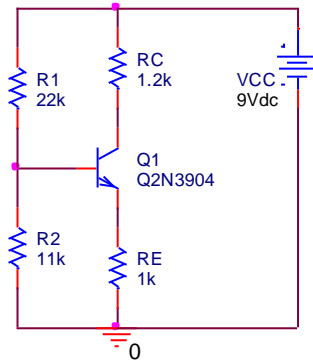


Delovna točka in napajalna vezja bipolarnih tranzistorjev

1.

Določite izraz za kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} napajalnega vezja z enim virom in napetostnim delilnikom na vходу.



1. način: predpostavimo, da je $I_{R2} \gg I_B$:

$$U_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC} \text{ in } U_B = U_{BE} + I_E R_E \text{ od kjer sledi } I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \quad (*)$$

Vidimo, da je v primeru ko zanemarimo vpliv I_B , I_E neodvisen od spremembe β .

2. način: upoštevamo tudi vpliv I_B :

Vhod vezja poenostavimo s pomočjo Theveninovega teorema

$$U_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC} \text{ in } R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Z uporabo Theveninovega nadomestnega vezja zapišemo

$$U_T = I_B R_T + U_{BE} + I_E R_E \text{ in } I_E = (\beta + 1) I_B$$

Sledi

$$I_B = \frac{U_T - U_{BE}}{R_T + R_E (\beta + 1)} \text{ in } I_C = \frac{U_T - U_{BE}}{R_E + R_T / (\beta + 1)} \quad (**)$$

Enačba (**) se poenostavi v enačbo (*), če $R_E \gg R_T / (\beta + 1)$.

2.

Za vezje iz prejšnje naloge določite I_C in U_{CE} v primeru, da je $\beta_{DC} = 120$ in $\beta_{DC} = 240$. $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 11 \text{ k}\Omega$, $R_C = 1.2 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 9\text{V}$.

1. $\beta_{DC} = 120$

$$U_T = 3\text{V}, R_T = 7,3\text{k}\Omega \quad ; U_{BE} = 0,7\text{V}$$

$$I_C \approx 2,16\text{mA in } U_{CE} = 4,2\text{V} \quad ; \beta \gg 1, I_C \approx I_E$$

2. $\beta_{DC} = 240$

$$I_C \approx 2,23\text{mA in } U_{CE} = 4,1\text{V}$$

Vidimo, da je vpliv spremembe β_{DC} zelo majhen (približno 3% v zgornjem primeru). To seveda drži, ko je $R_E \gg R_T / (\beta + 1)$, kar je v zgornjem primeru izpolnjeno (v praksi izberemo faktor 10, še boljše faktor 100).

3.

Za vezje iz prejšnje naloge določite I_C in U_{CE} v primeru, da je $R_1 = 110\text{k}\Omega$ in $R_2 = 220\text{k}\Omega$. Ponovite izračun ter ugotovite vpliv spremembe β_{DC} v primeru, ko pogoj $R_E \gg R_T / (\beta + 1)$ ni izpolnjen. Rezultate primerjajte z nalogo 2.

$$1. \beta_{DC} = 120$$

$$U_T = 3\text{V}, R_T = 73,3\text{k}\Omega$$

$$I_C \approx 1,42\text{mA in } U_{CE} = 5,9\text{V}$$

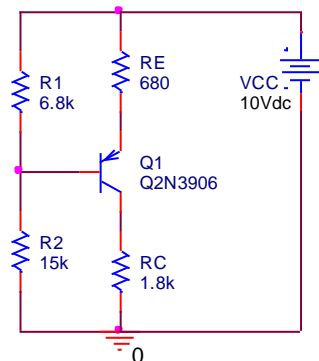
$$2. \beta_{DC} = 240$$

$$I_C \approx 1,76\text{mA in } U_{CE} = 5,13\text{V}$$

Sprememba kolektorskega toka je v tem primeru večja (24%). Vidimo, da je stabilnost direktno povezana z upornostjo napetostnega delilnika v primerjavi z upornostjo R_E .

4.

Določite izraz za kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} napajalnega vezja z enim virom in napetostnim delilnikom na vohu v primeru *pnp* tranzistorja.



Z uporabo Theveninovega teorema zapišemo

$$U_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC} \text{ in } R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Sledi

$$U_{cc} = U_T + I_B R_T + U_{BE} + (1 + \beta) I_B R_E; \quad I_E = (\beta + 1) I_B$$

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE} - U_T}{R_T + \beta R_E}; \quad \beta \gg 1$$

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{BE} - U_T}{R_E + R_T / \beta}$$

5.

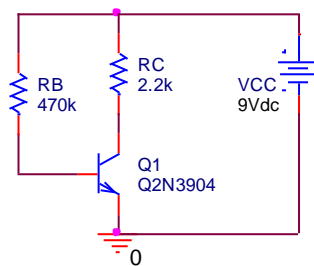
Za vezje iz prejšnje naloge določite I_C in U_{CE} v primeru, da je $R_1 = 6,8 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 15 \text{ k}\Omega$, $R_C = 1,8 \text{ k}\Omega$, $R_E = 680 \Omega$, $V_{CC} = 10 \text{ V}$ in $\beta_{DC} = 150$.

$$U_T = 6,88 \text{ V}, \quad R_T = 4,68 \text{ k}\Omega; \quad U_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

$$I_C = 3,4 \text{ mA} \text{ in } U_{CE} = 10 \text{ V} - 3,4 \text{ mA} \cdot (680 \Omega + 1,8 \text{ k}\Omega) = 1,56 \text{ V}; \quad \beta \gg 1, \quad I_C \approx I_E$$

6.

Določite izraz za kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} napajalnega vezja z enim virom in enim baznim uporom.



$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B / \beta_{DC}}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$$

7.

Za vezje iz prejšnje naloge določite I_C in U_{CE} v primeru, da je $R_B = 470 \text{ k}\Omega$, $R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 9 \text{ V}$.

Določite interval za I_C in U_{CE} , če se vrednost β_{DC} spremeni od 80 do 240.

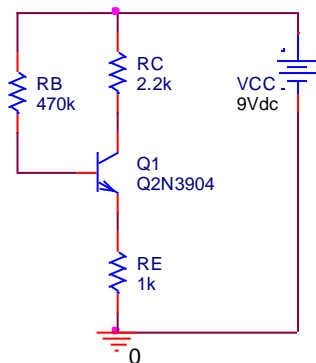
$$I_C|_{\beta_{DC}=80} = 1,4 \text{ mA}, \quad U_{CE}|_{\beta_{DC}=80} = 5,92 \text{ V}$$

$$I_C|_{\beta_{DC}=240} = 4,24 \text{ mA}, \quad U_{CE}|_{\beta_{DC}=240} = -0,328 \text{ V}$$

V primeru, ko je $\beta_{DC} = 240$ je tranzistor v nasičenju! Izračunani vrednosti za tok in napetost v realnem vezju nista možni! Tranzistor ne deluje več kot ojačevalnik.

8.

Določite izraz za kolektorski tok I_C napajalnega vezja z enim virom in enim baznim uporom ter emitorskim uporom R_E .

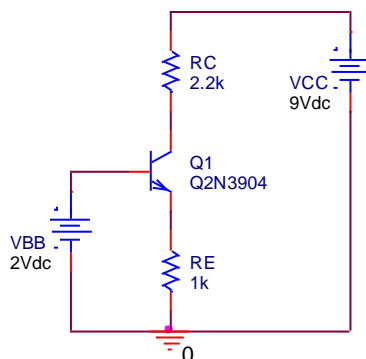


$$I_C = \beta_{DC} I_B = \beta_{DC} \frac{U_{CC} - U_{BE} - I_E R_E}{R_B}$$

$$I_C \approx \frac{1}{1 + \frac{R_B}{\beta_{DC} R_E}} \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_E} \quad ; I_C \approx I_E$$

9.

Določite izraz za kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} napajalnega vezja z dvema viroma.



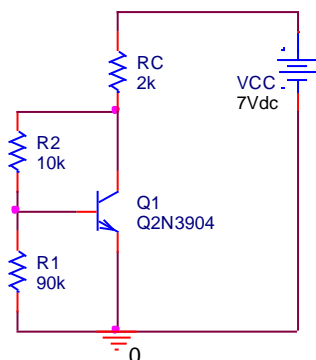
$$U_{BB} = U_{BE} + I_E R_E$$

$$I_C \approx I_E = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_E}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C - I_C R_E$$

10.

Določite izraz za kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} napajalnega vezja z enim virom in povratnim sklopom.



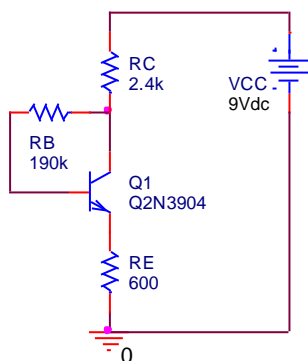
Mirovna izhodna napetost U_{CE} je ponavadi nastavljena na polovico napajalne napetosti. Povratni sklop mora zagotavljati delilnik mirovnih napetosti v razmerju:

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_{BE}}{U_{CE}} = \frac{U_{BE}}{U_{CC} / 2}$$

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C} = \frac{U_{CC}}{2R_C}$$

11.

Določite izraz za kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} napajalnega vezja z enim virom in povratnim sklopom.



$$\begin{aligned} U_{CC} &= (I_C + I_B)R_C + I_B R_B + U_{BE} + I_E R_E \\ &\approx I_C R_C + I_B R_B + U_{BE} + I_E R_E \quad ; I_C \gg I_B \\ &\approx I_C (R_C + R_E) + \frac{I_C}{\beta_{DC}} R_B + U_{BE} \quad ; I_C \approx I_E \end{aligned}$$

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_C + R_E + R_B / \beta_{DC}} (*)$$

ponavadi izberemo: $R_C = R_B / \beta_{DC}$

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{2R_C + R_E}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C (\beta + 1) R_C - I_C R_E$$

12.

Za vezje iz prejšnje naloge določite I_C in U_{CE} v primeru, da je $R_B = 190 \text{ k}\Omega$, $R_C = 2.4 \text{ k}\Omega$, $R_E = 600 \Omega$, $V_{CC} = 9 \text{ V}$.

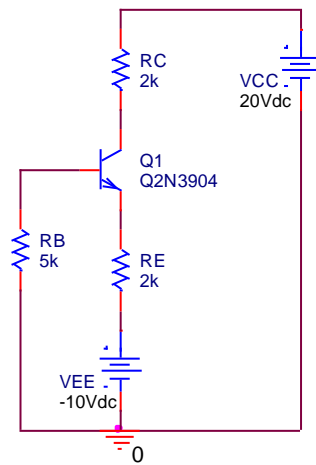
Določite interval za I_C , če se vrednost β_{DC} spremeni od 80 do 240.

$$I_C \Big|_{\beta_{DC}=80} = 1,54 \text{ mA}$$

$$I_C \Big|_{\beta_{DC}=240} = 2,18 \text{ mA}$$

13.

Določite izraz za kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} napajalnega vezja z dvema viroma.



$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C - I_C (\beta + 1) R_E - U_{EE}$$

$$I_C = \frac{-U_E - U_{BE}}{R_E + R_B / \beta_{DC}}$$

14.

Za vezje iz prejšnje naloge določite I_C in U_{CE} v primeru, da je $R_B = 5 \text{ k}\Omega$, $R_C = 2 \text{ k}\Omega$, $R_E = 2 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 20 \text{ V}$, $V_{EE} = -10 \text{ V}$.

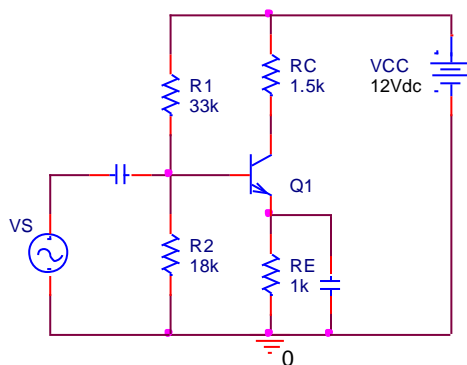
$$U_{CE} = 11,7 \text{ V}$$

$$I_C = 4,56 \text{ mA}$$

Malosignalna analiza vezij z bipolarnim tranzistorjem

15.

Za podano vezje določite Z_{vh} , Z_{izh} , A_u pri srednjih frekvencah če je $\beta_F = 150$.



1. Izračunajte delovno točko (Naloga 1).

$$I_C = 2 \text{ mA.}$$

2. Določite elemente malosignalnega modela tranzistorja.

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = 77 \text{ mS}, \quad r_{be} = \frac{\beta}{g_m} = 1,95 \text{ k}\Omega$$

3. Narišite nadomestno vezje.

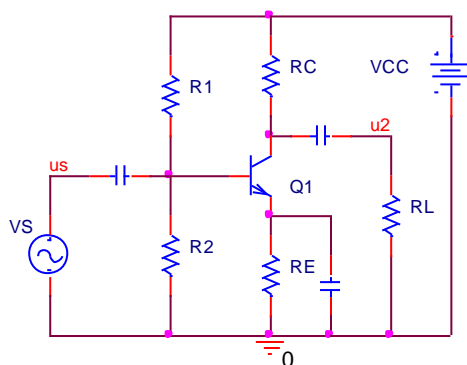
$$R_{vh} = r_{be} \parallel R_{12} = 1,67 \text{ k}\Omega; \quad R_{12} = R_1 \parallel R_2$$

$$R_{izh} = R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$$

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = -g_m R_C = -115$$

16.

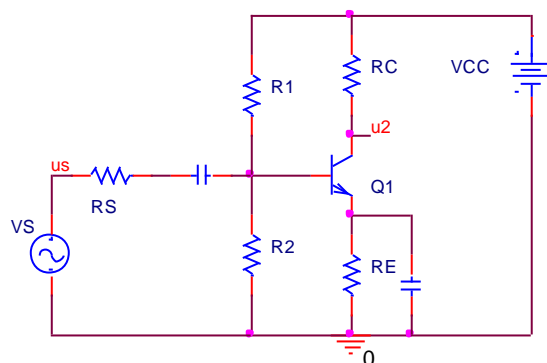
Za podano vezje z bremenskim uporom R_L določite izraze za A_u .



$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = -g_m (R_C \parallel R_L)$$

17.

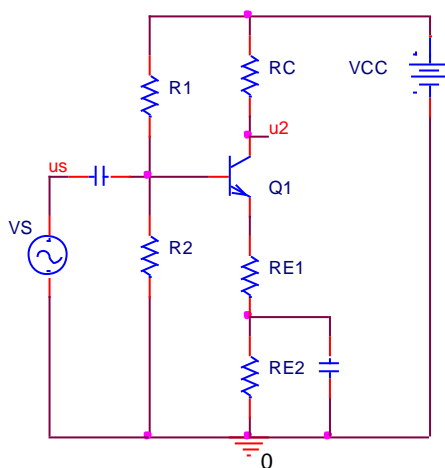
Za podano vezje z bremenskim uporom R_S določite izraze za A_{us} .



$$A_{us} = \frac{u_2}{u_s} = -g_m (R_C \parallel R_L) \frac{R'_{vh}}{R'_{vh} + R_S};$$

18.

Za podano vezje z bremenskim uporom R_{E2} določite izraze za Z_{vh} , Z_{izh} , A_u .



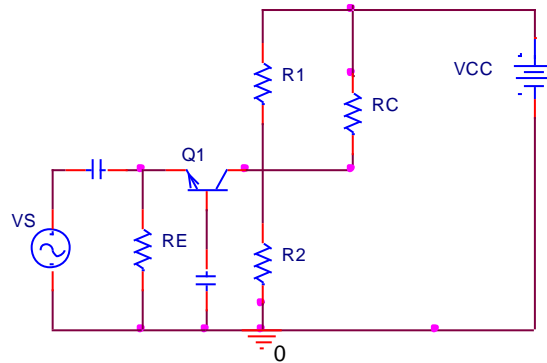
$$R_{vh} = R_{12} \parallel (r_{be} + (\beta + 1)R_E)$$

$$R_{izh} = R_C$$

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_C}{\frac{1}{g_m} + R_{E1}}$$

19.

Za ojačevalnik v orientaciji s skupno bazo določite izraz za Z_{vh} , Z_{izh} , A_u .



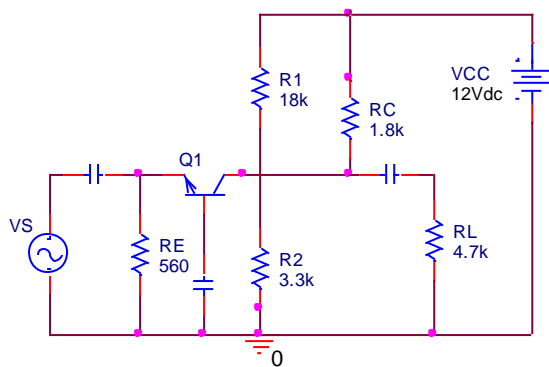
$$R_{vh} = R_E \parallel (r_{be} / (\beta + 1))$$

$$R_{izh} = R_C$$

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = g_m R_C$$

20.

Za ojačevalnik na sliki izračunajte vrednosti Z_{vh} , A_u , če je $\beta_F = 150$.

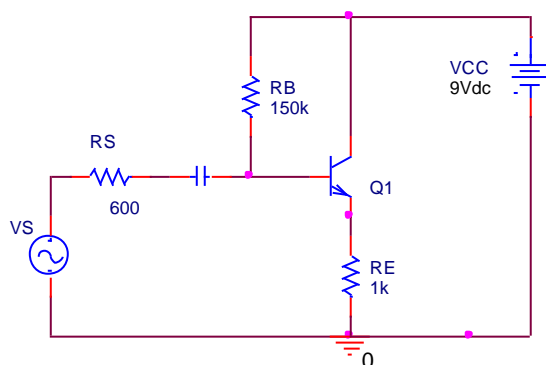


$$R_{vh} \approx 13\Omega$$

$$A_u \approx 100$$

21.

Za ojačevalnik v orientaciji s skupnim kolektorjem določite izraz za Z_{vh} , Z_{izh} , A_{us} .



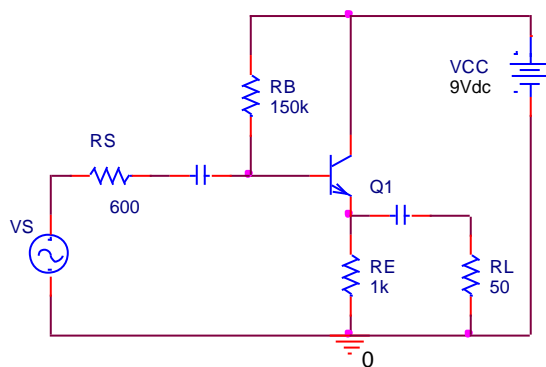
$$R_{vh} = R_{12} \parallel (r_{be} + (R_E \parallel R_L)(\beta + 1))$$

$$R_{izh} = \frac{(r_{be} + (R_{12} \parallel R_S))}{(\beta + 1)} \parallel R_E$$

$$A_{us} = \frac{u_2}{u_s} = \frac{(R_E \parallel R_L)}{\frac{1}{g_m} + (R_E \parallel R_L)}$$

22.

Za ojačevalnik na sliki izračunajte vrednosti Z_{vh} , Z_{izh} , A_{us} , če je $\beta_F = 100$.



$$I_C = 3,3\text{mA}$$

$$R_{vh} = R_{12} \parallel (r_{be} + (R_E \parallel R_L)(\beta + 1)) = 5,3\text{k}\Omega$$

$$R_{izh} = \frac{(r_{be} + (R_{12} \parallel R_S))}{(\beta + 1)} \parallel R_E = 13,7\Omega$$

$$A_{us} = \frac{u_2}{u_s} = \frac{(R_E \parallel R_L)}{\frac{1}{g_m} + (R_E \parallel R_L)} = 0,858$$