

8. Měření malých proudů

8.1. Teoretický rozbor

Úkolem měření je změřit proud diodou v propustném směru při napětí na vstupu děliče do 1 V, tzn. při napětí na diodě desetkrát menším. Zapojíme-li ale do série s diodou mikroampérmetr, ať již analogový nebo číslicový, které oba mají značný odpor (řádově kΩ), vznikne na něm úbytek napětí $U_A = I_D R_A$ srovnatelný s napětím na diodě. Lze též říci, že napětí na odporu $R_2 = 10 \Omega$ nebude napětím na diodě, ale rozdělí se mezi diodu a mikroampérmetr v poměru velikostí jejich odporů, nebo že proud procházející diodou v sérii s odporem mikroampérmetru bude při stejném napětí na odporu R_2 menší, než je jeho hodnota při spojení bodů A-B nakrátko. Nenulový odpor mikroampérmetru způsobí tedy značně velkou chybu metody, jejíž velikost předem nelze odhadnout. Navíc měření je zatíženo i značnou poměrnou chybou údaje, neboť při napětí na diodě řádově milivolty je proud řádově mikroampéry a výchylka mikroampérmetru je malá.

V zapojení podle obr. 8.1 c) s převodníkem proud/napětí s operačním zesilovačem, měříme velikost proudu diodou skutečně při napětí na diodě daném napětím na odporu R , neboť mezi vstupy OZ (při zanedbání napěťového offsetu) je nulový rozdíl napětí (virtuální nula). Velikost proudu diodou je dána výrazem

$$I = \frac{U_2}{R}.$$

8.2. Naměřené a vypočtené hodnoty

8.2.1. Měření s analogovým mikroampérmetrem

Měření magnetoele. přístrojem s $TP = 0,5$ na rozsahu $M = 20 \mu\text{A}$ je zatíženo nejistotou

$$u_B(I) = \frac{TP}{100 \cdot \sqrt{3}} M = \frac{0,5}{100 \cdot \sqrt{3}} 20 \mu\text{A} = 0,058 \mu\text{A}$$

U_1 [mV]	11,0	19,5	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
I [μA]	0,4	0,9	1,4	2,2	2,9	3,6	4,9	6,1	7,1	8,3

8.2.2. Měření s číslicovým mikroampérmetrem

Měření proudu I na 4 místném přístroji GDM-8145 na rozsahu $M = 100 \mu\text{A}$ s přesností $\pm(0,3\% + 2 \text{ digity})$ je zatíženo následující nejistotou $u(I_{dig})$, která je v tabulce vynásobená koeficientem rozšíření $k_r = 2$:

$$u(I_{dig}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{\delta_1}{100} I + NR \right) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{0,3}{100} I + 100 \frac{2}{1000} \right) \mu\text{A}$$

U_1 [mV]	100	200	300	400	500	595	700	800	900	1005
I_{dig} [μA]	0,52	1,17	2,14	3,32	4,87	6,64	9,12	11,90	15,37	19,12
$k_r \cdot u(I_{dig})$ [μA]	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28	0,30

8.2.3. Měření s převodníkem I/U

Měření s převodníkem I/U je zatíženo nepřesností odporu $R = 100 \text{ k}\Omega$ ve zpětné vazbě, vlivem vstupních klidových proudů $I_N = 7 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ a nejistotou 4 místného číslicového multimetru GDM-8145 s chybou $\delta_1 = \pm 0,03 \%$ z údaje a $\delta_2 = \pm 4$ digity na rozsahu $M = (0,2; 2; 20;) \text{ V}$:

- Pro ideální OZ, bez vlivu vstupních klidových proudů:

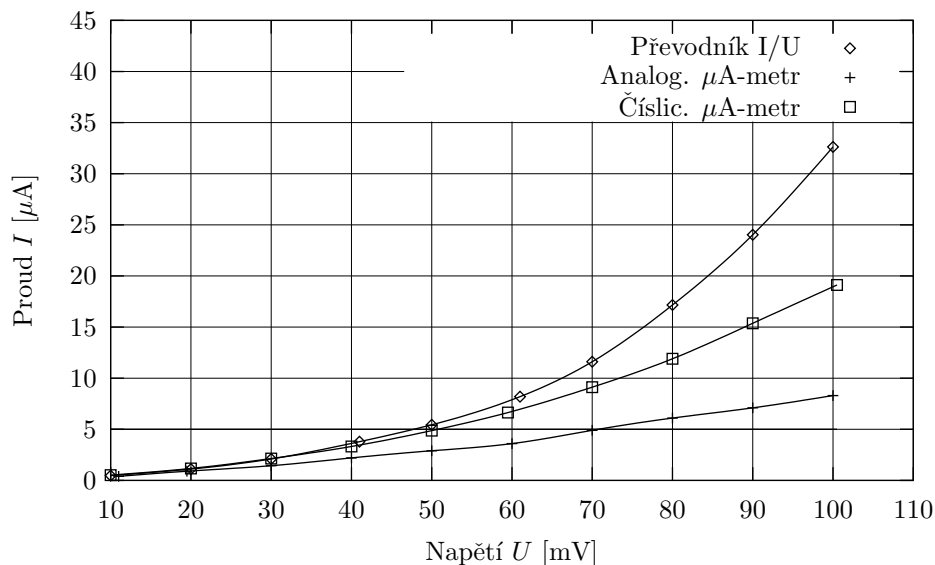
$$u^2(I_{xid}) = \left(\frac{\partial \left(\frac{-U_2}{R} \right)}{\partial R} u(R) \right)^2 + \left(\frac{\partial \left(\frac{-U_2}{R} \right)}{\partial U_2} u(U_2) \right)^2 = \left(\frac{-U_2}{R^2} u(R) \right)^2 + \left(\frac{-1}{R} u(U_2) \right)^2$$

- Pro skutečný OZ, katalogová hodnota vstupních klidových proudů $I_N = 7 \cdot 10^{-9} \text{ A}$, koeficient rozšíření $k_r = 2$:

$$u(I_{OZ}) = k_r \sqrt{u^2(I_{xid}) + \left(\frac{I_N}{\sqrt{3}} \right)^2}$$

U_1 [mV]	10,0	20,0	30,0	41,0	50,0	61,0	70,0	80,0	90,0	100,0
$-U_2$ [V]	0,047	0,111	0,210	0,379	0,544	0,819	1,161	1,716	2,403	3,262
I [μA]	0,47	1,11	2,10	3,79	5,44	8,19	11,61	17,16	24,03	32,62
$u(I_{OZ})$ [μA]	0,01	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,45	0,45

8.3. Voltampérová charakteristika diody



8.4. Vnitřní odpor použitých ampérmetrů

- Výpočty provedené pro zvolenou hodnotu proudu $I = 5 \mu\text{A}$.
- Napětí odečtené z grafu pro převodník I/U, $U = 47,67 \text{ mV}$.

- Vnitřní odpor číslicového přístroje při $U_{A1} = 50,67$ mV:

$$R_{A1} = \frac{U_{A1} - U}{I} = \frac{(50,67 - 47,67) \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-6}} \Omega = 600 \Omega$$

- Vnitřní odpor analogového přístroje při $U_{A2} = 76,67$ mV:

$$R_{A2} = \frac{U_{A2} - U}{I} = \frac{(76,67 - 47,67) \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-6}} \Omega = 5800 \Omega$$

8.5. Závěr

Srovnání měření velmi malého proudu analogovým a číslicovým ampérmetrem v porovnání s hodnotou zjištěnou pomocí nejpřesnější metody s převodníkem proud/napětí odhalilo značný vliv vnitřního odporu použitých ampérmetrů, ve kterých vniká úbytek napětí na měřícím ústrojí. Odchylka oproti nejpřesnějšímu výsledku narůstá s rostoucí výchylkou přístroje, u analogového přístroje byla až 75 % a v případě číslicového přístroje až 40 %.