

5.77G-Hz 矩形微帶天線

5.77G-Hz rectangular shape microstrip patch antenna

賴文正

Wen- Cheng Lai

摘要

本研究提出 5.77G-Hz 矩形微帶天線，主要是應用於高頻收發電路系統，其優點為可用之頻寬較多，傳輸速度快，其指向性高，並且能將信號傳輸至較遠之處。在設計上，應考慮尺寸大小(size)、重量(weight)、長度(length)、厚度(thickness)、形狀(shape)等；而電性特性方面亦須考慮天線的場型(radiation pattern)、頻寬(bandwidth)、極化方向(polarization)、駐波比(SWR)、返回損耗(return loss)、增益(gain)等因素。在模擬方面，目前的模擬軟體並無法非常準確地預測其特性，而本研究以目前較常使用的軟體之一 IE3D Version 10.0 進行模擬。在電路實現上，由於微帶天線具有體積較小、重量輕、平面組態及價格低廉等多項優點，並且適合於振盪器、放大器、調變器、混波器等模組與積體電路在平面上共存，因此，本電路使用此種微帶天線方式製作。本研究經模擬與量測之結果如下：返回損耗(return loss)S11 分別為-26dB/-13.5dB，頻寬 (bandwidth) 分別為 200MHz/160MHz，在 0 度與 90 度時的 E_0 與 E_ϕ 場型 (radiation pattern) 表現，亦有良好之特性。

關鍵詞：5.77G-Hz、矩形微帶天線、平板天線。

ABSTRACT

The research investigates on 5.77G-Hz rectangular shape microstrip antenna that applies in radio frequency transceiver circuit system. Because high frequency communication can use more bandwidth, fast response, good index and long transmission path, it is implemented extensively. In the design, we must consider size, weight, length, thickness, shape and the electrical properties of bandwidth, polarization, stand ratio, return loss, gain. The simulation software can't exact preview results recently. The research simulation software is IE3D Version 10.0. It is one of softwares that are used more often. Because of microstrip antenna has compact size, light weight, flat modular and low cost advantages. Besides, it suits oscillator, amplifier, modulator, mixer modular and integrated circuits (IC) integrated in the same plane. So we use this microstrip antenna to implement. The microstrip antenna return loss of -26dB/-13.5dB, band width of 200MHz/160MHz are the circuit performance of the research by simulation and measurement. Radiation pattern E_0 , E_ϕ at 0 degree, 90 degree also exhibit good performance.

Keywords : 5.77G-Hz, rectangular shape microstrip patch antenna, patch antenna

一、前言

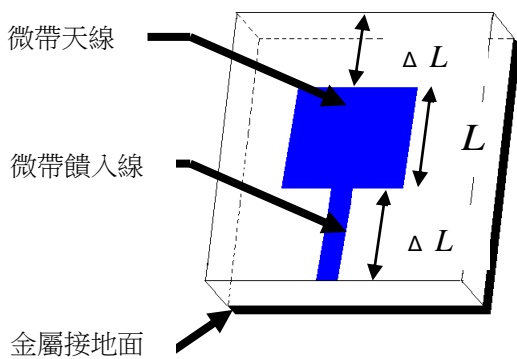
天線扮演傳送與接收電磁能量的角色，而天線的主要功能有二：作為阻抗(impedance)轉換裝置，用以匹配傳輸線(transmission line)與自由空間

(free space)，使電磁能量作最有效的傳遞。另外，天線可以將能量集中，導引到所需的方向，同時壓制其他方向的發射量到最低，以獲得最大的增益或傳輸距離，並減少不必要的干擾與被干擾的機會，滿足各種不同的應用【1】。

本研究是利用同軸線饋入方式製作矩形微帶天線，同軸饋入方式是以 SMA connector 由基板的接地面貫穿進入另一面的輻射元件部份。透過電磁模擬軟體來獲得所需的的天線尺寸及饋入點位置以及天線的返射係數(S11)與場型(radiation pattern)。

二、微帶天線分析方法與設計

微帶天線的介質基板其介電係數(dielectric constant)的範圍大約在 $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ 。通常介質基板越厚，介電係數越低其製造出來的微帶天線特性越好，這類的微帶天線的頻帶較寬，且較容易將能量輻射到空氣中。一般介質基板越薄，介電係數越高的微帶天線，會和微波電路(microwave circuit)整合在一起。這類天線尺寸小，不容易和其他的微波電路元件有耦合和輻射效應，缺點是頻寬小。微帶天線形狀很多，如方形、圓形、三角形、橢圓形...等，本研究為矩形微帶天線，如圖一所示：



圖一 矩形微帶天線示意【1】

用來分析微帶天線的方法，一般可分為三種：傳輸線模型理論(transmission-line model)【2】、空腔模型理論(cavity model)【2】、全波理論(full wave analysis)，以上方法各有其優缺點。以 IE3D【3】為例，其分析方法是假設微帶天線是在無限大的電路板上。然而在實作電路時，不可能有無限大的電路板，因此雖然分析速度較快，但是可能因為忽略此一因素，而導致和量測結果的誤差。而 HFSS 可以模擬有限電路板大小，然而分析速度遠慢於 IE3D。在設計微帶天線時，已知介質基板的介電係數、共振頻率、介質基板厚度等規格。設計程序如下【4】：

1. 先決定微帶天線的寬度，微帶天線的寬度會影響整個輻射效率的好壞，其公式如下所示。

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{u_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

其中： v_0 是在自由空間中光的速度

ϵ_r 為介質基板的介電係數

f_r 為共振頻率

2. 決定出微帶天線的有效介電係數。
3. 找出微帶天線寬度 W 後，利用下式找出 ΔL 。

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$

其中： h 為介質基板厚度

4. 最後就可以由下式決定微帶天線的實際長度 L

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{u_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L$$

其中： ϵ_{reff} 為有效介電常數

L 為如圖一所示之有效長度

ΔL 為如圖一所示之長度

以上為簡易之微帶天線設計方法和原理，但是精確度有限，因此現在大多使用全波模擬，然而以上的方法仍可作為初步設計之用，再以全波模擬修正。對微帶天線而言，不同的板寬、基板和板厚，對微帶天線的特性也有很大的影響。當板厚越大，其表面波電導的特性會更顯著。對共振頻率而言，其不同的板寬，也會使共振頻率產生偏移的效果。對天線增益來說，適當的接地面大小會增加天線增益(antenna gain)。微帶天線的場型大小，取決於微帶天線的尺寸大小，微帶天線的尺寸越大，其微帶天線的場型(radiation pattern)會越窄【5】。



三、矩形微帶天線之模擬

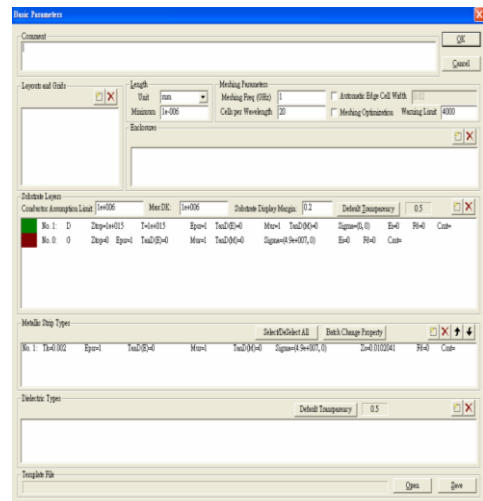
使用 IE3D 軟體模擬，一般可分成以下步驟：

1. 選擇設計物可調整的端點。
2. 定義這些端點所代表的含意。
3. 定義所模擬的範圍與移動的方向。
4. 定義所要達成的目標。例如：
 $|S_{11}| = 0$, $|S_{12}| < -30dB$ 等。
5. 選擇最佳的演算法。
6. 完成設計物特性的最佳化。

本研究之主要目標為設計、模擬並製作矩形微帶天線，首先我們將共振頻率設在 5.77GHz，並採用 FR4 電路板， $h = 0.762\text{ mm}$ (30mil (千分之一吋))，介電係數 = $4.4(1 + j 0.0245)$ ，將接地面設為有限接地面。接著，採用 Zeland 公司的 IE3D software Version 10.0 進行模擬。我們使用之參數設定如下：頻率為 5.77GHz 的微帶天線，其中 $a = 6\text{ mm}$ (約 $\lambda / 4$)， $L = W = 13\text{ mm}$ (約 $\lambda / 2$)。使其在頻率為 5.77GHz 時 $S_{11} < -25\text{ dB}$ ，造成一個 deep，利用天線幾何圖形的調整來達到 50Ω 阻抗匹配。最後，我們以同軸 SMA 接頭，進行返回損耗(S_{11})與場型之量測。有關模擬之詳細步驟如下：

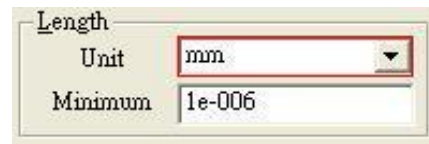


1. 從所安裝的位置找到 ，並開啟它。
2. 在『Zeland Program Manager』視窗中找到  此 Icon，或由『IE3D』下拉選單中，點取『Mgrid』進入繪圖。
3. 進入『Mgrid』後，在『File』下拉選單中，點選『New』，隨即出現『Basic Parameter』的視窗，見圖二。



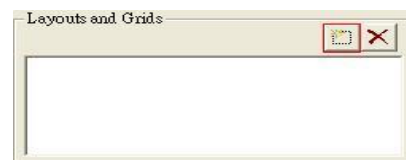
圖二 Basic Parameter

4. 我們要先決定長度單位『mm』，可以在『Length』視窗選擇，見圖三。




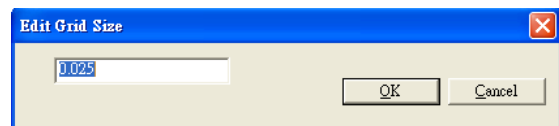
圖三 單位設定

5. 看到『Layouts and Grid』視窗，見圖四。




圖四 Layouts and Grid

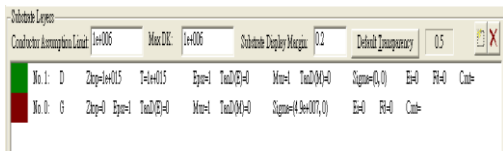
6. 點選『Layouts and Grid』視窗的  則會出現編輯畫面，我們採用原預設值，點選 ok 即可，見圖五。



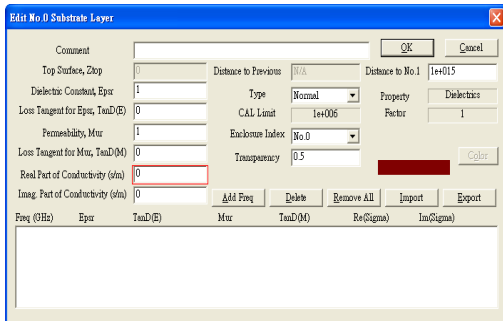
圖五 編輯 Layouts and Grid

7. 這時要設定『Dielectric Parameters』，因為將接地面設為有限，點選『Substrate Layouts』視窗上的『NO.0』，見圖六，然後點選  可進入編

輯畫面，見圖七，將『Real Part of Conductivity in S/m』原先的『4.9e+007』改為『0』，然後按下 ok 鍵即可。




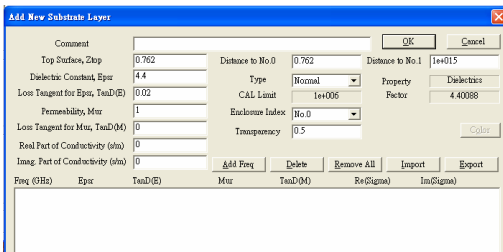
圖六 Dielectric Parameters



圖七 將接地面設為有限


8. 再將滑鼠點選『Substrate Layouts』視窗上的

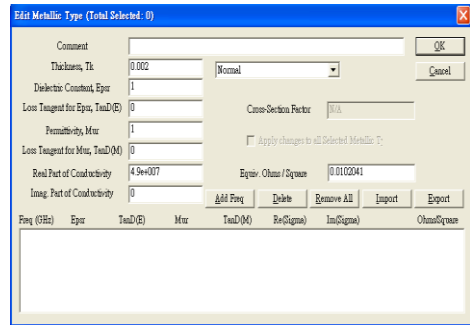
『NO.1』，然後點選進入編輯畫面，依序打上下列數值即可完成 Substrate 設定，如圖八。



圖八 編輯 Substrate Layouts

9. 編輯『Metallic Strip Types Parameter』，點取

『Metallic Strip Types』視窗上的進入編輯，此視窗通常使用預設值，因此只要按下 ok 即可，見圖九。



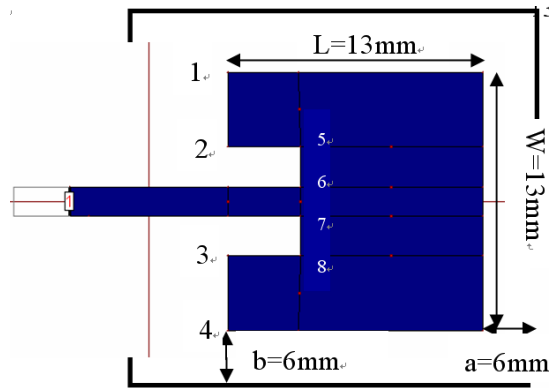
圖九 編輯 Metallic Strip Types Parameter

10. 編輯『Meshing Parameters』，看到『Meshing Parameters』的視窗，將『Meshing freq』設為『6(GHz)』，『Cells per Wavelength』設成『20』，點選『Basic Parameter』的視窗上的『ok』完成參數的設定，見圖十。



圖十 編輯 Meshing Parameters

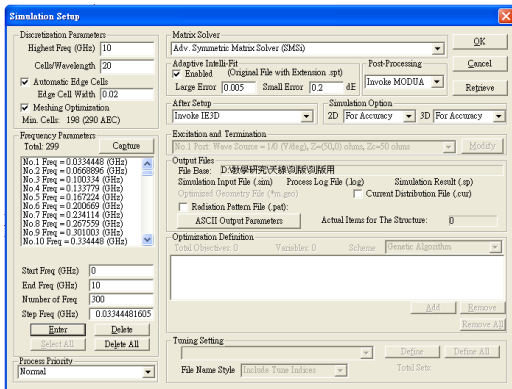
11. 從『Entity』下拉選單選取『Rectangle』，在 $h = 0.762\text{mm}$ 建立一個 $13\text{mm} \times 13\text{mm}$ 的 patch，並在微帶饋入線兩邊挖兩個矩形的洞，目的是可以減少其寬度 (w) 或面積。此時天線形狀如圖十一所示。



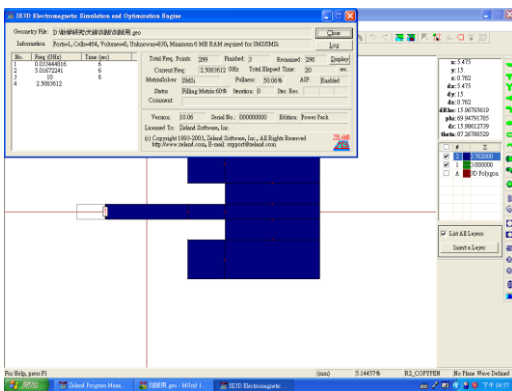
圖十一 矩形微帶天線平面圖

12. 完成上述步驟後，另存新檔，便可開始模擬。將『Process』下拉選單中，選取『Set Simulation』進行模擬，將頻率範圍設為『0~10GHz』，『Number of Freq』設為 300 點，則『Step Freq』會自設，並按下『Enter』鍵，其他設定使用

預設參數，並按下『OK』鍵後，程式便會開始模擬，見圖十二、十三。

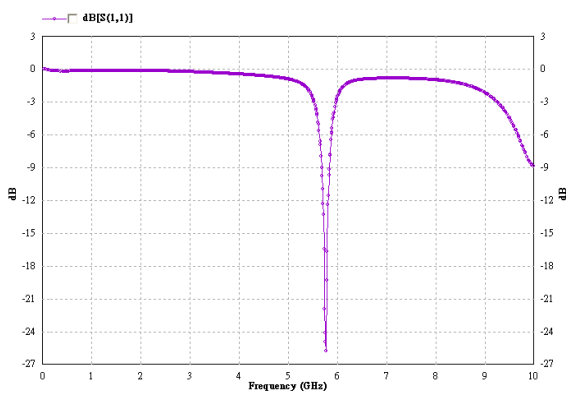


圖十二 設定模擬頻率範圍



圖十三 程式模擬中

13. 模擬完後會出現『Modia 10』視窗，並顯示模擬結果。若結果不理想，可重回 Step11~Step13 調整 W、L 及微帶饋入線兩邊的兩個矩形挖洞大小等；tune 其值的大小，直到符合所定之規格。而下圖所示為 5.77GHz 的頻率隨 S11 變化之最後模擬結果。



圖十四 5.77GHz 頻率隨 S11 變化之模擬結果

因此，我們歸納出一般設計矩形微帶天線的設計程序如下：

1. 選擇端點 1, 2, 3, 4 (如圖十一所示)。
2. 輸入矩形長度的範圍。
3. 完成頻率與變數之間的模擬關係。
4. 由模擬結果去決定最佳的變數範圍，並改變變數範圍。
5. 選擇端點 5, 6, 7, 8 (如圖十一所示)。
6. 輸入插入深度的範圍。
7. 選擇變數範圍使其最佳化。
8. 選擇演算法，並輸入所滿足的條件。例如：Iteration=20 和 Function Error=0.01。
9. 輸入所要達成的目標。例如： $\Re(S_{11})=0$, $\Im(S_{11})=0$ 等。
10. 完成模擬。

四、量測方法與設備

本研究主要量測項目包含：返回損耗(S11)和輻射場型 (radiation pattern) 等，其步驟如下說明。

(一) 返回損耗(return loss) S11 之量測

首先，使用網路分析儀(network analysis)、校正用接頭(connector)、扳手等(如圖十五)，做 Open、Short、Load 校正(如圖十六)，再接上待測天線(如圖十七)進行 S11 之量測(如圖十八所示)。



圖十五 網路分析儀、校正接頭、扳手等設備



圖十八 接上待測天線進行 S11 之量測

(二) 場型 (Radiation Pattern) 之量測

接著，使用電腦與監視器設備、無反射室及內部之發射與接收端天線進行 Pattern 之量測，如圖十九~二十一所示。先將待測天線固定於發射端，接上量測線之接頭，依據待測天線之共振頻率，選擇相同共振頻率(5.77GHz)之接收端天線 (Horn)，並調整方向使兩邊場型相同，再接上待測天線進行 Pattern 之量測。我們利用電腦軟體設定控制，含掃描角度：-180 ~ +180 度、掃描角度 step = 1 度、考慮震動問題時之間隔秒數為 4 秒等；先進行 main beam 位置的掃描校正，依據校正角度調整後，才可正式進行場型之量測。



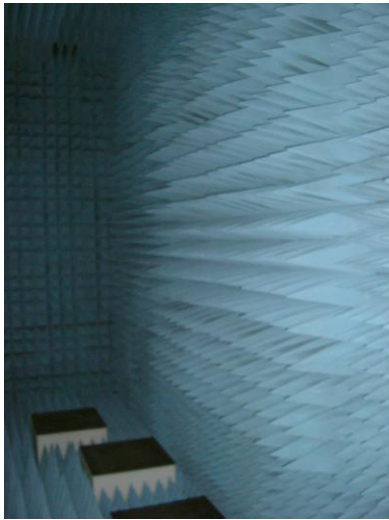
圖十六 使用網路分析儀(network analysis)做 Open、Short、Load 校正



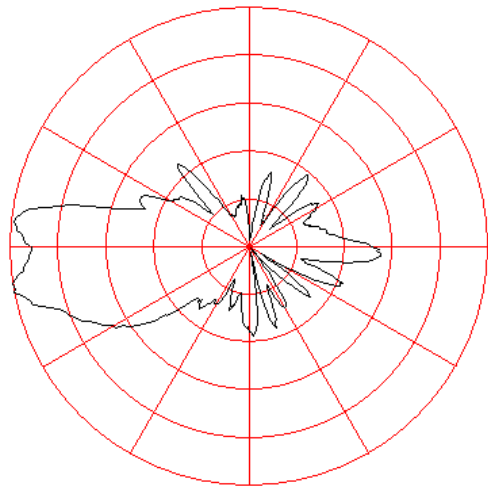
圖十七 待測天線之實體圖



圖十九 量測場型所使用之電腦與監視器設備



圖二十 量測場型時所使用之無反射室

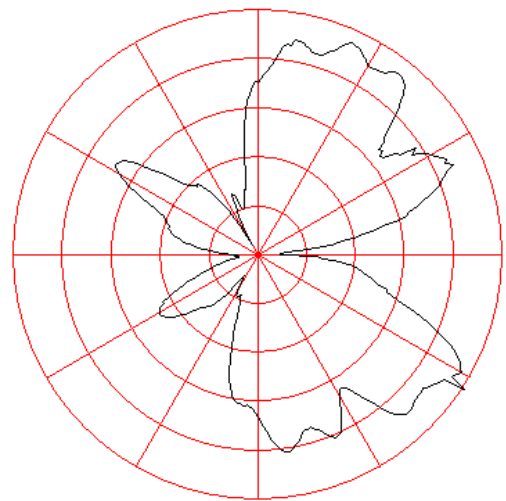


圖二十三 場型在 0 度($E\theta$)之量測圖



(a)發射端之微帶天線 (b)發射端之天線(Horn)

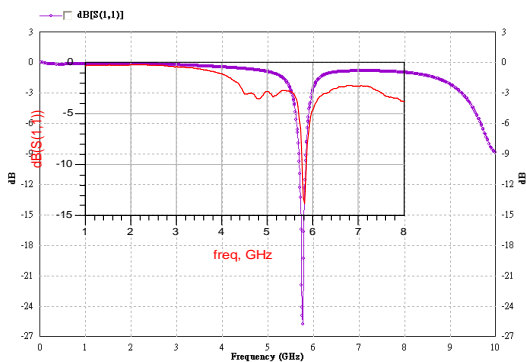
圖二十一 量測場型時發射與接收端之架設



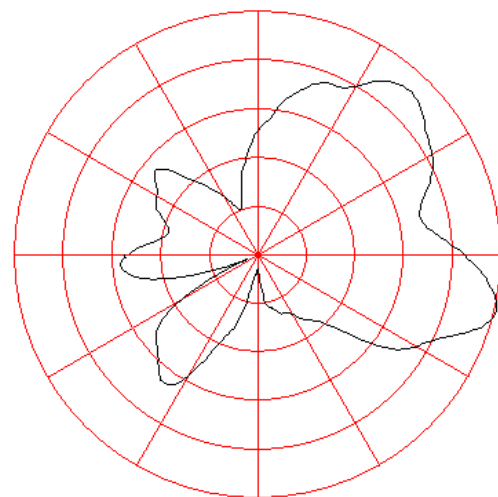
圖二十四 場型在 90 度($E\theta$)之量測圖

五、量測結果

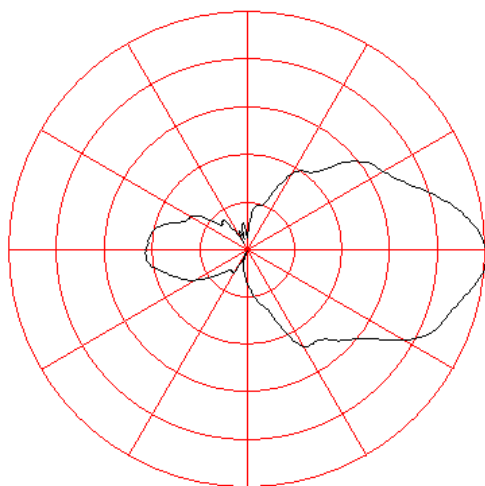
1. 返回損耗(return loss) S_{11} 模擬與量測值分別為-26dB/-13.5dB，頻寬 (bandwidth) 分別為200MHz/160MHz，如圖二十二所示。
2. 圖二十三~二十六為 0 度與 90 度時的 E_{θ} 與 E_{ϕ} 場型 (radiation pattern) 表現，均能達到不錯之效果。



圖二十二 S_{11} 之模擬與量測結果之比較



圖二十五 場型在 0 度($E\phi$)之量測圖



圖二十六 場型在 90 度($E\Phi$)之量測圖

六、結論與建議

(一) 結論

1. 製作出矩形微帶天線實體，經量測後與模擬特性比較差異性不大，且均在可接受範圍。
2. 本研究已成功設計模擬出 5.77G-Hz 之矩形微帶天線，經量測結果發現， S_{11} 能準確落在 5.77G-Hz， $S_{11}=-13.5\text{dB}$ ，頻寬為 160MHz，而且輻射場型亦能達到不錯之效果。
3. 從設計、模擬、電路製作到量測，提供高頻矩形微帶天線製作之參考。並擬出天線模擬之步驟流程、返回損耗與輻射場型量測之步驟流程，並逐步應用於其它天線之設計。

(二) 建議

1. 本研究將來可往「超寬頻」(ultra wide band) 方向來設計，更能符合無線通訊 (wireless communication) 之需求。
2. 未來能配合製作一顆 5.77G-Hz 之功率放大器 (power amplifier) 晶片，和本研究 5.77G-Hz 之天線 (antenna) 結合在一起做量測，並做一番探討。

七、參考文獻

1. 蕭賀臻，“電路板板寬大小對微帶天線的影響”，長庚大學電子工程研究所碩士論文，

民國九十二年，1~5 頁。

2. D. M. Pozar, “Microstrip antennas”, Proceedings of the IEEE, Volume: 80, Issue: 1, pp. 79–91, Jan. 1992.
3. “IE3D”, Zeland Software, Inc.
4. Constantine a. Balanis, “Antenna theory analysis and design”, Wiley, New York, 1938.
5. Tapan K. Sarkar, Sadasiva M. Rao, Antonije R. Djordjevic, “Electromagnetic Scattering and Radiation from Finite Microstrip Structures”, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, Volume 38, Issue 11, pp.1568–1575, Nov. 1990.