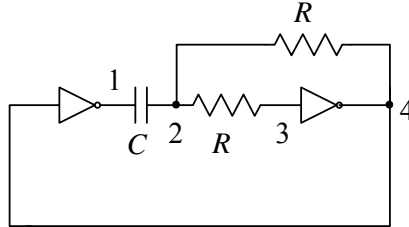


Zadatak. Za kolo sa slike izračunati i nacrtati vremenske dijagrame napona u karakterističnim tačkama.

- a) ako CMOS kola nemaju zaštitne diode na ulazu
 b) ako CMOS kola imaju idelne zaštitne diode na ulazu.

CMOS kola su idealna sa $V_p = \frac{V_{DD}}{2}$



Rešenje:

a)

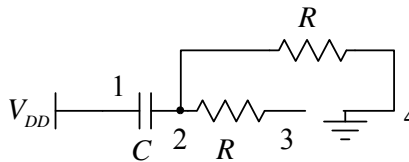
Pretpostavimo da je u početnom trenutku

$$v_4 = 0V, v_1 = V_{DD}$$

Mora važiti da je

$$v_3 > \frac{V_{DD}}{2}$$

Ekvivalentna šema kola prikazana je na slici 1.



Sa slike je

$$\tau = RC$$

$$v_2(\infty) = v_3(\infty) = 0V$$

U trenutku $t = 0^-$ ulaz desnog invertora pada do donjeg praga

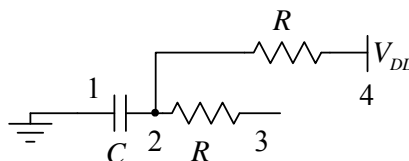
$$v_3(0^-) = v_2(0^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

Dolazi do promene napona na izlazu oba invertora

$$v_4(0^+) = v_3(0^+) = V_{DD}$$

$$v_1(0^+) = 0$$

U trenutku $t = 0^+$ i dalje važi nova ekvivalentna šema



Napon na kondenzatoru ne može trenutno da promeni vrednost

$$v_c(0^-) = v_1(0^-) - v_2(0^-) = \frac{V_{DD}}{2} = v_c(0^+)$$

$$v_2(0^+) = v_1(0^+) - v_c(0^+) = -\frac{V_{DD}}{2}$$

Sa slike:

$$\tau = RC$$

$$v_2(\infty) = v_3(\infty) = V_{DD}$$

Naponi u kolu:

$$v_1(t) = 0V$$

$$v_2(t) = v_3(t) = V_{DD} \left(1 - \frac{3}{2} e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right)$$

$$v_4(t) = V_{DD}$$

Promena u kolu se dešava kada napon tačke 2 dostigne napon praga invertora

$$v_2(T_1^-) = v_3(T_1^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{1 + \frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} = RC \ln 3$$

Ostali naponi u tom trenutku

$$v_1(T_1^-) = 0V$$

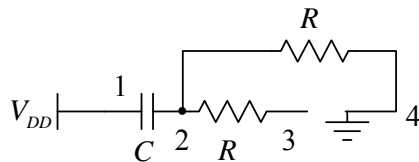
$$v_4(T_1^-) = V_{DD}$$

Menjaju se naponi na izlazima oba invertora

$$v_1(T_1^+) = V_{DD}$$

$$v_4(T_1^+) = 0$$

Ekvivalentna šema



Napon na kondenzatoru ne može trenutno da promeni vrednost

$$v_C(T_1^-) = v_1(T_1^-) - v_2(T_1^-) = -\frac{V_{DD}}{2} = v_C(T_1^{++})$$

$$v_2(T_1^+) = v_1(T_1^+) - v_C(T_1^+) = \frac{3V_{DD}}{2}$$

Sa slike:

$$\tau_2 = RC$$

$$v_2(\infty) = v_3(\infty) = 0$$

$$v_3(\infty) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} = 2.5V$$

Naponi u kolu:

$$v_1(t) = V_{DD}$$

$$v_2(t) = v_3(t) = \frac{3}{2} V_{DD} e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

$$v_4(t) = 0$$

Napon tačke 2 opada i u jednom trenutku izjednačava se sa naponom praga invertora

$$v_2(T_2^-) = v_3(T_2^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \frac{\frac{3}{2}}{0 - \frac{1}{2}} = RC \ln 3$$

Ostali naponi u tom trenutku

$$v_1(T_2^-) = V_{DD}$$

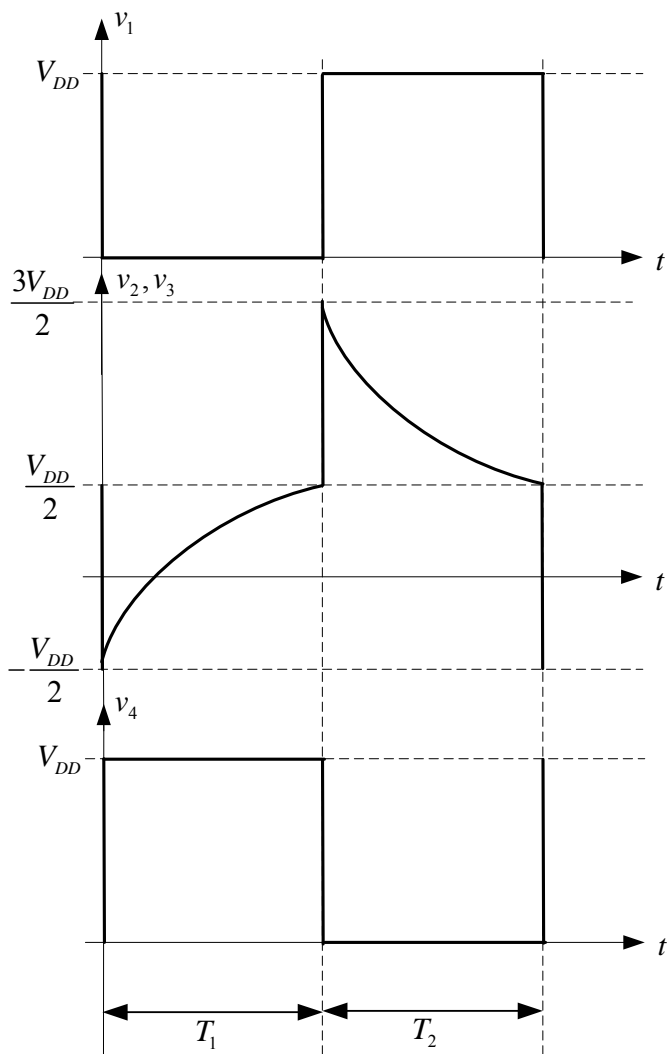
$$v_4(T_2^-) = 0$$

Ovim je završen jedan ciklus oscilacija u kolu

$$T = T_1 + T_2 = 2RC \ln 3$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2RC \ln 3}$$

Vremenski dijagrami prikazani su na sledećoj slici



b)

Zbog postojanja zaštitnih dioda, dolazi do odsecanja pozitivnih i negativnih prenapona u tački 3, koja je ulaz u invertor. Zbog ovoga će postojati još dva režima rada kola, dok vode zaštitne diode (od momenta pojavljivanje prenapona pa do njegovog nestanka)

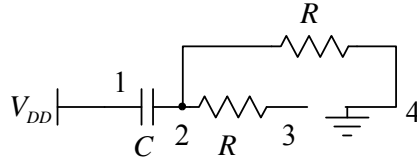
Pretpostavimo da je u početnom trenutku

$$v_4 = 0V, v_1 = V_{DD}$$

Mora važiti da je

$$v_3 > \frac{V_{DD}}{2}$$

Ekvivalentna šema kola prikazana je na slici 1.



Sa slike je

$$\tau = RC$$

$$v_2(\infty) = v_3(\infty) = 0V$$

U trenutku $t = 0^-$ ulaz desnog invertora pada do donjeg praga

$$v_3(0^-) = v_2(0^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

Dolazi do promene napona na izlazu oba invertora

$$v_4(0^+) = v_3(0^+) = V_{DD}$$

$$v_1(0^+) = 0$$

Napon na kondenzatoru ne može trenutno da promeni vrednost

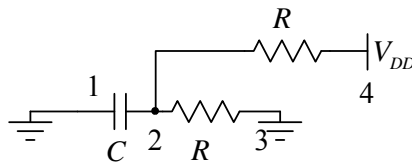
$$v_C(0^-) = v_1(0^-) - v_2(0^-) = \frac{V_{DD}}{2} = v_C(0^+)$$

$$v_2(0^+) = v_1(0^+) - v_C(0^+) = -\frac{V_{DD}}{2}$$

Uključuje se zaštitna dioda:

$$v_3(0^+) = 0$$

Ekvivalentna šema:



Sa slike:

$$\tau_1 = \frac{R}{2}C$$

$$v_2(\infty) = \frac{V_{DD}}{2}$$

Naponi u kolu:

$$v_1(t) = 0V$$

$$v_2(t) = V_{DD} \left(\frac{1}{2} - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right)$$

$$v_3(t) = 0V$$

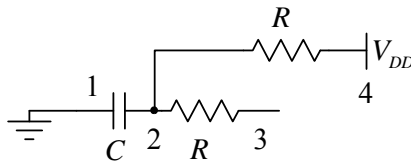
$$v_4(t) = V_{DD}$$

Promena se dešava kada se ugasi zaštitna dioda

$$v_2(T_1^-) = 0$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{v_2(\infty) - v_2(0^+)}{v_2(\infty) - v_2(T_1^-)} = \tau_1 \ln 2$$

Ekvivalentna šema:



U kolu nema naglih promena pa je $v_2(T_1^+) = v_2(T_1^-) = 0$

Sa slike:

$$\tau = RC$$

$$v_2(\infty) = v_3(\infty) = V_{DD}$$

Naponi u kolu:

$$v_1(t) = 0V$$

$$v_2(t) = v_3(t) = V_{DD} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right)$$

$$v_4(t) = V_{DD}$$

Promena u kolu se dešava kada napon tačke 2 dostigne napon praga invertora

$$v_2(T_2^-) = v_3(T_2^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$T_2 = \tau_1 \ln \frac{1}{1 - \frac{1}{2}} = RC \ln 2$$

Ostali naponi u tom trenutku

$$v_1(T_2^-) = 0V$$

$$v_4(T_2^-) = V_{DD}$$

Menjaju se naponi na izlazima oba invertora

$$v_1(T_2^+) = V_{DD}$$

$$v_4(T_2^+) = 0$$

Napon na kondenzatoru ne može trenutno da promeni vrednost

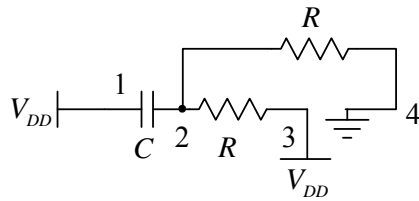
$$v_C(T_2^-) = v_1(T_2^-) - v_2(T_2^-) = -\frac{V_{DD}}{2} = v_C(T_2^+)$$

$$v_2(T_2^+) = v_1(T_2^+) - v_C(T_2^+) = \frac{3V_{DD}}{2}$$

Uključuje se zaštitna dioda:

$$v_3(T_2^+) = V_{DD}$$

Ekvivalentna šema:



Sa slike:

$$\tau_3 = \frac{R}{2}C$$

$$v_2(\infty) = \frac{V_{DD}}{2}$$

Naponi u kolu:

$$v_1(t) = V_{DD}$$

$$v_2(t) = V_{DD} \left(\frac{1}{2} + e^{-\frac{t}{\tau_3}} \right)$$

$$v_3(t) = V_{DD}$$

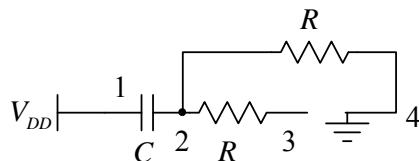
$$v_4(t) = 0$$

Promena se dešava kada se ugasi zaštitna dioda

$$v_2(T_3^-) = V_{DD}$$

$$T_3 = \tau_3 \ln \frac{v_2(\infty) - v_2(T_2^+)}{v_2(\infty) - v_2(T_3^-)} = \tau_3 \ln 2$$

Ekvivalentna šema:



U kolu nema naglih promena pa je $v_2(T_3^+) = v_2(T_3^-) = V_{DD}$

Sa slike:

$$\tau_4 = RC$$

$$v_2(\infty) = v_3(\infty) = 0$$

Naponi u kolu:

$$v_1(t) = V_{DD}$$

$$v_2(t) = v_3(t) = V_{DD} e^{-\frac{t}{\tau_4}}$$

$$v_4(t) = 0$$

Promena u kolu se dešava kada napon tačke 2 dostigne napon praga invertora

$$v_2(T_4^-) = v_3(T_4^-) = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$T_4 = \tau_4 \ln \frac{v_2(\infty) - v_2(T_3^+)}{v_2(\infty) - v_2(T_4^-)} = \tau_4 \ln 2$$

Ovim je završena analiza jednog ciklusa oscilacija u kolu.

Ovim je završen jedan ciklus oscilacija u kolu

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 3RC \ln 2$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3RC \ln 2}$$

Vremenski dijagrami prikazani su na sledećoj slici

