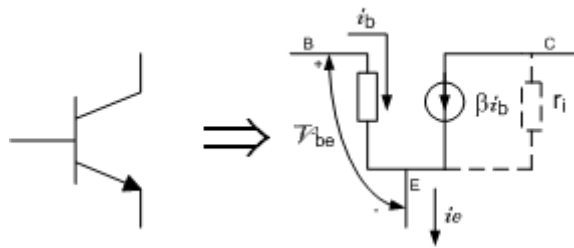


TRANZISTORI KAO POJAČAVAČI

Kada tražimo naponsko pojačanje kola u kojem postoji tranzistor, moramo uraditi DC i AC analizu. U DC analizi tražimo u kojem je režimu rada tranzistor. Ako dobijemo da tranzistor provodi i da je u **direktnom aktivnom režimu**, to znači da možemo da tražimo naponsko pojačanje kola.

Dakle, nakon urađene DC analize prelazimo na AC analizu. U toj analizi tranzistor se zamjenjuje sa modelom za male signale. U zadacima ćemo koristiti šemu sa Slike 1.

Model tranzistora za male signale:



Slika 1

r_i u šemi za male signale je jako mala otpornost i ne uzimamo je u obzir prilikom proračuna u zadacima.

$$\beta i_b = g_m v_{be}$$

$g_m = \frac{I_C}{V_T}$, I_C je jednosmjerna struja koju dobijemo prilikom proračuna radne tačke tranzistora!!!

V_T - termički napon,

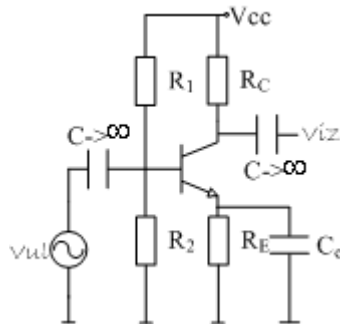
g_m - transkonduktansa,

$r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$ - ulazna otpornost tranzistora.

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

1. Naći naponsko pojačanje kola sa slike 2. Dato je: $R_1 = 80K\Omega$, $R_2 = 20K\Omega$, $R_C = 6.8K\Omega$, $R_E = 1K\Omega$, $V_{BE} = 0.6V$, $V_{CES} = 0.2V$, $V_{CC} = 5V$, $V_T = 0.25mV$, $\beta = 100$.

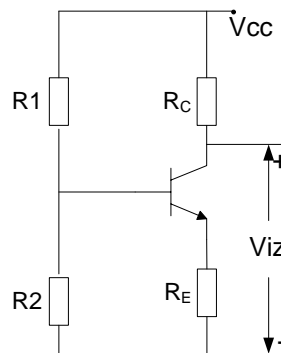
- a) $C_e = 0$ b) $C_e \rightarrow \infty$



Slika 2

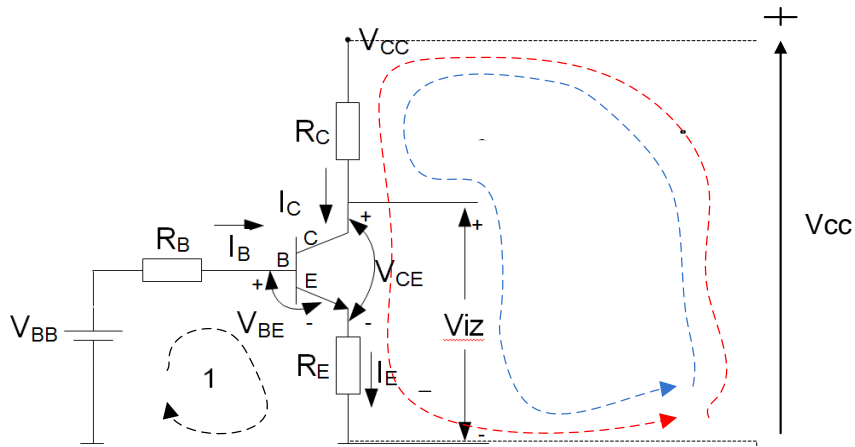
Izračuna se radna tačka tranzistora (tj. radimo DC analizu kola). Da bi je izračunali gledamo kako će tranzistor biti polarisan usled napajanja baterijom V_{CC} . Tranzistor radi kao pojačavač za male signale samo kada je u aktivnom režimu rada. Ako je zasićen ili zakočen ne radi kao pojačavač već je pojačanje $A_n = 0$.

Da bi odredili radnu tačku tranzistora posmatra se kako će ga polarisati jednosmjerni napon napajanja - V_{CC} . Za jednosmjerni napon, grane u kojima se nalaze kondenzatori predstavljaju prekid (kroz njih ne protiče struja). Dakle, šema sa Slike 2, kada je u pitanju jednosmjerna struja, može da se crta kao što je urađeno na Slici 3.



Slika 3

Zamjenska šema za određivanje radne tačke tranzistora (tj. režima rada tranzistora) će biti kao i ranije, Slika 4, pa će samim tim i postupak biti isti.



Slika 4

Računamo vrijednosti za R_B i V_{BB} :

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5V \cdot 20K\Omega}{80K\Omega + 20K\Omega} = \frac{5V \cdot 20K\Omega}{100K\Omega} = \frac{5V}{5} = 1V$$

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{80K\Omega \cdot 20K\Omega}{80K\Omega + 20K\Omega} = \frac{1600K\Omega}{100K\Omega} = 16K\Omega$$

- **Pretpostavimo da tranzistor provodi.** Ukoliko provodi, struja baze mora imati smjer kao na Slici 4. Struju I_B dobijamo primjenjujući II Kirhof-ov zakon na konturu 1, Slika 4.

$$V_{BB} - R_B I_B - V_{BE} - R_E I_E = 0$$

$$V_{BB} - V_{BE} = R_B I_B + R_E I_E$$

Dobili smo jednu jednačinu sa dvije nepoznate I_B i I_E . Da bi odredili ove dvije veličine potrebna nam je još jedna jednačina. Pretpostavimo da je tranzistor i aktivan (DAR režim) i da možemo koristiti:

$$I_C = \beta I_B$$

Ako tranzistor provodi, takođe, važi:

$$I_E = I_C + I_B,$$

a ako je aktivan i:

$$I_E = \beta I_B + I_B = (\beta + 1)I_B.$$

Zamjenjujući ovo u:

$$V_{BB} - V_{BE} = R_B I_B + R_E I_E$$

dobijamo:

$$V_{BB} - V_{BE} = R_B I_B + R_E (\beta + 1)I_B$$

$$V_{BB} - V_{BE} = I_B (R_B + R_E (\beta + 1))$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)}$$

$$I_B = \frac{1V - 0.6V}{16K\Omega + 1K\Omega \cdot 101} = \frac{0.4V}{117K\Omega} = 0.00342mA > 0$$

Dobili smo pozitivnu vrijednost za struju baze što znači da tranzistor provodi. Pretpostavili smo da je aktivan pa računamo:

$$I_C = \beta I_B = 100 \cdot 0.00342mA = 0.342mA$$

$$I_E = I_C + I_B = 0.00342mA + 0.342mA = 0.34542mA$$

Vrijednost za struju izračunata u gornjoj formuli je tačna ukoliko je tranzistor aktivan. Da li je tranzistor aktivan određujemo na osnovu vrijednosti napona između kolektora i emitora V_{CE} . Ovaj napon ćemo odrediti pomoću konture označene crvenom bojom na Slici 4.

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CE} - R_E I_E = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

$$V_{CE} = 5V - 6.8K\Omega \cdot 0.342mA - 1K\Omega \cdot 0.34542mA = 5V - 2.325V - 0.3454V$$

$$V_{CE} = 2.32898V > V_{CES} = 0.2V$$

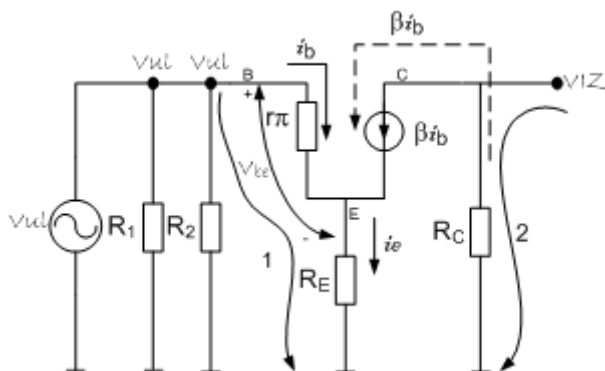
Dakle, tačna je pretpostavka da je tranzistor aktivan i može raditi kao pojačavač za male signale.

Pravila za crtanje šeme za male signale

1. Svi nezavisni izvori jednosmjernog napona predstavljaju masu (uzemljenje)
2. Svi kondenzatori sa kapacitivnošću $C \rightarrow \infty$ predstavljaju kratak spoj (zatvoreni prekidač)

Obzirom da kondenzator C_e koji je vezan paralelno sa otpornikom u emitoru R_E ne igra nikakvu ulogu u slučaju jednosmjernih (velikih) signala, radna tačka će biti ista u slučaju pod a) kada nema tog kondenzatora $C_e = 0$ i pod b) $C_e \rightarrow \infty$ kada on postoji. Razlika će doći do izražaja kada se bude vršio proračun za male signale, odnosno računalo naponsko pojačanje.

a) Šema za male signale u slučaju kada je $C_e = 0$, nema kondenzatora vezanog paralelno sa emitorom, je data na slici 5.



Slika 5

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}, \quad g_m = \frac{0.342mA}{25mV} = 0.0137 \frac{A}{V}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{0.0137 \frac{A}{V}} = 7299.3\Omega$$

Pojačanje se računa kao:

$$A_n = \frac{v_{iz}}{v_{ul}}$$

Obilazeći konturu 1 sa Slike 5 u prikazanom smjeru pišemo:

$$v_{ul} - r_\pi i_b - R_E i_e = 0$$

Tranzistor je aktivan pa važi relacija:

$$i_e = i_c + i_b = \beta i_b + i_b = (\beta + 1)i_b$$

Sada će biti

$$v_{ul} = r_{\pi} i_b + R_E (\beta + 1) i_b$$

$$v_{ul} = (r_{\pi} + R_E (\beta + 1)) i_b$$

Obilazeći konturu 2 u smjeru prikazanom na Slici 5 pišemo:

$$v_{iz} + R_C \beta i_b = 0$$

$$v_{iz} = -R_C \beta i_b$$

Pa se za naponsko pojačanje dobija:

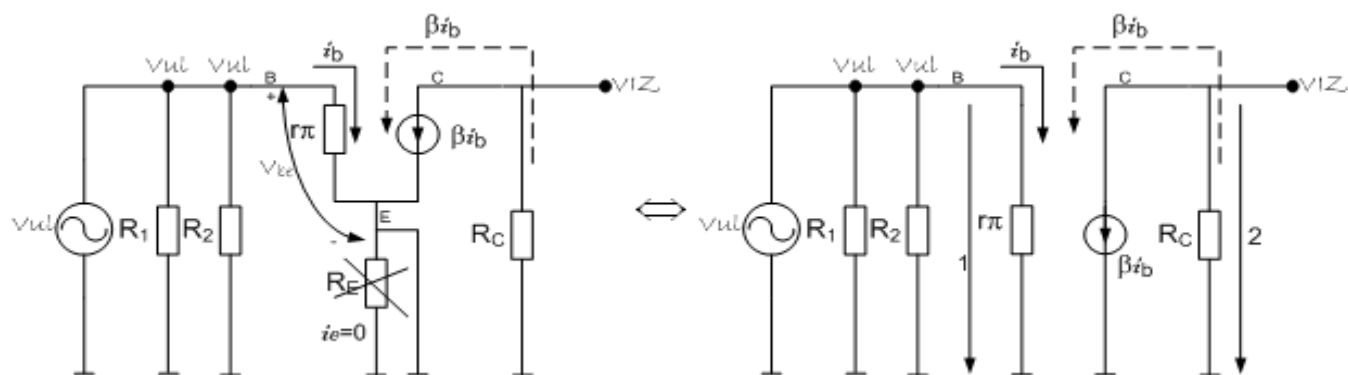
$$A_n = \frac{-R_C \beta i_b}{(r_{\pi} + R_E (\beta + 1)) i_b}$$

$$A_n = \frac{-R_C \beta}{r_{\pi} + R_E (\beta + 1)}$$

$$A_n = -\frac{6.8K\Omega \cdot 100}{7299.3\Omega + 1K\Omega \cdot 101} = \frac{680K\Omega}{7.2993K\Omega + 101K\Omega} = \frac{680K\Omega}{108.2993K\Omega} = -6.28$$

Obratite pažnju da je pojačanje bezimena veličina. Što je i logično jer se pojačanjem računa koliko će puta izlazni napon biti pojačan u odnosu na ulazni (ili smanjen).

b) $C_e \rightarrow \infty$, sada postoji kondenzator vezan paralelno sa otpornikom u emitoru i on predstavlja kratak spoj za slučaj malih signala. Šema za male signale u ovom slučaju je data na slici 6.



Slika 6

Obilazeći konturu 1 dobijamo:

$$v_{ul} - r_{\pi} i_b = 0, \quad v_{ul} = r_{\pi} i_b$$

Obilazeći konturu 2 u smjeru prikazanom na Slici 6 desno pišemo:

$$v_{iz} + R_C \beta i_b = 0$$

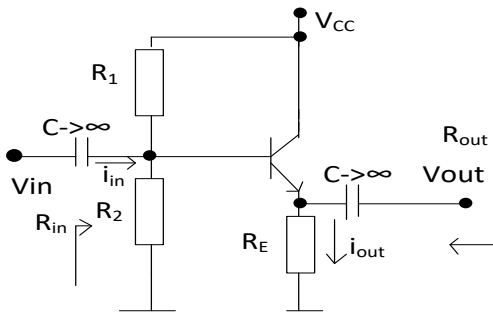
$$v_{iz} = -R_C \beta i_b$$

Za naponsko pojačanje se dobija:

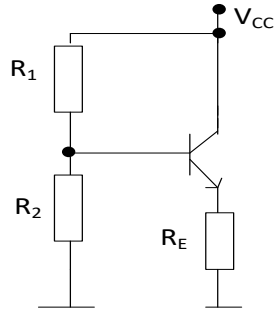
$$A_n = \frac{-R_C \beta i_b}{r_\pi i_b}, \quad A_n = \frac{-R_C \beta}{r_\pi}, \quad A_n = -R_C g_m$$

$$A_n = -6.8K\Omega \cdot 0.0137 \frac{A}{V} = -93.16$$

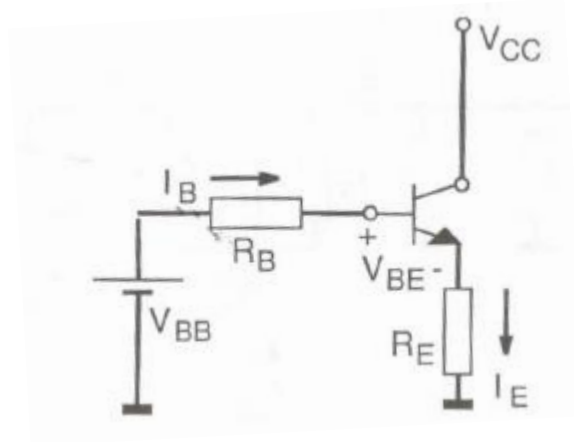
2. Za kolo na slici odrediti naponsko pojačanje A_v , strujno pojačanje A_i , ulaznu otpornost R_{in} i izlaznu otpornost R_{out} ako je poznato: $R_1 = 15k\Omega$, $R_2 = 22,5k\Omega$, $R_E = 1k\Omega$, $\beta = 100$, $V_{CC} = 10V$, $V_{BE} = 0.6V$, $V_{CES} = 0.2V$, $V_T = 25mV$.



Šema za određivanje položaja mirne radne tačke:



A primjenom Teveninove teoreme:



$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{CC} = 1.09V$$

$$R_B = \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} = 20k\Omega$$

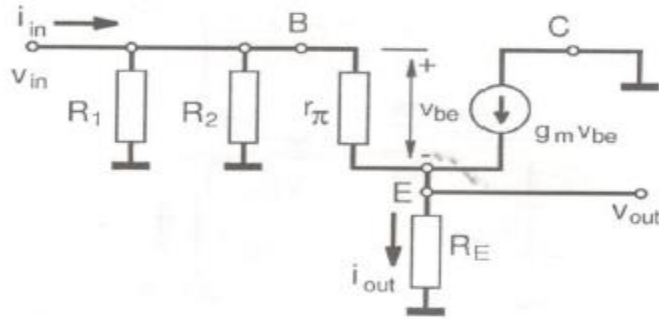
$$V_{BB} - R_B I_B - V_{BE} - R_E I_E = 0$$

$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} + R_E (1 + \beta) I_B$$

$$\rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + R_E (1 + \beta)} = 49.09 \mu A \rightarrow I_C = \beta I_B = 4.9 mA$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B = 4.95 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E = 5.042V > V_{CES} \rightarrow \text{transistor u DAR-u i radi kao pojačavač}$$



$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 0.196 \frac{A}{V} \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 510.2 \Omega$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$v_{out} = R_E i_e = R_E (1 + \beta) i_b$$

$$v_{in} = v_{out} + v_{be} = R_E (1 + \beta) i_b + i_b r_{\pi} = i_b (R_E (1 + \beta) + r_{\pi})$$

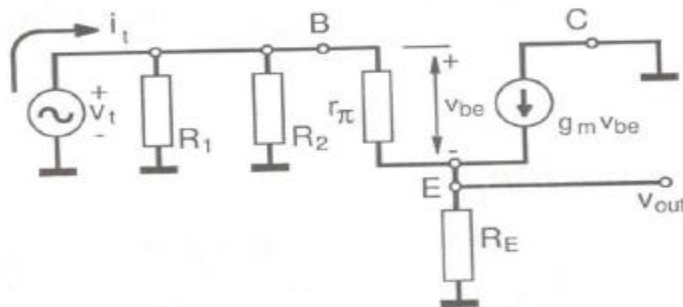
$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_E (1 + \beta) i_b}{i_b (R_E (1 + \beta) + r_{\pi})} = \frac{R_E (1 + \beta)}{R_E (1 + \beta) + r_{\pi}} = 0.995$$

$$A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}}$$

$$i_{out} = (1 + \beta) i_b$$

$$i_{in} = \frac{v_{in}}{R_1} + \frac{v_{in}}{R_2} + i_b = \frac{i_b (R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_1} + \frac{i_b (R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_2} + i_b = i_b \left(\frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_1} + \frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_2} + 1 \right)$$

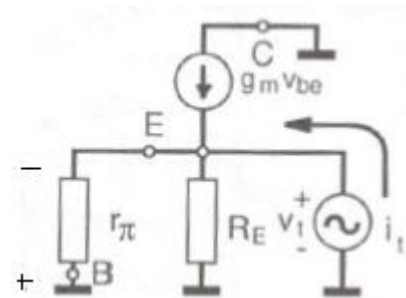
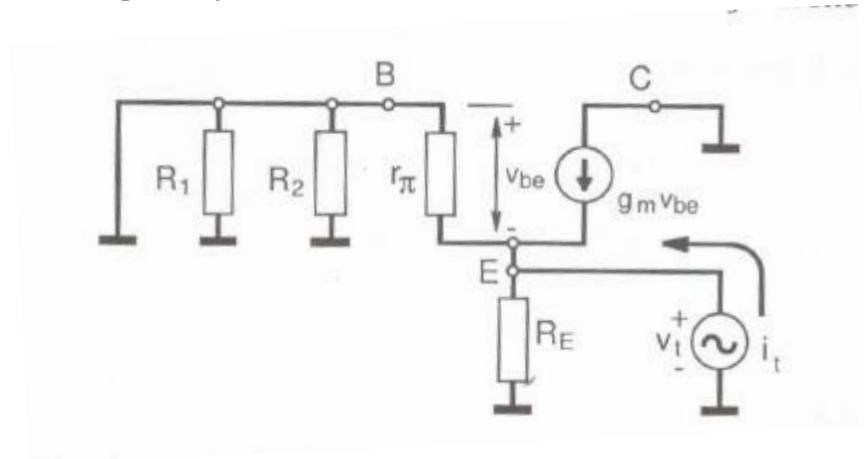
$$A_i = \frac{(1 + \beta) i_b}{i_b \left(\frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_1} + \frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_2} + 1 \right)} = \frac{(1 + \beta)}{\left(\frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_1} + \frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_2} + 1 \right)} = 8.2$$



$$R_{in} = \frac{v_t}{i_t} = \frac{i_b (R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{i_b \left(\frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_1} + \frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_2} + 1 \right)} = \frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{\frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_1} + \frac{(R_E (1 + \beta) + r_{\pi})}{R_2} + 1}$$

$$R_{in} = 8.275 k\Omega$$

Izlazna otpornost je:



Uprošćena šema izgleda:

$$g_m v_{be} = \beta i_b$$

$$R_{out} = \frac{v_t}{i_t}$$

$$v_t = -v_{be} = -i_b r_{\pi}$$

$$i_t + \beta i_b + i_b = \frac{v_t}{R_E}$$

$$i_t + (\beta + 1)i_b = \frac{-v_{be}}{R_E}$$

$$i_t + (\beta + 1)i_b = -\frac{i_b r_{\pi}}{R_E}$$

$$i_t = -(\beta + 1)i_b - \frac{i_b r_{\pi}}{R_E} = -i_b \left(\frac{r_{\pi}}{R_E} + \beta + 1 \right)$$

$$R_{out} = \frac{-i_b r_{\pi}}{-i_b \left(\frac{r_{\pi}}{R_E} + \frac{r_{\pi}}{r_{\pi}} + \beta \right)} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_{\pi}} + g_m} = 5.217 \Omega$$