

雙極化整流天線之設計

黃怡靜、李宗麟、潘冠蒲、邱冠智*、孫卓勳
國立台北科技大學電腦與通訊研究所

摘要 — 本論文所設計之 5.8 GHz 雙極化整流天線，其雙極化天線阻抗頻寬符合 ISM(5.725~5.85 GHz) 之規範，天線增益為 8.3 dBi 左右；本研究整流天線其所接收最大電壓第一埠可達 8.5 伏特，第二埠則可接收到 8.12 伏特，其整體系統轉換效率最高可達 86%。第二個設計為 5.8 GHz 單饋入雙極化整流天線，其單饋入雙極化天線阻抗頻寬符合 ISM(5.725~5.85 GHz) 之規範，天線增益為 5.7 dBi 左右；其整流天線所接收最大電壓可達 7.38 伏特，整體系統轉換效率最高可達 79%。

一、簡介

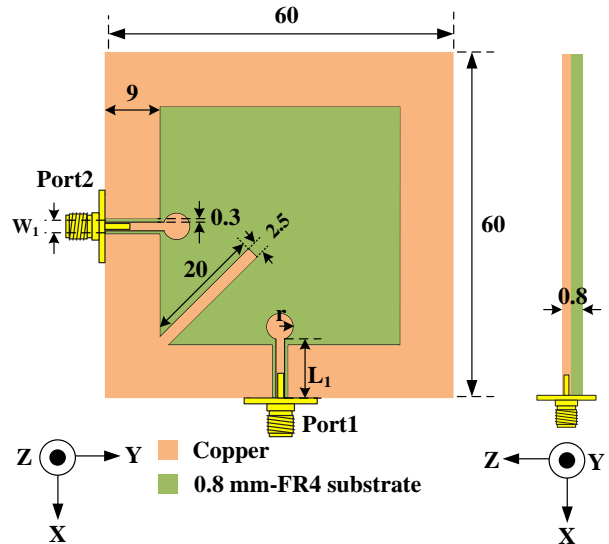
WPT(Wireless Power Transmission) 主要功能為透過天線擷取空間中的電磁波能量，接著經由整流電路將 RF(Radio Frequency) 能量轉換成直流電源，以提供電子設備使用。利用晶片型元件設計匹配電路與半波倍壓整流電路，以達天線與整流電路間之阻抗匹配，亦能有效抑制其高次諧波且縮小整體體積；最後將雙極化天線與整流電路作整合，以量測整體輸出直流電壓與轉換效率。

在通訊系統中多重路徑衰減為使通訊系統效能降低的重要因素之一，極化分集(polarization diversity) 技術為其中一個有效對抗多重路徑衰減的方法 [1-3]。因此本篇論文提出一個使用 CPW 技術來達到寬頻寬[4,5]且高隔離度的雙極化天線。

二、雙極化整流天線設計

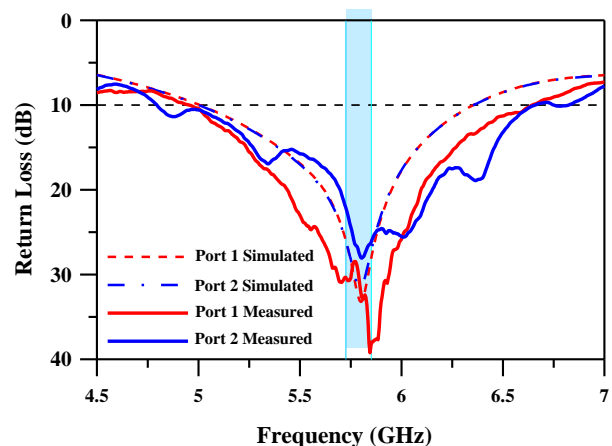
2.1 天線設計

本篇提出天線的結構及尺寸如圖一所示。天線製作材質選用介電常數 $\epsilon_r = 4.4$ 之玻璃纖維板(FR4)製程，損耗正切 $\tan\delta = 0.0245$ ，厚度 0.8mm，天線整體尺寸大小為 $60 \times 60 \text{mm}^2$ ，兩個埠正交配置於方型寬槽孔天線結構中，分別激發垂直極化與水平方向極化電場，兩個埠分別由兩個 50Ω SMA 接頭連接。CPW 饋入線寬度為 $W_1 = 1.5 \text{mm}$ ，饋入線與兩側接地面的槽縫間距為 0.3 mm，外圍金屬寬度為 9mm。饋入線長度 $L_1 = 12 \text{mm}$ ，饋入線終端採用圓形結構設計，圓形半徑 $r = 3.29 \text{mm}$ 。在雙極化天線設計中雙埠間的隔離度為決定天線優劣的重要指標之一，因此，有許多文獻中提出如何改善隔離度的方法，例如加入矩形殘枝[6]或在金屬面埋入槽孔[7]，本設計在兩個圓形金屬間加入對角線的矩形殘枝以達到良好的隔離度效果以及保持寬頻特性，殘枝的尺寸為 $20 \times 2.5 \text{mm}^2$ 。



圖一：本文所提出的天線結構圖及相關尺寸， $L_1 = 12$ 、 $W_1 = 1.5$ 、 $r = 3.29$ (單位：mm)

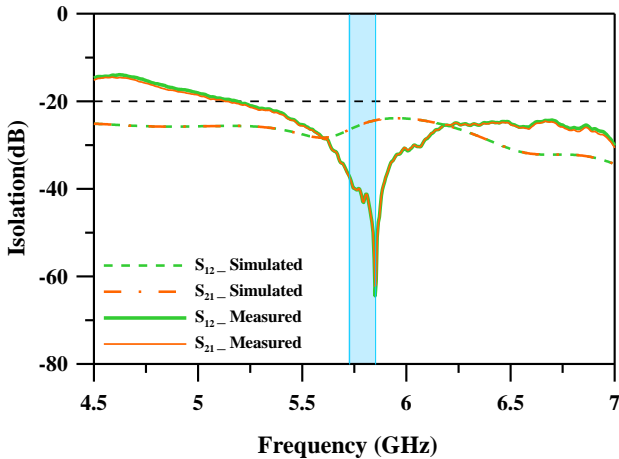
提出天線藉由全波 3-D 高頻結構電磁模擬軟體(Ansoft, LLC. HFSS)予以輔助設計並使用安捷倫向量網路分析儀進行量測。如圖二所示為 5.8 GHz CPW 雙極化天線模擬與實測反射損失圖，藍色區塊為所需之操作頻帶規範 5725~5850MHz。由圖二得知第一埠的實測頻段範圍 (return loss $\leq -10 \text{ dB}$) 為 4955~6640 MHz，阻抗頻寬約為 1685 MHz，即約 29%；而第二埠實測頻段範圍為 4800~6655 MHz，阻抗頻寬約為 1855 MHz，即約 32%，兩個埠的實測結果皆滿足 5.8 GHz 規範。



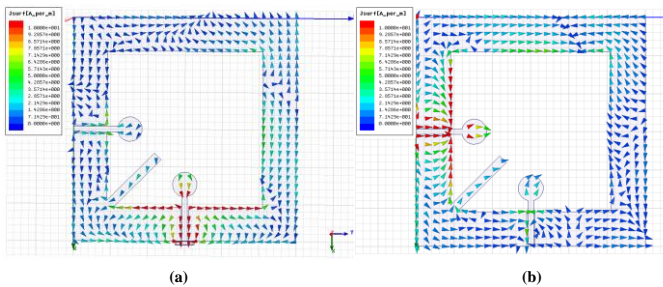
圖二：CPW 雙極化天線模擬與實測之反射損失圖

接著如圖三所示為模擬與實測之隔離度，其中， S_{12} 與 S_{21} 的阻抗頻寬內隔離度皆低於 -30 dB 以下，且最好的隔離度有達到 -60 dB 左右，因此具有良好的隔離度表

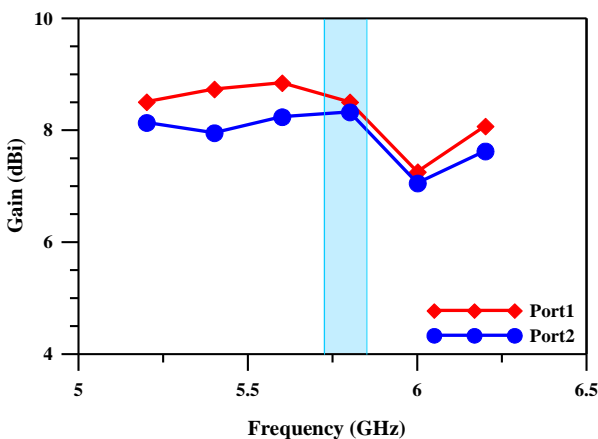
現。圖四為 5.8 GHz 第一埠與第二埠饋入的 CPW 雙極化天線之電流分佈模擬圖，由圖得知，接地金屬面上的電流分佈受圓形上電流所影響，若以第一埠為中心線為準，為左右對稱的分佈，而此種電流分佈形式會激發出共平面波導中的偶模態，使接地面成為輻射主體的一部分。圖五所示為應用於 5.8 GHz CPW 雙極化天線之實測增益(gain)，第一埠饋入的增益平均約為 8.8 dBi，第二埠饋入的增益則約為 8.3 dBi。



圖三：CPW 雙極化天線兩埠間模擬與實測之隔離度



圖四：5.8 GHz 雙極化天線電流分佈圖：(a)第一埠激發，(b)第二埠激發



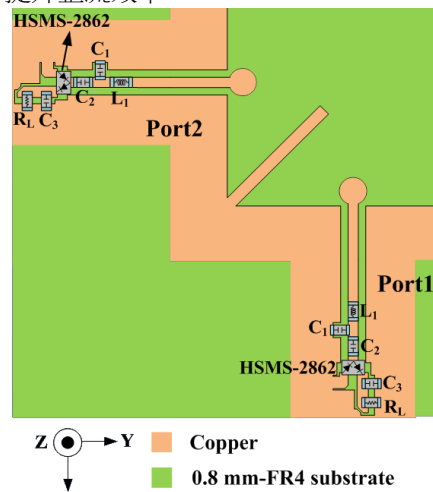
圖五：實測雙極化天線增益

2.2 整流電路設計

半波倍壓整流電路之幾何結構如圖六所示，整流電路接於天線饋入端。整流電路由一對蕭特基二極體

(schottky diode)、濾波電容器與負載電阻共同組成。二極體使用表面黏著式射頻零偏壓蕭特基二極體 (surface mount RF zero bias schottky barrier diodes)，選用型號為 HSMS-2862，內部的等效電路 $R_s = 25\Omega$, $C_{j0} = 0.18\text{pF}$, $B_v = 3.8\text{V}$ [8]。兩個蕭特基二極體以串聯形式封裝、直流隔離電容 $C_2 = 3.3\text{ pF}$ 、直流濾波電容 $C_3 = 330\text{ pF}$ ，整流後的直流功率輸入至負載電路端。倍壓電路的輸出電壓約為單一二極體輸出電壓的兩倍，有如預期般的提升輸出直流電壓。

透過向量網路分析儀量測天線以及後端半波整流倍壓電路二極體的輸入阻抗值，阻抗匹配電路利用這兩個值進行匹配。RF 信號在進入整流倍壓電路進行整流之前先經過匹配電路以有效提升整體工作效率，匹配電路由晶片電感 $L_1 = 56\text{ nH}$ 與晶片電容 $C_1 = 1\text{ pF}$ 構成，匹配電路除了作為天線以及電路端的阻抗轉換之外，亦具有帶通濾波器的功能，只讓 5.8 GHz 工作頻帶的 RF 信號進入整流電路，提升整流效率。



圖六：應用於 5.8GHz 雙極化整流天線幾何結構

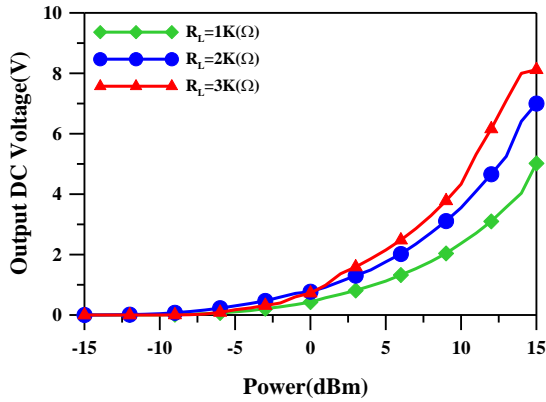
2.3 整流天線量測

整流天線的量測參考文獻[9]的量測配置，為了能使整流天線實際之效能與成果完整呈現，將整體量測機制移至電磁波無反射室中進行量測，以寬頻標準號角天線傳送 5.8 GHz 的 RF 能量。

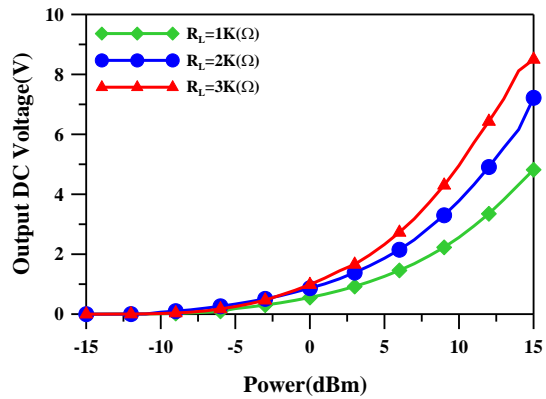
整流天線 RF-to-DC 轉換效率方程式定義如下

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{receiver} + P_{loss}} = \frac{P_{DC}}{P_{incident}} \times 100\% \quad (1)$$

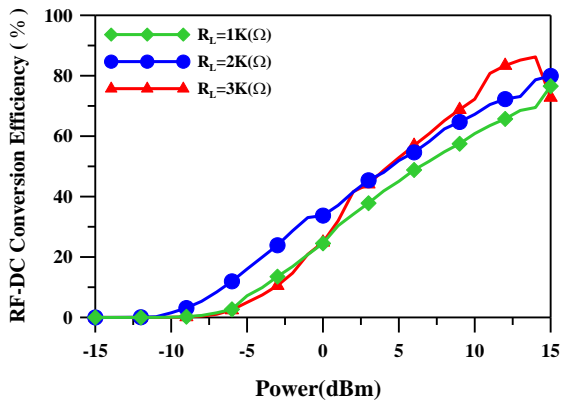
公式中 P_{DC} 為輸出直流功率， $P_{incident}$ 為接收到的整流功率。輸出電壓如圖七、圖八所示而圖九為其轉換效率圖。第一埠與第一埠同樣為 3 K Ω 負載且接收到相同功率相同時，第一埠最大輸出直流電壓為 8.5 伏特;第二埠的最大輸出直流電壓為 8.12 伏特，最後將兩端輸出電壓串聯，整體轉換效率最高可達約 86%。



圖七：實測 5.8 GHz 整流天線隨 R_L 變化之第一埠輸出直流電壓



圖八：實測 5.8 GHz 整流天線隨 R_L 變化之第二埠輸出直流電壓

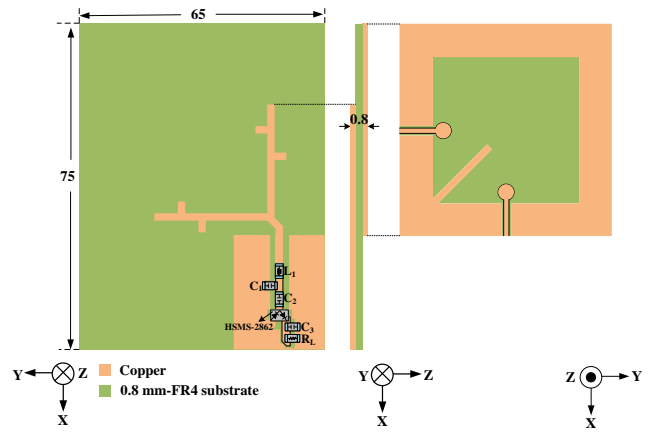


圖九：應用於 5.8GHz 雙極化整流天線隨 R_L 變化之轉換效率

三、單饋入雙極化整流天線設計

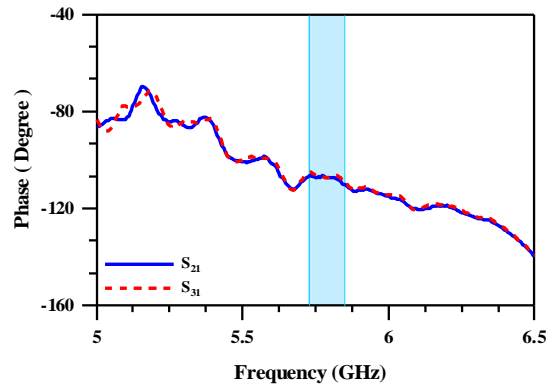
3.1 天線設計

在前述 CPW 雙極化天線的兩個埠由天線背面的饋入網路所取代，成為單饋入雙極化天線。此設計使整體整流天線小型化，其整體大小為 $72 \times 65 \text{mm}^2$ ，圖十為操作於 5.8 GHz 之單饋入雙極化天線結構圖。饋入網路的主要結構為四段經過設計的開路傳輸線連接於 L 型網路傳輸線所組成，其功能類似於功率分配器的作用，可將輸入功率平均分配於兩側傳輸線。

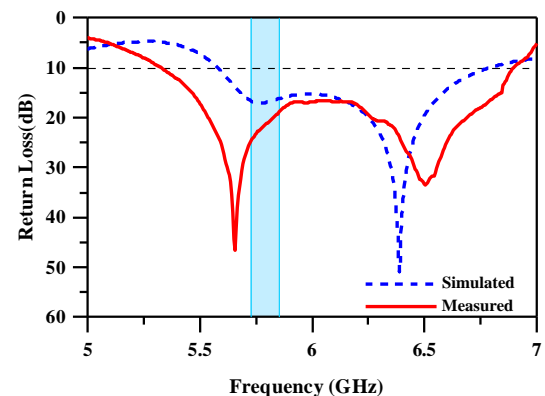


圖十：應用於 5.8 GHz 之單饋入雙極化整流天線結構圖

為了能使第二埠與第三埠有效地進行電磁波訊號的接收與傳送，便須考慮到功率分配的問題，因此首先利用第一埠饋入 45 度角的方式將功率等量分配給兩端；接著在相位的部份，利用兩端微帶線長度等效出相差為 0° 的相位，以避免功率分配不均造成大量的訊號反射，由圖十一可看出第二埠與第三埠的相位分別為 -107° 和 -106° 幾乎接近零相位差。圖十二中藍色區塊為操作頻帶規格 5725 ~ 5850 MHz，由圖中所知，實測 S_{11} 頻段範圍 (return loss ≤ -10 dB) 為 5325 ~ 6895 MHz，阻抗頻寬約 1570 MHz，頻寬百分比約為 27%。

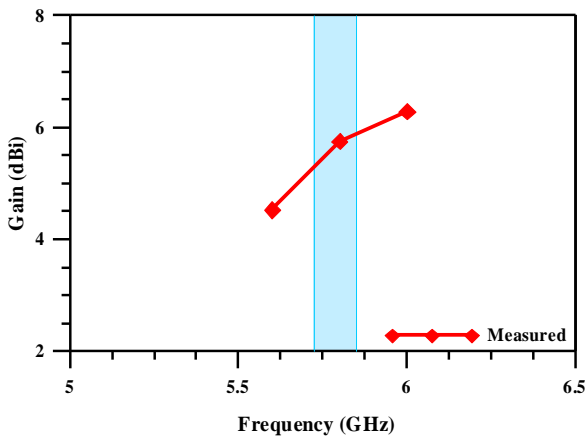


圖十一：實測於 5.8GHz 饋入網路相位圖。



圖十二：單饋入雙極化整流天線之模擬與實測反射損失圖

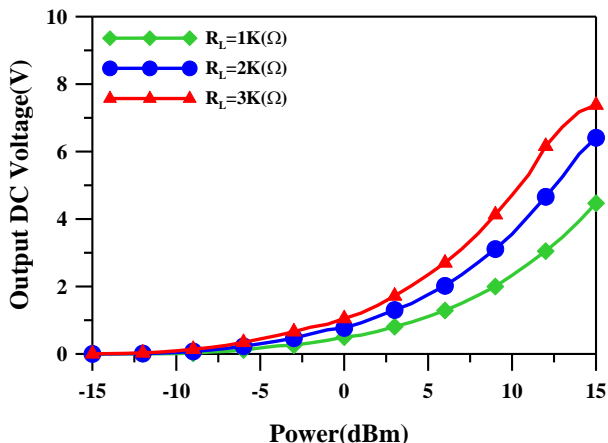
圖十三所示為應用於 5.8GHz 單饋入雙極化天線實測增益(gain)圖，平均增益約為 4.5~5.7 dBi。



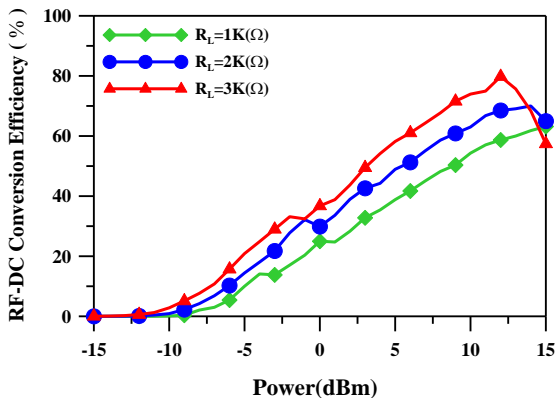
圖十三：實測於 5.8 GHz 單饋入雙極化整流天線增益

3.2 整流天線量測

無線功率傳輸系統配置與量測與 2.3 提到的相同，對單饋入雙極化整流天線進行實際量測。圖十四所示為單饋入雙極化整流天線隨負載電阻變化，負載電阻或接收功率越大，最大輸出直流電壓為 7.38 伏特。圖十五為量測之輸出直流電壓系統轉換效率與接收功率間之響應曲線圖，其量測最佳可達約 79%。



圖十四：實測 5.8 GHz 單饋入整流天線隨 R_L 變化之輸出直流電壓



圖十五：實測 5.8 GHz 單饋入雙極化整流天線隨 R_L 變化轉換效率

四、結論

本文成功提出應用於無線功率傳輸之雙極化整流天線，提出天線之操作頻寬分別為 1685MHz (29%)以及 1855MHz(32%)，雙埠於 5.8 GHz 的隔離度皆小於-30 dB，且具有穩定增益，分別為 8.3dBi 和 8.5dBi。最大輸出直流電壓為 8.12 伏特與 8.5 伏特，整體轉換效率為 86%。為了使整體整流天線小型化，而饋入雙極化天線。阻抗頻寬約為 1570MHz(27%)，其增益 5.7dBi。其最大輸出直流電壓為 7.38 伏特，其 RF 轉直流之轉換效率約達 79%。

參考文獻

- [1] R. C. Johnsin and H. Jasik, *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill: Rainbow-Bridge, Taipei, pp. 30-40, Jun. 1984.
- [2] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of microstrip antennas*, Peter Peregrinus, London, pp. 20-35, 1989.
- [3] J. Huang, "Microstrip antenna developments at JPL," *IEEE Antennas Propag.*, vol. 33, no. 3, pp. 33-41, Jun. 1991.
- [4] R. Yahya and T. A. Denidni, "Design of a new dual-polarized ultra-wideband planar CPW fed antenna," in *Proc. IEEE Int. Symp. on Antennas Propag.(APSURSI2011)*, Spokane, WA, Jul. 2011, pp. 1770-1772.
- [5] A. Daviu *et al.*, "Novel ultra-wideband antenna for diversity applications," in *Proc. Antennas Propag. Society Int. Symp. (APSURSI2010)*, Toronto, ON, Jul. 2010, pp. 1-4.
- [6] Y. Cheng, W. J. Lu, W. Cao, and Y. Li, "Printed diversity antenna with cross shape stub for ultra-wideband applications," in *Proc. IEEE Singapore Int. Conf. Communication Systems(ICCS2008)*, Guangzhou, Nov. 2008, pp. 813-816.
- [7] C. Phongcharoenpanich, K. Boonying, S. Kosulvit and T. Laohapensaeng, "Dual-Band Flat Antenna for Polarization Diversity with High Isolation," in *Proc. IEEE-APS Topical Conf. on APWC*, Cape Town, WP, Sep 2012, pp. 906 - 909.
- [8] Surface Mount RF Schottky Barrier Diodes-HSMS-2860 series, Avago Tech., Data sheet, 2007.
- [9] N. Zhu, R. W. Ziolkowski, and H. Xin, "Electrically Small GPS L1 Rectennas," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 10, pp. 935-938, Sept. 2011.