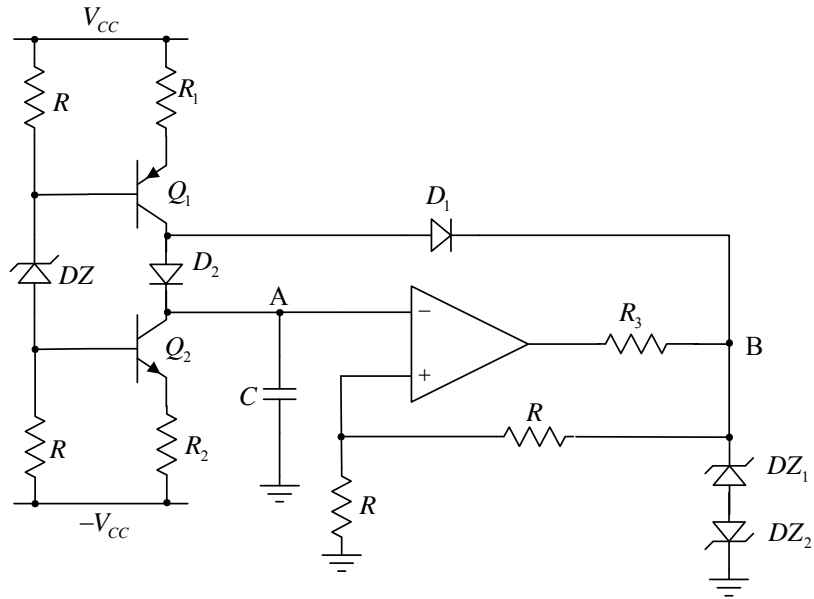


**Zadatak.**

- a) Za kolo astabilnog generatora sa slike odrediti vrednosti otpornosti  $R_1$  i  $R_2$  tako da trajanja kvazistabilnih stanja budu 10ms i 20ms.  
 b) Nacrtati vremenske dijagrame napona u tačkama A i B i odrediti minimalnu vrednost probojnog napona diode  $DZ$   
 c) Odrediti granice za vrednost otpornosti  $R_3$ .



Operacioni pojačavač je sa simetričnim napajanjem  $\pm V_{CC}$ , maksimalnom izlaznom strujom od 10mA i idealnih ostalih karakteristika.

Poznato:

$$V_{CC} = 15V, \quad V_Z = 13.8V, \quad V_{Z1} = V_{Z2} = 9.4V, \quad V_D = V_{BE} = 0.6V, \quad V_{CES} = 0.2V, \quad R = 5k\Omega, \\ C = 1\mu F, \quad \beta \rightarrow \infty.$$

**Rešenje:**

- a) Pogodno je odrediti napone na bazama tranzistora  $Q_1$  i  $Q_2$  (slika 1):

$$i_Z = \frac{2V_{CC} - V_Z}{2R}$$

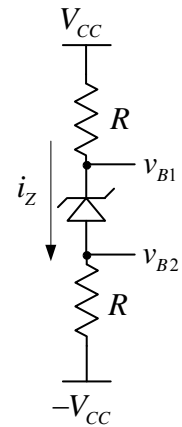
$$v_{B1} = V_{CC} - Ri_Z = \frac{V_Z}{2} = 6.9V$$

$$v_{B2} = -V_{CC} + Ri_Z = -\frac{V_Z}{2} = -6.9V$$

Struje tranzistora:

$$i_1 = \frac{V_{CC} - (v_{B2} + V_{BE})}{R_1} = \frac{V_{CC} - V_{BE} - \frac{V_Z}{2}}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{v_{B2} - V_{BE} - (-V_{CC})}{R_2} = \frac{V_{CC} - V_{BE} - \frac{V_Z}{2}}{R_2}$$



**Slika 1.**

Operacioni pojačavač povezan je kao invertujući komparator sa histerezisom, čiji su parametri

$$V_{OH} = V_{Z1,2} + V_D = 10V$$

$$V_{OL} = -(V_{Z1,2} + V_D) = -10V$$

$$V_{TH} = \frac{V_{Z1,2} + V_D}{2} = 5V$$

$$V_{TL} = \frac{-(V_{Z1,2} + V_D)}{2} = -5V$$

Ekvivalentna šema kola prikazana je na slici 2.

Pretpostavimo da je u početnom trenutku

$$v_B = V_{OH} = 10V$$

Da bi ovo bilo ostvareno mora važiti

$$v_A < V_{TH} = 5V$$

Pretpostavimo dalje da je dioda  $D_2$  provodna, a dioda  $D_1$  ne. Odatle sledi da je napon na diodi  $D_1$

$$v_{D_1} = v_A + V_D - v_B$$

U najgorem slučaju, kada je  $v_A = V_{TH} = 5V$ , ovaj napon iznosi

$$v_{D_1} = V_{TH} + V_D - V_{OH} = -4.4V,$$

tako da je pretpostavka tačna.

Deo kola od interesa prikazan je na slici 3.

Napon na kondenzatoru raste, jer se puni strujom  $i_1 - i_2$ .

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

$$v_A(0^-) = V_{TH} = 5V$$

tako da se izlaz komparatora menja i postaje

$$v_B(0^+) = V_{OL} = -10V$$

Pretpostavimo da sada vodi dioda  $D_1$ , a ne i dioda  $D_2$ . Odatle sledi da je napon na diodi  $D_2$

$$v_{D_2} = v_B + V_D - v_A$$

U najgorem slučaju, kada je  $v_A = V_{TL} = -5V$ ,

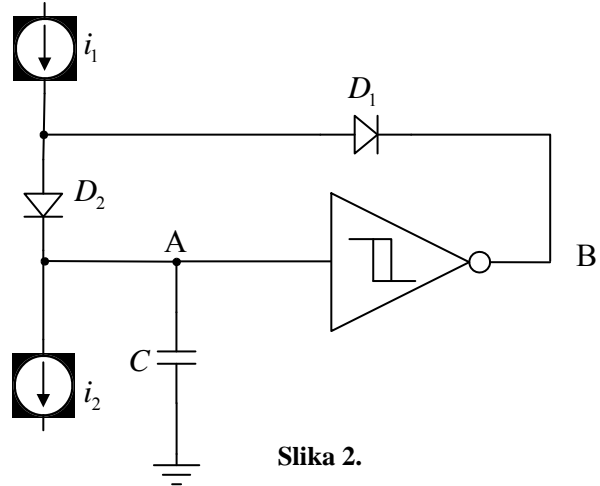
ovaj napon iznosi

$$v_{D_2} = V_{OL} + V_D - V_{TL} = -4.4V,$$

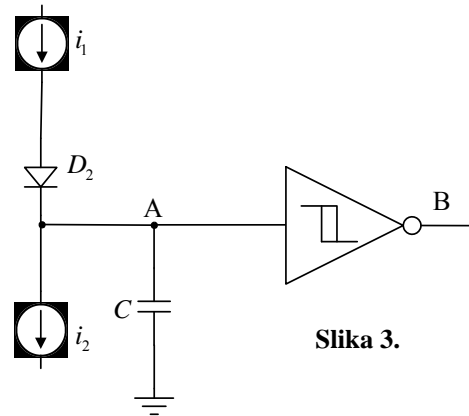
tako da je pretpostavka tačna.

Deo kola od interesa prikazan je na slici 4.

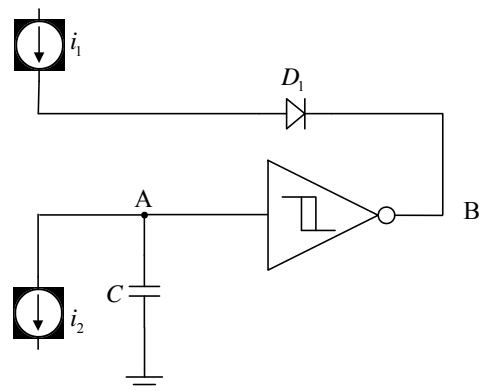
Napon na kondenzatoru opada, jer se prazni strujom  $i_2$ .



Slika 2.



Slika 3.



$$v_A(t) = v_A(0^+) - \frac{i_2}{C}t$$

Zbog neprekidnosti napona na kondenzatoru je

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

tako da je promena napona tačke A

$$v_A(t) = V_{TH} - \frac{i_2}{C}t$$

U trenutku  $t = T_1^-$  napon tačke A pada do vrednosti praga  $V_{TL}$

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

$$V_{TL} = V_{TH} - \frac{i_2}{C}T_1$$

$$T_1 = \frac{C}{i_2}(V_{TH} - V_{TL})$$

tako da se izlaz komparatora ponovo menja, i postaje

$$v_B(T_1^+) = V_{OH} = 10V$$

Sada je dioda  $D_2$  opet provodna, a dioda  $D_1$  ne. Deo kola od interesa ponovo izgleda kako je prikazano na slici 3.

Napon na kondenzatoru raste, jer se puni strujom  $i_1 - i_2$ .

$$v_A(t) = v_A(T_1^+) + \frac{i_1 - i_2}{C}t$$

Zbog neprekidnosti napona na kondenzatoru je

$$v_A(T_1^+) = v_A(T_1^-) = V_{TL},$$

tako da je promena napona tačke A

$$v_A(t) = V_{TL} + \frac{i_1 - i_2}{C}t$$

U trenutku  $t = T_2^-$  napon tačke A dostiže vrednost praga  $V_{TH}$

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

$$V_{TH} = V_{TL} + \frac{i_1 - i_2}{C}T_2$$

$$T_2 = \frac{C}{i_1 - i_2}(V_{TH} - V_{TL})$$

tako da se izlaz komparatora ponovo menja, i postaje

$$v_B(T_2^+) = V_{OL} = -10V$$

Ovime je završena analiza jednog ciklusa oscilacija u kolu

Iz poznatih  $T_1$  i  $T_2$  za nepoznate otpornosti dobijaju se izrazi:

$$R_2 = \frac{T_1}{C} \frac{V_{CC} - V_{BE} - \frac{V_Z}{2}}{V_{TH} - V_{TL}}$$

$$R_1 = \frac{1}{C \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right)} \frac{V_{CC} - V_{BE} - \frac{V_Z}{2}}{V_{TH} - V_{TL}}$$

Kako po uslovu zadatka nije rečeno koji deo periode traje kraće a koji duže, to su moguća dva rešenja:

1)  $T_1 = 10\text{ms}$ ,  $T_2 = 20\text{ms}$

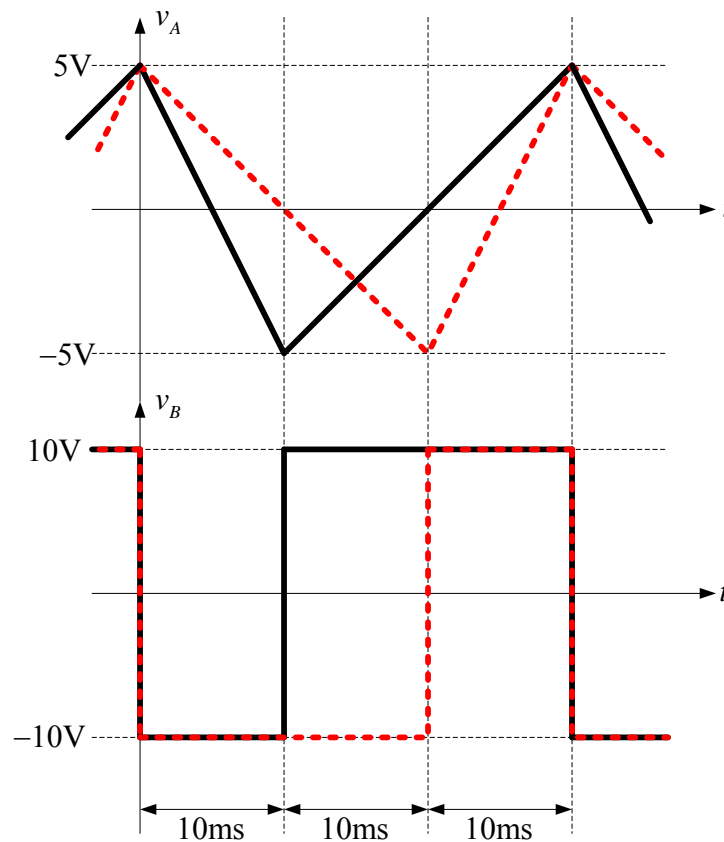
$$\Rightarrow R_1 = 5\text{k}\Omega, R_2 = 7.5\text{k}\Omega$$

2)  $T_1 = 20\text{ms}$ ,  $T_2 = 10\text{ms}$

$$\Rightarrow R_1 = 5\text{k}\Omega, R_2 = 15\text{k}\Omega$$

b)

Postoje dve varijante vremenskih dijagrama, u zavisnosti od vrednosti otpornosti  $R_1$  i  $R_2$ . Obe varijante prikazane su na slici 5, varijanta 1) punom, a varijanta 2) isprekidanom linijom



Naponsko zasićenje tranzistora  $Q_1$  i  $Q_2$

$$v_{EC1} > V_{CES}$$

$$v_{CE2} > V_{CES}$$

$$\frac{V_Z}{2} + V_{BE} - v_{C1\max} > V_{CES}$$

$$v_{A\min} - \left( -\frac{V_Z}{2} - V_{BE} \right) > V_{CES}$$

Ekstremne vrednosti:

$$v_{C1\max} = v_{A\max} + V_D = V_{TH} + V_D = 5.6V$$

$$v_{A\min} = V_{TL} = -5V$$

$$V_Z > 2(V_{CES} + V_{TH} + V_D - V_{BE}) = 10.4V$$

$$V_Z > 2(V_{CES} - V_{TL} - V_{BE}) = 9.2V$$

Dodatni uslov: struje  $i_1$  i  $i_2$  moraju biti veće od nule:

$$V_{CC} - V_{BE} - \frac{V_Z}{2} > 0$$

$$V_Z < 2(V_{CC} - V_{BE}) = 28.8V$$

Opseg dozvoljenih vrednosti probojnog napona diode  $DZ$  je:

$$10.4V < V_Z < 28.8V$$

c) Izlaz operacionih pojačavača se ponaša kao strujni izvor čija struja je definisana vrednošću otpornosti  $R_3$

$$|i_{OP}| = \frac{V_{CC} - (V_{Z1,2} + V_D)}{R_3}$$

Ova struja mora biti manja od maksimalno dozvoljene

$$\frac{V_{CC} - (V_{Z1,2} + V_D)}{R_3} \leq i_{OP\max} = 10mA$$

$$R_3 \geq 500\Omega$$

Sa druge strane, strujni izvor mora dati dovoljno struje u obe poluperiode

Prvi Kirhofov zakon za čvor B u prvoj poluperiodi glasi

$$\frac{V_{CC} - (V_Z + V_D)}{R_3} = i_Z + \frac{V_Z + V_D}{2R} + i_1$$

Granični slučaj je kada je  $I_Z = I_{Z\min} = 0$ , odnosno

$$R_{3\max} = \frac{V_{CC} - (V_Z + V_D)}{i_{Z\min} + \frac{V_Z + V_D}{2R} + i_1} = 2k\Omega$$

Prvi Kirhofov zakon za čvor B u drugoj poluperiodi glasi

$$\frac{V_{CC} - (V_Z + V_D)}{R_3} = i_Z + \frac{V_Z + V_D}{2R}$$

Granični slučaj je kada je  $I_Z = I_{Z\min} = 0$ , odnosno

$$R_3 = \frac{V_{CC} - (V_Z + V_D)}{i_{Z \min} + \frac{V_Z + V_D}{2R}} = 5\text{k}\Omega$$

Opseg dovoljenih vrednosti otpornosti otpornika  $R_3$  je na osnovu gornjih razmatranja

$$500\Omega \leq R_3 \leq 2\text{k}\Omega$$