

# VNA 基礎介紹

入門手冊



向量網路分析儀 (或稱VNA) 是一個重要的測試儀器，已協助開發了無數的現代無線技術。今天，VNA則用於廣泛的射頻和高頻應用。在設計應用中，設計人員會使用模擬來減少實體原型迭代以加速上市時間。VNA即是用於驗證這些設計模擬。在製造應用中，射頻組件或裝置會根據一組規格進行組裝和測試。VNA可以快速準確地驗證這些射頻組件和裝置的效能。

本文討論了與其他射頻測試設備相比，VNA 的使用原理及其獨特之處。我們將定義 S 參數、基本的 VNA量測，以及在評估您的待測裝置或 DUT 時如何充分使用這些量測。我們將回顧各種 VNA校準技術，並展示 VNA使用者校準如何有助於實現最佳準確度。最後，我們將回顧典型的 VNA 量測，如掃頻量測、時域量測和掃描功率量測，以及其使用方式與重要性。

## 目錄

向量網路分析儀概述 .....	3
誰需要 VNA .....	4
基本 VNA 操作 .....	6
主要規格 .....	6
VNA 與頻譜分析儀 .....	8
瞭解 S 參數 .....	9
量測誤差的類型 .....	11
校準技術 .....	12
什麼是使用者校準 .....	12
VNA 校準方法 .....	13
校準標準 .....	14
典型 VNA量測 .....	15
掃頻量測 .....	15
時域量測 .....	16
掃描功率量測 .....	16
測試多連接埠組件 .....	17
總結 .....	18

不適用於量測  
WiFi 網路



不適用於驅動測試  
手機網路



不適用於電腦  
網路或雲端



圖 1. 今天存在各種各樣的網路，每個都有自己的網路分析儀。本文中討論的向量網路分析儀可用於不同類型的網路，並且早在這些網路存在之前就已定義好了。

## 向量網路分析儀概述

今天，「網路分析儀」一詞用於描述各種「網路」的工具(圖 1)。例如，今天的大多數人都擁有在 3G 或 4G「網路」上運作的手機。此外，我們的大部分住家、辦公室和商業場所都有 Wi-Fi 或無線 LAN「網路」。此外，許多電腦和伺服器都設定在與雲端連接在一起的「網路」中。對於這些「網路」，均存在一個可驗證效能、地圖覆蓋區域和識別問題區域的網路分析儀工具。

然而，本文所介紹的網路分析儀是用於不同類型的網路，並且早在這些網路存在之前即已進行定義。第一個 VNA 在 1950 年左右發明，被定義為量測電子網路的網路參數的儀器(圖 2)。事實上，我們可以說，多年來 VNA 已用來協助開發上述所有的網路技術。從手機網路到 Wi-Fi 網路，到電腦網路和雲端，今天所有最常用的技術網路皆可使用 60 年前首次發明的 VNA 進行量測。

## Tektronix 2016



圖 2. 向量網路分析儀 (或 VNA) 於 1950 年代發明，現今在世界各地已廣泛使用。

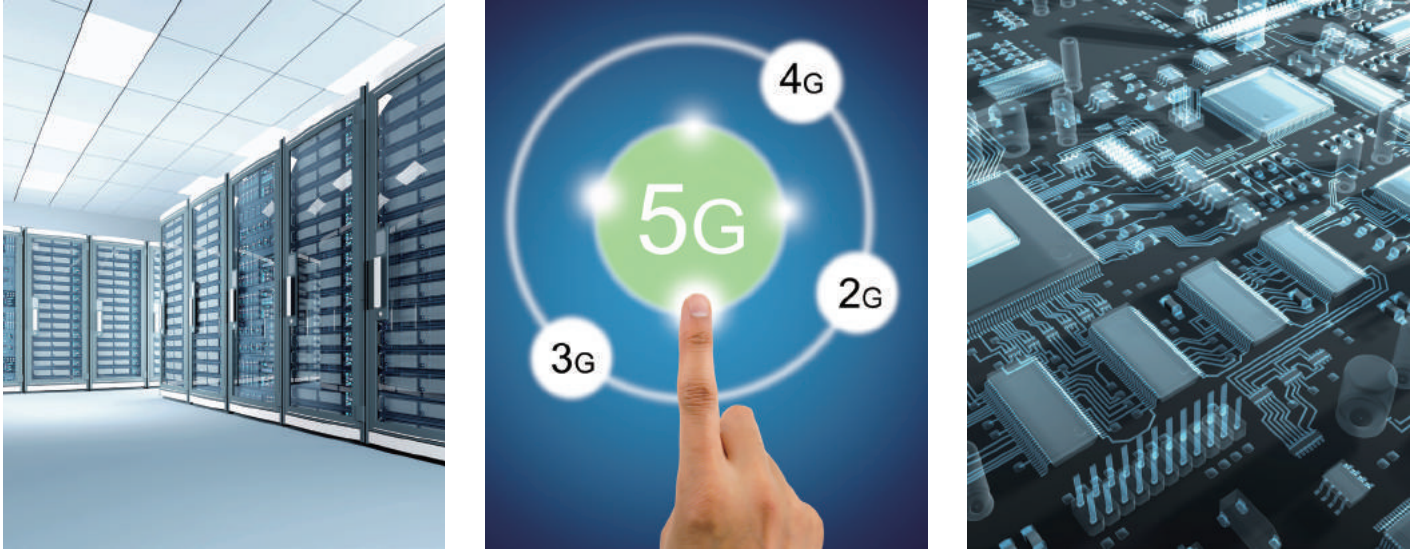


圖 3. VNA 協助開發了大多數的現代技術。

### 誰需要 VNA

所有無線解決方案均具有發射器和接收器，且每個均包含許多射頻和微波組件。這不僅包括智慧型手機和 WiFi 網路，還包括連線的汽車和 IoT (物聯網) 裝置。此外，現今的電腦網路還能以如此高的頻率運作，而且在射頻和微波頻率上傳遞訊號。圖 3 顯示了現今在 VNA 的協助下存在的一系列範例應用。

VNA用於測試組件規格並驗證設計模擬，以確保系統及其組件可正常運作。研發工程師和製造測試工程師通常在產品開發的各個階段使用VNA。組件設計人員需要驗證其組件的效能，例如放大器、濾波器、天線、電纜、混波器等，而系統設計人員則需要驗證其組件規格，以確保系統的效能可達到其子系統和系統規格。生產線則使用VNA來確保所有產品在出貨以供客戶使用之前均符合要求。在某些情況下，VNA甚至可用於現場操作，以驗證部署的射頻和微波系統，並進行相關的疑難排解。

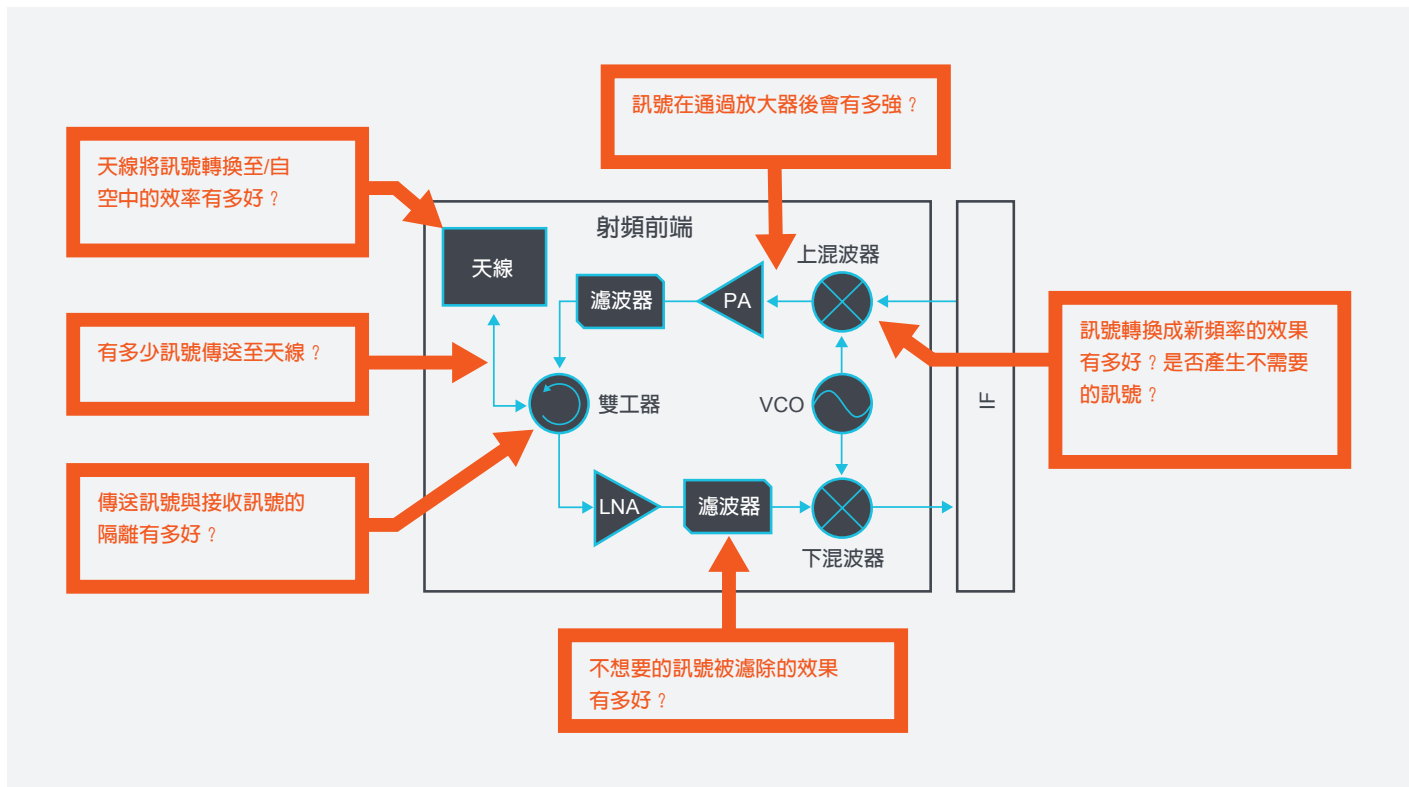


圖 4. VNA 可用於驗證組件、子系統和系統級效能。

例如，圖 4 顯示了射頻系統前端，以及使用 VNA 測試系統的不同組件和零件。對於天線而言，您務必要瞭解天線如何有效地將訊號轉換到空中。我們稍後將會解釋，這是由使用 VNA 量測天線的回波損耗或 VSWR 來確定。

看看圖 4 的右側，上混波器擷取 IF 訊號，並將其與振盪器 (VCO) 混合以產生射頻訊號。訊號轉換成新頻率的效果如何？是否產生不需要的訊號？驅動混波器最有效的功率位準是多少？您可以使用 VNA 來回答這些問題。

從系統設計的角度來看，有多少訊號通過射頻板 and 離開天線？在接收端，雙工器在發送和接收訊號之間提供的隔離多有效？所有這些問題都可以使用 VNA 來回答。

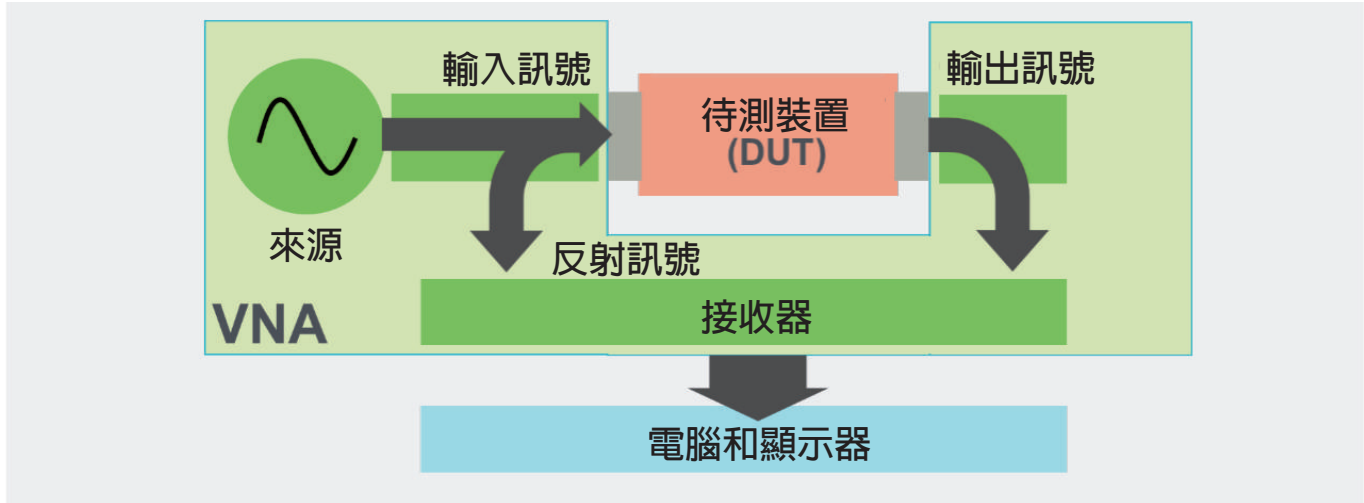


圖 5. VNA 包含刺激來源和接收器，可提供非常精確的閉合迴路，以評估 DUT。

### 基本 VNA 操作

VNA 的獨特特徵之一是包含用於產生已知刺激訊號的來源，以及一組接收器，可用於確定由待測裝置 (或 DUT) 引起的刺激變更。圖 5 顯示了 VNA 的基本操作。為了簡單起見，其中僅顯示了來自連接埠 1 的來源，不過現今大多數的 VNA 均是多路儀器，可以為任一個連接埠提供刺激訊號。

刺激訊號會注入到 DUT 中，且 VNA 會量測從輸入端反射的訊號以及通過 DUT 輸出端的訊號。VNA 接收器量測結果訊號，並將其與已知的刺激訊號進行比較。然後量測結果由內部或外部 PC 處理並傳送到顯示器。

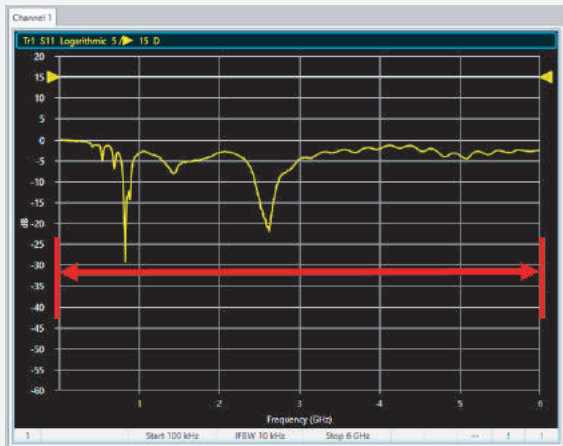
市場上有各種不同的 VNA，每種都有不同數量的連接埠和刺激訊號流動的路徑。若為單一連接埠的 VNA，DUT 會連接到圖 5 的輸入端，只有反射訊號可以量測。對於雙連接埠單路徑 VNA，可以量測反射和發射訊號 (S11 和 S21)，但是 DUT 必須實際反轉才能量測反向參數 (S22 和 S12)。對於雙連接

埠雙路徑 VNA，DUT 則可連接到任一方向的連接埠，因為儀器具有反轉訊號流的能力，所以可以量測連接埠 (S11 和 S22) 的反射及正向和反向傳輸 (S21 和 S12)。

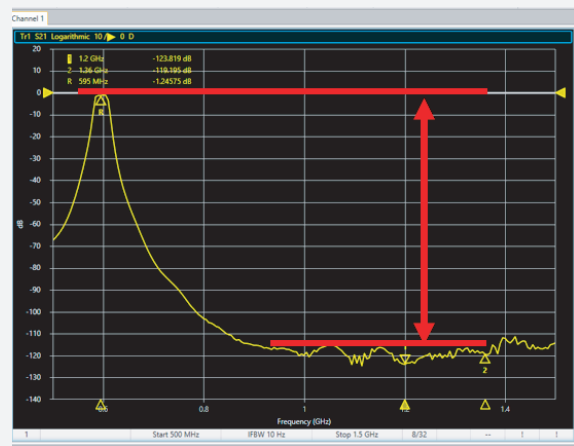
### 主要規格

在確定您對 VNA 的需求時，您需要考慮幾個關鍵規格。雖然有許多 VNA 規格，但是有四個頂級規格可用於指導您的選擇過程：頻率範圍、動態範圍、軌跡雜訊和量測速度。

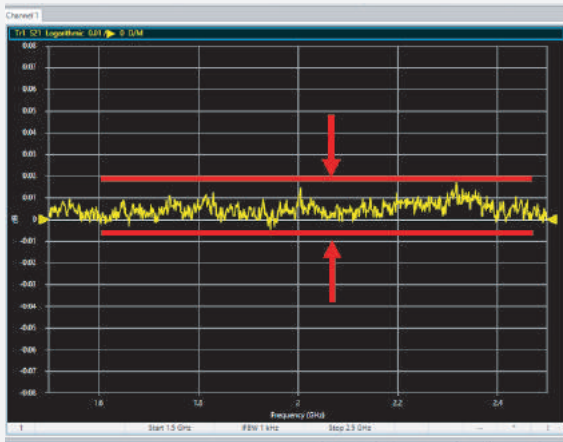
頻率範圍是第一個也是最關鍵的規格 (圖 6a)。所以，在決定頻率範圍時最好不僅要考慮您的即時需求，還要考慮潛在的未來需求。此外，當所有 DUT 均具有指定的操作頻率時，對於某些 DUT，您可能還需要考慮諧波頻率。主動式組件 (例如放大器、轉換器和混波器) 可能需要在其操作頻率的 2 到 5 倍的諧波頻率下進行測試。濾波器和雙工器也可能需要在其通帶諧波下進行測試。雖然可能需要較高的頻率範圍，但最大頻率範圍可以作為 VNA 的主要成本驅動因素。



(a) 頻率範圍



(b) 動態範圍



(c) 軌跡雜訊



(d) 量測速度

圖 6. 頂級 VNA 規格可用於快速確定應用所需的儀器等級。

動態範圍是指定頻率範圍內從最大到最小的可量測衰減範圍(圖 6b)。根據 DUT 的所需效能，您需要確保最大 DUT 衰減規格的振幅比 VNA 動態範圍規格至少低 3 至 6 dB。現今大多數的 VNA 皆可提供非常好的動態範圍(~120 dB)，此範圍足以供許多應用使用。一些極高效能的組件可能需要更昂貴的 VNA 解決方案。

軌跡雜訊可量測由 VNA 產生和進入量測的隨機雜訊有多少：這通常是以毫 dB (0.001 dB) 為單位的量測。軌跡雜訊可能是決定某個組件準確度的關鍵因素(圖 6c)。例如濾波器通帶中

可接受的漣波位準。如果您需要特定的效能等級以確定通過濾波器的訊號準確度，則外加的 VNA 軌跡雜訊便可能是一個影響因素。

最後，要考慮的其他規格之一是量測速度(圖 6d)。量測速度是執行單次掃描或量測所需的時間。這可能是大量生產應用中最關鍵的要求。如果您考慮智慧型手機中使用的組件，則每年可能會有數十億個組件。有效減少測試時間對於組件的成功至關重要。然而，對於許多研發和小量的生產應用而言，VNA 量測速度便不會造成問題。

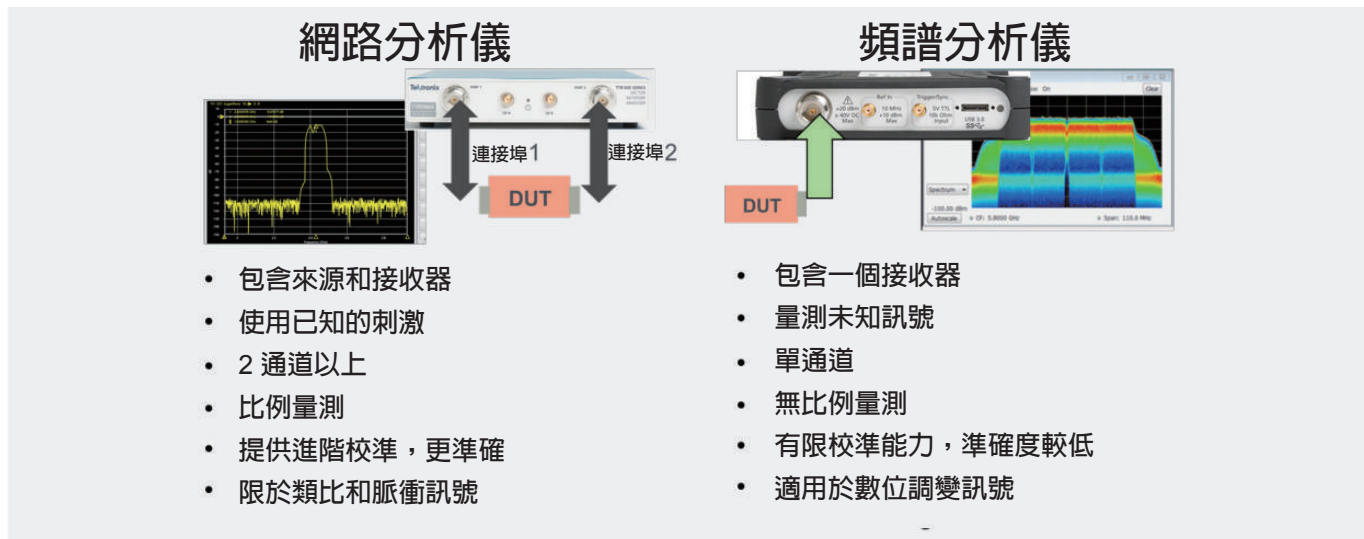


表 1. 比較 VNA 和頻譜分析儀

## VNA 與頻譜分析儀

有些設計工程師可能擁有 VNA 或頻譜分析儀的使用經驗；有些則可能是射頻測試的新手，也不熟悉這些儀器。VNA 和頻譜分析儀是兩種最常用的射頻測試儀器。但是網路分析儀和頻譜分析儀有什麼區別？什麼時候會需要其中一種儀器，或兩種儀器都需要？表 1 提供了每個儀器的比較。

首先，要考慮您需要量測什麼類型的訊號。當量測數位調變訊號時，頻譜分析儀將會是您的首選儀器。例如，若目標是量測 Wi-Fi 和 LTE 訊號的效能，則只有頻譜分析儀可以執行這些量測。

如前所述，VNA 包含來源和接收器。這使其能夠使用已知的刺激來激發 DUT，以及多個接收器來量測其回應。VNA 可具有多個通道和連接埠，允許其接收器同時量測 DUT 的輸入和輸出。

頻譜分析儀通常用於量測可能是透過天線或組件輸出在空中傳輸的未知訊號。此類儀器也傾向於單通道儀器，一次只能

量測 DUT 的一個輸出。另一方面，VNA 不會量測訊號，而是量測被動或主動裝置的固有射頻特性。

使用已知的激勵和多個接收器，VNA 可以精確地量測 DUT 的振幅和相位特性。此向量資訊可讓使用者進行完整的裝置特性分析。使用向量誤差校正也可以達到更大的準確度和動態範圍。此獨特的使用者校準能力 (將於稍後討論) 使 VNA 能夠排除電纜、轉接器和夾具的影響。

有些頻譜分析儀提供了內建的追蹤產生器 (SA w/TG)，從而使其具有與 VNA 相同的功能。從根本上說，VNA 的工作方式與 SA w/TG 的工作方式相同。然而，兩種儀器解決方案的關鍵區別在於 VNA 可使用多個接收器來量測比例的量測。SA w/TG 非常適合單連接埠反射量測，也可執行校正程序。然而，對於使用 SA w/TG 進行的傳輸量測，雖可進行量測，但其準確度無法與 VNA 相提並論。正如我們稍後所討論的內容，主要的原因是因為完整的雙連接埠誤差校正程序只能在 VNA 上進行。除此之外，大多數 SA w/TG 也不會顯示相位資料，這在許多射頻測試應用中卻是至關重要的資訊。



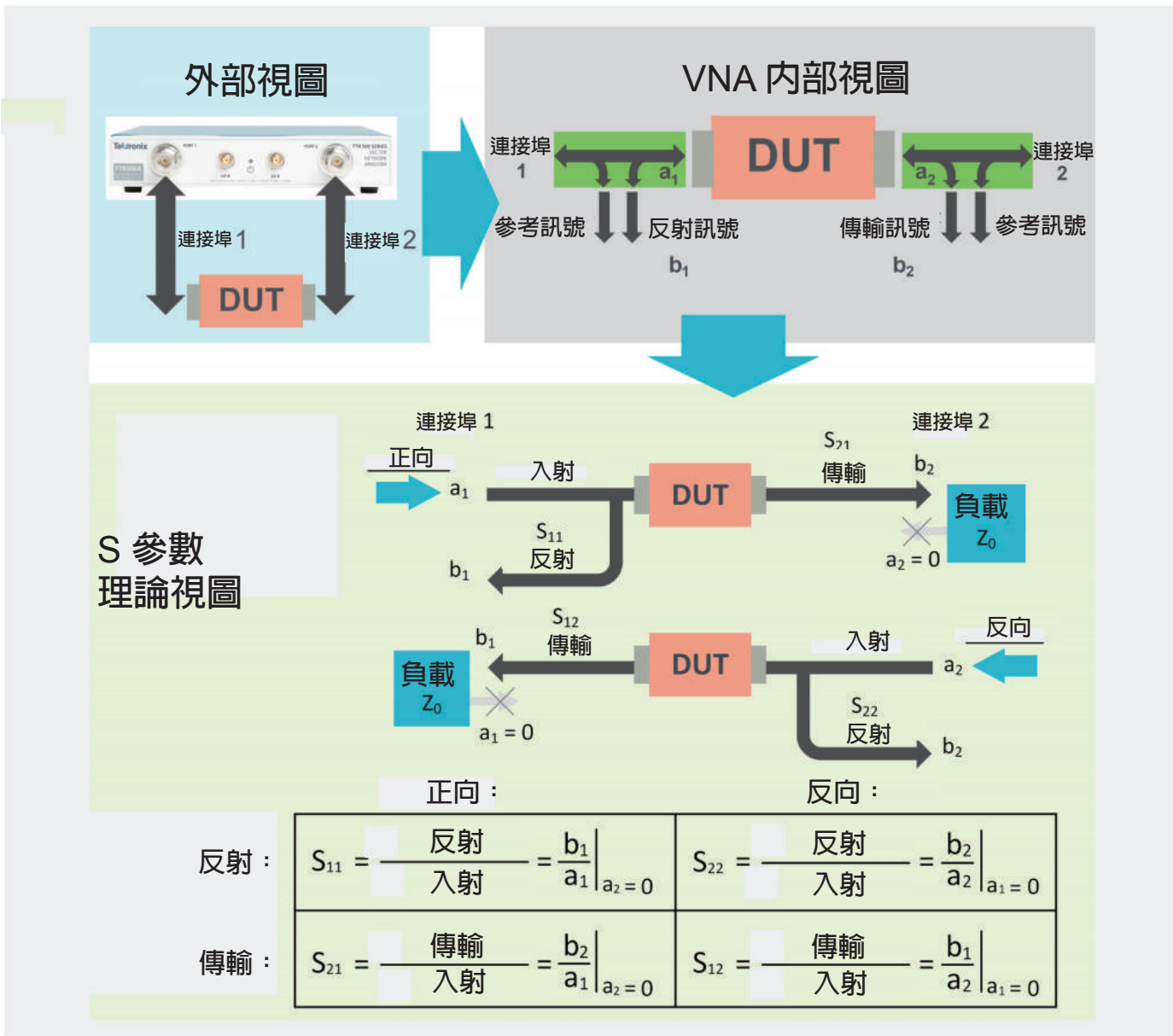


圖 7. 瞭解 S 參數。

### 瞭解 S 參數

由於通常難以在高頻下量測電流或電壓，因此會改為量測散射參數 (或 S 參數)。這些參數可用於分析組件的射頻組件或網路

電氣特性或效能，且與熟悉的量測相關，例如增益、損耗和反射係數。若要瞭解如何使用 VNA 來分析 DUT 的特性，請務必瞭解 S 參數的基本知識。圖 7 簡單解釋了 S 參數概念。

如果我們從外部視圖開始，VNA 通常有兩個 (或更多) 連接埠，可以直接或使用電纜和轉接器連接到 DUT。在這種情況下，這些連接埠會標註為連接埠 1 和連接埠 2。

接下來，讓我們考慮內部視圖。用於評估多連接埠網路行為的常用做法是在每個連接埠將入射波作為刺激，並量測所得的出射波 (從施加功率的連接埠反射，或通過裝置傳輸到其餘的連接埠)。一般而言，進入網路或 DUT 的波被稱為入射波，離開網路或 DUT 的波則稱為反射波，儘管每個波都可能由其他連接埠的反射和傳輸的組合所組成。

入射波被指定為  $a_n$ ，且反射波被指定為  $b_n$ ，其中  $n$  是連接埠編號。 $a$  和  $b$  波均是相量，在指定的網路連接埠終端具有振幅和相位。

在兩個 VNA 連接埠接頭的後面是定向耦合器 (圖 7 中的綠色框)。這些定向耦合器會將已知的刺激訊號傳遞到 DUT 的任一端 ( $a_1$  或  $a_2$ )。

首先，將刺激訊號的一部分作為參考訊號。 $S$  參數定義為來自各種連接埠的訊號相對於此參考的比值。同時，有一些刺激訊號在進入 DUT 時即會反射 ( $b_1$ )。反射的輸入訊號部分是將接收器連接到 VNA 內的連接埠 1 進行量測，而進入 DUT 的輸入訊號部分通常會在其通過時經歷振幅和相位的變化。從連接埠 2 所發射的部分則是由連接埠 2 ( $b_2$ ) 上的 VNA 接收器進行量測。

請務必注意，由於 VNA 是雙向儀器，所以連接埠 2 也可能是發射已知刺激的地方 (在這種情況下為  $a_2$ )，量測程序相同但以相反的方向進行。

所以現在我們已更深入地瞭解 VNA 如何運作，讓我們將內部視圖轉換成  $S$  參數理論視圖。藉由使用  $a$  (入射) 和  $b$  (反射) 波，線性網路或 DUT 可以透過一組方程式 (就所有連接埠的入射波描述來自每個連接埠的反射波) 來進行特性分析。在這些條件下分析網路特性的常數即稱為  $S$  參數。

在圖 7 所示的正向情況中，連接埠 1 會發送  $a_1$  訊號，相符的負載應用於連接埠 2，導致在負載處產生零訊號反射 ( $a_2 = 0$ )。 $S_{11}$  對應於連接埠 1 處的反射係數，或  $b_1$  相對於  $a_1$  的比值。 $S_{21}$  則是通過 DUT 的正向傳輸係數，且為  $b_2$  與  $a_1$  的比值。

在反向情況中，連接埠 2 會發送  $a_2$  訊號，相符的負載則應用於連接埠 1 ( $a_1 = 0$ )。 $S_{22}$  對應於連接埠 2 處的反射係數，或  $b_2$  相對於  $a_2$  的比值。 $S_{12}$  則是通過 DUT 的反向傳輸係數，且為  $b_1$  與  $a_2$  的比值。

請注意，在  $S$  參數命名 ( $S_{yx}$ ) 中，第二個數字 ( $x$ ) 表示發端連接埠，而第一個數字則是目的地連接埠 ( $y$ )。理論上， $S$  參數理論可以應用於具有無限數量之連接埠的網路。例如，四連接埠 VNA 將具有 16 個  $S$  參數：從  $S_{11}$ 、 $S_{12}$ 、 $S_{13}$ 、 $S_{14}$ 、 $S_{21}$ ...  $S_{44}$ 。這些  $S$  參數均遵循相同的理論，並且是每個指定的連接埠之間的比例量測。

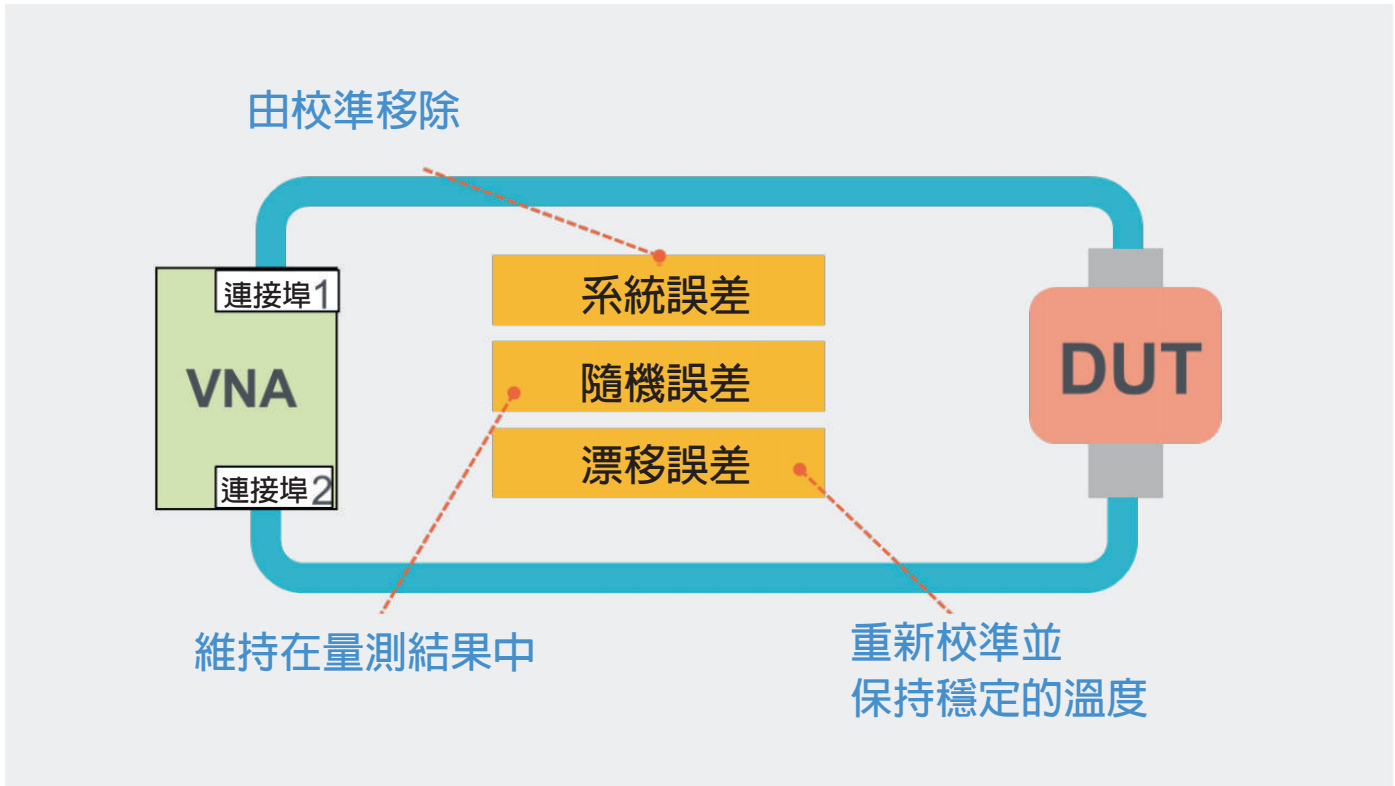


圖 8. VNA 量測誤差的類型。

### 量測誤差類型

在使用 VNA 進行任何量測之前，您必須對其進行校準，以減少可能影響量測的誤差。在進行 VNA 校準之前，瞭解量測誤差將有所助益，因為並非所有的誤差均可經由過這種方式降至最低。

量測誤差有三種主要類型 (圖 8)。量測誤差的類型包括系統誤差、隨機誤差和漂移誤差。系統誤差是測試設備或測試設定中的缺陷，通常是可預測的誤差。範例包括 VNA 接收器在其頻率範圍內的頻率回應中的輸出功率變化或漣波。而同樣重要的是，將 DUT 連接到 VNA 的射頻電纜的功率損耗會隨著頻率而增加。由於這些誤差是可預測的現象，且是設備中的缺陷，因此可以經由使用者校準輕鬆地進行分解。

量測誤差的第二個來源是由隨機誤差所引起。這是由於測試設備發出的雜訊或測試設定隨時間而變化所導致的誤差。此誤差數量很重要，因為即使在使用者校準完成之後量測的結果內仍存在著此誤差，而且，此誤差也決定了在量測中可以達到的準確程度。先前討論的追蹤雜訊即是隨機誤差的例子之一。

誤差的第三個來源是漂移誤差，這與量測隨時間漂移有關。這些是在執行使用者校準之後發生在測試設備和測試設定中的差異。範例是設定所面臨的溫度波動、濕度波動和機械移動。有時我們會採用恆溫和恆濕的實驗室來減少隨時間而產生的漂移誤差。測試設定隨時間漂移的數量決定了測試設定需要重新校準的頻率。

## 校準技術

### 什麼是使用者校準

在射頻和微波測試設備中，VNA具有獨特的校準技術。雖然VNA類似於其他射頻和微波測試設備(因為經過原廠校準)，並且通常需要進行年度檢查以確保其可正常運作，但VNA的不同之處在於具有額外的「使用者校準」，可以在進行量測之前由使用者執行。圖9顯示了原廠和使用者校準的不同參考平面。

原廠校準涵蓋在測試連接埠接頭處的VNA效能。儀器效能是根據符合定義的參數組(頻率、功率等)的輸入訊號而定。在VNA的情況中，不僅能從接收器的角度對其進行準確量測，還具有原廠校準確保來自VNA的已知刺激已指定並能正常運行。

基本上，這可確保輸出訊號符合規格，且輸入訊號將可準確表示。此原廠校準類似於在具有追蹤產生器的頻譜分析儀上所執行的原廠校準。

擁有已知的刺激和內建在同一儀器內的接收器，使VNA具有獨一無二的功能來執行額外的「使用者校準」。如前所述，VNA可量測振幅和相位，這意味著使用者校準可執行向量誤差校正。這項能力使VNA成為最準確的射頻測試儀器之一。使用者校準使VNA能夠排除電纜、轉接器以及DUT連接中使用的大多數組件的影響。透過消除附件的影響，使用者校準將可對DUT效能進行精確的量測。這使得設計人員能在將DUT置入子系統中時更充分瞭解DUT效能。

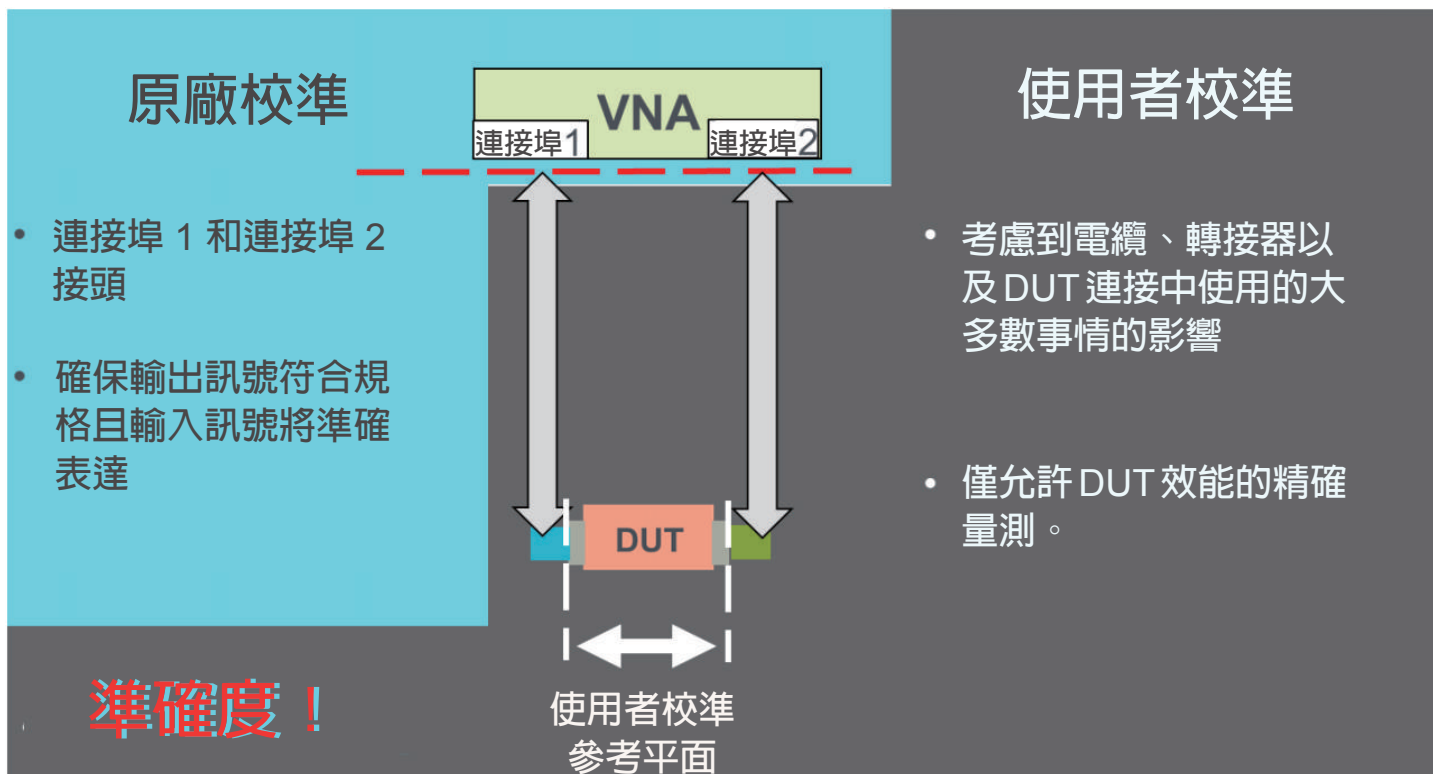


圖 9. VNA 提供原廠和使用者校準。

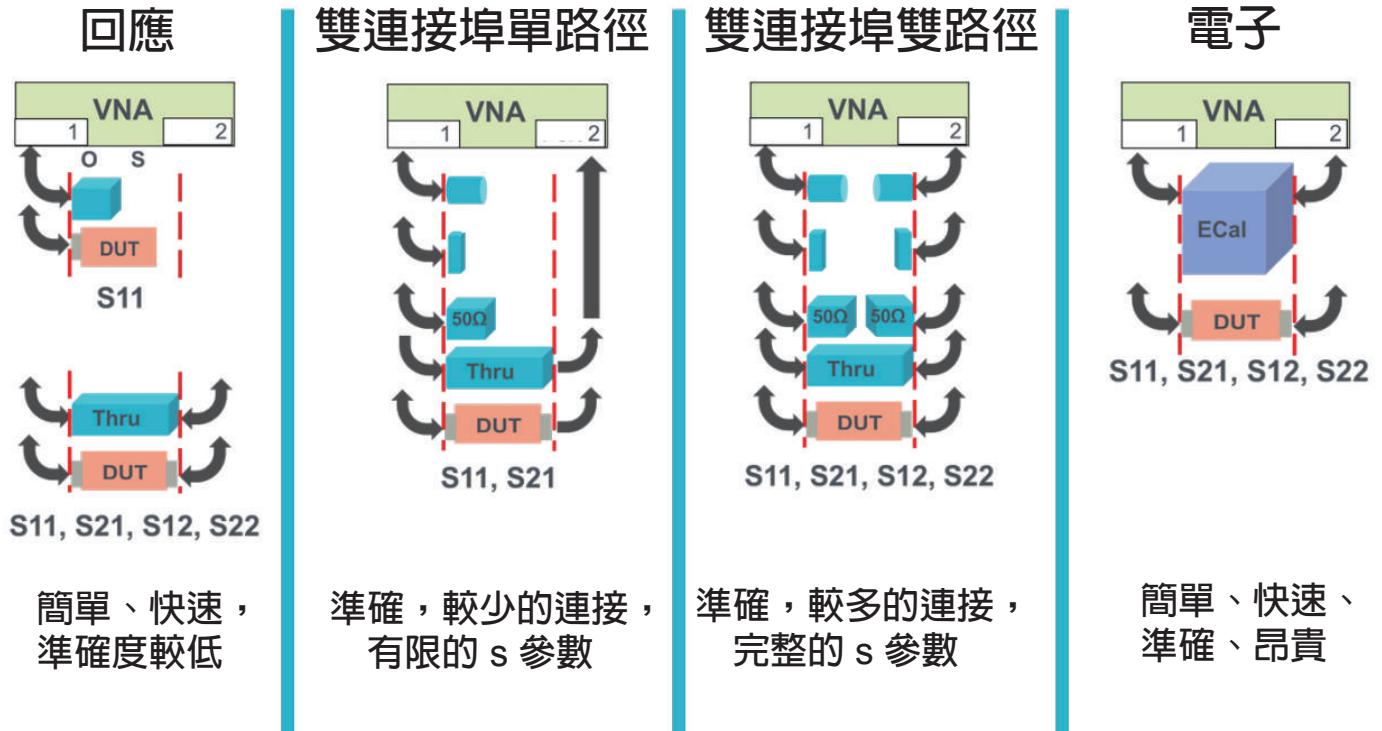


圖 10. VNA 校準方法。

VNA 校準方法

現在我們瞭解「使用者校準」在量測誤差分解中的重要性，我們可以繼續討論不同的使用者校準方法。目前有許多不同的 VNA 校準方法，您需要的複雜性取決於您所需的準確度，甚至是您的預算 (圖 10)。在本節中，我們將回顧一些較為常見的方法。

最簡單的方法是回應校準。快速又容易，但不如其他方法準確。例如，如果您只需要  $S_{11}$  或反射量測，您可以使用開路或短路來量測測試設定回應。如果只需要  $S_{21}$  或傳輸量測，您可以只使用直通標準。回應校準很容易執行，而且根據您所需的準確度，此校準可能就足夠滿足您的需求了。

接下來，雙連接埠單路徑方法更準確，但連接少於完整的雙連接埠雙路徑校準。當您對一組有限的 S 參數 (例如  $S_{11}$ 、 $S_{21}$ 、 $a_2 = 0$ ) 感興趣時，此方法效果很好。在這種情況下，VNA 只會從連接埠 1 發送。其優點是在校準期間會使用較少的連接。

雙連接埠雙路徑校準方法與雙連接埠單路徑校準基本上相同，但在連接埠 2 側增加了開路短路負載量測。此方法提供了一個精確的完整 S 參數量測能力，不過，缺點是需要很多連接。額外的步驟可能導致潛在的程序誤差，因為您需要多次量測和替換標準。

最後，還有電子校準方法。只需連接電子校準標準，VNA 即可對  $S_{11}$ 、 $S_{21}$ 、 $S_{12}$  和  $S_{22}$  進行簡單、快速、非常精確的校準，所有這些校準僅需使用一組連接。這種單一連接非常有價值，因為這降低了在校準過程中插入錯誤標準的可能性。通常，電子校準標準是可用的最昂貴的校準方法。然而，此類校準可有效簡化校準程序，同時提供高準確度的結果，進而增升了顯著的價值。

### 校準標準

根據校準方法的類型，使用者校準中使用的VNA校準標準有幾種類型。最常見的校準標準包括短路、開路、負載和直通 (SOLT)。VNA 使用者校準是使用這些已知的標準搭配短路、開路、精密負載 (通常為 50 歐姆) 和直通連接執行。校準標準最好採用與DUT相同的接頭類型和性別。這可讓 DUT 或校準標準成為校準和量測之間的唯一變化。

不幸的是，您無法制訂出完善的校準標準。短路總是存在一些電感；而開路總是會存在一些邊緣電容。VNA會儲存有關特定校準套件的資料，並自動更正這些缺陷。特定校準套件標準的定義取決於 VNA 的頻率範圍。在某些校準套件中，公接頭上的資料與母接頭不同，因此在校準之前，使用者可能需要在 VNA 的使用者介面內指定接頭的性別。

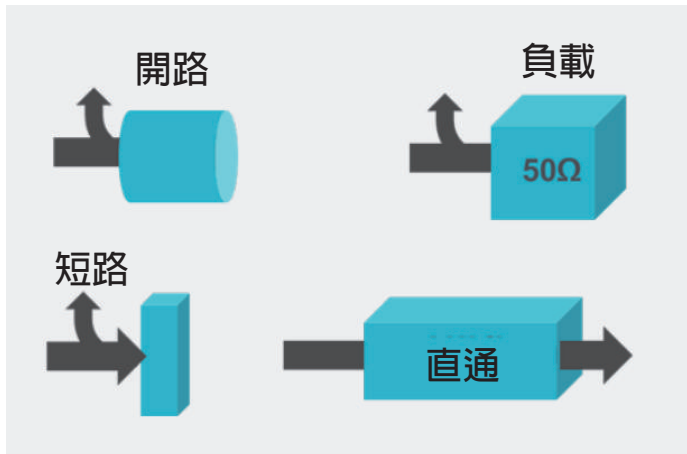


圖 11. 校準標準通常包括短路、開路、負載和直通。

校準標準可以透過幾種不同的方式實現 (圖 12)。首先引入了各自的機械標準，每個標準分別製造和分析特性。個別標準可提供優秀的準確度，並為各種測試設定提供靈活性。



個別機械標準



4 合 1 機械標準

圖 12. VNA 校準標準的類型。

今天，4 合 1 的機械校準套件在單個機械裝置中整合了開路、短路、負載和直通等選項。如前所述，還有由電腦和 USB 驅動的自動電子校準標準。這提供了一種非常精確的自動校準，並將校準簡化至單一連接集合，進而顯著減少人為的錯誤。

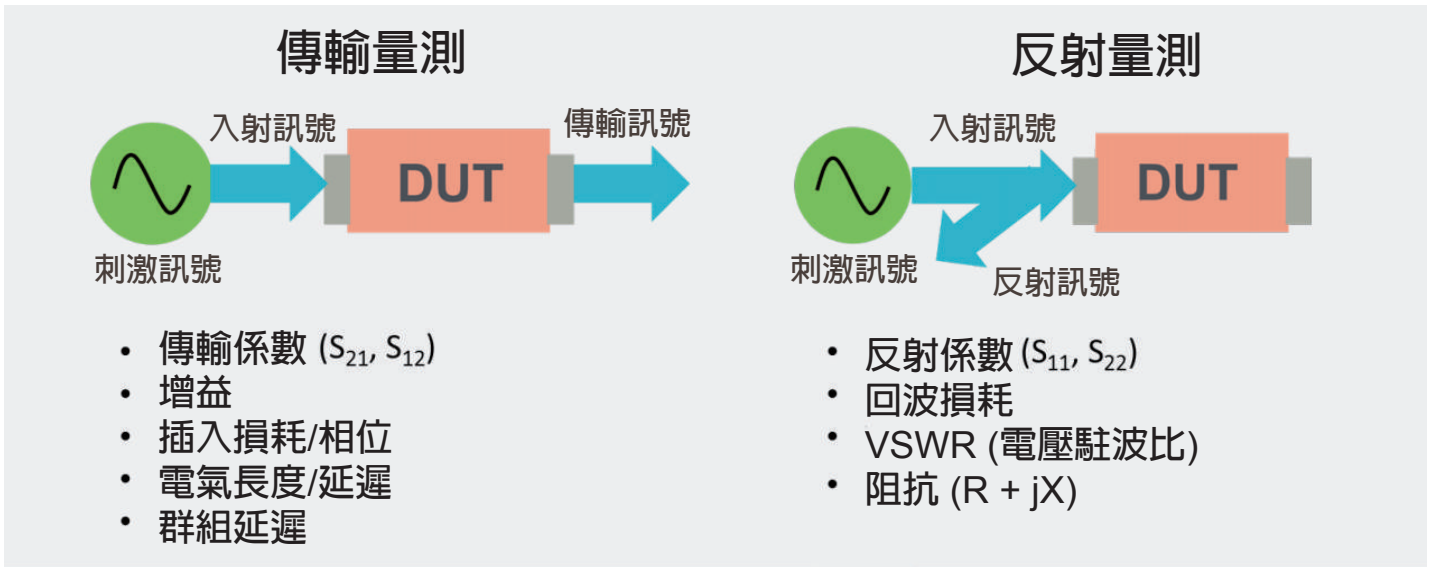


圖 13. VNA 執行傳輸和反射量測。

### 典型 VNA 量測

VNA執行兩種量測：傳輸和反射(圖13)。傳輸量測會通過流經 DUT 的 VNA刺激訊號，然後由另一側的VNA接收器進行量測。最常見的傳輸 S 參數量測是  $S_{21}$  和  $S_{12}$  (大於兩個連接埠則為  $S_{xy}$ )。掃頻量測是傳輸量測的一種形式。傳輸量測的其他一些範例包括增益、插入損耗/相位、電氣長度/延遲和組延遲。相反，反射量測會量測入射到 DUT 上的 VNA刺激訊號的一部分，但不會通過訊號。相反，反射量測會量測由於反射而返回到來源的訊號。最常見的反射 S 參數量測是  $S_{11}$  和  $S_{22}$  (大於兩個連接埠則為  $S_{xx}$ )。

#### 掃頻量測

掃頻頻率量測非常實用，因為量測會掃描使用者定義的一組頻率和步進點的內部來源。您可以從此進行各種量測，包括 S 參數、單個入射和反射波 (例如  $a_1$ 、 $b_2$ )、振幅、相位等。圖 14 顯示了被動式濾波器的掃頻傳輸量測試範例。這種類型的濾波

器量測顯示了訊號在通過組件時會發生哪些狀況。 $S_{21}$  量測表示由其 6 dB 回應定義的通帶頻寬效能。與 60 dB 減少規格相比，顯示了抑制頻帶效能。然後將量測結果與濾波器設計目標或濾波器製造商的規格 (從系統設計者的角度來看) 進行比較。

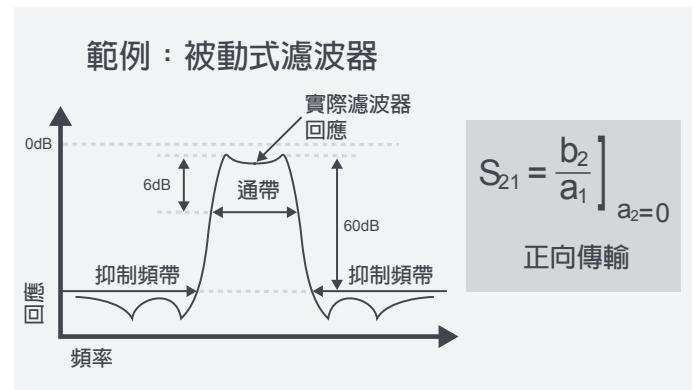


圖 14. 被動式濾波器的掃頻傳輸量測試範例。

掃描頻率量測也可能是量測刺激訊號 (入射到 DUT 上但反射而不是透過 DUT 傳輸) 的量測反射。這些  $S_{11}$  (或  $S_{xx}$ ) 量測可讓使用者根據其規格檢查和比較 DUT 的效率。DUT 的範例包括天線、濾波器和雙工器。圖 15 顯示了天線回波損耗量測的範例。請注意，在天線通帶中，大部分訊號正在發送，因此在反射量測結果中會出現可見的零點。

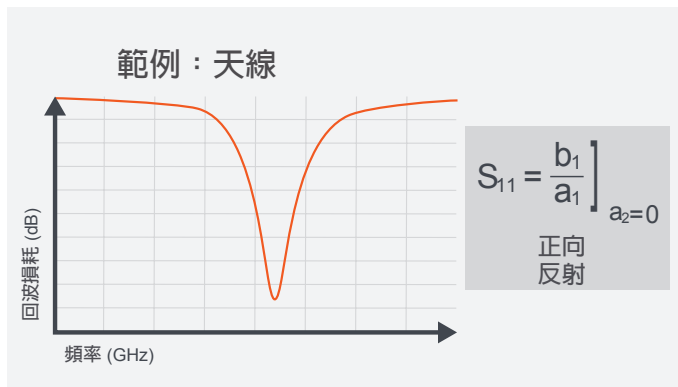


圖 15. 天線掃描頻率反射量測範例。

時域量測

有些 VNA 能夠使用逆傅立葉變換將掃頻量測轉換成時域。以這種方式，在時域中顯示的資料可讓 VNA 在訊號通過 DUT 時，偵測阻抗失配或不連續性的位置以找出電纜和連接中的問題。

對於時域量測，解析兩個訊號的能力會與量測的頻率跨距成反比。因此，頻率範圍越寬，VNA 必須區分緊密間隔的不連續性的能力也就越大。最大頻率跨距是由使用者設定，且可透過 VNA 的頻率範圍或 DUT 的可視頻寬來定義。

在頻域內所收集的資料並不連續，而是有限數量的離散頻點。這導致時域資料在頻率取樣間隔的反轉之後重複。這種現象稱為頻疊(aliasing)。請務必將將頻率取樣間隔正確設為量測所需的距離，以便在發生頻疊之前對 DUT 的效能進行評估。

圖 16 顯示了具有多個轉接器的電纜的 VNA 量測。這可以是從基地台子系統連接至其天線的基地台電纜。時域量測可找出對不同轉接器的實際距離或電纜中的潛在不連續性，有助於定位問題區域或故障。

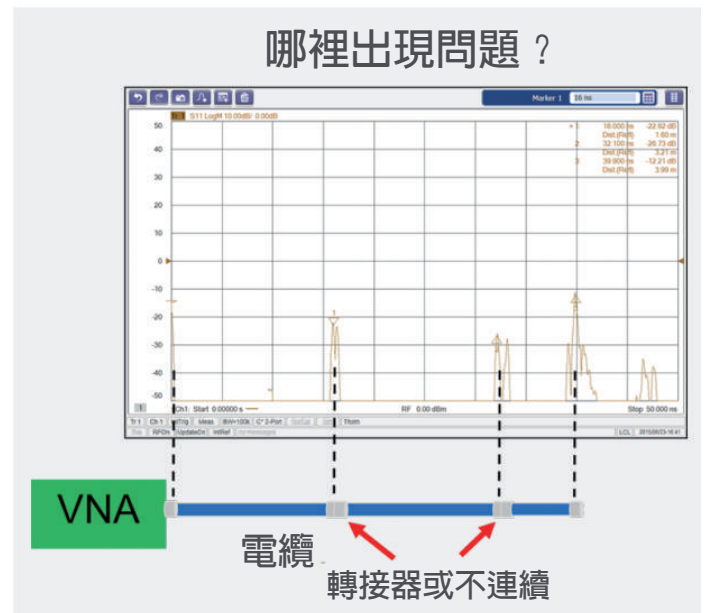


圖 16. VNA 在數學上將掃頻量測轉換成時域。在定位線路中的阻抗失配或故障時，該量測將非常實用。

掃描功率量測

除了掃頻，VNA 也可以掃描刺激訊號的輸出功率位準。對於這些量測，頻率會保持恆定，而輸出功率在規定的功率範圍內逐步變化。這是放大器的常用量測，從低功率位準開始，以微小的 dB 步進增加功率。



在放大器的線性區域中，隨著輸入功率的增加，輸出功率也會成比例地增加。當放大器輸出偏離線性預期1 dB時的點稱為 1 dB 壓縮點 (圖 17)。當放大器達到其壓縮點時，將不再像以前一樣增加其輸出功率。對於需要放大器線性效應的應用，此量測有助於定義該規格。

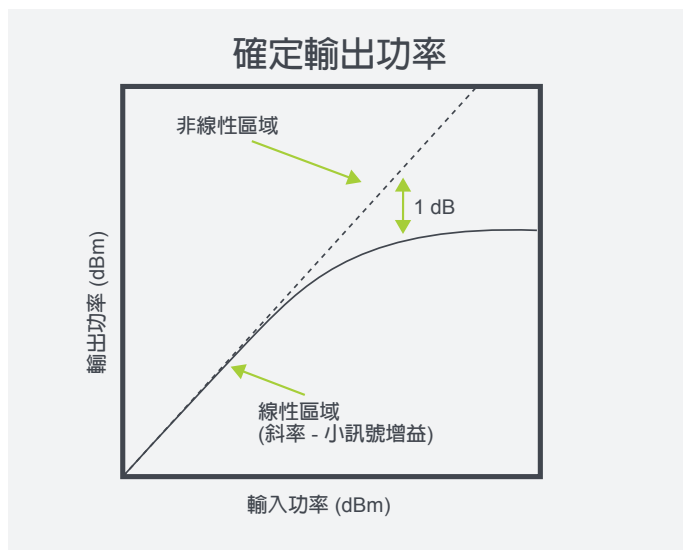


圖 17. 掃描功率量測通常在放大器上進行。

### 測試多連接埠組件

現今有許多組件具有兩個以上連接埠 (圖 18)，這些組件可能有一個輸入和多個輸出，反之亦然。更複雜的組件則可能具有多個輸入和多個輸出。若連接埠之間的互動不是一個問題，有些組件仍可利用一系列雙連接埠量測進行測試。

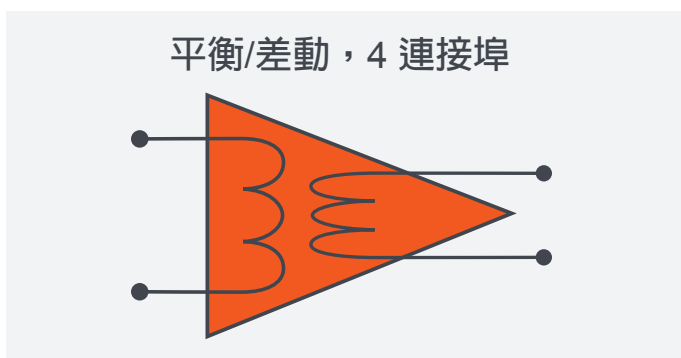


圖 18. 現今有許多組件皆具有 2 個以上的連接埠。

當需要量測多連接埠之間的互動作用時，您可能需要具備多連接埠 VNA。真正的多連接埠量測將可量測  $N$   $S$  參數，並要求具備  $N$  連接埠的 VNA (其中  $N$  等於 DUT 連接埠的數量)。例如，除了  $S_{11}$ 、 $S_{21}$ 、 $S_{12}$  和  $S_{22}$  之外， $S$  參數也將包括  $S_{41}$  或  $S_{43}$  或  $S_{1011}$ 。真正的多連接埠 VNA 可以為每個連接埠皆提供一個刺激訊號。多連接埠糾錯功能消除了量測的系統誤差，但需要一個複雜的校準過程，其中校準標準必須連接至連接埠的所有可能組合。

## 總結

現在，您應該已經瞭解為什麼VNA可以協助開發許多現代技術。向待測裝置 (或DUT) 及多個接收器提供已知的刺激訊號來量測回應，VNA會形成閉合迴路，使其能夠非常準確地量測組件的電氣量級和相位回應。由於其獨特的使用者校準，VNA是可用的最準確射頻測試儀器之一，可減少電纜、轉接器和其他測試助手的影響來仔細隔離 DUT 效能。

VNA會測試組件規格並驗證設計模擬。利用這種準確的特性分析層級，系統工程師可以研究電路或系統級設計，並放心地確信其設計將按預期運作，不論是設計階段或製造階段。



## 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) 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  
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 (55) 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 +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  
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 2013 年 6 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](http://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。

2017 年 3 月

85T-60918-0

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](http://www.tektronix.com.tw)

**Tektronix**<sup>®</sup>