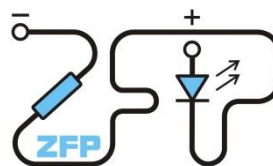


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum II



Úloha č. 9

Název úlohy: Charakteristiky termistoru

Jméno: Ondřej Skácel

Obor: FOF

Datum měření: 16.11.2015

Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkoly

- 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 360 K.
- 3) Graficky znázorněte závislost logaritmu odporu  $R$  termistoru na  $1/T$  a vyhodnoťte velikost materiálových veličin  $R_\infty$  a  $B$ , aktivační energie  $U$  a teplotního součinitele odporu  $\alpha$  při pokojové teplotě.
- 4) Stanovte teplotu termistoru v maximu charakteristiky, případně v některých dalších bodech a tepelný odpor  $K$ .

## Teoretická část

Termistor je polovodičový rezistor jehož odpor závisí na teplotě. Pro termistory fungující díky zvyšování koncentrace nositelů náboje s teplotou platí pro odpor  $R$  vztah[1]

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

kde  $R_\infty$  je konstanta závislá na termistoru,  $B$  konstanta charakterizující teplotní citlivost termistoru a  $T$  je teplota.  $B$  pak lze určit podle

$$B = \frac{\log\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (2)$$

kde  $T_1$  a  $T_2$  jsou dvě co nejvíc vzdálené teploty a  $R_1$ ,  $R_2$  jim odpovídající odpory. Pro tzv. aktivační energii  $\Delta U$ , tj. energii potřebnou k ionizaci elektronu platí

$$\Delta U = 2kB \quad (3)$$

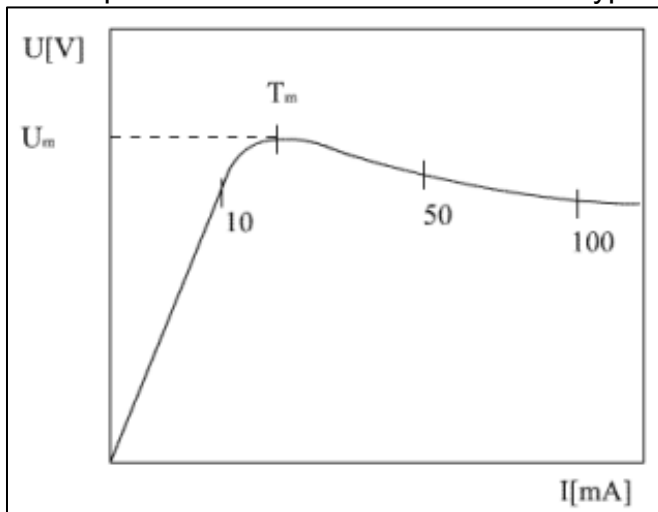
kde  $k$  je Boltzmannova konstanta. Hodnotu  $R_\infty$  lze určit extrapolací závislosti (1) pro  $T \rightarrow \infty$ .

Teplotní součinitel odporu  $\alpha$  je definován jako

$$\alpha \equiv \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{B}{T^2} \quad (4)$$

## Statická charakteristika

Voltampérová charakteristika termistoru vypadá přibližně jako na obr. 1,



Obr.1 – statická charakteristika termistoru – převzato z [1]

což je způsobeno tím, že s rostoucím proudem se termistor zahřívá a tudíž klesá jeho odpor. V maximu charakteristiky se pak srovná tepelný výkon odváděný do okolí s příkonem na termistoru  $P = U^2/R$  a platí

$$KP = T_{max} - T_0 \quad (5)$$

kde  $K$  je tepelný odpor termistoru,  $T_{max}$  jeho teplota a  $T_0$  teplota okolí. Platí tedy

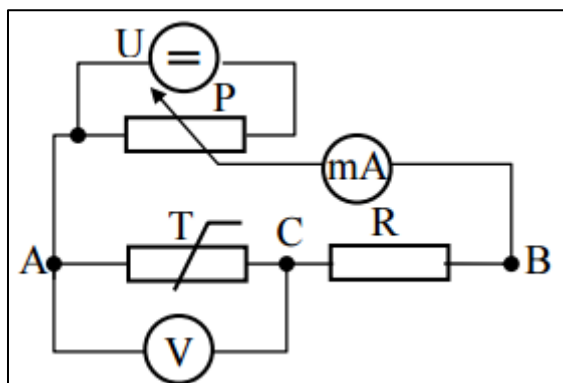
$$K = \frac{T_{max} - T_0}{U_{max}I_{max}} \quad (6)$$

kde  $U_{max}$  a  $I_{max}$  je napětí respektive proud v maximu charakteristiky. Pro  $T_{max}$  lze z (1) a (5) s použitím  $P = U^2/R$  odvodit

$$T_{max} = \frac{1}{2} \left( B - \sqrt{B^2 - 4BT_0} \right) \quad (7)$$

## Postup měření

Statickou charakteristiku měříme pomocí zapojení na obr. 2.



Obr. 2 – zapojení pro měření statické charakteristiky – převzato z [1]

Při měření tepelné závislosti odporu napojíme na termistor ohmmetr a zchladíme ho tekutým dusíkem. K němu je umístěn platinový teploměr, pomocí nějž lze určit teplota (ve stupních Celsia) podle

$$t = \frac{R_t - R_0}{\alpha_{pt} R_0} \quad (8)$$

kde  $R_0$  a  $R_t$  jsou odpory při teplotách  $0^\circ\text{C}$  respektive  $t$  a  $\alpha_{pt}$  je teplotní součinitel odporu teploměru. Pro rychlejší ohřev termistoru se přitápí topnou spirálou.

## Výsledky měření

Měření bylo prováděno při teplotě  $T_0 = (23,0 \pm 0,2)^\circ\text{C}$   
Všechny chyby jsou vztaženy na pravděpodobnost  $1\sigma$ .

Měření proudu, napětí a odporu byla prováděna multimetry Metex MXD – 4660A, u kterých výrobce pro tato měření relevantní rozsahy udává následující chyby měření.

Tabulka 1 – Chyby měření

veličina	$U[V]$	$I[mA]$	$R[\Omega]$ pro $R < 200\Omega$	$R[\Omega]$
chyba	$0,05\% + 3dgt$	$0,3\% + 3dgt$	$0,2\% + 5dgt$	$0,15\% + 3dgt$

Pro platinový teploměr jsou udány hodnoty

$$R_0 = 100\Omega$$
$$\alpha_{pt} = 3,85 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

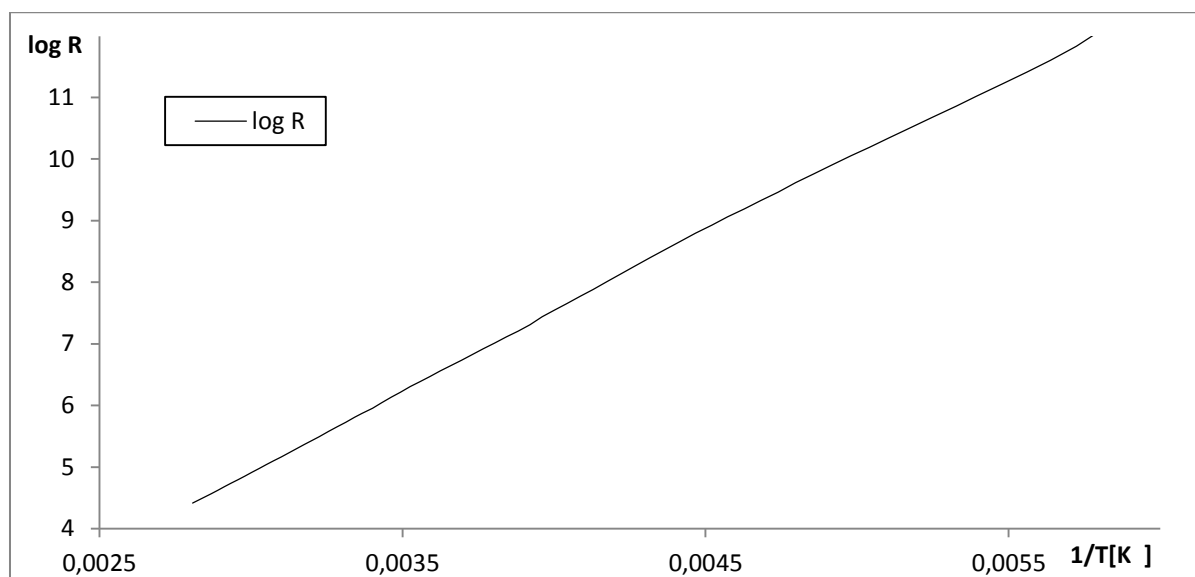
## Naměřené hodnoty

### Tepelná závislost odporu

Je uvedena pouze část naměřených hodnot, protože jich celkově bylo naměřeno 72.

Tabulka 2 – závislost odporu termistoru na teplotě

$R_{pt}[\Omega]$	$T[K]$	$R_{term}[k\Omega]$	$R_{pt}[\Omega]$	$T[K]$	$R_{term}[k\Omega]$
61,00	171,9	186,41	102,07	278,5	0,6463
66,21	185,4	60,98	107,05	291,5	0,4207
71,23	198,4	26,64	112,06	304,5	0,2847
76,07	211,0	12,845	117,03	317,4	0,1999
81,02	223,9	6,601	121,03	327,8	0,1542
87,05	239,5	3,015	126,02	340,7	0,1143
92,05	252,5	1,707	131,95	356,1	0,0827
97,04	265,5	1,0116			



Graf 1 – závislost  $\log(R)$  na  $1/T$  – teoretická závislost je lineární, z důvodu přehlednosti neproloženo

Hodnota  $B$  byla určena podle rovnice (2) za použití první ( $R_1 = 186,41\Omega$ ) a poslední ( $R_2 = 0,0827\Omega$ ) hodnoty z tabulky 1. Její chyba byla za předpokladu zanedbatelnosti chyby parametrů platinového teploměru určena jako [2]

$$\begin{aligned}
 u_B^2 &= B^2 \left( \left( \frac{u_{\log(R/R)}}{\log(R_1/R_2)} \right)^2 + \left( \frac{u_{1/T-1/T}}{1/T_1 - 1/T_2} \right)^2 \right) \\
 &= B^2 \left( \left( \frac{\sqrt{\left( \frac{u_{R_1}}{R_1} \right)^2 + \left( \frac{u_{R_2}}{R_2} \right)^2}}{\log(R_1/R_2)} \right)^2 + \left( \frac{\sqrt{\left( \frac{1}{T_1} \frac{u_{R_{pt1}}}}{R_{pt1}} \right)^2 + \left( \frac{1}{T_2} \frac{u_{R_{pt2}}}}{R_{pt2}} \right)^2}}{1/T_1 - 1/T_2} \right)^2 \right)
 \end{aligned}$$

Výsledná hodnota je

$$B = (2564 \pm 15)K$$

Aktivační energie byla určena podle rovnice **(3)**, její relativní chyba je stejná jako relativní chyba  $B$

$$\Delta U = (4,419 \pm 0,026)eV$$

Teplotní součinitel odporu při pokojové teplotě 20°C byl určen podle rovnice **(4)**, jeho chyba jako

$$u_\alpha = 2\alpha \frac{u_B}{B}$$

Výsledná hodnota je

$$\alpha = (-29,84 \pm 0,35) \cdot 10^{-3}K^{-1}$$

$R_\infty$  byl určen podle rovnice **(1)** extrapolací, jeho chyba odhadnuta jako 1%.

$$R_\infty = (60,0 \pm 0,6)\Omega$$

## Statická charakteristika

Naměřené hodnoty jsou znázorněny na grafu 2, několik vybraných hodnot je v následující tabulce.

Tabulka 3 – statická charakteristika termistoru

I[mA]	U[V]	I[mA]	U[V]
0,0710	0,0287	7,971	1,5416
0,3354	0,1356	11,005	1,5854
0,6176	0,2478	14,121	1,6039
0,8966	0,3561	16,986	1,6018
0,9987	0,3943	20,28	1,5912
1,943	0,7238	23,01	1,5794
4,804	1,3164	25,05	1,5714

Teplota termistoru v maximu charakteristiky byla určena pomocí **(7)**, její chyba jako

$$u_{T_{max}} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\left(1 - \frac{B - 2T_0}{\sqrt{B^2 - 4BT_0}}\right)u_B\right)^2 + \left(\frac{u_{T_0}}{\sqrt{1 - \frac{4}{B}T_0}}\right)^2}$$

Výsledná hodnota je

$$T_{max} = (341,7 \pm 0,5)K$$

Tepelný odpor  $K$  byl určen podle rovnice **(6)**, při použití hodnot  $I_{max} = 15,012\text{mA}$  a  $U_{max} = 1,6049\text{V}$  získaných z naměřených hodnot. Jeho chyba byla odhadnuta jako 5% viz diskuzi.

$$K = (1,89 \pm 0,09)10^3 K/W$$

## Diskuze výsledků

Naměřená závislost odporu termistoru na teplotě dobře odpovídá očekávanému exponenciálnímu průběhu, jak je vidět z grafu 1, kde je závislost  $\log(R)$  na  $1/T$  s velmi dobrou přesností lineární.

Naměřená statická charakteristika tvarově odpovídá obr. 1, ale je výrazně plošší, což může být dáno přílišnou schématicností obr. 1.

Tepelný odpor má velkou chybu, protože v maximu charakteristiky je obtížné přesně určit  $I_{max}$  jak je vidět z grafu 2.

## **Závěr**

Závislost odporu termistoru na převrácené hodnotě teploty je exponenciální.

### **Výsledné hodnoty:**

Aktivační energie

$$\Delta U = (4,419 \pm 0,026)eV$$

Teplotní součinitel odporu

$$\alpha = (-29,84 \pm 0,35) \cdot 10^{-3}K^{-1}$$

$R_{\infty}$

$$R_{\infty} = (60,0 \pm 0,6)\Omega$$

Teplotní citlivost

$$B = (2564 \pm 15)K$$

Teplota v maximu statické charakteristiky

$$T_{max} = (341,7 \pm 0,5)K$$

Tepelný odpor

$$K = (1,89 \pm 0,09)10^3K/W$$

## **Použitá literatura**

[1] studijní text dostupný na

[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_209.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_209.pdf)

[2] Jiří English: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006