

Pracovní úkol:

1. Změřte anodové charakteristiky triody EC(C)83. Mřížkové napětí U_g měňte od 0 do 2V po krocích 0,5V. Při měření nepřekračujte maximální anodovou ztrátu $P_a=0,2W$. Anodové napětí zvyšujte maximálně do 120V.
2. Změřte závislost zesílení $A=U_{výst}/U_{vst}$ (poměr výstupního napětí ke vstupnímu) triodového zesilovače na frekvenci pro $U_g=-0,5V$, $U_a=120V$, $R_a=105\Omega$ a $R_a = 5 \cdot 10^3 \Omega$, $U_{vst}=0,2V$ ve frekvenčním rozsahu 30 Hz - 100kHz.
3. Změřte závislost zesílení A na velikosti anodového odporu pro $U_a=120V$ v rozsahu $R_a = 5 \cdot 10^3 \Omega - 10^5 \Omega$, $U_g=-1V$ při $f=1kHz$, $U_{vst}=0,2V$.
4. Anodové charakteristiky zpracujte graficky. V grafu vyznačte oblast, kde by byla překročena anodová ztráta $P_a=0,2W$. 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.

Teorie.

Trioda je nejjednodušší zesilovací elektronka, která se skládá ze třech elektrod: anody, katody a mřížky. Zesilovacího efektu je dosaženo mřížkou, která je obvykle spirálou z tenkého drátu, umístěná mezi anodou a katodou. Velikost anodového proudu lze řídit nejen anodovým napětím, ale především napětím mřížky vůči katodě, které je obvykle záporné. Malými změnami napětí lze dosáhnout velkých změn proudu.

Trioda je charakterizovaná vnitřním odporem R_i , strmostí S a zesilovacím činitelem μ . Pro definice těchto charakteristik zavedeme následující označení: U_a - anodové napětí, I_a - anodový proud, U_g - napětí na mřížce.

Vnitřní odpor je definován vztahem:

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

Vnitřní odpor udává, o kolik voltů se musí změnit anodové napětí, aby se anodový proud změnil o 1A při konstantním napětí na mřížce.

Strmost určuje, o kolik ampéru se změní anodový proud při změně napětí na mřížce o 1V při konstantním anodovém napětí. Platí:

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

Změnu anodového napětí při změně napětí na mřížce a při konstantním anodovém proudu popisuje zesilovací činitel μ :

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

Převrácená hodnota zesilovacího činitele se nazývá průnik $D = \mu^{-1}$.

Jak plyne z definic zavedených charakteristik triody, je splněn Barkhausenův vztah:

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

Průběh anodové charakteristiky, tj. závislosti anodového proudu na anodovém napětí při konstantní hodnotě napětí na mřížce, lze přibližně popsat třípolovinovým zákonem:

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

kde k je konstanta určená konfigurací elektrod.

Napěťové zesílení elektronky A je definováno jako poměr výstupního napětí k vstupnímu, platí:

$$A = - \frac{dU_a}{dU_g} = \mu \cdot \frac{R_a}{R_a + R_i} \quad (6)$$

Výsledky měření.

Třídy přesnosti a rozsah aparatury.

Hodnoty proudu jsem měřila miliampérmetrem třídy přesnosti 0,5 na rozsahu 0,6-2,4mA. Voltmetry byly třídy přesnosti 0,5: anodové napětí jsem měřila na rozsahu 120V, napětí na mřížce na rozsahu 2,4V. Třída přesnosti nízkofrekvenčního voltmetru: 1,5.

1. Anodové charakteristiky

Obvod jsem zapojila dle obrázku č.2 [1]. Naměřila jsem závislost anodového proudu I_a na anodovém napětí U_a pro pět konstantních hodnot napětí na mřížce v rozsahu od 0 do 2V po krocích 0,5V. Anodové napětí jsem měnila v rozsahu od 0 do 120 V. V tabulce č.1 jsou uvedeny výsledky měření.

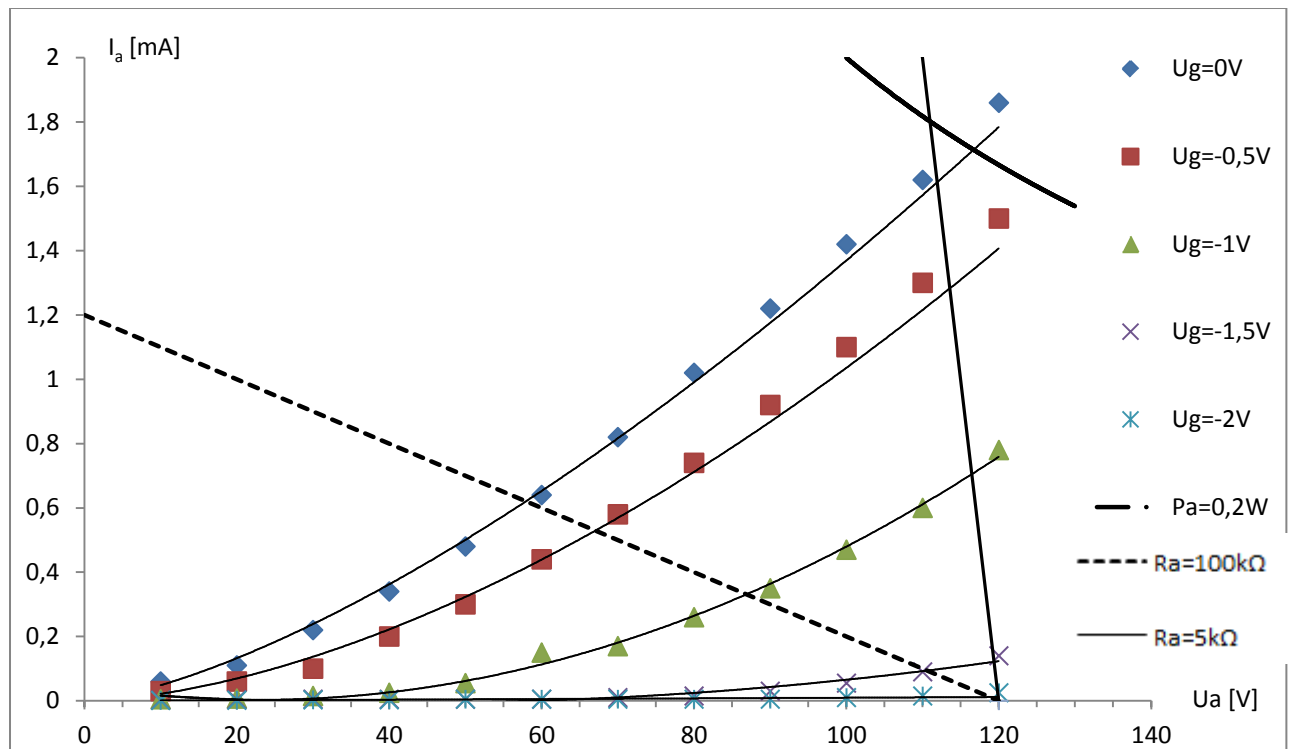
Tabulka č.1 - Závislost anodového proudu na anodovém napětí

U _a [V]	U _g =0V		U _g =-0,5V		U _g =-1V		U _g =-1,5V		U _g =-2V	
	I _a [mA]	P _a [W]	I _a [mA]	P _a [W]	I _a [mA]	P _a [W]	I _a [mA]	P _a [W]	I _a [mA]	P _a [W]
0	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
10	0,06	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,001	0,000
20	0,11	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,002	0,000
30	0,22	0,01	0,10	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,003	0,000
40	0,34	0,01	0,20	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,003	0,000
50	0,48	0,02	0,30	0,02	0,06	0,00	0,01	0,00	0,005	0,000
60	0,64	0,04	0,44	0,03	0,15	0,01	0,01	0,00	0,005	0,000
70	0,82	0,06	0,58	0,04	0,17	0,01	0,01	0,00	0,005	0,000
80	1,02	0,08	0,74	0,06	0,26	0,02	0,02	0,00	0,005	0,000
90	1,22	0,11	0,92	0,08	0,35	0,03	0,03	0,00	0,005	0,000
100	1,42	0,14	1,10	0,11	0,47	0,05	0,06	0,01	0,010	0,001
110	1,62	0,18	1,30	0,14	0,60	0,07	0,09	0,01	0,015	0,002
120	1,86	0,22	1,50	0,18	0,78	0,09	0,14	0,02	0,025	0,003

Anodová ztráta nepatrně překročila hodnotu 0,2W pouze v jednom měření.

Výsledky měření jsem graficky zpracovala v grafu č.1. Proložila jsem zatěžovací přímky pro dvě hodnoty 5kΩ a 100kΩ anodového odporu. Označila jsem oblast, kde by byla překročena anodová ztráta $P_a = 0,2W$.

Graf č.1 - Anodové charakteristiky



Vztah (5) o třipolviném zákonu se nejlépe splňuje pro napětí na mřížce 0V. Pro ostatní hodnoty napětí tato teoretická závislost platí pouze přibližně.

Pracovní body triody lze určit graficky jako průsečík zatěžovací přímky s anodovou charakteristikou. Pracovní body jsem určila pro hodnoty mřížkového napětí 0V, -0,5V a -1V, pro ostatní hodnoty je obtížné určit tyto body z grafu vzhledem k průběhu křivek. V tabulce č.1a uvádím výsledky.

Tabulka č.1a - Pracovní body

	$U_g=0V$		$U_g=-0,5V$		$U_g=-1V$	
	U_a [V]	I_a [mA]	U_a [V]	I_a [mA]	U_a [V]	I_a [mA]
$R_a=100k\Omega$	57	0,67	67	0,54	87	0,37
$R_a=5k\Omega$	113	1,61	114	1,31	116	0,73

Chybu určeného anodového napětí odhaduji jako $\pm 3V$, chybu anodového proudu $\pm 0,05mA$. Odhad chyb je určen podle přesnosti odečítání hodnot z grafu a také z nepřesnosti proložených fitů.

2. Zesílení

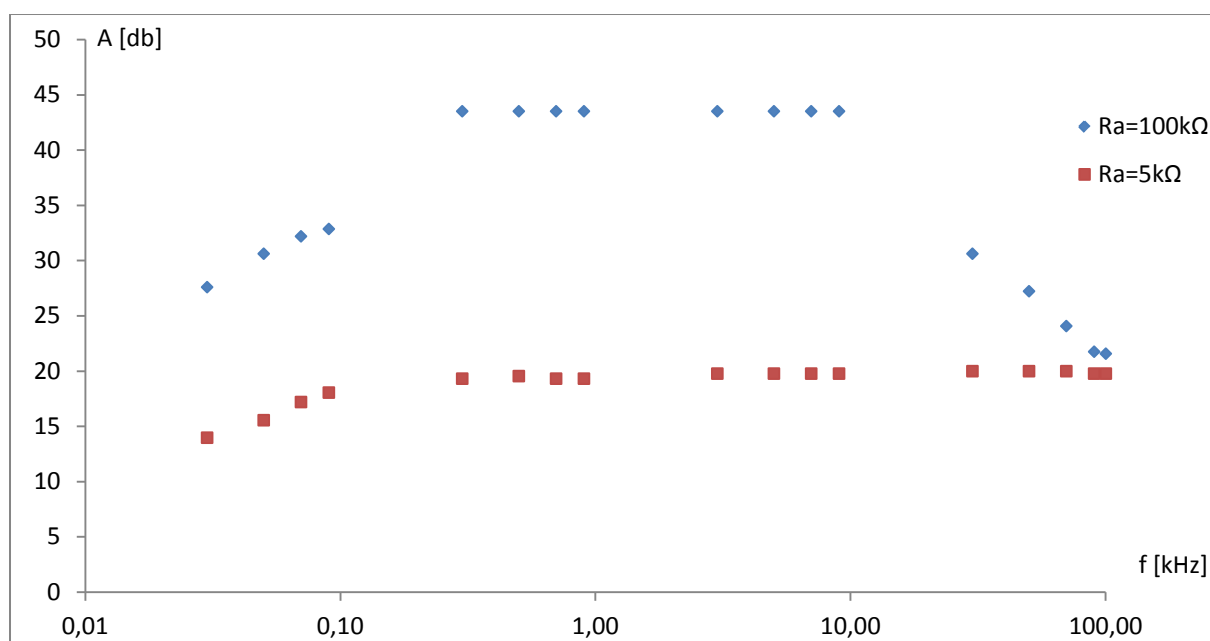
Přepojila jsem obvod dle obr.2[1]. Měřila jsem závislost zesílení A na frekvenci v rozsahu od 30Hz do 100kHz. Zesílení jsem našla z definice, jako poměr výstupního a vstupního napětí. Měla jsem následující nastavení: $U_g = -0,5V, U_a = 120V, U_{vst} = 0,2V$. Výsledky měření uvádím v tabulce č.2.

Tabulka č.2 – Závislost zesílení na velikosti frekvence.

f [kHz]	$R_a=10^5\Omega$		$R_a=5*10^3\Omega$	
	$U_{výst}$ [V]	A	$U_{výst}$ [V]	A
0,03	4,80	24,00	1,00	5,00
0,05	6,80	34,00	1,20	6,00
0,07	8,15	40,75	1,45	7,25
0,09	8,80	44,00	1,60	8,00
0,30	30,00	150,00	1,85	9,25
0,50	30,00	150,00	1,90	9,50
0,70	30,00	150,00	1,85	9,25
0,90	30,00	150,00	1,85	9,25
3,00	30,00	150,00	1,95	9,75
5,00	30,00	150,00	1,95	9,75
7,00	30,00	150,00	1,95	9,75
9,00	30,00	150,00	1,95	9,75
30,00	6,80	34,00	2,00	10,00
50,00	4,60	23,00	2,00	10,00
70,00	3,20	16,00	2,00	10,00
90,00	2,45	12,25	1,95	9,75
100,00	2,40	12,00	1,95	9,75

Pro názornost výsledku tohoto měření uvádím graf č.2. Pro přehlednost používám logaritmickou stupnici pro hodnoty frekvence. Zesílení A jsem převedla pomocí vztahu $A_{db} = 20\log(U_{výst} / U_{vst})$ do jednotek decibelů.

Graf č.2 - Závislost zesílení v decibelech na velikosti frekvence.

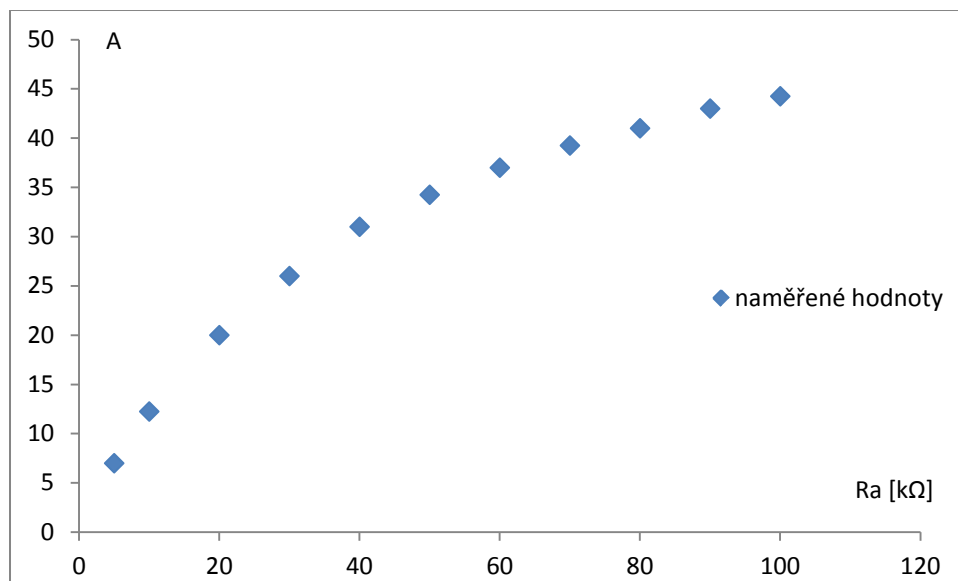


Dále jsem měřila závislost zesílení A na velikosti anodového odporu pro následující nastavení: $U_a = 120V, U_g = -1V, f = 1kHz, U_{vst} = 0,2V$. Anodový odpor jsem měnila v rozsahu od 5 do 100kΩ. Výsledky uvádím v tabulce č.3 a grafu č.3.

Tabulka č.3 – Závislost zesílení na velikosti anodového odporu

R_a [kΩ]	$U_{výst}$ [V]	A
5	1,4	7
10	2,45	12,25
20	4	20
30	5,2	26
40	6,2	31
50	6,85	34,25
60	7,4	37
70	7,85	39,25
80	8,2	41
90	8,6	43
100	8,85	44,25

Graf č.3 - Závislost zesílení na velikosti anodového odporu



Diskuse.

Naměřené hodnoty závislosti anodového proudu na anodovém napětí potvrzují teoreticky očekávané chování dle třípolovinného zákona. Tato závislost se nejlépe splňuje pro hodnotu napětí na mřížce 0V. Pro větší hodnoty napětí na mřížce platí zákon pouze přibližně. Anodová ztráta rovnající se 0,2W byla překročena pouze v jednom měření. Pro větší hodnoty napětí na mřížce byla tato ztráta mnohem menší. Větší přesnosti výsledků měření lze dosáhnout pro měření závislosti pro anodové napětí vyšší než 120V.

Závislost zesílení na frekvenci jsem uvedla v tabulce č.2 a v grafu č.2. Z grafu č.2 je vidět, že zesílení roste až do hodnoty 300Hz, dále má konstantní (svou maximální) hodnotu v rozsahu do 10kHz a dále zas klesá. Z grafu lze také posoudit, že zesílení je větší pro větší anodový odpor.

Měření bylo zatíženo jednak chybou přístrojů, kterou lze snadno spočítat ze znalosti třídy přesnosti, jednak chybou proložené aproximace v grafu pro anodové charakteristiky a příslušné odečítání pro určení pracovních bodů.

Závěr.

Naměřila jsem závislost anodového proudu na anodovém napětí pro pět hodnot napětí na mřížce. Výsledky měření jsou v tabulce č.1. V grafu č.1 jsem tuto závislost znázornila, proložila jsem zatěžovací přímkou a označila oblast překročení anodové ztráty 0,2W. Pracovní body jsem určila z průsečíku zatěžovací přímkou s anodovou charakteristikou.

Změřila jsem závislost zesílení triodového zesilovače na frekvenci v rozsahu 30Hz-100kHz. Výsledky jsem uvedla v tabulce č.2 a znázornila v grafu č.2.

V tabulce č.3 jsou shrnuty výsledky měření závislosti zesílení na velikosti anodového odporu. Závislost je znázorněna v grafu č.3.

Použitá literatura.

[1] Studijní text k úloze 15: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp>

[2] English J.: Úvod do praktické fyziky, MATFYZPRESS, Praha 2006