

實驗五

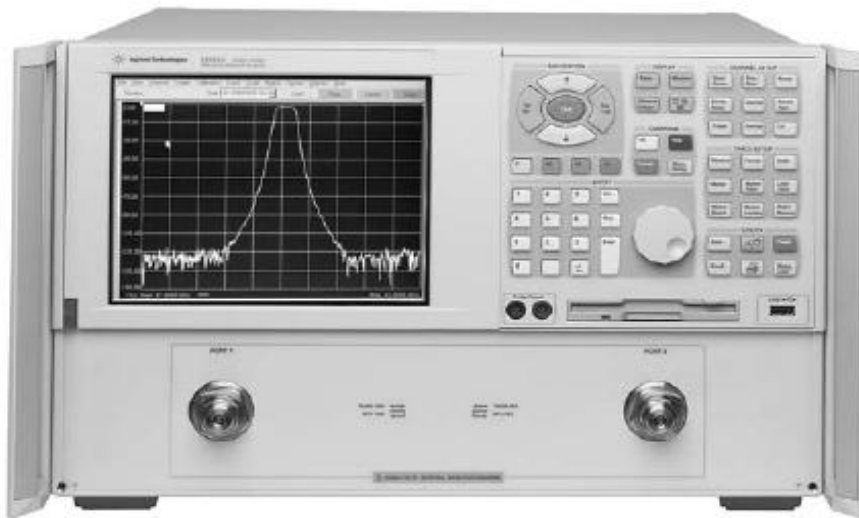
5

網路分析儀 - 單埠元件量測與天線特性

5-1 網路分析儀

實驗原理：

網路分析儀(network analyzer)是一種廣泛應用在微波工業上的儀器，主要用以量測線性微波網路的特性。一般而言，網路分析儀可分為純量(scalar network analyzer, SNA)和向量(vector network analyzer, VNA)兩類。純量網路分析儀只能量測信號的大小(magnitude)，所以它僅能量測如：反射係數的絕對值、VSWR...等只具有大小的物理量。向量網路分析儀則可以同時量測信號的大小及相位(phase)，所以它不僅可以量測具有大小的物理量，它還可以量測如：輸入阻抗 Z_{in} 、反射係數、頻率響應...等具有大小及相位的物理量，本實驗所用的 Agilent N5230A 或 Agilent E5071C 網路分析儀（如圖一所示），即屬於此種類型。



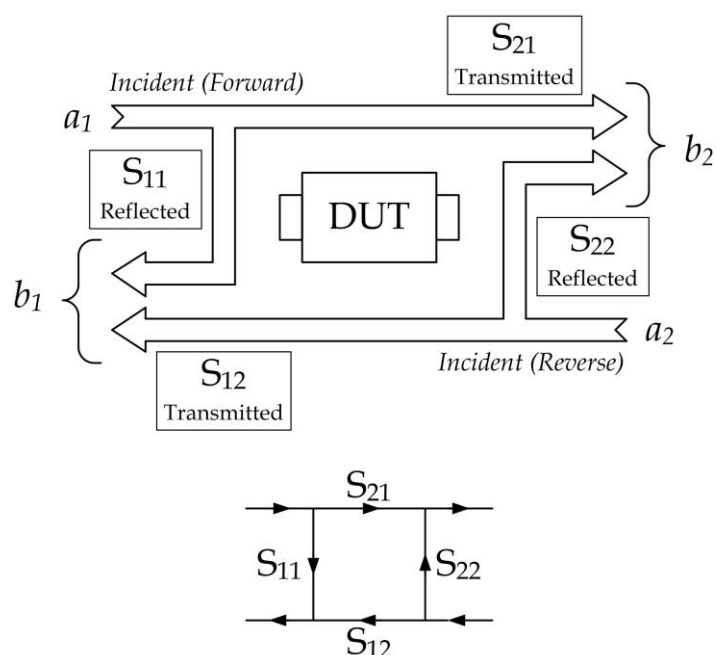
圖一、Agilent N5230A 網路分析儀。

網路分析儀之量測，係使用 S 參數描述待測線性雙埠網路之特性，其矩陣表示式為

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

其中 $S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0}$, $S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0}$, $S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0}$, $S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$, a_1 及 a_2 為第 1 及第 2 埠(port1, 2)

之輸入信號， b_1 及 b_2 為第 1 及第 2 埠之輸出信號。



圖二、雙埠網路 S 參數示意圖。

圖二為待測之雙埠網路 S 參數示意圖， S_{11} 代表埠 1 的反射係數(reflection coefficient)， S_{22} 代表埠 2 的反射係數，由反射係數可以求得待測元件的輸入阻抗 Z_{in} 、反射損耗(return loss, RL)、電壓駐波比(VSWR)等參數； S_{21} 代表正向穿透係數(transmission coefficient)， S_{12} 代表反向穿透係數，由穿透係數則可以求得待測元件之衰減常數 α 、穿透損耗(insertion loss, IL)等參數。各 S 參數之定義與其代表意義詳列於表一中。

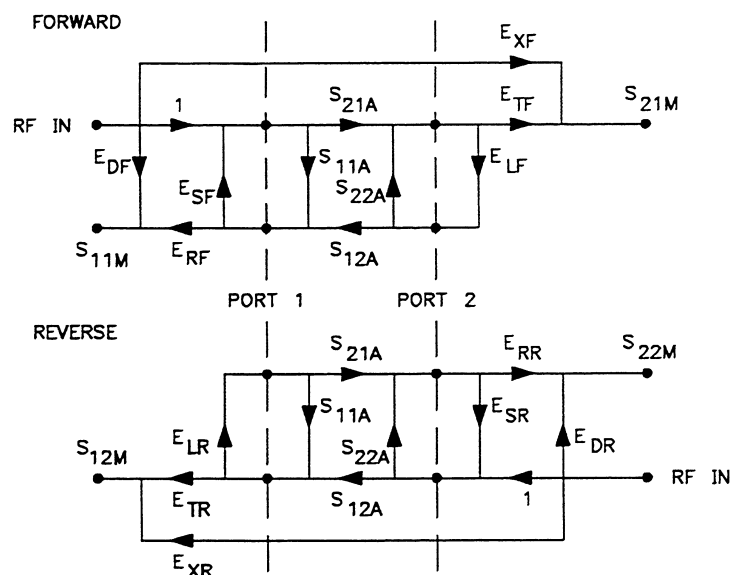
S-參數	定義	量測值
S_{11}	$b_1 / a_1, a_2 = 0$	埠 1 反射係數
S_{21}	$b_2 / a_1, a_2 = 0$	埠 1 至埠 2 穿透係數
S_{12}	$b_1 / a_2, a_1 = 0$	埠 2 至埠 1 穿透係數
S_{22}	$b_2 / a_2, a_1 = 0$	埠 2 反射係數

表一、S 參數之定義與其代表意義。

網路分析儀內含有信號合成器(swept synthesized source)，以提供量測所需的射頻源(RF source)，並可將信號合成器設定在某一掃描頻率範圍內，或將其固定在某一特定頻率上。在量測電路的網路特性時，網路分析儀內部係利用耦合器對待測元件的輸入信號作取樣，並將取樣所得到的信號與參考信號作比對，以求得待測元件的各種參數。內部的工作原理及方塊圖可看參考資料[1]。

圖二為理想之雙埠元件 S 參數，實際上，網路分析儀由射頻訊號源發射之微波訊號，經過網路分析儀之內部電路，到達待測元件時，已受到內部電路之反射、不匹配和元件頻率響應等影響，而這些因素將造成量測上的誤差。圖三為網路分析儀之量測實際訊號示意圖，圖中使用 E_{DF} 、

E_{SF} 、 E_{RF} 、 E_{XF} 、 E_{LF} 、 E_{TF} 、 E_{DR} 、 E_{SR} 、 E_{RR} 、 E_{XR} 、 E_{LR} 及 E_{TR} 等十二個誤差參數描述網路分析儀之不理想狀況，故在開始使用網路分析儀前，必須先進行校準(calibration)，利用已知之標準校準件將上列十二個誤差參數求出，修正量測結果，獲得待測元件之 S 參數。網路分析儀的校準模式有許多種，常見的有單埠 S 參數校準(one-port S -parameter calibration)、二埠 S 參數校準(two-port S -parameter calibration)等。在校準的過程中，依照網路分析儀螢幕上的指示，分別使用開路(open)、短路(short)與 50Ω 負載(50Ω load)三種標準元件，對所欲量測的頻率範圍進行校準。



圖三、網路分析儀之量測實際訊號示意圖。

本實驗所使用之網路分析儀為 Agilent N5230A，具有下列特色

- (1) 內建式信號合成器。
- (2) 可以透過 IEEE-488 標準介面和其它儀器組裝成自動量測系統，並可以透過電腦控制所有面板功能。
- (3) 量測頻率範圍 50MHz ~ 13.5GHz。
- (4) 量測動態範圍(dynamic range)範圍高達 110 dB。

Agilent N5230A 網路分析儀控制面板之外觀及簡要操作說明詳見附錄 A-6，反射量測操作及穿透量測操作詳見附錄 A-7 及附錄 A-8，Agilent E5071C 之控制面板及操作相似，但增加面板觸控功能。

5-2 號角天線特性量測

實驗原理：

本實驗所使用之天線為金字塔形號角天線，已於 4-1 節討論，並已於實驗四使用功率計及柵欄量測號角天線之增益、主波束寬度 θ 及極化等幅射特性，本實驗將進一步使用網路分析儀量測號角天線之輸入特性。

實驗器材：

1. 網路分析儀(Agilent N5230A、E5071C)
 2. 同軸校準器(Agilent 85052D 50 Ω 3.5mm calibration kit)
 3. 號角天線
 4. 轉接頭(N-SMA)
 5. 轉接頭(HP X281A N-WR90 adapter)
- (建議攜帶隨身碟以記錄量測結果)

實驗目的：

使同學能熟悉網路分析儀的基本操作，並使用網路分析儀量測號角天線之 S 參數，以獲得其反射係數、電壓駐波比、輸入阻抗與頻寬等基本特性。

★ 網路分析儀為精密昂貴之實驗儀器，使用時須注意下列事項：

1. 不要自行加直流信號於待測電路上，以免網路分析儀燒燬。
2. 將待測物與網路分析儀上的傳輸線連接時，若接頭無法順利旋入，不可用蠻力將其旋入，應立即將其退出，重新旋入，以避免接頭上的螺紋磨損。
3. 網路分析儀上的兩條傳輸線不得任意扭轉，否則會折斷。左右扭轉的曲率半徑則須大於 10cm。
4. 使用校準器校準時，用畢請隨時將其放回校準盒內，以避免遺失或污損。
5. 若因事要暫時離開不用時，請先將螢幕的亮度減低，以延長螢幕的使用壽命。
6. 網路分析儀使用完畢時，請將校準器與傳輸線接頭蓋上保護蓋。

網路分析儀以及校準器皆為極精密昂貴之器材，請同學務必遵守上述規定！

實驗步驟：

第一部分、校準網路分析儀—單埠 S 參數校準

1. 將網路分析儀量測頻率範圍設定在 6GHz 至 13.5GHz。(本實驗欲量測之號角天線主要操作在

X-頻段(X-Band)8-12GHz，因改變量測範圍，就必須重新校準網路分析儀，故需在校準前決定欲量測之頻率範圍)。

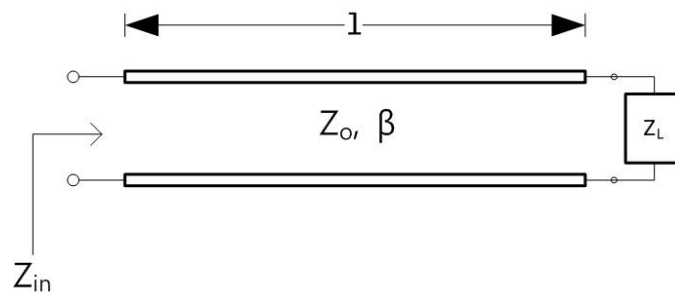
2. 參照附錄 A-7 反射量測之操作程序，對網路分析儀之埠 1 進行單埠 S 參數校準。
3. 校準完畢後，執行下列之量測動作：
 - a. 接上校準用之短路(short)校準器負載，分別觀察反射係數之大小，相位以及在史密斯圖上之反射係數隨頻率變化之情形，此結果是否正確？與理想之短路是否相同？為什麼？使用『marker』將開始及結束頻率標出，並將結果輸出至隨身碟。
 - b. 使用『electrical delay』調整短路校準器負載之相位至理想之短路位置，記錄所調整之距離，解釋此結果。
 - c. 重複步驟 a，分別改用開路(open)校準器負載及 50Ω 校準器負載，並予以解釋。
4. 接上 SMA-N 及 N-WR90 轉接頭至網路分析儀埠 1，於 WR90 端接短路金屬板，觀察反射係數，解釋此結果。(注意：此時『electrical delay』調整至初始值(0sec、0mm)，即網路分析儀之埠 1 測試線之 SMA 接頭處)。
5. 使用『marker』標出 10GHz，使用『electrical delay』調整相位至理想之短路位置，解釋此結果。
6. 建議：儲存量測之各圖檔，附於實驗報告中繳交。

第二部分、量測號角天線之基本特性

1. 將號角天線連接至 WR90-N 及 N-SMA 轉接頭，再接至網路分析儀埠 1。
2. 利用控制面板上的軟鍵(soft key)切換網路分析儀的顯示，觀察反射係數、電壓駐波比的頻率響應與輸入阻抗在史密斯圖上的頻率響應。
3. 在適當位置加上標誌(marker)，以利頻寬量測，儲存量測結果之圖檔，附於實驗報告繳交。
4. 由實驗結果判斷該號角天線之頻寬。

※各組思考問題 5-1：

1. 說明 Agilent N5230A 路分析儀的工作原理，並利用方塊圖解釋射頻信號由網路分析儀輸出後，經過待測元件，再回到網路分析儀之流程，及網路分析儀內部如何處理訊號，將結果顯示在螢幕上之流程。（參考[1]-[2]）
2. 請比較校準完後量測到之短路或開路校準器負載與理想之短路或開路是否相同，試說明相同或不同之原因。
3. 寫出反射係數 Γ 與反射損耗(return loss, RL)、電壓駐波比(VSWR)間的轉換公式。
4. 寫出穿透係數 T 與衰減常數 α 、穿透損耗(insertion loss, IL)間的轉換公式。
5. 何謂天線的輻射阻抗(radiation impedance)？
6. 如圖四，參閱 N. N. Rao.電磁學，若圖四的傳輸線為無損耗 (lossless)，分別說明當傳輸線的長度以及電磁波的頻率在改變的時候， Z_{in} 在史密斯圖上的軌跡為何？在操作實驗時，從網路分析儀上看到的史密斯圖亦為一軌跡圖案，此軌跡是因為哪項參數在改變而描繪出來的？



圖四 接一負載之傳輸線。

參考資料：

- [1] *Manual of Agilent N5230A Network Analyzer Guide*, <http://agilent.com>.
- [2] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed., John-Wiley, 2011.

實驗五 實驗紀錄表

組別：

5-1 網路分析儀

網路分析儀單埠及號角天線轉接頭校準(回答實驗步驟第一部分中 3~5 的問題，報告須附量測結果圖)

1. 短路校準器負載
2. 開路校準器負載
3. 50Ω校準器負載
4. N-WR90 轉接頭接短路金屬板

5-2 號角天線特性

號角天線量測記錄表(報告須附量測結果圖)

Γ @ 10 GHz	
Z_{in} @ 10 GHz	
VSWR @ 10 GHz	
10 dB 頻寬	