

## **5. ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ**

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

**Leden 2006**

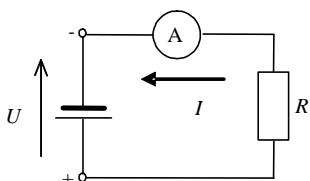
**Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.**  
**Doc. Ing. Václav Vrána, CSc.**  
**Ing. Jan Vaňuš**

# Elektrické 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.



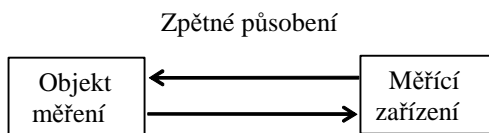
obr .5.1. Příklad měření el. proudu

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.

### 5.1.1. Elektrické měření obsahuje:

- Objekt měření - zjišťujeme jednu nebo více měřených veličin,
- Metoda měření – v souladu s odpovídajícím fyzikálním zákonem.
- Měřicí zařízení - zjištění hodnoty měřené veličiny



Obr. 5.2. Obecný příklad elektrického měření.

### 5.1.2. Rozdělení elektrického měření podle účelu:

- Laboratorní měření - hledají a ověřují se fyzikální vlastnosti a jevy
- Technické měření - hodnocení, zkoušení, prověřování různých elektrických zařízení (například motory).
- Provozní měření - průběžně se sleduje popř. řídí výrobní proces

### 5.1.3. Základní zásady a pojmy

#### a) Měření s ručkovými měřicími přístroji

- výchylku ručky se odečítá při pohledu kolmo na přístroj
- výchylka by měla být pokud možno ve třetí třetině rozsahu přístroje (zajistíme změnou rozsahu měřícího přístroje)
- zjistí se celkový počet dílků na stupnici  $\alpha_c$  a rozsah přístroje  $r$
- na stupnici MP se odečte výchylka  $\alpha$ , odpovídající hodnotě změřené veličině
  - vypočte se konstanta  $k$  přístroje  $k = r / \alpha_c$

- hodnota měřené veličiny, např. při měření napětí  $U$ , se určí  $U = k \cdot \alpha$
- **provozní poloha** měřícího přístroje je výrobcem předepsaná poloha, ve které je zaručená třída přesnosti.
- **příklady značek, vyskytujících se na ručkových měřících přístrojích (MP).**

— MP pro měření stejnosměrného proudu

~ MP pro měření střídavého proudu

⌋ MP pro měření stejnosměrného (DC) a střídavého (AC) proudu

1,5 ; 0,5; 0.2 třídy přesnosti MP v %

⊥ MP je určen pro svislou polohu

⌌ MP je určen pro vodorovnou polohu

∠60° MP je určen pro šikmou polohu 60° k vodorovné rovině

⊥ MP značka uzemňovací svorky



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

## b) Měření s digitálními měřícími přístroji

Většinou se jedná o multifunkční MP (tzv. multimetry) s možnostmi měření více veličin. Parametry přístroje a návod k použití bývá uveden v průvodní dokumentaci.

## 5.2. Elektrické měřící přístroje (EMP)

### 5.2.1. Rozdělení elektrických měřících přístrojů podle použití:

- a) Základní (normály)
- b) Provozní
- c) Informativní (nelze použít k prokazování shody)

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




- a) **Analogové** měřící přístroje - určeny pro vyjádření nebo zobrazení výstupní informace jako spojitě funkce měřené veličiny.
- b) **Číslicové** (digitální) měřící přístroje - měřená veličina se na vstupu převádí v A/D převodníku na v číslicovém tvaru.
- c) **Ukazovací** měřící přístroje - zobrazuje kdykoliv hodnotu měřené veličiny bez jejího zaznamenávání.
- d) **Zapisovací** (měřící) přístroj - zapisuje na nosič informace odpovídající hodnotě měřené veličiny.

#### 5.2.4. Ručkové měřicí přístroje

Podle druhu použitého měřicího systému, který je označen na stupnici, bývají tyto přístroje přednostně doporučovány k měření daného druhu veličin.


- a) **Magnetoelektrické** měřicí přístroje (m.e.) se nazývají se také deprezské měřicí přístroje nebo přístroje s otočnou cívkou.

Značky:

-  magnetoelektrický přístroj
-  magnetoelektrický přístroj s usměrňovačem
-  magnetoelektrický přístroj s termočlánkem

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 termočlánkem. Stupnice těchto přístrojů je cejchovaná v **efektivních hodnotách**.



- b) **Elektromagnetické měřicí přístroje** ,Někdy se nazývají plíškové nebo feromagnetické

Značka: 

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.

- c) **Elektrodynamické** měřicí přístroje

Značka:

-  elektrodynamický měřicí systém
-  ferodynamický měřicí systém

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

#### 5.2.5 Ostatní měřicí přístroje

- **Číslicové (digitální) měřicí přístroje**

Analogové elektrické signály se převádějí v číslicových měřicích systémech do číslicové formy. Výhodami jsou vyšší přesnost měření ve srovnání s elektromechanickými měřicími přístroji, odpadá chyba nepřesným odečítáním, vyšší mechanická odolnost, možnost připojení přímo na PC.

- **Osciloskop** - je přístroj, určený k zobrazení časových průběhů prakticky všech druhů signálů (stejnosměrné i střídavé periodické průběhy). Pomocí osciloskopu lze zjistit maximální hodnotu (amplitudu) nebo mezi vrcholovou hodnotu (rozkmit) signálu. Obvod časové základny osciloskopu zajišťuje pohyb měřeného signálu na obrazovce.
- **Oscilograf** je přístroj určený k zapisování časových průběhů naměřených veličin. 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 všechny činnosti měřícího přístroje. Významnou roli zde hraje tzv. vývojové prostředí umožňující pohodlné a poměrně snadné vytváření vlastního software. Známa 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 změny vlastností MP změnou programu, flexibilita přístroje pro různá měření.

### 5.3. Měření elektrických veličin

#### 5.3.1 Měření elektrického napětí

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

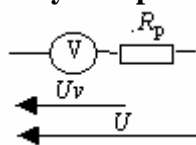
Značka voltmetru



Voltmetry pro střídavá napětí měří ustálené střídavé napětí, které se charakterizuje efektivní hodnotou napětí. Stupnice elektromechanického přístroje je cejchována v **efektivních hodnotách**.

Změna měřícího rozsahu voltmetru se provádí:

##### □ **Předřadným odporem $R_p$**



Měřené napětí  $U_V$  se zmenší na napětí přiváděné na napětí přiváděné na měřicí systém  $U$  podle vztahu pro napěťový dělič:

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

Obr. 5.3. Princip voltmetru

$R$  hodnota odporu měřícího systému,  
 $R_p$  hodnota předřadného odporu

- **Měřícím transformátorem napětí** - slouží ke změně rozsahu voltmetrů pro střídavá napětí síťového kmitočtu.

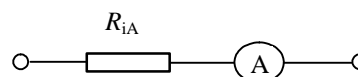
#### 5.3.2 Měření elektrického proudu

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

Značka ampérmetru:



Náhradní schéma

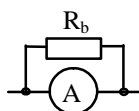


Obr. 5.4.

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

Změna měřícího rozsahu ampérmetru se provádí:

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



Obr. 5.5 Ampérmetr s bočníkem

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

### Měřícím transformátorem proudu,

Měřící transformátor proudu slouží ke změně rozsahu ampérmetrů pro střídavé proudy síťového kmitočtu.

### 5.3.3 Měření elektrického výkonu

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

Značka wattmetru:

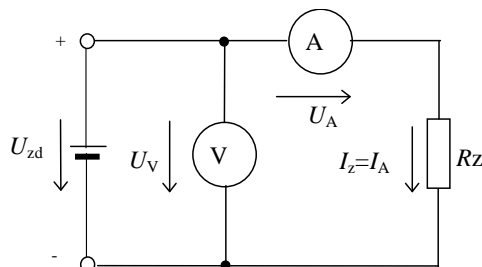


Výkon na spotřebiči v zapojení el. obvodu se střídavým nebo stejnosměrným zdrojem napětí lze určit pomocí nepřímé nebo přímé metody:

#### a) Nepřímá metoda

Napětí se změří voltmetrem a proud, protékající obvodem 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 obvodě, pokud víme, že  $\cos \varphi = 1$ . (tzn. v el. obvodu je zapojen pouze odporový bezindukční spotřebič).



Obr. 5.7. Nepřímá metoda měření výkonu

#### Měření zdánlivého výkonu ve střídavých obvodech

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

Platí vztah  $S = U \cdot I$

[VA, V, A]

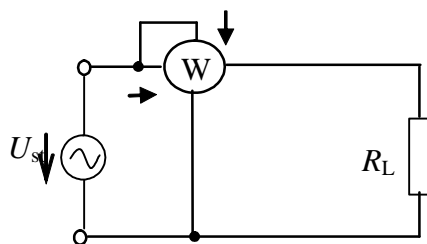
#### b) Přímá metoda

##### Měření činného výkonu:

Pro měření jednofázového 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) je zapojen jako ampérmetr a napěťový měřící obvod (napěťová cívka) jako voltmetr .



Obr.5.8. Příklad zapojení W-metru v el. obvodu.

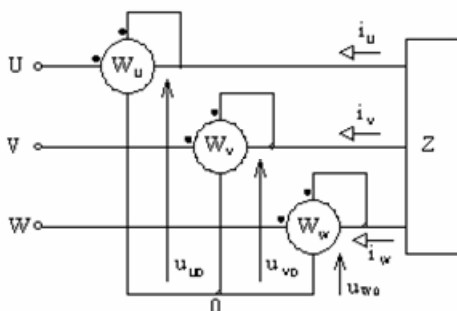
Při měření výkonu je nutné dát pozor na přetížení wattmetru. Výchylka wattmetru  $\alpha$  je úměrná činnému výkonu  $P$ :

$$\alpha = \frac{P}{k_w} = \frac{U \cdot I \cdot \cos \varphi}{k_w} \quad k_w \quad \text{konstanta wattmetru}$$

Výchylka  $\alpha$  je tedy úměrná proudu  $I$ , napětí  $U$ , ale také fázovému posunu  $\varphi$ . Wattmetr lze přetížit, aniž by ručička dosáhla maximální výchylky.

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. 5.9. Zapojení se třemi jednofázovými wattmetry metry

#### Měření jalového výkonu:

Z definice jalového výkonu  $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \cos(\pi/2 - \varphi)$  [var, V, A] vyplývá, že jalový výkon lze měřit přímou metodou pomocí var - metru (W-metru, zapojeného tak, že napětí je posunuto  $90^\circ$ ).

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

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

#### **5.3.4. 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:  $W = \int_0^t u(t) \cdot i(t) dt$

Pro neměnné hodnoty proudu a napětí  $W=U.I.t$

[J, V, A, 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 mezipřevodu výkonu na mechanickou otáčivou rychlost a jejich integrátory jsou dekadická počítadla otáček. Používají se hlavně v energetice.
- **Elektronické** elektroměry  
Výhodou elektronických elektroměrů je například možná komunikace elektroměrů (přes optická rozhraní, rozhraní RS232, RS 485.).

### 5.3.5 Měření odporu

#### 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) **Měření pomocí tzv. Ohmovy metody .**

Využívá Ohmova zákona, podle kterého je měřený odpor

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

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

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

## 5.4. Měření neelektrických veličin elektrickými metodami

### 5.4.1. Podle druhu snímané neelektrické veličiny se rozlišují snímače:

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

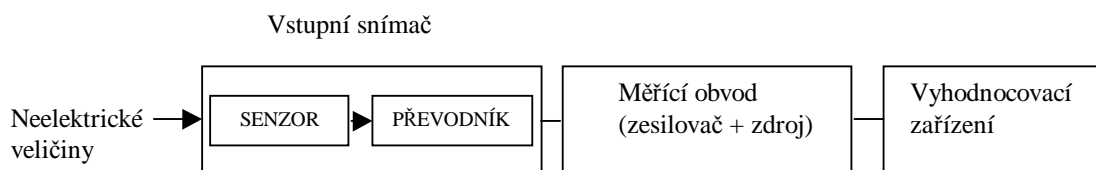
Pro měření neelektrických veličin se využívá fyzikálních vlastností a jevů, umožňujících převod neelektrických veličin na elektrický signál.

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.





Obr. 5.10. Blokové schéma způsobu převodu neelektrické veličiny na elektrickou veličinu

Vstupní snímač umožňuje přeměnu neelektrické veličiny na elektrický signál.

**5.4.2.** 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

**5.4.3** 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 měřícím 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.