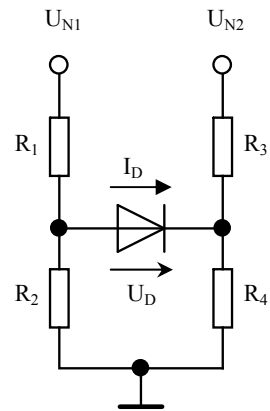


Elektronické součástky – písemná práce č. 4

1. příklady

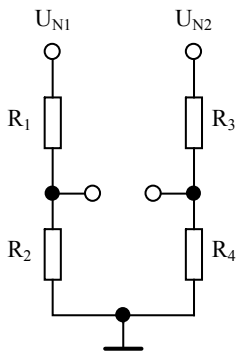
Příklad č. 1 (max. 5 bodů)

- vypočítejte napětí na diodě a proud procházející křemíkovou diodou s prahovým napětím 0,7V (viz. schéma zapojení). Napájecí napětí $U_{N1} = 15V$, $U_{N2} = 10V$. Rezistory $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10k\Omega$.
- U stejného zapojení vypočítejte hodnotu rezistoru R_4 , aby diodou neprocházel žádný proud (všechny hodnoty zůstávají stejné, mimo R_4).



Řešení:

- Nejprve uvažujme zapojení bez diody



Nahradíme odporové děliče „zdroji“. Tedy spočítáme jejich náhradní parametry (napětí naprázdno a vnitřní odpory).

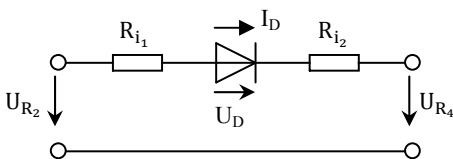
$$U_{R_2} = U_{N1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 15 \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3} = 7,5V$$

$$U_{R_4} = U_{N2} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 10 \cdot \frac{10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3} = 5V$$

$$R_{i_1} = R_1 || R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3} = 5k\Omega$$

$$R_{i_2} = R_3 || R_4 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3} = 5k\Omega$$

- Diodu zapojíme zpět a děliče nahradíme spočítanými zdroji



Napětí na diodě U_D je stejné s prahovým napětím diody tedy:

$$U_D = 0,7V$$

$$I_D = \frac{U_{R_2} - U_D - U_{R_4}}{R_{i_1} + R_{i_2}} = \frac{7,5 - 0,7 - 5}{5 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3} = 180\mu A$$

- Aby diodou netekl žádný proud, musí na ni být menší napětí než je prahové napětí. Navíc, když diodou nebude procházet proud, děliče budou nezátížené. Můžeme tedy počítat bez diody.

Napětí na diodě tedy musí být:

$$U_D = U_{R_2} - U_{R_4} < 0,7 \Rightarrow U_{R_4} > U_{R_2} - 0,7$$

$$U_{R_2} = 7,5V$$

$$U_{R_4} > 7,5 - 0,7$$

$$U_{R_4} > 6,8V$$

$$U_{R_3} = U_{N2} - U_{R_4} = 10 - 6,8 = 3,2V$$

$$I_{R_3} = I_{R_4} = \frac{U_{R_3}}{R_3} = \frac{3,2}{10 \cdot 10^3} = 320 \mu A$$

$$R_4 = \frac{U_{R_4}}{I_{R_4}} = \frac{6,8}{320 \cdot 10^{-6}} = 21250 \Omega$$

$$R_4 > 21250 \Omega$$

Příklad č. 2 (max. 5 bodů)

Zapojení křemíkového tranzistoru se Zenerovou diodou má tyto parametry

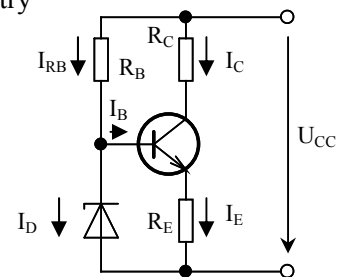
součástek: $U_{CC} = 15V$, $R_B = 3,3k\Omega$, $R_C = 1,2k\Omega$, $R_E = 1,6k\Omega$, napětí

$U_{BE} = 0,7V$, $\beta = 150$.

Parametry Zenerovy diody: $U_Z = 5V$, $r_d = 0\Omega$.

Určete:

- Polohu pracovního bodu P_0
- Proud diodou I_D
- Proud I_{RB} tekoucí odporem R_B
- Určete o jaké speciální zapojení tranzistoru se jedná



Řešení:

Zenerova dioda má nulový „vnitřní“ odpor ($r_d = 0\Omega$), proto nemá protékající proud vliv na velikost napětí na diodě. Proto:

$$I_{RB} = \frac{U_{CC} - U_Z}{R_B} = \frac{15 - 5}{3,3 \cdot 10^3} = 3,03mA$$

$$U_Z = U_{BE} + R_E \cdot I_E \Rightarrow I_E = \frac{U_Z - U_{BE}}{R_E} = \frac{5 - 0,7}{1,6 \cdot 10^3} = 2,69mA$$

$$I_E = I_C + I_B = \beta \cdot I_B + I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_E}{1 + \beta} = 17,81 \mu A$$

$$I_D = I_{RB} - I_B = 2,69 \cdot 10^{-3} - 17,81 \cdot 10^{-6} = 2,672mA$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 2,67mA$$

$$U_{CC} = I_C \cdot R_C + U_{CE} + I_E \cdot R_E \Rightarrow U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C - I_E \cdot R_E = U_{CC} - I_B \cdot \beta \cdot R_C - I_E \cdot R_E$$

$$= 15 - 17,81 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 1,2 \cdot 10^3 - 2,69 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^3 = 7,49V$$

a)

$$P_0 = [I_B = 17,81 \mu A; U_{CE} = 7,49V; I_C = 2,67mA]$$

b)

$$I_D = 2,672mA$$

c)

$$I_{RB} = 3,03mA$$

d)

Zapojení tranzistoru se stabilizátorem ve vstupní části. Nebo také s kompenzací teploty, Zenerova dioda má zápornou teplotní závislost, kdežto tranzistor má kladnou.

Příklad č. 3 (max. 10 bodů)

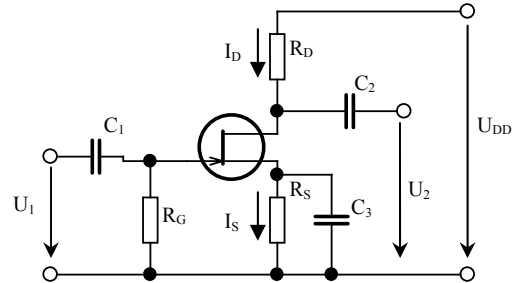
Na obrázku je schéma tranzistoru JFET s těmito parametry obvodových prvků:

$U_{DD} = 15V$, $R_D = 2,4k\Omega$, $R_S = 0,47k\Omega$, $R_G = 1M\Omega$.

Parametry tranzistoru: $I_{DS} = 5mA$, $U_P = -3V$, $g_d = 10\mu S$

Určete:

- a) polohu pracovního bodu
- b) strmost tranzistoru v pracovním bodě



Řešení:

- a) poloha pracovního bodu

Výpočet U_{GS} pomocí smyčky R_G – přechod GS tranzistoru – R_S . Do G tranzistoru neteče „žádný“ proud a ani rezistorem R_G neteče proud a proto je na něm nulový úbytek napětí, tedy na G tranzistoru je 0V.

Pro výpočet se použije všeobecný vztah pro I_D :

$$I_D = I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2$$

$$0 = U_{GS} + I_D \cdot R_S = U_{GS} + R_S \cdot I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2 = U_{GS} + R_S \cdot I_{DS} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{U_{GS}}{U_P} + \frac{U_{GS}^2}{U_P^2}\right)$$

$$= U_{GS} + R_S \cdot I_{DS} - 2 \cdot R_S \cdot I_{DS} \cdot \frac{U_{GS}}{U_P} + R_S \cdot I_{DS} \cdot \frac{U_{GS}^2}{U_P^2}$$

$$\frac{R_S \cdot I_{DS}}{U_P^2} \cdot U_{GS}^2 + \left(1 - 2 \cdot R_S \cdot \frac{I_{DS}}{U_P}\right) \cdot U_{GS} + R_S \cdot I_{DS} = 0$$

- Řešení pomocí kvadratické rovnice

$$D = \left(1 - 2 \cdot R_S \cdot \frac{I_{DS}}{U_P}\right)^2 - 4 \cdot \frac{R_S \cdot I_{DS}}{U_P^2} \cdot R_S \cdot I_{DS} = \left(1 - 2 \cdot 470 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-3}}{-3}\right)^2 - 4 \cdot \frac{470 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{(-3)^2} \cdot 470 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$$

$$= 4,133$$

$$U_{GS_{1,2}} = \frac{-\left(1 - 2 \cdot R_S \cdot \frac{I_{DS}}{U_P}\right) \pm \sqrt{D}}{2 \cdot \frac{R_S \cdot I_{DS}}{U_P^2}} = \frac{-\left(1 - 2 \cdot 470 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-3}}{-3}\right) \pm \sqrt{4,133}}{2 \cdot \frac{470 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{(-3)^2}} = \begin{matrix} U_{GS_1} = -1,02V \\ U_{GS_2} = -8,81V \end{matrix}$$

Musí být splněna tato podmínka: $U_P \leq U_{GS}$ a této podmínce vyhovuje pouze U_{GS_1}

$$U_{GS} = -1,02V$$

Pro výpočet I_D stačí dosadit:

$$I_D = I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{-1,02}{-3}\right)^2 = 2,178mA$$

Výpočet U_{DS} ze smyčky: svorka U_{DD} – R_D – přechod DS tranzistoru – rezistor R_S :

$$I_S = I_D$$

$$U_{DD} = R_D \cdot I_D + U_{DS} + R_S \cdot I_D \Rightarrow U_{DS} = U_{DD} - R_D \cdot I_D - R_S \cdot I_D \\ = 15 - 2,4 \cdot 10^3 \cdot 2,178 \cdot 10^{-3} - 470 \cdot 2,178 \cdot 10^{-3} = 8,75V$$

$$P = [U_{GS} = -1,02V; I_D = 2,178mA; U_{DS} = 8,75V]$$

b) strmost tranzistoru

$$I_D = I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2$$

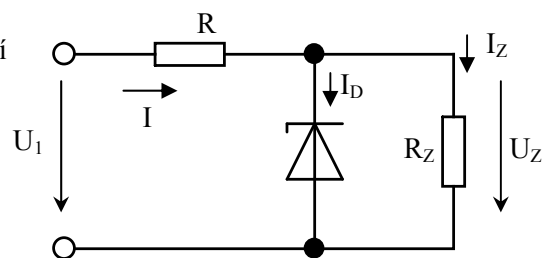
$$\frac{dI_D}{dU_{GS}} = 2 \cdot I_{DS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right) \cdot \left(-\frac{1}{U_P}\right) = 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{-1,02}{-3}\right) \cdot \left(-\frac{1}{-3}\right) = 2,2mS$$

Příklad č. 4 (max. 10 bodů)

Navrhněte stabilizátor napětí zapojený podle schématu. Vstupní napětí $U_1 = 15V$ a mění se o $\Delta U_1 = 1V$. Vstupní napětí kolísá v intervalu $U_1 \pm \Delta U_1$ a zatěžovací proud se mění od nuly ($I_{Zmin} = 0mA$) do nejvyšší možné hodnoty (I_{Zmax}), kterou máte určit.

Parametry diody:

$$U_Z = 7V, r_d = 0\Omega, I_{Dmin} = 1mA, I_{Dmax} = 12mA$$



Řešení:

Největší proud bude protékat při nejvyšším vstupním napětí.

Úbytek na odporu tedy bude:

$$U_R = U_1 + \Delta U_1 - U_Z = 15 + 1 - 7 = 9V$$

Při odpojené zátěži bude proud diodou maximální a hodnota odporu je:

$$R = \frac{U_R}{I_{Dmax}} = \frac{9}{12 \cdot 10^{-3}} = 750\Omega$$

Maximální proud zátěží je třeba počítat při nejmenším vstupním napětí:

$$U_{in} = U_1 - \Delta U_1 = 15 - 1 = 14V$$

$$I_{Zmax} = \frac{U_{in} - U_Z}{R} - I_{Dmin} = \frac{14 - 7}{750} - 1 \cdot 10^{-3} = 8,33mA$$

- Kdybychom počítali proud při max. vstupním odporu tak by při nižším vstupním napětí byl větší úbytek napětí na odporu a tím by dioda přestala stabilizovat.

2. Teoretické otázky

Odpověď na otázku zpravidla obsahuje:

schéma, voltampérovou charakteristiku (označení os, parametrů, ...), matematický vztah, popis (princip) funkce

1. Nakreslete nejjednodušší schéma zesilovače složeného z diskretních součástí a vysvětlete jeho funkci (**max. 10 bodů**)
2. Odvoďte proudový zesilovací činitel nakrátko α a β . (**max. 5 bodů**)
3. Odvoďte vztah pro zbytkový kolektorový proud bipolárního tranzistoru v zapojení se společným emitorem $I_{CE0} = I_{CB0}(1 + \beta)$. Vztah zakreslete do výstupních charakteristik. (**max. 10 bodů**)

4. Napište linearizované admitanční rovnice dvojhranu, upravte je pro tranzistor JFET v zapojení a nakreslete náhradní schéma JFET pomocí těchto upravených rovnic. **(max. 5 bodů)**