

65 nm プロセスによる C-element を用いた耐ソフトエラーフリップフロップ

A 65 nm Radiation-Hardened Flip-Flop Using C-elements

伊藤貴史
Takafumi Ito

古田潤
Jun Furuta

小林和淑
Kazutoshi Kobayashi

京都工芸繊維大学
Kyoto Institute of Technology

1 はじめに

近年，トランジスタの微細化に伴い，ソフトエラーによる信頼性の低下が問題となっている．ソフトエラーとは，トランジスタ内に放射線が突入することで生成される電子正孔対によって発生するエラーであり，ラッチなどの記憶素子の保持値が反転してしまう．これは一時故障であるため，再起動により修復は可能であるが，宇宙機や医療機器などの高い信頼性を要するものでは，対策が必須となる．我々の提案した BCDMRFF [1] は放射線によって保持値が反転した場合，値が修復されないため，長時間クロック信号を停止させた状態でのソフトエラー耐性が低下する．

本稿では，C-element を用いて反転した値を修復する構造を施した FF を提案する．加えて，65 nm プロセスで回路シミュレーションにより性能の評価を行う．

2 提案回路のソフトエラー耐性

提案回路を図 1 に示す．提案回路のラッチは，BCDMRFF から Keeper を取り除き，各ラッチに C-element を 2 個ずつ追加した構造となっている．C-element の真理値表を表 1 に示す．C-element は二つの入力 A, B が同じ値のときのみ，出力 YB が変化する構造である．A, B が異なる場合は C-element がハイ・インピーダンス状態となり，YB は前状態のまま保持される．

提案回路は，Single Node Upset (SNU) が発生した場合に反転した値を修復する．SNU とは，ラッチを構成している素子の内の一つに放射線が突入することで，その出力ノードの値が反転する現象である．SNU により C-element への二つの入力 that 異なった値になると反転した値を除去する．C-element の出力は正しい値のままであるため，反転した値は正しい値に修復される．

3 性能評価

回路シミュレーションを用いて，反転した値の修復の確認及び，性能（面積，遅延，電力）の評価を行った．反転した値の修復は，ラッチ内の各ノードに電流源を接続し，疑似的な SNU を発生させることで確認した．シミュレーション結果より，提案回路では各ノードで SNU が発生しても，後続に接続されている C-element が反転した値の除去・修復を行うため，保持値の反転は発生しなかった．シミュレーションは実際のレイアウトを基に算出した寄生成分を含めて行った．比較対象には，BCDMRFF を用いる．性能評価の結果を表 2 に示す．

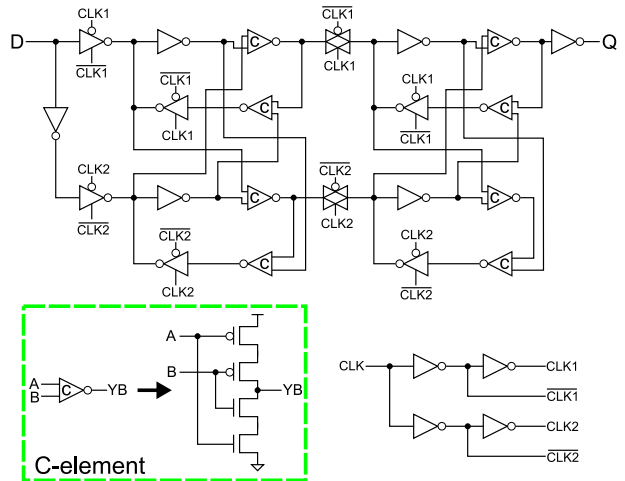


図 1 提案回路

表 1 真理値表

A	B	YB
0	0	1
0	1	前状態
1	0	前状態
1	1	0

表 2 性能評価

FF	面積	遅延	電力
BCDMR	1.00	1.00	1.00
提案回路	1.11	1.18	1.02

表内の値は BCDMRFF で規格化したものである．提案回路は BCDMRFF と比べて面積が 11%，遅延が 18%，電力が 2% 増加した．特に遅延において大きく性能が悪化したことが確認出来る．理由として，C-element を追加したことにより入力 D から出力 Q までの経路の負荷が増加したことが考えられる．

4 まとめ

C-element を用いて反転した値の修復する回路を提案した．回路シミュレーションより，遅延のオーバーヘッドが大きくなったが，十分なソフトエラー耐性を有していることが確認出来た．今後は，特に増加の大きい遅延を改善する手法を検討し，実測による耐性の評価を行う．

謝辞

本研究に用いたシミュレーションツールは VDEC を通してシノプシス社から提供されたものである．

参考文献

- [1] R.Yamamoto 他. *IEEE TNS*, Vol. 58, pp. 3053–3059, 2011.