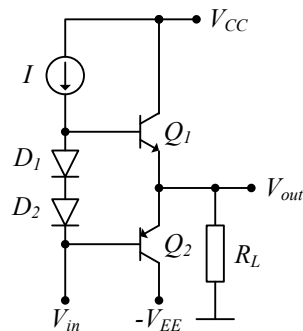


1. Za kolo na slici 1 izračunat i nacrtati prenosnu karakteristiku $V_{OUT}=f(V_{IN})$ za $-10\text{ V}<V_{IN}<10\text{ V}$, $V_{CC}=V_{EE}=10\text{ V}$. Poznato je: $R_L=100\ \Omega$, $I=0.5\text{ mA}$, $\beta_1=\beta_2=100$, $E_{D1}=E_{D2}=0.7\text{ V}$, $V_{BE1}=V_{EB2}=0.7\text{ V}$ i $V_{CES1}=V_{ECS2}=0.2\text{ V}$.



slika 1

1° Uvodi se pretpostavka da provode obje diode i da su oba BJT-a u DAR-u

$$V_{OUT} = V_{IN} + V_{EB2}$$

$$V_{CE1} = V_{CC} - V_{OUT} > 0.2\text{ V} \Rightarrow V_{IN} < 9.1\text{ V}$$

$$V_{EC2} = V_{OUT} + V_{EE} > 0.2\text{ V} \Rightarrow V_{IN} > -10.5\text{ V}$$

$$I_L = \frac{V_{OUT}}{R_L} = \frac{V_{IN} + V_{EB2}}{R_L}$$

$$I_{Lmax} = (\beta + 1)I = 50.5\text{ mA}$$

$$\frac{V_{IN} + V_{EB2}}{R_L} < (\beta + 1)I \Rightarrow V_{IN} < 4.35\text{ V}$$

2° Uvodi se pretpostavka da diode ne provode, da je Q1 u DAR-u, dok je Q2 zakočen

$$V_{OUT} = (\beta + 1)IR_L = 5.05\text{ V}$$

$$V_{EB2} = V_{OUT} - V_{IN} < 0.7\text{ V} \Rightarrow V_{IN} > 4.35\text{ V}$$

Napomena:

Kada potrošač traži struju ($V_{OUT}>0$), Q_1 obezbeđuje tu struju. Maksimalna vrijednost struje koju može dati Q_1 je $(\beta + 1)I$. Prethodno važi za ulazne napone veće od -0.7 V :

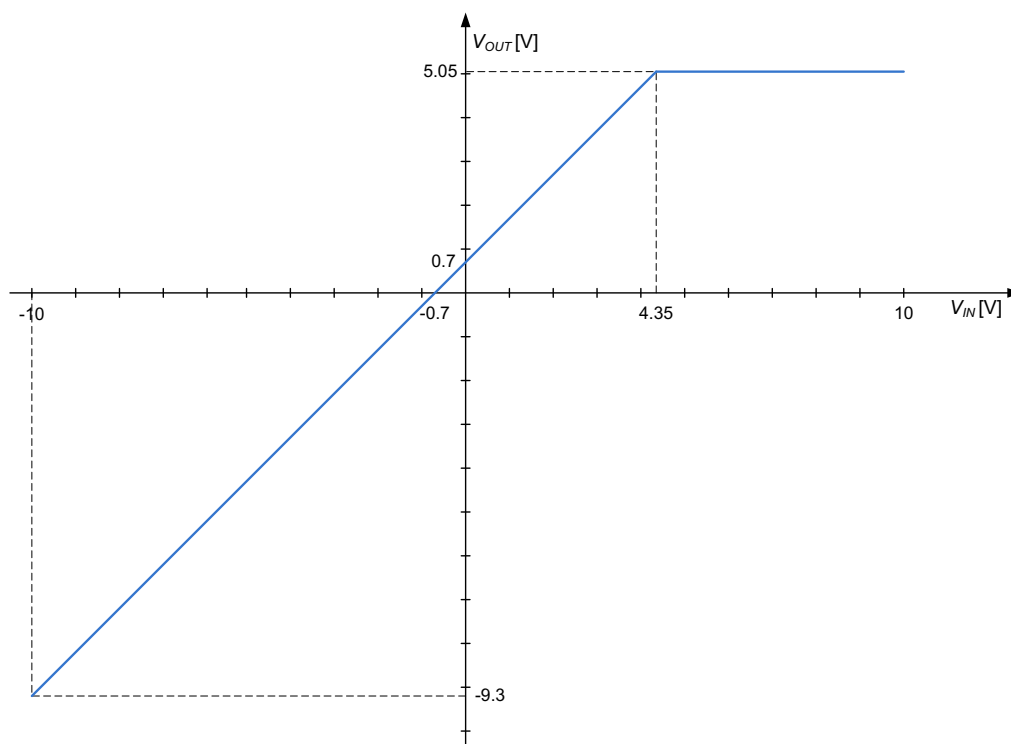
$$V_{OUT} = V_{IN} + V_{EB2} > 0 \Rightarrow V_{IN} > -0.7\text{ V}$$

Emitorska struja BJT-a Q_2 je značajno manja od emitorske struje BJT-a Q_1 u ovom slučaju.

Kada potrošač „daje“ struju ($V_{OUT}<0$), Q_2 prihvata tu struju. Prethodno važi za ulazne napone manje od -0.7 V :

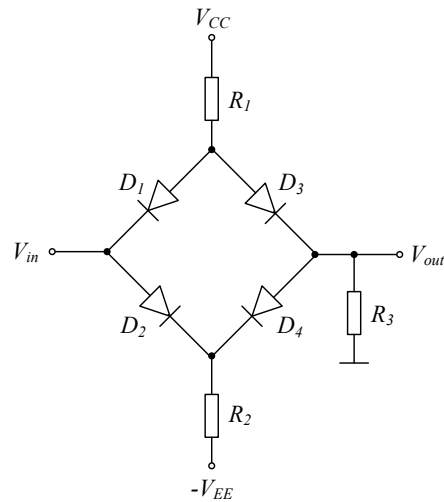
$$V_{OUT} = V_{IN} + V_{EB2} < 0 \Rightarrow V_{IN} < -0.7\text{ V}$$

Emitorska struja BJT-a Q_1 je značajno manja od emitorske struje BJT-a Q_2 u ovom slučaju.



slika 2 Prenosna karakteristika kola prikazanog na slici 1

2. Za kolo na slici 3 izračunati i nacrtati prenosnu karakteristiku $V_{OUT}=f(V_{IN})$ za $-10\text{ V} < V_{IN} < 10\text{ V}$. Diode su identičnih karakteristika sa $E_D=0.7\text{ V}$. Poznato je: $R_1=R_2=R_3=R$, $V_{CC}=V_{EE}=10\text{ V}$.



slika 3

1° Uvodi se pretpostavka da provode diode D_1 i D_4 , dok su diode D_2 i D_3 zakočene.

$$V_{OUT} = -RI_{D4} = -R \frac{-E_{D4} + V_{EE}}{2R} = -4.65\text{ V}$$

$$I_{D1} = \frac{V_{CC} - E_{D1} - V_{IN}}{R} > 0 \Rightarrow V_{IN} < 9.3\text{ V}$$

$$V_{D2} = V_{IN} + E_{D4} - V_{OUT} < 0.7\text{ V} \Rightarrow V_{IN} < -4.65\text{ V}$$

$$V_{D3} = V_{IN} + E_{D1} - V_{OUT} < 0.7\text{ V} \Rightarrow V_{IN} < -4.65\text{ V}$$

Kada ulazni napon dostigne vrijednost -4.65 V aktiviraće se i diode D_2 i D_3 .

2° Uvodi se pretpostavka da provode sve četiri diode.

$$V_{OUT} = V_{IN} + E_{D1} - E_{D3} = V_{IN}$$

Posmatramo najprije pozitivne ulazne napone. Sa porastom ulaznog napona, raste i izlazni napon, pa raste i struja kroz potrošač R_3 . Pri određenoj vrijednosti ulaznog napona, isključiće se diode D_1 i D_4 , da ne odvlače struju. Tada će struja kroz potrošač R_3 biti jednaka struji koja protiče kroz otpornik R_1 :

$$I_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{R} = \frac{V_{CC} - E_{D3} - V_{OUT}}{R} \Rightarrow V_{OUT} = 4.65\text{ V} = V_{IN}$$

Dakle, za ulazni napon veći od 4.65 V , diode D_1 i D_4 neće provoditi.

Sada posmatramo negativne ulazne napone. Sa porastom ulaznog napona po apsolutnoj vrijednosti, raste i izlazni napon po apsolutnoj vrijednosti, pa raste i struja od potrošača R_3 . Pri određenoj vrijednosti ulaznog napona, isključiće se diode D_2 i D_3 . Tada će struja kroz potrošač R_3 biti jednaka struji koja protiče kroz otpornik R_2 :

$$I_{OUT} = -\frac{V_{OUT}}{R} = \frac{V_{OUT} - E_{D4} + V_{EE}}{R} \Rightarrow V_{OUT} = -4.65 \text{ V} = V_{IN}$$

Dakle, za ulazni napon manji od -4.65 V , diode D_2 i D_3 neće provoditi, kako je i pokazano u 1°.

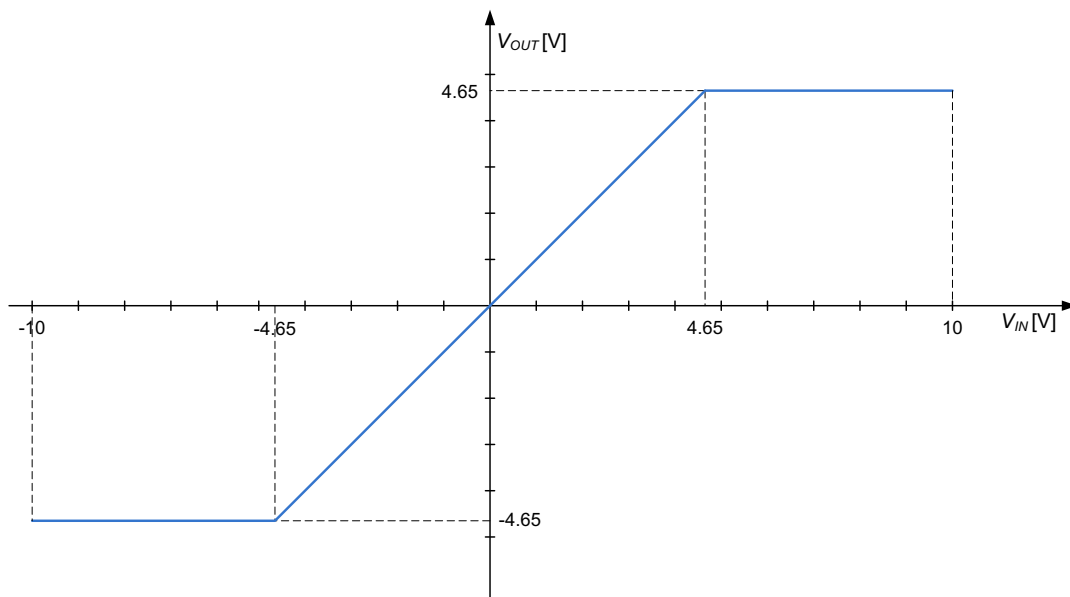
3° Uvodi se pretpostavka da diode D_1 i D_4 ne provode, dok diode D_2 i D_3 provode.

$$V_{OUT} = RI_{D3} = R \frac{V_{CC} - E_{D3}}{2R} = 4.65 \text{ V}$$

$$I_{D2} = \frac{V_{IN} - E_{D2} + V_{EE}}{R} > 0 \Rightarrow V_{IN} > -9.3 \text{ V}$$

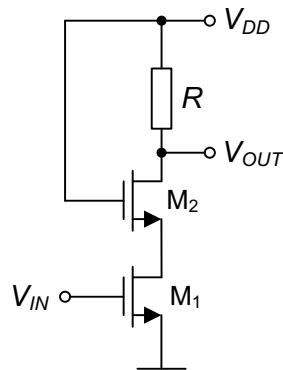
$$V_{D1} = -V_{IN} + E_{D3} + V_{OUT} < 0.7 \text{ V} \Rightarrow V_{IN} > 4.65 \text{ V}$$

$$V_{D4} = -V_{IN} + E_{D2} + V_{OUT} < 0.7 \text{ V} \Rightarrow V_{IN} > 4.65 \text{ V}$$



slika 4 Prenosna karakteristika kola prikazanog na slici 3

3. Za kolo na slici 5 izračunati i nacrtati prenosnu karakteristiku $V_{OUT}=f(V_{IN})$ za $0 \text{ V} < V_{IN} < 1 \text{ V}$. MOSFET-ovi su identičnih karakteristika sa $V_{t1}=V_{t2}=0.5 \text{ V}$ i $\beta_1=\beta_2=1\text{mA/V}^2$. Poznato je: $V_{DD}=1.5 \text{ V}$, $R=1 \text{ k}\Omega$, $\lambda_1=\lambda_2=0$.



slika 5

1° Uvodi se pretpostavka da MOSFET-ovi ne provode.

$$V_{OUT} = V_{DD} = 1.5 \text{ V}$$

$$V_{GS1} = V_{IN} < V_{t1} = 0.5 \text{ V}$$

Kada kroz kolo počne da protiče struja, napon V_{GD2} počinje da raste od nulte vrijednosti. Dakle, do neke vrijednosti struje I_{D2} , MOSFET M_2 će biti u zasićenju.

Kako je:

$$V_{GD1} = V_{IN} - V_{DD} + V_{GS2} = 2V_{IN} - V_{DD}$$

za ulazne napone manje od 1 V i MOSFET M_1 je u zasićenju.

2° Uvodi se pretpostavka da su MOSFET-ovi u zasićenju.

$$V_{OUT} = V_{DD} - RI_{D1} = V_{DD} - R \frac{1}{2} \beta (V_{GS1} - V_{t1})^2 = V_{DD} - R \frac{1}{2} \beta (V_{IN} - V_{t1})^2$$

$$V_{GD1} = V_{IN} - V_{DD} + V_{GS2}$$

$$V_{GS2} = V_{GS1} = V_{IN}$$

$$V_{GD1} = V_{IN} - V_{DD} + V_{IN} < V_{t1} \Rightarrow V_{IN} < 1 \text{ V}$$

$$V_{GD2} = RI_{D2}$$

$$I_{D2} = I_{D1}$$

$$V_{GD2} = R \frac{1}{2} \beta (V_{IN} - V_{t1})^2 < V_{t2}$$

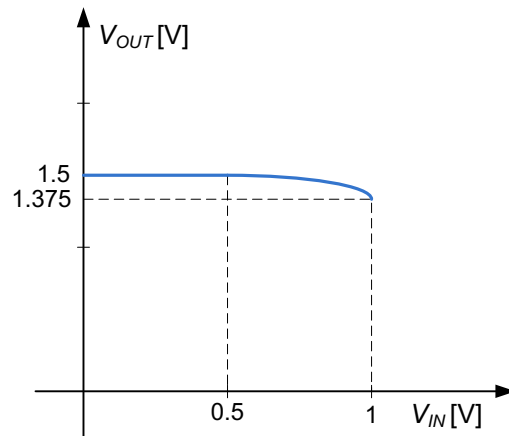
$$V_{IN1} = 1.5 \text{ V}$$

$$V_{IN2} = -0.5 \text{ V}$$

$$-0.5 \text{ V} < V_{IN} < 1.5 \text{ V}$$

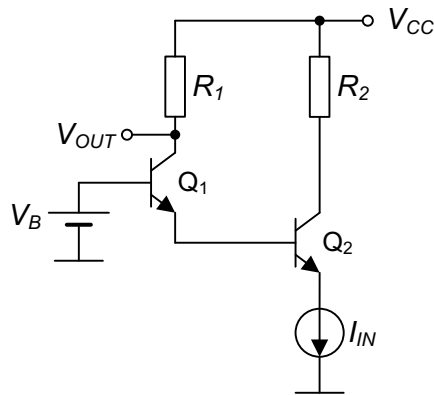
Na osnovu prethodne analize može se zaključiti da su oba MOSFET-a u zasićenju za ulazni napon V_{IN} u opsegu:

$$0.5 \text{ V} < V_{IN} < 1 \text{ V}$$



slika 6 Prenosna karakteristika kola prikazanog na slici 5

4. Za kolo na slici 7 izračunati i nacrtati prenosnu karakteristiku $V_{OUT}=f(I_{IN})$ za $0 \text{ V} < I_{IN} < 250 \text{ } \mu\text{A}$.
Poznato je: $V_{CC}=1.8 \text{ V}$, $V_B=2 \text{ V}$, $V_{BE1}=V_{BE2}=0.7 \text{ V}$, $V_{CES1}=V_{CES2}=0.2 \text{ V}$, $\beta=100$, $R_1=3.06 \text{ k}\Omega$, $R_2=10.1 \text{ k}\Omega$.



slika 7

1° Uvodi se pretpostavka da su oba BJT-a u DAR-u.

$$V_{OUT} = V_{CC} - R_1 I_{C1} = V_{CC} - R_1 \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E1} = V_{CC} - R_1 \frac{\beta}{(\beta + 1)^2} I_{E2} = V_{CC} - R_1 \frac{\beta}{(\beta + 1)^2} I_{IN} \approx V_{CC}$$

$$V_{CE1} = V_{OUT} - V_B + V_{BE1} > V_{CES1}$$

$$0.5 \text{ V} > V_{CES1}$$

$$V_{CE2} = V_{CC} - R_2 I_{C2} + V_{BE2} + V_{BE1} - V_B > V_{CES1}$$

$$V_{CC} - R_2 \frac{\beta}{\beta + 1} I_{IN} + V_{BE2} + V_{BE1} - V_B > V_{CES1}$$

$$I_{IN} < 100 \text{ } \mu\text{A}$$

Dakle, za struje veće od 0.1 mA, BJT Q₂ prelazi u zasićenje.

2° Uvodi se pretpostavka da je BJT Q₁ u DAR-u, dok je BJT Q₂ u zasićenju.

$$V_{OUT} = V_{CC} - R_1 I_{C1} = V_{CC} - R_1 \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E1} = V_{CC} - R_1 \frac{\beta}{\beta + 1} I_{B2} = V_{CC} - R_1 \frac{\beta}{\beta + 1} (I_{IN} - I_{C2})$$

$$I_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{CES2} + V_{BE2} + V_{BE1} - V_B}{R_2} = 99 \text{ } \mu\text{A}$$

$$V_{OUT} = 2.1 \text{ V} - 3.029 \text{ k}\Omega I_{IN}$$

$$V_{CE1} = V_{OUT} - V_B + V_{BE1} > V_{CES1}$$

$$I_{IN} < 198 \text{ } \mu\text{A}$$

$$V_{OUT}(I_{IN} = 100 \text{ } \mu\text{A}) \approx 1.8 \text{ V}$$

$$V_{OUT}(I_{IN} = 198 \text{ } \mu\text{A}) \approx 1.5 \text{ V}$$

Dakle, za struje veće od 198 μA i BJT Q_1 prelazi u zasićenje.

3° Uvodi se pretpostavka da su oba BJT-a u zasićenju.

$$V_{OUT} = V_B - V_{BE1} + V_{CE1} = 1.5 \text{ V}$$

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{OUT}}{R_1} = 98 \mu\text{A}$$

$$I_{C1} < \beta I_{B1}$$

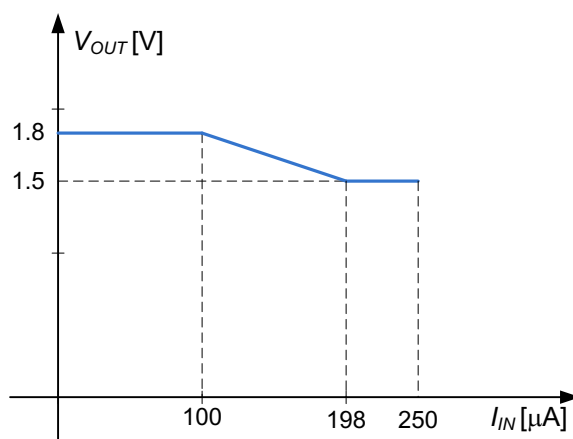
$$I_{C1} < \beta(I_{E1} - I_{C1})$$

$$I_{C1} < \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E1}$$

$$I_{E1} = I_{B2} = I_{IN} - I_{C2}$$

$$I_{C1} < \frac{\beta}{\beta + 1} (I_{IN} - I_{C2})$$

$$I_{IN} > 198 \mu\text{A}$$



slika 8 Prenosna karakteristika kola prikazanog na slici 7