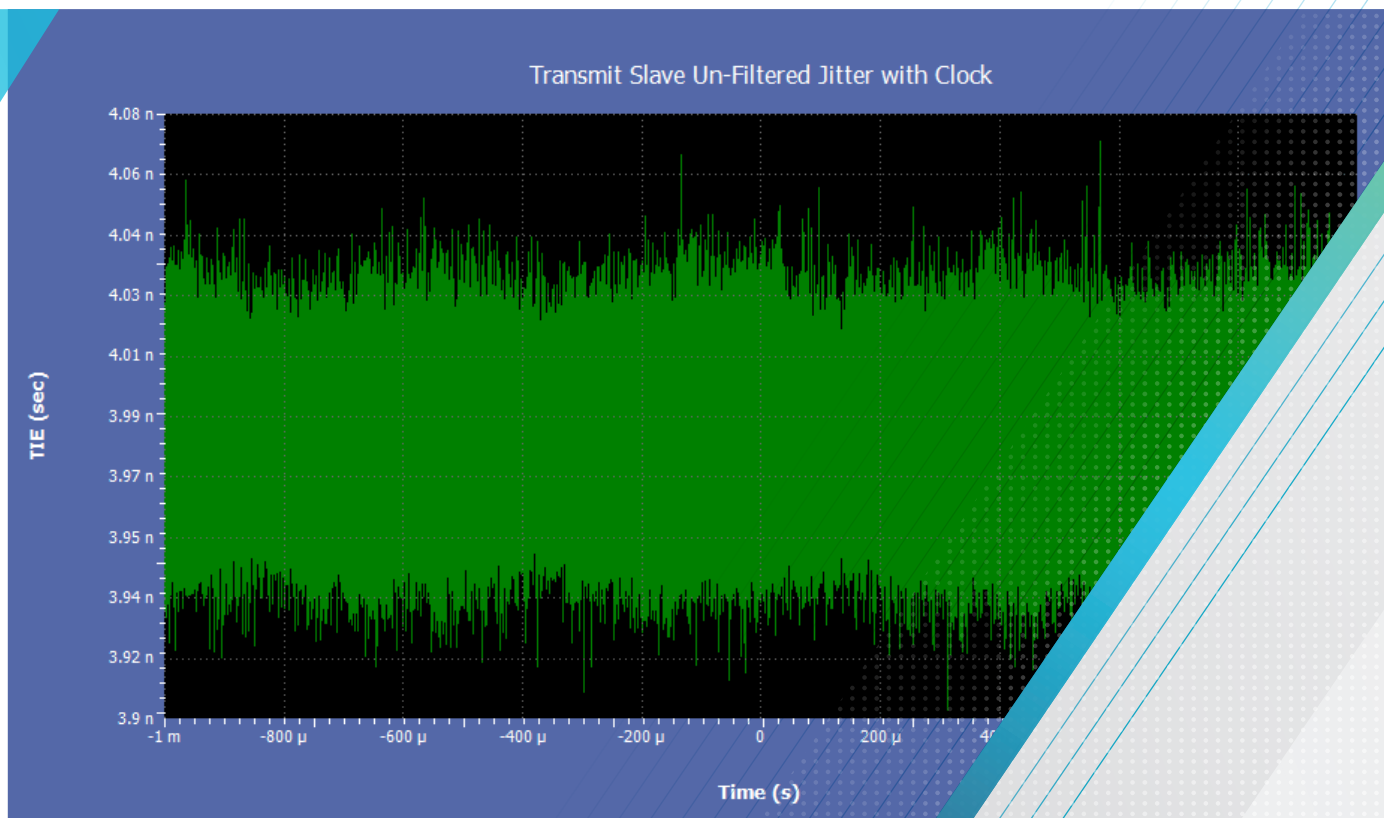


自動コンプライアンス・アプリケーションを使用した1G Ethernetのジッタ・テスト

アプリケーション・ノート



本アプリケーション・ノートの概要

- ジッタ・テストで使用するテスト・フィクスチャ、テスト・モードについて
- ジッタ・テストの種類
- エクスポートド・クロックによるジッタ・テストの詳細

10BASE-T、100BASE-TX、1000BASE-T Ethernetは、日々新しいアプリケーションで広く採用されています。1000BASE-T Ethernetは、優れた信頼性とインターオペラビリティ（相互運用性）で使い続けられています。最新の民生用スイッチ、ルータ、ケーブル・モデム、ネットワーク・インタフェース・カード（NIC）は、主に1Gのスピードに対応しています。カメラ、医療用デバイス、その他の組み込みシステムも最高1Gまでの速度を採用しています。

インターオペラビリティを確保するためには、それぞれのデバイスがIEEE 802.3の仕様に適合することが必要であり、この仕様には一般的なテスト方法が含まれています。ジッタ・テストも重要なテストの一つです。ジッタは、理想的なトランジション時間に対する、実際の信号トランジションの逸脱として定義されています。Ethernet信号は組み込みクロック情報を含んでいるため、デバイスは信頼性のあるデータ伝送のためにジッタを制限する必要があります。

テスト・フィクスチャ

すべてのデバイスは、IEEE 802.3の規格に適合し、標準化されたテスト・フィクスチャを使用する必要があります。テスト・フィクスチャは、IEEE 802.3-2012の仕様の40.6.1.1.3項に規定された機能要件に適合する必要があります。テクトロニクスのテスト・フィクスチャTF-GBR-BTPは、10BASE-T、100BASE-TX、1000BASE-Tの信号に対してRJ45コネクタでアクセスできます。1000BASE-T信号の場合、全二重信号の4ペアが4つの差動ペアに分かれているため、オシロスコープで同時に観測できます。それぞれの4ペアは、125MHzのクロック・レートで250Mbpsのデータを転送し、データ転送では5レベルのシグナリング（PAM5）を使用しています。

テスト・フィクスチャは、TC1からTC7まで、8つのセクションからなります。もう一つの基板は、短絡、負荷、グラウンドのリターン損失校正で使用します。メイン・テスト・フィクスチャの各セクションは、信号のさまざまな要素のテストで使用します。そのうちの2つのセクションは、ジッタ測定で特に重要となります。

1. TC2: テンプレート・テスト、ピーク電圧、歪み、ドループ測定（ディスターバなし）、ジッタ
2. TC3: ジッタ

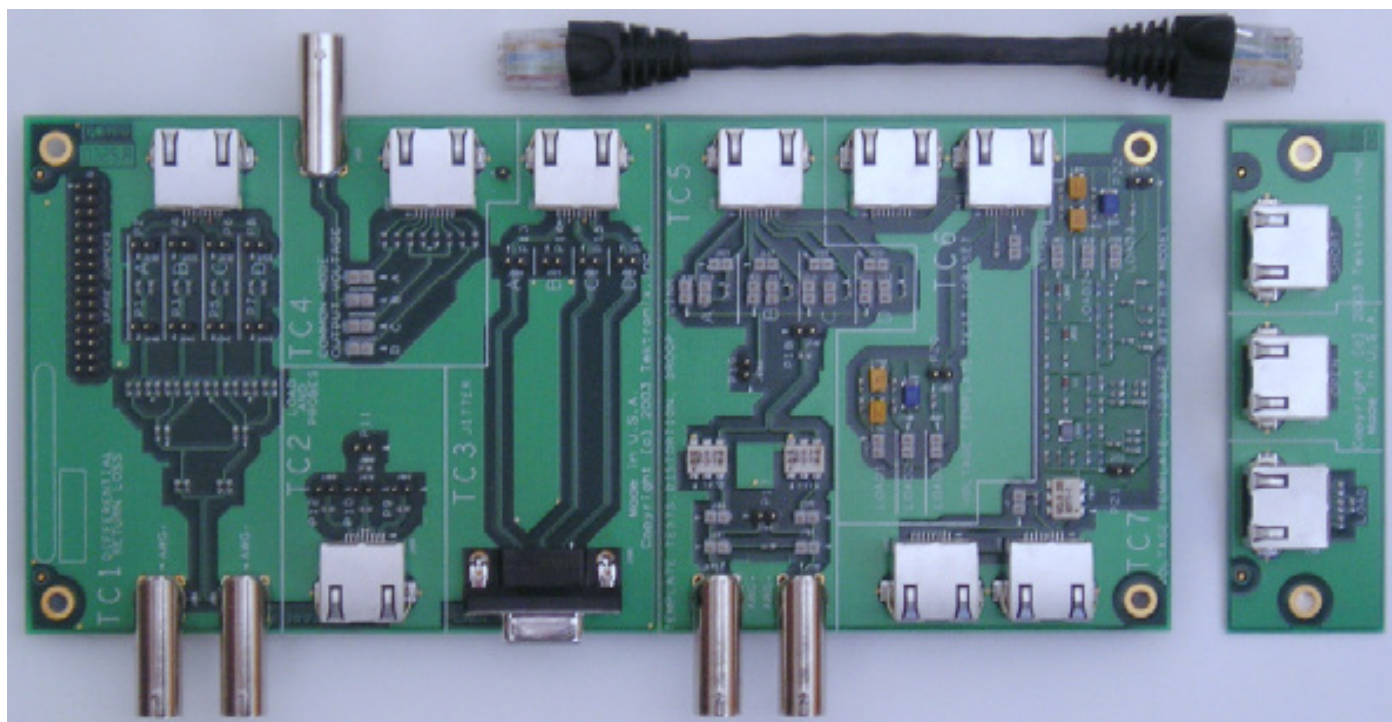


図1. テクトロニクスの1Gテスト・フィクスチャ、TF-GBE-BTP。フィクスチャは、表1に示すセクションに分かれている。TC2とTC3は、ジッタ・テストで使用する。

トランスミッタは4つのテスト・モードに対応し、そのどれもがMDI (Medium Dependent Interface) で差動信号を出力する必要があります。1G規格のジッタ測定は、Test Mode 2とTest Mode 3の信号を使用します。

テスト項目とフィクスチャのテスト回路の関係を、以下の表に示します。

表1：テスト項目とフィクスチャの関係

コンプライアンス・テスト	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	RLCF ¹	JTC ²
テンプレート、電圧、ドループ、歪み		●			●				
ジッタ、マスタ/スレーブ(フィルタなし)		●	●						●
ジッタ、マスタ/スレーブ(フィルタあり)		●	●						●
リターン損失	●							●	
コモンモード出力電圧				●					

表2：1000BASE-Tのテスト項目/テスト・パターンと、関連するテスト・フィクスチャのセクション

テスト項目	テスト・パターン	テスト・フィクスチャ
テンプレート/電圧	Test Mode 1 (TM1)	TC2/TC5
ドループ	Test Mode 1 (TM1)	TC2
歪み	Test Mode 4 (TM4)	TC2
リターン損失	Test Mode 4 (TM4)	TC1
ジッタ	Test Mode 2 (TM2) / Test Mode 3(TM3)	TC2/TC3
コモンモード電圧	Test Mode 4 (TM4)	TC4

ジッタ・テスト

ジッタ測定は2種類あります。一つはDUTでエクスポートド・クロック (TX_TCLK) が利用できる場合であり、もう一つは利用できない場合です。仕様では、エクスポートド・クロックが利用できる場合のリミット値を規定しています。しかし、エクスポートド・クロックが利用できない場合の公式なリミット値は規定されていません。エクスポートド・クロックが利用できない場合の測定は複雑であり、参考的なテストでしかありません。このアプリケーション・ノートでは、エクスポートド・クロックが利用可能な場合を想定して説明します。

ジッタを測定する必要がある場合、マスタ・モードとスレーブ・モードという2種類のモードがあります。マスタ・モードでは、DUTは転送クロックTX_TCLKがローカルに印加 (DUTから) されるかのように動作します。スレーブ・モードでは、DUTはTX_TCLKがリンク・パートナーから印加されるかのように動作します。テストは、さらにフィルタありとフィルタなしの2種類に分かれます。仕様では、物理フィルタまたはフィルタ・モードのデジタル・フィルタの使用が認められて

います。物理フィルタは、トランスミッタから見てインピータンスに大きな影響がない限りにおいて使用できます。そうでない場合は、デジタル・フィルタで信号を後処理します。

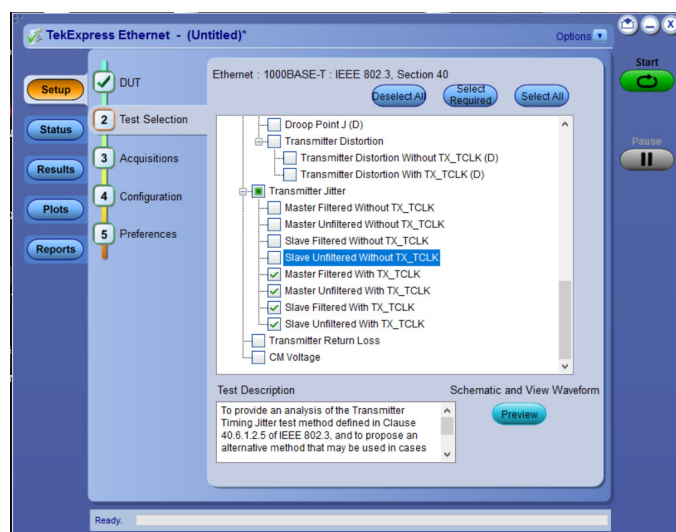


図2. トランスミッタのジッタ・テストで使用するテスト・セクション

エクスポーズド・クロック によるジッタ・テスト

ここでは、エクスポーズド・クロックが利用可能な場合を説明します。インターオペラビリティ・ラボ (UNHIOL) は、PMA (Physical Media Attachment) Test Suite Version 2.5で測定手順を規定しています。

エクスポーズド・クロック・テストでは、関係するTX_TCLKのエッジに対するMDI出力からの差動信号のピーク・ピーク出力をJTXOUTとして測定します。この測定では、マスタ・モードではDUTをTest Mode 2で、スレーブ・モードではDUTをTest Mode 3で動作させ、すべての4つのペア信号 (A、B、C、D) を測定します。TX_TCLKジッタのピーク・ピークは、フィルタあり、フィルタなしの両方の条件で測定します。

マスタ・モード

マスタ・モードでは、基本的に、ジッタなしの基準に対する、マスタのTX_TCLKのピーク・ピーク・ジッタを測定します。IEEEの仕様では、ジッタなしの基準信号についての記述はありません。しかし、UNH-IOL PMA Test Suite Version 2.5では、ジッタなしの基準を、被測定信号の特定の取込みのゼロクロスの直線ベスト・フィット (リニア) として規定しています。マスタ・モードのDUTは、短いUTP RJ45ケーブルでデバイスとリンク・パートナーを接続するなど、通常モードで動作することを想定しています。

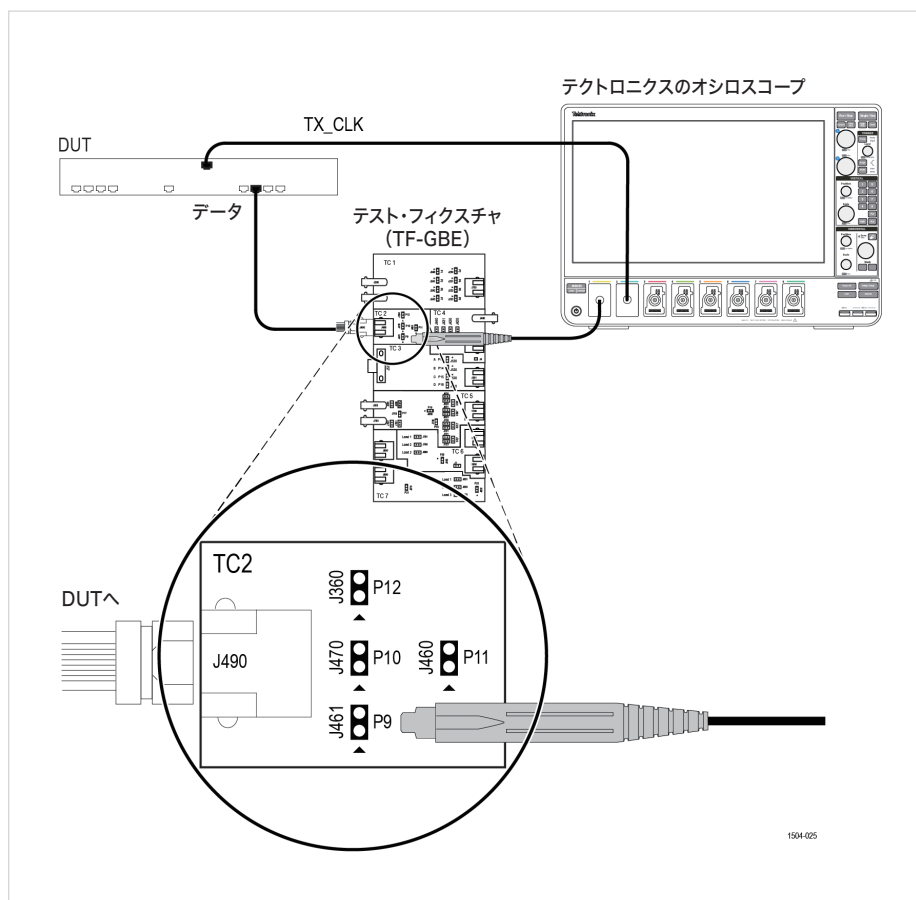


図3. マスタ、フィルタなし、エクスポーズド・クロックによるジッタ・テストのためのセットアップ

Test Mode 2の信号は、マスタ・モードのトランスミッタによって制御されるシンボル・セットです。テクトロニクスのテスト・フィクスチャでは、上記の表に示した測定において、TC2、TC3を使用します。

フィルタなしの測定では、最低でも100ms、最大で1000msの取込みが必要です。5GS/sで信号をサンプリングする場合、最低でも500Mポイントのオシロスコープが必要です。このようなメモリを装備しているオシロ

スコープは数多くないため、複数のシングルショット取込みで必要な数のエッジにすることができます。フィルタありのモードでは、最大で105個のエッジが必要です。

クロック・システムのインテグリティは、マスタ・モードのジッタ測定で検証します。マスタ・モードで通常条件では、ジッタなしの基準に対して、TX_TCLKのピーク・ピーク・ジッタの値は1.4ns未満でなければなりません。

フィルタありの測定では、TX_TCLKのジッタ波形を、以下の伝達関数の5kHzのハイパス・フィルタに通します。

$$H_{j1}(f) = \frac{jf}{jf + 5000} \quad f \text{ in Hz}$$

ハイパス・フィルタを通した後のピーク・ピークのジッタ値を4つのペアのJTXOUTの最悪値に加算します。この合計値は、0.3ns未満でなければなりません。

スレーブ・モード

Test Mode 3の信号は、スレーブ・モードのトランスミッタによって制御されるシンボル・セットです。テクトロニクスのテスト・フィクスチャでは、上記の表に示した測定において、TC2、TC3を使用します。

スレーブ・モードのジッタなしの基準は、マスタDUTのTX_TCLK信号として規定されています。DUTとリンク・マスタのクロックの両方のピーク・ピーク・ジッタは、オシロスコープで測定する必要があります。ここでも、マスタとスレーブのDUTは、IEEE仕様に記載されているジッタ・チャンネルに接続する必要があります。

このケースでは、リンク・パートナーがマスタに、DUTがスレーブになります。DUTとリンク・パートナーは、規定されているジッタ・チャンネルで接続します。リンク・パートナーのTX_TCLKは100ms~1000msの取込みが必要でピーク・ピーク・ジッタはジッタなしの基準

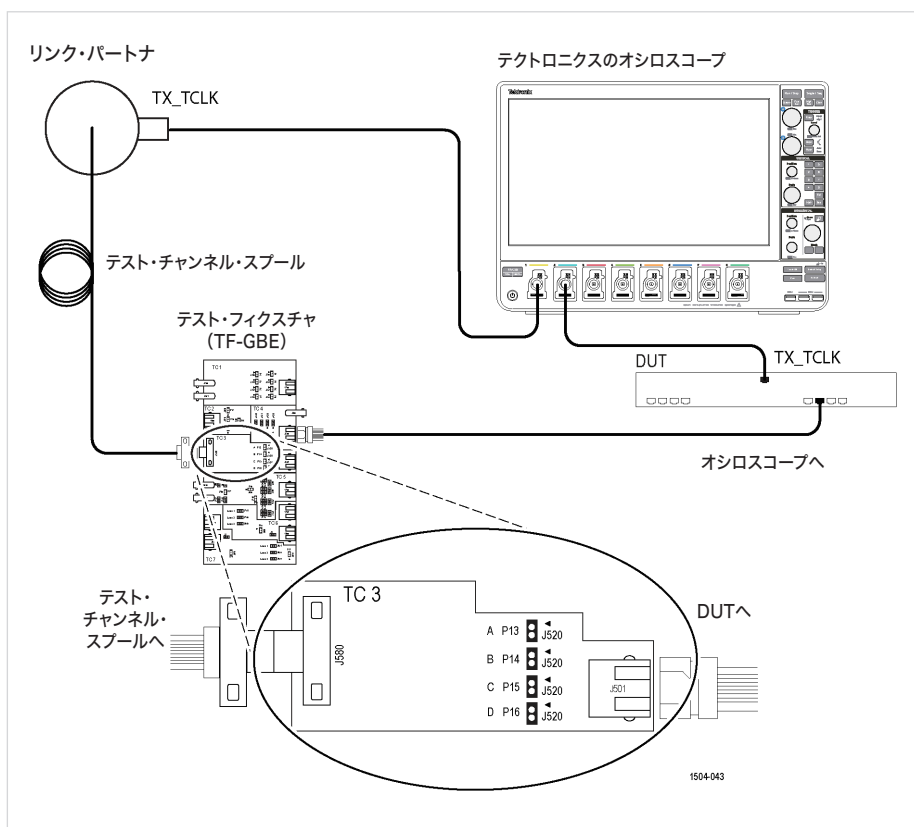


図4. エクスポート・クロックによるスレーブのフィルタなしのジッタ・テスト

を基に測定されます。測定されたTX_TCLKのジッタ波形は、5kHzのハイパス・フィルタに通します。DUTのTX_TCLKのピーク・ピーク・ジッタは、リンク・パートナーのTX_TCLKを基準として測定します。このDUTのTX_TCLKのジッタ波形は、32kHzのハイパス・フィルタに通します。最悪値のJTXOUTとDUTの

パイパス・フィルタを通した後のジッタを加算し、マスタのピーク・ピーク・ジッタの値を差し引きます。この値は、0.4ns未満でなければなりません。ハイパス・フィルタの伝達関数は、以下のように規定されます。

$$H_{j2}(f) = \frac{jf}{jf + 32000} \quad f \text{ in Hz}$$

表3：テスト・レポートの抜粋：スレーブ・モード、エクスポーズド・クロックによるフィルタなしのジッタ・テストの結果を示している。TIEのピーク・ピークは0.17ns。

スレーブ、フィルタなし、TX_TCLK									
ペア	詳細測定	繰り返し	測定値	テスト結果	マージン	下限	上限	単位	備考
BI-DA	SlaveUnfiltered_Jitter_With_TX_TCLK_ML_BI-DA	1	0.1698	Pass	H:1.2302	N.A	1.4	ns	TIE Count : 249998

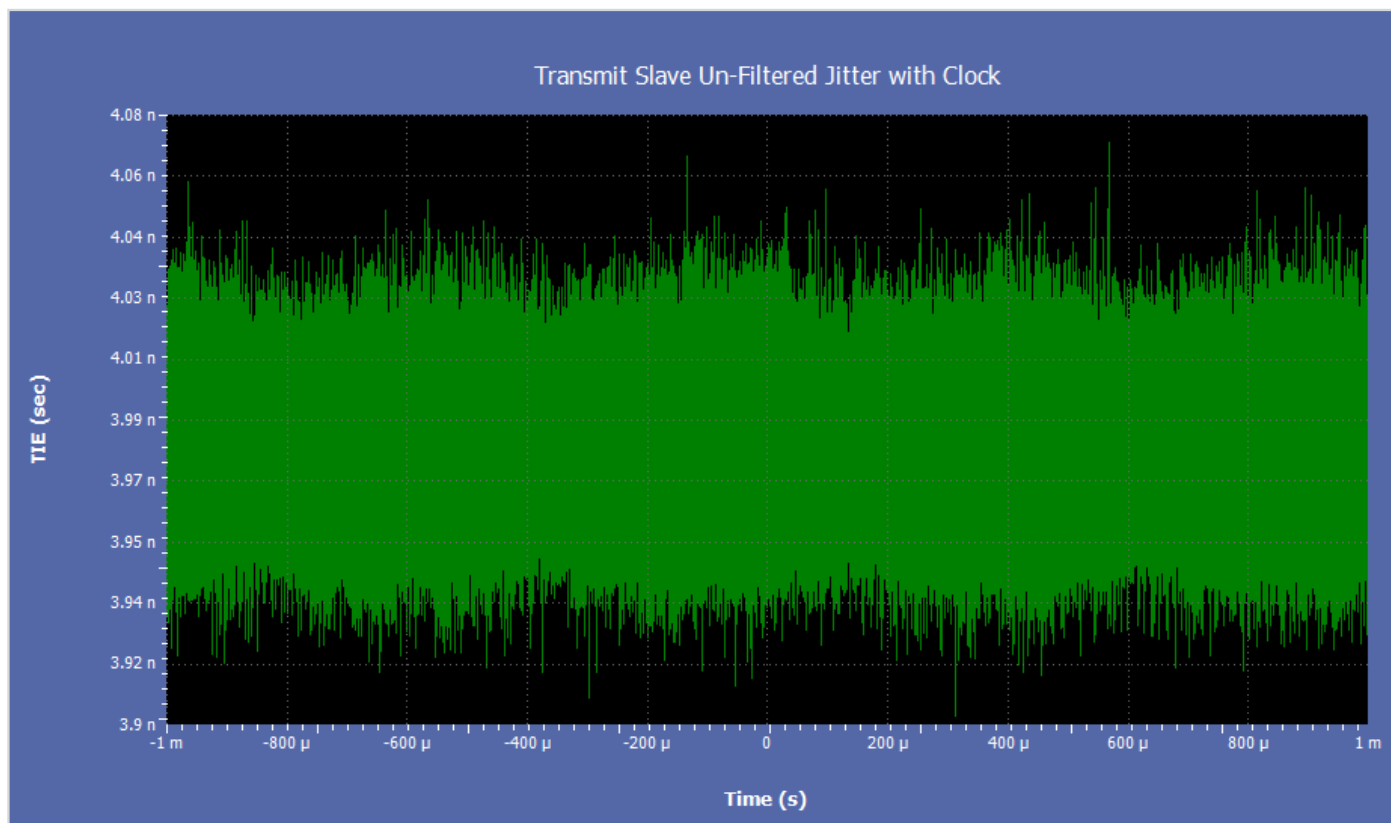


図5. テスト・レポートからの抜粋：TIE対時間を示している。スレーブ・モード、エクスポーズド・クロックによるフィルタなしのテストをBI-DAペアで実施。表3に示すように、TIE波形のピーク・ピークの値は0.17nsである。グリーン波形はテストが合格であることを示している。

まとめ

Gigabit Ethernetは、さまざまなデバイスに採用され、優れた性能、信頼性により、現在も新しい設計で使用されています。ジッタのテストは複雑になりがちですが、このように広く使用されている技術では、クロック・システムのインテグリティの検証が必要になります。

参考文献

1. TekExpress® Ethernet電気テスト・アプリケーション、印刷可能なアプリケーション・ヘルプ
2. IEEE 802.3規格、Ethernet Section Three Clause 40-2012
3. UNH-IOL: GIGABIT ETHERNET CONSORTIUM Clause 40 Physical Medium Attachment (PMA) Test Suite Version 2.5

お問い合わせ先：

オーストラリア 1 800 709 465
オーストリア 00800 2255 4835
バルカン諸国、イスラエル、南アフリカ、その他ISE諸国 +41 52 675 3777
ベルギー 00800 2255 4835
ブラジル +55 (11) 3759 7627
カナダ 1 800 833 9200
中央／東ヨーロッパ、バルト海諸国 +41 52 675 3777
中央ヨーロッパ／ギリシャ +41 52 675 3777
デンマーク +45 80 88 1401
フィンランド +41 52 675 3777
フランス 00800 2255 4835
ドイツ 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
インド 000 800 650 1835
インドネシア 007 803 601 5249
イタリア 00800 2255 4835
日本 81 (3) 6714 3086
ルクセンブルク +41 52 675 3777
マレーシア 1 800 22 55835
メキシコ、中央／南アメリカ、カリブ海諸国 52 (55) 56 04 50 90
中東、アジア、北アフリカ +41 52 675 3777
オランダ 00800 2255 4835
ニュージーランド 0800 800 238
ノルウェー 800 16098
中国 400 820 5835
フィリピン 1 800 1601 0077
ポーランド +41 52 675 3777
ポルトガル 80 08 12370
韓国 +82 2 6917 5000
ロシア +7 (495) 6647564
シンガポール 800 6011 473
南アフリカ +41 52 675 3777
スペイン 00800 2255 4835
スウェーデン 00800 2255 4835
スイス 00800 2255 4835
台湾 886 (2) 2656 6688
タイ 1 800 011 931
イギリス、アイルランド 00800 2255 4835
アメリカ 1 800 833 9200
ベトナム 12060128

2017年4月現在



jp.tek.com

テクトロニクス／ケースレーインストルメンツ

お客様コールセンター：技術的な質問、製品の購入、価格・納期、営業への連絡

TEL: 0120-441-046 ヨク良い オシロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～17:00
(土日祝日および当社休日を除く)

サービス・コールセンター：修理・校正の依頼

TEL: 0120-741-046 なんと良い オシロ 営業時間／9:00～12:00・13:00～17:00
(土日祝日および当社休日を除く)

〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階

記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

Copyright © 2021, Tektronix. All rights reserved. TEKTRONIX およびTEK はTektronix, Inc. の登録商標です。
記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

2021年2月 48Z-61719-0