

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 1

**Zpracoval:** Lukáš Lejdar

**Naměřeno:** 26. března 2024

**Obor:** F

**Skupina:** Út 16:00

**Testováno:**

Úloha č. 9:

### Měření elektrického napětí a proudu

$$T = 21,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 101,35 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 47,7 \text{ \%}$$

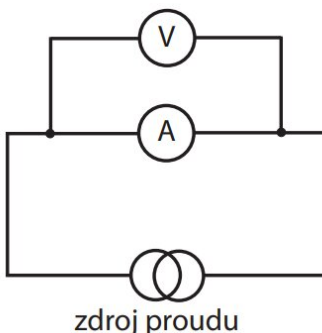
## 1. Úvod

V úloze se budu zabývat měřením vnitřního odporu ručkového ampérmetru a navržením obvodů pro rozšíření jeho rozsahu. Druhá část úlohy je zaměřená na digitálně analogové a analogově digitální převodníky a jejich vlastnosti.

## 2. Teorie

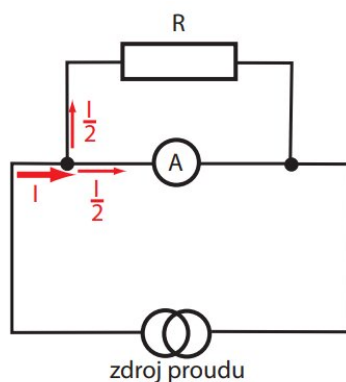
### 2.1. Měření vnitřního odporu ampérmetru

Určit vnitřní odpor ručkového ampérmetru jde jednoduše přímo z Ohmova zákona zapojením obvodu na obrázku 1.



Obrázek 1: Měření vnitřního odporu ampérmetru z Ohmova zákona

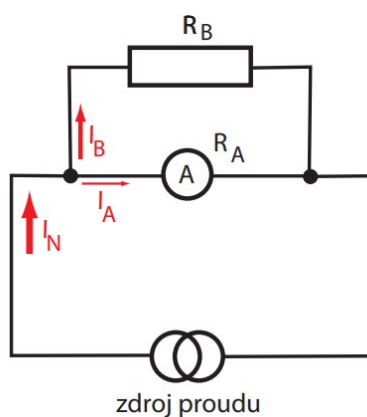
2. možnost využívá nastavitelného odporu podle obrázku 2. Nejprve necháme dekádu nepřípojenou a říditelným zdrojem nastavíme na ampérmetru maximální výchylku rozsahu  $I_0$ . Poté dekádu připojíme a snažíme se nastavením hodnoty jejího odporu dosáhnout poloviční výchylky  $I = \frac{I_0}{2}$ . Nyní protéká oběma větvemi stejný proud, což nastane právě tehdy, když obě větve mají stejný odpor.



Obrázek 2: Měření vnitřního odporu ampérmetru pomocí odporové dekády

## 2.2. Změna rozsahu ampérmetru

Obecně můžeme rozsah přístroje pouze zvětšit. Měřený proud jde pomocí bočnicku rozdělit do dvou větví a proud se měří jen v jedné, jako na obrázku 3. Celkový proud dopočítáme pomocí odporu bočnicku  $R_B$ .



Obrázek 3: Zapojení bočnicku

Protože napětí je na měřicím přístroji i na celkovém obvodu je stejné

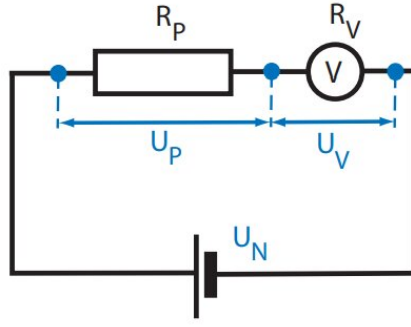
$$I_N \frac{R_A R_B}{R_A + R_B} = R_A I_A = U \quad (1)$$

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

kde  $I_N$  je celkový proud a  $I_A$  proud měřený ampérmetrem. Ze vztahu (2) můžu spočítat potřebný odpor  $R_B$  pro  $\frac{I_N}{I_A} = n$ -násobné zvětšení rozsahu měření proudu.

## 2.3. Změna rozsahu voltmetru

Rozsah voltmetru změni sériově zapojený odpor jako na obrázku 4, tzv. předradník. Místo voltmetru se taky dá použít ampérmetr se známým vnitřním odporem a napětí spočítat z ohmova zákona.



Obrázek 4: Zapojení předřadníku

Protože proud, který teče voltmetrem je stejný jako ten, který teče celým obvodem

$$\frac{U_V}{R_V} = \frac{U_N}{R_P + R_V} \quad (3)$$

$$R_P = \left( \frac{U_N}{U_V} - 1 \right) R_V, \quad (4)$$

$$(5)$$

kde  $\frac{U_N}{U_A} = n$ , což je koeficient zvětšení rozsahu. Pokud namísto voltmetru použijeme ampérmetr

$$U_N = (R_A + R_B) * I_A \quad (6)$$

$$R_B = \frac{U_N}{I_A} - R_A. \quad (7)$$

## 2.4. Digitální část

Číselný rozsah  $n$ -bitového převodníku určíme jako  $[0, 2^n - 1]$  a jeho kvantizační krok

$$k = \frac{U_m - U_0}{2^n - 1}, \quad (8)$$

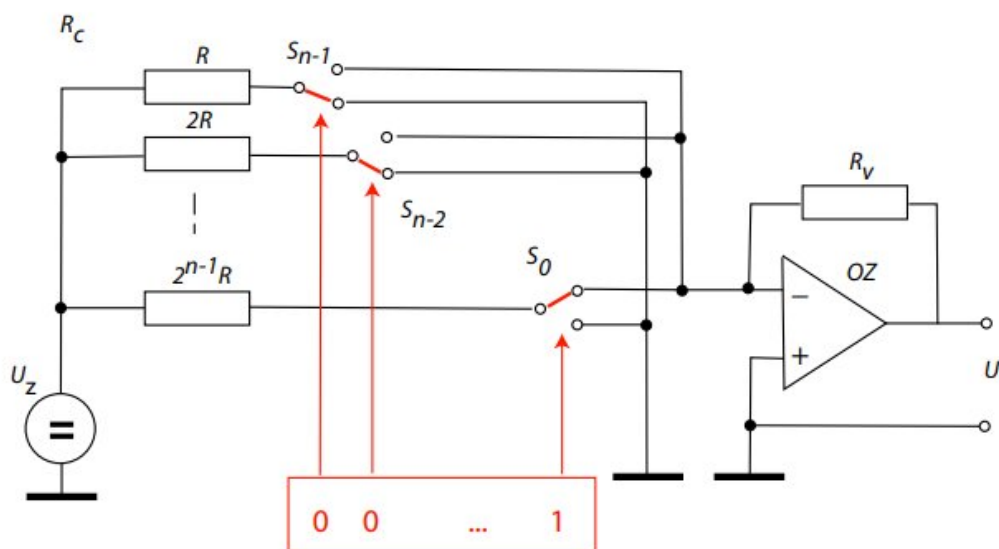
kde  $U_0$  je minimální a  $U_m$  maximální napětí. Pokud pro žádané napětí hledáme odpovídající vstup použijeme

$$x = \frac{U(x) - U_0}{k}. \quad (9)$$

Na obrázku 5 je uvedený jeden možný  $n$ -bitový přechodník, který obecně patří do skupiny převodníků konstruovaných pro mapování rozsahu  $(0, 2^n - 1)$  na napěťový rozsah  $(0, U_m)$ . Reálné získané napětí ale může být odlišné. Zavádíme proto veličny charakterizující tyto odchylky jako

$$\text{chyba offsetu} \quad \delta_0 = \frac{U_0}{k} \quad (10)$$

$$\text{chyba zesílení} \quad \delta_m = \frac{U_m - U_0}{k}. \quad (11)$$



Obrázek 5: D/A převodník s váhovými rezistory

### 3. Výsledky měření

#### 3.1. Měření vnitřního odporu ampérmetru

Použil jsem dvě metody měření vnitřního odporu ampérmetru  $R_A$ . Přímou z Ohmova zákona zapojením obvodu z obrázku 1 a pomocí odporové dekády podle obrázku 2.

měření z Ohmova zákona	$(1650 \pm 20) \Omega$
měření Dekádou	$(1670 \pm 20) \Omega$

Tabulka 1: výsledky měření vnitřního odporu ručkového ampérmetru

#### 3.2. Zvětšení rozsahu ampérmetru

N-násobné zvětšení rozsahu jde realizovat zapojením obvodu z obrázku 3 s odporem  $R_B$ , který spočítám ze vztahu (2). Nejjednodušší způsob kontroly je použít velmi přesně nastavitelný zdroj proudu a nastavit ho tak, aby na ručkovém ampérmetru byla právě maximální hodnota. Nakonec porovnám předpokládanou hodnotu proudu s tou nastavenou na zdroji.

n	$R_B [\Omega]$	$I_A [\mu A]$	předpokládáme $I = nI_0$ [mA]	opravdový proud $I$ [mA]
5	$(420 \pm 5)$	100	0.5	0.4929
10	$(187 \pm 2)$	100	1	0.9790
20	$(88 \pm 1)$	100	2	1.9664

Tabulka 2: Tabulka měření proudu použitím bočníku podle vztahu (2)

#### 3.3. Zvětšení rozsahu voltmetru

Pokud znám vnitřní odpor ampérmetru, můžu ho použít jako voltmetr. S přechodníkem o odporu  $R_B$  navíc můžu zvětšit jeho rozsah na hodnotu  $U_N$  podle vztahu (7). Ke kontrole použiju podobný postup jako u bočníku.

předpokládané napětí $U_N$ [V]	$I_A$ [ $\mu A$ ]	$R_B$ [ $k\Omega$ ]	opravdové napětí $U_N$ [V]
5	100	$(48.34 \pm 0.04)$	5.086
10	100	$(98.34 \pm 0.04)$	10.420

Tabulka 3: Tabulka měření napětí použitím přechodníku podle vztahu (7)

### 3.4. D/A převodníky

Určím rozsah 8-bitového převodníku MDAC08 a 16-bitového USB - 9162.

převodník	n	$U_m$ [V]	$U_0$ [V]	k [mV]
MDAC08	8	9.88121	$1.2560 \cdot 10^{-3}$	38.6
USB - 9162	16	10.6970	-10.6735	0.326

Tabulka 4: rozsahy dvou D/A převodníků a jejich kvantizační kroky

Interpolací podle vztahu (9) teď můžu nastavit libovolné napětí v rozsahu. Třeba pro  $U(x) = 3.2$  je  $x = 42545$ . Skutečné napětí bylo 3.19917 V.

Nominální rozsah převodníku MDAC08 je 0 - 10 V. Ze vztahů (10) a (11) spočítám chybu offsetu a chybu zesílení

$$\delta_0 = 1.26 \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

$$\delta_m = 11.8 \cdot 10^{-3}. \quad (13)$$

### 3.5. Vliv vzorkovací frekvence na kvalitu záznamu

Různými vzorkovacími frekvencemi jsem A/D převodníkem zaznamenával signál o frekvenci 1 kHz. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 3.

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

Tabulka 5: Vliv vzorkovací frekvence na kvalitu záznamu A/D převodníku

### 3.6. Kvantizační krok A/D převodníku

Kvantizační krok vyjadřuje minimální rozdíl napětí, který jde A/D převodníkem změřit. K jeho určení existuje následující postup. Zkratováním vstupních svorek začne karta měřit malé náhodné rozdíly napětí. Kvantizační krok se v získaných datech, projeví jako nejmenší nenulový rozdíl dvou následujících hodnot. Použil jsem 12-bitový A/D převodník na kartě ICP DAS PCI-1202LU z měřicího systému ISES. Nejmenší naměřený rozdíl byl 1.22099 mV.

## 4. Závěr

Použil jsem dvě různé metody pro měření vnitřního odporu ručkového ampérmetru. Obě měření uvedené v tabulce 1 jsou docela přesné a zhodují se. Dál jsem chtěl zvětšit měřící rozsah. Podle vztahů (2) a (7) jsem odhadl velikosti odporů bočníků a přechodníků a výsledky uvedl v tabulkách 2 a 3. Rozdíl vypočítaných hodnot a skutečných byl v obou případech minimální.

Určil jsem velikosti kvantizačních kroků dvou D/A přechodníků MDAC08 a USB - 9162 uvedené v tabulce 4. Povedlo se správně odhadnout potřebné vstupní číslo pro nastavení 3.2 V a chyby offsetu a zesílení byly obě minimální.

V tabulce 5 jsem testoval různé vzorkovací frekvence při měření signálu o frekvenci 1 kHz. Pro vzorkovací frekvenci 2 kHz už vyšla správná hodnota, ale spolehlivé měření by to nebylo. Vzorkovací frekvence by měla být alespoň o řád vyšší než ta měřená, aby mezi nimi nedošlo k nějaké harmonii.

Určil jsem kvantizační krok 12-bitového A/D převodníku s rozsahem 0 - 5 V na kartě ICP DAS PCI-1202LU jako 1.22099 mV, což odpovídá teoretickému výsledku  $k = \frac{U_r}{2^n - 1} = 1.221$  mV.

## Reference

[1] Návod k úloze 9 [https://www.physics.muni.cz/kof/vyuka/fp1\\_09.pdf](https://www.physics.muni.cz/kof/vyuka/fp1_09.pdf).