

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II – Elektřina a magnetismus

Úloha č.: IX

Název: Charakteristiky termistoru

Pracoval: Pavel Brožek

stud. skup. 12

dne 31.10.2008

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 10	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

1 Pracovní 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 $\frac{1}{T}$ a vyhodnoťte velikost materiálových veličin R_∞ a B , aktivační energie U a teplotního součinitele odporu α při pokojové teplotě.
4. Stanovte teplotu termistoru v maximu charakteristiky, případně v některých dalších bodech a tepelný odpor K .

2 Teorie

Pro odpor R termistoru při teplotě T platí vztah

$$R = R_\infty e^{\frac{B}{T}}, \quad (1)$$

kde R_∞ je konstanta závislá na materiálu a rozměrech polovodiče a B konstanta, která charakterizuje teplotní citlivost termistoru. V kovalentních polovodičích platí vztah

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

kde ΔU je aktivační energie potřebná k tomu, aby se elektron z příměsového atomu dostal do vodivostního pásu, a k je Boltzmannova konstanta. Jestliže na rovnici (1) aplikujeme dekadický logaritmus, dostaneme

$$\log R = \log R_\infty + \frac{B}{T} \log e \approx \log R_\infty + 0,434B \frac{1}{T}. \quad (3)$$

Měřením získáme hodnoty R v závislosti na T a pak z tohoto vztahu můžeme lineární regresí určit koeficienty B a R_∞ .

Teplotní součinitel odporu α je definován jako

$$\alpha = \frac{1}{R(T)} \frac{dR(T)}{dT}, \quad (4)$$

dosazením ze vztahu (1) získáme

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}. \quad (5)$$

Pokud bude při pokojové teplotě termistorem protékat proud, začne se termistor zahřívat a měnit tak svůj odpor. Po určité době nastane rovnováha mezi dodaným příkonem a odvedeným teplem. Platí vztah

$$KP = T - T_0, \quad (6)$$

kde K je tepelný odpor termistoru, P je elektrický příkon a $T - T_0$ je rozdíl teploty termistoru a teploty okolí. Můžeme vyjádřit napětí na termistoru

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

největší napětí dostaneme pro teplotu

$$T_m = \frac{B - \sqrt{B(B - 4T_0)}}{2}. \quad (8)$$

Hodnotu K můžeme určit tak, že z odporu $R = \frac{U_m}{I_m}$ v maximum statické charakteristiky určíme teplotu T_m termistoru (budeme už mít zjištěnou závislost R na T) a K pak určíme ze vztahu (6).

$$K = \frac{T_m - T_0}{U_m I_m} \quad (9)$$

Při měření závislosti odporu R termistoru na teplotě T budeme pro určení teploty T používat platinový odporový teploměr, jehož odpor se mění lineárně s teplotou. Teplota je pak dána vztahem

$$T = \frac{R_t - R_0}{\alpha_p R_0} + 273,2 \text{ K} , \quad (10)$$

kde R_t je odpor teploměru, R_0 je odpor při teplotě 0°C a α_p je teplotní součinitel odporu platinového teploměru. Pro použitý teploměr je $R_0 = 100 \Omega$ a $\alpha_p = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

3 Výsledky měření

Měřil jsem statickou charakteristiku termistoru, tedy závislost napětí U na proudu I protékajícím termistorem. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1 a závislost je znázorněna v grafu 1.

Tabulka 1: Závislost napětí U na proudu I při měření statické charakteristiky termistoru

I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]
0,10	0,046	6,70	1,480
0,19	0,085	7,70	1,500
0,22	0,098	8,80	1,550
0,29	0,129	10,30	1,560
0,40	0,181	11,40	1,560
0,52	0,232	13,30	1,570
0,60	0,270	15,60	1,530
0,70	0,315	17,10	1,530
0,79	0,354	19,00	1,520
0,90	0,401	20,60	1,510
1,00	0,445	21,60	1,490
2,13	0,851	22,50	1,490
3,20	1,120	23,30	1,490
4,10	1,260	24,60	1,480
5,10	1,350	25,00	1,470
5,90	1,430		

Dále jsem měřil závislost odporu termistoru na teplotě, kterou jsem určoval pomocí platinového odporového teploměru. Nejdříve jsem termistor ochladil pomocí tekutého dusíku a poté postupně zahříval. Naměřil jsem tak odpor pro teploty v teplotním rozsahu asi $150 - 380 \text{ K}$. Naměřené hodnoty odporu termistoru R_t , odporu platinového teploměru R_p a vypočítanou hodnotu teploty T uvádím v tabulce 2.

Závislost $\log R = f\left(\frac{1}{T}\right)$ je znázorněna v grafu 2, kde je proložena regresní přímkou. Lineární regresí jsem ze vztahu (3) určil

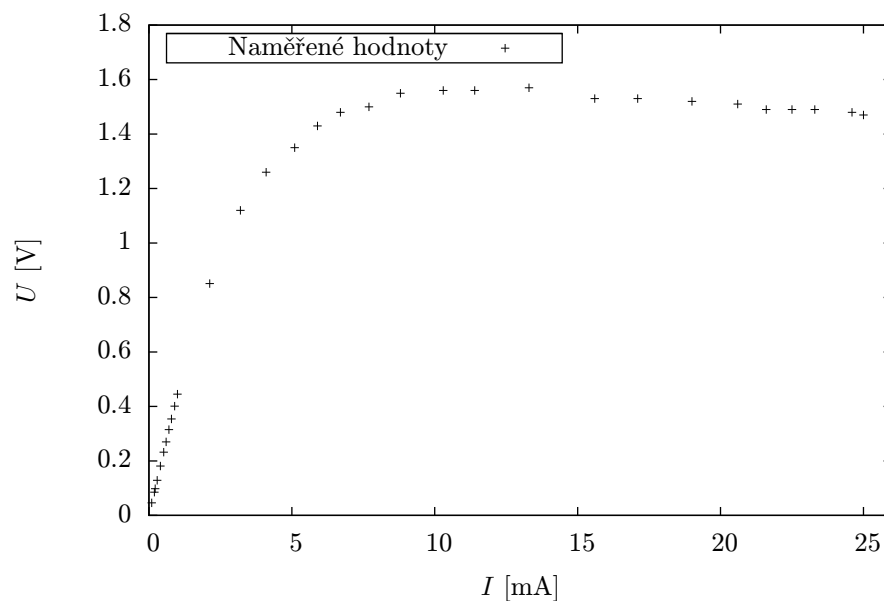
$$R_\infty = (24,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-3} \Omega \quad (11)$$

$$B = (2977 \pm 5) \text{ K} \quad (12)$$

Aktivační energie ΔU připadající na jeden elektron je podle vztahu (2)

$$\Delta U = (2,26 \pm 0,02) \cdot 10^{-20} \text{ J} . \quad (13)$$

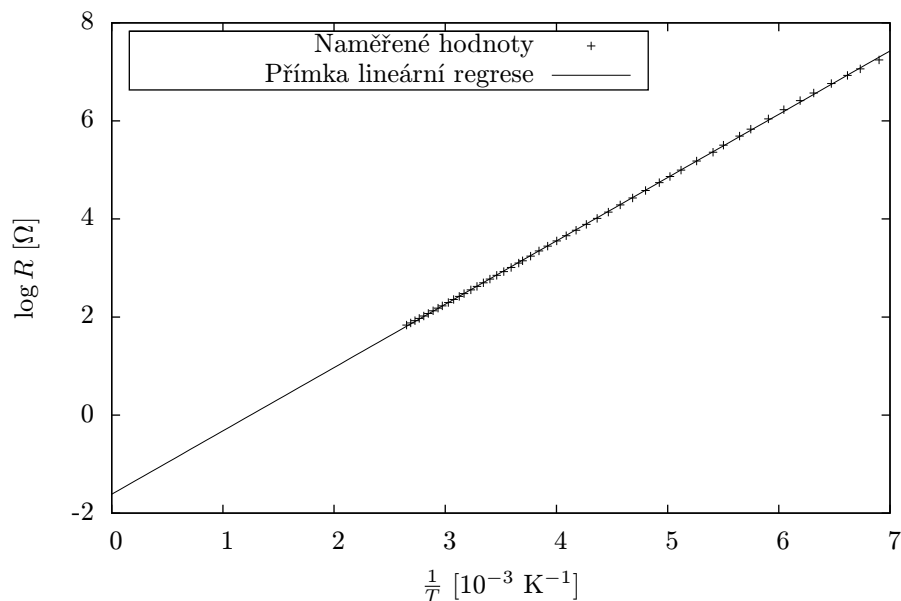
Graf 1: Statická charakteristika termistoru



Tabulka 2: Naměřené hodnoty odporů při různých teplotách

R_p [Ω]	R_t [$k\Omega$]	T [K]	R_p [Ω]	R_t [Ω]	T [K]
50,6	17500	144,9	93,0	2790	255,0
52,0	11500	148,5	95,0	2230	260,2
53,0	8500	151,1	97,0	1750	265,4
54,3	5800	154,5	99,0	1400	270,6
55,8	3700	158,4	100,0	1260	273,2
57,0	2600	161,5	102,0	1025	278,4
58,5	1690	165,4	104,0	847	283,6
60,0	1100	169,3	106,0	707	288,8
61,8	680	174,0	108,0	594	294,0
63,0	490	177,1	110,0	498	299,2
64,8	320	181,8	112,0	420	304,4
66,0	230	184,9	114,0	358	309,6
68,0	152	190,1	116,3	300	315,5
70,0	99,5	195,3	118,0	263	320,0
71,5	73,5	199,2	120,0	228	325,1
73,0	55	203,1	122,0	198	330,3
75,0	38,1	208,3	124,3	169	336,3
77,0	26,8	213,5	126,0	151,7	340,7
79,0	19,3	218,7	128,0	133,8	345,9
81,0	13,8	223,8	130,0	118	351,1
83,0	10,3	229,0	132,0	104,8	356,3
85,0	7,74	234,2	134,0	93,6	361,5
87,0	5,9	239,4	136,0	84,1	366,7
89,0	4,56	244,6	138,0	75,8	371,9
91,0	3,56	249,8	140,0	68,5	377,1

Graf 2: Závislost odporu termistoru na teplotě



Aktivační energii pro 1 mol dostaneme vynásobením Avogadrovou konstantou

$$N_A \Delta U = (13,6 \pm 0,1) \text{ kJmol}^{-1} . \quad (14)$$

Teplotní součinitel odporu termistoru při pokojové teplotě získáme ze vzorce (5) dosazením pokojové teploty $T = 295 \text{ K}$.

$$\alpha = (34,21 \pm 0,06) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} . \quad (15)$$

Z grafu 1 a tabulky 1 jsem odhadl hodnoty s chybami v maximu statické charakteristiky termistoru

$$I_m = (12 \pm 2) \text{ mA} \quad (16)$$

$$U_m = (1,57 \pm 0,03) \text{ V} \quad (17)$$

Z naměřené teploty okolí (pomocí platinového odporového teploměru, chyba je odhadnuta)

$$T_0 = (301 \pm 1) \text{ K} \quad (18)$$

můžeme určit teplotu termistoru ze vzorce (8).

$$T_m = (339,8 \pm 1,3) \text{ K} . \quad (19)$$

Ze vzorce (9) pak určíme tepelný odpor termistoru

$$K = (2000 \pm 400) \text{ KW}^{-1} . \quad (20)$$

4 Diskuse výsledků

Jak je vidět z grafu 2, závislost $\log R$ na $\frac{1}{T}$ je opravdu lineární, vzorec (1) tedy dobře popisuje závislost odporu termistoru R na teplotě T .

Pro malé proudy odpovídá statická charakteristika Ohmově zákonu, což je zřejmě způsobeno tím, že se termistor téměř nezahřívá a jeho odpor se tedy příliš nemění. Při větších proudech se termistor začne zahřívát a zmenšuje se tak jeho odpor. Chyba určení proudu, při kterém je napětí

na termistoru maximální, je poměrně velká, protože maximum závislosti není příliš ostré, napětí nabývá podobných hodnot pro větší rozsah proudů. Touto nepřesností je pak způsobena i velká chyba určení tepelného odporu termistoru K .

Zjištěná hodnota aktivační energie na jeden mol řádově odpovídá hodnotě 10 kJmol^{-1} uvedené v [2].

5 Závěr

Změřil jsem charakteristiku termistoru pro proudy do 25 mA a zobrazil ji v grafu 1.

Změřil jsem závislost odporu termistoru na teplotě v teplotním intervalu přibližně 150 až 380 K. V grafu 2 jsem znázornil závislost logaritmu odporu R termistoru na $\frac{1}{T}$, určil jsem velikosti materiálových veličin R_∞ a B :

$$R_\infty = (24,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-3} \Omega \quad (21)$$

$$B = (2977 \pm 5) \text{ K} \quad (22)$$

Dále jsem určil aktivační energii pro jeden elektron ΔU a teplotní součinitel odporu α při pokojové teplotě:

$$\Delta U = (2,26 \pm 0,02) \cdot 10^{-20} \text{ J} \quad (23)$$

$$\alpha = (34,21 \pm 0,06) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} . \quad (24)$$

Stanovil jsem teplotu termistoru v maximu charakteristiky

$$T_m = (339,8 \pm 1,3) \text{ K} , \quad (25)$$

a tepelný odpor termistoru

$$K = (2000 \pm 400) \text{ KW}^{-1} . \quad (26)$$

Reference

[1] J. English: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006

[2] R. Bakule, J. Šternberk: Fyzikální praktikum II - Elektřina a magnetismus, SPN, Praha