

# 複数動作周波数LSI用最大負荷容量チェックツールの開発と適用

2K-5 北尾 雅哉\* 岩永 純\*\* 柿沼 守男\* 岡崎 芳\*

\* 三菱電機株式会社 システムLSI開発研究所  
 \*\* 三菱電機セミコンダクタソフトウェア株式会社

## 1. はじめに

近年、インターネットなどの情報通信網の整備が急速に進み、その中核技術であるB-ISDNやATM用のLSI開発が盛んにおこなわれている。特に高速なI/Oインタフェースを持つこれら通信用LSIでは、多重化によるデータ処理技術がよく用いられ、異なる複数周波数で動作させることが多い。

一方、LSIの論理回路設計段階では、回路設計の基本単位であるマクロセル(FF, NAND等の論理素子)の出力が、次段マクロセルに正確に信号を伝達できるように定められたマクロセルの最大許容負荷容量値に対して、LSIを構成する各マクロセルが駆動する負荷容量をチェックすることが必須である。そこで、複数の異なる周波数で動作する回路に対し、正確かつ短時間で検証できる負荷容量チェックツールを開発した。本稿では、回路の動作周波数認識方法を中心としたチェック手法、および通信用LSIに適用した結果について報告する。

## 2. 複数動作周波数LSI用負荷容量チェック手法

本稿では、最大許容負荷容量値(以後Comax値)を次のように定義する。「セルの出力波形(L→H→L)が、動作周波数の1周期時間内に、一定の電圧以上振幅することが可能な負荷容量の最大値」

この定義からComax値は、動作周波数によって変化する周波数依存性を持っていると言える。したがって、単一周波数で動作するLSIのComaxチェックでは、マクロセルのComax値を用意し、一意的に回路中のマクロセルが駆動する容量(配線容量+マクロセル入力容量)と比較すればよいが、複数の動作周波数の場合、周波数依存性を考慮するため、  
 ①マクロセルが動作する周波数(以後動作周波数)  
 ②マクロセルが駆動する容量のチェック周波数を決定しなければならない。以降にその決定手法を述べる。

### 2.1 対象回路

複数のクロック信号をLSI外部ピンから与えられ、その各々のクロック信号に回路が同期して動作し、これらの同期回路間でデータ転送が行なわれる回路を想定する。

Development and Application of a Maximum Load Capacitance Check Program for Multi-Clock Frequency Circuits

Masaya Kitao, Jun Iwanaga, Morio Kakinuma, Kaoru Okazaki

Mitsubishi Electric Corp., System LSI Laboratory  
 4-1 Mizuhara, Itami, Hyogo 664 JAPAN

Mitsubishi Electric Semiconductor Software Corp  
 3-1-17 Chuo, Itami, Hyogo 664 JAPAN

## 2.2 動作/チェック周波数の決定

すべてのLSI外部入力ピンに対して、クロックピン又はデータピンの区別とその周波数の情報を与え、LSIを構成しているマクロセルの動作周波数および駆動する容量のチェック周波数を決定する。

### 2.2.1 FF/ラッチの動作/チェック周波数

クロック定義されたLSI外部入力ピンから各FF/ラッチのクロック入力ピンまでの経路を、クロック系として認識する。そして、クロックピンに対し与えられている周波数を、その経路上にあるマクロセルの動作周波数及び駆動する容量のチェック周波数とする。しかし、クロックピンからFF/ラッチ間に論理回路がある場合、例えばクロックゲートやクロック切り替え回路では、異なる周波数の信号が合流することが起こる。この場合の周波数の決定法は、後述の"2.2.3"で述べる方法によって決める。

### 2.2.2 FF/ラッチ以外の回路の動作/チェック周波数

前項で動作周波数が決定したFF/ラッチの出力ピンから出力するデータ信号の周波数は、セルの特性上入力するクロック周波数の1/2以下になる。よってワーストケースをとり、入力クロック周波数の1/2を出力ピンの動作周波数および駆動する容量のチェック周波数とする。この方法をとることにより、クロックを分周期する図1のような場合も、自動で動作/チェック周波数の決定ができる。

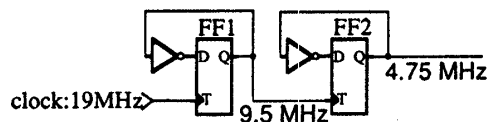


図1 クロック分周期回路例

さらに、以降の経路上にあるマクロセルの動作周波数及び駆動する容量のチェック周波数については、2.2.3及び2.2.4に述べる方法で決定していく。

### 2.2.3 周波数が異なる信号の合流

異なる周波数の信号同士が合流した図2のような場合、マクロセル出力ピンの最大動作速度は、タイミングチャートX-Y間のように、入力信号の周波数が高い方になる。よって、そのマクロセルが駆動する容量の動作周波数:fw及びチェック周波数:fcは、式1のように求める。この方法により、図3のクロック信号切り替え回路のような場合も、自動で動作/チェック周波数の決定ができる。

$$f_w = f_c = \max(f_{i1}, f_{i2}, \dots) \quad \dots \text{式1}$$

f<sub>i1</sub>, f<sub>i2</sub>: マクロセルへ入力する信号の周波数

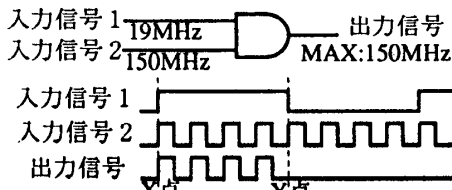


図2 信号の合流

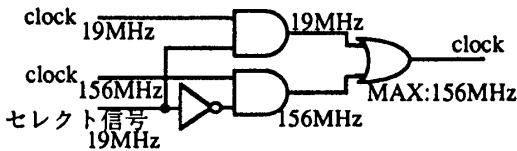


図3 クロック切り替え回路例

2.2.4 異なる動作周波数間のデータ転送

異なる周波数で動作するFF/ラッチ間について考える。この時、送信側と受信側のFF/ラッチが直接接続されている場合と、その間に論理回路が存在する場合があります、それぞれのチェック周波数について以下に述べる。

直接接続されたFF/ラッチ間のデータ転送

一例として、19MHzクロックで動作するFFから156MHzクロックで動作するFFへ信号転送する回路(図5-1)を考える。両FF間の信号線に、9.5MHz(2.2.2項により動作周波数の1/2)のComax値と同じ容量を负荷したQピンの出力信号(データ9.5)と、78MHzのComax値と同じ容量を负荷したQピンの出力信号(データ78)の位相関係を図5-2に示す。データ9.5は信号のなまりが大きく、受信側FF2が入力データをサンプリングするX点で、中間レベルの信号を取り込み、この周期での信号伝達が正確にできない。一方、データ78では、なまりが小さく信号伝達が正しく行われる。したがって、FF間のチェック周波数:fcは、式2のように求める。

$$f_c = \max(f_{i1}, f_{o1}, f_{o2}, \dots) \quad \dots \text{式2}$$

f<sub>i1</sub> : データを送信するFF動作周波数の1/2倍  
 f<sub>o1</sub>, f<sub>o2</sub> : データを受信するFF動作周波数の1/2倍

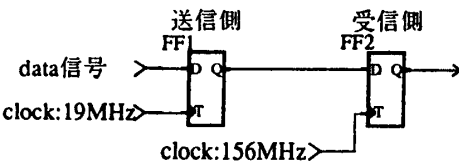


図5-1 異なる動作周波数間の動作/チェック周波数

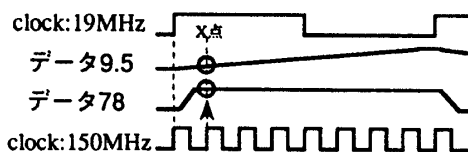


図5-2 タイミングチャート

論理回路を挟むFF/ラッチ間のデータ転送

異なる周波数で動作するFF/ラッチ~FF/ラッチ間に論理回路が存在する場合について考える。FF/ラッチ間に挟まれたマクロセルの動作周波数:fwは、これまで述べてきたように、前段マクロセルの動作周波数(FF/ラッチはその動作周波数の1/2)によって決まるので、図6中のfwは式1から求められる。しかし、信号を受信するセルにFF/ラッチが含まれる場合、チェック周波数:fcは、前述した信号のなまりを考慮しなければならない。よって、受信側FF/ラッチとその前段マクロセル間にある容量のチェック周波数:fcは、式2を変更した式2'で求める。

$$f_w = \max(f_{i1}, f_{i2}, \dots) \quad \dots \text{式1}$$

$$f_c = \max(f_w, f_{o1}, f_{o2}, \dots) \quad \dots \text{式2'}$$

f<sub>i1</sub>, f<sub>i2</sub> : データを送信するセルの動作周波数  
 但しFF/ラッチの場合は1/2倍  
 f<sub>o1</sub>, f<sub>o2</sub> : データを受信するFF/ラッチの動作周波数の1/2倍

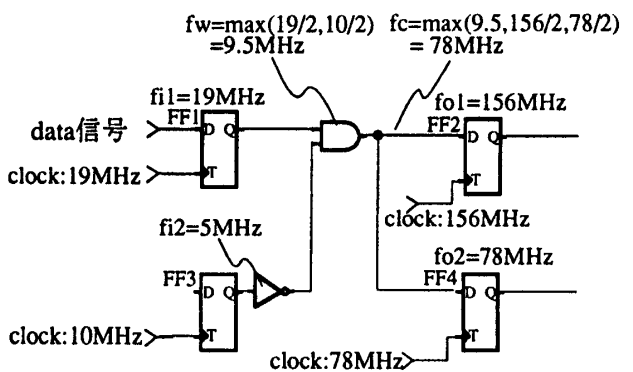


図6 動作/チェック周波数の決定

3. 適用

最大負荷容量チェックツールは、第2章の方法で決定したチェック周波数と、マクロセルのComax値の周波数依存性を記述したライブラリからComaxチェック値を算出し、この値と各マクロセルが駆動する負荷容量とを比較してエラーの判定をおこなう。

通信用LSI(回路規模50KG)に適用した結果、一回あたりの実行時間が約100秒(sun/ss10)であり、実用上問題ないと考えている。なお、評価に用いたLSIの動作周波数は、156MHz/78MHz/19MHzである。このLSIのComaxチェックでは、一部のFF/ラッチでComaxエラーが発生したが、動作/チェック周波数をワーストケースによって決定(2.2.2項による)しているために発生した疑似エラーであった。今回は、任意のマクロセル出力ピンに動作周波数を指定できるオプション機能を使用し、設計者の判断のもとに疑似エラーの発生を回避したが、さらに正確な動作/チェック周波数の特定する方法を検討する余地がある。