

## 15. STUDIUM ZESILOVAČE S TRIODOU

### Trioda

Trioda je nejjednodušší zesilovací elektronka 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 zesilovacím činitelem.

Vnitřní odpor  $R_i$  je definován vztahem

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

$$U_g = konst.$$

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  $U_g$  změnil anodový proud  $I_a$  o 1 mA.

Strmost  $S$  je zavedena vztahem

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

$$U_a = konst.$$

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.

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

$$I_a = konst.$$

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

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

jehož platnost vyplývá z definice veličin.

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

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

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  $U_g = konst.$  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. 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

$$dI_a = \left( \frac{\partial I_a}{\partial U_g} \right)_{U_a = konst.} dU_g + \left( \frac{\partial I_a}{\partial U_a} \right)_{U_g = konst.} dU_a \quad (6)$$

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 pomocí Barkhausenova vztahu, můžeme rovnici (6) přepsat do tvaru

$$dI_a = \frac{I}{R_i} (\mu dU_g + dU_a) \quad (7)$$

Protože platí

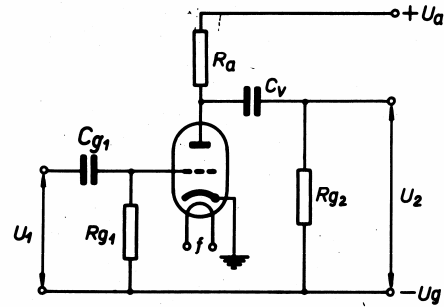
$$dU_a = -R_a dI_a \quad (8)$$

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

$$A = -\frac{dU_a}{dU_g} = \mu \cdot \frac{R_a}{R_a + R_i} \quad (9)$$

Znaménko minus zde vyjadřuje, že změna napětí na anodě je opačné polarity než změna napětí na mřížce, při harmonickém průběhu je napětí na anodě fázově 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 poněkud menší než by odpovídalo vztahu (9). K hodnotě dané výrazem (9) se blíží zesílení celého stupně 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 kondenzátoru  $C_v$  ( $1/\omega C \rightarrow \infty$ ). Při

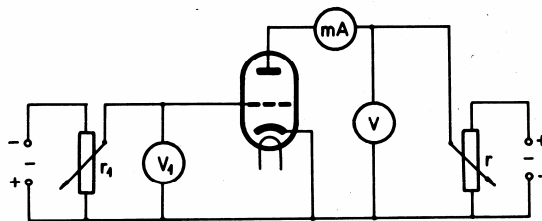


Obr. 1

vysokých frekvencích omezuje zesílení kapacita mezi anodou a katodou elektronky a vstupní kapacita nízkofrekvenčního voltmetru, kterým měříme zesílení napětí.

### Měření charakteristik triod

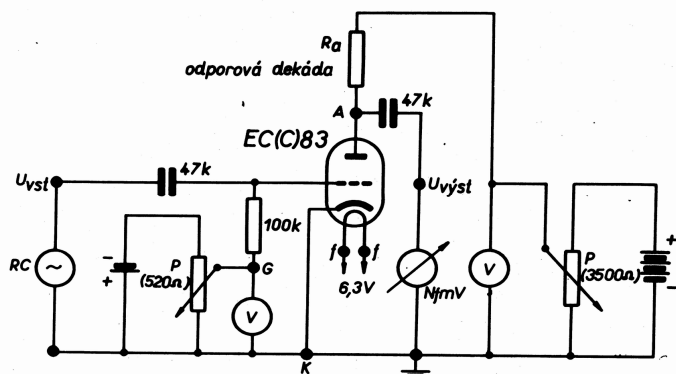
Provádíme jej v zapojení podle obr. 2. Anodový obvod napájíme ze stabilizovaného zdroje, napětí regulujeme potenciometrem  $r$  a odečítáme anodový proud a napětí na miliampérmetru a voltmetru zapojeném v anodovém obvodu. Mřížkové napětí odebíráme z akumulátoru. Mřížkové napětí měříme voltmetrem  $V_1$ . Mřížkový proud neměříme, protože mřížka má záporné napětí a teče jí nepatrný proud.



Obr. 2

### 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 obvodu dostaneme toto zapojení, nahradíme-li ampérmetr odporovou dekádou  $R_a$  a do svorek  $U_{vst}$  a  $U_{výst}$  připojíme RC generátor a nízkofrekvenční voltmetr. Nejdříve měříme frekvenční charakteristiku. Nastavíme předepsané napětí na elektrodách, hodnotu anodového odporu a úroveň vstupního napětí. Na RC generátor 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.



Obr. 3

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