

2. Neka je na početku $v_G = 0 \text{ V}$. Tada su obe diode isključene, a kako nema struje kroz otpornik R_2 , to je i napon $v_X = 0 \text{ V}$.

Ako v_G raste, napon direktne polarizacije zener diode raste i kada postane jednak $v_D = 1 \text{ V}$, zener dioda će provesti u režimu direktne polarizacije. To se dešava za $v_G = V_D = 1 \text{ V}$. Sada za napon v_X važi:

$$v_X = (v_G - V_D) \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2} v_G - \frac{1}{2} \text{ V}.$$

Očigledno je da ako napon na ulazu dalje raste dioda D_1 postaje inverzno polarisana i za dalji porast napona na ulazu, ona ostaje isključena. Takođe, sa porastom napona na ulazu, struja zener diode raste, pa ona ostaje uključena, stoga se daljim povećavanjem ulaznog napona neće izazvati nikakve promene u kolu.

Vratimo se sada na početak kada je bilo $v_G = 0 \text{ V}$.

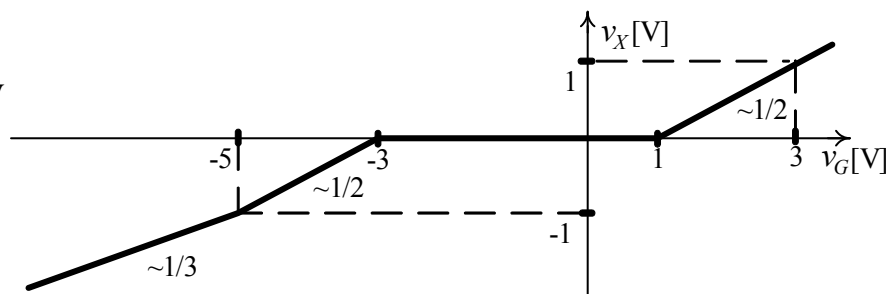
Ako v_G pada, napon inverzne polarizacije zener diode raste, pa će za $v_G = -V_Z = -3 \text{ V}$ zener dioda provesti u probiju. Sada za napon v_X važi: $v_X = (v_G + V_Z) \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2} v_G + \frac{3}{2} \text{ V}$.

Daljim padom napona na ulazu, iz prethodnog izraza se vidi da opada i napon v_X što dovodi do rasta napona direktne polarizacije diode D_1 . Pri $v_X = -V_D = -1 \text{ V}$, tj. za $v_G = 2 \left(v_X - \frac{3}{2} \text{ V} \right) = -5 \text{ V}$, provešće dioda D_1 . Dalje se v_X može odrediti superpozicijom:

$v_X = (v_G + V_Z) \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} - V_D \frac{R_1 \parallel R_2}{R_3 + R_1 \parallel R_2} = \frac{1}{3} v_G + \frac{2}{3} \text{ V}$. Daljim smanjenjem ulaznog napona, pada i napon v_X , pa dioda D_1 ostaje uključena, a zener dioda ostaje u probojnom režimu.

Dakle:

$$v_X = \begin{cases} \frac{1}{3} v_G + \frac{2}{3} \text{ V, za } v_G < -5 \text{ V} \\ \frac{1}{2} v_G + \frac{3}{2} \text{ V, za } -5 \text{ V} < v_G < -3 \text{ V} \\ 0 \text{ V, za } -3 \text{ V} < v_G < 1 \text{ V} \\ \frac{1}{2} v_G - \frac{1}{2} \text{ V, za } v_G > 1 \text{ V} \end{cases}$$



3. a) Struja potrošača u mirnoj radnoj tački, kada je $V_P = 5 \text{ V}$, iznosi

$$I_P = \frac{V_P}{R_P} = 10 \text{ mA}.$$

Na osnovu kola sa slike 3 može se pisati

$$I_P = I_E + I_{RB}$$

Uz pretpostavku da tranzistor radi u aktivnom režimu dobija se

$$I_P = (1 + \beta) I_B + I_{RB} = (1 + \beta) I_B + \frac{V_{BE}}{R_B}$$

Struju koja teče kroz otpornik R_B i bazu tranzistora obezbeđuje strujni izvor pa se može pisati

$$I_B = I_0 - I_{RB} = I_0 - \frac{V_{BE}}{R_B}.$$

Kombinacijom prethodna dva izraza dobija se

$$I_P = \frac{V_P}{R_P} = (1 + \beta) \left(I_0 - \frac{V_{BE}}{R_B} \right) + \frac{V_{BE}}{R_B},$$

Odakle se dobija tražena otpornost

$$R_B = \frac{\beta V_{BE}}{(1 + \beta) I_0 - \frac{V_P}{R_P}} = 854 \Omega.$$

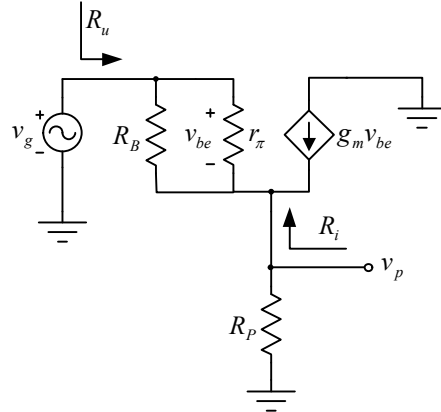
b) Na osnovu ekvivalentnog kola pojačavača za male signale prikazanog na slici 3.1 može se pisati:

$$\frac{v_p}{R_P} - g_m v_{be} + \frac{v_p - v_g}{R_B \parallel r_\pi} = 0,$$

$$v_{be} = v_g - v_p,$$

odakle sledi

$$A_v = \frac{v_p}{v_g} = \frac{g_m + 1/R_B \parallel r_\pi}{1/R_P + g_m + 1/R_B \parallel r_\pi}.$$



Slika 3.1

Strujno pojačanje pojačavača je

$$A_i = \frac{i_p}{i_u} = \frac{v_p / R_P}{v_{be} / (R_B \parallel r_\pi)} = \frac{v_p / R_P}{(v_g - v_p) / (R_B \parallel r_\pi)}.$$

Kada se iskoristi ranije izvedeni izraz za naponsko pojačanje, dobija se izraz za strujno pojačanje

$$A_i = \frac{A_v v_g (R_B \parallel r_\pi)}{(v_g - A_v v_g) R_P} = \frac{R_B \parallel r_\pi}{R_P} \frac{A_v}{1 - A_v}.$$

Na slici 3.2 prikazano je ekvivalentno kolo za određivanje izlazne otpornosti koja se "vidi" kada se gleda u emitor tranzistora, pri čemu je

$$R_i = \frac{v_t}{i_t} = \frac{v_t}{-g_m v_{be} - v_{be} / r_\pi}.$$

S obzirom da je

$$v_{be} = -v_t,$$

dobija se

$$R_i = \frac{R_B \parallel r_\pi}{1 + g_m R_B \parallel r_\pi},$$

c) Na osnovu izraza iz tačke (a) dobija se struja kolektora tranzistora u mirnoj radnoj tački

$$I_C = \beta I_B = \beta \left(I_0 - \frac{V_{BE}}{R_B} \right)$$

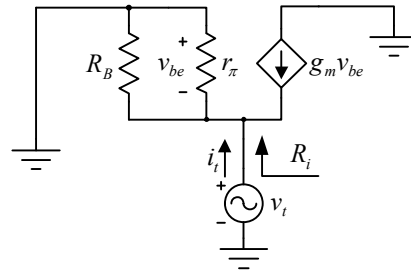
$$I_C = 9 \text{ mA},$$

te se mogu odrediti vrednosti parametara modela tranzistora za male signale u mirnoj radnoj tački

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 0.36 \text{ S},$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = 138 \Omega.$$

Vrednosti parametara pojačavača su



Slika 3.2

$$A_v = 0.9946, R_i = 2.7 \Omega, A_i = 44.$$

4. Tranzistor M2 je uvek u zasićenju, jer važi

$$v_{SD2} > v_{SG2} - |V_{t2}|$$

Kroz oba tranzistora teče ista struja

$$i_{D1} = i_{D2}.$$

Ako je tranzistor M1 u zasićenju važi

$$\frac{k_n}{2}(v_U - V_{t1})^2 = \frac{k_p}{2}(V_{DD} - v_I - |V_{t2}|)^2$$

$$v_I = V_{DD} - v_U$$

Da bi tranzistor M1 bio u zasićenju mora važiti

$$v_{DS1} > v_{GS1} - V_{t1}$$

$$v_I > v_U - V_{t1}$$

$$v_U < \frac{V_{DD} + V_{t1}}{2} = 3 \text{ V}.$$

Ako je $v_U = 2 \text{ V}$ tranzistor M1 je u zasićenju i važi

$$v_I = V_{DD} - v_U = 3 \text{ V}$$

$$i_0 = i_{D1} = \frac{k_n}{2}(v_U - V_{t1})^2 = 1 \text{ mA}$$

Ako je $v_U = 5 \text{ V}$ tranzistor M1 je u triodnoj oblasti i važi

$$i_{D1} = i_{D2}$$

$$\frac{k_n}{2}(2(v_U - V_{t1})v_I - v_I^2) = \frac{k_p}{2}(V_{DD} - v_I - |V_{t2}|)^2$$

$$2(v_U - V_{t1})v_I - v_I^2 = (V_{DD} - |V_{t2}|)^2 + v_I^2 - 2(V_{DD} - |V_{t2}|)v_I$$

$$v_I^2 - v_I(V_{DD} - |V_{t2}| + v_U - V_{t1}) + \frac{(V_{DD} - |V_{t2}|)^2}{2} = 0$$

$$v_I^2 - 8v_I + 8 = 0$$

Dobijaju se dva rešenja

$$v_{I1} = 1.17 \text{ V},$$

$$v_{I2} = 6.83 \text{ V}.$$

Kako je tranzistor M1 u triodnoj oblasti, rešenje mora zadovoljavati uslov

$$v_I < 4 \text{ V},$$

tako da je prihvatljivo rešenje

$$v_I = 1.17 \text{ V}.$$

Odgovarajuća vrednost struje i_0 je

$$i_0 = i_{D1} = \frac{k_n}{2}(2(v_U - V_{t1})v_I - v_I^2) = 8 \text{ mA}$$