

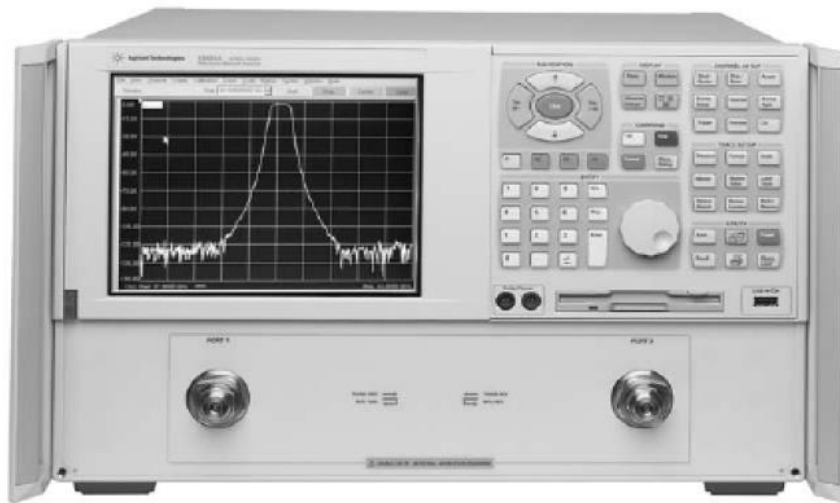
微波系統導論實驗一

網路分析儀單埠校準與天線傳播

1-1 網路分析儀單埠校準

實驗原理：

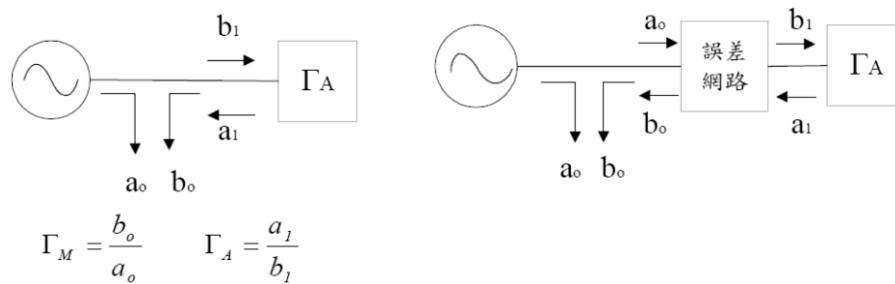
網路分析儀(Network analyzer)是一種廣泛應用在微波工業上的儀器，主要用以量測線性微波網路的特性。一般而言，網路分析儀可分為純量(Scalar network analyzer, SNA)和向量(Vector network analyzer, VNA)兩類。純量網路分析儀只能量測信號的大小(Magnitude)，所以它僅能量測如：反射係數的絕對值、VSWR...等只具有大小的物理量。向量網路分析儀則可以同時量測信號的大小及相位(Phase)，所以它不僅可以量測具有大小的物理量，還可以量測如：輸入阻抗 Z_{in} 、反射係數、頻率響應...等具有大小及相位的物理量，本實驗所用的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



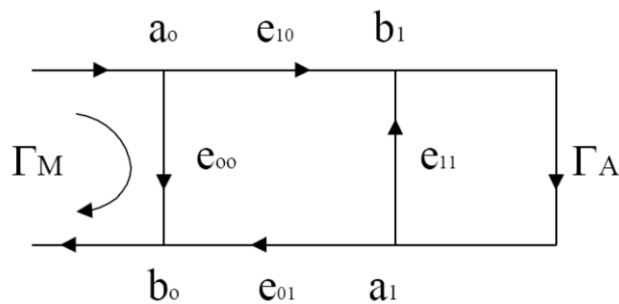
圖一、Agilent N5230A 網路分析儀。

網路分析儀之單埠校準反射係數(S_{11} 或 S_{22})如圖二。圖二(a)為網路分析儀量測反射係數之示意圖，其中 $\Gamma_A = a_1/b_1$ 為待測元件之反射係數，網路分析儀實際量得之反射係數則為 $\Gamma_M = b_0/a_0$ ，其為 a_1 與 b_1 信號經一雙向耦合器之輸出信號，其相互關係如圖二(b)所示，可以一2-埠誤差網路來表示。圖三為反射係數誤差模式之信號流程圖，其中 e_{00} 、 e_{10} 、 e_{01} 、 e_{11} 為誤差參數，由圖可得以下關係：

$$\Gamma_M = \frac{b_0}{a_0} = e_{00} + \frac{e_{10}e_{01}\Gamma_A}{1-e_{11}\Gamma_A} \quad (1)$$



圖二、反射系數量測(a)示意圖及(b)包含誤差網路之示意圖。



圖三、反射系數量測之誤差模式。

透過量測標準元件(Calibration kit)進行校正，我們可以得到誤差參數(e_{00} , e_{10} , e_{01} , e_{11})的值，再透過(1)式，即可將量測之反射係數 Γ_M 轉算，得到待測元件真正的反射係數 Γ_A 。本實驗使用的為開路($\Gamma_A = 1$)、短路($\Gamma_A = -1$)以及 50 歐姆($\Gamma_A = 0$)三個校準元件。

實驗器材：

1. Agilent N5230A、E5071C 網路分析儀。
2. Agilent 85052D 50Ω 3.5mm 校準器 (Calibration kit)。

實驗目的：

熟悉網路分析儀的基本操作。

實驗步驟：

1. 設定網路分析儀之校準頻率範圍。
2. 設定頻率範圍內之取點數。
3. 使用校準精靈，選擇單埠校準，校準器為 85052D。
4. 分別量測開路、短路以及 50 Ω。
5. 校準完成後，使用 50 Ω 檢查特性是否正確。
6. 觀察 Smith Chart 之阻抗位置是否合理。

★ 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：

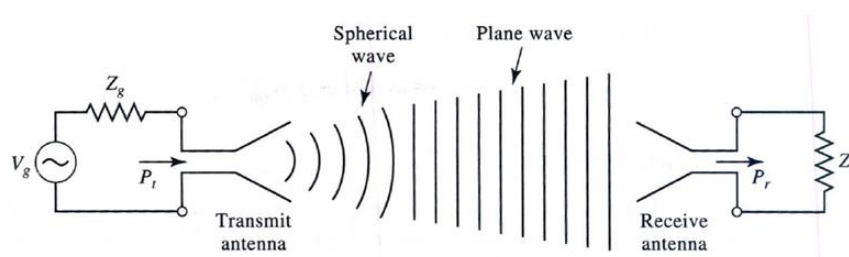
1. 不要自行加直流信號於待測電路上，以免網路分析儀燒燬。
2. 將待測物與網路分析儀上的傳輸線連接時，若接頭無法順利旋入，不可用蠻力將其旋入，應立即將其退出，重新旋入，以避免接頭上的螺紋磨損。
3. 網路分析儀上的兩條傳輸線不得任意扭轉，否則會折斷。左右扭轉的曲率半徑則須大於**10cm**。
4. 使用校準器校準時，用畢請隨時將其放回校準盒內，以避免遺失或污損。
5. 若因事要暫時離開不用時，請先將螢幕的亮度減低，以延長螢幕的使用壽命。
6. 網路分析儀使用完畢時，請將校準器與傳輸線接頭蓋上保護蓋。

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。

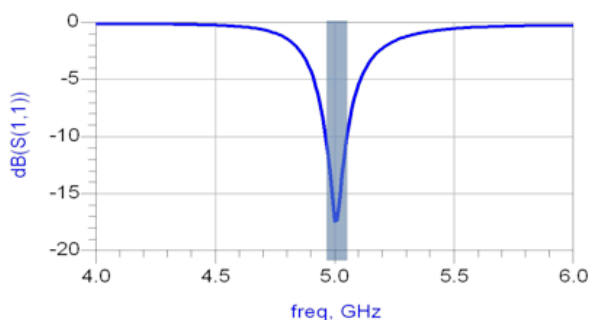
1-2 天線反射係數量測

實驗原理：

天線為一經過特殊設計，且可使電磁能量沿特定方向傳遞之微波裝置。其主要功能為將發射機之信號有效地輻射到自由空間中，或將遠方傳來之電波信號有效地耦合到接收機，故天線亦可視為一種能量轉換器(transducer)。發射天線可被戴維寧等效成由一個訊號源(V_g)串連一個電源阻抗(Z_g)，其可將能量 P_i 饋入至發射天線上並且輻射至空氣當中，如圖四所示。藉由計算天線的等效輸入阻抗與電源阻抗之間的反射係數，可得知能量 P_i 能有效饋入天線之頻率範圍。如圖五，我們將反射係數以 dB 表示，一般以小於-10 dB 的頻率範圍視為天線之有效頻寬。



圖四、天線傳播之等效模型。



圖五、天線反射係數特性。

實驗器材：

1. 平板天線 ×2 (Type A and type B patch antenna)
2. Agilent N5230A、E5071C 網路分析儀。

實驗目的：

測量平板天線之輸入阻抗。

實驗步驟：

1. 使用網路分析儀量測平板天線 type A 及 type B 之反射係數隨頻率變化狀況。
2. 根據量測之反射係數紀錄天線之中心頻率並計算空氣中之波長 λ 。
3. 根據量測之反射係數紀錄天線之操作頻寬。

1-3 微波的傳播

實驗原理：

天線的輻射場可以分為近場(near-field)和遠場(far-field)，天線的輻射在近場內為球面波，而傳播到遠場時可視為平面波。近場與遠場之邊界很難明確定義，一般而言，遠場距離 r_{min} 須滿足以下三個條件：

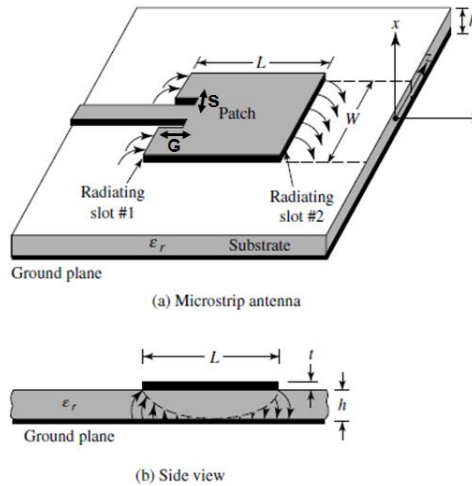
$$r_{min} \gg \lambda_0 \quad (2.a)$$

$$r_{min} \gg d \quad (2.b)$$

$$r_{min} \geq \frac{2d^2}{\lambda_0} \quad (2.c)$$

其中 d 為天線開口之最大尺寸， λ_0 為真空之波長。

在近場時，天線之輻射場型與天線間之距離有關，在不同距離所量得之輻射場型並不相同。而在遠場時，天線之輻射場型與天線間之距離無關，故只要量測在固定距離電場強度隨角度變化之情形，即可量得天線之特性。若位於天線之遠場，則可將天線視為一個點，並使用球座標(spherical coordinate)來定義所有天線之特性公式。天線主要是用來當作無線傳輸之工具，故通常不會使用天線之近場特性，本實驗亦只考慮天線之遠場特性。本實驗所使用之天線為微帶平板天線，如圖六所示。



圖六、微帶平板天線

天線增益(gain)定義為在相同輸入功率下，該天線最強之輻射強度與一等向性無損耗天線輻射強度之比值。可以表示為

$$g = \frac{P_{av,max}}{\frac{P_{in}}{4\pi r^2}} \quad (3)$$

其中 P_{in} 為輸入功率， $P_{av,max}$ 為距離天線 r 處最大之 Poynting vector 大小。分母部分表示球面上之平均功率。若天線可將能量更集中在一特定方向上， $P_{av,max}$ 將會變大，天線增益亦隨之增大。

當兩個天線一起使用時，其中一個作為發射天線，另一個作為接收天線，根據 Friis equation，接收天線所接收之功率可表示為

$$P_r = \frac{g_r g_t \lambda_0^2}{(4\pi r)^2} P_t \quad (4)$$

其中， P_t 為發射天線之發射功率， P_r 為接收天線之接收功率， r 為兩天線間之距離， g_r 與 g_t 分別為接收天線與發射天線之天線增益。

假設兩天線完全相同，則可將上式簡化如下：

$$P_r = \frac{g^2 \lambda_0^2}{(4\pi r)^2} P_t \quad \text{或} \quad g = \frac{4\pi r}{\lambda_0} \sqrt{\frac{P_r}{P_t}} \quad (5)$$

由上式我們可知道，當發射功率 P_t 、接收與發射天線增益 g_r 與 g_t 及波長 λ 皆為已知時，接收功率 P_r 將正比於距離平方之倒數，此即為平方反比定律(inverse square law)。

進行本實驗需注意下列三點：

- (一) 兩天線間之距離不可小於 r_{min} 。
- (二) 部分由天線輻射之功率將由其它散射體（如：牆壁、窗桌面、儀器）表面反射至接收天線。
為避免該項誤差，接收天線至其它散射體表面之最小距離不可小於 D_{min} ，其與 r_{min} 之關係表示如下

$$D_{min} = \frac{\lambda_0 r_{min}}{2d} \quad (6)$$

其中 r_{min} 為兩天線間之距離， d 為天線開口之最大尺寸。為了減少桌面反射影響，可將收、發天線架高或使用吸波材料。

- (三) 量測時，避免多重反射的影響，請盡量移開周遭的物體(例如:人、金屬尺、皮尺等)

實驗器材：

1. 微波射頻源 (HP 8350A Sweep Oscillator)
2. 功率計 (Agilent 4418B)
3. 功率感測器 (Agilent E4412A) 頻譜分析儀 (Signal Hound SA-124B+PC)
4. 轉接頭 (N-SMA)
5. 天線支座
6. 平板天線×2 (type A and type B patch antenna)
7. 同軸纜線 (SMA cable)
8. 皮尺

實驗目的：

量測天線之增益以及驗證天線接收功率距離與之關係。

實驗步驟：

天線增益之量測

1. 參照附錄二操作程序，對功率計進行校準，或使用頻譜分析儀量測功率，並記錄同軸纜線及轉接頭的總損耗。
2. 調整微波射頻源之輸出頻率為**天線之中心頻率**、功率為**5 dBm**。
3. 將微波射頻源之輸出端直接接於功率感測器，以量測發射天線之輸入功率 P_i ，並將該值記錄於實驗紀錄表中。
4. 將發射天線連接至微波射頻源輸出端，功率感測器連接至接收天線。
5. 計算天線之遠場距離值 r_{min} ，並記錄下來。
6. 固定兩天線於天線支座上，使兩天線位於同一平面與同一直線上，請確認此時兩天線的距離要大於遠場距離，記錄此時的接收功率 P_r 於表中。
7. 利用所得之資料及(5)，計算天線增益 g 。

天線接收功率與距離之關係

1. 將接收天線遠離發射天線，使接收功率為原先大小的二分之一（若功率計之單位設為 dBm，即為下降 3dB），此距離 3dB Range，因在此距離之接收功率較原先衰減 3dB，記錄此距離於表中。
2. 將接收天線遠離發射天線，使接收功率為原先大小的四分之一（若功率計之單位設為 dBm，即為下降 6dB），此距離為 6dB Range，記錄此距離於表中。
3. 將接收天線遠離發射天線，使接收功率為原先大小的八分之一（若功率計之單位設為 dBm，即為下降 9dB），此距離為 9dB Range，記錄此距離於表中。

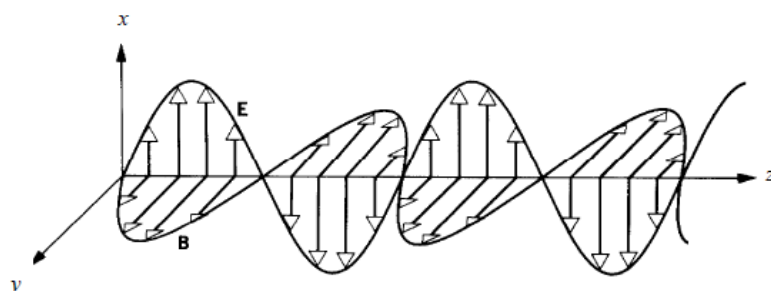
1-4 天線極化特性與天線場型量測

實驗原理：

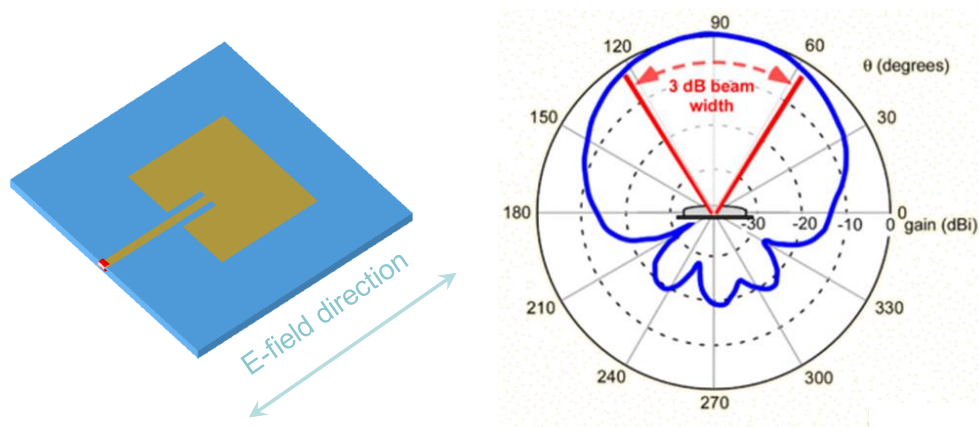
當電磁波在空間中傳播時， E 場與 H 場分別都與進行方向垂直(圖七)，在與進行方向垂直的 xy 平面上， E 場與 H 場除了圖七的方向之外，也可以有另一方向的量。以 E 場來說，除了 x 方向以外，也可以有 y 方向的量。我們通常以 E 場的方向來定義電磁波的極化方向。故可稱圖七的波為 x 方向極化或是垂直極化(vertical polarization)。若 E 場在水平方向則稱為 y 方向極化或水平極化(horizontal polarization)。

在天線的各项參數中，極化為相當重要之特性。水平極化的電磁波要由水平極化的天線來輻射，並且也要由水平極化的天線來接收。由水平極化的發射天線所發射出來的水平極化波，理論上來說，將完全無法被一個垂直極化的接收天線所接收。故接收天線所收到的訊號強度除了前兩節所述的天線增益與兩天線間的距離以外，還和兩天線之間的極化特性有關係，量測時，發射天線與接收天線要使用兩個相同極化的方向才能收到最大訊號強度。實驗所用之平板天線 E 場方向如圖八(a)所示。

遠場時，天線之輻射場型與天線間之距離無關，故只要量測在固定距離電場強度隨角度變化之情形，即可量得天線之場型特性，一般平板天線場型圖如圖八(b)所示。



圖七、垂直極化之電磁波



圖八、平板天線之(a)電場方向及(b)天線場型

實驗器材：

1. 微波射頻源 (HP 8350A Sweep Oscillator)
2. 功率計 (Agilent 4418B)
3. 功率感測器 (Agilent E4412A) 或頻譜分析儀 (Signal Hound SA-124B + PC)
4. 轉接頭 (N-SMA)
5. 天線支座
6. 平板天線×2 (type A and type B patch antenna)
7. 同軸纜線 (SMA cable)
8. 皮尺
9. 量角器

實驗目的：

驗證接收訊號之強度與兩天線之極化方向有關、量測平板天線場型

實驗步驟：

天線之極化方向

1. 如前兩節的擺設，裝置實驗儀器。請確認此時兩天線的距離要大於遠場距離。
2. 將接收天線以電磁波前進方向為軸，緩慢旋轉 90 度，同時觀察功率計之變化。
3. 分別記錄夾角為 0°、45°、90°時所量到之功率大小（角度大概取即可）。
4. 以上面的結果判斷平板天線的極化方向。

量測平板天線場型

5. 以接收端天線金屬壁延伸之交點為中心，固定距離，以垂直方向為旋轉軸緩慢地轉動接收端天線，每隔 15 度記錄一個接收功率值，並記錄下來。計算天線場型的 3 dB 波束寬

實驗一 天線實驗報告

1. 請繪出兩種天線 type A 和 type B 之反射係數大小隨頻率變化的圖。
2. 以反射係數低於-10 dB 為頻寬，請問 type A 和 type B 兩種天線之頻寬為何？
3. 請問功率計最小可偵測之功率大小為何？
4. 根據實驗記錄表，請使用 Friis equation 計算天線的增益。
5. 根據實驗記錄表，請繪出接收功率與距離之關係圖(log-log)，請問量測結果符合 Friis equation 嗎？如果沒有，請解釋可能的原因？
6. 根據量測所得到之天線增益以及功率計最小可偵測之功率大小，假若射頻訊號源之輸出功率為 30 dBm，請問天線最遠之傳輸距離為何？
7. 根據教科書上(4.25)式，請計算極化不匹配的大小並且與量測結果相比較。
8. 根據量測結果，請問天線場型的 3 dB 波束寬為何？
9. 如果 type A 和 type B 之指向性分別為 4.9 及 5.9，請計算兩平板天線之輻射效率為何？
10. 附上實驗紀錄表。

實驗一 實驗紀錄表

組別：

1. 網路分析儀單埠校準 (請選擇頻率範圍、點數，進行 SOL 校準)
2. 使用網路分析儀量測 type A 和 type B 天線之反射係數，並記錄中心頻率及頻寬。

| Antenna code | 中心頻率 | 波長 | 中心頻率之反射係數 | 操作頻寬 |
|--------------|------|----|-----------|------|
| Type A | | | | |
| Type B | | | | |

*請存檔 csv 格式(S-parameter (dB) vs. frequency (GHz))或 sNp 格式。

*頻寬定義以反射係數小於-10 dB 為標準。

3. 天線尺寸及遠場距離計算

| Antenna code | 天線最大尺寸 d | 波長 λ_0 | $\frac{2d^2}{\lambda_0}$ | 遠場距離(cm) |
|--------------|----------|----------------|--------------------------|----------|
| Type A | | | | |
| Type B | | | | |

4. 天線增益的量測

使用之天線編號:_____

兩天線距離 = _____ cm

微波射頻源輸出功率 = _____ dBm

功率感測器量得之天線接收功率 = _____ dBm

路徑上所有同軸纜線及轉接頭之損耗 = _____ dB

利用 $P_r = \frac{g^2 \lambda_0^2}{(4\pi r)^2} P_t$ ，可計算天線之增益 $g =$ _____

5. Friis equation 的驗證

| | | | | | | | |
|------------|--|--|--|--|--|--|--|
| 距離 (cm) | | | | | | | |
| 接收功率值(dBm) | | | | | | | |

6. 極化不匹配現象

發射天線與接收天線之距離 = _____ cm

| 旋轉角度 (degree) | 接收天線功率值 (dBm) |
|---------------|---------------|
| 0 | |
| 45 | |
| 90 | |

7. 天線之場型圖

發射天線與接收天線之距離 = _____ cm

天線場型的 3 dB 波束寬 = _____

| 旋轉角度 (degree) | 接收天線功率值 (dBm) |
|---------------|---------------|
| 0 | |
| 30 | |
| 45 | |
| 60 | |
| 75 | |
| 90 | |
| 105 | |
| 120 | |
| 135 | |
| 150 | |
| 180 | |

TA's signature: _____

Date: _____