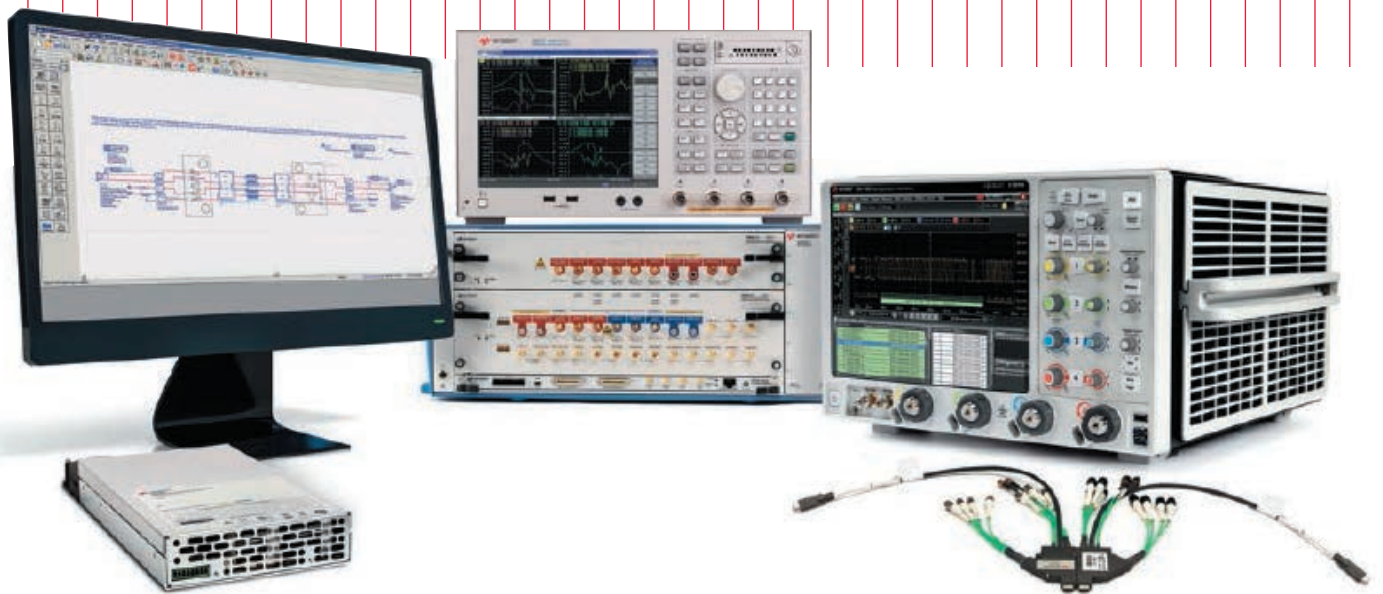


Keysight Technologies

USB Type-C™ トランスミッター／ レシーバーテストの問題への対処方法

KeysightとType-C：完成への早道

Application Note



概要

USB Type-C™は、新しいコンピューターやデバイスの小型化／薄型化、データ伝送の高速化、より大きなパワーへの対応、柔軟性の向上への要求に応えるために設計された画期的な規格です。USB Type-Cで改良された領域には、デバイス間の接続、パワーの管理、有効なデータ伝送の保証などがあります。USB Type-Cには以下の特長があります。

- 動的なパワーとUSB 2.0および他のプロトコルの伝送が可能
- 新しいデバイスや将来のデバイスの中心的インタフェースとなる能力
- 下位互換性
- どちらの向きでも接続できる使いやすさ

USB Type-Cを製品に組み込むには、相互運用性とコンプライアンスを実現するために、いくつかの問題を解決しなければなりません。USB Type-Cでは、データ伝送の高速化、パワーの増加、機能の追加のために、コンプライアンステスト規格の数が増え、内容も複雑化しています。このため、テストの成功には、規格に準拠した高精度のテスト機器、ソフトウェア、フィクスチャが必要です。

この測定のヒントは、USB Type-Cのデザインとテストに関する問題と解決策に関してさまざまな観点から説明する5つのドキュメントのシリーズの中の1つです。シリーズ全体では以下のトピックスを扱っています。

- ケーブルとコネクタ
- 電力供給
- 送信／受信
- シミュレーションと測定の相関
- オルタナート(ALT)モード (DisplayPort、Thunderbolt、MHL)

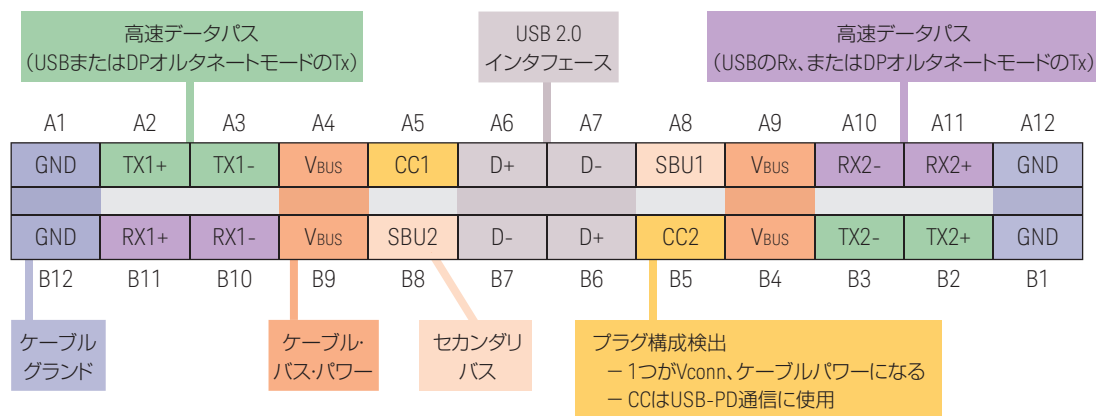


図1. USB Type-Cのピン配列。どちらの向きにも接続できる対称的な構造になっています。

USB Type-Cトランスミッター／レシーバーの要件

USBは、パワーとデータのための単純な4ピンのコネクタから、対称的でどちらの向きにも接続できる多機能な24ピンのコネクタに進化しました。USB Type-Cのコネクタは、デバイスの送受信機能の柔軟性を確保するように設計されていて、4組の送信／受信(Tx/Rx)ペアを備えています。任意の時点で、1チャンネル、2チャンネル、または4チャンネルすべてをデータ伝送に使用することができます。2つの異なるプロトコルが同時にアクティブに送信または受信を行うことも、1つのプロトコルがTx/Rx速度の2倍で伝送することで、現時点で最高20 G(将来はさらに高速なデータレート)を実現することもできます。電力供給の強化により、最大20 V、5 A(100 W)を供給して、双方向のデバイス充電を実現できます。Type-Cのこのような特長と機能強化により、USBのTx/Rxコンフォーマンステスト基準は従来よりさらに複雑化しています。USB Type-CおよびUSB 3.1のトランスミッター／レシーバーテストの問題を理解することが、USB Type-Cのデバイスへの統合とテストの成功につながります。

テストに使用するテストフィクスチャやケーブルは、特にデータレートが高い場合、大きな信号損失の原因となり、デバイス性能の測定に悪影響を与えることがあります。高速コンプライアンステストで正確な信号評価を行うには、ディエンベディング手法を使用してテストフィクスチャの測定に対する影響を除去することにより、デバイスの真の性能を評価することが必要です。シグナルインテグリティが高いテストフィクスチャを使用することにより、チャンネル損失を最小化できます。これは、ディエンベディング前のフィクスチャのSパラメータ測定で重要な意味を持ちます。

Tx/Rxコンプライアンステストでは、コンプライアンス・テスト・パターンを実行する必要があります。コンプライアンステストでは、これらのさまざまな信号パターンを出力して、SigTestと呼ばれるツールで測定を行います。SigTestの詳細については、<http://www.usb.org/developers/tools/>を参照してください。

USB 3.1およびType-Cトランスミッターテストの問題

USB 3.1およびType-Cのトランスミッター・コンプライアンス・テストには、それぞれ固有の問題があります。全体としての最大の問題は、チャンネル数の増加、構成変更の柔軟性、およびどちらの向きにも接続できるコネクタに起因するコンプライアンス規制の増加です。USB-IFのコンプライアンステストでは、複数の負荷条件と充電条件が要求されているので、各デバイスに対して実行するテストの数がさらに増えます。テストには以下があります。

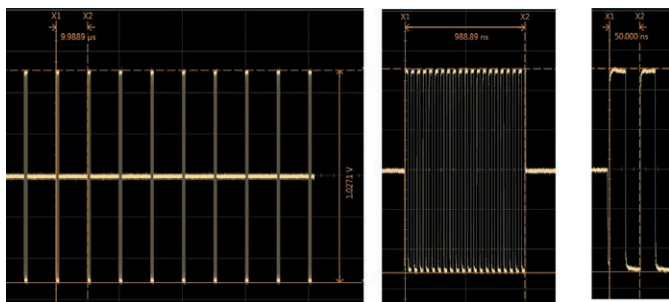
- USB 3.1 Gen 1送信アイテスト
- LFPS(Low Frequency Periodic Signaling)タイミング
- 送信時の送信スペクトラム拡散クロック(SSC)プロファイル
- 新しいUSB 3.1 Gen 2テスト：
 - SCD(SuperSpeedPlus Capability Declaration)
 - LBPM(LFPS(Low Frequency Periodic Signaling)ベースのパルス幅変調メッセージング)
 - ディエンファシス
 - プリシュート

送信アイテスト

送信アイテストでは、結果の信号が、アイの高さと幅、デターミニステックジッタ、ランダムジッタの各仕様を満たすことを確認します。被試験デバイスはコンプライアンスモードに設定され、コンプライアンスパターンを送信します。パターンは高速オシロスコープで捕捉され、アイが測定されます。

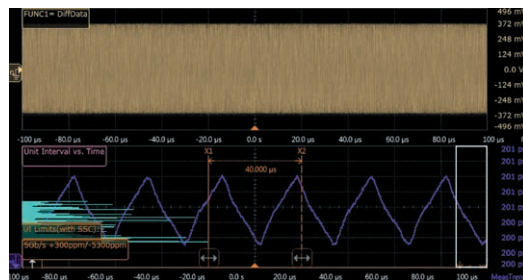
LFPS(Low Frequency Periodic Signaling)

LFPSは、一定の時間間隔で区切られたパルス列です。LFPSテストでは、信号品質と、適切なデータレートのネゴシエーションとトレーニングのための正しい特性を確認します。このテストでは、通常のSuperSpeedデータライン上で低い周波数(通常の5 Gbpsでなく10 ~ 50 MHz)で送信されるサイドバンド通信が追加されています。サイドバンドの役割は、2つのポート間のリンクのバス上での信号の開始とローパワー管理の制御です。



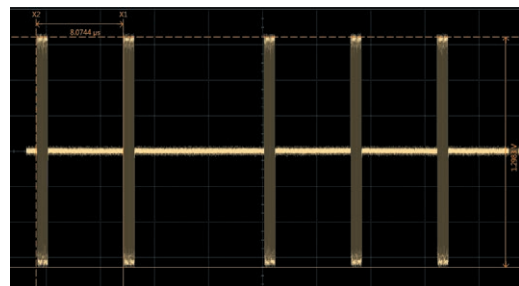
スペクトラム拡散クロック(SSC)変調信号

SSC変調信号は、USB 3.1 Gen 1とGen 2で電磁波障害(EMI)に関連した必須のテストで、デバイスが、レシーバーで処理可能な正確なプロファイルを送信できることを確認します。USBデバイスは、初期化後ただちにSSCモードに入ります。EMIの影響を管理することは、トランスミッターテストで最大の問題になることがよくあります。これは、搬送波周波数に大振幅のピークが生じ、高調波が指定された制限値を超えることがあるからです。この問題を防ぐために、SSCを使用して、周波数スペクトラムのエネルギーを拡散し、テストリミットの範囲内に収める方法があります。SSCテストでは、ローカルクロックと受信データの間の低い周波数の大きな差により、クロック/データリカバリ回路(CDR)に大きな負担がかかります。USB仕様では、CDRに対するSSCの影響を制限する方法が用意されています。システムの相互運用性の問題を解決するには、SSCの影響の解析が必要になることがあります。



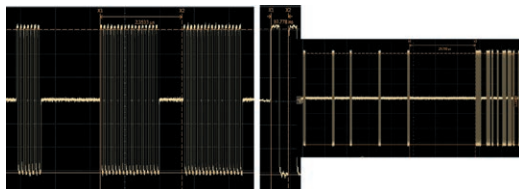
SCD(SuperSpeed Capability Declaration)

SCDは、リンク・ステータス・ステート・マシン(LTSSM)シーケンスの一部です。これはまた、USB 3.1 Gen 2のリンクレイヤーの中心であり、リンク接続とリンクパワー管理の状態と遷移を定義します。これらのプロトコルとタイミングの信号品質はきわめて重要です。DUTがSCD1およびSCD2信号を出力し、信号品質(周期、立ち上がり/立ち下がり時間、電圧など)を検証します。これらの信号により、デバイスが正しいリンク(Gen1またはGen2)のネゴシエーションを行えるかどうかを確認できます。



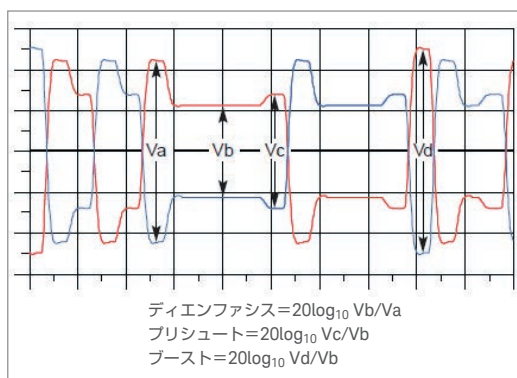
LBPM(LFPSベースのパルス幅変調メッセージング)

LBPMは、リンクパートナーがGen 2までのネゴシエーションに使用するプロトコルです。信号品質テストでは、デバイスがUSB 3.1 Gen 2までのネゴシエーションを実行できることを確認します。



ディエンファシス(減衰)とプリシュート

ディエンファシス(減衰)とプリシュートは、チャネル損失の影響に対処するために使用されるイコライゼーション方式です。パターンジェネレーター(トランスミッター)とアナライザ(レシーバー)の間のフィクスチャ(USB基準チャンネルとケーブルを含む)により、周波数依存の損失が生じ、符号間干渉(ISI)やアイクロージャの原因となります。この損失に対処するために、トランスミッターでディエンファシスを使用して信号の高周波成分を増幅することにより、レシーバーでアイを開くことができます。USB-IFで要求されている信号品質測定は、送信信号が仕様を満たすことと、出力信号が損失の大きいケーブルを通った場合に、最善の条件でレシーバーに到達することを確認します。



送信テストでは、指定されたコンプライアンス波形パターンが送信され、高速オシロスコープを使用して各波形の信号品質を測定します。オシロスコープを使用して、ジッタ分離とランダムジッタ (Rj)、デターミニスティックジッタ(Dj)、全ジッタ(Tj)の解析を行い、ジッタの原因を特定してジッタバジェットを評価します。

トランスミッターのマスクテストでは、信号が存在してはならない重要な領域を定義します。定義された領域に信号が存在する場合は、デバイスは不合格になります。送信信号をアイの高さ／マスクの範囲内に収めることは、USB 3.1およびType-Cではさらに難しくなっているので、マスク測定の品質が重要になります。1E-6では、イコライゼーション後のアイの高さの目標は70 mVなので、1E-12ではアイの高さの目標は30 mVになります。1E-6のアイの幅は、イコライゼーション後に47 psであり、達成はきわめて困難です。

コンプライアンスのためには、25 GHz(Thunderbolt用には30 GHz)の帯域幅を持つオシロスコープが必要です。Txシリコンに近い場所で測定するには、さらに広い帯域幅が必要です。アイの高さ、アイの幅、信号振幅、ジッタ解析、平均データレート、立ち上がり／立ち下がり時間を各信号に対して測定します。また、Type-C接続はどちらの向きにも接続できるので、Tx/Rxチャンネルの両方のセットをテストする必要があります。テストは、送信されるすべてのプロトコルに対して行う必要があります。

USB 3.1およびType-Cレシーバーテストの問題

検証済みのTx信号を使用してTx/Rxリンクをテストする際の問題は、レシーバー内部の送信リンクの端で信号を表示する手段がないことです。送信された信号が正しく見えても、レシーバー内部でアイが閉じているかもしれません。ストレスドアイ校正テストでは、規格に準拠したフィクスチャとケーブルに、さまざまな種類のジッタやクロストークのストレスを印加する必要があります。パターン発生に使用するテスト機器は、信号ストレスを印加して、ジッタやアイ測定などの信号解析機能を持っています。

ストレスドアイの校正が終われば、レシーバーをテストできます。USB 3.1レシーバーのコンプライアンステストでは、ワーストケースの信号条件(ストレスドアイ校正)を入力して、追加の正弦波ジッタ(Sj)を周波数を上げながら印加していきます。複数の周波数でテストを実行することにより、レシーバーの機能が正しいかどうかを確認します。使用するコンプライアンスパターンの多くは、Rxテストの校正にも使用できます。レシーバーテストにより、USBデバイスの性能をさまざまな振幅／ジッタ条件で評価することができます。USB 3.1のジッタテストでは、ビットエラー比(BER)テストが要求されています。これはジッタ耐力テストの一種です。レシーバーは、一連のSj周波数および振幅によって変化するストレスドアイを使用してテストされ、エラーディテクターがレシーバーの誤り(すなわち、ビットエラー)をモニターして、BERを計算します。テスト構成には、さまざまな条件を実現でき、目標のBERのための真のランダムジッタを発生できるパターンジェネレーターが必要です。

BERエラーディテクターで非同期テストを扱うことも、問題の1つになることがあります。Tx/Rxシステムは、ビットをエラーなく通過させる能力をテストします。ただし、USB 3.1は帯域幅が増加して複雑になっているため、プロトコルの複雑さが増し、実装が困難になっています。通常、トランスミッターとレシーバーのクロック周波数はわずかに異なっています。受信データから復元されたクロックは、トランスミッターのクロック周波数とはわずかに異なる可能性があるからです。この違いにより、レシーバーがループバックモードにあるときに、デバイスに問題が生じます。ビットの受信速度が、送信速度よりも速かったり遅かったりする可能性があるからです。周波数の不一致の問題に対処するために、クロック補正シンボルが用いられ、レシーバーからトランスミッターに返されるデータストリームに対して削除または挿入されます。テスト構成内の測定器は、受信データストリーム内のクロック補正シンボルの数が不定であることに対処する必要があります。これを非同期BERテストと呼びます。アナライザは、エラーを数える際に、可変長の128ビット/132ビット符号化スキップ・オーダード・セットをフィルターできる必要があります。

コンフォーマンステストでは、ワーストケースの入力信号でも、レシーバーが送信されたデジタル信号の内容を正しく検出できることを確認します。コンプライアンステスト仕様(CTS)に基づく信号劣化を含む、システムで送信されるワーストケースのデータ信号をエミュレートするために最適な測定器は、BERテストのパターンジェネレーター (BERT PG)です。テストモードのレシーバーをエミュレートし、校正済みのテスト信号を受信しながら、BERTはデジタル信号の内容を検出して、目標BERに基づく性能をモニターできます。BERTには、パターンジェネレーターと信号解析機能の他に、SSC、SJ、RJ、ディエンファシス、ISIといった校正済みのストレス条件が備わっていて、レシーバーテスト用に最適なテスト機器です。

トランスミッター・テスト・ソリューション

USB 3.1、DisplayPort 1.3、Thunderbolt 3、MHLのTxコンプライアンステスト用には、N7015A およびN7016A Type-CテストフィクスチャをKeysight Infiniiumオシロスコープと組み合わせて使用することをお勧めします。このソリューションでは、20 GHzの帯域幅(-3 dB)で最適なシグナルインテグリティが得られ、30 GHzまでディエンベディングが可能です。コネクタの反転が可能なType-Cプラグ・インタフェース・フィクスチャが含まれ、トランスミッターおよびパワー供給測定のためのテストポイントとプロービングアクセスを実現します。

- **N7015A Type-C高速テストフィクスチャ**は、最大30 GHzのディエンベディング帯域幅に対応し、USB 3.1 Gen 2、DisplayPort 1.3、Thunderbolt 3でType-Cコネクタをサポートするための信号検証とデバッグが可能です。このフィクスチャは、信号の測定または注入用の4レーンの高速信号を取り出して、USB 3.1デバイス、ホスト、および(上り/下り)ポートに対する信号アクセスと測定が可能です。
- **N7016A Type-C低速信号アクセス／制御フィクスチャ**は、N7015A Type-C高速テストフィクスチャからのパワーラインと制御ラインを管理して、終端要件、テスト構成、電源供給コントローラーとの接続をサポートします。N7016Aでは、CC1、CC2、VBUS、グラウンドといったUSB 3.1信号にアクセスして、システム制御や診断に使用することができます。接続の電子的な反転(アクティブなUSB 3.1 High-Speedポートの変更)、VBUSのブレイクアウトによるパワーコントローラーまたは外部電源による駆動が同時に行えます。また、VConnをロードして、システム環境をシミュレートすることもできます。
- **U7243B USBトランスミッター・コンプライアンス・テスト・ソフトウェア・アプリケーション**とキーサイトのInfiniiumオシロスコープを使用することにより、USB 3.1で定義されているトランスミッターコンプライアンス／検証テストを実行できます。Infiniium Vシリーズ オシロスコープは、業界最小のノイズフロアを実現しています。これは、USB 3.1の高いシリアル速度と、高速化に伴うマージンの縮小に対応するために重要です。

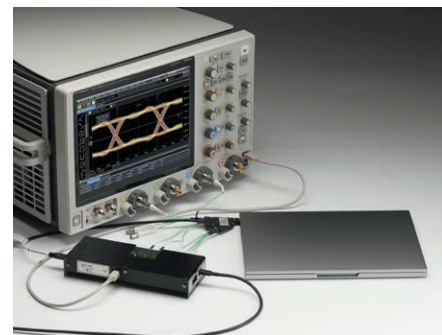


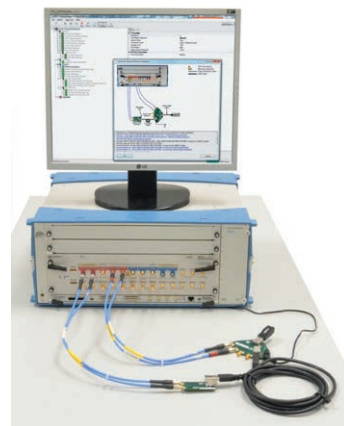
図2. N7015A/N7016A Type-Cテストフィクスチャ

レシーバー・テスト・ソリューション

M8020A J-BERT高性能16 Gb/s BERTは、必要なすべての機能(ディエンファシス、パターン機能、連続時間リニアイコライゼーション(CTLE)、デジション・フィードバック・イコライゼーション(DFE)、さまざまなパターン構造を作成する機能、シーケンス変更)を機器に内蔵しています。キーサイトのUSB 3.1レシーバー・テスト・ソリューションは、M8020A J-BERTの内蔵校正済みジッタ源(ランダムジッタ、周期ジッタ、SSC)、プリ/ポストカーソルディエンファシスの正確なエミュレーション、符号間干渉(ISI)トレース機能により、正確で再現性の高いテスト結果を実現します。

主な機能：

- 符号化データと再タイミングデータの解析
- シンボルレート(ビットレートではなく)による128b/130b、8b/10b構造のデコードとハードウェアスクランブル機能をサポート
- USB 3.1固有の128b/132b符号化スキップ・オーダード・セット(パターンストリームと長さが異なる可能性がある)のリアルタイムフィルタリングによるエラーカウント
- Rxテスト用の校正済みストレス条件(SSC、SJ、RJ、ディエンファシス、ISI)の作成
- 内蔵の電気的アイドルによりLFPS 3レベル信号をエミュレートしてループバックトレーニングとチャンネル経由を実現
- 統合されたリンクトレーニング、Tx Eq、雑音障害、可変ISI、レシーバイコライザー／アイオープナー
- アンプからコモンモード信号を発生することで複雑さを低減
- 内蔵クロックリカバリー



レシーバーテストへの対処：

- レシーバーストレステストの校正: オシロスコープの内蔵CDRとイコライザーエミュレーションを使用して、アイの高さとアイの幅を測定
- BERTエラーディテクターでの非同期テストの実行: M8020A J-BERT OS2のSKPおよびSKP OSフィルタリングオプションにより、USB 3.xのエラーカウントが可能
- DUTの各テストモードへの設定: M8020 J-BERTの強力なパターンシーケンサーとBitifEyeリンク・トレーニング・スイートを組み合わせて使用

M8020A J-BERTのパターンジェネレーターによる正確で再現性のあるレシーバ特性評価により、リンク・トレーニング・シーケンスをエミュレートし、ホストまたはデバイスをループバックモードにすることができます。M8020Aでは、外部ソースなしで、マージンを超えるストレス条件をエミュレートできます。SJ、RJ、ISIトレース用の校正済み信号源が内蔵され、チャンネル効果のエミュレーションが可能です。SSCのエミュレーションと調整可能なディエンファシスが利用できます。

M8020Aを使用すれば、レシーバのテストセットアップが単純になり、USBデバイスからの再タイミング／符号化データの解析が可能です。M8020A J-BERTの解析オプションは、SKIP/ALIGNシンボルをデッドタイムなしでフィルターし、ランニングディスパリティの反転を自動的に処理して、エラー比をシンボルエラー比または計算済みBERとして表示します。



まとめ

USB 3.1およびType-C仕様により、USBトランスミッター／レシーバのテストにさまざまな新しい問題が生じています。送信アイ、LFPS/LBPMタイミング、送信SSCプロファイル、SCD信号の重要な側面を短時間で正確に測定し、ディエンファシスとプリシュートを実行できることが、トランスミッターテストの成功に不可欠です。レシーバテストの検証には、柔軟な信号生成とビットエラー検出が鍵となります。

キーサイトのType-Cソリューションセット(ソフトウェア、測定器、フィクスチャ)を使用すれば、この汎用的なインターフェースに関連するさまざまな規格の完全なテストを行うことができます。デザインと検証のどちらを行う場合でも、キーサイトのソリューションを利用することで、デバッグから特性評価、コンプライアンス、完成までの道筋が容易になります。

次世代の 専門知識を活用

キーサイトのソフトウェアには、専門知識に裏付けされたノウハウが凝縮されています。キーサイトは初期のデザインから最終製品の出荷に到るまでに必要となるツールを提供し、解析データが有用な情報へ、さらに設計上の知見となることを加速させ、デザインサイクルの効率化に貢献します。

- エレクトロニック・デザイン・オートメーション(EDA)ソフトウェア
- アプリケーションソフトウェア
- プログラミング環境
- プロダクティビティソフトウェア

詳細については、以下のウェブサイトをご覧ください。

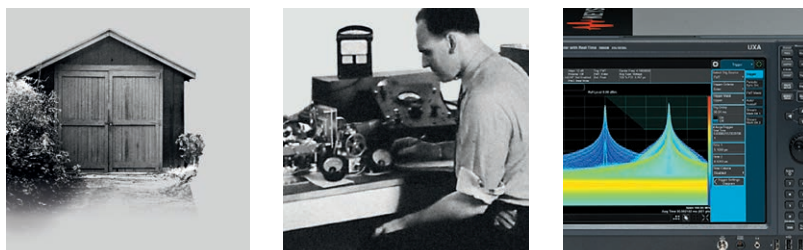
www.keysight.co.jp/find/software

まずは、30日間の無料試用版をお試しください。

www.keysight.co.jp/find/free_trials

ヒューレット・パッカードからアジレント、そしてキーサイトへ

キーサイトは、75年以上もの間、電子計測によって未知なる世界を解き明かしてきました。キーサイト独自のハードウェア、ソフトウェア、スペシャリストが、お客様の次のブレイクスルーを実現します。Unlocking measurement insights since 1939.



1939

未来

myKeysight

myKeysight

www.keysight.co.jp/find/mykeysight

ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。

AXIe

www.axistandard.org

AXIe (AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test) は、AdvancedTCA® を汎用テストおよび半導体テスト向けに拡張したオープン規格です。Keysightは、AXIeコンソーシアムの設立メンバーです。

LXI

www.lxistandard.org

LXIは、ウェブへのアクセスを可能にするイーサネットベースのテストシステム用インターフェースです。Keysightは、LXIコンソーシアムの設立メンバーです。

PXI

www.pxisa.org

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) モジュール測定システムは、PCベースの堅牢な高性能測定/自動化システムを実現します。

DEKRA Certified
ISO 9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.
DEKRA Certified ISO 9001:2015
Quality Management System

USB Type-C™ およびUSB-C™ は、USB Implementers Forumの登録商標です。

www.keysight.co.jp/find/usb

キーサイト・テクノロジー合同会社

本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-18:00 (土・日・祭日を除く)

TEL ☎ 0120-421-345 (042-656-7832)

FAX ☎ 0120-421-678 (042-656-7840)

Email contact_japan@keysight.com

ホームページ www.keysight.co.jp

記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。