

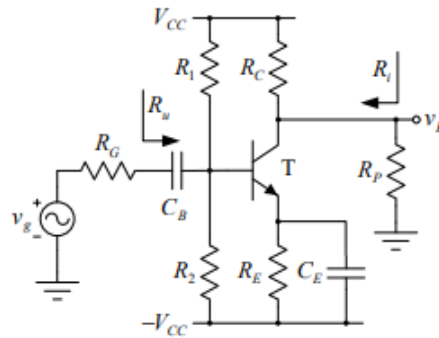
Jul 2020

5. [20] Na slici je prikazan jednostepeni pojačavač sa bipolarnim tranzistorom.

a) Izračunati vrednost otpornosti R_E tako da izlazni napon u odsustvu naizmeničnog pobudnog signala ima vrednost 0V.

b) Izvesti izraze i izračunati vrednosti naponskog pojačanja $A_v = v_p/v_g$, ulazne otpornosti R_u i izlazne otpornosti R_i pojačavača sa slike.

Poznato je: $V_{CC}=12\text{ V}$, $R_G=20\text{ k}\Omega$, $R_1=15\text{ k}\Omega$, $R_2=5\text{ k}\Omega$, $R_C=3\text{ k}\Omega$, $R_P=3\text{ k}\Omega$, $C_B \rightarrow \infty$, $C_E \rightarrow \infty$. Parametri tranzistora su: $\beta=50$, $V_{BE}=0.7\text{ V}$, $V_{CES}=0.2\text{ V}$, $V_T=25\text{ mV}$.



a)

$$I_C = I_{R_C} = \frac{V_{CC} - 0}{R_C} = \frac{12\text{V}}{3\text{k}\Omega} = 4\text{mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{4\text{mA}}{50} = 0,08\text{mA}$$

$$I_E = I_C + I_B = 4,08\text{mA}$$

$$V_{TEV} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{5\text{k}\Omega - 15\text{k}\Omega}{20\text{k}\Omega} \cdot 12\text{V} = -6\text{V}$$

$$R_{TEV} = R_1 || R_2 = \frac{5 \cdot 15}{20} = \frac{15}{4} = 3,75\text{k}\Omega$$

$$V_{TEV} - I_B \cdot R_{TEV} - V_{BE} - (I_E \cdot R_E + V_{CC}) = 0$$

$$R_E = \frac{V_{TEV} + V_{CC} - 0,08\text{mA} \cdot 3,75\text{k}\Omega - 0,7\text{V}}{4,08\text{mA}}$$

$$R_E = \frac{6\text{V} - 0,3\text{V} - 0,7\text{V}}{4,08\text{mA}} \text{ k}\Omega = 1,225\text{ k}\Omega$$

b)

$$V_{oc} = \frac{R_1 || R_2 || R_E}{R_g + R_1 || R_2 || R_E} \cdot V_g$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{4\text{mA}}{25\text{mV}} = 0,16\text{S}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta \cdot V_T}{I_B} = \frac{50 \cdot 25\text{mV}}{0,08\text{mA}} = 312,5\Omega$$

$$V_p = -g_m V_{oc} \cdot R_P || R_C = -g_m \cdot \frac{R_1 || R_2 || R_E}{R_g + R_1 || R_2 || R_E} \cdot V_g \cdot R_P || R_C \rightarrow A = \frac{V_p}{V_g} = -g_m \cdot \frac{R_1 || R_2 || R_E}{R_g + R_1 || R_2 || R_E} \cdot R_P || R_C$$

$$A = -3,41$$

c)

$$I_b = \frac{V_b}{R_1 || R_2 || r_{\pi}}$$

$$R_u = \frac{V_b}{I_b} = R_1 || R_2 || r_{\pi} = 288\Omega$$

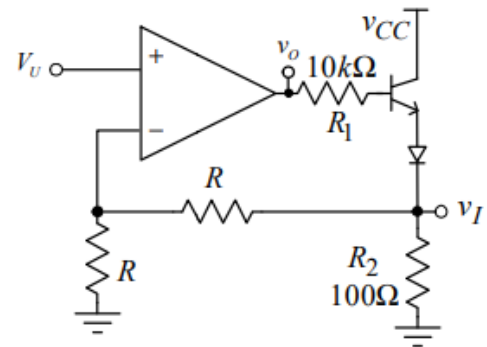
$$R_i = R_C$$

Februar 2020

5. U kolu sa slike može se smatrati da operacioni pojačavač uvek radi u linearnom režimu, i da je $R \gg 10k\Omega$. Za upotrebene tranzistor i diodu koristiti standardne parametre, $\beta=100$, $V_D=V_{BE}=0.6V$, $V_{CES}=0.2V$.

a) [20] Ako je $v_{CC} = 10V + 2V \sin \omega t$, odrediti maksimalnu vrednost jednosmernog napona V_U , tako da je napon v_I jednosmeran.

b) [20] Ako je $v_{CC} = 10V$ a V_U se menja od 1V do 10V nacrtati jednu ispod druge jednosmerne prenosne karakteristike $v_I = f_1(V_U)$ i $v_O = f_2(V_U)$.



5. a) $v_I = 2V_U$ pod uslovom da tranzistor radi u direktnom aktivnom režimu.

Minimum napona na kolektoru je 8V tako da je maksimum napona na emitoru 7.8V, a maksimum napona na katodi diode je $7.8V - 0.6V = 7.2V$ što je ujedno i $\max\{V_I\}$.

Prema tome maksimalni napon $\max\{V_U\} = 7.2V / 2 = 3.6V$

b) Dok god tranzistor radi u direktnom aktivnom režimu $v_I = 2V_U$, a

$$v_O = v_I + V_{BE} + V_D + R_2 v_I / (\beta R_1) = 2v_I + 1.2V = 4V_U + 1.2V$$

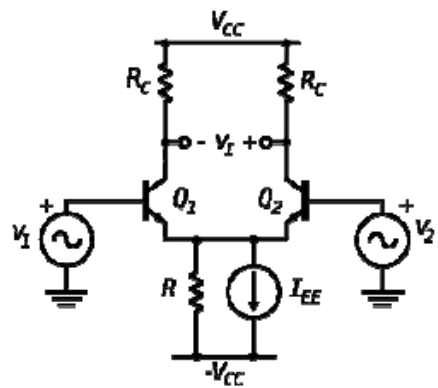
Tranzistor odlazi u zasićenje kada je napon na emitoru 9.8V a napon na katodi diode 9.2V.

Tada je $V_U = 9.2V / 2 = 4.6V$, a $v_O = 18.4V + 1.2V = 19.6V$.

Nakon toga je transistor u zasićenju, i promena ulaznog napona ne utiče na v_I , dok operacioni pojačavač odlazi u pozitivno zasićenje jednako njegovom pozitivnom napajanju.

7. Na slici je data šema diferencijalnog pojačavača sa bipolarnim tranzistorima. Poznato je $V_{CC} = 10V$, $R_C = 3k\Omega$, $R = 4.7k\Omega$, $V_{BE} = 0.6V$, $V_{CES} = 0.2V$, $\beta = 100$, $V_T = 25mV$, $I_{EE} = 2mA$.

- [10] Odredite jednosmerne vrednosti struja I_C , I_E , I_B kao i napon kolektora V_C za tranzistore Q_1 i Q_2 .
- [12] Izvesti izraz za diferencijalno pojačanje pojačavača i odrediti vrednost ovog pojačanja.
- [8] Izvesti izraz za ulaznu otpornost diferencijalnog pojačavača i odrediti njenu vrednost.



Handwritten solution for the differential amplifier problem.

DC Analysis:

$$I_{E1} = I_{E2} = I_E$$

$$2I_E = I_{EE} + I_R = I_{EE} + \frac{V_E + V_{CC}}{R}$$

$$2I_E = I_{EE} + \frac{0 - V_{BE} + V_{CC}}{R} = 2mA + \frac{10 - 0.6}{4.7k\Omega}$$

$$2I_E = 4mA$$

$$I_E = 2mA$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = \beta \cdot \frac{I_E}{\beta + 1} = 1.98mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1.98 \cdot 10^{-3}}{100} = 19.8\mu A$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 10V - 5.94V = 4.06V$$

AC Analysis (Differential Mode):

6) $V_{i1} - V_{be1} + V_{be2} = 0 \Rightarrow V_{id} = V_{i2} - V_{i1}$

$$I_{c1} = g_m V_{be1}, I_{c2} = g_m V_{be2}$$

$$V_{i1} = -I_{c2} R_C = -(-I_{c1} R_C)$$

$$V_{i1} = g_m R_C V_{be1} - g_m R_C V_{be2}$$

$$V_{i1} = g_m R_C (V_{be1} - V_{be2}) = g_m R_C V_{id}$$

$$A_d = \frac{V_{o1}}{V_{i1}} = g_m R_C \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.98mA}{25mV} = 79.2mS$$

$$A_d = 79.2mS \cdot 3k\Omega = 237.6$$

Input Resistance:

c) $\frac{V_{i1}}{2} - I_B R_T - I_B R_T + \frac{V_{i2}}{2} = 0$

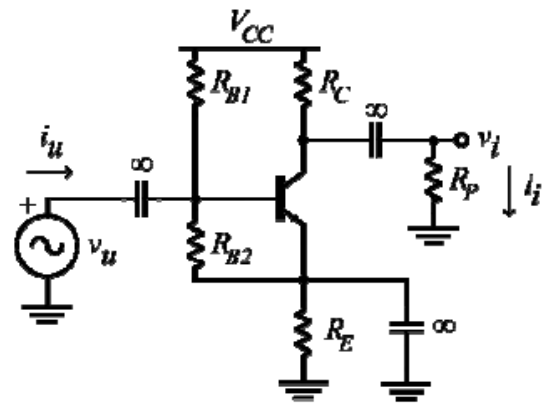
$$V_{i1} = 2I_B R_T \quad R_T = \frac{R_0}{g_m} = 1.26k\Omega$$

$$\frac{V_{i1}}{2} = 2I_B R_T = R_{in} = 2 \cdot 1.26k\Omega = 2.52k\Omega$$

III KOLOKVIJUM

4. Na slici 4 je prikazan pojačavač sa zajedničkim emitorom. Poznato je $V_{CC} = 10V$, $R_E = 1k\Omega$, $R_C = 2k\Omega$, $R_P = 2k\Omega$, $R_{B1} = 10k\Omega$, $R_{B2} = 1k\Omega$, $\beta = 50$, $V_{BE} = 0.7V$, $V_{CES} = 0.2V$, $V_i = 25mV$.

- a) [7] Odrediti jednosmerne vrednosti napona na kolektoru V_C i struje kolektora I_C .
- b) [10] Odrediti vrednost naponskog pojačanja $A_v = \frac{v_i}{v_u}$.
- c) [10] Odrediti vrednost strujnog pojačanja $A_i = \frac{i_i}{i_u}$.
- d) [8] Odrediti vrednost ulazne otpornosti R_u koju vidi idealni naponski generator i izlazne otpornosti R_i koju vidi potrošač.



a)

$$I_{R_{B2}} = \frac{V_{BE}}{R_2} = 0,7mA$$

$$V_{CC} - (0,7mA + I_B)R_{B1} - V_{BE} - (0,7mA + (\beta + 1)I_B)R_C = 0$$

$$V_{CC} - 7V - I_B R_{B1} - 0,7V - (51 + 1)I_B R_C = 0$$

$$\frac{10V - 7V - 1,4V}{10k\Omega + 51k\Omega} = I_B = 0,02623mA = 26,23\mu A$$

$$I_E = 1,34mA \quad I_C = 1,31mA$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 10V - 1,31mA \cdot 2k\Omega = 7,38V$$

b)

$$I_B = \frac{V_u}{r_s}$$

$$I_C = \beta I_B = \beta \frac{V_u}{r_s}$$

$$r_s = \frac{\beta}{g_m} \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1,31mA}{25mV} = 52,4mS$$

$$r_s = 354,2\Omega$$

$$V_i = -R_{C||R_P} \cdot I_C = -\beta \cdot \frac{V_u}{r_s} \cdot R_{C||R_P}$$

$$A_v = \frac{V_i}{V_u} = -\beta \frac{R_{C||R_P}}{r_s} = -52,4mS \cdot 1k\Omega = -52,4$$

c)

$$i_i = \frac{I_B}{R_P} = \frac{A_v V_u}{R_P} \quad i_u = \frac{V_u}{R_{B1||R_{B2}}||r_s}$$

$$\frac{i_i}{i_u} = \frac{\frac{A_v V_u}{R_P}}{\frac{V_u}{R_{B1||R_{B2}}||r_s}} = \frac{A_v (R_{B1||R_{B2}}||r_s)}{R_P} = A_v \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B2}} + \frac{1}{r_s}} = -12,2$$

d)

$$I_F = \frac{V_F}{R_{B1||R_{B2}}||r_s} \Rightarrow R_u = \frac{V_F}{I_F} = R_{B1||R_{B2}}||r_s$$

$$\frac{V_F}{I_F} = R_C$$

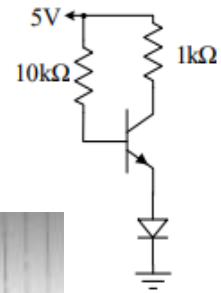
Oktober 2019

4. Za kolo sa slike je poznato: $V_{BE} \approx V_{BES} = 0.7V$, $\beta_F = 100$, $V_{CES} = 0.2V$, $V_D = 0.7V$.

a) [5] Izračunati struju emitora.

b) [5] Izračunati napon na kolektoru.

c) [10] Koliki je minimalni napon napajanja pri kome tranzistor radi u režimu iz prethodnih tačaka?



Predpostavka:
Tranzistor u DAR-u

$$5V - 10k\Omega \cdot I_B - 0.7V - 0.7V = 0$$

$$I_B = \frac{5V - 1.4V}{10k\Omega} = \frac{3.6}{10} \text{ mA} = 0.36 \text{ mA}$$

$$I_B = 360 \mu\text{A}$$

$$I_E = (\beta_F + 1) \cdot I_B = 101 \cdot 360 \mu\text{A} = 36.36 \text{ mA}$$

$$V_B = 5V - 3.6V = 1.4V$$

$$V_C = 5V - 1 \cdot 10^3 \Omega \cdot 100 \cdot 360 \cdot 10^{-6} \text{ A} = -31V$$

$$V_E = 0.7V$$

$V_{CE} > V_{CES}$? \perp Tranzistor u zasićuju!

$V_{CE} = V_{CES}$ $V_{CE} = V_{CES}$

$$I_B = \frac{5V - 1.4V}{10k\Omega} = 360 \mu\text{A}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CES} - 0.7V}{1k\Omega} = \frac{5V - 0.9V}{1k\Omega} = 4.1 \text{ mA}$$

$\beta_F \cdot I_B > 4.1 \text{ mA}$ \perp predpostavka je tačna!

a) $I_E = I_B + I_C = 4.1 \text{ mA} + 360 \mu\text{A} = 4.46 \text{ mA}$

b) $V_C = V_D + V_{CES} = 0.9V$
 $V_C = V_{CC} - I_C \cdot 1k\Omega = 0.9V$

c) $I_B = \frac{V_{CCmin} - 1.4V}{10k\Omega}$, $I_C = \frac{V_{CCmin} - 0.9V}{1k\Omega}$

$$100 \cdot I_B = I_C$$

$$\frac{V_{CCmin} - 1.4V}{10k\Omega} \cdot 100 = \frac{V_{CCmin} - 0.9V}{1k\Omega}$$

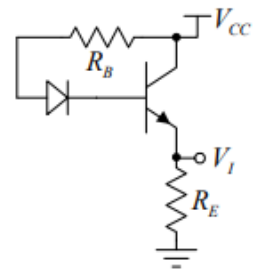
$$10V_{CCmin} - 14V = V_{CCmin} - 0.9V$$

$$9V_{CCmin} = 13.1V$$

$$V_{CCmin} = \frac{13.1}{9} V \approx 1.46V$$

Septembar 2019

4. Za kolo sa slike je poznato: $V_{CC} = 5V$, $R_B = 10k\Omega$, $R_E = 100\Omega$, $\beta_F = 100$, $V_\gamma \approx V_D \approx V_{BE} \approx 0.6V$.



a) [13] Izračunati izlazni napon V_I .

b) [7] Izračunati kolika bi trebala da bude vrednost napona V_{CC} da tranzistor bude na granici između direktnog aktivnog režima i zakočenja?

$V_{CC} - I_B \cdot R_B - 0,6V - 0,6V - (\beta+1) I_B \cdot R_E = 0$

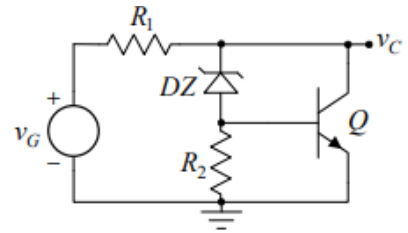
$$\frac{V_{CC} - 1,2V}{R_B + (\beta+1)R_E} = I_B = \frac{5V - 1,2V}{10k\Omega + 101 \cdot 100\Omega} = \frac{3,8V}{20,1k\Omega} = 238,8\mu A$$

$V_{CC} - I_B R_B - I_B (\beta+1) R_E < V_\gamma + V_D$

$$V_{CC} - (V_\gamma + V_D) < I_B (R_B + (\beta+1) R_E) = 0 \quad (I_B = 0)$$
$$V_{CC} < (V_\gamma + V_D) = 1,2V$$

Jul 2019

4. Parametri tranzistora u kolu sa slike su: $\beta_F = 100$, $V_{BE} = V_\gamma = V_{BES} = 0,6\text{ V}$, $V_{CES} = 0,2\text{ V}$. Zener dioda je idealna sa parametrima $V_D = 0,7\text{ V}$ i $V_Z = 3,3\text{ V}$, a poznate su i otpornosti $R_1 = 2\text{ k}\Omega$ i $R_2 = 1\text{ k}\Omega$. Odrediti režime rada tranzistora i Zener diode, kao i napon v_C ako je:



- a) [10] $v_G = 1\text{ V}$;
 b) [10] $v_G = 8\text{ V}$.

$V_G = 1\text{ V}$

a) DZ-OFF, Q-zaköčen
 $-V_Z < V_{DZ} < V_D$
 Nema struje u kolu pa je $V_{DZ} = -1\text{ V}$
 $-V_Z < -1\text{ V} < V_D$ pretpostavka je tačna
 Predpostavimo da ipak Q vodi. Ako Q vodi postoji $I_B > 0$. Međutim $I_B = \frac{V_{BE}}{R_2}$, jer kroz R_2 da bi tekla struja mora teći od većeg ka manjem potencijalu, a tačnije je ili na nuli, ako nema struje ići na V_{BE} ako Q vodi tako da bi kroz otpornik tekla struja suprotnog smjera.

6) $V_G = 8\text{ V}$, V_{DZ} -probój, Q-zaköčen

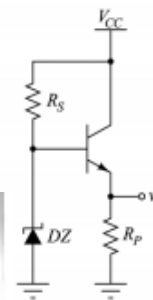
$$R_2 \cdot I_B = \frac{V_G - V_Z}{R_1 + R_2} = \frac{8 - 3,3}{2 + 1} = \frac{4,7}{3} = 1,57\text{ V} > V_\gamma = 0,6\text{ V} \Rightarrow \text{Q nije zaköčen}$$

V_{DZ} -probój, Q-DAR - jedino preostalo rešenje!

V_{DZ} -probój, Q-zasićenje ne može jer
 $V_{CE} = 3,3\text{ V} + 0,7\text{ V} = 4\text{ V} > V_{CES}$

V_{DZ} -ne vodi, Q-zaköčen ne može jer
 $V_{DZ} = -8\text{ V}$ (nema struja pa nema ni pada napona)
 $-3,3 < -8\text{ V} < 0,7 \perp \rightarrow V_{DZ}$ znači vodi!!! ti u proböju je

4. [30] Za električnu šemu na slici potrebno je odrediti i nacrtati karakteristiku prenosa $v_i = f(V_{CC})$ ukoliko se napon V_{CC} menja u granicama $0 < V_{CC} \leq 12V$. Poznato je: $R_P = 200\Omega$, $R_S = 10k\Omega$, $V_D = 0.6V$, $V_Z = 5V$, $V_{CES} = 0.2V$, $V_{BE} = 0.6V$ i $\beta = 49$.



$V_{CC} = 0 \Rightarrow I_B = 0$
 $V_{CC} \uparrow$ - prečistavka T-DAR, D-OFF
 $V_{CC} - I_B R_S - V_{BE} - (\beta + 1) I_B R_P = 0$
 $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_S + (\beta + 1) R_P} > 0 \Rightarrow \boxed{V_{CC} > V_{BE}} \Rightarrow 0 \leq V_{CC} \leq V_{BE} \Rightarrow I_B = 0$
 $V_{CC} - (\beta + 1) \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_S + (\beta + 1) R_P} \cdot R_P > V_{CES}$
 $V_{CC} - \frac{V_{CC} - V_{BE} \cdot 10^4}{2 \cdot 10^2} > V_{CES}$
 $V_{CC} - \frac{V_{CC}}{2} > V_{CES} - \frac{V_{BE}}{2}$
 $V_{CC} > 2 \cdot (V_{CES} - \frac{V_{BE}}{2}) = 0.2V T \quad (V_{CC} > 0.16V)$
 T-DAR - prečistavka je tačna! ($\forall V_{CC} > V_{BE}$)
 $-V_Z < V_{DZ} < V_D$
 $V_{DZ} > -V_Z$
 $V_{CC} - I_B R_S = -V_{DZ} < V_Z$
 $V_{CC} - \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_S + (\beta + 1) R_P} \cdot R_S < V_Z$
 $V_{CC} - \frac{V_{CC} - V_{BE}}{2 \cdot 10^2} < V_Z$
 $\frac{V_{CC}}{2} < V_Z - \frac{V_{BE}}{2}$
 $V_{CC} < 2V_Z - V_{BE}$
 $V_{CC} < 10V - 0.2V$
 $V_{CC} < 9.4V$
 $V_{CC} > 9.4V \Rightarrow DZ \rightarrow$ probaj T-DAR
 $I_i = V_Z - V_{BE} = 4.4V$
 $V_{DZ} < V_D$
 $-V_{DZ} > -V_D$
 $V_{CC} - \frac{V_{CC} - V_{BE} \cdot R_S}{R_S + (\beta + 1) R_P} > -V_D$
 $V_{CC} - \frac{V_{CC} - V_{BE}}{2} > -V_D$
 $V_{CC} > -2V_D - V_{BE}$
 $V_{CC} > -1.8V T \quad (V_{CC} > 0.16V)$
 $DZ - OFF \rightarrow$ prečistavka je tačna!
 $I_i = \frac{\beta R_P \cdot V_{CC} - V_{BE}}{R_S + (\beta + 1) R_P}$
 $I_i = \frac{V_{CC}}{2} - 0.13V$
 $V_{CE} - I_i = V_{CC} > V_{CES} T$

