

# MĚŘICÍ ZESILOVAČE

**Jakub Dvořák**

13.10.2020



**FACULTY OF  
ELECTRICAL ENGINEERING**

# 1 Úkol měření

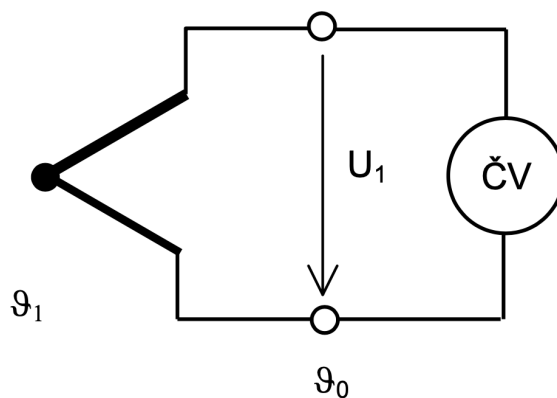
1. Změřte napětí termočlátku předloženým číslicovým voltmetrem pro jednu polohu přepínače termostatu.
2. S použitím operačního zesilovače OP 07 navrhnete zapojení:
  - a) invertujícího zesilovače napětí se zesílením -100 a vstupním odporem 1 k $\Omega$ ;
  - b) neinvertujícího zesilovače napětí se zesílením 100 a vstupním odporem 100 k $\Omega$ .
3. Invertující zesilovač napětí použijte pro zesílení napětí termočlátku, 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 termočlátku (koeficient rozšíření  $k_r = 2$ ) jak pro přímé měření číslicovým voltmetrem, tak pro měření napětí termočlátku po zesílení invertujícím zesilovačem napětí.

Při určení celkové nejistoty typu B měření zesíleného napětí termočlátku 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 termočlátku (teplotu měřenou termočlánekem), je-li konstanta použitého termočlátku  $K = 54 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Předpokládejte, že teplota srovnávacích (studených) konců termočlátku je  $20^\circ\text{C}$  (teplota laboratoře).
6. Ověřte, zda je skutečná vstupní napět'ová nesymetrie použitého operačního zesilovače menší než maximální (případně typická) hodnota udaná výrobcem.

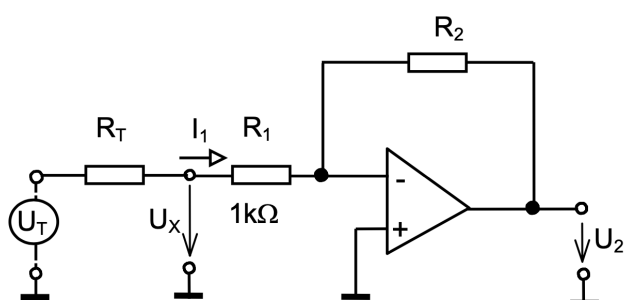
## 2 Schéma zapojení

## 3 Seznam použitých přístrojů

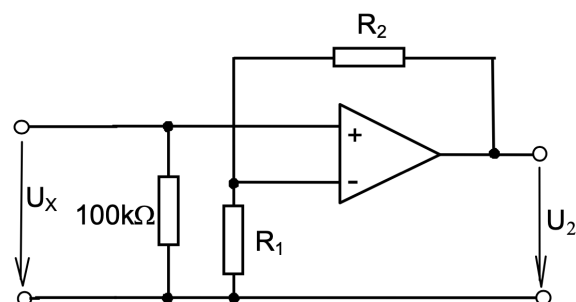
- Číslicový multimetr DM-441B, rozsah 200 mV, přesnost  $\pm(0,01\% \text{ údaje} + 4 \text{ digity})$
- přípravek s operačním zesilovačem typu OP07
- rezistory s tolerancí  $\pm 0,1\%$
- termočlánek, typ: ČSN 35 6710 max  $500^\circ\text{C}$ , vnitřní odpor  $R_i = 2\Omega$



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 termočláunku 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  $\mu\text{V}$ . 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

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

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

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

### 6.3 Základní a rozšířená nejistota měřením s invertujícím zesilovačem

Nejistota rezistorů  $u(R)$  vypočítaná podle tolerance  $\delta_R$  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