

簡介

時序抖動是高速序列通訊系統設計中普遍存在的問題。若 您的工作需要分析抖動特徵,您可能會發現您偶爾需要能 夠依目的來控制抖動的時脈源或資料來源。根據不同目 的,適當地注意這類抖動來源細節,對於取得可信賴的重 複結果而言,是成功的關鍵步驟。採用可用的測量工具來 驗證最後的抖動來源,可以確保產生準確度。

TDSJIT3 v2.0 是執行於 Tektronix 高效能即時示波器上的軟 體應用程式,其針對抖動、時序分析與視覺化,提供一組 大型的工具套件。與合適抖動來源結合時,這個軟體就成 為功能強大的工具,可用來驗證、並分析抖動容許度與抖 動轉移特性。

本摘要的第一段内容[,]會探討如何產生受控抖動(及如何 不產生受控抖動)。

狀況 2 則會介紹一些使用抖動來源的範例,例如:

- 抖動容忍度測試
- 抖動轉移測試
- 測試儀器相關性





▶ 圖 1. <u>抖動分類</u>

這個狀況還會説明在各種情況下,有哪些需要特别注意的 抖動產生狀況,同時會提出如何使用 TDSJIT3 v2.0 來支援 這些測試的建議方法。

狀況 1: 抖動産生技術和缺陷

時序抖動可分為不同類别,例如隨機性、資料性水平或 (非相關)週期性等抖動。這些抖動類別通常會共同組成像 圖 1 所示的抖動分類。您可能需要產生一種特定的抖動類 型,或是由兩種、或更多種抖動所合成的抖動類型。為了 成功產生抖動,您應該了解下列各點

- 您計劃使用哪種抖動產生工具;

- 每種工具所具有的效能限制;以及

- 您要如何成功結合這些工具來達成所定目標。

了解這項知識之後,您便可以有效地針對特定工作,產生 適當的測試訊號。若是不了解這項知識,您可能就會掉入 幾個早已在旁伺探的陷阱之一。

1.1 複合性抖動

如果您需要由幾種抖動類型(隨機性、週期性、DDJ等)所 合成的抖動式訊號,想當然爾,此時就可使用任意波形產 生器(Arbitrary Waveform Generator, AWG),這項簡單又好 用的工具。典型的 AWG 可視為連接至數位類比式(Digitalto-Analog)的轉換器的大型記憶體緩衝區,不過經常是一 部可將波形記憶體區段連接在一起、來產生複雜圖樣的可 程式化狀態儀器。

AWG 的迷人之處,在於其幾項特點。它可以產生多種不同 的訊號類型:類似時脈的訊號,以及具備各種想像得到之 圖形的資料訊號。上昇時間和過激量皆能控制得相當準確 (這樣更容易產生多種類型的 DDJ)。同時可以包括隨機性 抖動的近似值,而且這些抖動類型在結合時都很方便,因 此 AWG 的輸出可以提供該測試所需要的各種訊號。

但是,您還是應該清楚了解這項工具的使用限制。或許, 這項工具所產生的隨機性抖動品質,就是其最大的限制。 由於大多數 AWG 的資料圖形會受到強迫週期性重複(即使 可能是相當長的一段時間),所以,此時是產生最佳化的假 隨機性(Pseudo-Random)抖動,而非真正的隨機性抖 動。雖然此時產生的抖動在肉眼下看起來很像是隨機性, 不過其機率分佈完全無法用於任何一種有需求的應用情 況。這個主題在狀況 1.2. 中有更進一步的闡述。

▶ 應用摘要



AWG 還可以用於週期性抖動模型化,但是仍然有部份限 制。此時,圖樣長度必須足夠包含週期性抖動調變的整數 週期,才可以確保圖樣在重複時不會出現中斷現象。如果 您要用超過一種的週期性元件來建立週期性抖動,則所使 用的每種元件都必須符合上述規則,才能促使各個元件之 間達成一種特定的諧波關係。此外,當進行調變的訊號屬 於資料訊號、而非時序訊號時,該資料圖樣長度就要加入 其它的必要條件,以避免發生中斷。

另外一種在原理上完全不同的複合性抖動建立方法,就是 分别建立不同的抖動元件,然後再將它們組合起來。這個 方法會在狀況 1.5. 中個别説明。

1.2 隨機性抖動

如果是進行串列通訊測試,隨機性抖動就會完全定義成配合 高斯機率密度函數(Gaussian Probability Density Function) 的抖動。通常,此時會假設所指為白高斯雜訊(White Gaussian Noise),所謂的「白」,就是指從頻域檢視時,每 十年的雜訊強度都一樣。在通訊連結中的高斯雜訊,通常 會在較高頻率位置出現白色區域,雖然這種雜訊通常也會 在低頻率位置顯示其他漸進線(例如,1/f或1/f²)。有一點 相當重要,那就是高斯雜訊不必然為白色區域,而白色雜 訊也不一定就是高斯訊號。



▶ 圖 2b. 和真實高斯曲線 (True Gaussian) 加以比較

一般用來產生高斯電壓雜訊(其稍後會轉換成時序抖動) 的方法,就是用一般熟知的雜訊產生器等儀器。在雜訊產 生領域,已經有多家知名產品廠商。這類儀器也可以用於 具需求性的應用,但是該儀器機型必須謹慎挑選,同時可 提供適當效能。

這時會出現的主要疏漏,就是高斯電壓分佈理論上會產生 非受限(Unbounded)振幅峰值,然而實際在使用儀器 時,輸出電壓一定會受限於供電軌。最後電壓分佈可能會 在意料之外的低頻區域發生截斷,在這種情況下,此種雜 訊產生器就不適用於多種測試。圖 2a 顯示一般用途雜訊產 生器所產生的電壓分佈長條圖,收集時間横跨幾分鐘之 長,並以藍色來顯示線性刻度。以肉眼看來,這種分佈看 起來非常像高斯分佈。但是,相同資料在使用對數垂直刻 度顯示於圖 2b 中時,卻多加上算術方式產生的真實高斯曲 線(紅色)。您可以在這裡明顯看出,雜訊產生器從高斯曲 線,在平均值的兩邊粗略地分出兩個標準差。

若要避免這種問題發生,您必須特别注意檢查雜訊產生器的 波峰因數(Crest Factor),這是指儀器輸出中,其 RMS 電 壓的峰值電壓比例。如果波峰因數不夠,在通訊連結中的實 際雜訊統計資料,就會顯著地分歧出遭截斷的高斯分佈。

通訊連結通常會設定 BER 為 10⁻¹²,來作為眼狀圖閉合(Eye Closure)的規格點。這個 BER 規格和 7.03 或 16.9 dB 的 波峰因數有關聯。如果您的雜訊產生器無法明確指定可充 裕超過此位準的波峰因數(要不然就是在發生電壓壓縮時 指定),那麼您應該就可假定,該雜訊不足以供作需求性應 用的高斯訊號。如果您有雜訊源、但無法判斷是否為有效 高斯訊號,請參閱附錄 A,了解如何應用高效能示波器和 MATLAB 指令檔來分析雜訊源。

當您取得高斯電壓波形時,該波形必須轉換成時序抖動。 這個工作會在狀況 1.5 中詳加説明。

1.3 週期性抖動

最簡單的 PJ (Periodic Jitter,週期性抖動) 產生方法,就 是使用提供内部正弦波曲線示波器、和 FM (或 PM) 調變 器的訊號產生器。這個方法通常只會用在當您只需要單頻 週期性調變的情況下。如果您要產生包含兩個、或更多個 非相關頻率的 PJ 時,您可以使用訊號源,和外部 FM 或是 PM 輸出。在這個情況下,您可以使用外部電源整合器來加 入幾種正弦波電壓 (Sinusoidal Voltage),再使用最後結 果,將調變輸入驅動至雜訊源。這個主題在狀況 1.5. 中有更 進一步的闡述。 無論訊號源是有内部、或外部的調變源,您都要謹慎地檢 查頻率偏差(Frequency Deviation),此偏差值會影響以 PJ 方式檢視調變時的「峰對峰」抖動。在多數情況中,您可 以使用無線電技術人員經年採用的簡易、精確技術,來完 成這項檢查。最為熟知的就是 Bessel Null 技術,這項測試 是以頻率調變訊號載波振幅因不同頻率偏差而趨近零這一 點作為依據,而這是當中的頻率偏差是由第一種類型的零 階 Bessel 函數預測得出。請參閱網站、或是已調變無線電 訊號的實用文件,取得這項測試的詳細説明。

1.4 資料性水平抖動

在實際通訊連結中會出現資料性水平抖動(DDJ, Data Dependent Jitter)的主要原因,是由於在高頻區域出現訊 號損失、和相位偏移。在連結中刻意加入 DDJ 的最簡單方 法,就是插入頻帶限制元件(Band-Limiting Element)。這 樣可能會運用到一長段纜線、實質背板,或是低通濾波器 (Low-Pass Filter)。市面上已有多家廠商提供販售不同長 度、阻抗的高速背板。這個方法的優點,在於所採用的 DDJ 比較容易模仿實際系統中的 DDJ。而其缺點,則是僅能 少量控制所採用的 DDJ,而且很難個別檢查數量。

如果是插入低通濾波器來採用 DDJ,您就有機會了解傳輸通 道的數學模式,以及高可信度。接著,您就可以選擇模擬通 訊連結,以及精確預測所指定的資料圖樣應該要出現多少個 DDJ。您可以透過這個方法,精確檢查採用了幾個 DDJ。

▶ 應用摘要



▶ 圖 3.

1.5 結合抖動來源

為了解更複雜的系統測試,您可能要產生具有多變異的訊號。舉例來說,您可能要取得經由幾種非相關 PJ 訊號源、 高斯隨機性抖動的已校準數量,再加上已知數量的 DDJ 等 所共同調變而成的資料訊號。

在這些情況下,通常必須要産生可以代表要用的 PJ、和 RJ 元件的電壓波形,然後再使用這個電壓來調變資料來源。 不巧的是,在這個電壓對相位(Voltage-to-Phase)轉換過 程中,很容易不小心就加入不要的變異(您還是可以在已 調變資料連結中加入頻帶限制元件,來採用 DDJ)。 進行電壓對相位轉換的最簡單方式,就是配合 FM 輸入來使 用資料產生器。使用此類產生器時,這項輸入通常會搭配 VCO 來使用。在這裡要注意的兩個問題,分别是頻寬和線 性(具優先順序性)。許多產生器會將調變輸入限定為低於 100 MHz 頻寬,造成使用者無法用這個方式來加入寬頻隨 機性雜訊。許多 VCO 在先天設計上具有非線性電壓與頻率 特性,因此,也突顯出這個在線性方面的問題。

將電壓雜訊轉換成時序抖動的其中一種寬頻方法,就是透過 電源整合器,直接在適當斜度之資料波形的資料邊緣上,加 入雜訊電壓。圖3內説明了這個方法,其中還使用低通濾波 器來確保時脈、和資料波形的邊緣速度没有太快。

▶ 應用摘要



▶ 圖 4.



▶ 圖 5. 典型的抖動容許度測試設定

當雜訊波形在邊緣偵測臨界值區域造成資料波形抬高或降 低時,它會同步即時地向前、或向後歸偏臨界值交叉。舉 例來說,如果資料波形邊緣會在 10 V/ns 上升,波形中向上 偏移的 50 mV 就會導致臨界值提早交叉 5 ps。這樣一來, 此訊號的斜率就可以有效設定電壓對時序(Voltage-to-Timing)轉換的增益。這點將在圖 4 加以説明。完成電壓對 時序轉換之後,便可繼續選擇使用限制電流,來恢復快速 邊緣。

加入少量抖動時可以應用這個方法,不過,您會發現到, 當波形轉換為線性曲線時,電壓對時序抖動轉換也只會產 生線性曲線。當波形到達最大值或最小值時,斜率變化會 使得轉換呈現高度非線性的現象。因為隨機性雜訊具有這 樣高度的「峰對平均值」比例,所以,這個方法僅能用於 需要非常少量隨機性雜訊的應用狀況中。

狀況 2: 抖動測試方案

2.1 抖動容許度

抖動容許度(Jitter Tolerance),是指測量裝置在維持額定效 能水準的同時,還可以接收的時序抖動數量。這項測試通 常需要使用資料來源和可控制的抖動、可檢查抖動式輸入 訊號特性的方法,以及可偵測測試中接收器是否符合效能 要求的方法。圖 5 顯示典型的方塊圖。

▶ 應用摘要

根據不同的標準,輸入訊號會出現各種類型的抖動。舉例 來說,SONET 測試會要求使用正弦波相位調變形式的抖動, 或是會根據相容性遮罩來調整振幅的同時、掃過或經過整 個指定頻寬的 PJ。這個訊號並不一定要使用特定位準的隨 機性抖動;事實上,此時是假設使用可忽略的 RJ。在狀況 1.3 中所介紹的方法,就很容易符合這項測試的要求。

相較起 SONET 測試, SATA 規格會要求測試訊號必須具備 更多種隨機性、和決定性的抖動類型。這種測試訊號類型 必須嚴加注意,才能適當產生。尤其是在使用有截斷長條 圖的 RJ 來源時,這種訊號會導引您通過會在隨機性抖動雜 訊更接近高斯訊號之情況中失效的裝置。因為要符合確實 超過 10⁻¹² BER 位準之高斯分佈的要求,所以許多 AWG 無 法有效執行。

2.2 抖動轉移

抖動轉移(Jitter Transfer),是指測量裝置或系統所存在抖動的數量,這個值和特定輸入時的抖動數量有關。此時通常會在頻域中指定相互比例,而且會和表示成 Bode 圖的相容性遮罩,加以比較。

2.2.1 線性系統理論介紹

請參考圖 6,思考其中的線性時間固定系統、輸入 x(t)、輸出 y(t) 和脈衝響應 h(t)。

根據古典線性系統理論,這類系統會採用如下的轉移函數:

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

其中的 X(s) 是 x(t) 的拉氏轉換(LaPlace Transform), 而 $s = \sigma + j \omega$ 是複合頻率。為達測量實際系統響應目的,此時 $\sigma = 0$



而且拉氏轉換可以換成傅立葉轉換(Fourier Transform)。 所以實際上,轉移函數為:

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}$$

為配合許多用途,振幅響應會充分描述實際情況,因此會 產生符合我們需求的最後形式:

$$\left|H(j\omega)\right| = \left|\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}\right| = \frac{\left|Y(j\omega)\right|}{\left|X(j\omega)\right|}$$

圖 6 中的 x(t) 和 y(t) 訊號,依照慣例是指在這些點上的實際 電壓波形。但是,您也可以很容易地個別指定這些訊號, 以代表裝置之輸入、輸出時的時域抖動調變。在這種情況 下,X(jω) 是以頻域表示、可代表裝置輸入的抖動調變,而 Y(jω) 則表示輸出的抖動調變。根據這個解譯,H(jω) 就成為 抖動轉移函數。

2.2.2 使用 TDSJIT3 v2.0 設定轉移函數輸出

您可以使用 TDSJIT3 v2.0,直接透過多種情況中的裝置, 來測量抖動轉移函數的振幅。若要進行這種作業,請同時 探測裝置的輸入和輸出,並為這兩點設定相似的測量(例 如,「資料週期(Data Period)」測量)。完成擷取之後, 請選取「Plot(輸出)」>「Create(產生)」,顯示各種輸出 選項。請在使用者介面左邊的表格中,選取和輸出抖動 (圖 6 的 y(t))相關聯的測量,再接著選擇「Transfer Function (轉移函數)」按鈕。此時會出現一個對話方塊,顯示作為轉 移函數算式之分子的選定測量值。對於分母,則選擇和輸入 抖動(圖 6 的 x(t))相關聯的測量值,再接著選取「確定」。



▶ 圖 7.

結果曲線視窗中所示為輸出抖動的頻域振幅,除以對數-對 數(log-log)軸上輸入抖動的振幅。因為頻譜振幅的任何實 際測量都會受到一定數量的雜訊所破壞,所以曲線可能會 顯示出假性的波峰和波谷。為了產生更佳的曲線,請將 TDSJIT3 v2.0 置於自由運行模式,並讓它擷取多個測量。 依預設,此曲線的設定是平均後續測量的結果,並藉著平 均多個擷取的方式來大幅減少測量雜訊。

這項技術並不限用於輸入和輸入速率相同的裝置。我們會 在第二個範例中討論這種情況。

2.2.3 範例 1 · CDR 特性

轉移函數在描述鎖相迴路的特徵時非常有用,如「時脈資 料還原」(Clock-Data Recovery, CDR) 裝置中所用的函數。 運作正常的 CDR 會依循或追蹤其輸入訊號中的低頻時序變 化。裝置並不會追蹤比 CDR 的迴路頻寬高出許多的時序變 化(也就是抖動);在這些頻率比較高的位置,應該用 CDR 之 VCO 的抖動來控制裝置輸出的抖動。在這兩個範圍之間, PLL(鎖相迴路)可能會導致抖動峰突。 若要繪製 CDR 的抖動轉移曲線,CDR 所追蹤輸入波形的抖動雜訊,最好遠多於 CDR 本身的固有雜訊。此抖動應該適當分散於頻譜(也就是「白色」部分),但不需要完全符合Gaussian(高斯訊號)波形。因此,在這種情況下,可以安全地將通用旋鈕 AWG 或雜訊產生器當作資料來源來使用。

由於 CDR 會追蹤其迴路頻寬内的抖動,因此轉移函數在低頻 處應該有 0 dB 的增益。如果 CDR 的固有抖動低於輸入訊號 的固有抖動,則抖動轉移函數應該在大約於 PLL 頻寬點的位 置,以每十年 20 dB 的速率向下分段。(如果是 Type 2 PLL, 中斷點實際上會稍微低於 PLL 頻寬)。如欲瞭解為什麼發生 這種情形,請參閱「使用即時示波器來分析鎖相迴路系統 的特性」)。

2.2.4 範例 2: PLL 時脈倍率

鎖相迴路常會乘以一個參考時脈,以產生較高的頻率,如 圖 7 所示。理論上,輸出的抖動等於參考時脈的抖動乘以 迴路頻寬內的除數比率(在此情況下為 N/R)。而迴路頻寬 以外的抖動,應該由迴路之 VCO 的抖動來決定。但如果有 其他抖動來源(如電源供應器的雜訊)參雜在圖案中,可 能就不符合這個理論。

當檢視頻域中的抖動時,可以將最高抖動頻率視為時脈速 率的一半。(這是因為作用中時脈邊緣的相位,於每個時脈 週期中只能取樣一次,而 Nyquist 定理中説,高於此速率的 抖動頻率元件將改為較低的頻率)。

使用 TDSJIT3 v2.0 時,您可以將 F_{out}上的抖動與 F_r上的抖動所產生的轉移函數繪製成曲線。若要執行此作業,請在輸入端設定一個 TIE 測量,然後在輸出端設定另一個,然後 再繪製 TIE_{out}/TIE_{ref} 的曲線。當分子與分母的時脈速率不同時,TDSJIT3 v2.0 會自動使用兩個速率中較低者來決定頻 率軸的右側限制。

在上一個範例中,您可能會想要使用刻意調變的時脈,來 探索 PLL 如何將輸入抖動轉移成輸出抖動。並且同以往一 樣,這類測試對抖動的産生並没有嚴格的要求。

2.3 測試設備功能驗證

當今市面上有許多抖動測量系統,包括各種不同價格、方便 性、彈性、技術元件和號稱具有特殊效能的產品。而對任何 設計或品保工程師而言,最具挑戰性的工作之一,就是比較 可用的解決方案並選擇最適合其應用的系統。此選擇中很重 要的一點是要評估儀器或系統的正確性與可重複性。

要驗證廠商所宣稱的效能,其中一種方法就是將儀器的抖 動結果,與所信任的參考儀器(一般是 BERT)的抖動結果 做比較。雖然這個方法通常都很可靠,但即使是 BERT 也會 有錯誤的來源。隨著抖動測量的技術和科技日益進步,我 們對於將 BERT 當作最後仲裁的這種方式,越來越存疑。

另一種驗證效能的方式是建立一個訊號,並且我們「已知」 此訊號的真實抖動,然後將測量結果與預期值做比較。因 為抖動没有接受的參考標準,所以此區域幾乎没有可用的 技術引導可用於日後的評估。不幸地是,會產生錯誤結果 的方式比可產生正確結果的方式多太多。這項工作對抖動 生成而言真的是一項痛苦的測試,您無法將任何事情視為 理所當然。如果您要探索這個領域,請特别注意第一段中 與驗證可能性分佈、頻率和相位偏離的所有註解。

TDSJIT3 v2.0 的基本假設中,它假設抖動是許多單擊時間 測量的統計結果。因此,若個別測量使用基本儀器的正確 性規格,我們便能推論出合成抖動的正確性。但指定分解 方法的正確性或分隔 RJ 與 DJ 結果的正確性時,可能會遇 到困難。使用光譜分解方法可以直接檢視各種抖動元件, 並且此方法被視為是最正確的可用方法,其對基本儀器雜 訊底線的靈敏度,可檢測出被所有方法視為真實主要易錯 訊號。

總結

在分析抖動效能的特性時,最好或強制使用具有已知特性之 故意抖動的訊號來源。這一讓人誤以為簡單的目標,有時候 會出人意外地難以達成。幸運地是,許多實際情況並未要求 度量等級的抖動。瞭解每種應用中的重要抖動特性後,便 可以使用經費上可能最符合您需求的設備,並避免在簡單 的方法無法滿足測量需求時,犯下無法承受的錯誤。

使用光譜分解方法可以直接檢視各種抖動元件,且此方法 被視為是最正確的可行方法。在所有的執行情況中,測量 硬體的雜訊底線連結可獲得效能的實際限制。

詞彙和縮寫字

AM 版幅調愛	١M	振幅調變
---------	----	------

- AWG 任意波形産生器
- BER 誤碼率
- BERT 誤碼率測試器
- CDR 時脈資料還原
- DDJ 資料性水平抖動
- FM 頻率調變
- ISI 符號間干擾
- PDF 機率密度函數
- PJ 週期性抖動
- PLL 鎖相迴路
- PM 相位調變
- PRBS 偽隨機二進位序列
- SJ 正弦波抖動
- VCO 壓控振盪器

附錄 A:驗證高斯電壓波形

您可以使用下列程序來檢查額定高斯雜訊來源,以驗證其 振幅分佈是否完全符合理論上的高斯曲線。此程序包含兩 個資料擷取和分析步驟。該步驟需要使用高效能的示波 器,並存取 MATLAB*分析應用。

資料擷取的步驟,與使用 Tektronix TDS5000-、6000-或7000-系列示波器執行時相同,但相同的技術可能非常有用,只要 做適當的修改,在其他示波器上也可以測量和匯出長條圖。

此分析是利用 MATLAB 指令碼。接下來的儀器能讓即使不 熟悉 MATLAB 的人也可成功執行分析。

A.1: 資料擷取

我們的目標是要驗證雜訊來源的振幅分佈,因此雜訊來源 輸出應該要直接連結到示波器的波道 1。示波器的取樣率應 該設定為雜訊來源額定頻寬的數倍以上,並且應該設定垂 直靈敏度,這樣一般擷取的波峰才不會超過示波器數位器 範圍的 25% - 35% 以上。這是為了讓儀器可以擷取到示波 器中較高的波峰,而不致使它們被删減掉。您可以依需要 設定波形長度,但長度較長的記錄比短的記錄更能快速累 積統計資料。 下列是可用來設定長條圖測量的步驟:

- 1. 依上述需要調整示波器的垂直和水平靈敏度及記錄長度。開啟垂直線游標,並用它們來尋找對應方格圖最左邊和最右邊的時間位置。同樣地,使用水平線游標來尋找對應方格圖最上方和最下方的電壓。
- 2. 將示波器頂端的軸設定為「Menu」模式(而不是 「Buttons」),並選取「Measure>Waveform Histograms...」 將波形來源設定為Ch1,並將長條圖模式設定為「Vert」。 長條圖刻度應該設定為對數,因為這樣可以更清楚看到 高斯曲線的尾部;請注意,任何事件中所匯出的資料都 是線性的。設定時間值的「左極限」和「右極限」控制 值,以作為方格圖的左邊緣和右邊緣,如步驟1中所描 述。同樣地,設定「上極限」和「下極限」以符合方格 圖頂端和底部的電壓。現在長條圖方塊包含整個可見的 螢幕,並且方格圖的左側應該可以看到長條圖。
- 3. 讓示波器在自由運行模式中執行一段時間。通常需要執行一整個晚上或更長的時間,才能累積達到 7-sigma 位準的統計資料。如果雜訊來源大幅偏離高斯曲線,通常不需執行太久就能夠發現。
- 4. 匯出所擷取的長條圖。選擇「File>Export Setup...」並前 往「Measurements」標籤。選擇「Histogram Data (CSV)」 圓鈕,再選擇「Export」。系統將會儲存一個 ascii 文字格 式並且有兩個欄位的檔案。第一欄是長條圖的 bin 值(在 此情況下為電壓)。第二欄是對應 bins 的轉態總數。

▶ 應用摘要

A.2: 資料分析

MATLAB 中分析資料所用的指令碼是 "check_gaussian_ match.m" 您可以在這個附錄中找到此指令碼。請使用以下 程序:

- 將匯出的長條圖檔案和 MATLAB 指令碼放在常用的工 作目錄中。啟動 MATLAB 應用程式,並使用目前目錄 路徑旁邊右上角的瀏覽按鈕("…")尋找工作目錄。
- 2. 在 MATLAB 提示符號下輸入:

>> load filename.csv -ascii

其中 >> 是 MATLAB 提示符號,而 filename.csv 是您使用的實際名稱。此動作應該會將長條圖資料載入 MAT-LAB 工作區,並使用檔案名稱作為資料矩陣的名稱。若要確認矩陣名稱,請輸入:

>> whos

這樣將可顯示所有載入資料的摘要。

 將長條圖資料重新命名為 "my_hist",因為這是分析 指令碼預期的檔名。若要執行此作業,請輸入:

>> my hist = filename;

此動作將會建立長條圖的複本,其名稱為 "my_hist"。

4. 在 MATLAB 提示符號下輸入:

>> check_gaussian_match

此動作將執行分析指令碼。最後應該會出現曲線,並且 以藍色顯示實際測量的長條圖,而以紅色顯示最適高斯 曲線。垂直線顯示平均值和 ±1、±2、... ±7 sigma 點。兩條曲線之間的重大偏離(因為雜訊來源的輸出放 大器中有壓縮)應該很明顯,並且能夠看到雜訊來源涵 蓋的範圍呈高斯曲線分佈。

如果您很熟悉 MATLAB 或只是有興趣,您可以使用任何文 字編輯器來查看分析指令碼,並考慮進行修改。

A.3: 技術性註解

若要産生理論上的高斯曲線,可執行函數的最適曲線:

$$H(x) = yMax * e^{\frac{-(x-meanValue)^2}{2*sigma^2}}$$

與測量的長條圖資料相反,並且需先根據其轉態總數加權 每個長條圖上的點。

您可以調整 yMax、sigma 和 meanValue 這三個參數來尋找 最適曲線。(yMax 的前置項取代 1/(sigma*sqrt(2*pi))的常 用項,代表長條圖和 pdf 之間的額定係數)。最適曲線是長 條圖點的加權值與理論的高斯曲線之間,其偏差均方和的 無限制非線性最小曲線。

A.4: MATLAB 指令碼

```
使用任何文字編輯程式時,下列指令碼應該存成檔案 "check_Gaussian_match.m":
% Script to verify the match between a measured histogram and the
% best-fit mathematically-computed Gaussian:
2
    Measured histogram in blue.
00
    Computed Gaussian in red.
00
    Red vertical line at mean value
    Green vertical lines at 1, 2, 3, ... 7 sigma points
90
% Set these to 1 or 0 as desired
plot error curve = 1; % Plot error between measured and theoretical, in green
plot logarithmic = 1; % Use log or linear vertical scale
pp = my hist(:,2); % bin populations
ii = my hist(:,1); % bin positions
% Initial estimate of the peak value of the non-normalized Gaussian
yMax = max(pp);
% Initial estimates of the mean and sigma
x_{temp} = find(pp > 0.6065*yMax);
x1 = x_temp(1); % Right one-sigma bin (approx.)
x2 = x_temp(end); % Left one-sigma bin (approx.)
sigma = abs(ii(x1) - ii(x2))/2;
meanValue = mean(ii([x1 x2]));
ibn = find(pp > 0.9); % Find indexes of all bins that are not empty
```

bn = ii(ibn); % Histogram bin values for non-empty bins

```
▶ 應用摘要
```

```
% Find optimum curve fit
X = fminsearch(...
       inline('norm((pp-x(3)*exp(-((ii-x(2)).^2)/(2*x(1)^2))).*pp)','x','pp','ii'),...
       [ sigma; meanValue; yMax],[], pp, ii);
sigma = X(1); meanValue = X(2); yMax = X(3);
b = (-7:0.1:7)*sigma + meanValue; % Bin values where we compute ideal Gaussian
h = yMax * exp(-((b-meanValue).^2)/(2*sigma^2));
if plot error curve,
  % Find indexes of bins for which we have a confident measurement (at least 10 hits)
  % We will only plot the error curve for these bins
  ibg = find(pp > 9);
  bg = ii(ibg);
  hg = yMax * exp(-((bg-meanValue).^2)/(2*sigma^2));
  percentError = 100*((hg - pp(ibg))./hg);
end
% Now plot results
if plot logarithmic,
  % Use log vertical scale (recommended)
  if plot error curve,
   [haxes,hl1,hl2] = plotyy(bn,log10(pp(ibn)),bg,percentError);
    set(get(haxes(2), 'ylabel'), 'string', 'Error (%)')
    set(h12,'color',[0 0.5 0]);
  else
    plot(bn,log10(pp(ibn)),'.-') % Plot actual measurements
  end
  hold on;
  plot(b,log10(h),'r'); % Plot theoretical Gaussian
```

```
% Plot vertical lines to show sigma intervals
plot([1;1]*(-7:7)*sigma + meanValue,[0;log10(yMax)]*ones(1,15),'g');
plot([1;1]*meanValue,[0;log10(yMax)],'r');
```

```
ylabel('Log10 ( Hits )');
```

else

```
% Use linear vertical scale
if plot_error_curve,
  [haxes,hl1,hl2] = plotyy(bn,pp(ibn),bg,percentError);
  set(get(haxes(2),'ylabel'),'string','Error (%)')
  set(hl2,'color',[0 0.5 0]);
else
  plot(bn,pp(ibn),'.-') % Plot actual measurements
end
hold on;
plot(b,h,'r'); % Plot theoretical Gaussian
```

```
% Plot vertical lines to show sigma intervals
plot([1;1]*(-7:7)*sigma + meanValue,[0;yMax]*ones(1,15),'g');
plot([1;1]*meanValue,[0;yMax],'r');
```

ylabel('Number of Hits');

end

```
title([ 'Mean Value = ' num2str(meanValue) '; Sigma = ' num2str(sigma)])
xlabel('Noise Amplitude ( Volts )');
hold off; grid on; zoom on;
```

DPO - 數位螢光科技

您必須眼見為憑。



對於需要最佳設計和最佳故障排除工具的人來說,數位螢光示波器 (DPO) 是極盡理想的,它的應用範圍很廣泛,包括通訊遮罩測試、 間歇訊號的數位偵錯、重複的數位設計和時序應用等。頻寬範圍從 100 MHz 到 7 GHz, Tektronix 提供多樣的 DPO 選擇,讓您看到别人無法 看到的世界。

OpenChoice[®]

為您的網路與分析解決方案提供更多選擇。



OpenChoice 是一多樣化的組合,包含了軟體程式庫、公用程式、樣 本、業界標準協定和介面等,許多 Tektronix 的各種示波器和邏輯分 析儀都有提供。從 60 MHz 到 15 GHz, OpenChoice 讓您透過網路與您的 示波器或邏輯分析儀進行通訊,這利用了許多連線能力協定和實體 介面,例如 GPIB、乙太網路、RS-232 和共用記憶體。

TekConnect[®]

一流的訊號真實度和無人能比的多功能,就在您的彈指之間。



TekConnect 介面將探棒的智慧帶到下一個層級,不論是測量高電壓、 電流、功率或甚至微電壓準位訊號。TekConnect 介面輸入是我們所提 供的多種功能之一。透過TekConnect 介面,您可以確定自己能維持最 大的訊號整合,以滿足目前和未來的頻寬需求。

示波器軟體

將您的一般用途示波器轉變為高度專業分析工具。



Tektronix 提供卓越的應用解決方案,為您的示波器注入專門科技和專 業技術,大大地簡化了專業設計的發展和測試。從串列資料標準到 功率測量,Tektronix 有最多的示波器軟體供您選擇,可將您的示波器 轉變為高度專門且功能強大的分析工具。

大韓民國 82 (2) 528-5299 中東、亞洲與北非 +41 52 675 3777 中東歐、烏克蘭與波羅的海三小國 +41 52 675 3777 中華人民共和國 86 (10) 6235 1230 中歐及希臘 +41 52 675 3777 丹麥 80 88 1401 巴西及南美 55 (11) 3741-8360 巴爾幹半島、以色列、南非及其他 ISE 國家 +41 52 675 3777 日本 81 (3) 6714-3010 比利時 07 81 60166 印度 (91) 80-22275577 加拿大1(800)661-5625 台灣 886 (2) 2722-9622 西班牙 (+34) 901 988 054 芬蘭 +41 52 675 3777 東協 / 澳洲 / 巴基斯坦 (65) 6356 3900 法國及北非 +33 (0) 1 69 81 81 波蘭 +41 52 675 3777 英國及愛爾蘭 +44 (0) 1344 392400 俄國、獨立國協及波羅的海各國 7 095 775 1064 南非 +27 11 254 8360 挪威 800 16098 美國(外銷)1(503)627-1916 美國 1 (800) 426-2200 香港 (852) 2585-6688 荷蘭 090 02 021797 葡萄牙 80 08 12370 瑞士 +41 52 675 3777 瑞典 020 08 80371 義大利 +39 (02) 25086 1 奥地利 +41 52 675 3777 墨西哥、中美及加勒比海 52 (55) 56666-333 德國 +49 (221) 94 77 400 盧森堡 +44 (0) 1344 392400 其他地區請聯絡 Tektronix, Inc. 電話是 1 (503) 627-7111 最近更新日期 2004 年 11 月 3 日

与 Tektronix 聯系:

如需詳細資訊

Tektronix 會維護全面性且不斷擴充之應用摘要、技術摘要和 其他資源的集合,協助工程師使用最新技術。請造訪 www.tektronix.com

S)

Copyright © 2005, Tektronix, Inc. All rights reserved. Tektronix 產品是美國的專利產品。此出版資訊會取代之前發行的產品。保留規格和價格變更的權利。 TEKTRONIX和TEK是 Tektronix, Inc. 的註册商標。所有其他參考的商標名稱是其他相關公司的服務商標、商標或註册商標。

1/05 FLG/WOW

61T-18431-2

