

双対な近似回路を用いた同時多重過渡故障検出法

日大生産工(学部) ○曾根原 啓介

日大生産工 新井 雅之

1. はじめに

近年LSIの微細化に伴い、ソフトエラーによるLSIの信頼性の低下が問題となっている[1]. また、現代の電気自動車やハイブリッド車にとってDC-DCコンバータの高電圧スイッチングに起因する高電磁によるノイズの影響が問題になっている[2].

本稿では、高電磁ノイズが論理回路に影響を及ぼす場合を対象にして、同時多重過渡故障の検出手法について提案する. 提案手法では、与えられた論理回路の一部分を複製した近似回路を用いる. 近似回路を元の回路に対し、双対回路をとり、出力をXORゲートによって比較することで、同方向ノイズに対する故障検出を即時に行う.

2. 近似回路に基づくCED

CED (Concurrent error detection)は一時故障、または永久故障の検出に用いられる方式の一つである. CEDは信頼性とデータ整合性が重要となるシステムに使用されている[3]. CEDの構成手法の一つに近似回路を用いた手法がある[4]. 近似回路とは、ある回路の論理構造を複製した回路である. 近似回路は元の回路よりも省面積、省電力にできるという利点がある.

図1に近似回路に基づくCEDを示す. 他のCED同様に、近似回路は元の回路のエラーチェック符号を発生させる. 近似回路の出力は与えられた論理回路における0縮退、または1縮退故障を発見するために用いられる. 文献[3]では、元の回路または近似回路のどちらか一つにノイズが発生する、単一故障の検出を対象として評価が行われた.

3. 提案手法

本稿では、同方向のノイズが複数の論理ゲートに影響を及ぼす場合を対象とする. 文献[3]の近似回路の技術を応用することで、同時多重

過渡故障検出手法を提案する. 同時多重過渡故障検出を行うために、出力が元の回路の反転である双対論理を用いる.

図2に $F=a+b+cd+\bar{c}\bar{d}$ と、この双対回路 $\bar{F}$ の例を示す. 入力をNOTゲートで反転させ、ANDゲートをORゲートに、ORゲートをANDゲートにすることで双対となる. そして、元の回路と双対回路の出力をXORゲートで比較する. これによって、XORゲートの出力値が1であれば故障なしであり、出力値が0であれば故障ありとすることで、0縮退と1縮退の両方の故障を検出できる.

近似回路に双対論理を用いて、双対な近似回路を構成した場合、出力が近似されているため、検出出来ない故障が存在する場合もある.

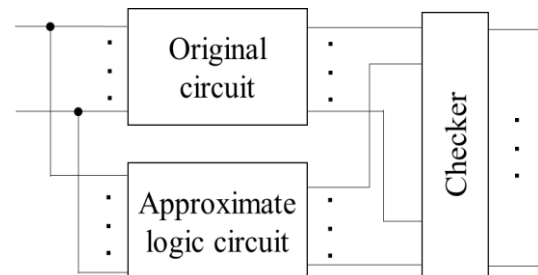


図 1. 近似回路に基づく CED

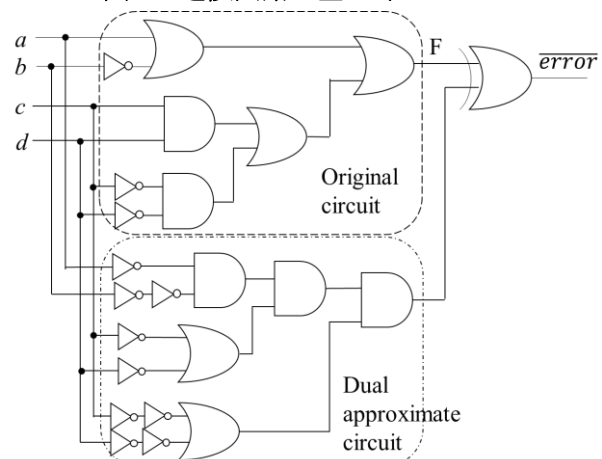


図 2. 双対回路を用いた例

Detection of Multiple Transient Faults Based on Dual Approximate Logic

Keisuke SONEHARA and Masayuki ARAI

4. 実験結果及び考察

シミュレーションにより提案手法の評価を行う。対象回路として図2の回路 $F \oplus \bar{F}$ 、図2の双対回路を近似した $G = \bar{a}b$ で構成した $F \oplus G$ 、及び近似率100%で双対回路としたISCAS'89のs27ベンチマーク回路を用いた。本シミュレーションでは単一故障、及び同方向2重故障について行った。この故障は0縮退、または1縮退のどちらかであり、0縮退と1縮退が同時に発生しないと仮定する。また、入力信号線上には故障が発生しないと仮定する。

対象回路に全ての入力パターンを印加する。全ての入力パターンで故障が出力に影響を与えない場合を冗長とする。故障が出力に影響を与え、元の回路と双対回路の出力が同じである場合を障害とする。故障が出力に影響を与えたが、元の回路と近似回路の出力が異なった場合を検出可とする。故障を与えた結果でそれぞれをカウントする。

表1に対象回路のシミュレーション結果を示す。今回の故障シミュレーションでは仮定故障に対して全て検出可能であることが示されている。また、今回の故障モデルでは冗長、及び障害については発生しなかった。 $F \oplus \bar{F}$ と $F \oplus G$ は元の回路が同じであるが、全ての仮定故障が検出可という結果を示された。これは近似化に伴い、対象故障数が削減されているが、良い結果になったと考えられる。今回は3個の回路に対してのみ行ったため、今後も他の回路でもシミュレーションする必要がある。近似回路を用いているため、元の回路の出力が故障なし、または影響なしの場合、検出可と判定している可能性も考えられる。 $F \oplus \bar{F}$ と $F \oplus G$ の結果から、故障する対象が少なくなる双対な近似回路を用

いることによって、より故障に強い回路設計ができると考えられる。

5. まとめ

本稿では、双対な回路を用いた同時多重過渡故障検出の手法の提案、評価を行った。シミュレーションでは単一故障、及び多重故障について行った。いずれの回路も障害が発生せず、故障が検出可能であることが示された。

今後は、全ての仮定故障が検出可能であったため、他の回路にて検討していく。また、ゲート数を減らすことで故障によって障害が発生するかの検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 久保田勘人, 増田政基, 小林和淑, “低電力かつ省面積な耐ソフトウェア多重化フリップフロップ”, 電子情報通信学会技術研究報告, DC2012-37, No. 321, pp. 69-74, 2012 年.
- [2] A. Saysanasongkham, M. Negishi, M. Arai, and S. Fukumoto “A Dependable Processor by Using Built-in Self Test to Tolerate Periodical Transient Faults under Highly Electromagnetic Environment.”, PRDC, pp. 127-134, 2012.
- [3] Mihir R. Choudhury, Kartik Mohanram, “Approximate logic circuits for low overhead, non-intrusive concurrent error detection”, DATE, pp. 903-908, 2008.
- [4] 齋藤晴樹, 新井雅之, “近似論理回路を用いた高信頼 設計手法の評価”, 電子情報通信学会ディペンダブルコンピューティング研究会研究報告, DC2014-80, No. 446, pp. 13-18, 2014 年.

表 1. 単一故障、及び多重故障シミュレーション結果

	回路	元の回路 ゲート数	近似回路 ゲート数	仮定 故障数	冗長	障害	検出可
単一故障	$F \oplus \bar{F}$	8	8	32	0	0	32
	$F \oplus G$	8	2	20	0	0	20
	S27	10	10	40	0	0	40
二重故障	$F \oplus \bar{F}$	8	8	352	0	0	352
	$F \oplus G$	8	2	148	0	0	148
	s27	10	10	560	0	0	560