

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Teodor Duraković

Naměřeno: 7. října 2024

Obor: F

Skupina: Po 14:00

Testováno:

Úloha č. 2: Tranzistor a zesilovač napětí

$$T = 23.0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 985\text{ hPa}$$

$$\varphi = 43\text{ }^{\circ}$$

1. Zadání

- Změřit převodní a výstupní charakteristiku tranzistoru.
- Z charakteristik určit parametry tranzistoru S, R_i, μ ve zvoleném pracovním bodě.
- Zvolit napájecí napětí E a zatěžovací odpor R_Z .
- Pozorovat vliv amplitudy střídavého napětí generátoru na tvar výstupního napětí.
- Vypočítat zesílení A_V a A_G .

2. Úvod

Unipolární tranzistor je prvek nelineární, jeho odpor se tudíž neřídí Ohmovým zákonem a jeho voltampérová charakteristika je nelineární. Voltampérovou charakteristiku lze u tohoto typu tranzistoru ovlivňovat napětím hradla (gatu). Tento prvek lze popsat třemi obecně nelineárními charakteristikami: Vstupní, výstupní a převodní charakteristikou.

V této úloze vybereme unipolární tranzistor, u kterého změříme převodní a výstupní charakteristiky a z nich pak určíme parametry tranzistoru. Dále pak sestavíme z tranzistoru napěťový zesilovač a změříme jeho napěťové zesílení. To pak porovnáme se zesílením vypočteným z naměřených charakteristik.

3. Postup, metody měření

Proud I_D protékající ze zdroje v obvodu mezi drain (D) a source (S) lze regulovat napětím na

hradle (gatu) U_G . Při použití tranzistoru jako zesilovače se při provozu pohybujeme v okolí určitého pracovního bodu (hodnoty napětí na hradle U_G a drain U_D se mění jen v omezeném rozsahu). Nelineární charakteristiku pak můžeme aproximativně linearizovat. Zavádíme tak veličiny strmost, vnitřní odpor a zesilovací činitel, které však závisí na zvoleném pracovním bodě. Pracovní bod P definujeme pomocí dvojice hodnot: napětí na hradle U_{G0} na drainu U_{D0} . Proud v tomto pracovním bodě označíme I_{D0} . Derivace převodní charakteristiky podle hradlového napětí U_G se nazývá statická strmost tranzistoru S

$$S = \left. \frac{\partial I_D}{\partial U_G} \right|_{U_D = \text{konst.}} \quad (1)$$

Nejlépe ji určíme jako směrnici přímký proložené několika body v okolí pracovního bodu P . Použijeme alespoň dva body na každou stranu od pracovního bodu, tedy celkem alespoň pět bodů. Použijeme-li více bodů bude výsledek méně ovlivněn šumem v experimentálních datech, prokládaný interval je však třeba zvolit tak, aby se v něm naměřená charakteristika příliš neodchylovala od lineární závislosti. Převrácená hodnota derivace výstupní charakteristiky podle napětí na drainu je rovna vnitřnímu odporu tranzistoru R_i :

$$R_i = \left. \frac{\partial U_D}{\partial I_D} \right|_{U_G = \text{konst.}} \quad (2)$$

který určíme obdobným způsobem jako strmost, tedy proložením přímký výstupní charakteristikou v okolí pracovního bodu P . Dalšími uží-

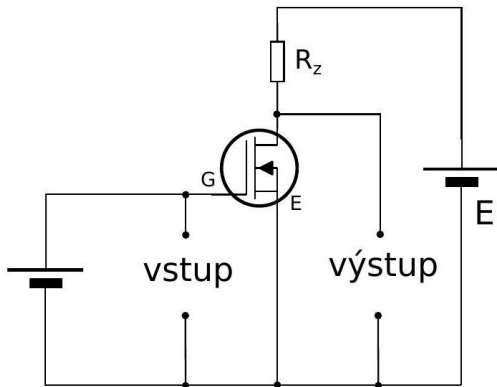
vanými charakteristikami tranzistoru v pracovním bodě jsou zesilovací činitel tranzistoru μ :

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

Takto definované veličiny splňují Barkhausenovu rovnici

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

Známe-li dva z těchto parametru, třetí můžeme z rovnice vypočítat. To použijeme pro kalkulaci hodnoty zesilovacího činitele, jelikož měření charakteristiky s konstantním proudem je experimentálně obtížné a tato data nemáme k dispozici. K měření uvedených závislostí tranzistor zapojíme dle obrázku 1:



Obrázek 1: Zapojení tranzistoru

3.1. Tranzistor jako zesilovač napětí

Při zapojení tranzistoru jako zesilovače napětí je důležitý i zatěžovací/pracovní odpor R_z . Na zapojení uvedené na obr. 1 můžeme hledět jako na napěťový dělič, kdy napětí na tranzistoru U_D a odporu $R_z I_D$ v součtu dávají napětí zdroje E . Zvýšením napětí na hradle vzroste proud tranzistorem, což můžeme interpretovat jako pokles jeho odporu. Platí formule

$$E - I_D R_z - U_D = 0, \quad (5)$$

kterou můžeme upravit na

$$R_z = \frac{E - U_{D0}}{I_{D0}} \quad (6)$$

Tuto formuli použijeme pro nastavení zesilovače do zadaného pracovního bodu, kde je potřeba zvolit E , resp. R_z . Platí, že největšího napěťového zesílení dosáhneme, pokud bude napětí zdroje E rovno

zhruba dvojnásobku hodnoty U_{D0} . Protože máme k dispozici změřenou sadu výstupních charakteristik tranzistoru, můžeme zesílení určit také graficky. Nejprve rovnici 2.12 přepíšeme do tvaru tzv. zatěžovací přímky

$$I_D = \frac{E - U_D}{R_z} \quad (7)$$

která vyjadřuje závislost proudu protékajícího rezistorem na výstupním napětí U_D . Tento proud musí být shodný s proudem I_D tekoucím tranzistorem vyjádřeným funkcí (2.9). Zakreslíme-li zatěžovací přímku do grafu výstupních charakteristik, budou průsečíky zatěžovací přímky s výstupními charakteristikami parametrizovanými hradlovým napětím U_G určovat závislost napětí na výstupu zesilovače U_D na vstupním napětí U_D v okolí pracovního bodu P , tj. U_{D0}, I_{D0} . Pomocí této konstrukce můžeme také určit zesílení tranzistorového zesilovače.

$$A_G = \frac{\Delta U_D}{\Delta U_G} \quad (8)$$

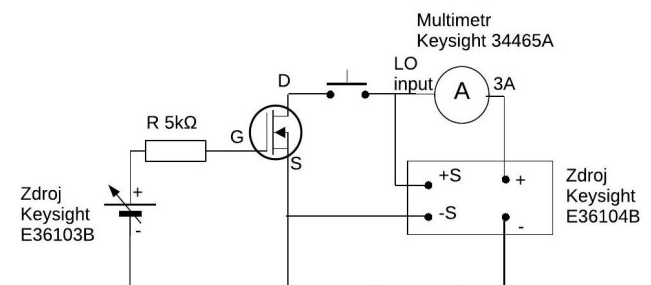
Při zesílení signálu z generátoru střídavého napětí získáme hodnotu zesílení jako podíl amplitud výstupního a vstupního napětí:

$$A_M = \frac{u_{m2}}{u_{m1}} \quad (9)$$

Zesílení tranzistoru A_V získáme formulí:

$$A_V = \frac{SR_z}{1 + \frac{R_i}{R_z}} \quad (10)$$

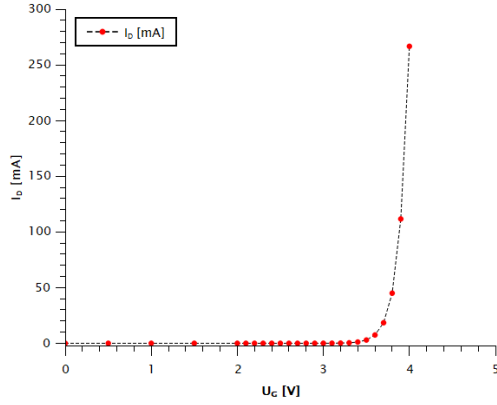
4. Měření



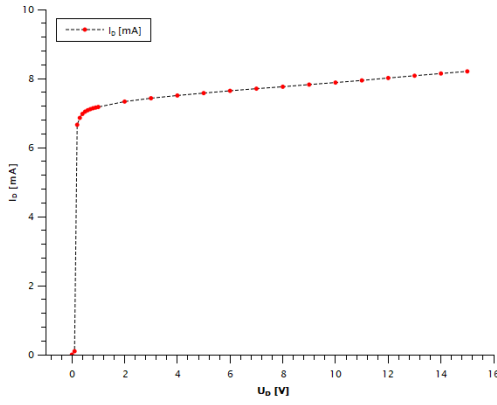
Obrázek 2: Zapojení pro měření statických charakteristik.

Dle Obr. 2. zapojíme měřicí přístroje a ostatní komponenty. Ručně změříme jednu převodní charakteristiku při $U_D = \text{const.} = 10V$ a jednu vý-

stupní charakteristiku při $U_G = \text{const.} = 3.6V$. Získáváme:



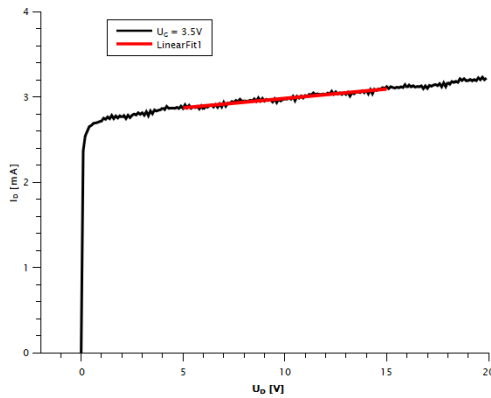
Obrázek 3: Převodní charakteristika při $U_D = 10V$



Obrázek 4: Výstupní charakteristika při $U_G = 3.6V$

Ze zadání vyučujícího jako pracovní bod uvažujeme hodnoty:

$$U_{G0} = 3.5V, U_{D0} = 10V, I_{D0} = 2.92mA \quad (11)$$



Obrázek 5: Výstupní charakteristika při $U_G = 3.5V$

V obrázku 5 jsme aproximovali vnitřní odpor tranzistoru. V souladu s formulí (2) lze odpor lineárně aproximovat v okolí pracovního bodu, tedy v saturační oblasti výše křivky na obr. 5. Získáváme hodnotu odporu:

$$R_i = 45.2 \pm 1.3k\Omega$$

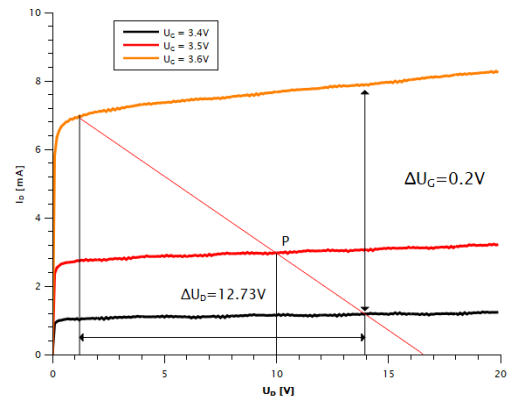
Užitím formule (1) podobným postupem na závislosti U_G na I_D při $U_D = 10V$ získáváme hodnotu strmosti tranzistoru S :

$$S = 29.3 \pm 0.5m\Omega^{-1},$$

z čehož prostřednictvím Barkhausenovy formule získáváme i zesilovací činitel μ :

$$\mu = (1.32 \pm 0.04) \cdot 10^3$$

Z dat získaných počítačovým měřením vytvoříme graf výstupní charakteristiky a graficky spočítáme hodnotu zesílení A_G :

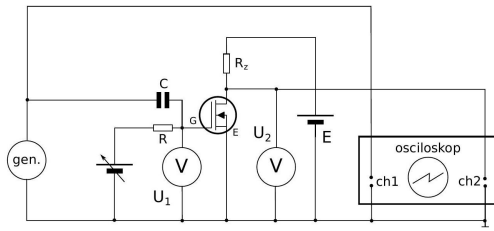


Obrázek 6: Výstupní charakteristika s hodnotami ΔU_G a ΔU_D

Použitím formule (8) získáváme hodnotu zesílení

$$A_G = 66.4$$

4.1. Tranzistor jako zesilovač napětí



Obrázek 7: Zapojení pro měření vlastností zesilovače

Pro měření vlastností zesilovače použijeme zapojení dle Obr. 6, v souladu s formulí (6) a pracovním bodem (11) získáme hodnotu zatěžovacího odporu, přičemž uvažujeme s napětím zdroje E o dvojnásobné hodnotě U_{D0} . Získáváme odpor $R_z = 3.4 \text{ k}\Omega$. Na generátoru generujeme sinusový signál o různých frekvencích a pozorujeme, jak se mění hodnota vstupní a výstupní amplitudy:

f [kHz]	U_{m1} [V]	U_{m2} [mV]
0.25	14.4	214
0.5	14.8	212
1	14.8	212
1.5	14.8	212
2	14.8	214

Pozorujeme, že jsou hodnoty amplitud nezávislé na frekvenci signálu. Hodnotu zesílení získáme použitím formule (9):

$$A_D = 69.2 \pm 0.4$$

Hodnotu zesílení zesilovače získáme užitím formule (10):

$$A_V = 6.97 \pm 0.22 \quad (12)$$

5. Závěr

Podařilo se nám splnit veškeré zadané úkoly a získat hodnoty hledaných veličin, přičemž vše bylo v souladu s předpokládaným chováním tranzistoru.