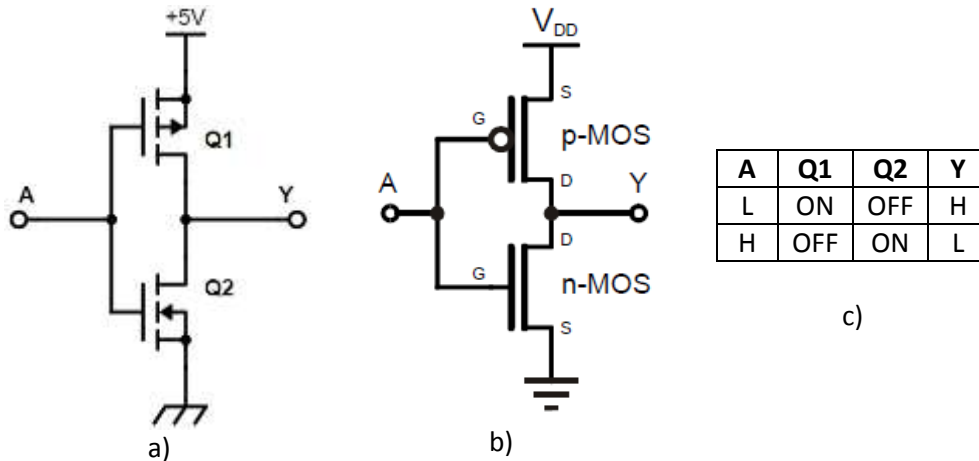


## Porti Logice CMOS

Portile logice realizate cu tranzistori cu efect de câmp (MOS) complementari (C) reprezintă elementele fundamentale de construcție ale circuitelor logice moderne. Tehnologia ce folosește circuite cu tranzistori MOS complementari este numită CMOS, și permite obținerea la ora actuală a celor mai mari viteze la o putere consumată relativ redusă, fiind folosită în realizarea tuturor microprocesoarelor moderne.

Circuitul CMOS cel mai simplu este inversorul, care are structura reprezentată în figura de mai jos:



Inversorul. a) schema cu tranzistori MOS cu canal inițial; b) Schema cu tranzistori MOS simplificați; c) Tabela de adevăr ce cuprinde și stările tranzistorilor.

Doi tranzistori complementari (n-MOS și p-MOS) sunt inserați, având portile (G) și drenele (D) conectate împreună. Sursa tranzistorului n-MOS este conectată la masă, iar cea a tranzistorului p-MOS este conectată la o tensiune pozitivă de alimentare ( $V_{DD}$ ) mai mare decât tensiunile de prag ale oricărui dintre tranzistori. Portile celor doi tranzistori reprezintă intrarea, iar drenele reprezintă ieșirea circuitului.

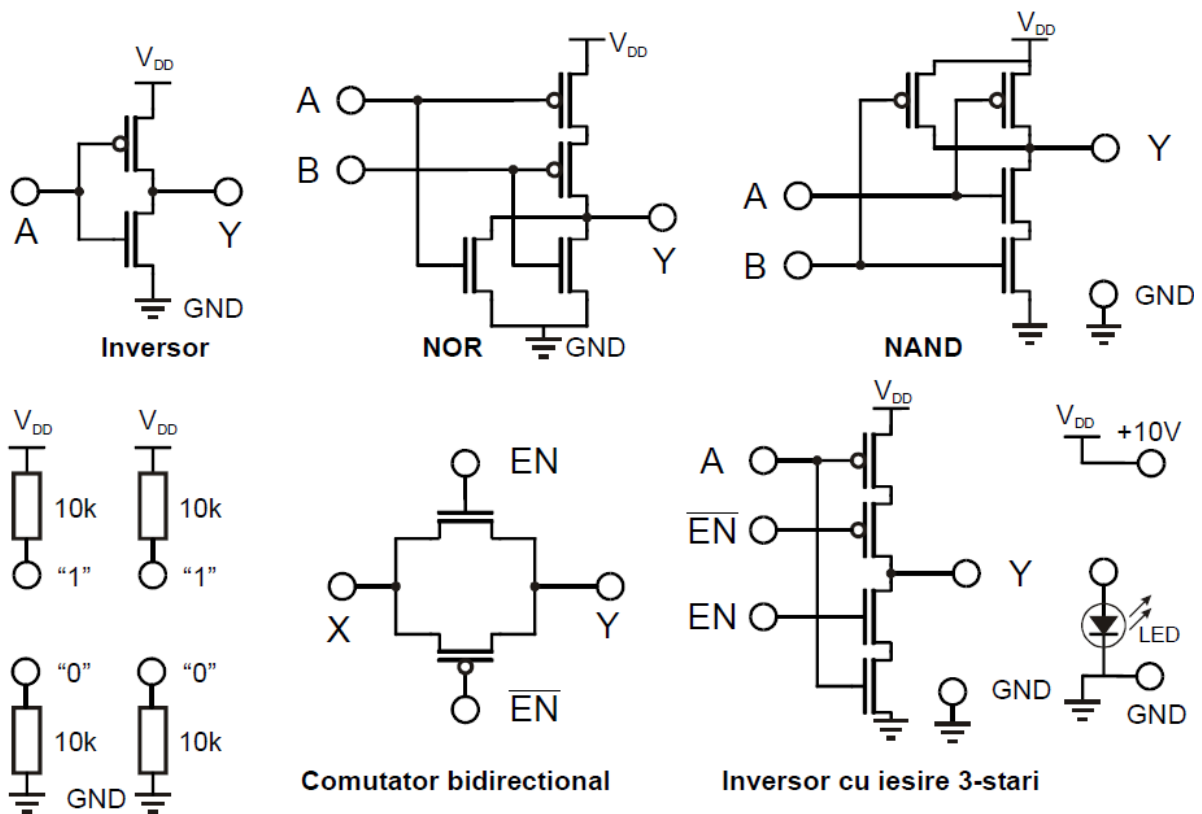
În situația în care tensiunea pe intrarea A este nulă (intrarea conectată la masă), tensiunea pe poarta tranzistorului n-MOS este sub tensiunea de prag necesară deschiderii tranzistorului, deci tranzistorul este blocat (circuitul D-S poate fi aproximat cu un contact deschis). În schimb tensiunea aplicată pe poarta tranzistorului p-MOS este (în valoare absolută) peste tensiunea de prag necesară deschiderii tranzistorului, deci tranzistorul este în conducție (circuitul D-S poate fi aproximat cu un contact închis). Spunem că tranzistorul n-MOS este în starea **OFF**, iar cel p-MOS este în starea **ON**. În consecință, ieșirea Y va fi menținută de către tranzistorul p-MOS la un nivel ridicat, apropiat de  $V_{DD}$ .

Dacă se aplică la intrarea A o tensiune ridicată, apropiată de  $V_{DD}$ , printr-un raționament similar se poate vedea că tranzistorul n-MOS va fi în conducție (ON), iar cel p-MOS blocat (OFF). Corespunzător, ieșirea Y va fi menținută de către tranzistorul n-MOS la un nivel scăzut, apropiat de masă (GND).

**Nota.** Borna plusul (+) sursei de alimentare se notează la circuitele CMOS cu  $V_{DD}$ , iar cea legată la minusul (-) sursei cu  $V_{SS}$ .

Dacă atribuim tensiunilor apropiate de masă valoarea logică L, iar celor apropiate de  $V_{DD}$  valoarea logică H, putem construi tabelul de adevăr al circuitului analizat, în care valoarea logică a ieșirii este reprezentată pentru toate valorile logice posibile ale intrării:

Circuitele care se studiază în acest laborator sunt cele din figura 2.



Montajul experimental cuprinde realizate pe o aceeași planșeta un inversor CMOS, precum și porți NOR, NAND, comutator bidirecțional, și inversor cu trei-stări (vor fi descrise în continuare). Pe planșeta mai sunt prevăzute patru rezistențe ce permit aplicarea de nivele de tensiune ridicate sau scăzute pe montaj (1 sau 0), precum și o diodă electroluminescentă (LED) pentru vizualizarea stării logice a ieșirii. Montajul se alimentează de la o sursă unică de alimentare de +10V (bornele din dreapta jos). În serie cu sursa de alimentare se conectează un miliampermetru, pentru măsurarea curentului consumat de circuit în diferite stări sau regimuri de funcționare.

**Nota.** În cele ce urmează vom folosi notațiile domeniului și anume L pentru 0 și H pentru 1.

### Determinările Experimentale

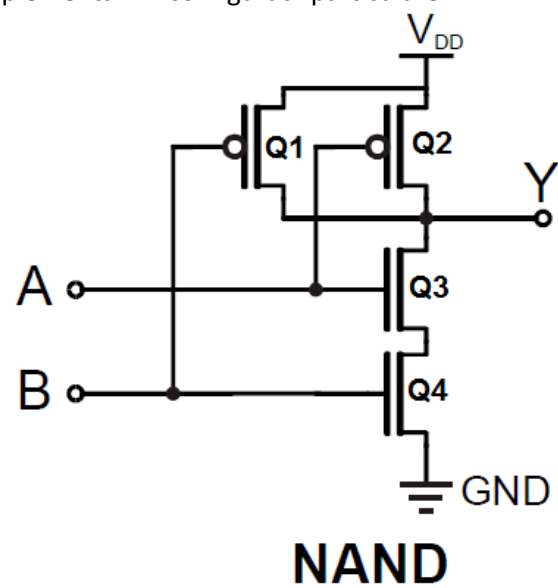
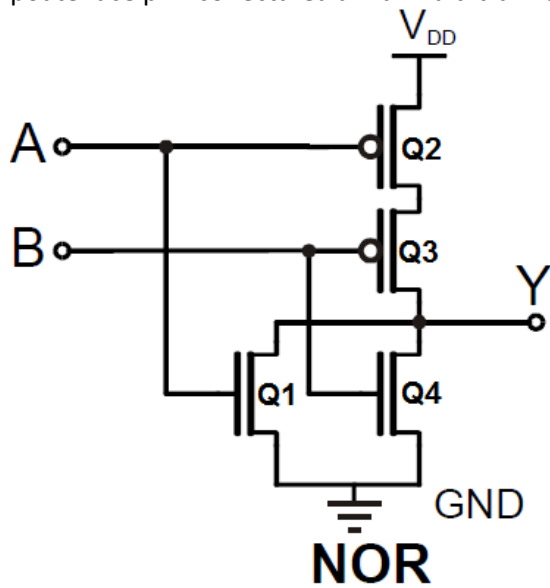
Pentru început, se va verifica tabelul de adevăr al circuitului inversor și se va măsura puterea consumată în regim static.

Conectați în serie cu sursa de alimentare un miliampermetru, stabiliți tensiunea furnizată de sursă la 10V și realizați conexiunile cu sursa. Pentru a monitoriza starea ieșirii, conectați la ieșirea inversorului LED-ul. Aplicați la intrarea inversorului valori logice L sau H, conectând în mod corespunzător bornele rezistențelor care furnizează valorile logice L sau H. Urmărind nivelul ieșirii în funcție de intrare, completați tabela de adevăr a circuitului

A	Q1	Q2	Y

Deconectați LED-ul de la ieșirea inversorului și măsurați curentul consumat  $I_D$  de circuit. Verificați, conectând intrările inversorului (sau ale celorlalte porți logice) la diferite nivele logice (0/1) ca indiferent de starea logică a intrărilor, curentul consumat în regim static este neglijabil.

Implementarea unor functii logice mai complexe, cum ar fi SAU-NU (NOR) sau SI-NU (NAND) se poate face prin conectarea a mai multi tranzistori complementari in configuratii particulare.



Pentru circuitul NOR, oricare din intrarile A sau B aflate la nivel ridicat vor duce la cel puțin un tranzistor n-MOS în conductie (ON), deci iesirea va fi L. Dacă ambele intrari sunt L, numai atunci ambii tranzistori p-MOS vor fi în conductie, și iesirea va fi la nivel ridicat H.

Conectati LED-ul la iesirea circuitului NOR si aplicati la intrarea sa toate combinatiile de valori logice L sau H, conectand in mod corespunzator bornele rezistentelor care furnizeaza valorile logice L sau H. Urmarend nivelul iesirii in functie de intrare, completati tabela de adevar a circuitului

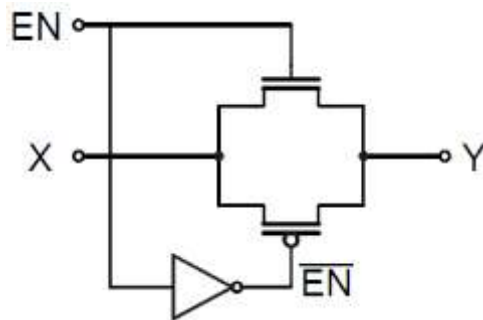
A	B	Q1	Q2	Q3	Q4	Y
L	L					
L	H					
H	L					
H	H					

Analizand circuitul NAND, observam ca oricare din intrarile A sau B aflate la nivel L rezulta in cel puțin unul din tranzistorii p-MOS în stare de conductie (ON) și deci iesirea va fi H. Dacă ambele intrari sunt H, numai atunci ambii tranzistori n-MOS vor fi în conductie, și iesirea va fi la nivel L.

Conectati LED-ul la iesirea circuitului NAND si aplicati la intrarea sa toate combinatiile de valori logice L sau H, conectand in mod corespunzator bornele rezistentelor care furnizeaza valorile logice L sau H. Urmarend nivelul iesirii in functie de intrare, completati tabela de adevar a circuitului, inclusiv starile tranzistorilor.

A	B	Q1	Q2	Q3	Q4	Y
L	L					
L	H					
H	L					
H	H					

Poarta bidirectionala este un circuit caracteristic tehnologiei (C)MOS, nefiind intalnita in implementarile cu tranzistori bipolari ale circuitelor logice. Ea consta dintr-o pereche de tranzistori CMOS conectati cu drena intre iesire si intrare. Pe poarta tranzistorului n-MOS este aplicat un semnal "ENABLE" (EN), iar pe poarta tranzistorului p-MOS este aplicata varianta inversata a semnalului EN.



Comutatorul bidirectional

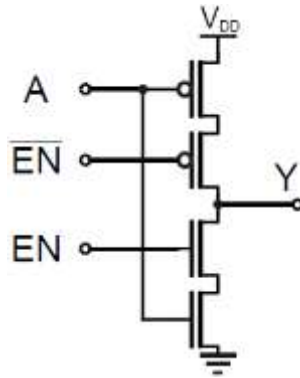
Atunci cand pe intrarea ENABLE este aplicat un nivel H, tranzistorul n-MOS este in conductie (are pe poarta un nivel ridicat, mai mare decat tensiunea de prag), iar tranzistorul p-MOS este de asemenea in conductie (are pe poarta un nivel in valoare absoluta mai mare decat tensiunea de prag). Circuitele drena-sursa ale celor doi tranzistori se comporta aproximativ ca doua contacte inchise ce conecteaza intrarile/iesirile X si Y. Un singur tranzistor MOS ar fi fost suficient pentru implementarea comutatorului, insa pentru asigurarea unei simetrii perfecte a comutatorului pentru bornele X si Y pe toata gama tensiunii de intrare/iesire, se foloseste o pereche de tranzistori complementari. O conditie necesara pentru functionarea circuitului este ca valorile tensiunilor pe bornele X si Y sa se incadreze in plaja tensiunii de alimentare a circuitului ( $V_{DD}$ ). Comutatorul functioneaza nu numai pentru semnale logice L/H (0V /  $V_{DD}$ ), ci pentru orice valoare a tensiunii pe X/Y intre 0 si  $V_{DD}$ . De aceea comutatorul se numeste si analogic, putand functiona si cu alte nivele decat cele logice. In situatia in care semnalul EN este 0, ambii tranzistori sunt blocati si circuitul intre X si Y este deschis.

Conectati un ohmetru intre bornele X si Y ale comutatorului bidirectional. Folositi circuitul inversor pentru a obtine semnalul  $\sim EN$  si aplicati-l pe poarta tranzistorului p-MOS, ca in figura de mai sus. Aplicati la intrarea EN L sau H, conectand in mod corespunzator bornele rezistentelor care furnizeaza valorile logice L sau H. Notati impedanta si completati urmatoarea tabel.

Polaritate X/Y	EN	Z ( $\Omega$ )
+/-	L	
+/-	H	
-/+	L	
-/+	H	

Polaritatea se refera la modul cum ohmetrul injecteaza curent in circuit pentru a efectua masurarea rezistentelor. Schimbarea polaritatii inseamna inversarea bornelor ohmetrului.

Configuratia standard a circuitelor prezentate pana acum nu permite conectarea in paralel a mai multor iesiri si activarea selectiva numai a unuia dintre ele (asa numita configuratie "BUS"). Prin modificarea circuitului inversor, ca in figura de mai jos, putem obtine un circuit care are iesirea activa L, H sau inactiva (notata cu Z), in stare de impedanta inalta (Hi-Z). Prezenta acestei a treia stari, Hi-Z, duce la denumirea circuitului *tri-state*.



Inversor cu iesire 3-stari

Considerati cele 3 intrari ca fiind logic independente. Completati tabelul de mai jos precizant stările tranzistorilor. Pe coloana Y se or completa stările L, H, Z si "-" pentru situatiile: Low, High, Hi-Z si "-" pentru scurtcircuit între  $V_{DD}$  si GND.

A	EN	$\overline{EN}$	Q1	Q2	Q3	Q4	Y
L	L	L					
L	L	H					
L	H	L					
L	H	H					
H	L	L					
H	L	H					
H	H	L					
H	H	H					

In urma analizei acestui circuit au rezultat stari "-" (interzise – scurtcircuit pe sursa)?

**Nota.** Verificare starii Z se face la modul urmatoar: se leaga pe rand iesirea Y la o borna "0" si o borna "1", dintre cele prezente in stanga-jos a motajului experimental. In tot acest timp iesirea Y este legata la LED-ul de testare a starii logice la iesire (plasat in dreapta montajului) se urmareste în tot acest timp starea LED-ului. Y legat la "0" => LED stins; Y legat la "1" ==> LED aprins. Daca LED-ul ramane numai intr-o stare aceasta stare nu este de impedanta mare.

### Bibliografie

1. Notitele de curs referitoare la tranzistoarele MOS.
2. Ronald J. Tocci, Neal S. Widmer, Gregory L. Moss, [Digital Systems -Principles and Applications](#), 10th Ed.