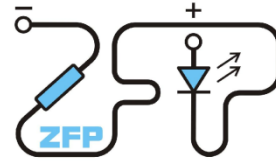


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum **PII**



Úloha č. 15

Název úlohy: **Studium zesilovače s triodou**

Jméno: **Josef Iosephus Kučera**

Obor: **FOF**

Datum měření: **13. 11. 2019**

Datum odevzdání: **viz internet**

Připomínky opravujícího:

Doporučuji přepracovat dle připomínek v textu.

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 3	
Teoretická část	0 - 2	1
Výsledky a zpracování měření	0 - 9	6
Diskuse výsledků	0 - 4	0
Závěr	0 - 1	1
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	

Posuzoval:

dne:

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 $P_a = 0,2$ W. Anodové napětí zvyšujte maximálně do 120 V.
2. Změřte závislost zesílení $A = U_{výst}/U_{vst}$ (poměr výstupního napětí ke vstupnímu) triodového zesilovače na frekvenci pro $U_g = -0,5$ V, $U_a = 120$ V, $R_a = 10^5 \Omega$ a $R_a = 5 \cdot 10^3 \Omega$ $U_{vst} = 0,2$ V ve frekvenčním rozsahu 30 Hz – 100 kHz.
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, $U_{vst} = 0,2$ 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 R_a z úkolu 2. Určete odpovídající pracovní body a stanovte příslušné hodnoty zesílení a průběh frekvenčních charakteristik.

Theorie

Trióda jest elektronka, anžto zesiluje proud a jímá v sobě tři elektrody: anodu, mřížku (tou se liší od diody) a katodu.

Proud anodový závislý jest nejen na napětí anodovém U_a , arci herež vazalem jest i napětí mřížky U_g katodě navzdory, které jest zpravidla ~~pěkně~~ negativní.

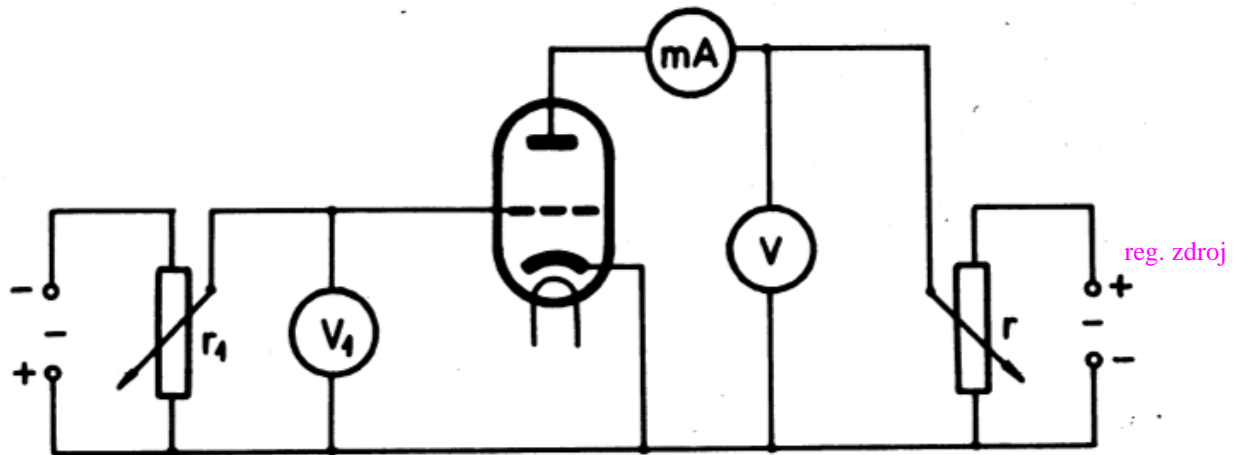
Anodová charakteristika triódy jest závislost anodového proudu I_a při neměnném napětí na mřížce U_g na anodovém napětí U_a . Charakteristika jest determinována tzv. 3/2 zákonem ~~(1)~~ [1]:

$$I_a = k \cdot \left(U_g - \frac{U_a}{\mu} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

kde k jest konstanta plynoucí ze vzájemné orientace elektrod, μ jest elektrická vlastnost triódy

Dosti krátké. Měl byste věnovat pozornost vztahům, jež se vám budou hodit při prokládání naměřených charakteristik.

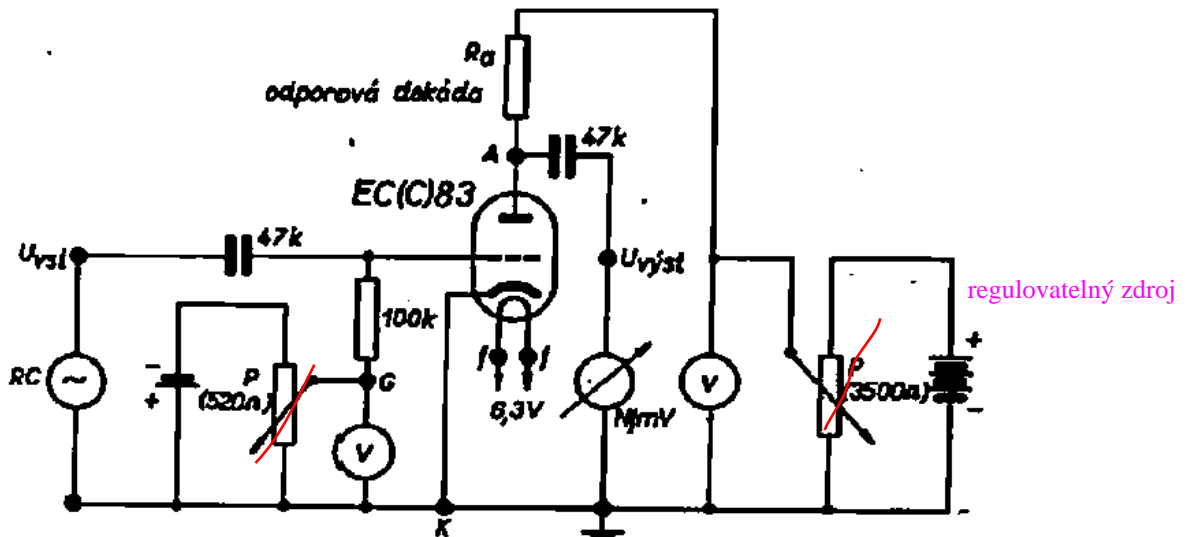
Tuto tučnou anodovou charakteristiku budeme měřiti v obvodu dle schématka 1 [přejato z 2]:



Schaema 1: Obvod pro měření anodové charakteristiky

A trioda nejenže o polovinu elektrod více má než dioda, ona též dokáže morálku proudu posíliti, on pak kráčí hrdě do boje a všechny překážky, anžto v cestě mu stojí, hrdě rozbije.

Krakena vypustili jsme do boje v obvodu ze schématka 2 [přejato z 2]:



Schaema 2: Obvod pro měření zesílení

Výsledky měření

1. Anodové charakteristiky triódy

Pro napětí na mřížce $U_g = -(1,969 \pm 0,001)V$ byly naměřeny v závislosti hodnot napětí na anodě U_a následující hodnoty anodového proudu I_a , ježto jsou uvedeny v Tabulce 1.

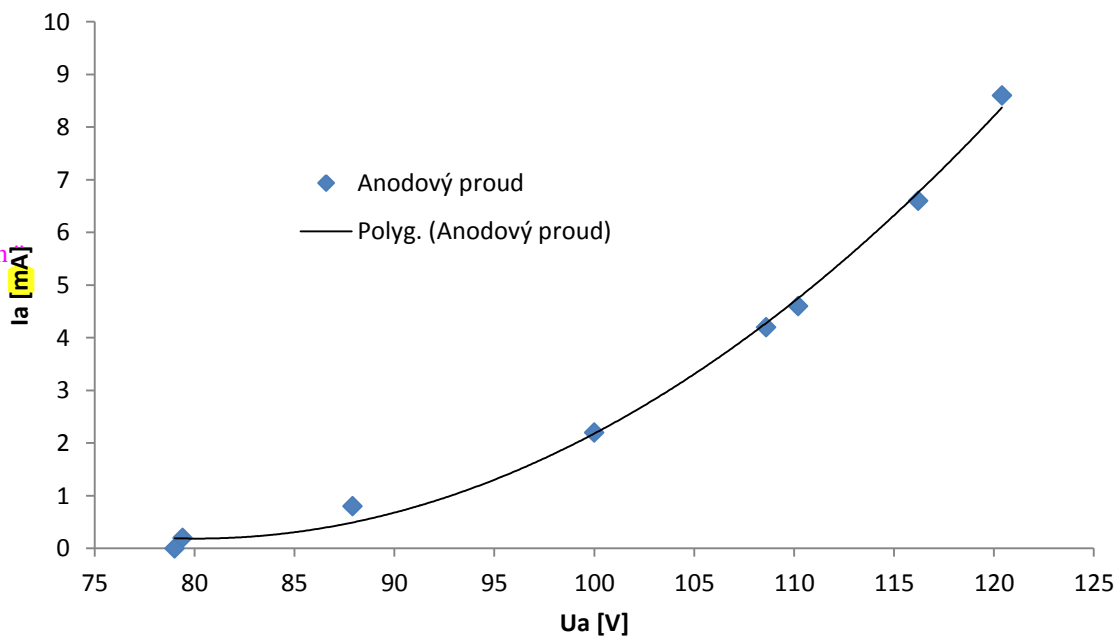
Symbol (=0) znamená, že výstupní hodnoty anodového proudu I_a již byly neměřitelně malé pro všechny hodnoty napětí U_a nižší, než jest poslední hodnota v tabulce.

Tabulka 1: Hodnoty pro napětí $U_g = -2V$

U_a [V]	ΔU_a [V]	I_a [μA]	ΔI_a [μA]
120,4	$\pm 0,1$	8,6	$\pm 0,1$
116,2	$\pm 0,1$	6,6	$\pm 0,1$
110,2	$\pm 0,1$	4,6	$\pm 0,1$
108,6	$\pm 0,1$	4,2	$\pm 0,1$
100,0	$\pm 0,1$	2,2	$\pm 0,1$
87,90	$\pm 0,01$	0,8	$\pm 0,1$
79,40	$\pm 0,01$	0,2	$\pm 0,1$
79,00	$\pm 0,01$	(=0)	(=0)

Jaké jste použil měřicí přístroje?
Jak se počítaly chyby měření?

Data z tabulky 1 jsou graphicky znázorněna v Graphu 1:



Graph 1: Anodová charakteristika triódy pro napětí $U_g = -2V$

Pro napětí na mřížce $U_g = -(1,502 \pm 0,001)V$ byly naměřeny v závislosti hodnot napětí na anodě U_a následující hodnoty anodového proudu I_a , ježto jsou uvedeny v Tabulce 2.

Symbol (=0) znamená, že výstupní hodnoty anodového proudu I_a již byly neměřitelně malé pro všechny hodnoty napětí U_a nižší, než jest poslední hodnota v tabulce.

Tabulka 2: Hodnoty pro napětí $U_g = -1,5V$

U_a [V]	ΔU_a [V]	I_a [μA]	ΔI_a [μA]
120,4	$\pm 0,1$	84,6	$\pm 0,1$
111,4	$\pm 0,1$	54,8	$\pm 0,1$
100,1	$\pm 0,1$	28,8	$\pm 0,1$
105,7	$\pm 0,1$	40,0	$\pm 0,1$
115,3	$\pm 0,1$	66,4	$\pm 0,1$
95,00	$\pm 0,01$	21,0	$\pm 0,1$
70,60	$\pm 0,01$	3,4	$\pm 0,1$
65,00	$\pm 0,01$	2,6	$\pm 0,1$
53,79	$\pm 0,01$	0,8	$\pm 0,1$
43,69	$\pm 0,01$	0,2	$\pm 0,1$
40,00	$\pm 0,01$	(=0)	(=0)

Data z tabulky 2 jsou graphicky znázorněna v Graphu 2:



Graph 2: Anodová charakteristika triódy pro napětí $U_g = -1,5V$

Pro napětí na mřížce $U_g = -(1,003 \pm 0,001)V$ byly naměřeny v závislosti hodnot napětí na anodě U_a následující hodnoty anodového proudu I_a , ježto jsou uvedeny v Tabulce 3.

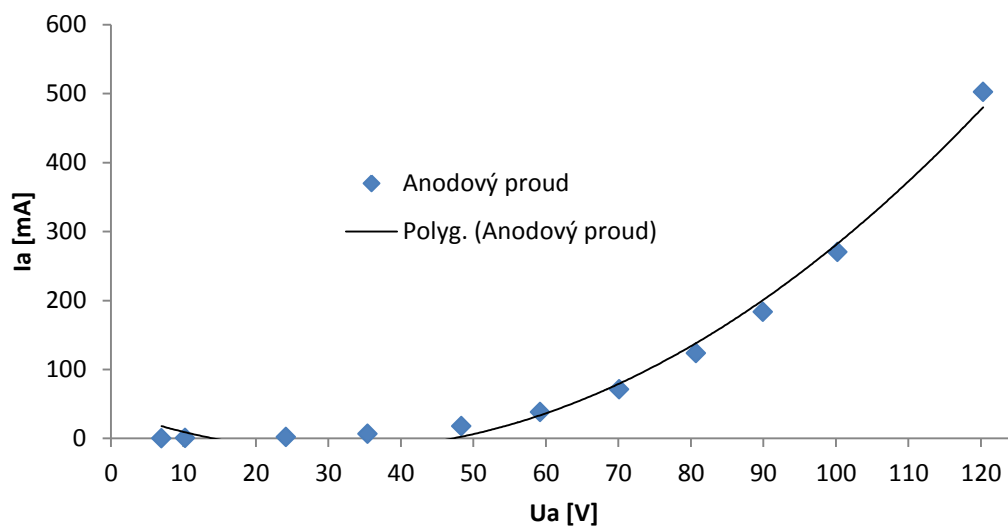
Symbol (=0) znamená, že výstupní hodnoty anodového proudu I_a již byly neměřitelně malé pro všechny hodnoty napětí U_a nižší, než jest poslední hodnota v tabulce.

Tabulka 3: Hodnoty pro napětí $U_g = -1V$

U_a [V]	ΔU_a [V]	I_a [μA]	ΔI_a [μA]
120,3	$\pm 0,1$	502,0	$\pm 0,1$
100,2	$\pm 0,1$	270,0	$\pm 0,1$
89,90	$\pm 0,01$	183,4	$\pm 0,1$
80,70	$\pm 0,01$	123,2	$\pm 0,1$
70,10	$\pm 0,01$	71,0	$\pm 0,1$
59,20	$\pm 0,01$	38,2	$\pm 0,1$
48,31	$\pm 0,01$	17,8	$\pm 0,1$
35,39	$\pm 0,01$	6,4	$\pm 0,1$
24,15	$\pm 0,01$	1,8	$\pm 0,1$
10,20	$\pm 0,01$	0,2	$\pm 0,1$
6,970	$\pm 0,001$	(=0)	(=0)

Právě, že pokud už máte neměřitelně malý proud, je chyba té "nuly" dána přesností přístroje. A to zcela jistě nula není (jak je to s digitami?)

Data z tabulky 3 jsou graphicky znázorněna v Graphu 3:



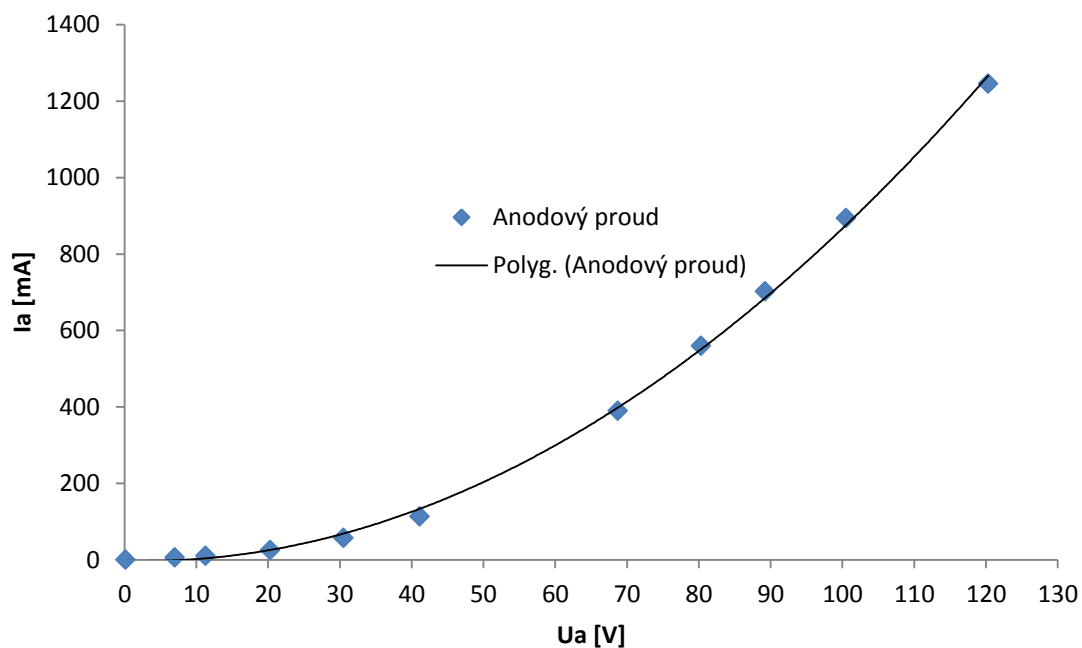
Graph 3: Anodová charakteristika triódy pro napětí $U_g = -1V$

Pro napětí na mřížce $U_g = -(0,502 \pm 0,001)V$ byly naměřeny v závislosti hodnot napětí na anodě U_a následující hodnoty anodového proudu I_a , ježto jsou uvedeny v Tabulce 4.

Symbol (=0) znamená, že výstupní hodnoty anodového proudu I_a již byly neměřitelně malé pro všechny hodnoty napětí U_a nižší, než jest poslední hodnota v tabulce.

Tabulka 4: Hodnoty pro napětí $U_g = -0,5V$

U_a [V]	ΔU_a [V]	I_a [μA]	ΔI_a [μA]
120,3	$\pm 0,1$	1246,0	$\pm 0,1$
100,5	$\pm 0,1$	894,0	$\pm 0,1$
89,20	$\pm 0,01$	702,0	$\pm 0,1$
80,30	$\pm 0,01$	560,0	$\pm 0,1$
68,70	$\pm 0,01$	390,0	$\pm 0,1$
41,11	$\pm 0,01$	113,0	$\pm 0,1$
30,47	$\pm 0,01$	57,0	$\pm 0,1$
20,28	$\pm 0,01$	25,4	$\pm 0,1$
11,25	$\pm 0,01$	10,4	$\pm 0,1$
6,970	$\pm 0,001$	6,0	$\pm 0,1$
0,124	$\pm 0,001$	(=0)	(=0)



Graph 4: Anodová charakteristika triódy pro napětí $U_g = -0,5V$

2. Zesílení triódy

Za konstantní zvolili jsme veličiny následující v bádání eskamotérském našem:

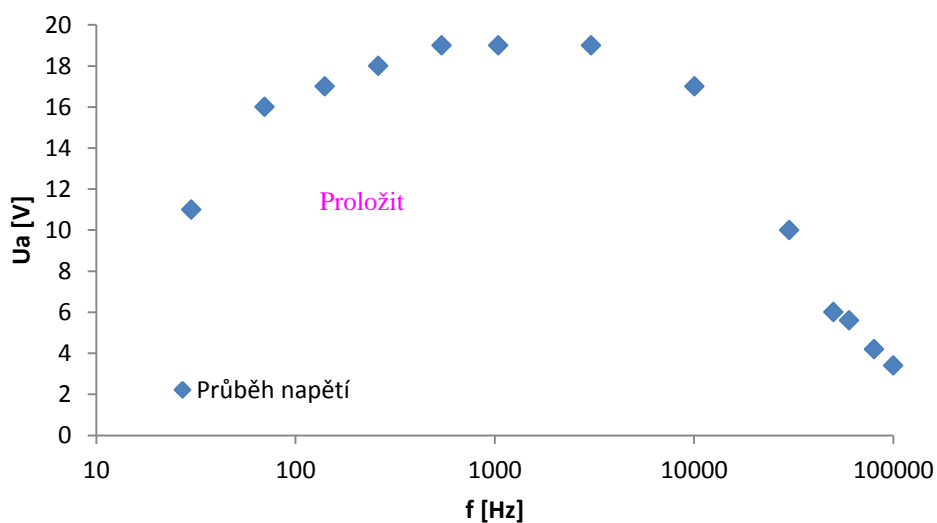
Mřížkové napětí $U_g = -(0,497 \pm 0,001)V$

Na odporové dekádě nastavili jsme hodnotu: Odpor $R_a = (100\,000 \pm 100)\Omega$. Jali jsme se měnití fraequenci f , abychom dospěli poznání, jak mění se napětí anodové U_a . Výsledky shrnuty jsou v tabulce 5: *Tak hlavně nás zajímá zesílení, tak nebuďte lenoch a dopočítejte.*

Tabulka 5: Hodnoty pro odpor $R_a = 10^5 \Omega$

f [Hz]	U_a [V]	ϑU_a [V]
30	11,0	$\pm 1,0$
70	16,0	$\pm 1,0$
140	17,0	$\pm 1,0$
260	18,0	$\pm 1,0$
540	19,0	$\pm 1,0$
1040	19,0	$\pm 1,0$
3040	19,0	$\pm 1,0$
10040	17,0	$\pm 1,0$
30000	10,0	$\pm 1,0$
50000	6,0	$\pm 1,0$
60000	5,6	$\pm 0,2$
80000	4,2	$\pm 0,2$
100000	3,4	$\pm 0,2$

Výsledky z Tabulky 5 jsme hodili do Graphu5 s logaritmickou škálíčkou, aby náš graph nepůsobil poněkud komicky:



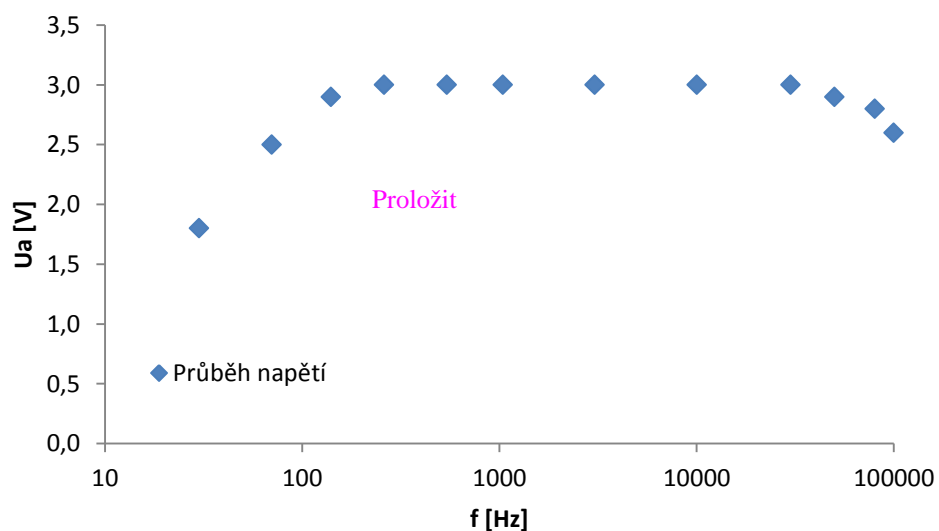
Graph 5: Fraequenční analiza zesílení pro odpor $R_a = 10^5 \Omega$

Na odporé dekádě nastavili jsme hodnotu: Odpor $R_a = (5000 \pm 5) \Omega$. Jali jsme se měnití fræquenci f , abychom dospěli poznání, jak mění se napětí anodové U_a . Výsledky shrnuty jsou v tabulce 6:

Tabulka 6: Hodnoty pro odpor $R_a = 5 \cdot 10^3 \Omega$

f [Hz]	U_a [V]	ϑU_a [V]
30	1,8	$\pm 0,1$
70	2,5	$\pm 0,1$
140	2,9	$\pm 0,1$
260	3,0	$\pm 0,1$
540	3,0	$\pm 0,1$
1040	3,0	$\pm 0,1$
3040	3,0	$\pm 0,1$
10040	3,0	$\pm 0,1$
30000	3,0	$\pm 0,1$
50000	2,9	$\pm 0,1$
80000	2,8	$\pm 0,1$
100000	2,6	$\pm 0,1$

Výsledky z Tabulky 6 jsme hodili do Graphu5 s logaritmickou škálíčkou, aby náš graph nepůsobil poněkud komicky:



Graph 6: Fræquencií analysa zesílení pro odpor $R_a = 5 \cdot 10^3 \Omega$

3. Závislost zesílení na odporu

V této fázi měření podrželi jsme konstantními veličiny následující:

Napětí na mřížce $U_g = -(0,497 \pm 0,001)V$

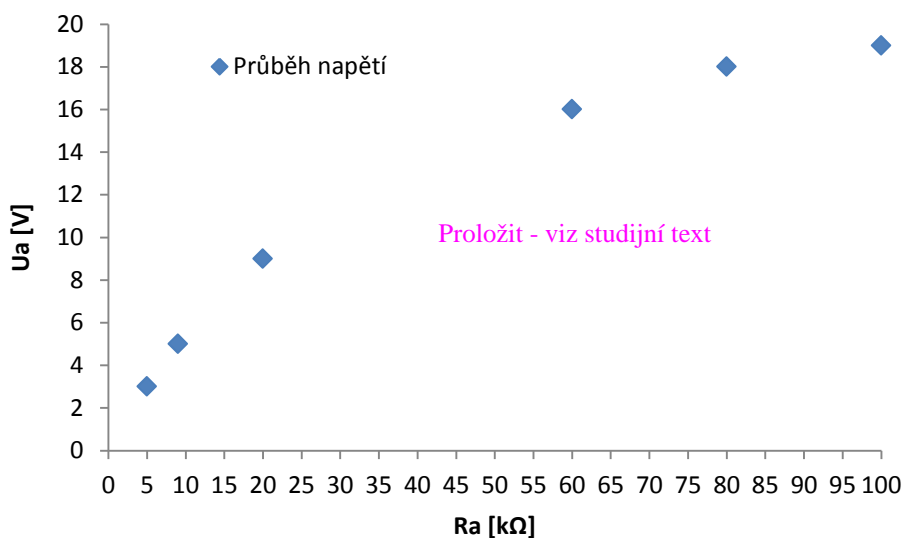
A frekvenci $f=1kHz$.

Pro jednotlivé hodnoty odporu R_a jsme měřili velikost anodového napětí U_a . Výsledky, které vás možná překvapí, uvádíme v tabulce 7. Více se dozvíte na tn.cz.

Tabulka 7: Hodnoty pro odpor $R_a = 5 \cdot 10^3 \Omega$

$R_a [\Omega]$	$\vartheta R_a (\%)$	$U_a [V]$	$\vartheta U_a [V]$
5000	$\pm 0,1$	3,0	$\pm 0,2$
9000	$\pm 0,1$	5,0	$\pm 0,2$
20000	$\pm 0,1$	9,0	$\pm 0,2$
60000	$\pm 0,1$	16,0	$\pm 1,0$
80000	$\pm 0,1$	18,0	$\pm 1,0$
100000	$\pm 0,1$	19,0	$\pm 1,0$

A poslední hodnoty z poslední tabulky této spiritistické seance, jsme hodili do Graphu 7:



A světe div se! Ono nám to roste přímo před očima!

A jak!

Diskuse

Jsem ráda, že vás měření bavilo, ale je třeba, abyste se něco naučil, neboť jen tak budete moci uplatnit svůj talent. Jistě víte, že je dobré se nad tím, co zpracováváte zamyslet. T pochopení nových věcí přináší člověku pocit malého vítězství a radost. I já mám radost, když vidím pěkný referát - takže hurá do nových radostí :)

Vyšlo nám to poměrně hezky a užili jsme si při experimentování spoustu legrace. A toť jest hlavní, neb vnitřní motivace jest tím nejnáročnějším motorem lidského snažení!

Proto provoláváme, že Věda 2.0 musí být založena!

Pryč s okovy peněžních grantů, pryč s podhodnocenými výsledky!

Exponenciální růst kapitalistické ekonomiky jest rakovinou planety! Kvalita jde v kapitalismu proti zisku, neboť čím horší šunt výrobce vyrobí, tím dříve si ho bude muset zákazník koupit znovu, čímž obchodníkovi zvedne zisky! Neomezený růst na omezené planetě jest zhovadilost!

Diskutujte: Shodu s teoretickými vztahy, konkrétní chyby měření (žádné, bla, bla o hypotetických chybách, ale konkrétní případy a hodnoty). No, a hlavně by bylo vhodné zhodnotit, jak funguje zesilovač (což máte v závěru, ale nějaké zamýšlení si to zaslouží i začít).

Závěr

Jak víte, že exponenciálně? Vždyť jste to (chybně) prokládal nějakým polynomem. Anodový proud I_a roste exponenciálně v závislosti na anodovém napětí U_a .

Trioda nezesiluje všechny frekvence stejně, nejméně zesiluje frekvence velmi nízké (do řádu stovek Hz) a velmi vysoké (blížící se k řádu 100 kHz).

Zesílení A na triodě roste nelineárně v závislosti na odporu R_a .

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)
- [2] ZFP [online]. Praha, 2013 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_215.pdf