



TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI

# ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA ÖLÇÜMLERİ VE ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

*Not : Bu çalışma Elk.Y.Müh. Taner İRİZ ve Elk.Elo.Müh. Ali Fuat AYDIN tarafından Elektrik Mühendisleri Odası eğitimlerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. EMO dışındaki firma, kurum ve kuruluşlar tarafından kullanılması ya da metinlerin değiştirilmesi halinde hazırlayanlardan olur alınması gereklidir.*

**Elektrik tesislerinde gerek toprak öz direnci, gerekse yayılım direnci ölçerken, düşünsel olarak tüm elektrotlar yarı küre olarak kabul edilir. Pratikte kullanılmayan yarı küre elektrotlar, topraklama ölçüm teorisinde hesaplara kolaylık getirir. Homojen toprak öz direnci durumunda ( $\rho$  sabit),  $r$  yarıçaplı yarı küre elektrodun toprağa geçiş (yayılım) direnci basitçe,**

$$R_{yk} = \frac{\rho}{2\pi r} \quad \text{bağıntısıyla,}$$

**Bu elektrodun merkezinden  $x$  uzaklığında bir yerdeki potansiyel,**

$$\varphi = R_{yk} I = \frac{\rho I}{2\pi x} \quad \text{bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada } I \text{ elektrottan akan akımdır.}$$

İlke olarak, tüm hesaplamalarda uygun koşullar oluşturarak, bir önceki yansındaki direnç ve potansiyel formüllerini kullanacağız.

Örnek: 
$$R_{\zeta} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{D}$$

Dikey çubuk için ETTY,

bağıntısını vermektedir. Burada L çubuğun boyu, D ise çapıdır.

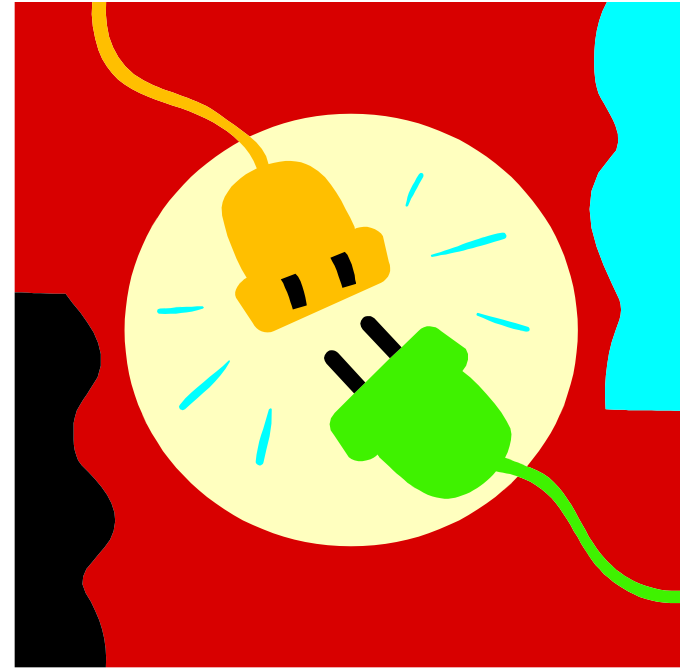
Çubuğun yarı küre eşdeğerini hesaplamak için,

$$\frac{\rho}{2\pi r} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{D} \quad \text{eşitliği göz önüne alınır.}$$

$$r = \frac{L}{\ln \frac{4L}{D}}$$

L=20 cm, D=1 cm kazık için

r=4,6 cm bulunur.



- TOPRAK ÖZGÜL DİRENCİ ÖLÇÜMLERİ
- TOPRAK YAYILIM DİRENCİ ÖLÇÜMLERİ
- ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ



# TOPRAK ÖZGÜL DİRENCİ ÖLÇÜMLERİ

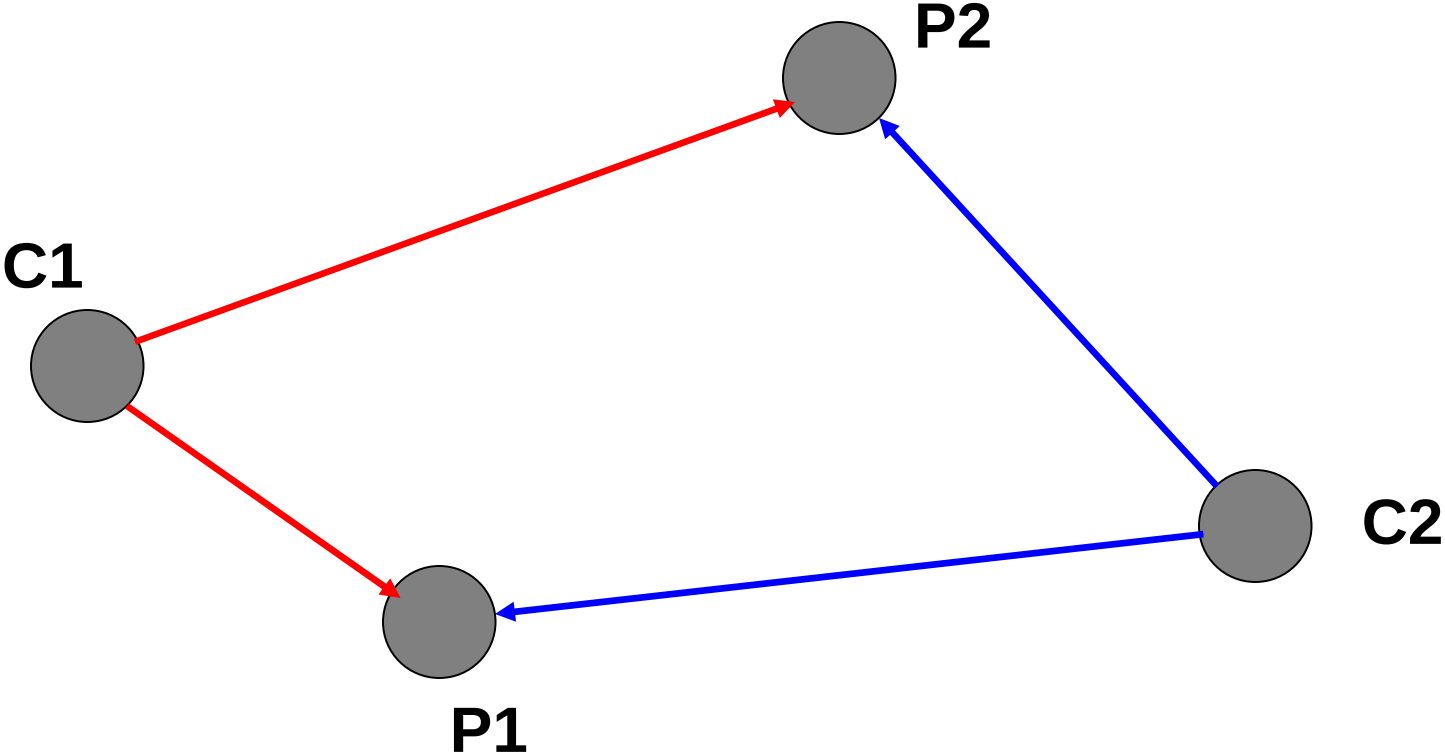
**Yakın zamana kadar, toprak özgül direnç ölçümü sınırlı bir elektrik mühendisi kitlesini ilgilendiriyordu.**

- 1. Katodik koruma ile ilgilenenler (TS 4363'teki anlatım katodik koruma ile ilgilidir.)**
- 2. Büyük şalt sahalarının topraklama tasarımıyla uğraşanlar**

**Son yıllarda yayınlanan yeni yönetmeliklerle birlikte, toprak özgül direnç ölçümü geniş bir kesimi ilgilendirmeye başlamıştır.**

**03 Aralık 2003 tarihli Elektrik İç Tesisleri Proje Hazırlama Yönetmeliği'nin 10/c-5.i.1 maddesi projelere başlamadan önce toprak öz direncinin belirlenmesini şart koşmuştur. Ayrıca taslak halindeki Yıldırımdan Korunma Yönetmeliği'nde de yıldırım tesislerinin tasarım aşamasında toprak öz direncinin ölçümü önerilmektedir.**

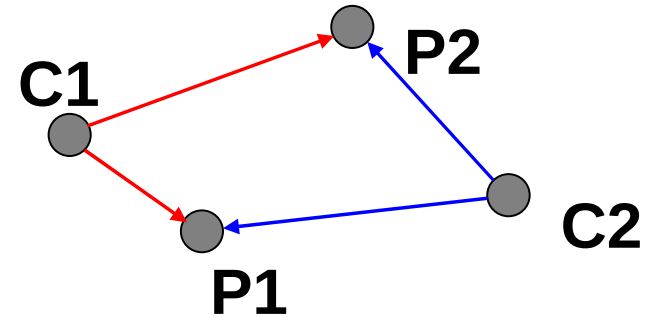
**Yıldırımdan Korunma Yönetmeliği Taslağı madde-16'da *“çoğu coğrafi yörelerde ve özellikle ısı ve yağışın deneyimsel olarak alışlagelmişin dışında mevsimsel değişiklikler gösterdiği yerlerde, toprak direncinin değişimi, farklı hava şartları periyotlarında özgül direncin derinlik profili ölçülerek dikkate alınmalıdır.”* denmektedir.**





$$\varphi_{P1} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{|C1P1|} - \frac{1}{|C2P1|} \right)$$

$$\varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{|C1P2|} - \frac{1}{|C2P2|} \right)$$



$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{|C1P1|} - \frac{1}{|C2P1|} - \frac{1}{|C1P2|} + \frac{1}{|C2P2|} \right)$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{|C1P1|} - \frac{1}{|C2P1|} - \frac{1}{|C1P2|} + \frac{1}{|C2P2|} \right)$$

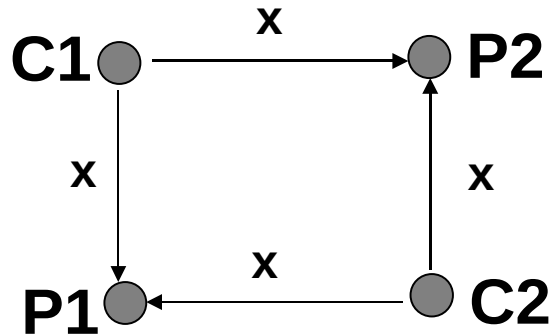
$$k = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{|C1P1|} - \frac{1}{|C2P1|} - \frac{1}{|C1P2|} + \frac{1}{|C2P2|} \right)}$$

$$\rho = k \frac{U}{I}$$

Burada  $\rho$  ( $\Omega.m$ ) toprağın özdirenci,  $I$  (A) yere uygulanan akım,  $U$  (V) P1 ve P2 uçları arasındaki gerilim,  $k$  ise geometrik bir faktördür.  $k$  faktörü ölçüm kazıkları arasındaki mesafelere bağlıdır.

$$\left( \frac{1}{|C1P1|} + \frac{1}{|C2P2|} \neq \frac{1}{|C2P1|} + \frac{1}{|C1P2|} \right)$$

olması koşuluyla ölçüm kazıkları istenildiği gibi yerleştirilebilir. Her oluşturulan ölçü sisteminin kendine özgü bir geometrik faktörü olduğu unutulmamalıdır. Örnek



$$U = 0$$

Bu durumda  $\rho$  ölçülemez.

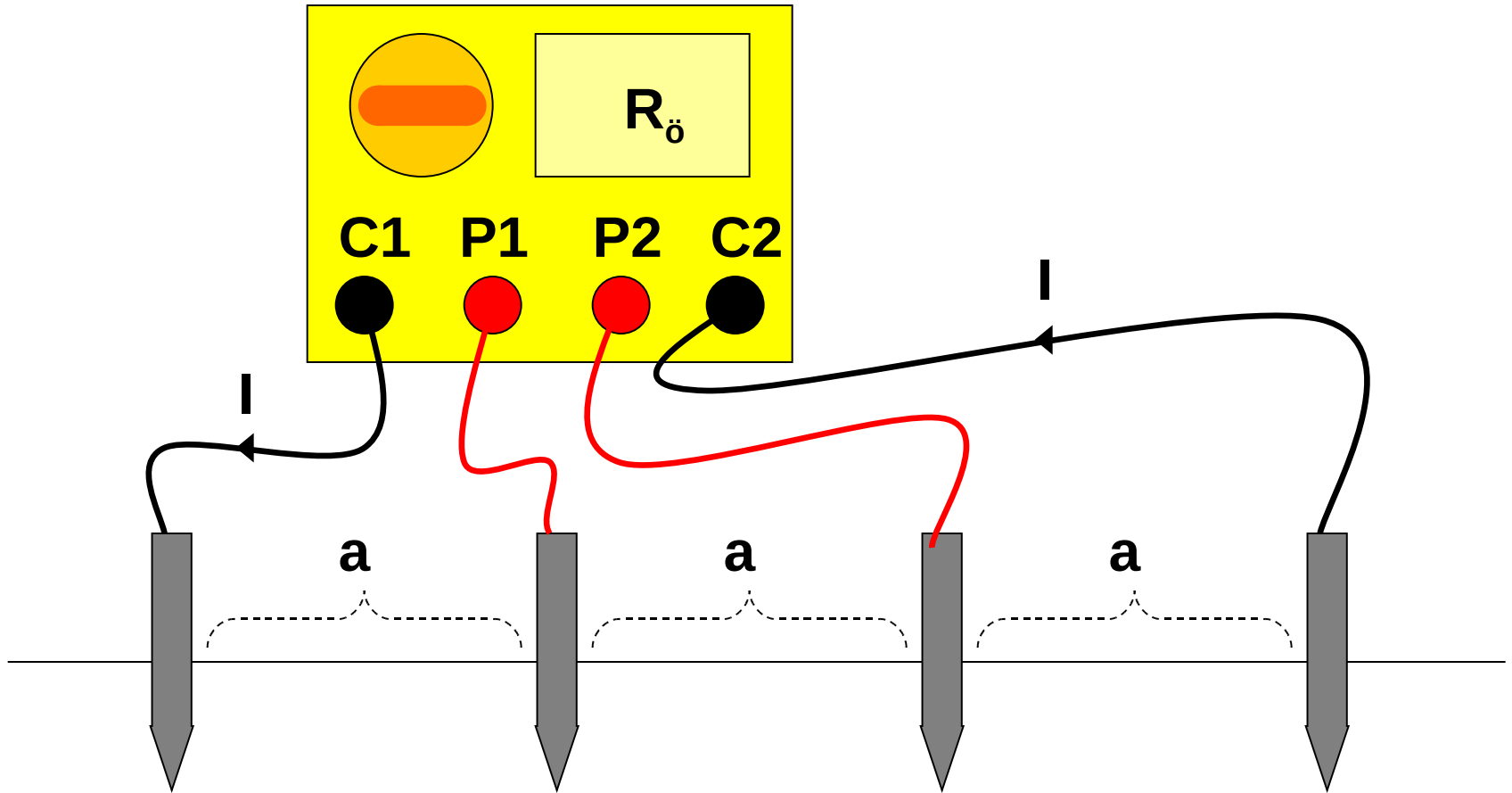
**Toprak özdirenç ölçümünde Wenner, Schlumberger, dipol-dipol, tek elektrot-dipol, yarım Wenner ve yarım Schlumberger gibi çeşitli klasik yöntemleri kullanmak mümkündür. Yukarıda adı geçen tüm geleneksel yöntemler, 4 adet ölçüm kazığının bir doğru boyunca değişik aralıklarla toprağa çakılması ile uygulanırlar.**

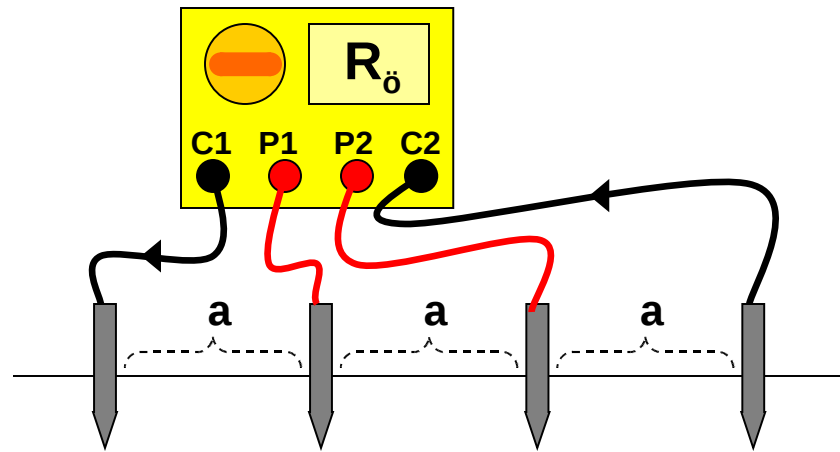
**Küçük aralıklarla yapılan ölçümlerde özel geliştirilmiş ölçüm cihazlarından yararlanılırken, büyük aralıklarla yapılan ölçümlerde ise voltmetre-ampermetre yöntemi kullanılır. Ölçüm cihazının C1 ucundan 100-150 Hz frekanslı + I akımı toprağa gönderilir. Bu akım - I olarak C2 ucundan geri döner. Bu akımlar, P1 ve P2 uçlarında U kadar bir potansiyel farkı yaratırlar. Ölçüm cihazları U/I oranını  $\Omega$  cinsinden direkt olarak verirler.**

**Yeni nesil ölçüm cihazları U/I oranının yanında k faktörünü de saptayıp direkt olarak görünür özdirenci de verebilmektedir.**



# WENNER YÖNTEMİ





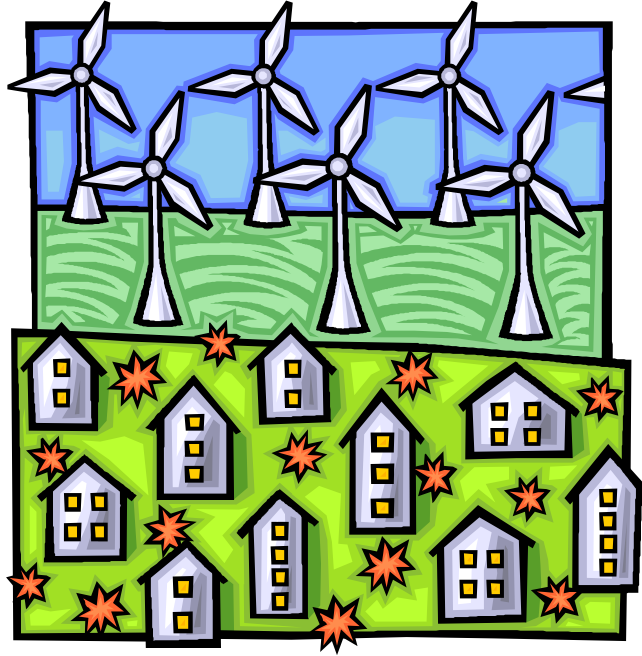
$$\varphi_{P1} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) \quad \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right)$$

$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)$$

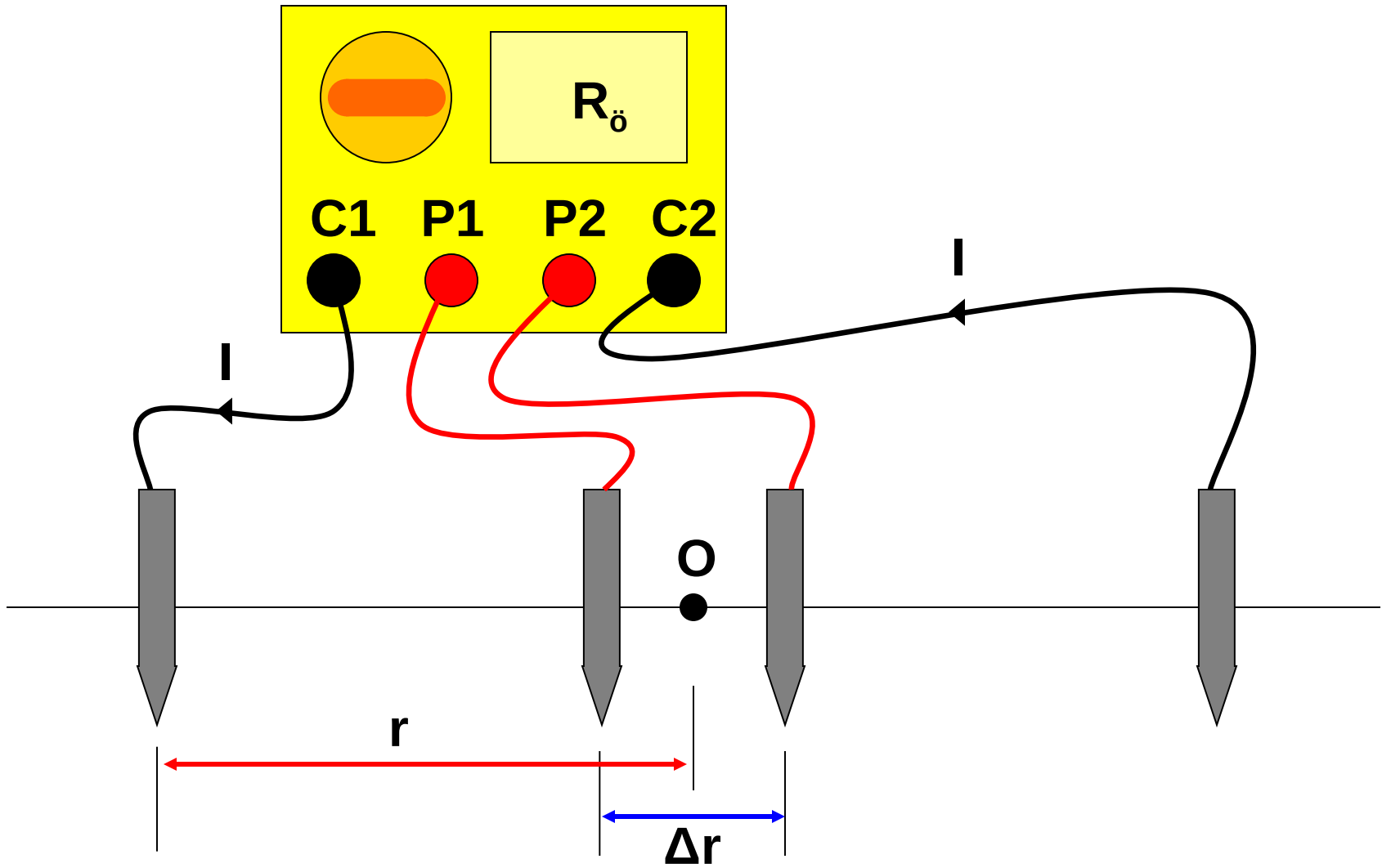
$$R = \frac{U}{I} = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{a}$$

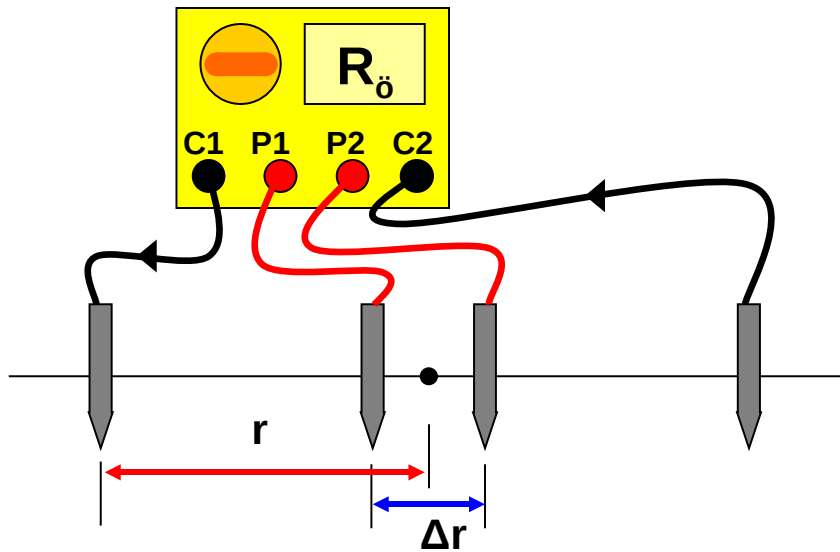
$$\rho = 2\pi a R$$





# SCHLUMBERGER YÖNTEMİ





$$\varphi_{P1} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r - \frac{\Delta r}{2}} - \frac{1}{r + \frac{\Delta r}{2}} \right) \quad \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r + \frac{\Delta r}{2}} - \frac{1}{r - \frac{\Delta r}{2}} \right)$$

$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r - \frac{\Delta r}{2}} - \frac{1}{r + \frac{\Delta r}{2}} - \frac{1}{r + \frac{\Delta r}{2}} + \frac{1}{r - \frac{\Delta r}{2}} \right)$$

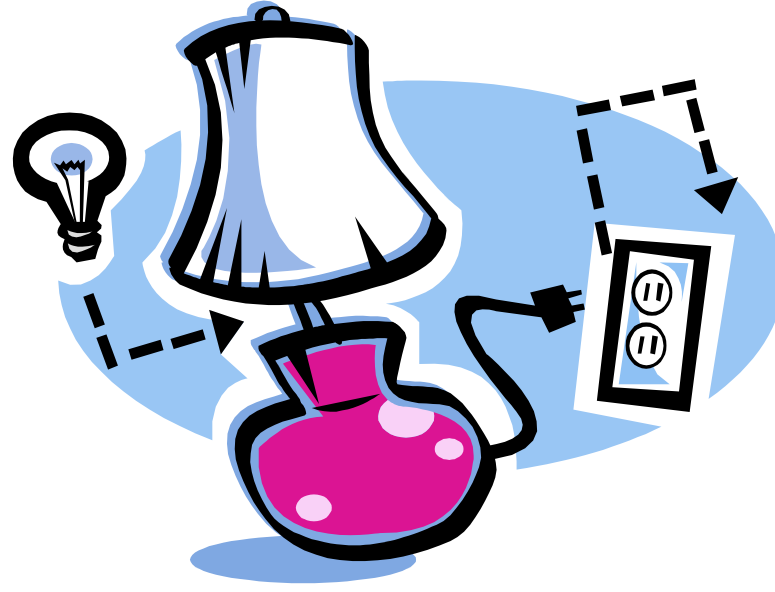
$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{2r + \Delta r - 2r + \Delta r}{r^2 - \frac{\Delta r^2}{4}} \right)$$

$$|P_1 P_2| \leq \frac{|C_1 C_2|}{10} \left( \Delta r \leq \frac{r}{5} \right)$$

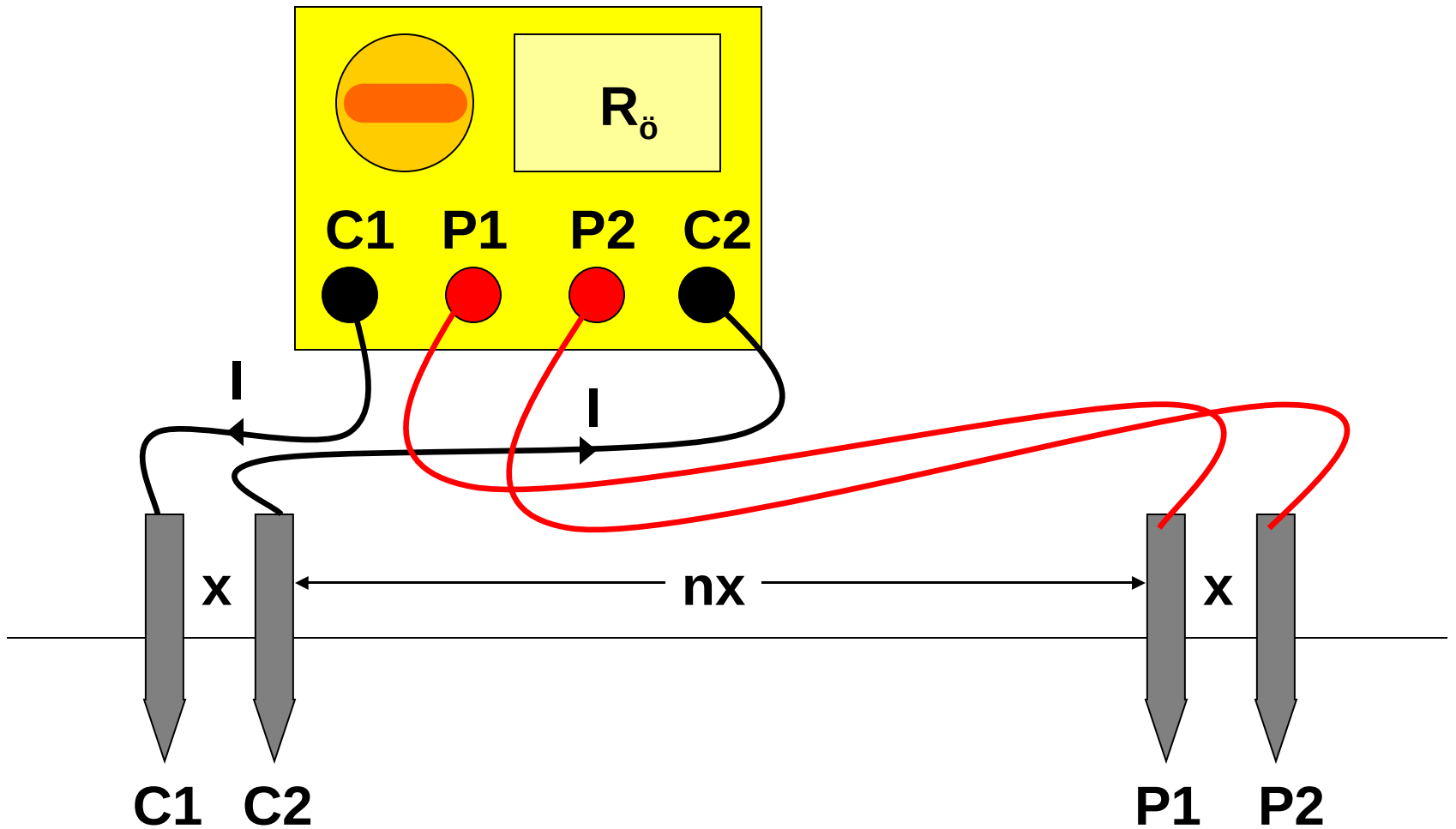
olması koşuluyla,

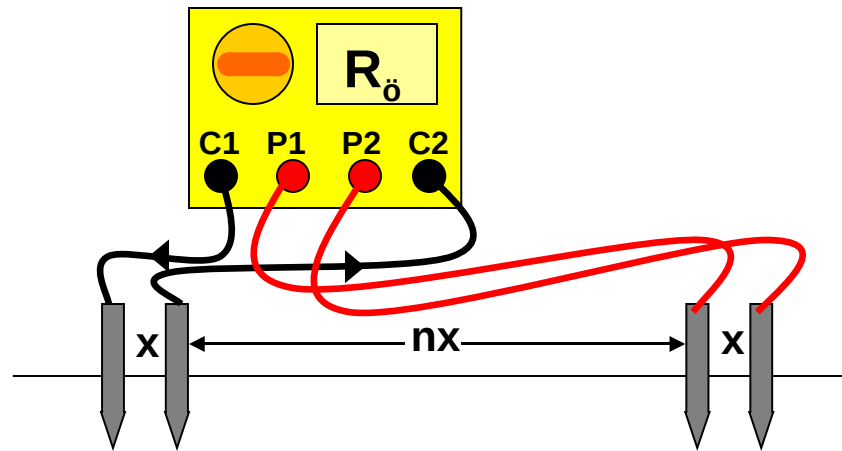
$$R = \frac{\rho}{2\pi r^2} \left( \frac{2\Delta r}{1 - \frac{\Delta r^2}{4r^2}} \right)$$

$$\rho = \pi \frac{r^2}{\Delta r} R$$



# DİPOL-DİPOL YÖNTEMİ





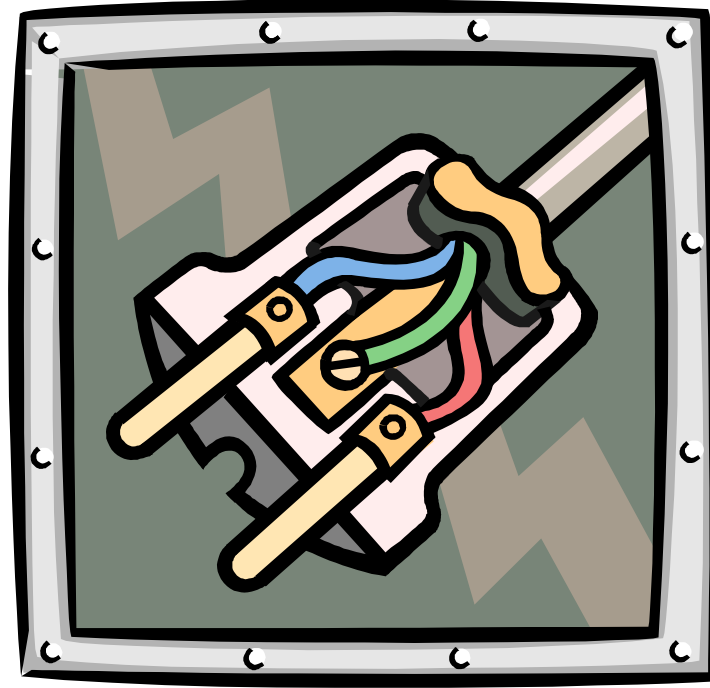
$$\varphi_{P1} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{(n+1)x} - \frac{1}{nx} \right) \quad \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{(n+2)x} - \frac{1}{(n+1)x} \right)$$

$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{(n+1)x} - \frac{1}{nx} - \frac{1}{(n+2)x} + \frac{1}{(n+1)x} \right)$$

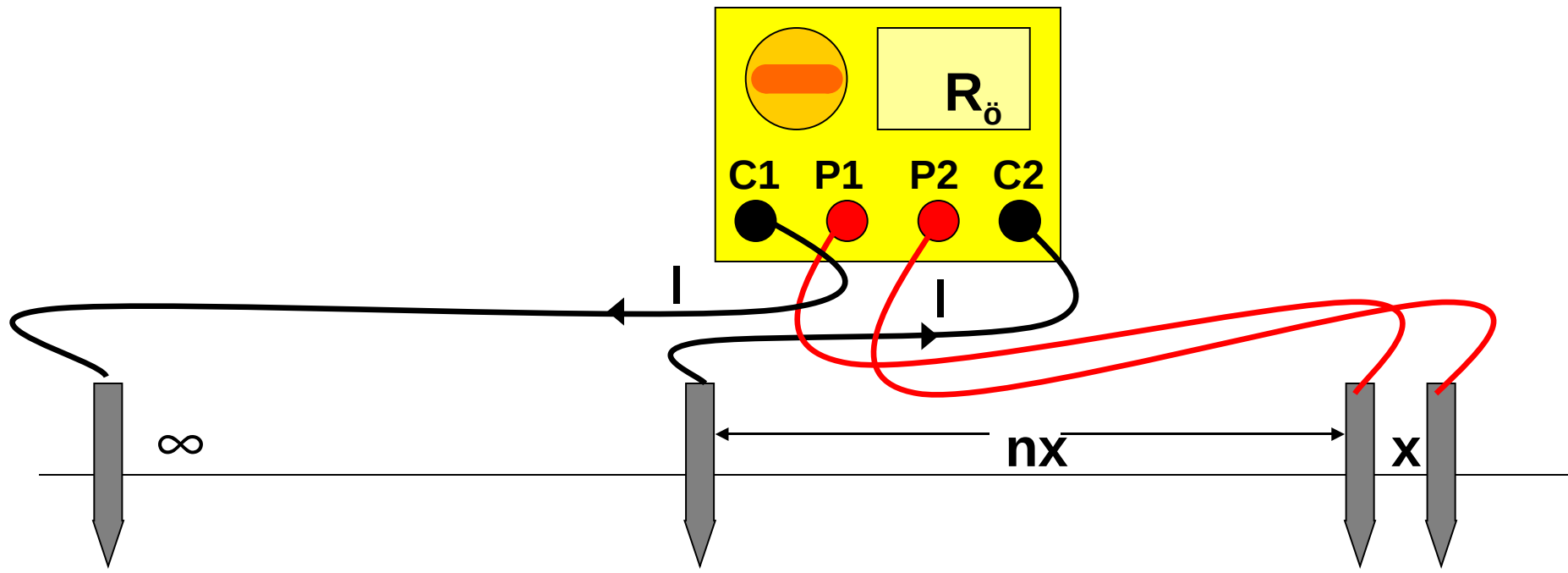
$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{n^2 + 2n - n^2 - 3n - 2 - n^2 - n + n^2 + 2n}{n(n+1)(n+2)x} \right)$$

$$\rho = \pi n(n+1)(n+2)xR$$





# TEK ELEKTROT-DİPOL YÖNTEMİ



$$\varphi_{P1} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( 0 - \frac{1}{nx} \right) \quad \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( 0 - \frac{1}{(n+1)x} \right)$$

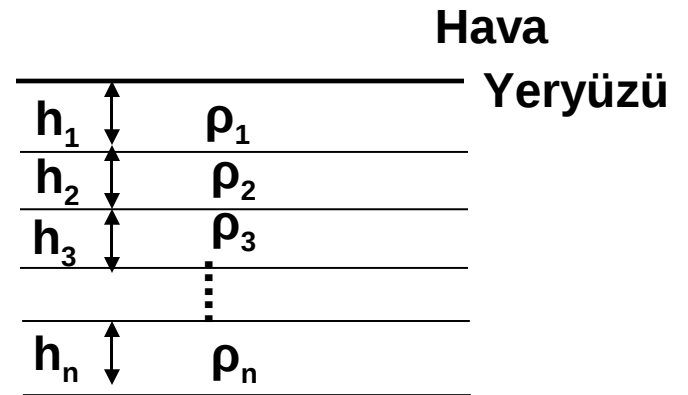
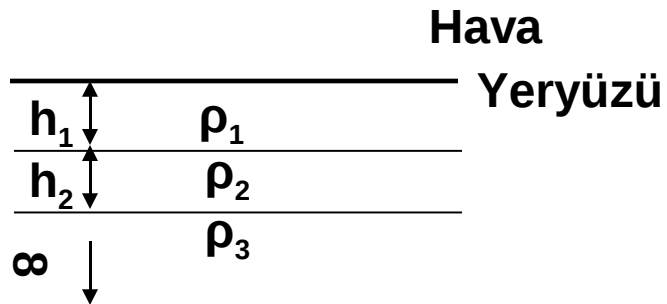
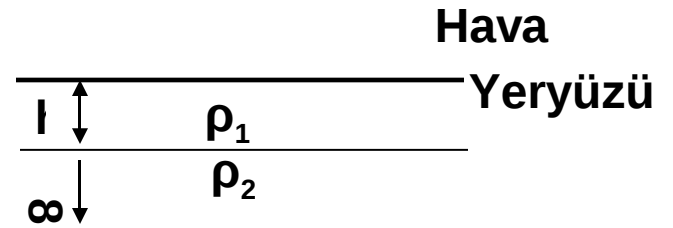
$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( -\frac{1}{nx} + \frac{1}{(n+1)x} \right)$$

$$R = \left| \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{-n-1+n}{n(n+1)x} \right) \right|$$

$$\rho = 2\pi n(n+1)xR$$

**Önceki yansılardaki ifadeler ortamın homojen karakterli ( $\rho$  sabit) ve ölçüm kazıklarının yarım küre olarak kabul edilmesiyle çıkarılmıştır. Ama gerçekte yer homojen değildir. Bu bakımdan hesaplanan öz direnç, görünür öz direnç (GÖ) olarak adlandırılır. GÖ yer içindeki jeolojik yapıya ve bu yapının öz direncine bağlıdır. Bu tanımdan hareketle, ancak ortam homojen ve yarı sonsuz ise GÖ ile ortam öz direnci eşit olabilir. Katmanlı durumlarda (gerçekte durum çoğunlukla böyledir) ise, her bir katmanın öz direnci birbirinden farklıdır.**

**Katman sayısına göre çeşitli problemlerle karşı karşıya kalınır. Yarı sonsuz tek katman problemi en basit hal olmakla beraber çoğu kez ihtiyaçlarımıza cevap vermez. OG trafo merkezlerinin bulunduğu yerlerin toprak öz direncinin bulunması için 2 katman modeli iyi bir tercih olabilir. Büyük şalt merkezlerinde ise 3 katman modeli yeğlenmelidir. n-katman problemi Stefanescu tarafından çözülmüş olmakla birlikte, elektrik mühendisliği pratiğinde pek kullanılmaz. n-katman problemi genellikle jeofizikçileri ilgilendiren bir konudur.**



## 2 KATMAN MODELİ

İki katmanın öz dirençleri farkının öz dirençleri toplamına oranı yansımaya faktörü olarak tanımlanır ve  $K$  ile gösterilir.

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

$\rho_2 = \rho_1$  durumunda  $K=0$ ; alt katman mükemmel yalıtıkansa  $K=1$ , üst katman mükemmel yalıtıkansa  $K=-1$  olur. Bu durumda

$-1 < K < 1$  koşulu gerçekleşir.

$-1 < K < 0$  iken  $\rho_2 < \rho_1$  (üst katman alt katmandan daha dirençlidir)

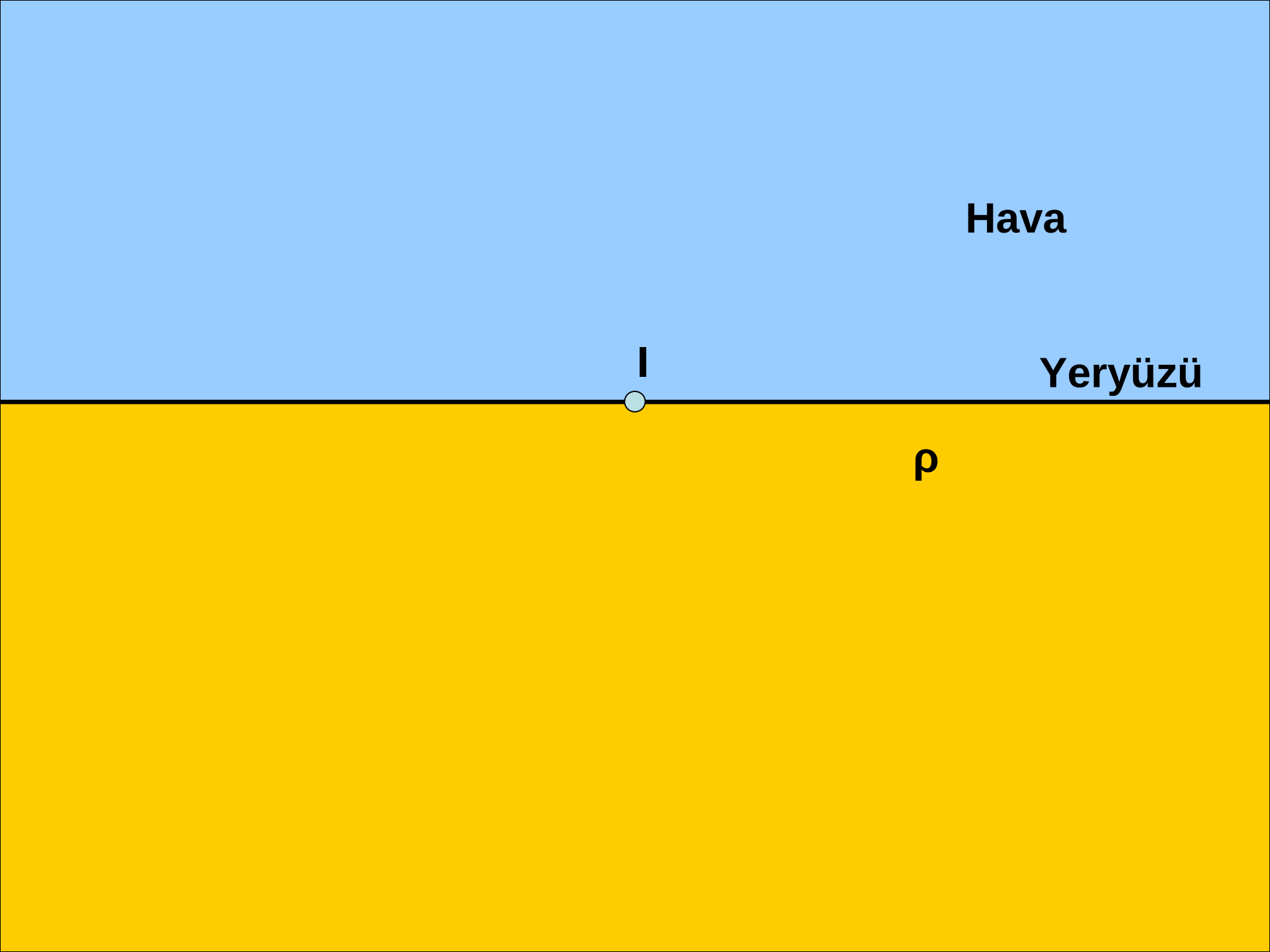
$0 < K < 1$  iken  $\rho_1 < \rho_2$  (alt katman üst katmandan daha dirençlidir)

Hava

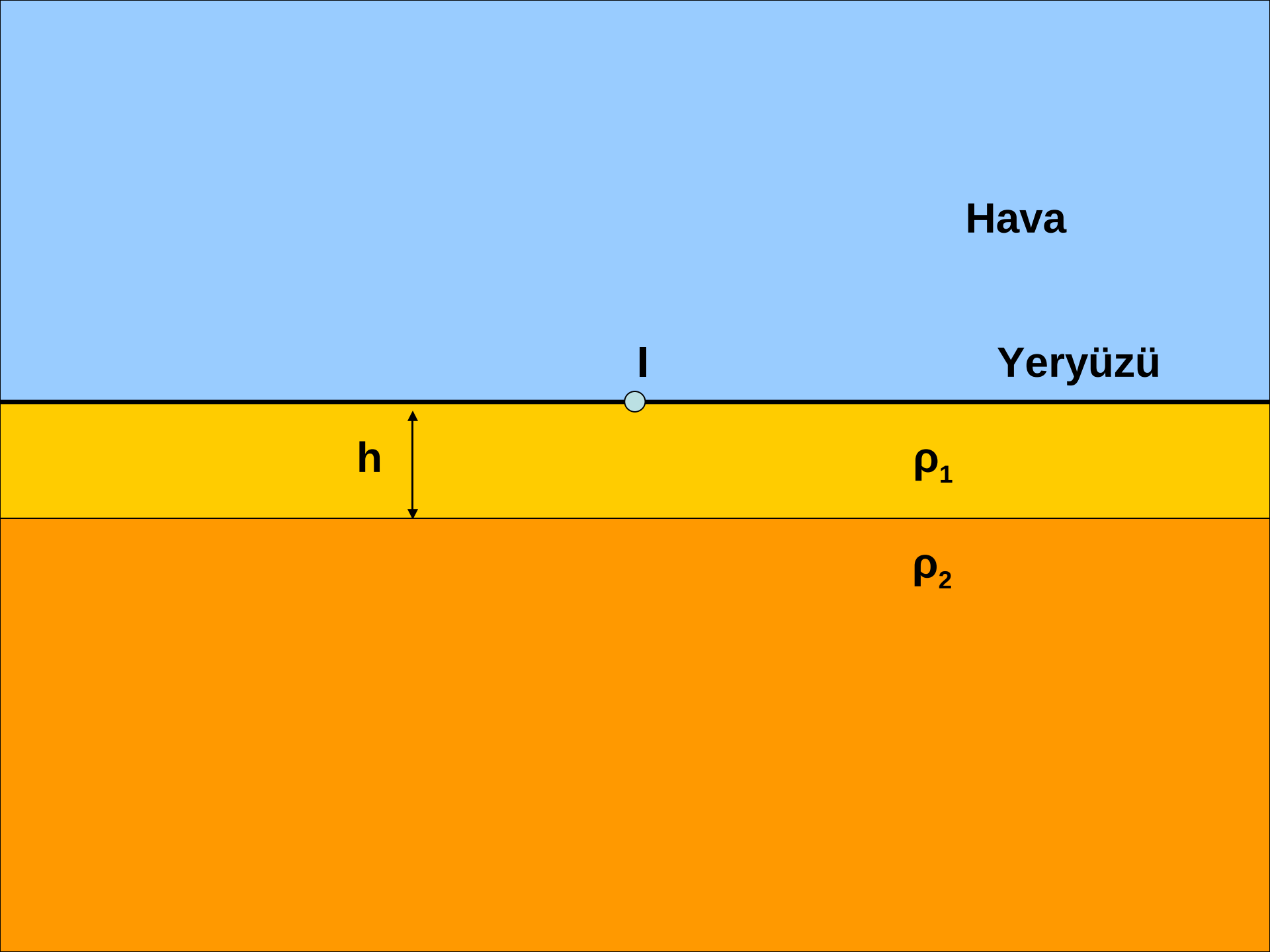
Yeryüzü

l

$\rho$







Hava

Yeryüzü

I

$h$

$\rho_1$

$\rho_2$

# İMAJ YÖNTEMİ

$$\rho_h \rightarrow \infty$$

Hava

Yeryüzü

h

h

$\rho_1$

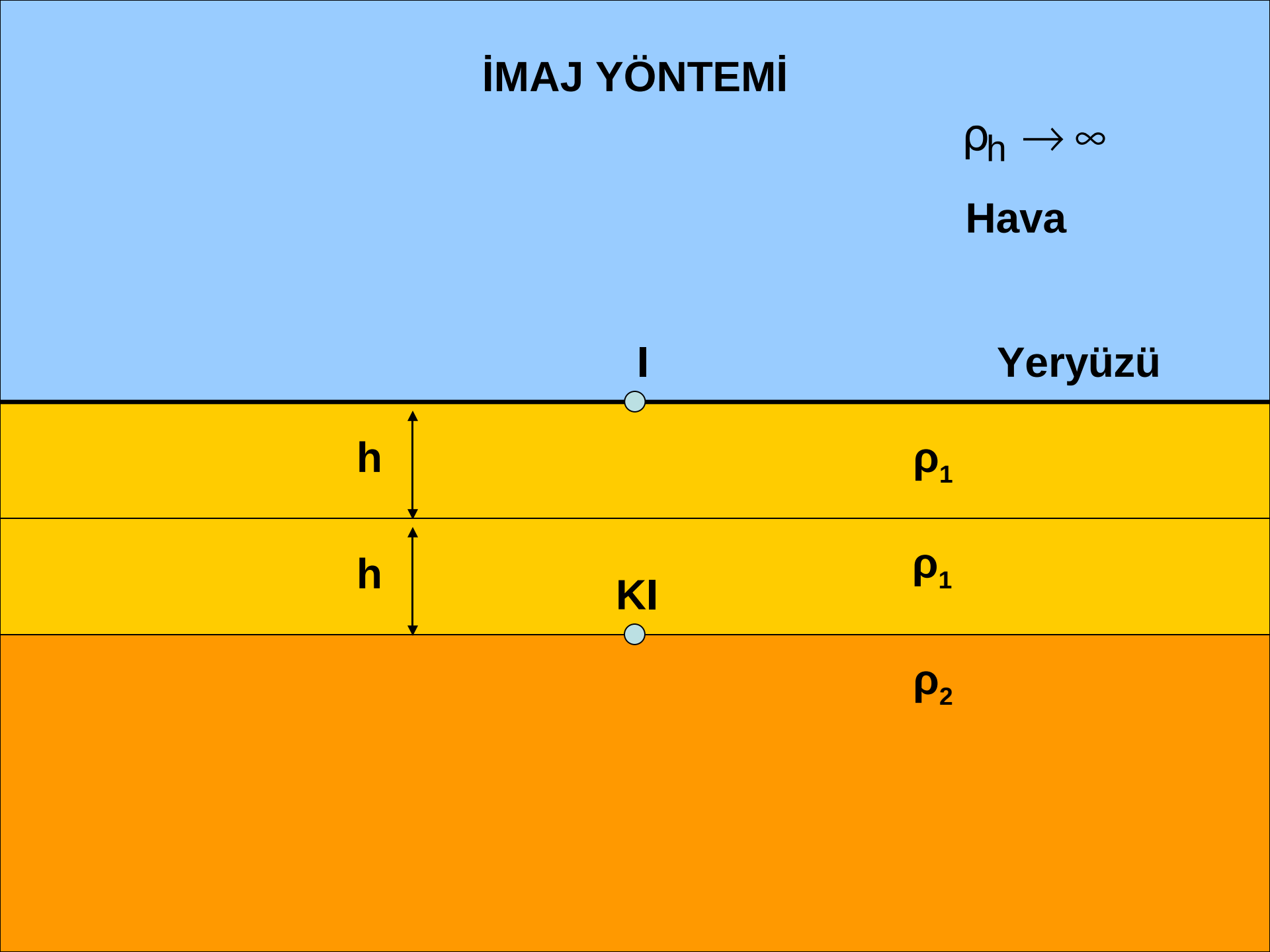
$\rho_1$

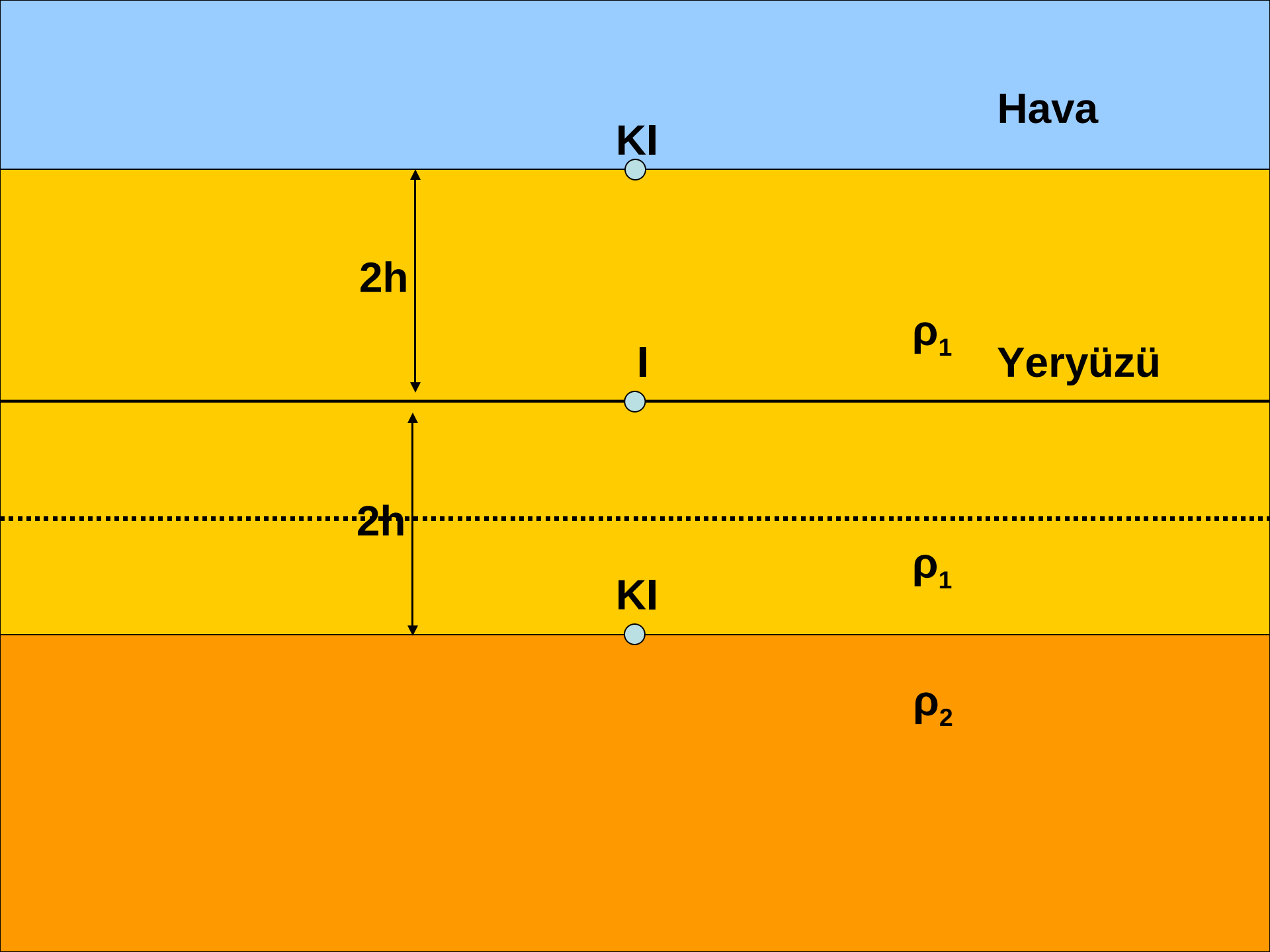
$\rho_2$

I



KI





Hava

KI

$2h$

$\rho_1$

Yeryüzü

I

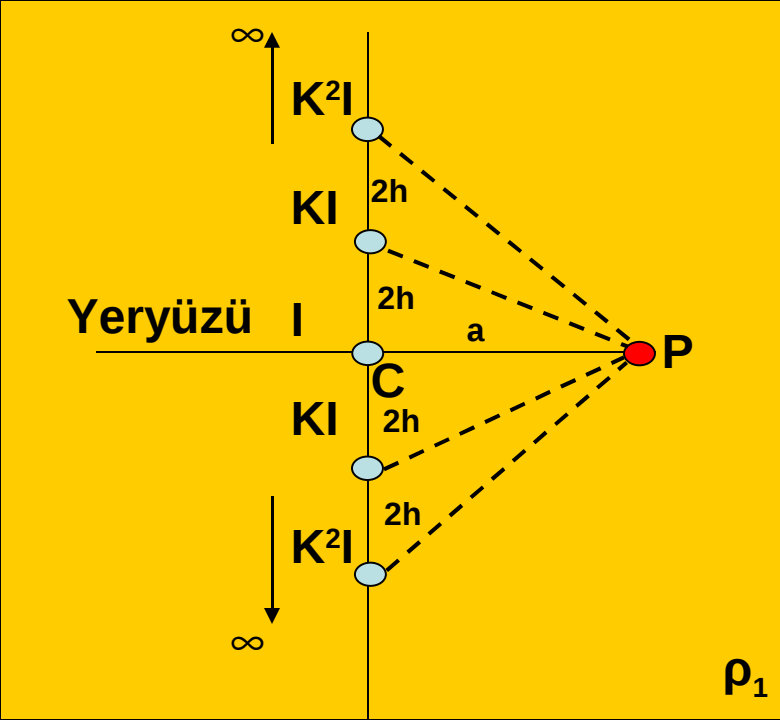
$2h$

$\rho_1$

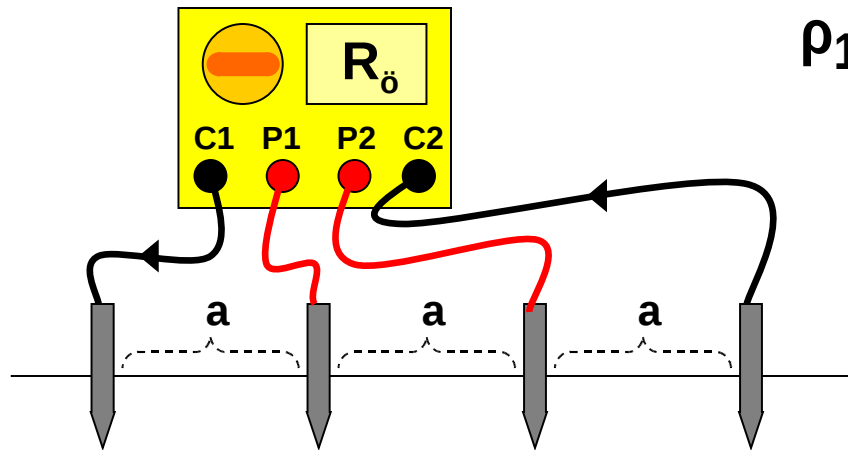
KI

$\rho_2$





$$\varphi_P = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left( \frac{1}{a} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{a^2 + (2nh)^2}} \right)$$

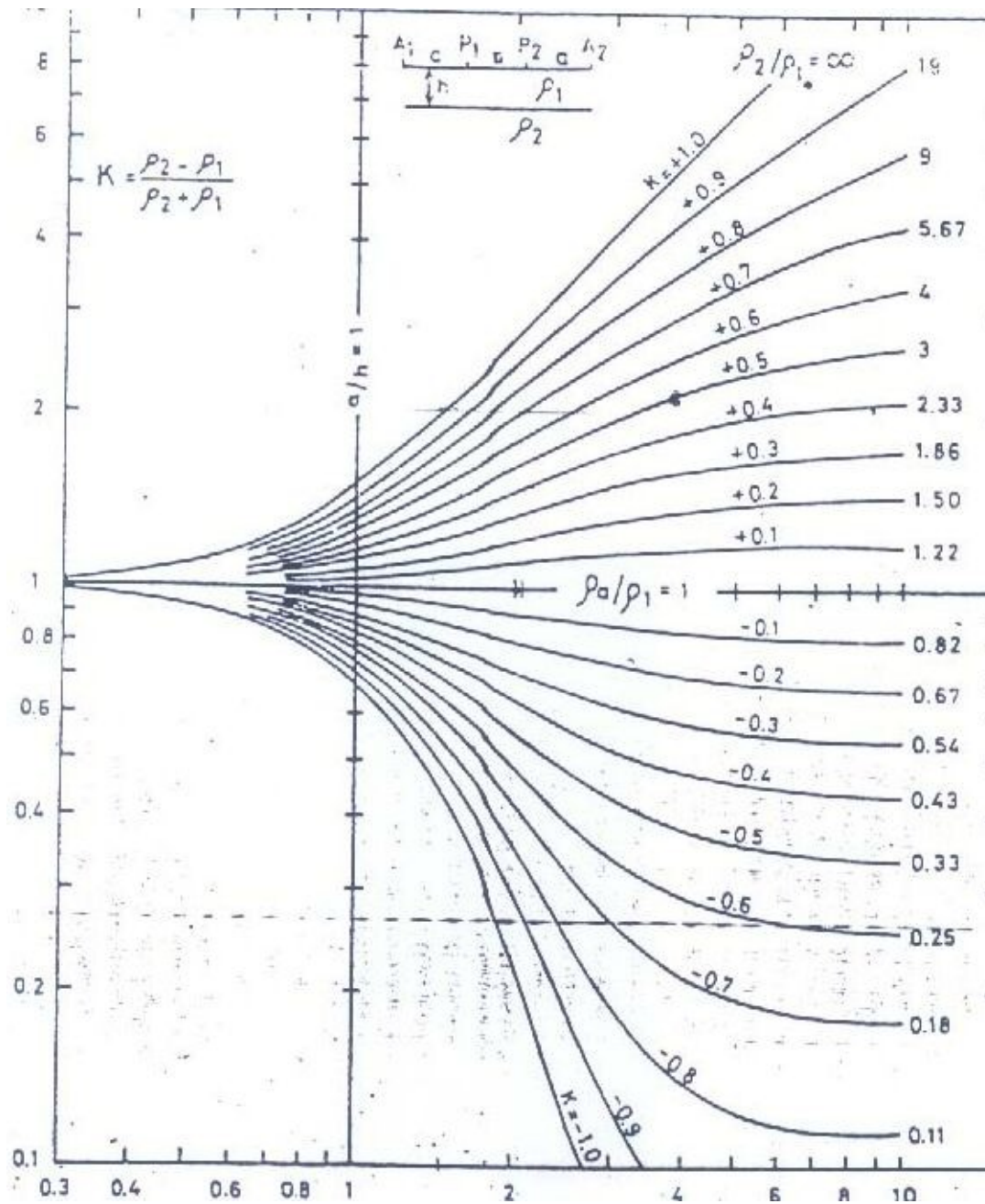


$$\frac{\rho_g}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(\frac{2nh}{a}\right)^2}} - 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(\frac{2nh}{a}\right)^2}}$$

$$\frac{\rho_g}{\rho_1} = f\left(K, \frac{a}{h}\right)$$

$\rho_g/\rho_1$  ordinat,  $a/h$  apsis olmak üzere  $K$ 'ya  $-1$ 'den  $+1$ 'e kadar  $0,1$  farkla değerler vermek ve logaritmik ölçek kullanmak suretiyle  $f(K, a/h)$  eğri aileleri çizilebilir. Bu eğrilere Wenner diziliminde iki katman için teorik öz direnç eğrileri denir. Sahada elde edilecek  $\rho_g=f(a)$  eğrisi ile teorik  $\rho_g/\rho_1=f(K, a/h)$  eğrisinin karşılaştırılması ile  $K$ ,  $\rho_1$  ve  $h$  hesaplanır.

$$\rho_2 = \frac{1+K}{1-K} \rho_1 \quad \text{ifadesinden } \rho_2 \text{ saptanabilir.}$$



**Alanı topraklama ağının alanına eşit olan dairenin yarıçapı eşdeğer yarıçap olarak tanımlanır. Eşdeğer yarıçap derinliğinden sonraki toprağın, topraklama direncine etkisi yok sayılabilir. Topraklama projesi yapılacak yerde, toprağın homojen olup olmadığını saptamak için Wenner dizilimindeki elektrot aralığını eşdeğer yarıçap büyüklüğüne kadar artırmak gerekir.**

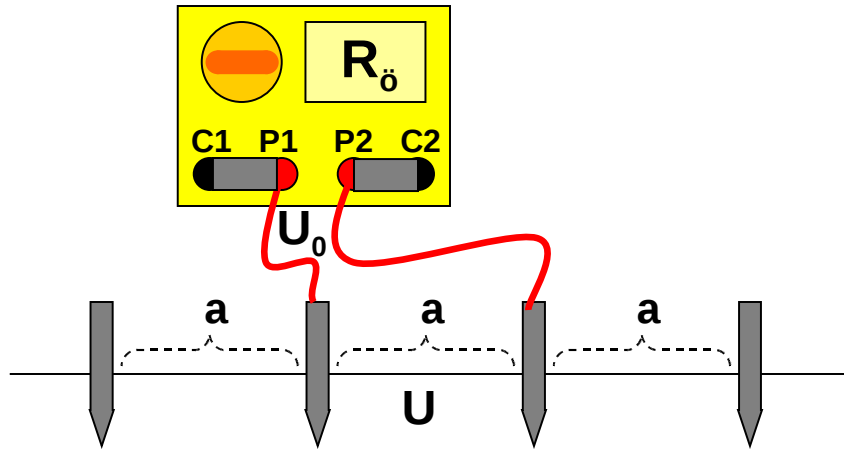


$\rho=2\pi aR$  bağıntısı,  $L$  elektrot boyu,  $a$  elektrot aralığına göre çok küçükse geçerlidir ( $L < a/20$ ); aksi durumda yarı küre ifadelerini kullanamayız. Bu durumda iki seçenek vardır:

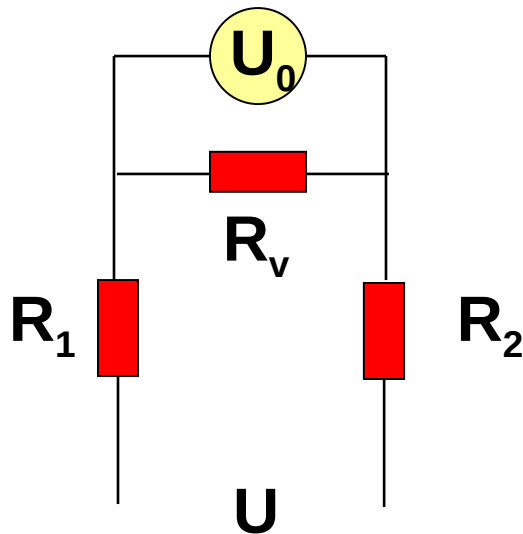
1.  $L < a/20$  olacak şekilde elektrotlar gömülür.
2. Elektrotlar normal ölçülerinde gömülür, ama  $\rho=2\pi aR$  bağıntısı yerine

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2}{\sqrt{1 + 4\left(\frac{L}{a}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{a}\right)^2}}}$$

bağıntısı kullanılır.



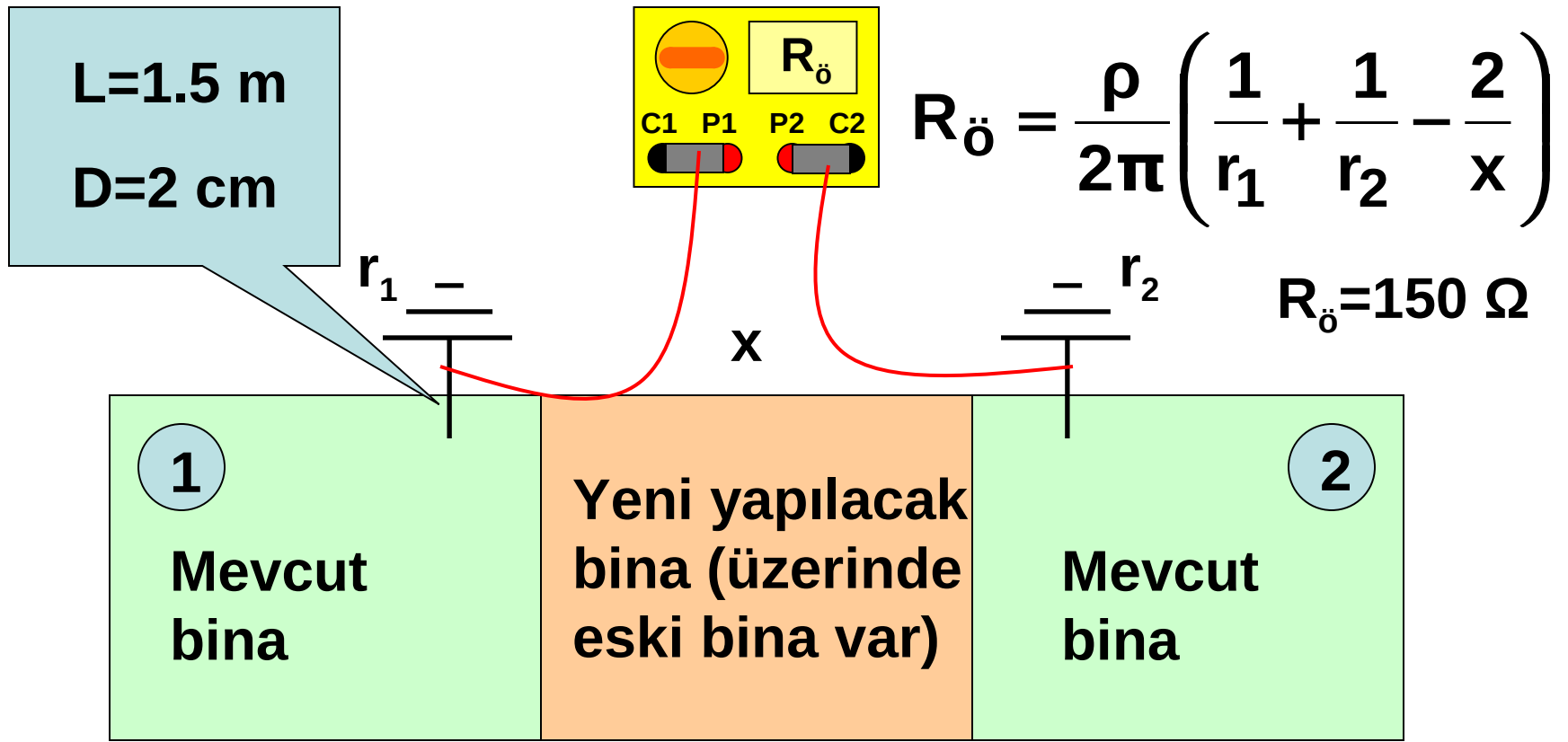
Gerilim elektrotları ile ölçü bağlantı kablolarının dirençleri toplamı  $R_e$ , toprak ölçüm cihazının (voltmetrenin) gerilim devre direnci  $R_v$  ise



$$U = \frac{R_e + R_v}{R_v} U_0$$

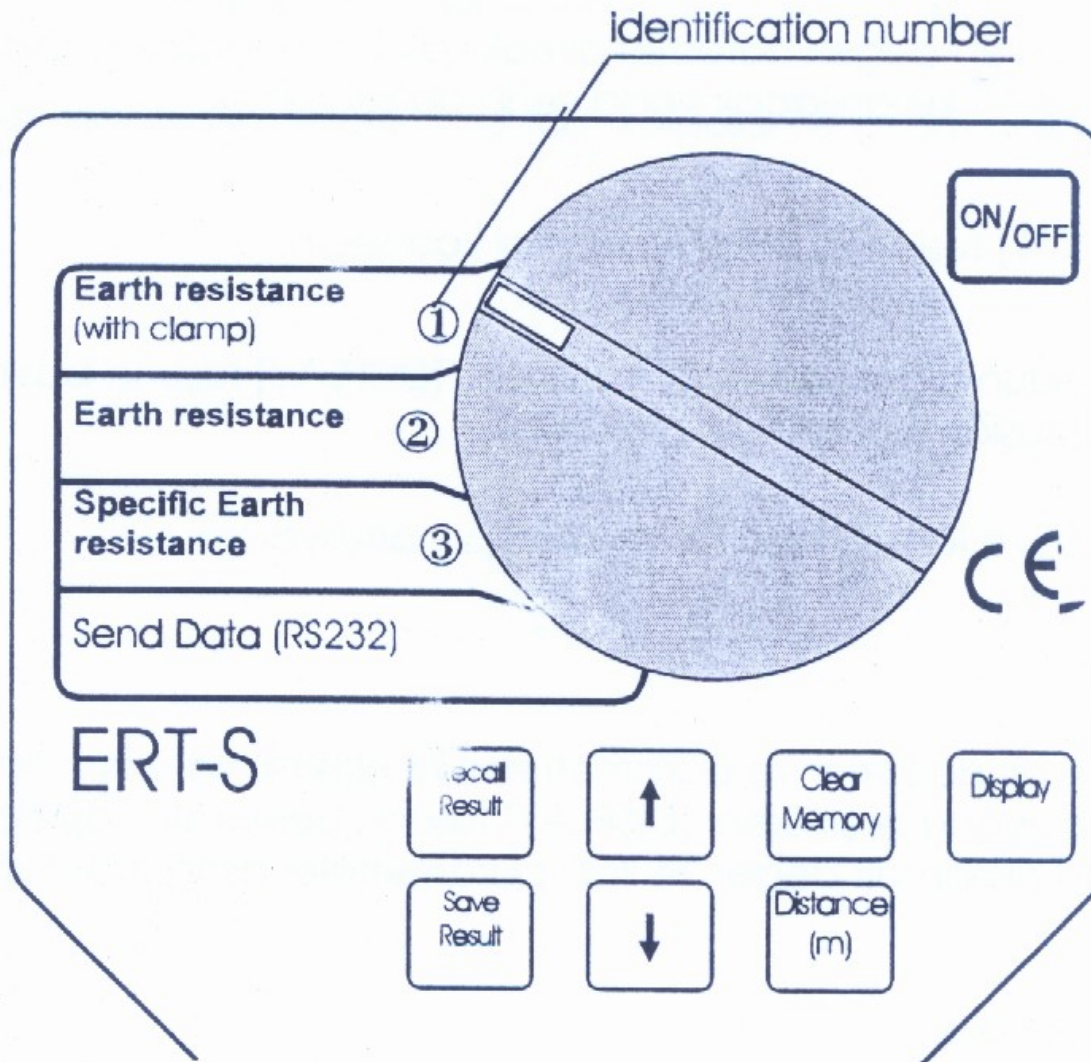
$$\rho' = \frac{R_e + R_v}{R_v} \rho = \left( 1 + \frac{R_e}{R_v} \right) \rho$$

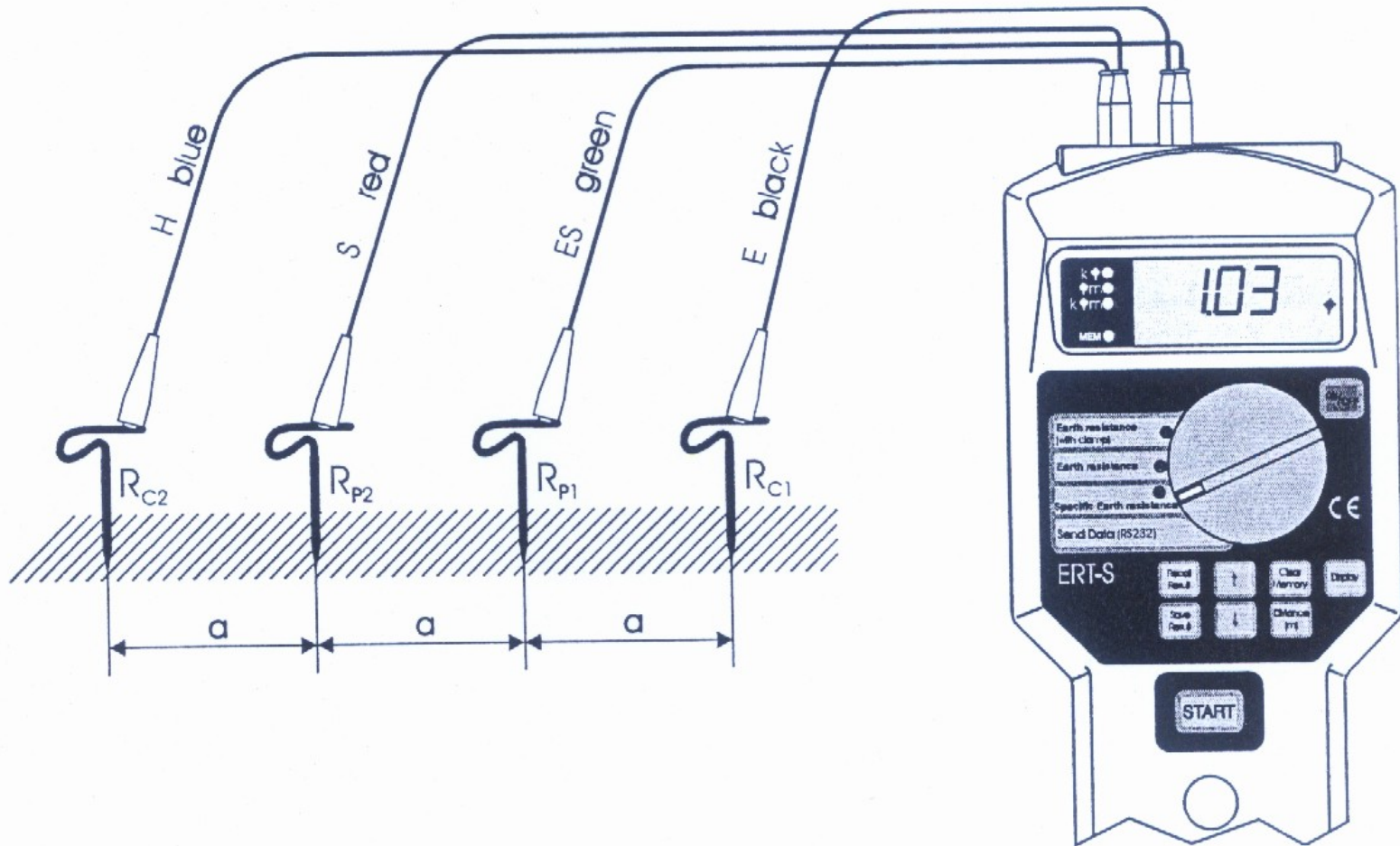
$$R_e = R_1 + R_2$$

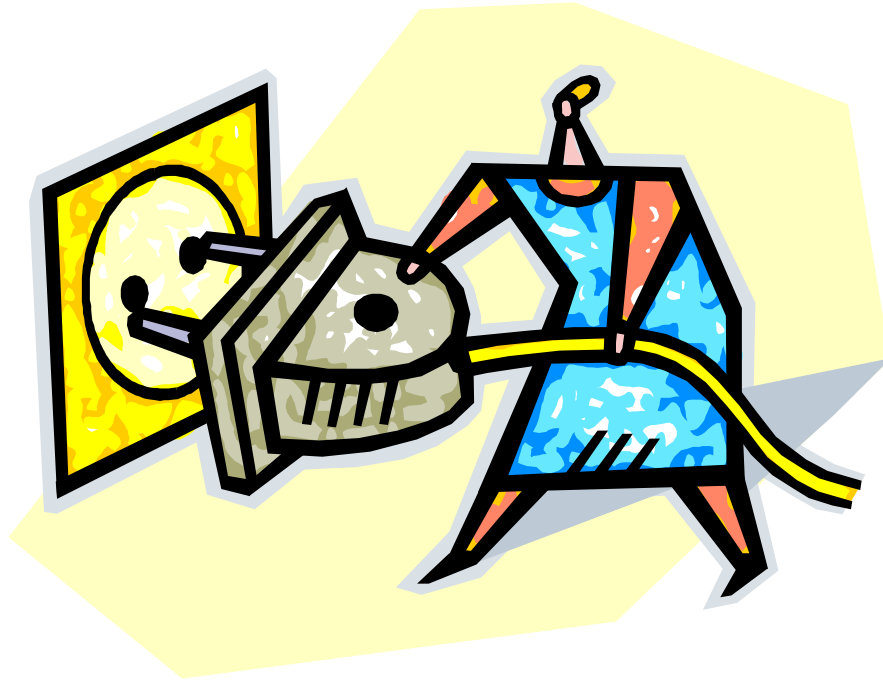


$$r = \frac{L}{\ln \frac{4L}{D}} = 0.26 \quad \rho = \pi r R_{\ddot{o}} = \pi \cdot 0,26 \cdot 150 \cong 120 \Omega m$$

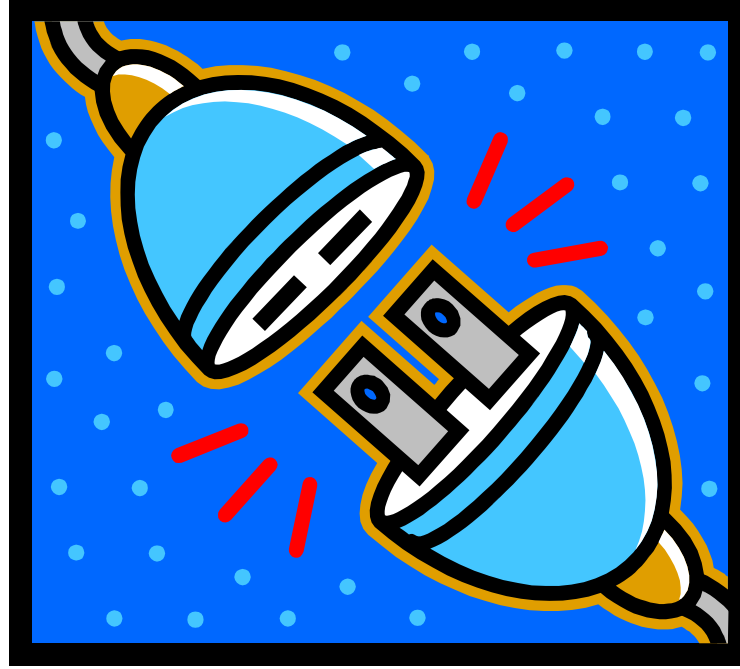
**Bu yöntem, toprağın homojen olduğu kabulü ve mevcut binalardaki gömülü topraklama sisteminin bilinmesi durumunda kullanılabilir. Yöntemin basit ama hata yüzdesinin yüksek olduğu unutulmamalıdır.<sup>43</sup>**





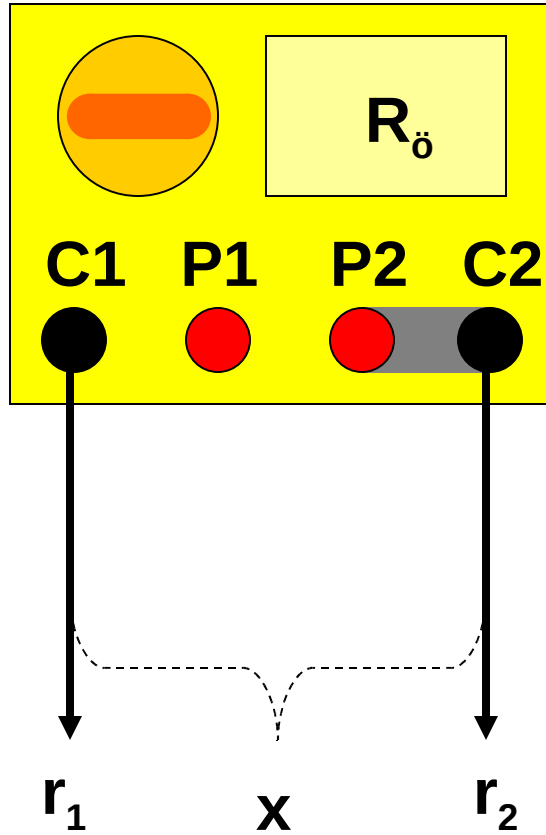


# TOPRAK YAYILIM DİRENCİ ÖLÇÜMLERİ

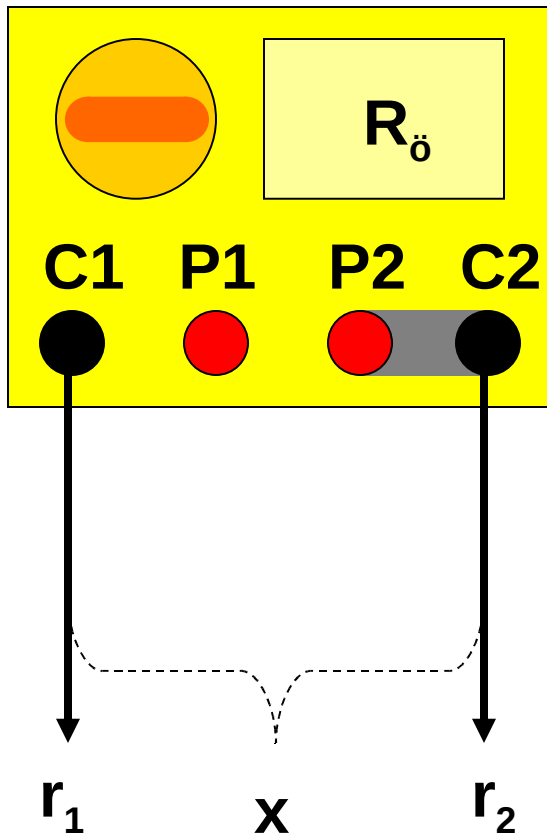


# 2 NOKTA ÖLÇÜMLERİ

# P1 açıkta iken 2 nokta ölçümü







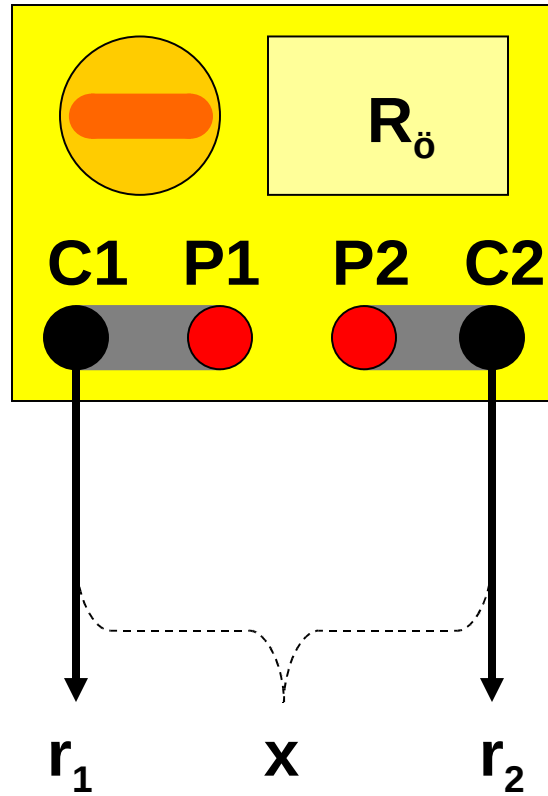
$$\varphi_{P1} = 0 \quad \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{r_2} \right)$$

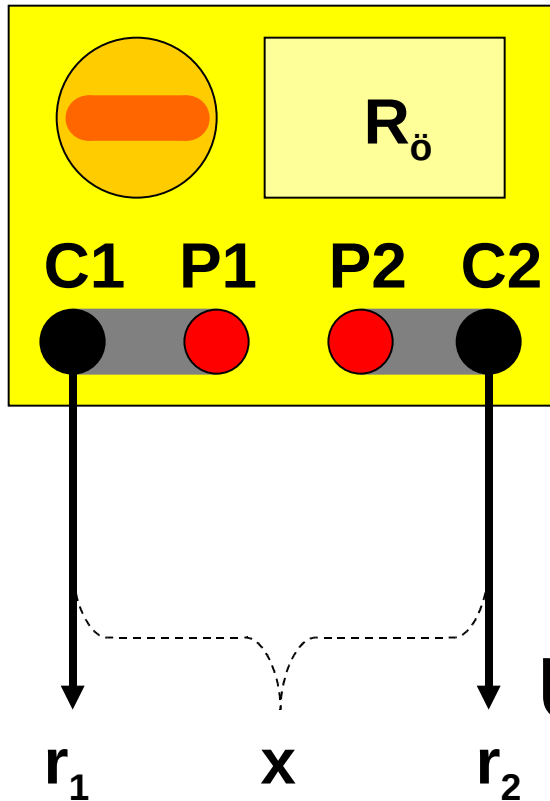
$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{x} \right)$$

$$U = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{x} \right) \frac{r_1}{r_1}$$

$$\frac{U}{l} = R_0 = \frac{\rho}{2\pi r_1} \left( \frac{r_1}{r_2} - \frac{r_1}{x} \right) = R_g \left( \frac{r_1}{r_2} - \frac{r_1}{x} \right)$$

# C1-P1 ve C2-P2 ayrı ayrı kısa devre iken 2 nokta ölçümü





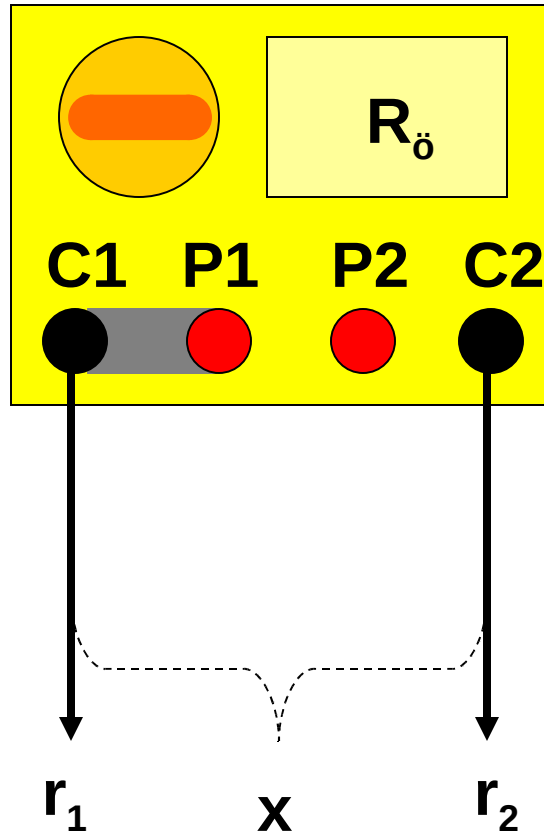
$$\varphi_{P1} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{x} \right)$$

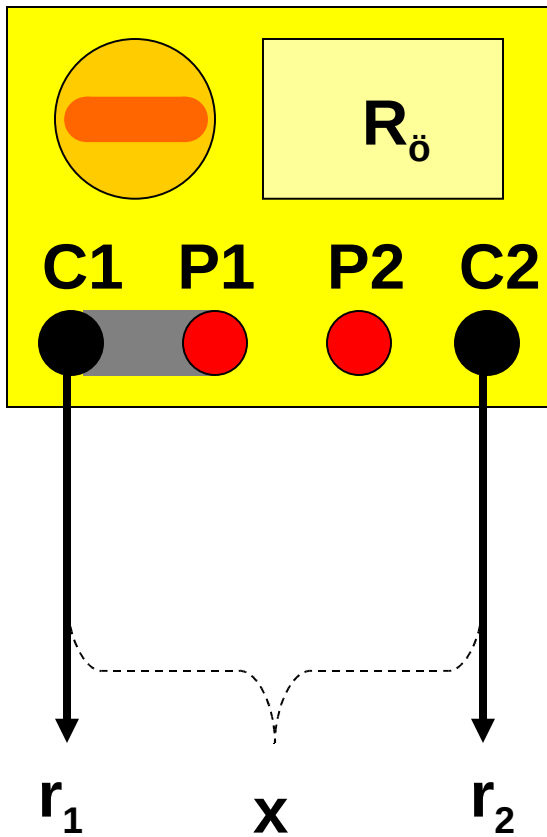
$$\varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} - \frac{2}{x} \right)$$

$$\frac{U}{I} = R_{\ddot{o}} = \frac{\rho}{2\pi r_1} \left( 1 + \frac{r_1}{r_2} - \frac{2r_1}{x} \right) = R_g \left( 1 + \frac{r_1}{r_2} - \frac{2r_1}{x} \right)$$

## P2 açıkta iken 2 nokta ölçümü



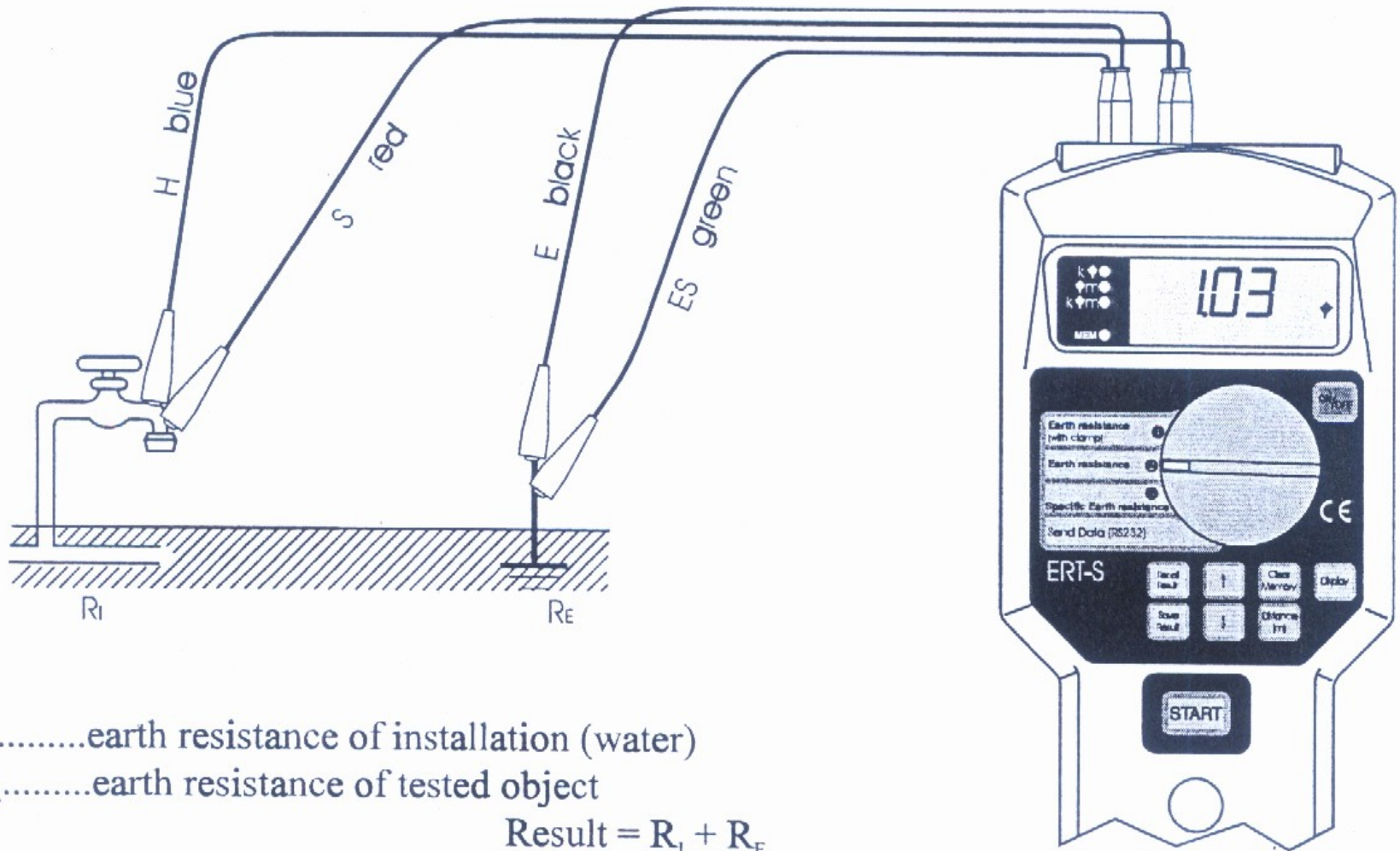


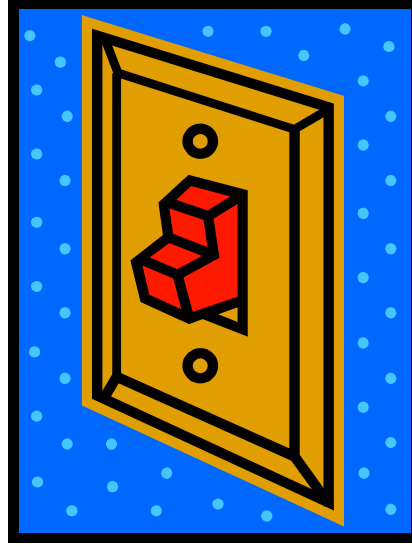
$$\varphi_{P1} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{x} \right) \quad \varphi_{P2} = 0$$

$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{x} \right)$$

$$\frac{U}{l} = R_{\ddot{o}} = \frac{\rho}{2\pi r_1} \left( 1 - \frac{r_1}{x} \right) = R_g \left( 1 - \frac{r_1}{x} \right)$$

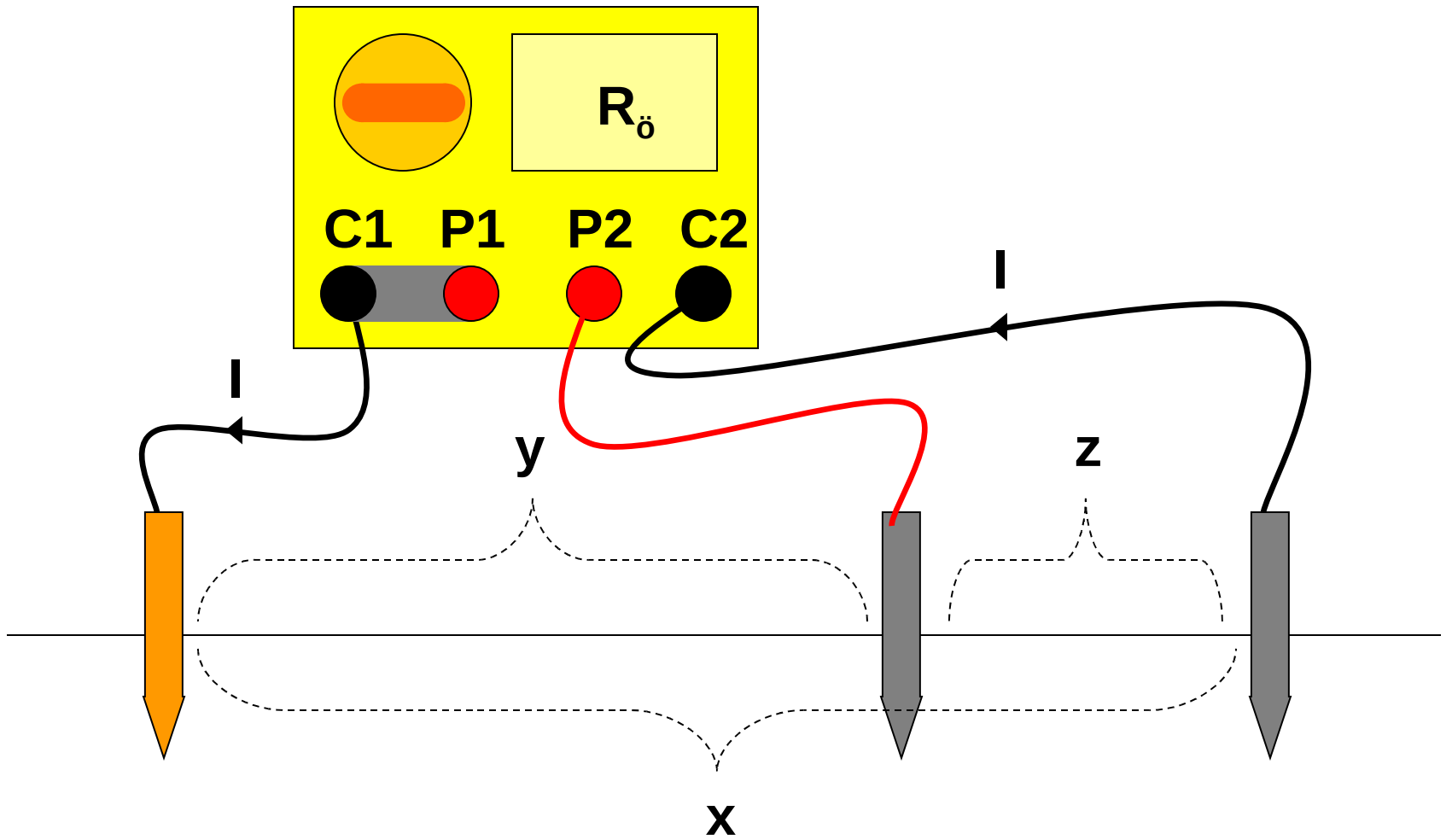
**2 nokta ölçümleri basit ve pratik olmakla birlikte hata oranları yüksek yöntemlerdir. Bağlantı kablo dirençlerinin ölçü devresine girmesi nedeniyle bunların hesap yoluyla ölçülen değerden çıkarılması gerekir.**

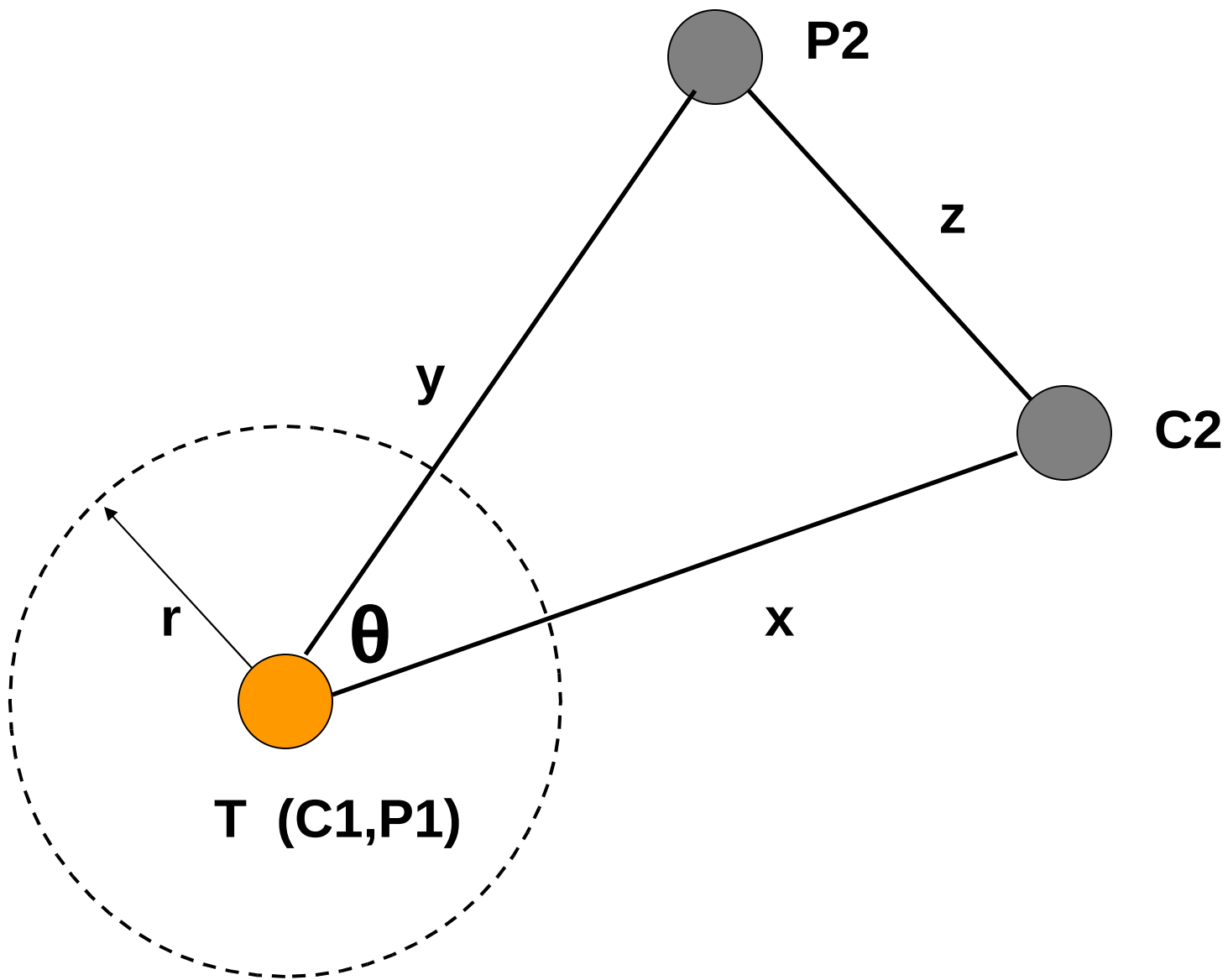


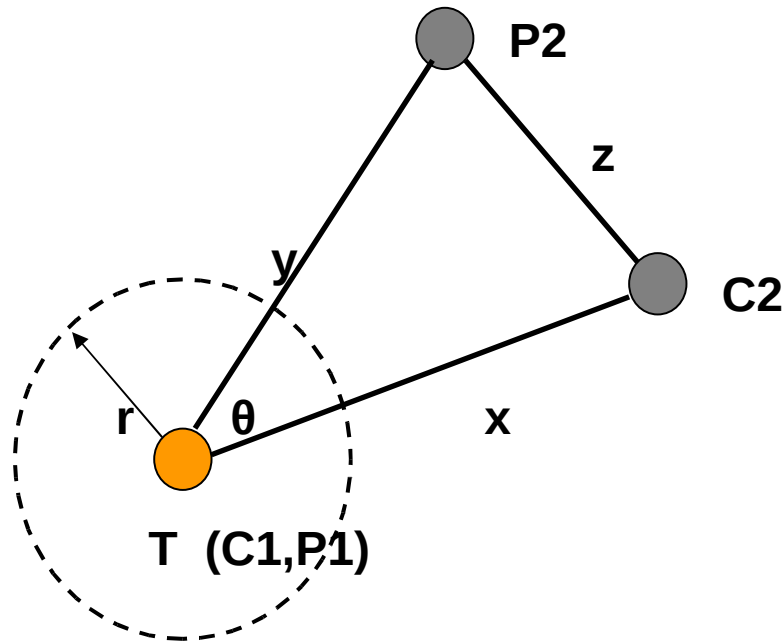


# 3 NOKTA ÖLÇÜMLERİ









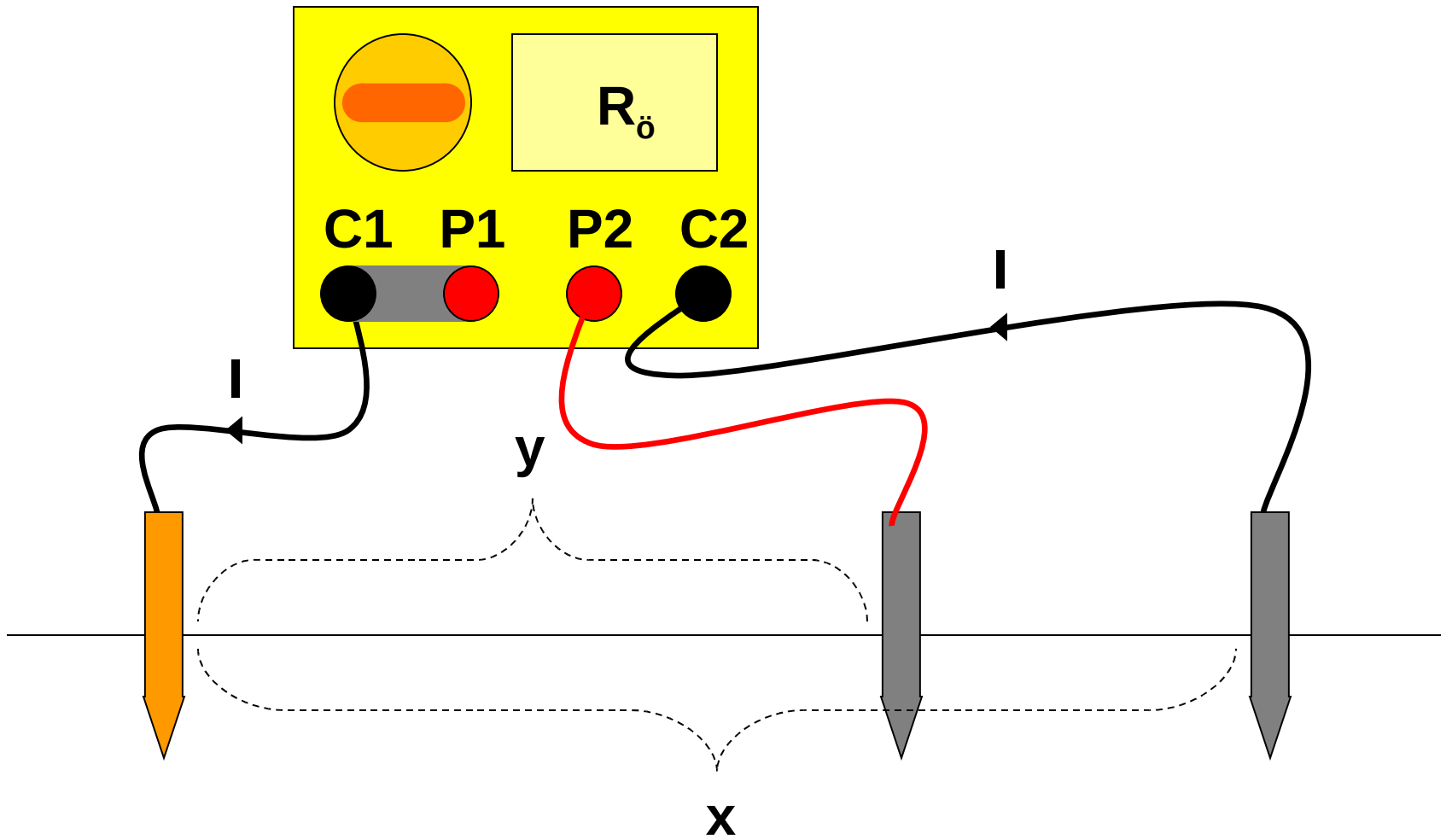
$$\varphi_{P1} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{x-r} \right) \quad \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{y} - \frac{1}{z} \right)$$

$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{x-r} - \frac{1}{y} + \frac{1}{z} \right)$$

$$R = \frac{U}{l} = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{x-r} - \frac{1}{y} + \frac{1}{z} \right)$$

$$R_{\ddot{o}} = \frac{\rho}{2\pi r} \left( 1 - \frac{r}{x-r} - \frac{r}{y} + \frac{r}{z} \right)$$

$$R_{\ddot{o}} = R_g \left( 1 - \frac{r}{x-r} - \frac{r}{y} + \frac{r}{z} \right)$$



$x \gg r$  kabulü ile  $X - r \cong X$

$$\varphi_{P1} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{x} \right)$$

$$\varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{y} - \frac{1}{z} \right)$$

$$U = \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = \frac{\rho l}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{x} - \frac{1}{y} + \frac{1}{z} \right)$$

$$R = \frac{U}{l} = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{x} - \frac{1}{y} + \frac{1}{z} \right)$$

$$R_{\ddot{o}} = \frac{\rho}{2\pi r} \left( 1 - \frac{r}{x} - \frac{r}{y} + \frac{r}{z} \right)$$

$$R_{\ddot{o}} = R_g \left( 1 - \frac{r}{x} - \frac{r}{y} + \frac{r}{z} \right)$$

$$R_{\ddot{o}} = R_g \Rightarrow \left( 1 - \frac{r}{x} - \frac{r}{y} + \frac{r}{z} \right) = 1$$

$$-\frac{r}{x} - \frac{r}{y} + \frac{r}{z} = 0 \quad r \left( -\frac{1}{x} - \frac{1}{y} + \frac{1}{z} \right) = 0$$

$$-\frac{1}{x} - \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = 0 \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{z}$$

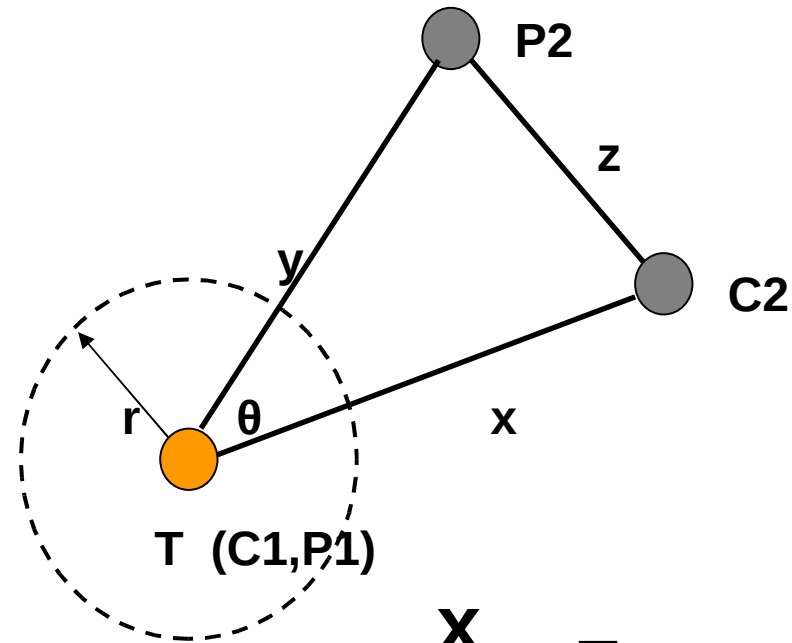


$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{z} \quad z = \frac{xy}{x+y}$$

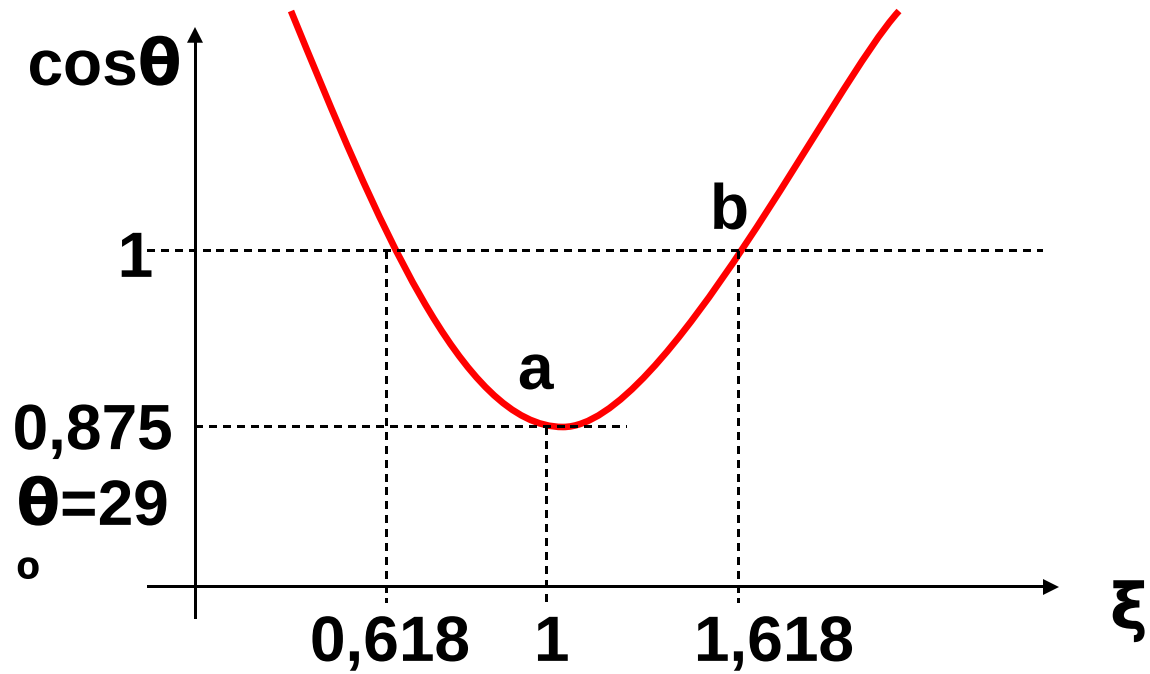
$$z^2 = x^2 + y^2 - 2xy \cos \theta$$

$$\left( \frac{xy}{x+y} \right)^2 = x^2 + y^2 - 2xy \cos \theta$$

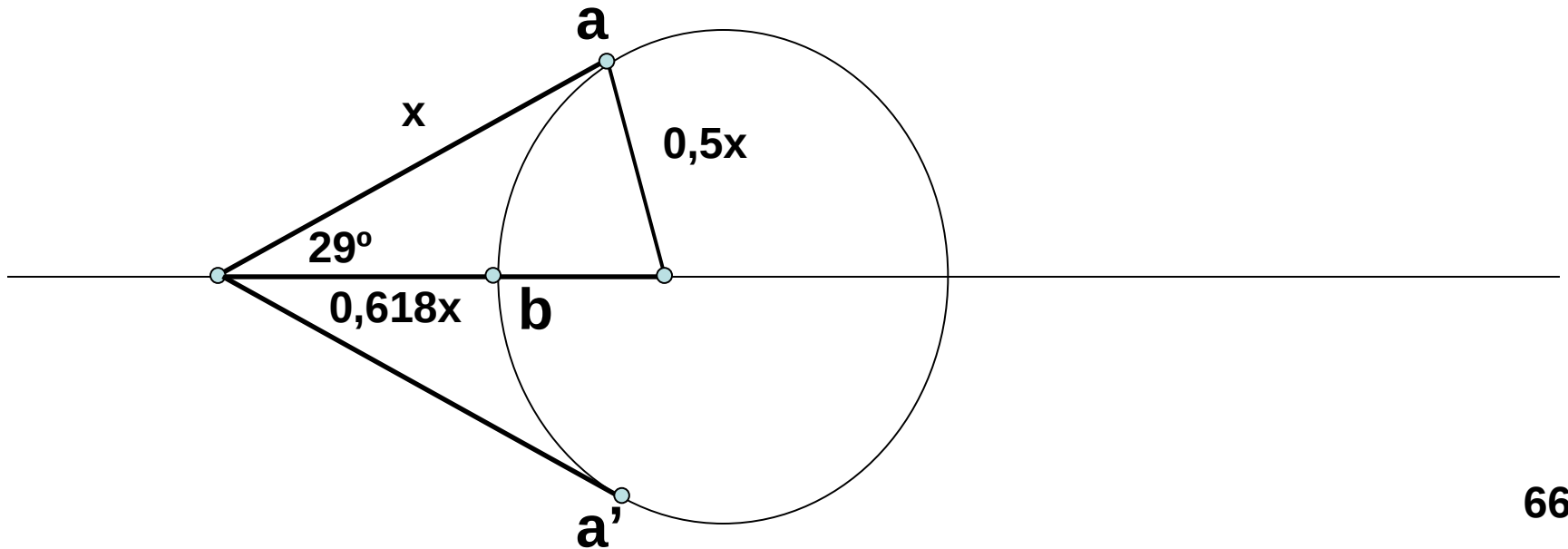
$$\cos \theta = \frac{\xi}{2} + \frac{1}{2\xi} - \frac{1}{2 \left( \xi + \frac{1}{\xi} + 2 \right)}$$



$$\frac{x}{y} = \xi$$



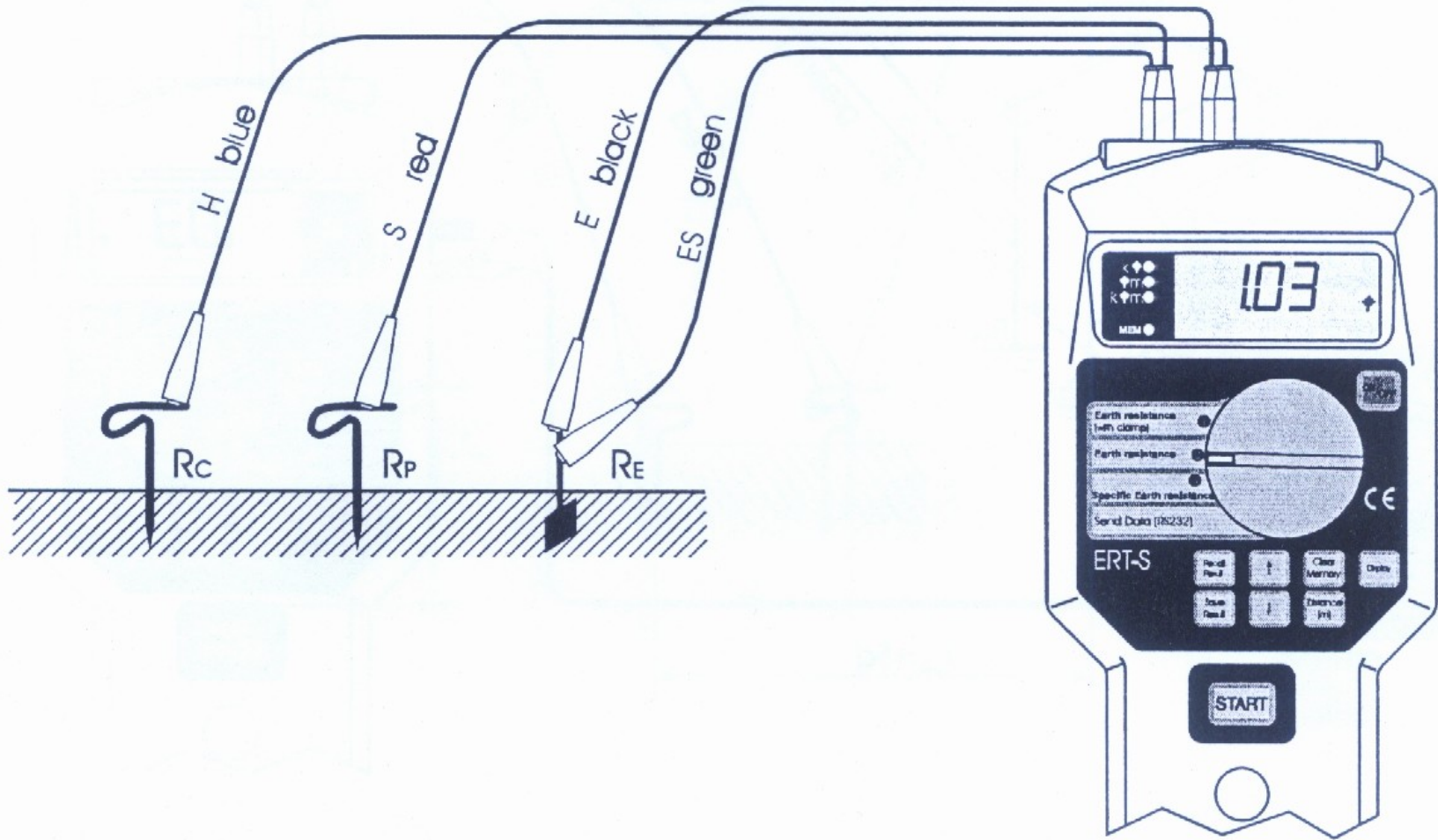
$$1 \leq \xi \leq 1,618$$

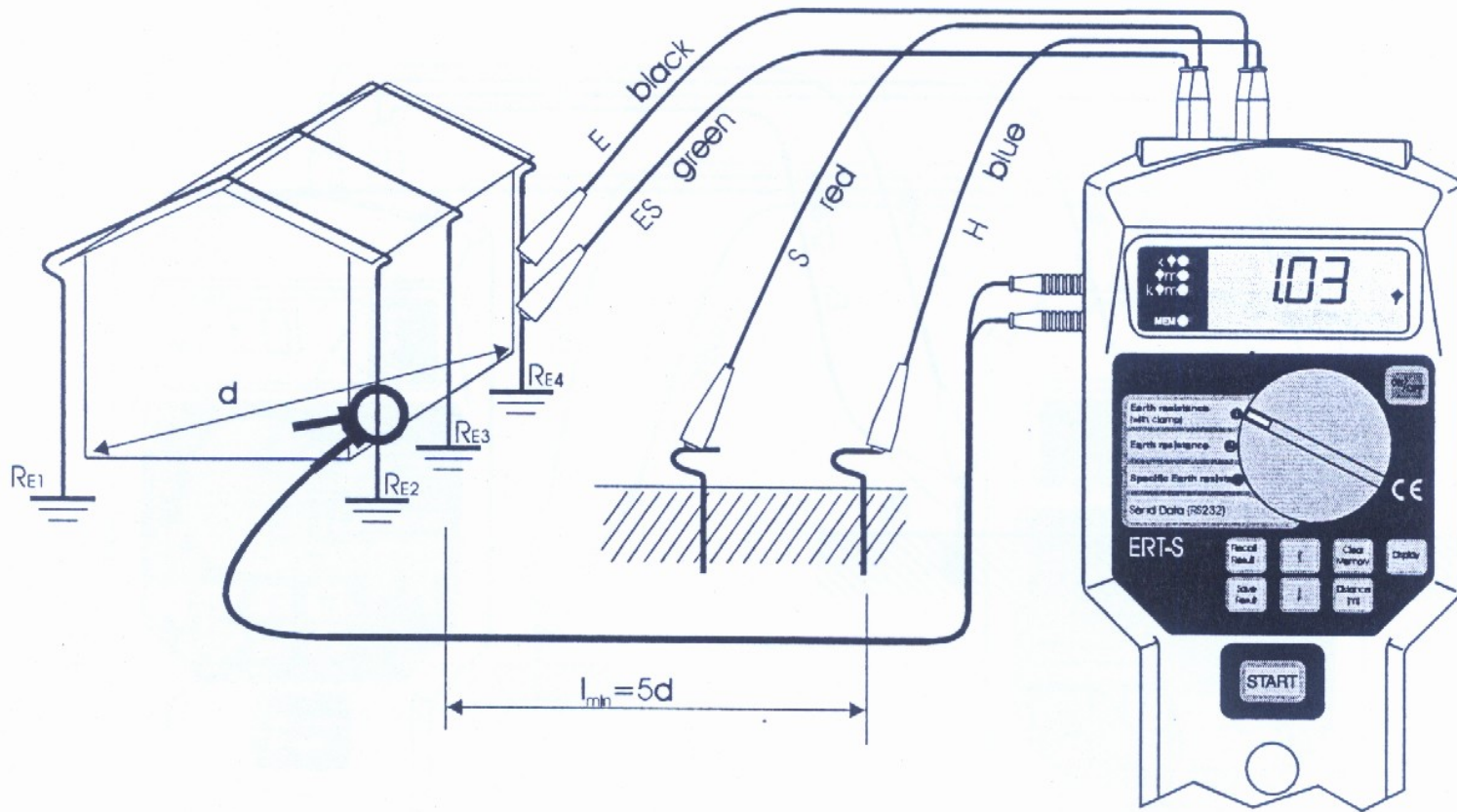


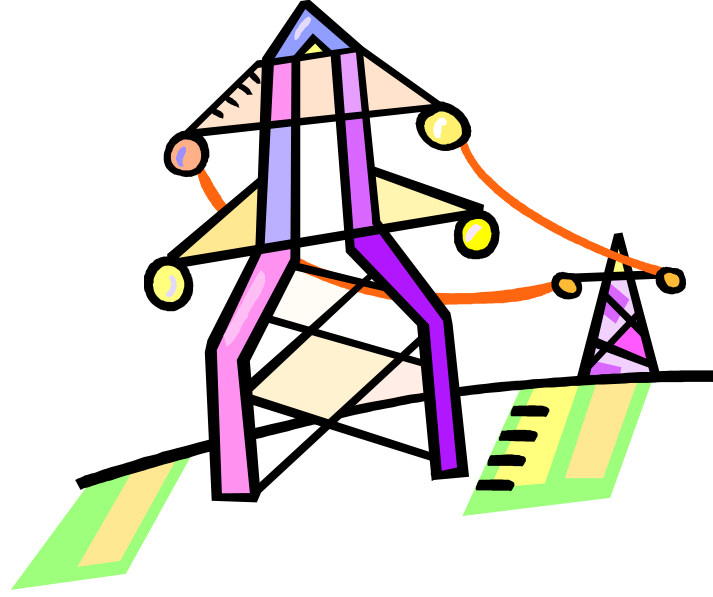
**Tekil elektrotlar ve küçük tesislerde %61,8 yöntemi uygulanırsa da, büyük tesislerde direnç eğrisi çıkartılarak, eğride orta bölümün eğimi saptanır, buna bağlı olarak gerçek direnci ölçmek için gerekli olan gerilim kazığı uzaklığı belirlenir. Bu arada akım kazığının tesis merkezine uzaklığı merkez çapının 5 katından az olmamalıdır.**

**Büyük ve simetrik olmayan tesislerde 4 nokta yöntemi, kesişen doğrular yöntemi ve eğim yöntemi uygulanabilir. Çok büyük şalt tesislerinde akım ve gerilim kazıkları ters taraflara yerleştirilir. Bu tür yerlerde voltmetre-ampermetre ya da wattmetre-ampermetre yöntemleri yeğlenmelidir.**

**Çok büyük tesislerde kullanılacak kablo bağlantılarının birbirine paralel olması nedeniyle açı yöntemi de kullanılabilir. Bu durumda x ve y arasındaki açı  $60^{\circ}$ 'den küçük olamaz.**

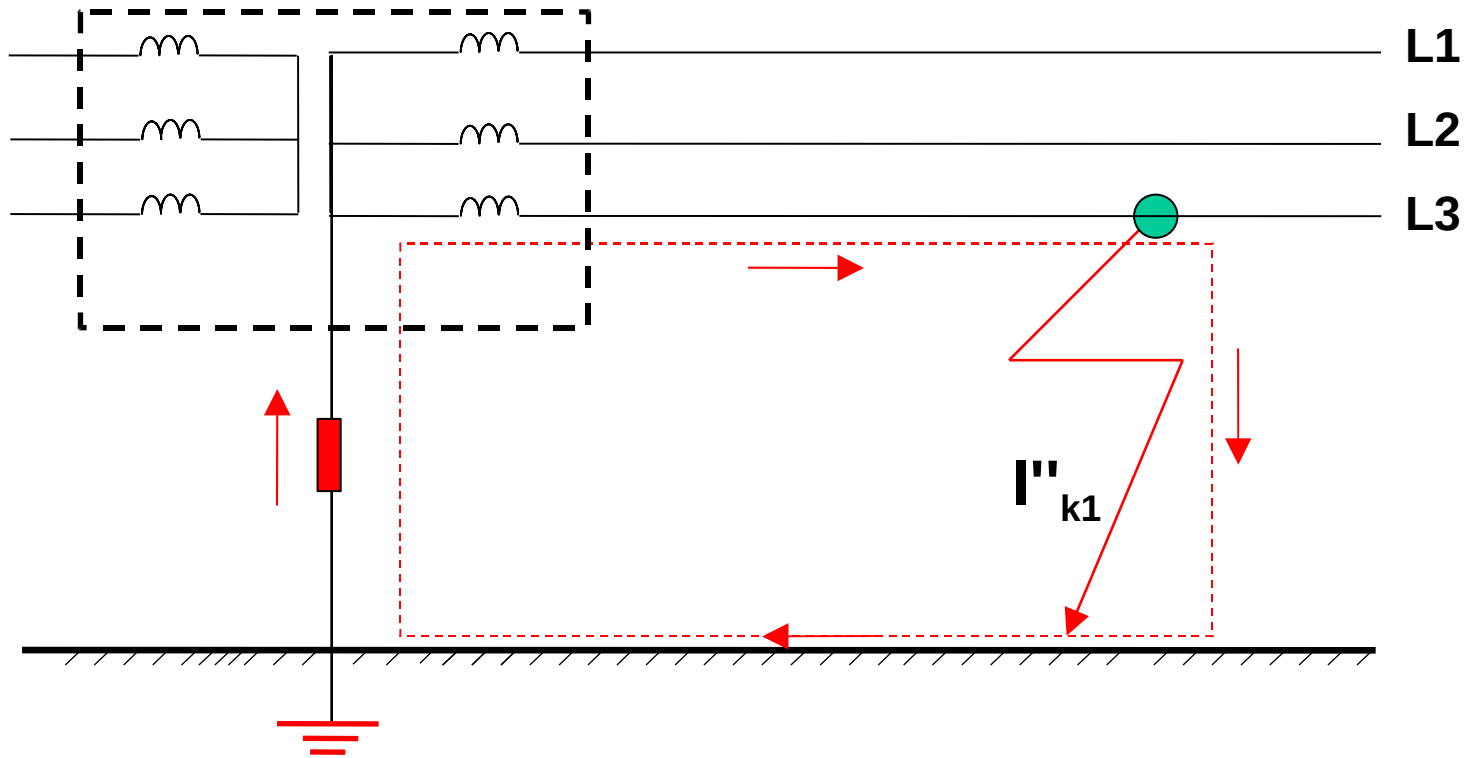






# ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

# Yıldız noktası direnç üzerinden topraklanmış şebeke; $Z = R$



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

-Havai hat çıkışlı merkezlerde **60 Ω**,

-Kablo çıkışlı merkezlerde **20 Ω** dirençle topraklanmıştır.

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

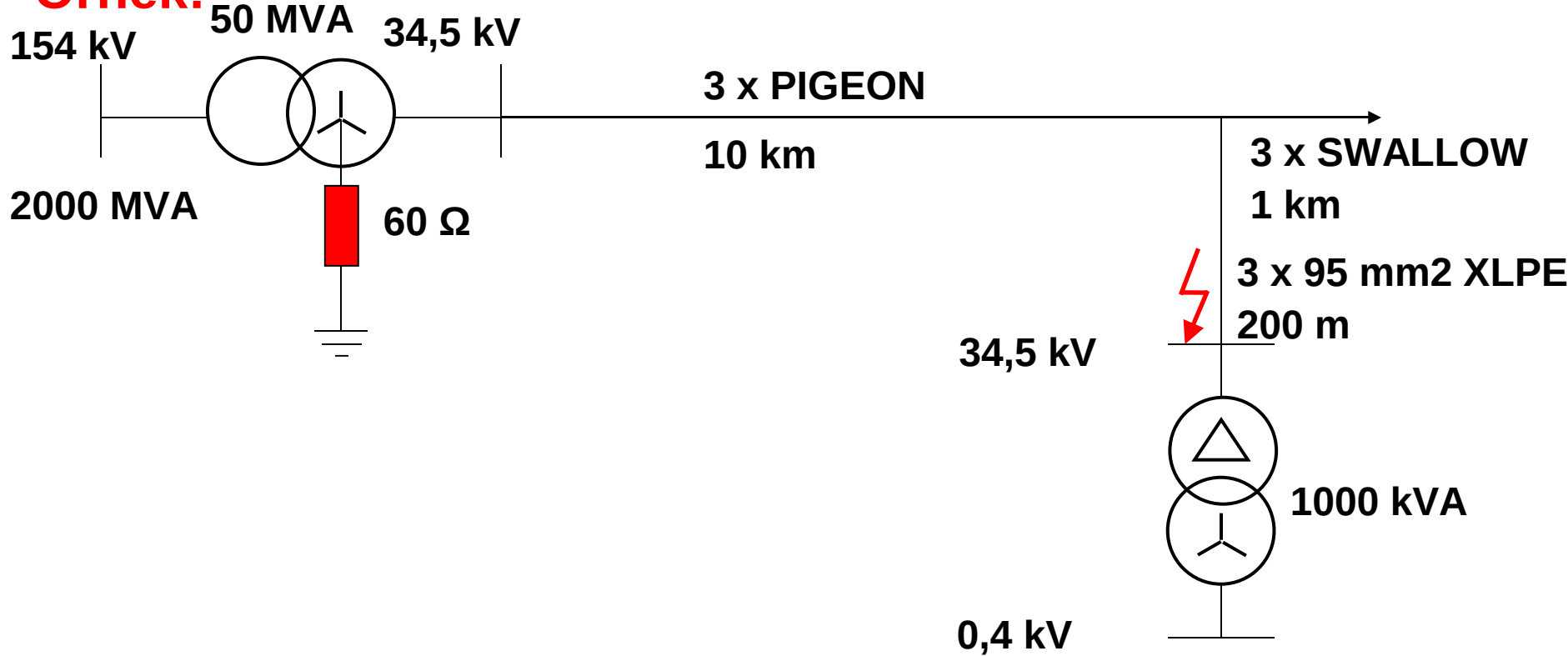
$$I''_{k1} = \frac{34500 / \sqrt{3}}{60} \cong 300 \text{ A}$$

Kablo çıkışlı 34,5 kV şebekelerdeki faz toprak kısa devre

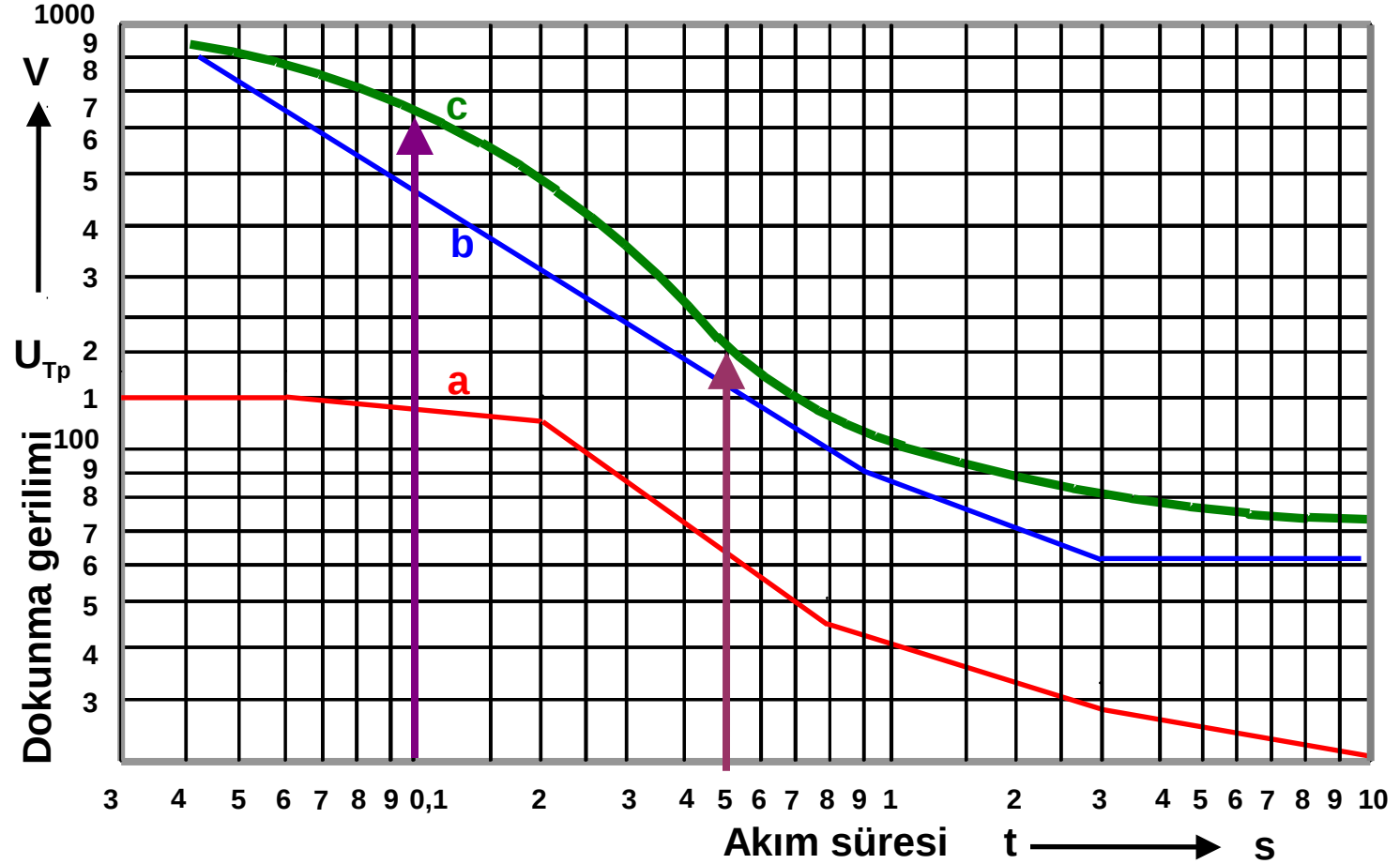
$$I''_{k1} = \frac{34500 / \sqrt{3}}{20} \cong 1000 \text{ A ile sınırlıdır.}$$



**Örnek:**



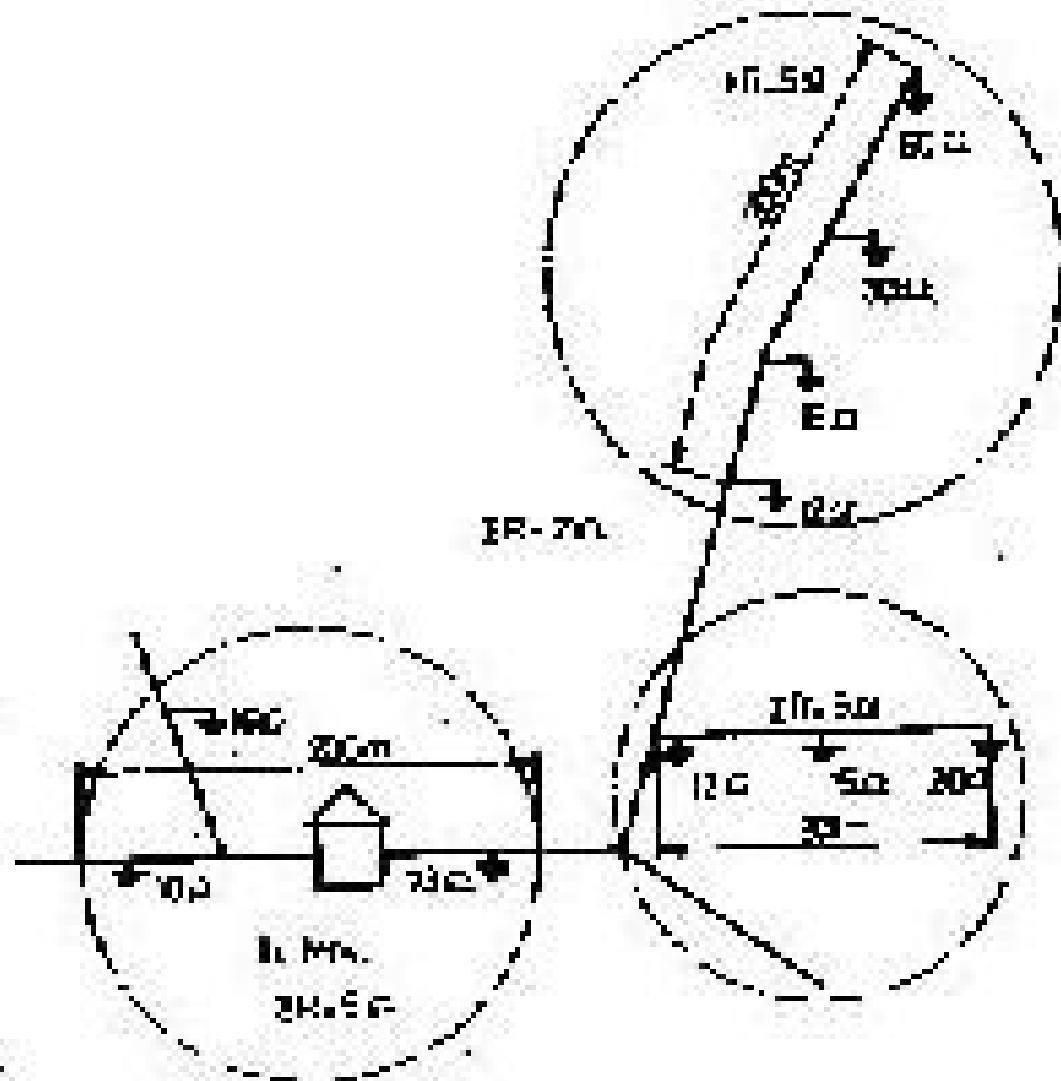
154/34,5 kV merkezde sekonder tarafta yıldız noktası 60Ω dirençle topraklanmış olduğundan  $I''_{k1} = 300A$  ile sınırlanmıştır



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

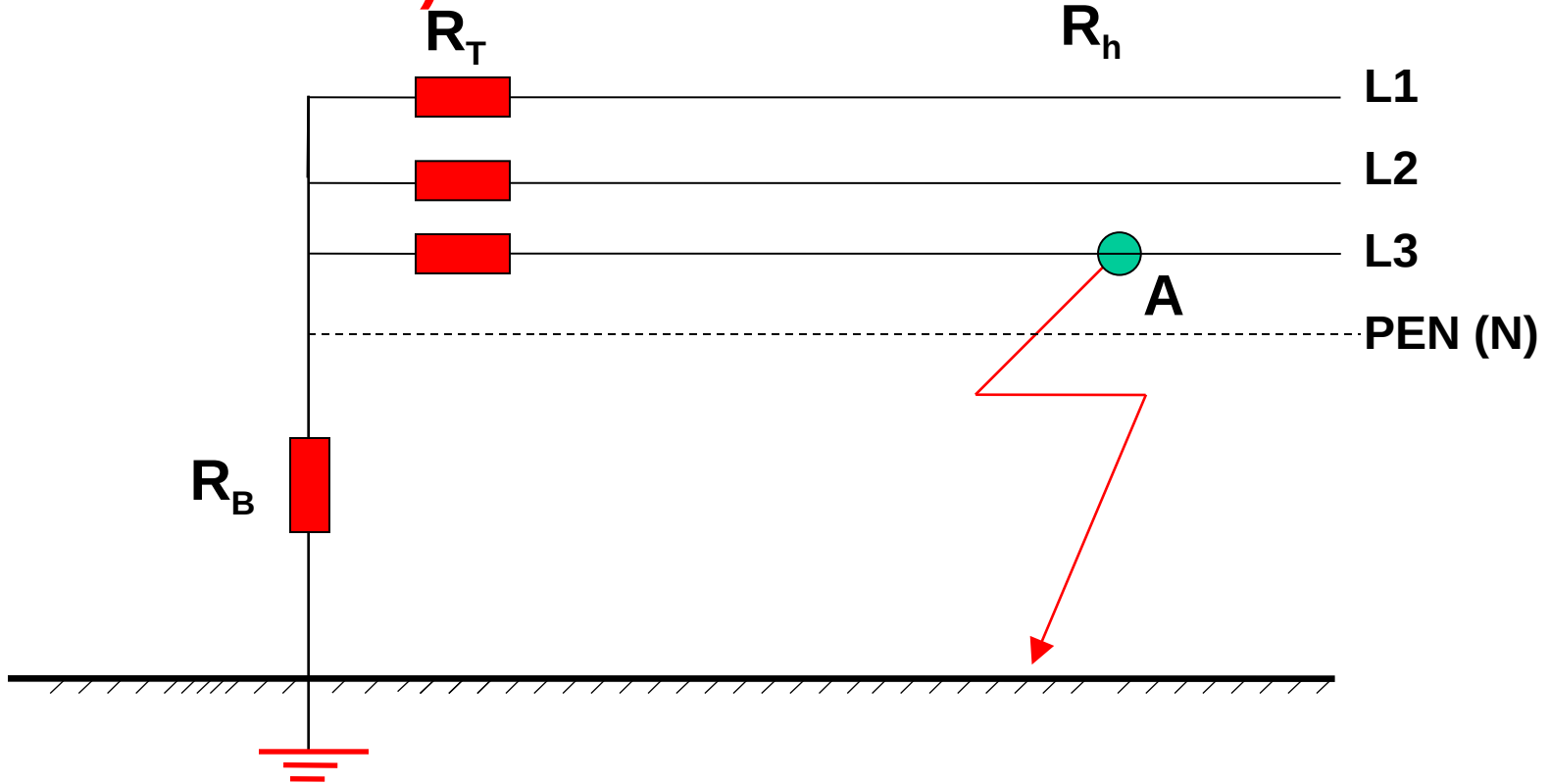
Hata süresi $t_F$	Topraklama gerilimi $U_E$	Tesislerin dış duvarlarında ve çitlerinde	Tesislerin içinde	
			Bina içi (dahili tip) tesis	Bina dışı (harici tip) tesis
$t_F > 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4U_{Tp}$	M1 veya M2	M3	M4.1 veya M4.2
	$U_E > 4U_{Tp}$	$U_T \leq U_{Tp}$ olduğunun ispatı	M3	M4.2
$t_H \leq 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4U_{Tp}$	M1 veya M2	M3	M4.2
	$U_E > 4U_{Tp}$	$U_E \leq U_{Tp}$ olduğunun ispatı		



Gambar 1.3 — Rancangan sistem perpipaan air minum di kampung Kiri-

# AG HAVA HATLARINDA FAZ-TOPRAK HATASI

(FAZ KOPMASI)

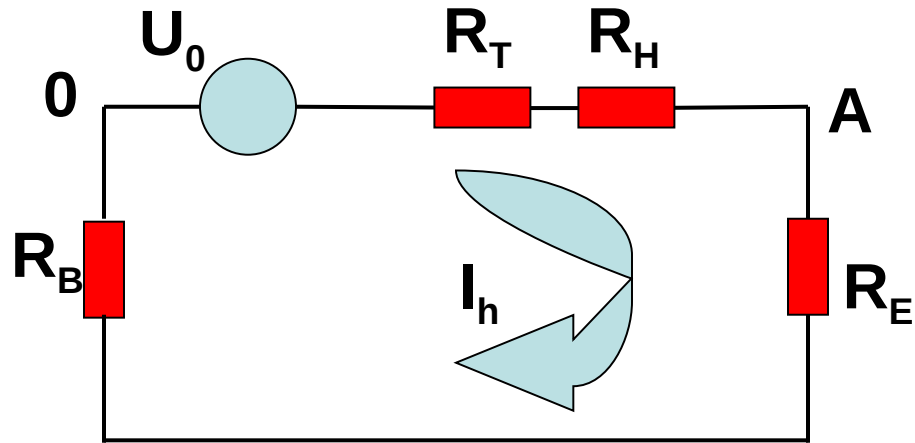


$R_B$ : İşletme topraklaması direnci

$R_E$ :  $L_3$  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  $U_B \leq 50V$

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

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

ETTY s.17

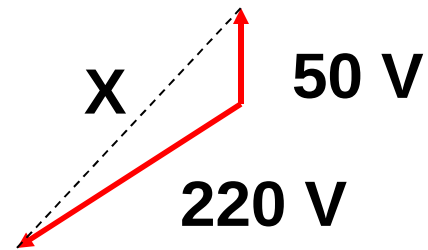
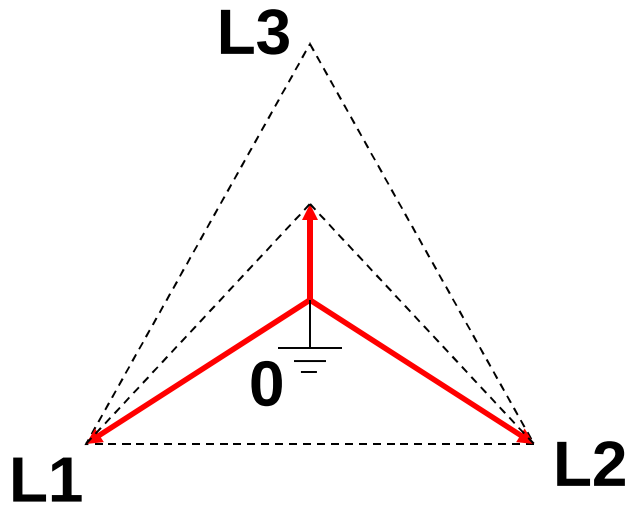
$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_0 - 50}$$

**380/220 V şebekede  $U_0=220$  V**

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

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





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

$$X \cong 250V$$

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.

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

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

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

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

<b>L (m)</b>	<b><math>\rho</math> (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>	<b><math>R_E</math> (<math>\Omega</math>)</b>
<b>1</b>	<b>100</b>	<b>173</b>
<b>10</b>	<b>100</b>	<b>25</b>
<b>40</b>	<b>100</b>	<b>7,5</b>

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

$$R_E \geq 3,4R_B$$

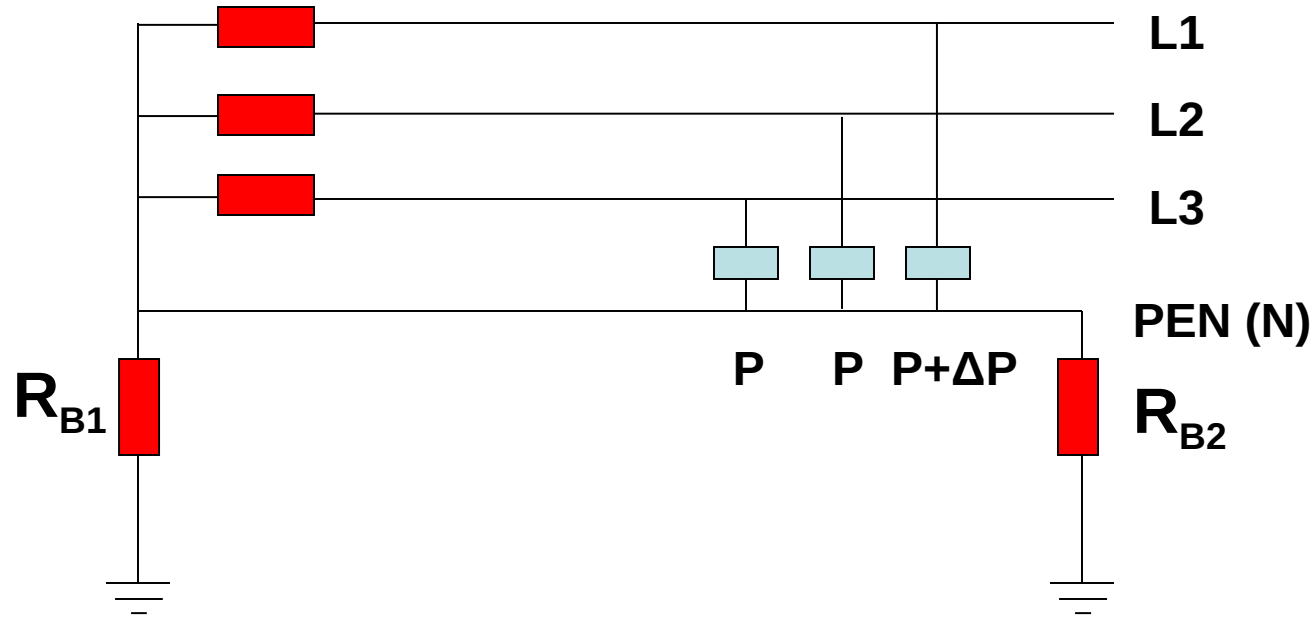
$$R_{Emin} \cong 0,075\rho$$

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

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

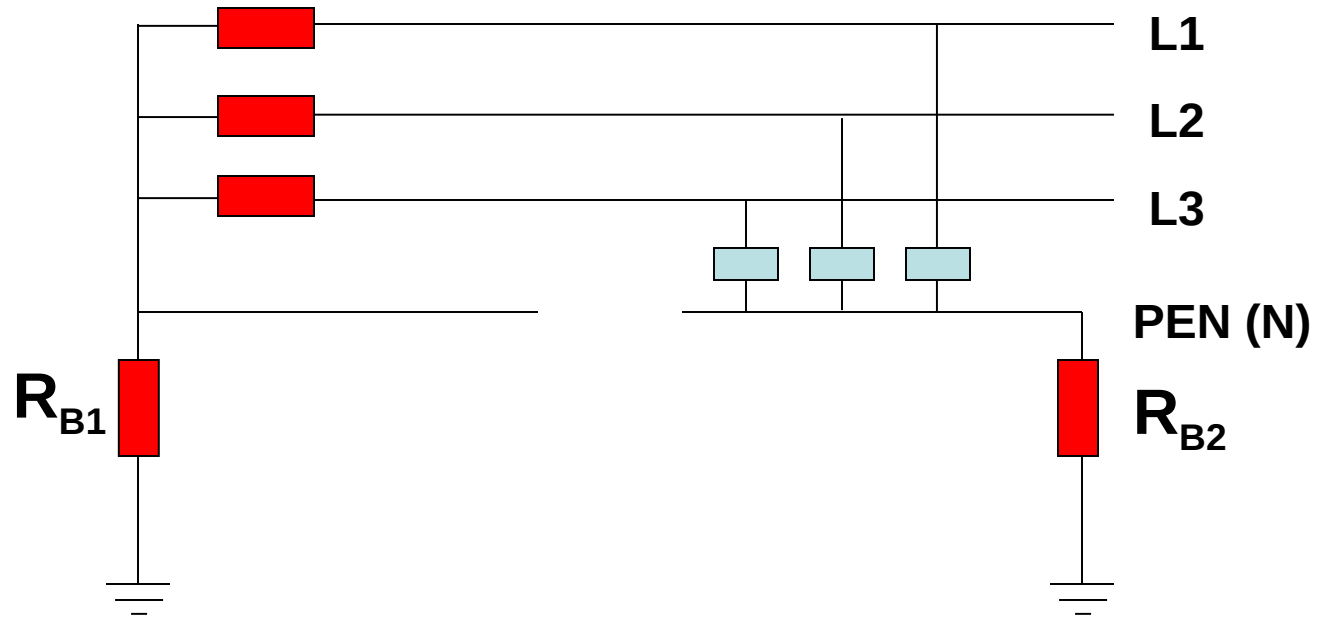
$R_B (\Omega)$	$\rho(\Omega m)$
0,1	$\rho \geq 4,5$
1	$\rho \geq 45$
2	$\rho \geq 90$

# NÖTR KOPMASI

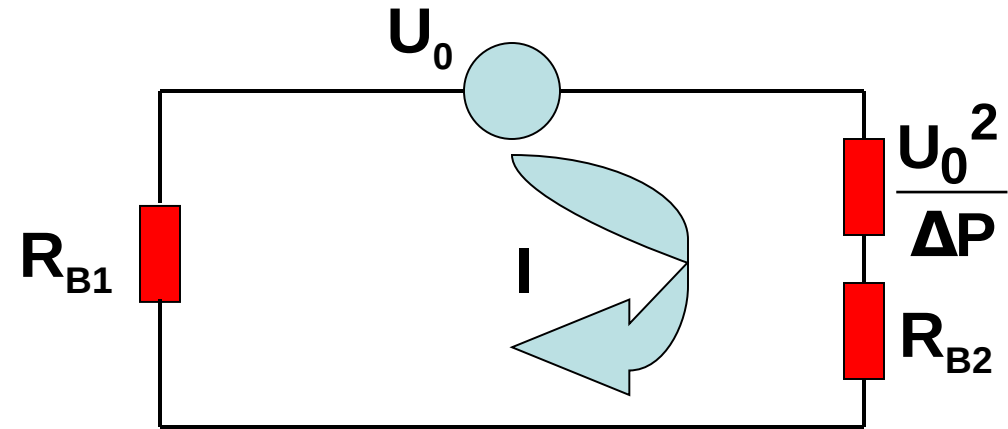


$$I_n = \frac{\Delta P}{U} \quad U_{\text{nötr}} = R_{nh} \frac{\Delta P}{U} = r_{nh} I \frac{\Delta P}{U}$$

$$\Delta P = 0 \quad \text{ise} \quad U_{\text{nötr}} = 0$$



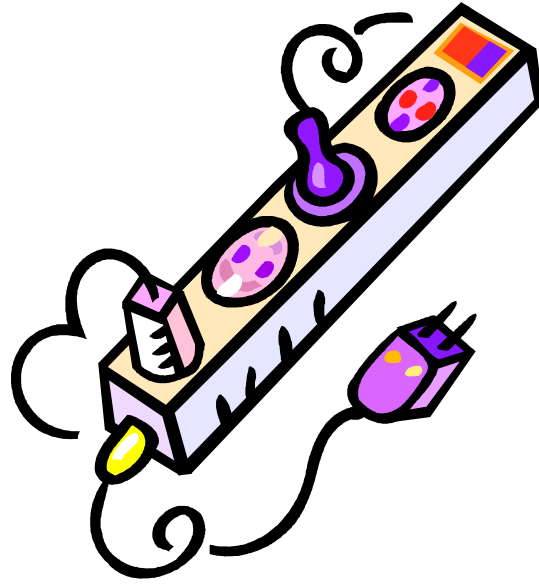
Eşdeğer devre:



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

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





# 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,**

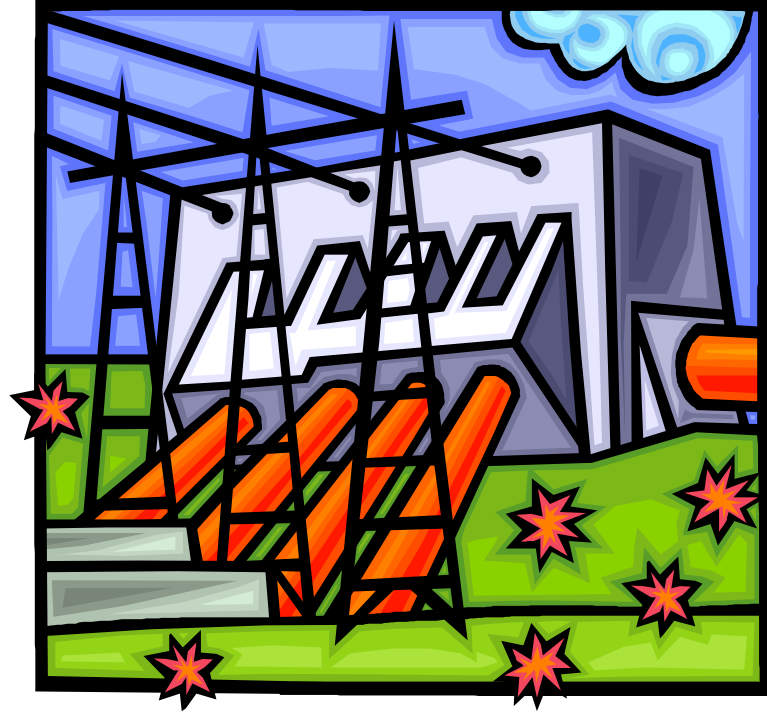
**b) Bir yüksek gerilim tesisi, topraklama alanı içindeki alçak gerilim tüketicilerini besliyorsa; YG topraklama tesisleri içindeki tüm işletme ve koruma topraklamaları birleştirilmelidir.**

**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	$U_E \leq 2.U_{Tp}$	



**TEŞEKKÜR EDERİZ**