

Eln_Dig Curs 3:	<i>Parametrii circuitelor digitale</i>
--------------------	--

I. Introducere

- La disciplina **Proiectare Logică** au fost prezentate și analizate principalele circuite logice, fără a se ține cont de modul lor de implementare în lumea reală;
- Implementarea circuitelor logice se poate face cu:
 - o Circuite electronice;
 - o Relee electromagnetice;
 - o Circuite pneumatice;
 - o Circuite hidraulice;
 - o etc ;
- La disciplina **Electronică Digitală** vor fi prezentate doar tehnologiile de implementare bazate pe circuite electronice;
- La implementarea circuitelor logice cu ajutorul circuitelor electronice trebuie să avem în vedere următoarele aspecte:
 - o În spatele fiecărui simbol logic se găsește un circuit electronic care are ca rol implementarea tabelului de adevăr asociat respectivului simbol;
 - o Circuitele electronice operează cu semnale de curent sau semnale de tensiune și nu cu cifre binare așa cum ne-am obișnuit în operarea cu circuite logice;
 - o Cele două cifre binare trebuie codificate/transpuse într-un parametru electric ce poate fi prelucrat de circuitul electronic.
 - o Pentru o clasă mare de circuite logice, codificarea cifrelor binare se face în nivele de tensiune distincte;
 - o Pentru același simbol logic există mai multe variante practice de implementare, (fiecare variantă având avantaje și dezavantaje ce vor fi prezentate la un studiu mai detaliat dintr-un curs viitor);
- Circuitul electronic folosit pentru implementarea circuitului logic este caracterizat de:
 - o o serie de parametrii electrici (nivele de tensiune asociate stărilor logice, valori de curent la intrarea/ieșirea logică, tensiuni de prag, etc.);
 - o o serie de parametrii fizici (timp de propagare, comportament față de variațiile de temperatură, etc.);
 - o varianta de implementare vine cu o serie de restricții legate de interconectarea circuitelor;
- O proiectare eficientă a unui sistem digital necesită:
 - o O dublă analiză: în plan logic și în plan electric;
 - o Cunoașterea profundă a posibilităților/limitărilor circuitelor electronice utilizate

II. Clasificarea circuitelor logice / Familii de circuite logice

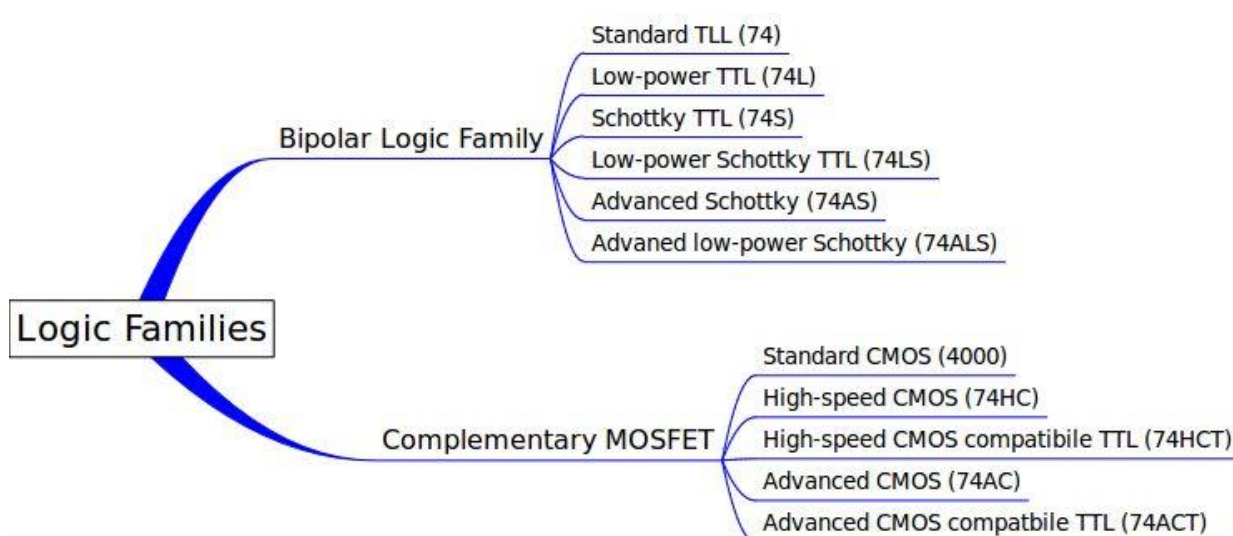
♦ **Clasificarea circuitelor digitale** se poate face după o serie de criterii precum:

- După tehnologia de implementare:
 - Cu elemente discrete;
 - Diode Logic;
 - Resistor – Transistor Logic;
 - Diode Transistor Logic;
 - Cu circuite integrate;
 - în tehnologie bipolară;
 - în tehnologie unipolară (NMOS, PMOS, CMOS);
 - **Cu memristori**
 - IMPLY Logic;
 - MAGIC (**M**emristor **A**ided **L**ogic);
 - MRL (**M**emristor **R**atioed **L**ogic) sau MeMOS Logic – logica hibridă bazată pe memristori și pe CMOS;
 - Akers Logic Array;
- După modul de operare:
 - Circuite care lucrează în regim de comutație (logica saturată);
 - Circuite care nu lucrează în comutație (logica nesaturată);
- După durata semnalului aplicat la intrare:
 - *Logică de nivel* (cea mai utilizată) – simbolurile logice sunt asociate cu două nivele distincte de tensiune continuă. Cuplajul acestor circuite se face direct.
 - *Logică pozitivă* (nivelul de unu este o tensiune ridicată);
 - *Logică negativă* (nivelul de zero este o tensiune ridicată);
 - *Logică de impuls* – simbolurile logice sunt asociate cu prezența/absența unui impuls. Cuplajul acestor circuite se face prin intermediul condensatoarelor.
- După suportul fizic în care sunt realizate:
 - În siliciu – cazul circuitelor de uz comercial;
 - În galiu-arseniu (GaAr) - cazul circuitelor folosite în aplicații speciale;

♦ **Familii de circuite logice**

- Circuitele logice care prezintă parametrii similari formează ceea ce se cheamă o **familie logică**;
- Circuitele logice din aceeași familie se pot interconecta între ele fără probleme;

- De regulă, circuitele logice din familii diferite nu se pot interconecta între ele fără ajutorul unor circuite suplimentare de interfațare;
- Circuitele de interfațare, de cele mai multe ori, nu aduc niciun aport în realizarea funcției logice, ele sunt introduse din necesități electrice;
- De regulă, în proiectare se preferă implementarea întregului sistem cu circuite din aceeași familie în scopul eliminării circuitelor de interfațare;
- Principalele familii realizate în tehnologie bipolară sunt prezentate în tabelul de mai jos:



Tehnologie	Denumire familie	Seria
Bipolară - logică saturată	TTL standard (transistor transistor logic)	74***
	Schottky TTL	74S***
	Advanced Schottky TTL	74AS***
	Low-power Schottky TTL	74LS***
	Fast TTL	74F***
	Advanced Low-power Schottky TTL	74ALS***
Bipolară - logică nesaturată	ECL 10K (Emitter Coupled Logic)	
	ECL 100K (Emitter Coupled Logic)	

*** = grup de 2 sau 3 cifre folosite pentru codificarea funcției logice a circuitului.

Spre exemplu, circuitele 7404, 74LS04 sau 74ALS04 sunt realizate în tehnologii diferite dar, din punct de vedere logic realizează același lucru – conțin 6 inversoare logice în aceeași capsulă de circuit integrat.

- Principalele familii realizate în tehnologie unipolară sunt prezentate în tabelul de mai jos:

Tehnologie	Denumire familie	Seria
Unipolară de tip CMOS (Complementary MOS)	CMOS normale	CD4000
	High speed CMOS	74HC***
	Advanced CMOS	74AC***
	Advanced High speed CMOS	74 AHC***
Unipolară de tip CMOS cu intrări compatibile TTL	High speed CMOS (with TTL electrical compatibility)	74HCT***
	Advanced CMOS (with TTL electrical compatibility)	74ACT***
	Advanced High speed CMOS (with TTL electrical compatibility)	74AHCT***

III. Parametrii circuitelor logice

- **Parametrul unui circuit logic** = valoare de catalog pentru o mărime ce-i caracterizează funcționarea în condiții de test, sau la interconectarea cu alte circuite din aceeași familie.
- Parametrii sunt aleși astfel încât să caracterizeze cât mai bine regimul de curent continuu, regimul tranzitoriu și comportamentul la zgomot al circuitului digital. Frecvent acești parametrii sunt dați în cataloage ca valori tipice (valori normale) sau ca valori extreme (pentru cazul cel mai defavorabil).
- Parametrii principali pot fi folosiți și pentru compararea performanțelor circuitelor din familii diferite;
- **Principalii parametri și caracteristici pentru circuitele logice reale sunt:**
 - niveluri de tensiune asociate stărilor logice de intrare/ieșire
 - marginea de zgomot
 - timp de propagare
 - factorul de încărcare al ieșiri logice (Fan Out)
 - etaje tipice de ieșire pentru familia TTL
 - caracteristica de transfer în tensiune
- în mod evident se poate trage concluzia că limitările circuitelor electronice, folosite pentru implementarea circuitelor logice, au ca efect reducerea performanțelor. Spre exemplu, timpul de propagare nenul va avea ca efect reducerea frecvenței maxime la care poate opera circuitul);
- mai puțin evident este faptul că, anumite abateri ale circuitelor reale față de modelul ideal, au ca efect modificări nedorite în comportamentul intrare-ieșire al circuitului. Spre exemplu, timpul de propagare nenul poate cauza răspunsuri nedorite într-un circuit real, răspunsuri ce nu pot fi puse în evidență pe analiza pur logică în condiții ideale de propagare;

3.1. Nivelurile de tensiune asociate stărilor logice

- Am precizat anterior că circuitele electronice operează cu semnale de tensiune, motiv pentru care pentru fiecare cifră binară trebuie să asociem, prin convenție, niște valori de tensiune;
- Valorile de tensiune asociate cifrelor binare trebuie, în mod obligatoriu să fie separate de o bandă interzisă;
- La prima vedere, codificarea celor două cifre binare în circuitele electronice s-ar putea astfel:
 - o Pentru "unu logic" asociem o tensiune egală cu tensiunea de alimentare, V_{cc} ;
 - o pentru "zero logic", asociem o tensiune nulă (potențialul masei, GND);
- Acest mod de lucru nu poate fi adoptat în practică deoarece nivelurile de tensiune sunt afectate de o serie de factori perturbatori precum:
 - o dispersia tehnologică,
 - o îmbătrânirea componentelor,
 - o variațiile tensiunii de alimentare etc.
- **Soluția corectă de alocare:**
 - o pentru fiecare stare logică se alocă câte o bandă de tensiuni permise și nu doar o valoare singulară;
 - o Pentru a putea face distincție între cele două stări logice, benzile de tensiune asociate sunt separate de o bandă interzisă (vezi fig. 1).
- Semnificația mărimilor ce intervin în figura 1 este următoarea:
 - o V_{OLmax} reprezintă valoarea maximă pentru tensiunea corespunzătoare unei ieșiri logice aflată în starea "LOW";
 - o V_{OHmin} reprezintă valoarea minimă pentru tensiunea corespunzătoare unei ieșiri logice aflată în starea "HIGH";
 - o V_{IHmin} reprezintă valoarea minim necesară a tensiunii de intrare pentru a fi interpretată drept "unu logic" (stare "HIGH");
 - o V_{OLmax} reprezintă valoarea maximă a tensiunii de intrare care este interpretată drept "zero logic" (starea "LOW").

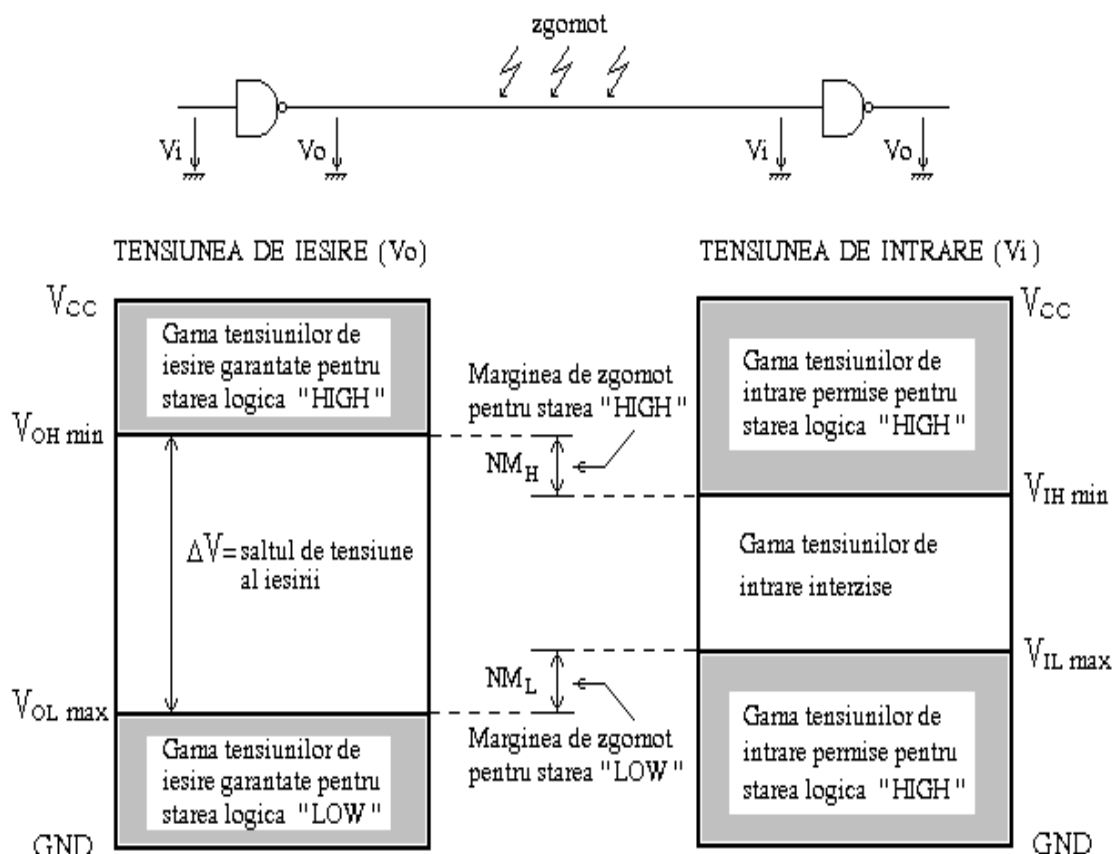


Fig.1. Nivelurile de tensiune asociate stărilor logice

- Precizăm că:

- o tensiunile V_{OLmax} , V_{OHmin} , V_{ILmax} , V_{IHmin} , se regăsesc în foile de catalog ca parametri limită garantați de fabricant;
- o valorile numerice ale tensiunilor V_{OLmax} , V_{OHmin} , V_{ILmax} , V_{IHmin} , diferă de la o familie logică la alta,
- o în tabelul 2, sunt prezentate valorile de tensiune asociate stărilor logice pentru câteva familii logice.

Tabelul 2

Familie Parametru	TTL standard (74**)	74LS** 74AS** 74ALS**	CMOS (74HC**, 74AHC**)	CMOS compatibil TTL (74HCT**, 74AHCT**)	CMOS (CD***)
V_{OLmax} [V]	0,4	0,4	0,1	0,4	99% din Vdd
V_{OHmin} [V]	2,4	2,7	4,9	2,4	1% din Vdd
V_{ILmax} [V]	0,8	0,8	1,5	2	30% din Vdd
V_{IHmin} [V]	2	2	3,5	0,8	70% din Vdd

- referitor la **familia TTL, pentru ieșirea logică** putem face următoarele observații:
 - dacă ieșirea este în starea LOW,
 - tensiunea electrică poate avea orice valoare în domeniul $0 \div 0,4V$
 - valoarea cea mai des întâlnită în practică (valoarea tipică) este în jur de $0,2V$.
 - fabricantul ne garantează, prin parametrul de catalog $V_{OLmax} = 0,4V$, că această valoare nu va fi depășită într-o funcționare normală
 - valoarea ideală pentru starea logică LOW ar fi o tensiune de zero volți.
 - dacă ieșirea este în starea HIGH,
 - valoarea ideală pentru starea logică HIGH ar fi o tensiune egală cu tensiunea de alimentare, adică egală cu $5V$.
 - în practică, tensiunea electrică poate avea orice valoare în domeniul $2,4 \div 5V$
 - valoarea cea mai des întâlnită (valoarea tipică) este în jur de $3,6V$.
 - fabricantul ne garantează, prin parametrul de catalog $V_{OHmin} = 2,4V$, că tensiunea de ieșire va fi peste această valoare într-o funcționare normală
 - într-o funcționare normală, circuitul nu trebuie să genereze la ieșire tensiuni statice în domeniul $0,4 \div 2,4V$ deoarece acest interval este folosit pentru separarea celor două stări logice, *este banda interzisă*;
- referitor la **familia TTL, pentru intrarea logică** putem face următoarele observații:
 - orice valoare de tensiunea cuprinsă în domeniul $0 \div 0,8V$ este interpretată de circuitul logic ca fiind zero logic (starea LOW);
 - orice valoare de tensiunea cuprinsă în domeniul $2,8 \div 5V$ este interpretată de circuitul logic ca fiind unu logic (starea HIGH);
 - fabricantul nu precizează funcționarea circuitului dacă la intrare se aplică o tensiune statică din banda interzisă ($0,8 \div 2,8V$);
 - într-o funcționare normală a unui circuit logic, la intrarea circuitului nu are sens să aplicăm o tensiune statică din banda interzisă ($0,8 \div 2,8V$), deoarece aceasta nu corespunde nici valorii de zero logic, nici valorii de unu logic;
 - undeva în mijlocul benzii de separare se găsește tensiunea de prag – tensiune ce face separarea în regim dinamic a celor două stări logice;

Situația prezentată în figura 1 este valabilă pentru regimul static, adică pentru situația în care semnalul logic este fie în zero, fie în unu și se menține astfel pentru un anumit interval de timp;

O reprezentare grafică a nivelurilor de tensiune asociate stărilor logice pentru o gamă mai mare de circuite logice din diferite familii, alimentate la tensiuni diferite, se prezintă în figura 2.

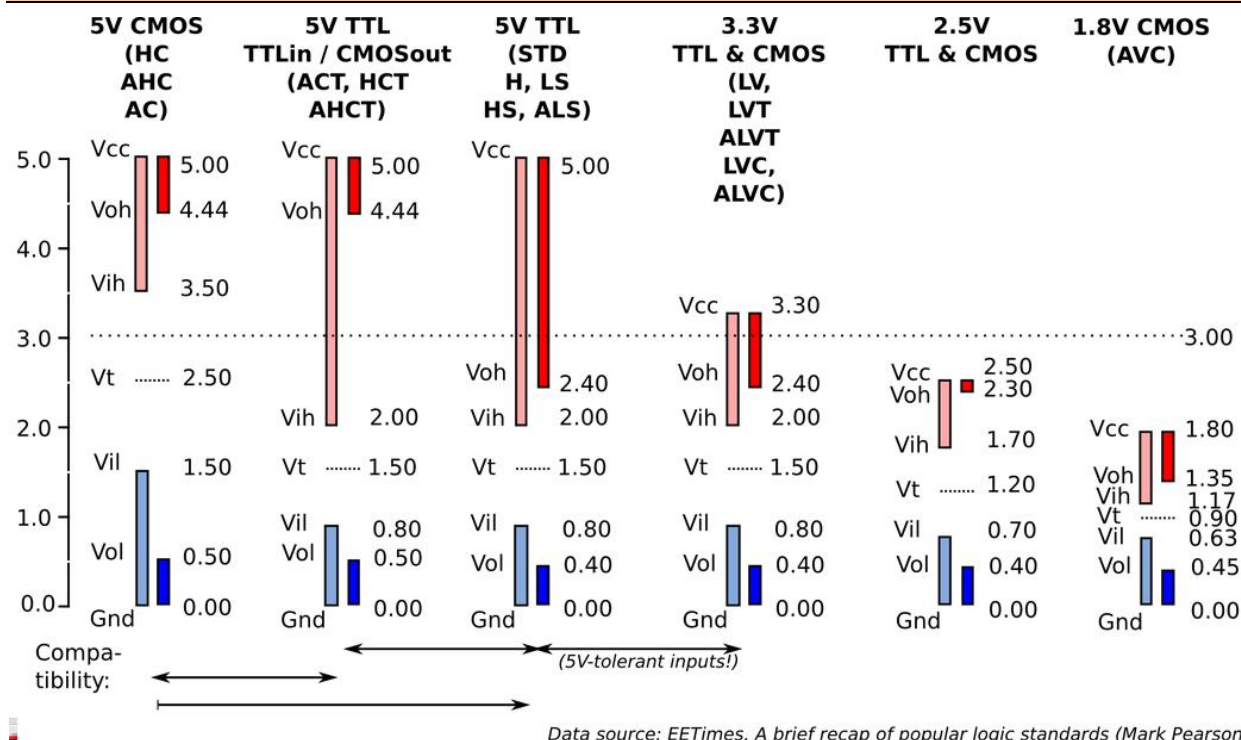


Fig.2. Nivelurile de tensiune asociate stărilor logice pentru diferite familii logice

3.2. Marginea de zgomot

- Pe traseul de legătură dintre ieșirea unui circuit și intrarea altuia se transmite un semnal util de tensiune care poate fi afectate de:
 - o Zgomotele electrice captate pe traseu
 - o Pierderile electrice cauzate de rezistența electrică nenulă a traseului
- Se pune în mod firesc întrebarea cât de mari pot fi pierderile/zgomotele pentru a nu perturba funcționarea circuitului digital?
- În esență trebuie să avem certitudinea că semnalul de tensiune transmis de circuitul driver este *înțeles* de circuitul receptor. Dacă semnalul util este puternic afectat de pierderi/zgomote, există riscul ca semnalul util să nu fie interpretat corect la recepție și atunci pierdem informația logică transmisă pe firul de legătură.
- Parametrul ce definește imunitatea la zgomot este denumit **margine de zgomot** (*noise margin*), se notează cu **NM_H** pentru starea logică "high", respectiv cu **NM_L** pentru starea logică "low".
- Marginea de zgomot reprezintă unul dintre cei mai importanți parametri ai circuitelor digitale deoarece oferă o măsură a imunității acestora la perturbații.
- Marginea de zgomot statică este dată de amplitudinea maximă a semnalului de zgomot lent variabil care se poate suprapune peste semnalul util fără ca acesta să perturbe funcționarea normală a circuitului.

- Analizând figura 1, se observă că între tensiunile garantate la ieșire și cele admisibile la intrare, apar diferențe. Rolul acestor diferențe este de a preîntâmpina efectul negativ pe care-l au zgomotele asupra semnalului util. Aceste diferențe nu sunt altceva decât valorile minimale (garantate de fabricant) ale marginilor statice de zgomot. Ele se determină cu ajutorul relațiilor:

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

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

- Facem precizarea că marginile de zgomot diferă de la o familie logică la alta. În plus, ele pot să nu fie egale pentru cele două stări logice.
- Pentru familia TTL standard avem următoarea situație:

$$NM_H = V_{OH \min} - V_{IH \min} = 2,4 - 2,0 = 0,4V$$

$$NM_L = \text{abs}(V_{OL \max} - V_{IL \max}) = \text{abs}(0,4 - 0,8) = 0,4V$$

- Pentru familia 74HC avem următoarea situație:

$$NM_H = V_{OH \min} - V_{IH \min} = 4,9 - 3,5 = 1,4V$$

$$NM_L = \text{abs}(V_{OL \max} - V_{IL \max}) = \text{abs}(0,1 - 1,5) = 1,4V$$

- Din exemplele anterioare se poate constata că familia 74HC are o imunitate mai mare față de perturbații în raport cu familia TTL standard.
- O margine de zgomot mai mare = imunitate mai mare față de perturbații.