

Fyzikální sekce přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

.....

Petr Šafařík

Jméno: Datum:

Obor: **Astrofyzika** Ročník: **Druhý** Semestr: **Třetí** Test:

ÚLOHA č.:

T =

p =

φ =

1 Zadání

- Změřte výstupní charakteristiky unipolárního tranzistoru pro pět hodnot napětí na hradle.
- Změřte převodní charakteristiku pro jednu hodnotu napětí na kolektoru.
- V zadaném pracovním bodě určete strmost, vnitřní odpor a zesilovací činitel tranzistoru a ověřte platnost Barkhausenovy rovnice.
- Pro zadaný zatěžovací odpor, napětí zdroje a pracovní bod určete dynamickou strmost a napěťové zesílení. Řešte graficky i početně a porovnejte výsledky.

2 Teorie

2.1 Výstupní charakteristiky unipolárního tranzistoru

V unipolárním tranzistoru se na vedení proudu podílí pouze jeden typ nositelů – elektrony nebo díry. Majoritní nositele tvoří tzv. kanál. Jeho přívody jsou emitor a kolektor. Proud tekoucí kanálem ovlivňuje napětí, které se vkládá mezi emitor a elektrodu, která je od kanálu izolovaná a jmenuje se hradlo. Výstupní charakteristika tranzistoru je závislost kolektorového (výstupního) proudu I_C na kolektorovém (výstupním) napětí U_C , tedy $I_C = f(U_C)$ při konstantním hradlovém napětí U_g .

2.2 Statická převodní charakteristika tranzistoru

Statická převodní charakteristika tranzistoru je závislost kolektorového (výstupního) proudu I_C na hradlovém napětí U_g , tedy $I_C = f(U_g)$ při konstantním kolektorovém napětí U_C .

2.3 Strmost, vnitřní odpor a zesilovací činitel

Pracovní bod určíme jako průsečík křivky výstupní charakteristiky a tzv. zatěžovací přímky, která má rovnici

$$I_C = \frac{-1}{R_z} U_C - \frac{E}{R_z}$$

kde R_z je zatěžovací odpor (viz dále) a E je napětí kolektorového zdroje. Derivace statické převodní charakteristiky se nazývá statická strmost tranzistoru

$$S = \left(\frac{\partial I_C}{\partial U_g} \right)_{U_C}$$

Derivace výstupní charakteristiky určuje vnitřní odpor tranzistoru

$$R = \left(\frac{\partial U_C}{\partial I_C} \right)_{U_g}$$

zesilovací činitel je potom:

$$\mu = \left(\frac{\partial U_C}{\partial U_g} \right)_{I_C}$$

Jeho převrácená hodnota se nazývá průnik

$$D = \frac{1}{\mu}$$

Takto definované veličiny splňují Barkhausenovu rovnici:

$$SR_i D = 1$$

2.4 Dynamická strmost a napěťové zesílení

Pokud chceme studovat funkci tranzistoru jako zesilovače, zapojíme do obvodu zatěžovací neboli pracovní odpor R_z . Dynamickou strmost definujeme jako

$$S_d = \frac{dI_C}{dU_g} = \frac{S}{1 + \frac{R_z}{R_i}}$$

a zesílení jako

$$A = \frac{dU_C}{dU_g} = \frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R_z}} = -S_d R_z$$

3 Měření

3.1 Výstupní charakteristiky unipolárního tranzistoru

Zatěžovací přímka bude dána rovnicí:

$$I_C = -\frac{1}{R_Z} U_C - \frac{E}{R_Z}$$

kde $R_Z = 5k\Omega$

$E = 13,71[V]$

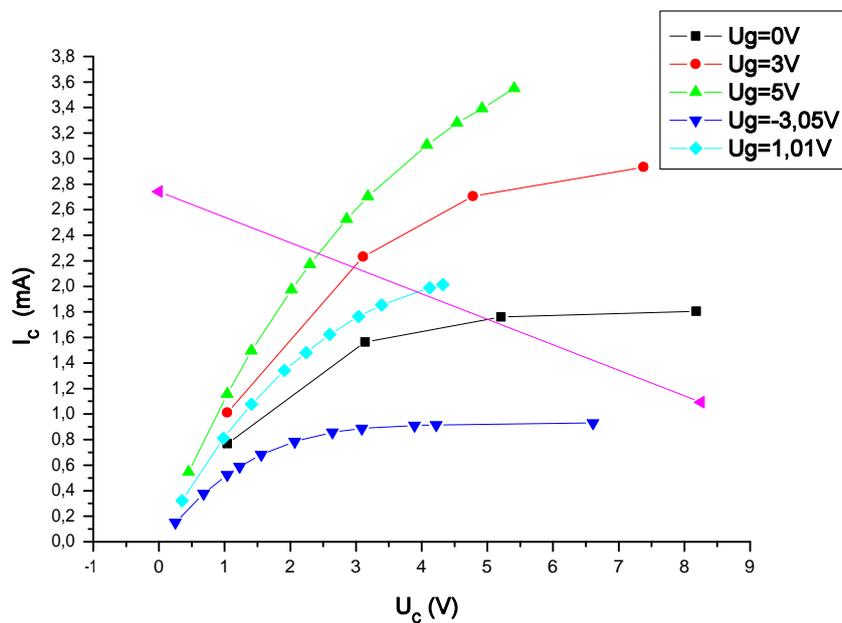
$\frac{E}{R_Z} = 2,742 \cdot 10^{-3}[A]$

Celá rovnice bude mít tedy následující tvar:

$$I_C \cdot 10^{-3} = -\frac{U_C}{5000} + 0,002742[mA]$$

$\frac{U_C}{V}$	1,04	3,14	5,21	8,18
$\frac{I_C}{mA}$	0,769	1,5636	1,7595	1,8047

Tabulka 1: $U_g = 0,04V$



Obrázek 1: Vstupni charakteristiky

$\frac{U_C}{V}$	1,04	3,11	4,78	7,38
$\frac{I_C}{mA}$	1,0104	2,2314	2,7058	2,9334

Tabulka 2: $U_g = 3V$

$\frac{U_C}{V}$	0,45	1,04	1,41	2,02	2,30	2,86	3,18	4,08	4,54	4,92	5,41
$\frac{I_C}{mA}$	0,5466	1,1557	1,4955	1,9743	2,1721	2,5256	2,7040	3,1076	3,2794	3,3920	3,5500

Tabulka 3: $U_g = 5V$

$\frac{U_C}{V}$	0,25	0,68	1,04	1,23	1,56	2,07	2,64	3,09	3,89	4,22	6,61
$\frac{I_C}{mA}$	0,1515	0,3781	0,5204	0,5893	0,6823	0,7850	0,8570	0,8877	0,9102	0,9145	0,9306

Tabulka 4: $U_g = -3,05V$

$\frac{U_C}{V}$	0,35	0,98	1,41	1,91	2,24	2,60	3,04	3,39	4,12	4,32
$\frac{I_C}{mA}$	0,3232	0,8112	1,0773	1,3414	1,4818	1,6240	1,7645	1,8533	1,9875	2,0138

Tabulka 5: $U_g = 1,01V$

3.2 Statická převodní charakteristika tranzistoru

Hodnoty pracovního bodu:

$$U_C = 4,96V$$

$$U_g = 0V$$

$$I_C = 1,75mA$$

n	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{U_g}{V}$	1,55	3,41	4,54	6,16	7,47	8,58	9,75
$\frac{I_C}{mA}$	2,2441	2,8556	3,2264	3,7801	4,2158	4,5607	4,9427

Tabulka 6: Normalní polarita

n	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{U_g}{V}$	-0,50	-0,85	-1,46	-2,36	-3,07	-4,47	-5,33
$\frac{I_C}{mA}$	1,6092	1,5080	1,3324	1,0975	0,9244	0,6330	0,4815

Tabulka 7: Opačná polarita

3.3 Strmost, vnitřní odpor a zesilovací činitel

Pracovní bod:

$$U_c = 4,96V$$

$$I_C = 1,7532mA$$

$$U_g = 0V$$

$$S = 0,29 \frac{mA}{V} \text{ — Hodnoty z tabulky 6 a 7}$$

$$R_i = 10,56k\Omega \text{ — Hodnoty z tabulky 1}$$

Tabulka 8: Určení zesilovacího činitele μ

I_C	1,7585[mA]	1,7645[mA]	ΔI_C — bezpředmětné
U_g	0,04[V]	1,01[V]	$\Delta U_g = 0,97[V]$
U_C	5,21[V]	3,04[V]	$\Delta U_C = 2,17[V]$

$$\mu = 2,2371$$

$$D = 0,447$$

Ověření Barkhausenovy rovnice:

$$SR_i D = 1.3689$$

3.4 Dynamická strmost a napěťové zesílení

n	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{U_g}{V}$	0,52	1,65	3,17	4,43	6,11	7,81	9,29
$\frac{I_C}{mA}$	1,8694	2,0921	2,2266	2,3121	2,3943	2,4550	2,4970

Tabulka 9: Dynamická strmost a napěťové zesílení - Normalni polarita

n	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{U_g}{V}$	0,48	1,02	2,45	3,60	5,33	7,24	9,11
$\frac{I_C}{mA}$	1,6263	1,4499	1,0733	0,8212	0,4915	0,2294	0,0745

Tabulka 10: Dynamická strmost a napěťové zesílení - Opačná polarita

Dynamickou strmost a zesílení určíme podle vztahů:

$$S = 0,29 \frac{mA}{V}$$

$$R_z = 5k\Omega$$

$$R_i = 10,56k\Omega$$

$$S_d = \frac{dI_C}{dU_g} = \frac{S}{1 + \frac{R_z}{R_i}}$$

$$A = \frac{dU_C}{dU_g} = \frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R_z}} = -S_d R_z$$

Pokud dosadíme již dříve získané veličiny, dostaneme následující:

$$S_d = \frac{S}{1 + \frac{R_z}{R_i}} = \frac{0,29 \cdot 10^{-3}}{1 + \frac{5 \cdot 10^3}{10,5 \cdot 10^3}}$$

$$S_d = \frac{0,29 \cdot 10^{-3}}{1,47}$$

$$S_d = 0,197 \frac{mA}{V}$$

$$A = -S_d R_z = -0,197 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3$$

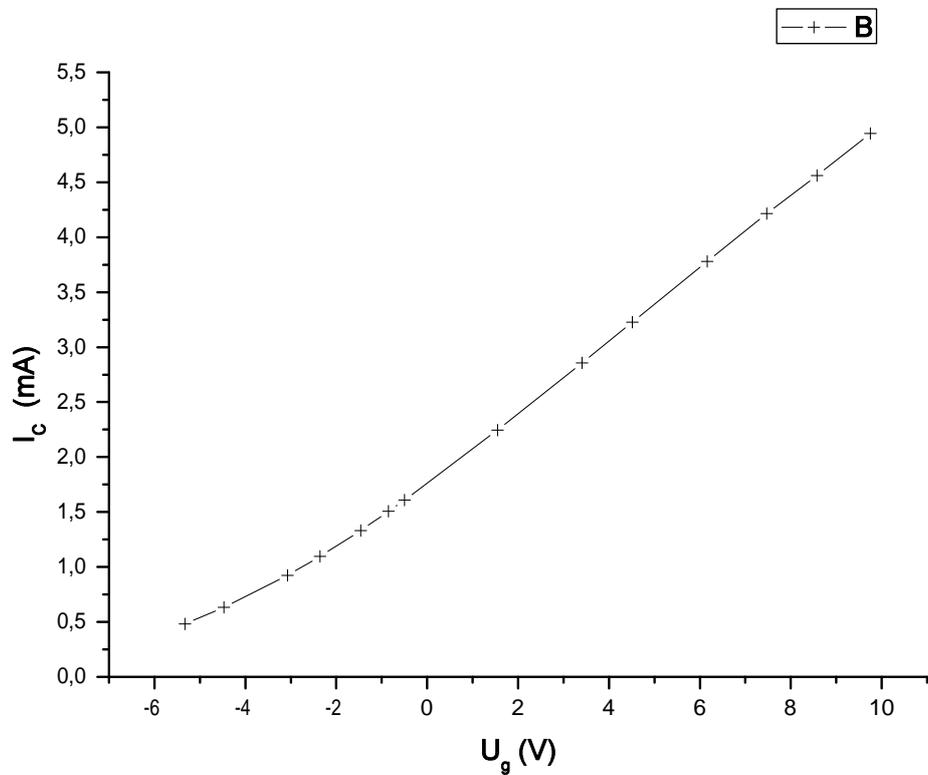
$$A = -0,197 \cdot 5$$

$$A = -0,985$$

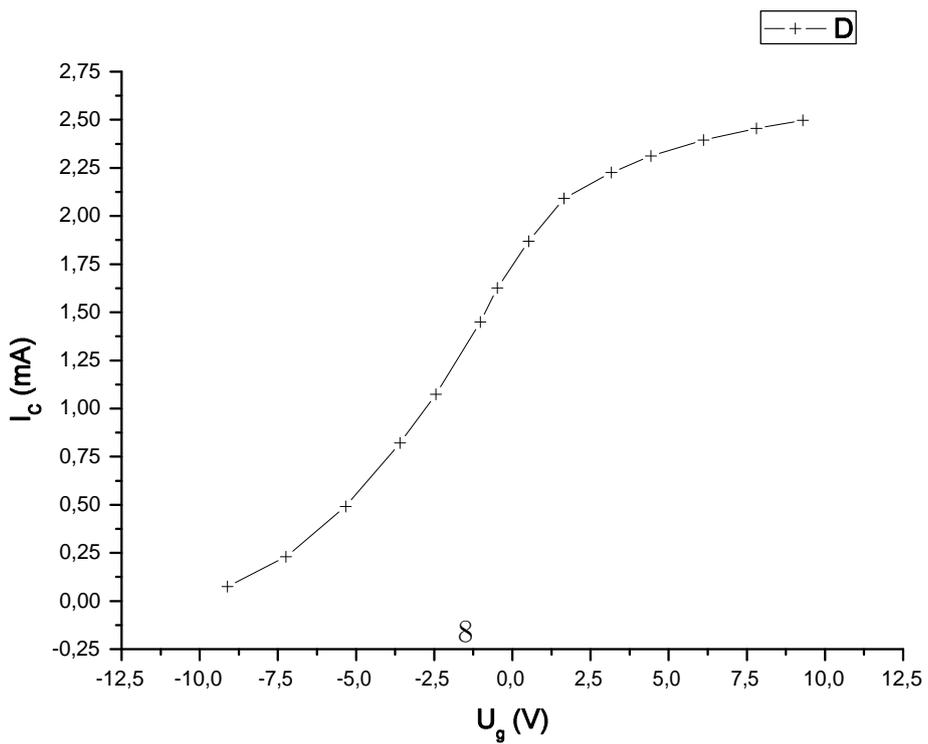
4 Závěr

Ve svém posledním protokolu jsem se zabýval studiem nelineárních prvků — jmenovitě tranzistoru. Mnou spočtené hodnoty se zdají být rozumnými, ačkoli Barkhausenovu rovnici nesplňují zcela přesně — od hodnoty 1 se liší o $+0,3689$. Chyby mohly být způsobeny nepřesnostmi v měření: čtení z přístrojů. Dále nebyl dokonalý (tvrdý) zdroj (takový ovšem ani neexistuje!).

Pro zvolený pracovní bod jsem spočítal strmost $S = 0,29 \frac{mA}{V}$; odpor $R_i = 10,56 k\Omega$; dynamickou strmost $S_d = 0,197 \frac{mA}{V}$ a zesilovací činitel $\mu = 2,2371$. Jak jsem psal výše, mnou naměřené hodnoty splňují i rovnici $SR_i D = 1$ dostatečně na to, abych toto měření považoval za úspěšné.



Obrázek 2: Statická převodní charakteristika



Obrázek 3: Dynamická převodní charakteristika