

## 高速伝送線路回路網の過度解析に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 渡邊, 貴之 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/1494">http://hdl.handle.net/10297/1494</a>

氏名・(本籍)	渡 邊 貴 之 (静岡県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博甲第 205 号
学位授与の日付	平成 12 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子応用工学
学位論文題目	高速伝送線路回路網の過度解析に関する研究

論文審査委員	(委員長)				
	教授	塩 川 祥 子	助教授	河 本 映	
	教授	大 坪 順 次	教授	浅 井 秀 樹	
	教授	渡 邊 健 蔵			

## 論 文 内 容 の 要 旨

近年の回路集積化技術の急速な進歩により、集積回路の大規模化、高密度化が著しく進んでいる。一方、集積回路の動作周波数は益々高速化しており、素子間を相互接続する配線を分布定数的な効果を持つ伝送線路として取り扱う必要性を引き起こした。本論文では、集積回路内外における配線の時間領域での解析アルゴリズムの高速・高精度化に関する手法及び、三次元的な電磁界効果を考慮した配線の解析モデルの新たな作成方法について検討を行った。

まず、従来から、配線を伝送線路として電信方程式により定式化し解析するAWE法やGMC法が提案されてきた。特に、AWE法は、単相及び多相伝送線路の解析だけではなく、それらが多数含まれるような分布定数・集中定数混在系の大規模線形回路網の解析に適用可能であり、適用範囲が広いという特徴があった。AWE法では、線形回路網の端子間のアドミタンス関数をpadé近似法により有理関数に近似する。しかしながら、アドミタンス関数を高周波帯域まで精度良く近似するためには、非常に多くの極が必要であり、padé近似法では7から10個程度の極しか得ることができず、解析精度に問題があった。一方、GMC法では、配線を特性インピーダンスと伝搬関数からなる特性モデルとして取り扱う。特性インピーダンスと群遅延成分を取り除いた伝搬関数は、padé近似法で求められる程度の比較的少数の極からなる有理関数を用いてさえ、精度良く応答を近似することができる。しかしながら、GMC法の解析では特別な波形緩和アルゴリズムを必要とするために、一般的な詳細回路のシミュレータへ適用することは困難であった。そこで、本論文ではGMC法の解析アルゴリズムを最適化するGLDW技法を提案した。GMC法で用いられる波形緩和法アルゴリズムに対し、遅延分の波

形を記憶しておくタイムホイールを確保し、それらを逐次回転させながら解析を行うことで、様々な種類の回路シミュレータに対し、GMC法を付加することができることを示した。特に、直接法回路シミュレータと動的回路分割技法による波形緩和法回路シミュレータへの適用アルゴリズムを示し、実際に動的回路分割技法による波形緩和法回路シミュレータDESIRE3にGMC法とGLDW技法を付加した新たなシミュレータDESIRE3T+を作成した。DESIRE3T+を用いた例題回路の解析により、GMC法に対してGLDW技法の有効性が確認された。

また、モード分割を用いずにGMC法で用いられている特性モデルにより多相伝送線路を解析する手法について提案した。従来より、多相伝送線路に対しモード理論を用いてそれらを単相系の問題へと帰着させ解析可能であることが理論的に示されている。しかしながら、モード変換行列の導出は、一般的な場合においては通常多大な計算コストを必要とする。そこで、提案手法では、行列指数関数のTaylor級数展開により、多相伝送線路の電信方程式から多相系の特性インピーダンスと伝搬関数を導出可能であることを示した。提案手法を回路シミュレータDESIRE3T+に適用し、例題回路の解析を行ったところ、多相伝送線路の解析において、同次数のpadé近似法を用いるAWE法に比較して、より高精度の解析が実行されることを確認した。更に、従来、伝送線路への適用に限定されていたGMC法を基に、分布定数・集中定数混在系の大規模線形回路網への適用をも可能とする拡張GMC法を提案した。提案手法では、対象となる線形回路網全体を拡張特性モデルへ変換する。実際に、提案手法を用いて例題回路の解析を行ったところ、AWE法と同等の解析速度を保ちつつ、解析精度を大幅に向上させる効果を確認した。以上により、GMC法を単相及び多相伝送線路のみならず大規模線形回路網に対しても適用可能であることを実証した。

一方、上述の手法は大前提として配線を準TEMモードにより近似し、理想的なグラウンドを仮定する電信方程式を用いて定式化を行っている。しかし、プリント配線基板の多層化及び高密度化により、高速に動作する集積回路からグラウンドラインを流れ電源へと戻る帰還電流が予期せぬ雑音を引き起こす現象が問題となっている。よって、従来のグラウンドをインダクタンスや損失の無い理想グラウンドとして取り扱う電信方程式による解析手法では、グラウンドの形状や複雑な物理構造に起因する電磁界効果を検証することは不可能であった。そこで、本研究では、配線基板の物理的材質や構造によって引き起こされる電磁界効果を正確に検証するために、プリント基板のレイアウトデータからアナログ回路シミュレータで解析可能な配線のマクロモデルを合成する手法を提案した。本手法では、電磁界解析手法の1つであるFDTD法を用い配線端子間のインパルス応答を求め、その波形データから時間領域の微分方程式を導出する。これにより、電信方程式から導出される分布定数線路モデルに比べて、より物理的構造を考慮した高精度なモデルを求められることができる。本研究では、アドミタンス応答の抽出の際のコストを削減する高速化技法についても提案した。本手法により作成した配線のマクロモデルを用いて種々の回路の解析を行った。結果より、マクロモデルによる解析が、FDTD法と回路シミュレータを直接結合して解析する手法に匹敵する精度を有しながら、数100倍高速に解析を行うことができることを確認した。

## 論文審査結果の要旨

近年、集積回路の動作周波数は益々高速化しており、基板上の配線を伝送する信号の劣化が問題となっている。本論文では、配線を伝送する信号の過渡解析アルゴリズムの高速・高精度化を目的としている。

本論文は全6章からなり、第1章では、序論として本研究の背景および目的について述べている。

第2章では、電信方程式に基づいて配線を伝送線路として解析する手法について検討している。まず、伝送線路の解析に関する従来法であるGMC(Generalized Method of Characteristics)法とAWE(Asymptotic Waveform Evaluation)法について紹介し、それらの手法の問題点について考察している。次に、GMC法で用いられている解析アルゴリズムに対して、遅延時間の考慮と一般化を目指したGLDW(Generalized Line Delay Window)技法を提案し、アルゴリズムの汎用化と解析速度の高速化を図っている。更に、提案手法を適用した回路シミュレータを構築し、その有効性を示している。

第3章では、第2章で提案した手法を、多導体結合線路の解析に拡張している。まず、配線の高密度化に伴う隣接配線間での漏話の影響について触れ、それらの配線の多導体結合線路としての取扱いについて述べている。次に、多導体結合線路を解析するための従来法について、その問題点を指摘している。更に、第2章で提案した手法を多導体結合線路の解析に適用するために、新たに遅延評価技法を提案し、その有効性を検証している。

第4章では、第3章までに提案された手法を、伝送線路を含む大規模線形回路網の解析に拡張している。従来、配線における折れ曲り等の不連続部分が、近似的に線形集中定数回路として取り扱われていることを述べ、大規模配線網が、伝送線路と線形集中定数素子の多数含まれる大規模線形回路網として考えることができると述べている。その上で、主として伝送線路のみを解析の対象としていた第3章までの手法を拡張し、大規模線形回路網の解析をも可能とした拡張GMC法を提案している。

第5章では、Maxwell方程式レベルでの電磁界解析の結果から回路シミュレータ用の配線素子モデルを同定する手法について述べている。また、電磁界解析の手法としてFDTD(Finite Difference Time Domain)法を取り上げ、配線の特性を抽出するコストを削減する手法についても提案している。更に、配線レイアウトの記述から回路シミュレータによる解析までを一貫して扱うシステムを構築し、その評価と有効性を示している。

最後に、第6章において本論文の総括が述べられており、今後の課題と展望について論じられている。

以上の成果は、回路シミュレーションの分野を中心とする工学分野において価値があり、オリジナリティも高く優れている。従って本論文は博士(工学)の学位を与えるものに値すると認定する。