

1. SISTEME NUMERICE. PRINCIPII DE FUNCȚIONARE (9.04.2004)

1.0. Introducere

Un sistem numeric servește la procesarea informațiilor digitale prin efectuarea asupra ei a unei succesiuni de operații aritmetice și logice în concordanță cu un algoritm. Sistemele numerice se pot clasifica în:

- sisteme numerice combinaționale (SNC) și
- sisteme numerice secvențiale (SNS).

SNC este un sistem cu un număr de n intrări și m ieșiri. La intrări sunt aplicate n variabile logice de intrare, ansamblul cărora constituie *vectorul variabilelor de intrare*. La ieșire se obțin variabile logice de ieșire care constituie *vectorul variabilelor de ieșire*. Vectorul variabilelor de ieșire depinde doar de valoarea momentană a vectorului variabilelor de intrare. SNC nu conțin elemente de memorare ale stărilor sistemului.

SNS au un număr de n intrări și un număr de m ieșiri. Aici vectorul ieșirilor depinde atât de valoarea momentană a vectorului intrărilor cât și de starea momentană a sistemului, respectiv de succesiunea anterioară a stărilor sistemului. SNS funcționează sub acțiunea unor impulsuri de tact cu frecvența de repetiție constantă. Pot avea o funcționare sincronă sau asincronă.

1.1. Lumea digitală

Există două modalități distincte de reprezentare a unei mărimi măsurabile: analogică și numerică (digitală). Mărimile analogice au o variație continuă, pe când cele numerice au o variație discontinuă, pas cu pas.

Electronica digitală s-a dezvoltat de la începutul secolului XX (tuburi electronice), dar mai ales după 1948, anul descoperirii tranzistorului. Electronica digitală a crescut o dezvoltare accentuată începând cu 1972, anul introducerii primului microprocesor. Prin excelență omul este o ființă analogică, adică toate informațiile pe care le percepe din mediul înconjurător sunt continue. Din acest motiv, tendința prezentă și foarte probabil viitoare a electronicii este de-a realiza *analogic* interfața cu omul. Anumite “excuse” cum ar fi ceasurile cu indicație numerică sau vitezometrele numerice ale autoturismelor au pierdut teren în fața variantelor analogice – ceasul cu ace indicatoare (dar numeric în interior), respectiv vitezometrul cu ac (dar legat la un calculator numeric). Aceasta deoarece efortul suplimentar de procesare a mărimii reprezentate numeric este o problemă suplimentară pentru creierul uman, care poate însă interpreta instantaneu o reprezentare analogică.

În final, mai trebuie observat că lumea reală în macrostructura ei este continuă, deși în microstructura ei ea este discontinuă.

AVANTAJELE TEHNICILOR NUMERICE

1. Tehnica digitală este *ieftină*. Prețul circuitelor integrate numerice *este în continuă scădere*.
2. Circuitele logice sunt *mult mai puțin afectate de zgomote*.
3. *Memorarea informației este simplă, ieftină și posibilă la capacități de memorare tot mai mari*.
4. *Precizia poate fi foarte mare*. Reprezentând mărimile pe un număr suficient de mare de biți se pot obține precizii mult mai bune decât în tehnica analogică.
5. Operațiile pot fi *programate*.
6. Circuitele integrate digitale au *densități de integrare tot mai mari*.
7. *Proiectarea cu CID este relativ simplă*.

DEZAVANTAJELE TEHNICILOR NUMERICE

Tehnicile numerice au un singur dezavantaj (major):



Lumea înconjurătoare este în cea mai mare parte analogică.

REPREZENTAREA MĂRIMILOR – NUMERICĂ SAU ANALOGICĂ?

Acum este mult mai simplu de răspuns: toate prelucrările interne vor fi făcute pe cât posibil în tehnica numerică, interfațarea cu operatorul uman va utiliza mărimi analogice.

Pe măsura perfecționării tehnologiei, circuitele VLSI au evoluat prin creșteri exponențiale în densitatea de integrare și liniare în timpii de propagare. Binecunoscuta lege a lui Moore, enunțată la începutul anilor '60 își păstrează incredibil de bine valabilitatea și în prezent: "*numărul de tranzistoare per circuit integrat se dublează la fiecare 12...18 luni*". Circuite ca memoriile, microprocesoarele, ariile de porți și FPGA-urile se integrează foarte bine în această lege, de vreme ce mărimi ca numărul de biți (capacitatea memoriei), numărul de porți, respectiv de celule a crescut de asemenea exponențial (figura 1.1).

Este extrem de interesant de subliniat că există un prag (în jurul cifrei de 1000 de elemente utile, tranzistoare, porți, biți, celule) pentru care un tip nou de circuit se impune pe piață. Exemplele care vin să sprijine această afirmație sunt multiple, de pildă ariile de porți introduse de firma Ferranti (câteva sute de porți per cip) nu s-au bucurat de succes comercial, pe când ariile firmei LSI Logic (câteva mii de porți) au antrenat vânzări de peste un miliard de dolari.

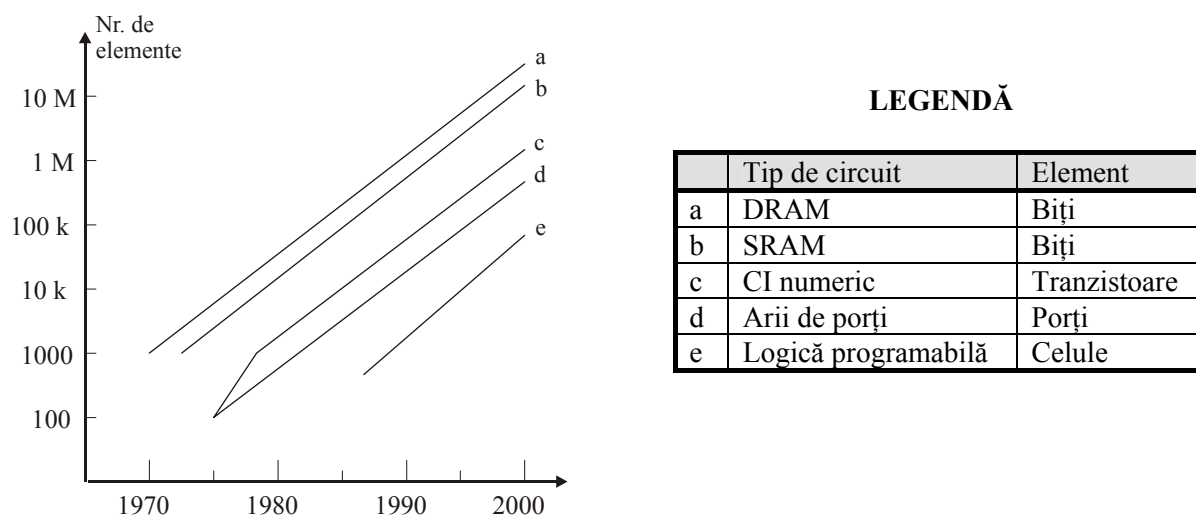


Figura 1.1. Progresul tehnologic după legea lui Moore.

1.2. Clasificarea sistemelor numerice

Sistemele numerice se clasifică în *ordine*, existând în prezent șapte ordine.

- S₀, sistemele de ordin zero sau circuitele combinaționale au drept reprezentant poarta logică. Conectând corespunzător mai multe porți se obțin **circuite logice combinaționale** (CLC), cele mai importante fiind: codificatorul, decodificatorul, comparatorul, sumatorul, generatorul de paritate, convertorul de cod.
- S₁ sistemele de ordin unu sau circuitele de memorare au ca reprezentant tipic bistabilul. Conectând corespunzător mai multe bistabile (și eventual porți) se obțin **circuite secvențiale**, cele mai importante din acest sistem fiind registrele de deplasare și memorare.
- S₂ sistemele de ordin doi sau automatele elementare sincrone au ca reprezentant tipic **numărătorul**. Extensia este formată de numărătoare, divizoare programabile, automate secvențiale sincrone cu facilități multiple.



Obiectul de studiu al acestui curs sunt sistemele de ordin 0, 1 și 2.

- S₃ sistemele de ordin trei sau sistemele microprogramabile tradiționale funcționau pe baza unui algoritm implementat în microcod. Primele microprocesoare au schimbat radical această abordare, microcodul nemaifiind accesibil utilizatorului. A devenit însă disponibil un set de instrucțiuni puternice al microprocesorului – codul mașină. În prezent sunt foarte puține aplicații în care se mai cere programarea în limbaj mașină – sunt preferate limbajele înalte C, Java, etc. Acesta este motivul pentru care am ales microcontrolerul și nu microprocesorul ca reprezentant tipic al acestui ordin, o serie de aplicații simple programându-se direct în limbajul mașină al microcontrolerului. În acest context, microprocesorul nu este extensia firească a microcontrolerului, ci un reprezentant mai complex (un microprocesor actual are peste 25 de milioane de tranzistoare).
- S₄ sistemele de calcul au ca reprezentant tipic calculatorul. Paradoxal, este destul de greu de definit un calculator datorită progresului tehnologic accelerat care determina schimbarea unei generații de microprocesoare la fiecare 2 ani. Prin **calculator** în sensul acestui curs vom înțelege un sistem programabil cu prețul între 300 și 100.000 USD. Similar, un **supercalculator** va avea prețul peste 100.000 USD (tipic peste 1 milion de dolari).
- S₅ sistemele de ordin patru sau rețeaua de calculatoare au drept reprezentant tipic **rețeaua locală** (LAN, *local area network* în limba engleză), amplasată într-o încăpere sau clădire. O rețea la nivel de oraș (MAN, *Metropolitan Area Network*) respectiv de întindere mare (WAN – *wide area network*) la nivel de țară, continent sau intercontinentală. Rețeaua casierilor Renel este un bun exemplu de MAN, iar rețeaua de bancomate BCR un exemplu de WAN.
- S₆ sistemele de ordin șase sunt un caz special, fiind reprezentate unic de **Internet**, a cărui extensie nu este previzibilă în viitorul apropiat.

Tabelul 1.1

Clasificarea sistemelor numerice

	Tip	Denumire sistem	Reprezentant tipic	Extensie
1	S ₀	Circuite combinaționale	Poarta logică	Decodificatorul, comparatorul
2	S ₁	Circuite de memorare	Bistabilul	Registrul de deplasare
3	S ₂	Automate elementare	Numărătorul	Divizorul programabil
4	S ₃	Sisteme microprogramabile	Microcontrolerul	Microprocesorul modern
5	S ₄	Sisteme de calcul	Calculatorul	Supercalculatorul
6	S ₅	Rețeaua de calculatoare	LAN – rețeaua locală	MAN – rețea metropolitană, WAN – rețea națională
7	S ₆	Rețele de rețele	Internet	-

Este interesant de apreciat proporția dintre hardware și software la sistemele numerice clasificate mai sus. La sistemele de ordin 0 și 1 partea software este 0. Primele dispozitive programabile sunt cele de ordin doi, dar ele nu rulează propriu-zis un program – ci evoluează în funcție de un cuvânt binar.

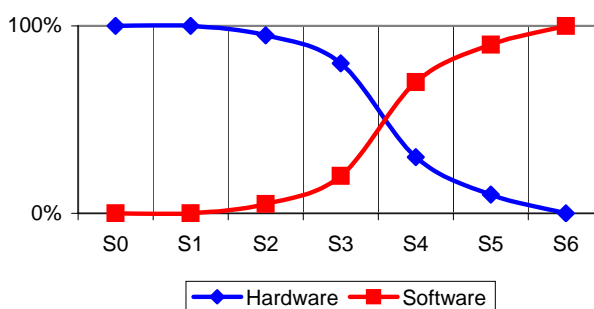


Figura 1.2. Raportul hardware / software la sistemele numerice actuale.

Ponderea software-ului crește puternic începând cu sistemele de ordin trei. La un calculator modern, costul software-ului (oficial, nu pirat!) depășește de multe ori costul hardware-ului, raportul fiind cu atât mai mare cu cât programele utilizate sunt mai specializate și deci mai scumpe. Este imposibil de imaginat un sistem de ordin cinci fără contribuția software-ului, iar Internetul este doar o construcție soft, chiar dacă se bazează pe sute de milioane de calculatoare conectate la circa 100 de milioane de servere.

1.3. Niveluri logice, forme de undă

Un *circuit logic elementar* (CLE) este un ansamblu de elemente electrice și electronice cu ajutorul cărora se efectuează operații logice elementare. CLE funcționează binar, folosind elemente sau dispozitive care se pot afla în *două* stări distincte, cărora li se asociază valorile binare 0 și 1. Sesizarea stării în care se află un CLE se poate face prin mai multe metode, în funcție de mărimea urmărită (o tensiune, prezența unui curent, starea unui contact electric, etc). În prezent cea mai folosită metodă folosește drept mărime electrică asociată stării CLE tensiunea electrică. Sesizarea propriu-zisă a stării se poate realiza prin:

- detectarea *nivelului* tensiunii la ieșirea CLE - **logică de nivel**;
- detectarea *prezenței sau absenței* unor impulsuri la ieșirea CLE - **logică de impulsuri**.

În general se utilizează *logica de nivel*. În *logica pozitivă* se asociază un nivel de tensiune relativ ridicat V_H valorii 1 logic (Sus sau *High*), respectiv un nivel relativ coborât V_L valorii 0 logic (Jos sau *Low*). Se poate opera și în logica negativă în care aceste valori sunt inversate (figura 1.3).

În practică este mai răspândită *logica de nivel pozitivă* (tehnică de calcul, echipamente numerice de comandă, etc), dar există și situații în care întâlnim logica negativă, de exemplu la portul serial al calculatoarelor PC.

Nivelurile asociate pentru 0 și 1 logic nu sunt în fixe sau constante, ele găsindu-se într-un *interval* de valori garantat de producător. Nivelurile de tensiune TTL sunt cuprinse între 0 și 0,8 V pentru 0 logic, respectiv între 2 și 5 V pentru 1 logic. În logica pozitivă nivelul corespunzător al tensiunii de ieșire 0 logic se notează cu U_{OL} sau V_{OL} , iar pentru 1 logic se utilizează U_{OH} sau V_{OH} . Pentru portul serial nivelul 1 logic corespunde unei tensiuni cuprinse în intervalul -12 la -5 V, iar 0 logic unei tensiuni cuprinse între 5 și 12 V.

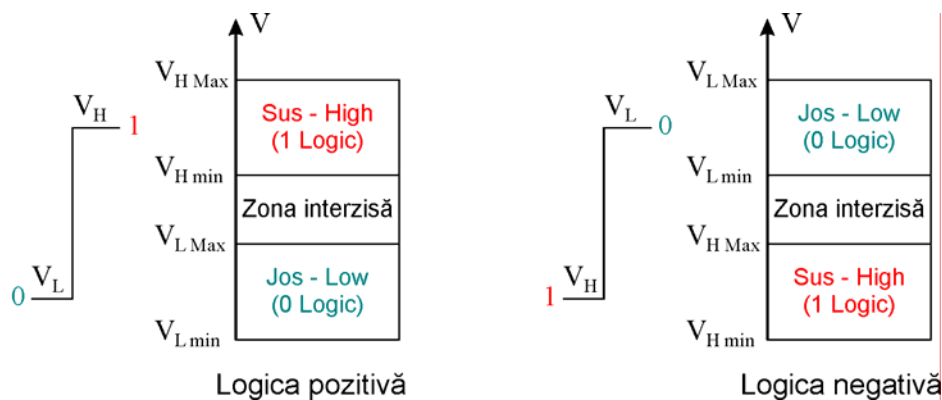


Figura 1.3. Niveluri de tensiune în logica pozitivă și negativă.

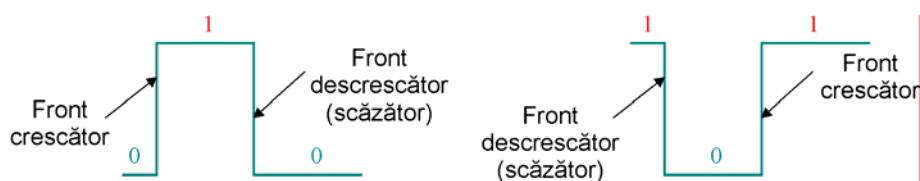


Figura 1.4. Impuls pozitiv (crescător) și negativ (scăzător).

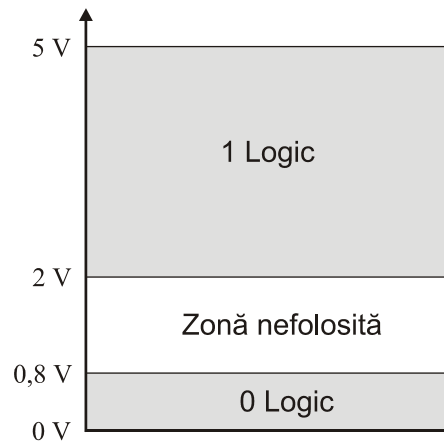


Figura 1.5. Niveluri logice TTL.

Pentru impulsul reprezentat în figura 1.6 în tehnica digitală se definesc trei puncte de referință temporale care survin la atingerea pragurilor de 10%, 50 % și 90% din amplitudinea semnalului. Lățimea impulsului se notează de obicei cu t_w , timpul de ridicare cu t_r iar timpul de coborâre sau cădere cu t_f , toți indicii provenind de la inițialele din limba engleză (*width*, *rise*, *fall*). Timpul de ridicare, respectiv de coborâre se măsoară între pragurile de 10% și 90% deoarece se dorește evitarea regiunilor neliniare de racordare între palierul și frontul impulsului.

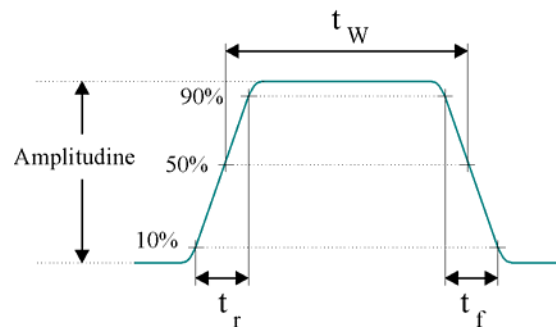


Figura 1.6. Un impuls real.

Diagramele de semnal aferente circuitelor numerice de cele mai multe ori nu reprezintă valoarea reală a tensiunii în stările 0 și 1, preferându-se o reprezentare simplificată (figura 1.7). Primul semnal este unul periodic cu perioada T , iar cel de-al doilea este un semnal neperiodic. Un semnal de tact este un exemplu tipic de semnal periodic, iar o linie a unei magistrale de date este un bun exemplu de semnal neperiodic.

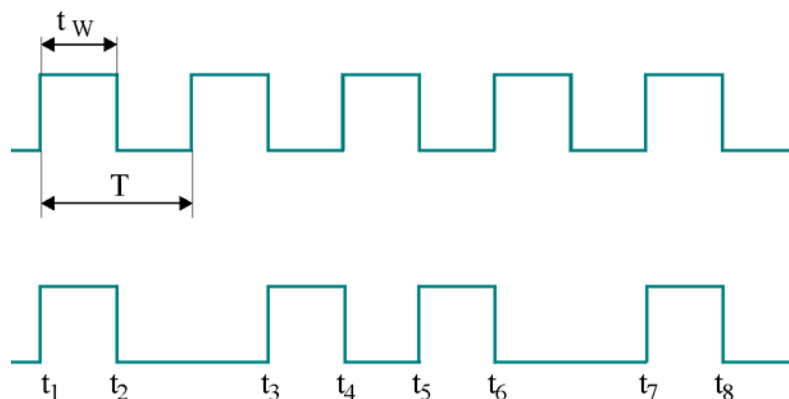


Figura 1.7. Un semnal periodic și unul neperiodic.

Caracteristicile semnalelor periodice sunt *frecvența*, $f = \frac{1}{T}$ și *factorul de umplere (duty cycle)*

exprimat de cele mai multe ori procentual: *Factorul de umplere* = $\frac{t_w}{T} \cdot 100\%$.

1.4. Clasificarea circuitelor integrate digitale după complexitate

În funcție de numărul de porți echivalente, circuitele integrate numerice se clasifică conform tabelului de mai jos. Limita de 12 porți la circuitele SSI provine istoric – la mijlocul deceniului 7 era o performanță integrarea a peste 50 de tranzistoare pe un singur cip! (Un circuit complex actual are peste 100 de milioane de tranzistoare, adică de 2.000.000 de ori mai mult!). Din acest motiv, tabelul nu este definitiv, densitatea de integrare crescând permanent.

Tabelul 1.3

Clasificarea circuitelor integrate logice după numărul de porți echivalente

	Tip	Scara de integrare	Număr porți echivalente	Exemplu de circuite
1	SSI	Integrare pe scară mică <i>Small-scale integration</i>	≤ 12	Porți, bistabile
2	MSI	Integrare pe scară medie <i>Medium-scale integration</i>	12 - 99	Decodificatoare, registre numărătoare,
3	LSI	Integrare pe scară mare <i>Large-scale integration</i>	100 – 9.999	Memorii de capacitate redusă
4	VLSI	Integrare pe scară foarte mare <i>Very large-scale integration</i>	10k – 99.999	Microprocesoare și microcontrolere de complexitate redusă
5	ULSI	Integrare pe scară ultra-mare <i>Ultra large-scale integration</i>	100k-	Memorii de mare capacitate, microprocesoare moderne
6				

1.4.1. Tehnologii de fabricare a circuitelor integrate digitale

Realizarea CID moderne se face utilizând tranzistoare bipolare sau MOSFET. În tehnologie bipolară se fabrică circuitele **ECL** (*Emitter-Coupled Logic*) și **TTL** (*Transistor-Transistor Logic*), ultimele fiind mai larg răspândite. Cele mai răspândite tehnologii MOS sunt **CMOS** (*Complementary MOS*) și **NMOS** (*n-channel MOS*).

Circuitele SSI și MSI se produc atât în tehnologie TTL cât și CMOS. Circuitele LSI, VLSI și ULSI se produc numai în tehnologie MOS datorită densității (mult) mai mari de integrare necesare.

1.4.2. Capsule pentru circuitele integrate

Capsulele circuitelor integrate se clasifică după modul în care aceste circuite echipează o placă de circuit imprimat (cu găuri sau montate pe suprafață). Capsula **DIP** (engl. *Dual in Line Package*) este reprezentantul tipic pentru prima categorie.

Tehnologia **SMT** (engl. *Surface-Mount Technology*) utilizează circuite integrate ale căror pini se lipesc direct pe cablajul imprimat. Această soluție permite o importantă economie, deoarece:

- nu mai sunt necesare găuri de trecere a pinilor;
- porțiunea de cablaj de pe partea opusă circuitului SMT poate fi folosită pentru alte circuite sau trasee;
- circuitele SMT sunt mult mai mici decât echivalentul lor DIP (atât prin dimensiunile capsulei și cât și prin distanța mai mică dintre doi pini alăturați).

Principalele capsule SMT ale CI

Denumire	Explicație	Traducere
SOIC	<i>Small Outline IC</i>	
PLCC	<i>Plastic Leaded Chip Carrier</i>	
LCCC	<i>Leadless Ceramic Chip carrier</i>	
FP	<i>Flat Pack</i>	
SSOP	<i>Shrink Small-Outline Package</i>	
TSSOP	<i>Thin Shrink Small-Outline Package</i>	
TVSOP	<i>Thin Very-Small-Outline package</i>	

1.5. Norme generale de reprezentare a schemei electrice

Reprezentarea corectă și estetică a schemei electrice conduce la obținerea unor avantaje, cum ar fi:

- înțelegerea ușoară a schemei atât de autor cât și de cititor;
- posibilitatea lucrului în echipă;
- plăcerea de a citi schema.

În condițiile în care în prezent sunt disponibile o serie de programe CAD – Protel, OrCad, Eagle, Circuit Maker – pentru a numi câteva maicunoscute, efortul propriu-zis de desenare este neglijabil. Nici cel mai bun program nu suplinește însă ordonarea și aspectul plăcut pe care numai un operator pedant îl poate obține. În concluzie, se recomandă următoarele norme de reprezentare a schemei electrice:

1. Sensul de circulare a semnalelor pe schemă este de la stânga la dreapta; intrările se plasează la stânga desenului, iar ieșirile la dreapta.
2. Semnalele electrice vor fi denumite cât mai sugestiv chiar de mai multe ori pe această schemă - dacă de exemplu traseul de semnal este sinuos sau este prezent pe mai multe foi de exemplu START, /RAS, RESET, STOP (prin /RAS se simbolizează semnalul RAS negat notat uneori cu nRAS). Asemenea denumiri sunt preferabile unora ca XY25 sau W2. Se mai obișnuiește utilizarea notației Up/nDown care înseamnă numărare în SUS pentru 1 logic, respectiv în JOS pentru 0 logic.
3. Conexiunea între două legături se simbolizează printr-un punct îngroșat. Absența punctului indică faptul că cele două fire nu se ating.
4. Mai multe semnale de același tip (o magistrală de date de exemplu) pot fi simbolizate unitar printr-o linie mai groasă. Semnalele electrice intră și ies din magistrală în puncte bine determinate și nominalizate ca în figura 1.8.

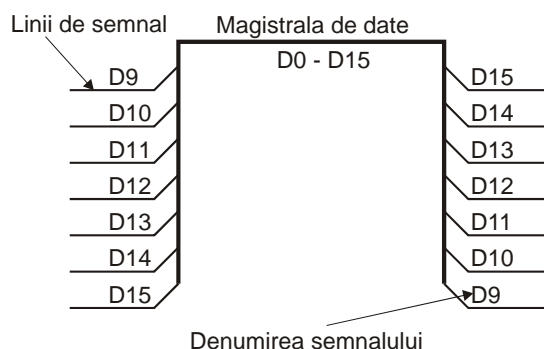


Figura 1.8. Reprezentarea unei magistrale de semnale.

5. Simbolizarea circuitelor integrate numerice

- în general nu se reprezintă alimentarea la circuitele logice. Acolo unde alimentarea nu este pe diagonala cipului se va preciza lângă circuit acest lucru. (Vcc – pin 5, GND pin 10).
 - Fiecare pin al circuitului integrat va purta un nume, de preferință înscris în interiorul capsulei. Acest nume trebuie să fie sugestiv relativ la funcția pinului pentru a facilita recunoașterea pe cablaj și depanarea ușoară.
 - Lângă capsula integratului se va nota denumirea sa (de exemplu 74LS74). Dacă este o poartă dintr-o capsulă se poate scrie 1/4 74LS00 sau 74LS00, iar în interiorul capsulei IC4A, IC4B, IC4C sau IC4D în loc de IC4.
6. Pentru o mai bună înțelegere a schemei se pot folosi culori, câte o culoare pentru elemente similare. Sub nici o formă nu se vor reprezenta capsule cu pinii dispuși ca în realitate (privire de deasupra a capsulei) deoarece:
- se complică desenul
 - nu se mai poate urmări funcționarea schemei
7. În schimb se vor reprezenta simbolurile funcționale ale circuitelor (așa cum sunt redată în cataloage).

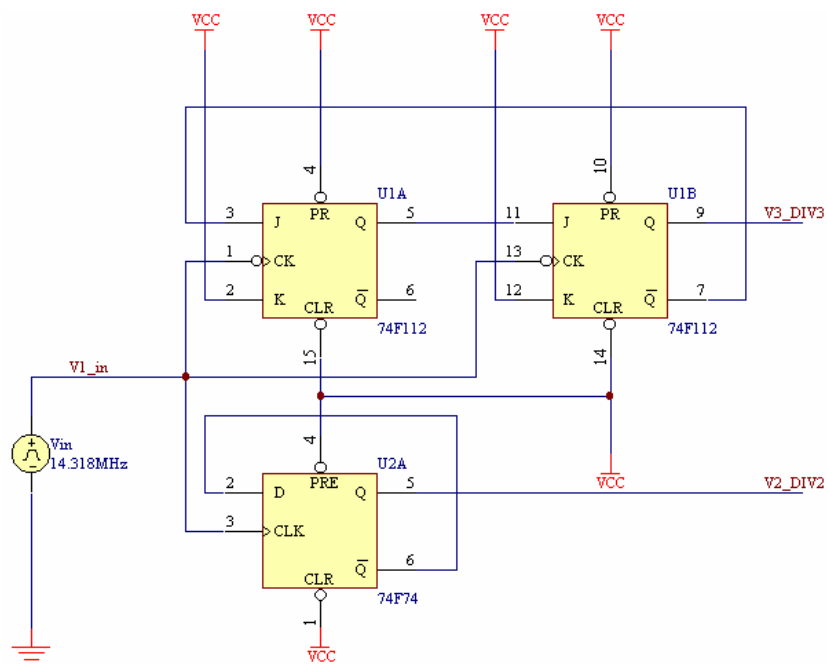


Figura 1.9. O reprezentare corectă a unei scheme electronice cu circuite integrate numerice.

8. Toate elementele din schema electrică se vor regăsi într-un tabel de componentă care va conține denumirea componentei, codul (acolo unde este posibil), cantitatea, denumirea sub care se găsește în schema electrică, valoarea, producătorul și eventual o sursă secundară de aprovizionare. Acest tabel de componentă este destinat aprovizionării cu piese în cazul producției în serie mare.

Tabelul 1.4

Exemplu de tabel de componență

Componenta	Valoare	Capsula	Descriere	Cantitate
C1	100n	AXIAL0.3	Condensator	1
C2÷C8	100n	RAD-0.1	Condensator	6
J1	Soclu	DIP18	Conector	1
R1	100	AXIAL0.3	Rezistor	1
R2	2k	AXIAL0.3	Rezistor	1
R3, R4	510	AXIAL0.3	Rezistor	2
R5	1k	AXIAL0.3	Rezistor	1
U1, U2	74F04	DIP14	Șase inversoare	2
U3, U4	74F74	DIP14	CI, Două bistabile de tip D	2
U5, U6	74F00	DIP14	CI, Patru porți ȘI-NU cu 2 intrări	2
U7	74F112	DIP16	CI, Două bistabile de tip JK	1