

プリント基板に於けるクロストーク解析の一手法

5P-7

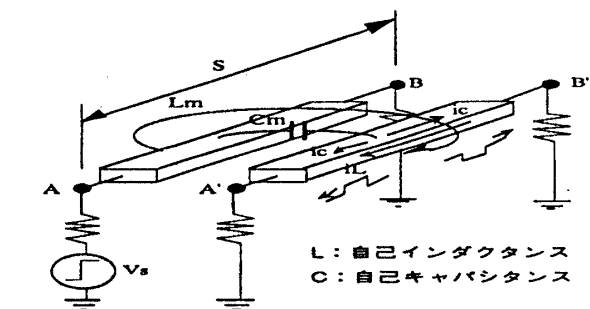
泉 正夫 早川 佳寿 大塚 学
 沖電気工業株式会社 株式会社 沖ビジネス

1.はじめに

近年、通信機器・情報処理機器等の電子装置の速度向上に伴い、プリント基板の動作速度も高速化の一途をたどっている。このような基板では、パターン間結合で発生するクロストークノイズが回路動作に影響を与え、装置の誤動作をまねく要因になっている。また、低消費電力化のため低電圧論理素子の採用が増えノイズイミュニティが減少し、ノイズシミュレーションの実施が必須になってきた。そのため、特に配置配線完了後の確認シミュレーションでは、高速且つ高精度なシミュレータが求められている。本論文では、このようなポスト・レイアウトシミュレーションのスクリーニングに用いるクロストーク解析手法と実験結果について報告する。

2.クロストークノイズ

図1は、2平行パターンのクロストークノイズの発生原理を示したものである。隣接パターン間結合（相互キャパシタンス：Cm、相互インダクタンス：Lm）によりノイズが発生する。被誘導パターン：A'B'には、Cm、Lmに起因する電流iC、iLが流れる。これらの電流は近端側のA'は同極性でB'の遠端側には逆極性で流れる。従って、A'点及びB'点で観測される電流は平行パターン長：Sの全ての点から伝播しているiC、iLの総和として求められる。結合係数（KF、KB）及び、遠端・近端クロストークノイズ（VF、VB）は式1～5で求めることができる。



$$K_F = -\tau / 2 \times (L_m / L - C_m / C) \dots\dots\dots (式1)$$

$$K_B = 1 / 4 \times (L_m / L + C_m / C) \dots\dots\dots (式2)$$

$$V_F = K_F \times (S / Tr) \times V_s \dots\dots\dots (式3)$$

Tr ≤ 2τSの時

$$V_B = K_B \times V_s \dots\dots\dots (式4)$$

Tr > 2τSの時

$$V_B = K_B \times (2 \times \tau \times S / Tr) \times V_s \dots\dots\dots (式5)$$

図1 クロストーク発生原理

3.解決課題

前項の結合係数はL、C、Lm、Cm、τ（伝播速度）によって決定され、これらの定数は電磁界シミュレータにより求めることができる。しかしながら、解析精度は良いがシミュレーション時間が長いため、プリント基板上の複雑な配線パターン構造の全ての組み合わせを行うためには膨大な時間が必要である。また、市販のスクリーニング用のシミュレータは、近似式で結合係数を求め高速にクロストークノイズを求めているが精度に問題がある。

4.本手法の特徴

配線パターンの解析対象となる箇所を標準モデルで近似し、基板構造及び基材（εr：比誘電率）に起因する誤差を変化率で補正することにより、比較的精度の高い実効結合係数を短時間で求めることができる。また、この実効結合係数から解析対象パターンとその近傍のパターンをそれぞれ2平行に分割し、その総和を解析パターンに誘導されるクロストークノイズとしている。以上のことによりスクリーニングとして十分な精度と解析時間を確保することが可能となる。図2に本手法の概略フローと標準モデルを示す。

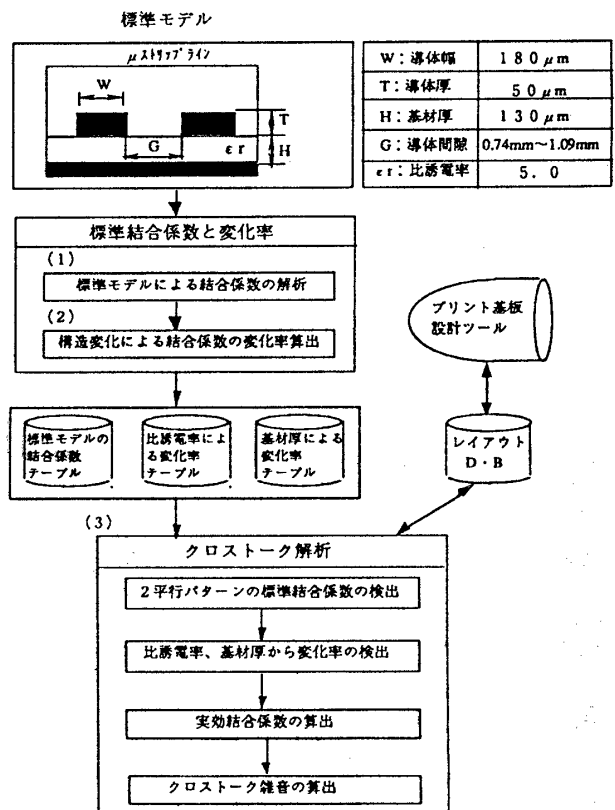


図2 概略フロー

A Method of Crosstalk Noise Analysis for Printed Circuit Board
 Masao IZUMI, Yoshihisa HAYAKAWA, Manabu OSUKA
 OKI Electric Industry Co., Ltd. OKI Business Co., Ltd.

5. 解析手法

(1) 標準基板モデルの結合係数

図2に示す μ ストリップラインの標準モデルは、比較的多くの基板に適用されている基本的な構造である。結合係数は、電磁界シミュレータにより予め単位長あたりのL、C、Lm、Cm、 τ を解析し表1の様に間隙値をパラメータとした結合係数のテーブルを作成する。

(2) 結合係数の変化率

クロストークノイズは、基板構造及び基材によって結合係数が変わるためノイズ量も変動する。従って、構造変化による解析精度の誤差を極力少なくする必要がある。そこで本手法では、標準モデルの結合係数を基準に、比誘電率、基材厚を段階的に変化させた時の結合係数の変化率を求めテーブル化している。導体幅、導体厚の構造変化については、標準モデルの導体寸法の $\pm 1\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ の間では結合係数は殆ど変わらないため、今回は、比誘電率、基材厚のみの変化率とした。表2に μ ストリップラインの変化率のテーブルを示す。また、(1)、(2)の処理で作成した、各テーブルは事前に準備すれば良く、毎回行う必要はない。

(3) クロストーク解析

プリント基板の配線パターンは複数の2平行パターンの集合で表現することができる。被誘導パターンから結合係数 ≈ 0 になる範囲内に、複数の誘導ラインが存在した場合、被誘導パターンに受けるクロストークノイズ量は、誘導ラインが同時動作した時、つまりワーストケースでの解析が一般的であり、それぞれのノイズの総和がクロストークノイズ量である。標準結合係数の検出は、解析対象の2平行パターン間の間隙値が合致する標準モデルの結合係数を表1から求める。合致しない場合は、解析対象パターン間の間隙値の結合係数をスプライン補間により求める。次に、解析対象基板の比誘電率と合致する変化率を求める。同様に、

表1 標準基板モデルの結合係数テーブル(μ ストリップライン)

導体間隙(mm)	遠端結合係数	近端結合係数
0.1375	3.69E-02	9.94E-02
0.328	2.82E-02	3.61E-02
0.455	2.16E-02	2.19E-02
0.582	1.65E-02	1.46E-02

表2 結合係数の変化率テーブル(μ ストリップライン)

比誘電率	遠端		近端	
	速端	近端	速端	近端
4.6	0.88	1.01	70	0.71
4.8	0.96	1.01	100	0.89
5.0	1.00	1.00	130	1.00
5.2	1.10	1.00	150	1.05

基材厚の変化率を求める。合致しない場合は、標準モデルの結合係数検出と同様にスプライン補間により変化率を算出する。実効結合係数は、検出した結合係数と各変化率の積により求めることができる。この実効結合数により遠端クロストークノイズ、近端クロストークノイズをそれぞれの2平行パターン毎に計算し、解析対象パターンに誘導されるクロストークノイズ量を求めている。また、求めたノイズ量がノイズマージン内に収まっているかチェックを行っている。ストリップラインについても同様の解析を行うことができる。

6. 実験結果

表3は本手法と市販シミュレータ(A、B)と処理速度の比較を行ったものである。市販B(電磁界シミュレータ)は、20ネットで約85分かかり、市販A(スクリーニング)に於いては150ネットで約60分を要する。本手法では、150ネットで2分以内でシミュレーション結果が得ることができた。また、図3は本解析手法と実測及び市販Aの近端結合係数について比較したものである。本手法の結合係数は実測値と比較的一致し、誤差の点で電磁界シミュレータと遜色がない結果が得られた。

7. おわりに

本論文では、クロストークノイズのポスト解析手法について提案し、その有効性について述べた。今後は、論理素子の入出力インピーダンス及び線路インピーダンスの不整合で発生する反射ノイズのポスト解析手法について検討していく予定である。

表3 処理速度の比較

	20ネット	150ネット
市販A	6分	60分
市販B	85分	600分
本手法	30秒	2分

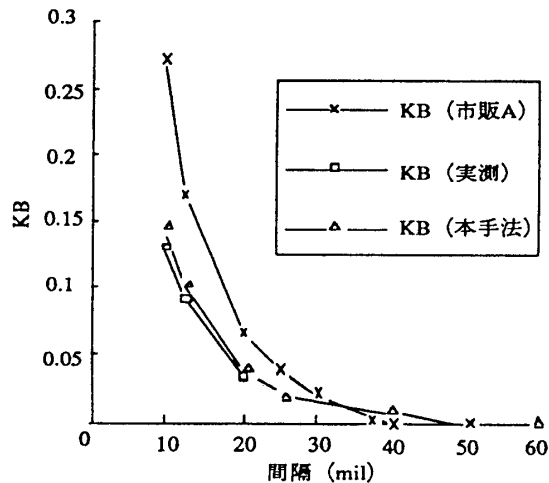


図3 近端結合係数の比較