

Application Note:

**HFAN-4.5.4**

Rev. 1; 04/08

---

---

ツイストペアが不平衡なときの「ジッタ発生」

---

---

## ツイストペアが不平衡なときの「ジッタ発生」

確定的ジッタ(DJ)は、ツイストペア(STP または UTP)内での、差動モードからコモンモードへの変換(またはその逆の変換)によって生じる可能性があり、これは通常、ツイストの不平衡や誘電体の不平衡の結果として生じるものです。

### 1 目的

タイトルには「ペアの不平衡」とありますが、本書はカップルの精神病理学について記載した文書ではありません。

本書では、データレート > 500Mb/s の場合の、高品質のツイストペアケーブルと低品質のツイストペアケーブルとを区別するためのテスト方法について説明します。測定例は、ツイストペアケーブルによって生じるペア内の重大な遅延スキューが、イコライザを使用しても、あるいはスキューを補償しても回復できない問題となる可能性があることを示しています。

ケーブル固有の特性(コモンモードの損失が大きいなど)によって、他に非対称があってもペア内スキューを軽減できるという望ましい報告がなされています。

### 2 テストケース: デジタルビデオ

DVI と HDMI のデジタルビデオ規格は、最大 1.65Gb/s のシリアルレートで長い STP (Shielded Twisted Pair: シールド付きツイストペア)ケーブルを用いたデータ伝送について規定しています。極めて長いケーブル(たとえば 15~30 メートル)は、表皮効果による高周波損失とペア内スキューの両方の影響を累積的に受けます。

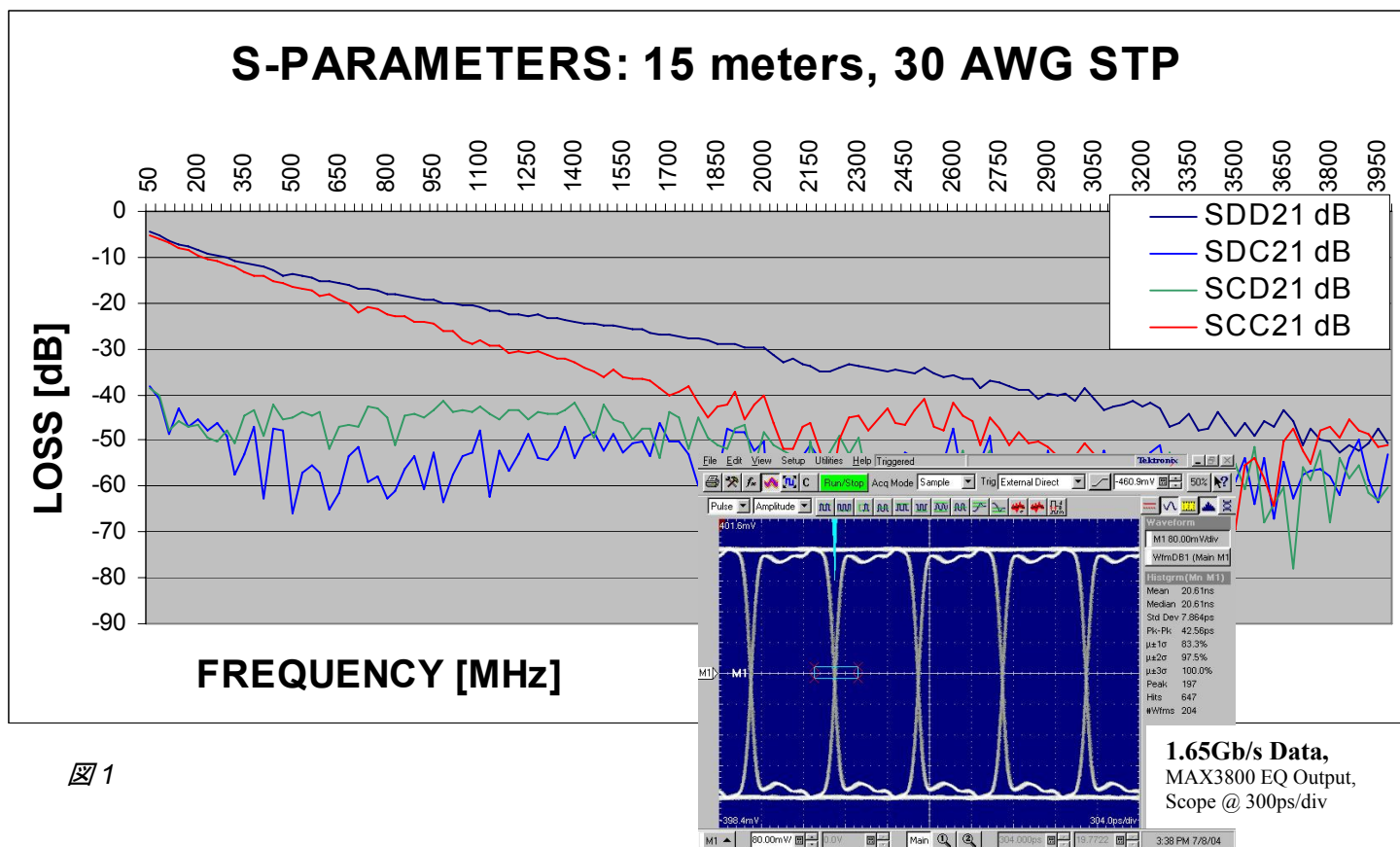


図 1

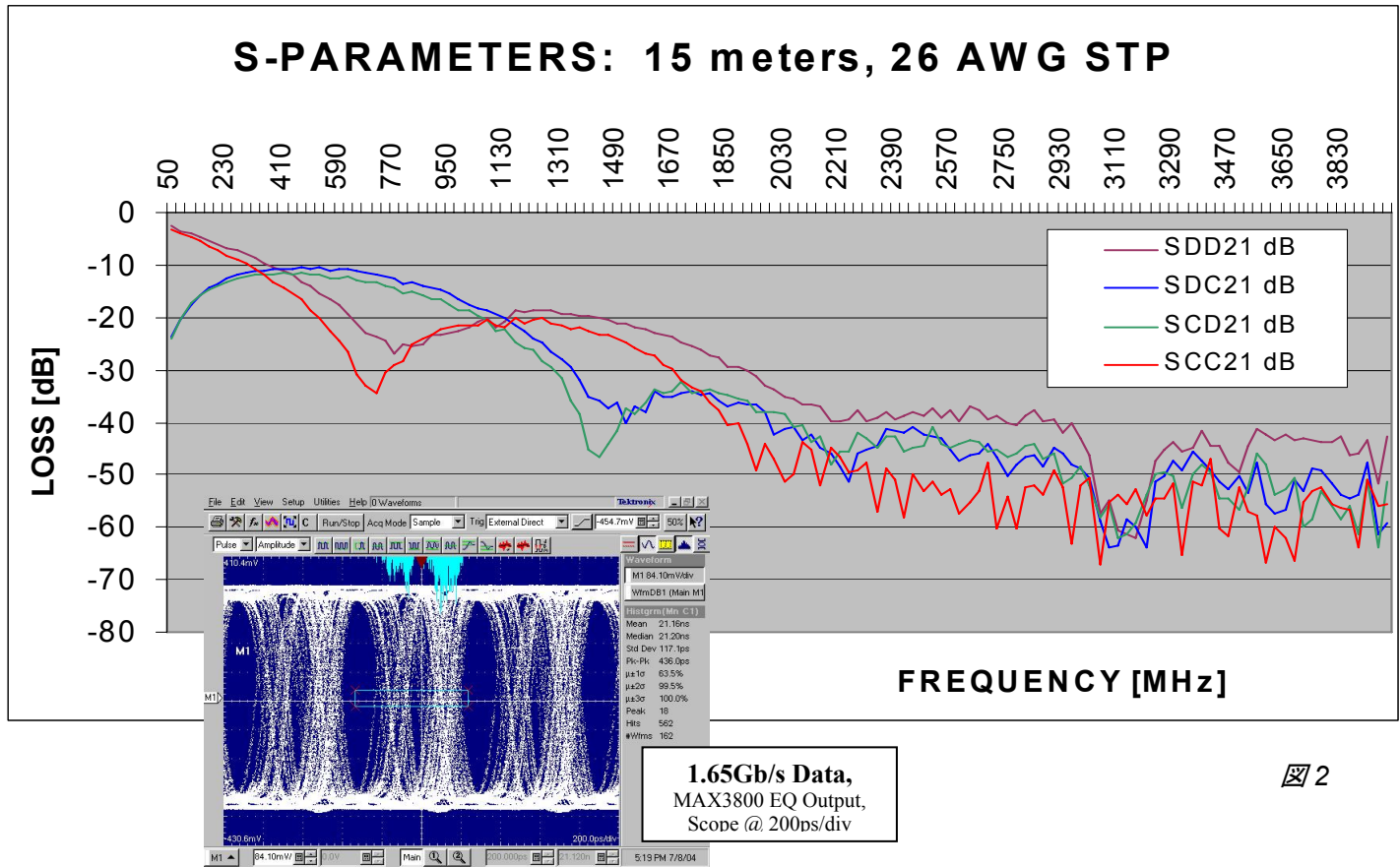


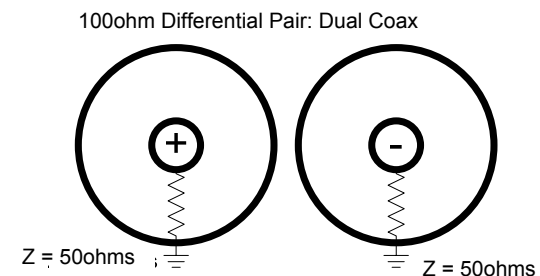
図 2

図 1 と図 2 は、15m (50 フィート)の経済的な STP ケーブルを用いた 1.65Gb/s の DVI 信号のサンプルを示しています。最初の図(図 1)は優れた性能を示し、次の図(図 2)は貧弱な性能を示しています。図 1 は、差動モードからコモンモードへの変換が小さい(SDC21)、典型的な表皮効果の損失(SDD21)を示しています。

図 1 と図 2 のスコープ写真は、最新の MAX3800 イコライザが、累積した表皮効果の損失について、1.65Gb/s のデータを補償している様子を示しています。図 1 は優れた結果を示していますが、図 2 は、差動モードからコモンモードへの変換、すなわちペア内のスキューが大きいため、等化後に確定的ジッタ(DJ)が残留していることを明確に示しています。

### 3 「単純な」ペア内スキュー

差動の掃引正弦波が差動ケーブル上で励振されている場合、差動モードからコモンモードへの変換およびその逆の変換の結果として、ケーブルペアの内部にいくらかのペア内スキューが発生します。コモンモードへの変換は周波数によって変化するため、一定量のペア内スキューがあると、デジタル差動信号の忠実度が損なわれ、回復不能になる可能性があります。

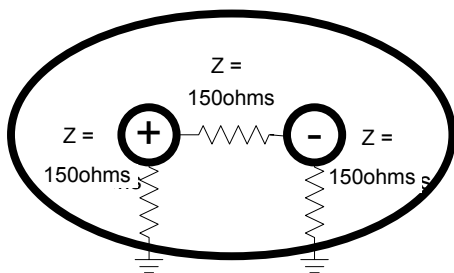


当然ですが、この単純なケースの「純粋な遅延差」は、2本のケーブルのうちの短いケーブルの信号経路に相応の「純粋な遅延」を挿入することによって調整することができます。これは概念的には簡単に実現できそうですが、一般的なケースでのソリューションとはなりません。

#### 4 結合型の差動ペア(STP、UTP、Twinax)

ここからは、実際的な結合型の差動ペア(シールドのある場合、またはない場合)について考えてみましょう。このケーブルは、グランド(たとえばシールド)との結合に加えてペア間の結合によって特性差動インピーダンスの一部を生み出します。

100ohm Differential Pair: Twisted Pair or Twinax



差動ペアにおける不平衡(長さ、ツイスト、または誘電体環境が非対称など)によって、若干のペア内スキューが発生します。

ただし、結合型の差動ペアの場合、ペア内スキューは通常、前項で説明したデュアル同軸ケーブルの「理想的な」予測可能スキューの場合のように、単純なスキューとして動作しません。「理想的な」デュアル同軸ケーブルのケースとは異なり、結合型の差動ペアは、差動モードとコモンモードについて異なる損失と速度の影響を受けます。たとえば図 1 で、差動モード(SDD21)とコモンモード(SCC21)では、損失特性が異なることがわかります。ペア内スキューは、累進的にこの2つのモード間の信号エネルギーを変換するため、最終的にケーブルの端では、「理想的な」遅延差(スキュー)ではなくなります!

当然ですが、「長さを等しくする」、「ツイストを対称にする」、さらに「誘電体環境とシールド環境での平衡性を考慮する」ことによってペア内スキューを最小限に抑えることができます。これは、経済的な市販のケーブルには難しい要求となる場合があります。たとえば、データレートが 1.65Gb/s で 100 フィート(30m)の DVI デジタルビデオケーブルの場合、電気的な長さにわずか 1

インチの非対称があるだけで、0.25 ユニットインターバル(UI)の誤差が生じます。

幸いなことに、経済的なケーブルの構造において、固有のペア内スキューを低減するための方策があります。1つの方法は、差動モードの損失に比べてコモンモードの損失を増やすことです(ただし EMI シールドの性能を維持)。図 1 でわかるように、コモンモードの損失は差動モードの損失よりも少しだけ大きくなっています。他の低コストのケーブルでは、さらにコモンモードの損失が大きく、差動モードで予想どおりの優れた動作を示しています。この動作の基礎となるのが、ホイルシールドと誘電体の構築です。

#### 5 ケーブルの測定: 高品質のケーブルと低品質のケーブルとの区別

ペア内スキューの測定には、いくつかの方法が使用されています。ここでは、標準的なステップ遅延の方法よりはむしろ周波数領域の方法を推奨しています。

2つのシングルエンドのステップ遅延測定値の差を測定することによってペア内スキューを判断すると、間違いが生じる可能性があります。シングルエンドのステップ励振(一度に差動ペアの片側だけを励振する)は、差動モードとコモンモードの両方のエネルギーを励起します。伝播速度と損失はモード間で異なるため、得られる遅延の数値は差動モードだけの場合には当てはまりません。さらに、長いケーブルの性能は、このような短いケーブルの測定値から予測することはできません。

##### 5.1 周波数領域の方法: DVI の例

DVI アプリケーションの場合、特定の「長い」ケーブルアセンブリのテストは、選択した2つまたは3つの周波数(たとえば最大ビットレートの 1/2 (800MHz 正弦)、および最大ビットレートの 1/4 (400MHz 正弦))で行うことができ、差動モードからコモンモードへの変換(SCD21)かコモンモードから差動モードへの変換(SDC21)かを検知します。経験上、「低品質の」SCD21 または SDC21 は広範囲の周波数にわたって生じるため、いくつかのスポット周波数で測定するだけで十分です(つまり、見逃すことはありません)。SCD21 または SDC21 のいずれの応答も同一の結果を示すため、装置の入手性によっていずれかを選択することができます(表 1 を参照)。

目標は、SCD21(また同様に SDC21)が、ビットレート以下の全周波数において差動-差動への一次応答(SDD21)より少なくとも 12dB 下回ることです。これは、30AWG ケーブルでは達成されていますが(図 1)、26AWG ケーブルでは目標から完全に外れています(図 2)。特定のケーブル AWG については、この周波数での SDD21 の量(表皮効果による損失)が既知であるため、SDD21 を測定する必要はありません。

## 6 今後の展開

マキシムは、このようなケーブル関連の問題に対応する数多くのソリューションを紹介しています。このテーマは今後、記事やアプリケーションノートの形で展開していく予定です。

表 1

### RECOMMENDED CABLE QUALIFICATION FOR LONG DVI CABLES:

#### 1) Measure common-mode-to-differential conversion of a DVI cable assembly:

- a. *Apply Single-Ended sine-wave generator for frequencies 800MHz and 400MHz, and a 50ohm-Power-Splitter, so that the (+) and (-) of the differential STP cable can be driven together (in common-mode).*
- b. *View Differential Scope or Power Meter to measure cable conversion output at these two frequencies, where the (+) and (-) of the differential STP cable are sensed differentially.*
- c. *“PASS” a cable demonstrating it has output conversion measurement (SDC21) at least 12dB below the expected differential skin-effect loss (SDD21) at both 800MHz and 400MHz, respectively. (i.e., note Figure 1 passes easily, and Figure 2 fails)*

#### OR

#### 2) Measure differential-to-common-mode conversion of a DVI cable assembly:

- a. *Apply Differential sine-wave generator for frequencies 800MHz and 400MHz, where the (+) and (-) of the differential STP cable are driven differentially.*
- b. *View Single-ended Scope or Power Meter to measure cable conversion output at these two frequencies, and a 50ohm-Power-Splitter, so that the (+) and (-) of the differential STP cable can be sensed for the common-mode signal.*
- c. *“PASS” a cable demonstrating it has output conversion measurement (SCD21) at least 12dB below the expected differential skin-effect loss (SDD21) at both 800MHz and 400MHz, respectively. (i.e., note Figure 1 passes easily, and Figure 2 fails)*