

MĚŘENÍ MALÝCH PROUDŮ

Jakub Dvořák

18.10.2020

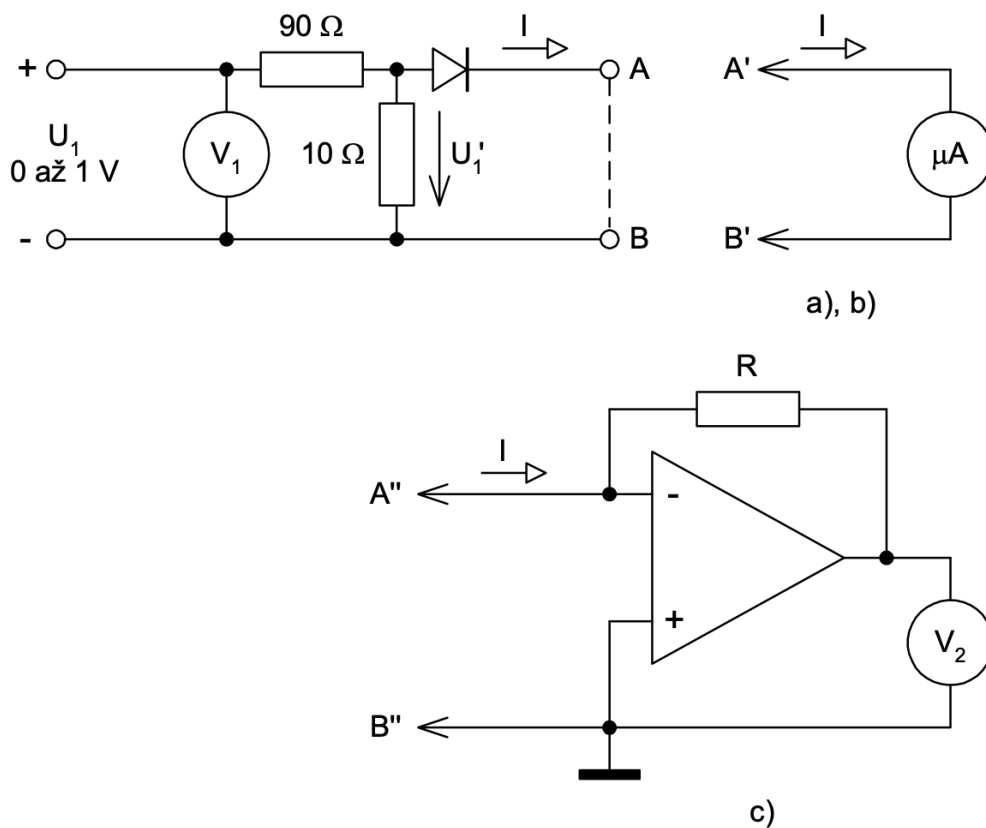


**FACULTY OF
ELECTRICAL ENGINEERING**

1 Úkol měření

1. V zapojení podle obr. 1 změřte proud germaniovou diodou v propustném směru v oblasti malých napětí (20 až 100 mV) v pěti bodech charakteristiky:
 - a) analogovým mikroampérmetrem,
 - b) číslicovým mikroampérmetrem na různých rozsazích,
 - c) pomocí převodníku proud - napětí s operačním zesilovačem, u něhož před měřením určete velikost odporu zpětnovazebního rezistoru R tak, aby převod proud - napětí byl 10^{-5} A/V.
2. Naměřené hodnoty vynesete do společného grafu.
3. Při měření dle 1a) a 1b) určete chybu metody způsobenou vnitřním odporem ampérmetru.
4. Z naměřených hodnot určete **vnitřní odpory použitých mikroampérmetrů**.

2 Schéma zapojení



Obrázek 1: Zapojení pro měření malých proudů [1]

3 Seznam použitých přístrojů

- V_2 - voltmetr číslicový, typ ..., přesnost ...
- μA_1 - mikroampérmetr magnetoelektrický, tř.přes. 0,5, rozsah $150 \mu A$
- μA_2 - mikroampérmetr číslicový, typ GDM-8145 přesnost $\pm(0,3 \% + 2 \text{ digity})$, rozsah $200 \mu A$ a 2 mA
- R - přesný rezistor nebo odporová dekáda, přesnost 0,1 % (příp. 0,2 %)
- Př1 - přípravek s odporovým děličem a polovodičovou diodou
- Př2 - přípravek s operačním zesilovačem
- U_1 - zdroj proměnného stejnosměrného napětí s číslicově nastavitelnou hodnotou
- NZ - napájecí zdroj pro OZ

4 Teoretický úvod

Při měření malých proudů ručními ampérmetry nastává chyba měření. Ta je dána relativně vysokým odporem bočníku ampérmetru, na kterém měříme úbytek napětí. Dle obrázku 1 je vidět, že odpor diody, která není vlivem nízkého napětí zcela otevřena, je srovnatelný s odporem ampérmetru. Vinou čehož vznikne dělič napětí se srovnatelnými úbytky napětí na diodě a na ampérmetru. Tato chyba metody jde kompenzovat zvýšením rozsahu a tedy snížením odporu. Zde se ale naměřená hodnota dostane na začátek rozsahu a vzniká zde opět nejistota měření daná *chybou rozsahu*.

5 Naměřené hodnoty

Změřená data jsou v tabulce 1.

Námi změřené hodnoty mají různé předpony i jednotky. Je proto nutné je přepočítat na jednotné jednotky. Pro číslicový ampérmetr stačí hodnoty v mA vynásobit 1000, abychom dostali μA . Pro spočtení napětí na výstupu operačního zesilovače platí:

$$\begin{aligned} I_{in} &= -I_{out} \\ I_{in} &= -\frac{U_{out}}{R} \\ I_{in} &= -\frac{U_{out}}{10\,000} \text{ A}, \end{aligned} \tag{1}$$

Vstupní napětí $\frac{U}{V}$	Ručičkový μ ampérmetr $\frac{I}{\mu A}$ rozsah 150 μA	GDM-8145 $\frac{I}{\mu A}$ rozsah 200 μA	GDM-8145 $\frac{I}{mA}$ rozsah 2 mA	IU Převodník $\frac{U}{V}$ rozsah 2 V
0,2	0,9	1,33	0,0012	-0,0155
0,3	1,4	2,36	0,0024	-0,0277
0,4	2	3,69	0,0041	-0,0448
0,5	2,6	5,39	0,0064	-0,0684
0,6	3,3	7,48	0,0095	-0,1012
0,7	4	10	0,0136	-0,1459
0,8	4,8	12,96	0,0190	-0,2062
0,9	5,25	16,37	0,0260	-0,2867
1	6,4	20,23	0,0349	-0,3926

Tabulka 1: Změřené hodnoty

kde I_{out} je proud protékající diodou, U_{out} je měřené napětí a R je rezistor připojen mezi výstup a invertující vstup operačního zesilovače.

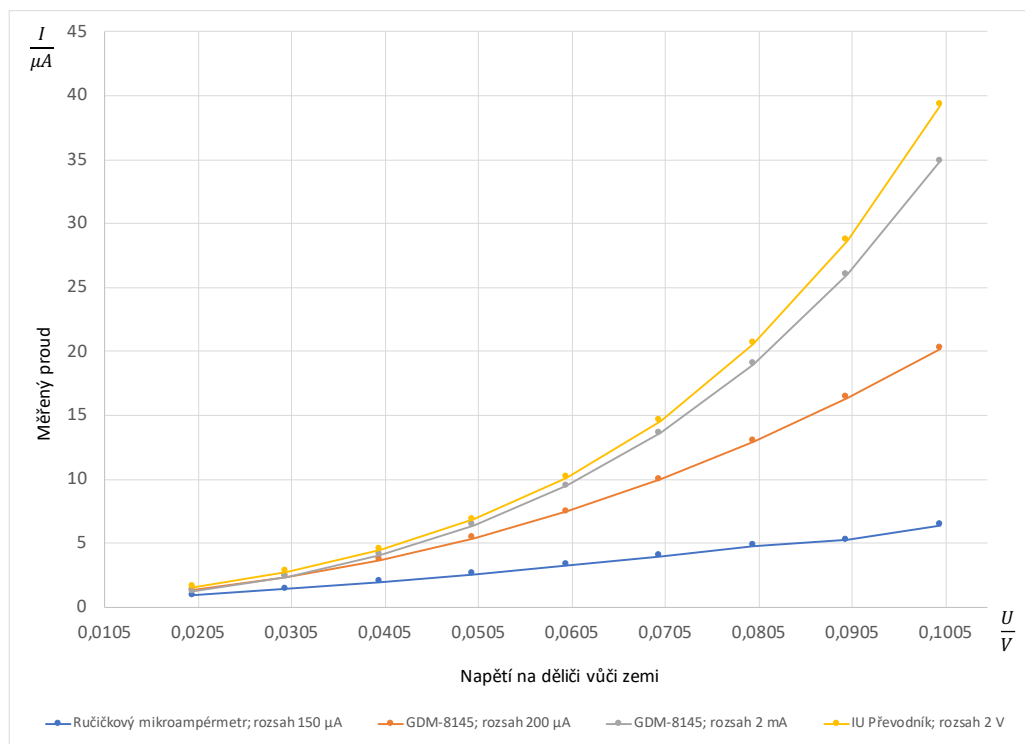
6 Zpracování naměřených hodnot

6.1 Převod na stejné jednotky

Jelikož hodnoty napětí byly měřeny ve voltech a jednotné jednotky jsou μA , je potřeba změřené napětí vydělit $-0,1 \frac{A}{V}$. Přepočtené hodnoty jsou zapsána v tabulce 2 a zobrazena v grafu 1.

Napětí na děliči $\frac{U}{V}$	Ručičkový μ ampérmetr $\frac{U}{\mu A}$ rozsah 150 μA	GDM-8145 $\frac{U}{\mu A}$ rozsah 200 μA	GDM-8145 $\frac{U}{\mu A}$ rozsah 2 mA	IU Převodník $\frac{I}{\mu A}$ rozsah 2 V
0,02	0,9	1,33	1,2	1,55
0,03	1,4	2,36	2,4	2,77
0,04	2	3,69	4,1	4,48
0,05	2,6	5,39	6,4	6,84
0,06	3,3	7,48	9,5	10,12
0,07	4	10	13,6	14,59
0,08	4,8	12,96	19	20,62
0,09	5,25	16,37	26	28,67
0,1	6,4	20,23	34,9	39,26

Tabulka 2: Přepočtené hodnoty



Graf 1: Naměřené hodnoty přepočtené na μA

6.2 Nejistota IU převodníku

Pro určení nejistoty měření proudu z měření napětí musíme parciálně zderivovat rovnici 1 podle všech proměnných. Celý postup je v rovnici 2.

$$u_{OZ}(I_{oz}) = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial R} \cdot u(R)\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial U} \cdot u(U)\right)^2 + (u(I_0))^2} \quad (2)$$

$$u_{OZ}(I_{oz}) = \sqrt{\left(-\frac{U}{R^2} \cdot u(R)\right)^2 + \left(\frac{1}{R} \cdot u(U)\right)^2 + (u(I_0))^2}$$

Po dosazení dostaneme:

$$u_{OZ}(I_{oz}) = \sqrt{\left(\frac{U}{R^2} \cdot u(R)\right)^2 + \left(-\frac{1}{R} \cdot u(U)\right)^2 + (u(I_0))^2}$$

6.3 Chyba měření mikroampérmetrů

Pro zjištění relativní hodnoty musíme nejdříve znát absolutní chybu Δ_{met} , kterou spočítáme jako

$$\Delta_{\text{met}} = N - S. \quad (3)$$

Absolutní chybu metody následně spočítáme pomocí rovnice

$$\delta_{\text{met}} = \frac{\Delta_{\text{met}}}{S}. \quad (4)$$

Rovnice 4 jde poté upravit do tvaru:

$$\delta_{\text{met}} = \frac{N - S}{S}, \quad (5)$$

kde N je naměřená hodnota a S je skutečná hodnota. Jelikož jsme stanovili odpor UI převodníku za nulový, můžeme hodnotu jím naměřenou považovat za skutečnou a hodnotu naměřenou ručičkovým resp. číslicovým ampérmetrem s ní porovnávat.

Jednotlivé relativní chyby pro analogový ampérmetr a číslicový ampérmetr s dvěma různými rozsahy jsou v tabulce 3.

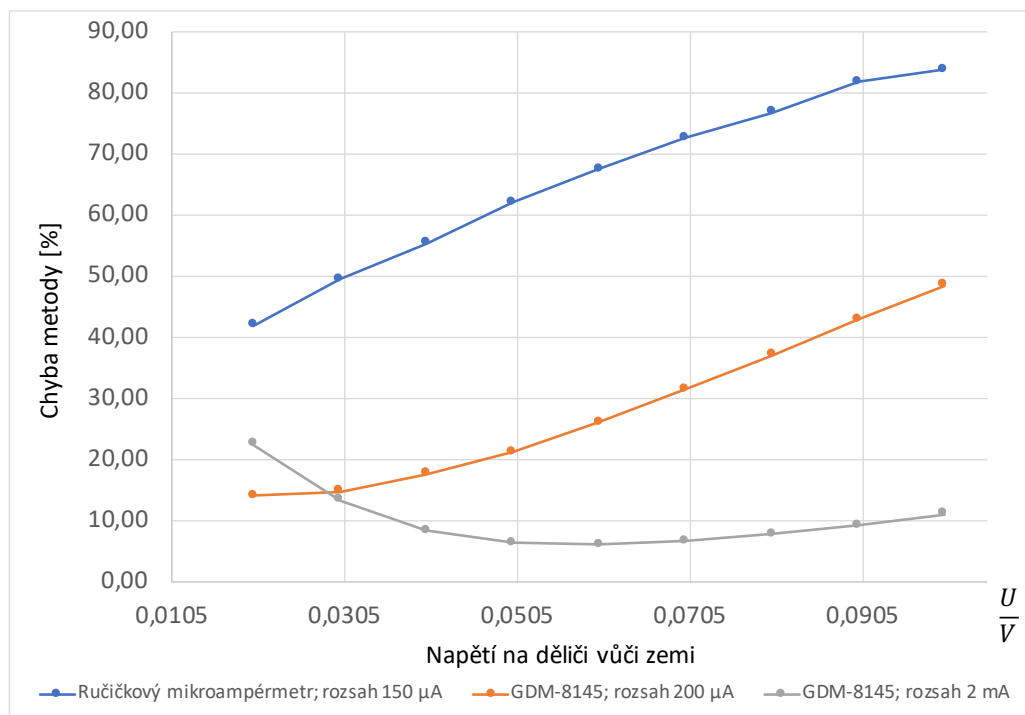
Napětí na děliči	Ručičkový μ ampérmetr rozsah 150 μ A	GDM-8145 rozsah 200 μ A	GDM-8145 rozsah 2 mA
0,02	-0,419354839	-0,141935484	-0,225806452
0,03	-0,494584838	-0,14801444	-0,133574007
0,04	-0,553571429	-0,176339286	-0,084821429
0,05	-0,619883041	-0,211988304	-0,064327485
0,06	-0,673913043	-0,260869565	-0,061264822
0,07	-0,725839616	-0,31459904	-0,067854695
0,08	-0,767216295	-0,371483996	-0,0785645
0,09	-0,816881758	-0,429019881	-0,093128706
0,10	-0,836984208	-0,484717269	-0,111054508

Tabulka 3: Relativní chyby metody

V absolutní hodnotě jsou data v tabulce 4 Chyba metody je zobrazena v grafu ??.

Napětí na děliči	Ručičkový μ ampérmetr rozsah 150 μ A	GDM-8145 rozsah 200 μ A	GDM-8145 rozsah 2 mA
0,02	41,94	14,19	22,58
0,03	49,46	14,80	13,36
0,04	55,36	17,63	8,48
0,05	61,99	21,20	6,43
0,06	67,39	26,09	6,13
0,07	72,58	31,46	6,79
0,08	76,72	37,15	7,86
0,09	81,69	42,90	9,31
0,10	83,70	48,47	11,11

Tabulka 4: Relativní chyby metody



Obrázek 2: Relativní chyba metody v závislosti na měřeném napětí

7 Závěrečné vyhodnocení

Seznam použité literatury a zdrojů informací

Seznam použitých internetových zdrojů

[1] Návod k laboratorní úloze