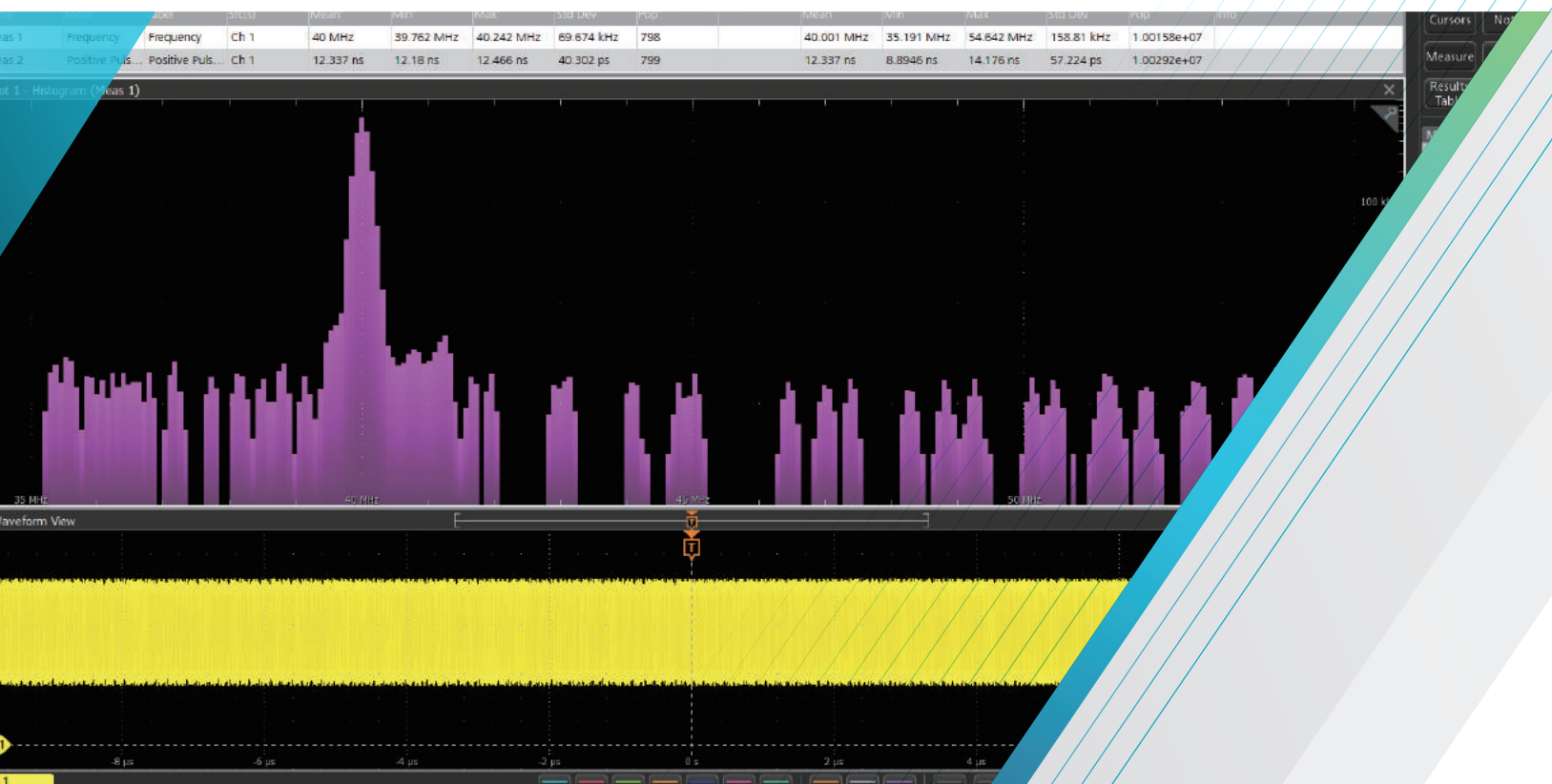


使用示波器量測數位時脈 穩定性和抖動

應用摘要



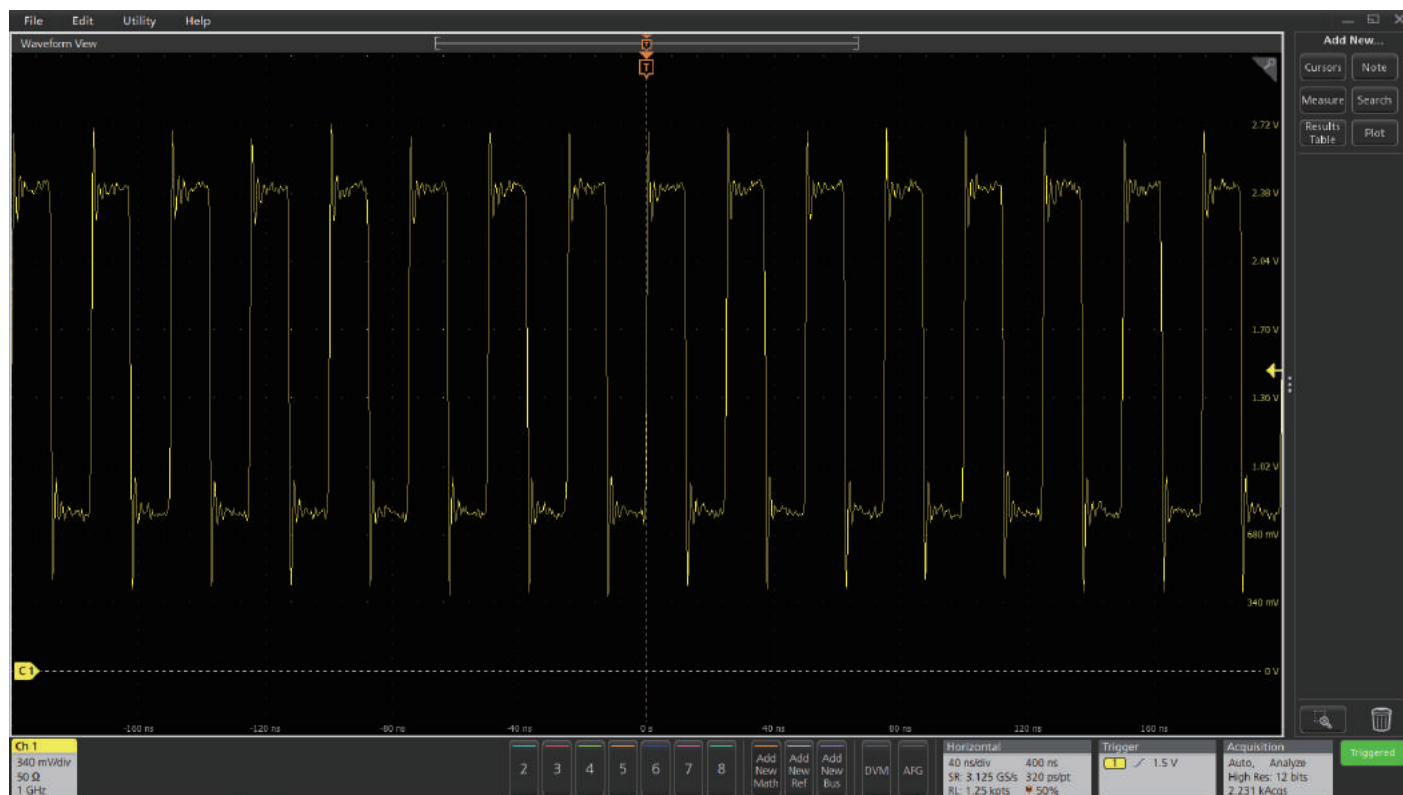
介紹

時脈是嵌入式系統的心跳，提供時序參考和組件、子系統和整個系統之間的同步功能。不正確的時脈訊號振幅和時序可能會影響可靠的數位電路運作。時脈訊號上的雜訊和時序畸變會導致系統效能下降或出現間歇現象，因此時脈訊號的徹底特性分析是確保可靠嵌入式系統設計的關鍵步驟。

本應用摘要提供了數位時脈訊號的振幅和時序量測的幾個範例，包括

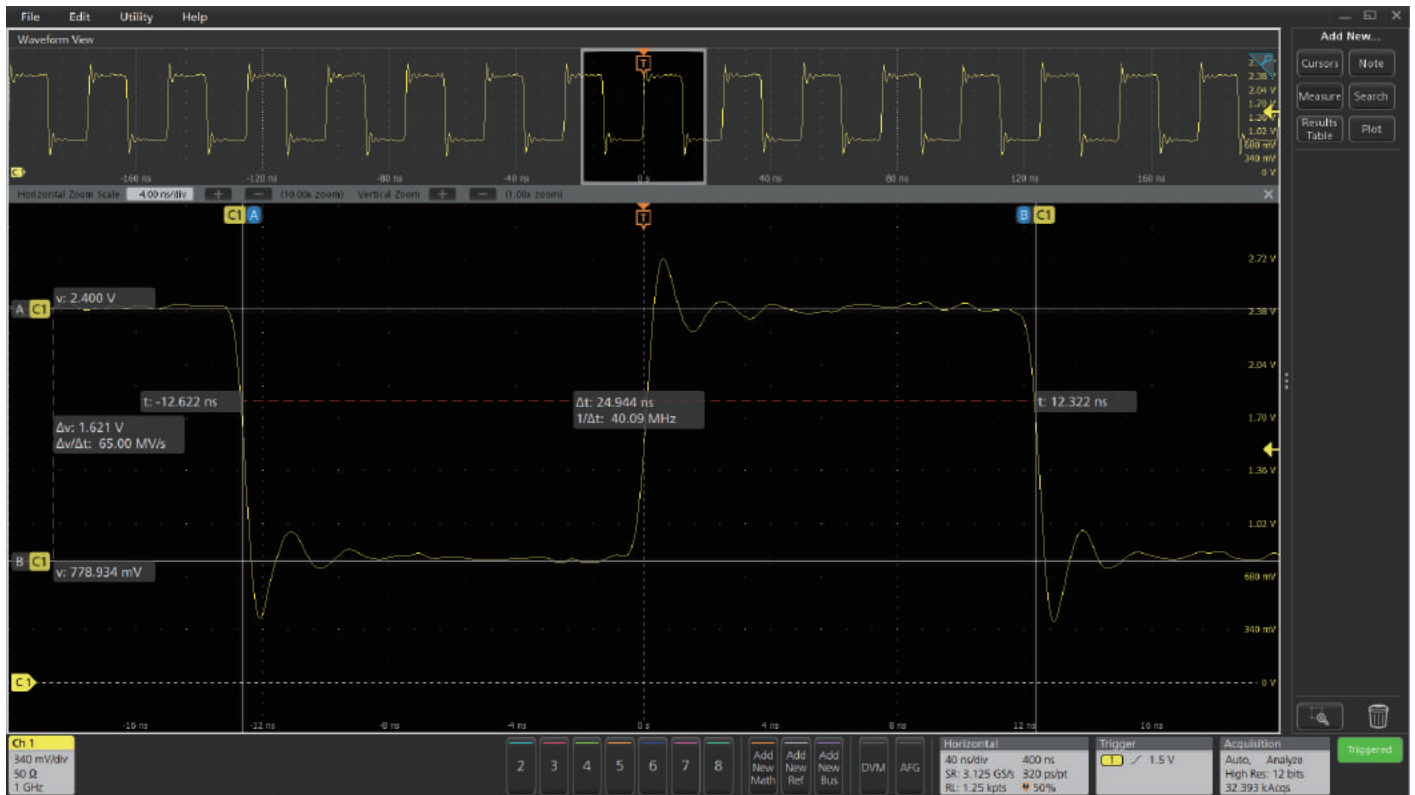
- 振幅量測
- 頻率穩定度量測
- 基本的抖動分析
- 進階的抖動分析概述

本文件使用 5 系列 MSO 混合訊號示波器來說明量測。6 系列 MSO 的運作方式相同，但具有更高的頻寬並提供更低的輸入雜訊。文中所示的許多量測均可使用其他示波器執行，但具體設定將會有所不同。在本應用摘要中，有些量測將利用 5 和 6 系列 MSO 的選配進階抖動分析應用程式。



此顯示畫面顯示了在 1 GHz 頻寬 5 系列 MSO 上採用 12 位元垂直解析度所擷取的 40 MHz 時脈訊號。為確保足夠的訊號完整性，在時脈驅動器附近的測試點已附加了 1 GHz 差動式探棒。由於量測系統的頻寬約為時脈頻率的 25 倍，因此由於頻寬所引起的量測誤差將可降至最低。

調整示波器的精細垂直刻度，使訊號填充大部分刻度 (不偏離頂部或底部) 以最佳化垂直解析度，並選擇高即時取樣率以最佳化時序解析度。



振幅量測

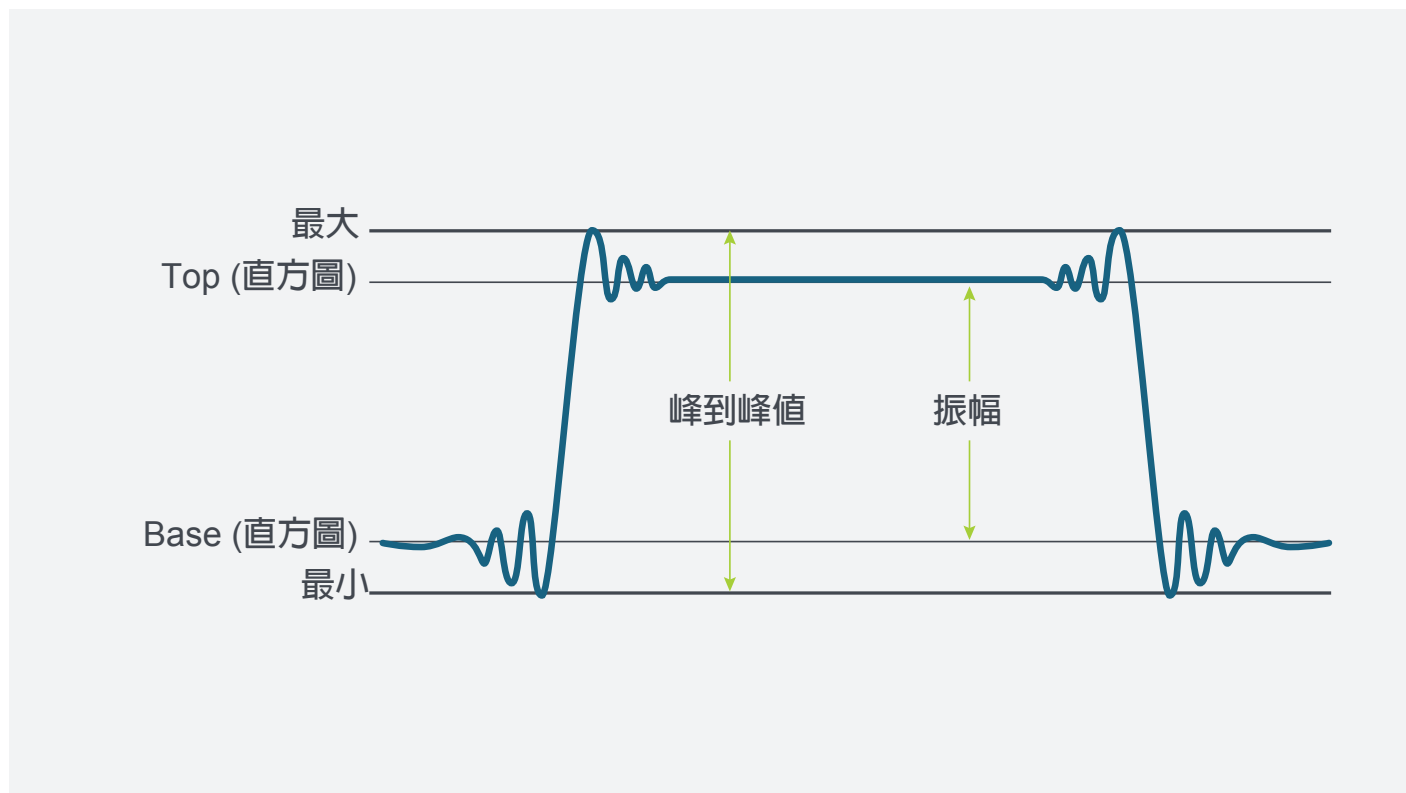
透過目視檢查相對於格線內水平和垂直標籤的訊號，可讓您確定時脈的低位準約為 750 mV，高位準約為 2.4 V。時脈週期約為 25 ns (對應於 40 MHz)。對於一些快速除錯任務而言，此量測準確度可能即已足夠。

放大一個訊號週期並使用游標可取得更精確的振幅和時序量測。正如您在前述的顯示畫面所見，量測解析度顯著提高，但量測是以單一波形週期為基礎，若訊號隨時間而變化，則可能難以進行。



自動振幅量測 (顯示在顯示畫面右側的量測結果標記) 可提供快速垂直量測結果。與游標量測相比，這些自動量測會迅速更新。在本例中，省略符號 (或「單撇」符號) 指示這些 μ' 值代表當前擷取的平均量測值。

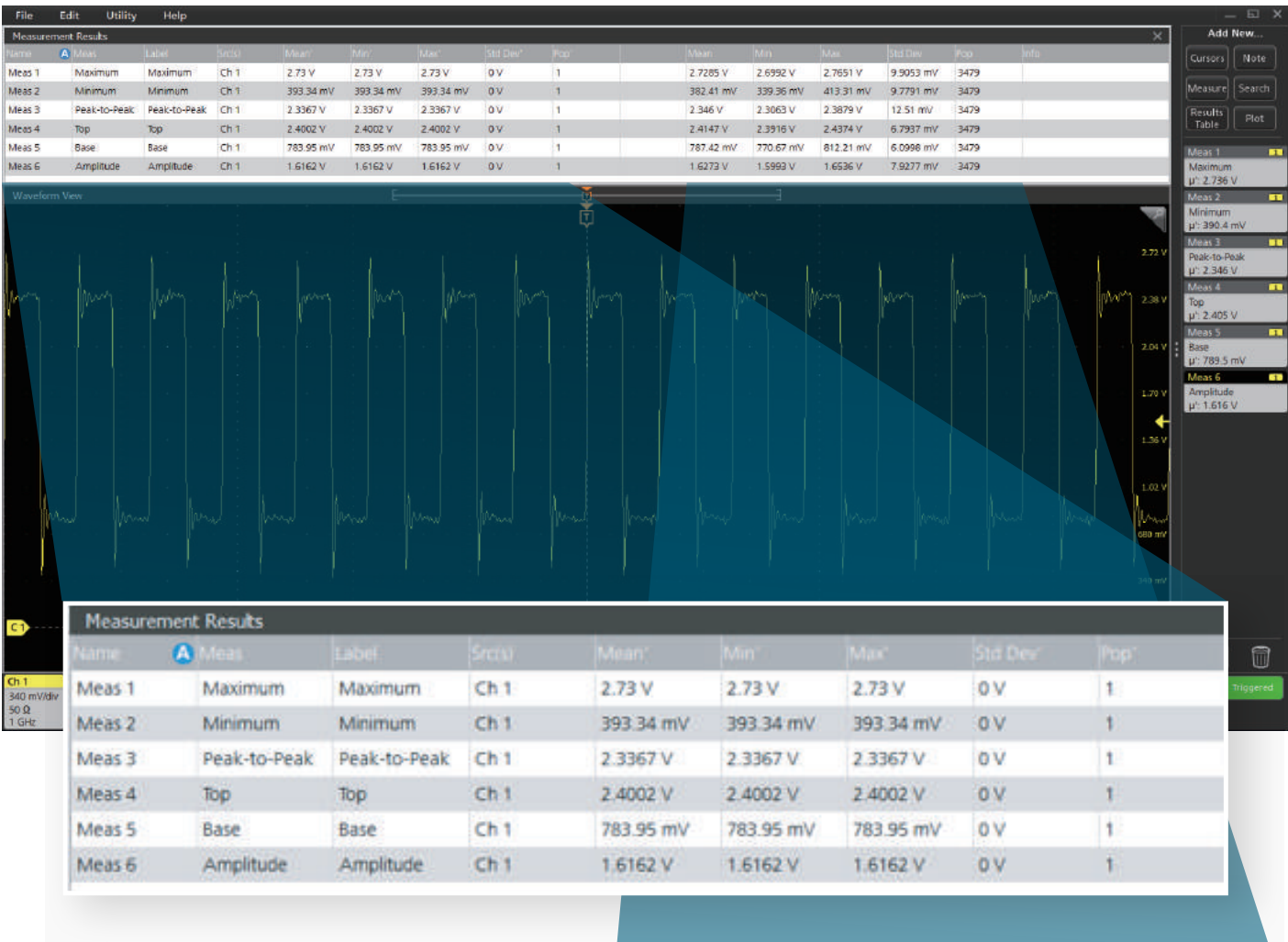
Meas 1	1
Maximum	
μ' : 2.721 V	
Meas 2	1
Minimum	
μ' : 385.5 mV	
Meas 3	1
Peak-to-Peak	
μ' : 2.336 V	
Meas 4	1
Top	
μ' : 2.420 V	
Meas 5	1
Base	
μ' : 783.0 mV	
Meas 6	1
Amplitude	
μ' : 1.637 V	



自動量測演算法會在數位化波形上使用數位訊號處理。請注意，**Top** 和 **Base** 量測與先前用水平游標所進行的量測類似，但解析度更高。

請注意，峰到峰量測等於最大和最小量測之間的差異，且振幅量測等於 **Top** 和 **Base** 量測之間的差異。

這些讀數提供了一個很好的初步概念，但量測值如何隨時間變化？

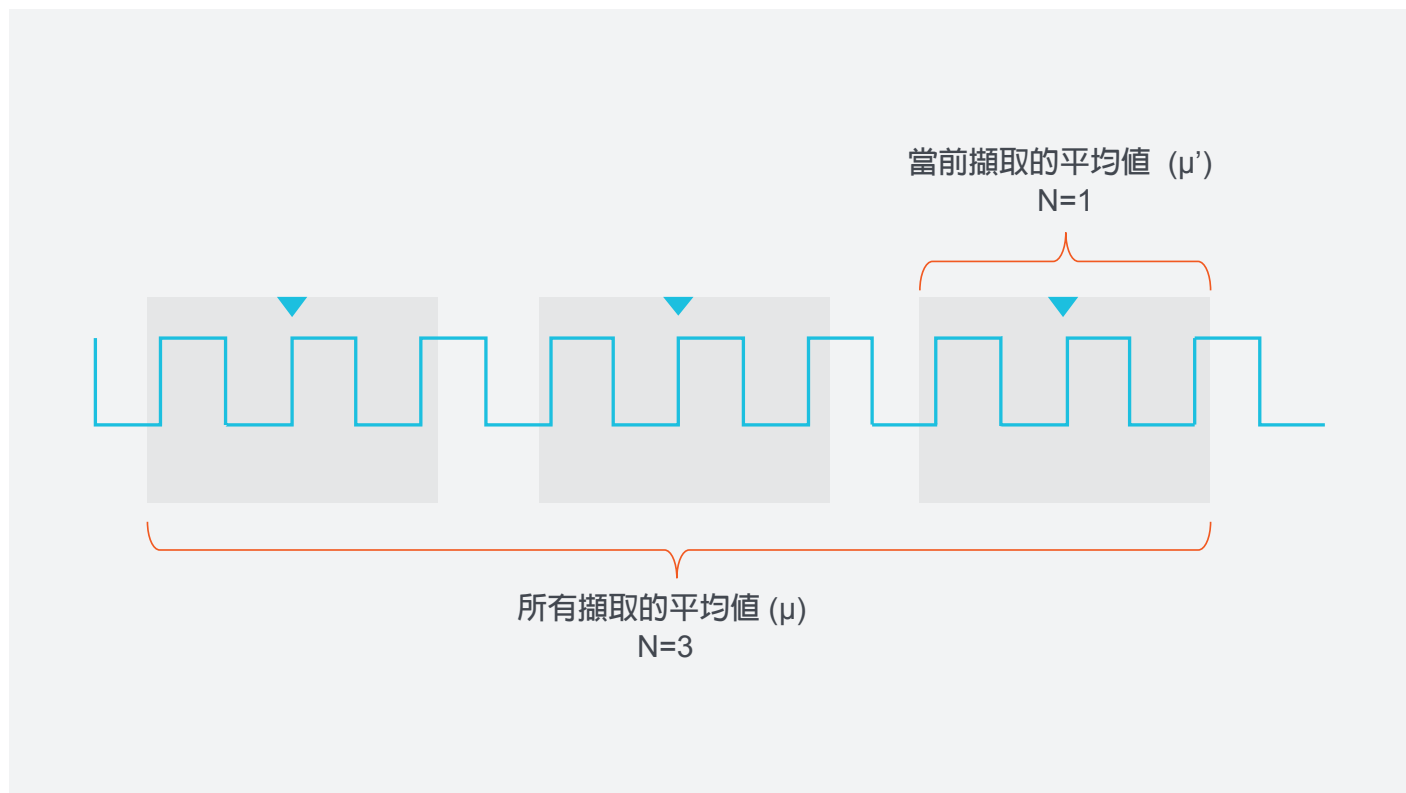


結果表格提供了相關的統計資料，以顯示隨時間所發生的變更

結果表 (顯示在上述顯示畫面的頂部) 提供了兩個量測值和量測統計資料的顯示畫面。左側的欄顯示當前擷取的量測統計資料 (平均值、最小值、最大值、標準偏差和群體)。這些短期統計資料會由單撇符號 (省略符號) 表示。

右邊的欄則顯示了對所有擷取的所有量測的累計統計資料。

Mean	Min	Max	Std Dev	Pop	Info
2.7285 V	2.6992 V	2.7651 V	9.9053 mV	3479	
382.41 mV	339.36 mV	413.31 mV	9.7791 mV	3479	
2.346 V	2.3063 V	2.3879 V	12.51 mV	3479	
2.4147 V	2.3916 V	2.4374 V	6.7937 mV	3479	
787.42 mV	770.67 mV	812.21 mV	6.0998 mV	3479	
1.6273 V	1.5993 V	1.6536 V	7.9277 mV	3479	



所有擷取資料的量測統計是從第一次擷取開始，到目前擷取的時間為止計算得出。在您要深入瞭解較長時間的穩定性時，此資訊即非常實用。

根據振幅量測的累積統計資料，您可以將量測值與時脈驅動器的資料表和時脈訊號驅動的分量進行比較，以驗證振幅特性是否在規格範圍內。例如：

- 最大量測的最大值和最小量測的最小值均在接收器的絕對輸入電壓範圍規格內。
- **Top** 量測的最小值大於驅動器的 V_{OHmin} 和接收器的 V_{IHmin} 規格。
- **Base** 量測的最大值小於驅動器的 V_{OLmax} 和接收器的 V_{ILmax} 規格。



頻率穩定度量測

同樣，可以使用自動時序量測來提供快速的水平量測。顯示畫面右側量測結果標記中顯示的 μ' 值代表目前擷取的平均時序量測值。

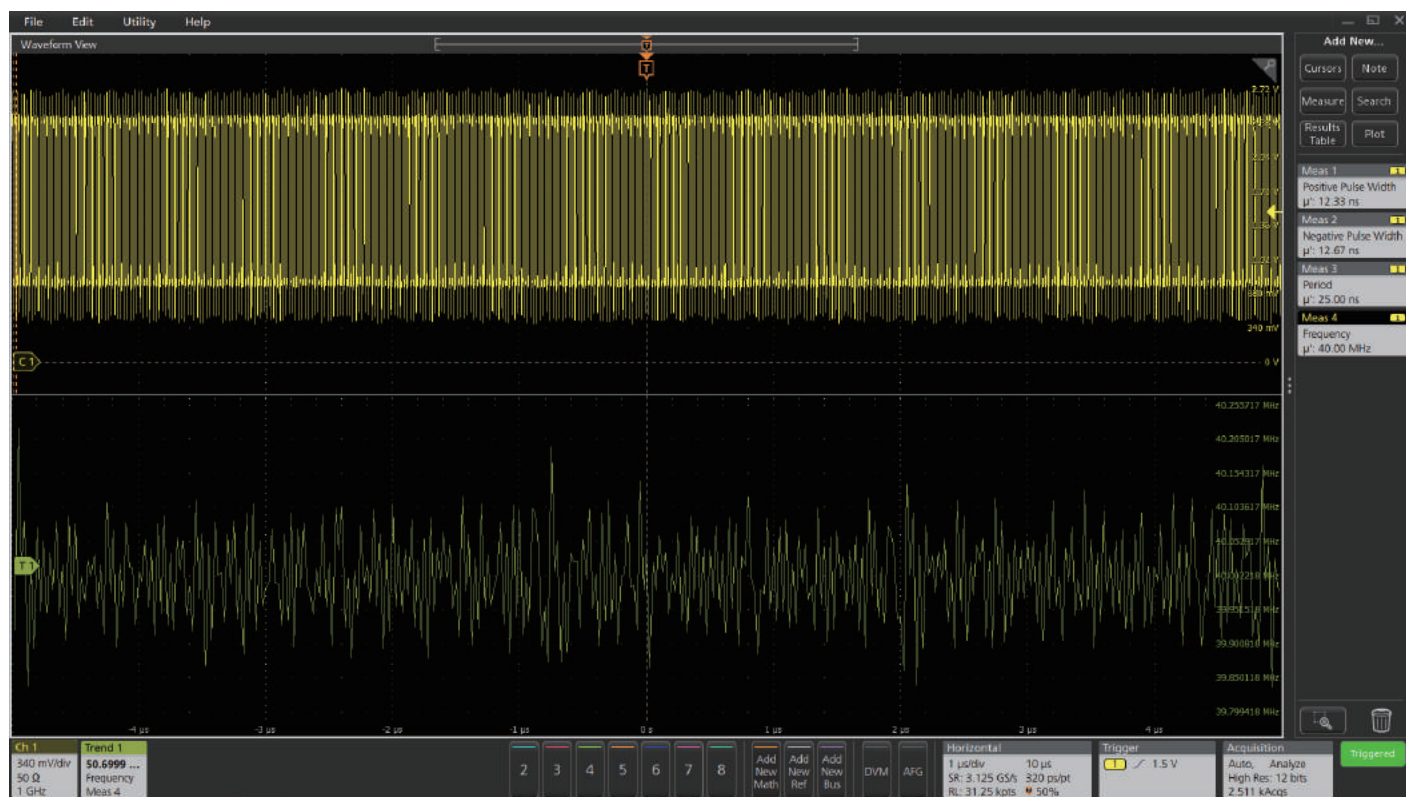
請注意，週期量測提供了與本應用摘要前面討論的 V Bars 游標的量測類似的結果，但具有更高的解析度，且更新速度更快。

正如預期，週期量測等於正脈寬和負脈寬量之和，且頻率量測是週期量測的倒數。

從此處，您可將量測值與由時脈訊號驅動的接收器分量的分量資料表進行比較，以驗證時序特性是否在規格範圍內。例如：

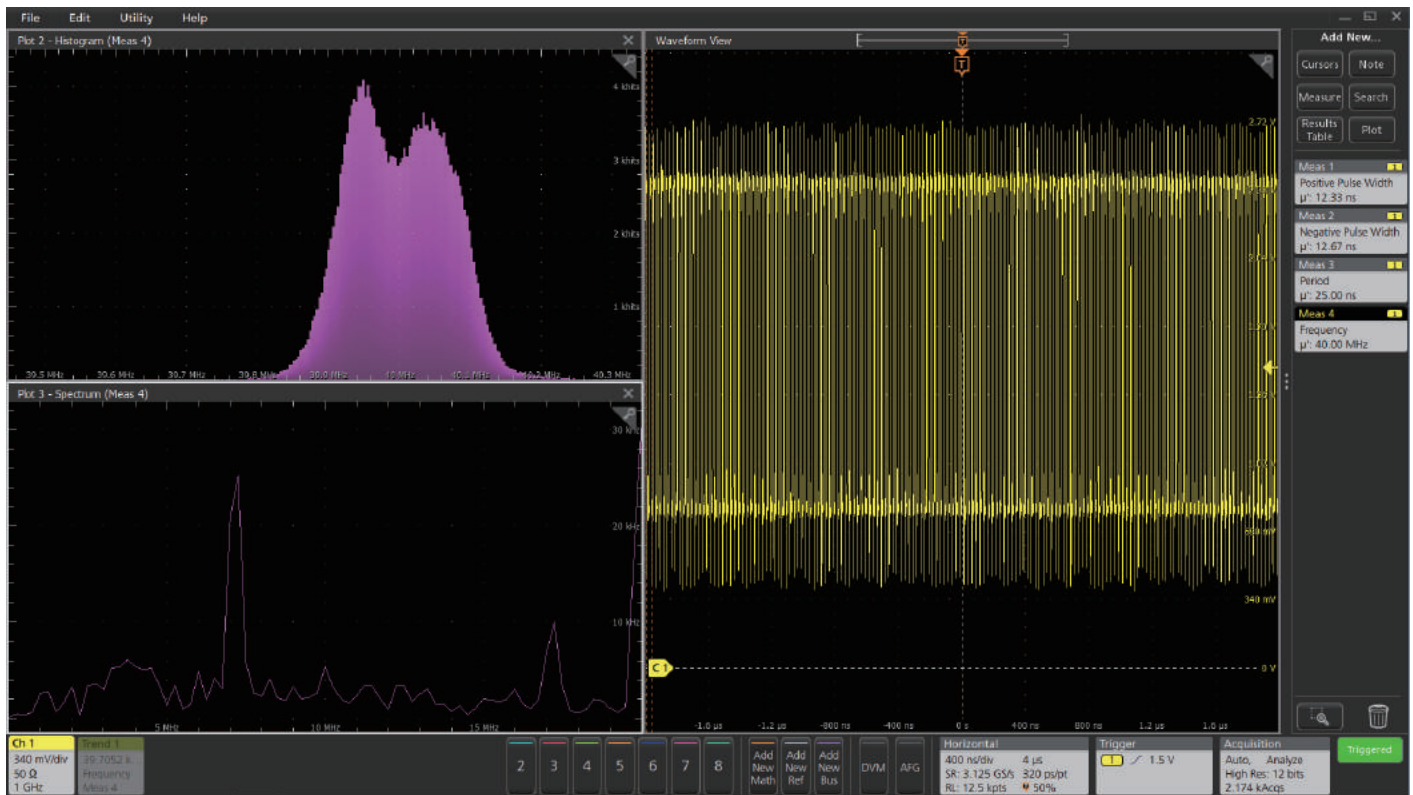
- 頻率量測的最大值和最小值在指定的時脈頻率 (f_{clock}) 範圍內。
- 正脈衝寬度量測的最小值大於最小脈衝持續時間 $\text{spec } t_w$ (CLK 高)。
- 負脈衝寬度量測的最小值大於最小脈衝持續時間 $\text{spec } t_w$ (CLK 低)。

標準的自動時序量測會驗證時脈頻率符合規格，為抖動分析提供了一個很好的起點。增加量測統計資料 (如最小和最大頻率) 則可確定時脈脈衝是連續的訊號。而標準偏差 (σ) 提供了一段時間內頻率穩定性的定量量測。但是，這些統計資料很難深入瞭解頻率變化的方式。



時間趨勢顯示頻率變化

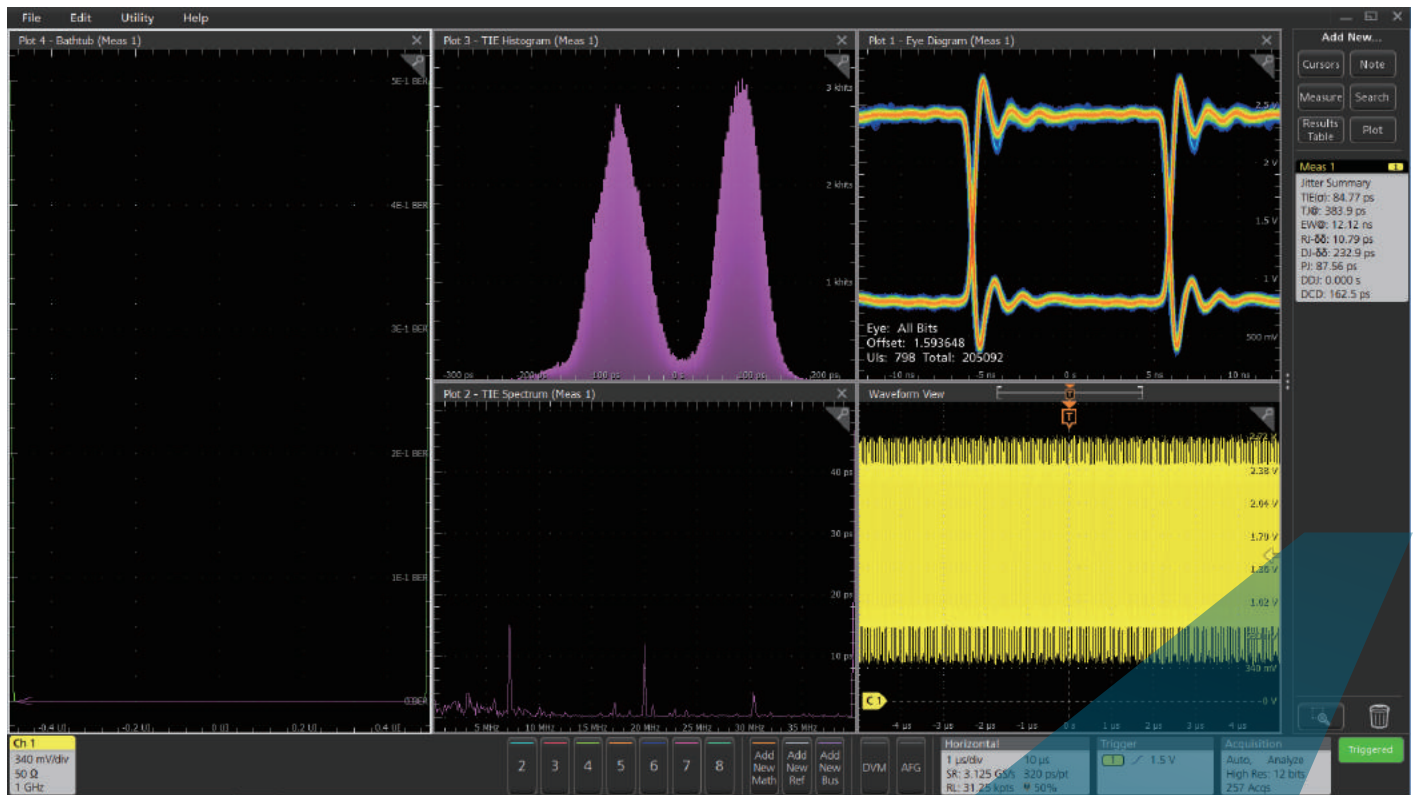
在上述畫面中，擷取時間視窗已增加至 $10\mu\text{s}$ 以增加擷取週期數，從而增加可用週期量測的次數。視窗下半部分的時間相關時間趨勢顯示畫面顯示了擷取過程中頻率量測的變化。相較於量測統計，此時間趨勢顯示畫面提供了對頻率變化更完整的理解，但仍難以確定變化是隨機發生或是由系統因素 (如其他附近的訊號) 所引起。



直方圖和頻譜圖提供了更多的線索

左上角頻率量測值的梯級頻率圖表明頻率變化並非完全隨機 (不是典型的高斯或鐘形曲線)。形狀表明可能有其他訊號與時脈訊號交互作用。

頻譜圖顯示大約 7MHz 和 20MHz 的顯著頻率分量。這些量測和對設計其餘部分的瞭解可能有助於確定時脈頻率變化的根本原因，但您很難確切知道到底是哪一個潛在原因中具有主導地位。為此，我們需要將時序抖動分解為其分量。

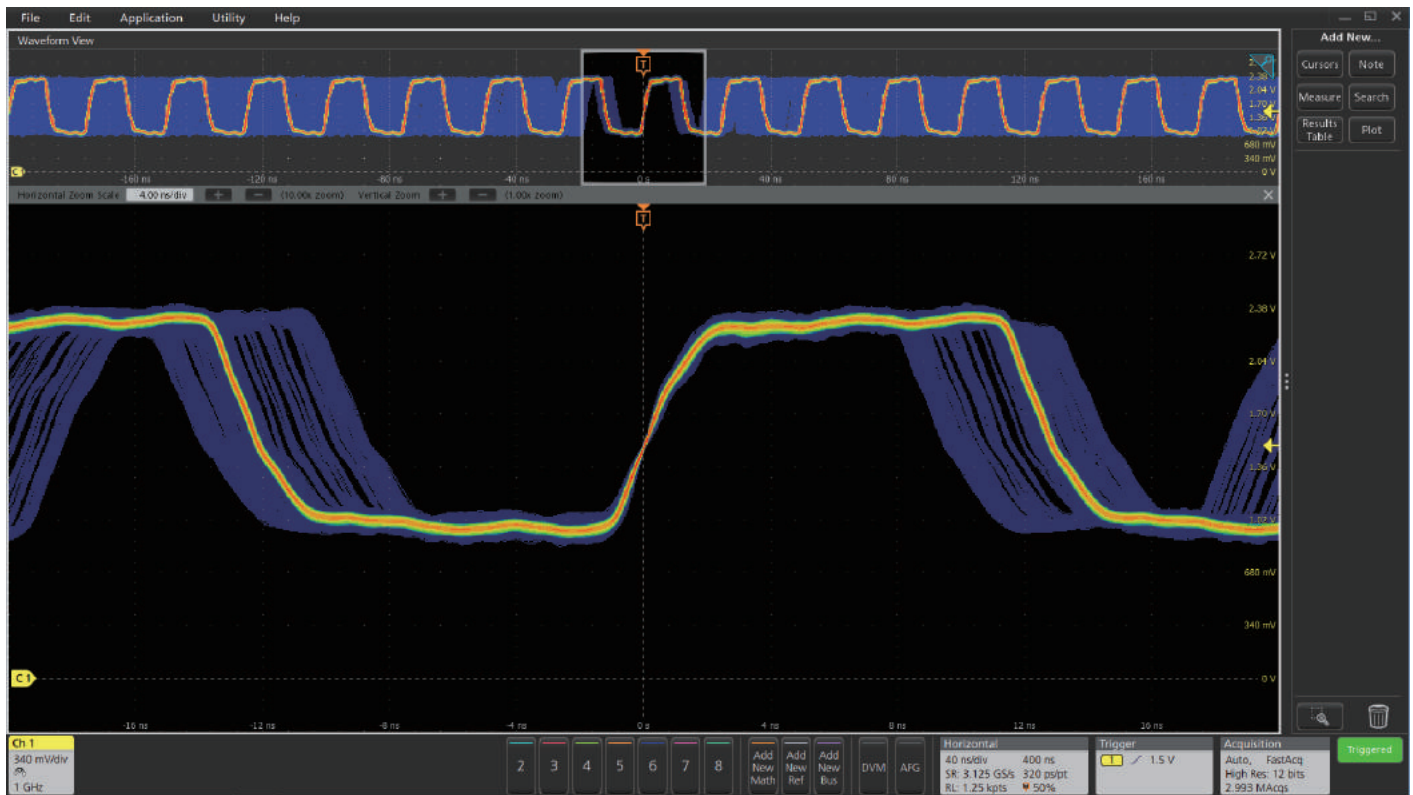


抖動分析工具

基礎 5 系列量測系統包括時間間隔錯誤 (TIE) 和相位雜訊量測。TIE 會從理想訊號量化時脈訊號的時間變化。選配的進階抖動分析應用程式提供了對上述 40 MHz 時脈訊號的一鍵式分析，包括 TIE 分析和眼圖。上述畫面右側的量測結果標記顯示了時間間隔錯誤 (TIE) 的自動量測，TIE 是相對於理想訊號的時序的度量。其他量測進一步顯示了時序抖動可分解為總抖動 (TJ)、隨機抖動 (RJ)、確定性抖動 (DJ)、週期性抖動 (PJ)、資料相依性抖動 (DDJ) 和工作週期失真 (DCD)。

如頻率量測梯級頻率圖所預測，存在著時脈的系統性失真。確定性抖動遠高於隨機抖動，且確定性抖動主要由工作週期失真決定。上面畫面底部中心的頻譜顯示了在 7.1 MHz、20 MHz 和 30.3 MHz 下的重要抖動分量。在本例中，附近的 7.1 MHz 時脈被證實是攻擊者，干擾了 40 MHz 時脈訊號。

Meas 1	
Jitter Summary	
TIE(σ):	84.77 ps
TJ@:	383.9 ps
EW@:	12.12 ns
RJ-δδ:	10.79 ps
DJ-δδ:	232.9 ps
PJ:	87.56 ps
DDJ:	0.000 s
DCD:	162.5 ps

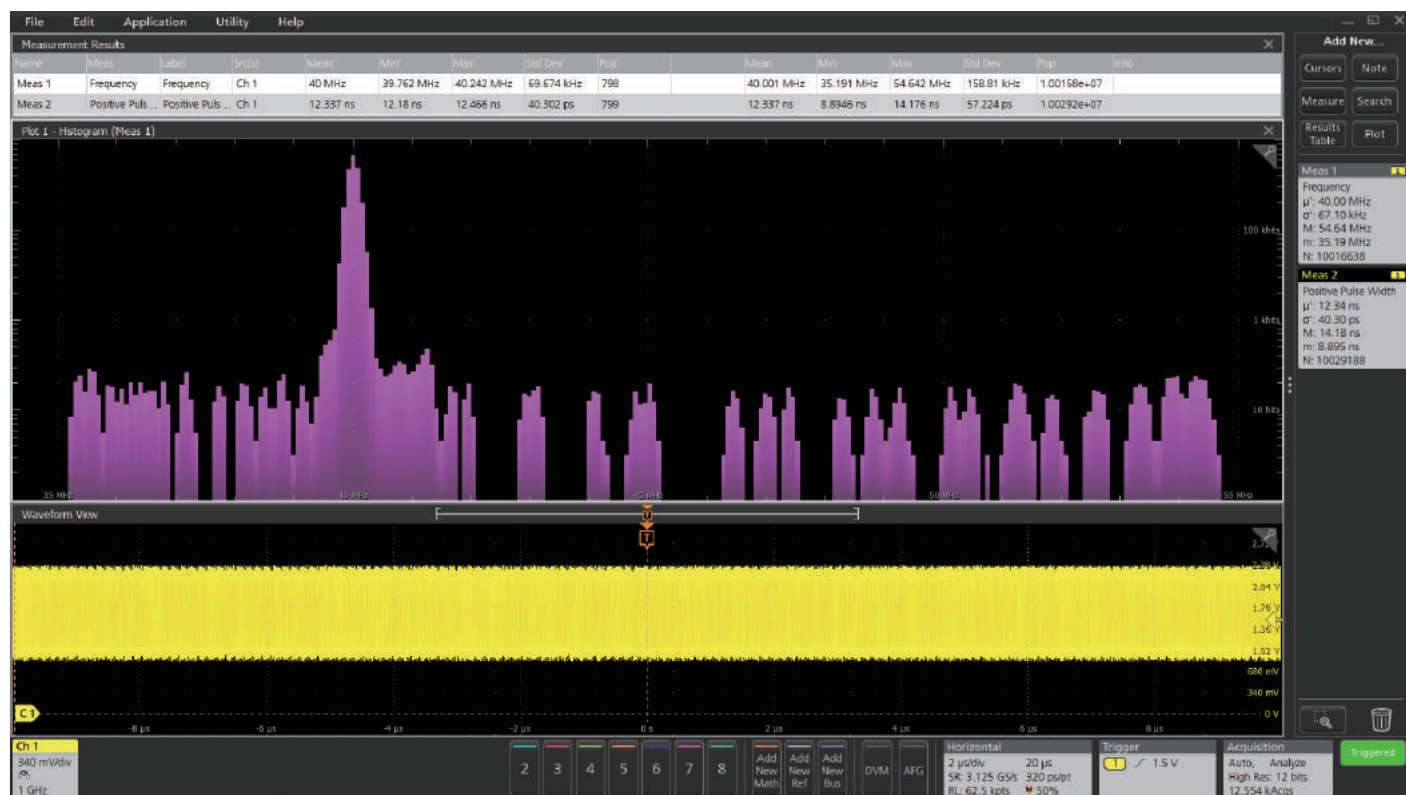


使用無限持續性功能來尋找間歇性故障

在不同的原型電路板上檢查相同的電路時，我們注意到偶爾發生的電路故障。但是，在顯示器上查看時脈訊號時並沒有出現任何明顯的問題。

5 系列 MSO 提供了一種擷取模式，可快速擷取數百萬個 40 MHz 時脈訊號並將其重疊顯示在顯示畫面上。這稱為 **FastAcq** 模式，一旦啟用，我們便可很快地發現這個有缺陷的電路板上的時脈訊號存在一些非常顯著的頻率變化。

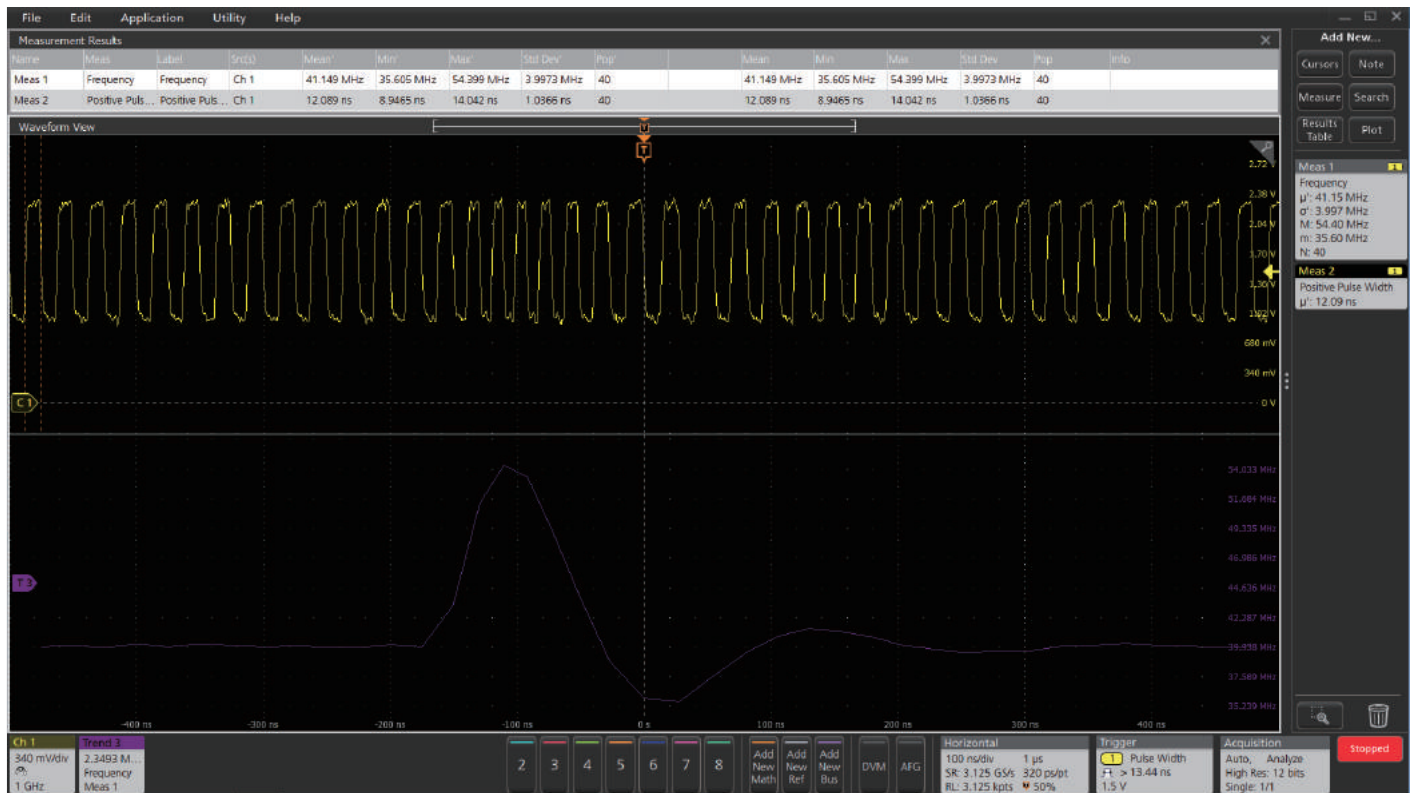
FastAcq 顯示畫面是「溫度分級」。寬頻率變化會以藍色顯示，指示這些變化較少出現。



現在我們已知存在這些變化，我們可將頻率量測繪製在具有對數 Y 軸的梯級頻率圖上，以更充分地理解相關的變化。(使用對數刻度可讓我們在刻度的低端看到更多細節)。

在允許累積超過 1,000 萬次的頻率量測之後，頻率變化的真正罕見性質即出現。平均頻率非常準確，但偶爾會漂移低至 35 MHz 和高達 55 MHz。

如果沒有這種統計量測技術，您可能無法輕易發現此類的偶發異常狀況。



現在，在知道頻率會偶爾降低的情況下，我們可以使用脈衝寬度觸發功能來擷取異常寬的脈衝並擷取錯誤。在本例中，示波器設定為在大於 **14 ns** 的脈衝寬度上觸發，且該脈衝寬度大於標稱的 **12.5 ns**。顯示器底部的頻率趨勢會以圖形方式顯示 **40 MHz** 頻率理想上下的頻率偏移。

進一步分析此時脈電路時發現鎖相環控制器偶爾會被重設。當發生這種情況時，壓控振盪器電路會失去鎖定，並立即從正確的頻率偏移。

Tektronix 聯絡方式：

澳洲 1 800 709 465
奧地利 00800 2255 4835
巴爾幹半島、以色列、南非及其他 ISE 國家 +41 52 675 3777
比利時 00800 2255 4835
巴西 +55 (11) 3759 7627
加拿大 1 (800) 833 9200
中東歐、烏克蘭及波羅的海諸國 +41 52 675 3777
中歐與希臘 +41 52 675 3777
丹麥 +45 80 88 1401
芬蘭 +41 52 675 3777
法國 00800 2255 4835
德國 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
印度 000 800 650 1835
印尼 007 803 601 5249
義大利 00800 2255 4835
日本 81 (3) 67143010
盧森堡 +41 52 675 3777
馬來西亞 1 800 22 55835
墨西哥、中/南美洲與加勒比海諸國 52 (55) 56 04 50 90
中東、亞洲及北非 + 41 52 675 3777
荷蘭 00800 2255 4835
紐西蘭 0800 800 238
挪威 800 16098
菲律賓 1 800 1601 0077
中國 400 820 5835
波蘭 +41 52 675 3777
葡萄牙 80 08 12370
南韓 001 800 8255 2835
俄羅斯及獨立國協 +7 (495) 7484900
新加坡 800 6011 473
南非 +27 11 206 8360
西班牙 00800 2255 4835
瑞典 00800 2255 4835
瑞士 00800 2255 4835
台灣 886 (2) 2656-6688
泰國 1 800 011 931
英國/愛爾蘭 00800 2255 4835
美國 1 800 833 9200
越南 12060128
最後更新日 2016 年 9 月

若需進一步資訊。Tektronix 維護完善的一套應用指南、技術簡介和其他資源，並不斷擴大，幫助工程師處理尖端技術。請造訪 www.tektronix.com.tw



Copyright © Tektronix, Inc. 版權所有。Tektronix 產品受到已經簽發及正在申請的美國和國外專利的保護。本文中的資訊代替以前出版的所有資料。技術規格和價格如有變更，恕不另行通知。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc 的註冊商標。本文提到的所有其他商標均為各自公司的服務標誌、商標或註冊商標。

2018 年 3 月

48T-61379-0

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

114 台北市內湖堤頂大道二段 89 號 3 樓

電話：(02) 2656-6688 傳真：(02) 2799-8558

太克網站：www.tektronix.com.tw

Tektronix