

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 1

Zpracoval: Tomáš Plšek, 461281

Naměřeno: 13.4.2017

Obor: Astrofyzika

Skupina: Čt, 8:00

Úloha: 9. Měření elektrického proudu a napětí

$T = 22,3\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\varphi = 31,7\text{ }\%$

$p = 99,45\text{ hPa}$

Úkoly

1. Změřte vnitřní odpor ampérmetru o rozsahu $100\text{ }\mu\text{A}$ oběma metodami (z Ohmova zákona nebo substituční metodou).
2. Spočítejte velikosti bočníků, které zvětší rozsah ampérmetru $100\text{ }\mu\text{A}$ na hodnoty $0,5\text{ mA}$, 1 mA a 2 mA . Bočníky realizujte odporovou dekadou. Pomocí jiného ampérmetru ověřte správnou funkci přístroje.
3. Spočítejte velikosti předřadníků, které umožní používat ampérmetr $100\text{ }\mu\text{A}$ jako voltmetr s rozsahy 5 V a 10 V . Předřadníky realizujte odporovou dekadou. Pomocí jiného voltmetru ověřte správnou funkci přístroje.
4. Určete číselný rozsah osmibitového a šestnáctibitového D/A převodníku. Víme, že do převodníku lze zadávat jen celá nezáporná čísla.
5. Určete reálný napěťový rozsah, kvantizační krok a rozlišovací schopnost D/A převodníku. Porovnejte šestnáctibitový modul USB-9263 a osmibitový převodník MDAC08.
6. Nastavte na převodníku USB-9263 napětí $3,2\text{ V}$. Potřebné číslo předem odhadněte výpočtem.
7. Otestujte vliv vzorkovací frekvence na kvalitu záznamu analogového signálu. Frekvenci signálu nastavte na 1 kHz . Vzorkovací frekvenci nastavte na 20 kHz , 2 kHz , 1 kHz , $1,1\text{ kHz}$ a 100 Hz .
8. Určete kvantizační krok A/D převodníku v měřicí kartě systému ISES. Na modulu voltmetr zkratujte vodičem vstupní svorky a spusťte měření. V záznamu potom nalezněte nejmenší nenulovou změnu napětí. Získanou hodnotu porovnejte s teoretickým kvantizačním krokem.

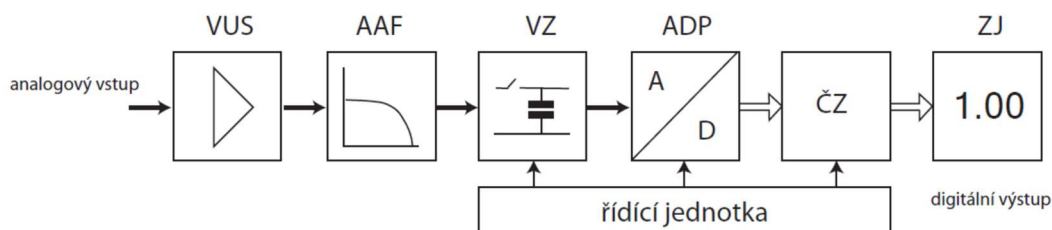
1. Úvod

Měření elektrických veličin patří k základním experimentálním technikám. V současné době je patrný trend převádět i jiné, neelektrické veličiny na napětí nebo proud pomocí speciálních snímačů, čímž roste i význam správného a přesného měření elektrických veličin.

Elektrické přístroje dělíme na analogové (ručičkové) a digitální (číslíkové). Rozdíl těchto přístrojů nespočívá pouze ve způsobu zobrazování měřené hodnoty, nýbrž především v konstrukci přístroje, a tedy rozdílných vlastnostech.

Analogové měřicí přístroje jsou nejčastěji založeny na využívání silové interakce mezi magnetickým polem a cívkou protékanou měřeným proudem. Celý pohyblivý systém cívka – ručička má však nenulový moment setrvačnosti, přístroj tedy není schopen reagovat na rychlé změny a okamžitá výchylka je přes reakční dobu úměrná střední hodnotě proudu.

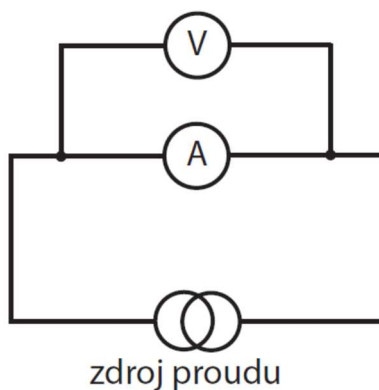
Digitální měřicí přístroje jsou elektronické systémy, které převádí měřené analogové veličiny na digitální signál. V principu se převod spojitého analogového signálu na digitální proud čísel skládá ze tří částí: *vzorkování signálu v čase* (odběr vzorku v určitých časových úsecích), *kvantování signálu* (zaokrouhlení odebraného vzorku na hodnotu nejbližší tzv. kvantovací úrovni) a *kódování* (vyjádření kvantovaných hodnot určitým kódem).



Obrázek 1: Schéma digitálního přístroje. VUS – vstupní úprava signálu, AAF – antialiasingový filtr, VZ – vzorkovač, ADP – analogově digitální převodník, ČZ – číslicové zpracování, ZJ – zobrazovací jednotka.¹

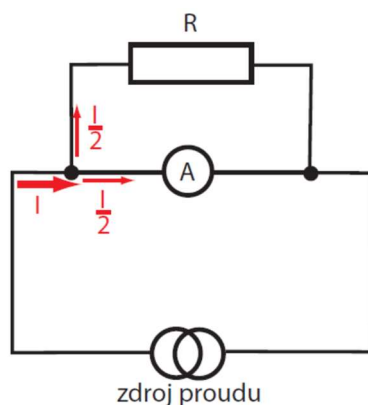
Měření vnitřního odporu ručkového měřicího přístroje lze uskutečnit dvěma způsoby. Odpor můžeme spočítat obecně z Ohmova zákona:

$$R_A = \frac{U_V}{I_A}. \quad (1)$$



Obrázek 2: Měření vnitřního odporu ampérmetru z Ohmova zákona²

Druhou možností je tzv. substituční metoda, která využívá odporové dekády (rezistor s nastavitelným odporem). Zapojení obvodu bude prakticky stejné jako na obrázku 2, pouze místo voltmetru zapojíme odporovou dekádu. Nejprve při nezapojené dekádě řiditelným zdrojem proudu nastavíme na ampérmetru určitou výchylku (například maximální). Do obvodu připojíme dekádu (obrázek 3) a zvyšujeme odpor dekády tak abychom docílili poloviční výchylky na ampérmetru. Oběma větvemi obvodu bude v tuto chvíli protékat stejný proud. Odpor dekády se tedy právě rovná odporu ampérmetru.



Obrázek 3: Měření vnitřního odporu ampérmetru pomocí substituční metodou³

Změna rozsahu měřicích přístrojů je založena na podobném principu jako substituční metoda. V případě ampérmetru bude výsledné zapojení stejné jako na obrázku 3, pouze odpor se bude lišit v závislosti na požadované změně rozsahu. Pro zvětšení maximálního rozsahu n -krát je potřeba odpor na bočníku (dekádě) nastavit na hodnotu R_B rovnu:

$$R_B = \frac{R_A}{\frac{I_N}{I_A} - 1}, \quad (2)$$

kde R_A je odpor ampérmetru, I_A je maximální rozsah ampérmetru a I_N je nový požadovaný rozsah.

V případě voltmetru se pro změnu jeho rozsahu užívá tzv. předřadníků (jedná se o dekádu zapojenou v sérii s měřicím přístrojem). Pro zvětšení maximálního rozsahu napětí je potřeba předřadník s hodnotou odporu R_P , která je rovna:

$$R_P = \left(\frac{U_N}{U_V} - 1 \right) R_A, \quad (3)$$

kde R_V je odpor voltmetru, U_V je maximální rozsah voltmetru a U_N je nový požadovaný rozsah.

Automatizace měření patří mezi základní moderní fyzikální metody měření. Nejčastěji měřenou veličinou je elektrické napětí, neboť se často měření ostatních veličin i neelektrických právě na napětí převádí. Současná výpočetní technika však přímé měření elektrického napětí není schopna zpracovat. Potřebujeme proto speciální analogově-digitální převodníky pro převod analogově měřené veličiny do digitálního číselného zpracování. Na stejném principu (pouze v opačném pořadí) jsou založeny i digitálně-analogové převodníky. Ty však slouží primárně jako nastavitelné generátory (napětí, proudu atd.).

Toto číslicové zpracování je v současné době zprostředkováno pomocí dvojkové (binární) soustavy. U převodníků je důležitým parametrem rozlišení neboli počet bitů, které určují jeho rozsah. Maximální počet čísel je závislý na počtu bitů:

$$11 \dots 1_2 = 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + \dots + 1 \cdot 2^{n-1} = 2^n - 1, \quad (4)$$

kde n je počet bitů.

Ze statických vlastností převodníků můžeme určit: kvantizační krok (5), chybu nuly (ofsetu) (6) a chybu měřítka (zesílení) (7). Například pro napěťový D/A převodník platí:

$$U_q = \frac{U_r}{2^n - 1}, \quad (5)$$

kde U_r je maximální nominální rozsah napětí a U_q je hledaný kvantizační krok,

$$\delta_0 = \frac{\Delta U_0}{U_r}, \quad (6)$$

$$\delta_m = \frac{\Delta U_m - \Delta U_0}{U_r}, \quad (7)$$

kde U_0 a U_m jsou minimální a maximální hodnoty napětí reálně nastavitelné na převodníku a ΔU_0 a ΔU_m jsou odchylky od nominálních hodnot.

2. Měření

2.1 Vnitřní odpor ampérmetru

Vnitřní odpor ampérmetru určíme oběma výše uvedenými metodami (z Ohmova zákona a pomocí substituční metody).

Z Ohmova zákona

Napětí měřené voltmetrem $U_V = 180,32(5) \text{ mV}$.

Proud měřený ampérmetrem $I_A = 100,0(1,5) \mu\text{A}$.

Odpor ampérmetru $R_A = 1800(30) \Omega$.

Substituční metodou

Proud na ampérmetru před zapojením dekády $I_0 = 100,0(1,5) \mu\text{A}$.

Proud na ampérmetru po zapojení dekády $I = 50,0(1,5) \mu\text{A}$.

Odpor na dekádě $R_{dek} = 1780(60) \Omega \doteq R_A$.

2.2 Velikosti odporů bočníků

Potřebné velikosti odporu bočníků pro jednotlivé případy spočteme podle vzorce (2) a následně potřebné rozsahy ověříme měřením. Před uzlem mezi ampérmetrem a bočníkem připojíme kontrolní ampérmetr a sledováním hodnoty proudu tekoucím celým obvodem upravujeme odpor na bočníku tak, abychom dosáhli co nejbližší požadovanému rozsahu. Spočtené hodnoty platí pro případ, kdy odpor ampérmetru $R_A = 1780 \Omega$.

Výpočet		Měření	
$I_m [\text{mA}]$	$R_{dek} [\text{ohm}]$	$I_m [\text{mA}]$	$R_{dek} [\text{ohm}]$
0,5	445	0,5008(3)	453,0(5)
1,0	197,8	1,0000(4)	214,0(2)
2,0	93,7	2,0006(4)	95,3(1)

Tabulka 1: Velikost odporu bočníků – srovnání výpočtu a měření

2.3 Velikosti odporů předřadníků

V případě předřadníků budeme postupovat obdobě jako v případě bočníků. Spočtenou hodnotu potřebného odporu opět ověříme výpočtem. V tomto případě bude kontrolní voltmetr připojen k obvodu paralelně.

Výpočet		Měření	
U [V]	R [kΩ]	U_V [V]	R_{dek} [kΩ]
5	47,7	4,9989(5)	47,60(5)
10,0	97,1	10,0049(8)	97,0(1)

Tabulka 2: Velikosti odporu předřadníků – srovnání výpočtu a měření

2.4 Číselný rozsah 8 a 16 bitového D/A převodníku

Číselný rozsah n -bitového převodníku spočteme ze vztahu (4): $X(n) = 2^n - 1$.

Počet bitů	Počet čísel
8	255
16	63535

Tabulka 3: Číselný rozsah 8 a 16 bitového převodníku

2.5 Napět'ový rozsah, kvantizační krok a rozlišovací schopnost D/A převodníku

Napět'ový rozsah určíme dosazením krajních hodnot (0 a 255/63535) a následným měřením generovaného napětí, kvantizační krok spočteme pomocí vztahu (5).

Převodník	MDAC08	USB-9263
Počet bitů	8	16
Počet čísel	255	63535
Napět'ový rozsah [V]	0 až 9,88	-10,68 až 10,04
Kvantizační krok [V]	0,0387	0,000326
Rozlišovací schopnost	1:255	1:63535

Tabulka 4: Srovnání vlastností 8 a 16 bitového D/A převodníku

2.6 Odhad napětí na převodníku

Číselnou hodnotu, která odpovídá hodnotě napětí co nejbližší hodnotě 3,2 V, určíme interpolací ze znalosti krajní hodnoty a kvantizačního kroku. Číselná hodnota pro dané napětí U je tedy rovna:

$$x = \frac{X}{U_r} \cdot (U - U_0)$$

Číselná hodnota určená pomocí interpolace $x = 42575$.

Měřené napětí pro danou číselnou hodnotu $U = 3,2089936$ V.

Napětí co neblíže hodnotě 3,2 V určené púlením intervalů $U = 3,2002197$ V.

Číselná hodnota odpovídající napětí nejbližšímu hodnotě 3,2 V $x = 42548$.

2.7 Vliv vzorkovací frekvence na kvalitu záznamu

Pro záznam signálu o frekvenci 1 kHz jsme použili následující vzorkovací frekvence: 20 kHz, 2 kHz, 1,1 kHz, 1 kHz a 100 Hz.

Vzorkovací frekvence	Frekvence záznamu
20 kHz	1 kHz
2 kHz	1 kHz
1,1 kHz	0,1 kHz
1 kHz	-
100 Hz	-

Tabulka 5: Schopnost vzorkovací frekvence zaznamenat signál o frekvenci 1 kHz

2.8 Kvantizační krok A/D převodníku

Převodník	ISES
Počet bitů	12
Počet čísel	4095
Kvantizační krok [V]	0,001221
Nejmenší změna napětí [V]	0,001220

Tabulka 6: Vlastnosti 12 bitového A/D převodníku ISES

3. Závěr

Vnitřní odpor ampérmetru jsem z Ohmova zákona stanovil na $R_A = 1800(30) \Omega$ a substituční metodou na $R_A = 1780(20) \Omega$.

V případě Ohmova zákona se na výsledné nejistotě podílela nejistota při měření proudu a napětí. V druhém případě měla vliv pouze nejistota odporové dekády. Výsledek však ovlivnila i nejistota měření proudu.

Velikosti odporu bočníků jsem odhadnul výpočtem a následně jsem ověřil při jakém odporu dosáhneme potřebného rozsahu (viz tabulka 1). Výsledné odpory docela souhlasí s výpočtem.

Rozdíl mezi spočtenými a naměřenými hodnotami je způsoben především odhadnutím odporu ampérmetru na hodnotu $R_A = 1780 \Omega$. Na nejistotě odporu měla vliv pouze nejistota odporové dekády. Na výsledek však může mít vliv i nejistota kontrolního ampérmetru.

Velikosti odporu předřadníků jsem rovněž nejdříve spočítal ze vzorce (3) a následně jsem ověřil jaký odpor skutečně odpovídá požadovanému napětí (viz tabulka 2).

Spočtené a změřené hodnoty se shodují v rámci chyby měření. Na výsledné nejistotě odporu měla vliv pouze nejistota odporové dekády. Výsledek však ovlivnila i nejistota měření napětí kontrolním voltmetrem.

Určil jsem **vlastnosti 8 a 16 bitových převodníků** (MDAC08 a USB-9263): číselný rozsah, napěťový rozsah, kvantizační krok a rozlišovací schopnost (viz tabulka 4).

Číselnou hodnotu odpovídající **napětí 3,2 V** jsem interpolací stanovil na hodnotu $x = 42575$, nejbližší požadovanému napětí je však číslo $x = 42548$, kterému odpovídá napětí $U = 3,2002197 \text{ V}$. Rozdíl čísel je $\Delta x = 27$.

Pro záznam signálu o určité frekvenci je potřeba **vzorkovací signál** o frekvenci minimálně dvojnásobné (viz tabulka 5).

Určil jsem vlastnosti **A/D převodníku na kartě ISES**: číselný rozsah, kvantizační krok a nejmenší změnu napětí (viz tabulka 6).

4. Zdroje

¹ ZDENĚK BOCHNÍČEK, JANA JURMANOVÁ, PAVEL KONEČNÝ, ZDENĚK NAVRÁTIL A LUBOŠ POLÁČEK. *Fyzikální praktikum 1, Návodů k úlohám*; Úloha č. 9: Měření elektrického proud a napětí, Obrázek 1: Obecné schéma digitálního přístroje. Brno, 2013. Dostupný z https://is.muni.cz/www/108960/trans/navody/skripta_fp1.pdf.

² ZDENĚK BOCHNÍČEK, JANA JURMANOVÁ, PAVEL KONEČNÝ, ZDENĚK NAVRÁTIL A LUBOŠ POLÁČEK. *Fyzikální praktikum 1, Návodů k úlohám*; Úloha č. 9: Měření elektrického proud a napětí, Obrázek 4: Měření vnitřního odporu ampérmetru z Ohmova zákona. Brno, 2013. Dostupný z https://is.muni.cz/www/108960/trans/navody/skripta_fp1.pdf.

³ ZDENĚK BOCHNÍČEK, JANA JURMANOVÁ, PAVEL KONEČNÝ, ZDENĚK NAVRÁTIL A LUBOŠ POLÁČEK. *Fyzikální praktikum 1, Návodů k úlohám*; Úloha č. 9: Měření elektrického proud a napětí, Obrázek 5: Měření vnitřního odporu ampérmetru pomocí odporové dekády. Brno, 2013. Dostupný z https://is.muni.cz/www/108960/trans/navody/skripta_fp1.pdf.