

實驗七 圓極化波微帶天線設計及量測

一、實驗目的：

設計中心頻率 1.545 GHz 之圓極化波微帶天線，在中心頻率之圓極化波之軸比(axial ratio)需小於 2.0 dB。天線設計一形狀取矩形但近似正方形之設計，而以同軸線為饋入方式。使用單片 FR4 雙面電路板蝕刻製作。天線設計二形狀取方形並在天線的對角線上植入一狹長矩形槽孔之設計，而以同軸線為饋入方式。亦使用單片 FR4 雙面電路板蝕刻製作。成品製作剛成後，量測天線相關參數，並討論其結果。

二、實驗材料：

- (1) 1.6mmFR4 雙面感光電路板
- (2) SMA 接頭

三、實驗步驟：

天線設計一：

- (1) 由給定之 FR4 基板參數，決定矩形微帶天線金屬片之短邊長度，使該短邊可激發之最低共振頻率 1.545 GHz。
- (2) 決定長邊之長度，使得天線之遠場輻射場 E_{θ} 及 E_{ϕ} 大小相等，而相位相差九十度。由於長邊之長度也會影響到操作之共振頻率值。若因此操作頻率偏離1.545 GHz，則必須回到步驟(1)修正短邊長度。
- (3) 使用同軸線作饋入，於金屬片對角線上選擇 50 歐姆輸入阻抗之饋入點。
- (4) 決定各項參數後，使用 FR4 電路板蝕刻製作。製作成品後，量測此天線參數，並討論其圓極化波特性及相關量測數據。

天線設計二：

- (1) 決定矩形微帶天線金屬片之長度及決定窄槽孔的尺寸，使得可激發之最低共振頻率 1.545 GHz。
- (2) 決定窄槽孔的尺寸，使得天線之遠場輻射場 E_{θ} 及 E_{ϕ} 大小相等，而相位相差九十度。由於窄槽孔的尺寸也會影響到操作之共振頻率值。若因此操作頻率偏離1.545 GHz，則必須回到步驟(1)修正長度。
- (3) 使用同軸線作饋入，於金屬片軸向方向線上選擇 50 歐姆輸入阻抗之饋入點。
- (4) 決定各項參數後，使用 FR4 電路板蝕刻製作。製作成品後，量測此天線參數，並討論其圓極化波特性及相關量測數據。

四、實驗原理：

- (1) 圓極化波設計要求

微帶天線基本上為一窄頻寬天線，當設計成圓極化波輻射時，其頻寬更窄，一般不超過其線性極化輻射頻寬的 1/2[1-6]。因此，如何準確計算圓極化波微帶天線的尺寸，相當重要。

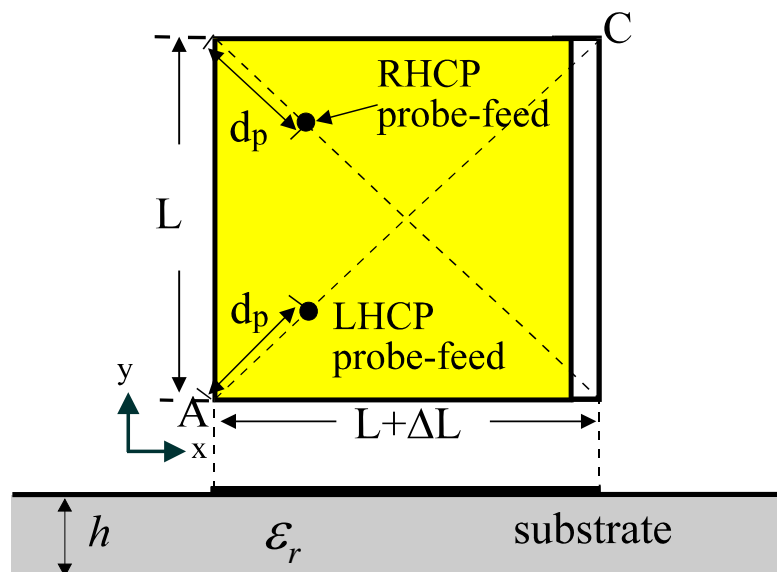
一般在設時，考慮在其主輻射束中心點上($\theta = 0^\circ$)，其遠場 E_θ 及 E_ϕ 必須滿足

$$\begin{cases} \angle E_\theta - \angle E_\phi = \pm 90^\circ, & (7.1) \\ |E_\theta| = |E_\phi| & (7.2) \end{cases}$$

方程式(7.1)之±號代表右旋及左旋圓極化。

(2) 圓極化微帶天線設計一

在本節中，我們首先即以此方法設計圓極化波輻射天線 [9-13]，首先，為了要滿足 E_θ 及 E_ϕ 之大小相等，我們可以選擇使用方形微帶天線。因為方形微帶天線之 f_{10} 及 f_{01} 頻率相同，因此在同一操作頻率下，可以同時激發互相垂直，而且強度相同 TM_{10} 及 TM_{01} 模態，而得到大小相等的 E_θ 及 E_ϕ 之相位差為零。而由研究發現，如果將方形金屬片之長寬比(aspect ratio)由 1.0 增加至約 1.01-1.03 左右(視天線基底等參數而有所變化，對FR4 玻纖基板而言有良好的一致性)， E_θ 及 E_ϕ 之相位差可以變成九十度。由於 E_θ 及 E_ϕ 之大小依舊大致相同，因此，我們可以得到一圓極化波的輻射。在本節中，我們首先即以此方法設計圓極化波輻射天線，其結構如下圖所示。



圖一 近似於方形微帶天線圓形極化設計

另外由輻射場軸比 (axial ratio) 小於 3dB 之條件決定對操作頻寬，此時約僅 0.5%，為一相當窄頻之圓極化波天線。除了由全波分析計算出 ΔL 之值外，只要能計算得到天線結構之空腔品質因數 Q ， Δa 可以由下列簡化公式獲得[1-5]：

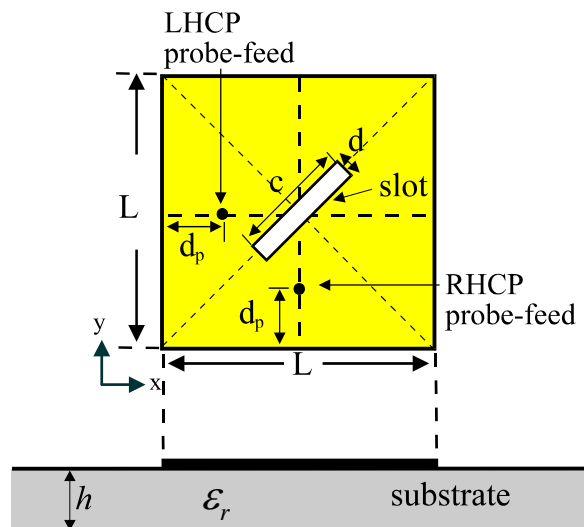
$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{Q} \quad (7.2)$$

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \quad (7.3)$$

其中 Q 為整體的 Q 值、 Q_r 為輻射損失所形成的 Q 值、 Q_d 為介質損失所形成的 Q 值、及 Q_{sw} 為表面波損失所形成的 Q 值。而由 Q 值也可以大致估算出圓極化波輻射之頻寬 $\approx (1/3Q)$ ；一般線性極化輻射約為 $1/Q$ 。在另外在選擇饋入點位置上，由經驗得到此種結構之最佳 50- Ω 饋入點位於對角線 \overline{AC} 上距離端點約 0.35-0.39 \overline{AC} 之間(不同天線參數可能有不同數值)。在此饋入點，當基底較厚時，由於饋線之電感加大，欲獲得接近 $VSWR=1$ 的結果，將較為困難。

(3) 圓極化微帶天線設計二[6, 10, 13-14]

也可以在方形微帶天線上蝕刻一個對角的窄槽孔，如圖二所示。典型的設計：當 $c = L/0.72$ 及 $d = c/10$ 時，可以得到優良的圓極化軸比(Axial Ratio)。同時將饋入位置置於 $(x/L, y/L) = (0.5, 0.1636)$ 時，可以達到最佳阻抗匹配(不同天線參數可能有不同數值)。



圖二 具有一個對角的窄槽孔之方形微帶天線圓極化設計幾何圖

(4) Q 值之計算：

A. 我們可以由實驗求得阻抗頻寬(VSWR=2.0:1)，再經由方程式(7.3)求的對應的 Q 值。

$$BW = \frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{1}{\sqrt{2}Q}. \quad (7.4)$$

B. 當微帶天線製作於薄的電介質，此時反射損失 $RL \geq 10dB$ 所定義的阻抗頻寬大約等於電壓駐波比 $VSWR \leq 2.0$ 所定義的阻抗頻寬。可以使用實驗一之方程式求出阻抗頻寬，再使用方程式(7.3)求出天線的 Q 值。

C. 天線之操作頻寬[15]可以由下式表示：

$$BW = \frac{16}{3\sqrt{2}} \frac{c_1 p}{e_r} \left(\frac{1}{\epsilon_r} \right) \left(\frac{b}{\lambda_0} \right) \left(\frac{W}{L} \right) \quad (7.5)$$

$$\text{其中 } p = 1 + \frac{a_2}{20} (k_0 w)^2 + a_4 \left(\frac{3}{560} \right) (k_0 w)^4 + b_2 \left(\frac{1}{10} \right) (k_0 L)^2 \quad (7.6)$$

$$a_2 = -0.16605$$

$$a_4 = 0.00761$$

$$b_2 = -0.09142$$

e_r 為輻射效率，

$$e_r = \frac{P_r^h}{P_r^n + P_{sw}^h}. \quad (7.7)$$

$$\text{其中 } P_r^h = \frac{1}{\lambda_0^2} (k_0 b)^2 \left[80\pi^2 \mu_r^2 \left(1 - \frac{1}{n^2} + \frac{2/5}{n^4} \right) \right]$$

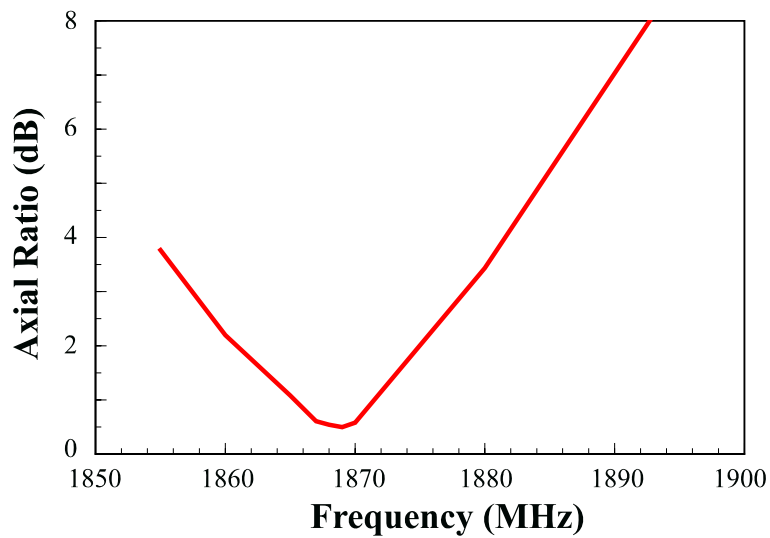
$$P_{sw}^h \sim \frac{1}{\lambda_0^2} (k_0 b)^3 \left[60\pi^3 \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)^3 \mu_r^3 \right]$$

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

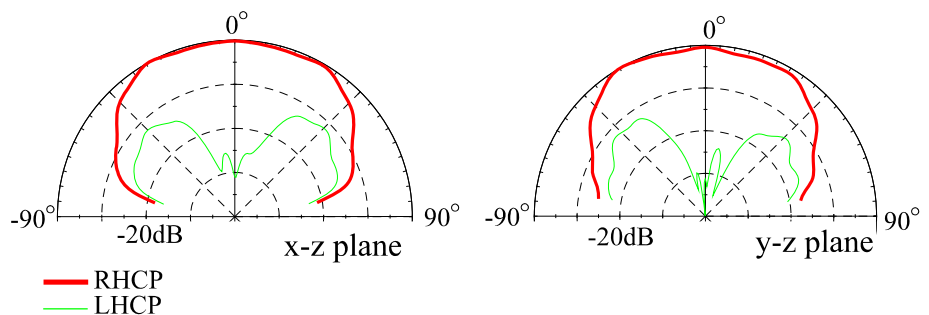
五、實驗範例：

選擇邊長 $L = 37.3 \text{ mm}$ 的方形微帶天線，經由實驗得知阻抗頻寬 $BW(VSWR \leq 2.0) = 2.268\%$ 。經由計算得到 Q 值為 32.17，則 $L + \Delta L = 38.45 \text{ mm}$ 。經由實驗得知其圓極化輻射並不理想，故需修正 ΔL 值。當 $L + \Delta L = 38.88 \text{ mm}$ ， d_p 為 14.2mm 時，實驗量測結果如圖三所示：操作圓極化中心頻率為 1869 Mhz 及所得之圓極化頻寬為 1.1%。(其中圓極化天線的中心頻率為圓極化軸比最低處之頻率)。圖四所示為近似於方形的圓極化微帶天線實驗量測所得的輻射場型圖，實驗結果顯示此天線為右旋圓極

化(RHCP)天線並且具有良好的微帶天線圓極化幅射特性。



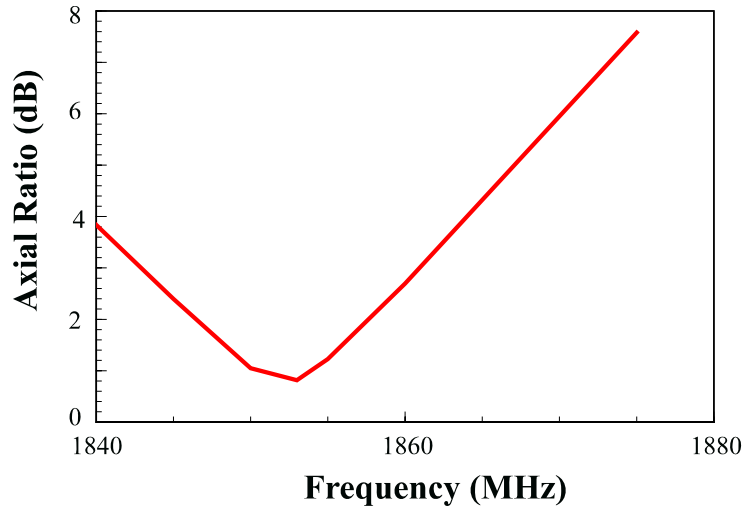
圖三 近似於方形的圓極化微帶天線實驗量測所得的輻射軸比對頻率響應圖



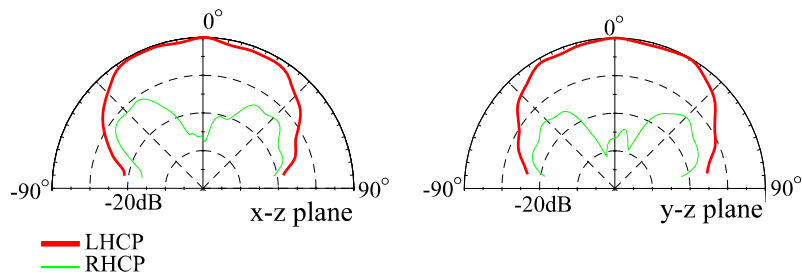
圖四 近似於方形的圓極化微帶天線實驗量測所得的輻射場型圖

具有一個對角的窄槽孔之方形微帶天線圓極化設計實例如下：選擇邊長 $L = 37.3$ mm的方形微帶天線，並且選擇窄槽孔的 $c = 13.71$ 及 $d = 1.371$ 的尺寸時。經由實驗得知其圓極化輻射效能並不理想，故需修正窄槽孔的 c 及 d 的尺寸值為 11.5 mm及 1.371 mm。相關的圓極化實驗量測結果如圖五及六所示。當 c 及 d 的尺寸值為 11.5 mm及 1.371 mm， d_p 為 5.8 mm時，實驗量測結果如圖五所示：操作圓極化中心頻率為 1853 MHz及所得之圓極化頻寬為 0.9% 。圖六所示為具有一個對角的窄槽孔之方形

微帶天線圓極化設計之實驗量測所得的輻射場型圖，實驗結果顯示此天線為左旋圓極化(LHCP)天線並且具有良好的微帶天線圓極化幅射特性。



圖五 具有一個對角的窄槽孔之方形微帶天線圓極化設計之實驗量測所得的輻射軸比對頻率響應圖



圖六 具有一個對角的窄槽孔之方形微帶天線圓極化設計實驗量測所得的輻射場型圖

六、問題與討論：

- (1)由圓極化微帶天線的 Smith 圖中，可否判斷此天線圓極化之效能？
- (2)如何判別微帶天線輻射的電磁波極化為左旋圓極化(LHCP)波或右旋圓極化(LHCP)波？

七、參考文獻：

1. J. R. James, and P.S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, Vols. 1 and 2, Peter Peregrinus, London, UK,1989.

2. R.E.Munson, *Microstrip Antennas*,” Chapter 7 in Antenna Engineering Handbook (R. C. Johnson and H. Jasik, eds.), McGraw-Hill Book Co., New York, 1984.
3. K. Hirasawa and M. Haneishi, *Analysis, Design and Measurement of Small and Low Profile Antenna*, Artech house, MA,1992.
4. J. R. James, P. S. Hall, and C. Wood, *Microstrip Antenna Theory and Design*, Peter Peregrinus, London,UK,1981.
5. R. F. Lee and W. Chen, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley&Sons Inc., Chapter 5, 1997.
6. C. A. Balanis, *Antenna Theory* : analysis and design, John Wiley&Sons Inc., Chapter 14, 1997.
7. Y. T. Lo, D.Solomon, and W. F. Richards, “Theory and experiment on microstrip antennas, ”IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 27, pp. 137-145, March 1979.
8. W.F. Richards, Y. T. Lo, and D.D.Harrison, “An improved theory for microstrip antennas and applications, “IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 29, pp. 38-46, Jan. 1981.
9. Y.T. Lo and B. Engst, “Simple design formulas for circularly polarized microstrip antennas,” IEE Proc. H,vol.135, pp.213-215,1988.
10. K. R. Carver and J. W. Mink, ”Microstrip antenna thchnology, ” IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-29, No. 1, pp.1-24, January 1981.
11. W. F. Richards, Y. T. Lo and P. Simon, “Design and theory of circularly polarized microstrip patch antennas,” Proc. IEEE Trans. Antennas Propagat. Symp, pp. 117-120, 1979.
12. Y. T. Lo and W. F. Richards, “A perturbation approach to the design of circularly polarized microstrip antennas,” Proc. IEEE Trans. Antennas Propagat. Symp, pp. 339-342, 1981.
13. P. C. Sharma and K. C. Gupta, “Optimized design of single feed circularly polarized microstrip antennas,” Proc. IEEE Trans. Antennas Propagat. Symp, pp. 156-159, 1979.++
14. P. C. Sharma and K. C. Gupta, “Analysis and optimized design of single feed circularly polarized microstrip antennas IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 31, pp. 117-123, Nov. 1983.
15. D. R. Jackson and N. G. Alexpoulos, “Simple approximation formulas for input resistance, bandwidth, and efficiency of a resonant microstrip patch, “IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 39, pp. 407-410, March. 1991.