

# (15) Charakteristiky triody

Přemysl Šťastný

22. října 2018

## 1 Pracovní úkoly

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  $120V$ .

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

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

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.

## 2 Konvence

Desetinná tečka a desetinná čárka jsou vzájemně zaměnitelné.

## 3 Teorie

Zavedené značení v oddílu Pracovní úkoly již v oddílu Teorie měnit nebudu.

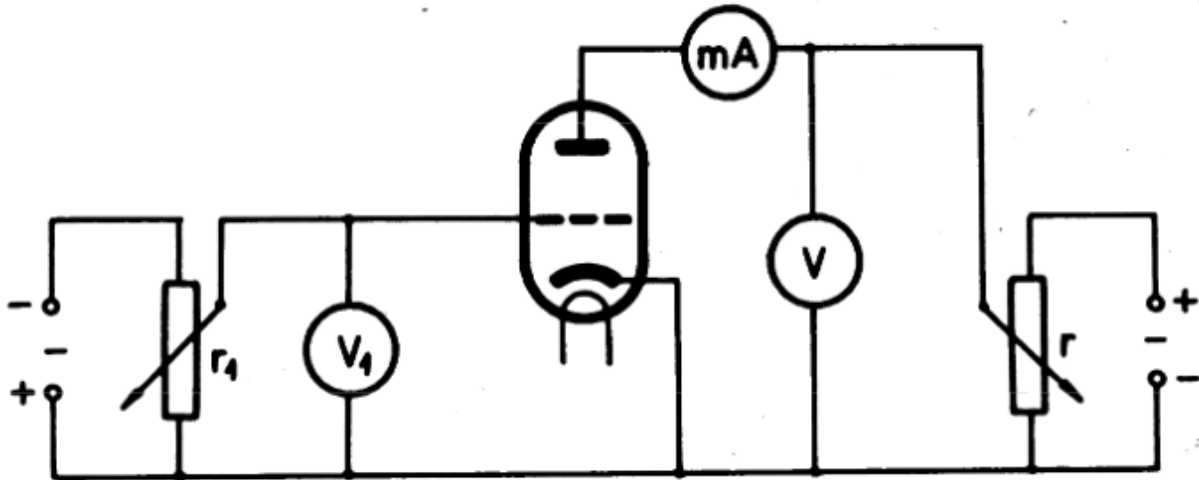
Anodovou ztrátu můžeme počítat jako

$$P_a = U_a \cdot I_a \quad (1)$$

### 3.0.1 Úkol 1

Pro měření prvního úkolu bylo použito schéma na obrázku 1.

Byla měřena závislost  $I_a(U_a)$ , kde  $I_a$  je anodový proud a  $U_a$  anodové napětí. V průběhu každého měření bylo  $U_g$  ponecháno konstantní.



Obrázek 1: Obvod pro měření charakteristiky triody [1]

Měřené hodnoty lze porovnat s třípolovinovým zákonem a tím potenciálně potvrdit korektnost měření [2] [1]. Nelze ovšem očekávat dokonalou shodu, obzvláště pro vyšší hodnoty napětí na mřížce.

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

### 3.0.2 Úkol 2 a 3

$f$  je značení frekvence.

Pro měření druhého a třetího úkolu bylo použito schéma na obrázku 2.

Zesílení se spočítá jako

$$A = \frac{U_{vyst}}{U_{vst}} \quad (3)$$

Relativní odchylka byla spočítána vzorcem

$$\eta_A = \eta_{U_{vyst}} + \eta_{U_{vst}}$$

## 4 Výsledky měření

Data v tabulkách jsou uvedena v pořadí, v jakém byla měřena.

### 4.1 Úkol 1

Pro měření  $U_g$  byl použit multimetr METEX M-3720D s uvedenou přesností  $0.5\% \pm 1$  digit.

K měření  $I_a$  byl použit přístroj stejného druhu. Byl nastaven v rozsahu  $mA$  a s přesností  $1\% \pm 1$  digit.



**4.1.2 Data -  $U_g = (-0.501 \pm 0.003)V$**

$I_a[mA]$	$U_a[V]$	$\sigma_{I_a}[mA]$	$\sigma_{U_a}[V]$
0.003	2.45	0.001	0.01
0.019	18.25	0.001	0.03
0.096	38.81	0.002	0.05
0.2	52.46	0.003	0.06
0.4	71.13	0.005	0.08
0.64	86.88	0.007	0.1
0.72	91.7	0.008	0.1
0.92	104.0	0.01	0.1
1.2	119.2	0.01	0.1
0.3	64.0	0.004	0.07

**4.1.3 Data -  $U_g = (-1.01 \pm 0.01)V$**

$I_a[mA]$	$U_a[V]$	$\sigma_{I_a}[mA]$	$\sigma_{U_a}[V]$
0.0	13.0	0.001	0.02
0.003	29.36	0.001	0.04
0.011	43.47	0.001	0.05
0.032	58.2	0.001	0.07
0.079	72.34	0.002	0.08
0.141	84.05	0.002	0.09
0.208	93.4	0.003	0.1
0.257	98.1	0.004	0.1
0.457	115.6	0.006	0.1
0.518	119.4	0.006	0.1

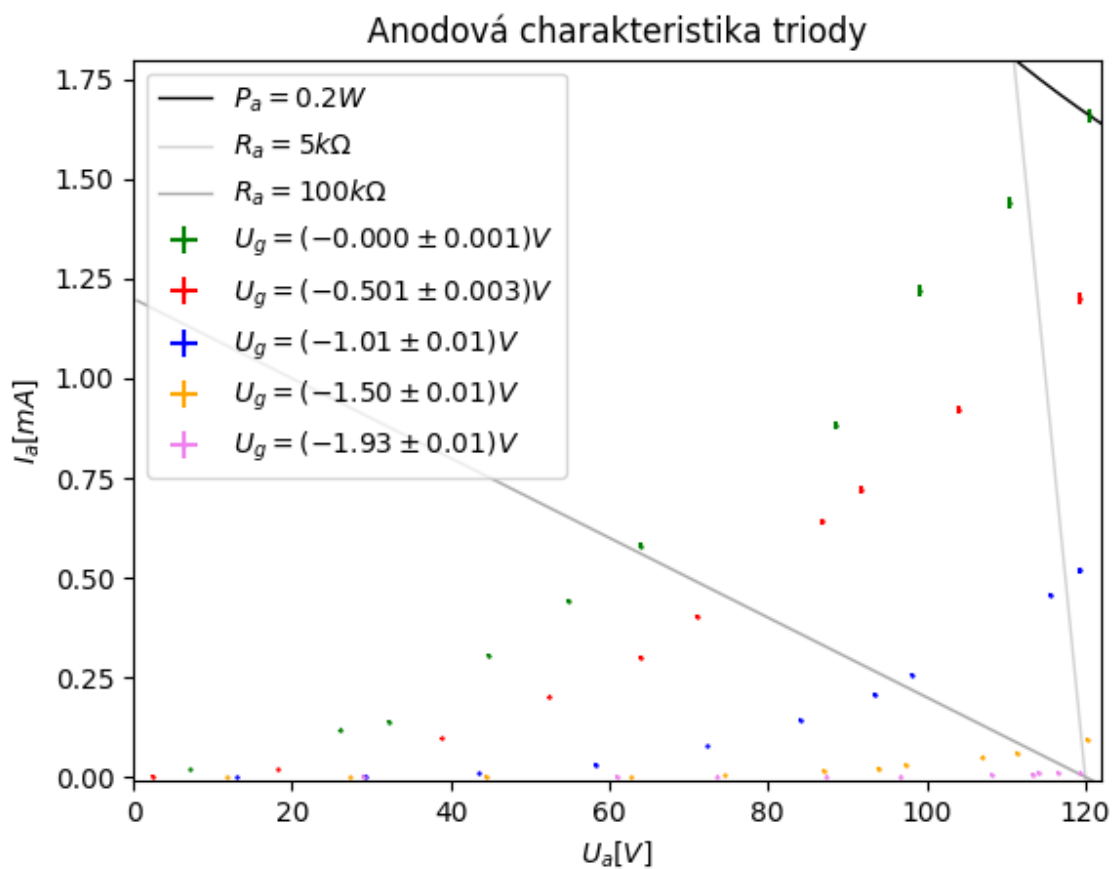
**4.1.4 Data -  $U_g = (-1.50 \pm 0.01)V$**

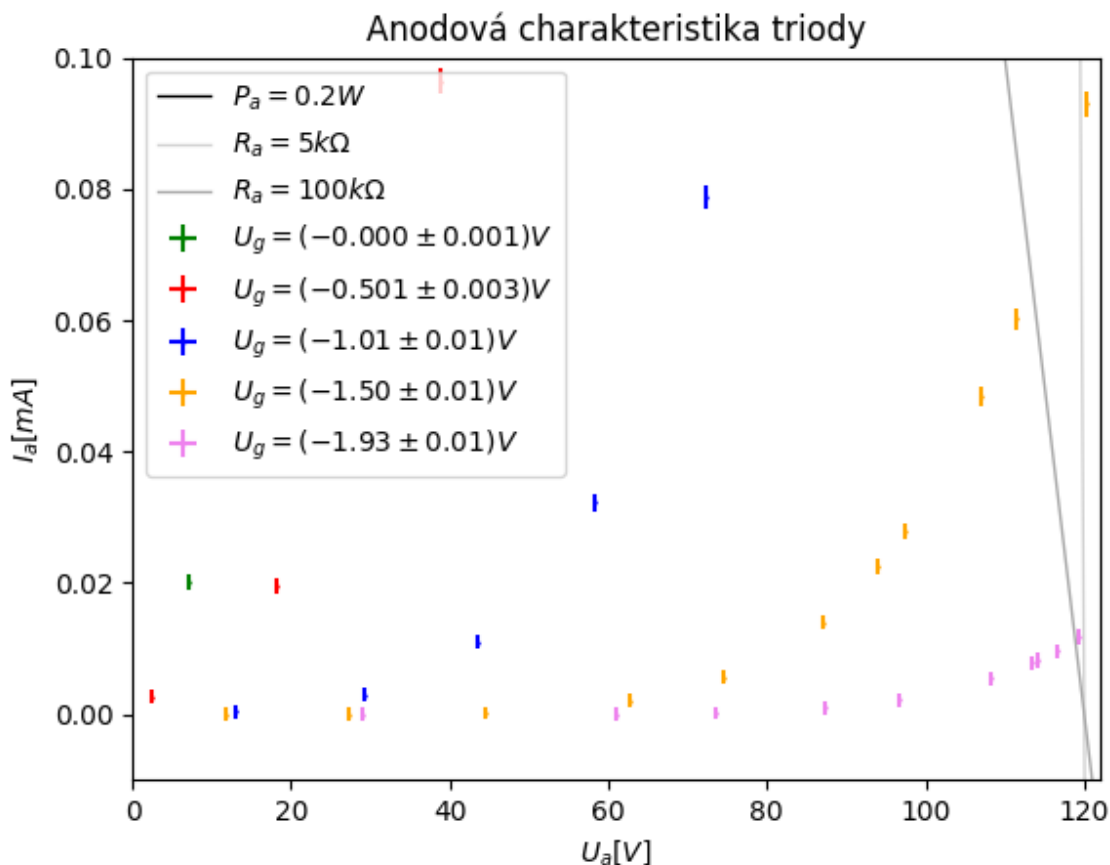
$I_a[mA]$	$U_a[V]$	$\sigma_{I_a}[mA]$	$\sigma_{U_a}[V]$
0.0	11.8	0.001	0.02
0.0	27.3	0.001	0.04
0.0	44.42	0.001	0.05
0.002	62.68	0.001	0.07
0.006	74.52	0.001	0.08
0.014	87.03	0.001	0.1
0.023	93.9	0.001	0.1
0.028	97.3	0.001	0.1
0.048	107.0	0.001	0.1
0.093	120.2	0.002	0.1
0.06	111.4	0.002	0.1

#### 4.1.5 Data - $U_g = (-1.93 \pm 0.01)V$

$I_a[mA]$	$U_a[V]$	$\sigma_{I_a}[mA]$	$\sigma_{U_a}[V]$
0.0	28.93	0.001	0.04
0.0	60.89	0.001	0.07
0.0	73.59	0.001	0.08
0.001	87.39	0.001	0.1
0.002	96.8	0.001	0.1
0.005	108.1	0.001	0.1
0.008	113.3	0.001	0.1
0.01	116.5	0.001	0.1
0.008	114.0	0.001	0.1
0.012	119.4	0.001	0.1

#### 4.1.6 Graf





#### 4.1.7 Pracovní body

Z grafů je evidentní, že pracovní body lze s rozumnou přesností určit pouze pro první tři mřížková napětí.

Pro  $U_g = 0V$

- ▷  $R_a = 5k\Omega; U_a = (110 \pm 5)V, I_a = (1.5 \pm 0.1)mA$
- ▷  $R_a = 100k\Omega; U_a = (63 \pm 5)V, I_a = (0.7 \pm 0.1)mA$

Pro  $U_g = -0.5V$

- ▷  $R_a = 5k\Omega; U_a = (117 \pm 5)V, I_a = (1.2 \pm 0.1)mA$
- ▷  $R_a = 100k\Omega; U_a = (73 \pm 5)V, I_a = (0.5 \pm 0.1)mA$

Pro  $U_g = -1V$

- ▷  $R_a = 5k\Omega; U_a = (119 \pm 5)V, I_a = (0.5 \pm 0.1)mA$
- ▷  $R_a = 100k\Omega; U_a = (95 \pm 5)V, I_a = (0.3 \pm 0.1)mA$

## 4.2 Společné měřicí přístroje druhého a třetího úkolu

Vstupní napětí a frekvence nebyla měřena zvlášť, ale byla přečtena z generátoru střídavého napětí Siglent SDG 2082X. Odchyłka tohoto měřidla je vzhledem k charakteru zanedbatelná.

K měření  $U_{vyst}$  byl použit Tesla Milivoltmetr BM-512 třídy přesnosti 1.5. Stupnice byly přehazovány podle potřeby.

Na odporové dekádě lze nastavit odpor  $R_a$  s přesností 0.1%.

Voltmetry z minulého úkolu zůstali v obvodu na stejném místě.

### 4.3 Úkol 2

$$U_{vst} = (200.0 \pm 0.1)mV \quad (5)$$

$$U_g = (0.502 \pm 0.003)V \quad (6)$$

$$U_a = (119.2 \pm 0.1)V \quad (7)$$

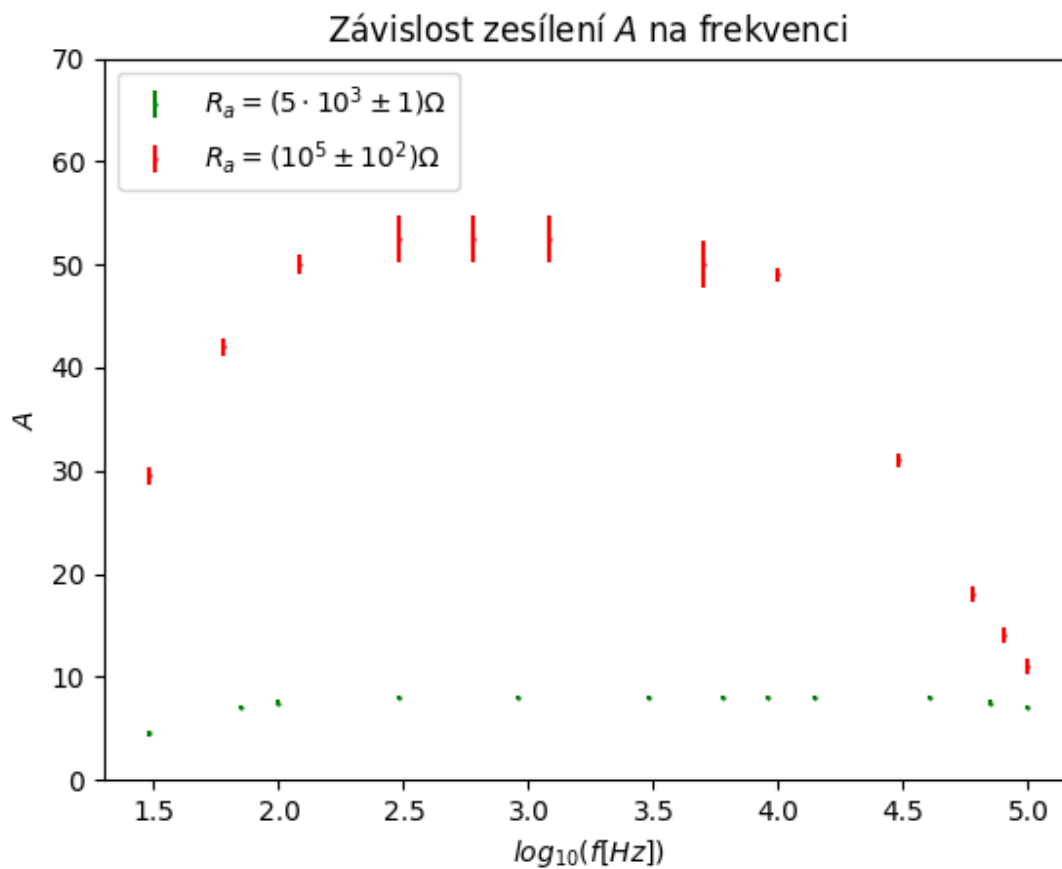
#### 4.3.1 Data - $R_a = (10^5 \pm 10^2)\Omega$

$f[Hz]$	$U_{vyst}[V]$	$A$	$\sigma_{U_{vyst}}[V]$	$\sigma_A$
30	5.9	29.5	0.2	0.9
60	8.4	42.0	0.2	0.9
120	10.0	50.0	0.2	0.9
300	10.5	52.0	0.4	2.0
600	10.5	52.0	0.4	2.0
1200	10.5	52.0	0.4	2.0
5000	10.0	50.0	0.4	2.0
10000	9.8	49.0	0.1	0.7
30000	6.2	31.0	0.1	0.7
60000	3.6	18.0	0.1	0.7
80000	2.8	14.0	0.1	0.7
100000	2.2	11.0	0.1	0.7

#### 4.3.2 Data - $R_a = (5 \cdot 10^3 \pm 1)\Omega$

$f[Hz]$	$U_{vyst}[V]$	$A$	$\sigma_{U_{vyst}}[V]$	$\sigma_A$
30	0.9	4.5	0.04	0.2
70	1.4	7.0	0.04	0.2
100	1.5	7.5	0.04	0.2
300	1.6	8.0	0.04	0.2
900	1.6	8.0	0.04	0.2
3000	1.6	8.0	0.04	0.2
6000	1.6	8.0	0.04	0.2
9000	1.6	8.0	0.04	0.2
14000	1.6	8.0	0.04	0.2
40000	1.6	8.0	0.04	0.2
70000	1.5	7.5	0.04	0.2
100000	1.4	7.0	0.04	0.2

### 4.3.3 Graf



### 4.4 Úkol 3

$$U_g = (1.01 \pm 0.01)V \quad (8)$$

$$f = (1000 \pm 0.01)Hz \quad (9)$$

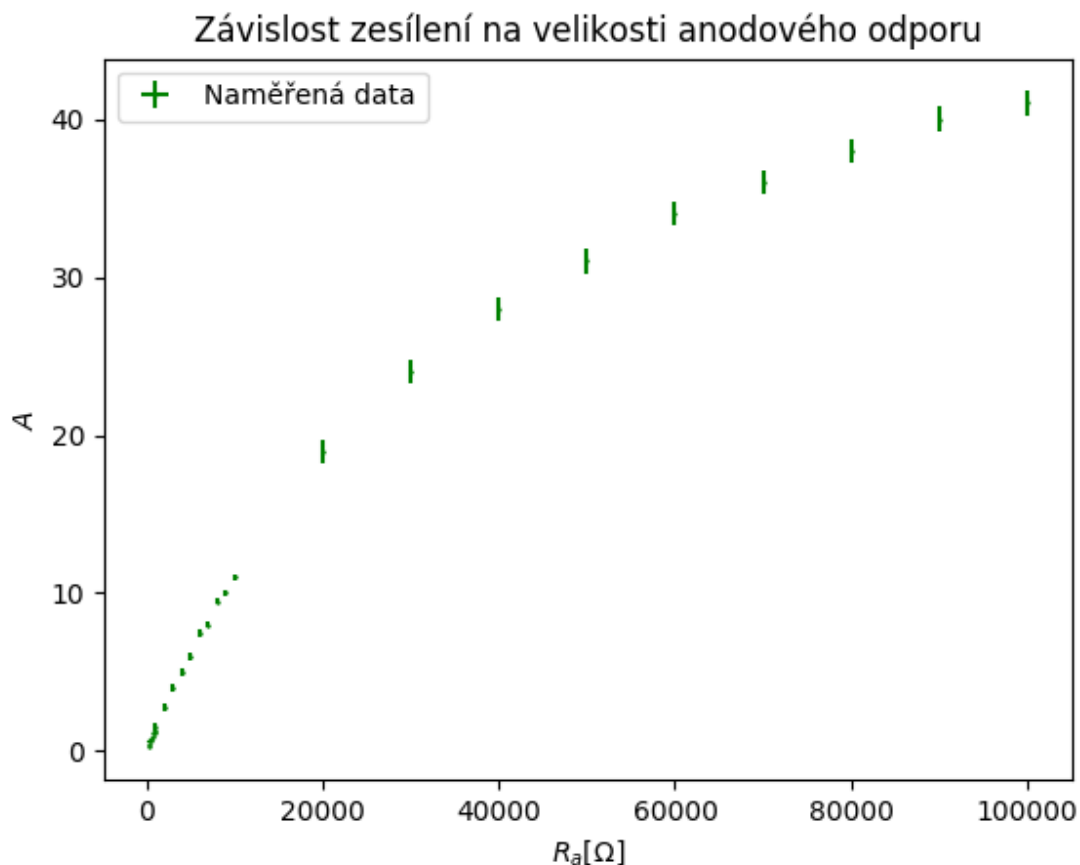
$$U_{vst} = (200.0 \pm 0.1)mV \quad (10)$$



#### 4.4.1 Data

$R_a[\Omega]$	$U_{vyst}[V]$	$A$	$\sigma_{R_a}[\Omega]$	$\sigma_{U_{vyst}}[V]$	$\sigma_A$
1000	0.26	1.3	1.0	0.004	0.02
900	0.24	1.2	0.9	0.004	0.02
800	0.23	1.15	0.8	0.004	0.02
700	0.19	0.95	0.7	0.004	0.02
600	0.16	0.8	0.6	0.004	0.02
500	0.135	0.68	0.5	0.004	0.02
400	0.125	0.62	0.4	0.004	0.02
300	0.08	0.4	0.3	0.004	0.02
200	0.055	0.27	0.2	0.004	0.02
1000	0.3	1.5	1.0	0.04	0.2
2000	0.55	2.8	2.0	0.04	0.2
3000	0.8	4.0	3.0	0.04	0.2
4000	1.0	5.0	4.0	0.04	0.2
5000	1.2	6.0	5.0	0.04	0.2
6000	1.5	7.5	6.0	0.04	0.2
7000	1.6	8.0	7.0	0.04	0.2
8000	1.9	9.5	8.0	0.04	0.2
9000	2.0	10.0	9.0	0.04	0.2
10000	2.2	11.0	10.0	0.04	0.2
20000	3.8	19.0	20.0	0.1	0.7
30000	4.8	24.0	30.0	0.1	0.7
40000	5.6	28.0	40.0	0.1	0.7
50000	6.2	31.0	50.0	0.1	0.7
60000	6.8	34.0	60.0	0.1	0.7
70000	7.2	36.0	70.0	0.1	0.7
80000	7.6	38.0	80.0	0.1	0.7
90000	8.0	40.0	90.0	0.1	0.7
100000	8.2	41.0	100.0	0.1	0.7

#### 4.4.2 Graf



## 5 Diskuze

V rámci stanovených odchylek se zdá být přesné a není vidět mnoho důvodů k jeho zpochybnění.

V průběhu prvních pár desítek minut se měřená elektronka teprve zahřívala a tak se její charakteristika mohla mírně měnit. Tato změna, byla-li vůbec měřitelná, je ovšem nepatrná.

Další zásah do měření mohli způsobit vlastní odpory vodičů a odpor napevno připevněný na triodové desce.

Porovnáme-li měření s charakteristik triod se zdrojem [2] a třípolovinovým zákonem, můžeme dojít k závěru, že měření až na několik málo hrubých chyb, odpovídá současné teorii.

Příčina hrubých chyb byla způsobena i neschopností experimentátora opsat správná čísla do tabulky ve správnou chvíli.

## 6 Závěr

Úspěšně byla naměřena anodová charakteristika triody EC(C)83 a její závislost zesílení na frekvenci a velikosti anodového odporu. U provedených měření byla spočtena chyba a byla zanesena do grafů a tabulek.

## Reference

- [1] *15. studium zesilovače s triodou* Základní fyzikální praktikum [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: [http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_215.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_215.pdf), <https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/215>
- [2] CHAFFEE, E.L. *The Characteristic Curves of the Triode*. Proceedings of the IRE [online]. 1942, 30(8), 383-395 [cit. 2018-10-21]. DOI: 10.1109/JRPROC.1942.231702. ISSN 00968390.