

obrazců. Zastaví-li se pohyb obrazce, odpovídá poměr maximálních výchylek v horizontálním a vertikálním směru podílu kmitočtů obou generátorů.

Nejpřesnějších výsledků však dosáhneme, změříme-li frekvenci kmitů čítačem, který lze zapojit ke svorkám vertikálního zesilovače osciloskopu (svorky y osciloskopu).

Při proměřování závislosti frekvence relaxačních kmitů na napětí zdroje  $U_0$ , měníme toto napětí v rozsahu 30 až 60 V, odpor R a kapacitu C nastavíme tak, aby se frekvence měnila minimálně v rozsahu 200 - 1000 Hz. Pro měření frekvence opět používáme čítače, na osciloskopu odečítáme výšku kmitů, která odpovídá rozdílu  $U_{B0} - U_{Zh}$ . Při znalosti  $U_{B0}$ , které odečteme z naměřené statické charakteristiky, lze určit  $U_{Zh}$ . Dosazením hodnot  $U_0$ ,  $U_{B0}$ ,  $U_{Zh}$ , R, C do vztahu (4) ověřujeme platnost tohoto vztahu i přesnost měření.

### Literatura

- [1] H. Frank, V. Šnejdar : Principy a vlastnosti polovodičových součástek, SNTL, Praha 1976

## 15. STUDIUM ZESILOVAČE S TRIODOU

### Pracovní úkol

1. Změřte anodové charakteristiky triody EC(C) 83 pro  $U_g = 0, -1, -2, -3$  V. Anodové napětí  $U_a$  měňte po cca 10 V. Anodová ztráta  $P_a = U_a I_a$  nesmí překročit 1 W.
2. Změřte závislost zesílení  $A = U_{výst} / U_{vst}$  triodového zesilovače na frekvenci pro  $U_g = -1$  V,  $U_a = 210$  V,  $R_a = 10^5 \Omega$  a  $R_a = 5 \cdot 10^3 \Omega$ ,  $U_{vst} = 0,3$  V, frekvenční rozsah 30 Hz -  $10^5$  Hz.
3. Změřte závislost zesílení  $A = U_{výst} / U_{vst}$  na anodovém odporu pro  $U_a = 210$  V při  $R_a = 5 \cdot 10^3 - 10^5 \Omega$ ;  $U_g = -1$  V při  $f = 10^3$  Hz,  $U_{vst} = 0,3$  V.
4. Výsledky měření zpracujte graficky.

### Trioda

Je nejjednodušší zesilovací elektronkou s třemi 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 se charakterizují vnitřním odporem, strmostí a zesi-

lovacím činitelem.

Vnitřní odpor je definován vztahem

$$R_i = \left( \frac{\delta U_a}{\delta I_a} \right), \quad (1)$$

$$U_g = \text{konst.}$$

Jeho velikost se vyjadřuje obvykle v  $k\Omega$  a udává pak, o kolik voltů se musí změnit anodové napětí  $U_a$ , aby se při konstantním napětí na mřížce změnil anodový proud o 1 mA.

Strmost  $S$  je zavedena vztahem

$$S = \left( \frac{\delta I_a}{\delta U_g} \right), \quad (2)$$

$$U_a = \text{konst.}$$

Udává se v mA/V a určuje, o kolik se změní anodový proud při změně napětí mřížky o 1 V.

Zesilovací činitel  $\mu$  určuje, o jakou hodnotu musíme změnit anodové napětí, chceme-li aby po změně napětí mřížky o 1 V zůstal anodový proud konstantní.

$$\mu = - \left( \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right) \quad (3)$$

$$I_a = \text{konst.}$$

Převrácená hodnota zesilovacího činitele se nazývá průnik  $\mu^{-1} = D$ . Charakteristické hodnoty elektronky splňují Barkhausenův vztah

$$R_i S D = 1, \quad (4)$$

jehož platnost vyplývá z definice veličin.

Závislost anodového proudu na mřížkovém a anodovém napětí je možno obdobně jako u diody přibližně vyjádřit třípolovinovým zákonem

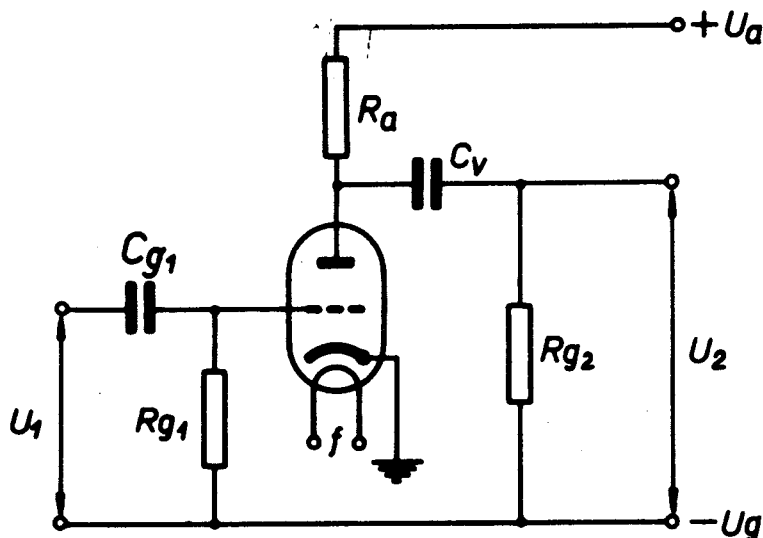
$$I_a = k \left( U_g - \frac{U_a}{\mu} \right)^{3/2}, \quad (5)$$

v němž  $k$  je konstanta určená konfigurací elektrod.

Rovnice (5) udává přibližně průběh anodové charakteristiky, tj. závislosti anodového proudu na anodovém napětí, položíme-li v ní  $U_g = \text{konst.}$  Závislost anodového proudu na mřížkovém napětí při konstantním anodovém napětí udává převodní charakteristika.

## Jednostupňový odporový zesilovač

Zapojení odporového zesilovacího stupně s triodou je znázorněno na obr. 1 .



Obr. 1

Vstupní článek  $C_{g1}$ ,  $R_{g1}$  propouští na mřížku jen střídavou složku napětí  $U_1$ . Předpětí mřížky je nastaveno pevně přes odpor  $R_{g1}$ . Pro zjednodušení nebudeme uvažovat vliv vazebních kondenzátorů  $C_{g1}$  a  $C_v$  a vypočítáme zesílení elektronky.

Změníme-li vstupní napětí, změní se anodový proud  $I_a$ . Tuto změnu můžeme najít jako úplný diferenciál funkce  $I_a = f(U_g, U_a)$ , která udává závislost anodového proudu na napětí elektrod. Platí

$$d I_a = \left( \frac{\delta I_a}{\delta U_g} \right)_{U_a = \text{konst.}} d U_g + \left( \frac{\delta I_a}{\delta U_a} \right)_{U_g = \text{konst.}} d U_a . \quad (6)$$

První parciální derivace na pravé straně této rovnice je rovna strmosti elektronky (viz (2)), druhá převrácené hodnotě vnitřního odporu (viz rovnice (1)). Vyjádříme-li strmost podle Barkhausenova vztahu, můžeme rovnici (6) přepsat na tvar

$$d I_a = \frac{I}{R_i} (\mu d U_g + d U_a) . \quad (7)$$

Protože platí

$$d U_a = - R_a d I_a , \quad (8)$$

dostaneme pro napěťové zesílení elektronky  $A$ , definované jako poměr změny napětí na anodě ke změně napětí na mřížce vztah

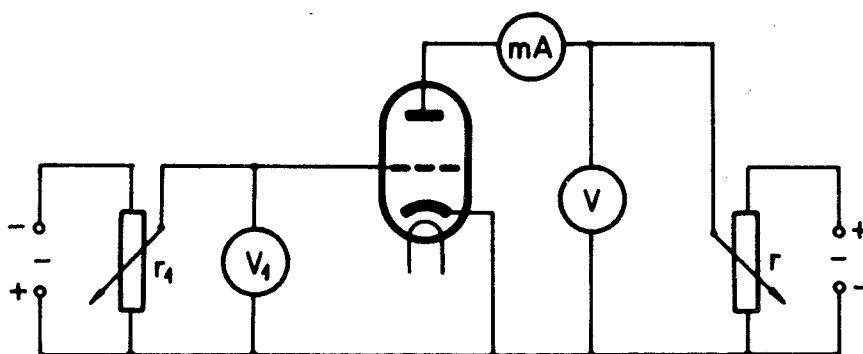
$$A = - \frac{d U_a}{d U_g} = \mu \frac{R_a}{R_a + R_i} \quad (9)$$

Znaménko mínus zde vyjadřuje, že změna napětí na anodě je opačné polarity než změna napětí na mřížce, při hármonickém průběhu je napětí na anodě fázo-  
vě posunuto o úhel  $\pi$  proti napětí na mřížce.

Vztah (9) určuje velikost zesílení samotné elektronky s anodovým odporem  $R_a$ .  
Není uvažován vliv vstupního a výstupního obvodu a parazitních kapacit mezi  
elektrodami elektronky. Zesílení celého zesilovacího stupně je proto vždy po-  
někud menší než by odpovídalo vztahu (9). K hodnotě dané výrazem (9) se blí-  
ží zesílení celého stupně pouze v oblasti středních frekvencí, pokud svodový  
odpor mřížky  $R_{g1}$  je mnohem větší než anodový odpor  $R_a$ . V oblasti nízkých  
frekvencí klesá zesílení v důsledku zvyšování impedance vazebního kondenzáto-  
ru  $C_v$  ( $(\omega C_v)^{-1} \rightarrow \infty$ , jestliže  $\omega \rightarrow 0$ ). Při vysokých frekvencích omezuje  
zesílení kapacita mezi anodou a katodou elektronky a vstupní kapacita nízkof-  
rekvenčního voltmetru, kterým měříme zesílení napětí.

### Měření charakteristik triody

Provádíme jej v zapojení podle obr.2 . Anodový obvod napájíme ze sta-



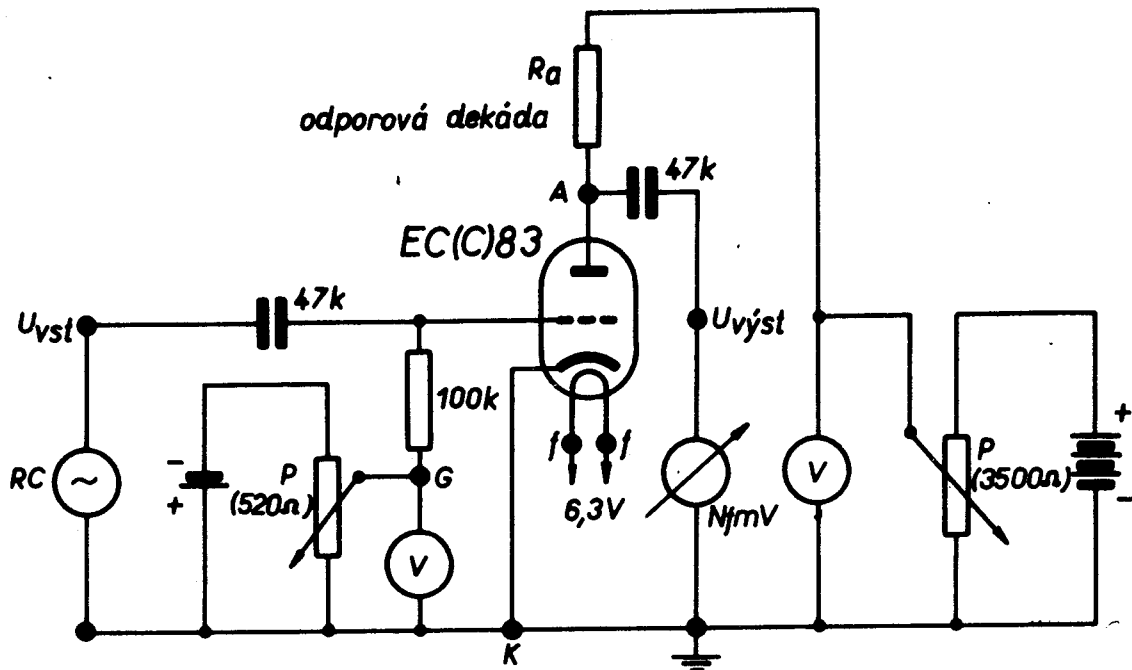
Obr. 2

bilizovaného zdroje, napětí regulujeme potenciometrem  $r$  a odečítáme anodo-  
vý proud a napětí na miliampérmetru a voltmetru zapojeném v anodovém obvodu.

Mřížkové napětí odebíráme z rozvodu v praxi ze svorek 6 V . Mříž-  
kový proud neměříme. Mřížka má záporné napětí a teče jí nepatrný proud.

### Měření zesílení zesilovače

Obvod je zakreslen na obr.3 . Většími tečkami jsou zakresleny uzlové  
body, které jsou vyvedeny na krabičce se soklem elektronky. Z předchozího ob-  
vodu dostaneme toto zapojení , nahradíme-li ampérmetr odporovou dekádou  $R_a$  a  
do svorek  $U_{vst}$  a  $U_{výst}$  připojíme RC generátor a nízkofrekvenční volt-



Obr. 3

metr. Nejdříve měříme frekvenční charakteristiku. Nastavíme předepsaná napětí na elektrodách, hodnotu anodového odporu a úroveň vstupního napětí. Na RC generátoru nastavíme nejnižší frekvenci 30 Hz a odečteme výstupní napětí. Frekvenci zvyšujeme vždy na přibližně dvojnásobnou hodnotu. Kontrolujeme, zejména po přepnutí rozsahu, zůstává-li zachována úroveň vstupního napětí. Měření ukončíme při výrazném poklesu zesílení po zvýšení frekvence.

Závislost zesílení na anodovém odporu měříme při frekvenci  $10^3$  Hz. Na anodovém odporu nastavíme největší hodnotu odporu  $1 \cdot 10^5 \Omega$  a tento odpor postupně zmenšujeme po skocích cca  $10^4 \Omega$ .

Při grafickém zpracování vynášíme u frekvenční charakteristiky závislost zesílení na logaritmu frekvence.

#### Literatura

- [1] Brož J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha 1983  
 čl. 4.5.1.3, 4.5.5.1, 4.5.5.2, 4.5.5.3