

高速データ通信インタフェースのシグナルインテグリティ解析

高速データ通信インタフェースの解析は重要な作業です。これにより、シグナルインテグリティを確保します。この解析の主要な課題の1つは、物理インタフェースとオシロスコープ間の接続です。データ通信インタフェースの多くは、RFに適したテスト用の接続を提供していないからです。高速データ通信のIFと、オシロスコープのRFコネクタの間のブリッジとしてテストフィクスチャも必要ですが、これはシグナルインテグリティ測定に影響を及ぼします。R&S®RTPおよびR&S®RTO2000オシロスコープに高度ジッタ解析オプションを搭載すれば、ジッタの成分を分離できます。それだけでなく、オプションによってテストフィクスチャとトレースの影響を本質的に評価できるので、ユーザーはテストセットアップの影響を十分に理解することができます。

課題

PCIe、USB、SATA、HDMI™などの高速データ通信インタフェースを特性評価する必要があります。シグナルインテグリティはこの特性評価の重要な一部で、課題の1つはDUTと測定機器を適切に接続することです。測定機器には、オシロスコープ、スペクトラム・アナライザ、ベクトル・ネットワーク・アナライザがあります。

一般的に、高速通信インタフェースは民生品向けに設計されていて、SMAコネクタなどとは異なり、RF特性が定義されていない低コストの商用コネクタを使用しています。インタフェースと測定機器の間のブリッジとしてテストフィクスチャが必要ですが、このようなテストフィクスチャは無視できない影響を測定に及ぼします。ディエンベディング手法の採用は可能ですが、テストフィクスチャの特性評価は困難です。

ローデ・シュワルツのソリューション

R&S®RTPおよびR&S®RTO2000オシロスコープでは、詳細なシグナルインテグリティ解析が可能です。ジッタ解析により、主要なパラメータを分離できます。ビット・エラー・レート (BER) を除くすべてのパラメータを、タイムドメインにトラックとして、周波数ドメインにスペクトラムとして表示することができます。統計をヒストグラムとして表示することもできます。

さらに、R&S®RTP-K133/RTO-K133の高度なジッタ解析オプションにより追加される2つの新しい機能によって解析が強化され、一般的なジッタパラメータを超える解析が可能になります。

- ▶ 合成アイダイアグラム: データのアイ上で特定のジッタパラメータの効果を探求することができます。
- ▶ 送信チャネルのステップ応答の固有測定: DUT、テストフィクスチャ、配線のデータ依存特性が含まれます。

ステップ応答にはテストフィクスチャがシグナルインテグリティ解析に及ぼす影響が含まれるので重要です。ユーザーは、ステップ応答に基づいてさまざまな測定を実行し、テストフィクスチャが解析に及ぼす影響を理解することができます。

アプリケーション

例として、本アプリケーションカードでは、ビット・エラー・レート・テスト (BERT) によって生成されたスペクトラム拡散クロック方式 (SSC) の差動信号 (8.125 Gbps、PRBS31) でジッタが追加されていないものの解析を説明します。信号は、PCIe Gen4 ISIボード (PCIe-VAR-ISI) 上の長いトレースを経由して伝搬します。ボードによって生じる符号間干渉 (ISI) が、ジッタに含まれる成分の大部分です。このセットアップでは、ベクトル・ネットワーク・アナライザ (VNA) を使用してステップ応答 (最後に掲載) を検証することにします。



レシーバーがデータの受信とクロック制御を行うのと同じ方法でジッタを解析することが重要です。そのため、オシロスコープは、差動TXデータを補足し、ハードウェア式のクロック・データリカバリー (CDR) を使用してデータ信号にトリガをかけます (図1参照)。R&S®RTPハイパフォーマンス・オシロスコープの高い更新速度 (122,000波形/秒) に注目してください。

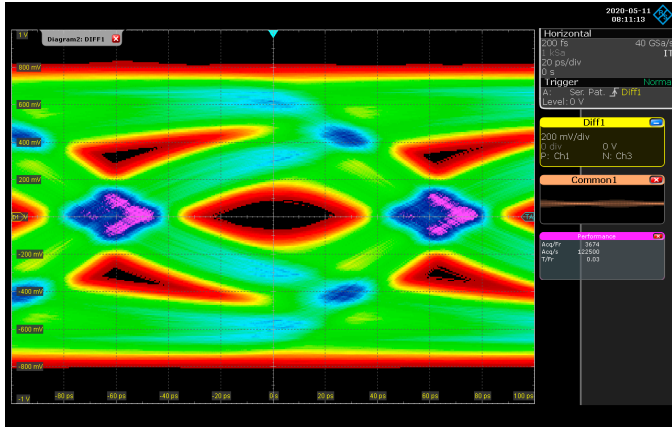


図1: ISIが大きいPRBS31の差動アイパターン。

解析の前に、収集時間を、周期ジッタ解析に必要な最小周波数分解能を考慮した値に設定します。スイッチングモード電源 (SMPS) の範囲である最小40 kHzの分解能と40 Gサンプル/秒を実現するために、レコード長を2 Mサンプル (=2x (サンプリングレート) ÷ (SMPSスイッチング周波数)) に設定します。その結果、収集時間は50 μ sになります。

ジッタ分離アルゴリズムにより、差動チャンネルはNon-Return-to-Zero (NRZ) 信号として解析されます。必要なCDRは、16 MHz帯域幅の第2次フェーズロックループ (PLL) によって設定されます。

図2のジッタ分離では、結果が表形式で表示され、統計データはヒストグラム (TJ、RJ、PJ、DDJ) として¹⁾表示されています。予測どおり、支配的なのはDDJです。BERのバスタブ曲線では、BERの測定値と計算値がかなり一致しています。この分離の新しい部分は、予測ステップ応答です。これは図2の中央に表示されています。ステップ応答は、チャンネルの伝達関数に理想ステップを印加したときの結果です。未校正のテストフィクスチャは、本質的にこの予測の一部に含まれます。

¹⁾ TJ: 全ジッタ、RJ: ランダムジッタ、PJ: 周期ジッタ、DDJ: データ依存ジッタ

ユーザーは、オプションを使用してステップ応答長を予測に設定します。このケースでは、75 UIに設定されています。ステップ応答長の設定は、次の3つの原理によって決定します。

- ▶ ステップ応答長が長くなるほど、計算時間は長くなる。
- ▶ ステップ応答長は、チャンネルメモリよりも長い必要がある。長いステップ応答は、詳細なステップ応答解析に役立つ。
- ▶ パターン長の実行は、ステップ応答長よりも長い必要がある。

ユーザーは、カーソルや自動測定などの使い慣れたツールによりステップ応答を解析することができます。この例では、立ち上がり時間はカーソルで測定しています。立ち上がり時間 t_r の測定により、ユーザーは、チャンネルの帯域幅 f_B を、 $f_B = 0.35/t_r$ の式によって予測します。これは、単極ローパスフィルタに有効な式です。

この後、周波数ドメインでのさらに詳細な解析が重要になります。伝達関数のオーバーシュート、ドループ、リングングなどのトピックも周波数ドメインで視覚的に確認することができます。

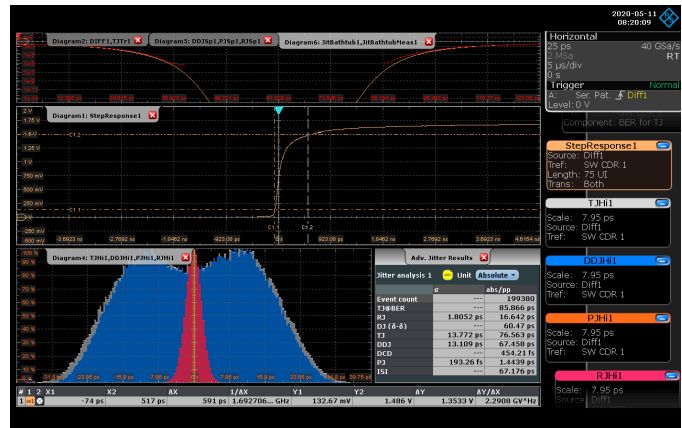


図2: 周期的な成分を含むTJおよびRJスペクトラムの結果、TJ/RJ/PJ/DDJヒストグラム、バスタブ測定値および計算値。

ヒストグラムや予測ステップ応答に加えて、図3ではステップ応答に関連した伝達関数の振幅(マーカーM1参照)と位相(マーカーM2参照)が周波数ドメインに表示されています。ステップ応答に基づいて周波数ドメインの伝達関数を計算するために、演算メニューが次のような関数セットを提供しています[1]。

- ▶ Step2FreqRespNormMag(<チャンネル>,<ポイント>)
- ▶ Step2FreqRespNormPhi(<チャンネル>,<ポイント>)

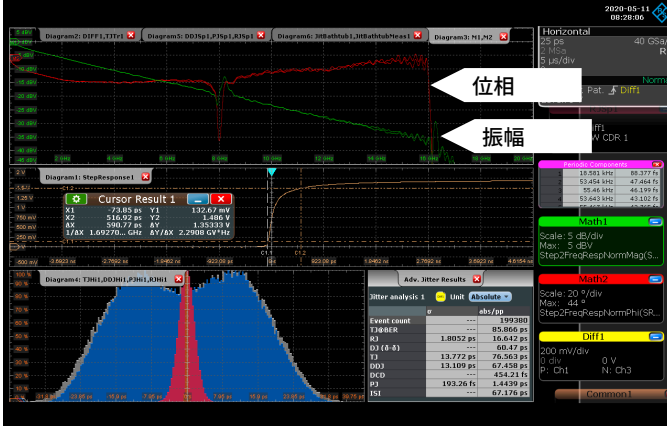


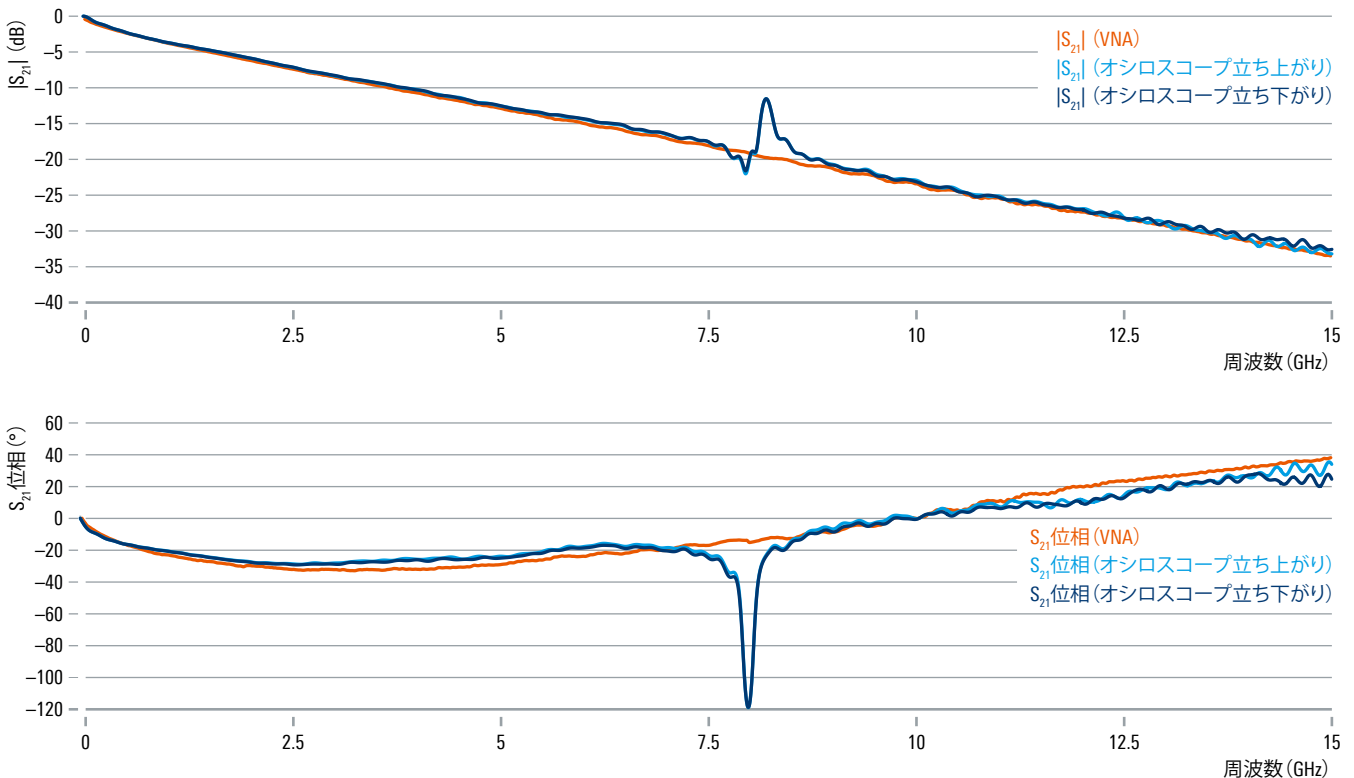
図3: DUTとテストフィクスチャを結合したステップ応答と、振幅/位相への変換。

予測どおり、振幅には、主に誘電損失によって生じた周波数依存の減衰が見られます。表皮効果はかなり小さくなっています。位相には、トレースの分散が見られます。チャンネル帯域幅の制限のために、両トレースの16 GHzより上のすべての値はノイズになります。8.125 GHzには、データレートによって生じたアーティファクトの影響があります。

この測定をVNA測定と比較しました。PCIe Gen4 ISIボードによりISIが生じるので、関連トレースを測定(差動)して、伝達関数と差動/差動Sパラメータ(S_{21} , DD)を周波数ドメインで比較しました(図4参照)。

両測定には、0 Hz~16 GHzのバンドでかなりの一致が見られます。振幅の差は1 dB未満で、位相の差は5°未満です。

図4: VNAで測定した S_{21} と、オシロスコープの予測伝達関数の比較。



まとめ

R&S®RTPおよびR&S®RTO2000オシロスコープでは、デジタル高速信号のシグナルインテグリティを解析できます。オシロスコープは、正確にTJ、RJ、PJ、DDJなどの一般的なジッタ成分を測定します。オシロスコープは本質的に伝達関数も解析します。伝達関数は、DDJの原因になるものです。送信経路の個々の成分を分けて特性評価するのは、アクセスの問題によって困難です。周波数に対する信号ドライバーの出力インピーダンスは通常は不明です。そのため、伝達関数の本質的な測定は、DDJの原因を理解するための主な要素になります。

参考資料

- [1] A. M. Nicolson, "Forming the fast Fourier transform of a step response in time-domain metrology," Electronic Letters、ボリューム9、第14版、317ページ、1973年。

詳細はこちら

www.rohde-schwarz.com/product/sw_rtx-k133

HDMIおよびHDMI High-Definition Multimedia Interfaceという用語、ならびにHDMIロゴは、HDMI Licensing LLCの米国またはその他の国々における商標または登録商標です。

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
www.rohde-schwarz.com

ローデ・シュワルツ トレーニング
www.training.rohde-schwarz.com
ローデ・シュワルツ カスタマーサポート
www.rohde-schwarz.com/support

R&S® は、ドイツRohde & Schwarz の商標または登録商標です。
PD 3609.0408.96 | Version 01.00 | 5月 2021 (sk)
高速データ通信インタフェースのシグナルインテグリティ解析
掲載されている記事・図表などの無断転載を禁止します。
おことわりなしに掲載内容の一部を変更させていただくことがあります。
あらかじめご了承ください。
© 2021 Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG | 81671 Munich, Germany