

nit polaritu zdroje je nutno změnit zapojení měřeného prvku. Na obr.6 je zapojena dioda v propustném směru. Před započítím měření zapojujeme pouze silně vytažené spoje. Slabě zakreslené spoje zůstávají u úlohy zapojeny trvale.

#### Postup při měření s počítačem

- a) Zapnout TV , počítač PMD-85 a multimetr G 1002.500 (zdroj BS 525 nezapínat). Zkontrolovat, zda tlačítko START-AUTO multimetru je nestlačeno (vypnuto).
- b) Spustit program "DIODY" příkazy BASIC\_G ; ROM 5 ; RUN .
- c) Zapojit měřený obvod podle obr.6 . Zapojují se pouze silně vyznačené spoje. Slabě vytažené spoje zůstávají trvale zapojeny.
- d) Řídit se příkazy počítače. Volba režimu se volí tlačítky K0 až K3 s tím, že při prvním měření probíhá vždy varianta K0 .
- e) Přerušování měření lze provést stiskem tlačítka K0 .

POZOR : Před zadáním povelu RESET ( ↑ RST) je nutno odpojit měřený prvek. Po odeslání příkazu bude na výstupu řízeného zdroje cca 12 V .

#### Literatura

- [1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983  
stať 4.5.2
- [2] Stránský J. a kol.: Polovodičová technika I, SNTL, Praha 1973  
stať 3.1

## 12. TERMOELEKTRONOVÁ EMISE

#### Pracovní úkol

1. Určete odpor katody  $R_p$  diody při pokojové teplotě. Odpor  $R_p$  změřte metodou přímou pro žhavicí proudy v rozmezí 10 až 100 mA . Závislost odporu katody na žhavicím proudu znázorněte graficky a extrapolací na nulovou hodnotu proudu určete  $R_p$  .
2. Pro několik žhavicích napětí změřte anodové charakteristiky diody. Žhavicí napětí volte v okolí hodnoty 1,2 V tak, aby při napětí na anodě 75 V byl anodový proud v rozmezí od 1  $\mu$ A do 0,5 mA .

3. Pro každou hodnotu žhavicího napětí změřte žhavicí proud a určete odpor katody. Z grafu udávajícího závislost relativního odporu wolframu  $T / R_p$  na teplotě určete teploty katody.
4. Graficky znázorněte Richardsonovu přímku a z ní stanovte výstupní práci.

#### Určení velikosti výstupní práce

Volné elektrony v kovech a polovodičích konají neuspořádaný tepelný pohyb. Vlivem tepelných fluktuací mohou některé elektrony u povrchu kovu získat kinetickou energii, která jim umožní kov opustit. Při opuštění kovu musí mít elektron energii větší než tzv. výstupní práce  $A$ . Výstupní práce je veličina nezávislá na teplotě, liší se podle druhu materiálu. Počet elektronů vylétujících z jednotkového povrchu roste s růstem teploty.

Z teorie plyne pro emisní proud emitoru tzv. Richardsonův-Dushmanův zákon

$$I = B T^2 e^{-\frac{A}{kT}}, \quad (1)$$

kde  $B$  je konstanta závislá na druhu materiálu, čistotě jeho povrchu a velikosti emitující plochy,  $A$  je výstupní práce,  $T$  je absolutní teplota,  $k$  je Boltzmannova konstanta,  $e$  je základ přirozených logaritmů. Hodnota výstupní práce leží pro různé kovy v mezích od 1 do 4,5 eV.

Zlogaritmujeme-li rovnici (1), dostaneme

$$\ln I - 2 \ln T = \text{konst} - \frac{A}{k} \frac{1}{T}, \quad (2)$$

nebo dekadickým zlogaritmováním

$$\log I - 2 \log T = \text{konst} - 0,4343 \frac{A}{k} \frac{1}{T}. \quad (3)$$

Sestrojíme-li grafické znázornění rovnice (3) tak, že na osu  $y$  budeme vynášet výraz  $(\log I - 2 \log T)$  a na osu  $x$  výraz  $\frac{1}{T}$ , dostaneme přímku, jejíž směrnice je

$$\text{tg } \alpha = 0,4343 \frac{A}{k}. \quad (4)$$

Z tohoto vztahu můžeme určit hodnotu výstupní práce  $A$  příslušného materiálu. Určujeme-li výstupní práci v elektronvoltech, musíme za  $k$  dosadit  $k = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eVK}^{-1}$ .

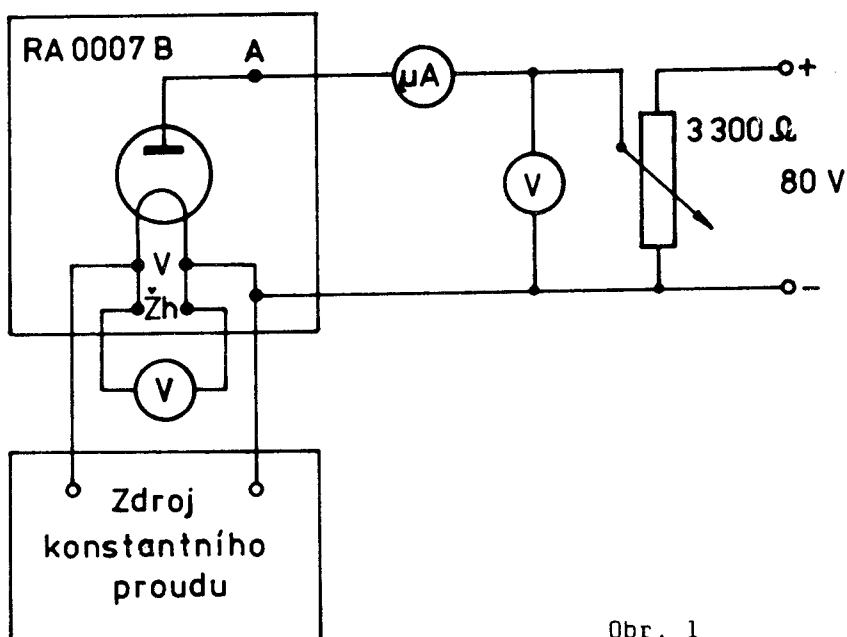
#### Experimentální část

Abychom určili výstupní práci, musíme určit emisní proud při několika teplotách zkoumaného materiálu. Neklademe-li velké nároky na přesnost stanovené výstupní práce, lze měření provést s vakuovou diodou, jejíž žhavená ka-

toda je z měřeného materiálu. Zvýšíme-li dostatečně anodové napětí, budou všechny emitované elektrony odsáty elektrickým polem k anodě a diodou poteče nasycený proud, jehož velikost již nezávisí na dalším zvyšování anodového napětí. Tento nasycený proud bude roven hledanému emisnímu proudu.

U běžných usměrňovacích vakuových diod mají katody kysličníkový povlak s extrémně nízkou výstupní prací. U těchto diod nedosáhneme oblasti nasyceného proudu. Se zvyšováním anodového proudu dochází k lokálnímu ohřevu emitující vrstvy. Tento ohřev vede vzhledem k exponenciální závislosti (viz vztah (1)) na teplotě k dalšímu vzrůstu emisního proudu. V praxi měříme s diodou RA 0007 B, která má přímo žhavené vlákno z thoriovaného wolframu, bez kysličníkové vrstvy.

V této úloze je nutno změřit několik anodových charakteristik diody až do oblasti nasyceného proudu pro různé teploty katody. Měření provádíme v zapojení podle obr.1. Postup při měření anodové charakteristiky vakuové diody



Obr. 1

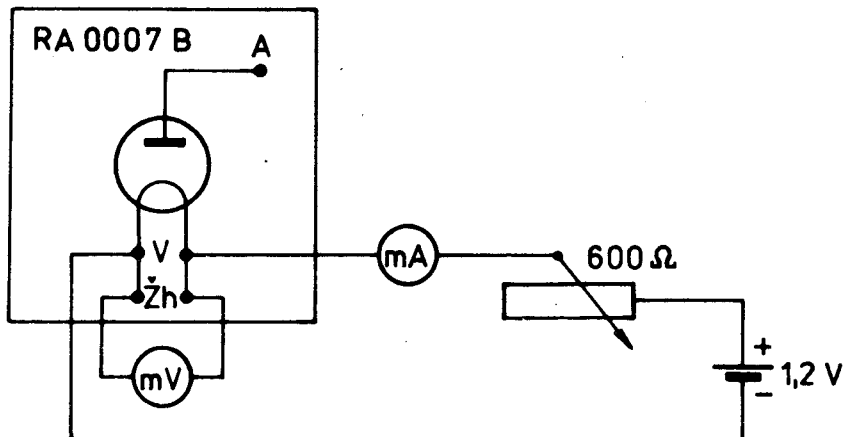
jsme uvedli podrobně v návodu k úloze 11. Teplota katody je určena žhavicím příkonem, tedy proudem a napětím na katodě. Nestabilita tohoto příkonu je hlavním zdrojem chyb a proto pokud možno musí být proud katodou stabilizován.

Pro tuto úlohu byl proto zkonstruován stabilizovaný zdroj konstantního proudu, ze kterého napájíme katodu. Proud katodou nastavujeme otočným číselným spínačem a měříme jej digitálním ampérmetrem. Obě tato zařízení jsou zabudována ve zdroji.

Teplotu katody můžeme určit z odporu vlákna. Tento odpor měříme přímou metodou. Protože je poměrně malý, používáme čtyřbodové zapojení a provádíme korekci na vliv vnitřního odporu voltmetru (viz úloha 2). Stanovení odporu vlákna provádíme s maximální pečlivostí a bereme ohled na tepelnou setrvač-

nost vlákna. K vyhodnocení teploty vlákna máme u úlohy k dispozici graf závislosti poměru odporu  $R_T$  při teplotě  $T$  k hodnotě  $R_p$  při pokojové teplotě, tedy  $R_T / R_p$  jako funkci teploty.

Abychom mohli určit teplotu vlákna, musíme určit jeho odpor  $R_p$  při pokojové teplotě. Toto měření musíme provést při tak malých proudech, aby nedocházelo k ohřevu vlákna. Pro toto měření nemůžeme použít stabilizovaný zdroj, který jste používali v předchozí části úlohy. Na tomto zdroji se obtížně nastavují proudy řádově  $10^{-2}$  A. Odpor  $R_p$  proto měříme v zapojení podle obr.2.



Obr. 2

Při určování odporu  $R_p$  nesmíme měřicím proudem zvýšit teplotu katody. Proto uijeme citlivé měřicí přístroje a stanovíme odpor katody pro několik hodnot malého žhavicího proudu  $I_z$ . Sestrojíme graf, na jehož jednu osu vynášíme hodnoty měřicího proudu  $I_z$  a na druhou osu příslušné hodnoty odporu  $R_p$ . Skutečnou hodnotu  $R_p$  pak získáme extrapolací pro  $I_z = 0$ . Odpor vlákna je poměrně malý a obvykle srovnatelný s vnitřním odporem běžných měřicích přístrojů. Musíme proto brát ohled na vliv měřicího přístroje na obvod.

Odpor vlákna určíme z rovnice

$$R = \frac{U_z R_V}{I_z R_V - U_z} \quad (5)$$

kde  $R_V$  je vnitřní odpor voltmetru.

Při měření s běžnou elektronkou, kde je katoda tvořena dlouhým wolfrámovým drátkem, je výsledek zatížen značnou chybou. Konce vlákna mají zpravidla nižší teplotu než střed, neboť kovovými nosníky je odváděno teplo. Kromě toho není vždy anodový proud zanedbatelný vůči žhavicímu proudu  $I_z$ . Tímto anodovým proudem se přižhává katoda. Anodový proud závisí na teplotě vlákna exponenciálně (viz vztah (1)), proto bude v podstatě určen emisí z nejteplejší oblasti. Z odporu vlákna vyhodnocujeme jeho průměrnou teplotu. Důsledkem

je, že stanovená hodnota výstupní práce bude zatížena relativně velkou chybou ( $\sim 50\%$ ).

### Literatura

- [1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983  
čl. 4.3.5.1 4.5.2.1

## 13. STUDIUM DOUTNAVKY

### Pracovní úkol

1. Změřte voltampérovou charakteristiku doutnavky a z ní určete
  - zapalovací napětí  $U_{zap}$
  - provozní napětí  $U_{st}$
  - zhasací napětí  $U_{zh}$
  - vnitřní odpor  $R_i$
  - maximální a minimální provozní proud  $I_{max}$ ,  $I_{min}$ .
2. Změřte zatěžovací charakteristiku stabilizátoru (tj. závislost provozního napětí  $U_{st}$  doutnavky na proudu tekoucím zatěžovacím odporem  $R_z$  při konstantním napětí zdroje  $E$ ). Z této charakteristiky určete vnitřní odpor stabilizátoru a srovnajte s hodnotou naměřenou v bodu 1.
3. Změřte změnu provozního napětí doutnavky  $\Delta U_{st}$  vyvolanou změnou napětí zdroje o  $\Delta E$  při konstantním odporu zátěže. Výsledek měření porovnejte s teoretickými vztahy.
4. Zapojte doutnavku jako zdroj relaxačních kmitů a změřte závislost periody těchto kmitů  $T$  na časové konstantě  $RC$  obvodu.
5. Naměřené výsledky zpracujte graficky.

### Doutnavka

Je to plynem plněná elektronka s dvěma elektrodami. Tlak plynu je několik set pascalů. Přiložíme-li k elektrodám napětí vyšší než  $U_{zap}$ , nasadí v doutnavce samostatný výboj a doutnavkou teče proud. Závislost napětí na proudu je pro širokou oblast proudů vyznačena na obr.1. Oblast  $V_1$  představuje tmavý výboj, který není doprovázen světélkováním plynu. Oblast  $V_2$  představuje doutnavý výboj, který je doprovázen světelným zářením plynu. Konečně v oblasti  $V_3$  dojde k obloukovému výboji.

Doutnavky se používají v elektrotechnice jako indikátory napětí, v elektronice pro stabilizaci napětí řádově  $10^{-1} - 10^{-2}$  V (stabilitrony).