

Požiadavky na výber MP

- podmienky merania, vplyv vonkajšieho prostredia
 - druh meranej veličiny (U, I, R, ...)
 - hodnota meranej veličiny (efektívna, str., max., DC, AC, ustálená, prechodný jav, ...)
 - preťažiteľnosť (odolnosť)
 - vlastná spotreba
 - presnosť
 - rýchlosť merania
 - rýchlosť ustálenia údajov
 - otrasuvzdornosť, bezpečnosť
 - cenová dostupnosť
- } väzba

Elektromechanické meracie prístroje

- v minulosti najpoužívanejšie (DC, AC; I, U, P, ...)
- dnes nahrádzané číslicovými MP
- princíp – meraná veličina X (U, I, P, ..) pôsobí na pohyblivú časť silou $F(X)$, alebo momentom $M(X)$
- výchylka meracieho ústrojenstva β
- α - poloha ukazovateľa na stupnici
- stupnica kalibrovaná v hodnotách meranej veličiny X
 $X = K_x \cdot \alpha$; K_x – konštanta prístroja (rozmer)
- $K_x = X_N / \alpha_N$

Dynamika MP (1)

- pohybový moment odvodený od meranej veličiny X (moment systému) – M_S (M_P)
- $M_S = f(X)$, obvykle $f(X) = k_S \cdot X$, niekedy $f(X) = k_S \cdot X^2$
- M_S je v ustálenom stave vyvážený M_d
- $M_d = k_d \cdot \beta$ - direktívny moment, k_d – direktívna konštanta
- $M_S + M_d = 0$
- $\beta_{ust} = C_X \cdot X$ $C_X = k_S/k_d$ – citlivosť prístroja
- $K_X = 1/C_X$ – konštanta prístroja

Dynamika MP (2)

- pohybujúci sa systém \Rightarrow pôsobia ešte 2 momenty
 - M_b –brzdiaci moment
 - M_J – moment zotrvačných síl
- d' Allambertov princíp (\sum krútiacich momentov = 0)
- pohybová rovnica elektromechanického systému
$$M_J + M_b + M_d + M_S = 0$$
 - $J \frac{d^2 \beta}{dt^2} + k_b \frac{d\beta}{dt} + k_d \cdot \alpha = k_s \cdot X$
 - J – moment zotrvačnosti
 - k_b – brzdiaca konštanta
 - k_d – direktívna konštanta
 - k_s - konštanta systému

Dynamika MP (3)

- **prechodová charakteristika (pri skokovej zmene $x(t)$)**
- **pohybová rovnica platí pre väčšinu elektromechanických MP**
- **odlišný princíp - vibračné MP**
 - pomerové MP
 - integračné MP
- **pomerové MP, ustálený stav**
$$M_{S1}(\beta, X_1) = M_{S2}(\beta, X_2) \text{ pri } M_d = 0$$
- **integračné MP (indukčný elektromer)**
$$M_S = M_b \quad (M_d = 0)$$

Dynamika MP (4)

- meraná veličina $X = x(t)$ – často periodická
- $M_S = k_S \cdot x(t)$, resp. $M_X = k_S \cdot x^2(t)$
- frekvencia zmien $x(t)$ pomalá $\Rightarrow \beta$ indikuje zmeny okamžitej hodnoty $x(t)$
- rast frekvencie zmien \Rightarrow brzdenie a zotrvačnosť bráni sledovanie zmien
- ustálená výchylka $\beta_u \sim M_S$
 - M_S priemerná hodnota momentu za celú periódu T
- $M_S = \frac{1}{T} \int_0^T m_S(t) \cdot dt$
- $\beta_u = \frac{1}{k_d} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T k_s \cdot x(t) \cdot dt$ - prístroj meria jednosmernú zložku X_0 veličiny $x(t)$

(lineárna stupnica)

- $\beta_u = \frac{1}{k_d} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T k_s \cdot x^2(t) dt$ - prístroj meria efektívnu hodnotu veličiny $x(t)$

(kvadratická stupnica)

Elektromechanické prístroje – m_S (M_S) (1)

- pracujú na základe rovnováhy síl a momentov pôsobiacich navzájom v elektromagnetickom poli
- energiu na činnosť berú z objektu merania
- prístroj a objekt merania (zdroj energie) – sústava
- energia sústavy
- E_z – energia zdroja, E_{emp} – energia poľa
- pohyb systému ($d\beta$) – vykoná sa práca

$$dA = m_S \cdot d\beta$$

- princíp zachovania energie

$$dE_z + dE_{emp} + dA = 0$$

Elektromechanické přístroje – m_s (2)

$$\square dE_z + dE_{emp} + m_s \cdot d\beta = 0$$

$$\square m_s = -\frac{dE_z + dE_{emp}}{d\beta}$$

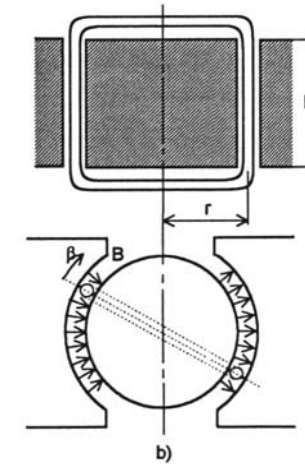
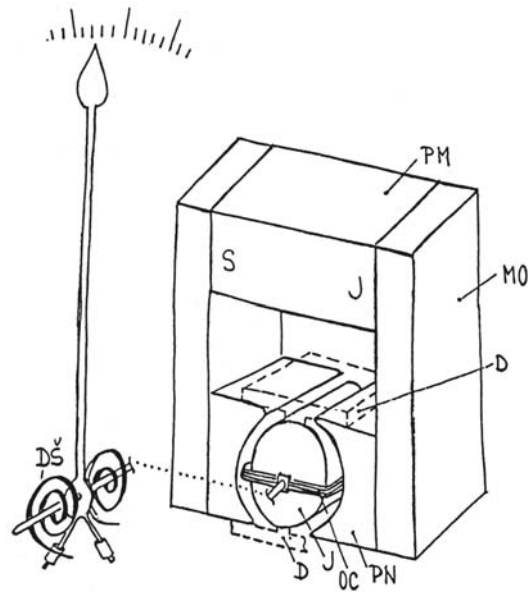
$$\square \frac{dE_z}{d\beta} = 0 \Rightarrow m_s = -\frac{dE_{emp}}{d\beta}$$

$$\square E_{emp} = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \pm M_{12} i_1 i_2 + \frac{1}{2} C u^2$$

$$\square i_1, i_2, u = f(t)$$

$$\square L_1, L_2, M, C = f(\beta)$$

Magnetoelektrický systém (1)



a) princíp:

PM – permanentný magnet,

PN – pólové nastavce, J - jadro

OC – otočná cievka, DŠ – direktívna špirálka,

D – držiak jadra (nevodivý), MO – magnetický obvod

b) radiálne magnetické pole
v medzere magnetického
obvodu

Magnetoelektrický systém (2)

- $m_s : E_{emp}$ – zanedbateľná

$$E_z = \psi \cdot i \quad \psi - \text{celkový magnetický tok viazaný cievkou}$$

$$m_s = \frac{dE_z}{d\beta} = \frac{d\psi}{d\beta} \cdot i$$

$$d\psi = N \cdot B \cdot dF \quad - dF - \text{plocha cievky}$$

$$d\psi = N \cdot B \cdot 2 \cdot l \cdot r \cdot d\beta$$

- $M_s = 2 \cdot N \cdot B \cdot I \cdot l \cdot r = k_s \cdot I$

N - počet závitov cievky

l - dĺžka aktívnej časti závitov

B - indukcia poľa v medzere

r - polomer cievky

I - prúd cez cievku

Magnetoelektrický systém (3)

- $\beta_u = \frac{k_s}{k_d} \cdot I = C_x \cdot I$
- M_b – vyvolaný prúdom indukovaným pohybom cievky v poli
- M_b pôsobí proti príčine, ktorá ho vyvolala
- prístroj zapojený do obvodu s harmonickým prúdom ukazuje nulu
- na meranie striedavých veličín len s prevodníkom
- použitie – jednosmerné ampérmetre
 - jednosmerné voltmetre
 - striedavé ampérmetre (s usmerňovačom alebo termočlánkom)
 - striedavé voltmetre (s usmerňovačom alebo termočlánkom)

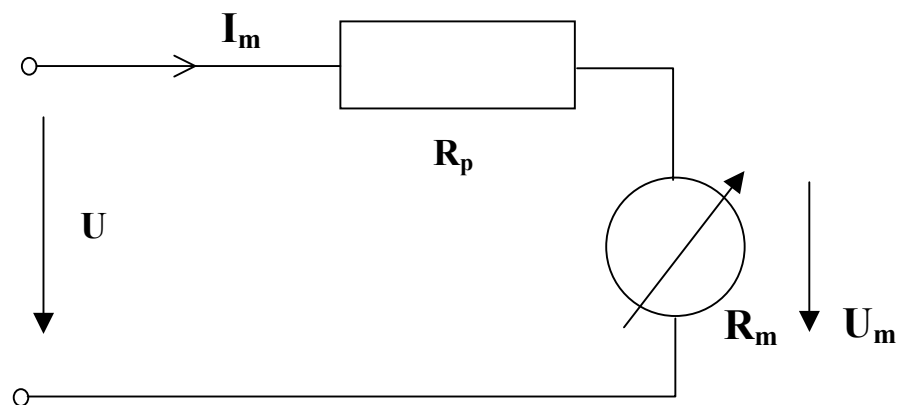
Chyby magnetoelektrických prístrojov

- vplyv cudzích magnetických polí (jednosmerné polia) – pomerne malý
- stárnutie PM (ochrana – umelé stárnutie)
- vplyv teploty na veľkosť B
- teplotná chyba zapríčinená zmenou vnútorného R
- zmena M_d (preťaženie, tepelným namáhaním direktívnych špirál)

Magnetoelektrický voltmeter (1)

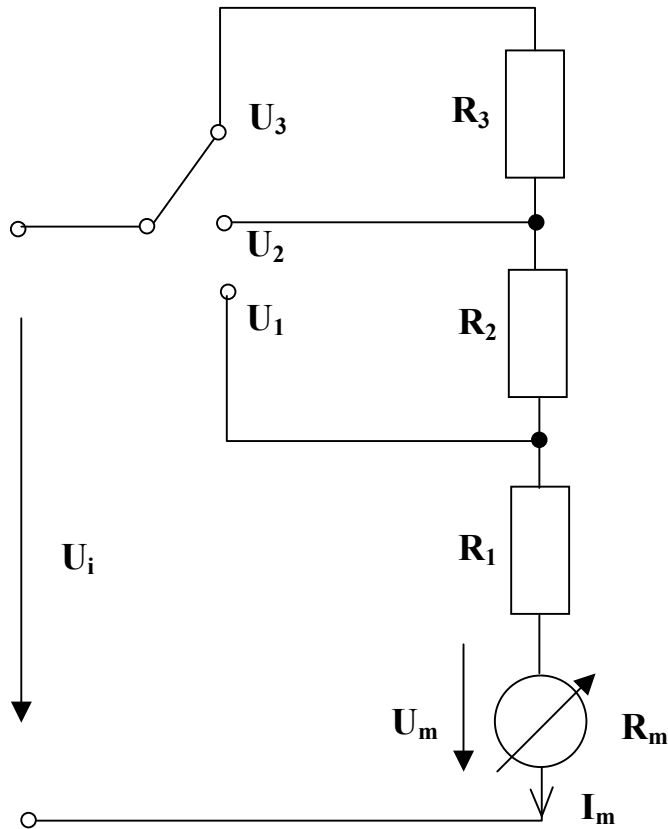
- max prúd cez systém I_m
- vnútorný odpor systému R_m
- „základný“ rozsah $U_m = I_m \cdot R_m$
- väčšie napätia (ako U_m) \Rightarrow predradné odpory
- $U = N \cdot U_m$

$$R_p = (N - 1)R_m = \frac{U}{I_m} - R_m$$



Magnetoeltrický voltmeter (2)

- viacrozsahový voltmeter – viac predradných odporov + prepínač



$$R_3 = \frac{U_3}{I_m} - R_2 - R_1 - R_m$$

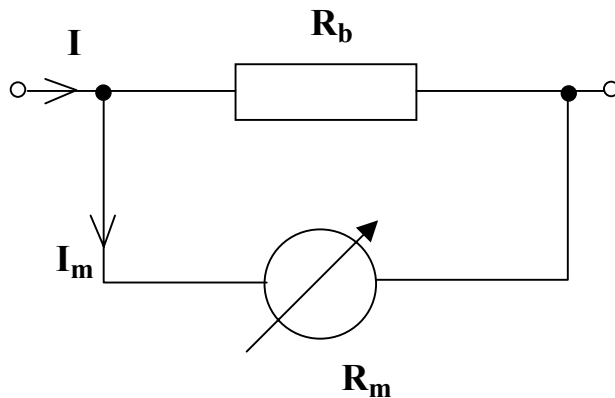
$$R_2 = \frac{U_2}{I_m} - R_1 - R_m$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I_m} - R_m$$

$$U_1 < U_2 < U_3$$

Magnetoelektrický ampérmeter (1)

- R_m, I_m
- $I > I_m$ – meriame s bočným



$$\frac{I_m}{I - I_m} = \frac{R_b}{R_m}$$

$$R_b = \frac{R_m I_m}{I - I_m}$$

- viac rozsahov – Ayrtonský bočník + prepínač

Magnetoeltrický ampérmetr (2)

$$I_1 \ll I_2 \ll I_3$$

$$R_b = R_1 + R_2 + R_3$$

$$I_m = I_1 \cdot \frac{R_b}{R_b + R_m}$$

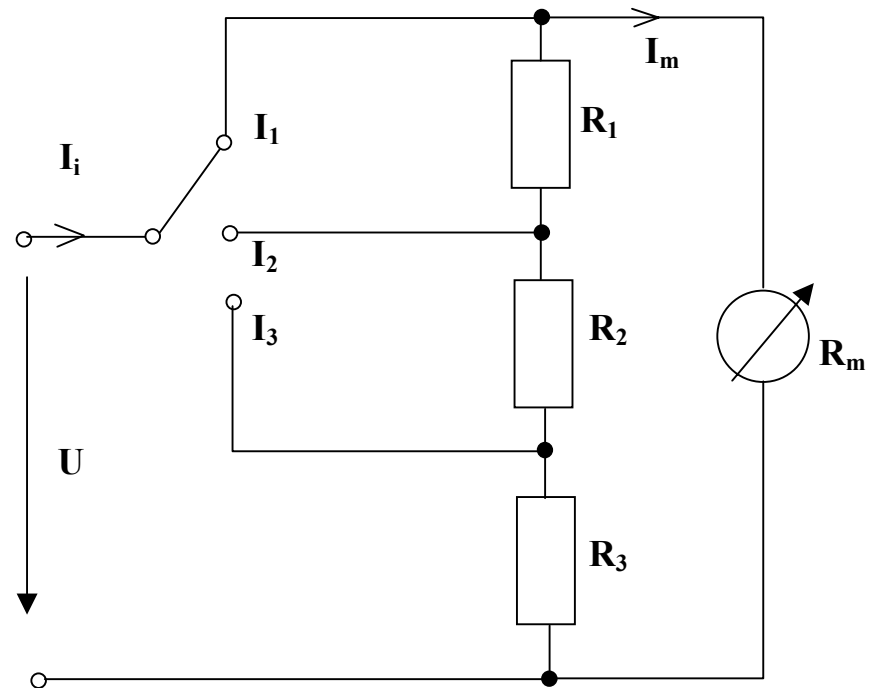
$$R_b = \dots$$

$$I_m = I_2 \frac{R_2 + R_3}{R_b + R_m}$$

$$R_2 + R_3 = \dots$$

$$I_m = I_3 \frac{R_3}{R_b + R_m}$$

$$R_3 = \dots$$



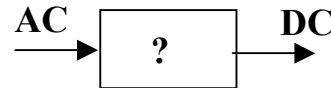
Meranie striedavých veličín

- **magnetoelektrický prístroj meria strednú hodnotu (U alebo I)**

- $$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt, \quad I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt$$

- **harmonický priebeh $\rightarrow \alpha = 0$**

- **potreba prevodníka**



- **používajú sa**

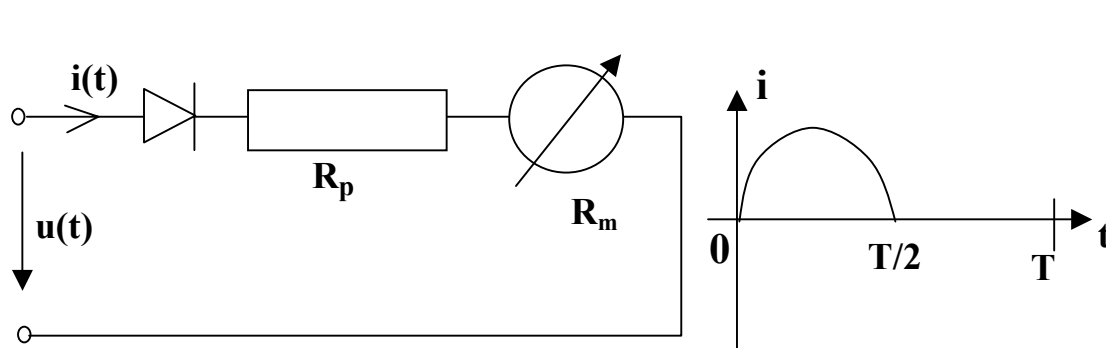
- **meracie usmerňovače**

- **termočlánky**

- **elektronický merací reťazec (merací prevodník)**

Magnetoelektrické prístroje s usmerňovačom (1)

▫ jednocestné usmerňovače

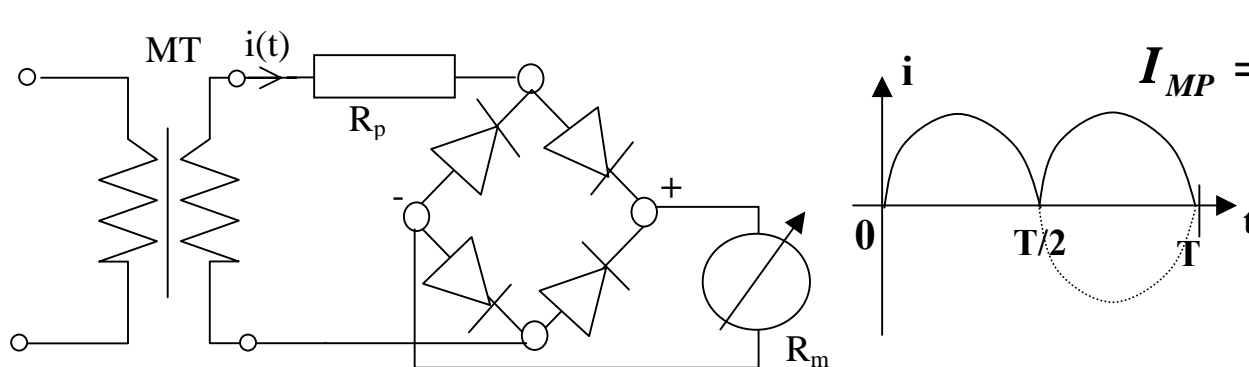


$$I_{MP} = \frac{1}{T} \int_0^T i dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i dt = I'_a$$

I'_a – str. hodnota po

jednocestnom usmernení

▫ dvojcestné usmerňovače (mostíkové)



$$I_{MP} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt = I_a = 2I'_a$$

I_a – aritmetická stredná hodnota (rectified mean)

Magnetoelektrické prístroje s usmerňovačom (2)

- uvedené platí pre ideálne usmerňovače
- reálne prepúšťajú aj v závernom smere
- „zlom“ VA charakteristiky pri 0,2 V (Ge); 0,6 V (Si)
 - preto pre menšie rozsahy (1,2; 2,4 V) stupnica na začiatku nelineárna
- obvykle miesto $I_a(U_a)$ nás zaujíma $I(U)$ – efektívna hodnota
- činiteľ tvaru $K_t=I/I_a$ ($K_t=1,11$ pre harm. priebeh)
- stupnica MP s usmerňovačom je ciachovaná v efektívnej hodnote pre harm. priebehy
- platí pre V- aj A-metre

Magnetoelektrické prístroje s usmerňovačom (3)

- sú teda určené len pre harm. priebehy
- iný priebeh – chyba merania
- $$\delta I\% = \frac{\Delta I}{I_S} \cdot 100 = \frac{I_m - I_S}{I_S} \cdot 100 = \frac{1,11I_a - K_t \cdot I_a}{K_t \cdot I_a} \cdot 100$$
- $$\delta I\% = \left(\frac{1,11}{K_t} - 1 \right) 100$$
- **DC priebeh:** $\delta I\% \doteq 11,1\% \quad (K_t = 1)$
- **trojuholník:** $\delta I\% \doteq 3,8\% \quad (K_t = 1,155)$

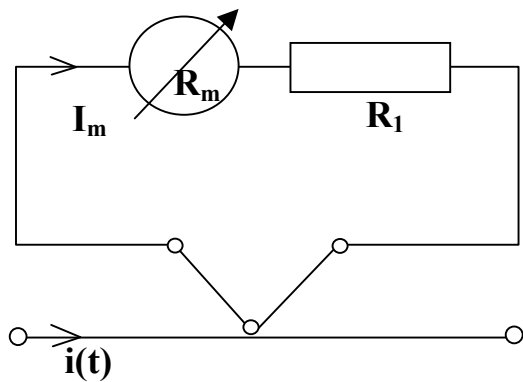
Magnetoelektrické prístroje s usmerňovačom (4)

- **vnútorné chyby**
 - **zakrivenosť VA-charakteristiky usmerňovača (zlepší R_p)**
 - **teplotná chyba usmerňovača (kompenzácia)**
 - **zväčšená vlastná spotreba (o rád)**
 - **frekvenčná chyba (kapacita usmerňovača, ...)**

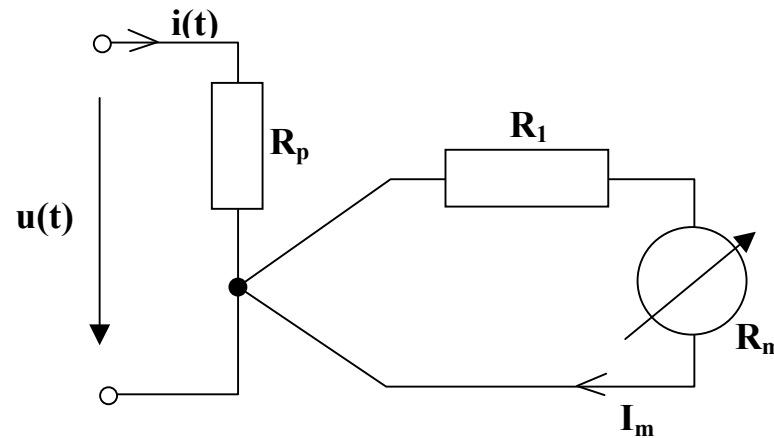
- **výhody**
 - **po kompenzácii malá frekvenčná chyba**
 - **vysoká citlivosť voči iným AC prístrojom**
- **zmena rozsahov – ako pri V- a A-metroch bez usmerňovača**

Magnetoelektrické prístroje s termočlánkom (1)

- $U_t \approx k_t (\vartheta - \vartheta_0)$ - k_t konštanta termočlánku ϑ teplota „teplého“ spoja
 ϑ_0 teplota „studených“ koncov
- $U_t \doteq k_t \cdot R_v \cdot I^2$ - R_v odpor termočlánku I
- prúd tečúci cez vyhrievací vodič (meraný prúd)



ampérmeter



voltmeter

Magnetoelektrické prístroje s termočlánkom (2)

- **výhody**

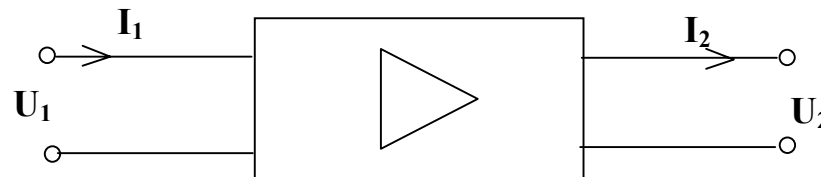
- **merajú efektívnu hodnotu**
- **veľký frekvenčný rozsah**
- **ciachovanie pomocou DC**

- **nevýhody**

- **menšia citlivosť ako bez termočlánku**
- **teplotná zotrvačnosť**
- **vplyv teploty okolia (kompenzovať)**
- **malá preťažiteľnosť**
- **pri V-metroch veľká spotreba**
- **len jednorozsahové (alebo sada termočlánkov)**
- **nižšia presnosť**

Magnetoelektrické prístroje s elektronickým meracím reťazcom (EMR) (1)

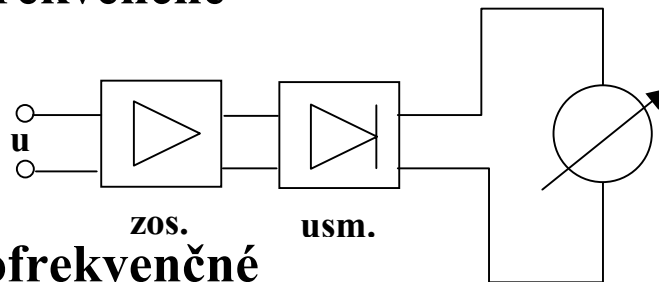
- analógové elektronické voltmetre (aj „ampérmetre“)
- meraná veličina – striedavé napätie
- EMR – hlavná časť je merací zosilňovač
- zložitejšie ako termočlánky a usmerňovače
- výhody
 - zníženie vlastnej spotreby (veľký R_{vst})
 - zvýšenie citlivosti prístroja → meria aj malé hodnoty
 - menšia frekvenčná a teplotná chyba
- EMR – aktívny štvorpól



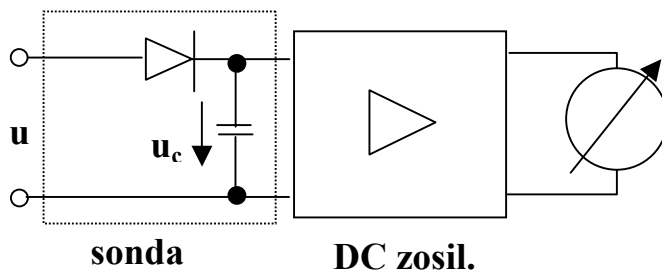
Magnetoelektrické prístroje s EMR (2)

- jednosmerné elektronické V-metre; EMR – jednosmerný zosilňovač
- striedavé elektronické voltmetre
 - nízkofrekvenčné (10^1 Hz až 10^4 Hz)
 - vysokofrekvenčné (viac ako 10^5 Hz)

- nízkofrekvenčné



- vysokofrekvenčné



$$\alpha \sim U_a$$

stupnica v U
(harm. priebeh)

$$\alpha \sim U_{max}$$

stupnica v U
(harm. priebeh)

Magnetoelektrické prístroje s EMR (3)

- univerzálne merajú DC, AC, odpory
- selektívne – citlivé len na U jednej frekvencie
 - použitie na harmonickú analýzu
 - prepínateľná frekvencia
 - potlačenie rušivých harmonických
- „merače“ prúdu
 - je to V-meter
 - na presnom odpore R_b meria úbytok napätia $\rightarrow I = U/R_b$

„Iné“ využitie megnetoelektrických prístrojov

- **galvanometer**
 - vysokocitlivý prístroj (DC)
 - indikátor „nuly“
- **balistický galvanometer**
 - veľký moment zotrvačnosti → dlhá doba kyvu
 - meria krátke prúdové impulzy (náboj)
- **fluxmeter**
 - integračný prístroj
 - „integrál“ dlhšie trvajúcich impulzov napätia $\int u \cdot dt$
 - $M_d = 0, \quad M_S = M_b$
 - meranie magnetického toku $\Delta\psi$
- **vibračný galvanometer**
- **slučkový oscilograf**