

**HFTA-13.0**

Rev. 2; 05/08

---

---

## 低 EMI 放射のための外部ケーブルの設計

類似した記事が 2004 年 12 月号の『Planet Analog』誌に掲載されています。

---

---

## 低 EMI 放射のための外部ケーブルの設計

ケーブル損失を補償する集積回路(イコライザ)が登場したことによって、システムは、非常に長い銅ケーブルを介して高速データを送信することができるようになりました。ケーブル損失のイコライゼーション<sup>1</sup>のために集積回路を使用すると、通信システムの相互接続コストが大幅に削減されます。最適な性能を得るためには、これらのシステムで、ケーブルとコネクタからの放射を最低限に抑える必要があります。

距離およびデータレートは、以前は光ファイバにのみ関連する特性でしたが、現在では銅ケーブルにも関連する特性となっています。このため、高コストの光モジュールを使わずに済みます。現在、「銅線モジュール」は、ファイバモジュールに直接取って代わるものとして利用可能です。銅線とイコライザデバイスを組み合わせれば、長いケーブルを介して、信号の歪みが非常に少ない 3.2Gbps のデータを受信することができます。イコライゼーションを追加すると、115 フィート(35m)のケーブルを伝播する 3.2Gbps のデジタル波形が大幅に改善されることがわかります(図 1 を参照)。マキシムのイコライザデバイスは、12.5Gbps という高レートで動作します。

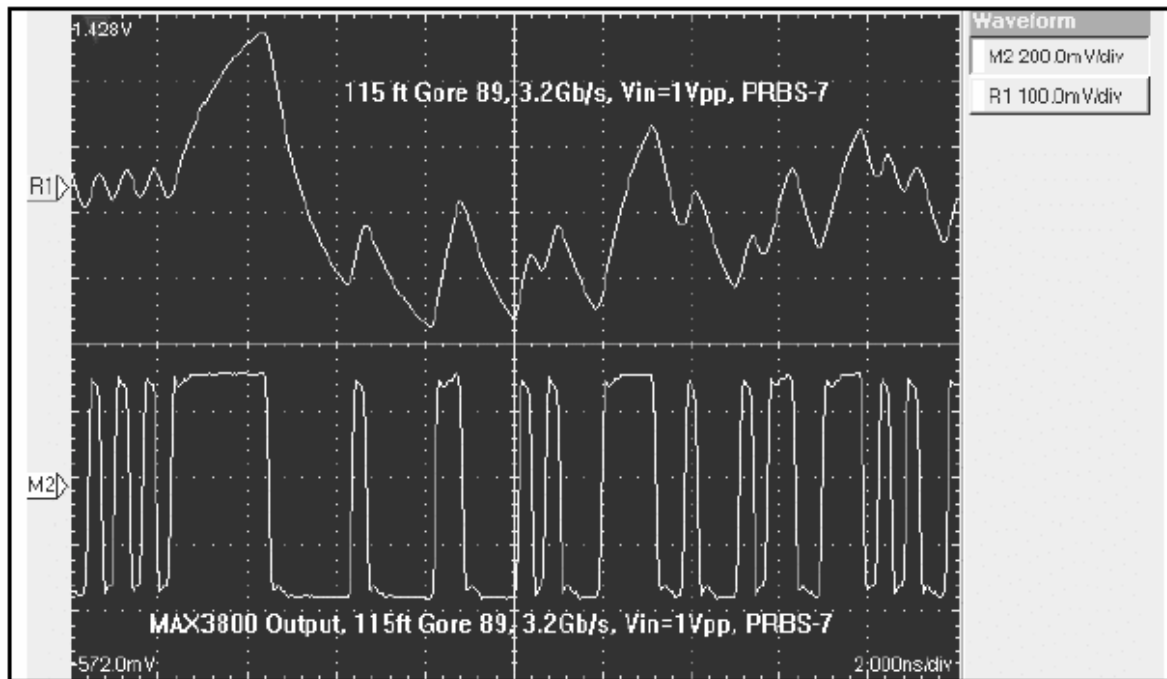


図 1. 115 フィートのケーブルを用いた 3.2Gbps の信号(イコライゼーションの前後)

銅ケーブルによる高ビットレートの相互接続アセンブリは、信号の完全性を明確に示し、レシーバに最大電力を(最小限の漏れで)出力するという、正常な伝送チャネルとしての役割を果たす必要があります。これらのアセンブリからの信号の漏れは外部の世界に対する電磁波妨害(EMI)となります。EMIは、FCC<sup>2</sup>とEC<sup>3</sup>の規格に基づいたEMCの順守宣言に機器を適合させる場合の主要な検討事項になります。

<sup>1</sup> イコライゼーションとは、通信回路において、周波数に依存した減衰を補償することであり、回路の動作周波数範囲で信号を等しく減衰させることを目的とします。

<sup>2</sup> Federal Communications Commission (米国連邦通信委員会)

<sup>3</sup> European Council (欧州理事会)

以下の考察では、伝送距離を延長し、システムコストを削減するケーブルのイコライゼーションについて述べ、低水準にまで放射を低減する簡単な方法について説明します。

さまざまな機器を相互接続するケーブルとコネクタを特定することで、干渉を防ぎ、また放射エネルギーに対する感受性の相互影響を予防する必要があります。銅線で相互接続するケーブルシステムの場合、以下の手段が放射の低減に有効です。

- 信号ラインの平衡状態を保つ
- フェライトビーズを追加する
- ケーブルをねじる
- ケーブルにシールドを付ける
- ケーブルおよびバックプレーン用の終端抵抗コネクタを使用する

## 平衡システム

平衡ケーブルシステムは、正と負(バイポーラ)の信号を搬送する 2 本のワイヤで構成されています。この正と負の信号は、3 本目のワイヤ(すなわちグラウンド)を基準としています。2 本の信号ワイヤにはすべての信号電流が含まれるのが理想的です。ただし、差動ライドライバが不完全であるため、信号ワイヤには、両方の信号ラインに共通する、ノイズ、電源からのハム、および温度の影響などの不要信号が含まれることになります。これらの共通信号を除去する差動レシーバの能力は、コモンモード除去比(CMRR)と呼ばれる性能指数で表されます。CMRR は、コモンモード利得に対する差動モード利得の比で、一般にデシベルで表されます。

平衡システムの性能に影響を及ぼすもう 1 つの要因は、2 本の信号ワイヤの長さの違いに起因する、信号間のタイムスキューです。差動信号のエッジがずれると、長さの違いから接地系統に小さな電圧スパイクが生じる場合があります。

平衡出力を持たないシステムの場合、出力上にトランスを組み込むことによって平衡出力を得ることができます(図 2 を参照)。トランスは一般にシステムの出力の近くに設置します。トランスによって DC アイソレーションが実現します。また、グラウンド電位が元のシングルエンドシステムの電位とは異なる可能性のあるシステムについても、トランスの接続は有効です。

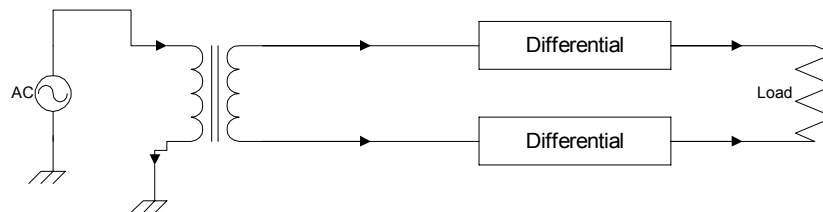


図 2. 差動出力に対するシングルエンドのトランス変換

アンプと同様、トランスも理想的ではありません。トランスを使用すると、出力端にて少量の一次電流が差動モード電流として現れます。このモード変換の影響は、高周波数において最もよく現れます。もう 1 つの避けられないトランスの特徴に、1 次巻線と 2 次巻線との間の容量があります。この容量によって、出力に対するエネルギーのコモンモード結合が生じ(周波数とともに増大)、不要な放射が増大することになります。

## フェライトビーズ

差動信号のワイヤの上を滑る小さなフェライトビーズまたはトロイドは、不平衡(損失)トランスとしての役割を果たし、これによって、コモンモード電流を低減します。フェライトビーズは、スイッチングトランジェントおよびその他の高周波信号の高周波成分の減衰に有用です。フェライトビーズは、ビデオモニタで使われる電源内部やケーブル上でよく使用され、これらのシステムの EMI を低減しています。

フェライトビーズはローインピーダンス回路で最もよく機能します。ローインピーダンス回路では、50MHz で 500Ω もの高ビーズインピーダンスが得られます。ビーズのコアを飽和させてビーズコアの有効性を減少させることのないように注意する必要があります。ただし、マルチペアケーブルに対してフェライトビーズを使用すると、これらのペア間クロストークが増大する可能性があります。たとえば、さまざまな負荷インピーダンスを備えた共通ビーズについての挿入損失を検討してみてください(図 3 を参照)。

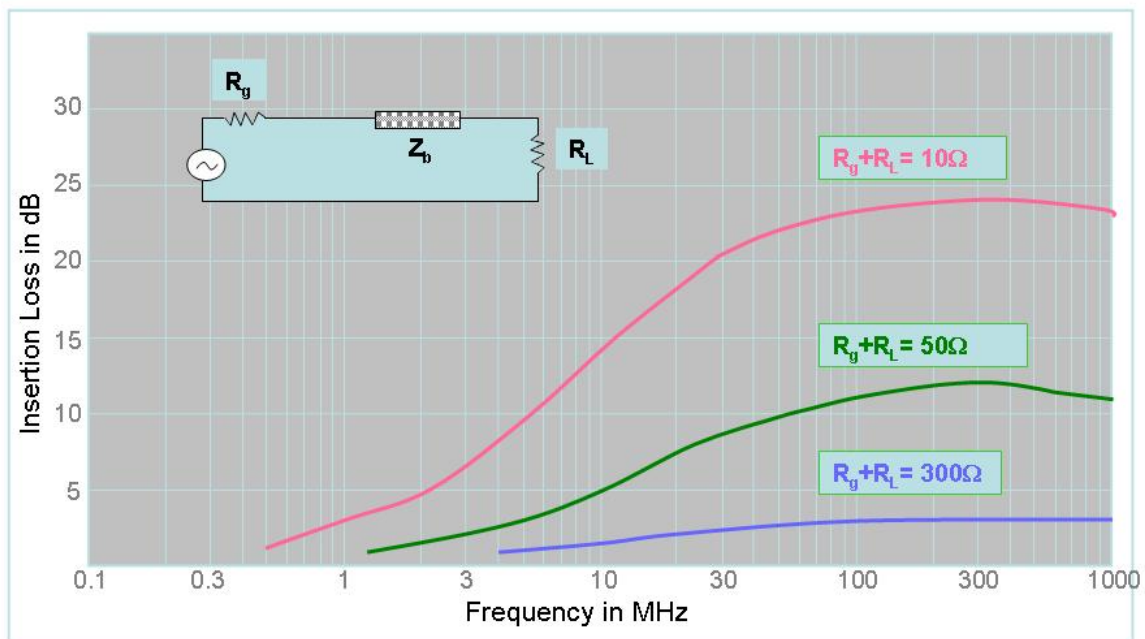


図 3. ビーズの挿入損失対周波数<sup>4</sup>

## ケーブルのねじり

信号ペアの 2 本のワイヤをともにねじると、差動モードの放射は大幅に減少しますが、コモンモードの放射はほとんど影響を受けません。差動信号方式は、放射を 20dB~30dB 減らします(シングルエンドに対して)。信号ペア

<sup>4</sup> Michel Mardiguan 『Controlling Radiated Emissions by Design (設計による放射妨害波の制御)』 221~255 ページ、Van Nostrand Reinhold から引用

のねじれごとに、ねじれから生じる磁場は隣接ペアのねじれから生じる磁場を相殺します。その結果、ねじれが同じ方向を向く場合、隣接ペアに結合された磁場はほぼ 0 です。

1 つの束でマルチツイストペアを使用している、ほとんどのケーブルの場合、各ペアはさまざまなねじれ率を示します。このばらつきは、ねじり工程でのわずかな非対称が原因で生じる結合を相殺する傾向があります。例として、ほとんどのイーサネットネットワークで使われているカテゴリ 5 ケーブルではペアのねじれ率が異なっていることがわかります。

## ケーブルのシールド

ケーブルのシールドは、放射を制御する上での重要なパラメータです。シールドの有効性は、伝送インピーダンスによって特性化されます。伝送インピーダンスは、シールド表面に流れる電流と反対側のシールド表面に生成される電圧に関連します。電圧は、シールドの厚さを通過する拡散電流によって決まります。

編組シールドの有効性は、漏洩インダクタンスによっても影響を受けます。漏洩インダクタンスは、シールドの厚さと密度に関係します。これによって、周波数が高くなるにつれてシールドの有効性が減少することになります。最良のシールドはセミリジッド同軸ケーブルなどの壁の厚い硬質管です。数種類の同軸ケーブルについての伝送インピーダンスを図 4 に示します。

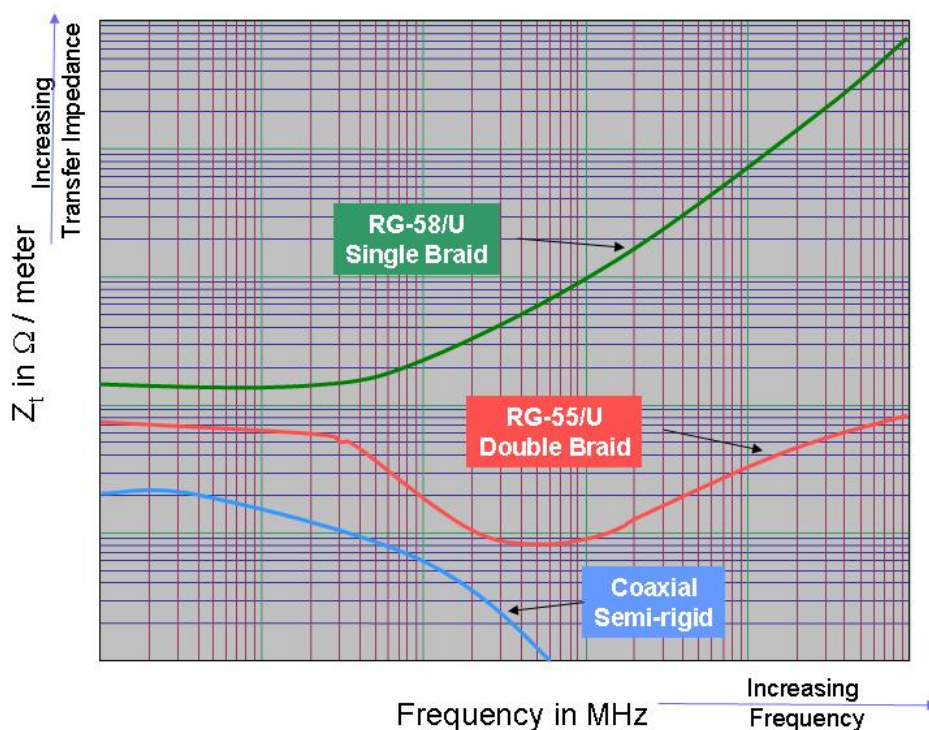


図 4. さまざまなタイプのケーブルの伝送インピーダンス。<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Michel Mardiguan 『Controlling Radiated Emissions by Design (設計による放射妨害波の制御)』 221~255 ページ、Van Nostrand Reinhold から引用

シールド付きツイストペアなどの平衡シールド付きライン(twinax)を使用すると、放射がさらに減少します。シールドがリターン経路として使用されなくなるからです。このため、シールドを流れる唯一の電流は、平衡ラインの非対称性によって生じる電流になります。したがって、信号ラインの全信号電流に対するシールド電流の割合分だけ放射は減少します。

### ケーブルおよびバックプレーンの終端抵抗コネクタ

ケーブルアセンブリでは、負荷またはソースへの最終接続部が、ケーブルの性能にとって重要です。良好なシールドとシステムグラウンドへのローインピーダンス接続を実現するコネクタは、極めて重要なものとなります。コネクタが信号経路と直列であるからです。

表 1. コネクタの抵抗対周波数

Connector Type	DC to 10MHz	100MHz	1GHz
BNC Connector	1mΩ to 3mΩ	10mΩ	100mΩ
N Connector	< 0.1mΩ	1mΩ	10mΩ
Shielded Multiconductor	10mΩ to 50mΩ	10 to 50mΩ	300mΩ
Pigtail, 5 cm	$Z = 3m\Omega + j0.3\Omega \times$ frequency (MHz)	← same	← same

高速な多重終端抵抗コネクタを必要とするバックプレーンアプリケーションの場合、いくつかの製造業者が最大 12Gbps の信号レートで動作するコネクタシステムを製造しています。このシステムは、差動ペアと、十分にインピーダンスとシールドを抑制した接地系統で構成されています。たとえば、Teradyne と Molex は、VHDM、VHDM-HSD、および Gbx と呼ばれる複数シリーズのコネクタを製造します。これらのコネクタは、コネクタケースに組み込まれたグラウンドプレーンを利用しています。この構造によって、インピーダンスが抑制され高水準のシールドが可能になります。IEC (International Engineering Consortium: インターナショナル エンジニアリング コンソーシアム)が、このタイプのコネクタに関する手引書を作成しています(「参考資料」の項に挙げた IEC のウェブサイトを参照)。

#### 参考資料

Michel Mardiguian, “Controlling Radiated Emissions by Design,” pp 221-255, Van Nostrand Reinhold.

Arthur J. Glazar, “A Software Implementation of TL Field-to-Cable Coupling Equations,” [http://www.ieee.org/organizations/pubs/newsletters/emcs/fall00/a\\_software.htm](http://www.ieee.org/organizations/pubs/newsletters/emcs/fall00/a_software.htm).

Tim Williams, “EMC for Product Designers,” Linacre House Publications.

Howard Johnson, “High-Speed Digital Design, A Handbook of Black Magic,” pp 295-338, PTR Prentice Hall Publications.

IEC Tutorial: “Signal Integrity—Multi-Gigabit Transmission over Backplane Systems,” at [http://www.iec.org/online/tutorials/signal\\_integrity/](http://www.iec.org/online/tutorials/signal_integrity/).

Howard Johnson, “High-Speed Signal Propagation, Advanced Black Magic,” PTR Prentice Hall Publications.

Eric Bogatin, “Signal Integrity Simplified,” Prentice Hall Modern Semiconductor Design Series.