

Metódy merania aktívnych elektrických veličín (1)

- **DC – jednosmerné veličiny - v priebehu merania nemenia v určitom časovom intervale veľkosť**
- **AC – striedavé veličiny s periodickým alebo neperiodickým priebehom v čase**
- **neperiodické (AC) priebehy – meriame ich okamžité hodnoty \Rightarrow z nich určíme štatistické parametre priebehu**
- **periodické priebehy – meriame ich periódu (T), frekvenciu (f) základnej harmonickej zložky, okamžitú, strednú, efektívnu, maximálnu hodnotu a prípadne jednosmernú (DC) zložku**
 - **v prípade nulovej zložky DC hovoríme o striedavom priebehu (AC)**

Metódy merania aktívnych elektrických veličín (2)

- **periodické priebehy delíme na – harmonické a neharmonické**
 - **u dvojice harmonických signálov určujeme ich fázový posun (rozdiel)**
 - **u neharmonických signálov – úroveň jednotlivých harmonických zložiek, ich fázové posuny voči základnej harmonickej (čiže fázové a amplitúdové frekvenčné spektrum)**
 - **u dvojice neharmonických signálov určujeme fázové rozdiely jednotlivých harmonických zložiek rovnakej frekvencie (ak sú v oboch signáloch)**

Meranie jednosmerných napätí a prúdov (1)

- **etalóny a referenčné zdroje**

- **jednotka elektrického prúdu 1 A – základná jednotka SI**

Def.: Ampér je prúd, ktorý pri stálom prietoku dvomi rovnobežnými nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu umiestnenými vo vákuu vo vzdialenosti 1 m od seba vyvolá silu $2 \cdot 10^{-7}$ N pôsobiacu na 1 m dĺžky každého vodiča

- **praktická realizácia jednotky (1 A) – prúdové váhy**

- **vhodné len pre primárnu etalonáž**

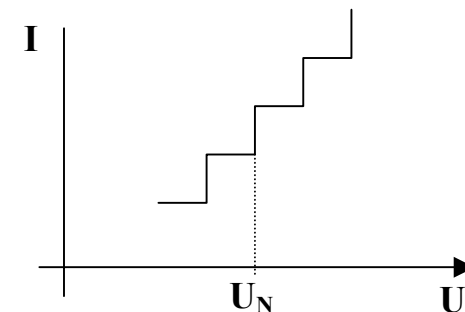
- **sekundárne etalóny – etalóny napätia**

- * **Westonove etalónové články**

- * **elektronické referenčné zdroje (ERZ) – vysoko stabilné**

Meranie jednosmerných napätí a prúdov (2)

- **Westonove etalónové články (WEČ)**
 - elektrochemické články, napätie $1,018 \text{ E} - 1,0200 \text{ V}$ (závisí od teploty)
 - dobrá časová stabilita (zmeny $< 1 \mu \text{ V/rok}$)
 - definovaná teplotná závislosť ($-40 \mu \text{ V/}^\circ\text{C}$)
 - nevýhody – vysoký výstupný odpor ($10^2 - 10^3 \Omega$), nízka prúdová zaťažiteľnosť a citlivosť na otrasy
- skutočnú hodnotu napätia WEČ a ERZ určíme buď pomocou etalónu odporu a prúdových váh alebo pomocou Josephsonovho javu (JJ)
- JJ vzniká na kontakte dvoch supravodičov umiestnených v elektromagnetickom poli (f rádove 10 GHz)
- V-A charakteristika spoja je schodovitá



Meranie jednosmerných napätí a prúdov (3)

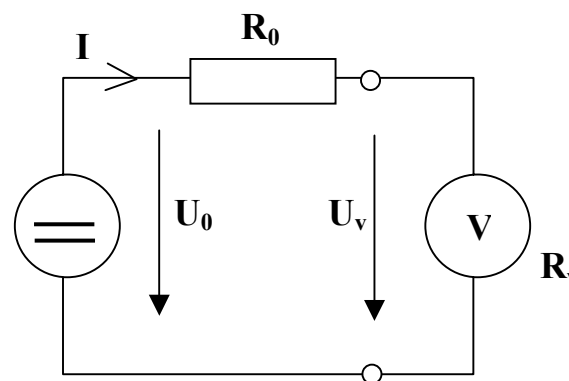
- Josephsonov jav $U_N = n \cdot f_0 \frac{h}{2e}$

f_0 – frekvencia poľa, e – náboj elektrónu $1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$, h – Planckova konštanta $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, n – celé kladné číslo

- elektronické referenčné zdroje (v ČMM a kalibrátoroch)
 - referenčný prvok je teplotne kompenzovaná referenčná dióda (Zenerova dióda v sérii s 1 alebo viac diódami v priepustnom smere napájaná stabilizovaným prúdom)
 - umelé stárnutie referenčnej diódy – časová stabilita až $1 \mu\text{V/rok}$

Meranie jednosmerných napätí (1)

- rozsah $10^{-1} - 10^3$ V – magnetoelektrické voltmetre alebo ČV
- magnetoelektrické V-metre $R_{vst} = 10^2 \Omega/V - 10^4 \Omega/V$
- $U_x < 10^{-1}$ V – vhodný predzosilňovač \Rightarrow elektronický analógový V-meter
- zmena rozsahu – odporový delič
- ČV (ČMM) – $R_{vst} =$ viac ako 10 M Ω
- R_0 výstupný odpor zdroja napätia
 R_v – odpor V-metra



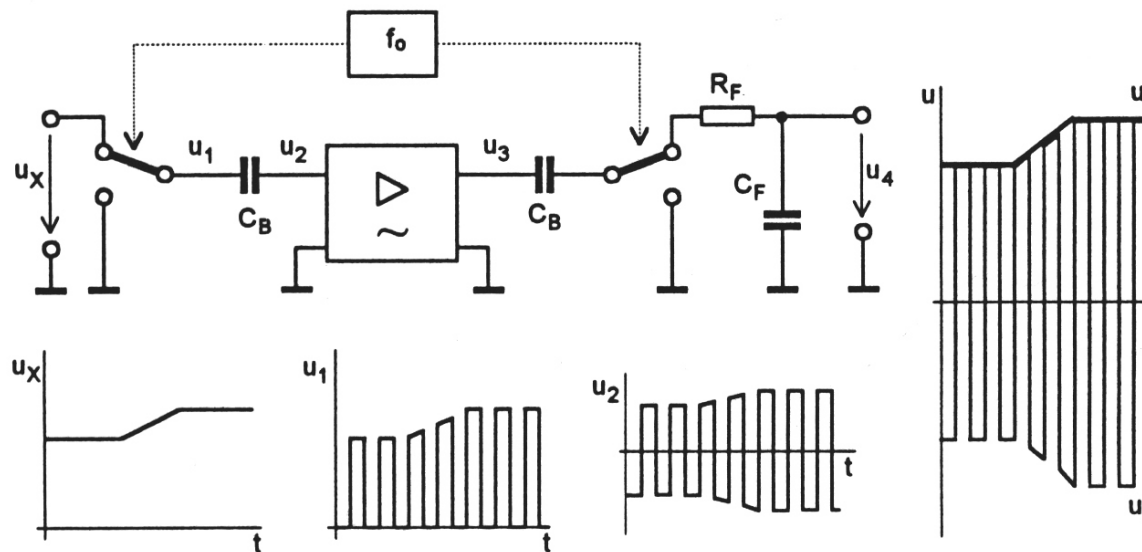
- R_v zaťažuje meraný objekt (zdroj) \Rightarrow chyba metódy

$$\Delta_m = U_v - U_0 = -\frac{R_0}{R_0 + R_v} \cdot U_0 \quad \delta_m = \frac{\Delta_m}{U_0} \cdot 100 = -\frac{R_0}{R_0 + R_v} \cdot 100 [\%]$$

$$\left(U_v = I \cdot R_v; I = \frac{U_0}{R_0 + R_v}; U_0 = I(R_0 + R_v) \right)$$

Meranie jednosmerných napätí (2)

- malé jednosmerné napätia ($< 10 \mu\text{V}$) \Rightarrow modulačné zosilňovače

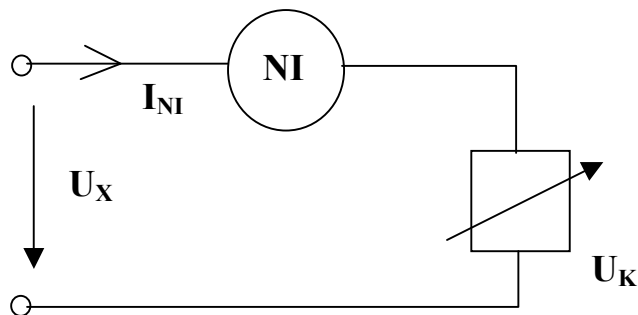


- princíp: prevod jednosmerného napätia na striedavý signál, zosilnenie, prevod späť na jednosmerný signál a meranie
- nevýhody – zbytkové napätia na spínačoch, nízky vstupný odpor
- odstránenie nevýhod – modulačný prvok varikapy (kapacitné diódy)

Meranie jednosmerných napätí (3)

- jednosmerné kompenzátory napätia – prakticky sa nepoužívajú
- princíp metódy však nájdeme v kompenzačných AČP
a v kompenzačných zapisovačoch

•



NI nulový indikátor

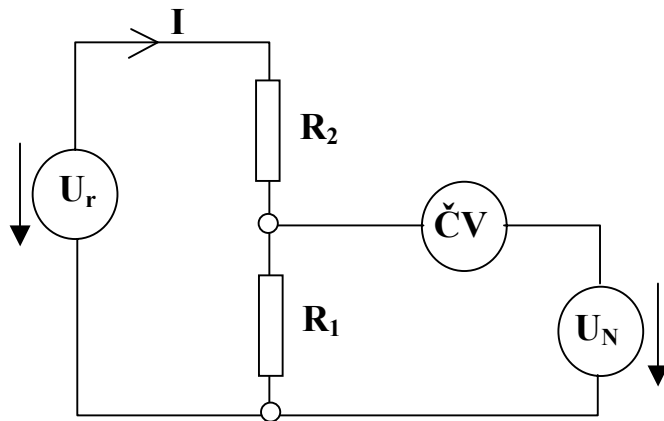
U_K premenné kompenzačné
napätie

$$\text{zmena } U_K \Rightarrow I_{NI} = 0 \Rightarrow U_K = U_X$$

- $R_{vst} \rightarrow \infty$ pri vyváženom stave ($I_{NI} = 0$) \Rightarrow zdroj meraného napätia U_X nie je zaťažovaný
- neplatí pre nevyvážený stav

Meranie jednosmerných napätí (4)

- porovnávacia metóda (podobná kompenzačnej)
- porovnávajú sa dve blízke napätia
- použitie – naviazanie napätia referenčného zdroja U_r na sekundárny etalón napätia U_N



$$I = \frac{U_r}{R_1 + R_2} \quad (R_{\check{C}V} \rightarrow \infty)$$

$$I \cdot R_1 = U_{\check{C}V} + U_N$$

$$U_r = (U_{\check{C}V} + U_N) \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

- deličom získame na R_1 úbytok napätia blízky U_N
- rozdiel medzi U_{R1} a U_N meria ČV ($U_{\check{C}V}$)

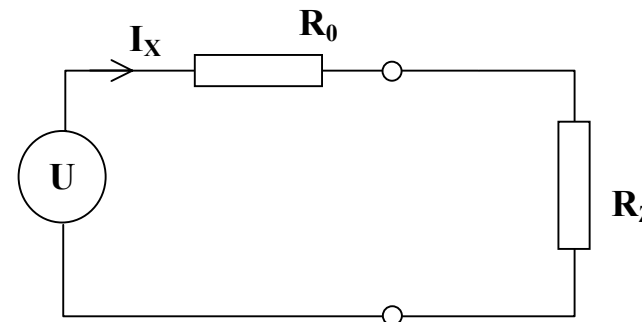
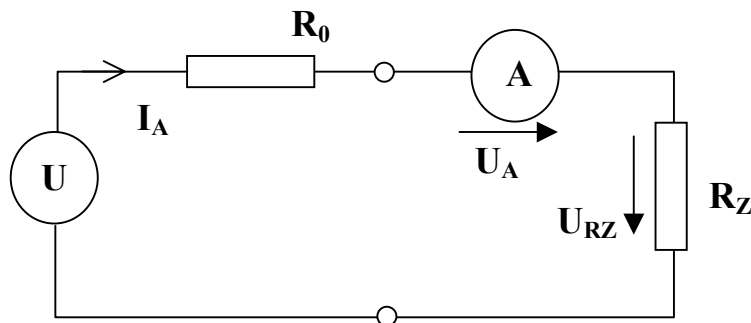
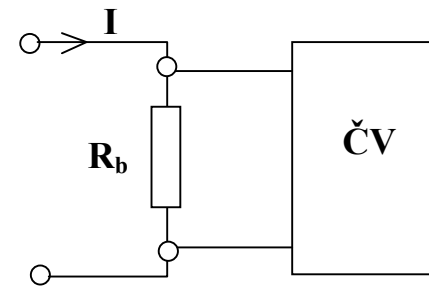
Meranie jednosmerných prúdov (1)

- rozsahy $10 \mu\text{A} - 10^1 \text{ A}$ – magnetoelektrické ampérmetre
- číslicové „ampérmetre“ merajú úbytok napätia na presnom bočníku

(nepriama metóda)

$$I = \frac{U_{\check{V}}}{R_b}$$

- R_{vst} takéhoto „ampérmetra“ $\approx R_b$
- reálny zdroj U má vnútorný odpor R_0 , pripojíme ho na záťaž R_Z , chceme merať prúd \Rightarrow zapojíme A-meter



- A-meter „zat’áží“ obvod úbytkom U_A

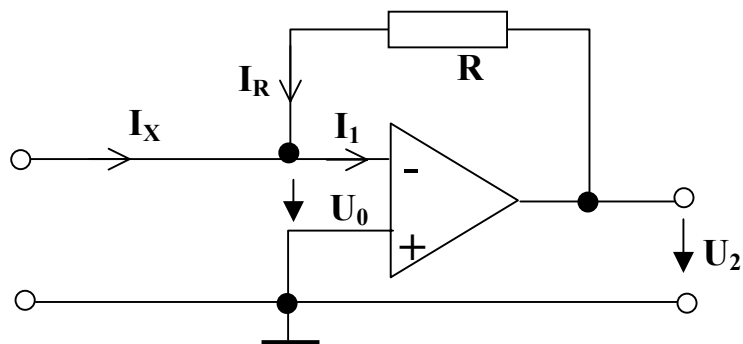
Meranie jednosmerných prúdov (2)

- chyba

$$\begin{aligned} \Delta_M = I_A - I_X &= \frac{U}{R_0 + R_A + R_Z} - \frac{U}{R_0 + R_Z} = \frac{U}{R_0 + R_Z} \cdot \frac{(-R_A)}{R_0 + R_A + R_Z} = \\ &= -I_X \frac{R_A}{R_0 + R_A + R_Z} \end{aligned}$$

- chyba $\delta_M = \frac{\Delta I}{I_X} \cdot 100 = -\frac{R_A}{R_0 + R_A + R_Z} \cdot 100$

- elektrický prevodník prúdu na napätie, ideálny operačný zosilňovač

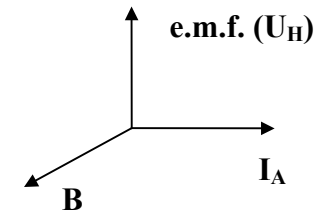
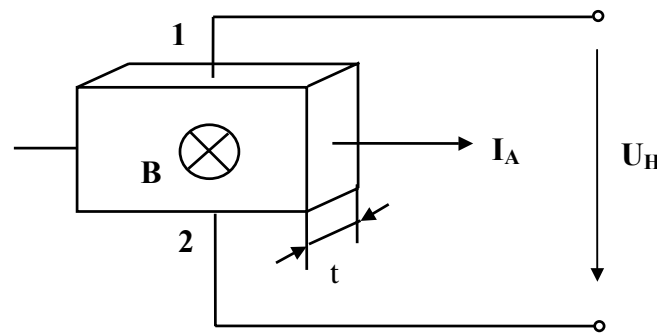


$$I_1 = 0, U_0 = 0$$

$$I_X = -I_R = -\frac{U_2}{R}$$

Meranie jednosmerných prúdov (3)

- meranie veľmi malých prúdov (10 pA až 100 pA)
 - úbytok napätia na vysokoohmovom odpore, potom ako malé napätie
- meranie veľkých prúdov
 - výkonová strata na bočníku veľká – nadmerné otepľovanie
- preto nepriame meranie pomocou magnetických senzorov – Hallove sondy
- Hallov jav

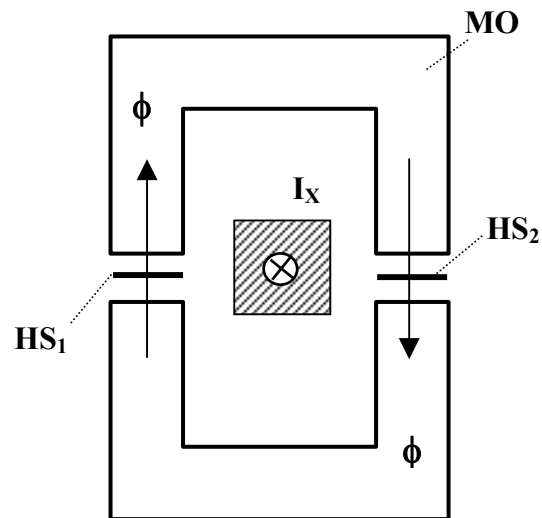


$$U_H = k_H \cdot \frac{B \cdot I_A}{t}$$

$$k_{H, \text{POLOVODIČ}} \gg k_{H, \text{VODIČ}}$$

Meranie jednosmerných prúdov (4)

- principiálne zapojenie na meranie veľkých prúdov



I_X - meraný prúd

HS_1, HS_2 – Hallove sondy

MO – magnetický obvod z feromagneta (úzka hysterézná slučka)

B – indukcia vo vzduchových medzerách

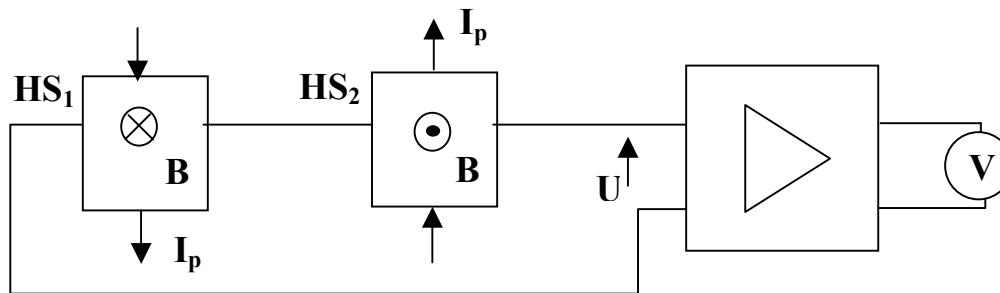
I_P – pomocný prúd HS_i

- zanedbáme nelinearitu a hysterézu feromagnetika, I_X dostatočne veľký

$$\Rightarrow B = k_1 \cdot I_X$$

- dve HS odstránia vplyv rušivých magnetických polí

Meranie jednosmerných prúdov (5)



$$U = 2k_H \cdot \frac{I_p \cdot B}{t} = k_2 \cdot I_X$$

- V-meter je magnetoelektrický
- výhody – prevodník nezat'azuje obvod prúdom I_X
 - merací prístroj je galvanicky oddelený od I_X
 - výstupný signál U využiteľný v automatizácii (spätná väzba)
- nevýhody – vplyv cudzích rušivých polí – odstránia 2 sondy
 - obmedzená presnosť vplyvom hysterézy feromagnetík a nelinearity HS_1 a HS_2 (viac ako 1 %)
 - malé Hallove napätie $\approx 10^{-1}$ V
- takéto merače sa robia aj ako kliešťové A-metre
- staršie zapojenie na meranie veľkých jednosmerných prúdov používa transduktory (magnetické zosilňovače)