

氏名	王 晨宇
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第 6191 号
学位授与の日付	2020年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	A Study on Signal Integrity Improvement and Common-Mode Noise Suppression of Differential Transmission Lines for High-Speed PCB Layout (高速 PCB レイアウトに向けた差動伝送線路の信号完全性改善とコモンモードノイズ抑制に関する研究)
論文審査委員	教授 豊田 啓孝 教授 上原 一浩 准教授 藤森 和博
学位論文内容の要旨	
<p>本論文の目的は、高速差動伝送線路において現実に起こりうる以下の3つの問題のメカニズムを解明し、信号完全性を維持しつつコモンモードノイズ発生が少ない伝送線路の構造を提案することである。</p> <p>まず1つ目は、差動伝送線路の屈曲部で生じるコモンモードノイズの低減を実現するため、高密度実装を前提に通常の屈曲部の範囲内に収める非対称テーパー付密結合屈曲構造とその設計方法を提案した。非対称テーパーにより、屈曲部で生じる経路差を補償することでモード変換によるコモンモードノイズ発生を抑える。結果として、通常の屈曲構造と比較して伝送特性は変わらず、ディファレンシャルモードからコモンモードへのモード変換が20 dB抑制できることを3次元電磁界シミュレーションと実測により示した。</p> <p>2つ目は、差動伝送線路の各線が受ける実効比誘電率が異なるによって引き起こされる差動スキューを低減させるため、差動線路に対して差動スキューや特性インピーダンスに影響を与えないメッシュグラウンド構造を調べた。まず、差動配線とメッシュグラウンドのなす角度に着目し、45°ではない別の角度で差動スキューが低減するか、差動配線の2本の線路における伝搬に伴う位相変化量の差から差動スキューの角度依存性を調べた。そして、差動配線とメッシュグラウンドのなす角度を30°と40°の間にするだけで、差動スキューを小さくでき、特性インピーダンスの位置依存性もほとんどないことを明らかにした。そして、その低減メカニズムを調べたところと位相差をランダムにしたことに起因することが分かり、メッシュグラウンドを回転させるのではなく、メッシュ位置をランダムにシフトさせることでも同じ効果が得られることを示した。</p> <p>最後に3つ目は、隣接する差動ペア間で生じるディファレンシャルモードクロストークの低減を実現するため、差動ペアの両方の外側への周期構造の導入を検討した。このクロストーク低減の効果を評価し、ディファレンシャルモードのみに着目することで、周期構造を持つ隣接する差動ペアで発生するクロストークのメカニズムをモード解析、多導体伝送線路理論および弱結合理論を組み合わせ考察した。3次元電磁界シミュレーション結果と比較することで提案した計算式の妥当性を示し、さらに、ディファレンシャルモードにおいて偶モードと奇モードの特性インピーダンス、実効比誘電率およびモード結合から周期構造のディファレンシャルモードクロストークの低減メカニズムを調べ、2組の周期構造を持つ差動ペアでは、遠端クロストークを理論的に0にできることを明らかにした。</p>	

論文審査結果の要旨

電子機器は高性能、多機能、小型・軽量など様々な観点から開発が進められているが、その進展にはプリント回路基板における高速信号処理、低電圧動作、高密度実装が大いに貢献している。一方、回路基板上の線路における電磁環境両立性や信号完全性の問題はGbps伝送のボトルネックである。

本論文では、高速差動伝送線路において現実には起こりうる3つの問題のメカニズムを解明し、信号完全性を維持しつつコモンモードノイズ発生の少ない伝送線路の構造を提案している。

まず1つ目として、差動伝送線路の屈曲部で生じるコモンモードノイズの低減を実現するため、高密度実装を前提に通常の屈曲部の範囲内に収める非対称テーパ付密結合屈曲構造とその設計方法を提案した。結果として、通常の屈曲構造と比較して伝送特性は変わらず、ディファレンシャルモードからコモンモードへのモード変換が20 dB抑制できることを3次元電磁界シミュレーションと実測により示した。次に、メッシュグラウンド構造の差動線路における差動スキューを低減させるため、差動配線とメッシュグラウンドのなす角度に着目し、差動配線とメッシュグラウンドのなす角度は 30° と 40° の間が良いことを示し、その低減メカニズムを明らかにした。最後に、周期構造を導入した差動線路に対して、クロストーク低減の効果を評価し、ディファレンシャルモードのみに着目することで、周期構造を持つ隣接する差動ペアで発生するクロストークのメカニズムをモード解析、多導体伝送線路理論および弱結合理論を組み合わせることで明らかにした。特に、2組の周期構造を持つ差動ペアでは遠端クロストークを理論的に0にできることを示した。

本研究の成果は、査読付き学術論文誌に筆頭著者として1編が掲載され、国際会議で5編が発表されている。本研究で得られた成果は、高速差動伝送線路のGbps伝送におけるボトルネック解消に大きく貢献できると期待される。以上より、本論文は博士（工学）の学位を授与されるに適格であると認める。