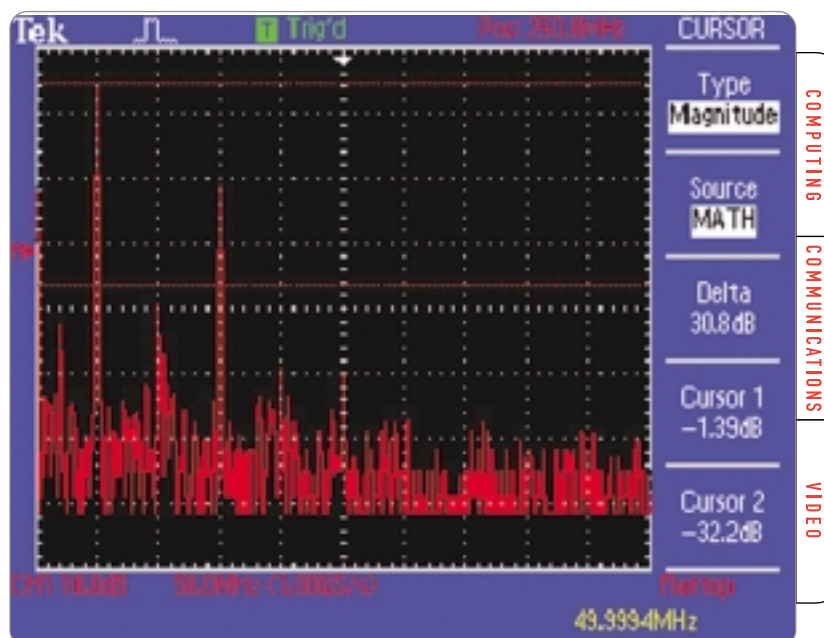


# 頻譜分析 和時域量測 合力解決 故障排除問題



## ► TDS2000 系列示波器提供實用的 頻譜分析功能以解決具挑戰性的設計問題

在快速解決設計問題方面，工程師和技術人員是處於一種永無止境的壓力下，能賴以解決部分問題的工具通常是示波器。這些示波器的使用者一直在尋找工具，希望從不同角度發現其設計問題的徵兆或原因，從而使他們能更快地得到所需要的結果 — 驗證通過的最終產品。

最新一代價廉物美的示波器產品，如Tektronix的TDS2000 系列，標準配備提供了內建的快速傅利葉轉換 (FFT) 頻譜分析功能。利用這種新功能，使用者可透過這一強有力的整合工具，為故障排除和驗證工作提供一種全新的方法。在本應用摘要中，我們將討論 FFT 的基本知識，並透過實例說明它在解決日常量測問題中的價值。

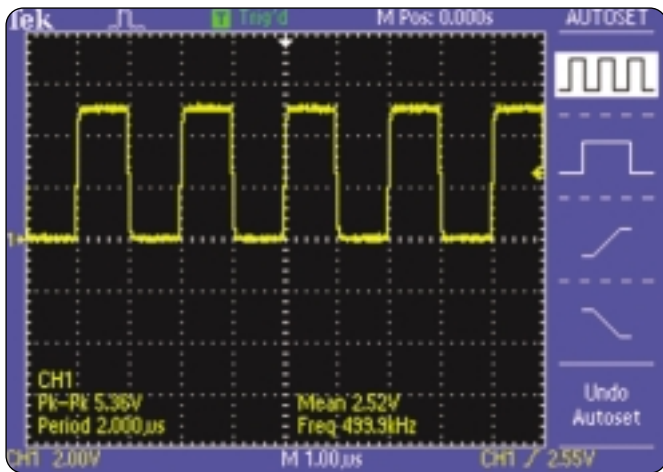
FFT 產生的頻域量測，稱為頻譜檢視。在頻譜檢視中，FFT 可透過與時域檢視相同的訊號輸入重新分配兩個軸。縱軸顯示振幅（或如果包括相位資訊，則稱為相位），而橫軸則顯示頻率。頻譜檢視的結果顯示了在時域中看不到事件和趨勢。FFT 可使某些類型的訊號錯誤用肉眼即可明顯看出，大大加速故障排除工作。

### 同一訊號的兩種探測方式

電子訊號的行為可以從時域和頻域這兩個角度來觀察，每個檢視均提供組成訊號事件的獨特細節。時域檢視是最基本的示波器量測：訊號的振幅變化（縱軸）沿橫軸（即時間）繪製圖表。正弦波形、脈波、甚至不相關的雜訊，全部是時域檢視。在故障排除過程中，透過這樣的角度觀察可得知是否有訊號，以及訊號波形是否符合電路應產生的基本振幅和頻率特性。

## 頻譜分析和時域量測合力解決故障排除問題

### ► 應用摘要



► 圖 1 - 方波訊號的時域檢視

### FFT 頻譜分析 Vs 一般頻譜分析儀？

圖1和圖2描述了一個方波訊號在二者之間的差別。

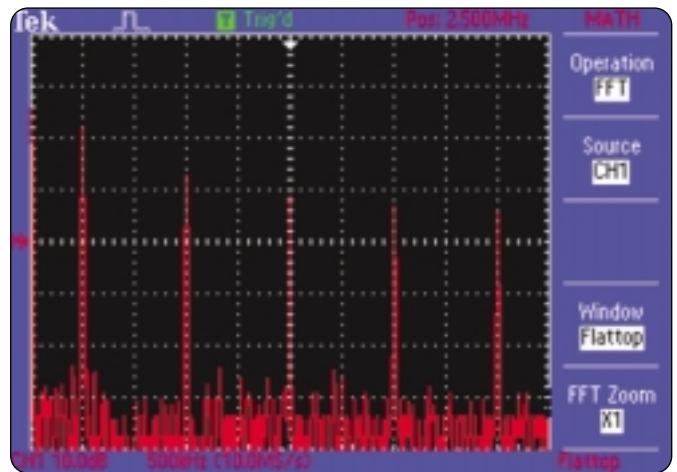
FFT 頻譜分析可產生類似於真正的頻譜分析儀的顯示。然而，這兩種技術在某些重要方面不同。頻譜分析儀使用類比混合和濾波技術，將訊號分量分類為連續頻率曲線圖。由於頻譜分析儀採用的類比、非即時的方法（只在相關頻寬上掃描，而不是擷取訊號），故在追蹤訊號變化方面不如 FFT。

基於 FFT 的頻譜分析，是透過對儲存取樣的後處理而產生的。透過適當的設定，這種方法可提供出色的頻率解析度，儘管其經由數位計算的二進位，並不如頻譜分析儀的那樣致密無縫。由於它是針對儲存資料的「快照」工作的，FFT 能夠更好地追蹤變化訊號。

### FFT 的基本概念

對 FFT 理論的詳細闡述顯然超過了本說明的範圍，但理解所涉及的基本概念仍是十分重要的。

傅利葉轉換頻譜分析是基於這樣的理論，即所有複雜的波形都是由具有不同振幅、相位和頻率的正弦波疊加而成的。例如，一個純正方形波是由一系列奇次諧波頻率的正弦波組成的。因此，1 MHz 的方波包含 1 MHz、3 MHz、5 MHz 等正弦分量，它們的振幅是連續遞減。所有的對稱波形（如三角波）都呈現相同的具不同振幅的諧波分佈，而非對稱波形（如帶有歪斜工作週期的矩形脈波）也包括偶次諧波。這種脈波呈現 1 MHz、2 MHz、3 MHz、4 MHz、5 MHz 等分量。



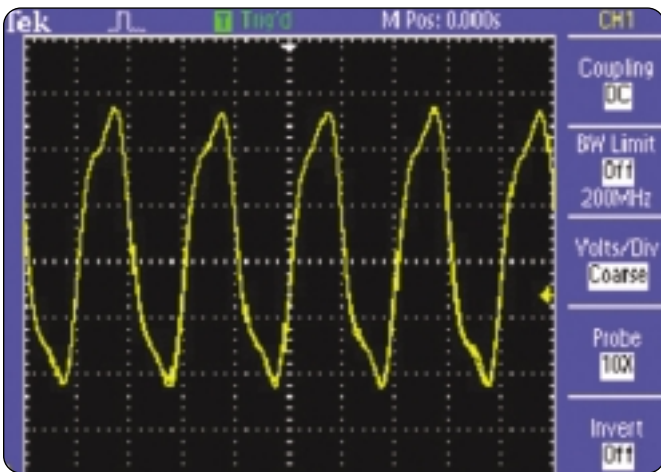
► 圖 2 - 方波訊號的頻域檢視

FFT 可轉換時域中的取樣訊號，以頻域中一系列的頻譜峰值展現出來，如前面圖 2 所示。在 TDS2000 系列 FFT 中，用每個代表特定頻率的正弦波的峰值表示振幅（以分貝 dB 表示）。FFT 通常受限於示波器的解析度和頻寬，但如信號是在示波器可顯示的範圍內，則便可顯示出待測信號的頻率分量。

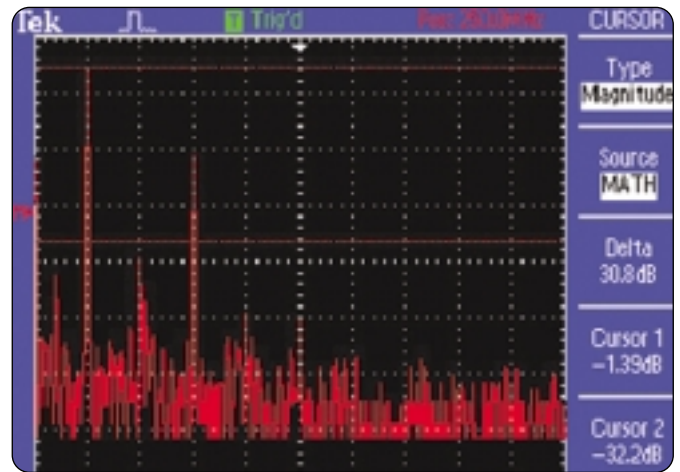
### FFT 能為你做什麼

為什麼這方面的資訊如此有用？設想在圖 2 中顯示的方波出現一個意外的峰值，比方說在五次諧波處。這可能表明波形的異常或偏差（例如在上昇邊緣有一幾乎無法區分的過激現象），或者這可能說明有來自附近線路訊號的串音。儘管可能不知道這個偏差峰值是什麼原因引起的，但頻譜檢視已經快速地顯示出在時域檢視中可能被忽略的問題。

成本效益好的 Tektronix TDS2000 系列示波器，可為維修技師、生產工程師和現場維修團隊提供實用的 FFT 頻譜分析功能。TDS2000 系列示波器能夠非常便利地檢查波形，並可快速切換到 FFT 檢視以從另一角度加以檢測。



► 圖 3 - 50 MHz 時脈訊號的時域檢測，顯示出峰值失真的不同程度。這意味著訊號受到低頻來源的調變。



► 圖 4 - 50 MHz 時脈訊號的頻域檢測。位於 20 MHz 的峰值顯示出調變源。

TDS2000 系列的 FFT 頻譜分析功能可支援廣泛的應用：

- 電子故障排除：一般電路偵錯 - 檢測振盪和串音；找尋雜訊和串音源；鑑定雜訊、失真和頻響特性；檢測多餘的調變
- 汽車：懸架和框架設計 - 確定機械共振和應力
- 航空：機翼和操縱面的設計 - 找尋和修正應力點；減少振動；查找機械雜訊源
- 振動分析：機械系統的設計和論證測試 - 檢測並排除共振；驗證理論模型；確認用其他工具所作的量測
- 環境：降低雜訊 - 鑑定醫院、工廠和其他工作環境中的雜訊等級和頻率；降低由風扇和 HVAC 系統引起的雜訊
- 生理學：醫藥衛生研究 - 量測心肺和神經訊號特徵
- 電路設計：電源供應器設計 - 量測電源供應器輸出的諧波和非線性；檢測並量化振盪現象；鑑定 DC-DC 轉換器中的失真和諧波

## FFT 應用實例

### 電子故障排除

FFT 分析功能是使用示波器進行一般時域量測的一種強力輔助工具。使用者只需切換到 FFT 模式並查看訊號，就往往能檢測到在時域波形中看不見的訊號行為。

有時，訊號中的頻率分量可能會在時域檢視中，被訊號的正常含量所遮沒。而用 FFT 檢視則一眼即可看出其中的端倪。

在查尋電路所有類型的雜訊以及與振盪相關的問題時，FFT 是不可或缺的工具。即使在軟體設計工具和模型原型設計已普及的當今時代，新設計的第一個硬體原型往往也有很多意想不到的結果。最常見的問題之一，是電路軌跡的訊號無意耦合，致使受影響線路上的訊號被「調變」。這樣的串音現在是一個問題，並將隨著未來工作頻率的繼續加快而成為更大的挑戰。

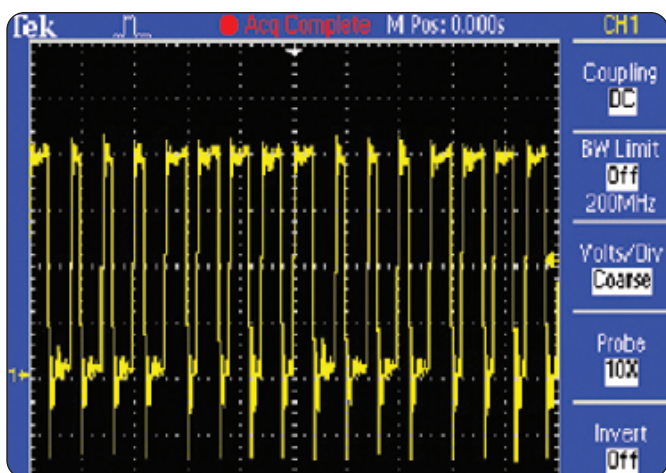
為了說明這種情況，請考慮圖 3 中的時域波形。這是一個來自處理器電路板上的 50 MHz 時脈訊號。在理想的情況下，波形應該是對稱的，但是現代數位電路可容忍範圍較大，使得圖 3 所示訊號在正常情況下，足以看出此待測裝置的可靠。

了解到這一點，便容易忽略每個波形週期的峰值上的微小差別。但是，這個略不規則波形意味著某些東西以次諧波的頻率在調變著主時脈訊號。它的頻率是多少？在時脈訊號中的份量有多大？

示波器切換到 FFT 模式，可立即得到這些問題的答案。圖 4 FFT 檢視中所示的波形，與圖 3 所示是相同的 50 MHz 時脈波形。

## 頻譜分析和時域量測合力解決故障排除問題

► 應用摘要



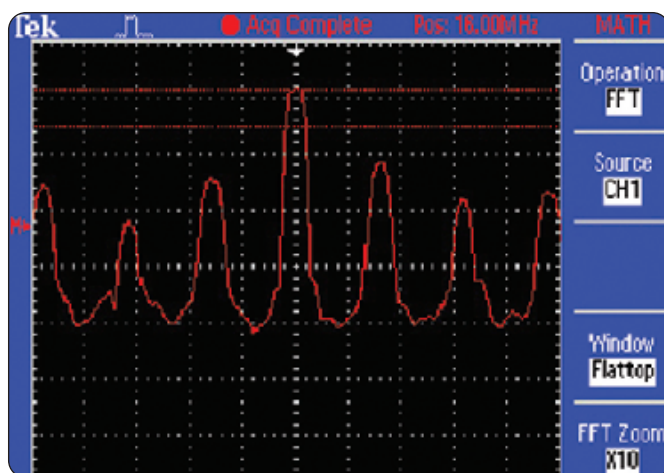
► 圖 5 - 由 2 MHz 頻率相位調變的 16 MHz 訊號。

FFT 顯示螢幕的頻率範圍設定為 500 MHz，這意味著每個水平分格等於 50 MHz。方格圖的左邊為 0 MHz。第一個縱向分格線上的最高峰值表示時脈訊號的基頻。在下兩個縱向分格線上，可分別看到二次 (100 MHz) 和三次 (150 MHz) 諧波。這些均以正常比例顯示，其他較高次諧波也如此。

但是在 0 MHz 和 50 MHz 基頻之間有些東西。在 20 MHz 處有一個峰值，幾乎與二次諧波一樣大。這個次諧波峰值的存在證實，有一個多餘的 20 MHz 訊號是確實的調變時脈。只需按一個鍵，FFT 便證實了這是一個串音，並精確將違規的頻率定點。在故障排除中，這是加快搜尋調變訊號的線索，也是尋找出耦合到時脈上信號頻率的手段。

### 鑑定相位調變

在前面的例子中我們看到了由串音引起的無意調變的影響。而在某些情況下，調變可有意地得以利用。例如，相位調變就可用來改變二進制資訊串中的特定脈波的寬度。相位的變化代表二進制資訊，即 1 和 0。

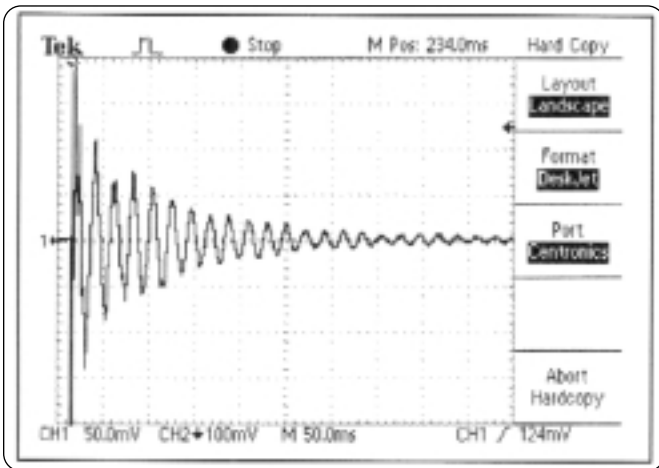


► 圖 6 - FFT 曲線圖顯示的 16 MHz 訊號。由於有 2 MHz 的調變訊號，請注意在 2 MHz 間隔處出現的旁波。

圖 5 中的脈波系列是一個受 2 MHz 方波調變的 16 MHz 時脈訊號。請注意，其結果呈現這樣一種模式：以 8 個脈波為一組重複，這正是可從兩種交互訊號的算術比中能估計到的結果。在此，「窄」對「寬」脈波的比是調制變量，以這種方法可表示出多達 8 種狀態。在圖 5 中，這個比例是 5:3；即 5 寬對 3 窄。

檢視頻域中的相位調變訊號（使用 FFT），可清楚地看出調變效果。在圖 6 中（為清楚起見以 10 倍係數「放大」），中線上是基頻，16 MHz。2 MHz 調頻的劃分特性，以一系列 2 MHz 間隔的旁波顯示。透過檢視旁波的相對振幅，就可找到哪個差距起作用。了解到這一點，您便可輕而易舉地確定：所表示的是這 8 個可能狀態中的哪一個。

雖然在時域檢視中也能夠區分此資訊，但 FFT 法可簡化並加快解釋的速度。例如，如果訊號是雜訊，在時域檢視中就很難區分出資料模式。當「寬」脈波和「窄」脈波的區別較小時，這個問題變得更加困難。但是 FFT 的固有功能就是區別調變和雜訊，即使在相位上存在微小變化也能區分。



► 圖 7 - 汽車頂樑的共振頻率的時域檢視。

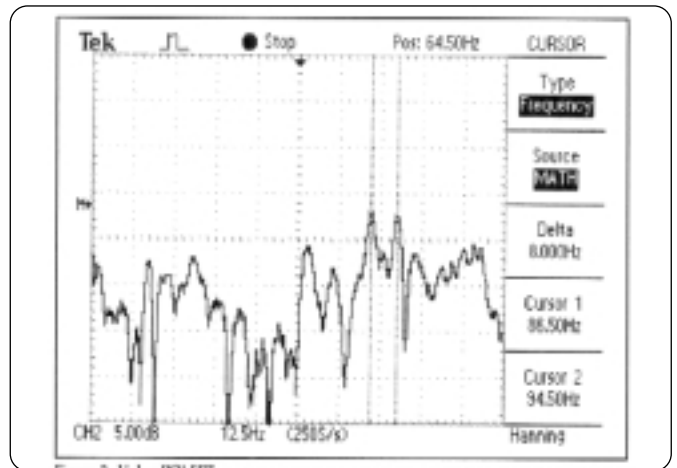
### 分析機械共振和振動

在汽車設備的設計中，零件的機械共振對於乘客的舒適性和安全性，以及零件本身的可靠性都有重大影響。

因此有必要預測汽車中各種構造要素的疲勞壽命。這方面的一種情況是汽車的車頂架（前座上方的支撐樑），該車頂架現需支撐的選用設備種類在不斷增加，如 DVD 播放機和其安裝套件。知道車頂架的「自然」（共振）頻率非常重要，同樣也要知道汽車底盤在加速度和轉彎時對車頂架的整體影響。

車頂架的基本共振頻率可以用加速儀和擊錘（一種專用工具，當錘面撞擊到目標表面時，可向示波器發送一個觸發訊號）來測定。這種工具還可提供有關施加的力量的資訊，以及彈性表面對衝擊力是否有任何「阻尼」效應。示波器擷取來自感測器的影響，並顯示時域波形或其頻譜相等。

圖7所示為因錘擊而產生的時域波形。這是典型的阻尼振盪波形，自然共振頻率為 47.4 Hz，這是用示波器的自動頻率量測功能測定的數字。請注意，圖 7 不是 FFT 曲線圖。



► 圖 8 - 在類比汽車運動期間，頂樑上出現的振動 FFT 曲線圖。

下一步是量測在實際開車條件下可能出現的振動，即在不可預測的頻率和強度的連續衝擊和應力下產生的振動情況。一種較成熟的量測方法是構建一個簡單的激發源，例如在汽車的某一關鍵點上放置一個有意不平衡的旋轉配重物。將感測器連接到車頂架後，圖 8 TDS2000 系列的 FFT 圖輸出。在這個例子中，臨界共振峰值出現在從 85 Hz 到大約 95 Hz 範圍內。在此，游標量測精確地顯示出這兩個峰值頻率。

資料匯編後，本次研究表明：車頂架的自然頻率和加速度之間存在一致關係，後者是底盤本身經歷加速時在相關點上可預計的加速度。對於研發機械零件的設計人員而言，類似圖 8 的研究結果非常有價值。FFT 曲線圖縮小了變量域，並為工程師提供了可用來確認模型參數和應力的可靠的初步結果。當然，設計人員還須使用實驗室品質的訊號分析儀和有限元素分析工具，對這些初始資料進行後續測試，加以驗證。

## 頻譜分析和時域量測合力解決 故障排除問題

### ► 應用摘要

#### 關於圖形假像的警告

Tektronix TDS2000 系列示波器中內建的 FFT 功能，目的在提供一種方便易用的工具搭配示波器的時域功能。FFT 功能可根據取樣資料快速提供有關訊號頻譜內容的答案。

所有取樣裝置（包括 TDS2000 系列的 DSO）均基於奈奎斯特 (Nyquist) 取樣定理：該定理規定，任何系統所重現的最高頻率都必需小於但不等於其當前取樣率設定值的 1/2。因此，每秒能夠擷取 100 mega 的取樣率，並重現 50 MHz 的正弦波訊號。

請注意，奈奎斯特定理規定的是正弦波輸入訊號。如前所述，非正弦波形包括較高的譜波頻率。在 FFT 中，一種稱為圖形假像的現象，可使這些高頻訊號分量在相關頻寬內產生不正確的顯示。如果擷取的訊號中含超過取樣率的諧波，即使基頻位於奈奎斯特頻譜內，也將出現圖形假像的現象。

而專用的頻譜分析儀，由於不對資料取樣，故無圖形假像問題。由於有較好的濾波和掃描範圍，專用頻譜分析儀可集中使用於可用頻寬的一小部分。

TDS2000 系列示波器中有高達 200 MHz 頻寬的機型，能夠滿足各種無假像 FFT 分析工作的需求。在使用 TDS2000 系列儀器進行 FFT 頻譜分析時，若需避免很多情況下可能出現的圖形假像的現象，只需將取樣率調整到時域檢視中，至少可以看到一個週期波形的穩定顯示狀態即可。

#### Tektronix 聯絡資訊:

東南亞國協/澳洲/巴基斯坦 (65) 6356-3900

奧地利 +43 2236 8092 262

東歐中部、希臘 +43 2236 8092 301

比利時 +32 (2) 715 89 70

巴西及南美洲 55 (11) 3741-8360

加拿大 1 (800) 661-5625

丹麥 +45 44 850 700

芬蘭 +358 (9) 4783 400

法國及北非 +33 (0) 1 69 86 80 34

德國 +49 (221) 94 77 400

香港 (852) 2585-6688

印度 (91) 80-2275577

義大利 +39 (02) 25086 1

日本 81 (3) 6714-3010

墨西哥、中美國及加勒比海地區 52 (55) 56666-333

荷蘭 +31 (0) 23 569 5555

挪威 +47 22 07 07 00

中華人民共和國 86 (10) 6235 1230

波蘭 +48 (0) 22 521 53 40

韓國 82 (2) 528-5299

俄羅斯、CIS及波羅地海 +358 (9) 4783 400

南非 +27 11 254 8360

西班牙 +34 (91) 372 6055

瑞典 +46 8 477 6503/4

台灣 886 (2) 2722-9622

英國及愛爾蘭 +44 (0) 1344 392400

美國 1 (800) 426-2200

美國（外銷部門）1 (503) 627-1916

其他地區請洽 Tektronix : 1 (503) 627-7111

Updated December 23, 2003

#### 詳細資訊

太克科技收錄有內容廣泛而且不斷新增的應用摘要、技術摘要和其他資料，旨在幫助工程人員在工作中有效地使用先進的技術。請瀏覽本公司網站：[www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)



© Tektronix, Inc. 2004 年版權所有。保留所有權益。Tektronix 產品，不論已擁有專利和正在申請中的專利，均受美國和外國專利法保護。本文資訊取代所有之前發表的其他資料。本公司保留變更技術規格和售價的權利。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的註冊商標。本文提及的所有其他商品名稱，分別為其各自所屬公司之服務標誌、商標或註冊商標。  
02/04 MD/SF 40T-16563-1