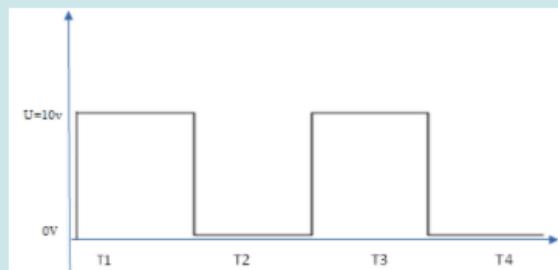


# Electronica digitală

## - probleme -

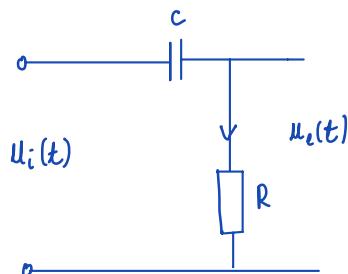
### 1. RC trice-sus

Să se determine răspunsul circuitului RC trice-sus la intrarea căruia se aplică semnalul din figura de mai jos, unde:  $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = 100\mu s$ ,  $R = 5K\Omega$ ,  $C = 10nF$ ,  $U = 10V$

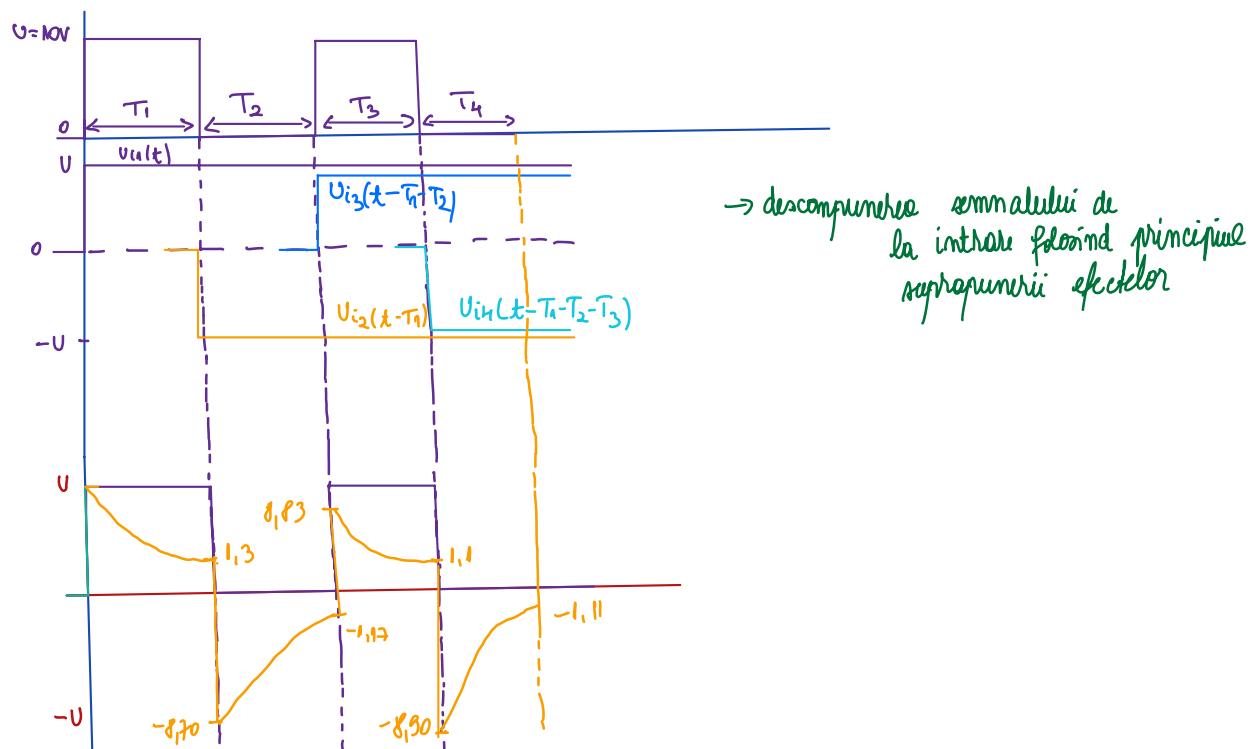


Maximum size for new files: 5MB

Schema circuitului este

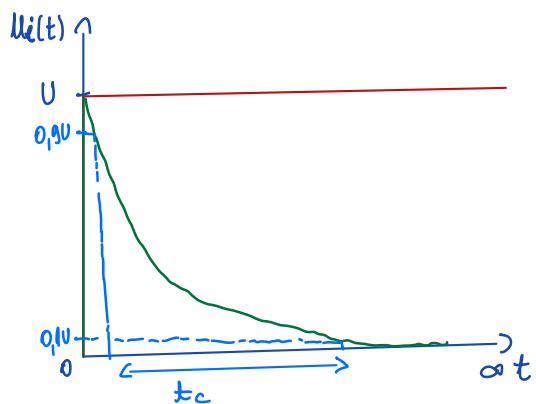


Se aplică soluție ecuației diferențiale  $U_e(t) = U_e(\infty) + (U_e(0) - U_e(\infty)) e^{-\frac{t}{T}}$ , unde  $T = RC$



fluăr pe intervale în anumit:

pt.  $t \in (0, T_1)$  anum că  $U_e(0) = U$  și  $U_e(\infty) = 0$ , în conformitate cu diagrama specifică acestui tip de circuit.



Prin urmare, rezultă că

$$U_e(t) = U e^{-\frac{t}{T}}$$

$$T = RC = 5 \cdot 10 = 50 \mu s$$

$$\Rightarrow U_e(t) = 10 \cdot e^{-\frac{t}{50}}$$

$$\text{Deci } U_e(0) = 10 \cdot e^0 = 10 \quad \text{car } U_e(100) = 10 \cdot e^{-\frac{100}{50}} = 10 \cdot e^{-2} = 1,3 V \quad 1,3 - 10 = -8,70$$

$$t \in (T_1, T_1 + T_2) \Rightarrow U_e(t) = U_{i_1}(t) - U_{i_2}(t - T_1)$$

$$U_e(t) = U \cdot e^{-\frac{t}{RC}} - U \cdot e^{-\frac{t-T_1}{RC}}$$

$$\text{pt. } t = T_1 + T_2 \Rightarrow U_e(T_1 + T_2) = U \cdot e^{-\frac{T_1+T_2}{RC}} - U \cdot e^{-\frac{T_1+T_2-T_1}{RC}}$$

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

$$= U \left( e^{-\frac{200}{50}} - e^{-\frac{100}{50}} \right)$$

$$= U(e^{-4} - e^{-2})$$

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

$$= 10(0.0183 - 0.135) = -1,17 V \quad 10 - 1,17 = 8,83$$

$$t \in (T_1 + T_2; T_1 + T_2 + T_3)$$

$$\Rightarrow U_e(t) = U_{i_1}(t) + U_{i_3}(t - T_1 - T_2) - U_{i_2}(t - T_1)$$

$$\text{decă } U_e(t) = U e^{-\frac{t}{RC}} + U e^{-\frac{t-T_1-T_2}{RC}} - U e^{-\frac{t-T_1}{RC}}$$

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

$$\text{pt. } t = T_1 + T_2 + T_3 \Rightarrow U_e(T_1 + T_2 + T_3) = 10 \left( e^{-\frac{300}{50}} + e^{-\frac{100}{50}} - e^{-\frac{200}{50}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 10(e^{-6} + e^{-2} - e^{-4}) \\
 &= 10 \cdot 0,11 \\
 &= 1,1 \text{ V} \quad I_{11} - 10 = -8,9 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$i_1, i_m$  fine,  $t \in (T_1+T_2+T_3; T_1+T_2+T_3+T_h)$

$$\begin{aligned}
 u_e(t) &= U_i(t) + U_{i_3}(t-T_1-T_2) - U_{i_2}(t-T_1) - U_{i_1}(t-T_1-T_2-T_3) \\
 u_e(t) &= U \left( e^{-\frac{t}{RC}} + e^{-\frac{t-T_1-T_2}{RC}} - e^{-\frac{t-T_1}{RC}} - e^{-\frac{t-T_1-T_2-T_3}{RC}} \right)
 \end{aligned}$$

dici, pt.  $t = T_1+T_2+T_3+T_h$ , avem că

$$\begin{aligned}
 u_e(T_1+T_2+T_3+T_h) &= 10 \left( e^{-\frac{100}{50}} + e^{-\frac{200}{50}} - e^{-\frac{300}{50}} - e^{-\frac{400}{50}} \right) \\
 &= 10(e^{-8} + e^{-4} - e^{-6} - e^{-2}) \\
 &= 10 \cdot (-0,11) \\
 &\approx -1,11 \text{ V}
 \end{aligned}$$

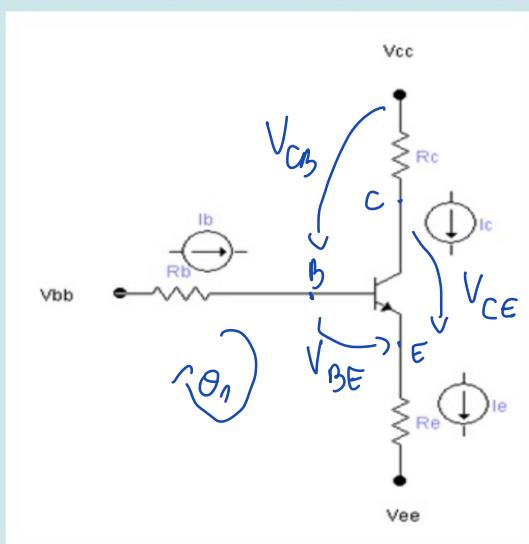
2.

Tranzistorul  
hipolar

Se dă circuitul cu tranzistor din fig. Se cere să se determine:

- Curenții  $I_C, I_B, I_E$
- Potențialele din punctele:  $V_C, V_B, V_E$
- Regimul de funcționare al tranzistorului. De menționat că  $\beta=100$ ;

$V_{B\text{activ}}=0,7\text{V}; V_{BE\text{sat}}=0,75\text{V}; V_{CE\text{sat}}=0,2\text{V}; V_{BB}=V_{CC}=10\text{V}; V_{EE}=0\text{V}; R_E=R_C=1\text{K}\Omega; R_B=150\text{ K}\Omega$



a) Aplicăm  $T_2$  Kirchhoff pe ochiul ( $\partial_1$ ):

$$V_{BB} = R_B \cdot I_B + I_E \cdot R_E + V_{BE} \quad (1)$$

Presupunem că tranzistorul se află în RAN (regim activ normal).

Ecuatiile tranzistorului sunt:

$$\begin{cases} I_E = I_C \\ I_C = \beta I_B \Rightarrow I_E = \beta I_B \\ V_{BE} = V_{BEO} = 0,7V \end{cases} \quad \text{în } I_E = I_C + I_B$$

Înlocuim în (1) și avem că:

$$I_O = 150 \cdot 10^3 \cdot I_B + \beta I_B \cdot 1000 + 0,7$$

$$I_O = 150 \cdot 10^3 I_B + 100 I_B \cdot 1000 + 0,7$$

$$I_O = I_B (150 \cdot 10^3 + 10^5) + 0,7$$

$$9,3 = I_B \cdot 250\,000$$

$$I_B = 0,00003 A = 0,03 mA.$$

$$I_C = 100 \cdot I_B = 0,3 mA$$

$$I_E = I_C = 0,3 mA$$

b) Dim legea lui Ohm, avem că

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} \Rightarrow V_{CC} - V_C = I_C R_C$$

$$\Rightarrow V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_C = 10 - 0,3 \cdot 1$$

$$V_C = 10 - 0,3 = 9,7 V$$

$$I_E = \frac{V_E - V_{EE}}{R_E} \Rightarrow I_E \cdot R_E = V_E - V_{EE}$$

$$V_E = I_E \cdot R_E + V_{EE}$$

$$V_E = 0,3 \cdot 1 + 0 = 0,3 V$$

$$\text{Analog } I_B = \frac{V_{BB} - V_B}{R_B}$$

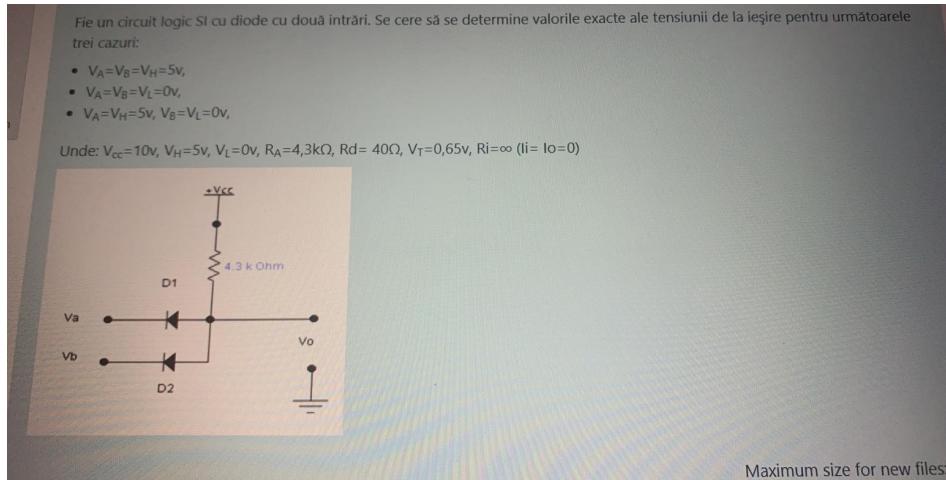
$$\Rightarrow I_B R_B = V_{BB} - V_B$$

$$V_B = V_{BB} - I_B R_B \Rightarrow V_B = 10 - 0,03 \cdot 150$$

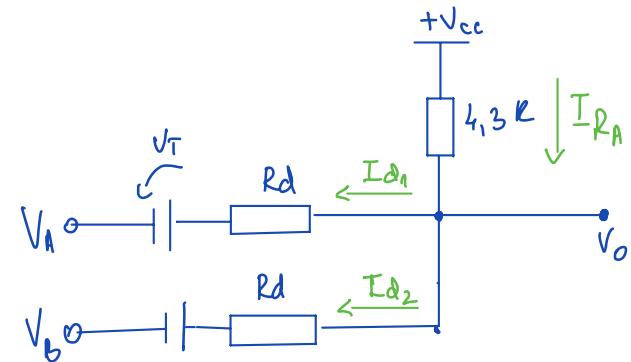
$$V_B = 10 - 4,5 = 9,2 V$$

c) Avem  $V_B > V_E$   
 $V_C > V_B$   $\Rightarrow$  regim activ normal, deci presupunerea este corectă.

### 3. Circuite cu diode semiconductoare.



i) cazul I:  $V_A = V_B = 5V$  (volti)



Cu legea I a lui Kirchhoff, avem că

$$I_{R_A} = I_{d_1} + I_{d_2} \quad (1)$$

$$\text{dor } I = \frac{V}{R} \text{ (din legea lui ohm)} \Rightarrow I_{R_A} = \frac{V_{cc} - V_o}{R_A}$$

$$\text{Analogo } I_{d_1} = \frac{V_o - V_T - V_A}{R_d}$$

$$\text{și } I_{d_2} = \frac{V_o - V_T - V_B}{R_d}$$

Înlocuind în (1), ne rezultă că

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

$$\text{adice} \quad \frac{10 - V_o}{4,3 \cdot 10^3} = \frac{V_o - 0,65 - 5}{40} + \frac{V_o - 0,65 - 5}{40}$$

$$\frac{10 - V_o}{4,3 \cdot 10^3} = 2 \cdot \frac{V_o - 5,65}{40}$$

$$\frac{10 - V_o}{4,3 \cdot 10^3} = \frac{V_o - 5,65}{20}$$

$$20(10 - V_o) = 4,3 \cdot 10^3 (V_o - 5,65)$$

$$200 - 20V_o = 4,3 \cdot 10^3 V_o - 24,3 \cdot 10^3$$

$$24500 = (20 + 4,3 \cdot 10^3) V_o$$

$$V_o = \frac{24500}{20 + 4,3 \cdot 10^3} = \frac{24500}{4320} = 5,67 \text{ V}$$

b) acelar i schema i currenti, dar  $V_A \neq V_B$  sunt NULI, deci

$$\frac{V_{CC} - V_o}{R_A} = 2 \cdot \frac{V_o - V_T}{R_d}$$

$$\frac{10 - V_o}{4,3 \cdot 10^3} = 2 \cdot \frac{V_o - 0,65}{40}$$

$$\frac{10 - V_o}{4,3 \cdot 10^3} = \frac{V_o - 0,65}{20}$$

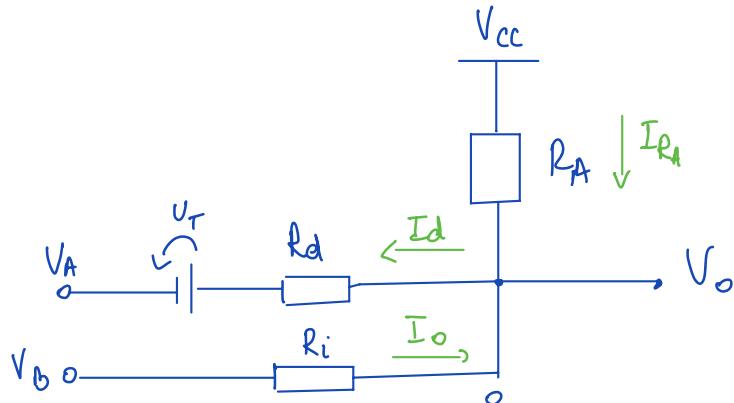
$$200 - 20V_o = 4,3 \cdot 10^3 V_o - 2,80 \cdot 10^3$$

$$200 + 2,8 \cdot 10^3 = V_o (4,3 \cdot 10^3 + 20)$$

$$3000 = 4320 V_o \Rightarrow V_o = \frac{3000}{4320} = 0,69 \text{ V}$$

c) dioda 1 conduce, iar dioda 2 nu conduce.

Circuitul devine:



$$\text{Avem } I_{R_A} = I_d - I_o \quad (\text{Kirchhoff I}) \Rightarrow I_{R_A} = I_d \quad (1)$$

$$\text{dar } I_{R_A} = \frac{V_{cc} - V_o}{R_A}$$

$$I_{R_A} = \frac{10 - V_o}{4,3 \cdot 10^3}$$

$$\text{Analog } I_d = \frac{V_o - V_T - V_A}{R_d} = \frac{V_o - 0,65}{40}$$

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

$$\Rightarrow 400 - 40V_o = 4,3 \cdot 10^3 V_o - 2,18 \cdot 10^3$$

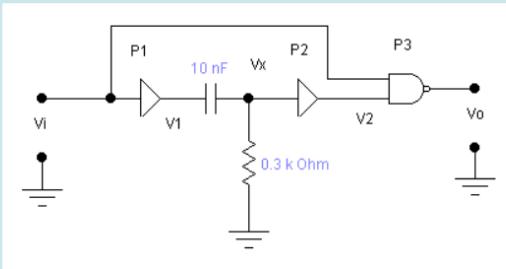
$$400 + 2,18 \cdot 10^3 = 4,3 \cdot 10^3 V_o + 40V_o$$

$$3200 = 4340 V_o$$

$$V_o = 0,73V$$

4.

Se dă circuitul de mai jos de tip TTL, la intrarea căruia se aplică un impuls repetitiv.

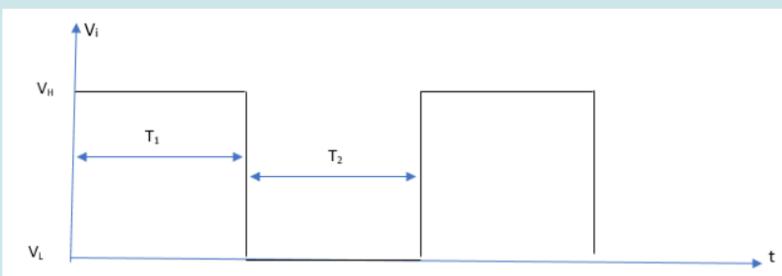


Se cunoaște:  $V_H = 3,5\text{v}$ ;  $V_L = 0,2\text{v}$ ;  $V_T = 1,5\text{v}$ ;  $V_{CC} = 5\text{v}$   
Portile P1, P2 și P3 sunt porti TTL standard.

Se cere să se ridice diagramele de timp în punctele  $V_i$ ;  $V_1$ ;  $V_x$ ;  $V_2$ ; și  $V_o$ .

Pentru semnalul de la ieșire se vor determina valorile timpilor rezultați.

SEMNAL DE LA INTRAREA CIRCUITUL, UNDE:  $T_1 = T_2 = 10\text{ }\mu\text{s}$



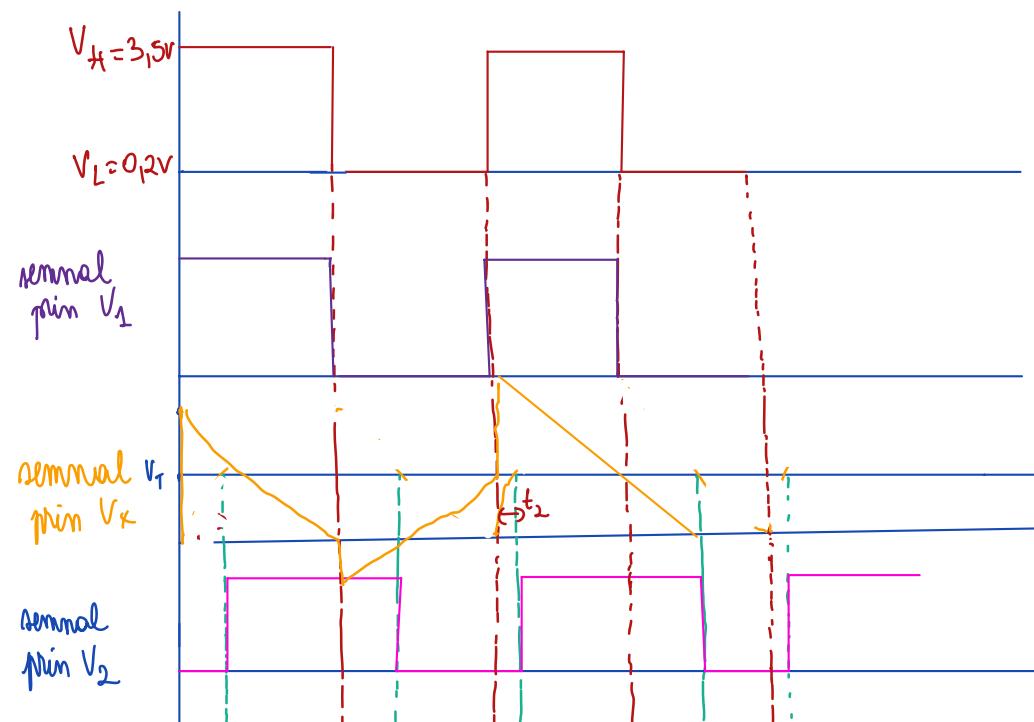
Circuitul este de tip RC truc-nus.

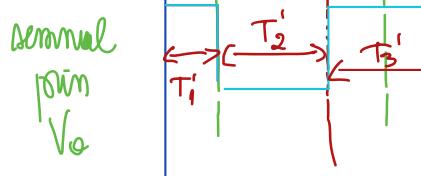
Pt. familia de circuite TTL, avem parametrii standard:

$$\begin{cases} V_H = 3,5\text{ V} \\ V_L = 0,2\text{V} \\ V_T = 1,5\text{V} \end{cases}$$

Tabel peartă NOT AND:

x	y	output
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0





$$T_1' = t_1 = RC \ln \frac{V_H - V_L}{V_H - V_T}$$

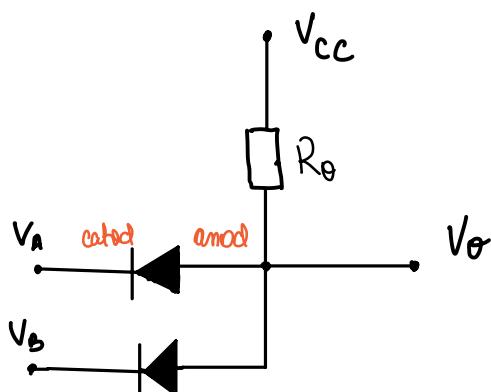
$$T_2' = T_1 - T_1' = T_H - t_1$$

$$T_3' = T_2 + t_2$$

## TEORIE

examen Electronice digitale

### I. Poarta „și” cu diode



Asum:

A, B, C → semnalele de intrare

θ → semnalul de ieșire

la „0” îi corespunde terminația  $V_L = 0V$ .  
(nivel logic)  
„low”

la nivelul logic „1” îi corespunde terminația  $V_H = 5V$ .

condiție de funcționare corectă:  $V_{CC} > V_H > V_L$ . „high”

presupunem că pe diodele utilizate, căderea de tensiune este neiglijabilă în comparație cu tensiunea de alimentare  $V_{CC}$ .

funcționare (electronică analogică)

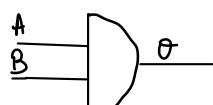
$V_A$	$V_B$	$V_O$
$V_L$	$V_L$	$V_L$
$V_L$	$V_H$	$V_L$
$V_H$	$V_L$	$V_L$
$V_H$	$V_H$	$V_H$

unde  $V_L = 0V$   
 $V_H = 5V$

funcționare logică

A	B	θ
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

simbolizare:



Se disting următoarele cazuri:

a)  $V_A = V_B = V_H = 5V$

$\Rightarrow$  diodile A și B conduc, fiind polarizate direct ( $V_{AA} > V_H$ )

la ieșire avem:

$$V_O = V_H + V_T$$

$\hookrightarrow$  căderea de tensiune pe diode = 0

$$\Rightarrow V_O = V_H = 5V$$

(1 "logic")

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

$\Rightarrow$  diodile conduc și, analog ca la a), nu avem

$$V_O = V_L + V_T \Rightarrow V_O = V_L = 0V$$

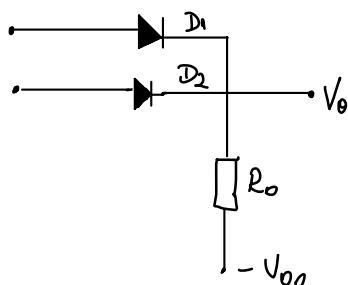
"0" (0 "logic").

c) una este cu  $V_L$ , alta cu  $V_H$  (nu conțină ordinea)

ex:  $V_A = V_L$   $\Rightarrow$  dioda 1 conduce  
 $V_B = V_H$  dioda 2 este blocață

Conduc doar dioda în cadrul cărui i s-a aplicat tensiunea  $V_L$  la catod. Deci, dioda a cărui catod are  $V_H$  nu fi polarizată invers.

## II. POARTA „SAU”



Tabel:

$V_A$	$V_B$	$V_O$
$V_L$	$V_L$	$V_L$
$V_L$	$V_H$	$V_H$
$V_H$	$V_L$	$V_H$
$V_H$	$V_H$	$V_H$

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

Inputs: A, B

Output: O

0 "logic"  $\rightarrow V_L = 0V$

1 "logic"  $\rightarrow V_H = 5V$

circuitul funcționează corect doar dacă  $|V_{Oo}| \geq V_S > V_I$

( $V_H$ ) ( $V_L$ )

funcționare: la fel ca la poarta OR ( $\Rightarrow V_S > V_L > -V_{Oo}$ )

"și", doar că acumă

$$V_O = V_L \text{ sau } V_T = V_L \text{ (am minus în loc de plus).}$$

și aici, dacă  $V_A = V_H \Rightarrow D_1$  conduce

$V_B = V_L \Rightarrow D_2$  nu conduce.

dacă conduce dioda cărui

i s-a dat tensiunea  $V_H = 5V$ , iar

celalalt este polarizat invers.

(diferența de potențial cea mai mare

apare între diode A și sursa de

alimentare  $-V_{Oo}$ ).

# DIMENSIUNI AREA CIRCUITELOR LOGICE CU DIODE

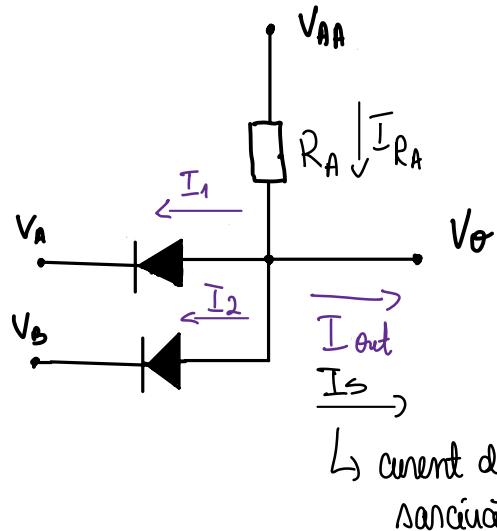
a) poarta "și"  
- trebuie să avem un curent de sursă minim  $I_S$  în cazul cel mai

deseurabil, cind le iesin aceea  $V_O = V_H$ .

- Pt. a avea  $V_H$  la ieșire, trebuie ca la ambele intrări să avem  $V_H$  (nivel logic

Aplicând  $T_1$  Kirchhoff, avem că

$$I_{R_A} = I_1 + I_2 + I_{out}$$



$R_d = \infty$  (în cazul cel mai deseurabil)

$$I_{R_A} = \frac{V_{AA} - V_O}{R_A} ;$$

$\rightarrow$  ne va folosi pentru comandarea sursării.

$$= I_1 + I_2 + I_3 + I_{out}$$

$\approx 0$

$$\Rightarrow | I_{R_A} \approx I_{out} = \frac{V_{AA} - V_H}{R_A} \geq I_S \quad (1)$$

$$I_{R_A} = \text{minimum} \Leftrightarrow$$

$$\boxed{I_{R_A} \geq I_S \quad (\text{min}) \quad (\text{min})}$$

(condiția de încărcare)

$$\text{Dim(1)} \Rightarrow R_A \leq \frac{V_{AA} - V_H}{I_S}$$

$V_{AA}$  și  $R_A$  se modifică în funcție de valoile minime, cu următorii factori:

$$V_{AA_N} = V_{AA} (1 \pm t_u) \rightarrow \text{toleranță } t_u = 0,1 \text{ pt. } 10\%$$

↓ tensiunea de alimentare nominală

$$t_u = 0,2 \text{ pt. } 20\% .$$

$$R_{AN} = rezistență nominală$$

$$R_{AA} = R_A (1 \pm t_u)$$

Introduceti în (1)

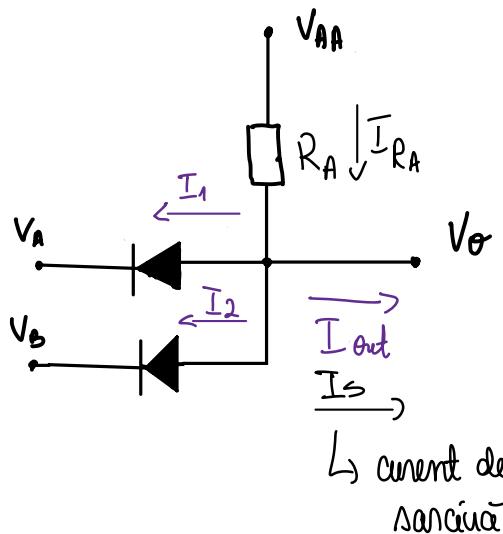
în versiunea de dedesubt.

Dimensionarea curentului comandă.

↓ curentul măsurat pt. comandarea portii.

Cazul cel mai deseurabil:

$$\boxed{V_O = V_L}$$



$$I_{R_A} = I_A + I_B + I_{\text{ord.}}$$

$$I_{R_A} = \frac{V_{AA} - V_O}{R_A}$$

$\hookrightarrow$  maxim când diferența de potential e maximă.

$\hookrightarrow$  curent de sarcină

Pt. ca la ieșire să avem  $V_O = V_L$ , prima diodă conduce și a 2-a este blocată.

$m = m$ . di. întrăni  $\Rightarrow (m-1)$  diode blocate.

$$I_{\text{int. max}} = I_{R_A} + \sum_{i=1}^{m-1} I_{O_{\max}}$$

$$I_2 = -I_o$$

$\hookrightarrow$  curentul invers polar diode

$$I_{\text{int. max}} = \frac{V_{AA_N}(1+t_u) - V_L}{R_{AN}(1-t_h)} + \sum I_{O_{\max}}$$

$$I_{\text{out}} = I_{R_A \min} = \frac{V_{AA_N}(1-t_u) - V_L}{R_{AN}(1+t_u)} \geq I_s$$

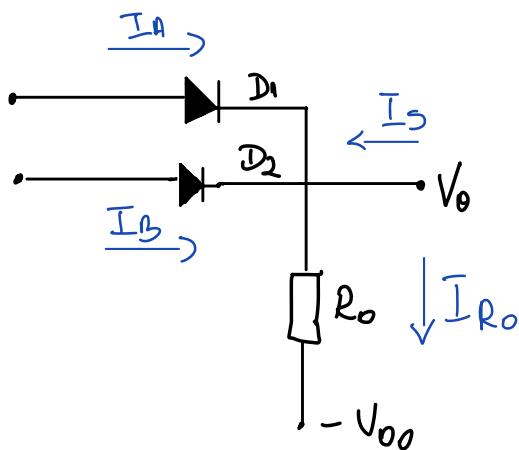
$$\Rightarrow E = \frac{I_{\text{out}}}{I_{\text{int}}} = \frac{\frac{V_{AA_N}(1-t_u) - V_L}{R_{AN}(1+t_u)}}{\frac{V_{AA_N}(1-t_h) - V_L}{R_{AN}(1-t_h)} + \sum I_{O_{\max}}} \leq 1$$

Dimensionare pt. punctul „SAU”:

la fel ca la „SI”, dar aici

$$\boxed{V_O = V_L}$$

(cazul cel mai nefavorabil)



$$I_{out} = I_{R_o} - \underbrace{I_A + I_B}_{0}$$

$$\Rightarrow I_{out} \approx I_{R_o}$$

$$I_{R_o} = \frac{V_O + V_{D_o}}{R_o}$$

$$I_{out} \approx I_{R_o} = \frac{V_O + V_{D_o}}{R_o} > I_S, V_O = V_L$$

$$\Rightarrow R_o \leq \frac{V_L + V_{D_o}}{I_S}$$

pt. Current: cauz cel mai def:  $V_O = V_H$

$$I_{int.\max} = I_{R_o} - \sum_{i=1}^{m-1} I_{dioda}$$

(m-1) diode blocate

$$I_{int.\max} = \frac{V_H + V_{D_o}}{R_o} + \sum_{i=1}^{m-1} I_{\theta \max}$$

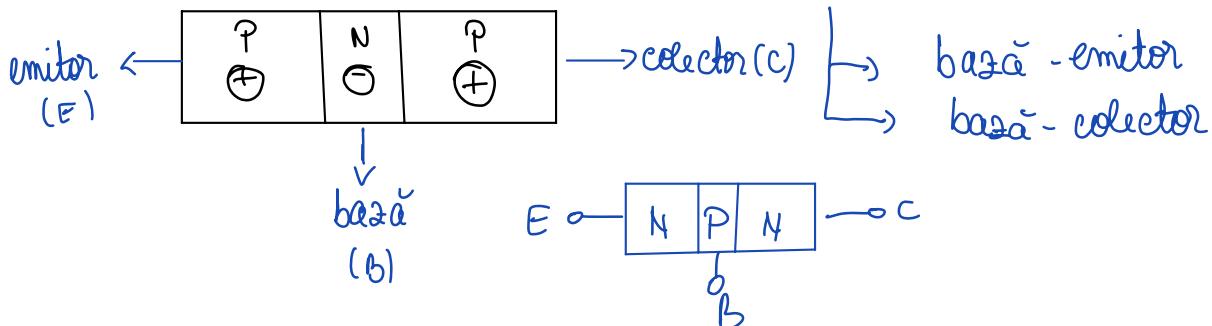
$$I_{out} = I_{R_o \min} = \frac{V_L + V_{D_o}}{R_o}$$

$$E = \frac{I_{R_o \min}}{I_{int.\max}} = \frac{\frac{(1-t_u)V_{D_oN} + V_L}{(1+t_r)R_{oN}}}{\frac{(1-t_u)V_{D_oN} + V_H}{(1+t_r)R_{oN}} + \sum_{i=1}^{m-1} I_{\theta \max}} < 1$$

## II. TRANZISTORUL BIPOAR

### a) funcționare

- este format din 2 jonctiuni PN (NPN sau PNP)



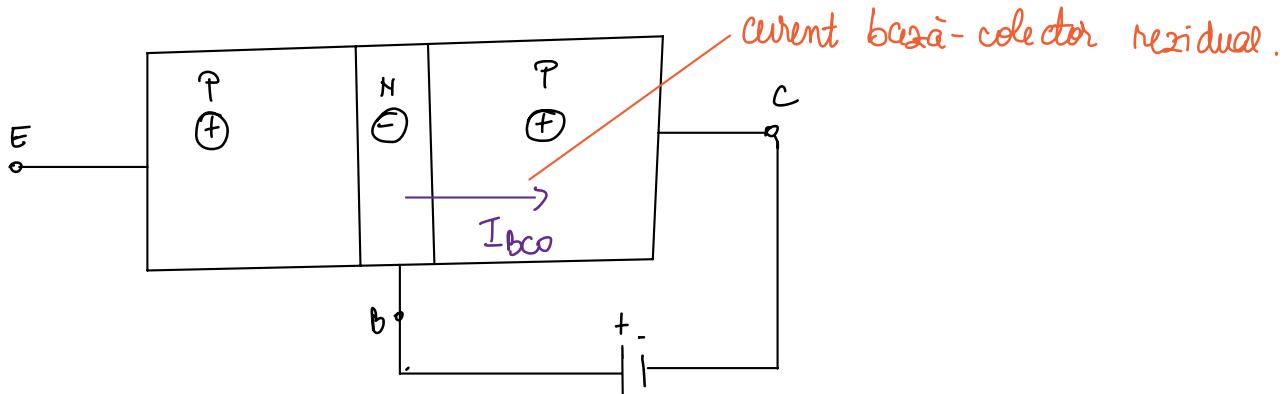
E → puternic dopat cu impurități  $\Rightarrow$  nr. mare de portatori liberi ( $e^-$ )

B+C → slab dopate;  $\Rightarrow$  nr. redus de sarcini electrice libere

Regiunea bazei are o dimensiune geometrică foarte mică.

polarizarea jonctiunilor PN:

- i) emitor lăsat în gol; jonctiunea bază-collector este pol. invers

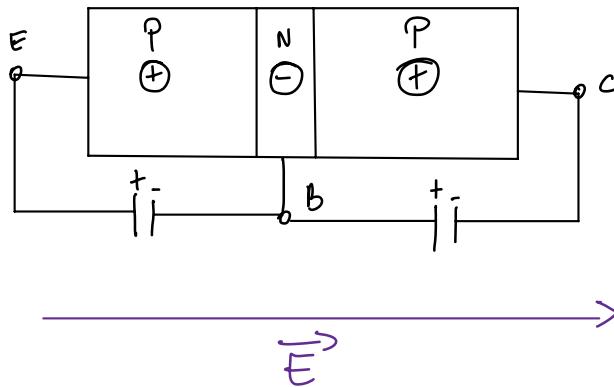


$$I_{bc0} = I_{c0} \text{ (curent de } \underline{\underline{\text{colector}}} \text{ rezidual)}$$



curent deborat portătorilor minoritari ce străbat jonctiunea colectoarei când curentul de emitor este NUL.

ii) se polarizează direct jonctiunea PN bază-emitor.



Se formează un câmp electric pozitiv, dinspre E spre B, care verifică prima ecuație a lui Maxwell (legea lui Gauss):

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \rightarrow \text{distribuție sarcinii electrice} \quad \text{sau} \quad \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$\Rightarrow$  se face difuzie, de la E la B.

$\hookrightarrow$  se recombină sarcinile pozitive cu cele negative.

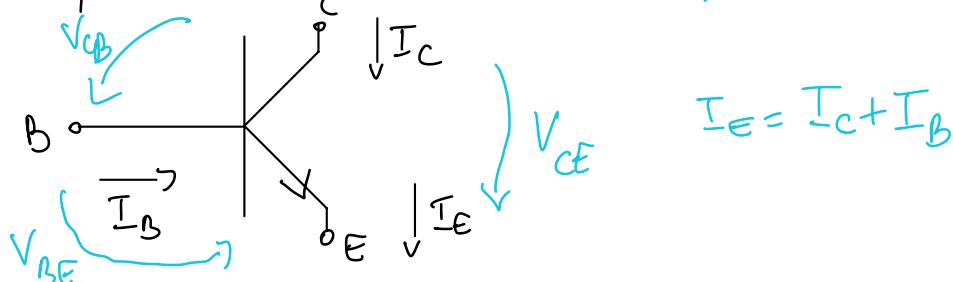
găurile sunt pătrate spre colector prin câmpul electric format.  $\Rightarrow$  curent electric de intensitate mare.

aici, curentul de colector este det. de „emima” de sarcini electrice furnizată de emitor și „colectarea” de regiunea colectorului.

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

$\hookrightarrow$  factor de amplificare ( $0,99 \div 0,98$ )

Reprezentare tranzistor: (NPN)

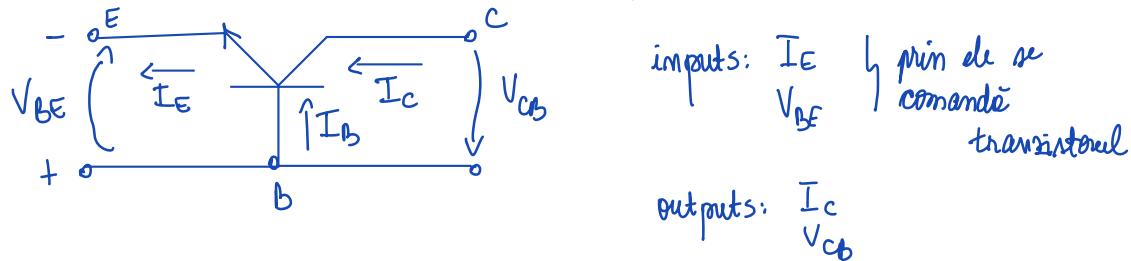


$$I_E = I_C + I_B$$

b) parametrii statici ai tranzistorului

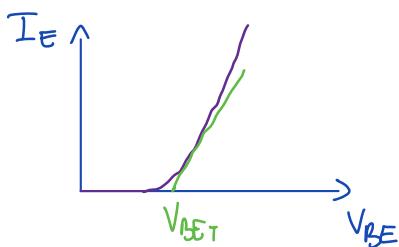
↳ sunt parametrii care descriu comportamentul tranzistorului în condiții de curent continuu.

mărimile de la intrare depend de modul de conexiune al tranzistorului,  
i.e. conexiune bază comună (repetitorul)



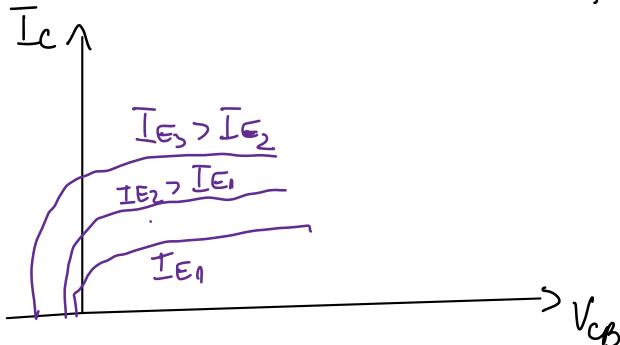
relația dintre cele 2 mărimi de intrare:

$$I_E = f(V_{BE}) \rightarrow \text{caracteristică volt-amper}$$



pt. ieșiri, avem

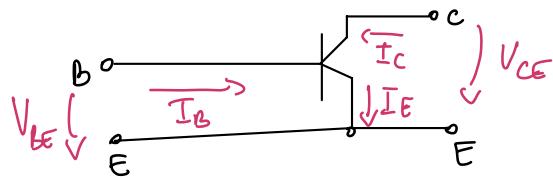
$$I_C = f(V_{CB})$$



$$I_C = I_{C_0} + \Delta I_E$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_E} \leq 1.$$

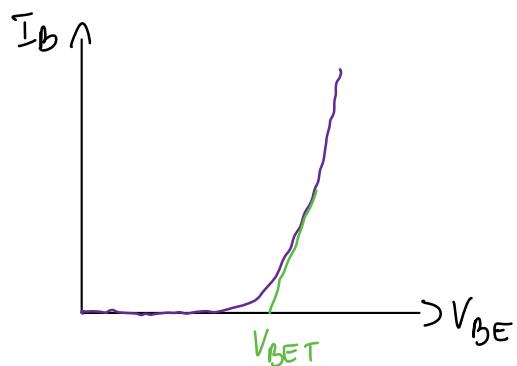
## ii. Conexiunea emitor comun (amplificator)



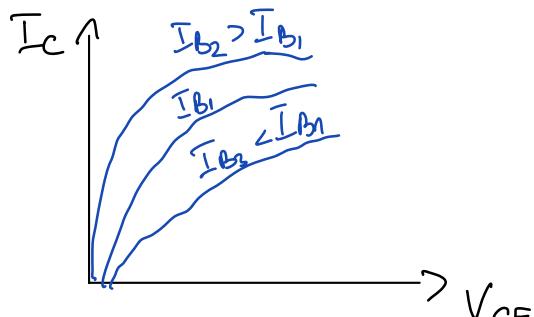
mărimi de intrare:  $\frac{I_B}{V_{BE}}$  ⚡ prin ele se comandă transistorul.

mărimi de ieșire:  $\frac{I_E}{V_{CE}}$

$$\text{Avem } I_B = f(V_{BE})$$



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



$$I_C = I_{C0} + L I_E$$

$$I_E = I_C + I_B$$

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

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

$$\frac{L}{1-L} = \beta \quad \downarrow \text{neglijat}$$

$$\Rightarrow I_C = \beta I_B$$

$$\beta = (100 \div 500)$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \gg 1$$

(factor de amplificare în curent continuu)

c) regimuri de funcționare la tranzistorul bipolar

i. ACTIV (RAN-) regimul activ normal)

BE → pol. direct

BC → pol. invers

conexiune EC =  $I_c = \beta I_B$  (funcționarea ca amplificator)

BC ⇒ rețetor și  $I_c = I_{co} + I_E = I_E$

ii. BLOCAT → jonctiunile sunt polarizate invers.

- (+) semnal întrare, ieșirea NU se schimbă.

iii. SATURAT → ambele polarizate direct.

- apar fenomene de limitare a mărimilor electrice, ceea ce duce la limitarea căderii de tensiune pe jonctiuni -

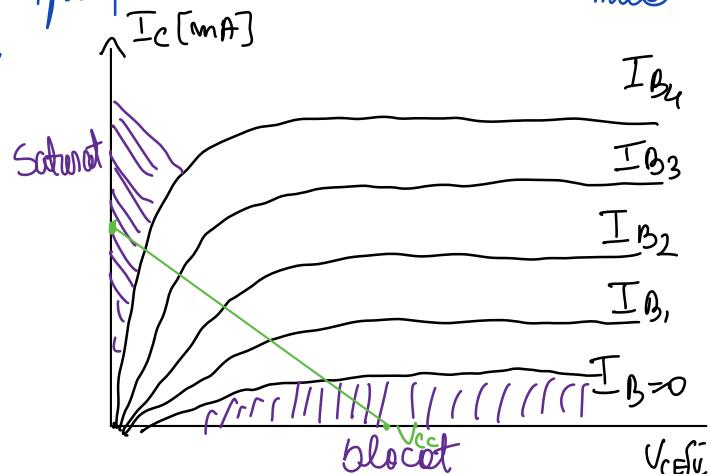
$I_c = ct = I_{cs} \rightarrow$  val. maximă a poate trage prin tranzistor într-o configurație dată.

$$V_{CE} = ct. = V_{CES} = 0,1 \div 0,2.$$

$V_{BE} = ct = V_{BES} = 0,75 V$  (val. maximă a poate cădea pe această joncțiune)

- Tranzistorul = dispozitiv de amplificare blocat la o anumită valoare (limitare).

iv. INVERS: BE - pol. invers  
BC - pol. direct.



TiMP de întâzire, cădere, saturare. Forme ideale  
a curentului de bază

### a) Timpul de întâzire:

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

### b) Timpul de cădere:

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

$$t_c \approx \frac{1}{I_{B2}}$$

### c) Timpul de ridicare:

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

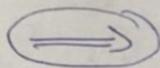
tensiunii colector-emitor și are punctă învență  
față de diagrama curentului de colector.

### d) timpul de saturare

→ rep. timpul necesar eliminării sarcinii  
stocate în bază. Pe durata timpului de  
saturare curentul de colector rămâne constant  
înaintea emitor-bază polarizată direct

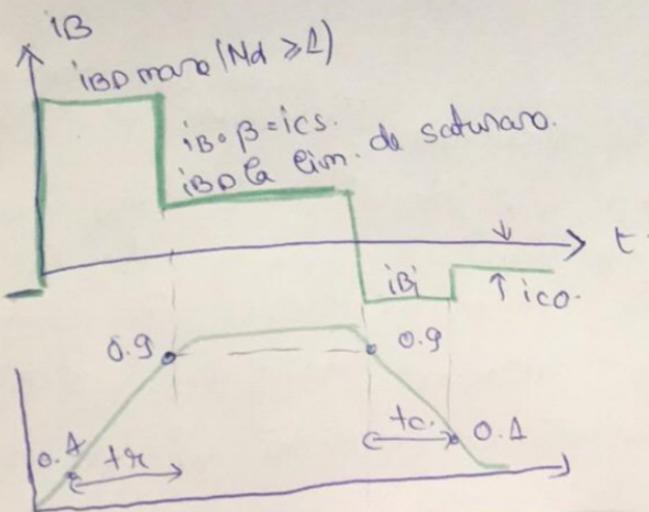


junctiunea colector-bază polarizată direct



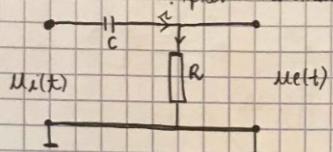
regiunea de  
saturare.

### e) forma ideală a curentului de bază



RC tree vs

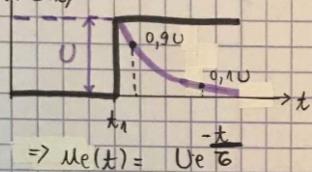
② Răspunsul circuitului RC trapezoidal este la un semnal impulsiv repetitiv: diagrama de timp - expresia matematică



$$Folarim : \quad -t$$

pt. un semnal treantă:

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



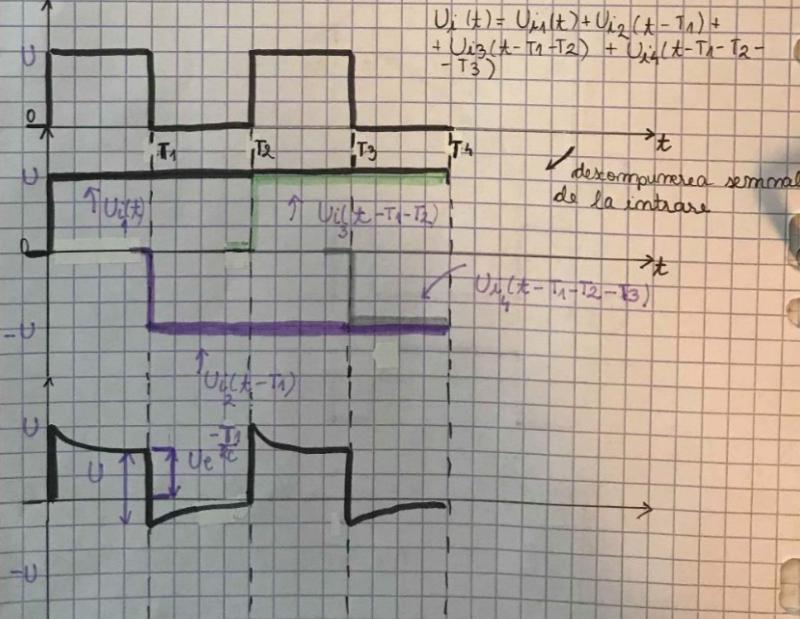
$$u_e(0) = U \quad (\text{valoarea initială})$$

$$u_e(\infty) = 0 \quad (\text{valoarea finală})$$

$$6 = RC$$

pt. un semnal impuls (care se repetă)

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



a)  $0 < t < T_1$

identic ca la un semnal treapta

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

b)  $T = T_1 \Rightarrow U_e(T_1) = U e^{-\frac{T_1}{RC}}$

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)  $t = T_1 + T_2$

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

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

$$\begin{aligned} U_e(t) &= U_{e1}(t) + U_{e2}(t-T_1) + U_{e3}(t-T_1-T_2) = \\ &= U e^{-\frac{t}{RC}} - U e^{-\frac{t-T_1}{RC}} + U e^{-\frac{t-T_1-T_2}{RC}} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \Rightarrow U_e(t) &= U_{e1}(t) + U_{e2}(t-T_1) + U_{e3}(t-T_1-T_2) + U_{e4}(t-T_1-T_2-T_3) = \\ &= U e^{-\frac{t}{RC}} - U e^{-\frac{t-T_1}{RC}} + U e^{-\frac{t-T_1-T_2}{RC}} - U e^{-\frac{t-T_1-T_2-T_3}{RC}} \end{aligned}$$

i)  $t \rightarrow \infty$

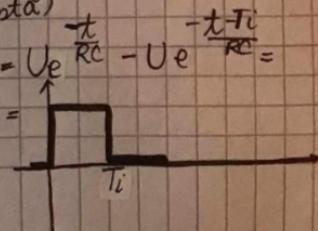
$$\begin{aligned} U_e(\infty) &= \lim U_e(t) = U e^{-\frac{\infty}{RC}} - U e^{-\frac{(\infty-T_1)}{RC}} + U e^{-\frac{(\infty-T_1-T_2)}{RC}} - \\ &- U e^{-\frac{(\infty-T_1-T_2-T_3)}{RC}} = U - U + U - U = 0 \end{aligned}$$

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 treapta)

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

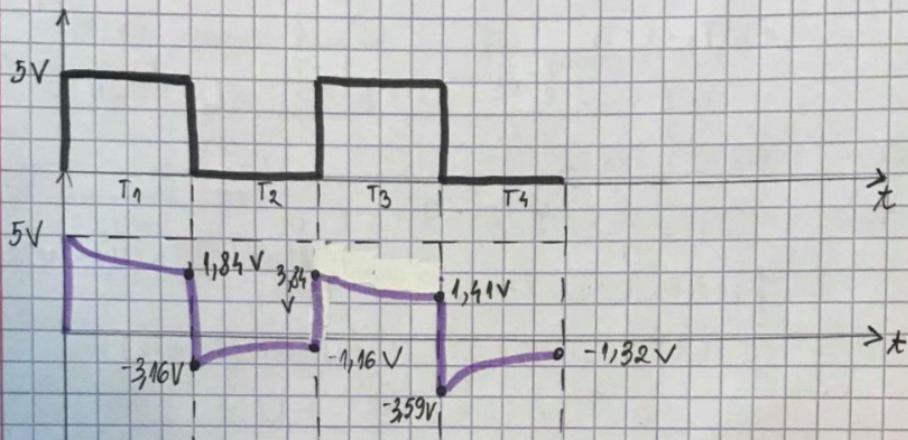
$$= U \left[ e^{-\frac{t}{RC}} - e^{-\frac{t-T_i}{RC}} \right] = U e^{-\frac{(t-T_i)}{RC}} \left[ e^{-\frac{t}{RC}} - 1 \right] =$$



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

b)  $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = 100 \mu s$   
 $R = 10 \Omega$ ,  $C = 10 \text{ mF}$ ,  $U = 5V$

$$RC = 10 \Omega \cdot 10 \text{ mF} = 100 \mu s \Rightarrow \frac{RC}{T_1} = 1$$



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

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

$$\text{In } T = T_1 + T_2 \Rightarrow u_e(T_1 + T_2) = U e^{-\frac{T_1+T_2}{RC}} - U e^{-\frac{T_2}{RC}} = \\ = 5 e^{-\frac{200}{100}} - 5 e^{-\frac{100}{100}} = 5 e^{-2} - 5 e^{-1} = 0,68 - 1,84 = -1,16 V$$

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

$$\text{In } T = T_1 + T_2 + T_3 \Rightarrow u_e(T_1 + T_2 + T_3) = U e^{-\frac{T_1+T_2+T_3}{RC}} - U e^{-\frac{T_2+T_3}{RC}} + U e^{-\frac{T_3}{RC}} = \\ = 5 e^{-\frac{300}{100}} - 5 e^{-\frac{200}{100}} + 5 e^{-\frac{100}{100}} = 5 e^{-3} - 5 e^{-2} + 5 e^{-1} = 0,25 - 0,68 + 1,84 = \\ = 1,41 V$$

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

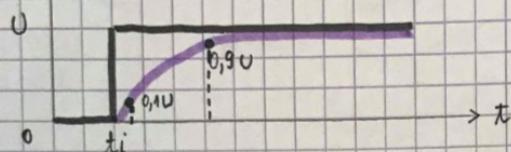
$$\text{In } T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \Rightarrow u_e(T_1 + T_2 + T_3 + T_4) = U e^{-\frac{T_1+T_2+T_3+T_4}{RC}} - \\ - U e^{-\frac{T_2+T_3+T_4}{RC}} + U e^{-\frac{T_3+T_4}{RC}} - U e^{-\frac{T_4}{RC}} = 5 e^{-4} - 5 e^{-3} + 5 e^{-2} - 5 e^{-1} = \\ = 0,09 - 0,25 + 0,68 - 1,84 = -1,32 V$$

# RC trece-jos

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

pt. un semnal treaptă:

$$U_i(t)$$



$$U_i(t) = \begin{cases} U, & \text{pt. } t > t_i \\ 0, & \text{pt. } t \leq t_i \end{cases}$$

$$U_e(t) = U_e(\infty) + [U_e(0) - U_e(\infty)] e^{-\frac{t-t_i}{RC}}$$

$$\tau = RC$$

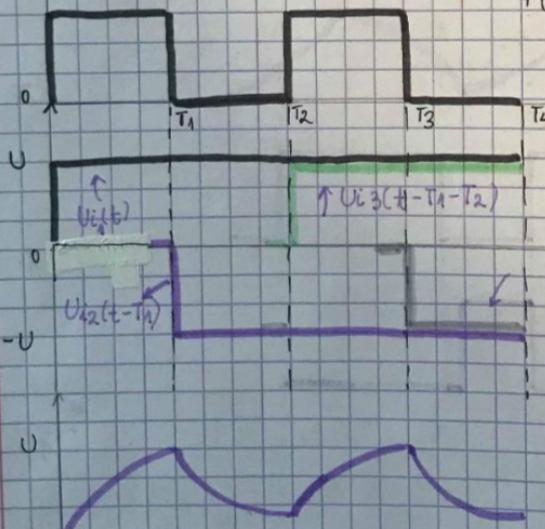
$$U_e(0) = 0 \quad (\text{momentul initial})$$

$$U_e(\infty) = U \quad (\text{momentul final})$$

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

pt. un semnal impuls (repetitiv)

$$U_i(t)$$



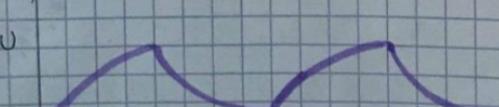
$$U_i(t) = U_{i1}(t) + U_{i2}(t-T_1) + U_{i3}(t-T_1-T_2) + U_{i4}(t-T_1-T_2-T_3)$$

✓ decompunerea semnalului de la intrare

$\rightarrow t$

$\rightarrow t$

$\rightarrow t$



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

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

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

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

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

$$Ue(t) = Ue_1(t) + Ue_2(t - T_1) = U[1 - e^{-\frac{t}{RC}}] - U[1 - e^{-\frac{t-T_1}{RC}}]$$

4)  $t = T_1 + T_2$

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

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

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

$$\begin{aligned} Ue(t) &= Ue_1(t) + Ue_2(t - T_1) + Ue_3(t - T_1 - T_2) = \\ &= U[1 - e^{-\frac{t}{RC}}] - U[1 - e^{-\frac{t-T_1}{RC}}] + U[1 - e^{-\frac{t-T_1-T_2}{RC}}] \end{aligned}$$

6)  $t = T_1 + T_2 + T_3$

$$\begin{aligned} Ue(T_1 + T_2 + T_3) &= U[1 - e^{-\frac{T_1+T_2+T_3}{RC}}] - U[1 - e^{-\frac{T_2+T_3}{RC}}] + \\ &+ U[1 - e^{-\frac{T_3}{RC}}] \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Ue(t) &= Ue_1(t) + Ue_2(t - T_1) + Ue_3(t - T_1 - T_2) + Ue_4(t - T_1 - T_2 - T_3) \\ &= U[1 - e^{-\frac{t}{RC}}] - U[1 - e^{-\frac{t-T_1}{RC}}] + U[1 - e^{-\frac{t-T_1-T_2}{RC}}] - \\ &- U[1 - e^{-\frac{t-T_1-T_2-T_3}{RC}}] \end{aligned}$$

8)  $t \rightarrow \infty$

$$Ue(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} Ue(t) =$$

În general, răspunsul la impuls are expresia matematică:

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

$$\begin{aligned} \text{pt } t > T_i &\Rightarrow Ue(t) = Ue_1(t) + Ue_2(t - T_i) = U[1 - e^{-\frac{t}{RC}}] - \\ &- U[1 - e^{-\frac{t-T_i}{RC}}] = U \cdot e^{-\frac{t}{RC}} [1 - e^{-\frac{T_i}{RC}}] \end{aligned}$$

$$T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = 100 \mu s$$

$$R = 10 k\Omega$$

$$C = 10 \text{ mF}, U = 10 \text{ V}$$

$$U_{e(0)} = 0$$

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

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

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

$$= 10(9 - 0,13) - 10(1 - 0,36) = 8,7 - 6,4 = 2,3 \text{ V}$$

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

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

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

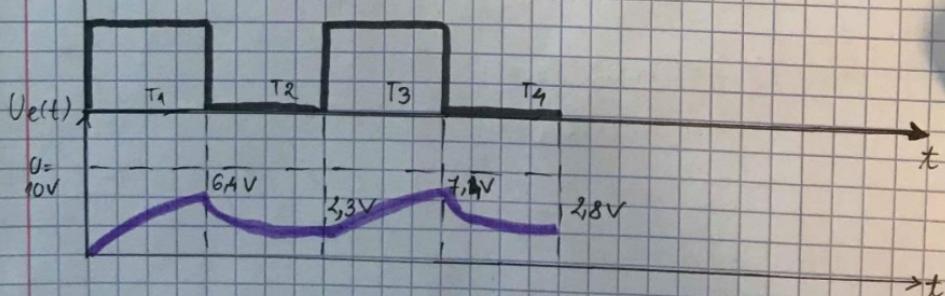
$$U_{e(T_1+T_2+T_3+T_4)} = U\left(1 - e^{-\frac{T_1+T_2+T_3+T_4}{RC}}\right) - U\left(1 - e^{-\frac{T_2+T_3+T_4}{RC}}\right) +$$

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

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

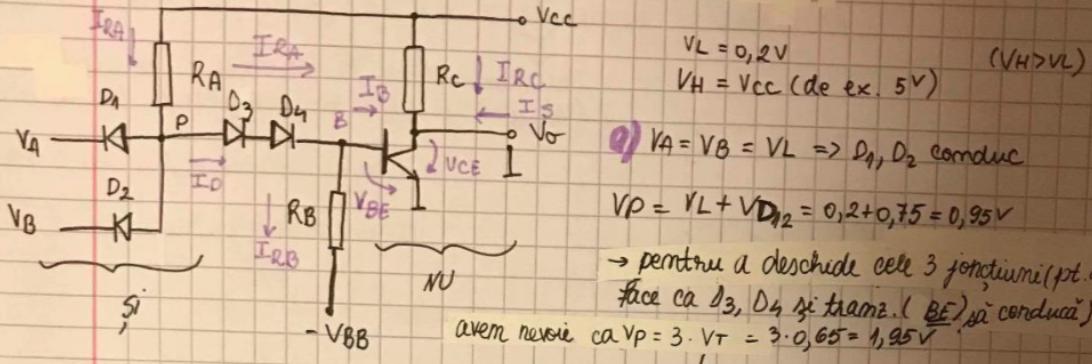
$$= 10(1 - 0,01) - 9,4 + 8,7 - 6,4 = 9,9 - 9,4 + 8,7 - 6,4 = 2,8 \text{ V}$$

$U_i(t) \uparrow$



# Poarta "Si-NU" (NOT-AND) cu diode și tranzistor

## a) FUNCTIONARE DEPLASARE DE NIVEL PRIN DIODE



$$V_L = 0,2V \quad (V_H > V_L)$$

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

$V_A = V_B = V_L \Rightarrow D_1, D_2 \text{ conduction}$

$$V_P = V_L + V_{D12} = 0,2 + 0,75 = 0,95V$$

pentru a deschide cele 3 juncții (pt. a face ca  $D_3, D_4$  și tranz. ( $B/E$ ) să conduca), avem nevoie ca  $V_P = 3 \cdot V_T = 3 \cdot 0,65 = 1,95V$

- cum  $V_P < V_{D3} + V_{D4} + V_{BE} \Rightarrow$  diodele  $D_3, D_4$  și tranzistorul sunt BLOCATE:  $I_C = I_{CO} \approx 0$

$$V_O = V_{CC} - I_{CO} \cdot R_C \approx V_{CC} = V_H$$

b)  $V_A = V_L, V_B = V_H$  sau  $V_A = V_H, V_B = V_L$

$\Rightarrow$  conduce dioda cu  $V_L \Rightarrow V_P = V_L + V_D = 0,2 + 0,75 = 0,95V < 1,95V$  (minimum necesar)

$$< V_{D3} + V_{D4} + V_{BE}$$

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

c)  $V_A = V_B = V_H$

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

DAR:  $V_P = V_{D3} + V_{D4} + V_{BE} = 0,75 + 0,75 + 0,75 = 2,25V$  este limitată la această valoare atunci când  $D_3, D_4$  și tranz. ( $B/E$ ) se deschid la maxim

$V_{BES} = 0,75V \rightarrow$  tranzistor SATURAT  $\Rightarrow$  curentul de colector și  $V_{BE}$  nu sunt limitate

$\Rightarrow I_C$  este maxim și limitat

$$\checkmark V_O = V_{CE} = V_{CES} \cong 9,1V - 0,2V = \boxed{V_L}$$

este minim și limitat

$D_1$  și  $D_2$  sunt blocate

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	$V_L$

## b) DIMENSIONARE

### 1. DIMENSIUNEA REZISTENȚEI $R_C$

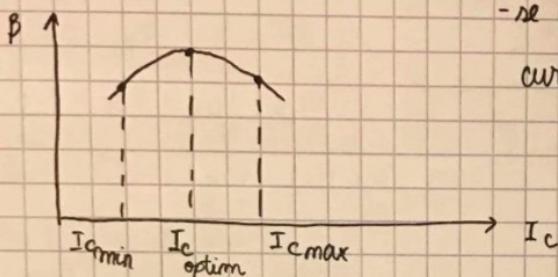
$R_C$  trebuie să asigure  $I_C \approx I_S$  sau  $I_S$  (iesire, sarcină)

$I_C$  atins când tranzistorul e saturat  
(este practic curentul de colector la saturatie,  $I_S$ )

$$I_C = I_{RC} + I_S$$

- se alege curentul  $I_C$  unde  $B$  este maxim

curent mic  $\Rightarrow$  putere mică



$I_C$  se distribuie

$$I_{RC}$$

$$I_S$$

Fie  $I_R = I_S$ , minimă la saturatie

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

### 2. DIMENSIUNEA REZISTENȚEI $R_B$

din condiția de blocare a tranzistorului  $\Rightarrow V_{BE,BE} \leq 0$

$$I_{RB} = I_D - I_B \quad (\text{daca } I_B \text{ im bloca tr.}) \quad I_{IB} = -I_{D0}$$

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

$D_3, D_4$  nici nu sunt blocați  
 $\downarrow I_{DN0}$

$$\Rightarrow \frac{V_{BE} + V_{BB}}{R_B} = -I_B \quad \Rightarrow \quad \frac{V_{BE} + V_{BB}}{R_B} = I_{CO}$$

$$I_B = -I_{CO} \quad (\text{dim cond de blocare})$$

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

$$\Rightarrow R_B \leq \frac{V_{BB}}{I_{CO}} \quad ; \text{tranzistorul se blochează}$$

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

### 3. DIMENSIUNAREA REZISTENȚEI $R_A$

- dim condiția de saturare a tranzistorului

$$\begin{cases} D_3, D_4 \text{ conduce} \\ D_1, D_2 \text{ blochează} \end{cases}$$

$$KI \text{ în } B : I_{RA} = I_{RB} + I_B \Rightarrow I_B = I_{RA} - I_{RB}$$

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

$$V_P = V_{D3} + V_{D4} + V_{BE} = 3 \cdot 0,75 \\ \Rightarrow V_{PH} = 2,25V \text{ (maxim, limitată)}$$

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

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

Se aplică condiția de saturare a tranz.:  $I_B \cdot \beta > I_C \Rightarrow I_B > \frac{I_C}{\beta}$

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

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

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

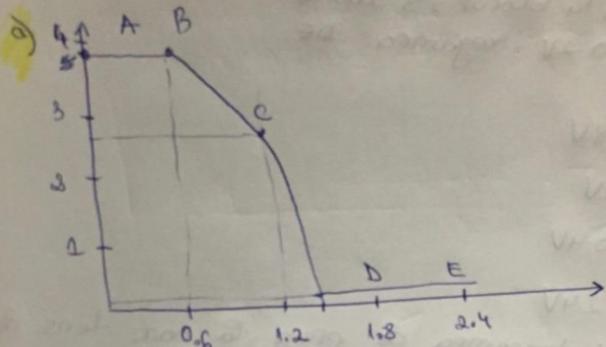
$$R_A \leq \frac{V_{CC} - V_{PH}}{\frac{I_C}{\beta} + \frac{V_{BES} + V_{BB}}{R_B}}$$

# Caracteristice statică de transfer

C2) a) Caract statică de transfer ( $I_A$ )

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

c) Def. marginile de zgomot.



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

$$U_e = U_{CE} - R_2 \cdot I_{R2} - U_{BE(T_4)} - V_D$$

$$U_{BE(T_4)} = V_D \approx 0.45V, I_{R2} \approx I_{B1(T_4)} = I_{OH} (\beta_H + 1),$$

$$U_e = 3.4V > \text{segmentul AB.}$$

- $0.65 < U_i < 1.3V$ ,  $T_2$  începe să conduce ușor, intrând în regiunea activă normală. Amplificarea realizată pe portiunea BC de tranzistorul  $T_2$  este  $\alpha \approx R_2/R$ .  $T_4$  repetă pe emitor,  $T_3$  blocat, dreapta BC.

③

- $1.3V < U_i < 1.5V$ ,  $T_3$  începe să conducre,  $U_e$  scade mai rapid (dreapta CD)

$T_2, T_4$  și  $T_3$  conduc în regiunea activă normală.

Crește consumul de la sursă de alimentare.

- $1.5 < U_i < 2.25V$ ,  $T_4$  blocat,  $T_3$  saturat

$$U_e = U_{CE(SAT)} \approx 0.2V, \text{ regiunea DE.}$$

# Nivelle logice de intrare în ieșire

b și c:

Pentru  $V_i = 0V$

$$V_{B1} = V_i + V_{BE1} = 0 + 0.65 = 0.65$$

$$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} = 0.65 - 0.45 = 0.2V$$

$$V_{B3} = 0 \rightarrow T_3 - \text{blocat}$$

$$V_o = V_{CC} - i_{R2} \cdot R_2 - V_{BE4} - V_D$$

$$i_{R2} = i_{E2} + i_{B4} \approx i_{B4}$$

$$i_{E2} = i_{OH} \approx 0.1 (T_2 - \text{blocat})$$

$$i_{B4} = \frac{i_{E4}}{\beta+1} = \frac{i_{E3} + i_{B4}}{\beta+1}$$

$$i_{E4} = i_{E3} + i_{OH} \approx i_{OH}$$

$$i_{E3} = i_{CO} = \text{neg } (T_3 \text{ blocat})$$

$$V_b = V_{CC} - \frac{i_{OH}}{\beta+1} \cdot R_2 - V_{BE4} - V_D \left( \text{pt. } \beta = 20 \right) \approx 3.4V$$

Pentru  $V_i = 0.65V$ :

$$V_{B1} = V_i + V_{BE1} \approx 0.65 + 0.65 = 1.3V$$

$$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} = 1.3 - 0.45 = 0.85V$$

( $T_2$  începe să conduce)

$$V_{B3} = 0V \Rightarrow T_3 \rightarrow \text{blocat}$$

$$V_o = V_{CC} - \frac{i_{OH}}{\beta+1} \cdot R_2 - V_{BE4} - V_D \approx 3.4V$$

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

$$V_{B1} = V_i + V_{BE1} \in [0.65 + 0.65, 1.3] \text{ și } 1.3 + 0.65 = 2.0V$$

$$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} \in [0.65, 1.3]$$

$T_2$  - trece din bI  $\rightarrow$  cond.

$$V_b = V_{CC} - i_{R2} \cdot R_2 - V_{BE4} - V_D$$

Q

Dacă  $i_{R2} = i_{E2} + i_{B4}$

$$i_{E2} \approx i_{E2}$$

$$i_{E2} = i_{CO} + i_{B4}$$

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

Dacă

$$V_{B2} \in [0; 0.65] \rightarrow T_3 - \text{blocat}$$

de unde  $\Rightarrow i_{B3} = i_{CO} - \text{neglijam}$

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

$$i_{R3} = \frac{V_{B3}}{R_3} = \frac{V_i + V_{BE1} - V_{BC1} - V_{BE2}}{R_3}$$

$$V_b = V_{CC} - \left[ \frac{V_i + V_{BE1} - V_{BC1} - V_{BE2} + \frac{i_{OH}}{\beta+1}}{R_3} \right] R_2$$

$$- V_{BE1} - V_D$$

$$A = \frac{\delta V_o}{\delta V_i} = - \frac{R_2}{R_3} = -1.6$$

Se obt. pt.  $V_i = 1.3 \Rightarrow V_o = 2.4V$ .

$$V_L = 0.2 \text{ V}, V_H = 3.5 \text{ V}, V_{CC} = +5 \text{ V}$$

b) Def. curentului pt. nivel logic inferior.

$$V_A = V_B = V_L = 0.2 \text{ V}$$

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

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

$\Rightarrow T_2$  blocat.

$$\Rightarrow i_{C2} = i_C \approx \text{neg.}$$

$$V_{B4} = V_{CC} - i_{R2} \cdot R_2 \approx V_{CC} = 5 \text{ V}$$

$$V_{B3} = 0 + i_{E2} \cdot R_3 = 0 \rightarrow T_3 \text{ be.}$$

$$\text{daca } V_{B4} = 5 \text{ V}$$

$$V_o = \underbrace{V_{B4} - V_{BE4}}_{\downarrow} - V_D = 5 - 0.75 - 0.75 = 3.5 = 4 \text{ V}$$

$T_3$  - blocat  $\oplus T_4$  conduce.

c) Def. curentului pt. nivel logic superior

$$V_A = V_B = V_i = V_H = 3.5 \text{ V}$$

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

$$V_{B1} = V_{BE3} + V_{BE2} + V_{BC1} = 0.75 + 0.75 + 0.75 = 2.25$$

se lim. la aceasta val.

$$V_{D2} = \underbrace{V_{BE2} + V_{BE3}}_{T_2 \text{ sat.}} = 0.25 + 0.75 = 1.5 \text{ V}$$

# Delimitarea zonelor de funcționare.

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

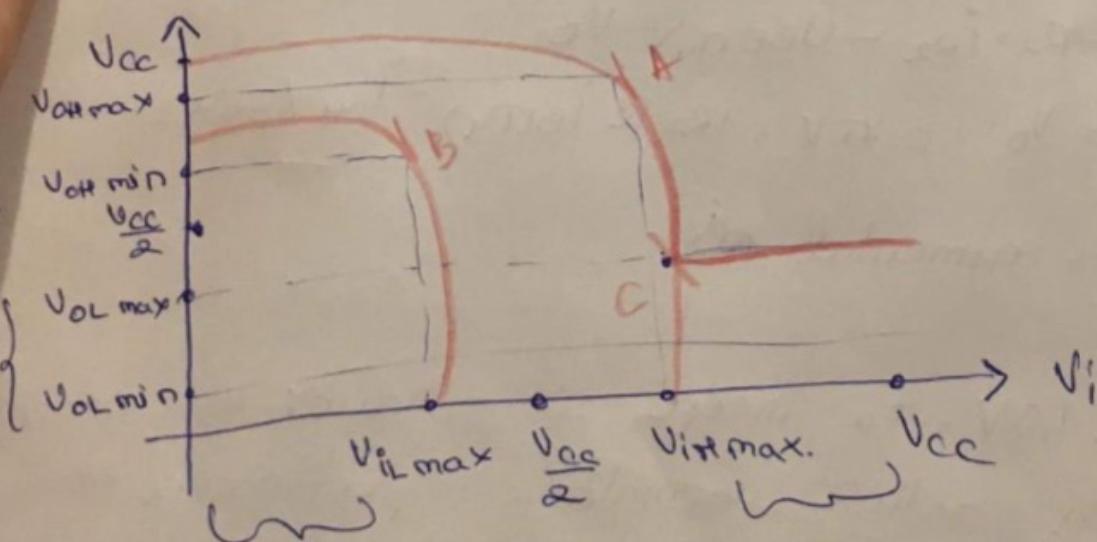
$V_{ITH\min} = 2V$

$V_{OL\max} = 0.4V$

$V_{OTH\min} = 2.4V$

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

$V_O$

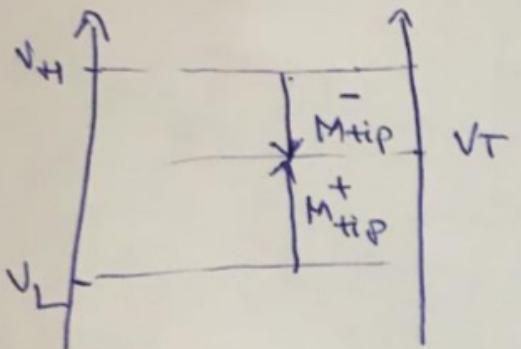


dacă  $V_{IL} \leq V_{IL\max} \Rightarrow V_O = V_{OTH\min}$   
 dacă  $V_{IH} \geq V_{IH\min} \Rightarrow V_O = V_{OL\max}$ .

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

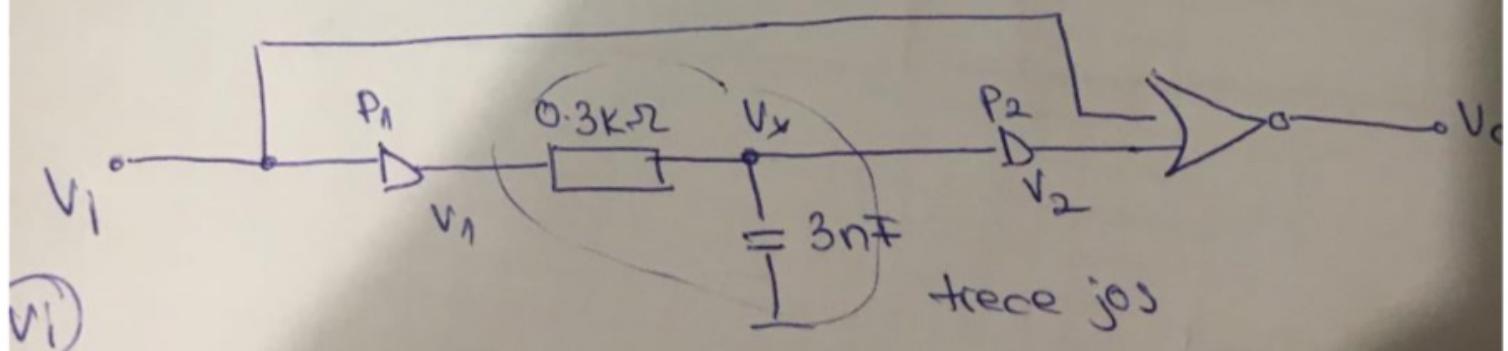
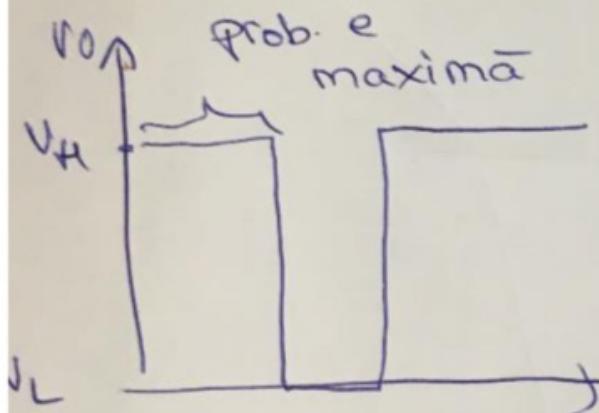
Q.

$P_1$   
 $D_o$  —  $D_o$  —  $P_2$



$$M_{tip}^+ = V_T - V_L \approx 1.5 - 0.2 = 1.3 \text{ V.}$$

$$M_{tip}^- = V_H - V_L \approx 3.5 - 1.5 = 2 \text{ V.}$$



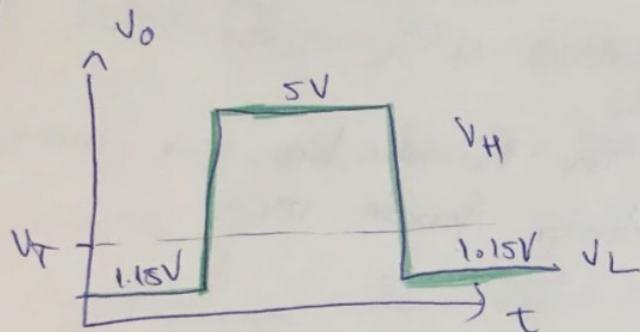
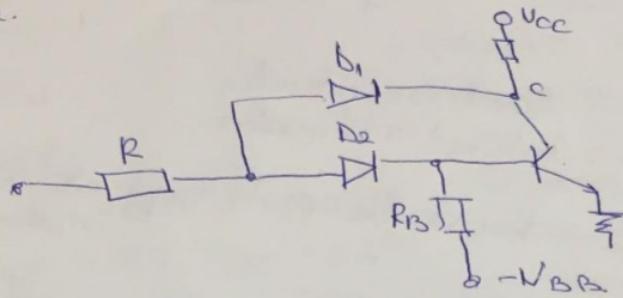
# Saturare tranzistor cu 2 diode

Subiectul D

1) a) ca la C<sub>s</sub>

b) aproape ca la C<sub>s</sub>.

2) metoda de evitare a saturării tranzistorului cu 2 diode.



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

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

$$V_{D2} + V_{BE} = V_{D1} + V_{CE}$$

$$V_{BE} = (V_{D2} - V_{D1}) + V_{CE}$$

$$V_{D2} > V_{D1}$$

$$\text{Gre: } V_{max} = 0.35 \text{ V}$$

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

$D_1 \rightarrow$  dioda cu Gre

$D_2 \rightarrow$  diodă cu Sl.

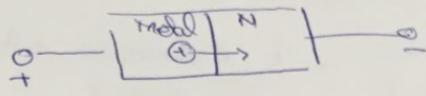
①

# Saturare tranzistor cu dioda Schottky

$$V_B = V_{DZ} + V_{BZ} = 0.45 + 0.45 = 1.5 \text{ V.}$$

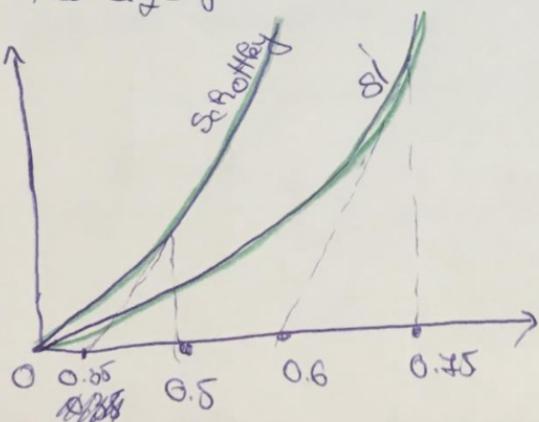
$$V_C = V_B - V_{DN} = 1.5 - 0.35 = 1.15 \text{ V.}$$

b) Metoda de evitare a saturării cu dioda Schottky



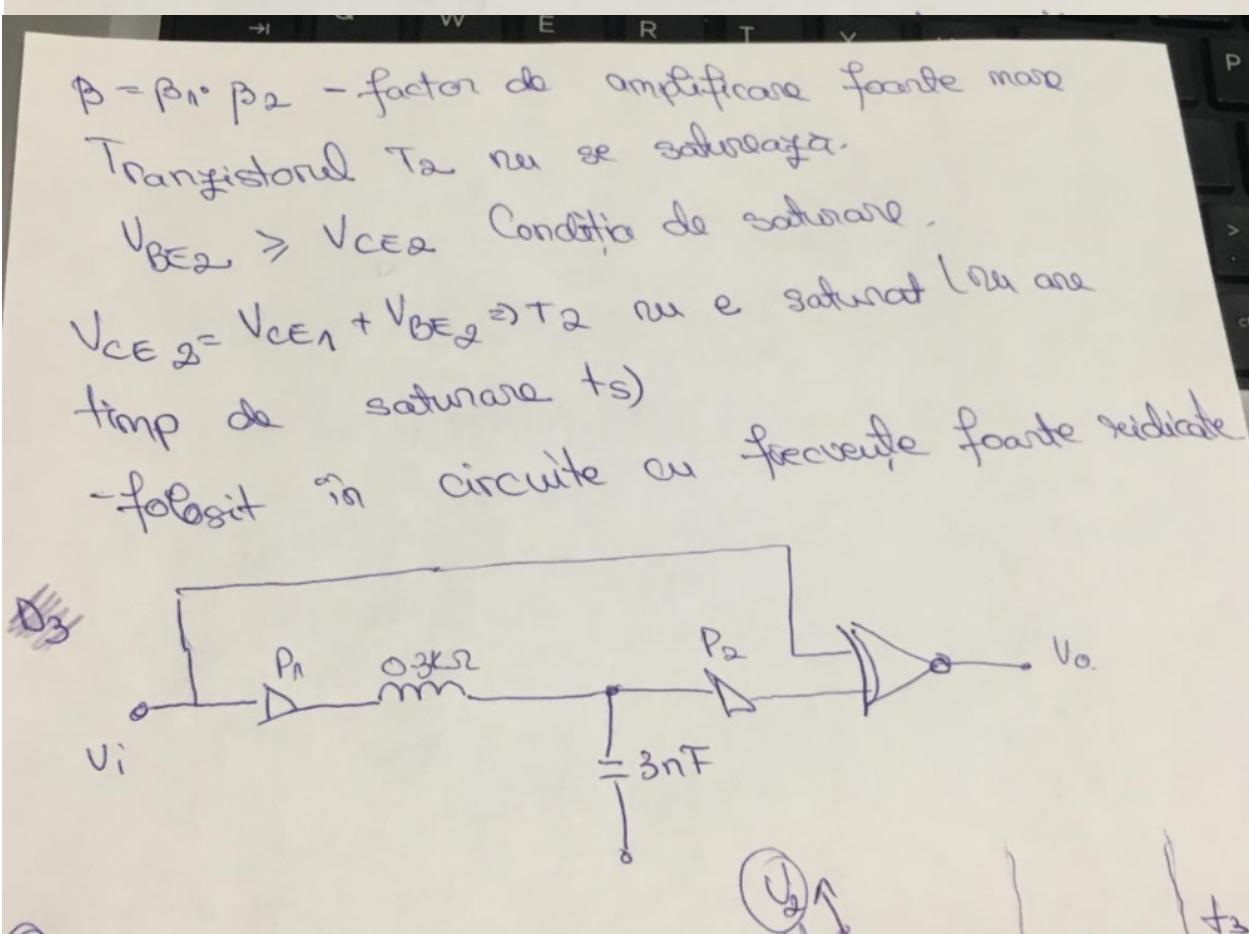
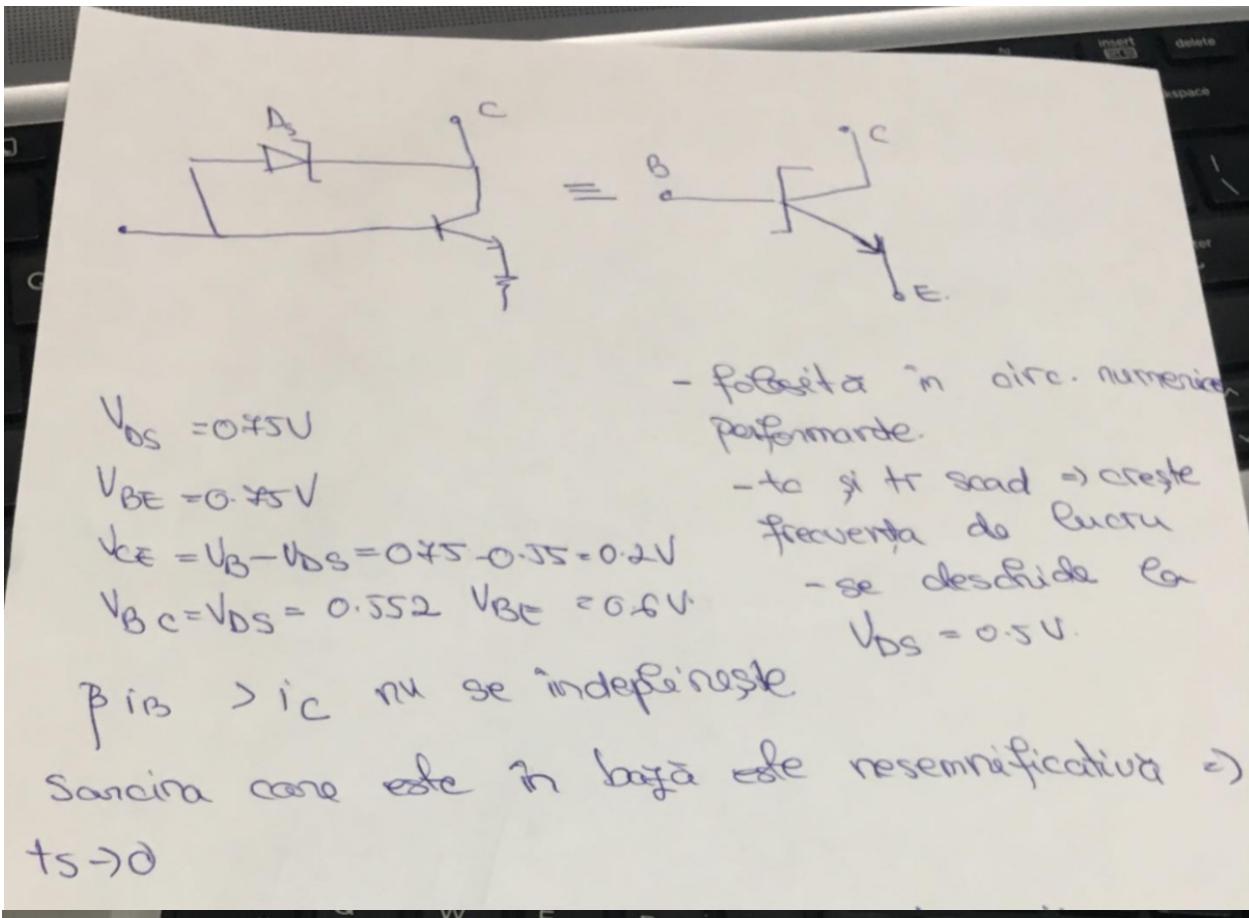
Polarizată  $\rightarrow$  direct  $\rightarrow$  conductie  
 $\rightarrow$  indirect  $\rightarrow$  blocare.

- lucrajă la frecvențe mult timp de comutare mari)
- are aceeași caracteristică volt-ampermetrică ca și dioda normală
- trecerea din blocare în conductie sau invers foarte mic.
- Se realizează într-un timp

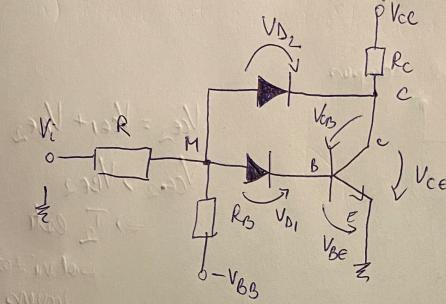


(2)

# Saturare tranzistor compus



a) evitarea saturării transistorului cu 2diode.



$$\text{Avem } V_M = V_{D_1} + V_{BCE} \quad \text{Ie } V_M = V_{D_2} + V_{CE}$$

condiție să nu se saturizeze:

$$\Rightarrow V_{BE} = V_{CE} + (V_{D_2} - V_{D_1})$$

$$\Rightarrow V_{D_1} > V_{D_2}$$

Soluție: se poate folosi o diodă cu siliciu și una cu germaniu, punctul co pt. Ge:  $V_{max} = 0,35V$   
și:  $V_{max} = 0,75V$

b) metode de evitare cu diodo Schottky.

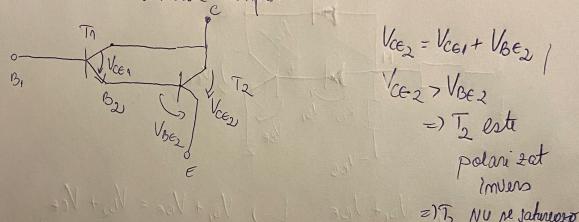
simbol:

→ mai rapide diode  
 $V_{DS} = 0,30V$

este format dintr-o joncție metal/semiconductor, nu este la diodo normală.

-truncarea din blocare în conductie sau invers se realizează într-un timp foarte scurt, urmărind caracteristica volt-ampere a diodelor normale.

c) evitarea saturării cu transistorul compus



$$V_{CE2} = V_{CE1} + V_{BE2},$$

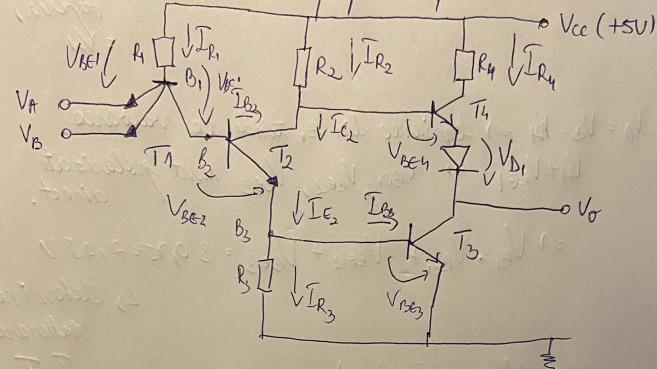
$$V_{CE2} > V_{BE2}$$

$\Rightarrow T_2$  este polarizat invers

$\Rightarrow T_2$  nu se saturizează

a) Caracteristica statică de transfer la TTL

Poarte și NU este de bază pt. circuitele TTL, pt. că nu de căci mai buni, ci mai profitabili parametri.



$$\text{pt. TTL, avem: } V_H = 3,5V$$

$$V_L = 0,2V$$

$$V_T = 1,5V$$

funcționare:

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

$$\text{sau } V_A = 0,2V = V_L, \quad V_B = V_H = 3,5V$$

$$V_A = V_H, \quad V_B = V_L$$

$T_1$  este multiemitor

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

$$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} = 0,95 - 0,75 = 0,2V \Rightarrow T_2 = \text{blocați} \Rightarrow I_{C2} \approx \text{neglijabil.}$$

$$V_{B3} = R_3 \cdot I_{C0} = 0V$$

$$V_{B4} = V_{CC} - V_{BE4} - V_{D1} = 5 - 0,75 - 0,75 = 3,5V \quad (\text{mărimea legătură superioară})$$

b)  $V_A = V_B = V_H \Rightarrow$  întrucât din B, tind la valoare

$V_H + V_{BE1} \rightarrow V_{BC1}, V_{BE2}, V_{BE3}$  sunt polarizați direct.

$$\Rightarrow V_{B1} = V_{BE1} + V_{BE2} + V_{BE3} = 3 \cdot 0,75 = 2,25V$$

↳ determino

$$\Rightarrow V_O = V_{CE3} = 0,2V (V_L)$$

$$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} = 2,25 - 0,75 = 1,5V \quad (T_2 \text{ saturat})$$

$$V_{B3} = V_{B2} - V_{BE2} = 1,5 - 0,75 = 0,75V \quad (T_3 \text{ saturat})$$

$$V_{B4} = V_{B3} + V_{CE2} = 0,75 + 0,2 = 0,95V \text{ este insuficient pt. a deschide și jumătate: } V_{CE4}, V_{D1}$$

$$\rightarrow \text{ar trebui } V_{B4} = 0,65 + 0,65 + 0,2$$

$\Rightarrow T_4$  este blocat și diodul

$\Rightarrow T_3$  și  $T_4$  lumenă în stare complementară

$T_3 = \text{saturat} \Rightarrow T_4 = \text{blocați}$

$T_3 = \text{blocați} \Rightarrow T_4$  în conductie

$\Rightarrow$  2 avantaje: redusă putere consumată  
(avantajul mic de detură blocarilor),  
temp de pregătire scăzut

D<sub>1</sub>: rol esențial → det. blocarea  $T_4$  at. când trebuie;

T<sub>2</sub>: anunță comanda celor 2 tranzistoare.

Prezentă lui T<sub>1</sub> → multiemitor: det. practic un cost redus

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

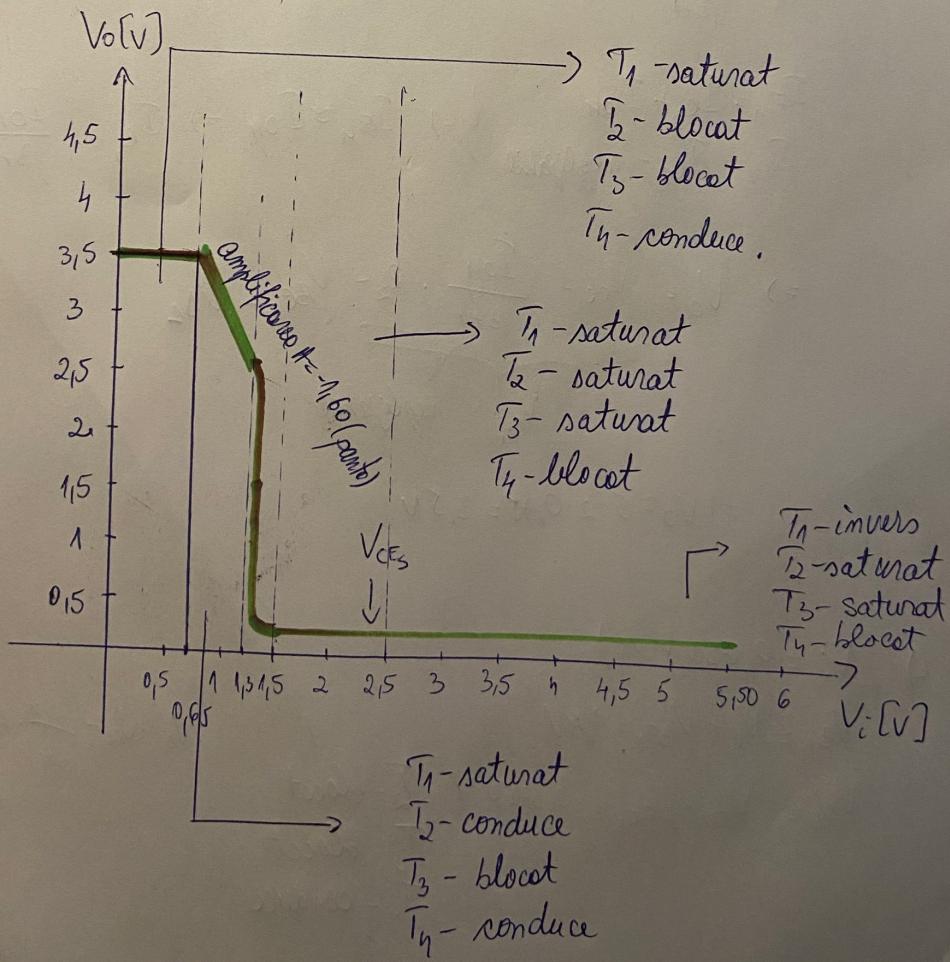
$$\Rightarrow F = \overline{A \cdot B}$$

(nu - nu") .

V <sub>A</sub>	V <sub>B</sub>	V <sub>B</sub>	V <sub>B<sub>2</sub></sub>	V <sub>B<sub>3</sub></sub>	V <sub>B<sub>1</sub></sub>	V <sub>O</sub>
0,2	0,2	0,95	0,2	0	0	3,5
0,2	3,5	0,95	0,2	0	0	3,5
3,5	0,2	0,95	0,2	0	0	3,5
3,5	3,5	2,25	1,5	0,25	0,95	0,2

Caracteristica statică de transfer

$$V_o = f(V_i)$$



$$a) V_i = 0V$$

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

$$V_{B_2} = V_{B_1} - V_{BC_1} = 0,75 - 0,75 = 0V \Rightarrow T_2 = \text{blocoat} \quad (I_{C_2} = I_{CO} = \text{negligível})$$

$$V_{B_2} = 0V \Rightarrow T_3 = \text{blocoat}$$

$$V_{B_3} = V_{CC} - I_{R_2} \cdot R_2$$

$$I_{R_2} = I_{B_3} + I_{C_2} \approx I_{B_3}$$

<sup>u</sup> negligível

$$I_{B_3} = \frac{I_{E_1}}{\beta+1}$$

$$I_{E_1} = I_{C_3} + I_{OH}$$

$$I_{C_3} = I_{CO} - \text{negligível} \Rightarrow I_{E_1} \approx I_{OH} \Rightarrow I_{B_3} = \frac{I_{OH}}{\beta+1}$$

$$\Rightarrow V_0 = V_{CC} - \frac{I_{OH}}{\beta+1} \cdot R_2 - V_{BE_1} - V_{B_3}$$

$V_{B_3}$  negligível

$$\Rightarrow V_0 \approx 5 - 2 \cdot 0,75 = 3,5V$$

$$b) V_i \leq 0,05V (V_T)$$

$$V_{B_1} \leq V_i + V_{BE_1} = 1,4V$$

$$V_{B_2} \leq V_{B_1} - V_{BC_1} = 0,65V \Rightarrow T_2 = \text{blocoat}$$

$T_3 = \text{blocoat}$

$T_4 = \text{conduce}$

$$V_0 = V_{CC} - \frac{I_{OH} \cdot R_2}{\beta+1} - V_{BE_1} - V_{B_4}$$
$$\approx 3,50V$$

$$c) V_i \in [0,65; 1,3] V$$

$$V_{B1} = V_i + V_{BE} \in [1,4 \div 2,05] V$$

$$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} \in [0,65 \div 1,3] V$$

$T_2$  începe să conduce

$$\Rightarrow I_{C2} \neq I_{C0}$$

$$\Rightarrow I_{R2} = I_{C2} + I_{B4}$$

$$I_{C2} \approx I_{E2}$$

$$I_{E2} = I_{B3} + I_{R3} \quad \approx I_{R3} = \frac{V_{B3}}{R_3}$$

$$\Rightarrow T_3\text{- blocat} \Rightarrow I_{B3} \approx \text{neglijabil}$$

$$V_{B3} = V_i + V_{BE1} - V_{BC1} - V_{BE2}$$

$$I_{R2} = \frac{V_i + V_{BE1} - V_{BC1} - V_{BE2}}{R_3} + \frac{I_{OH}}{\beta+1}$$

$$V_o = V_{CC} - I_{R2} \cdot R_2 - V_{BE4} - V_{D1}$$

$$V_o = V_{CC} - \left( \frac{V_i + V_{BE1} - V_{BC1} - V_{BE2}}{R_3} + \frac{I_{OH}}{\beta+1} \right) R_2 - V_{BE4} - V_{D1}$$

pt.  $V_{CC} = 5V \Rightarrow V_i = 1,3 V$

$$V_{BE1} = 0,75 V$$

$$V_{BC1} = V_{BE2} = 0,65 V$$

$$R_3 = 1 k\Omega$$

$$I_{OH} = 0,8 mA$$

$$\beta = 20$$

$$R_2 = 1,6 k\Omega \Rightarrow V_o \approx 2,4 V$$

d) pt.  $V_i \in [1,3 ; 1,5] V$

$V_{B_2} \in [1,3; 1,5] \Rightarrow T_2$  - saturat

$V_{B_3} \in [0,55; 0,75] \Rightarrow T_3$  - blocat în saturat

$$I_{E_2} = I_{R_2} + I_{B_3}$$

$$I_{R_2} = I_{e_2} + I_{B_3}$$

$$V_o = V_{CC} - I_{R_2} R_2 - V_{BE_1} - V_{D_1} \Rightarrow V_o \text{ exponential}$$

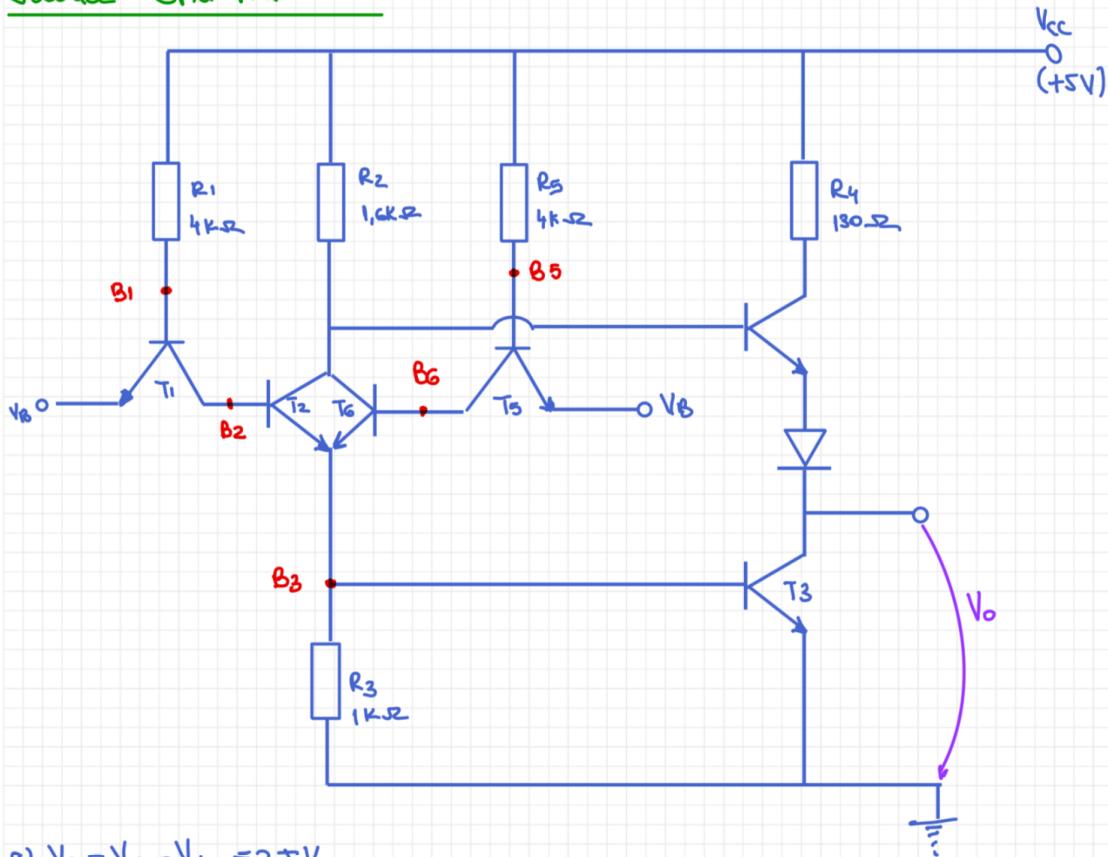
$$T_3 - \text{saturat} \Rightarrow V_o = V_{CE_S} = 0,20V$$

e)  $V_i > 2,25V$

$\Rightarrow V_{B_1}$  se limitează la  $V_{BE_1} + V_{BE_2} + V_{BE_3} = 3 \cdot 0,75 = 2,250V$   
datorită jumătății BC este polarizată direct

$\Rightarrow T_1$  - funcție în  
regim invers

## Porta SAU-NU TTL



$$a) V_A = V_B = V_H = 3,5V$$

$V_{B1}$  și  $V_{B5} \uparrow$   $V_{CC}$  DAR atunci când tens. din cele 2 puncte atinge valoarea de tens. maximă (la atingerea căderei maxime pe 3 junc.) valoile lui  $V_{B1}$  și  $V_{B5}$  se limitează la căderea pe 3 juncii

$$\Rightarrow V_{B1} = V_{BC1} + V_{BE2} + V_{BE3} = 3 \times 0,75 = 2,25V$$

$$V_{B5} = V_{BC5} + V_{BE6} + V_{BE3} = 3 \times 0,75 = 2,25V$$

$$\Rightarrow T_1 \rightarrow \text{regim invers} \quad | \quad T_2, T_3, T_6 \text{ saturati} \Rightarrow V_o = V_{CE3} = 0,3V = V_L \\ T_5 \rightarrow \text{reg. invers}$$

$$\Rightarrow V_{B4} = V_{BE3} + V_{CE2(6)} = 0,75 + 0,2 = 0,95V \Rightarrow \text{insuficient pt. a}$$

$$c) V_A = V_B = V_C$$

/  $V_{B1} = V_{BE} - V_L + V_{BE \{2,6\}}^{(2,6)} = 9.95V$  insufficient for a saturation point  
 $[V_{BC1}, V_{BE2}, V_{BE3} \text{ or } V_{BC5}, V_{BE6}, V_{BE3}]$

$\Rightarrow T_2, T_3, T_C \rightarrow \text{blockage}$

$$\Rightarrow V_{B4} \approx V_{CC}$$

$$\Rightarrow V_O = V_{B4} - V_{BE4} - V_{D1} = 5 - 0.75 - 0.75 = 3.5V = V_H$$

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

$$\Rightarrow F = \overline{A+B}$$

$$\Rightarrow V_{B4} = V_{BE3} + V_{CES2(6)} = 0,75 + 0,2 = 0,95V \Rightarrow \text{insufficient pt a}$$

$\Rightarrow T_4$  blocat

deschide 2 jocuri ( $V_{BE4}, V_D$ )

$$\text{b) } V_A = V_H, V_B = V_L \xrightarrow{\text{new}} V_A = V_L, V_B = V_H$$

$\cdot V_{B1}$  se limitează la 3 căderi pe jocuri:

$$V_{B1} = V_{BC1} + V_{BE2} + V_{BE3} = 3 \times 0,75 = 2,25V$$

$\downarrow$   
 $T_2, T_3$  sunt saturati  
 $T_4 \rightarrow$  blocat

$$\cdot V_{B4} = V_{B2} + V_{CES2} = 0,95 \text{ insufficient pt a}$$

deschide 2 jocuri  $\Rightarrow T_4$  blocat

$$\cdot V_{B5} = V_B + V_{BE5} = 0,2 + 0,75 = 0,95V$$

insufficient pt a deschide 2 jocuri

[  $V_{BC5}$ ;  $V_{BE6}$  ]

$\rightarrow T_C$  blocat

blocat

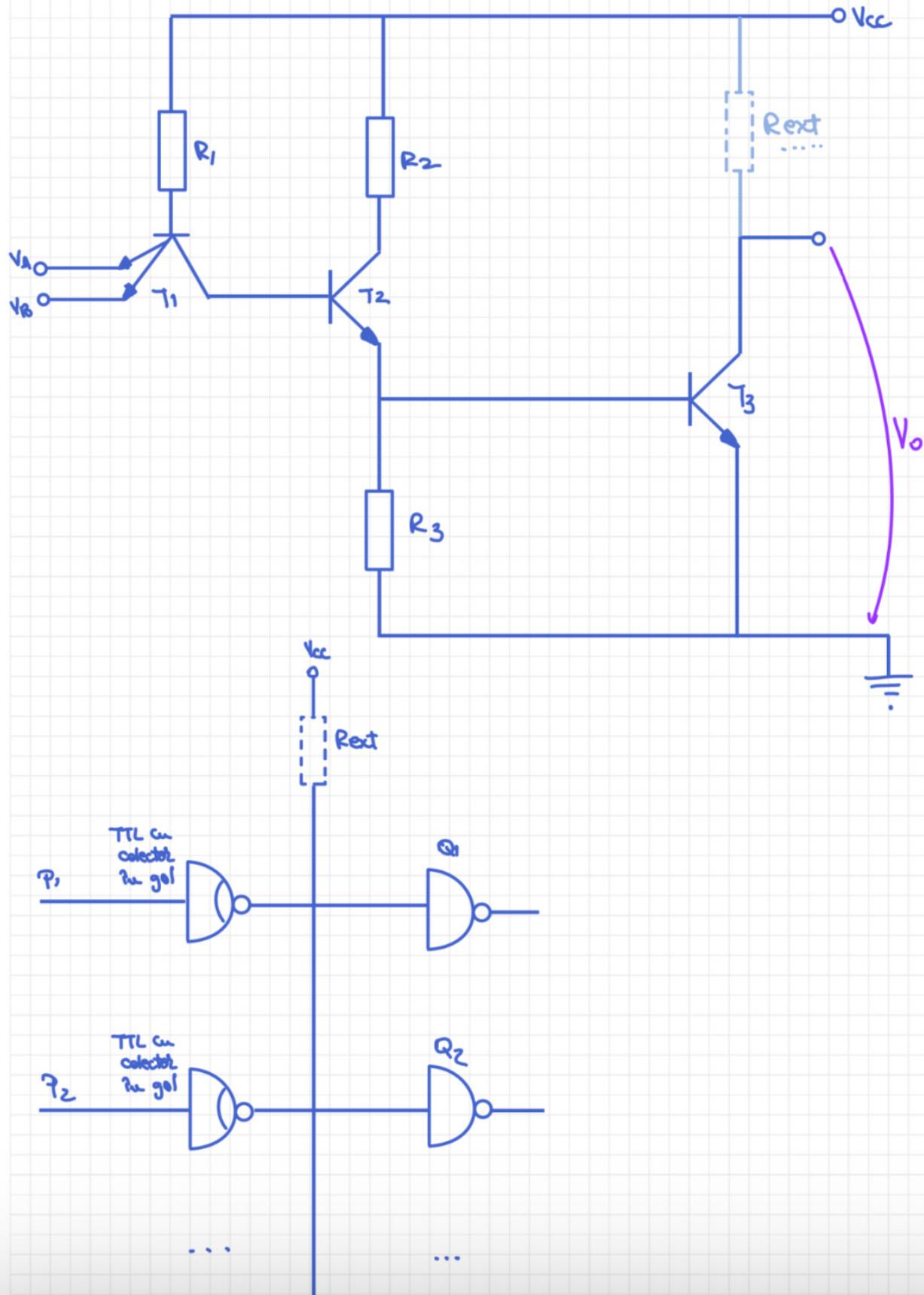
2 transistori paraleli, unul blocat, dreptea o scufundare

$$V_{B5} = V_{BC5} + V_{BE5} + V_{BE3} \Rightarrow T_3 \text{ saturat } (T_6 \text{ saturat}) \Rightarrow V_L$$

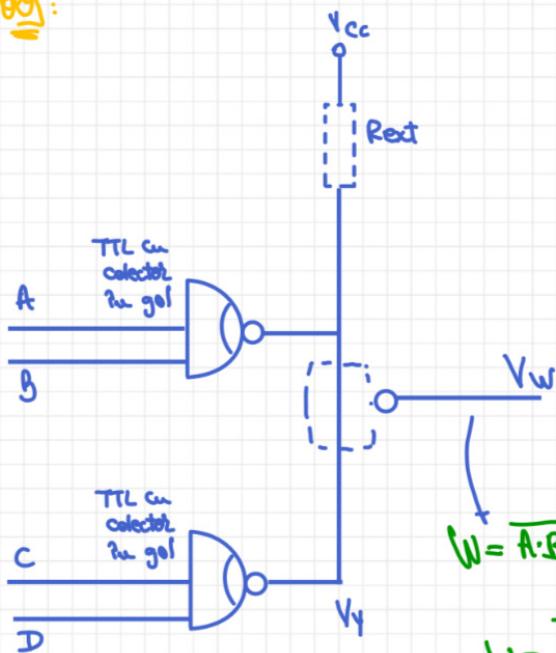
$$\text{c) } V_A = V_B = V_L$$

$$V_{B1} = V_{B5} - V_L + V_{BE(2,6)} = 0,95V \text{ insufficient pt a saturare 3 jocuri}$$

## Poarta TTL cu collector în Gol



8:



V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>w</sub>
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

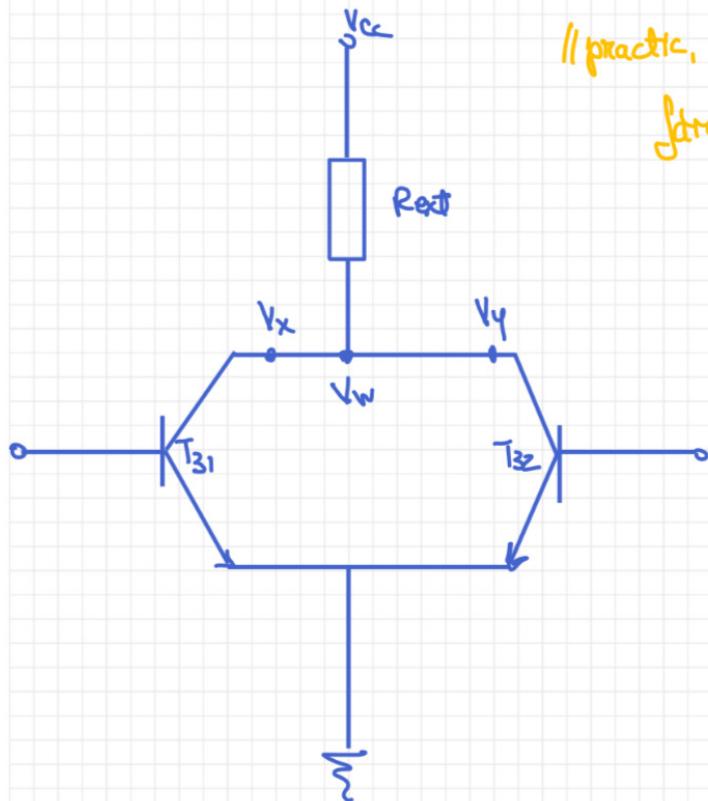
// Saturatul trage la măsă

$$\Rightarrow V_w = X \cdot Y$$

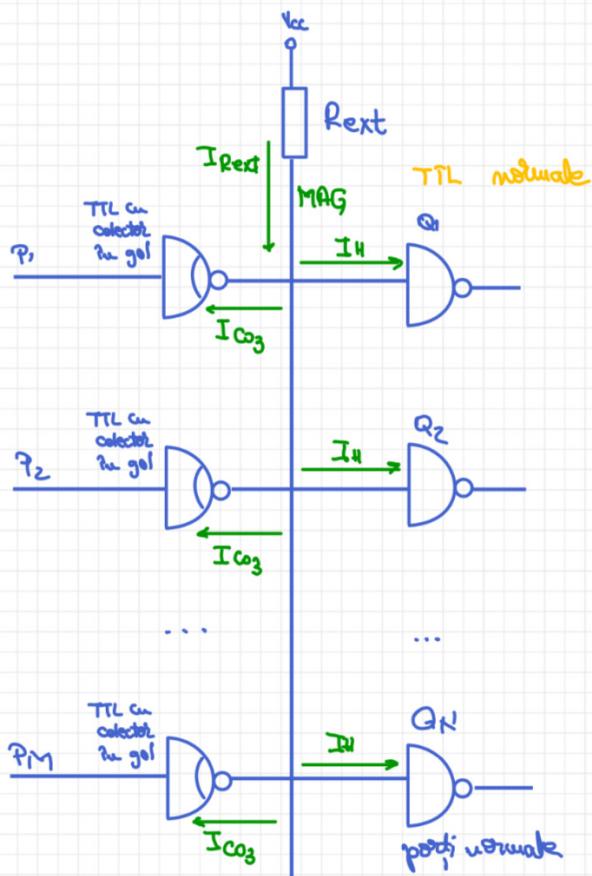
Să - cablat

$$W = \overline{\overline{A} \cdot B + \overline{C} \cdot \overline{D}} = \overline{A \cdot B + C \cdot \overline{D}}$$

// practic, fără circuit, fără consum,  
fără timp



Calcularea rezistenței la TTL cu colector în gol



$$R_{ext} = ?$$

a) pe MAG avem  $V_{H1}$  (V<sub>H</sub> min) cnd.

basele T3 blocate

$$\rightarrow R_{ext} = \frac{V_{cc} - V_{MAG}}{M \cdot I_{CO3} + N \cdot I_{IH}}$$

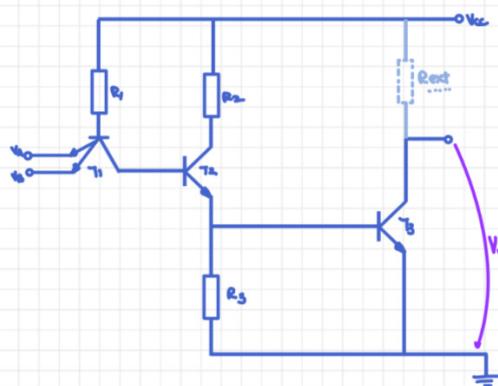
Ex:  $V_{cc} = 5V$

$$V_{MAG} = V_{OH\ min} = 2,4V$$

$$I_{CO3} = 200 \mu A$$

$$I_{IH} = 40 \mu A$$

$$M = 5, N = 4$$



$$\Rightarrow R_{ext} = \frac{5 - 2,4}{(5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,04) \cdot 10^{-3}} =$$

$$= \frac{2,6}{1,16} = \frac{2600}{1,16} \approx 2,25 k\Omega$$

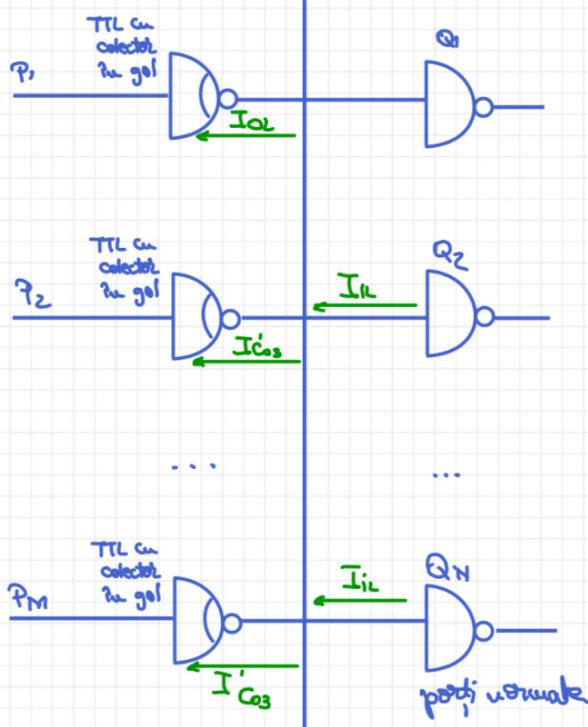
b) pe MAG avea  $V_L$  (cel mai defavorabil :  $V_{OLmax}$ )



• pozări (cu cel. în ge) fixează  $V_{OLmax}$

celelalte  $M-1$  au  $T_3$  blocat

$T_3$  bat  
fie  $P_1$



$$\Rightarrow R_{ext} = \frac{V_{cc} - V_{MAG}}{I_{OL} + (M-1) I_{C0}^{'}} - N \cdot I_{IL}$$

$$\text{ex: } V_{MAG} = V_{OLmax} = 0,4 \text{ V}$$

$$I_{OL} = 16 \mu\text{A}$$

$$I_{C0}^{'} = 40 \mu\text{A}$$

$$I_{IL} = 1,6 \mu\text{A}$$

plasat pe desen

$$\left. \begin{aligned} \Rightarrow R_{ext} &= \frac{5 - 0,4}{(16 + 40 \cdot 10^{-6} - 1,6) \cdot 10^{-3}} = \\ &= \frac{4,6}{(16,16 - 0,64) \cdot 10^{-3}} = \end{aligned} \right\}$$

$$\approx 0,45 \text{ k}\Omega$$

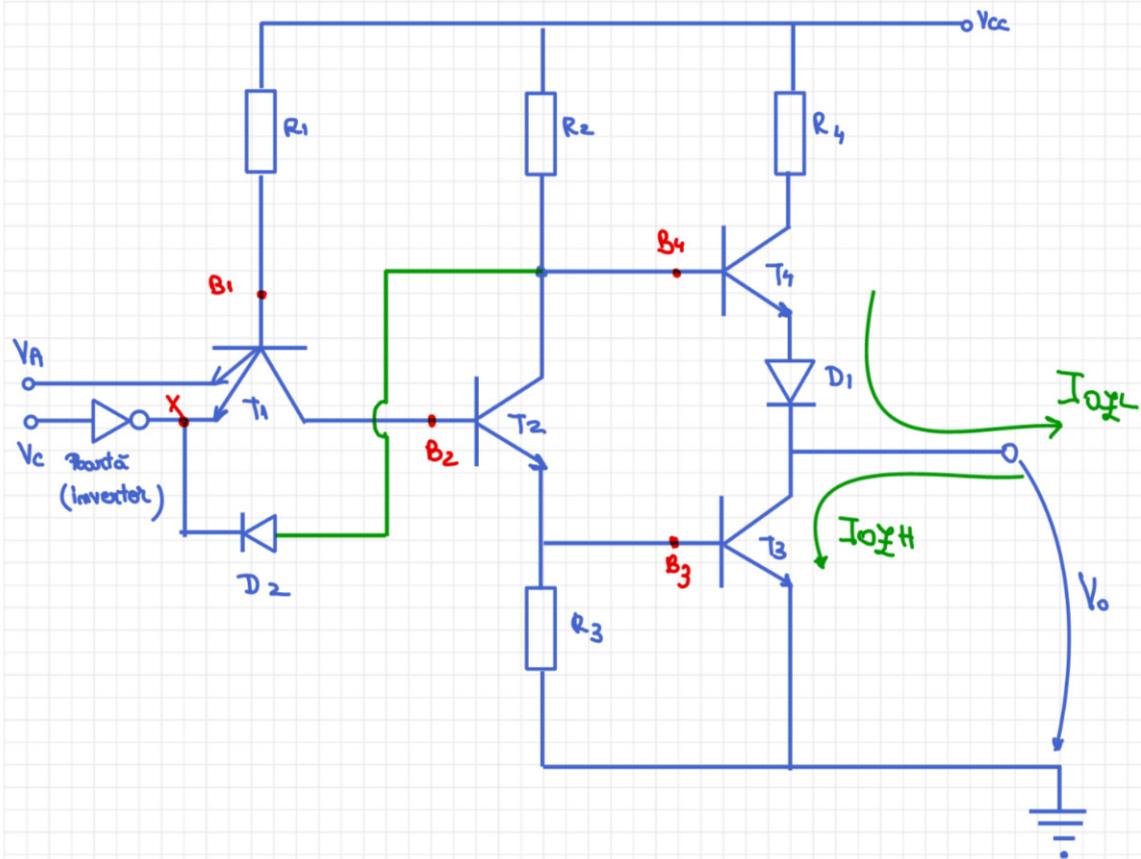
$$\Rightarrow 0,45 \text{ k}\Omega \leq R_{ext} \leq 2,25 \text{ k}\Omega$$

$R_{ext} \geq R_4 = 130 \Omega$

: are performanțe infernare pt. că rezistența e mai mare

TTL cu impedanță ridicată la ieșire

- folosita cu precădere pt. a comanda magistrale
- pe circuit există un singur comandant



$$\textcircled{A} \quad V_C = V_L = 0,2V$$

$$V_X = V_H = 3,5V$$

$$\textcircled{1} \quad V_A = V_L = 0,2V$$

$$V_{B1} = V_L + V_{BE1} = 0,2 + 0,75 = 0,95V \quad (\text{insuficient de a deschide } 3 \text{ joniuni})$$

$$V_{BC1} + V_{BE2} + V_{BE3} \rightarrow \text{minim } 3 \times 0,75 = 2,25V$$

$\Rightarrow T_2, T_3$  blocat

$$V_{B2} = V_{B1} - V_{BC1} = 0,95 - 0,75 = 0,2V \Rightarrow T_2 \text{ blocat} \Rightarrow I_{E2} \text{ neglijabil}$$

$$\Rightarrow V_{B3} = 0V \Rightarrow T_3 \text{ blocat}$$

$$V_{B4} \approx V_{CC} \quad (I_{C2} \text{ neglijabil})$$

$$V_0 = V_{B4} - V_{BE4} - V_{D1} = 5 - 0,75 - 0,75 = 3,5V \Rightarrow V_H \Rightarrow T_4 \text{ cond.}$$

$$\textcircled{2} \quad V_A = V_H = 3,5V$$

$$V_{B1} \geq V_{CC} \text{ dar, pt. } V_{B1} = V_{BC1} + V_{BE2} + V_{BE3} = 3 \times 0,75 = 2,25V$$

$V_{B1}$  se limiteaza la 2,25V  $\Rightarrow T_1$  regim invers

pt. ca  $j_{BE1}$  pol invers si

$j_{BC1}$  pol direct.

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

$$V_{B3} = V_{B2} - V_{BE2} = 1,5 - 0,75 = 0,75V \Rightarrow T_3 \text{ saturat} \Rightarrow V_0 = V_{CE3} = 0V = V_L$$

$$V_{B4} = V_{B3} + V_{CE4} = 0,75 + 0,2 = 0,95V$$

insuficient de a deschide 2 joniuni ( $j_{BE4}$  si  $j_{D1}$ )

$$\text{minim } 2 \times 0,75 = 1,5V \Rightarrow T_4 \text{ blocat}$$

$$\textcircled{2} \quad V_C = V_H = 3,5V$$

$$V_X = V_L = 0,2V$$

$\Rightarrow$  Valoarea lui  $V_A$  nu contează ( dpd v logic)

$$V_{B_1} = V_X + V_{BE_1} = 0,2 + 0,75 = 0,95V$$

Insuficient de a deschide 3 fonec:  $j_{Bc_1} + j_{BE_2} + j_{BE_3}$

$\Rightarrow T_2, T_3$  blocati

$$\bullet V_{B_2} = V_X + V_{D_2} = 0,2 + 0,75 = 0,95V$$

Insuficient de a deschide 2 fonec:  $j_{BE_4}, j_{D_1} \rightarrow T_4$  blocat

$V_A$	$V_C$	$V_O$
$V_L$	$V_L$	$V_H$
$V_H$	$V_L$	$V_L$
$V_L$	$V_H$	$V_Z$
$V_H$	$V_H$	$V_Z$

$\Rightarrow V_Z \rightarrow$  valoare NEDEFINITĂ