

1 Úkol

1. Změřte statickou charakteristiku termistoru pro proudy do 25 mA a graficky ji znázorněte.
2. Změřte teplotní závislost odporu termistoru v teplotním intervalu přibližně 180 až 380 K.
3. Graficky znázorněte závislost logaritmu odporu R termistoru na $1/T$ a vyhodnoťte velikost materiálových veličin R_∞ a B , aktivační energie U a teplotního součinitele odporu při pokojové teplotě.
4. Stanovte teplotu termistoru v maximu charakteristiky, případně v některých dalších bodech a tepelný odpor K .

2 Teorie

2.1 Termistor

Termistor je polovodičová součástka, jejíž odpor je závislý na teplotě. Tato závislost je vjádřena vztahem

$$R = R_\infty \exp(B/T), \quad (1)$$

kde R_∞ je dán materiálem, ze kterého je termistor vyroben a B udává jeho citlivost na teplotu.

Pro B kovalentních polovodičů platí vztah

$$B = \frac{\Delta U}{2k}, \quad (2)$$

kde k je Boltzmannova konstanta a ΔU ionizační energie příměsi.

2.2 Teplotní součinitel odporu

Teplotní součinitel odporu se značí α a je definován vztahem

$$\alpha = \frac{1}{R(T)} \frac{dR(T)}{dT}. \quad (3)$$

Pro termistor můžeme za R dosadit z rovnice 1 a získáme

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}. \quad (4)$$

2.3 Aktivační energie

Za předpokladu, že známe dva odpory R_1 a R_2 pro různé teploty T_1 a T_2 , můžeme určit B ze vztahu

$$B = \frac{2.3 \cdot \ln(R_1/R_2)}{1/T_1 - 1/T_2}. \quad (5)$$

2.4 Určení R_∞

Pokud zlogaritmujeme rovnici 1, získáme

$$\ln R = \ln R_\infty + 0.434B/T. \quad (6)$$

Pak již stačí jen $1/T \rightarrow 0$ a získáme hodnotu R_∞ .

2.5 Statická charakteristika termistoru

Jedná se VA charakteristiku termistoru pro určitou teplotu. Jak je vidět z obrázku 2, Ohmův zákon zorhodně neplatí. Je to dáno tím, že průchodem proudem se termistor zahřívá, a tím se mění i jeho odpor. Pro napětí na termistoru je v [1] odvozen výraz

$$U = \sqrt{\frac{R_\infty \cdot (T - T_0) \exp(B/T)}{K}}, \quad (7)$$

kde K je tepelný odpor rezistoru. Pro maximum dále platí

$$T_m = \frac{1}{2}(B - \sqrt{B(B - 4T)}). \quad (8)$$

2.6 Stanovení tepelného odporu

Za předpokladu, že známe průběh odporu termistoru v závislosti na napětí, můžeme stanovit jeho teplotu pro určitý proud a napětí (Ohmův zákon). Z toho pak můžeme určit tepelný odpor dle vztahu

$$K = \frac{T_x - T_0}{U_x I_x}, \quad (9)$$

kde indexy m označují veličiny pro daný bod charakteristiky a T_0 je teplota prostředí.

2.7 Platinový odporový teploměr

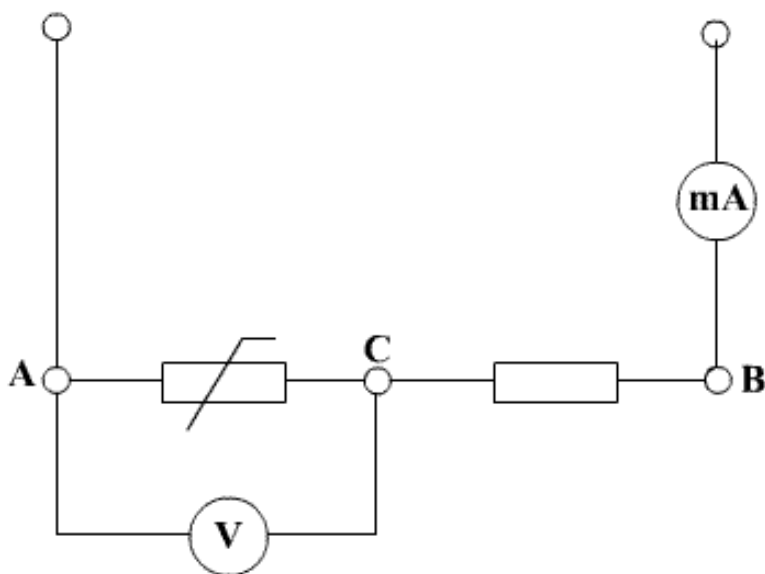
Odpor tohoto teploměru se mění lineárně se změnou teploty. Díky tomu můžeme určit teplotu dle vztahu

$$T = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0}, \quad (10)$$

kde pro náš teploměr platí $R_0 = 100\Omega$ a $\alpha = 3.85 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

DC V		$\pm 0.5\% + 3d$
DC A		$\pm 0.3\% + 3d$
Ω	200 Ω	$\pm 0.2\% + 5d$
	2k Ω	$\pm 0.15\% + 3d$
	\vdots 20M Ω	

Tabulka 1: Nepřesnosti multimetru MXD-4660 A



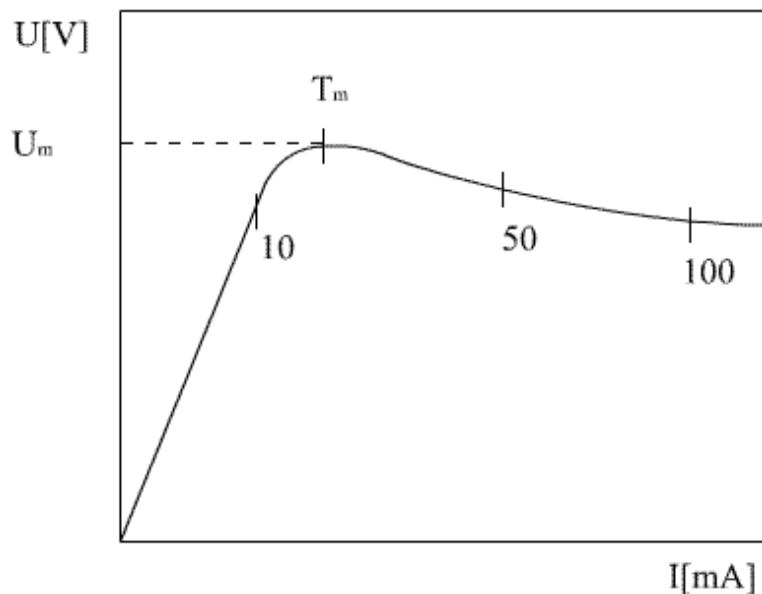
Obrázek 1: Schéma zapojení při měření.

2.8 Schéma zapojení

Celé měření probíhá v zapojení dle obrázku 1. V našem případě jsme pouze vyjmuli potenciometr a napětí regulujeme na zdroji.

2.9 Chyby

Veškeré chyby měření jsou určeny nepřesnostmi měřících přístrojů. Použil jsem pouze dva multimetry typu MXD-4660 A, jejichž nepřesnosti jsou uvedeny pro jednotlivé veličiny a rozsahy v tabulce 1. Pokud není v tabulce uveden rozsah, znamená to, že daná nepřesnost platí pro všechny použité rozsahy. Tyto přístroje zobrazovali 5 cifer.



Obrázek 2: VA charakteristika termistoru z konstantní teploty okolí.

3 Výsledky měření

3.1 Statická charakteristika termočlánku

V zapojení popsaném v teorii jsem měřil velikost proudu v obvodu v závislosti na vstupním napětí. Hodnoty z multimetrů jsem zaznamenával pomocí programu Termistor do počítače. Dále jsem vyhodnotil chybu měření a výsledkem je tabulka 2. Její grafické znázornění je obrázek 3.1.

3.2 TEplotní závislost odporu termistoru

Za pokojové teploty, která byla dle teploměru v místnosti $T = 24.4^{\circ}\text{C}$ byl odpor termistoru

$$R_t = 0.4602\text{k}\Omega \quad (11)$$

a platinového teploměru

$$R_p = 109.27\Omega, \quad (12)$$

což odpovídá teplotě 24°C .

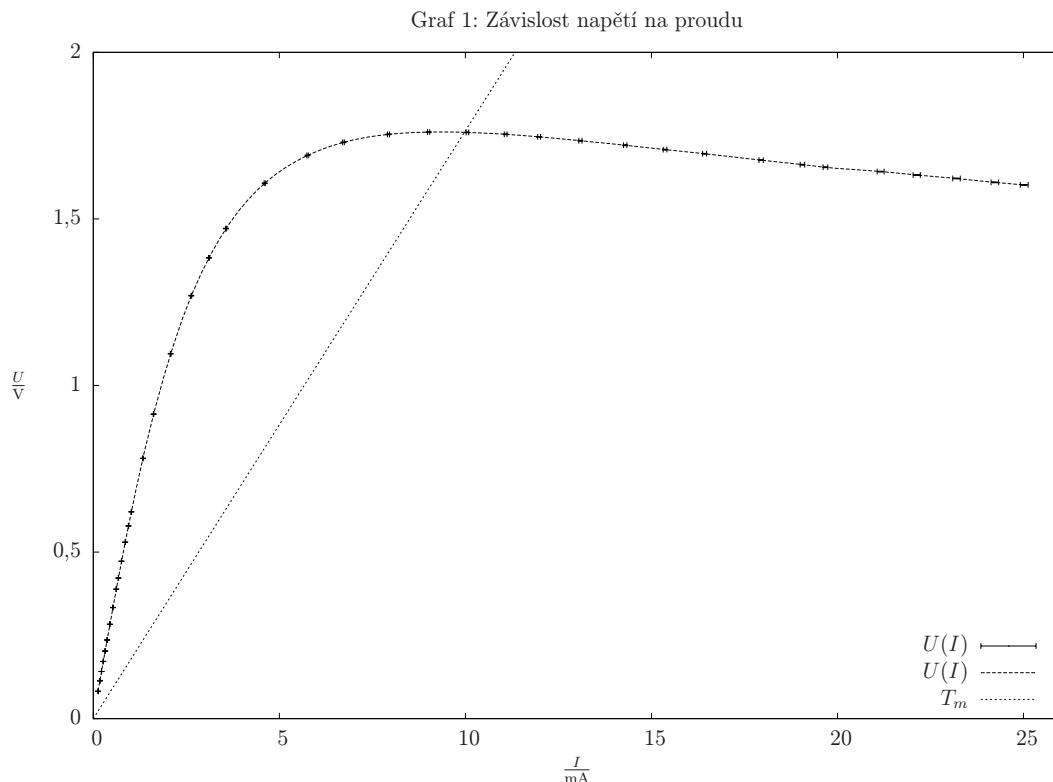
Dále byl termistor zchlazen tekutým dusíkem a pomocí počítače jsem zaznamenával odpory na platinovém teploměru a termistoru. V vypočtenou teplotou jsou data shrnuta v tabulce 3.

I/mA	U/V
0.109 ± 0.002	0.0544 ± 0.0005
0.202 ± 0.004	0.1006 ± 0.0006
0.302 ± 0.005	0.1505 ± 0.0008
0.407 ± 0.005	0.2021 ± 0.0009
0.503 ± 0.006	0.249 ± 0.001
0.605 ± 0.006	0.298 ± 0.001
0.705 ± 0.007	0.346 ± 0.004
0.804 ± 0.007	0.392 ± 0.004
0.909 ± 0.008	0.440 ± 0.004
1.013 ± 0.008	0.487 ± 0.004
2.18 ± 0.04	0.929 ± 0.006
3.03 ± 0.05	1.153 ± 0.006
4.00 ± 0.05	1.331 ± 0.007
5.08 ± 0.06	1.463 ± 0.007
6.15 ± 0.06	1.544 ± 0.008
7.03 ± 0.07	1.587 ± 0.008
8.14 ± 0.07	1.622 ± 0.008
8.60 ± 0.07	1.631 ± 0.008
9.05 ± 0.08	1.640 ± 0.008
9.48 ± 0.08	1.644 ± 0.008
10.05 ± 0.08	1.651 ± 0.008
10.46 ± 0.08	1.652 ± 0.008
11.10 ± 0.09	1.657 ± 0.008
11.60 ± 0.09	1.657 ± 0.008
12.09 ± 0.09	1.657 ± 0.008
12.48 ± 0.09	1.656 ± 0.008
13.18 ± 0.10	1.655 ± 0.008
14.1 ± 0.1	1.651 ± 0.008
15.4 ± 0.1	1.645 ± 0.008
16.0 ± 0.1	1.640 ± 0.008
17.0 ± 0.1	1.634 ± 0.008
19.2 ± 0.1	1.617 ± 0.008
20.0 ± 0.4	1.610 ± 0.008
21.0 ± 0.4	1.603 ± 0.008
22.1 ± 0.4	1.595 ± 0.008
23.1 ± 0.4	1.589 ± 0.008
24.0 ± 0.4	1.582 ± 0.008
25.0 ± 0.4	1.576 ± 0.008

Tabulka 2: Tabulka VA charakteristiky termočlánku

R_p/Ω	T/K	$R_t/\text{k}\Omega$
65.0 ± 0.1	-0.9 ± -0.1	116.4 ± 0.5
67.0 ± 0.4	-0.9 ± -0.3	80.7 ± 0.4
69.0 ± 0.4	-0.8 ± -0.3	57.3 ± 0.1
71.0 ± 0.4	-0.8 ± -0.3	41.53 ± 0.09
73.0 ± 0.4	-0.7 ± -0.3	30.59 ± 0.08
75.0 ± 0.4	-0.6 ± -0.3	22.71 ± 0.06
77.0 ± 0.4	-0.6 ± -0.2	16.76 ± 0.06
79.0 ± 0.4	-0.5 ± -0.2	12.70 ± 0.05
81.0 ± 0.4	-0.5 ± -0.2	9.74 ± 0.04
83.0 ± 0.4	-0.4 ± -0.2	7.54 ± 0.04
85.0 ± 0.4	-0.4 ± -0.2	5.84 ± 0.01
87.0 ± 0.4	-0.3 ± -0.1	4.581 ± 0.010
89.0 ± 0.4	-0.3 ± -0.1	3.621 ± 0.008
91.0 ± 0.4	-0.2 ± -0.1	2.783 ± 0.007
93.0 ± 0.4	-0.2 ± -0.1	2.211 ± 0.006
95.0 ± 0.4	-0.1 ± -0.1	1.731 ± 0.006
97.0 ± 0.4	-0.1 ± -0.0	1.423 ± 0.005
99.0 ± 0.4	-0.0 ± -0.0	1.170 ± 0.005
101.0 ± 0.5	0.0 ± 0.0	0.970 ± 0.004
103.0 ± 0.5	0.1 ± 0.0	0.790 ± 0.004
105.0 ± 0.5	0.1 ± 0.1	0.658 ± 0.001
107.0 ± 0.5	0.2 ± 0.1	0.556 ± 0.001
109.0 ± 0.5	0.2 ± 0.1	0.471 ± 0.001
111.0 ± 0.5	0.3 ± 0.1	0.4021 ± 0.0009
113.0 ± 0.5	0.3 ± 0.2	0.3449 ± 0.0008
115.0 ± 0.5	0.4 ± 0.2	0.2973 ± 0.0007
117.0 ± 0.5	0.4 ± 0.2	0.2573 ± 0.0007
119.0 ± 0.5	0.5 ± 0.2	0.2233 ± 0.0006
121.1 ± 0.5	0.5 ± 0.3	0.1934 ± 0.0009
123.0 ± 0.5	0.6 ± 0.3	0.1713 ± 0.0008
125.0 ± 0.5	0.6 ± 0.3	0.1511 ± 0.0008
127.0 ± 0.5	0.7 ± 0.3	0.1338 ± 0.0008
129.0 ± 0.5	0.8 ± 0.4	0.1190 ± 0.0007
130.0 ± 0.5	0.8 ± 0.4	0.1124 ± 0.0007

Tabulka 3: Závislost odporu termistoru na teplotě.



3.3 Závislost $\log R$ na $1/T$

Za pomoci programu gnuplot jsem nafitoval naměřeným hodnotám přímku, která je na obrázku 3.4. Fit dává hodnoty

$$B = (3140 \pm 10)\text{K}, \quad (13)$$

$$R_\infty = (0.0138 \pm 0.0005)\text{k}\Omega. \quad (14)$$

Z rovnice 2 získáme aktivační energii, která je rovna

$$\Delta U = (8670 \pm 30) \cdot 10^{-23}\text{J} \quad (15)$$

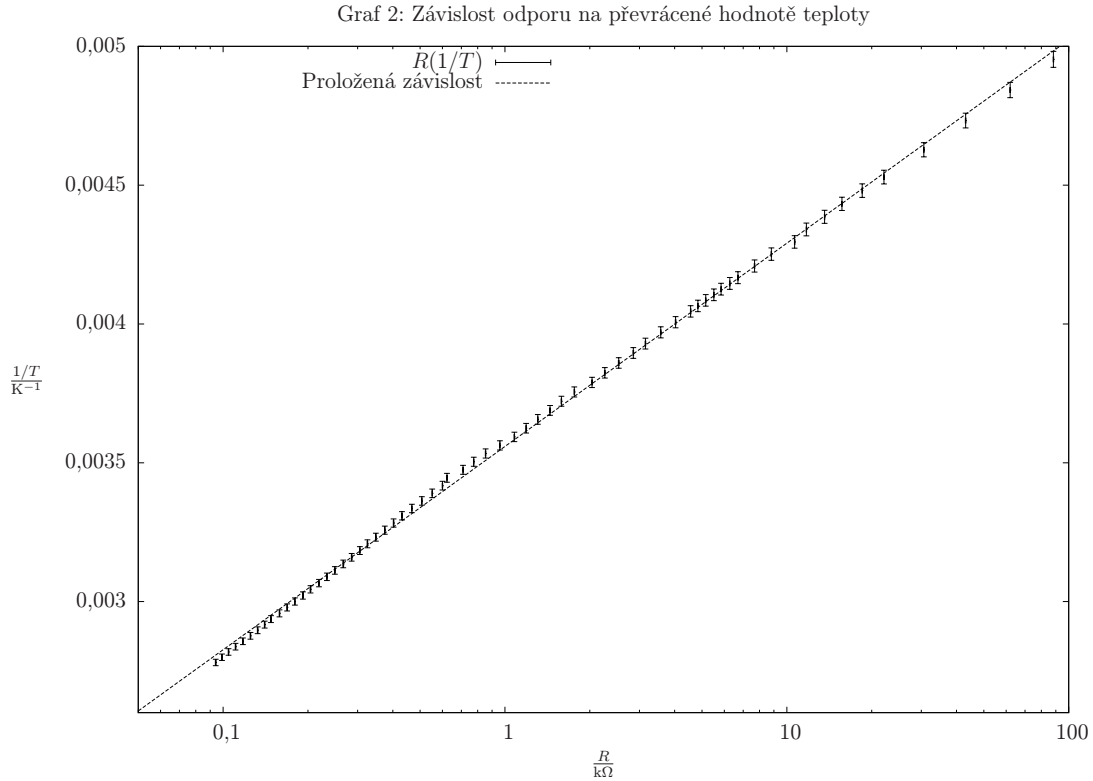
a z rovnice 4 vypočteme teplotní součinitel odporu pro teplotu 24.4°C , který je

$$\alpha = (-0.0355 \pm 0.0003)\text{K}^{-1} \quad (16)$$

3.4 Teplotní maximum termistoru

Na obrázku 3.1 je vyznačeno maximum charakteristiky. Maximum charakteristiky odpovídá teplotě

$$T_m = 284.6 \pm 0.2\text{K}. \quad (17)$$



Tepelný odpor termistoru jsem určil fitem závislosti výkonu na odporu na obrázku 3.4, který dal hodnotu

$$K = (2050 \pm 10) \text{KW}^{-1} \quad (18)$$

4 Diskuze

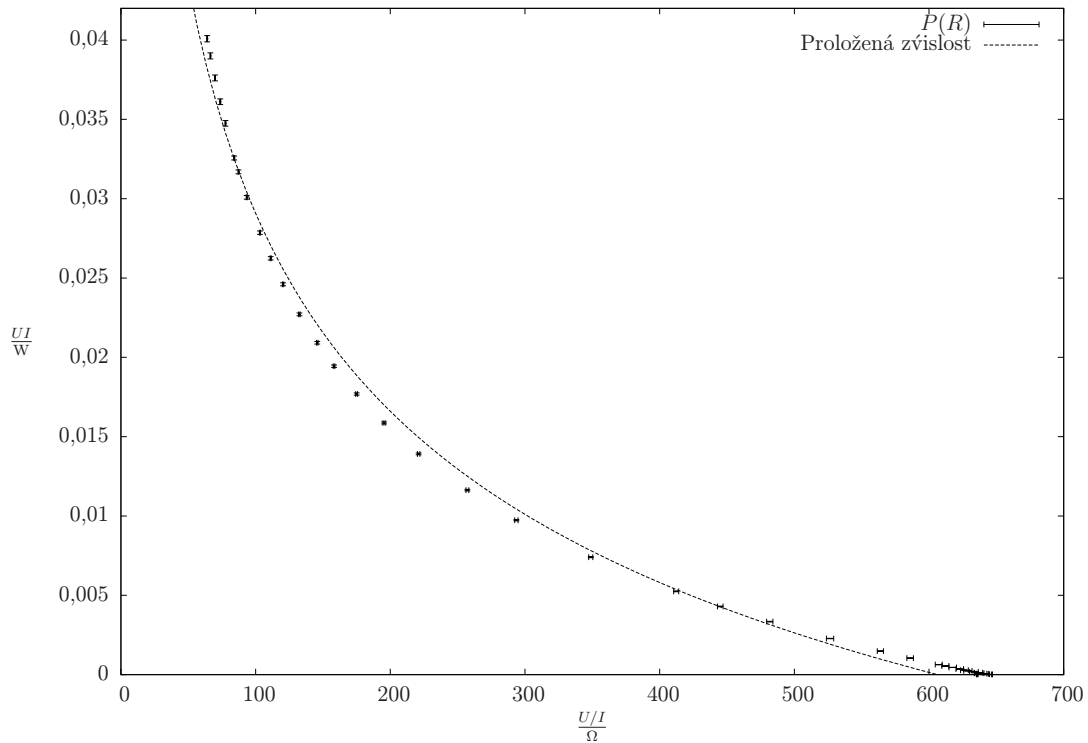
Díky odečtu z multimetrů za pomoci počítače naměřené hodnoty reálně odpovídají stejným časům, což především napomohlo při měření odporu za nízkých teplot, který se rychle měnil. Mohl jsem naměřit více hodnot, ale podle mě by hustší data přesnosti fitů příliš nepomohla. Trochu menší chyby šlo dosáhnout u nízkých odporů, kdy program nepodporoval nejnižší rozsah. Zlepšení by však bylo nevýrazné. Slabinou měření se ukázal regulátor proudu na zdroji napětí při jeho užití na žhavení. Sice díky slabému výkonu nedošlo k narušení tepelné rovnováhy, ale měření se stalo velmi zdlouhavým a v daném čase jsem nedosáhl vyšších teplot.

5 Závěr

Proměřil jsem VA charakteristiku termistoru, která je na obrázku 3.1.

Změřil jsem teplotní závislost termistoru an teplotě. Hodnoty jsou v tabulce 3.

Graf 3: Závislost výkonu na odporu



Graficky jsem znázornil závislost logaritmu odporu termistoru na převrácené teplotě teploty a z fitu určil hodnoty

$$B = (3140 \pm 10)\text{K}, \quad (19)$$

$$R_{\infty} = (0.0138 \pm 0.0005)\text{k}\Omega, \quad (20)$$

$$\Delta U = (8670 \pm 30) \cdot 10^{-23}\text{J}, \quad (21)$$

$$\alpha = (-0.0355 \pm 0.0003)\text{K}^{-1}. \quad (22)$$

Stanovil jsem teplotu termistoru v maximu VA charakteristiky

$$T_m = 284.6 \pm 0.2\text{K} \quad (23)$$

a tepelný odpor termistoru

$$K = (2050 \pm 10)\text{KW}^{-1}. \quad (24)$$

Reference

- [1] **Studijní text na praktikum II**
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_209.pdf (12. 10. 2011)
- [2] *J. English: Zpracování výsledků fyzikálních měření*
 LS 1999/2000