

## 9. STUDIUM TERMOELEKTRONOVÉ EMISE

### Měřicí potřeby

- 1) stabilizátor síťového napětí
- 2) regulační autotransformátor ( $Tr_1$ )
- 3) žhavicí transformátor ( $Tr_2$ )
- 4) stejnosměrný zdroj 400 V
- 5) mikroampérmetr
- 6) stejnosměrný voltmetr
- 7) střídavý voltmetr
- 8) střídavý ampérmetr
- 9) 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,  $k$  [ $\text{JK}^{-1}$ ] Boltzmannova konstanta.

Konstanty  $B = A/k = \varphi \cdot q_e/k$  [K] (kde  $q_e$  je elementární náboj) 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  $\varphi$  [V] je 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

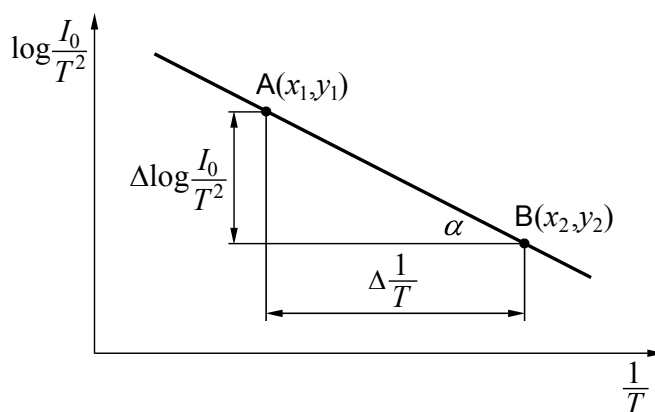
$$y = \log \frac{I}{T^2} \quad \text{a} \quad x = \frac{1}{T},$$

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



Obr. 1 Richardsonova přímka

ose y veličinu  $\log SC$  (viz rovnice (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  $\varphi$  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.

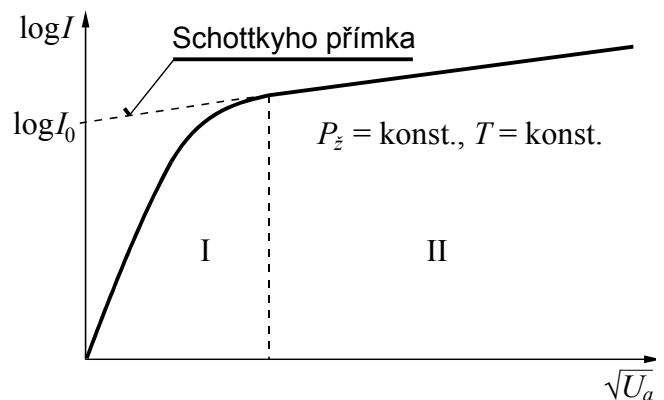
Velikost emisního proudu ovšem nezávisí jen na teplotě katody, ale také na elektrickém poli mezi katodou a anodou, neboli na anodovém napětí. Pokud je anodové napětí malé, uplatňuje se především vliv prostorového náboje v okolí katody a emisní proud roste v závislosti na napětí anody podle vztahu:

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

(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  $\log I = f(\sqrt{U_a})$

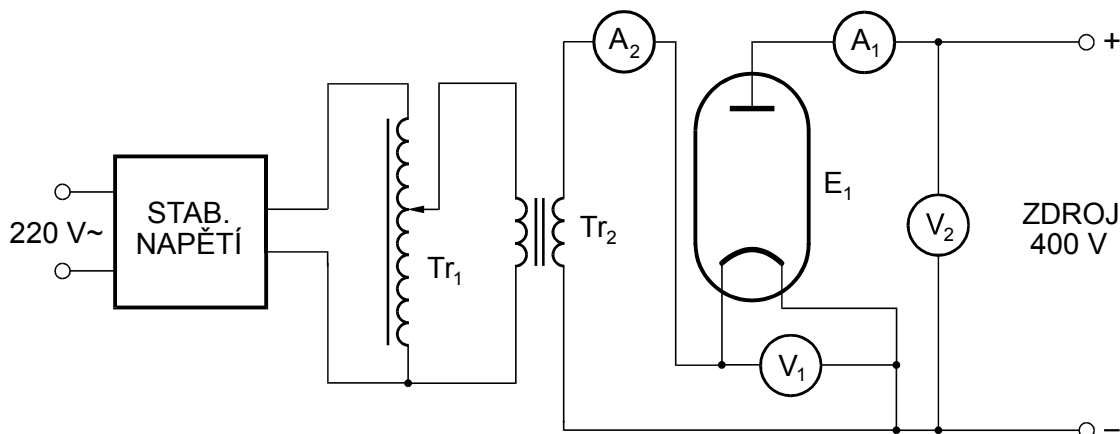


Obr. 2 Charakteristika diody – konstrukce Schottkyho přímky

k ose  $U_a = 0$ . Dostáváme tak Schottkyho přímku. Teprve extrapolované hodnoty  $I_0$  dosazujeme do rovnice (3) pro sestrojení 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) Zapněte stabilizátor síťového napětí a zdroj napětí 400 V.
- 3) Nastavte žhavicí napětí elektronky  $U_z = 0,95$  V; 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 odečtěte anodový proud elektronky  $I_a$ . Nezapomeňte též pro každé žhavicí napětí odečíst žhavicí proud  $I_z$ . Hodnoty zapisujte to tabulky 1.
- 4) 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  $\mu$ A!**
- 5) Vypočtěte 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  $\log I = f(\sqrt{U_a})$ .
- 3) Extrapolací zjistěte hodnoty  $\log I_0$  a  $I_0$ , tj. sestrojte Schottkyho přímky.
- 4) Sestavte tabulku naměřených a vypočtených hodnot (viz tabulka 2).
- 5) Graficky znázorněte závislost  $\log(I_0 / T^2)$  na  $1/T$ , tj. narýsujte Richardsonovu přímku (viz obr. 1).

- 6) Určete emisní konstantu  $B'$  ze vztahu (5) (tj. směrnici Richardsonovy přímky), emisní konstantu  $B$  a vypočtete výstupní potenciál  $\varphi$  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]	$\sqrt{U_a}$	$I_1$ [ $\mu$ A]	$I_2$ [ $\mu$ A]	$I_3$ [ $\mu$ A]	...
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					
200					
300					
400					
$I_0$ [ $\mu$ A]					

Tabulka 2

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