ÚTMUTATÓ A TANTÁRGY TANULÁSÁHOZ

A méréstechnika elméletigényes gyakorlati, szakmai alapozó tantárgy. A távoktatás anyaga a Méréstechnika főiskolai jegyzetre (KKMF-1161) épül. A tananyag elsajátítását az Útmutatóban található kiegészítések, ellenőrző kérdések és példák segítik. Az elsajátítandó tananyag konzultációkra bontott ütemezését szintén az Útmutatóban, Részletes tanulási program címen találják. Ennek és a jegyzetnek figyelmes tanulmányozása után tapasztalható, hogy a tananyag feldolgozásának üteme eltér a jegyzet sorrendjétől. Előfordul, hogy az egyes részeket a jegyzetben csak rövidebb - hosszabb lapozás után találják meg. Egyes fejezetek könnyebb elsajátítását videokazettán levő film segíti.

Célszerű a tanulást minél előbb elkezdeni, és folyamatosan haladni a tananyag elsajátításával a magadott ütemezés alapján. A tananyagot nem elég megérteni, meg kell tanulni. A műszaki tárgyakra általában jellemző, hogy nem lehet egyszerre sokat megtanulni belőle. Igaz ez a méréstechnikára is, így azt javasoljuk, hogy apróbb lépésekben, folyamatosan tanulva haladjanak előre.

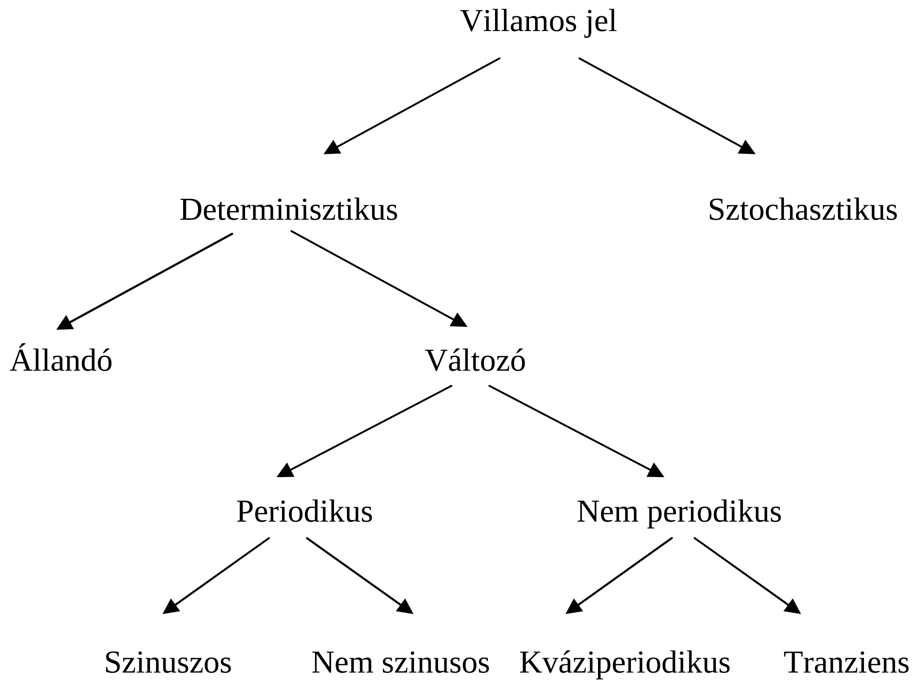
Ajánlott tanulási módszer:

- Tekintse át a kijelölt tananyagot a főiskolai jegyzet alapján!
- Olvassa át az útmutató vonatkozó kiegészítéseit!
- Készítsen önmaga számára jegyzetet, melyben vázlatszerűen rögzíti a tananyagot, lerajzolja a szükséges ábrákat!
- Ellenőrizze, hogy a tananyag feldolgozása során a témakörhöz megadott kulcsszavak mindegyikével találkozott-e, ismeri-e azok jelentését, tudja-e használni a megismert fogalmakat!
- Az egyes ábrákat, blokkvázlatokat, kapcsolásokat próbálja meg önállóan, emlékezetből lerajzolni.
- Tekintse át a témakörhöz tartozó példákat!
- Oldja meg a példákat önállóan!
- Olvassa el az ellenőrző kérdéseket, s próbáljon válaszolni azokra írásban!
- Ellenőrizze megoldásai, válaszai helyességét!

TARTALMI KIEMELÉSEK ÉS KIEGÉSZÍTÉSE PÉLDÁK AZ EGYES FEJEZETEKHEZ

Kiegészítések

Jelek felosztása



Alapmérték

Az alapegység realizált formája. Az alapmérték tehát olyan különös gonddal készített, megfelelően őrzött, állandó és ismert hibájú minta, amely az alapegységet maradandóan megtestesíti vagy képes ismételten létrehozni azt. A nemzetközi alapmértékeket Franciaországban Sévres-ben található Nemzetközi Súly- és Mérésügyi Hivatalban őrzik. Például a **méter** alapmértéke az 1799-ben készült X keresztmetszetű, platina-irídium agyagú,102 cm hosszú rúdon lévő két karcolás közötti távolság. Ennek mérését 0°C hőmérsékleten, normál légköri nyomáson kell végezni, úgy, hogy a mérőlécet alátámasztják két, legalább 1 cm átmérőjű görgővel, melyek a rúdhoz képest szimmetrikusan, vízszintes síkban, egymástól 571 mm távol helyezkedik el.

Hiba

Mérés célja a valódi érték legjobb becslésének, a helyes értéknek a meghatározása. Mivel a mérési eredmények hibásak, ezeknek csak a legjobb közelítését tudjuk megadni. A mérés hibája (H) a mért érték (x_m) és a helyes érték (x_h) különbsége:

$H = x_m - x_h$ Az így megadott mérési hiba az **abszolút** hiba, előjeles mennyiség.

$h = \dfrac{H}{x_h}$ Ha az abszolút hibát elosztjuk a mérés helyes értékével a **relatív** hibát kapjuk

Hibák csoportosítása:

- Durva hiba

Általában a mérést végző személy hibája, tévedése. Rendszerint közvetlenül a mérés során vagy a kiértékeléskor a hiba felfedezhető és megszüntethető. (Pl. több skála esetén rossz skáláról történő leolvasás.) Tehát ez az a hiba amit nem szabad elkövetni, de ha már elkövettük, gyorsan rá kell jönni a hiba okára és korrigálni kell.

- Rendszeres hiba

Nagyságuk és előjelük meghatározható, így korrigálni tudunk vele. Ezek felismerése és megállapítása nagy tapasztalatot és szakértelmet igényel. Pl. mérési módszerből adódó hiba. A negatív előjellel vett hiba a korrekció. A rendszeres hibát általában abszolút hibaként adjuk meg. $K = -H$ ahol K a korrekció.

Így $x_h = x_m - H = x_m + K$

Az így kapott eredmény rendszeres hibától mentes.

- Véletlen hiba

Azok a hibák, amelyeknek nagysága és előjele ugyanolyan körülmények között változik, és értékük nem határozható meg. Egy valószínűségi intervallummal adhatjuk meg, ami azt jelenti, hogy ebben az intervallumba az általunk megadott valószínűséggel beleesik a valódi érték. Ezt az intervallumot megbízhatósági intervallumnak nevezzük, és fél szélességét ε-nal jelöljük. Így a mérésünk eredménye:

$$x_h = x_m + K \pm \varepsilon.$$

Az ε a véletlen hiba nagyságára jellemző. Általában ezt a relatív értékével (h) szokták megadni.

$$h = \frac{e}{x_h} \cdot 100\% .$$

Így a mérésünk helyes értéke

$$x_h = x_m + K \pm h$$

A bizonytalanság meghatározása mérési sorozat elvégzésével lehetséges. Mérési sorozaton azt értjük, amikor ugyanazt a mérendő mennyiséget ugyanazzal a mérőeszközzel, változatlan körülmények között többször egymás után megmérjük. A mért eredmények a véletlen hibák miatt nem lesznek azonosak. A valódi értéket legjobban a mért eredmények átlaga közelit meg. Ha n mérést végeztünk és x_i az egyes mérések eredménye (i=1-től n-ig), akkor az átlag:

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

A szórás ad információt arról, hogy a mért adataink mennyire térnek el az átlagtól. Általában a szórás meghatározásánál az átlagtól való eltérés négyzetével számolunk, mert így a kisebb eltérések kisebb, a nagyobb eltérések nagyobb súllyal szerepelnek

$$s = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}$$

Gyakran az s kifejezés négyzetével dolgozunk, és azt szórásnégyzetnek (varienciának) nevezzük. A helyes értéket a szórás felhasználásával a következőképpen adhatjuk meg.

$$x_h = \overline{x} \pm t \cdot s$$

ahol **t** egész szám. A **t**x**s** szorzat nem más, mint a korábban használt ε intervallum szélessége. A **t** egy valószínűségi intervallumot határoz meg. Normális eloszlás esetén

t	A mérési eredmények ilyen valószí-nűséggel beleesnek az intervallumba
1	68,3%
2	95,5%
3	99,7%

Számított eredmények hibái:

Számított eredmények esetén is fontos, hogy az eredményt milyen hibával tudjuk meghatározni. A számított eredmény hibája összefügg az egyes komponensek hibájával. A hibaszámítást kétféle képen végezhetjük:

- *lineáris összegzéssel* - a lehetséges legnagyobb hibát adja eredményül. A hibák abszolút értékeit adjuk össze. Ez pesszimista hibaszámítás.
- *négyzetes összegzéssel* - Ebben az esetben a valószínű véletlen hibát kapjuk. Az egyes hibatényezők négyzetösszegéből vont négyzetgyök számítással kapjuk az eredményt

Bármelyik összegzési módszert választjuk, az egyes tényezőket az eredmény kialakításában játszott súlyuknak megfelelően kell figyelembe venni.
Ha a többváltozós függvényünk $z=f(x_1, x_2, x_3, \ldots\ldots x_n)$, ahol az $x_1, x_2, x_3, \ldots\ldots x_n$ az egymástól független változók és ezek relatív hibái $h_1, h_2, h_3, \ldots\ldots h_n$, akkor z hibája

Lináris összegzéssel: $h_z = |k_1 \cdot h_1| + |k_2 \cdot h_2| + |k_3 \cdot h_3| + \ldots + |k_n \cdot h_n|$

Négyzetes összegzéssel $h_z = \sqrt{(k_1 \cdot h_1)^2 + (k_2 \cdot h_2)^2 + (k_3 \cdot h_3)^2 + \ldots + (k_n \cdot h_n)^2}$

ahol $k_1, k_2, k_3, \ldots\ldots k_n$ az úgynevezett súlyfaktor, amely értéke attól függ, hogy a hozzátartozó tényező milyen súllyal vesz részt az eredmény kialakításában.

Általánosságban tehát a hiba meghatározásakor először a matematikai összefüggést kell felismerni, utána a súlytényezőket meghatározni, majd az eredő hibát kiszámítani.

Pl: Összeadás és kivonás esetén

$$k_1 = \frac{x}{x \pm y} \quad \text{és} \quad k_2 = \frac{y}{x \pm y}$$

Szorzás és osztás estén $k_1 = k_2 = 1$.
Hatványozásnál k=n , ahol n a hatványkitevő.

Kettőnél több változós vagy bonyolultabb függvény esetén teljes differenciállal adjuk meg a súlyfaktorokat.

z megváltozása (az egyszerűség kedvéért lineáris összegzésnél):

$$\Delta z = \frac{\partial z}{\partial x_1}\Delta x_1 + \frac{\partial z}{\partial x_2}\Delta x_2 + \cdots + \frac{\partial z}{\partial x_n}\Delta x_n h$$

$$h_z = \frac{\Delta z}{z} \qquad h_{x_1} = \frac{\Delta x_1}{x_1} \qquad \Delta x_1 = x_1 h_{x_1}$$

$$h_z = \frac{1}{z}\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial z}{\partial x_i} x_i h_{x_i} \qquad \longrightarrow k_i = \frac{1}{z}\frac{\partial z}{\partial x_i} x_i$$

Mérési eredmények megadása

A rendszeres hibák a mérést torzítottá, a véletlen hibák pedig bizonytalanná teszik. A jól elvégzett mérést az jellemzi, hogy a rendszeres hibákat meghatározzuk, és eredményünket velük korrigáljuk. Így a mérés végeredményében csak a véletlen hibák miatti bizonytalanság szerepel.

Például: feszültséget mérünk, a mért érték U_m=230 V, a rendszeres hiba H=5V, a véletlen hiba h=1% .

A mérés végeredménye: $U = U_m - H \pm h = 230 - 5\ V \pm 1\%$

azaz $U = 225\ V \pm 1\%$

A végeredmény megadása, a korrekció elvégzése előtt össze kell hasonlítani a rendszeres és a véletlen hiba nagyságát. Előfordulhat, hogy a véletlen hiba mellett a rendszeres hiba elenyészően kicsi. Ilyenkor nincs szükség korrekció végzésére. Mérési módszereink, kapcsolásaink megválasztásakor mindig arra törekszünk, hogy olyan megoldást találjunk, amelynél a rendszeres hiba a legkisebb, ekkor valószínűleg elhanyagolható a mérés bizonytalanságához képest.

Ha az előbbi példánkban a megadott érték helyett a rendszeres hiba H= 0.2V akkor a mérés végeredménye: U= 230 V ± 1 % , hiszen a véletlen hiba (a 230 V 1%-a azaz 2,3 V) sokkal nagyobb mint a rendszeres hiba.

Természetesen a fentiek figyelembe vételével kell egy mérés végeredményét megadni. Több – a számításból adódó – értékes számjegyet megadni nem szabad mint az a mérés hibája által meghatározott.

Jelek jellemzői:

- *csúcsérték* A pillanatnyi értékek közül a legnagyobb ill. legkisebb (szélső érték) J_m a J a jel rövidítése, ami természetesen bármilyen fizikai mennyiség lehet pl. feszültség (U), áram(I), teljesítmény(P) stb.

- *egyszerű középérték:* A jel egy periódusra vett átlagértéke, matematikailag:

$$J_k = \frac{1}{T}\int_0^T J(t)dt$$

- *abszolút középérték:* A jel abszolút értékének egy periódusra vett átlagértéke, matematikailag:

$$|J|_k = \frac{1}{T}\int_0^T |J(t)|dt$$

- *effektív érték* Négyzetes középérték (RMS-root mean square)

  Egyenlő azzal az egyenárammal ill. feszültséggel, amely egy adott ellenálláson ugyanakkora hőenergiát termel, mint a periodikusán változó áram ill. feszültség.

$$J = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T J^2(t)dt}$$

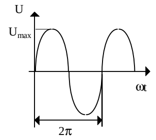
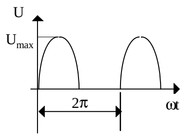
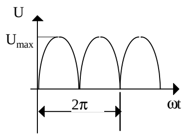
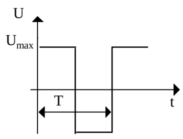
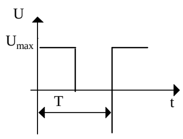
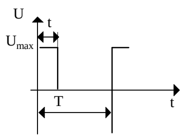
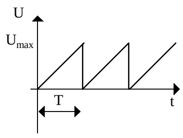
- *csúcstényező* A csúcsérték és az effektív érték hányadosa

$$k_{cs} = \frac{J_{cs}}{J}$$

- *formatényező* Az effektív érték és az abszolút középérték hányadosa

$$k_f = \frac{J}{|J|_k}$$

Néhány gyakran használt jelalak jellemzői

Jelalak	Középérték	Abszolút középérték	Effektív érték	Forma tényező	Csúcs-tényező
	0	$\frac{2\cdot U_{max}}{p}$	$\frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$	1,11	$\sqrt{2}$
	$\frac{U_{max}}{p}$	$\frac{U_{max}}{p}$	$\frac{U_{max}}{2}$	2	1,57
	$\frac{2\cdot U_{max}}{p}$	$\frac{2\cdot U_{max}}{p}$	$\frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$	1,11	$\sqrt{2}$
	0	U_{max}	U_{max}	1	1
	$\frac{U_{max}}{2}$	$\frac{U_{max}}{2}$	$\frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$
	$\frac{U_{max}\cdot t}{T}$	$\frac{U_{max}\cdot t}{T}$	$\sqrt{\frac{U_{max}^2\cdot t}{T}}$	$\sqrt{\frac{T}{t}}$	$\sqrt{\frac{T}{t}}$
	$\frac{U_{max}}{2}$	$\frac{U_{max}}{2}$	$\frac{U_{max}}{\sqrt{3}}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$

Összetett jelalak esetén :

- az eredeti jel középértékét az elemi jelek középértékének előjelhelyes összegzésével kapjuk
- az eredeti jel abszolút középértékét az elemi jelek abszolút középértékének összegzésével számíthatjuk ki.
- Az eredeti jel effektív értékét az elemi jelalakok effektív értékeinek négyzetösszegéből vont négyzetgyök eredményeként kapjuk:

$$U_{eff} = \sqrt{U_{1eff}^2 + U_{2eff}^2 + \cdots U_{neff}^2}$$

Példák:

*1.1.*példa

Mi lesz a végeredményünk T= 0,6 R C összefüggés értékének kiszámításánál, ha R = 2 kΩ, C = 47nF?

Megoldás:

$$T = 0{,}6\ R\ C = 0{,}6 \cdot 2 \cdot 10^{3} \cdot 47 \cdot 10^{-9} = 56.4\ 10^{-6}\ s = 56{,}4\ \mu s$$

*1.2.*példa

Kapcsoljunk sorba két ellenállást. Az egyik 2Ω±5%, a másik 8Ω±1%. Mekkora az eredő ellenállás és annak várható (valószínű véletlen) hibája?

Megoldás:

Az eredő ellenállás: $R=R_1+ R_2=2\Omega+8\Omega=10\Omega$

Az eredő ellenállás hibája:

$$k_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{2}{10} = 0{,}2 \qquad k_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{8}{10} = 0{,}8$$

$$h_R = \frac{\Delta R}{R} = \sqrt{(k_1 \cdot h_1)^2 + (k_2 \cdot h_2)^2} = \sqrt{(0{,}2 \cdot 5)^2 + (0{,}8 \cdot 1)^2} = 1{,}28\%$$

*1.3.*példa

Vegyük az előző két ellenállást és kössük most párhuzamosan. Mekkora az eredő ellenállás és annak várható hibája?

Megoldás:

Az eredő ellenállás:

$$R = \frac{1}{G} \qquad G = G_1 + G_2 = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{8} = \frac{5}{8} \qquad R = \frac{8}{5} = 1{,}6\Omega$$

Az eredő ellenállás hibája:

Mivel $R = \dfrac{1}{G}$ $\qquad h_R = h_G$ Így ebben az esetben a vezetésekkel számolhatunk.

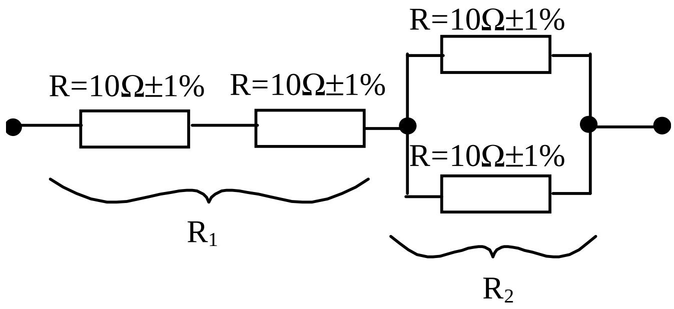
$$k_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} = \frac{0{,}5}{0{,}625} = 0{,}8 \qquad k_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} = \frac{0{,}125}{0{,}625} = 0{,}2$$

$$h_R = \frac{\Delta R}{R} = h_G = \sqrt{(k_1 \cdot h_1)^2 + (k_2 \cdot h_2)^2} = \sqrt{(0{,}8 \cdot 5)^2 + (0{,}2 \cdot 1)^2} = 4{,}005\ \%$$

*1.4.*példa

Van 4 db 10Ω±1% pontosságú ellenállásunk. Készítsen 25Ω névértékű ellenállást és számítsa ki ennek várható bizonytalanságát!

Megoldás:



Az eredő ellenállás: $R = 10 + 10 + \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 20 + \frac{100}{20} = 25\Omega$

Az eredő ellenállás hibája:

$$R_1 = 20\Omega \qquad h_{R_1} = \sqrt{2 \cdot (\frac{1}{2}1)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}}\%$$

$$R_2 = 5\Omega \qquad h_{R_2} = \sqrt{2 \cdot (\frac{1}{2}1)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}}\%$$

$$h_R = \sqrt{(\frac{20}{25} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}})^2 + (\frac{5}{25} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}})^2} = \sqrt{\frac{17}{50}}\%$$

***1.5.*példa**

Ellenállást mérünk volt-amper mérős módszerrel. A mért értékek és bizonytalanságuk: U=12V±0,5% I=2A±1%. Mekkora az ellenállás bizonytalansága?

Megoldás:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{2} = 6\Omega$$

Mivel az ellenállást osztással kaptuk a számított hibánál a súlyfaktor 1-el egyenlő. Így az ellenállás véletlen hibája:

$$h_R = \sqrt{h_U^2 + h_I^2} = \sqrt{0{,}5^2 + 1^2} = 1{,}118\ \%$$

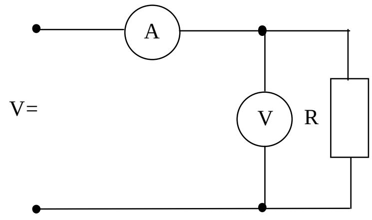
***1.6.*példa**

Ellenállást mérünk volt – amper mérős módszerrel az alábbi kapcsolásokban. Mekkora a mérés során elkövetett rendszeres hiba nagysága és a helyes érték, ha a műszerek által mutatott értékek és ellenállásuk a következők:

U=12V R_U=48000Ω I=2A R_I=2Ω?

Megoldás:

a.



Ebben az esetben a rendszeres hibát az okozza, hogy az árammérő a feszültségmérőn átfolyó áramot is méri.

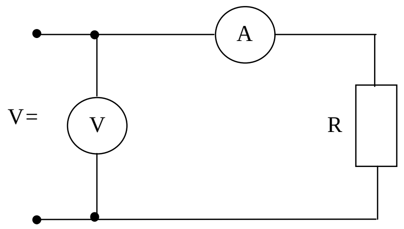
$$R_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U_m}{\frac{U_m}{R_U} + \frac{U_m}{R}} = \frac{R_U \cdot R}{R_U + R}$$

$$R = \frac{R_m \cdot R_U}{R_U - R_m} = \frac{R_m \cdot R_U + R_m^2 - R_m^2}{R_U - R_m} = \frac{R_m \cdot (R_U - R_m) + R_m^2}{R_U - R_m} = R_m + \frac{R_m^2}{R_U - R_m} = R_m + K$$

$$R_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{12}{2} = 6\Omega \qquad K = \frac{R_m^2}{R_U - R_m} = \frac{36}{47994} = 0{,}00075\Omega$$

$$R = 6 - 0{,}00075 = 5{,}99925\Omega$$

b.



Ebben az esetben a rendszeres hibát az okozza, hogy az feszültségmérő az árammérőn eső feszültséget is méri

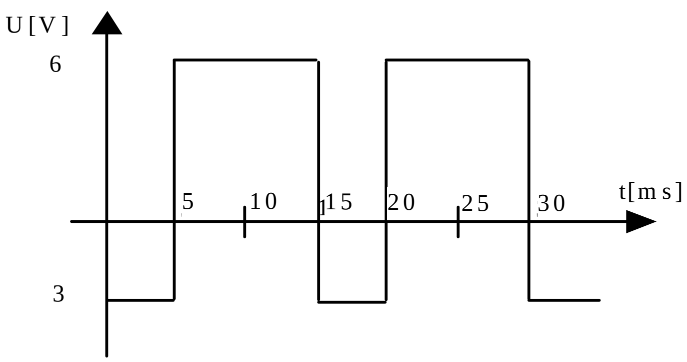
$$R_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{I_m \cdot R_A + I_m \cdot R}{I_m} = R + R_A$$

$$R = R_m - R_A = R_m + K = 6 - 2 = 4\Omega$$

Ha megnézzük a két számítást, látjuk, hogy az esetünkben kis értékű ellenállást mértünk és az **a** kapcsolást célszerű alkalmazni, mert akkor kisebb a rendszeres hiba. A **b** kapcsolás nagy értékű ellenállások mérésére alkalmas.

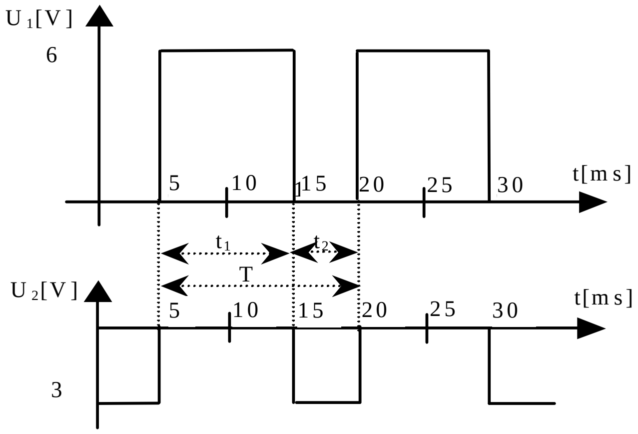
*1.7.*példa

Határozzuk meg az ábra szerinti u(t) feszültség közép-, abszolút közép- és effektív értékét!



Megoldás:

A vizsgált feszültség két ismert jelalak összegeként állítható elő.



Ennek a két jelalaknak a jellemzőit ki tudjuk számolni_

A jel *egyszerű középértéke*:

$$U_{1k} = U_{1\max} \cdot \frac{t_1}{T} = 6 \cdot \frac{10}{15} = 4V \qquad \textit{és} \qquad U_{2k} = U_{2\max} \cdot \frac{t_2}{T} = -3 \cdot \frac{5}{15} = -1V$$

Az eredeti U feszültség középértéke tehát:

$$U_k = U_{1k} + U_{2k} = 4 - 1 = 3V$$

abszolút középértéke:

$$\left|U_1\right|_k = \left|4\right| = 4V \qquad \textit{és} \qquad \left|U_2\right|_k = \left|-1\right| = 1V$$

Az eredeti U feszültség abszolút középértéke tehát

$$\left|U\right|_k = \left|U_1\right|_k + \left|U_2\right|_k = 4 + 1 = 5V$$

effektív értéke:

$$U_{1eff} = \sqrt{U_{1\max}^2 \cdot \frac{t_1}{T}} = \sqrt{6^2 \frac{10}{15}} = \sqrt{24} = 4{,}9V \qquad \textit{és} \qquad U_{2eff} = \sqrt{U_{2\max}^2 \cdot \frac{t_2}{T}} = \sqrt{3^2 \cdot \frac{5}{15}} = \sqrt{3} = 1{,}73V$$

Így az eredeti feszültség effektív értéke tehát:

$$U_{eff} = \sqrt{U_{1eff}^2 + U_{2eff}^2} = \sqrt{24+3} = \sqrt{27} = 5{,}2V$$

Kiegészítések:

Mérőműszerek csoportosítása:

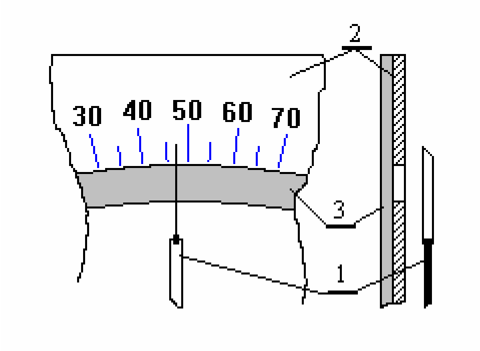
A villamos mérőműszereket többféle szempont szerint csoportosíthatjuk:

- ***felépítésűk*** szerint lehetnek elektromechanikus vagy elektronikus,
- ***mérési elv*** szerint analóg vagy digitális,
- ***pontosságuk*** szerint lehetnek üzemi vagy laboratóriumi

műszerek.

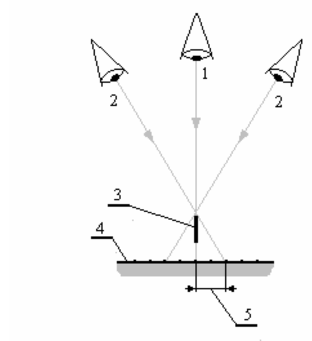
Elektromechanikus műszerek használata:

Az elektromechanikus műszerek – mint tudjuk- villamos mennyiségek mérésére alkalmas mechanikus szerkezetek. Működésük során a mérendő villamos jel hatására létrejövő, azzal arányos mutatókitérés teszi lehetővé az ismeretlen mennyiség meghatározását. Az elektromechanikus műszereknél anyagi- vagy fénymutatót alkalmaznak. Az anyagi mutató a műszer lengőrészére szerelt alumínium rudacska, üvegcső vagy üvegszál. Kialakítása a műszer alkalmazásától függ. A késél alakú mutatófej nagymértékben megkönnyíti a helyes, számlapra merőleges leolvasási irány megtalálását. Ennél a mutatónál akkor hibátlan a leolvasás, mikor a mutatót a legkeskenyebbnek látjuk. Kényelmesebbé és pontosabbá teszi a leolvasást a tükörskála alkalmazása. Ennél a skála alá elhelyezett tükörben megjelenik a mutató tükörképe. A leolvasás akkor helyes, ha a mutató éle és a tükörkép fedésben van (2.1 ábra).



1. mutató, 2. skála, 3. tükör

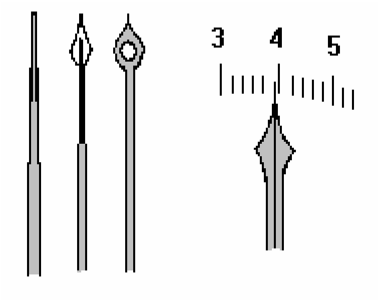
2.1 ábra Tükörskála



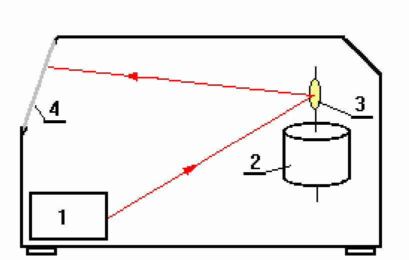
1. helyes nézési irány, 2. helytelen nézési irány, 3. mutató, 4. skála, 5. leolvasási hiba

2.2 ábra Parallaxishiba

Ezzel a kialakítással jelentősen csökkenthető a leolvasáskor jelentkező *parallaxis hiba*, mely abból adódik, hogy nem merőlegesen nézünk a skálára (2.2 ábra). Ilyen mutató kialakításnak természetesen csak laboratóriumi műszereknél van értelme. Kisebb pontosságú műszereknél az egyéb szempontok kapnak hangsúlyt (pl.: gyors, könnyű, távolról történő leolvasás, sötétben világító kivitel), ezek jutnak érvényre a mutatófej kialakításában (2.3 ábra).

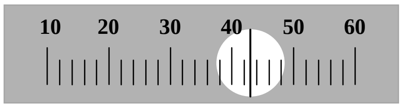


2.3 ábra Mutatófej kialakítások

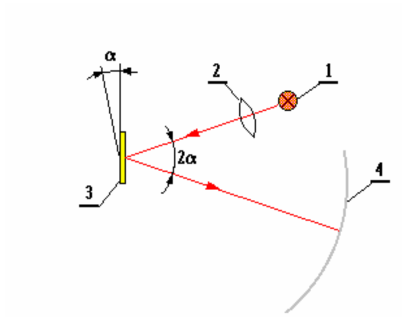


1. fényforrás és optikai rendszer
2. mérőmű
3. tükör
4. skálaüveg

elvi felépítése



skálája



1. fényforrás
2. optikai rendszer
3. tükör
4. skálaüveg

optikai rendszere

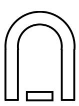
2.4 ábra Fénymutatós műszer

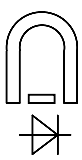
Fénymutató alkalmazásakor a lengőrészre kis tükröt szerelnek. Egy fényforrás optikával sugár-nyalábbá koncentrált fényét a tükörre vetítik, és a visszavert sugárnyaláb a skálára esik. Ott egy fényfolt alakul ki, melyben egy szál képe látható. A fényfolt helyzete a skálán a lengőrész helyzetétől függ.

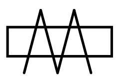
A fénymutató alkalmazásának előnye, hogy a fénymutató hossza lényegesen nagyobb lehet (több tükör alkalmazásával akár méteres is), mint az anyagi mutatóé. Így adott lengőrész elforduláshoz nagyobb elmozdulás tartozik, nagyobb lesz a műszer érzékenysége. Ezt eredményezi az is, hogy a lengőrész α elfordulásához a fénysugár 2α elfordulása tartozik (2.4. ábra).

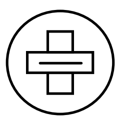
Műszereken leggyakrabban használt jelölések:

A műszer mérőművének (típusának) jelölése:

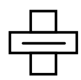








vasmagos

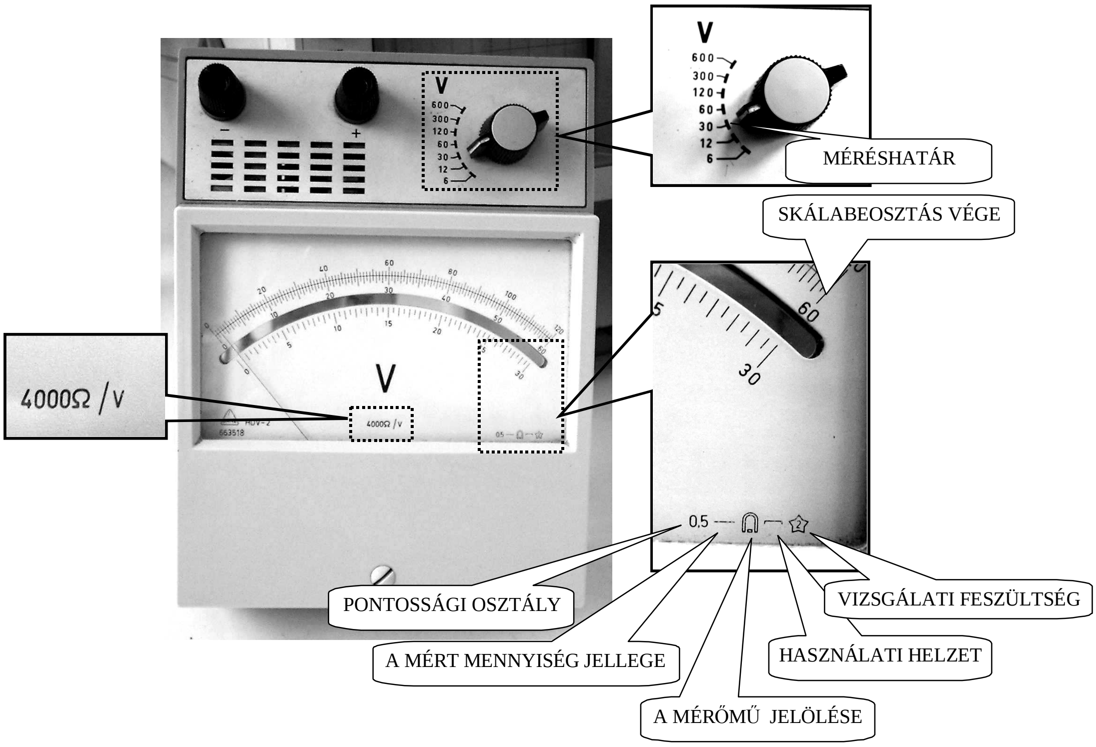


vasmentes

1. <u>Deprez műszer</u>	Egyenirányítós Deprez műszer	Lágyvasas műszer	Elektrodinamikus műszer

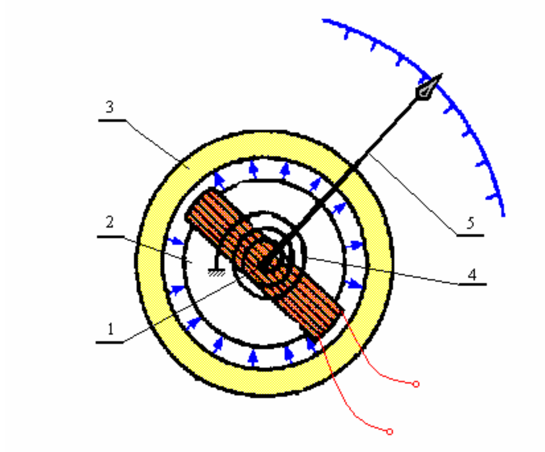
2.5 ábra

A 2.6 ábrán egy Deprez műszer fényképén példát láthatunk az elektromechanikus műszerek jellemzőire.



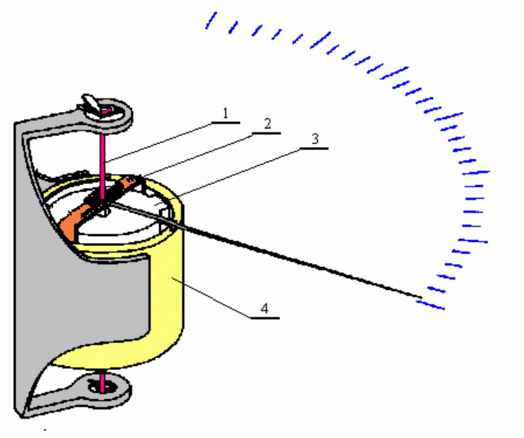
2.6 ábra

Belső mágnesű Deprez műszer felépítése:



1. Lengőtekercs, 2. Állandómágnes, 3. Pólusgyűrű,4. Rugó, 5. Mutató

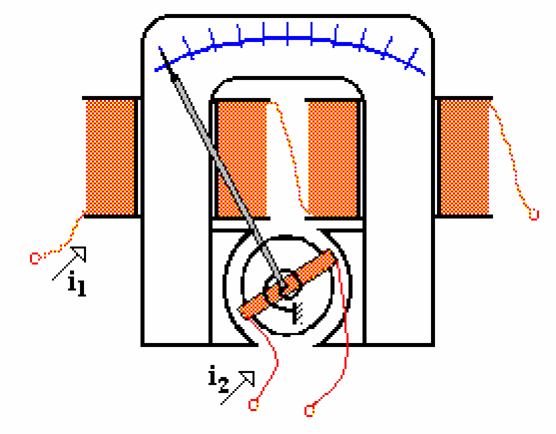
2.7. ábra Belsőmágnesű Deprez-műszer szerkezeti vázlata



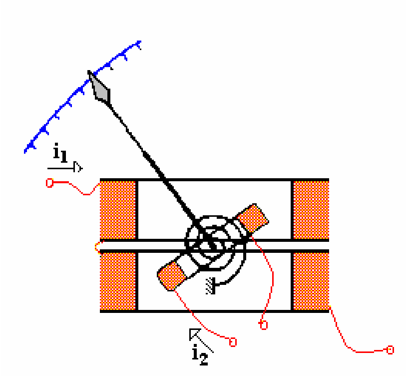
1. Feszített szál, 2. Lengőtekercs, 3. Állandó mágnes, 4. Pólussaru

2.8. ábra Feszített szálas, belsőmágnesű Deprez-műszer

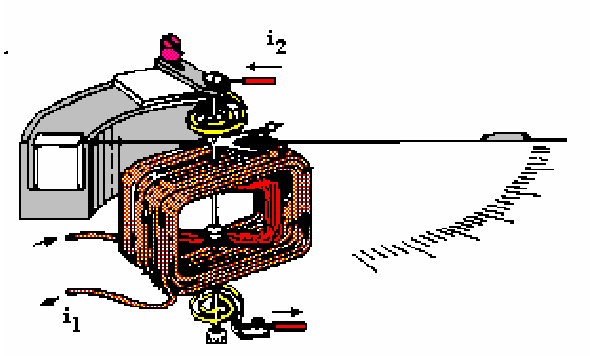
Elektrodinamikus műszer felépítése (vasmagos és vas mentes),



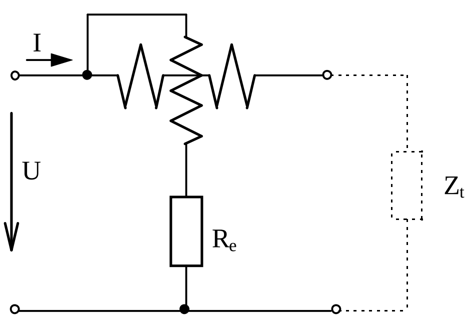
2.9. ábra Vasmagos elektrodinamikus műszer elvi felépítése



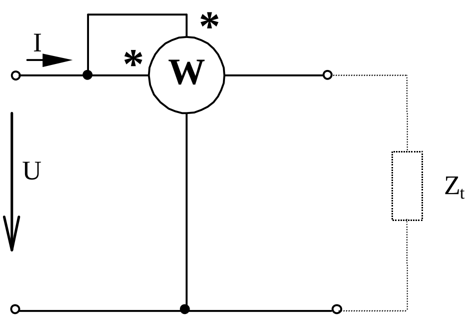
2.10. ábra Vasmentes elektrodinamikus műszer elvi felépítése



2.11. ábra Vasmentes elektrodinamikus műszer szerkezeti kialakítása

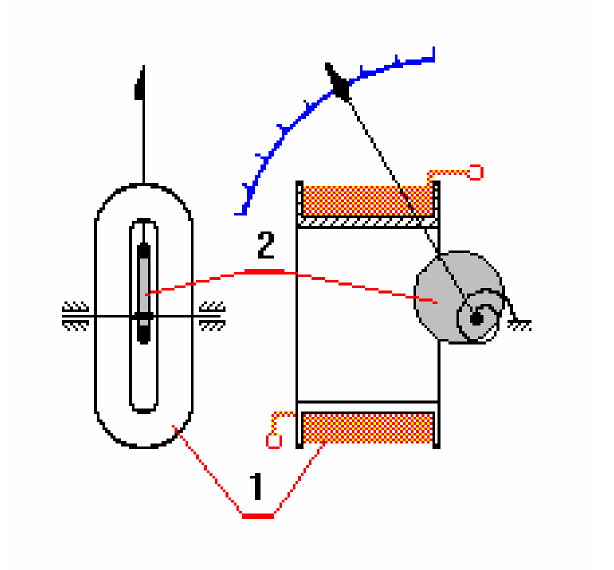


2.12. ábra
Elektrodinamikus műszer tekercsinek bekötése teljesítménymérőként



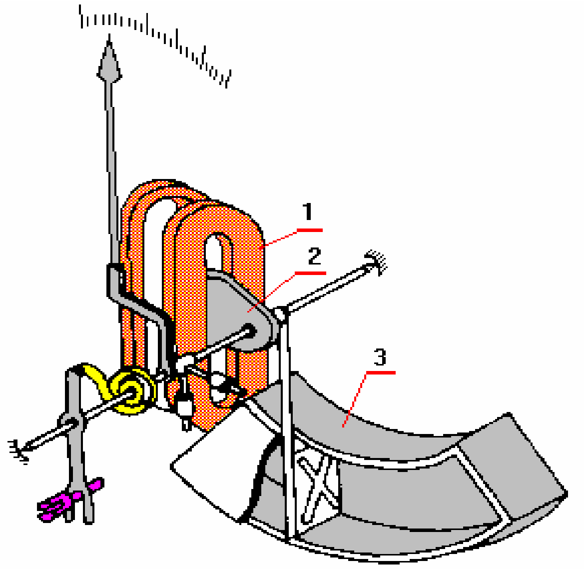
2.13. ábra
Elektrodinamikus teljesítménymérő bekötése

Lágyvasas műszerek felépítése (lapos és kerek tekercses)



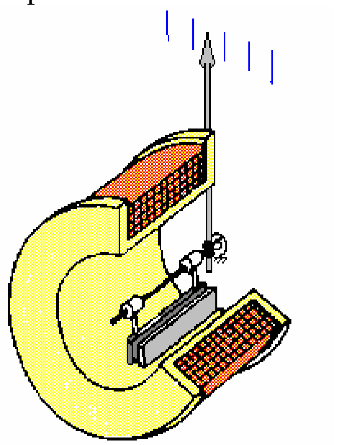
1. tekercs, 2. lágyvas lemez,

2.14. ábra Lapostekercses műszer szerkezete

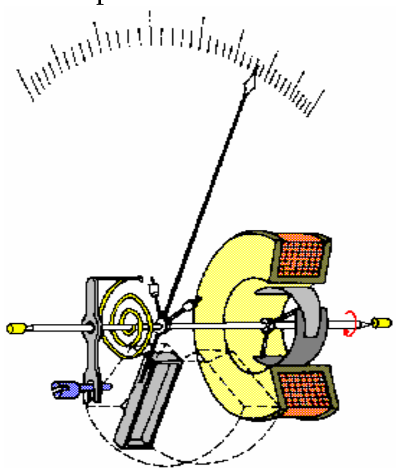


1. tekercs, 2. lágyvas lemez, 3. Csillapító

2.15. ábra Lapostekercses műszer felépítése



2.16. ábra Kerektekercses műszer szerkezete



2.17. ábra Kerektekercses műszer felépítése

Példák:

2.1 példa

Mekkora a feszültségmérés bizonytalansága, ha a mért érték U_m = 6 V, a használt műszer méréshatára U_{mh} =18V, méréshatárra vonatkoztatott pontossági osztálya h_{po} = 0,5 ?

Mekkora lehet maximálisan a mérés során elkövetett véletlen hiba abszolút éréke?

Megoldás:

U_m = 6 V, U_{mh} = 18 V, h_{po} = 0,5

$$H_{max} = \frac{U_{mh} \cdot h_{po}}{100} = \frac{18 \cdot 0,5}{100} = 0,09V = 90mV$$

$$h_{Um} = \frac{H_{max}}{U_m} \cdot 100 = \frac{0,09}{6} \cdot 100 = 1,5\%$$

Ugyan ezt az eredményt kapjuk, ha

$h_{Um} = \frac{U_{mh}}{U_m} \cdot h_{po} = \frac{18}{6} \cdot 0.5 = 1,5\%$ módon számolunk.

Tehát az adott feszültségmérés bizonytalansága ± 1,5 % , ez abszolút értékében ± 90 mV-ot jelent.

2.2 példa

Egy 60mV, 0,6mA-es alapműszer áram méréshatárát szeretnénk kiterjeszteni 1A-re. Mekkora az alkalmazandó sönt ellenállása?

Megoldás:

U_0=60mV, I_0=0,6mA, I=1A

$$R_S = \frac{U_o}{I - I_o} = \frac{60 \cdot 10^{-3}\,V}{(1 - 0,6 \cdot 10^{-3})A} = 60,04 \cdot 10^{-3}\,\Omega$$

$$R_S \cong 60m\Omega$$

2.3 példa

Egy 60mV, 0,6mA-es alapműszer feszültség méréshatárát szeretnénk kiterjeszteni 9V-ra. Mekkora az alkalmazandó előtét ellenállása?

Megoldás:

U_0=60mV, I_0=0,6mA, U=9V

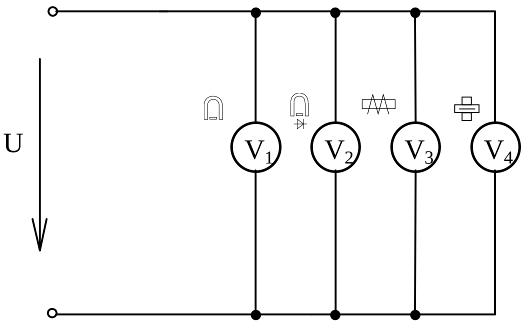
$$U = U_o + I_o \cdot R_e$$

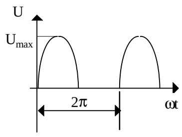
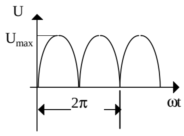
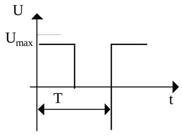
$$R_e = \frac{U - U_o}{I_o} = \frac{(9 - 60 \cdot 10^{-3})V}{0,6 \cdot 10^{-3}\,A} = 14900\Omega$$

$$R_e = 14,9k\Omega$$

2.4. példa

Mekkora értékeket mérnek a feszültségmérő műszerek az alábbi (2.18 ábra) kapcsolásban, ha a rájuk kapcsolt feszültségek jellemzői a táblázatban megadottak?



U		
JELALAKJA		U_{max} [V]
a.		9 V
b.		6V
c.		12 V

Megoldás:

Az a. sor adataival:

V_1 Deprez műszer, középértéket érzékel, és azt is mutatja: $U_k = \frac{U_{max}}{\pi} = \frac{9}{\pi} = 2{,}86V$

V_2 egyenirányítós Deprez műszer, abszolút középértéket érzékel, és annak 1,11-szeresét mutatja: $1{,}11 \cdot |U|_k = 1{,}11 \cdot \frac{U_{max}}{\pi} = 1.11 \cdot \frac{9}{\pi} = 3{,}18V,$

V_3 lágyvasas műszer, effektív értéket érzékel, és azt is mutatja: $U = \frac{U_{max}}{2} = \frac{9}{2} = 4{,}5V$

V_4 elektrodinamikus műszer, effektív értéket érzékel, és azt is mutatja: $U = \frac{U_{max}}{2} = \frac{9}{2} = 4{,}5V$

A b. és c. sor adataival önállóan oldja meg a feladatot!

Példák oszcilloszkóphoz:

3.1. példa

Az oszcilloszkóp függőleges bemenetére mekkora egyenfeszültséget kapcsoltunk, ha a fénysugár helyzete 2,4 cm-t változott felfelé a feszültség rákapcsolásakor és az érzékenység E_y=5 V/cm?

Megoldás:

$$U = x \cdot E_y = 2{,}4 \cdot 5 = +12\ V$$

3.2. példa

Az oszcilloszkóp bemenetére szinuszos feszültséget kapcsolunk A képernyőn a jel csúcstól csúcsig 8 cm. Mekkora a jel közép és effektív értéke, ha az oszcilloszkóp függőleges érzékenysége 2V/cm?

Megoldás:

$$U_{pp} = 8 \cdot 2 = 16V$$
$$U_m = \frac{U_{pp}}{2} = \frac{16}{2} = 8V$$
$$U_k = 0V$$
$$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{8}{\sqrt{2}} = 5{,}6568V$$

3.3. példa

Az oszcilloszkóp 10cm széles képernyőjén szinuszos jel két periódusát látjuk. A vízszintes irányú érzékenység 5 ms/cm. Mekkora a vizsgált jel frekvenciája?

Megoldás:

$$T = \frac{x}{2} \cdot E_x = \frac{10}{2} \cdot 5 = 25ms$$
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{25} = 40Hz$$

3.4. példa

Az oszcilloszkóp bemenetére együteműen egyenirányított szinusz alakú feszültséget kapcsolunk. A bemeneti osztó érzékenysége 0,5 V/cm. A képernyőn 3 cm hosszú függőleges fénycsíkot látunk.

a. Az oszcilloszkóp milyen üzemmódban van?
b. Mekkora a feszültség közép és effektív értéke?

Megoldás:

a. Az oszcilloszkóp HOR IN állásban van, azaz ki van kapcsolva a fűrészgenerátor (a vízszintes eltérítés).

b.

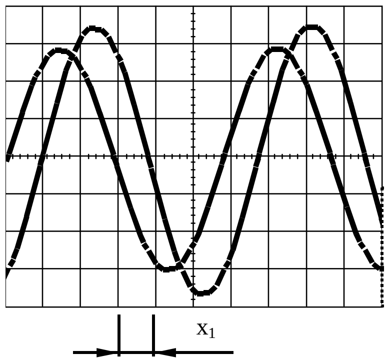
$$U_m = x \cdot E_y = 3 \cdot 0{,}5 = 1{,}5V$$

$$U_k = \frac{U_m}{p} = \frac{1{,}5}{p} = 0{,}477V$$

$$U_{eff} = \frac{U_m}{2} = \frac{1{,}5}{2} = 0{,}75V$$

3.5. példa

Fázisszöget mérünk oszcilloszkóppal. Mekkora az alábbi ábrán látható két azonos frekvenciájú jel között a fázis különbség?



Megoldás:

A periódus hosszát viszonyítva a jelek közti távolsághoz kiszámíthatjuk a fázisszöget:

$$j = \frac{x_1}{x_{periódus}} 360$$

ahol $x_{periódus}$ a jel periódusának megfelelő távolság, x_1 a fáziseltérésnek megfelelő távolság.

Példánkban az ábrán:

$x_{periódus}$ = 5.8 cm

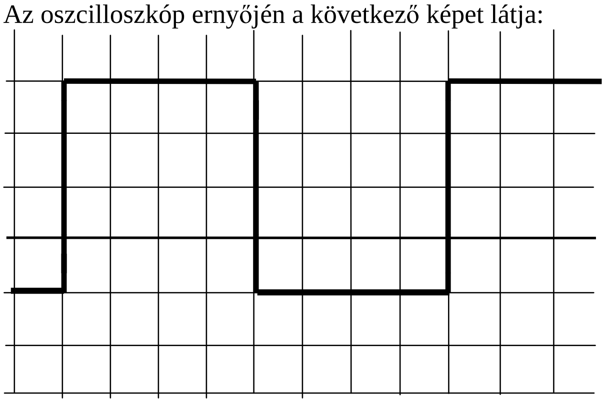
x_1 = 0.9 cm

φ = 0.155 · 360 = 55.9°

Természetesen a vízszintes hosszok helyett az oszcilloszkóp ról leolvasott időket is összehasonlíthatjuk.

3.6. példa

Az oszcilloszkóp ernyőjén a következő képet látja:



Az oszcilloszkóp DC állásban van, GND a képernyő középső osztás-vonalán helyezkedik el.

Érzékenységek : 1 V/ osztás, 0.1 ms / osztás.

Adja meg a mért jel frekvenciáját!

Számítsa ki a váltakozó jel közép-, abszolút közép- és effektív-értékét!

Megoldás:

A mért jel frekvenciája:

$$T = x \cdot E_x = 8 \cdot 0{,}1 = 0{,}8ms$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}8 \cdot 10^{-3}} = \frac{1000}{0{,}8} = 1250Hz$$

A váltakozó jel közép értéke:

$$U_k = U_{1k} + U_{2k} = \frac{U_{1\max} \cdot t}{T} + \frac{U_{2\max} \cdot t}{T} = \frac{t}{T} \cdot (U_{1\max} + U_{2\max}) = \frac{4 \cdot 0{,}1}{8 \cdot 0{,}1}(3 \cdot 1 - 1 \cdot 1) = 1V$$

A váltakozó jel abszolút közép értéke:

$$|U|_k = |U_1|_k + |U_2|_k = \left|\frac{U_{1\max} \cdot t}{T}\right| + \left|\frac{U_{2\max} \cdot t}{T}\right| = \frac{t}{T} \cdot (|U_{1\max}| + |U_{2\max}|) = \frac{4 \cdot 0{,}1}{8 \cdot 0{,}1}(3 \cdot 1 + 1 \cdot 1) = 2V \text{ A}$$

A váltakozó jel effektív értéke:

$$U_{eff} = \sqrt{U_{1eff}^2 + U_{2eff}^2}$$

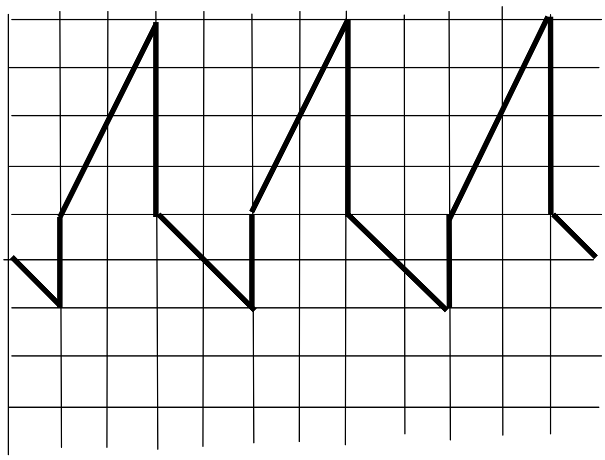
$$U_{1eff} = \sqrt{U_{1\max}^2 \cdot \frac{t}{T}} = \sqrt{3^2 \cdot 0{,}5} = \sqrt{4{,}5}V$$

$$U_{2eff} = \sqrt{U_{2\max}^2 \cdot \frac{t}{T}} = \sqrt{1^2 \cdot 0{,}5} = \sqrt{0{,}5}V$$

$$U_{eff} = \sqrt{U_{1eff}^2 + U_{2eff}^2} = \sqrt{4{,}5 + 0{,}5} = \sqrt{5} = 2{,}236V$$

3.7. példa

Az oszcilloszkóp ernyőjén a következő képet látja:



Az oszcilloszkóp DC állásban van, a GND a képernyő középső osztásvonalán helyezkedik el.

Érzékenységek : 5 V/ osztás, 0.2 ms / osztás.

Adja meg a mért jel frekvenciáját!

Számítsa ki a váltakozó közép- abszolút közép- és effektív-értékét!

Az ábra alapján határozza meg az oszcilloszkóp fűrészgenerátorának periódusidejét!
Mit látna a képernyőn AC bemeneti csatolásnál!

Megoldás:

A mért jel frekvenciája:

$$T = l \cdot E_x = 4 \cdot 0{,}2 = 0{,}8ms$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}8 \cdot 10^{-3}} = \frac{1000}{0{,}8} = 1250Hz$$

A váltakozó jel közép értéke:

$$U_k = U_{1k} + U_{2k} = \frac{U_{1\max} \cdot t}{2 \cdot T} + \frac{U_{2\max} \cdot t}{2 \cdot T} = \frac{t}{2 \cdot T} \cdot (U_{1\max} + U_{2\max}) =$$

$$= \frac{2 \cdot 0{,}2}{2 \cdot 4 \cdot 0{,}2}(4 \cdot 5 - 2 \cdot 5) = 2{,}5V$$

A váltakozó jel abszolút közép értéke:

$$\left|U\right|_k = \left|U_1\right|_k + \left|U_2\right|_k = \left|\frac{U_{1\max} \cdot t}{2 \cdot T}\right| + \left|\frac{U_{2\max} \cdot t}{2 \cdot T}\right| = \frac{t}{2 \cdot T} \cdot (\left|U_{1\max}\right| + \left|U_{2\max}\right|) =$$

$$= \frac{2 \cdot 0{,}2}{2 \cdot 4 \cdot 0{,}2}(4 \cdot 5 + 2 \cdot 5) = 7{,}5V$$

A váltakozó jel effektív értéke:

$$U_{eff} = \sqrt{U_{1eff}^2 + U_{2eff}^2}$$

$$U_{1eff} = \frac{U_{1\max}}{\sqrt{6}} = \frac{20}{\sqrt{6}}V$$

$$U_{2eff} = \frac{U_{2\max}}{\sqrt{6}} = \frac{10}{\sqrt{6}}V$$

$$U_{eff} = \sqrt{U_{1eff}^2 + U_{2eff}^2} = \sqrt{\frac{20^2 + 10^2}{6}} = \sqrt{83{,}33} = 9{,}1287V$$

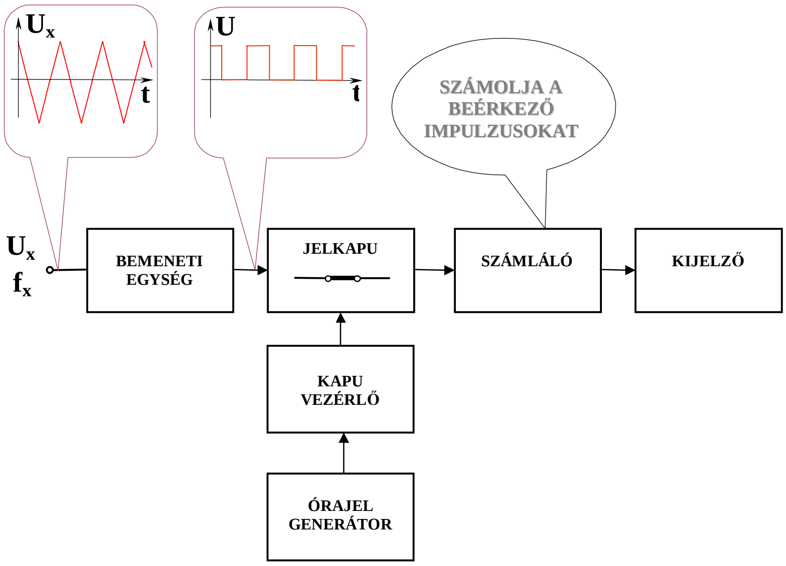
Mivel az oszcilloszkópon a vizsgálandó jel három teljes periódusát látjuk, így a oszcilloszkóp fűrészgenerátorának periódusideje a vizsgált jel periódus idejének háromszorosa.

$$T_{fűrész} = 3 \cdot T = 3 \cdot 0{,}8 = 2{,}4ms$$

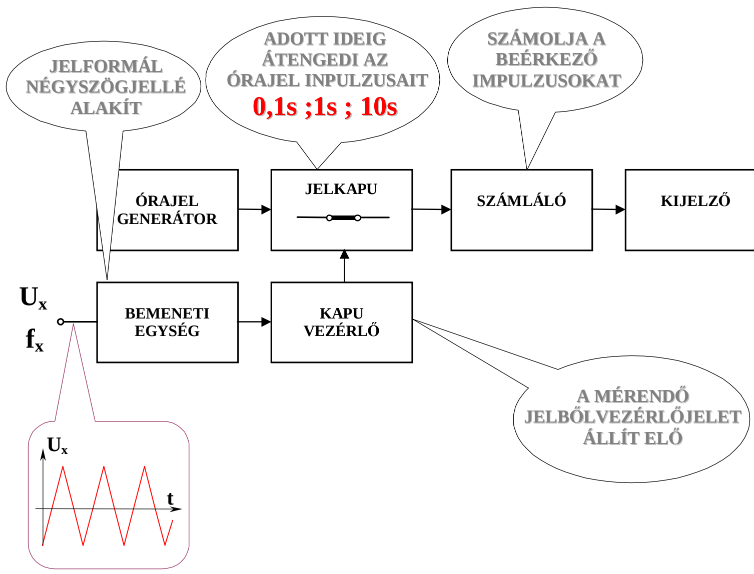
AC bemeneti csatolás esetén a jel egy kondenzátoron keresztül jut az oszcilloszkóp függőleges bemenetére. Ez azt jelenti, hogy a kondenzátor leválasztja a jel egyenfeszültségű összetevőjét és így a jel az eredeti helyzetéhez képest lefelé eltolódik. Az eltolódás nagysága pont a középértékkel lesz egyenlő.

Kiegészítések digitális műszerekhez:

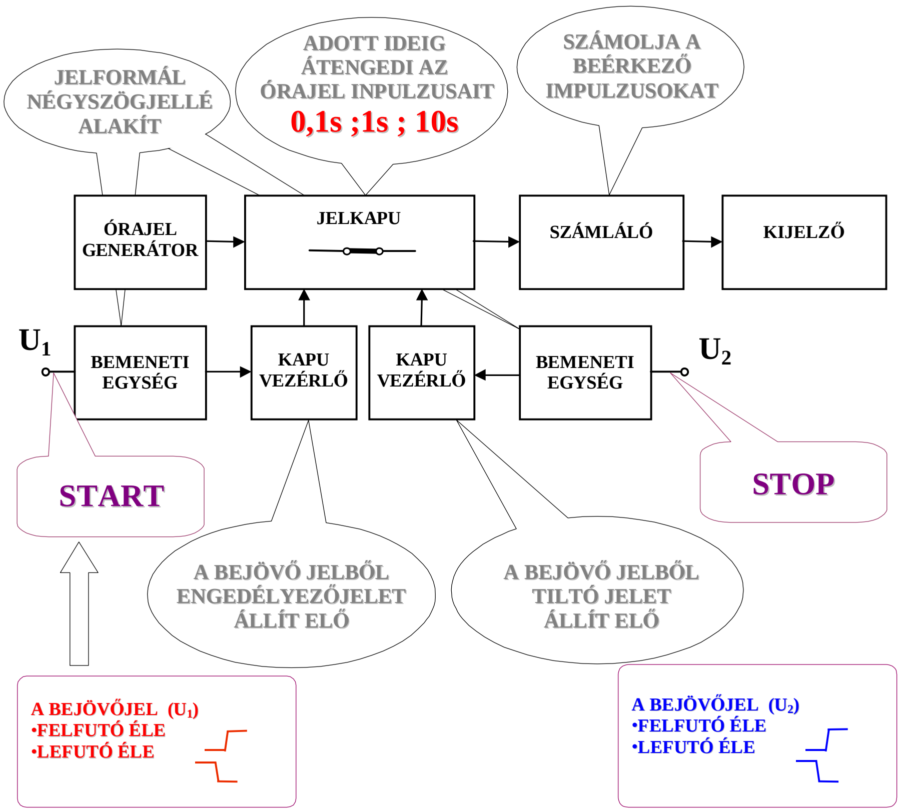
Digitális frekvenciamérés és időtartammérés:



4.1 ábra Digitális frekvenciamérés egyszerűsített blokkvázlata:



4.2 ábra Digitális periódusidő mérés egyszerűsített blokkvázlata:



4.3 ábra Digitális időtartam mérés egyszerűsített blokkvázlata

2. Digitális egyenfeszültség mérők:

A digitális feszültségmérők a mérendő egyenfeszültséget digitális információvá, majd a kijelzőn megjelenő számmá alakítják át. Az első digitális voltmérő megjelenése óta számtalan különféle típust fejlesztettek ki. Jelenleg olyan sokféle digitális voltmérő van forgalomban, hogy teljes körű rendszerezésük jóformán lehetetlen. Ezért csak a leggyakrabban alkalmazott megoldásokkal ismerkedünk meg a későbbiek során.

Minden digitális feszültségmérő analóg-digitális átalakítót (A/D konvertert) tartalmaz. A sokféle A/D átalakító közül kiválasztott megoldás alapvetően meghatározza a műszer tulajdonságait.

Az analóg-digitális átalakító jellegétől függően tehát többféle működési elvű digitális voltmérő ismeretes.

A digitális voltmérő lehet többek közt:

- pillanatérték mérő vagy átlagérték mérő
- közvetlen átalakítású vagy közvetett átalakítású

A pillanatérték mérők az időben változó jel pillanatértékét, míg az átlagérték mérők valamely, a jelre jellemző átlagértéket (pl. középértéket) mérik. A pillanatérték mérők hibája, hogy zavarjel elnyomás nincs, a pillanatnyi zajfeszültség algebrailag hozzáadódik a mérendő feszültséghez, és a műszer a kettő összegét méri. Átlagérték mérők esetén a zavarfeszültség mérési idő alatti átlaga (mely jól megválasztott mérési idő esetén nulla) hamisítja meg az eredményt.

A közvetlen átalakítók közvetlenül a feszültséget, a közvetett átalakítók a feszültség egy közbülső mennyiséggé (pl. frekvenciává) alakított értékét digitalizálják.

Az analóg-digitális átalakítók működése, tulajdonságainak részletes megismerése nem tárgyunk feladata, így most csak legfontosabb jellemzőit ismertetjük, melyek a digitális feszültségmérők működésének megismeréséhez elengedhetetlenül szükségesek.

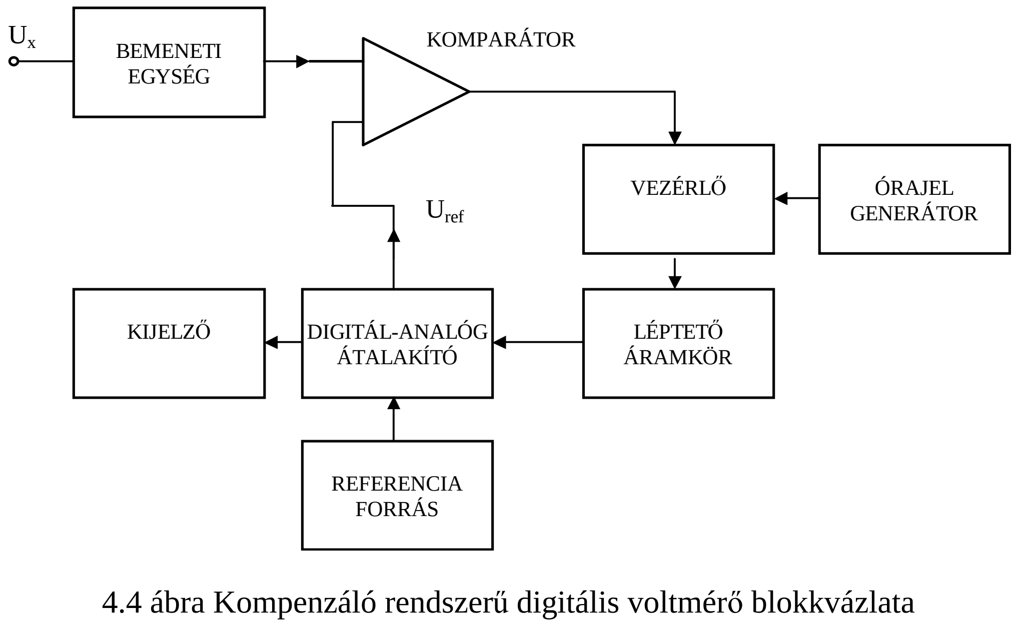
A kompenzáló rendszerű átalakítók tipikus közvetlen pillanatérték-mérők. Működési elvüket takarja az elnevezés: addig változtatnak egy referenciaértéket (U_{ref}), míg az egyenlő nem lesz a mérendő mennyiséggel (U_x). Blokkvázlata a 4.4 ábrán látható.

A bemeneti fokozat látja el a mérőkör illesztését a mérendő jelforráshoz. Biztosítja a nagy bemeneti impedanciát, megvalósítja a mérendő jel kívánt mértékű leosztását és ellátja a bemenet védelmét.

A mérendő jel a bemeneti fokozaton keresztül jut az összehasonlító erősítő (komparátor) egyik bemenetére. A komparátor másik bemenetére a digitális-analóg átalakító kimeneti feszültsége kerül. Ez tulajdonképpen egy referenciafeszültség valamilyen logikai sorrend szerint változó, leosztott értéke. A vezérlő áramkör úgy állítja be a digitál-analóg átalakítót, hogy a komparátor bemenetén a feszültségkülönbség a lehető legkisebb - lehetőleg nulla - legyen. Ez azt jelenti, hogy bemeneti fokozat utáni mérendő jel és a digitál-analóg átalakító kimeneti jele megegyezik egymással. A mérés végzésekor, ha a két jel nem egyenlő, a komparátor vezérlőjelet ad a logikai vezérlő áramkörnek. Az ennek hatására bizonyos időközönkénti ütemezéssel megváltoztatja a digitál-analóg átalakító bemenetén levő kódot, ezáltal az előző állapothoz képest más feszültséget kapcsol a komparátor bemenetére. Ez a kiegyenlítési folyamat addig tart, míg a komparátor két bemeneti jele meg nem egyezik egymással.

A kijelzőn a kiegyenlített állapotban a digitál-analóg átalakító bemeneti kódjának megfelelő számérték látható.

A kiegyenlítés - azaz a logikai vezérlés - megvalósítására több módszer alkalmazható. Az eljárások között lényeges eltérés a kiegyenlítés gyorsaságában van.

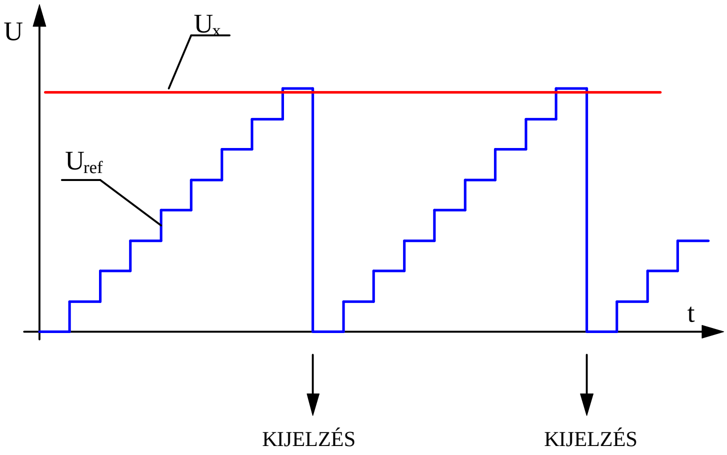


4.4 ábra Kompenzáló rendszerű digitális voltmérő blokkvázlata

Kompenzáló rendszerű digitális voltmérő működésére jellemző időfüggvények:

a. Számláló típusú kiegyenlítés

A számláló módszer vagy lépcsős kiegyenlítés esetén a digitál-analóg átalakító kimenőjele nulláról indul, és addig nő egyenlő kis lépésekkel, míg el nem éri U_X értékét (4.5. ábra).A mérési idő változó, függvénye U_X értékének, így hosszú lehet.

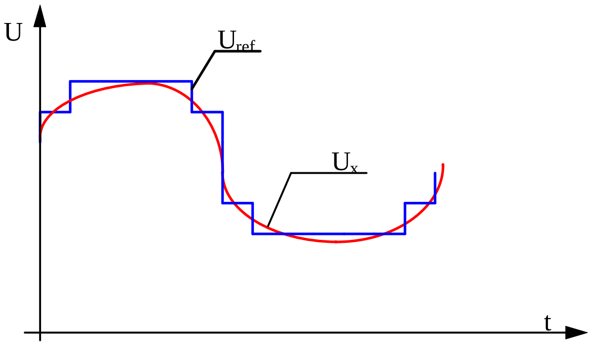


4.5. ábra Lépcsős (számláló típusú) kiegyenlítés

b. Követő számláló típusú kiegyenlítés

A követő számláló típusú kiegyenlítésnél a mérés menete indításkor megegyezik a számláló típuséval. Az első kiegyenlítést követően azonban nem nulláról, hanem az előző értékről indul a digitál-analóg átalakító kimenőjelének változása, így folyamatosan követi U_X változását (4.6.ábra).

A bemenőjel ugrásszerű változásánál ill. a mérés újraindításakor a mérési idő ugyanolyan hosszú lehet, mint a lépcsős kiegyenlítéskor.



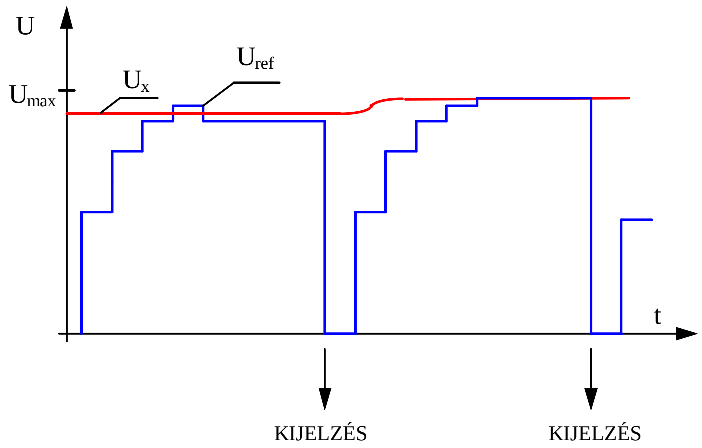
4.6. ábra Követő számláló típusú kiegyenlítés

c. Előírt sorrendű kiegyenlítés

Előírt sorrendű kiegyenlítésnél a vezérlő a kiegyenlítést a digitál-analóg átalakító legnagyobb helyértékén kezdi, ellentétben az előzőekkel, ahol a legkisebb helyértéknek megfelelő analóg feszültség változást láttunk (4.7. ábra).

A legnagyobb helyértéknek megfelelő $U_{max}/2$ feszültséggel való komparálás után kiderül, hogy U_X nagyobb vagy kisebb ennél, azaz szükséges-e $U_{max}/2$ nagyságú feszültség vagy sem. Ha kisebb, akkor az eredmény 0, ha nagyobb, akkor $U_{max}/2$. A kiegyenlítés a következő, eggyel kisebb helyértéken folytatódik. Az előző összehasonlítás eredményéhez ($U_{max}/2$ vagy 0)hozzáadódik a következő helyértéknek megfelelő analóg feszültség $U_{max}/4$. Ismét döntés következik, hogy az újonnan kialakult feszültségérték meghaladja-e vagy sem U_X értékét.

A kiegyenlítés folyamata az összes helyértéken lejátszódik, függetlenül annak eredményétől. A mérési eredmény tehát mindig azonos idő alatt, az előzőeknél gyorsabban alakul ki.



4.7. ábra Előírt sorrendű (szukcesszív approximációs) kiegyenlítés

Feszültség-idő átalakítós digitális voltmérők

A feszültség-idő átalakítós digitális voltmérők közvetett pillanatérték mérő műszerek.

Működésének elve az, hogy a mérendő feszültséget egy időben lineárisan változó feszültséggel (fűrészfeszültséggel) való összehasonlítással idővé alakítja át. A műszer blokkvázlata a 4.8. ábrán, működésének idődiagramja a 4.9. ábrán látható.

A fűrészfeszültség nullátmenete és a feszültségazonosság között eltelt idő a mérendő feszültséggel arányos. Az időmérés a már ismert impulzus-számlálás elvén történik. Az óragenerátor által kibocsátott impulzusokat számlálja az elektronika, melyek a komparátorok engedélyező ill. leállító jele közt érkeznek.

Pozitív feszültség mérésekor a K2 komparátor a fűrészjel nulla átmeneténél engedélyezi az órajel impulzusok számlálóba jutását, majd ha az illesztőegység utáni U_X-szel arányos feszültség egyezik a fűrészjellel, a K1 leállítja a számlálást.

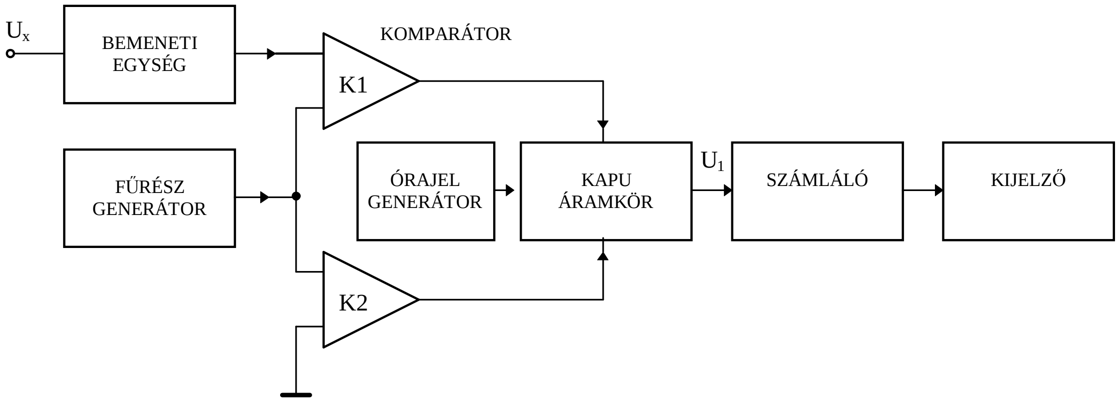
Negatív feszültség mérésénél a két komparátor szerepe felcserélődik: az indítást K1, a leállítást pedig K2 végzi. A komparálási sorrend megváltozása lehetővé teszi az előjel automatikus kijelzését.

A bemeneti egység szerepét a korábbiakban már megismerhettük: nagy bemeneti impedanciát és kívánt mértékű feszültségosztást és a bemenet védelmét biztosítja.

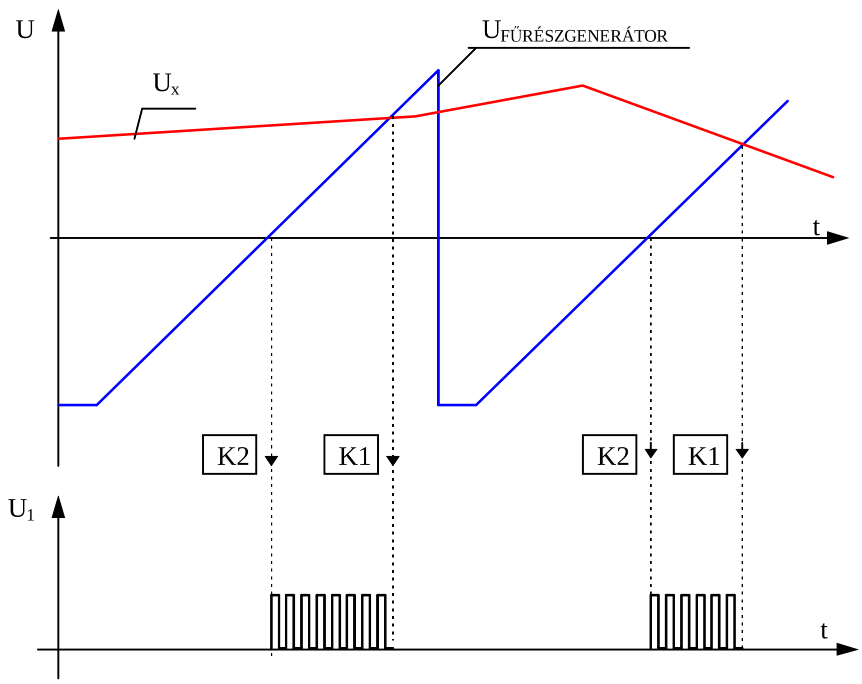
A számláló a beérkező impulzusokat számlálja, és belső tárolójában tárolja a számlálás eredményét.

A kijelző a számláló számtartalmának megjelenítését végzi.

A mérés pontosságát alapvetően a fűrészgenerátor linearítása, az órajel pontossága és a bemeneti fokozat hibája határozza meg.



4.8. ábra Feszültség-idő átalakítós digitális voltmérő blokkvázlata



4.9. ábra Feszültség-idő átalakítós digitális voltmérő működési idődiagramja

Kettős meredekségű digitális feszültségmérő

A kettős meredekségű digitális feszültségmérő integrálással történő feszültség-idő átalakítással működik, átlagérték mérő.

Működési elve a 4.10. ábrán látható blokkvázlat és a 4.11. ábrán látható idődiagram alapján követhető.

A mérendő U_{x1} feszültség a bemeneti fokozaton keresztül az integrátor bemenetére kerül.

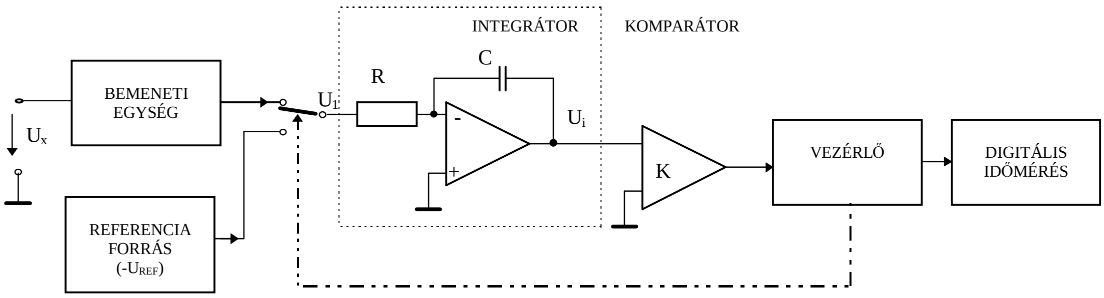
A bemeneti fokozat az előzőekhez hasonlóan a méréshatár váltást ill. a mérőkör illesztését biztosítja.

Az ismeretlen feszültség integrálása állandó T_i ideig történik. Ez azt jelenti, hogy az integrátor kimenete ez idő alatt lineárisan változik, s a T_i időtartam leteltével U_{i1} feszültséget ér el. A konstans T_i idő elteltével a vezérlő áramkör az integrátor bemenetére az U_{x1}-gyel ellentétes polaritású, állandó értékű U_{ref} referencia feszültséget kapcsol. Ennek hatására az előzővel ellentétes irányú feszültségváltozás indul meg az integrátor kimenetén. Mivel U_{ref} állandó, a visszaintegrálás meredeksége is állandó értékű lesz. Ez a második integrálás addig tart, míg a kimenet feszültsége nulla nem lesz, melyet a nullátmenet komparátor érzékel, ideje (t_{x1}) az állandó meredekség következtében arányos U_{i1}-gyel, az pedig U_{x1}-gyel. Így tehát a visszaintegrálás idejét mérve meghatározhatjuk az ismeretlen feszültséget:

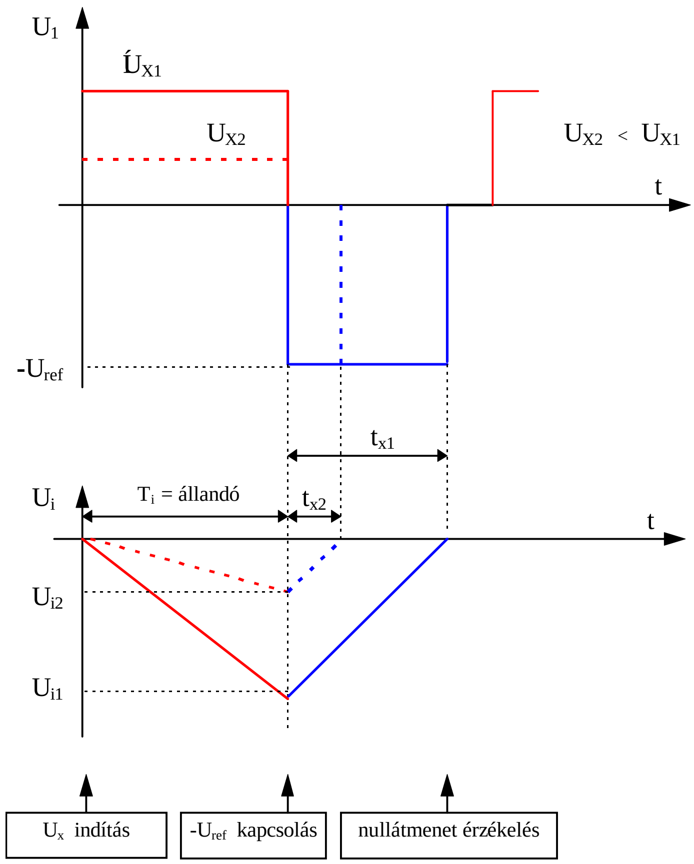
$$U_{x1} = \frac{t_{x1}}{T_i} \cdot U_{ref}$$

Ha más értékű pl. U_{x2} feszültséget mérünk, és $U_{x1} > U_{x2}$ akkor az integrátor kimeneti feszültsége T_i elteltével U_{i2} lesz, s a visszaintegrálás t_{x2} ideig tart.

A digitális időmérő a feszültség-idő átalakítós voltmérőnél megismert impulzus-számlálással működik. A kijelzett érték a mérendő feszültség értékének felel meg.



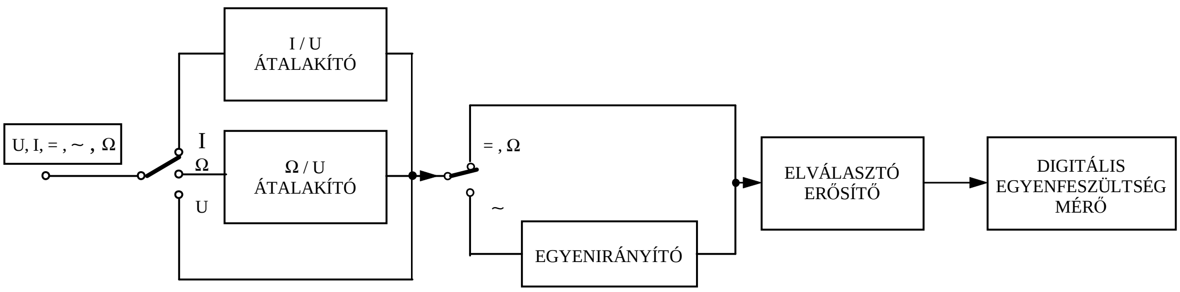
4.10. ábra Kettős meredekségű digitális feszültségmérő blokkvázlata



4.11. ábra Kettős meredekségű digitális feszültségmérő működési idődiagramja

3. Digitális multiméterek

A multiméterek egyen- és váltakozófeszültséget, ellenállást és általában egyen- és váltakozó áramot is mérni tudó műszerek.



6.17 ábra Digitális multiméter általános blokkvázlata

Példák:

4.1 példa:

Mekkora a feszültségmérés hibája ha 3 és fél digites műszerrel 20 V-os méréshatárban 4V-ot mérünk, és a műszerkönyvben a következő adatokat találtuk: "egyenfeszültségmérés hibája ± (0.1%FS+2digit)"

Megoldás:

A méréshatárra megadott értékekből adódó abszolút hiba: $H_{FS} = 20 \cdot 0.1 \cdot 10^{-2} = 20mV$,

a kijelzett szám: 4.00

a kijelzésből adódó hiba :4.00 → 3.98, 4.02 $\quad H_{kij} = 40$ mV

Mivel csak ez a két adat ismert, ezt kell figyelembe venni, így az összes abszolút hiba:

$$H = H_{FS} + H_{kij} = 20 + 40 = 60 \text{ mV}$$

A feszültségmérés relatív hibája:

$$h = \frac{H}{x_m} = \frac{60mV}{4V} = 0.015$$

$$h = 1.5\%$$

4.2 példa:

Egy 200,0 V méréshatárú digitális feszültségmérő felbontóképességét minimálisan hány bites átalakító biztosítja?

Megoldás:

A megadott kijelzés szerint a teljes tartományt 2000 részre kell felosztani. Ha n jelöli az átalakító bitszámát, akkor $2^n \geq 2000$ azaz $n \geq 11$.