

# 動的エラー測定によるクロスオーバー周波数の導出

杉崎春斗  
Haruto Sugisaki

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

ソフトエラーとは、放射線が集積回路内のトランジスタに突入することによって、ラッチ回路やFlip-Flop(FF)の保持値が反転するエラーのことである。ソフトエラーは一時的な故障であるため、再起動により修復可能であるが、医療機器や自動運転技術などの高い信頼性を要する分野では対策が必要となる。

ソフトエラーには、組み合わせ回路内で発生し周波数に依存するSETと、記憶素子内で発生する周波数に依存しないSEUの2種類ある。クロスオーバー周波数とは、SETがSEUを上回る周波数 [1] のことである。最適なエラー耐性向上方法を考えるために、回路のクロスオーバー周波数を知ることが重要である。

本稿では、クロスオーバー周波数の測定方法と、FFにクロックを伝達する方法を提案する。

## 2 クロスオーバー周波数の測定方法

一般的なソフトエラーの測定方法では、クロックを停止させて測定をする。通常のエラー測定では、図1(a)に示すFFを使用する。今回、動的エラー測定を実施するため、次の図1(b)のスキャン型FFを使用する。

スキャン型FFは、SCが0の場合はDの入力がFFに取り込まれ、1の場合はSDの入力がFFに取り込まれるといった回路である。前述の通りSETは周波数に依存し、SEUは周波数に依存しないので、スキャン型FFを図2のように接続して周波数を変化させながらソフトエラーの数を測定することで、クロスオーバー周波数を測定する。

## 3 クロックの伝達方法

通常ソフトエラー測定とは異なり、FFを動作させたまま測定するので、クロックの伝達方法を考える必要がある。図3(a)のようにクロックツリーを用いて伝達する方法では、すべてのFFに同時にクロックが伝達し、瞬間的に大量の電流が流れ、IRドロップが発生し回路が正常に動作しなくなる危険性がある。また、図3(b)のようにバッファチェーンを用いて伝達する方法では、高周波の信号が大量のバッファを通過するとクロックが消滅するという欠点がある。今回は、バッファチェーンとクロックツリーを組み合わせ以下の図4の回路を用いて各FFにクロックを伝達させる方法を考えた。

回路シミュレーションによって32段のバッファチェーンにそれぞれ4分岐する2段のクロックツリーを接続してシミュレーションを行うと、一番入力部分から離れた場所でDuty比0.36の信号が伝達していることを確認した。

クロックツリーと提案した伝達方法での消費電力と瞬時電流の値を次の表1にまとめてある。クロックの周波数は2GHz、4096段のFFに信号を伝達する場合を考える。提案方法では瞬時電流をクロックツリーの3分の1ほどにできることを確認した。

## 4 まとめ

本研究では、提案回路で動的エラー測定を実施することでクロスオーバー周波数を求める方法を提案した。また、動的エラー測定に必要なクロックの伝達方法について提案した。今後、提案回路に対して放射線照射実験を行い、クロスオーバー周波数を測定する予定である。

## 参考文献

[1] N. N. Mahatme, et al, 2010 IEEE IRPS, pp. 1031-1035, 2010

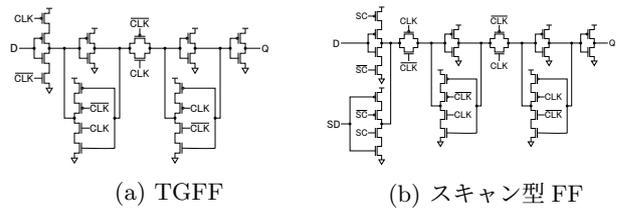


図1: FF

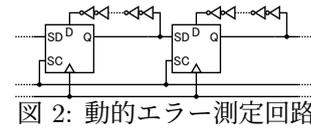


図2: 動的エラー測定回路

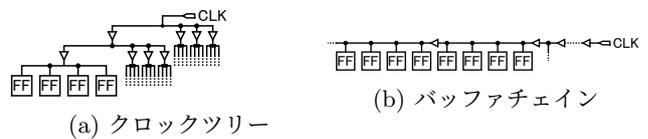


図3: クロックの伝達方法

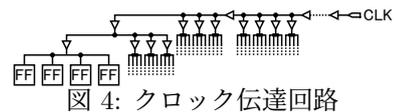


図4: クロック伝達回路

表1: 消費電力と瞬時電流

| 回路名     | 消費電力 [mW] | 瞬時電流 [mA] |
|---------|-----------|-----------|
| クロックツリー | 85.4      | 253.8     |
| 提案方法    | 92.9      | 84.5      |