

差動線路の放射ノイズ抑制手法の研究

杉浦宏和* 吉村慶之*

電子機器の高性能化のため、機器の動作を制御するための電気信号の高速化・低電圧化が進むにつれ、外来からの電磁ノイズ(以下：ノイズ)への耐性が懸念される。このため、信号の伝送方式に差動線路が考案され普及している。しかし、差動線路は電気的な対称性が崩れるとノイズを放射しやすく、かつ、対策が困難である。そこで、本研究では差動線路から放射するノイズの発生要因を抽出し、各々の要因について定量的に特性評価を行った。これより、電気的特性と放射ノイズの相関を見出すとともに、要因ごとにノイズ抑制手法の提案を行った。

キーワード：差動線路，信号高速化，放射ノイズ，EMC

Study of Radiation Noise Suppression Techniques for Differential Transmission Lines

Hirokazu SUGIURA and Yoshiyuki YOSHIMURA

In the pursuit of superior electronic machinery, as the electronic signal speed and voltage reduction used to control the operation of machines advances, there is concern regarding the tolerance to external electromagnetic noise. Therefore, differential transmission lines have been contrived as a transmission method, and are becoming widely used. However, if the electric symmetry of the differential transmission line breaks down, radiation noise increases and is difficult to counter. In this study, we identified the main causes of radiation noise from differential transmission lines, and performed quantitative characterization for each factor. As a result, we found correlations between the electrical properties and the radiation noise, and proposed noise control techniques for each factor.

Keywords: differential transmission line, signal speed improvement, radiation noise, electromagnetic compatibility

1. 緒 言

電子機器を稼働させる際、内部に搭載する電子回路基板上に電気信号を伝送させ動作を制御する必要がある。近年、複雑な制御や動作処理速度の向上等による電子機器の高機能化のため、この電気信号の高速化・低電圧化が進んでいる。この高速信号を信頼性高く伝送させるため差動線路(図1)¹⁾という方式が考案され、現在主流になりつつある。これは、相互反転した信号を2本の線路で対称的に伝送させる方式で、受端で差分をとることで信号振幅は強調され、更にノイズは消去される。このように、差動線路は高速・低電圧な信号の伝送に有用であるが、一方で2本の線路において信号の対称性が崩れるとノイズを放射しやすくなる²⁾。しかし、2線路を伝送する信号の動作原理が複雑であることに加え、伝送する高速な信号を評価するには高価な装置や高度なノウハウが必要となるため、差動線

路から放射するノイズの評価や対策の確立は遅れている。そこで本研究では差動線路の放射ノイズ特性を評価・分析し、抑制手法を提案することを目的とした。

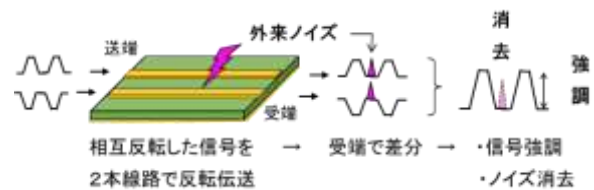


図1 差動線路とその特長

2. 差動線路の特性評価

2. 1 特性評価法

電子機器の小型化や電子部品等の高密度実装化が進むにつれて電子回路基板は配線設計の引き回しに制約が増え、その結果、信号伝送の妨げとなる様々な要因が含まれることになる^{1),3),4)}。そこで本研究ではまず、放射ノイズにもつながるこれら要因を抽出し、評価対

*電子情報部

象を図2に示すように (A)線路の幅・間隔の違い、(B)2線路間を伝送する信号のずれ、(C)線路の屈曲、(D)線路片側の板端片寄り、と設定した。これら(A)～(D)を図3の評価用基板として試作し、線路に試験信号を入力した際の信号の透過・反射等の電気的特性や放射ノイズ特性を定量的に評価した。

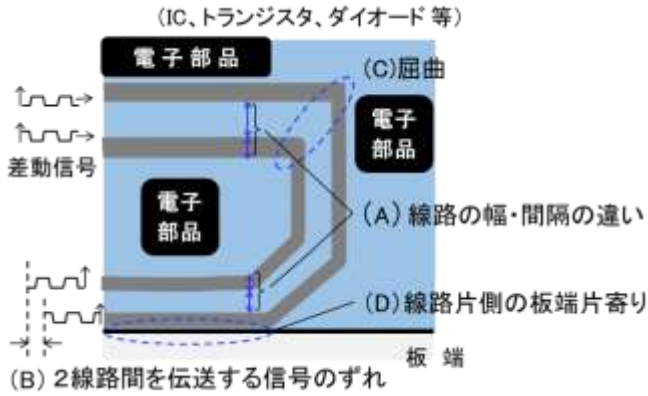


図2 差動線路の放射ノイズ発生要因

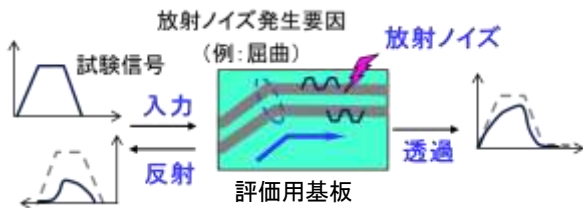


図3 差動線路の特性評価方法

2. 2 評価と分析

2. 2. 1 2線路の幅・間隔の違いによる特性

2線路の幅・間隔の違いによる特性差を評価した回路モデルは、図4に示すように全長173mm、幅14mm、厚み0.1mmの基板に配線したもので、線路幅 w 、線路間隔 s をパラメータとして(w, s)の組み合わせを①(0.195, 2.34)、②(0.14, 0.16)、③(0.10, 0.11)(単位:mm)に設定した。これら①～③の特性差をより明確にさせるため、基板中央部に幅1mmのグラウンドスリットを設けてある³⁾。まず、本モデルについて放射ノイズ強度を電磁界シミュレーションにより解析した結果を図5に示す。これより、(w, s)を狭くした方が放射ノイズ強度を抑えられることがわかる。しかし、ある程度の細さでその効果が頭打ちとなることも推察される。次に、同モデルの電気的特性(透過)を実測、及びシミュレーション解析を行ったところ、図6に示すようにいずれも線路幅が細いほど電気的特性のレベルは下がるが、放射ノイズ特性と同様に、線路幅・間隔がある程度の細さで特性への影響は小さくなるものと考

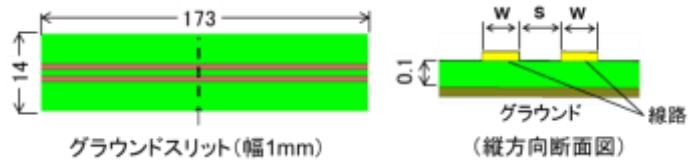


図4 線路幅・間隔の違い評価モデル

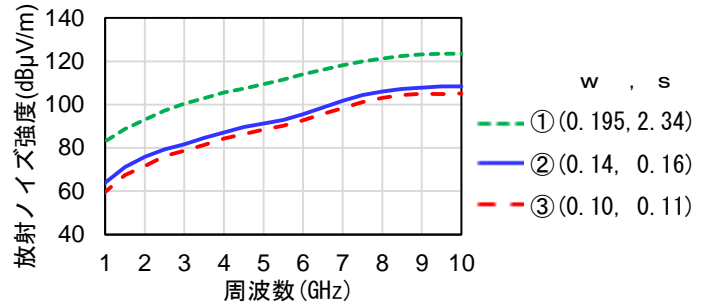


図5 線路の幅・間隔の違いによる放射ノイズ強度特性

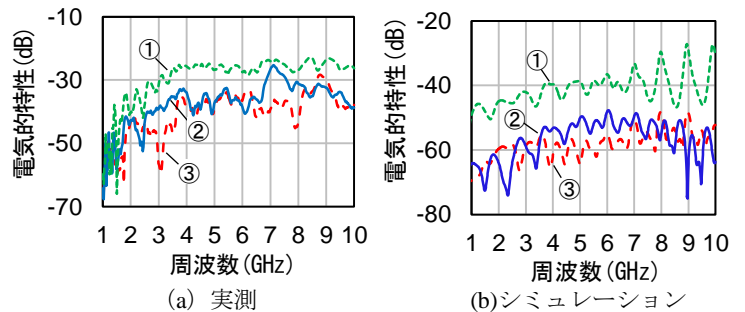


図6 線路の幅・間隔の違いによる電気的特性 (透過)

えられる。以降、本稿では線路幅・間隔を③の条件を基準として解析を進めることとした。

更に、図5と図6の比較により放射電磁ノイズ特性と電気的特性(透過)の定性的な傾向が良く一致しており、電気的特性(透過)の把握により放射ノイズ特性の概略を把握することが可能といえる。このことは、放射ノイズの測定が時間やコストを要する一方、電気的特性は比較的容易に把握できるため、簡易評価の際に有用であることを示唆している。

2. 2. 2 2線路間を伝送する信号のずれ特性

図7の評価モデルにより2線路間を伝送する信号のずれによる影響を評価した。ここで、速度5Gbpsの2信号間のずれ量を dx として本解析モデルに入力した際の放射ノイズ強度の評価結果を図8に示す。これより、放射ノイズ強度は dx に対し、整数倍の周期ごとに最大と最小を繰り返すことがわかる。更に、信号のずれ0.5波形(100ps相当)に対する増加が40dB程度と非常に大きいことから、ずれの発生が僅かでも放射ノイズに影響を及ぼしやすいといえる。

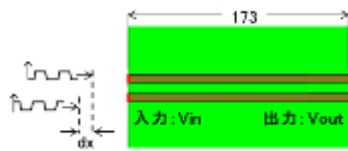


図7 2線路間を伝送する信号のずれ評価モデル

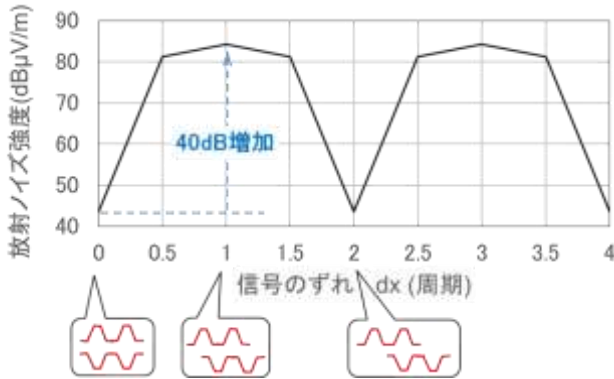


図8 2線路の信号のずれによる放射ノイズ強度特性

このずれによる放射ノイズの発生要因について詳細に調べるため、入力と出力の信号波形を比較検証した。図9にその解析結果を示す。同図(a)は入力2信号にずれがない場合(V1_in/V1_out), 同図(b)は2信号を0.5周期ずらして入力した結果(V2_in/V2_out)である。これより、入力に対する出力はいずれも波形が崩れているが、(a)では2つの波形が対称性を保っているのに対し、(b)では大きく歪みを生じることが確認できる。このことから、伝送する信号のずれが波形の対称性を損ない、放射ノイズの発生要因に繋がると推測される。

次に、伝送する信号のずれ補正の際に用いるミアンダリ(蛇行配線)の特性について評価を行った。これは2線路において信号が先に進む側にミアンダを挿入することでずれを補正するもので、本検証では図10に示す

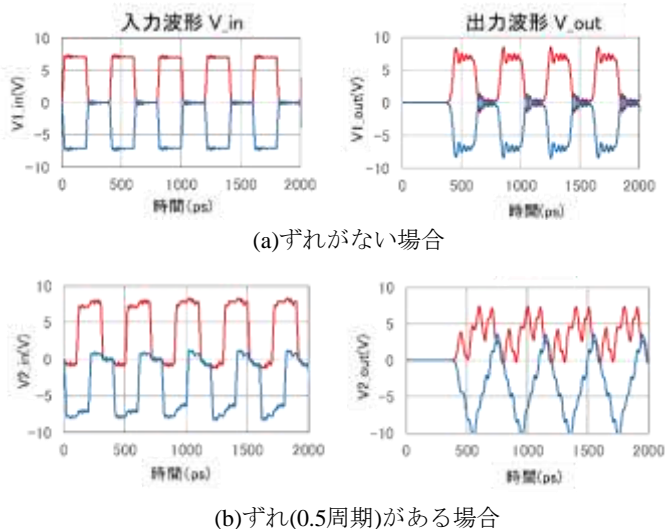


図9 入力2信号間のずれの有無による入出力波形

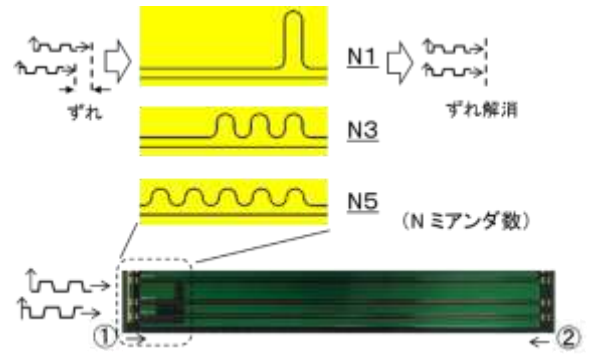
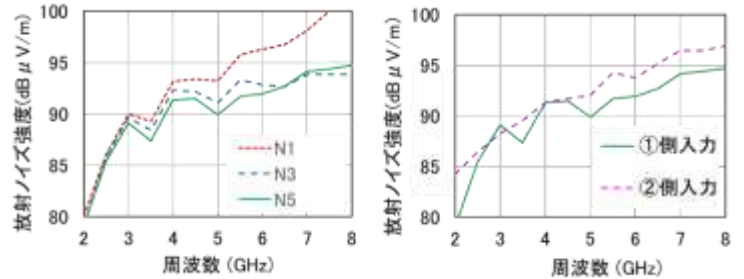


図10 ミアンダの特性検証モデル



(a)形状と数による特性 (b)配置位置による特性

図11 ミアンダによる放射ノイズ強度特性

ように70ps相当のずれを補正するミアンダを数と形状の調整により3通り(N1, N3, N5)用意し、ずれのある差動2信号を入力した際の放射ノイズ強度を評価した。図11(a)の結果より、放射ノイズの抑制効果は、 $N5 > N3 > N1$ の順であった。次に、最も効果のあったN5を用い、伝送する信号のずれに対するミアンダ位置による放射ノイズ特性を評価した。図11(b)は信号のずれに対し、ミアンダが直後に配置された①側入力とミアンダが信号のずれから離れて配置された②側入力の出力波形を比較した結果で、①側入力の方が放射ノイズレベルが低い。以上の結果より、ミアンダは大きな形状でずれ補正を一度に図るより、小さな形状で多数配置すること、及び伝送する信号のずれに早期に対処することで放射ノイズ抑制効果が高くなることがわかった。

2. 2. 3 線路の屈曲特性

線路の屈曲部において曲部形状の違い($\theta=90^\circ, 150^\circ$, カーブ)による特性差を評価した。図12に評価モデルを、図13にその解析結果((a)放射ノイズ強度, (b)電気的特性(透過))を示す。これより、曲部形状 $\theta=90^\circ$ に対し、角度をゆるくしたり、カーブ状にすることで放射ノイズ、及び電気的特性(透過)が共に低下しており、配線設計において曲部を設定する際は直角を避けるべきであることを確認した。

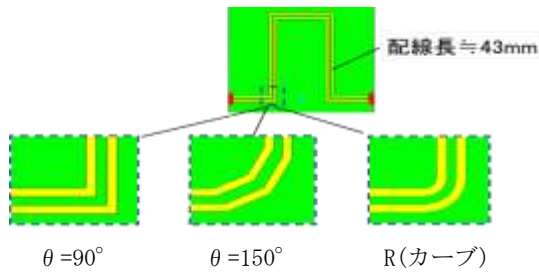


図12 屈曲特性評価モデル

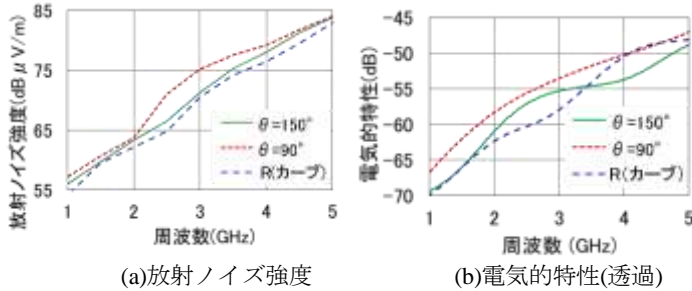


図13 屈曲特性評価結果

2. 2. 4 線路片側の板端片寄りによる特性

図14の基板(全長: 70mm, 幅35mm, 厚み: 0.1mm)において板端と差動線路との距離 $dy=0w, 3w, 5w$, $15w, 30w$ (w : 線路幅)とした条件で解析を行った。図15(a)に放射ノイズ強度の評価結果を示す。これより、差動線路の片側が板端に接する $dy=0w$ の場合に最もノイズを放射することが分かる。また、 dy が大きくなるに伴い放射レベルは下がり、 $30w$ で片寄りのない場合とほぼ同等となる。更に、各 dy の評価結果において実線($w=0.3mm$)と破線($w=0.1mm$)の比較により、線幅の細い方が放射ノイズ強度が低くなることもわかる。

一方、 $dy=5w$ の同モデルにより透過の電気的特性を

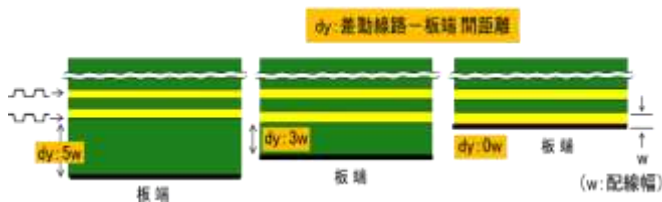


図14 配線の板端偏り評価モデル

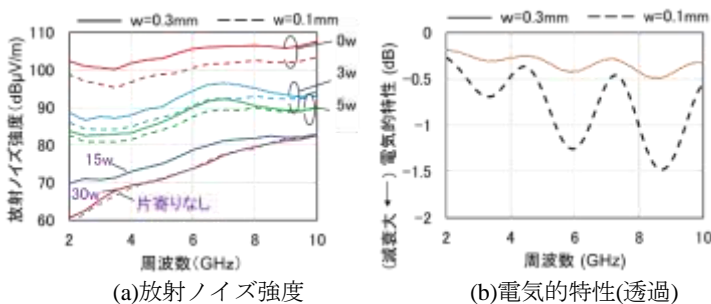


図15 配線の板端偏り評価結果

評価したところ、図15(b)に示すように線幅が細い方が信号の減衰が大きくなった。これは、線路幅の減少により線路抵抗が増加するためである。

以上より、線路幅・間隔はノイズの抑制と信号振幅減衰の兼ね合いにより、適切に選定する必要がある。

3. 結 言

差動線路の透過特性と放射ノイズを評価・分析し、ノイズの抑制手法を検討した。その提案内容を表1にまとめた。本設計指針について関連の県内企業に技術移転を行っており、今後実設計への適用とフィードバックにより実用性を高め、企業の製品開発支援につなげていく。

表1 差動線路の放射ノイズ抑制手法の提案

構成要素	対策前	対策後
線路の幅・間隔		線幅・間隔を狭く
2線路間の伝送信号のずれ		早期に補正
線路の屈曲		屈曲部をゆるく
線路片側の板端片寄り		板端から離す

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、評価用基板の設計や試作へのご協力、並びに評価条件や結果についてご意見を頂きました東京ドロウイング(株)、EIZO(株)の担当者各位に感謝します。

参考文献

- 1) 須藤俊夫, 工藤潤一, 黄躍芝, 伊藤健志. 差動伝送線路とミアンダ線路の電気的特性. エレクトロニクス実装学会誌. 2001, Vol. 4, no. 7, p. 562-567.
- 2) 萱野良樹. 非対称な差動伝送線路からの電磁放射特性. エレクトロニクス実装学会誌. 2015, Vol. 18, no. 5, p. 353-357.
- 3) 中西秀行. 差動伝送路の設計と信号品質. エレクトロニクス実装学会誌. 2013, Vol. 16, no. 3, p. 181-184.
- 4) 米田諭, 潮翔吾, 宮崎千春, 岡尚人. 差動伝送線路におけるEMC設計の検討. 信学技法. 2011, Vol. 111, no. 492, p. 31-35.