

Vezetékek

Fizikai alapok

Elektromos áram

A vezetékeket az elektromos áram ill. elektromos jelek vezetésére használják. Az elektromos áramot töltéshordozók (elektromos töltéssel rendelkező részecskék: elektronok, ionok, lyukak) hordozzák.

A töltéshordozókra az elektromos tér erőt fejt ki, amitől azok mozgásba jönnek. Az \underline{F} erő értéke arányos a részecske Q töltésével és az \underline{E} térerősséggel:

$$\underline{F} = Q\underline{E} \quad (1)$$

Az erő iránya párhuzamos a térerősség irányával. (Az (1) kifejezés az elektromos térerősség definíciója is.)

A töltéshordozóknak az elektromos tér által keltett sebességét drift- vagy sodródási sebességnek nevezzük. Ez általában jóval kisebb, mint a töltéshordozóknak a hőmozgás következtében létrejött termikus sebessége, amihez vektoriálisan hozzáadódik.

Elektromos áram (2)

A felgyorsult töltéshordozók egy idő után ütköznek a kristályrács atomjaival (szóródnak), és mozgási energiájuk egy részét átadják a rácsnak (melegítik a kristályt).

A driftsebesség átlagos értéke arányos az elektromos térerősséggel:

$$\underline{v}_d = \mu \underline{E} \quad (2)$$

A μ arányossági tényezőt **mozgékonyáságnak** nevezzük.

Az anyagban az áramsűrűség arányos a driftsebességgel és a (szabad) töltéshordozó koncentrációval (n):

$$\underline{J} = qn\underline{v}_d \quad (3)$$

ahol q az elemi töltés ($q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ As).

A (2) és (3) kifejezés alapján:

$$\underline{J} = qn\mu \underline{E} \quad (4)$$

Az áramerősség és a térerősség közötti arányossági tényező jellemző az adott anyagra: fajlagos vezetőképességnek nevezzük (σ):

$$\sigma = qn\mu \quad (5)$$

Elektromos áram (3)

A (4) és (5) kifejezés alapján:

$$\underline{J} = \sigma \underline{E} \quad (6)$$

Ez az Ohm-törvény differenciális alakja. A fajlagos vezetőképesség reciproka a fajlagos ellenállás (ρ), ami szintén anyagi jellemző és meghatározza az adott méretű vezeték ellenállását. A (6) egyenlet átrendezésével az alábbi kifejezést kapjuk:

$$\underline{E} = \rho \underline{J} \quad (7)$$

Az $E=U/l$ és $J=I/A$ behelyettesítéssel a (7) kifejezésből az Ohm törvény szokásos alakjához jutunk:

$$\underline{U} = \rho l / A \cdot \underline{I} \quad (8)$$

ahol l a vezeték hossza és A a vezeték keresztmetszete. A (8) kifejezés alapján a vezeték ellenállása (a feszültség és áram közötti arányossági tényező):

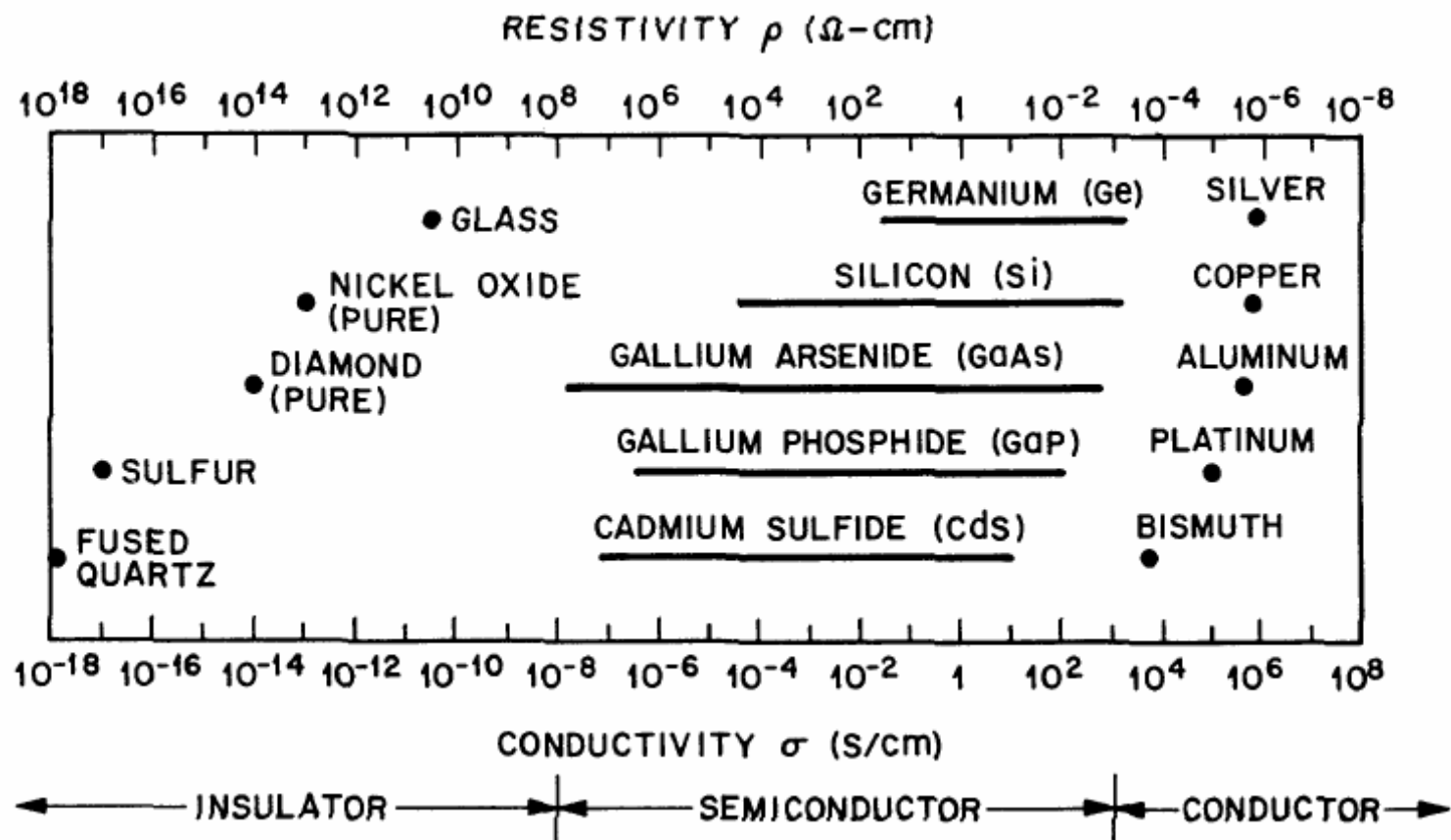
$$R = \rho l / A \quad (9)$$

Ezt a (8) kifejezésbe helyettesítve az Ohm törvényt kapjuk:

$$\underline{U} = R \underline{I} \quad (10)$$

Fajlagos ellenállás

Az anyagokat fajlagos ellenállásuk alapján csoportosítva fémeket (vezetőket), félvezetőket és szigetelőket különböztetünk meg.

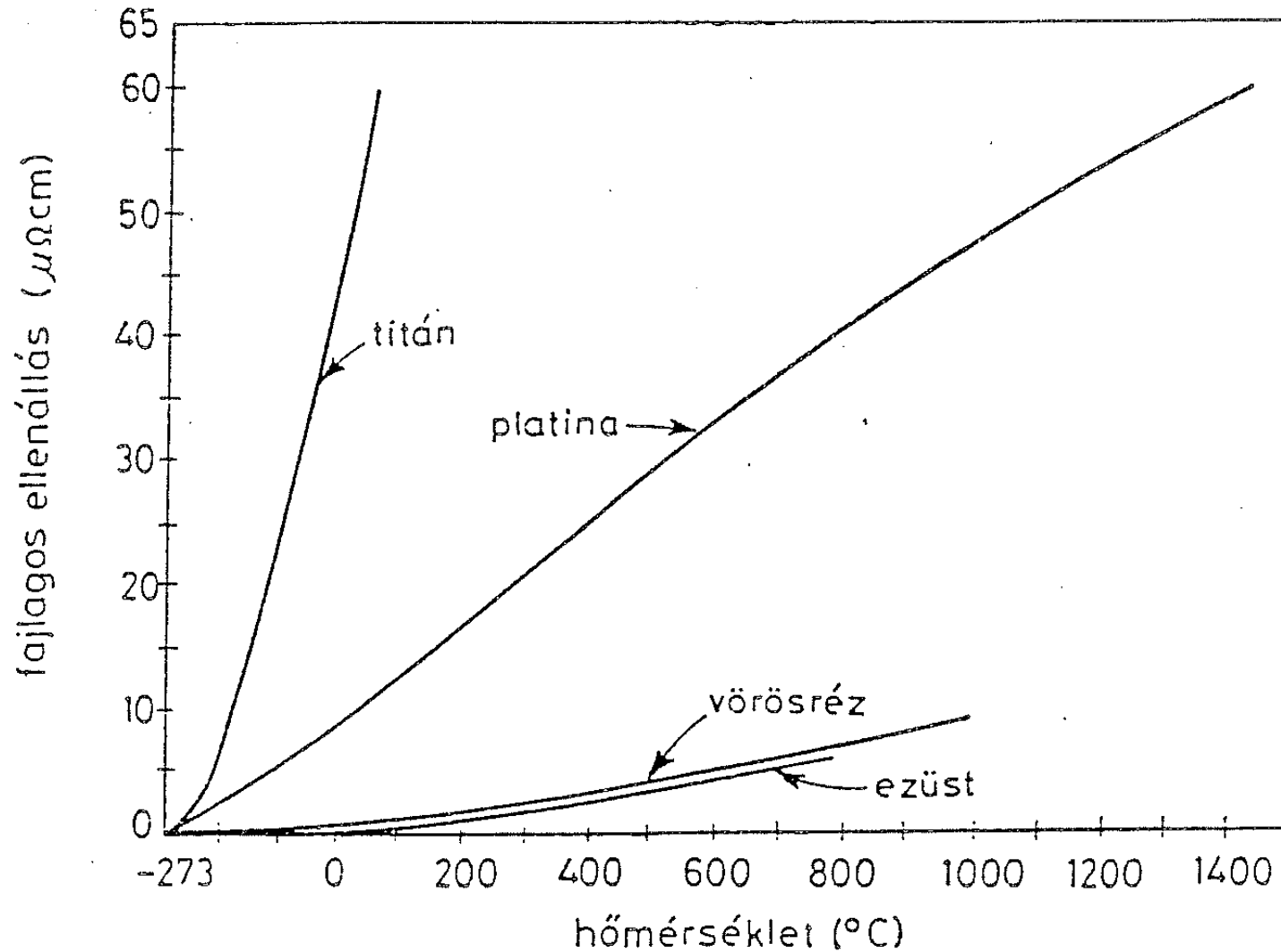


10^{-8} - 10^{-5} Ω cm - fémek, 10^{-5} - 10^4 Ω cm - félvezetők, 10^4 - 10^{18} Ω cm - szigetelők

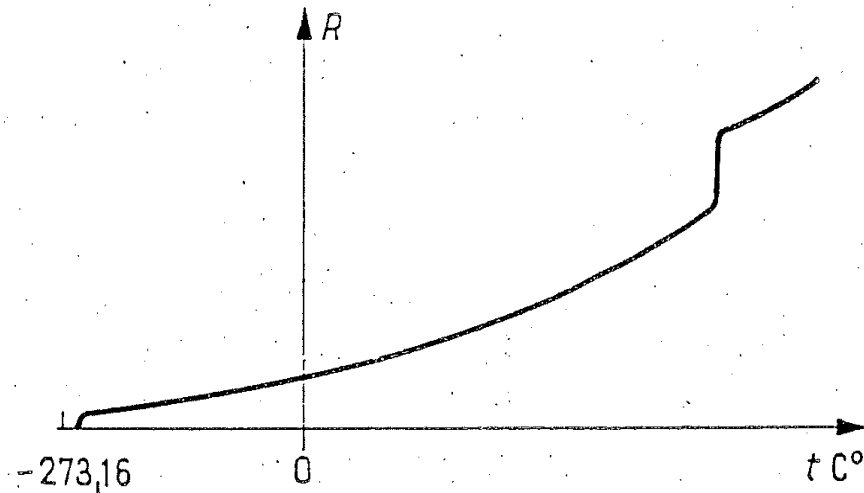
Függ a tisztaságtól (szennyezettség, adalékolás) – főképp félvezetőknél.

A fajlagos ellenállás hőmérsékletfüggése

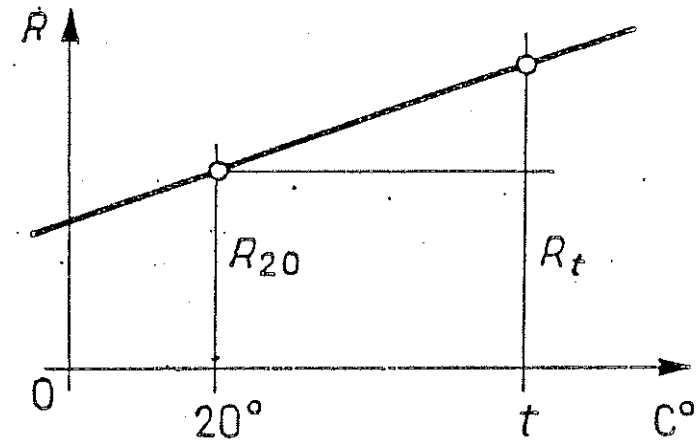
A fajlagos ellenállás, és így a vezetékek ellenállása függ a hőmérséklettől.



Az ellenállás hőmérsékletfüggése



Széles hőmérséklet tartományban



Szobahőmérséklet környékén

A hőmérsékletfüggést másodfokú polinómmal közelítik:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1) + \beta (t_2 - t_1)^2] \quad (11)$$

Pontos közelítés vagy széles hőmérséklettartomány esetén a másodfokú közelítést használják. Nagyobb pontosság szükségessége esetén táblázatosan adják meg az értékeket. Szobahőmérséklet környékén elég a lineáris közelítés:

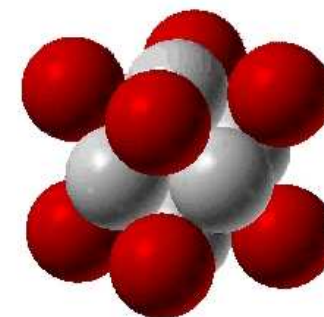
$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (12)$$

ahol α a hőfoktényező.

Egyes fémek fajlagos ellenállása 20 C°-on és az ellenállás hőfoktényezője

Fém	ρ [$\mu\Omega\text{m}$]	α [$1/\text{C}^\circ$]
Ag	0,0163	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Cu	0,0172	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Al	0,0263	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Fe	0,0971	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Pt	0,105	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Manganin	0,45	$1 \cdot 10^{-5}$
Konstantán	0,5	$8 \cdot 10^{-6}$
Kanthál	1,45	$3,5 \cdot 10^{-5}$

A jó elektromos vezetők (Ag, Al, Au, Cu) lapcentrálts köbös kristályszerkezetűek (szoros illeszkedés).



Ellenállás

A vezetékek ellenállása hátrányos a felhasználás szempontjából, mert egyrészt feszültség esik rajta, másrészt teljesítmény disszipálódik (vesztést okoz - hő válik ki). Ezért a vezetékek anyagai kis fajlagos ellenállású fémek: réz vagy alumínium, IC-kben vagy egyéb fontos helyeken aranyat vagy ezüstöt is használnak.

A disszipációs teljesítmény:

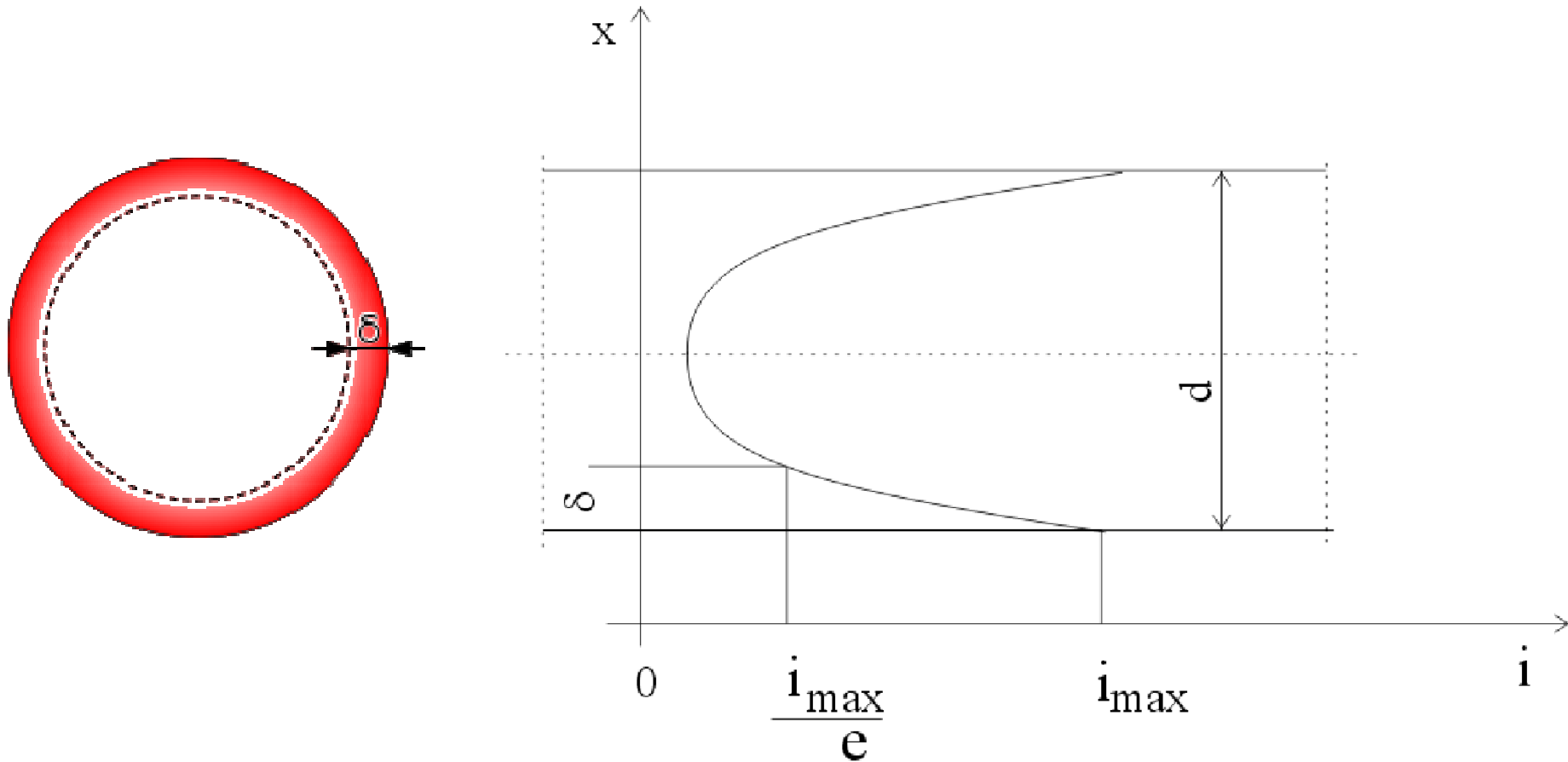
$$P=UI; P=I^2R; P=U^2/R$$

(13)

Szkinhatás

- szkin effektus, bőrhatás, felületi hatás.

Nagy frekvencián az áram az önindukció miatt nem a vezeték teljes keresztmetszetében folyik, hanem a felület közelében.



Az ábrán i az áramsűrűséget jelöli!

Szkinhatás (2)

A δ behatolási mélység:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \quad (14)$$

ahol ρ a fajlagos ellenállás, ω a körfrekvenencia és μ a permeabilitás:

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (15)$$

μ_0 a vákuum permeabilitása ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am) és μ_r a relatív permeabilitás.

Az ellenállás növekedés a frekvencia függvényében:

$$\frac{R}{R_0} = 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{d}{4\delta} \right)^4 \quad \text{ha } d/\delta < 4 \quad (16)$$

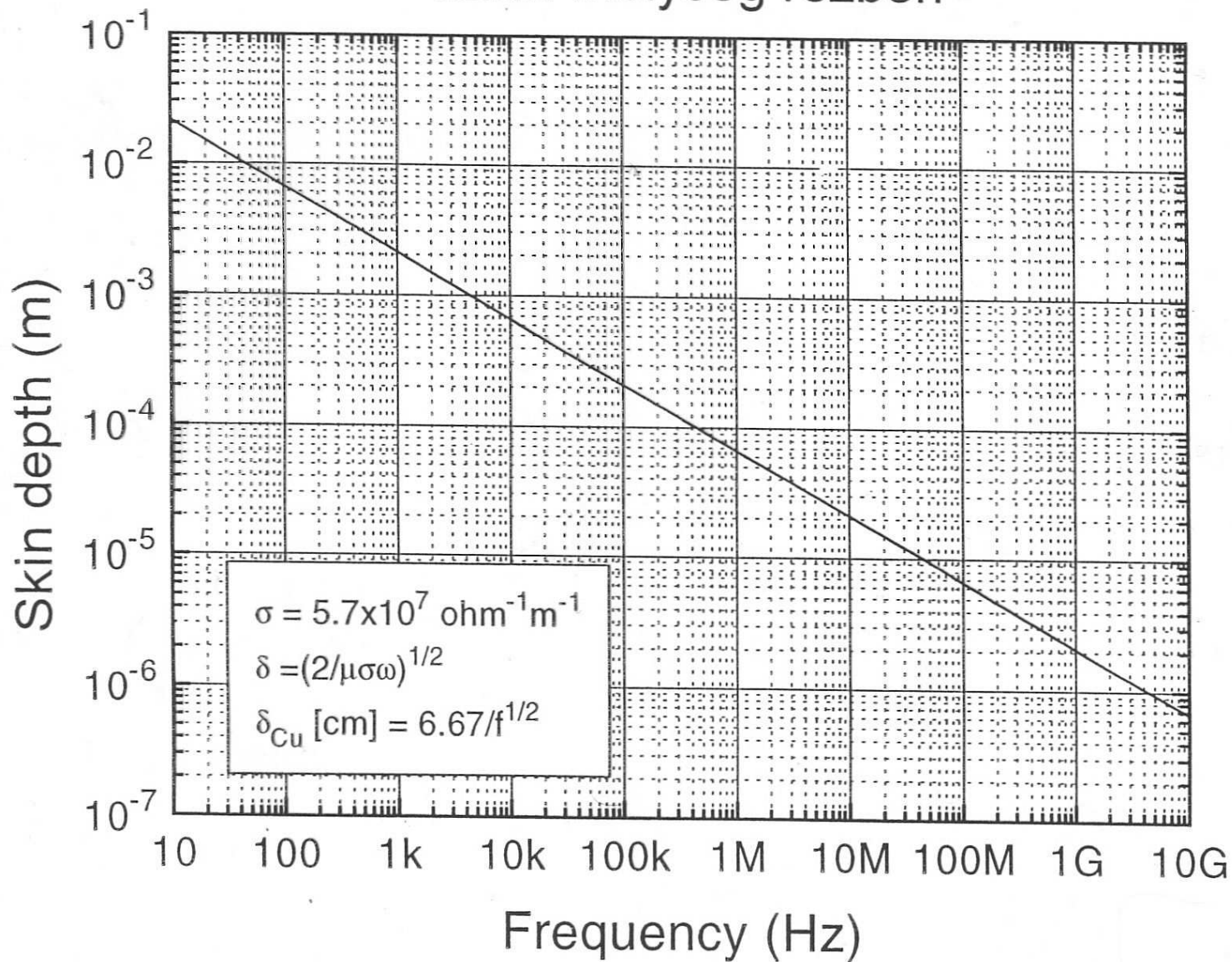
$$\frac{R}{R_0} = \frac{1}{4} + \frac{d}{4\delta} + \frac{3d}{64\delta} \quad \text{ha } d/\delta > 4 \quad (17)$$

Határfrekvenencia: $\delta = r$, azaz $2\delta = d$ (r – vezeték sugara, d - vezeték átmérője)

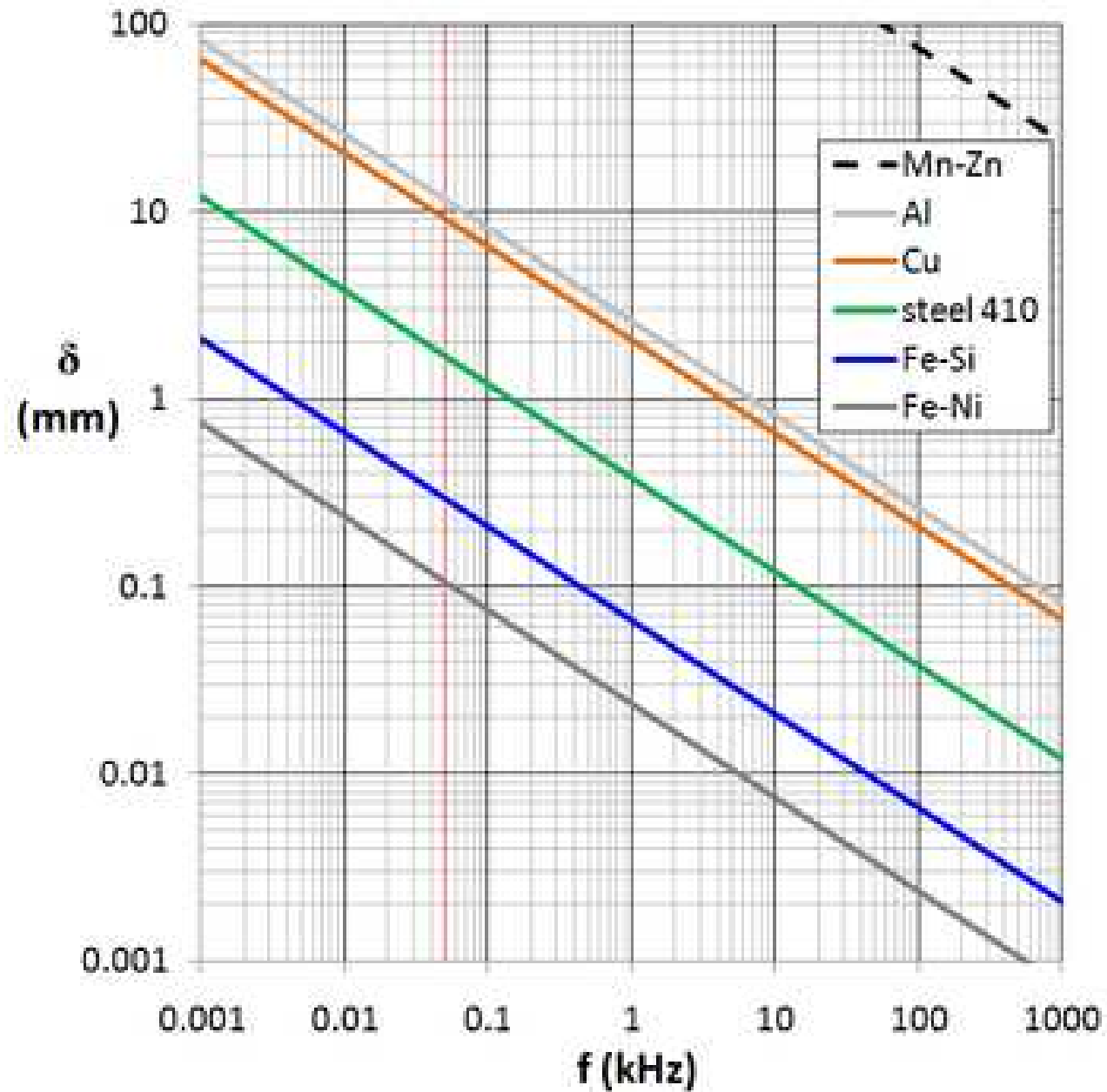
$$f_h = \frac{8\rho}{2\pi d^2 \mu} \quad (18)$$

Behatolási mélység

Szkin mélység rézben

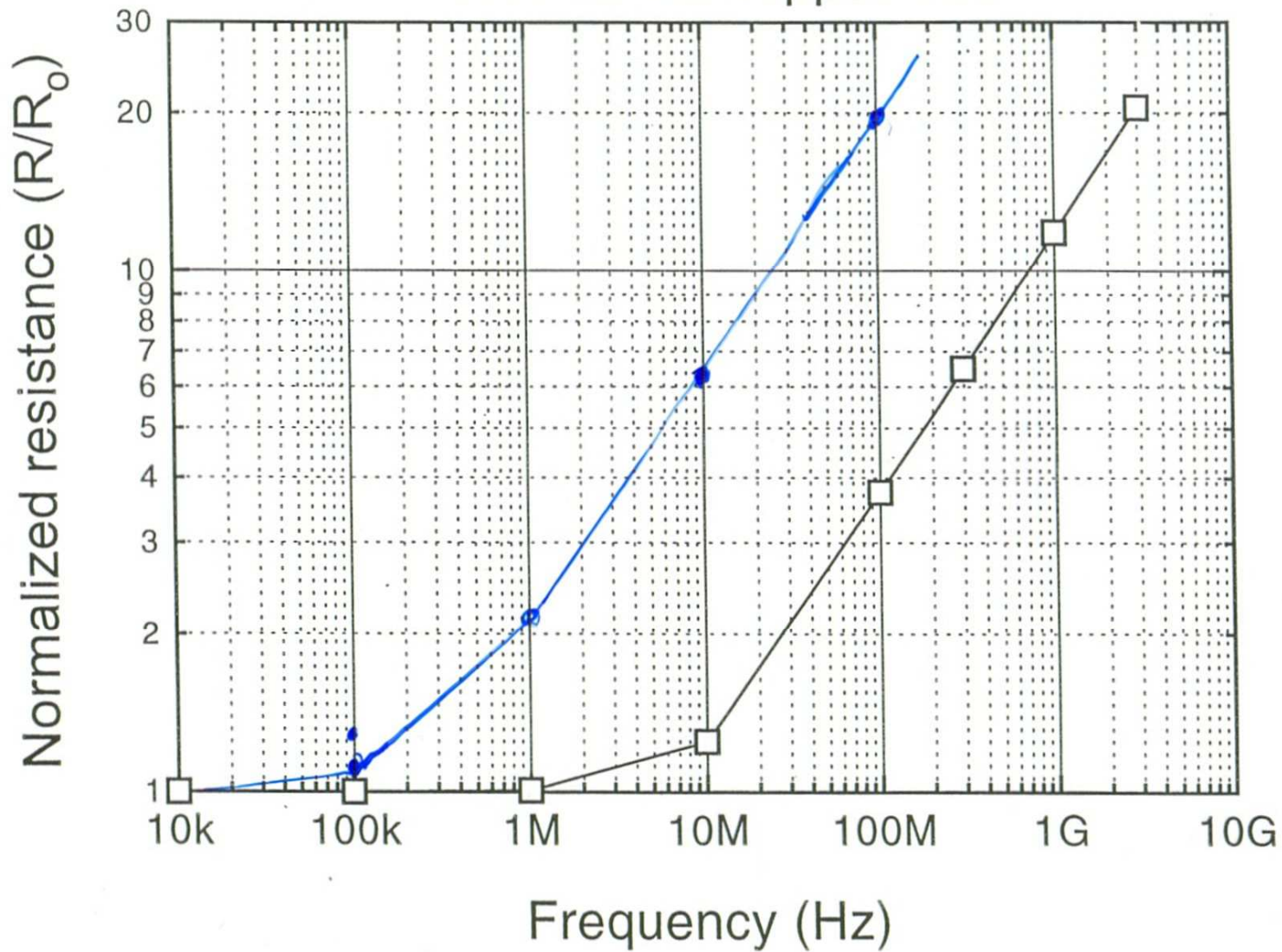


Behatolási mélység – a permeabilitás hatása



Ellenállás növekedés

0.5 and 0.1 mm dia copper wire



Az alkalmazást befolyásoló tényezők

Galvánelem

Ha két különböző fém kontaktusa folyadékkal érintkezik, galvánelem alakul ki a kontaktuspotenciál miatt – gyors korrózió.

Termofeszültség (Seebeck hatás)

Hurok két különböző fémből, a két kontaktus különböző hőmérsékleten – feszültség a kontaktusok között.

Hőmérőként, lángörként

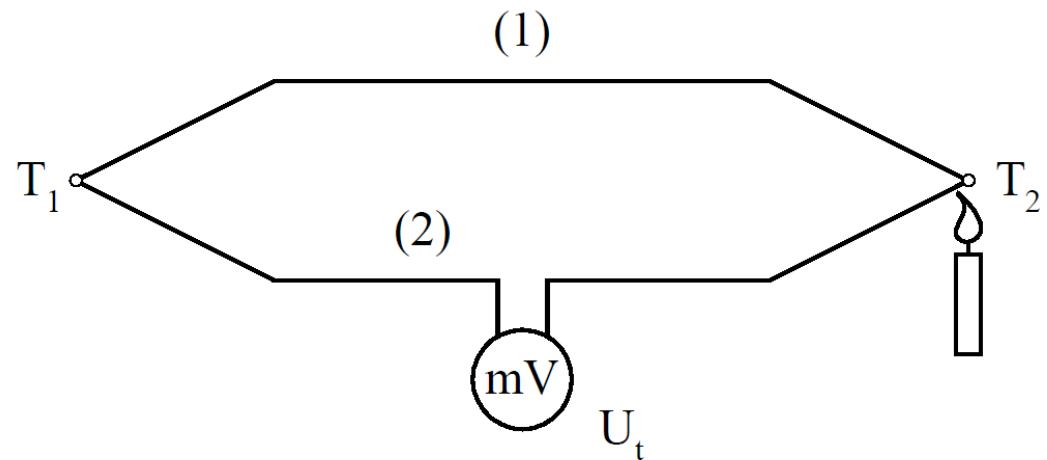
(gázkészülékek), árammérőként (nem egyen vagy szinuszos áram esetén) alkalmazzák.

Peltier elem

Ha két különböző fém kontaktusán áram folyik át, hő keletkezik vagy hő nyelődik el az áram irányától függően. Hűtésre használják.

Thomson jelenség

Ha a vezeték nem ugyanolyan hőmérsékletű a teljes hosszában, hő keletkezik vagy hő nyelődik el az áram irányától függően.



Vezeték fajták

Nyomtatott áramkörökben réz fóliából kialakított csíkok, IC-kben szintén fém csíkok (Al, Au vagy Cu). Huzalokat az áramköri egységek összeköttetéseinél, kivezetéseseinél, kábeleket a berendezések összekapcsolásánál, táplálásánál használnak.

Huzalok

Lehet csupasz és szigetelt.

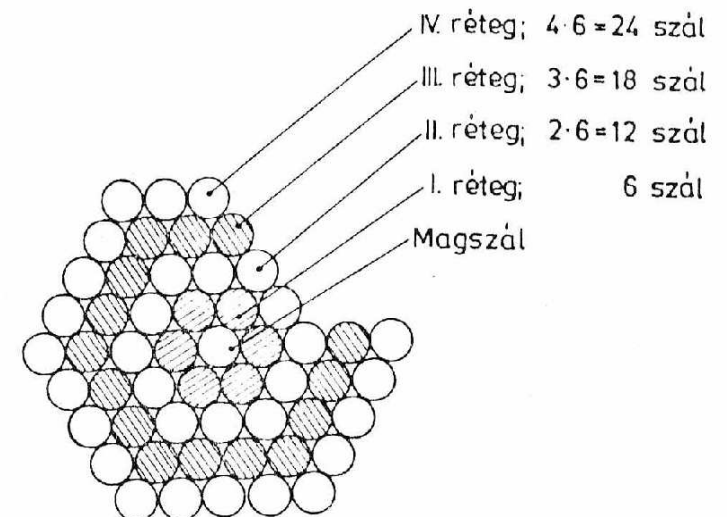
Csupasz: rézvezeték oxidálódik – ónozzák vagy ezüstözik (forrasztás).

Szigetelés: zománc (műanyag alapú), zománc és selyem, zománc és műanyag, műanyag, saját oxid.

Lotán huzal: a zománc szigetelés elpárolog forrasztás közben (nem kell megtisztítani).

Litze huzal: többeres zománc vagy selyem szigetelésű huzal. Cél a szkinhatás csökkentése. Néhány század, tized mm átmérőjű néhányszor tíz vagy száz ér. Sodrott vagy szabályos.

Sodort huzal - egy ér oda, egy ér vissza: zavar és áthallás csökkentés.

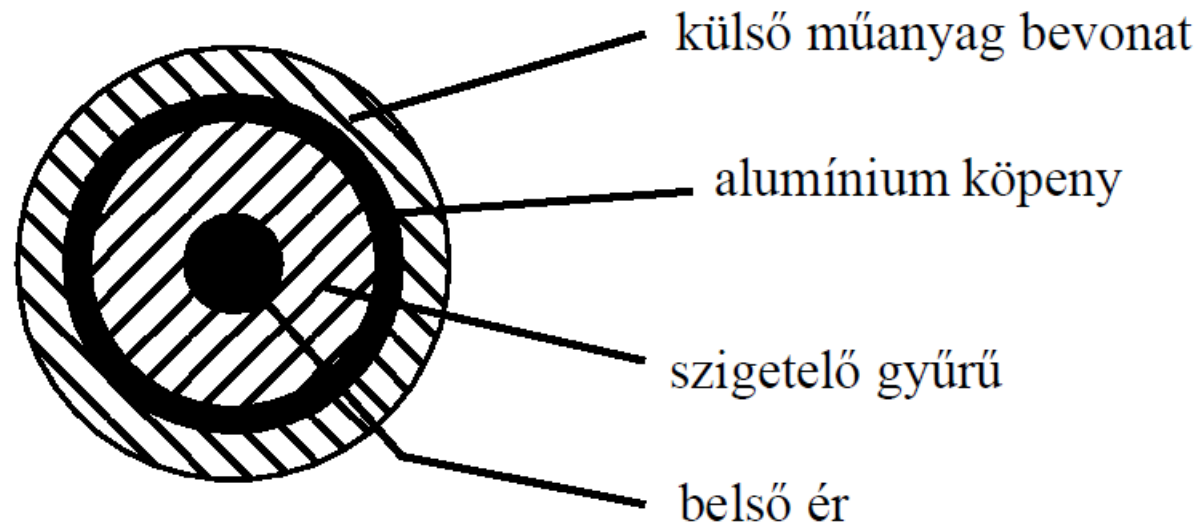


Kábelek

A kábelek kettős szigetelésűek, több erűek.

Árnyékolt kábel: fém- vagy fémezett műszálas szövetből készül a külső bevonat, amit leföldelnek a zavarvédetség végett.

Koaxiális kábel:



Vastagabb az árnyékolt kábeleknél, hogy kicsi legyen a belső és külső ér közötti kapacitás. Belső ér alumíniumból réz bevonattal (szkinhatás).

Vezetékek méretezése

A vezetékek anyaga és hossza többnyire adott, a keresztmetszetüket kell méretezni. A méretezés a megengedett disszipált teljesítmény (melegedés) (tekercsek) vagy a megengedett feszültségesés (energia-ellátás) alapján méretezik.

Távvezeték, hálózat esetén a megengedett feszültségesés 2-5%, világítási hálózatok esetén 2%.

Tekercsek esetén a megengedett áramsűrűség $2,5 \text{ A/mm}^2$ (hűtés nélkül).

Ellenőrző kérdések:

- 1., Fogalmazza meg az elektromos térerősség definícióját az (1) kifejezés alapján!
- 2., Milyen pályán repül és hogy változik az elektron sebessége elektromos térben, ha a tér irányában mozog?
- 3., Milyen pályán repül és hogy változik az elektron sebessége elektromos térben, ha a tér irányára merőlegesen mozog?
- 4., Milyen pályán repül és hogy változik az elektron sebessége elektromos térben, ha a tér irányához képest ferdeén mozog?
- 5., A töltéshordozók drift vagy termikus sebessége nagyobb-e?
- 6., Mit jelent az elektronok szóródása?
- 7., Mi a mozgékonyosság?
- 8., Mitől függ a fajlagos vezetőképesség?
- 9., Mitől függ a vezeték ellenállása?
- 10., Hány anyagcsoportot különböztetünk meg a fajlagos ellenállás alapján?
- 11., Hogy függ a fajlagos ellenállás a hőmérséklettől?
- 12., Milyen anyagokból készülnek a vezetékek?
- 13., Miért hátrányos a nagy ellenállás a vezetékek esetében?
- 14., Mi a szkinhatás?

- 15., Mi a behatolási mélység a szkinhatásnál?
- 16., Mi a határfrekvencia a szkinhatásnál?
- 17., Hogy változik a vezeték ellenállása a frekvencia függvényében a szkinhatás következtében?
- 18., Kisebb vagy nagyobb átmérőjű vezeték esetén nagyobb-e az ellenállás változás a frekvencia függvényében?
- 19., Kisebb vagy nagyobb fajlagos ellenállású anyagból készült vezeték esetén nagyobb-e az ellenállás változás a frekvencia függvényében?
- 20., Kisebb vagy nagyobb permeabilitású anyagból készült vezeték esetén nagyobb-e az ellenállás változás a frekvencia függvényében?
- 21., Mi a Thomson hatás?
- 22., Miért hátrányos galvánelem kialakulása a vezetékek összeköttetéseinél?
- 23., Mire használják a Seebeck hatást?
- 24., Mire használják a Peltier elemet?
- 25., Mivel vonják be gyakran a csupasz vezetékeket?
- 26., Mi a lotán huzal?
- 27., Mi a litze huzal?
- 27., Mi az előnye a sodort huzalnak?
- 28., Miért vastagabb a koaxiális kábel az árnyékolt kábeleknél?

29., A vezeték melyik méretét méretezik?

30., Hogy méretezik a világítási hálózathoz a vezetéket?

31., Hogy méretezik a tekercsek vezetékét?