

深入了解抖動

張海秀 台灣羅德史瓦茲 示波器產品經理

一種用於高級抖動分離的新型分析方法

抖動成分的分析對於今日高速串列資料傳輸、數位及通訊系統設計越來越重要。一方面資料傳輸的速率不斷提高，設計與材料、連接器或相關零組件成本壓力也越來越大，驅動了測試與分析的需求。

羅德史瓦茲公司 (Rohde & Schwarz) 開發了一種分離抖動成分的新方法，為電子電路設計人員提供了強大的工具，用於高速訊號傳輸特性的除錯。這分離的演算法是基於參數訊號模型並向使用者提供待測物 (DUT) 抖動特性的詳細訊息。

驗證抖動預算 (Validating the jitter budget)

數位介面的資料傳輸速率不斷提高和電壓幅度不斷下降，以及現代設計的密度和複雜度增加了管理抖動預算的重要性。

驗證總抖動的一種方法是測量誤碼率 (BER)。針對高速介面例如 USB 或 PCI Express 其典型的誤碼率(BER)為 10^{-12} 。這意味著，規範允許 10^{12} 位元，只能有一個錯誤傳輸的位元。然而，使用誤碼分析儀來量測抖動量是非常耗時，且沒有提供有關各個抖動成分的詳細訊息。

另一種測試儀器是示波器。由於示波器的擷取記憶體有限 (最大單位 Gigasamples)，不可能直接測量某個 BER 的總抖動量。

下面的示例說明了這一點：在資料傳輸速率為 5Gbps 且傳送 10^{12} 位元的資料模式下，波形擷取時間需要 200 秒。取樣率為 40 Gsample / s 時，擷取記憶體為需要 8Terasamples points。沒有示波器具有如此深的擷取記憶體。

解決此難題的明智方法是抖動分離 (也稱為抖動分解) 的發明。這基本的想法是，總抖動由確定性和隨機性組成。確定性抖動是有界限的，而隨機抖動是無界限的，因此其峰

對峰值是感興趣的 BER 值。圖 1 顯示了 BER 浴盆曲線中討論的抖動分量的映射。“open eye” 則為在接收端取樣資料單位間隔 (UI) 與總抖動 (TJ@BER) 之差。

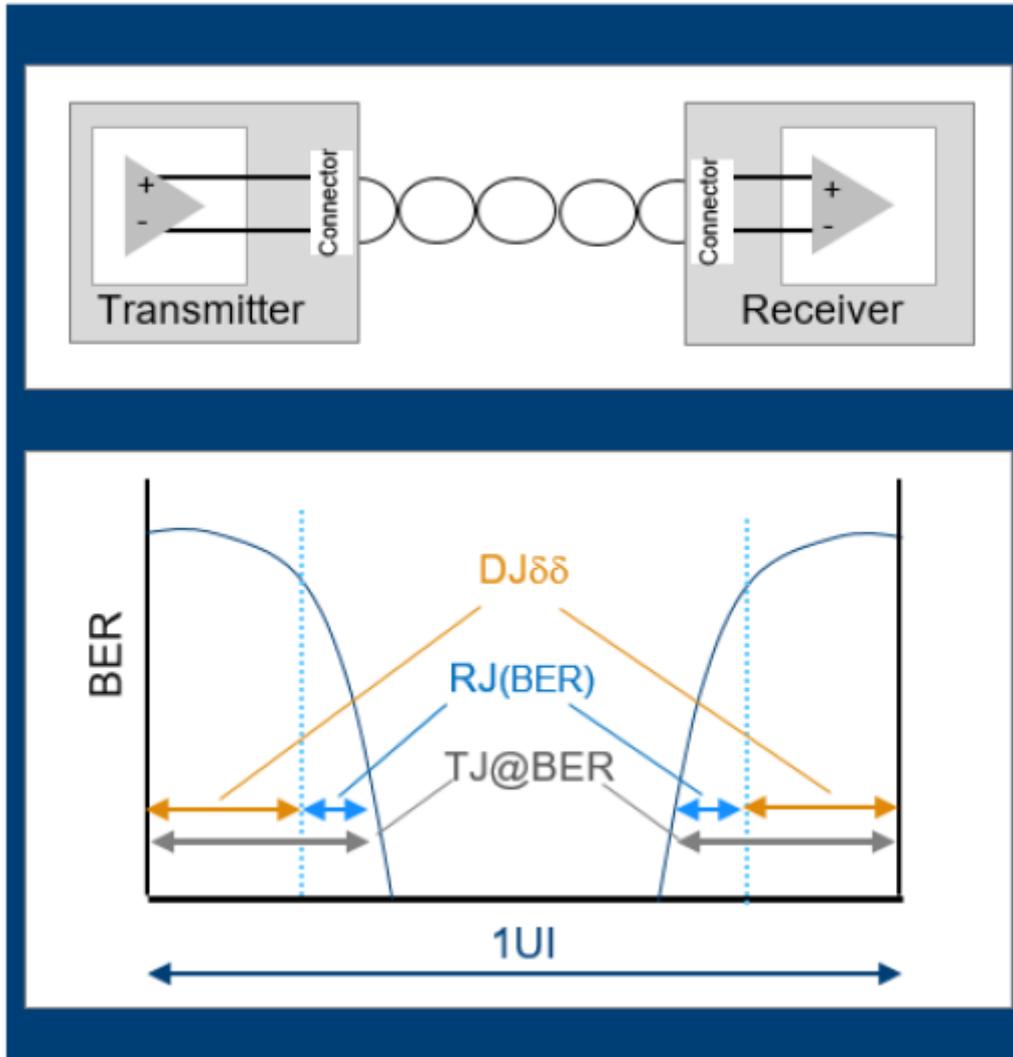


Figure 1: Bit error rate of a digital transmission system and the dominating jitter components DJ (Deterministic Jitter) and RJ (Random Jitter) summing up to Total Jitter (TJ) in the Unit Interval (UI).

抖動成分及其根本原因

如上所述，總抖動由隨機抖動和確定性抖動組成。圖 2 顯示將確定性抖動進一步分解為數據相關的，週期性的和其他無界的抖動成分。了解訊號中的主要抖動成分有助於工程師決定優化設計的措施。

不同的抖動成份有不同的根本原因：

- 隨機抖動(Random Jitter) 取決於參考時脈的振盪器品質或者是半導體熱雜訊
- 週期性抖動(Periodic Jitter) 通常是由交換式電源(Switching Mode Power Supply)和振盪器諧波干擾或是鎖向迴路穩定度的問題所導致
- 符號間干擾(Intersymbol interference)主要是由於電路與訊號傳輸的路徑阻抗不匹配,造成傳輸損耗和頻寬的限制有關。
- 工作週期失真(Duty Cycle Distortion) 在傳送端或者接收端的上升時間與下降時間不匹配及有偏移誤差(offset error)
- 其他有界限不相關抖動(Other Bounded Uncorrelated Jitter, OBUJ) 典型根本原因是來自於相鄰的訊號走線訊號耦合干擾(crosstalk)

抖動分解是縮小設計問題的重要的第一步, 透過此分析可以決定合適的高性價比解決方案。

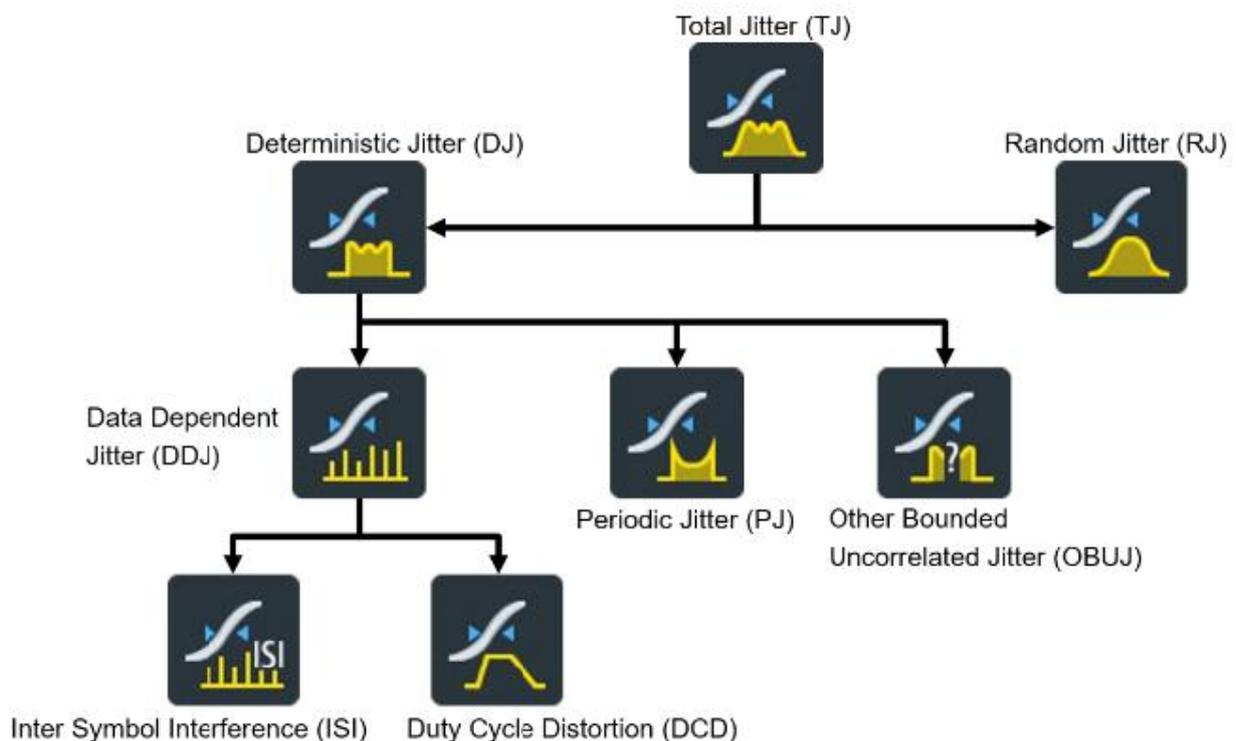


Figure 2: Overview of jitter components

一種新的抖動分離方法

在過去的 20 年中，抖動分解的方法和演算法已經發展。例如採用 Tail-fitting 來確定隨機抖動(Random Jitter, RJ)、dual-Dirac model 來估計確定性抖動(Deterministic Jitter, DJ)這些方法仍被使用在某些介面的規範當中。以往的量測方法多是採用 TIE (Time Interval Error)方法來量測確定性抖動(Deterministic Jitter, DJ), 如 Figure 3.

羅德史瓦茲公司的新抖動分解演算法引入了一種可以完全描繪出被測電路傳輸鏈接 (transmission link)行為特性的參數訊號模型(圖 3)。新方法的核心優勢在於，這種新訊號模型利用了完整的波形特性，包括水平和垂直分量。使用此方法來分解處理的訊號可實現更準確和一致的測量值,即使是相對較短的訊號序列也能得到精確的結果。

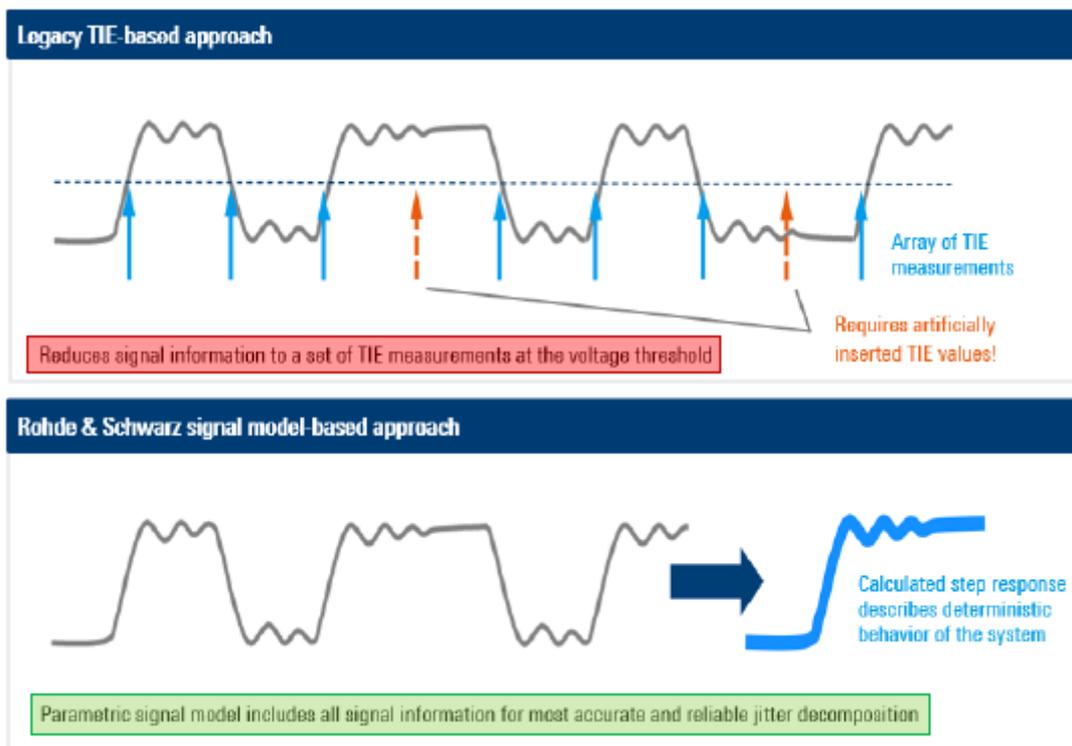


Figure 3: Comparison of the conventional TIE based jitter decomposition approach versus the advanced signal model based jitter decomposition approach by Rohde & Schwarz.

這種新訊號模型的核心要素是描述數據相關的階躍響應(step response)訊號的特性。此外，該訊號中還包括週期性和隨機誤差項在此模型內，如圖4。

$$\begin{array}{c}
 \text{Step response} \\
 \text{Input signal} \quad \mathbf{y} = \mathbf{A} \cdot \begin{bmatrix} \hat{h}_{sr} \\ \hat{y}_{-\infty} \\ \hat{p}_v \end{bmatrix} + \epsilon \\
 \text{Random error} \\
 \text{Periodic components}
 \end{array}$$

Figure 4: Linearized signal model describing the complete waveform characteristics

對於分解，估計器會將輸入訊號與訊號模型進行比較，並在反覆的過程中計算訊號模型的參數。下一步，羅德史瓦茲 (Rohde & Schwarz) 演算法根據輸入訊號的位序列，為各個確定性抖動分量重建合成波形 (圖5)。此後，根據輸入訊號與數據相關和周期性合成波形之差計算出隨機抖動。最終，用戶可以將不同的抖動成分分析為數值，或者以直方圖 (Histogram)、跟踪波形 (Track) 或頻譜圖 (Spectrum) 查看它們。此外，可以計算 BER 浴缸圖或眼圖以進行深度分析。

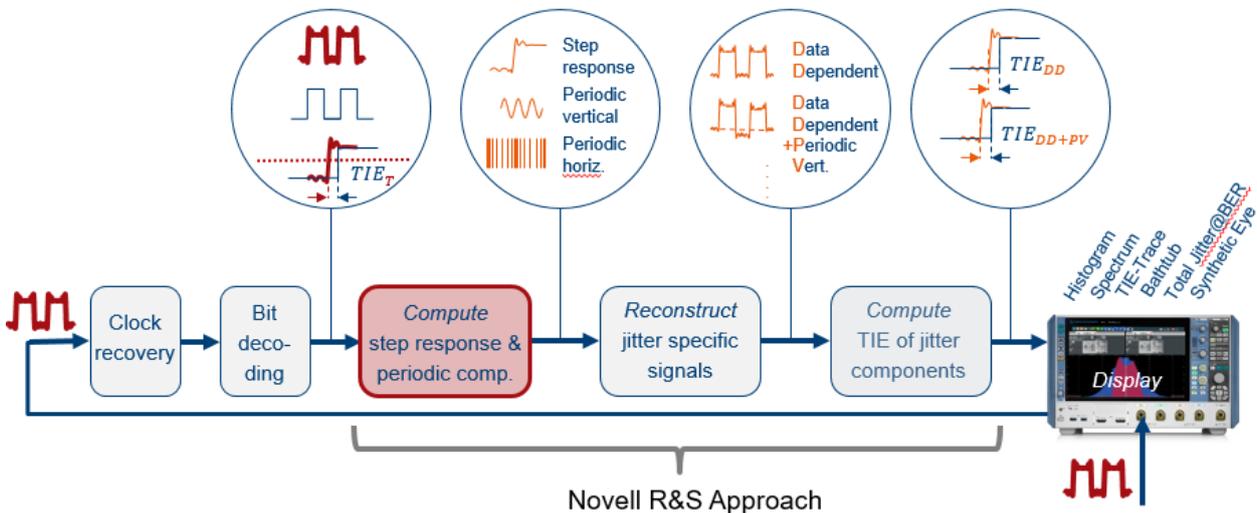


Figure 5: The new jitter decomposition process: the step response calculation is the base for the computation of the deterministic jitter components. In a final step Random jitter and OBUJ get determined.

由階躍響應(step response)特性計算出抖動分解, 對於除錯與設計非常的有用。目前為止, 階躍響應(step response)只能用專用儀器，例如時域透射儀 (TDT) 或網絡分析儀 (VAN)。階躍響應(step response)充分說明了傳輸鏈路(transmission line)的特徵：如上升時間與頻寬的關係，過衝(overshoot)或阻尼響應(damped response)可提供有關頻率

響應特性的指示，或者顯示了由於阻抗不匹配而引起反射的電位驟降。如圖6。

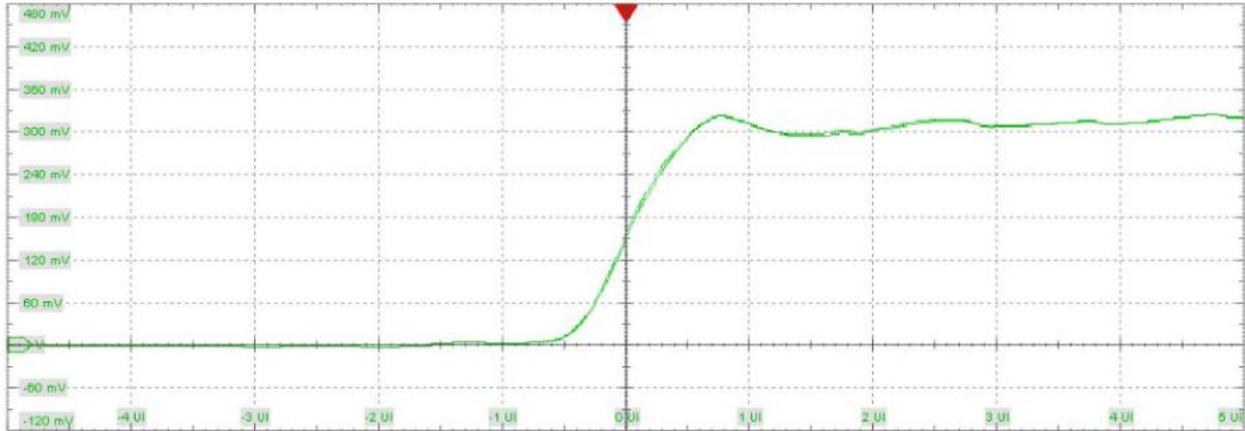


Figure 6: Using the calculated step response time to understand the data-dependent channel characteristic

新的訊號模型包括水平和垂直週期性的成分。這提供對於用戶而言非常有用的反饋，無論是周期性抖動分量是基於幅度還是基於時間調製。該軟體呈現每個檢測到的周期性水平或垂直方向抖動成分，如圖7所示。此外，針對水平周期性抖動成分提供頻譜可供分析。

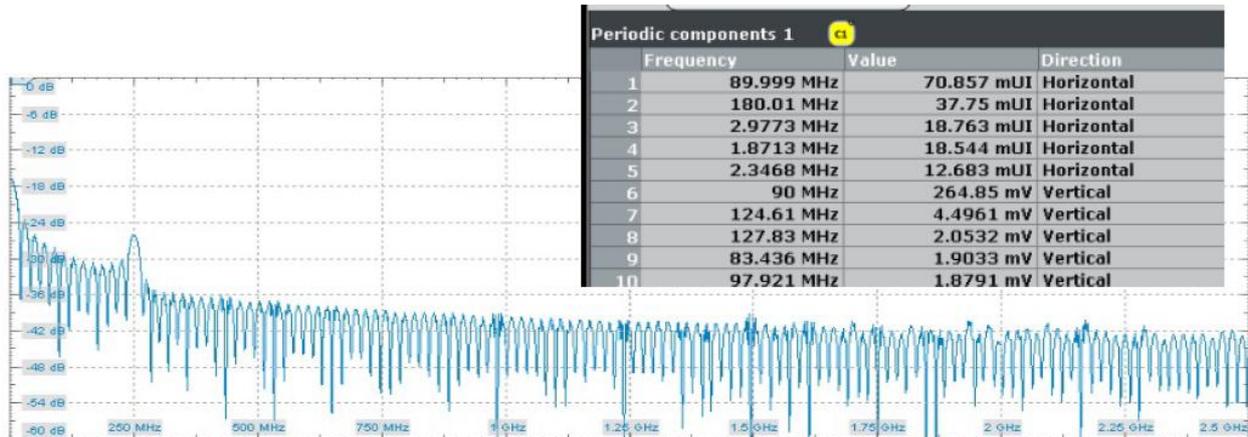


Figure 7: Distinction between horizontal and vertical direction of periodic jitter components and the plot of the Power Spectral Density (PSD) of the horizontal periodic jitter components.

三步快速設置

新的Rohde & Schwarz抖動分解演算法整合在R&S RTO和RTP示波器的選配K133 Advanced Jitter Analysis中。

獲得抖動結果的最簡單方法是“快速啟動分析”。它執行所有設置並且自動計算預先設定好之的抖動分量成分，並顯示個別抖動成分相應的結果。當然使用者也可自行定義所要

進行的量測項目。

另外，使用者手動設置僅需要三個步驟。第一步選擇訊號來源和訊號類型，並定義時脈數據恢復 (CDR)。在CDR內的設置使用者可選擇待測物的規格(例如USB3.1 Gen1) 如圖8, 大大地簡化設置的複雜性。

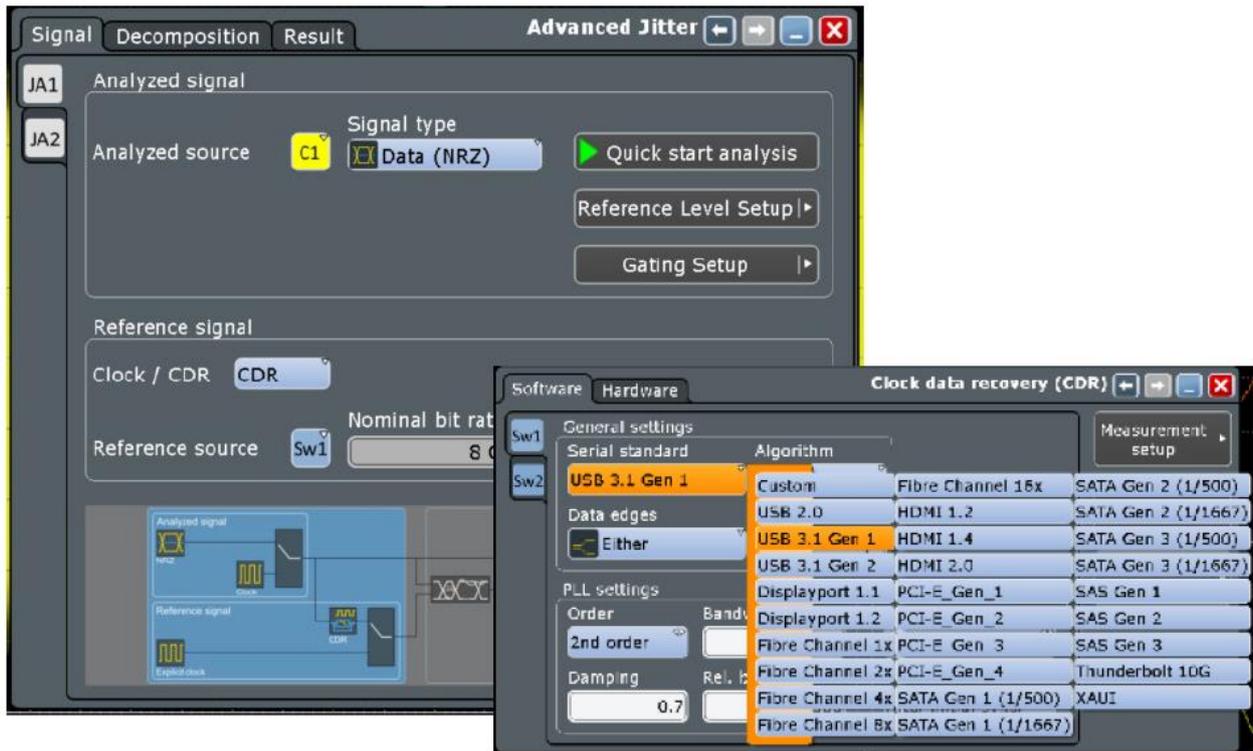


Figure 8: Setup step 1 - Defining the signal type and configuring the CDR

第二步，配置抖動分解參數(如圖9所示)。選擇欲進行分析的抖動成分，並定義處理的階躍響應(step response)長度。選擇較長的長度可能會發現更多細節，例如較遠的反射，但也需要更多的計算時間。



Figure 9: Setup step 2 - Defining the Step Response length and selected the jitter components.

最後一步是顯示結果的配置(如圖10所示)。在這一步中，使用可選擇各個抖動分成的直方圖，軌跡或頻譜圖。此外，此步驟也可將階躍響應(step response)，浴缸曲線和眼圖開啟，用於深入分析。在這之後，設置完成，然後打開“啟用”按鈕，分解過程將開始。



Figure 10: Setup step 3 - Select the results displays

圖11顯示了不同結果視圖的範例。R & S SmartGrid功能允許通過拖放的方式,根據個人喜好排列圖表。

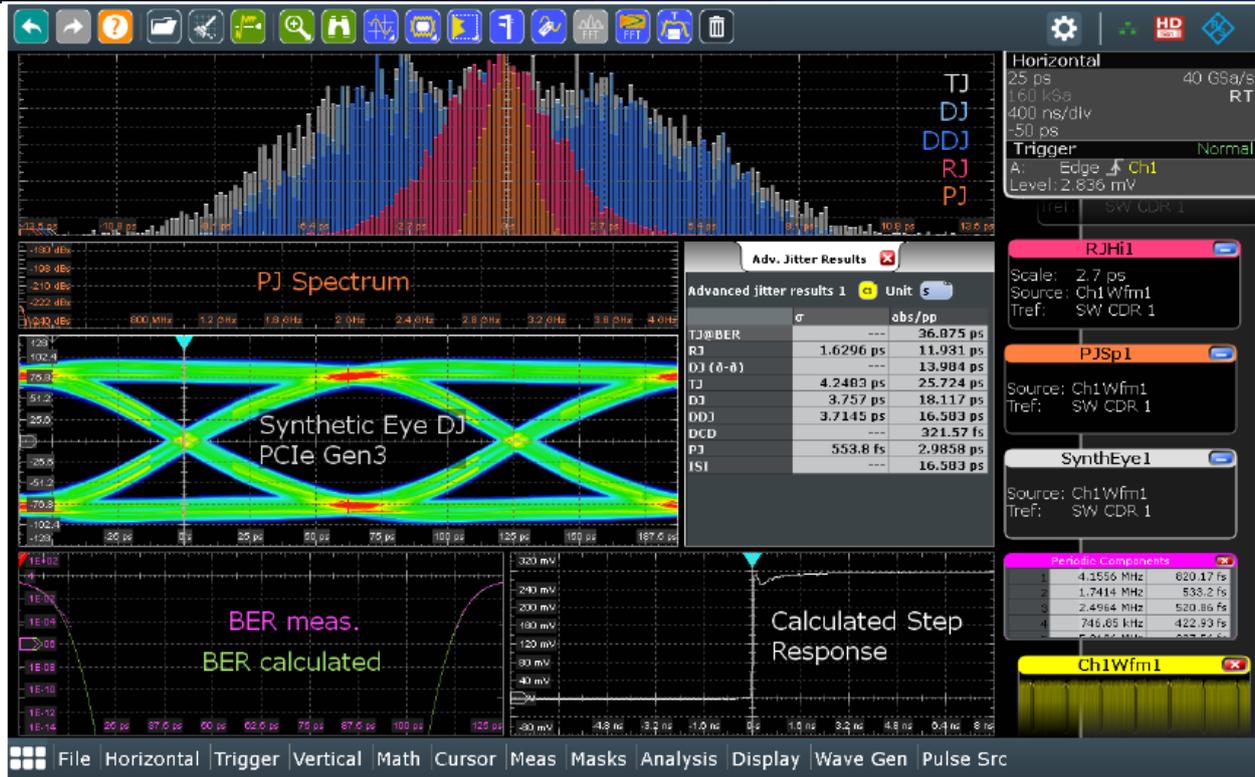


Figure 11: Result display for jitter decomposition of a PCIe Gen3 signal with the R&S RTP High Performance Oscilloscope and the R&S RTP-K133 Advance Jitter Analysis option.

結論

新的Rohde & Schwarz抖動分解演算法使用先進的訊號模型來分析輸入訊號的特性。因此，使用者甚至可以從相對短的訊號序列得到更準確的測量結果，同時針對相對長時間的訊號也可快速地得到準確的量測結果。並且提供了非常詳細的訊息可提供給設計人員準確且更深入了解待測訊號，完成訊號驗證與除錯。

Source: Guido Schulze, Product Manager Oscilloscopes at Rohde & Schwarz