

5. ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ

Určeno pro posluchače všech bakalářských studijních programů FS

- 5.1 Úvod
- 5.2 Chyby měření
- 5.3 Elektrické měřicí přístroje
- 5.4 Měření elektrických veličin
- 5.5 Měření neelektrických veličin

Doc. Ing. Václav Vrána, CSc.; Ing. Jan Vaňuš
duben 2002



Upravit: Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D. - září 2005

Elektrická měření

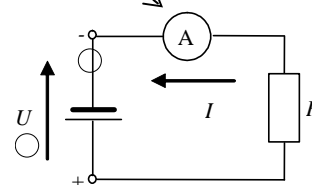
5.1. Úvod

Elektrické měření představuje poznávací proces, jehož prvořadým cílem je zjištění výskytu a velikosti měřené veličiny.

V poznávacím procesu měření využíváme známých poznatků o fyzikálních jevech a zákonech. Základní elektrické veličiny (např. U a I) určují kvalitativně i kvantitativně nejen stav elektrických obvodů, ale i nejrůznějších objektů. U těchto objektů měříme neelektrické fyzikální veličiny (např. tlak, teplotu, rychlost.). Neelektrické fyzikální veličiny lze poměrně snadno převést na elektrické veličiny, tedy na elektrické signály, které jsou nositeli informace.

Velikost, popř. číselnou hodnotu měřené veličiny, udává měřicí přístroj (MP), který měřenou veličinu porovnává s jednotkou příslušné veličiny.

Příklad: Ukazuje-li ampérmetr např. hodnotu 5 A, znamená to, že měřený proud je 5 x větší, než jeho jednotka - 1 A.



Obr.5.1. Příklad měření el. proudu

5.1.1. Elektrické měření obsahuje:

□ Objekt měření

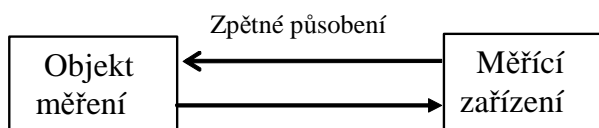
U objektu, na kterém provádíme měření, zjišťujeme jednu nebo více měřených veličin, např. proud I , nebo napětí U . Jestli zjišťujeme hodnotu neelektrické veličiny, je nutné ji převést vhodným snímačem na elektrickou veličinu (např. měření teploty, tlaku, atd.)

□ Metoda měření

Pro přesné zjištění hodnoty měřené veličiny zvolíme vhodnou metodu měření. Pro měření použijeme odpovídající fyzikální zákon.

□ Měřicí zařízení

Pomocí měřicího zařízení zjistíme hodnotu měřené veličiny. Je to například voltmetr, wattmetr, ampérmetr, osciloskop atd. Je nutné zajistit vhodné propojení objektu měření s měřicím zařízením, aby při měření nedocházelo k chybám.



Obr. 5.2. Obecný příklad elektrického měření.

5.1.2. Rozdělení elektrického měření podle účelu:

□ Laboratorní měření

Těmito měřeními se hledají a ověřují fyzikální vlastnosti a jevy

□ Technické měření

Při těchto měřeních probíhá hodnocení, zkoušení, prověřování různých elektrických zařízení (například motory).

□ Provozní měření

Provozním měřením se průběžně sleduje popř. řídí výrobní proces v různých továrnách nebo provozech.

5.1.3. Základní pojmy




a) Způsob odečítání měřené hodnoty z analogových měřících přístrojů (A-MP)

- ▶ výchylku ručky (A-MP) se odečítá při pohledu kolmo na přístroj
- ▶ výchylka by měla být s ohledem na přesnost pokud možno ve třetí třetině rozsahu stupnice přístroje (to zajistíme vhodnou změnou *rozsahu měřícího přístroje*), výjimečně pak ve druhé polovině!
- ▶ zjistí se celkový počet dílků na stupnici α_c
- ▶ zjistí se rozsah přístroje r
 - ▶ na měřícím přístroji se odečte výchylka α , která odpovídá hodnotě změřené veličiny a vypočte se konstanta přístroje
- ▶ *hodnota měřené veličiny*, např. při měření napětí, se určí: $U = k \cdot \alpha$
- ▶ *citlivost* c přístroje se určí ze vztahu

$$c = \frac{\alpha_c}{r}$$

- b) **Zkušební napětí měřícího přístroje** – je to hodnota napětí, kterým se zkouší elektrická pevnost izolace přístroje. Zaručuje se tím bezpečnost práce s přístrojem. Je uvedena symbolem.
- c) **Vlastní spotřeba** měřícího přístroje - je el. příkon, potřebný k dosažení plné výchylky ručičky (u A-MP). Udává se ve wattech [W], u některých přístrojů ve voltampérech [VA].
- d) **Přetížitelnost** měřícího přístroje - je násobek jmenovité hodnoty proudu, nebo napětí, působící po určitou definovanou dobu, který nepoškodí měřící přístroj.
- e) **Provozní poloha** měřícího přístroje - je výrobcem předepsaná poloha, ve které je současně s dalšími vztahnými veličinami (zpravidla teplotou a kmitočtem) zaručená *třída přesnosti*. Provozní poloha může být vodorovná, svislá, šikmá, popř. s udáním úhlu vůči vodorovné podložce, viz. tab. níže.

Tab.5.1. **Příklady značek, vyskytujících se na měřících přístrojích (A-MP).**

	MP pro měření stejnosměrného proudu (střední hodnota)
	MP pro měření střídavého proudu (efektivní hodnota)
	MP pro měření stejnosměrného (DC) i střídavého (AC) proudu

5; 2,5; 2; 1,5 ; 1; 0,5; 0,2; 0,1; 0,05 třídy přesnosti MP



MP je určen pro svislou polohu



MP je určen pro vodorovnou polohu



MP je určen pro šikmou polohu 60° k vodorovné rovině



značka uzemňovací svorky



Značka „2 ve hvězdě“ znamená zkušební napětí je 2kV; „hvězda bez čísla“ znamená zkušební napětí je 500V; „hvězda s 0“ znamená, že se zkušební napětí nezměřilo.

5.2. Chyby měření

Při měření se snažíme zjistit skutečnou hodnotu měřené veličiny (MV).

Žádným měřicím přístrojem, ani měřicí metodou, nelze skutečnou hodnotu MV stanovit zcela přesně! Výsledek měření bude vždy odlišný od skutečné hodnoty!

Přesnost, s jakou vlastní měření provádíme, se vyjadřuje pomocí chyby měření.

Pro zjištění chyby měření lze použít několik postupů:

- a) Provedeme **kontrolní měření** s nejmenší možnou chybou měření. Chybu kontrolního měření zanedbáme a výsledek měření budeme považovat za skutečnou hodnotu X_S .

□ Absolutní chyba měření Δ

$$\Delta = X_M - X_S$$

X_M naměřená hodnota

X_S skutečná hodnota

Používá se při vyhodnocení výsledků měření.

□ Relativní chyba měření $\delta \%$

$$\delta \% = \frac{\Delta}{X_M} \cdot 100 \quad [\%]$$

Používá se při určení přesnosti měřicí metody.

Při každém měření uděláme **rozběr vlivů**, které mohou způsobit chyby měření, tyto chyby vyčíslíme a výpočtem určíme skutečnou hodnotu X_S .

5.2.1. Podle způsobu výskytu chyby rozeznáváme

- a) Chyby **soustavné** (systematické)

Tyto chyby se při měření se stále opakují, lze určit jejich velikost.

b) Chyby **nahodilé**

Tyto chyby se vyskytují zcela náhodně. Projevují se u nich nepravidelné, proměnné vlivy. I tyto vlivy se vyskytují zcela náhodně.

5.2.2 Podle příčiny vzniku chyby rozeznáváme

a) Chyba **metody měření**

Vzniká tím, že se při výpočtu měřené veličiny neuvažují všechny známé vlivy (např. spotřeba měřícího přístroje, maximální hodnota kmitočtu, teplota, apod.). Je to chyba soustavná.

b) Chyba **měřícího zařízení**

Je daná vlastnostmi a nedokonalostí měřícího zařízení za určitých, přesně stanovených podmínek. Tato chyba se určuje pro analogové i číslicové měřící přístroje. Je to chyba soustavná.:

□ **Chyba analogových měřících přístrojů**

Chyba analogového MP je stanovena *třídou přesnosti*. Třída přesnosti je výrobcem zaručovaná největší možná relativní chyba přístroje δ_p , vyjádřená v procentech rozsahu měřené veličiny. Třídy přesnosti jsou normovány v hodnotách:

$$\delta_p = 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5.$$

Největší absolutní chyba měření ΔX , kterou lze očekávat při měření s přístrojem

$$\pm \Delta X = \frac{\delta_p \cdot \alpha_m}{100}$$

třídy přesnosti δ_p je

$\pm \Delta X$	absolutní chyba měření
α_m	maximální výchylka
δ_p	třída přesnosti

□ **Chyba číslicových měřících přístrojů**

U číslicových měřících přístrojů vzniká chyba při převodu analogové hodnoty měřené veličiny na hodnotu diskretní (digitální). Tato chyba se nazývá *chybou kvantizační*.

c) Chyba **použitých elementů**

Vzniká nepřesností vyrovnání a kalibrace etalonů odporu, kapacity, napětí.

d) Chyby **způsobené rušivými vlivy**

Vznikají působením rušivých činitelů v měřícím obvodu. Jsou to například rušivá napětí, indukovaná v měřícím obvodu cizím EM polem, rušivé kapacitní a indukční vazby mezi členy měřícího obvodu.

e) Chyby **čtení**

Jsou způsobeny pozorovatelem, který čte údaje měřících přístrojů.

Pro vyjádření přesnosti měření použijeme **celkovou chybu měření**.

Celková chyba měření je součtem většího počtu různých dílčích chyb, uvedených výše.

5.3. Elektrické měřicí přístroje

5.3.1. Rozdělení elektrických měřících přístrojů podle použití:

- a) *Rozváděčové* (pevně namontované na panelu)
- b) *Montážní* (přenosné, kompaktní)
- c) *Laboratorní* (větší přesnost, rozměry, kontrolní funkce)
- d) *Základní* (normály)

5.3.2. Rozdělení elektrických měřících přístrojů podle snímání a zobrazení výstupní veličiny:

- a) **Analogové** měřicí přístroje.
Jsou určeny pro vyjádření nebo zobrazení výstupní informace jako spojitě funkce měřené veličiny.
- b) **Číslíkové** (digitální) měřicí přístroje.
Měřená veličina je na vstupu převáděna na diskrétně kódované signály vyjádřené na výstupu nebo na displeji v číslíkovém tvaru. Základem je převodník analogové veličiny na digitální (A/D převodník).
- c) **Ukazovací** měřicí přístroje.
Tento měřicí přístroj zobrazuje kdykoliv hodnotu měřené veličiny bez jejího zaznamenávání.
- d) **Zapisovací** (měřicí) přístroj.
Zapíše na nosič informace odpovídající hodnotě měřené veličiny.

5.3.3. Rozdělení elektrických měřících přístrojů podle způsobu odečítání:

- a) *Ručkové*
- b) *Registrační*
- c) *Vibrační, světelné*
- d) *Číslíkové* (základem je A/D převodník)

5.3.4. Rozdělení nejčastěji používaných ručkových měřících přístrojů dle principu funkce:

- a) **Magnetoelektrické** měřicí přístroje (m.e.)
Nazývají se také *deprézské* měřicí přístroje nebo *přístroje s otočnou cívkou*.
Značky:



magnetoelektrický přístroj



magnetoelektrický přístroj s usměrňovačem



magnetoelektrický přístroj s termočlánkem

Magnetoelektrické přístroje využívají sil, působících v magnetickém poli permanentního magnetu na vodiče otočně uložené cívky. Vodiči cívky prochází měřený stejnosměrný proud. Proud se do cívky přivádí pružinami. Pružiny slouží zároveň k vytváření řídicího (direktního) momentu, který působí proti akčnímu silovému momentu měřicího systému a uvádí ručku do výchozí polohy. Cívka je pevně spojena s ukazovací ručkou, jejíž směr vychýlení závisí na smyslu protékajícího proudu. Výchylka je úměrná střední hodnotě procházejícího proudu.

Stupnice zobrazuje střední hodnotu měřené veličiny a má zpravidla rovnoměrné dělení. Pro otočný moment systému platí:

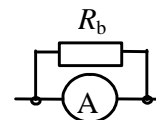
$$M \sim F \cdot r = 2 \cdot N \cdot r \cdot B \cdot I \cdot l \sim k_s \cdot I_d$$

Magnetoelektrické MP se používají se pro měření stejnosměrného proudu a napětí.

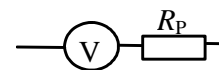
Pro měření střídavých harmonických elektrických veličin je nutné střídavou harmonickou veličinu nejdříve usměrnit. Proto používáme magnetoelektrické MP s usměrňovačem, nebo s termočlánekem (ty se však nesmí přetížít!!). Stupnice těchto přístrojů je cejkovaná v **efektivních hodnotách**.

Změna měřicího rozsahu MP se provádí:

- **bočником** – (platí pro ampérmetry)



- **předřadným odporem** – (platí pro voltmetry)



Obr. 5.3.

b) **Elektromagnetické** měřicí přístroje

Někdy se nazývají plíškové nebo feromagnetické

Značka:



feromagnetický měřicí systém

Princip činnosti je založen na využití síly F , působící na feromagnetické tělísko. Feromagnetické tělísko je uloženo v magnetickém poli cívky, kterou protéká měřený proud I .

$$F \sim I_{ef}^2 \quad (\text{výchylka ručky je úměrná čtverci proudu})$$

Elektromagnetický přístroj měří **efektivní** hodnotu střídavého proudu nezávisle na časovém průběhu nebo frekvenci měřeného proudu.

Elektromagnetické přístroje jsou vhodné pro měření střídavého i stejnosměrného proudu a napětí. V průmyslu se používají jako montážní ampérmetry a voltmetry nebo jako rozváděčové měřicí přístroje.

Změna měřicího rozsahu se provádí:

- změnou předřadného odporu pro voltmetry
- změnou počtu závitů cívky a přepínáním sekcí cívek do série a paralelně pro ampérmetry.

c) **Elektrodynamické** měřicí přístroje

Značka:



elektrodynamický měřicí systém



ferodynamický měřicí systém

Princip elektrodynamického přístroje je založen na využití silových účinků magnetického pole dvou cívek, kterými protéká proud. Jedna z cívek je pevná a druhá pohyblivá.

Pohyblivá cívka má tendenci se natočit tak, aby se směr magnetického toku obou cívek shodoval. Vzniká pohybový moment měřicího systému:

$$m = i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{dM}{d\alpha}$$

i_1, i_2 jsou okamžité hodnoty proudu, které procházejí cívkami [A]

dM změna vzájemné indukčnosti obou cívek v [H].

$$M \sim \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

$d\alpha$ změna úhlu α (vychýlení otočné cívky) [°]

Elektrodynamické měřicí přístroje jsou využívány zejména jako wattmetry pro měření elektrického výkonu střídavého proudu. Pevná cívka (proudová) se zapojuje do série se spotřebičem, otočná cívka (napěťová) se zapojuje paralelně ke spotřebiči.

U ferodynamických měřicích přístrojů se využívá stejný princip jako u elektromagnetických měřicích přístrojů. Elektrodynamické působení el. proudu se zesiluje vložením feromagnetické části do cesty magnetického toku. Výhodou je, že výchylka otočné cívky není u těchto přístrojů závislá na kmitočtu a časovém průběhu měřené veličiny.

d) **Vibrační** měřicí přístroje (rezonanční)

Značka:



vibrační měřicí přístroj

Princip měřicího přístroje je založen na rozkmitání tenkých feromagnetických ocelových jazýčků střídavým magnetickým polem.

Přístroje s rezonančním systémem se nejčastěji používají pro měření kmitočtu (frekvence f).

e) **Ostatní** měřicí přístroje

□ Číslicové (digitální) měřicí přístroje

Přirozené analogové elektrické signály se převádějí v číslicových měřicích systémech do číslicové formy. Výhodou je v některých případech vyšší přesnost měření ve srovnání s elektromechanickými měřicími přístroji, odpadá chyba nepřesným odečtením polohy ukazovací ručky, jsou také méně náchylné na mechanické poškození. Nevýhodou je pak menší názornost při letmém pohledu, menší přehlednost při sledování tendencí změn veličiny a nutnost napájecího zdroje. Některé běžné typy jsou v současnosti také levnější a dostupnější než analogové. V některých případech je možné je připojit přímo na PC.

□ Registrační měřicí přístroje

Zaznamenávají průběh měřené veličiny na rastrovaný pohyblivý pás papíru. Jsou to přístroje, určené pro nepřerušovanou kontrolu provozních veličin, např. teploty, vlhkosti, napětí, proudu, atd.

□ Osciloskop

Je to přístroj, určený k zobrazení časových průběhů prakticky všech druhů signálů. Osciloskopy zobrazují stejnosměrné i střídavé periodické průběhy (harmonické i neharmonické). Pomocí osciloskopu lze zjistit maximální hodnotu (amplitudu), nebo mezi vrcholovou hodnotu (rozkmit) signálu.

Obvod časové základny osciloskopu zajišťuje pohyb měřeného signálu na obrazovce. Jsou analogové a digitální.



Schématická značka osciloskopu:

- Oscilograf
Je přístroj určený k zapisování časových průběhů hodnot naměřených veličin. Zápis se provádí na papír, který se pohybuje konstantní rychlostí.

- Virtuální měřicí přístroje (VMP) - (PC + převodník)
Podstatou VMP je doplnění PC zásuvnou multifunkční kartou (zásuvnou měřicí deskou) a vytvoření vhodného programu pro PC, který realizuje pomocí vhodně sestaveného programu všechny činnosti měřicího přístroje. Významnou roli zde hraje tzv. vývojové prostředí umožňující pohodlné a poměrně snadné vytváření vlastního software. Známá jsou např. vývojová prostředí Lab Windows, Lab View apod.
Určitým kompromisem mezi klasickým MP a VMP je spojení MP s počítačem přes tzv. rozhraní (sériové, - RS, paralelní - GPIB) umožňující doplnění funkcí MP dalšími funkcemi pomocí SW v PC. MP většinou slouží jako snímač a převodník měřené veličiny, která je pak dále zpracována v PC. Takto lze např. z *digitálního osciloskopu* vytvořit další měřicí přístroj, např. *frekvenční analyzátor*.
Výhodnými vlastnostmi VMP jsou nižší ceny, možnosti změn vlastností MP změnou programu, flexibilita přístroje pro různá měření.

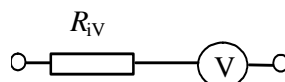
5.4. Měření elektrických veličin

5.4.1 Měření elektrického napětí

Přístroje pro měření elektrického napětí se nazývají voltmetry. Zapojují se vždy **paralelně** k měřenému obvodu.

Značka voltmetru: 

Náhradní schéma:



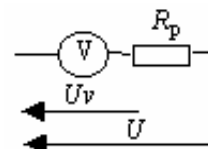
Obr. 5.4.

Připojení voltmetru ovlivní měřený obvod. Aby byla chyba měření co nejmenší, je potřeba zajistit co **největší vnitřní odpor** R_{iV} voltmetru.

Voltmetry pro střídavá napětí měří ustálené střídavé napětí, které se charakterizuje efektivní hodnotou napětí. Elektromechanické střídavé voltmetry mají stupnici cejchovanou v **efektivních hodnotách**.

Změna měřicího rozsahu voltmetru se provádí:

- **Předřadným odporem**
Stejnoseměrné měřené napětí U_V se zmenší na napětí



Obr. 5.5. Princip změny rozsahu voltmetru.

měřicího systému U podle vztahu pro napěťový dělič:

$$U_v = U \cdot \frac{R}{R + R_p}$$

R hodnota odporu měřicího systému,
 R_p hodnota předřadného odporu

□ **Měřícím transformátorem**

Měřící transformátory napětí slouží ke změně rozsahu voltmetrů pro střídavá harmonická napětí síťového kmitočtu zpravidla velmi vysokých hodnot a zároveň i pro galvanické oddělení měřidla od měřeného obvodu.

□ **Měřícím zesilovačem**

Malá napětí, řádově asi od 10^{-2} až 10^{-3} V nelze úspěšně měřit přímo elektromechanickými měřidly a ani zpracovat pomocí číslicových voltmetrů. V těchto případech se měřené napětí zesílí v měřícím zesilovači a teprve potom přivede na vstup měřicího systému.

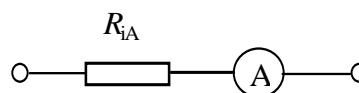
5.4.2 Měření elektrického proudu

Přístroje pro měření elektrického proudu se nazývají ampérmetry. Zapojují se vždy do **série** s měřeným obvodem.

Značka ampérmetru:



Náhradní schéma:



Obr. 5.6.

Připojení ampérmetru ovlivní poměry měřeného obvodu. Aby byla chyba měření co nejmenší, je potřeba zajistit co **nejmenší vnitřní odpor** R_{iA} ampérmetru.

Změna měřicího rozsahu ampérmetru se provádí:

- **Bočником**, pomocí bočníku (je to rezistor), převádíme měřený proud na napětí

$$I = \frac{U}{R_B} \quad [A, V, \Omega]$$

- **Měřícím transformátorem proudu**,

Měřící transformátor proudu slouží ke změně rozsahu ampérmetrů pro střídavé proudy síťového kmitočtu, zpravidla velmi vysokých hodnot a zároveň i pro galvanické oddělení měřidla od měřeného obvodu.

5.4.3 Měření elektrického výkonu

Pro měření činného výkonu se používá wattmetry, které využívají elektromechanické nebo elektronické principy.

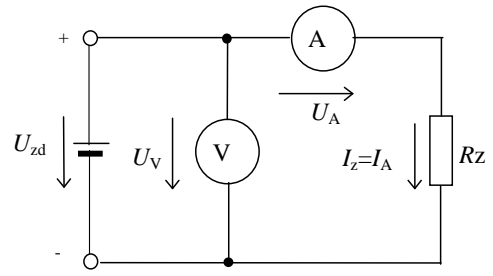
Značka wattmetru:



Výkon na spotřebiči v zapojení el. obvodu se střídavým nebo stejnosměrným zdrojem napětí lze určit pomocí nepřímé nebo přímé metody:

a) **Nepřímá metoda**

Změří se napětí na voltmetru a proud, protékající ampérmetrem. Elektrický výkon stejnosměrného proudu ve spotřebiči se stanoví součinem napětí U_V na spotřebiči a procházejícím proudem I_Z . Tuto metodu lze použít i ve střídavém obvodu, pokud víme, že $\cos \varphi = 1$. (tzn. v el. obvodu je zapojen jen odporový spotřebič).



Obr. 5.7. Nepřímá metoda měření výkonu .

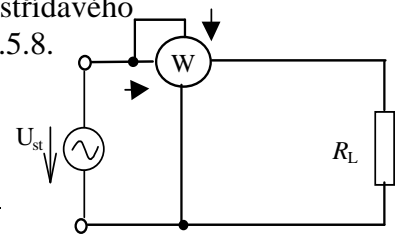
□ Měření zdánlivého výkonu

Pro měření zdánlivého výkonu se používá *nepřímá metoda*. Zdánlivý výkon zjistíme z naměřených efektivních hodnot proudu a napětí.

Platí vztah: $S = U \cdot I$ [VA; V, A]

b) **Přímá metoda**

Pro měření činného výkonu spotřebiče napájeného ze střídavého zdroje napětí použijeme wattmetr, zapojený podle obr.5.8. Wattmetry jsou přístroje, které mají 2 měřící obvody. Proudový měřící obvod (proudová cívka) a napěťový měřící obvod (napěťová cívka). Napěťová cívka wattmetru se v elektrickém obvodu zapojuje paralelně ke spotřebiči, proudová cívka se zapojuje sériově se spotřebičem, viz. obr. 5.8.



Obr. 5.8. Příklad zapojení wattmetru v el. obvodu – přímá metoda

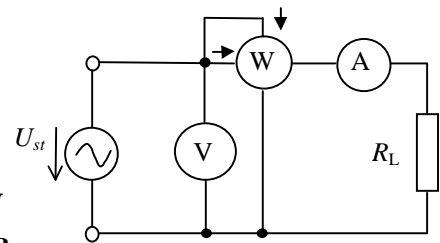
Při měření výkonu je nutné dát pozor na přetížení wattmetru. Výchylka wattmetru α je úměrná činnému výkonu P :

$$\alpha = \frac{P}{k_w} = \frac{U \cdot I \cdot \cos \varphi}{k_w}$$

k_w konstanta wattmetru

Výchylka α je tedy úměrná proudu I , napětí U , ale také fázovému posunu φ .

Wattmetr lze přetížit i tehdy, aniž by ručička dosáhla maximální výchylky ! Proud I a napětí U je tedy nutné kontrolovat pomocí ampérmetru a voltmetru !, viz zapojení na obr. 5.9.



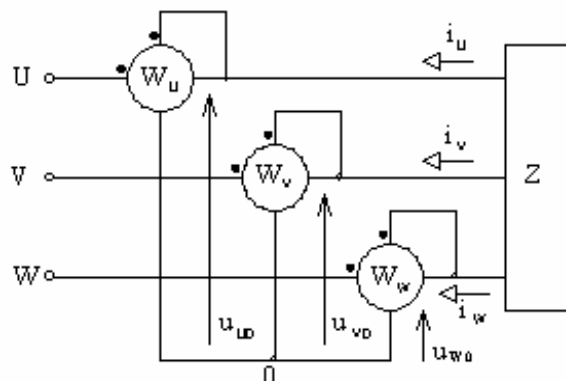
Obr. 5.9 Zapojení voltmetru a ampérmetru pro kontrolu přetěžování wattmetru.

□ Měření činného výkonu:

Pro měření činného výkonu se nejčastěji používá přímá metoda v zapojení s elektromechanickým wattmetrem s ferodynamickým nebo elektrodynamickým měřicím systémem.

Pro měření činného výkonu v 3-fázových obvodech se používají tyto způsoby zapojení:

- Zapojení s jedním 1-fázovým W-metrem (souměrná zátěž) ... $P = 3 \cdot P_W$
- Zapojení s jedním 3-fázovým W-metrem
- Zapojení se třemi 1-fázovými W- metry



Obr. 5.10. Zapojení se třemi jednofázovými wattmetry

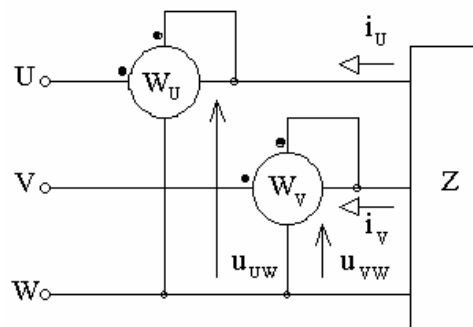
- Zapojení se dvěma W-metry (tzv. *Aronova metoda* - zapojení)

Princip metody spočívá v měření výkonu na trojfázovém spotřebiči pomocí dvou wattmetrů. Pro určení celkového trojfázového výkonu se vychází z následujícího vztahu pro měřené výkony v Aronově zapojení:

$$P_{(3)} = P_{(w_u)} + P_{(w_v)}$$

Průměrný výkon jedné fáze bude pro souměrnou zátěž dán

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_{(3)}/3$$



Obr. 5.11. Aronovo zapojení pro měření výkonu v 3-fázových obvodech.

- Měření jalového výkonu:
Z definice jalového výkonu

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \cos(\pi/2 - \varphi) \quad [\text{var}; \text{V, A}]$$

vyplývá, že jalový výkon lze měřit přímou metodou pomocí *var - metru* (W-metru, zapojeného tak, že napětí je posunuto 90°).

Jestliže použijeme nepřímou metodu, potom jalový výkon určíme z trojúhelníku výkonů:

$$U^2 \cdot I^2 = P^2 + Q^2 \Rightarrow Q = \sqrt{U^2 \cdot I^2 - P^2} = \sqrt{(U \cdot I + P) \cdot (U \cdot I - P)}$$

5.4.4. Měření elektrické energie

Pro měření elektrické energie se používají nejčastěji elektroměry.

Podle druhu proudu rozlišujeme elektroměry na stejnosměrný a střídavý proud.

Elektroměry se používají pro měření elektrické energie v 1 fázových obvodech nebo v 3 fázových obvodech.

Pro výpočet elektrické energie platí:

$$A = U \cdot I \cdot t \quad [\text{J}; \text{V}, \text{A}, \text{s}]$$

Práce je dána při konstantním výkonu součinem výkonu a času. Elektroměr obsahuje měřič okamžitého výkonu a integrátor.

Značka elektroměru:



Podle principu činnosti rozdělujeme elektroměry na:

- **Elektromechanické** elektroměry
Elektromechanické elektroměry využívají mezi převodu výkonu na mechanickou úhlovou rychlost a jejich integrátory jsou bubínková dekadická počítadla. Používají se hlavně v energetice.
 - Indukční elektroměry
Klasické elektroměry na střídavý proud. Používají indukční měřicí ústrojí.
 - Elektrodynamické elektroměry
Používají se pro měření stejnosměrné energie.
- **Elektronické** elektroměry
Výhodou elektronických elektroměrů jsou funkce, které u mechanických elektroměrů nebyly možné. Jsou to například komunikační možnosti elektroměrů (přes optická rozhraní, rozhraní RS 232, RS 485.), elektroměry dávají informaci o celkové spotřebě, registrují průběh spotřeby, je možné provádět dálkový odečet el. energie atd. Pro měření elektrické energie lze použít rovněž analyzátoři elektrických sítí.

5.4.5 Měření odporu

Existuje mnoho metod měření odporů. Nejznámější a nejrozšířenější metodou je měření odporu pomocí ohmetrů. Pro měření odporu lze použít i další metody:

a) **Měření odporu pomocí ohmetru**

Ohmetr je měřicí přístroj udávající velikost měřeného odporu přímo v ohmech. Ve většině případů se jedná o součást tzv. víceúčelových měřicích přístrojů - multimetrů.

b) **Ohmova (nepřímá) metoda .**

Využívá Ohmova zákona, podle kterého je měřený odpor ve stejnosměrném obvodu

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}]$$

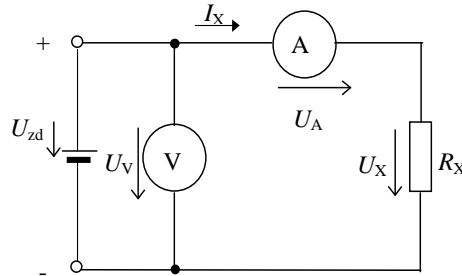
kde: U_x úbytek napětí na měřeném odporu
 I_x proud procházející měřeným odporem

Pro tuto metodu je nutné použití dvou měřicích přístrojů: V-metru a A-metru.

Lze použít dvě následné varianty zapojení:

- Varianta zapojení s voltmetrem před ampérmetrem. Toto zapojení volíme, pokud předpokládáme, že měřený odpor R_x bude mnohonásobně větší než odpor ampérmetru R_A . ($R_x \gg R_A$)

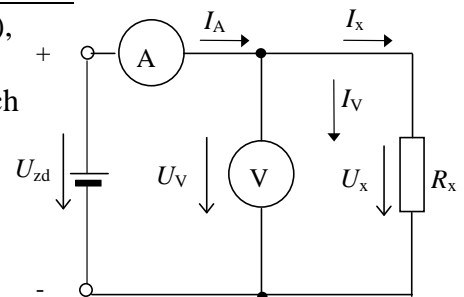
$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_V - U_A}{I_x} \quad [\Omega; V, A]$$



Obr. 5.12 Ohmova metoda měření odporu (voltmetr před ampérmetrem)

- Varianta zapojení s ampérmetrem před voltmetrem. Toto zapojení volíme pro měření odporů (R_x), srovnatelných s odporem použitého rozsahu ampérmetru, případně mnohonásobně menších než vnitřní odpor R_V použitého voltmetru. ($R_V \gg R_x$)

$$R_x = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x}{I_V + I_x} \quad [\Omega; V, A]$$



Obr. 5.13 Ohmova metoda měření odporu. (ampérmetr před voltmetrem)

c) Srovnávací metoda

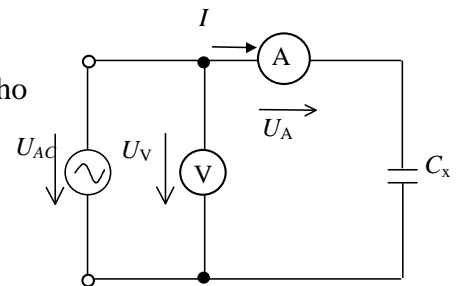
Metoda je založena na porovnávání měřeného odporu se známým (referenčním) odporem R_N .

5.4.6. Měření kapacity:

Jedním ze způsobů měření kapacity je zapojení kapacity v obvodu s **voltmetrem a ampérmetrem**. Na zdroj střídavého napětí U_{AC} o známém kmitočtu f je připojen měřený kondenzátor a měří se proud I a napětí U_V . Tato metoda využívá Ohmův zákon.

$$C_x = \frac{I}{\omega \cdot U} \quad [\text{F}; A, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, V]$$

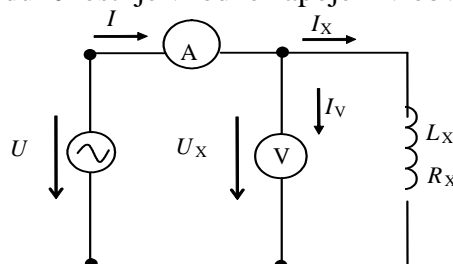
$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]; \quad \text{úhlová rychlost}$$



Obr. 5.14. Měření kapacity voltmetrem a ampérmetrem

5.4.7 Měření vlastních indukčností:

Pro měření vlastní indukčnosti je vhodné zapojení v obvodu s **voltmetrem a ampérmetrem**.



Pomocí této metody měříme proud a napětí neznámé indukčnosti. Zapojení se volí podle velikosti impedance cívky a odporů použitých přístrojů. Změřením proudu a napětí určíme absolutní hodnotu impedance cívky.

$$Z_x = \frac{U_x}{I} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}]$$

$$Z_x = \sqrt{R_x^2 + \omega^2 \cdot L_x^2} \quad [\Omega; \Omega, \text{rad.s}^{-1}, \text{H}]$$

Činný odpor cívky R_x se změří záměnou střídavého zdroje napětí U_{AC} za stejnosměrný zdroj napětí U_{DC} , nebo ohmetrem.

$$R_x = \frac{U_{DC}}{I} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}]$$

Tato metoda není vhodná pro měření parametrů cívek, které budou provozovány při vysokých kmitočtech. Vlastní indukčnost cívky je

$$L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_x^2 - R_x^2} \quad [\text{H}; \text{rad.s}^{-1}, \Omega, \Omega]$$

nebo

$$L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U_x^2}{I^2} - R_x^2} \quad [\text{H}; \text{rad.s}^{-1}, \text{V}, \text{A}, \Omega]$$

Tato metoda je výhodná pro měření vzduchových cívek při nízkém kmitočtu.

5.5. Měření neelektrických veličin elektrickými metodami

5.5.1. Podle **druhu snímané neelektrické veličiny** se rozlišují snímače:

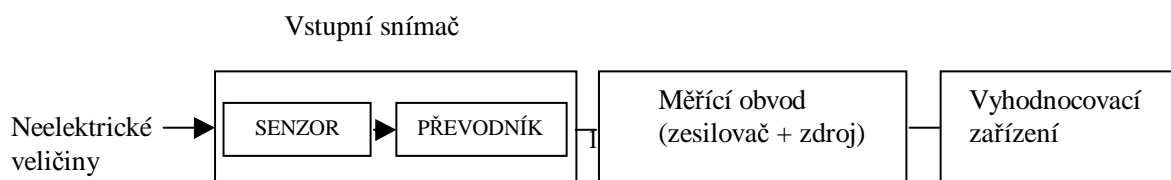
- mechanických veličin* (např. poloha, rychlost, otáčky, síla, moment..)
- tepelných veličin* (např. teplota, tepelný tok ..)
- magnetických veličin* (např. elektromag. indukce, intenzita elektromag. pole ..)
- radiačních veličin* (např. intenzita viditelného, infračerveného a ultrafialového záření)
- chemických veličin* (např. pH, koncentrace, vlhkost ..)

Pro měření neelektrických veličin se využívá fyzikálních vlastností a jevů, umožňujících převod neelektrických veličin na elektrický signál.

Tento signál se používá k dalšímu vyhodnocení nebo jako akční veličina (např. v automatizovaných provozech).

Výhodou elektrického měření neelektrických veličin jsou velká citlivost, velká přesnost, velká rychlost přenosu informace elektrického signálu, snadný přenos informace elektrického signálu (bezdrátový přenos, satelit, rádio), snadné zpracování signálu (pro indikaci signálu na displeji, registrace signálu).

Nevýhodou mohou být větší pořizovací náklady.



Vstupní snímač umožňuje přeměnu neelektrické veličiny na elektrický signál.

5.5.2. Podle využívaného fyzikálního jevu nebo principu snímání, který určuje druh výstupního signálu senzoru rozlišujeme snímače na:

- a) odporové
- b) kapacitní
- c) transformátorové
- d) indukčnostní
- e) indukční
- f) piezoelektrické
- g) optoelektronické
- h) vibrační
- i) magnetoelastické
- j) magnetoelektrické
- k) termoelektrické a další

5.5.3 Podle chování snímané neelektrické veličiny na výstupu senzoru rozdělujeme snímače:

a) Generátorové (aktivní):

Aktivní snímače umožňují přímý převod měřené neelektrické veličiny na elektrickou energii bez pomocného zdroje energie. Při působení snímané veličiny se snímač chová jako zdroj elektrické energie. Výstupní signál snímače (napětí, proud, náboj) se v měřicím obvodu zesílí a upraví na vyhodnocení ve vyhodnocovacím zařízení.

b) Modulační (pasivní):

Působením snímané veličiny na senzor se mění některý z parametrů senzoru (např. odpor R , indukčnost L , kapacita C , popř. i stav kontaktu). Musíme dodat zdroj elektrické energie.

5.5.4. Rozdělení sensorové techniky podle vývojových stupňů

a) **První generace senzorů**

Využívá různé makroskopické principy např. elektromechanický princip (odporový kontaktní snímač, potenciometrický snímač polohy, elektrodynamický snímač vibrací) elektrochemický (rtuťová elektroda), mechanický (dilatační snímač, kontaktní snímač vibrací). Jejich vývoj je prakticky ukončený.

b) **Druhá generace senzorů**

Využívá elektronické jevy v tuhých látkách a plynech, např. magnetostrikční jev, piezoelektrický jev, povrchové akustické vlny, nárazovou ionizaci apod. Vyznačují se větší citlivostí, menšími rozměry a hmotností.

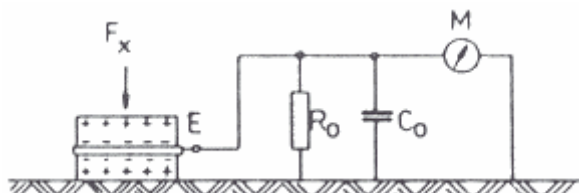
c) **Třetí generace senzorů**

Využívá působení snímané veličiny na optický světelný paprsek. Patří sem např. optické vláknové senzory. Optické senzory mají malé rozměry, jsou odolné proti elektromagnetickému rušení, mohou přenášet velkou šíři pásma signálu, umožňují přenos na velké vzdálenosti.

5.5.5. Základní principy vybraných snímačů neelektrických veličin

a) **Piezelektrické snímače**

Piezelektrický snímač využívá pro převod neelektrického signálu na elektrický piezelektrického jevu. Uvnitř piezelektrického materiálu s dipólovou strukturou (např. krystal křemíku SiO_2), vzniká vlivem mechanických deformací elektrická polarizace. V důsledku této polarizace se na přiložených elektrodách objeví elektrický náboj, úměrný síle, způsobující deformaci krystalu.



Obr. 5.17. Piezelektrický snímač při měření síly

Piezelektrické snímače se používají např. pro měření tlaků, tlakové síly, zrychlení, relativní deformace, mechanického napětí atd.

b) **Termoelektrické snímače (termočlánky)**

Princip měření pomocí termočlánků je založen na využití Seebeckova jevu. *Funkční částí termoelektrického článku jsou dva vodiče z různých kovů, na jednom měřicím konci spolu vodiče spojené. Jestliže je měřicí konec článku ohřátý na teplotu odlišnou od teploty druhého, srovnávacího konce, vzniká na termoelektrickém článku termoelektrické napětí.*

Termočlánky se používají pro měření teploty.

Druhy termoelektrických článků jsou například *měď – konstantan*, označení T (teplotní rozsah měření je -200°C až $+400^\circ\text{C}$); *železo – konstantan*, označení J (teplotní rozsah měření je -200°C až $+700^\circ\text{C}$) atd.

c) **Odporové snímače**

Převádí měřenou neelektrickou veličinu na změnu elektrického odporu. Hlavní výhodou je jednoduchost.

Z hlediska převodu rozdělujeme odporové snímače na:

- **Kontaktové snímače**
Ke změně odporu dochází skokem, přepnutím kontaktu. Přesnost, spolehlivost a dobu života ovlivňují materiál, konstrukce a provedení kontaktů.
Používají se pro snímání posunu
- **Potenciometrické snímače**
Mají pohyblivý kontakt potenciometru spřažený s měřenou veličinou lineárním a nebo úhlovým posunem. Potenciometry na měření lineárního posunu jsou nejčastěji z odporového drátu, který je navinutý na kostře. Po drátu se pohybuje běžec potenciometru a tím se mění odpor. Používají se pro snímání posunu úhlu.
- **Tenzometrické snímače**
Jejich princip je založený na tom, že odpor R kovového drátu roste, když zvětšujeme jeho délku l . Velikost změny odporu je závislá na geometrických rozměrech a na vlastnostech materiálu.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega; \Omega \cdot \text{m}, \text{m}, \text{m}^2]$$

R	odpor materiálu	$[\Omega]$
ρ	rezistivita	$[\Omega \cdot \text{m}]$

S	plocha průřezu materiálu	$[m^2]$
l	délka materiálu	$[m]$

Relativní změnu odporu získáme ze vztahu

$$\ln R = \ln \rho + \ln l - \ln S$$

jeho derivací rovnice dostaneme vztah pro malé změny odporu

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S}$$

$$\frac{dR}{R} = K \cdot \frac{dl}{l}$$

K se nazývá součinitel deformační citlivosti.

Odpor tenzometru je teplotně závislý, proto je nutné teplotu kompenzovat!

Tenzometry se používají např. pro měření relativní deformace, zrychlení, hmotnosti, nebo momentu a kroutícího momentu.

□ Odporové tepelné snímače

Vyrábí se ze základních materiálů, jako jsou platina, stříbro, zlato a jiné. Tyto snímače využívají principu změny odporu při změně teploty, který vychází ze vztahu:

$$R_2 = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

R_2	odpor při vyšší teplotě	$[\Omega]$
R_0	odpor při vztažné teplotě	$[\Omega]$
$\Delta \vartheta$	rozdíl teplot	$[^{\circ}C]$
α	teplotní součinitel odporu (v tabulkách)	$[K^{-1}]$

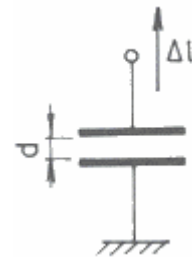
(pro hliník (Al) je $\alpha_{Al} = 0,004 K^{-1}$; pro měď (Cu) je $\alpha_{Cu} = 0,0042 K^{-1}$)

Odporové tepelné snímače se používají pro měření teploty.

d) **Kapacitní snímače**

Kapacitní snímače neelektrických veličin mají tvar válcového nebo deskového kondenzátoru s proměnnou plochou S , proměnlivou vzdáleností elektrod d , nebo se změnou permitivity ε :

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \quad [F; F \cdot m^{-1}, m^2, m]$$



Používají se zpravidla pro měření hladiny, vlhkosti, koncentrace, pro snímání úhlu, relativní deformace, atd.

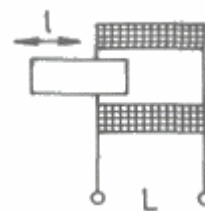
Obr. 18 Princip kapacitního snímače pro měření posunu Δl

e) **Indukčnostní snímače**

Indukčnostní snímače převádějí neelektrickou veličinu na změnu indukčnosti. Indukčnost cívky L s N závitů má hodnotu:

$$L = \frac{N^2}{R_m} \quad [\text{H}; -, \text{H}^{-1}]$$

R_m magnetický odpor
 N počet závitů cívky



Obr. 19 Princip indukčnostního snímače.

Indukčnostní snímače se používají např. pro snímání posunu, dráhy, sklonu a náklonu, nebo zrychlení.

f) **Fotoelektrické snímače**

Používají prvky, které jsou citlivé na osvětlení. V současné době se používají odporové a hradlové fotodiody a fototranzistory.

Tyto snímače se dají použít například při určování polohy, rychlosti, otáček, posunu, hladiny, atd.

POZNÁMKA

Další podněty a informace k výše uvedenému tématu lze získat na přednáškách předmětu ELEKTROTECHNIKA I., konzultací s vyučujícími, samostudiem doporučené, resp. jiné odborné literatury, či zdrojů.