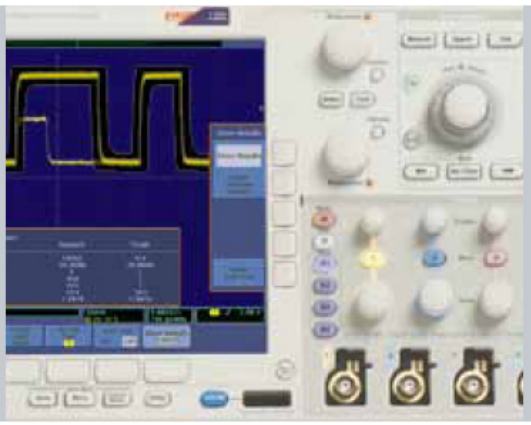

使用混合訊號示波器進行數位除錯的訣竅

應用摘要

引言

隨著電子產品變得更爲快速複雜，其設計、驗證與除錯也變得更加困難。設計人員必須密集地驗證其設計，以確保可靠的產品運作。問題發生時，設計人員需要迅速地深入瞭解問題的根源，以解決問題。藉由同時分析類比與數位呈現的訊號，更快速找出眾多數位問題的根源，這讓混合訊號示波器 (MSO) 非常適合用來進行數位電路的驗證與除錯。

Tektronix MSO2000、MSO3000、MSO4000 與 MSO5000 系列混合訊號示波器，結合了 Tektronix 示波器無與倫比的效能與 16 通道邏輯分析儀，包括並列/串列匯流排通訊協定解碼與觸發。Tektronix MDO4000 系列在 MSO 系列平台中增加了一個專用 RF 輸入通道，提供內建頻譜分析儀。MSO 系列是快速進行數位電路除錯的首選工具，提供強大的數位觸發、高解析度擷取功能與分析工具。本應用摘要著重於驗證與除錯技巧，可協助您使用 Tektronix MSO 系列，更具效率地進行數位設計。

Tektronix®

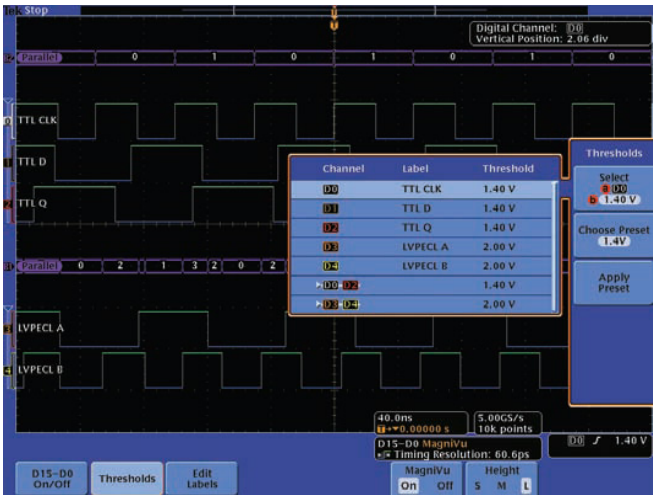

圖 1. 同一個 MSO4000B 數位探棒組上的混合邏輯系列 (TTL 與 LVPECL) 臨界值設定。上方三個通道是臨界值 1.40 V 的 TTL 訊號，底下兩個通道是臨界值 2.00 V 的 LVPECL 訊號。

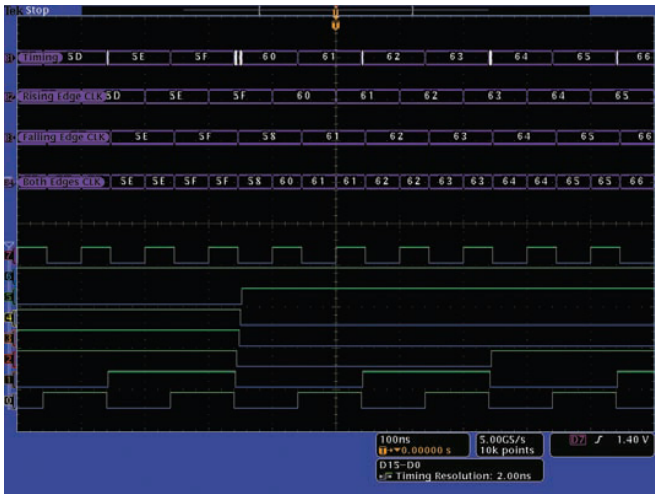

圖 2. MSO 系列上的時序擷取範例。已使用裝置的時脈訊號定義與解碼 4 個並列匯流排。

設定數位臨界值

混合訊號示波器的數位通道，將數位訊號視爲邏輯高位或邏輯低位，就如同數位電路檢視訊號的方式。這代表只要震盪、過激與接地雜訊不會造成邏輯轉態，這些類比特性就不會影響到 MSO。如同邏輯分析儀，MSO 使用臨界值電壓，來判定訊號是否爲邏輯高位或邏輯低位。

MSO5000、MSO4000 與 MDO4000 系列提供每通道臨界值設定，在進行混合邏輯系列產品的電路除錯時非常有用。圖 1 顯示 MSO4000B 量測其中一個數位探棒組上的 5 種邏輯訊號，也可同時量測三種 TTL (電晶體–電晶體邏輯) 訊號與兩種 LVPECL (低電壓正射極耦合邏輯) 訊號。

若爲 MSO2000 與 MSO3000 系列，會根據探棒組 (一組 8 個通道) 調整這些臨界值，因此，TTL 訊號會出現在一個探棒組上，LVPECL 訊號則會出現在第二個探棒組上。

時序和狀態擷取

主要的數位擷取技術有兩種。第一種技術是時序擷取，MSO 會以一致地時間間隔 (依 MSO 的取樣率決定)，進行數位訊號的取樣。在每個取樣點，MSO 會儲存訊號的邏輯狀態，並建立訊號的時序圖。

第二種數位擷取技術是狀態擷取。狀態擷取會定義數位訊號邏輯狀態有效且穩定的特殊時間。這常見於同步時脈的數位電路。時脈訊號會決定訊號狀態有效的時間。例如，輸入訊號的穩定時間，約位於具上升邊緣時脈功能 D 正反器的上升時脈邊緣。輸出訊號的穩定時間，約位於具上升邊緣時脈功能 D 正反器的下降時脈邊緣。由於同步電路的時脈週期可能不固定，狀態擷取的間隔時間，可能不會像時序擷取時一樣統一。

邏輯分析儀同時提供時脈與狀態擷取功能。如圖 2 所示，混合訊號示波器數位通道擷取訊號的方式，類似於邏輯分析儀在時序擷取模式中擷取訊號的方式。Tektronix MSO 系列將時序擷取，解碼爲時脈匯流排顯示 (圖 2) 與事件表 (圖 3)，類似於邏輯分析儀的狀態擷取顯示，可在除錯時提供重要資訊。

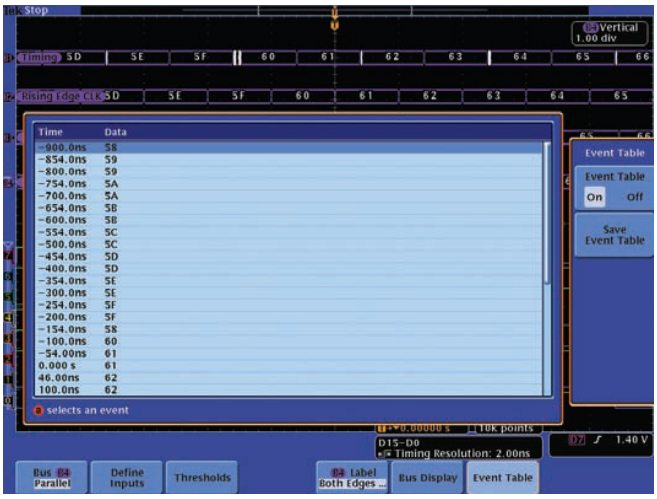

圖 3. 解碼的資料顯示於事件表 (類似於邏輯分析儀的狀態擷取顯示)中。

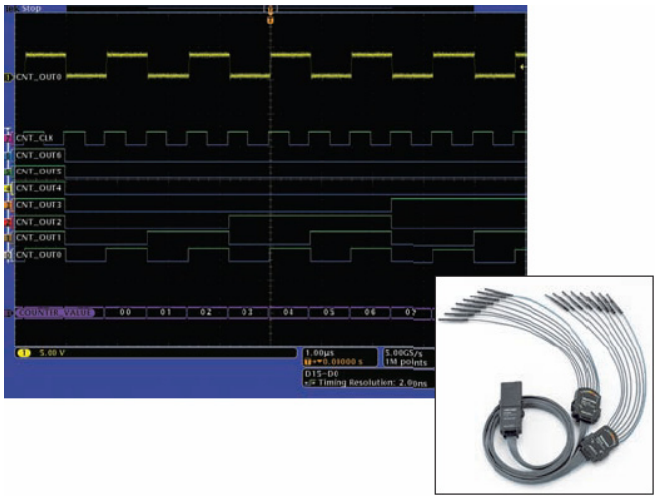

圖 4. 探棒的色彩編碼符合波形色彩編碼，讓查看對應測試點的訊號變得更容易。

色彩編碼數位波形顯示

除了只顯示邏輯高位與低位外，數位時序波形看起來與類比波形非常相似。時序擷取分析常著重於判定特定點的邏輯值，並量測一個以上波形的邊緣轉態間隔時間。爲了讓分析更容易，Tektronix MSO 系列將數位波形上的邏輯低位顯示爲藍色，將邏輯高位顯示爲綠色，即使轉態不明顯，也能檢視邏輯值。波形標示顏色也符合探棒色彩編碼，讓檢視對應測試點的訊號變得更容易，如圖 4 所示。

數位時序波形可加以分組，創造出匯流排。一個數位訊號被定義爲最低有效位數，其他數位訊號則代表一直到最高有效位數的其他二進位數字位數。MSO 接著會將匯流排解碼爲二進位或十六進位數字。Tektronix MSO 系列也會建立事件表，以二進位或十六進位數字顯示邏輯狀態。每種狀態都經過時間戳記，簡化時序的量測。

Tektronix MSO 系列會使用時脈或非時脈格式，解碼並列匯流排。進行時脈解碼時，MSO 會在您指定爲時脈訊號的上升邊緣、下降邊緣或這兩種邊緣，判定匯流排的邏輯狀態。這代表只顯示匯流排上的有效轉態，不包括資料無效時發生的任何轉態。進行非時脈解碼時，MSO 會在所有取樣點解碼匯流排，顯示匯流排上的所有轉態。MSO 使用時脈解碼時，解碼的匯流排顯示與事件表，會非常類似於邏輯分析儀的狀態顯示。由於匯流排解碼是擷取後進行的程序，因此在分析時可彈性變更解碼格式。

Tektronix MSO 系列可同時解碼多達 16 個匯流排 (視機型而定)。這些匯流排定義爲並列或串列 (I^2C、SPI、CAN、LIN、FlexRay、RS-232/422/485/UART、乙太網路、MIL-STD-1553 和 I^2S/LJ/RJ/TDM)。並列匯流排由 D0 到 D15 的任意數位通道組成。串列匯流排由任意 1 到 4 類比通道與 D0 到 D15 數位通道組成。MSO2000、MSO3000、MSO4000 與 MDO4000 系列一次最多可顯示 4 個類比通道、4 個參考波形、1 個數學運算波形、4 個匯流排與 16 個數位通道，提供最高的設計能見度。MSO5000 系列提供了更高的分析功能，一次支援多達 4 個數學運算波形和 16 個匯流排。

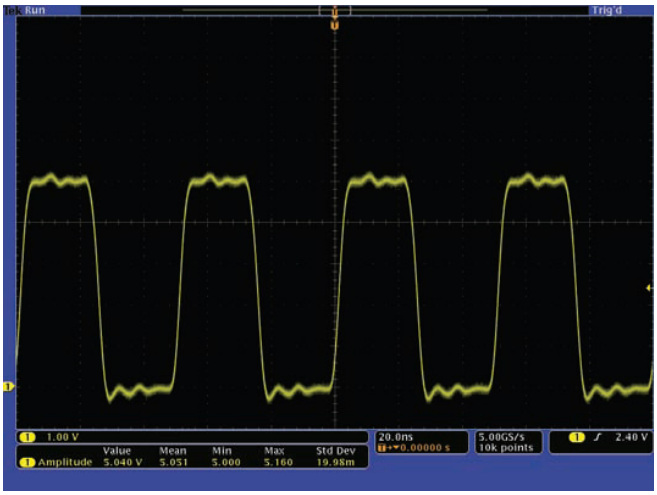

圖 5. 使用量測統計資料，快速驗證 5 V CMOS 訊號振幅。

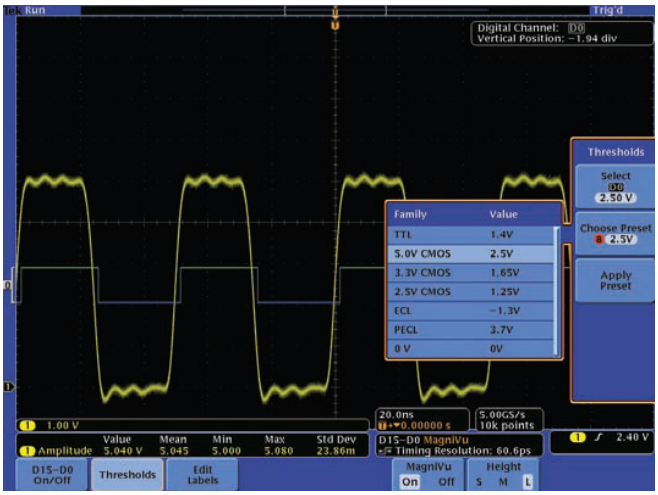

圖 6. 將 5 V CMOS 訊號的 MSO 數位臨界值設定爲 2.5 V。

數位擷取準備

準備 MSO 進行數位擷取有兩項基本工作。首先，如同邏輯分析儀，針對要量測的邏輯系列設定 MSO 數位通道臨界值，確保達到正確的邏輯準位。其次，調整類比通道的偏移，以建立類比通道與數位通道間的準確時間關聯。

MSO 的類比通道是用來快速檢查數位訊號的邏輯擺幅。在圖 5 中，MSO 使用涵跨多次擷取的量測統計資料，自動量測 5 V CMOS 訊號振幅。對於具備 CMOS 等對稱電壓擺幅的邏輯系列，臨界值是訊號振幅的一半。在圖 6 中，數位通道臨界值設定爲 2.5 V，這是 5 V CMOS 訊號振幅的一半。不過，對於具備 TTL 等非對稱電壓的邏輯系列，通常需要參考元件的產品規格表，並將臨界值設定在 (TTL $V_{threshold}$ = 1.4V) 邏輯裝置最大低位準輸入電壓 (TTL V_{IL} = 0.8V) 與最小高位準輸入電壓 (TTL V_{IH} = 2.0V) 值的一半。

圖 6 顯示同一訊號類比與數位波形上升邊緣間的時脈偏移。類比波形先行於數位波形。若要達成準確的量測，重要的是移除類比對數位時間偏移，以得到更理想的類比與數位波形間時間關聯量測。Tektronix MSO 系列提供可調整的類比探棒偏移，以讓類比通道彼此對齊，也和數位通道對齊。這些類比通道偏移設定補償了不同的類比探棒傳輸延遲。

每部 Tektronix MSO 系列示波器都隨附邏輯探棒。爲簡化數位量測，示波器會補償邏輯探棒的傳輸延遲，因此，沒有數位通道探棒偏移調整。

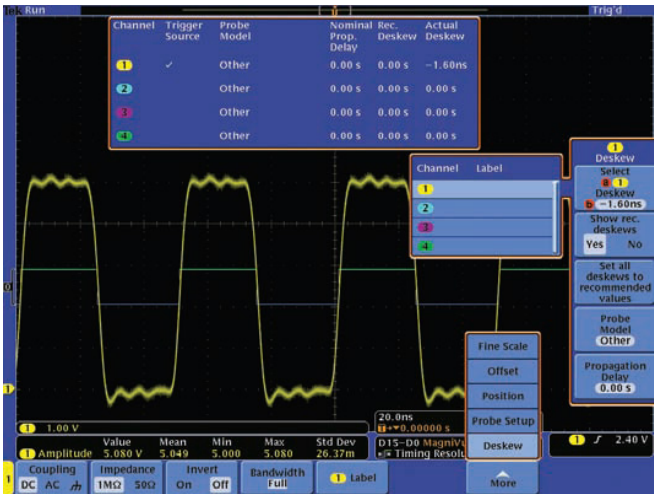

圖 7. 類比通道時間與數位通道對齊。

圖 8. TTL 資料組訊號。

圖 9. TTL 資料組訊號。

爲對齊類比通道與數位通道，CMOS 類比波形上的 2.5 V 位置，時間與發生於 2.5 V 臨界值的 CMOS 邏輯轉態對齊。如圖 7 所示，使用 –1.60 ns 偏移對齊類比通道與數位通道。對其他類比通道也重複進行這項偏移程序。

更換類比探棒時應檢查類比通道偏移；量測不同的邏輯系列時應檢查數位臨界值。設定臨界值與偏移時，MSO 已就緒進行數位電路的驗證與除錯。接下來，將討論幾個使用 MSO 驗證設計的範例。

觸發未預期訊號

第一個範例是驗證包含 8 個正脈波的 TTL 資料組訊號，如圖 8 所示。正脈波寬度規格範圍介於 23.2 ns 到 25 ns，脈波間寬度爲 26 ns 到 27 ns。脈波間的時間未指定。

MSO 數位通道連接到 TTL 脈波訊號，臨界值針對 TTL 邏輯設定。針對上升邊緣觸發設定 MSO。爲加速驗證程序，會設定 MSO 自動量測游標間的正與負脈波寬度。

圖 9 顯示 MSO 觸發第一個脈波邊緣的單擊擷取。取決於按下 MSO 單擊擷取鈕的時機，MSO 可能已觸發任何其他上升邊緣。

所擷取的訊號擁有 8 個脈波，符合規格。第一個正脈波寬度爲 23.88 ns，負脈波寬度爲 26.18 ns (自動量測)。這些值符合規格範圍。Tektronix MSO 系列示波器的游標相互連結，一個控制動作會同時將兩個游標在波形上下移，檢查每一個正與負脈波寬度。此次擷取中的所有脈波皆符合規格。

	Value	Mean	Min	Max	Std Dev
D0 +Width	23.88ns	23.87n	23.76n	24.00n	53.62p
D0 −Width	26.18ns	26.17n	26.06n	26.30n	65.31p

圖 10. MSO 系列量測統計數字驗證 TTL 資料組訊號正與負脈波寬度。

將 MSO 擷取模式從單一變更 (Single) 爲執行 (Run)，更爲嚴格的檢查正與負脈波寬度。正與負脈波統計數字從多次擷取累積而來 (平均數、最小值、最大值與標準差)。您可以選擇從 2 到 1,000 次擷取累積量測統計資料。

圖 10 量測統計資料顯示，正脈波寬度平均值爲 23.87 ns，具 53.62 ps 標準差。正脈波寬度最小值爲 23.76 ns，最大值爲 24.00 ns，符合規格範圍。同樣地，負脈波寬度量測也驗證符合規格範圍。目前，TTL 資料組訊號驗證進行順利。

這項驗證技術取決於所擷取和分析的連續訊號部分。更穩健的驗證技術，是使用 Tektronix MSO 系列，運用其強大的觸發功能檢查所有脈波。例如，可設定 MSO 量測每個正脈波，並觸發小於 23.2 ns 的不符脈波寬度，以驗證 TTL 資料組訊號。單擊擷取模式是用來在觸發後停止 MSO，以分析不符合的脈波。

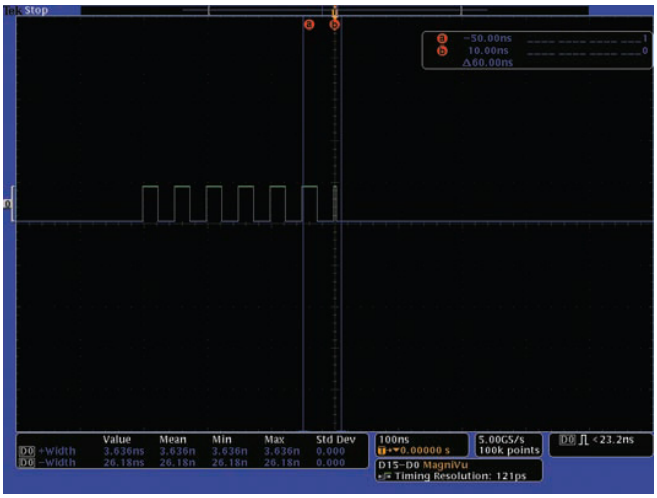

圖 11. MSO 觸發 3.636 ns 正脈波寬度錯誤。

在圖 11 中，MSO 觸發小於 23.2 ns 的不符合正脈波。此次擷取發現兩項錯誤。第一項錯誤是，第 7 個脈波爲 3.636 ns 寬，小於 23.2 ns 最低規格。第二項錯誤是缺少第 8 個脈波。這是使用 MSO 數位觸發尋找不符合數位訊號的範例。在尋找不符合的數位訊號時，MSO 觸發可用來尋找大於 25.6 ns 的脈波。在此處並未發現問題。

這項錯誤的根源是設計瑕疵。控制脈波閘控的訊號，與脈波的產生非同步，在閘控進行期間偶而會有變化。因此，內部閘控訊號間歇性地切掉最後的脈波，並截掉第 7 個脈波。

這項觸發錯誤的驗證技巧，可用來監控持續長時間的訊號 (例如整夜或整週)，能夠更嚴格地驗證設計。

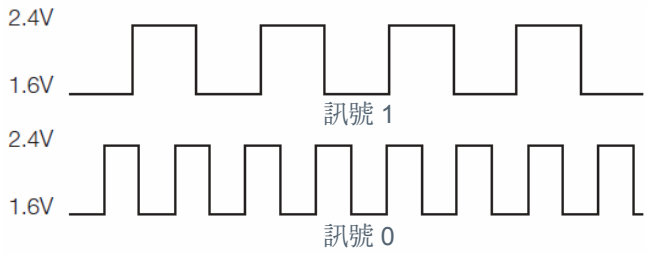

圖 12. 50 ns 時間的 LVPECL 訊號 0 與 90 ns 時間的訊號 1。

圖 13. MSO 觸發 LVPECL 訊號底部的 727.3 ps 突波。

請參見類比與數位擷取的完整圖片

在本範例中，驗證了兩個低電壓正射極耦合邏輯 (LVPECL) 訊號。3.3 V LVPECL 的邏輯高位約爲 2.4 V，邏輯低位約爲 1.6 V。因此，MSO 數位通道臨界值設定爲 2.0 V。

訊號 0 是一個週期約爲 50 ns 的方波，訊號 1 是週期約爲 90 ns 的方波，如圖 12 所示，兩個訊號之間沒有固定的時間關係。

上一個 TTL 資料組範例中所使用的同一項驗證技術，在此處用來驗證這些 LVPECL 訊號。爲檢查不符合的訊號，需設定 MSO 觸發小於 22.4 ns 的脈波寬度。在圖 13 中，MSO 觸發底部訊號上的 727.3 ps 突波。爲了擷取這個突波，MSO 須具備高於 727.3 ps 的時序解析度。

一項重要的 MSO 擷取規格，是用來擷取數位訊號的時序解析度。使用更高的時序解析度擷取訊號，需要在訊號變動時進行更準確的時序量測。例如，500 MS/s 解取率具備 2 ns 時序解析度，所擷取訊號的邊緣不確定性爲 2 ns。更低的 60.6 ps (16.5 GS/s) 時序解析度，會將訊號邊緣不確定性減少爲 60.6 ps，並可擷取更快速變動的訊號。

Tektronix MSO5000、MSO4000 與 MDO4000 系列內部同時使用兩種擷取方式來取得數位訊號。第一次擷取使用降到 2 ns 的時序解析度，記錄長度最長達 250 M，第二次擷取稱爲 MagniVu™高速擷取。MagniVu 時序解析度降至 60.6 ps，最高達 10,000 點記錄長度擷取置於觸發器中央。MSO3000 系列提供最高達 121.2 ps 的 MagniVu 時序解析度。MagniVu 擷取顯示突波等訊號轉態細節，是其他時序解析度儀器所無法得見的。

在圖 13 中，底部的訊號突波，與上方訊號的上升邊緣同時發生。這可能是串音問題，但進行這項診斷前需要更多資訊。

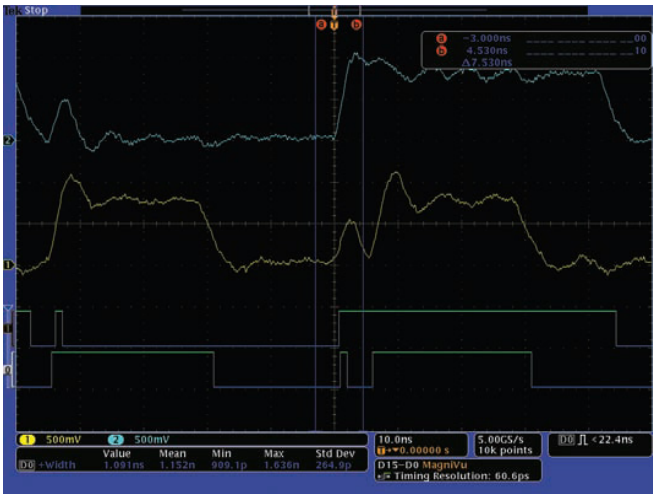

圖 14. 兩個 LVPECL 訊號間的上升邊緣串音造成突波。

圖 16. D 正反器在一次擷取下似乎正常運作。

MSO 類比通道同時連接兩個 LVPECL 訊號，且 MSO 再次開始尋找小型的不符合脈波。此次 MSO 觸發 1.091 ns 突波，MSO 提供兩個 LVPECL 訊號的類比深入檢視，如圖 14 所示。類比突波和另一個訊號上的上升邊緣同時發生。這些類比突波大部分低於 LVPECL 邏輯臨界值，但有些超過了邏輯臨界值，且被視爲邏輯錯誤，例如顯示畫面左邊緣上方波形上的突波。

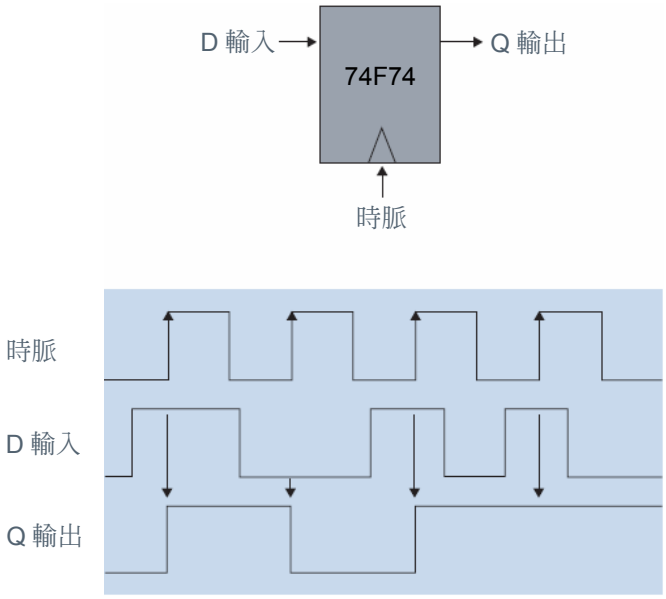

圖 15. 74F74 D 正反器。

MSO 同時擷取訊號的數位與類比特性，並以時間關聯方式顯示，深入解析數位訊號的訊號完整性，提供重大的優勢。這些突波的導因是兩個 LVPECL 訊號間的上升邊緣串音。和下降邊緣相較，LVPECL 上升邊緣轉態更快更多，因此，和下降邊緣相較，上升邊緣會產生更多的串音。此次擷取未看到下降邊緣串音。

非單調邊緣與設定/違反時間保持

在本範例中，驗證了 TTL 74F74 D 正反器運作。D 正反器上升時脈邊緣將 D 輸入載入 Q 輸出，如圖 15 所示，例如，如果上升時脈邊緣發生時 D 輸入值高，Q 輸出值則高。

圖 16 顯示 MSO 觸發時脈 (底部波形) 的上升邊緣。D 正反器資料輸入是中間波形；Q 輸出是上方波形。數位通道已標示爲 OUT、DATA 與 CLK，讓辨識每個波形變得容易。

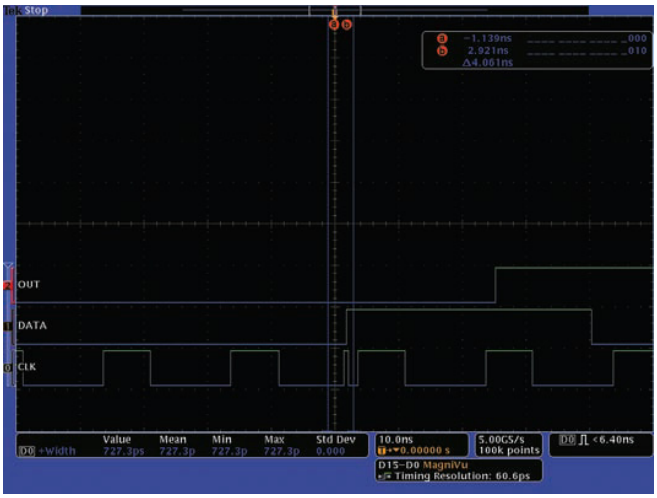

圖 17. MSO 擷取 727.3 ps 時脈突波。

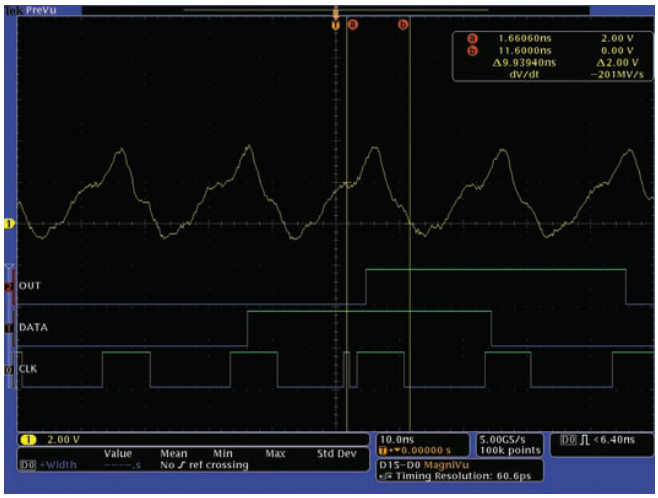

圖 18. 非單調性上升時脈邊緣造成時脈突波。

乍看之下一切似乎都無問題，輸入資料緊接著上升時脈邊緣出現在輸出上。使用 MSO4000 系列的 60.6 ps 高解析度 MagniVu 時序擷取功能，即可檢視 D 正反器傳輸延遲。

時脈正脈波寬度爲 7.455 ns，MSO 觸發器經過設定，尋找小於 6.40 ns 的不符合時脈脈波。圖 17 顯示，MSO 觸發時脈訊號上的 727.3 ps 突波 (就在正常時脈脈波前)。類比通道連接到時脈訊號，以取得對此突波的其他深入解析，並再次啓動 MSO。圖 18 顯示 MSO 觸發時脈突波，而 MSO 提供對造成突波原因的類比深入檢視。上升時脈邊緣爲非單調性。使用 MSO 游標，突波中間的時脈電壓判定爲 2 V，若將游標向右移動約 500 ps，時脈電壓降到 1.76 V。這個電壓降造成邏輯狀態在時脈訊號電壓持續增加前，於短時間內從邏輯高位變爲邏輯低位。

74F74 規格爲 0.8 V_{IL} 最大低位準輸入電壓與 2 V_{IH} 最小高位準輸入電壓。上升時間慢的時脈訊號或 V_{IL} 與 V_{IH} 間的非單調性運作，會造成未指定的 D 正反器行爲。從此次擷取來看，非單調性時脈邊緣似乎未造成任何問題。非單調性時脈邊緣記錄於驗證報告中，下一項工作是驗證 Q 輸出的運作。

Q 輸出只應隨輸入的變更改變，而改變只應發生於上升時脈邊緣加上 D 正反器傳輸延遲。時脈具有固定的 20 ns 時間，因此，Q 輸出不應擁有任何小於 20 ns 寬的脈波，因爲 Q 輸出只應在上升時脈邊緣變動，而上升時脈邊緣的間距爲 20 ns。MSO 會經過設定，觸發脈波寬度小於 19.2 ns 的 Q 輸出。

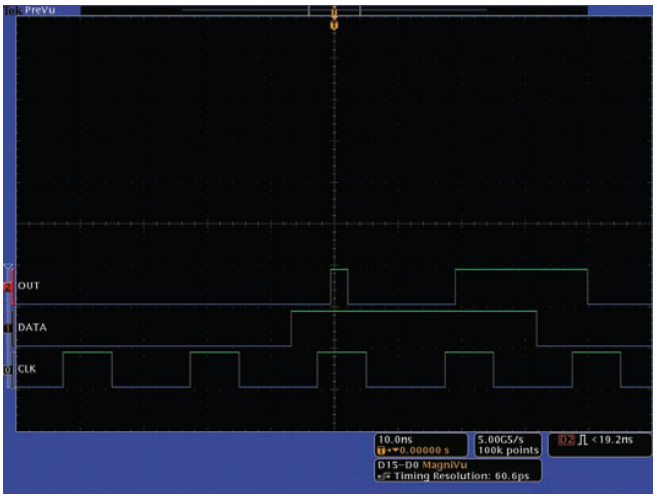

圖 19. D 正反器輸出錯誤。

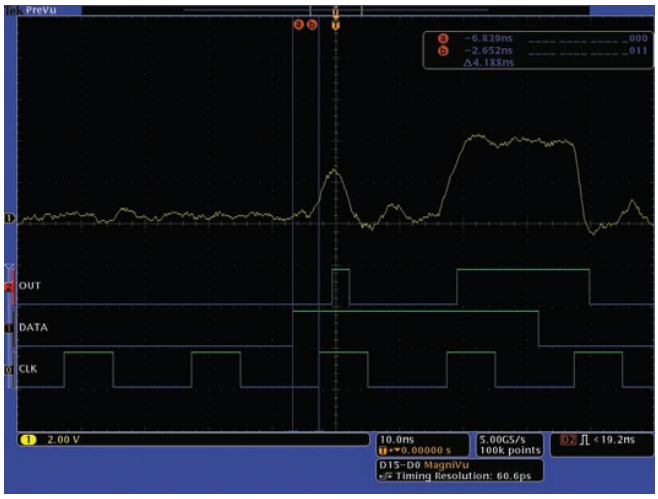

圖 20. D 類比檢視正反器輸出錯誤。

圖 19 顯示 MSO 擷取了小於 19.2 ns 的 Q 輸出脈波。請注意，這個 Q 輸出脈波寬度小於時脈週期。波形的分析顯示，發生上升時脈邊緣，D 輸入值高。Q 輸出低到高的轉換正確，但後續的高到低轉換，是 D 正反器運作中的錯誤，因爲轉換與上升時脈邊緣無關。

類比通道連接到 Q 輸出，以提供其他深入問題解析，如圖 20 所示。Q 輸出類比訊號開始增加，但隨即減少。請注意，Q 輸出類比訊號在回落前，並未到達正常的類比邏輯高準位。

過去的除錯經驗顯示，這可能是雙穩態突波，由時脈邊緣相關的 D 輸入設定/違反時間保持造成。

在圖 20 中，使用游標量測的 D 輸入設定時間爲 4.188 ns。這個設定時間是 74F74 2 ns 最小設定時間規格的兩倍長，但是，當 D 輸入變更爲時脈邊緣前 4.188 ns，74F74 無法正確運作。

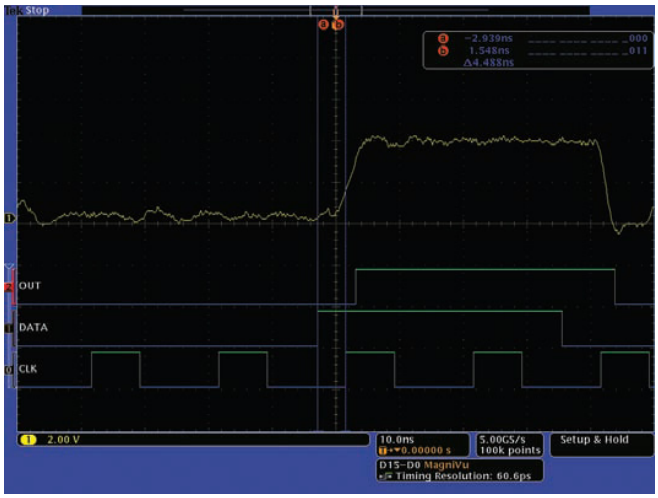

圖 21. D 正反器 Q 輸出正常運作 (上升時脈邊緣之前 4.488 ns 的設定時間)。

MSO 觸發經過變更，使其擷取設定/違反時間保持，以判定讓這個 74F74 正確運作需要多少設定時間。圖 21 顯示，在上升 D 輸入與上升時脈邊緣間 4.488 ns 設定時間下，Q 輸出可正確運作。其他擷取顯示，當設定時間爲 4.188 ns 或小於 4.188 ns，Q 輸出偶而會有突波。

圖 22. MSO 觸發設定/保持間隔中變動的 D 正反器資料 (上升時脈邊緣附近的「a」與「b」游標間)。

接著，會檢查 D 輸入是否設定/違反時間保持。MSO 設定/保持觸發設定爲 2 ns 設定時間與 1 ns 保持時間，以檢查資料有效間隔中上升時脈邊緣附近的 D 輸入變動。

圖 22 顯示嚴重的 D 輸入設定/違反時間保持。游標「a」位於上升時脈邊緣前至少 2 ns 的設定時間處；游標「b」位於上升時脈邊緣後至少 1 ns 的保持時間處。在這個 3 ns 資料有效間隔期間，上升時脈邊緣附近的 D 輸入必須穩定。在資料有效間隔中的 D 輸入變動下，未指定 D 正反器正常運作。

在驗證程序中的此處，有三項 D 正反器運作及其訊號的問題。第一項問題是非單調性的上升時脈邊緣。時脈電路須重新設計，以達成更理想的上升邊緣。第二項問題是 D 輸入設定時間若爲 2 ns 到 4.188 n，74F74 不會正常運作。這可能是因爲不良的上升時脈邊緣或 74F74 不符其規格。第三項問題是 D 輸入設定/違反時間保持。D 輸入電路需要重新設計，才不會在時脈邊緣設定/保持間隔期間變動。

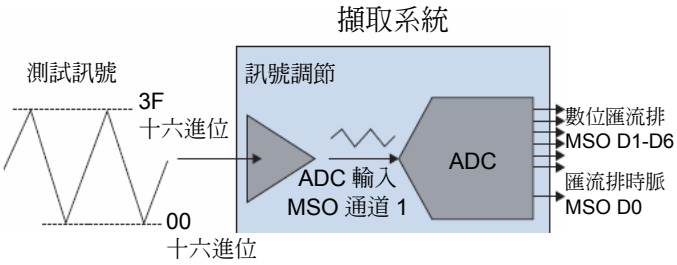

圖 23. 驗證感測器資料擷取系統輸出範圍。

使用 Wave Inspector® 快速驗證 ADC 輸出

在本範例中，感測器資料擷取系統的輸出範圍，是使用固定的測試斜波訊號驗證。感測器資料擷取系統是類比訊號調節電路，饋送 20 MS/s、6 位元類比訊號給數位轉換器 (ADC)。ADC 6 位元資料匯流排在 ADC 下降時脈邊緣是有效的。擷取系統輸入處的測試斜波訊號，應該會產生一系列從 00 到 3F 十六進位的 ADC 數值。

MSO 類比通道連接到也是 ADC 輸入的訊號調節輸出。這提供快速檢查訊號調節輸出與 ADC 輸入訊號的功能。MSO 0 號數位通道連接到 ADC 時脈輸出，而數位通道 1 到 6 則連接到 ADC 6 位元資料匯流排，如圖 23 所示。MSO 設定爲觸發 ADC 輸入訊號的上升邊緣。

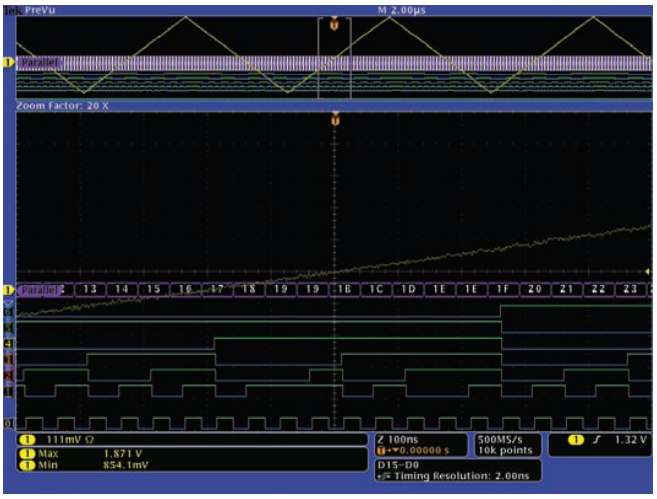

圖 24. MSO 觸發了 ADC 輸入的上升邊緣，Wave Inspector 則加以放大，以輕鬆檢視並列匯流排解碼十六進位值。測試斜波訊號在 1 號通道上。顯示畫面的底部是 0 號數位通道上的 ADC 時脈。ADC 數位輸出匯流排訊號 1 到 6 位於時脈波形上方。ADC 數位訊號會分組爲顯示畫面中央的時脈並列匯流排。

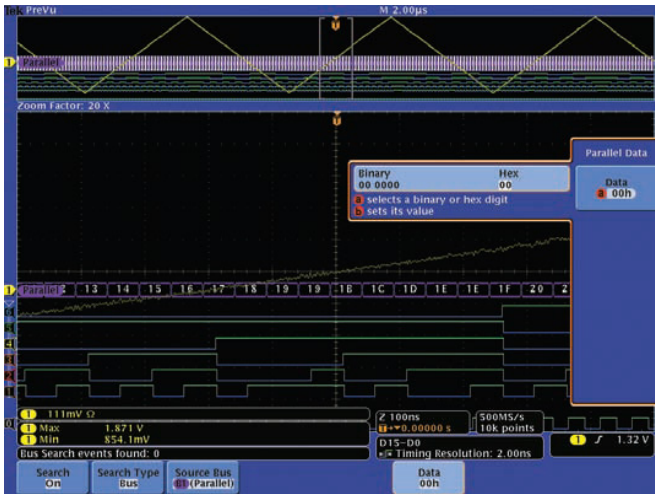

圖 25. Wave Inspector 在測試訊號波谷未搜尋到 00 十六進位值。

圖 24 顯示 MSO 觸發 ADC 輸入的上升邊緣。Wave Inspector® 是 Tektronix MSO 系列的獨特功能，用來放大觸發區域周圍 20 倍，以輕鬆檢視並列匯流排解碼值。位於下降時脈邊緣的 ADC 資料是穩定的，MSO 會解碼位於時脈下降邊緣的匯流排值，因此，ADC 資料穩定時，下降時脈邊緣的並列匯流排會更新。

MSO 強大的觸發功能會尋找訊號錯誤，並觸發並列或串列匯流排內容，專注於擷取問題區域。不過，一旦擷取了資料，就不再進行觸發。手動搜尋長記錄長度，是費時而困難的程序。10 Mpoint 波形記錄有超過 10,000 個完整解析度的資料畫面，以每秒一個完整解析度畫面的速度，捲動完 10 Mpoint 波形需要花上 2 小時 45 分鐘。而使用 Wave Inspector 搜尋並標記 10 Mpoint 記錄 6 位元資料匯流排擷取資料，花費時間約 30 秒。一旦找到並標記資料，只要按前面板上的前一個 (Previous) 與下一個 (Next) 箭頭按鈕，就能瀏覽發生的事件。邊緣、脈波寬度、矮波、設定/保持時間、邏輯、上升/下降時間與匯流排資料值等觸發類型，也可進行搜尋。

圖 25 顯示 Wave Inspector 搜尋 ADC 並列匯流排，尋找應出現於各斜波訊號波谷的 00 十六進位值。但顯示畫面上方未出現白色三角形搜尋標記，表示沒有 00 十六進位值，正如畫面底部的搜尋事件結果顯示爲零。沒有 00 十六進位值表示，ADC 並未發現對應 00 十六進位值的類比輸入電壓。擷取系統的類比訊號調節電路，並未正確處理測試斜波訊號的最小峰值，使其符合最小 ADC 輸入電壓，以讓 ADC 產生 00 十六進位輸出。

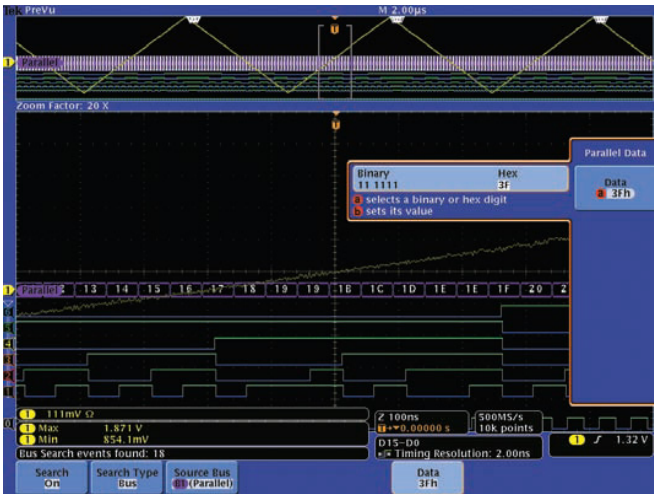

圖 26. Wave Inspector 匯流排搜尋在測試訊號峰值找到過多 3F 十六進位值。

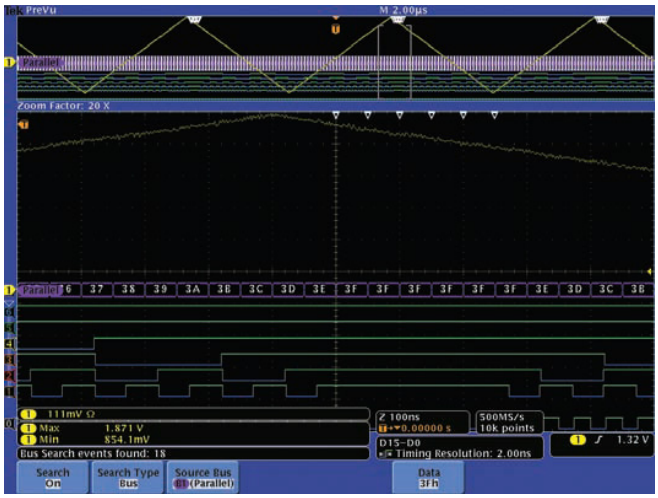

圖 27. Wave Inspector 瀏覽跳到測試訊號峰值的 3F 十六進位值標記處。

圖 26 顯示 Wave Inspector 搜尋 ADC 輸出的 3F 十六進位值。Wave Inspector 的匯流排搜尋找到 18 筆事件。這些事件分爲三組搜尋標記，這些標記位於測試斜波訊號的峰值處，但每個峰值都有多個 3F 十六進位值，而非只有一個每個測試斜波訊號峰值處應有的 3F 十六進位值。

圖 27 顯示 Wave Inspector 右箭頭瀏覽鍵，被用來從圖 26 中的觸發位置，跳到觸發點右方第一個標記的 3F 事件。請注意，在 MSO 顯示畫面的中央處，ADC 輸出匯流排資料爲 37、38、39、3A、3B、3C、3D、3E 與 6 個 3F 十六進位值。正確的運作是在測試斜波訊號峰值處出現一個 3F 十六進位值。

ADC 輸入處測試斜波訊號的上方被截掉，可能會產生多個 3F 十六進位值，但類比通道 ADC 輸入波形看來良好，並未在測試斜波訊號峰值處被截掉或失眞。在測試斜波訊號峰值處的多個 3F 十六進位值，則表示類比訊號超過最大的 ADC 輸入電壓。訊號調節功能處理的測試斜波訊號，超過了最大的 ADC 輸入電壓，而處理後的訊號並未達到最低的 ADC 輸入電壓。爲解決這項問題，需要調整節取系統訊號調節的偏移與增益。請注意，最大的 ADC 輸入波形爲 1.871 V，最小爲 854.1 mV (圖 27 左下角)。訊號調節電路偏移與增益需要同時降低這些值，才能正常運作。

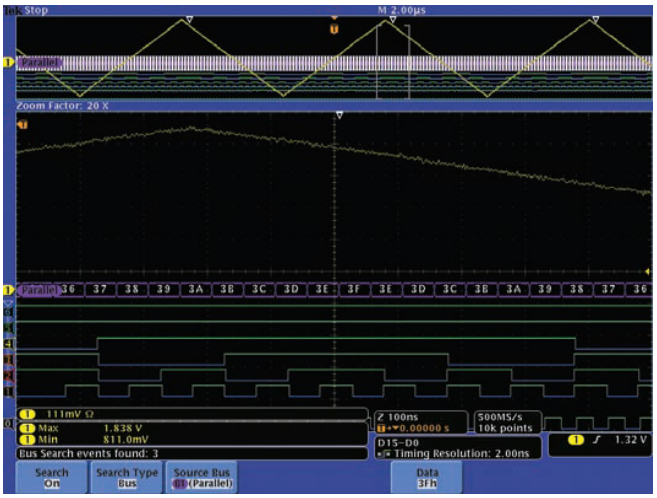

圖 28. 正常運作，每個斜波高峰一個 3F 十六進位值。

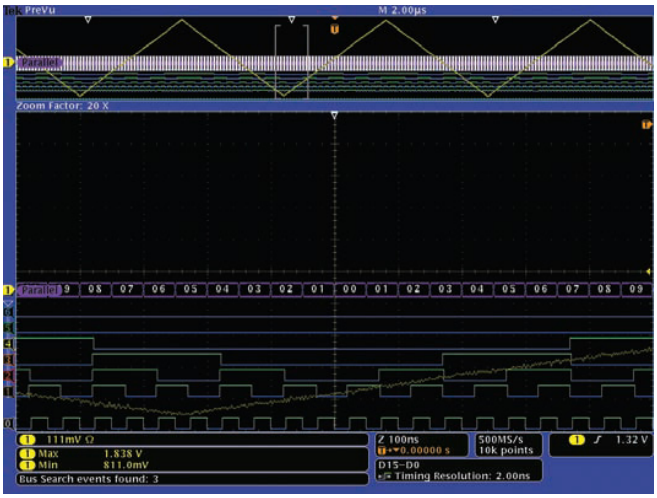

圖 29. 正常運作，每個斜波谷一個 00 十六進位值。

圖 28 顯示，擷取系統類比訊號調節增益與偏移經過調整，爲 ADC 提供正確處理的測試斜波訊號。經過訊號調節調整後，ADC 輸入波形最大值從 1.871 V 掉到 1.838 V。現在每個測試斜波訊號的高峰，如同預期只有一個 3F 十六進位值。ADC 的最大輸入正常運作。

圖 28 顯示可在此次擷取中輕鬆檢視 ADC 轉換時間。ADC 轉換時間是從類比輸入峰值，到 ADC 輸出出現 3F 十六進位值，所經過的時間。

圖 29 顯示 Wave Inspector 搜尋應出現於各斜波訊號波谷的 00 十六進位值。如同預期找到三個 00 十六進位值，測試斜波訊號的每個波谷各一個。最後，Wave Inspector 的左瀏覽箭頭鍵，是用來跳到第一個左側標記的 00 十六進位值事件，以查看測試斜波波谷的 ADC 匯流排詳細資訊，如圖 29 所示。在倒數至最小的 00 十六進位值然後再往上數時，擷取系統皆可正常運作。匯流排值會儲存到 .CSV 檔，並使用 Microsoft Excel 檢查是否有缺少或重複的值。

在本範例中，MSO 數位通道經過解碼爲時脈匯流排，而 Wave Inspector 是用來快速找出或不找出最高與最低的 ADC 匯流排值，快速辨識出類比訊號調節電路爲問題的根源。

摘要

設計師進行設計時，若需要驗證數位、類比與軟體的複雜互動，Tektronix MSO 系列示波器是具有無比價值的工具。提供基本的邏輯分析儀功能，和示波器一樣簡單好用，配備完整的工具 (強大的數位觸發、高解析度擷取能力、以及內建的分析工具)，可快速進行數位電路驗證與除錯。

MSO 系列提供一系列機型，可滿足您的需要和預算。

	MSO5000 系列	**MDO4000 系列**	**MSO4000B 系列**	**MSO3000 系列**	**MSO2000 系列**
頻寬	2 GHz 1GHz 500 MHz 350 MHz	1GHz 500 MHz 350 MHz 100 MHz	1 GHz 500 MHz 350 MHz 100 MHz	500 MHz 300 MHz 100 MHz	200 MHz 100 MHz 70 MHz
通道	4 個類比、 16 個數位	4 個類比、 16 個數位、 1 個 RF	2 或 4 個類比、 16 個數位	2 或 4 個類比、 16 個數位	2 或 4 個類比、 16 個數位
記錄長度 (所有通道)	12.5 M (標配) 高達 125 M (選配)	20 M	高達 20 M	5 M	1 M
取樣率 (類比)	高達 10 GS/s	高達 5 GS/s	高達 5 GS/s	2.5 GS/s	1 GS/s
取樣率 (數位)	500 MS/s (全記錄長度) 16.5 GS/s (觸發點周圍 10 k 點)	500 MS/s (全記錄長度) 16.5 GS/s (觸發點周圍 10 k 點)	500 MS/s (全記錄長度) 16.5 GS/s (觸發點周圍 10 k 點)	500 MS/s (全記錄長度) 8.25 GS/s (觸發點周圍 10 k 點)	1 GS/s (使用任意通道：D7 – D0) 500 MS/s (使用任意通道：D15 – D0)
彩色顯示器	10.4 吋 XGA	10.4 吋 XGA	10.4 吋 XGA	9 吋 WVGA	7 吋 WQVGA
並列匯流排分析	有	有	有	有	有
串列匯流排觸發與分析應用	SR-EMBD： I^2C、SPI SR-COMP： RS-232/422/485/ UART SR-USB：USB 2.0 SR-AUTO：CAN、 LIN、FlexRay SR-AERO： MIL-STD-1553 SR-810B：8b/10b 分析 SR-PCIE：PCI Express 分析 SR-DPHY：MIPI D-PHY VNM： CAN、LIN 解碼	DPO4EMBD： I^2C、SPI DPO4USB： USB 2.0 DPO4COMP： RS-232/422/485/ UART DPO4AUTO： CAN、LIN DPO4AUTOMAX： CAN、LIN、FlexRay DPO4AUDIO： I^2S/LJ/RJ/TDM DPO4ENET： 乙太網路 DPO4AERO： MILSTD-1553	DPO4EMBD： I^2C、SPI DPO4USB： USB 2.0 DPO4COMP： RS-232/422/485/ UART DPO4AUTO： CAN、LIN DPO4AUTOMAX： CAN、LIN、FlexRay DPO4AUDIO： I^2S/LJ/RJ/TDM DPO4ENET： 乙太網路 DPO4AERO： MILSTD-1553	DPO3EMBD： I^2C、SPI DPO3COMP： RS-232/422/ 485/UART DPO3AUTO： CAN、LIN DPO3AUDIO： I^2S/LJ/RJ/TDM DPO3AERO： MILSTD-1553	DPO2EMBD： I^2C、SPI DPO2COMP： RS-232/422/ 485/UART DPO2AUTO： CAN、LIN
其他應用支援	功率分析 極限和遮罩測試 抖動和時序 USB 2.0 相容性測試 乙太網路相容性測試 MOST 相容性測試 視覺觸發	功率分析 進階 RF 功率測試 位準觸發 HDTV 和自訂視訊 極限和遮罩測試	功率分析 HDTV 和自訂視訊 極限和遮罩測試	功率分析 HDTV 和自訂視訊	–

Tektronix 聯絡方式：

東南亞國協/大洋洲 (65) 6356 3900
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) 37597600
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
義大利 00800 2255 4835*
日本 81 (3) 67143010
盧森堡 +41 52 675 3777
墨西哥、中/南美洲與加樂比海諸國 (52) 56 04 50 90
中東、亞洲及北非 + 41 52 675 3777
荷蘭 00800 2255 4835*
挪威 800 16098
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
南非 +41 52 675 3777
西班牙 00800 2255 4835*
瑞典 00800 2255 4835*
瑞士 00800 2255 4835*
台灣 886 (2) 2656 6688
英國與愛爾蘭 00800 2255 4835*
美國 1 800 833 9200
* 歐洲免付費電話，若沒接通，請撥：+41 52 675 3777
最後更新日 2011 年 2 月 10 日

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爲各自公司的服務標誌、商標或註冊商標。

10/12 EA/WWW 3GT-24008-4

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 傳眞：(02) 2799-1158

太克網站：**www.tektronix.com.tw**