TESTAREA CIRCUITELOR LOGICE COMBINAȚIONALE

TEMA 3.2. ALGORITMUL D

- Este o metodă structurală
- Generează simultan toate căile posibile de propagare a defectului la toate ieșirile primare ale circuitului.
- La fiecare pas al algoritmului se verifică **convergența** căilor, renunțându-se la caile care nu sunt **divergente.**
- Utilizează noțiunile de cub singular (cub de definiție) și cub D

CUBURI SINGULARE

- Funcționarea porților logice poate fi descrisă prin tabele de adevăr. Dacă în aceste tabele valorile de intrare, ce nu influențează valoarea semnalului de ieșire, se vor considera valori indiferente (notate prin simbolul *), vom obține un nou tabel. Acest tabel va fi format din cuburi singulare, totalitatea cărora va forma *acoperirea singulară a funcției logice,* care descrie comportamentul porții respective.

- Poarta logică AND

x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$\Rightarrow$

x_1	x_2	y	
0	*	0	CS_1
*	0	0	CS_2 $\leftarrow$ cuburi singulare
1	1	1	CS_3

Cuburile singulare ale porţilor logice ŞI, SAU, ŞI-NU şi SAU-NU cu două intrări:

	ŞI			ŞI-NU			SAU			SAU-NU		
x_1	0	*	1	0	*	1	1	*	0	1	*	0
x_2	*	0	1	*	0	1	*	1	0	*	1	0
y	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1

CUBURI D DE PROPAGARE

Pentru a obţine un cub $\boldsymbol{D}$ pentru o poartă logică se intersectează două cuburi singulare cu valori diferite ale ieşirii conform următoarelor reguli:

$$
\begin{aligned}
&0 \cap 0 = 0 \cap * = * \cap 0 = 0 \\
&1 \cap 1 = 1 \cap * = * \cap 1 = 1 \\
&* \cap * = * \\
&1 \cap 0 = \boldsymbol{D} \\
&0 \cap 1 = \bar{\boldsymbol{D}}
\end{aligned}
\tag{3.1}
$$

	ŞI		
x_1	0	*	1
x_2	*	0	1
y	0	0	1

$$
\begin{aligned}
\boldsymbol{CS}_3 &= 1\ 1\ 1 \\
\boldsymbol{CS}_1 &= 0\ *\ 0 \\
\boldsymbol{CS}_3 \cap \boldsymbol{CS}_1 &= \boldsymbol{D}1\boldsymbol{D}
\end{aligned}
\qquad
\begin{aligned}
\boldsymbol{CS}_3 &= 1\ 1\ 1 \\
\boldsymbol{CS}_2 &= *\ 0\ 0 \\
\boldsymbol{CS}_3 \cap \boldsymbol{CS}_2 &= 1\boldsymbol{DD}
\end{aligned}
$$

- Cubul D exprimă dependența semnalului de la ieșirea porții logice față de cea aplicată la una din intrările ei. D poate avea două valori: 0 sau 1. De exemplu, cubul D 1 D are nodurile 010 și 111. Aceasta mărturisește despre faptul că, dacă poarta e corectă, atunci semnalul de la ieșirea *y* este determinat doar de semnalul de la intrarea x_1, x_2 fiind fixat în 1 logic. Astfel, apariția defectului $x_1 \equiv 1$ ($x_1 \equiv 0$) este detectată la ieșirea porții respective.

CUBURI D SINGULARE ȘI CUBURI D MULTIPLE

În cuburile D singulare doar o singură intrare e notată prin D sau $\bar{D}$. În cuburile D multiple două sau mai multe intrări sunt notate prin simbolurile D sau $\bar{D}$. Necesitatea utilizării cuburilor D multiple se explică prin faptul că la intrările unei porţi logice se pot întâlni mai multe semnale D, atunci când în circuit sunt prezente ramificaţii.

	ȘI				ȘI-NU				SAU				SAU-NU			
x_1	D	1	D	D	D	1	D	D	D	0	D	D	D	0	D	D
x_2	1	D	D	$\bar{D}$	1	D	D	$\bar{D}$	0	D	D	$\bar{D}$	0	D	D	$\bar{D}$
y	D	D	D	0	$\bar{D}$	$\bar{D}$	$\bar{D}$	1	D	D	D	1	$\bar{D}$	$\bar{D}$	$\bar{D}$	0

CUBURI D ALE DEFECTELOR (CDD)

În CDD simbolul D e interpretat ca semnal 1 logic pentru starea corectă și ca semnal 0 logic pentru starea defectă. Simbolul $\bar{D}$ e interpretat invers – 0 logic pentru starea corectă și 1 logic pentru starea defectă.

<table>
<tr><th rowspan="2">Defecte</th><th colspan="3">ȘI</th><th colspan="3">ȘI-NU</th><th colspan="3">SAU</th><th colspan="3">SAU-NU</th><th colspan="3">XOR</th></tr>
<tr><th>x_1</th><th>x_2</th><th>y</th><th>x_1</th><th>x_2</th><th>y</th><th>x_1</th><th>x_2</th><th>y</th><th>x_1</th><th>x_2</th><th>y</th><th>x_1</th><th>x_2</th><th>y</th></tr>
<tr><td rowspan="2">≡0</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">D</td><td>0</td><td>*</td><td>D</td><td>1</td><td>*</td><td>D</td><td rowspan="2">0</td><td rowspan="2">0</td><td rowspan="2">D</td><td>1</td><td>0</td><td>D</td></tr>
<tr><td>*</td><td>0</td><td>D</td><td>*</td><td>1</td><td>D</td><td>0</td><td>1</td><td>D</td></tr>
<tr><td rowspan="2">≡1</td><td>0</td><td>*</td><td>$\bar{D}$</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">$\bar{D}$</td><td rowspan="2">0</td><td rowspan="2">0</td><td rowspan="2">$\bar{D}$</td><td>1</td><td>*</td><td>$\bar{D}$</td><td>0</td><td>0</td><td>$\bar{D}$</td></tr>
<tr><td>*</td><td>0</td><td>$\bar{D}$</td><td>*</td><td>1</td><td>$\bar{D}$</td><td>1</td><td>1</td><td>$\bar{D}$</td></tr>
</table>

INTERSECȚIA D

Fie date două cuburi D:

$A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$

$B = (b_1, b_2, \ldots, b_n)$,

unde $a_i, b_i \in \{1, 0, *, D, \bar{D}\}$, $i = \overline{1, n}$.

Intersecţia D se efectuează doar pentru coordonate identice conform următoarelor reguli:

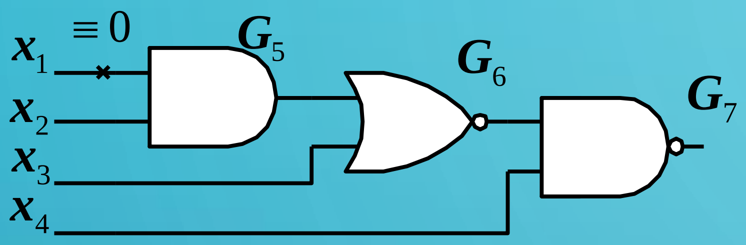
1) $* \bigcap_D a_i = a_i$

$* \bigcap_D b_i = b_i$

2) Dacă $a_i \neq *$ şi $b_i \neq *$, atunci

$$a_i \bigcap_D b_i = \begin{cases} a_i, & pentru \quad a_i = b_i \\ \varnothing, & pentru \quad a_i \neq b_i \end{cases}.$$

EXEMPLU



Cuburi	Coordonate						
	x_1	x_2	x_3	x_4	G_5	G_6	G_7
CDP5	***D***	1	*	*	***D***	*	*
CDP6	*	*	0	*	***D***	$\bar{D}$	*
CDP7	*	*	*	1	*	$\bar{D}$	***D***
CD al circuitului	***D***	1	0	1	***D***	$\bar{D}$	***D***

Cubul ***D*** obţinut (***D***, 1, 0, 1, ***D***, $\bar{D}$, ***D***) verifică conexiunile x_1, G_5, G_6 în baza ieşirii G_7, fiind fixate valorile semnalelor intrărilor primare x_2, x_3, x_4.

Deoarece ***D*** poate lua două valori logice – 0 şi 1, cubul ***D*** al circuitului se foloseşte la detectarea a două defecte: $x_1 \equiv 0$ şi $x_1 \equiv 1$.

Pentru $x_1 \equiv 0$, considerăm ***D***=1 şi obţinem testul:

$$T_{x1\equiv0}=(x_1, x_2, x_3, x_4; G_7)=(1, 1, 0, 1; 1).$$

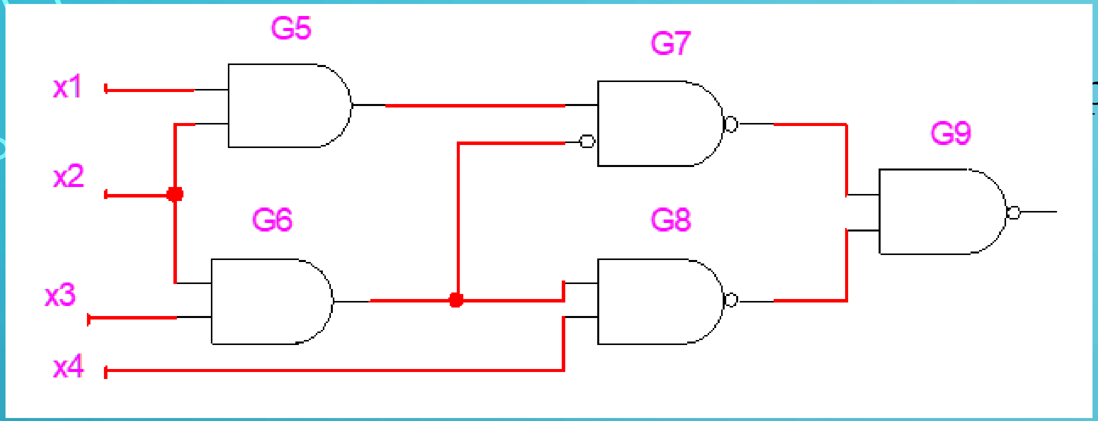
Pentru $x_1 \equiv 1$, considerăm ***D***=0 şi obţinem testul:

$$T_{x1\equiv1}=(x_1, x_2, x_3, x_4; G_7)=(0, 1, 0, 1; 0).$$

ETAPELE ALGORITMULUI D

- Inițial se determină cuburile singulare (CS) și cuburile D de propagare (CDP) a fiecărei porți logice din CLC.
- Etapele:
  - Construirea cubului D al defectului (CDD);
  - Propagarea defectului prin efectuarea intersecției CDD cu CDP a porților logice de pe calea aleasă până la ieșirea primară;
  - Verificarea consistenței (trecerea înapoi) prin intersecția cubului rezultant cu CS ale porților logice, care nu au fost utilizate la prima intersecție;
  - Repetarea etapelor 1-3 până când se obțin testele pentru toate defectele analizate pe toate căile singulare și multiple;
  - Minimizarea testelor.

EXEMPLU



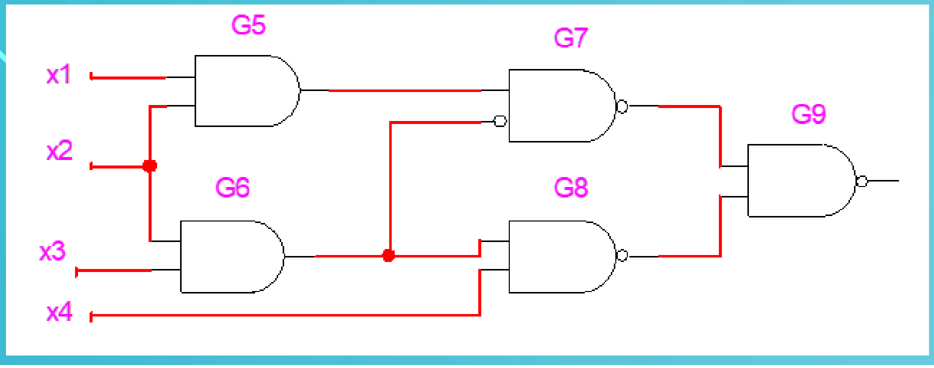
Testul pentru detectarea defectelor intrării primare $x_1 \equiv 0$ şi $x_1 \equiv 1$ pe calea (5,7,9):

Et.	Explicaţii	Cub	Coordonate 1 2 3 4	5 6 7 8	9
Et. 1	CDD	C_1	D * * *	* * * *	*
Et. 2	Intersectăm C_1 cu CDP al G_5	C_2	D 1 * *	D * * *	*
	Intersectăm C_2 cu CDP al G_7	C_3	D 1 * *	D 0 $\bar{D}$ *	*
	Intersectăm C_3 cu CDP al G_9	C_4	D 1 * *	D 0 $\bar{D}$ 1	D
Et. 3	Intersectăm C_4 cu CS al G_8	C_5	D 1 * *	D 0 $\bar{D}$ 1	D
	Intersectăm C_5 cu CS al G_6	C_6	D 1 0 *	D 0 $\bar{D}$ 1	D

Din cubul rezultant C_6 se obţin două teste:

D=1 $T_{x2\equiv0}=(x_1,x_2,x_3,x_4;8)=(1,1,0,*;1)$ şi

D=0 $T_{x2\equiv1}=(x_1,x_2,x_3,x_4;8)=(0,1,0,*;0)$.



Nr	Def.	Intrări primare				Conexiuni interne				Ieş.	Calea
		x1	x2	x3	x4	5	6	7	8	9	
1	x_1	D	1	0	*	D	0	$\bar{D}$	1	D	5,7,9
2	x_2	1	D	0	*	D	0	$\bar{D}$	1	D	5,7,9
3	x_2	0	D	1	1	0	D	1	$\bar{D}$	D	6,8,9
4	x_2	1	D	1	1	D	D	1	$\bar{D}$	D	5-6,7-8,9
5	x_2	 1	D 1	1 $1 \cap D = \varnothing$	1	1 Cale inconsistentă	D				6,7,9
6	x_3	1	1	D	0	1	D	D	1	$\bar{D}$	6,7,9
7	x_3	0	1	D	1	0	D	1	$\bar{D}$	D	6,8,9
8	x_3		1	D	1	1 Cale convergentă	D	D	$\bar{D}$	1	5,7,9
9	x_4	*	1	1	D	*	1	1	$\bar{D}$	D	8,9

Nr.	Def	Testul				
		x_1,	x_2,	x_3,	x_4 ;	9
1	$x_1 \equiv 0$	1	1	0	*	1
2	$x_1 \equiv 1$	0	1	0	*	0
3	$x_2 \equiv 0$	1	1	0	*	1
4	$x_2 \equiv 1$	1	0	0	*	0
5	$x_2 \equiv 0$	0	1	1	1	1
6	$x_2 \equiv 1$	0	0	1	1	0
7	$x_2 \equiv 0$	1	1	1	1	1

Nr.	Def	Testul				
		x_1,	x_2,	x_3,	x_4;	9
8	$x_2 \equiv 1$	1	0	1	1	0
9	$x_3 \equiv 0$	1	1	1	0	0
10	$x_3 \equiv 1$	1	1	0	0	1
11	$x_3 \equiv 0$	0	1	1	1	1
12	$x_3 \equiv 1$	0	1	0	1	0
13	$x_4 \equiv 0$	*	1	1	1	1
14	$x_4 \equiv 1$	*	1	1	0	0

Tabelul testelor minimizate

Nr	Nr. t.iniţiale	x_1,	x_2,	x_3,	x_4;	9	Defectele detectate
1	1,3,10	1	1	0	0	1	$x_1 \equiv 0$, $x_2 \equiv 0$, $x_3 \equiv 1$
2	2,12	0	1	0	1	0	$x_1 \equiv 1$, $x_3 \equiv 1$
3	3,10	1	1	0	0	1	$x_2 \equiv 0$, $x_3 \equiv 1$
4	4	1	0	0	0	0	$x_2 \equiv 1$
5	5,11,13	0	1	1	1	1	$x_2 \equiv 0$, $x_3 \equiv 0$, $x_4 \equiv 0$
6	6	0	0	1	1	0	$x_2 \equiv 1$
7	8	1	0	1	1	0	$x_2 \equiv 1$
8	9,14	1	1	1	0	0	$x_3 \equiv 0$, $x_4 \equiv 1$