

## FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

**Zpracoval:** Ondřej Mikulaščík

**Naměřeno:** 12. prosince 2008

**Obor:** Astrofyzika **Ročník:** 2. **Semestr:** 3.

**Testováno:**

---

Úloha č. 2: Charakteristiky nelineárních prvků. Princip zesilovače napětí.

$T = 21,8 \text{ }^\circ\text{C}$

$p = 983 \text{ hPa}$

$\phi = 31 \text{ } \%$

### 1. Zadání

- Změřte ručně i pomocí PC výstupní charakteristiky unipolárního tranzistoru pro pět hodnot konstantního napětí na hradle.
- Změřte převodní charakteristiku pro jednu hodnotu konstantního 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.
- Sestavte zesilovač a změřte na něm napěťové zesílení.

### 2. Teorie

#### 2.1. Tranzistor

Tranzistor je polovodičová součástka, kterou tvoří dvojice přechodů PN. Jedná se o spojení dvou polovodičových diod v jedné součástce, většinu vlastností tranzistoru však dvojicí diod nahradit nelze. Tranzistor je základem všech dnešních integrovaných obvodů, jako např. procesorů, pamětí atd. O jeho významu svědčí například statistický údaj, podle nějž připadalo v roce 2002 na každého obyvatele planety 60 milionů nově vyrobených tranzistorů (většinou obsažených právě v integrovaných obvodech).

Každý tranzistor má (nejméně) tři elektrody, které se u bipolárních tranzistorů označují jako kolektor, báze a emitor, u unipolárních jako Drain, Gate a Source. Podle uspořádání použitých polovodičů typu P nebo N se rozlišují dva typy bipolárních tranzistorů, NPN a PNP (prostřední písmeno odpovídá bázi). Unipolární tranzistory jsou označovány jako N-FET nebo P-FET (Tranzistor řízený polem - Field Effect Transistor).

Tranzistor použitý v této úloze je typu MOSFET - (Metal Oxide Semiconductor FET) - polem řízený tranzistor, kde je vodivost kanálů mezi elektrodami Source a Drain ovládána elektrickým polem ve struktuře kov-oxid-polovodič. Tento tranzistor má možnost větší hustoty integrace, takže může být použit v integrovaných obvodech.

Tranzistor můžeme popsat třemi obecně nelineárními charakteristikami: vstupní charakteristikou, výstupní charakteristikou a převodní charakteristikou.

## 2.2. Charakteristiky tranzistoru

Kolektorový proud  $I_c$  protékající ze zdroje v obvodu mezi kolektorem a emitorem můžeme regulovat napětím na hradle  $U_G$ . Toto napětí může být kladné – kolektorový proud vzrůstá, nebo záporné – kolektorový proud se zmenšuje. Kolektorový proud závisí na kolektorovém napětí a na napětí hradla  $I_c = f(U_c, U_G)$ .

Závislost kolektorového (výstupního) proudu  $I_c$  na vstupním napětí hradla  $U_G$  je statická převodní charakteristika tranzistoru:  $I_c = f(U_G)$ ,  $U_c = \text{konst.}$  Derivace této charakteristiky se nazývá statická strmost tranzistoru  $S$ :

$$(1) \quad S = \left( \frac{\delta I_c}{\delta U_G} \right)_{U_c}$$

Závislost kolektorového (výstupního) proudu  $I_c$  na kolektorovém (výstupním) napětí  $U_c$  je výstupní charakteristika tranzistoru:  $I_c = f(U_c)$ , při  $U_G = \text{konst.}$

Derivace výstupní charakteristiky určuje vnitřní odpor tranzistoru  $R_i$ :

$$(2) \quad R_i = \left( \frac{\delta U_c}{\delta I_c} \right)_{U_G}$$

Podobně definujeme zesilovací činitel tranzistoru  $\mu$ :

$$(3) \quad \mu = \left( \frac{\delta U_c}{\delta U_G} \right)_{I_c}$$

Převrácená hodnota zesilovacího činitele je průnik:

$$(4) \quad D = \frac{1}{\mu}$$

Takto definované veličiny splňují Barkhausenovu rovnici:

$$(5) \quad S R_i D = 1$$

Pokud známe dva z těchto parametrů, třetí můžeme z této rovnice vypočítat. Na druhé straně nám tato rovnice umožňuje kontrolu správnosti určených parametrů.

Všechny tři parametry tranzistoru jsou veličiny diferenciální a protože tranzistor je nelineární prvek, jejich hodnota závisí na bodu charakteristiky, ve kterém derivaci provádíme, tj. na bodu, ve kterém tranzistor pracuje. Tento bod se nazývá pracovní bod tranzistoru a je určen trojicí hodnot  $I_{c0}$ ,  $U_{c0}$ ,  $U_{G0}$ .

Lze jej graficky určit z takzvané zatěžovací přímky pomocí vztahu odvozeného z Kirchhoffových zákonů:

$$(6) \quad I_c = \frac{E}{R_Z} - \frac{U_c}{R_Z}$$

kde  $E$  je konstantní elektromotorické napětí zdroje a  $R_Z$  odpor rezistoru sériově zapojeného do obvodu s tranzistorem. Ten zapojujeme do obvodu v případě, že chceme studovat funkci tranzistoru jako zesilovače. Dynamická strmost je definována jako:

$$(7) \quad S_D = \frac{dI_c}{dU_G} = \frac{S}{1 + \frac{R_Z}{R_i}}$$

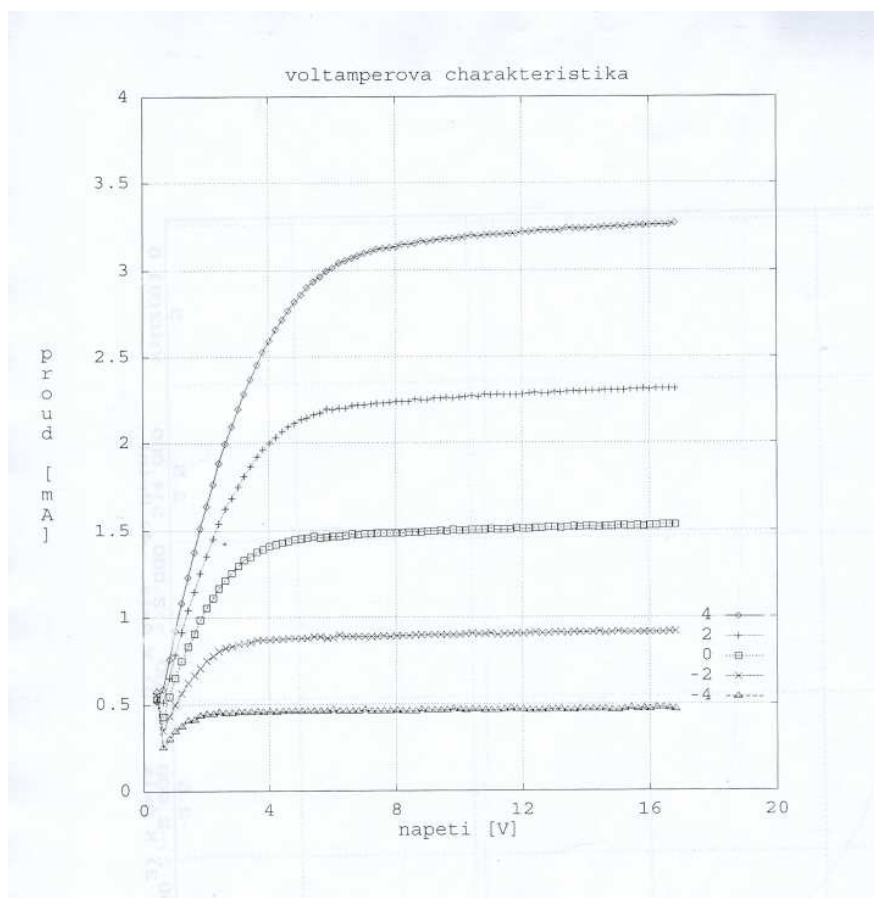
napětové zesílení je pak definováno jako:

$$(8) \quad A = \frac{dU_c}{dU_G} = \frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R_Z}} = -S_D R_Z$$

### 3. Měření

$U_c$ [V]	$I_c$ [mA]
0.50	0.445
1.01	0.824
1.50	1.400
2.02	1.418
2.99	1.786
4.01	2.025
4.84	2.123
5.97	2.191
8.03	2.234
10.08	2.257
12.13	2.276
13.90	2.285
16.05	2.298
18.06	2.307
20.0	2.315
22.0	2.321
24.0	2.329
26.0	2.336

Tabulka 1: Měření výstupní charakteristiky s konstantní hodnotou  $U_G = (2.0 \pm 0.2)$  V



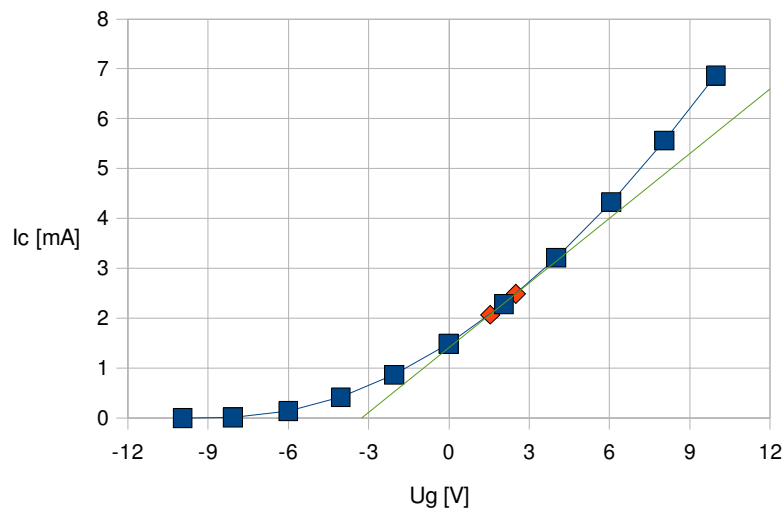
Graf 1: Výstupní charakteristika měřená pomocí PC

$U_g$ [V]	$I_c$ [mA]
-9,95	0,001
-8,07	0,015
-6,00	0,147
-4,04	0,424
-2,04	0,871
-0,01	1,488
2,05	2,289
4,01	3,213
6,06	4,331
8,05	5,563
9,97	6,865

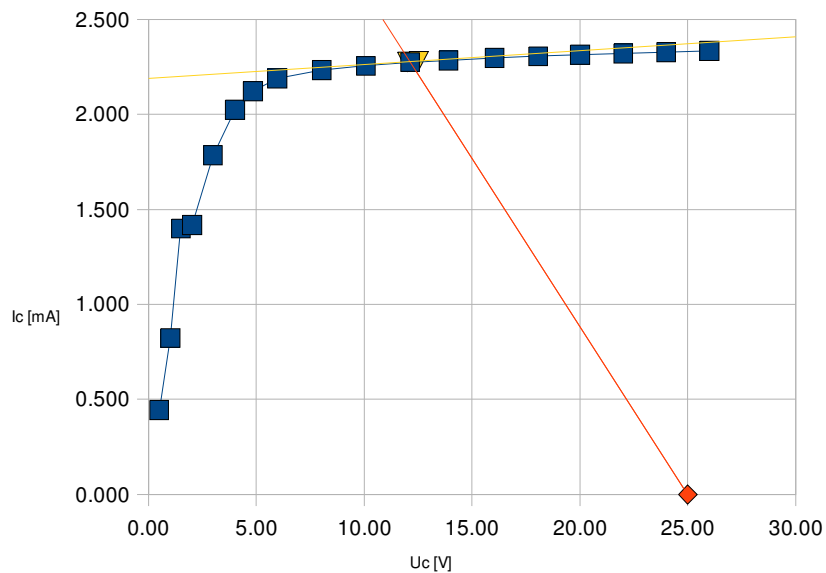
Tabulka 2: Měření statické převodní charakteristiky s konstantní hodnotou  $U_c = (12.00 \pm 0.02)$  V

V grafu 2 je zobrazena statická převodní charakteristika s tečnou v pracovním bodě, která určuje statickou strmost. V grafu 3 je zobrazena výstupní charakteristika se zatěžovací přímkou a tečnou, určující vnitřní odpor. Zatěžovací přímka je dána rovnicí (6). Do ní jsem dosadil hodnoty  $R_z = 5642 \Omega$ ,  $E = 25$  V.

Graf 2 - Statická převodní charakteristika



Graf 3 - Výstupní charakteristika



$U_G$ [V]	$U_C$ [V]	$I_C$ [mA]
2,01	11,98	2,279
	12,53	2,283
	11,50	2,273
2,50		2,489
1,54		2,074
2,99	3,76	

Tabulka 3: Měření kolem pracovního bodu k určení dynamické strmosti a napěťového zesílení.

## 4. Závěr

Strmost tranzistoru, určená ze vztahu (1), mi vyšla  $S = (3,89 \pm 0,24) \cdot 10^{-4} \Omega^{-1}$ .

Ze vztahu (2) určený vnitřní odpor tranzistoru je  $R_i = (107,89 \pm 7,32) \text{ k}\Omega$ .

Zesilovací činitel mi vyšel:  $\mu = (8,39 \pm 0,18)$ , tudíž  $D = 0,12$  a výsledek Barkhausenovy rovnice  $SR_i D = (5,00 \pm 0,47)$ .

Dynamickou strmost jsem vypočítal dle vztahu (7):  $S_D = (3,67 \pm 0,37) \cdot 10^{-4} \Omega^{-1}$ .

Napěťové zesílení mi vyšlo ze vztahu (8) jako  $A = (-7,65 \pm 1,3)$ , naměřené na osciloskopu bylo  $A = (-2,17 \pm 0,34)$ .

V této úloze jsem se dopustil té chyby, že jsem při měření v okolí pracovního bodu naměřil pouze jednu dvojici hodnot  $U_C$  a  $U_G$  při stálé hodnotě  $I_C$ . Dále jsem se pravděpodobně dopustil nějaké hrubé chyby při zpracování, díky které se mi nepovedlo ověřit Barkhausenovu rovnici a hodnotu napěťového zesílení. Připisuji to značné komplexitě této úlohy.