
Úloha č. 3: Měření proudu a napětí, vlastnosti elektrických měřicích přístrojů

jarní semestr 2023

1 Elektrická měření a elektrické měřicí přístroje

Měření elektrických veličin – proudu a napětí, případně odporu a výkonu – patří ke zcela základním experimentálním technikám. Jejich použití se neomezuje pouze na sledování elektrických jevů. V současné době je patrný trend převádět i jiné, neelektrické veličiny, na napětí nebo proud pomocí speciálních snímačů, a tím roste význam správného měření elektrických veličin.

Příklady elektrických snímačů pro neelektrické veličiny V úloze Měření teploty jsou s výjimkou kapalinových teploměrů všechna používaná čidla elektrickými snímači teploty – od termočlánku až po infračervené čidlo. Fotometr je též převodníkem neelektrické veličiny (osvětlení) na veličinu elektrickou, stejně jako Hallova sonda z úlohy Magnetismus. Při měření pomocí počítače se často ve skutečnosti měří elektrické napětí, ať je k počítači připojeno jakékoliv čidlo (viz úloha Automatizace měření).

Přístroje pro měření proudu a napětí dělíme na ručkové (analogové) a číslicové (digitální). Rozdíl není jen ve způsobu zobrazování naměřené hodnoty, ale především v konstrukci přístroje, a z ní plynoucích odlišných vlastnostech. Více o konstrukci těchto přístrojů najdete v Dodatku A.

Vlastnosti měřicího přístroje určuje *vnitřní odpor* R_i , který je definován jako podíl napětí na svorkách přístroje U_p a proudu I_p , který přístrojem prochází

$$R_i = \frac{U_p}{I_p}. \quad (1)$$

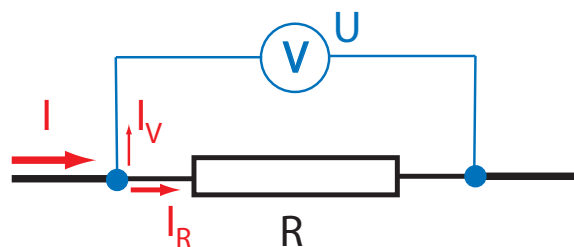
Obecně platí, že kvalitní voltmetry by měly mít hodnotu vnitřního odporu co největší, zatímco kvalitní ampérmetry co nejmenší. Zdůvodnění najdete v kapitolách 2 a 3. Místo označení R_i budeme v následujícím textu používat R_A pro ampérmetr a R_V pro voltmetr.

2 Měření elektrického napětí

Elektrické napětí mezi dvěma body prostoru (konkrétně při měřeních mezi dvěma body elektrického obvodu) je definované jako rozdíl elektrických potenciálů v těchto bodech. Chceme-li elektrické napětí měřit, musíme svorky měřicího přístroje – voltmetru – co nejlépe vodivě spojit se zmíněnými body. Například měření napětí na elektrickém odporu R realizujeme pomocí zapojení dle obr. 1.

Voltmetr zapojujeme paralelně s prvkem, na kterém chceme napětí měřit.

Vzhledem ke konečnému vnitřnímu odporu voltmetru protéká měřicím přístrojem proud, což může být nežádoucí jev. Ideální voltmetr je tedy ten, který má nekonečný vnitřní odpor. Digitální přístroje jsou z tohoto hlediska podstatně lepší než přístroje analogové.



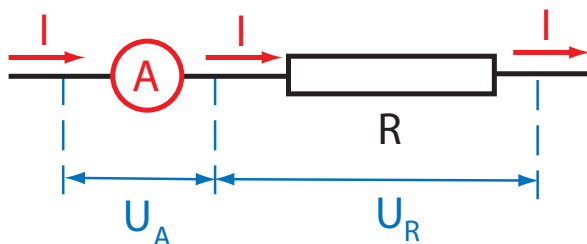
Obrázek 1: Měření napětí na odporu R

Kontrolní otázka č. 1

Co by se stalo, kdybychom zapojili typický voltmetr do obvodu sériově? Došlo by k poškození voltmetru nebo měřeného prvku? Dala by se naměřená hodnota považovat za správnou?

3 Měření elektrického proudu

Ampérmetr zapojujeme **sériově s měřeným prvkem** (viz obr. 2), protože měřený proud protékající prvkem musí protékat i přístrojem. Ideální ampérmetr má nulový vnitřní odpor.



Obrázek 2: Měření proudu protékajícího odporem R

Kontrolní otázka č. 2

Co by se stalo, kdybychom zapojili typický ampérmetr paralelně k měřenému prvku? Došlo by k poškození ampérmetru nebo měřeného prvku? Dala by se naměřená hodnota považovat za správnou?

4 Současné měření proudu a napětí

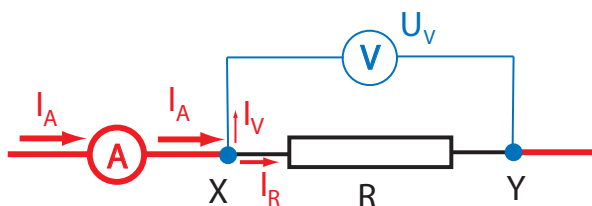
Často potřebujeme současně měřit elektrické napětí i proud, který prochází daným prvkem obvodu. Typickou situací může být stanovení odporu z Ohmova zákona

$$R = \frac{U_R}{I_R}, \quad (2)$$

kde U_R je napětí na odporu R a I_R proud, který odporem protéká.

4.1 Metoda A

Jednou z možností, jak současně měřit napětí a proud, je zapojit obvod podle obr. 3; toto zapojení budeme v dalším textu nazývat metodou A.



Obrázek 3: Měření odporu z Ohmova zákona metodou A

Napětí, které naměří voltmetr, je skutečně správné napětí na odporu R , tedy $U_R = U_V$.

Ovšem ampérmetr měří proud I_A , který není roven proudu I_R tekoucímu odporem R , protože v uzlových bodech X a Y se proud dělí na proud tekoucí odporem a voltmetrem.

Hodnoty, které zjistíme měřicími přístroji, tedy nelze přímo dosadit do rovnice (2). Pokud bychom tak učinili, dopustili bychom se systematické chyby, která trvale posune měřenou hodnotu k vyšším nebo nižším hodnotám.

Kontrolní otázka č. 3

Jak je tomu v případě měření odporu metodou A při dosazení přímo měřených hodnot do vztahu (2)? Bude námi spočtený odpor systematicky větší nebo menší než odpor skutečný?

Při výpočtu skutečné hodnoty měřeného odporu R musíme vzít do úvahy, že voltmetr má vnitřní odpor R_V , a tedy hodnota proudu tekoucího rezistorem se liší od hodnoty proudu tekoucího ampérmetrem o $I_V = \frac{U_V}{R_V}$

$$I_R = I_A - I_V = I_A - \frac{U_V}{R_V}.$$

Známe-li vnitřní odpor voltmetru R_V , můžeme podle vztahu 2 z naměřených hodnot proudu I_A a napětí U_V určit hodnotu odporu rezistoru jako

$$R = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}}. \quad (3)$$

Takto určený odpor není zatížen výše zmíněnou systematickou chybou.

4.2 Metoda B

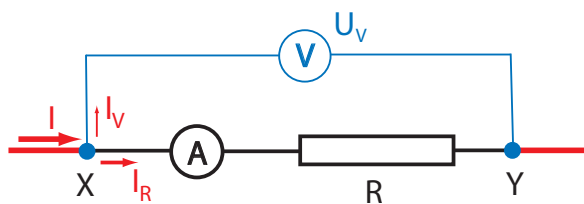
Metoda A není jedinou možností, jak současně zapojit ampérmetr a voltmetr. Problém, kdy ampérmetr neměří skutečný proud procházející odporem, snadno vyřešíme tak, že ampérmetr zapojíme přímo do odporové větve dle obr. 4. Pak ampérmetr skutečně měří správný proud, protože mezi přístrojem a odporem R již není žádný uzel, kde by se mohl proud dělit. Ovšem jeden problém jsme vyřešili a druhý způsobili. Nyní voltmetr neměří napětí na odporu, ale měří součet napětí na odporu a ampérmetru $U_V = U_A + U_R$.

Kontrolní otázka č. 4

Jaké je znaménko systematické chyby při vyhodnocení metody B bez korekce vlivu ampérmetru?

Napětí na ampérmetru určíme ze známého vnitřního odporu přístroje R_A jako $U_A = R_A I_A$ a z rovnice 2 dostaneme hodnotu odporu nezatíženou systematickou chybou

$$R = \frac{U_V - R_A I_A}{I_A}. \quad (4)$$



Obrázek 4: Měření odporu z Ohmova zákona metodou B

4.3 A nebo B?

Teď se nabízí důležitá otázka: Která metoda, A nebo B, je pro měření odporu výhodnější? Při prvním pohledu by se zdálo, že je to lhostejné. Oba vztahy jsou přesné a při jejich odvození nebyly učiněny žádné aproximace.

Pro minimalizaci nejistoty měření odporu je však důležité, aby druhý (korekční) člen v rozdílu byl mnohem menší, než člen první. Pokud totiž počítáme výslednou veličinu jako rozdíl veličin měřených, může nejistota výsledku dramaticky narůst.

Metoda A bude výhodnější, pokud proud tekoucí voltmetrem bude mnohem menší než proud tekoucí měřeným odporem (nebo-li vnitřní odpor voltmetru bude mnohem větší než měřený odpor). Metoda B bude výhodná v případě, že napětí na ampérmetru bude mnohem menší než napětí na měřeném odporu (tj. vnitřní odpor ampérmetru bude mnohem menší než měřený odpor). Ve většině případů nám jako rozhodující kritérium postačí následující jednoduché pravidlo: **malé odpory měříme metodou A a velké odpory metodou B.**

5 Určení nejistoty měření napětí a proudu

Jako při každém jiném měření i v případě měření elektrických veličin jsou naměřené hodnoty zatíženy experimentálními chybami, ať už systematickými nebo náhodnými. U elektrických měřicích přístrojů opakovaním měření obvykle dostaneme stejné hodnoty – nejistota typu A je tedy nulová. Měření má proto smysl provádět jen jedenkrát a za nejistotu měření bereme nejistotu typu B, kterou nám udává výrobce přístroje.

5.1 Určení nejistoty typu B ručkových přístrojů

Ke stanovení nejistoty typu B ručkových přístrojů se standardně používá veličina zvaná třída přesnosti, která bývá vyznačena přímo na stupnici měřicího přístroje. **Třída přesnosti určuje mezní nejistotu přístroje jako procento z aktuálního rozsahu přístroje.**

Zde je nutné si uvědomit jednu důležitou skutečnost. Nejistota přístroje je dána rozsahem, nikoliv měřenou hodnotou. Je tedy zřejmé, že měření bude tím přesnější (tj. tím menší bude relativní nejistota), čím bude měřená hodnota bližší maximální měřitelné hodnotě, tj. rozsahu přístroje. Na přístrojích s měnitelným rozsahem se vždy snažíme měřit tak, aby ručka byla pokud možno nejvíce vpravo, blíže k maximální hodnotě.

Příklad: Určení nejistoty měření ručkového přístroje Měříme napětí 4,52 V na voltmetru s třídou přesnosti 0,5 s rozsahem 10 V. Mezní nejistota měřené hodnoty je rovna 0,5 % z 10 V, tedy 0,05 V. Výsledek je tedy

$$U = (4,52 \pm 0,05) \text{ V}$$

Zmíněná mezní nejistota avšak nemá význam krajní nejistoty, neboť přístroje s určitou třídou přesnosti dávají spíše větší odchylky od správné hodnoty než odchylky menší, jinak by byly zařazeny do lepší třídy.

Měřená veličina tedy obecně nemá Gaussovo rozdělení a **standardní nejistota typu B se volí rovna mezní nejistotě**.

5.2 Určení nejistoty typu B digitálních přístrojů

Krajní nejistotu typu B počítáme pomocí vztahu uvedeného v návodu k digitálnímu měřicímu přístroji. Obvykle jde o součet příspěvků úměrných měřené hodnotě a měřicímu rozsahu. Použitá zkratka slova *digits* značí počet jednotek na posledním desetinném místě aktuálního rozsahu.

Příklad: Určení nejistoty měření digitálního měřicího přístroje Hodnota napětí 4,524 V byla naměřena měřicím přístrojem METEX M3890 D (na rozsahu 20 V). V manuálu je pro výpočet nejistoty uvedeno $\pm(0,8\% + 2 \text{ dgs})$. První číslo udává procento z měřené hodnoty, druhé číslo je počet jednotek na posledním desetinném místě aktuálního rozsahu (tzv. digits). Pro danou hodnotu je krajní nejistota rovna

$$0,8\% \text{ z } 4,524 \text{ V} + 2 \cdot 0,001 \text{ V} = 0,036 \text{ V} + 0,002 \text{ V} = 0,038 \text{ V}.$$

Výsledek zapíšeme po zaokrouhlení ve tvaru

$$U = (4,52 \pm 0,04) \text{ V} \quad (p = 99,73\%).$$

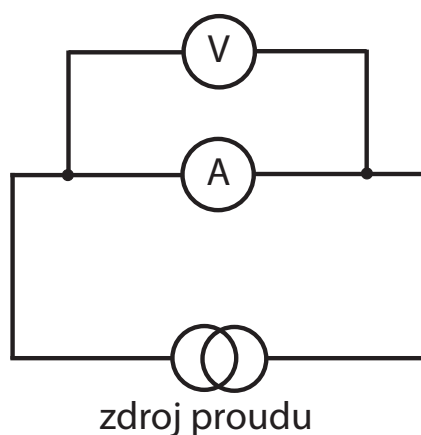
Standardní nejistota u_B , vystupující v zákonu přenosu nejistoty, je potom rovna třetině krajní nejistoty.

6 Měření vnitřního odporu ručkového měřicího přístroje

Vnitřní odpor většinou udává výrobce přístroje, u ručkového přístroje je však možné relativně jednoduše vnitřní odpor určit. Lze pro to použít dvě metody.

6.1 Z Ohmova zákona

Měřicí přístroj (zde ampérmetr) zapojíme do obvodu dle obr. 5. Měříme proud procházející ampérmetrem a současně i spád napětí na jeho svorkách. Odpor určíme přímo z Ohmova zákona 2.



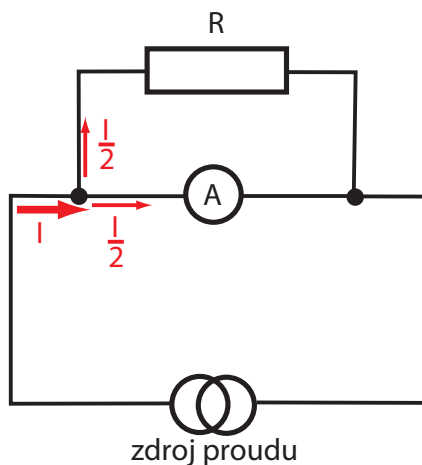
Obrázek 5: Měření vnitřního odporu ampérmetru z Ohmova zákona

Kontrolní otázka č. 5

Je třeba při tomto experimentu korigovat vliv měřicích přístrojů, tak, jak jsme to ukázali výše při měření odporu metodami A a B?

6.2 Substituční metoda

Druhá metoda využívá stavitelného odporu, tzv. odporové dekády. Použijeme zapojení dle obr. 6, které se liší od zapojení předchozího (obr. 5) pouze tím, že vyměníme voltmetr za odporovou dekádu R. Nejprve necháme dekádu nepřipojenu a říditelným zdrojem nastavíme na ampérmetru určitou výchylku (například maximum rozsahu). Poté dekádu připojíme a snažíme se nastavením hodnoty jejího odporu dosáhnout poloviční výchylky na ampérmetru. Pokud máme jistotu, že zdroj dodává do obvodu stále stejný proud (a zdroj u této úlohy uvedenou podmínku splňuje), musí nyní protékat oběma větvemi shodný proud. To nastane tehdy, když odpory v obou větvích jsou stejné, a tedy vnitřní odpor přístroje je roven odporu nastavenému na dekádě.



Obrázek 6: Měření vnitřního odporu ampérmetru pomocí odporové dekády

7 Změna rozsahu měřicích přístrojů

Mezi ampérmetrem a voltmetrem není z principiálního hlediska žádný rozdíl. Oba přístroje mohou měřit jak napětí, tak i proud. Uživatelská odlišnost těchto přístrojů spočívá v cejchování stupnice a v hodnotě vnitřního odporu, který bývá typicky u ampérmetru malý a u voltmetru velký. Můžeme tedy po malých úpravách použít tentýž systém jak pro měření napětí, tak i pro měření proudu, a dokonce můžeme i v jistých mezích měnit rozsahy obou přístrojů. Způsob, jakým to lze zajistit, si ukážeme v následujících odstavcích.

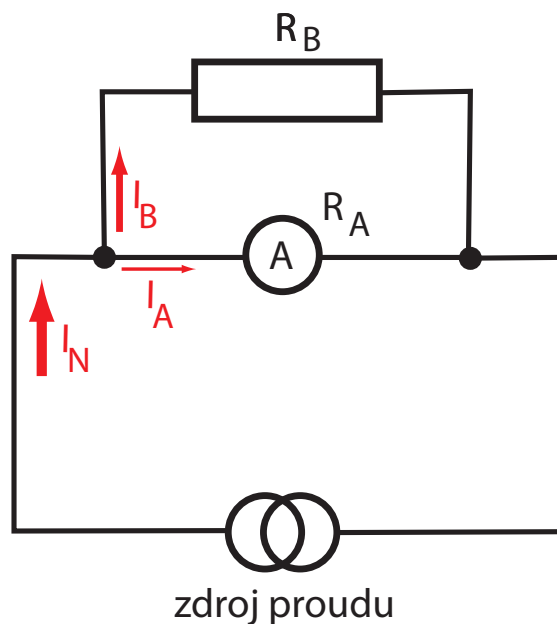
7.1 Změna rozsahu ampérmetru

Obecně můžeme rozsah přístroje pouze zvětšit. Měřený proud rozdělíme do dvou větví. Do první větve zapojíme měřicí přístroj a do druhé větve odpor vhodné velikosti, tzv. bočník (viz obr. 7). Funkce bočníku je velmi jednoduchá. Označíme-li I_N nový proudový rozsah přístroje a I_A maximální proud, který může téci měřicím přístrojem, je nový proudový rozsah n -krát větší než původní

$$I_N = n \cdot I_A.$$

Z tohoto proudu může téci jeden díl přístrojem a zbytek musí být veden bočníkem

$$I_B = I_N - I_A = (n - 1)I_A.$$



Obrázek 7: Zapojení bočnicku

Protože napětí je na měřicím přístroji a na bočnicku stejné,

$$R_B I_B = R_A I_A = U,$$

kde R_B je odpor bočnicku a R_A odpor ampérmetru, lze $(n - 1)$ -krát většího proudu I_B bočnickem dosáhnout jen $(n - 1)$ -krát menším odporem bočnicku

$$R_B = \frac{R_A I_A}{I_B} = \frac{R_A}{n - 1}.$$

Odpor bočnicku tedy musí být roven

$$R_B = \frac{R_A}{\frac{I_N}{I_A} - 1}. \quad (5)$$

Příklad: Zvětšení rozsahu ampérmetru $10\times$ Chceme-li použít přístroj původního rozsahu $100 \mu\text{A}$ pro měření proudu do 1 mA , musí při tomto proudu protékat bočnickem $900 \mu\text{A}$ a vlastním přístrojem pouze původních $100 \mu\text{A}$. Protože bočnickem poteče proud devětkrát větší než měřicím přístrojem, musí být odpor bočnicku devětkrát menší než odpor měřicího přístroje.

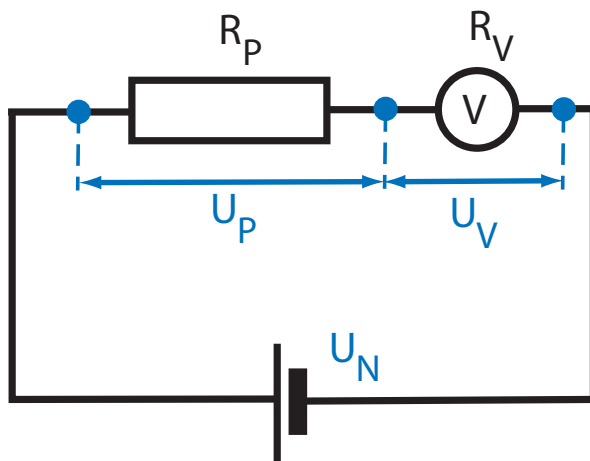
Kontrolní otázka č. 6

Mějme analogový měřicí přístroj z výroby cejchovaný jako ampérmetr rozsahu 5 A . Víme, že přístroj má vnitřní odpor $0,2 \Omega$. Kdybychom tento přístroj chtěli bez jakékoliv úpravy použít jako voltmetr, jaký by byl jeho rozsah?

7.2 Změna rozsahu voltmetru

Namísto paralelně zapojeného bočnicku je v případě změny rozsahu voltmetru třeba použít sériově zapojený odpor, tzv. předřadník (zapojení předřadníku je na obr. 8). Měřicí přístroj a předřadník pak spolu tvoří napěťový dělič tak, aby při celkovém napětí rovném novému rozsahu $U_N = n \cdot U_V$ bylo na měřicím přístroji napětí shodné s jeho původním rozsahem U_V , zbytek napětí je na předřadníku

$$U_P = U_N - U_V = (n - 1)U_V.$$



Obrázek 8: Zapojení předřadníku

Protože měřicím přístrojem i předřadníkem teče stejný proud, dělí se napětí v poměru odporů

$$\frac{U_V}{R_V} = \frac{U_P}{R_P} = I.$$

Odpor předřadníku R_P musí proto být $(n - 1)$ -násobkem vnitřního odporu měřicího přístroje R_V

$$R_P = \frac{U_P}{U_V} R_V = (n - 1) R_V.$$

Odpor předřadníku tedy musí být roven

$$R_P = \left(\frac{U_N}{U_V} - 1 \right) R_V. \quad (6)$$

Příklad: Zvětšení rozsahu voltmetru 28× Máme-li ampérmetr s měřicím rozsahem $100 \mu\text{A}$ a vnitřním odporem 1800Ω , funguje jako voltmetr do napětí $U = R_V \cdot I_A = 1800 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{V} = 0,18 \text{V}$. Chceme-li měřit napětí do 5V , čili téměř 28x větší, musí být na měřicím přístroji napětí $0,18 \text{V}$ a na předřadníku 27x větší, čili $4,82 \text{V}$. Odpor předřadníku musí být také 27x větší než odpor měřicího přístroje, čili $R_P = 27 \cdot 1800 \Omega = 48600 \Omega$.

8 Experimentální vybavení

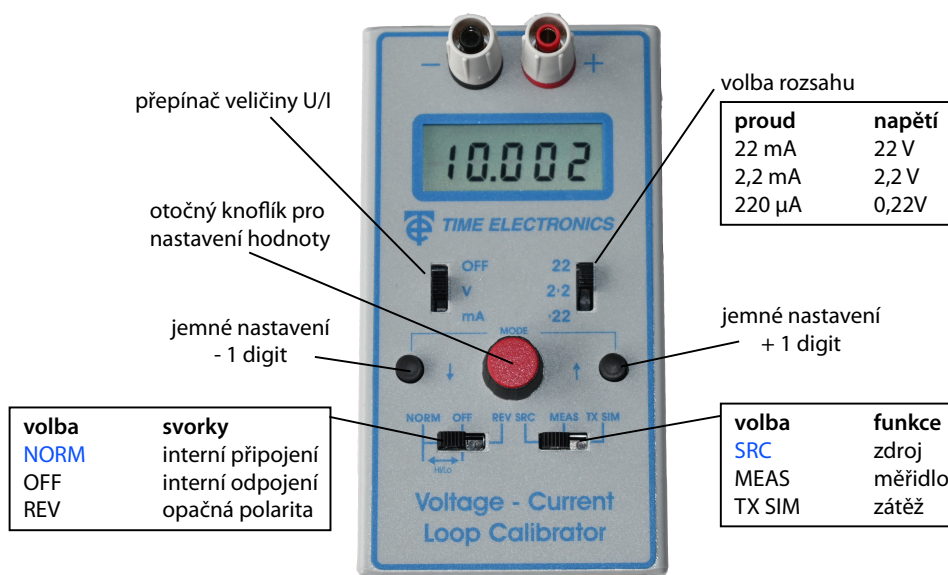
Vybavení pro experimenty znázorňuje obrázek 9. V této části budeme nejprve zkoumat vlastnosti ručkového přístroje, ocejchovaného výrobcem jako ampérmetr s rozsahem $100 \mu\text{A}$. Následně z něj uděláme ampérmetr jiného rozsahu a analogový voltmetr. Vlastní měření budeme provádět pomocí kalibrátoru, což je přístroj, který může fungovat jako velmi přesný zdroj napětí i proudu (viz obr. 10).



Obrázek 9: Experimentální vybavení

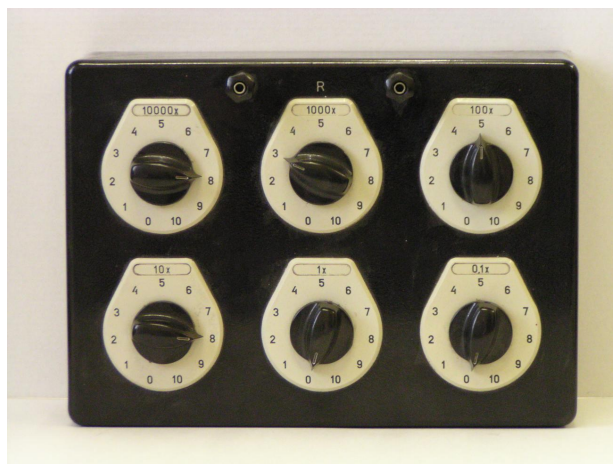
Má-li kalibrátor fungovat jako zdroj stabilizovaného napětí nebo proudu, oba dolní přepínače musí být v levé pozici. Výběr stabilizované veličiny se provádí horním přepínačem vlevo, výběr rozsahu horním přepínačem vpravo. Hodnotu na výstupu nastavujeme červeným otočným knoflíkem, jemné doladění o jeden digit malými tlačítky z obou stran - tlačítko ↓ a tlačítko ↑.

Před přepnutím rozsahu nebo změnou stabilizované veličiny se vždy přesvědčíme, že červený otočný knoflík je stažen na nulu (točíme lehce proti směru hodinových ručiček). Při přepnutí rozsahu se jinak může stát, že do ručkového přístroje pustíme příliš velký proud a zničíme ho!



Obrázek 10: Kalibrátor a jeho ovládací prvky. Na obrázku jsou dolní přepínače v poloze vlevo (funkce jsou v tabulce vyznačeny modře) - kalibrátor zde funguje jako zdroj.

Na obrázku 11 je odporová dekáda, která je v úloze také k dispozici. Požadovaný odpor nastavujeme otočnými přepínači. Na dekádě je nyní nastaven odpor $83\,580\,\Omega$.



Obrázek 11: Odporová dekáda s nastavenou hodnotou $83\,580\,\Omega$

Úkoly

1. Sestavte jednoduchý obvod, kde jako zdroj proudu bude použit kalibrátor a ve kterém bude zapojena odporová dekáda s vhodným přednastaveným odporem. Kalibrátor ukazuje hodnotu proudu, proud tedy už nemusíme měřit dalším přístrojem. Pro stanovení napětí, které je na dekádě, použijte stolní digitální multimetr Keysight U3401A jako voltmetr. Z Ohmova zákona spočítejte odpor dekády a výsledek porovnejte s údajem na dekádě. Určete nejistoty měřeného napětí i proudu a vypočítejte nejistotu odporu dekády.
2. Změřte vnitřní odpor ručkového ampérmetru o rozsahu $100\,\mu\text{A}$ oběma výše uvedenými metodami - z Ohmova zákona a substituční metodou. Pro měření z Ohmova zákona použijte jako voltmetr stolní digitální multimetr Keysight U3401A.
3. Spočítejte velikosti bočniců, které zvětší rozsah ručkového ampérmetru $100\,\mu\text{A}$ na hodnoty $0,5\,\text{mA}$, $1\,\text{mA}$ a $2\,\text{mA}$. Bočnice realizujte odporovou dekádou. Jako zdroj proudu použijte kalibrátor nastavený na maximální hodnotu nového rozsahu ručkového přístroje. Správnou funkci přístroje na nových rozsazích ověřte užitím údaje o proudu na kalibrátoru (kalibrátor užit jako kontrolní ampérmetr).
4. Spočítejte velikosti předřadníků, které umožní používat ručkový ampérmetr $100\,\mu\text{A}$ jako voltmetr s rozsahy $5\,\text{V}$ a $10\,\text{V}$. Předřadníky realizujte odporovou dekádou. Jako zdroj napětí použijte kalibrátor nastavený na maximální hodnotu nového rozsahu ručkového přístroje. Správnou funkci přístroje na nových rozsazích ověřte užitím údaje o napětí na kalibrátoru (kalibrátor užit jako kontrolní voltmetr).

A Typy měřicích přístrojů

A.1 Ručkové měřicí přístroje

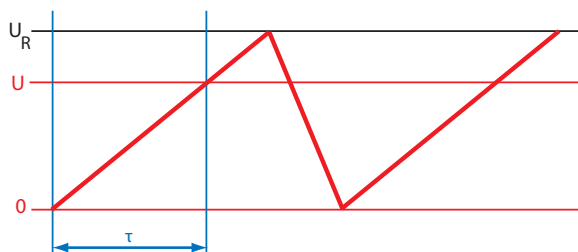
Tyto přístroje využívají silové interakce mezi magnetickým polem a cívkou, kterou protéká měřený proud¹. Nejčastější uspořádání je tzv. magnetoelektrický (deprézský) systém, kde je ručka spojena s otočnou cívkou umístěnou v poli permanentního magnetu. Při průchodu proudem působí na cívku silový moment, který je úměrný proudu. Cívka a s ní spojená ručka zaujme takovou polohu, ve které je moment magnetické síly roven vratnému momentu pružiny.

Pokud chceme tímto přístrojem měřit střídavý proud, je nutné proud nejprve usměrnit diodou zapojenou do série s přístrojem.

Důležité je, že přístroj v principu měří proud, i když jej lze použít pro měření napětí. Vždy tedy musí přístrojem určitý proud procházet, což může významně ovlivnit děje v obvodu, ve kterém je přístroj zapojen.

A.2 Digitální měřicí přístroje

Digitální přístroj je elektronický systém, který umožňuje převod měřené analogové veličiny na digitální. Jeho podstatnou součástí je analogově–digitální převodník, nebo-li A/D převodník. Existuje celá řada konstrukcí, jejichž výčet a popis přesahuje rozsah tohoto textu. Uvedeme si jen jeden příklad, který převádí problém měření napětí na měření času. Princip je znázorněn na obr. 12. Součástí převodníku je zdroj napětí lineárně rostoucího v čase a pokrývající celý měřicí rozsah přístroje (tzv. pilovité napětí, zde od U_0 do U_R). Převodník pak měří čas, za který pilovité napětí dosáhne hodnoty napětí měřeného. Čas lze měřit relativně jednoduše a přesně s využitím vysokofrekvenčního generátoru a čítače. Generátor pulzů využívá vlastních kmitů křemenného krystalu, obdobně jako oscilátor ve standardních hodinkách typu Quartz². Kmitá-li oscilátor například na frekvenci 1 MHz, pak každý pulz registrovaný čítačem odpovídá času 1 μ s.



Obrázek 12: Měření napětí A/D převodníkem s převodem na měření času

Mezi digitální přístroje řadíme i A/D převodníky instalované na přídatných měřicích kartách do počítačů, i když tato zařízení zcela postrádají běžný vzhled měřicího přístroje.

Významnou vlastností digitálních voltmetrů a A/D převodníků je vysoký vnitřní odpor, který zajišťuje velmi malý odběr elektrického proudu při vlastním měření.

Více informací o automatizaci a digitálních přístrojích najdete v návodu k úloze Automatizace měření.

B Užití v praxi

Pochopení principu měření elektrického napětí a proudu je podstatné pro mnoho činností v průmyslové praxi. Většina neelektrických veličin se převádí na napětí nebo proud pro využití moderní

¹Existují ručkové přístroje založené i na odlišném principu, jsou však méně časté.

²Quartz je anglicky křemen.

záznamové a výpočetní techniky. Důkladné pochopení vlastností řetězce zpracování měřeného signálu je důležité pro správnou interpretaci dat a stanovení měřicích a kalibračních postupů. Mimo diagnostiku elektrických zařízení, kde se využívá přímo měření elektrického napětí nebo proudu, se můžeme s podobnými měřeními setkat u řady dalších metod.

Mezi metody využívající přímo měření napětí a proudu patří **čtyřbodová metoda stanovení měrného odporu materiálu**. Pro správnou interpretaci výsledků měření je nutná znalost interakce měřicího zařízení se vzorkem a také znalost kontaktních jevů. Podobnou metodou je měření odporu šíření, která se používá ke **stanovení hloubkových profilů elektrických vlastností materiálů** pomocí měření napětí a proudu na dvou měřicích hrotech krokujících po šikmém výbrusu materiálu. Metoda vyžaduje provedení kalibrace na vzorcích se známým měrným odporem.

Dalším příkladem je **měření teploty pomocí termočlánků** nebo **řízení koncentrace roztoků pomocí měření jejich vodivosti**. Převod dalších veličin na elektrické napětí nebo proud je často komplexní záležitost využívající různých fyzikálních jevů (např. tlak, hmotnost, intenzita záření, koncentrace látek apod.)