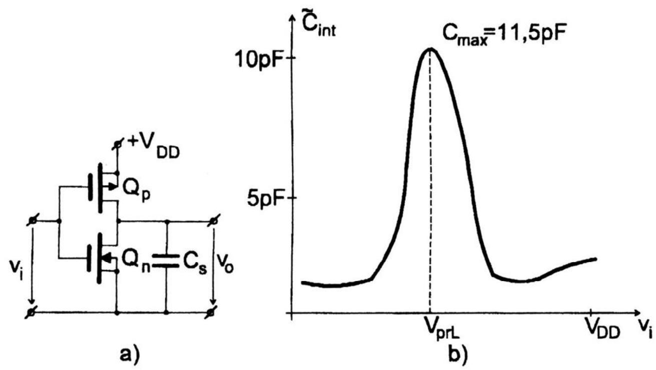
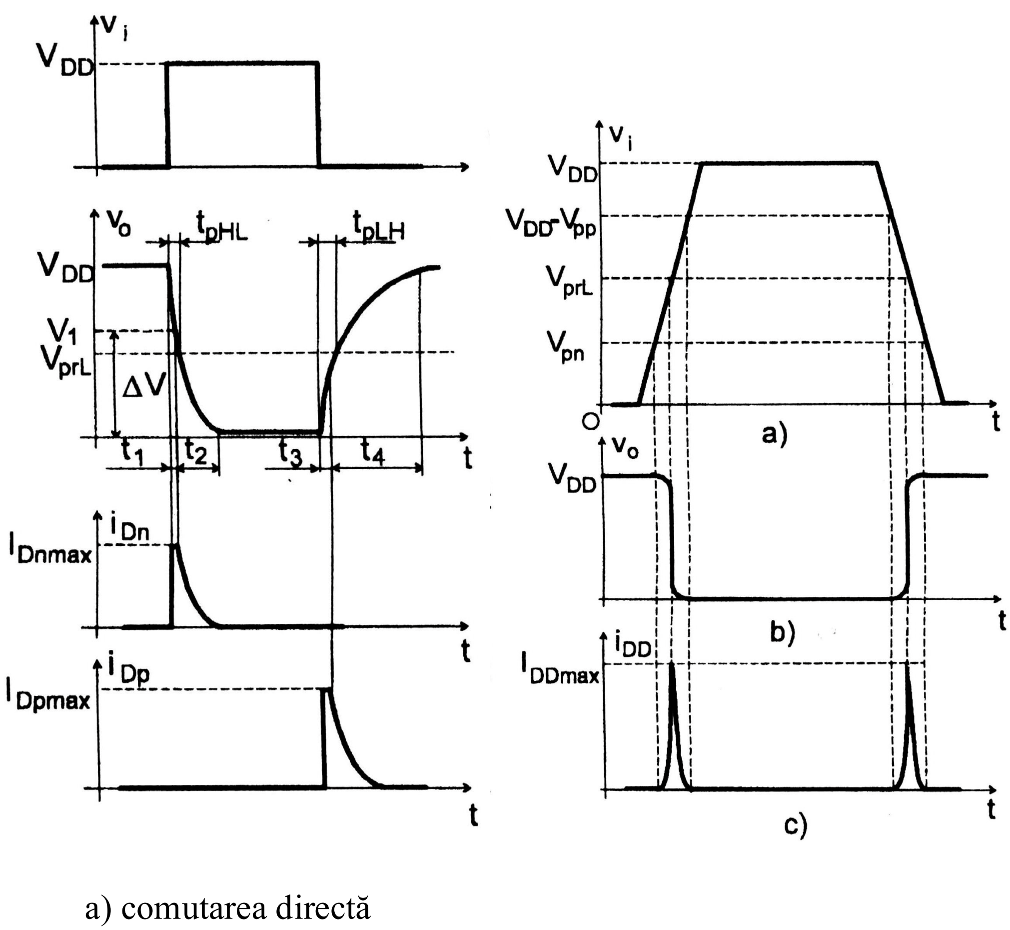
regimul tranzitoriu

- sarcină capacitivă, C_s;
- fenomene fizice la ambele comut:



- forma de undă completă:



a) comutarea directă

- P1-P2: se deschide Tn, se închide Tp; $t_{P_1P_2} \cong 0$;
- P2-P3: Tn deschis în saturaţie (se descarcă C_s), Tp blocat:

$$v_o(t) = V_{DD} - \frac{1}{C_s}\frac{k}{2}\left(V_{DD} - V_p\right)^2 t;$$

- condiţia de trecere a lui Tn în regiunea liniară ($V_{DS} = V_{GS} - V_p$):

$v_o(t_{P_2P_3}) = V_{DD} - V_p$; rezultă:

$$t_{P_2P_3} = \frac{2C_s}{k}\frac{V_p}{\left(V_{DD} - V_p\right)^2} = \tau\frac{V_p}{V_{DD} - V_p} \quad \text{cu: } \tau = \frac{2C_s}{k\left(V_{DD} - V_p\right)}.$$

- P3-P4: Tn deschis în regiunea liniară, Tp blocat:

$$C_s\frac{dv_o}{dt} = -k\left[\left(V_{DD} - V_p\right)v_o - \frac{v_o^2}{2}\right] \quad \text{cu: } v_o(0) = V_{DD} - V_p;$$

$$dt = \frac{2C_s}{k}\frac{dv_o}{v_o^2 - 2\left(V_{DD} - V_p\right)v_o};$$

$$\int_0^t dt = \frac{2C_s}{k}\frac{1}{V_{DD} - V_p}\frac{1}{2}\int_{V_{DD}-V_p}^{v_o}\left[\frac{1}{v_o - 2\left(V_{DD} - V_p\right)} - \frac{1}{v_o}\right]dv_o$$

$$t = \tau\frac{1}{2}\left[\ln\left(v_o - 2(V_{DD} - V_p)\right) - \ln v_o\right]_{V_{DD}-V_p}^{v_o} \quad \text{sau:}$$

$$t = \frac{\tau}{2}\ln\left.\frac{v_o - 2(V_{DD} - V_p)}{v_o}\right|_{V_{DD}-V_p}^{v_o} = \frac{\tau}{2}\ln\frac{2(V_{DD} - V_p) - v_o}{v_o}$$

- se poate explicita tensiunea funcţie de timp:

$$\frac{2\left(V_{DD} - V_p\right) - v_o}{v_o} = e^{\frac{2t}{\tau}};$$

$$v_o = \left(V_{DD} - V_p\right)\frac{2}{e^{\frac{2t}{\tau}} + 1} = \left(V_{DD} - V_p\right)\left[1 - 1 + \frac{2}{e^{\frac{2t}{\tau}} + 1}\right] \quad \text{sau:}$$

$$v_o = (V_{DD} - V_p)\left(1 - \frac{e^{\frac{t}{\tau}} - e^{-\frac{t}{\tau}}}{e^{\frac{t}{\tau}} + e^{-\frac{t}{\tau}}}\right) = (V_{DD} - V_p)\left(1 - th\frac{t}{\tau}\right).$$

- timpul $t_{P_3P_4}$ se defineşte ca fiind intervalul de timp după care s-a parcurs $0{,}9\Delta V = 0{,}9(V_{DD} - V_p)$, adică pentru $v_o(t_{P_3P_4}) = 0{,}1(V_{DD} - V_p)$:

$$t_{P_3P_4} = \frac{\tau}{2}\ln\frac{2(V_{DD} - V_p) - 0{,}1(V_{DD} - V_p)}{0{,}1(V_{DD} - V_p)} = \frac{\tau}{2}\ln 19 \cong 1{,}45\tau .$$

- durata frontului descrescător:

$$t_{fHL} = t_{P_2P_3} + t_{P_3P_4} \cong \tau\frac{V_p}{V_{DD} - V_p} + 1{,}45\tau ;$$

- timpul de propagare la frontul descrescător:

$$t_{pHL} = t_{P_2P_3} + \frac{\tau}{2}\ln\frac{2(V_{DD} - V_p) - V_{prL}}{V_{prL}} = \tau\frac{V_p}{V_{DD} - V_p} + \frac{\tau}{2}\ln\frac{3V_{DD} - 4V_p}{V_{DD}}$$

- influenţa prametrilor circuitului asupra timpilor de comutaţie;

b) comutarea inversă:

- P4-P5: se deschide Tp, se închide Tn; $t_{P_4P_5} \cong 0$;
- P5-P6: Tp deschis în saturaţie (se încarcă C_s), Tn blocat:

$$v_o(t) = \frac{1}{C_s}\frac{k}{2}(V_{DD} - V_p)^2 t \quad \text{(deoarece } v_o(0) = 0\text{)};$$

- condiţia ca Tp să iasă din saturaţie:

$$V_{DD} - V_p = V_{Dsat} = V_{DD} - v_o(t_{P_5P_6}) \quad \Rightarrow \quad v_o(t_{P_5P_6}) = V_p$$

- rezultă:

$$t_{P_5P_6} = \frac{2C_s}{k}\frac{V_p}{(V_{DD} - V_p)^2} = \tau\frac{V_p}{V_{DD} - V_p} = t_{P_2P_3} ;$$

- P6-P1: Tp deschis în regiunea liniară, Tn blocat:

$$C_s\frac{dv_o}{dt} = k\left[(V_{DD} - V_p)(V_{DD} - v_o) - \frac{(V_{DD} - v_o)^2}{2}\right]$$

- condiţia iniţială: $v_o(0) = V_p$.

- se notează: $V_{DD} - v_o = u$ cu: $u(0) = V_{DD} - V_p$ şi $dv_o = -du$;

- se obţine:

$$-C_s \frac{du}{dt} = k\left[\left(V_{DD} - V_p\right)u - \frac{u^2}{2}\right]$$ adică aceeaşi ecuaţie ca la comutarea directă, cu variabila u:

$$t = \frac{\tau}{2}\ln\frac{2(V_{DD} - V_p) - u}{u} = \frac{\tau}{2}\ln\frac{2(V_{DD} - V_p) - (V_{DD} - v_o)}{V_{DD} - v_o}$$

$$v_o = V_{DD} - \left(V_{DD} - V_p\right)\left(1 - th\frac{t}{\tau}\right)$$

- se obţin următorii timpi de comutaţie, la fel ca la comutarea directă:

$$t_{P_6P_1} = \frac{\tau}{2}\ln 19 \cong 1{,}45\tau;$$

$$t_{fLH} = \tau\frac{V_p}{V_{DD} - V_p} + 1{,}45\tau = t_{fHL};$$

$$t_{pLH} = \tau\frac{V_p}{V_{DD} - V_p} + \frac{\tau}{2}\ln\frac{2\left(V_{DD} - V_p\right) - \left(V_{DD} - V_{prL}\right)}{V_{DD} - V_{prL}} = t_{pHL}.$$

- concluzii:
  - comportare simetrică la cele două tranziţii;
  - influenţa puternică a tensiunii de alimentare.
- exemplu numeric:

$$V_{DD} = 10V;\quad V_p = 1{,}5V;\quad k = 16\mu A/V^2;\quad \frac{Z_n}{L_n} = 5\quad C_s = 2pF$$

$$\tau = 6ns;\quad t_{fHL} = t_{fLH} = 1{,}1 + 8{,}7 = 9{,}8\,ns;$$

$$t_{pHL} = t_{pLH} = 1{,}1 + 2{,}8 = 3{,}9\,ns.$$