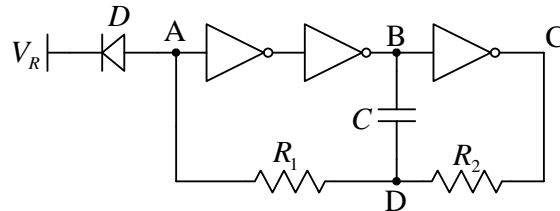


5. U kolu sa slike 5 upotrebljeni su idealni CMOS invertori, bez zaštitnih dioda na ulazu. Dioda  $D$  je idealna, sa  $V_D = 0$  V. Promenom referentnog napona  $V_R$  moguće je u nekim granicama menjati učestanost oscilovanja.

a) [12] Izračunati i nacrtati vremenske dijagrame napona u tačkama A, B, C i D.

b) [3] Odrediti u kojim granicama je moguće menjati učestanost oscilovanja kola sa slike 5, samo promenom referentnog napona  $V_R$



Slika 5

**Rešenje:**

a)

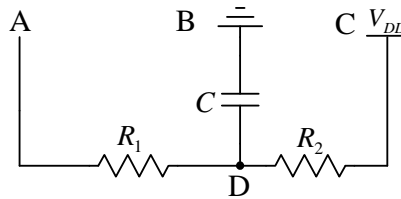
Neka je u početnom trenutku analize ( $t < 0$ )

$$v_B = 0$$

$$v_C = V_{DD}$$

Tada mora biti  $v_A < \frac{V_{DD}}{2}$ .

Ekvivalentna šema kola prikazana je na slici



Sa slike je:

$$\tau = \tau_1 = CR_2$$

$$v_A(\infty) = V_{DD}$$

U trenutku  $t = 0^-$  napon tačke A dostiže vrednost praga invertora:

$$v_A(0^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

što dovodi do promene na izlazu oba invertora

$$v_B(0^+) = V_{DD}$$

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

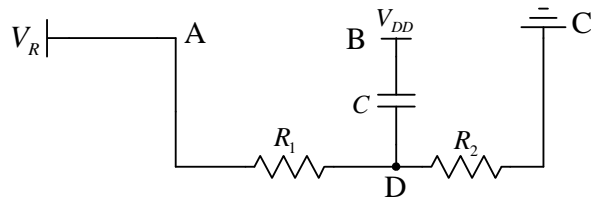
Pošto napon na kondenzatoru ne može da trenutno promeni vrednost, potrebno je naći njegovu vrednost pre promene:

$$v_{CON}(0^+) = v_{CON}(0^-) = v_D(0^-) = v_A(0^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$v_{CON}(0^+) = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$v_D(0^+) = V_{DD} + \frac{V_{DD}}{2} = \frac{3V_{DD}}{2}, \text{ što ukazuje da će dioda da se uključi}$$

Ekvivalentna šema kola prikazana je na sledećoj slici



$$v_A(0^+) = V_R$$

Sa slike se očitava:

$$\tau = \tau_2 = C(R_1 \parallel R_2)$$

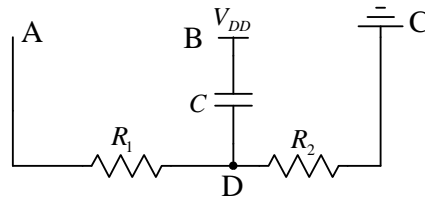
$$v_D(\infty) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R$$

Za  $t > 0$  napon tačke D opada, i u trenutku  $t = T_1^-$  struja kroz diodu pada na nulu, odnosno dioda se gasi

$$v_D(T_1^-) = V_R$$

$$T_1 = \tau_2 \ln \frac{v_D(\infty) - v_D(0^+)}{v_D(\infty) - v_D(T_1^-)} = C(R_1 \parallel R_2) \ln \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R - \frac{3V_{DD}}{2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R - V_R}$$

Za  $t > T_1$ , ekvivalentna šema kola prikazana je na slici



$$v_D(\infty) = 0$$

$$\tau = \tau_1 = CR_2$$

Nakon isteka vremena  $T_2$  napon tačke A pada na napon praga invertora:

$$v_D(T_2^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

što dovodi do promene na izlazima invertora

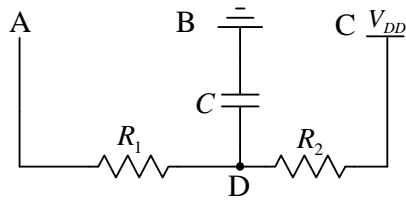
$$v_B(T_2^+) = 0$$

$$v_C(T_2^+) = V_{DD}$$

Proteklo vreme

$$T_2 = \tau_1 \ln \frac{v_D(\infty) - v_D(T_1^+)}{v_D(\infty) - v_D(T_2^-)} = CR_2 \ln \frac{2V_R}{V_{DD}}$$

Ekvivalentna šema kola prikazana je na sledećoj slici



Pošto napon na kondenzatoru ne može da trenutno promeni vrednost, potrebno je naći njegovu vrednost pre promene:

$$v_{CON}(T_2^+) = v_{CON}(T_2^-) = v_D(T_2^-) - V_{DD} = -\frac{V_{DD}}{2}$$

$$v_D(T_2^+) = v_{CON}(T_2^+) = -\frac{V_{DD}}{2}$$

$$v_A(T_2^+) = v_D(T_2^+)$$

Sa slike se očitava:

$$\tau = \tau_1 = CR_2$$

$$v_D(\infty) = v_A(\infty) = V_{DD}$$

Sada napon tačke A raste, i u trenutku  $t = T_3^-$  opet postaje jednak naponu praga invertora:

$$v_A(T_3^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

što dovodi do promene na izlazu oba invertora

$$v_B(T_3^+) = V_{DD}$$

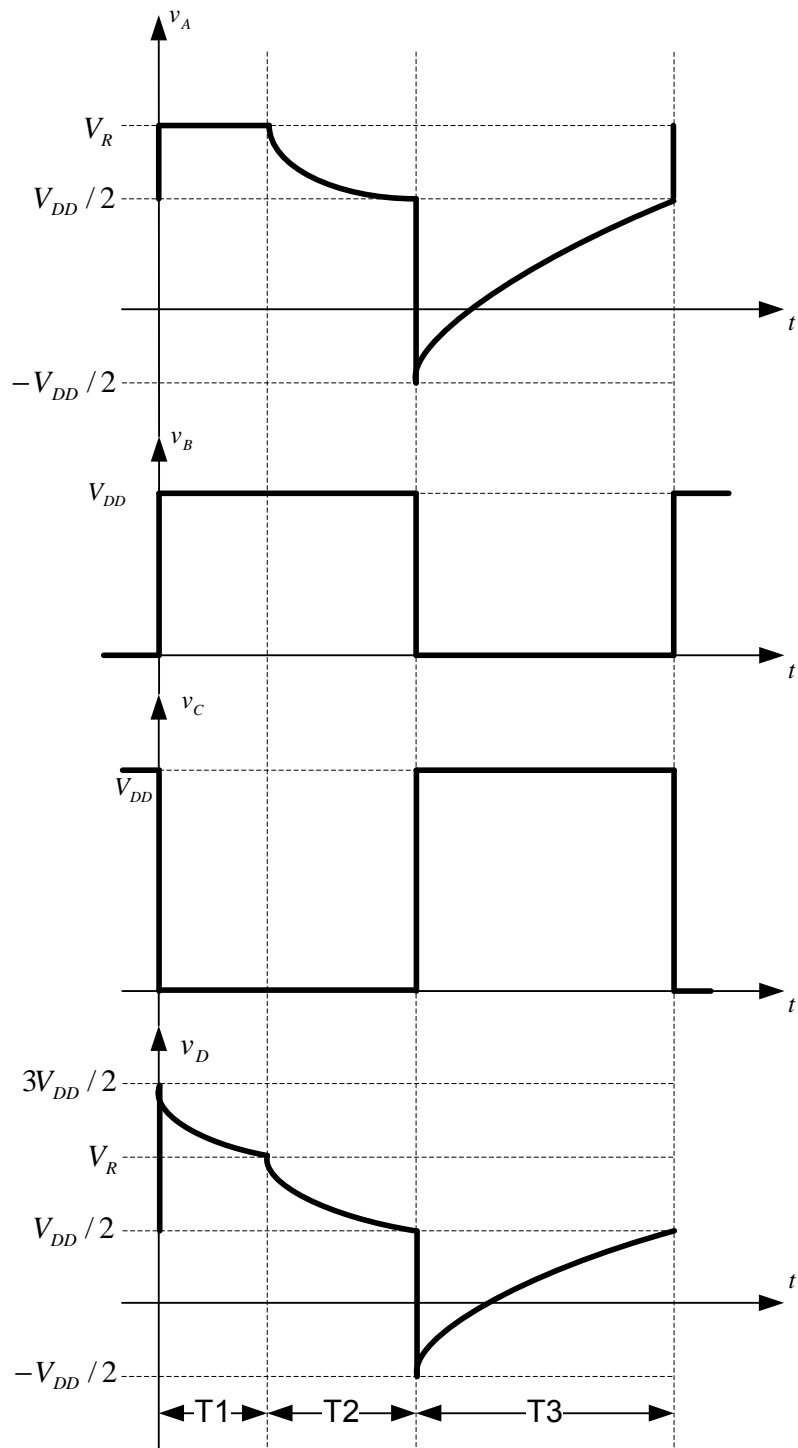
$$v_C(T_3^+) = 0$$

Proteklo vreme

$$T_3 = \tau_1 \ln \frac{v_A(\infty) - v_A(T_2^+)}{v_A(\infty) - v_A(T_3^-)} = CR_2 \ln 3$$

Ovim je završena analiza promena u kolu u toku jednog ciklusa oscilacija.

Traženi vremenski dijagrami prikazani su na sledećoj slici



Učestanost oscilovanja kola je

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2 + T_3} = \frac{1}{C(R_1 \parallel R_2) \ln \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R - \frac{3V_{DD}}{2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R - V_R} + CR_2 \ln \frac{2V_R}{V_{DD}} + CR_2 \ln 3}$$

b)

Da bi učestanost oscilacija zavisila od referentnog napona potrebno je da bude

$$\frac{V_{DD}}{2} < V_R < \frac{3V_{DD}}{2}$$

Na donjoj granici referentnog napona

$$f_{\max} = \frac{1}{C(R_1 \parallel R_2) \ln \left( 3 + \frac{2R_2}{R_1} \right) + CR_2 \ln 3}$$

Na gornjoj granici referentnog napona

$$f_{\min} = \frac{1}{2CR_2 \ln 3}$$