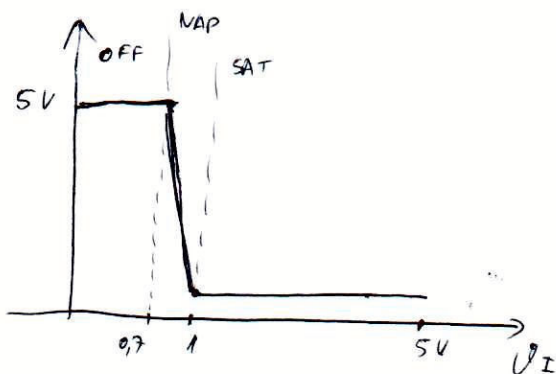


$$\beta = 100$$

НАЗНАЧЕНИЕ
УМНОЖИТЕЛЯ

$$U_o = U_o(U_{\pm})$$

НАЗНАЧЕНИЕ
УМНОЖИТЕЛЯ
УМНОЖИТЕЛЯ?



$$\text{OFF/NAP} : U_{\pm} = 0,7V$$

$$\text{NAP/SAT} : U_{\pm} = 1V$$

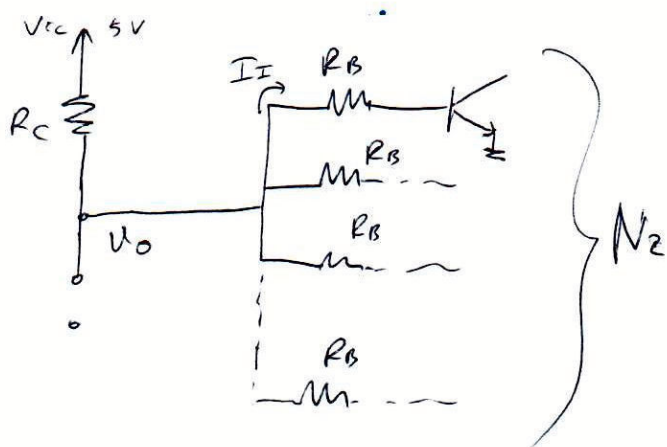
$$NM_L = 0,5V$$

$$NM_H = 4V$$

$$U_I = V(1)$$

$$N_1 = \infty \quad (\text{не требуется})$$

$$U_{\pm} = V(0)$$



$$U_o = V_{CC} - N_2 \cdot I_I \cdot R_C \geq 1V$$

$$I_I = \frac{U_o - 0,7V}{R_B}$$

$$V_{CC} - N_2 \cdot \frac{U_o - 0,7V}{R_B} \cdot R_C = U_o$$

$$U_o = V_{CC} - R_C \cdot I_{IK} \geq 1V$$

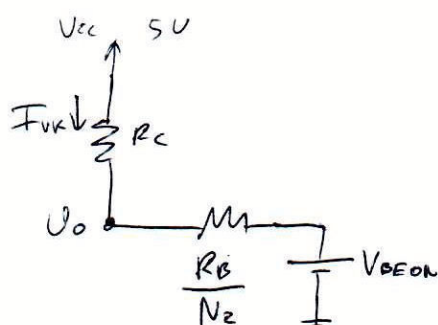
$$V_{CC} - R_C \cdot \frac{V_{CC} - V_{BEON}}{R_C + \frac{R_B}{N_2}} \geq 1V$$

$$V_{CC} \geq 1V \geq \frac{V_{CC} - V_{BEON}}{1 + \frac{R_B}{R_C N_2}}$$

$$4V \left(1 + \frac{R_B}{R_C N_2} \right) \geq 4,3V$$

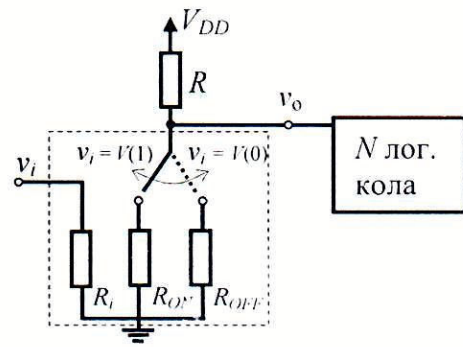
$$\frac{R_B}{R_C \cdot N_2} \geq \frac{4,3}{4} - 1 = 0,075$$

$$N_2 \leq \frac{R_B}{0,075 R_C} = 83,3 \text{ кОм}$$



3. На сликата е прикажан еквивалентен модел на едно логичко коло. На неговиот излез можат да се приклучат N идентични логички кола. Да се одреди:

- Логичката функција што ја врши ова коло.
- Опсегот на вредности на отпорникот R_{ON} за кои колото работи исправно (колото треба да дава на својот излез коректно напонско ниво, независно од тоа дали се приклучени потрошувачите).
- Факторот на разгранување (fan-out).



Познато е:

$$R_{OFF} = 50 \text{ k}\Omega \quad R_i = 200 \text{ k}\Omega \quad R = 5 \text{ k}\Omega \quad R_{ON} < R_{OFF}$$

$$V_{DD} = 5 \text{ V} \quad V(0) \leq 0,5 \text{ V} \quad V(1) \geq 3,0 \text{ V}$$

Решение

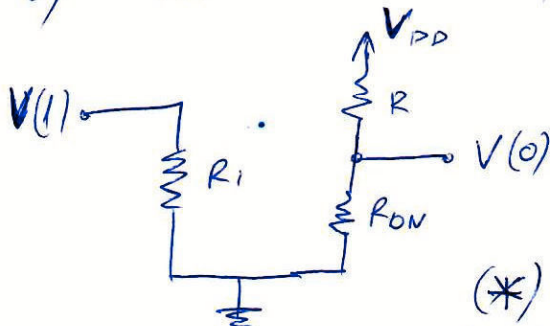
а) $R_{ON} < R_{OFF}$

V_i	V_o
0	1
1	0

ИНВЕРТОР

5

б) Кога $V_i = V(1)$, треба $V_o = V(0) \leq 0,5 \text{ V}$



$$V(0) = V_{DD} \cdot \frac{R_{ON}}{R + R_{ON}} \leq 0,5 \text{ V}$$

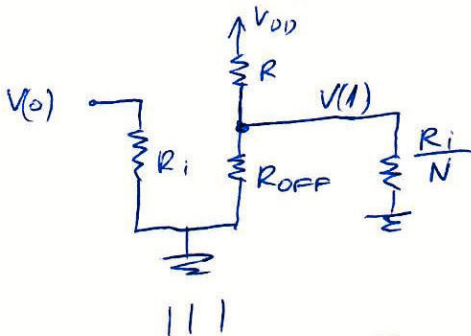
$$\Rightarrow R_{ON} \leq 556 \text{ }\Omega$$

10

(*) Доведен е на N кола на излезот не може да ја "рече" логичката "0", бидејќи условот $V(0) \leq 0,5$ ќе биде уште поцврсто исполнет

в) Според (*), треба да се најде Fan-out, само кога

$$V_i = V(0), \quad V_o = V(1)$$



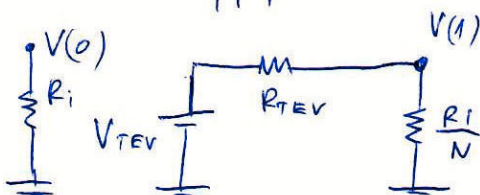
$$V_{TEV} = V_{DD} \cdot \frac{R_{OFF}}{R_{OFF} + R} = 4,55 \text{ V}$$

$$R_{TEV} = R_{OFF} \parallel R = 4,55 \text{ k}\Omega$$

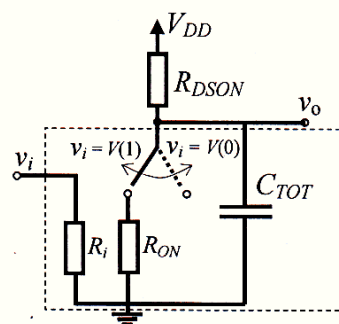
$$V(1) = V_{TEV} \cdot \frac{R_i/N}{R_i/N + R_{TEV}} \geq 3 \text{ V}$$

$$\Rightarrow N \leq 22$$

10



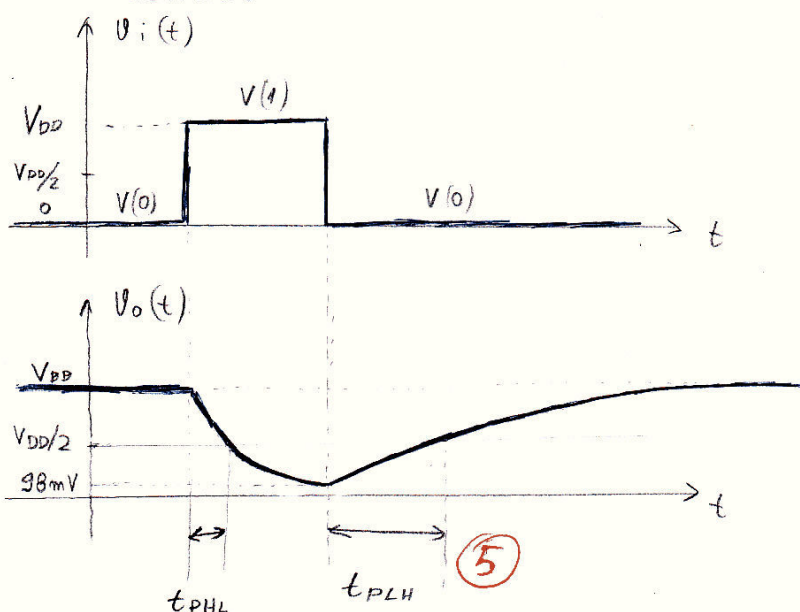
3. На сликата е прикажан еквивалентен модел на едно NMOS логичко коло. Вкупната внатрешна капацитивност на сите елементи од колото е моделирана со кондензаторот C_{TOT} . Влезната отпорност R_i може да се смета за бесконечно голема. Да се одредат времињата на пропација t_{pHL} и t_{pLH} кои настануваат при преод на колото помеѓу двете логички состојби на неговиот излез. Да се смета дека промената на влезниот напон настанува бесконечно брзо.



Познато е:

$$R_{DSON} = 50 \text{ k}\Omega \quad R_{ON} = 1 \text{ k}\Omega \quad C = 1 \text{ }\mu\text{F} \quad V_{DD} = 5 \text{ V}$$

Решение:



$$V(0) = V_{DD} \cdot \frac{R_{ON}}{R_{ON} + R_{DSON}} = 98 \text{ mV}$$

$$V(1) = V_{DD} = 5 \text{ V}$$

$$\frac{V(0) + V(1)}{2} \approx \frac{V_{DD}}{2} = 2.5 \text{ V}$$

$$R_{ON} \parallel R_{DSON} = 980 \Omega \approx 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ON} \parallel R_{DSON} \approx R_{ON}$$

t_{pHL} :

$$V_o(0) = V_{DD}$$

$$V_o(\infty) = 98 \text{ mV} \approx 0$$

$$\tau = (R_{ON} \parallel R_{DSON}) \cdot C \approx R_{ON} \cdot C$$

$$V_o(t) = 0 - [0 - V_{DD}] e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$V_o(t_{pHL}) = V_{DD} e^{-\frac{t_{pHL}}{\tau}} = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$\Rightarrow t_{pHL} = R_{ON} \cdot C \cdot \ln 2 = 693 \text{ }\mu\text{s}$$

t_{pLH} :

$$V_o(0) = 98 \text{ mV} \approx 0$$

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

$$\tau = R_{DSON} \cdot C$$

$$V_o(t) = V_{DD} - [V_{DD} - 0] e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$V_o(t_{pLH}) = V_{DD} - V_{DD} e^{-\frac{t_{pLH}}{\tau}} = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$t_{pLH} = R_{DSON} \cdot C \cdot \ln 2 = 34.7 \text{ ms}$$

ВКУПНО 25 ПОЕНИ

2. Колото на сликата а) го претставува еквивалентниот модел на едно логичко коло - инвертор. Да се пресмета фреквенцијата на излезниот сигнал кај колото прикажано на сликата б).

Познато е:

$$R_{DD} = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ON} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_i \rightarrow \infty$$

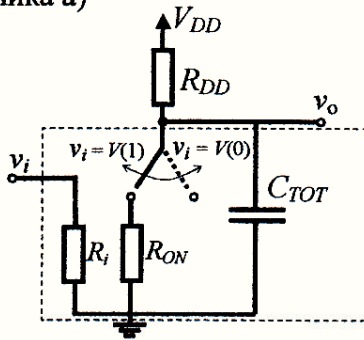
$$C_{TOT} = 10 \text{ nF}$$

$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$

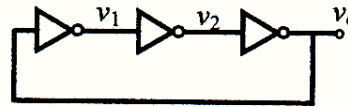
$$V(1) > 2,5 \text{ V}$$

$$V(0) \leq 2,5 \text{ V}$$

Слика а)



Слика б)



Решение:

Од колото на сликата а), треба да се одредат t_{PLH} и t_{PHL} — при промена од $0 \rightarrow 1$:

$$V_o(0) = V_{DD} \cdot \frac{R_{ON}}{R_{ON} + R_{DD}} = 0,05 \text{ V}$$

$$V_o(\infty) = V_{DD} = 5 \text{ V}$$

$$\tau_1 = C_{TOT} \cdot R_{DD} = 1 \text{ ms}$$

$$V_o(t) = 5 - [5 - 0,05] e^{-\frac{t}{\tau_1}}$$

$$V_o(t_{PLH}) = 2,5 \text{ V}$$

$$t_{PLH} = \tau_1 \ln \frac{4,95}{2,5} = 0,68 \text{ ms}$$

— при промена од $1 \rightarrow 0$:

$$V_o(0) = V_{DD}$$

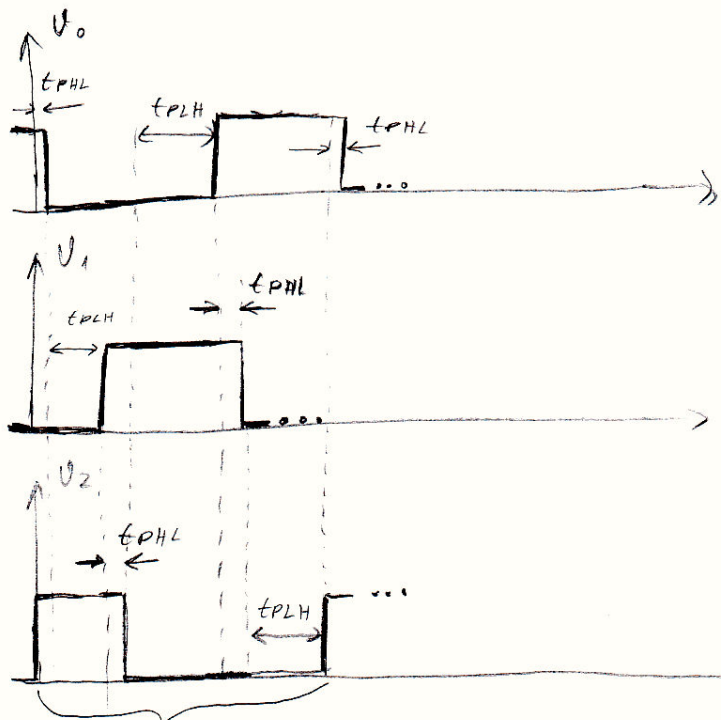
$$V_o(\infty) = V_{DD} \cdot \frac{R_{ON}}{R_{ON} + R_{DD}} = 0,05 \text{ V}$$

$$\tau_2 = C_{TOT} \cdot (R_{DD} \parallel R_{ON}) = 9,9 \mu\text{s}$$

$$V_o(t) = 0,05 - [0,05 - 5] e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

$$V_o(t_{PHL}) = 2,5 \text{ V}$$

$$t_{PHL} = \tau_2 \ln \frac{4,95}{2,45} \approx 7 \mu\text{s}$$



Нека во моментот $t = 0$

$V_o = V(1)$, нека $V_1 = V(0)$

и во тој момент нека

V_2 станува $V(1)$.

Тогд произизвикува:

- V_o да се смени после t_{PHL}
- па V_1 да се смени после t_{PLH}
- па V_2 да се смени...
- па V_o ...
- па V_1 ...
- и така натаму

$$T = 3 \cdot t_{PHL} + 3 \cdot t_{PLH} = 2,061 \text{ ms}$$

$$f = 485 \text{ Hz}$$

3. За TTL колото прикажано на сликата 3 да се определи логичката функција што ја врши, и факторот на разгранување.

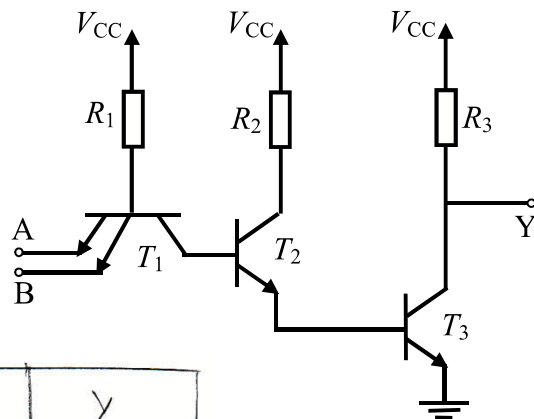
Познато е:

$$R_1 = 4,1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 3,3 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 500 \Omega$$

$$V_{CC} = 5 \text{ V} \quad V_{CE,SAT} = 0,2 \text{ V}$$

$$V_{BE,ON} = V_{D,ON} = 0,7 \text{ V} \quad \beta_N = 100 \quad \beta_I = 0,2$$

Бонус (4п/8п): Ако влезовите на колото се остават отворени (ништо не е поврзано ниту на А ниту на В), тогаш какво логичко ниво ќе дава ова коло на својот излез. Дали таквиот начин на користење ќе го промени факторот на разгранување на ова коло?



СОСТОЈБА	T_1	T_2	T_3	Y
$V_A = V_B = V(1)$	$T_1 \rightarrow \text{IAP}$ $I_{B1} = \frac{V_{CC} - 2,1}{R_1}$ $I_{B1} = 0,707 \text{ mA}$ $I_{E1} = \beta_I \cdot I_{B1}$ $I_{E1} = 0,141 \text{ mA}$ $I_{C1} = 0,848 \text{ mA}$	$T_2 \rightarrow \text{SAT}$ $I_{B2} = 0,848 \text{ mA}$ $I_{C2} = \frac{V_{CC} - 0,9}{R_2}$ $I_{C2} = 1,24 \text{ mA}$ $I_{C2} \leq \beta_N \cdot I_{B2} (\text{SAT})$ $I_{E2} = 2,09 \text{ mA}$	$T_3 \rightarrow \text{SAT}$ $I_{B3} = 2,09 \text{ mA}$ $I_{C3,MAX} = I_{B3} \cdot \beta_N$ $I_{C3,MAX} = 209 \text{ mA}$ $I_{B3} = \frac{V_{CC} - 0,2}{R_3}$ $I_{B3} = 9,6 \text{ mA}$	$V_Y = 0,2 \text{ V}$ $V(0)$
БАРЕМ ЕДНА НУЛА	$T_1 \rightarrow \text{SAT}$ $I_{B1} = \frac{V_{CC} - 0,9}{R_1}$ $I_{B1} = 1 \text{ mA}$ $I_{E1} = 1 \text{ mA}$ $I_{C1} = \phi$	$T_2 \rightarrow \text{OFF}$	$T_3 \rightarrow \text{OFF}$	$V_Y = 5 \text{ V}$ $V(1)$

Лог. об-ја "НИ"

при $V_Y = V(0)$: $I_{C3} = I_{B3} + N_L \cdot I_{IL} \leq I_{C3,MAX}$

$$9,6 \text{ mA} + N_L \cdot 1 \text{ mA} \leq 209 \text{ mA}$$

$$N_L \leq 199,4$$

$$N_L = 199 \text{ кола}$$

при $V_Y = V(1)$: $V_Y = V_{CC} - R_3 \cdot N_H \cdot I_{IH} \geq 2,1 \text{ V}$

$$5 - 0,5 \cdot N_H \cdot 0,141 \geq 2,1 \text{ V}$$

$$N_H \leq 41,135$$

$$N_H = 41 \text{ коло}$$

$$N = \min(N_L, N_H) = 41 \text{ коло}$$

Бонус: Ако не тече струја ниту на А и В, тогаш $T_1 \rightarrow \text{SAT}$, но го

В-с спојот. $I_{B1} = 0,707 \text{ mA} = I_{C1} = I_{B2} \Rightarrow I_{E2} = I_{B3} = 1,947 \text{ mA}$

Тогд ќе го промени $N_L = 185 \text{ кола}$

Вкупното N ќе остане непроменето.

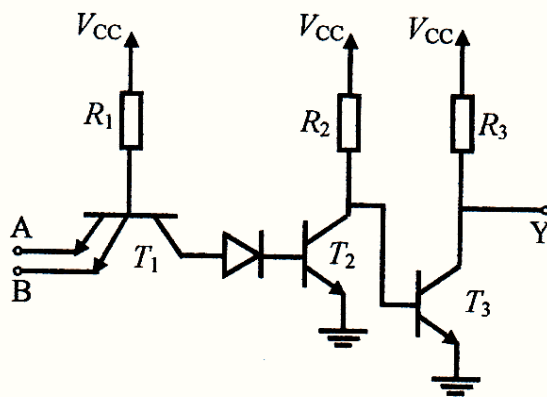
Забелешка: "Неповрзаните" влезови кај TTL се однесуваат како да нив не е внесено логичко "1"

3. За TTL колото прикажано на сликата да се одреди:
 а) логичката функција која ја врши колото $Y=f(A,B)$.
 б) факторот на разгранување N .

Забелешка: при одредување на N , да се испитаат и двете можни состојби на излезниот напон, и потоа да се посочи кој од двата резултати треба да се одбере и зошто.

Познато е:

$$\begin{aligned} R_1 &= 4 \text{ k}\Omega & R_2 &= 2,2 \text{ k}\Omega & R_3 &= 220 \Omega \\ V_{CC} &= 5 \text{ V} & V_{CE,SAT} &= 0,2 \text{ V} & V_{BE,ON} = V_{D,ON} &= 0,7 \text{ V} \\ \beta_N &= 30 & \beta_I &= 0,5 \end{aligned}$$



Решение:

а)

A	B	T ₁	D	T ₂	T ₃	Y
0	0	SAT	OFF	OFF	ON	0
0	1	SAT	OFF	OFF	ON	0
1	0	SAT	OFF	OFF	ON	0
1	1	IAP	ON	ON	OFF	1

"И" - коло !

б) барем една нумера на влез:

$$V_{B1} = 0,9 \text{ V} ; I_{B1} = \frac{V_{CC} - 0,9}{R_1} = 1,025 \text{ mA} ; D, T_2 \rightarrow \text{OFF}$$

$$V_{B3} = 0,7 \text{ V} ; I_{B3} = \frac{V_{CC} - 0,7}{R_2} = 1,95 \text{ mA} ;$$

за $T_3 \rightarrow \text{SAT}$ треба:

$$I_{B3} \cdot \beta_N > I_{C3} = \frac{V_{CC} - 0,2}{R_3} + N_1 \cdot I_{B1} = 21,8 \text{ mA} + N_1 \cdot 1,025$$

$$N_1 < 35,8 \Rightarrow \boxed{N_1 \leq 35}$$

две единици на влез:

$T_1 \rightarrow \text{IAP} ; D, T_2 \rightarrow \text{ON}$

$$V_{B1} = 2,1 \text{ V}$$

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - 2,1}{R_1} = 725 \mu\text{A}$$

$$I_{E1} = \beta_I \cdot I_{B1} = 363 \mu\text{A}$$

$$I_{C1} = I_{B2} = I_{E1} + I_{B1} = 1,09 \text{ mA}$$

$T_2 \rightarrow \text{SAT} \quad V_{CE} = 0,2 \text{ V} \Rightarrow T_3 \rightarrow \text{OFF}$

$$I_{C2} = \frac{V_{CC} - 0,2}{R_2} = 2,18 \text{ mA} \Rightarrow I_{C2} < \beta_N I_{B2} \leftarrow \text{претп. } T_2 \rightarrow \text{SAT точно}$$

за следното коло $V(1) \geq 2,1 \text{ V} ;$ значи $V_Y = V_{CC} - R_3 \cdot N_2 \cdot I_{E1} > 2,1 \text{ V}$

$$I_{E1} = I_{E1} = 363 \mu\text{A}$$

$$N_2 < \frac{V_{CC} - 2,1}{R_3 \cdot I_{E1}} \Rightarrow \boxed{N_2 \leq 36}$$

Вкупниот fan-out е

$$\boxed{N = \min(N_1, N_2) = 35}$$

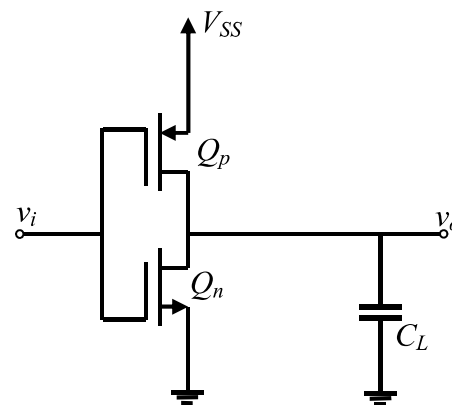
2. За влезот на CMOS колото прикажано на сликата 2 е доведен напонот $v_i(t)$, кој во моментот $t=0$ се менува од логичка нула (0 V) во логичка единица (5 V). Да се скицира излезниот напон $v_o(t)$ и да се определат:

а) време на пораст или опаѓање (зависно од конкретниот излезен напон што се добива).

б) време на пропација (t_{pLH} или t_{pHL} , пак зависно од изгледот на излезниот напон).

Познато е: $V_{SS} = 5V$; $C_L = 25pF$; $k_n W/L = k_p W/L = 200 \mu A/V^2$;

$|V_{TH}| = 2,5 V$;

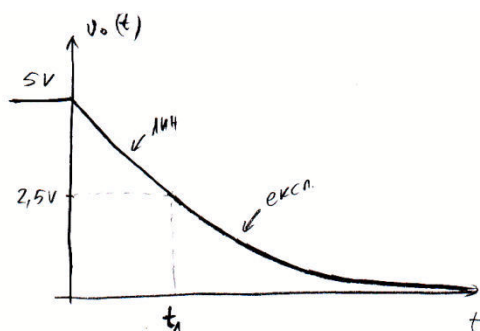


$$t \leq 0 \quad v_i = 0V$$

$$Q_p \rightarrow ON (\text{З})$$

$$Q_n \rightarrow OFF$$

$$v_o = 5V$$



$$0 \leq t \leq t_1 \quad v_i = 5V \Rightarrow Q_p OFF, Q_n ON (PKS^*)$$

$$\left. \begin{array}{l} * V_{DSp} ? \quad V_{SSp} - V_{THp} \\ 5V ? \quad 5V - 2,5V \\ 5V > 2,5V \end{array} \right\} Q_n \rightarrow PKS \Rightarrow I_D = k_n \frac{W}{L} (V_{SSn} - V_{THn})^2 = 1,25 mA$$

$$\Delta V = 2,5V \quad (\text{З} \quad Q_n \rightarrow \text{З})$$

$$C_L \cdot \Delta V = I_D \cdot t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{C_L \cdot \Delta V}{I_D} = 50 ns$$

$$t_1 \leq t \leq \infty \quad v_i = 5V \Rightarrow Q_p OFF, Q_n ON (\text{З})$$

$$R_{DSOn} = \frac{1}{k_n \frac{W}{L} (V_{SSn} - V_{THn})} = 2 k\Omega$$

$$t' = t - t_1$$

$$v_o(t' = 0) = 2,5V$$

$$v_o(t' \rightarrow \infty) = 0$$

$$\tau = R_{DSOn} \cdot C_L = 50 ns$$

$$\left. \begin{array}{l} v_o(t') = 2,5V \cdot e^{-\frac{t'}{\tau}} \\ \text{и стигне до } 0 \text{ за } 5\tau = 250 ns \end{array} \right\}$$

$$\text{З} \quad v_o = 4,5V \quad (10\% \text{ од почеток}) \Rightarrow t_{10\%} = \frac{C_L \cdot 0,5V}{I_D} = 10 ns$$

$$\text{З} \quad v_o = 0,5V \quad (90\% \text{ од почеток}) \Rightarrow t'_{90\%} = \tau \ln \frac{2,5}{0,5} = 80 ns \quad \left(\begin{array}{l} t_{90\%} = t'_{90\%} + t_1 \\ t_{90\%} = 130 ns \end{array} \right)$$

$$\text{З} \quad v_o = 2,5V \quad (50\% \text{ од почеток}) \Rightarrow t_{50\%} = t_1 = 50 ns$$

$$t_{pHL} = 50 ns$$

$$t_{foll} = 130 - 10 = 120 ns$$