

80SJNB のジッタ測定結果の相関関係

テクトロニクス (Beaverton, Oregon 97077, USA)
サンプリング・オシロスコープ
Pavel Zivny

80SJNB を使用して行う測定を他のジッタ測定ツールと比較します。ジッタについて、時間軸成分および電圧軸成分まで細かく検証します。また、BER ジッタ・バスタブを BERT と比較します。これらの結果から、80SJNB とその他のツールが一致することを示します。

1. はじめに

80SJNB は、当社 8000 シリーズ・サンプリング・オシロスコープ・プラットフォームにおいて、ジッタ、ノイズ、およびビット・エラー・レート (BER) を解析するアプリケーション・ソフトウェアです。80SJNB は、ジッタおよびノイズをその主要成分に細かく分離できるので、デバッグ診断情報のようなコンプライアンス・テストの結果算出、そして高ビットレートのシリアル・データ・リンクで使用されるシステム成分の検証が可能になります。

80SJNB ソフトウェアの一部はまったく新しい機能ですが、ジッタ解析などの機能はその他の測定デバイスでも実行できます。本書では、目的を次の 2 点に置いています。

- 80SJNB のジッタ解析と他のジッタ解析手法との相関関係
- 80SJNB によるジッタ成分の分離機能によって得られるジッタ解析結果の安定性および正確性

上記の 2 つの目的は、障害が変化する信号の測定と、障害が一定である信号の測定を行うことで達成できます。測定結果は、以下の内容に一致することが予想されます。

- 低い確率レベルに対する推定 BER (ビット・エラー・レート) と BERT (ビット・エラー・レート・テスト) によって測定される BER との一致

さらに、80SJNB が信号障害を基本的なタイミング成分と振幅成分に正確に分離する方法も示します。

測定の相関関係を検証するために、本書では複数の手法で処理できる信号に注目します。80SJNB には、他のソリューションの範囲を超えるさまざまな機能が用意されていますが、それらについては本書では触れません。

2. セットアップ

さまざまなレベルの RJ (ランダム・ジッタ)、PJ (周期ジッタ)、ISI (シンボル間干渉)、RN (ランダム・ノイズ)、および PN (周期ノイズ) によって、シリアル・データ・ストリームが正常に機能しなくなります。ケースごとにレポートされた値を検証し、以下の 4 つのシステム間で比較します。これらのシステムの公称性能はほぼ同等です。

- 80SJNB ジッタ、ノイズ、BER 解析ソフトウェアが搭載された当社 CSA8200 型・等価時間サンプリング・オシロスコープ。データは、低ノイズの 80E03 型電気サンプリング・モジュールを使用して帯域幅 30GHz で取り込まれます。82A04 型フェーズ・リファレンス・モジュールにより、最新性能である 200fs (rms) 以下のジッタ・ノイズ・フロアが提供されます。さらに CSA8200 型には、自動パターン・トリガ機能がある 80A06 型パターンシンク・モジュールが装備されています。
- 他メーカー X の等価時間サンプリング・オシロスコープ (ここでは ETSS x と呼びます)。この機器には、ジッタ解析ソフトウェアが内蔵されており、26GHz の電気サンプリング・モジュールが設定されています。200fs (rms) のランダム・ジッタ・ノイズ・フロアが提供されます。

- c. TDSJIT3 V2 ジッタ解析アプリケーション・ソフトウェアが搭載された当社 TDS6154C 型リアルタイム・オシロスコープ。この機器は、業界最高の 15GHz 帯域幅を有し、40G サンプル/秒のサンプリング・レート、420fs (rms) のジッタ・ノイズ・プロアのパフォーマンスを持ちます。
- d. Advantest D3286 エラー・ディテクタ (通常 BERT レシーバと呼ばれます)。動作周波数範囲は 150MHz ~ 12GHz です。

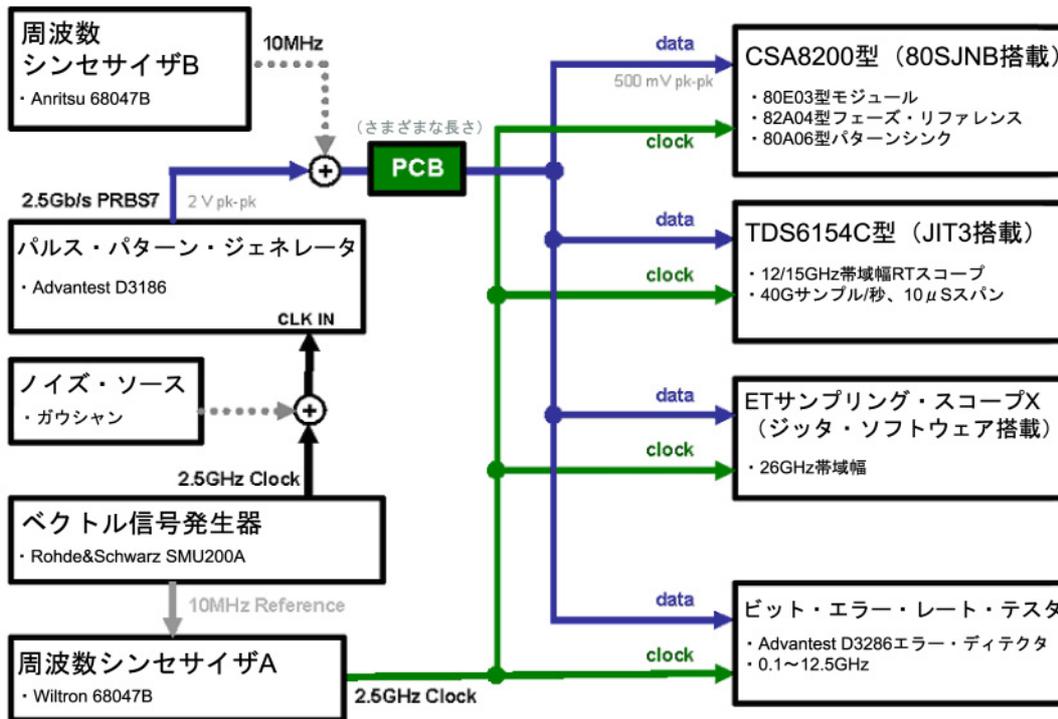


図1：信号源およびジッタ生成のセットアップ概略図

図 1 は、信号生成および測定システムへの信号分配を含むセットアップ全体を示しています。図の左半分は、信号源およびジッタ生成を行う機器を示しています。ベクトル信号発生器 (R&S SMU200A、100kHz ~ 4GHz) は、データ・ソースである 12.5Gbps の Advantest D3186 パターン・ゼネレータに 2.5GHz のクロック信号を提供します。このパターン・ゼネレータは、2.5Gbps の擬似ランダム・ビット・シーケンスを $2^7 - 1$ (127 ビット) のパターン長で生成するように設定されています。パターン・ゼネレータの出力は 2Vp-p で、抵抗により約 450mVp-p 振幅の 4 つの信号に等分され、4 つのテスト機器に適用されます。同様に、Wiltron 68047B 周波数シンセサイザによって、クリーンな 2.5GHz クロック信号がジッタ解析機器に提供されます。この周波数シンセサイザは、10MHz の外部リファレンス信号によってベクトル信号発生器にロックされます。さまざまなジッタおよびノイズ障害をデータ信号に注入する方法は、以下の各セクションでそれぞれ説明します。

現時点では、すべての機器が差動信号を受信するわけではないため、シングルエンド信号のみ検証します。データ取込中は、すべての機器 (ビット・エラー・ディテクタを除く) に対して同じ時間をかけてそれぞれの結果を取得します。すべての機器の自動垂直スレッショルド選択をオンにします。D3286 BERT は、ビット・エラー・レートを純粋にレポートしますが、ジッタのサブ成分の値はレポートしないため、この結果の解析は、80SJNB との時間方向バスタブ曲線の比較のみに限定します。

3. RJ

ランダム・ジッタ (RJ) は、10/90 抵抗パワー・コンバイナ経由でベクトル信号発生器から、パターン・ゼネレータへの正弦波クロック信号に振幅ノイズを電圧方向に加えることによって生成されます。その後、パターン・ゼネレータのフェーズ検出回路の固定スレッショルドが、振幅ノイズを送信データ・パターンのタイミング・ノイズに変換します。ノイズ振幅がクロック信号振幅に比べて小さい場合は、振幅ノイズ分布のタイミング・ノイズ分布への変換は極めて直線状になります。振幅ノイズは、 $\pm 7\sigma$ (σ はノイズ分布の標準偏差) のガウシアン分布を持つカスタム・ノイズ・ソースによって提供されます。その結果、実際にはガウシアン・ジッタは 10^{-12} レベルのビット・エラー・レートまで下がります。RJ の量は、R&S SMU200A からドライブ・レベルを下げることによってコントロールします。その際、ノイズ・ソースの出力振幅は一定に保ちます。それにより、パターン・ゼネレータのフェーズ検出へのクロック信号の SNR を意図的に下げます。その結果、送信データ・パターンにおいてガウシアン RJ をコントロールできる範囲は 0.3 ~ 6ps (rms) になります。

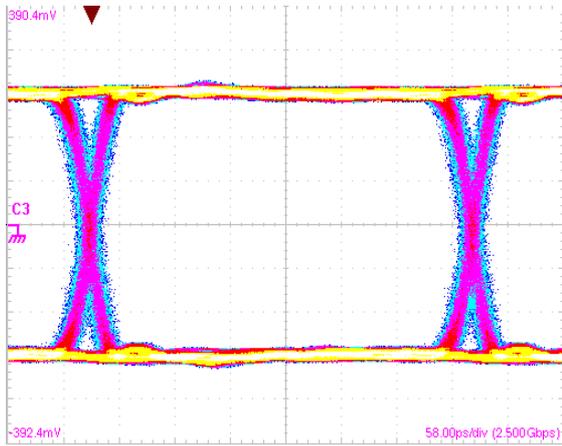


図2：5ps (rms) のRJ を注入した 2.5Gbps PRBS7 パターンのアイ・ダイアグラム

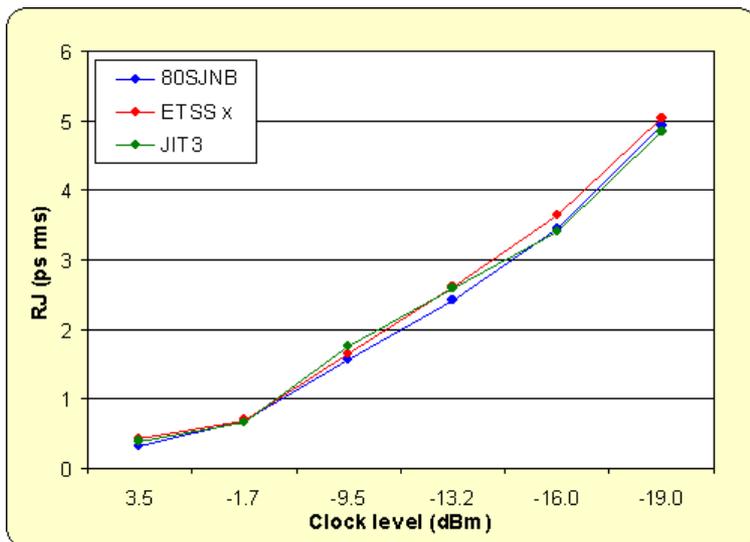


図3：さまざまなレベルのランダム・ジッタを注入した場合のランダム・ジッタ値 (RJ) のレポート結果

図 2は、データ信号に影響を与えるジッタやノイズ障害がない 2.5Gbps PRBS7 データ・パターンに RJ を注入した結果のアイ・ダイアグラムです。図 3は、R&S SMU200A のクロック出力振幅の各レベルに対してレポートされる RJ 値です。すべての機器の結果が一致していることがわかります。特に、ジッタの各注入量に対して、機器間の測定値の差は 200fs 以下であることがわかります。3dBm 以上のクロック・レベルの場合、注入されたジッタは無視できるほどわずかであり、レポートされた 310 ~ 420fs (rms) のジッタ値は、セットアップにおいてロックされた 2つのクロック間に内在するランダム・ジッタが原因です。

4. DDJ

DDJ¹ (データ依存性ジッタ) は、FR-4 プリント基板上でさまざまな長さの損失のあるマイクロストリップ伝送路を介して信号を送信することによって生成されます。2.5 Gbps のデータ・レートで、150ps (p-p) 以上の DDJ 値が簡単に生成されます。

図 4は、FR-4 上の 46 インチ・トレースを介した伝搬後のアイ・ダイアグラムです。図 5は、さまざまなトレース長のレポート値です。DDJの結果は、各機器間で非常によく一致しています。

¹ DDJ は、ISI という物理的な問題の主な結果です。一部の古い文献では、ISI と DDJ は同じものとして使用されていますが、現在 (2005 年夏) の業界では、物理的な作用を ISI と呼び、結果的な障害を DDJ と呼んでいます。80SJNB では、信号に対する ISI の電圧方向の影響を DDN (Data Dependent Noise : データ依存性ノイズ) として測定可能です。

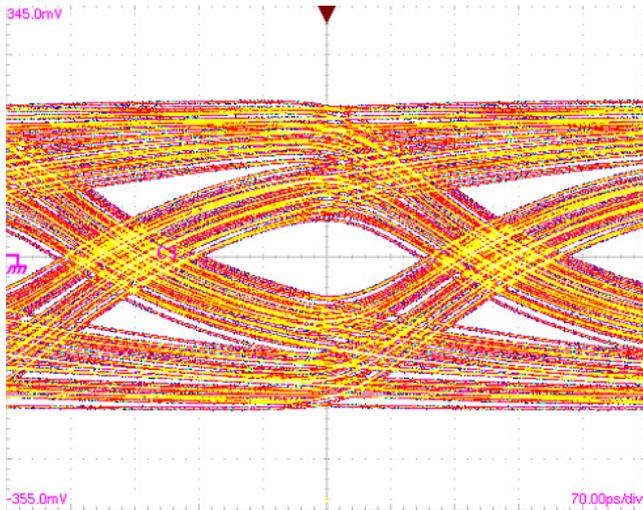


図4：FR-4 上の 46 インチ・トレースを介した伝搬後のアイ・ダイアグラム

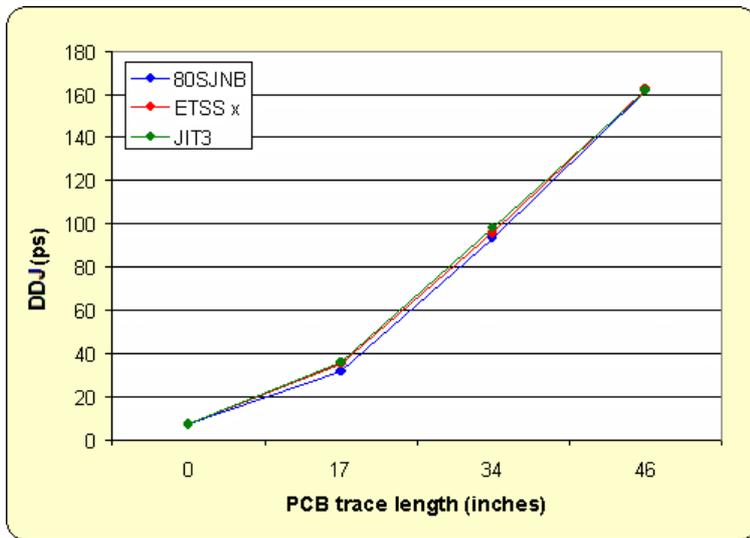


図5：PCB 上のさまざまなトレース長を介した伝搬後の DDJ 値

5. PJ

周期ジッタ (PJ) は、SMU200A ベクトル信号発生器の I/Q 変調によって生成されます。このテストでは、10MHz の周波数における正弦波位相変調が、D3186 パターン・ゼネレータに供給される 2.5GHz のクロック信号に対してプログラムされています。40ps (p-p) までの PJ 振幅を正確に生成できます。

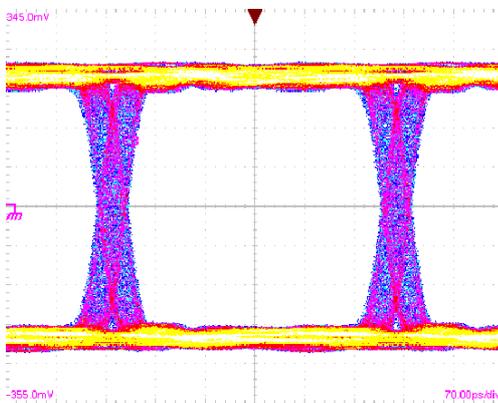


図6：40ps の振幅ジッタを注入したアイ・ダイアグラム

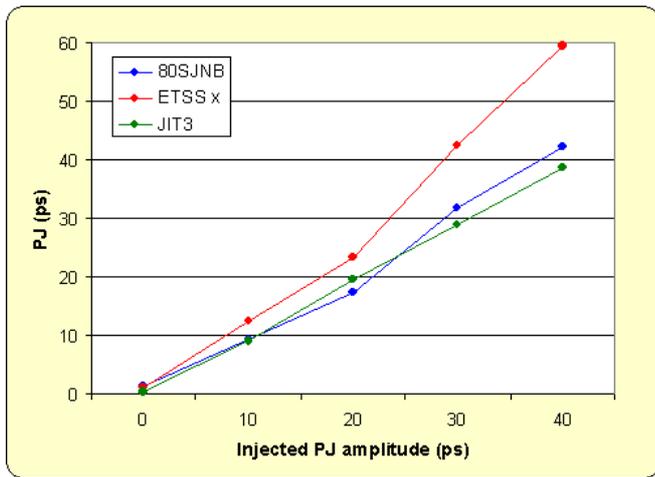


図7：ベクトル信号発生器で、プログラムにしたがって少しずつ注入されたPJとレポートされたPJの関係

図7から明らかなように、JIT3と80SJNBは近い値をとり、正確なPJ値がレポートされています。それに対して、ETSSは20ps(50mUI)以上の注入値に対するPJを過大に推定しています。JIT3および80SJNBは、どちらも直接スペクトラム分離アルゴリズムを使用してPJを判断します。JIT3および80SJNBは簡略化モデルに頼らないため、より強力で正確です。

ETSSはPJをDual-Dirac(δ - δ)値としてレポートしますが、当社のオシロスコープはPJの直接ピーク・トゥ・ピーク値をレポートします。ここに示されているケースでは、DJ:RJの比率が大きいため、Dual-Dirac値とピーク・トゥ・ピーク値がほとんど等しくなることが予想されます。その結果、(異常に)直接比較が正当化されます。いかなる場合も、正確なDual-Dirac値は、対応する直接ピーク・トゥ・ピーク値よりも小さくなければなりません。図7はそれと正反対になっています。

2つめのPJ測定は、PJの量に対してレポートされるDDJの感度です。

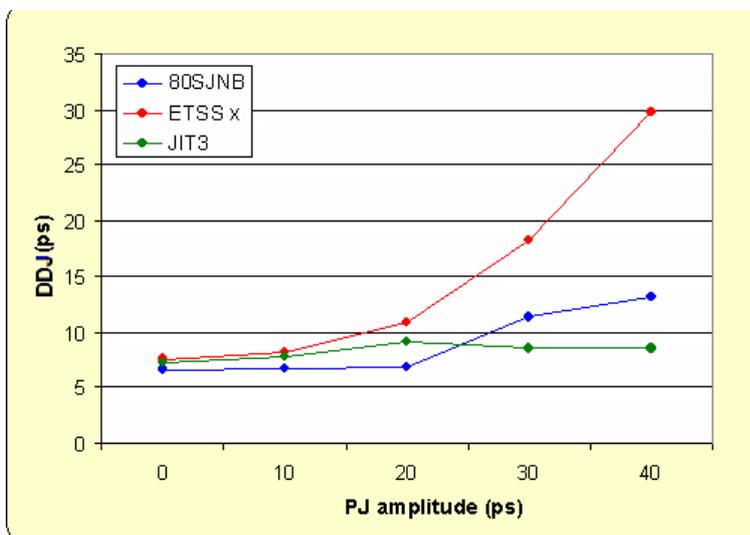


図8：PJに対してレポートされたDDJの感度（DDJは一定）

図8から、ETSSではDDJ結果がPJの影響を受けていることがわかります。注入されるPJが多いほど、レポートされるDDJのエラーが予想値の数倍大きくなっていることがわかります。これらの理由ははっきりしません。この点については、JIT3がほとんど横ばいのラインを描いていることから、このプロットで最も良い動きをしています。

通常、TDS6154C型リアルタイム・オシロスコープは、リアルタイム・サンプリング・レートが最大40GS/sであるため、周期ジッタ測定には有効です。このようにサンプリング・レートが高いと、サイクル間ジッタの取込および正確な周期ジッタ・スペクトラムの取込が可能です。等価時間サンプリング・オシロスコープの場合は、100kHz以上のジッタ成分およびノイズ成分のエイリアス化されたスペクトラムに限定されます。にもかかわらず、80SJNBの強力な直接スペクトル分解アルゴリズムを使用すれば、エイリアス化されたスペクトラムからでも正確な周期ジッタを推定できます。

6. 結合したジッタ注入

ここまでは、単一のジッタ成分を注入した場合の機器を評価しました。次に、これまでのセクションで説明したすべてのジッタ成分を、さまざまなレベルで組み合わせて同時に注入することによって増加する複雑性について説明します。全体的なジッタ・コンテンツのレベルが低、中、および高の場合の例について考えます。結果の表と、それに対応するサンプル・アイ・ダイアグラムを図9~15に示します。

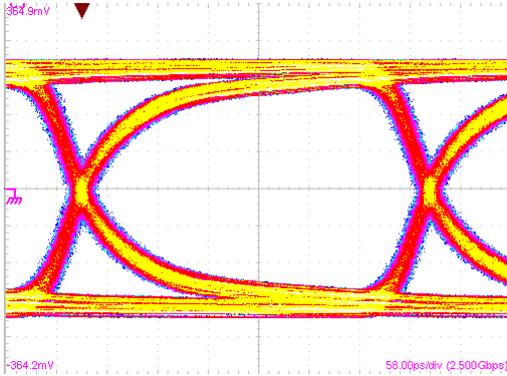


図9：ジッタ・レベル低：10MHzにおいて $\sim 2.5\text{ps}$ (rms) のRJおよび10psのPJを注入、12インチPCBを介した伝搬

	80SJNB	ETSS x	JIT3
RJ	2.44	2.45	2.51
ISI	14.9	17.1	16.5
DCD	2.4	3.1	1.6
PJ	11.8	8.7	9.5
TJ (10^{-12})	55.7	56.7	56.2

図10：低レベルの結合したジッタ注入のレポート結果

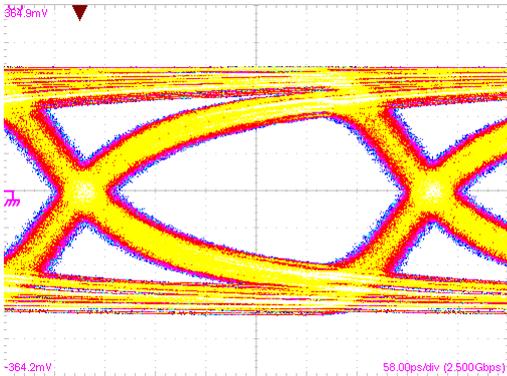


図11：ジッタ・レベル中：RJ $\sim 3.5\text{ps}$ (rms)、PJ = 20ps、24インチPCB

	80SJNB	ETSS x	JIT3
RJ	3.48	3.55	3.98
ISI	41.3	48.2	50.7
DCD	3.9	3.5	0.4
PJ	22.6	21.4	20.9
TJ (10^{-12})	115.4	114.6	116.6

図12：ジッタ・レベル中の結果

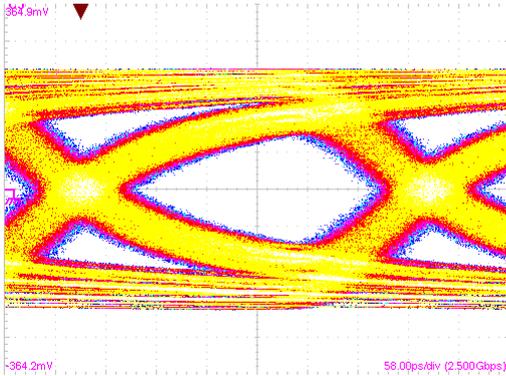


図13：ジッタ・レベル高：RJ~7ps (rms)、PJ=30ps、34 インチ PCB

	80SJNB	ETSS x	JIT3
RJ	6.69	7.22	7.44
ISI	83.3	82.8	86.5
DCD	3.4	4.6	0.8
PJ	33.6	30.1	31.7
TJ (10^{-12})	203.2	204.6	203.5

図14：ジッタ・レベル高の結果

ジッタのサブ成分のレポート値は各機器間で少しずつ異なりますが、指定された BER レベル 10^{-12} でのトータル・ジッタは、推定値がほぼ一致しているという点が注目に値します。トータル・ジッタのレポート値は、最大でも 5mUI しか差がありません。

7. 電圧信号障害 (RN、PN)

80SJNB には固有の機能として、すべての信号障害を時間軸成分および電圧成分、つまりタイミング・ジッタおよび電圧軸ノイズに分離する機能があります。80SJNB は、不確定性を基本的な時間軸成分および電圧軸成分に分離してから、2-D コンボリューションを実行して完全な BER アイを組み立てます。この BER アイは、水平不確定性、垂直不確定性、および相関波形の完全曲率の微細な相互作用をすべて暗黙的に反映します。直交するこれらの成分は、ビット・トランジションのスルー・レートを介して相互作用します。たとえば、クロストークは実際には電圧方向の信号障害であり、ランダム、周期、およびデターミニスティックのノイズ成分によって計量できます。しかし、80SJNB 以外のジッタ解析では、クロストークをジッタとして解釈するため、高性能なデバイス、モジュール、システム的设计者に対して、アイ・クロージャの原因を特定して修正するために必要な詳細情報を提供することができません。

以下の例では、図 1 に示されているように、ガウシャン・ノイズおよび正弦波信号 (周波数シンセサイザ A) を抵抗パワー・カップラにより合成されたデータ信号を加えることにより、ランダム・ノイズ (RN) および周期ノイズ (PN) が生成され、電気回路のクロック信号や差動伝送路の 2 線間の結合度による周辺回路への影響を推定することができます。

信号立上がり、立下りエッジ・トランジションのスルー・レートを減少するために、2GHz の 4th-order Bessel-Thompson ローパス・フィルタがデータ信号パスに挿入されます。そのため、エッジ上で観測される時間軸ジッタの出夏軸ノイズの効果が強調されます。

A. ランダム・ノイズ (RN)

図 15 は、垂直ランダム・ノイズ (RN) を注入した結果のアイ・ダイアグラムです。この例では、80SJNB の垂直水平分離機能がよくわかるように、時間軸ジッタの残留量 (1ps rms) がビット・ストリームに適用されました。図 16 は、RN のレベルを増加させながらビット・ストリームに注入したときに、すべての機器が RJ の上昇値をどのようにレポートしたかを示しています。JIT3 は、測定器に内在するノイズが他の 2 つのサンプリング・スコープよりも高いため、わずかに高い RJ 値を測定します。

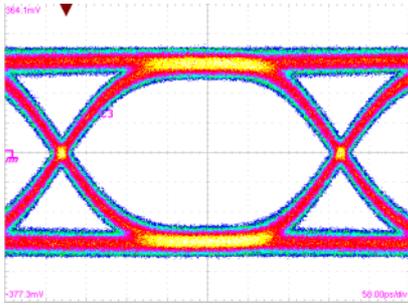


図15：垂直ランダム・ノイズによって損なわれたアイ・ダイアグラム

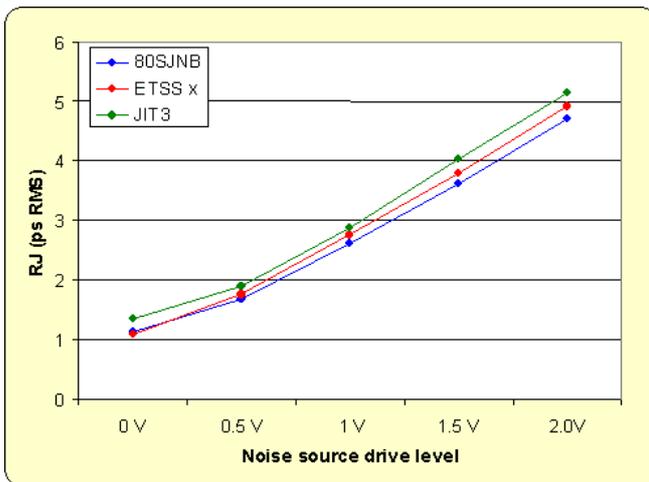


図16：注入された振幅ノイズのレベルに対してレポートされたRJ値

しかし、80SJNB は図 17に示されているように、クロストークをジッタと正確に区別できる唯一の解析ソリューションです。青い線は、すでに図 16にプロットされている RJ の観測値です。赤および緑の線は、電圧軸および時間軸のランダム・ノイズが原因の直交する RJ のサブ成分を表しています。これらは、80SJNB によってそれぞれ RJ (v) および RJ (h) としてレポートされます。この図から、信号に注入される振幅ノイズが増加しても、RJ の時間軸成分 (RJ (h)、緑の線) は変化しないことが一目でわかります。また、観測された 2ps 以上の RJ 値の場合、主な原因が実際には電圧軸ノイズ (RJ (v)、赤い線) であることも明らかです。RN の最低レベルでは、注入ノイズが実際にはゼロであり、0.7mV の残留値はサンプリング・モジュールのノイズ・フロアが原因であることに注意してください。

したがって、観測される RJ のジッタ値はすべての機器で同じですが、80SJNB の垂直水平分離機能を使用すると、BER 違反のソースを特定できます。つまり、BER が高い場合 (BER 値が悪化した場合) の原因が、純粋な水平タイミング・ジッタではなく、クロストークまたは垂直ノイズのどちらであるかを特定できます。

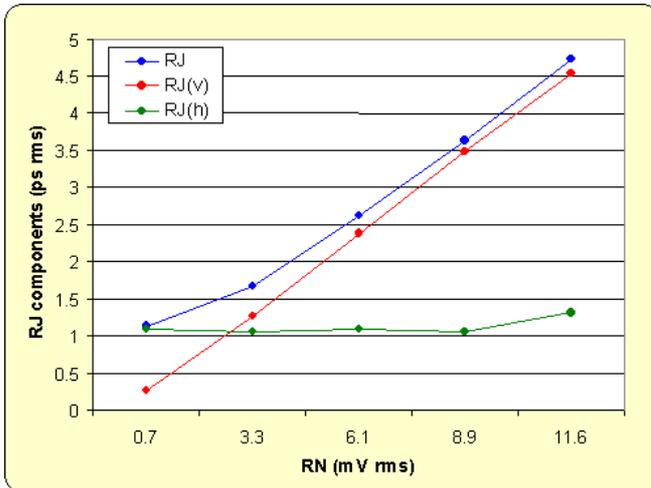


図17：80SJNBによって明らかになるRJの水平ソースおよび垂直ソース

B. 周期ノイズ (PN)

ここでは、最初に 10MHz の周波数において、周波数シンセサイザ B を使用してさまざまなレベルの周期振幅ノイズ PN をデータ信号に注入します。

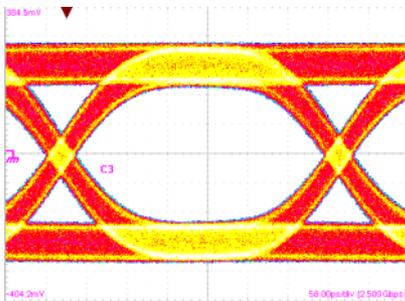


図18：信号振幅に対する大きさが22%の正弦波周期ノイズによって損なわれたアイ・ダイアグラム

RN と同様に、3 つの機器によってレポートされた PJ の観測値を図 19 にプロットし、80SJNB によって時間軸および電圧軸サブ成分に分解された PJ の値を図 20 にプロットします。この場合も、実際には PJ のすべてが電圧軸サブ成分（振幅、変調）に起因していることが 80SJNB によって明らかになります。

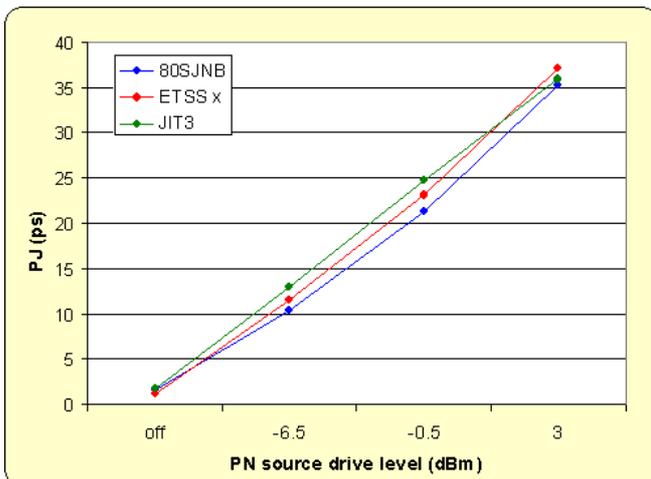


図19：注入された周期ノイズのレベルに対してレポートされたPJ値

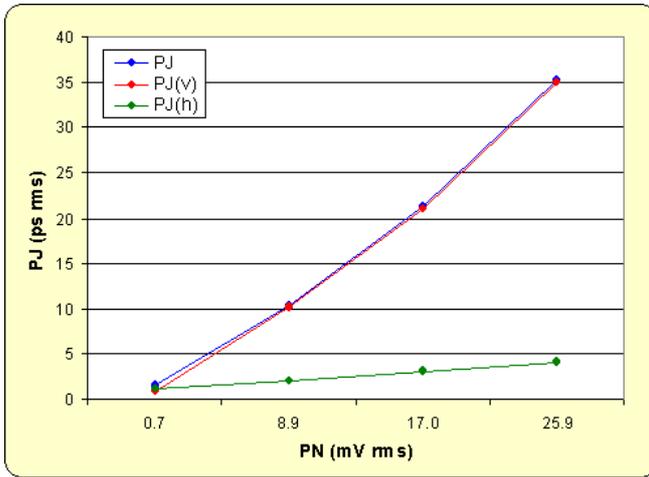


図20：80SJNBによって分離されたPJの垂直（振幅）および水平（タイミング）信号源成分

垂直水平分離についてさらに2つの例を示します。今回は、注入される周期ノイズおよび直接注入される周期ジッタの両方が使用されます。

例1（図21）：一定量の直接PJ（1MHzにおいて10ps p-p）を適用し、注入されるPN（10MHz）のレベルを変化させます。

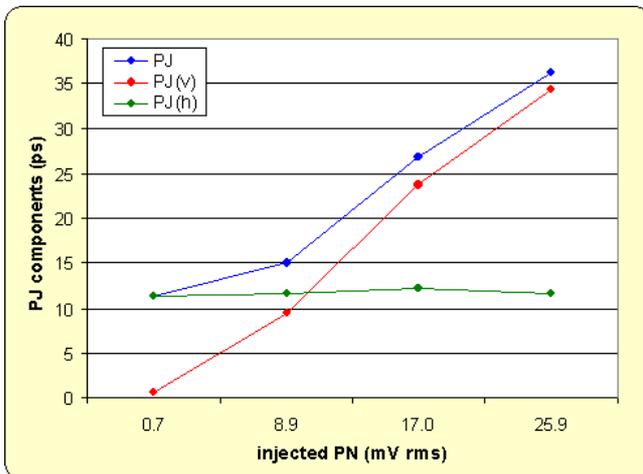


図21：一定レベルのPJを適用し、注入するPNのレベルを変化させた場合の直交するPJ分離

例 2 (図 22) : 一定量の PN (1MHz において 10ps p-p) を適用し、直接注入される PJ のレベルを変化させます。

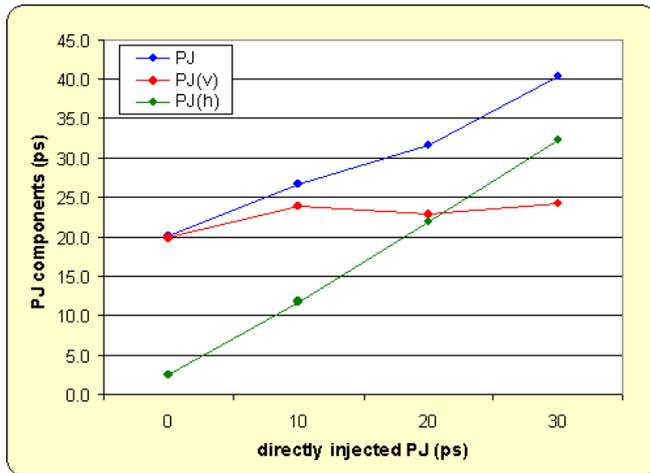


図22 : 一定レベルの PN を適用し、直接注入する PJ のレベルを変化させた場合の直交する PJ 分離

8. BERT バスタブ曲線

ガウシアン分布を持たないランダム・ジッタや周波数帯域幅に制限されないジッタが存在する信号をオシロスコープでジッタ解析をして比較する場合には、BER 値を計算するバスタブ測定の比較が理解しやすくなります。

このセクションでは、時間軸バスタブ曲線を比較します。つまり、スレッシュホールド・レベルの二次元 BER マップの時間軸方向での比較をします。時間軸バスタブ曲線は、BER = 10^{-12} までのレベルにおいて、Advantest D3286 エラー・ディテクタによって直接測定される BER 値と、80SJNB によって提供されるバスタブ曲線と共に比較検討いたします。最初はデータ・パターンを 2.5Gbps レートのシンプルな 1010...ビット・パターンに限定します。これらのテストの目的は、BERT による直接測定と比べて、80SJNB が低い BER レベルで TJ を正確に推定できることを示すことです。

BERT の水平時間分解能は 1ps です。低レベルの RJ (400fs 未満) を含む信号の場合、通常は急勾配の BER ランダム・ジッタ・テール上で 2 ポイントしかスキャンできません。

BERT が十分なビット・エラーを検出できない場合には 10^{-12} 測定の BER 値 (- 12 レベルの赤い点) は、BERT 付属のソフトウェアによって予測される場合があります。

以下の 3 つのプロットは、1010 パターンおよび結合注入ジッタの増加レベルに対して測定されたバスタブ曲線を示しています。

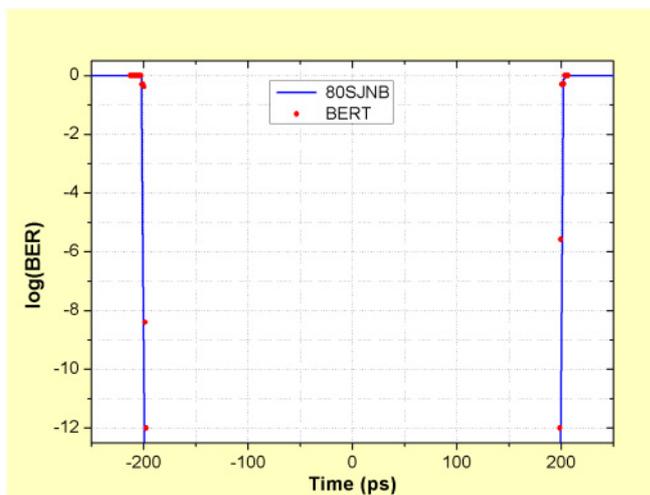


図23 : 損なわれていない 2.5Gbps の BER 曲線 (RJ は 300fs (rms) 未満、TJ = 5.1ps)

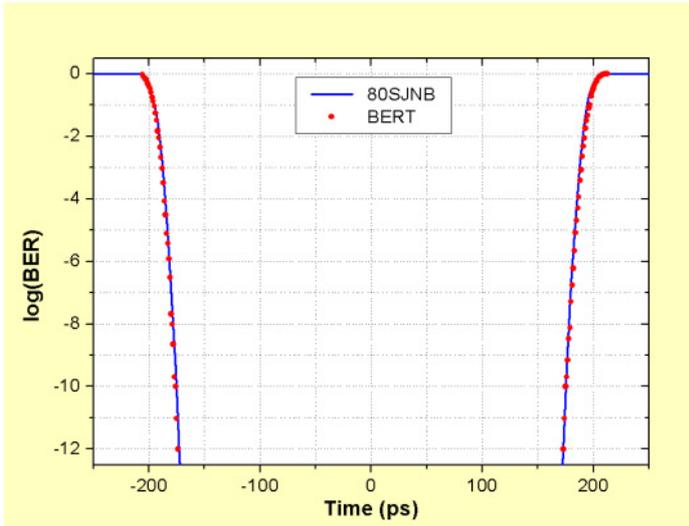


図24 : RJ = 3.8ps (rms) 注入後のバスタブ曲線、TJ = 53.8ps

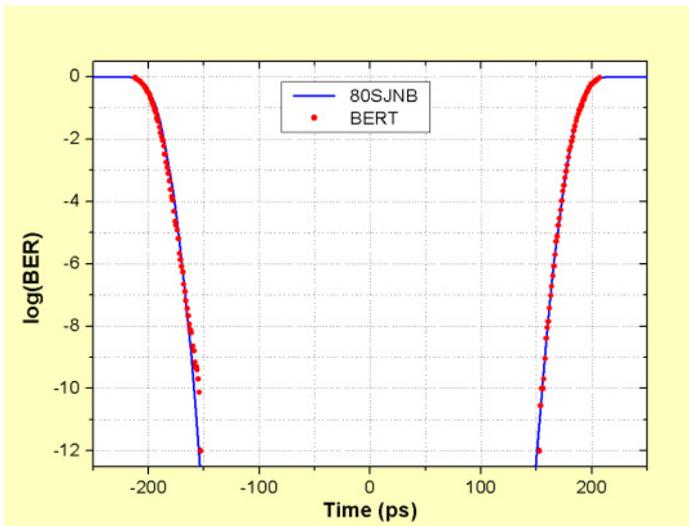


図25 : RJ = 7.01ps (rms) 注入後のバスタブ曲線、TJ は 99.6ps まで増加

以下の 3 つのプロットは、PRBS $2^7 - 1$ パターンおよび結合注入ジッタの増加レベルに対して測定されたバスタブ曲線を示しています。

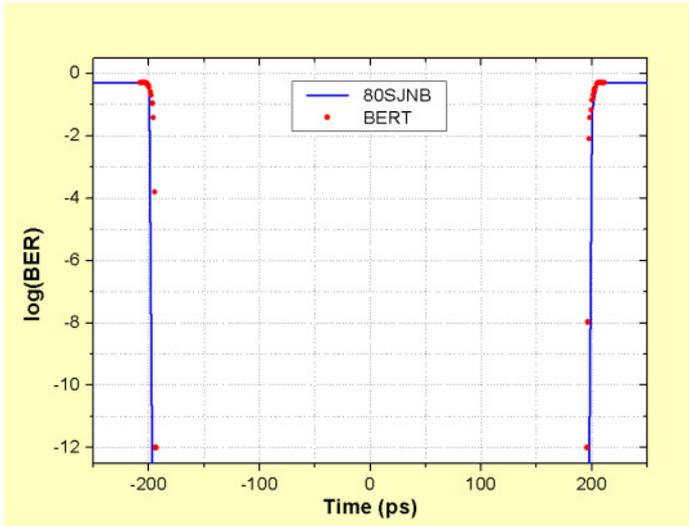


図26 : 2.5Gbps の PRBS7 パターンのベースライン・バスタブ曲線、TJ = 9.8ps

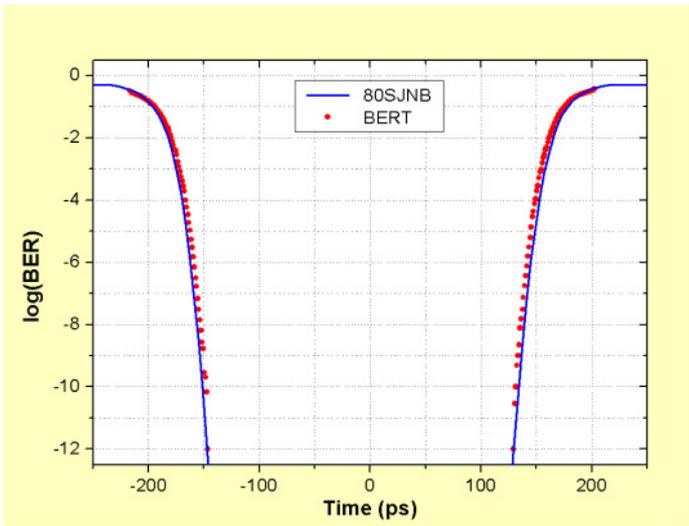


図27 : 24 インチの PCB トレースを介した伝搬で、RJ = 5.9ps を注入した後の PRBS7 パターンのバスタブ曲線、TJ = 123.9ps

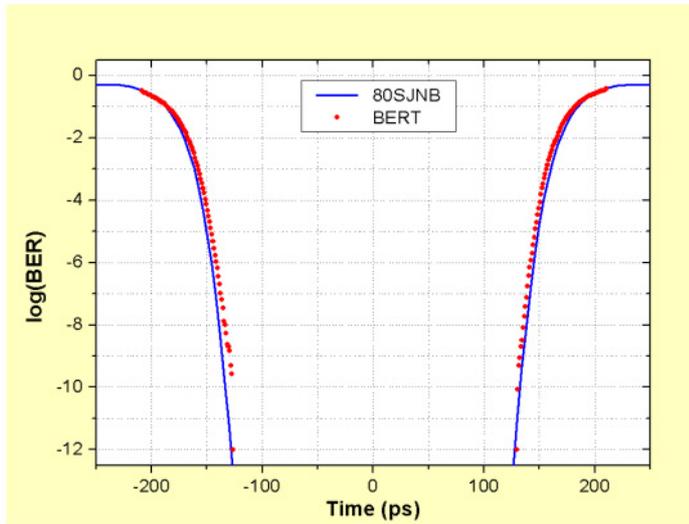


図28： 24 インチの PCB、RJ = 6.5ps の注入、および PJ = 20ps の注入後の PRBS7 パターンのバスタブ曲線、TJ = 147.0ps

より高レベルの DDJ がデータ・パターンに注入されるほど、偏差が上昇する傾向が見られます。つまり、BERT は 80SJNB よりも多くのアイ・クロージャを記録します。その理由については次のセクションを参照してください (BERT に誤りがあります)。

9. 注意-完璧ではない BERT

この調査で使用されたエラー・ディテクタは、時間軸の直線性が高いこと、そして内在するランダム・クロック・サンプリング・ジッタが 300fs (rms) 以下という非常に低いことなどで選ばれ、前のセクションの結果での性能レベルが証明されました。

反対に、多くの BERT モデルは本質的にデジタル・レシーバとして設計されており、そのアナログ信号の忠実度はあまり考慮されていません。測定機器のアナログ信号忠実度の一般的な測定では、信号のインパルスまたはエッジ応答が評価されます。これはオシロスコープでは簡単ですが、BERT では困難です。幸いにも、Advantest D3286 エラー・ディテクタによって提供されるモニタリング・ポートは、BERT のデータ入力パスのリミットアンプ回路を通過した後に、コンパレータ回路を通過したデータ信号を分配し出力します。このモニタ信号にコンパレータ回路の応答が含まれていない場合でも、信号忠実度の周波数帯域制限を十分に観察できます。

図 29 は、100MHz の方形波ステミュラスに対する、当社 80E03 型サンプリング・モジュールの応答と、BERT からのモニタ信号を比較しています。明らかに BERT のインパルス応答は、サンプリング・オシロスコープのものほどフラットでもなくきれいな形でもありません。一般に、サンプリング・オシロスコープは、最もフラットな周波数応答、最高の帯域幅、そして優れた信号忠実度を提供します。BERT のコンパレータ回路による解明不足の忠実度とは対照的に、80E03 型はダイオード・サンプリャによる優れた (そしてトレーサブルな) 信号忠実度を提供します。BERT の応答において観察されるリングングおよび長いセトリング・タイムの結果、テスト中の信号にデータ依存性歪みが発生します。最終的に、DDJ の測定値が増加し、トータル・ジッタが過大に推定されます。BERT によって引き起こされるエラーは、BER が時間軸の障害や原始的な信号パターン (前のセクションで使用された 1010...ビット・パターンなど) に占められている場合は小さなエラーですが、電圧軸障害 (RN、PN、DN) が占めている場合や ISI が高い信号の場合は、重大なエラーになる可能性があります。

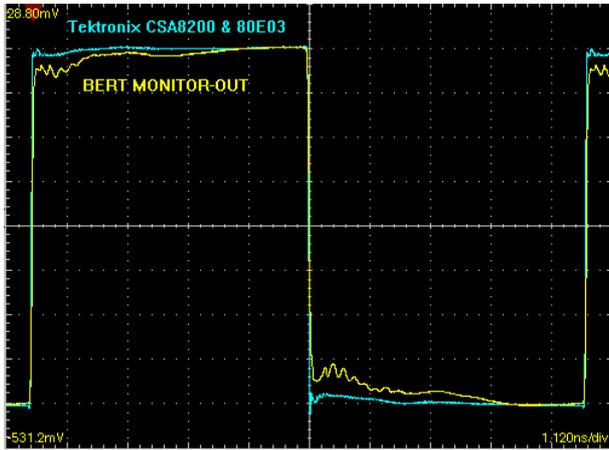


図29 : D3286 エラー・ディテクタと 80E03 型電気サンプリング・モジュールの 100MHz 方形波に対する応答の比較

以下は、低レベルのインパルス応答が原因で、BERT が TJ を過大に推定する場合の例です。FR-4 上の 18 インチのトレースを伝搬した後の 6.25Gbps、PRBS⁹ - 1 ビット・パターンの CEI-6G+ 信号について考察します。図 30 は、2 つのサンプリング・オシロスコープおよび BERT のコンパレータ回路が検出したものと同じ入力信号のアイ・ダイアグラムを示しています。2 つのサンプリング・オシロスコープのアイ・ダイアグラムはほとんど同じですが、BERT の波形は、内在する ISI による歪みが原因となるほど顕著な電圧軸および時間軸のアイ・クロージャを示しています。このため、明らかに電圧軸だけでなく時間軸に対しても過度に劣化したバスタブ曲線ができあがっています。この動向は図 31 でも示されており、この信号のバスタブ曲線が 80SJNB と BERT で比較されています。

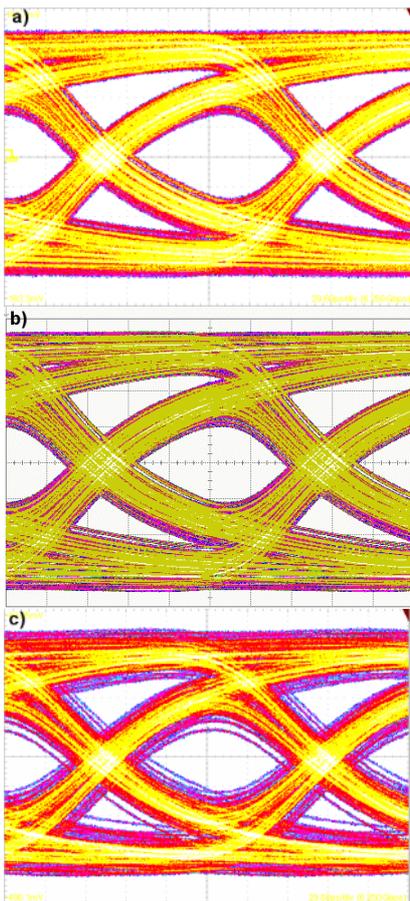


図30 : 6.25Gbps、PRBS9 の信号。a) および b) は、80E03 型および等価時間サンプリング・オシロスコープによって得られたアイ・ダイアグラム。c) は、同じ 80E03 型によって得られた BERT の「モニタ出力」ポートからの信号

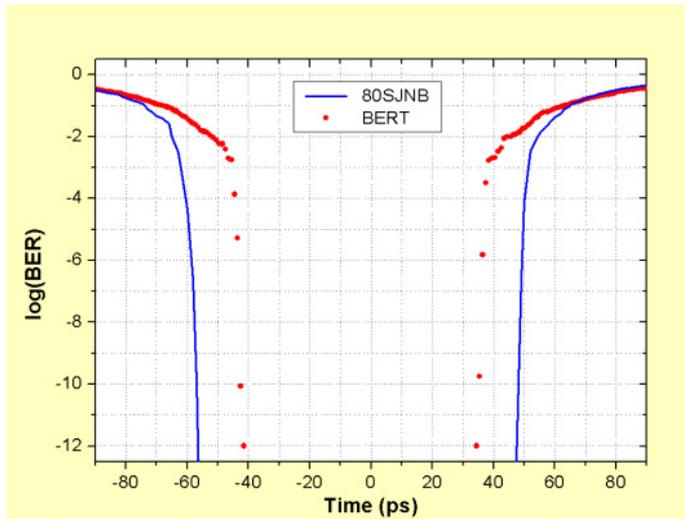


図31 : 6.25Gbps、PRBS9 のデータ・パターンに対して測定されたバスタブ曲線。BERT は、80SJNB と比べて約 200mUI 過大に TJ を推定します。

まとめ

PJ のレポート結果における等価時間サンプリング・オシロスコープの DDJ に対する感度と、リアルタイム・オシロスコープのやや大きいノイズ・フロア (サンプリング・オシロスコープと比較して) を除けば、3 つのオシロスコープの結果がみごとに一致しました。特に、TJ の結果はよく一致しました。

80SJNB は、ジッタの時間軸成分と電圧軸成分を分離できます。

80SJNB のバスタブ曲線は、BERT のハードウェア制限が結果を制限する場合を除いて BERT のバスタブ曲線と一致します。このことは、BERT は「最高の標準機」であるとみなされているため特に注目されます。