

# Fyzikální praktikum II

Úloha č. 15

**Název.:** Charakteristiky triody

**Měřil.:** Michal Švanda..... dne: ...25. října 2000.....

odevzdal dne:..... vráceno:.....

odevzdal dne:..... vráceno:.....

odevzdal dne:.....

---

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

**Výsledek klasifikace:**.....

# Pracovní úkol

1. Změřte anodové charakteristiky triody EC(C)83. Mřížkové napětí  $U_g$  měňte od 0 do -2,5 V po krocích 0,5 V. Při měření nepřekračujte maximální anodovou ztrátu  $P_a = 0,2$  W. Anodové napětí zvyšujte maximálně do 140 V.
2. Změřte závislost zesílení  $A = U_{výst}/U_{vst}$  (poměr výstupního napětí ke vstupnímu) triodového zesilovače na frekvenci pro  $U_g = -0,5$  V,  $U_a = 140$  V,  $R_a = 20$  k $\Omega$  a  $R_a = 100$  k $\Omega$ ,  $U_{vst} = 0,3$  V ve frekvenčním rozsahu 30 Hz - 100 kHz.
3. Změřte závislost zesílení  $A$  na velikosti anodového odporu pro  $U_a = 140$  V v rozsahu  $R_a = 5 \times 10^3 \div 10^5 \Omega$ .  $U_g = -0,5$  V při  $f = 1$  kHz,  $U_{vst} = 0,3$  V.
4. Anodové charakteristiky zpracujte graficky. V grafu vyznačte oblast, kde by byla překročena anodová ztráta  $P_a = 0,2$  W. Zakreslete rovněž zatěžovací přímky pro obě hodnoty anodového odporu  $R_a$  z úkolu 2. Určete odpovídající pracovní body a stanovte příslušné hodnoty zesílení a průběh frekvenčních charakteristik.

## Teoretický úvod

### Trioda

Trioda je nejjednodušší zesilovací elektronkou se třema elektrodami; anodou, mřížkou a katodou. Velikost anodového proudu lze řídit nejen anodovým napětím, ale především napětím mřížky vůči katodě, které je obvykle záporné. Vlastnosti triody charakterizují veličiny vnitřní odpor, strmost a zesilovací činitel.

Závislost anodového proudu na mřížkovém a anodovém napětí lze přibližně vyjádřit třípolovinovým zákonem.

$$I_a = k \left( U_g - \frac{U_a}{\mu} \right)^{3/2}, \quad [\text{R1}]$$

kde  $\mu$  je zesilovací činitel a  $k$  konstanta určená konfigurací elektrod. Rovnice [R1] udává přibližně průběh anodové charakteristiky, tj. závislosti anodového proudu na anodovém napětí, položíme-li  $U_g = konst.$

Trioda je dále charakterizována napěťovým zesílením  $A$ , které je definováno vztahem:

$$A = \frac{U_a}{U_g}. \quad [\text{R2}]$$

V případě složitějšího obvodu měříme napětí vstupní a výstupní napětí a rovnice [R2] dostane pozměněný tvar:

$$A = \frac{U_{výst}}{U_{vst}}. \quad [\text{R3}]$$

Vztah [R2] určuje velikost zesílení samotné elektronky jen s anodovým odporem. Není uvažován vliv vstupního a výstupního obvodu a parazitních kapacit mezi elektrodami. Zesílení skutečné je proto vždy poněkud menší, než zesílení teoreticky vypočítané. K hodnotě dané výrazem [R2] se blížíme v oblasti středních frekvencí - pokud je svodový odpor mřížky mnohem větší než anodový odpor  $R_a$ . V oblasti nízkých frekvencí klesá zesílení v důsledku zvyšování impedance vazebního kondenzátoru. Při vysokých

frekvencích omezuje zesílení kapacita mezi anodou a katodou elektronky a vstupní kapacita nízkofrekvenčního voltmetru, kterým budeme měřit zesílené výstupní napětí.

Charakteristiku triody měříme zapojením přístrojů podle schématu na *obr. 1*.

Zesílení triodového zesilovače měříme zapojením přístrojů podle schématu na *obr. 2*. Nejprve změříme frekvenční charakteristiku a poté charakteristiku odporovou.

## Výsledky měření

### 1)

Pomocí analogových přístrojů jsem proměřil anodovou charakteristiku triody v zapojení podle *obr. 1*. Výsledky měření shrnuje tabulka [T1]. Anodové charakteristiky pro jednotlivé hodnoty mřížkového napětí (0, -0,5, -1, -1,5, -2 a -2,5 V) jsou vyneseny v grafu [G1]. V grafu je také vynesena křivka výkonového zatížení pro anodový výkon  $P_a=0,2 \text{ W}$ , který by neměl být podle zadání úlohy překročen (přesto se tak ve dvou případech stalo). Pro anodovou charakteristiku při mřížkovém napětí 0 V jsem ještě zkonstruoval zvláštní graf [G4], do kterého jsem kromě výkonové křivky ještě zanesl proloženou křivku s rovnicí

$$I_a = 0,00115 \cdot U_a^{3/2},$$

která názorně ukazuje, že voltampérová charakteristika se skutečně v rámci možností řídí podle třípolovinového zákona (v rámci svých experimentálních chyb se křivku neprotínají "jen" čtyři body proměřené charakteristiky).

### 2)

Pomocí obvodu sestaveného dle schématu na *obr. 2* jsem proměřil závislost výstupního napětí na frekvenci RC rezonátoru, připojeného do obvodu. Měření proběhlo při použití anodových odporů 20 a 100 k $\Omega$ , pro vstupní napětí  $U_{\text{vst}}=(0,300\pm 0,005) \text{ V}$ , mřížkové napětí  $U_g = -0,5 \text{ V}$  a anodové napětí  $U_a = 140 \text{ V}$ . Měření shrnuje tabulka [T2]. Závislost vypočítaného zesílení (podle vztahu [R3]) na frekvenci  $f$  připojeného rezonátoru vystihuje graf [G2]. Z něho je názorně vidět, že naše teorie pro zesílení je správná - zesílení je největší pro "střední" frekvence, zatímco v nízkých a vysokých frekvencích dochází k nezanedbatelnému tlumení připojenými kapacitami.

### 3)

Při použití stejného zapojení, jako v předchozím úkolu jsem proměřil závislost výstupního napětí  $U_{\text{výst}}$  na proměnné velikosti anodového odporu  $R_a$  za konstantní frekvence  $f=1 \text{ kHz}$  při anodovém napětí  $U_a = 140 \text{ V}$ , mřížkovém napětí  $U_g = -0,5 \text{ V}$  a vstupním napětí  $U_{\text{vst}} = 0,3 \text{ V}$ . Měření shrnuje tabulka [T3] a závislost vypočítaného zesílení  $A$  na připojeném anodovém odporu  $R_a$  zachycuje graf [G3]. Z grafu je patrné, že hodnota zesílení pro odpor 5 k $\Omega$  je zřejmě hrubou chybou měření, protože nevystihuje průběh ostatních hodnot. Grafem je proložena křivka, sledující trend naměřených bodů.

### 4)

Všechny závislosti jsem zpracoval i graficky (viz grafy [G1] až [G5]). Jednotlivé grafy mají následující významy:

[G1] vyneseny anodové voltampérové charakteristiky pro různá, ale konstantní mřížková napětí. Vynesená data nejsou z důvodů přehlednosti proložena příslušnými křivkami. Doplněna je ještě křivka znázorňující hranici výkonného zatížení v anodovém obvodu  $P_a=0,2$  W.

[G2] vyneseny závislosti anodového zesílení na frekvenci připojeného frekvenčního generátoru pro dva připojené odpory v anodovém obvodu.

[G3] závislost anodového zesílení na připojeném anodovém odporu při konstantní frekvenci.

[G4] voltampérová charakteristika pro konstantní mřížkové napětí  $U_g=0$  V s proloženou závislostí demonstrující, že je závislost dána třípolovinovým zákonem.

[G5] voltampérové charakteristiky triody při různých mřížkových napětích s proloženými závislostmi (pouze u čtyřech z nich) a zatěžovacími přímkami pro anodové odpory 20 a 100 k $\Omega$ .

Průsečíky zatěžovacích přímek a charakteristik jsou tzn. pracovní body a z grafu byly přibližně odečteny takto (doplněny jsou příslušné koeficienty zesílení):

$U_g$ [V]	$R_a$ [k $\Omega$ ]	$U_a$ [V]	$I_a$ [mA]	A
0	20	114	1,37	--
0	100	72	0,67	--
-0,5	20	117	1,13	234
-0,5	100	84	0,57	168
-1	20	128	0,59	128
-1	100	105	0,35	105
-1,5	20	137	0,15	91,33
-1,5	100	128	0,12	85,33

## Diskuse

Provedená měření ukázala dobrou shodu experimentu s teorií. Naměřené voltampérové charakteristiky anodového obvodu odpovídají třípolovinové závislosti proudu na napětí. Stejně tak se s teorií shoduje závislost výstupního napětí na frekvenci připojeného rezonátoru nebo odporu v anodovém obvodu.

Tento experimentem je zřejmě velmi choulostivý na hrubé chyby. Vážné omyly mohou nastat již při sestavování obvodů, protože jde o obvody vcelku složité. I odečítání a nastavování patřičných hodnot proudu a napětí je náročné na pečlivost, takže v něm lze udělat spoustu chyb. Při přepínání rozsahů a odporů v poslední úloze (při měření odporové závislosti) dochází ke zdatelné změně vstupního napětí, které je potřeba pro každé měření doladit zpět na hodnotu 0,3 V.

## Závěr

Měření charakteristik triody se podařilo ověřit teoreticky stanovené závislosti.

## Literatura

RNDr. R. Bakule, RNDr. J. Šternberk - Fyzikální praktikum II.

***Poznámka:***

Všechny uvedené chyby jsou chybami statistickými na hladině  $\sigma$  a byly stanoveny většinou jako chyby přístrojové.

Všechny grafy a závislosti byly vytvářeny programem Origin 5.0.

