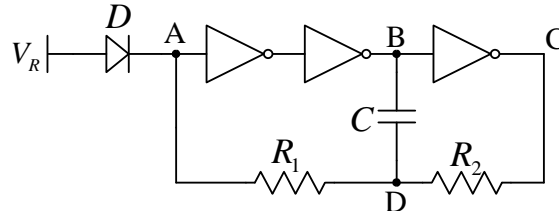


5. U kolu sa slike 5 upotrebljeni su idealni CMOS invertori, bez zaštitnih dioda na ulazu. Dioda D je idealna, sa $V_D = 0$ V. Promenom referentnog napona V_R moguće je u nekim granicama menjati učestanost oscilovanja.

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:

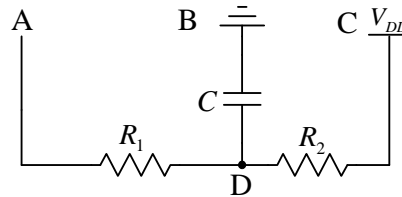
a)

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

$$\begin{aligned} v_B &= 0 \\ v_C &= V_{DD} \end{aligned}$$

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

Ekvivalentna šema kola prikazana je na slici



Sa slike je:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_1 = CR_2 \\ v_A(\infty) &= V_{DD} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} v_B(0^+) &= V_{DD} \\ v_C(0^+) &= 0 \end{aligned}$$

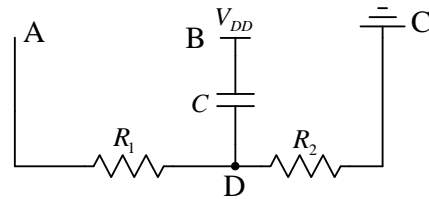
Pošto napon na kondenzatoru ne može da trenutno promeni vrednost, potrebno je naći njegovu vrednost pre promene:

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

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

$$v_D(0^+) = V_{DD} + \frac{V_{DD}}{2} = \frac{3V_{DD}}{2}$$

Ekvivalentna šema kola prikazana je na sledećoj slici



$$v_D(\infty) = 0$$

$$\tau = \tau_1 = CR_2$$

Nakon isteka vremena T_1 napon tačke A pada na napon praga invertora:

$$v_D(T_1^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

što dovodi do promene na izlazima invertora

$$v_B(T_1^+) = 0$$

$$v_C(T_1^+) = V_{DD}$$

Proteklo vreme

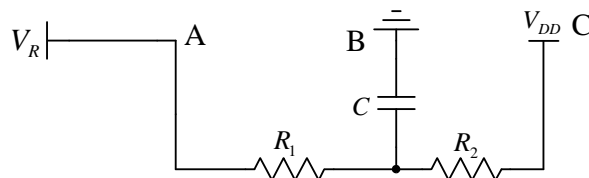
$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{v_D(\infty) - v_D(0^+)}{v_D(\infty) - v_D(T_1^-)} = CR_2 \ln 3$$

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

$$v_{CON}(T_1^+) = v_{CON}(T_1^-) = v_D(T_1^-) - V_{DD} = -\frac{V_{DD}}{2}, \text{ što ukazuje da će se dioda uključiti}$$

$$v_D(T_1^+) = v_{CON}(T_1^+) = -\frac{V_{DD}}{2}$$

Ekvivalentna šema kola prikazana je na slici



$$v_A(T_1^+) = V_R$$

Sa slike se očitava:

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

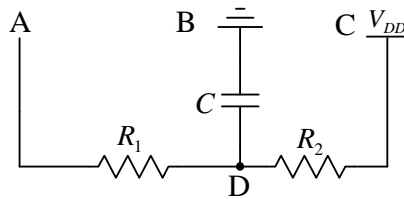
$$v_D(\infty) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

Za $t > T_1$ napon tačke D raste, i u trenutku $t = T_2^-$ struja kroz diodu pada na nulu, odnosno dioda se gasi

$$v_D(T_2^-) = V_R$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \frac{v_D(\infty) - v_D(T_1^+)}{v_D(\infty) - v_D(T_2^-)} = C(R_1 \parallel R_2) \ln \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} + \frac{V_{DD}}{2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_R + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} - V_R}$$

Za $t > T_2$, ekvivalentna šema kola prikazana je na slici



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

$$\tau = \tau_1 = CR_2$$

Nakon isteka vremena T_3 napon tačke A dostiže napon praga invertora:

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

što dovodi do promene na izlazima invertora

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

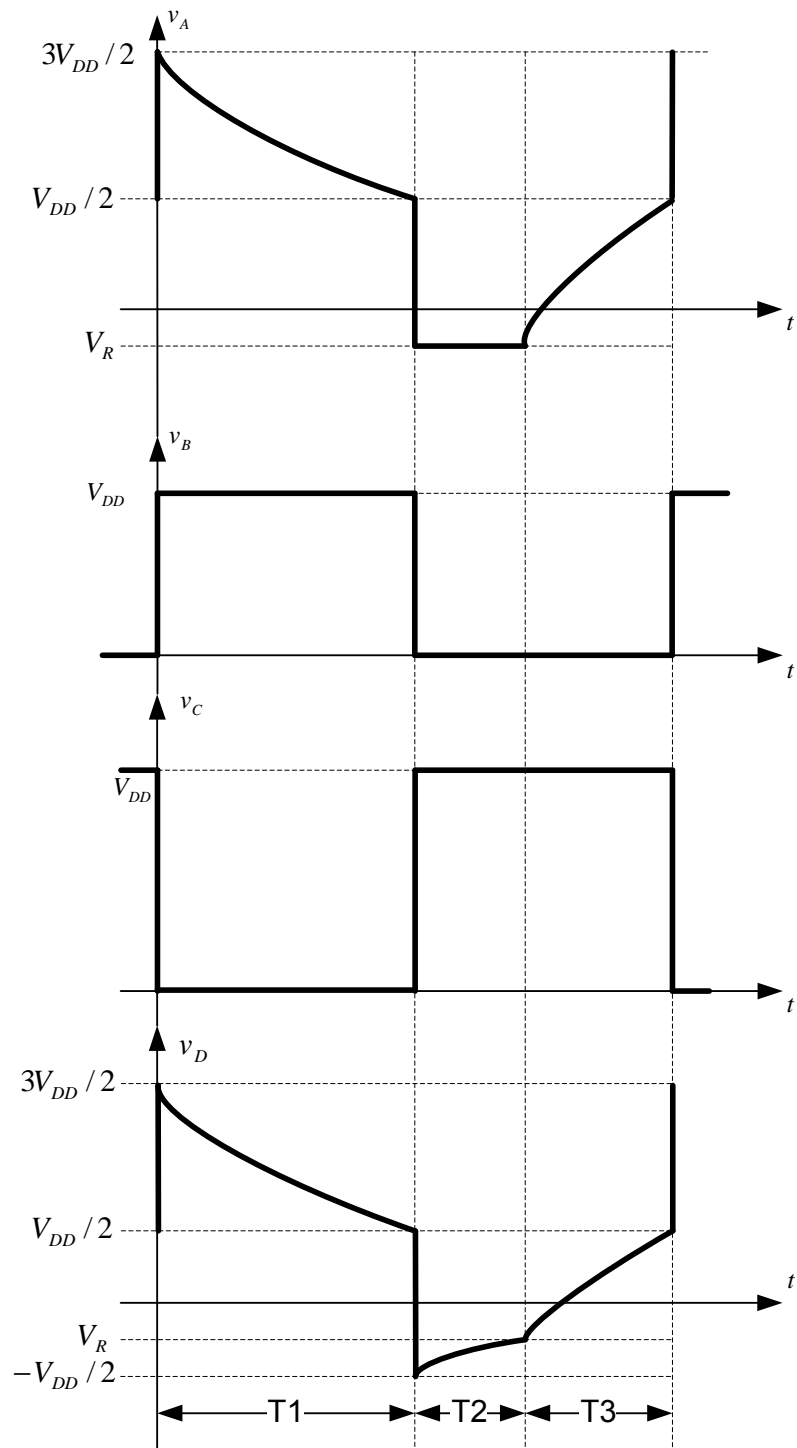
$$v_C(T_3^+) = 0$$

Proteklo vreme

$$T_3 = \tau_1 \ln \frac{v_D(\infty) - v_D(T_2^+)}{v_D(\infty) - v_D(T_3^-)} = CR_2 \ln \frac{V_{DD} - V_R}{V_{DD} / 2}$$

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

Traženi vremenski dijagrami prikazani su na sledećoj slici



Učestanost oscilovanja kola je

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

b)

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

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

Na gornjoj 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 donjoj granici referentnog napona

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