

示波器基準規格介紹

就像全部電子測試設備一樣，數位示波器擁有大量的主要規格，其中一部分較為簡單，但其他部分規格在各方面則有詳細的規定；或是依廠商而有所不同，可能有一些是比較難界定的。因此，以下的定義採取較廣泛的方式。

頻寬

最大頻寬是每個數位示波器製造商都重視的卓越規格，其原因在於，它能夠決定示波器可正確測量的頻率範圍。若儀器的頻寬不足以滿足特定的應用要求，基本上它便不是一個準確、有用的測量設備，因為內容量不足以讓該儀器顯示訊號。示波器頻寬定義為輸入訊號減低 3 dB 的時候為最低的頻率，換言之，正弦波訊號會降到其真正振幅的 70.7%。

為特定應用選擇適當的頻寬可能並不容易。很明顯地，滿足此要求的最簡單方式是選擇頻寬最高的儀器。不過，頻寬高的示波器價格可能也較高。此外，隨著頻寬增加，噪音值會大幅增加，而動態範圍也隨之減少。這樣可能增加量測的不確定性及導致頻寬不足。因此，最低頻寬是使用者最常遇到的應用和訊號中最合適的選擇。

示波器主要可用於測量數位脈衝，擁有無限頻寬的理想脈衝就是方波。此訊號的頻譜包含位於基頻和奇次諧波的訊號。諧波的振幅於頻率方面在之後有個 $\sin(x)/x$ 公式，三次諧波大約比基頻低 13.5 dB，五次諧波大約比基頻低約 27 dB。下一個諧波（七次諧波）是 54 dB，低於大部分示波器的噪音底層。選擇示波器頻寬的常見基本規則是「第 5 諧波規則」，以方波頻譜為基礎。不過在許多情況下，這個規則會導致選擇的頻寬過高。

上述頻譜適用於完整的方波，但所有數位訊號上升時間有限，上升時間藉由降低較高諧波的振幅，來修改理想的方波譜。在許多情況，五次諧波的等級遠低於示波器的噪音底線，較少頻寬會落在正確的值；頻寬 3 Gb/s 以上的訊號一般都是如此，例如序列資料訊號，其與位元區間相關的上升時間大約為 30%。在此情況下，為了進行準確的測量，可接受比基頻低 5 倍的頻寬。

探棒亦能直接影響可達到的頻寬，這並非一個理想的裝置，因此必須將探棒的頻寬納入考量。探棒頻寬必須大於示波器頻寬，數值上得比良好的準則大 1.5 倍。因此，1 GHz 示波器必須使用頻寬 1.5 GHz 的探棒才能發揮最大效用。擁有更大的探棒頻寬很重要，如此才能確保測試訊號會位於探棒的平坦頻率回應區域中。對「一般」擁有 1 GHz 頻寬的示波器來說，此區域通常會是最大探棒頻寬規格的三分之一（300 MHz）。

更精確來講，大部分測試訊號都比簡單的正弦波複雜，包含多種光譜組件，像是諧波。例如為了檢視數位訊號，示波器應提供比時鐘頻率大約高 5 倍的頻寬。類比訊號方面，示波器連接的裝置最高的頻率會判斷需要多少示波器頻寬。

有效位元數 (ENOB)

有效位元數 (ENOB) 是種可能會是個令人難以理解的規格，因為它可能代表 ADC 可達成的解析度位元，也可以指完整儀器的一部分可實現的「有效」位元總數。第一項必定大於第二項，在示波器資料表上從未看過這兩種規格，不過 ENOB 是個很適合多了解的縮寫字。ENOB 受到多種因素控制，除了其它因素之外，亦因頻率、前端噪音、諧波失真和交錯失真而異。示波器廠商將自身儀器的 ENOB 極靠近「原始」值這一點做為賣點（例如 R&S®RTO 系列就是 8 個位元當中有 7 個位元都符合條件），因為這不是個容易做到的成就。（請參考「The Benefits of a Non-interleaved ADC」一文中第 15 頁）。

通道

以往大部分數位示波器有 2 個或 4 個通道，但現在可能會有 20 個通道，這是需要量測類比和複雜的數位訊號所造成的結果。對購買示波器的人來說，精確評估可能會遇到的通道數量很重要，或可建立外部觸發硬體。將通道運用在嵌入式除錯應用程式中時，例如混合訊號示波器，通道可能會將 16 個邏輯定時通道與儀器 2 到 4 個的傳統通道交錯。

取樣率

示波器取樣率指的是示波器 1 秒能取得的樣本數量，至少應為示波器頻寬的 2.5 倍。最新的數位示波器擁有極高的取樣率，頻寬超過 6 GHz，一般會設計成能適用於高速單擊暫態活動。這些示波器能達到這樣的效果，是在超過指定頻寬 5 倍的頻率下進行超取樣。當示波器製造商規定儀器的最高取樣率時，通常只有在使用一或兩個通道時能達到高取樣率。若同時使用更多通道，取樣率可能會降低。因此，關鍵因素取決於儀器達到最高取樣率時，可使用幾個通道。在任何將類比訊號轉換為數位訊號的系統中，取樣率越大解析度越大，若使用數位示波器，顯示的效果越好。

記憶體深度

這個規格很重要，因為取樣率增加時，儲存擷取的訊號所需要的記憶體容量也會增加。儀器記憶體容量越大，在達到全速取樣率的情況下，能捕捉到的波形就越多。一般來說，長期的擷取期需要極大的儲存深度，但在選擇最深的記憶體深度設定時，示波器的更新速率可能會明顯下降。

傳統示波器在進行擷取訊號同時，會不斷進行數據的保存、處理和顯示。這些過程發生時，儀器基本上會忽略量測的訊號特徵。取樣率達到最高點時，盲區可能會超過整段擷取時間的 99.5%，只有量測過程低於 0.5% 的時間，隱藏了訊號故障。對於需要足夠的訊號擷取記憶體來說，最關鍵的需求會出現在事件隨機或頻繁發生的時候。若記憶體容量過低，事件不會被擷取的機率大幅升高。除了高速記憶體外，R&S®RTO 系列等示波器會執行 ASIC，可同時執行多個程序，大幅減少盲區，將分析速度提升到每秒一百萬個波形，比其他示波器快上 20 倍。

觸發類型

幸運的是，對於未來的示波器買家來說，大部分示波器具有多種傳統觸發功能以及一些針對常見應用所設計的功能。這點非常重要，因為可以執行的觸發類型有很多種，在缺少這些類型的情況下則無法適當處理部分的應用。幾乎每個數位示波器都包含邊沿、小故障和模式觸發。藉由混合訊號示波器，可在邏輯和示波器通道進行觸發。使用常見的序列介面匯流排的工程師將需要 SPI、UART/RS-232、CAN/LIN、USB、I2C、FlexRay 和其他匯流排的觸發協定，因此潛在的觸發要求是示波器規範程序的一部分。

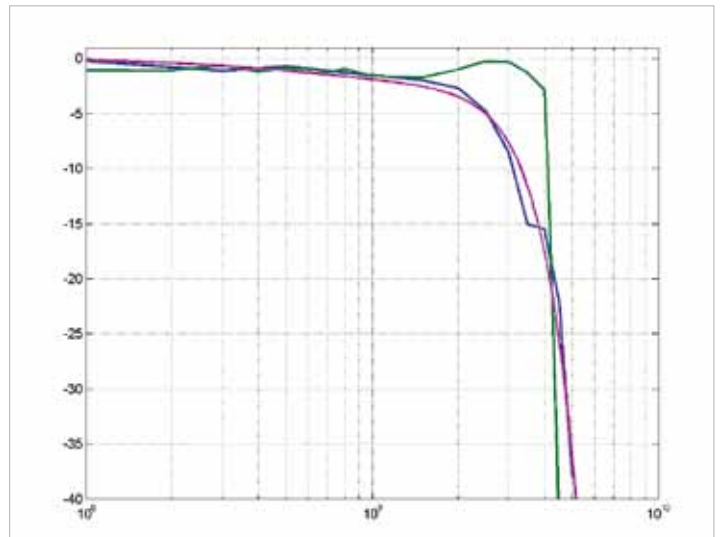


圖 10：R&S®RTO1024（藍色）和最平示波器（綠色）的高斯頻率響應曲線疊印在理想的高斯響應上（紫色），這表示後者很接近理想的響應值。



ROHDE & SCHWARZ

上升時間

現在大部分的應用都需要測量上升時間，尤其是測量需要非常快速的上升時間測量過程的訊號時更是如此，因此這個公制比其他的都重要。事實上，示波器上升時間可決定該示波器可達到的可用頻率範圍。上升時間較快的示波器可更正確地呈現高速轉變的細節。套用在探棒上時，探棒對步級函數的回應指出探棒能傳輸至示波器輸入的輸入的最快時間。一般針對此規格來說，如須準確測量脈衝上升和下降時間，完整系統的上升時間速度（意指示波器和探棒）必須是系統會遇到的最快轉變速度的 3 到 5 倍。

頻率響應

頻率響應只是判斷數位示波器效能的諸多特性之一，但卻是影響示波器效能的重要因素，即使示波器製造商的資料表上從未註明頻率響應。示波器和訊號處於類比狀態時，一直都會先預設高斯頻率響應形狀，所以不會提到頻率響應。不過數位示波器可能會擁有最平、切比雪夫 (Chebyshev)、巴特沃思 (Butterworth)、高斯或其他頻率響應曲線，每個類型都會影響過衝和振鈴，這兩者則會以不同的方式造成振幅和上升時間出現錯誤，因此了解這個「神秘的」規格很重要。

例如，所有訊號是正弦波的總和，均在不同頻率和相位差下以光譜線的方式出現在頻域中，這些訊號每個都因示波器的頻率響應分開給予權重。很明顯地，頻率響應給予每個訊號元素的權重會很有幫助，不過使用者可進行猜測，因為資料表只記錄 3-dB 頻寬和上升時間。

每家製造商對「理想的」頻率響應曲線見解不盡相同。有些製造商認為最平響應提供最佳結果，這個響應類型會在陡然降落後，不會一路偏離到儀器的截止頻率，這也擴大了儀器的頻率範圍，產生非常銳利的轉降特徵。

最平頻率響應需要進行大量交換才能達成。例如躍遷頻率會受到影響，因為響應不可能完全平整，較高頻率的響應不可能在轉換時不會發生「高低落差」的情況。巴特沃思、切比雪夫和其他響應類型亦在通帶中產生一些不規則的情況，即使使用目前最先進的數位濾波器亦無法避免。

Rohde & Schwarz 相信傳統高斯響應在互相矛盾的規格之間取得最佳平衡，整體上具備最佳準確性，過衝和振鈴亦降到最低。傳統高斯響應在頻率和時域方面能展現獨特的能力，無論是頻率和時域均不會出現振鈴問題。R&S® RTO 2-GHz 示波器的頻率響應以及 4 GHz 示波器的最平響應（圖 10）表示 R&S® RTO 的響應幾乎是個「教科書」型的高斯形狀。圖 11 比較兩種示波器的步階響應，R&S® RTO 的過衝為 1%，最平示波器的過衝為 8%。採用高斯響應得犧牲較窄的 3-dB 頻寬，因為響應會逐漸滾降。不過高斯響應能達到最高準確度（特別是在訊號邊緣方面），消除振鈴現象，過衝低於 1%，遠低於 5% 到 10% 或以上的業界平均值。降低過衝（最大振幅偏移以最終振幅值的百分比呈現）十分重要，否則裝置測試時的特徵會變得不清楚，無法量出精準的振幅。

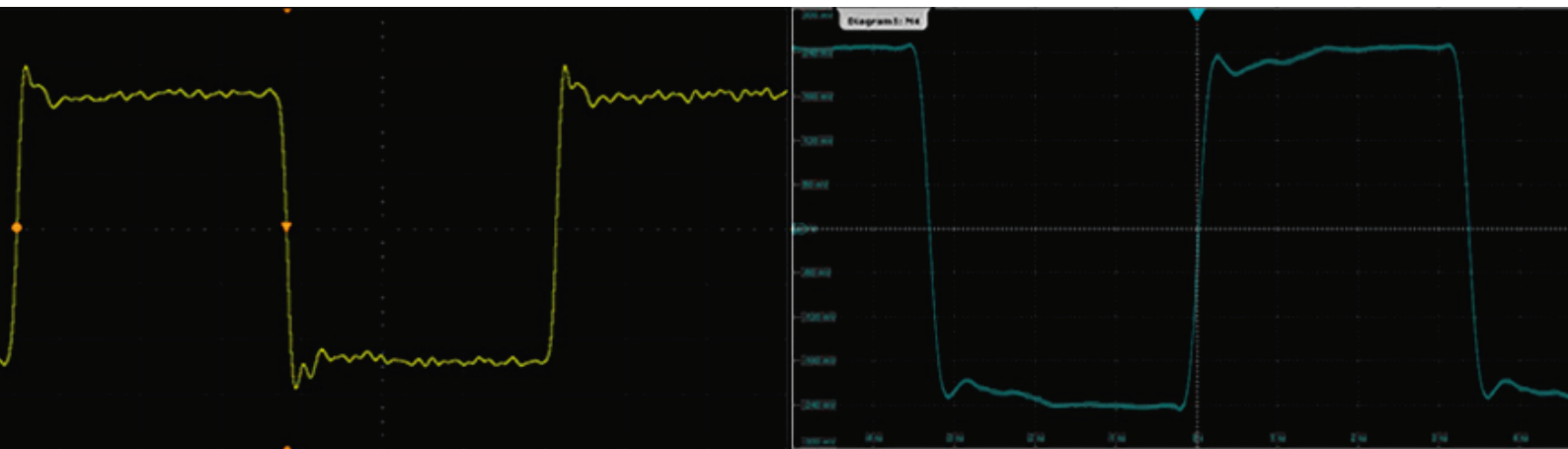


圖 11：兩種示波器的步階響應顯示 R&S® RTO1024 的過衝約為 1%，最平示波器的過衝則為 8%。

增益 (垂直) 和時基 (水平) 準確度

示波器增益準確度是精確度的決定因素，示波器的垂直系統可變更輸入訊號振幅，水平準確度能定義水平系統將訊號定時視覺化的能力。

ADC 垂直解析度

垂直解析度是準確度的公制單位，ADC 將類比電壓轉換為數位位元。例如 8 位元 ADC 將訊號轉換為 256 個離散電壓位準，而這些離散電壓位準分散在選取的「每格電壓值」設定中。若位準為 1 mV/division，最低有效位元為 39 μ V。最低有效位跟有效位元數不同，因為這不考慮 ADC 和示波器前端的非理想特性。

垂直敏感度

垂直放大器將訊號強度放大的能力即稱為垂直敏感度，一般是每個垂直螢幕分割畫面大約 1 mV。所有的示波器均無法達到每格 1 mV，許多須仰賴軟體才能補償效能，因此減少了示波器的有效位元數。頻寬限制有時用於處理這樣的缺點，特別是在每分區電壓較低的情況下。

顯示螢幕和使用者介面

個別規格定義示波器效能，顯示螢幕和使用者介面定義示波器的好用程度，以及示波器效果有多好。示波器製造商在顯示幕方面的一直都很一致，現在一般的高解析度 TFT LCD 有時具備 LED 背光功能。不過各示波器製造商的介面本身完全不同，在每個新的示波器世代出現時都會持續重新定義。使用者進行測量的方便程度以及解釋過程的速度和解析度均為主觀感受，因此應盡可能徹底評估每個儀器。

通訊能力

現代數位示波器擁有多種通訊介面，從傳統的 GPIB 和 RS-232 到乙太網路和 USB 均包括在內。CD-RW 硬碟是之前搬運資料的方式，現在只用 USB 隨身碟即可更輕鬆地搬運資料。透過網路連線則可進行更多的遠端傳送過程。此外透過網路也能下載韌體更新、選項和其他功能。透過乙太網路，可在任何能網路連線的地方控制儀器和傳輸資料，更能讓示波器成為更大的 ATE 系統的一部分。



ROHDE & SCHWARZ

一般的示波器量測

類比和數位示波器都是多功能的測試儀器。即使基本功能示量測和顯示電壓，但兩者的能力更為廣泛。除了下述量測之外，有許多其他的功能可套用在特殊應用上，網路上有許多地方可找到應用須知和其他說明文件。這些功能包含此處描述的量測自動化、商用和防禦系統的訊號偵測和分析、以及許多其他功能。

電壓量測

基本電壓量測其實是進行許多其他後續計算的基礎步驟。例如峰值電壓差量測來計算波形高低點之間的電壓差，亦量測 RMS 電壓，而 RMS 電壓可用於判斷電壓位準。

相位偏移量測

示波器的「XY 模式」功能可方便地測量相位偏移。使用垂直和水平系統各別一個輸入訊號即可進行量測。結果是利薩如圖形可顯示交變電壓的相關相位和頻率，利薩如圖形的形狀能讓確定的兩個訊號之間呈現相位差和頻率比。

時間量測

示波器可用於透過水平比例尺量測時間，對評估脈衝特徵很有用。也就是說，頻率是週期的倒數，若知道週期長段，用「1」除以週期即可算出頻率。讓訊號中需要的部分變大，即可改善顯示資訊的清晰度。

脈衝寬度和上升時間量測

在許多應用上面，評估脈衝寬度和上升時間很重要，因為關鍵特徵可能損壞，數位線路將導致劣化甚至完全故障。波形從本身 50% 的峰對峰電壓上升到最大電壓再回到原本電壓的時間，定義為脈衝寬度。量測負脈衝寬度可決定波形從本身的峰對峰電壓降到最低點需要多少時間。脈衝訊號相關的其他參數包括上升時間，此為脈衝從自身全電壓 10% 到 90% 需要的時間。這個業界標準可確保已消除脈衝的轉換角之差異。

序列匯流排解碼

序列通訊協定解碼，像是 I2C、SPI、UART / RS-232、CAN、LIN、FlexRay 和其他匯流排，是示波器常進行的另一組常見量測。這些量測功能是一般可視需用增加的一或多個示波器軟體選配件的一部分。

頻率分析、統計和數學函數

除了直方圖和算術平均數和平均值等統計函數之外，使用者可對量測的訊號套用數學函數。使用者能以富有意義的方式顯示結果，簡化波形分析。藉由將來源波形和其他資料結合及轉換為數學波形，使用者可取得一個應用所需要的資料視圖。

大部分示波器的數學函數可在不同通道對訊號進行加減乘除。其他基本數學函數包括傅利葉轉換（可在顯示幕上檢視訊號的頻率壓縮結果）以及判斷絕對值，可顯示波形的電壓值。

若軟體有內建數學運算、遮罩測試、長方圖、光譜顯示以及自動測量功能，會消耗計算資源，增加盲區，導致儀器回應緩慢。Rohde & Schwarz 將這些功能內建在硬體中，在光譜分析中展現硬體專業，結合低噪音前端和 A/D 轉換器大量有效位元，帶來強大的 FFT 光譜分析。

FFT 功能速度很快，高擷取率能展現活躍的光譜。就結果而言，快速訊號變更、干擾和微弱的疊印訊號十分清晰。

R&S®RTO 系列儀器中，硬體亦內建遮罩測試功能，保持高擷取率，同時獲得統計相關資料所需要的數量足夠的波形。儲存的波形可進行分析，可偵測到訊號故障，並可快速偵測到原因，具備高水準可信度。

總結

示波器是個非常多功能的儀器，可在多種工程環境中使用。一般來說，水平和垂直系統越有效率，訊號保真度越高。此外，藉由觸發彈性，使用者能透過擷取隨機和極少出現的訊號安裝示波器。一個或一組好的探棒對於將測試中的訊號放入量測系統非常重要。

如前面所述，數位示波器有許多種應用，製造商通常都會提供應用須知和其他針對示波器的說明文件。此外，還有許多資訊，對於此份文件中所提及的主題很有幫助。就結果而言，購買示波器後，後續步驟之一應該是儘可能取得越多使用者可能遇到的特殊應用之相關資訊。

台灣羅德史瓦茲有限公司

客服電話：0800-889-669

客服信箱：sales.taiwan@rohde-schwarz.com

官方網站：<http://www.rohde-schwarz.com/tw>



ROHDE & SCHWARZ