

## Fyzikální praktikum II

Úloha č. 9

**Název. :** Charakteristiky termistoru

**Měřil. :** Michal Švanda.....dne : ...20. listopadu 2000.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....

---

**Posuzoval:**.....dne:.....

**Výsledek klasifikace:**.....

---

Připomínky:

# 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  $1/T$  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  $K$ .

## Teoretický úvod

Termistory jsou polovodičové rezistory, u nichž se s výhodou využívá velké závislosti odporu na teplotě. Zmenšování odporu termistoru s rostoucí teplotou může být zapříčiněno zvyšováním koncentrace nositelů náboje, zvyšováním jejich pohyblivosti nebo fázovými přechody polovodičového materiálu.

Zvyšování koncentrace nositelů náboje s rostoucí teplotou je charakteristické pro termistory z monokrystalů polovodičů typu  $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$ . V oblasti teplot, kde převládá příměsová vodivost platí pro závislost odporu na teplotě vztah:

$$R = R_\infty e^{\frac{B}{T}}, \quad [\text{R1}]$$

kde  $R_\infty$  je závislý na materiálu a rozměrech polovodiče,  $B$  charakterizuje teplotní citlivost termistoru.

Pro kovaletní vodiče lze psát:

$$B = \frac{U}{2k}, \quad [\text{R2}]$$

kde  $k$  je Boltzmannova konstanta,  $U$  energie potřebná k ionizaci příměsí (*aktivační energie*). Dosadíme-li Boltzmannovu konstantu jako  $k=0,8617 \times 10^{-4} \text{ eV}$ , musíme pro platnost vztahu dosadit aktivační energii v elektronvoltech. My použijeme tento vztah k určení aktivační energie děje.

Další veličinou, která charakterizuje teplotní závislost odporu termistoru je *teplotní součinitel odporu*  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{1}{R(T)} \frac{dR(T)}{dT}, \quad [\text{R3}]$$

z čehož po úpravě dostaneme:

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}, \quad [\text{R4}]$$

Jak je vidět, tak teplotní součinitel odporu není s teplotou konstantní.

Pro materiálovou konstantu  $B$  platí pro známé hodnoty odporu při dvou známých teplotách následující vztah:

$$B = \frac{2,3 \log(R_1/R_2)}{1/T_1 - 1/T_2} \quad [\text{R5}]$$

My však stanovujeme teplotní závislost ve velmi širokém teplotním oboru. Proto můžeme pro stanovení veličiny  $B$  použít vztah:

$$\log R = \log R_\infty + 0,434B/T, \quad [\text{R6}]$$

přičemž k určení konstant můžeme využít regresní analýzu závislosti  $\log R$  na  $1/T$ .

Pro jednu konstantní teplotu můžeme proměřit statickou charakteristiku, tedy závislost proudu na napětí. Tato charakteristika nebude lineární, protože při vyšších proudech se projeví zahřívání Jouleovým teplem.

Teplota termistoru se ustálí v daném bodě na hodnotě, při níž bude elektrický příkon roven tepelnému výkonu. Zavedením tepelného odporu  $K$  můžeme tento stav popsat rovnicí:

$$KP = T - T_0, \quad [\text{R7}]$$

kde  $P$  je elektrický příkon,  $T$  teplota termistoru a  $T_0$  teplota okolí. Teplotu termistoru můžeme určit např. porovnáním jeho odporu  $R = U/I$  s experimentálně zjištěnou závislostí na teplotě. Pro příkon pak platí vzorec:  $P = UI$ .

Největšího napětí na termistoru by mělo být dosaženo v bodě, ve kterém dosáhne jeho teplota hodnoty

$$T_m = \frac{B - \sqrt{B(B - 4T_0)}}{2} \quad [\text{R8}]$$

Každému bodu charakteristiky přísluší jiná teplota termistoru. Poté můžeme podle vzorce [R7] určit tepelný odpor termistoru. Pro maximum charakteristiky bude platit:

$$K = \frac{T_m \cdot T_0}{U_m I_m} \quad [\text{R9}]$$

Při měření postupujeme tak, že určujeme hodnoty odporů termistoru a do stejné Dewarovy lahve vloženého zkalibrovaného platinového teploměru. Obě tělesa vychladíme kapalným dusíkem a charakteristiku proměříme při ohřívání. Z odporu platinového teploměru získáme teplotu termistoru podle vzorce:

$$t = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0}, \quad [\text{R10}]$$

kde  $R_t$  je odpor teploměru při teplotě  $t$ ,  $R_0$  je odpor při teplotě  $t = 0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  je teplotní součinitel odporu.

## Výsledky měření

Jako první jsem proměřil statickou charakteristiku použitého termistoru při pokojové teplotě. Měření shrnuje tabulka [T1] a graf [G1].

Po ochlazení jsem odečítal hodnoty odporů termistoru a platinového teploměru (po krocích přibližně  $2 \Omega$  na odporovém teploměru). Měření shrnuje tabulka [T2] a grafy [G2] a [G3] (tento graf vystihuje pouze vyšší teploty protože v této oblasti je charakteristika velmi dobře lineární).

Proložení regresní přímkou grafem [G3] jsem získal materiálové konstanty termistoru:

$$\mathbf{R_\infty = (0,089 \pm 0,004) \Omega}$$

$$\mathbf{B = (2635 \pm 9) \text{ K}^{-1}}$$

Z vzorce [R2] lze stanovit aktivační energii  $U$ :

$$\mathbf{U = (4,55 \pm 0,02) \text{ eV}}$$

Pro určení teplotního součinitele odporu  $\alpha$  potřebuju stanovit pokojovou teplotu, kterou stanovím pomocí vztahu [R10] (a převedu ji do termodynamické škály), abychom ho mohli stanovit podle vztahu [R4]. V zadání úlohy je odpor pro nulovou teplotu udán jako  $R_0 = 100 \Omega$ , při pokojové teplotě jsem naměřil odpor  $R = (109 \pm 1) \Omega$ . Z čehož podle vzorce [R10] vychází pokojová teplota:

$$\mathbf{T_0 = (296,4 \pm 0,2) \text{ K}}$$

Teď již mohu určit teplotní součinitel odporu při pokojové teplotě podle vzorce [R4].

$$\mathbf{\alpha = (0,030 \pm 0,001) \text{ K}^{-1}}$$

Dále jsem určoval teplotu termistoru v maximu jeho statické charakteristiky. Maximum jsem stanovil z grafu [G1] využitím příslušné funkce programu `Origin 5.0`. Chybu obou hodnot jsem odhadl z tvaru křivky. Pro proud a napětí jsem v maximu stanovil tyto hodnoty:

$$I_m = (8,9 \pm 0,5) \text{ mA}$$

$$U_m = (2,0 \pm 0,1) \text{ V}$$

Odpor termistoru v maximu charakteristiky tedy má hodnotu  $R_m = (224 \pm 16) \Omega$  a odpovídající teplota podle vztahu [R8]  $T_m = (340 \pm 3) \text{ K}$ . Odpovídající tepelný odpor je pak podle [R9]:

$$K = (2400 \pm 200) \text{ KW}^{-1}$$

## Diskuse

Tato úloha je velmi problematická při určování chyb. Nemůžeme se spolehnout pouze na chyby přístrojové, protože velkou roli hrají subjektivní operace (hledání maxima v grafu a jeho odečítání). Proto se domnívám, že v mnoha případech jsou chyby mnou uvedené podhodnocené - zvláště v případě stanovení veličiny  $B$  (0,3%), jejíž skutečná chyba bude zřejmě ve stejném řádu, jako stanovené chyby ostatních výsledných veličin, tedy v rozsahu 7÷10%. Důvodem takto podhodnocené chyby je bezesporu lineární regrese provedená programem `Origin`, při jejímž použití je chyba směrnice právě uvedených 0,3%.

## Závěr

Proměřil jsem statickou charakteristiku termistoru a závislost odporu termistoru na jeho teplotě a dospěl jsem k následujícím výsledkům (materiálovým konstantám termistoru):

$$R_\infty = (0,089 \pm 0,004) \Omega$$

$$B = (2635 \pm 9) \text{ K}^{-1}, \text{ ale spíše } B = (2600 \pm 200) \text{ K}^{-1}$$

$$U = (4,55 \pm 0,02) \text{ eV}$$

$$\alpha = (0,030 \pm 0,001) \text{ K}^{-1}$$

V maximu statické charakteristiky má tepelný odpor hodnotu  $K = (2400 \pm 200) \text{ KW}^{-1}$

## Literatura

- [L1] Brož, J. - Základy fyzikálních měření
- [L2] Bakule, R., Šternberk, J. - Fyzikální praktikum II.

### **Poznámka:**

Veškeré grafy byly vytvářeny programem `Origin` verze 5.0. Veškeré regresní operace byly prováděny právě tímto programem. Uvedené chyby jsou chybami na hladině  $\sigma$  (pokud není uvedeno jinak).