

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



ELEKTROTECHNIKA - TEORIE

Elektrická měření

Ing. Jan Vaňuš Ph.D.

Ing. Roman Hrbáč Ph.D.

Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Jan Vaňuš Ph.D., Ing. Roman Hrbáč Ph.D., Ing. Tomáš Mlčák Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3049-0



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

6	ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ	3
6.1	Úvod.....	4
6.1.1	Elektrické měření obsahuje:	4
6.1.2	Rozdělení elektrického měření podle účelu:	5
6.1.3	Základní pojmy	5
6.2	Chyby měření.....	6
6.2.1	Podle způsobu výskytu chyby rozeznáváme	7
6.2.2	Podle příčiny vzniku chyby rozeznáváme.....	7
6.3	Elektrické měřicí přístroje	8
6.3.1	Rozdělení měřicích přístrojů podle použití:	8
6.3.2	Rozdělení elektrických měřicích přístrojů podle snímání a zobrazení výstupní veličiny:	8
6.3.3	Rozdělení elektrických měřicích přístrojů podle způsobu odečítání:	8
6.3.4	Rozdělení nejčastěji používaných ručkových měřicích přístrojů dle principu funkce:.....	8
6.3.5	Ostatní měřicí přístroje	11
6.4	Měření elektrických veličin	12
6.4.1	Měření elektrického napětí U	12
6.4.2	Měření elektrického proudu I	13
6.4.3	Měření elektrického výkonu.....	14
6.4.4	Měření elektrické energie.....	17
6.4.5	Měření odporu.....	18
6.4.6	Měření kapacit C :.....	19
6.4.7	Měření vlastních indukčností L :	20
6.5	Měření neelektrických veličin elektrickými metodami.....	20
6.5.1	Podle druhu snímané neelektrické veličiny se rozlišují snímače:	21
6.5.2	Podle využívaného fyzikálního jevu nebo principu snímání, který určuje druh výstupního signálu senzoru rozlišujeme snímače na:	21
6.5.3	Podle chování snímané neelektrické veličiny na výstupu senzoru rozdělujeme snímače:.....	21
6.5.4	Rozdělení senzorové techniky podle vývojových stupňů	22
6.5.5	Základní aplikace vybraných snímačů neelektrických veličin	22
6.6	Literatura	27



6 ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ



OBSAH KAPITOLY:

Úvod,
Chyby měření,
Elektrické měřicí přístroje,
Měření elektrických veličin,
Měření neelektrických veličin.

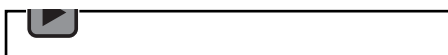


MOTIVACE:

V každodenním životě se setkáváme s požadavky na měření elektrických i neelektrických veličin. Příkladem měření neelektrických veličin je např. venkovní teplota, teplota v místnosti, množství spotřebované vody v domě, množství spotřebovaného plynu pro vytápění atd. V současné době je kladen důraz na úspory energií nejen v budovách, což se zjištěním neboli měřením jednotlivých neelektrických veličin úzce souvisí. Příkladem měření elektrických veličin může být například měření množství spotřebované elektrické energie, měření výkonu, měření napětí a proudu. V následujícím textu jsou popsány definice, jednotlivé principy měření, základní rozdělení snímačů a způsobů provádění měření elektrických a neelektrických veličin.



Audio 6.1 Motivace



CÍL:

Základní rozdělení způsobů měření elektrických veličin, chyby měření,
rozdělení elektrických měřicích přístrojů, použité značky,
způsoby měření elektrické energie a základních elektrických veličin (napětí,
proud, výkon, odpor, kapacita, indukčnost),
základní principy a metody měření neelektrických veličin.

6.1 ÚVOD

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.

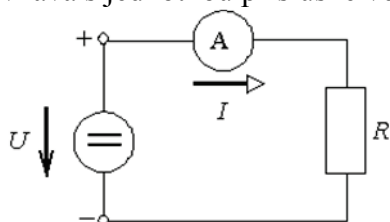


Audio 6.2 Úvod



Elektrické měření je měření elektrických veličin (např. napětí U nebo proudu I) a měření neelektrických veličin (např. tlaku, teploty, rychlosti) s využitím elektrických měřicích prostředků. Neelektrické fyzikální veličiny lze poměrně snadno převést na elektrické veličiny, tedy na elektrické signály, které jsou nositeli informace.

Velikost, popř. číselnou hodnotu měřené veličiny určíme pomocí měřicího přístroje (MP), který měřenou veličinu porovnává s jednotkou příslušné veličiny.



Obr. 1 Příklad měření el. proudu I

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

6.1.1 Elektrické měření obsahuje:

- Objekt měření

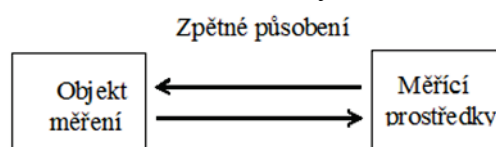
U objektu, na kterém provádíme měření, zjišťujeme jednu nebo více měřených veličin, např. proud I nebo napětí U . Jestliže zjišťujeme hodnotu neelektrické veličiny, je nutné ji převést vhodným snímačem na elektrickou veličinu (např. měření teploty, tlaku, atd.).

- Metoda měření

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

- Měřicí prostředky

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



Obr. 2 Obecný příklad elektrického měření.



6.1.2 Rozdělení elektrického měření podle účelu:

- Laboratorní měření

Těmito měřeními se hledají a ověřují fyzikální vlastnosti a jevy.

- Technická měření

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

- Provozní měření

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

6.1.3 Základní pojmy

a) Způsob odečítání měřené hodnoty z analogových měřicích přístrojů

- výchylka ručky se odečítá při pohledu kolmo na přístroj,
- výchylka by měla být pokud možno ve třetí třetině rozsahu přístroje (zajistíme změnou rozsahu měřicího přístroje),
- zjistí se celkový počet dílků na stupnici α_c ,
- zjistí se rozsah přístroje r ,
- na měřicím přístroji se odečte výchylka α , která odpovídá hodnotě změřené veličiny,

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

- vypočte se konstanta k přístroje

- určí se hodnota měřené veličiny, např. při měření napětí U :

$$U = k \cdot \alpha$$

- citlivost c přístroje se určí ze vztahu

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

b) **Zkušební napětí měřicího přístroje** – je to napětí, kterým se zkouší elektrická pevnost izolace přístroje. Zaručuje se tím bezpečnost práce s přístrojem.

c) **Vlastní spotřeba** měřicího přístroje je příkon potřebný na plnou výchylku ručičky. Udává se ve wattech [W], u některých přístrojů ve voltampérech [VA].

d) **Přetížitelnost** měřicího přístroje je násobek jmenovité hodnoty proudu nebo napětí, který nezničí přístroj.

e) **Provozní poloha** měřicího přístroje je výrobcem předepsaná poloha, ve které je zaručená třída přesnosti. Provozní poloha může být vodorovná, svislá, šikmá, popř. s udáním úhlu vůči vodorovné podložce.

Tab.1. Příklady značek, vyskytujících se na měřicích 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,





MP je určen pro svislou polohu,



MP je určen pro vodorovnou polohu,



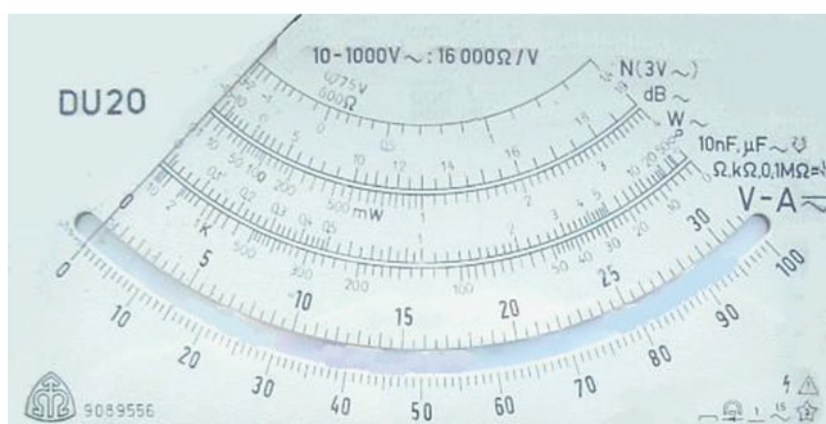
MP je určen pro šikmou polohu 60° k vodorovné rovině,



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.



Obr. 3 Stupnice analogového měřicího přístroje DU 20.

6.2 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.

Nejprve 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 $\delta\%$**

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

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 .

6.2.1 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. Tyto vlivy se vyskytují zcela náhodně.

6.2.2 Podle příčiny vzniku chyby rozeznáváme

a) Chyba **metody měření**

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

b) Chyba **měřicího zařízení**

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

- Chyba analogových měřicích 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: $\delta_p = 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5$.

Největší absolutní chyba měření ΔX , kterou lze očekávat při měření s přístrojem třídy přesnosti δ_p je

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

$\pm \Delta X$ absolutní chyba měření

α_m maximální výchylka

δ_p třída přesnosti

- Chyba číslicových měřicích přístrojů

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

c) Chyba **použitých elementů**

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

d) Chyby **způsobené rušivými vlivy**

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

e) Chyby **čtení**

Jsou způsobeny pozorovatelem, který čte údaje měřicích přístrojů.



Pro vyjádření přesnosti měření použijeme celkovou chybu měření. Celková chyba měření je součtem většího počtu různých dílčích chyb, uvedených výše.

6.3 ELEKTRICKÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

6.3.1 Rozdělení měřicích přístrojů podle použití:

- Etalon je měřidlo, které slouží k realizaci a uchování měřicí jednotky.
- Stanovená měřidla jsou měřidla stanovená Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví k povinnému ověřování.
- Pracovní měřidla nejsou ani etalonem ani stanoveným měřidlem a lze je využít k prokázání shody produktu s určenými požadavky.
- Informativní měřidla slouží pouze pro účely výuky. **Nelze je využít k prokázání shody produktu s určenými požadavky!**

6.3.2 Rozdělení elektrických měřicích přístrojů podle snímání a zobrazení výstupní veličiny:

- Analogové** měřicí přístroje
Jsou určené pro vyjádření nebo zobrazení výstupní informace jako spojitě funkce měřené veličiny.
- Číslicové** (digitální) měřicí přístroje (viz obr. 6)
Měřená veličina je na vstupu převáděna na diskrétně kódované signály vyjádřené na výstupu nebo na displeji v číslicovém tvaru. Základem je převodník analogové veličiny na digitální (A/D převodník).
- Ukazovací** měřicí přístroje
Tento měřicí přístroj zobrazuje kdykoliv hodnotu měřené veličiny bez jejího zaznamenávání.
- Zapisovací** (měřicí) přístroj
Zapisuje na nosič informace odpovídající hodnotě měřené veličiny.

6.3.3 Rozdělení elektrických měřicích přístrojů podle způsobu odečítání:

- Ručkové
- Registrační
- Vibrační, světelné
- Číslicové (základem je A/D převodník)

6.3.4 Rozdělení nejčastěji používaných ručkových měřicích přístrojů dle principu funkce:

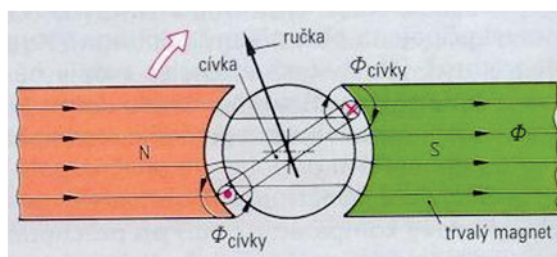
- Magnetoelektrické** měřicí přístroje (m.e.)
Nazývají se také deprezské měřicí přístroje nebo přístroje s otočnou cívkou.

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 momentu, který působí proti akčnímu silovému momentu měřicího systému. Cívka je spojena s ukazovací ručkou, jejíž směr vychýlení závisí na smyslu protékajícího proudu (viz obr. 4).



Obr. 4 Princip soustavy s otočnou cívkou.

Výchylka je úměrná střední hodnotě procházejícího proudu. Stupnice je rozdělená rovnoměrně. 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 termočlánkem. Stupnice těchto přístrojů je cejchovaná v **efektivních hodnotách**.

Výhodou magnetoelektrických měřicích přístrojů je velká citlivost, velká přesnost a velká přetížitelnost.

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 .

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

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.

c) Elektrodynamické měřicí přístroje

Značky:





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



Obr. 5 Ferodynamický wattmetr EL 20.

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 (napětová) 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). Příkladem může být jazýčkový kmitoměr.

6.3.5 Ostatní měřicí přístroje

a) Číslicové (digitální) měřicí přístroje

Přirozené analogové elektrické signály se převádějí v číslicových měřicích systémech do číslicové formy. Výhodou je vyšší přesnost měření ve srovnání s elektromechanickými měřicími přístroji, odpadá chyba nepřesným odečtením polohy ukazovací ručky, jsou méně náchylné na mechanické poškození než analogové přístroje. Jsou také levnější a ve speciálních případech je možné připojit digitální měřicí přístroje přímo na PC.

Většinou se jedná o multifunkční MP (tzv. multimetry viz obr.6) s možností měření více veličin (např. napětí, proud, odpor). Parametry přístroje a návod k použití bývá uveden v průvodní dokumentaci.



Obr. 6 Digitální multimetr
Metex M-3800.

b) Registrační měřicí přístroje

Zaznamenávají průběh měřené veličiny na pohyblivý pás papíru. Jsou to přístroje, určené pro nepřerušovanou kontrolu provozních veličin.

c) Osciloskop

Je 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.

Značka osciloskopu:



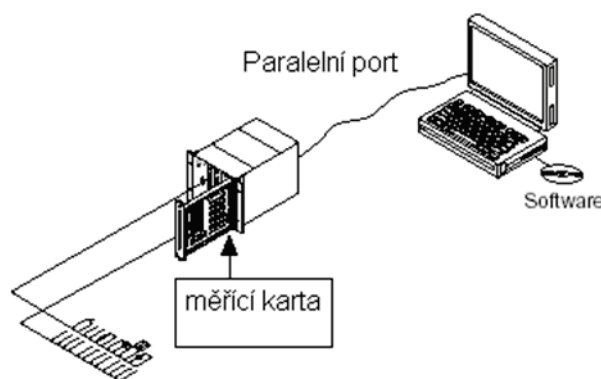
d) Oscilograf

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

e) 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 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 propojení MP s počítačem přes tzv. rozhraní (sériové - RS, paralelní - GPIB). Toto propojení umožňuje doplnit funkce 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 například frekvenční analyzátor. Výhodnými vlastnostmi VMP jsou nižší ceny, možnosti změn vlastností MP změnou programu a flexibilita přístroje pro různá měření.



Obr. 7 Připojení měřicí karty přes paralelní port k notebooku.

6.4 MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN

6.4.1 Měření elektrického napětí U

Přístroje určené pro měření elektrického napětí U se nazývají voltmetry. Mohou být vyrobeny jako analogové nebo číslicové měřicí přístroje. Zapojují se vždy **paralelně** k měřenému obvodu (viz obr. 12).

Značka voltmetru:



Voltmetrem měříme stejnosměrnou nebo střídavou hodnotu napětí. Změřená hodnota harmonického střídavého napětí je na voltmetru vyjádřena jako efektivní hodnota naměřeného napětí. U měřených neharmonických průběhů napětí se k jejich vyjádření používá střední hodnota napětí U_{AV} , popř. maximální hodnota napětí U_m .

Změna měřicího rozsahu voltmetru se provádí:

- **Předřadným odporem R_p**

Předřadným odporem R_p se zvětšuje měřicí rozsah voltmetru. Připojuje se do série k měřicímu ústrojí (viz obr. 8).

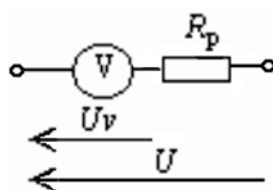
Stejnoseměrné měřené napětí U_V se zmenší na napětí měřicího systému U podle vztahu pro

$$\text{napětíový dělič: } U_V = U \cdot \frac{R}{R + R_p}$$

R hodnota odporu měř. systému

R_p hodnota předřadného odporu





Obr. 8 Princip změny rozsahu voltmetru předřadným odporem R .

- **Měřicím transformátorem napětí**

Měřicí transformátor napětí slouží ke změně rozsahu voltmetrů pro střídavá harmonická napětí síťového kmitočtu. Zároveň je určen pro galvanické oddělení měřicích přístrojů od měřeného obvodu.

- **Měřicím 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 měřicím zesilovači a teprve potom přivede na vstup měřicího systému.

6.4.2 Měření elektrického proudu I

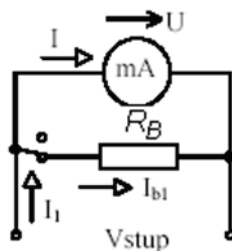
Přístroje pro měření elektrického proudu se nazývají ampérmetry. Jsou to buď analogové, nebo číslicové měřicí přístroje. Zapojují se vždy do **série** s měřeným obvodem (viz obr. 12).

Značka ampérmetru:



Ampérmetrem měříme stejnosměrnou nebo střídavou hodnotu proudu I .

Změřená hodnota harmonického střídavého proudu je ampérmetrem vyjádřena jako efektivní hodnota naměřeného proudu. U měřených neharmonických průběhů proudů se k jejich vyjádření používá střední hodnota proudu I_{AV} , popř. maximální hodnota proudu I_m .



Obr. 9 Princip změny rozsahu ampérmetru bočníkem R_B .

Změna měřicího rozsahu ampérmetru se provádí:

- **Bočníkem**

Bočník je rezistor R_B , který se připojuje paralelně k měřicímu ústrojí (viz obr. 9). Může být v měřicím přístroji zabudovaný, nebo je oddělený jako příslušenství k měřicímu přístroji.

- **Měřicím transformátorem proudu**

Měřicí transformátor proudu slouží ke změně rozsahu ampérmetrů pro střídavé proudy síťového kmitočtu. Měřicí obvod je galvanicky oddělen od měřeného obvodu.

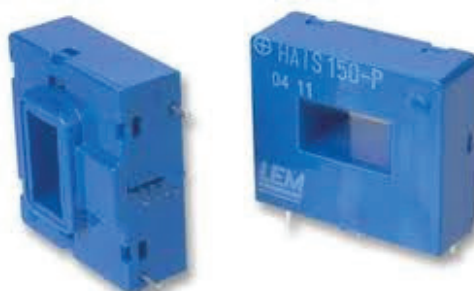




Obr. 10 Měřicí transformátory proudu.

- **Měření s využitím Hallova jevu**

Pro měření proudu se používají také moderní technologické poznatky. Příkladem mohou být čidla pro měření proudu, které vyrábí firma LEM. Tato čidla využívají pro snímání proudu princip tzv. Hallova jevu.



Obr. 11 Čidla pro měření proudu od firmy LEM.

6.4.3 Měření elektrického výkonu

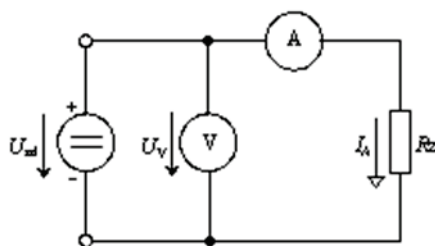
V elektrickém obvodu, který je napájený ze zdroje stejnosměrného napětí, měříme na spotřebiči hodnotu výkonu P stejnosměrného proudu. V elektrickém obvodu, který je napájený z jednofázového nebo třífázového zdroje střídavého napětí měříme na spotřebiči hodnotu:

- činného výkonu P [W],
- jalového výkonu Q [VA],
- zdánlivého výkonu S [var].

Pro určení a měření jednotlivých výkonů existuje několik různých způsobů a metod:

a) **Nepřímá metoda**

Nepřímá metoda se používá pro určení elektrického výkonu P spotřebiče v elektrickém obvodu, ve kterém je zapojen zdroj stejnosměrného napětí (viz obr. 12). Voltmetrem se změří napětí U_V a ampérmetrem proud I_A , protékající spotřebičem.



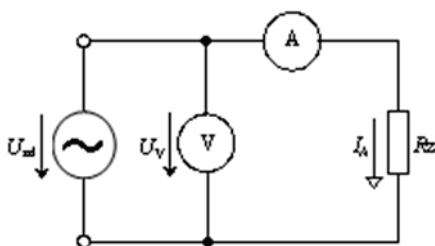
Obr. 12 Příklad zapojení měřicích přístrojů pro měření elektrického výkonu P pomocí nepřímé metody.

Elektrický výkon P stejnosměrného proudu ve spotřebiči se stanoví jako součin mezi napětím U_V na spotřebiči a proudem I_A pomocí následujícího vztahu:

$$P = U_V \cdot I_A \quad [\text{W}, \text{V}, \text{A}]$$

Jestliže je v elektrickém obvodu zapojen zdroj střídavého napětí (viz obr. 13), můžeme pomocí nepřímé metody určit zdánlivý výkon:

$$S = U_V \cdot I_A \quad [\text{VA}, \text{V}, \text{A}]$$

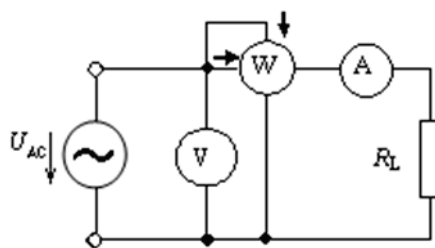


Obr. 13 Příklad zapojení měřicích přístrojů pro měření zdánlivého výkonu S a činného výkonu P pomocí nepřímé metody.

Když víme, že v elektrickém obvodu na obrázku 10 je spotřebič s odporovým charakterem ($\cos\varphi=1$), lze nepřímou metodou určit také činný výkon P .

b) Přímá metoda

Pro měření činného výkonu P spotřebiče, napájeného ze zdroje jednofázového střídavého napětí U , použijeme wattmetr, zapojený podle obr. 15.



Obr.14 Zapojení voltmetru a ampérmetru pro kontrolu přetížení wattmetru.

Při měření činného výkonu P je nutné dát pozor na přetížení wattmetru v el. obvodu. Podle následujícího vztahu je výchylka ručky wattmetru α závislá nejen na hodnotě změřeného proudu I , napětí U , ale také na fázovém posunu φ mezi měřeným proudem I a napětím U :

$$\alpha = \frac{P}{k_W} = \frac{UI \cos \varphi}{k_W}$$

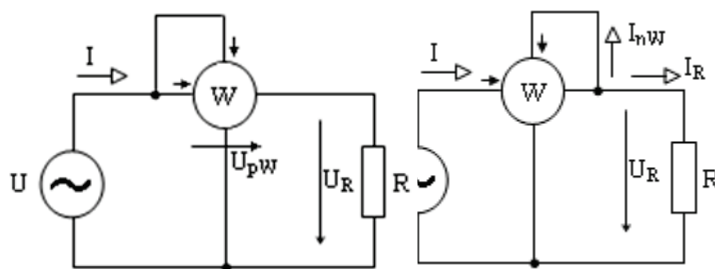
k_W konstanta wattmetru

Značka wattmetru:



Aby nedošlo k přetížení wattmetru, je nutné kontrolovat proud I a napětí U pomocí ampérmetru a voltmetru (viz obr. 14).

Pro měření výkonu přímou metodou se používá například elektrodynamický wattmetr. Budeme ho používat pro měření činného výkonu P také v laboratořích. Pro měření proudu I má wattmetr proudový měřicí obvod (proudová cívka). Pro měření napětí U má wattmetr napěťový měřicí obvod (napěťová cívka). Pevná cívka, zpravidla proudová, zapojuje se do **série** se zátěží. Otočná cívka, napěťová se připojuje **paralelně** k zátěži.

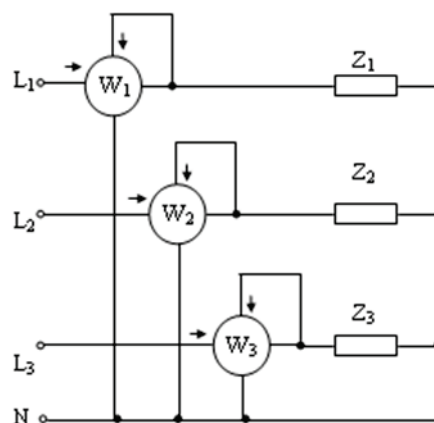


Obr.15 Příklady zapojení proudové a napěťové cívky wattmetru v el. obvodu pro měření činného výkonu P .

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

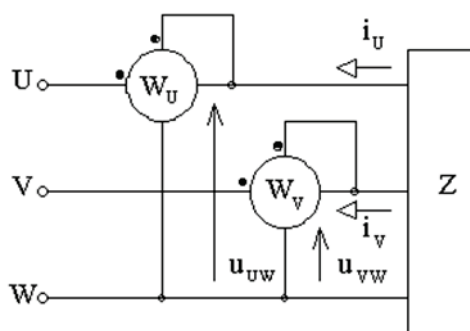
- Zapojení s jedním 1-fázovým W-metrem (souměrná zátěž). Změří se činný výkon P_W v jedné fázi a celkový trojfázový činný výkon se vypočítá podle vztahu :
 $P = 3 \times P_W$.
- Zapojení s jedním 3-fázovým W-metrem.
- Zapojení se třemi 1-fázovými W- metry (viz obr.16).





Obr.16 Příklad zapojení se třemi
jednofázovými wattmetry v obecné
čtyřvodičové 3f soustavě.

- Zapojení se dvěma W-metry (tzv. Aronovo zapojení metoda – zapojení, viz obr.17) Princip metody spočívá v měření činného výkonu P na trojfázovém spotřebiči pomocí dvou wattmetrů. Pro určení celkového trojfázového činného výkonu P se vychází z následujícího vztahu pro měřené výkony v Aronově zapojení: $P_{(3)} = P_{(wu)} + P_{(wv)}$. Průměrný výkon jedné fáze bude pro souměrnou zátěž $P_1 = P_2 = P_3 = P_{(3)}/3$.



Obr. 17 Aronovo zapojení pro měření
výkonu v 3-fázových obvodech.

Pro objasnění způsobu měření jalového výkonu Q si uvedeme následující vztah pro výpočet jalového výkonu Q :

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

Z tohoto vztahu vyplývá, že jalový výkon Q lze měřit přímou metodou pomocí var – metru (v podstatě je to W-metr, zapojený tak, že napětí má fázový posun 90°).

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

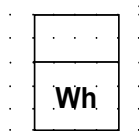
$$U^2 \cdot I^2 = P^2 + Q^2 \Rightarrow Q = \sqrt{U^2 \cdot I^2 - P^2} = \sqrt{(U \cdot I + P) \cdot (U \cdot I - P)}$$

6.4.4 Měření elektrické energie

Odběratel elektrické energie musí spotřebovanou elektrickou energii (práci) zaplatit dodavateli (elektrárně). Elektrická energii W se měří elektroměry.



Značka watthodinového elektroměru:



Pro výpočet elektrické energie platí vztah:

$$W = P \cdot t \quad [J, W, s]$$

W elektrická energie,
 P výkon,
 t čas.



Obr. 18 Příklad provedení indukčního trojfázového elektroměru.

Podle druhu proudu rozdělujeme elektroměry na:

- elektroměr na stejnosměrný proud,
- elektroměr na střídavý proud.

Podle principu činnosti rozdělujeme elektroměry na:

- **Elektromechanické** elektroměry

Indukční elektroměry (viz obr. 18) pro měření elektrické energie střídavého proudu používají indukční měřicí ústrojí. Elektrodynamické elektroměry se používají 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 RS232, 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 analyzátory elektrických sítí.

6.4.5 Měření odporu

Odpor nelze měřit přímou metodou. Existuje mnoho metod měření odporů. Nejznámější a nejrozšířenější metodou je měření odporu R pomocí ohmetrů.

Pro měření odporu lze použít i další metody:



a) **Měření odporu pomocí Ohmetru**

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

b) **Ohmova metoda**

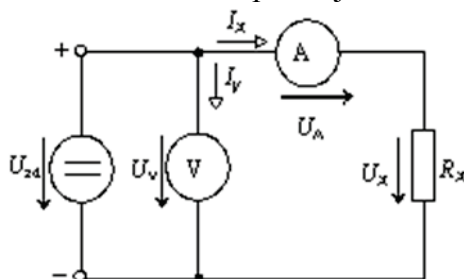
Využívá Ohmova zákona, podle kterého je měřený odpor:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} \quad [\Omega, V, A]$$

kde: U_X - úbytek napětí na měřeném odporu,

I_X - proud procházející měřeným odporem.

Pro tuto metodu je nutné použití dvou měřicích přístrojů: V-metru a A-metru (viz obr. 19).



Obr. 19 Příklad zapojení el. obvodu pro zjišťování hodnoty odporu rezistoru pomocí Ohmovy metody.

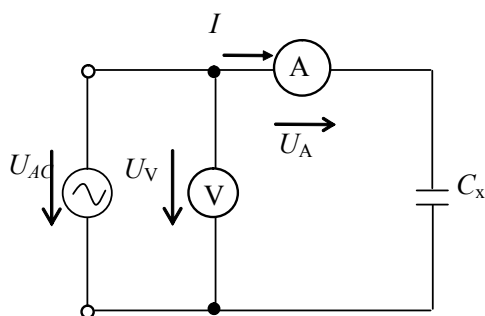
c) **Srovnávací metoda**

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

6.4.6 Měření kapacity C:

Jedním ze způsobů měření kapacity C je zapojení kondenzátoru v obvodu s **voltmetrem a ampérmetrem** (viz obr. 20). Ke zdroji střídavého napětí U_{AC} známého kmitočtu f je připojen měřený kondenzátor a měří se proud I a napětí U_V . V této metodě je využitý následující vztah:

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



Obr. 20 Měření kapacity C voltmetrem a ampérmetrem.



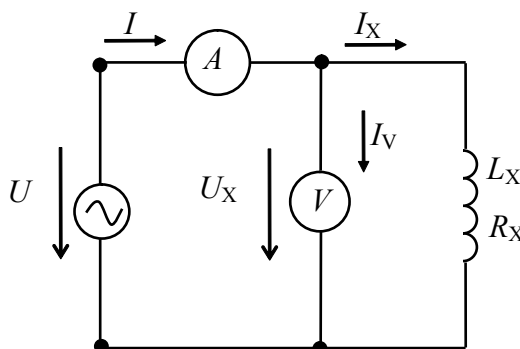
6.4.7 Měření vlastních indukčností L :

Pro měření vlastní indukčnosti L je vhodné zapojení v obvodu s **voltmetrem a ampérmetrem** (viz obr. 21). Zapojení se volí podle velikosti impedance cívky Z_X a odporů použitých přístrojů. Pomocí této metody měříme proud I_X a napětí U_X , vypočítáme velikost impedance cívky Z_X :

$$Z_X = \frac{U_X}{I} \quad [\Omega, V, A]$$

Potom můžeme odvozením následujícího vztahu určit neznámou indukčnost L_X :

$$Z_X = \sqrt{R_X^2 + \omega^2 \cdot L_X^2} \quad [\Omega, \Omega, \text{rad.s}^{-1}, H].$$



Obr. 21 Měření vlastní indukčnosti L voltmetrem a ampérmetrem.

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

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

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

$$L_X = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_X^2 - R_X^2} \quad [H, \text{rad.s}^{-1}, \Omega, \Omega]$$

nebo

$$L_X = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U_X^2}{I^2} - R_X^2} \quad [H, \text{rad.s}^{-1}, V, A, \Omega]$$

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

6.5 MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN ELEKTRICKÝMI METODAMI

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).

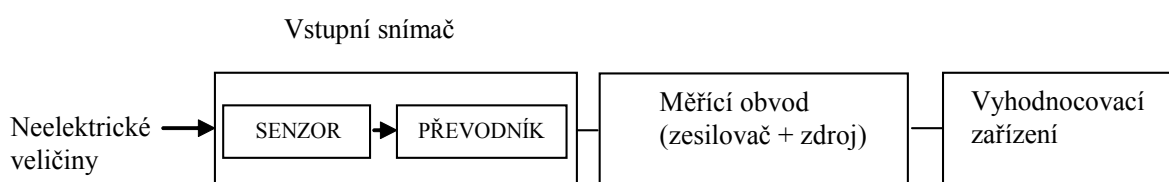


Výhodou elektrického měření neelektrických veličin jsou velká citlivost, velká přesnost, velká rychlost přenosu informace elektrického signálu, snadný přenos informace elektrického signálu (bezdrátový přenos, satelit, rádio), snadné zpracování signálu (pro indikaci signálu na displeji, registraci signálu). Nevýhodou mohou být větší pořizovací náklady.

6.5.1 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. mag. indukce, intenzita mag. pole ..),
- radiačních veličin (např. intenzita viditelného, infračerveného a ultrafialového záření,
- chemických veličin (např. pH, koncentrace, vlhkost ..).

Vstupní snímač umožňuje přeměnu neelektrické veličiny na elektrický signál.

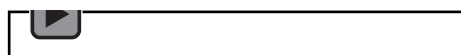


Obr. 22 Blokové schéma způsobu převodu neelektrické veličiny na elektrickou veličinu.

Termínem senzor je myšleno zařízení, které snímá sledovanou fyzikální, chemickou nebo biologickou veličinu a podle určitého definovaného principu ji transformuje fyzikálním převodem na veličinu výstupní. Stav sledované veličiny snímá citlivá část senzoru občas označovaná jako čidlo a zpracovává vyhodnocovací obvod senzoru. Výstupní informaci z vyhodnocovacího obvodu senzoru je kvantitativní, obvykle elektrický signál, který je vyhodnocen elektronickým detektorem a lze ho dále zpracovat dalšími obvody.



Audio 6.3 Senzor



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

- odporové,
- kapacitní,
- transformátorové,
- indukčnostní,
- indukční,
- piezoelektrické,
- optické,
- ultrazvukové,
- magnetoelastické,
- magnetoelektrické,
- termoelektrické a další.

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

- 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.

6.5.4 Rozdělení senzorové 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

Do třetí generace patří tzv. integrované senzory. U těchto senzorů bývají stále častěji snímače v jednom pouzdře se zesilovacím členem a mikroprocesorem (viz obr. 22). Lze je označit také jako inteligentní senzory. Tyto integrované senzory mohou měřené signály (tlak, teplota) převádět na jiný typ signálů (napětí, proud). Takto převedené signály mohou inteligentní senzory dále zpracovávat (provádět různé výpočty). Na základě získané informace mohou inteligentní senzory činit rozhodnutí a vysílat řídicí signály přes odpovídající rozhraní do centrálního počítače. Inteligentní integrované snímače nahrazují celé měřicí řetězce.

6.5.5 Základní aplikace vybraných snímačů neelektrických veličin

a) Piezoelektrické snímače

Piezoelektrický snímač využívá pro převod neelektrického signálu na elektrický piezoelektrického jevu. Uvnitř piezoelektrického 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.

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



Obr. 23 [Piezoelektrický snímač pro měření síly.](#)

b) Indukční senzory

Indukční senzory mají široké uplatnění v automatizaci průmyslu. Pracují bezdotykově a jsou díky uzavřenému pouzdru odolné vůči vlivům provozního prostředí. Vyznačují se vysokou spolehlivostí. Indukční senzor je zcela polovodičový prvek. Pokud nedojde k jeho mechanickému poškození, má téměř neomezenou životnost.

Z aplikačního hlediska lze tyto senzory rozdělit na:

- senzory standardního provedení (jedno cívkové), které původně vznikly jako náhrada mechanických kovových spínačů,
- senzory analogové se zabudovaným komunikačním rozhraním. Tyto senzory mají lepší funkční parametry.

Typickými příklady použití jsou:

- náhrada mechanických koncových spínačů,
- zpětné hlášení polohy akčního členu (ventilu, pohonu),
- počítání kusů (například balíky na pásovém dopravníku),
- regulační úlohy (regulace polohy nebo rychlosti),
- kontrola správného umístění plechovky na dopravníkovém pásu. Úkolem je zjistit polohu ocelových a hliníkových plechovek na výrobní lince kvůli označení plechovky datem.



Obr. 24 Příklad provedení indukčního senzoru.

c) Kapacitní senzory

Kapacitní senzory přiblížení pracují právě tak, jako indukční senzory bezdotykově s polovodičovým výstupem. S kapacitními senzory lze detekovat nevodivé i vodivé materiály. Většinou se používají jako senzory přiblížení. Nevýhodou těchto senzorů je větší závislost na teplotě a na rušivých vlivech.

Typickými aplikacemi jsou:

- snímání nekovových předmětů,
- hlídání hladin kapalin a sypkých hmot,
- hlídání přetržení vodičů (při výrobě kabelů),
- hlídání přítomnosti malých kovových předmětů,
- hlídání úniku kapalin (ekologie), hlídání netěsnosti na mechanických spojích. Úkolem je zajistit detekci úniku ekologicky škodlivé kapaliny.



Obr. 25 Kapacitní senzor pro detekci hladiny.

d) Magnetické senzory

Magnetické senzory jsou založeny na principech známých z měření magnetického pole. Zdrojem magnetického pole bývá trvalý magnet, který je umístěn na snímaném předmětu. Méně častý případ je, že magnet je součástí senzoru (pod čelní plochou). Snímaný předmět musí být potom feromagnetický.

Magnetické senzory lze rozdělit z hlediska principu využití fyzikálního jevu na:

- senzory s Hallovou sondou,
- magnetorezistivní sondy,
- senzory s nasycovaným jádrem cívky.

Nejčastější aplikace jsou:

- snímání poloh pneumatických válců,
- snímání hladin kapalin a sypkých materiálů (magnet je v plováku),
- jednoduché identifikační systémy v budovách,
- hlídání dolní a horní meze agresivní kapaliny. Úkolem je přes stěnu plastové nádoby hlídat výšku hladiny agresivní kapaliny. Je použit plastový plovák s feritovým magnetem. Plovák je umístěn do plastové trubky s dostatečnou stranovou vůlí. Trubka je připevněna ke stěně. Držák trubky je zároveň horní a dolní doraz.



Obr. 26 Bezdrátový magnetický senzor na okno/dveře.

e) Optické senzory

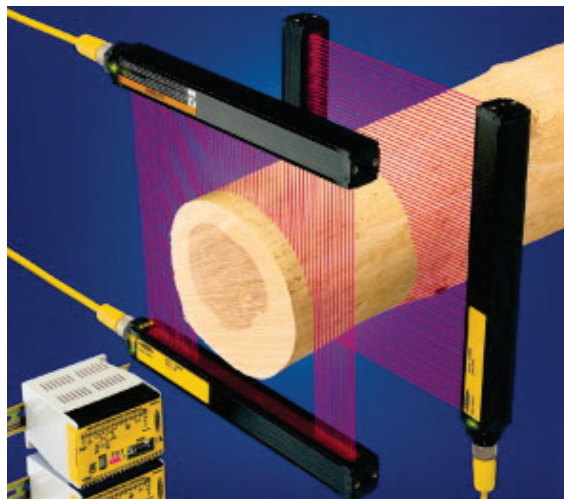
Optické senzory, nazývané přesněji optoelektronické nebo fotoelektronické představují z pohledu funkčního rozsahu nejvíce používané senzory v průmyslové automatizaci. Jedním z důvodů rostoucího zájmu o optosenzory jsou stále menší rozměry a stále stoupající výkonnost. Používají se především tam, kde je požadována větší spínací vzdálenost. Jejich



výhodou je zejména necitlivost vůči rušivým elektromagnetickým polím a hluku. Nevýhodou je menší odolnost vůči vlhkosti, silnému znečištění a infrazáření.

Optosenzory lze rozdělit do tří základních skupin:

- reflexní senzory,
- reflexní senzory s odrazkou neboli reflexní závory,
- senzory, obsahující oddělený vysílač a přijímač neboli jednocestné závory.



Obr. 27 Měření rozměrů výrobku během výroby pomocí optického senzoru, tzv. světelného závěsu.

Typickými aplikacemi optických senzorů jsou:

- dopravníkové úlohy (detekce přítomnosti materiálu, detekce značek, kontrola plnění/obsahu, kontrola polohy/velikosti atd.),
- hlídání hladin,
- hlídání rozměrů na velké vzdálenosti,
- inspekční úlohy s rozlišením barvy,
- měření rozměrů výrobku během výroby (viz obr. 27),
- zjišťování přítomnosti pečiva na výrobní lince. Úkolem je zjišťovat přítomnost pečiva v několika řadách.



Obr. 28 Příklad provedení optosenzoru.

f) Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory využívají ke své činnosti akustické vlny ve frekvenčním rozsahu nad hranicí lidské slyšitelnosti, maximálně 1 GHz. Zvuk vzniká chvěním hmoty, která toto chvění předává hmotným částicím prostředí, např. vzduchu. Zvukové vlny se mohou šířit jen hmotou. Rychlost šíření zvuku nezávisí na kmitočtu.

V ultrazvukové sensorové technice má zásadní význam zvukové pole, prezentované pro každý senzor jeho směrovou vyzařovací charakteristikou. Vyzařovací charakteristika se počítá pomocí složitých, časově náročných výpočtů pomocí výkonných počítačů.



Pomocí ultrazvukových senzorů lze zjišťovat:

- vzdálenost mezi dvěma místy. Tyto senzory pracují na principu měření času odezvy (echa) pomocí reflexního nebo difuzního snímání. Jestliže se pro vyslání a příjem používá jediný měnič, je tento systém označován jako jednoduchý. Toto provedení je nejčastější.
- výskyt osob v prostoru pomocí prostorového hlídání. Pro použití ultrazvukových snímačů při prostorovém hlídání se využívá tzv. reflexní závora, kdy je vysílač i přijímač v jednom pouzdru a odraz zajišťuje reflektor. V prostorovém hlídání lze použít také jednocestnou závoru, u které jsou přijímač a vysílač v samostatných pouzdrech a jsou umístěny proti sobě.



Obr. 29 Způsob provedení ultrazvukového senzoru.

6.6 LITERATURA

Smejkal J, Elektrotechnika, VUT Brno,

Bičovská B., Elektrická měření, VŠB TU Ostrava,

TKOTZ K., Příručka pro elektrotechnika : Europa - Sobotáles cz. s.r.o.,

Martinek R., Senzory v průmyslové praxi, BEN

Internet

Katalog firmy Turck

<http://pdb.turck.de/catalogue/>

Katalog firmy Balluff

<http://www.balluff.cz/>

Ultrazvukový senzor fy Pepperl+Fuchs Group

<http://www.panelovameridla.cz/>

Optosenzory

<http://www.camiscomponents.com/>

Kapacitní senzory

<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1700>

Indukční snímač

<http://www.cncshop.cz/lm8-indukcni-snimac-m8x1>

Měřicí transformátory proudu

<http://www.mtbrno.cz/index.php?l=cs&k=produkty>

Bezdotykové měření proudu

<http://cz.farnell.com/lem/>

Piezoelektrický snímač

http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/sila/sila_piezoelektricke_snimace.htm

Indukční elektroměry

<http://www.dk-elvis.eu/elektromery/trifazovy-repasovany-elektromer-na-podruzne-mereni/>

