

LECCSモデル —線形等価回路の同定と機能ブロック毎の要素電流抽出—

Identification of the linear equivalent circuit and extraction of the current sources for LECCS model

齊藤義行¹
Yoshiyuki Saito

和田修己²
Osami Wada

パナソニック(株) PE 技術開発室¹
Printed Electronics & EMC Technology Development Office, Panasonic Corporation
京都大学工学研究科電気工学専攻²
Graduate School of Engineering, Kyoto University

1 まえがき

近年の LSI 動作により生じる電源電流は高周波化するとともに、増大してきており、高周波電源電流による電源電圧変動や不要電磁波放射といった問題が顕在化してきている。この問題を設計段階で評価可能とするため、電源系高周波電流シミュレーション手法およびシミュレーションに必要な LSI の電源・グラウンド電流の振る舞いを表す EMC マクロモデルの開発・規格化が行われている⁽¹⁾。我々は EMC マクロモデルの一つとして LSI 内部を線形等価回路と等価内部電流源で表すモデルを開発しており、これを LECCS (Linear Equivalent Circuit and Current Sources) モデルと呼んでいる。今回、8 ビットマイコンを対象として、伝達インピーダンスを考慮したモデル構造と等価回路素子のパラメータ最適化、時間領域での電源電流測定結果からの機能ブロック毎の電流源抽出を実施したので報告する。

2 モデル化対象 LSI の概要

今回は 8 ビットマイコン MN101CF91D (図 1) をモデル化対象とした。本マイコンは 3 種類の電源 (V_{DD3} , V_{DD18} , V_{ref+}) と共通グラウンド (V_{SS}) を持っており、パッケージは 48 ピン QFP である。ただし、 V_{DD18} は V_{DD3} から LSI 内部の降圧回路で生成される。

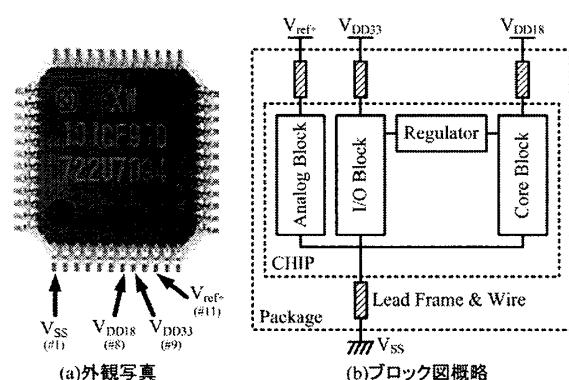


図 1 8 ビットマイコン (MN101CF91D)

3 線形等価回路の同定

線形等価回路の構築は文献 (2) で提案した 3 ポートの Z パラメータから Symbolic Analysis と最小二乗パラメータ最適化を用いる方法で行った。この時の Z パラメータ

(実測と等価回路によるシミュレーション) と線形等価回路をそれぞれ図 2, 3 に示す。図 2 では、駆動点、伝達インピーダンスとともに、全周波数領域で実測とシミュレーション結果がよく一致している。これは等価回路において、(1) グラウンド端子を抵抗素子で分離、(2) パッケージでの誘導性結合を考慮、(3) パラメータ最適化時に伝達インピーダンスも含め振幅・位相の両方を考慮、といったことによるものである。

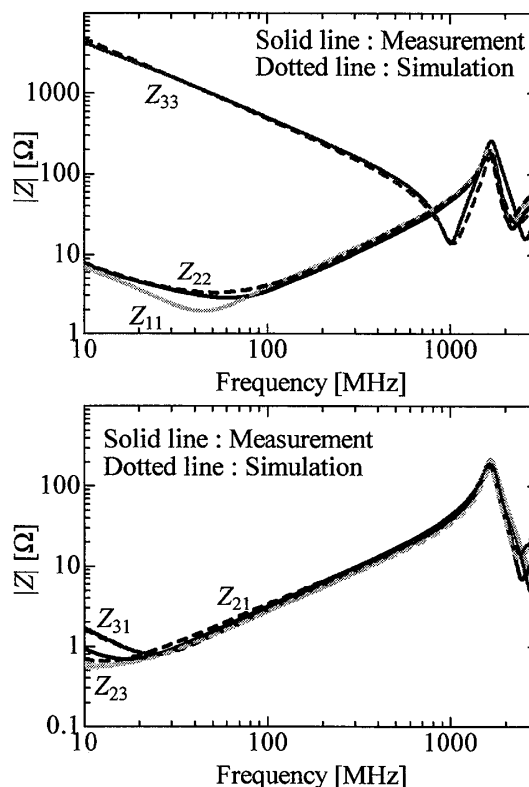


図 2 Z パラメータ (振幅)

4 電源電流測定方法

電流源の抽出はプリント基板上に電流測定ライン (50Ω マイクロストリップライン) を設け、磁界プローブ (CP-2S) とデジタルオシロスコープを用いて行った (図 4)。この測定法では電流経路を切断することなく非接触で電流を測定することが可能であるが、測定されるデータは電圧値であり、ネットワークアナライザで求めた変換係

数を用いて電流への変換を行う必要がある。

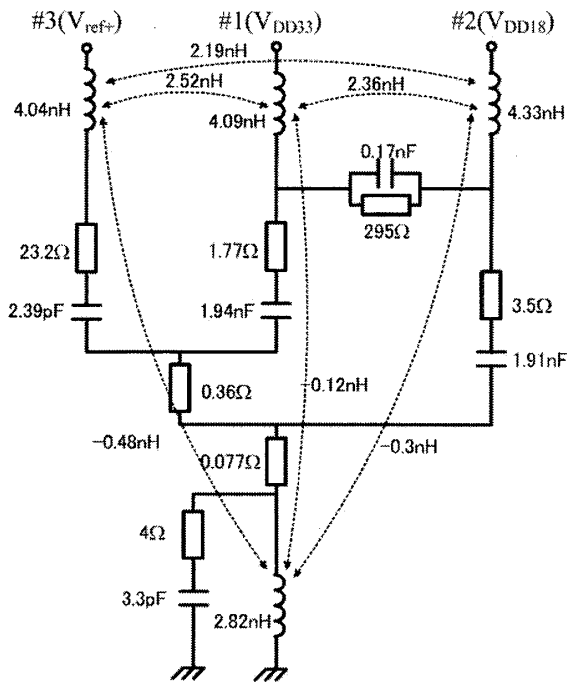


図3 線形等価回路

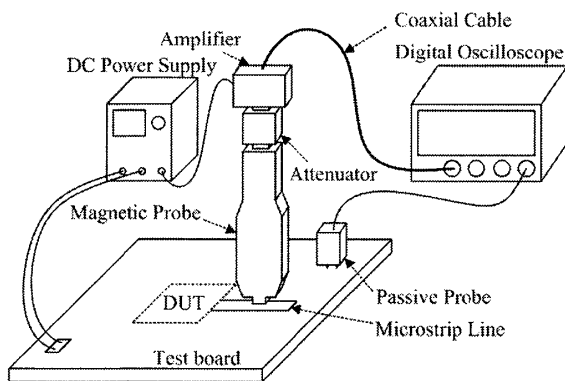


図4 電流測定環境

5 機能ブロック毎の要素電流抽出と電流解析

今回はマイコンの3電源のうち、コア回路用の電源 V_{DD18} を対象とした。コア回路は大きく分けてクロック生成、クロックツリー、CPU、RAM、ROMの5つの機能ブロックに分けることができる。そこで、マイコンで実行するプログラムを変更し、各機能ブロックのみを動作させることで機能ブロック毎の電流を測定した。一部を図5に示す。また、RAMアクセスを繰り返すプログラムを実行した場合の電流を、各ブロックの電流を用いて予測した結果を図6に示す。実測と非常に良く一致している。さらに図7にフーリエ変換を用いて電流スペクトルを求めた結果を示す。クロック(10MHz)の高調波だけでなく、次数間調波も再現できている。

6 まとめ

8ビットマイコンのLECCSモデル構築に向けて、線形等価回路の同定結果と機能ブロック毎の電流源の抽出

結果を示した。また、異なるプログラムを実行した場合の電流について、抽出した電流源を用いて時間領域、周波数領域ともに精度良く予測可能であることを示した。

7 参考文献

- (1) S.B. Dhia, M. Ramdani, and E. Sicard (Editors), Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits, Chap. 5, Springer, New York, 2006.
- (2) 齊藤義行, 安原昌克, 船戸是宏, ウンベルト パオレッティ, 久門尚史, 和田修己, “多電源ピン LSI のブロック間結合を考慮した3ポート LECCS-core モデル,” 信学論 (B), Vol.J93-B, No.2, pp332-340, 2010

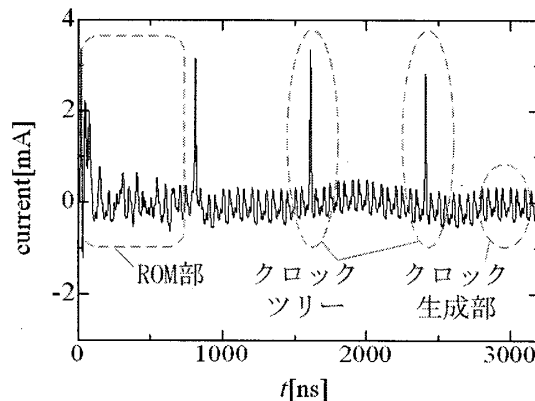


図5 電流測定結果

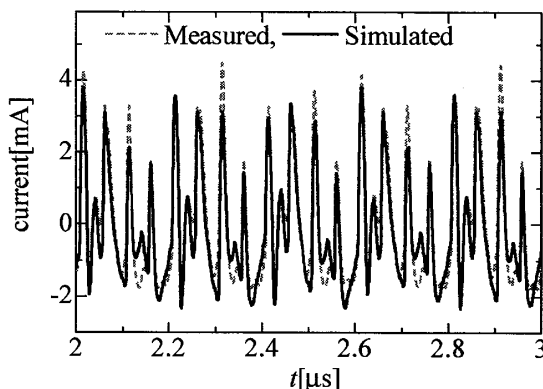


図6 電流解析結果

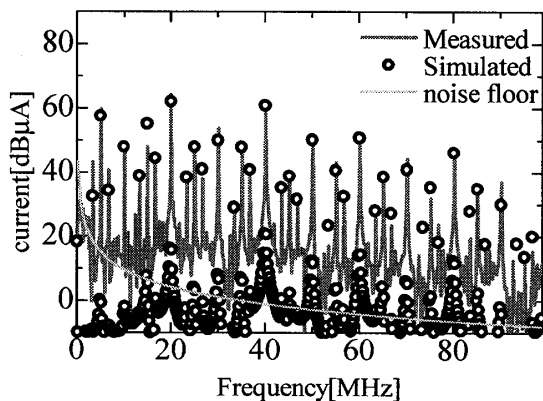


図7 RAMアクセス時の電流スペクトル