

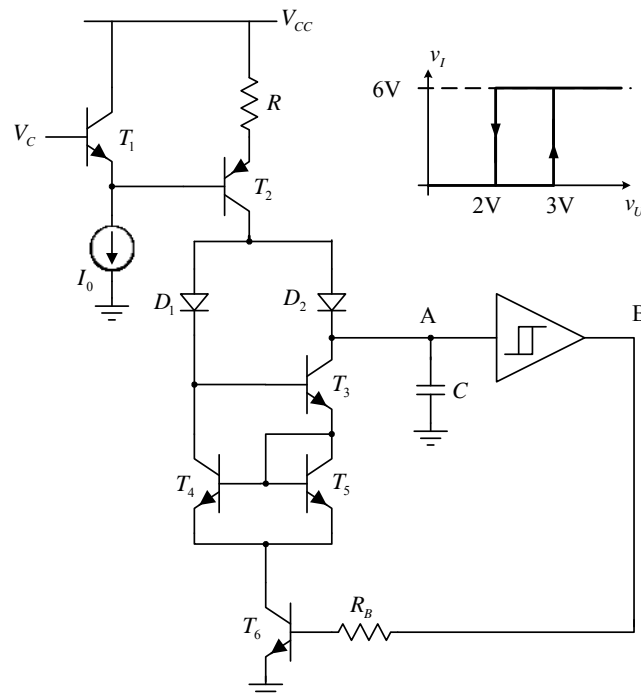
5. Za astabilno kolo sa slike 5:

a) [8] Izračunati i nacrtati (jedan ispod drugog) vremenske dijagrame napona u tačkama A i B za vrednost kontrolnog napona $V_C = 5V$.

b) [6] Kolika je maksimalna učestanost sa kojom kolo može ispravno da radi? Kolika je vrednost kontrolnog napona V_C za maksimalno moguću učestanost?

c) [6] Ako je $V_C = 5V$, kolika se može postići amplituda napona u tački A izmenom pragova komparacije Šmitovog kola?

Šmitovo kolo je realizovano u CMOS tehnologiji sa karakteristikom prenosa prikazanoj na slici 5. Svi tranzistori imaju veliki koeficijent strujnog pojačanja, a vrednosti napona na direktno polarisanim spojevima su $V_{BE} = V_D = 0.6V$, $V_{BES} = 0.7V$, $V_{CES} = 0.2V$. Napon napajanja je $V_{CC} = 6V$. Vrednosti upotrebljenih komponentata su $R = 1k\Omega$, $C = 10nF$, $I_0 = 1mA$.



Slika 5

Rešenje:

a)

Tranzistor T_2 predstavlja strujni izvor konstantne struje:

$$I = \frac{V_{CC} - (V_C - V_{BE1} + V_{BE2})}{R} = \frac{V_{CC} - V_C}{R} = 1mA$$

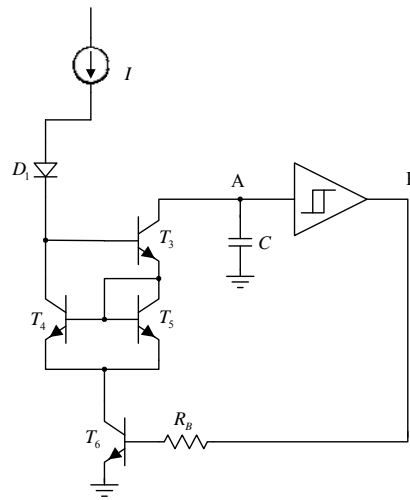
Pretpostavimo da je u početnom trenutku

$$v_B = V_{OH} = 6V$$

Da bi ovo važno mora biti

$$v_A > V_{TL} = 3V$$

Visok napon na izlazu komparatora uključuje tranzistor T_6 , koji radi u zasićenju (veliko strujno pojačanje). Pretpostavimo da vodi dioda D_1 , a da je dioda D_2 isključena. Ekvivalentna šema izgleda kao na slici 5.a



Slika 5.a

Kondenzator se prazni strujom I , pošto T_4 i T_5 predstavljaju strujno ogledalo
 Provera da je dioda D_2 stvarno isključena:

$$v_{D2} = V_{CES(T_6)} + V_{BE(T_5)} + V_{BE(T_3)} + V_{D(D_1)} - V_A$$

Kondenzator se prazni najniže do vrednosti napona $v_A = V_{TL}$, što je kritičan momenat za diodu D_2

$$v_{D_2 \max} = V_{CES} + V_{BE} + V_{BE} + V_D - V_{TL} = 0V < V_D$$

Pretpostavka je tačna.

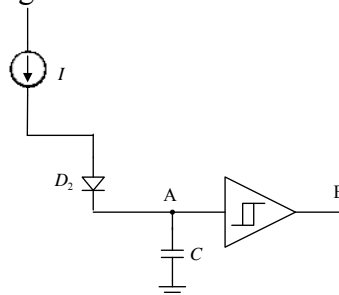
U trenutku $t = 0^-$ napon v_A dostiže donji prag komparatora

$$v_A(0^-) = V_{TL} = 2V$$

tako da se izlaz komparatora menja i postaje

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

Nizak napon na izlazu komparatora isključuje tranzistor T_6 , kao i tranzistore T_3 , T_4 i T_5 i diodu D_1 (struja koja bi išla kroz ova tri tranzistora i diodu nema kuda da prođe jer je T_6 isključen). Ekvivalentna šema izgleda kao na slici 5.b



Slika 5.b

Napon na kondenzatoru raste, jer se puni strujom I .

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

Zbog neprekidnosti napona na kondenzatoru je

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

tako da je promena napona tačke A

$$v_A(t) = V_{TL} + \frac{I}{C}t$$

U trenutku $t = T_1^-$ napon tačke A dostiže vrednost praga V_{TH}

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

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

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

tako da se izlaz komparatora ponovo menja, i postaje

$$v_B(T_1^+) = V_{OH} = 6V$$

Sada je dioda D_2 opet provodna, a dioda D_1 ne. Deo kola od interesa ponovo izgleda kako je prikazano na slici 5.a.

Napon na kondenzatoru opada

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

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

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

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

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

tako da se izlaz komparatora ponovo menja, i postaje

$$v_B(T_2^+) = V_{OL} = 0V,$$

čime se završava jedan ciklus oscilacija u kolu.

Frekvencija oscilacija u kolu je

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{T_1 + T_2} = 50\text{kHz}$$

Traženi vremenski dijagrami napona prikazani su na slici 5.c

b) Opšti izraz za frekvenciju oscilovanja kola je

$$f = \frac{1}{T} = \frac{I}{2C(V_{TH} - V_{TL})} = \frac{(V_{CC} - V_C)}{2RC(V_{TH} - V_{TL})}$$

Frekvencija je najveća kada je kontrolni napon V_C najmanji.

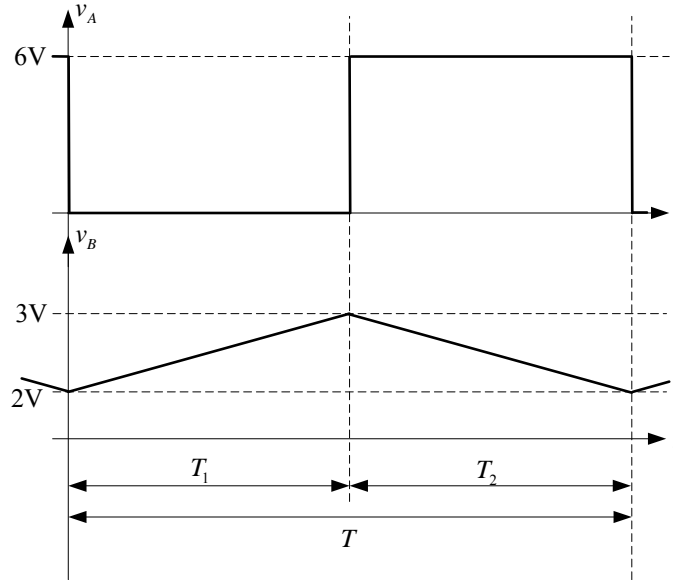
Ukoliko kontrolni napon previše padne, može da se desi da tranzistor T_2 ode u zasićenje, kada više ne predstavlja strujni izvor. Formalno zapisan, uslov kada vodi dioda D_2 glasi

$$v_{EC2} = v_C - (v_A + V_D) \geq V_{CES}$$

$$v_C \geq V_{CES} + v_A + V_D$$

Kritično je kada je napon v_A maksimalan, $v_A = V_{TH} = 3V$

$$v_C \geq V_{CES} + V_{TH} + V_D = 3.8V$$



Slika 5.c

Kada vodi dioda D_1 uslov glasi

$$v_{EC2} = v_C - (V_{CES} + 2V_{BE} + V_D) \geq V_{CES}$$

$$v_C \geq 2V_{CES} + 2V_{BE} + V_D = 2.2V$$

Bira se strožiji uslov

$$v_{Cmin} = 3.8V$$

Frekvencija oscilovanja kola tada je maksimalno moguća, i iznosi

$$f = \frac{(V_{CC} - V_C)}{2RC(V_{TH} - V_{TL})} = 110kHz$$

c)

Amplituda napona u tački A definiše se kao

$$V_a = \frac{v_{Amax} - v_{Amin}}{2} = \frac{V_{TH} - V_{TL}}{2}$$

Povećavanjem gornjeg praga komparatora postoji opasnost da tranzistor T_2 uđe u zasićenje (u delu ciklusa kada je na izlazu komparatora nizak napon):

$$v_{EC2} = v_C - (v_A + V_D) \geq V_{CES}$$

$$v_C - V_{CES} - V_D \geq v_A$$

$$v_{Amax} = v_C - V_{CES} - V_D = 4.2V$$

Smanjivanjem donjeg praga komparatora postoji opasnost da tranzistor T_3 uđe u zasićenje

$$v_{CE3} = v_A - (V_{CES} + V_{BE}) \geq V_{CES}$$

$$v_A \geq 2V_{CES} + V_{BE} = 1V,$$

ili da se uključi dioda D_2 (u delu ciklusa kada je na izlazu komparatora visok napon)

$$v_{D2} = V_{CES} + 2V_{BE} + V_D - v_A \leq V_D$$

$$v_A \geq V_{CES} + 2V_{BE} = 1.4V$$

Od dva uslova za minimalnu vrednost praga bira se strožiji:

$$v_{Amin} = 1.4V$$

Za maksimalnu vrednost amplitude napona u tački A konačno se dobija

$$V_a = 1.4V$$