



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0143536
(43) 공개일자 2022년10월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 31/319 (2006.01) G01R 31/28 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01R 31/31905 (2013.01)
G01R 31/2863 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0067002
(22) 출원일자 2021년05월25일
심사청구일자 2021년05월25일
(30) 우선권주장
1020210049564 2021년04월16일 대한민국(KR)

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
강성호
서울특별시 마포구 양화로 45, 101동 2102호(서교동, 메세나폴리스)
김경빈
서울특별시 은평구 증산로 291, 514호(증산동, 디오반)
(74) 대리인
특허법인우인

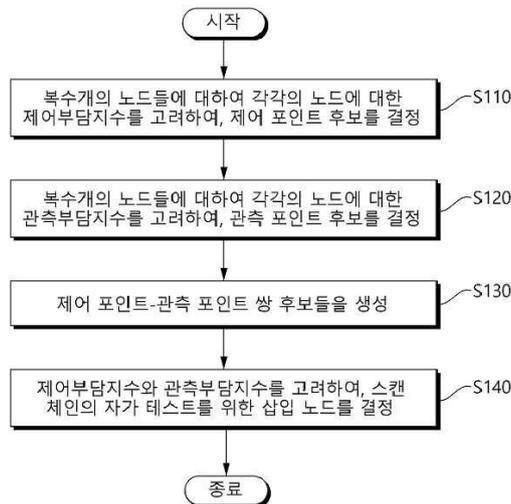
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법 및 장치

(57) 요약

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법 및 그를 위한 장치가 개시된다. 본 발명의 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법은 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 제어부담지수를 고려하여, 적어도 하나의 제어 포인트 후보를 결정하는 단계; 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 관측부담지수를 고려하여, 제어 포인트 후보와 다른 적어도 하나의 관측 포인트 후보를 결정하는 단계; 제어 포인트 후보와 관측 포인트 후보를 이용하여 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들을 생성하는 단계; 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들이 삽입될 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 단계;를 포함할 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

G01R 31/2889 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711119678
과제번호	2018M3E3A1057248
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	소재부품산업미래성장동력(R&D)
연구과제명	현장출동 요원용 신원확인 정보처리 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2020.04.23 ~ 2021.04.22

명세서

청구범위

청구항 1

프로세서에 의해 수행되는 내장 자가 테스트 회로에서 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법에 있어서,

상기 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 제어부담지수를 산출하고, 상기 산출된 제어부담지수에 따라 적어도 하나의 제어 포인트 후보를 결정하는 단계;

상기 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 관측부담지수를 산출하고, 상기 산출된 관측부담지수에 따라 제어 포인트 후보와 다른 적어도 하나의 관측 포인트 후보를 결정하는 단계;

상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보를 이용하여 적어도 하나의 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보를 생성하는 단계; 및

상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보가 삽입될 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 단계; 를 포함하는 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보는,

상호보완성이 있는 제어 포인트 후보와 관측 포인트 후보로 이루어지는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 관측 포인트 후보를 결정하는 단계는,

상기 제어 포인트 후보와 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드로부터 연결된 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트 입력단에 위치하며, 동시에 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드가 고장이 전파되는 경로를 차단하는 경우, 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드를 관측 포인트 후보에서 제외하는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제어부담지수는,

아래의 <수학식>에 기반하여 산출하며,

<수학식>

$$CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(Ctrl) \quad (\text{for CP-1})$$

$$CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(1 - Ctrl) \quad (\text{for CP-0})$$

CP_{Burden} 은 제어부담지수를 나타내며, $|BlockedFaults|$ 는 해당 제어 포인트(CP)가 삽입되는 노드의 값이 '0' 또는 '1'일 때, 전파(propagation)가 차단되는 고장의 개수를 나타내며, 상기 Ctrl은 해당 노드에 '1'이 나올 확률을 나타내고,

상기 관측부담지수는,

아래의 <수학식>에 따라 산출되고,

<수학식>

$$OP_{Burden} = - |Fanin Cone| \log(Obs)$$

OP_{Burden} 은 관측부담지수를 나타내며, $|FaninCone|$ 은 해당 관측 포인트(OP)가 삽입되는 게이트의 입력단에 연결되는 로직 콘(Cone) 내부에 존재하는 고장의 개수를 나타내며, Obs 는 해당 노드의 고장이 회로의 출력까지 전파되어 사용자가 관측할 수 있는 확률을 의미하는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제어 포인트 후보를 결정하는 단계는,

상기 제어부담지수가 미리 결정된 제1 임계 범위에 속하는 적어도 하나의 노드를 제어 포인트 후보로 결정하고,

상기 관측 포인트 후보를 결정하는 단계는,

상기 관측부담지수가 미리 결정된 제2 임계 범위에 속하는 적어도 하나의 노드를 관측 포인트 후보로 결정하는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보는,

상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보를 포함하며,

상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보 사이에는 2개의 게이트가 연결되는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 2개의 게이트는,

상기 제어 포인트 후보로 결정된 노드를 입력단에 연결하는 AND게이트인 제1 게이트와, 상기 제1 게이트의 출력을 입력단에 연결하는 OR게이트인 제2 게이트로 이루어지는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 관측 포인트 후보를 결정하는 단계는,

아래의 <수학식>에 따라 산출되는 제어능력과 가장 근사한 값을 제공하는 노드를 상기 관측 포인트 후보로 결정하고,

<수학식>

$$Ctrl_{req} = \frac{B}{B+b+|FaninCone|} \quad (\text{for CP-1})$$

$$Ctrl_{req} = 1 - \frac{b}{B+b+|FaninCone|} \quad (\text{for CP-0})$$

Ctrlreq는 해당 제어 포인트(CP)의 노드와 관련된 고장들을 전파시키기 위해 요구되는 제어능력 값을 나타내며, B는 상기 제어 포인트 후보 노드와 관련된 고장을 전파시키기 위해 필요한 '1'의 개수를 나타내며, b는 상기 제어 포인트 후보 노드와 관련된 고장을 전파시키기 위해 필요한 '0'의 개수를 나타내며, |FaninCone|은 해당 제어 포인트(CP)의 입력단에 연결되는 로직 콘(Cone) 내부에 존재하는 고장의 개수를 나타내며, CP-1은 1로 제어하기 위한 제어 포인트의 종류를 나타내며, CP-0는 0으로 제어하기 위한 제어 포인트의 종류를 나타내는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 기재된 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위하여 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 10

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정장치로서,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하기 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리; 및

상기 메모리에 저장된 상기 하나 이상의 프로그램에 따라 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하기 위한 동작을 수행하는 하나 이상의 프로세서;

를 포함하고,

상기 프로세서는,

상기 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 제어부담지수를 고려하여, 적어도 하나의 제어 포인트 후보를 결정하는 단계;

상기 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 관측부담지수를 고려하여, 상기 제어 포인트 후보와 다른 적어도 하나의 관측 포인트 후보를 결정하는 단계;

상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보를 이용하여 적어도 하나의 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보를 생성하는 단계; 및

상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보가 삽입될 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 단계; 를 포함하는 동작들을 수행하게 하는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 관측 포인트 후보를 결정하는 단계는,

상기 제어 포인트 후보와 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드로부터 연결된 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트 입력단에 위치하며, 동시에 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드가 고장이 전파되는 경로를 차단하는 경우, 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드를 관측 포인트 후보에서 제외하는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보는,

상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보를 포함하며,

상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보 사이에는 2개의 게이트가 연결되는 것을 특징으로 하는, 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 제어부담지수는,

아래의 <수학식>을 기반으로 산출하며,

<수학식>

$$CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(Ctrl) \quad (\text{for CP-1})$$

$$CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(1 - Ctrl) \quad (\text{for CP-0})$$

CP_{Burden}은 제어부담지수를 나타내며, |BlockedFaults|는 해당 제어 포인트(CP)가 삽입되는 노드의 값이 '0' 또는 '1'일 때, 전파(propagation)가 차단되는 고장의 개수를 나타내며, 상기 Ctrl은 해당 노드에 '1'이 나올 확률을 나타내고,

상기 관측부담지수는,

아래의 <수학식>에 따라 산출되고,

<수학식>

$$OP_{Burden} = -|Fanin Cone| \log(Obs)$$

OP_{Burden}은 관측부담지수를 나타내며, |FaninCone|은 해당 관측 포인트(OP)가 삽입되는 게이트의 입력단에 연결되는 로직 콘(Cone) 내부에 존재하는 고장의 개수를 나타내며, Obs는 해당 노드의 고장이 회로의 출력까지 전파되어 사용자가 관측할 수 있는 확률을 의미하는 것을 특징으로 하는,

스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 제어 포인트와 관측 포인트 삽입 노드 결정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.
- [0003] 자동차, 의료 및 항공 우주와 같은 필수 안전(Safety-Critical) 및 과제 수행에 필수적인(Mission-Critical) 분야가 성장함에 따라 해당 분야에 사용되는 반도체의 안전성과 신뢰성도 중요해지고 있다.
- [0004] 현장에 투입되는 반도체는 생산 단계뿐만 아니라 사용 중일 때에도 그 자체에 결함이 없음을 보장하여야 한다. 이를 위해 대부분 반도체 스스로 테스트할 수 있도록 로직 내장 자가 테스트를 채택하고 있고, 그 비용을 줄이기 위한 연구가 활발히 진행 중이다.
- [0005] 로직 내장 자가 테스트에 삽입되는 PRPG를 외부 테스트 인가시 사용되는 디컴프레서(Decompressor)와 공유하여 사용하는 연구, 테스트 포인트의 면적 오버헤드를 줄이기 위해 회로 내에 존재하는 스캔 셀을 재사용하거나 여러 테스트 포인트의 값을 압축하여 하나의 스캔 셀로 관측하는 연구 등이 진행되어 오고있다.
- [0006] 테스트 포인트 면적 관련 연구는 주로 제어 포인트(CP)를 대상으로 진행되어 왔고, 관측 포인트(OP)에 대해서는 XOR 게이트를 이용해 데이터를 압축하는 정도만 연구되는 정도에 그쳐 OP 최적화 관련 연구는 미흡했다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명의 실시예들은 새로운 구조의 테스트 포인트를 도입하여 테스트를 위한 로직의 면적 오버헤드를 줄이고, 결과적으로 확보된 면적 여유분을 통해 더 높은 품질의 자가 테스트를 가능하게 한다.
- [0008] 본 발명은 각 쌍의 테스트 포인트를 결합 테스트 포인트로 삽입하여 면적 오버헤드를 줄일 수 있으며, 해당 테스트 포인트 쌍은 로직 콘을 분석함으로써 찾을 수 있다. 결합 테스트 포인트의 수가 증가할수록 면적 오버헤드는 매우 작아지며, 더 많은 테스트 포인트 또는 X-마스킹과 같은 다른 이슈를 타겟하는 테스트 로직이 삽입될 여유분이 생긴다. 기존보다 면적 오버헤드는 적고 기능은 동일하므로, 테스트 로직의 밀집성이 높아진다.
- [0009] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법은, 프로세서에 의해 수행되는 내장 자가 테스트 회로에서 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법에 있어서, 상기 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 제어부담지수를 산출하고, 상기 산출된 제어부담지수에 따라 적어도 하나의 제어 포인트 후보를 결정하는 단계; 상기 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 관측부담지수를 산출하고, 상기 산출된 관측부담지수에 따라 제어 포인트 후보와 다른 적어도 하나의 관측 포인트 후보를 결정하는 단계; 상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보를 이용하여 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들을 생성하는 단계; 및 상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보가 삽입될 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 단계;를 포함하는 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법을 제안한다.
- [0011] 여기서, 상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보는 상호보완성이 있는 제어 포인트 후보와 관측 포인트 후보로 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 여기서, 상기 관측 포인트 후보를 결정하는 단계는, 상기 제어 포인트 후보와 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드로부터 연결된 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트 입력단에 위치하며, 동시에 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드가 고장이 전파되는 경로를 차단하는 경우, 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드를 관측 포인트 후보에서 제외하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 여기서, 상기 제어부담지수는, 아래의 <수학식>에 기반하여 산출하며,
- [0014] <수학식>
- [0015] $CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(Ctrl)$ (for CP-1)
- [0016] $CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(1 - Ctrl)$ (for CP-0)
- [0017] CP_{Burden} 은 제어부담지수를 나타내며, $|BlockedFaults|$ 는 해당 제어 포인트(CP)가 삽입되는 노드의 값이 '0' 또는 '1'일 때, 전파(propagation)가 차단되는 고장의 개수를 나타내며, 상기 Ctrl은 해당 노드에 '1'이 나올 확률을 나타내고,
- [0018] 상기 관측부담지수는,
- [0019] 아래의 <수학식>에 따라 산출되고,
- [0020] <수학식>
- [0021] $OP_{Burden} = -|Fanin Cone| \log(Obs)$
- [0022] OP_{Burden} 은 관측부담지수를 나타내며, $|FaninCone|$ 은 해당 관측 포인트(OP)가 삽입되는 게이트의 입력단에 연결되는 로직 콘(Cone) 내부에 존재하는 고장의 개수를 나타내며, Obs는 해당 노드의 고장이 회로의 출력까지 전파되어 사용자가 관측할 수 있는 확률을 의미하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 여기서, 상기 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 단계는, 상기 상호보완성이 있는 제어 포인트-관측 포인트 쌍을 결정된 삽입 노드에 삽입하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 여기서, 제어 포인트 후보를 결정하는 단계는, 제어부담지수가 미리 결정된 제1 임계 범위에 속하는 적어도 하나의 노드를 제어 포인트 후보로 결정하고, 관측 포인트 후보를 결정하는 단계는, 관측부담지수가 미리 결정된 제2 임계 범위에 속하는 적어도 하나의 노드를 관측 포인트 후보로 결정하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 여기서, 상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보는, 상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보를 포함하며, 상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보 사이에는 2개의 게이트가 연결되는 것을 특징으로 한다.

[0026] 여기서, 상기 2개의 게이트는, 상기 제어 포인트 후보로 결정된 노드를 입력단에 연결하는 AND게이트인 제1 게이트와, 상기 제1 게이트의 출력을 입력단에 연결하는 OR게이트인 제2 게이트로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0027] 여기서, 상기 관측 포인트 후보를 결정하는 단계는,

[0028] 아래의 <수학식>에 따라 산출되는 제어능력과 가장 근사한 값을 제공하는 노드를 상기 관측 포인트 후보로 결정하고,

[0029] <수학식>

[0030]
$$Ctrl_{req} = \frac{B}{B+b+|FaninCone|} \quad (\text{for CP-1})$$

[0031]
$$Ctrl_{req} = 1 - \frac{b}{B+b+|FaninCone|} \quad (\text{for CP-0})$$

[0032] Ctrlreq는 해당 제어 포인트(CP)의 노드와 관련된 고장들을 전파시키기 위해 요구되는 제어능력 값을 나타내며, B는 상기 제어 포인트 후보 노드와 관련된 고장을 전파시키기 위해 필요한 '1'의 개수를 나타내며, b는 상기 제어 포인트 후보 노드와 관련된 고장을 전파시키기 위해 필요한 '0'의 개수를 나타내며, |FaninCone|은 해당 제어 포인트(CP)의 입력단에 연결되는 로직 콘(Cone) 내부에 존재하는 고장의 개수를 나타내며, CP-1은 1로 제어하기 위한 제어 포인트의 종류를 나타내며, CP-0은 0으로 제어하기 위한 제어 포인트의 종류를 나타내는 것을 특징으로 한다.

[0033] 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터 판독이 가능한 저장 매체에 저장되어 상기한 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법 중 어느 하나를 컴퓨터에서 실행시킨다.

[0034] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치는, 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정장치로서, 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하기 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리; 및 상기 메모리에 저장된 상기 하나 이상의 프로그램에 따라 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하기 위한 동작을 수행하는 하나 이상의 프로세서;를 포함하고, 상기 프로세서는, 상기 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 제어부담지수를 고려하여, 적어도 하나의 제어 포인트 후보를 결정하는 단계; 상기 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 관측부담지수를 고려하여, 상기 제어 포인트 후보와 다른 적어도 하나의 관측 포인트 후보를 결정하는 단계; 상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보를 이용하여 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들을 생성하는 단계; 및 상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들의 제어부담지수와 관측부담지수를 고려하여, 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 단계;를 포함하는 동작들을 수행하게 하는 것을 특징으로 한다.

[0035] 여기서, 상기 관측 포인트 후보를 결정하는 단계는, 상기 제어 포인트 후보와 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드로부터 연결된 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트 입력단에 위치하며, 동시에 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드가 고장이 전파되는 경로를 차단하는 경우, 상기 제어 포인트 후보와 다른 노드를 관측 포인트 후보에서 제외하는 것을 특징으로 한다.

[0036] 여기서, 상기 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보는, 상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보를 포함하며, 상기 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보 사이에는 2개의 게이트가 연결되는 것을 특징으로

한다.

[0037] 여기서, 상기 제어부담지수는, 아래의 <수학식>에 기반하여 산출하며,

[0038] <수학식>

[0039]
$$CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(Ctrl) \quad (\text{for CP-1})$$

[0040]
$$CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(1 - Ctrl) \quad (\text{for CP-0})$$

[0041] CP_{Burden} 은 제어부담지수를 나타내며, $|BlockedFaults|$ 는 해당 제어 포인트(CP)가 삽입되는 노드의 값이 '0' 또는 '1'일 때, 전파(propagation)가 차단되는 고장의 개수를 나타내며, 상기 Ctrl은 해당 노드에 '1'이 나올 확률을 나타내고,

[0042] 상기 관측부담지수는,

[0043] 아래의 <수학식>에 따라 산출되고,

[0044] <수학식>

[0045]
$$OP_{Burden} = -|Fanin Cone| \log(Obs)$$

[0046] OP_{Burden} 은 관측부담지수를 나타내며, $|FaninCone|$ 은 해당 관측 포인트(OP)가 삽입되는 게이트의 입력단에 연결되는 로직 콘(Cone) 내부에 존재하는 고장의 개수를 나타내며, Obs는 해당 노드의 고장이 회로의 출력까지 전파되어 사용자가 관측할 수 있는 확률을 의미하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0047] 본 발명의 일 실시 예에 따르면 새로운 구조의 테스트 포인트를 통해 로직 내 자가테스트 환경에서 기존 개별 테스트 포인트 삽입의 기능은 그대로 유지하되, 면적 오버헤드를 크게 줄임으로써 테스트 비용을 크게 줄일 수 있다.

[0048] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 따라 또한 줄어든 면적 비용을 다른 테스트 비용에 사용한다면 자가 테스트의 품질을 높일 수 있다.

[0049] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

도면의 간단한 설명

[0050] 도 1은 종래기술로서 기본적인 로직 내장 자가 테스트 시스템의 구조를 개략적으로 도시한 블록도이다.

도 2는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치가 로직 내장 자가 테스트 시스템과 연결된 구조를 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.

도 3는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 로직 자가 테스트 내장회로의 프로세서의 구조를 개략적으로 도시한 블록도이다.

도 4는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 상호보완성을 갖춘 제어 포인트의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 상호보완성을 갖춘 관측 포인트의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 상호보완성을 갖춘 제어 포인트-관측 포인트 쌍에 대한 결합 포인트 삽입의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 제어 포인트-관측 포인트 쌍으로 사용될 수 있는 노드를 찾기 위한 알고리즘1을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 제어 포인트-관측 포인트 쌍을 구성할 수 없는 관측 포인트를 제외

하기 위한 알고리즘2을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 제어 포인트-관측 포인트 쌍을 구성할 수 없는 관측 포인트의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

도 11은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 제어 포인트-관측 포인트 쌍을 구성할 수 없는 관측 포인트의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0051] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.
- [0052] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0053] 본 명세서에서 "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예컨대, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성 요소도 제1 구성 요소로 명명될 수 있다.
- [0054] 본 명세서에서 각 단계들에 있어 식별부호(예컨대, a, b, c 등)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별 부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0055] 본 명세서에서, "가진다", "가질 수 있다", "포함한다" 또는 "포함할 수 있다" 등의 표현은 해당 특징(예컨대, 수치, 기능, 동작, 또는 부품 등의 구성 요소)의 존재를 가리키며, 추가적인 특징의 존재를 배제하지 않는다.
- [0056] 이하에서 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 따른 프로세서에 의해 수행되는 로직 자가 테스트 내장회로의 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법 및 장치의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.
- [0057] 먼저, 도 1을 참조하여 종래기술의 문제점에 대하여 먼저 설명한다.
- [0058] 도 1은 종래기술로서 기본적인 로직 내장 자가 테스트 시스템의 구조를 개략적으로 도시한 블록도이다.
- [0059] 도 1을 참고하면, 로직 내장 자가테스트 시스템은 PRPG(Pseudo Random Pattern Generator)(100)에서 생성된 의사 랜덤 패턴을 스캔 체인(110)에 인가하여 MISR(120)의 시그니처를 미리 저장된 시그니처와 비교하여 회로의 고장 유무를 판별한다. 회로 내부에 랜덤 패턴 내성 고장(Random Pattern Resistant Fault)이 존재한다면, 해당 고장들은 랜덤 패턴에 의해 감지되기 어렵고, 결국 테스트 커버리지의 저하를 야기한다.
- [0060] 여기에서 스캔 체인(110)은 회로 내의 논리 게이트에 테스트 패턴인가를 도와주는 하드웨어를 의미하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0061] 테스트 포인트는 랜덤 패턴 내성 고장이 감지될 가능성을 높여준다. 제어 포인트(CP) 삽입을 통해 랜덤 패턴 내성 고장의 전파를 쉽게 할 수 있으며, 관측 포인트(OP)를 삽입하여 관측되지 않는 고장들을 직접적으로 관측할 수 있게 한다. 제어 포인트(CP) 당 필요한 추가 로직은 2개의 게이트와 1개의 플립플롭이며, 관측 포인트(OP)는 1개의 플립플롭 삽입을 요구한다. 테스트 포인트가 차지하는 면적은 로직 내장 자가테스트의 30~50%정도의 높은 비중을 차지한다.
- [0062] 테스트 포인트는 회로의 상태를 모니터링하거나 테스트 신호를 주입하는 데 사용되는 전자 회로 내의 위치를 의미하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0063] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치가 로직 내장

자가 테스트 시스템과 연결된 구조를 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.

- [0064] 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치(300)는 프로세서(310)에 의해 수행되며 PRPG(Pseudo Random Pattern Generator)(220), 이상기(Phase Shifter)(230), MISR(240), 비스트(Built-in Self-test)(250), 스캔 체인(260)으로 구성된 로직 내장 자가 테스트 시스템과 연결될 수 있다. 도 2에 도시된 모든 블록이 필수 구성요소는 아니며, 다른 실시예에서 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치(300)에 포함된 일부 블록이 추가, 변경 또는 삭제될 수 있다. 한편, 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치(300)는 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치하는 컴퓨팅 장치로 구현될 수 있으며, 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치(300)에 포함된 각 구성요소들은 각각 별도의 소프트웨어 장치로 구현되거나, 소프트웨어가 결합된 별도의 하드웨어 장치로 구현될 수 있다.
- [0065] 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치(300)는 PRPG(Pseudo Random Pattern Generator)(220)에서 생성된 의사 랜덤 패턴을 이상기(Phase Shifter)(230)를 통하여 스캔 체인(110)에 인가하여 MISR(240)의 시그니처를 미리 저장된 시그니처와 비교하여 회로의 고장 유무를 판별하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0066] 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치(300)는 로직 내장 자가 테스트 시스템과 별도의 장치인 것으로 기재하고 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 도 2에 도시된 시스템에 포함된 모듈로 구현될 수 있다. 예를 들어, 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치(300)는 삽입 노드를 결정하기 위한 노드 결정 모듈(미도시)로 구현될 수 있다.
- [0067] 전체 알고리즘을 수행하는 프로세서(310)는 테스트 포인트를 삽입하기 전, 모든 테스트 포인트를 검사하여 서로 쌍을 이룰 수 있는 포인트와 개별 삽입되어야 할 포인트를 결정하는 단계를 수행하고 회로 내부에 삽입되는 것이 아니라 외부에 존재하는 것이나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0068] 도 3는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 내장 자가 테스트 회로의 프로세서의 구조를 개략적으로 도시한 블록도이다.
- [0069] 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치(300)의 프로세서(310)는 삽입 노드를 결정하기 위한 동작을 수행한다. 본 실시예에 따른 프로세서(310)는 제1 결정부(311), 제2 결정부(312), 쌍후보 생성부(233) 및 제3 결정부(314)를 포함할 수 있다. 도 3의 프로세서(310)는 일 실시예에 따른 것으로서, 도 3에 도시된 모든 블록이 필수 구성요소는 아니며, 다른 실시예에서 프로세서(310)에 포함된 일부 블록이 추가, 변경 또는 삭제될 수 있다. 한편, 프로세서(310)에 포함된 각 구성요소들은 각각 별도의 소프트웨어 장치로 구현되거나, 소프트웨어가 결합된 별도의 하드웨어 장치로 구현될 수 있다.
- [0070] 제1 결정부(311)는 스캔 체인(260)에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 제어부담지수를 산출하고, 산출된 제어부담지수에 따라 적어도 하나의 제어 포인트 후보를 결정하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0071] 제어능력(Controllability)란 해당 노드가 로직 '1' 값을 가질 수 있는 확률을 의미한다. 제어능력 값이 낮다면 '1'이, 높다면 '0'이 나올 확률이 낮다는 것을 의미한다. '1'이 나올 확률과 '0'이 나올 확률의 합은 항상 1이다. 따라서 해당 노드에 '0'이 나올 확률은 1-Ctrl로 표현할 수 있다. 제어부담지수는 제어 포인트(CP)를 삽입할 노드를 찾기 위하여 확률값인 제어능력을 통하여 산출되는 지수를 의미한다.
- [0072] 제어 포인트(CP)는 값이 '1' 또는 '0'으로 거의 고정되는 노드에 삽입되며, 해당 노드가 '1'과 '0' 두 개의 값을 모두 가질 수 있도록 도와주는 하드웨어이고, 종류로는 CP-0, CP-1 2가지 type이 있다. 예를 들어, 노드 A의 값이 '0'만 나온다면, '1'을 만들어 주기 위해 CP-1이 삽입된다. 이 때, 기존 노드 A의 값이 0으로 고정되어 있을 때, 전파가 차단되는 고장의 개수가 많을수록 해당 제어 포인트(CP)의 중요성이 커진다.
- [0073] 테스트 포인트 삽입은 스캔 체인을 제외한 모든 논리 게이트를 대상으로 하며, 스캔 체인은 회로 내의 논리 게이트에 테스트 패턴인가를 도와주는 하드웨어이므로, 상기 스캔 체인에 포함된 복수개의 노드들의 의미는 스캔 체인의 관할에 있는 복수개의 논리 게이트 노드들을 의미하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0074] 제2 결정부(312) 스캔 체인(260)에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 관측부담지수를 산출하고, 산출된 관측부담지수에 따라 제어 포인트 후보와 다른 적어도 하나의 관측 포인트 후보를 결정하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0075] 쌍후보 생성부(313)는 제어 포인트 후보와 관측 포인트 후보를 이용하여 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들을

생성하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0076] 제3 결정부(314)는 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들의 제어부담지수와 관측부담지수를 고려하여, 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들이 삽입될 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0077] 메모리부(320)는 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하기 위한 동작을 수행하는 하나 이상의 프로세서를 저장하는 기능을 수행한다.
- [0078] 본 발명의 일실시예로서 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하기 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리 및 상기 메모리에 저장된 상기 하나 이상의 프로그램에 따라 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하기 위한 동작을 수행하는 하나 이상의 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는, 상기 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 제어부담지수를 고려하여, 적어도 하나의 제어 포인트 후보를 결정하는 단계를 수행하는 제1 결정부(311), 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 관측부담지수를 고려하여, 상기 제어 포인트 후보와 다른 적어도 하나의 관측 포인트 후보를 결정하는 단계를 수행하는 제2 결정부(312), 제어 포인트 후보와 상기 관측 포인트 후보를 이용하여 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들을 생성하는 단계를 수행하는 쌍후보 생성부(313), 및 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들의 제어부담지수와 관측부담지수를 고려하여, 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들이 삽입될 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 단계를 수행하는 제3 결정부(314)가 각각의 동작들을 수행하게 하는 것으로 하는 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 장치를 제안한다.
- [0079] 도 4는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0080] S110 단계에서 프로세서(310)는 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 제어부담지수를 산출하고, 상기 산출된 제어부담지수에 따라 적어도 하나의 제어 포인트 후보를 결정하는 단계를 수행한다.
- [0081] S120 단계에서 프로세서(310)는 스캔 체인에 포함된, 복수개의 노드들에 대하여 각각의 노드에 대한 관측부담지수를 산출하고, 상기 산출된 관측부담지수에 따라 제어 포인트 후보와 다른 적어도 하나의 관측 포인트 후보를 결정하는 단계를 수행한다.
- [0082] S130 단계에서 프로세서(310)는 제어 포인트 후보와 관측 포인트 후보를 이용하여 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들을 생성하는 단계를 수행한다.
- [0083] S140 단계에서 프로세서(310)는 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들의 제어부담지수와 관측부담지수를 고려하여, 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들이 삽입될 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 단계를 수행한다.
- [0084] 도 4에서는 각 단계를 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 다시 말해, 도 4에 기재된 단계를 변경하여 실행하거나 하나 이상의 단계를 병렬적으로 실행하는 것으로 적용 가능할 것이므로, 도 4는 시계열적인 순서로 한정되는 것은 아니다.
- [0085] 도 4에 기재된 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정 방법은 애플리케이션(또는 프로그램)으로 구현되고 단말장치(또는 컴퓨터)로 읽을 수 있는 기록매체에 기록될 수 있다. 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정 방법을 구현하기 위한 애플리케이션(또는 프로그램)이 기록되고 단말장치(또는 컴퓨터)가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨팅 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치 또는 매체를 포함한다.
- [0086] 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정 장치(300)의 프로세서(310)의 쌍 후보 생성부(313)는 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들의 제어부담지수와 관측부담지수를 고려하여, 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보들이 삽입될 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정하는 단계에서, 제어 포인트와 관측 포인트가 상호보완성이 있는 경우를 삽입 노드로 결정하는 과정을 수행할 수 있다.
- [0087] 본 발명의 실시예는 상호보완성이 있는(Complementary Related)의 제어 포인트(CP)와 관측 포인트(OP)를 결합하여 하나의 테스트 포인트로 삽입함으로써, 최소의 추가 로직을 사용하여 기존의 테스트 품질을 개선할 수 있는 방법을 제안한다.

[0088] 먼저 게이트-레벨(Gate-level)로 합성된 회로의 각 게이트 입력과 출력의 제어능력(Controllability)과 관측능력(Observability) 및 단일 고착 고장이 감지될 수 있는 확률(고장 감지율)을 계산하여 회로의 예상 테스트 커버리지를 추정한다. 또한 제어능력(Controllability)과 관측능력(Observability)을 합쳐서 테스터빌리티(Testability)라고 한다.

[0089] 또한 각 Type 별 부담지수(Burden)를 계산하여 제어부담지수(CP Burden)가 큰 노드에 제어 포인트(CP)를, 관측 부담지수(OP Burden)가 큰 노드에 관측 포인트(OP)를 삽입하여 전체 테스터빌리티(Testability)를 개선한다.

[0090] 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정 장치(300)의 프로세서(310)의 제1 결정부(311)는 제어부담지수를 아래의 <수학식 1>에 따라 산출하며,

수학식 1

[0091] $CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(Ctrl)$

[0092] $CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(1 - Ctrl)$ (for CP-0)

[0093] 수학식 1에서, 상기 CP_{Burden} 은 제어부담지수를 나타내고, 상기 $|BlockedFaults|$ 는 해당 제어 포인트(CP)가 삽입되는 노드의 값이 '0' 또는 '1'일 때, 전파(propagation)가 차단되는 고장의 개수를 나타내고, 상기 Ctrl은 해당 노드에 '1'이 나올 확률로서 제어능력(Controllability)을 나타낸다.

[0094] 제2 결정부(312)는 제어부담지수를 아래의 <수학식 2>에 따라 산출할 수 있다.

수학식 2

[0095] $OP_{Burden} = -|Fanin Cone| \log(Obs)$

[0096] 수학식 2에서, 상기 OP_{Burden} 은 관측부담지수를 나타내고, 상기 $|FaninCone|$ 은 해당 관측 포인트(OP)가 삽입되는 게이트의 입력단에 연결되는 로직 콘(Cone) 내부에 존재하는 고장의 개수를 나타내고, 상기 Obs는 해당 노드의 관측능력(Observability)을 나타낸다.

[0097] 관측능력(Observability)은 해당 노드의 고장이 회로의 출력까지 전파되어 사용자가 관측할 수 있는 확률을 의미하며, 관측능력(Observability)이 낮다면 해당 위치의 고장이 관측되기 어려운 것을 뜻한다. 관측부담지수는 관측 포인트(OP)를 삽입할 노드를 찾기 위하여 확률값인 관측능력을 통하여 산출되는 지수를 의미한다.

[0098] 수학식 1의 경우, 제어 포인트가 삽입되는 노드의 값이 '0'인 경우, '1'로 제어하기 위해 $CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(Ctrl)$ (for CP-1) 수학적식을 통하여 제어부담지수가 산출되고, 제어 포인트가 삽입되는 노드의 값이 '1'인 경우, '0'으로 제어하기 위해 $CP_{Burden} = -|BlockedFaults| \log(1 - Ctrl)$ (for CP-0) 수학적식을 통하여 제어부담지수가 산출된다.

[0099] 제어 포인트(CP)의 경우 해당 노드의 값이 한 값으로 치중되어 있을 때 전파가 차단되는 고장의 개수가 많고, 해당 제어능력(Controllability)이 낮을 때 제어부담지수(CP Burden)값이 커지게 되어 제어 포인트(CP) 삽입 유력 후보가 된다.

[0100] 어떤 노드를 통해 전파되는 고장의 개수가 많고, 관측능력(Observability)이 낮을 때는 관측 부담지수(OP Burden)이 증가하여 관측 포인트(OP) 삽입유력 후보가 된다.

[0101] 도 5는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 상호보완성을 갖춘 제어 포인트의 예시를 설명하기 위한 도면이다. 도 6은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 상호보완성을 갖춘 관측 포인트의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

[0102] 한편, 제어 포인트(CP) 삽입이 필요한 노드 중 관측능력(Observability)이 설계자에 의해 설정된 임계값보다 높은 제어 포인트 삽입 후보 노드와, 관측 포인트(OP) 삽입이 필요한 노드 중 제어성이 뛰어난 관측 포인트 삽입 후보 노드, 즉, 제어능력(Controllability)이 설계자에 의해 설정된 임계범위내에 있는 노드가 있다면 이 둘은

상호보완성이 있다고 표현할 수 있다.

- [0103] 즉, 관측능력이 설계자에 의해 설정된 임계값보다 높고 제어능력이 부족한 제어 포인트 삽입 후보 노드는 관측 능력이 부족한 관측 포인트 삽입 후보 노드의 관측능력을 보완해줄 수 있다. 이 경우 관측능력이 부족한 관측 포인트 삽입 후보 노드의 제어능력이 설계자에 의해 설정된 임계범위내에 해당한다면 제어 능력이 부족한 제어 포인트 삽입 후보 노드의 제어능력을 보완해줄 수 있으므로, 이 두 노드는 상호보완성이 있다고 표현할 수 있다.
- [0104] 예를 들어, 설계자가 미리 설정한 관측 능력의 임계값이 0.8인 경우 0.8보다 높은 관측 능력을 가지지만 제어능 력이 부족한 제어 포인트 삽입 후보 노드는 관측 포인트 삽입 후보 노드의 부족한 관측능력을 보완해줄 수 있다. 한편, 이 경우 부족한 관측 능력을 가진 관측 포인트 삽입 후보 노드의 제어 능력이 설계자에 의해 미리 설정된 제어능력의 임계범위인 0.3과 0.7사이에 값을 가지는 0.5에 해당한다면 이는 제어성이 뛰어난 것으로, 제어능력이 부족한 제어포인트 삽입 후보 노드의 제어능력을 보완해줄 수 있으므로 이 둘은 상호보완성이 있다 고 표현할 수 있다.
- [0105] 상기 제어 포인트 삽입 후보 노드와 상기 관측 포인트 삽입 후보 노드에 각각 테스트 포인트를 삽입하지 않고, 서로의 상호보완적 능력을 공유하도록 결합 테스트 포인트를 삽입하면, 하나의 테스트 포인트로 두 개의 테스트 포인트 삽입의 효과를 낼 수 있다.
- [0106] 상호보완성을 검사하기 위해, 제어 포인트(CP)후보에 대해 관측능력(Observability)을, 관측 포인트(OP) 후보에 대해 제어능력(Controllability)을 검사한다. 제어 포인트(CP)후보의 관측능력(Observability)이 임계값보다 크 기만 하면, 제어 포인트(CP)-관측 포인트(OP)쌍 후보로 생성되기 위한 제어 포인트(CP) 후보로서의 상호보완성 이 있다고 판단하며, 관측 포인트(OP) 후보의 경우 제어능력(Controllability)이 해당 두 임계 값 사이에 해당 하는 값이어야 제어 포인트(CP)-관측 포인트(OP)쌍 후보로 생성되기 위한 관측 포인트(OP) 후보로서의 상호보완 성이 있다고 판단한다.
- [0107] 예를 들어, 도 5를 참고하면, 도 5의 x노드(510)는 어떠한 로직에 의해 고장 전파가 차단(Blocked)(520)되어 관 측능력(Observability)이 낮은 반면, 스캔 셀(500)의 출력을 전달하기 때문에 제어성이 뛰어나다. 예를 들어, 도 6를 참고하면, 도 6의 y노드(640)는 32-입력 AND게이트(630)의 출력을 전달하기 때문에 로직 '1' 제어능력 (Ctrl_1)이 낮은 반면, 스캔 셀(620)로 고장을 전파할 수 있기 때문에 관측능력(Observability)이 높다. 이러한 상호보완 관계의 테스트 포인트 쌍은 결합 포인트를 통해 서로의 능력을 공유할 수 있다.
- [0108] 도 7은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 상호보완성을 갖춘 제어 포인트-관측 포인트 쌍에 대한 결합 포인트 삽입의 예시를 설명하기 위한 도면이다.
- [0109] 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정 장치(300)의 프로세서(310)의 쌍 후보 생 성부(313)는, 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보에 제어 포인트 후보와 관측 포인트 후보를 포함하며, 제어 포인 트 후보와 관측 포인트 후보 사이에는 2개의 게이트가 연결되는 것을 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보를 생성 할 수 있다.
- [0110] 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정 장치(300)의 프로세서(310)의 쌍 후보 생 성부(313)는, 제어 포인트 후보와 관측 포인트 후보 사이에 연결되는 2개의 게이트를 상기 제어 포인트 후보로 결정된 노드를 입력단에 연결하는 AND게이트인 제1 게이트와, 상기 제1 게이트의 출력을 입력단에 연결하는 OR 게이트인 제2 게이트로 이루어지는 제어 포인트-관측 포인트 쌍 후보를 생성할 수 있다.
- [0111] 콘(Cone)이란 게이트의 배치 구조가 삼각형 형태를 이루는 것을 의미하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되 는 것은 아니다.
- [0112] 게이트의 배치 구조가 이루는 삼각형 형태의 방향에 따라서 팬-인 콘(Fan-in cone)과 팬-아웃 콘(Fan-out con e)으로 분류할 수 있으며, 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트는 팬-아웃 콘(Fan-out cone)구조에서 가장 마지 막에 위치한 출력 게이트를 의미하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0113] 예를 들어, 도 7을 참고하면, 제어성이 뛰어난 x노드(730)를 CP Driver로서 사용하기 위해 TP_Gating(750) 입력 에 연결하여 y노드(720)를 위한 컨트롤 로직을 구성한다. x노드(730)의 값은 TP(760)를 통해 경로1로 전파되어 G₂(780)의 팬-인 콘(Fan-in cone)(770) 고장의 전파를 용이하게 한다. 동시에, 기존 x노드(730)를 통해 전파되 지 못한 고장들이 새로운 경로인 path_2를 통해 스캔 셀(790)로 전파되어 관측이 용이해진다. 하나의 결합 테스 트 포인트 삽입에 필요한 로직은 단 2개의 게이트이기 때문에 면적 오버헤드가 크게 줄어든다. TP_Enable 신호

를 OFF 하면 테스트 모드가 아닌 일반 동작 모드(Functional Mode)로 전환되며 기존 회로와 동일하게 동작한다.

- [0114] 도 8은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 제어 포인트-관측 포인트 쌍으로 사용될 수 있는 노드를 찾기 위한 알고리즘1을 설명하기 위한 도면이다. 도 9는 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 제어 포인트-관측 포인트 쌍을 구성할 수 없는 관측 포인트를 제외하기 위한 알고리즘2을 설명하기 위한 도면이다.
- [0115] 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정 장치(300)의 프로세서(310)의 제1 결정부(311)는 제어 포인트 후보를 결정하는 단계에서, 제어부담지수가 미리 결정된 제1 임계 범위에 속하는 적어도 하나의 노드를 제어 포인트 후보로 결정하는 단계를 수행하고, 프로세서(310)의 제2 결정부(312)는 관측 포인트 후보를 결정하는 단계는 관측부담지수가 미리 결정된 제2 임계 범위에 속하는 적어도 하나의 노드를 관측 포인트 후보로 결정하는 단계를 수행할 수 있다.
- [0116] 미리 결정된 제1 임계 범위는 해당 노드의 제어능력이 제어 포인트(CP)-관측 포인트(OP)쌍 후보로 생성되기 위한 관측 포인트(OP) 후보의 제어능력에 해당하는지 결정하기 위해 설계자가 미리 설정한 임계범위(Ctrl_1 Threshold와 Ctrl_0 Threshold)를 말한다.
- [0117] 미리 결정된 제2 임계 범위는 해당 노드의 관측능력이 제어 포인트(CP)-관측 포인트(OP)쌍 후보로 생성되기 위한 제어 포인트(CP) 후보의 관측능력에 해당하는지 결정하기 위해 설계자가 미리 설정한 임계값(Obs Threshold)보다 낮은 것을 제외하는 것을 말한다.
- [0118] 제어부담지수 및 관측부담지수는 기존의 테스트 포인트 삽입 방법을 설명하기 위한 편의상의 지수로 본 발명의 실시예가 제안하는 알고리즘에서는 사용하지 않고 제어능력 및 관측능력 임계 값을 사용하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0119] 바람직한 임계 값과 임계범위는 타겟 테스트 패턴의 개수, 회로의 설계방법 및 복잡도에 따라 달라진다. 예를 들어, 어떠한 임의의 회로의 관측 포인트 후보 노드의 제어능력은 0.001에서 0.999 사이일 수 있다. 바람직하게는, 어떠한 임의의 회로의 관측 포인트 후보 노드의 제어능력은 0.2에서 0.8 사이가 바람직하다. 어떠한 임의의 회로의 제어 포인트 후보 노드의 관측능력은 0.001에서 1 사이일 수 있다. 제어 포인트 후보 노드의 관측능력은 0.7에서 1사이가 바람직하다. 제어능력 값이 0.2 보다 작거나 0.8보다 큰 관측 포인트는 제어 포인트(CP)-관측 포인트(OP)쌍 후보로 생성되기 위한 관측 포인트(OP) 후보로서의 상호보완성이 떨어지는 문제가 있고, 관측능력이 0.7 미만인 경우, 제어 포인트(CP)-관측 포인트(OP)쌍 후보로 생성되기 위한 제어 포인트(CP) 후보로서의 상호보완성이 떨어지는 문제가 있다. 상기의 두 가지의 상호보완성이 없는 포인트는 개별 삽입되어야 한다.
- [0120] 결합 테스트 포인트로 삽입될 수 있는 쌍은 도 8과 도 9의 알고리즘을 통해 탐색된다. 우선 결합 쌍으로 사용될 수 있는 테스트 포인트를 찾기 위해 도 8의 알고리즘을 통해 테스트 포인트 분류를 수행한다. 결합 쌍을 위한 제어 포인트(CP)의 경우, 관측능력(Observability)이 설계자가 설정한 임계값(Obs Threshold)보다 낮고 0보다 클 경우 제거하여, 해당 경로를 통해 고장 전파가 쉬운 제어 포인트(CP)만을 남긴다. 비슷하게, 결합 쌍을 위한 관측 포인트(OP) 노드는 로직 '0'과 '1'의 제어가 쉬워야 하므로, 해당 제어능력이 설계자가 설정한 임계범위(Ctrl_1 Threshold와 Ctrl_0 Threshold)를 벗어나는 관측 포인트(OP)를 제거하여 제어가 쉬운 노드만 남긴다.
- [0121] 테스트 포인트 분류가 끝나면, 남아있는 제어 포인트(CP)의 로직 콘 분석을 통해 각 제어 포인트(CP) 별 결합될 수 없는 관측 포인트(OP)를 삭제한다. 해당 알고리즘은 도 9에 나타나있다. 제어 포인트(CP)로부터 시작되는 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트와 수렴하는 관측 포인트(OP)가 있다면, 관측 포인트(OP)가 수렴하는 게이트와 제어 포인트(CP)를 동시에 제어하는지 추가 분석한다. 관측 포인트(OP)의 값이 제어 포인트(CP)를 제어하면 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트의 고장들이 전파되는데, 관측 포인트(OP)가 동시에 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트를 제어함으로써 콘(Cone)의 고장 전파가 차단되는 경우가 발생할 수 있기 때문이다.
- [0122] 도 10은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 제어 포인트-관측 포인트 쌍을 구성할 수 없는 관측 포인트의 예시를 설명하기 위한 도면이다.
- [0123] 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정 장치(300)의 프로세서(310)의 제2 결정부(312)는 관측 포인트 후보를 결정하는 단계에서, 제어 포인트 후보와 제어 포인트 후보와 다른 노드로부터 연결된 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트 입력단에 위치하며, 동시에 제어 포인트 후보와 다른 노드가 고장이 전파되는 경로를 차단하는 경우, 제어 포인트 후보와 다른 노드를 관측 포인트 후보에서 제외하는 것을 수행할 수 있다.
- [0124] 예를 들어, 도 10을 참고하면, 관측 포인트(OP) 위치인 x노드(1020) 값이 '1'일 때, 제어 포인트(CP) 위치인 y

노드(1010)를 제어하여 콘(Cone)(1050)의 고장을 전파하는데, 이 때 팬-아웃 프리(Fan-out Free) 게이트(G₃)(1060)를 관측 포인트(OP)가 동시에 제어함으로써 고장이 전파되는 유일한 경로를 차단하게 된다. 결과적으로 도 9의 알고리즘2를 수행하면 고장 전파를 차단하는 경우를 야기하는 관측 포인트(OP)후보가 제거되며 각 제어 포인트(CP)별 결합 가능한 관측 포인트(OP) 후보 리스트가 완성된다.

[0125] 도 11은 본 발명의 바람직한 실시 예에 따른 제어 포인트-관측 포인트 쌍을 구성할 수 없는 관측 포인트의 예시를 설명하기 위한 도면이다.

[0126] 도면 8의 알고리즘1, 도면9의 알고리즘2를 수행했을 때 남아있는 관측 포인트(OP) 후보들이 최종 후보가 되며, 최적의 후보를 찾기 위해 추가 과정이 필요하다.

[0127] 제어 포인트(CP) 노드에 요구되는 제어능력(Controllability)을 계산하여, 가장 근사한 값을 제공해 줄 수 있는 관측 포인트(OP)를 최종 쌍으로 결정한다. 관측 포인트(OP)로부터 공유받은 제어능력(Controllability)을 통해 팬-아웃(Fan-out) 단의 고장 전파를 유리하게 하지만, 동시에 다른 고장 전파를 차단하기도 한다.

[0128] 본 실시예에 따른 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드를 결정 장치(300)의 프로세서(310)의 제2 결정부(312)는 관측 포인트 후보를 결정하는 단계에서 아래의 <수학식 3>에 따라 산출되는 제어능력(Controllability)과 가장 근사한 값을 제공하는 노드를 상기 관측 포인트 후보로 결정하는 것을 특징으로 하는 스캔 체인의 자가 테스트를 위한 삽입 노드 결정 방법을 수행할 수 있다.

수학식 3

[0129]
$$Ctrl_{req} = \frac{B}{B+b+|FaninCone|}$$

[0130]
$$Ctrl_{req} = 1 - \frac{b}{B+b+|FaninCone|} \quad (\text{for CP-0})$$

[0131] 수학식 3에서, 상기 Ctrlreq는 해당 제어 포인트(CP)의 노드와 관련된 고장들을 전파시키기 위해 요구되는 제어 능력 값을 나타내고, B는 상기 제어 포인트 후보 노드와 관련된 고장을 전파시키기 위해 필요한 '1'의 개수를 나타내며, b는 상기 제어 포인트 후보 노드와 관련된 고장을 전파시키기 위해 필요한 '0'의 개수를 나타내며, 상기 |FaninCone|은 해당 제어 포인트(CP)의 입력단에 연결된 로직 콘 내부에 존재하는 고장의 개수를 나타내고, 상기 CP-1은 1로 제어하기 위한 제어 포인트의 종류를 나타내며, CP-0은 0으로 제어하기 위한 제어 포인트의 종류를 나타낸다.

[0132] 수학식 3의 경우, 제어 포인트가 삽입되는 노드의 값이 '0'인 경우, '1'로 제어하기 위해

$$Ctrl_{req} = \frac{B}{B+b+|FaninCone|} \quad (\text{for CP-1})$$
 수학식을 통하여 제어능력값이 산출되고, 제어 포인트가 삽입되는 노

드의 값이 '1'인 경우, '0'으로 제어하기 위해
$$Ctrl_{req} = 1 - \frac{b}{B+b+|FaninCone|} \quad (\text{for CP-0})$$
 수학식을 통하여 제어 능력값이 산출된다.

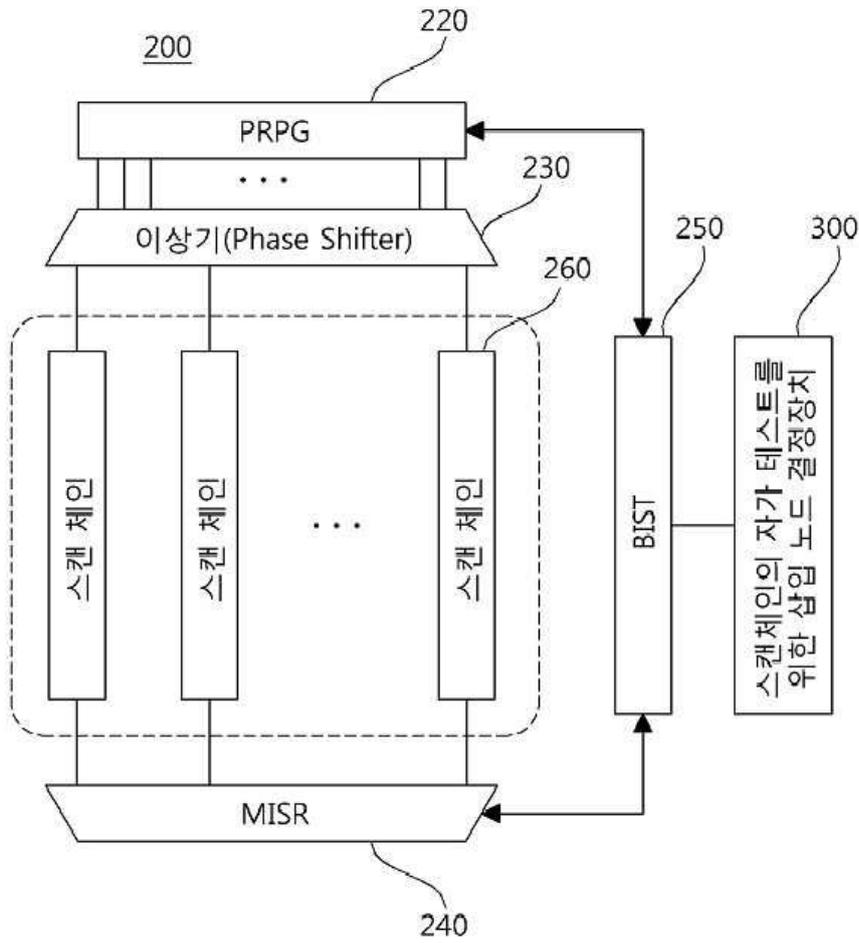
[0133] 예를 들어, 도 11를 참고하면, 관측 포인트(OP)는 x노드(1130)에 위치하며, TP(1120)를 통해 제어능력을 y노드(1160)에 제공한다. '1' 제어가 어려운 G₁(1110)에 의해 고장전파가 차단되었던 콘₃(Cone₃)(1180)의 고장을 활성화시키기 위해서는 x노드(1130)에 '1'이 필요하다. 또한, 콘₂(Cone₂)(1140)의 고장과, 기존 제어 포인트(CP)를 통과하여 전파되던 콘₁(Cone₁)(100)의 고장을 전파시키기 위해서는 x노드(1130)에 '0'이 필요하다. 여기서 얼마나 많은 '1'또는 '0'이 필요한지 계산하여, 제어 포인트(CP) 노드에 요구되는 제어능력(Controllability)을 계산한다.

[0134] OP 후보 중, 요구되는 제어능력(Controllability)과 가장 근사한 값을 가지는 OP가 최종적으로 해당 제어 포인트(CP)와 결합된다.

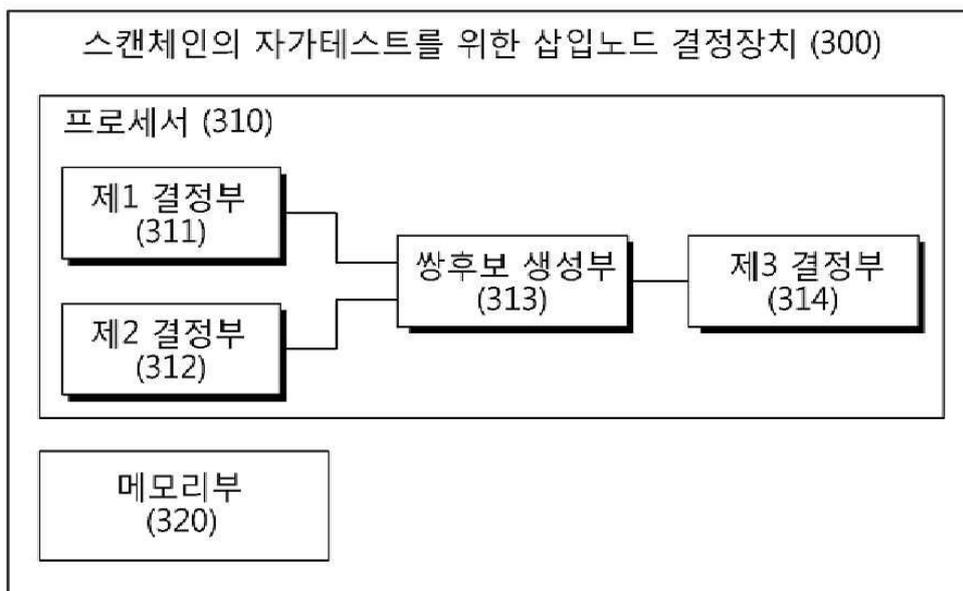
[0135] 도 8의 알고리즘1에서 제거된 테스트 포인트와 도 9의 알고리즘2에서 쌍을 이루지 못한 테스트 포인트는 개별로 삽입된다.

[0136] 본 실시예들에 따른 동작은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는 실행을 위해 프로세서에 명령어

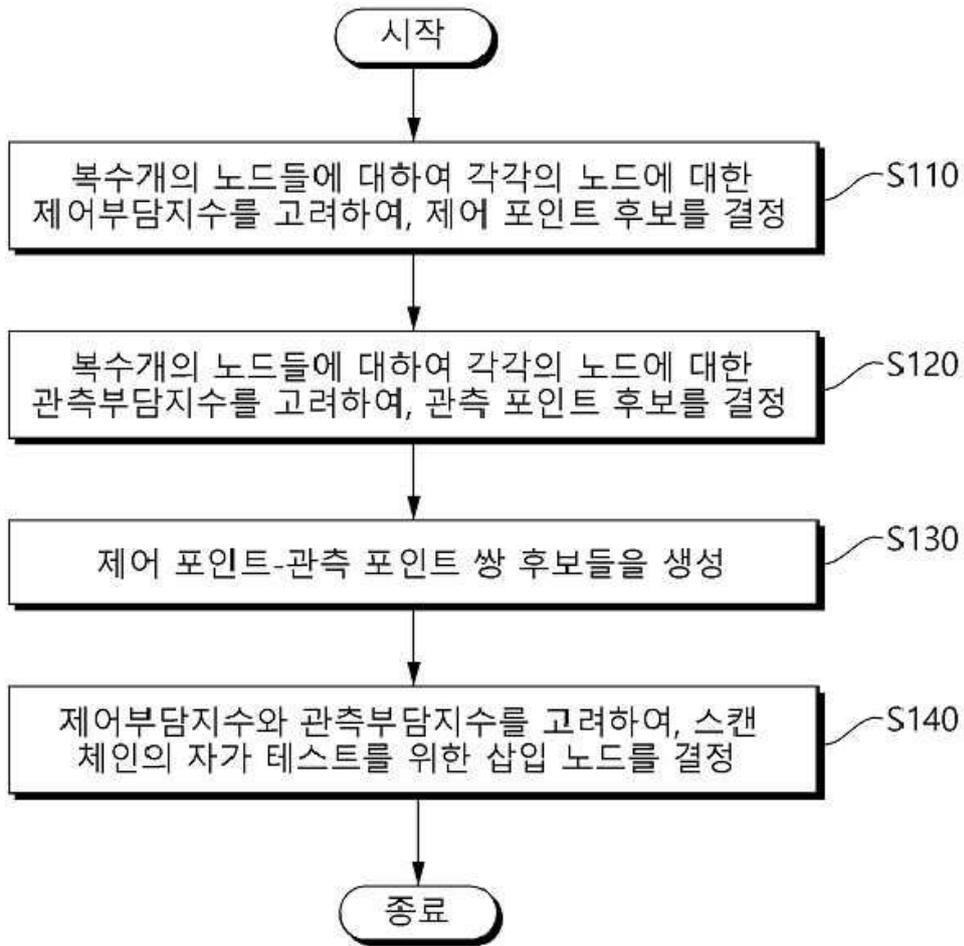
도면2



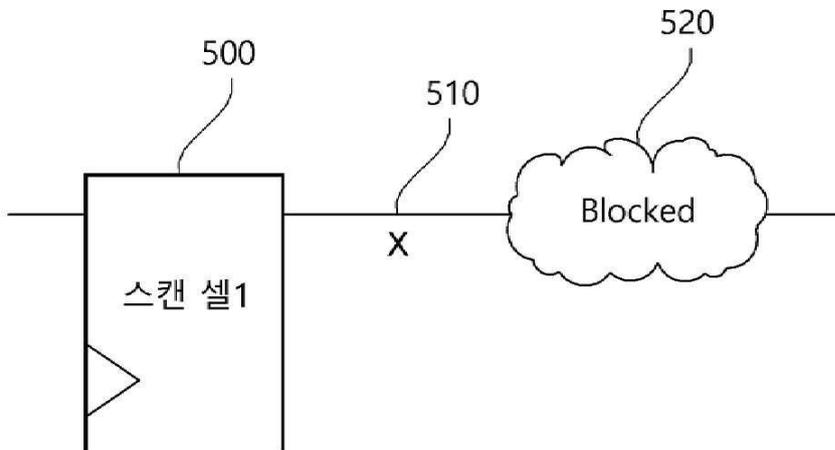
도면3



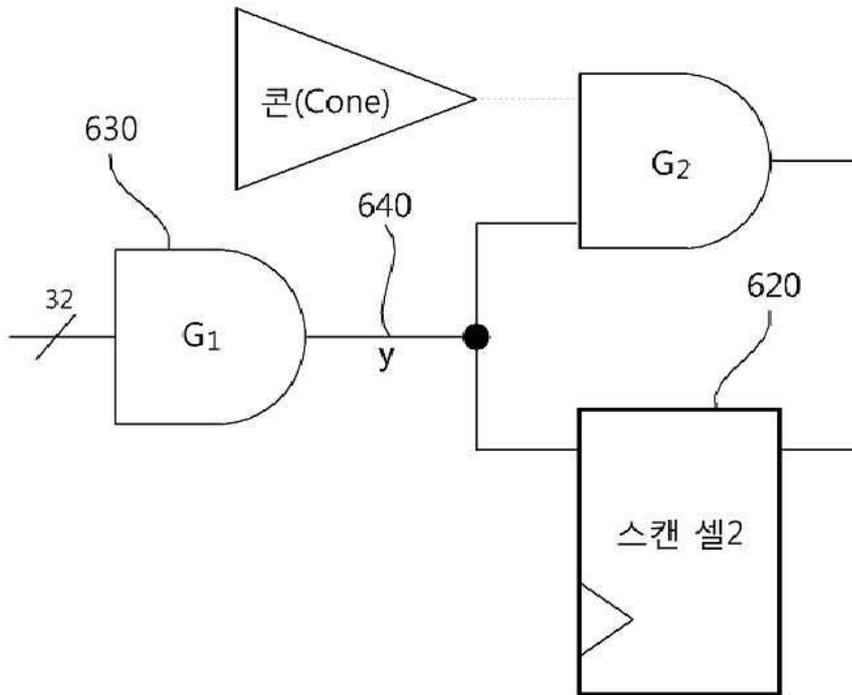
도면4



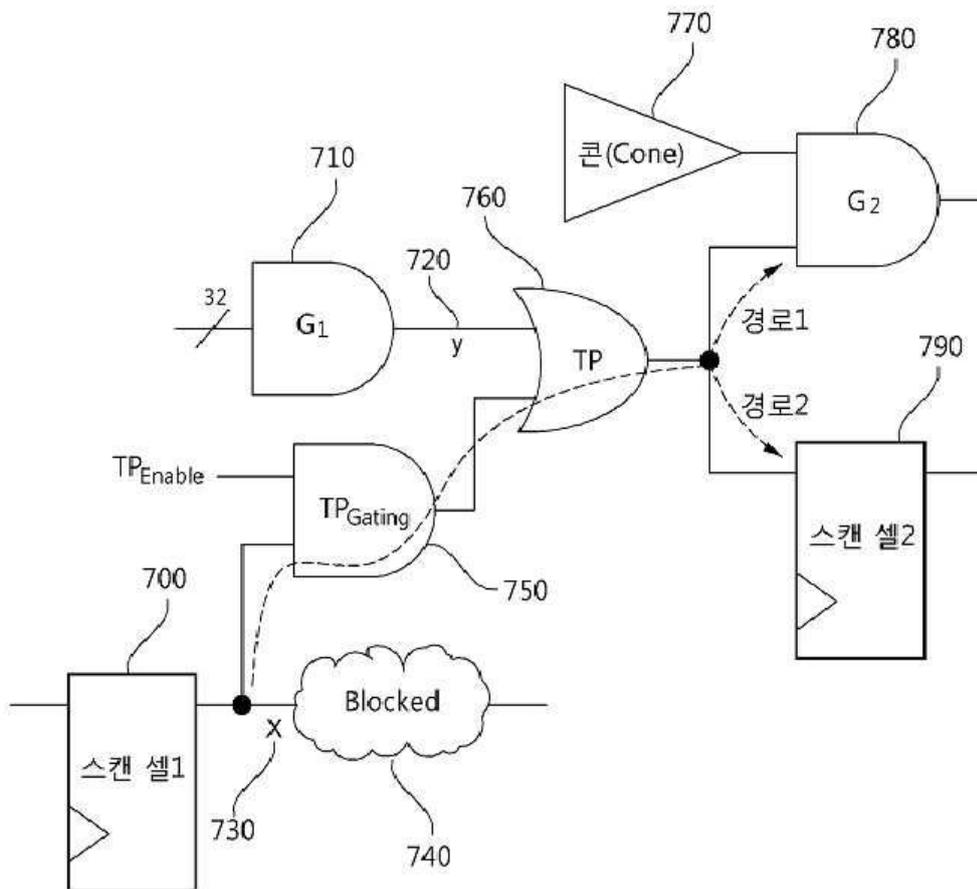
도면5



도면6



도면7



도면8

Algorithm I: Classification of Test Points for Pair Candidates

```

1: Define Controllability Threshold,  $Ctrl_{Th}$  (depending on CP type)
2: Define Observability Threshold,  $Obs_{Th}$ 
3: Identify list of CPs, CP_LIST
4: Identify list of OPs, OP_LIST

5: for  $i = 0$  to CP_LIST.size() do
6:   CP = CP_LIST[ $i$ ]
7:   if  $Obs$  of CP <  $Obs_{Th}$  then
8:     Delete CP from CP_LIST
9:   else if any OP exists in Fan-in cone of CP then
10:    Delete CP from CP_LIST
11:   endif
12: endfor

13: for  $i = 0$  to OP_LIST.size() do
14:   OP = OP_LIST[ $i$ ]
15:   if  $Ctrl$  of OP <  $Ctrl_{1Th}$  ||  $Ctrl$  of OP >  $Ctrl_{0Th}$  then
16:     Delete OP from OP_LIST
17:   endif
18: endfor

```

도면9

Algorithm II: Logic Cone Analysis

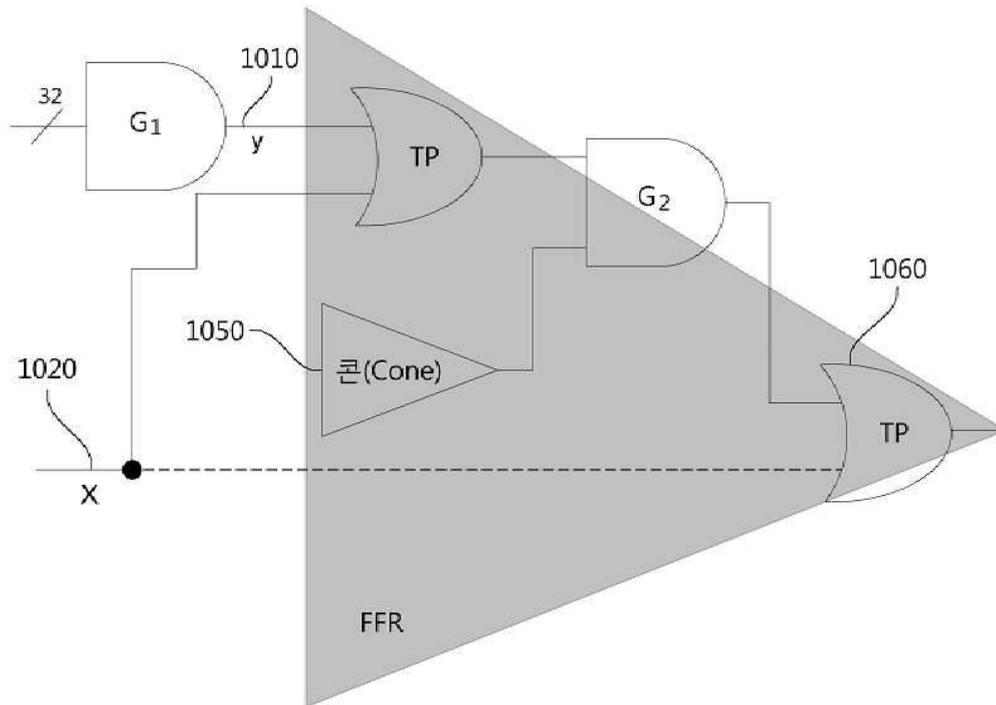
```

1: Identify list of CPs for pair with Algorithm I, CP_LIST
2: Identify list of OPs for pair with Algorithm I, OP_LIST

3: for  $i = 0$  to CP_LIST.size() do
4:   CP = CP_LIST[ $i$ ]
5:   Initialize CAND_LIST as OP_LIST
6:   for  $j = 0$  to CAND_LIST.size() do
7:     CAND = CAND_LIST[ $j$ ]
8:     if CAND reconverges at fanout-free gate of CP then
9:       if CAND controls both CP and reconvergent gate simultaneously then
10:        Delete CAND from CAND_LIST
11:       endif
12:     endif
13:   endfor
14: endfor

```

도면10



도면11

