

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II

Úloha č.:IV.....

Název: Charakteristiky termistora

Vypracoval:.... **Viktor Babjak** ... stud. sk. .. F 11 .. dne..... 5. 12. 2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: **Rotter**.....dne výsledek klasifikace**1**.....

Připomínky:

ŽiadneJ

Pracovné úlohy:

1. Zmerajte statickú charakteristiku termistora pre prúdy do 25 mA a graficky ju znázornite.
2. Zmerajte teplotnú závislosť odporu termistora v teplotnom intervale približne 180–380 K .
3. Graficky znázornite závislosť logaritmu odporu R termistora na $\frac{1}{T}$ a vyhodnoťte veľkosť materiálových veličín R_∞ a B , aktivačnej energie U a teplotného súčiniteľa α pri izbovej teplote.
4. Stanovte teplotu termistora v maxime charakteristiky, prípadne v niektorých ďalších bodoch a tepelný odpor K .

Teoretická časť:

Termistor je polovodičový rezistor, ktorý využíva závislosť odporu na teplote. So zvyšujúcou sa teplotou rastie u kovalentných polovodičov počet nositeľov náboja a odpor termistora klesá. Teplotnú závislosť odporu termistora môžeme vyjadriť vzťahom

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

kde R_∞ je veličina závislá na materiáli a rozmeroch polovodiča, B je veličina charakterizujúca teplotnú citlivosť termistora.

Graficky môžeme koeficienty R_∞ a B určiť zo závislosti $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$, lebo zlogaritmovaním rovnice (1)

dostávame lineárny vzťah

$$\ln R = \ln R_\infty + \frac{B}{T}. \quad (2)$$

Pre kovalentné polovodiče platí

$$B = \frac{\Delta U}{2R_k}, \quad (3)$$

kde ΔU je aktivačná energia, R_k je univerzálna plynová konštanta.

Tepelný súčiniteľ odporu α je definovaný vzťahom

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

Po dosadení z (1) dostávame

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

Prechodom prúdu sa termistor ohrieva, jeho teplota sa nastaví na hodnotu, pri ktorej je elektrický príkon v rovnováhe s tepelným

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

kde K je tepelný odpor termistora, P je elektrický príkon, T je teplota termistora, T_0 je teplota okolia.

Pretože elektrický príkon je úmerný druhej mocnine napätia, môžeme napätie na termistore vyjadriť ako

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

Najväčšie napätie bude na termistore pri teplote

$$T_m = \frac{1}{2} \left(B - \sqrt{B(B - 4T_0)} \right). \quad (8)$$

Tepelný odpor môžeme určiť zo vzťahu

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

Môžeme použiť odporový platinový teplomer, pre ktorého odpor môžeme uvažovať lineárny rast s teplotou. Teplotu t v $^{\circ}\text{C}$ môžeme vyjadriť ako

$$t = \frac{R_t - R_0}{a_{pt} R_0}, \quad (10)$$

kde $a_{pt} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ je teplotný súčiniteľ odporu pre platinu, $R_0 = 100 \Omega$ je odpor pri teplote $t = 0^{\circ}\text{C}$ a R_t je odpor pri teplote t .

Výsledky merania:

Pomocou teplomera som zmeral teplotu v laboratóriu. Teplota v laboratóriu sa počas merania mohla zmeniť a teplota meraného miesta a termistora sa nemusí presne zhodovať, a preto chybu určenia teploty t_0 odhadujem na $0,2^{\circ}\text{C}$

$$t_0 = (21,5 \pm 0,2)^{\circ}\text{C}, \quad h_{t_0} = 1,0\%$$

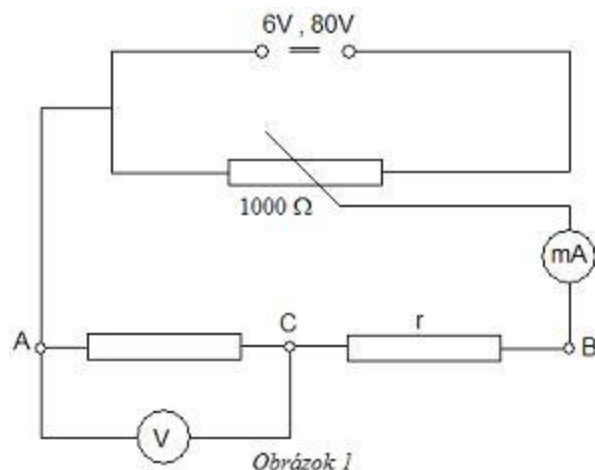
Statická charakteristika termistora

Na určenie statickej charakteristiky termistora som použil zapojenie na obrázku 1. Prúd I som do 1mA menil po $0,1 \text{mA}$ (hodnotu prúdu som nastavoval pomocou pripojeného reostatu), ďalej som prúd zvyšoval po 1mA až do hodnoty 25mA .

Napätie a prúd som meral pomocou digitálnych multimetrov. Pre použité rozsahy výrobca udáva nasledovné chyby merania:

- prúd: $0,3\% + 5$ digit
- napätie: $0,1\% + 3$ digit

Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 1 a znázornené v grafe 1.



Tabuľka 1 – Statická charakteristika

I [mA]	σ_I [mA]	U [mV]	σ_U [mV]	I [mA]	σ_I [mA]	U [mV]	σ_U [mV]
0,1	0,001	51,68	0,10	9,0	0,027	1632,2	2,1
0,2	0,001	102,38	0,15	10,0	0,033	1641,0	2,1
0,3	0,001	152,38	0,20	11,0	0,036	1643,4	2,1
0,4	0,002	202,1	0,7	12,0	0,039	1644,0	2,1
0,5	0,002	251,5	0,8	13,0	0,042	1640,9	2,1
0,6	0,002	299,0	0,8	14,0	0,045	1636,2	2,1
0,7	0,002	348,6	0,9	15,0	0,048	1630,5	2,1
0,8	0,003	394,6	0,9	16,0	0,051	1624,0	2,1
0,9	0,003	440,2	0,9	17,0	0,054	1616,8	2,1
1,0	0,003	485,2	1,0	18,0	0,057	1609,3	2,1
2,0	0,006	879,1	1,4	19,0	0,060	1601,6	2,1
3,0	0,009	1159,0	1,7	20,0	0,09	1593,6	2,1
4,0	0,012	1341,5	1,8	21,0	0,09	1586,7	2,1
5,0	0,015	1460,8	2,0	22,0	0,10	1579,0	2,1
6,0	0,018	1535,2	2,0	23,0	0,10	1572,3	2,1
7,0	0,021	1584,3	2,1	24,0	0,10	1565,3	2,1
8,0	0,024	1616,3	2,1	25,0	0,11	1558,9	2,1

Z grafu 1 vyplýva, že v oblasti $0,1 \text{mA} - 1 \text{mA}$ je lineárna závislosť medzi prúdom a napätím, t.j. v tejto oblasti je splnený Ohmov zákon.

Po nastavení hodnoty prúdu na zdroji sa hodnota napätia na multimetri postupne znižovala na ustálenú hodnotu, a tým mohla vzniknúť aj chyba určenia napätia.

Teplotná závislosť elektrického odporu

Na určenie teplotnej závislosti odporu termistora som jeden multimeter pripojil na kontakty A a C, medzi ktorými som meral odpor termistora; druhý multimeter som pripojil na kontakty R_{Pt} , medzi ktorými som meral odpor platinového odporového teplomera.

Najprv som odčítal hodnoty pre izbovú teplotu, potom som termistor schladil pomocou kvapalného dusíka. Hodnoty odporu termistora R a platinového teplomera R_{Pt} som určoval pri zmenách odporu platinového teplomera o 1Ω .

Odpor platinového teplomera som meral pri rozsahu 200Ω . Odpor termistora som meral pri rozsahoch $2 M\Omega$, $200 k\Omega$, $20 k\Omega$, $2 k\Omega$ a 200Ω . Pre tieto rozsahy výrobca udáva chybu merania

- $0,15 \% + 3 \text{ digit}$

Pri hodnote odporu platinového teplomera $R_{Pt} = 90 \Omega$ som ohrievanie termistora urýchlil prítápaním prúdom $0,5 \text{ mA}$ (zdroj som pripojil na kontakty Ž), pri hodnote $R_{Pt} = 100 \Omega$ som prúd zvýšil na $1,0 \text{ mA}$.

Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 2. V tabuľke udávam aj chybu určenia odporov a teplotu T , ktorú som určil podľa (10). Chybu T som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, viď [2] (relatívna chyba T je taká istá ako relatívna chyba R_{Pt})

Pri izbovej teplote som nameril hodnoty

$$R_{Pt} = (110,7 \pm 0,2), h_{R_{Pt}} = 0,2 \%$$

$$R = (495,1 \pm 0,8), h_R = 0,2 \%$$

Tabuľka 2 – Teplotná závislosť odporu termistora

$R_{Pt} [\Omega]$	$\sigma_{R_{Pt}} [\Omega]$	$R [\Omega]$	$\sigma_R [\Omega]$	$T [K]$	$\sigma_T [K]$	$R_{Pt} [\Omega]$	$\sigma_{R_{Pt}} [\Omega]$	$R [\Omega]$	$\sigma_R [\Omega]$	$T [K]$	$\sigma_T [K]$
57,50	0,12	961000	1740	162,8	0,3	98,00	0,18	1455	2	268,0	0,5
58,00	0,12	818000	1530	164,1	0,3	99,00	0,18	1318	2	271,0	0,5
59,00	0,12	631300	1250	166,7	0,3	100,00	0,18	1194	2	273,0	0,5
60,00	0,12	501900	1050	169,3	0,3	101,00	0,18	1068	2	276,0	0,5
61,00	0,12	390700	890	171,9	0,3	102,00	0,18	962,5	2,0	278,0	0,5
62,00	0,12	323600	790	174,4	0,3	103,00	0,18	872,7	2,0	281,0	0,5
63,00	0,12	260500	690	177,0	0,3	104,00	0,19	795,0	1,0	284,0	0,5
64,00	0,13	212800	620	179,6	0,3	105,00	0,19	727,9	1,0	286,0	0,5
65,00	0,13	174200	291	182,2	0,3	106,00	0,19	655,6	1,0	289,0	0,5
66,00	0,13	143600	245	184,8	0,3	107,00	0,19	610,6	1,0	291,0	0,5
67,00	0,13	118300	207	187,4	0,3	108,00	0,19	560,0	1,0	294,0	0,5
68,00	0,13	98200	177	190,0	0,3	109,00	0,19	515,2	1,0	297,0	0,5
69,00	0,13	81570	152	192,6	0,3	110,00	0,20	474,2	1,0	299,0	0,5
70,00	0,14	68360	133	195,2	0,4	111,00	0,20	434,5	1,0	302,0	0,5
71,00	0,14	56130	114	197,8	0,4	112,00	0,20	401,1	1,0	304,0	0,5
72,00	0,14	48190	102	200,4	0,4	113,00	0,20	371,3	1,0	307,0	0,5
73,00	0,14	40800	91	203,0	0,4	114,00	0,20	344,4	1,0	310,0	0,5
74,00	0,14	34560	82	205,6	0,4	115,00	0,20	319,6	1,0	312,0	0,5
75,00	0,14	29450	74	208,2	0,4	116,00	0,20	295,7	1,0	315,0	0,5
76,00	0,14	25090	68	210,8	0,4	117,00	0,21	274,5	1,0	317,0	0,5
77,00	0,15	21500	62	213,4	0,4	118,00	0,21	255,8	1,0	320,0	0,5
78,00	0,15	18440	31	216,0	0,4	119,00	0,21	238,2	1,0	323,0	0,5
79,00	0,15	15626	26	218,6	0,4	120,00	0,21	222,5	1,0	325,0	0,5
80,00	0,15	13502	23	221,2	0,4	121,00	0,21	207,4	1,0	328,0	0,5
81,00	0,15	11714	21	223,8	0,4	122,00	0,21	193,70	0,32	330,0	0,5
82,00	0,15	10161	18	226,4	0,4	123,00	0,21	181,20	0,30	333,0	0,5
83,00	0,15	8859	16	229,0	0,4	124,00	0,22	169,90	0,28	335,0	0,6
84,00	0,16	7732	15	231,6	0,4	125,00	0,22	159,40	0,27	338,0	0,6
85,00	0,16	6780	13	234,2	0,4	126,00	0,22	149,71	0,25	341,0	0,6
86,00	0,16	5926	12	236,8	0,4	127,00	0,22	140,62	0,24	343,0	0,6
87,00	0,16	5174	11	239,4	0,4	128,00	0,22	132,32	0,23	346,0	0,6

88,00	0,16	4579	10	242,0	0,4	129,00	0,22	124,74	0,22	348,0	0,6
89,00	0,16	4057	9	244,6	0,4	130,00	0,23	117,62	0,21	351,0	0,6
90,00	0,17	3610	8	247,2	0,4	131,00	0,23	111,09	0,20	354,0	0,6
91,00	0,17	3210	8	249,8	0,4	132,00	0,23	105,06	0,19	356,0	0,6
92,00	0,17	2863	7	252,4	0,4	133,00	0,23	99,35	0,18	359,0	0,6
93,00	0,17	2559	7	255,0	0,4	134,00	0,23	94,16	0,17	361,0	0,6
94,00	0,17	2293	6	257,6	0,4	135,00	0,23	89,21	0,16	364,0	0,6
95,00	0,17	2056	6	260,2	0,4	136,00	0,23	84,75	0,16	367,0	0,6
96,00	0,17	1782	3	262,8	0,4	137,00	0,24	80,56	0,15	369,0	0,6
97,00	0,18	1609	3	265,4	0,5	138,00	0,24	76,64	0,14	372,0	0,6

Z nameraných hodnôt som podľa (2) určil závislosť $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$, ktorá je zobrazená v grafe 2. Z tejto závislosti som lineárnou regresiou podľa programu *Origin* určil koeficienty B a R_{∞} . Na lineárnu regresiu som použil hodnoty pre R_{Pt} väčšie ako 70Ω , pretože pre nižšie hodnoty (t.j. pre nižšie teploty) nie je uvažovaná závislosť lineárna. Presnosť určenia koeficientov B a R_{∞} nie je daná len lineárnou regresiou, ale aj presnosťou určenia meraných bodov. Lineárnou regresiou som získal hodnoty

$$B = (2827 \pm 31) K, h_B = 1,1\%$$

$$\ln R_{\infty} = (-3,28 \pm 0,11) m\Omega$$

Pre R_{∞} platí

$$R_{\infty} = (37,6 \pm 1,2) m\Omega, h_{R_{\infty}} = 3,2\%$$

Aktivačnú energiu ΔU som určil podľa (3). Chybu aktivačnej energie som určil podľa relatívnej chyby koeficientu B . R_k je univerzálna plynová konštanta, pričom uvažujem hodnotu $R_k = 8,31851 J \cdot mol^{-1} K^{-1}$.

$$\Delta U = (47000 \pm 520) J \cdot mol^{-1}$$

Teplotný súčiniteľ odporu α pri izbovej teplote som určil podľa (5). Za T som dosadil hodnotu, ktorú som určil na začiatku merania. Chybu α som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [2].

$$a = (-32,6 \pm 0,7) \cdot 10^{-3} K^{-1}, h_a = 2,1\%$$

Z nameraných hodnôt v tabuľke 1 a z grafu 1 som určil maximálne napätie U_m a jemu zodpovedajúcu hodnotu prúdu I_m . Chyba U_m nie je daná len chybou multimetra, ale aj tým, že prúd som menil po $1 mA$, a tak maximálna hodnota napätia mohla byť niekde medzi dvomi nameranými hodnotami, a preto chybu U_m podľa rozptylu nameraných hodnôt a podľa tvaru grafu 1 odhadujem na $5 mV$. Chybu určenia I_m odhadujem na $1 mA$.

$$U_m = (1644 \pm 5) mV, h_{U_m} = 0,3\%$$

$$I_m = (12 \pm 1) mA, h_{I_m} = 8,3\%$$

Teplotu na termistore, pri ktorej som nameril maximálne napätie, som určil podľa (8). Chybu T_m som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [2].

$$T_m = (334,1 \pm 3,6) K, h_{T_m} = 1,1\%$$

Tepelný odpor K som určil podľa (9). Chybu K som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb.

$$K = (2000 \pm 280) KW^{-1}, h_K = 14\%$$

Diskusia výsledkov:

Určená teplota v miestnosti T_0 sa nemusí presne zhodovať s teplotou v okolí termistora, a tým mohli vzniknúť odchýlky pri výpočtoch, v ktorých vystupuje teplota okolia termistora.

Statická charakteristika termistora

Nameraná statická charakteristika termistora zodpovedá teoretickým predpokladom podľa [1]. Pre malé hodnoty prúdu (asi do $1 mA$) je splnený Ohmov zákon; pre vyššie hodnoty prúdu sa prejavuje zmena

odporu, ktorá je spôsobená zahrievaním termistora. Nepresnosť určenia maxima statickej charakteristiky (napätie U_m a prúd I_m) je daná tým, že maximum v *grafe 1* nie je dostatočne ostré – táto nepresnosť sa prejavuje aj pri určení tepelného odporu K .

Teplotná závislosť odporu termistora

Pre teploty v rozmedzí $162–372\text{ K}$ som určil teplotnú závislosť odporu termistora. Tepelná kapacita platinového teplomera je vyššia ako tepelná kapacita termistora, takže pri zahrievaní bol rozdiel v teplote teplomera a termistora.

Závislosť $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$, z ktorej som lineárnou regresiou určil hodnoty koeficientov B a R_{∞} , som určil

iba pre vyššie teploty, pretože pre nižšie teploty nie je závislosť lineárna. Chyba koeficientov B a R_{∞} nie je daná len chybou lineárnej regresie, ale aj presnosťou určenia jednotlivých bodov.

Veľká chyba tepelného odporu K je daná tvarom vzťahu (9), v ktorom odčítam dve blízke hodnoty teploty T .

Záver:

Pre prúdy do 25 mA som zmeral statickú charakteristiku termistora (*tabuľka 1*), ktorá je znázornená v *grafe 1*. Z nameraných hodnôt a podľa *grafu 1* som určil maximálnu hodnotu napätia U_m a jemu zodpovedajúci prúd I_m .

$$U_m = (1644 \pm 5)\text{ mV}, h_{U_m} = 0,3\%$$

$$I_m = (12 \pm 1)\text{ mA}, h_{I_m} = 8,3\%$$

Maximu statickej charakteristiky zodpovedá teplota T_m a tepelný odpor K

$$T_m = (334,1 \pm 3,6)\text{ K}, h_{T_m} = 1,1\%$$

$$K = (2000 \pm 280)\text{ KW}^{-1}, h_K = 14\%$$

Pre teploty v rozsahu $162–372\text{ K}$ som premeral teplotnú závislosť odporu termistora (*tabuľka 2*). V *grafe 2* som znázornil závislosť prirodzeného logaritmu odporu termistora na prevrátenej hodnote termodynamickej teploty. Lineárnou regresiou som určil koeficienty B a R_{∞} .

$$B = (2827 \pm 31)\text{ K}, h_B = 1,1\%$$

$$R_{\infty} = (37,6 \pm 1,2)\text{ m}\Omega, h_{R_{\infty}} = 3,2\%$$

Z hodnôt B a R_{∞} som určil aktivačnú energiu ΔU a teplotný súčiniteľ odporu α

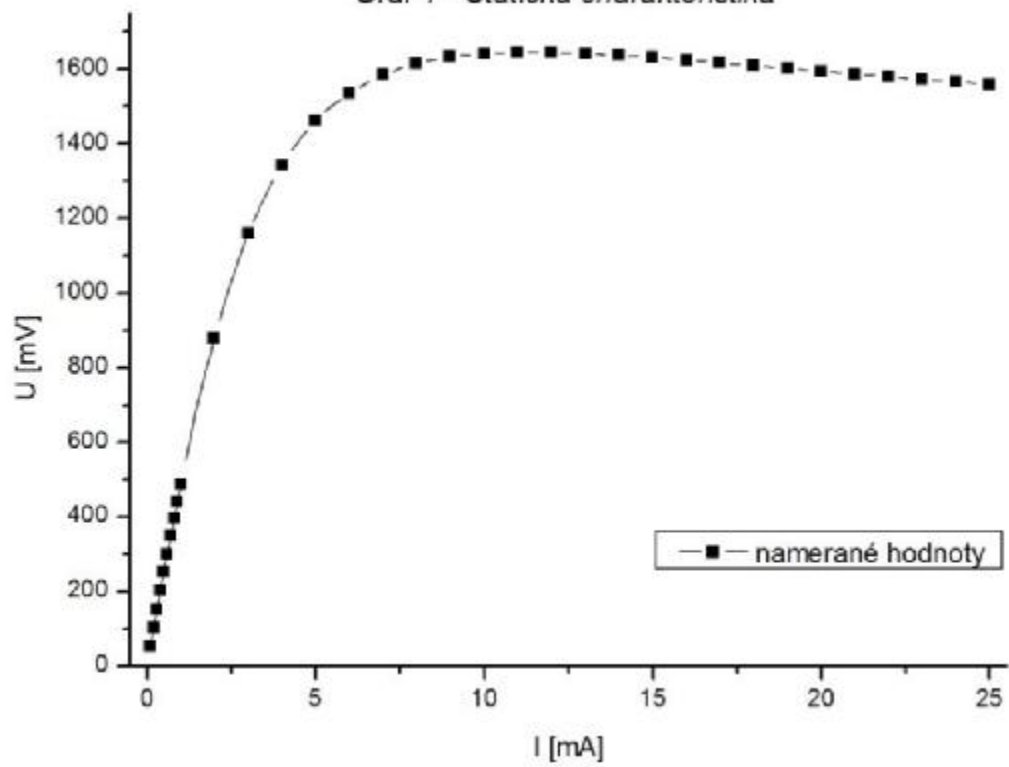
$$\Delta U = (47000 \pm 520)\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$\alpha = (-32,6 \pm 0,7) \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}, h_{\alpha} = 2,1\%$$

Literatúra:

- [1] Bakule, J.; Štenberk: Fyzikálne praktikum II; SPN; Praha 1989
- [2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, LS 1999/2000

Graf 1 - Statická charakteristika



Graf 2 - Závislost $\ln R = f(1/T)$

