

# Tektronix CSA/TDS8200 BER 가

: ,

Pavel Zivny

샘플링 오실로스코프

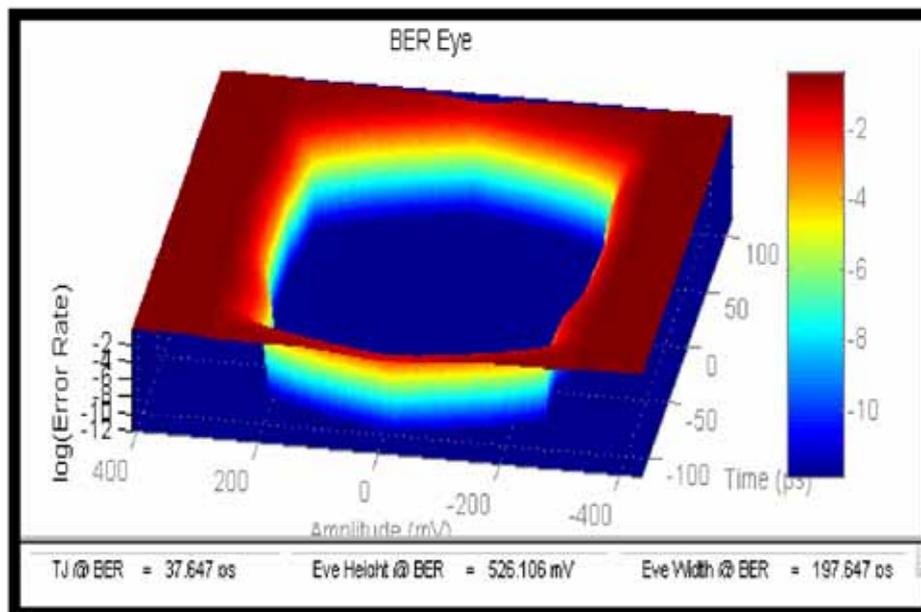
Tektronix, Inc.

Beaverton, Oregon 97077, USA

## 1.0

CSA/TDS8200 JNB를 텍트로닉스 CSA8200 통신 신호 분석기 또는 TDS8200 디지털 샘플링 오실로스코프 및 샘플링 모듈과 함께 사용할 경우 향상된 지터, 노이즈 및 완벽한 2차원 BER 아이 측정을 할 수 있습니다. 샘플링 모듈의 200 fs RMS의 시간축 정밀도와 안정된 주파수 응답 특성은 직렬 데이터 신호 측정에 매우 적합합니다.

본 백서에서는 지터와 노이즈 분석에 사용되는 지터 분리 및 분석 기법을 검토하고 지터와 노이즈 분리의 중요성에 대해 살펴보기로 합니다. 지터 분석 결과를 다른 지터 측정 도구에 의한 결과와 비교한 내용에 대해서는 별도의 백서를 통해 확인하실 수 있습니다('지터 상관관계(Jitter correlation)'). 본 백서에는 지터와 노이즈 분리 및 분석 결과를 사용하여 pdf 파형, pdf 아이, BER 아이(pdf 아이의 cdf)를 계산하는 방법도 언급되어 있으며, 이에 대한 자세한 내용은 본 웹사이트와 [www.t11.org](http://www.t11.org)에 게시되어 있는 "BER 평가에 관한 노이즈의 영향(Impact of Noise on BER estimation)"이라는 제목의 백서를 참고하십시오.



## 2.0

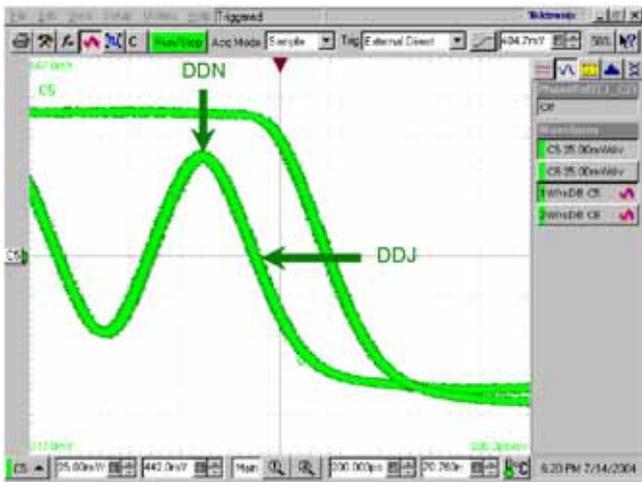
지터는 직렬 데이터 링크 분석을 위한 중요한 특성이기는 하나, 단지 지터만으로 모든 분석이 완료되는 것은 아닙니다. 데이터 링크를 정확히 평가하려면 지터와 노이즈<sup>1</sup>를 모두 분석할 필요가 있습니다.

기존의 일반적인 지터 분석에 다음의 두 가지 요소가 추가되었습니다.

- 노이즈/수직 아이 클로저는 지터/수평 아이 클로저 방식과 매우 유사한 방식으로 간주되어야 합니다.
- 과도 상태의 임계값 교차에 근거한 지터 측정에는 수직 노이즈의 영향이 포함됩니다. 수직 노이즈의 크기, 트랜스미터의 과도 응답, 전송 채널에 따라 이러한 영향의 정도는 매우 달라질 수 있습니다.

이 두 가지 경우를 모두 예시하기 위해, 잘 알려진 지터 형태의 일부를 이들의 수직 성분과 함께 고려해 볼 것입니다.

데이터 의존성 지터(DDJ)와 데이터 의존성 노이즈(DDN)는 상관 및 결정성 수평 및 수직적 불확실성입니다. 서로 밀접하게 관련되어 있는 이들은 전송된 파형이 비트 변환 사이에 완전히 안정되지 못하게 방해하는 채널 손상 또는 불충분한 대역폭에 의해 야기되는 경우가 많습니다. 결과적으로 나타나는 진폭 오류(DDN)는 계속되는 변환 과정에서 그림 1에서 보는 바와 같이 시간 오류(DDJ)로 이어집니다.

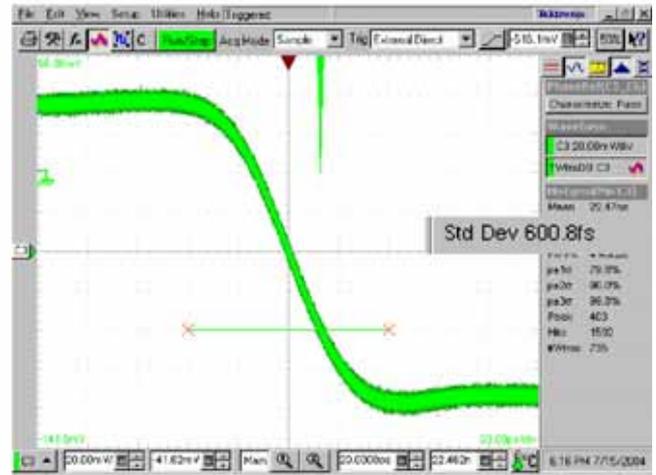
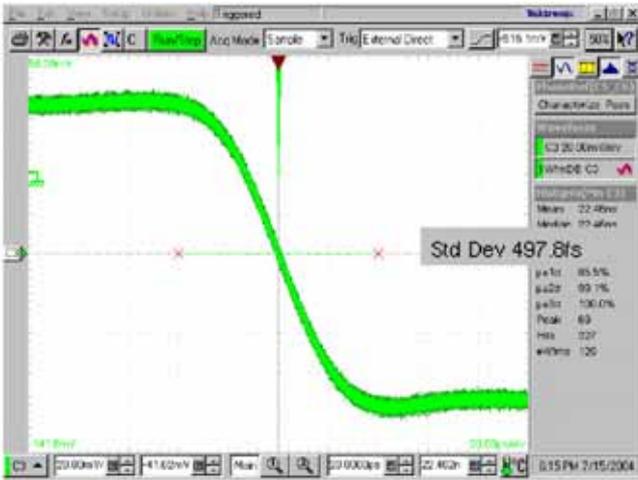


### 1. DDJ DDN

이 패턴을 진폭 제한 증폭기에 통과시킨다면 그 결과는 DDN이 제외된 순전한 DDJ가 될 것입니다. 이 DDJ/DDN 의존성을 다시 개별 시스템에서 추적해보면 DDJ 완화를 위한 중요한 정보를 얻을 수 있습니다. 예지에만 집중할 경우 중요하면서도 단순한 이 사실을 놓칠 수 있습니다.

랜덤 지터(RJ)와 랜덤 노이즈(RN)는 비상관 및 비결정성 수평 및 수직적 불확실성입니다. 이들은 일반적으로 광대역과 가우스로 모델링됩니다. 수평 RJ는 결정 회로의 열 노이즈와 발진기 위상 노이즈에 의해 발생할 수 있으나, (수직) RN은 증폭기의 열 노이즈가 원인이 되는 경우가 많습니다. 지터가 데이터 신호의 에지 상의 히스토그램으로 측정되는 반면 측정된 값은 수평 지터인 RJ(h)와 에지의 슬루율로 변환된 RN으로 인한 수직적 구성 요소의 결합으로 나타납니다. 예를 들어 그림 2와 같은 하강 에지의 경우, 측정 위치가 에지를 따라 움직이면서 측정된 지터는 500 fs에서 600 fs RMS로 증가합니다. 실제로 이 신호에는 수평 지터인 200 fsRMS(h)가 포함되지만, 측정된 값이 달라지는 것은 1.5 mVRMS의 초과 수직 노이즈와 파형의 슬루율 변화에 기인합니다.

<sup>1</sup> 본 백서에서 '노이즈'라는 용어는 '신호의 바람직하지 않은 수직적 장애'라는 넓은 의미로 사용되었습니다. 여기에는 예를 들어 수직 ISI 클로저, 링잉(Ringing) 등이 포함됩니다.



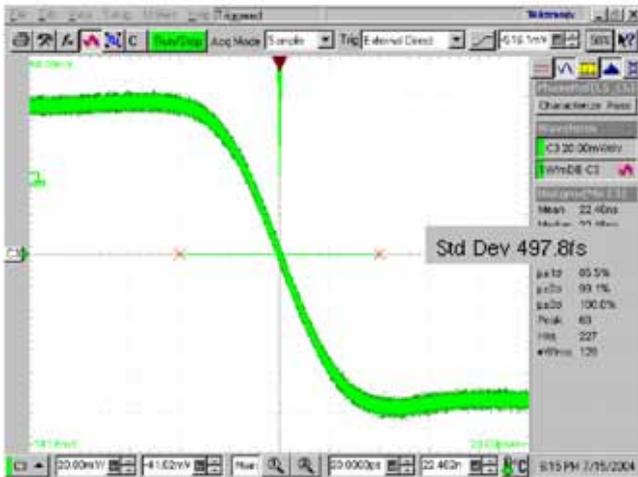
2.

(

)

그러면 어떤 RJ 값이 정확한 것일까요? 관찰된 RJ는 분명히 해당 수준 파형의 결정 임계값과 슬루율에 따라 달라집니다. 단일 에지의 경우에는 여기에 이견의 여지가 있을 수 없습니다. 그러나 전체 아이 다이어그램에는 패턴의 모든 에지가 포함되므로 그렇게 간단하게 볼 수 없습니다.

그림 3은 이보다 더 놀라운 것으로, 여기서는 같은 하강 에지가 상승 에지와 함께 표시되고 있습니다. 이 트랜스미터는 서로 다른 상승 및 하강 에지를 생성하고 있으며, 결과적으로 하강 에지에서는 500 fs RMS, 상승 에지에서는 1 ps RMS가 관찰됩니다.



3.

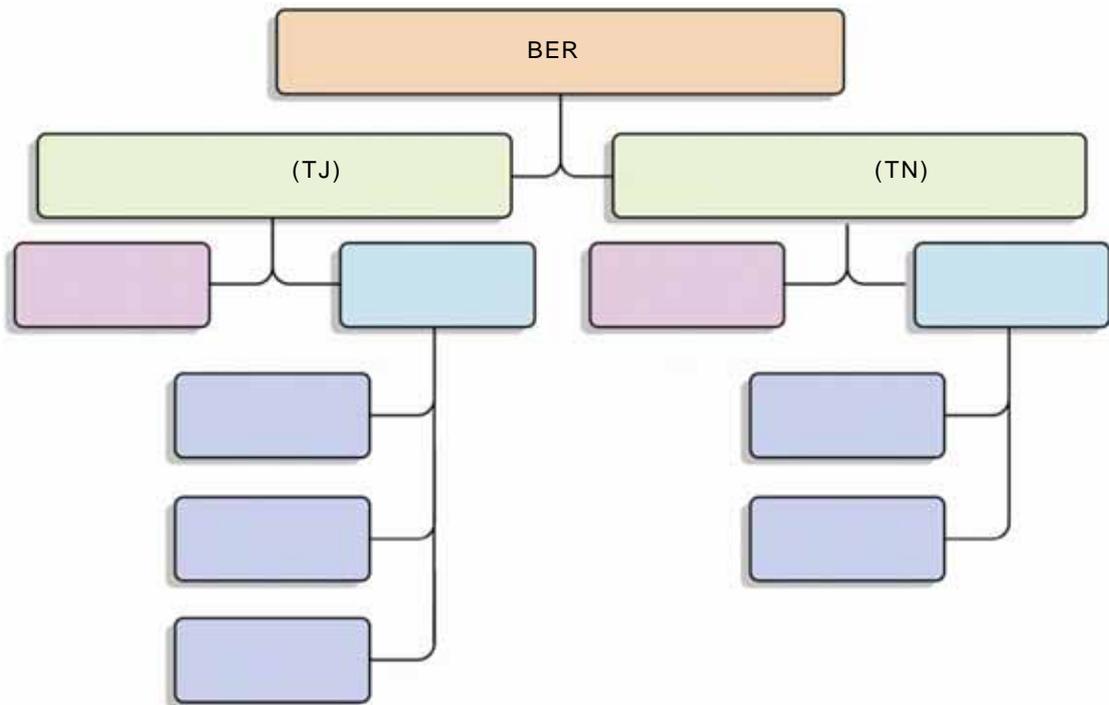
(

)

표면 손실(skin loss)과 같이 저주파수 채널 장애가 나타나는 실제 신호의 경우, 직렬 데이터 흐름의 파형 모양은 매우 다양하게 나타날 수 있으며, 관찰된 RJ도 그에 따라 달라집니다. bathtub의 하단을 찾아내기 위해서는 RJ가 반드시 필요하므로 이는 간단한 문제가 아닙니다. 따라서 완전한 아이 다이어그램의 경우와 총 지터(TJ) 및 BER 외삽의 경우에 RJ는 패턴의 각 비트에 대해 관찰된 RJ를 체계적으로 합산하여 표시됩니다. 80SJNB 소프트웨어에 의해 수행되는 가장 정확한 BER 외삽에는 이와 같이 철저한 분석이 필요합니다.

주기성 지터(PJ)와 주기성 노이즈(PN)는 RJ 및 RN의 경우와 같이 비상관성이기는 하나 결정성 수평 및 수직적 불확실성입니다. 이들의 경우 파형을 통해 자체적으로 PJ로 변환되는 PN의 속성 때문에 유사한 체계적 분석이 필요합니다. PJ는 PN 때문에 누화(crosstalk)로서 결정 회로에 주입되는 경우가 매우 자주 발생합니다. PJ를 PN으로부터 분리함으로써 설계자는 장애의 원인이 무엇이고 BER 성능을 어떻게 향상시킬 수 있는지 쉽게 파악할 수 있습니다.

전반적인 분리 및 분석 내용이 아래 블록 다이어그램에 제시되어 있습니다.



4. BER, ,

### 3.0

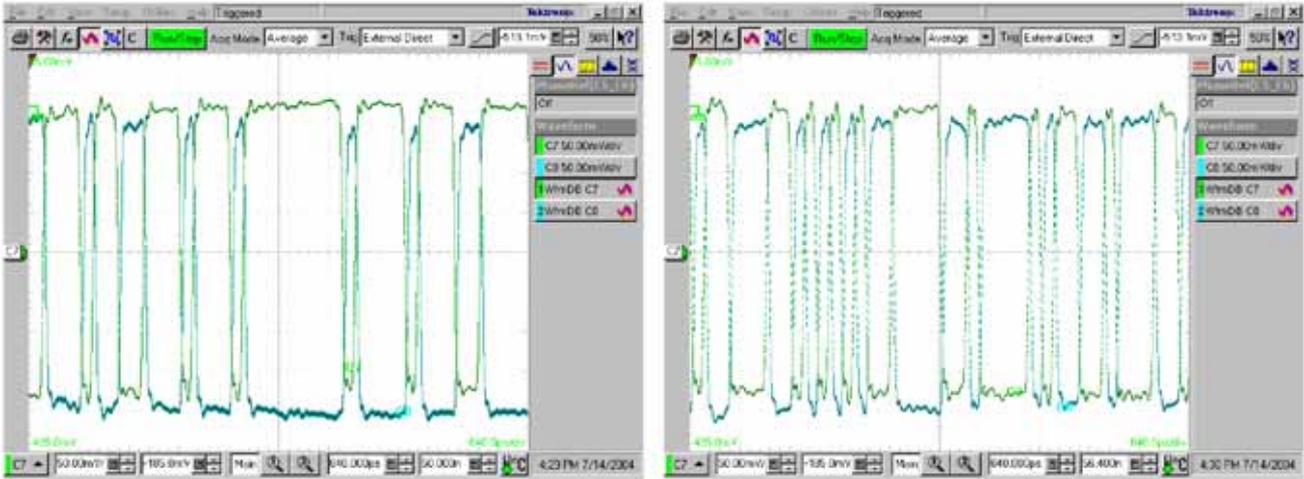
데이터 획득은 상관성 수평, 수직 정보와 비상관성 수평, 수직 정보의 두 단계로 이루어집니다. .

#### 3.1

이 단계에서 CSA/TDS8200 80SJNB는 FrameScan™을 이용하여 직렬 데이터 패턴 전체를 수집합니다(그림 5). 상관성 신호 내용을 추출할 때는 선택적 필터링 방식("프리런(Free-run)"이 선택되는 경우에는 평균 방식)이 사용됩니다. 신호는 UI 당 약 100개의 샘플로 오버 샘플링됩니다. 트리거 포인트는 80A06 PatternSync 모듈에 의해 제공됩니다.

80A06 모듈은 입력 클럭을 다운 카운팅하여 트리거를 제공하는데, 이러한 기능은 오실로스코프의 UI를 통해서도 조작할 수 있습니다. 그러나 이 모듈에는 FrameScan이 실행될 때에만 사용되는 다음과 같은 다른 기능도 있습니다. 패턴의 스캔이 진행되는 동안 소프트웨어는 계수된 비트 중 일정 개수를 건너뛰도록 80A06에게 지시합니다. 이러한 방식으로 긴 패턴이라도 시간축 지연이 늘어나지 않으므로 항상 최적의 시간축 지연을 사용할 수 있게 됩니다.

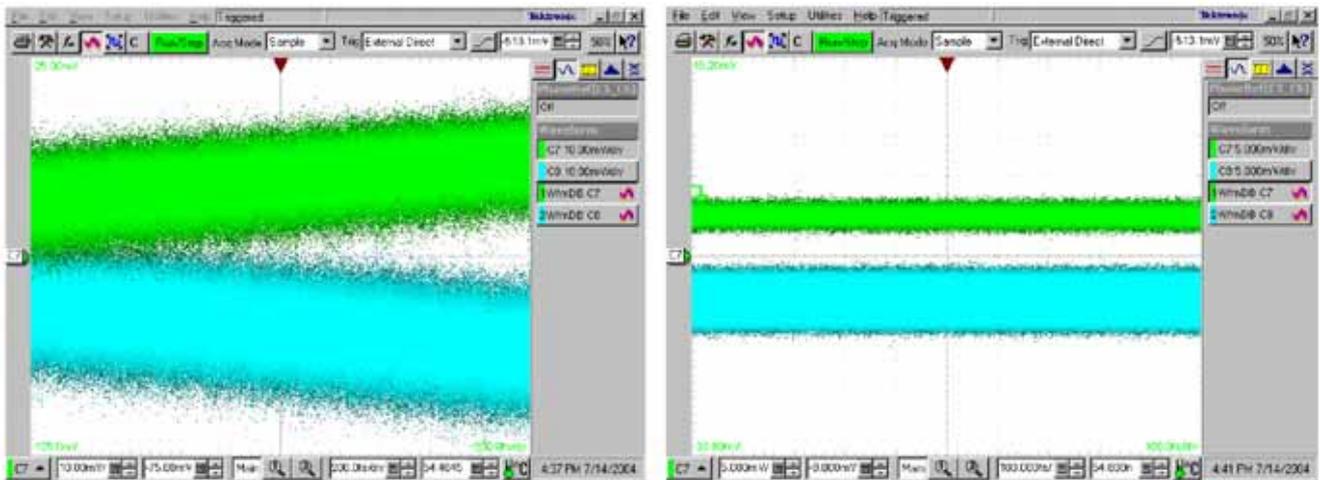
CSA/TDS8200 계측기의 경우 사용자는 위상 참조 모듈을 사용하여 전반적인 타이밍 정밀도를 향상시킬 수 있습니다.



5. (Data(+) Data(-) )

3.2.

비상관성 측정 알고리즘은 a) 수평 또는 수직, b) 랜덤 또는 주기적인 문제를 고려하여 신호 왜곡 (지터, 노이즈)를 분류합니다. 이 네 가지 구성 요소를 분리하는 일반적인 방식은 (a) 높은 슬루율과, (b) 슬루율 0 위치에서 패턴을 샘플링하는 방식입니다. 획득은 시간축의 시간 간격을 0으로 설정하여 이루어집니다. 그런 다음 소프트웨어가 관찰된 지터의 감도를 해당 슬루율로 기록하여 수평, 수직적 구성 요소를 분해합니다. 구체적인 내용은 다음과 같습니다.



6. (Data(+) Data(-) )

높은 슬루율에 대한 샘플로 시작하여(그림 6, 왼쪽), 처음에 소프트웨어는 에지를 확대한 후 최소 자승법(least-squares-fit)을 사용하여 다항식 근사치를 계산합니다. 슬루율 의존도를 추적하여 추가 분해하므로 슬루율 관점에서 어떤 에지를 선택하는가는 중요하지 않으며, 따라서 정확성을 위해서는 선형성을 우선적으로 고려할 수 있습니다. 이제 이 다항식의 유도식(derivative)에 의해 측정 포인트의 슬루율이 제공됩니다.

그런 다음, 시간 간격 0의 상태에서 다수의 샘플이 획득됩니다. 각 샘플의 진폭 편차는 슬루율을 사용하여 시간 편차로 전환됩니다. 이 샘플들은 주기적으로 수집되므로 시간 편차의 DFT는 결과적으로 관찰된 지터 스펙트럼이 됩니다. 이 관찰된 지터는 수평 지터와 수직 지터의 결합으로 나타납니다(슬루율을 통해 변환된 수직 노이즈에 의한 지터). TDSJIT3<sup>®</sup> 에서 처음 시작된 이와 같은 스펙트럼 분석을 통해 랜덤과 주기적 구성 요소를 분리할 수 있습니다.

<sup>2</sup> 이 기법에 대한 자세한 내용은 다음 웹 사이트의 “스펙트럼 방법을 이용한 지터 분석(Analyzing Jitter Using a Spectrum Approach)”을 참고하십시오. [http://www.tek.com/Measurement/App\\_Notes/55\\_15631/eng/55W\\_15631\\_0.pdf](http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/55_15631/eng/55W_15631_0.pdf)

마찬가지로 진폭 샘플의 FFT(그림 6, 오른쪽)는 진폭 스펙트럼을 생성합니다. 이들 샘플은 제로 슬로프 지점(logic High level)에서 수집되므로 여기에는 단지 실제 수직 노이즈 요소만 포함됩니다. 다시 말하면 스펙트럼 분석은 주기적 수직 구성 요소에서 랜덤 요소를 분리하는데 사용됩니다.

주기적 요소가 제거된 상태에서, 스펙트럼이 적분되어 랜덤 수직 노이즈(RN)와 관찰된 랜덤 지터(RJ)의 표준 편차 추정치를 산출합니다 (따라서 RJ는 수직  $RJ(RJ(v))$ 와 수평  $RJ(RJ(h))$ 로 분해하지 않는 기타 지터 측정 방식으로 관찰된 값과 동일).

다음으로 수평 랜덤 지터 구성 요소( $RJ(h)$ )는 관찰된 랜덤 지터에서  $RJ(v)$ (실제 RN을 슬루율로 나눈 값)를 디임베딩(de-embedding)하여 계산됩니다. 그러므로 실제 수평, 수직 랜덤 구성 요소는 복합 측정을 통해 추출되어 왔습니다. 이러한 값으로부터 패턴의 다른 지점에서 관찰된 RJ를 쉽고 정확하게 계산할 수 있습니다(상관 패턴의 사전 수집된 정보를 통해 슬루율을 알 수 있으므로).

주기적 구성 요소도 이와 유사한 주파수별 방식으로 조정됩니다. 진폭 스펙트럼에서는 찾아볼 수 없는 뚜렷한 주파수 구성 요소가 지터 스펙트럼에서 관찰되는 경우, 이는 실제 주기성 지터(PJ) 구성 요소로 간주됩니다. 구성 요소가 양쪽에서 모두 발견되는 경우는 실제 주기성 노이즈(PN)로 간주됩니다. 각 주파수 구성 요소의 진폭은 모든 수집의 평균 진폭에 의해 결정되지만, 위상은 전체 스펙트럼의 위상 관계를 유지하기 위해 단일 수집으로부터 측정됩니다. 위상이 정확히 유지되므로 IFFT를 통해 PJ와 PN을 다시 시간 영역으로 돌려 놓을 수 있으며, 결과적으로 추정 또는 단순화(듀얼 Dirac 또는 유사 방식)에 의존하지 않고 직접 주기적 구성 요소의 실제 확률 밀도 함수(PDF)를 산출할 수 있습니다.

#### 4.0

이 애플리케이션은 아래 그림 7에 제시된 바와 같이 지터와 노이즈 구성 요소에 대한 완전한 요약を提供합니다.

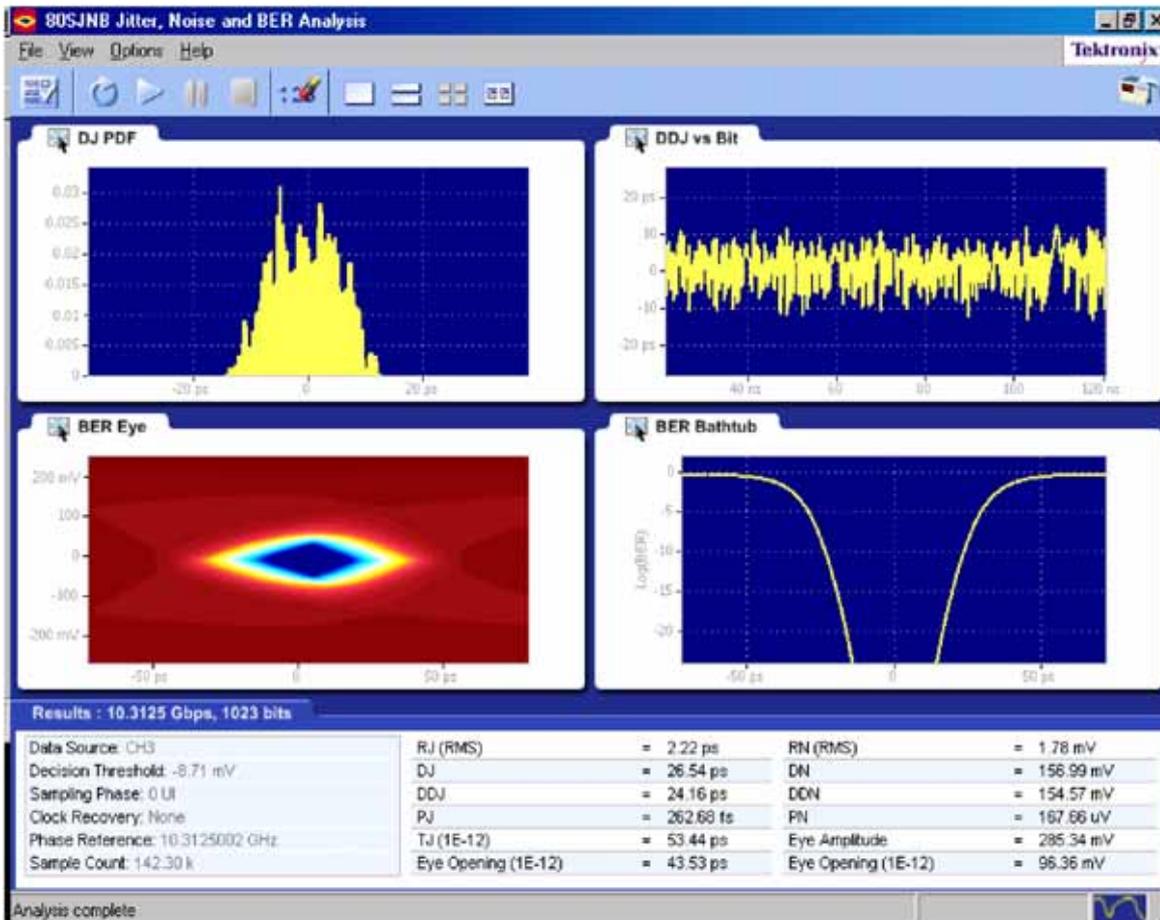


그림 7a는 지터 결과를 설명합니다. 앞서 설명한 바와 같이 관찰된 비상관성 지터(RJ와 PJ 모두)는 측정 지점에 따라 달라집니다. 따라서 보고된 RJ와 PJ 값은 “수평” 및 “수직” 값의 조합으로 나타납니다.

“ ” : 상관성 파형상의 측정 지점과 독립적인 실제 수평 구성 요소. 이 값은 간단한 히스토그램 측정 방식으로는 관찰할 수 없으며 수직 노이즈의 영향에 대한 정보를 제공합니다.

“ ” : 지정된 결정 임계값에서 상관성 파형의 평균 슬루율을 통해 변환된 실제 수직 구성 요소에 의해 구성된 지터 구성 요소. 특정 에지의 값은 해당 에지의 슬루율에 의해 결정되므로 편의상 결정 임계값에서의 평균 슬루율이 사용됩니다. 이것은 판독값의 근사치라는 점을 알아두십시오. 내부적으로 TJ와 2-D Eye를 계산하려면 개별 비트에 대한 슬루율이 별도로 고려되며 근사치는 계산되지 않습니다.

	(BER)	(TJ)
TJ @ BER		
RJ		
RJ(h)		
RJ(v)		
RJ (δ-δ)	Dirac	
DJ		
DDJ		
DCD		
DJ (δ-δ)	Dirac	
PJ		
PJ(h)		
PJ(v)		
EOH @ BER	BER	

7a. :

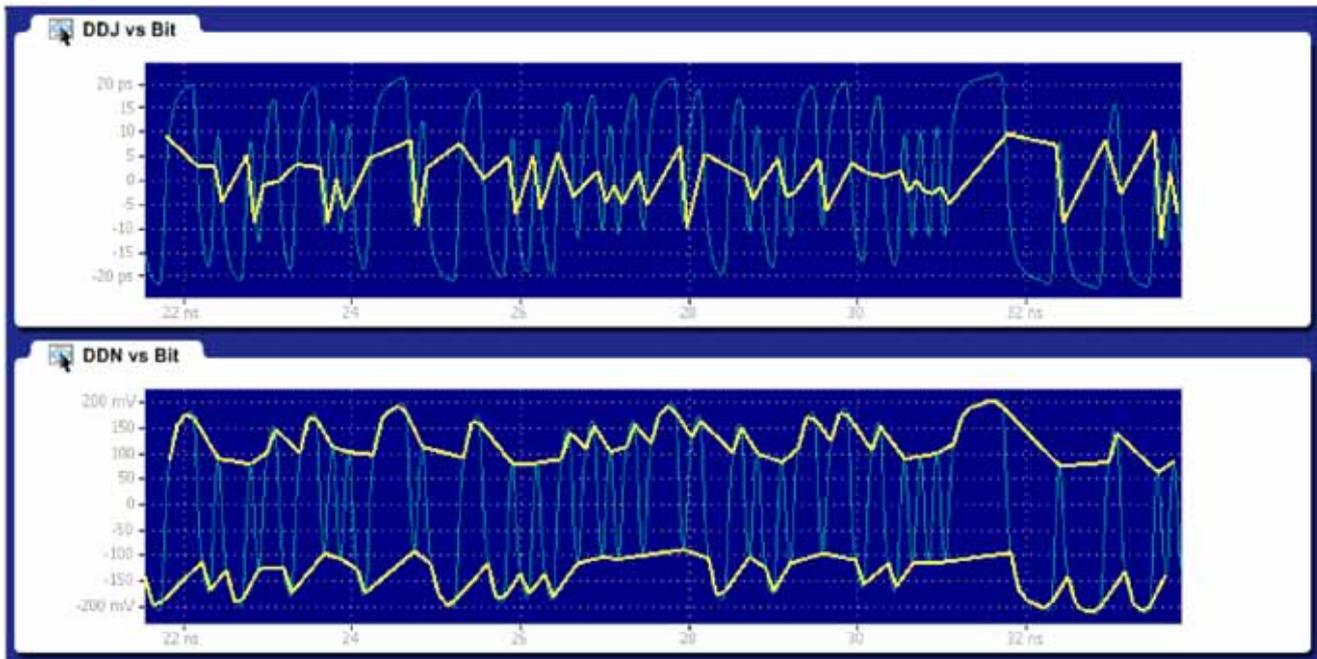
듀얼 Dirac 결과는 또 다른 관점에서 살펴봐야 합니다. 듀얼 Dirac 방법은 여기서 제공된 지터 및 노이즈 분석 결과에 비해 정확성이 떨어지고 근사값에 더 많이 의존하며, DD 수치는 선호되는 방식이라기 보다는 역 호환성과 결과 비교를 위한 것입니다.

RN	
RN(v)	( )
RN(h)	( )
DN	
DDN1	1
DDN0	0
PN	
PN(v)	( )
PN(h)	( )
EOV @ BER	BER

7b. :

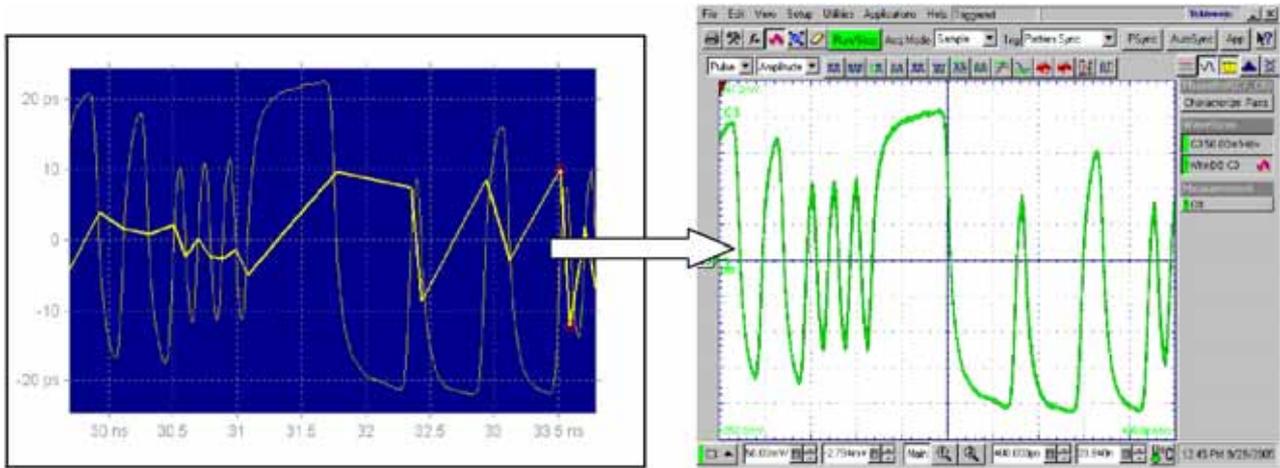
기본값으로, 결정 임계값은 종단형 신호의 경우에는 파형의 평균값(아이 중앙에서 고저 레벨 사이의 평균값)에, 차동 신호의 경우에는 0에 둡니다. 이 값은 의도한 수신기의 설정값에 일치하도록 조정 가능합니다. 마찬가지로 수직 결정 임계값은 기본값으로 아이 중앙(좌, 우 교차점 간의 중간)에 놓여있으나 조정이 가능합니다. 값이 외삽되는 BER은  $10^{-3}$ - $10^{-24}$  사이에서 조정할 수 있습니다.

DDJ와 DDN 대 상관성 패턴(그림 8) 등과 같은 다양한 그래픽 디스플레이를 이용할 수 있습니다("Plot" 메뉴에서). 이러한 디스플레이들은 수집된 파형에 대해 선정된 결정 임계값에서 파형 시간 및 진폭 편차를 보여주며, 모든 편차 트레이스의 극한값을 강조합니다.



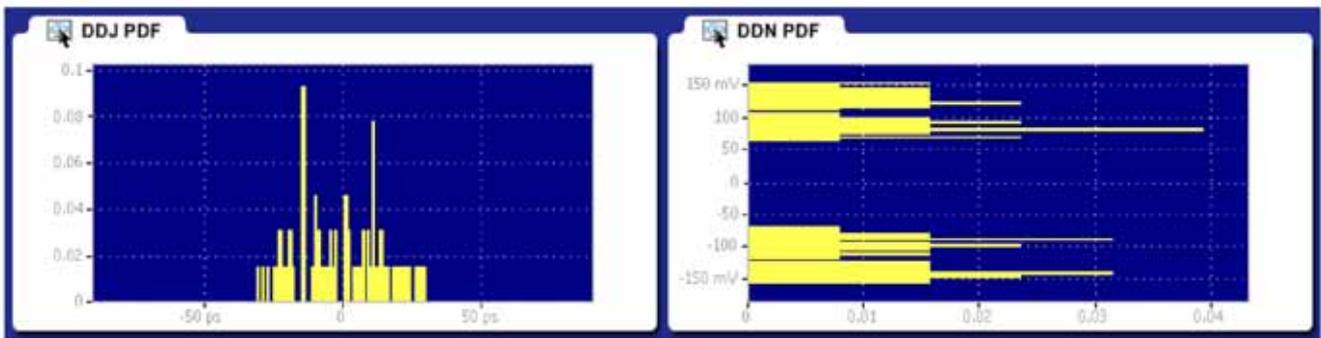
8. DDJ DDN

특정 위치의 DDJ나 DDN을 확인할 때에는 상관성 파형을 확대해 보면 됩니다. 원한다면 오실로스코프로 다시 돌아가 실시간으로 볼 수도 있습니다(그림 9). 이 디스플레이의 수평축은 오실로스코프의 시간축에 해당됩니다.

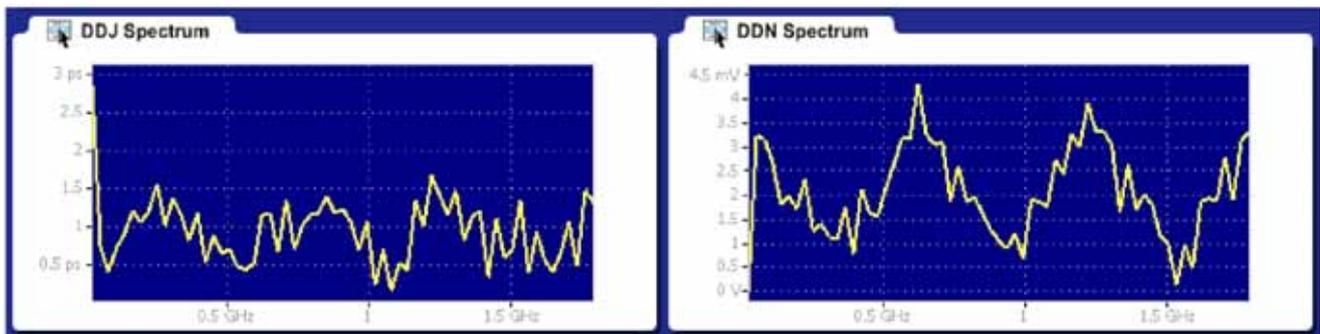


9. ( )

DDJ와 DDN은 PDF(그림 10)와 스펙트럼(그림 11)으로도 확인할 수 있습니다. 이러한 스펙트럼을 통해 불균형적으로 다중화된 데이터 흐름의 효과를 간편하고 신속하게 확인할 수 있습니다. 예를 들어 4개의 저속 흐름으로 구축된 시스템에서는 완전 데이터 전송율의 1/4의 속도를 가진 지터와 노이즈를 찾을 수 있을 것입니다. 또한 이들 스펙트럼을 통해 광대역 지터 허용치 또는 네트워크 요소의 지터 전송에 대해 자세히 알 수 있습니다.

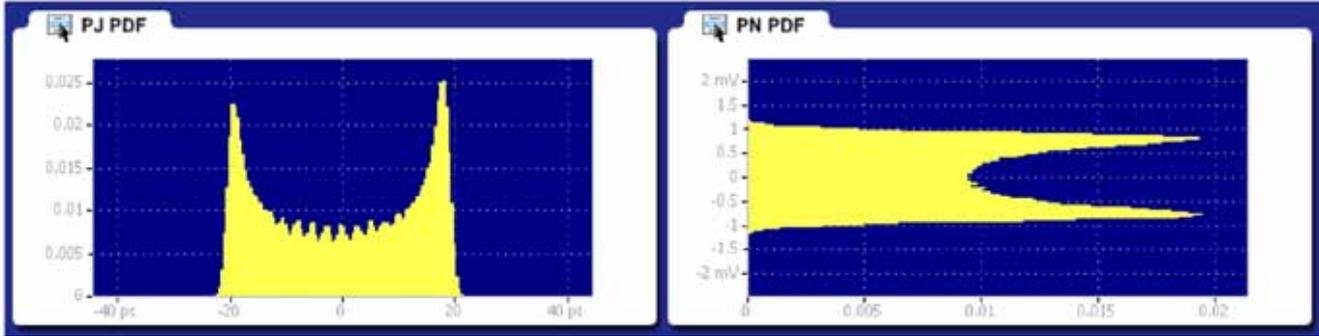


10. DDJ DDN PDF



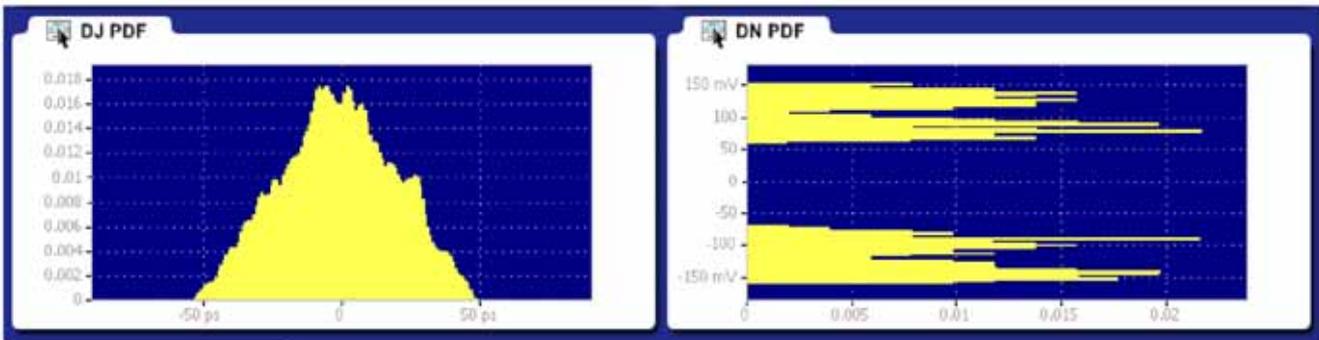
11. DDJ DDN

PJ와 PN PDF(그림 12)는 근사치가 아닌 실제 물리적 측정값을 기반으로 한 것입니다. 이 요약에서 보고된 실제 값은 이들 PDF의 피크 투 피크(peak-to-peak)입니다.



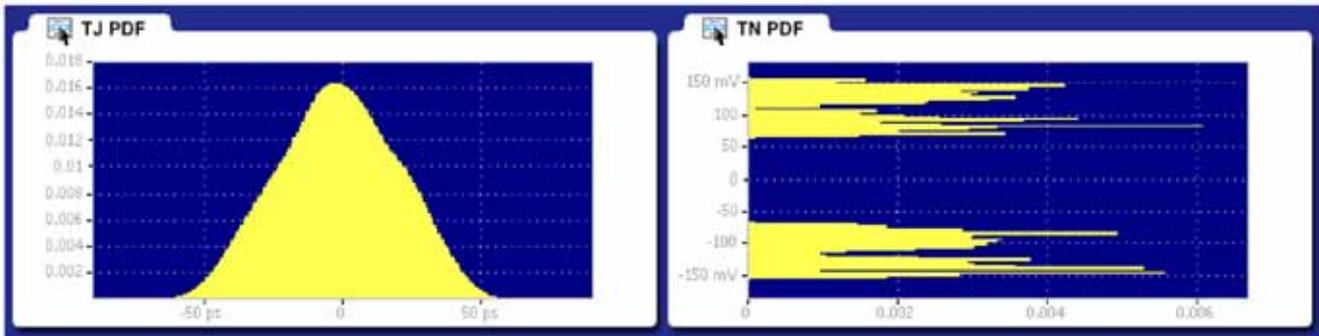
12. PJ PN PDF

결정성 지터(DJ, 그림 13, 왼쪽)는 각 비트의 DDJ와 PJ의 컨볼루션으로 구성됩니다. 결정성 노이즈(DN, 그림 13, 오른쪽)는 수직 차원의 유사한 절차로 구성됩니다.



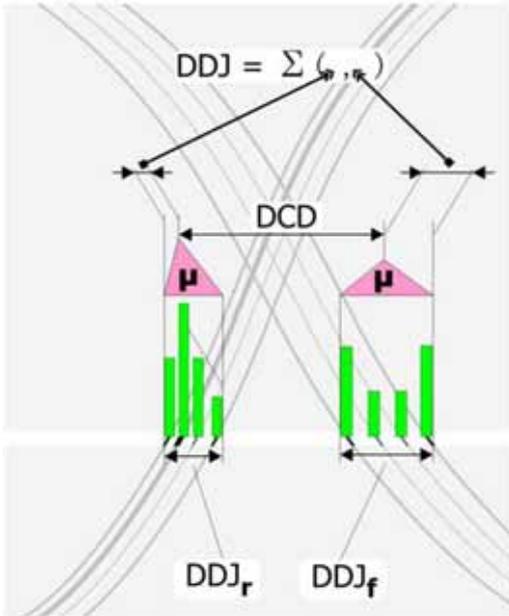
13. DJ DN PDF

TJ(그림 14, 왼쪽)는 각 비트의 DJ와 RJ의 컨볼루션으로 구성됩니다. TN(총 노이즈, 그림 14, 오른쪽)은 수직 차원의 유사한 절차로 구성됩니다.

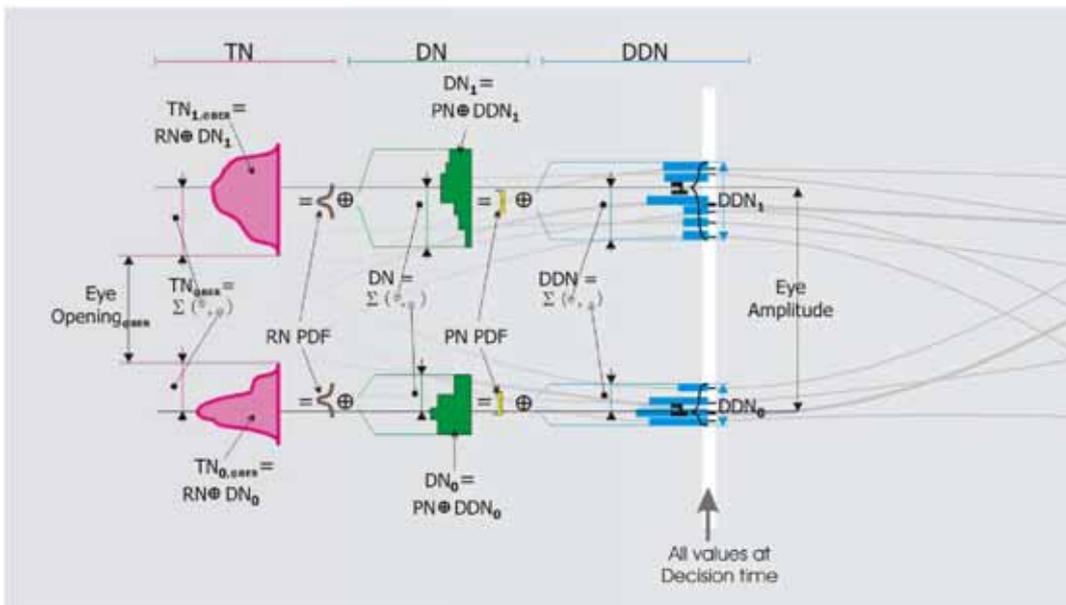


14. TJ TN PDF

PDF에는 많은 설명이 필요 없으나, 몇 가지 수치 결과는 전혀 새롭거나 이전과 다른 방식으로 사용되었습니다. 따라서 다음 그림에 몇 가지 지터 및 노이즈 결과에 대한 정의를 설명해 놓았습니다. 그림 15는 보고된 DDJ와 DCD에 대해 설명하고 있으며, 그림 16은 새로운 몇 가지 노이즈 용어를 정의합니다.



15.

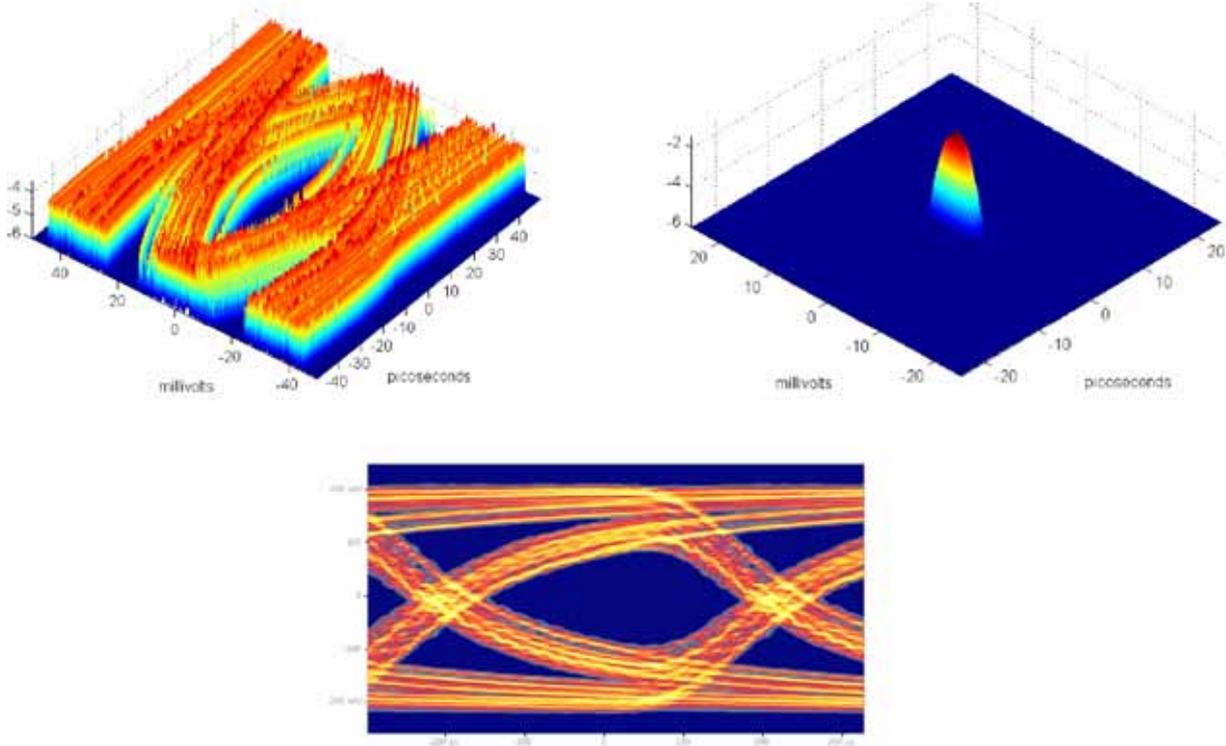


16.

### 5.0 BER 가; Bathtub

지금까지의 내용은 노이즈와 지터를 분리하여 그들의 구성 요소를 분석하는 과정에 대한 것이었습니다. 그러한 결과를 바탕으로 BER 아이에 대한 매우 정확한 평가를 고려해볼 수 있습니다. 이 평가는 구체적인 분석을 바탕으로 해야 합니다. 그 결과는 예를 들어 기본 구성 요소를 이해하지 못한 상태에서 단순히 BER 증가를 외삽하여 얻어지는 결과에 비해 훨씬 더 정확합니다.

첫 단계는 PDF 아이를 생성하는 일입니다.



17. ( ), 2-D pdf( ) PDF ( )

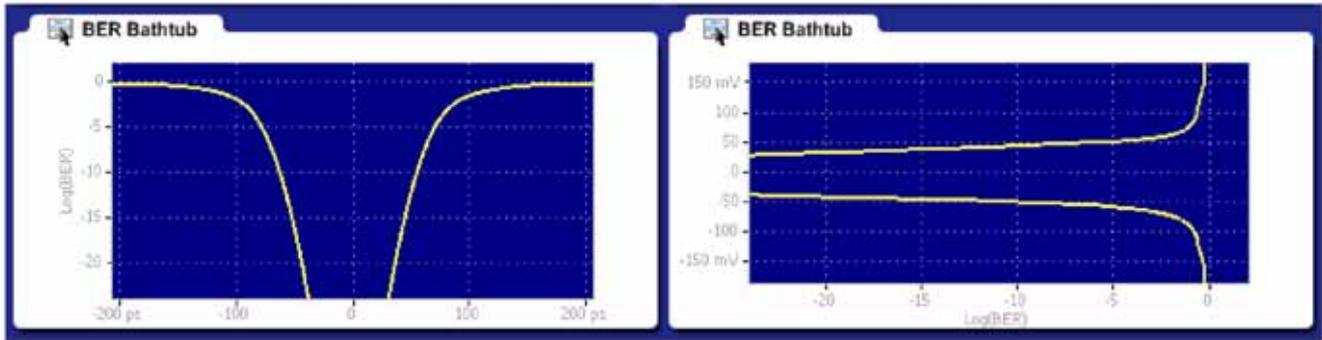
지금까지 수행된 모든 데이터 분석은 두 가지 2D PDF로 제시할 수 있습니다. 이는 상관성 2D PDF(그림 17, 왼쪽)와 비상관성 2D PDF(그림 17, 오른쪽)로서 실제 수평, 수직 비상관성 PDF를 수학적으로 조합하여 생성됩니다.

이 두 가지 PDF의 2D 컨볼루션에 의해 2D PDF 아이가 만들어집니다(상관성 및 비상관성 정보 포함)(그림 17, 중앙 하단). 이 새로운 PDF 아이는 수집된 2D 파형 데이터베이스 구성과 매우 유사하나 중요한 한 가지 차이점이 있습니다. 랜덤 및 주기적 구성 요소가 수학적으로 제시되므로 확률이 매우 낮은 값으로 외삽될 수 있다는 점입니다.

BER 아이를 계산하려면 이상적인 결정 회로의 시각에서 PDF 데이터를 볼 수 있어야 합니다. 결정 포인트로서 UI의 한 위치를 선택할 경우, 그 좌표는 샘플링 위상과 결정 임계값을 나타냅니다. 비트가 1이면 임계값 미만의 모든 입력 신호는 오류로 나타납니다. 마찬가지로 0인 경우에는 임계값을 초과하는 모든 입력 신호가 오류로 나타납니다. BER 분석기는 바로 이러한 방식으로 작동됩니다.

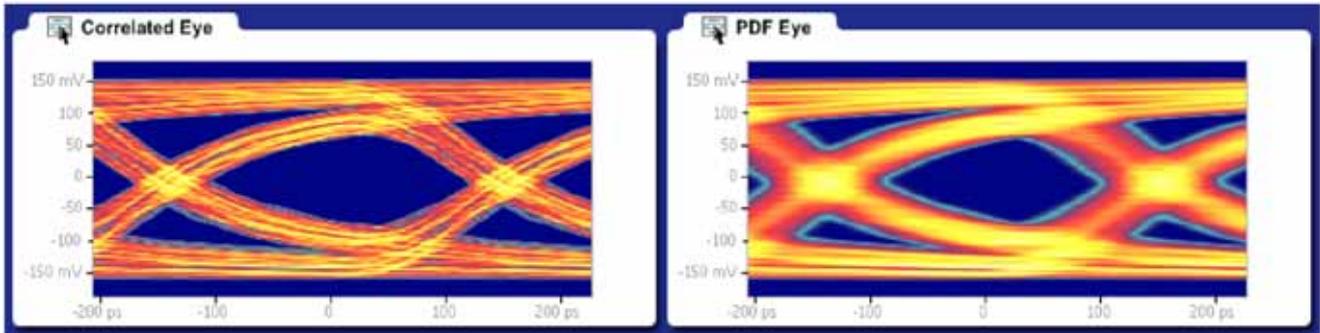
2D PDF는 임계값으로부터 위 또는 아래로 적분되어 신호가 임계값 위 또는 아래에 있을 누적 확률을 찾아낼 수 있습니다. 그러나 오류 계산을 위한 정확한 통합을 위해서는 아이를 두 개의 부분 아이, 즉 “1” 아이와 “0” 아이로 분리해야 합니다. 이 작업은 2D 컨볼루션 수행 이전에 상관성 파형으로 간단히 이루어집니다. 이제 “1” PDF 아이의 경우 각 열을 따라 일어나는 상향 적분은 모든 위치에 대한 “1” BER을 산출합니다. “0” 아이도 유사한 방식으로 적분되며 이 둘이 연결되어 완전한 BER 아이를 구성합니다. 결과로 산출된 BER 아이는 완전한 수신기로 산출된 컨투어 BER과 일치합니다(샘플링 오실로스코프의 신호 충실도와 일치).

다음은 위에 설명한 방법을 기초로 한 결과의 구성 예입니다. 수평 및 수직 bathtub 곡선(그림 18)을 모두 이용할 수 있습니다.



18. Bathtub

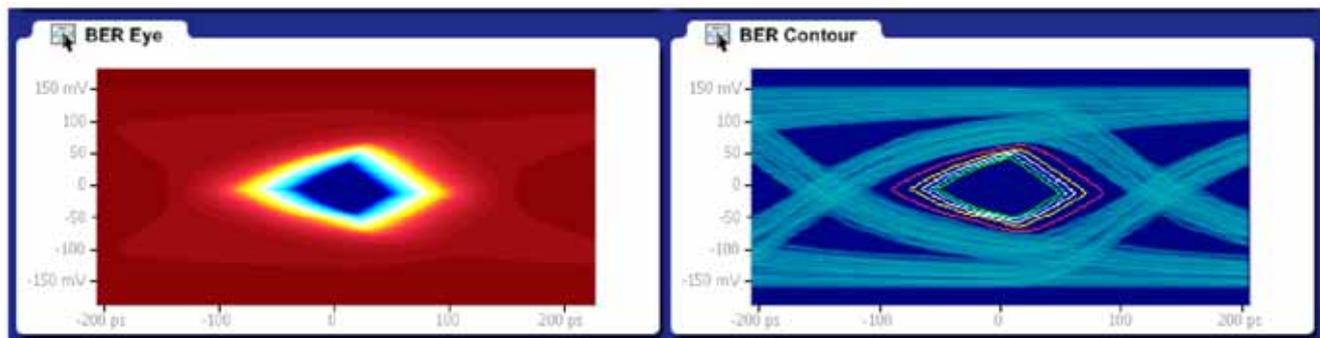
보다 완전한 아이 보기를 위해서는 완전한 2-D 상관성 및 PDF 보기를 이용할 수 있습니다(그림 19). 위에 설명한 바와 같이 상관성 및 비상관성 수평, 수직 정보의 조합에 의해 생성된 PDF 아이는 아이 다이어그램에 대한 완벽한 통계적 설명이 됩니다. z축은 대수 확률(logarithmic probability)입니다. 이 두 가지 다이어그램을 비교해보면 설계상의 비상관성 지터와 노이즈의 영향을 간편하고 신속하게 이해할 수 있습니다.



19. PDF

BER을 보다 직관적으로 파악하기 위해 그림 20(왼쪽)과 같은 완전한 BER 아이를 이용할 수 있습니다. z축은 대수 BER이며 그림 20(오른쪽)과 같은 컨투어 그래프도 이용할 수 있습니다.

PDF 아이와 BER 아이에 대한 추가 정보 자료를 찾아보십시오(캐나다 오타와 T11 회의에서 제시된 “BER 평가에 대한 노이즈의 영향(Impact of Noise on BER estimation)”).



20. BER BER

이 보기는 수평, 수직 bathtub 컨투어 전체에 해당되며, 다른 형태의 테스트 장비에 의해 산출된 “아이 컨투어”와 유사합니다. 그러나 BER 데이터 수신기에 의해 수집된 이와 같은 “아이 컨투어”와 그림 20에 제시된 BER 아이 사이에는 중요한 차이가 있습니다. BER 아이는 샘플링 오실로스코프의 수집 채널, 즉 200 fs<sub>RMS</sub> 이상의 하드웨어에 의해 일반적으로 20GHz(그 이상 선택 가능)의 대역폭으로 수집됩니다. 반면 일반적인 “아이 컨투어”는 데이터 수신기(예를 들어 BERT의 데이터 수신기)의

수평 및 수직 불확실성에 의해 모호해지며 이로 인해 측정된 아이에 큰 영향을 미치거나 이를 지배할 수 있습니다.

샘플링 오실로스코프에 의해 수집된 데이터의 매우 정확한 결과는 DDJ와 DDN과 관련하여 BER을 훨씬 더 정확히 나타냅니다. 또한 완전한 BER 아이를 신속하게 생성할 수 있습니다(BERT 측정과 비교하면 BERT의 외삽은 신속하게 생성되거나 정확성이 떨어집니다).

대부분의 파형과 PDF를 저장하여 상세한 분석을 할 수 있습니다.

## 6.0

직렬 데이터 패턴은 비트의 변화하는 비트(예를 들어 일부 프로토콜에서 사용되는 변화하는 “아이들(idle)” 비트) 없이 계속 반복되어야 하며 길이는  $2^6$  비트 미만이어야 합니다.

100 kHz 이상(때에 따라서는 그 이하)의 비상관성 지터와 노이즈는 앨리어싱됩니다. 그러나 PDF는 여전히 정확하며(앨리어싱에 의해 손상되지 않음) 유용한 BER 정보를 제공합니다.

동일(앨리어싱된) 주파수에 주기성 노이즈와 지터가 존재하면 그들의 비교 위상각에 관한 불확실성으로 인해 측정 오류가 발생합니다. 이 애플리케이션은 발전기 주파수의 불안정성으로 인한 수직 누화(crosstalk) 또는 주기성 지터의 경우와 같이 특정 주파수에 단일 구성 요소가 존재하는 실제 시나리오를 목표로 한 것입니다. 복잡한 변조 형식을 의도적으로 삽입할 경우, 측정 오류를 야기할 것입니다.

관찰된 비상관성 지터의 크기는 파형의 상승 시간과 유사한 양이어야 합니다. (또는 적은 량). 그렇지 않을 경우, RJ와 RN 사이의 보고된 관계는 정확하지 않을 수 있습니다. 비상관성 지터가 신호 상승 시간보다 현저히 큰 경우에는 경고 메시지가 나타납니다.

제한된 비상관성 비주기적 장애는 특별한 경우로 처리되지 않으며 랜덤으로 분류됩니다.

82A04가 갖춰진 CSA8200에는 200 fs RMS 미만의 일반적인 내재적 RJ, 무시해도 좋을 정도의 RJ, 피코초 이하의 시간축 선형성이 포함되어 있습니다. 샘플링 모듈에는 일반적으로 무시해도 좋을 정도의 PN이 포함되어 있으며, RN은 사용되는 샘플링 모듈의 대역폭에 따라 달라집니다. 상관성 파형 충실도를 가장 정확하게 측정하려면 최소 3배 대역폭의 파형 비트율을 갖춘 샘플링 모듈을 사용하십시오. 그러나 과도한 대역폭을 가진 샘플링 모듈을 사용할 경우 높은 대역폭의 샘플링 모듈의 내재적 노이즈가 증가함에 따라 RN이 높아집니다.