

# 4. ANALOGOVÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

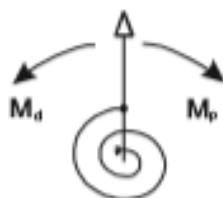
## 4.1 Princip funkce

Analogové měřicí přístroje s elektromechanickým ústrojím jsou zařízení, která využívají magnetických, tepelných a dynamických účinků elektrického proudu případně silového působení elektrostatického pole ke stanovení velikosti některé elektrické veličiny (např. elektrického proudu či napětí). Jejich hlavní částí je elektromechanické měřicí ústrojí, které převádí příslušnou elektrickou veličinu na výchylku ukazatele. Výchylka přístroje je analogovým údajem měřené veličiny, mění se spojitě a může dosáhnout nekonečného počtu hodnot. Výchylku analogového přístroje převádí na číselnou hodnotu sám pozorovatel, nikoliv přístroj, jak je tomu u digitálních měřicích přístrojů.

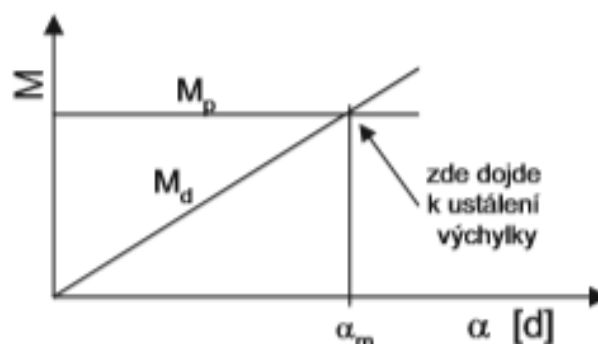
Základem analogových přístrojů je měřicí ústrojí, které se skládá z pevné a pohyblivé části, ukazatele a číselníku. Pohyblivá část měřicího ústrojí je obvykle otočná, ukazatel (většinou ručka) je s ní pevně spojen. Na pohyblivou část měřicího ústrojí působí síly vyvolané přítomností měřené veličiny a vytváří v ní *pohybový* moment ústrojí  $M_p$ . Velikost tohoto momentu je úměrná velikosti měřené veličiny. Aby došlo k ustálení ručky na určité výchylce, musí na otočné ústrojí působit ještě druhý, tzv. *direktivní* (řídící) moment  $M_d$ . Velikost tohoto momentu je přímo úměrná výchylce přístroje a působí proti momentu pohybovému (obr. 4.1). Průběh pohybového a direktivního momentu je na obr. 4.2. V okamžiku rovnosti velikostí obou momentů se ručka měřicího přístroje ustálí. Pro ustálenou výchylku tedy platí.

$$M_p + M_d = 0.$$

Direktivní moment se vytváří zkrucováním spirálových pružin nebo tenkých pásků, na nichž je otočné ústrojí zavěšeno.



Obr. 4.1  
Síly působící při výchylce přístroje.



Obr. 4.2  
Graf průběhu pohybového a direktivního momentu.

## 4.2 Rozdělení analogových měřicích přístrojů

Podle veličiny, kterou měřicí přístroje měří, rozlišujeme:

- voltmetry – měří elektrické napětí,
- ampérmetry – měří elektrický proud,
- ohmmetry – měří elektrický odpor,
- wattmetry – měří elektrický výkon,
- elektroměry – měří práci (energii) elektrického proudu,
- kmitoměry – měří kmitočet elektrického proudu,
- fázoměry – měří účinník ( $\cos \varphi$ ),
- galvanometry – měří velmi malé proudy, napětí a náboje.

Podle způsobu měření rozdělujeme přístroje měřicí:

- jednu elektrickou veličinu v ustáleném stavu (např. proud, napětí, ...),
- součet a rozdíl elektrických veličin (např. trojfázový elektroměr, rozdílový voltmetr, ...),
- součin elektrických veličin (např. wattmetr  $-P = UI$ ),
- podíl elektrických veličin (např. ohmmetr  $-R = \frac{U}{I}$ ),
- časový integrál elektrických veličin (např. elektroměr  $W = \int_0^T P dt$ ).

Podle použití rozlišujeme měřicí přístroje:

- Rozváděčové – jsou trvale namontovány v rozváděčích, rozvodnách či velínech. Slouží k nepřetržitému měření.
- Přenosné (montážní) – užívají se k dílenskému měření, zpravidla se konstruuji jako univerzální (měří více veličin).
- Laboratorní – slouží k přesnému měření v laboratořích a zkušebnách.
- Etalony – jsou nejpřesnější přístroje, používají se k ověřování laboratorních přístrojů.

Podle provedení elektromechanického měřicího ústrojí rozeznáváme tyto základní typy měřicích přístrojů:

- magnetoelektrické,
- feromagnetické,
- elektrodynamické a ferodynamické,
- indukční,
- elektrostatické,
- tepelné,
- vibrační.

Podle typu ukazatele a způsobu odečítání měřené veličiny rozlišujeme měřicí přístroje:

- ručkové – výchylka je ukazována ručkou – jsou nejběžnější,
- se světelnou stopou – na stupnici dopadá světelný paprsek odražený od zrcátka umístěného na otočném ústrojí,
- zapisovací (registrační) – výchylka je graficky zaznamenávána perem na pás papíru,
- vibrační – výchylka je realizována rozkmitáním ocelových jazýčků.

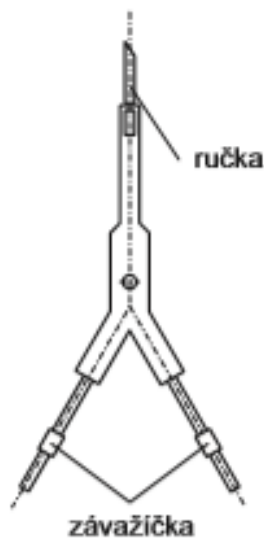
## 4.3 Ukazatelé analogových měřicích přístrojů

### 4.3.1 Ručky

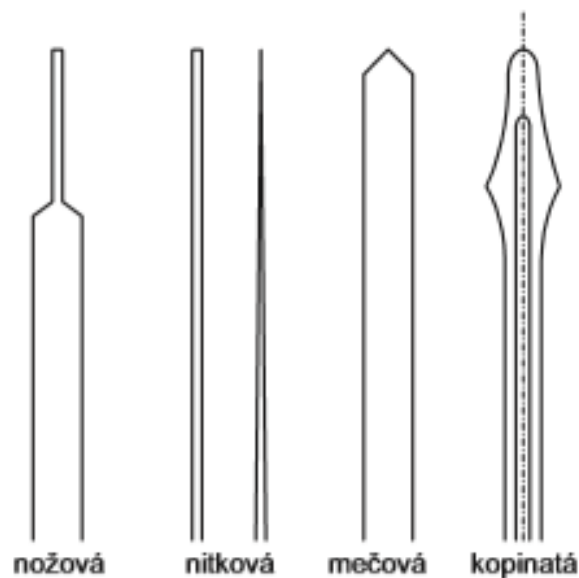
Ručkové přístroje představují největší skupinu analogových měřicích přístrojů a v praxi se s nimi setkáváme nejčastěji. Ručka je pevně uchycena na hřídelce pohyblivé (otočné) části přístroje. Aby nedocházelo k vychýlení otočného ústrojí z kolmé polohy, vyvažuje se hmotnost ručky a nesymetrie otočného ústrojí pomocí dvou malých protizávažiček – viz obr. 4.3. Jsou to v podstatě dvě malé matičky, jejichž posouváním po závitě se otočné ústrojí vyvažuje. Vyvažování se provádí již při výrobě a po vyvážení se závažíčka zalijí lakem, aby nemohlo dojít k jejich přestavení a tím porušení rovnováhy měřicího ústrojí.

Celý ukazatel, tedy ručka i zařízení k jejímu vyvážení bývá nejčastěji z hliníku. Ručky laboratorních měřicích přístrojů se vyrábějí z tenkých hliníkových trubiček ( $\varnothing$  0,3 až 0,7 mm), které se na konci zmáčknou do nožového ostří. Na stupnici měřicích přístrojů s těmito, tzv. *nožovými* ručkami (obr. 39) se umístí zrcátka, aby při odečítání výchylky nedocházelo k chybám. Výchylku musíme odečítat tak, aby se ručka kryla se svým odrazem od zrcátka.

Malé univerzální měřicí přístroje (i některé moderní laboratorní) mívají obvykle tenké, *nítkové* ručky (obr. 4.4), které se vyrábějí ze skelných vláken nebo umělých hmot. Tyto ručky bývají obvykle červené nebo černé, aby vytvářely potřebný kontrast a odečet na bílé stupnici byl pokud možno co nejjednodušší.



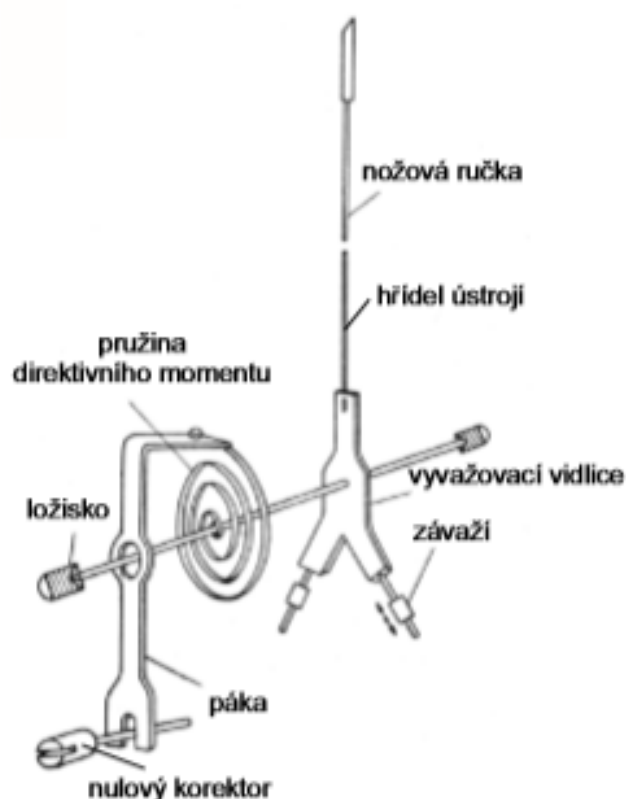
Obr. 4.3 Ručka s protiváhou.



Obr. 4.4 Různé druhy ruček.

U rozváděčových přístrojů není nutné číst výchylku přesně, ale ručka musí být vidět i z dálky, proto se zde používají ručky *kopinaté* nebo *mečové* – obr. 4.4. Tyto ručky se lisují z tenkého hliníkového plechu a pro lepší kontrast se natírají černou barvou.

Každý ručkový měřicí přístroj musí být také vybaven zařízením pro nastavení nulové polohy ručky (tzv. nulovým korektorem) – obr. 4.5. Šroub k nastavení nulové polohy je vyveden na kryt přístroje a před měřením je třeba nulovou polohu ručky (ručka musí ukazovat na nultý dílek stupnice) vždy zkontrolovat. Zařízení umožňuje nastavení v poměrně širokém rozsahu ( $\pm 10$  dílků).



Obr. 4.5  
Mechanická sestava  
měřicího ústrojí  
– uložení ručky.



### 4.3.2 Světelná stopa

U měřicích přístrojů se světelným ukazatelem se světelný paprsek vysílaný žárovkou zaostří a promítne na zrcátko umístěné na ose otočného ústrojí, (nejčastěji to bývá závěs), od něho se odrazí a na stupnici se ukáže jeho odraz. Clona, jejíž obraz se na stupnici promítá, je zpravidla kruhový otvor, přes který je napnutý tenký drátek. U některých přístrojů (zejména u galvanometrů) se také používá promítání zezadu na průsvitnou matnou stupnici.

Citlivost přístroje se zvětšuje velkou vzdáleností stupnice od zrcátka a také tím, že se od něho odráží ve dvojnásobném úhlu, než je úhel natočení zrcátka, viz obr. 16.6. Proto se světelný ukazatel používá převážně u velmi citlivých přístrojů. Délku paprsku můžeme ještě prodloužit vícenásobným odrazem uvnitř přístroje pomocí zrcátek (obr. 16.5). Některé laboratorní přístroje mají dvě stupnice pod sebou a zvláštní úpravou zrcátka se dosáhne prodloužení stupnice na dvojnásobek. Když je stopa na konci první stupnice, dopadá druhá stopa na začátek druhé stupnice.

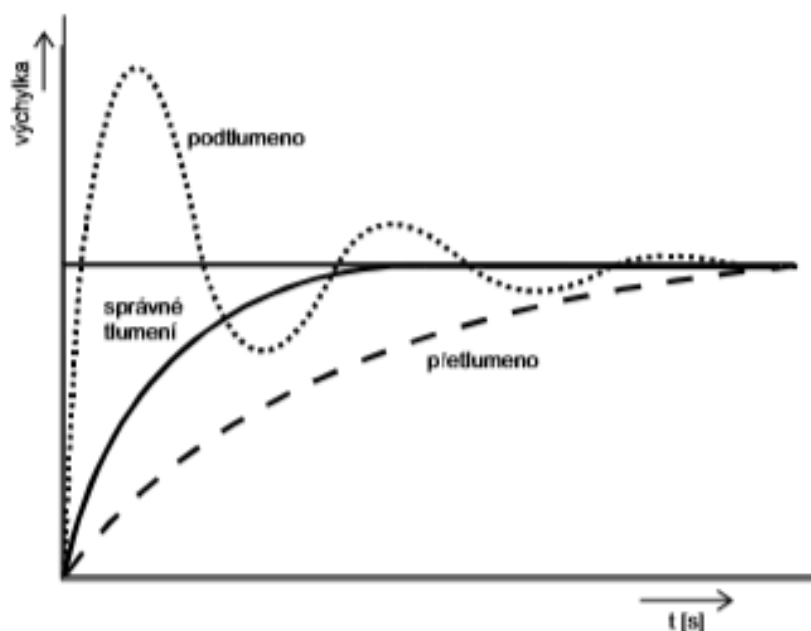
Protože světelný paprsek dopadá přímo na stupnici, nemůže u těchto přístrojů vzniknout chyba špatnou polohou oka při odečítání výchylky.

## 4.4 Tlumení otočného ústrojí

Hmotnost otočného ústrojí spolu s direktivním momentem řídicích pružin vytvářejí kmitavou soustavu, která by způsobovala dlouhé kmitání ručky kolem správné výchylky, než by došlo k jejímu ustálení. Abychom dosáhli co nejrychlejšího ustálení ručky, musí být otočné ústrojí vybaveno *tlumením*.

Podle účinku tlumení (obr. 4.6) rozlišujeme systém *podtlumený* (k ustálení výchylky dojde za dlouhou dobu) či *přetlumený* (přístroj má příliš silné tlumení a ručka zaujímá správnou polohu jen velmi pomalu). Správné tlumení, tzv. *tlumení na mezi aperiodicity* zajistí nejrychlejší ustálení výchylky ručky.

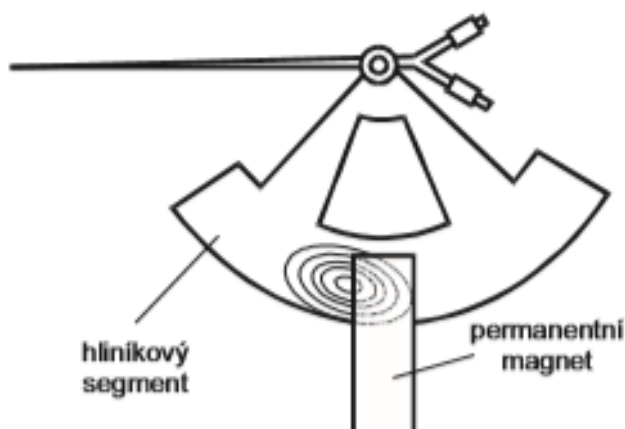
U dnešních přístrojů se používá dvou druhů tlumení – vzduchového a magnetického.



Obr. 4.6  
Graf účinku  
tlumení  
– velikost výchylky  
versus doba ustálení.

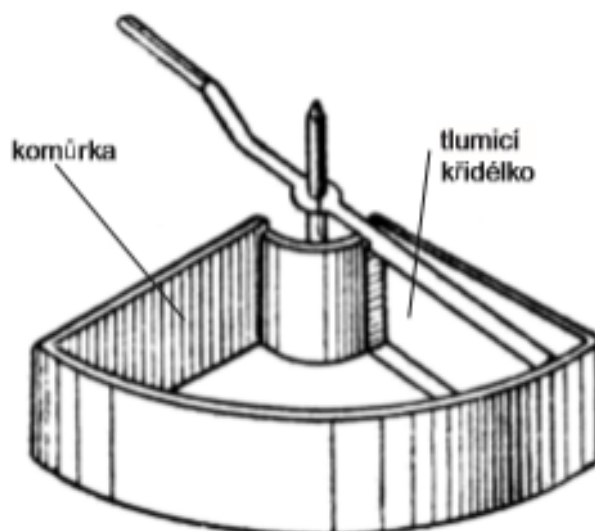
*Magnetické* tlumení lze provést dvěma způsoby. U magnetoelektrických přístrojů se využívá k tlumení tenkého hliníkového rámečku, na němž je navinuta měřicí cívka. Při pohybu (otočného ústrojí (cívky) v magnetickém poli se v rámečku indukují vířivé proudy, které způsobí moment, jež podle Lenzova zákona působí proti příčině svého vzniku – tedy vždy proti směru otáčení ručky. Tím se pohyb ústrojí tlumí.

Tlumení vířivými proudy lze provést také tak, že s otočným ústrojím pevně spojíme segment z hliníkového plechu, který se při natáčení měřicího ústrojí pohybuje v mezeře permanentního magnetu. Pohybem segmentu v magnetickém poli se v něm stejně jako v předchozím případě indukují vířivé proudy, které vytvoří moment, který působí proti směru otáčení a tak tlumí kývání otočného ústrojí. Konstrukční uspořádání je naznačeno na obr. 4.7. U měřicích přístrojů, v nichž by magnetické pole permanentního magnetu působilo rušivě, se používá tlumení vzduchové.



Obr. 4.7  
Tlumení  
vířivými proudy.

*Vzduchové* tlumení (obr. 4.8) je velmi jednoduché. Kývání ručky zabraňuje křídélko z tenkého hliníkového plíšku spojeného s ručkou. křídélko je uzavřeno ve vzduchové komůrce, aby byl účinek tlumení co největší. Při pohybu ručky křídélko vzduch v komůrce stlačuje, ten může kolem křídélka unikat jen tenkou štěrbinou mezi stěnou komůrky a křídélkem, čímž se pohyb ústrojí intenzivně tlumí.



Obr. 4.8  
Vzduchové tlumení.

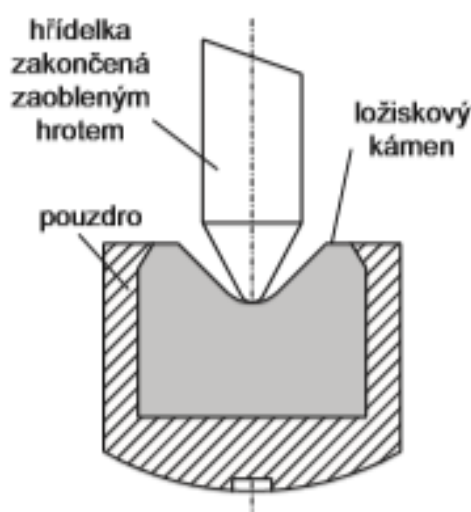
## 4.5 Uložení otočné části měřicího ústrojí

Uložení otočné části měřicího ústrojí musí zajistit správnou polohu pohyblivé části vůči části pevné. Uložení musí způsobovat co nejmenší tření a má být odolné proti otřesům a nárazům.

Uložení otočné části se provádí buď v *ložiskových kamenech* nebo jako *závěsové*.

Uložení v ložiskových kamenech (*hrotové*) se užívá nejčastěji. Ocelová hřídelka otočné části je zakončena mírně zakulacenými ocelovými hroty, které dosedají do ložiskového kamene (obr. 4.9). V kamenech jsou vybroušeny důlky, které se dokonale vyleští, aby tření ústrojí bylo co nejmenší. Ložiskové kameny musí být z tvrdšího materiálu než kalené ocelové hroty, aby při nárazech nedocházelo k jejich poškození a tím zvýšení tření uložení. Nejčastěji se vyrábějí z umělého korundu.

Závěsové uložení může být provedeno buď s jednoduchým nebo dvojitém závěsem.

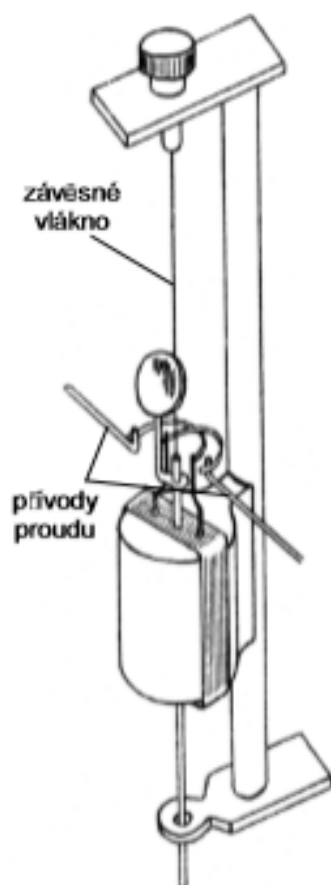


Obr. 4.9  
Hrotové uložení  
ocelové hřídelky  
v ložiskových kamenech.

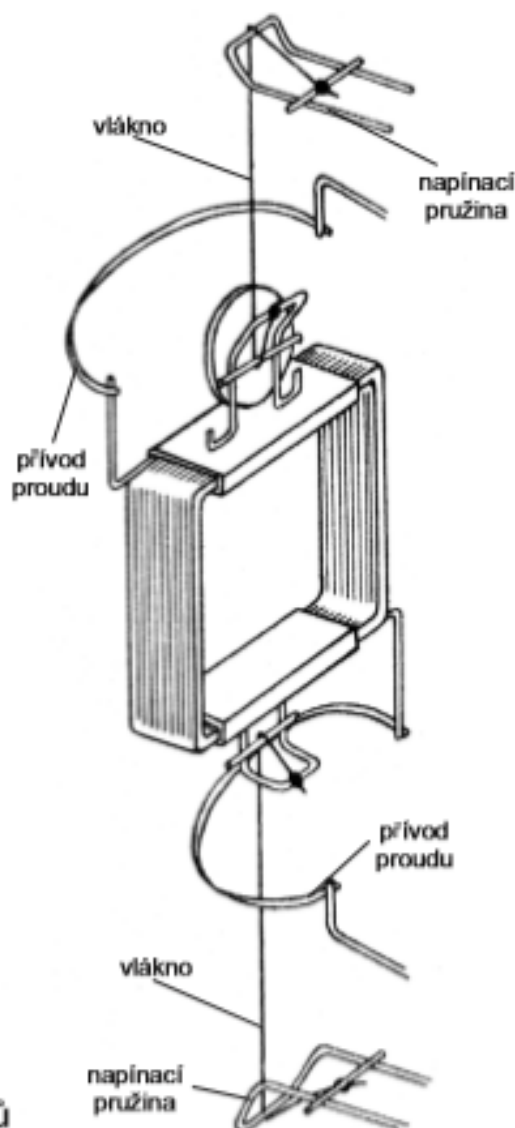
*Jednoduché závěsové uložení* – obr. 4.10 se dnes již nepoužívá, těžiště jeho použití bylo u starších galvanometrů. Otočná cívka spolu se zrcátkem byla volně zavěšena na dlouhém tenkém bronzovém nebo křemíkovém vlákne, které bylo napínáno jen váhou otočného ústrojí. Přívod proudu obstarávalo vlákno (bylo-li kovové) a jemné ohebné dolní vlákno (ze zlata či platiny) se zanedbatelným direktivním momentem. Přístroje s jednoduchým závěsem byly určeny pro stabilní montáž a musely se do správné polohy ustavit pomocí libely. Při přemísťování se musely chránit aretací (viz kapitola 4.6), aby nedošlo k přetržení vlákna.

Moderní konstrukce přesných laboratorních přístrojů užívají *dvojitě závěsové uložení* – obr. 4.11. Měřicí ústrojí je zavěšeno na dvou vláknech, která zároveň vyvozují i direktivní moment. Jsou-li vlákna kovová (nejčastěji z bronzu), mohou sloužit i jako přívod proudu do měřicí cívky. Jsou-li vlákna křemíková, přivádí se do měřicí cívky proud pomocí dvou tenkých ohebných přívodních pásků. Uspořádání na obr. 46 je právě tento případ. Moderní přístroje mají vlákna uchycená na pružinách, takže obvykle není třeba používat aretaci jako ochranu před přetržením závěsu.





Obr. 4.10  
Jednoduché  
závěsné uložení  
u starších  
galvanometrů.



Obr. 4.11  
Dvojité závěsné  
uložení u přesných  
laboratorních přístrojů  
moderní konstrukce.

## 4.6 Aretace otočné části měřicího ústrojí

Aretací rozumíme znehybnění otočné části a její zabezpečení proti poškození uložení (přetržení závěsů, otláčení hrotového uložení, ...). Aretací bývají vybaveny jen citlivé měřicí přístroje, např. galvanometry.

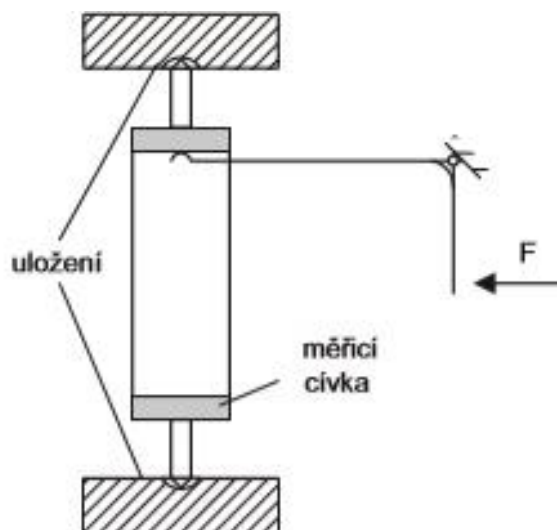
U hrotového uložení (obr. 4.12) se aretace provádí nadzdvížením měřicího ústrojí. Tím se odlehčí spodní ložisko. Praktické provedení aretace u hrotového uložení je na obr. 4.13. Zašroubováním aretačního šroubu se ohne rameno nosného pásku, čímž se nadzvedne pásek aretační a současně s ním i měřicí ústrojí a dolní ložisko se odlehčí.

U jednoduchého závěsového uložení (obr. 4.14) se aretace provádí podobně, tj. nadzdvížením otočné části. Tím se závěsné vlákno prohne a nemůže dojít k jeho přetržení.

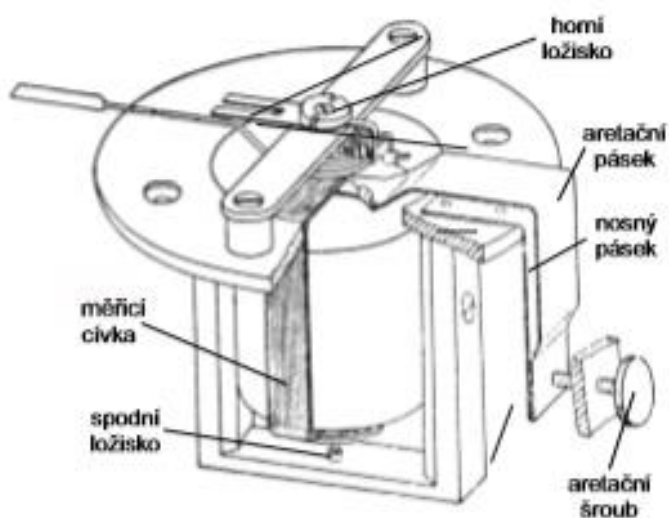
U dvojitého závěsového uložení se aretace provádí povolením jedné z pružin, které napínají závěsy. Cívka dosedne na pevnou část měřicího ústrojí a nemůže dojít k přetržení vláken.



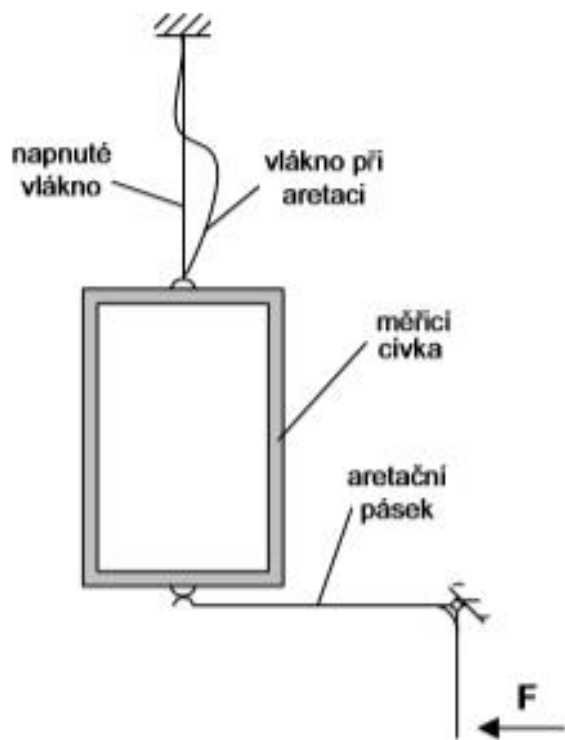
Obr. 4.12  
Princip aretace  
u hrotového uložení  
nadzvižením  
měřicího ústrojí.



Obr. 4.13  
Skutečné provedení  
aretace u hrotového  
uložení.



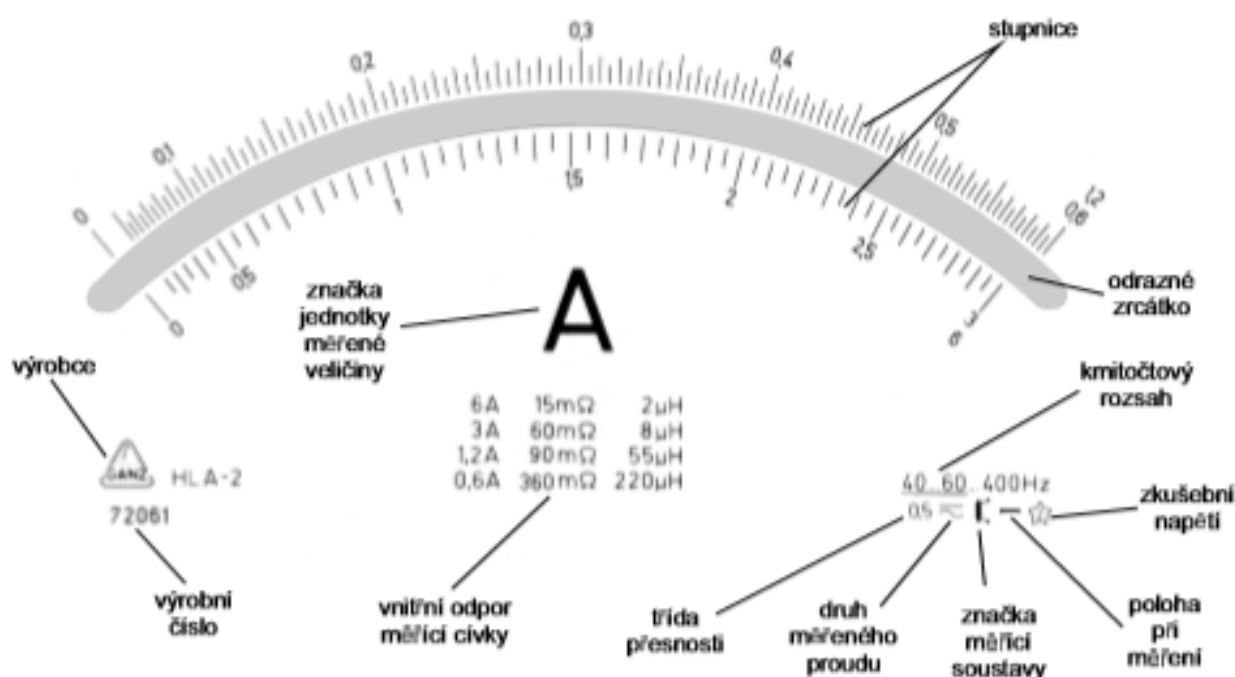
Obr. 4.14  
Aretace nadzvižením  
otočné části  
u jednoduchého  
závěsového uložení.



## 4.7 Číselník a stupnice měřicích přístrojů

Číselník analogového měřicího přístroje je rovinná plocha, na níž je zakreslena stupnice a ostatní předepsané značky. Číselník se obvykle vystřihuje z hliníkového či mosazného plechu a obvykle bývá natřen bílou barvou. Na číselníku měřicího přístroje (obr. 4.15) by měly být tyto prvky:

- stupnice,
- značka měřené veličiny (u univerzálních měřicích přístrojů všech měřených veličin),
- značka měřicí soustavy,
- značka třídy přesnosti,
- značka druhu proudu a počtu měřicích ústrojí,
- značka zkušebního napětí (udává, jaké napětí přístroj snese z hlediska elektrické pevnosti),
- značka polohy stupnice (přístroje) při měření,
- logo výrobce a výrobní číslo,
- další údaje (např. odpor měřicích cívek).



Obr. 4.15 Význam značek na stupnici měřicího přístroje.

Jednotlivé značky jsou přehledně uspořádány v tabulkách na konci této knihy. Pro správné měření je *bezpodmínečně* nutné jejich význam znát.

*Stupnice* je soustava čárek a číslic na číselníku, které umožňují odečítání výchylky. U laboratorních přístrojů s nožovými ručkami by ryska na stupnici neměla být tlustší než nožový konec ručky. K usnadnění čtení se obvykle každý pátý dílek rýsuje 1,5× a každý desátý 2× delší než dílky základní.

Stupnice má obvykle tvar kruhového oblouku s úhlem 80 až 90°. Stupnice laboratorních přístrojů s třídou přesnosti 0,2 a lepší by měly mít délku stupnice alespoň 150 mm. Rozváděčové přístroje se dnes z úsporných důvodů zhotovují s obloukovou stupnicí s úhlem 240 až 270°, čímž se zmenší jejich velikost a zlepši odečítání z větších vzdáleností. Příklad stupnice rozváděčového wattmetru je na obr. 4.16.



Obr. 4.16  
Lineární stupnice  
rozdávěčového  
wattmetru.

Stupnice měřicích přístrojů může být:

- *lineární* – všechny dílky jsou od sebe stejně vzdáleny (obr. 3.2),
- *nelineární* – kvadratická (feromagnetické přístroje – obr. 3.7), logaritmická (poměrové ohmmetry – obr. 3.6) či s potlačenou nulou (obr. 3.5).

## 4.8 Provedení měřicích přístrojů

Analogové měřicí přístroje jsou po mechanické stránce poměrně složitá a z toho důvodu také i velmi choulostivá zařízení. Proto musí být uloženy v krytu, kam se s nimi umísťují i další zařízení, jako jsou např. předřadníky, bočníky či usměrňovače.

Pouzdra (kryty) přístrojů se vyrábějí z umělých hmot (musí splňovat i podmínky bezpečnosti před úrazem elektrickým proudem), přičemž kryt každého přístroje bývá obvykle dvoudílný. Na horní straně jsou nad číselníkem, který je kryt skleněnou deskou, aby nedošlo k poškození ručky, umístěny vstupní svorky. V přední části krytu bývají otvory, kterými vstupuje do přístroje vzduch chladící předřadníky či bočníky.

Rozsahy přístrojů se mění buď přímo přepojováním příslušných vodičů na různé svorky nebo bývá přístroj vybaven přepínačem rozsahů.

Přístroje, které jsou určeny pro měření stejnosměrného proudu a napětí mají kladnou svorku označenou značkou +.



## 4.9 Konstanta a citlivost měřicího přístroje

Máme-li měřicí přístroj s jedním rozsahem, který má stupnici označenou přímo v jednotkách měřené veličiny, pak nejsou s odečítáním výchylky žádné problémy. Obvykle však měřicí přístroje mívají více rozsahů, aby se s nimi snadněji měřilo a nebyli jsme nuceni stále přístroje vyměňovat. Takové vícerozsahové přístroje nemají obvykle pro každý rozsah zvláštní stupnici (i když existují i takové přístroje), ale mají jednu stupnici rozdělenou na určitý počet dílků. Abychom zjistili, jaká je hodnota měřené veličiny pro příslušnou výchylku na daném rozsahu, musíme si zavést tzv. *konstantu* přístroje.

Konstanta přístroje je číslo, kterým je nutno vynásobit výchylku přístroje v dílcích, abychom dostali hodnotu měřené veličiny  $X_M$  v jednotkách této veličiny.

Platí:

$$k = \frac{X_R}{\alpha_S},$$

kde  $X_R$  – jmenovitý rozsah přístroje,  
 $\alpha_S$  – celkový počet dílků stupnice.

Hodnota měřené veličiny se pak stanoví jako součin konstanty přístroje pro příslušný rozsah a výchylky v počtu dílků.

Tedy

$$X_M = k\alpha.$$

### Příklad 7

Na vícerozsahovém voltmetru byla na rozsahu 24 V změřena výchylka 65 dílků. Jaké napětí přístroj ukazuje, má-li stupnice 120 dílků?

$$U_R = 24 \text{ V}, \alpha_S = 120 \text{ dílků}, \alpha = 65 \text{ dílků}$$

$$k = \frac{U_R}{\alpha_S} = \frac{24}{120} = 0,2 \text{ V/dílek}$$

$$U_M = k\alpha = 0,2 \cdot 65 = \underline{\underline{13 \text{ V}}}$$

Voltmetr ukazuje napětí 13 V.

Výrobci obvykle volí takové rozsahy a takové počty dílků stupnice, aby konstanta vycházela jako dekadický násobek 1, 2 či 5.

*Citlivost* je definována jako převrácená hodnota konstanty měřicího přístroje.

$$C = \frac{1}{k} = \frac{\alpha_S}{X_R}.$$

Je to číslo, které udává, kolik dílků výchytky připadá na jednotku měřené veličiny. Pro velikost měřené veličiny pak platí:

$$X_M = \frac{\alpha}{C}.$$

S citlivostí se běžně počítá pouze u galvanometrů, jinak při výpočtu naměřených hodnot používáme konstantu.

### Příklad 8

Určete citlivost voltmetru z minulého příkladu.

$$C = \frac{\alpha_S}{X_R} = \frac{120}{24} = \underline{\underline{5d/V}},$$

$$C = \frac{1}{k} = \frac{1}{0,2} = \underline{\underline{5d/V}},$$

$$U_M = \frac{\alpha}{C} = \frac{65}{5} = \underline{\underline{13 V}}.$$

Jsou-li do obvodu zapojeny měřicí transformátory proudu či napětí, je třeba konstantu přístroje vynásobit jejich převodem.

Pro konstantu potom platí:

$$k = k_I k_U k_{MP},$$

kde  $k_I$  – převod měřicího transformátoru proudu,

$k_U$  – převod měřicího transformátoru napětí,

$k_{MP}$  – konstanta samotného měřicího přístroje.

### Příklad 9

V rozvodně vysokého napětí slouží k měření napětí voltmetr s rozsahem 100 V. Stupnice voltmetru má 150 dílků. Voltmetru je předřazen měřicí transformátor napětí s převodem 35 000/100. Jaké napětí ukazuje voltmetr, je-li jeho výchytky 95 dílků?

$$k = k_U k_{MP} = k_U \frac{U_R}{\alpha_S} = \frac{35000}{100} \frac{100}{150} = \underline{\underline{233,3 V/dílek}}$$

$$U_M = k\alpha = 233,3 \cdot 95 = \underline{\underline{22167V}} = \underline{\underline{22,2 kV}}$$

Wattmetr, přístroj pro měření výkonu, má dvě měřicí cívky – proudovou a napěťovou, z nichž každá má svůj samostatný rozsah, např. proudová 5 A a napěťová 120 V. Dále

má wattmetr jmenovitý účinník. U běžných wattmetrů bývá roven 1, u speciálních pro měření malých výkonů bývá 0,2 či dokonce 0,1. Hodnota účinníku přístroje je uvedena na jeho číselníku. Výkonový rozsah wattmetru se pak vypočte jako součin všech tří uvedených veličin, tedy proudového a napěťového rozsahu a účinníku.

$$X_W = X_I X_U \cos \varphi.$$

Pro konstantu wattmetru potom platí:

$$k_W = \frac{X_W}{\alpha_S} = \frac{X_I X_U}{\alpha_S} \cos \varphi.$$

### **Příklad 10**

Jaký výkon měří wattmetr, který má napěťový rozsah 240 V, proudový rozsah 2,5 A, účinník  $\cos \varphi = 1$  a stupnici se 120 dílky, je-li výchylka ručky 96 dílků?

$$k_W = \frac{X_I X_U}{\alpha_S} \cos \varphi = \frac{2,5 \cdot 240}{120} 1 = \underline{\underline{5 \text{ W/dílek}}},$$

$$P_M = k_W \alpha = 5 \cdot 96 = \underline{\underline{480 \text{ W}}}.$$

### **Příklad 11**

Wattmetr má napěťový rozsah 300 V, proudový rozsah 5 A a účinník  $\cos \varphi = 0,1$ . Do série s proudovou cívkou je zařazen měřicí transformátor proudu s převodem 200/5. Určete jaký výkon udává wattmetr, je-li na stupnici se 150 dílky výchylka 56 dílků.

$$k_W = k_I \frac{X_I X_U}{\alpha_S} \cos \varphi = \frac{200}{5} \frac{5 \cdot 300}{150} 0,1 = \underline{\underline{40 \text{ W/dílek}}},$$

$$P_M = k_W \alpha = 40 \cdot 56 = \underline{\underline{2240 \text{ W}}}.$$

## **4.10 Vlastní spotřeba měřicích přístrojů**

Jako vlastní spotřebu měřicího přístroje udáváme příkon, který přístroj potřebuje k tomu, aby dosáhl plné výchylky. U přístrojů měřících stejnosměrné veličiny se udává ve W, u střídavých ve VA.

Vlastní spotřeba se udává obvykle pouze u voltmetrů a napěťových cívek wattmetrů a to ještě nepřímo – velikostí odporu měřicí cívky. Uvádí se buď odpor celé cívky nebo odpor cívky na 1 V rozsahu přístroje.



U ampérmetrů či proudových cívek wattmetrů se odpor měřicích cívek zpravidla neuvádí a chceme-li zjistit vlastní spotřebu přístroje je třeba odpor či impedanci (u střídavých přístrojů) cívky změřit.

### **Příklad 12**

Stejnoseměrný voltmetr má vnitřní odpor  $r_i = 5000 \Omega/V$ . Jaká je jeho vlastní spotřeba na rozsahu 600 V?

$$R_i = X_R r_i = 600 \cdot 5 = \underline{\underline{300 \text{ k}\Omega}},$$

$$P = \frac{U_N^2}{R_i} = \frac{600^2}{3 \cdot 10^5} = \underline{\underline{1,2 \text{ W}}}.$$

Vlastní spotřeba voltmetru je na rozsahu 600 V 1,2 W při plné výchylce.

## **4.11 Přetížitelnost měřicích přístrojů**

Přetížitelnost je násobek jmenovité hodnoty měřicího rozsahu, který měřicí přístroj snese bez poškození. Bude-li připojen na vyšší napětí nebo bude-li jím protékat vyšší proud, hrozí jeho přetížení a tepelné či mechanické poškození.

*Trvale* musí snést všechny měřicí přístroje s třídou přesnosti (1 až 5) 1,2 násobek jmenovité hodnoty měřicího rozsahu, aniž by se poškodily. U wattmetrů lze současně přetěžovat proudovou i napěťovou cívkou o 20 %. Voltmetry a ampérmetry třídy přesnosti 0,1 až 0,5 snesou trvale pouze jmenovité hodnoty proudu či napětí.

*Krátkodobá* přetížitelnost v násobcích jmenovitých hodnot je uvedena v tab. 4.1. Hodnoty uvedené v tabulce platí pouze pro běžně užívané přístroje. Neplatí pro přístroje s termočládky a přístroje tepelné soustavy.

Tab. 4.1 Krátkodobá přetížitelnost

<b>Třída přesnosti</b>	<b>0,2 až 0,5</b>	<b>1 až 5</b>
voltmetr	2	2
ampérmetr	2	10
proud. cívky wattmetru	2, při $U_n$ a $\cos \varphi_n$	10 při $U_n$ a $\cos \varphi_n$

## **4.12 Rušivé vlivy při měření**

Mezi veličiny ovlivňující údaj měřicího přístroje, patří zejména:

- a) *Mechanické vlivy* – největší význam má tření. Na velikost tření má vliv hmotnost otočného ústrojí a způsob jeho uložení. Vliv tření lze částečně omezit zvětšením direktivního momentu spirálových pružin, tím ale vzroste spotřeba a sníží se citlivost přístroje. Téměř úplně lze vliv tření vyloučit použitím uložení na závěsech. Na údaj měřicího přístroje a kvalitu měření působí nepříznivě také otřesy. Měříme-li tedy

v prostředí, kde jsou vibrace a otřesy běžné (např. v motorových vozidlech), je vhodné položit měřicí přístroj na měkkou podložku. Na výchylku ručky má vliv i poloha přístroje. Měřicí přístroje by se měly používat pouze v poloze uvedené na číselníku.

- b) *Teplota* – vlivem změn teplot se mění odpor měřicích cívek, předřadníků či bočníků a magnetická indukce permanentních magnetů. Předřadníky proto vineme z manganinu, který má nepatrnou závislost odporu na teplotě. Předřadníky a bočníky umísťujeme do přední části přístroje, aby svou teplotou neovlivňovali měřicí cívky. V krytu přístroje musí být v těchto místech otvory pro vstup chladicího vzduchu. Vztažená teplota, při níž platí třída přesnosti přístroje je 20 °C.
- c) *Vnější elektromagnetická pole* – vnější pole působí zejména na přístroje, které pracují se slabým vlastním polem (zejména elektrodynamické přístroje). Vlivu rušivých magnetických polí se bráníme stíněním měřicího ústrojí krytem z feromagnetického materiálu nebo astatizováním. Princip astatizování spočívá v tom, že přístroj má dvě stejná měřicí ústrojí na stejné ose. Jsou zapojena tak, že se točivé momenty vyvolané měřenou veličinou sčítají a momenty vyvolané rušivým magnetickým polem odečítají. V současné době se astatizování používá velmi málo (pouze u přesných laboratorních přístrojů).
- d) *Kmitočet* – změna kmitočtu způsobí změnu údaje u těch přístrojů, jejichž pohybový moment na kmitočtu závisí (např. u indukčních elektroměrů). Vliv kmitočtu na výchylku a tedy i použitelnost přístroje pro měření si uvedeme u každé soustavy zvlášť.

Vliv některých dalších veličin, jako je tvar křivky časového průběhu měřené veličiny či vliv tloušťky panelu na němž je rozváděčový přístroj namontován si probereme u příslušných soustav měřicích přístrojů, kterých se tyto vlivy týkají.

## 4.13 Magnetoelektrické měřicí přístroje

### 4.13.1 Princip, konstrukce, použití

Základním prvkem magnetického obvodu magnetoelektrických měřicích přístrojů je permanentní magnet. Na něj dosedají dva pólové nástavce, jejichž konce jsou vhodně vytvarovány. Ve válcové dutině pólových nástavců je uložen váleček z magneticky měkkého materiálu (ze železa). Ve vzduchové mezeře mezi válečkem a pólovými nástavci je otočně uložena cívka s mnoha závitů tenkého měděného drátu. Principiální schéma soustavy je na obr. 4.17.

Funkce magnetoelektrického měřicího ústrojí je založena na využití sil působících v magnetickém poli na vodiče cívky, jimiž protéká stejnosměrný proud. Princip vyvození pohybového momentu je naznačen na obr. 4.18. Cívka je umístěna ve vzduchové mezeře mezi pólovými nástavci a válcovým feromagnetickým jádrem. Permanentní magnet vytváří v mezeře radiální magnetické pole (pole, které je vždy kolmé k závitům měřicí cívky). Ze Základů elektrotechniky víme, že nachází-li se vodič protékající elektrickým proudem v magnetickém poli, působí na něj síla:

$$F_1 = BI,$$