

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 1

**Zpracoval:** Lukáš Lejdar

**Naměřeno:** 26. března 2023

**Obor:** F

**Skupina:** Út 16:00

**Testováno:**

Úloha č. 9:

**Měření elektrického napětí a proudu**

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

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

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

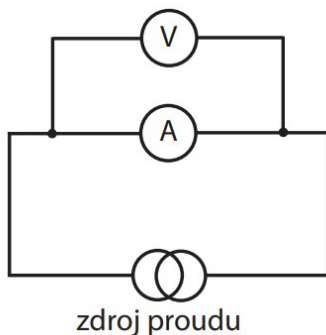
## 1. Úvod

V úloze se budeme 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

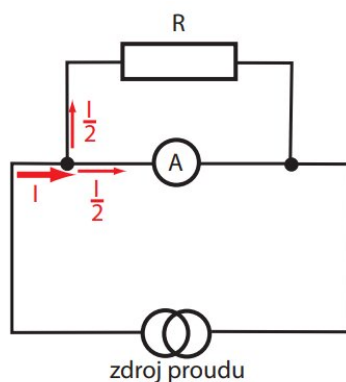
### 2.1. Měření vnitřního odporu ampérmetru

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



Obrázek 1: Měření vnitřního odporu ampérmetru z Ohmova zákona

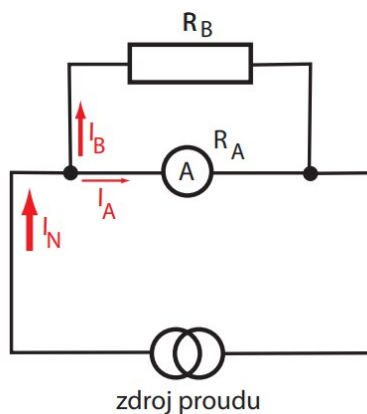
2. možnost využívá nastavitelného odporu podle obrázku 2. Nejprve necháme dekádu nepřipojenou a říditelným zdrojem nastavíme na ampérmetru maximální výchylku rozsahu  $I_0$ . Poté dekádu připojíme a snažíme se nastavením hodnoty jejího odporu dosáhnout poloviční výchylky  $I = \frac{I_0}{2}$ . Nyní protéká 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 bočníku rozdělit do dvou větví a proud se měří jen v jedné, jako na obrázku 3. Celkový proud dopočítáme se znalostí odporu bočníku  $R_B$ .



Obrázek 3: Zapojení bočníku

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

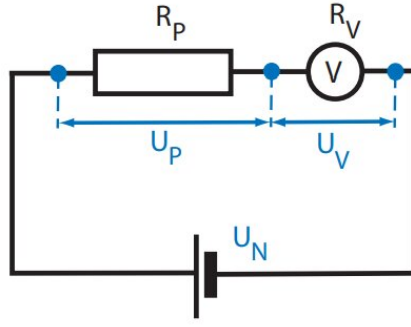
$$\frac{I_N}{R_A + R_B} = R_A I_A = U \quad (1)$$

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

kde  $I_N$ , je celkový proud a  $I_A$  měřený proud ampérmetrem. Vztah (2) udává potřebnou volbou  $R_B$  pro  $\frac{I_N}{I_A} = n$ -násobného zvětšení rozsahu proudu.

## 2.3. Změna rozsahu voltmetru

Namísto paralelně zapojeného bočníku je v případě změny rozsahu voltmetru třeba použít sériově zapojený odpor, tzv. předřadník (zapojení předřadníku je na obr. 4). 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 kefcient 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

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

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

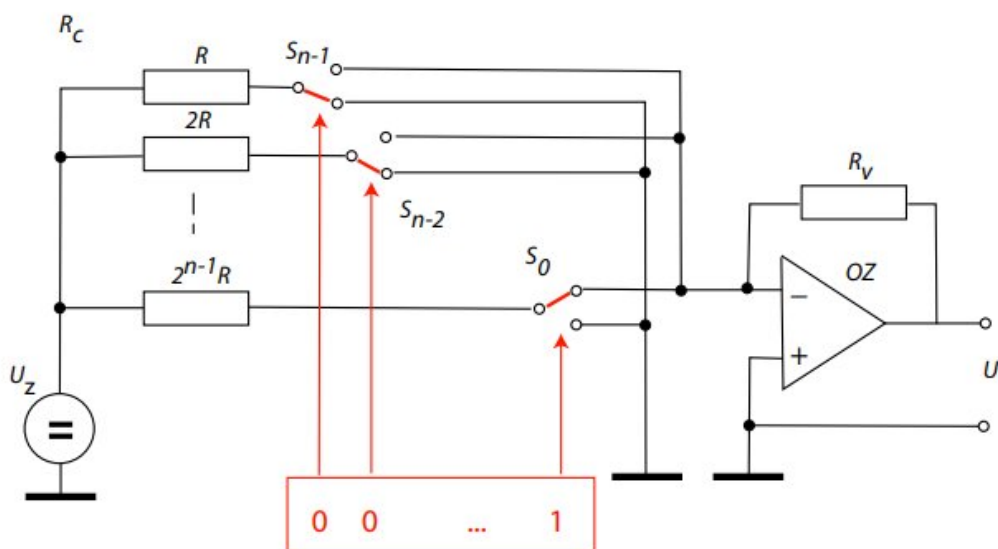
kde  $U_0$  je minimální a  $U_m$  maximální napětí. Pokud pro žádané napětí hledáme odpovídající vstup použijeme,

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

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

Použili jsme 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(50) $\Omega$
měření Dekádou	1670(20) $\Omega$

Tabulka 1: výsledky měření vnitřního odporu ručkového ampérmetru

#### 3.2. Zvětšení rozsahu ampérmetru

N-násobné zvětšení rozsahu můžeme realizovat zapojením obvodu z obrázku 3 s odporem  $R_B$ , který spočítáme ze vztahu (2) se znalostí  $R_A$ . Nejjednodušší způsob kontroly je použít velmi přesný nastavitelný zdroj napětí a nastavit ho tak, aby na ručkovém ampérmetru byl právě maximální hodnota. Nakonec provedeme 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(5)	100	0.5	0.4929
10	187(2)	100	1	0.9790
20	88(1)	100	2	1.9664

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

#### 3.3. Zvětšení rozsahu voltmetru

Se znalostí vnitřního odporu jde ampérmetr použít jako voltmetr. S přechodníkem s odporem  $R_P$  podle obvodu z obrázku 4 můžeme navíc zvětšit jeho rozsah na hodnotu  $U_N$  podle vztahu (7). Ke kontrole použijeme 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	48.320	5.086
10	100	98.320	10.420

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

### 3.4. D/A převodníky

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

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

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

Interpolací teď můžeme podle vztahu (9) 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) můžeme určit chybu offsetu a chybu zesílení jako

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

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

### 3.5. Vliv vzorkovací frekvence na kvalitu záznamu

Zaznamenávali jsme signál o frekvenci 1kHz A/D převodníkem a různými vzorkovacími frekvencemi. 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. Použili jsme 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 jsme chtěli zvětšit měřicí 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 uvedné v tabulce 4. Povedlo se správně odhadnout potřebné vstupní číslo pro nastavení 3.2 V a chyby offsetu a zesílení byli obě minimální.

V tabulce 5 jsme testovali různé vzorkovací frekvence pro měření signálu o frekvenci 1 kHz. Ke spolehlivým výsledkům bylo potřeba alespoň dvojnásobná vzorkovací frekvence.

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).