

W13 – Testowanie układów cyfrowych

Henryk Maciejewski

Jarosław Sugier

Uszkodzenia i modele błędów

1. Modele błędów w układach cyfrowych
2. Generowanie wektorów testowych dla układów kombinacyjnych
 - Metody tablicowa
 - Metoda różnic boolowskich
 - Metoda pobudzenia ścieżek

B. Wilkinson, Układy cyfrowe, WKŁ.

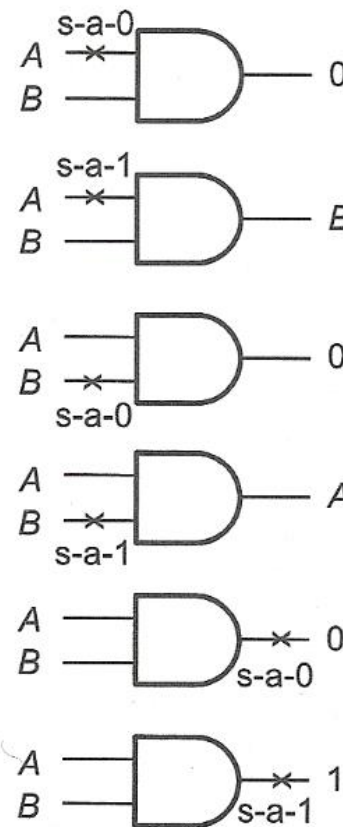
Modele błędów w układach cyfrowych

Rozważamy uszkodzenia prowadzące do błędów logicznych układu.

Zakładamy model: pojedynczy błąd „sklejenia”:

stuck-at-0, stuck-at-1

Lokalizacje błędów: każdy sygnał wejściowy, wewnętrzny, wyjściowy



Generowanie wektorów testowych - metoda tablicowa

Rozważamy układ:

$$z = F(x_1, x_2, x_3, x_4) = (x_1 + x_2x_3)\overline{(x_2x_3 + x_4)}$$

uszkodzenie $\alpha = s-a-0$ na wejściu x_4

z = wartość funkcji bez uszkodzenia

z^α = wartość funkcji z uszkodzeniem α

Generowanie wektorów testowych - metoda tablicowa

Rozważamy układ:

$$z = F(x_1, x_2, x_3, x_4) = (x_1 + x_2 x_3) \overline{(x_2 x_3 + x_4)}$$

Uszkodzenie wykrywają testy:

$$x^1 = (1, 0, 0, 1) = x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} x_4$$

$$x^2 = (1, 0, 1, 1) = x_1 \overline{x_2} x_3 x_4$$

$$x^3 = (1, 1, 0, 1) = x_1 x_2 \overline{x_3} x_4$$

x1	x2	x3	x4	z	z ^α	xor(z, z ^α)
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1	1
1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0

Metoda różnic boolowskich (*boolean difference*)

Różnica boolowska funkcji $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ wzgl. zmiennej $x_j, 1 \leq j \leq n$:

$$\frac{\partial F}{\partial x_j} = F(x_1, x_2, \dots, 0, \dots, x_n) \oplus F(x_1, x_2, \dots, 1, \dots, x_n) = F_{\overline{x_j}} \oplus F_{x_j}$$

- Funkcja n-1 zmiennych
- $\frac{\partial F}{\partial x_j} = 1 \rightarrow$ dla danego wektora wejściowego $(x_i, i \neq j)$ wartość F zależy od zmiennej x_j
- $\frac{\partial F}{\partial x_j} = 0 \rightarrow$ dla danego wektora wejściowego $(x_i, i \neq j)$ wartość F nie zależy od x_j

Metoda różnic boolowskich (*boolean difference*)

Poprzedni przykład: $z = F(x_1, x_2, x_3, x_4) = (x_1 + x_2x_3)\overline{(x_2x_3 + x_4)}$

$$F_{x_4} = (x_1 + x_2x_3)\overline{(x_2x_3 + 1)} = 0$$

$$F_{\overline{x_4}} = (x_1 + x_2x_3)\overline{(x_2x_3 + 0)} = (x_1 + x_2x_3)\overline{x_2x_3} = x_1\overline{x_2x_3}$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_4} = F_{\overline{x_4}} \oplus F_{x_4} = x_1\overline{x_2x_3}$$

→ stąd wektory testowe, uwzględniając warunek, aby x_4 odróżniało się od uszkodzenia α

Wynik metody tablicowej:

$$x^1 = (1,0,0,1) = x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} x_4$$

$$x^2 = (1,0,1,1) = x_1 \overline{x_2} x_3 x_4$$

$$x^3 = (1,1,0,1) = x_1 x_2 \overline{x_3} x_4$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial x_4} &= F_{\overline{x_4}} \oplus F_{x_4} = x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} = x_1 (\overline{x_2} + \overline{x_3}) = x_1 \overline{x_2} (x_3 + \overline{x_3}) + x_1 \overline{x_3} (x_2 + \overline{x_2}) \\ &= x_1 \overline{x_2} x_3 + x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} + x_1 x_2 \overline{x_3} \end{aligned}$$

stąd wektory testowe (przy $x_4 = 1$, aby odróżniało się od uszkodzenia α)

$$x^1 = x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} x_4 = (1,0,0,1)$$

$$x^2 = x_1 \overline{x_2} x_3 x_4 = (1,0,1,1)$$

$$x^3 = x_1 x_2 \overline{x_3} x_4 = (1,1,0,1)$$

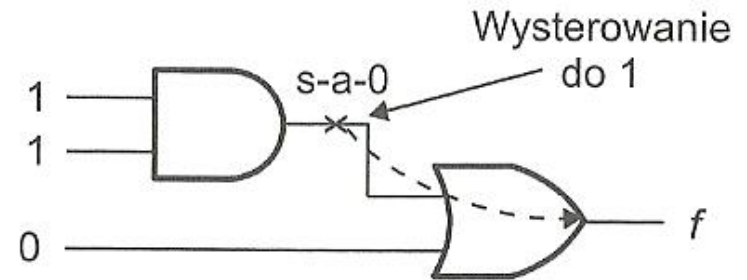
Wektory testowe dla błędów @ x_j uzyskuje się jako:

$$x_j \frac{\partial F}{\partial x_j} \quad \text{dla s-a-0}$$

$$\overline{x_j} \frac{\partial F}{\partial x_j} \quad \text{dla s-a-1}$$

Metoda pobudzenia ścieżek (*path sensitization*)

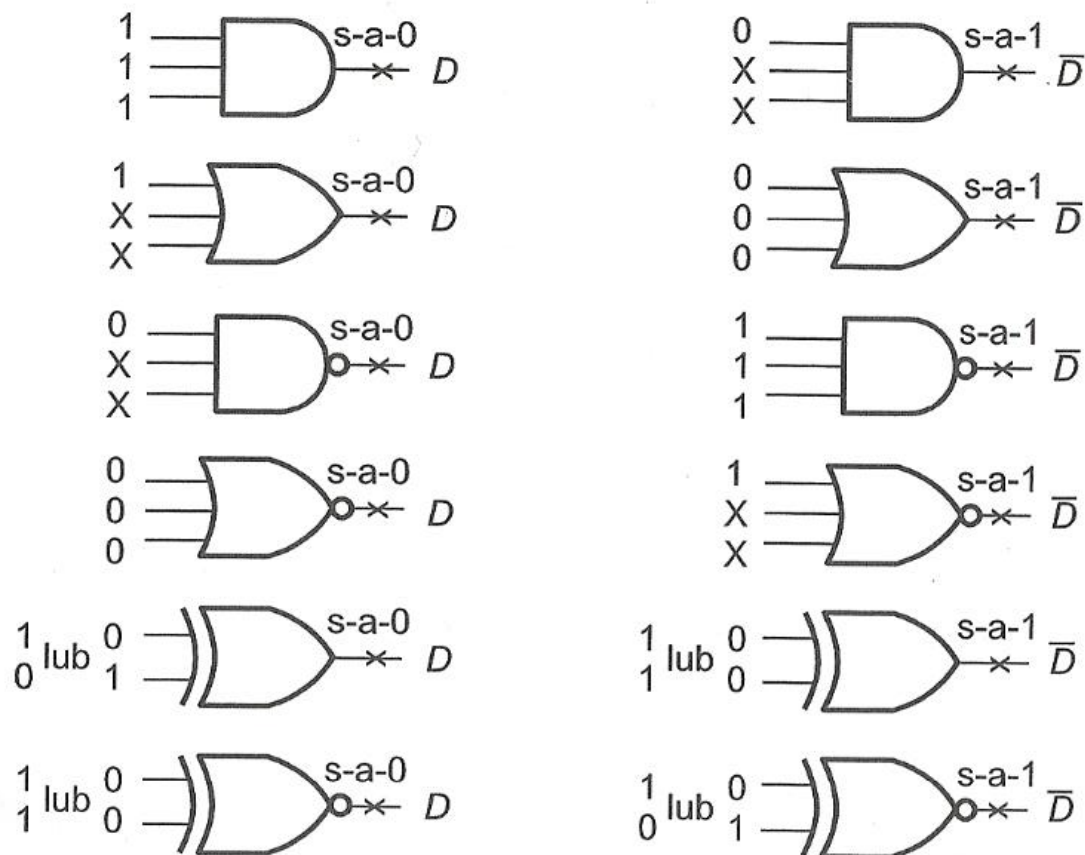
Test = *activate* + *propagate*



Activate: wymuszamy w danym punkcie układu wartość przeciwną do błędu badanego w tym punkcie (np. wymuszamy 1, gdy badamy s-a-0)

Propagate: ustawiamy wartości sygnałów na pozostałych bramkach w układzie tak żeby spowodować propagację sygnału błędu (sygnału D / \bar{D}) do zewnętrznego wyjścia układu.

Aktywowanie podstawowych bramek

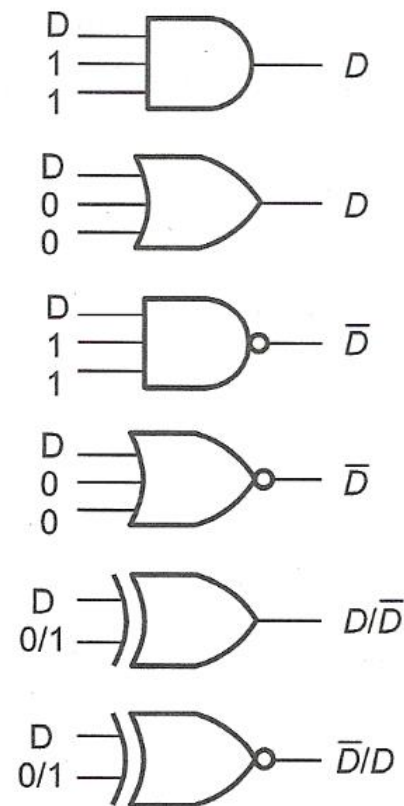
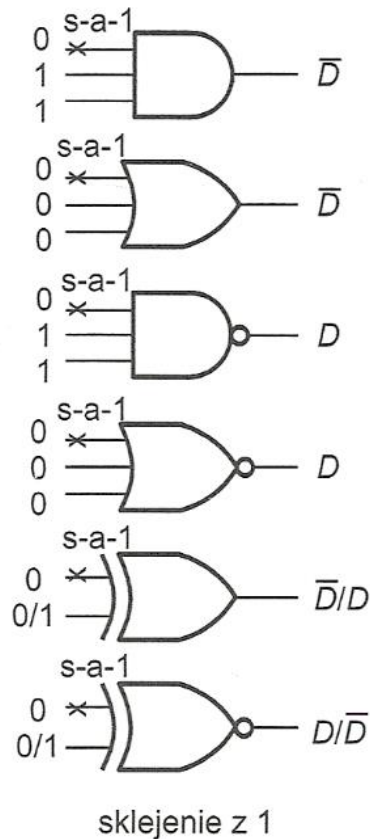
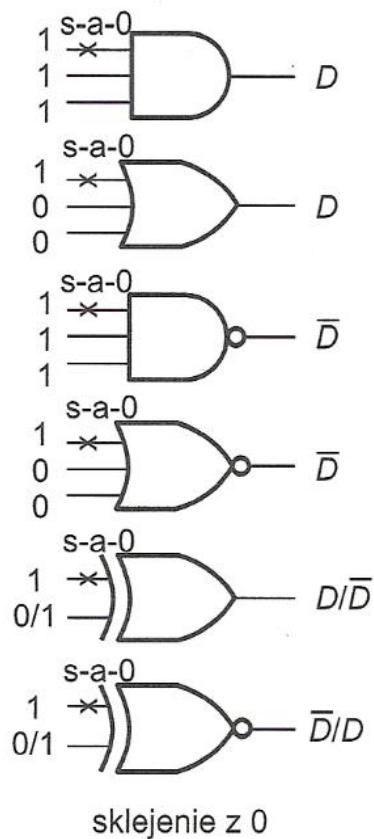


Symbol D :

D : sygnał przy niewystępowaniu błędu ma mieć wartość 1

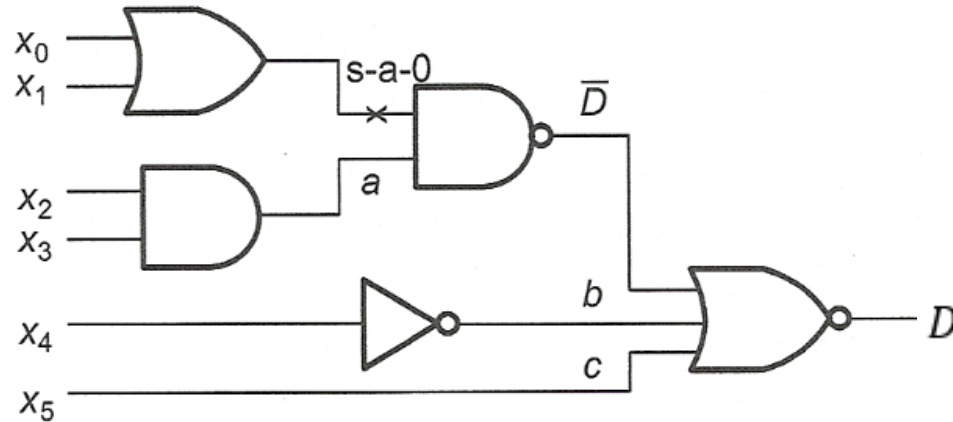
\bar{D} : sygnał przy niewystępowaniu błędu ma mieć wartość 0

Propagowanie sygnału D / \bar{D} do wyjścia układu



Bramki XOR i XNOR zawsze propagują D (jako D albo \bar{D})

Przykład



Activate

$$x_0 + x_1 = 1 \rightarrow x_0, x_1 \in \{01, 10, 11\}$$

Propagate

$$a = x_2 \cdot x_3 = 1 \quad x_2 = x_3 = 1$$

$$b = 0 \quad x_4 = 1$$

$$c = 0 \quad x_5 = 0$$

Stąd zbiór testów wykrywających uszkodzenie:

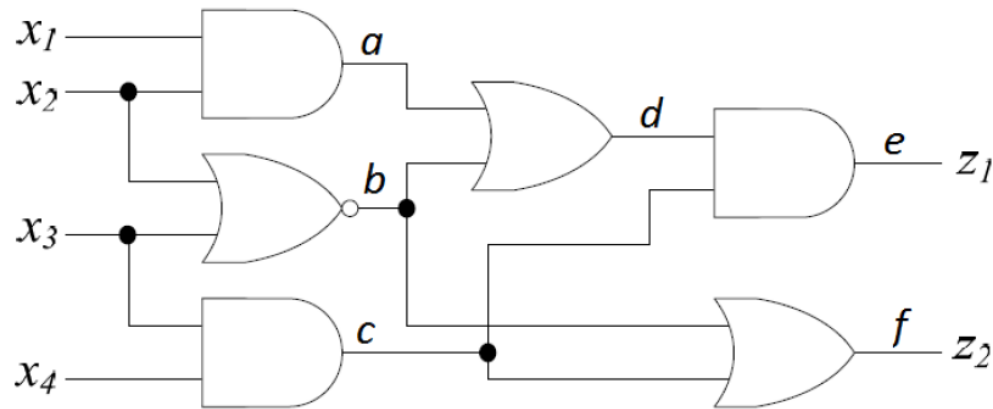
(0,1,1,1,1,0)

(1,0,1,1,1,0)

(1,1,1,1,1,0)

Przykład 2

s-a-0 @ b



Activate

$$b = \overline{x_2 + x_3} = 1 \rightarrow$$

$$x_2 = x_3 = 0$$

Propagate – ścieżka do z_1

$$a = 0 = x_1 \cdot x_2$$

$$x_1 x_2 \in \{00, 01, 10\}$$

$$c = 1 = x_3 \cdot x_4$$

$$x_3 = 1, x_4 = 1$$

Sprzeczność: $x_3 = 0$ i $x_3 = 1 \rightarrow$ błąd nie może być wykryty na wy z_1

Propagate – ścieżka do z_2

$$c = 0 = x_3 \cdot x_4$$

$$x_3 x_4 \in \{00, 01, 10\}$$

Zbiór testów wykrywających uszkodzenie:

$$(X, 0, 0, X)$$

Błędy równoważne w bramce

Błędy równoważne – wykrywane przez te same wektory testowe (zbiory wektorów testowych wykrywających każdy z błędów równoważnych są równe)

Przykład – bramka OR:

Błąd s-a-1 na każdym z wejściu – testuje wektor 000



Błędy s-a-1 na każdym z wejść - równoważne

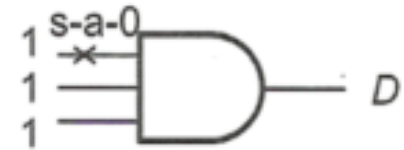
Wektor 000 testuje też błąd s-a-1 na wyjściu



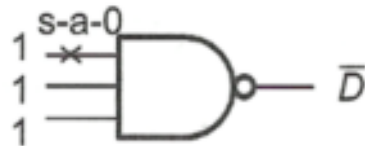
Błędy s-a-1 na każdym z wejść i na wyjściu – równoważne (nierozróżnialne)

Przykład – bramka AND:

Błędy s-a-0 na każdym z wejść i na wyjściu –
równoważne (nierozróżnialne)

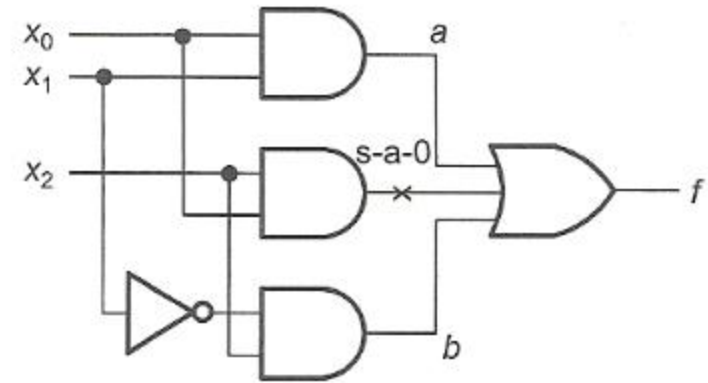


? Błędy równoważne dla bramki NAND i NOR ?



Błędy niewykrywalne

W tym przykładowym układzie błąd s-a-0 jest niewykrywalny (dlaczego?)



Przyczyną niewykrywalnych błędów (pojedynczych) jest nadmiarowość w układzie

Zminimalizowana postać układu – nie ma błędów niewykrywalnych:

$$f = x_0 x_1 + \overline{x_1} x_2$$

Realizacja układów nieuproszczonych czasami konieczna (eliminacja hazardów, korzystanie z określonego typu bramek – np. dwuwejściowych) → stosuj dodatkowe wyjścia - wyprowadzenia punktów wewnętrznych (dla testowalności)