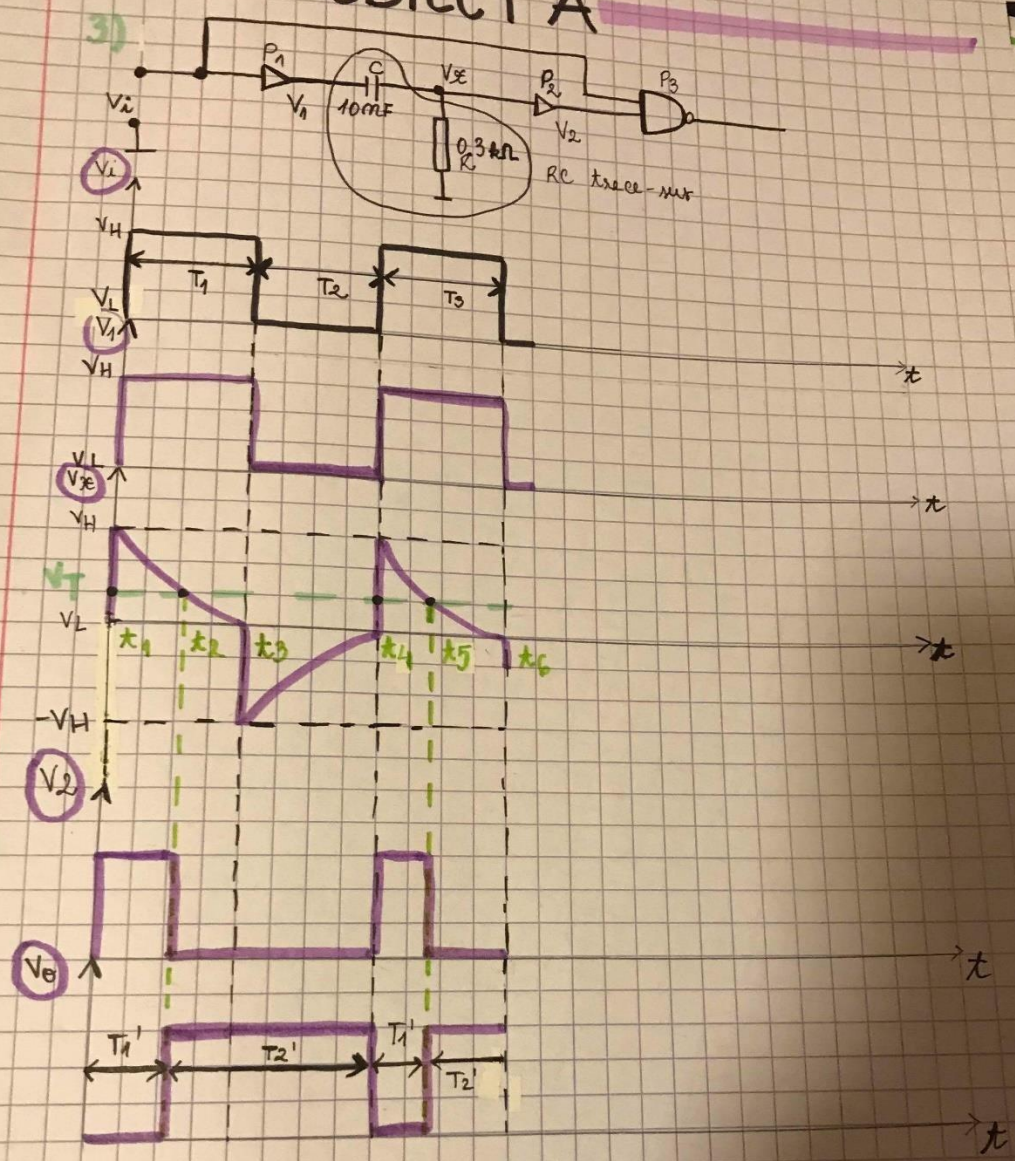
PROBLEME

SUBIECT A

3)



NAND

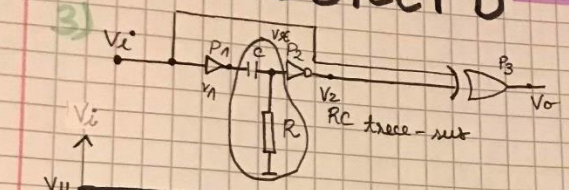
A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$T_1' = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T}$$

$$T_2' = T_2 + T_1 - T_1' = T_2 + T_1 - RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T}$$

SUBIECT B

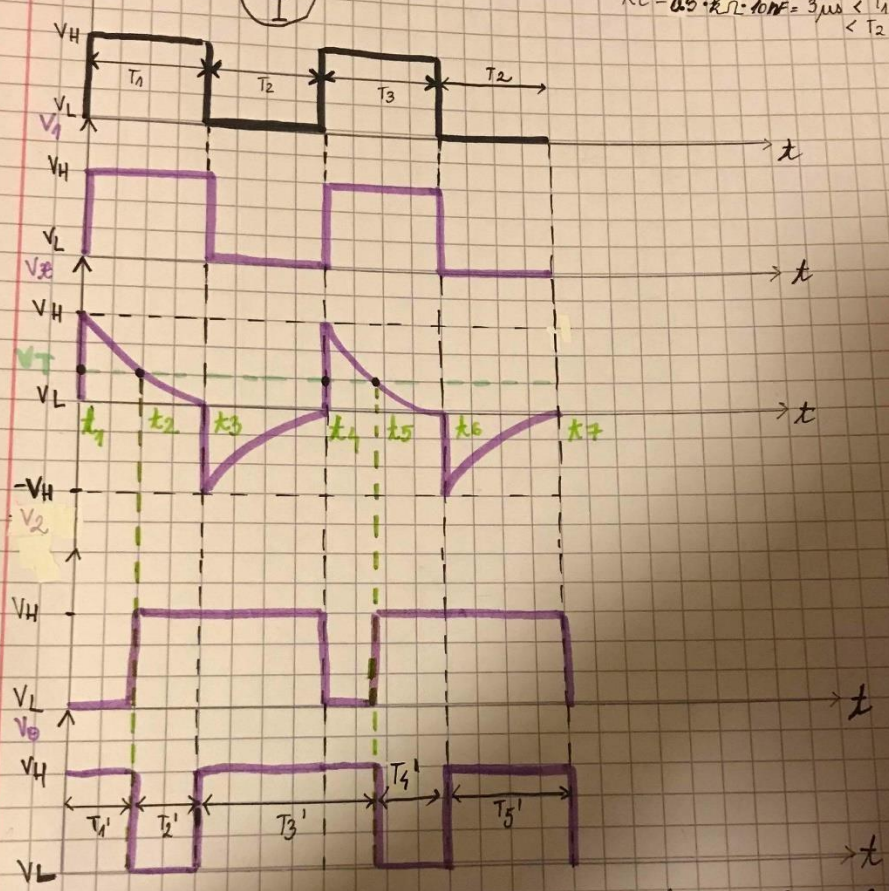
3)



$V_H = 3{,}5\,V$
$V_L = 0{,}2\,V$
$V_T = 1{,}5\,V$
$T_1 = T_2 = T_3 = 10\,\mu s$

$R = 0{,}3\,k\Omega$
$C = 10\,nF$
(de la a))

$RC = 0{,}3\,k\Omega \cdot 10\,nF = 3\,\mu s < T_1 = 10\,\mu s$
$< T_2 = 10\,\mu s$



SAU-EXCLUSIV:

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$T_1' = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 3 \ln \cdot \frac{0{,}2 - 3{,}5}{0{,}2 - 1{,}5} = 3 \ln \frac{-3{,}3}{-1{,}3} \simeq 2{,}79\,\mu s$

$T_2' = T_1 - T_1' = 10 - 2{,}79 = 7{,}21\,\mu s$

$T_3' = T_2 + t_x = 10\,\mu s + 2{,}79\,\mu s = 12{,}79\,\mu s$

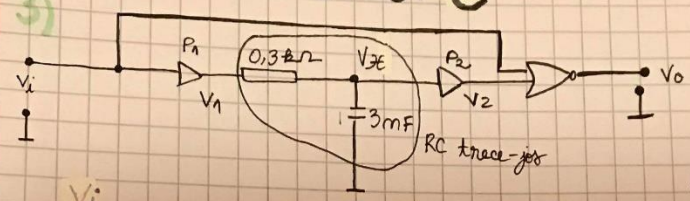
$t_x = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 2{,}79\,\mu s$

$T_4' = T_3 - t_x = 10 - 2{,}79 = 7{,}21\,\mu s$

$T_5' = T_2 = 10\,\mu s$

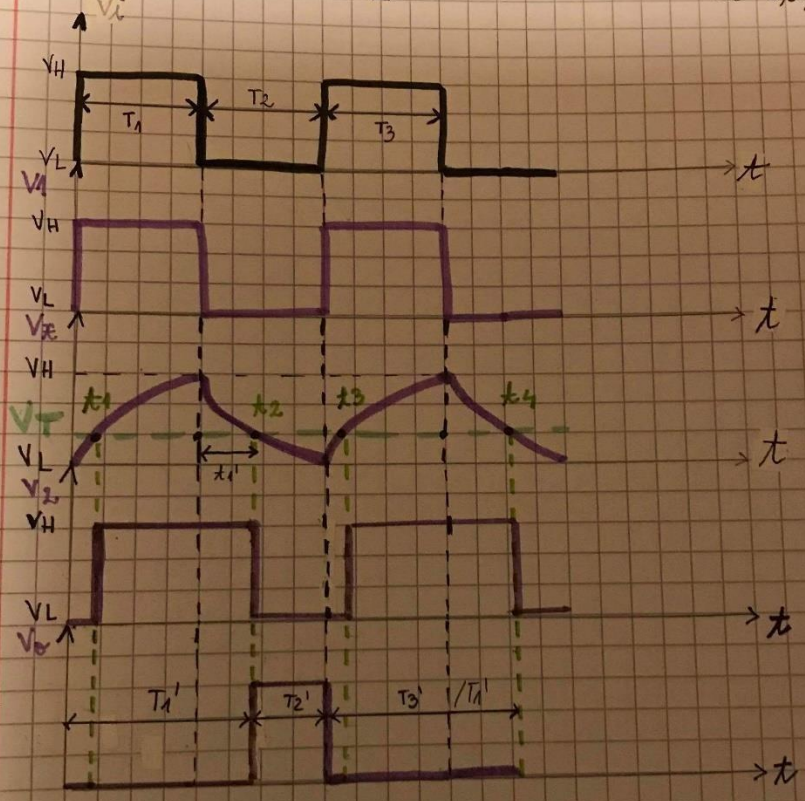
SUBIECT C

3)



$V_H = 3{,}5\,V$
$V_L = 0{,}2\,V$
$V_T = 1{,}5\,V$
$T_1 = T_2 = T_3 = 10\,\mu s$

$RC = 0{,}3\,k\Omega \cdot 3\,mF = 0{,}9\,\mu s$
$RC = 0{,}9\,\mu s < T_1 = 10\,\mu s$
$< T_2 = 10\,\mu s$



$T_1' = T_1 + t_1'$

$t_1' = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 0{,}9 \cdot \ln \frac{3{,}3}{1{,}3} = 0{,}83\,\mu s$

$T_1' = 10\,\mu s + 0{,}83\,\mu s = 10{,}83\,\mu s$

$T_2' = T_2 - t_1' = 10\,\mu s - 0{,}83\,\mu s = 9{,}17\,\mu s$

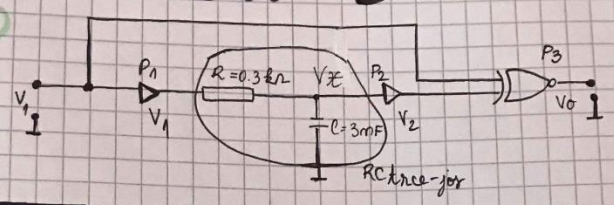
$T_3' = T_3 + t_1' = T_1' = 10{,}83\,\mu s$

NOR

A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

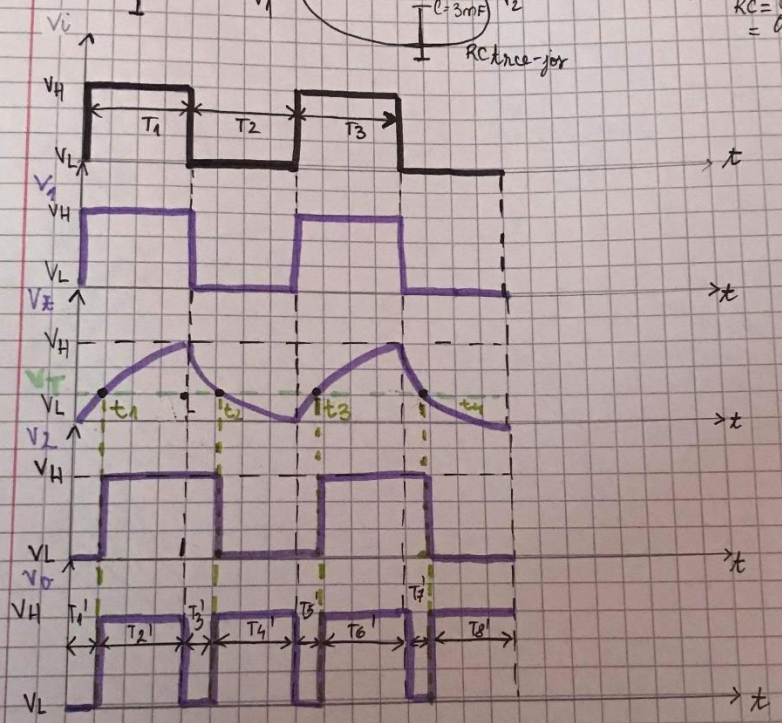
SUBIECT D

3)



$V_H = 3{,}5\,V$
$V_L = 0{,}2\,V$
$V_T = 1{,}5\,V$
$T_1 = T_2 = T_3 = 10\,\mu s$

$RC = 0.3k\Omega \cdot 3mF = 0.9\,\mu s < T_1 = 10\,\mu s$
$< T_2 = 10\,\mu s$



XNOR

A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$T_1' = RC \ln \frac{V_H - V_L}{V_H - V_T} = 0{,}9 \cdot \ln \frac{3{,}5 - 0{,}2}{3{,}5 - 1{,}5} = 0{,}9 \cdot \ln \frac{3{,}3}{2} =$

$= 0{,}9 \cdot 0{,}5 = 0{,}45\,\mu s$

$T_2' = T_1 - T_1' = 10\,\mu s - 0{,}45\,\mu s = 9{,}55\,\mu s$

$T_3' = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 0{,}9 \cdot \ln \frac{3{,}3}{1{,}3} = 0{,}83\,\mu s$

$T_4' = T_2 - T_3' = 10 - 0{,}83 = 9{,}17\,\mu s$

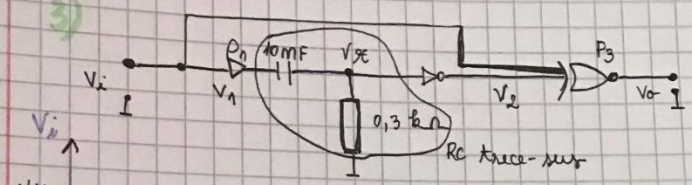
$T_5' = T_1' = 0{,}45\,\mu s$ $\qquad T_8' = T_4' = 9{,}17\,\mu s$

$T_6' = T_2' = 9{,}55\,\mu s$

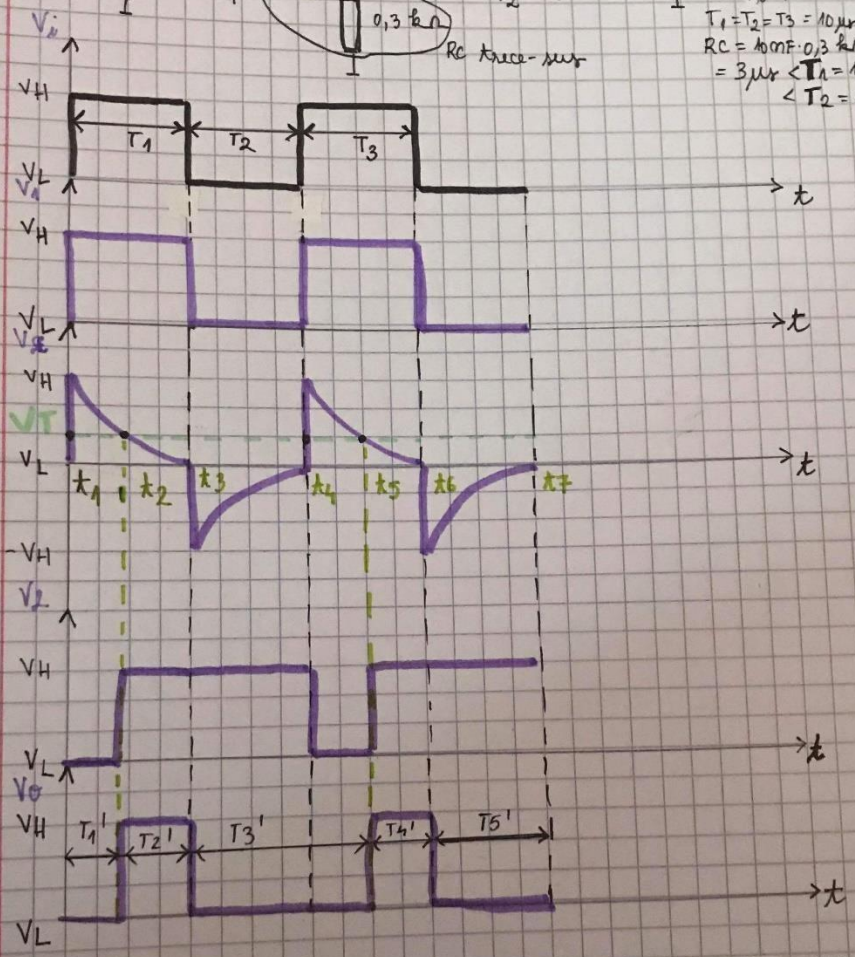
$T_7' = T_3' = 0{,}83\,\mu s$

SUBIECT E

3)



$V_H = 3{,}5\,V$
$V_L = 1{,}2\,V$
$V_T = 1{,}5\,V$
$T_1 = T_2 = T_3 = 10\,\mu s$
$RC = 10\,mF \cdot 0{,}3\,k\Omega = 3\,\mu s < T_1 = 10\,\mu s$
$< T_2 = 10\,\mu s$



(inverso)

EXNOR
0 0 1
0 1 0
1 0 0
1 1 1

$$T_1' = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 3 \cdot \ln \frac{0{,}2-3{,}5}{0{,}2-1{,}5} = 3 \cdot 0{,}93 = 2{,}79\,\mu s$$

$$T_2' = T_1 - T_1' = 10\,\mu s - 2{,}79\,\mu s = 7{,}21\,\mu s$$

$$T_3' = T_2 + \underset{\underset{t_x}{\parallel}}{T_1'} = 10 + 2{,}79\,\mu s = 12{,}79\,\mu s$$

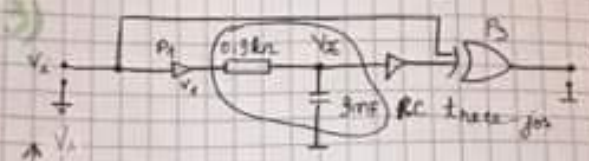
$$t_x = R \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 3 \cdot \ln \frac{0{,}2-3{,}5}{0{,}2-1{,}5} = 3 \cdot 0{,}93 = 2{,}79\,\mu s$$

$$T_4' = T_3 - t_x = 10\,\mu s - 2{,}79\,\mu s = 7{,}21\,\mu s$$

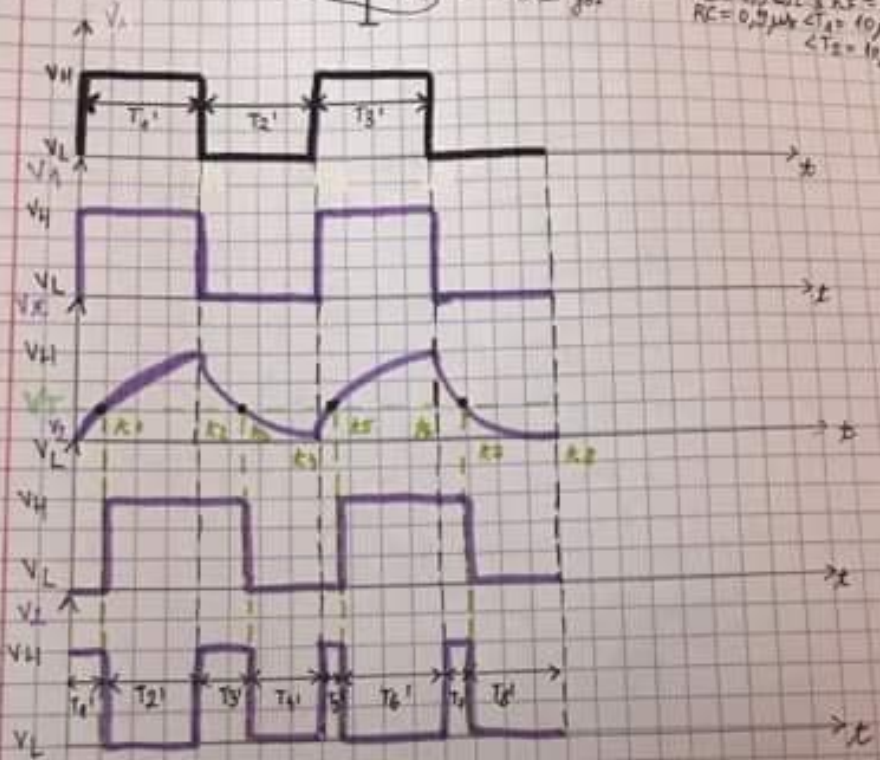
$$T_5' = T_2 = 10\,\mu s$$

SUBIECT F

3)



$V_H = 3,5\,V$
$V_L = 0,2\,V$
$V_T = 1,5\,V$
$T_1 = T_2 = T_3 = 10\,\mu s$
$RC = 0,9\,k\Omega \cdot 3\,nF = 0,9\,\mu s$
$RC = 0,9\,\mu s < T_1 = 10\,\mu s$
$< T_2 = 10\,\mu s$



EXOR		
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$T_1' = RC \ln \frac{V_H - V_L}{V_H - V_T} = 0,9 \ln \frac{3,5-0,2}{3,5-1,5} = 0,9 \ln \frac{3,3}{2} = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45\,\mu s$

$T_2' = T_1 - T_1' = 10\,\mu s - 0,45\,\mu s = 9,55\,\mu s$

$T_3' = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 0,9 \ln \frac{0,2-3,5}{0,2-1,5} = 0,9 \ln \frac{-3,3}{-1,3} =$

$= 0,9 \cdot 0,93 = 0,83\,\mu s$

$T_4' = T_2' - T_3' = 10\,\mu s - 0,83\,\mu s = 9,17\,\mu s$

$T_5' = RC \ln \frac{V_H - V_L}{V_H - V_T} = 0,9 \ln \frac{3,5-0,2}{3,5-1,5} = 0,9 \ln \frac{3,3}{2} = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45\,\mu s = T_1'$

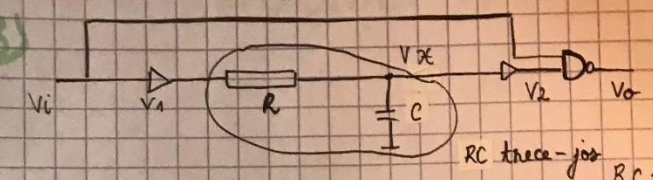
$T_6' = T_3' - T_5' = T_2' = 9,55\,\mu s$

$T_7' = T_3' = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 0,9 \ln \frac{0,2-3,5}{0,2-1,5} = 0,9 \ln \frac{-3,3}{-1,3} = 0,83\,\mu s$

$T_8' = T_2' - T_7' = 10\,\mu s - 0,83\,\mu s = 9,17\,\mu s = T_4'$

SUBIECT G

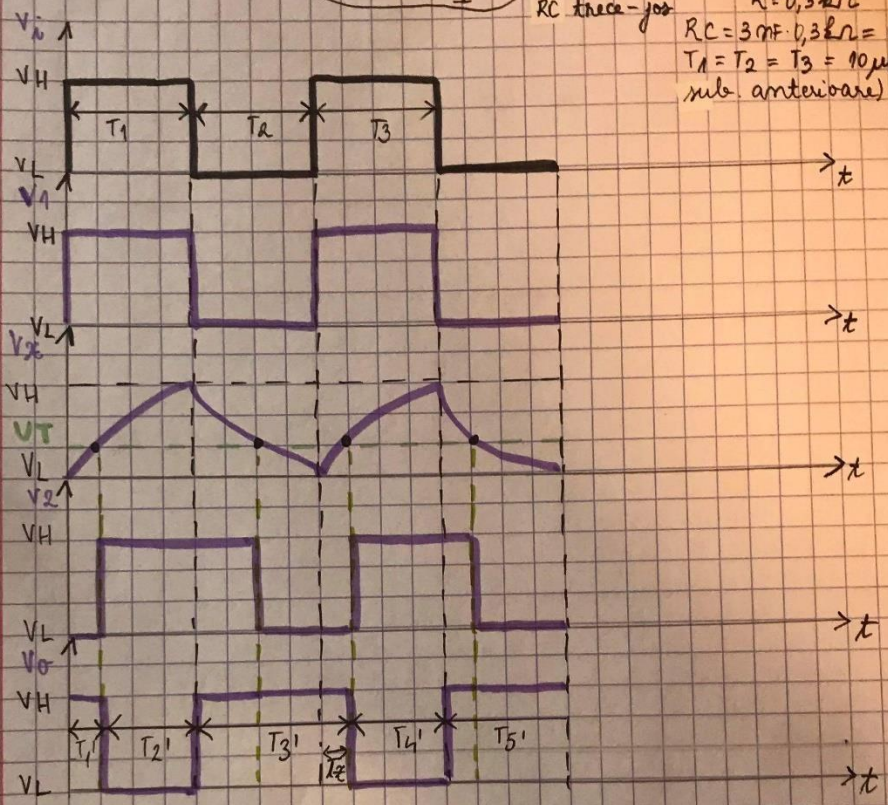
3)



RC trece-jos

$V_H = 3{,}5V$
$V_L = 0{,}2V$
$V_T = 1{,}5V$
$C = 3mF$
$R = 0{,}3k\Omega$

$RC = 3mF \cdot 0{,}3k\Omega = 0{,}9\mu s$
$T_1 = T_2 = T_3 = 10\mu s$ (de la sub. anterioare)



NAND		
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$T_1' = RC \ln \frac{V_H - V_L}{V_H - V_T} = 0{,}9 \cdot \ln \frac{3{,}5 - 0{,}2}{3{,}5 - 1{,}5} =$$

$$= 0{,}9 \cdot \ln \frac{3{,}3}{2} = 0{,}45\mu s$$

$$T_2' = T_1 - T_1' = 10\mu s - 0{,}45\mu s = 9{,}55\mu s$$

$$T_3' = T_2' + T_x = 10{,}45\mu s$$

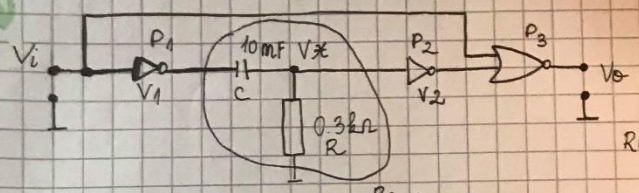
$$T_x = T_1' = RC \ln \frac{V_H - V_L}{V_H - V_T} = 0{,}9 \cdot \ln \frac{3{,}5 - 0{,}2}{3{,}5 - 1{,}5} = 0{,}45\mu s$$

$$T_4' = T_3 - t_x = 10 - 0{,}45\mu s = 9{,}55\mu s = T_2'$$

$$T_5' = T_2 = 10\mu s$$

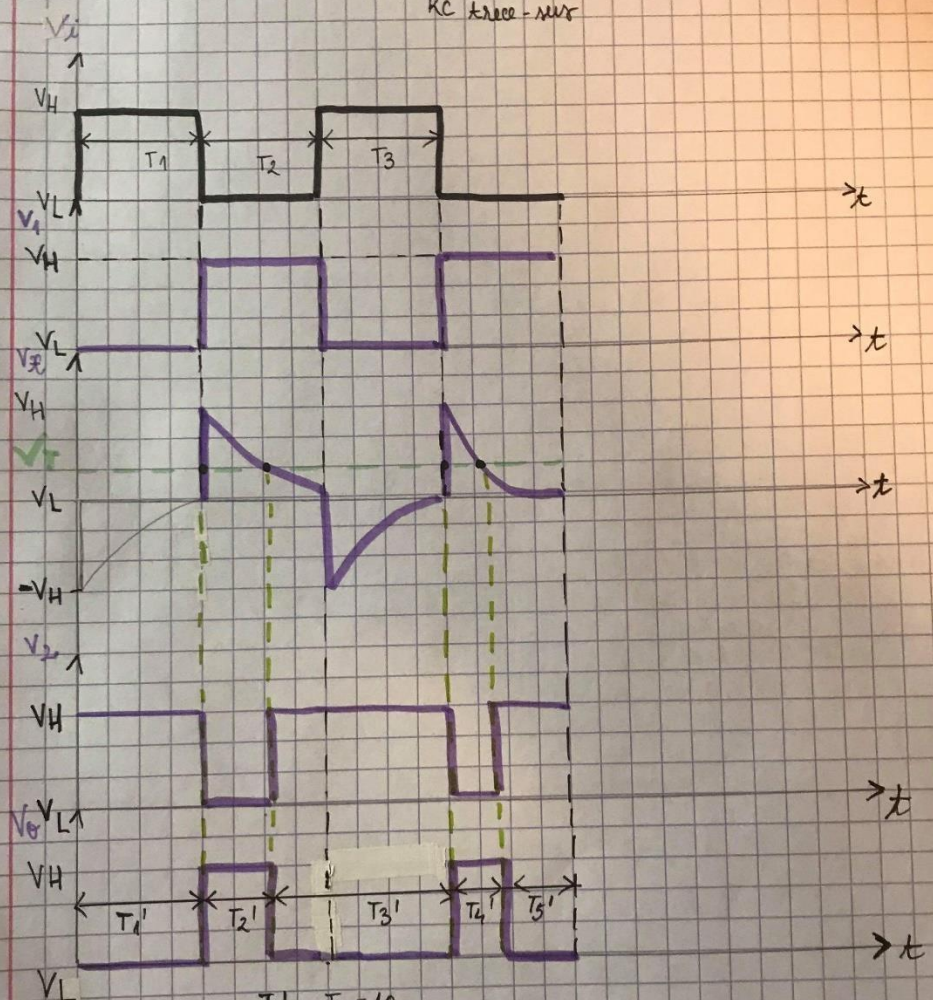
SUBIECT H

1)



$V_H = 3,5\ V$
$V_L = 0,2\ V$
$V_T = 1,5\ V$
$T_1 = T_2 = T_3 = 10\ \mu s$
$RC = 10mF \cdot 0,3\ k\Omega = 3\ \mu s < T_1 = 10\ \mu s$
$< T_2 = 10\ \mu s$

RC trece-sus



NOR		
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

$T_1' = T_1 = 10\ \mu s$

$T_2' = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 3 \ln \frac{0,2-3,5}{0,2-1,5} = 3 \ln \frac{-3.3}{-1,3} =$

$= 3 \cdot 0,93 = 2,97$

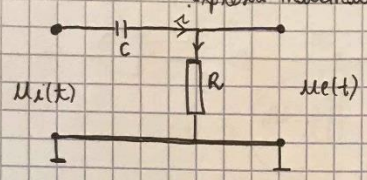
$T_3' = T_3 + T_2 - T_2' = 20\ \mu s - 2,97 = 17,03\ \mu s$

$T_4' = T_2' = RC \ln \frac{V_L - V_H}{V_L - V_T} = 2,97$

$T_5' = T_2 - T_4' = 10 - 2,97 = 7,03\ \mu s$

RC trecesus

1) a) Răspunsul circuitului RC trece-sus la un semnal impuls repetitiv: - diagrama de timp
- expresia matematică

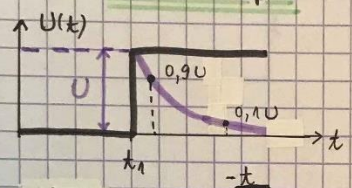


Folosim:

$$u_e = u_e(\infty) + [u_e(0) - u_e(\infty)]\, e^{-\frac{t}{\tau}}$$

pt. un semnal treaptă:

$$U(t) = \begin{cases} U, & t \geq t_1 \\ 0, & t < t_1 \end{cases}$$



$u_e(0) = U$ (valoarea inițială)

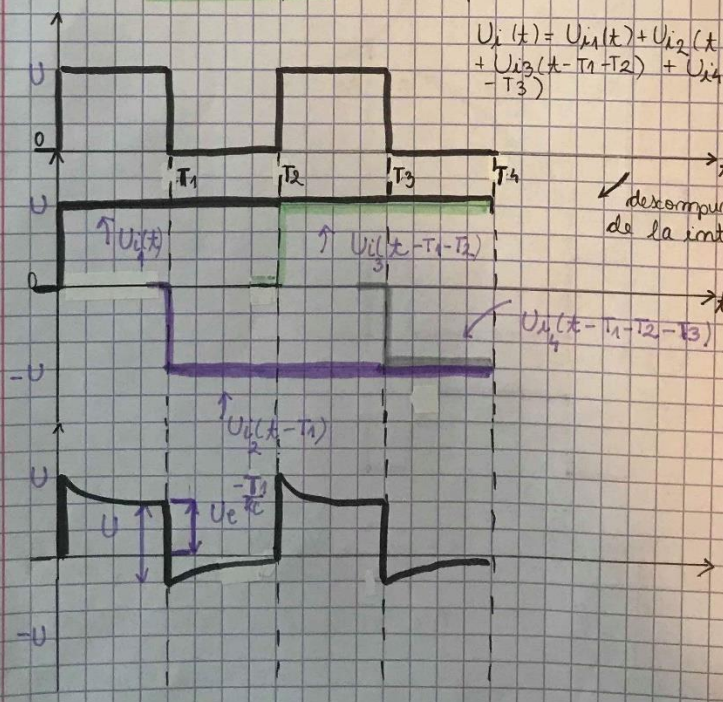
$u_e(\infty) = 0$ (valoarea finală)

$\boxed{\tau = RC}$

$\Rightarrow u_e(t) = U e^{-\frac{t}{\tau}}$

pt. un semnal impuls (care se repetă)

$$U_i(t) = U_{i1}(t) + U_{i2}(t - T_1) + U_{i3}(t - T_1 - T_2) + U_{i4}(t - T_1 - T_2 - T_3)$$



descompunerea semnalului de la intrare

a) $0 < t < T_1$

identic ca la un semnal treaptă

$U_e(0) = U \qquad u_e(t) = U e^{-\frac{t}{RC}}$

b) $T = T_1 \Rightarrow u_e(T_1) = U \cdot e^{-\frac{T_1}{RC}}$ c) $u_e(T_1^*) = u_e(T_1) - U$

d) $t \in (T_1, T_1 + T_2)$

$u_e(t) = u_{e1}(t) + u_{e2}(t - T_1) = U e^{-\frac{t}{RC}} - U e^{-\frac{t - T_1}{RC}}$

e) $t = T_1 + T_2$

$u_e(T_1 + T_2) = U e^{-\frac{T_1 + T_2}{RC}} - U e^{-\frac{T_1 + T_2 - T_1}{RC}} = U e^{-\frac{T_1 + T_2}{RC}} - U e^{-\frac{T_2}{RC}}$

$u_e(T_1 + T_2)^* = U - u_e(T_1 + T_2)$

f) $t \in (T_1 + T_2, T_1 + T_2 + T_3)$

$u_e(t) = u_{e1}(t) + u_{e2}(t - T_1) + u_{e3}(t - T_1 - T_2) =$

$= U e^{-\frac{t}{RC}} - U \cdot e^{-\frac{t - T_1}{RC}} + U \cdot e^{-\frac{t - T_1 - T_2}{RC}}$

g) $t = T_1 + T_2 + T_3$

$u_e(T_1 + T_2 + T_3) = U e^{-\frac{T_1 + T_2 + T_3}{RC}} - U e^{-\frac{T_2 + T_3}{RC}} + U e^{-\frac{T_3}{RC}}$

$u_e(T_1 + T_2 + T_3)^* = u_e(T_1 + T_2 + T_3) - U$

h) $t \in (T_1 + T_2 + T_3, \infty)$

$\Rightarrow u_e(t) = u_{e1}(t) + u_{e2}(t - T_1) + u_{e3}(t - T_1 - T_2) + u_{e4}(t - T_1 - T_2 - T_3) =$

$= U e^{-\frac{t}{RC}} - U e^{-\frac{t - T_1}{RC}} + U e^{-\frac{t - T_1 - T_2}{RC}} - U e^{-\frac{t - T_1 - T_2 - T_3}{RC}}$

i) $t \to \infty$

$U_e(\infty) = \lim_{t \to \infty} u_e(t) = U e^{-\frac{\infty}{RC}} - U e^{-\frac{(\infty - T_1)}{RC}} + U e^{-\frac{(-\infty - T_1 - T_2)}{RC}} -$

$- U e^{-\frac{(\infty - T_1 - T_2 - T_3)}{RC}} = \cancel{U} - \cancel{U} + \cancel{U} - \cancel{U} = 0$

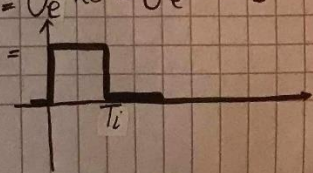
$= 0$

În general, răspunsul la impuls la impul are expresia matematică:

pt. $t \in [0, T_i] \Rightarrow u_e(t) = U e^{-\frac{t}{RC}}$ (la fel ca la semnalul treaptă)

pt. $t > T_i : \Rightarrow u_e(t) = u_{e1}(t) + u_{e2}(t - T_i) = U e^{-\frac{t}{RC}} - U e^{-\frac{t - T_i}{RC}} =$

$= U\left[e^{-\frac{t}{RC}} - e^{-\frac{t - T_i}{RC}}\right] = U e^{-\frac{(t - T_i)}{RC}}\left[\frac{e^{-\frac{t}{RC}}}{e^{-\frac{(t - T_i)}{RC}}} - 1\right] =$

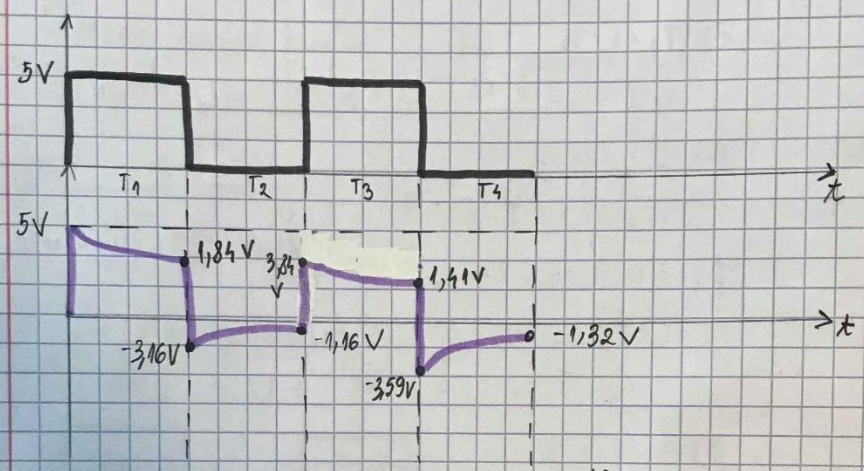


$$= U e^{-\frac{(t-T_i)}{RC}} \left[e^{-\frac{t+t-T_i}{RC}} - 1 \right] = U \left[e^{-\frac{T_i}{RC}} - 1 \right] e^{-\frac{(t-T_i)}{RC}}$$

b) $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = 100\,\mu s$

$R = 10\,k\Omega$, $C = 10\,mF$, $U = 5V$

$$\left.\begin{array}{l} RC = 10\,k\Omega \cdot 10\,mF = 100\,\mu s \\ T_1 = 100\,\mu s \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{RC}{T_1} = 1$$



$$\text{Jm } T = T_1 \Rightarrow u_e(T_1) = U e^{-\frac{T_1}{RC}} = 5 e^{-\frac{100}{100}} = 5 e^{-1} = \frac{5}{e} = 1{,}84\,V$$

$$\text{Jm } T = T_1^* \Rightarrow u_e(T_1^*) = u_e(T_1) - U = 1{,}84 - 5 = -3{,}16\,V$$

$$\text{Jm } T = T_1 + T_2 \Rightarrow u_e(T_1+T_2) = U e^{-\frac{T_1+T_2}{RC}} - U e^{-\frac{T_2}{RC}} =$$

$$= 5 e^{-\frac{200}{100}} - 5 e^{-\frac{100}{100}} = 5 e^{-2} - 5 e^{-1} = 0{,}68 - 1{,}84 = -1{,}16\,V$$

$$\text{Jm } T = (T_1+T_2)^* \Rightarrow u_e(T_1+T_2)^* = u_e(T_1+T_2) + U = -1{,}16 + 5 = -3{,}84\,V$$

$$\text{Jm } T = T_1 + T_2 + T_3 \Rightarrow u_e(T_1+T_2+T_3) = U e^{-\frac{T_1+T_2+T_3}{RC}} - U e^{-\frac{T_2+T_3}{RC}} + U e^{-\frac{T_3}{RC}} =$$

$$= 5 e^{-\frac{300}{100}} - 5 e^{-\frac{200}{100}} + 5 e^{-\frac{100}{100}} = 5 e^{-3} - 5 e^{-2} + 5 e^{-1} = 0{,}25 - 0{,}68 + 1{,}84 =$$

$$= 1{,}41\,V$$

$$\text{Jm } T = (T_1+T_2+T_3)^* = u_e(T_1+T_2+T_3) - U = 1{,}41 - 5 = -3{,}59\,V$$

$$\text{Jm } T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \Rightarrow u_e(T_1+T_2+T_3+T_4) = U e^{-\frac{T_1+T_2+T_3+T_4}{RC}} -$$

$$- U e^{-\frac{T_2+T_3+T_4}{RC}} + U e^{-\frac{T_3+T_4}{RC}} - U e^{-\frac{T_4}{RC}} = 5 e^{-4} - 5 e^{-3} + 5 e^{-2} - 5 e^{-1} =$$

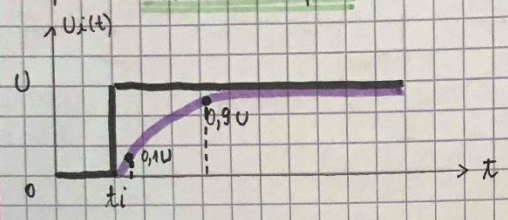
$$= 0{,}09 - 0{,}25 + 0{,}68 - 1{,}84 = -1{,}32\,V$$

RC trecejos

10) a) Răspunsul circuitului RC trece-jos la un semnal impuls repetitiv, diagrama de timp, expresia matematică.

pt. un semnal treaptă:

$$u_i(t) = \begin{cases} U, \text{ pt } t \geq t_i \\ 0, \text{ pt } t < t_i \end{cases}$$



$$u_e(t) = u_e(\infty) + [u_e(0) - u_e(\infty)] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

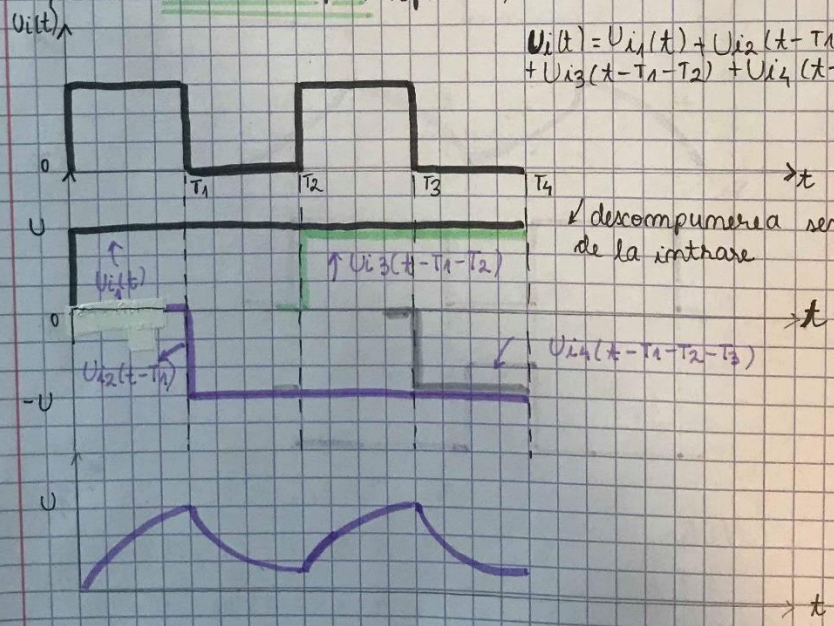
$$\boxed{\tau = RC}$$

$u_e(0) = 0$ (momentul initial)
$u_e(\infty) = U$ (momentul final)

$\Rightarrow u_e(t) = U - U \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = U\left[1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right]$ - răspunsul circuitului RC trece-jos la un semnal treaptă

pt. un semnal impuls (repetitiv)

$$U_i(t) = U_{i1}(t) + U_{i2}(t - T_1) + U_{i3}(t - T_1 - T_2) + U_{i4}(t - T_1 - T_2 - T_3)$$



descompunerea semnalului de la intrare

1) $0 < t < T_1$; $U_e(0) = 0$

$U_e(t) = U\left[1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right]$, identic cu semnalul treaptă

2) $U_e(T_1) = U\left[1 - e^{-\frac{T_1}{RC}}\right]$; $t = T_1$

$U_e(T_1^*) = U_e(T_1) - U$

3) $t \in (T_1, T_1 + T_2)$

$U_e(t) = U_{e_1}(t) + U_{e_2}(t - T_1) = U\left[1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right] - U\left[1 - e^{-\frac{t - T_1}{RC}}\right]$

4) $t = T_1 + T_2$

$U_e(T_1 + T_2) = U\left[1 - e^{-\frac{T_1 + T_2}{RC}}\right] - U\left[1 - e^{-\frac{T_2}{RC}}\right]$

$U_e((T_1 + T_2)^*) = U - U_e(T_1 + T_2)$

5) $t \in (T_1 + T_2, T_1 + T_2 + T_3)$

$U_e(t) = U_{e_1}(t) + U_{e_2}(t - T_1) + U_{e_3}(t - T_1 - T_2) =$

$= U\left[1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right] - U\left[1 - e^{-\frac{t - T_1}{RC}}\right] + U\left[1 - e^{-\frac{t - T_1 - T_2}{RC}}\right]$

6) $t = T_1 + T_2 + T_3$

$U_e(T_1 + T_2 + T_3) = U\left[1 - e^{-\frac{T_1 + T_2 + T_3}{RC}}\right] - U\left[1 - e^{-\frac{T_2 + T_3}{RC}}\right] +$

$+ U\left[1 - e^{-\frac{T_3}{RC}}\right]$

7) $t \in (T_1 + T_2 + T_3, \infty)$

$U_e(t) = U_{e_1}(t) + U_{e_2}(t - T_1) + U_{e_3}(t - T_1 - T_2) + U_{e_4}(t - T_1 - T_2 - T_3)$

$= U\left[1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right] - U\left[1 - e^{-\frac{t - T_1}{RC}}\right] + U\left[1 - e^{-\frac{t - T_1 - T_2}{RC}}\right] -$

$- U\left[1 - e^{-\frac{t - T_1 - T_2 - T_3}{RC}}\right]$

8) $t \to \infty$

$U_e(\infty) = \lim_{t \to \infty} U_e(t) =$

În general, răspunsul la impuls are expresia matematică:

pt. $t \in [0, T_i] \Rightarrow U_e(t) = U\left[1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right]$ (la fel ca la semnalul treaptă)

pt $t > T_i \Rightarrow U_e(t) = U_{e_1}(t) + U_{e_2}(t - T_i) = U\left[1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right] -$

$- U\left[1 - e^{-\frac{t - T_i}{RC}}\right] = U \cdot e^{-\frac{t}{RC}}\left[1 - e^{-\frac{T_i}{RC}}\right]$

b) $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = 100\,\mu s$

$R = 10\,k\Omega$; $RC = 100\,\mu s$

$C = 10\,mF$, $U = 10V$

$U_e(0) = 0$

$$U_e(T_1) = U(1-e^{-\frac{T_1}{RC}}) = 10(1-e^{-\frac{100}{100}}) = 10(1-e^{-1}) = 10 \cdot (1-0{,}36) = 6{,}4\,V$$

$$U_e(T_1+T_2) = U\left[1-e^{-\frac{T_1+T_2}{RC}}\right] - U\left[1-e^{-\frac{T_2}{RC}}\right] =$$

$$= 10\left[1-e^{-\frac{200}{100}}\right] - 10\left[1-e^{-\frac{100}{100}}\right] = 10\left[1-e^{-2}\right] - 10\left[1-e^{-1}\right] =$$

$$= 10(1-0{,}13) - 10(1-0{,}36) = 8{,}7 - 6{,}4 = 2{,}3\,V$$

$$U_e(T_1+T_2+T_3) = U(1-e^{-\frac{T_1+T_2+T_3}{RC}}) - U(1-e^{-\frac{T_2+T_3}{RC}}) +$$

$$+ U(1-e^{-\frac{T_3}{RC}}) = 10(1-e^{-3}) - 10(1-e^{-2}) + 10(1-e^{-1}) =$$

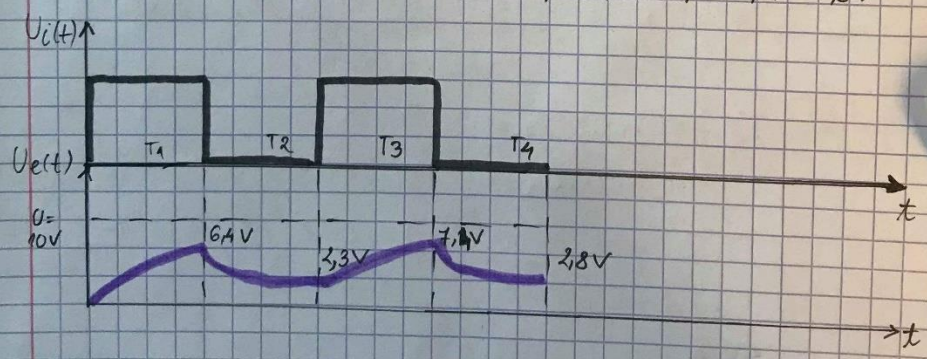
$$= 10(1-0{,}05) - 8{,}7 + 6{,}4 = 9{,}4 - 8{,}7 + 6{,}4 = 7{,}4\,V$$

$$U_e(T_1+T_2+T_3+T_4) = U(1-e^{-\frac{T_1+T_2+T_3+T_4}{RC}}) - U(1-e^{-\frac{T_2+T_3+T_4}{RC}}) +$$

$$+ U(1-e^{-\frac{T_3+T_4}{RC}}) - U(1-e^{-\frac{T_4}{RC}}) =$$

$$= 10(1-e^{-4}) - 10(1-e^{-3}) + 10(1-e^{-2}) - 10(1-e^{-1}) =$$

$$= 10(1-0{,}01) - 9{,}4 + 8{,}7 - 6{,}4 = 9{,}9 - 9{,}4 + 8{,}7 - 6{,}4 = 2{,}8\,V$$



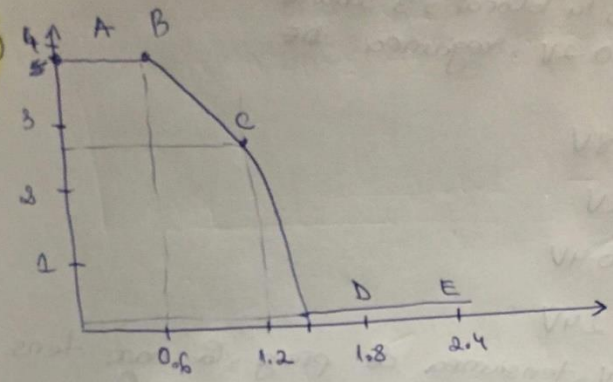
Caracteristica statica de transfer

C2 a) Caract statică de transfer (A2)

b) Def. nivelelor de tensiune la intrare și la ieșire, delim zonele de funcționare.

c) Def. marginelor de zgomot.

a)



- $0V < U_i < 0.65V$, T_1 saturat, T_2 blocat

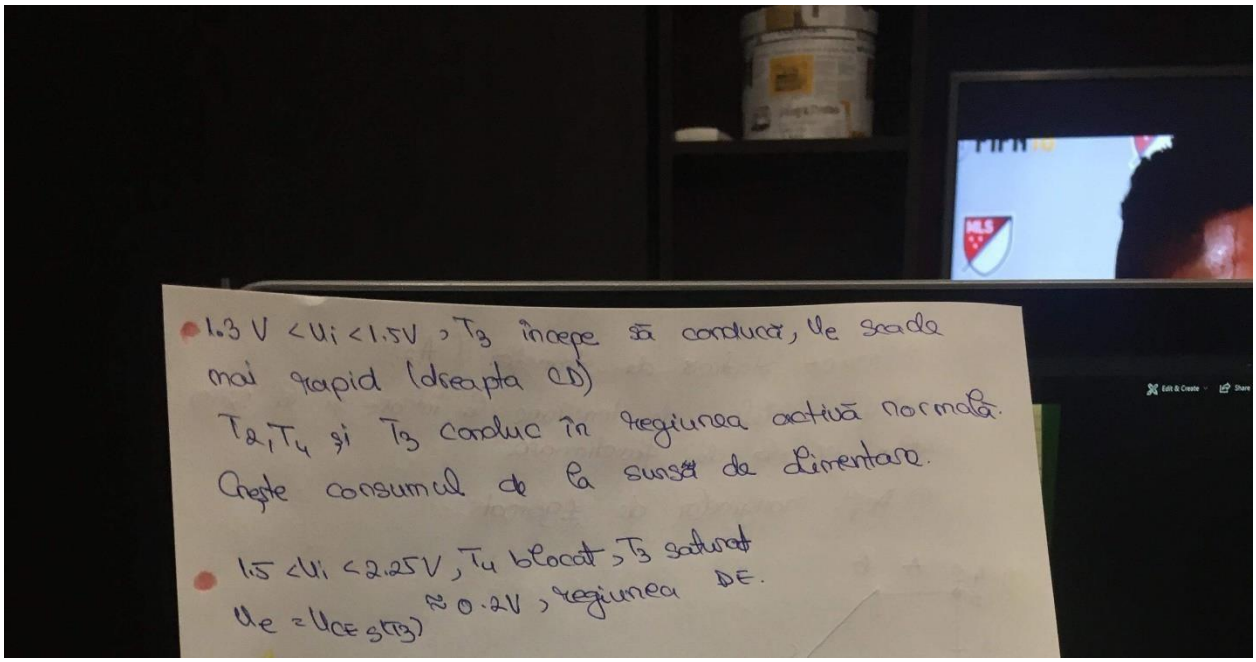
$U_e = V_{CC} - R_2 \cdot i_{R2} - U_{BE(T_4)} - V_D$

$U_{BE(T_4)} = V_D \approx 0.75V$, $i_{R2} \simeq i_{B(T_4)} = i_{OH}(\beta_H + 1)$,

$U_e = 3.4V$, segmentul AB.

- $0.65 < U_i < 1,3V$, T_2 începe să conducă ușor, intrând în regiunea activă normală. Amplificarea realizată pe porțiunea BC de tranzistorul T_2 este $\alpha \approx -R_2/R$

T_4 repetor pe emitor, T_3 blocat, dreapta BC.



Nivele logice de intrare si iesire

Dar $i_{R_2} = i_{C_2} + i_{B_4}$

b și c:

pentru $V_i = 0V$

$\Rightarrow V_{B_1} = V_i + V_{BE_1} = 0 + 0.75 = 0.75$

$V_{B_2} = V_{B_1} - V_{BC_1} = 0.75 - 0.75 = 0$

$V_{B_3} = 0 \Rightarrow T_3$ - blocat.

$V_0 = V_{CC} - I_{R_2} \cdot R_2 - V_{BE_4} - V_D$.

$i_{R_2} = i_{C_2} + i_{B_4} \simeq i_{B_4}$.

$i_{C_2} = i_{B_2} \simeq 0$. ($T_2$ - blocat)

$i_{B_4} = \frac{i_{E_4}}{\beta+1} = \frac{i_{C_3} + i_{B_4}}{\beta+1}$.

$i_{E_4} = i_{C_3} + i_{OH} \simeq i_{OH}$

$i_{C_3} = i_{C_0} = neg$ (T_3 blocat)

$V_0 = V_{CC} - \frac{i_{OH}}{\beta+1} R_2 - V_{BE_4} - V_D \left(\begin{matrix} pt. \beta = 20 \\ i_{OH} = 0.8 \end{matrix} \right) \simeq 3.4$.

pentru $V_i = 0.65V$.

$V_{B_1} = V_i + V_{BE_1} = 0.65 + 0.75 = 1.4$

$V_{B_2} = V_{B_1} - V_{BC_1} = 1.4 - 0.75 = 0.65$

(T_2 începe să conducă)

$V_{B_3} = 0V \Rightarrow T_3 \rightarrow$ blocat.

$V_0 = V_{CC} - \frac{i_{OH}}{\beta+1} \cdot R_2 - V_{BE_4} - V_D \approx 3.4V$.

pentru $0.65 < V_i < 0.65 \cdot 2 = 1.3$

$V_{B_1} = V_i + V_{BE_1} \in [0.65 + 0.75 = 1.4$ și $1.3 + 0.75 = 2.05]$

$V_{B_2} = V_{B_1} - V_{BC_1} \in [0.65, 1.3]$.

T_2 - trece din bl $\rightarrow$ cond.

$V_0 = V_{CC} - i_{R_2} \cdot R_2 - V_{BE_4} - V_D$

Dar $i_{R2} = i_{C2} + i_{B4}$

$i_{C2} \cong i_{E2}$

$i_{R2} = i_{C2} + i_{B4}$

$i_{C2} \approx i_{E2} = i_{R3} + i_{B3}$

dar

$V_{B3} \in [0 ; 0.55] \rightarrow T_3$ - blocat

de unde $\Rightarrow i_{B3} = i_{C0}$ - neglijăm

$V_{B3} = V_{B2} - V_{BE2}$

$$i_{R3} = \frac{V_{B3}}{R3} = \frac{V_i + V_{BE1} - V_{BC1} - V_{BE2}}{R3}$$

$$V_0 = V_{CC} - \left[\frac{V_i + V_{BE1} - V_{BC1} - V_{BE2}}{R3} + \frac{i_{OH}}{\beta+1} \right] R_2$$

$$- V_{BE1} - V_D$$

$$A = \frac{\partial V_0}{\partial V_i} = -\frac{R_2}{R3} = -1.6$$

Se obț. pt. $V_i = 1.3 \Rightarrow V_0 = 2.4$.

Intrare – nivel loc inferior si superior

$V_L = 0.2$, $V_H = 3.5$, $V_{CC} = +5$.

B2 b) Def. curentului pt. nivel logic inferior.

$V_A = V_B = V_L = 0.2$

$V_{B1} = V_i + V_{BE1} = 0.2 + 0.75 = 0.95^V$

$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} = 0.95 - 0.75 = 0.2^V \ (< 0.65 = V_\gamma)$

$\Rightarrow T_2$ blocat.

$\Rightarrow i_{C2} = i_{C0} \simeq$ neg.

$V_{B4} = V_{CC} - i_{R2} \cdot R_2 \cong V_{CC} = 5^V$

$V_{B3} = 0 + \overset{0}{i_{E2}} R_3 = 0 \rightarrow T_3$ bl.

dacă $V_{B4} = 5$

$V_0 = \underbrace{V_{B4} - V_{BE4}}_{\Downarrow} - V_D = 5 - 0.75 - 0.75 = 3.5 = V_H$

T_3 - blocat ⊜ Tu conduce.

b) Def. curentului pt. nivel logic superior

$V_A = V_B = V_i = V_H = 3.5^V$

V_{B1} tinde spre V_{CC} din pt.:

$V_{B1} = V_{BE3} + V_{BE2} + V_{BC1} = 0.75 + 0.75 + 0.75$

$= \underline{2.25}$.

se lim. la această val.

$V_{B2} = \underbrace{V_{BE2}}_{\Downarrow} + V_{BE3} = 0.25 + 0.75 = 1.5^V$

T_2 sat.

Delimitarea zonelor de functionare

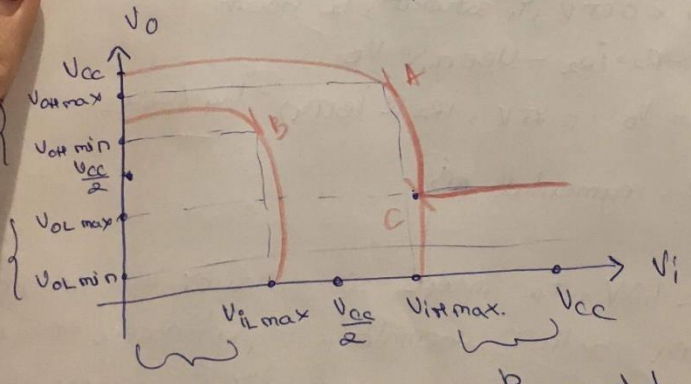
b) $V_{IL\,max} = 0.8V$

$V_{IH\,min} = 2V$

$V_{OL\,max} = 0.4V$

$V_{OH\,min} = 2.4V$

$V_t = 1.3V$, tensiunea de prag, la care tens. de intrare și ies. sunt egale.



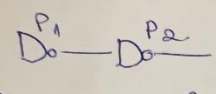
dacă $V_{IL} \leq V_{IL\,max} \Rightarrow V_O$ se obț. $V_O = V_{OH\,min}$

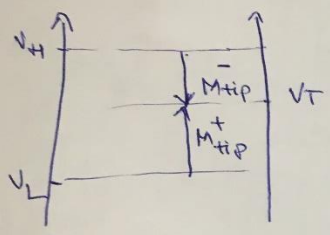
dacă $V_{IH} \geq V_{IH\,min} \Rightarrow V_O$ se obț. cel mult $V_O \leq V_{OL\,max}$.

a) zona admisă la intrare pt. niv logic inf
b) " sup
c) zona garantată la ieșire pt. niv. logic inf
d) " sup

Marginea de zgomot

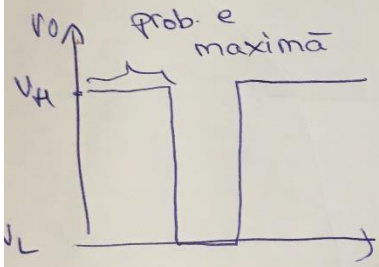
c)

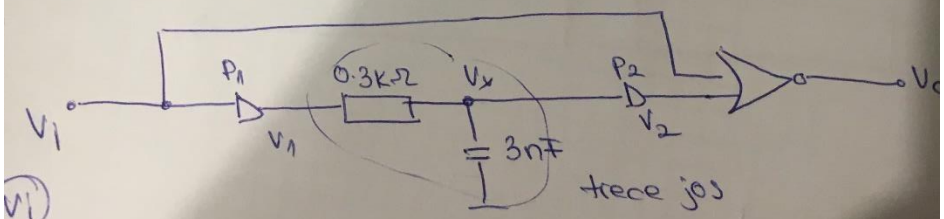




$M_{Hip}^{+} = V_T - V_L = 1.5 - 0.2 = 1.3V.$

$M_{Hip}^{-} = V_H - V_1 = 3.5 - 1.5 = 2V.$





trece jos

vi

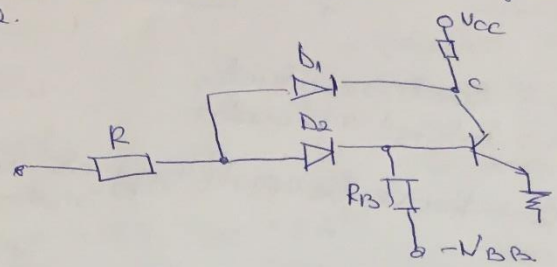
Saturare transistor cu 2 diode

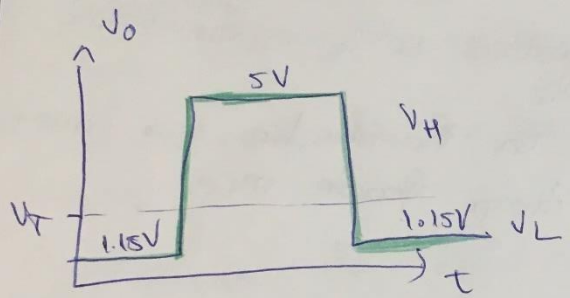
Subiectul D

D1 a) ca la C1

b) aproape ca la C1.

D2 a) Metoda de evitare a saturării tranzistorului cu 2 diode.





$V_B = V_{D2} + V_{BE}$

$V_B = V_{D1} + V_{CE}$

$V_{D2} + V_{BE} = V_{D2} + V_{CE}$

$V_{BE} = (V_{D2} - V_{D2}) + V_{CE}$

$V_{D2} > V_{D1}$

Ge: $V_{max} = 0.35\,V$

Si: $V_{max} = 0.75\,V$

$D_1 \rightarrow$ diodă cu Ge

$D_2 \rightarrow$ diodă cu Si.

$V_B = V_{D2} + V_{BE} = 0.75 + 0.75 = 1.5\,V.$

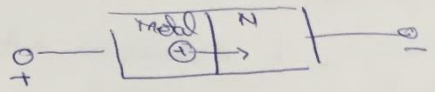
$V_C = V_B - V_{D1} = 1.5 - 0.35 = +1.15\,V.$

Saturare transistor cu didoda Schottky

$V_B = V_{D2} + V_{BE} = 0.75 + 0.75 = 1.5\,V.$

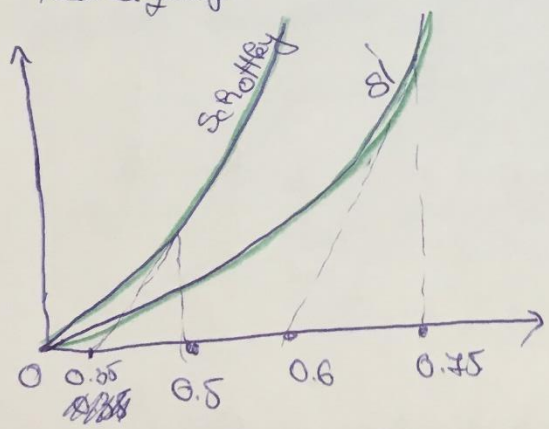
$V_C = V_B - V_{D1} = 1.5 - 0.35 = +1.15\,V.$

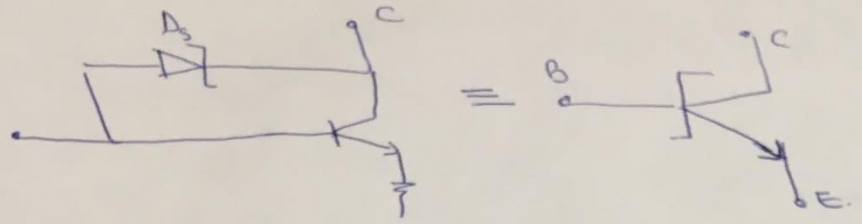
b) Metoda de evitare a saturației cu dioda Schottky



Polarizată
- → direct → conducție
- → indirect → blocată.

- lucrează la frecvențe mari (timpi de comutare mari)
- are aceeași caracteristică volt-ampermetrică ca și dioda normală
- trecerea din blocare în conducție sau invers se realizează într-un timp foarte mic.





$V_{DS} = 0.75V$

$V_{BE} = 0.75V$

$V_{CE} = V_B - V_{DS} = 0.75 - 0.55 = 0.2V$

$V_{BC} = V_{DS} = 0.552$ $V_{BE} = 0.6V$

- folosită în circ. numerice performante.
- t_d și t_r scad ⇒ crește frecvența de lucru
- se deschide la $V_{DS} = 0.5V$.

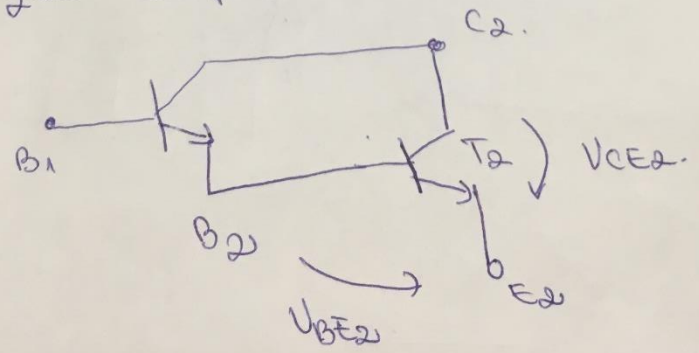
$\beta i_B > i_C$ nu se îndeplinește

Sarcina care este în bază este nesemnificativă ⇒

$t_s \to 0$

Saturare transistor compus

c) Metoda de evitare a saturării cu un tranzistor compus.



$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ – factor de amplificare foarte mare

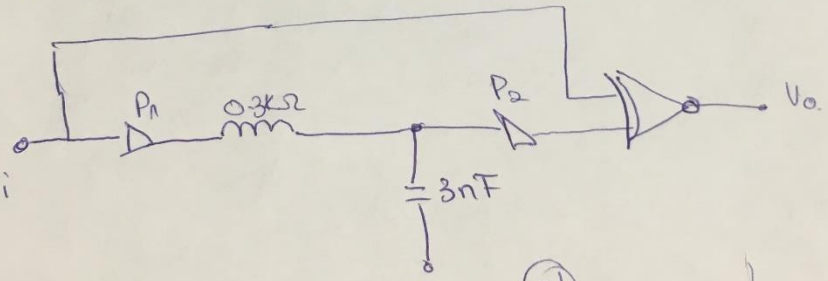
Tranzistorul T_2 nu se saturează.

$V_{BE2} \geq V_{CE2}$ Condiția de saturare.

$V_{CE2} = V_{CE1} + V_{BE2} \Rightarrow T_2$ nu e saturat (nu are timp de saturare t_s)

– folosit în circuite cu frecvențe foarte ridicate

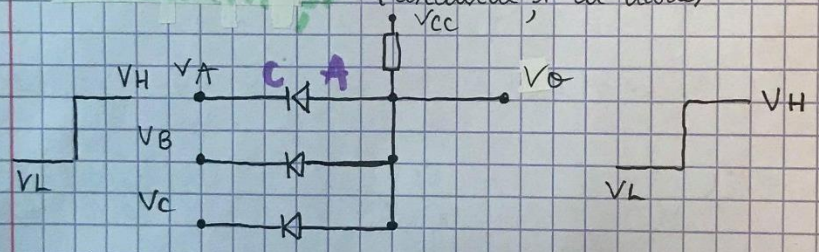
D3



Circuite logice cu diode-functionare

4) Funcționare

1. POARTA ȘI (circuitul ȘI cu diode)



VA	VB	VC	VO
VL	VL	VL	VL
VL	VL	VH	VL
VL	VH	VL	VL
VL	VH	VH	VL
VH	VL	VL	VL
VH	VL	VH	VL
VH	VH	VL	VL
VH	VH	VH	VH

A	B	C	O
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

- A, B, C → semnale de intrare
- O – semnalul de ieșire
- nivelului logic „0" îi corespunde tensiunea VL (tensiunea inferioară)
- nivelului logic „1" îi corespunde tensiunea VH (tensiunea superioară)
- circuitul funcționează corect dacă: $V_{CC} > V_H > V_L$
- presupunem că pe diodele utilizate, căderea de tensiune este neglijabilă în comparație cu tensiunea de alimentare Vcc

În aceste condiții, circuitul funcționează astfel:

a) $V_A = V_B = V_C = V_H$

=> diodele D_1, D_2 și D_3 conduc, fiind polarizate direct ($V_{AA} > V_S$)
↳ la ieșire se obține:

$V_O = V_H + V_T$, unde V_T este căderea de tensiune pe diodă
cum V_T s-a neglijat => $V_O \cong V_H$

b) $V_A = V_B = V_C = V_L$

=> D_1, D_2 și D_3 conduc fiind polarizate direct ($V_{AA} > V_L$)
↳ la ieșire se obține:

$V_O = V_L + V_T$, V_T = căderea de tensiune pe diodă
cum V_T s-a neglijat => $V_O \cong V_L$

c) Cazul când cel puțin unei intrări i se aplică un nivel de tensiune inferior V_L (dar nu tuturor intrărilor)

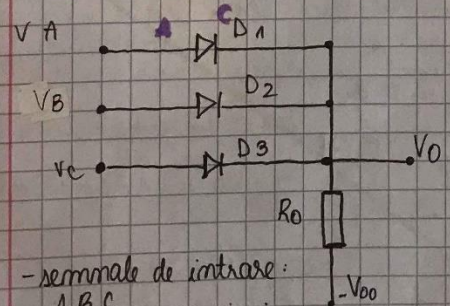
ex: $V_A = V_L$ => D_1 conduce
$V_B = V_C = V_H$ D_2, D_3 blocate

Practic, conduce dioda în catodul căreia s-a aplicat V_L. Aceasta va fixa în anodul ei un potențial V_L.

Acest potențial determină ca diodele în catodul cărora avem V_H să fie polarizate invers

Deci dintre cele 3 diode, conduce numai dioda care are catodul conectat la tensiunea cea mai mică.

2. POARTA SAU (circuitul SAU cu diode)



V_A	V_B	V_C	V_O
V_L	V_L	V_L	V_L
V_L	V_L	V_H	V_H
V_L	V_H	V_L	V_H
V_L	V_H	V_H	V_H
V_H	V_L	V_L	V_H
V_H	V_L	V_H	V_H
V_H	V_H	V_L	V_H
V_H	V_H	V_H	V_H

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

negativ

- semnale de intrare: A, B, C
- semnal de ieșire: O
- „0 logic" → V_L
- „1 logic" → V_H
- circuitul funcționează corect dacă: $V_S > V_L > -V_{OO}$
- presupunem că diodele sunt ideale: $I_O = 0$ și $R_i = \infty$
- V_T, tensiunea pe diode este neglijabilă

$|V_{OO}| \geq V_S > V_I$

a) $V_A = V_B = V_C = V_L \Rightarrow D_1, D_2, D_3$ conduc
(sunt polarizate direct, $V_i > V_{00}$)

$V_0 = V_L - V_T = V_L$; V_T s-a neglijat

b) $V_A = V_B = V_C = V_H \Rightarrow D_1, D_2, D_3$ conduc
(sunt polarizate direct, $V_H > V_{00}$)

$V_0 = V_H - V_T = V_H$; V_T s-a neglijat

c) Cazul când cel puțin una din intrări (dar nu toate) sunt alimentate cu V_H

ex: $V_A = V_H \Rightarrow D_1$ conduce
$V_B = V_C = V_L$ D_2, D_3 sunt blocate

(D_1 conduce pt. că diferența de potențial cea mai mare este între intrarea A și sursa de alimentare $-V_{00}$)

D_2 și D_3 sunt polarizate invers

$V_0 = V_H - V_T$ (V_T se neglizează)

$\Rightarrow V_0 = V_H$

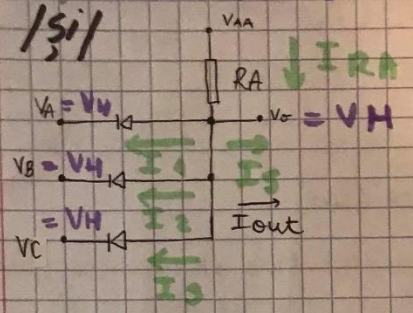
Conduce doar dioda legată la cea mai mare tensiune, restul fiind blocate (deci invers polarizate)

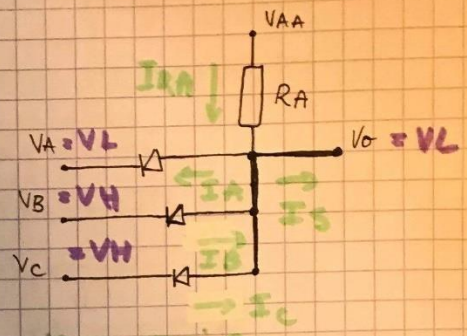
4) dimensionarea circuitului

Circuite logice cu diode-Dimensionare

6) DIMENSIONARE

/şi/





1) DIMENSIONAREA REZISTENȚEI RA

- se realizează din condiția asigurării unui curent de sarcină I_S minim în cazul cel mai defavorabil, când la ieșirea porții există nivel logic superior ⇒ $V_O = V_H$

- pentru ca la ieșire să avem VH, e necesar ca și la toate intrările să avem VH

KI: $I_{RA} = I_1 + I_2 + I_3 + I_{out}$

IRA se va folosi pt. comandarea sarcinii

$$I_{RA} = \frac{V_{AA} - V_O}{R_A} = \frac{V_{AA} - V_H}{R_A} = I_1 + \underbrace{I_2 + I_3}_{\simeq 0} + I_{out}$$

$V_O = V_H$

$$I_{out} \simeq I_{RA} = \frac{V_{AA} - V_H}{R_A} \geq I_S$$

IRA are val. minimă când:

$I_{RA\,min} \geq I_{S\,min}$ → condiția de încărcare

Condiția de încărcare se obține în cazul $V_A = V_B = V_C = V_H$, $V_O = V_H$, satisfăcută de ultima linie din tabel

$$\frac{V_{AA} - V_H}{R_A} \geq I_S \Rightarrow \frac{R_A}{V_{AA} - V_H} \leq \frac{1}{I_S} \Rightarrow R_A \leq \frac{V_{AA} - V_H}{I_S} \quad (*)$$

2) ELEMENTE VARIABILE

VAA și RA se modifică în funcție de val. nominale, astfel luăm în considerare factorii ce influențează defavorabil funcționarea corectă a circuitului:

VAAN = tensiunea de alimentare nominală

$\Rightarrow V_{AAN} = V_{AA}(1 \pm t_u)$ → toleranța

$t_u = 0{,}1$ pt 10%

$t_u = 0{,}2$ pt 20%

RAN = rezistența nominală

$R_{AN} = R_A(1 \pm t_r)$

$$\text{în } (*) \Rightarrow R_{AN}(1+t_R) \le \frac{V_{AAN}(1-t_u)-V_H}{I_S}$$

3) DIMENSIONARE CURENT COMANDĂ

Pentru determinarea curentului necesar pt comandarea porții și se constată că situația cea mai defavorabilă este $V_O = V_L$

$$I_{RA} = I_A + I_B + I_C + I_{out}$$

$$I_{RA} = \frac{V_{AA}-V_O}{R_A}$$ (curentul trece printr-o singură diodă)

↳ maxim când diferența de potențial e maximă

Pentru ca la ieșire să fie nivel logic inferior, la intrare trebuie să fie la cel puțin o intrare V_L

D_1 - conduce
D_2, D_3 - blocate

n = nr. de intrări

$n-1$ diode blocate

$$I_{int\,max} = I_{RA} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{O\,max}$$

$$I_2 = I_3 = -I_O$$

I_O = curentul invers prin diode

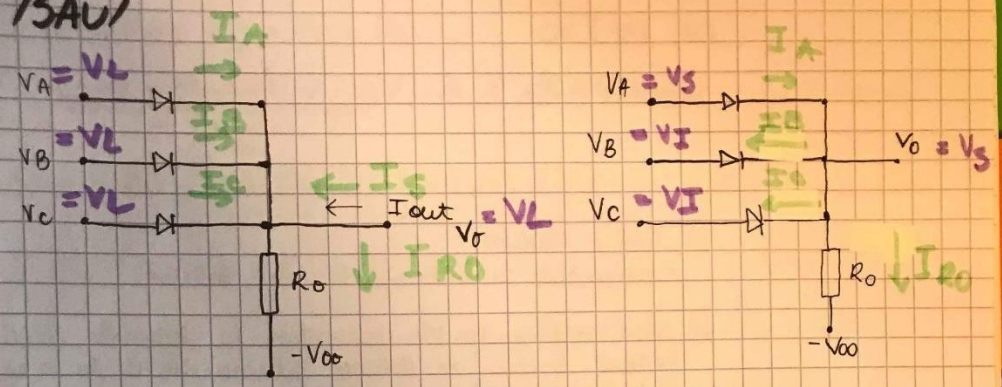
$$I_{int\,max} = \underbrace{\frac{V_{AA}-V_L}{R_A}}_{I_{RA}} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{O\,max}$$

⇓

- $I_{int\,max} = \frac{V_{AAN}(1+t_u)-V_L}{R_{AN}(1-t_R)} + \sum I_{O\,max}$
- $I_{out} = I_{RA\,min} = \frac{V_{AAN}(1-t_u)-V_H}{R_{AN}(1+t_R)} \ge I_S$

$$\Rightarrow E = \frac{I_{out}}{I_{int}} = \frac{\frac{V_{AAN}(1-t_u)-V_H}{R_{AN}(1+t_R)}}{\frac{V_{AAN}(1+t_u)-V_L}{R_{AN}(1-t_R)} + \underbrace{\sum I_{O\,max}}_{(n-1)I_{O\,max}}} \le 1$$

/SAU/



1) DIMENSIONAREA REZISTENȚEI R_A

- se realizează prin respectarea condiției de asigurare a unui curent minim de sarcină I_S
- I_S în cazul cel mai defavorabil: diferența de potențial dintre ieșire și $-V_{OO}$ este minimă => la ieșirea porții e V_L

$$V_O = V_L$$

- I_{out} maxim se obține când curenții prin diode au valori minime => => căderea de tensiune pe diode e minimă => la toate intrările se obține niv. de tensiune V_L

$$I_{RO} \gg I_A, I_B, I_C$$

$$I_{out} = I_{RO} - \underbrace{I_A - I_B - I_C}_{\simeq 0\ mA} \overset{(KI)}{\Rightarrow} I_{out} \simeq I_{RO}$$

$$\Rightarrow I_{out} \simeq I_{RO}$$

$$I_{RO} = \frac{V_O - (-V_{OO})}{R_O} = \frac{V_O + V_{OO}}{R_O}$$

$$I_{out} \simeq I_{RO} = \frac{V_O + V_{OO}}{R_O} \geq I_S,\ V_O = V_L$$

$$R_O \leq \frac{V_L + V_{OO}}{I_S} \quad (*)$$

2) ELEMENTE VARIABILE (CA LA ȘI)

- V_{AA} și R_A

$$V_{AAN} = V_{AA}(1 \pm t_u)$$

$$R_{AN} = R_A(1 \pm t_r)$$

în (*) =>

$$R_0(1+t_h) \le \frac{V_L + V_{00}(1-t_u)}{I_3}$$

3) DIMENSIONARE CURENT COMANDĂ

① I_{R_0} e maxim
- curentul de intrare are val maxim

② când diferența de potențial la bornele diodei e maximă
↳ acest lucru se obține atunci când la o singură intrare se aplică V_H

$\Rightarrow V_0 = V_H$ (dioda D_1 conduce)
D_2, D_3 blocate

$$I_{int_{max}} = I_{R_0} - \sum_{i=1}^{n-1} I_{diodă}$$

n-1 diode blocate

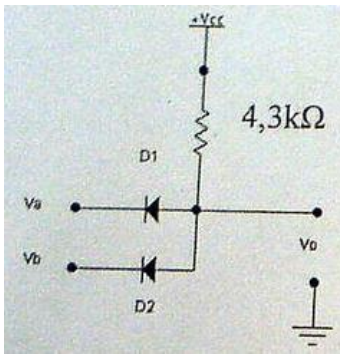
$I_2 = I_3 = -I_0$

- $I_{int\,max} = \frac{V_H + V_{00}}{R_0} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{0max}$
- $I_{out} = I_{R_0 min} = \frac{V_L + V_{00}}{R_0}$

$$E = \frac{I_{R_0 min}}{I_{int\,max}} = \frac{\frac{(1-t_u)V_{00N} + V_L}{(1+t_h)R_{0N}}}{\frac{(1-t_u)V_{00N} + V_H}{(1+t_h)R_{0N}} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{0max}} < 1$$

curentul de ieș. mult mai mic decât cel de intrare

E1



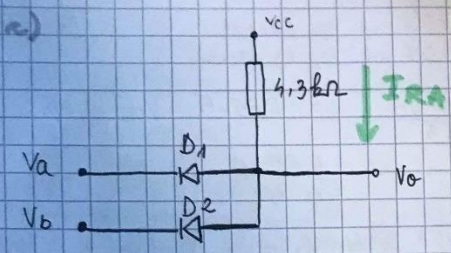
b) dimensionarea circuitului,

c) fie un circuit logic cu diode cu două intrări. Se cere să se determine valorile exacte ale tensiunii de la ieşire pentru următoarele trei cazuri:

1. $V_A=V_B=V_H=5v$, 2. $V_A=V_B=V_L=0v$, 3. $V_A=V_H=5v$, $V_B=V_L=0v$,
Unde. $V_{cc}=15v$, $V_H=5v$, $V_L=0v$, $R_A=4{,}3k\Omega$, $Rd= 40\Omega$, $V_T=0{,}65v$,
$Ri=\infty$ ($Ii= 0$)

SUB E

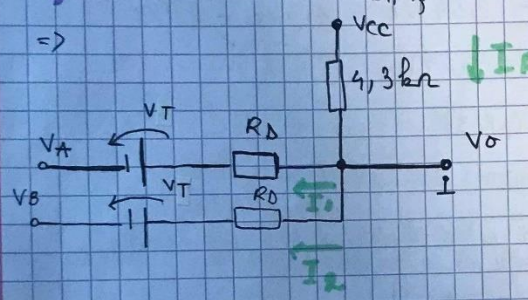
1) a)



$V_{CC} = 15\,V$
$V_H = 5\,V$
$V_L = 0\,V$
$R_A = 4{,}3\,k\Omega$
$R_d = 40\,\Omega$
$V_T = 0{,}65\,V$
$R_i = \infty\ (I_i = 0)$

1) $V_A = V_B = V_H = 5V \Rightarrow D_1$ si D_2 conduc

$\Rightarrow$



$$I_{RA} = \frac{V_{CC} - V_o}{R_A}$$

$$I_1 = \frac{V_o - V_T - V_A}{R_D}$$

$$I_2 = \frac{V_o - V_T - V_B}{R_D}$$

$$KI:\ I_{RA} = I_1 + I_2 \Leftrightarrow \frac{V_{CC} - V_o}{R_A} = \frac{V_o - V_T - V_A}{R_D} + \frac{V_o - V_T - V_B}{R_D} \ *$$

$$\Rightarrow \frac{15V - V_o}{4{,}3k\Omega} = \frac{V_o - 0{,}65V - 5V}{40 \cdot 10^{-3}\,k\Omega} + \frac{V_o - 0{,}65V - 5V}{40 \cdot 10^{-3}\,k\Omega}$$

$$\frac{15V - V_o}{4{,}3k\Omega} = \frac{V_o - 5{,}65V + V_o - 5{,}65}{0{,}04}$$

$$15 \cdot 0{,}04 - 0{,}04 V_o = 4{,}3 \cdot (2V_o - 11{,}3)$$

$$0{,}6 - 0{,}04 V_o = 8{,}6 V_o - 48{,}59$$

$$49{,}19 = 8{,}64 V_o$$

$$V_o = 5{,}693\ V$$

2) $V_A = V_B = V_L = 0\,V \Rightarrow D_1$ si D_2 conduc

$$\text{Dim } * \Rightarrow \frac{15 - V_o}{4{,}3k\Omega} = \frac{(V_o - 0{,}65) \cdot 2}{40 \cdot 10^{-3}}$$

$$4{,}3 \cdot 2 \cdot [V_o - 0{,}65] = 0{,}04 \cdot 15 - 0{,}04 V_o$$

$$8{,}6 V_o - 5{,}59 = 0{,}6 - 0{,}04 V_o$$

$$8{,}64 V_o = 6{,}19 \Rightarrow V_o = 0{,}716\,V$$

3) $V_A = V_H = 5V \Rightarrow D_1$ blocată
$V_B = V_L = 0V \Rightarrow D_2$ conduce

$\Rightarrow \exists I_1 \Rightarrow I_{R_A} = I_2$

$$\Rightarrow \frac{15 - V_0}{4,3} = \frac{V_0 - 0,65 - 0}{40 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Rightarrow 0,04 \cdot 15 - 0,04 \cdot V_0 = 4,3 \cdot V_0 - 2,795$$

$$0,6 - 0,04 V_0 = 4,3 V_0 - 2,795$$

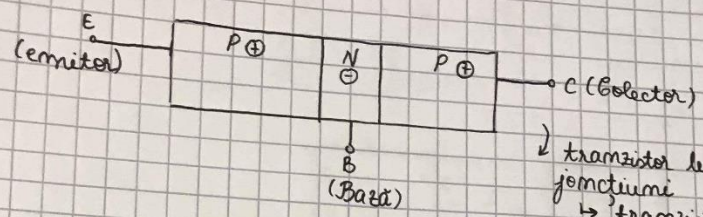
$$3,395 = 4,34 V_0$$

$$V_0 = 0,782 V$$

Tranzistorul bipolar-functionare

2) Tranzistorul bipolar: a) funcționare b) parametrii statici de funcționare c) regimurile de funcționare

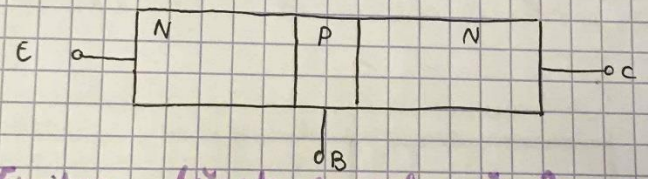
a) funcționare



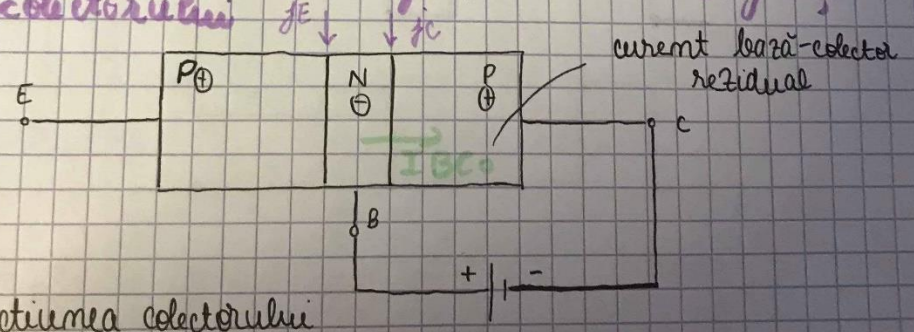
↳ tranzistor bipolar cu joncțiuni
↳ tranzistor PNP

- conține 2 joncțiuni P-N, ce delimitează o singură regiune subțire N
  joncțiunea bază-emitor joncțiunea bază-colector
- emitorul este puternic dopat cu impurități => ∃ un nr. mare de purtători de sarcini electrice libere
- colectorul și baza sunt slab dopate cu impurități => ∃ un nr. relativ redus de sarcini electrice libere
  ↳ regiunea bazei are o dimensiune geometrică foarte mică

∃ și tranzistoare NPN (complementare celor PNP)



a) Emitor lăsat în gol, rămâne doar jonc. colectorului

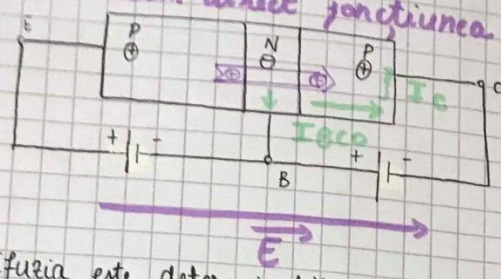


joncțiunea colectorului este polarizată invers

$I_{BC_0} = I_{C_0}$ (curent de colector rezidual)

↓ curent datorat purtătorilor minoritari ce străbat jonc. colectorului când curentul de emitor este nul

b) polarizăm direct joncțiunea p-N a emitorului



jE - polarizată direct

- golurile sunt difuzate din emitor (unde sunt purtători majoritari) în regiunea bazei (unde sunt purtători minoritari)

- difuzia este determinată de câmpul electric pozitiv, dinspre E spre B

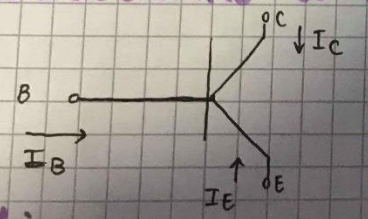
- bază slab dopată cu impurități => ∃ un nr. mic de sarcini el. negative
  ↳ sarcinile el. pozitive (golurile) difuzate în B se recombină cu sarcinile electrice negative
  ↓ însă, posibilitatea de a se recombina este redusă => cele mai multe goluri injectate în bază difuzează prin jBC și ajung în C.
  ↓ golurile sunt antrenate spre colector de câmpul electric dintre emitor și colector

- deplasarea golurilor dinspre B spre C formează un curent electric de intensitate mare (multe goluri ce traversează jBC)
  ↓ curentul de colector este comandat direct de tensiunea BE (aceasta asigură polarizarea directă a jBE)
  ||
  ↓
  curentul de colector este determinat de „emisia" de sarcini electrice furnizate de regiunea emitor și „colectarea" de regiunea colectorului

$I_C = I_{CO} + \alpha I_E$

α - factor de amplificare (0,99 ÷ 0,98)

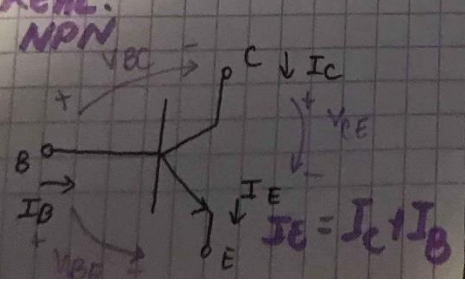
REPREZENTARE CONVENȚIONALĂ:



$I_E + I_C + I_B = 0$

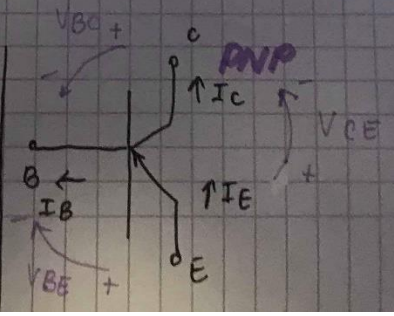
REAL:

NPN



$I_E = I_C + I_B$

PNP



$I_E = I_C + I_B$

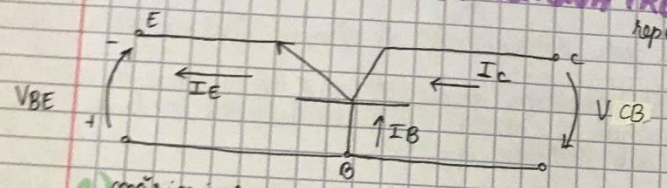
Tranzistor bipolar – parametrii static

b) parametrii statici

- curentul din colectorul tranzistorului poate fi comandat de curentul de intrare și de tensiunea de la intrarea acestuia
⇓ mărimile de la intrare depind de modul de conectare al tranzistorului

1) CONEXIUNEA BAZĂ COMUNĂ (REPETOR)

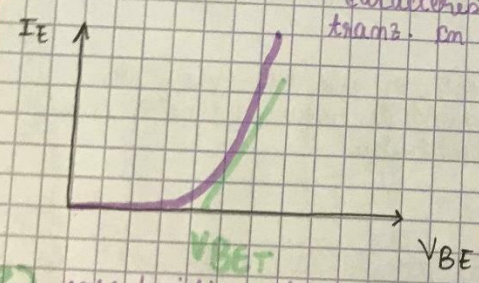
repetă curentul de la intrare



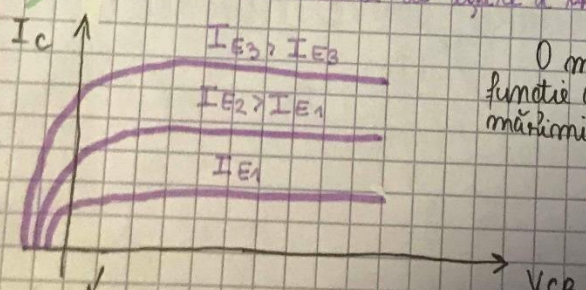
1) mărimi de intrare: I_E (la intrare avem o joncțiune)
V_{BE} → prin aceste 2 mărimi de intrare se comandă tranzistorul

2) mărimi de ieșire: I_C
V_{CB}

3) Între cele 2 mărimi de intrare ∃ o relație ce poate fi reprezentată sub forma unei caracteristici volt-amper
⇓
caracteristica statică de intrare a tranz. în conexiune bază comună
↓
$I_E = f(V_{BE})$



4) caracteristica statică de ieșire a tranz. în conexiune bază com.



$I_C = f(V_{CB})_{I_E}$

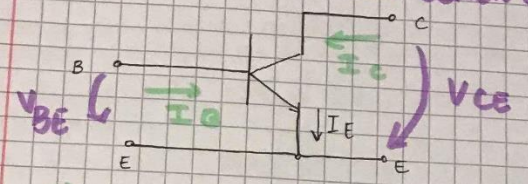
O mărime de ieșire rezultă în funcție de valoarea uneia din mărimile de intrare

$$I_C = I_{C0} + \alpha I_E$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \leq 1$$

$(0{,}99 \div 0{,}98)$

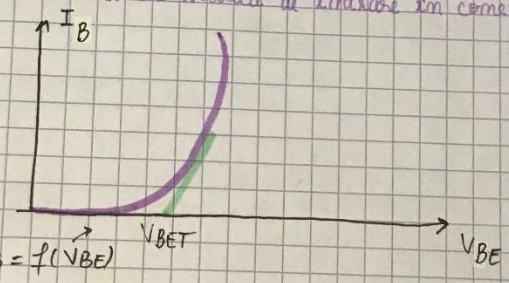
2) CONEXIUNEA EMITOR COMUN (AMPLIFICATOR)



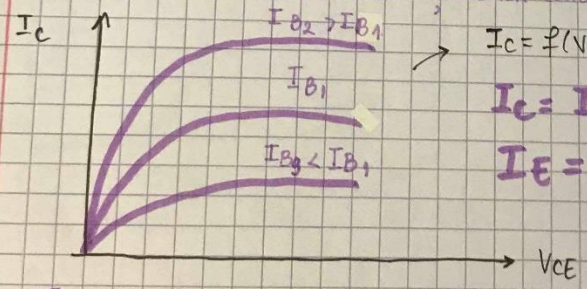
1) mărimi de intrare : I_B, V_{BE} } prin ele se comandă tranzistorul

2) mărimi de ieșire : I_C, V_{CE}

1) caracteristica statică de intrare în conexiune emitor comun



2) caracteristica statică de ieșire în conexiune emitor comun



$I_C = f(V_{CE})_{I_B}$

$I_C = I_{C0} + \alpha I_E$

$I_E = I_C + I_B$

$\Rightarrow$

$$I_C = I_{C0} + \alpha(I_C + I_B)$$

$$\Rightarrow I_C - \alpha I_C = I_{C0} + \alpha I_B \Rightarrow I_C = \frac{\alpha I_B}{1-\alpha} + \frac{I_{C0}}{1-\alpha}$$

$\frac{\alpha}{1-\alpha} \overset{not.}{=} \beta$; neglijăm I_{C0}

$\Rightarrow I_C = \beta I_B$, $\beta = (100 \div 500)$

$\beta = \frac{I_C}{I_B} \gg 1$ factor de amplificare în curent continuu în conexiunea EC

$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$

Tranzistor bipolar- regimuri de functionare

c) regimuri de funcționare

1) <u>Regimul activ</u> = regimul normal de funcționare

↳ o joncțiunea emitorului (BE) polarizată direct
o joncțiunea colectorului (BC) polarizată invers

- dacă tranzistorul e comandat în bază (montat în conexiune cu emitor comun), atunci poate funcționa ca amplificator cu amplificare mare β $I_C = \beta I_B$

- dacă tranzistorul prezintă conexiune cu bază comună, el poate lucra ca circuit de amplificare α (repetor)

$I_C = I_{CO} + \alpha I_E \simeq I_E$

2) <u>Regimul blocat</u> - ambele joncțiuni polarizate invers

- indiferent de modificarea semnalului de la intrare, ieșirea nu se schimbă

o în B comună: $I_E = 0$; $I_C = I_{CO}$

o în E comun: $I_B = 0$; $I_C = ?$

3) <u>Regim saturat</u>: - ambele joncțiuni polarizate direct

- determină apariția unor fenomene de limitare a mărimilor electrice, ceea ce duce la limitarea căderii de tensiune pe joncțiuni

$I_C = ct = I_{CS}$ → val. maximă ce poate trece prin tranzistor într-o configurație dată

$V_{CE} = ct = V_{CES} \approx 0.1 \div 0.2$

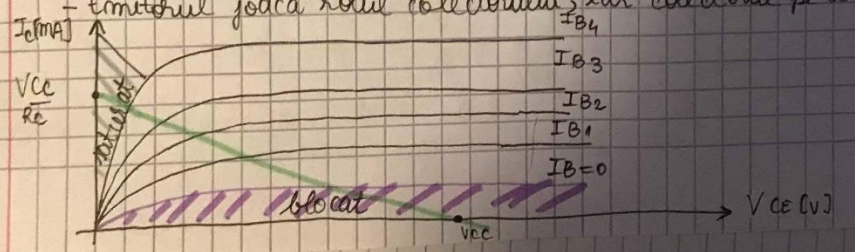
$V_{BE} = ct = V_{BES}$ - val max. ce poate cădea pe această joncțiune
$V_{BES} \simeq 0,75\,V$

- tranzistorul lucrează ca un dispozitiv de amplificare blocat la o anumită valoare (limitare)

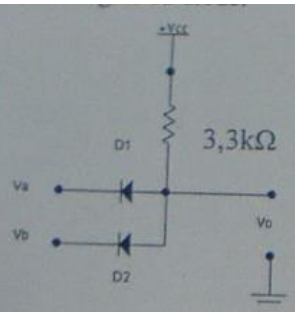
4) <u>Regim invers</u>: jBE - polarizată invers
jBC - polarizată direct

$I_{Ei} = \alpha_i I_C + I_{BO}$
$\alpha_i = 0,5 \div 0,01$ (atenuator)

- Emitorul joacă rolul colectorului, iar colectorul pe al E



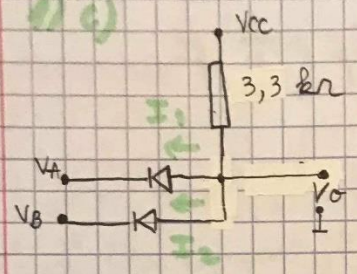
F1



d) funcționare,
e) dimensionarea circuitului,
f) fie un circuit logic cu diode cu două intrări. Se cere să se determine valorile exacte ale tensiunii de la ieșire pentru următoarele trei cazuri:

1. $V_A=V_B=V_H=3v$, **2.** $V_A=V_B=V_L=0v$, **3.** $V_A=V_H=3v$, $V_B=V_L=0v$,
Unde. $V_{cc}=10v$, $V_H=3v$, $V_L=0v$, $R_A=3{,}3k\Omega$, $Rd=40\Omega$, $V_T=0{,}65v$, $Ri=\infty$ ($Ii=0$)

1) c)

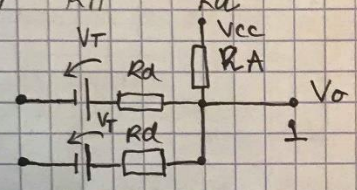


$V_{CC} = 10V$
$V_H = 3V$
$V_L = 0V$
$R_A = 3,3 k\Omega = 3300 \Omega$ (poartă și cu diode)
$R_d = 40 \Omega$
$V_T = 0,65 V$
$R_i = \infty$ ($I_i = 0$)

1) $V_A = V_B = V_H = 3V (= V_H)$

$\Rightarrow D_1, D_2$, conduc $\Rightarrow$ KI: $I_{RA} = I_1 + I_2$ (*)

$$\frac{V_{CC} - V_o}{R_A} = \frac{V_o - V_A - V_T}{R_d} + \frac{V_o - V_T - V_B}{R_d}$$



$$\Rightarrow \frac{10 - V_o}{3300} = \frac{V_o - 0,65 - 3}{40} \cdot \frac{2}{20}$$

$\Rightarrow 200 - 20V_o = 3300V_o - 12045$

$12245 = 3340 V_o \Rightarrow V_o = 3,66 V$

2) $V_A = V_B = V_L = 0V$

$\Rightarrow D_1, D_2$ conduc $\Rightarrow$ (*) $\frac{10 - V_o}{3300} = \frac{V_o - 0 - 0,65}{40} \cdot \frac{2}{20}$

$200 - 20V_o = 3300V_o - 2045$

$2345 = 3320 V_o = V_o = 0,7V$

3) $V_A = V_H = 3V$, $V_B = V_L = 0V$

Conduce dioda alimentată cu tensiunea minimă

$\Rightarrow$ conduce D_2 $\Rightarrow \nexists I_1$
D_1 blocată

$$\Rightarrow \frac{10 - V_o}{3300} = \frac{V_o - 0 - 0,65}{40}$$

$\Rightarrow 400 - 40V_o = 3300V_o - 2145$

$2545 = 3340V_o \Rightarrow V_o = 0,76 V$

Timp de intarziere , cadere , ridicare, saturare

Forma ideala a curentului de baza(f2)

F2. a) timpul de întârziere.

→ este timpul necesar ca tranzistorul să inițieze procesul de deblocare și este definit din momentul în care se dă comanda de intrare în conducție până în momentul în care curentul de colector începe să crească (atinge val. de 10% din val. finală și care este egală cu curentul de colector de saturație).

b) timpul de cădere. → supra-acționarea la deblocare pt. micșorarea t_c.

→ se definește ca intervalul de timp necesar scăderii curentului de colector de la 0.9 ics la 0.1 ics. Pe durata acestui timp tranzistorul străbate regiunea activă.

$t_c \sim \frac{1}{I_{B1}}$.

c) timpul de ridicare → supra-acționarea la deblocare pt. micșorarea t_r

→ se definește ca intervalul de timp necesar creșterii curentului de colector de la val. 0.1 ics la valoarea 0.9 ics. Pe durata timpului de ridicare tranzistorul străbate regiunea activă, se constată că pe diagrama

tensiunii colector-emitor t_r are panta inversă față de diagrama curentului de colector

d) timpul de saturare

→ rep. timpul necesar eliminării sarcinilor stocate în bază. Pe durata timpului de saturare curentul de colector rămâne constant

joncțiunea emitor-bază polarizată direct

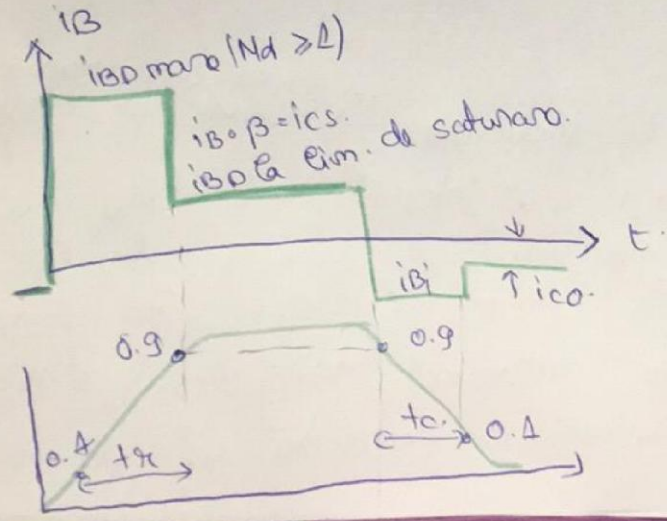
(+)

joncțiunea colector-bază polarizată direct

⟹

regiunea de saturație.

e) forma ideală a curentului de bază



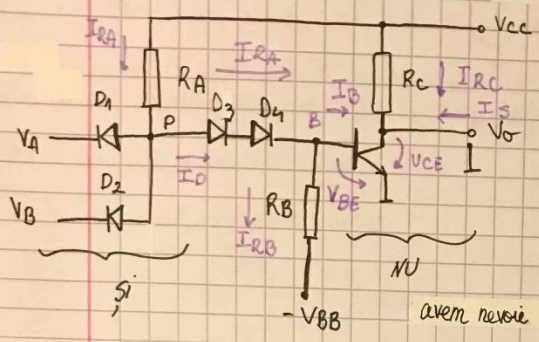
Circuite logice cu diode si tranzistoare – functionare (g2)

G.2

POARTA ȘI-NU CU TRANZISTOR ȘI DIODE

a) FUNCȚIONARE

DEPLASARE DE NIVEL PRIN DIODE



$V_L = 0{,}2V$ $(V_H > V_L)$

$V_H = V_{CC}$ (de ex. 5^V)

a) $V_A = V_B = V_L \Rightarrow D_1, D_2$ conduc

$V_P = V_L + V_{D_{12}} = 0{,}2 + 0{,}75 = 0{,}95V$

→ pentru a deschide cele 3 joncțiuni (pt. a face ca D_3, D_4 și tranz. (BE) să conducă), avem nevoie ca $V_P = 3 \cdot V_T = 3 \cdot 0{,}65 = 1{,}95V$

↓

tens de prag a celor 3 joncțiuni

- cum $V_P < V_{D_3} + V_{D_4} + V_{BE} \Rightarrow$ diodele D_3, D_4 și tranzistorul sunt BLOCATE. $I_C = I_{CO} \simeq 0$

$V_O = V_{CC} - \underbrace{I_{CO}}_{\simeq 0} \cdot R_C \simeq V_{CC} = V_H$

b) $V_A = V_L$, $V_B = V_H$ **SAU** $V_A = V_H$, $V_B = V_L$

$\Rightarrow$ conduce dioada cu V_L, dioda cu V_H blocată $\Rightarrow V_P = V_L + V_D = 0{,}2 + 0{,}75 = 0{,}95V < (1{,}95V)$ (minimul necesar) $< V_{D_3} + V_{D_4} + V_{BE}$

$\Rightarrow D_3, D_4, T$ blocate $\Rightarrow V_O = V_{CC} = V_H$

c) $V_A = V_B = V_H$

$\Rightarrow V_P = V_H + V_D \Rightarrow V_P$ tinde spre V_{CC}

DAR $V_P = V_{D_3} + V_{D_4} + V_{BE_S} = 0{,}75 + 0{,}75 + 0{,}75 = 2{,}25V$ este limitată V_P la această valoare atunci când D_3, D_4 și tr (BE) se deschid la maxim

$V_{BES} = 0{,}75V \longrightarrow$ tranzistor SATURAT $\Rightarrow$ curentul de colector și V_{BE} se limitează

$\Rightarrow I_C$ este maxim și limitat

$\Downarrow$

$V_O = V_{CE} = V_{CES} \cong 0{,}1V - 0{,}2V = V_L$

↓

este minim și limitat

D_1 și D_2 sunt blocate

$\Rightarrow$

A	B	V_A	V_B	V_P	V_{BE}	F	V_O
0	0	V_L	V_L	0,95	0	1	V_H
0	1	V_L	V_H	0,95	0	1	V_H
1	0	V_H	V_L	0,95	0	1	V_H
1	1	V_H	V_H	2,25	0,75	0	V_L

Circuite logice cu diode si tranzistoare – dimensionare

b) DIMENSIONARE

1. DIMENSIONAREA REZISTENȚEI R_C

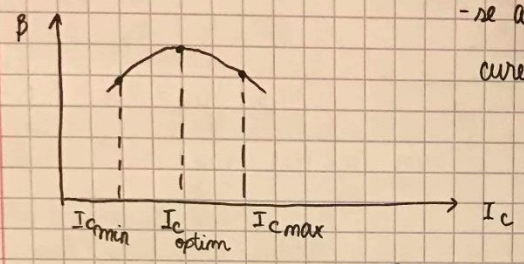
R_C trebuie să asigure I_C și/sau I_S (ieșire, sarcină)

I_C atunci când tranzistorul e saturat
(este practic curentul de colector la saturație, I_{CS})

$I_C = I_{RC} + I_S$

- se alege curentul I_C unde β este maxim

curent mic => putere mică



I_C se distribuie $\begin{cases} I_{RC} \\ I_S \end{cases}$

Fie $I_R = I_S$

minimă la saturație

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{I_{RC}} \approx \frac{V_{CC}}{I_{RC}}$$

2. DIMENSIONAREA REZISTENȚEI R_B

din condiția de blocare a tranzistorului $\Rightarrow \begin{cases} V_{BE\,bl} \le 0 \\ I_B = -I_{CO} \end{cases}$

$I_{RB} = I_D - I_B$ (K I în baza tr.)

D_3, D_4 și ele blocate
$\Downarrow$
$I_D \approx 0$

$$I_{RB} = \frac{V_{BE} - (-V_{BB})}{R_B}$$

$$\left.\begin{array}{l} \Rightarrow \dfrac{V_{BE} + V_{BB}}{R_B} = -I_B \\ I_B = -I_{CO} \text{ (din cond de blocare)} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{V_{BE} + V_{BB}}{R_B} = I_{CO}$$

$$\frac{\overset{\le 0}{V_{BE}}}{R_B} = I_{CO} - \frac{V_{BB}}{R_B} \le 0 \checkmark \Rightarrow I_{CO} \le \frac{V_{BB}}{R_B} \Rightarrow R_B \le \frac{V_{BB}}{I_{CO}}$$

$\Rightarrow R_B \le \dfrac{V_{BB}}{I_{CO}}$; tranzistorul se blochează

$$R_B \le \frac{V_{BB}}{I_{CO}}$$

3. DIMENSIONAREA REZISTENȚEI R_A

- din condiția de saturare a tranzistorului

$\begin{cases} D_3, D_4 \text{ conduc} \\ D_1, D_2 \text{ blocate} \end{cases}$

K I în B: $I_{RA} = I_{RB} + I_B \Rightarrow I_B = I_{RA} - I_{RB}$

$$I_{RA} = \frac{V_{CC} - V_P}{R_A}$$

$V_P = V_{D3} + V_{D4} + V_{BE} = 3 \cdot 0{,}75$

$\Rightarrow V_{P_H} = 2{,}25V$ (maxim, limitată)

pt. ca tranz. să fie saturat $V_A = V_B = V_H$

$$I_{RB} = \frac{V_{BES} - (-V_{BB})}{R_B}$$

Se aplică cond de saturare a tranz: $I_B \cdot \beta \geq I_C \Rightarrow I_B \geq \frac{I_C}{\beta}$

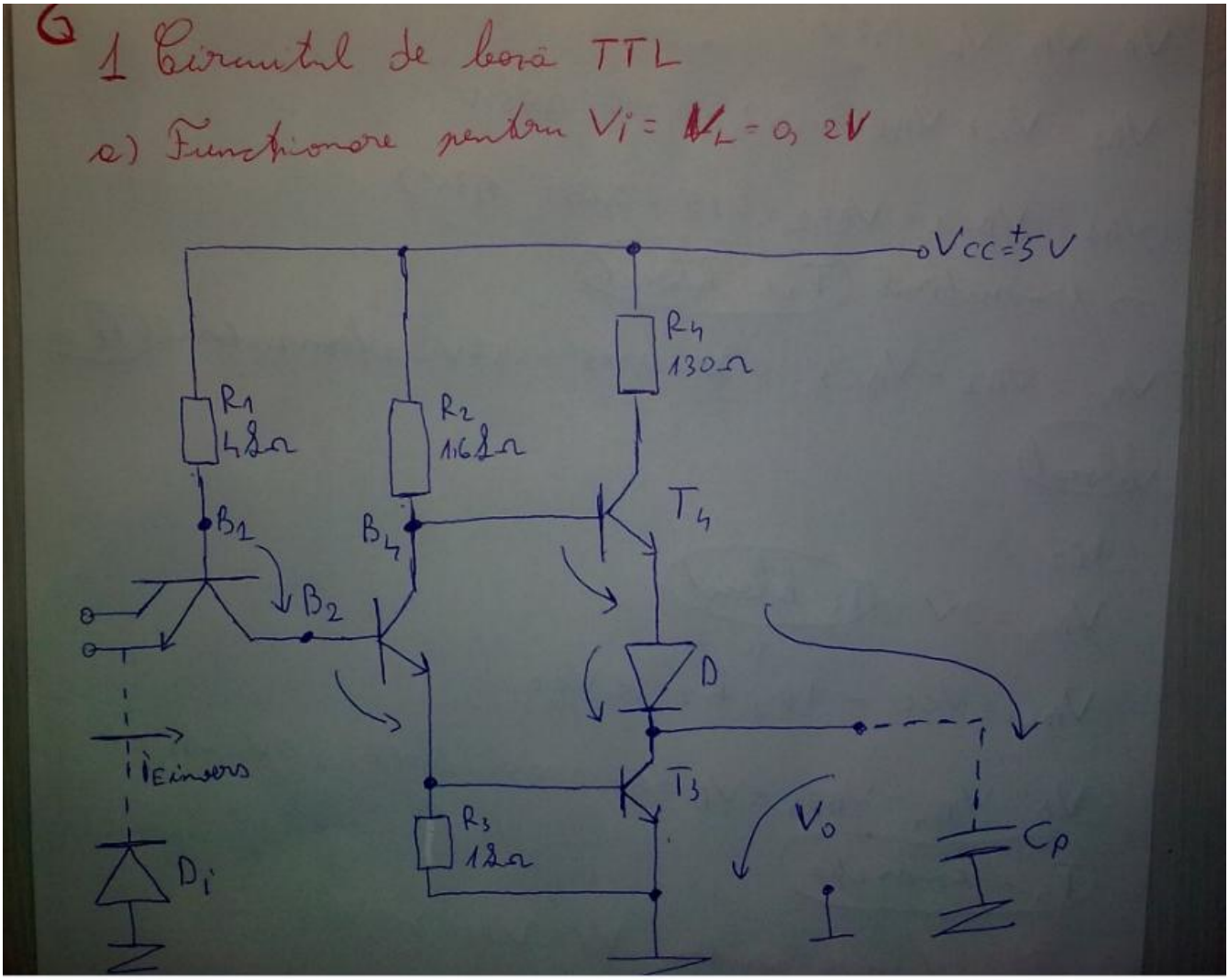
$$I_B = I_{RA} - I_{RB} = \frac{V_{CC} - V_{PH}}{R_A} - \frac{V_{BES} + V_{BB}}{R_B} \geq \frac{I_C}{\beta}$$

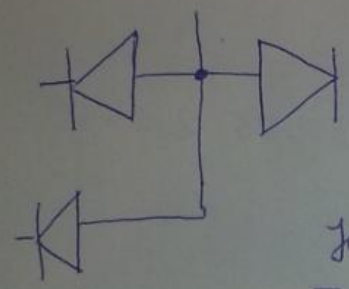
$$\Rightarrow \frac{V_{CC} - V_{PH}}{R_A} \geq \frac{I_C}{\beta} + \frac{V_{BES} + V_{BB}}{R_B}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_A} \geq \frac{\frac{I_C}{\beta} + \frac{V_{BES} + V_{BB}}{R_B}}{V_{CC} - V_{PH}}$$

$$R_A \leq \frac{V_{CC} - V_{PH}}{\frac{I_C}{\beta} + \frac{V_{BES} + V_{BB}}{R_B}}$$

Circuite TTL de baza





Tranzistor multiemitor

D_i - are rol protector.

Jonctiunea BE joacă rolul unei diode de descărcare

T_2 = tranzistor de comandă de la poarta cu diode și tranzistoare.

- Îmbunătățirea timpului de propagare => Îmbunătățirea puterii comandate.
- Push-pull $\begin{cases} t_p \text{ scade} \\ P_{cc} \text{ crește} \end{cases}$

$V_A = V_B = V_L = 0{,}2V$

$V_{B1} = V_L + V_{BE1} = 0{,}2 + 0{,}75 = 0{,}95\,V$

$(V_{B1} = V_{BC1} = V_{BE2} = 0{,}65 + 0{,}65 = 1{,}3V)$

=> tranzistorul T_1 e blocat

$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} = 0{,}95 - 0{,}75 = 0{,}2V$ => tranzistorul T_2 e blocat

$i_{E2} = 0$

$V_{B3} = 0V$ => T_3 blocat

$V_{B4} = V_{CC} - \underbrace{i_{R_2}}_{=i_C=0} R_2 \approx V_{CC}$

$V_0 = V_{B4} - V_{BE4} - V_D = 5 - 0{,}75 - 0{,}75 = 3{,}5V = V_H$ =>

T_4 - conducție

b) Funcționare pentru $V_i = V_H = 3,5V$.

$V_A = V_B = V_H = 3,5$

$V_{B1} \nearrow V_{CC}$

$V_{B1} = V_{BE_3} + V_{BE_2} + V_{BC1} = 0,75 + 0,75 + 0,75 = 2,25V$

j_{BE1} - polarizată invers

j_{BE1} - polarizată direct

j_{BC2} - polarizată direct

T_1 - saturat

$\Rightarrow j_{BE1}$ - polarizată direct $\Rightarrow T_1$ lucrează în regim

invers -> FE mare.

$i_{E\ invers} = \beta_i \cdot i_{B_1}$; $\beta_i \in 0,5 \div 0,02$.

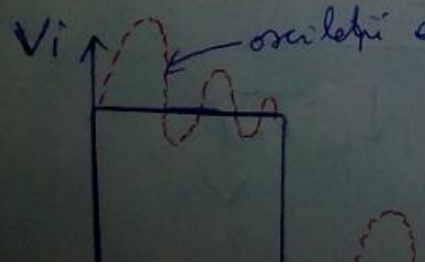
$V_{B1} = 2,25V$

$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} = 2,25 - 0,75 = 1,5V \rightarrow T_2$ - saturat.

$V_{B_3} = V_{B2} - V_{BC2S} = 1,5 - 0,75 = 0,75\ V \rightarrow T_3$ saturat.

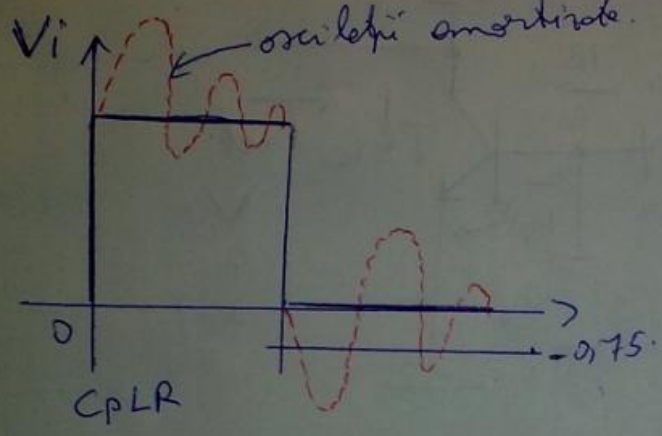
$V_o = V_{CES} \approx 0,2V$

$V_{B4} = V_{B3} + V_{CE3} \simeq 0,75 + 0,2 = 0,95\ V \rightarrow T_4$ blocat.



D_i - asigură creșterea frecvenței de lucru

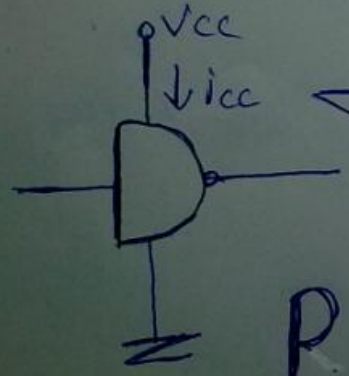
C_p - capacitate parazită.



D_i - origini creșterea frecvenței de lucru

C_p - capacitate parazită

b) Puterea statică



i_{CCH} pentru $V_0 = V_H$

i_{CCL} pentru $V_0 = V_L$

$$P_{CC} = \frac{i_{CCL} + i_{CCH}}{2} \cdot V_{CC} \quad [mW] \quad [\mu W]$$

i_{CCH} - curentul absorbit de circuitul logic când la ieșire se obține nivelul superior de tensiune.

i_{CCL} - curentul absorbit de circuitul logic când la ieșire se obține nivelul inferior de tensiune.

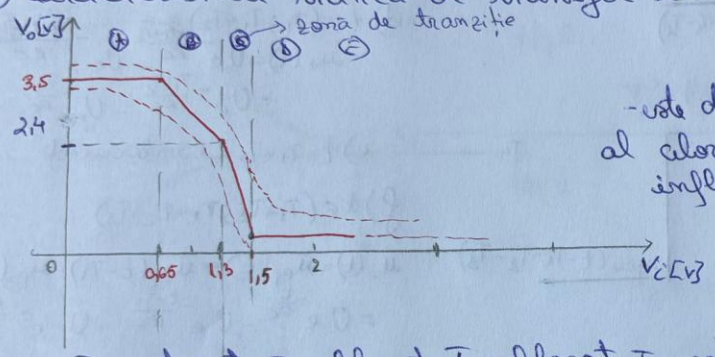
Caracteristica statica de transfer la circuite integrate TTL

$t = (T_1+T_2+T_3)_+ = u_e(T_1+T_2+T_3) - U = 1{,}41 - 5 = -3{,}59V$

f) $T = T_1+T_2+T_3+T_4 = Ue^{-\frac{t}{RC}} - U\cdot e^{-\frac{t-T_1}{RC}} + U\cdot e^{-\frac{t-T_1-T_2}{RC}} - U\cdot e^{-\frac{t-T_1-T_2-T_3}{RC}}$

$= Ue^{-4} - Ue^{-3} + Ue^{-2} - Ue^{-1} = 0{,}09 - 0{,}25 + 0{,}67 - 1{,}83 = -1{,}32V$

2. a) Caracteristica statică de transfer la circuite integrate TTL



$V_o = f(V_i)$

- este dată de regimul de lucru al celor 4 tranzistoare (care se influențează reciproc)

1) $V_i = 0V$ T_1 - saturat, T_2 - blocat, T_3 - blocat, T_4 - conduce)

$V_o = 3{,}5V = V_H$

2) $0V < V_i < 0{,}65V$ (T_1 - saturat, T_2 - blocat, T_3 - blocat, T_4 - conduce)

$\Rightarrow V_o = 3{,}5V = V_H$

- $V_i = 0{,}65V \Rightarrow T_2$ devine activ

3) $0{,}65V < V_i < 1{,}3V$ T_1 - saturat, T_2 - activ, T_3 - blocat, T_4 - activ

4) $1{,}3V \le V_i < 1{,}5V \Rightarrow \begin{cases} T_1, T_2, T_3 \text{ - saturate} \\ T_4 \text{ - activ} \end{cases}$

5) $1{,}5 < V_i < 2{,}5$ $\begin{cases} T_1, T_2, T_3 \text{ - saturate} \\ T_4, D \text{ - blocate} \end{cases}$

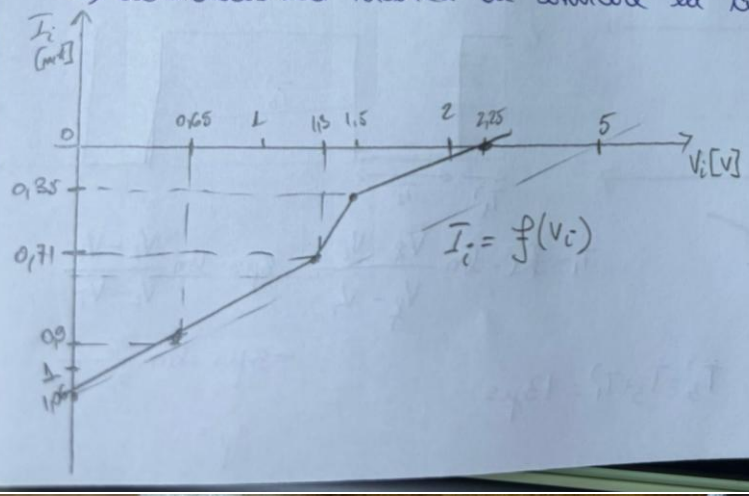
6) $V_i > 2{,}25V \Rightarrow \begin{cases} T_1 \text{ - în regim invers} \\ T_2, T_3 \text{ - saturat} \\ T_4 \text{ - blocat} \end{cases}$

Caracteristica statica de intrare la circuitele integrate TTL

$\ldots \Rightarrow u_e(t) = U \cdot (e^{-} - e^{-} + e^{-4} - e^{-2}) = 10 \cdot (0{,}0003 - 0{,}002 + 0{,}01 - 0{,}15)$

$= 10 \cdot (-0{,}14) = -1{,}4\ V$

2. a) Caracteristica statică de intrare la circuitele integrate TTL



b) c)

$V_i = 0V$

T_1 - saturat

T_2 - blocat

T_3 - blocat

T_4 - conduce

$V_0 = V_{CC} - i_{R_2} \cdot R_2 - V_{BE_4} - V_D$

$i_{R_2} = i_{C_2} + i_{B_4} \approx i_{B_4}$

$i_{C_2} = i_{C_0} << i_{B_4}$ ($i_{C_0} \approx 0$)

$i_{B_4} = \frac{i_{E_4}}{\beta} = \frac{i_{C_3} + i_{B_4}}{\beta + 1}$

$i_{E_4} = i_{C_3} + i_{0H} \simeq i_{0H}$

$i_{C_3} = i_{C_0} << i_{0H}$

$i_{C_3} = i_{C_0} \Rightarrow T_3$ blocat

$V_0 = V_{CC} - \frac{i_{0H}}{\beta+1} \cdot R_2 - V_{BE_4} - V_D$

$\left(\beta = 20,\ i_{0H} = 0{,}8,\ V_{CC} = 5,\ T = 25°C\right) \Rightarrow V_0 \simeq 3{,}4V$

$V_i = 0{,}65V$

$V_{B_1} = V_i + V_{BE_1} = 0{,}65 + 0{,}75 = 1{,}4V$

$V_{B_2} = V_{B_1} - V_{BC_1} = 1{,}4 - 0{,}75 = 0{,}65$

T_2 în care să conducă

$V_{B_3} = 0V \Rightarrow T_3$ - blocat

$V_0 = V_{CC} - \frac{i_{0H}}{\beta+1} \cdot R_2 - V_{BE_4} - D_D \approx 3{,}4$

$V_i \in (0{,}65;\ 1{,}3)$

$V_{B_1} = V_i + V_{B_{E_1}} \in [0{,}65 + 0{,}75 = 1{,}4;\ 1{,}3 + 0{,}75 = 2{,}05]$

$V_{B_2} = V_{B_1} - V_{BC_1} \in [0{,}65;\ 1{,}3]$

$V_{B_2} = V_i \Rightarrow T_2$ trece din blocat $\Rightarrow$ conducție

$V_0 = V_{CC} - i_{R_2} \cdot R_2 - V_{BE_4} - V_D$

dar $i_{R_2} = i_{C_2} + i_{B_4}$

$i_{C_2} = i_{E_2} \cdot \frac{\beta}{\beta+1} = i_{E_2} = i_{R_3} + i_{B_4}$

dar

$V_{B_3} \in [0;\ 0{,}55] \Rightarrow T_3$ blocat

de unde $\Rightarrow i_{B_3} = i_{C_0}$ - neglijat

$V_{B_3} = V_{B_2} - V_{BE_2}$

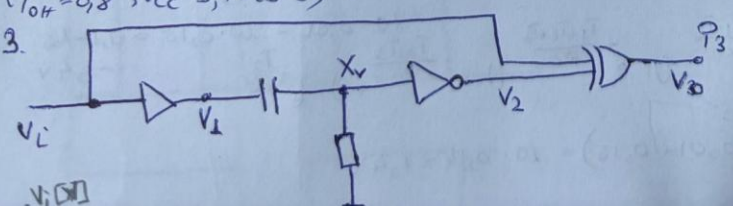
$i_{R_3} = \frac{V_{B_3}}{R_3} = \frac{V_i + V_{BE_1} - V_{BC_1} - V_{BE_2}}{R_3}$

$V_0 = V_{CC} - \left[\frac{V_i + V_{BE_1} - V_{BC_1} - V_{BE_2}}{R_3} + \frac{i_{0H}}{\beta+1}\right] \cdot R_2 - V_{BE_1} - V_D$

$\frac{\Delta V_0}{\Delta V_i} = -\frac{\beta}{\beta+1} \cdot \frac{R_2}{R_3} = -\frac{R_2}{R_3} = -1{,}6$

$\Rightarrow V_i = 1{,}3 \Rightarrow V_0 = 2{,}4$

3.



V_i[V]

$V_H = 3{,}5V$ $\quad V_T = 1{,}5V$

$V_L = 0{,}2V$

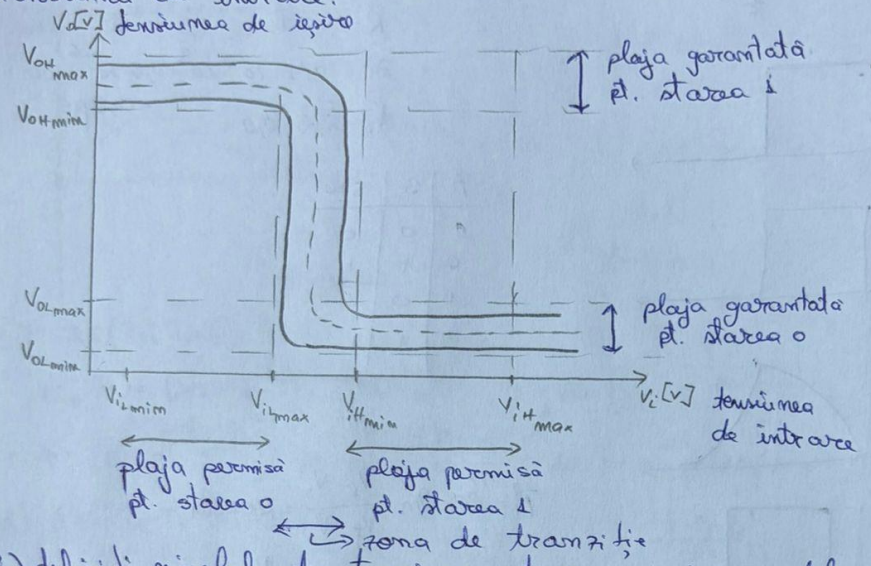
$T_1 = T_2 = T_3 = 10\mu s$

$C = 10mF$

$R = 0{,}3\ k\Omega$

2. Caracteristica statică de transfer la c.i

→ Caracteristica statică de transfer a unui circuit integrat numeric exprimă variația tensiunii de ieșire în funcție de variația tensiunii de intrare.



b) definiți nivelul de tensiune intrare și ieșire delimitând zonele de funct.

$V_{iL\,max} - V_{iL\,min}$ = plaja / zona nivelului inferior admis al tensiunii de intrare

$V_{iH\,max} - V_{iH\,min}$ = plaja / zona nivelului superior admis al tensiunii de intrare

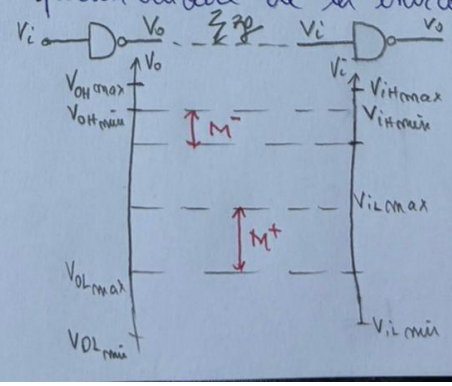
$V_{OH\,max} - V_{OL\,min}$ = plaja nivelului inferior garantat al tensiunii de ieșire

$V_{OH\,max} - V_{OH\,min}$ = plaja / zona nivelului ~~inferior~~ superior garantat al tensiunii de ieșire

c) Marginea de zgomot este marginea de protecție contra semnalelor perturbatoare a unui circuit logic și este egală cu valoarea maximă pe care o poate lua tensiunea perturbatoare de la intrare, în cazul cel mai defavorabil

$$\begin{cases} M^+ = V_{iL\,max} - V_{OL\,max} & \text{(mar. de zg pozitivă)} \\ M^- = V_{OH\,min} - V_{iH\,min} & \text{(-//- negativă)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M^-_{medie} = V_H - V_T \\ M^+_{medie} = V_T - V_L \end{cases}$$



Marginea de zgomot