli topraklama tesislerinin işletme dönemi içinde denetlenme periodları

Elektrik üretim, iletim, dağıtım tesisleri (Hatlar hariç): 2 yıl

Enerji nakil ve dağıtım hatları: 5 yıl

Sanayi tesisleri ve ticaret merkezleri:

- Topraklamalara ilişkin dirençlerin muayene ve ölçülmesi 1 yıl

- Topraklama tesisleri ile ilgili diğer kontroller 2 yıl

Sabit olmayan tesisler için :

- Sabit işletme elemanları 1 yıl

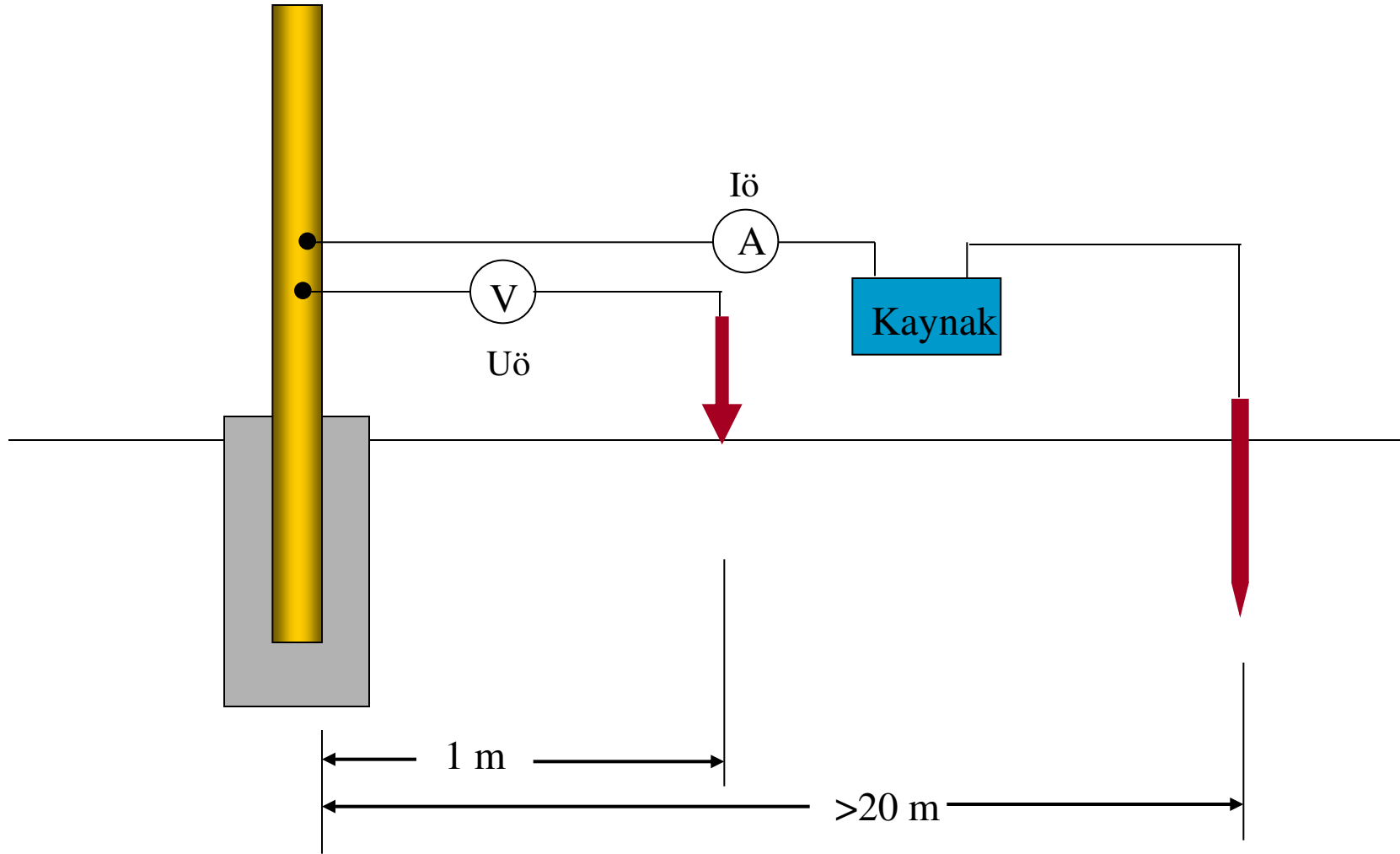
- Yer değiştirebilen işletme elemanları 6 ay

Topraklama tesisinin muayene ve denetlenmesinin amacı :

1. Tesisin sağlamlığının denenmesi,
 2. Dokunma geriliminin izin verilen sınırlar içinde olup olmadığının belirlenmesi, dir.
- Tesisin sağlamlığına, toprak yayılma direncinin (topraklama direnci) ölçülmesi ile karar verilebilir.
 - Topraklama tesisinin dokunma gerilimi açısından yeterli olup olmadığı, topraklama direnci ölçülmesi ile belirlenemez. Farklı topraklayıcı tipleri ve topraklama düzenleri **aynı** topraklama direncine sahip olmalarına rağmen dokunma gerilimi veya adım gerilimi bakımından **farklı** özellikler gösterirler.

Topraklayıcılardan akım geçmesi halinde, toprak içinde oluşan potansiyel dağılımı dokunma gerilimini belirler.

Bir yüksek gerilim direği veya direk transformatörü koruma topraklaması için dokunma geriliminin belirlenmesi :



Yukarıda verilen ölçü yönteminde oluşabilecek tehlikeli adım ve dokunma gerilimlerinden kaçınmak için gerilimi 50 V'ı aşmayan bir kaynak kullanılmalıdır.

Voltmetre olarak 3000 Ω iç dirençli bir alet tercih edilir. Toprak bağlantıları sondalar ile sağlanır.

Devreden geçen akım $I_{\text{ö}}$ ampermetre ile ölçülür.

Direk ile bundan 1m uzaklıktaki nokta arasında gerilim $U_{\text{ö}}$ ölçülür.

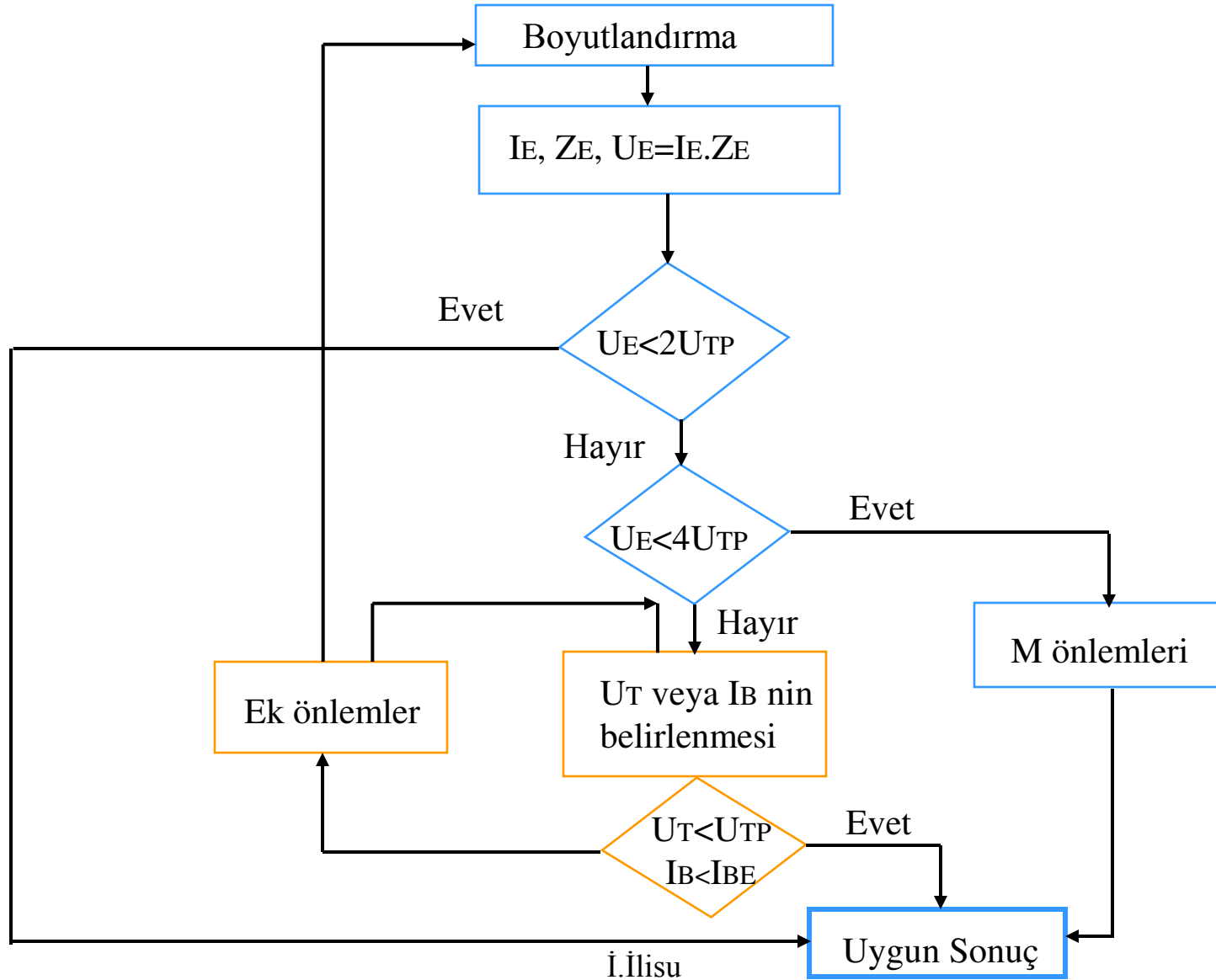
Direğin taşıdığı devrelerde oluşabilecek en büyük kısa devre akımı I_{Emax} hesaplanır.

Oluşabilecek dokunma gerilimi $U_E = I_{\text{Emax}} \times U_{\text{ö}} / I_{\text{ö}}$ dür.

Deney direk çevresinde çeşitli noktalarda tekrarlanır.

Adım gerilimini bulmak için voltmetre uçlarındaki sondalar, yaklaşık 75 cm aralıklı noktalar arasında dolaştırılarak, bulunan değerlerle yukarıdaki gibi hesaplanır.

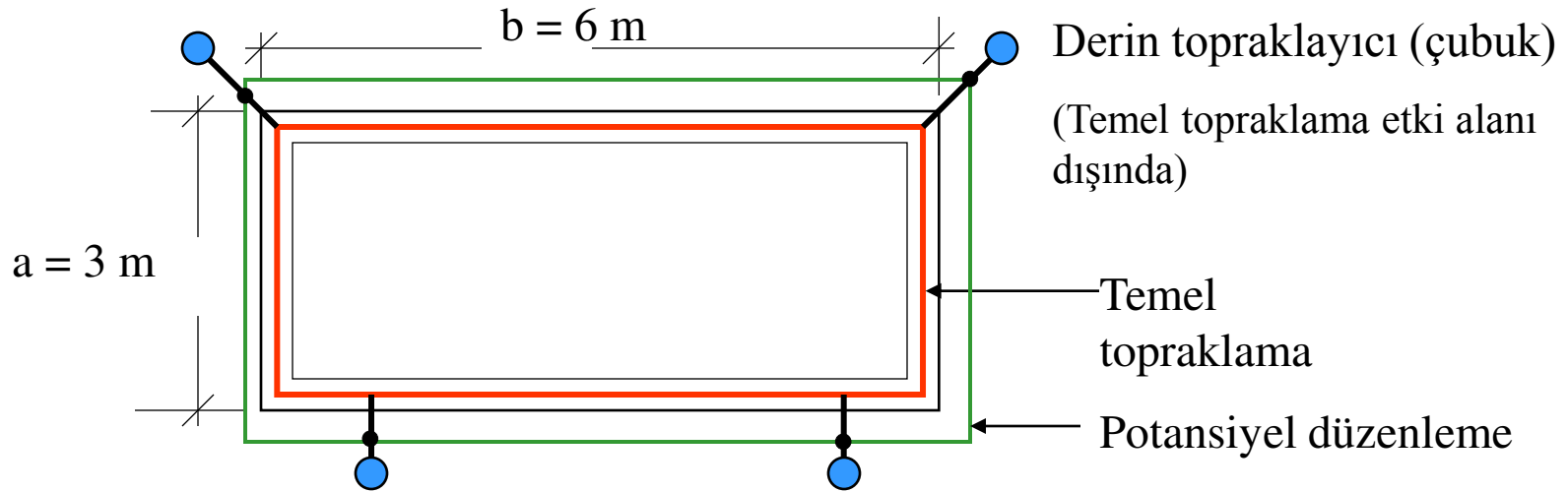
Y.Gerilim tesislerinde topraklama tesisinin tasarımı



Örnek 21

Y.Gerilim tesisleri için topraklama tesisi hesabı

3m x 6 m boyutunda bina tipi 34.5 / 04 kV'luk bir transformatör postası için koruma topraklaması yapılacaktır. Topraklayıcılar ve topraklama iletkeninin boyutlandırılması istenmektedir. Toprak özgül direnci 100 Ω .m ölçülmüştür. 34,5 kV'luk şebeke besleme noktasında 20 Ω dirençle topraklanmıştır.



D: Temel topraklayıcının çevrelediği alana eşit, alanlı dairenin çapı olmak üzere

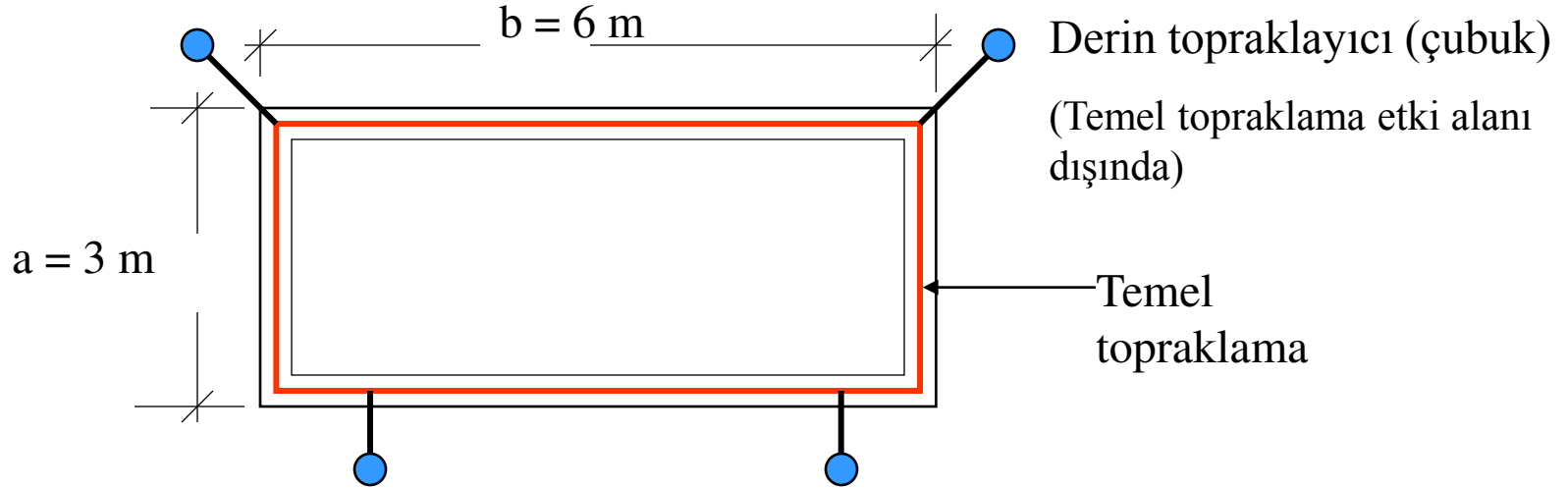
Temel topraklamanın yayılma direnci $R_E \cong 2 \cdot \rho_E / 3D$; $D = (4 \cdot a \cdot b / \pi)^{1/2}$

$$D = (4 \cdot 3 \cdot 6 / \pi)^{1/2} = 4,78\text{ m}$$

$$R_E = 2 \cdot 100 / 3 \cdot 4,78 = 13,94\ \Omega$$

$$I_E = 1,1 \times 34,5 / \sqrt{3} \times (20 + 13,94) = 0,645 \text{ kA} \quad U_E = 13,94 \times 0,645 = 8,9 \text{ kV}$$

Bulunan topraklama gerilimi çok yüksek olup uygun değildir. Direncin küçültülmesi için 4 adet 2 m uzunluğunda çubuk derin topraklayıcı ilave edilirse:

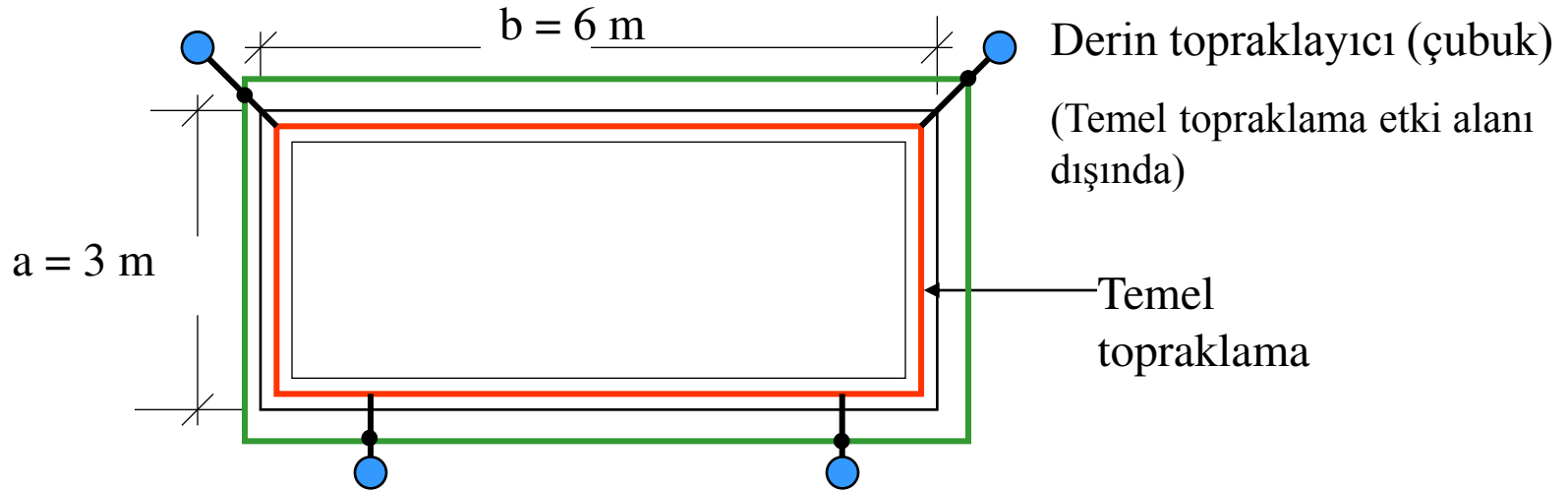


Çubuk topraklayıcı için $R_E \cong \rho_E / L$ L : Çubuk boyu $R_E = 100/2 = 50 \Omega$

4 adet çubuk elektrot, temel topraklayıcı ile paralel çalıştığından istasyon için topraklama direnci $6,59 \Omega$ bulunur.

$$I_E = 1,1 \times 34,5 / \sqrt{3} \times (20 + 6,59) = 0,823 \text{ kA} \quad U_E = 6,59 \times 0,823 = 5,4 \text{ kV}$$

Bu değer dahi sözkonusu kısa devre akımı için yüksek bir değer olup ek önlemler alınmasını gerektirir.



Yönetmelik Ek-D de bildirilen ek önlemlerin alınması kaydı ile ve hata süresi 0,15 s indirilebilirse

$U_{TP} = 600 \text{ V}$ ve $U_E \leq 4 \cdot U_{TP}$ hesabından

$U_E \text{ max} = 2400 \text{ V}$ bulunur.

Hata akımının kabul edilen değere uygunluğunu kontrol edersek:

$$1,1 \times 34,5 / \sqrt{3} - 2400 = 19510 \text{ V} \quad I_E = 19510 / 20 = 975,5 \text{ A}$$

$$R_A = 2400 / 975,5 = 2,46 \Omega$$

İstasyonun topraklama direnci $2,46 \Omega$ dan küçük OLMALIDIR. Topraklama tesisi takviye edilmelidir.

Yukarıda bildirilen ek önlemler Elek.Tes.Topraklamalar Yönetmeliği Ek-D ye göre

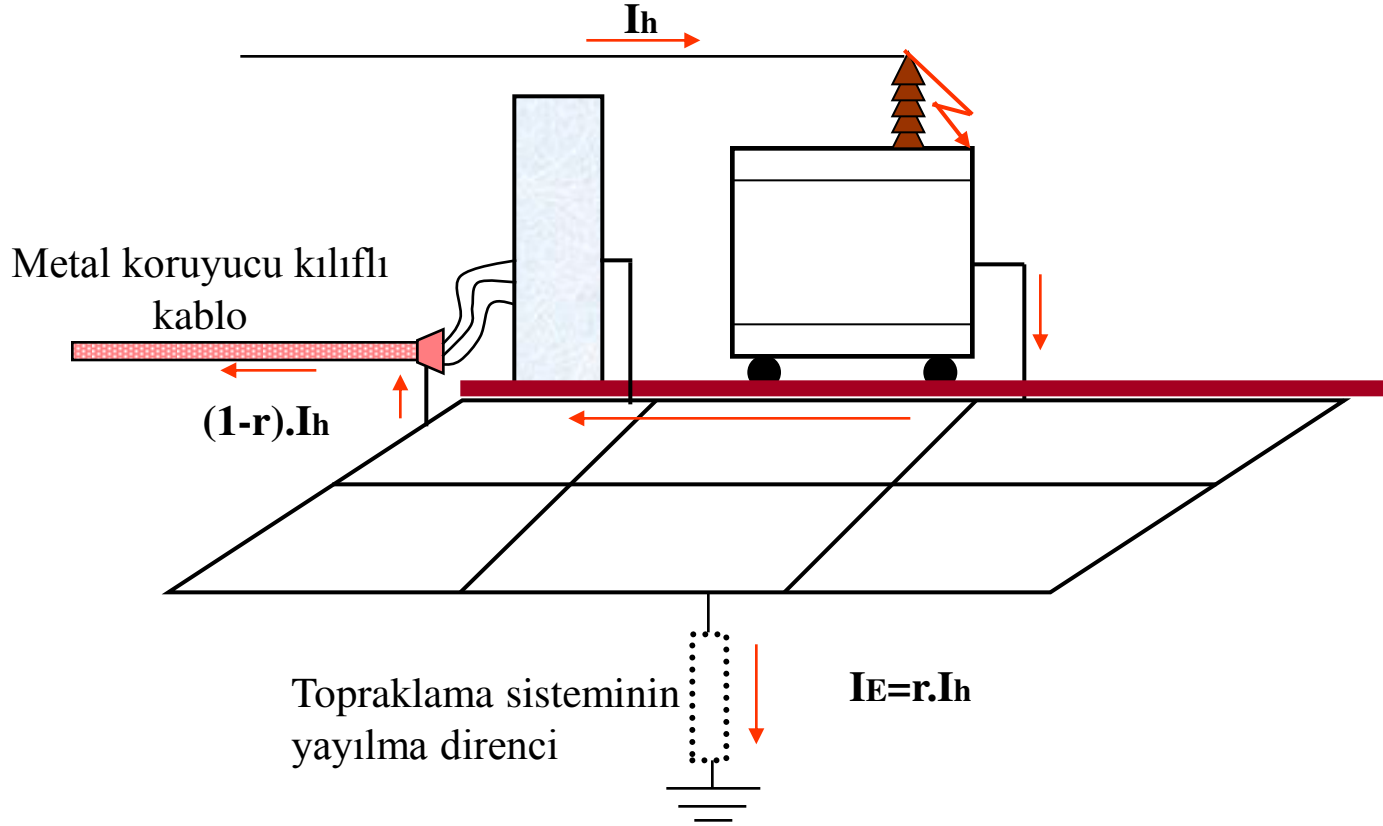
Bina dış duvarında : M1 veya M2

Bina içinde : M3

olarak verilmiştir.

Bu istasyonun **hava hattı ile beslendiği ve kablo çıkışları olmadığı** kabul edilmiştir.

Kablo kılıfları toprak kısa devre akımlarını taşıyacağından, istasyon topraklama sisteminden geçen akım azalır, topraklama gerilimi de düşer.



r katsayısı 66-154 kV'lık hava hatlarında toprak direncine bağlı olarak 0,8-0,6 değerleri arasındadır. Kablolar için üreticisinden değerler alınmalıdır.

Transformatör istasyonlarındaki topraklama sistemine bağlı hava hattı koruma iletkenleri veya yeraltı kablo zırhları varsa, hata akımının bir bölümü bu gibi bağlantılar üzerinden başka topraklamalara gider. **Topraklama gerilimi hesaplarında istasyonun kendi topraklaması üzerinden toprağa akan akım dikkate alınır.**

Örnek 22 Topraklama direncinin yeterliliği

34,5 kV'luk bir yüksek gerilim direği veya direk tipi transformatörde koruma topraklaması direnci 2Ω ölçülmüştür.

34,5 kV'luk hattı besleyen trafoda 20Ω luk bir işletme topraklaması vardır. Direk çevresinde Elek.Tes.Topraklamalar Yönetmeliğinde bildirilen M önlemleri alınmamıştır.

34,5 kV'luk hattın başındaki kesicinin açma süresi 0,2 s olarak belirlenmiştir.

1. I_E ve Z_E belirlenir. $Z_E = 2 \Omega$ $I_E = 1,1.34,5/\sqrt{3}.22 = 0,995 \text{ kA}$

$$U_E = 0,995 \times 2 = 1,99 \text{ kV}$$

2. 0,2 s hata süresi için $U_{TP} = 500 \text{ V}$ $U_E > 2 \times U_{TP}$

Direnç uygun değildir.

3. M önlemleri alınması ile $U_E < 4 \times U_{TP} = 2000 \text{ V}$ ve hata süresi $t < 0,2 \text{ s}$ için uygun bulunur.

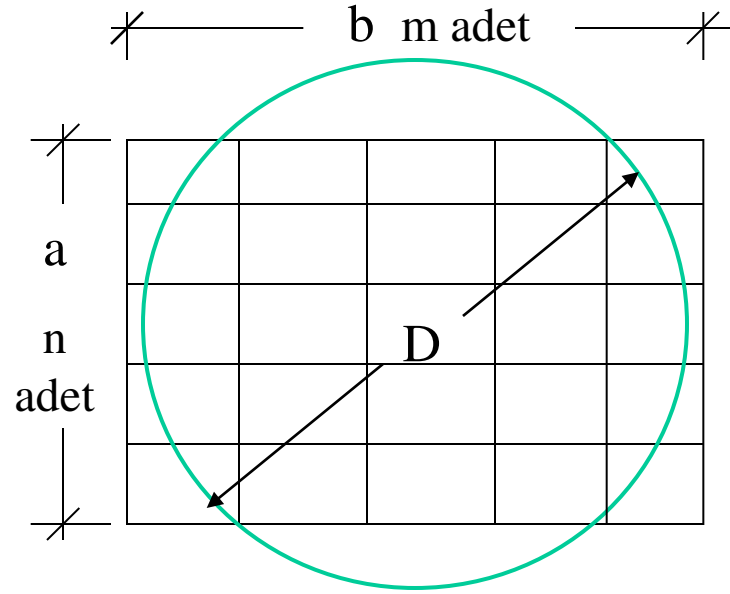
Diğer elektrot tipleri için geçiş direnci hesapları

Gözlü topraklayıcı

$$D = (axb/\pi)^{1/2}$$

$$L = a.n + b.m$$

$$R_E = \rho_E / 2D + \rho_E / L$$



R_E : Topraklama direnci

D : Gözlü topraklayıcının eşdeğer daire alan çapı

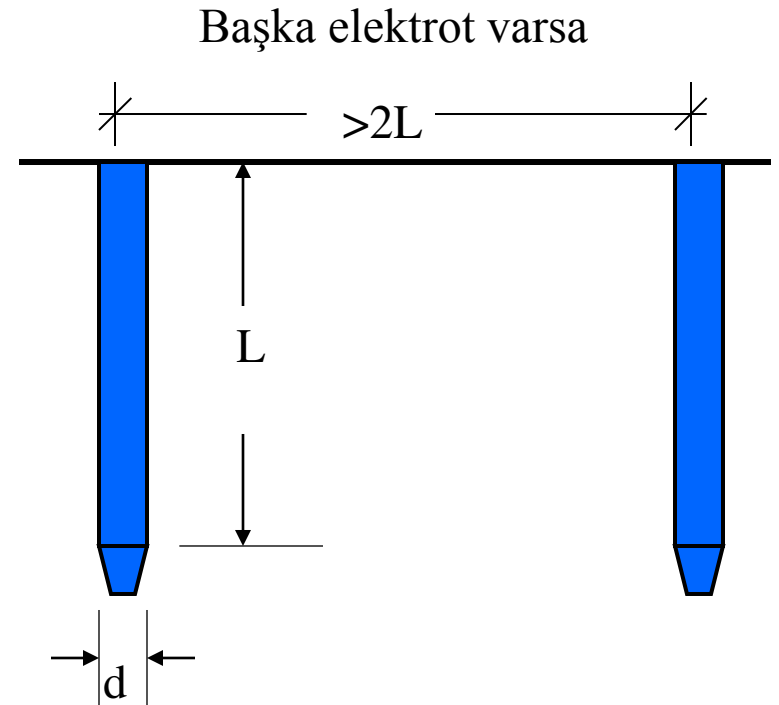
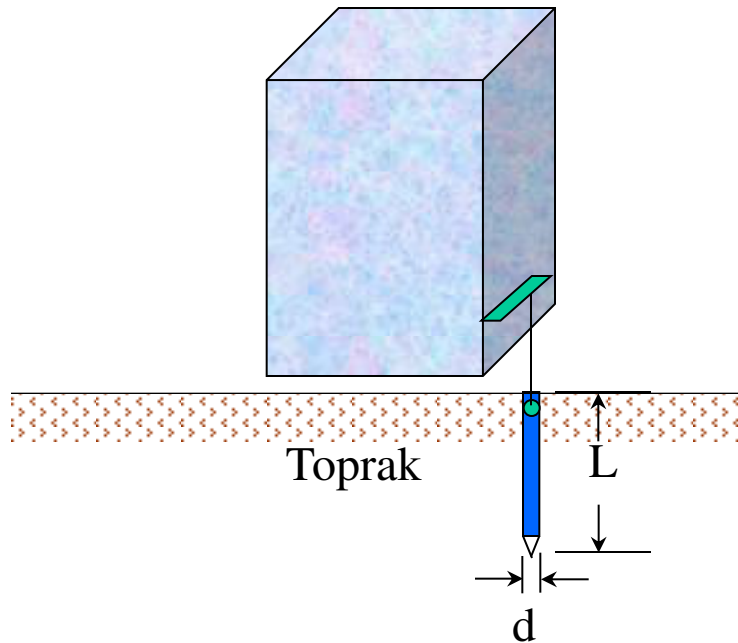
ρ_E : Özgül toprak direnci

L : Topraklayıcı toplam iletken uzunluğu

Çubuk topraklayıcı (Derin topraklayıcı)

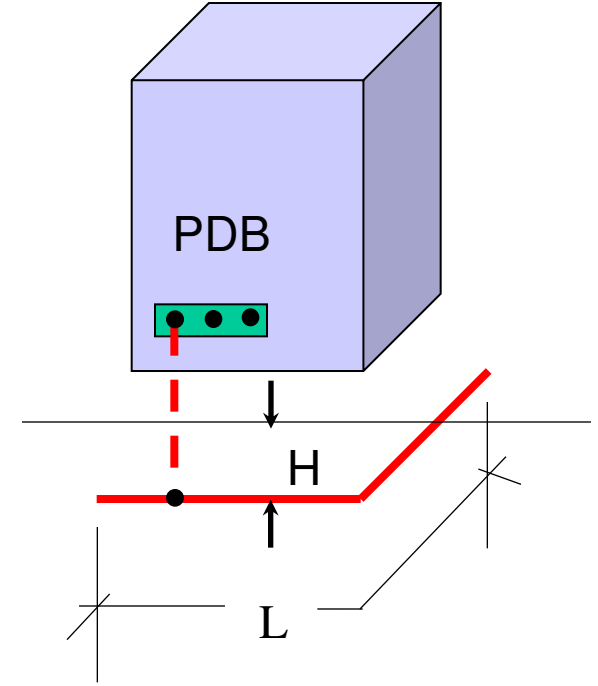
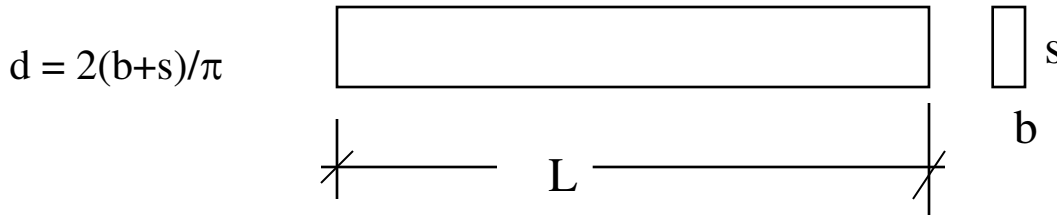
Yaklaşık hesap:

$$R_E = \rho_E / L$$



Şerit topraklayıcı

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



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.

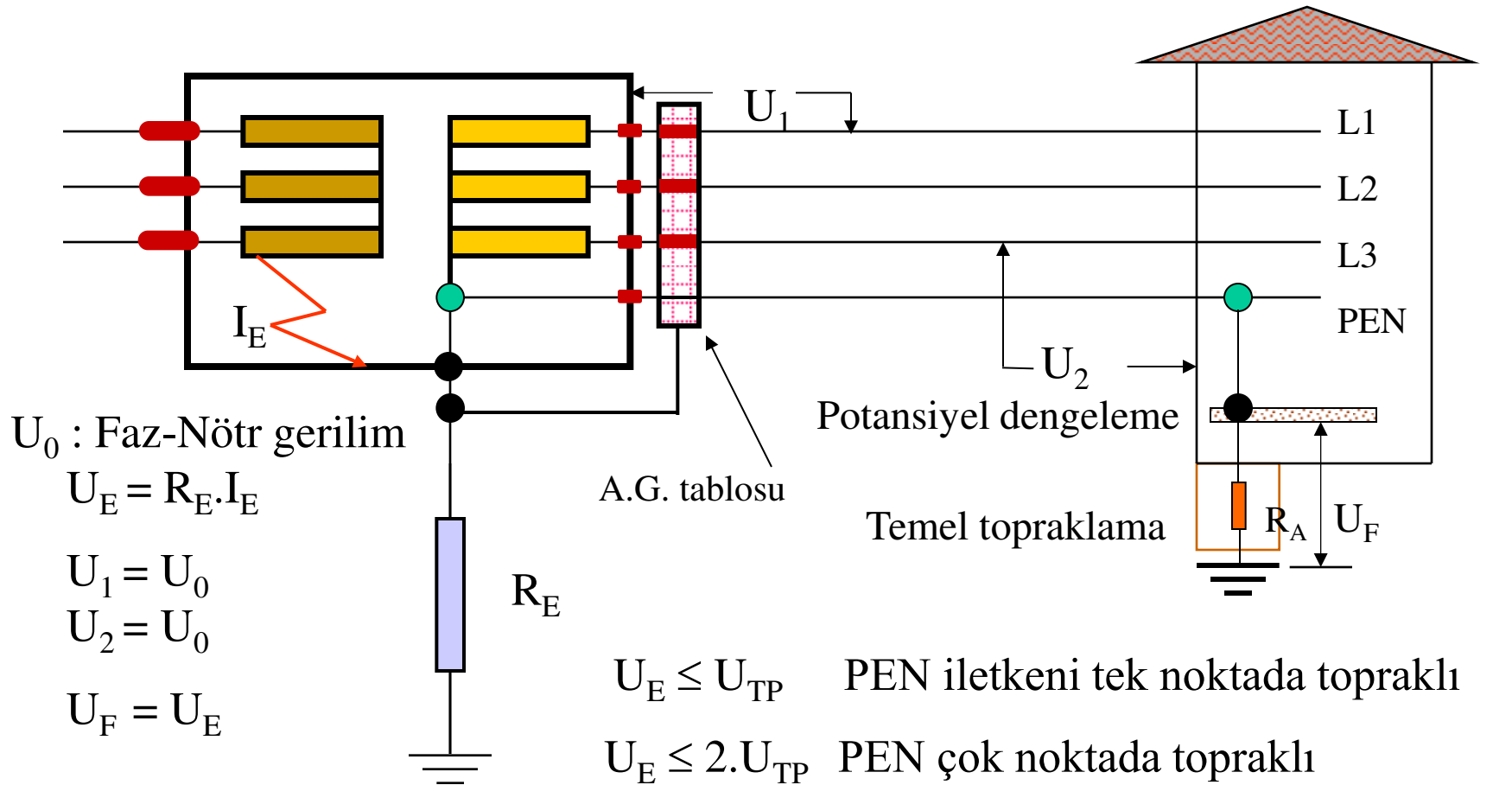
Y.gerilim ve A.Gerilim sistemlerinde topraklama tesislerinin birleştirilmesi:

Yönetmelik madde 11-a'ya göre, bir yüksek gerilim tesisinde, toprak hatası esnasında, alçak gerilim şebekesinde veya tüketim tesislerinde tehlikeli dokunma gerilimleri ortaya çıkmaz ise iki sistemin topraklaması birleştirilebilir. Y.G.de meydana gelen hata sonucu oluşan potansiyel yükselmesi, alçak gerilim tesislerinde, Yönetmelik Çizelge-13 de verilen değerlerden küçük olmalıdır.

Yukarıdaki koşulların yerine getirilememesi durumunda Y.G. koruma ve A.G. işletme topraklaması tesisleri mutlaka ayrılmalı; 50 kV'un altındaki işletme gerilimli tesislerde Y.G. ve A.G. sistemlerinin topraklayıcıları arasındaki uzaklık en az 20 m. olmalıdır. Gerekli mesafe D_{kabul} formülleri ile (Ek-M) hesaplanabilir.

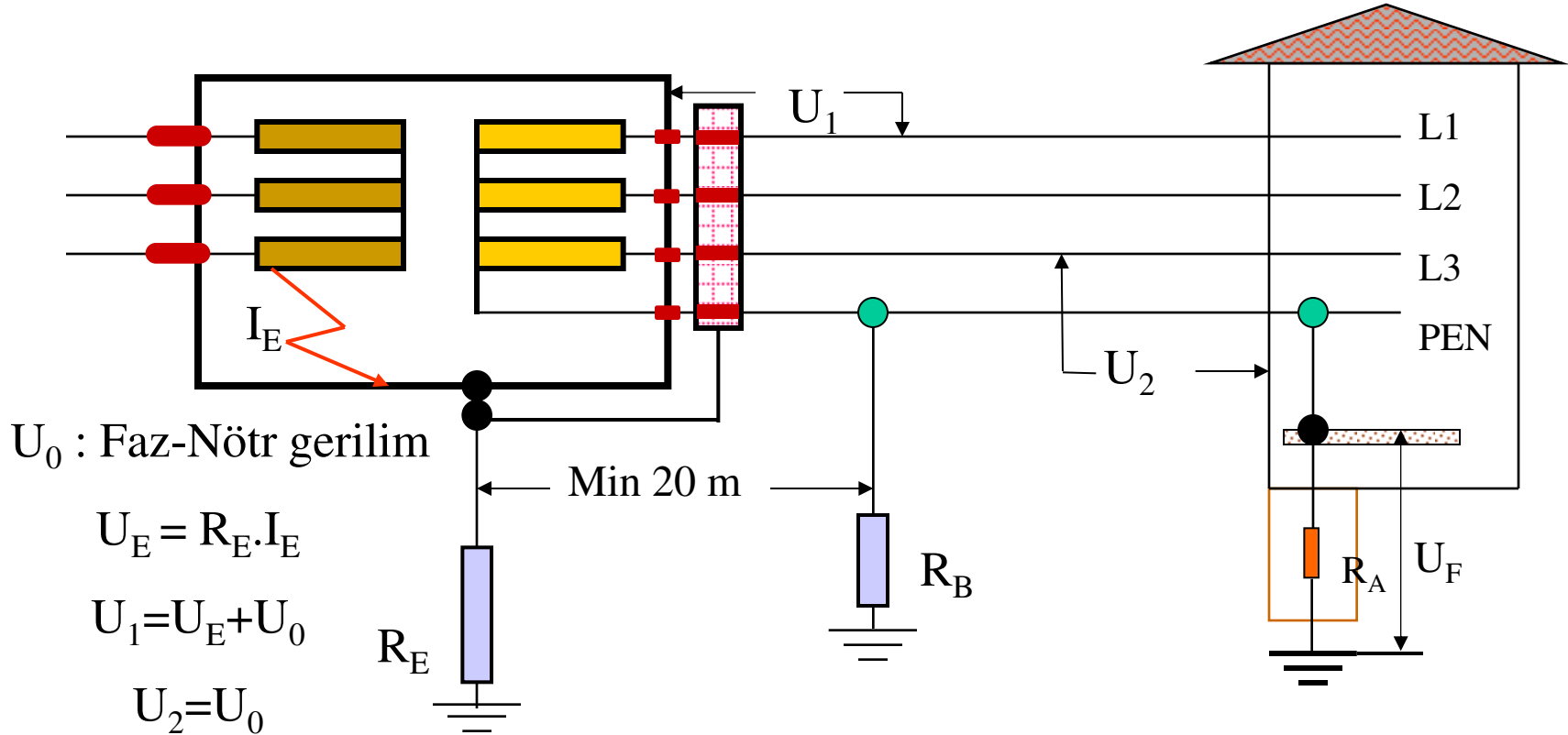
YG.tesislerinin içinde bulunan AG. işletme araçlarının gövdeleri koruma iletkeni yolu ile YG. topraklama tesisine bağlanır.

TN sistemde topraklamaların birleştirilmesi



şartları sağlanırsa topraklamalar birleştirilebilir.

TN sistemde toprakların ayrılması

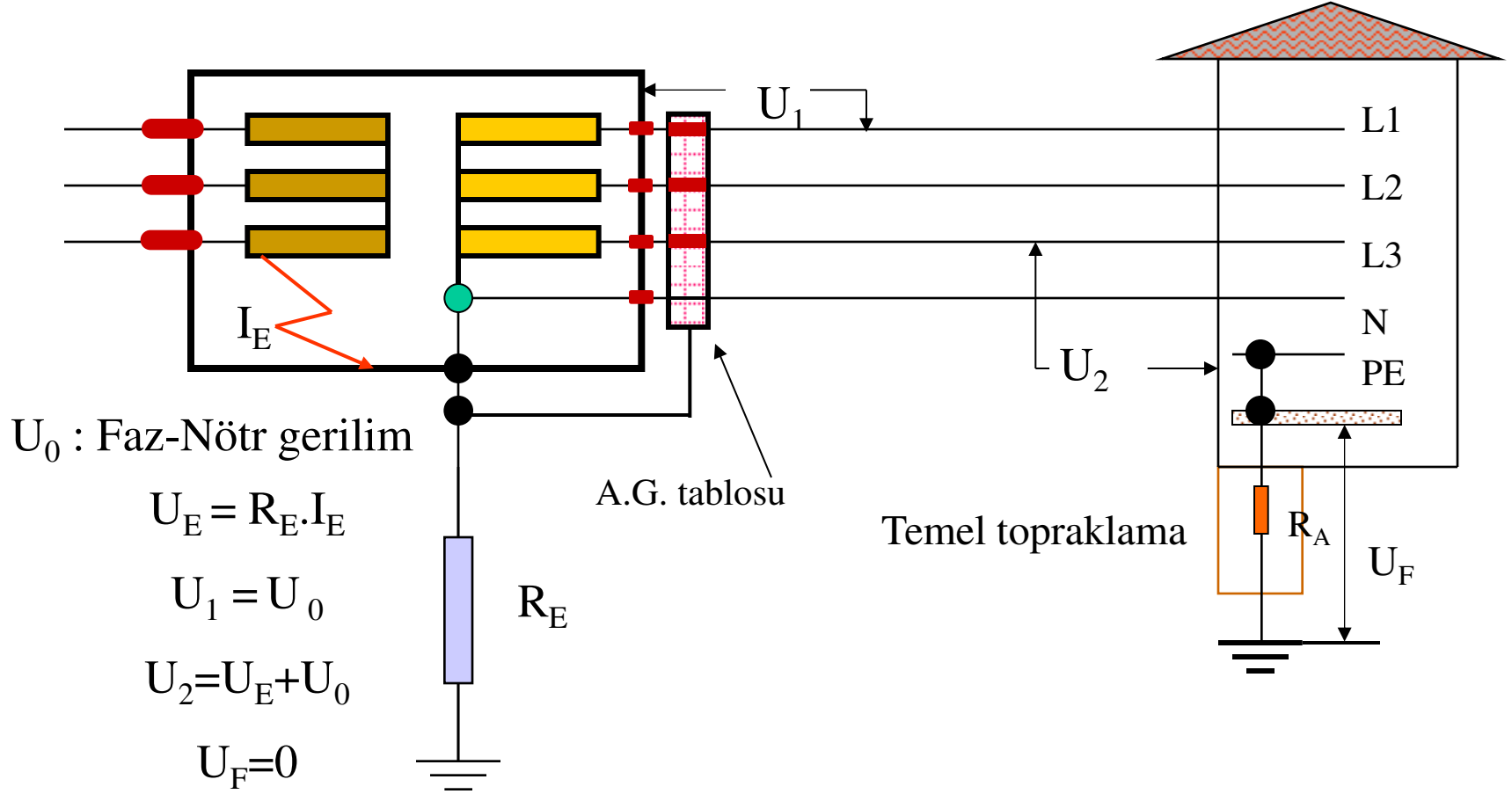


Zorlanma gerilimi açısından U_E gerilimi, 5s'den büyük kısa devre süreleri için 250 V'u aşmamalıdır.

$U_E \leq U_{TP}$ PEN iletkeni tek noktada topraklı

$U_E \leq 2 \cdot U_{TP}$ PEN çok noktada topraklı şartları sağlanamazsa işletme topraklaması ayrı yapılır.

TT sistemde topraklama sistemlerinin birleştirilmesi

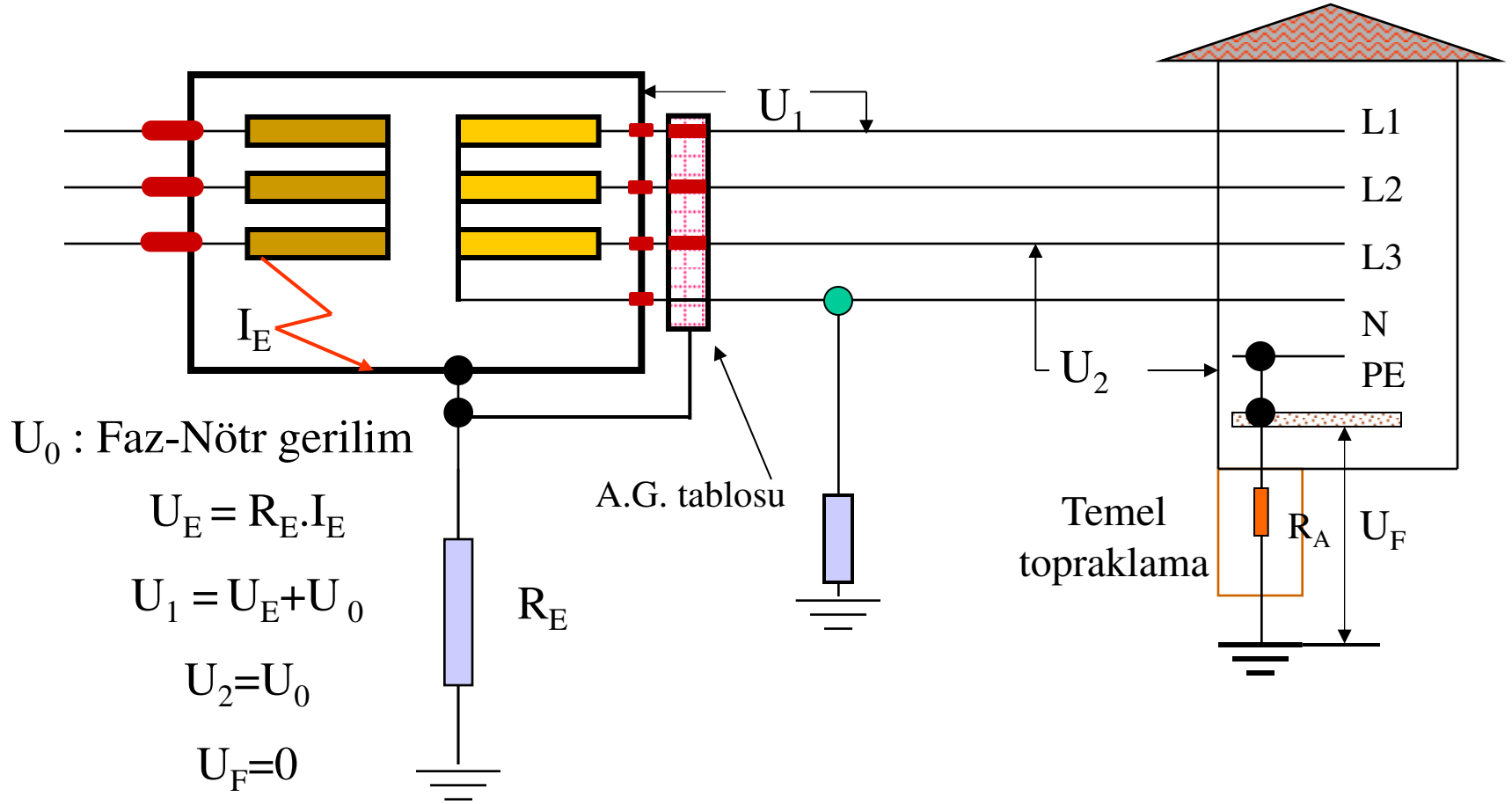


Zorlanma gerilimi açısından:

$$U_2 \leq 250 \text{ V} \quad t_f > 5 \text{ s}$$

$$U_2 \leq 1200 \text{ V} \quad t_f \leq 5 \text{ s}$$

TT sistemde topraklama sistemlerinin ayrılması



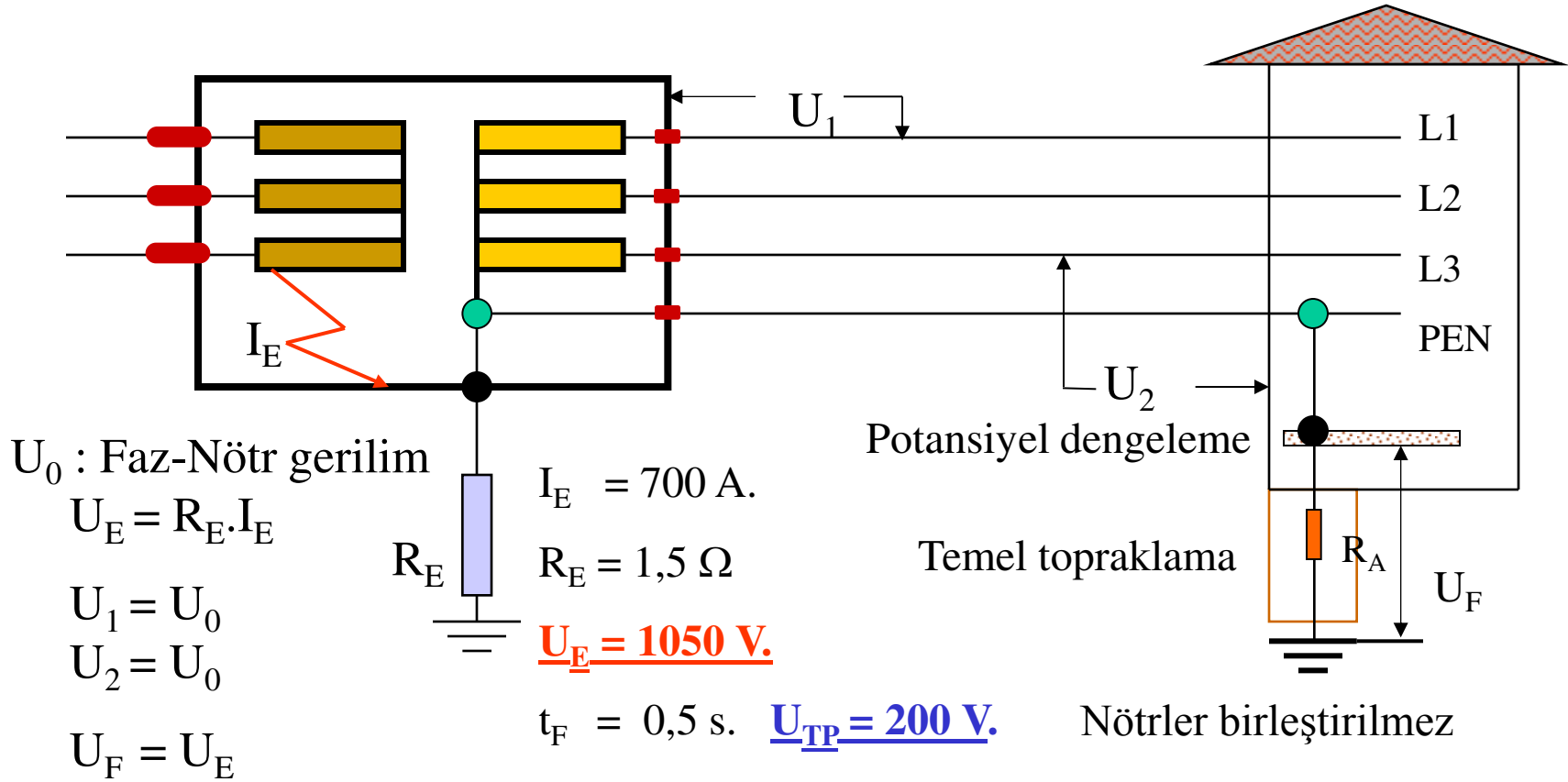
Zorlanma gerilimi açısından:

$$U_1 \leq 250 \text{ V} \quad t_f > 5 \text{ s}$$

$$U_1 \leq 1200 \text{ V} \quad t_f \leq 5 \text{ s}$$

Örnek 23

TN sistemde topraklamaların birleştirilmesi



$I_E = 1000 \text{ A; } t_F = 0,5 \text{ s}$ PEN çok noktada topraklı ve

$R_E < 0,4 \Omega$ ise nötrler birleştirilebilir.

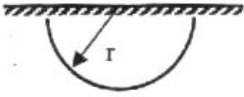
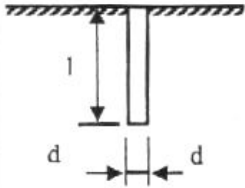
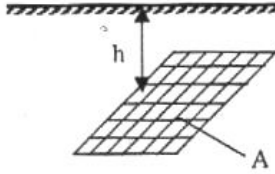
$U_E \leq U_{TP}$ PEN iletkeni tek noktada topraklı

$U_E \leq 2 \cdot U_{TP}$ PEN çok noktada topraklı

Topraklama tesislerine yaklaşım uzaklıkları

Yönetmelik Ek-M'de topraklama sistemlerinde tehlikeli gerilimlerden korunmak için uygun uzaklıklar, yaklaşık formüllerle verilmiştir.

Çizelge-M.1 Basit topraklama sistemlerinde tehlikeli gerilimlerden korunmak için yaklaşık formüller ve uygun mesafeler

Topraklayıcı	Yarım küre topraklayıcı	Derin topraklayıcı	Gömülmüş ağ
Konfigürasyon		 $l \gg d$	
Mesafe $d_{k\text{abul}}$	$r \left(\frac{U_E}{U_{k\text{abul}}} - 1 \right)$	$2.l \frac{c}{c^2 - 1}$ $c = \left(\frac{4l}{d} \right)^{\frac{U_{k\text{abul}}}{U_E}}$ $l \gg d$	$\sqrt{\frac{A}{\pi}} \left(\frac{1}{\sin \frac{\pi U_{k\text{abul}}}{2U_E}} - 1 \right)$ $A = \text{Ağ alanı}$

U_E

Topraklama gerilimi (toprak potansiyel yükselmesi),

$U_{k\text{abul}}$

Toprak yüzey potansiyelinin (örneğin Şekil-6 veya Çizelge-13'deki bir değer) bir $d_{k\text{abul}}$ uzaklığındaki kabu edilebilir sınırı ($U_{k\text{abul}} < U_E$).

Örnek 24 Çubuk topraklayıcılar için kabul edilebilir yaklaşım uzaklıkları

Y.Gerilimde çubuk topraklayıcı

$L=2\text{ m}$ $d=0.025\text{ m}$ Akım süresi= $0,5\text{ s}$ Yönet. Şekil 6 dan $U_{\text{kabul}}=220\text{ V}$ $\rho_E=150\ \Omega.\text{m}$

Yayılnma direnci $R_A=150/(2 \times \pi \times 2) \ln(4 \times 2/0.025)=\mathbf{68.85\ \Omega}$

34.5 kV'luk hatta direktteki toprak kısa devresi için geçecek akım yaklaşık

$34,5 / \sqrt{3} \times (20+69)=0,223\text{ kA}$ (Besleme noktasında nötr $20\ \Omega$ direnç ile topraklı)

$U_E=0,223 \times 69=15\text{ kV}$

$c=(4 \times 2/0.025)^{0,220/15}=1.088$ $\mathbf{d_{Kabul}=2 \times 2 \times 1.088/(1.088^2-1)=23.6\text{ m}}$

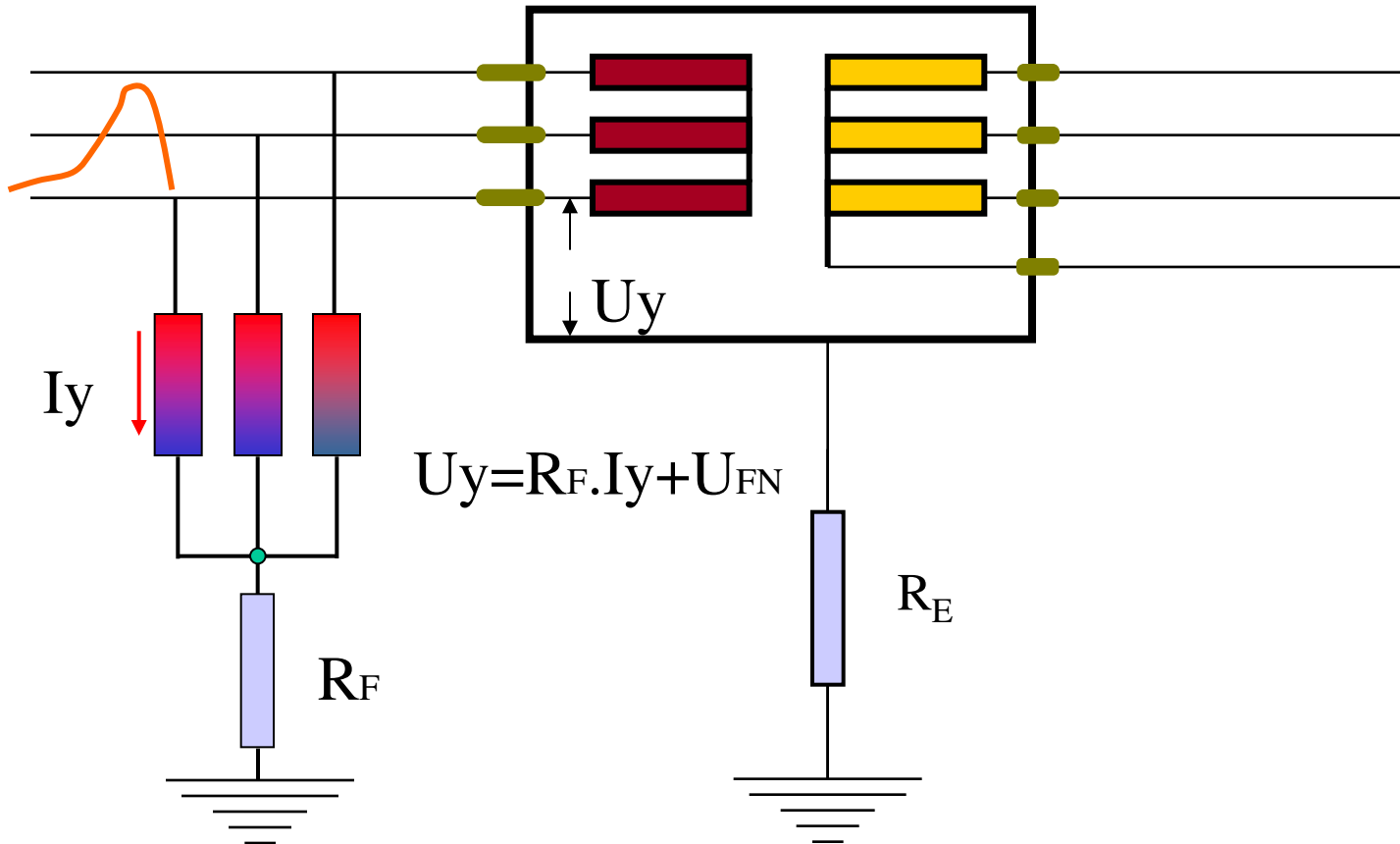
A.Gerilimde çubuk topraklayıcı

Kısa devre akımı= $220/(1+69)=3.14\text{ A}$ $U_E=3.14 \times 69=216\text{ V}$.

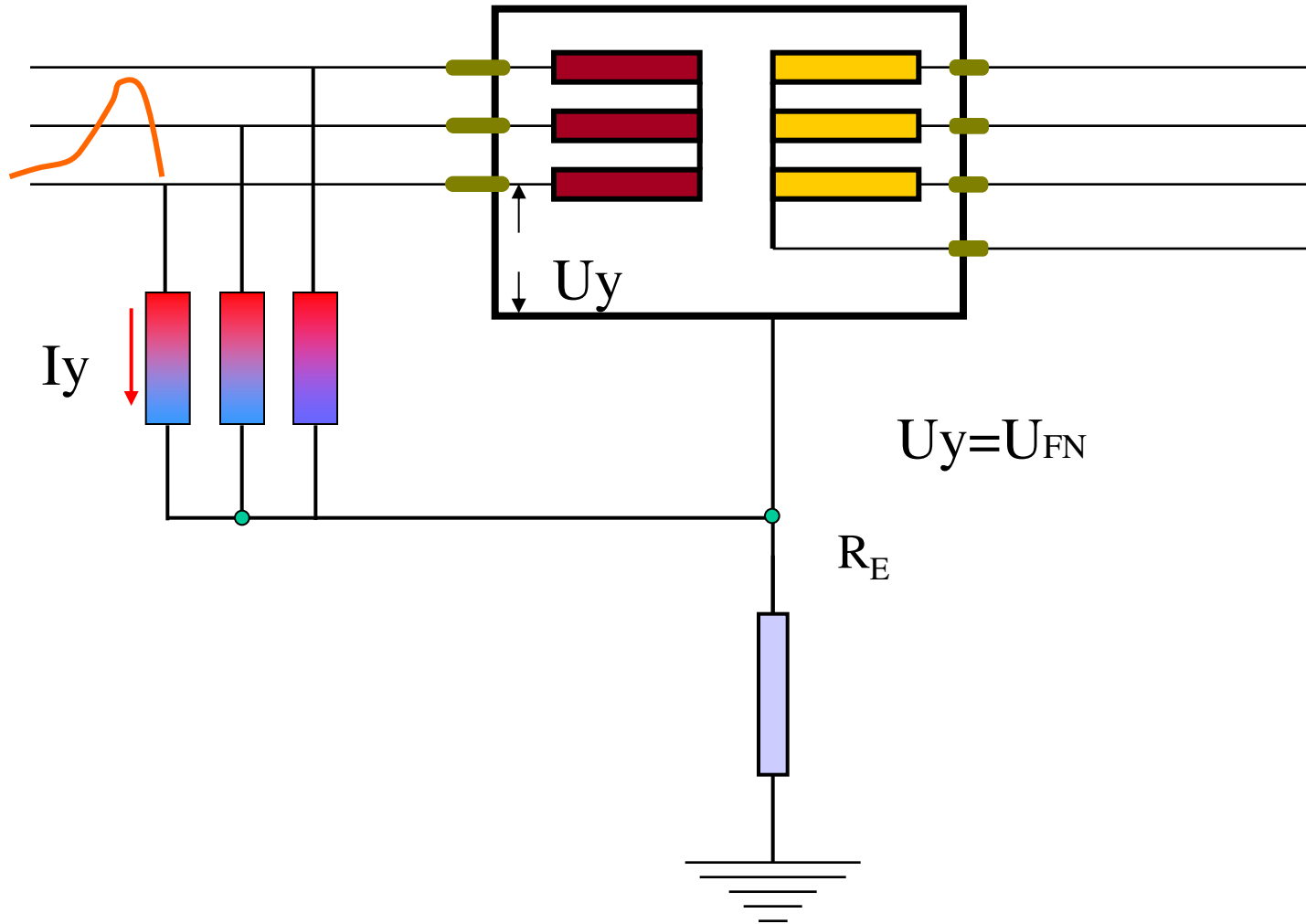
$c=(4 \times 2/0.025)^{50/216}=3.79$ $\mathbf{d_{Kabul}=2 \times 2 \times 3.79/(3.79^2-1)=1.13\text{ m}}$

Madde 11d bildirildiği üzere yüksek gerilim tesislerinin topraklama tesislerine, izin verilen yaklaşım uzaklıklarından daha yakın başka sistem topraklaması yapılamaz.

TrafoLarda parafudrların bağlanması (Yanlış uygulama)



Trafo larda parafudrların bağlanması (Doğru uygulama)



Parafudr topraklama direnci

Yurdumuzda oluşan yıldırımların en fazla 20 kA akım taşıdığı kabul edilmektedir. Yıldırım akımının isabet ettiği noktadan iki tarafa yayıldığı düşüncesi ile bir yönde yayılan *Yürüyen Dalga* 'nın 10 kA akım taşıdığı anlaşılr. Yürüyen dalga parafudra ulaşınca kadar çeşitli noktalarda oluşan deşarjlarla zayıflar.

Dağıtım trafoları alçak gerilim tarafının 20 kV darbe gerilimi ile denendiği gözönüne alınırsa parafudrlarda deşarj meydana geldiğinde, parafudr topraklama direncinde oluşan gerilim, A.G tarafında en büyük darbe gerilimini aşmamalıdır. Bu görüş ile $R = 20 \text{ kV} / 10 \text{ kA} = 2 \text{ } \Omega$ bulunur.

Topraklayıcıların darbe topraklama direnci, yayılma direncinden farklı ise de küçük boyutlu topraklayıcılarda bu iki değer eşit alınabilir.

Yararlanılan kaynaklar

- 1- Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği
T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Ankara 2001
- 2- Elektrik Tesislerinde Topraklama
Prof.Dr.Mustafa Bayram İ.T.Ü.Kütüphanesi
- 3- Elektrik Tesislerinde Aşırı Gerilimler ve bunlara karşı Koruma
Prof.Dr.Mustafa Bayram
- 4- Elektrik Tesislerinde Kısadevre ve Topraklama
Y.Müh. Nihat Taylan
- 5- DEHN + SÖHNE Sugre protection
- 6- Switchgear Manual 10 th Ed. ABB
- 7- Elektrik Mühendisliği Dergisi Sayı 241/242 1977
p.g.Laurent Çeviri: Kemal Bakırcıoğlu