

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM 2

Úloha č.: 9.

Název: Charakteristiky termistoru

Vypracoval: Mária Šoltésová stud. sk. F – 14 dne 23. 11. 2005

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval:dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úloha:

1. Změřte statickou charakteristiku termistoru pro prouhy do 25 mA a graficky ju znázornite.
2. Změřte teplotnú závislost' odporu termistoru v teplotnom intervale približne 180 až 380 K.
3. Změřte teplotnú závislost' logaritmu odporu R termistoru na $\frac{1}{T}$ a vyhodnot' te veľkosť materiálových veličín R_{∞} a B , aktivačnú energii U a teplotného súčiniteľu α pri izbovej teplote.
4. Stanovte teplotu termistoru v maxime charakteristiky, prípadne v niektorých ďalších bodoch a tepelný odpor K.

Teoretická časť:

Termistory sú polovodičové rezistory, pri ktorých sa využíva teplotná závislosť odporu. Pri termistore, ktorého odpor sa so zvyšujúcou teplotou znižuje, môžeme teplotnú závislosť vyjadriť ako

$$R = R_{\infty} \exp\left(\frac{B}{T}\right), \quad (1)$$

kde veličina R_{∞} je závislá na materiáli a rozmeroch polovodiča, veličina B charakterizuje teplotnú citlivosť termistoru. Pre kovalentné polovodiče, pri ktorých s rastom teploty vzrastá koncentrácia nositeľov náboja, platí:

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

kde k je Boltzmanova konštanta a ΔU je energia potrebná k ionizácii prímiesi.

Teplotný súčiniteľ odporu je definovaný ako

$$a = \frac{1}{R(T)} \frac{dR(T)}{dT}, \quad (3)$$

po dosadení zo vzťahu (1) dostaneme:

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

Materiálovú konštantu B môžeme určiť z dvoch hodnôt odporom R_1 a R_2 nameraných pri teplotách T_1 , T_2 podľa vzťahu

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

Ak vynesieme závislosť $\log R$ na $\frac{1}{T}$, dostaneme priamku popísanú rovnicou

$$\log R = \log R_{\infty} + (\log e) \frac{B}{T}, \quad (6)$$

z jej smernice môžeme určiť hodnotu B , extrapoláciou pre $\frac{1}{T} \rightarrow 0$ získame hodnotu R_{∞} . Zo vzťahu (2) potom môžeme určiť aktivačnú energiu ako

$$\Delta U = 2R_m B, \quad (7)$$

kde R_m je molová plynová konštanta.

Priechodom prúdu sa termistor zahrieva, jeho teplota sa nastaví na hodnotu, pri ktorej je v rovnováhe elektrický príkon P a tepelný výkon odvádzaný z termistoru do okolia

$$KP = T - T_0, \quad (8)$$

kde K je tepelný odpor termistoru, T je teplota termistoru a T_0 je teplota jeho okolia. Elektrický príkon môžeme vyjadriť ako

$$P = \frac{U^2}{R}, \quad (9)$$

potom pre závislosť napätia na termistore na jeho teplote platí

$$U = \sqrt{\frac{R_{\infty} (T - T_0) \exp\left(\frac{B}{T}\right)}{K}}. \quad (10)$$

Najväčšie napätie na termistore bude pri teplote

$$T_m = \frac{B - \sqrt{B(B - 4T_0)}}{2}. \quad (11)$$

Každému bodu statickej charakteristiky môžeme priradiť určitú teplotu tak, že určíme odpor v danom bode ako podiel napätia a prúdu a z grafu závislosti odporu na teplote stanovíme hľadanú teplotu. Ak poznáme teplotu okolia T_0 , môžeme zo vzťahu (7) určiť veličinu K z maxima charakteristiky ako

$$K = \frac{T_m - T_0}{U_m I_m}. \quad (12)$$

Na meranie teploty môžeme použiť platinový teplomer, o ktorého odpore predpokladáme, že sa mení lineárne s teplotou. Z odčítaných hodnôt odporu určíme teplotu v stupňoch Celzia ako

$$t = \frac{R_t - R_0}{\alpha_{Pt} R_0}, \quad (13)$$

kde R_t je odpor teplomeru pri teplote t , R_0 je odpor pri teplote 0°C , α_{Pt} je teplotný súčiniteľ odporu. Na výpočet použijeme hodnoty z [1]: $R_0 = 100 \Omega$, $\alpha_{Pt} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Výsledky meraní:

Najprv sme zmerali statickú charakteristiku termistoru. Obvod sme zapojili podľa schémy v [1], na digitálnom multimetri sme merali prúd na rozsahoch 2 mA, 20 mA a 200mA, udávaná odchýlka je $\pm 0,3\% \pm 3 \text{ digit}$, napätie na rozsahu 2 V, udávaná odchýlka je $\pm 0,5\% \pm 3 \text{ digit}$. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 1, závislosť prúdu na napätí je vynesena v grafe 1. Maximum charakteristiky je v bode

$$I_m = 11 \pm 1 \text{ mA}$$

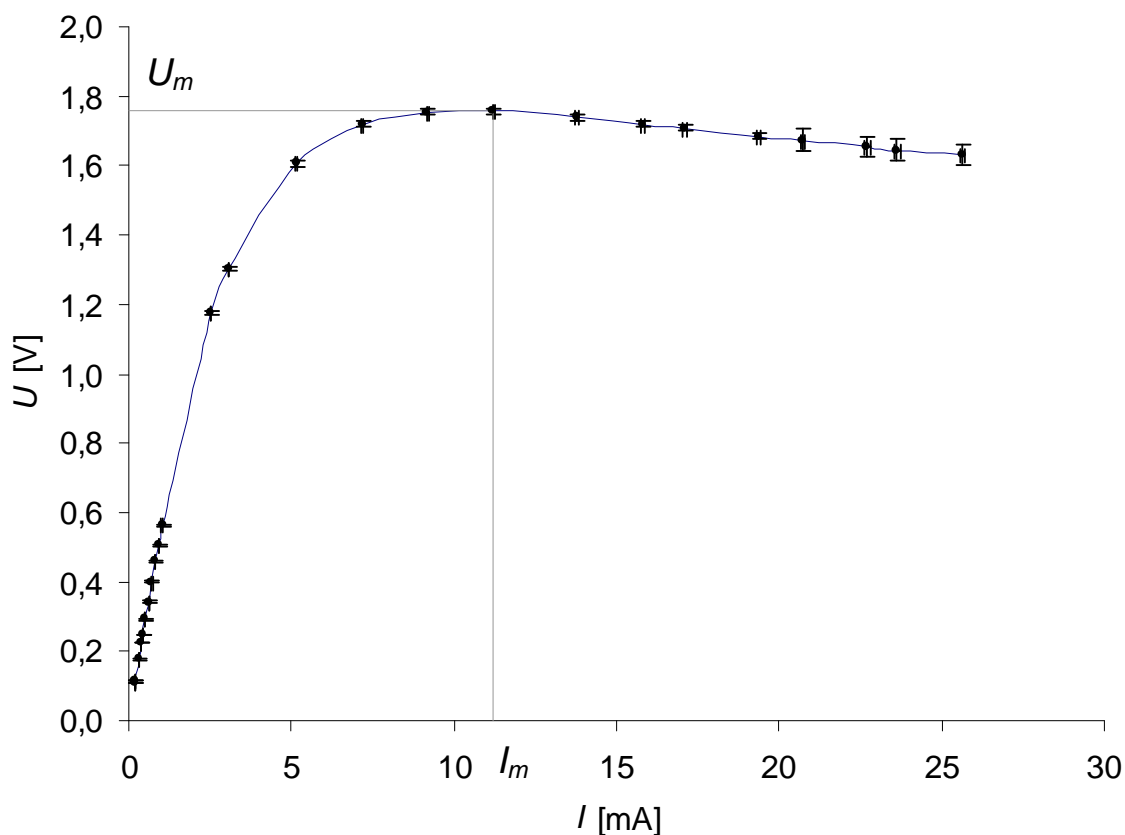
$$U_m = 1,755 \pm 0,005 \text{ V.}$$

Odchýlka je určená z toho, ako sa líšia okolité namerané hodnoty od hodnoty v maxime.

Tabuľka 1: Statická charakteristika termistoru

I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]	I [mA]	σ_I [mA]	U [V]	σ_U [V]
0,193	0,001	0,112	0,001	5,15	0,02	1,607	0,009
0,212	0,001	0,113	0,001	7,17	0,02	1,719	0,009
0,304	0,001	0,176	0,001	9,19	0,03	1,753	0,009
0,392	0,001	0,226	0,001	11,20	0,03	1,755	0,009
0,430	0,001	0,247	0,001	13,77	20,04	1,739	0,009
0,508	0,002	0,292	0,001	15,79	0,05	1,720	0,009
0,598	0,002	0,342	0,002	17,09	0,05	1,707	0,009
0,705	0,002	0,400	0,002	19,36	0,06	1,685	0,009
0,817	0,002	0,460	0,002	20,7	0,1	1,67	0,03
0,902	0,003	0,505	0,003	22,7	0,1	1,65	0,03
1,016	0,003	0,564	0,003	23,6	0,1	1,65	0,03
2,54	0,01	1,177	0,007	25,6	0,1	1,63	0,03
3,06	0,01	1,301	0,007				

Graf 1: Statická charakteristika termistoru



Ďalej sme určovali teplotnú závislosť odporu termistoru. Digitálnym multimetrom sme merali odpor termistoru a odpor platinového teplomeru, z ktorého sme podľa vzťahu (13) určili teplotu termistoru. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 2. Závislosť logaritmu odporu R termistora na $\frac{1}{T}$ je vynesená v grafe 2. Táto závislosť je lineárna, popísaná rovnicou (6). Koeficienty závislosti sme určili lineárnou regresiou ako

$$\log R_{\infty} = -1,42 \pm 0,01$$

$$B \log e = 1236 \pm 4 \text{ K},$$

chyby koeficientov sme určili z prístrojových chýb spojených z chybami určenými lineárnou regresiou. Chybu $\frac{1}{T}$ považujeme pri regresii za zanedbateľnú. Z týchto koeficientov sme určili hodnoty R_{∞} a B zo vzťahu (6) ako

$$R_{\infty} = (38 \pm 1) \text{ m}\Omega$$

$$B = (2847 \pm 8) \text{ K},$$

chyby sú určené prenesením z chýb koeficientov regresie.

Tabuľka 2: Teplotná závislosť odporu termistoru

R [k Ω]	σ_R [k Ω]	R_t [Ω]	σ_{Rt} [Ω]	T [K]	$1/T$ [K $^{-1}$]	$\log R$
52,11	0,10	72,05	0,15	201	0,0050	4,717
35,79	0,08	74,17	0,16	206	0,0049	4,554
22,89	0,07	77,05	0,16	214	0,0047	4,360
17,14	0,06	79,01	0,17	219	0,0046	4,234
12,79	0,06	81,04	0,17	224	0,0045	4,107
11,09	0,06	82,04	0,17	227	0,0044	4,045
8,48	0,06	84,00	0,18	232	0,0043	3,928
6,333	0,011	86,10	0,18	237	0,0042	3,802
4,837	0,009	88,26	0,18	243	0,0041	3,685
3,905	0,008	90,00	0,19	247	0,0040	3,592
3,046	0,007	92,03	0,19	252	0,0040	3,484
2,453	0,007	94,03	0,19	258	0,0039	3,390
1,985	0,007	96,02	0,20	263	0,0038	3,298
1,5632	0,0024	98,01	0,20	268	0,0037	3,194
1,2925	0,0020	100,00	0,21	273	0,0037	3,111
1,0510	0,0017	102,04	0,21	278	0,0036	3,022
0,8592	0,0014	104,17	0,21	284	0,0035	2,934
0,7272	0,0012	106,03	0,22	289	0,0035	2,862
0,6208	0,0011	108,01	0,22	294	0,0034	2,793
0,5250	0,0010	110,00	0,23	299	0,0033	2,720
0,4361	0,0009	112,06	0,23	304	0,0033	2,640
0,3714	0,0008	114,06	0,23	310	0,0032	2,570
0,3208	0,0008	116,00	0,24	315	0,0032	2,506
0,2766	0,0007	118,00	0,24	320	0,0031	2,442
0,2386	0,0007	120,05	0,25	325	0,0031	2,378
0,2066	0,0007	122,10	0,25	331	0,0030	2,315
0,1817	0,0006	124,00	0,25	335	0,0030	2,259
0,15717	0,00032	126,07	0,26	341	0,0029	2,196
0,13944	0,00029	128,02	0,26	346	0,0029	2,144
0,12396	0,00026	130,00	0,26	351	0,0028	2,093
0,11013	0,00023	132,06	0,27	356	0,0028	2,042
0,09891	0,00021	134,00	0,27	361	0,0028	1,995
0,08863	0,00019	136,00	0,28	367	0,0027	1,948
0,08008	0,00018	138,00	0,28	372	0,0027	1,904

Zo znalosti B môžeme podľa vzťahu (7) určiť aktivačnú energiu ΔU ako

$$\Delta U = (47,3 \pm 0,1) \text{ kJ.mol}^{-1},$$

odchýlka je určená z odchýlky B prenesením chyby podľa vzťahu (7). Chybu R_m považujeme za zanedbateľnú oproti chybe B .

Podľa vzťahu (4) môžeme určiť teplotný súčiniteľ odporu α pri izbovej teplote. Odpor teplomeru pri izbovej teplote sme zmerali ako $R_{t_0} = (109 \pm 3) \Omega$, chyba je určená ako chyba meracieho zariadenia. Z neho podľa vzťahu (13) určíme teplotu okolia termistoru ako $T_0 = (297 \pm 8) \text{ K}$, chyba je určená prenesením chýb veličín zo vzťahu (13). Dosadením tejto teploty do vzťahu (4) dostaneme

$$a = -(0,032 \pm 0,002) \text{ K}^{-1},$$

chyba je určená prenesením chýb veličín zo vzťahu (4).

Teplotu v maxime statickej charakteristiky určíme podľa vzťahu (11) ako

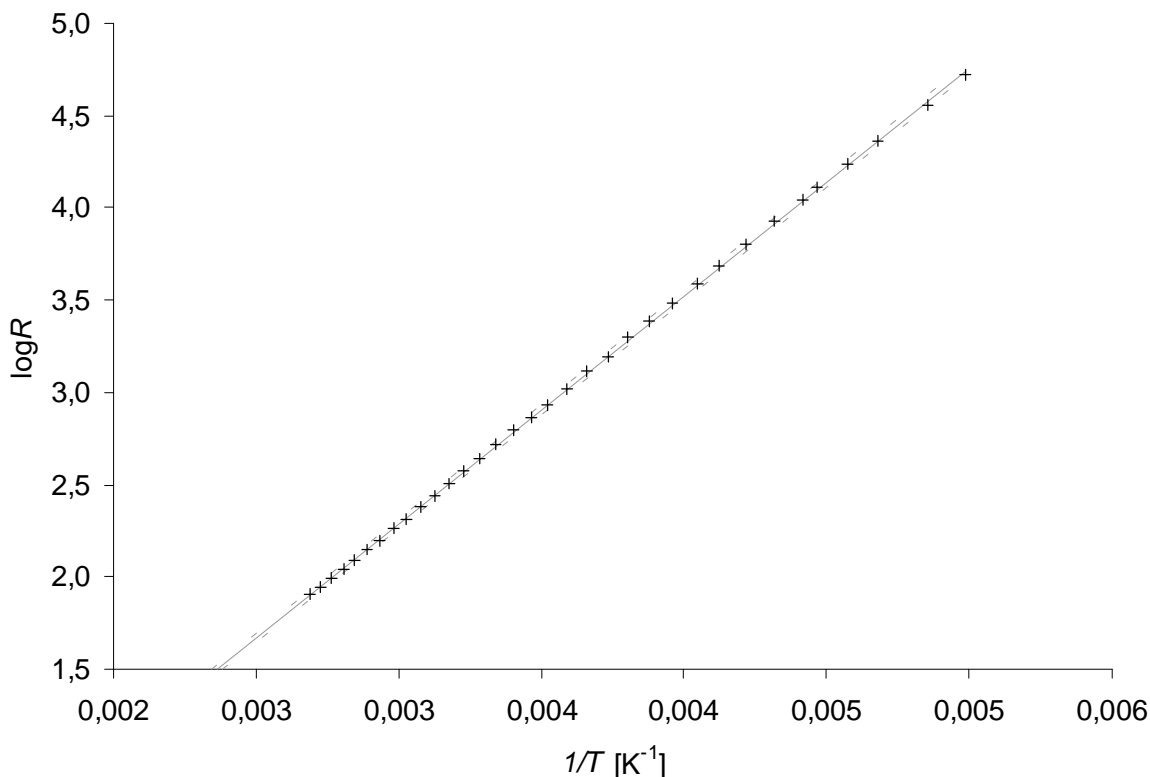
$$T_m = (337 \pm 10) \text{ K},$$

chyba je určená prenesením chýb veličín zo vzťahu (11). Zo znalosti T_m môžeme podľa vzťahu (12) určiť tepelný odpor K termistora v maxime charakteristiky ako

$$K = (2060 \pm 190) \text{ W.K}^{-1},$$

chyba je určená prenesením chýb veličín zo vzťahu (12).

Graf 2: Závislosť $\log R$ na $\frac{1}{T}$



Diskusia:

Nameraná statická charakteristika zodpovedá teoretickým predpokladom, pre malé prúdy je splnený Ohmov zákon, závislosť je lineárna. Pri vyšších prúdoch sa prejaví ohrievanie termistoru vplyvom prechádzajúceho prúdu a tým teplotná závislosť odporu. Hodnoty napätia a prúdu sú namerané s relatívne dobrou presnosťou digitálnymi prístrojmi. Napriek tomu hodnota prúdu v maxime charakteristiky je určená z pomerne veľkou odchýlkou, ktorá je spôsobená nedostatočným počtom nameraných hodnôt v okolí maxima a zároveň tým, že maximum nie je ostré. Táto veľká chyba sa prejaví pri určovaní tepelného odporu v maxime charakteristiky.

Závislosť logaritmu odporu na prevrátenej hodnote teploty je podľa teoretických predpokladov lineárna, môžeme teda všetky body preložiť priamkou, ktorej koeficienty vypočítame lineárnou regresiou. Extrapoláciou určíme hodnotu R_∞ . Overili sme, že v rámci chyby dostaneme rovnakú hodnotu R_∞ , ak na extrapoláciu nepoužijeme všetky hodnoty, ale len hodnoty blízke nule. Chyby koeficientov závislosti určené z regresie sú pomerne malé, pretože hodnoty splňujú lineárnu závislosť pomerne presne. K týmto chybám musíme pripočítať odchýlky nameraných hodnôt určené z nepresnosti prístrojov. Čiarkované čiary v grafe 2 udávajú odchýlky lineárnej regresie.

Systematické chyby, ktoré mohli ovplyvniť presnosť merania, mohli byť dané rozdielnym ohrievaním teplomeru a termistoru, tieto chyby sme sa snažili eliminovať pomalým zahrievaním termistoru, vzhľadom k nameraným údajom ich môžeme zanedbať. Podobne predpokladáme, že teplota T_0 v miestnosti zodpovedá teplote okolia termistoru, čo tiež nemusí byť presne splnené.

Záver:

Zmerali sme statickú charakteristiku termistoru (tabuľka 1, graf 1) a určili sme prúd a napätie v maxime charakteristiky ako

$$I_m = 11 \pm 1 \text{ mA}$$

$$U_m = 1,755 \pm 0,005 \text{ V.}$$

Zmerali sme závislosť odporu termistoru na teplote (tabuľka 2, graf 2) a určili sme koeficienty závislosti logaritmu odporu termistoru na prevrátenej hodnote teploty. Z týchto údajov sme určili veličiny

$$R_\infty = (38 \pm 1) \text{ m}\Omega,$$

$$B = (2847 \pm 8) \text{ K},$$

$$\Delta U = (47,3 \pm 0,1) \text{ kJ.mol}^{-1},$$

$$a = -(0,032 \pm 0,002) \text{ K}^{-1},$$

$$T_m = (337 \pm 10) \text{ K},$$

$$K = (2060 \pm 190) \text{ W.K}^{-1}.$$

Literatúra:

[1] Doc. RNDr. Roman Bakule, CSc., Doc. RNDr. Jiří Šternberk, CSc., Fyzikální praktikum II. Elektřina a magnetismus, Státní pedagogické nakladatelství Praha

[2] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch, Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha 1980