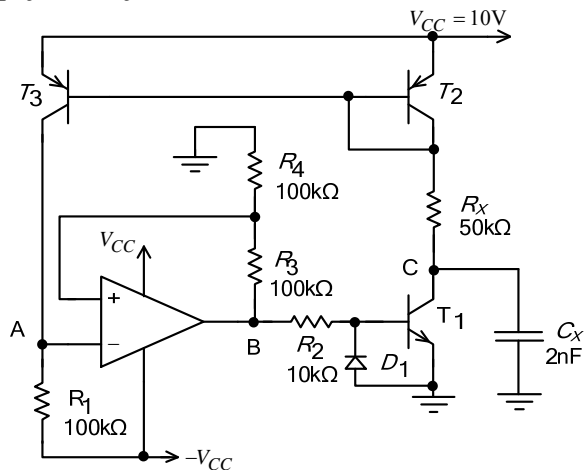


Zadatak. Za kolo sa slike izračunati i nacrtati (jedan ispod drugog) vremenske oblike napona u tačkama A, B, i C i izračunati učestanost oscilovanja. Poznato je: $\beta_F = 100$, $V_{CES} \approx 0$, napon direktno polarisanih $p-n$ spojeva je 0.7V. Vrednosti ostalih elemenata u kolu dati su na slici. Upotrebljeni operacioni pojačavač je idealan.



Rešenje:

Operacioni pojačavač je povezan kao invertujući komparator sa histerizisom, sa pragovima komparacije

$$V_{TH} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{CC} = \frac{V_{CC}}{2}, \quad V_{TL} = -\frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{CC} = -\frac{V_{CC}}{2}.$$

i vrednostima izlaznog napona

$$V_{OH} = V_{CC}, \quad V_{OL} = -V_{CC}$$

Dalje treba primetiti da tranzistori T_2 i T_3 predstavljaju strujno ogledalo i da postoji sledeća veza između napona na tačkama A i C:

$$v_A = -V_{CC} + R_1 \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_C}{R_X}, \quad v_C = (V_{CC} - V_{BE}) - \frac{R_X}{R_1} (v_A + V_{CC})$$

tako da porast napona tačke C odgovara padu napona tačke A,

Neka je u početnom, trenutku napon na izlazu komparatora maksimalno moguć.

Tada mora važiti da je

$$v_A < V_{TH}.$$

Da bi kolo oscilovalo, očigledno da bi trebalo da napon tačke A raste u ovim momentima, tj. da napon tačke C opada. Da li je stvarno tako ostaje da se proveri

Tranzistor T_1 je uključen i ekvivalentna šema kola prikazana je na slici 1. Kolektorska struja tranzistora T_1 iznosi:

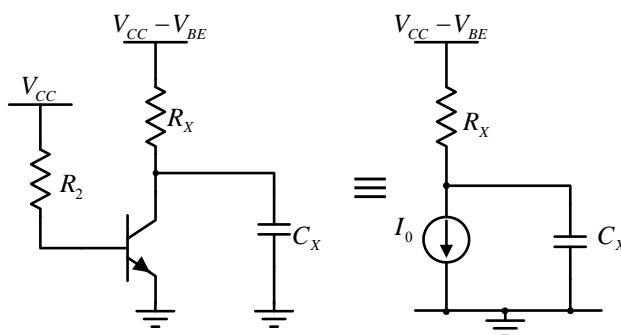
$$I_0 = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_2} = 93\text{mA}$$

Promena napona tačke C definisana je sledećim parametrima

$$v_C(\infty) = V_{CC} - V_{BE} - R_X I_C = -4641\text{V}$$

$$\tau = R_X C_X = 100\mu\text{s}$$

Očigledno da napon tačke C opada, odnosno napon tačke A raste, tako da u kolu postoje oscilacije!



Slika 1.

U trenutku $t = 0^-$ napon tačke A dostiže gornji prag komparatora:

$$v_A(0^-) = V_{TH},$$

odnosno

$$v_C(0^-) = (V_{CC} - V_{BE}) - \frac{R_X}{R_1}(V_{TH} + V_{CC}) = 1.8V$$

Dolazi do promene u kolu, tako da je u sledećem trenutku:

$$v_B(0^+) = V_{OL} = -V_{CC}$$

$$v_C(0^+) = v_C(0^-) = 1.8V \text{ (zbog neprekidnosti napona na kondenzatoru)}$$

$$v_A(0^+) = v_A(0^-) = V_{TH} = 5V \text{ (zbog relacije koja povezuje napone tačaka A i C)}$$

Tranzistor T_1 je sada isključen i ekvivalentna šema izgleda kao na slici 2. Promena napona tačke C opisana je sledećim parametrima

$$v_C(0^+) = 1.8V$$

$$v_C(\infty) = V_{CC} - V_{BE} = 9.3V$$

$$\tau = R_X C_X = 100\mu s$$

Dakle napon tačke C raste, dok napon tačke A opada. Situacija u kolu će se promeniti kada napon tačke A padne do donjeg praga komparatora, što se dešava nakon isteka vremena T_1 :

$$v_A(T_1^-) = V_{TL} = -5V.$$

Tada je

$$v_C(T_1^-) = (V_{CC} - V_{BE}) - \frac{R_X}{R_1}(V_{TL} + V_{CC}) = 6.8V$$

$$T_1 = \tau \ln \frac{v_C(\infty) - v_C(0^+)}{v_C(\infty) - v_C(T_1^-)} = 110\mu s$$

Kada se postigne uslov promene u kolu, u sledećem trenutku je

$$v_B(T_1^+) = V_{OH} = V_{CC}$$

$$v_C(T_1^+) = v_C(T_1^-) = 6.8V \text{ (zbog neprekidnosti napona na kondenzatoru)}$$

$$v_A(T_1^+) = v_A(T_1^-) = V_{TL} = -5V \text{ (zbog relacije koja povezuje napone tačaka A i C)}$$

Tranzistor T_1 je sada ponovo uključen i ekvivalentna šema izgleda kao na slici 1. Promena napona tačke C opisana je sledećim parametrima

$$v_C(0^+) = 6.8V$$

$$v_C(\infty) = V_{CC} - V_{BE} - R_X I_C = -4641V$$

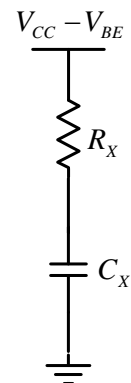
$$\tau = R_X C_X = 100\mu s$$

Napon tačke C opada, dok napon tačke A raste. Situacija u kolu će se promeniti kada napon tačke A poraste do gornjeg praga komparatora, što se dešava nakon isteka vremena T_2 :

$$v_A(T_2^-) = V_{TH} = 5V.$$

Tada je

$$v_C(T_2^-) = (V_{CC} - V_{BE}) - \frac{R_X}{R_1}(V_{TH} + V_{CC}) = 1.8V$$



Slika 2.

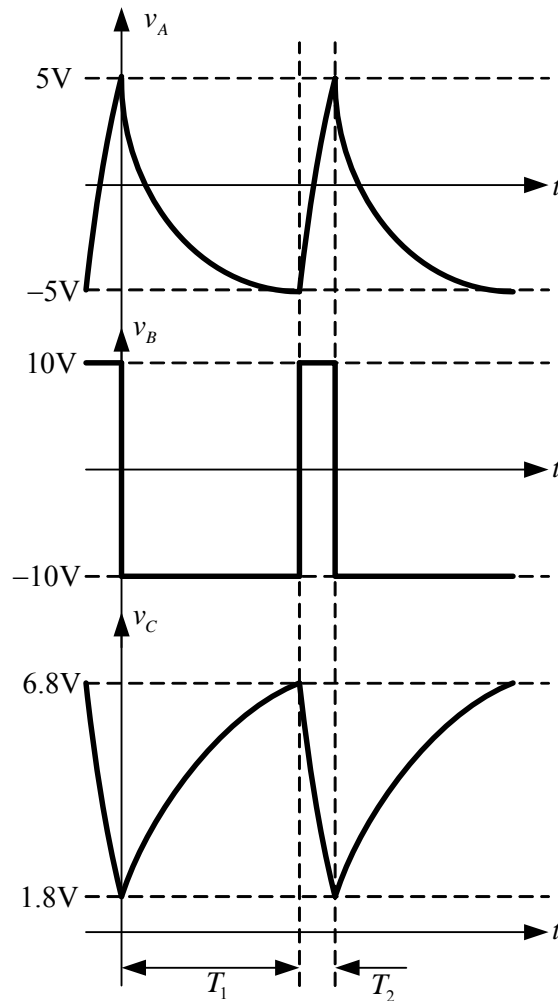
$$T_2 = \tau \ln \frac{v_c(\infty) - v_c(0^+)}{v_c(\infty) - v_c(T_2^-)} = 1.5 \text{ ns}$$

Kada se postigne uslov promene u kolu, u sledećem trenutku je

$$v_B(T_2^+) = v_{B\min} = -V_{CC}$$

i dalje se sve dešava isto kao za $t = 0^+$. Ovime je završena analiza jednog ciklusa oscilacija u kolu

Na slici 3 prikazani su vremenski dijagrami napona u tačkama A, B, i C.



Slika 3.

Učestanost oscilovanja je

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \approx 9.1 \text{ kHz}$$