

CIRCUITE ELECTRONICE FUNDAMENTALE

- **2 C**
- **2 L**
- **1 S**



Obiectiv

Dezvoltarea abilităților pentru

- analiza și înțelegerea **principiilor de funcționare** ale circuitelor electronice fundamentale
- **utilizarea dispozitivelor** în diverse circuite electronice
- **analiza și (re)proiectarea** de circuite electronice



<http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/cef/>



Tematica CEF

- ◆ Circuite logice cu tranzistoare Amplificatoare
- ◆ fundamentale cu tranzistoare
- ◆ Surse și oglinzi de curent
- ◆ Amplificatoare de putere
- ◆ Circuite cu reacție
- ◆ Stabilizatoare de tensiune continuă
- ◆ Oscilatoare sinusoidale
- ◆ Generatoare de semnale nesinusoidale

Evaluare

Laborator (**L**)

0 ... 10 puncte

- prezență integrală
- activitate

Examen (**E**)

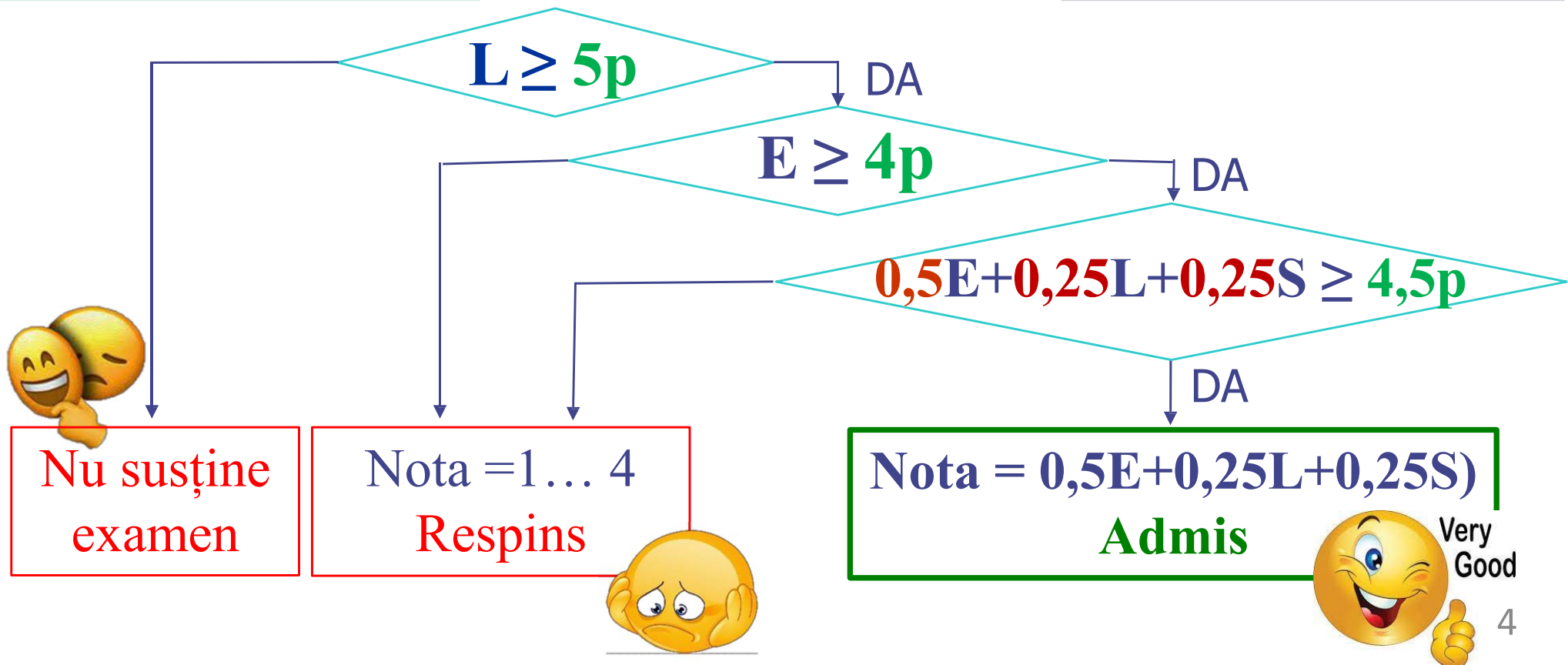
0 ... 10 puncte

- rezolvare probleme

Seminar (**S**)

0 ... 10 puncte

- prezență
- activitate





Exemple

Ex 1

$$E = 8; L = 10; S = 9$$

$$0,5 \cdot 8 + 0,25 \cdot 10 + 0,25 \cdot 9 = 8,75; \quad \text{Nota finala (cu rotunjire): } \mathbf{9}$$

Ex 2

$$E = 4; L = 8,5; S = 2$$

$$0,5 \cdot 4 + 0,25 \cdot 8,5 + 0,25 \cdot 2 = 4,625; \quad \text{Nota finala (cu rotunjire): } \mathbf{5}$$

Ex 3

$$E = 4; L = 6; S = 3$$

$$0,5 \cdot 4 + 0,25 \cdot 6 + 0,25 \cdot 3 = 4,25; \quad \text{Nota finala (cu rotunjire): } \mathbf{4}$$

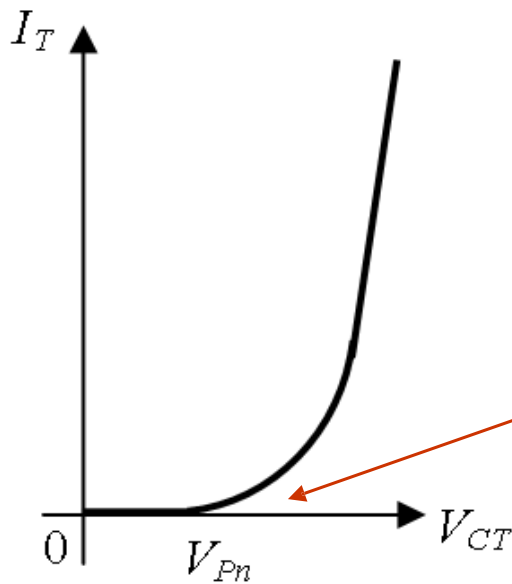
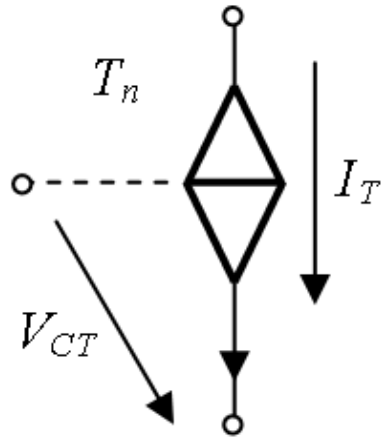


Tranzistoare - Recapitulare

Tranzistorul – sursă de curent comandată prin tensiune

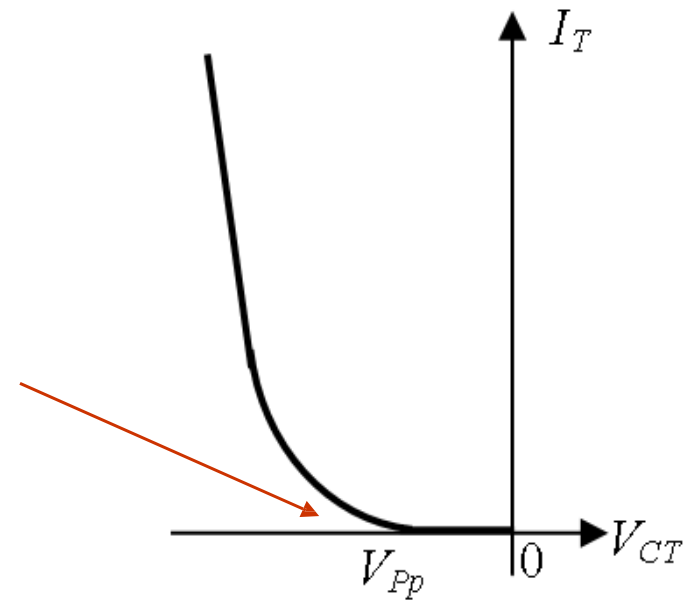
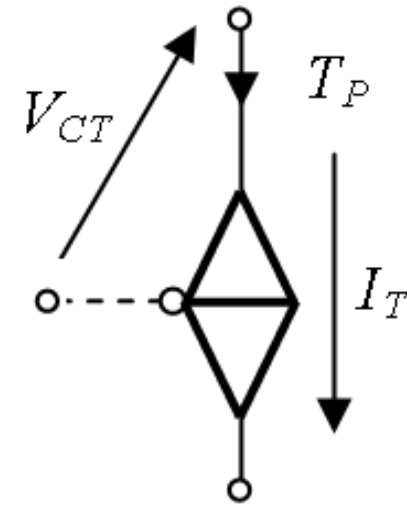
Tip n

TECMOS
cu canal n
TB npn



Tip p

TECMOS
cu canal p
TB pnp



**Tensiune
de prag**

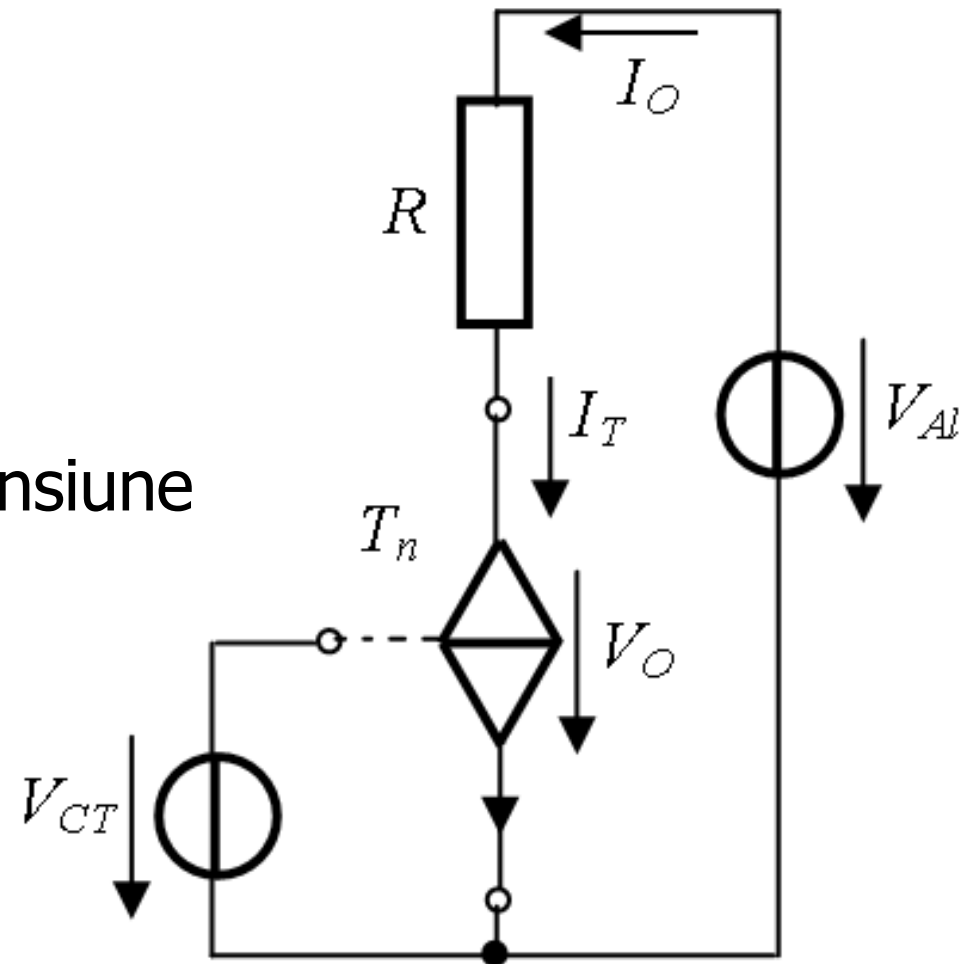


Utilizarea în circuit a tranzistorului T_n

Mărimi de ieșire: I_O , V_O

CST: $I_O(V_{CT})$, $V_O(V_{CT})$

- alimentare serie cu sursa de tensiune





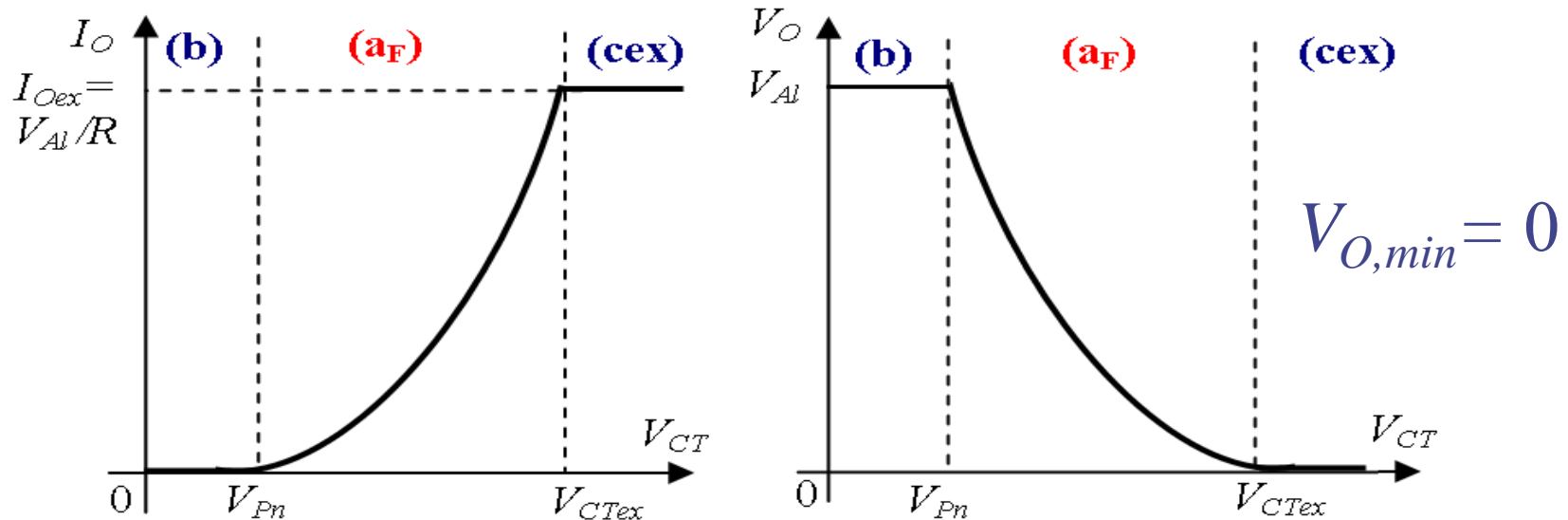
Caracteristici de transfer, T_n

- $V_{CT} < V_{Pn}$, T_n – blocat, $I_O = I_T = 0$
- $V_{CT} > V_{Pn}$, T_n – conduce, $I_O = I_T > 0$

$$V_{Al} = RI_O + V_O ; V_O = V_{Al} - RI_O$$

$$V_{CT} \uparrow, I_O \uparrow, V_O \downarrow$$

$$I_{Oex} = \frac{V_{Al}}{R}$$

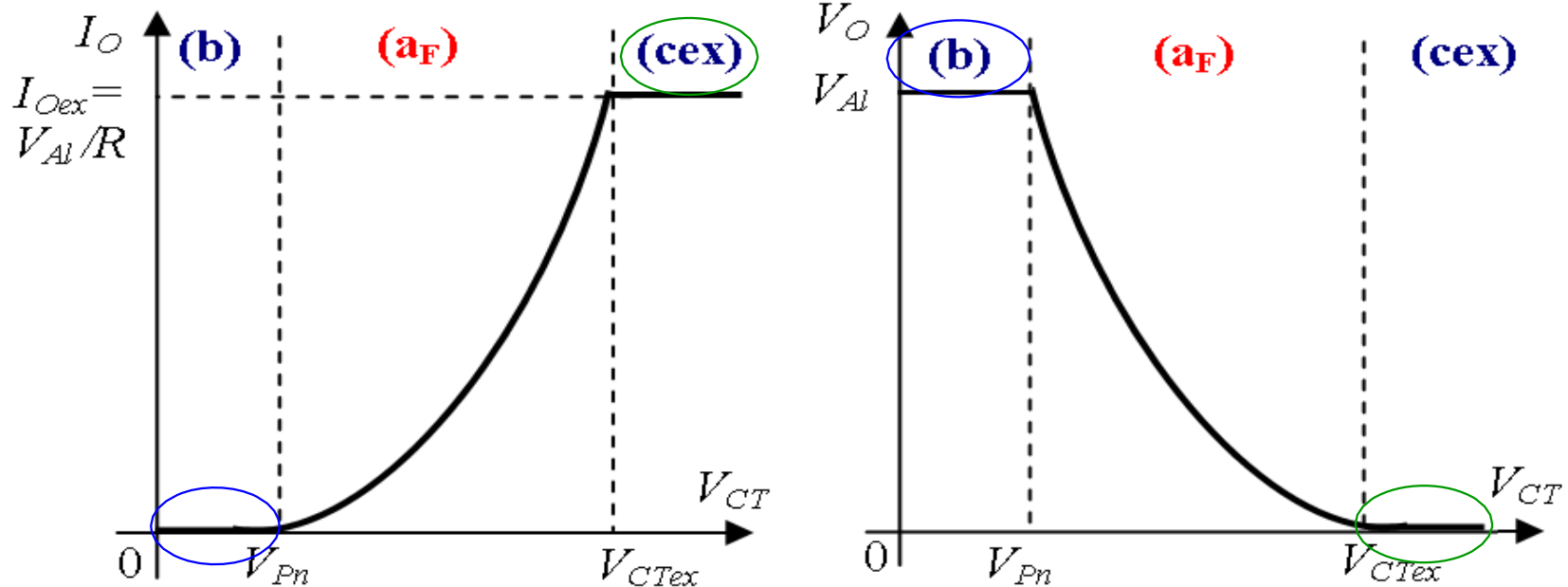




Regim de comutare

- circuite logice
- circuite de comutare

T_n



2 regiuni extreme, pasive:

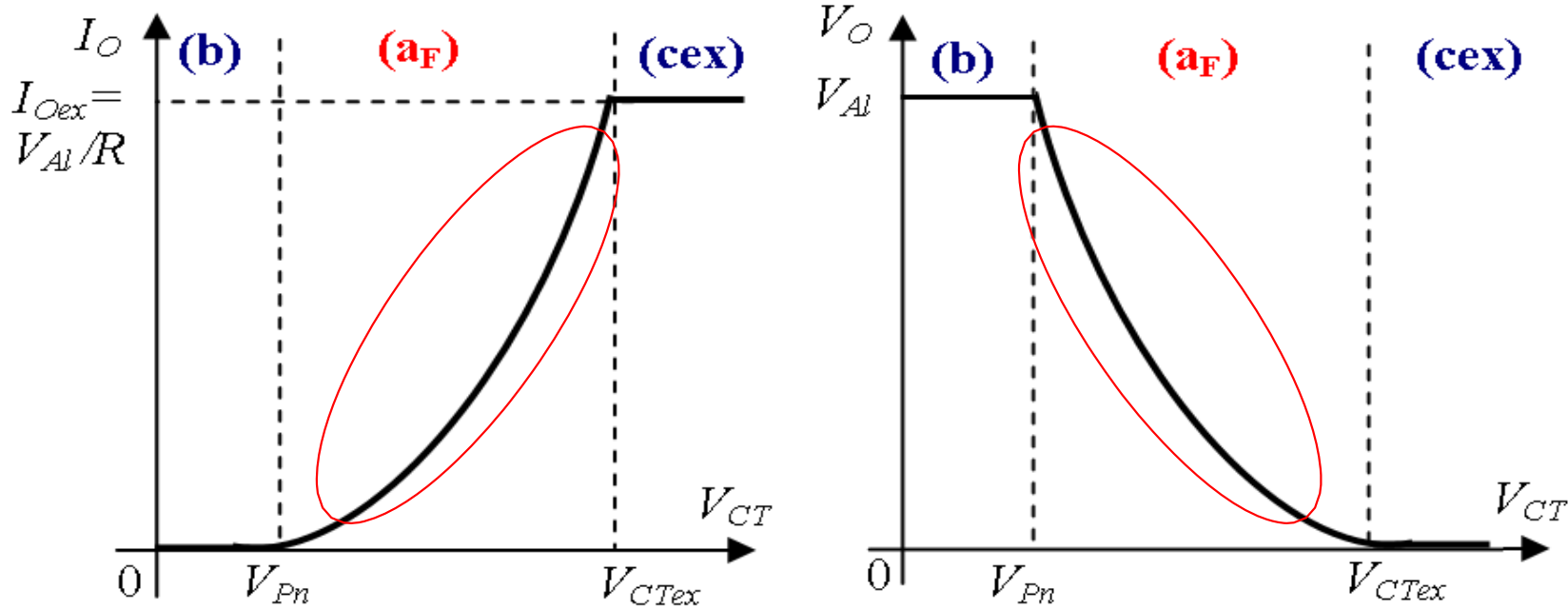
Blocare (b)	$V_{CT} < V_{Pn}$	$I_O = 0$	$V_O > 0$	comutator ideal in stare blocata
Conductie extrema (cex), (c)	$V_{CT} > V_{CTex}$	$I_O = I_{Oex}$	$V_O = 0$	comutator ideal in stare de conductie



Regim de conducție permanentă

- amplificatoare
- sursă de curent
- rezistență comandată

T_n



0 regiune intermediară – regiunea activă directă

Conducție intermediară

$$V_{CT} \in (V_{Pn}; V_{CTex})$$

$$I_O = f(V_{CT}, \dots)$$

$$V_O = f(V_{CT}, \dots)$$

Polarizare într-un PSF (Q), prin fixarea V_{CT}



Mai multă recapitulare despre tranzistoare

Tranzistoare bipolare (TB)

 http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/de/DE_Curs10.pdf

Tranzistoare cu efect de camp (TECMOS)

 http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/de/DE_Curs11.pdf

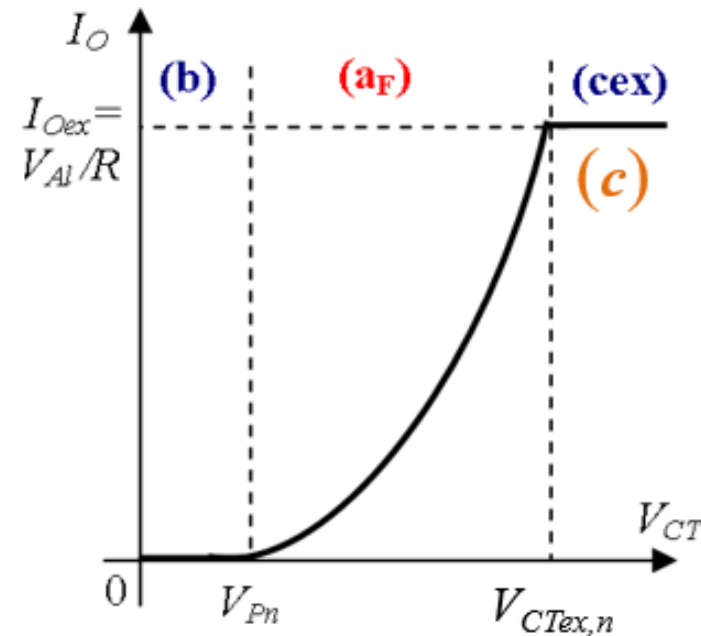
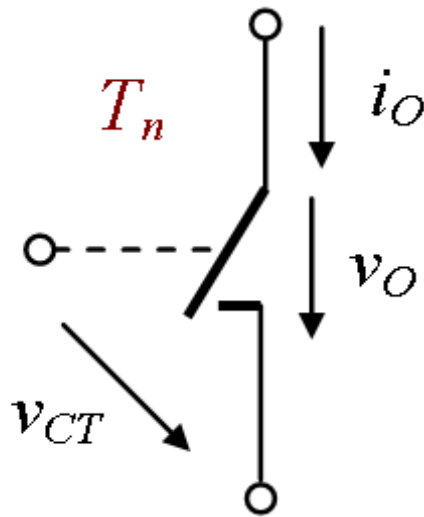


Circuite logice cu tranzistoare

T - funcționare în comutare

- model: întrerupător comandat

T_n



$$V_{pn} > 0V$$

$$v_{CT} > V_{CTex,n}; T- (c); i_O > 0; v_O \approx 0$$

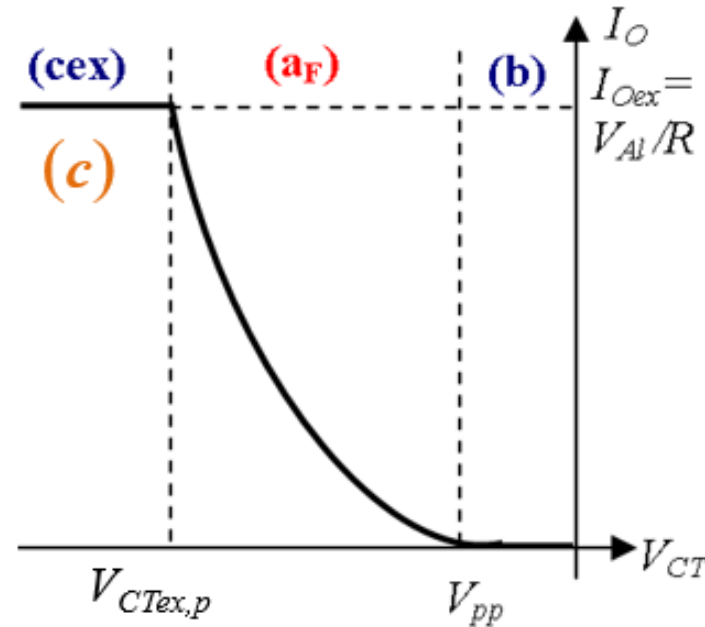
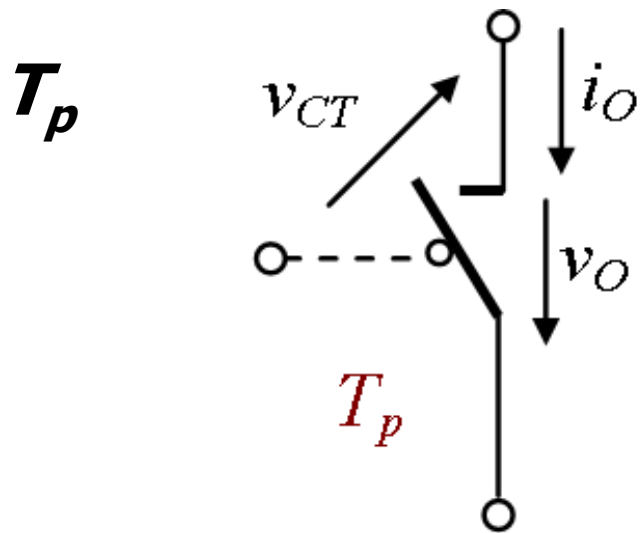
$$v_{CT} < V_{Pn}; T- (b); i_O = 0; v_O = V_{Al}$$

v_{CT}	T_n
L (Low)	(b)
H (High)	(c)



T - funcționare în comutare

- model: întrerupător comandat



$$V_{pp} < 0V$$

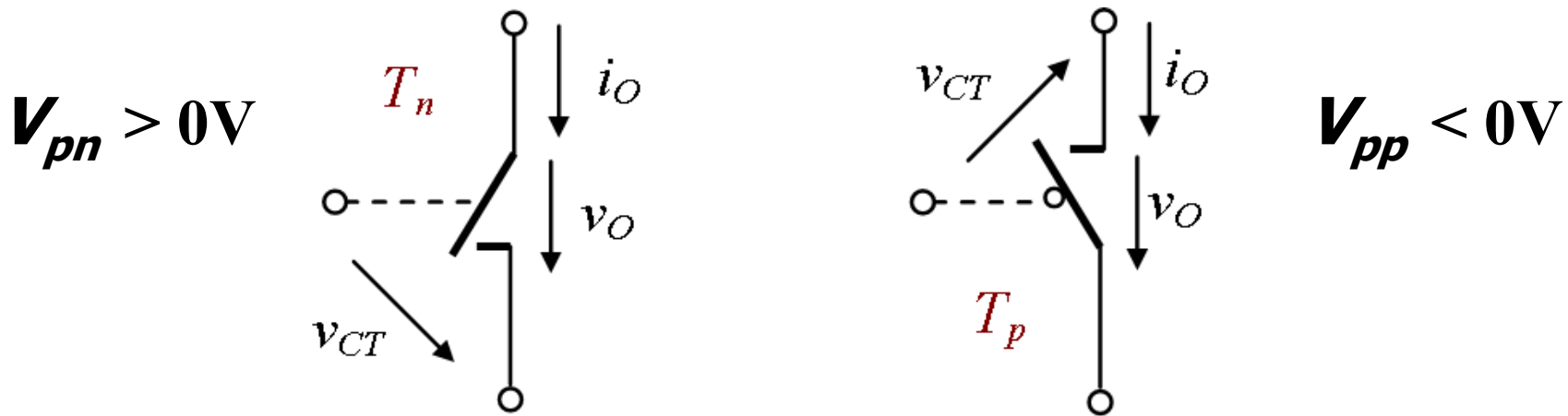
$$v_{CT} > V_{pp}; T - (b); i_O = 0; v_O = V_{Al}$$

$$v_{CT} < V_{CTex,p}; T - (c); i_O > 0; v_O \approx 0$$

v_{CT}	T_p
L (Low)	(c)
H (High)	(b)



T - funcționare în comutare - model: întrerupător comandat



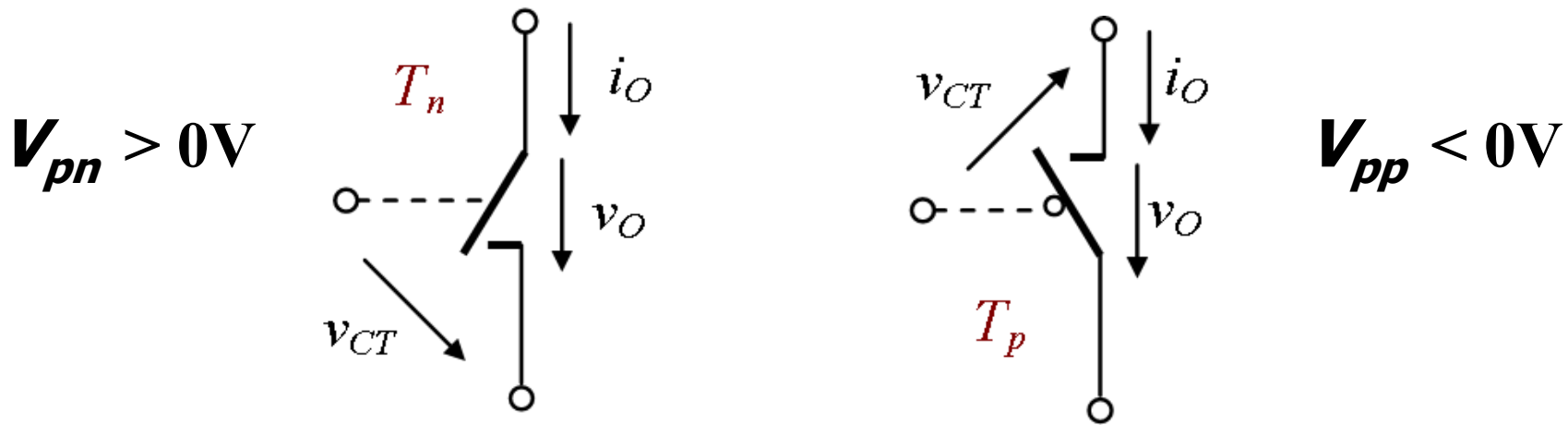
v_{CT}	T_n	T_p
L (Low)	(b)	(c)
H (High)	(c)	(b)

Intrerupatoarele comandate T_n si T_p sunt **complementare**



T - funcționare în comutare

- model: întrerupător comandat



v_{CT}	T_n	T_p
L (Low)	(b)	(c)
H (High)	(c)	(b)

Intrerupatoarele comandate T_n si T_p sunt **complementare**

In procesoarele calculatoarelor, tranzistoarele lucrează în comutare.

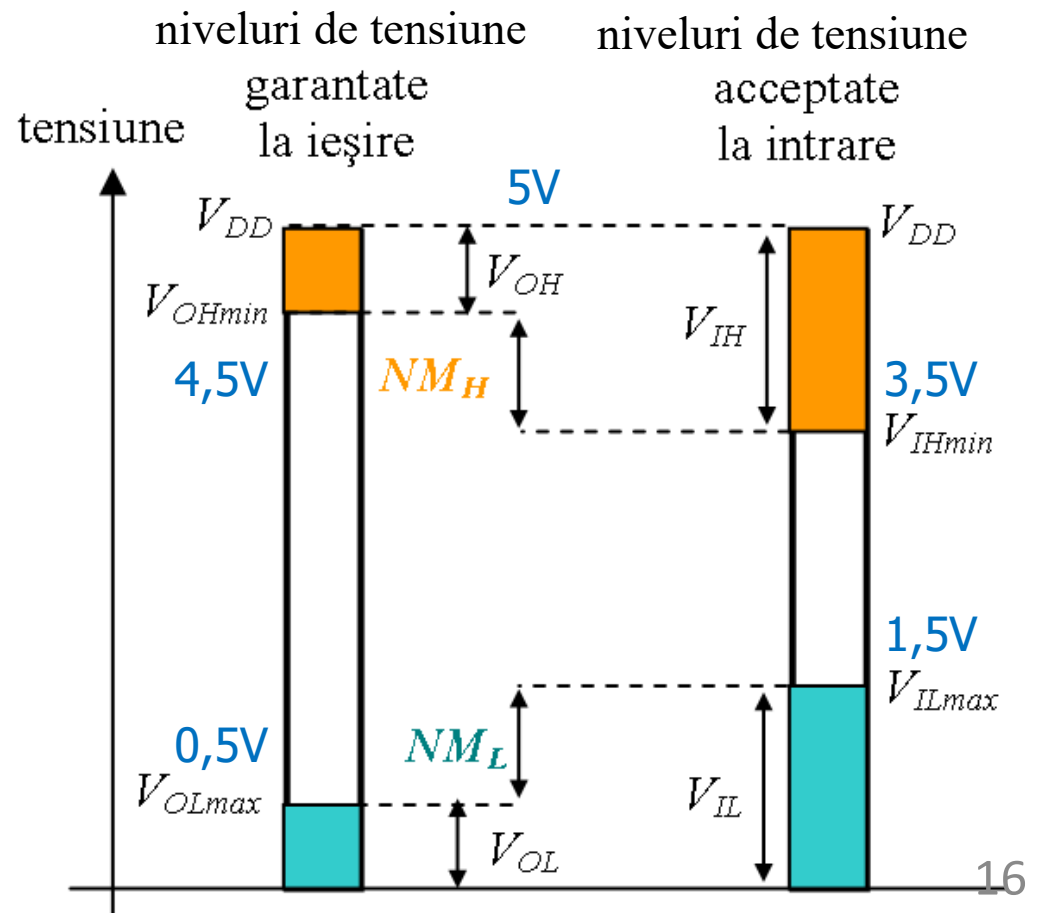
CIRCUITE LOGICE CU *TECMOS*

TECMOS - întrerupator comandat ideal

Familia logică *CMOS* – *Complementary MOS*

"0" Logic *LOW* – 0 V

"1" Logic *HIGH* – 5 V

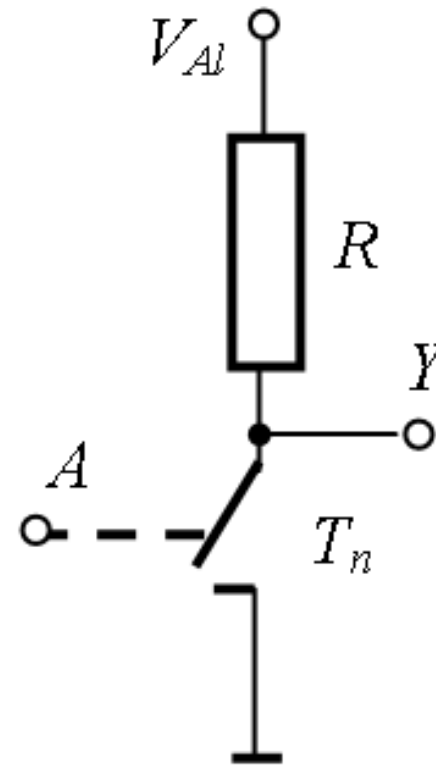
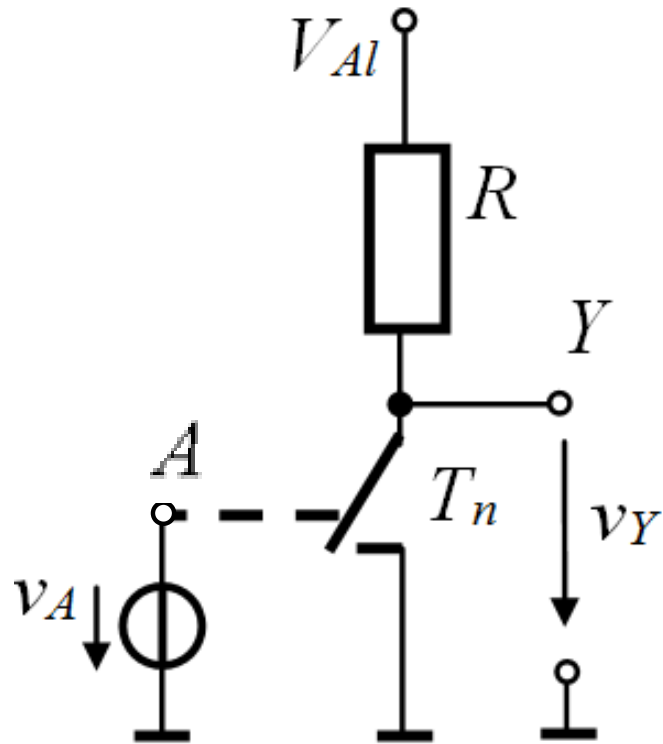




Inversorul logic

0V - 0 Logic (Low)

V_{Al} - 1 Logic (High)



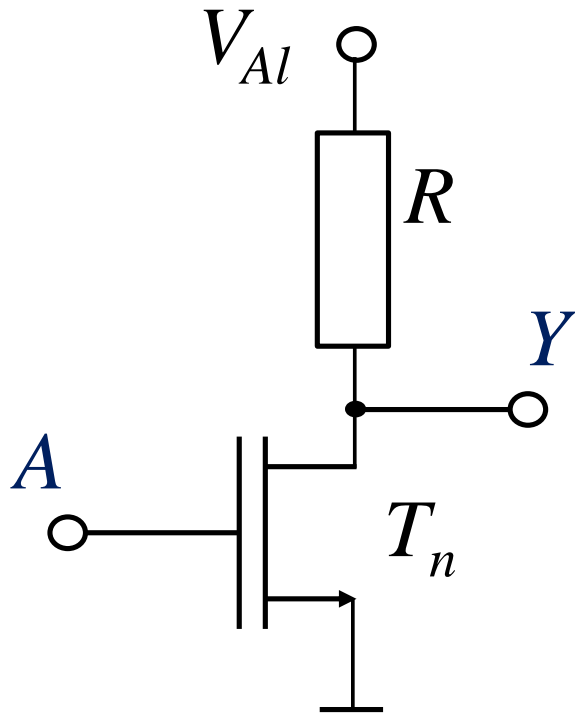
A	T_n	Y
0	(b)	1
1	(c)	0

v_A	T_n	v_y
0V	(off)	V_{Al}
V_{Al}	(on)	0



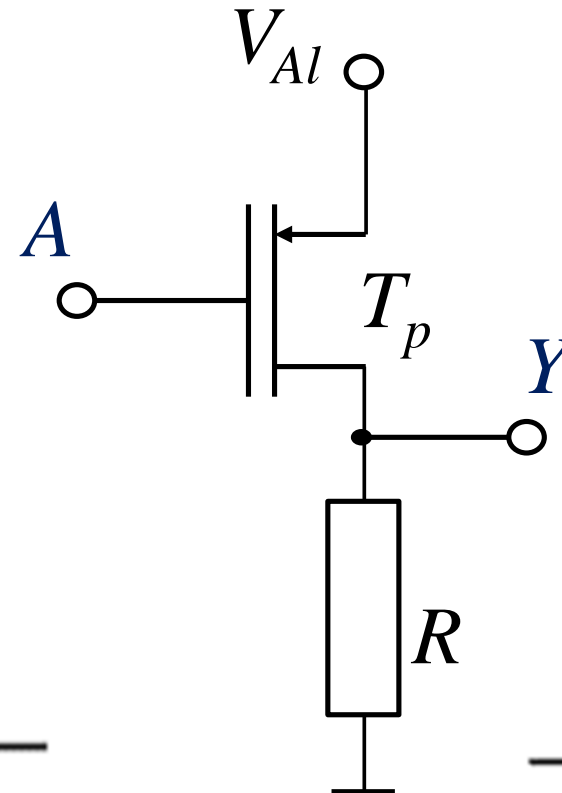
Inversorul logic cu *TMOS* și *R*

Cu *TMOS* canal *n* și *R*



<i>A</i>	<i>T_n</i>	<i>Y</i>
0	(<i>b</i>)	1
1	(<i>c</i>)	0

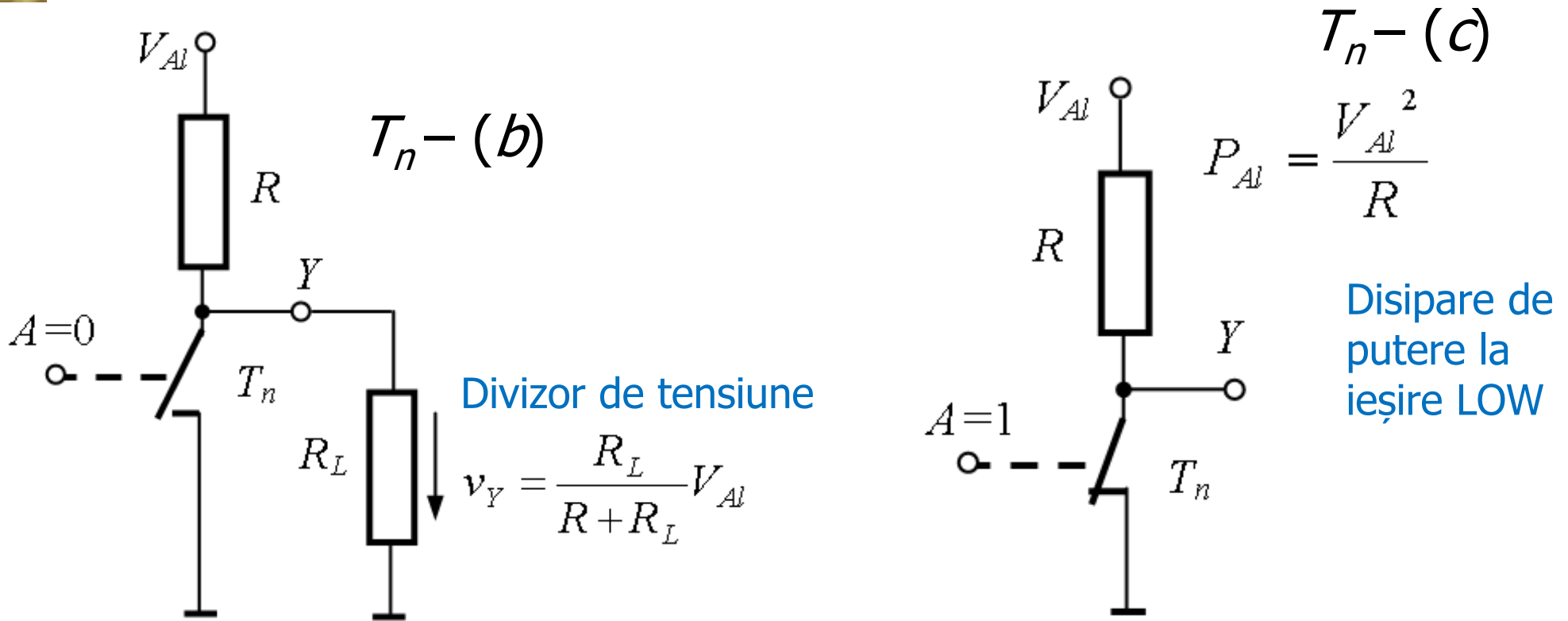
Cu *TMOS* canal *p* și *R*



<i>A</i>	<i>T_p</i>	<i>Y</i>
0	(<i>c</i>)	1
1	(<i>b</i>)	0



Dezavantaj inversor cu întrerupător comandat și R



Diminuare dezavantaj

R cât mai mică, ideal $R \rightarrow 0$;

R cât mai mare, ideal $R \rightarrow \infty$

Soluție: înlocuirea R cu întrerupător comandat

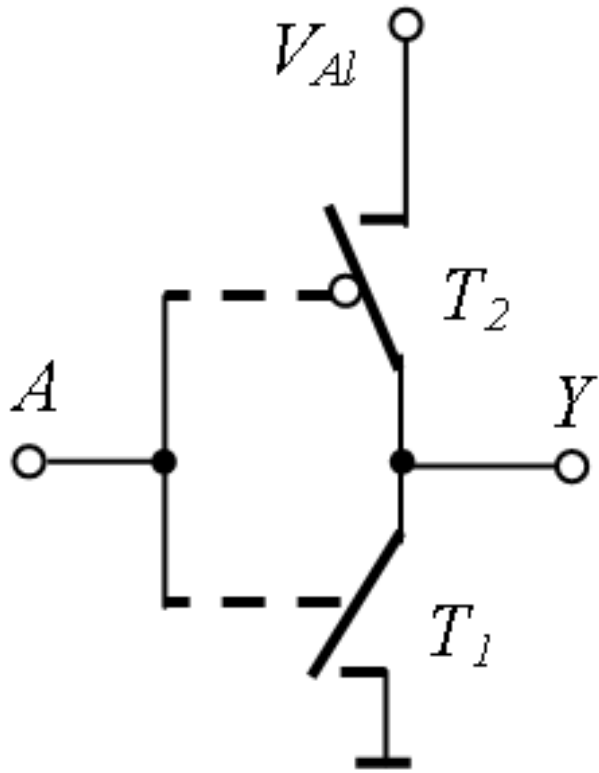


Două soluții posibile

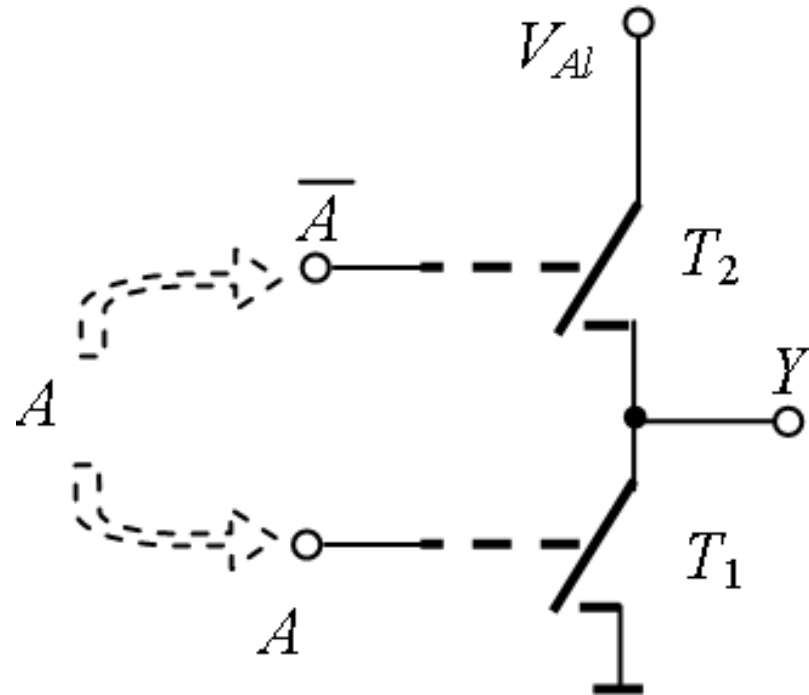
Întrerupătoare complementare

A	T_1	T_2	Y
0	(b)	(c)	1
1	(c)	(b)	0

Comandă complementară



Specifică TMOS



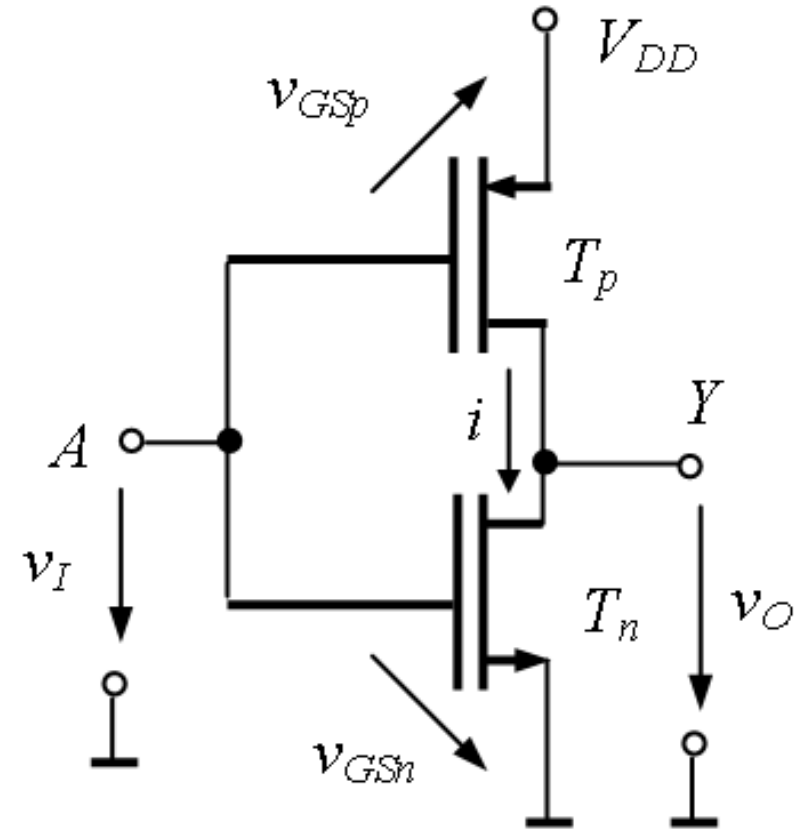
Specifică TB



Inversorul *CMOS*

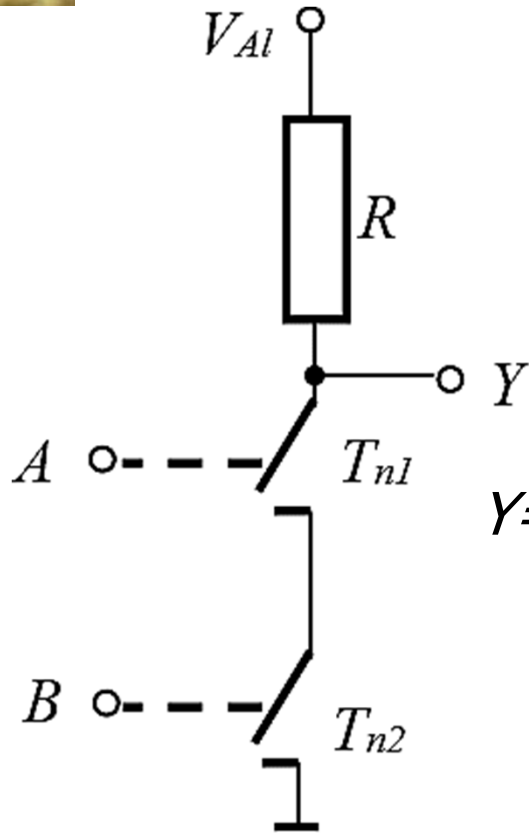
$$V_{GSn} = V_I$$

$$V_{GSp} = V_I - V_{DD}$$



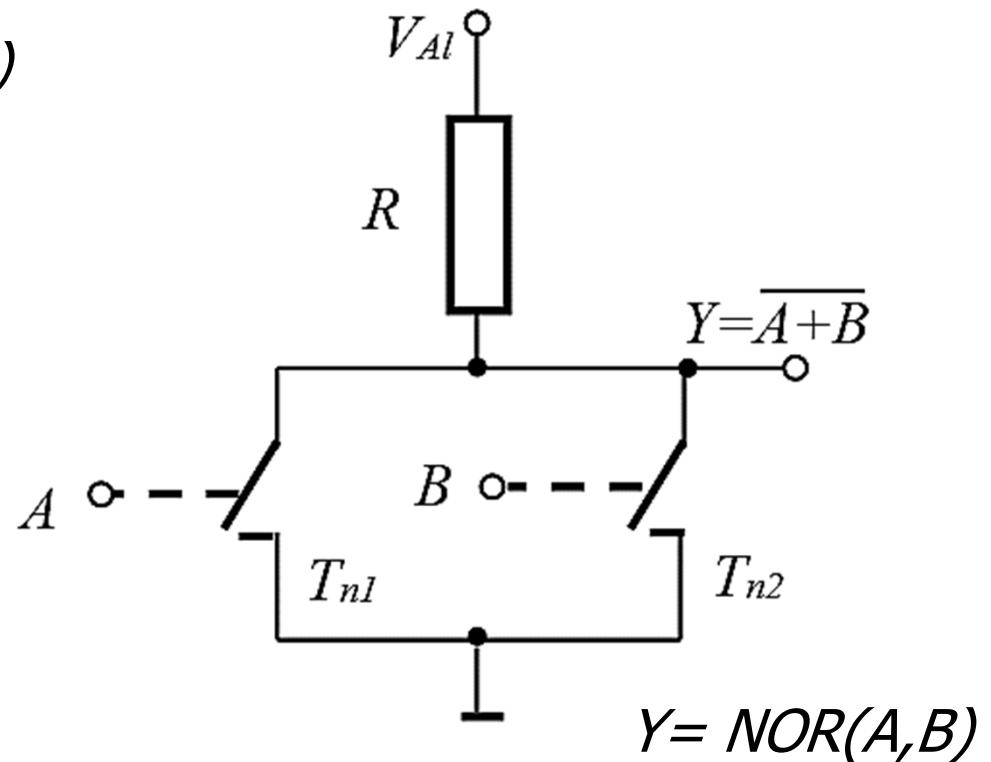
v_I	v_{GSn}	v_{GSp}	T_n	T_p	v_O
0V	$0V < V_{Pn}$	$-V_{DD} < V_{Pp}$	(b)	(c)	$\approx V_{DD}$
V_{DD}	$V_{DD} > V_{Pn}$	$0 > V_{Pp}$	(c)	(b)	$\approx 0V$

Funcții logice ȘI-NU, SAU-NU



$$Y = \text{NAND}(A, B)$$

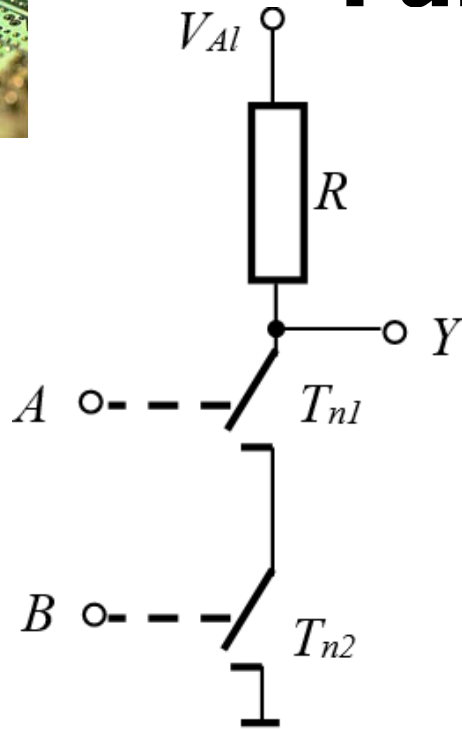
- Care este tabelul de adevăr?
- Care sunt stările comutatoarelor?
- Cum putem elimina dezavantajele cauzate de prezența rezistorului R ?



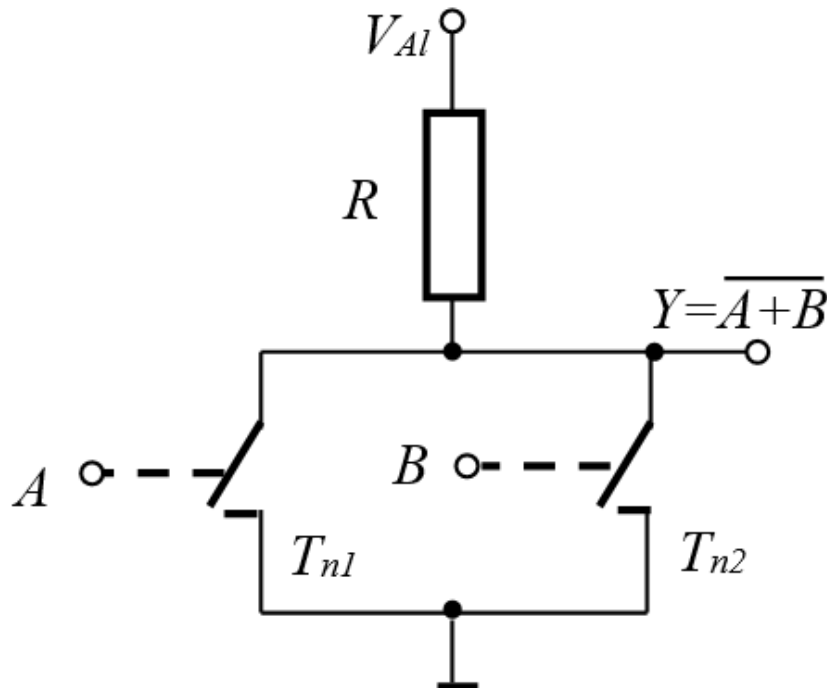
$$Y = \overline{A + B}$$



Funcții logice ȘI-NU, SAU-NU



A	B	T_{n1}	T_{n2}	$Y = \overline{A \cdot B}$
0	0	(b)	(b)	1
0	1	(b)	(b)	1
1	0	(c)	(b)	1
1	1	(c)	(c)	0



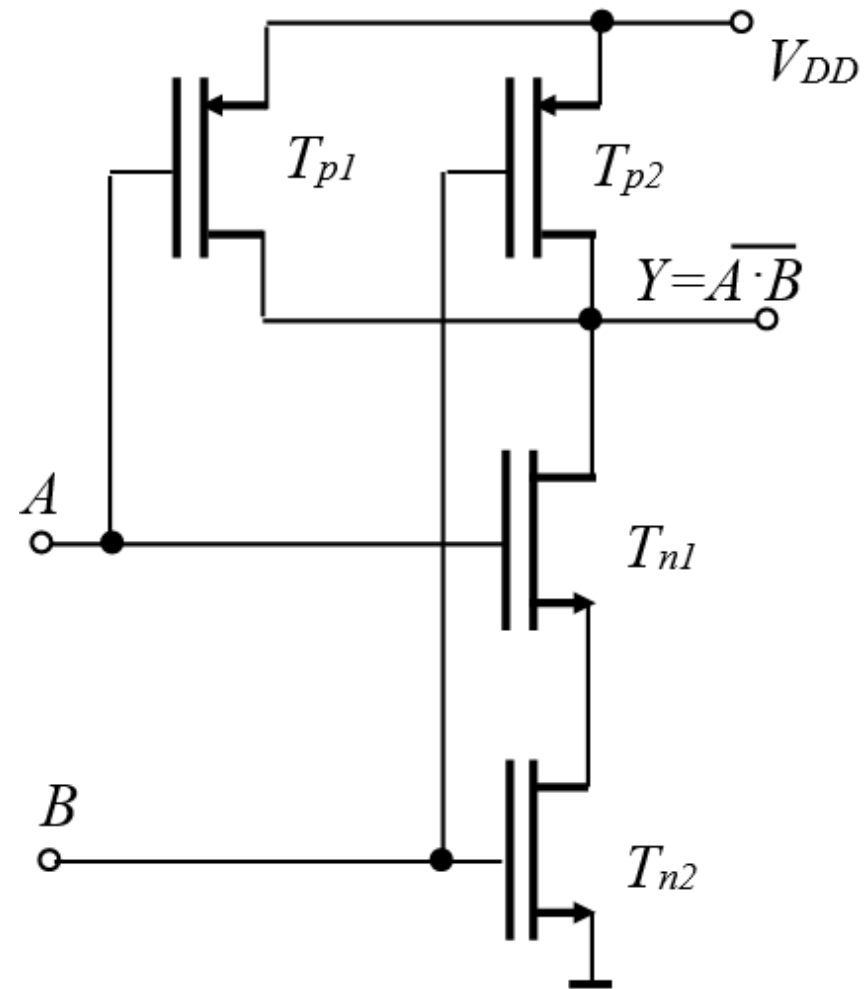
A	B	T_{n1}	T_{n2}	$Y = \overline{A + B}$
0	0	(b)	(b)	1
0	1	(b)	(c)	0
1	0	(c)	(b)	0
1	1	(c)	(c)	0



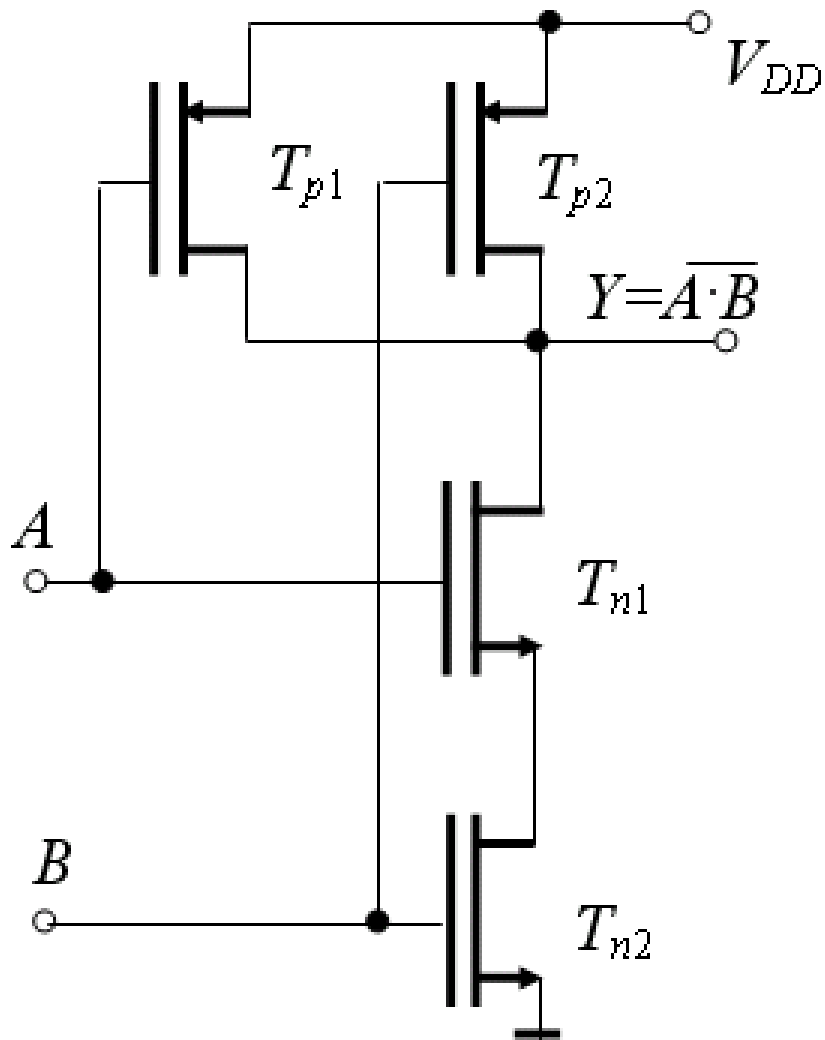
ȘI-NU în tehnologie *CMOS*

Problemă

- Care este tabelul de adevăr?
- Care sunt stările tranzistoarelor?



ȘI-NU în tehnologie *CMOS*

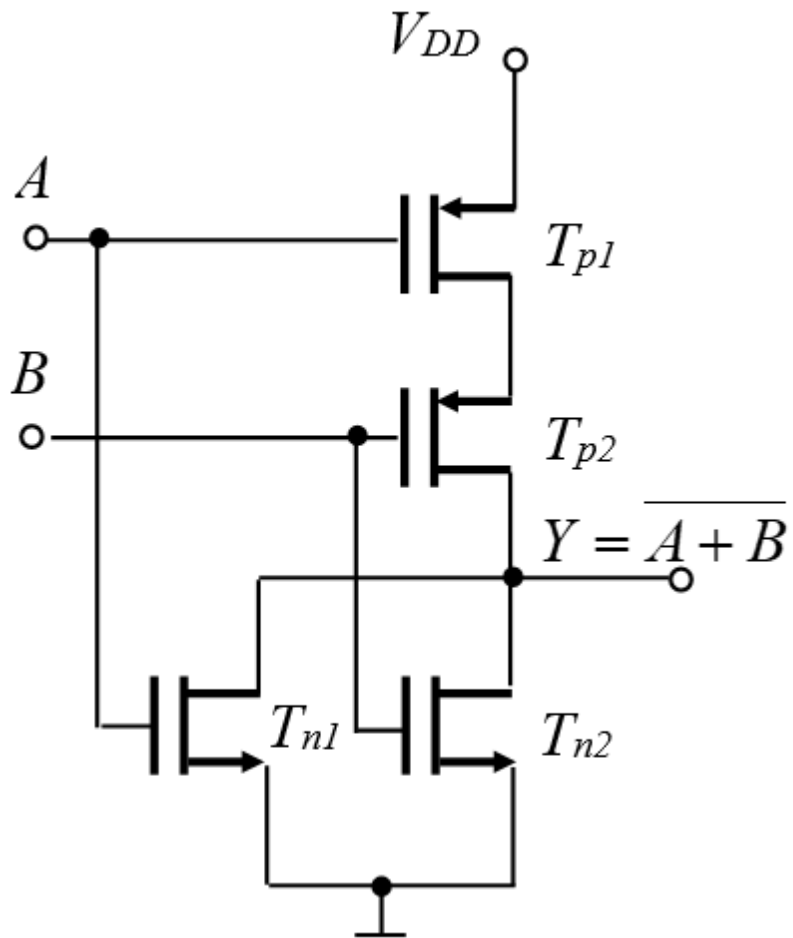


Tabelul de adevăr – *Truth table*

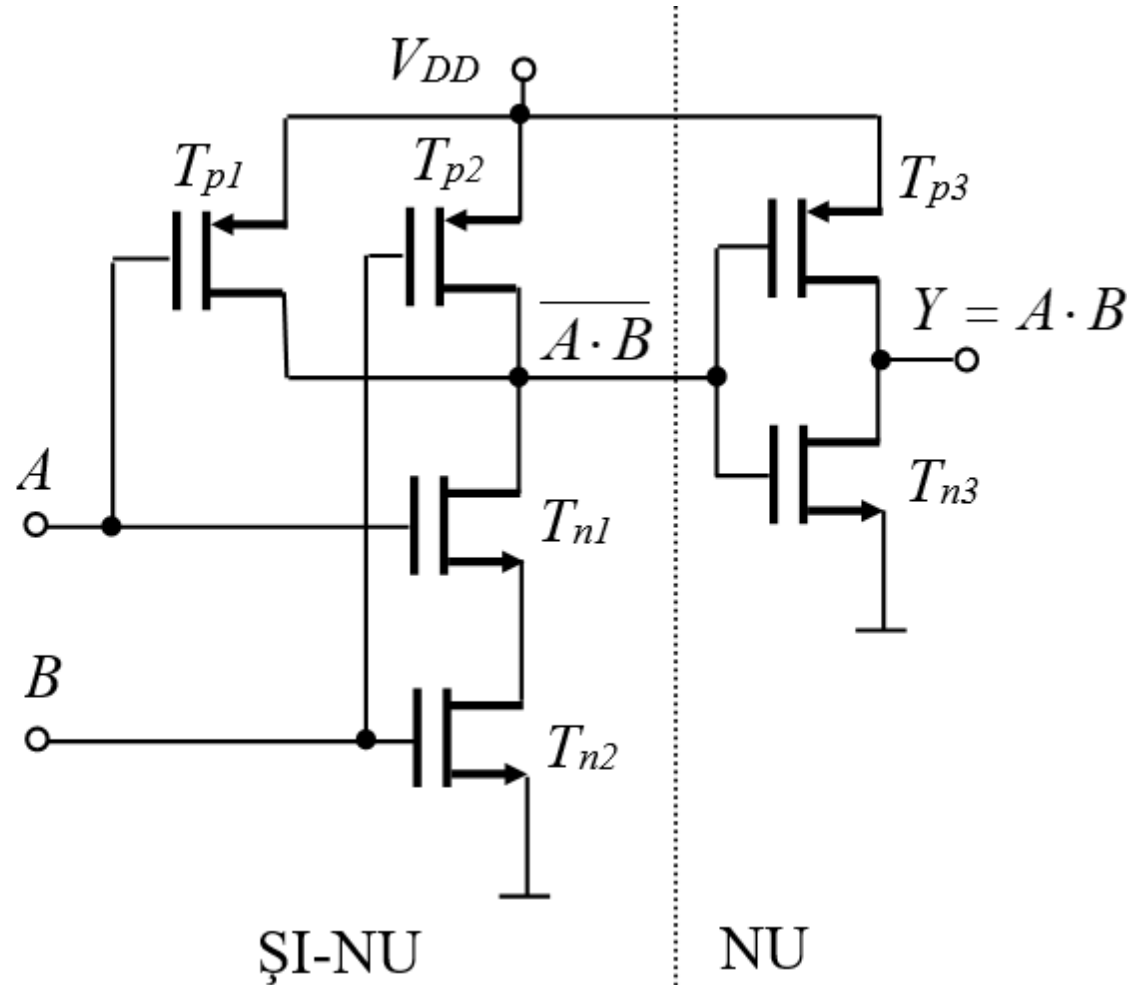
A	B	T_{n1}	T_{n2}	T_{p1}	T_{p2}	$Y = \overline{A \cdot B}$
0	0	(off)	(off)	(on)	(on)	1
0	1	(off)	(on)	(on)	(off)	1
1	0	(on)	(off)	(off)	(on)	1
1	1	(on)	(on)	(off)	(off)	0

Alte funcții logice

SAU-NU CMOS

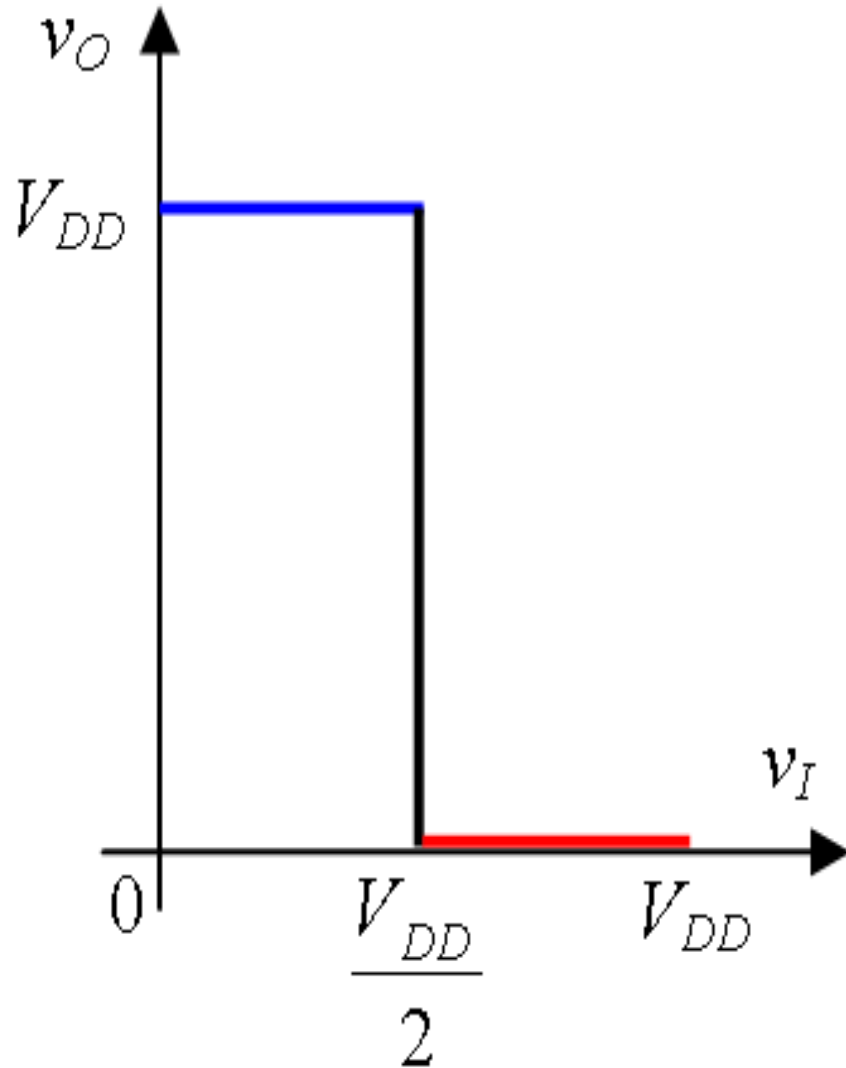


ȘI CMOS

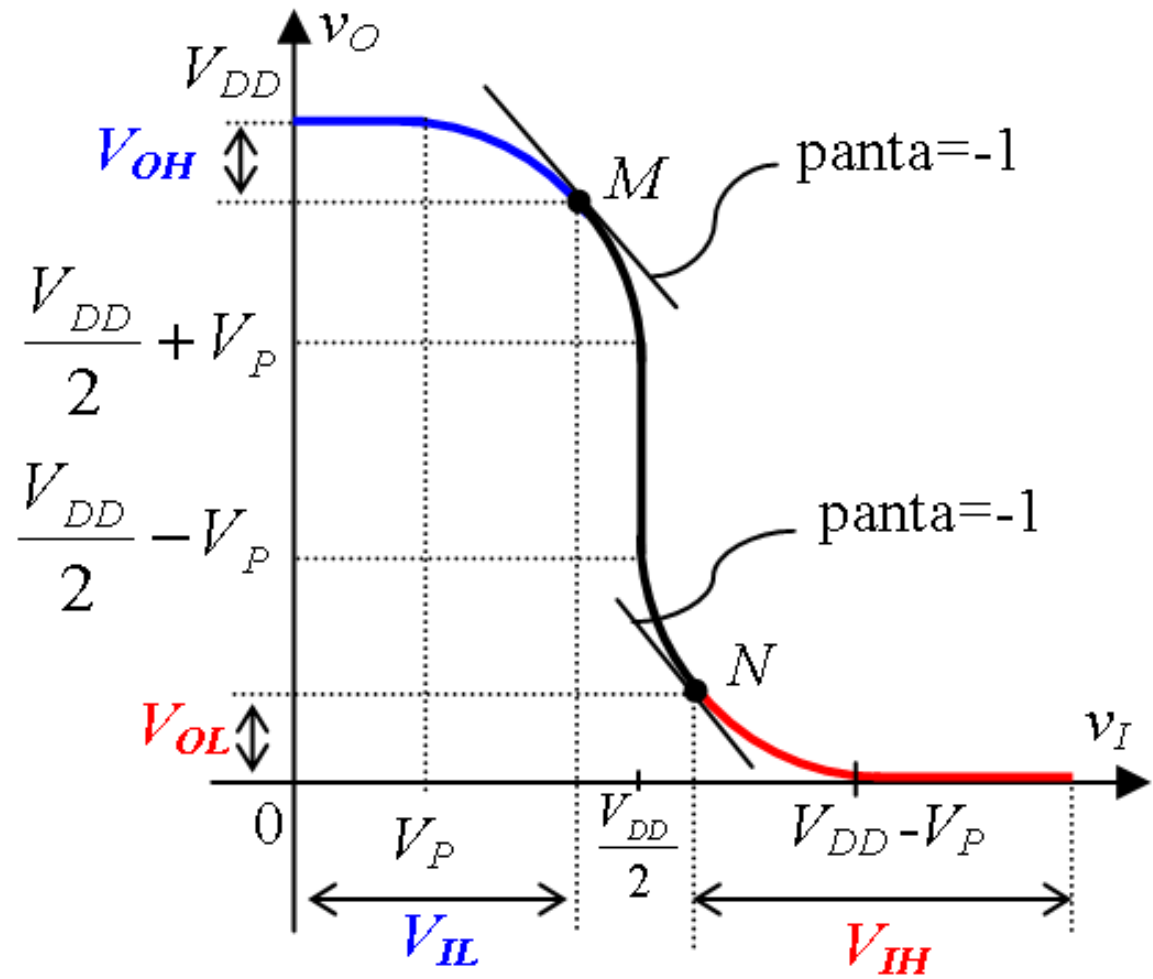


CSTV a inversorului CMOS

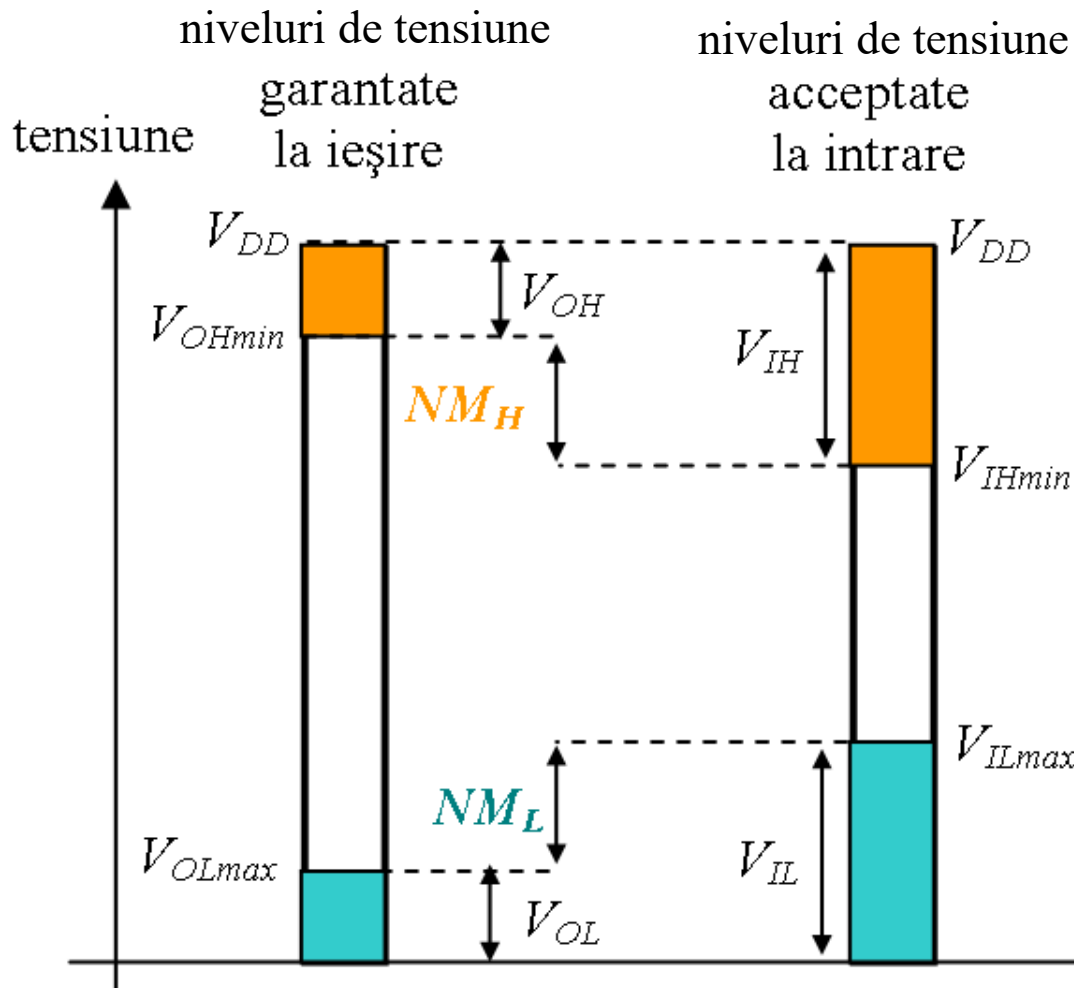
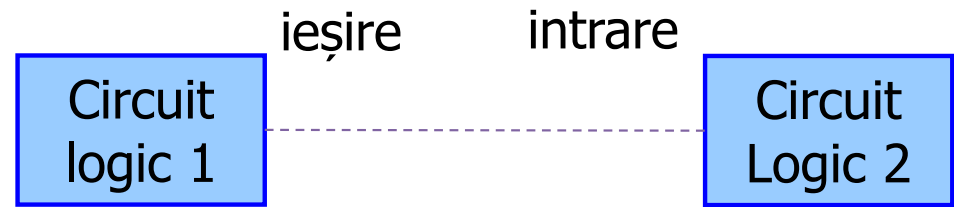
Ideală



Reală



Margini de zgomot



$$NM_H = V_{OH\ min} - V_{IH\ min}$$

$$NM_L = V_{IL\ max} - V_{OL\ max}$$

Nivelurile tensiunii și marginile de zgomot pentru familia logică *CMOS* alimentată la +5V

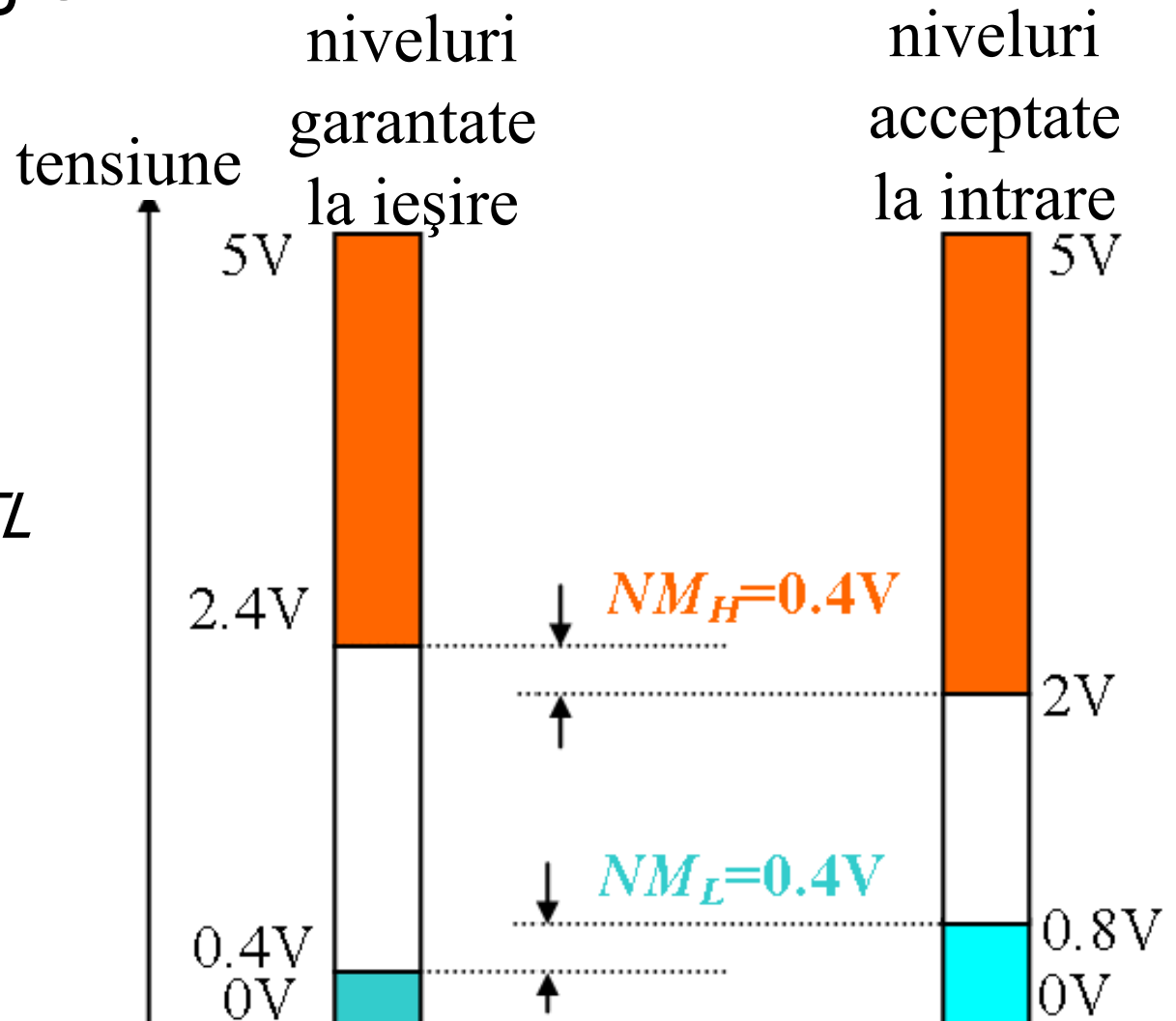
$$NM_H = 4,5V - 3,5V = 1V$$

$$NM_L = 1,5V - 0,5V = 1V$$

CIRCUITE LOGICE CU *TB*

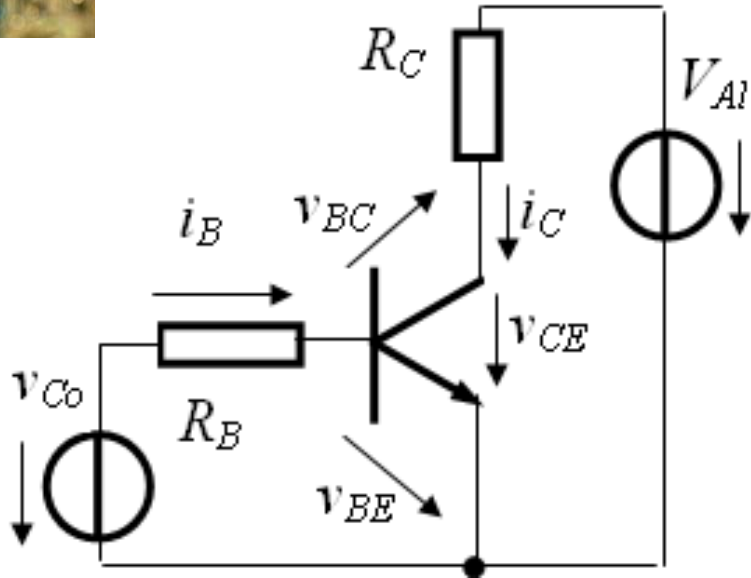
- Tehnologie *RTL*
- Tehnologie *TTL*

Nivelurile tensiunilor și marginile de zgomot pentru familia logică *TTL*





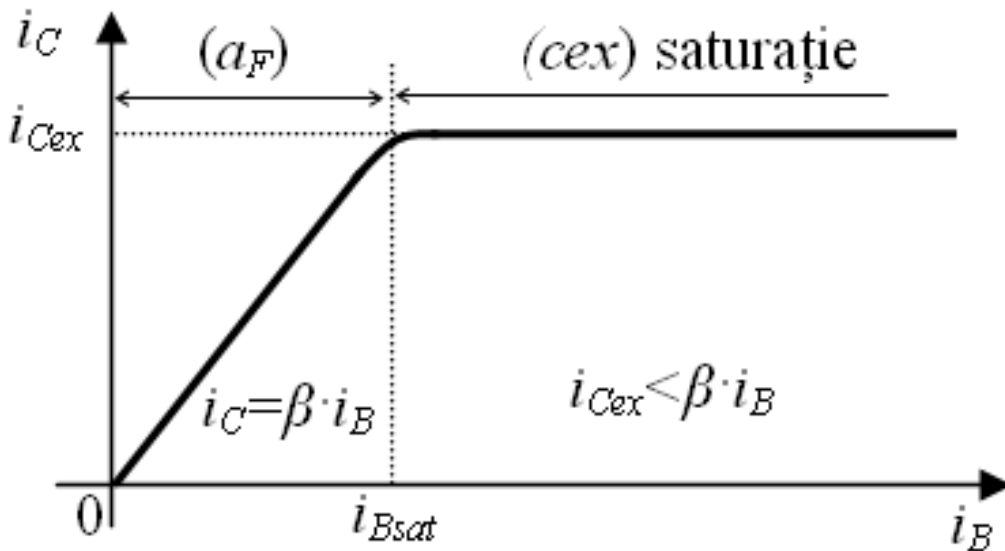
Utilizarea TB în comutare - Recapitulare



Rezistența de limitare a curentului de bază

$T - (b)$, dacă $v_{Co} < 0,6V$

$T - (c)$, dacă $i_B > i_{Bsat}$

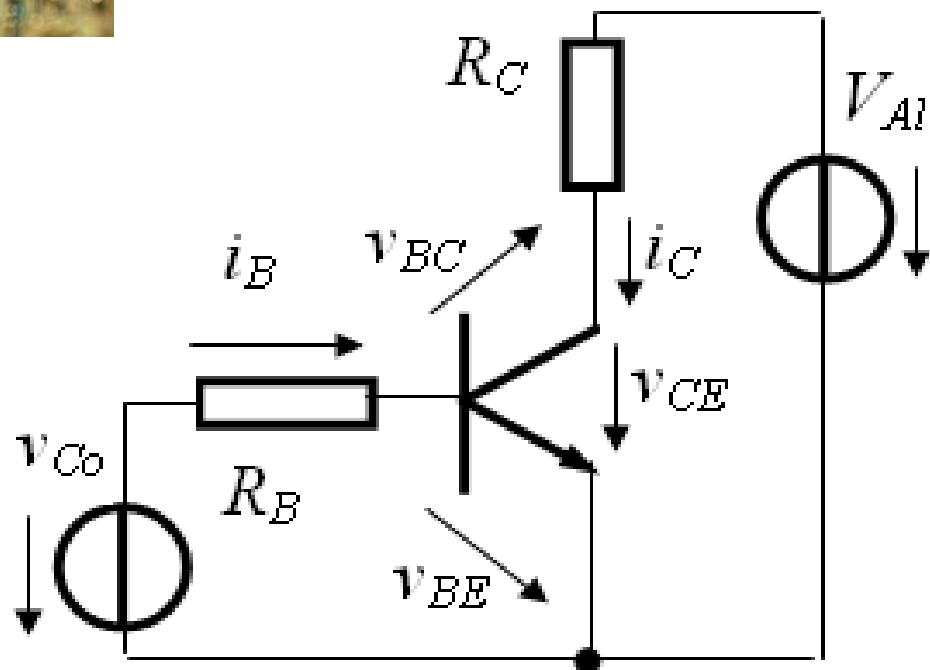


$$i_B = \frac{v_{Co} - V_{BE}}{R_B} = \frac{v_{Co} - 0.7}{R_B}$$

$$i_{Cex} = \frac{V_{Al} - v_{CEsat}}{R_C} = \frac{V_{Al} - 0.2}{R_C}$$

$$i_{Bsat} = \frac{i_{Cex}}{\beta}$$

Circuite cu *TB*



Problemă

$$R_B = 100 \text{ k}\Omega; \quad R_C = 2 \text{ k}\Omega;$$
$$\beta = 150; \quad V_{Al} = 5 \text{ V}$$

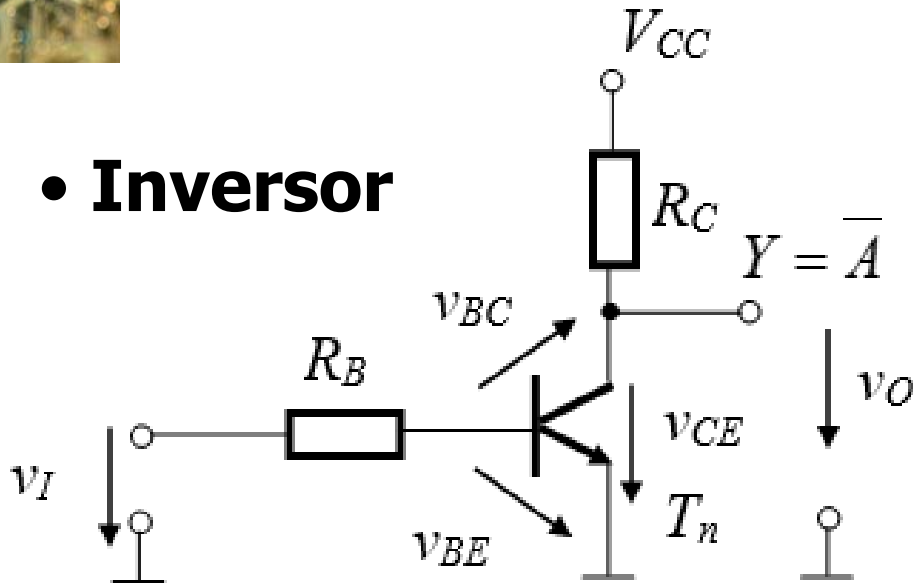
- In ce stare este T dacă $v_{Co}=0\text{V}$? Ce valoare are tensiunea v_{CE} ?
- In ce stare este T dacă $v_{Co}=5\text{V}$? Ce valoare are tensiunea v_{CE} ?
- Pentru ce domeniu de valori ale v_{Co} T este blocat? Dar in saturație?
- Dacă $0\text{V} \Rightarrow 0$ logic și $5\text{V} \Rightarrow 1$ logic, ce funcție logică realizează circuitul, dacă $v_{Co} \in \{0; 5\}[\text{V}]$?



Circuite logice cu tranzistoare bipolare

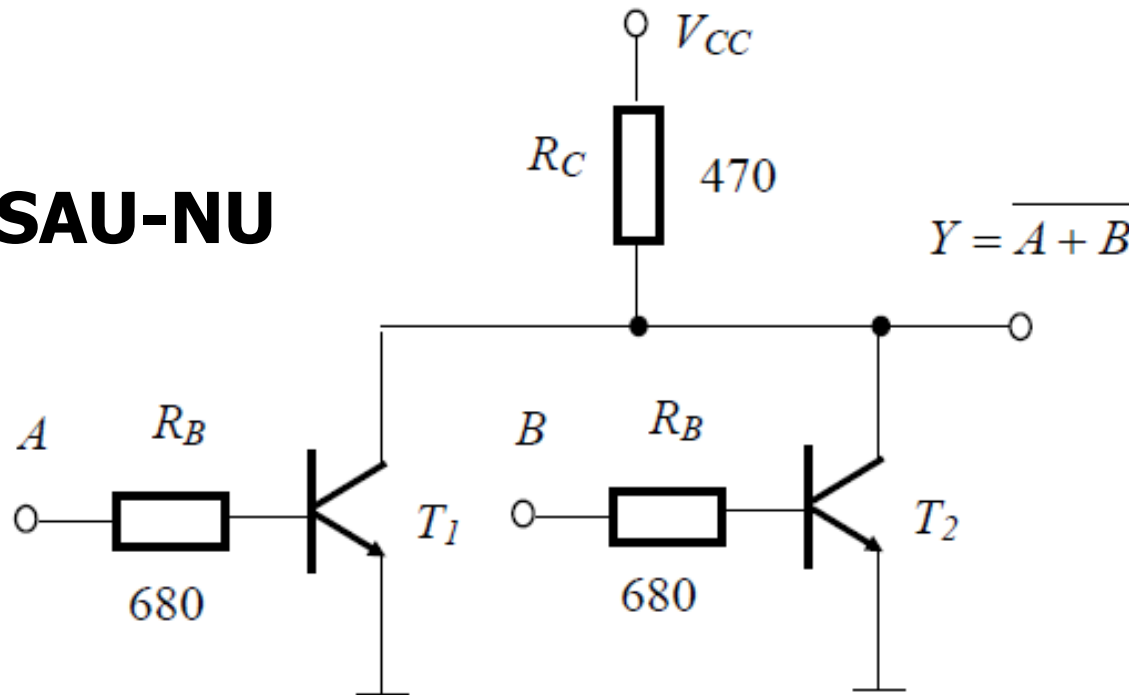
Tehnologie *RTL*

• Inversor



v_I	T_n	v_O
0V	(b)	V_{CC}
V_{CC}	(c)	0,2V

• SAU-NU



A	B	T_1	T_2	$Y = \overline{A + B}$
0	0	(b)	(b)	1
0	1	(b)	(c)	0
1	0	(c)	(b)	0
1	1	(c)	(c)	0



Problemă

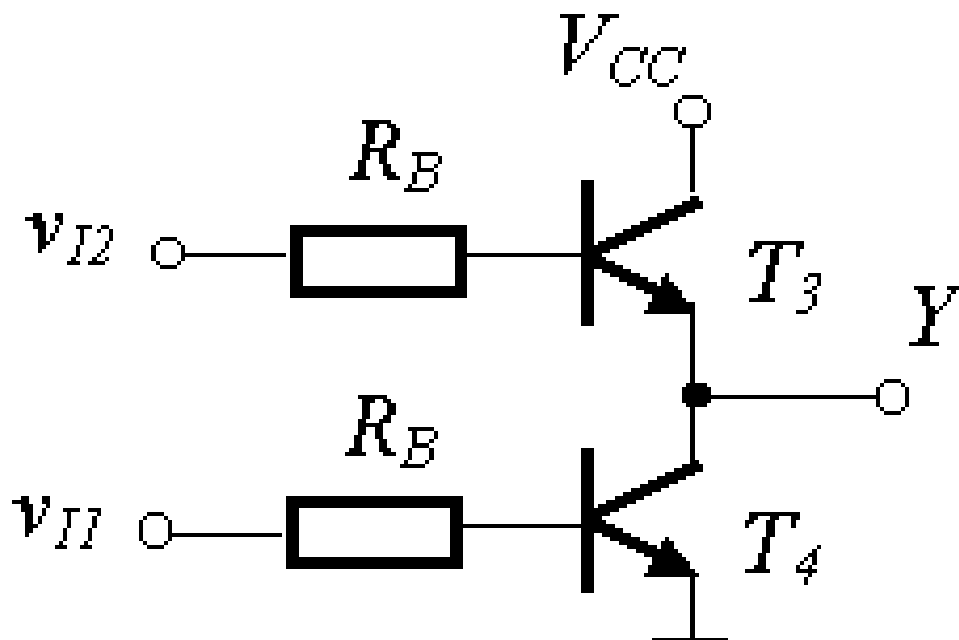
- a) Care este schema pentru poarta logica ȘI-NU cu doua intrări in tehnologie RTL?
- b) Care este tabelul de adevăr?
- c) Care sunt stările tranzistoarelor?



Circuite logice bipolare *TTL* (*Tranzistor-Tranzistor Logic*)

Inversorul logic

- din motive tehnologice, în circuitele logice integrate este preferată folosirea doar a tranzistoarelor *npn*.
- se adoptă varianta cu tranzistoare identice comandate complementar

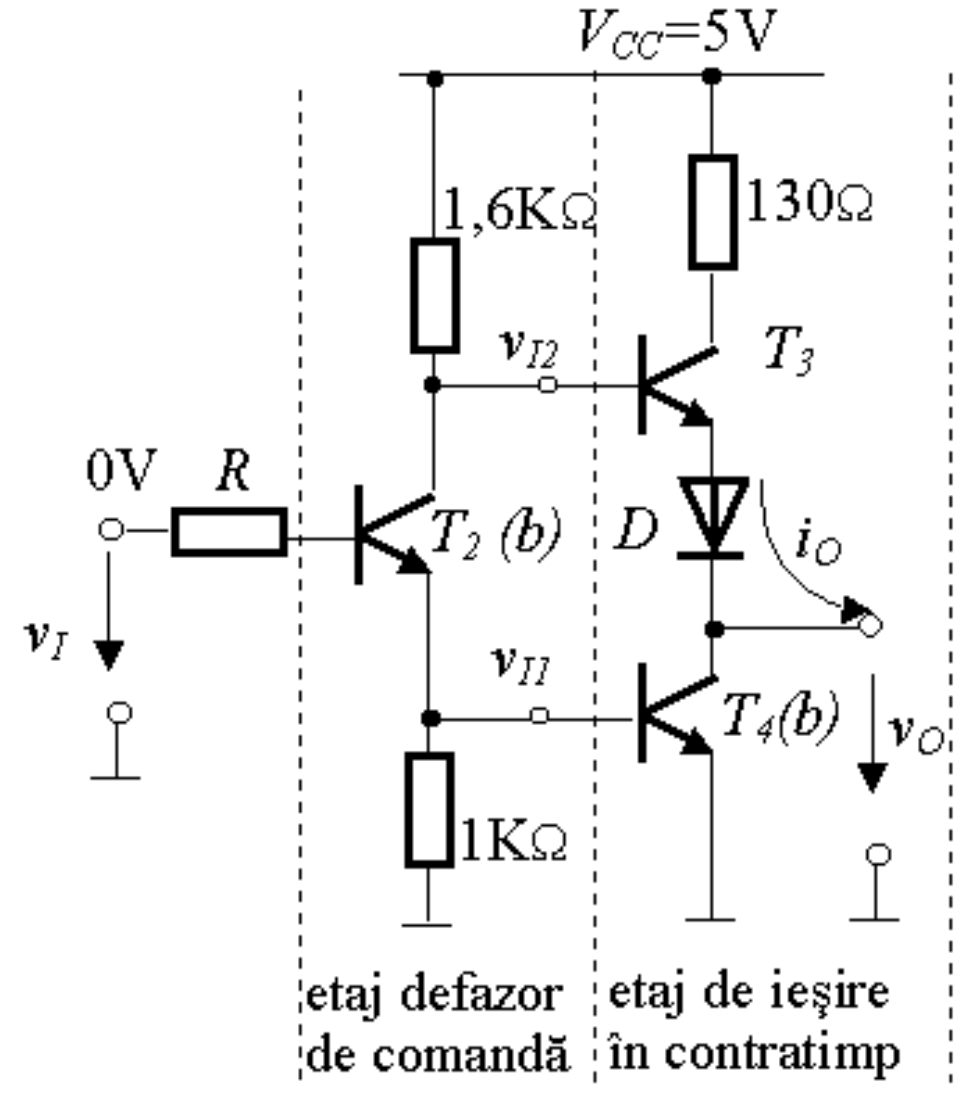
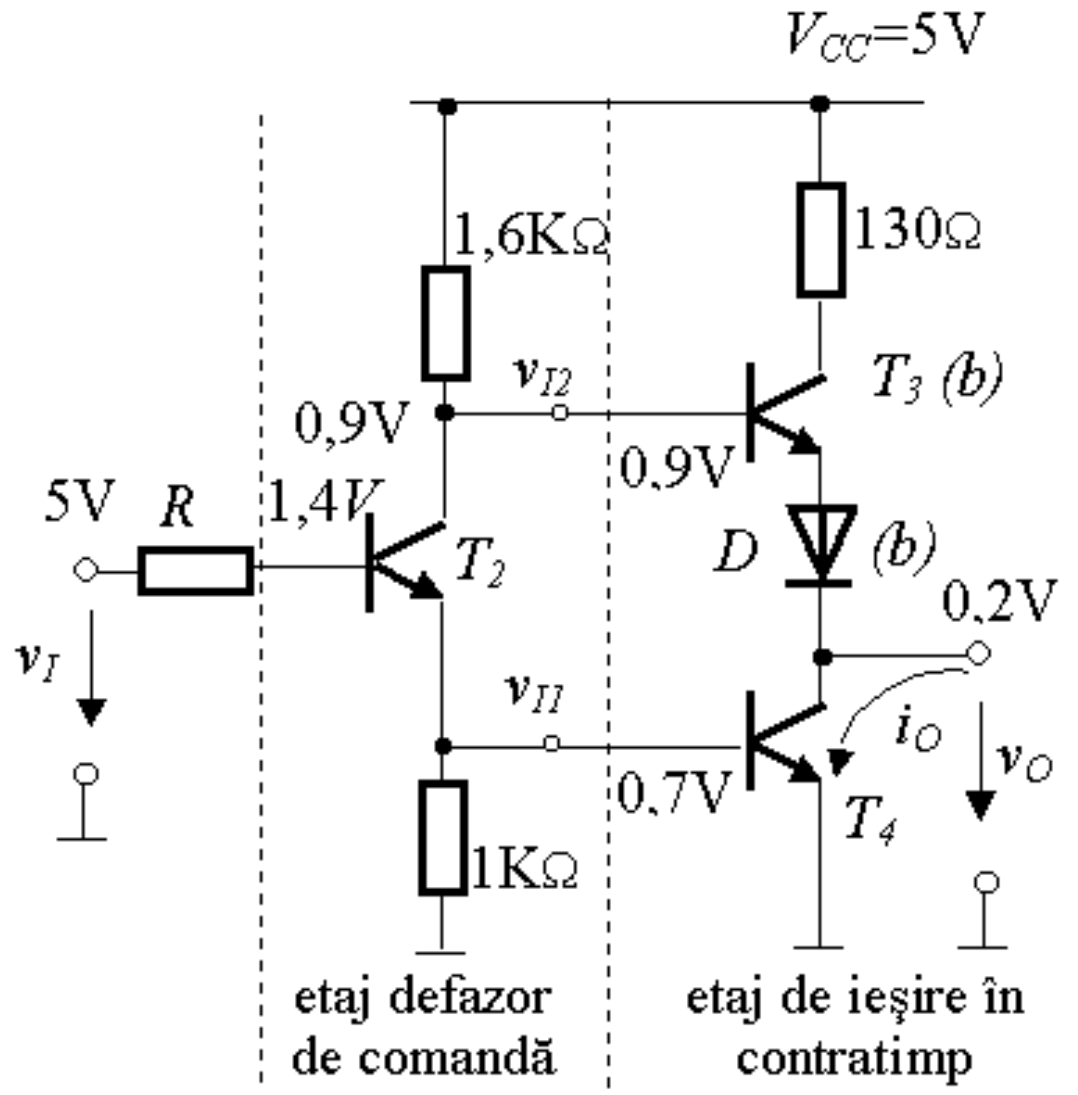


T_3	T_4	Y
(c)	(b)	1
(b)	(c)	0



Poarta *TTL* standard

Facultativ





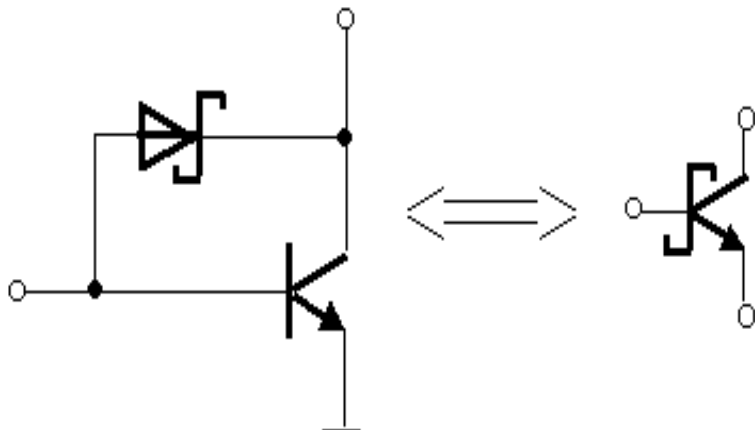
Subfamilii *TTL* cu performanțe îmbunătățite

Facultativ

Viteze mai mari de comutare, disipare (consum) redusă de putere

74XX	standard TTL	
74LSXX	TTL Schottky de mică putere	- îmbunătățește viteza cu reducere de 1/5 din putere
74ASXX	TTL Schottky avansată	- de 5 ori mai rapidă cu disipare de putere ceva mai redusă
74ALSXX	TTL Schottky avansată de mică putere	-de 2,5 ori mai rapidă cu reducere de 1/6 din putere

Tranzistor Schottky



Dioda Schottky: joncțiune metal semiconductor, în conducție $\approx 0,5V$

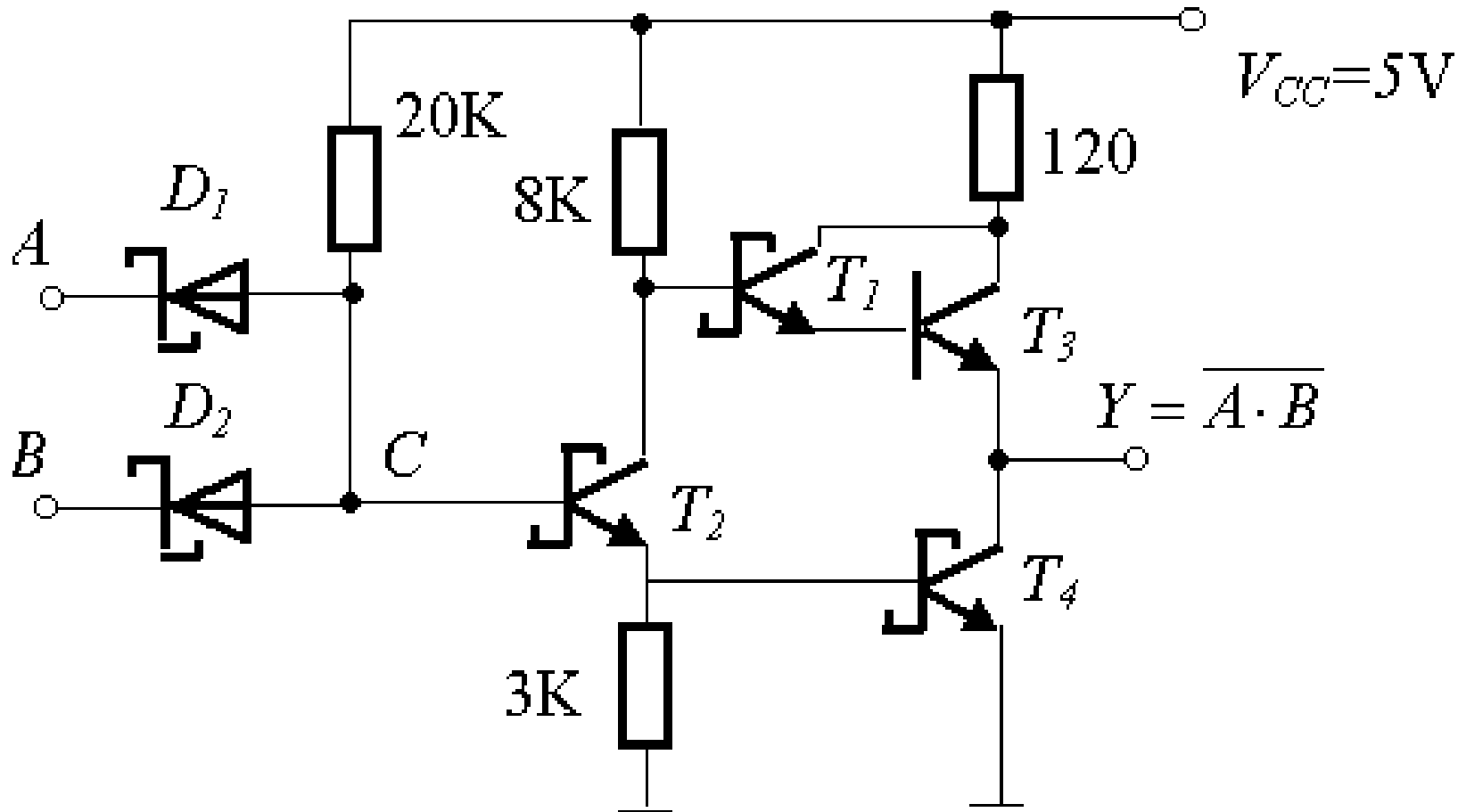
$$V_{BE}=0,8V; \quad V_{BC}=0,5V; \quad V_{CE}=0,3V$$

- tranzistorul Schottky nu intră în saturație
- crește viteza de comutare



Structura simplificată a porții ȘI-NU în tehnologie Schottky de mică putere

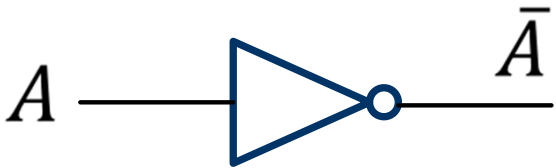
Facultativ





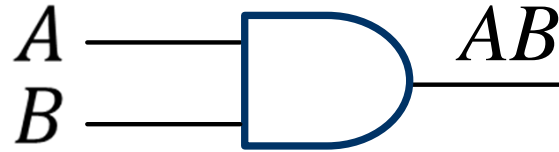
Porți logice

NU



A	\bar{A}
0	1
1	0

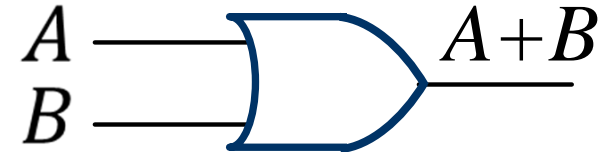
ȘI



A	B	AB
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Facultativ

SAU

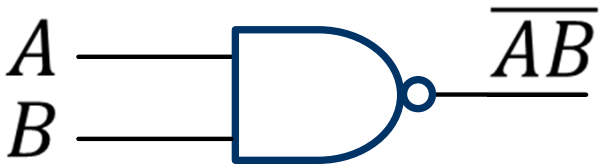


A	B	$A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



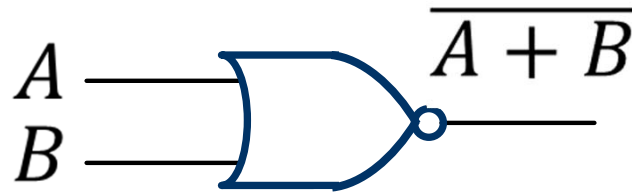
Porți logice

ȘI-NU



A	B	\overline{AB}
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

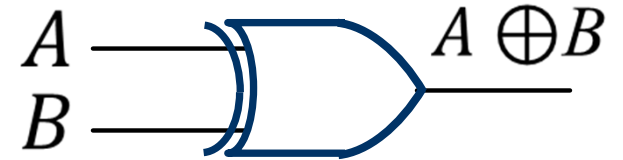
SAU-NU



A	B	$\overline{A + B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Facultativ

SAU exclusiv



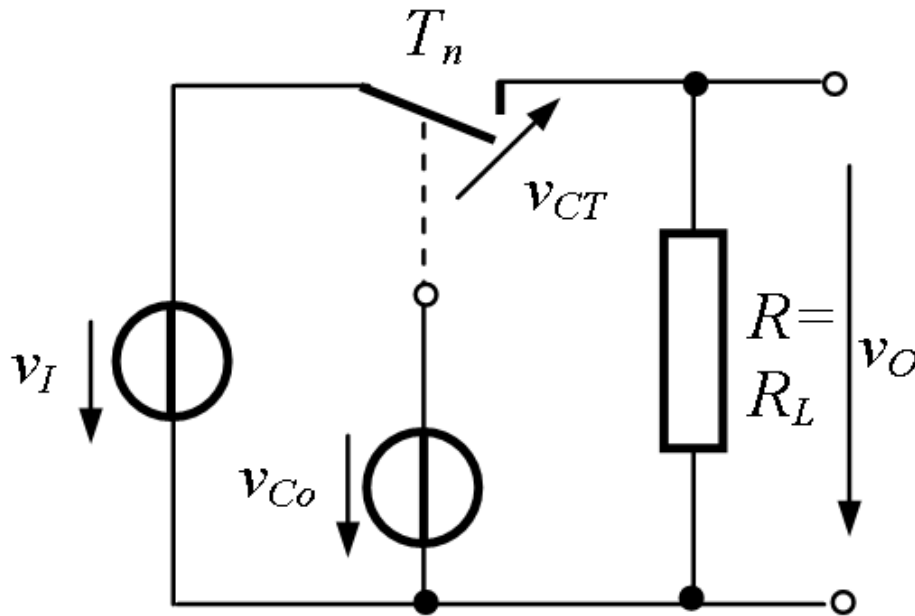
A	B	$A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Comutator analogic

Facultativ

CA - permite sau blochează trecerea semnalului de intrare către ieșire în funcție de un semnal de comandă



v_{Co} - două niveluri:

$$V_{CoL} < V_{Pn}$$

$$V_{CoH} > V_{CTex,n}$$

$$v_{Co} = V_{CoL}; \quad T_n - (b); \quad v_O = 0$$

$$v_{Co} = V_{CoH}; \quad T_n - (cex); \quad v_O = v_I$$

blochează trecerea v_I

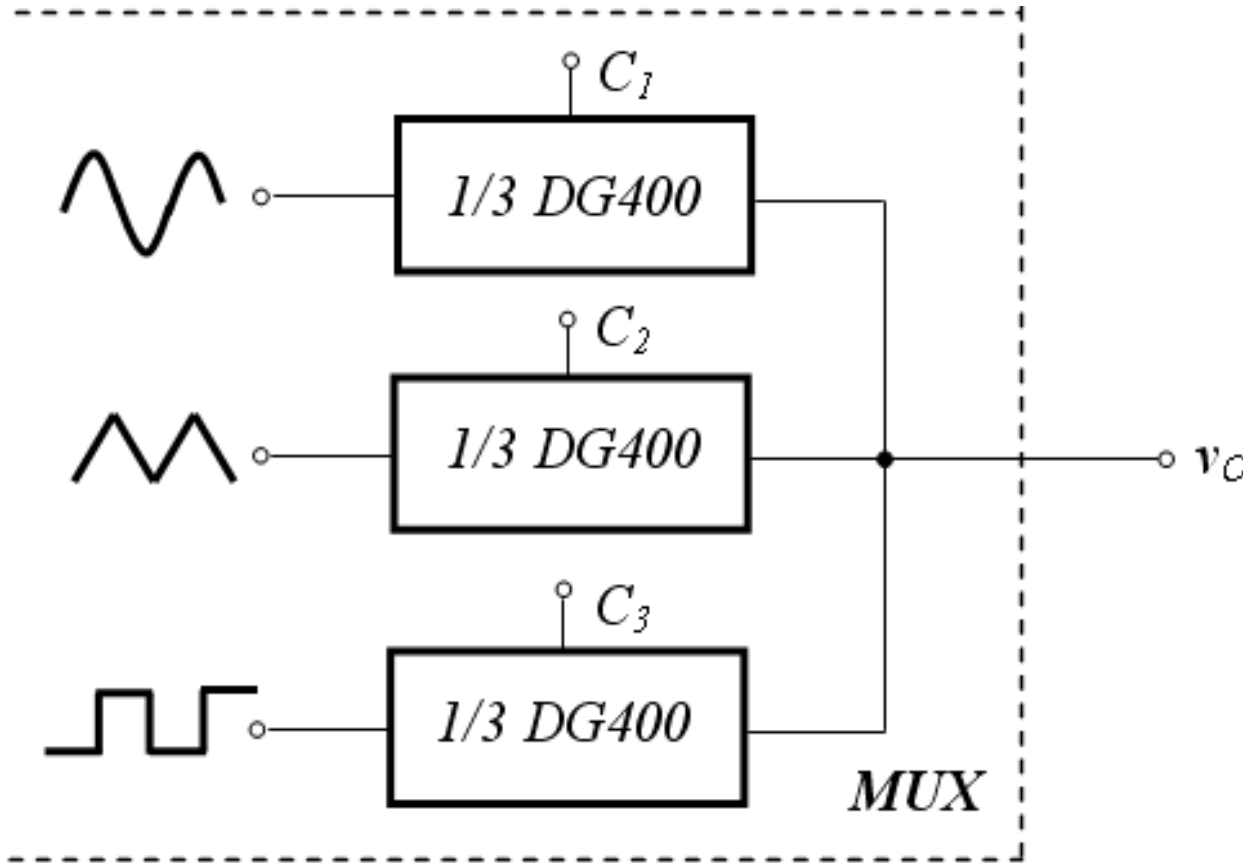
permite trecerea v_I



Aplicație CA

MUX cu trei canale

Facultativ



C_1	C_2	C_3
0	0	1
0	1	0
1	0	0

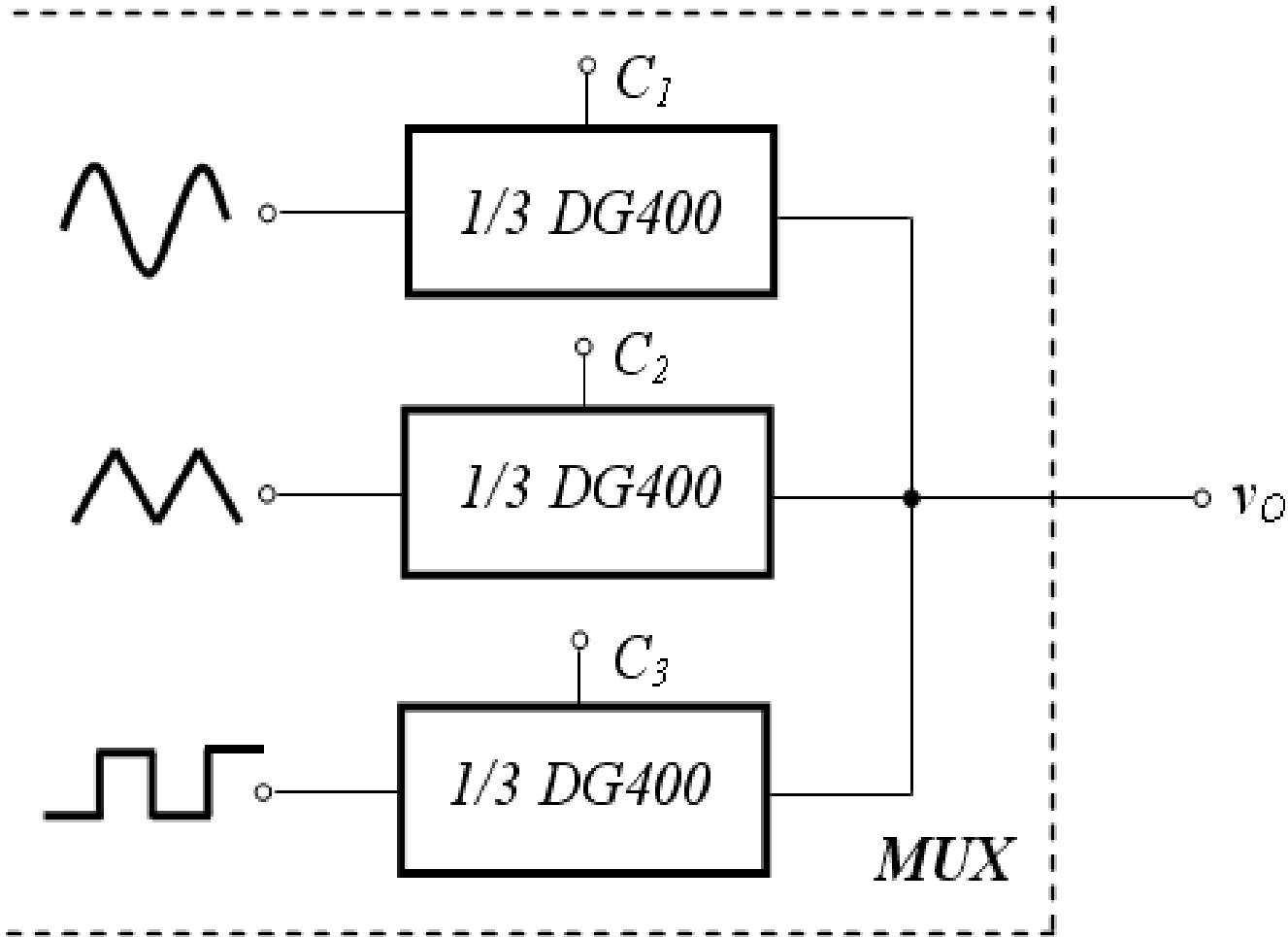
Care este tensiunea de ieșire în fiecare din cele trei situații?
Justificați răspunsul.



Aplicație CA

MUX cu trei canale

Facultativ



C_1	C_2	C_3	v_O
0	0	1	
0	1	0	
1	0	0	



Ce am învățat azi

- Tranzistoare *MOS* și *Bipolare* - Recapitulare
- Utilizarea *T* în comutare
- Modelul *T* – întrerupător comandat
- Circuite logice în tehnologie *CMOS*
 - Inversor logic
 - ȘI-NU, SAU-NU
 - ȘI, SAU
 - CSTV a inversorului
 - Margini de zgomot
- Circuite logice în tehnologie *RTL, TTL*
 - Inversor
 - SAU-NU
 - Margini de zgomot