

## Pracovní úkoly

1. Změřte statickou charakteristiku termistoru pro proudy do 25 mA a graficky ji znázorněte. V případě záznamu měření počítačem vytiskněte.
2. Změřte teplotní závislost odporu termistoru v teplotním intervalu přibližně 180 až 360 K a graficky znázorněte (ev. vytiskněte).
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

Budeme měřit elektrickou součástku termistor. U většiny termistorů se se zvyšující se teplotou snižuje elektrický odpor. Elektrický odpor  $R$  při teplotě  $T$  můžeme vyjádřit vztahem [1]

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

kde  $R_\infty$  a  $B$  jsou konstanty.

Pro kovalentní vodiče, v nichž s teplotou roste koncentrace nositelů náboje, platí [1]

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

kde  $k = 0,8617 \cdot 10^{-4} \text{ eV K}^{-1} = 1,38 \cdot 10^{-24} \text{ J K}^{-1}$  je Boltzmannova konstanta a  $\Delta U$  je aktivační energie. Vynásobením Avogadrovou konstantou  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  dostaneme aktivační energii na jeden mol  $\Delta U_{mol}$  a vztah se redukuje na

$$\Delta U_{mol} = 2BR, \quad (3)$$

kde  $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  je molární plynová konstanta.

Teplotní součinitel odporu  $\alpha$  je definován [1]

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

Po dosazení do (1) dostaneme

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

Vyneseme-li závislost  $\log R = f(1/T)$ , dostaneme přímku popsanou rovnicí

$$\log R = \log R_\infty + 0,434 \cdot B \frac{1}{T}. \quad (6)$$

Pomocí lineární interpolace určíme konstantu  $B$  a extrapolací pro  $1/T \rightarrow 0$  určíme  $R_\infty$ .

Dále měříme statickou charakteristiku termistoru. Teplota termistoru se ustálí na teplotě, kdy se vyrovná elektrický příkon a tepelný výkon odváděný do okolí [1]

$$KP = T - T_0, \quad (7)$$

kde  $K$  je tepelný odpor termistoru a  $T_0$  je teplota okolí. Nejvyšší napětí  $U_m$  na termistoru bude při proudu  $I_m$  a teplotě [1]

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

Tepelný odpor  $K$  určíme podle

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

## Výsledky měření

Teplota v místnosti byla  $T_0 = (24,0 \pm 0,3) ^\circ\text{C}$ .

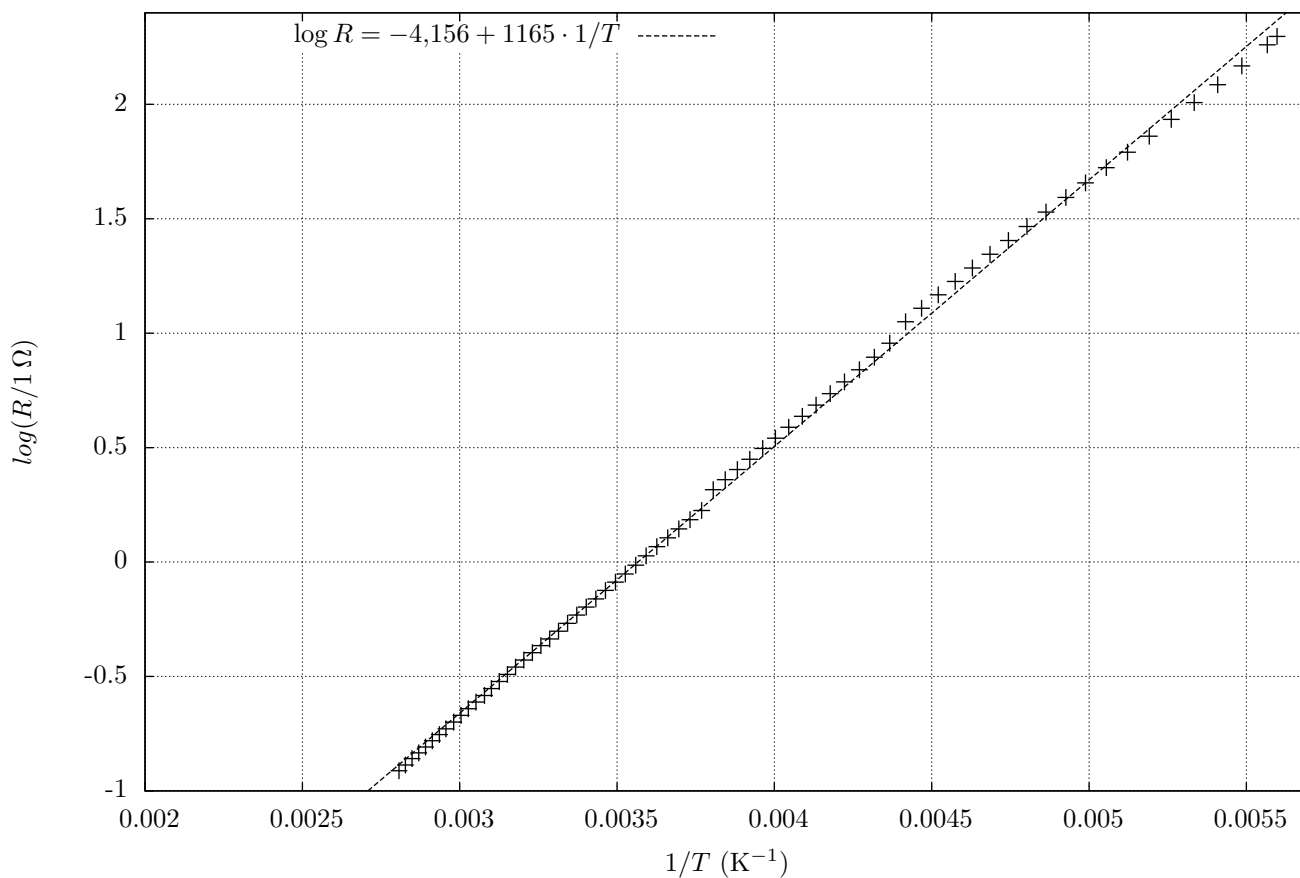
Teplotu jsme měřili platinovým odporovým teploměrem. Vztah mezi teplotou  $t$  ve stupních Celsia a odporem platinového teploměru  $R_t$  je

$$t = \frac{R_t - R_0}{\alpha_{Pt} R_0}, \quad (10)$$

kde  $R_0 = 100 \Omega$  je odpor při  $0 ^\circ\text{C}$  a  $\alpha_{Pt} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

Elektrické veličiny (napětí, proud, odpor) jsme měřili multimetrem METEX MXD-4660A. Při měření statické charakteristiky jsme hodnoty odečítali přímo z displeje a zapisovali na papír, při měření tepelné závislosti jsme multimetry připojili k počítači.

Naměřená teplotní závislost je uvedena v příložené tabulce 1 a zanesena v grafu 1. Proložení závislosti jsme určili konstanty  $B = (2680 \pm 30) \text{ K}$  a  $R_\infty = (7,0 \pm 0,1) \text{ m}\Omega$ . Chybu těchto veličin jsme odhadli, přičemž jsme uvážili chybu fitu a chyby fitovaných veličin.



Graf 1: Teplotní závislost odporu

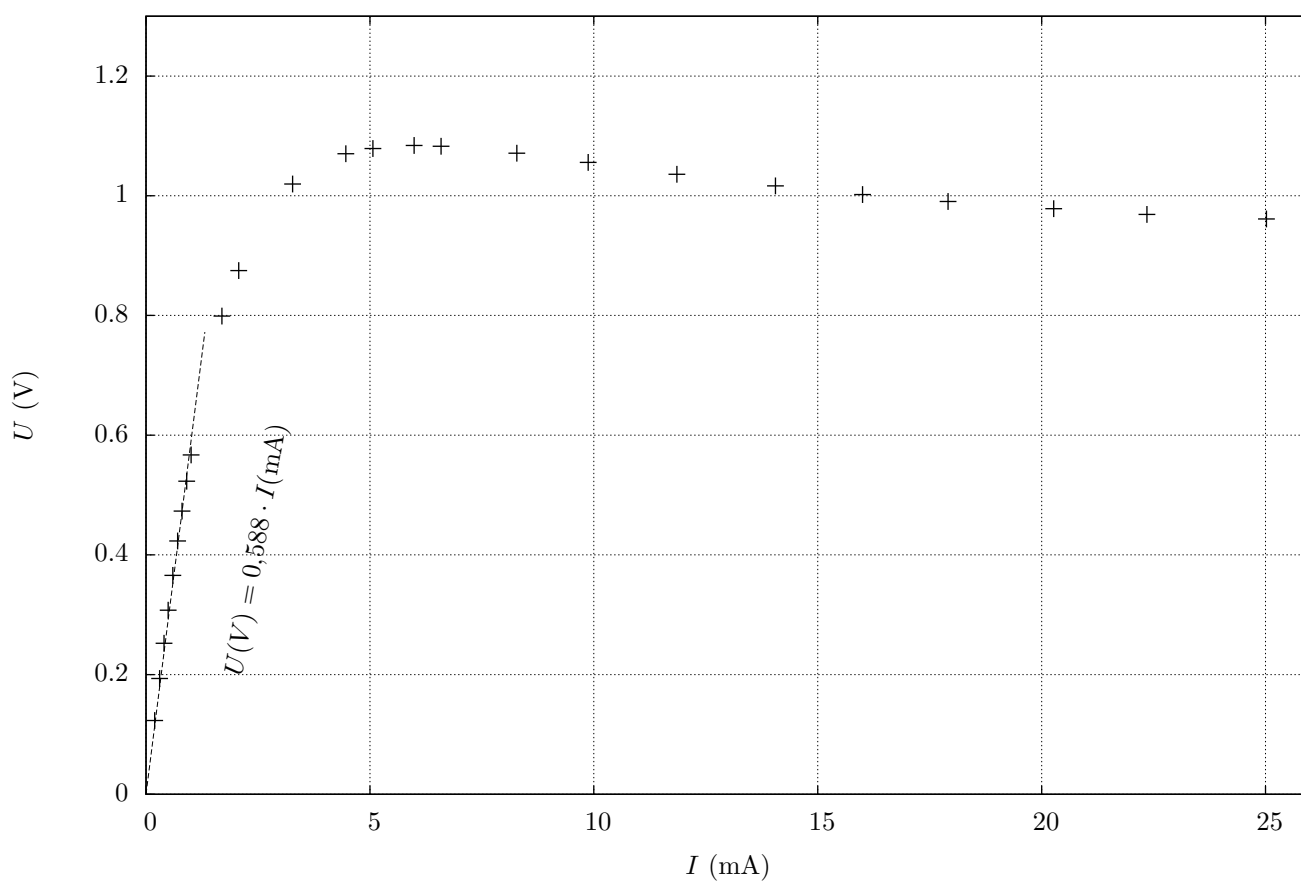
Ze známé konstanty  $B$  a vztahů (2), (3), (8) a (5) získáme  $\Delta U = (0,463 \pm 0,006) \text{ eV}$ ,  $\Delta U_{mol} = (44,6 \pm 0,5) \text{ kJ mol}^{-1}$ ,  $T_m = (340 \pm 2) \text{ K}$  a  $\alpha = (-0,0304 \pm 0,0005) \text{ K}^{-1}$  (při pokojové teplotě  $24,0 ^\circ\text{C}$ ). Odchylku těchto veličin jsme počítali metodou přenosu chyb.[2]

Naměřená statická charakteristika je uvedena v příložené tabulce 2 a zanesena do grafu 2.

Z grafu jsme určili  $U_m = (1,086 \pm 0,005) \text{ V}$  a  $I_m = (6,0 \pm 0,3) \text{ mA}$ . Podle (9) dostáváme  $K = (6600 \pm 400) \text{ K W}^{-1}$ .

## Diskuze

Obě měřené závislosti vyšly podle očekávání.



Graf 2: Statická charakteristika

Konstantu  $B$  bychom mohli vypočítat podle studijního textu jako [1]

$$B = \frac{2,3 \log(R_1/R_2)}{1/T_1 - 1/T_2} \approx 2650 \text{ K},$$

která se mírně liší od hodnoty určené lineární regresí.

Veličina  $I_m$  je určena poměrně nepřesně, s ní tedy i tepelný odpor  $K$ . Na vrcholu charakteristiky se s proudem měnilo napětí velmi pomalu a narozdíl od  $U_m$ , které jsme určili poměrně přesně, se nám nepodařilo určit přesný proud  $I_m$ , kdy bylo napětí nejvyšší.

## Závěr

Statická charakteristika je pro malé proudy lineární a odpor klesá s teplotou exponenciálně.

Změřili jsme následující veličiny

- $R_\infty = (7,0 \pm 0,1) \text{ m}\Omega$
- $B = (2680 \pm 30) \text{ K}$
- aktivační energie  $\Delta U = (0,463 \pm 0,006) \text{ eV}$ ,  $\Delta U_{mol} = (44,6 \pm 0,5) \text{ kJ mol}^{-1}$
- teplota v maximu statické charakteristiky  $T_m = (340 \pm 2) \text{ K}$
- teplotní součinitel odporu při teplotě  $24^\circ\text{C}$   $\alpha = (-0,0304 \pm 0,0005) \text{ K}^{-1}$
- tepelný odpor  $K = (6600 \pm 400) \text{ K W}^{-1}$

## Seznam použité literatury

1. *Základní fyzikální praktikum* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupný z WWW: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/start>.
2. ENGLICH, Jiří. *Úvod do praktické fyziky I: Zpracování výsledků měření*. Praha: MATFYZPRESS, 2006. ISBN 80-86732-93-2.