

## 2. ANALÓGOVÉ MERACIE PRÍSTROJE

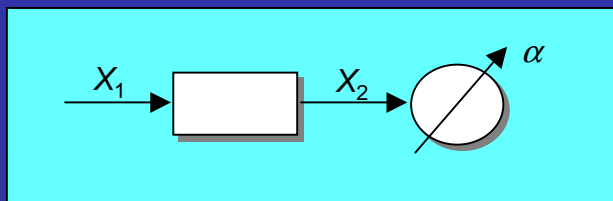
Hlavnou časťou týchto prístrojov je elektromechanický merací systém, ktorý sa obyčajne skladá z pevnej a pohyblivej časti.

Princíp merania elektrickej veličiny analógovým prístrojom je založený na odozve – reakcii pohyblivej časti na zmenu meranej veličiny a veľkosť odozvy zodpovedá veľkosti meranej veličiny.

Vyjadruje sa výchylkou pohyblivej, najčastejšie otočnej časti na stanovenej stupnici.

To znamená, že samotný elektromechanický systém slúži priamo na prevod meranej veličiny  $X_2$  na výchylku otočnej časti .

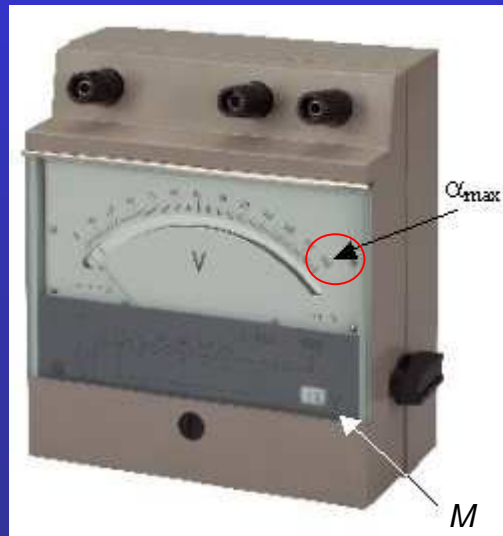
Čím väčšia je meraná veličina, tým väčšia je aj výchylka.



### 2.1 Základné pojmy

#### 1. Analógové meracie prístroje

*Spojitú zmenu meranej veličiny merajú i udávajú spojitým spôsobom. Patria medzi ne takmer všetky elektromechanické meracie systémy, ako sú ukazovacie (ručičkové, svetelné) a zapisovacie (registračné). Elektromechanické systémy môžu byť taktiež použité v spojení s rôznymi elektronickými obvodmi, ktoré umožňujú zlepšenie metrologických parametrov prístrojov.*



Magnetoelektrický voltmeter  
s rozsahom 1,2 až 600 V DC

#### 2. Rozsah stupnice

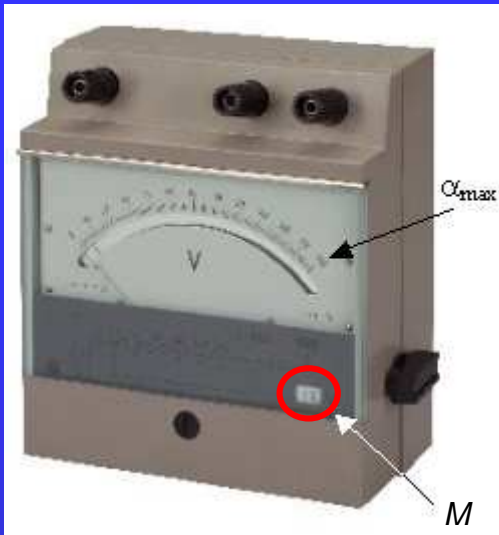
*Vyjadruje sa najčastejšie maximálnym počtom dielikov na stupnici. Prístroj môže mať niekoľko stupníc. Každé stupnici potom prislúcha určitý rozsah stupnice.*

### 3. Merací rozsah prístroja

*Vyjadruje interval meranej veličiny, v ktorom prístroj môže merať.*

*Udáva sa maximálnou hodnotou meranej veličiny v jej jednotkách.*

*Rozsah prístroja u niektorých prístrojov možno meniť, a to najčastejšie pomocou otočného prepínača na prístroji, alebo pripojením prístroja na rôzne svorky.*



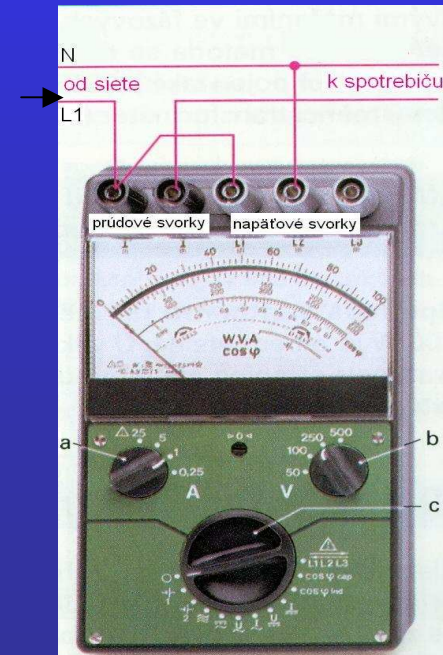
Magnetoelektrický voltmeter  
s rozsahom 1,2 až 600 V DC

### 4. Merací rozsah analógového wattmetra

*Je to súčin jeho napät'ového a prúdového rozsahu.*

*Pretože wattmeter indukuje súčin  $U I \cos \varphi$ , nie je možné posúdiť z výchylky wattmetra, či prúdová alebo napät'ová cievka wattmetra nie je pret'ažená.*

*Z tohto dôvodu k wattmetru pripájame ampérmeter pre posúdenie zaťaženia prúdovej cievky a voltmeter pre posúdenie zaťaženia napät'ovej cievky.*



- a) Prepínač rozsahu prúdu
- b) Prepínač rozsahu napätia
- c) Prepínač druhu merania

## 5. Stupnice analógových prístrojov

*Sú väčšinou čiarkové s číslami u každého desiateho dielika.  
Stupnice musia byť prehľadné a ľahko čitateľné i z väčšej vzdialenosti.*



## 6. Citlivosť prístroja

*Je to veľkosť uhla, o ktorý sa vychýli ručička prístroja, ak sa meraná veličina zmení o jednotku. Udáva sa počtom dielikov výchylky pripadajúcich na jednotku meranej veličiny.*

*Citlivosť je teda pomer počtu dielikov stupnice a rozsahu prístroja.*

*Prístroje s prepínateľným rozsahom majú pre každý rozsah inú citlivosť.*

Určuje sa zo vzťahu

$$c = \frac{\alpha}{X}$$

kde  $\alpha$  je počet dielikov výchylky pri jednotkovej zmene veličiny  $X$ .

Napr. pri rozsahu prístroja 10 A a počte dielikov 100 na stupnici je citlivosť

$$c = \frac{100}{10} = 10$$

čiže na jeden ampér pripadá výchylka 10 dielikov.

## 7. Konštanta prístroja

*Je to pomer rozsahu prístroja a rozsahu stupníc.  
Je teda prevrátenou hodnotou citlivosti.*

Aká je konštanta prístroja a hodnota meranej veličiny, ak voltmeter s rozsahom stupnice  $\alpha_{\max} = 120$  dielikov a meracím rozsahom prístroja  $M = 60$  V ukazuje výchylku  $\alpha = 80$  dielikov?

**Konštanta prístroja (voltmetra):**

$$k_v = \frac{M_v}{\alpha_{\max}} = \frac{60}{120} = 0,5 \text{ V/dielik}$$

**Meraná veličina – veľkosť napätia:**

$$U = k_v \cdot \alpha = 0,5 \cdot 80 = \underline{40} \text{ V}$$



### 8. Spotreba prístroja

*Väčšina prístrojov odoberá energiu potrebnú pre svoju činnosť z meraného obvodu. Táto spotreba zaťažuje meraný obvod a spôsobí v ňom určité zmeny napätia a prúdu, vzniká chyba metódy.*

### 9. Preťažiteľnosť prístroja

*Je to násobok nominálneho prúdu alebo napätia, ktoré prístroj znesie po určitú dobu bez poškodenia.*

*Preťažiteľnosť závisí od konštrukcie meracieho prístroja. Presné laboratórne prístroje bývajú menej preťažiteľné ako odolnejšie prevádzkové.*

### 10. Elektrická pevnosť prístroja

*Je to veľkosť skúšobného napätia pripojeného medzi merací systém a kryt prístroja, ktoré prístroj musí zniesť bez toho, že by došlo k prierazu, resp. preskoku.*

*Hodnota skúšobného napätia vyjadrená v kV musí byť uvedená vo vnútri hviezdy umiestnenej na stupnici.*



500 V

2000 V

### Prehľad niektorých analógových meracích prístrojov

Podľa účelu, vlastností a vyhotovenia sa analógové meracie prístroje delia na niekoľko skupín:

- panelové a rozvádzačové prístroje,
- zapisovacie prístroje,
- prenosné prevádzkové prístroje,
- presné laboratórne prístroje (v súčasnosti sú nahradzované číslicovými).

Podľa druhu meranej veličiny poznáme:

- voltmetre na meranie napätia,
- ampérmetre na meranie prúdu,
- galvanometre na meranie veľmi malých prúdov,
- wattmetre na meranie elektrického výkonu,
- fázomery na meranie fázového posunu,
- frekventomery na meranie frekvencie,
- elektromery na meranie elektrickej práce.



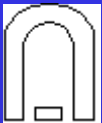
Podľa meracej sústavy rozoznávame analógové meracie prístroje:

- elektromechanické,
- elektronické.



### 2.2 Elektromechanické prístroje

Do šesťdesiatich rokov 20. storočia boli elektromechanické prístroje jediné meracie prístroje používané pre meranie jednosmerných a striedavých prúdov a napätí. Používajú sa i dodnes, aj keď sú postupne nahradzované číslicovými meracími prístrojmi.



#### 2.2.1 Magnetoelektrické jednosmerné prístroje

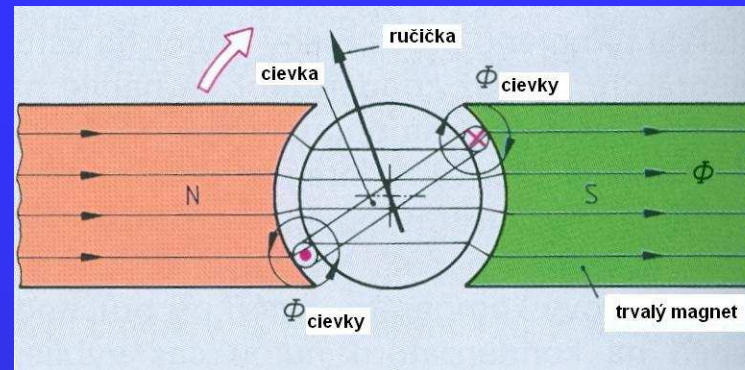
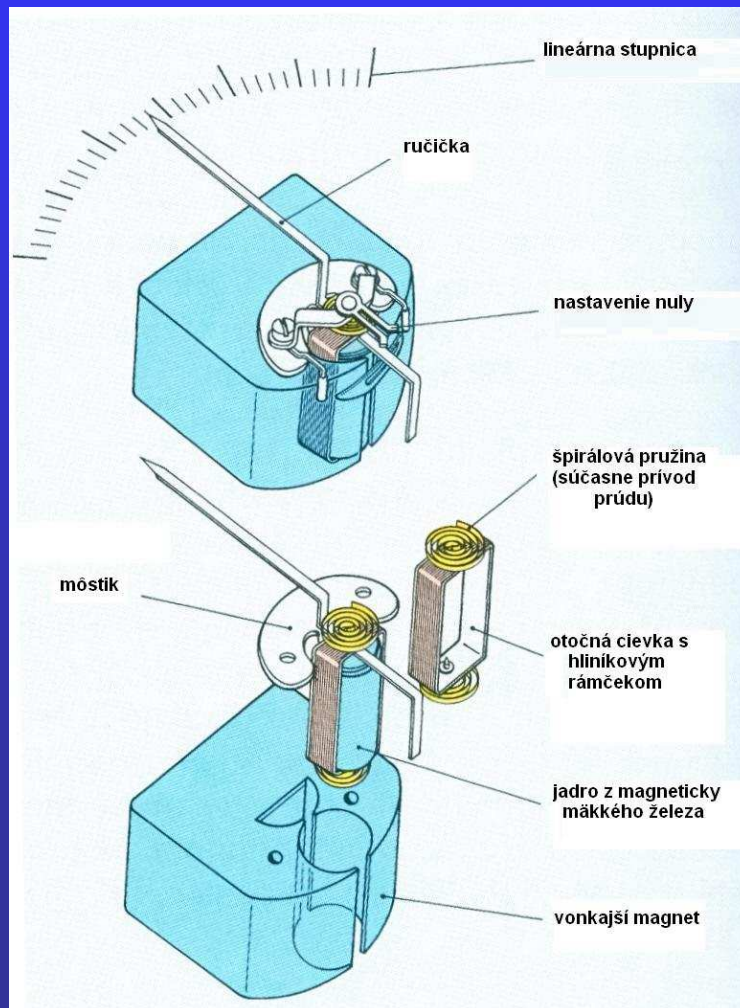
*Princíp činnosti spočíva v silovom pôsobení magnetického poľa permanentného magnetu na otočnú cievku, ktorou preteká meraný prúd. Sú najdokonalejšími analógovými prístrojmi pre meranie jednosmerného prúdu.*

Pretože systémy s otáčavou cievkou majú malú spotrebu, možno ich použiť nielen pre meranie jednosmerného prúdu, ale aj jednosmerného napätia pomocou predradných rezistorov – predradníkov.

Magnetoelektrické voltmetre sa vyrábajú pre meracie rozsahy od niekoľko mV do stoviek V, s vonkajšími predradnými rezistormi i pre vyššie napäťové rozsahy.

### Princíp činnosti

V magnetickom poli permanentného magnetu je otočne uložená cievka.



Otočná cievka má jadro z mäkkého železa. Napájacie prírody cievky sú tvorené dvoma protismerne navinutými špirálovými pružinami, ktoré nemajú trenie. Ak preteká prúd cievkou umiestnenou v magnetickom poli, vzniká točivý moment. Cievka sa natočí do polohy, v ktorej sú v rovnováhe točivý moment spôsobený prúdom v cievke a moment špirálových pružín.

**Ak sa otočí smer prúdu, má prístroj opačnú výchylku. Preto samotná meracia sústava je vhodná len pre meranie jednosmerných prúdov.**

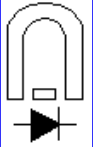
Otočná cievka má podľa citlivosti prístroja 20 až 300 závitov navinutých na hliníkovom rámčeku.

Pri otáčaní vznikajú v hliníkovom rámčeku vírivé prúdy, ktoré spôsobujú potrebné tlmenie pohybu otočnej časti systému.

**Veľmi citlivé magnetoelektrické prístroje nemajú mechanickú ručičku, ale len zrkadlo odrážajúci svetelný lúč, ktorý tvorí svetelnú ručičku prístroja. Čím dlhší je svetelný lúč, tým je citlivejší prístroj (až 10 pA na dielik)**

***Magnetoelektrické prístroje sa vyznačujú týmito prednosťami:***

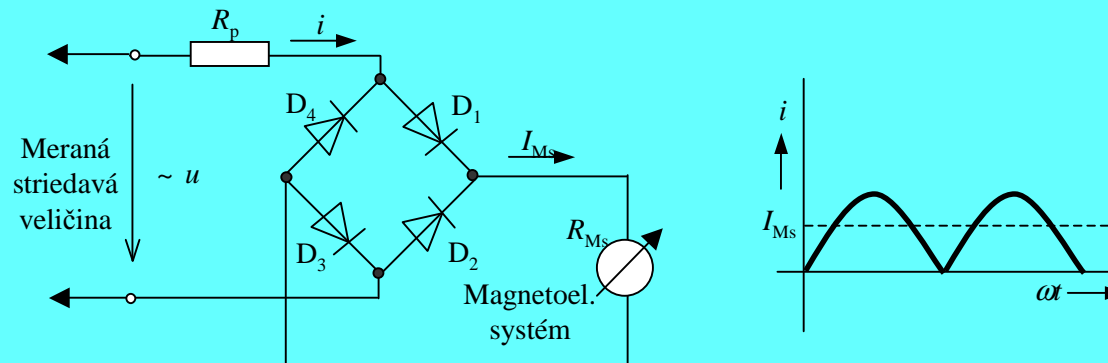
- veľká citlivosť,
- dosažiteľná trieda presnosti 0,1 a 0,2,
- nepatrná spotreba (1 až 100  $\mu\text{W}$ ),
- lineárna stupnica,
- možnosť indukčného tlmenia mechanických kmitov otočného systému,
- nepatrný vplyv cudzích polí,
- nula môže ležať v strede stupnice, lebo otočný moment mení smer so smerom pretekajúceho prúdu (ako galvanometer),
- možnosť merania striedavých veličín predradeným usmerňovačom



### 2.2.2 Magnetoelektrické prístroje s usmerňovačom

*Systém s otočnou cievkou, doplnený usmerňovačom alebo tepelným meničom sa používa aj pre meranie striedavého prúdu.*

*Výchylka magnetoelektrického systému s usmerňovačom je úmerná strednej hodnote usmerneného priebehu meranej veličiny.*



a) magnetoelektrický merací prístroj s usmerňovačom    b) časový priebeh meraného prúdu

*Magnetoelektrický merací prístroj s usmerňovačom v mostíkovom zapojení*

Pri práci s magnetoelektrickými prístrojmi s usmerňovačmi si treba uvedomiť, že merajú strednú hodnotu usmerneného prúdu, ale kvôli užívateľskej pohode, odčítavať z prístroja efektívnu hodnotu veličiny, je stupnica v efektívnych hodnotách prepočítaných pomocou činiteľa tvaru pre harmonický priebeh ( $K_t = 1,11$ ). Tým tieto prístroje vykazujú značnú nepresnosť, pokiaľ meraná sústava má neharmonický priebeh napätia alebo prúdu.

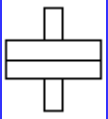
Merať možno až do frekvencie 10 kHz, avšak ich presnosť je menšia než u samotných magnetoelektrických prístrojov.

Obyčajne sa dosahuje trieda presnosti najviac 1, častejšie 1,5 až 2,5.

**Príčinou sú pracovné vlastnosti usmerňovačov (nelinearita VA charakteristiky diód, tepelná závislosť a iné), a preto sa napríklad voltmetre nehodia pre meranie striedavých napätí menších než 1 V.**

***Magnetoelektrické prístroje s usmerňovačom sa používajú ako striedavé miliampérmetre, ampérmetre a voltmetre.***

***Frekvenčný rozsah voltmetrov pre akceptovateľné chyby môže byť na napäťovom rozsahu 600 V obmedzený len do 1 kHz, zatiaľ čo na rozsahu 24 V môže byť prístroj použiteľný do 10 kHz.***

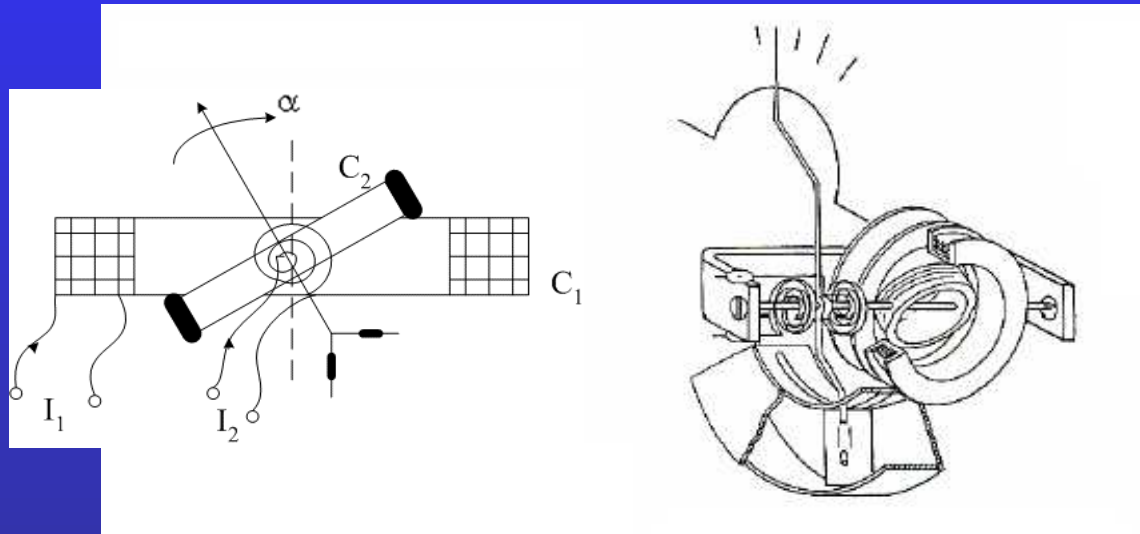


### 2.2.3 Elektrodynamické prístroje

*Elektrodynamické prístroje sa svojou funkciou podobajú prístrojom magnetoelektrickým. Ich princíp činnosti spočíva vo vzájomnom silovom pôsobení pevnej a pohyblivej cievky, ktorými tečú prúdy  $I_1$  a  $I_2$ .*

*Otočná cievka  $C_2$ , ktorou prechádza prúd  $I_2$  úmerný napätiu, sa nachádza v magnetickom poli pevnej vzduchovej cievky  $C_1$ .*

*Tento systém sa v praxi najviac využíva u wattmetrov.*

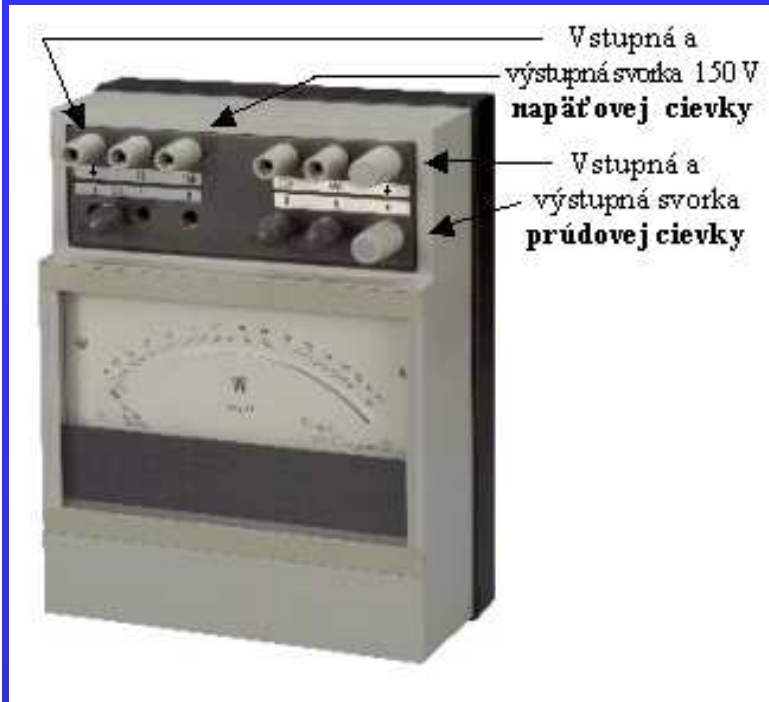


System má otočnú cievku s radiaciami pružinami, alebo závesnými napätými vláknami, ktoré súčasne zabezpečujú prívod prúdu.

Rozdiel medzi magnetoelektrickým a elektrodynamickým systémom je v tom, že otočná cievka nie je v magnetickom poli permanentného magnetu, ale v magnetickom poli pevnej cievky.



### Elektrodynamické wattmetre



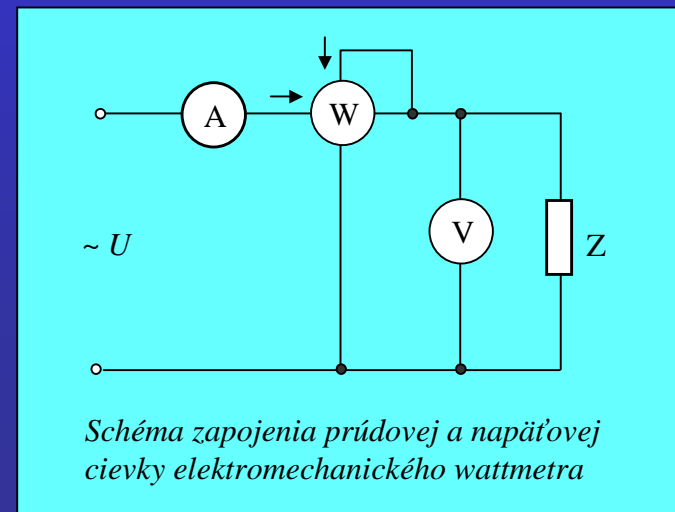
**Prúdová cievka (spravidla pevná) sa pripája k záťaži sériovo a napät'ová cievka (otočná) v spojení s predradným odporníkom sa pripojí k záťaži paralelne.**

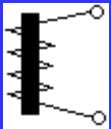
**Pri pripojovaní wattmetra do obvodu treba dodržať správnu polaritu oboch cievok, inak by výchylka bola záporná.**

**Preto býva na každom wattmetri označená (šípkou alebo bodkou) vstupná svorka prúdovej i napät'ovej cievky.**

Pri malom  $\cos \varphi$  sa prúdové alebo napät'ové preťaženie na cievkach wattmetra neprejaví vychýlením ukazovateľa za posledný dielik stupnice, a preto môže dôjsť k zničeniu jednej z cievok. Preto spolu s wattmetrom je nutné do obvodu zapojiť aj ampérmeter a voltmeter.

Tieto dva prístroje slúžia ku kontrole prúdového a napät'ového zaťaženia wattmetra.





### 2.2.4 Elektromagnetické prístroje

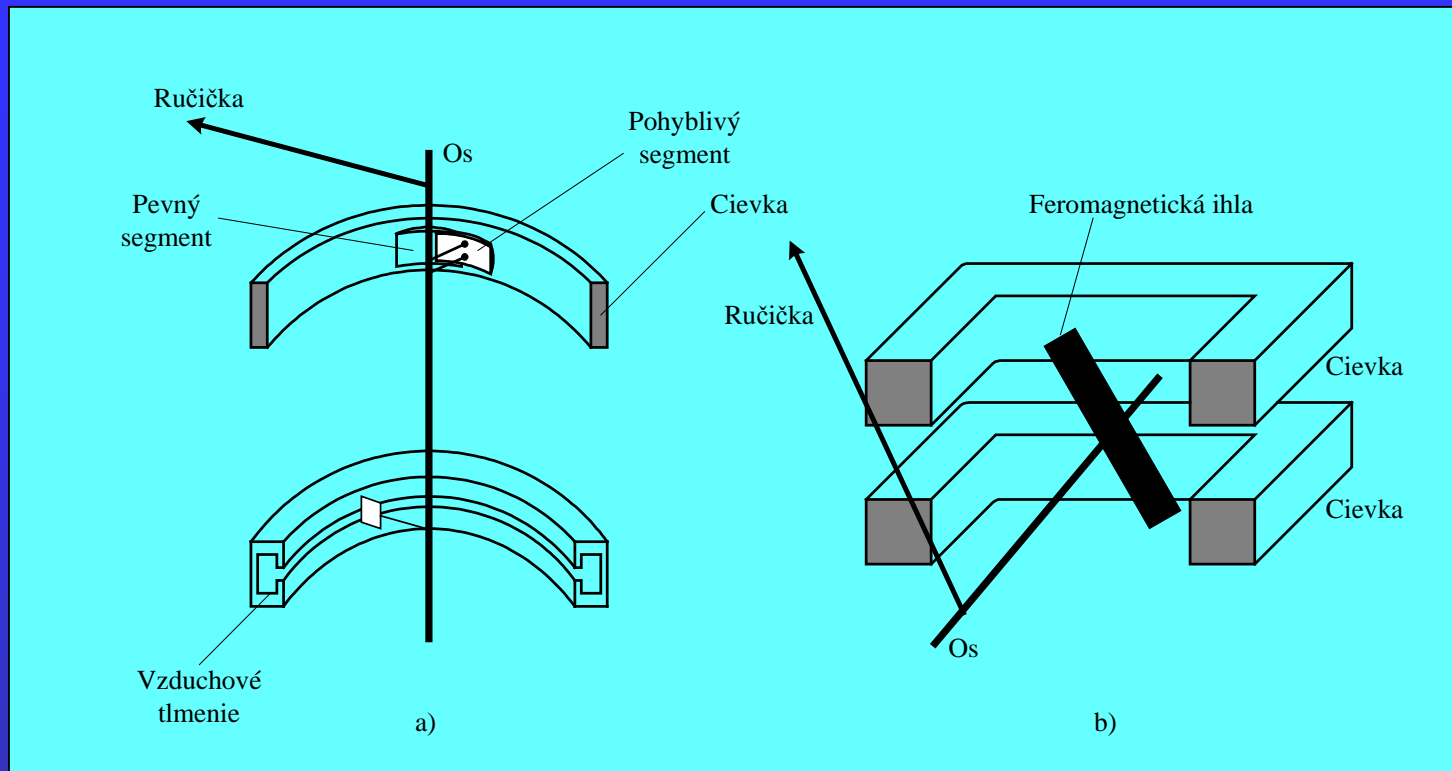
*Elektromagnetické prístroje (nazývané tiež feromagnetické prístroje) sa bežne používajú pre meranie striedavých napätí a prúdov sieťovej frekvencie. Sú robustné a lacné.*

*Tieto prístroje majú pevnú valcovú cievku pretekanú meraným prúdom a v nej pevný a pohyblivý pliešok z mäkkého feromagnetika. Na pohyblivý pliešok pôsobí sila magnetického poľa cievky, ktorá sa ho snaží vtiahnuť do dutiny cievky.*

*V podstate ide o elektromagnet, preto sa tieto prístroje nazývajú elektromagnetické.*

Elektromagnetické prístroje merajú efektívnu hodnotu napätia alebo prúdu, ich stupnica je nelineárna.

Najčastejšie sa používajú ako striedavé voltmetre z rozsahom od 10 do 600 V, alebo ako striedavé ampérmetre s rozsahom od 1 mA do 300 A pri nízkych frekvenciách do 300 Hz.



Obvykle sa používa dvojica valcových feromagnetických segmentov umiestnených koaxiálne vnútri cievky, z ktorých jeden je pevný a druhý pohyblivý a spojený s rúčkou (obr.a). Cievka magnetizuje obidva segmenty rovnako, tieto sa odpudzujú, a tým vyvíjajú pohybový moment.

Moderné prístroje používajú ako feromagnetické teliesko ihlu spojenú s rúčkou, ktorá sa otáča v dutine cievky (obr.b).



### 2.2.5 Indukčné prístroje

*Ich princíp činnosti je založený na účinkoch striedavého magnetického poľa na vodivý kotúč alebo bubienok, nachádzajúceho sa v poli jedného alebo viacerých elektromagnetov.*



Obr.2.11 Jednofázový elektromer  
od firmy KŘIŽÍK GBI, a. s. Prešov

*Hlavné použitie je v **elektromeroch** merajúcich spotrebu elektrickej energie a v rozvádzačových wattmetroch.*

#### Výhody:

- **veľká preťažiteľnosť,**
- **pomerne dobrá relatívna presnosť,**
- **bezúdržbová prevádzka až 15 rokov,**
- **sú lacné.**

- *využíva hliníkový kotúčik umiestnený otočne vo vzduchovej medzere dvojice elektromagnetov.*
- *vírivé prúdy indukované v otočnom kotúčiku spoločne s magnetickými pólmi elektromagnetov vytvárajú pohybový moment.*
- *prúd indukovaný jedným z elektromagnetov vytvára moment v interakcii s pólom druhého elektromagnetu, obr.*



Jednosmerné prúdy neindikujú napätie - *nie je možné použiť pre jednosmerné napätie, nemeria ani jednosmerné zložky časovo premenných veličín.*

### **Nevýhoda:**

- *veľké chyby v obvodoch s neharmonickým napätím alebo prúdom (spôsobené frekvenčnou závislosťou prístroja),*

### **Riešenie:**

- *použitie elektronických (statických) elektromerov*



### 2.2.6 Rezonančné prístroje

#### **Princíp činnosti –**

*spočíva vo využití mechanickej rezonancie pohyblivej časti meracieho systému s elektrickými kmitmi meranej veličiny.*

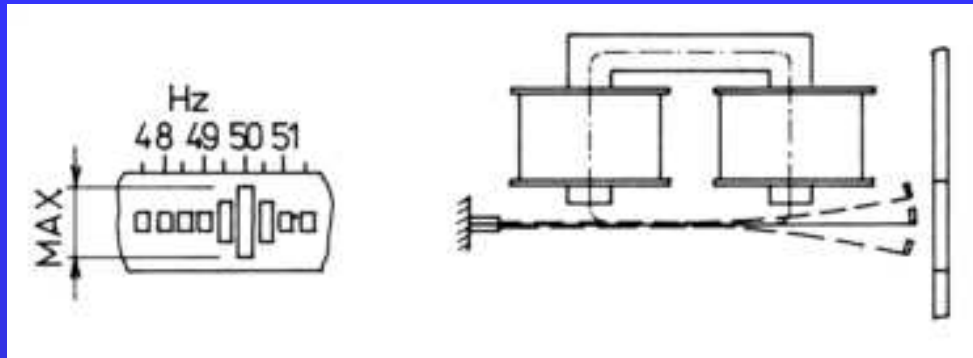
#### **Použitie:**

- *meranie frekvencie (jazýčkové frekventomery)*
- *na indikáciu striedavého prúdu určitej frekvencie (vibračné galvanometre).*

#### **Jazýčkové frekventomery:**

- *vibračné (rezonančné) prístroje*
- *používajú pre meranie frekvencie striedavého napätia alebo prúdu v okolí sieťovej frekvencie (50 Hz).*
- *využívajú meracie prvky, ktoré sú schopné mechanickej rezonancie, ktorých rezonančná frekvencia je rovná frekvencií magnetickej sily vyvolané prúdom pretekajúcim cievkou elektromagnetu,*
- *v rezonancii podstatne vzrastie amplitúda vibrácií meracieho prvku - tieto vibrácie môžu byť ľahko pozorované.*





*V jazýčkovom frekventomere je rad feromagnetických jazýčkov (obr.) umiestnených pred elektromagnetom, na jednom konci upevnených, ktorých druhé konce kmitajú s rôznymi amplitúdami.*

*Voľné konce sú ohnuté a natreté na bielo, takže kmitajúci jazýček sa pozorovateľovi javí ako biely obdĺžnik, ktorého výška odpovedá rozkmitu jazýčka.*

Neistota merania je asi 0,1 Hz, čo na 50 Hz odpovedá relatívnej chybe 0,2 %. Vlastná spotreba prístroja je asi 0,5 VA.

Jazýčkové frekventomery sa používajú najčastejšie pre sledovanie frekvencie sily na rozvádzačoch.

## 2.2.7 Ostatné elektromechanické prístroje

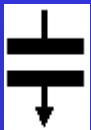


### Tepelné:

- princíp ich činnosti spočíva v tepelnej rozťažnosti kovov,

*Predĺženie vodiča je úmerné kvadrátu efektívnej hodnoty meraného prúdu:*

- výchylka tepelného prístroja udáva efektívnu hodnotu meraného prúdu,
- delenie stupnice je kvadratické.



### Elektrostatické:

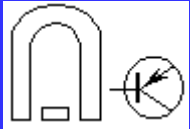
- princíp ich činnosti spočíva v silových účinkoch elektrostatického poľa.
- Merací systém tvorí kondenzátor s pevnou a pohyblivou elektródou, ktorej pohyb sa prenáša na ukazovateľ výchylky.
- Ak je medzi elektródami napätie, vzniká elektrostatické pole, ktoré sa svojím pôsobením snaží zväčšiť kapacitu kondenzátora tým, že priťahuje pohyblivú elektródu.
- Trieda presnosti závisí od meracieho rozsahu. U prístrojov určených na meranie vysokých napätí sa dá dosiahnuť presnosti až 0,2 %. Pri meraní nižších napätí je presnosť horšia, obvykle býva 1 až 1,5 %.

### Prístroje s otočným magnetom:

- *Ide o jednoduché, robustné a pomerne málo presné prístroje používané najmä v paneloch automobilov.*
- *Meraný prúd sa privádza do pevnej cievky, v ktorej magnetickom poli sa otáča permanentný magnet (napr. v tvare kruhu) spojený s rúčkou.*
- *Direktívny moment sa vyvodzuje špirálovými pružinami.*

### Pomerové prístroje:

- *(tiež prístroje so skríženými cievkami, logometre) merajú pomer dvoch elektrických veličín toho istého druhu.*
- *Každá z týchto veličín vyvodzuje svoj pohybový moment, pôsobený prúdom pretekajúcim jednou z dvojice pevne spojených cievok.*
- *Podľa toho, aký typ meracieho ústroja sa použije pre konštrukciu pomerového prístroja, je výchylka úmerná  $I_1/I_2$  (pri magnetoelektrickom pomerovom prístroji) alebo  $(I_1/I_2)^2$  (napr. pri elektromagnetickom pomerovom prístroji).*
- *Tieto prístroje sa používajú ako ohmetre (magnetoelektrické prístroje), merače frekvencie (elektromagnetické prístroje) a merače účinníku (elektrodynamické prístroje).*



### 2.3 Elektronické analógové prístroje:

- **Spojenie elektromechanického prístroja s elektronikou (aktívnymi analógovými prevodníkmi).**

**Slúžia na zlepšenie metrologických parametrov prístrojov:**

- *zväčšenie odporu voltmetra alebo zmenšenie odporu ampérmetra,*
- *rozšírenie meracích rozsahov najmä v milivoltovej oblasti (napr. dosiahnutím lineárnej charakteristiky meracieho usmerňovača),*
- *zväčšenie frekvenčného rozsahu nad 10 kHz (u magnetoelektrických s usmerňovačom),*
- *možnosť merania neelektrických veličín (napr. spojením prevodníka a magnetoelektrického prístroja + snímača),*
- *meranie súčtu, rozdielu alebo súčinu dvoch veličín,*
- *meranie časového integrálu napätia,*
- *meranie strednej alebo maximálnej hodnoty.*

Nízkofrekvenčný  
milivoltmeter Good Will GVT 427B

