

LUCRARE DE LABORATOR LAB-08

MULTIPLEXOARE ANALOGICE

Autor: Conf.dr.ing. Constantin Harja

1. SCOPUL LUCRĂRII

Scopul prezentei lucrări de laborator este studierea și testarea multiplexoarelor și demultiplexoarelor analogice. În lucrare se prezintă aspecte referitoare la utilizarea, structura și caracteristicile electrice ale multiplexoarelor și demultiplexoarelor analogice. Partea experimentală se efectuează asupra unui multiplexor analogic realizat sub formă de circuit integrat în tehnologie CMOS.

2. DESTINAȚIE, STRUCTURĂ ȘI FUNCȚIONARE

Multiplexorul analogic servește pentru conectarea succesivă a mai multor surse de semnal la o cale comună, precum și la operația inversă, când este numit demultiplexor.

Un multiplexor poate fi realizat cu comutatoare mecanice, relee, diode, tranzistoare bipolare sau tranzistoare cu efect de câmp. Performanțe optime și o largă răspândire o au multiplexoarele realizate sub formă de circuite integrate în tehnologie CMOS. Un multiplexor CMOS este constituit din mai multe comutatoare bilaterale conectate astfel încât să poată realiza diferite tipuri de funcții cum ar fi: *1 din 16* sau $2 \times (1 \text{ din } 8)$, *1 din 8* sau $2 \times (1 \text{ din } 4)$ și $3 \times (1 \text{ din } 2)$. Pentru comanda comutatoarelor multiplexoarele sunt prevăzute cu decodare binare adecvate. Spre exemplificare, în Fig.1 este reprezentată schema bloc a multiplexorului MMC 4051, de tipul *1 din 8*.

MMC 4051 este constituit dintr-un circuit de conversie a nivelului, un decodor *1 din 8* și cele 8 canale – TG (*Transmission Gate*) conectate la o bornă comună.

Circuitul de deplasare a nivelului are rolul de a permite semnale unipolare pentru selecția canalelor și semnale bipolare transmise prin canale. Astfel, dacă $V_{DD} = +5 \text{ V}$, $V_{SS} = 0$, $V_{EE} = -5 \text{ V}$, semnalele de comandă pot avea nivele logice între 0 și +5 V și semnalele transmise pot avea amplitudinea între -5 V și +5 V.

Comutatoarele bilaterale sunt realizate cu porți de transmisie – TG (*Transmission Gate*), care constituie unul din blocurile fundamentale ale circuitelor logice CMOS.

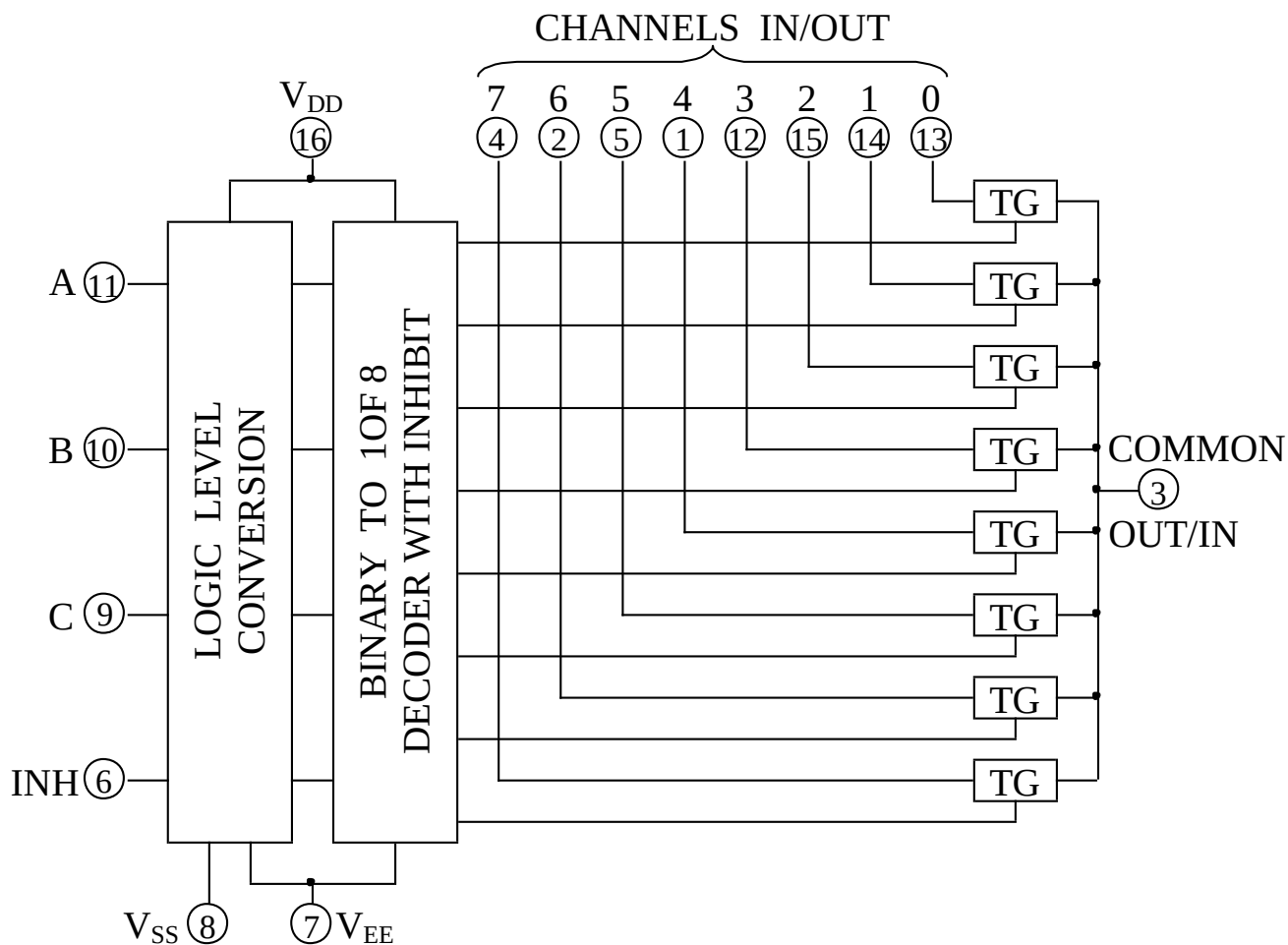


Fig.1. Schema bloc a multiplexorului MMC 4051.

Tabelul de adevăr al circuitului MMC 4051 este următorul:

INPUT STATES				“ON” CHANNEL(S)
INHIBIT	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	NONE

Poarta de transmisie – TG este constituită din două tranzistoare MOS complementare (canal n și canal p), conectate în paralel, conform Fig.2.

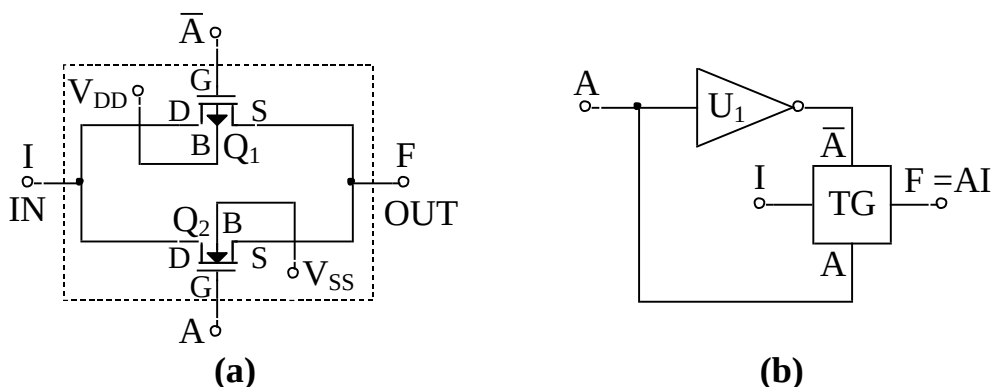


Fig.2. Poarta de transmisie: (a) – schemă electrică; (b) – schemă logică.

Substratul – B al Q_1 , cu canal p , este conectat la tensiunea cea mai pozitivă din circuit – V_{DD} , iar cel al Q_2 , cu canal n , la tensiunea cea mai negativă din circuit – V_{SS} .

Poarta – TG este deschisă când intrarea de control – A este la nivel logic **1**, respectiv A – *negat* este la nivel logic **0** și prezintă o rezistență R_{ON} de ordinul sutelor de ohmi. Când intrarea de control – A este la nivel **0** – logic și A – *negat* la nivel **1** – logic, poarta – TG este blocată și prezintă o rezistență – R_{OFF} de ordinul gigaohmilor.

Sursa (S) și drena (D) unui tranzistor MOS fiind interschimbabile, nu contează sensul de trecere a curentului prin tranzistor, deci semnalul de intrare poate fi bipolar.

Rezistența internă a unui tranzistor MOS, funcționând în regiunea liniară, depinde de tensiunile grilă-sursă, drenă-sursă, substrat-sursă și de curentul drenă-sursă. Ca urmare, rezistența R_{ON} a unei TG depinde de tensiunile de alimentare și intrare și de rezistența de sarcină.

Pentru a atenua dependența rezistenței R_{ON} de tensiunea de intrare, schema din Fig.2 este completată astfel ca substratul transistorului Q_2 să fie conectat la tensiunea de intrare când poarta este deschisă sau la V_{SS} când poarta este blocată. Prin acest artificiu se obține o poartă – TG cu performanțe superioare. Circuitele CMOS sunt prevăzute pe intrări, ieșiri și alimentare, cu circuite de protecție împotriva descărcărilor electrostatice sau a altor supratensiuni accidentale, realizate cu rețele distribuite de diode și rezistențe.

Schema echivalentă a unei porți – TG este reprezentată în Fig.3. Analizând această schemă, pot fi ușor identificate sursele de erori. Dintre erorile statice, cea mai dificil de redus este eroarea produsă de curenții de scurgeri la intrare – I_{Li} și ieșire – I_{Lo} , puternic dependenți de temperatură, tensiune de intrare și alimentare, care produc căderi parazite de tensiune pe rezistența sursei de semnal – R_S în serie cu R_{ON} . Efectul rezistenței R_{OFF} ($10^{10}...10^{12} \Omega$) este neglijabil, iar al rezistenței R_{ON} poate fi anihilat prin utilizarea după multiplexor a unui amplificator cu impedanța mare de intrare.

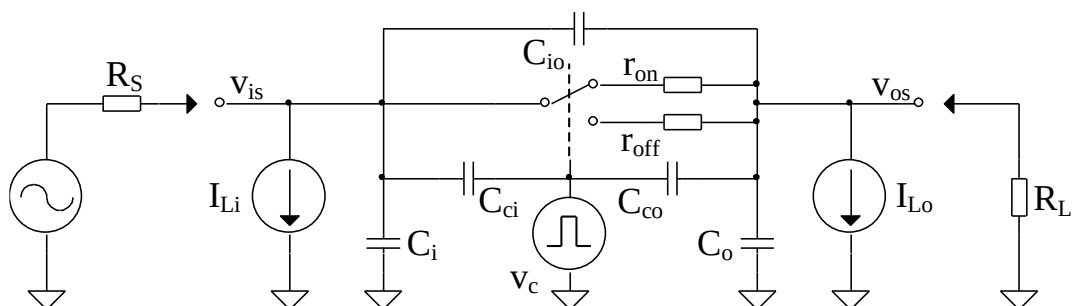


Fig.3. Schema echivalentă a unei porți de transmisie – TG

Dintre erorile dinamice, nu poate fi neglijat efectul capacității parazite intrare-ieșire – C_{io} , care se resimte atunci când canalul este blocat, deoarece introduce diafonie între canale, și cel al capacităților parazite de cuplaj a sursei de semnal cu intrarea – C_{ci} și ieșirea – C_{co} , care determină pătrunderea semnalului de comandă pe calea de semnal util. Efectul capacităților parazite de intrare – C_i și ieșire – C_o constă în limitarea benzii de frecvență a semnalului transmis prin canal, fiind mai puțin supărător.

3. CARACTERISTICI ELECTRICE PRINCIPALE

3.1. STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($T_A = T_{LOW}$ to $T_{HIGH} = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$)

PARAMETER	V_{DD} (V)	T_{LOW}	25 $^{\circ}\text{C}$		T_{HIGH}	UNIT
		max.	typ.	max.	max.	
I_q – quiescent device current	5	20	0.04	20	150	μA
	10	40	0.04	40	300	
	15	80	0.04	80	600	

Switch

ON – resistance	5	880	470	1050	1200	Ω
	10	330	180	400	520	
	15	230	125	280	360	
ΔON – resistance (between any 2 channels)	5		5			Ω
	10		10			
	15		10			
I_L - leakage current	15	300	0.1	300	1000	nA
C	Input	5	5			pF
	Output	($V_{EE} = -5\text{V}$)	30			
	Feedthrough		0.2			

Control (Address or Inhibit)

V_{IL} Input low voltage	5 10 15	1.5 3 4		1.5 3 4	1.5 3 4	V
V_{IH} Input high voltage ((!) – min. values)	5 10 15	3.5(!) 7(!) 11(!)		3.5(!) 7(!) 11(!)	3.5(!) 7(!) 11(!)	V
I_L – leakage current	15	0.3	10^{-3}	0.3	1	μA
C_i – input capacitance			5	7.5		pF

3.2. DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($T_A = 25\text{ }^{\circ}C$; $C_L = 50\text{ pF}$; input square wave rise/fall time = 20 ns)

PARAMETER	TEST CONDITIONS			OBSERVATIONS	VALUES		UNIT
	R_L (k Ω)	V_{IS} (V)	V_{DD} (V)		typ.	max.	

Switch

t_{pd} - propagation delay time (input to output)	200	10	5 10 15	(V_{IS} square wave)	30 15 11	60 30 20	ns
f_{3dB} (sine wave) at $20\lg V_0/V_{IS} = -3\text{ dB}$	1	5*	10	V_0 at com. OUT/IN V_0 at any channel	20 60		MHz
Feedthrough at $20\lg V_0/V_{IS} = -40\text{ dB}$ (all channels OFF)	1	5*	10	V_0 at com. OUT/IN V_0 at any channel	12 8		
Frequency crosstalk $20\lg V_0/V_{IS} = -40\text{ dB}$	1	5*	10	Between any 2 channels	3		MHz
Sine wave distortion $f_{IS} = 1\text{ kHz}$ (sine wave)	10	2* 3* 5*	5 10 15		0.3 0.2 0.12		%

Control (Address or Inhibit)

Propagation delay time: Address to OUT channels ON/OFF			5 10 15	$V_{EE} = 0\text{ V}$	360 160 120	720 320 240	ns
			5	$V_{EE} = -5\text{ V}$	225	450	
Propagation delay time: Inhibit to OUT channel turning ON	10		5 10 15	$V_{EE} = 0\text{ V}$	360 160 120	720 320 240	ns
			5	$V_{EE} = -10\text{ V}$	200	400	

Propagation delay time: Inhibit to OUT channel turning OFF	0.3		5	$V_{EE} = 0 \text{ V}$	200	450	ns
			10		90	210	
			15		60	160	
			5	$V_{EE} = -10 \text{ V}$	130	300	
Address or inhibit to signal crosstalk	$10^\wedge$		10	$V_C = V_{DD} - V_{SS}$ (Square wave)	65		mV peak

(*) Peak to peak voltage symmetrical about $(V_{DD} - V_{EE})/2$

($^\wedge$) Both ends of channel

4. SCHEMA ELECTRICĂ A MACHETEI PENTRU TESTAREA MULTIPLEXORULUI ANALOGIC

Schema electrică a machetei de testare este reprezentată în Fig.4.

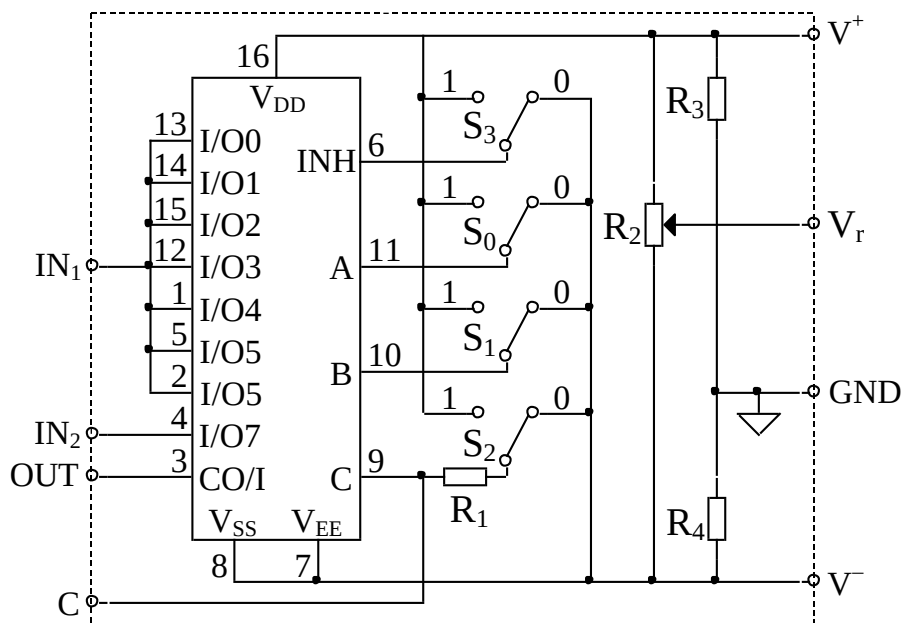


Fig.4. Schema machetei de testare a multiplexorului analogic.

Pentru reducerea numărului de borne, primele șapte intrări ale multiplexorului ($I/O0...I/O6$) sunt conectate la o bornă comună – IN_1 și a opta ($I/O7$) la o bornă separată – IN_2 . Rezistența R_1 are rolul de a separa intrarea de comandă – C de comutatorul S_2 , pentru a fi posibilă aplicarea unui semnal din exterior, necesar pentru măsurarea diafoniei dintre calea semnalului de comandă și cea a semnalului util. Cu ajutorul potențiometrului R_2 se obține o tensiune de referință reglabilă, necesară pentru măsurarea variației unor parametri cu nivelul semnalului de intrare, iar cu ajutorul rezistențelor R_3 , R_4 se obține o priză mediană pe sursa de alimentare, utilizată ca punct de masă – GND .

5. PROBLEME TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE

5.1. Verificarea rezistenței canalelor în starea ON:

- se execută pentru $V_{DD} = 5, 10$ și 15 V;
- se conectează împreună bornele *OUT* și *GND* și un ohmmetru între bornele IN_1 și *GND*, apoi, pentru măsurarea ultimului canal, între bornele IN_2 și *GND*;
- se selectează canalele cu ajutorul comutatoarelor $S_0...S_3$, conform tablei de adevăr, și se măsoară valorile rezistențelor – R_{ON} ;
- se calculează diferența de rezistență maximă între două canale – ΔR_{ON} ;
- datele experimentale se trec într-un tabel, conform modelului următor;
- se compară datele experimentale cu cele de catalog și se specifică observațiile.

Tabel 1. Rezistența canalelor în starea ON.

ADDRESS C B A	CHANNEL	V_{DD}		
		5 V	10 V	15 V
0 0 0	0	$R_{ON0} = ?$	$R_{ON0} = ?$	R_{ON0}
:	:	:	:	:
1 1 1	7	$R_{ON7} = ?$	$R_{ON7} = ?$	$R_{ON7} = ?$
ΔR_{ONmax}	–	$= ?$	$= ?$	$= ?$

5.2. Verificarea variației rezistenței ON cu tensiunea de alimentare:

- păstrând montajul anterior, se selectează canalul cu R_{ONmax} ;
- se variază V_{DD} între 3 și 15 V și se măsoară R_{ON} (min. 7 valori);
- datele experimentale se trec într-un tabel, conform modelului de mai jos;

Tabel 2. Variației rezistenței ON cu tensiunea de alimentare.

V_{DD}	3 V	5 V	7 V	9 V	11 V	13 V	15 V
R_{ON}	$= ?$	$= ?$	$= ?$	$= ?$	$= ?$	$= ?$	$= ?$

- se reprezintă grafic $R_{ON} = f(V_{DD})$.

5.3. Verificarea variației rezistenței ON cu tensiunea de intrare:

- se execută pentru $V_{DD} = 5, 10$ și 15 V;
- în montajul anterior, se înlocuiește borna *GND* cu borna V_R ;
- se variază V_R între valorile zero și maximă (față de V^-), în 5...7 trepte echidistante, și se măsoară R_{ON} ;

- datele experimentale se trec într-un tabel , conform modelului de mai jos;

Tabel 3. Variației rezistenței ON cu tensiunea de intrare.

V_{DD}					
5 V		10 V		15 V	
V_{IS}	R_{ON}	V_{IS}	R_{ON}	V_R	R_{ON}
V_{IS1}	R_{ON1}	V_{IS1}	R_{ON1}	V_{IS1}	R_{ON1}
:	:	:	:	:	:
V_{ISn}	R_{ONn}	V_{ISn}	R_{ONn}	V_{ISn}	R_{ONn}

- se reprezintă grafic $R_{ON} = f(V_{IS})$.

5.4. Verificarea curentului de scurgere la intrare și ieșire:

- se inhibă multiplexorul;
- se conectează un picoampermetru între bornele IN_2 și V_R , apoi între bornele OUT și V_R ;
- se reglează $V_{DD} = 15$ V, se variază V_R între zero și maxim, în 5...7 trepte echidistante, și se notează indicațiile picoampermetrului;
- datele experimentale se trec într-un tabel, conform modelului de mai jos;

Tabel 4. Curentul de scurgeri la intrare și ieșire.

V_{DD}	3 V	5 V	7 V	9 V	11 V	13 V	15 V
I_{LIN}	= ?	= ?	= ?	= ?	= ?	= ?	= ?
I_{LOUT}	= ?	= ?	= ?	= ?	= ?	= ?	= ?

- se reprezintă grafic $I_{LIN} = f(V_{IS})$. $I_{LOUT} = f(V_{IS})$.

5.5. Determinarea frecvenței semnalului de intrare la care cuplajul intrare-ieșire atinge valoarea de 40 dB:

- se inhibă multiplexorul;
- se conectează o rezistență de 1 k Ω între bornele OUT și GND ;
- se conectează un osciloscop între bornele OUT și GND ;
- se reglează $V_{DD} = 15$ V și se aplică între IN_2 și GND semnal sinusoidal cu valoarea $V_{pp} = 5$ V (V_{pp} – valoare vârf-vârf);
- se reglează frecvența semnalului de intrare până când tensiunea de ieșire crește la valoarea $V_0 = V_{IS}/100$.

5.6. Determinarea diafoniei între intrările de comandă și semnal:

- se selectează canalul *I/O7* și se reglează $V_{DD} = 10\text{ V}$;
- se conectează împreună bornele *OUT* și *GND* și o rezistență de $10\text{ k}\Omega$ între bornele *IN₂* și *GND*;
- se aplică între bornele *C* și *GND* un semnal dreptunghiular cu $V_{C_{pp}} = 10\text{ V}$ și frecvența de 1, 10 și 100 KHz;
- se măsoară cu un osciloscop valoarea vârf-vârf a semnalului de ieșire.

5.7. Se compară toate rezultatele obținute cu datele de catalog (pct.2) și se comentează diferențele sesizate.

6. ÎNTREBĂRI

- 6.1.** Care sunt utilizările multiplexoarelor și demultiplexoarelor analogice?
- 6.2.** Care sunt deosebirile dintre un multiplexor și un demultiplexor?
- 6.3.** Ce avantaje prezintă circuitul de deplasare a nivelului?
- 6.4.** Care sunt principalele surse de erori statice și dinamice, cum se manifestă și cum poate fi redus efectul acestora?