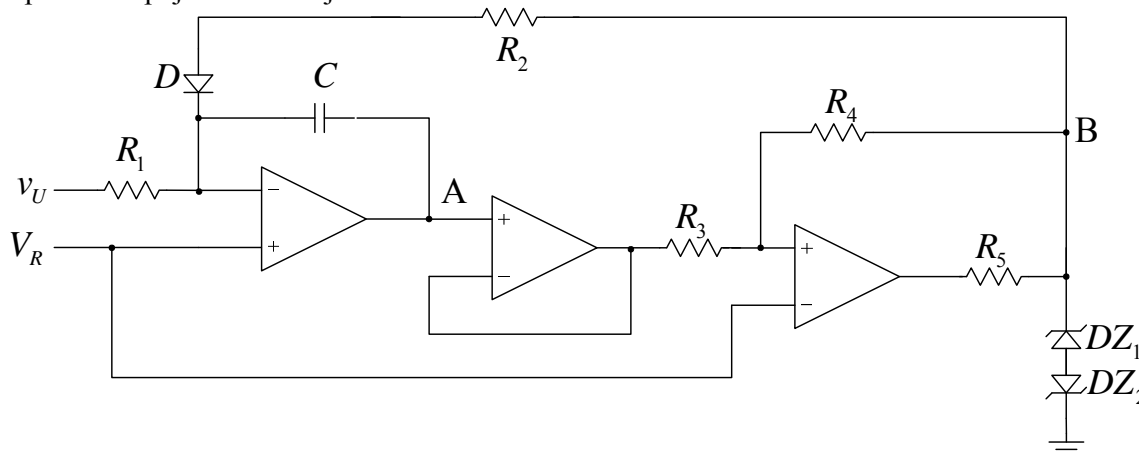


Zadatak. Za kolo sa slike 5:

- [10] Izračunati i nacrtati vremenske oblike napona u tačkama A i B.
- [4] Odrediti dozvoljen opseg vrednosti napona v_U tako da kolo i dalje radi na isti način
- [3] Odrediti otpornost R_2 tako da impuls i pauza signala u tački B budu istog trajanja.
- [3] Odrediti maksimalnu vrednost otpornosti R_5 ako je zadovoljen uslov iz tačke (c).

Za zener diode važi $V_Z = 9.4V$, dok za sve diode važi $V_D = 0.6V$. Napajanje operacionih pojačavača je $\pm 15V$. $v_U = 1V$, $V_R = 2V$, $R_5 = 500\Omega$, $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$, $C = 100nF$, $R_4 = 2R_3 = 10k\Omega$. Operacioni pojačavači imaju idealne sve karakteristike.



Slika 5.

Rešenje:

Dato kolo može se ekvivalentirati šemom sa slike 1

Pragovi komparatora su:

$$V_{TH} = V_R \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) + (V_Z + V_D) \frac{R_3}{R_4} = 8V$$

$$V_{TL} = V_R \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) - (V_Z + V_D) \frac{R_3}{R_4} = -2V$$

Vrednosti napona na izlazu komparatora su:

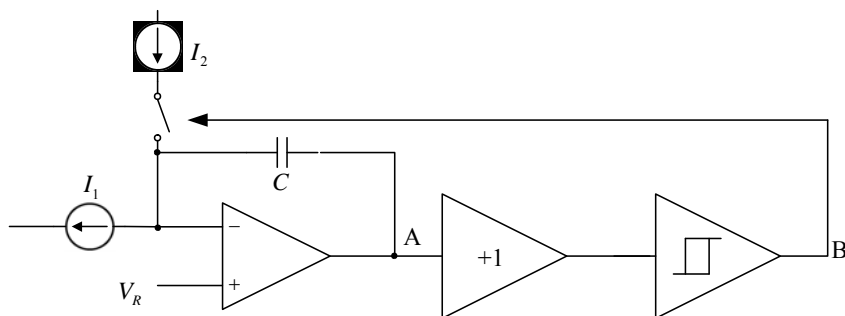
$$V_{OH} = V_Z + V_D = 10V$$

$$V_{OL} = -(V_Z + V_D) = -10V$$

Struje strujnih izvora:

$$I_1 = \frac{V_R - v_U}{R_1} = 1mA$$

$$I_2 = \frac{V_Z + V_D - (V_R + V_D)}{R_2} = \frac{V_Z - V_R}{R_2} = 3.7mA$$



Slika 1.

Sada se može pristupiti analizi ponašanja kola.

Pretpostavimo da je u početnom trenutku napon tačke B visok

$$v_B = V_Z + V_D$$

Ovo znači da je prekidač uključen i da teče struja I_2 . Kako je $I_2 > I_1$ zaključujemo da se kondenzator prazni tj, da napon tačke A opada. U trenutku $t = 0^-$ napon tačke A dostiže vrednost praga V_{TL}

$$v_A(0^-) = V_{TL}$$

tako da se izlaz komparatora menja, i postaje

$$v_B(0^+) = -(V_Z + V_D)$$

Prekidač se isključuje, i kondenzator se puni strujom I_1 . Kako je napon tačke A zbir konstantnog potencijala i napona kondenzatora koji ne može da trenutno promeni svoju vrednost, to ni napon tačke A ne može da trenutno promeni svoju vrednost, odnosno

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

Za napon tačke A važi

$$v_A(t) = V_A(0^+) + \frac{I_1}{C}t = V_{TL} + \frac{I_1}{C}t$$

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

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

$$V_{TH} = V_{TL} + \frac{I_1}{C}T_1$$

$$T_1 = \frac{C(V_{TH} - V_{TL})}{I_1} = 1\text{ms}$$

tako da se izlaz komparatora ponovo menja, i postaje

$$v_B(T_1^+) = V_Z + V_D$$

Već je pokazano da napon tačke A ne može da trenutno promeni svoju vrednost

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

Prekidač se uključuje i kondenzator se prazni razlikom struja I_2 i I_1 , tako da napon tačke A opada

$$v_A(t) = v_A(T_1^+) - \frac{I_2 - I_1}{C}t = V_{TH} - \frac{I_2 - I_1}{C}t$$

Nakon protoka vremena $t = T_2^-$ napon tačke A još jednom pada do vrednosti praga V_{TL} , čime je završen jedan ciklus oscilacija u kolu

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

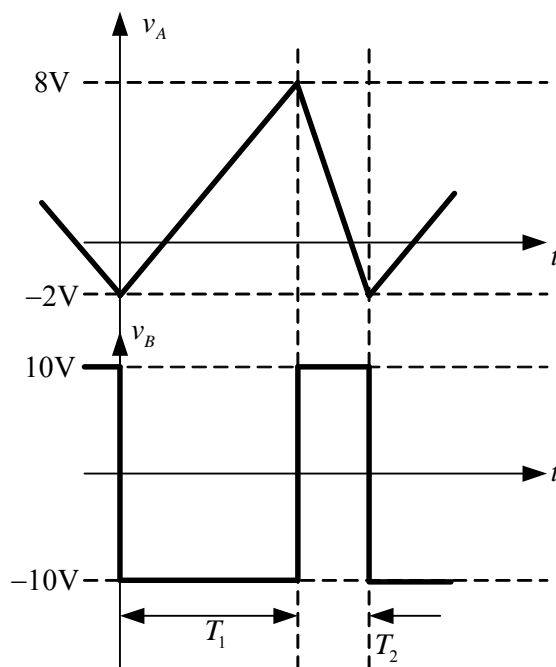
$$V_{TL} = V_{TH} - \frac{I_2 - I_1}{C} T_2$$

$$T_2 = \frac{C(V_{TH} - V_{TL})}{I_2 - I_1} = 0.37 \text{ms}$$

Frekvencija oscilovanja kola iznosi

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} = 730 \text{Hz}$$

Traženi vremenski oblici prikazani su na slici 2.



Slika 2.

b)

Treba proveriti sledeće uslove:

$$I_1 > 0 \Rightarrow v_U < V_R = 2\text{V}$$

$$I_2 - I_1 > 0 \Rightarrow \frac{V_Z - V_R}{R_2} - \frac{V_R - v_U}{R_1} > 0 \Rightarrow v_U > V_R \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) - \frac{R_1}{R_2} V_Z = -1.7\text{V}$$

Dozvoljen opseg:

$$-1.7\text{V} \leq v_U \leq 2\text{V}$$

c)

Mora da važi

$$T_1 = T_2$$

$$I_1 = I_2 - I_1$$

$$I_2 = 2I_1$$

$$\frac{V_Z - V_R}{R_2} = 2 \frac{V_R - v_U}{R_1}$$

$$R_2 = \frac{R_1}{2} \frac{V_Z - V_R}{V_R - v_U} = 3.7\text{k}\Omega,$$

i tada je

$$I_2 = 2\text{mA}$$

d)

Otpornik R_5 ograničava izlaznu struju operacionog pojačavača:

$$i_{OP} \Big|_{v_B=v_{OH}} = \frac{V_{CC} - (V_Z + V_D)}{R_5} = I_2 + \frac{(V_Z + V_D) - v_A}{R_3 + R_4} + i_Z$$

$$i_{OP} \Big|_{v_B=v_{OL}} = \frac{-(V_Z + V_D) + V_{CC}}{R_5} = \frac{v_A + (V_Z + V_D)}{R_3 + R_4} + i_Z$$

Kada je visok nivo u tački B kritično je $v_A = v_{Amin} = V_{TL} = -2\text{V}$

$$\frac{V_{CC} - (V_Z + V_D)}{R_5} \geq I_2 + \frac{(V_Z + V_D) - V_{TL}}{R_3 + R_4} + i_{Zmin}$$

$$R_5 \leq \frac{V_{CC} - (V_Z + V_D)}{I_2 + \frac{(V_Z + V_D) - V_{TL}}{R_3 + R_4} + i_{Zmin}} = 1.79\text{k}\Omega$$

Kada je nizak nivo u tački B kritično je $v_A = v_{Amax} = V_{TH} = 8\text{V}$

$$\frac{-(V_Z + V_D) + V_{CC}}{R_5} \geq \frac{V_{TH} + (V_Z + V_D)}{R_3 + R_4} + i_{Zmin}$$

$$R_5 \leq \frac{-(V_Z + V_D) + V_{CC}}{\frac{V_{TH} + (V_Z + V_D)}{R_3 + R_4} + i_{Zmin}} = 4.17\text{k}\Omega$$

Strožiji uslov

$$R_{5max} = 1.79\text{k}\Omega$$