Úkoly

1. Změřte anodové charakteristiky triody ECC83. 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 W. Anodové napětí zvyšujte maximálně do 120 V.
2. Změřte závislost zesílení A = U_{out}/U_{in} triodového zesilovače na frekvenci pro U_g = -1 V, U_a = 120 V, $R_a = 10^5\Omega$ a $R_a = 5 \cdot 10^3\Omega$, U_{in} = 0,2 V ve frekvenčním rozsahu 30 – 10^5 Hz.
3. Změřte závislost zesílení A na velikosti anodového odporu pro U_a = 120 V v rozsahu $R_a = 5 \cdot 10^3 - 10^5\Omega$, U_g = -1 V při f = 1 kHz, U_{in} = 0,2 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 Ra z úkolu 2. Určete odpovídající pracovní body a stanovte příslušné hodnoty zesílení a průběh frekvenčních charakteristik.

Teorie

Vakuová trioda je prvek, který se používá v zesilovacích obvodech. Zkoumaná trioda ECC83 je dvojitá, my ale budeme studovat pouze jeden její stupeň. Ten se stává z anody, katody, žhavícího vlákna a mřížky uvnitř evakuované baňky. Pro dosažení lepší jakosti vakua uvnitř baňky se kousek vnitřku baňky „postříbří“ tzv. „getrem“.

Přiložíme-li na katodu nulový a na anodu kladný potenciál, bude elektronkou procházet proud podobně jako u vakuové diody viz. [2]. Narozdíl od diody je však v triodě ještě mřížka, kterou lze tento proud regulovat. Čím více záporné předpětí na mřížce bude, tím menší potečou elektronkou proudy.

Zapojíme-li obvod jako na obrázku 1 str. 98 v [1], dostaneme jednoduchý jednostupňový zesilovač. Princip jeho práce je následující: signál přiváděný na U_{in} projde přes kondenzátor C_{g1} na mřížku elektronky, kde se sečte s mřížkovým předpětím. Elektronkou teče proud stále, ale vlivem změn napětí na mřížce se mění. Podle toho se mění i úbytek napětí na rezistoru R_a. Přes kondenzátor R_{g2} projde na výstup už jen střídavá složka napětí.

Zesílení triody A definujeme jako

$$A = \frac{U_{out}}{U_{in}} \tag{1}$$

kde U_{out} resp. U_{in} označujeme výstupní resp. vstupní napětí.

Pro zatěžovací přímku platí vztah

$$I_{R_a} = \frac{U_a - U_{R_a}}{R_a} \tag{2}$$

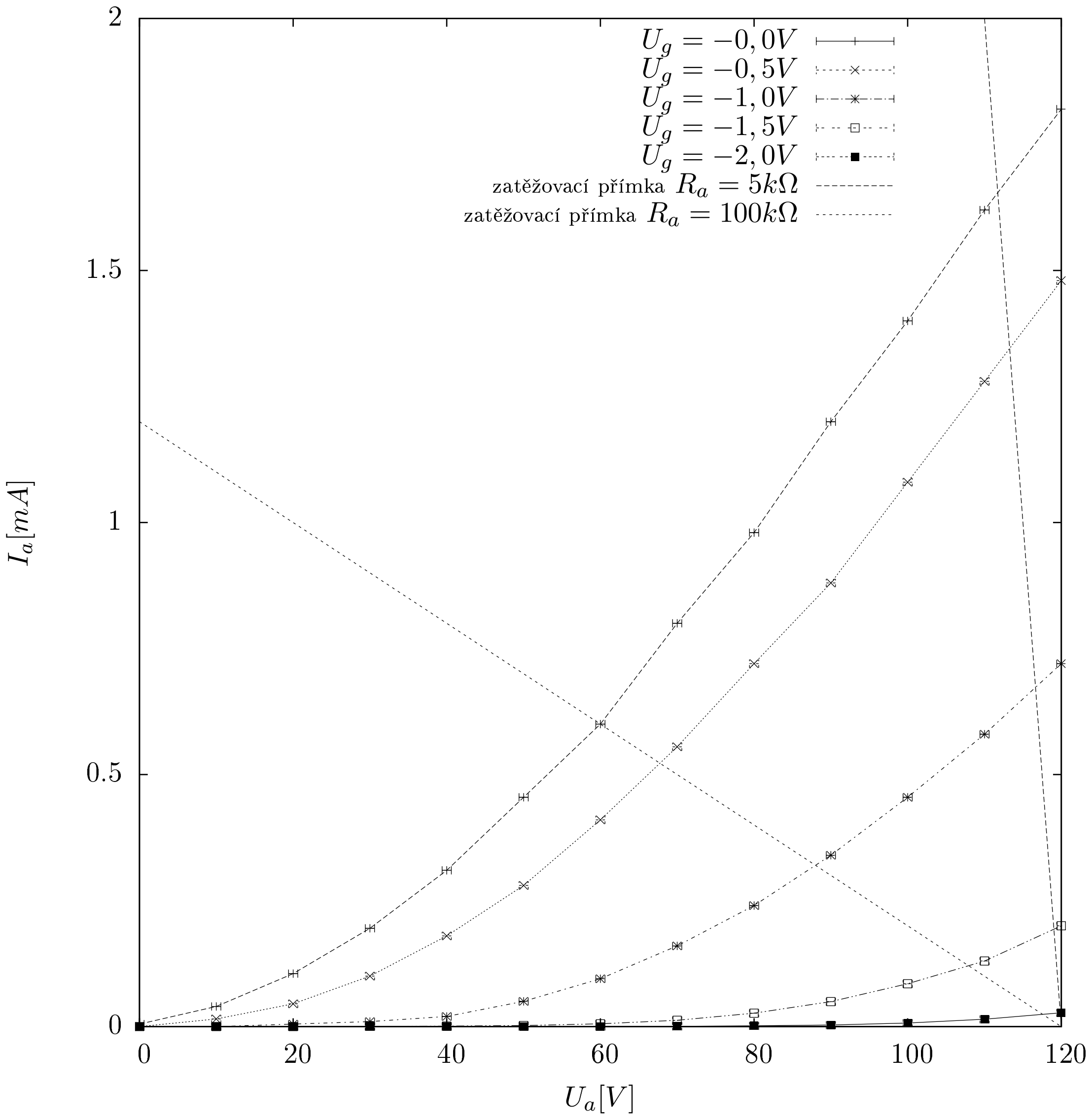
kde U_a je anodové napětí, U_{R_a} napětí na rezistoru R_a a I_{R_a} proud jím tekoucí.

Pomůcky

Stabilizovaný síťový zdroj (max 80mA), dva voltmetry ($\delta = 0,5$, 120 dílků), miliampérmetr ($\delta = 0,5$, 120 dílků), mikroampérmetr ($\delta = 1$, 100 dílků), akumulátor 2NKNU24, dva jezdcové potenciometry, dvojitá trioda RFT ECC83, generátor frekvence BM492 10–10^6Hz s voltmetrem pro amplitudu ($\delta = 1,5$), nízkofrekvenční milivoltmetr (10–10^6Hz) BM512, odporová dekáda Metra XL6, vodiče.

Měření

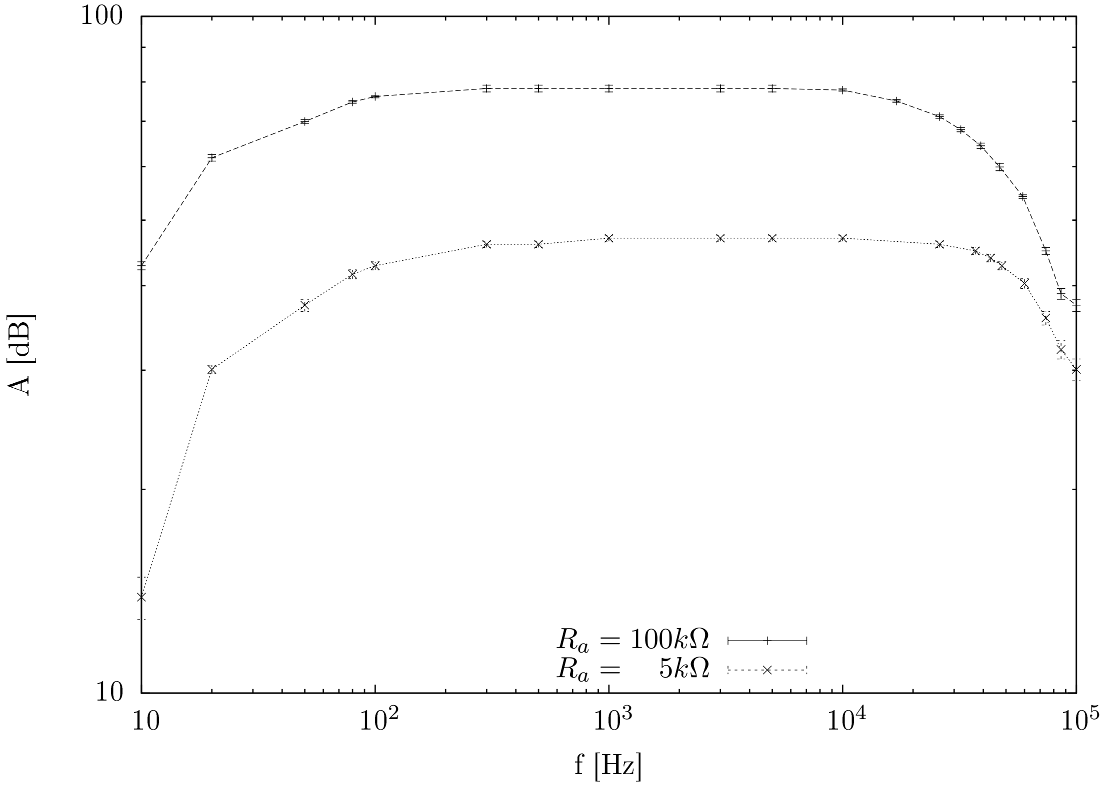
Obvod pro měření anodových charakteristik jsme zapojili podle schéma na obrázku 2 str. 99 v [1]. Pro mřížková předpětí U_g od 0 do -2V a anodová napětí U_a od 0 do 120V jsme zaznamenávali proudy I_a procházející triodou. Výsledky jsou v tabulce 1.

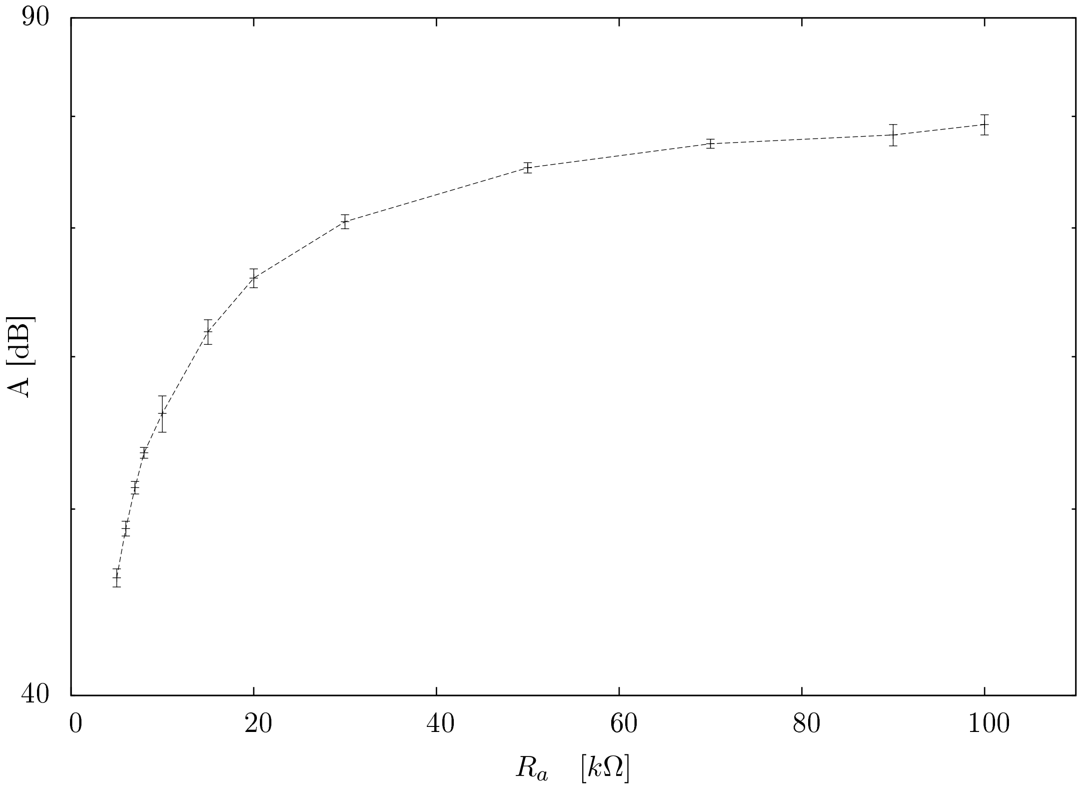


Obrázek 1: graf závislosti proudu I_a procházejícího triodou na anodovém napětí U_a

Pro další měření jsme použili schéma na obrázku 3 str. 100 v [1]. Pro dané parametry (viz. stať Úkoly) a pro dva různé odpory R_a jsme proměřili závislost výstupního napětí U_{out} na frekvenci f. Výsledky jsou v tabulce 2. Výsledky měření závislosti výstupního napětí U_{out} na velikosti R_a jsou zaznamenány v tabulce 3.

Anodové charakteristiky pro různá U_g jsou graficky zpracovány na obrázku 1. Závislosti zesílení na frekvenci pro odpory R_a jsou na obráku 2 a závislost zesílení na odporu R_a je na obrázku 3.





Obrázek 2 a 3: graf frekvenční závislosti zesílení a graf závislosti zesílení na odporu R_a

Tabulka 1: voltampérová charakteristika triody pro různá mřížková předpětí

Ua[V]	**Ia[mA]**				
U_g= **0V**		**-0,5V**	**-1V**	**-1,5V**	**-2V**
120	1,82	1,48	0,72	0,200	0,0275
110	1,62	1,28	0,580	0,130	0,0145
100	1,40	1,08	0,455	0,085	0,0070
90	1,20	0,88	0,340	0,0495	0,0030
80	0,98	0,72	0,240	0,0265	0,0015
70	0,80	0,555	0,160	0,0125	0,0005
60	0,60	0,410	0,095	0,0055	0,0003
50	0,455	0,280	0,050	0,0020	0,0000
40	0,310	0,180	0,020	0,0010	0,0000
30	0,195	0,100	0,010	0,0005	0,0000
20	0,105	0,045	0,005	0,0000	0,0000
10	0,040	0,015	0,000	0,0000	0,0000
0	0,005	0,000	0,000	0,0000	0,0000

Diskuse a závěr

Měření anodových charakteristik je zatíženo malou chybou, která je dána nepřesnostmi měřících přístrojů. Na obrázku 1 je toto měření znázorněno graficky, závislosti jsou proloženy lomenou čarou. Průsečíky se zatěžovacími přímkami udávají pracovní body triody. Pro mřížkové předpětí -0V a rezistor $R_a = 100k\Omega$ vyšel pracovní bod téměř přesně jako naměřený bod charakteristiky $U_a = (60,0 \pm 0,6)V$ $I_a = (0,60 \pm 0,01)mA$.

Frekvenční závislost je zatížena i chybou určení frekvence, kterou odhadujeme na 5%, ale kterou jsme do grafu pro přehlednost nezanesli. Tato nepřesnost může být vyšší i nižší podle toho, jak a které frekvence jsme nastavovali. V průběhu měření jsme však dbali na to, aby otočný volič frekvence byl nastaven přesně na rysku. Pro frekvence nad 10kHz jsme měřili způsobem, že jsme nastavili takovou frekvenci, aby výstupní napětí pokleslo o dílek na stupnici, a proto jsou některé hodnoty vynechány – nezměřeny.

Pro grafické zpracování jsme využili logaritmické stupnice i pro zesílení A, které je v decibelech dáno vztahem $A = 20 \cdot \ln(U_{out}/U_{in})$.

Pro přehlednost jsme do tabulky 1 nezapisovali nepřesnosti měření, které jsou snadno dohledatelné z nepřesností použitých přístrojů.

Měřili jsme charakteristiky vakuové triody ECC83. Výsledky jsou v tabulkách 1–3 a na obrázcích 1–3.

Literatura

[1] Bakule R., Šternberg J., Fyzikální praktikum II., SPN Praha 1989

[2] Josef Melcr, Protokol z fyzikálního praktika úlohy 11 – Diody, 2009

Tabulka 2: frekvenční charakteristika zesilovače pro dva různé odpory R_a

	$R_a = 100k\Omega$		$R_a = 5k\Omega$	
f [Hz]	U_{out} [V]	ΔU	U_{out} [V]	ΔU
10	1,70	0,05	0,35	0,02
20	4,4	0,2	0,90	0,02
50	6,6	0,2	1,30	0,05
80	8,4	0,2	1,60	0,05
100	9,0	0,2	1,70	0,05
300	10,0	0,5	2,00	0,05
500	10,0	0,5	2,00	0,05
1000	10,0	0,5	2,10	0,05
3000	10,0	0,5	2,10	0,05
5000	10,0	0,5	2,10	0,05
10000	9,8	0,2	2,10	0,05
17000	8,5	0,2		
26000	7,0	0,2	2,00	0,05
32000	6,0	0,2		
37000			1,90	0,05
39000	5,0	0,2		
43000			1,80	0,05
47000	4,0	0,2		
48000			1,70	0,05
59000	3,00	0,05		
60000			1,50	0,05
74000	1,90	0,05	1,20	0,05
86000	1,40	0,05	1,00	0,05
100000	1,25	0,05	0,90	0,05

Tabulka 3: závislost výstupního napětí na odporu R_a

R_a [kΩ]	U_{out} [V]	ΔU
5	2,00	0,05
6	2,30	0,05
7	2,60	0,05
8	2,90	0,05
10	3,3	0,2
15	4,4	0,2
20	5,4	0,2
30	6,8	0,2
50	8,6	0,2
70	9,6	0,2
90	10,0	0,5
100	10,5	0,5