



Skripta

Školní rok : 2005/ 2006

Modul:

Elektrické měření
skripta 1
Měřicí přístroje

Obor: **26-46-L/001 - Mechanik elektronik**

26-51 H/003 – Elektrikář

26-75-4 – Elektrotechnika

Ročník: **2. ročník - Mechanik elektronik**

3. ročník - Elektrikář silnoprúd

2. ročník - Elektrotechnika

Zaměření: **Silnoprúd**

Elektrotechnika

Měřicí přístroje

Výukové cíle:

- V tomto modulu - bloku se seznámíte s významem a účelem měření,
- Budete znát soustavy měřicích jednotek
- Budete znát měřicí metody
- Budete vědět jaké jsou chyby měření
- Budete umět zpracovat výsledky měření
- Budete umět dodržovat bezpečnost při elektrických měřeních
- Poznáte jednotlivé měřicí přístroje a základní názvosloví
- Pochopíte podstatu měřicích přístrojů
- Budete znát rozdělení měřicích přístrojů
- Budete znát základní vlastnosti měřicích přístrojů

I. MĚŘENÍ A MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

1. Význam a účel měření, soustavy jednotek

Elektrickým měřením zjišťujeme velikosti elektrotechnických veličin, např. napětí, proudu, výkonu, odporu, indukčnosti, kapacity, kmitočtu aj. Měřením ověřujeme nebo kontrolujeme vlastnosti elektrických zdrojů, spotřebičů, sdělovacích zařízení, elektrických sítí a vedení.

Před výrobou elektrických zařízení (při přejímce objednaných elektrotechnických nebo magnetických materiálů) měřením kontrolujeme důležité vlastnosti těchto materiálů, např. elektrickou pevnost, izolační nebo elektrický odpor, ztráty ap.

V technické praxi při výrobě, rozvodu a spotřebě elektrické energie, při přenosu informací apod. se konají provozní měření, která mají zajišťovat dobré služby a spolehlivost těchto zařízení. Elektrická měření se uplatňují i při poruchách složitých elektrických zařízení.

Z uvedeného přehledu vyplývá, že elektrická měření jsou pro technickou praxi velmi důležitá; v některých elektrotechnických oborech jsou náročná, a proto je třeba si umět vybrat ta nejvhodnější. S postupy elektrických měření se musíme seznámit a rozumět jim. Při jejich různorodosti, požadavcích a možnostech musíme volit buď nejvhodnější způsob měření, nebo náhradní způsob podle dosažitelných přístrojů. Každé měření však musí vyhovovat potřebám praxe.

Všechna měření v technické praxi se provádějí podle určité soustavy měrových jednotek. Každá veličina má v takové soustavě určitou velikost výchozí jednotky, odvozenou z tzv. základních měrových jednotek. V současné době se u nás v technické praxi i ve školách používá Mezinárodní měrová soustava, která se označuje zkratkou SI (tj. Système international d'Unités). Má tyto základní jednotky: pro délku 1 metr (m), pro hmotu 1 kilogram (kg), pro čas 1 sekundu (s), pro elektrický proud 1 ampér (A), pro teplotní rozdíl 1 teplotní stupeň a pro svítivost 1 kandelu (cd).

Soustava SI byla u nás zavedena od 1.7.1963 zákonem č. 35/62 Sb. Je obsažena v československé státní normě ČSN 01 1300. Vedle základních jednotek norma uvádí jednotky druhotné, které dělí na hlavní (odvozené ze základních), na vedlejší (odvozené z hlavních) a na násobky a díly uvedených jednotek. Jednotky upravené násobením nebo dělením lépe vyjadřují naměřenou hodnotu, úprava se provede připsáním značky příslušné předpony k jednotce. Seznam používaných předpon je v tab. 1. Naměřené hodnoty veličin se vyjadřují v jednotkách podle normy ČSN 34 5200 „Elektrotechnické jednotky“.

Tab. 1. Názvy a znaky předpon násobků a dílů jednotek

Název předpony	Znak	Značí	Násobitel	Poznámka
tera	T	bilion	10^{12}	Běžné předpony podle třetí mocniny deseti
giga	G	miliardu	10^9	
mega	M	milión	10^6	
kilo	k	tisíc	10^3	
mili	m	tisícinu	10^{-3}	
mikro	μ	miliontinu	10^{-6}	
nano	n	miliardinu	10^{-9}	
piko	p	biliontinu	10^{-12}	
femto	f	tisícibiliontinu	10^{-15}	
atto	a	triliontinu	10^{-18}	
hekto	h	sto	10^2	Předpony pro zvláštní případy (desítkový násobek nebo díl jednotky)
deka	da	deset	10^1	
deci	d	desetinu	10^{-1}	
centi	c	setinu	10^{-2}	

2. Měřicí metody

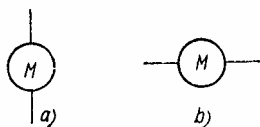
Elektrotechnické veličiny většinou měříme jednoduchými přímo ukazujícími přístroji nebo složitějšími přístroji, např. měřicími můstky. Všeobecná schematická značka měřicího přístroje je na obr. 1. K měření často ještě potřebujeme různá pomocná zařízení, jako např. stejnosměrné nebo střídavé zdroje, nízkofrekvenční nebo vysokofrekvenční generátory, ukazovatele nebo indikátory nuly, popř. maxima, nebo přesná měřítka veličin, zvaná normály. Některé veličiny, např. činný elektrický odpor, můžeme měřit několika způsoby. Volbou měřicího přístroje, nebo určitého způsobu pro měření veličiny, volíme měřicí metodu.

Měřicích metod je mnoho a rozdělujeme je podle různých hledisek.. **Přečteme-li velikost měřené veličiny přímo na příslušném měřicím přístroji, je to přímá měřicí metoda** - viz např. měření elektrického napětí a proudu na obr. 2. **nepřímá měřicí metoda** je taková, při níž ze změřených jiných vypočtených vypočítáme velikost žádané veličiny viz např. měření činného elektrického odporu R pomocí Ohmova zákona na obr. 2.

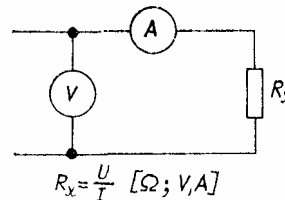
Podle funkce měřicích přístrojů jsou měřicí metody

1. výchylkové - **velikost měřené veličiny se určuje z velikosti výchylek ručky měřicích přístrojů** (je buď dána výchylkou ručky jednoho přístroje, nebo se vypočítá z výchylek ruček několika přístrojů)

2. nulové - změření veličiny je podmíněno vyrovnáním (elektrickým vyvážením), např. měřicího můstku. Vyrovnání zjistíme podle nulové výchylky ručky měřidla - indikátoru nuly. Po vyrovnání můstku indikátorem neprochází proud, je tam nulová hodnota proudu odtud název metody. Při měřeních stejnosměrným proudem bývá nejčastěji indikátorem nuly citlivý galvanometr, při střídavých proudech to bývá sluchátko, elektronkový voltmetr, elektronický indikátor vyladění nebo obrazovka osciloskopu.



Obr. 1. Všeobecná schematická značka ručkových měřidel v zapojení; a) svislém; b) vodorovném; obecný symbol M se nahradí buď symbolem měřené veličiny (např. U, I, P, f) nebo symbolem její jednotky (např. V, mV, A, MHz, kΩ aj.)

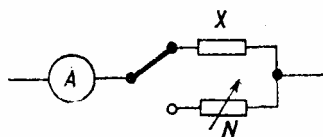


Obr. 2. Příklad přímé a nepřímé měřicí metody

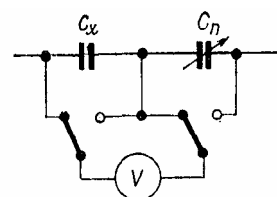
Jinak můžeme dělit měřicí metody podle jejich podstaty. Jsou to např. metody

a) substituční - člen, u něhož chceme změřit určitou vlastnost (např. elektrický odpor), zapojíme do proudového obvodu a změříme jeho účinek (např. velikost procházejícího proudu obvodem, viz obr. 3). Potom prvek nahradíme členem stejného druhu, u něhož známe a můžeme měnit velikost měřené vlastnosti. Když regulací náhradního členu do sáhneme stejného účinku v obvodě jako v prvním zapojení, je i velikost vlastnosti stejná;

Obr. 3. Podstata substituční měřicí metody



Obr. 4 Podstata porovnávací měřicí metody



- b) **porovnávací** - člen s neznámou velikostí určité vlastnosti zapojíme do proudového obvodu do série s členem téhož druhu, jehož velikost, vlastnosti známe - viz např. obr. 4. Jsou-li účinky (např. úbytky napětí) obou členů v obvodu stejné, i velikosti jejich vlastností. Při rozdílných velikostech účinků se hodnota měřené velikosti zjistí pomocí úměry. Při jejím sestavování je třeba uvážit, zda poměr velikostí účinků a vlastností členů je přímý nebo nepřímý;
- c) **rezonanční** - změření velikosti veličiny (např. kapacity kondenzátoru nebo indukčnosti cívky) je podmíněno dosažením sériové nebo paralelní rezonance viz např. obr. 87b
- d) **kompenzační** - vlastní spotřeba měřicího přístroje může ovlivnit přesnost měření svorkového napětí zdroje naprázdno. Hrazením spotřeby měřicího přístroje z pomocného zdroje zpřesníme měření - viz obr. 45

Měřicí metody se mohou od sebe lišit jednak přesností výsledků měření, jednak složitostí a nákladností. Měříme vždy metodou, která dává požadovanou přesnost. vede nejrychleji k cíli a pro niž jsou snadno dosažitelné měřicí přístroje.

3. Chyby měření

Výsledek každého dobrého měření se vždy poněkud liší od skutečné velikosti měřené veličiny. Příčin této skutečnosti může být několik; **nepřesnost měřicích přístrojů, nepřesnost měřicích metod a vliv prostředí.** Tyto příčiny společně nazýváme chybami měření. Přesnost měření mohou ovlivnit i některé vlastnosti osoby, která měření provádí.

Nepřesnosti měřicích přístrojů mohou být způsobeny konstrukční ne dokonalostí a nedokonalým provedením. Vlastní spotřeba přístroje (výkon, který měřicí přístroj odebírá při vlastním měření) může také způsobit nepřesnost měření, a to tím, že při nevhodné měřicí metodě změni hodnotu měřené veličiny na svorkách měřicího přístroje oproti hodnotě, která byla v daném místě obvodu před zapojením přístroje.

Nepřesnost měřicích přístrojů je stanovena normou. Přístroje poškozené mechanickým nárazem nebo přetížením při měření také ovlivňují výsledky měření. Musíme proto s přístroji zacházet opatrně.

Vliv prostředí, v němž se měří, se může projevit různou vlhkostí, rušivým působením cizích magnetických nebo cizích elektrických polí na měřicí přístroje a špatným osvětlením. Před nežádoucími účinky cizích polí se měřicí přístroje mohou chránit buď stínícím krytem, nebo tzv. astatizováním, což v podstatě znamená dvojitou konstrukci, kde se účinky měřené veličiny sčítají a rušivé účinky polí působí proti sobě, čímž se vylučují.

Chyby způsobené osobou, která měření provádí. jsou individuální. Záleží na svědomitosti a odpovědnosti pracovníka a na vhodnosti zvolené měřicí metody. Chyby mohou být také zaviněny únavou měřicí osoby. Rovněž čtení výchylky ručky měřidla při šikmém pohledu na číselník (chyba paralaxou) nedává přesné výsledky; přesné přístroje mají proto stupnici podloženou zrcátkem.

Chyby měření rozeznáváme

- a) **stálé (soustavné)**, např. nepřesnost měřicích přístrojů, nepřesnost měřicích metod; známe-li jejich podstatu, můžeme výsledek měření opravit (korekce);
- b) **nahodilé** — nemusí se vždy při měření vyskytovat, např. působení cizích magnetických nebo cizích elektrických polí. Účinek těchto chyb omezíme několika opakovanými měřeními a vypočítáním průměrné velikosti měřené veličiny.

Každé správné měření musí být reprodukovatelné. To znamená, že při opakování určitého měření stejnými přístroji a za stejných podmínek musíme dostat stejné výsledky.

Chybami měření vznikají odchylky naměřených velikostí veličin od jejich skutečných hodnot:

$$\Delta_m = M - S$$

$$\delta_m = \frac{\Delta_m}{M} \cdot 100$$

kde Δ_m je odchylka od skutečné velikosti měřené veličiny, může být kladná nebo záporná,
 M naměřená velikost dané veličiny,
 S skutečná velikost dané veličiny.

Skutečnou velikost měřené veličiny zjistíme ze vztahu

$$S = M + \text{korekce (tj. oprava)}$$

$$\text{korekce} = -(\Delta_m)$$

Vyjádříme-li odchylku Δ_m v jednotkách měřené veličiny, je to *absolutní chyba*, např. $U = 220 + 5 \text{ V}$; $C = 1\,000 - 10 \text{ pF}$. Odchylka vyjádřená v procentech [%] je chyba relativní:

$$\delta_m = \frac{\Delta_m}{M} \cdot 100$$

Příklad:

$C = 1,5 \text{ nF} \pm 5 \%$ Vyjádříme-li odchylky od jmenovité hodnoty $\pm \%$ jde o *mezní chybu*, např. $C = 200 \text{ V} \pm 10 \%$.

4. Zpracování výsledků měření

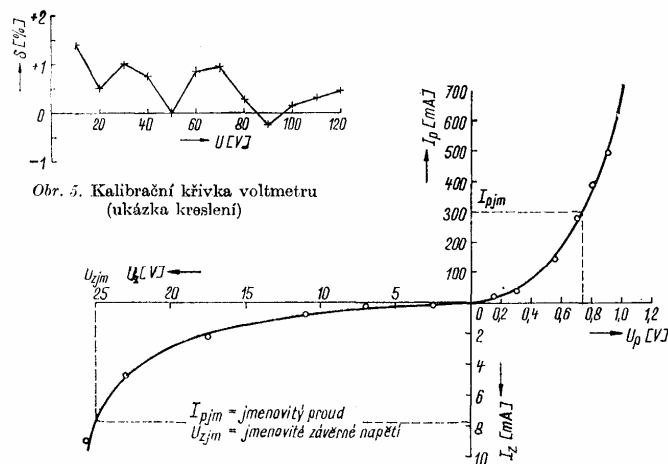
U běžných dílenských měření na jednotlivých součástkách nebo výrobcích se obvykle spokojíme tím, že změřený údaj vyhovuje určité požadované toleranci. O těchto měřeních, nenavazují-li na ně měření další, se zpravidla žádný záznam nepořizuje. Jinak je tomu u důležitých měření, u nich (např. v sériové výrobě) se měří určité charakteristické nebo kritické hodnoty vlastností výrobku a zaznamenávají se do připravených formulářů. Tyto formuláře pak doprovázejí výrobek a obvykle bývají také zároveň záručním listem. Postup měření předpisuje výrobní závod.

Potřebujeme-li podrobně ověřit vlastnosti výrobků, nebo přejímáme větší objednávku, provádíme na některých kusech (vybraných namátkou) podrobnější a přesnější měření, obvykle v laboratoři. Zprávy o těchto měřeních musí být pečlivé a mají obsahovat všechny náležitosti, aby z nich mohla být vypracována zpráva, zvaná protokol o měření.

O školních laboratorních měřeních se také dělají protokoly, jejich uspořádání však bývá poněkud odlišné. Zpravidla obsahují tyto části:

a) číslo protokolu, b) datum měření, c) název měření, d) účel měření, e) stručný popis měřicí metody, f) schéma zapojení měřicích přístrojů, g) seznam použitých měřicích přístrojů, h) naměřené hodnoty, ch) diagramy, i) poznatky získané při měření.

Značky ve schématech zapojení kreslíme podle normy ČSN 34 5505 Značky pro elektrotechnická schémata. Naměřené hodnoty se zapisují do tabulek, popř. se znázorňují i graficky. Získáme tím lepší přehled, hlavně při závislostech na změnách velikosti působících veličin. Příklady diagramů jsou na obr. 5 a obr. 6. Diagramy se obvykle kreslí na milimetrový papír rozměrů A5 nebo A4.



5. Bezpečnost při elektrických měřeních

Při elektrických měřeních se můžeme snadno dotknout obvodu s elektrickým proudem. Pracujeme-li s nízkým nebo vysokým napětím, mohl by být dotyk životu nebezpečný. Proto si při zapojování měřících přístrojů a při manipulaci s nimi během vlastního měření musíme počínat uvážlivě a ukázněně, abychom náhodnému úrazu elektrickým proudem předešli.

Pravidla pro vlastní bezpečnost při elektrických měřeních bývají obsažena v laboratorním řádu, podle něhož se měřicí přístroje zapojují bez připojených zdrojů nebo elektrické sítě. Zdroje se připojí teprve po kontrole správnosti zapojení. Potom se už „živých“, tj. neizolovaných částí proudového obvodu nedotýkáme, zvláště při použití střídavé sítě uzemněným nulovým vodičem. Podlahy měřících pracovišť mají proto izolační podložku. Zvláště nebezpečné by bylo dotýkat se spojení oběma rukama. Manipulaci s ovládacími členy (knoflíky apod.) provádíme zpravidla jen jednou (pravou) rukou. Veškeré dodatečné změny nebo úpravy zapojení děláme při odpojených zdrojích. Na rukou nesmějí být během měření prsteny, hodinky s kovovým páskem, ani jiné ozdoby, na krku nesmí být volné zavěšen kovový náhrdelník.

Při měření malým napětím do 50 V (použití akumulátorové baterie) může také dojít při neodpovědném počínání k popálení, a to při zkratech. Při použití přístrojů se síťovým napětím (např. elektronkových v osciloskopu) může hrozit nebezpečí úrazu „zavlečeným napětím“, nejsou-li tyto přístroje spolehlivě uzemněné. Při měření univerzálních přijímačů nebo při používání regulačních autotransformátorů používáme oddělovací transformátory. Důležité také je, zvláště při vyšším napětí, aby osoba provádějící měření nebyla sama. Má mít s sebou někoho, kdo se vlastního měření nezúčastní, ale, je-li třeba, zasáhne. Přebytné osoby se na pracovišti zdržovat nesmějí, protože byv svou přítomností mohly vnášet neklid do činnosti měřící osoby.

Jinak se v elektrotechnických laboratořích a při měření řídíme předpisy normy ČSN 34 3100 Pracovní a provozní předpisy pro elektrická zařízení.

Dojde-li k úrazu elektrickým proudem, jsme podle zákona povinni poskytnout postiženému první pomoc, viz ČSN 34 3500 První pomoc při úrazech elektřinou. Počínáme si při tom s rozmyslem, abychom sami nešli k úrazu. Postiženého nejprve vyprostíme z proudového obvodu vytažením přívodní šňůry ze zásuvky, vypnutím hlavního vypínače, v nejhorším (při NN) přestřihnutím přívodů kleštěmi s izolovanými rukojetěmi. Potom postiženého uložíme do vodorovné polohy a zavedeme umělé dýchání. Umělé dýchání „z úst do úst“ je pokládáno za nejúčinnější, zavedeme je speciálním náustkem nebo aspoň přes čistý kapesník. Nosní otvory postiženého při tom sevřeme prsty, aby vdechovaný vzduch nemohl unikat. Počet vdechů je asi 20 za minutu. V umělém dýchání pokračujeme tak dlouho, dokud postižený sám nezačne dýchat, pokračujeme i během převozu do zdravotního střediska. Jinak se řídíme pokyny lékaře, který musí být v každém případě rychle přivolán.

6. Měřicí přístroje a základní názvosloví

V elektrickém měření se nejdříve musíme seznámit s některými základními pojmy a názvy, uvedenými v normě ČSN 35 6201 Elektrické měřicí přístroje s příslušenstvím. Elektrotechnické veličiny měříme nejčastěji měřícím přístrojem. Tyto přístroje obvykle nazýváme podle veličiny, kterou přístrojem můžeme měřit, tak např. přístroj pro měření

napětí – voltmetr	výkonu – wattmetr	odporu – ohmmetr
kmitočtu – kmitoměr	proudu – ampérmetr	účinníku – (cos φ) – fázoměr

Elektrický činný odpor, indukčnost a kapacitu obvykle měříme měřicími můstky, viz např. Wheatstoneův (čti víctnův) můstek drátový na obr. 57, nebo můstek RLC 10 na obr. 69. Někdy se pomocná zařízení měřicí přístroje a můstky seskupují a tvoří měřicí soupravy,

jimiž se mohou měřit určité veličiny nebo skupiny veličin (např. souprava pro měření malých a velkých kapacit). Propojením potřebných přístrojů, zařízení a ovládacího panelu kabely a spojkami tak, aby bylo možno žádanou veličinu měřit, vznikne **měřicí pracoviště**. Má být sestaveno tak, aby bylo přehledné a snadno ovladatelné.

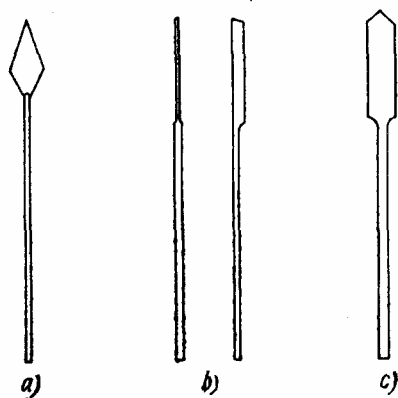
7. Podstata měřicích přístrojů

Měřicí přístroj je mechanický celek uložený v pouzdře, jeho hlavní částí je měřicí ústrojí, v němž se převádí měřená veličina na mechanický moment, zvaný moment soustavy. Tento moment vychyluje otočnou část měřicího ústrojí s ručkou, která na stupnici číselníku ukáže velikost měřené veličiny. Fyzikální podstata přeměny veličiny na krouticí moment se nazývá měřicí soustava.

Aby vychýlení otočné části ústrojí a tím i výchylka ručky byly úměrné velikosti měřené veličiny, odporuje momentu soustavy vždy moment řídící neboli direktivní. Většinou vzniká zkrucováním spirálních pružin.

Měřicí přístroje kromě měřicího ústrojí obsahují zařízení ke čtení naměřených hodnot veličin. Jsou **to ručky (obr. 7) a číselníky se stupnicemi** (obr. 8). Ručky pro přesnější měření jsou nožové (obr. 7b), pro panelové a rozváděčové přístroje kopinaté (obr. 7a) nebo jazýčkové (obr. 7c). Dělení stupnic na číselníku bývá rovnoměrné (obr. 8a, b, čtení naměřených hodnot je přesnější) nebo nerovnoměrné (obr. 8c, d); záleží to na vlastnostech měřicí soustavy ústrojí. Vedle stupnice jsou na číselníku také **značky, které vyjadřují charakteristiky měřidla.**

Měřicí přístroje mají ještě další vybavení, a to **svorky nebo zdířky** pro zapojení přístroje při měření, **přepínače (nebo svorky) pro změnu měřicího rozsahu nebo druhu měřené veličiny** apod.



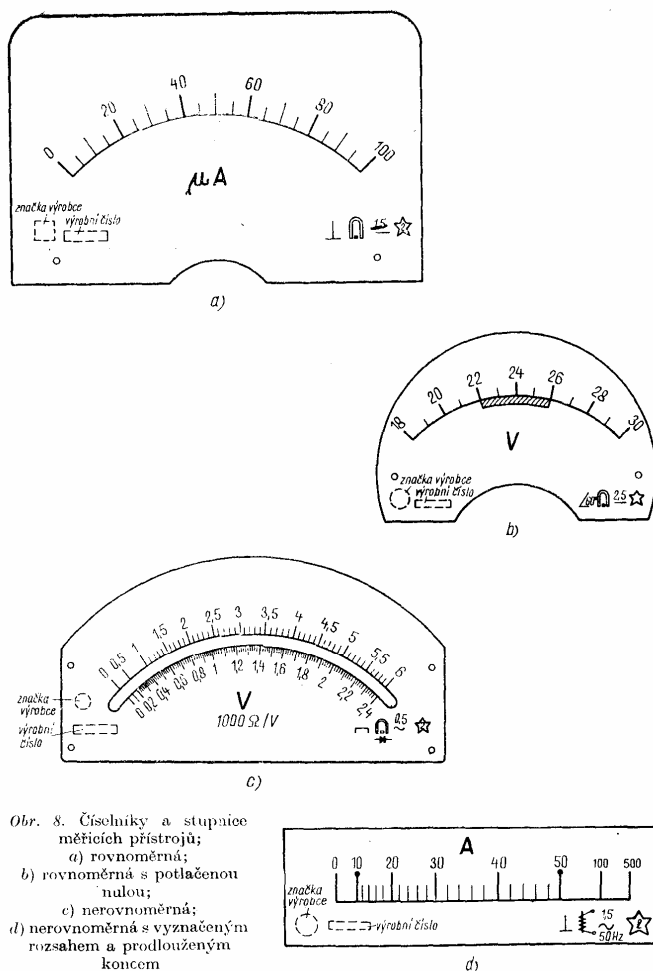
Obr. 7. Ručky měřicích přístrojů;
a) kopinatá; b) nožová; c) jazýčková

8. Rozdělení měřicích přístrojů

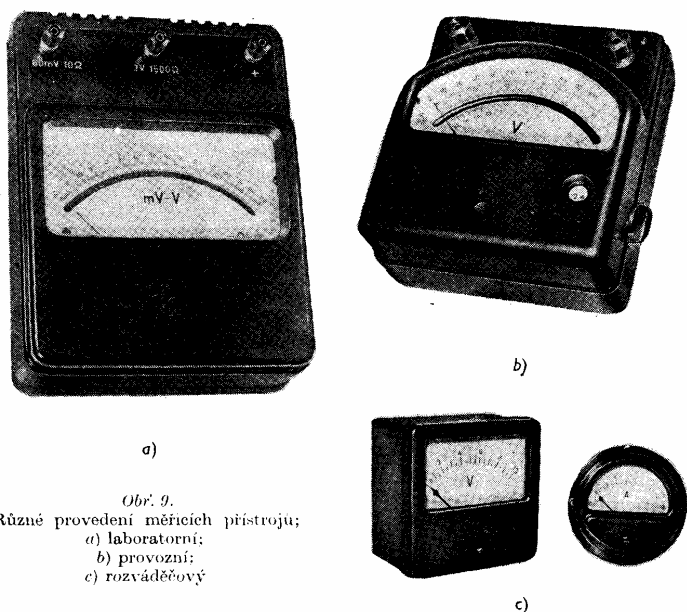
Měřicích přístrojů je značné množství a pro přehlednost je rozdělujeme podle různých hledisek, například:

- podle použití** jsou to voltmetry, ampérmetry, wattmetry, elektroměry, kmitoměry, ohmmetry, fázoměry apod.;
- podle měřicí soustavy** dělíme přístroje na magnetoelektrické (s otočnou cívkou, dříve zvané Depréz d'Arsonvalovy či deprézské), feromagnetické (elektromagnetické), elektrodynamické, indukční (dříve zvané Ferrarisovy), poměrové, tepelné, elektrostatické a rezonanční;

- c) **podle přesnosti** měření jsou. nejpřesnější základní přístroje (normály), velmi přesné a přesné laboratorní přístroje, provozní a montážní přístroje, rozváděčové přístroje (obr. 9);
- d) **podle způsobu vyjádření naměřené hodnoty** máme přístroje ručkové (nejrozšířenější), se světelným ukazovatelem, zapisovací, číslicové;
- e) **podle podstaty měření** jsou přístroje klasické (hlavně ručkové) a elektrostatické (převážně obsahují ručková měřidla, jejichž nevýhody, jako např. vlastní spotřebu nebo malou citlivost, odstraňují přidáním elektronickým zařízením).
- Dále bychom mohli měřicí přístroje ještě třídit podle konstrukce, rozměrů, tvaru apod. Měřicí přístroje které mohou měřit několik druhů elektrotechnických veličin, se nazývají u např. AVOMET, DU 10 aj. Takové přístroje jsou pro praxi značně výhodné.



Obr. 8. Číselníky a stupnice měřicích přístrojů;
a) rovnoměrná;
b) rovnoměrná s potlačenou nulou;
c) nerovnoměrná;
d) nerovnoměrná s vyznačeným rozsahem a prodlouženým koncem



Obr. 9.
Různé provedení měřicích přístrojů;
a) laboratorní;
b) provozní;
c) rozváděčový

elektrotechnických veličin, se nazývají *univerzální*, např. AVOMET, DU 10 aj. Takové přístroje jsou pro praxi značně výhodné.

9. Základní vlastnosti měřicích přístrojů

Měřicí přístroj pro změření určité veličiny volíme podle jeho vlastností, daných především soustavou jeho měřicího ústrojí, popř. dalším vybavením. Nejdůležitější vlastností měřicích přístrojů jsou měřicí rozsah, citlivost, konstanta přístroje, přesnost měření, přetížitelnost, vlastní spotřeba, rychlost ustálení výchylky. V dalším textu je postupně probereme.

9.1. Měřicí rozsah

Měřicí rozsah vyjadřuje rozmezí hodnot veličiny, v němž přístroj měří s přesností, která odpovídá ustanovením příslušné normy. Obvykle se měřicí rozsah shoduje s rozsahem stupnice, tj. s rozmezím hodnot mezi krajními dílky jejího dělení. Měřicí rozsah se udává hodnotou plné výchylky ručky. Příklad: voltmetr může měřit napětí s vyžadovanou přesností od nuly do 300 V - měřicí rozsah voltmetru je 300 V.

Někdy měřicí rozsah vyjadřuje jen část rozsahu stupnice, viz např. na obr. 8d rozsah od 10 do 50 A. Znamená to, že na počátku stupnice ani v její prodloužené části není měření dosti přesné, je pouze informativní – jde o stupnici s potlačenou nulou.

Měřicí přístroje mívají dosti často několik rozsahů, které můžeme měnit přepínáním. Je to praktické a zvětší se tím přesnost měření menších hodnot veličin.

9.2. Citlivost přístroje

Citlivost přístroje udává, jakou výchylkou ručky reaguje na jednotku měřené veličiny. Čím je tato výchylka větší, tím menší hodnoty veličiny je přístroj schopen měřit. Je-li třeba měřit naopak větší hodnoty veličin velmi citlivým měřicím přístrojem, umožní se to snížením jeho citlivosti, zvětšením měřicího rozsahu.

9.3. Konstanta přístroje k

(u měřicích přístrojů s několika rozsahy = konstanta rozsahu) je převrácená hodnota citlivosti; vyjadřuje velikost měřené veličiny na jeden dílek stupnice. U měřicích přístrojů s rovnoměrně dělenou stupnicí zjistíme konstantu ze vztahu:

$$k = \frac{\text{měřicí rozsah}}{\text{počet dílků stupnice}}$$

U nerovnoměrně dělených nebo neúplných stupnic můžeme konstantu zjistit z rozdílu velikosti veličiny mezi sousedními číslovanými dílky stupnice; rozdíl dělíme počtem nečíslovaných dílků mezi dílky číslovanými.

Příklady

1. Jakou konstantu má měřicí přístroj, který má stupnici podle obr. 8a?

$$a) k = \frac{100 \mu\text{A}}{20} = 5 \mu\text{A na dílek stupnice}$$

$$k = \frac{60 \mu\text{A} - 40 \mu\text{A}}{4} = \frac{20 \mu\text{A}}{4} = 5 \mu\text{A na dílek}$$

2. Jakou konstantu má měřicí přístroj se stupnicí podle obr. 8d?

$$k = \frac{40 \text{ A} - 30 \text{ A}}{5} = \frac{10 \text{ A}}{5} = 2 \text{ A na dílek}$$

9.4. Přesnost měření

Přesnost měření měřicích přístrojů a jejich příslušenství se vyjadřuje třídou přesnosti. Třídy přesnosti podle normy ČSN 356201: 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2,5 a 5. Tato čísla udávají u naměřené hodnoty veličiny dovolenou maximální odchylku od skutečné velikosti, a to v procentech měřicího rozsahu při dodržení vztažných podmínek (např. při dovoleném rozmezí teploty okolí, rozmezí změn kmitočtu střídavého proudu) podle uvedené normy. Odchylka může být na kterémkoli místě stupnice. To znamená, že měřicí přístroj s třídou přesnosti 1,5 na rozsahu 300 V může mít v kterémkoli místě stupnice odchylku nejvýše 1,5 % z rozsahu 300 V, tj. 4,5 V.

Třída přesnosti je tedy plně využita jen při plné výchylce ručky měřidla. Ukazuje-li ručka poloviční výchylku, přístroj měří na rozsahu 300 V napětí 150 V a odchylka 4,5 V již představuje tříprocentní nepřesnost. Kdyby ručka ukazovala jen 1/10 celé výchylky, tj. 30 V, a byla tam největší dovolená odchylka 4,5 V, nepřesnost měření by byla 15 %. Z toho vyplývá, chceme-li měřit přesně, že výchylka ručky při měření musí být v poslední třetině stupnice. Není-li tomu tak (při měření přístrojem s několika rozsahy), výchylku ručky můžeme zvětšit přepnutím přístroje na nižší měřicí rozsah. Jinak je třeba výsledek měření opravit podle korekční křivky.

Postup při výpočtu nebo při ověřování třídy přesnosti měřicího přístroje

Přístroj kontrolujeme porovnáním s přístrojem o dvě třídy přesnějším a zjistíme tak největší absolutní odchylku na stupnici $\Delta_{p\max}$. Tuto odchylku potom přepočítáme na maximální relativní odchylku $\delta_{p\max}$ podle vztahu:

$$\delta_{p\max} = \frac{\Delta_{p\max}}{\text{měřicí rozsah}} 100 \quad [\%]$$

výsledek se zaokrouhlí na nejbližší vyšší číslo třídy přesnosti. Třída přesnosti se uvádí bez značky %.

Příklad:

Měřicí přístroj s rozsahem 120 V měl na jednom místě stupnice maximální absolutní odchylku od správné hodnoty $\Delta_{p\max} = 1,6 \text{ V}$. Kterou třídu přesnosti má tento přístroj?

$$\delta_{p\max} = \frac{\Delta_{p\max}}{\text{měřicí rozsah}} 100 = \frac{1,6}{120} 100 = 1,33 \% \dots$$

třída přesnosti 1,5 (% se neuvádí). Měřicí přístroj má třídu přesnosti 1,5.

Údaj třídy přesnosti podle normy určuje celý soubor zaručených hodnot. Jestliže provedeme uvedenou kontrolu přístroje bez zřetele na vztažné podmínky, které mohou

způsobit změnu údaje (chyby přídavné), jde jen o přibližné ověření třídy přesnosti přístroje.

Druhy měřicích přístrojů podle třídy přesnosti ČSN 35 6201

0,05 a 0,1	nejpřesnější základní přístroje (normály)
0,2	velmi přesné laboratorní přístroje
0,5	přesná laboratorní přístroje
1	montážní a dílenské přístroje
1,5	montážní a dílenské přístroje
2,5	rozdělovací přístroje
5	přístroje pro informativní měření - indikátory.

9.5. Přetížitelnost

Téměř každý měřicí přístroj lze přetížit, tj. připustit větší hodnoty měřené veličiny, než je jeho měřicí rozsah. Předpokladem je, že se přístroj nesmí poškodit (spálit, zhoršit třída přesnosti). K přetížení většinou dochází z omylu nebo za nepředvídaných okolností. Velikost a doba přetížení jsou v nepřímé závislosti, čím větší je přetížení, tím kratší musí být doba jeho trvání.

Přetížitelností rozumíme násobek jmenovitého proudu nebo napětí, který měřicí přístroj vydrží po určitou dobu bez poškození.

Trvale lze voltmetry a ampérmetry zatížit 1,2násobkem jmenovitého napětí nebo proudu. Krátkodobě můžeme tyto přístroje do tříd přesnosti 0,2 a 0,5 zatížit dvojnásobkem jmenovitého napětí nebo proudu, kromě přístrojů s ústrojím tepelné soustavy nebo přístrojů s termoelektrickým článkem.

Přístroje do tříd 1, 1,5 a 2,5 můžeme krátkodobě přetížit takto: voltmetry dvojnásobně, ampérmetry desetinásobně, opět kromě tepelných přístrojů, nebo přístrojů s termoelektrickým článkem.

9.6. Vlastní spotřeba

Měřicími přístroji při měření prochází elektrický proud a spotřebovává se při tom napětí. Tím měřicí přístroje při měření odebírají elektrický výkon a zatěžují proudové obvody, do nichž byly zapojeny. Výkon potřebný k dosažení plné výchylky ručky se nazývá vlastní spotřebou, vyjadřuje se ve wattech, miliwattech nebo ve voltampérech; má být co nejmenší, aby se poměry v proudových obvodech s měřicími přístroji co nejmeně lišily od stavu před připojením přístrojů. Při větších změnách těchto poměrů je vlivem větší spotřeby přístrojů měření méně přesné.

Pro nejrozšířenější soustavy měřicích ústrojí, tj. pro soustavy magnetoelektrické, uvádí norma vlastní spotřebu v rozmezí od 40 do 100 mW. Ostatní soustavy, až na elektrostatickou, mají vlastní spotřebu mnohem větší. Zvětšením rozsahu měřicího přístroje předradníkem nebo bočníkem se zvětšuje i vlastní spotřeba. Jen při použití měřicích transformátorů zůstává téměř stejná.

Vlastní spotřebu lze vyjádřit i jinak než výkonem: např. proudem pro plnou výchylku ručky, u voltmetru odporem na jeden volt rozsahu, u ampérmetru spotřebovaným napětím pro plnou výchylku ručky.

9.7. Rychlost ustálení výchylky ručky

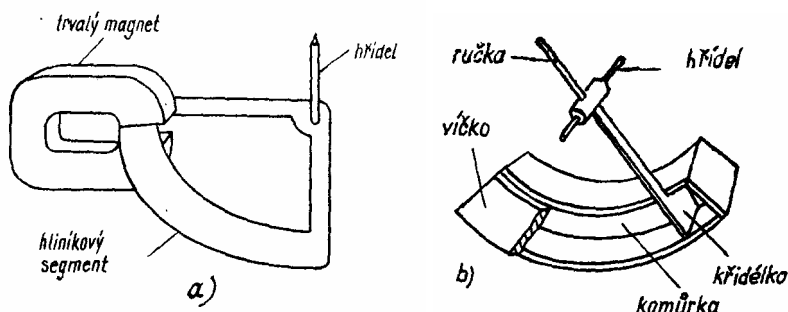
Uzavřením proudového obvodu s připojeným

přístrojem vznikne nárazový moment soustavy, který za součinnosti řídicího momentu rozkryje otočnou část ústrojí s ručkou. Čtení naměřené hodnoty by bylo možné až po

ustálení polohy ručky a tím by se doba měření prodlužovala. Tomuto nežádoucímu jevu se zabráňuje tlumením kývání otočné části ústrojí.

Nejlepší tlumení je magnetické. Používá se ho např. v soustavě magnetoelektrické (obr. 12a). Cívka soustavy je navinuta na uzavřeném hliníkovém rámečku a tvoří v podstatě otočnou část měřicího ústrojí. Při pohybu cívky protíná rámeček indukční křivky magnetického pole ve vzduchové mezeře, vzniká v něm proud, který brzdí pohyb rámečku a zabráňuje kývání ručky.

Jiné provedení magnetického tlumení je na obr. 10a. V pohybujícím se hliníkovém segmentu nebo kotouči v poli permanentního magnetu vznikají vířivé proudy, které rovněž brzdí pohyb a utlumí kývání ručky.



Obr. 10a. Magnetické tlumení Obr. 10b. Vzduchové tlumení křídélkové

Další způsob jak zabránit kývání ručky je tlumení vzduchové. Na obr. 10b je to tlumení křídélkové, na obr. 14 pístové. Při pohybu křídélka nebo pístu se vzduch na jedné straně stlačuje a na druhé zředí, obojí brzdí pohyb a tlumí výchylky ručky.

10. Chyby měřicích přístrojů

Příčiny nepřesnosti měřicího přístroje jsou dány použitým druhem soustavy měřicího ústrojí, konstrukcí, volbou materiálu, provedením měřidla a nepřesností jeho kalibrace. Při měření mohou působit tzv. ovlivňující veličiny, které mohou pozměnit měřicí údaj. Jsou to např. teplota okolí, cizí magnetické pole, poloha přístroje, kmitočet, tvar vlny střídavého proudu, vliv feromagnetického panelu apod. Rozdíl mezi naměřenou hodnotou veličiny a její skutečnou hodnotou, zjištěný v případě, že přístroj je ve vztažných podmínkách, se nazývá chybou přístroje.

Vztažné podmínky jsou souhrn vztažných hodnot udaných výrobcem přístroje pro každou ovlivňující veličinu, jsou uvedeny v normě ČSN 35 6201 Elektrické měřicí přístroje s příslušenstvím. Tato norma stanoví, že chyba přístroje a změna údajů působením ovlivňujících veličin nesmí překročit hodnotu danou třídou přesnosti - viz tab. 2.

Tab. 2. Meze dovolených chyb

Třída přesnosti	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0
Meze chyb $\pm \%$	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0

Výrobce také udává jmenovitý rozsah použití přístroje. Je to rozsah hodnot, kterých může dosáhnout každá z ovlivňujících veličin, aniž změna údajů překročí dovolené rozmezí.

Měřicí přístroje mívají také příslušenství (např. bočníky aj.). Pokud je toto příslušenství nezáměnné, je třída přesnosti stanovena pro celek, sestavený z přístroje a jeho příslušenství. U záměnného příslušenství (může být použito u více přístrojů téhož druhu) se volí třída přesnosti alespoň o jeden stupeň vyšší, než má vlastní přístroj, a to proto, aby se neovlivnila třída přesnosti měřicího přístroje.

Závažnou příčinou chyb měřicích přístrojů může být jejich poškození, buď mechanické (názrazem), nebo elektrické (přetížením), nedojde-li při tom k jejich úplnému zničení. Proto musíme měřicí přístroje plánovitě občas překontrolovat.

Pojmy k zapamatování

přímá měřicí metoda, nepřímá měřicí metoda, měřicí rozsah, citlivost přístroje, konstanta přístroje, přesnost měření, podstata měření, přetížitelnost, vlastní spotřeba, rychlost ustálení výchylky ručky, měřicí pracoviště, značky, charakteristiky měřidla, ručky měřicích přístrojů, voltmetry, ampérmetry, wattmetry, elektroměry, kmitoměry, ohmmetry, fázoměry,

Kontrolní otázky

1. Na co slouží el.měření
2. Jaké jsou základní jednotky mezinárodní soustavy jednotek?
3. Co je to přímá měřicí metoda
4. Co je to nepřímá měřicí metoda
5. Jak se dělí měřicí metody podle funkce
6. Jak se dělí měřicí metody podle jejich podstaty
7. Jaké jsou příčiny chyb měření
8. Jaké chyby měření rozeznáváme
9. Co znamená reprodukovatelnost měření
10. Co je to *absolutní* chyba
11. Co je to relativní chyba
12. Co je to mezní chyba
13. Které části má mít protokol o měření zpracováváný ve školních laboratořích
14. Co měříme fázoměrem
15. Co měříme wattmetrem
16. Čím obvykle měříme elektrický činný odpor, indukčnost a kapacitu
17. Z čeho se skládá měřicí souprava
18. Jak vznikne měřicí pracoviště
19. Co je to měřicí přístroj
20. Co je to měřicí soustava
21. Čím vzniká a na co slouží direktivní moment
22. Z čeho se skládá měřicí přístroj
23. Jaké jsou druhy ruček měřicích přístrojů a na jaké přístroje se používají
24. Podle jakých hledisek dělí měřicí přístroje
25. Co je to měřicí rozsah
26. Co to znamená stupnice s potlačenou nulou
27. Co je citlivost přístroje
28. Co je to konstanta přístroje
29. Co udává číslo třídy přesnosti
30. Jaké znáš třídy přesnosti měřicích přístrojů
31. Jak odstraňujeme nepřesnost měření daný maximální odchylkou
32. Jakou třídu přesnosti mají montážní a dílenské přístroje
33. Jak můžeme krátkodobě přetížit přístroje tříd 1, 1,5 a 2,
34. Které přístroje nemůžeme přetížit vůbec
35. Co je to vlastní spotřeba měřicího přístroje
36. Proč se používá tlumení kývání otočné části ústrojí

- 37. Jaké se používají druhy tlumení
- 38. Co se nazývá chybou přístroje
- 39. Co jsou to vztažné podmínky
- 40. Co je to jmenovitý rozsah použití přístroje
- 41. Co je to záměnné příslušenství a jaká třída přesnosti se u něho volí
- 42. Co je to nezáměnné příslušenství a jaká třída přesnosti se u něho volí