

Keysight Technologies

在野外進行 精密量測校驗的技巧 使用FieldFox手持式分析儀

應用說明



射頻/微波系統及元件的安裝、疑難排解和維護，都需要對其反射和傳輸特性進行量測。在野外，這類量測通常會採用手持式向量網路分析儀。為了取得最佳量測結果，使用者校驗必須在野外進行。本應用說明討論校驗技術的最新進展能夠如何幫助您對纜線、濾波器和放大器等射頻和微波元件進行快速又精準的量測。

簡介

射頻和微波系統及元件的安裝、故障排除和維護，都需要在各種室內和室外環境及條件下，對其反射和傳輸特性進行量測。這類量測通常會以具野外使用者校驗功能的手持式向量網路分析儀（VNA）進行。由於測試通常在極端條件下進行，範圍可從安裝戶外訊號塔和訊號桿的高海拔環境，到輪船、飛機和車輛應用所需之密閉空間，因此量測準確度、校驗便捷性、掃描速度和分析儀可攜性都非常重要。所需的量測可透過具有簡單使用者校驗和快速量測掃描功能的VNA輕鬆進行，這些功能FieldFox手持式分析儀皆可提供。

使用VNA時，量測準確度直接與所選使用者校驗類型和相關測試配置有關。測試配置包括連接待測裝置（DUT）和VNA所需的測試纜線和轉接器。FieldFox的可用校驗類型包括儀器開啟時即可使用的內建校驗（CalReady）和較複雜的使用者校驗，後者需透過一組高品質校驗標準進行量測。

選擇校驗類型（cal type）時通常需在量測準確度、速度和校驗過程複雜度之間進行取捨。例如，圖1中顯示使用兩種不同FieldFox校驗類型對一小段同軸電纜進行插入損耗量測（S21）的比較。黃色軌跡表示以稱為QuickCal的創新校驗類型進行之纜線量測，藍色軌跡則代表使用傳統全2埠機械校驗對相同纜線所進行的量測。使用者在全2埠校驗過程中需對各種高品質校驗標準進行七次連接，執行QuickCal時則無需任何校驗標準。如圖所示，兩種量測結果差異非常小，但QuickCal的校驗過程很簡單，非常便於現場作業。一般來說，由於各測試配置可能需在FieldFox和DUT之間使用轉接器和測試纜線，因此了解FieldFox各種可用校驗類型的應用和限制非常重要。本應用說明將探討VNA校驗的新發展，並會比較使用不同校驗類型對各種射頻和微波裝置（包括纜線、濾波器和放大器）進行校驗後的量測結果。



圖1：使用Keysight FieldFox向量網路分析儀提供的全2埠校驗（藍色）和快速QuickCal（黃色）來量測同軸電纜的結果比較

分析儀硬體配置

本節將介紹各種適用單埠和雙埠裝置量測的FieldFox硬體配置。FieldFox手持式分析儀包括向量網路分析儀（VNA）、纜線和天線測試（CAT）分析儀、頻譜分析儀，以及於單一儀器中整合VNA、CAT和頻譜分析儀功能的組合分析儀。FieldFox是一款適合於野外使用的精密儀器，符合MIL-PRF-28800F Class 2和MIL-STD-810G、Method 511.5、Procedure 1要求，可在爆炸環境中進行量測（通過類型測試）。Class 2設備專為最惡劣的環境設計，包括不受保護和不受控制的環境條件。採用VNA配置時，FieldFox可以量測複雜的元件參數，如單埠與雙埠DUT反射和傳輸特性的幅度及相位。量測到的複雜參數又稱為散射參數（S參數），稍後將於本應用說明中進行討論。採用CAT分析儀配置時，FieldFox也會量測DUT的反射和傳輸特性，但只會報告幅度特性。VNA和CAT兩種模式都包含創新的QuickCal，可消除任何與儀器相連接的測試纜線和轉接器影響，並修正校驗中因溫度變化而產生的漂移誤差。採用頻譜分析儀配置時，FieldFox即為一款高效能接收器，能夠量測已知與未知訊號、干擾和/或雜訊的頻率內容。FieldFox頻譜分析儀不僅具備桌上型頻譜分析儀的功能，更包含一種稱為InstAlign的獨特功能，開啟後便可於-10 °C至+55 °C間為整個射頻和微波頻率範圍提供更高的振幅精準度。本應用說明會繼續將重點放在FieldFox VNA的VNA量測和校驗功能，其他關於CAT和頻譜分析儀模式的資訊請參閱是德科技應用說明[1]和[2]。

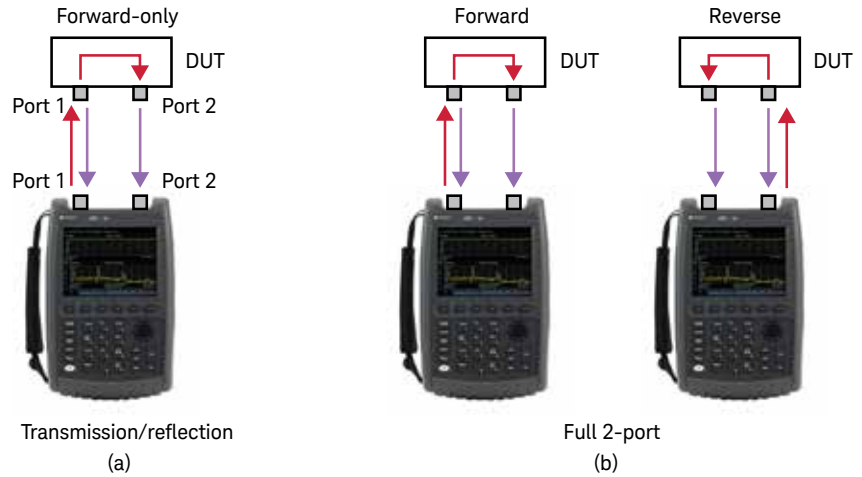


圖2：使用配備(a)傳輸/反射（T/R）硬體和(b)全2埠硬體的的分析儀進行待測裝置（DUT）量測時之網路分析儀信號路徑

網路分析儀硬體可決定DUT的量測方式：使用傳輸/反射（T/R）硬體配置進行正向量測，或使用全2埠配置進行正向與反向量測。圖2a顯示採用T/R硬體配置的FieldFox VNA輸出和輸入信號路徑。測試信號在T/R配置下會由分析儀的連接埠1發出，並以輸入至DUT的反射訊號或通過DUT的傳輸信號方式進行正向量測。在此配置下，反射信號會在分析儀的連接埠1量測，正向信號傳輸量測則在分析儀的連接埠2進行。使用T/R配置時，進行反向量測必須先中斷連線DUT，調轉方向，然後再重新連線。圖2b則說明採用全2埠硬體配置的VNA。在這種配置中，DUT參數可以正向和反向量測，無需調轉元件。分析儀中的開關矩陣可在連接埠1和連接埠2之間路由入射測試訊號。使用全2埠配置不僅便於雙向量測DUT，還可對測試系統的大部分系統誤差進行特性分析並將其消除，以達最高量測精準度。

系統誤差特性分析會在使用者校驗過程中進行，而全2埠校驗是最精準的VNA校驗方式之一。本應用說明將討論並比較幾種校驗類型，其中包括全2埠校驗、增強響應校驗，以及精準度較低但操作非常簡單的響應（正規化）校驗。採用全2埠硬體配置的FieldFox VNA可執行所有可用校驗類型。採用T/R硬體的配置的FieldFox則僅可執行增強響應校驗和響應（正規化）校驗。

系統誤差

系統誤差由測試纜線、轉接器和分析儀元件的頻率響應，分析儀洩露路徑（通常位於內部），以及DUT和分析儀之間的多次反射造成。使用者校驗的功能之一便是對系統誤差進行特性分析，並以數學方法將其自量測結果中消除。某些類型的使用者校驗只能校驗一部分誤差，使得DUT量測結果精準度降低。圖3說明使用全2埠校驗（黃色）和增強響應校驗（藍色）對同軸電纜進行傳輸響應（S21）校驗的比較。由於全2埠校驗能夠修正測試系統中大部分的系統誤差，因此其量測精準度最高。若要使用全2埠校驗消除所有系統誤差，需在校驗和DUT量測過程中進行正向和反向掃描。若以增強響應校驗類型進行校驗和DUT量測則只需掃描正反其中一個方向即可，因此可加快整體量測速度。增強響應校驗不能修正全部系統誤差，因此精準度比全2埠校驗低。如圖3所示，以增強響應校驗進行的纜線量測因未修正的系統誤差而在量測頻率範圍內出現了漣波。圖3中顯示的兩種量測均採用FieldFox分析儀

的創新型CalReady校驗來進行。CalReady是一種隨時可用的內建校驗，無需使用者手動校驗。本應用說明將討論CalReady和FieldFox VNA中其他可用的校驗類型，以及如何在精準度、速度及校驗複雜度之間進行取舍。有關系統誤差和基本VNA校驗理論的其他資訊，請參閱是德科技應用說明《網路分析儀基本知識》[3]。



圖3：使用FieldFox CalReady 2埠校驗和CalReady增強響應校驗進行同軸電纜量測的比較

S參數量測和顯示格式

如前所述，通常會對VNA進行配置以量測和顯示DUT的反射及傳輸屬性，也叫做散射參數（S參數）。S參數即是量測訊號和入射訊號的比率。FieldFox VNA已包含所有適合量測和計算這些訊號比的硬體，因此操作人員只需熟悉S參數的定義，及其與特定裝置規格之間的關係即可。圖4說明了雙埠DUT的S參數定義。單埠裝置將有一個S參數，雙埠裝置則有四個S參數。由使用者決定以哪個DUT連接埠為連接埠1或連接埠2，通常會與DUT的預定操作有所關聯。例如，可以將放大器的輸入定義為連接埠1，輸出為連接埠2。如此一來放大器的正向傳輸參數就是從連接埠1到連接埠2的增益。圖4中S11參數被定義為來自DUT連接埠1的反射。S22被定義為來自DUT連接埠2的反射參數。S21為連接埠1到連接埠2的正向傳輸參數。S12則為反向傳輸參數。

對很多被動元件（包括同軸電纜、濾波器、波導元件、耦合器和功率分配器）來說，正向傳輸參數S21等於反向傳輸參數S12，即 $S_{21} = S_{12}$ 。這種類型的DUT被視為具有「互易性」。放大器、循環器以及大多數含有半導體和鐵氧體的主動元件則具有「非互易性」。非互易性元件的正向傳輸（例如放大器的增益）不等於反向傳輸（例如放大器的反向隔離），即 $S_{21} \neq S_{12}$ 。瞭解元件為互易性元件還是非互易性元件，在選擇增強響應校驗時將變得非常重要，本應用說明稍後會討論這個問題。正向反射參數S11和反向反射參數S22在所有元件類型下通常不相等。圖5說明對採用全2埠配置的FieldFox VNA進行量測，所得到的四個13-GHz帶通濾波器S參數。如前所述，全2埠配置可透過單一分析儀連線來量測四個S參數。S11和S22反射參數在5到18 GHz量測頻率範圍內的響應略有不同。S21和S12的響應相同，在被動式濾波器等互易性元件中是可預期的結果。有關圖5中所顯示的量測結果，FieldFox是透過最精準的全2埠校驗類型來進行校驗。圖5中的四個S參數量測值均以典型的「LogMag」格式顯示，Y軸

則以分貝值（dB）表示。使用VNA量測到的S參數為複數，可以轉換為多種顯示格式，包括線性振幅、VSWR、史密斯圖、極性、相位、群組延遲以及實部和虛部。幸運的是，FieldFox可管理所有必要的計算結果，並適當顯示所需格式。

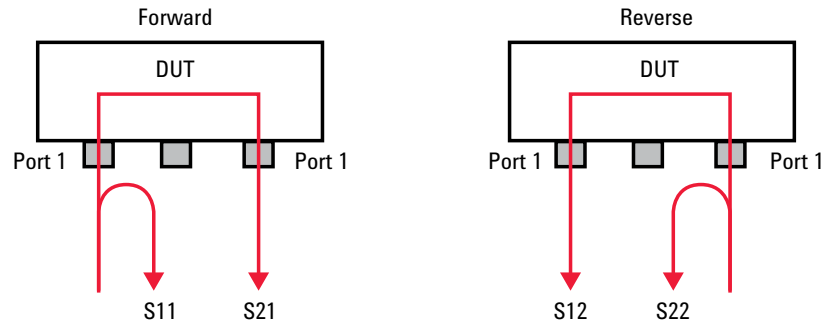


圖4：2埠待測裝置（DUT）的S參數定義

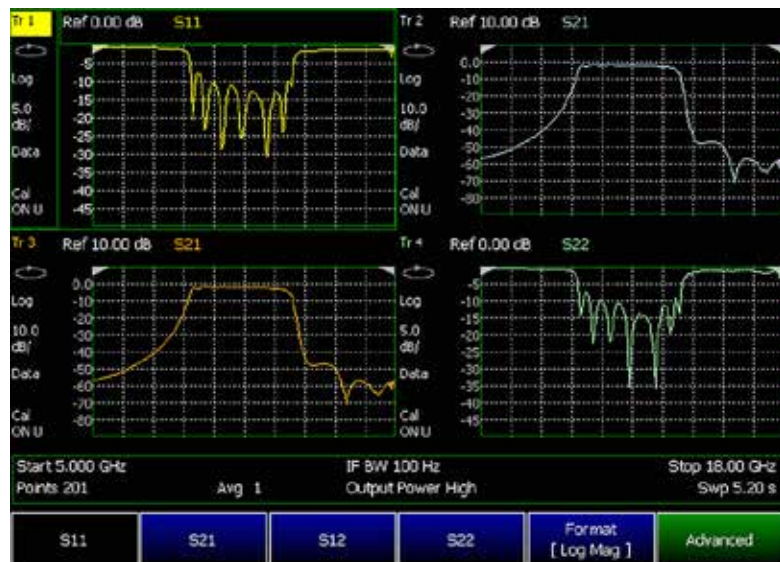


圖5：測得的13-GHz帶通濾波器之S參數

S參數量測和顯示格式 (續)

我們知道S參數是相對量測值，理論上不受外加功率位準影響。例如，在量測一條理想短路傳輸線的S11參數時，反射信號和入射信號的比率具有1或0 dB的線性振幅 ($=20\text{LOG}(|S_{11}|)$)。無論入射信號功率為1皮瓦還是100瓦，短路線路的S11量測值均相同。這一狀況符合被動元件的S參數量測。顯然在量測放大器時，一旦放大器開始進入飽和狀態，S參數便將隨入射功率而有所不同。在本應用說明中，假定放大器在小信號或非飽和模式下運作，且增益在一定的入射功率範圍內保持恆定。

在量測放大器和其他對輸入功率位準敏感的元件時，可以調整FieldFox測試埠功率，以優化量測精準度並避免主動元件和分析儀中出現過載。FieldFox VNA具有三種設定入射（測試埠）功率位準的模式—高輸出功率、低輸出功率，以及允許操作人員手動設定測試埠功率的設定。FieldFox的預設設定為高輸出功率，可達到最高的量測精準度和動態範圍，而低功率或手動設定則適用於量測高增益放大器或任何對驅動功率敏感的元件。圖6的量測範例顯示了測試埠功率和顯示動態範圍之間的關係。

該圖比較了使用高輸出功率設定（黃色軌跡）和低輸出功率設定（藍色軌跡）對13-GHz帶通濾波器S21參數的量測。在此

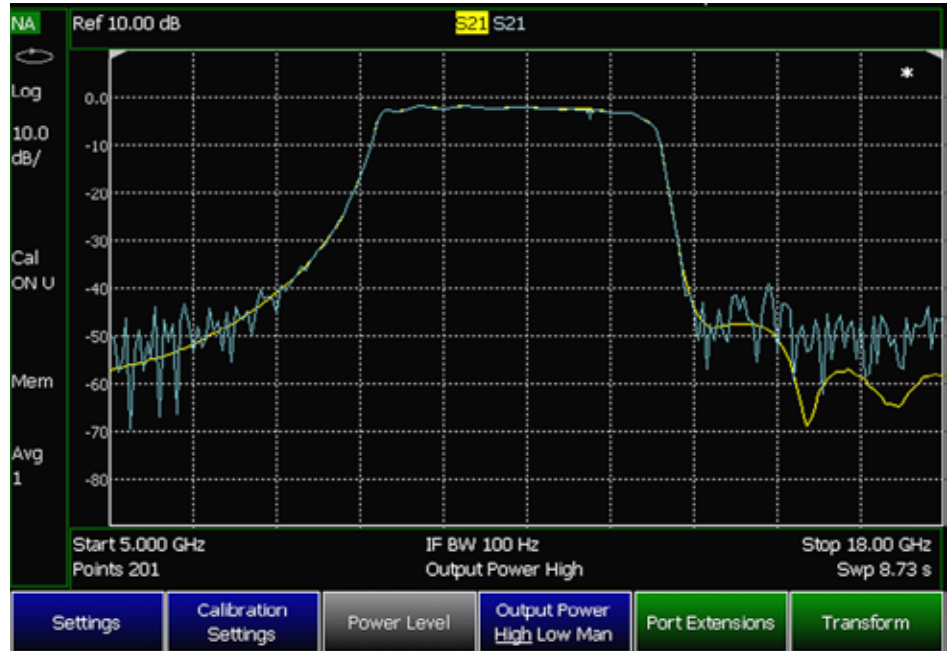


圖 6：使用FieldFox高輸出功率設定（黃色）和低輸出功率設定（藍色）對13-GHz帶通濾波器響應進行量測的比較

濾波器的中心通帶內，S21量測結果是相同的，但當使用低功率設定時，雜訊明顯比拒帶高。FieldFox接收器信號的低訊號雜訊比會導致雜訊位準增加，而濾波器會降低拒帶的信號位準。在低SNR條件下可降低FieldFox的中頻頻寬（IF BW），以改善分析儀的雜訊位準。IF BW可在10 Hz至100 kHz的範圍內進行調節。透過高輸出功率設定並將IF BW設定為最小值，便可

達到最大動態範圍和準確度。有關測試埠功率和IF BW最佳化的其他資訊，請參閱FieldFox使用者手冊。有關S參數和網路分析儀理論的其他資訊，請參閱以下是德科技參考資料[3]。

校驗FieldFox測試埠

FieldFox為使用者校驗提供了多種選擇，可消除VNA和待測裝置間的測試纜線和轉接器影響。如前所述，使用者校驗也可修正VNA中的系統誤差。這些類型的使用者校驗由操作員定期進行，與常規年度儀器校驗無關。年度儀器校驗是一個可追溯的過程，由是德科技等經過認證的測試實驗室進行，用於確認儀器的操作是否符合規定的技術規範。年度儀器校驗應能夠通過NIST、NPL或BIPM等國家計量機構，追溯至國際單位制（SI）。FieldFox透過可完全追溯的儀器校驗，能夠於測試埠上進行非常精準的量測。實際上，不同的測試要求可能會導致各種測試纜線和轉接器連接至FieldFox。量測結果中通常最好不要包含這些纜線和轉接器的影響。FieldFox在這種情況下允許執行使用者校驗（使用或不使用校驗套件），以在測試纜線和轉接器之外建立校驗平面。熟悉VNA操作的操作人員會比較清楚部分類型的使用者校驗。本應用說明會於下面幾節回顧FieldFox上的各種可用校驗類型。

有數種使用者校驗類型可精準量測元件與系統的S參數。前文簡要介紹了CalReady、QuickCal和機械校驗等校驗類型。機械校驗類型是一種傳統的VNA校驗，需使用高品質的校驗套件。創新的CalReady和QuickCal則不需要這類套件。電子校驗（ECal）是一種精準的校驗技術，其對插入式或非插入式元件的所有量測結果皆可追溯至NIST標準，能夠取代傳統的機械校驗。一般對所有校驗類型來說，任何額外的測試纜線和轉接器都應相位穩定、品質可靠並保持良好狀態，以提高量測資料的精準度和可重複性。

CalReady

CalReady是FieldFox上最容易執行的校驗類型。CalReady校驗類型無需使用者操作，在儀器開啟或預設後即可執行。這種內建校驗方式在工廠以FieldFox的完整頻率範圍執行，並可直接應用於FieldFox的測試埠，如圖7a所示。當DUT直接連接至FieldFox的測試埠時，CalReady的量測精準度最高。如圖7b所示，當同軸電纜可直接在FieldFox連接埠1和連接埠2間連接時，CalReady非常適合用來量測電纜效能。請注意，由於FieldFox測試埠配置有N型母頭連接器或3.5 mm公頭連接器（微波26.5 GHz型號），因此電纜和FieldFox之間連接的任何轉接器電氣特性也會成為量測的一部分。圖7c說明測試雙埠DUT的典型配置，需使用一小段測試纜線和兩個轉接器來連接至FieldFox。由於校驗平面位於FieldFox的測試埠處，因此測試纜線和轉接器也屬於S參數量測的一部分。其他校驗類型（包括QuickCal和機械校驗）可以消除這些測試元件的影響，本應用說明將會在後續章節進行討論。

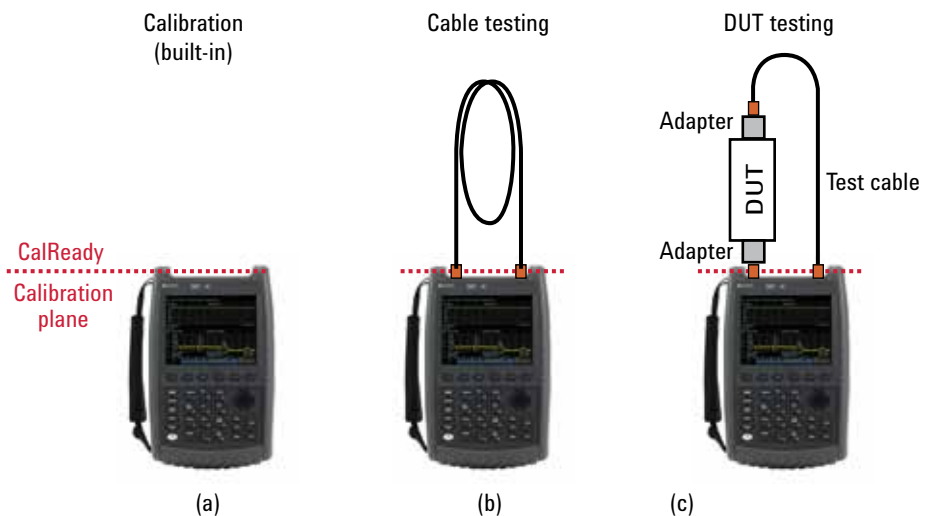


圖7：使用FieldFox CalReady進行校驗和測試配置

校驗FieldFox測試埠 (續)

CalReady (續)

CalReady可以設定為全2埠校驗或增強響應校驗。如之前圖3所示，CalReady和其他全2埠校驗類型透過對DUT進行正向和反向量測，並消除量測S參數中的所有系統誤差，以達最高量測準確度。採用內建增強響應校驗時，CalReady只需進行一次量測掃描，正向或反向均可，可使整體量測時間比全2埠校驗更短。增強響應校驗的缺點是精準度較低，這是因為它只能修正一部分系統誤差。增強響應校驗是FieldFox開啟或預設時的預設校驗類型。

在特定環境下，當DUT為互易性元件並將FieldFox設定為互易增強響應校驗時，可以提升採用增強響應校驗的量測精準度。如前所述，互易性DUT的正向和反向傳輸參數相等（即 $S_{21} = S_{12}$ ），通常適用於所有被動元件，例如纜線、轉接器、耦合器和濾波器。圖8為CalReady採用增強響應校驗和全2埠校驗配置的量測比較。DUT為一小段直接連接至FieldFox測試埠的同軸電纜，量測的是S11。上方的黃色軌跡表示在DUT為非互易定義下，採用增強響應校驗的響應。下方的黃色軌跡表示在DUT為互易定義下，採用增強響應校驗的量測。下方藍色軌跡則表示採用全2埠校驗時的量測結果。從圖中可以看出，在互易定義下的增強響應校驗量測結果與採用全2埠校驗者幾乎完全相同。採用非互易定義的增強響應校驗則沒有如此精準。應當注意的是，將實際為非互易性元件（放大器）的DUT定義為具互易性，會導致量

測結果不正確。反之，將互易性DUT定義為非互易性會產生正確的量測結果，但準確度比較低，如圖8所示。若不確定，將預設值設定為非互易會比較安全。簡言之，CalReady增強響應和CalReady全2埠的校驗規則會在工廠內進行特性分析，並儲存在FieldFox內部。非互易和互易定義均為數學技術，用於處理儀器中的系統誤差修正過程。表1說明使用增強響應和全2埠校驗類型的相對準確度和量測時間比較。本表格適用採用增強響應和全2埠校驗的CalReady和其他機械校驗類型。

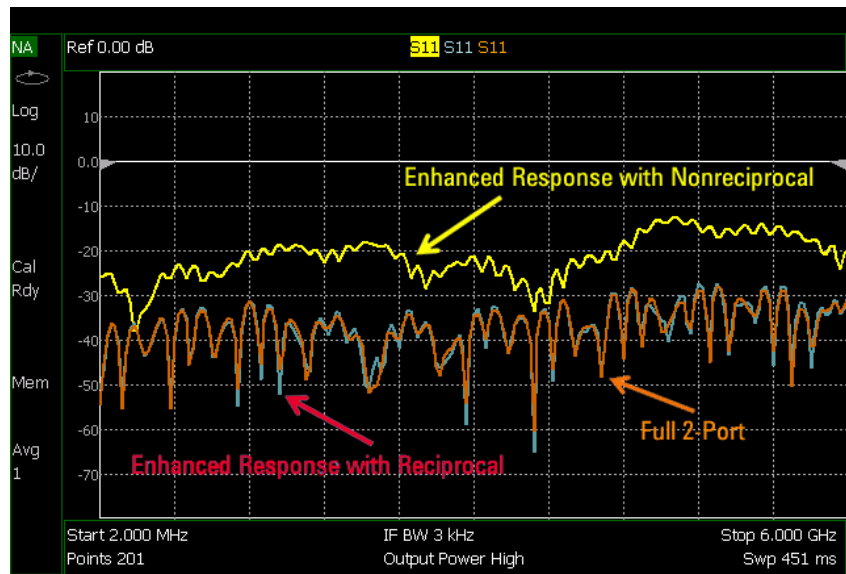


圖8：以全2埠校驗類型和增強響應校驗類型對同軸電纜進行S11量測的比較（DUT採用互易和非互易定義）

表1：使用CalReady增強響應和CalReady全2埠校驗類型的相對準確度和量測時間比較。

CalReady校驗類型	準確度	量測時間
增強響應 - 非互易	良好	最佳
增強響應 - 互易 (需要 $S_{21}=S_{12}$ 的DUT)	較好	最佳
全2埠	最佳	良好

校驗FieldFox測試埠 (續)

QuickCal

測試配置通常需使用額外測試纜線和轉接器以將VNA連接至DUT，與之前圖7c中的配置類似。為了消除測試纜線和轉接器對量測的影響，必須由使用者進行FieldFox校驗，以在遠離VNA的位置建立校驗平面，並與DUT連線。使用者校驗通常需包含一組高品質同軸或波導標準件的「校驗套件」，由VNA在校驗過程中量測。FieldFox採用稱為QuickCal的創新使用者校驗技術，無需使用校驗套件。QuickCal透過使用內建CalReady校驗規則，來消除與FieldFox測試埠相連的測試纜線和轉接器相關系統誤差，以提供準確的S參數量測。QuickCal也可用來修正由儀器、測試纜線及轉接器溫度變化而導致的漂移誤差。當環境條件會快速變化時，修正溫度變化誤差在現場操作中就變得非常重要，因為量測需要在室內和室外進行。QuickCal不支援儀器測試埠和校驗平面間信號路徑的衰減器與非互易性元件。

QuickCal包含兩個簡單步驟，需要分別對開放式測試纜線或轉接器以及THRU連線進行量測掃描。雙埠量測需進行此兩步驟程序。單埠量測則需開放式掃描一個步驟即可。執行QuickCal無需校驗標準。圖9a以圖示說明於FieldFox執行QuickCal的兩個步驟。如圖所示，第一步是讓所有轉接器及/或測試纜線末端保持開放狀態。無需像機械校驗一樣使用開路校驗標準。QuickCal的第二步是直接連接兩個測試埠，此THRU連線可能需要也可能不需要使用轉接器。校驗中並不一定需要轉接器特性，有時轉接器本身就是DUT。有關更多「未知THRU」需求資訊，請參閱本應用說明的下一章節。值得注意的是，測試纜線和轉接器必須具有極高的相位穩定性，否則校驗可能會不準確和/或不穩定。一旦完成QuickCal的兩步驟程序，便可在不考慮任何測試纜線和轉接器的影響下對DUT進行量測。圖9b為典型的雙埠DUT測試連線圖。由於現在校驗平面已移到DUT

平面，因此測試纜線和轉接器便不再屬於S參數量測的一部分。請注意，如果預期DUT的S11或S22小於-15 dB，則可在執行QuickCal時量測選配的負載標準，以提升DUT量測準確度。理想情況下，負載標準的連接器類型應與DUT相同，而且不一定要是「校驗套件」負載標準。負載可以是任何具有良好回返損耗的終端器，以提高量測的準確度。

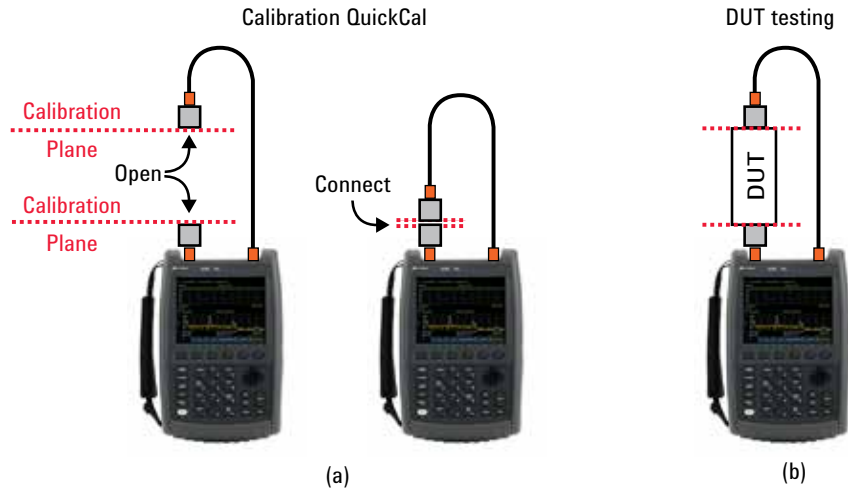


圖9：測試配置：(a) 適用FieldFox VNA與相關測試纜線及轉接器快速校驗的QuickCal校驗，和 (b) 適用QuickCal校驗平面量測的DUT連線

校驗FieldFox測試埠 (續)

QuickCal (續)

您可選擇使用單埠或雙埠 DUT 來執行 QuickCal。單埠 DUT 需對 S11 或 S22 進行校驗和量測。單埠元件的 QuickCal 程序只需進行開放式量測掃描，也可以選配負載來提高準確度。雙埠 DUT 的 QuickCal 同樣按照上述步驟進行，但可選擇全 2 埠校驗或增強響應校驗。建議您使用準確度較高的全 2 埠校驗，但需要較快的量測速度時，可以選擇增強響應校驗選項。如前所述，增強響應校驗只需進行正向或反向量測。全 2 埠校驗則需要進行正向與反向量測，量測掃描時間相較之下較長。

圖 10 顯示使用 CalReady 和 QuickCal 校驗類型對帶通濾波器進行 S21 量測的比較。兩種校驗都使用全 2 埠校驗類型。使用 CalReady 進行濾波器量測得到的 S21 dB 值較低，這是因為濾波器量測中包含測試纜線的插入損耗（與圖 7c 所示配置類似）。在這種情況下，測試纜線的額外損耗使濾波器的插入損耗比其實際損耗更高。使用 QuickCal 進行濾波器量測較能適當量測插入損耗，因為已從量測中去除測試纜線的插入損耗（與圖 9b 中的配置類似）。

校驗插入式元件雙埠 DUT 可歸類為「插入式」元件或「非插入式」元件。插入式元件採用類型相同但屬性不同的連接器，例如，DUT 在連接埠 1 上使用 N 型公頭連接器，而在連接埠 2 上使用 N 型母頭連接器。在這種情況下，FieldFox 及相關測試纜線也會在測試埠上採用相反屬性的連接器，無需任何轉接器便可將 DUT 直接連接至 FieldFox。此配置也允許 FieldFox 測試埠在校驗過程的 THRU 步驟中直接連線。圖 11 說明使用 N 型連接器校驗和測試插入式元件的配置。圖 11a 則顯示使用 FieldFox VNA 和採用屬性相反 N 型連接器的單一測試纜線時，校驗平面的位置。校驗平面的位置在 QuickCal 需開放式連接器的所處位置。

選擇機械校驗時，校驗平面位於校驗套件標準的連接位置，通常與 QuickCal 中使用的位置相同。任何校驗類型的 THRU 連線都不需要使用轉接器，且校驗平面理想上會建立在 DUT 連接埠處。圖 11b 顯示插入式 DUT 到 FieldFox 測試設定的連線。

在 FieldFox 分析儀中，QSOLT 是建議用於插入式元件的 2 埠校驗演算法。其只需四次連接（單埠校驗和直通量測），且精準度非常高。

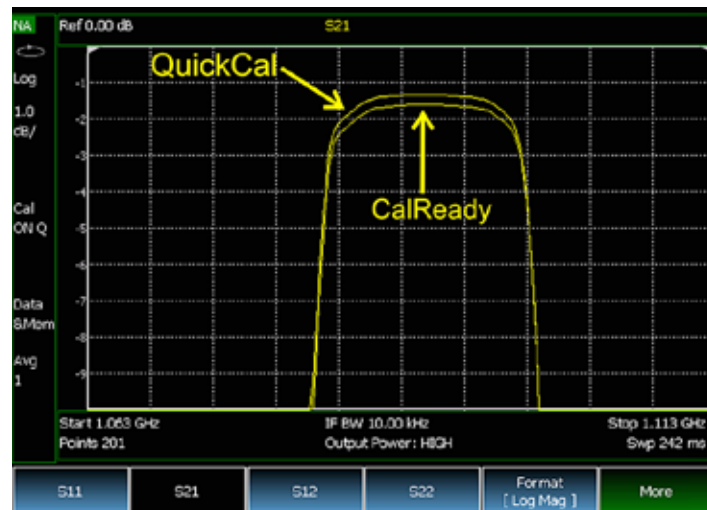


圖 10：使用 CalReady 和 QuickCal 校驗類型進行帶通濾波器 S21 量測的比較

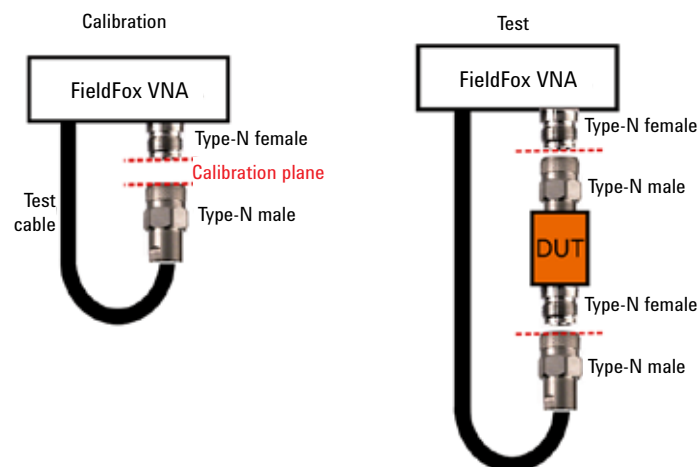


圖 11：量測「插入式」元件的 (a) 校驗和 (b) 量測配置

校驗FieldFox測試埠 (續)

使用未知直通技術對非插入式元件進行校驗。非插入式元件具備相同類型、相同屬性的連接器或不同類型的連接器，例如在一個連接埠上使用同軸連接器，另一個連接埠上使用波導連接器（此時QuickCal不支援波導連接器）。

非插入式元件進行全2埠校驗時，需在過程中的THRU步驟使用額外轉接器。理想情況下，轉接器的連接器類型和屬性應與DUT相同。傳統上使用VNA對非插入式元件進行量測時，需準確定義全2埠校驗中THRU轉接器的電氣延遲，否則需要透過多個校驗進行複雜的校驗[3]。幸運的是，FieldFox VNA可以提供「未知THRU」校驗，且在校驗過程步驟中，可使用任何纜線或轉接器來連接測試埠。未知THRU適用QuickCal和全2埠校驗類型。未知THRU可為具備與DUT相同連接器配置的任何元件。未知THRU的電氣長度也可能較長，例如較長的同軸電纜。如果量測頻率範圍內的插入損耗低於40 dB且DUT為互易性元件，未知THRU本身也可作為DUT。圖12a說明以未知THRU對FieldFox VNA進行校驗的配置。在本範例中，轉接器在兩個連接埠上均採用N型母頭連接器，與非插入式DUT的連接器相符。FieldFox提供N型母頭連接器，因此在本範例中，必須使用測試纜線和轉接器將FieldFox測試埠轉換為N型公頭連接器。如圖所示，校驗平面透過QuickCal中的「開路」或機械校驗中的校驗套件標準，建立在N型公頭連接器的末端。未知THRU校驗完成後，即可準確量測非插入式DUT，而不受THRU轉接器影響。圖13為一量測範例，說明波導至同軸轉接器的VSWR量測。由於此非插入式DUT採用不同的連接器類型，因此使用未知THRU的全2埠校驗可提供最高的量測精準度。本範例於7至13.8 GHz的頻率範圍

內，對採用選配012X頻段同軸波導轉接器的Keysight X281C（如圖所示）進行量測。全2埠校驗以N型和波導機械校驗標準來執行。

在校驗過程中，插入DUT做為未知THRU用。FieldFox支援X頻段、P頻段和K頻段校驗套件。有關波導頻段和凸緣名稱的更多資訊，請參閱參考資料[4]。

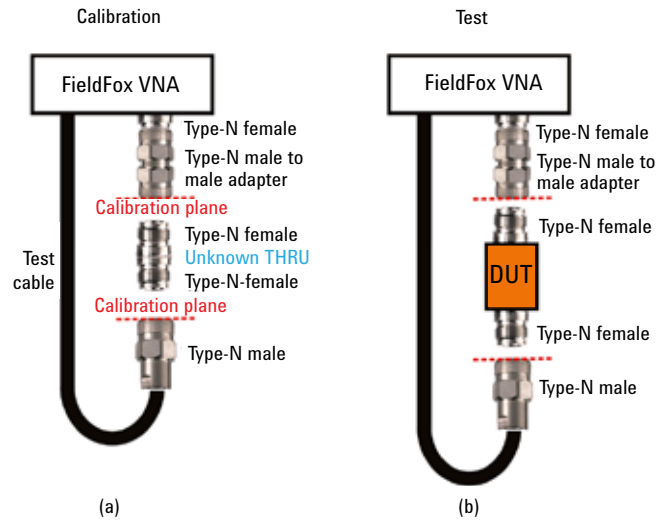


圖12：校驗分析儀並使用未知THRU量測「非插入式」元件的測試配置範例

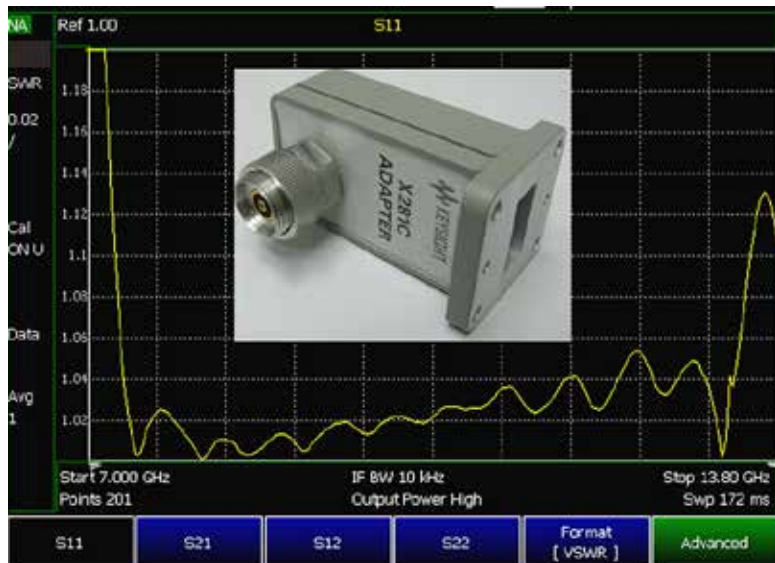


圖13：將轉接器用做未知THRU所量測到的X頻段同軸波導轉接器VSWR

機械校驗

在FieldFox執行校驗時，採用CalReady和QuickCal的主要優勢是無需校驗套件。此優點讓現場儀器校驗變得相當簡單而快速。需要最高量測準確度時，建議使用傳統機械校驗類型。機械校驗以高品質校驗套件中包含的離散校驗標準進行。校驗套件標準的特性定義明確，這些標準的量測讓VNA可用數學方式決定分析儀、測試纜線和轉接器等測試系統中的系統誤差。是德科技一系列連接器產品都有提供校驗套件，包括N型（50歐姆和75歐姆）、7/16、3.5 mm、F型、7 mm、TNC和X頻段、P頻段和K頻段等幾種波導套件。

校驗套件中的標準通常包括開路、短路和負載（O、S、L）。每個連接器系列和屬性的O、S、L定義皆為獨一無二。這些定義內建於FieldFox中，每個測試埠的連接器類型和屬性會在導引式校驗過程中進行選擇。FieldFox會根據選擇的S參數和DUT連接器配置，推薦速度和準確度最佳化的校驗類型。使用者可以根據自己對較高準確度和較短量測時間的偏好，變更校驗類型。表2列出FieldFox提供的機械校驗類型。該表也為每種類型的相對準確度和校驗速度進行匯整。由於部分量測只需要進行正向或反向掃描（例如增強響應和正規化），另一些量測需進行正向和反向掃描（例如全2埠和QSOLT），因此量測速度也與校驗速度相關。

電子校驗（ECal）

ECal是一種完整的固態校驗解決方案。每個ECal模組均包含可在量測校驗過程中自動切換到位的電子標準。這些電子標準已在工廠進行量測，資料儲存在ECal模組的記憶體內。分析儀利用儲存資料以及量測資料，來計算量測校驗誤差。ECal可取代使用機械標準的傳統校驗技術。使用機械標準時，您需在單一校驗中建立多個與測試埠的連線。傳統機械校驗需要由操作人員完成大量的操作，非常容易出錯。採用ECal時，只需要一個到ECal模組的連線即可完成一次完整的單到雙埠校驗，並將操作員互動降到最低。如此一來便可提高校驗速度，並可重複進行。

FieldFox支援的ECal 2埠模組適用於各種連接器類型，涵蓋多個頻率範圍。



是德科技的高性價比電子校驗（ECal）模組使向量網路分析儀的校驗速度更快、操作更簡單且結果更精準。

機械校驗 (續)

全2埠校驗

全2埠校驗是最全面的機械校驗。圖14a說明使用傳統全2埠校驗類型對FieldFox進行校驗所需的步驟，此方式需在每個測試埠連接開路、短路和負載標準。如圖所示，全2埠校驗程序的第一步需建立六個連線，每個測試埠需要三個標準。每個標準都需進行一次正向或反向掃描。第二個步驟是THRU，將兩個測試埠連接在一起。THRU需要正向和反向掃描。建立這七個連線後，便完成校驗作業，校驗平面設定在測試埠末端。圖14b說明連接至兩個測試埠的DUT量測配置。FieldFox採用兩種創新技術來提高機械全2埠校驗的準確度和校驗速度。第一種技術在前文中已討論過，即在機械校驗過程中應用未知THRU。如前所述，未知THRU大幅降低了非插入式DUT的校驗複雜度。第二種技術是全2埠QSOLT。相較於傳統的全2埠校驗，QSOLT的執行速度更快，同時仍然能夠保持高準確度。QSOLT無需在測試埠2量測O、S、L標準，因此可以減少校驗套件標準的量測步驟。QSOLT的唯一要求是測試埠纜線必須能夠相互匹配，無需使用轉接器，換言之，DUT必須為插入式元件。

圖15a顯示使用全2埠QSOLT校驗類型對FieldFox進行量測時需要的步驟。如圖所示，QSOLT校驗程序的第一步是將開路、短路和負載標準連接至測試埠1。每個標準都需進行一次掃描。第二步是THRU，此時會將兩個測試埠連接在一起；此校驗類型不能使用轉接器。THRU需要進行正向和反向掃描。測試埠2的校驗平面會在量測THRU後建立。完成這些步驟後校驗便已完成，校驗平面設定在測試埠末端，其量測準確度和傳統全2埠校驗類似。圖15b顯示了連接至兩個測試埠的DUT量測配置。DUT量測需要進行正向和反向掃描，以從量測到的S參數中完全消除所有系統誤差。

表 2：使用FieldFox VNA機械校驗類型的相對準確度和校驗時間比較

校驗類型	準確度	校驗速度 (機械)	校驗速度 (Ecal)
全2埠	最佳	差	最佳
QSOLT全2埠	最佳	較好	最佳
增強響應	良好	最佳	最佳
響應 (正規化)	差	最佳	最佳
單埠 (僅限單埠DUT)	最佳	較好	最佳

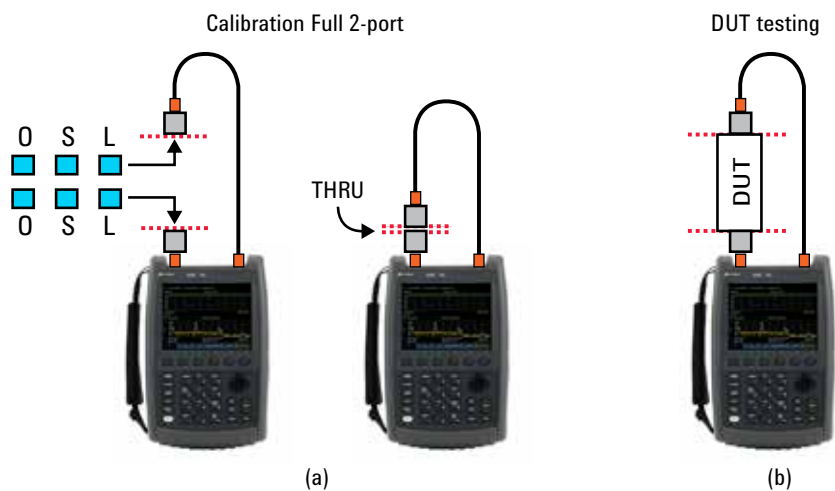


圖14：測試配置：(a) 需要開路、短路和負載 (O、S、L) 校驗標準的全2埠校驗和 (b) 在校驗平面進行量測的DUT連線

機械校驗 (續)

增強響應校驗

當使用者可以接受較低的量測準確度並需要較快的量測速度時，增強響應機械校驗是一個不錯的選擇，可以用來量測正向響應 (S11、S21) 或反向響應 (S12、S22)。增強響應機械校驗類型的功能和之前提到的CalReady類似，不同的是，前者需對O、S、L校驗標準進行量測。CalReady將校驗平面設在FieldFox連接器處，而增強響應機械校驗將校驗平面設在DUT的介面處，從而提高量測精準度。增強響應的校驗過程和圖15a顯示的QSOLT相同。使用增強響應主要的不同點是僅在一個方向進行校驗和量測，正向或反向均可。它會提高量測速度，但由於沒有在兩個方向量測，部分系統誤差得不到修正，從而降低總體量測準確度。

增強響應校驗類型有正向增強響應和反向增強響應兩種選擇。顧名思義，正向校驗類型只會對S11和S21進行量測，而反向校驗則只對S12和S22進行量測。要注意的是，非互易性和互易性元件的選項對於這種機械校驗仍然有效。這些選項先前在本應用說明的CalReady章節已討論過。圖16比較了使用QSOLT校驗 (上方黃色軌跡) 和正向增強響應校驗 (下方藍色軌跡) 對寬頻2到18 GHz低雜訊放大器進行的增益量測。雖然這兩種校驗的機械校驗過程幾乎完全相同，但使用增強響應量測的增益響應在量測到的響應中有更多漣波，這是由未修正的系統誤差造成的。因為DUT是放大器，故圖16中的增強響應校驗相關量測需選擇具非互易性。在此放大器測試中，測試埠輸出功率已被手動減少到-35 dBm，以防止放大器達到飽和。

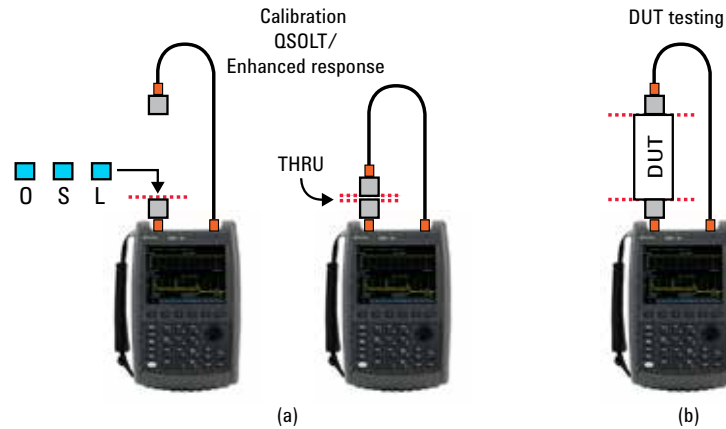


圖15: 測試配置 (a) 需要開路、短路和負載 (O、S、L) 校驗標準的全2埠QSOLT和正向增強響應校驗，與 (b) 在校驗平面進行量測的DUT連線

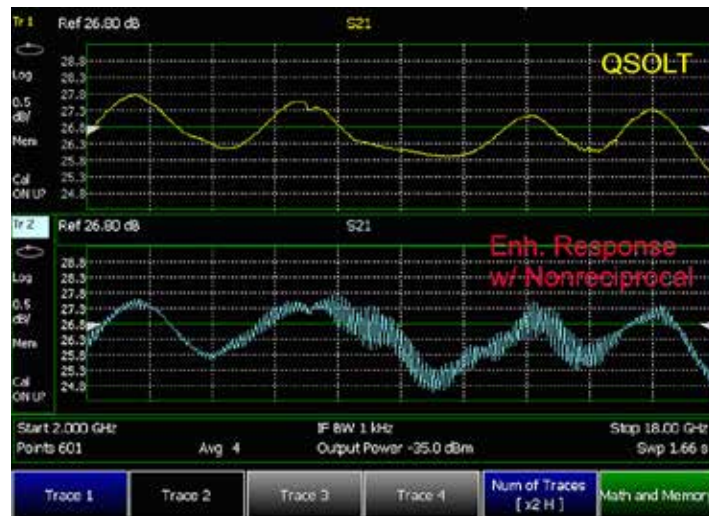


圖16: 使用全2埠QSOLT校驗類型 (上方軌跡) 和非互易定義的增強響應校驗 (下方軌跡)，對寬頻2到18 GHz低雜訊放大器進行增益量測的比較

機械校驗 (續)

單埠OSL和響應 (正規化) 校驗

單埠OSL校驗適用單埠DUT的純反射量測。單埠DUT可以是天線、終端器或檢測器等。量測單埠DUT時，單埠OSL校驗類型可以應用在VNA的測試埠1或測試埠2，並能提供最高量測準確度。單埠OSL機械校驗程序必須在選擇的測試埠上對開路、短路和負載標準進行量測。

響應或正規化校驗執行容易，但只能修正測試系統中的少部分系統誤差，因此準確度非常低。響應校驗本質上是一種正規化量測，其參考軌跡儲存在記憶體中，且後續量測資料會被該記憶體軌跡隔開。此校驗類型適合快速檢查DUT操作，而不需考慮量測準確度的狀況。在大多數情況下，最好只使用內建的CalReady校驗方式。

校驗精靈

FieldFox是一種功能強大的微波VNA，可在使用CalReady和QuickCal校驗類型時提供準確的使用者校驗，無需使用校驗套件。如前所述，校驗套件可適用於野外，FieldFox也可提供一系列機械校驗類型。無論採用QuickCal還是機械校驗類型進行校驗，FieldFox都會以稱為「校驗精靈」的內建引導式校驗程序，提供執行使用者校驗的逐步指示。校驗精靈會顯示每個校驗步驟所需的標準類型和相關埠連線。例如以QuickCal對FieldFox的S11量測進行校驗時，第一步是將連接埠1斷開，下一步是連接負載 (非必要)。每個步驟都會指示使用者按下「量測」鍵，以進行標準量測掃描。當所有標準量測完畢後，校驗精靈會進行錯誤修正，並將儀器顯示器切回量測螢幕。

校驗精靈會根據所選的S參數和DUT連接器類型，推薦能夠提供快速校驗和最高量測準確度的校驗類型。例如，如果將FieldFox設定為量測單一S參數 (如S11)，並選擇機械校驗，校驗精靈便會推薦單埠OSL校驗，並會引導使用者將開路、短路和

負載校驗套件標準連接至VNA連接埠1。經驗豐富的使用者也可以根據特定量測需求和準確度，選擇將推薦的校驗方式換成不同類型。例如圖17a顯示在選擇機械校驗類型時的校驗精靈顯示畫面。校驗精靈推薦使用全2埠校驗類型，但使用者也可以從清單中選擇任何校驗類型，包括增強響應和QSOLT。

如前所述，在使用者校驗中，正確輸入測試配置中的DUT連接器類型非常重要。輸入DUT連接器和相應屬性可讓校驗精靈推薦最佳的校驗類型，確保VNA在誤差修正過程中使用適當的連接器型號。圖17b說明輸入每個測試埠連接器類型和屬性時的校驗精靈顯示畫面。在本範例中，DUT為採用3.5 mm公頭連接器類型的單埠元件。校驗精靈也會指導選擇校驗套件型號。

校驗精靈提供了詳細的指導、連接圖及靈活性，有助於提高分析儀校驗的準確度和速度，是初學者與資深使用者的絕佳選擇。校驗精靈是VNA和CAT量測模式的一部分，適用FieldFox所有射頻和微波型號。



圖17: (a) 選擇校驗類型和 (b) 選擇DUT連接器類型時的FieldFox校驗 (Cal) 精靈顯示畫面

結語

本應用說明介紹了使用FieldFox進行向量網路分析儀校驗的最新進展。結果顯示，FieldFox CalReady和QuickCal校驗類型可提供非常高的量測準確度，同時省去將校驗套件帶至野外的需求。我們也對FieldFox多種校驗選項的校驗程序和量測進行了比較。

如欲了解哪種校驗套件適合您，請造訪 www.keysight.com/find/ecal



FieldFox手持式分析儀可在野外測試環境中提供與桌上型儀器相媲美的準確度，並具有符合軍用標準的耐用性，能夠廣泛應用於衛星通訊、微波回傳、軍事通訊、雷達系統等領域。

參考資料

- [1] [在野外環境中執行精準的干擾量測的技術](#)，應用說明，文件編號5991-0418ZHA。
- [2] [在野外執行精確纜線和天線量測的技巧](#)，應用說明，文件編號5991-0419ZHA。
- [3] [是德科技網路分析儀基礎知識](#)，文件編號5965-7917ZHA。
- [4] [是德科技射頻與微波測試配件、波導配件](#)，文宣傳單。
- [5] [向量網路分析儀的電子校驗 \(ECal\) 模組](#)，技術總覽，文件編號5963-3743ZHA

精密儀器不離手。

進行野外量測時，每多帶一項工具，就會多一些不便。Keysight FieldFox分析儀的設計理念是提供出色功能並證明其必要性，FieldFox分析儀能夠處理例行維護、深入的故障排除，以及介於兩者之間的任何工作。更棒的是，不論您走到哪裡，FieldFox都可提供具是德科技品質保證的量測結果。將FieldFox加入您的工具套件，您便可精密儀器不離手。

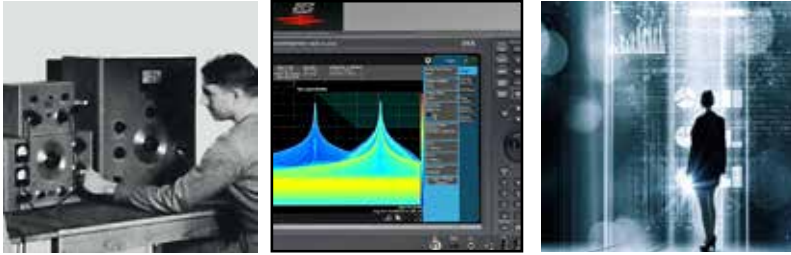
相關文件	編號
FieldFox手持式分析儀，技術總覽	5992-0772ZHA
FieldFox手持式分析儀，產品規格書	5990-9783ZHA
FieldFox手持式分析儀，配置指南	5990-9836ZHA
FieldFox N9912A射頻分析儀，技術總覽	5989-8618ZHA
FieldFox N9912A射頻分析儀，產品規格書	N9912-90006
FieldFox N9923A射頻向量網路分析儀，技術總覽	5990-5087ZHA
FieldFox N9923A射頻向量網路分析儀，產品規格書	5990-5363ZHA

如欲下載其他應用說明、觀看影片及了解更多，請造訪：
www.keysight.com/find/FieldFox

演進

是德科技獨一無二的硬體、軟體，支援及專家組合，可協助您拓展全新的局面。

讓我們是帶動前瞻技術不斷演進的推手。



薪火相傳 - 惠普將火炬傳給安捷倫，再由安捷倫交棒給是德科技

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢

聯絡窗口查詢：

www.keysight.com.tw/find/contactus

台灣是德科技網站：

www.keysight.com.tw

台灣是德科技股份有限公司

免費客服專線：0800-047-866

104 台北市復興南路一段 2 號 7 樓

電話：(02) 8772-5888

324 桃園市平鎮區高雙路 20 號

電話：(03) 492-9666

802 高雄市四維三路 6 號 25 樓之 1

電話：(07) 535-5035

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊。

是德科技服務

KEYSIGHT SERVICES
Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

www.keysight.com/find/service

是德科技擁有領先業界且陣容堅強的專業人員、量測程序和測試工具，可提供一應俱全的設計、測試和量測服務。如此一來，我們協助您部署新技術，並改善量測程序，以便降低成本。



三年保固

是德科技的卓越產品與長達 3 年保固服務的完美結合，助您一臂之力達成業務目標：增強操作便利性，降低持有成本，增強量測信心。



是德科技保固保證方案

www.keysight.com/find/AssurancePlans

是德科技提供長達十年保固，以避免任何意外的維修費用，確保儀器能夠在規格範圍內運作，讓您能永遠信賴儀器提供的量測準確度。

是德科技銷售夥伴

www.keysight.com/find/channelpartners

兩全其美：是德科技專業的量測技術與齊備的產品，搭配是德科技銷售夥伴的服務與彈性價格。

DEKRA Certified
ISO9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

是德科技 -

DEKRA Certified ISO 9001:2015

品質管理系統。

本文件中的產品規格及說明如有修改，恕不另行通知。

© Keysight Technologies, 2006-2014, 2018

Published in USA, March 25, 2018

中文版：5991-0421ZHA

www.keysight.com.tw