

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Lukáš Lejdar

Naměřeno: 26. listopadu 2024

Obor: F

Skupina: Út 16:00

Testováno:

Úloha č. 2:

Charakteristiky tranzistoru a tranzistor jako zesilovač napětí

$$T = 21,3\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 100,5\text{ kPa}$$

$$\varphi = 47\text{ \%}$$

1. Úvod

V úloze budu měřit charakteristiky unipolárního tranzistoru ve zvoleném pracovním bodě a v druhé části ho zapojím jako zesilovač napětí. Několika způsoby potom určím toto zesílení.

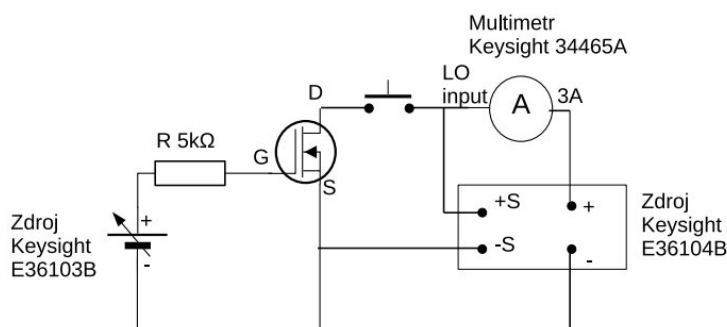
2. Postup měření

2.1. Výstupní a převodní charakteristika tranzistoru

Proud I_D tekoucí tranzistorem mezi jeho svorkami S (Source) a D (Drain) je určený hradlovým napětím U_G a napětím U_D mezi svorkami S a D .

$$I_D = f(U_D, U_G) \quad (1)$$

Pro měření této závislosti použiju obvod jako na obrázku 1. Na zdroji vlevo se nastavuje napětí U_G a zdroj vpravo řídí napětí U_D , které způsobí proud tekoucí ze svorky D skrz Ampermetr. Účelem kontaktů $+S$ a $-S$ je udržovat stejné napětí jako mezi kontakty $+$ a $-$, aby nebylo potřeba počítat s vnitřním odporem Ampermetru.



Obrázek 1: Zapojení pro měření charakteristik

Pokud se bude tranzistor používat jen v okolí některého pracovního bodu (U_{D0}, U_{G0}), je běžné funkci f aproximovat lineárně veličinami

$$S = \frac{\partial I_D}{\partial U_G}(U_{D0}, U_{G0}) \quad R_i = \frac{\partial U_D}{\partial I_D}(U_{D0}, U_{G0}). \quad (2)$$

R_i je potom vnitřní odpor tranzistoru a S se nazývá statická strmost. Další veličina, která se zavádí je zesilovací činitel

$$\mu = \left. \frac{\partial U_D}{\partial U_G} \right|_{I_D = \text{konst.}} \quad (3)$$

který se dá spočítat jako

$$\mu = SR_i \quad (4)$$

Zvolím si některý pracovní bod (U_{D0}, U_{G0}) a změřím charakteristiky $f(U_{D0}, U_G)$ a $f(U_D, U_{G0})$, ze kterých dopočítám zmíněné parametry.

2.2. Tranzistor jako zesilovač napětí

Na obrázku 2 je návrh obvodu pro zesílení vstupu U_1 střídavého nebo stejnosměrného napětí na výstup U_2 . Před měřením je ale potřeba na zesilovači nastavit napětí E a zatěžovací odpor R_z v závislosti na pracovním bodě. Pro můj účel bude dobré použít $E = 20$ V a R_z dopočítám z

$$R_z = \frac{E - U_{D0}}{I_{D0}} \quad (5)$$

Po nastavení zesilovače zapnu generátor střídavého napětí U_1 a budu měřit napětí na kolektoru U_2 . Zesílení signálu je v takovém případě definované amplitudami jako

$$A_M = \frac{U_{m2}}{U_{m1}} \quad (6)$$

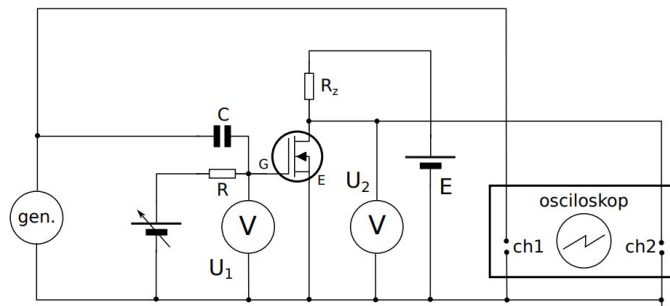
Teoreticky je toto zesílení vlastně jen úplná derivace U_D podle U_G . Jde odvodit, že zároveň platí

$$A_D = \frac{dU_D}{dU_G} = \frac{-\mu}{1 + \frac{R_i}{R_z}} = -S_d R_z \quad (7)$$

$$S_d = \frac{dI_D}{dU_G} = \frac{S}{1 + \frac{R_z}{R_i}} \quad (8)$$

Tuto derivaci můžu aproximovat i z měření v 1. části, pokud z grafů správně odečtu podle zatěžovací přímky (5) pro proměnné I_D a U_D .

$$A = \frac{\Delta U_D}{\Delta U_G} \quad (9)$$



Obrázek 2: Schéma zapojení pro měření vlastností zesilovače

3. Výsledky měření

3.1. Výstupní a převodní charakteristika transistoru

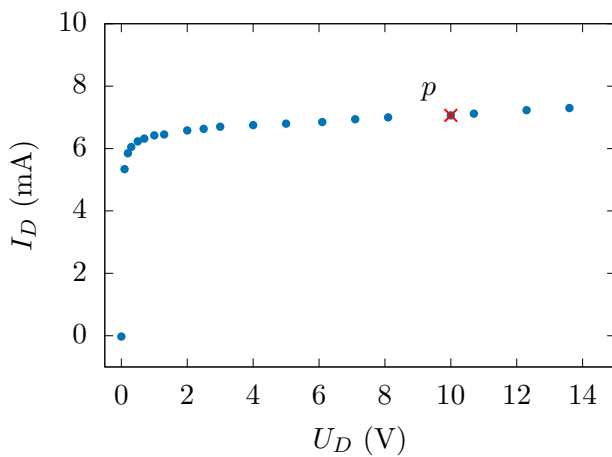
Sestavil jsem obvod podle obrázku 1 a změřil výstupní a převodní charakteristiku transistoru pro pracovní bod $(U_{D0}, U_{G0}) = (10 \text{ V}, 3.6 \text{ V})$. To stejné měření jsem ještě jednou provedl přesněji za pomoci počítače a výsledky vynesl do grafů 1, 2 a 3. Z lineárního fitu v okolí pracovního bodu jsem získal hodnoty

$$I_{D0} = 7.063 \text{ mA}$$

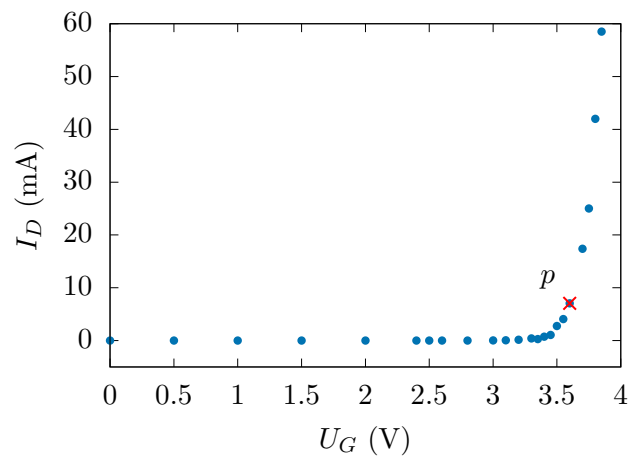
$$R_i = 18.9 \pm 2.8 \text{ k}\Omega$$

$$S = 0.0617 \pm 0.0041 \text{ }\Omega^{-1}$$

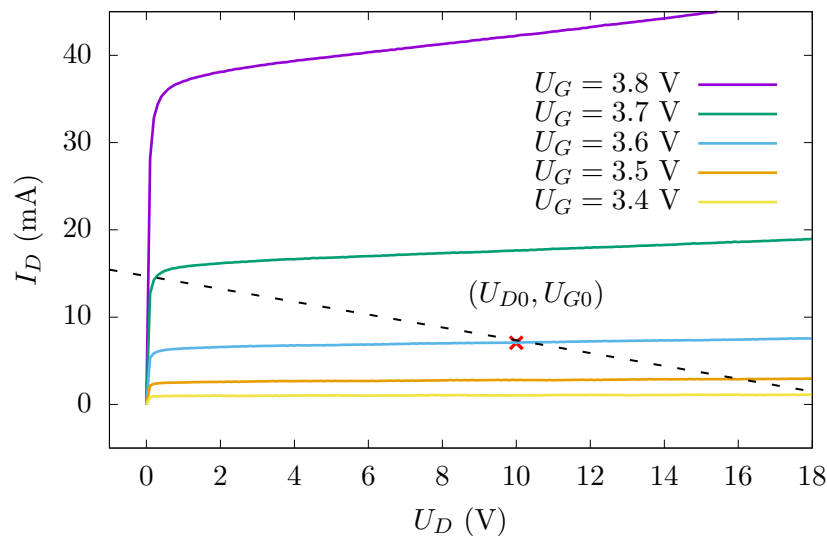
$$\mu = (1.17 \pm 0.19) \cdot 10^3$$



Graf 1: Výstupní charakteristika pro $U_G = 3.6 \text{ V}$



Graf 2: Převodní charakteristika pro $U_D = 10 \text{ V}$



Graf 3: Automatické měření výstupních charakteristik

3.2. Tranzistor jako zesilovač napětí

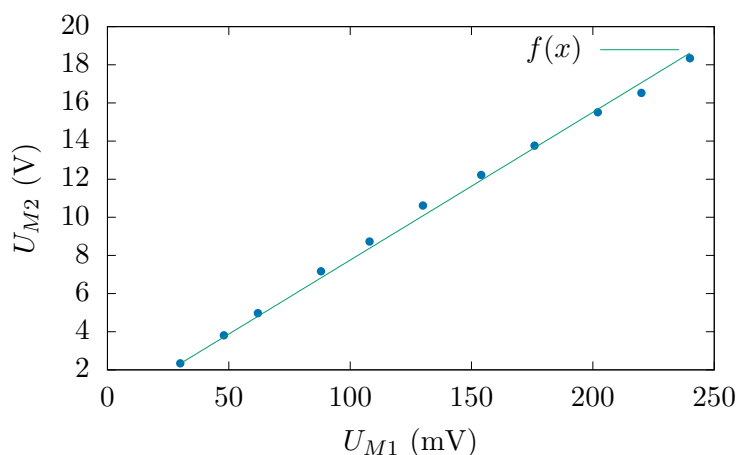
Sestavil jsem obvod podle obrázku 2 a pro několik vstupních napětí U_{m1} měřil zesílený signál U_{m2} . Amplitudy jsou vyneseny do grafu (4) a fit je přímkou, jejíž sklon je zesílení A_M . Toto zesílení jsem potom počítal i podle vztahu (7) z hodnot z první části měření a taky odečtením z grafu (3), kde se zatěžovací přímka protíná se sousedními hladinami $U_G = 3.7$ V a $U_G = 3.5$ V.

$$A_M = 77.5 \pm 0.6$$

$$A_G = 80.5 \pm 2$$

$$A_V = 78 \pm 4$$

$$S_d = 0.058 \pm 0.004 \Omega^{-1}$$



Graf 4: Závislost amplitud výstupního napětí na vstupním

4. Závěr

Změřil vstupní a výstupní charakteristiku tranzistoru v pracovním bodě $(U_{D0}, U_{G0}) = (10$ V, 3.6 V) a dopočítal vnitřní odpor $R_i = 18.9 \pm 2.8$ k Ω a statickou strmost $S = 0.0617 \pm 0.0041$ Ω^{-1} . Tyto hodnoty jsem potom použil při sestavování zesilovače napětí, na kterém jsem měřil zesílení střídavého signálu $A_M = 77.5 \pm 0.6$. Tato hodnota dobře odpovídá zesílení určeného z charakteristik $A_G = 80.5 \pm 2$ a $A_V = 78 \pm 4$.

Reference

- [1] Návod k úloze <https://www.physics.muni.cz/praktika/static/navody/fp2/uloha02.pdf>.