

實驗八

8

阻抗匹配 - 使用網路分析儀

8-1 電壓駐波比與阻抗量測

實驗原理：

由實驗一與實驗三可知，當電磁波由信號源經由傳輸線送到負載時，若沒有良好的阻抗匹配，則會產生反射波，而與入射波形成駐波，其最大信號對最小信號的比值即為駐波比。當信號以電壓的大小表示時，電壓駐波比（*VSWR* or *SWR*）可表示如下

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

在微波量測中，反射係數（ Γ ）、輸入阻抗（ Z_{in} ）與電壓駐波比為本質相同之物理量，只是表達方式及定義不同。若以量測方法獲得上述三者之一，則可使用轉換公式，獲得其他兩個物理量。待測負載之輸入阻抗可使用反射係數 Γ 表示如下

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}$$

本實驗使用網路分析儀量測反射係數 Γ ，再經由上述公式轉換求得 *VSWR* 及 Z_{in} 。值得注意的是，實驗一所量測之 *VSWR* 與阻抗值，為固定頻率之量測值。而使用網路分析儀可量測所選頻帶內，每一頻率之 *VSWR* 與阻抗值。

實驗器材：

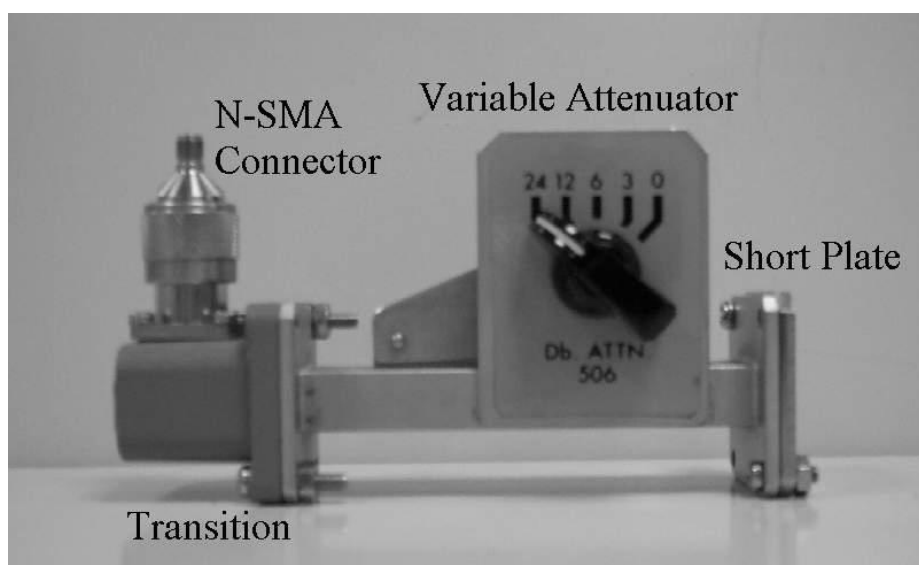
1. 可調式衰減器 #506
2. 短路終端板 #532
3. 轉接器(HP X281A adapter N-WR90)
4. 轉接頭(N-SMA)
5. 網路分析儀(Agilent N5230A、E5071C)
6. X-頻段導波管校準器(Agilent 11644A X-band calibration kit)

實驗目的：

使用網路分析儀量測單埠元件之 *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。

實驗步驟：

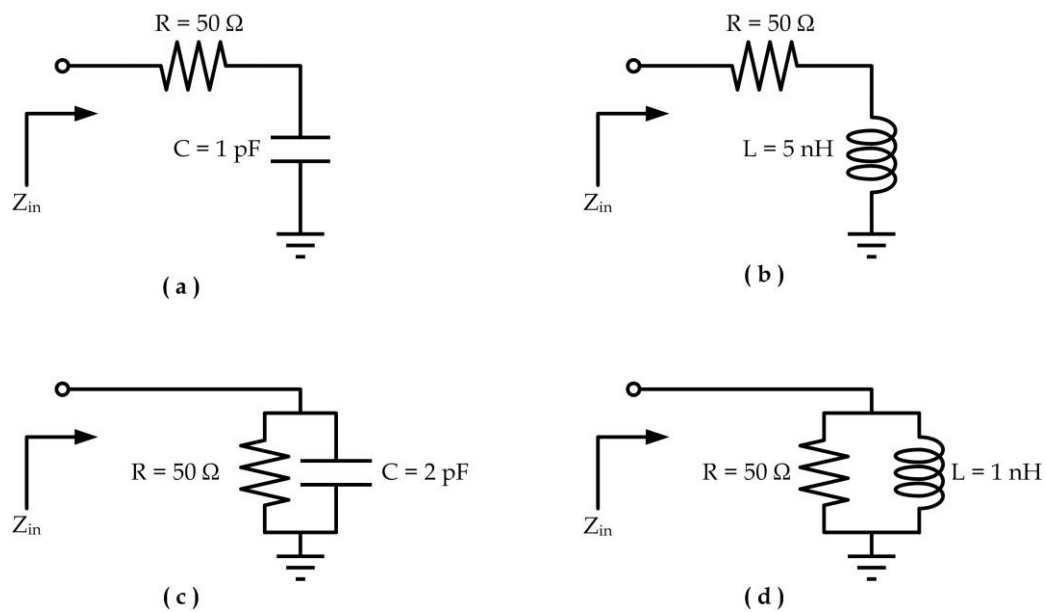
1. 將網路分析儀頻率量測範圍設為 8 GHz~12 GHz，參見附錄 A-9 Agilent 11644A 導波管單埠校準之步驟一，進行網路分析儀單埠校準。
2. 以 **marker** 標示 10GHz，參見附錄 A-9 之步驟二，進行網路分析儀 S 參數單埠校準結果檢驗，即檢驗參考平面是否推至短路終端板之 short 位置。（**注意：**網路分析儀之系統特徵阻抗 Z_0 （characteristic impedance）設為 1 ohm，則阻抗讀值為正規化值，面板操作點選 **System—Configure—System Z_0** 。）
3. 將待測元件連接至校準完成之網路分析儀，連接如圖一所示，將可調式衰減器設為 0 dB，進行量測。
4. 量測待測元件之反射係數（使用 **Log scale** 格式）、 $VSWR$ 及阻抗（使用 **Smith Chart** 格式），並記錄於表中。
5. 改變圖一中可調式衰減器之衰減值（0、3、6、12、24dB），重複實驗步驟 2~3，觀察不同衰減值之反射係數、 $VSWR$ 及阻抗值，並記錄於表中。



圖一、單埠待測元件連接圖。

※各組思考問題 8-1：

1. 在實驗五中，使用 OPEN、SHORT 及 LOAD 等三個標準校準件，進行網路分析儀單埠反射係數校準。但該項校準程序，僅校準至網路分析儀上連接待測元件纜線之末端。本實驗欲量測由可調式衰減器與短路終端板所構成之待測元件，如何將校準參考平面推至導波管前？
2. 驗證反射係數、 $VSWR$ 與阻抗量測結果是否符合實驗原理中所述之關係。
3. 比較本實驗 $VSWR$ 之量測結果與實驗一中圖一之電壓駐波比波形圖，試說明兩者所代表之物理意義。
4. 由實驗之量測結果，試說明在微波頻段，反射係數、 $VSWR$ 與阻抗與頻率之關係。
5. 使用史密斯圖，標示圖二所示的電路在 $1\text{ GHz} \sim 5\text{ GHz}$ 時的輸入阻抗 ($Z_0 = 50\ \Omega$)。



圖二、電阻與電容（或電感）於串聯（或並聯）之電路圖。

8-2 阻抗匹配

實驗原理：

由實驗三可知，當負載阻抗與傳輸線之特性阻抗 Z_0 匹配時，電壓駐波比將會接近 1。當負載阻抗與傳輸線之特性阻抗 Z_0 不匹配時，電壓駐波比將會升高，如此不僅可能損壞微波信號源，亦減少負載所接收的信號功率。為使微波信號有效利用，可在負載阻抗與傳輸線中加入匹配網路 (matching network)，以解決阻抗不匹配問題。本實驗中使用調諧器 (tuner) 作為匹配網路，用以達成阻抗匹配目的，降低反射功率及電壓駐波比。

實驗器材：

- 1~6. 同 8-1 節
7. 史密斯圖 (課程網站上可下載列印)
8. 圓規 (自備)

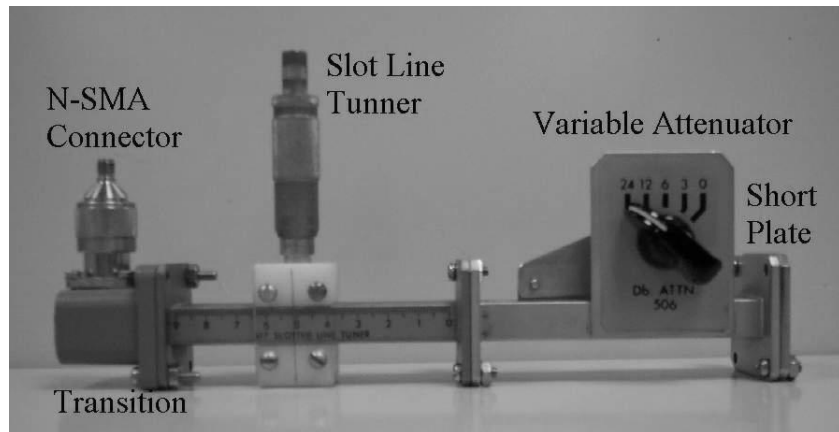
實驗目的：

學習使用網路分析儀量測以調諧探針作為匹配網路之負載阻抗匹配。

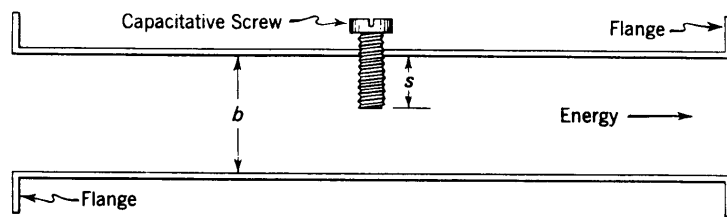
實驗步驟：(除此之外，亦請參考實驗三 3-2 節之步驟)

1. 裝置如圖一所示，且將左側之 N-SMA 轉接頭連接至網路分析儀之埠 1，以 8-1 節之衰減器與短路終端板作為負載。調整可調式衰減器，使負載於頻率 10GHz 時，其 $VSWR$ 在 1.5~2 之間。固定該衰減器不動，觀察反射係數圖與史密斯圖，並記錄於 10GHz 之反射係數、 $VSWR$ 與 Z_L 阻抗值於表中。
2. 調整調諧探針上螺絲的深度，使其恰好要進入波導管中，記錄此時調諧探針微尺 (micrometer) 上的刻度值，此即為探針之歸零位置。(注意：微尺上刻度為零的位置並不等於 $s = 0$ 之位置，微尺上的轉軸刻度 1 小格刻度為 mil (1 mil = 0.001 in, 1 in = 2.54 cm)，轉一圈為 25 mil，對應微尺上的縱向軸刻度 1 小格，當微尺轉軸轉 4 圈，則探針位置改變 100 mil，對應微尺上縱向軸刻度為 4 小格或 1 大格)
3. 使用史密斯圖，按照實驗三原理中之方法，計算調諧探針上的螺絲與負載的距離 d 及其深度 s ，並記錄於表中。(注意：使用時須先將 cm 換算成 mil)
4. 如圖三所示，連接調諧探針，利用步驟 3 所求得之值，調整調諧探針上的螺絲與負載的距離 d 及螺絲的深度 s 。(注意： d 為管口至調諧探針上螺絲的距離， s 為管壁至調諧探針上螺絲端的距離)
5. 量測經調諧探針匹配之電壓駐波比，紀錄 $VSWR$ 值於紀錄表中。

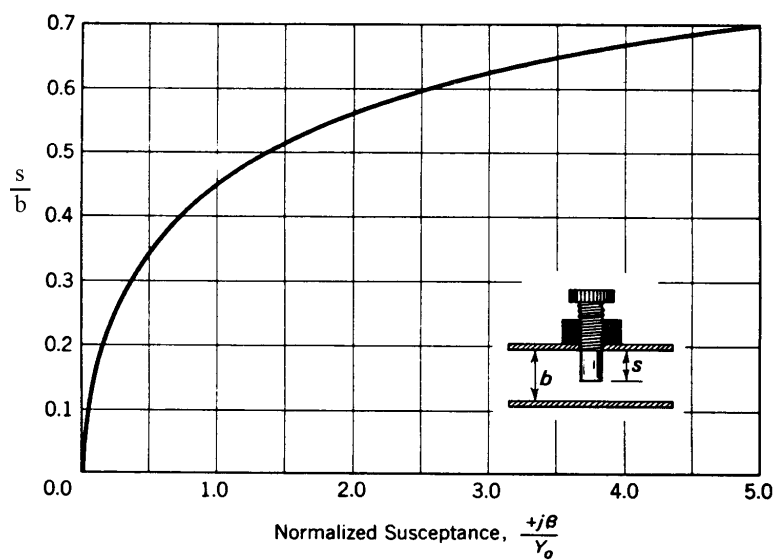
6. 嘗試性的調整螺絲與負載的距離 d 及深度 s 以得到更小的 $VSWR$ 值，此值為最後 $VSWR$ 值。
調整時可先改變 d 或 s 其中之一，使 $VSWR$ 無法再變小時，再調整另一變數。如此重複數次，
以達到最低之 $VSWR$ 值。
7. 將以上所得之結果分別記錄於紀錄表，並儲存初始、匹配後、及最後之反射係數、史密斯及
 $VSWR$ 量測結果圖檔，附於實驗報告中繳交。



圖三、阻抗匹配實驗待測元件裝置圖。



圖四、波導調諧器之結構圖。



圖五、調諧器電納與螺絲深度之關係圖。

※各組思考問題 8-2：

1. 在實驗步驟中，進行阻抗匹配時，為何只觀察頻率為 10GHz 之反射係數、*VSWR* 及阻抗值？為何不觀察本實驗中待測元件之工作頻率範圍 8GHz～12GHz？說明其原因。
2. 是否可由匹配前及匹配後之量測結果推出匹配電路之阻抗值？若可，說明其原因。
3. 若有一個負載，其阻抗值為 $Z_L = 20 - j 60 \Omega$ ，若使用 single-stub matching 的方式，作阻抗匹配，使其匹配至 50Ω ，並且 stub 是使用 open-circuited stub，試問，此 stub 與負載的距離以及此 stub 的長度分別為多少（用多少個波長表示即可）？使用史密斯圖作答。

實驗八 實驗紀錄表

組別：

8-1 電壓駐波比與阻抗量測

衰減器與短路板所組成之負載量測結果@10GHz

衰減量	0 dB	3 dB	6 dB	12 dB	24 dB
$ \Gamma $ (dB)					
$\angle\Gamma$ (°)					
VSWR					
z_{in} (Ω) (正規值)					

8-2 阻抗匹配

阻抗匹配實驗參數@10GHz 記錄表(繳交報告時，須附實驗所使用的史密斯圖。)

初始 VSWR 值	
初始 Γ	
探針歸零位置(mil)	
z_L (正規值)	
y_L	
y_L 角度	
y_1	
y_1 角度	
λ_g (cm)(參考實驗一)	
s / b	

探針位置 $d(\text{cm})$	
探針深度 $s(\text{mil})$	
匹配後 $VSWR$ 值	
微調後 $VSWR$ 值	
探針最後位置 $d(\text{cm})$	
探針最後深度 $s(\text{mil})$	

The Complete Smith Chart

Black Magic Design

