



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Instrumente Structurale  
2007-2013



# Platformă de e-learning și curriculă e-content pentru învățământul superior tehnic

## Testarea Sistemelor

### 16. Modelul defectului scurtcircuit

## TESTAREA DEFECTELOR SCURTCIRCUIT

Defectele scurtcircuit (DS) sau punte sunt cauzate de conectări accidentale, nedorite, între două sau mai multe linii de semnal care în mod normal nu sunt conectate. Astfel de defecte pot fi simple (DSS), atunci când sunt implicate doar două linii din circuit, sau multiple (DSM) atunci când sunt afectate trei sau mai multe linii prin același defect scurtcircuit. Se poate remarca o proprietate fundamentală a acestor defecte: deoarece liniile implicate într-un scurtcircuit (simplu sau multiplu) devin echipotențiale, toate au aceeași valoare logică. Pentru o linie  $i$  scurtcircuitată, trebuie să se facă diferența între valoarea care poate fi observată pe linia  $i$  și valoarea liniei  $i$  dată de sursa sa; ultima este numită valoare *condusă*. În figura 1 se prezintă un model a unui defect scurtcircuit între liniile  $x$  și  $y$ . Ramificațiile liniei  $Z$  reprezintă reuniunea ramificațiilor liniilor  $x$  și  $y$  (evident, cuprinse în scurtcircuit).

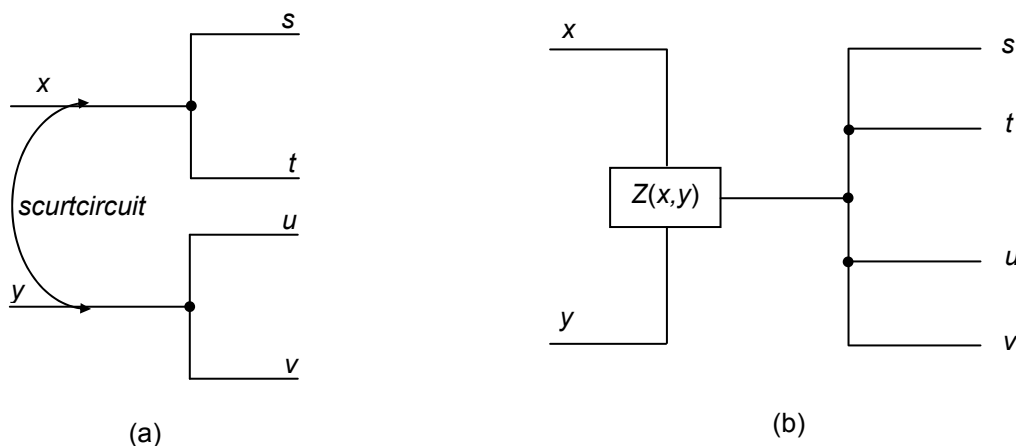


Figura 1.

- (a) Scurtcircuitul liniilor  $x$  și  $y$ ;  
(b) modelul scurtcircuitului liniilor  $x$  și  $y$ .

Se notează, în general, un DS prin  $(x, y)$  iar funcția indusă de DS este  $Z(x, y)$ . Funcția  $Z$  are proprietatea că  $Z(a, a) = a$ . Ceea ce se întâmplă în cazul în care  $x$  și  $y$  au *valori diferite* depinde de tehnologia folosită.

În tehnologia MOS, spre exemplu, valoarea scurtcircuitului  $Z(a, a')$  este în general nedeterminată (valoare respectivă nu corespunde nici unei valori logice).

În aceasta secțiune vor fi tratate doar la defectele blocaj a căror valoare rezultată în urma scurtcircuitării liniilor este determinată. În multe tehnologii cum ar fi (TTL, ECL etc.), când două linii scurtcircuitate au valori conduse opuse, o valoare o domină pe cealaltă. Dacă  $c \in \{0,1\}$  este valoarea dominantă, atunci  $Z(0, 1) = Z(1, 0) = c$ , și funcția introdusă de DS este ȘI dacă  $c = 0$ , ori SAU dacă  $c = 1$ .

Spre deosebire de modelul defectului blocaj simplu, în modelul defectul scurtcircuit nu este nevoie să se facă diferența între o linie și ramificațiile sale, deoarece acestea au mereu aceleași valori.

Dacă există cel puțin o cale între  $x$  și  $y$ , atunci un DS ( $x, y$ ) introduce în circuitul respectiv una sau mai multe bucle de reacție. Un astfel de defect se numește “defect blocaj reactiv” (DSR). Un DS care nu introduce nici o buclă de reacție se numește “defect blocaj nereactiv” (DSNR). Un DSR transformă un circuit combinațional într-un circuit secvențial (Figura 2). Iar dacă o buclă de reacție conține un număr impar de inversiuni, circuitul poate oscila. Dacă întârzierea de-a lungul buclei este mică, oscilațiile rezultate au o frecvență foarte mare iar semnalele afectate pot avea valori logice ne-determinate. Astfel de valori pot decalibra echipamentele de testare.

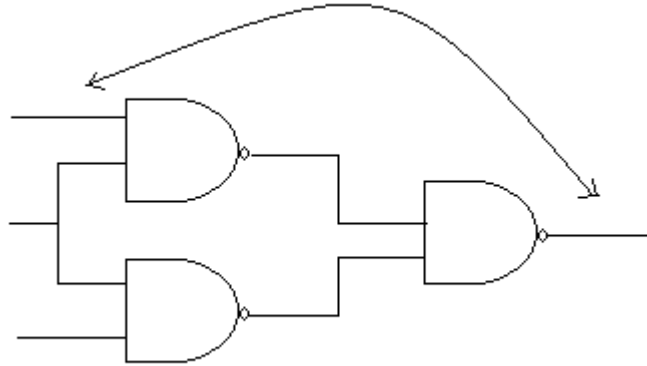


Figura 2

Modelul defectului blocaj multiplu reprezintă scurtcircuite provocate între mai mult de două linii de semnal. Un DSM cu  $p > 2$  linii scurtcircuitate poate fi gândit ca fiind compus din  $p - 1$  defecte blocaje simple între două linii. Astfel un DSM între liniile  $i, j$  și  $k$  poate fi reprezentat prin DSS-urile ( $i, j$ ) și ( $j, k$ ). Între componentele unui DSM pot să apară relații de *mascare* a defectelor. Majoritatea DSM-urilor sunt detectate de teste pentru defectele singulare din componentele DSM-ului respectiv. DSM-urile au probabilitate mai mică de apariție decât DSS. Din acest motiv în continuare se vor aborda numai defecte blocaje singulare între două linii.

Numărul defectelor blocaje posibile într-un circuit cu  $G$  porți și  $l$  linii primare de intrare este  $b = (G + l)/2$ . Pentru  $G \gg 1$ ,  $b = G*(G - 1)/2$  factorul dominant fiind  $G^2$ . Când s-a calculat această formulă s-a presupus că un scurtcircuit poate apare între 2 linii. Dar în majoritatea cazurilor un scurt apare doar între 2 linii adiacente din punct de vedere fizic. Fie  $N_i$  vecinătatea linie  $i$ ; (setul de linii adiacente liniei  $i$ ). Atunci numărul de DSS posibile este:

$$b = (\frac{1}{2}) * \sum_i |N_i|$$

Dacă se notează prin  $k$  valoarea medie a setului de linii adiacente unei linii  $N_i$ , are loc relația:

$$b = (\frac{1}{2})(G + l)k$$

În general valoarea factorului  $k$  crește cu  $f$  (numărul mediu de linii de ieșire). Se poate presupune că fiecare ramură și fiecare linie de ieșire are în medie  $r$  vecini distincți, unde acest factor  $r$  depinde de conectarea fizică. Atunci:

$$b = \left(\frac{1}{2}\right)(G + I) r (1+f)$$

Comparând acest rezultat cu numărul de defecte scurtcircuitate (simple) (DSS) calculat anterior, se poate concluziona faptul că numărul de DSS este de aceeași mărime ca și numărul de DBS-uri dintr-un circuit. Dar cum  $r$  este în general mai mare decât doi, numărul de DSS-uri este de obicei mai mare. Pe de altă parte, numărul de DBS-uri care trebuie luate în considerație poate fi redus folosind echivalența structurală și dominanța; astfel de tehnici nu s-au dezvoltat și pentru DS-uri.

### Detectarea Defectelor Scurtcircuitate Simple Nereactive (DSNR)

**Teorema 1:** (Williams și Angell 1973) Un test  $t$  detectează un defect punte de tip ȘI ( $x, y$ ) dacă  $t$  detectează linia  $x$   $b-l-0$  și face ca valoare liniei  $y$  să fie  $y = 0$ , sau  $t$  detectează  $y$   $b-l-0$  și face ca valoare liniei  $y$  să fie  $y = 1$ .

Este de reținut faptul că liniile  $x$  și  $y$  implicate într-un DSNR sunt ieșiri ale unor porți și/sau linii primare de intrare, și nu ramificații. Așa cum se observă din Figura 3., Teorema 1 nu este adevărată dacă se aplică ramificațiilor liniilor de ieșire. De asemenea atât  $h$   $b-l-0$  cât și  $m$   $b-l-0$  sunt nedetectabile, defectul scurtcircuit AND ( $h, m$ ) este detectat de testul  $t = (110)$  pentru că defectul de pe  $h$  se propaga de la  $b$ .

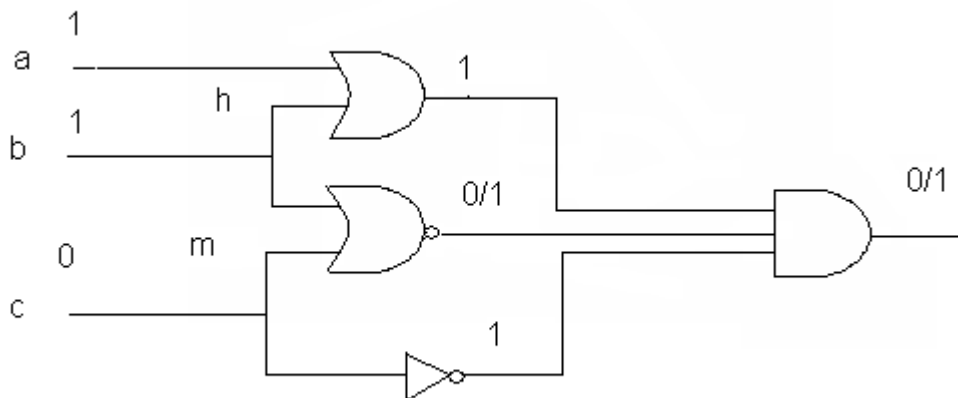
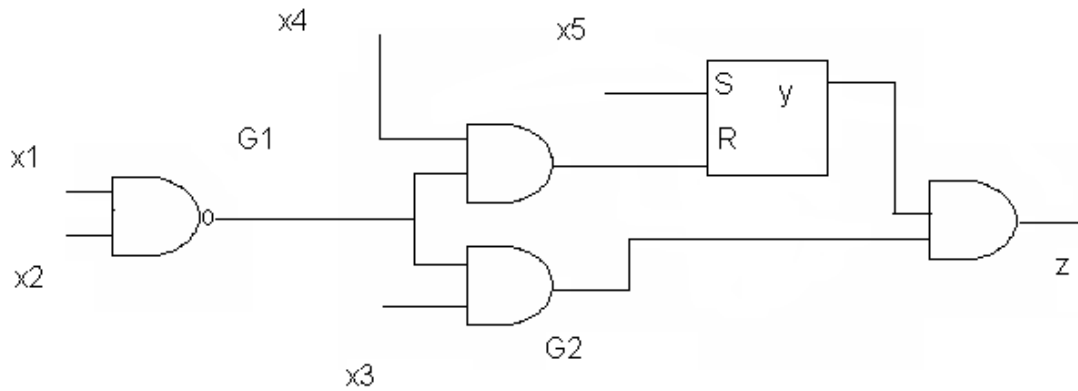


Figura 3

În general nu există o garanție că un set complet de teste pentru defecte blocaje va satisface condițiile Teoremei 1 pentru fiecare DSNR. Detectia poate fi garantată pentru anumite tipuri de DS care implica intrări ale aceleiași porți. Acest lucru este important deoarece scurtcircuitate între intrările aceleiași porți sunt frecvente.

**Corolarul 1:** Fie  $x$  și  $y$  semnale fără ramificații. Dacă  $x$  și  $y$  sunt linii de intrare ale aceleiași porți SAU ori SAU-NU, atunci defectul punte AND( $x, y$ ) domină atât  $x$   $b-l-0$  cât și  $y$   $b-l-0$ .

Această relație de dominanță nu se extinde și la circuitele secvențiale. Astfel, în circuitul din figura 1.4, spre exemplu, defectul scurtcircuit SAU( $x_1, x_2$ ) domină  $x_2$   $b-l-1$  într-un circuit combinațional. Secvența de teste prezentată detectează  $x_2$   $b-l-1$  dar nu detectează ( $x_1, x_2$ ).



|    | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1 | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     |
| T2 | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| T3 | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| T4 | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     |

Figura 4.

Sa presupune că exista un defect blocaj AND între intrările unei porți OR, și doar una dintre intrările scurtcircuitate are ramificații. (Figura 5)

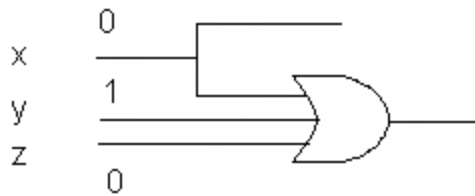


Figura 5

**Corolarul 2:** Fie  $x$  o linie cu ramificații și  $y$  o linie fără. Dacă  $x$  și  $y$  sunt intrări ale aceleiași porți OR sau NOR, atunci defectul blocaj AND ( $x,y$ ) domina  $y$   $b-l-0$ .

Defectele blocaj între intrări ale aceleiași porți care nu satisfac condițiile corolarelor 1 și 2 este puțin probabil să fie detectate de seturi de teste complete pentru DBS-uri.

Friedman (1974) a presupus că într-un circuit combinațional iredundant, toate defectele blocaj între intrări ale aceleiași porți, unde ambele intrări au ramificații sunt detectabile. Până acum nici un contra-exemplu la această presupunere nu a fost găsit.

#### Detectarea Defectelor Blocaje Simple cu Feedback (DSSF)

Un DSSF apare atunci când există cel puțin o cale între 2 linii scurtcircuitate. Cele 2 linii implicate în scurtcircuit sunt referite ca linia din spate  $s$  (back line) și linia din față  $f$  (front line), unde  $s$  este linia cu valoarea mai scăzută (mai aproape de liniile primare de intrare, spre exemplu). Deoarece un circuit secvențial devine un circuit combinațional în prezența unui DSSF, este nevoie de o secvență de teste care să detecteze DSSF. Se va demonstra că în cele mai multe cazuri un DSSF este detectat de un singur test (Abramovici și Menon 1985).

**Teorema 2:** Un test  $t$  care detectează  $f$   $b-l-0$  și setează  $b = 0$  detectează un DSSF AND ( $b,f$ ).

Demonstrație: Independent de starea circuitului înainte de aplicarea testului  $t$ ,  $b$  va avea valoarea 0 după aplicarea testului (Figura 6). Valoarea lui  $f$  va fi 1 și atunci o eroare este generată de  $f$ . Deoarece valoarea lui  $b$  este aceeași cu cea din circuitul liber de defecte, eroare se propaga pe aceeași cale că și eroare generată de  $f$   $b-l-0$ . De aceea  $t$  detectează ( $b,f$ ).

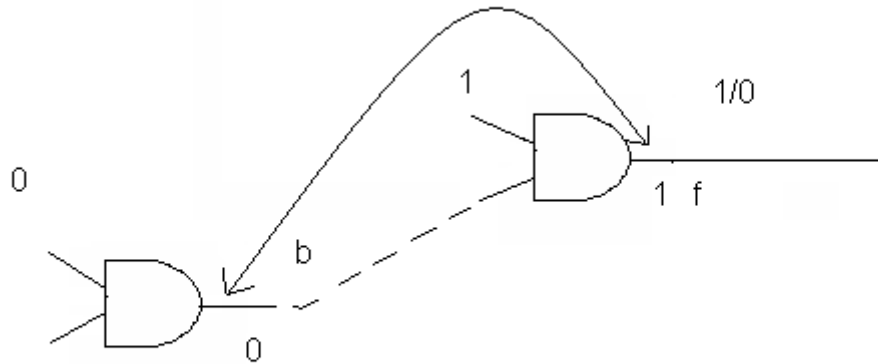


Figura 6

În următoare teoremă rolurile lui  $b$  și  $f$  sunt inversate.

**Teorema 3:** Un test  $t$  care detectează  $b$   $b-l-0$  și setează  $f = 0$  fără ca  $b$   $b-l-0$  să senzitivizeze  $f$ , detectează DSSF AND  $(b, f)$ .

Demonstrație: Deoarece  $b$   $b-l-0$  nu senzitivizează  $f$ , valoarea lui  $f$  nu depinde de valoare lui  $b$ . (Figura 1.7) Independent de starea circuitului (cu DSSF prezent) înainte de aplicarea testului, valorile lui  $b$  și  $f$  vor fi 1, respectiv 0 după aplicarea testului. Atunci  $t$  activează defectul  $(b, f)$  și eroarea se propaga de la  $b$  de-a lungul căii senzitivizată de  $t$  pentru a detecta  $b$   $b-l-0$ . Așadar  $t$  detectează  $(b, f)$ .

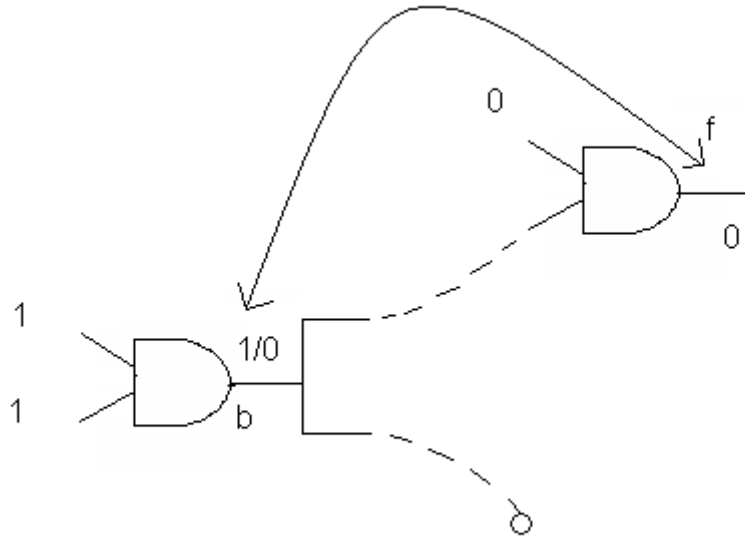


Figura 1.7

E de reținut că un test  $t$  care propagă  $b$   $b-l-0$  prin  $f$  și setează  $f=0$  induce o oscilație de-a lungul buclei creată de  $(b,f)$ ; un astfel de blocaj se mai numește blocaj cu probabilitate de oscilare.

Teoremele 2 și 3 sunt valide independent de numărul de căi între  $b$  și  $f$  și de paritatea inversiunii căilor respective. Acum se va demonstra că atunci când toate căile dintre  $b$  și  $f$  au paritate pară, condițiile pentru detectarea  $(b,f)$  nu mai sunt așa de necesare.

**Corolarul 3:** Fie  $(b,f)$  un DSSF AND astfel încât toate căile între  $b$  și  $f$  au paritatea inversiunii pară. Un test  $t$  care fie detectează  $f$   $b-l-0$  și setează  $b=0$ , fie detectează  $b$   $b-l-0$  și setează  $f=0$ , va detecta și  $(b,f)$ .

*Demonstrație:* Prima condiție este acoperită de Teorema 2. Sa analizăm acum a două condiție, și anume  $t$  detectează  $b$   $b-l-0$  și setează  $f=0$ . Se va demonstra că linia  $f$  nu este senzitivizată la defectul  $b$   $b-l-0$  de testul  $t$ . Se presupune prin absurd contrariul. Atunci, valoarea lui  $f$  la testul  $t$  ar trebui să fie  $1 \oplus 0 = 1$ ; dar aceasta contrazice ce s-a presupus mai sus și anume că  $t$  setează  $f=0$ . Astfel,  $f$  nu se găsește pe nici o cale senzitivizată la defectul  $b$   $b-l-0$  de testul  $t$ . Acest caz este acoperit de Teorema 3 și de aceea  $t$  detectează  $(b,f)$ .

Toate teoremele și corolarele de mai sus oferă doar condiții suficiente de detectare a DSSF cu un singur test. Dar un DSSF poate fi detectat și cu o secvență de test, nici unul din ele nu satisface individual condițiile de mai sus. Următorul exemplu arată un astfel de caz.



**Exemplu 1:** Fie un DSSF AND  $(a,z)$  în circuitul din figura 8, și testele  $t_1 = 1010$  și  $t_2 = 1110$ . Singura cale între  $a$  și  $z$  are paritatea inversiunii pară. Nici  $t_1$  nici  $t_2$  nu satisfac condițiile corolarului 3. Totuși secvența de teste  $(t_1, t_2)$  detectează  $(a,z)$  deoarece valoarea 0 a lui  $z$  în  $t_1$  domină valoarea 1 aplicată lui  $a$  de testul  $t_2$ , și eroarea rezultată se propagă către  $z$ .

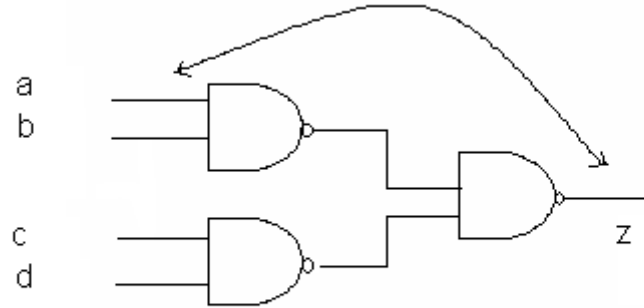


Figura 8

Pentru anumite cazuri putem deduce condiții necesare și suficiente pentru detectarea unui DSSF de către un singur test.

**Corolarul 4:** Fie  $(b,f)$  un DSSF AND astfel încât orice cale între  $b$  și o linie primara de ieșire trece prin  $f$ . Un test  $t$  detectează  $(b,f)$  dacă și numai dacă  $t$  detectează defectul  $f$   $b$ - $l$ -0 și setează  $b = 0$ .

*Demonstrație:* Condiția de suficiență este demonstrată de Teorema 2. Pentru a demonstra condiția de necesitate, se va arăta că dacă  $t$  nu detectează  $f$   $b$ - $l$ -0 sau dacă nu setează  $b = 0$ , nu detectează  $(b,f)$ .

1. Se presupune că  $t$  nu detectează  $f$   $b$ - $l$ -0. Întrucât toate căile dintre  $b$  și liniile primare de ieșire (LPE) trec prin  $f$ , o eroare generată de  $(b,f)$  se poate propaga doar de la  $f$ . Atunci  $t$  trebuie să detecteze  $f$   $b$ - $l$ -1. Așadar, setează  $f = 0$ . Întrucât 0 este o valoare dominantă pentru defectul blocaj AND, în prezența  $(b, f)$ ,  $f$  poate să își mențină valoarea 0 sau să oscileze. Dacă  $f = 0$ , nici o eroare nu este generată. Dacă  $f$  oscilează, nici o eroare nu este generată.
2. Se presupune că  $t$  detectează  $f$   $b$ - $l$ -0 dar setează  $b = 1$ . Din nou nici o eroare nu este generată la linia  $f$ .  
În ambele cazuri  $t$  nu detectează  $(b, f)$ .

**Corolarul 5:** Fie  $(b,f)$  un DSSF AND unde  $b$  și  $f$  sunt de așa natură încât  $f = 1$  de fiecare dată când  $b = 0$  în circuitul liber de defecte. Un test  $t$  detectează  $(b, f)$  dacă și numai dacă  $t$  detectează  $f$   $b$ - $l$ -0 și setează  $b = 0$ .

Demonstrație: Condiția de suficiență este demonstrată de Teorema 7.2. Pentru a demonstra condiția de necesitate trebuie să fie luate în considerare 2 cazuri:

1. Se presupune că  $t$  setează  $b = 1$ . Dacă  $t$  setează  $f = 1$ , atunci nici o eroare nu este generată. Dacă  $t$  setează  $f = 0$  asta va face ca  $b$  să ia valoarea 0 datorită defectului blocaj. Dar într-un circuit liber de defecte  $b = 0$  implică  $f = 1$ , și asta rămâne adevărat și în circuitul defect. Astfel bucla creată de  $(b, f)$  oscilează și nici o eroare nu este generată.
  2. Se presupune că  $t$  setează  $b = 0$  dar nu detectează  $f b-l-0$ ;  $b = 0$  implică  $f = 1$ . Asta înseamnă că  $t$  activează  $f b-l-0$  dar nu propagă efectul lui  $f b-l-0$  către o LPE. Similar, o eroare generată de  $(b, f)$  apare doar la  $f$  dar nu este propagată către o LPE.
- În ambele cazuri  $t$  nu detectează  $(b, f)$ .

Un exemplu de DSSF care satisface Corolarul 5 este un DSSF între o intrare și o ieșire a unei porți NAND.

Următorul rezultat este o consecință a Corolarului 4 și permite să se identifice un tip de DSSF care nu este detectabil printr-un singur test.

**Corolarul 6:** Nu există un singur test care să detecteze un DSSF AND  $(b, f)$  astfel încât orice cale între  $b$  și o LPE trece prin  $f$ , și  $f=0$  de fiecare dată când  $b = 0$ .

De exemplu, dacă  $b$  este o intrare a unei porți AND a cărei ieșire este  $f$ , și  $b$  nu are ramificații, atunci  $(b, f)$  nu este detectabil de nici un test.

### Simularea Defectelor Scurtcircuit

În această secțiune se va aborda simularea defectelor scurtcircuit prin tehnici derivate din cele pentru defectele blocaje simple. Este posibil să se simuleze explicit un DSS cu un proces similar celui de la simularea DBS-urilor. Aceasta simulare se bazează pe determinarea momentului când DSS sunt activate și pe propagarea efectelor lor. Aceasta abordare nu este eficientă în cazul circuitelor mari deoarece:

1. Un DSS este mai complex decât un DBS atât din punct de vedere structural cât și funcțional.
2. Numărul total de DSS este mai mare decât numărul total de DBS.

Astfel că simularea explicită a defectelor pentru DSS ar fi mult mai scumpă decât cea pentru DBS.

În continuare, se va prezenta o metoda de simulare implicită a DSS în circuite combinaționale (Abramovici și Menon 1985). Aceasta metoda folosește legăturile dintre detecția DBS și detecția DSS pentru a determina defectele blocaj detectate de o secvență de teste fără a simula explicit un DSS. Aceasta se face monitorizând apariția acestor legături în timpul simulării DSS.

Întrucât se analizează detecția defectelor blocaj de către un singur test, metoda de mai sus nu recunoaște defectele blocaje simple detectate doar de secvențe de teste.

Se presupune că pentru fiecare semnal  $x$  (LPI sau LPE) se cunoaște vecinătatea acestuia,  $N_x$ , care conține toate liniile care pot fi în scurtcircuit cu  $x$ . Se consideră doar defectele blocaj AND. Pentru fiecare DSS  $(x, y)$  se cunoaște atât  $x \in N_y$  cât și  $y \in N_x$ .

Toate rezultatele din secțiunile anterioare arată că detectarea defectelor blocaj AND depinde de detectarea defectelor  $b-l-0$ . Dacă un test care detectează  $x$   $b-l-0$ , detectează și DSS  $(x, y)$  se spune că  $(x, y)$  este detectat pe baza lui  $x$ . Pentru a simplifica simularea DSS se va construi o vecinătate  $N_x'$  redusă obținută prin eliminarea tuturor liniilor  $y$  din  $N_x$  cu proprietatea că  $(x, y)$  este nedetectabil. Dacă  $x$  și  $y$  sunt intrări ale aceleiași porți AND sau NAND și nu au ramificații, atunci  $(x, y)$  este nedetectabil și se elimină  $y$  din  $N_x$  și  $x$  din  $N_y$ . Același lucru se face dacă  $x$  și  $y$  satisfac condițiile corolarului 6. Dacă  $(x, y)$  este un DSSF cu  $y$  fiind „front line”, și condițiile corolarului 4 sau 5 sunt adevărate, atunci  $(x, y)$  poate fi detectat doar pe baza lui  $y$ , și astfel se elimină  $y$  din  $N_x$ .

Pasul următor este să se împartă liniile din  $N_x'$  în 2 seturi,  $M_x$  și  $M_x^*$ . Setul  $M_x^*$  conține toate liniile  $y$  care sunt succesoare lui  $x$ , astfel încât cel puțin una din căile dintre  $x$  și  $y$  are paritatea inversiunii impară, și  $M_x$  conține restul de linii din  $N_x'$ . Motivul pentru această partiționare este următorul: dacă  $y \in M_x$ , atunci detecția  $x$   $b-l-0$  când  $y = 0$  este suficientă pentru detectarea  $(x, y)$ . Dar dacă  $y \in M_x^*$ , atunci  $(x, y)$  este un DSSF cu probabilitate de oscilare care este detectat pe baza lui  $x$  doar dacă efectul lui  $x$   $b-l-0$  nu se propaga spre  $y$ .

După simularea fiecărui test  $t$ , se analizează fiecare defect  $x$   $b-l-0$  detectat de  $t$ . Pentru fiecare linie  $y \in M_x$  cu valoarea 0, se marchează  $(x, y)$  ca defect detectat. Pentru fiecare linie  $y \in M_x^*$  cu valoarea 0, se marchează  $(x, y)$  ca defect detectat și efectul lui  $x$   $b-l-0$  nu se propagă către  $y$ .

Determinarea propagării efectului defectului  $x$   $b-l-0$  către  $y$  depinde de metoda folosită în simulare. În simularea deductivă se poate verifica dacă  $x$   $b-l-0$  apare pe lista defectelor lui  $y$ . În simularea concurrentă trebuie să se verifice mereu dacă valorile lui  $y$  în circuitul liber de defecte și în circuitul defect diferă.

Un defect blocaj  $(x, y)$  poate fi eliminat de îndată ce este detectat. Asta presupune eliminarea lui  $y$  din  $M_x$  sau din  $M_x^*$  și eliminare lui  $x$  din  $M_y$  sau  $M_y^*$ . Un defect  $x$   $b-l-0$  ar trebui reținut până ce toate defectele blocaj care sunt detectabile pe baza lui  $x$  sunt detectate (adică atunci când  $M_x$  și  $M_x^*$  devin vide). Dacă DBS echivalente au fost colapsate, toate defectele  $b-l-0$  echivalente ar trebui verificate. Un defect DBS ar trebui eliminat doar după ce toate DSS a căror detecție se bazează pe defectul  $b-l-0$  echivalent cu defectul DBS sunt detectate.

Întârzierea eliminării defectelor blocaj după prima detectare mărește costul simulărilor explicite a defectelor, cum ar fi cea deductiva sau concurrenta. Astfel că cea mai potrivită tehnică de simulare DBS pentru determinarea defectelor blocaj detectabile este „critical

*path tracing*”, reprezentând de fapt o metoda a simulării implicite a defectelor care nu elimină și nu colapsează defectele.

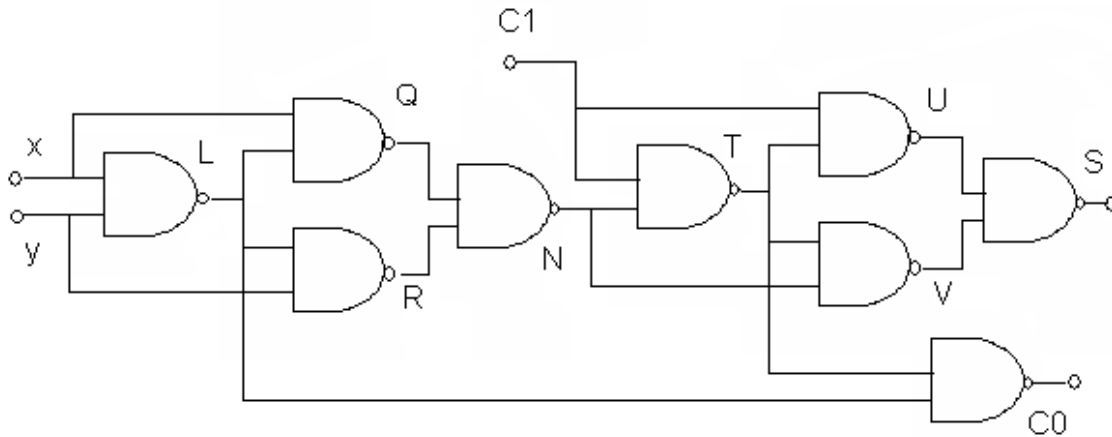


Figura 9

Exemplu 2: Fie sumatorul din Figura 9. În figura 10 (a) se observă seturile  $M$  și  $M^*$  pentru fiecare linie cu presupunerea că oricare 2 linii sunt vecine. Vecinii în  $M$  sunt marcați cu „•” și cei din  $M^*$  cu „\*”. De exemplu  $M_R = \{X, Y, C1, L, T\}$  și  $M_R^* = \{U, V, S, C0\}$ .  $N$  nu apare în  $M_R^*$  deoarece toate căile dintre  $R$  și un LPE trec prin  $N$ . Oricum  $R \in M_N$ . Similar,  $Q$  nu este inclus în  $M_R$  deoarece  $(Q, R)$  este evident nedetectabil și  $Q, R, T, V$  și  $C0$  nu apar în  $M_L^*$  deoarece ele sunt setate la 1 de fiecare dată când  $L = 0$ . Figura 1.10 (b) arată testele aplicate și valorile în circuitul liber de defecte.

Detecția DSS este rezumată în Figura 10(c). Un număr  $i$  în rândul  $x$  și coloana  $y$  arată că DBS  $x$   $b-l-0$  și DSS  $(x, y)$  sunt detectate de testul  $t_i$ . Un „x” arată că  $(x, y)$  este detectat pe baza lui  $y$  (acest test se găsește pe rândul  $y$  și coloana  $x$ ). De exemplu,  $t_1$  detectează  $L$   $b-l-0$ . Deoarece  $X, Y, C1$  și  $N$  au valoarea 0 în  $t_1$ , se va scrie 1 în intrările corespunzătoare din tabel. Deoarece  $S$  are valoarea 0 și efectul lui  $L$   $b-l-0$  nu ajunge la  $S$ , se va scrie 1 în intrarea din tabel pentru  $(L, S)$ . Se va scrie un „x” pe intrările  $(C1, L)$ ,  $(N, L)$  și  $(S, L)$ .

|    |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|    | X | Y | C1 | L | Q | R | N | T | U | V | S | C0 |
| X  |   | • | •  |   |   | • | * | * | * | * | * | *  |
| Y  | • |   | •  |   | • |   | * | * | * | * | * | *  |
| C1 | • | • |    | • | • | • | • |   |   | • | * | •  |
| L  | • | • | •  |   |   |   | • |   | • |   | * |    |
| Q  | • | • | •  | • |   |   |   | • | * | * | * | *  |
| R  | • | • | •  | • |   |   |   | • | * | * | * | *  |
| N  | • | • | •  | • | • | • |   |   | • |   | * | •  |
| T  | • | • | •  | • | • | • | • |   |   |   | • |    |
| U  | • | • | •  | • | • | • | • | • |   |   |   | •  |
| V  | • | • | •  | • | • | • | • | • |   |   |   | •  |
| S  | • | • | •  | • | • | • | • | • | • | • |   | •  |
| C0 | • | • | •  | • | • | • | • | • | • | • | • |    |

(a)

|    |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|    | X | Y | C1 | L | Q | R | N | T | U | V | S | C0 |
| T1 | 0 | 0 | 0  | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0  |
| T2 | 1 | 0 | 0  | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0  |
| T3 | 0 | 1 | 1  | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1  |
| T4 | 1 | 1 | 0  | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1  |
| T5 | 1 | 1 | 1  | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1  |

(b)

|    |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|    | X | Y | C1 | L | Q | R | N | T | U | V | S | C0 |
| X  | - | 2 | 2  | - | - | x | x | x | x | x |   | 2  |
| Y  | x | - | 4  | - | x | - | x | x | x | x | x |    |
| C1 | x | x | -  | x | x | x | x | - | - | x | x | x  |
| L  | 1 | 1 | 1  | - | - | - | 1 | - | x | - | 1 | -  |
| Q  | 1 | 1 | 1  | 4 | - | - | - | x |   |   | x | 1  |
| R  | 1 | 1 | 1  | 4 | - | - | - |   | x | x |   | 2  |
| N  | 3 | 2 | 2  | x | 2 | 3 | - | - | x | - | x | 2  |
| T  | 1 | 1 | 1  | 5 | 2 |   | 1 | - | - | - | 1 | -  |
| U  | 1 | 1 | 1  | 4 |   | 3 | 1 | 3 | - | - | - | 1  |
| V  | 1 | 1 | 1  | 4 |   | 3 | 1 | 3 | - | - | - | 1  |
| S  |   | 2 | 2  | x | 2 |   | 5 | x | 5 | 2 | - | 2  |
| C0 | x |   | 4  | 4 | x | x | x | 3 | x | x | x | -  |

(c)

Figura 10

În acest exemplu 91% (58 din 64) din defectele blocaje considerate sunt detectate de un singur test. Defectele detectate sunt de-fapt mai multe deoarece 2 din cele 6 defecte blocaje declarate ca nedetectabile – (X, S) și (Y, C0) – sunt detectate de secvențele ( $t_1, t_2$ ), respectiv ( $t_2, t_3$ ).

Rezultatele experimentale prezentate de Abramovici și Menon în 1985 în urma simulării a peste 0.5 milioane de defecte blocaj sunt:

1. Teste cu acoperire mare pentru DBF (95%) au detectat 83% dintre toate DSS posibile. Numărul de DSS detectate ar putea fi mai mare, deoarece nu au fost luate în considerare defectele blocaj detectate de secvențe de teste și acele defecte blocaje cu posibilitate de oscilare datorita „back line”-urilor.
2. Chiar dacă pentru cele mai multe circuite testele care au detectat un număr mare de DBF-uri, au detectat un număr destul de bun de DSS-uri, nu întotdeauna s-a întâmplat așa. De exemplu, un test cu o detecție de 98% de DBS-uri a detectat doar 51% de DSS-uri.
3. În medie, 75% dintre DSS cu posibilitate de oscilare au fost detectate pe baza „front line”-urilor.
4. În circuite mari, timpul în plus necesar pentru simularea implicită a DSS e o mică fracțiune din timpul necesar simulării DBF-urilor.

### Generarea Testelor pentru Defectele Blocaj

De multe ori când se generează un test pentru DBF, există linii a căror valoare nu este dependentă. Se poate să se folosească de acest avantaj prin setarea de valori care contribuie la detectarea DSS. Mai bine zis, pentru fiecare defect  $x$   $b-l-0$  detectat de un anumit test, se poate încerca să se găsească liniile  $y \in M_x$  astfel încât  $(x, y)$  să rămână nedetectat și valoarea lui  $y$  să nu fie specificată. Atunci  $y = 0$  creează condițiile detectării  $(x, y)$ .

După ce generarea testului pentru DBF este completă, se poate, în continuare, să fie DSS nedetectate. Fie  $(x, y)$  unul din DSS nedetectate.

Dacă  $y \in M_x$ , se mai încearcă să se deducă un test pentru  $x$   $b-l-0$  cu constrângerea ca  $y$  să fie 0 ( $y = 0$ ). (Acest lucru ar trebui încercat doar dacă  $x$   $b-l-0$  a fost detectat în timpul generării testului pentru DBS.)

Similar dacă  $x \in M_y$ , se va încerca să se deducă un test care detectează  $y$   $b-l-0$  și poziționează  $x = 0$ . Acest tip de operații necesită modificări minore la un program de generare a testelor pentru DBS.

Atunci când  $y \in M_x^*$ , DSSF cu posibilitate de oscilare pot fi detectate încercând să se genereze un test pentru  $x$   $b-l-0$  setând în acest timp  $y = 0$ , cu restricția că efectul defectului  $x$   $b-l-0$  să nu se propage către  $y$ . Deoarece majoritatea DSSF cu posibilitatea de oscilare pot fi detectate pe baza „front line”-urilor, se poate sări peste cazul  $y \in M_x^*$  fără pierderi majore în numărul de defecte detectate.

Exemplul 3: Se continuă exemplul 2 prin generarea unui test pentru  $(Q, U)$ , care este unul din defectele blocaj nedetectate de testele analizate.

Deoarece  $Q \in M_u$ , se va încerca să se genereze un test pentru  $U$   $b-l-0$  în timp ce se poziționează  $Q = 0$ .

Unica soluție a acestei probleme este testul  $(X, Y, C1) = (1, 0, 1)$ , care detectează și defectele blocaj  $(Q, V)$  și  $(Y, C0)$ .

Chiar dacă majoritatea DSSF pot fi detectate de un singur test, unele DSSF necesită o secvență de teste pentru detectarea lor.

**Concluzii**

Modelul Defectului Blocaj Simplu este un model neclasic. DSS - urile nu pot fi reprezentate prin DBS deoarece, în general, DSS - urile nu sunt echivalent cu DBS - urile. Metodele prezentate în acest capitol arată că analizând relațiile de dominanță ( mai degrabă decât echivalența) între aceste defecte, cele două modele pot fi combinate, și DSS-urile pot fi testate cu un cost mai mic decât cel necesar pentru testarea DBS - urilor.