

STUDIUM TERMOELEKTRONOVÉ EMISE

Měřicí potřeby

- 1) regulační autotransformátor (Tr_1)
- 2) žhavicí transformátor (Tr_2)
- 3) stejnosměrný zdroj 400 V
- 4) mikroampérmetr
- 5) stejnosměrný voltmetr
- 6) střídavý voltmetr
- 7) střídavý ampérmetr
- 8) elektronka RA 0007 A s patičí (E_1)

Obecná část

Na základě teorie volných elektronů v kovech odvodili Richardson a Dushman pro hustotu nasyceného termoemisního proudu vztah:

$$j = CT^2 e^{-\frac{A}{kT}} = CT^2 e^{-\frac{B}{T}} = CT^2 \cdot 10^{-\frac{B'}{T}} \quad [\text{Am}^{-2}] \quad (1)$$

kde C [$\text{Am}^{-2}\text{K}^{-2}$] je emisní konstanta pro daný materiál, T [K] teplota katody, A [J] výstupní práce, k [JK^{-1}] Boltzmannova konstanta.

Konstanty $B = A/k = \varphi \cdot q_e / k$ [K] (kde q_e je náboj elektronu) a $B' = B \cdot \log e$ jsou charakteristické pro daný materiál katody. Po dosazení za q_e a k dostaneme $B = \varphi \cdot q_e / k = 11,6 \cdot 10^3 \varphi$ [K]. Veličina φ [V] se nazývá výstupní potenciál kovu. Richardsonova-Dushmanova rovnice pro nasycený emisní proud platí za předpokladu, že všechny elektrony emitované kovem jsou odsáty vnějším elektrickým polem.

Je-li plocha emitujícího kovu (katody) S , pak celkový proud

$$I = SCT^2 \cdot 10^{-\frac{B'}{T}} \quad [\text{A}]. \quad (2)$$

Zlogaritmováním této rovnice dostaneme

$$\log \frac{I}{T^2} = -B' \frac{1}{T} + \log SC. \quad (3)$$

Zavedeme-li nové proměnné

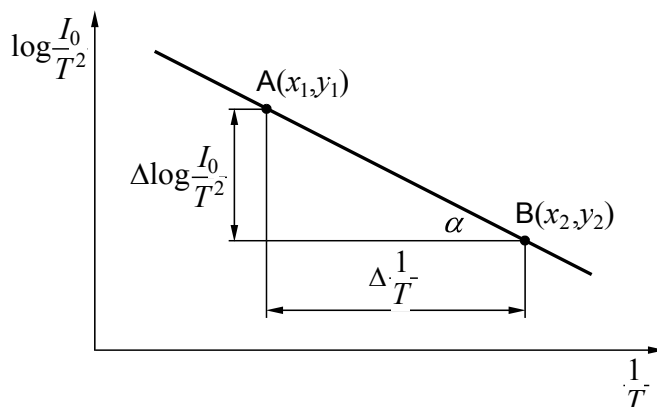
$$y = \log \frac{I}{T^2} \quad \text{a} \quad x = \frac{1}{T},$$

získá rovnice (3) tvar

$y = -B'x + \text{konst.}$, což je rovnice přímky. Grafickým znázorněním

závislosti $\log \frac{I}{T^2} = f\left(\frac{1}{T}\right)$ je tzv.

Richardsonova přímka (obr. 1). Prodloužena až k ose y vytíná na ose y veličinu $\log SC$ (viz rovnice



Obr. 1 Richardsonova přímka

(3)), kdežto její směrnice určuje konstantu $-B'$.

$$B' = \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1} = \frac{\log \frac{I_1}{T_1^2} - \log \frac{I_2}{T_2^2}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} \quad (5)$$

kde x_1, y_1 a x_2, y_2 jsou souřadnice dvou libovolných bodů této přímky.

Z konstanty B' určíme konstantu $B = \frac{B'}{\log e}$, kde e je základ přirozených logaritmů.

Z B stanovíme výstupní potenciál φ ve voltech:

$$\varphi = \frac{Bk}{q_e} = 8,62 \cdot 10^{-5} B \quad [\text{V}] \quad (6)$$

nebo výstupní práci:

$$A = \varphi q_e \quad [\text{J}] \quad (7)$$

Měření

Měření závislosti emisního proudu na teplotě provedeme u elektronky RA 0007A. Jedná se o diodu s čistě wolframovou přímo žhavenou katodou. Teplotu katody určíme nepřímou ze žhavicího příkonu katody. Důvodem je značná obtížnost a velká nepřesnost při přímém měření teploty vlákna katody optickým pyrometrem (je určen pro zcela odlišná měření), kdežto žhavicí příkon lze měřit velmi jednoduše a hlavně s dostatečnou přesností.

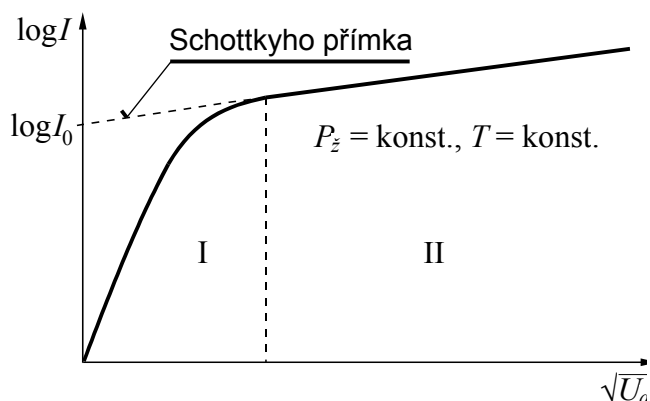
Velikost emisního proudu ovšem nezávisí jen na teplotě katody, ale také na elektrickém poli mezi katodou a anodou, neboli na anodovém napětí. Pokud je anodové napětí malé, uplatňuje se především vliv prostorového náboje v okolí katody a emisní proud roste v závislosti na napětí anody podle vztahu:

$$I = konst. U_a^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

(viz oblast I charakteristiky na obr. 2). Jakmile je anodové napětí tak vysoké, že postačí odsávat všechny emitované elektrony (oblast II na obr. 2), platí pro nasycený emisní proud tzv. Schottkyho rovnice:

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{a}{T} \sqrt{U_a}} \quad (9)$$

kde a je konstanta, U_a je anodové napětí, T teplota katody, I_0 nasycený emisní proud podle rovnice (2). Hodnotu nasyceného emisního proudu I_0 při anodovém napětí $U_a = 0$ stanovíme extrapolací přímkové části charakteristiky $\log I = f(\sqrt{U_a})$

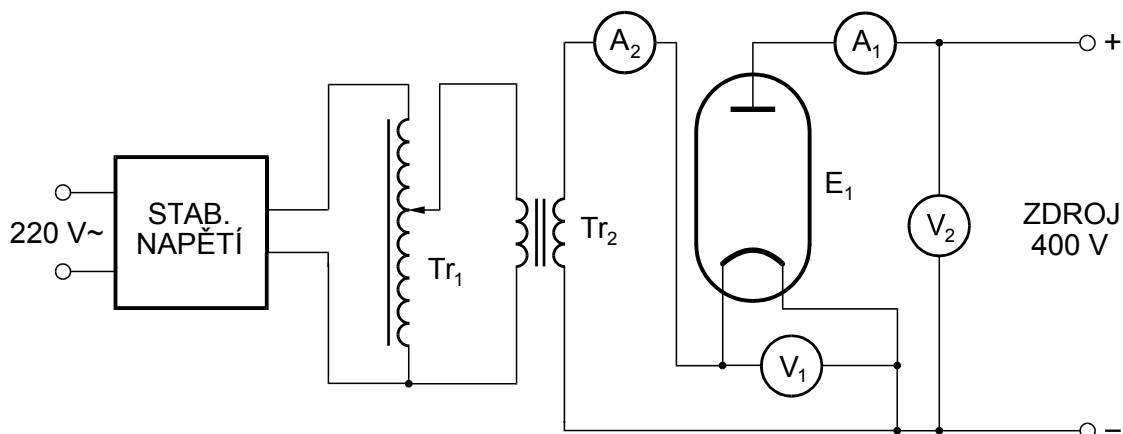


Obr. 2 Charakteristika diody – konstrukce Schottkyho přímky

k ose $U_a = 0$. Dostáváme tak Schottkyho přímku. Teprve extrapolované hodnoty I_0 dosazujeme do rovnice (3) pro sestavení Richardsonovy přímky!

Postup měření

- 1) Zapojte obvod podle schématu na obr. 3. Regulační autotransformátor Tr_1 a potenciometr napětí 400 V zdroje nastavte do nulové polohy.



Obr. 3 Schéma zapojení

- 2) Nastavte žhavicí napětí elektronky $U_z = 0,95$ V a udržujte jej během měření stále konstantní. Zvyšujte anodové napětí v rozmezí $0 \div 100$ V po 10 V, dále po 100 V až do 400 V. Pro každou hodnotu anodového napětí zapište anodový proud elektronky I_a . Nezapomeňte též pro každé žhavicí napětí odečíst žhavicí proud I_z . Hodnoty zapisujte do tabulky 1.
- 3) Totéž proveďte pro žhavicí napětí $U_z = 1$ V; 1,05 V; 1,1 V; 1,15 V; 1,2 V. **V žádném případě nesmíte překročit maximální žhavicí napětí 1,2 V a maximální anodový proud elektronky 750 μ A!**
- 4) Vypočtete žhavicí příkony katody $P_z = U_z \cdot I_z$ a jim odpovídající teploty katody podle vztahu:

$$T = 1,43 \cdot 10^3 \sqrt[4]{P_z} \quad [K; W]. \quad (10)$$

Pracovní úkol

- 1) Změřte závislost $I = f(U_a)$ emisního proudu wolframové katody na anodovém napětí pro různé žhavicí příkony katody (tj. pro různé teploty katody). Hodnoty zapisujte do tabulky 1.
- 2) Graficky znázorněte $\log I = f(\sqrt{U_a})$ pro všechny žhavicí příkony.
- 3) Sestrojte Schottkyho přímky pomocí lineární regrese (s vyloučením bodů, které zjevně na přímce neleží). Z parametrů rovnic přímek určete hodnoty $\log I_0$ a I_0 .
- 4) Sestavte tabulku naměřených a vypočtených hodnot (viz tabulka 2).
- 5) Graficky znázorněte závislost $\log(I_0/T^2)$ na $1/T$, tj. Richardsonovu přímku (viz obr. 1).

- 6) Směrnici B' Richardsonovy přímky určete opět pomocí lineární regrese.
 7) Vypočtete emisní konstantu B , výstupní potenciál ϕ a výstupní práci A .
 Výstupní práci udejte v joulech i elektronvoltech.

Tabulka 1

I_z [A]					
U_z [V]		0,95	1,0	1,05	...
U_a [V]	$\sqrt{U_a}$	I_1 [μ A]	I_2 [μ A]	I_3 [μ A]	...
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					
200					
300					
400					
I_0 [μ A]					

Tabulka 2

I_0 [A]	$\log I_0$	I_z [A]	U_z [V]	P_z [W]	T [K]	$\frac{1}{T}$ [K^{-1}]	$\log \frac{I_0}{T^2}$