Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II – Elektřina a magnetismus

Úloha č. XV.

Název: Charakteristiky triody

Pracoval: Radim Pechal stud. skup. F – 11 dne 2. prosince 2008

Odevzdal dne: ....

Hodnocení:.......................................

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 9	
Diskuse výsledků	0 – 5	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Pracovní úkol

1. Změřte anodové charakteristiky triody EC(C)83. Mřížkové napětí U_g měňte od 0 do -2 V po krocích 0,5 V. Při měření nepřekračujte maximální anodovou ztrátu $P_a = 0,2\,\mathrm{W}$. Anodové napětí zvyšujte maximálně do 120 V.

2. Změřte závislost zesílení $A = U_{vyst}/U_{vst}$ (poměr výstupního napětí ke vstupnímu) triodového zesilovače na frekvenci pro $U_g = -0,5\,\mathrm{V}$, $U_a = 120\,\mathrm{V}$, $R_a = 10^5\,\Omega$ a $R_a = 5 \cdot 10^3\,\Omega$, $U_{vst} = 0,2\,\mathrm{V}$ ve frekvenčním rozsahu 30 Hz – 100 kHz.

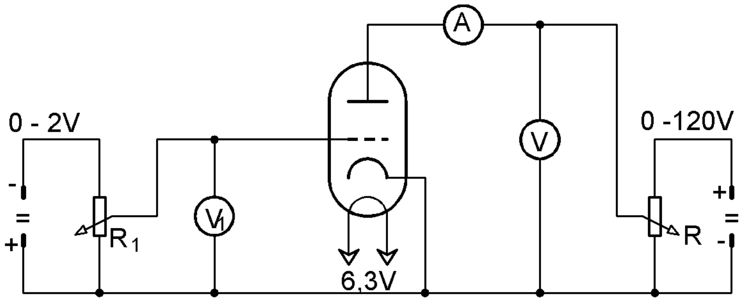
3. Změřte závislost zesílení A na velikosti anodového odporu pro $U_a = 120\,\mathrm{V}$ v rozsahu $R_a = 5 \cdot 10^3 - 10^5\,\Omega$. $U_g = -0,5\,\mathrm{V}$ při $f = 1\,\mathrm{kHz}$, $U_vst = 0,2\,\mathrm{V}$.

4. Anodové charakteristiky zpracujte graficky. V grafu vyznačte oblast, kde by byla překročena anodová ztráta $P_a = 0,2\,\mathrm{W}$. 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 je aktivní zesilovací prvek. Jedná se o elektronku, která má tři vývody – anodu (A), katodu (K) a mřížku tzv. gate (G). Anodový proud je možné řídit anodovým napětím a také přivedeným napětím na mřížku. Na mřížku se přivádí záporné napětí. Čím menší je přivedené napětí, tím větší odpudivou silou působí mřížka na excitované elektrony z katody. A tím menší je také anodový proud.

Pro měření anodové charakteristiky s parametrem mřížkového napětí U_g se používá dle [1.] následující zapojení.



Obr. 1.: Schéma zapojení pro měření anodové charakteristiky triody.

Měření probíhá tak, že se nejdříve pomocí potenciometru R_1 nastaví napětí U_g, které je zobrazováno voltmetrem V_1. Postupně se volí hodnoty 0; -0,5; -1; -1,5; -2 V. Pro pevnou hodnotu U_g se pomocí potenciometru R začne zvyšovat napětí na anodě U_a. Napětí je zobrazováno voltmetrem V. Na ampérmetru A se měří anodový proud I_a.

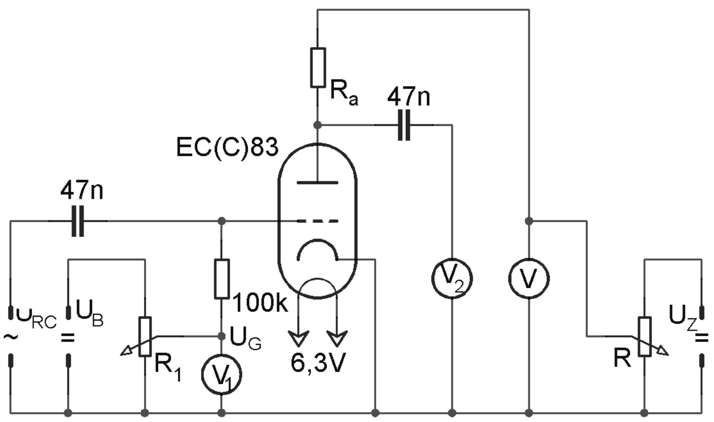
Během měření se nesmí překročit anodová ztráta $P_a = 0,2\,\mathrm{W}$, daná vztahem

$$P_a = U_a \cdot I_a. \tag{1}$$

To znamená, že pro dané napětí U_a musí platit

$$I_a < \frac{P_a}{U_a}. \tag{2}$$

Pro měření zesílení triody je nutno zapojit měřící přístroje podle následujícího schématu.



Obr. 2.: Schéma zapojení pro měření zesílení triody.

Zesílení triody se udává vzhledem k stejnosměrnému napětí U_g, frekvenci přivedeného signálu f a vůči hodnotě odporu anodového rezistoru R_a. Stejnosměrné U_g je měřeno volemetrem V_1. Nastavuje se pomocí potenciometru R_1. Toto napětí udává napětí na mřížce při nulové hodnotě vstupního signálu. Frekvence vstupního signálu f a střídavé napětí u_{RC} se nastavuje na zdroji u_{RC}.

Zesílení je dáno vztahem

$$A = \frac{u_{vyst}}{u_{vst}}, \tag{3}$$

kde u_{vst} je efektivní hodnota vstupního napětí u_{RC}. u_{vyst} je efektivní hodnota výstupního napětí měřeného voltmetrem V_2. K měření se používá zásadně střídavé napětí, neboť stejnosměrná složka výstupního napětí je odfiltrovávána kondenzátorem.

Zatěžovaní přímka rezistoru R_a udává proud, který protéká rezistorem při daném napětí. Efektivní napětí na rezisotoru R_a je dáno vztahem

$$U_V = u_a + u_{Ra}, \tag{4}$$

kde U_V je napětí na voltmetru V. Uvážením Ohmova zákona je možno určit proud i_{Ra}, který poteče přes rezistor s odporem R_a vztahem

$$i_{Ra} = \frac{U_V - u_a}{R_a}. \tag{5}$$

Po vynesení zatěžovací přímky rezistoru R_a a anodové charakteristiry triody do grafu, je možné určit pracovní bod triody jako průsečík zatěžovací přímky rezistoru a anodové charakteristiky pro danou hodnotu U_g.

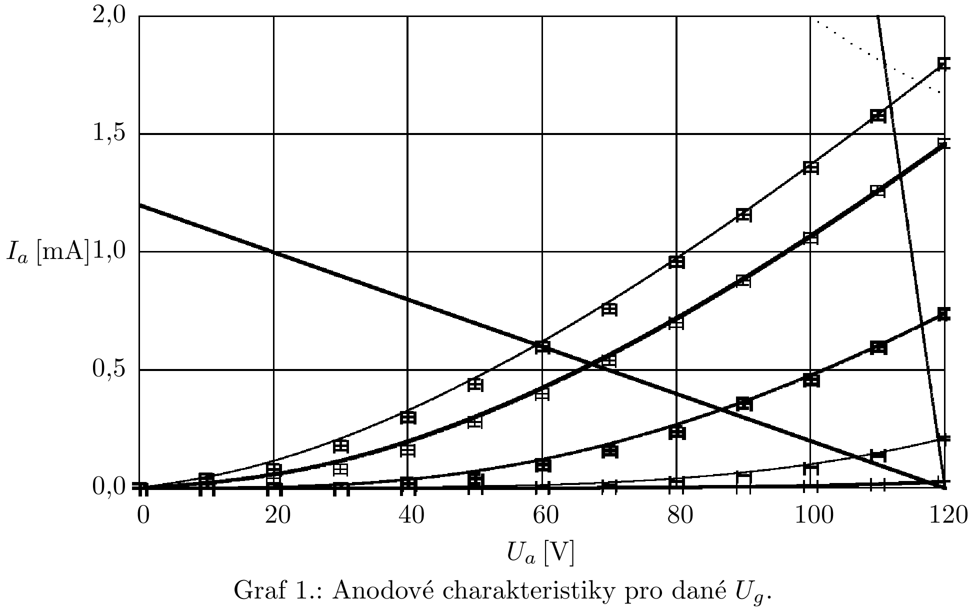
Výsledky měření

Nejdříve jsem měřil anodové charakteristiky triody. Napětí jsem měřil stejnosměrnými voltmetry V_1 a V s třídou přesnosti 0,5. Proud jsem měřil stejnosměrným miliampérmetrem s třídou přesnosti 0,5 a stejnosměrným mikroampérmetrem s třídou přesnosti 1.

Charakteristiky jsem měřil pro mřížkové napětí $U_g = (0,00 \pm 0,01)$ V, $U_g = (-0,50 \pm 0,01)$ V, $U_g = (-1,00 \pm 0,01)$ V, $U_g = (-1,50 \pm 0,02)$ V a $U_g = (-2,00 \pm 0,02)$ V.

U_a [V]	I_a [mA]	I_a [mA]	I_a [mA]	I_a [μA]	I_a [μA]
	$U_g = 0$ V	$U_g = -0,5$ V	$U_g = -1$ V	$U_g = -1,5$ V	$U_g = -2$ V
$0,0 \pm 1,2$	$0,00 \pm 0,02$	$0,00 \pm 0,02$	$0,00 \pm 0,02$	$0,0 \pm 0,7$	$0,0 \pm 0,7$
$10,0 \pm 1,2$	$0,04 \pm 0,02$	$0,02 \pm 0,02$	$0,00 \pm 0,02$	$0,0 \pm 0,7$	$0,0 \pm 0,7$
$20,0 \pm 1,2$	$0,08 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,02$	$0,00 \pm 0,02$	$0,0 \pm 0,7$	$0,0 \pm 0,7$
$30,0 \pm 1,2$	$0,18 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,02$	$0,00 \pm 0,02$	$0,0 \pm 0,7$	$0,0 \pm 0,7$
$40,0 \pm 1,2$	$0,30 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,02$	$0,02 \pm 0,02$	$0,5 \pm 0,7$	$0,0 \pm 0,7$
$50,0 \pm 1,2$	$0,44 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,02$	$2,5 \pm 0,7$	$0,0 \pm 0,7$
$60,0 \pm 1,2$	$0,60 \pm 0,02$	$0,40 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$	$5,5 \pm 0,7$	$0,0 \pm 0,7$
$70,0 \pm 1,2$	$0,76 \pm 0,02$	$0,54 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,02$	$13,0 \pm 0,7$	$0,5 \pm 0,7$
$80,0 \pm 1,2$	$0,96 \pm 0,02$	$0,70 \pm 0,02$	$0,24 \pm 0,02$	$27,0 \pm 0,7$	$1,5 \pm 0,7$
$90,0 \pm 1,2$	$1,16 \pm 0,02$	$0,88 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$	$52,0 \pm 1,4$	$3,5 \pm 0,7$
$100,0 \pm 1,2$	$1,36 \pm 0,02$	$1,06 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,02$	$88,0 \pm 1,4$	$7,5 \pm 0,7$
$110,0 \pm 1,2$	$1,58 \pm 0,02$	$1,26 \pm 0,02$	$0,60 \pm 0,02$	$140,0 \pm 7,1$	$15,0 \pm 0,7$
$120,0 \pm 1,2$	$1,80 \pm 0,02$	$1,46 \pm 0,02$	$0,74 \pm 0,02$	$210,0 \pm 7,1$	$28,0 \pm 0,7$

Tabulka 1: Měření anodové charakteristiky pro různé U_g.

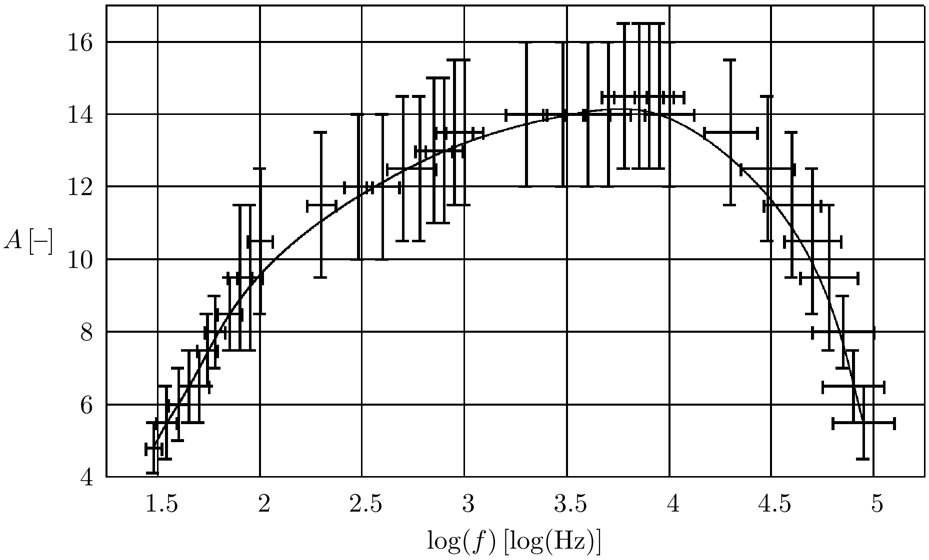


Graf 1.: Anodové charakteristiky pro dané U_g.

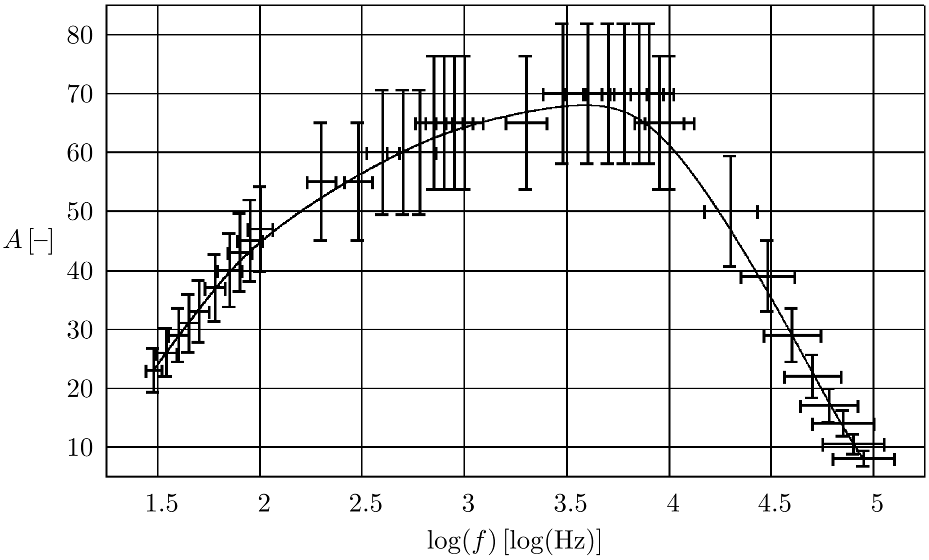
Dále jsem měřil frekvenční charakteristiku triody pro $U_{vst} = (0,20 \pm 0,03)\,\mathrm{V}$, $U_g = (-0,50 \pm 0,01)\,\mathrm{V}$ a pro anodové rezistory $R_{a1} = (5,00 \pm 0,05)\,\mathrm{k\Omega}$ a $R_{a2} = (100 \pm 1)\,\mathrm{k\Omega}$. K měření jsem používal střídavé voltmetry s třídou přesnosti 1,5. Zesílení A jsem určil pomcí vztahu (3).

f [Hz]	U_{vyst} V	A [-]	U_{vyst} V	A [-]
	$R_a = 5\,\mathrm{k\Omega}$		$R_a = 100\,\mathrm{k\Omega}$	
30 ± 1	$0,96 \pm 0,03$	$4,8 \pm 0,7$	$4,6 \pm 0,3$	23 ± 4
35 ± 1	$1,1 \pm 0,1$	$5,5 \pm 1,0$	$5,2 \pm 0,3$	26 ± 4
40 ± 1	$1,2 \pm 0,1$	$6,0 \pm 1,1$	$5,8 \pm 0,3$	29 ± 5
45 ± 1			$6,2 \pm 0,3$	31 ± 5
50 ± 2	$1,3 \pm 0,1$	$6,5 \pm 1,1$	$6,6 \pm 0,3$	33 ± 5
55 ± 2	$1,3 \pm 0,1$	$6,5 \pm 1,1$		
60 ± 2	$1,5 \pm 0,1$	$7,5 \pm 1,3$	$7,4 \pm 0,3$	37 ± 6
70 ± 2	$1,6 \pm 0,1$	$8,0 \pm 1,3$	$8,0 \pm 0,3$	40 ± 6
80 ± 2	$1,7 \pm 0,1$	$8,5 \pm 1,4$	$8,6 \pm 0,3$	43 ± 7
90 ± 3	$1,9 \pm 0,1$	$9,5 \pm 1,5$	$9,0 \pm 0,3$	45 ± 7
100 ± 2	$1,9 \pm 0,1$	$9,5 \pm 1,5$	$9,4 \pm 0,3$	47 ± 7
200 ± 4	$2,1 \pm 0,1$	$10,5 \pm 1,7$	11 ± 1	55 ± 10
300 ± 6	$2,3 \pm 0,1$	$11,5 \pm 1,8$	11 ± 1	55 ± 10
400 ± 8	$2,4 \pm 0,1$	$12,0 \pm 1,9$	12 ± 1	60 ± 11
500 ± 10	$2,4 \pm 0,1$	$12,0 \pm 1,9$	12 ± 1	60 ± 11
600 ± 12	$2,5 \pm 0,1$	$12,5 \pm 2,0$	12 ± 1	60 ± 11
700 ± 14	$2,5 \pm 0,1$	$12,5 \pm 2,0$	13 ± 1	65 ± 11
800 ± 16	$2,6 \pm 0,1$	$13,0 \pm 2,0$	13 ± 1	65 ± 11
900 ± 18	$2,6 \pm 0,1$	$13,0 \pm 2,0$	13 ± 1	65 ± 11
$(1,00 \pm 0,02) \cdot 10^3$	$2,7 \pm 0,1$	$13,5 \pm 2,1$	13 ± 1	65 ± 11
$(2,00 \pm 0,04) \cdot 10^3$	$2,7 \pm 0,1$	$13,5 \pm 2,1$	13 ± 1	65 ± 11
$(3,00 \pm 0,06) \cdot 10^3$	$2,8 \pm 0,1$	$14,0 \pm 2,2$	14 ± 1	70 ± 12
$(4,00 \pm 0,08) \cdot 10^3$	$2,8 \pm 0,1$	$14,0 \pm 2,2$	14 ± 1	70 ± 12
$(5,0 \pm 0,1) \cdot 10^3$	$2,8 \pm 0,1$	$14,0 \pm 2,2$	14 ± 1	70 ± 12
$(6,0 \pm 0,1) \cdot 10^3$	$2,8 \pm 0,1$	$14,0 \pm 2,2$	14 ± 1	70 ± 12
$(7,0 \pm 0,1) \cdot 10^3$	$2,9 \pm 0,1$	$14,5 \pm 2,3$	14 ± 1	70 ± 12
$(8,0 \pm 0,2) \cdot 10^3$	$2,9 \pm 0,1$	$14,5 \pm 2,3$	14 ± 1	70 ± 12
$(9,0 \pm 0,2) \cdot 10^3$	$2,9 \pm 0,1$	$14,5 \pm 2,3$	13 ± 1	65 ± 11
$(10,0 \pm 0,2) \cdot 10^3$	$2,9 \pm 0,1$	$14,5 \pm 2,3$	13 ± 1	65 ± 11
$(20,0 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$2,8 \pm 0,1$	$14,0 \pm 2,2$	10 ± 1	50 ± 9
$(30,0 \pm 0,6) \cdot 10^3$	$2,7 \pm 0,1$	$13,5 \pm 2,1$	$7,8 \pm 0,3$	39 ± 6
$(40,0 \pm 0,8) \cdot 10^3$	$2,5 \pm 0,1$	$12,5 \pm 2,0$	$5,8 \pm 0,3$	29 ± 5
$(50 \pm 1) \cdot 10^3$	$2,3 \pm 0,1$	$11,5 \pm 1,8$	$4,4 \pm 0,3$	22 ± 4
$(60 \pm 1) \cdot 10^3$	$2,1 \pm 0,1$	$10,5 \pm 1,7$	$3,4 \pm 0,3$	17 ± 3
$(70 \pm 1) \cdot 10^3$	$1,9 \pm 0,1$	$9,5 \pm 1,5$	$2,8 \pm 0,1$	14 ± 2
$(80 \pm 2) \cdot 10^3$	$1,6 \pm 0,1$	$8,0 \pm 1,3$	$2,1 \pm 0,1$	11 ± 2
$(90 \pm 2) \cdot 10^3$	$1,3 \pm 0,1$	$6,5 \pm 1,1$	$1,6 \pm 0,1$	8 ± 1
$(100 \pm 2) \cdot 10^3$	$1,1 \pm 0,1$	$5,5 \pm 1,0$	$1,2 \pm 0,1$	6 ± 1

Tabulka 2: Frekvenční charakteristika triody.



Graf 2.: Závislost zesílení na logaritmu frekvence pro $R_a = (5,00 \pm 0,05)\,\mathrm{k\Omega}$.

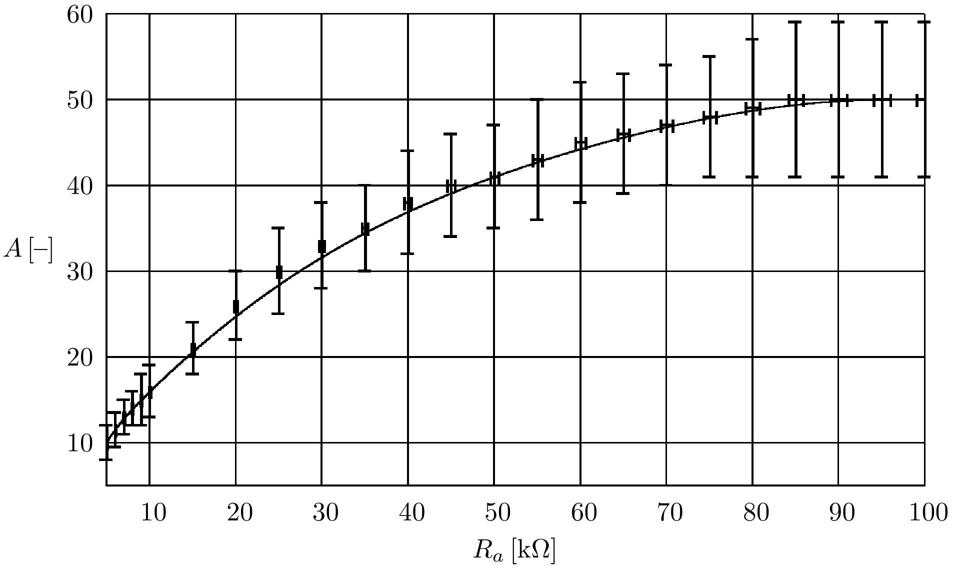


Graf 3.: Závislost zesílení na logaritmu frekvence pro $R_a = (100 \pm 1)\,\mathrm{k\Omega}$.

Dále jsem měřil závislost zesílení na anodovém odporu R_a. Odpor jsem volil pomocí dekády, která má přesnost $\pm 1\%$. Měření probíhalo při frekvenci $f = (1,00 \pm 0,02)$ kHz a $U_{vst} = (0,20 \pm 0,03)$ V.

R_a kΩ	U_{vyst} [V]	A [–]	R_a kΩ	U_{vyst} [V]	A [–]
$5,00 \pm 0,05$	$2,0 \pm 0,1$	10 ± 2	$45,0 \pm 0,5$	$8,0 \pm 0,3$	40 ± 6
$6,00 \pm 0,06$	$2,3 \pm 0,1$	12 ± 2	$50,0 \pm 0,5$	$8,2 \pm 0,3$	41 ± 6
$7,00 \pm 0,07$	$2,6 \pm 0,1$	13 ± 2	$55,0 \pm 0,6$	$8,6 \pm 0,3$	43 ± 7
$8,00 \pm 0,08$	$2,8 \pm 0,1$	14 ± 2	$60,0 \pm 0,6$	$9,0 \pm 0,3$	45 ± 7
$9,00 \pm 0,09$	$3,0 \pm 0,3$	15 ± 3	$65,0 \pm 0,7$	$9,2 \pm 0,3$	46 ± 7
$10,0 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,3$	16 ± 3	$70,0 \pm 0,7$	$9,4 \pm 0,3$	47 ± 7
$15,0 \pm 0,2$	$4,2 \pm 0,3$	21 ± 3	$75,0 \pm 0,8$	$9,6 \pm 0,3$	48 ± 7
$20,0 \pm 0,2$	$5,2 \pm 0,3$	26 ± 4	$80,0 \pm 0,8$	$9,8 \pm 0,3$	49 ± 8
$25,0 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,3$	30 ± 5	$85,0 \pm 0,9$	10 ± 1	50 ± 9
$30,0 \pm 0,3$	$6,6 \pm 0,3$	33 ± 5	$90,0 \pm 0,9$	10 ± 1	50 ± 9
$35,0 \pm 0,4$	$7,0 \pm 0,3$	35 ± 5	95 ± 1	10 ± 1	50 ± 9
$40,0 \pm 0,4$	$7,6 \pm 0,3$	38 ± 6	100 ± 1	10 ± 1	50 ± 9

Tabulka 3: Závislost zesílení na anodovém odporu R_a.



Graf 4.: Závislost zesílení na anodovém odporu R_a.

Diskuse výsledků

Anodové charakteristiky jsem měřil s poměrně malou chybou. Chyba měření napětí byla dána nepřesností použitého voltmetru a chybou při odečítání ze stupnice voltmetru. Naměřená data jsem zobrazil v Grafu 1. U dat jsem zobrazil také chyby pomocí tzv. chybových čar. Data jsem proložil bezierovou křivkou. Tečkovanou čarou jsem vyznačil oblast, kde je překročena maximální anodová ztráta $P_a = 0,2\,\mathrm{W}$. Jak je vidět, tak jsem tuto ztrátu překročil při anodovém napětí $U_a = 120\,\mathrm{V}$ a $U_g = 0\,\mathrm{V}$. Po tomto zjištění jsem dále nepokračoval v měření charakteristiky pro $U_g = 0\,\mathrm{V}$. Do grafu jsem dále zaznamenal zaťežovací přímky pro $R_a = 5\,\mathrm{k\Omega}$ a $R_a = 100\,\mathrm{k\Omega}$.

Z grafu 1. mohu odečíst pracovní body pro anodové rezistory $R_a = 5\,\mathrm{k\Omega}$ a $R_a = 100\,\mathrm{k\Omega}$. Pro $U_g = 0\,\mathrm{V}$ je pracovní bod pro $R_a = 5\,\mathrm{k\Omega}$ $U_{R5} = (60, \pm 1, 2)\,\mathrm{V}$, $I_{R5} = (0,60 \pm 0,02)\,\mathrm{mA}$. Při $U_g = 0\,\mathrm{V}$ je pracovní bod pro rezistor $R_a = 100\,\mathrm{k\Omega}$ $U_{R100} = (112 \pm 3)\,\mathrm{V}$ $I_{R100} = (1,6 \pm 0,1)\,\mathrm{mA}$.

Při měření frekvenční charakteristiky byla největší chyba způsobena nepřesností vstupního napětí. Jako generátor jsem používal přístroj BM 492, který má v sobě zabudován střídavý voltmetr s třídou přesnosti 1,5. Tento voltmetr má pouze 30 dílků. Používal jsem rozsah 0,3 V. Ja je uvedeno v [2.] je chyba frekvence pro rozsah do 100 Hz 3%. Pro další používané rozsahy je chyba 2%. Výsledná chyba měření zesílení se pohybovala kolem 10 až 20%.

Při měření závislosti zesílení na odporu anodového rezistoru jsem se dopouštěl stejných chyb měření jako u frekvenční charakteristiky. Ovšem relativní chyba odporu byla pouze 1%.

Pro určení chyb vypočtených hodnot jsem používal kvadratický zákon přenosu chyb.

Závěr

Proměřil jsem anodové charakteristiky triody pro mřížková napětí $U_g = (0,00 \pm 0,01)\,\mathrm{V}$, $U_g = (-0,50 \pm 0,01)\,\mathrm{V}$, $U_g = (-1,00 \pm 0,01)\,\mathrm{V}$, $U_g = (-1,50 \pm 0,02)\,\mathrm{V}$ a $U_g = (-2,00 \pm 0,02)\,\mathrm{V}$. Naměřená data jsem zobrazil v grafu 1.

Do grafu 1. jsem zanesl zatěžovací charakteristiky pro anodové odpory $R_a = 5\,\mathrm{k\Omega}$ a $R_a = 100\,\mathrm{k\Omega}$. Odečetl jsem pracovní body pro $U_g = (0,00 \pm 0,01)\,\mathrm{V}$ $U_{R5} = (60, \pm 1, 2)\,\mathrm{V}$, $I_{R5} = (0,60 \pm 0,02)\,\mathrm{mA}$ pro $R_a = 5\,\mathrm{k\Omega}$ a $U_{R100} = (112 \pm 3)\,\mathrm{V}$ $I_{R100} = (1,6 \pm 0,1)\,\mathrm{mA}$ pro $R_a = 100\,\mathrm{k\Omega}$.

Dále jsem měřil frekvenční charakteristiky triodového zesilovače pro anodové odpory $R_a = (5,00 \pm 0,05)\,\mathrm{k\Omega}$ a $R_a = (100 \pm 1)\,\mathrm{k\Omega}$. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v grafu 2 a 3.

Závislost zesílení na anodovém odporu pro $f = (1,00 \pm 0,02)\,\mathrm{kHz}$ je vynesena v grafu 3.

Seznam použité literatury

[1.] R. Bakule, J. Šternberk: *Fyzikální praktikum II.* Elektřina a magntismus.
Státátní pedagogické nakladatelství, Praha.
[2.] Kolektiv: *BM 492.* Generátor 10 Hz – 10 MHz. Instrukční knížka. Tesla.
http://www.radiotechnikatabor.cz/tesla/BM492.pdf