

A **méréselmélet** a különböző szakterületeken felmerülő mérési problémák elméleti általánosítását végzi.

Részei:

- Jelelmélet
- Rendszerelmélet
- Becsléelmélet

A **metrológia** az alap és származtatott egységek előállításával, nagy pontosságú eszközök és etalonok hitelesítésével foglalkozó tudomány.

A **méréstechnika** a különböző folyamatok lényeges tulajdonságainak megismerésére szolgáló eszközök és módszerek összessége.

Fontossága objektív döntést tesz lehetővé.

A **műszertechnika** a mérések elvégzéséhez szükséges eszközök és berendezések létrehozásával foglalkozó tudományág.

A **mérésügy** a mértékegységek meghatározására és realizálására, valamint a mérőeszközök ellenőrzésére vonatkozó műszaki, jogi és igazgatási ismeretek összességét tartalmazza.

Mérésügyi törvény 1991/XLV

Kormányrendelet 136/2004 (<http://www.muszeroldal.hu/metrologia.php>)

Magyarországon a mérésügy központi szerve az Országos Mérésügyi Hivatal (OMH) volt, 2007.01.01-től Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal.

- gondoskodik a törvényes mértékegységek országos etalonjáról, nemzetközi összehasonlításukról, hazai továbbszármaztatásukról
- hatósági jogkörében meghatározza a kötelező hitelesítésű mérőeszközök mérésügyi követelményeit, ellátja a mérésügyi engedélyezési és szabályozási feladatokat
- elvégzi a mérőeszközök típusvizsgálatát és hitelesítését

Joghatással járó mérés eredménye jogi, munkavédelmi vagy jelentős gazdasági érdeket érint.

- **Hitelesítés:** a Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal csinálhat csak vagy adhatja ki a jogot.
- **Kalibrálás:** Mindenki más csak kalibrál

**Vizsgálat:**

- egyedi vizsgálat
- típus vizsgálat

## **Alapfogalmak:**

**Kalibrálás:** Etalon által létrehozott mennyiséggel való ellenőrzés

**Beállítás:** Kezelőszervvel mérésre kész állapotra hozás (pl.: méréshatár kiterjesztés)

**Beszabályozás:** Mérőeszköz módosítása a metrológiai tulajdonságok javítása érdekében. (újra kell kalibrálni)

**Javítás:** meghibásodott készülékbe való beavatkozás (újra kell kalibrálni)

**Mérés:** információszerző folyamat.

A **mérés definíciója** azon műveletek összessége, melynek célja egy mennyiség értékének és bizonytalanságának meghatározása.

**Mérés tárgya:** a mérhető mennyiségek

**Mérés célja:** a mérhető mennyiségek nagyságának jellemzése.

Egy mennyiség értékének és bizonytalanságának meghatározása.

**Mérés módszere:** modellezés, amelynek célja kiemelni a megfigyelt jelenség lényeges tulajdonságait

**A modell lehet:**

- 1) Funkcionális (blokkvázlat)
- 2) Fizikai (kis minta)
- 3) Matematikai (Laplace egyenlet)

Az elvárás a modellel szemben, hogy optimális legyen (valósághű, gazdaságos).

**A mérés során egy mennyiség lehet:**

- a) **mérendő:** nagyságának jellemzése a mérés célja
- b) **befolyásoló:** ismert módon befolyásolja a mérési eredményt
- c) **zavaró:** hatásmechanizmusát nem ismerjük

A **mérési módszer** a mérés elvégzéséhez szükséges műveletek logikai sorrendbe történő (konkrét) leírása.

A **mérési eljárás** a mérési módszer által meghatározott műveletek konkrét leírása.

A jel egy meghatározott fizikai mennyiség olyan jellemzője, amely információt hordoz.

A jel információt és energiát hordoz – energia átvadás – jeltorzulás.

Villamos jel: feszültség (pneumatika: nyomás; hőtan: hőmérséklet)

**Jelek felosztása:**

- **Determinisztikus:** ha a határfok eredménye egyértelműen meghatározott. Matematikailag egyértelműen leírható.
- **Sztokasztikus:** csak a valószínűség számítás módszerével írható le
- **Analóg:** értékkészlete időben és amplitúdóban is folytonos.
- **Digitális:** a folytonos jelet diszkrét mennyiséggé alakítjuk át, időben és amplitúdóban.

A **mérési folyamat** egy összehasonlítás, amely során azt vizsgáljuk, hogy a mérendő mennyiség hányszor tartalmazza annak egységét.

A **mérés pontossága függ** az etalon pontosságától és a mérési módszertől.

Mértékegységrendszer kialakulása:

- 1790-ben a Francia Tudományos Akadémia állapította meg a három alapmennyiséget:
  - hosszúság
  - tömeg
  - idő
- 1960-ban egyesítették → SI (Système International d'Unités)

**Etalon megválasztásának szempontjai:**

- megvalósítható legyen
- jól reprodukálható legyen
- minél több tudományág használhassa

## A nemzetközi mértékegységrendszer felépítése:

### 1) SI-n belüli:

#### a) alapegységek (7 db van)

- **hosszúság:** (Mértékegysége: m /méter/ ) (Jele: l)  
Annak az útnak a hosszúsága, amelyet a fény vákumban 1/299792458-ad másodperc alatt tesz meg.
- **tömeg:** (Mértékegysége: kg /kilogramm/ ) (Jele: m)  
Az 1889. évben, Párizsban megadott első Általános Súly- és Mértékügyi értekezlet által a tömeg nemzetközi etalonjának elfogadott, a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatalban, Servésben őrzött platina- irridium henger tömege.
- **idő:** (Mértékegysége: s /másodperc/ ) (Jele: t)  
A másodperc az alapállapotú cézium-133 atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenetnek megfelelő sugárzás 9192631770 periódusának időtartama.
- **áramerősség:** (Mértékegysége: A /Amper/ ) (Jele: I)  
Az amper olyan állandó elektromos áram erőssége, amely két párhuzamos egyenes, végtelen hosszúságú, elhanyagolhatóan kicsi keresztmetszetű és vákumban egymástól 1 méter távolságban lévő vezetőben áramolva, e két vezető között méterenként  $2 \cdot 10^{-7}$  Newton erőt hoz létre.
- **Hőmérséklet:** (Mértékegysége: K /Kelvin/ ) (Jele: T)  
A kelvin a víz hármaspontja termodinamikai hőmérsékletének 1/273,16-od szorosa
- **Fényerősség:** (Mértékegysége: cd /kandela/ ) (Jele:  $\lambda$ )  
A kandela olyan fényforrás fényerőssége adott irányban, amely  $550 \cdot 10^{12}$  Hertz frekvenciájú monokromatikus fényt bocsájt ki és sugárerőssége ebben az irányban 1/683 Watt per szteradián.
- **Anyagmennyiség:** (Mértékegysége: mol /mól/ ) (Jele: n)  
A mól annak a rendszernek az anyagmennyisége, amely annyi elemi egységet tartalmaz, mint ahány atom van 0,012 kilogramm tiszta szén-12-ben.

#### b) származtatott egységek:

Kifejezhetők az alapegységek szorzata, hányadosa, vagy ismételt hányadosaként, a köztük lévő fizikai egyenletek alapján.

### 2) SI-n kívüli egységek:

- Adott területen használható (Hgmm)
- Korlátozás nélkül használható

### 3) Prefixumok:

peta	P	$10^{15}$
tera	T	$10^{12}$
giga	G	$10^9$
kilo	k	$10^3$
hekto	h	$10^2$
deka	da	$10^1$
deci	d	$10^{-1}$
centi	c	$10^{-2}$
milli	m	$10^{-3}$
mikro	$\mu$	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
piko	p	$10^{-12}$
femto	f	$10^{-15}$
atto	a	$10^{-18}$

### Etalon:

- A mérendő mennyiség ismert nagyságát valósítja meg.
- Etalonok hierarchiája:
  - Nemzetközi
  - Országos
  - Műhely
- Leszármaztatás / visszavezethetőség

A feszültség értékének megvalósítására sokáig a Wheastone-féle normálelem szolgált:

- 1910 óta használják
- 1,01860 V 20 °C-on
- $-40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- $R_{be}=1000 \Omega$
- 5-10  $\mu\text{A}$ -el terhelhető

Mérési eredményt csak két számjeggyel szabad leírni (pl.: 1,7 ami  $\pm 1\text{-}2\%$  hiba).

### Josephson-effektus:

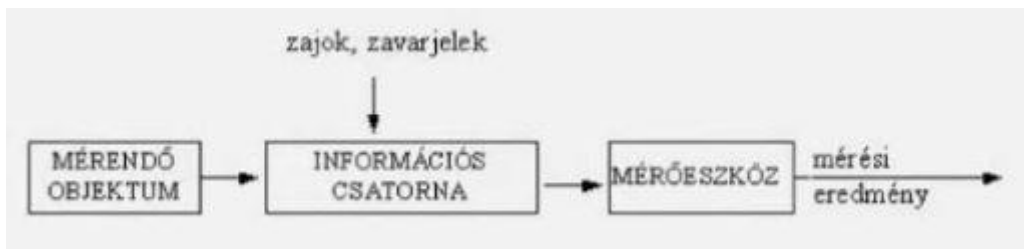
A jelenség lényege, hogy két szupravezető közé vékony szigetelő réteget helyeznek és a szupravezetőket folyékony héliumba merítve előállítják a szupravezetési állapothoz tartozó hőmérsékletet. Ha most a szupravezetőkre U feszültséget kapcsolunk, akkor azt tapasztaljuk, hogy a szigetelőrétegen elektron pontok jutnak át (alagút effektus). Az elektronpárok által kisugárzott energia:  $W = 2 * e U$ , ahol az e az elektron töltése.

A sugárzás frekvenciája, ahol a h a Planck állandó:  $f = W / h$

A szigetelő rétegen tehát f frekvenciájú áram oszcillál.

A fenti két egyenletből a frekvenciára  $F = U * (2e / h)$  adódik.

### A mérés folyamatábrája:



### A mérési módszerek felosztása:

#### 1) A kvantifikálás helye szerinti csoportosítás:

- a) **analóg mérés:** a mérendő mennyiséget vele analóg mennyiséggé alakítjuk (pl.: mutató kitérés) (zavarérzékenység, információtartalom)
- b) **digitális mérés:** a mérendő mennyiséghez számsorozatot vagy kódot rendel a mérőeszköz
- c) **hibrid mérés:** a mérőrendszerben az analóg és digitális jelek együtt hordozzák az információt

## 2) A mérendő mennyiség átalakítása szerinti csoportosítás:

- a) **közvetett mérés:** a mérendő mennyiséget először más, könnyebben mérhető mennyiséggé alakítjuk (pl.: feszültséget mérek és frekvenciává alakítom át a feszültség értékét)
- b) **közvetlen mérés:** a mérendő mennyiséggel azonos fizikai mennyiséget mérünk.

## 3) Mérési eljárás szerinti csoportosítás:

- a) **értékmutató:** a műszer a mérendő mennyiség értékét szolgáltatja (mutatókitérés vagy számjegyek formájában)
- b) **állapotbeállító:** a mérőhálózat valamilyen állapotának eltéréséből következtetünk a mérendő mennyiségre (ez az állapot valamilyen szélsőérték) (pl.: hídkapcsolás kiegyenlítése)

## 4) Mérési elv szerinti csoportosítás:

- a) **összehasonlító módszer:** az ismeretlen és az ismert mennyiség egyenlőségét az ismert mennyiség változtatásával hozzuk létre.
- b) **felcseréléses módszer:** a mérőkörben az etalon változtatásával egyenlőséget hozunk létre, majd felcserélve az ismeretlen mennyiség és az etalon helyét, újra megvalósítjuk az egyensúlyi állapotot.  
(Pontossága nem függ a mérőrendszer pontosságától.)
- c) **helyettesítő módszer:** a mérőkörben az ismeretlen mennyiséget egyensúlyba hozzuk a változtatható nagyságú mennyiséggel, majd az ismeretlen mennyiség helyére a változtatható etalon helyezzük. Az etalon változtatásával ismét létrehozuk az egyensúlyi állapotot. Ebben az esetben az etalon értéke megegyezik az ismeretlen mennyiség értékével.  
(Pontossága nem függ a mérőrendszer pontosságától.)
- d) **differencia módszer:** erre a módszerre az jellemző, hogy az etalon nem változtatható, így az egyensúly megvalósítása úgy érhető el, hogy az etalonat kiegészítjük egy változtatható mennyiséggel.  
(Pontosságát elsősorban a változtatható mennyiség és az etalon aránya befolyásolja.)

## A mérési hiba:

A **mérés feladata** meghatározni a mért értéket és ennek bizonytalanságát.

### A mérési hiba fogalma:

A mérés célja elvben a mérendő mennyiség meghatározása. Jellemző, hogy a valódi és a mért érték között eltérés van.

A **helyes érték** a mérendő mennyiség valódi értékének az adott esetben elérhető legjobb becslése.

### A mérési hiba megadási módja:

- a) abszolút formában megadva: A mért érték és a helyes érték különbsége. ( $H = X_m - X_h$ )  
Előjele és dimenziója van.
- b) relatív formában megadva: A mérési hibát elosztjuk a mért mennyiség helyes értékével.  
( $h = H / X_h \approx H / X_m$ )  
Előjele van, de dimenziója nincs. (% , ‰ , ppm , ppb)

### A mérés pontossága:

A pontosság a mérésnek az a tulajdonsága, amelyik a valódi értéktől való eltérésre utal.

A pontosság és a hiba egymással ellentétes fogalmak, de egymásnak nem reciprokai.

Ez a megfogalmazás azt jelenti, hogy kisebb hiba nagyobb mérési pontosságot eredményez.

### A mérési hibák csoportosítása:

- 1) **Durva hiba:** Valamilyen emberi hiba okozza. A mérés értékelhetetlen.
- 2) **Rendszeres hiba:**
  - változatlan körülmények között megismételve a hiba nagysága és előjele állandó
  - ismert módon változó körülmények között pedig az ismert törvényszerűségek szerint változik
  - torzítja a mérést
  - ha a rendszeres hiba nagysága és előjele meghatározható, akkor ezzel a mérési eredmény korrigálható
- 3) **Véletlen hiba:**
  - ugyanolyan körülmények között megismételve a mérést a mérés eredménye más értéket ad.
  - a véletlen hibának is vannak okai, azonban ezeket az okokat nem ismerjük, vagy a felderítés nehézsége és/vagy költségessége miatt nem tartunk igényt ismeretére
  - nagysága és előjele bizonyos határok között véletlenszerűen változik
  - ez a hiba bizonytalanná teszi a mérést
  - elsődlegesen a gyártók által a műszerekre megadott hibákat kezeljük véletlen hibaként
  - **mérési sorozat** segítségével lehet meghatározni a nagyságát (lásd: következő oldal részletesen)

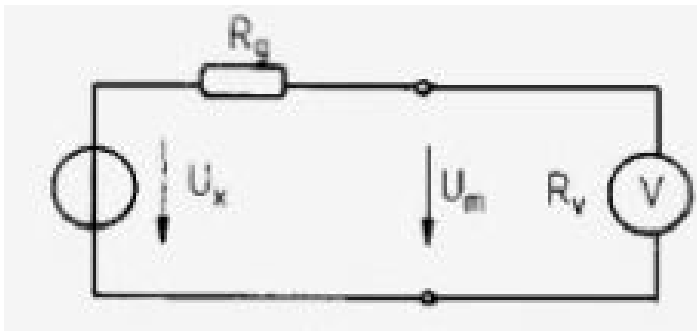
**Korrektció:** az abszolút formában megadott rendszeres mérési hiba negatív előjellel vett értéke.

(Jele: K)                       $K = - H$                        $X_{\text{helyes}} = X_{\text{mért}} + K$

### A rendszeres hibák okai az alábbiak lehetnek:

- a) **a mérőeszközök hibái:**
  - a műszerek energia felvétele (fogyasztása) okozta hiba
  - a méréshatár váltás hiba
  - interpolációs hiba
- b) **a mérési módszerből származó hibák:**
  - a helytelenül felépített mérőkör
  - a nem megfelelő mérési módszer kiválasztása
- c) **a külső körülmények okozta hibák**
  - hőmérsékleti hiba
  - a külső környezeti hatásokból származó egyéb rendszeres hibák

### Példa A feszültségmérés rendszeres hibájának meghatározása:



$$U_m = U_x \cdot \frac{R_v}{R_v + R_g}$$

$$H = U_m - U_x$$

„Mennyi az abszolút és a relatív hiba?”

$$H = U_x \cdot \frac{R_v}{R_v + R_g} - U_x = U_x \cdot \left[ \frac{R_v}{R_v + R_g} - 1 \right] = -U_x \cdot \frac{R_g}{R_v + R_g} = -U_x \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_v}{R_g}}$$

$$h = \frac{H}{U_x} = -\frac{R_g}{R_v + R_g} = -\frac{1}{1 + \frac{R_v}{R_g}} \quad U_m < U_x$$

„Mikor 0 az abszolút és/vagy relatív hiba?”

- a) számláló = 0  $\rightarrow R_g = 0$  ideális feszültséggenerátor
- b) nevező =  $\infty$   $\rightarrow R_v = \infty$  ideális feszültségmérő

A fenti feltételek a gyakorlatban nem teljesülnek, ezért az  $R_v \gg R_g$  feltételt igyekszünk megvalósítani.

### Mérési sorozat:

- segítségével lehet meghatározni a véletlen hiba nagyságát.
- a mérési sorozaton olyan nagyszámú ismételt mérést értünk, amit változatlan körülmények között végzünk el
- ha a mérési sorozat n számú mérésből áll, és a rendszeres hibával korrigált értéket  $X_1; X_2; \dots$

$X_1 \dots X_n$ , akkor a várható érték legjobb becslése a mérési sorozat átlaga

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot (X_1 + X_2 + \dots + X_i + \dots + X_n) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i$$

- a mérési sorozat átlagértéke az a szám, amelytől vett mérési értékek különbségének összege zérus

$$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) = 0$$

### A mérési sorozat jellemző értékei:

- a) **medián:** az az érték, amitől mérve egyenlő számú, kisebb és nagyobb értékek vannak a sorozatban
- b) **módus:** a mérési sorozat azon eleme, amelynek a legnagyobb a gyakorisága
- c) **terjedelem:** A legnagyobb mért érték:  $X_{\max}$ , a legkisebb mért érték  $X_{\min}$ .
- d) **átlagos abszolút eltérés (E):**

$$E = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}| \quad X_H = \bar{X} \pm E$$

- e) **a szórás definíciója:**

$$s = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

A szórásnégyzet  $s^2$ , vagy másként variancia.

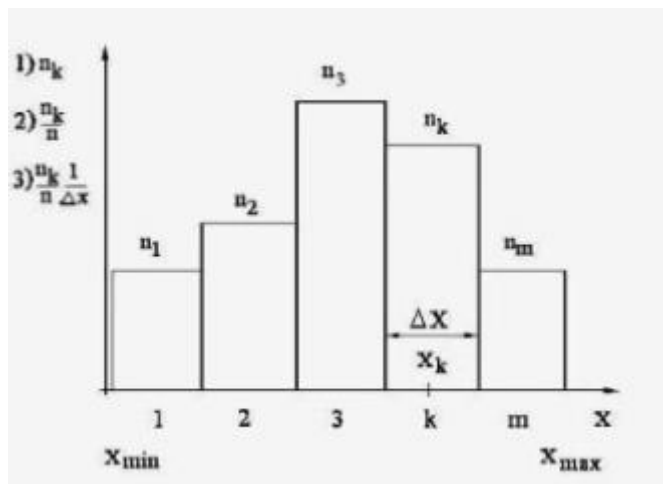
### Csoportosított mérési adatok és ábrázolásuk:

Előnye: Szemléletessé és egyszerűbbé teszi az adatok kezelését,  
Hátránya: viszont információvesztést okozhat.

Bontsuk fel a mért értékeket tartalmazó intervallumot  $m$  darab  $\Delta X$  szélességű szakaszra és legyen egy-egy elemi szakaszban  $n_1; n_2 \dots n_k \dots n_m$  számú mérési adat. Ha a  $k$ -adik számú  $\Delta X$  szakaszban a mért érték  $X_k$  és az intervallum  $n_k$  számú mért értéket tartalmaz.

$$n = \sum_{k=1}^m n_k \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^m X_k \cdot n_k$$
$$E = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^m |X_k - \bar{X}| \cdot n_k \quad s = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=1}^m (X_k - \bar{X})^2 \cdot n_k}$$

### Eredménye a hisztogram:





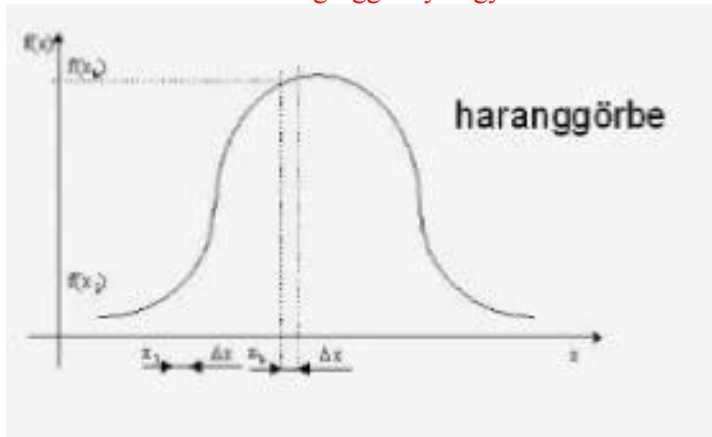
### Relatív gyakoriság:

megadja annak a valószínűségét, hogy a következő mérési adat ebbe a sávba esik-e bele ( $n_k / n$ )

### Empirikus sűrűségfüggvény:

$$f(X_k) = \frac{n_k}{n \cdot \Delta x}$$

### Normális eloszlású sűrűségfüggvény vagy másként Gauss-féle eloszlásfüggvény:



$\Delta x \rightarrow 0$  miközben  $n \rightarrow \infty$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = p[X_1; X_2]$$

Gauss feltétel:

$$\frac{s^2}{E^2} = \frac{\pi}{2}$$

### Helyes érték véletlen hiba esetén:

$$X_h = \bar{X} \pm k \cdot s = \bar{X} \pm \varepsilon$$

ahol  
k: kiterjesztési tényező  
 $\varepsilon$ : megbízhatósági sáv  
s: szórás

k	valószínűség ( $P_k$ )	Valószínűség [%]
---	------------------------	------------------

0	0	0
1	0,682	68,2
2	0,954	95,4
3	0,997	99,7

(Annak a valószínűsége, hogy a valódi érték ebbe a sávba esik, az 0,954, ami 95,4 %)

A **szabványos érték**  $k=2$ .

**A mérési eredmények megadása metrológiai helyes formában:**

$$X_h = X_m + K \pm \varepsilon$$

ahol:  $X_h$ : a mérés helyes értéke

$X_m$ : a mért érték

$K$ : a korrekció

$\pm \varepsilon$ : a véletlen hibák intervalluma

**Analóg műszerrel mért adatok bizonytalanságának megadása:**

$$\pm h = \pm h_{po} \cdot \frac{X_{mh}}{X_m}$$

ahol:  $h$ : a mérés bizonytalansága

$h_{po}$ : a pontossági osztály – gépkönyv alapján

$X_{mh}$ : aktuális méréshatár

$X_m$ : a mért érték

**Digitális kijelzésű műszerekkel mért adatok bizonytalanságának meghatározásai:**

$$\pm h = \pm \left( h_{rdg}[\%] + h_{fs}[\%] \cdot \frac{X_{fs}}{X_{rdg}} + \frac{D[ digit ]}{N_k} \cdot 100[\%] \right)$$

ahol:  $h$ : a mérés bizonytalansága

$h_{rdg}$  (reading): leolvasott értékre vonatkoztatott hiba – gépkönyv alapján

$h_{fs}$  (full scale): aktuális méréshatárra vonatkoztatott hiba – gépkönyv alapján

$X_{fs}$ : aktuális méréshatár

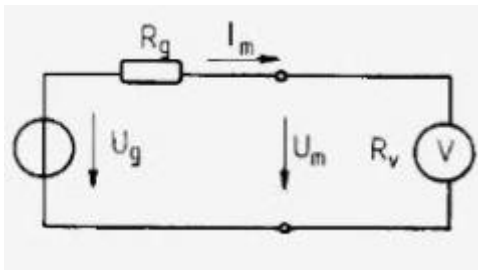
$X_{rdg}$ : mért érték

$D$  (digit): bizonytalan jegyek száma – gépkönyv alapján

$N_k$ : a digitális műszeren kijelzett teljes szám értéke a tizedespontról  
nélkül

Amelyik érték nincs megadva, az 0-nak tekinthető.

**Példa** Thevenin helyettesítő kép elemeinek meghatározása:



Mivel az áramkör két ismeretlen mennyiséget ( $U_g$  és  $R_g$ ) tartalmaz, két mérést végzünk, az egyiket analóg, a másikat digitális műszerrel.

1) Analóg műszerrel:

$$\begin{aligned}U_{m(A)} &= 8 \text{ V} \\U_{mh(A)} &= 10 \text{ V} \\R_{v(A)} &= 200 \text{ k}\Omega \\h_{po(A)} &= \pm 1,5 \text{ \%}\end{aligned}$$

$$|K_{(A)}| = I_m \cdot R_g = \frac{U_{m(A)}}{R_{v(A)}} \cdot R_g = \frac{8 \text{ V}}{200 \text{ k}\Omega} \cdot 103,1 \text{ k}\Omega = 4,124 \text{ V}$$

$$\pm h_{U(A)} = \pm h_{po} \cdot \frac{U_{mh}}{U_m} = \pm 1,5 \text{ \%} \cdot \frac{10 \text{ V}}{8 \text{ V}} = 1,875 \text{ \%}$$

$$\begin{aligned}X_h &= X_m + K \pm \varepsilon \\U_g &= U_{m(A)} + K_{(A)} \pm h_{U(A)} = 8 \text{ V} + 4,212 \text{ V} \pm 1,875 \text{ \%} = 12,1 \text{ V} \pm 1,9 \text{ \%} = 12,1 \text{ V} \pm 0,23 \text{ \%}\end{aligned}$$

2) Digitális műszerrel:

$$\begin{aligned}U_{m(D)} &= 12 \text{ V} \\U_{mh(D)} &= 20 \text{ V} \\R_{v(D)} &= 10 \text{ M}\Omega \\h_{rdg(D)} &= \pm 1,5 \text{ \%} \\D &= 1\end{aligned}$$

$$|K_{(D)}| = I_m \cdot R_g = \frac{U_{m(D)}}{R_{v(D)}} \cdot R_g = \frac{12 \text{ V}}{10 \text{ M}\Omega} \cdot 103,1 \text{ k}\Omega = 123,72 \text{ mV}$$

$$\pm h = \pm \left( h_{rdg}[\text{\%}] + \frac{D[\text{digit}]}{N_k} \cdot 100[\text{\%}] \right) = \pm \left( 0,5 \text{ \%} + \frac{1}{1200} \cdot 100 \text{ \%} \right) = \pm 0,5833 \text{ \%}$$

$$\pm h_{U(D)} = \pm h_{po} \cdot \frac{U_{mh}}{U_m} = \pm 1,5 \text{ \%} \cdot \frac{10 \text{ V}}{8 \text{ V}} = 1,875 \text{ \%}$$

$$\begin{aligned}U_g &= U_{m(D)} + K_{(D)} \pm h_{U(D)} = 12 \text{ V} + 123,712 \text{ mV} \pm 0,5833 \text{ \%} = 12,1 \text{ V} \pm 0,6 \text{ \%} \\&= 12,1 \text{ V} \pm 0,23 \text{ \%}\end{aligned}$$

### Pontossági osztály:

0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 1,5

laboratóriumi műszerek

2,5 ; 5

üzemi műszerek

Addig érvényesek ezek az adatok, míg a **referencia feltételeket** betartjuk.

Járulékos hiba lép fel, ha kilépünk a referencia tartományból. (Alaphiba + járulékos hiba)

### A hibát okozzák:

- hőmérséklet
- mágneses tér
- páratartalom
- légnyomás

### Fajtai:

- paralixis (leolvasási) hiba
- skála hiba
- interpolációs hiba

## Hibák halmozódása matematikai műveletek során

Az egyszerűség miatt vizsgálatainkat két adattal végzett műveletekre korlátozzuk. A nyert összefüggések tetszőleges számú mennyiségre is kiterjeszthetők.

Legyen  $x$  és  $y$  egymástól független mérési adat. Tételezzük fel, hogy a mérési adatok a rendszeres hibáktól mentesek és  $x$  névleges értéke  $x_0$ ,  $y$  névleges értéke  $y_0$  valamint  $x$  mérésnél elkövetett hiba  $\Delta x = x - x_0$ ,  $y$  mérésnél elkövetett hiba  $\Delta y = y - y_0$ .

$$z = f(x, y)$$

$Z$  teljes megváltozását (hibáját) a parciális deriváltak alapján határozhatjuk meg:

$$\Delta z = \left. \frac{\partial z}{\partial x} \right|_{x_0 y_0} \cdot \Delta x + \left. \frac{\partial z}{\partial y} \right|_{x_0 y_0} \cdot \Delta y$$

#### 1) Alapeset:

$$\Delta z = \left. \frac{\partial z}{\partial x} \right|_{x_0 y_0} \cdot \Delta x + \left. \frac{\partial z}{\partial y} \right|_{x_0 y_0} \cdot \Delta y$$

Előjelhelyes esetben.

#### 2) Legpesszimistább eset (worst case):

$$\Delta z = \pm \left[ \left| \left. \frac{\partial z}{\partial x} \right|_{x_0 y_0} \cdot \Delta x \right| + \left| \left. \frac{\partial z}{\partial y} \right|_{x_0 y_0} \cdot \Delta y \right| \right]$$

#### 3) Legvalószínűbb eset (ha az adatok függetlenek, szórásként számolva)

$$\Delta z = \pm \sqrt{\left( \left. \frac{\partial z}{\partial x} \right|_{x_0 y_0} \cdot \Delta x \right)^2 + \left( \left. \frac{\partial z}{\partial y} \right|_{x_0 y_0} \cdot \Delta y \right)^2}$$

### Hibák halmozódása **összeadás esetén**

Összeadáskor az abszolút hibák összegződnek.

#### 1) Abszolút formában megadva:

a) alapeset:

$$H_z = H_x + H_y$$

b) Leg pesszimistább eset (worst case):

$$H_z = \pm[|H_x| + |H_y|]$$

c) Legvalószínűbb eset (statistikailag függetlenek):

$$H_z = \pm\sqrt{(H_x)^2 + (H_y)^2}$$

#### 2) relatív formában megadva:

$$h_z = \frac{|H_x| + |H_y|}{x + y}$$

### Hibák halmozódása **kivonás esetén**

Kivonáskor az abszolút hibák kivonódnak.

#### 1) Abszolút formában megadva:

$$H_z = H_x + H_y$$

#### 2) Relatív formában megadva:

$$h_z = \frac{|H_x| + |H_y|}{x - y}$$

A leg pesszimistább és legvalószínűbb eset képletei megegyeznek az összeadásával.

Ha a két mérési eredmény közel van egymáshoz, akkor nagyon nagy lesz a hiba.

Kerülni kell azokat a méréseket, amelyeknél az eredményt úgy kapjuk meg, hogy a mért értékeket ki kell vonni egymásból!

### Hibák halmozódása **szorzás és osztás esetén**

#### 1) Abszolút formában megadva:

a) **szorzásnál:**

$$H_z = \pm(|y_0 H_x| + |x_0 H_y|)$$

b) **osztásnál:**

$$H_z = \pm\left(\left|\frac{H_x}{y_0}\right| + \left|\frac{x_0 H_y}{y_0^2}\right|\right)$$

#### 2) Relatív formában megadva:

$$h_z = \pm[|h_x| + |h_y|]$$

A relatív hiba szorzásnál és osztásnál megegyeznek.

**Példa Számítással történő ellenállás meghatározásának hibája:**

$$I_m = 0,5 \text{ A} \pm 0,01 \text{ A}$$

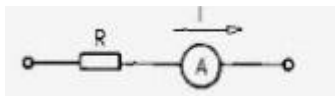
$$U_m = 10 \text{ V} \pm 5 \%$$

$$R = ? \quad h_R = ?$$

$$R = \frac{U_m}{I_m} = \frac{10 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 20 \Omega$$

$$\pm h_R = \pm[|h_U| + |h_I|] == \pm[|2\%| + |5\%|] = \pm 7\%$$

**Példa Számítással történő teljesítmény meghatározásának hibája:**



$$R = 100 \Omega \pm 5 \%$$

$$I = 0,5 \text{ A} \pm 0,01 \text{ A}$$

$$P = ? \quad h_P = ?$$

$$P = I^2 \cdot R = 0,5^2 \cdot 100 = 25 \text{ W}$$

Legpesszimistább eset:

$$\pm h_R = \pm[|2 \cdot h_I| + |h_R|] == \pm[|2 \cdot 2| + |5|] = \pm 9 \%$$

Legvalószínűbb eset (szórásként számolva):

$$\pm h_P = \pm \sqrt{(2 \cdot h_I)^2 + (h_R)^2} = \pm 6,4 \%$$

**Mérési eredmények ábrázolása:**

- az ábrázolást legtöbbször síkbeli derékszögű koordináta-rendszerben végezzük el (a másik a polárkoordináta rendszer → hadügy)
- a tengelyeken a beosztások legtöbbször egyenletesek (jó interpolációs lehetőséget biztosítanak)
- de lehet ettől eltérő is, mint pl.: logaritmikus (lin-log, log-log, eltolt)
- a mérési pontokat kereszttel jelöljük
- a mérési pontokat ábrázolás után tilos összekötni, helyette az összefüggést reprezentáló görbével közelítjük

**Regressziós egyenes:**

- a regressziós egyenes paramétereinek meghatározásakor a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazzuk
- A módszer az alábbi: a közelítő görbe jellemzőit úgy kell megválasztani, hogy a mérési pontok és a keresett görbe közötti távolságok négyzetösszege minimális legyen

Álljon a mérésünk a következő elemekből:  $x_1, y_1 ; x_2, y_2 ; \dots x_n, y_n$

A közelítő egyenesünk egyenlete:  $y = mx + b$

Azonos  $x$  értékekhez tartozó  $y$  értékek különbsége:  $\delta_1 = y_1 - (mx_1 + b)$

A különbségek négyzetösszege:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - (m \cdot x_i + b)]^2 = F(m ; b)$$

Ennek a kifejezésnek meg kell keresni a minimumát, amit  $m$  és  $b$  szerint vett parciális deriváltakkal érünk el:

$$\frac{\partial F(m ; b)}{\partial m} = 0 \qquad \frac{\partial F(m ; b)}{\partial b} = 0$$

ahol:  $m$ : iránytényező  $b$ : tengelymetszet

### Korrelációs együttható:

A mérési pontokhoz megfeleltetjük a regressziós görbe pontjait. A kétféle pontthalmaz között korreláció (megfeleltetés) van. A korreláció mértékére a korrelációs együttható ( $r$ ) jellemző:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Az  $r$  együttható abszolút értéke 0 és 1 között van.

A korrelációs együttható értéke a mennyiségek közötti kapcsolat erősségére utal. Ha a két mennyiség között lineáris kapcsolat áll fenn, akkor  $|r|=1$ , és ha  $r=0$ , akkor a két mennyiség korrelálatlan.

### Műszerek felosztása:

#### 1) Mérendő mennyiség szerint:

- villamos
- nem villamos

#### 2) Mérési feladat szerint:

- **Jelforrások**: amelyek a mérőköröket látják el a szükséges vizsgálójelekkel
- **Vizsgálóműszerek**: amelyek a fizikai mennyiség értékét, időbeni lefolyását vagy állapotát határozzák meg.

#### 3) Kijelzésének jellege szerint:

- **kijelző** (értékmutató)
- **integráló műszer** (pl.: villanyóra): amelyek a mért fizikai mennyiség értékét integrálják
- **regisztráló** (pl.: szeizmográf): amelyek a mérési eredményeket vonal vagy pontsor formájában rögzítik
- **jelző műszerek** (pl.: szén-monoxid mérő): fizikai jellemző előre beállított értékeinél hang-, vagy fényjelzést szolgáltatnak

4) **Műszer működéséhez szükséges energia szerint:**

- segédenergiával működő
- segédenergiák nélkül működő

5) **A műszer elhelyezkedése szerint:**

- távmérő
- helyszínen mérő

6) **A mérés időbeni lefolyása szerint:**

- folyamatosan mérő
- szakaszosan mérő

## Villamos mennyiségek mérése

- jel: feszültség (számunkra ez a legfontosabb)
- a többi mennyiség mérést visszavezetjük a feszültség mérésére

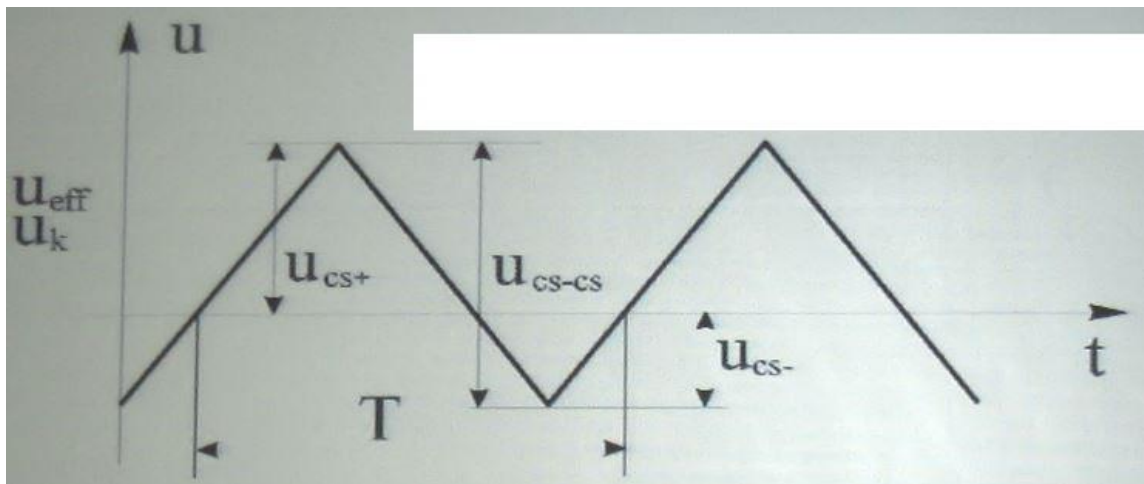
### A feszültség

- o **fajtája szerint lehet:**
  - o AC - váltakozó áramú
  - o DC – egyenáramú
- o **mérési módszere szerint lehet:**
  - o analóg
    - elektromechanikus
    - elektronikus
  - o digitális
    - elektronikus

### AC váltakozó feszültség mérése:

- 1) Jelalak
- 2) Amplitúdó („hány V?”)
- 3) Frekvencia (periódusidő)
- 4) Fázis

### Amplitúdó mérése:





**Csúcsérték:** (peak value) a perióduson belüli legnagyobb pillanatértéket értjük ( $U_{cs}$  vagy  $U_p$ )

Amennyiben pozitív és negatív irányban nem azonos alak keletkezik, akkor külön meg kell adni:  $U_{cs+}$ ,  $U_{cs-}$  vagy  $U_{p+}$ ,  $U_{p-}$

A pozitív és negatív irányú csúcsértékek összege a csúcstól-csúcsig. ( $U_{cs-cs}$  vagy  $U_{p-p}$  / peak to peak/

**Egyszerű vagy elektrolitikus középérték (mean value):**

Matematikailag periódusra vett átlagérték. Szinuszos jel esetén értéke 0 V.

$$U_e = U_{mv} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$$

**Abszolút középérték:** (average value)

$$U_k = U_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt$$

Szinuszos jel esetén:

$$\frac{2 U_p}{\pi}$$

**Négyzetes középérték vagy effektív érték:** (Root mean square, RMS)

$$U_{eff} = U_{RMS} = U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U(t)^2 dt}$$

Szinuszos jel esetén: (a jel munkavégző képessége)

$$\frac{U_p}{\sqrt{2}}$$

A mérőszámok közötti kapcsolat kifejező tényezők:

- **formatényező** (form factor)

$$k_f = \frac{U_{eff}}{U_k}$$

Szinuszejel esetén:

$$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$$

- **csúcsstényező** (crest factor)

$$k_{cs} = \frac{U_{cs}}{U_{eff}}$$

Szinuszejel esetén:

$$\sqrt{2}$$

## Leggyakoribb periodikus jelek jellemző adatai:

„Mit mér és mit mutat a műszer?”

A csúcserték egyenirányítóval rendelkező műszerek, ami általában szinuszos jelre kalibrált, a háromszögjel csúcsertékét érzékeli, és osztja a szinuszos jelre vonatkozó csúcsstényezővel.

A műszer által mutatott  $U_m$  értékből a háromszögjelünk effektív értéke a következőképpen számítható ki:  $U_m = \frac{U_p}{k_{cs}}$

Háromszögjelre vonatkoztatott csúcsstényező:

$$k_{csH} = \frac{U_p}{U_{effH}} = \sqrt{3} = 1,73$$

Milyen egyenirányító?	Mit mér?	Mit mutat?	Színuszjel esetén ( $U_p=1V$ )	Négyszögjel esetén ( $U_p=1V$ )
középérték	$U_{ak}$	$U_{ak} \cdot 1,11$	$\frac{2 U_p}{\pi}$	$U_p \cdot 1,11$
csúcserték	$U_p$	$\frac{U_p}{\sqrt{2}}$	$\frac{U_p}{\sqrt{2}} = 0,707$	$\frac{U_p}{\sqrt{2}} = 0,707$
valódi effektív érték	valódi effektív érték ( $U_{eff}$ )	$U_{eff}$	$\frac{U_p}{\sqrt{2}}$	$U_p = U_{eff}$

A műszerek szinuszos jelre vannak skálázva.

Színuszjel esetén annak effektív értékét mutatják, függetlenül attól, hogy csúcsertéket, középértéket vagy effektív értéket mértek.

Csúcserték egyenirányító esetén a kijelzett érték a mért érték és a színuszjelre vonatkozó csúcsstényező reciprokainak szorzata.

Abszolút középérték mérő egyenirányító műszer esetén a mért érték és a színuszjelre vonatkozó csúcsstényező szorzata, így teljesül a színusz effektív értékre történő skaláris követelménye.

Deprez műszer elektrolitikus középértéket mér. Színusz vagy Négyszögjel  $\rightarrow 0V$

## Oszcilloszkóp

**Feladata:** két vagy több villamos jel függvénykapcsolatának az ábrázolása

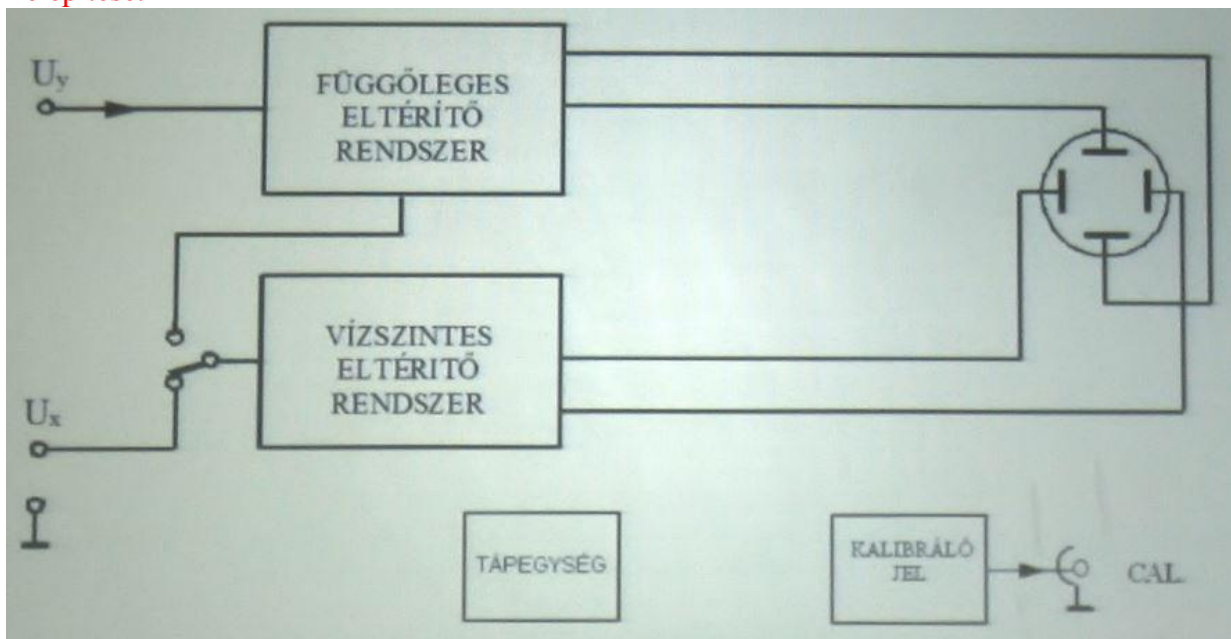
**Előnye:** teljes információt szolgáltat a jelről (jelalak, frekvencia, fázis, amplitúdó)

**Hátránya:** pontatlan (5-7%)

**Fajtái:**

- univerzális
- tároló
- mintavételező
- analízátorok (logikai állapot, spektrum)
- karakterisztika ábrázoló

**Felépítése:**



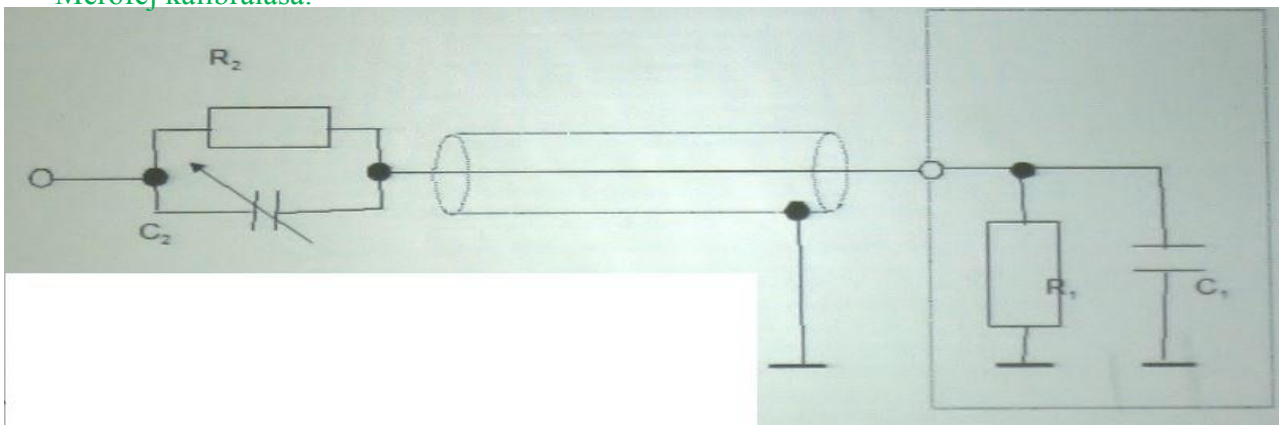
**Fő részei:**

- függőleges eltérítőrendszer
- vízszintes eltérítőrendszer
- készülékváz

**Készülékváz:**

- tápegység
- kalibráló áramkör
- képcső és kiszolgáló egységei

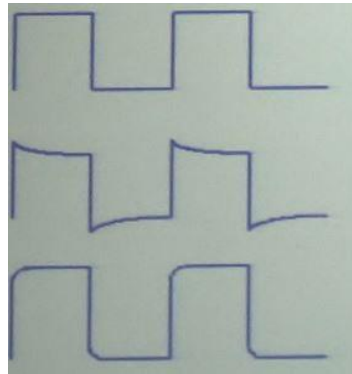
**Mérőfej kalibrálása:**



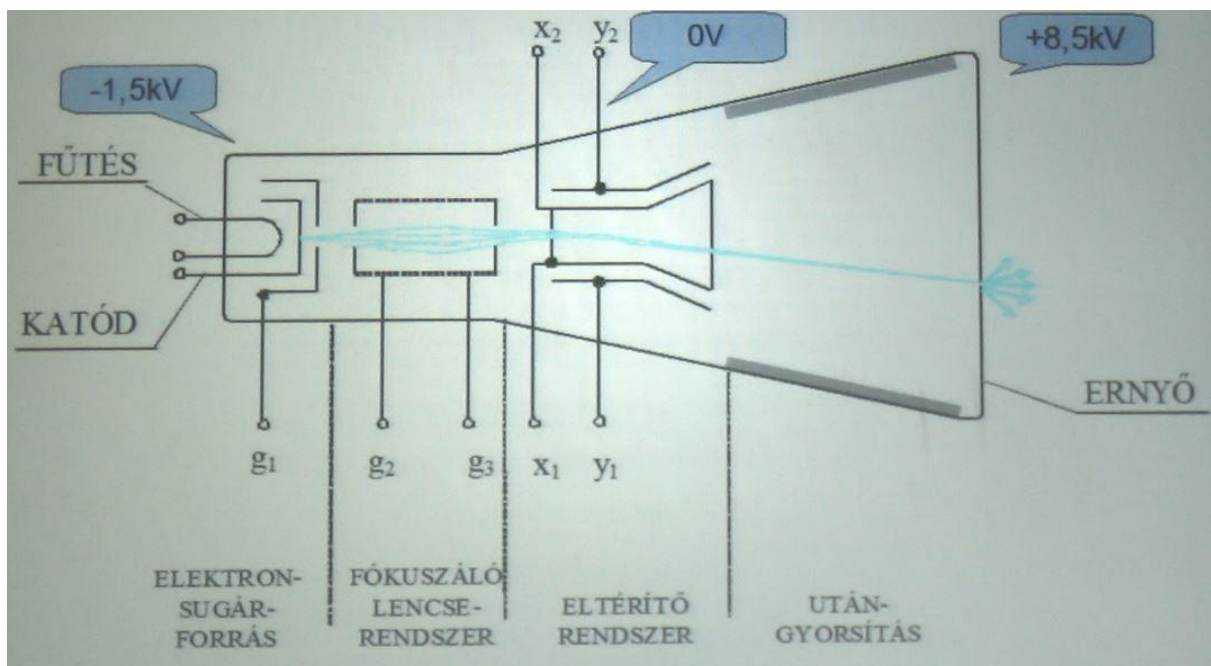
helyesen beállított

túlkompenzált

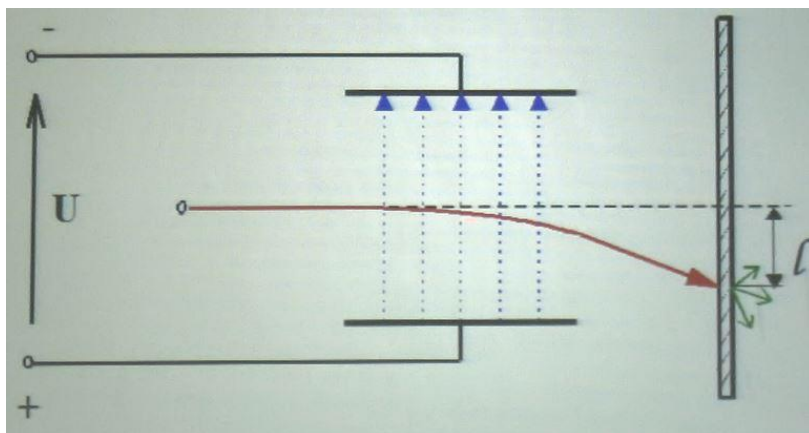
alulkompenzált



### Katódsugárcső (CRT)



Az elektron eltérítése:

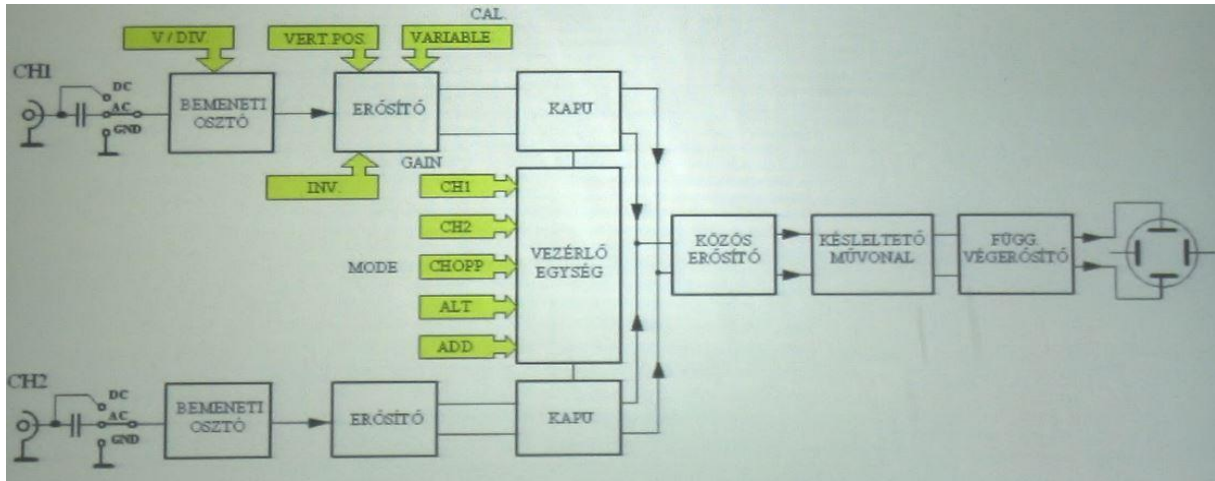


## Függőleges eltérítő rendszer:

**Feladata:** a jel alakhű erősítése olyan mértékben, hogy kiértékelhető ábrát eredményezzen a képernyőn.

- kétsugarasított oszcilloszkópnak 2 eltérítő rendszere van külön-külön (2 katód, 2 eltérítő)
- egysugaras kétsugarasított oszcilloszkóp

## Kétsugarasított oszcilloszkóp függőleges eltérítő rendszere:



### AC-DC-GND: csatolás választó

- GND: a bemeneti jellel nem történik semmi (hold)
- AC: kondenzátoron keresztül jut be csak a váltó jel
- DC: teljes jel az erősítőre kerül, így együtt vizsgálhatjuk az egyen és váltakozó összetevőt

### Bemeneti osztó:

- a bemeneti jel milyen mértékben osztódjon
- az oszcilloszkóp bemeneti impedanciájának nagyságát és állandóságát biztosítja

### Erősítő:

- nem terheli az előző fokozatot ( $R_b = \infty$ ), de erősíti a következőt
  - GAIN: műszer belcsejében
  - INV: fázisfordítás
  - VERT. M. POSITION? egyenfeszültségű összetevőt keverünk a jelhez. Függőleges pozíció beállítása
  - VAR: fokozat menti erősítés állítás

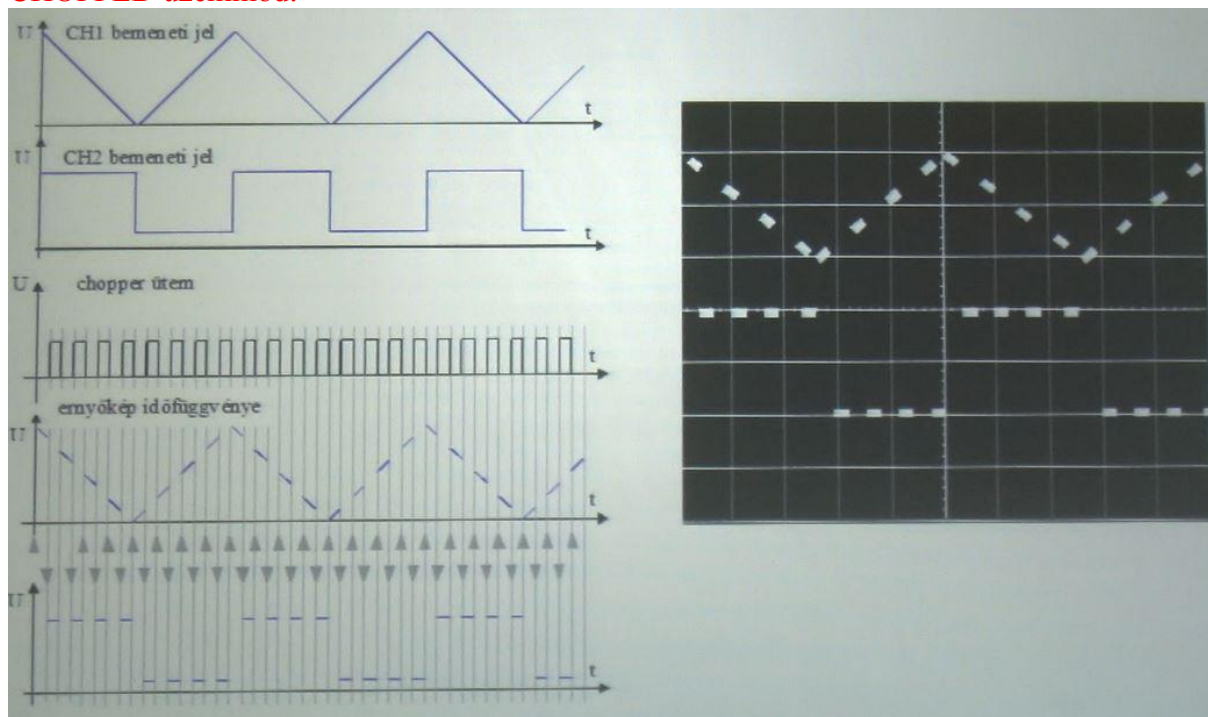
**Kapu:** egyes vagy kettes csatorna ...

### Megjelenítési üzemmódok:

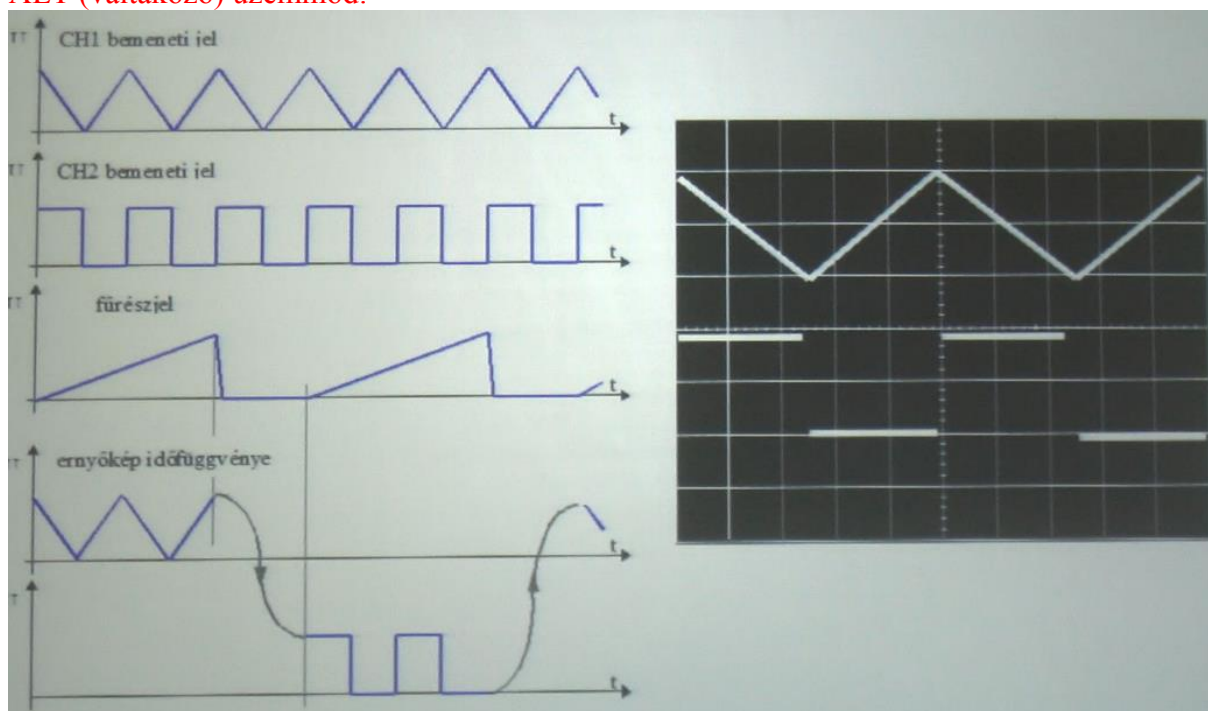
- CH1 csak 1-es csatorna
- CH2 csak 2-es csatorna
- ADDED 2 jel pillanatértékének összegzését végzi el
- CHOPPED
- ALTERNATE



### CHOPPED üzemmód:



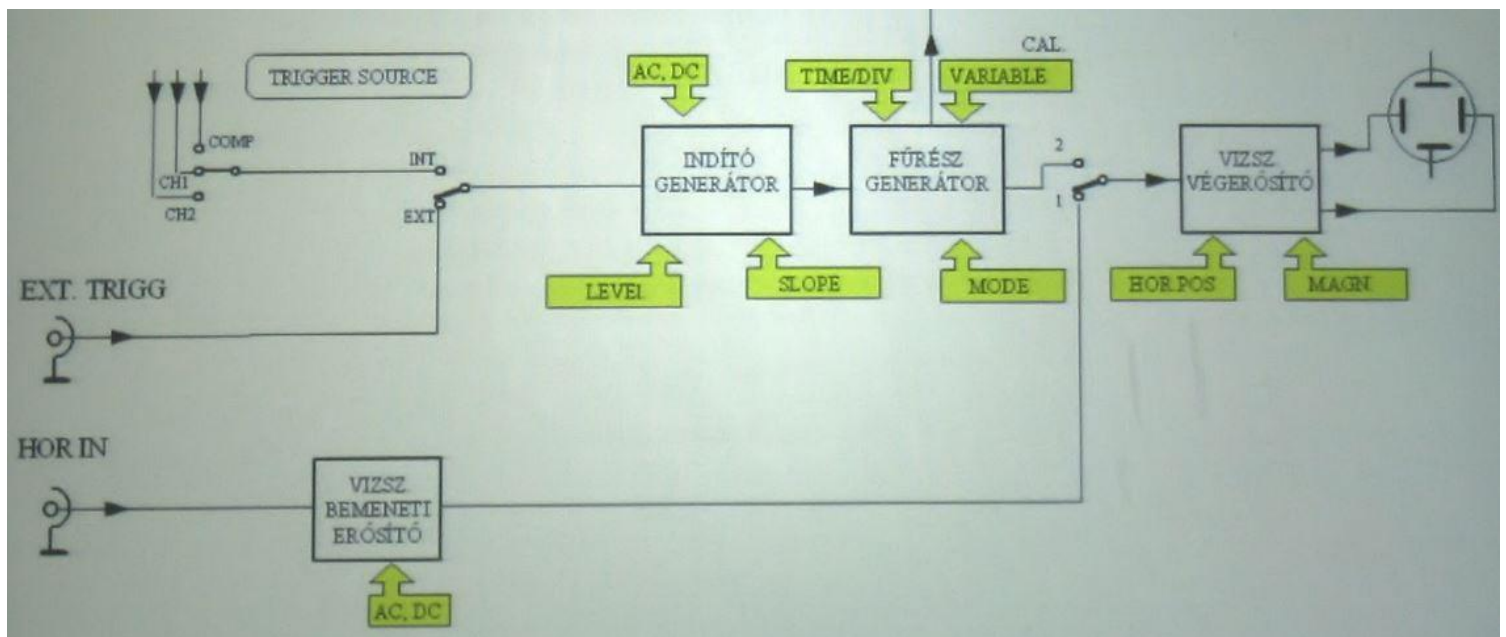
### ALT (váltakozó) üzemmód:



### Fügőleges eltérítőrendszer jellemzői:

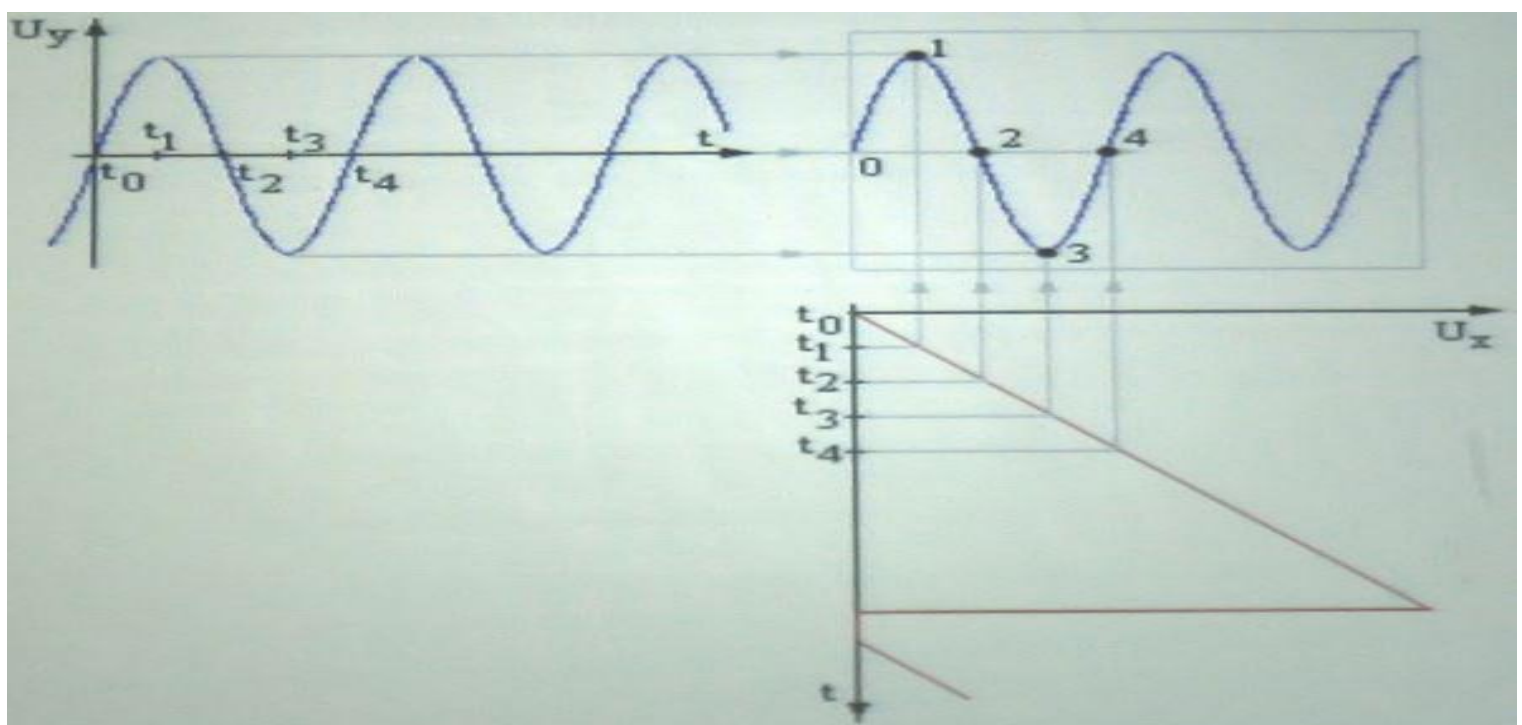
- érzékenység 10mV/DIV ... 20 V / DIV
- határfrekvencia 0-30 MHz (0-100 MHz)
- bemeneti impedancia  $Z_{be} = 1 \text{ M}\Omega \parallel 20 \text{ pF}$
- maximális bemeneti feszültség  $DC + AC_{peak} \approx 500 \text{ V}$

### Vízszintes eltérítő rendszer:

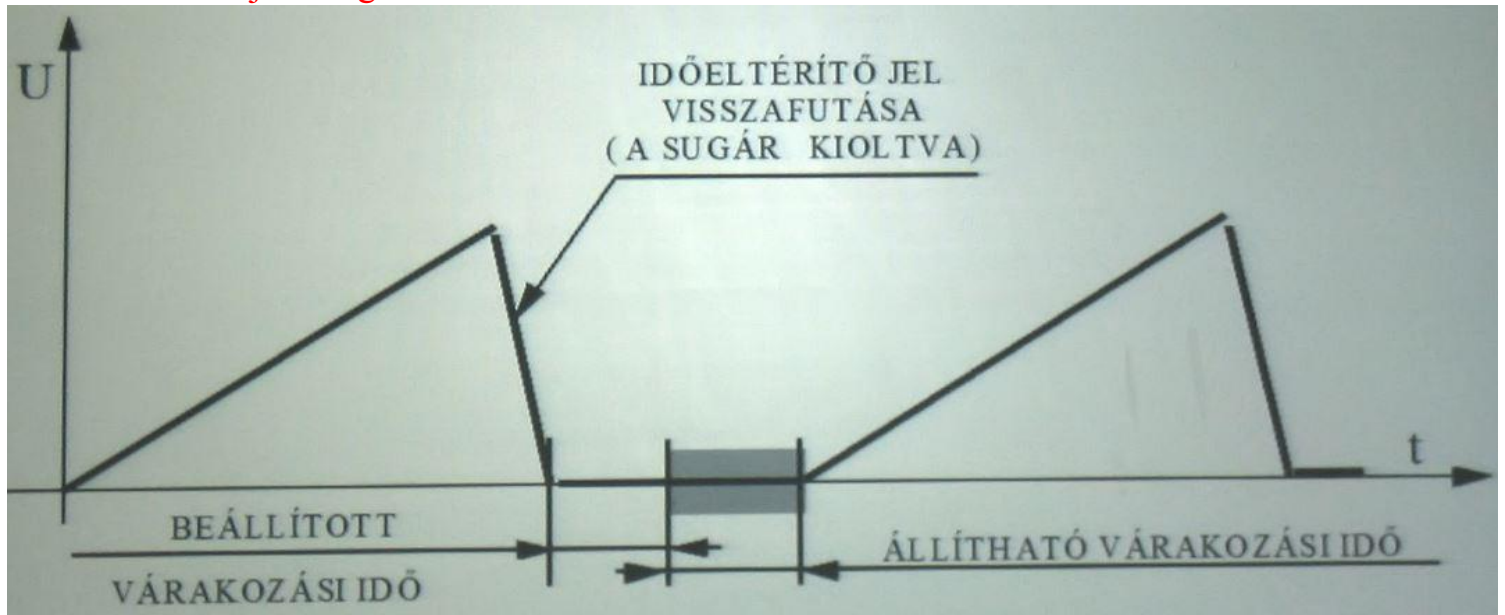


- XY üzemmód
- időeltérítéses üzemmód
- TIME/DIV: eltérítési sebesség

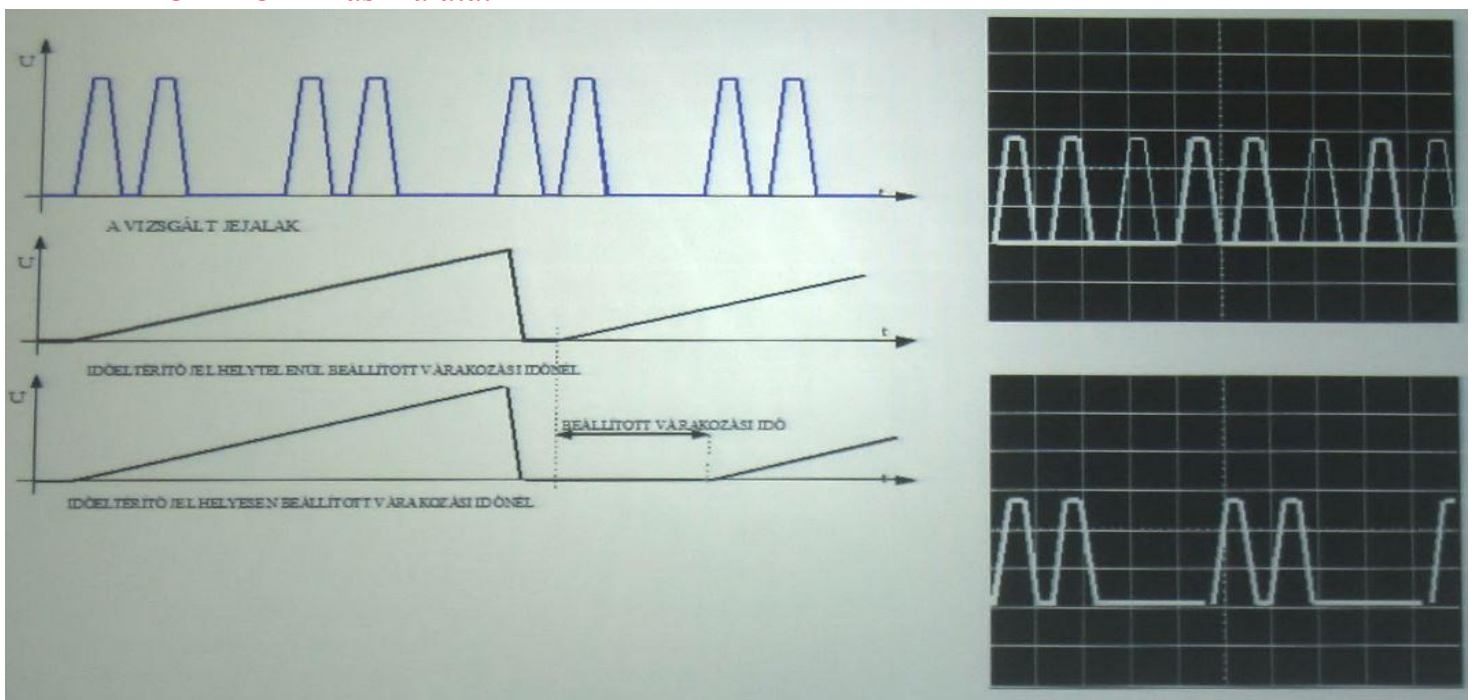
### Időeltérítéses üzemmód:



### Fűrészjel vizsgálata:



### HOLD OFF használata:



**Indítógenerátor (trigger generátor):** feladata az indító jel létrehozása

Trigger forrás jöhet:

- comp – közösről
- CH1
- CH2
- Külső jel (EXT)
- level: honnan rajzol
- slope: felfutó/lefutó



### Fűrészgenerátor indítási üzemmódjai:

(Trigger generátor küldi bele a jelet)

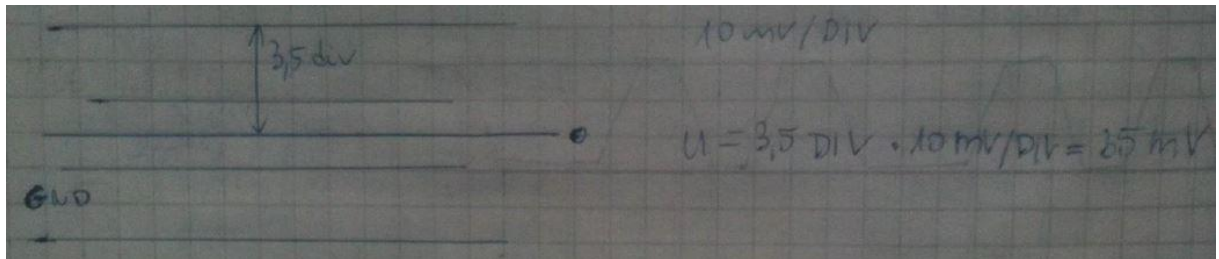
- **Free run:** folyamatosan indít
- **Norm** (indított): ha bejön egy impulzus (indítójel) elindul egy fűrés, a következő a következőnél
- **Auto:** (Free run és Norm között): figyeli a bemeneti jelet (ha nincs akkor free run és fut a jel ; ha van, akkor normál üzemmód)

### Technikai adatok:

- eltérítési sebesség: 5 sec/DIV ... 100 nc/DIV
- sávszélesség:  $f_x = f_y / 20$

### Mit lehet mérni oszcilloszkóppal?

- U; t; T; f;  $f_{arány}$ ; fázis
- mindent távolság mérésre vezetünk vissza



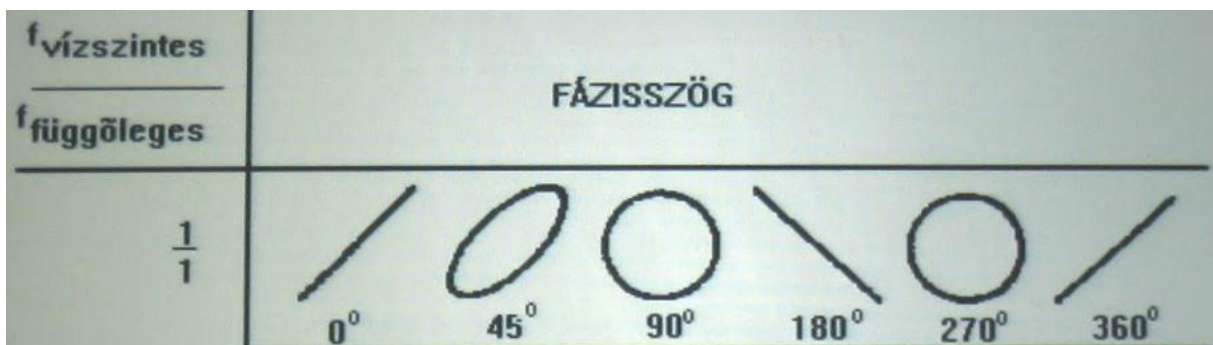
### Frekvenciamérés XY üzemmódban:

Ha a két frekvencia egész szám, akkor nem forog, ha nem egész szám, akkor forog.

$$f_x = f_R = 1 \text{ kHz} \quad n_1 = 8 \quad n_2 = 2$$

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{8}{2} = 4 \quad f_x \rightarrow f_y = 4 \text{ Hz}$$

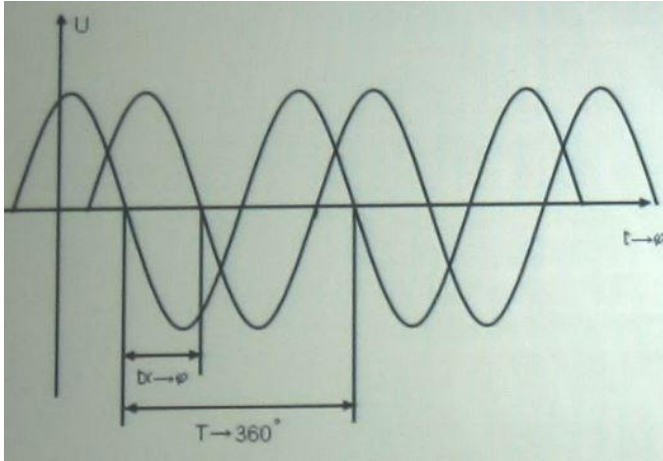
### Lissajouse ábrák:



### Fázisszög mérése:

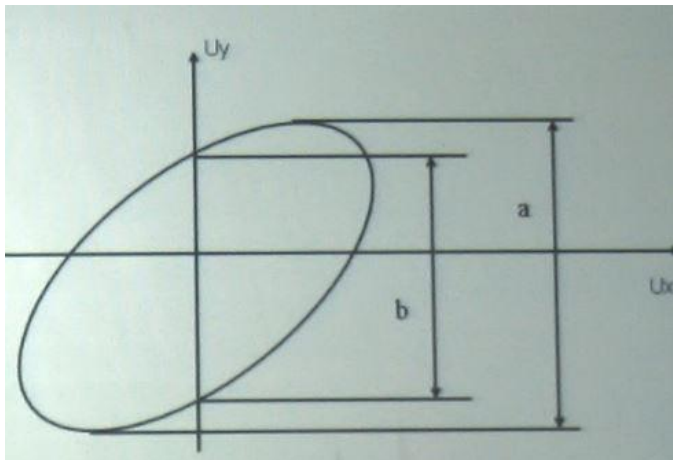
- 1) Időeltérítéses üzemmódban:

$$\frac{t_x}{T_x} = \frac{\varphi}{360^\circ}$$



- 2) XY üzemmódban:

$$\varphi = \arcsin \frac{b}{a}$$



### Kettős időalap:

Feladata az ábra tetszőleges részének kinagyítása.

## Digitális mintavételező oszcilloszkóp

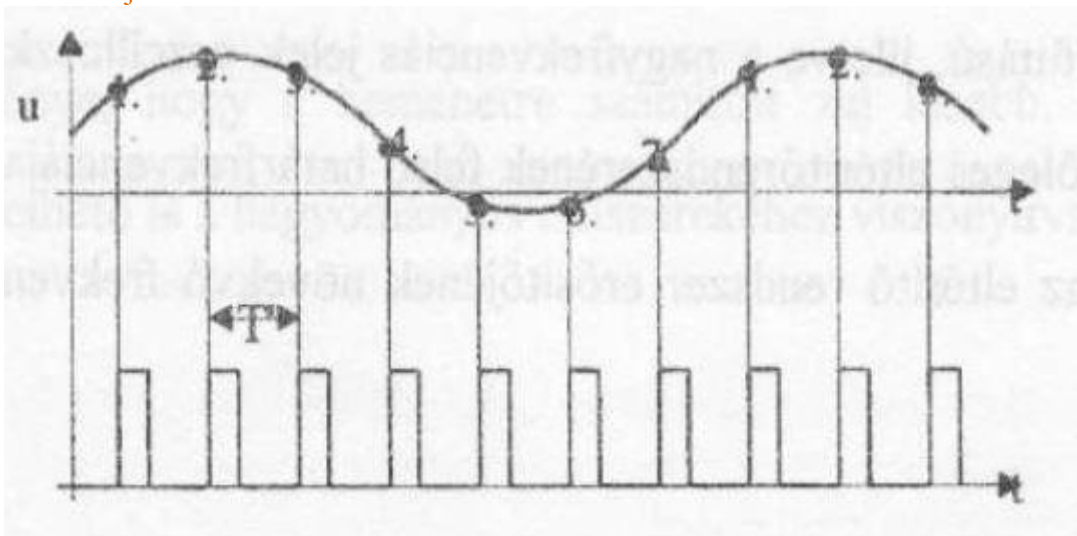
A jelet nem folyamatosan figyeljük, hanem csak bizonyos időszakonként, akkor is csak egész rövid időtartamig, azaz a vizsgálandó jelből mintát veszünk.

### Mintavételezési módszerek:

- 1) Valós idejű (REAL TIME)
- 2) Ekvivalens idejű
- 3) Véletlen idejű (RANDOM REPETITIVE)

**Shannon-tétel:** a mintákból a jel visszaállítható, ha a vizsgált jel folytonos, egyenértékű, frekvenciában sávhatárolt, és a mintavételezés frekvenciája nagyobb mint a mintavételezett jelben előforduló legnagyobb frekvencia kétszerese.

### Valós idejű mintavételezés:



Matematikailag tudjuk visszaállítani.

Ezt a mintavételezési módszert elsősorban kisfrekvenciás jelek vizsgálatánál használjuk.

### Ekvivalens idejű mintavételezés:

Az ábrázolni kívánt bemenő jel egy periódusából legfeljebb egyetlen mintát veszünk, ezért a mintavételezés frekvenciája egyenlő vagy kisebb a mérendő jel frekvenciájával

$$f_{\text{mintavételezési}} \leq f_{\text{jel}}$$

A módszer széles frekvenciatartományban tesz lehetővé jelvizsgálatot.

A mintavételezés felső határfrekvenciáját csak a mintavevő impulzusok szélessége korlátozza.

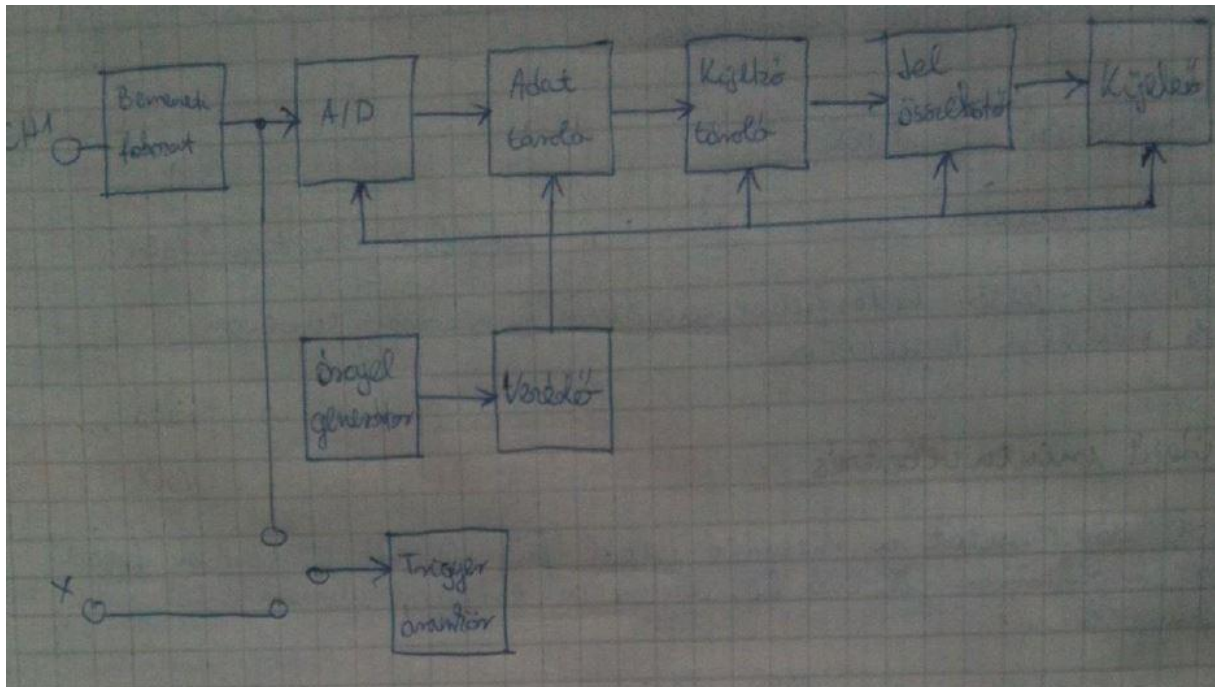
### Véletlen idejű mintavételezés

A mintavétel időpillanatát a vizsgált jeltől függetlenül szabadon futó oszcillátor impulzusai jelölik ki, így az a trigger eseménytől teljesen független.

Ahhoz, hogy a jel és az oszcillátor frekvenciája még véletlenül se legyen szinkronban, az oszcillátor frekvenciáját véletlenszerűen változtatják.

A minta amplitúdóján kívül méri a trigger esemény és a mintavétel időpillanata közötti időt, és az összetartozó amplitúdó és időadatokat együtt tárolják el.

## Digitális tároló oszcilloszkóp (DSO)



Valós idejű és ekvivalens idejű mintavételező is lehet.

### Felbontóképesség:

- Analóg oszcilloszkóp képernyője kb. 10×8 cm

- függőlegesen 8-bit A/D

$$\frac{1}{2^8} = \frac{1}{256} = \frac{100\%}{256\%} \sim 0,4 \%$$

- vízszintesen 1 kB RAM

$$\frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024} = \frac{100\%}{1024\%} \sim 0,1 \%$$

### DSO előnyei:

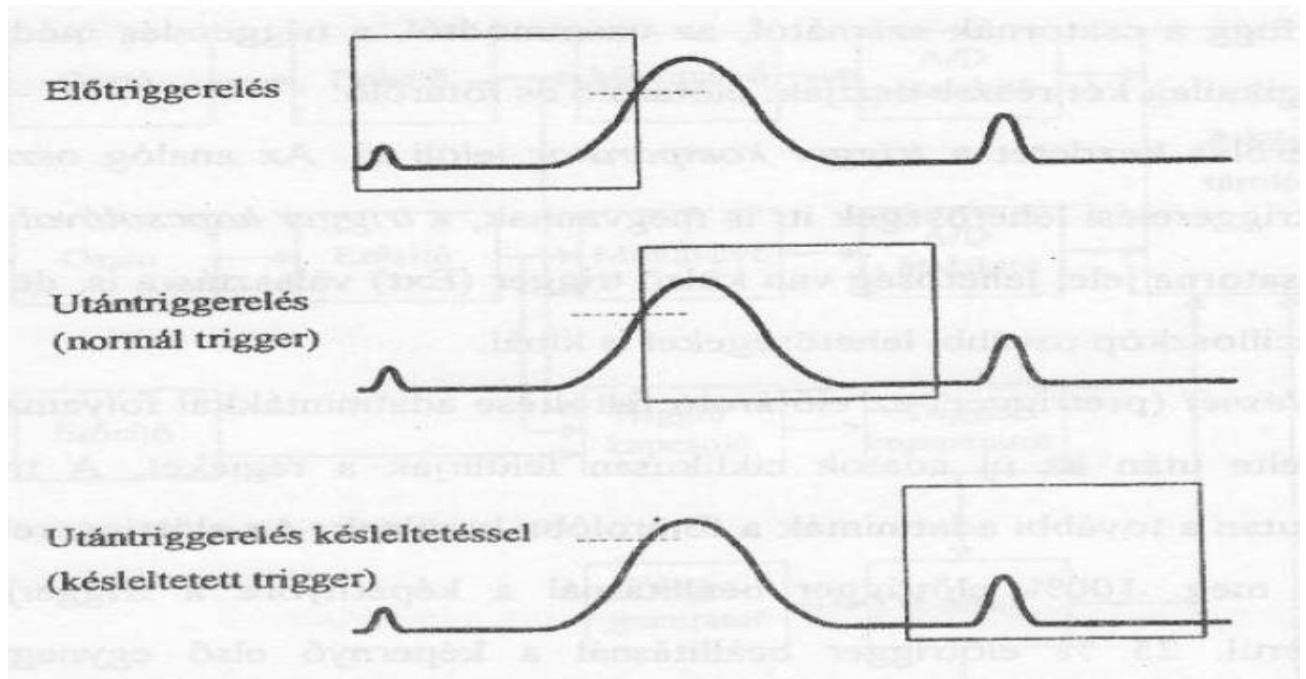
- végtelen tárolási idő
- állandó fényerő
- elő- és utántriggerelés lehetősége
- átlagképzés
- beépített automatikus mérések (amplitúdó, felfutási idő, stb.)
- rendszerbe illeszthetőség
- kurzorok alkalmazása
- Auto setup
- menüvezéreltség

### DSO hátrányai:

- hamis jelábrázolás lehet
- nincs intenzitás információ (minden jelnek azonos a fényereje)

### Triggelerési módok:

- **Előtriggerelés:**  
a triggerjel beérkezése leállítja a felvételt (esemény előtti időszak)
- **Utántriggerelés (normál trigger):**  
a triggerjel beérkezése indítja el a beírást (esemény utáni időszak)
- **Utántriggerelés késleltetéssel (késleltetett trigger):**  
esemény előtti és utáni időszakot is látom



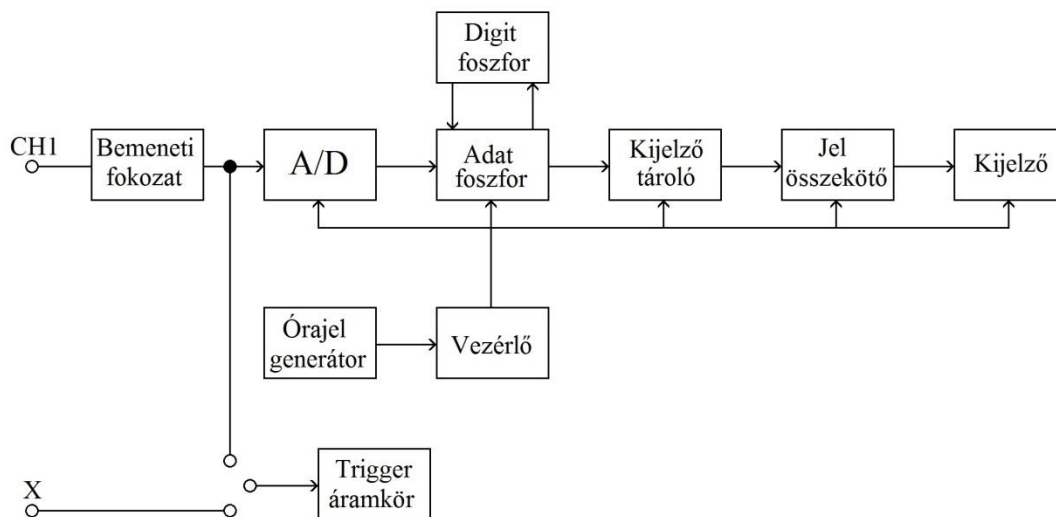
### A kezelés üzemmódjai:

- **Normál üzemmód:** ciklikusan írja a jelet a memóriába
- **Frissítő üzemmód (refreshed):** bizonyos időszakonként megint fölveszi a tárba
- **Gördülő üzemmód (roll):** Lassú jeleknél alkalmazzuk. Mindig a legújabb minta kerül kijelzésre. Jobbról balra lassan mozog a jel.
- **Vízesés üzemmód (waterfall):** Szűrőkarakterisztikák vizsgálatára használják. Folyamatosan felveszi a jelet
- **Tároló üzemmód:** tranziens jelek vizsgálatához használjuk
- **Burkoló görbe üzemmód (peak detect):** veszi a jeleket és a görbét a legkisebb és legnagyobb közé húzza be.

**Jel összekötő áramkör feladata:** a minták között matematikai úton kiszámítja a jelek közti középértéket.

### Digitális foszfor oszcilloszkóp (DPO):

- Egyik alkalmazása a jel sebességének mérése.
- A DSO hátránya, hogy minden jelnek azonos az intenzitása
- Az analóg oszcilloszkópoknál a fénypor (foszfor) utánvilágítása megoldja az intenzitás különbség kijelzést.
- A DPO esetén egy teljesen digitális foszfor segítségével oldják meg a fényintenzitás különbség kijelzést.



## Analóg elektromechanikus egyenfeszültségmérő műszerek (U-DC-A-EM)

Egy álló és egy mozgó részből állnak. A kettő között nyomaték lép fel, amelynek hatására a mozgó rész elmozdul.

Az elfordulás mértéke arányos a mérendő mennyiséggel.

Fajtái:

- Deprez műszer
- Lágymas műszer
- Elektrodinamikus műszer

### Deprez műszer

Lengőtekerces vagy állandó mágnesű műszer.

Nyomatéki egyenlet:  $M_k = M_v + M_s + M_{cs} + M_\theta$

ahol:

- $M_k$ : kitérítő nyomaték
- $M_v$ : visszatérítő nyomaték
- $M_s$ : surlódási nyomaték
- $M_{cs}$ : csillapító nyomaték
- $M_\theta$ : tehetetlenségi nyomaték

Állandósult állapotban:

$$M_k = M_v \quad (\text{a többi tag értéke } 0)$$

$$M_v = c_r \cdot \alpha$$

$$M_k = \frac{dW(\alpha)}{d\alpha} \quad \leftarrow$$

A körben változik az energia (vagy munka).

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2 + \Psi \cdot i$$

$$\Psi = N \cdot B \cdot A \cdot \alpha$$

$$M_k = \frac{d\left(\frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2 + \Psi \cdot i\right)}{d\alpha} = \frac{d\Psi \cdot i}{d\alpha} = \frac{d\Psi}{d\alpha} \cdot i = \Psi_0 \cdot i$$

W: munka

$\alpha$ : szögelfordulás

$c_r$ : rugóállandó

L: tekercs inductivitása

$\Psi$ : fluxus

i: áramerősség

N: menetszám

B: mágneses indukció

A: keresztmetszet

$\Psi_0$ : egységnyi szögelforduláshoz tartozó fluxus

I: áram elektrolitikus középértéke

Ha a jel frekvenciája nagyobb, mint a műszer saját frekvenciája, akkor:

$$M_k = \Psi_0 \cdot \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \Psi_0 \cdot I$$

$$M_k = M_v$$

$$\Psi_0 \cdot I = c_r \cdot \alpha$$

$$\rightarrow \alpha = \frac{\Psi_0}{c_r} \cdot I$$

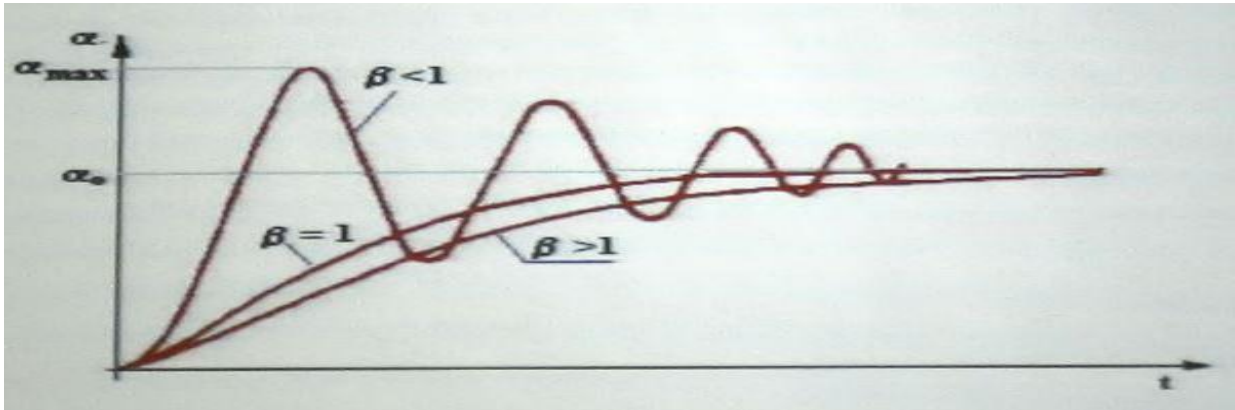
A műszer alapegyenlete



**Műszer alapegyenlet** (skálaegyenlet vagy karakterisztikus egyenlet):

- lineáris
- az áram elektrolitikus középértékét méri

**Skálakarakterisztika** („*Hogyan áll be a műszer?*”)



- aperiodikus beállítás (beállási idő végtelen)
- csillapítással való beállítás ( $t_b < 4 \text{ sec}$ )

A karakterisztika beállítása **csillapítással** történik.

**Csillapítás:**

- Villamos (örvényáramú csillapítás)
- Mechanikus
  - hidraulikus (olajjal)
  - pneumatikus (levegővel)

**Deprez műszer jellemzői:**

Alapműszer esetén

1  $\mu\text{A}$  ... 100  $\mu\text{A}$

1 mV ... 100 mV

Bemeneti ellenállás: 1 k $\Omega$

Pontosság: 0,1 %

**Deprez műszer előnyei:**

- lineáris
- pontos (0,1 %  $\rightarrow$ )
- kicsi a fogyasztása
- relatíve olcsó



### Deprez műszer hátrányai:

(Ezek miatt térünk át az Analóg elektronikus műszerekre)

- $R_b$  kicsi
- nincs benne túlterhelés védelem
- nem elég nagy az érzékenysége

### Érzékenység:

$$E = \frac{\text{mutató kitérés megváltozása}}{\text{mérendő mennyiség megváltozása}} = \frac{d\alpha}{dI} = \frac{d\frac{\Psi_0}{c_r} \cdot I}{dI} = \frac{\Psi_0}{c_r}$$

### Műszerállandó:

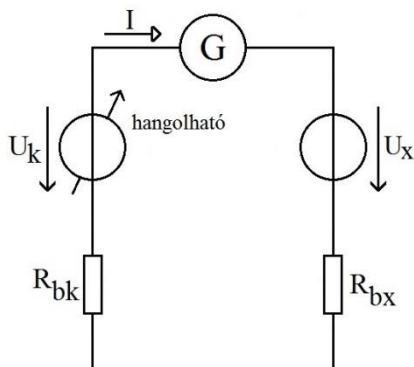
$$C = \frac{1}{E}$$

### Fogyasztás:

$$P = U \cdot I = 10^2 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot 10^2 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ W} = 10 \mu\text{W}$$

Megengedett maximális terhelés: 20%

### Kompenzációs mérési módszer

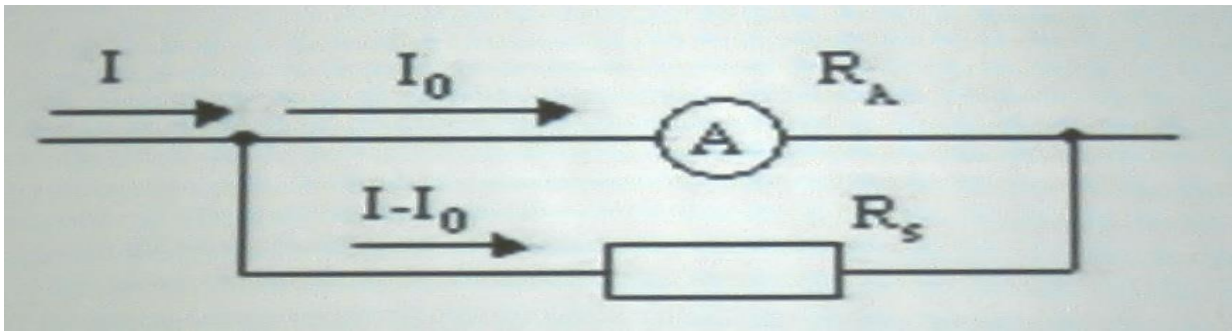


Ha  $I=0$  akkor  $U_k=U_x$

Előnye:  $R_b$  közelítőleg végtelen.

## Méréshatár kiterjesztés

### 1) Áram méréshatár kiterjesztés (söntöléssel)



$$I_0 = 100 \mu A$$

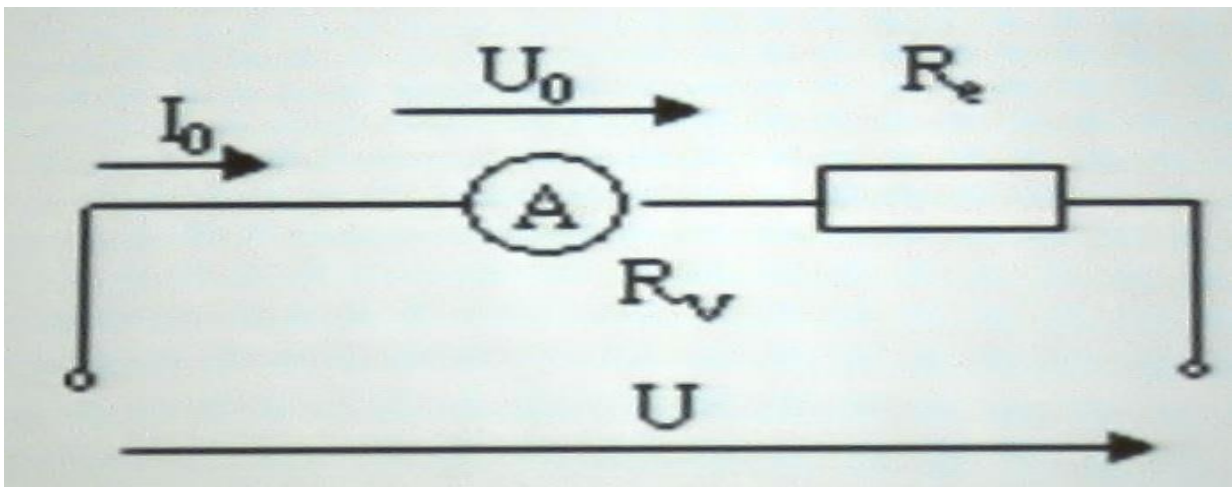
$$I > I_0$$

$$I_0 \cdot R_A = R_s \cdot (I - I_0)$$

$$R_E = R_A \times R_s < R_A$$

Maximális felső méréshatár: 50 A (gyakrabban: 3 A illetve 10 A)

### 2) Feszültség méréshatár kiterjesztés (előtét ellenállással)



$$U > U_0$$

$$U = I_0 \cdot (R_v + R_e)$$

$$R_E = R_v + R_e > R_v$$

Maximális felső méréshatár: 600 V.

## Analóg elektronikus egyenárammérő műszerek (U-DC-A-E)

(„Miért alkalmazzuk?”)

Előnye:

- legyen nagyobb az érzékenysége
- nagyobb bemeneti ellenállás
- legyen benne túlterhelésvédelem

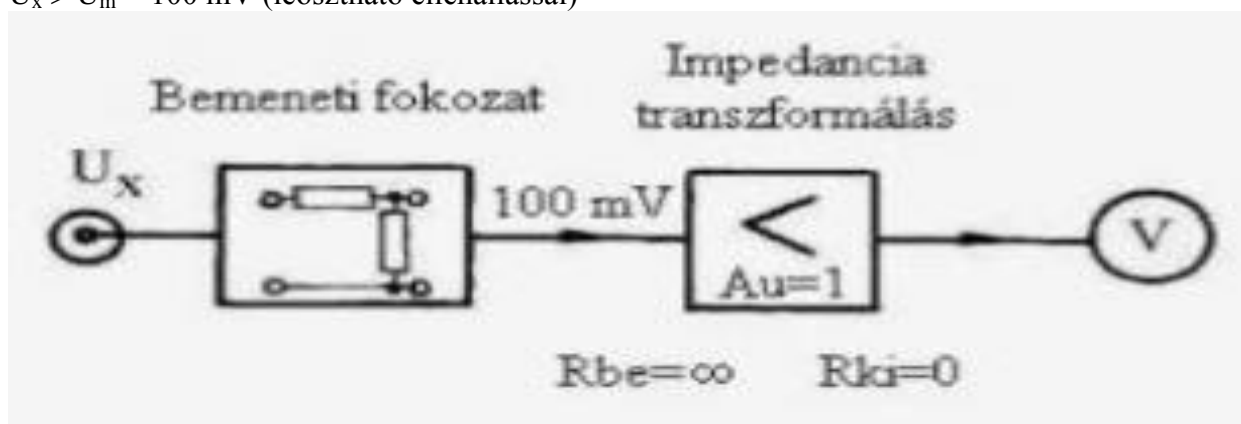
Hátránya:

- romlik a pontossága

Fajtái:

### 1) Nagyszintű analóg elektronikus DC mérő

$U_x > U_m = 100 \text{ mV}$  (leosztható ellenállással)



$R_{be} = \infty, R_{ki} = 0$

Méréshatár: 100 mV ... 1000 V (univerzális műszer)

Méréshatárváltás 10 dB-es léptékben ( $\sqrt{10}$ -es)

A bemeneti osztóval szembeni követelmény:

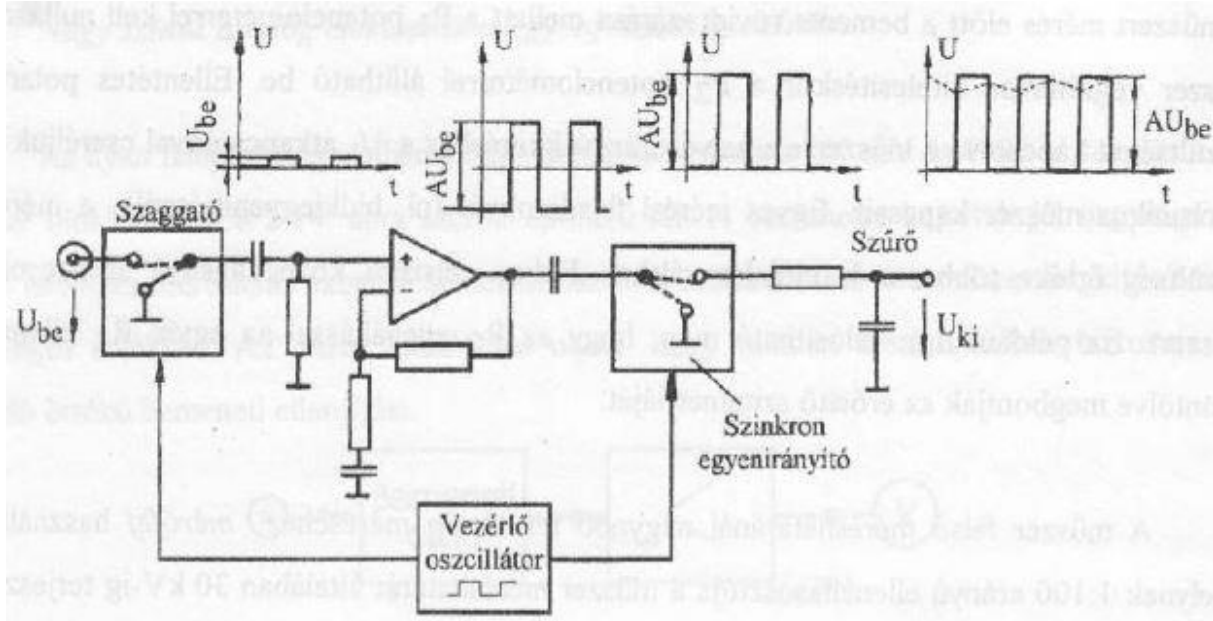
- állandó (nagy) bemeneti ellenállás biztosítása
- hiteles osztás biztosítása
- elektronikus túlfeszültségvédelem

### 2) Kiszintű analóg elektronikus DC mérő

$U_x < U_m = 100 \text{ mV}$  (szorozható erősítővel)

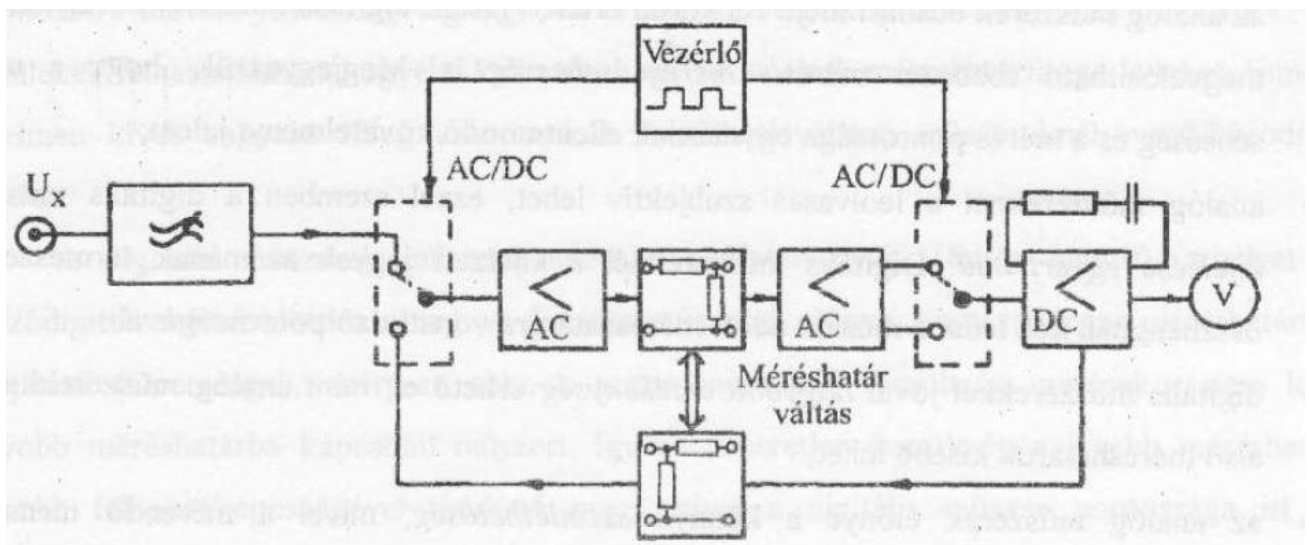
Gond: a DC offsetje (hibajel) az erősítőnek összemérhető a mérendő jellel

A műszer működésének elve:



- Azért alakítjuk AC-vé a jelet, hogy kiszűrjük a DC zavarjeleket (mert az AC erősítő nem erősíti a DC jeleket)
- AC-vé alakítás: megszaggatjuk a jelet

Blokkvázlata:



## Visszacsatolás

A kimeneti jel egy részét visszavezetjük a bemenetre.

Kétféle visszacsatolás lehetséges:

- **Negatív visszacsatolás:** a visszacsatolt jel kivonódik a bemeneti jelből (stabilizál)
- **Pozitív visszacsatolás:** a visszacsatolt jel hozzáadódik a bemeneti jelhez (gerjedést okoz  $\rightarrow$  oszcillátorok)

## Digitális egyfeszültségmérés (U-DC-D-E)

**Digitális műszer:** olyan analóg-digitális átalakítóval rendelkező műszer, amely a mért értéket decimális formában megjeleníti.

**Előnye:**

- általában nagyobb érzékenység (nV, pA)
- gyorsabb
- pontosabb lehet!!!
- automatizálható
- öntesztelhető
- rendszerbe építhető
- vezérelhető
- számítások végezhetőek vele

**Hátránya:**

- nem szemléletes



**Bemeneti fokozat feladata:**

- állandó (nagy) bemeneti ellenállás biztosítása
- hiteles osztás biztosítása
- elektronikus túlfeszültségvédelem

## Analóg-Digitális Konverter (A/D vagy ADC: Analog Digital Converter)

**Felbontás:** az a legkisebb analóg mennyiség, amit a műszer még képes megkülönböztetni

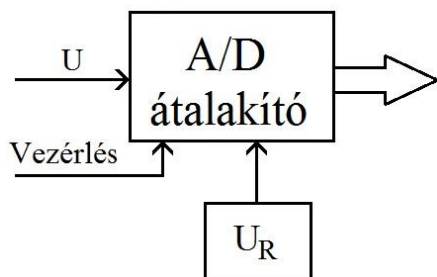
**Analóg digitális átalakítás:** az analóg mennyiségnek digitális formába történő átalakítása mintavételezés, kvantálás, kódolás és a szükséges segédműveletek segítségével

**Mintavételezés:** nem folyamatosan, csak bizonyos időpontokban figyeljük a jelet

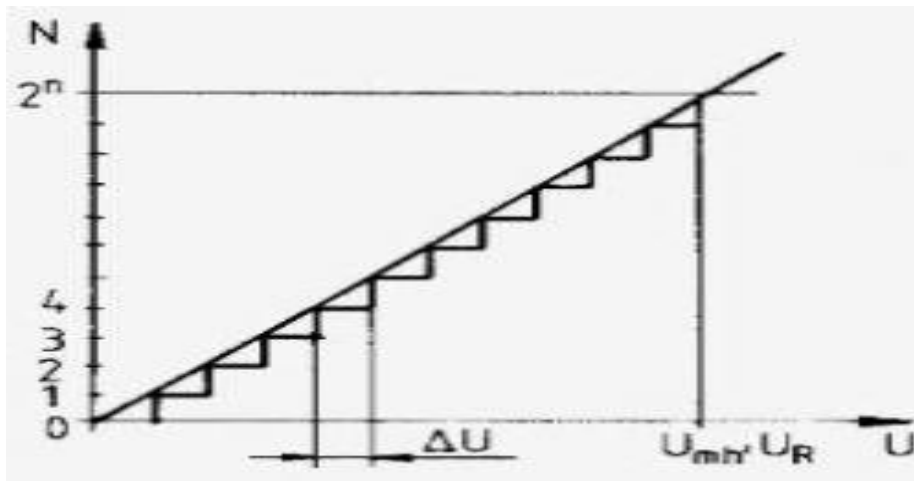
### A/D átalakítók felosztása:

- **közvetett:** frekvenciává vagy idővé alakítjuk először a feszültséget
- **közvetlen:** rögtön a feszültséget alakítjuk át
- **pillanatértéket mérő:** adott időpillanatban mérendő feszültséget alakítja át
- **átlagértéket mérő:** adott időintervallum átlagát alakítja át
- **folyamatos működésű:** minden pillanatban megjelenik a kimeneten az eredmény
- **szakaszos működésű:** ciklus végrehajtása után van eredményünk
- **nyílt hatásláncú:** bemenet felől csak a kimenet felé halad az információ
- **zárt hatásláncú:** visszacsatolás jellegű

### A/D átalakítás elve:

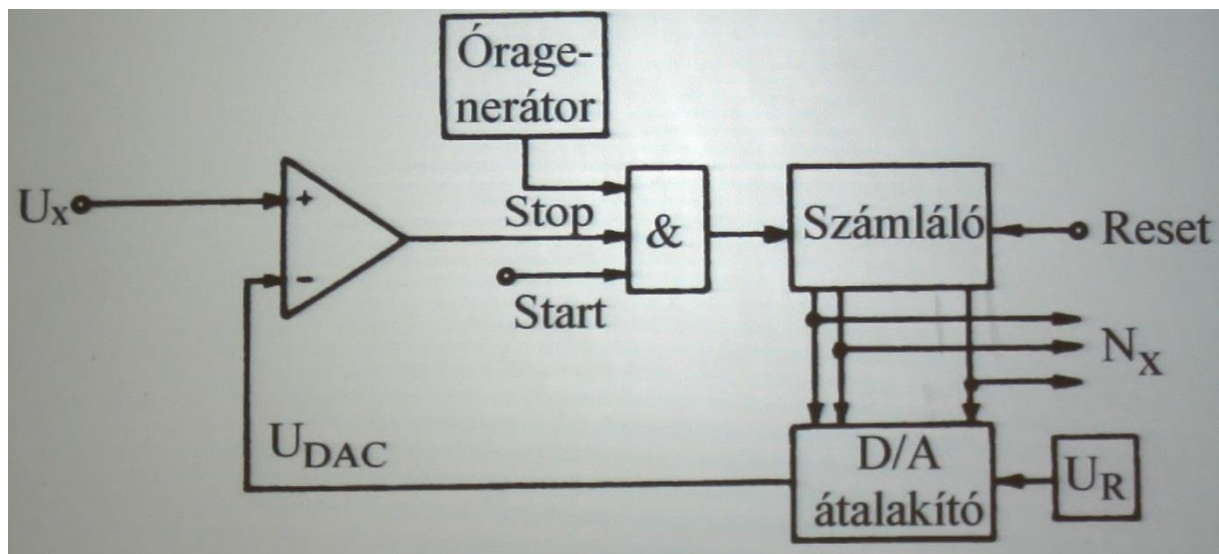


$$N = \frac{U}{\Delta U} = k \cdot \frac{U}{U_R}$$



A kvantumnál kisebb mennyiséget nem tudjuk mérni.  
Ezt a digitális műszerek elvi hibája.

## Számláló típusú A/D átalakító



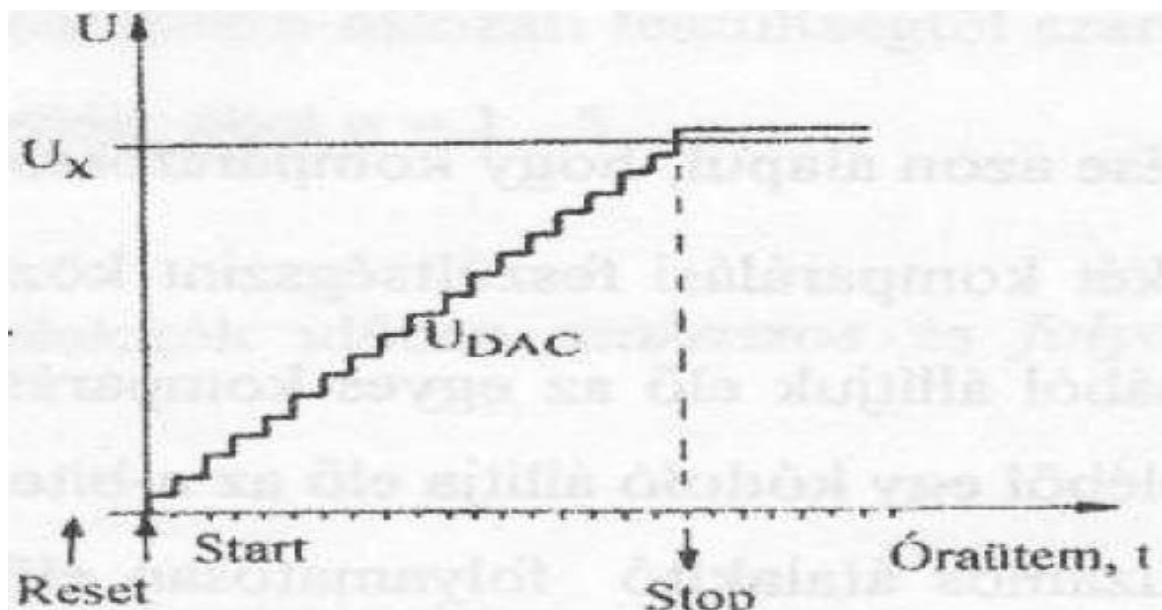
### Hátránya:

- lassú
- bután lassú (0-ról kezdi a számolást)

### Jellemzői:

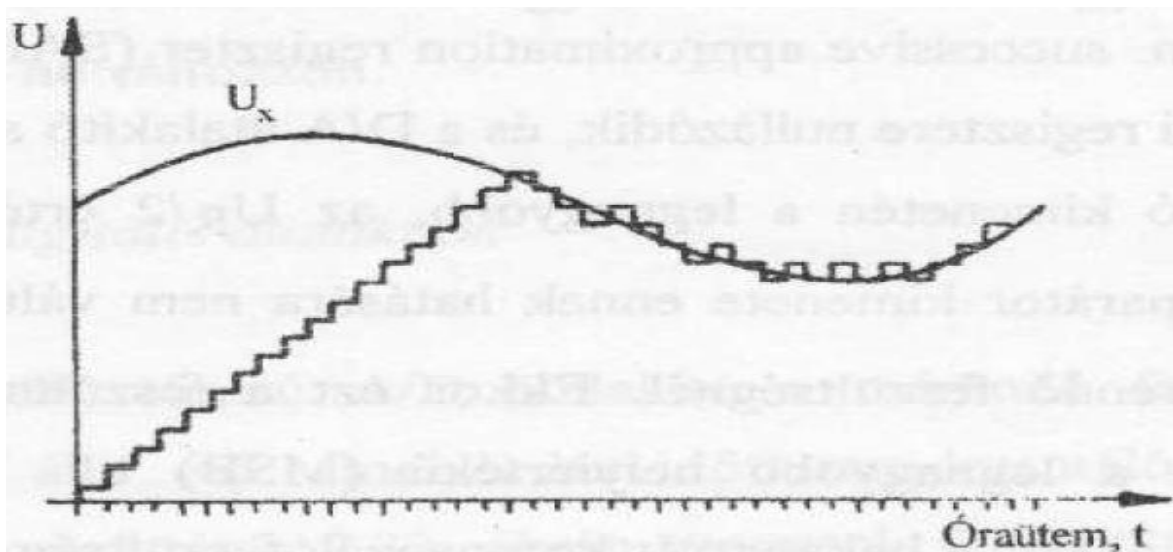
- közvetlen típusú
- pillanatértéket mérő
- zárt hatásláncú
- szakaszos működésű

### Idődiagramja:





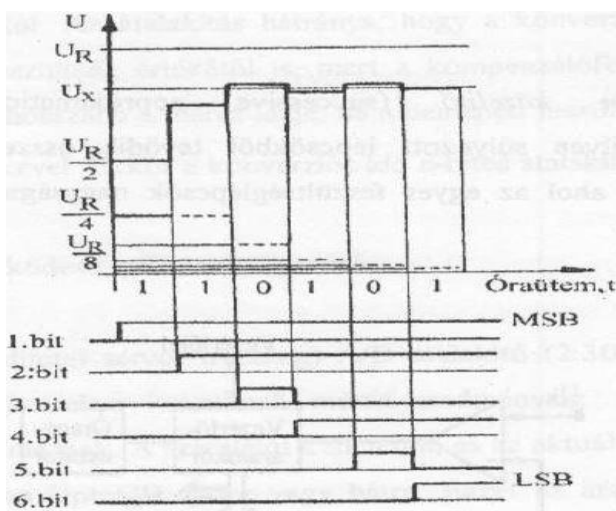
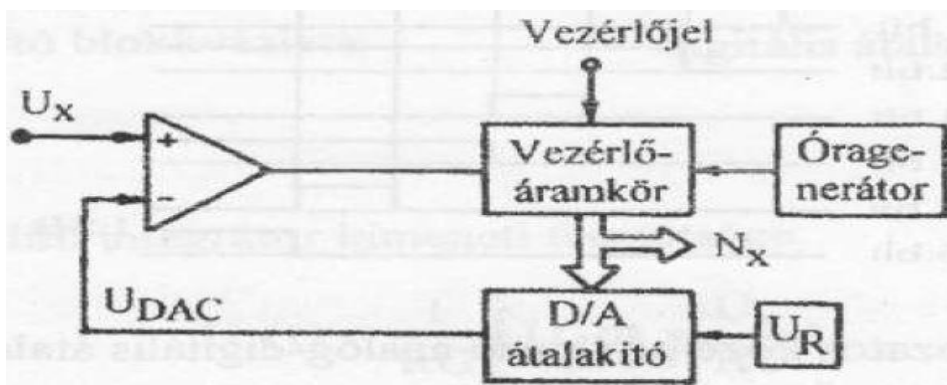
## Követő típusú A/D átalakító



Folyamatos működésű

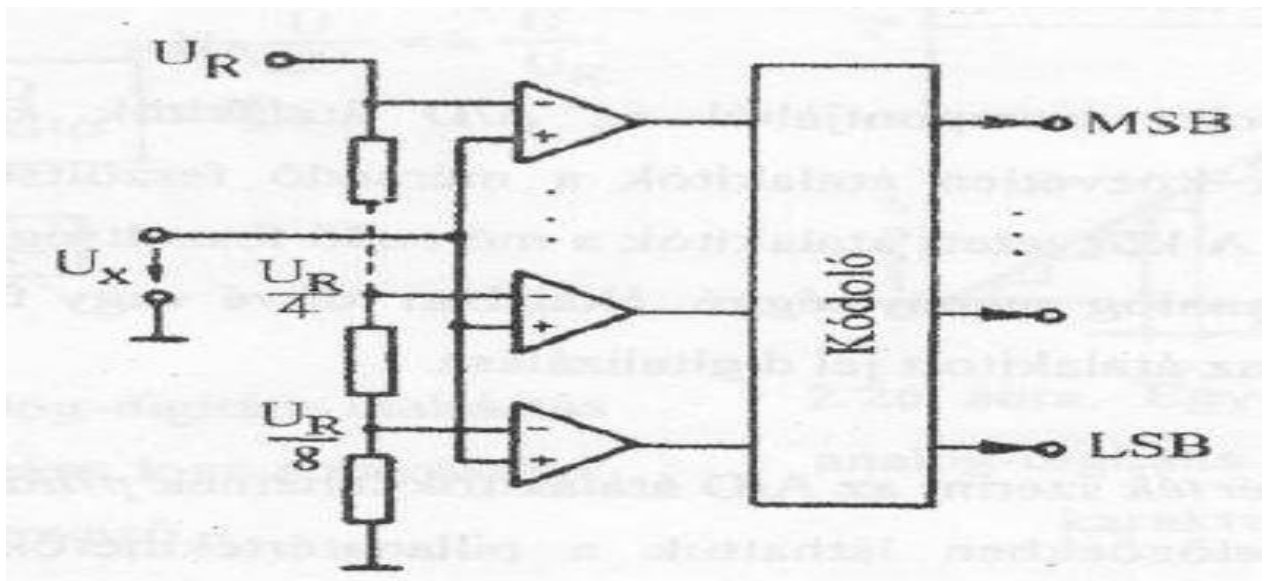
## Fokozatosan közelítő (SAR)

(SAR: Successive Approximation Register)





## Flash-típusú A/D átalakító (vagy párhuzamos A/D átalakító)



### Előnye:

- leggyorsabb

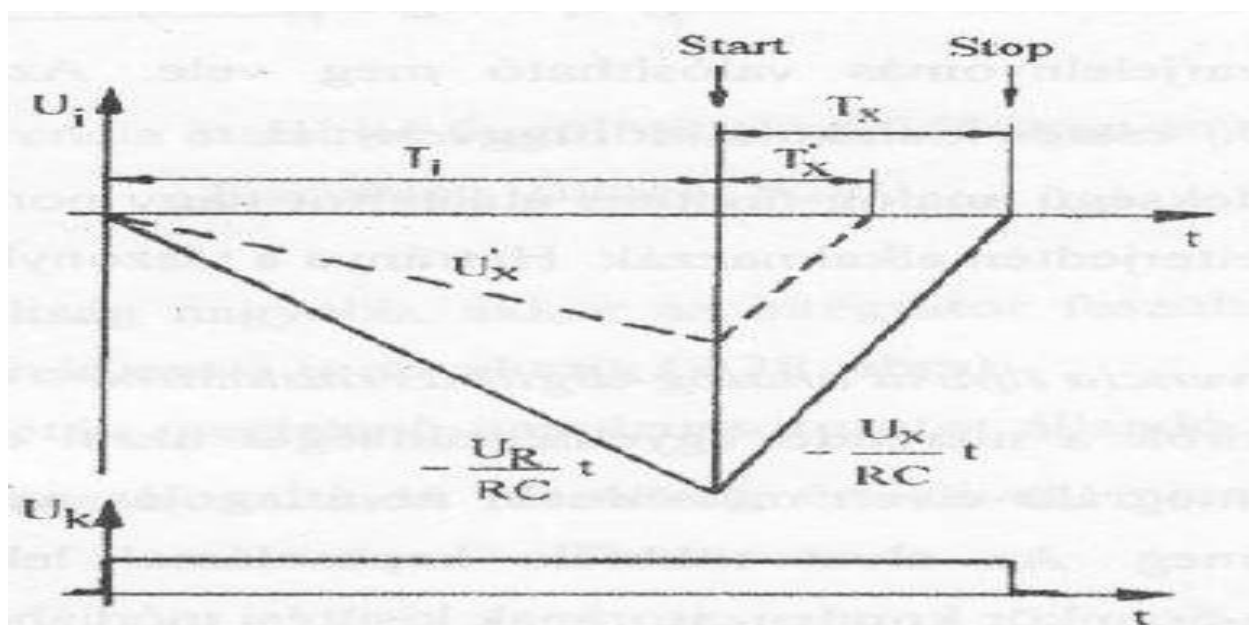
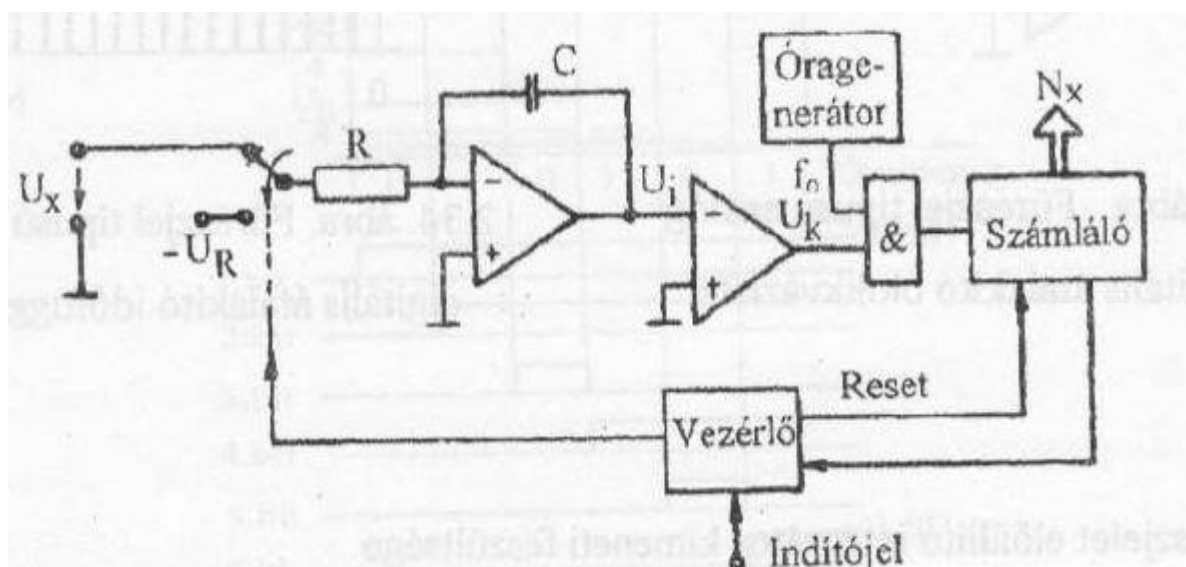
### Hátránya:

- ha a felbontóképességet növelem, akkor nagyon sok komparátor kell (nagyon nagy lesz a hiba)
- nem lehet nagy bitszáma

### Jellemzői:

- közvetlen típusú
- nyílt hatásláncú
- folyamatos működésű
- pillanatértéket mérő

## Dual Slope (kettős meredekségű)



$$\frac{U_x}{R \cdot C} \cdot T_i = \frac{U_R}{R \cdot C} \cdot T_x$$

$$\frac{T_x}{T_i} = \frac{U_x}{U_R}$$

$$\frac{N_x}{N} = \frac{T_x}{T_i}$$

$$N_x = f_0 \cdot T_x$$

$$N = f_0 \cdot T_i$$

$$U_x = U_R \cdot \frac{N_x}{N}$$

### Előnye:

- rendkívül pontos (pontossága csak a referencia pontosságától függ)
- AC komponensű soros zavarjelelnyomása nagyon jó

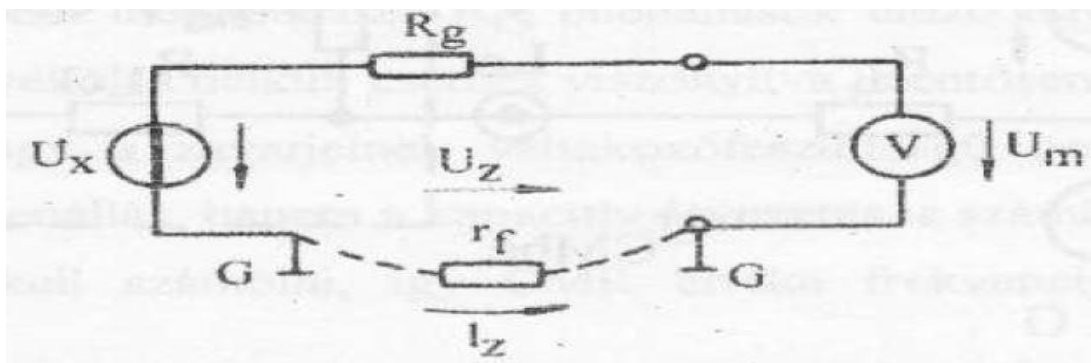
### Hátránya:

- lassú

### Jellemzői:

- közvetett típusú
- nyílt hatásláncú
- szakaszos működésű
- átlagértékmérő

## Zavarjelek (zavar feszültségek)



$$U_m = U_x + U_z$$

A két földpont nem azonos, így zavarjel lép fel.

### Zavarjelek típusai:

#### 1) Közös módusú zavarjel (párhuzamos)

- CMR: Common Mode Rejection)
- Mind a két bemeneti ponton azonos nagysággal lép fel.
- $CMR = 20 \cdot \lg \frac{U_{cm}}{U_{CM_{be}}} \quad [dB]$

#### Javítása:

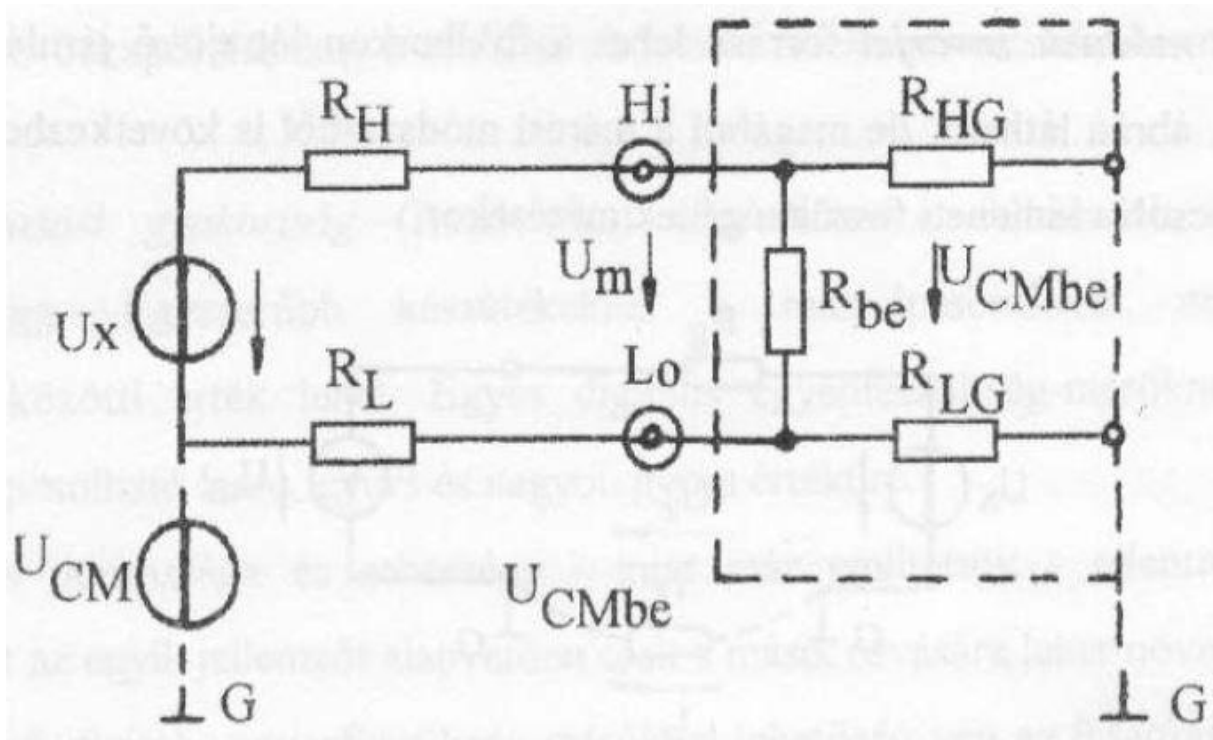
- törekedni kell a mérési szimmetriára ( $R_H = R_L$ )
- a szigetelési ellenállások növelése → Védőárnyékolás (Guardolás)

#### 2) Soros módusú zavarjel

- SMR: Serial Mode Rejection)
- sorosan kapcsolódik a mérendő mennyiséggel
- $SMR = 20 \cdot \lg \frac{U_{sm}}{U_{SM_{be}}} \quad [dB]$

### 1) Közös módusú zavarjel

#### Lebegő bemenetű feszültségmérés



$R_H$  és  $R_L$ :  
a vezetékellenállások

$R_{HG}$  és  $R_{LG}$ :  
az adott bemeneti pontok és a  $G$  földpont között lévő szigetelési ellenállások

$$U_x = 0$$

A kapcsolás tulajdonképpen egy hídkapcsolás, amelynek a kimeneti feszültsége a mérendő feszültség.

$$U_{CMbe} = U_m = U_{CM} \cdot \frac{R_H}{R_H + R_{HG}} - U_{CM} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_{LG}}$$

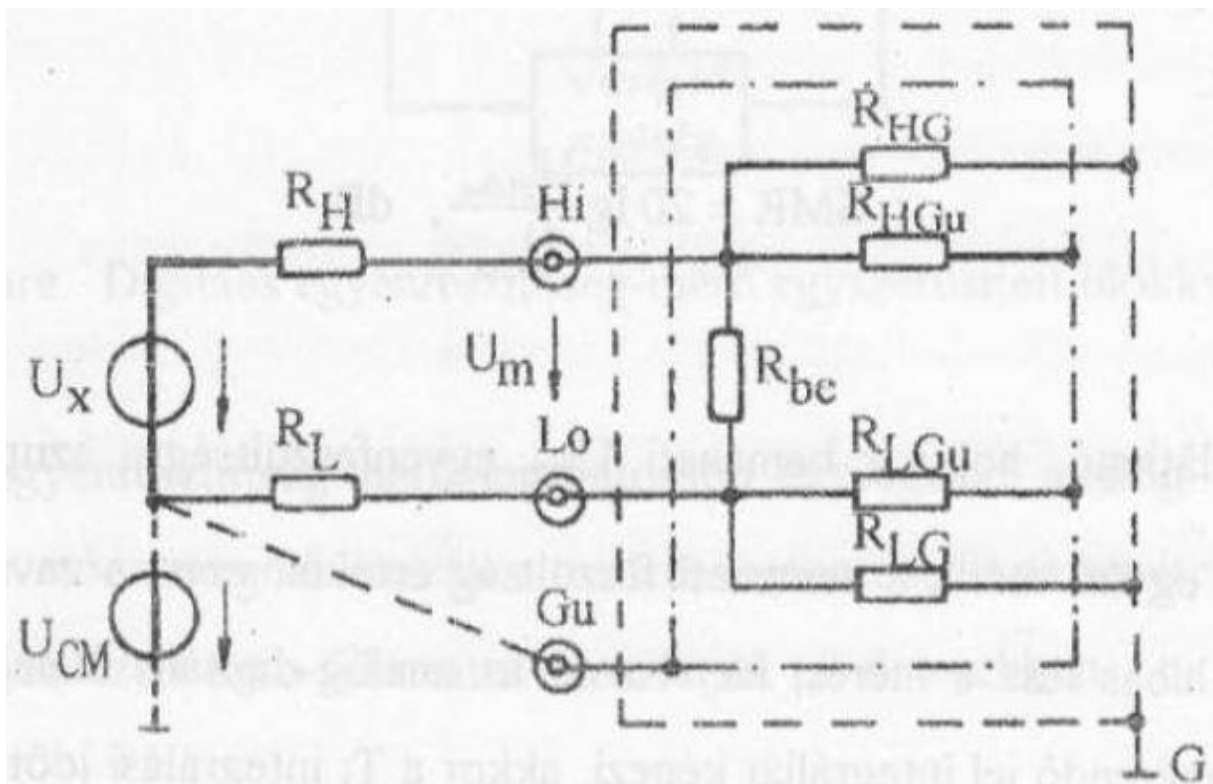
$$R_{HG}; R_{LG} \gg R_H; R_L \quad \text{és} \quad R_{HG} \sim R_{LG} \sim R_G$$

$$U_{CMbe} \cong U_{CM} \cdot \frac{R_H - R_L}{R_G}$$

$$CMR = 20 \cdot \lg \frac{U_{cm}}{U_{CMbe}} \quad [dB]$$

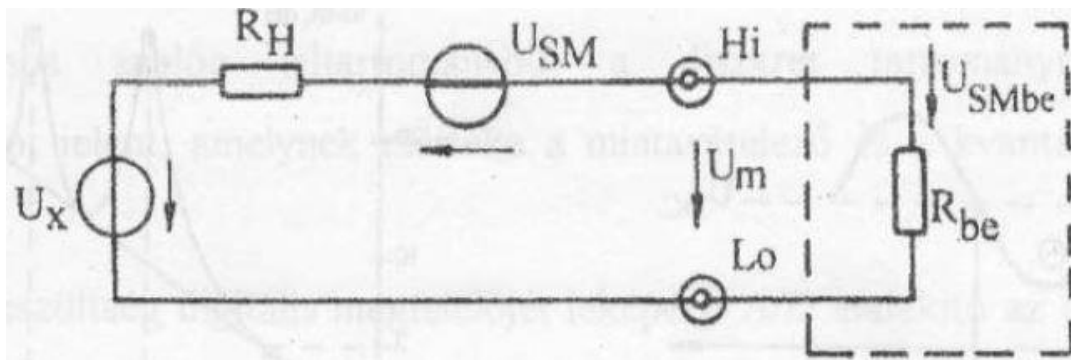
$$CMR = 20 \cdot \lg \frac{R_G}{R_H - R_L}$$

## Védőányékolással (Guard) kialakított digitális feszültségmérő



$R_{HG}$  és  $R_{LG}$  ellenállások értéke közel végtelennek tekinthető.

### 2) Soros Módusú Zavarjel



$$U_m = U_x + U_{SM}$$

$$SMR = 20 \cdot \lg \frac{U_{sm}}{U_{SMbe}} \quad [dB]$$

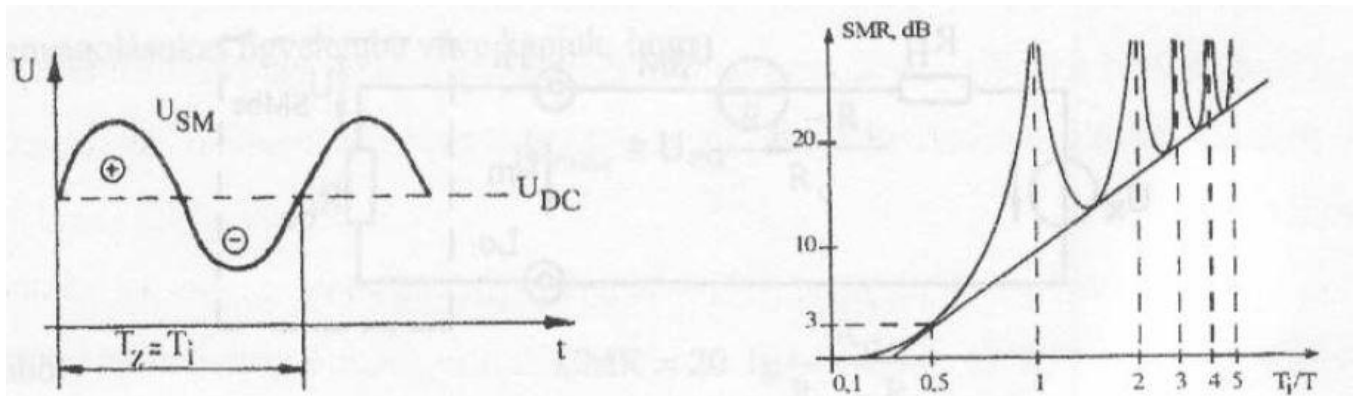
A zavarjelünk lehet:

a) egyen zavarjel:

- fizikailag kikompenzáljuk
- megmérjük a nagyságát és levonjuk a mérés eredményéből

b) váltakozó zavarjel:

- ha pillanatértéket mérünk, nem lesz helyes az eredmény
- ha átlagértékmérőt használunk (integráljuk a jelet) és az integrálási idő a zavarjel periódusidejének egészszámú többszöröse, akkor a zavarjel kiesik
- Integrálási idő:  $T_i = n \cdot 20 \text{ ms}$  ( $T_i = 60 \text{ ms}$ )



Digitális feszültségmérő műszaki jellemzői:

- **Méréshatárok (Ranges)**  
100,00 mV  
1000,0 mV
- **Méréshatár túllépés (Overrange)**  
100% kivéve az 1000 V-os méréshatárban  
pl.: 100,00 mV  
199,99 mV
- **Négy és fél digit**  
első szám: 0...1  
további számjegyek: 0...9
- **Felbontás (Resolution)**  
Az a legkisebb analóg mennyiség, amit a műszer megkülönböztetni képes.  
Másik jelentése: a legkisebb digit értéke.  
10  $\mu$ V, de ez csak a legkisebb méréshatárban igaz (méréshatár függő)
- **Pontosság (Accuracy)**  
Három tényezőtől függ:
  - idő
  - hőmérséklet hatása
  - méréshatár függvénye („kedvenc” méréshatárnál a legkisebb, pl.: 10 V)
- **Hőmérsékleti tényező (Temperature coefficient)**

- **Leolvasási gyakoriság (Read rate)**  
Kétféleképpen történhet a vezérlés:
  - saját magát indítja a készülék
  - kívülről vezéreljük
- **Befolyásolja a mérés gyorsasága a mérés pontosságát**
  - 10 s 7 digit pontos eredmény van
  - 10 ms 4 digit pontos eredmény van
- **Beállási idő (Settling time)**
- **CMR** = 80 dB
- **SMR** = 70 dB
- **Bemeneti ellenállás (Input resistance)**

Analóg **elektromechanikus** váltakozófeszültség mérő **műszerek (U-AC-A-EM)**

A Deprez műszer csak egyenfeszültséget mér.

### Lágyvasas műszer

$\alpha = k \cdot i^2$                       nem lineáris, de linearizálható

$\alpha = K \cdot I_{eff}$                       valódi effektívérték mérő

0,1 A ... 500 A

10 V ... 600 V

Pontosság: közönséges vasanyaggal 1,5 %

Fogyasztás: VA nagyságrendű

Működési frekvenciatartományuk néhány ezer Hz-ig terjed.

Hálózati feszültség-és árammérő műszer.

### Elektrodinamikus műszer

$\alpha = k \cdot i_1 \cdot i_2$

Ha sorba kötjük az álló és a forgórész tekercseit, akkor:

$\alpha = k \cdot i^2 = K \cdot I_{eff}$

Főképpen teljesítménymérésre használják.

0,01 A ... 100 A

10 V ... 600 V

Pontosság: 0,5 %

Fogyasztás: VA nagyságrendű

Működési frekvenciatartományuk néhány ezer Hz-ig terjed.

Hálózati feszültség-és árammérő műszer.



## Elektronikus váltakozófeszültség mérő műszerek (U-AC-E)

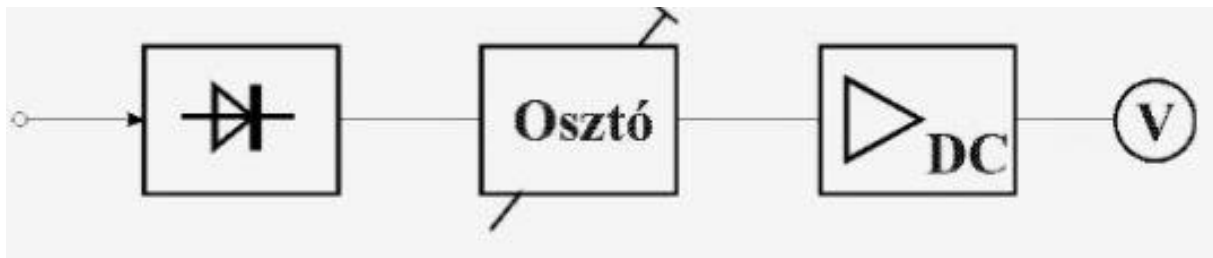
$U_{AC}$ :

- Nagyszintű (leosztás)
- Kiszintű (erősítés)

Frekvencia:

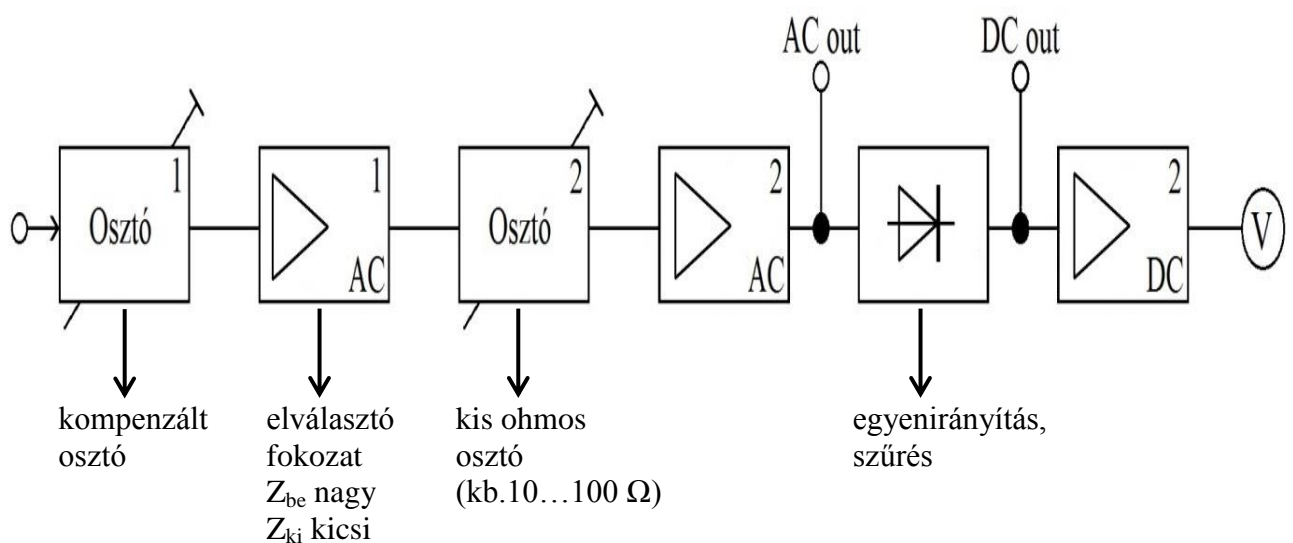
- szélessávú
- szelektív (1 adott frekvencián mér)

Nagyszintű váltakozófeszültség mérő



- 3...300 V (dióda küszöbfeszültsége)
- 10 dB-es méréshatárérték
- decibel skálát tartalmaz
- 0 dB-es szint 600  $\Omega$ -os ellenálláson 1 mW teljesítményt disszipál el
- széles frekvenciatartomány (mérőfej)
- $Z_{be} = 1 \text{ M}\Omega \parallel 20 \text{ pF}$
- Pontosság: 2-3 %

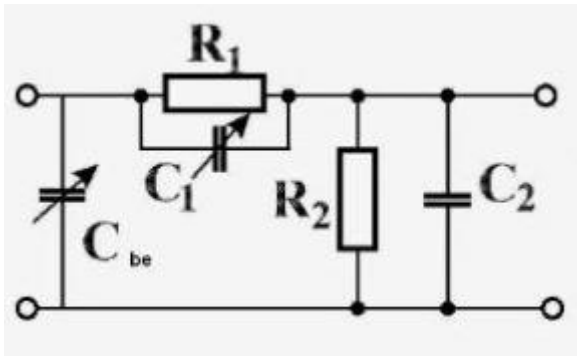
Kiszintű, szélessávú váltakozófeszültség mérő



Középfrekvenciás műszer  
 $\pm 3\%$  pontossággal



## Kompenzált osztó



Frekvenciafüggetlen leosztás:

$$R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$$

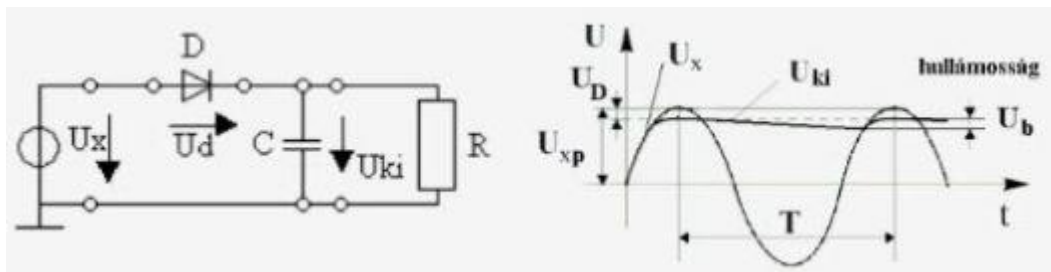
$$Z_{be} = 1 \text{ M}\Omega \parallel 20 \text{ pF}$$

- nagy pontosságú alkatrészecskék
- halmozható kondenzátor
- munkaigényes
- költséges

## Egyenirányítás

### 1) Csúcsérték egyenirányító

#### a) Soros diódás



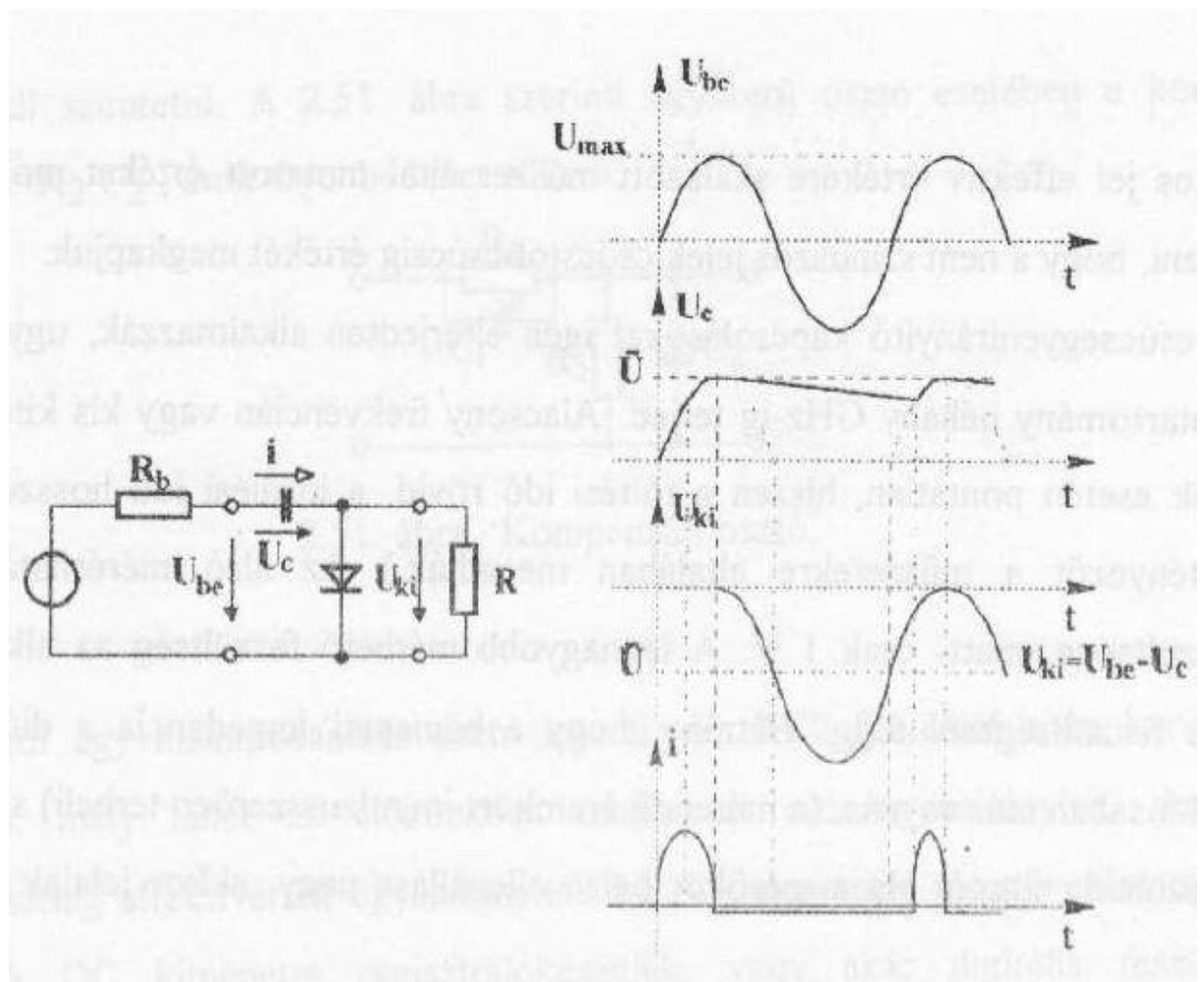
A kondenzátor elvileg feltöltődik a mérendő feszültség csúcsértékére.  
(A dióda küszöbfeszültsége 0,6 V !)

A hiba függ:

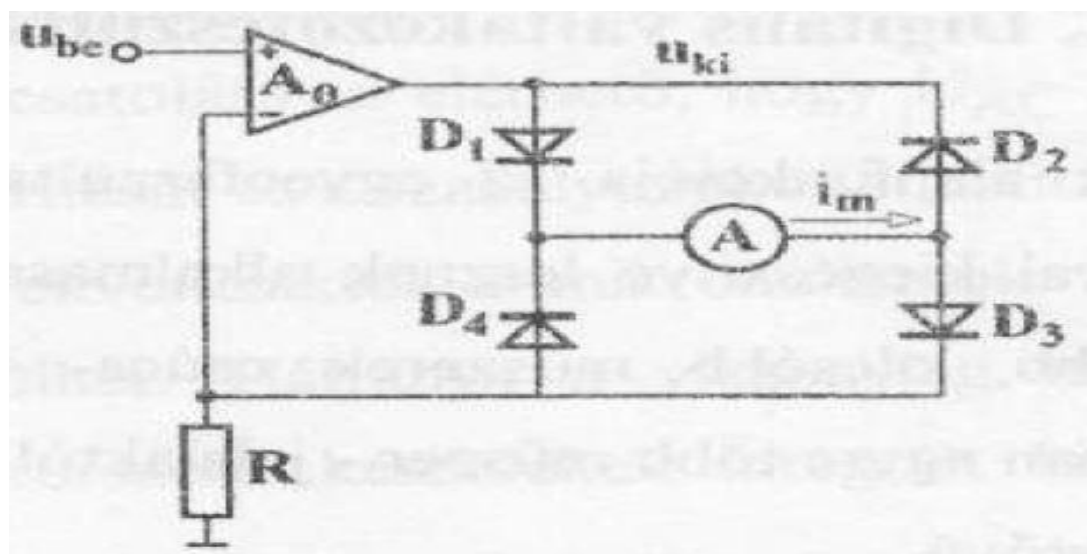
- a frekvenciától
- a kondenzátor nagyságától
- a műszer ellenállásától
- a dióda küszöbfeszültségétől

$$h = \frac{1}{2 \cdot R \cdot C \cdot f}$$

b) párhuzamos diódás



2) Aktív abszolút középérték egyenirányító



Graetz kapcsolás

Áramgenerátoros meghajtást alkalmazunk és így létrehozunk egy egyenirányítót.

Előnye:

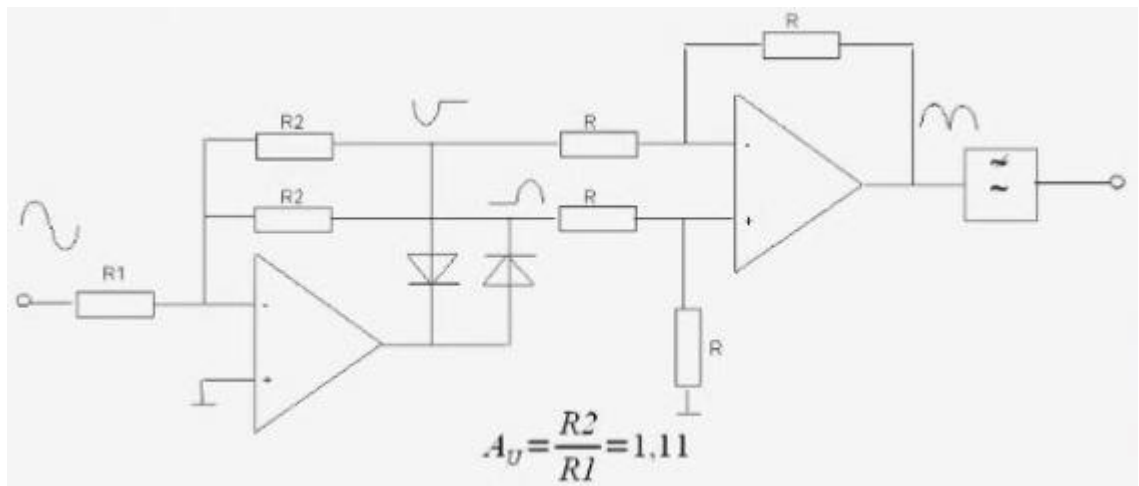
- a skálakarakterisztikája lineáris

A diódák küszöbfeszültsége ( $U_D$ ) elhanyagolható mértékűre csökken:

$$U_D' = \frac{U_D}{A_0}$$

ahol:  $A_0 = 10^4 \dots 10^6$  (műveleti erősítő nyílthurkú erősítése)

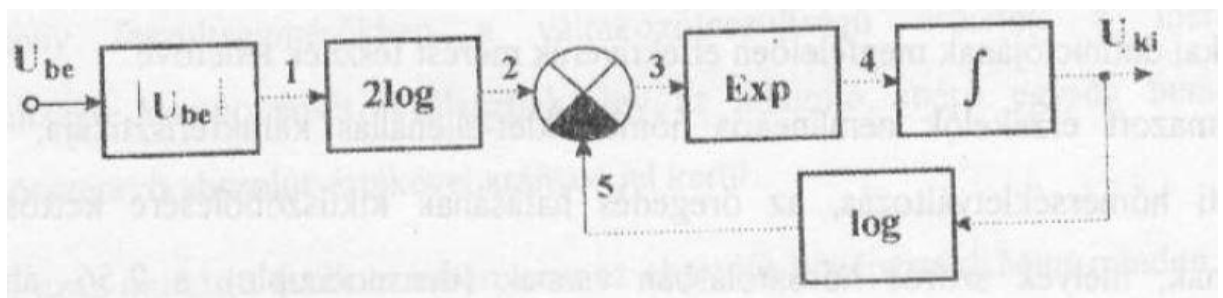
Digitális műszerekben is használható:



$$A_U = \frac{R_2}{R_1} = 1,11$$

### 3) Valódi effektív érték egyenirányító

#### a) Matematikai elven működő



$$U_1 = |U_{be}|$$

$$U_2 = 2 \cdot \lg |U_{be}| = \lg |U_{be}|^2$$

$$U_3 = U_2 - U_5 = \lg |U_{be}|^2 - \lg U_{ki} = \lg \frac{|U_{be}|^2}{U_{ki}}$$

$$U_4 = \frac{|U_{be}|^2}{U_{ki}}$$

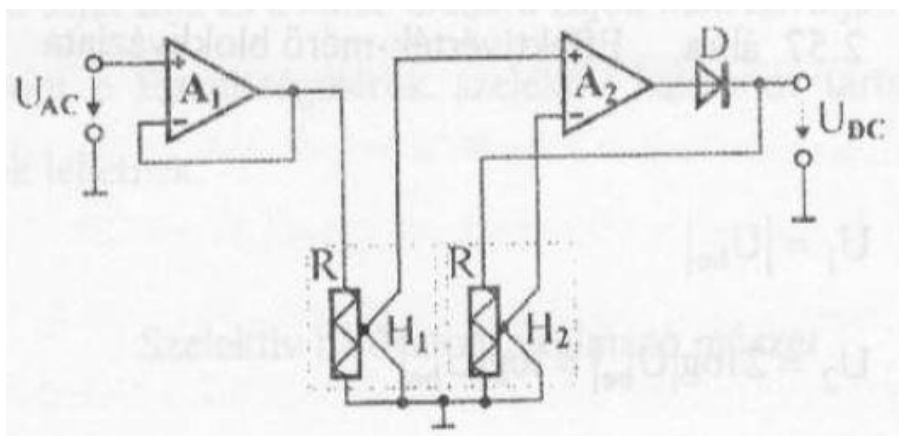
$$U_{ki} = \frac{\int |U_{be}|^2}{U_{ki}}$$

$$U_{ki}^2 = \int |U_{be}|^2$$

$$U_{ki} = \sqrt{\int |U_{be}|^2} \quad (\text{a kimeneti jel valódi effektív értéke})$$

## b) Fizikai elven működő

Két feszültség effektív értéke egyenlő, ha ugyanazon az ellenálláson ugyanennyi idő alatt ugyanakkora hőteljesítményt hoznak létre.



### Hibák:

- a környezeti hőmérséklet változását is megméri, ezért különbségi mérést alkalmazunk
- a karakterisztikája változik (a hőelemek öregsznek), különbségi mérést kell végezni
- kis frekvenciák esetén a jel pillanatértékét mutatja, tehát alsó határfrekvenciája van (hátrány)

### Előny:

- nagy pontosságú (század pontosság)
- integrált kivitelben kapható

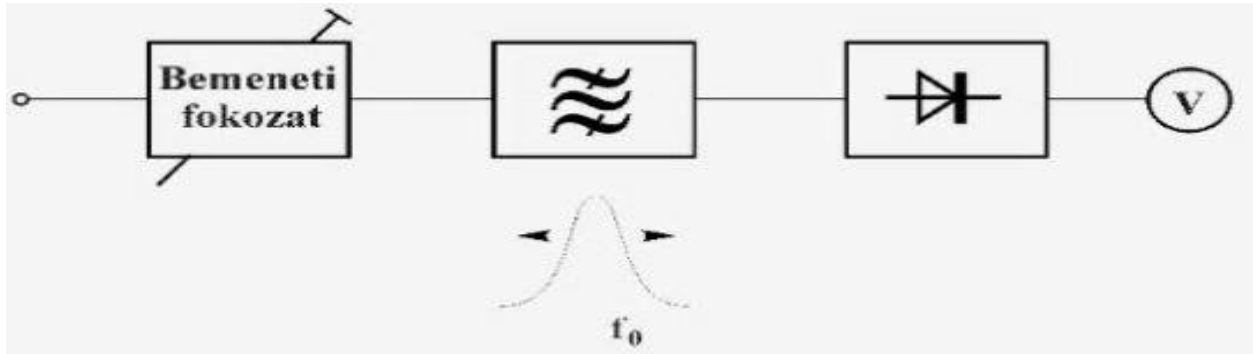
A második különbségképző áramkörrel lemásoljuk az első feszültséget.

## Szelektív feszültségmérők

- A több frekvencia-összetevőt tartalmazó jelből kiválasztható, mérhető a számunkra érdekes jelösszetevő.
- Az egyenirányítás előtt egy olyan szelektív áramkört alkalmazunk, amely csak a kívánt  $f_0$  frekvenciájú jelet engedi át.
- A valóságban egy szűk  $\Delta f_0$  sávban mér a műszer. A  $\Delta f_0$  a maximális átvitelhez viszonyított, adott csillapításhoz (-3 dB, vagy -20 dB) tartozó abszolút, vagy relatív sávszélességgel adható meg.

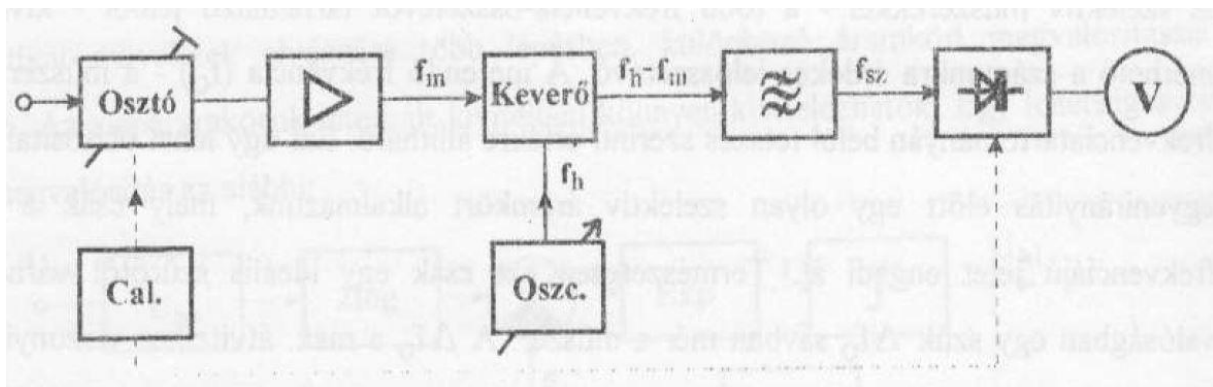
- Az ilyen műszerek igen érzékenyek lehetnek,  $\mu\text{V}$  nagyságrendű jelösszetevők is mérhetők. (Kis sáv szélességű erősítők zaja és a külső eredetű zajok nem zavarják a mérést.)

Blokkvázlata:



Alacsonyabb frekvenciatartományban történő méréseket tesz lehetővé. (... 100 kHz)

Heterodyn rendszerű szelektív műszer blokkvázlata



$f_m$ : a mérendő jel

$f_h$ : helyi oszcillátor jel

$f_{sz}$ : szűrt jel

A keverés következtében megjelenik a két jelfrekvencia összegének és különbségének megfelelő jel is.

$$f_{sz} = f_h - f_m$$

## Torzításmérők

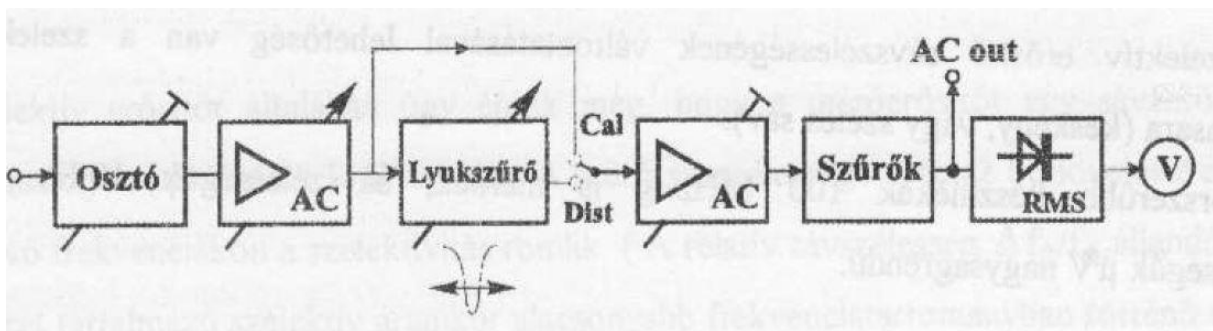
A torzítási tényező definíciószerűen a felharmonikusok effektív értékének és az alapharmonikus effektív értékének aránya %-ban kifejezve.

$$k = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \quad \left( \frac{\text{felharmonikusok}}{\text{alapharmonikusok}} \right)$$

Az össztorzításmérők által mért:

$$k' = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}} \quad \left( \frac{\text{felharmonikusok}}{\text{teljes jel}} \right)$$

Blokkvázlata:



A mérés folyamata:

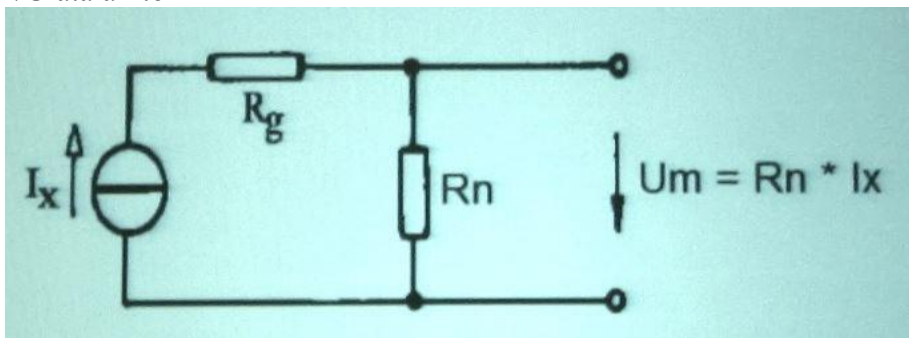
- 1) A teljes jelet mérjük, végkitérést 100% állítunk be (Cal)
  - 2) Bekapcsoljuk a szűrőt (Dist)
- A torzítás %-ban leolvasható a műszerről.

Maniális – Félautomata – Automata torzításmérő

## Egyenáram mérés

a) passzív átalakító

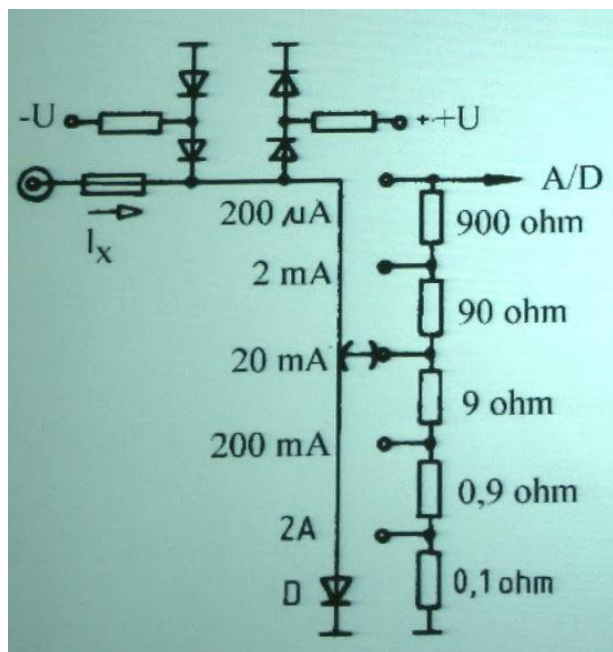
I/U átalakító



Hibát okoz:

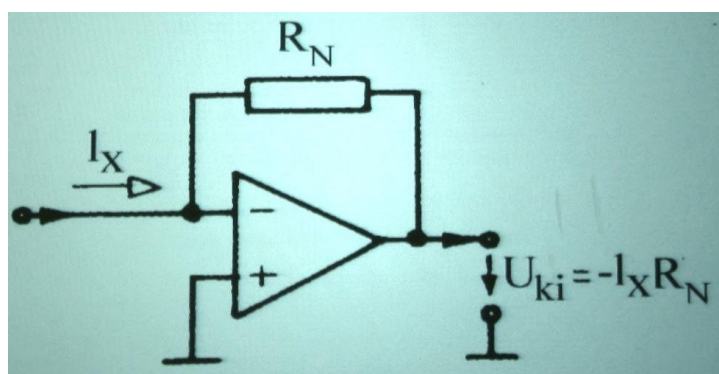
- sönt ellenállás bizonytalansága
- átmeneti és vezeték ellenállás
- hőmérsékletváltozás
- nagy a rendszeres hiba a sönt ellenállások miatt

Digitális multiméterekben használt I/U átalakító



b) aktív átalakító

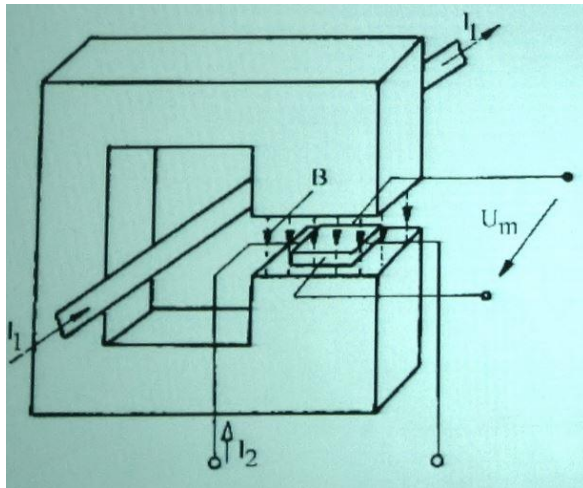
kis áramok mérésére alkalmas



Az alsó méréshatárt az erősítő bemeneti árama korlátozza.



### c) Hallelemes átalakító



$$U_H = k \cdot B \cdot I$$

Előnye:

- előjelhelyes
- galvanikusan függetleníthető

Hátránya:

- hőmérsékletfüggő

$I_1$  áram mágneses terét vezetjük a hall elemre a mágnes segítségével.

### Váltakozó árammérés

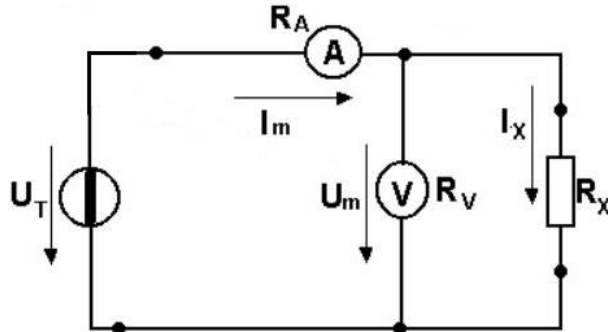
A söntök frekvenciafüggése hibát okoz, ezért speciális söntöt alkalmazunk.



## Ellenállásmérési módszerek:

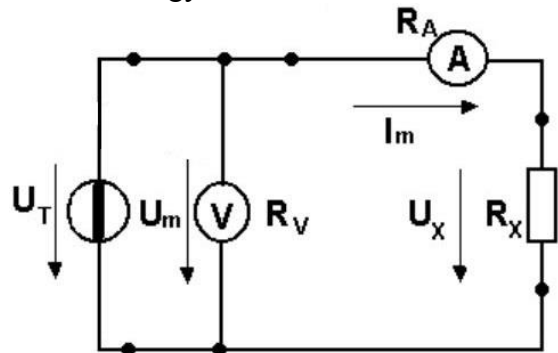
### V-A mérő

Kis ellenállás mérése:



$$R_X = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U_m}{I_m \cdot \frac{U_m}{R_V}}$$

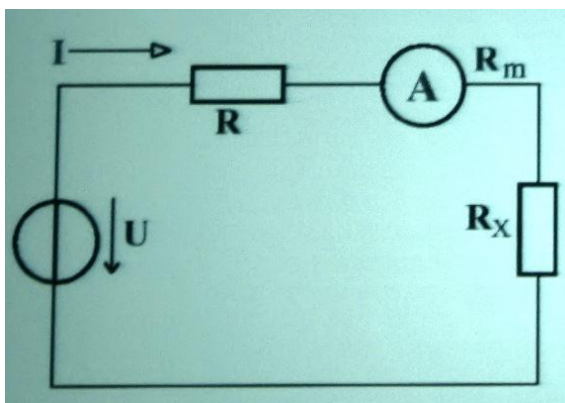
Nagy ellenállás mérése:



$$R_X = \frac{U_m - I_m \cdot R_A}{I_m} = \frac{U_m}{I_m} - R_A$$

- 2 műszer bizonytalansága
- nincs olyan műszer ami  $R_X$  skálát mutatja

### Soros Ohm-mérő



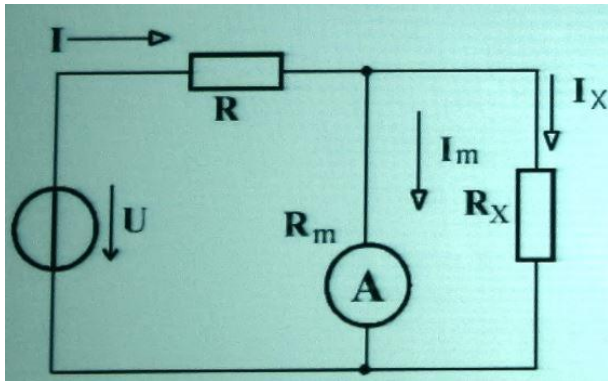
$U = \text{állandó}$

*Nem lineáris*

*Fordított skálájú (bal oldalon a nagyobb érték)*

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

■ Párhuzamos Ohm-mérő

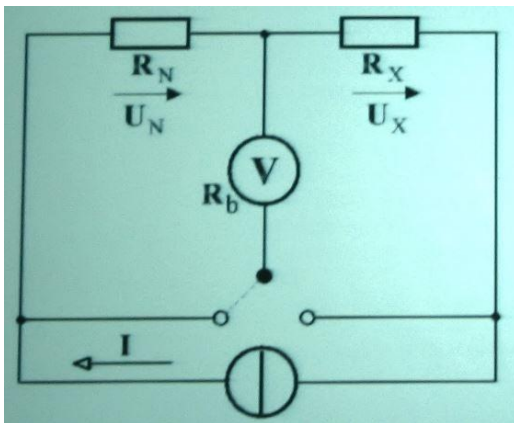


$I = \text{állandó}$

- Nem lineáris
- Egyenes állású
- Pontosság 5-7% (középállásban)

$$U_m = U \cdot \frac{R_x}{R + R_x}$$

■ Feszültség összehasonlítás



$$U_N = I \cdot R_N$$

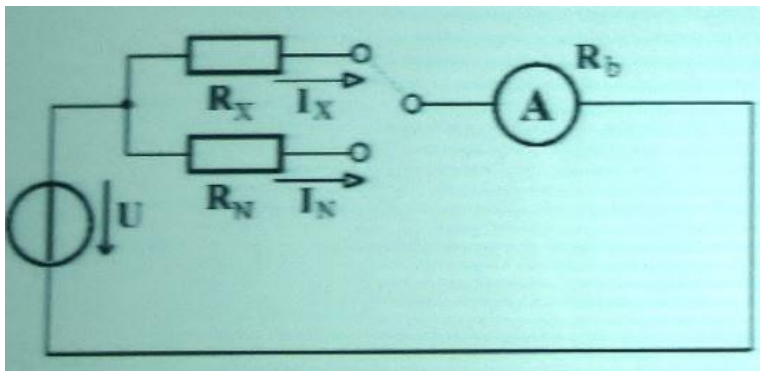
$$U_x = I \cdot R_x$$

$$R_x = \frac{U_x}{U_N} \cdot R_N$$

kis ellenállás mérésére

$$h_{R_x} = h_{R_N} + h_{U_x} + h_{U_N}$$

- Áram összehasonlítás



$$U = I_X \cdot R_X$$

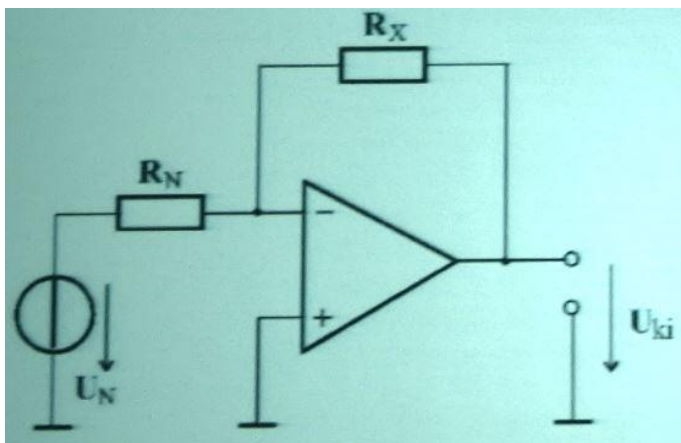
$$U = I_N \cdot R_N$$

$$R_X = R_N \cdot \frac{I_N}{I_X}$$

nagy ellenállás mérésére

$$h_{R_X} = h_{R_N} + h_{I_X} + h_{I_N}$$

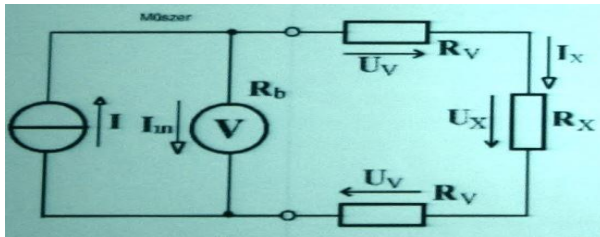
- Aktív ellenállásmérő



Védelem szükséges

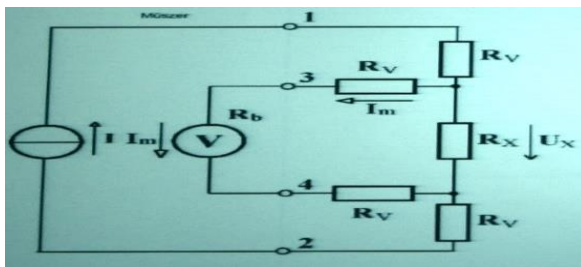
$$U_{ki} = \frac{U_N}{R_N} \cdot R_X$$

- 2 vezetékes



$$U_m = U_x + 2 \cdot U_v$$

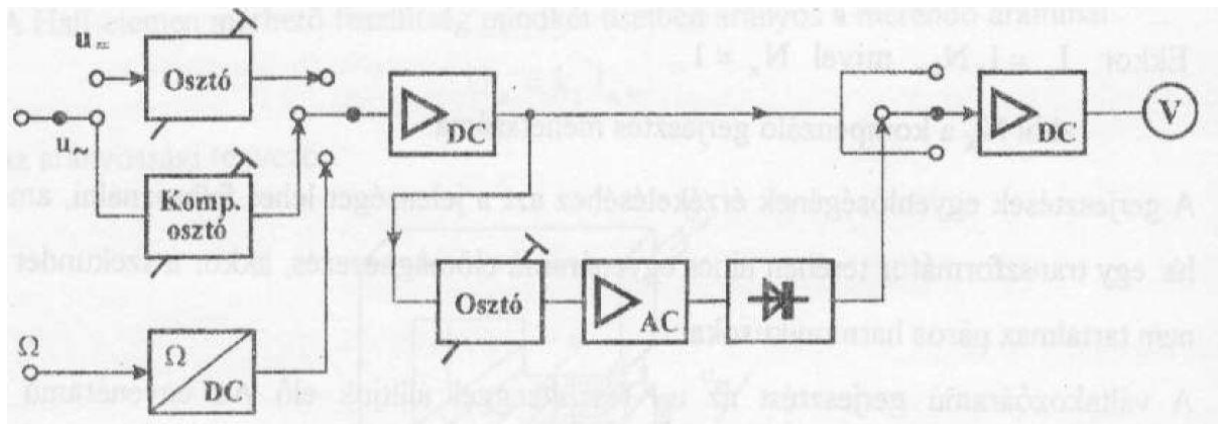
- 4 vezetékes



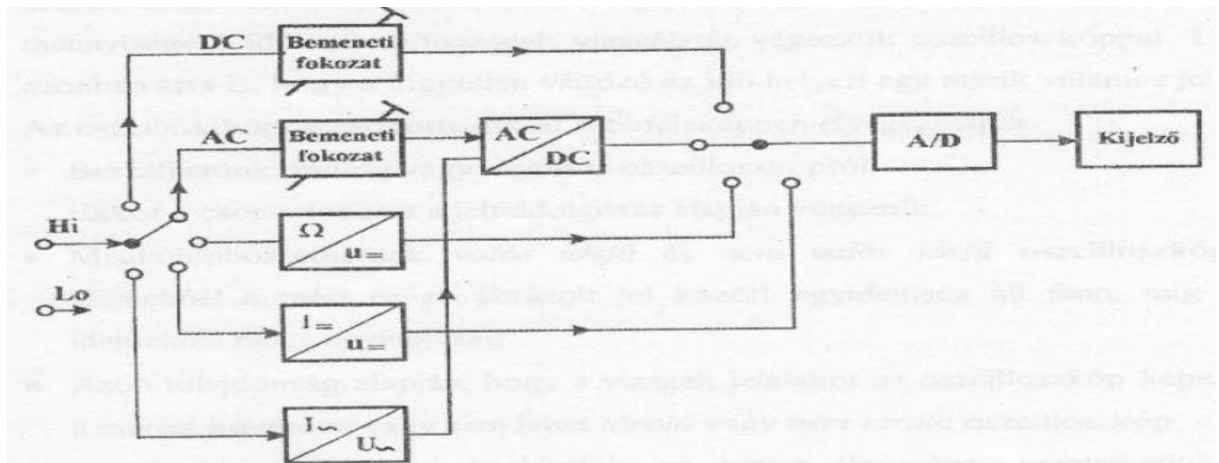
A mérésben nem okoznak hibát az  $R_v$  vezeték illetve átmeneti ellenállások.

- Wheastone-híd

## Analóg multiméter



## Digitális multiméter



## Automatizálási lehetőségek

- automatikus méréshatárváltás (autorange)
- automatikus nullázás (autozero)
- öntesztelés
- SMR csökkentés (a pontos hálózati periódusidőre szinkronizál)
- rendszerbe illeszthetőség
- statisztikák készítése
- hőmérséklet mérésére is alkalmasak

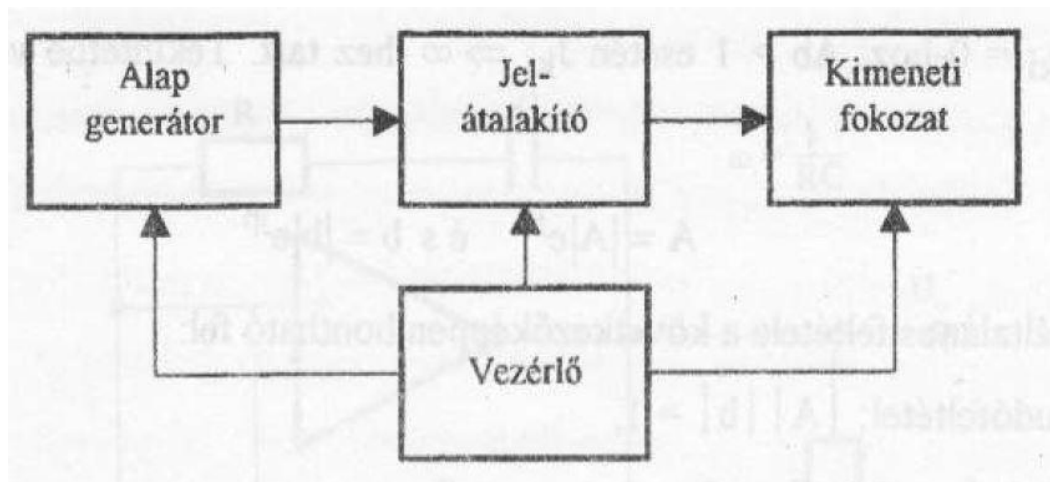
## Generátorok

**Feladata:** a különböző jelalakú, amplitúdójú, frekvenciájú és fázisú jelek előállítása, az esetleg illesztett kimenet biztosítása

### Felosztása:

- szinuszos generátor
- függvénygenerátor
- impulzusgenerátor
- zajgenerátor
- véletlenjel generátor

## Generátorok általános blokkvázlata:



### frekvencia beállítása:

- pontosság
- bizonytalanság
- stabilitás

### járvékos moduláció:

$$\Delta f \rightarrow \Delta U$$

$$\Delta U \rightarrow \Delta f$$

Az **alapgenerátor** szinuszos jelforrás esetén oszcillátor, nemsinuszos jelforrás esetén általában négyszögjelet előállító generátor. Ez határozza meg a frekvenciatartományt és a kimeneti jel bizonyos minőségi jellemzőit.

A **jelátalakító** fokozat feladata az alapgenerátor jeléből a megfelelő hullámforma kialakítása, a hullámforma minőségi jellemzőinek befolyásolása, esetleg a szükséges frekvenciaátalakítás.

A **kimeneti fokozat** feladata a szükséges kimeneti jelszint és teljesítmény, valamint a szabványos kimeneti impedancia biztosítása.

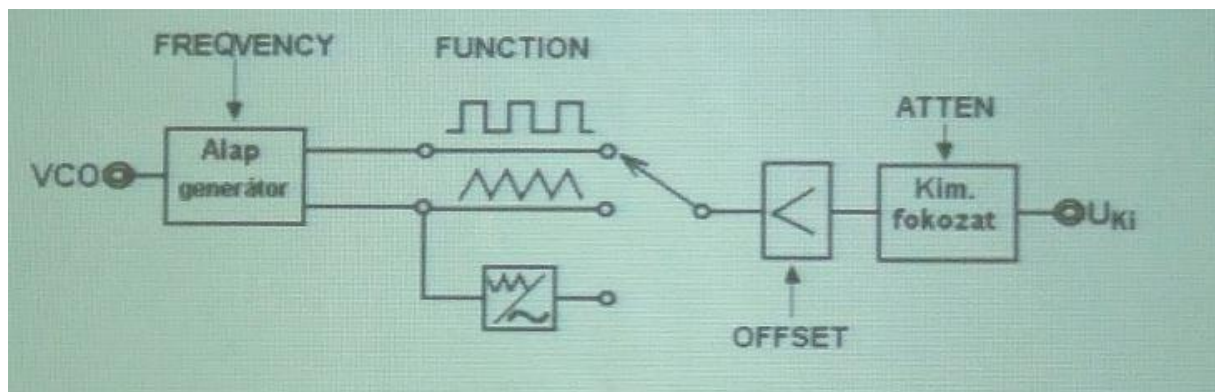
A **vezérlő** feladata a funkcionális egységek és a kezelőszervek és/vagy valamilyen digitális vezérlő illesztési felülete közötti kapcsolat biztosítása, a funkcionális egységek működésének összehangolása.

## Működési elv szerinti csoportosítás

- **közvetett (transzponáló) generátor:**  
a kimeneti jel frekvencia nem egyezik meg az oszcillátor frekvenciájával
- **közvetlen generátor**



## Függvénygenerátor



### Előnye:

- sokféle kimeneti jelalak
- széles frekvenciatartomány (1 mHz ... 10 MHz)
- a frekvencia feszültséggel szabályozható  
VCO (Voltage Controlled Oscillator)
- sokféle üzemmód (kapuzott, indított)
- modulációk (AM, FM), sweepeles

### Hátránya:

- szinuszos jelek torzak (~ %)
- a szinuszos jelet háromszögjelből hozza létre
- a kimeneti feszültség értékét nem méri a műszer

### Blokkvázlata:

