

MĚŘICÍ ZESILOVAČE

Jakub Dvořák

13.10.2020



**FACULTY OF
ELECTRICAL ENGINEERING**

1 Úkol měření

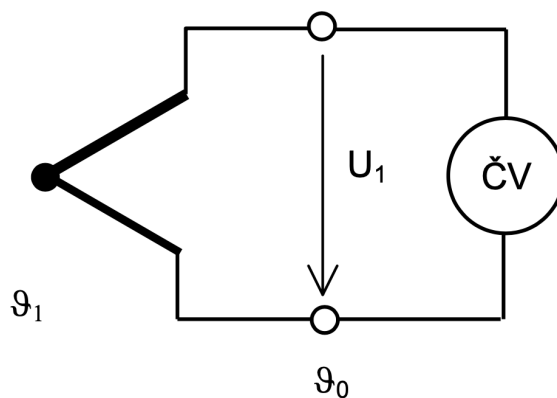
1. Změřte napětí termočlásku předloženým číslicovým voltmetrem pro jednu polohu přepínače termostatu.
2. S použitím operačního zesilovače OP 07 navrhnete zapojení:
 - a) invertujícího zesilovače napětí se zesílením -100 a vstupním odporem 1 k Ω ;
 - b) neinvertujícího zesilovače napětí se zesílením 100 a vstupním odporem 100 k Ω .
3. Invertující zesilovač napětí použijte pro zesílení napětí termočlásku, napětí na výstupu zesilovače změřte stejným číslicovým voltmetrem a pro stejnou polohu přepínače termostatu jako v bodě 1. Korigujte chybu metody způsobenou konečným vstupním odporem zesilovače.
4. Určete rozšířenou nejistotu měření napětí termočlásku (koeficient rozšíření $k_r = 2$) jak pro přímé měření číslicovým voltmetrem, tak pro měření napětí termočlásku po zesílení invertujícím zesilovačem napětí.

 Při určení celkové nejistoty typu B měření zesíleného napětí termočlásku uvažujte i nejistotu způsobenou vstupní napět'ovou nesymetrií operačního zesilovače. Nejistoty způsobené vstupními klidovými proudy zesilovače zanedbejte.
5. Pro polohu přepínače termostatu použitou při měřeních dle bodů 1 a 3 určete teplotu teplého konce termočlásku (teplotu měřenou termočláskem), je-li konstanta použitého termočlásku $K = 54 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Předpokládejte, že teplota srovnávacích (studených) konců termočlásku je 20°C (teplota laboratoře).
6. Ověřte, zda je skutečná vstupní napět'ová nesymetrie použitého operačního zesilovače menší než maximální (případně typická) hodnota udaná výrobcem.

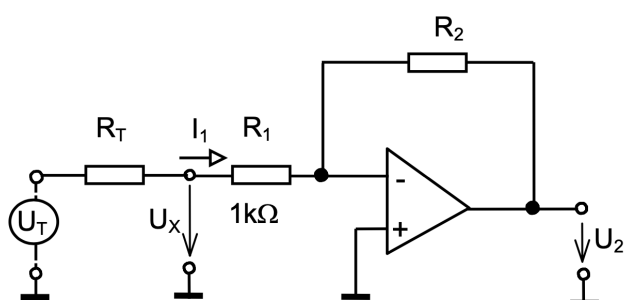
2 Schéma zapojení

3 Seznam použitých přístrojů

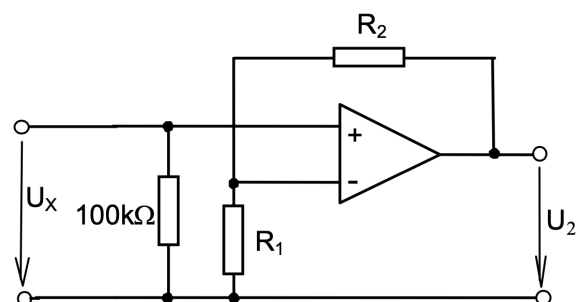
- Číslicový multimetr DM-441B, rozsah 200 mV, přesnost $\pm(0,01\% \text{ údaje} + 4 \text{ digity})$
- přípravek s operačním zesilovačem typu OP07
- rezistory s tolerancí $\pm 0,1\%$
- termočlánek, typ: ČSN 35 6710 max 500°C , vnitřní odpor $R_i = 2\Omega$



Obrázek 1: Přímé měření napětí termočládku číslicovým voltmetrem



(a) Invertující zesilovač pro zesílení napětí termočládku



(b) Neinvertující zesilovač se vstupním odporem 100 kΩ

Obrázek 2: Zapojení se zesilovači

4 Teoretický úvod

Napětí generované termoelektrickým jevem v termočláнку je měřitelné, nicméně se pohybuje přibližně v prvních dvou procentech rozsahu číslicového voltmetru. Pro snížení chyby měření použijeme operační zesilovač jak v invertujícím zapojení a neinvertujícím zapojení. Zesilovací poměr bude $\times -100$ resp. $\times 100$. Tímto dostaneme měřené napětí na horní hranici rozsahu a dosáhneme větší přesnosti měření.

4.1 Hodnoty pro operační zesilovače

Pro operační zesilovač platí, že jeho vstupní impedance se blíží nekonečnu. Proto podle schématu 2a můžeme psát:

$$I_{R_1} = \frac{U_x}{R_1} = -I_{R_2} = \frac{U_2}{R_2}.$$

Po úpravě dostaneme vztah pro zesílení:

$$i = -\frac{R_2}{R_1}$$

Pro zesílení -100 a vstupní impedanci $1\text{ k}\Omega$ vyjde R_1 :

$$i = -100 = -\frac{R_2}{1 \cdot 10^3} R_2 = 100\text{ k}\Omega$$

Pro neinvertující zesilovač je zesílení dáno vzorcem:

$$A = \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

V neinvertujícím zapojení zesilovače nehrají v impedanci roli rezistory R_1 a R_2 . Proto požadovanou impedanci vytvoříme dalším rezistorem o hodnotě $1\text{ k}\Omega$ připojeným mezi vstup a zem.

Hodnoty pro neinvertující zesilovač poté vychází: $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ a $R_2 = 99\text{ k}\Omega$.

4.2 Kontrola vstupní napět'ové nesymetrie

Operační zesilovače mívají vlastní napět'ový posun v řádech desítek μV . Podle parametrů operačního zesilovače u použitého OP 07 se napět'ový offset typicky pohybuje kolem $U_{\text{off}} = 60\text{ }\mu\text{V} = 0,06\text{ mV}$.

	R1 $\frac{R}{\Omega}$	R2 $\frac{R}{\Omega}$	Zobrazené napětí $\frac{U}{mV}$	Přepočtené napětí $\frac{U}{mV}$
Přímé měření termočlánku	-	-	1,29	1,29
invertující zesilovač zesílení: -100	1	100	-135,66	1,3566
neinvertující zesilovač zesílení: 100	1	99	122,51	1,2251

Tabulka 1: Naměřené hodnoty

5 Naměřené hodnoty

6 Zpracování naměřených hodnot

6.1 Určení teploty termočlánku

Konstanta použitého termočlánku $K=54 \mu V/^{\circ}C$, teplota okolí $t_0 = 20^{\circ}C$ [1]. Teplotu spočítáme podle vzorečku

$$t = \frac{U}{K} + t_0$$

	Přepočtené napětí $\frac{U}{mV}$	Teplota $\frac{t}{^{\circ}C}$
Přímé měření (U_1)	1,29	43,89
Invertující zesilovač (U_2)	1,3566	45,12
Neinvertující zesilovač (U_3)	1,2251	42,69

Tabulka 2: Naměřená teplota

6.2 Základní a rozšířená nejistota přímého měření

$$u(U_1) = \frac{|\frac{\delta_1}{100}U_1| + N \cdot R}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{0,1}{100}1,28 + 4 \cdot 0,001}{\sqrt{3}} mV = 0,024 mV$$

$$u_B(U_1) = k_r \cdot u(U_1) = 2 \cdot 0,024 mV = 0,048 mV$$

$$\underline{U_1 = 1.29 mV \pm 0,048 mV; k_r = 2.}$$

6.3 Základní a rozšířená nejistota měřením s invertujícím zesilovačem

Nejistota rezistorů $u(R)$ vypočítaná podle tolerance δ_R použitých rezistorů: $\delta_R=0,1\%$.

$$u(R_1) = \frac{\delta_R \cdot R_1}{100 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,1 \cdot 1000}{100 \cdot \sqrt{3}} \Omega = 0,58 \Omega$$

$$u(R_2) = \frac{\delta_R \cdot R_1}{100 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,1 \cdot 99000}{100 \cdot \sqrt{3}} \Omega = 57,15 \Omega$$

Nejistota číslicového voltmetru:

$$u(U_2) = \frac{|\frac{\delta_1}{100} U_1| + N \cdot R}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{0,1}{100} \cdot 1,3566 + 4 \cdot 0,001}{\sqrt{3}} \text{ mV} = 0,024 \text{ mV}.$$

Nejistota OZ vlivem napět'ového offsetu:

$$u(U_{off}) = \frac{U_{off}(1 + \frac{R_1}{R_2})}{\sqrt{3}} = \frac{0,06 \cdot (1 + \frac{10^3}{10^5})}{\sqrt{3}} \text{ mV} = 0,034 \text{ mV}.$$

$$u_B(U_2) = k_r \cdot \sqrt{(u(U_2))^2 + (u(O_{off}))^2} = 2 \cdot \sqrt{0,024^2 + 0,034^2} = 0,087 \text{ mV}.$$

$$\underline{U_2 = 1,35 \text{ mV} \pm 0,087 \text{ mV}; k_r = 2.}$$

7 Závěrečné vyhodnocení

Změřili jsme napětí na termočlátku. Naměřené hodnoty spadaly do vypočítaného intervalu nejistoty. Nicméně použitím operačního zesilovače jsme nedosáhli větší přesnosti. A to především vinou napět'ového offsetu, který je pro operační zesilovače typický.

Seznam použité literatury a zdrojů informací

Seznam použitých internetových zdrojů

[1] Návod k laboratorní úloze