

VILLAMOS MÉRÉSEK

oktatási segédlet

a főiskolai levelező villamosmérnök hallgatók részére

Szerkesztették: Váradiné Dr. Szarka Angéla

2002.

BEVEZETÉS

Mérés: Információszerzés - a megismerés eszköze. Fizikai mennyiség összehasonlítása a mértékegységgel (annak egységnyi mennyiségével). A mértékegységet gyakran szimbólumok helyettesítik.

A mérések célja, hogy a mérés tárgyáról (a fizikai mennyiségről, állapotról, folyamatról stb.) megbízható és leírható információt szerezzünk. Ezt az információt a mérés eredményének nevezzük.

Mértékegységek: SI (Système International d'Unités)

Alapegységek: m, kg, s, A, K, cd, mol

Kiegészítő egységek: rad, sr

Nem használható egységek: q, kp, kp/cm (at), mmHg, LE, cal

Önálló nevű származtatott egységek összefoglalva az 1. táblázatban találhatóak.

Az SI mértékegység-rendszer mellett korlátozás nélkül, illetve néhány szakterületre korlátozottan további mértékegységek is használhatók. Ezek közül a leggyakrabban és legáltalánosabban használt mértékegységek az alábbiak:

celsius-fok	$^{\circ}\text{C}$
liter	l
tonna	t
perc	min
óra	h
nap	d
hét	-
hónap	-
év	-
kilométer per óra	km/h
wattóra	Wh
ívmásodperc	-
ívperc	'
fok	$^{\circ}$
voltamper	VA (szakterületen)
var	var (szakterületen)
elektronvolt	eV (szakterületen)
bar	bar (szakterületen)

SI prefixumok:

Név	Jel	Érték
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
hekto	h	10^2
deka	da (dk)	10
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
piko	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

1. táblázat

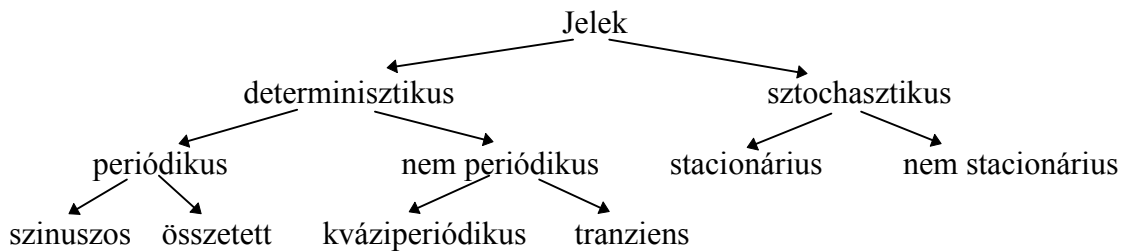
Mennyiség neve	Jele	Egység neve	Kifejezés más egységekkel
Frekvencia	f	hertz, Hz	$f = \frac{1}{T}; \left[\frac{1}{s} \right]$
Erő	F	newton, N	$F = m \cdot a; [\text{mkgs}^{-2}]$
Munka, energia, hőmennyiség	W	joule, J	$W = F \cdot s; [\text{Nm}] = [\text{Ws}]$
Teljesítmény	P	watt, W	$P = \frac{W}{t}; \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} \right]$
Vill. töltés	Q	coulomb, C	$Q = \int i dt; [\text{As}]$
Vill. feszültség	U	volt, V	$U = \frac{P}{I}; \left[\frac{\text{W}}{\text{A}} \right]$
Ellenállás	R	ohm, Ω	$R = \frac{U}{I}; \left[\frac{\text{V}}{\text{A}} \right]$
Vill vezetés	G	siemens, S	$G = \frac{1}{R}; \left[\frac{\text{A}}{\text{V}} \right]$
Kapacitás	C	farad, F	$C = \frac{Q}{U}; \left[\frac{\text{As}}{\text{V}} \right]$
Mágneses fluxus	Φ	weber, Wb	$U_i = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow \Phi = -\frac{1}{N} \int U dt; [\text{Vs}]$
Mágneses indukció	B	tesla, T	$B = \frac{\Phi}{A}; \left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \right] = \left[\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right]$
Induktivitás	L	henry, H	$L = \frac{N \cdot \Phi}{I}; \left[\frac{\text{Vs}}{\text{A}} \right]$

- Mérés:
1. közvetett
közvetlen
 2. analóg
digitális

Mérési módszer: Az az elv, amely szerint a mérést megtervezzük és elvégezzük.

Mérési eljárás: A módszer, az eszköz és a mérést végző személy együttes tevékenysége.

A mérés tárgya: Jelek



Determinisztikus jelek: Matematikai kifejezésekkel leírhatóak és matematikai összefüggésekkel kezelhetők.

Sztokasztikus jelek: Matematikai módszerekkel csak részlegesen kezelhetők.

Statisztikai jellemzőkkel vázolhatóak:

- várható érték - idő függvény
- négyzetes középérték - idő függvény
- variancia
- autokorreláció függvény
- autokovariancia függvény
- keresztkorreláció függvény
- keresztkovariancia függvény

Periódikus jelek: T periódusidő, Fourier sorba fejthetők (szinusz és koszinuszok összegeként felírhatóak)

Színusz jelek: $x(t) = A \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi)$

Összetett periódikus jelek:

$$\begin{aligned}
 x(t) &= A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cdot \cos n2\pi f_0 \cdot t + B_n \cdot \sin n2\pi f_0 t) = F_0 + \sum_{n=1}^{\infty} F_n \cdot \cos(n2\pi f_0 t + \Theta_n) = \\
 &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn2\pi f_0 t}
 \end{aligned}$$

Kváziperiódikus jelek:

$$x(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cdot \cos 2\pi f_n \cdot t + B_n \cdot \sin 2\pi f_n t)$$

ahol

$$\frac{f_n}{f_1} \neq \text{egész szám}$$

Tranziens jelek: Egyszeri, nem periodikus folyamatok, melyek véges energiájúak:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt < \infty$$

Részleges leírás: felfutási idő
 lefutási idő
 beállási idő
 túllövés, stb.

Teljes leírás: bizonyos matematikai feltételek mellett Fourier ill. Laplace transzformációval.

I. MÉRÉSI HIBA

Minden mérési eredmény kisebb nagyobb hibát tartalmaz, ezért a mérendő mennyiség valódi értékét teljes biztonsággal nem lehet meghatározni.

A mérés során természetesen arra kell törekedni, hogy a valódi érték legjobb becslését megtaláljuk. A legjobb becsléssel meghatározott értéket helyes értéknek nevezzük.

Ha a mérési hiba kicsi, akkor az esetleg elhanyagolható. Ha túl nagy a mérés hibája, akkor esetleg egy jobb mérési módszer alkalmazásával érhetjük el a kívánt pontosságot.

De mikor nagy és mikor elhanyagolható egy mérés hibája?

Egyáltalán hogyan becsülhető meg a mérési hiba nagysága?

Ahhoz, hogy egy mérés során a helyes értéket meg tudjuk határozni, és a hiba nagyságát jól becsülve a fenti kérdésekre válaszolni tudjunk, közelebbről meg kell ismerni a mérési hibák eredőit és jellemzőit.

A mérési hibák csoportosítása

A mérési hibákat jellegük szerint három csoportba sorolhatjuk:

- a, rendszeres hibák
- b, véletlen hibák
- c, durva hibák

Rendszeres hibáknak azokat a hibákat nevezzük, amelyek nagysága és előjele meghatározható, amelyekkel így a mérési eredményt pontosítani lehet.

A rendszeres hibák felismerése, a hibák nagyságának és előjelének megállapítása - a mérőberendezések rendszeres hitelesítése mellett - különös figyelmet és nagy szakértelmet igényel.

Véletlen hibáknak azokat a hibákat nevezzük, amelyek időben változó hatást mutatnak, ezért az általuk létrehozott mérési hiba nagysága is és előjele is (adott határok között) megváltozhat. Így a véletlen hibák nagyságát és előjelét nem ismerjük. Meg kell jegyezni, hogy a véletlen hibáknak is konkrét okai vannak, de ezeket az okokat nem ismerjük.

A véletlen hibákat egy olyan $\pm\sigma$ szélességű intervallummal lehet megadni, amelyben az általunk előírt valószínűséggel (a villamosmérnöki tudományokban legtöbbször 99,74%-os valószínűséggel) benne van a véletlen hibától mentes valódi érték. Ezt az intervallumot megbízhatósági intervallumnak, vagy konfidencia intervallumnak nevezik.

A konfidencia intervallum ismeretében a helyes értéket (x_H) a

$$x_H = x_i \pm \sigma$$

összefüggés segítségével határozhatjuk meg.

A konfidencia intervallumot méréssorozat segítségével határozhatjuk meg. Mérési sorozatról akkor beszélünk, amikor ugyanazt a mérendő mennyiséget ugyanazzal a műszerrel azonos külső körülmények között ugyanazon megfigyelő többször egymásután megméri.

A mérési eredmények a véletlen hibák miatt kis ingadozást mutatnak. A mérési sorozat és az így kapott mérési eredmények ismeretében a matematikai statisztika segítségével meghatározható a várható érték jó becslése, továbbá az a $\pm \sigma$ intervallum, amelybe az elvégzendő mérések eredményének legnagyobb része az általunk előírt valószínűséggel beleesik.

Véletlen hibának tekintjük azokat a rendszeres hibákat is, amelyek elvileg meghatározhatók ugyan, de a hiba meghatározása túlságosan bonyolult, költséges stb.

Ilyen esetben a hibahatárokat olyan $\pm \sigma$ intervallummal kell megadni, amely a rendszeres hibának várható legnagyobb értékét általunk előírt valószínűséggel tartalmazza.

Durva hibának erős környezeti hatás, vagy személyi tévedés következtében fellépő olyan hibákat nevezzük, amelyben a relatív hiba 50 - 100 %-ot is elérhet.

Például, tömegmérésnél figyelmetlenségből a 0,5 kg-os és 1 kg-os súlyokat össze cseréljük.

Mérési hibák helyett gyakran a mérés pontosságáról beszélünk. A pontosság a hiba ellentétes (inverz) fogalma. Azt mutatja meg, hogy a mért érték mennyire van közel a valódi értékhez. Minél nagyobb a hiba, annál kisebb a pontosság.

Hasonlóan gyakran használt fogalom a mérés bizonytalansága, ami nem más, mint a $\pm \sigma$ illetve $\pm \sigma'$ intervallum.

A rendszeres hibák elhanyagolása, figyelembe nem vétele a mérési eredményt torzítottá, a véletlen hibák figyelembe nem vétele pedig a mérési eredményt bizonytalanná teszik.

A gondos mérést az jellemzi, hogy a rendszeres hibákat (a lehetőség határain belül) meghatározzuk és korrigáljuk, így a mérési végeredményben csak a véletlen hibák miatti bizonytalanság szerepel.

Mérőműszerek mérési hibájának számítása, megadása:

A mindenkor mért érték x_i és a helyes érték x_h közötti különbség a méréseredmény abszolút hibája H_i .

$$H_i = x_i - x_h$$

Az abszolút hiba lehet pozitív vagy negatív. Pozitív hibáról beszélünk, ha a mért érték nagyobb mint a helyes érték.

Ha a mérési hibát a mérendő mennyiségre vonatkoztatjuk, akkor azt relatív - vagy viszonylagos hibának nevezzük.

A relatív hiba jele: h

$$h = \frac{H_i}{x_h}$$

vagy százalékban

$$h\% = \frac{H_i}{x_h} \cdot 100$$

Végkitérésre vonatkoztatott relatív hiba:

$$h_v = \frac{H_i}{x_v} \cdot 100\%$$

ahol x_v a végkitéréshez tartozó pontos érték.

Hibahatár:

$$h_h = |h_v(\alpha)|_{\max}$$

Osztálypontosság (O_p):

A hibahatár felfelé, szabványos értékre kerekített értéke.

Szabványos osztálypontosságok: 0.05; 0.1; 0.2; 0.5; 1; 1.5; 2.5; 5.

Osztálypontosság a műszer pontossági jellemzője, amellyel a gyártó a végkitérésre vonatkoztatott relatív hiba határértékét adja meg. A gyártó az osztálypontosságot úgy határozza meg, hogy a műszer hitelesítésekor mért hibahatárát felkerekíti egy szabványos értékre.

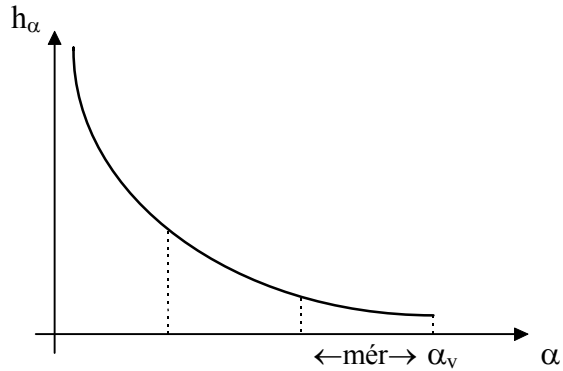
A műszerek abszolút hibája a skála teljes szélességén azonos:

$$H = O_p \cdot x_v / 100\%$$

Ezért a relatív hiba a mutató kitérésével csökken, vagyis annál pontosabb a mérés, minél nagyobb a mutató kitérése. (Mutatós műszerrel a skála felső harmadában érdemes mérni!)

A mérés relatív hibája a műszer mutató kitérésének függvényében:

$$h(\alpha) \cong O_p \frac{\alpha_v}{\alpha}$$



Analóg műszerek hitelesítése

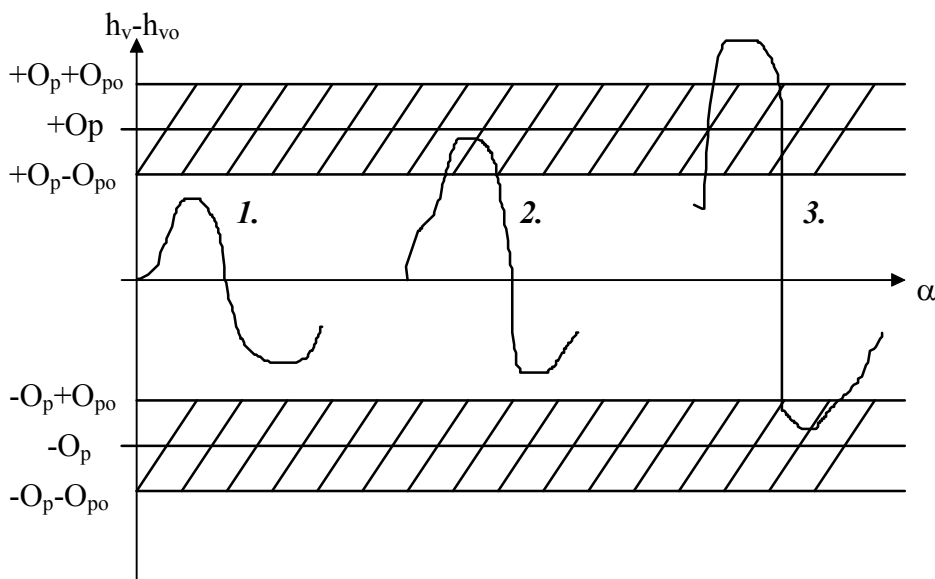
A hitelesítés minimum feltétele:

$$O_p \geq 3 O_{p0} \quad \text{ahol } O_{p0} \text{ a hitelesítő műszer osztálypontossága}$$

$$x_v = x_{v0} \quad \text{ahol } x_{v0} \text{ a hitelesítő műszer végkitérése}$$

A relatív hibák különbségéből készítjük a hibagörbét:

$$h_v - h_{v0} = \left[\frac{H}{x_v} - \frac{H_0}{x_{v0}} \right] \cdot 100\% = \left[\frac{x_i - x_H}{x_v} - \frac{x_{i0} - x_H}{x_v} \right] \cdot 100\% = \frac{x_i - x_{i0}}{x_v} \cdot 100\%$$



1. A műszer megfelel az osztálypontosságának.
2. Nem lehet eldönteni az adott hitelesítő műszerrel, hogy megfelel-e a mért műszer az osztálypontosságának. Egy kisebb osztályponosságú hitelesítő műszerrel meg kell ismételni a hitelesítést.
3. A műszer nem felel meg a gyárilag megadott osztálypontosságnak.

A csak pozitív (vagy negatív) előjelű hibák rendszeres hibára is utalhatnak.

Példák:

1. Egy voltmérő pontossági osztálya 1.5. A végkitérése 100V. Mérést végzünk és a mutató 45V-ot mutat.

a. Mekkora a mérés abszolút hibája?

$$H=100 \cdot 1.5/100=1.5V$$

b. Mekkora a mérés maximális relatív hibája?

$$h=1.5/(45 \pm 1.5) \cdot 100\% = \text{a nagyobbat figyelembe véve} = 3.22\%$$

c. Mekkora a mérés maximális végkitérésre vonatkoztatott relatív hibája? 1.5%

2. Két műszert hasonlítunk össze. A mérés eredményei:

	1. mérés	2. mérés	3. mérés	O_p	x_v
1. műszer	25.5V	46.1V	78.2V	0.5	100V
2. műszer	26.8V	47V	77.3V	1.5	100V

$$h_1 = (26.8 - 25.5)/100 \cdot 100\% = 1.3\%$$

$$h_2 = (47 - 46.1)/100 \cdot 100\% = 0.9\%$$

$$h_3 = (77.3 - 78.2)/100 \cdot 100\% = -0.9\%$$

A vizsgálandó műszerről ezzel az ellenőrző műszerrel nem állapítható meg, hogy megfelel-e a ráírt pontossági osztálynak. Egy pontosabb műszerrel kell a mérést megismételni.

II. Mérési sorozatok kiértékelése

Egy mérési sorozat álljon n darab olyan mérésből, amelyeket úgy végeztünk el, hogy minden általunk befolyásolható feltétel a mérések alatt változatlan maradt. A mért értékek halmaza ekkor rendre:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$$

Állítjuk, hogy a várható érték legjobb becslése a méréssorozat átlaga.

Ennek jele: $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} [x_1 + x_2 + \dots + x_n] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.5)$$

$\bar{x}$ átlag természetesen "kevesebb" információt tartalmaz, mintha az összes mért értéket felsoroltuk volna, mert az átlag megadással a méréssorozatot jellemző információ egy része elveszik.

Mindennek ellenére az átlag érték a méréssorozat legjobb, legvalószínűbb értékét adja feltételezve azt, hogy a sorozatban kapott méréseredmények rendszeres hibától mentesek. Ezt bizonyítja az átlagtól való eltérés lineáris értékére és négyzetére vonatkozó számítás is.

Vizsgáljuk meg az átlagtól való eltérést. A véletlen hibákból adódó értékváltozást úgy számítjuk ki, hogy az $\bar{x}$ átlagértéket kivonjuk a méréssorozat egyes értékeiből. Ezt az értékváltozást látszólagos hibának nevezzük.

A méréssorozat eredményeihez tartozó látszólagos hibák ekkor:

$$\delta_1 = x_1 - \bar{x}; \delta_2 = x_2 - \bar{x}; \delta_n = x_n - \bar{x}$$

$$\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n = \sum_{i=1}^n \delta_i = \sum_{i=1}^n x_i - n\bar{x} = 0$$

$$\text{ebből } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.5b)$$

ami éppen a mérés sorozat átlaga.

Az átlagtól való eltérést vizsgáljuk a "legkisebb négyzetek módszerével" is.

A méréssorozat eredményeiből vonjunk le egy tetszés szerinti A számot. Ekkor:

$$\delta_i^2 = (x_i - A)^2 = x_i^2 - 2Ax_i + A^2$$

Képezzük az átlagtól való eltérés négyzetösszegét és ezt jelöljük S-sel.

$$s = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2 = \sum_{i=1}^n \delta_i^2$$

$$s = \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2A \sum_{i=1}^n x_i + nA^2$$

Vizsgáljuk meg, hogy A milyen értéke mellett lesz s értéke minimális. Ekkor

$$\frac{ds}{dA} = 0 = -2 \sum_{i=1}^n x_i + 2nA$$

Rendezve az egyenletet

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x}$$

ami bizonyítja, hogy az $\bar{x}$ az a szám, amelynél különbségek négyzetösszege minimális.

E tulajdonság miatt az átlagot a legvalószínűbb értéknek is nevezik.

II.1. Véletlen hibák becslésének módszerei

Ismeretes, hogy a mérési sorozatnak az átlaggal történt megadásakor a sorozatot jellemző információ tartalom egy részét elveszítjük. Azért, hogy a mérések eredménye az átlagérték mellett a legjellemzőbb információkat is tartalmazza, az átlagot - mint ez általában szokásos, - a következőképpen adjuk meg:

$$\bar{x} \pm \delta \quad (2.7)$$

δ azt az információt tartalmazza amely megmutatja, hogy a mért adatok milyen mértékben szóródnak az átlag körül. A gyakorlatban különféle mérőszámokat alkalmaznak a szóródás jellemzésére. Ezeket fogjuk az alábbiakban ismertetni.

1. Terjedelem.

A terjedelem amit a mérés technika R betűvel jelöl a sorozat legnagyobb tagja ($x_{\max}$) és legkisebb tagja ($x_{\min}$) közötti távolság.

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

A gyakorlatban gyakran nem a terjedelmet, hanem az

$$L_1 = x_{\max} - \bar{x} \quad \text{illetve}$$

$$L_2 = \bar{x} - x_{\min}$$

értékeket szokás megadni.

L_1 és L_2 ismeretében az eredmény így írható:

$$\bar{x} \begin{matrix} + L_1 \\ - L_2 \end{matrix}$$

2. Valószínű hiba. (P)

Néha szokás a szóródást egy olyan P számmal jellemezni, amely által meghatározott $\bar{x} + P_1$ és $\bar{x} - P_2$ közötti intervallumba az összes mért érték fele esik. Ezt a P számot az irodalomban, - nem túl szerencsésen - valószínű hibának szokták nevezni.

Az

$$\bar{x} \pm P$$

mindig szűkebb intervallumot jellemez, mint az $\bar{x} \pm L$.

3. Átlagos abszolút eltérés

A hibák abszolút értékeinek összegéből a következő képlettel határozható meg:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i$$

ahol

$$\delta_i = x_i - \bar{x}$$

Az abszolút érték igen lényeges, mert e nélkül az egyenlet 0-val volna egyenlő.

4. Szórás, vagy standard eltérés.

A gyakorlati mérés technika ezt a mérőszámot használja leggyakrabban mérési eredmények szóródásának jellemzésére.

A szórás jele: s , definíciója:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2} \quad (2.13)$$

Mivel δ_i a négyzeten szerepel, az átlagtól való eltérés előjele eltűnik és a nagyobb eltérések nagyobb súllyal szerepelnek. Ugyanazon mérési sorozatra nézve, s általában nagyobb, mint E és P , de kisebb L -nél. Az eredménynek

$$\bar{x} \pm s \quad (2.14)$$

alakban történő megadása tehát nagyobb biztonságot ad, mint az $\bar{x} \pm P$, illetve $\bar{x} \pm E$ alakú megadás, de szűkebb értelmű mint az $\bar{x} \pm L$ alakú eredmény.

Elmondottak természetesen egy adott mérési sorozatra vonatkoznak.

A mérésselméletben gyakran használt a szórásnégyzet (variancia), kifejezés ami értelemszerűen az

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \quad (2.15)$$

Ha $n \gg 1$, ami a mérősorozatok nagy számát tekintve legtöbbször fennáll, a (2.13) összefüggés jó közelítéssel úgy írható fel, hogy

$$s = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2} \quad (2.16)$$

ami nem más mint az átlagtól vett eltérések négyzetének középértéke.

III. Áram és feszültség mérése

Árammérési tartományok

DC-elektrométerek	10 aA-1 A
DC DMM	100 pA-10 A
AC DMM	1 nA-10 A
Elektromechanikus árammérők	10 pA-100 A
Söntök, mérőtrafók	10 mA-100 kA

(Felsőhatár- disszipációs problémák)

Feszültségmérési tartományok

DC nanovoltmérők	10nV-1kV
DC DMM	100nV-1kV
AC DMM	1nV-1kV
Elektromechanikus	10nV-1MV
Osztók, mérőtrafók	1V-1MV

Áram és feszültségmérés tárgykörébe tartozó jellemzők:

- egyenfeszültség, egyenáram
- lineáris középérték
- csúcsérték
- effektívérték
- pillanatérték
- vektorkomponensek
- frekvenciaspektrum

Zavarforrások:

- külső villamos terek
- külső mágneses terek
- közös módusú jelek
- belső offset
- termikus zaj
- termofeszültség

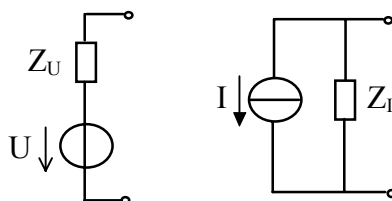
III.1. Mérőhálózat legfőbb egységei:

A zavaforrások figyelembevételére és hatásainak kiküszöbölésére az áram és feszültségmérő hálózatot gondosan kell tervezni:



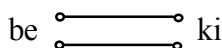
1. ábra

jelforrás modellezése:



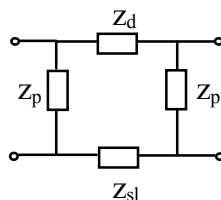
2. ábra

ideális mérővezeték modellezése:



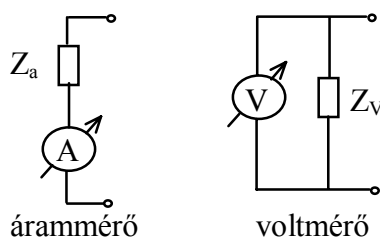
3. ábra

valóságos mérővezeték modellezése: frekvenciafüggő soros és párhuzamos impedanciák miatt a ki- és a bemeneten mért feszültségek és áramok különbözőek.



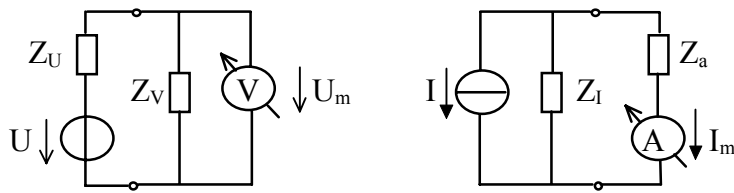
4. ábra

mérőműszer modellezése:



5. ábra

Ideális mérővezetékkel összekötve a forrást:



6. ábra

U_m = mérhető feszültség

$$U_m = U \cdot \frac{Z_v}{Z_u + Z_v}$$

$$I_m = I \cdot \frac{Z_l}{Z_l + Z_A}$$

Zavarérzékenység:

külső zavar behatolási helye:

1. mérővezeték
2. mérendő objektum

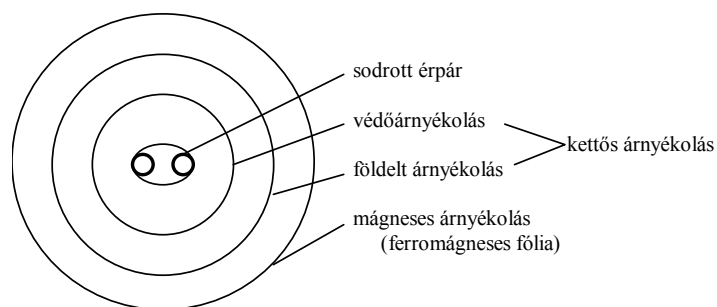
Külső zavar kiküszöbölése:

- a) mérőrendszer elektrosztatikus és mágneses árnyékolása
- b) zavarforrás elektrosztatikus és mágneses árnyékolása

Kapacitív, konduktív zavarok okozta áramok árnyékolt mérővezetékkel kiküszöbölhetők. Az áramok az árnyékoláson keresztül a földbe folynak. A frekvencia növekedésével csökken az árnyékolás hatása.

Sodrott érpár - mágneses terek zavaróhatására érzéketlen (indukált feszültségek kioltják egymást)

Árnyékolóképesség további javítása:



7. ábra

Gyakran a forrást is árnyékolni kell.

Pl: transzformátorok (mágneses zavarforrások) mágneses árnyékolás.

Kis jelszintek esetén: termofeszültség

Különböző anyagú és hőmérsékletű térnek találkozásánál. (Találkozási pontjában)

Védekezés: azonos anyagok alkalmazása. Termosztátok alkalmazása

III.2. Áram- és feszültségmérő műszerek

Elektromechanikus műszerek

Alapfogalmak

1. kitérítőnyomaték: A mérendő villamosmennyiséggel arányos.
2. visszatérítő nyomaték: A kitérítő nyomaték ellen hat, a mozgórész nyugalmi állapotát állítja vissza.
3. csillapító nyomaték: A kitérítő és visszatérítő nyomaték lengőrendszert hoz létre. Ezeket a lengéseket kell csillapítani.
 - csillapítatlan műszer többet leng
 - túlcillapított műszer, lassan kúszik fel

Állandó mágnesű (Depzer) műszer

Alapműszer: egyenáram mérése $1\mu\text{A} \dots 0,05\text{A}$ tartományban.

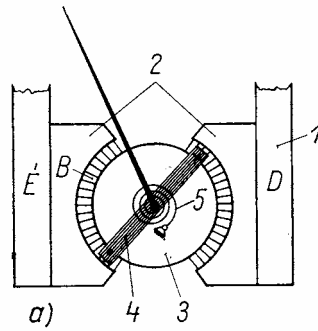
Működési elve az áram és a mágneses tér kölcsönhatásán alapul.

Lengőtekercs két oldalán két ellentétes csavarmanetű rugó (hőtágulás kiküszöbölése)

rugó: 1. visszatérítő nyomaték

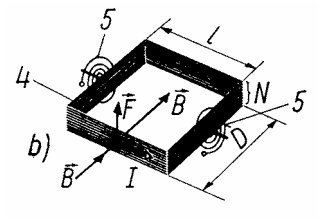
2. mérendő áram továbbítása a tekercsbe.

A kitérítő nyomatékot a rugó méri.



8. ábra

Ampermérő



9. ábra

$$M_k = F \cdot D$$

D: erőpár karja

$$F = B \cdot l \cdot N \cdot I$$

$$M_k = D \cdot B \cdot l \cdot N \cdot I = k \cdot I \text{ (Nm)} \gg \alpha \text{ szögelfordulás}$$

rugó nyomatéka: $M_r = c_r \cdot \alpha$

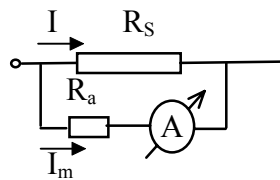
c_r = rugóállandó

$$M_k = M_r$$

$$k \cdot I = C_r \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{k}{C_r} \cdot I = K_I I$$

Árammérés tartománya söntöléssel terjeszthető ki, akár 1000 A-ig is.



10. ábra

$$R_s (I - I_m) = R_a \cdot I_m$$

$$R_s = \frac{I_m}{I - I_m} \cdot R_a$$

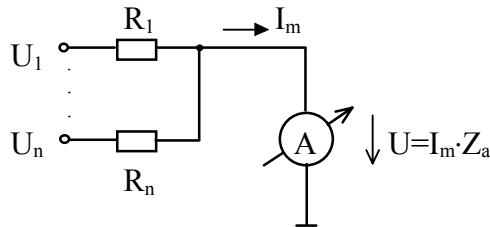
50 A-ig házbaépíthető sönt. Afölött söntszekrény (hőfejlődés miatt)

Voltmérő:

Lengőtekerccsel ellenállást kapcsolunk sorba.

$$I = \frac{U}{R}$$

$$\alpha = \frac{K_I}{R} \cdot U = K_U \cdot U$$



11. ábra

$$R_n = \frac{U_n}{I_m} - R_a$$

600 V-ig bővíthető méréshatár előtétellenállással.

Osztálypontosság $\geq 0,1 \%$

Lineáris skála, kis fogyasztás

Csillapítónyomaték:

Alumíniumkeretben keletkezett örvényáramok csillapítanak.

$$U_i = \frac{d\phi}{dt} = B \cdot l \cdot D \frac{d\alpha}{dt} \quad d\alpha \text{ keret szögelfordulása}$$

Keretben indukált feszültség, keret ellenállása R .

$$i = \frac{BlD}{R} \frac{d\alpha}{dt}$$

$$M_{cs} = F_{cs} \cdot D$$

$$F = BIN \cdot I$$

$$M_{cs} = k_{cs} \cdot \frac{d\alpha}{dt}$$

A csillapítónyomaték arányos a keret szögsebességével.

Galvanométer

Nagy érzékenyséű, különleges konstrukciójú Deper-műszer.

Érzékenység - mekkora áram hatására fordul el a mérőtekercs.

Kis áram hatására nagy elmozdulás - nagy érzékenység

10 pA -10 nV felbontóképesség.

Jellemzők:

- spirálrugó helyett torziós szál
- mutató helyett fénysugár
- alumínium keret nincs örvényáram helyett Lenz törvény szerinti tekercs elmozdulást akadályozó U_i .

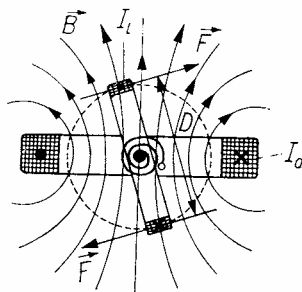
Elektrodinamikus műszer

Egyen - váltakozó (RMS) mennyiségek mérése 30 mA...100 A ill. 15...600 V

Depze-hez működési elvben hasonló.

A mágneses teret nem egy állandó mágnes, hanem egy állótekercs árama gerjeszti.

Szerelési okokból az állótekercs két részre van osztva



12. ábra

$$M = k B I_l$$

$$B = k' I_a$$

$$M_k = k \cdot k' \cdot I_l \cdot I_a = K \cdot I_l \cdot I_a$$

Légcsillapítás

Wattmérő:

$$M = \frac{K}{R_l} \cdot U \cdot I_a \cos\varphi$$

Váltakozómennyiségek mérése esetén:

$$i_l = \sqrt{2} I_l \sin \omega t$$

$$i_a = \sqrt{2} I_a \sin (\omega t - \varphi)$$

$$m = K i_l i_a = K \cdot 2 \cdot I_l I_a \sin \omega t \sin (\omega t - \varphi)$$

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

$$\sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi) = \frac{1}{2} [\cos(\omega t - \omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \omega t - \varphi)] = \frac{1}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)]$$

$$m = K \cdot I_l I_a \cos \varphi - K I_l I_a \cos(2\omega t - \varphi)$$

A lengőtekercs tehetetlenségi nyomatéka miatt a második rész nem hat.

$$M = K I_l I_a \cos \varphi$$

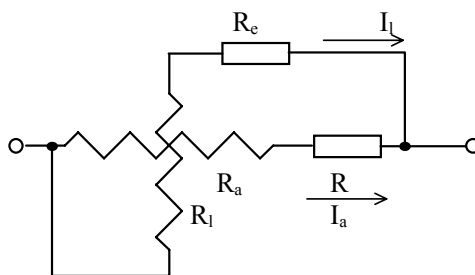
a mutató szögelfordulása az áram négyzetével arányos >> négyzetes skála.

Amennyiben az egyik tekercset feszültségtekercsként, a másik tekercset áramtekercsként használjuk:

$$\alpha = \frac{K}{C_l R_l} U \cdot I_a \cos \varphi = K_p \cdot P$$

a mutató kitérése a teljesítménnyel arányos >> skála lineáris.

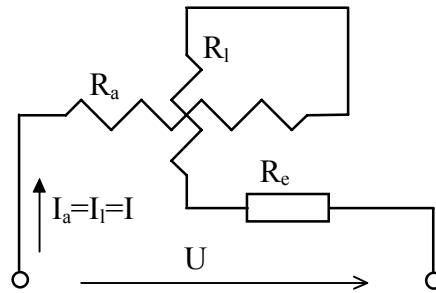
Árammérő



13. ábra

lengőtekercs árama max. 100 mA, állótekercs árama 5-10 A. Így csökkenthető a lengőtekercs súlya.

$$\alpha = K_l \cdot I_a^2$$

Voltmérő

14. ábra

$$I_a = I_l = I$$

$$\cos\varphi = 1$$

$$M = K I^2$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$M = \frac{K}{R^2} U^2 = K'' U^2$$

$$\alpha = K_u U^2$$

A skála alján nagyon pontatlan a leolvasás

Lágyvasas műszerek

Mágneses vonzáson vagy mágneses taszításon alapul a működésük.

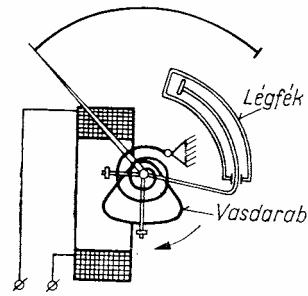
Lapos tekercsű műszer működése

Működése a mágneses vonzáson alapul.

A mérendő áramot egy tekercsre kapcsoljuk, amelynek az áram hatására kialakul a mágneses tere. Ez a tér vonzza a tengelyre erősített lágyvas darabkát, és elfordul.

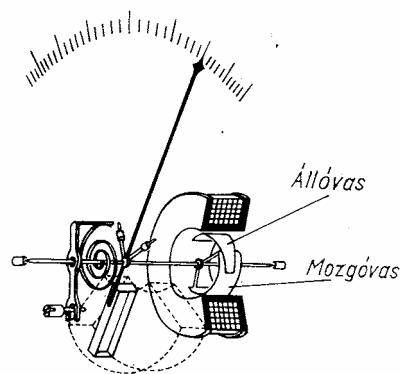
Visszatérítő nyomaték: rugó

csillapítónyomaték: légkamrában mozgó dugó



15. ábra

Kerek tekercses műszer
taszítás elvén működik



16. ábra

Állóvas a csévetesthez rögzítve, mozgóvas a tengelyhez.

A mozgóvas elmozdulása közben végzett elemi munka:

$$dW = F \, dx \quad dx = r \, d\alpha$$

$$F = \frac{dW}{r \cdot d\alpha}$$

Nyomaték: $M = F \cdot r = \frac{dW}{d\alpha}$

A tekercs energiája: $W = \frac{1}{2} \cdot LI^2$

$$M = \frac{1}{2} I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha} \quad \text{lágyvasas műszerek általános nyomatékegyenlete}$$

$$\frac{dL}{d\alpha} = K = \text{á ll.} \quad \text{megfelelő vas alak mellett.}$$

$M = K' \cdot I^2$ - négyzetes skála
egyen-és váltakozó (RMS) mennyiségek mérése

Digitális multiméterek

Az alaplíster: DVM

pontosság
sebesség (beállási idő)
felbontás
érzékenység
mintavételési idő

DVM hibája

Katalógusadat: h_{rdg} mért értékre vonatkoztatott relatív hiba

$$h'_{rdg} = h_{fs} \cdot \frac{x_{fs}}{x_{rdg}} \Leftarrow h_{fs} = \frac{H_x}{x_{fs}} \quad \text{mérés határára vonatkozó hiba}$$

$$h_{sz} = \frac{D}{N_k} \cdot 100\% \quad \text{számlálási hiba}$$

N_k - teljes szám értéke (kijelzés)

D - bizonytalan jegyek száma

Pl: $U_m = U_{rdg} = 5,215\text{mV}$
 $U_{fs} = 10\mu\text{V}$
 $h_{rdg} = \pm 0,015\%$
 $h_{fs} = \pm 0,02\%$ katalógus
 $D = 1$

mérés határára vonatkoztatva:

$$h'_{rdg} = h_{fs} \frac{U_{fs}}{U_{rdg}} = \pm 0,02\% \cdot \frac{10\mu\text{V}}{5,215\text{mV}} = 0,038\%$$

számlálási:

$$h_{sz} = \frac{1}{5215} \cdot 100\% = \pm 0,019\%$$

összevont relatív hiba:

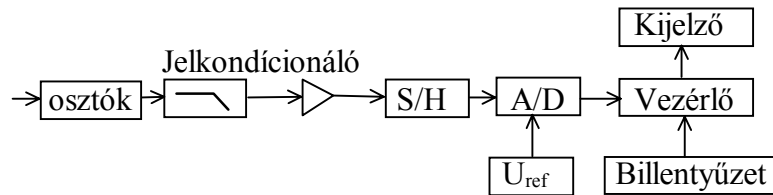
$$h = \pm |0,015 + 0,038 + 0,019| \% = 0,072\%$$

Abszolút hiba:

$$H = \frac{h}{100\%} \cdot U_{rdg} = \frac{0,072}{100} \cdot 5,215 \approx 4\mu\text{V}$$

DMM

A/D átalakítóval az analóg feszültséget digitális formába alakítják

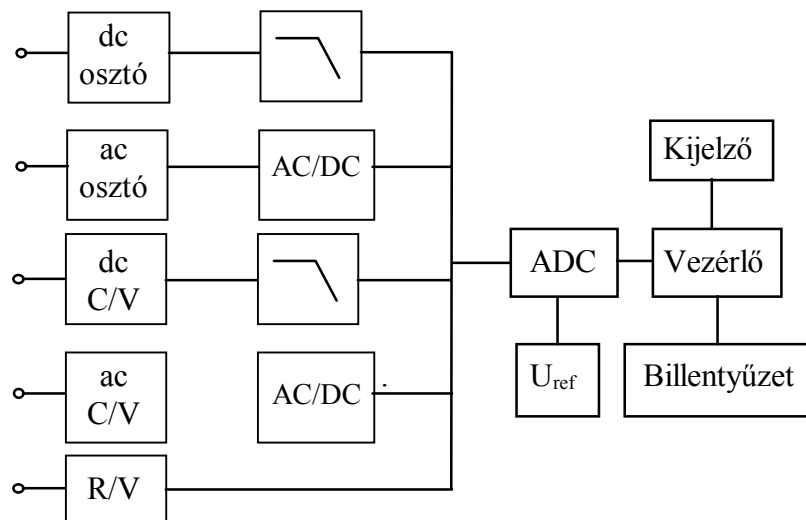


17. ábra

Muktiméter = digitális voltmérő + jelkondicionálók + A/D

Mit mérnek a DMM-ek?

1. Egyenfeszültség (DV)
2. Váltakozófesz. (AV)
3. Egyenáram (DC)
4. Vált.áram (AC)
5. Ellenállás (R)



18. ábra

IV. Teljesítmény és energia mérése

Egyenáramú teljesítmény: $P = U \cdot I$

Színuszos jelek esetén:

$$\text{látszólagos teljesítmény} \quad S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\text{hatásos teljesítmény} \quad P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$\text{meddő teljesítmény} \quad Q = U \cdot I \sin\varphi$$

pillanatérték= $p(t) = u(t) \cdot i(t)$

φ = u és i közötti fázisszög

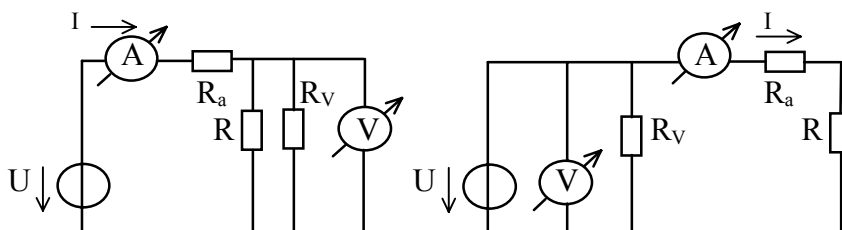
$\cos \varphi$ = teljesítménytényező

$$\text{Többfázisú teljesítmény} \quad P = \sum_{k=1}^n P_k$$

k= fázisok száma

IV.1. DC teljesítmény mérése

Volt- és ampermérővel



19. ábra

$$P = U \cdot I - \frac{U^2}{R_v}$$

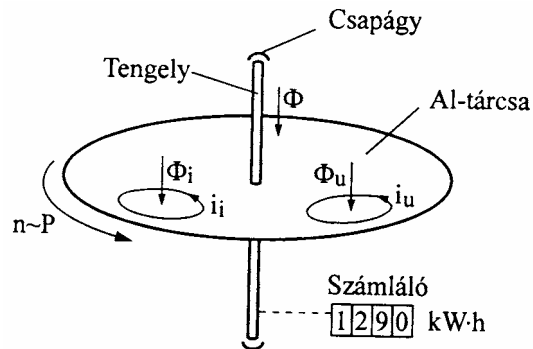
$$R_v \gg R$$

$$P = U \cdot I - I^2 \cdot R_a$$

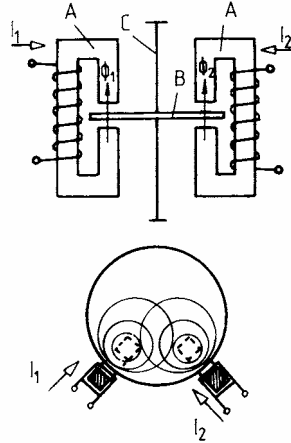
$$R_a \ll R$$

IV.3. Energia mérése

Indukciós fogyasztásmérő



28. ábra



29. ábra

Az egyik tekercs az áramtekercs a fogyasztóval sorbakapcsolva, a másik tekercs a feszültségtekercs, a fogyasztóval párhuzamosan kapcsolva. I_1 - a hálózat árama, I_2 - a feszültséggel arányos áram.

Visszatérítő nyomaték: fékmágnes $M_f = K \cdot n$, ahol n a fordulatszám.

$$M_k = c \cdot I_1 \cdot I_2 \sin \beta$$

$$P_h = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$M_k = k \cdot P_h$$

Egyensúlyi helyzet:

$$M_k = M_f$$

$$k P_h = K n$$

$$n = \text{állandó} \cdot P$$

A tárcsa egységnyi idő alatt megtett fordulatszáma a villamos teljesítménnyel arányos. Fordulatszámológó beépítve.

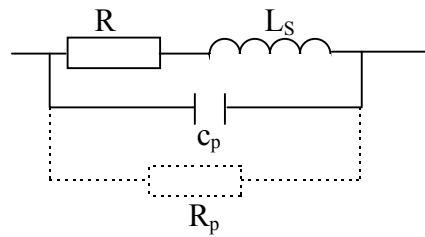
V. Impedanciamérés

$$\bar{Z} = \frac{\bar{U}}{\bar{I}}$$

Ideális ohmos ellenállás: $\bar{Z} = R$

A valóságos ellenállás frekvenciafüggő. Ha váltakozóáramon használjuk, figyelembe kell venni, hogy van induktivitása és kapacitása.

Igy a helyettesítő kép:



31. ábra

L_S - ellenállástekercs induktivitása

C_p - szórt kapacitás

R_p - az ellenállás sarkai között fellépő szivárgási ellenállás

Egyéb járulékos hibák:

skineffektus - a frekvencia növekedésével a hasznos keresztmetszet csökken, ezért az ellenállás nő. A hatás 1 MHz felett jelentkezik fokozottan. Kiküszöbölés: többes hurokellenállás

hőhatás - környezeti,

- átfolyó áram okozta.

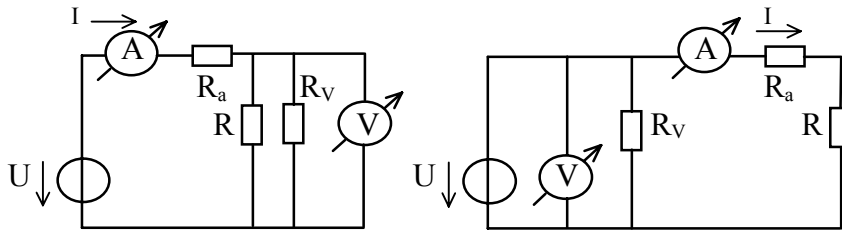
Kiküszöbölés: termosztát, hűtés.

termofeszültség - az ellenállás kivezetése és az ellenálláshuzal érintkezési pontjában keletkező feszültség.

Kiküszöbölés: az egymáshoz csatlakozó anyagok helyes megválasztása.

V.1. Analóg ellenállásmérés

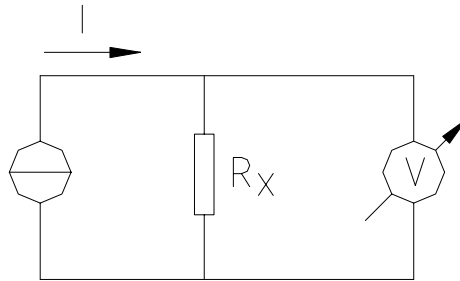
Volt-, ampermérővel



32. ábra

Ellenállásmérés közvetlenmutatós ohmmérővel

1. Állandó áramot hajtunk és mérjük a feszültséget



33. ábra

$$U_x = I \cdot R_X$$

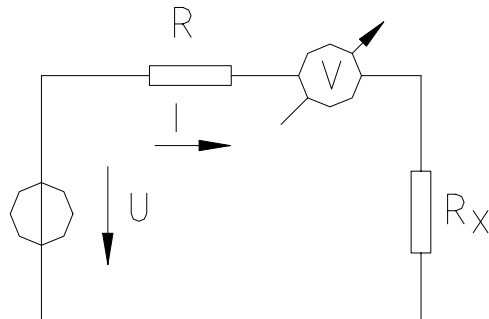
$I = \text{állandó}$

U_x arányos R_X - szel.

Digitális műszerekben alkalmazzák.

2. Feszültséggenerátoros

feszültséggenerátor - szárazelem (pl. Deprez műszer)



34. ábra Soros ohmmérő

A soros ohmmérő árama:

$$I = \frac{U}{R + R_X} = \frac{U}{R} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_X}{R}}$$

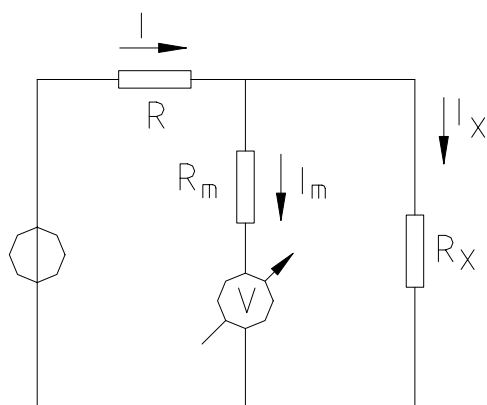
A műszer kitérése: (A Deprez műszer skálaegyenlete szerint) : $\alpha = k \cdot I = k \cdot \frac{U}{R} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_X}{R}}$

hiperbólikus skála

$R_X = 0$ esetén $\alpha_{\max}$

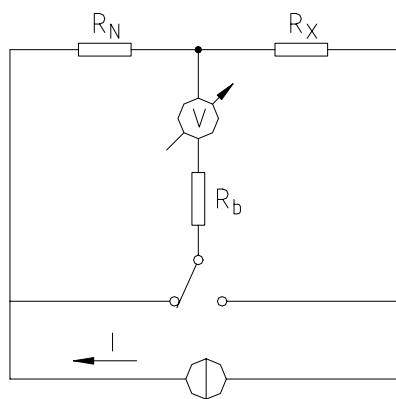
$R_X = \infty$ esetén $\alpha = 0$

A skála közepén a legpontosabb.



35. ábra Párhuzamos ohmmérő

Ellenállásmérés feszültségösszehasonlítással



36. ábra

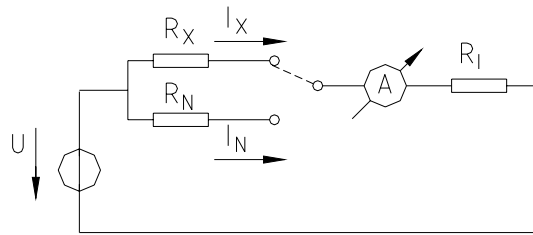
$$U_N = I \cdot R_N$$

$$R_X = R_N \cdot (U_X / U_N)$$

$$U_X = I \cdot R_X$$

Digitális multiméterekben ellenállásmérésre használják.

Ellenállásmérés áramösszehasonlítással



37. ábra

$$U = I_X \cdot R_X$$

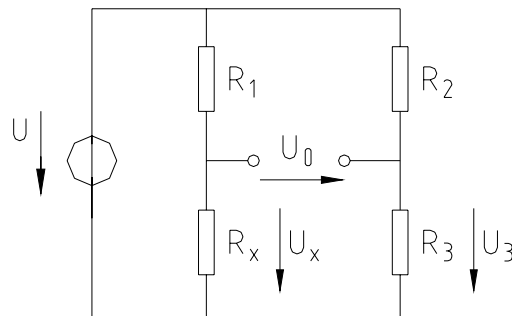
$$U = I_N \cdot R_N$$

$$R_X = R_N \cdot (I_N / I_X)$$

V.2. Nullmódszer

Wheatstone-híd

Feszültségösszehasonlítás módszere.



38. ábra

Ha $U_X = U_3$, akkor $U_0 = 0$

Kiegyenlítés feltétele:

$$U_0 = \left(\frac{R_X}{R_1 + R_X} - \frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) = 0$$

$$R_X \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$$

$$R_X = R_1 \cdot \frac{R_3}{R_2}$$

U_0 mérése nagyérzékenységű nullindikátorral történik.

Egyenáramú hidak pontossága függ:

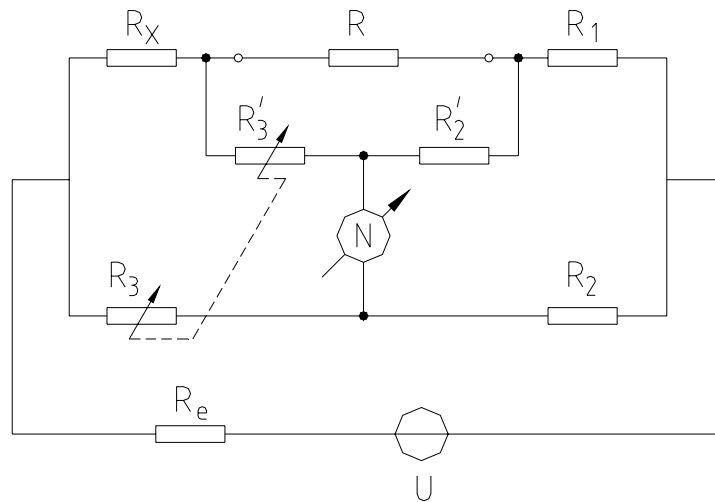
- nullindikátor érzékenysége
- kiegyenlítő elemek pontossága
- hőhatások, termofeszültségek

- kis ellenállások esetén a bekötő vezetékek ellenállása
- nagy ellenállások esetén aszivárgóáramok

Általában $h < 0.5\%$.

Thomson híd

10 Ω alatti mérések esetén a bekötő vezetékek jelentős mérési hibákat okozhatnak. Ezt küszöböli ki a belső hídval kiegészített Thomson-híd.



39. ábra

R_e - áramkorlátozó ellenállás, R a hozzávezetések ellenállása.

$$(R_X + R_3')R_2 = (R_1 + R_2')R_3$$

$$R_X R_2 + R_2 R_3' = R_1 R_3 + R_2' R_3$$

$$R_X R_2 = R_1 R_3 \quad \& \quad R_2 R_3' = R_3 R_2'$$

Vagyis a fő- és a mellék-híd egyidejű kiegyenlítése szükséges.