

## PARAMETRII CIRCUITELOR LOGICE INTEGRATE

Analiza parametrilor electrici specifici unui circuit integrat simplu relevă nivelul performanțelor circuitului respectiv, cât și caracteristicile tehnologice de integrare.

În funcție de schema electronică de apariția cronologică cât și de modul de definire a parametrilor, circuitele logice integrate se clasifică în familii de circuite integrate numerice.

Circuitele integrate numerice sau digitale în mare parte sunt realizate din punct de vedere al tehnologiei de fabricare fie în tehnologia bipolară (TTL sau ECL) fie în tehnologia unipolară cu tranzistoare MOS sau CMOS. În ultimi ani a apărut și tehnologii mixte cum ar fi BiCMOS (bipolară-unipolară).

Circuitele logice dintr-o familie se caracterizează prin aceea că au nivele logice de tensiune egale și prezintă aceleași tipuri de parametri, ceea ce permite o comparare simplă a performanțelor lor. Circuitele logice din familii diferite se pot compara pe baza parametrilor identici definiți și prin analizarea parametrilor specifici familiei respective. Dificultăți aparte apar în aprecierea unor circuite logice complexe, caracterizate printr-un număr foarte mare de parametri, ce nu pot fi analizați numai pe baza parametrilor prezentați în cataloage. În aceste cazuri în afara analizării parametrilor mai trebuie ținut seama de o serie de factori cum ar fi: compatibilitatea nivelelor logice a circuitului folosit cu a celorlalte circuite din sistem; complexitatea circuitelor logice periferice (de legătură); compatibilitatea funcțiilor generate de circuitul analizat cu funcțiile logice necesare sistemului logic proiectat, posibilitatea obținerii aceluiași circuit de la alte firme (în cazul producției de serie); posibilitatea furnizării (de către firmă) a unei game largite de circuite folosite pentru diferite aplicații; posibilitatea obținerii unor date suplimentare de documentare referitoare la caracteristicile și la aplicațiile tipice ale circuitului, și nu în ultimul rând deprinderea utilizatorului de a utiliza un anumit tip de circuit integrat.

În acest capitol se vor defini principalii parametri ai circuitelor logice ce sunt specifici tuturor tipurilor de circuite logice integrate. În capitolele în care se vor studia diferitele familii de circuite logice se vor prezenta de asemenea parametrii caracteristici fiecărei familii de circuite logice integrate.

## 1. CARACTERISTICA STATICĂ DE TRANSFER

Caracteristica statică de transfer a unui circuit integrat numeric exprimă variația tensiunii de ieșire funcție de tensiunea de intrare. În figura 9.1 se reprezintă caracteristica statică de transfer a unui circuit logic tipic, cu inversare. Datorită dispersiei elementelor de circuit, a condițiilor de încărcare diferite, variația tensiunilor de alimentare și temperaturii de lucru, nu se poate defini o caracteristică de transfer unică, ceea ce înseamnă că nu se poate defini o valoare de tensiune unică pentru nivelul logic 1 respectiv, nivelul logic 0.

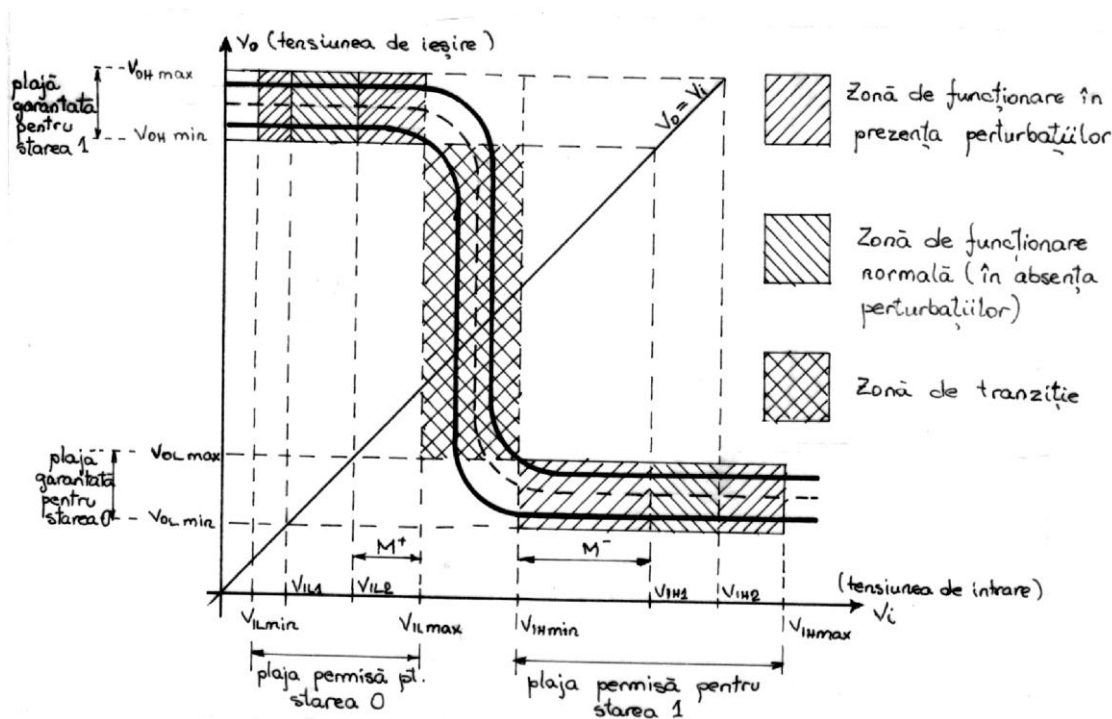


Figura 9.1

În practică caracteristica statică de transfer a unui circuit numeric integrat este cuprinsă între două caracteristici statice de transfer limită, astfel că fiecare variabilă binară (de intrare și ieșire) vor fi asociate la două plaje de tensiune numite: plajă de tensiune garantată, pentru cele două nivele de tensiune de la ieșire, respectiv plajă de tensiune permisă, pentru cele două nivele de tensiune de la intrare.

Se pot defini patru plaje de tensiune, care sunt delimitate de 8 valori semnificative. Patru tensiuni de intrare limită, câte două tensiuni limită pentru fiecare nivel logic, respectiv patru tensiuni de ieșire limită, câte două tensiuni limită pentru fiecare nivel logic de ieșire. Tensiunile limită de la intrare, respectiv ieșire au următoarele denumiri tipice:

- **VILmin** - nivelul de tensiune minim la intrare pentru ca circuitul să interpreteze la intrare 0 logic;

- **VILmax** - nivelul de tensiune maxim la intrare pentru ca circuitul să interpreteze la intrare 0 logic;

Se constată că dacă la intrarea unui circuit se aplică o tensiune ( $V_I$ ) cuprinsă între **VILmin** și **VILmax** circuitul va interpreta aceea valoare ca pe 0 logic.

- **VIHmin** - nivelul de tensiune minim la intrare pentru ca circuitul să interpreteze la intrare 1 logic;

- **VIHmax** - nivelul de tensiune maxim la intrare pentru ca circuitul să interpreteze la intrare 1 logic;

Se constată că dacă la intrarea unui circuit se aplică o tensiune ( $V_I$ ) cuprinsă între **VIHmin** și **VIHmax** circuitul va interpreta aceea valoare ca pe 1 logic.

- **VOLmin** - nivelul de tensiune minim la ieșire garantat pentru 0 logic la ieșire;

- **VOLmax** - nivelul de tensiune maxim la ieșire garantat pentru 0 logic la ieșire;

- **VOHmin** - nivelul de tensiune minim la ieșire garantat pentru 1 logic la ieșire;

- **VOHmax** - nivelul de tensiune maxim la ieșire garantat pentru 1 logic la ieșire.

Dacă tensiune de la intrare este cuprinsă între una dintre cele două limite prezentate mai sus, circuitul va genera la ieșire un nivel de tensiune cuprins între limitele **VOLmin** și **VOLmax** ce corespunde, din punct de vedere logic, lui 0 logic la ieșire, sau între limitele **VOHmin** și **VOHmax** ce corespunde, din punct de vedere logic, lui 1 logic la ieșire. Atragem atenția că valoarea logică de la ieșire este dată de funcția logică a circuitului respectiv.

Pe baza acestor tensiuni limită, definite mai sus, se definesc următoarele intervale de tensiune:

- plaja nivelului inferior (I) admis al tensiunii de intrare: **VILmax - VILmin**

- plaja nivelului superior (H) admis al tensiunii de intrare: **VIHmax - VIHmin**

- plaja nivelului inferior garantat al tensiunii de ieșire: **VOLmax - VOLmin**

- plaja nivelului superior garantat al tensiunii de ieșire: **VOHmax - VOHmin**.

Un circuit logic va funcționa corect atâta timp cât nivelele de tensiune aplicate la intrare se încadrează în plaja admisă, în acest caz nivelele de tensiune obținute la ieșire se încadrează în plaja garantată.

Intervalul dintre nivelele de tensiune cuprinse între **VIHmin-VILmax** poartă denumirea de zonă de tranziție. Pentru tensiuni de intrare cuprinse în zona de tranziție circuitul integrat poate interpreta acest nivel de tensiune fie 1 logic fie 0 logic, ceea ce determină ca la ieșire să se genereze unul din cele două nivele de tensiune garantate, dar nu tot timpul același, în funcție de alte criterii decât cele funcționale. Datorită faptului că la ieșire se creează o situație de ambiguitate zona de tranziție este de dorit să fie evitată. Acest lucru este imposibil datorită faptului că punctul de funcționare de la ieșirea circuitului integrat trece prin această zonă. Pentru funcționarea corectă a unui circuit integrat se impune ca parcurgerea zonei de tranziție să se facă într-un timp cât mai scurt, ceea ce conduce la fronturi cât mai scurte pentru semnalul numeric.

În figura 9.1 nivele de tensiune  $V_{IL1}$ ,  $V_{IL2}$  sunt foarte apropiate din punct de vedere valoric și reprezintă valoarea tipică pentru 0 logic iar  $V_{IH1}$ ,  $V_{IH2}$  reprezintă valoarea tipică pentru 1 logic. Cele două limite ale tensiunii de intrare se obțin prin intersectare caracteristicilor statice limită cu simetrica sa la  $45^\circ$ .

## 2. MARGINEA DE ZGOMOT

Marginea de protecție contra semnalelor perturbatoare numită și imunitatea la perturbații a unui circuit logic este egală cu valoarea maximă pe care o poate lua tensiunea perturbatoare de la intrare, în cazul cel mai defavorabil. astfel că la ieșirea circuitului logic să se mențină nivelul de tensiune corect.

Aplicând această definiție circuitului integrat descris prin caracteristica statică de transfer din figura 9.1 se constată că se pot defini câte două margini de zgomot pentru fiecare nivel de tensiune. O margine de zgomot pozitivă, care se adună la componenta continuă a tensiunii de intrare, respectiv o componentă negativă a marginii de zgomot care se scade din componenta continuă a tensiunii de intrare. Din acest motiv tensiunile de zgomot pot produce, din punct de vedere logic, efecte diferite.

În cazul nivelului de tensiune inferior la intrare, tensiunea de zgomot negativă determină ca punctul de funcționare de la intrare să se îndepărteze de zona de tranziție, ceea ce din punct de vedere logic conduce la creșterea siguranței în funcționare a circuitului integrat. Evident că din punct de vedere electronic este posibil ca o tensiune negativă prea mare să producă efecte care să determine chiar distrugerea intrării prin efecte termice sau prin străpungeri a unor joncțiuni, din acest motiv sunt specificate, în catalogul de circuite integrate, limitele tensiunilor negative ce pot fi acceptate la intrare. Tensiunea de zgomot pozitivă pentru acest caz apropie punctul de funcționare de zona de tranziție, zonă care produce condiții de nedeterminare din punct de vedere logic, din motiv că tensiunea de zgomot pozitivă trebuie să fie limitată la o valoare care să nu determine deplasarea punctului de funcționare în zona de tranziție. Acest efect trebuie evitat chiar și pentru nivelul de tensiune inferior cel mai defavorabil. Din caracteristica statică de transfer (figura 9.1) nivelul de tensiune cel mai defavorabil la intrare este  $V_{ILmax}$ .

Pentru cazul că la intrarea circuitului integrat se aplică nivelul de tensiune superior, tensiunea de zgomot pozitivă determină ca punctul de funcționare de la intrare să se îndepărteze de zona de tranziție, ceea ce din punct de vedere logic conduce la creșterea siguranței în funcționare a circuitului integrat. Evident că din punct de vedere electronic este posibil ca o tensiune pozitivă prea mare să producă efecte care să determine distrugerea intrării prin efecte termice sau prin străpungeri a unor joncțiuni, din acest motiv sunt specificate, în catalogul de circuite integrate, limitele superioare ale tensiunilor pozitive ce pot fi acceptate la intrare. Tensiunea de zgomot negativă pentru acest caz apropie punctul de funcționare de zona de tranziție, zonă care produce condiții de nedeterminare din punct de vedere logic, din motiv că tensiunea de zgomot negativă trebuie să fie limitată la o valoare care să nu determine deplasarea punctului de funcționare în zona de tranziție. Acest efect trebuie evitat chiar și pentru nivelul de tensiune superior cel mai defavorabil. Din caracteristica statică de transfer (figura 9.1) nivelul de tensiune superior cel mai defavorabil este  $V_{IHmin}$ .

Pentru a explica modul de definire a marginii de zgomot, se consideră că un circuit integrat trebuie să fie capabil să comande un alt circuit integrat. Astfel nivelul de tensiune garantat la ieșirea circuitului ce comandă supus influenței zgomotelor trebuie să asigure un nivel de tensiune la intrarea circuitului comandat care să se încadreze în gama nivelelor de tensiune admise la intrare. În figura 9.2 s-a reprezentat, la ieșirea circuitului integrat ce comandă, nivelele de tensiune garantate, pentru cazul cel mai defavorabil, respectiv pentru circuitul ce este comandat, nivelele de tensiune admise pentru cazul cel mai defavorabil. Pe baza graficului menționat se pot defini cele două margini de zgomot obținute în cazul cel mai defavorabil.

$$M^+ = M_L = V_{ILmax} - V_{OLmax} [V] \quad (9.1)$$

$$M^- = M_H = V_{OHmin} - V_{IHmin} [V] \quad (9.2)$$

Cele două margini de zgomot se mai numesc marginea de zgomot pozitivă și se notează cu  $M^+$ , respectiv marginea de zgomot negativă și se notează cu  $M^-$ .

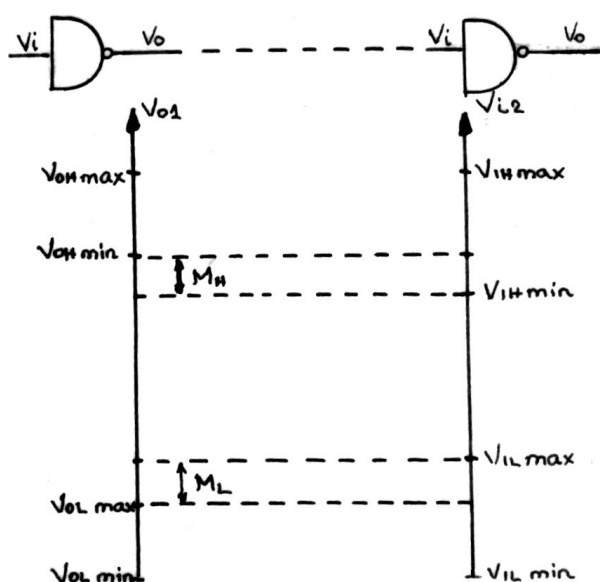


Figura 9.2

În afara marginii de zgomot definită în cazul cel mai defavorabil în catalogul de circuite integrate se mai pot prezenta și marginea de zgomot de valoare medie. Definirea acestei margini de zgomot se face considerând tensiunile de alimentare standard și

temperatura de lucru a circuitelor integrate ca fiind a mediului ambiant (25 °C). În această situație se consideră că zona de tranziție se reduce până la tensiunea de prag a circuitului integrat ( $V_T$ ) iar nivelele logice sunt unice, adică o singură valoare pentru 0 logic ( $V_L$ ), respectiv o singură valoare pentru 1 logic ( $V_H$ ). Pentru acest caz marginea de zgomot medie devine egală cu:

$$M_{Hmed} = V_H - V_T \text{ [V]} \quad (9.3)$$

$$M_{Lmed} = V_T - V_L \text{ [V]} \quad (9.4)$$

În general marginea de zgomot medie (9.3) și (9.4) este mai mare decât marginea de zgomot determinată în cazul cel mai defavorabil (9.1) și (9.2)

### 3. FACTORUL DE ÎNCĂRCARE

Factorul de încărcare la intrarea și la ieșirea circuitelor logice determină regulile de interconectare ale circuitelor logice dintr-o familie, care trebuie respectate la proiectarea și utilizarea circuitelor logice într-un sistem numeric.

Definirea factorului de încărcare la intrare (FI) respectiv ieșirea circuitului (FE) se face plecând de la valorile curenților corespunzător tensiunilor limită admiși la intrare, respectiv a tensiunilor limită garantate la ieșire pentru cazul cel mai defavorabil.

Pentru intrare se atribuie valoarea unitară curentului de comandă a circuitului în cauză

$$FI_H = I_{IHmin} = 1 \quad (9.5)$$

$$FI_L = I_{ILmax} = 1 \quad (9.6)$$

Acestor valori unitare îi sunt asociate valorile curenților de intrare, considerate ca valori obținute în cazul cel mai defavorabil. Acești curenți de intrare, din punct de vedere valoric, au cea mai mare valoare ce a fost măsurată pe un eșantion extins și sunt notați:  $I_{ILmax}$  respectiv  $I_{IHmin}$ . Indicele minim respectiv maxim nu se referă la valoarea curentului, ele se referă la denumirea tensiunilor limită de la intrare ( $V_{ILmax}$ ,  $V_{IHmin}$ ) pentru care sunt asociați. Astfel pentru o tensiune de intrare  $V_{ILmax}$  îi corespunde un curent maxim de intrare  $I_{ILmax}$ , iar pentru o tensiune de intrare  $V_{IHmin}$  îi corespunde un curent maxim de intrare  $I_{IHmin}$ .

Factorul de încărcare la ieșire (FE), se definește ca fiind raportul dintre curentul de ieșire pe curentul de intrare pentru cele două stări în cazul cel mai defavorabil:

$$FE_H = \frac{I_{OHmin}}{I_{IHmin}} \quad (9.7)$$

$$FEL = \frac{IOL_{max}}{IIL_{max}} \quad (9.8)$$

Factorul de încărcare la ieșire este de regulă, un număr întreg și pozitiv.

Din punct de vedere valoric cei doi curenți de ieșire au valori minime și sunt notați după tensiunile limită de la ieșire. Astfel pentru o tensiune de ieșire  $VOL_{max}$  îi corespunde un curent minim de ieșire  $IOL_{max}$ , iar pentru o tensiune de ieșire  $VOH_{min}$  îi corespunde un curent minim de ieșire  $IOH_{min}$ .

În cazul când circuitele integrate fac parte din serii deferite sau din familii diferite pentru a asigura interconectarea corectă a două sau mai multe circuite este necesar să fie îndeplinite următoarele condiții:

$$\left| IOL_{max} \right| = \sum \geq \left| IIL_{max} \right| \quad (9.9)$$

$$\left| IOH_{min} \right| = \sum \geq \left| IIH_{min} \right| \quad (9.10)$$

De obicei, factorul de încărcare la ieșire a unui circuit integrat, reflectă capacitatea aceluia circuit de a absorbi curent în starea logică 0 și de a debita curent în starea logică 1

#### 4. VITEZA DE COMUTARE

Viteza de comutare se definește cu ajutorul timpilor de propagare a circuitelor logice. În practică se definesc doi timpi de propagare:

**$t_{PHL}$**  este timpul de întârziere din momentul în care se aplică, la intrarea circuitului, semnalul de intrare până în momentul când circuitul răspunde la acest semnal, adică generează un semnal la ieșire. Acest timp se definește pentru cazul tranziției semnalului de la ieșire de la valoarea logică 1 ( high) la valoarea logică 0( low) iar intervalul de timp se măsoară din momentul când semnalul de intrare atinge tensiunea de prag( $V_T$ ) până în momentul când semnalul de la ieșire coboară la tensiunea de prag( $V_T$ ). Modul de definire a timpului se prezintă în figura 9.3. În principiu, dacă tensiunea de prag nu este definită, se consideră că aceasta are valoarea medie a celor două nivele logice de tensiune;

**$t_{PLH}$**  este timpul de întârziere din momentul în care se aplică, la intrarea circuitului, semnalul de intrare până în momentul când circuitul răspunde la acest semnal, adică generează un semnal la ieșire. Acest timp se definește pentru cazul tranziției semnalului de la ieșire de la valoarea logică 0( low) la valoarea logică 1 ( high) iar intervalul de timp se măsoară din momentul când semnalul de intrare atinge tensiunea de prag( $V_T$ ) până în momentul când semnalul de la ieșire urcă la tensiunea de prag( $V_T$ ). Modul de definire a timpului se prezintă în figura 9.3. În principiu, dacă tensiunea de prag nu este definită, se

consideră că aceasta are valoarea medie a celor două nivele logice de tensiune.

În situația când cei doi timpi prezintă valori apropiate sau pentru a face o sinteză a celor doi timpi, frecvent se mai definește un timp de propagare mediu, notat cu  $t_{pd}$

Timpul de propagare mediu se definește conform relației de mai jos.

$$t_{pd} = \frac{t_{PHL} + t_{PLH}}{2} \quad (9.11)$$

unde  $t_{PHL}$  și  $t_{PLH}$  au semnificația precizată în figura 9.3. În cataloagele de circuite logice se specifică de obicei atât valoarea  $t_{pd}$  cât și valorile pentru  $t_{PHL}$  și  $t_{PLH}$  ca valori minime și maxime

În figura 9.3 sunt notați următorii parametri:  $t_0$  este timpul de coborâre al semnalului de intrare, iar  $t_1$  este timpul de ridicare al semnalului de intrare.

Timpul de coborâre sau timpul de tranziție de la nivelul de tensiune superior la nivelul de tensiune inferior a semnalului ieșire se notează cu  $t_{THL}$  iar timpul de ridicare sau timpul de tranziție de la nivelul de tensiune inferior la nivelul de tensiune superior a semnalului ieșire se notează cu  $t_{TLH}$ .

În cazul circuitelor basculante bistabile sau circuitelor ce conțin astfel de circuite se specifică frecvența tactului de la intrare.

Atât timpii de propagare cât și frecvența de lucru sunt specificați în catalog prin valori extreme (maxim ,minim) cât și valori medii.

Acest parametru reprezintă împreună cu puterea consumată unul dintre cei mai importanți parametri ai circuitelor integrate numerice.

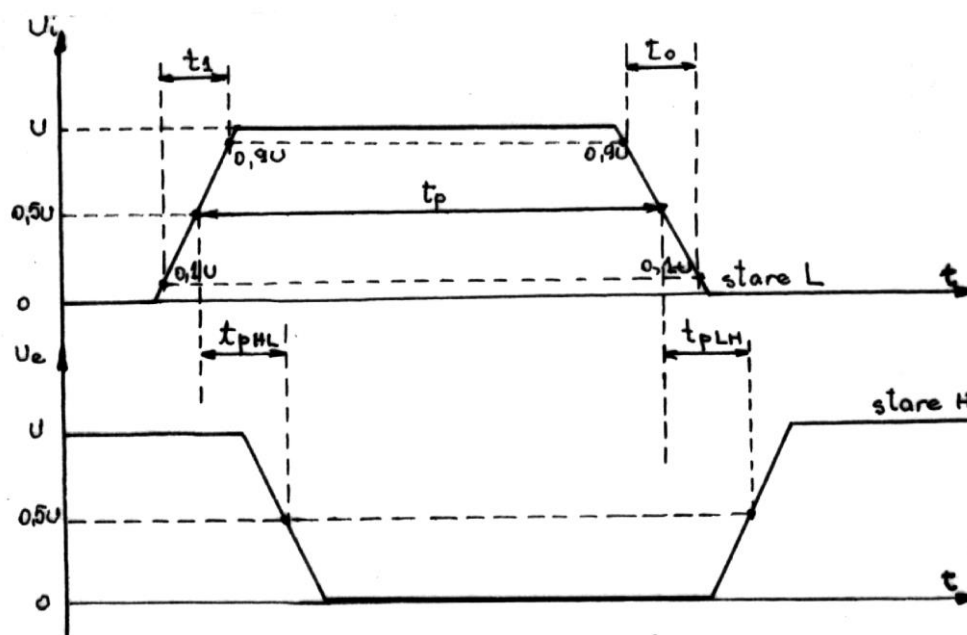


Figura 9.3



## 5 PUTEREA CONSUMATĂ

Puterea consumată reprezintă unul dintre cei mai importanți parametri, deoarece indirect exprimă gradul de integrare a unui circuit numeric. În principiu siliciul, ca material semiconductor de bază la fabricarea circuitelor integrate, este slab conductor de căldură. Din acest motiv cu cât gradul de integrare este mai mare cu atât numărul de dispozitive semiconductoare pe unitatea de suprafață este mai mare, ceea ce determină creșterea un procesului de disipare a căldurii pe unitatea de suprafață. Cum pierderile de căldură, prin siliciu, sunt mici acestea se acumulează în materialul semiconductor. Prin încălzire materialul semiconductor de siliciu se transformă, treptat, în bioxid de siliciu ( $\text{SiO}_2$ ), care este un material izolant. Acest proces, de transformare a siliciului în bioxid de siliciu, conduce în final la întreruperea curentului prin dispozitivele semiconductoare, deci la distrugerea circuitului integrat.

Pentru a nu apare efectul menționat mai sus este de dorit ca siliciu deci și dispozitivele semiconductoare care alcătuiesc circuitul integrat, să lucreze la o temperatură zisă normală. Se consideră temperatura de lucru normală temperatura de  $20^0 - 25^0 \text{ C}$ .

Ca un dispozitiv semiconductor, un circuit integrat, sau un întreg calculator să poată lucra la temperatura normală sunt necesare să fie îndeplinite mai multe obiective. Unul dintre multiplele obiective constă în realizarea unor circuite integrate cu un consum redus de putere și care prezintă premiza disipări reduse de căldură.

Consumul de putere se caracterizează prin următorii parametri specificați în cataloagele de circuite integrate numerice.

- a) tensiunea de alimentare a circuitului logic {VCC}
- b) curenții absorbiți de circuitul logic când la ieșire se obține nivelul superior de tensiune {ICCH}, respectiv nivelul inferior de tensiune (ICCL).
- c) curentul de ieșire al circuitului numeric, când ieșirea este legată în scurtcircuit la masă (IOS)
- d) puterea medie consumată în regim static (Pcc) și care este exprimată prin relația de mai jos:

$$PCC = \frac{ICCH + ICCL}{2} \quad (9.12)$$

În regim de comutare puterea consumată crește prin încărcarea și descărcarea capacităților parazite de la ieșirea circuitelor logice. Puterea consumată pentru încărcarea și descărcarea capacităților parazite poate fi calculată cu ajutorul schemei echivalente din figura 9.4. în care circuitul logic a fost înlocuit, conform teoremei lui Thevenin, cu o rezistență în serie cu o sursă de alimentare, tensiune (amplitudinea sursei de tensiune este egală cu saltul de tensiune de la ieșirea circuitului logic).

În timpul încărcării capacității parazite echivalente  $C_p$ , energia circuitului se modifică după ecuația :

$$W = \int_0^u (U - u) i dt + \int_0^u u i dt \quad (9.13)$$

unde primul termen descrie energia disipată de rezistența  $R_a$ , în intervalul  $dt$ , iar al doilea variația energiei potențiale acumulată de capacitatea  $C_p$ . Înlocuind în ecuația de mai sus valoarea curentului :

$$i = \frac{du}{dt} C_p \quad (9.14)$$

se obține, în urma integrării :

$$W = C_p V_{cc}^2 \quad (9.15)$$

În timpul descărcării condensatorului  $C_p$  energia acumulată de acesta va fi disipată pe rezistența  $R_a$  (pe circuitul integrat) astfel că, în timpul unei perioade, energia suplimentară consumată pe circuitul logic este chiar energia acumulată pe capacitatea  $C_p$ . Se poate scrie expresia finală a puterii consumate suplimentar de circuitul logic în regim de comutare:

$$P_d = F C_p V_{cc}^2 \quad (9.16)$$

unde:  $F$  este frecvența de comutare a circuitului logic;  $C_p$  capacitatea parazită;  $V_{cc}$  tensiunea de alimentare a circuitului integrat .

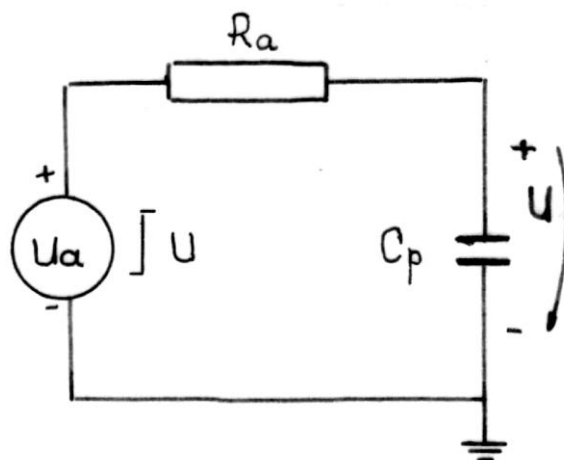


Figura 9.4

Puterea totală consumată de un circuit logic va fi:

$$\mathbf{P\ totală = P_{cc} + P_d + P_{ds}} \quad (9.17)$$

Componenta purii consumate  $P_{ds}$ , poartă denumire de putere dinamică suplimentară și este dependentă de structura internă a circuitului integrat și de schema electronică a acestuia. Unul dintre motivele pentru care se consideră că circuitele integrate numerice au două componente: una de natură logică și a doua de natură electronică. Ambele componente trebuie să funcționeze corect pentru ca întregul circuit integrat să-și îndeplinească funcția pentru care au fost concepute. Din acest motiv pentru un inginer în calculatoare este normal de a cunoaște cele două aspecte legate de circuitele integrate, fără de care nu este de conceput progresele uriașe care s-au manifestat în ultimi ani în realizarea de calculatoare tot mai performante și care au permis realizarea unor aplicații soft mai aproape de cerințele noastre.