

3. Circuite logice

3.1. Generalități

3.1.1. Elemente de algebră logică

Algebra logică mai poartă numele de algebră booleană în onoarea matematicianului englez George Boole care, în secolul trecut, prin lucrarea sa "The Laws of Thought" a pus bazele calculului propozițional, fundamentând algebra propozițiilor cu două valori.

Formal algebra logică se poate defini după cum urmează.

Fie mulțimea $Z = \{0, 1\}$. **O funcție logică de n variabile de intrare** este o aplicație definită pe Z^n și luând valori în Z , $f : Z^n \rightarrow Z$.

Există câteva funcții mai importante pe care le prezentăm mai jos.

A. Funcția logică NU (negație logică, complementare, NO); este o funcție logică de o variabilă descrisă de următorul tabel de adevăr:

x	$f(x) = \bar{x}$	Simbolul utilizat pentru funcția NU este o linie deasupra variabilei care este complementată.
0	1	
1	0	

B. Funcția logică SAU (sumă logică, disjuncție, reuniune, OR - în limba engleză).

x_1	x_2	$f(x_1, x_2) = x_1 + x_2$	Funcția SAU este o funcție de două variabile de intrare și este descrisă de tabelul de adevăr alăturat. Simbolul pe care îl vom folosi va fi "+".
0	0	0	
0	1	1	
1	0	1	
1	1	1	

C. Funcția logică SI (produs logic, conjuncție, intersecție, AND - în limba engleză).

x_1	x_2	$f(x_1, x_2) = x_1 \cdot x_2$	Funcția SI este o funcție de două variabile de intrare și este descrisă de tabelul de adevăr alăturat. Simbolul pe care îl vom folosi va fi "." (produs).
0	0	0	
0	1	0	
1	0	0	
1	1	1	

Pentru cele trei operații descrise mai sus se pot stabili o serie de proprietăți care sunt prezentate mai jos fără demonstrație.

1. Comutativitatea : $A + B = B + A$; $A \cdot B = B \cdot A$
2. Asociativitatea : $A + (B + C) = (A + B) + C$; $A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$
3. Absorbția : $A \cdot (A + B) = A$; $A + (A \cdot B) = A$
4. Distributivitatea: $A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$; $A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
5. Idempotența : $A + A = A$; $A \cdot A = A$

6. Element unitate : $A + 0 = A$; $A \cdot 1 = A$
 7. Legile lui 0 și 1 : $A + 1 = 1$; $A \cdot 0 = 0$
 8. Elementul de negație : $A \cdot \overline{A} = 0$; $A + \overline{A} = 1$
 9. Dubla negație : $\overline{\overline{A}} = A$
 10. Relațiile De Morgan : $\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$; $\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$

Mulțimea Z pe care s-au definit cele trei operații care îndeplinesc proprietățile 1- 10 are o structură de algebră logică sau booleană în raport cu cele trei operații.

Cele trei operații SI, Sau, NU mai poartă numele de operații logice elementare sau funcții logice elementare. Cu ajutorul acestor funcții elementare se poate exprima oricare altă funcție logică de oricâte variabile de intrare - Aceste funcții formează un sistem complet.

Observații : - Proprietățile 1-10 nu sunt independente între ele ; unele pot fi deduse pe baza celorlalte.

- Pentru trei-patru variabile de intrare o funcție logică poate fi descrisă cu ajutorul tabelului de adevăr care în definitiv prezintă corespondența dintre fiecare punct al domeniului de definiție și valoarea funcției în acel punct. Acest lucru este posibil pentru că mulțimea Z este discretă (și are puține elemente !) . Funcțiile de mai multe variabile însă sunt descrise cu ajutorul expresiilor matematice utilizând simbolurile pentru SAU, SI, NU.

- Funcțiile SAU, SI se pot extinde fără probleme la mai mult de două variabile (sunt asociative, comutative)

3.1.2. Circuite logice elementare . Simbolizare

Circuitele logice sunt circuite electronice, alimentate de la o sursă de tensiune de alimentare, la intrarea căroara se aplică semnale electrice (tensiune sau curent) și la ieșirea cărora se obțin răspunsuri electrice. Realizând o corespondență biunivocă între mărimile electrice pe de o parte și simbolurile 0 și 1 pe de altă parte se poate stabili funcția logică realizată de circuitul electronic în sensul că **variabila de intrare se aplică la intrarea circuitului - este semnalul de intrare - iar valoarea funcției logice rezultă la ieșirea circuitului – este răspunsul circuitului.**

Din punct de vedere al duratei semnalului distingem :

- **logică de impuls** : simbolurile 0 și 1 se asociază cu semnale de tip impuls (de exemplu prezență impuls și absență impuls); cuplajul între circuite se face prin intermediul condensatoarelor.

- **logică de nivel** : simbolurile 0 și 1 se asociază cu două nivele de tensiune continuă; în acest caz cuplajul între circuite se realizează direct.

În cele ce urmează vom întâlni logica de nivel (se va specifica distinct orice altă situație). Circuitele logice, în marea lor majoritate, sunt alimentate de la o sursă de tensiune pozitivă. Tensiunea continuă afectată pentru simbolurile 0 și 1 poate fi mai apropiată de potențialul sursei sau al masei. În acest sens întâlnim :

- **logică pozitivă** (cel mai des folosită) : simbolul 0 corespunde la o tensiune scăzută, apropiată de potențialul masei, iar simbolul 1 corespunde la o tensiune mare, mai apropiată de potențialul sursei.

- **logică negativă** : corespondența între simboluri și nivele de tensiune invers față de situația anterioară.

În general nu este nici un avantaj al utilizării uneia dintre variantele de mai sus. Noi vom utiliza logica pozitivă. Trecerea de la o logică la alta are drept efect trecerea operației logice în duala sa (SI în SAU și invers).

Circuitele care realizează funcțiile logice elementare (SI, SAU, NU) poartă numele de **circuite logice elementare** sau **porți logice**. Așa cum pentru descrierea unor funcții logice mai complexe sunt folosite expresii logice (construite cu litere care desemnează variabile și simbolurile operațiilor), pentru implementarea acestor funcții se vor folosi circuite obținute prin conectarea porților logice între ele.

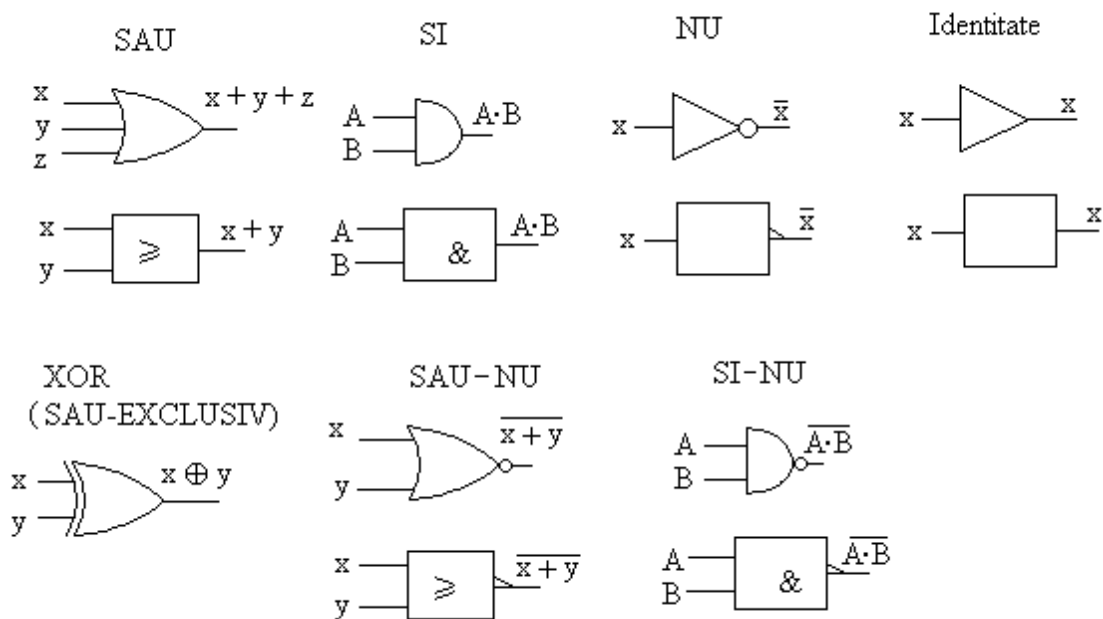


Fig.3.1 Simboluri utilizate pentru circuitele logice elementare

3.1.3. Parametrii porții logice

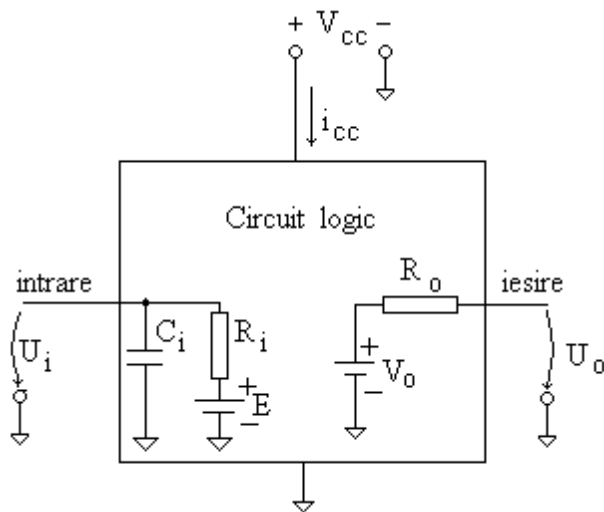


Fig. 3.2. Circuit logic

Principial, poarta logică este un circuit electronic care arată ca în fig. 3.2.

De regulă **poarta reprezentativă** în legătură cu care sunt prezentați parametrii unei familii de circuite logice este **poarta NU**.

Principalii parametrii care interesează în funcționarea unui circuit logic sunt :

- **caracteristica de transfer**
- **impedanță de intrare**
- **impedanță de ieșire**
- **timp de propagare**
- **tensiune și curent de alimentare**

A. Caracteristica de transfer

Caracteristica de transfer $U_o = f(U_i)$ asigură compatibilitatea între nivelele logice furnizate la ieșirea unei porți și nivelele necesare la intrarea porții care urmează. În principiu dacă se face o corespondență între simbolurile 0 și 1 pe de o parte și nivelele E_0 și E_1 pe de altă parte ca în fig. 3.3.b , caracteristica de transfer ce ar caracteriza o poartă inversoare ar arăta ca în fig. 3.3.c. În realitate o astfel de caracteristică nu este viabilă pentru că este definită numai în două puncte și orice perturbație care ar modifica tensiunea de intrare ne-ar plasa în zone în care caracteristica nici nu este definită !

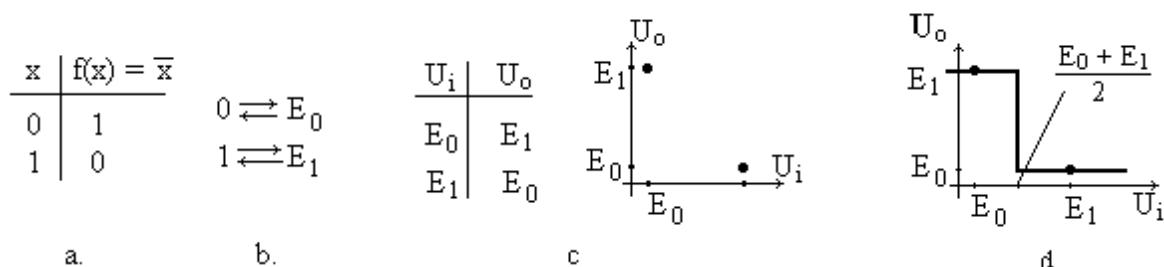


Fig. 3.3. Caracteristica de transfer pentru o poartă inversoare
a. tabel de adevăr; b. corespondență ; c. caracteristică în principiu
d. caracteristica **ideală** pentru o poartă inversoare

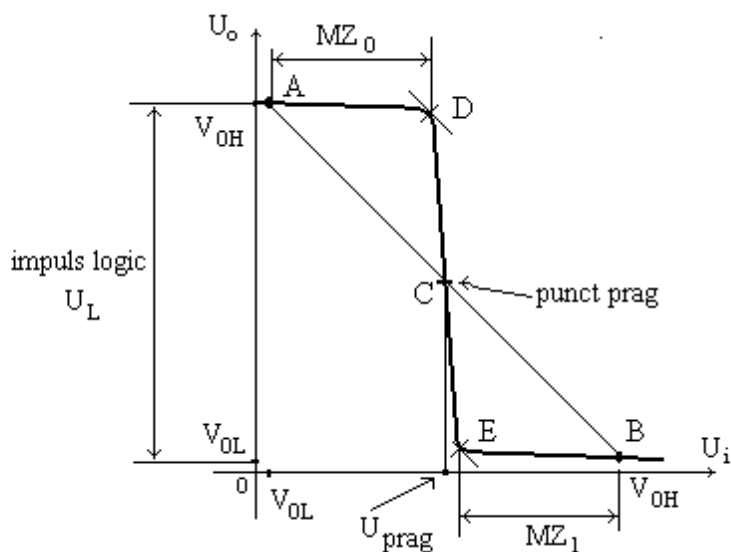


Fig.3.4. Caracteristică de transfer **reală** pentru o poartă inversoare

În fig.3.4. se prezintă o caracteristică de transfer reală pentru o poartă inversoare în legătură cu care se definesc (în principiu vom folosi literele U și V cu același sens fără o predicție deosebită) :

- V_{OH} tensiune de ieșire pentru nivel mare la ieșire – 1 logic (H – High).
- V_{OL} tensiune de ieșire pentru nivel mic la ieșire – 0 logic (L – Low).
- $U_L = V_{OH} - V_{OL}$ impuls (amplitudine) logic.
- A și B puncte de funcționare : sunt punctele de pe caracteristica de transfer ce corespund la abscise V_{OL} și respectiv V_{OH} (se consideră poarta comandată de una similară și atunci tensiunea de ieșire a primei porți este tensiune de intrare pentru a doua poartă).

- C punct prag : punctul de intersecție al drepte ce unește cele două puncte de funcționare A și B cu caracteristica de transfer.
- U_{prag} tensiune de prag : tensiunea de intrare corespunzătoare punctului prag.
- D și E puncte de câștig unitar : puncte de pe caracteristica de transfer având panta egală cu -1 .
- MZ_0 și MZ_1 - margine de zgomot : diferența dintre tensiunea de intrare corespunzătoare unui punct de funcționare și punctul de câștig unitar cel mai apropiat; există margine de zgomot pentru 0 logic la intrare și pentru 1 logic la intrare; se observă că în porțiunea marginii de zgomot panta caracteristicii de transfer are modulul subunitar, adică $\frac{\Delta U_0}{\Delta U_i} < 1$; rezultă faptul că orice perturbare în tensiunea de intrare se transmite cu amplitudinea micșorată la ieșirea circuitului !
- panta caracteristicii de transfer în punctul prag C (nefigurat în figu.3.4.).

În fig. 3.3 d. este prezentată o **caracteristică de transfer ideală** : tensiunea de ieșire este fix E_0 sau E_1 (se corespund la V_{OL} și respectiv V_{OH} în fig.3.4.), bascularea are loc exact la mijlocul impulsului logic, caracteristica de transfer are pantă infinită în momentul basculării, cele două margini de zgomot sunt egale între ele și egale cu jumătate din impulsul logic.

Caracteristica de transfer poate fi definită în principiu și pentru tensiuni de intrare mult mai mari decât V_{OH} sau tensiuni de intrare negative de orice valoare - în realitate însă circuitul electronic se defectează dacă la intrare i se aplică tensiuni ce depășesc gama permisă .

B. Impedanța de intrare

Așa cum s-a figurat în fig.3.2., impedanța de intrare într-un circuit logic se poate prezenta sub forma unui capacități și a unei rezistențe :

- capacitatea va acționa ca un circuit RC trece-jos ducând la întârzieri în propagarea semnalului.
- rezistența finită de intrare încarcă circuitul anterior și de aceea un circuit va putea comanda numai un număr finit de intrări !.

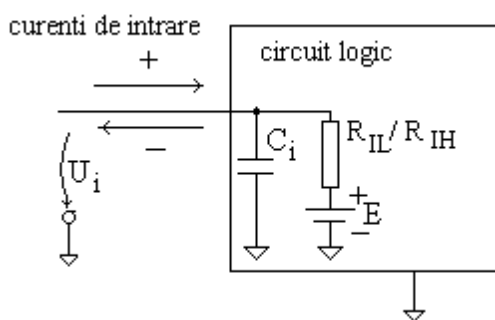


Fig. 3.5. Circuitul de intrare al unei porți

intrare în poartă (semnul “+”).

Unele intrări, pentru circuite mai complicate (numărătoare, monostabile, etc.), pot să aibă curentul de intrare mai mare decât cel standard pentru familia de circuite din care face parte. Sursa de semnal U_i trebuie să asigure valoarea și sensul curentului necesar la intrare.

Este posibil ca sursa E să lipsească și de asemenea este foarte posibil ca **rezistența de intrare să aibă valori diferite** pentru situațiile cu simbol 0 logic la intrare sau 1 la intrare – vezi fig.3.5.

Prin convenție, curentul care intră în poartă are semnul “+” iar cel care iese are semnul “-”. Vom nota curentul de intrare cu I_i : corespunzător celor două nivele logice care se pot aplica la intrare avem I_{IL} și I_{IH} . De regulă curentul I_{IL} are sensul de ieșire din poartă (semnul “-”) iar curentul I_{IH} are sensul de

C. Impedanța de ieșire

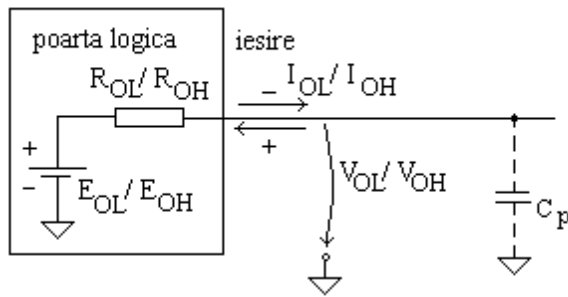


Fig. 3.6. Circuit principal de ieșire al unei porți

De regulă impedanța de ieșire R_O diferă pentru cele două stări. De asemenea și curentul de ieșire I_O are valori și sensuri distincte în cele două stări. Acest curent încarcă și descarcă eventuala sarcină capacitivă – este de dorit să fie cât mai mare adică **implicit rezistențele R_O cât mai mici**. Acest curent asigură și curentul de intrare I_I necesar la intrarea porții care urmează – este necesar să se asigure compatibilitate între sensul și valoarea curenților de intrare și ieșire. Datorită rezistențelor de ieșire este posibil ca tensiunea de ieșire V_{OL} sau V_{OH} efectiv măsurată la ieșirea circuitului să difere de tensiunea de ieșire în gol E_{OL} respectiv E_{OH} .

Circuitul de ieșire al unei porți, prezentat principal în fig.3.6., poate să aibă două nivele de tensiune : H și L. De regulă impedanța de ieșire R_O diferă pentru cele două stări. De asemenea și curentul de ieșire I_O are valori și sensuri distincte în cele două stări. Acest curent încarcă și descarcă eventuala sarcină capacitivă – este de dorit să fie cât mai mare adică **implicit rezistențele R_O cât mai mici**. Acest curent asigură și curentul de intrare I_I necesar la intrarea porții care urmează – este

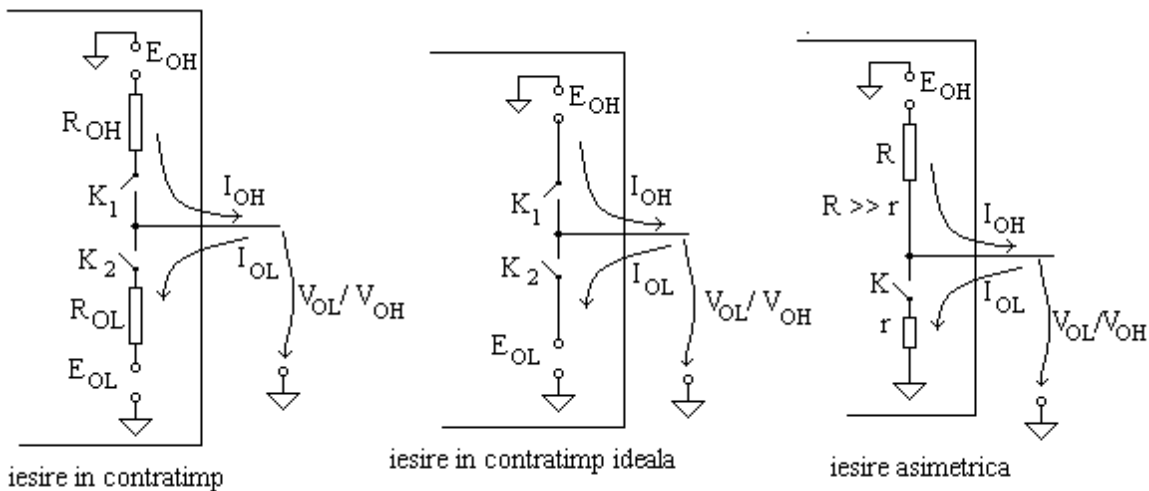


Fig.3.7. Circuit de ieșire în contratimp și circuit de ieșire asimetric

În fig.3.7. sunt prezentate două variante de circuit de ieșire:

- etajul de ieșire în contratimp are două comutatoare K_1 și K_2 care lucrează în opoziție – când unul este deschis celălalt este închis și invers . Cele două rezistențe au în cazul ideal valoarea 0; ele reprezintă de fapt rezistențele reziduale ale comutatoarelor care sunt implementate fie cu tranzistoare bipolare fie cu tranzistoare MOS.

- etajul de ieșire asimetric are avantajul necesității unui singur comutator dar dezavantajul că rezistența de ieșire R_{OH} coincide de fapt cu R și aceasta trebuie să fie mult mai mare decât rezistența reziduală a comutatorului (aci notată cu r și care are deci valoare cât mai mică – în mod ideal 0) – $R \gg r$ atât pentru a nu apărea curent periculos între cele două surse atunci când K este închis cât și pentru a fixa nivelul de ieșire cât mai aproape de E_{OL} în aceeași situație de K închis.

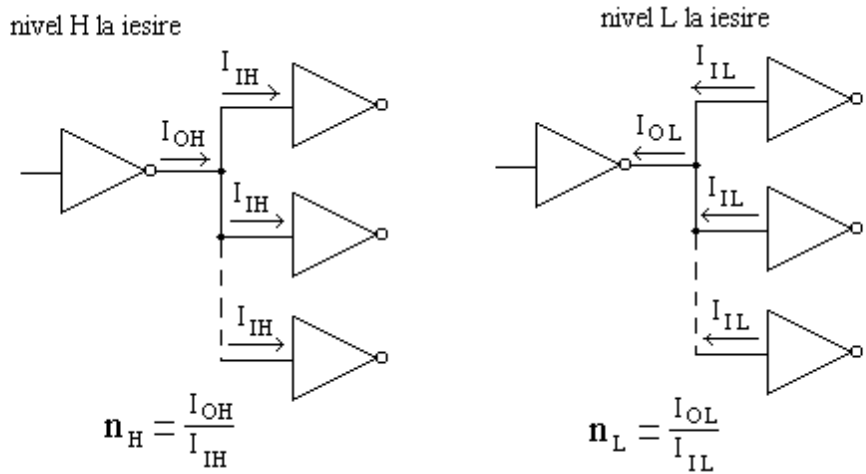


Fig.3.8 Fan-out

Tot în legătură cu etajul de ieșire se definește parametrul numit “fan-out” care reprezintă numărul de intrări standard care pot fi comandate de o ieșire și se calculează cu relația $n = \frac{I_O}{I_I}$ aplicată atât nivelului H cât și nivelului L (evident se au în vedere valorile standard ale curenților specifici familiei de circuite logice).

D. Timp de propagare

Acest parametru caracterizează întârzierea cu care apare semnalul de la ieșirea circuitului comparativ cu semnalul aplicat la intrarea sa.

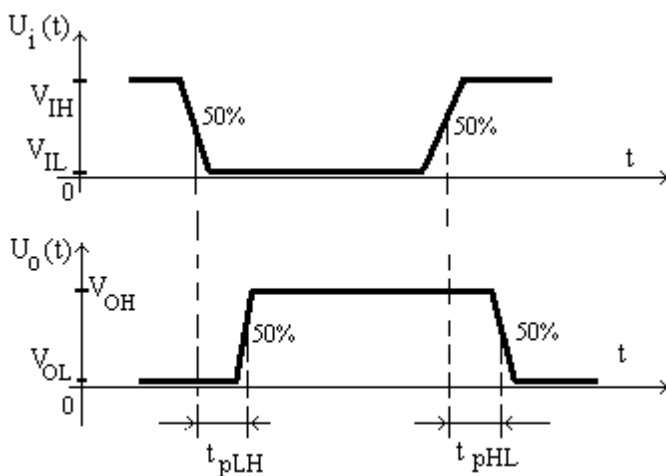


Fig. 3.9. Timp de propagare

t_{pLH} – timp de propagare la variația ieșirii de la nivel L la nivel H.
 t_{pHL} – timp de propagare la variația ieșirii de la nivel H la nivel L.

De regulă cei doi timpi nu sunt egali și sunt puternic influențați de sarcina care încarcă circuitul . Valorile date în catalog se referă la o încărcare nominală a circuitului (de asemenea indicată în catalog).