

國立交通大學

電信工程研究所

碩士論文

使用單一二極體開關之五頻及七  
頻的可調頻手機天線

Frequency Reconfigurable Antennas Using a PIN  
Diode Switch for Penta-Band and Hepta-Band  
For Mobile Phones

研究生：洪聖超 (Sheng-Chao Hung)

指導教授：鍾世忠 教授 (Dr. Shyh-Jong Chung)

中華民國九十九年七月

使用單一二極體開關之五頻及七頻的可調頻手  
機天線

Frequency Reconfigurable Antennas Using a PIN Diode Switch  
for Penta-Band and Hepta-Band For Mobile Phones

研究生：洪聖超                      Student : Sheng-Chao Hung  
指導教授：鍾世忠 博士          Advisor : Dr. Shyh-Jong Chung



Submitted to Institute of Communication Engineering  
College of Electrical and Computer Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Master of Science  
In Communication Engineering  
July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年七月

# 使用單一二極體開關之五頻及七頻的可調頻手機天線

研究生：洪聖超

指導教授：鍾世忠 博士

國立交通大學電信工程研究所

碩士論文

## 摘要

本論文中，我們提出一種對於頻率可調手機天線的設計，以應用於WWAN與LTE頻段。天線是利用一迴路天線加上一PIN二極體之開關電路完成設計，藉由開關的控制來達成低頻的頻率可調，並且在低頻頻率切換之時，能夠繼續保有高頻頻段的特性，因此，此一天線可達到更多頻段的需求。在這樣的概念下，設計出兩個五頻可調頻天線以及一個七頻可調頻天線。

第一個天線主要用於切換GSM850/GSM900，在此切換之下，高頻能夠保持在GSM1800/GSM1900/UMTS2100這三個頻段，然後達成一五頻可調頻天線的設計。因應現在市場上的需要，天線底下可能需要一個完整性的接地面，以供於更多的電路面積被使用，因此再度設計一個天線應用於切換GSM850/GSM900，在此切換之下，高頻也能夠保有上述三個頻段，達成一接地面完整之五頻可調頻天線的設計。隨著LTE的發展，手機天線也要在往更低頻以及更多頻段發展，第三個天線即是用於切換LTE700、GSM850/GSM850、GSM900，在此切換下，高頻能夠保持在GSM1800/GSM1900/UMTS2100/WLAN2.4G這四個頻段，達成一七頻可調頻天線的設計。

# Frequency Reconfigurable Antennas Using a PIN Diode Switch for Penta-Band and Hepta-Band Mobile Phones

Student : Sheng-Chao Hung

Advisor : Dr. Shyh-Jong Chung

Institute of Communication Engineering

National Chiao Tung University

## ABSTRACT

In this thesis, a frequency reconfigurable antenna design for WWAN-band and LTE-band mobile phones is developed. This structure utilizes a loop antenna and the switching circuit of PIN diode. Through the operation of switch, three different loop lengths are switched so that the lower band is reconfigurable, and the higher band maintains its performance. As a result, this antenna can achieve much more bands. In this concept, we design two frequency reconfigurable antennas for penta-band mobile phones and a frequency reconfigurable antenna for seven-band mobile phones.

The first proposed antenna has the capability of switching the lower band between the GSM850 and GSM900 frequency ranges with only a minor impact on the upper band. The upper band covers the frequency ranges of the GSM1800, DCS1900 and UMTS2100 communication standards. With the need of market, a complete ground is needed under the antenna to provide more area to lay out circuits. The second proposed antenna with the complete ground also has the capability of switching the lower band between the GSM850 and GSM900 frequency ranges and



the upper band maintains GSM1800/GSM1900/UMTS2100. As mentioned above, we achieve two frequency reconfigurable antennas for penta-band mobile phones . With the development of LTE, The third proposed antenna has the capability of switching the lower band between the LTE700/GSM850 and GSM850/GSM900 frequency ranges. The upper band covers the frequency ranges of the GSM1800, DCS1900, UMTS2100 and WLAN2.4G. Consequently, we achieve a frequency reconfigurable antenna for seven-band mobile phones.



## 誌謝

在我完成這篇論文的時候，首先我要感謝的就是我的指導教授鍾世忠博士，對於我所做的研究，不論大咪或個咪，教授總是會適時的提出一些想法與問題來激發我的思考，讓我可以清楚明瞭現在所做的東西其設計原理與運用的層面；此外，教授也鼓勵我多涉獵一些期刊論文，然後在報告 paper 時，也能夠適時的給予一些想法與討論，使我對專業知識的培養有莫大的幫助，以至於可以完成這篇論文，真的很由衷的感謝鍾世忠教授這兩年來的指導。

而凌菁偉學姊是我另一個要感謝的人，這篇論文的完成，有賴於一開始學姐帶領我對可調頻天線的初步想法與設計，從一開始的天線模擬與實做量測，學姊總是能一步一步細心的指導，雖然學姐在我碩二時就離開實驗室去公司上班，但一開始的啟發與帶領真的是讓我受用不盡，助學姐一路順遂。

接下來，在我們 LAB912 裡，當然還有更多的重要人物囉，可以很會講的凱哥學長，一開始進 LAB 時，感覺上小有距離，但後來發現是個很促咪的人物，詳情去唱個 KTV 就很瞭了 XD，然後有問題去請教時，也總是能獲得一些幫助，我的可調頻天線上，開關機制也是從凱哥那邊參透過來的，感謝！接下來是肇堂學長，原來他是我中央的學長，真是有一番淵源阿，當一開始進 LAB 時，都還不怎熟識時，他就會跟我提點什麼東西要注意，讓我可以很快速的知道研究生生活，遇到期刊論文上的問題時，也都有從他的幫助上獲得一些知識的提升，酷！還有雷達組的達叔學長，雷達的交接與帶學弟真的很辛苦，後來也出去公司幫忙，祝一切順利。然後是幫大家處理有的沒有的以及帳務的珮華正咩姐姐，最後的口試流程也很感謝你的大力幫忙唷！同鄉的柯柯！而且還同高中，哈哈，在我被老師緊迫盯人時，你也很挺我跟幫了我，知道你真的很操很累，真的是酷哥，英雄人就是這樣的啦！這一年多認識了你真的不賴，希望你盡快轉去你想要的跑道上囉，加油。

再來就是與我同屆的大家了，壘球鐵捕冷肥，一上進去時跟著去打壘球新生盃，也認識了一些其他人，感覺不賴，雖然我冠軍賽沒參與到 XD，你講話真的是超有梗超會接話而且還用不膩！但大部分真的是還不錯笑啦~哈。然後是多益神手子嫻，滿分那件事真的是讓我們熟識起來的橋樑吧，囧>，我回想起那陣時候還真是不知該哭該笑內，但你也是好相處的人！以後成為 PM 要罩大家唷~~鬍子哥財溢，一開始我們就比鄰而坐，所以有啥問題都是請教你先，也幫了我超多忙，但還是很喜歡看你跟子嫻兩個互嗆 XD，祝你去宏達電一路順遂啦，不要太衝！

然後跟我一樣是手機天線的 Therese 也祝你可以順利畢業囉，然後返鄉順利！還有小我半屆的補刀王志謙，大概是跟冷肥最有梗的兩人了，你們是另一組黃金拍檔，但太常補我刀了，嘖嘖，但有你的加入，實驗室歡笑也增添不已，幫忙買大家的生日蛋糕也辛苦你了，你會順利畢業的，加油！還有 IC 組的阿諾跟阿凱，阿諾我們是健身雙雄，硬要講 XD，阿凱也祝你出國念書順利阿。

還有一群可愛又帥氣的學弟們，老甘，你的書上那句話究竟是什麼呢 XD，也不要再崩潰了，哈。Kimi，桌球校隊耶，但沒見識過真可惜，感覺你賺超大！，瑋哥，中央的學弟，好像也沒幫上你太多忙，慚愧了 XD，但你似乎有模擬的天份，哈。小豪，也是會一起健身的傢伙，還要去弄演算法，加油捏。阿澤，感覺玩很大演唱會聽超爽，應該是冷肥接班人了，哈哈。明年就輪到你們畢業啦，加油!!! 你們可以的~~~

最後，要感謝我的室友小白小蟲，在我有時鬱卒的時候，我們可以亂嗨一把的唱歌喝酒或互相激勵，真的是很爽，還有常從台大來嗆我們的花哥，感謝你借我口試當天的行頭，真的是兄弟耶，還有火華、景文、小鄧、不几、GG 等一些唱歌的好夥伴，還有一堆在清交的朋友們，有了你們才讓我在新竹更充實。還有在我論文初稿時，被目錄搞到一個頭兩個大，小歐跟阿德，你們伸出援手來救我，真的是超酷的，真的是很感謝大家！

最後的最後，很開心我有加入 LAB912 這個大家庭，讓我這兩年過的真的很快樂，大家總是處於和樂融融的氣氛，以後再也見不到了怎麼辦~~~大家珍重再見!!!!

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	IV
目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
表目錄.....	X
目錄	
第一章 導論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 文獻探討.....	4
1.3 章節概要.....	10
第二章 應用於手機之五頻可調頻天線.....	11
2.1 五頻可調頻天線設計 I.....	11
2.1.1 多頻的迴路天線架構.....	11
2.1.2 提升頻寬的匹配設計.....	14
2.1.3 天線與開關電路的整合.....	19
2.1.4 天線場型的量測與效率.....	23
2.2 五頻可調頻天線設計 II.....	27
2.2.1 多頻的迴路天線架構.....	27
2.2.2 提升頻寬的匹配設計.....	30
2.2.3 天線與開關電路的整合.....	33
2.2.4 天線場型的量測與效率.....	36
第三章 應用於手機之七頻可調頻天線.....	40
3.1 七頻可調頻天線設計.....	40
3.1.1 多頻的迴路天線架構.....	40
3.1.2 增加頻段之耦合設計.....	43
3.1.3 提升頻寬的匹配設計.....	45
3.1.4 天線與開關電路的整合.....	47
3.1.5 天線場型的量測與效率.....	51
第四章 結論(Conclusion).....	56
參考文獻.....	57
附錄 天線實體架構照片.....	59

## 圖目錄

圖 1.1 相關開關放置配置示意圖(a)用於切換寄生元件(b)用於直接增加走線長度(c)用於產生電容性負載.....	5
圖 1.2 相關開關放置配置示意圖(a)用於饋入端與匹配電路做切換(b)用於切換不同天線之饋入(c)使用耦合方式饋入天線 .....	6
圖 1.3 (a)可調之雙頻單極天線架構圖(b)可調之雙頻單極天線之反射損失圖 .	7
圖 1.4 (a)可調式之平面倒 F 天線架構(b)左邊開關導通(c)右邊開關導通。... (d)左邊開關導通之反射損失圖(e)右邊開關導通之反射損失圖 .....	8
圖 1.5 (a)饋入點由開關控制(b)天線末端的開路短路由開關控制..... (c)饋入點變化之反射損失圖(d)末端變化之反射損失圖 .....	9
圖 2.1 多頻迴路天線立體結構示意圖 .....	11
圖 2.2 多頻迴路天線平面結構示意圖 .....	12
圖 2.3 多頻迴路天線模擬反射損失圖 .....	13
圖 2.4 多頻迴路天線加入 matching pad 後之平面結構圖 .....	14
圖 2.5 模擬 matching pad 與原始天線之反射損失與頻率之關係曲線 .....	15
圖 2.6 多頻迴路天線加入 matching pad 和 slot 後之平面結構圖 .....	16
圖 2.7 模擬加入 L_slot 之反射損失與頻率之關係曲線 .....	17
圖 2.8 加入 L_slot 與 matching pad 之模擬反射損失比較圖 .....	17
圖 2.9 五頻可調頻迴路天線平面結構示意圖.....	19
圖 2.10 五頻可調頻迴路天線平面結構參數示意圖 .....	19
圖 2.11 調頻之開關機置放大示意圖 .....	20
圖 2.12 模擬五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖 .....	21
圖 2.13 量測迴路天線之反射損失與頻率響應圖 .....	21
圖 2.15 850MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane .....	24
圖 2.16 900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane .....	24
圖 2.17 1800MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane.....	25
圖 2.18 1900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane.....	25
圖 2.19 2100MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z	

plane.....	26
圖 2.20 多頻迴路天線立體結構示意圖 .....	27
圖 2.21 多頻迴路天線平面結構與側視圖 .....	28
圖 2.22 模擬迴路天線之反射損失與頻率響應圖 .....	29
圖 2.23 多頻迴路天線加入三角之平面結構與側視圖 .....	30
圖 2.24 模擬加入 L_angle 之反射損失與頻率響應圖 .....	31
圖 2.25 多頻迴路天線加入三角與一 strip 之平面結構與側視圖 .....	31
圖 2.26 模擬加入 L_tune 之反射損失與頻率響應圖 .....	32
圖 2.27 五頻可調頻迴路天線平面結構示意圖 .....	33
圖 2.28 五頻可調頻迴路天線平面結構參數示意圖 .....	34
圖 2.29 模擬五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖 .....	34
圖 2.30 量測五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖 .....	35
圖 2.31 850MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane .....	37
圖 2.32 900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane .....	37
圖 2.33 1800MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane.....	38
圖 2.34 1900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane.....	38
圖 2.35 2100MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane.....	39
圖 3.1 多頻迴路天線立體結構示意圖 .....	40
圖 3.2 多頻迴路天線平面結構示意圖 .....	41
圖 3.3 多頻迴路天線側視圖 .....	41
圖 3.4 模擬多頻迴路天線之反射損失圖 .....	42
圖 3.5 多頻迴路天線平面結構示意圖 .....	43
圖 3.6 多頻迴路天線側視圖 .....	43
圖 3.7 模擬加入 coupling strip 之反射損失圖 .....	44
圖 3.8 多頻迴路天線平面結構示意圖 .....	45
圖 3.9 多頻迴路天線側視圖 .....	45
圖 3.10 模擬加入 L_strip 之反射損失圖.....	46

圖 3.11 七頻可調頻迴路天線立體結構示意圖 .....	47
圖 3.12 七頻可調頻迴路天線平面結構示意圖 .....	47
圖 3.13 七頻可調頻迴路天線平面結構示意圖 .....	48
圖 3.14 模擬五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖 .....	49
圖 3.15 量測五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖 .....	49
圖 3.16 750MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane .....	52
圖 3.17 850MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane .....	52
圖 3.18 900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane .....	53
圖 3.19 1800MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane.....	53
圖 3.20 1900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane.....	54
圖 3.21 2100MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane.....	54
圖 3.22 2500MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane.....	55



## 表目錄

表 2.1 開關前後量測之效率表 .....	23
(a)開關前後之低頻效率 .....	23
(b)開關前後之高頻效率前半部 .....	23
(c)開關前後之高頻效率後半部 .....	23
表 2.2 天線各頻段之平均增益根最大增益 .....	26
表 2.3 開關前後量測之效率表 .....	36
(a)開關前後之低頻效率 .....	36
(b)開關前後之高頻效率前半部 .....	36
(c)開關前後之高頻效率後半部 .....	36
表 2.4 天線各頻段之平均增益根最大增益 .....	39
表 3.1 開關前後量測之效率表 .....	51
(a)開關前後之低頻效率前半部 .....	51
(b)開關前後之低頻效率後半部 .....	51
(c)開關前後之高頻效率前半部 .....	51
(d)開關前後之高頻效率後半部 .....	51
表 3.2 天線各頻段之平均增益跟最大增益 .....	55





# 第一章 導論(Introduction)

## 1.1 研究動機與目的

隨著時代的演進，今日社會由於科技與通訊產業的發展，拉進人們相處的距離，並對社會文化上更造成重大轉變。伴隨通訊產業興盛以及使用者的普及，許多標準紛紛依需求而制定出協定，如：藍芽(Bluetooth)、無線區域網路(WLAN, Wireless Local Area Network)、全球定位系統(GPS, Global Positioning System)、超寬頻技術(Ultra-Wideband)、微波存取全球互通(WiMAX, Worldwide Interoperability for Microwave Access)等，都早已藉由大眾性電子產品而融入日常生活中。

行動手機可視為目前無線通訊中最炙手可熱的商品，甚至可說是日常用品，而為了攜帶方便，通常具有輕薄短小的行動手機，一般較能獲得消費者的青睞；而「天線」乃無線通訊產品之間互相傳輸訊號的首要元件，所以應用在行動手機上的天線也必須具有小體積的特點。手機天線之研發設計便需在不同的外型要求下，仍然具備高效能、低輻射、低成本、小尺寸、適合搭配等特性。其他消費電子產品如DVB，需接收大量視訊、音訊、多媒體資料，天線更要求超寬的頻寬設計。因此如何設計出具有高效能、體積小、低成本、高度整合頻帶等優勢的天線，值得加以探討。且根據市場研究機構的數據指出，2008年開始，全球GSM手機出貨量將逐漸下滑，而3G手機則節節攀升，並將在2011年達到全球手機整體出貨量的一半以上反映3G手機時代已經來臨。

因此在本論文中，將針對適用於行動手機天線系統某些頻段進行設計，這些系統包含長期演進技術LTE (Long Term Evolution, 694-806 MHz)、全球移動

通訊系統GSM (Global System for Mobile Communications, 824-960 MHz)、數位通訊系統DCS (Digital Communication System, 1710-1880MHz)、個人通訊系統PCS(Personal Communication System, 1850-1990 MHz)、全球衛星定位系統GPS (Global Positioning System)、通用移動通訊系統UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 1920-2170MHz)。

以行動手機而言，目前發展的趨勢朝向「高頻化」、「複合化」前進，複合化包括所謂「多頻」就是同一支行動手機可接收多種頻率，此時天線的作用就不容忽視。尤其近年來小型化產品風潮的興起，天線的尺寸顯的相當重要。為了要應用於行動手機上的天線小型化，使該產品達到輕薄化的要求。

藉由上述所知，符合現代化的手機天線涵蓋許多的用途及類型，然而，設計上有著種種的要求與限制，因此，設計出高效能、體積小、成本低、高度整合頻帶的天線，則是本論文在研究上的主要動機及目標。

此外，LTE與WiMAX，以及3GPP2的超行動寬頻 (Ultra Mobile Broadband, UMB) 技術常一起被稱為4G，過去的3G技術是指同一無線網路提供語音和數據通訊，但到了4G時代則變成為全數據網路，LTE估計最高下載速率100Mbps與上傳50Mbps以上，比WiMax更快。

中華電信研究所和易利信(Ericsson)日前公佈了LTE(Long Term Evolution)實際場域測試(Field Trial)成果，包含定點測試、應用服務測試及中華電信研究所自行研發的LTE Simulator，同時還包括在高速移動汽車中仍可維持順暢連線的LTE網路效能。測試的重點包含了以IP網路協定為基礎的LTE-EPC網路基本功能測試，多天線MIMO技術之LTE-EPC網路效能的驗證，以及運用LTE-EPC網路測

試各式IMS多媒體服務和行動寬頻應用軟體，包括可同時流暢播放HD視訊串流，以及幾乎無延遲的視訊電話在內。而在實際車輛行駛測試中，80公里時速下，這個實驗網路仍能確保穩定連線，下載速率平均在30Mb/s以上。

在此狀況下，天線的設計包含LTE已是現在正興起的潮流，本論文將會提出一適用於LTE之天線架構以符合先進潮流的需要。



## 1.2 文獻探討

天線是一種可以發射電磁能量至空間中或從空間中接收電磁能量的導電體或導電系統。傳送訊號時，天線將無線電頻率電能轉變成電磁能量輻射到週遭的環境。接收訊號時，天線接收電磁能量並將之轉變成無線電頻率之電能提供給接收器處理。此外，天線為無線通訊設備必須之組件，是空間中電波進出通訊收發裝置之唯一門戶。所以無線通訊發展迄今，無論技術如何更新，零組件如何整合，外觀因產品設計如何改變，天線仍是不可或缺之部份。

近年來，行動通訊產品不斷的推陳出新，同時成本降低也是一直在努力的目標，而且為了滿足大眾的需求，使得外型日益輕薄短小，在此等狀況下，天線可用體積縮小，而頻段的需求卻愈變愈多，這也是目前市場所面臨到的挑戰之一，為了滿足現在的需求，可調頻的天線日益被發展出來，運用了頻段的可調，來達到現今的需求，是可以降低一天整合多頻段的困擾，並且運用了可調頻的機制，將使得頻段與頻段間的干擾更為下降，達到更好的效果。

以下為頻率可調式天線可能的設計方法：

1. 首先，設計雙頻天線，包含 GSM900/1800/1900/2100 四個頻帶，不同於現有文獻於開關切換的情況下，只能單獨涵蓋 GSM850/1900 與 GSM900/1800 頻帶，於本論文中，經由適當的天線設計，使得無論開關開啟或關閉，均能包含整個高頻 (1710-2170 MHz) or (1710-2170 MHz, 2500 MHz) 頻段操作。以此天線為基礎，進而將開關放置於寄生元件或是 GSM850 路徑之末端。當開關開啟時，能使寄生元件經由原本天線主體耦合產生感應電流，如圖 1(a) 所示(其中倒 F 天線僅為天線主體代表，可以其他型式天線替換，諸如：單極天線或是迴路天線，均為可使用

之天線型式，且天線其架構可為兩度空間或三度空間，並包含兩個以上之共振路徑)，進而激發寄生元件產生 GSM900 之操作；或是藉由有效的增加等效電流路徑，如圖 1(b)所示，利用開關切換直接增加一小段線段，亦或是以電容負載的形式加於末端(如圖 1(c))，同樣能適度的使得有效電流路徑增長，實現 GSM850/900 頻段切換。

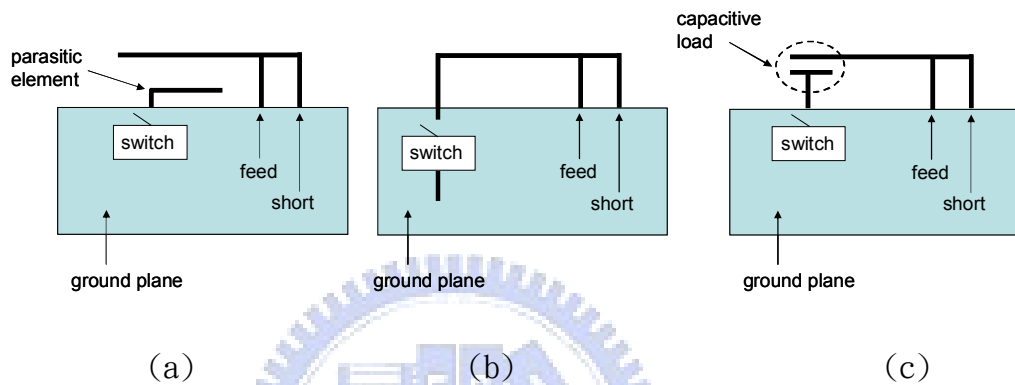


圖 1.1 相關開關放置配置示意圖(a)用於切換寄生元件(b)用於直接增加走線長度(c)用於產生電容性負載

2. 於天線饋入端加入開關設計，可分為兩方向進行，第一種是於天線饋入端之前加入匹配電路，如圖 2(a)所示，藉由此匹配電路，能在不更動天線主體的情況下，改變操作頻率，達成所需規格。另一個方法則是，藉由開關的切換，改變不同饋入點，天線饋入可以是直接饋入方式(如圖 2(b))或者利用耦合饋入方式(如圖 2(c))，使得從不同饋入點看進去所得到之等效電流路徑不同，進而達成多頻操作的特性。

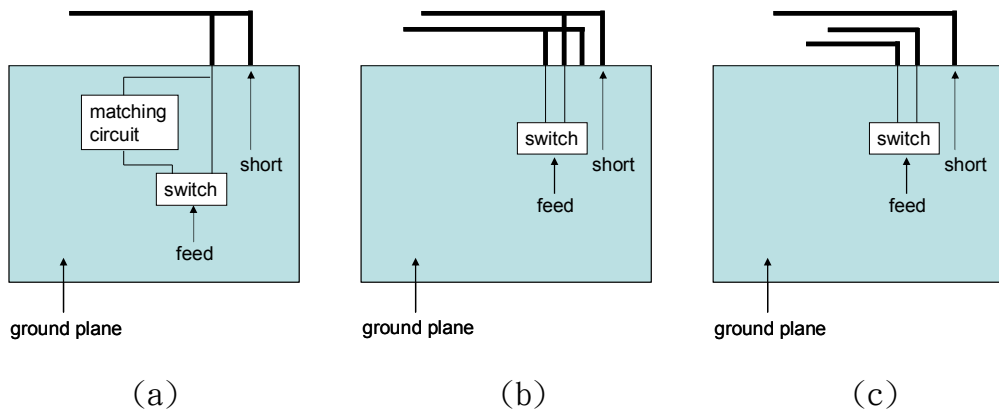
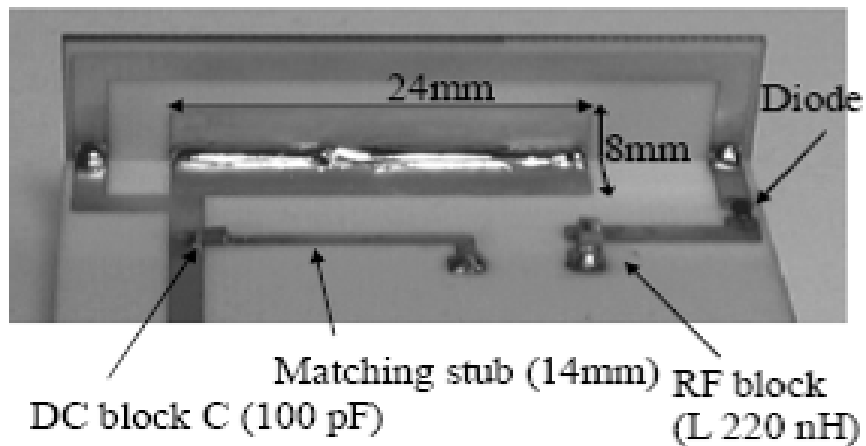


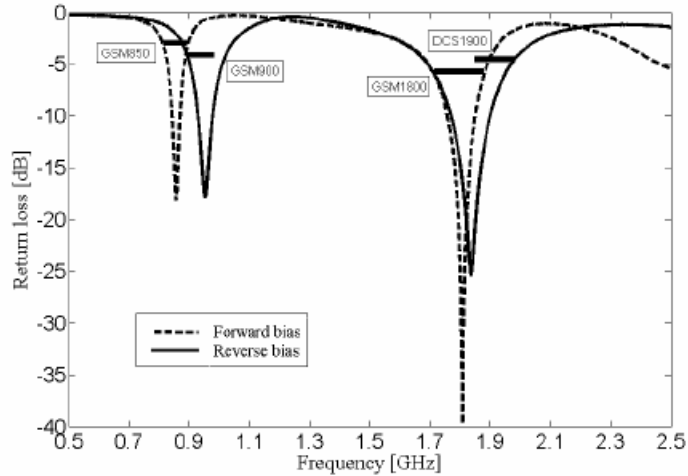
圖 1.2 相關開關放置配置示意圖(a)用於饋入端與匹配電路做切換(b)用於切換不同天線之饋入(c)使用耦合方式饋入天線

根據第一種做法，以下有幾篇文獻的範例可以探討一下。

文獻一所提出應用於手機可調頻之天線設計，如圖 1.3(a)所示。該天線架構為單極天線(monopole antenna)形式，係利用兩段金屬路徑，使得天線可以操作於四分之一波長共振之單極天線，因而能達成 GSM850/1800 雙頻操作的特性，而在天線末端多加一段由 Pin diode 控制之金屬路徑，使其達成頻率偏移至 GSM900/DCS1900 的效果，但本論文之天線型態與此不同，且若欲應用於五頻 GSM850/900/1800/1900/UMTS2100 操作，其阻抗頻寬顯然不足夠。



(a)



(b)

圖 1.3 (a)可調之雙頻單極天線架構圖(b)可調之雙頻單極天線之反射損失圖

文獻二提出一頻率可調之平面倒 F 天線，系利用一饋入線饋入一金屬線段，在此金屬線段下分別還有兩段比較短的線段接在接地面上，然後各有一個開關控制著，當輸入順偏壓時，將導通右邊的開關，如圖 1.4(b)所示，使得一段共振路徑較長的平面倒 F 天線與一耦合的金屬線段輻射，此時頻率操作在 GSM850 與 PCS1800 的頻段上，如圖 1.4(d)所示。當輸入逆向偏壓時，將導通左邊的開關，如圖 1.4(c)所示，使得一段共振路徑較短的平面倒 F 天線與一耦合的金屬線段輻射，這時頻率分別操作在 802.11b/g/n 與 802.11a，如圖 1.4(e)所示，經由兩個開關的設計方式，來達到四段不同的共振路徑，使得一隻天線可以有四個頻段的運用，但希望開關數目可以再減少，以避免能量的損耗。

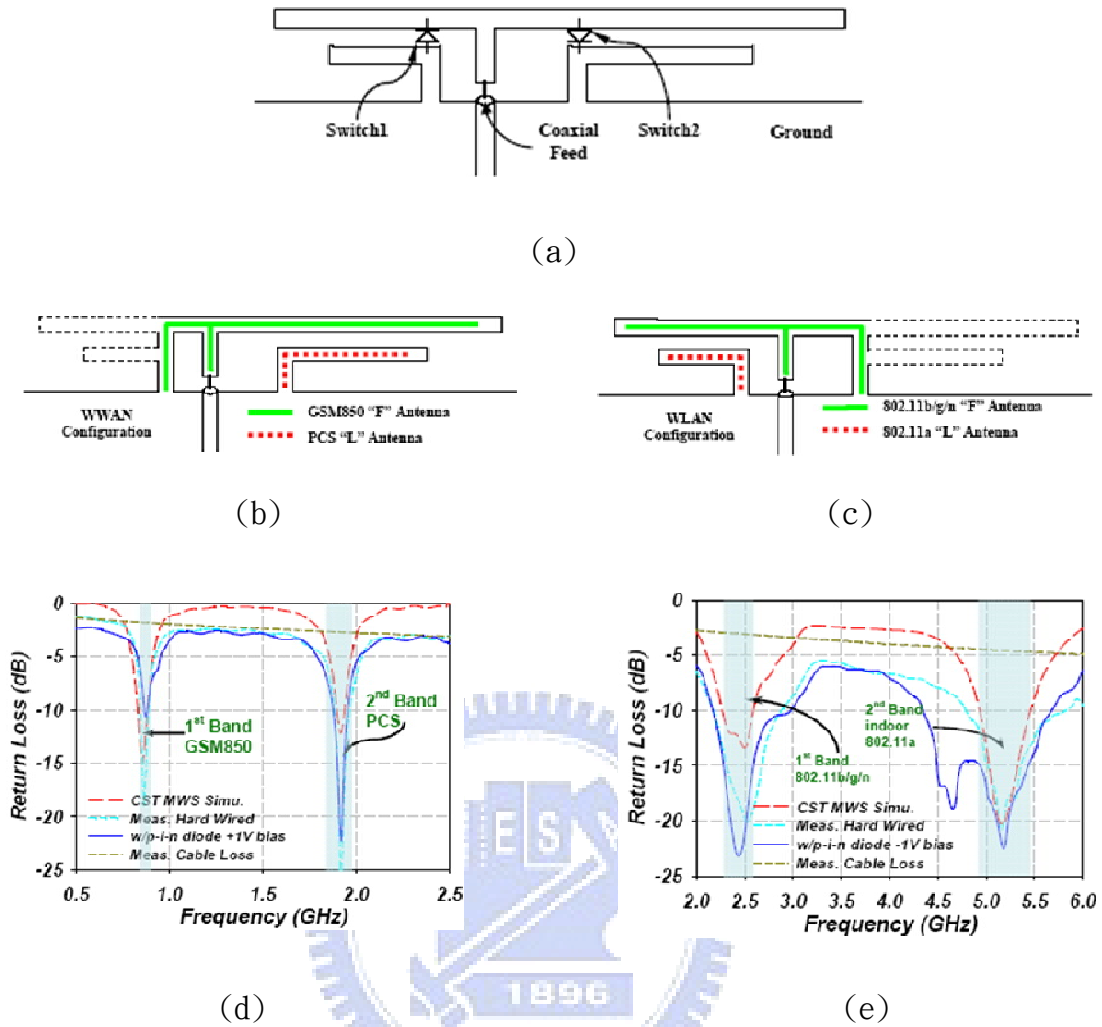


圖 1.4 (a)可調式之平面倒F天線架構(b)左邊開關導通(c)右邊開關導通。

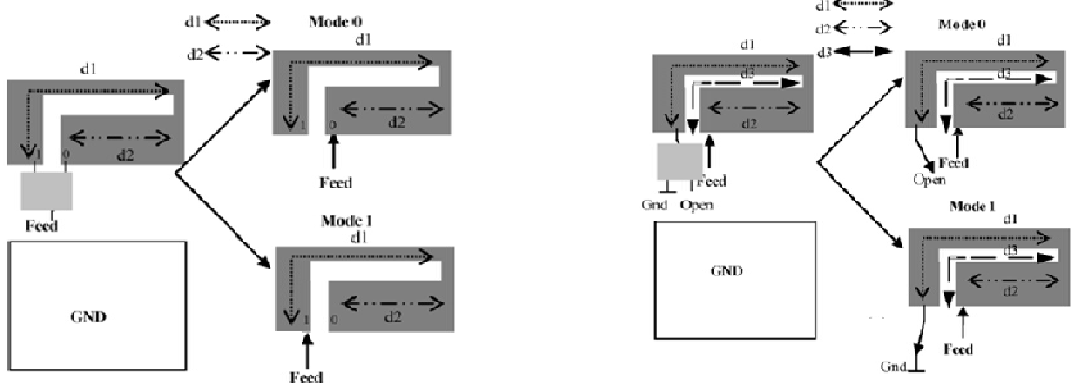
(d)左邊開關導通之反射損失圖(e)右邊開關導通之反射損失圖

根據第二種做法，以下有一篇文獻的範例可以探討一下。

文獻三為一在天線饋入端加入開關設計，藉由開關的控制使得饋入的位置有所不同，使得阻抗匹配也有所不同進而使得產生頻率的偏移，如圖 1.5(a)的設計，因為低頻的共振路徑相同，所以頻率點無太大改變，但在高頻時，因為金屬線段饋入的粗細有所不同，造成了匹配的改變，因此達成了高頻的偏移，如圖 1.5(c)，達成一頻率可調的設計。在此文獻中，還有另一個探討，當天線饋入端

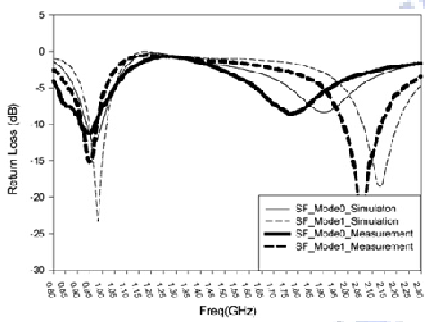


固定，在金屬線段之末端由一開關控制其短路或開路也可造成天線操作頻段的不同，如圖 1.5(b)、(d)。

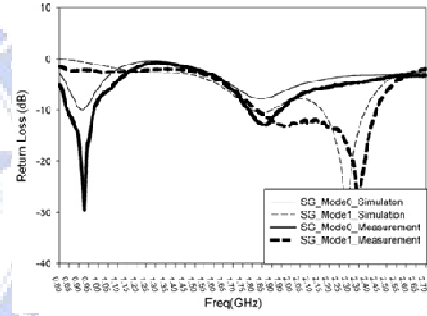


(a)

(b)



(c)



(d)

圖 1.5 (a)饋入點由開關控制(b)天線末端的開路短路由開關控制

(c)饋入點變化之反射損失圖(d)末端變化之反射損失圖

## 1.3 章節概要

本論文分為四個章節。以下為這四章內容的簡要說明：

第一章：序論，簡要的說明從事本論文研究相關設計的動機，並簡單的敘述天線的操作與重要性，同時也說明了手機天線在產業界的發展，已發表論文中相關於本論文之研究，以及本論文的內容和架構。

第二章：應用於手機五頻可調頻迴路天線設計，本章所提天線而在論文中所提出的迴圈天線，其主要關鍵技術在於利用一適當蜿蜒迴圈輻射體的機制來調整模態頻率比進而能滿足多頻操作的需求，並在低頻經由開關電路的控制來達成調頻的機制，此調頻機制在於GSM850/GSM900的切換，且高頻能夠維持所需要得頻段，頻段可操作於GSM850/GSM900/DCS1800/PCS1900/UMTS規範頻段。

第三章：應用於手機七頻可調頻迴路天線設計，本章所提天線而在論文中所提出的迴圈天線，其主要關鍵技術也在於利用一適當蜿蜒迴圈輻射體的機制來調整模態頻率比進而能滿足多頻操作的需求，並在為了滿足低頻更大的阻抗頻寬，系利用了一接地面的耦合機制來達成，同樣的，在低頻依舊利用一開關電路來達成調頻的機制，此調頻機制在於LTE700/GSM850 GSM850/GSM900的切換，在此機制下，高頻亦能保持在我們所需要的阻抗頻寬。頻段可操作於LTE700/GSM850/GSM900/DCS1800/PCS1900/UMTS規範頻段。

第四章：對本論文做扼要的總結。

## 第二章 應用於手機之五頻可調頻天線

本章節主要將提出一個適用於手機頻段的立體迴路天線，天線部分利用一適當蜿蜒迴圈輻射體的機制來調整模態頻率比進而能滿足多頻操作的需求，並且在天線short端之附近配置一開關電路來達成低頻的可調，此開關由一直流偏壓提供啟動與否，當沒有輸入偏壓時，此時開關閉閉，低頻操作在GSM850，當輸入偏壓時，此時開關打開，低頻操作在GSM900。但在開關前後，高頻依舊都能維持在GSM1800/GSM1900/UMTS2100 這三個頻段，使得天線整體是屬於五頻操作的，遂完成一應用於手機之五頻可調頻天線。

### 2.1 五頻可調頻天線設計

#### 2.1.1 多頻的迴路天線架構(Layout)

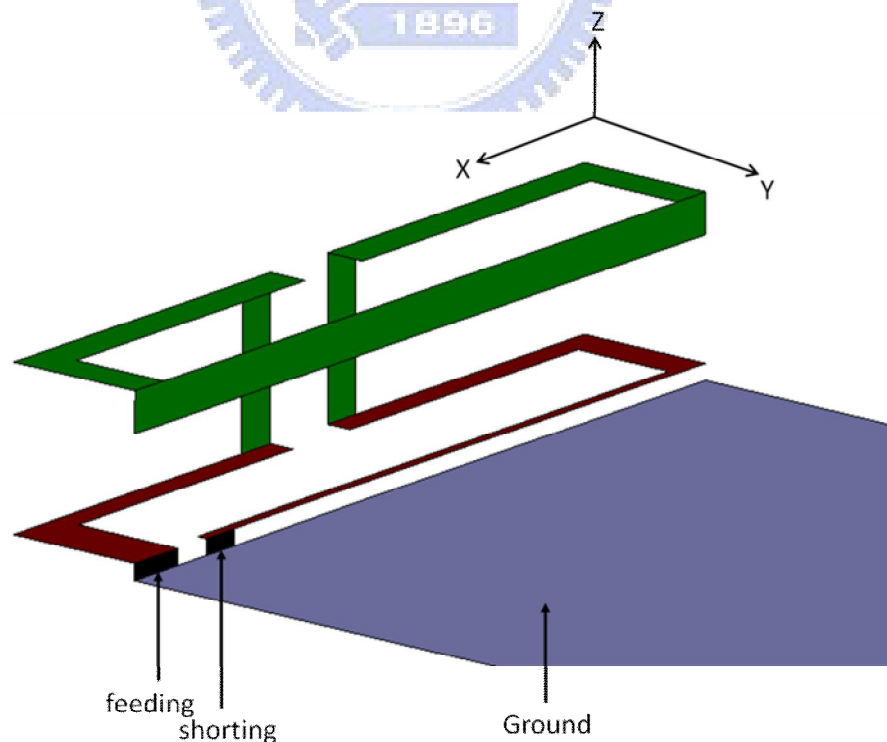


圖 2.1 多頻迴路天線立體結構示意圖

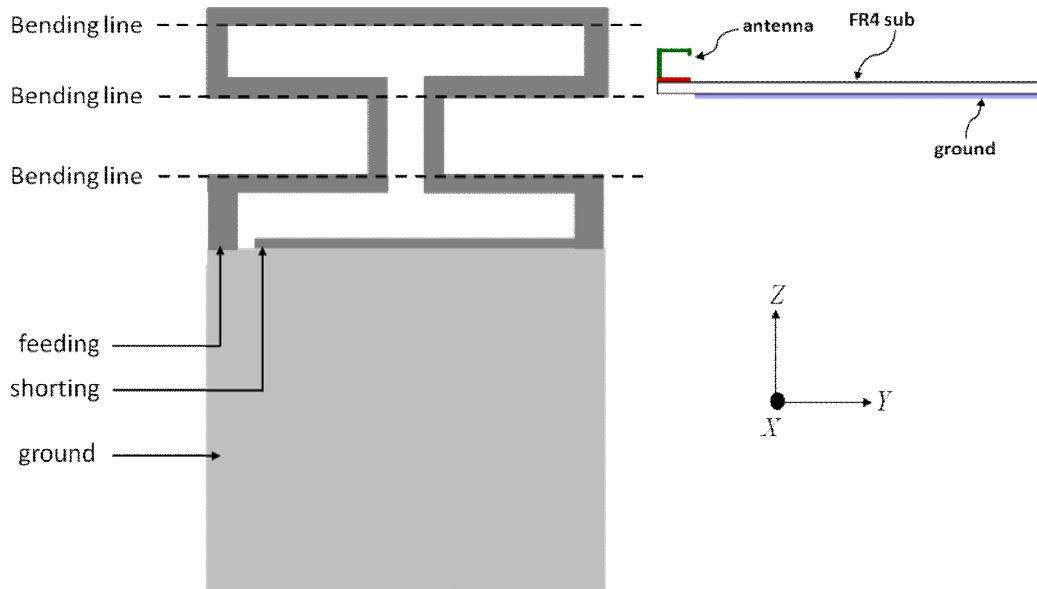


圖 2.2 多頻迴路天線平面結構示意圖

本章所提出的立體迴路天線結構如圖2.1所示，平面結構如圖2.2。此天線輻射體體積為  $40 \times 7 \times 8 \text{ mm}^3$ ，並設計製作在一雙層金屬面的介電材料(FR4)板上。本論文中所使用的板材為FR4板，板材參數設定如下：

介電常數 (Dielectric constant  $\epsilon_r$ ): 4.4

損耗正切 (Loss tangent  $\tan \delta$ ): 0.02

導體金屬，導電係數：銅(copper)， $5.88 \times 10^7$

基板厚度：0.8mm

上層金屬面包含：輻射主體；下層為接地金屬面，接地面面積為  $40 \times 93 \text{ mm}^2 \epsilon$ 。饋入點以一cable線經由feeding端饋入，並在shorting端打一個via接至接地面完成一迴路天線的設計。

天線主體由彎曲的矩形金屬所構成，此迴路天線共振路徑總長度約為  $0.6 \lambda_1$  ( $\lambda_1$  為1GHz的全波長)，而在1.7GHz與2.1GHz分別為  $1.2 \lambda_2$  跟  $1.8 \lambda_3$  (參考圖2.2)，此波長比例很符合我們所設計的迴路天線特性，以基頻的頻段為底，然

後分別會得到它的倍頻來滿足我們所需求的頻段位置。

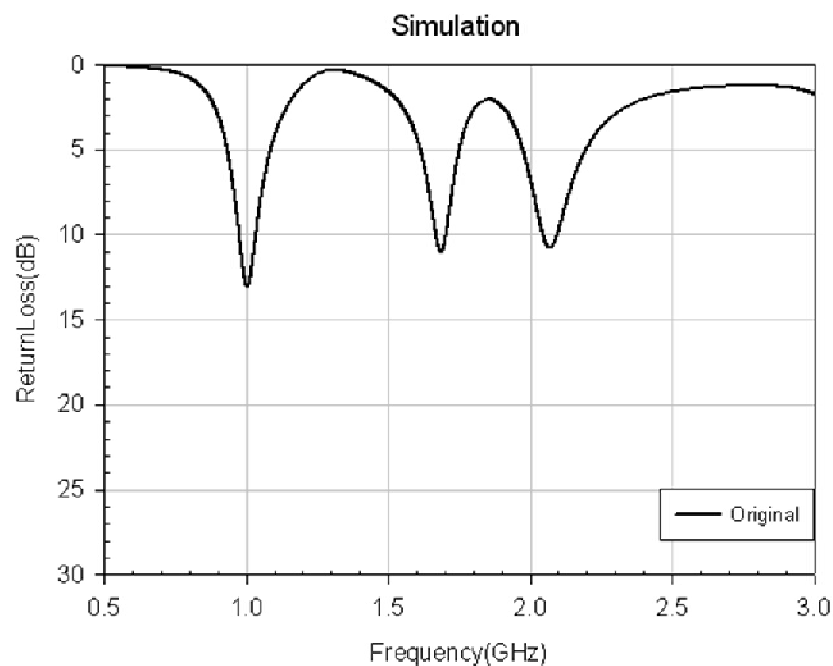


圖 2.3 多頻迴路天線模擬反射損失圖

圖2.3為多頻迴路天線模擬之反射損失圖，其操作的頻帶之阻抗頻寬在此以 6dB 作定義。從圖中可以非常清楚的看出低頻的操作頻率範圍約在 930 MHz 至 1050 MHz，阻抗頻寬為120 MHz，然後高頻的操作範圍約在 1650 MHz 至 1750 MHz 與 1970 MHz 至 2220 MHz，由此模擬圖可看出座落的三個頻段與我一開始所想的手機五頻的頻段是相當接近的，於是將以圖2.1、2.2的結構為基礎，設計出一可調頻的手機五頻天線。

## 2.1.2 提升頻寬的匹配設計(Impedance matching)

### (i)天線設計(Layout)：

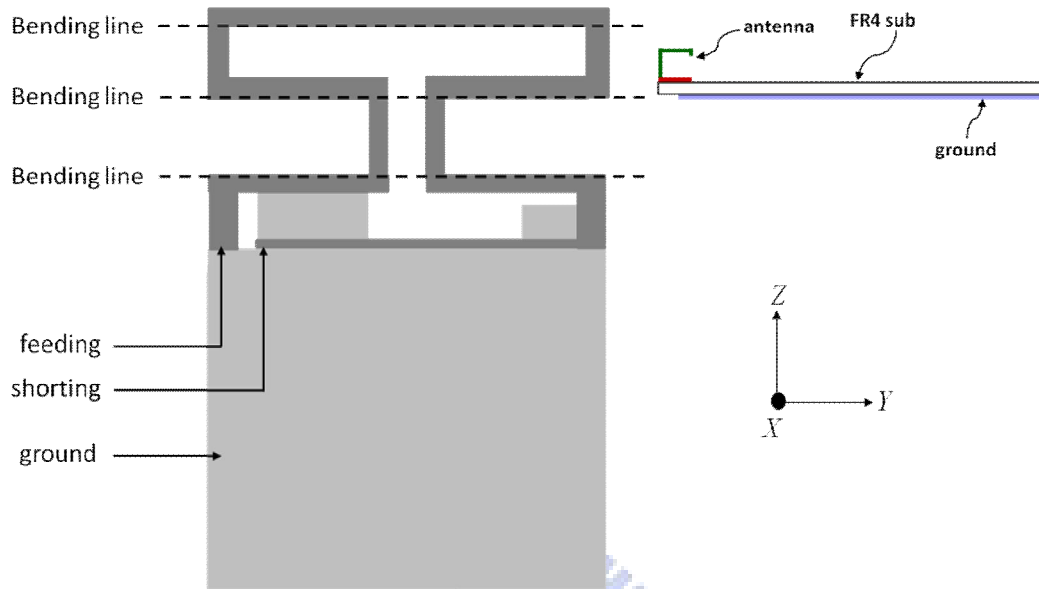


圖 2.4 多頻迴路天線加入 matching pad 後之平面結構圖

此時，多頻迴路天線加入 matching pad 後平面結構圖如圖 2.4 所示，此天線輻射體體積仍為  $40 \times 7 \times 8 \text{ mm}^3$ ，並設計製作在一雙層金屬面的介電材料(FR4)板上，材料的參數為：相對介電係數 (Relative Permittivity) = 4.4，及正切損耗常數 (Loss Tangent) 為 0.0245，長度 100mm，寬度 40mm，厚度  $h = 0.8 \text{ mm}$ 。上層金屬面包含：輻射主體；下層為接地金屬面。饋入點以一 cable 線經由 feeding 端饋入，並在 shorting 端打一個 via 接至接地面完成一迴路天線的設計。與 2.2.1 節所設計的天線相異之處，為本設計加入了兩片 matching pad，其設計位置在接地面上，如圖 2.4 所示。

加入matching pad後模擬結果與討論：

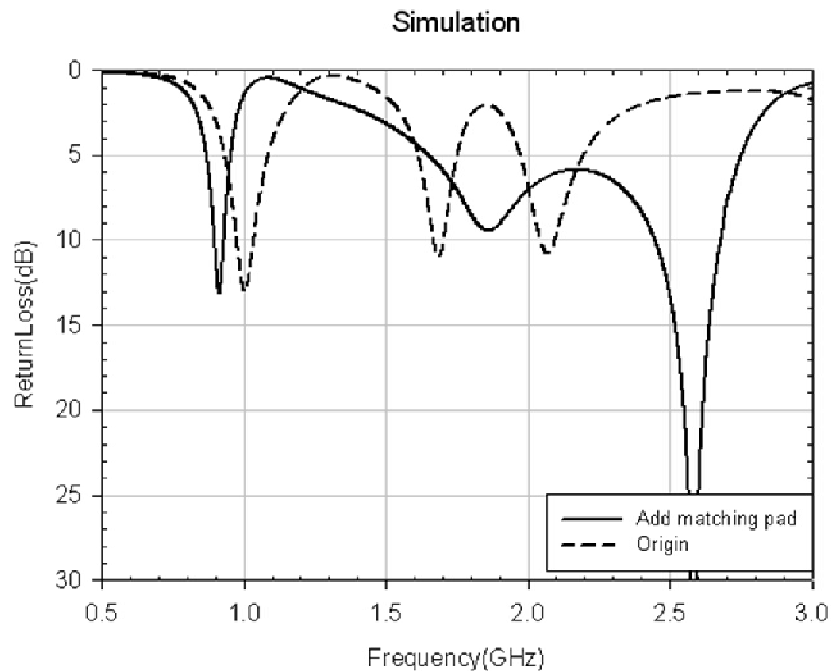


圖 2.5 模擬 matching pad 與原始天線之反射損失與頻率之關係曲線

由於2.2.1節所設計之原始天線在低頻的操作頻率範圍在 930 MHz 至 1050 MHz (參考圖2.3)，以3:1 VSWR作定義，可操作於GSM(890 MHz - 960 MHz) 頻帶，針對超出的頻率範圍 960 MHz至1050 MHz，必需再使用濾波器濾掉其所可能接收到之訊號或雜訊。因此，此超出的可操作頻段為不必要。經由模擬結果發現，加入matching pad可改善以上的問題，使得低頻操作的頻率範圍控制在880 MHz 至 960 MHz(參考圖2.5)，重要的是，加入matching pad後，不只使低頻操作在GSM900的頻段，更大幅度的改善了高頻的兩個mode，使其在6dB頻寬擴增為 1700 MHz- 2700 MHz，使此迴路天線完整的涵蓋到 GSM900/GSM1800/GSM1900/UMTS2100 四個頻段，距離本章節所要提出的五頻只剩下GSM850。在不希望改變天線的架構下，於是再做了一項調整使其低頻能夠包含到GSM850。

(ii) 天線設計(Layout)：

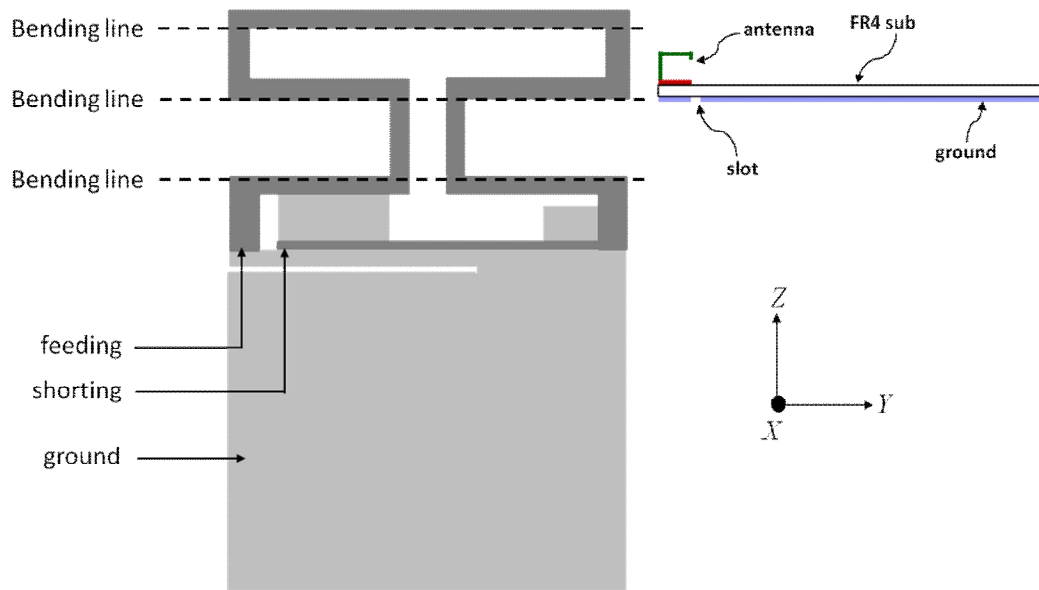


圖 2.6 多頻迴路天線加入 matching pad 和 slot 後之平面結構圖

此時，除了加入 matching pad 之外，多頻迴路天線在接地面挖了一條 slot 後平面結構圖如圖 2.4 所示。此天線輻射體體積已變為為  $40 \times 10 \times 8 \text{ mm}^3$ ，並設計製作在一雙層金屬面的介電材料 (FR4) 板上，材料的參數為：相對介電係數 (Relative Permittivity) = 4.4，及正切損耗常數 (Loss Tangent) 為 0.0245，長度 100mm，寬度 40mm，厚度  $h = 0.8\text{mm}$ 。上層金屬面包含：輻射主體；下層為接地金屬面。饋入點以一 cable 線經由 feeding 端饋入，並在 shorting 端打一個 via 接至接地面完成一迴路天線的設計。與 2.2.2 節所設計的天線相異之處，在於 feeding 端的位置往下 2mm 處，挖了一挑寬 1mm 長 25mm 的 slot 做為另外一個調整。



額外加入一slot後模擬結果與討論：

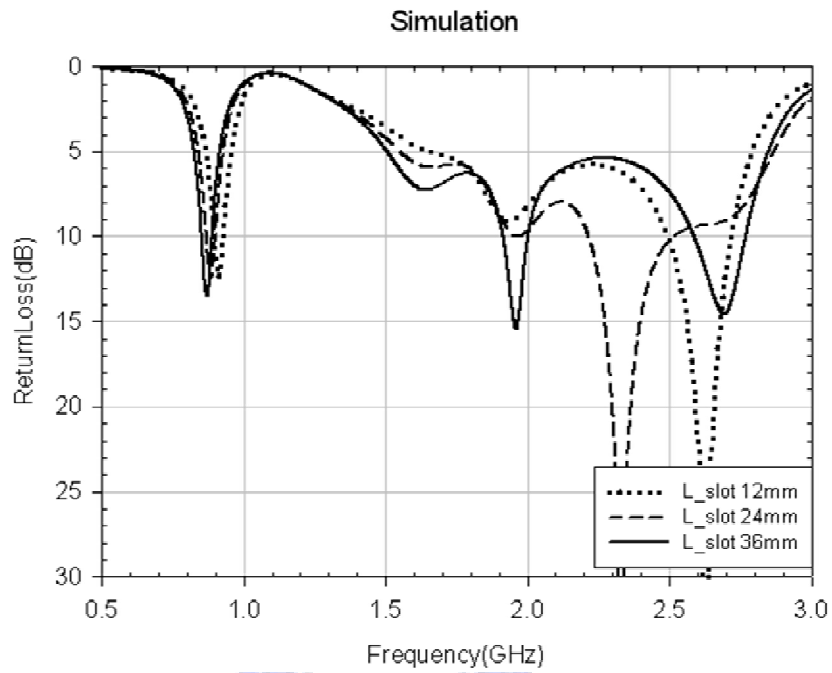


圖 2.7 模擬加入 L\_slot 之反射損失與頻率之關係曲線

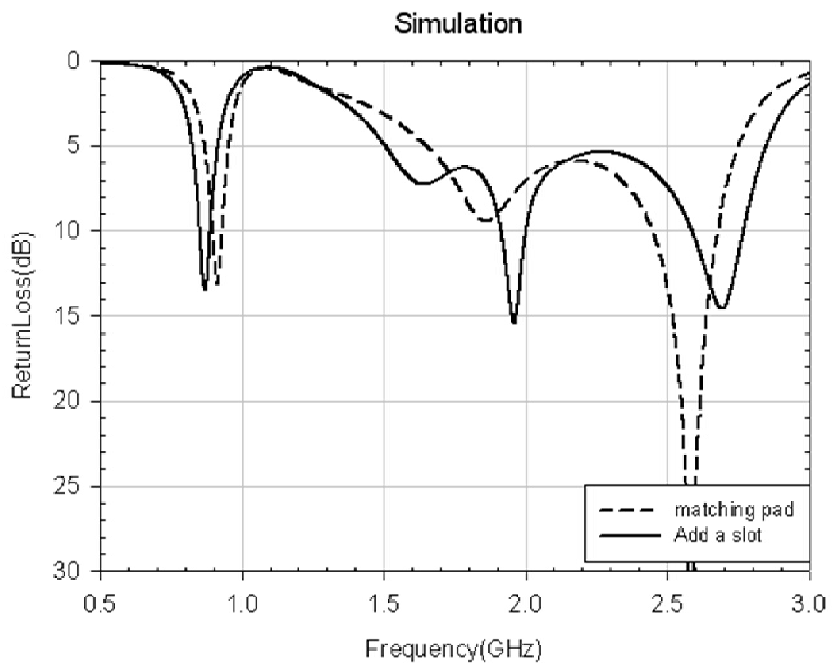


圖 2.8 加入 L\_slot 與 matching pad 之模擬反射損失比較圖

經由上一段的matching pad後，讓我們得知五頻的手機天線中，已大略包含到四個頻段，但為了不改變主體天線架構的情況下，我們嘗試了在接地面上挖一slot，希望可以藉由slot使其接地面的邊緣電流路徑拉長，將其低頻的共振頻率往下調整，即是將GSM900挪移至GSM850，然後觀察其高頻，一如迴路天線的模態產生兩個倍頻，使其包覆 1710MHz-2170MHz 的頻段，如圖2.8所示，此時我們已達成了所需求的頻段，接下來只剩下經由開關電路來進行我們的低頻的可調頻效果。



### 2.1.3 天線與開關電路的整合(Layout)

天線設計(Layout)：

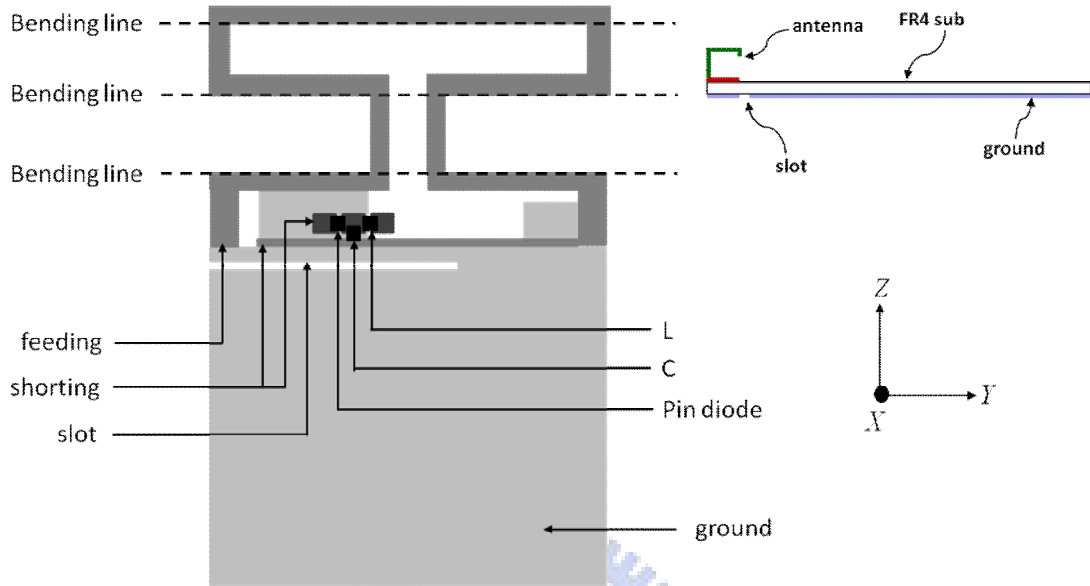


圖 2.9 五頻可調頻迴路天線平面結構示意圖

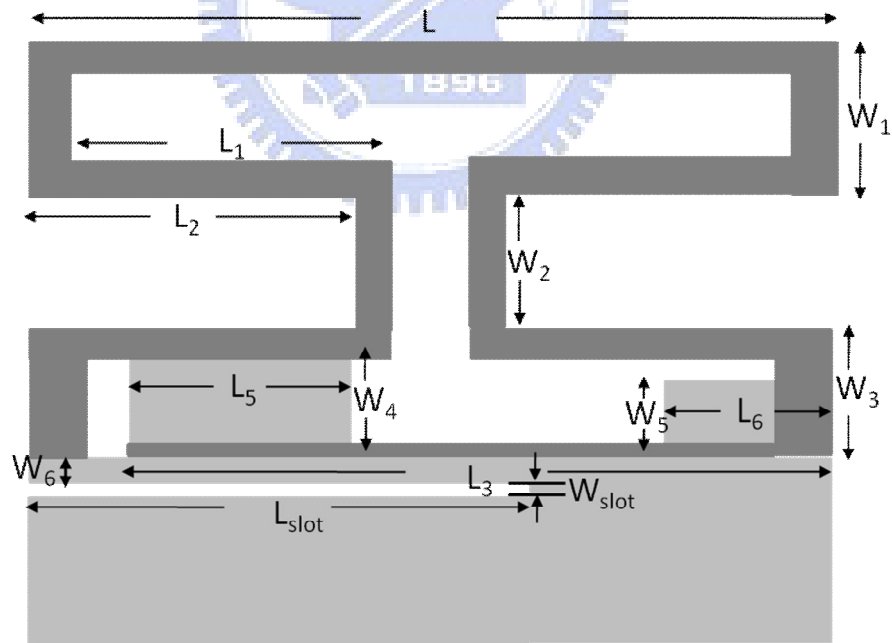


圖 2.10 五頻可調頻迴路天線平面結構參數示意圖

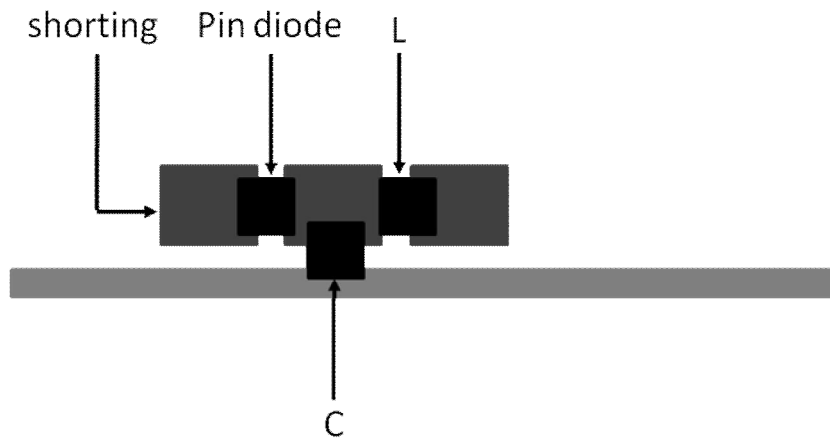


圖 2.11 調頻之開關機置放大示意圖

這是本節最後所提出的完整天線架構圖，經由一連串的天線設計以及調頻開關機制的設計，讓兩者整合後所得到架構圖如圖2.9 所示，在此設計配置下，中間的三塊黑色小區塊，即是用來分別放置L、C以及Pin diode，因為Pin diode需以大於0.7V的偏壓去啟動它，故以L=50nH來當做RF block，C=20nF來隔絕DC，其中電感與電容都是採用0402的規格。

由圖2.11中，將LC元件、Pin diode與天線整合後，然後經由饋入線饋入，當Pin diode處於open狀態，即是沒有輸入偏壓的狀態，此時低頻GSM850與高頻的頻段由整段的天線路徑貢獻。然而，當Pin diode處於off的狀態時，亦即輸入偏壓使其導通，此時饋入的訊號將會因為開關導通而提早短路下地，因而使電流繞行的路徑變短，進而達到調頻的效果，達成此天線的設計需求。

模擬與量測結果：

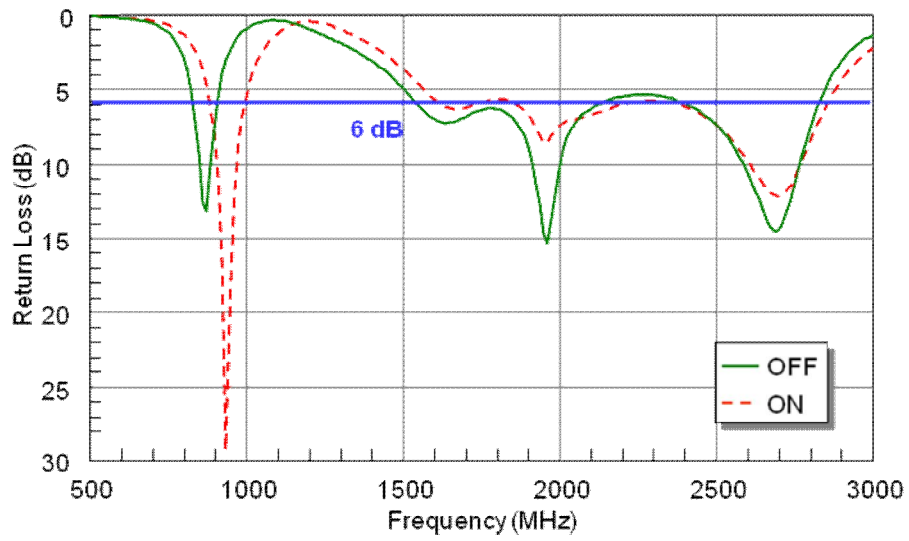


圖 2.12 模擬五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖

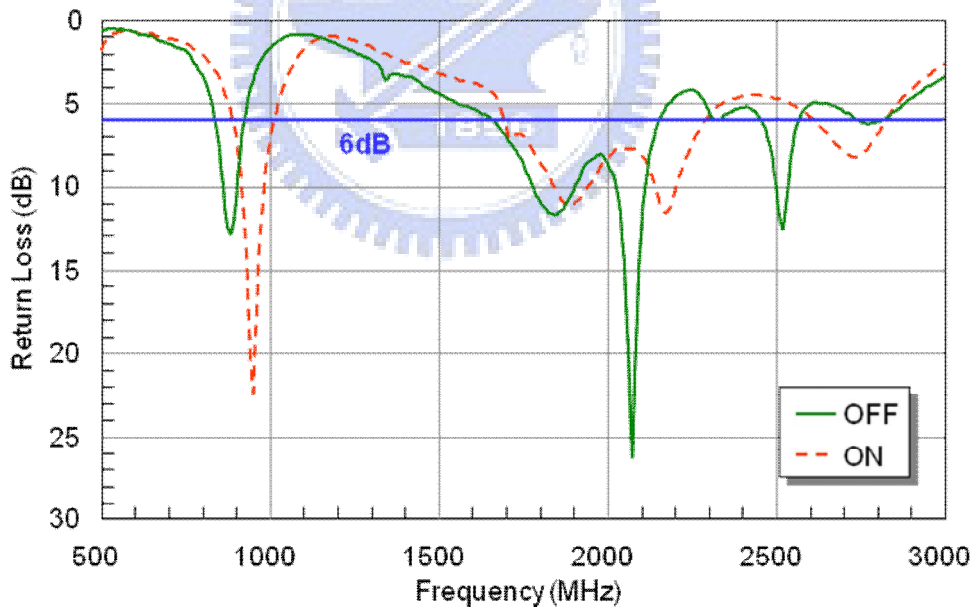


圖 2.13 量測迴路天線之反射損失與頻率響應圖

五頻可調頻天線的模擬與量測結果如圖2.12與圖2.13，經過適當的設計之後，模擬與量測結果有些偏離，但並不影響整體所需要的頻段，該天線之6-dB 阻抗頻寬，低頻可滿足GSM850/900(824-894 MHz, 880-960 MHz)，高頻 GSM1800/1900/UMTS2100 (1850-1990 MHz, 1920-2170 MHz) 之五頻操作的需求，具有相當良好的天線特性。



## 2.1.4 天線場型的量測與效率

本節中，將以最後所設計的五頻可調頻天線量測其重要的效率及場型圖，在目前手機天線的應用上，實際上所量到的效率比起各個平面的場型圖還要來的重要，因此會先附上在天線量測實驗室中所量得的效率，以下即為完整的效率表及場型圖，都有不錯的表現。

	OFF	ON
Frequency	Efficiency	
824MHz	29.99%	18.35%
836MHz	32.51%	19.37%
849MHz	39.49%	24.73%
869MHz	48.71%	34.57%
880MHz	48.61%	37.69%
894MHz	48.84%	43.03%
900MHz	45.23%	46.26%
915MHz	39.93%	49.97%
925MHz	33.58%	50.75%
940MHz	29.30%	56.37%
960MHz	22.89%	56.81%

(a)

	OFF	ON
Frequency	Efficiency	
1650 MHz	50.61%	38.20%
1710 MHz	66.72%	46.27%
1730 MHz	65.39%	54.58%
1750 MHz	64.85%	57.01%
1760 MHz	66.56%	58.57%
1790 MHz	65.80%	59.48%
1810 MHz	64.52%	60.53%
1840 MHz	65.16%	64.82%
1850 MHz	65.94%	65.98%
1880 MHz	62.10%	64.80%

(b)

	OFF	ON
Frequency	Efficiency	
1910 MHz	58.99%	63.57%
1920 MHz	58.70%	63.29%
1930 MHz	58.33%	62.81%
1950 MHz	57.60%	62.05%
1960 MHz	56.77%	61.73%
1980 MHz	56.13%	59.04%
1990 MHz	56.26%	60.48%
2110 MHz	55.82%	58.60%
2140 MHz	49.80%	62.82%
2170 MHz	44.23%	64.94%
2190 MHz	43.23%	67.23%

(c)

表2.1 開關前後量測之效率表

(a)開關前後之低頻效率

(b)開關前後之高頻效率前半部

(c)開關前後之高頻效率後半部

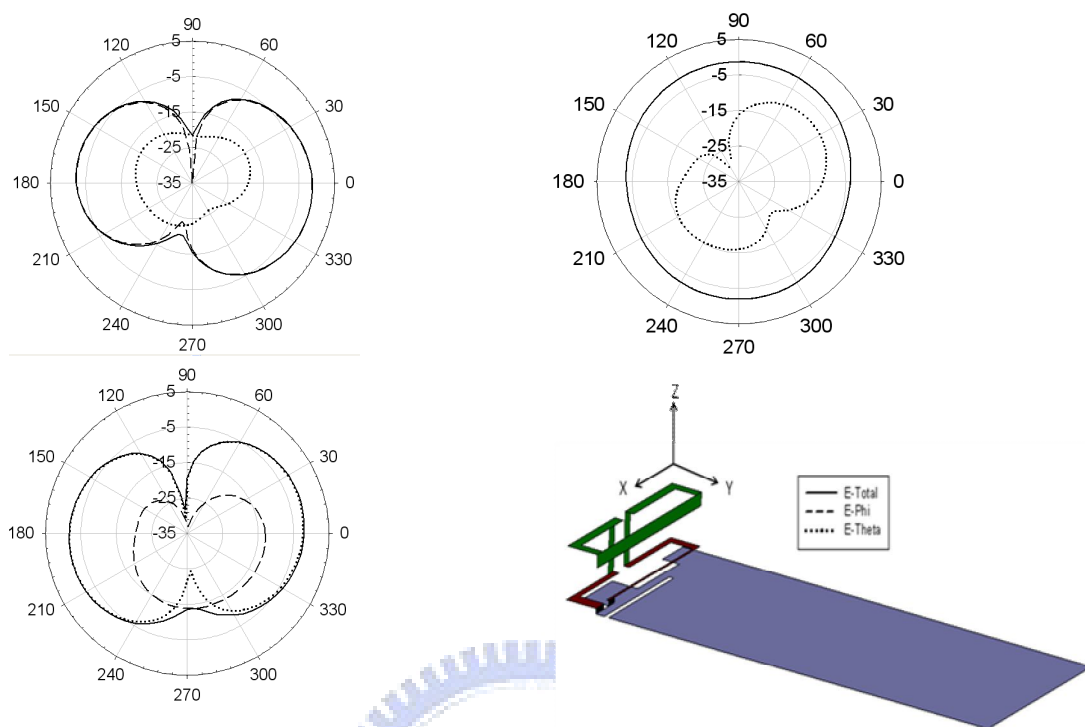


圖 2.15 850MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane

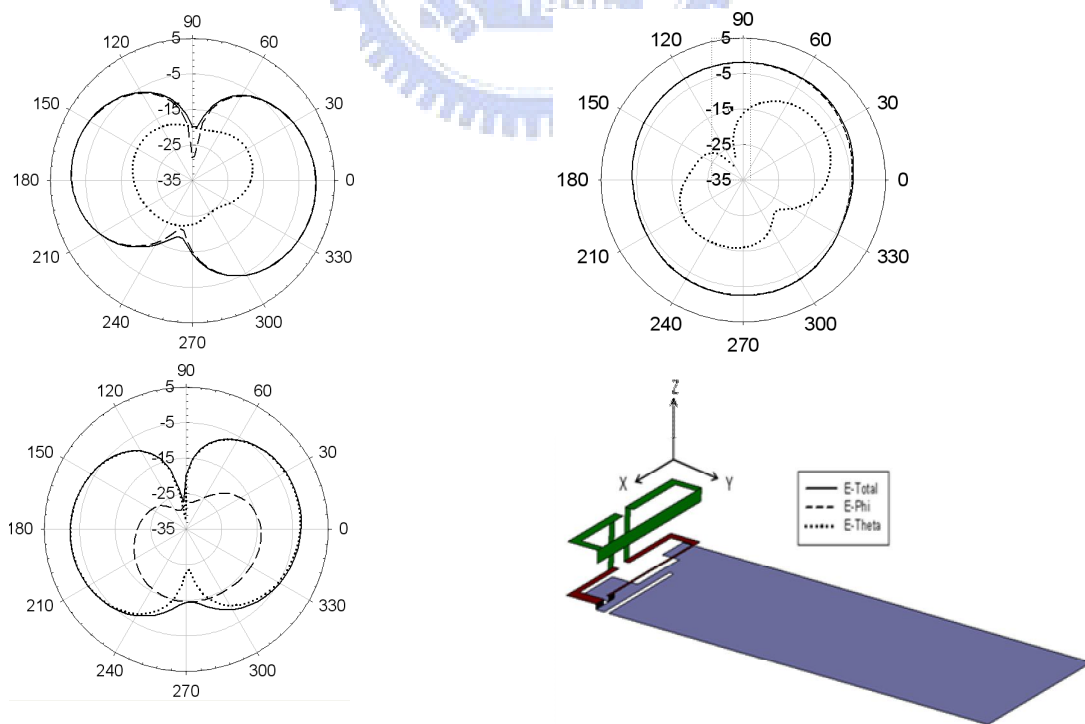


圖 2.16 900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane(b)x-z plane (c)y-z plane



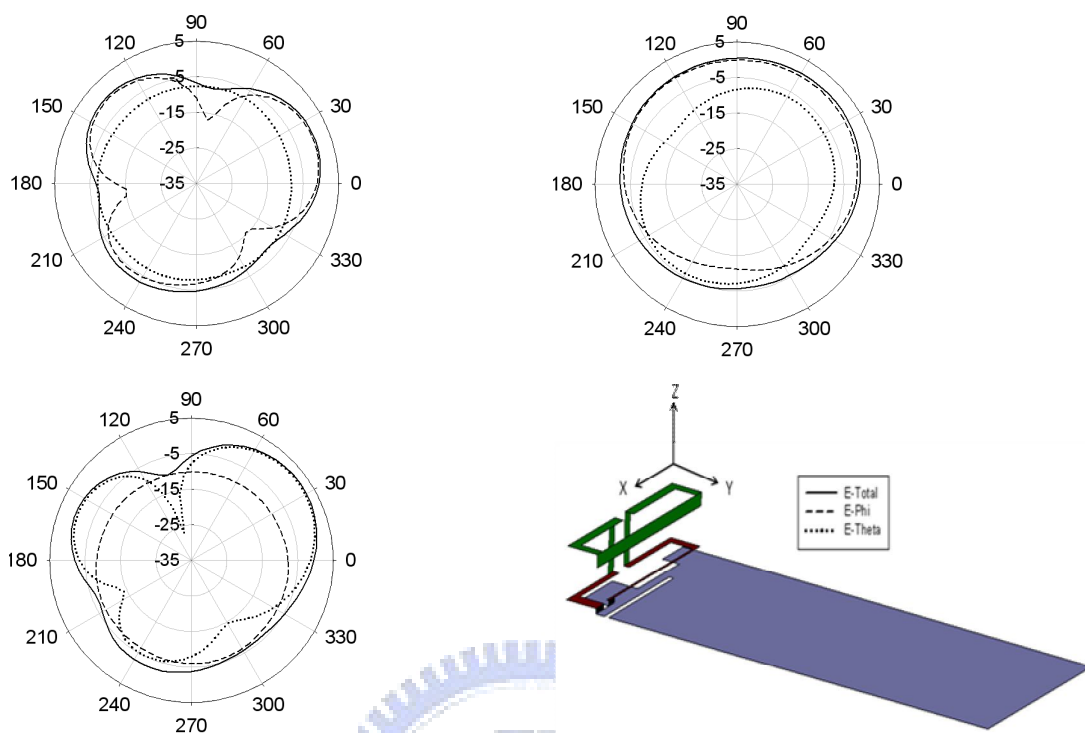


圖 2.17 1800MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

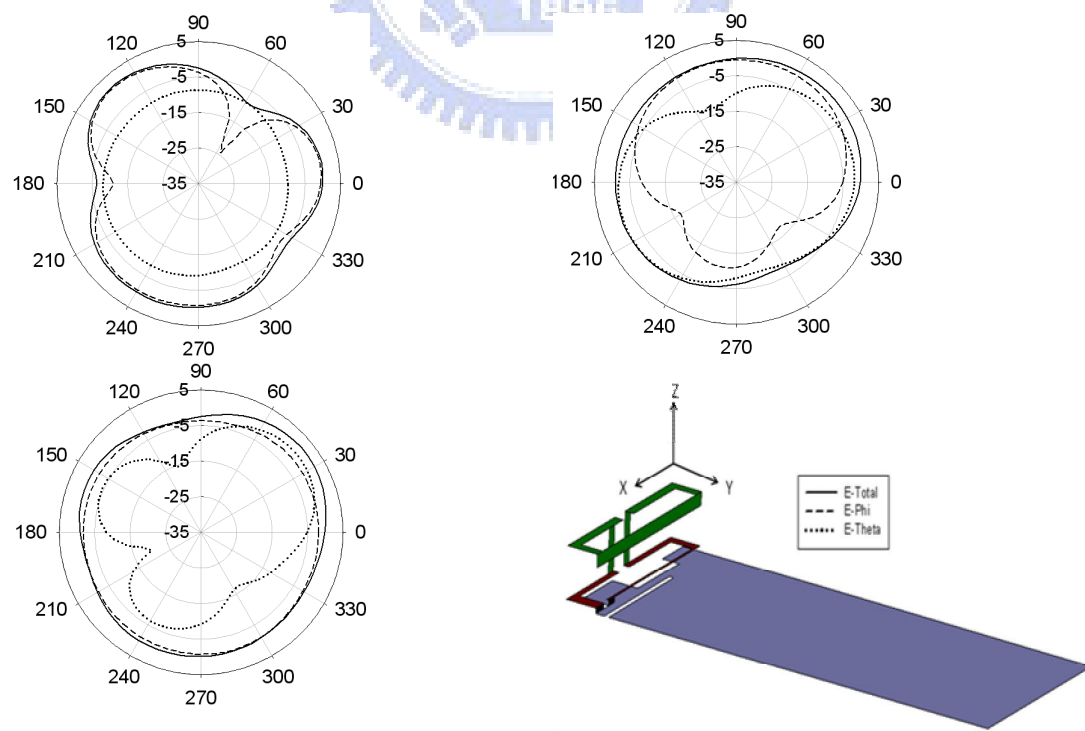


圖 2.18 1900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

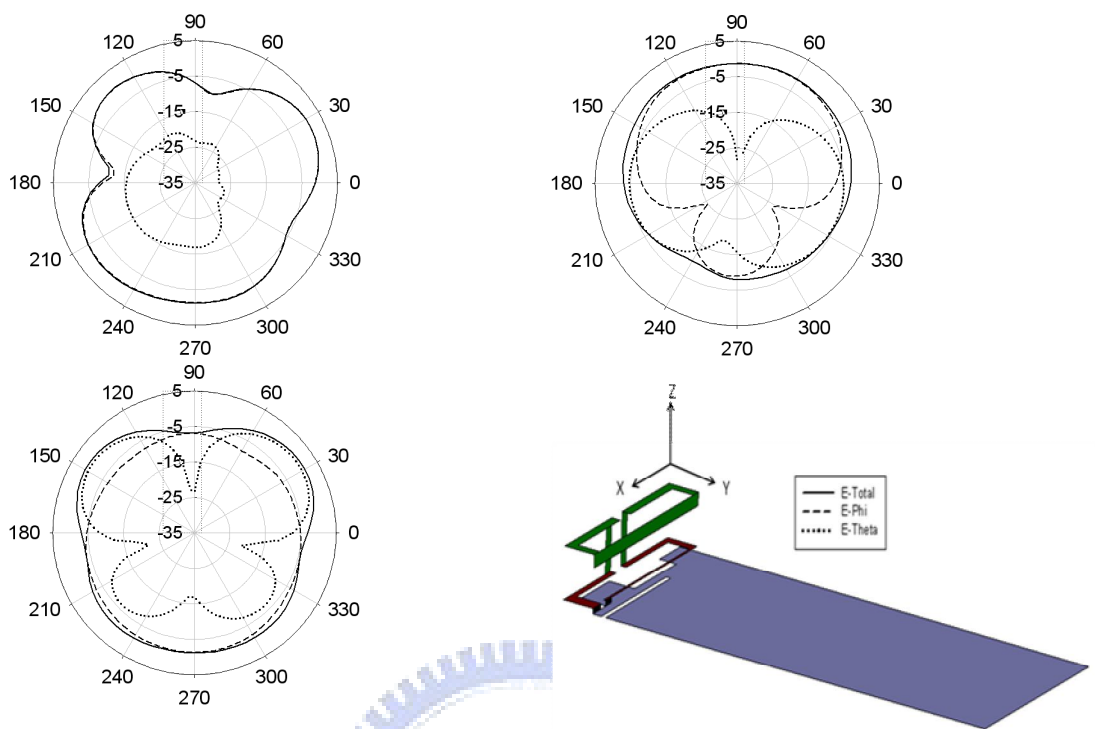


圖 2.19 2100MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

表 2.2 天線各頻段之平均增益根最大增益

頻率	Average gain (dB)			Peak gain (dB)		
	XY-plane	XZ-plane	YZ-plane	XY-plane	XZ-plane	YZ-plane
850	-4.65	-3.2	-2.19	-0.32	-2.1	-1.09
900	-3.34	-2.54	-1.4	-0.3	-1.47	-0.9
1800	-2.86	-2.18	-2.04	-0.13	0.28	0.59
1900	-2.67	-1.53	-1.71	0.46	0.17	1.5

2100	-3.7	-2.28	-3.64	0.56	0.25	-1.19
------	------	-------	-------	------	------	-------

近年來，由於手機天線的蓬勃發展，所以針對天線的尺寸甚至或接地面的大小均有其限制規格，於本節所以要提出的設計，即是因應業界某些手機天線的規格而所提出的另一隻可調頻的五頻天線，與前一節所差別的乃是接地面的完整性，此接地面的完整主要是可讓業界擁有更多的使用空間，但在此條件下，天線上的設計難度上又提高了許多，以下是本隻天線的設計流程。

## 2.2 五頻可調頻天線設計 II

### 2.2.1 多頻的迴路天線架構(Layout)：

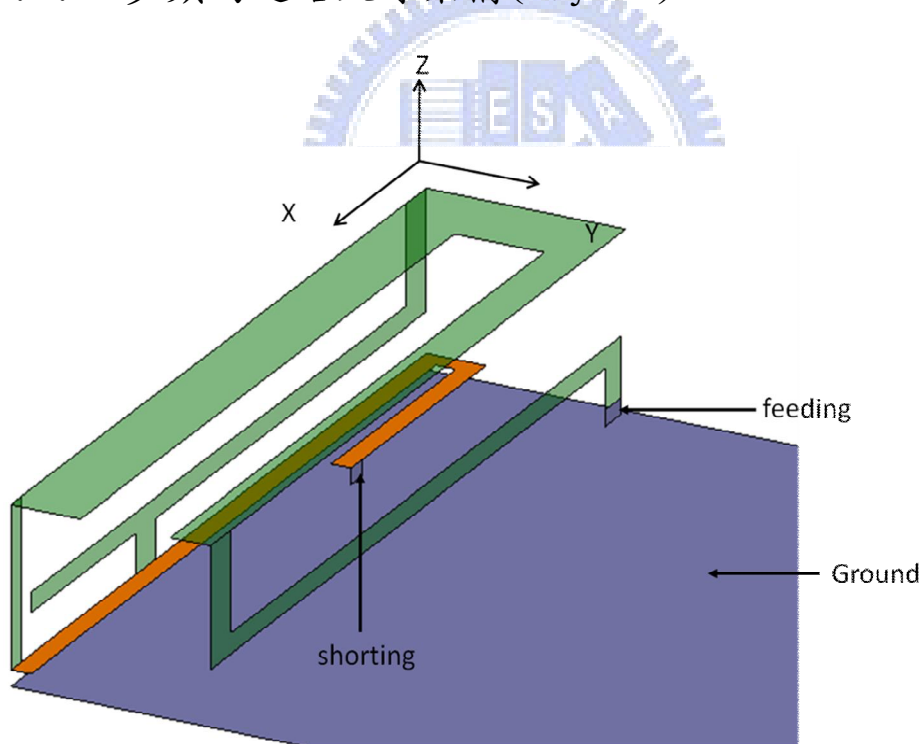


圖 2.20 多頻迴路天線立體結構示意圖

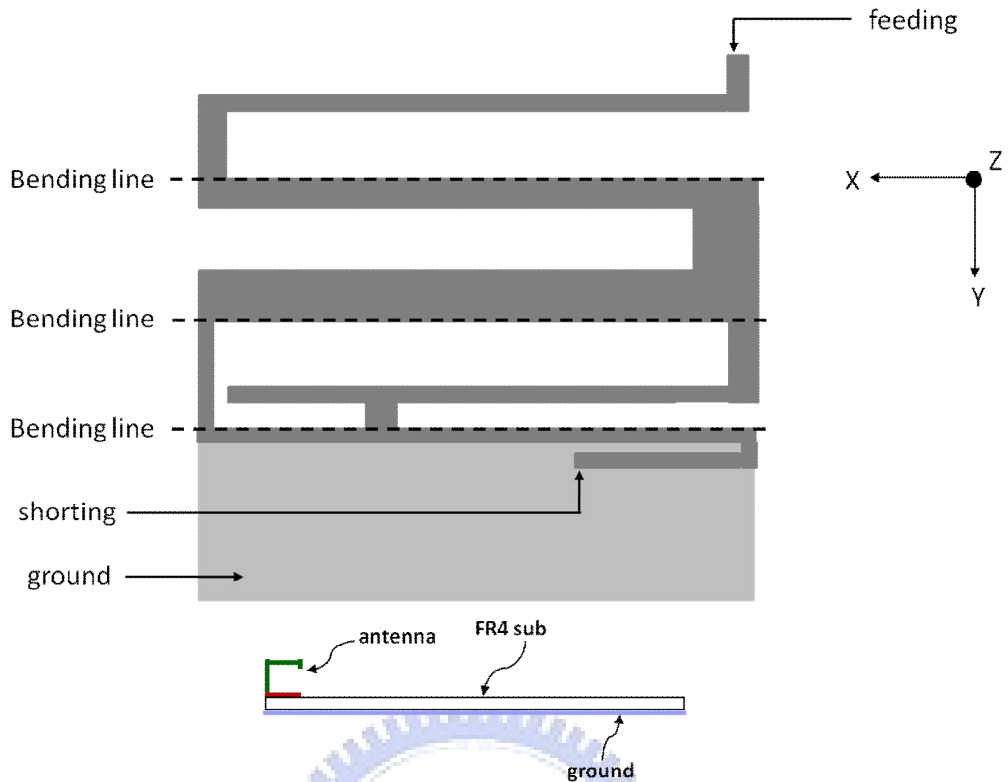


圖 2.21 多頻迴路天線平面結構與側視圖

本節所提出的立體迴路天線結構如圖2.20 所示，平面結構如圖2.21。此天線輻射體體積為  $40 \times 10 \times 8 \text{mm}$ ，並設計製作在一雙層金屬面的介電材料(FR4)板上。本論文中所使用的板材為FR4板，板材參數設定如下：

介電常數 (Dielectric constant  $\epsilon_r$ ): 4.4

損耗正切 (Loss tangent  $\tan \delta$ ): 0.02

導體金屬，導電係數：銅(copper)， $5.88 \times 10^7$

基板厚度：0.8mm

上層金屬面包含：輻射主體；下層為接地金屬面，接地面面積為  $40 \times 100 \text{mm}^2$ 。

饋入點以一cable線經由feeding端饋入，並在shorting端打一個via接至接地面完成一迴路天線的設計。

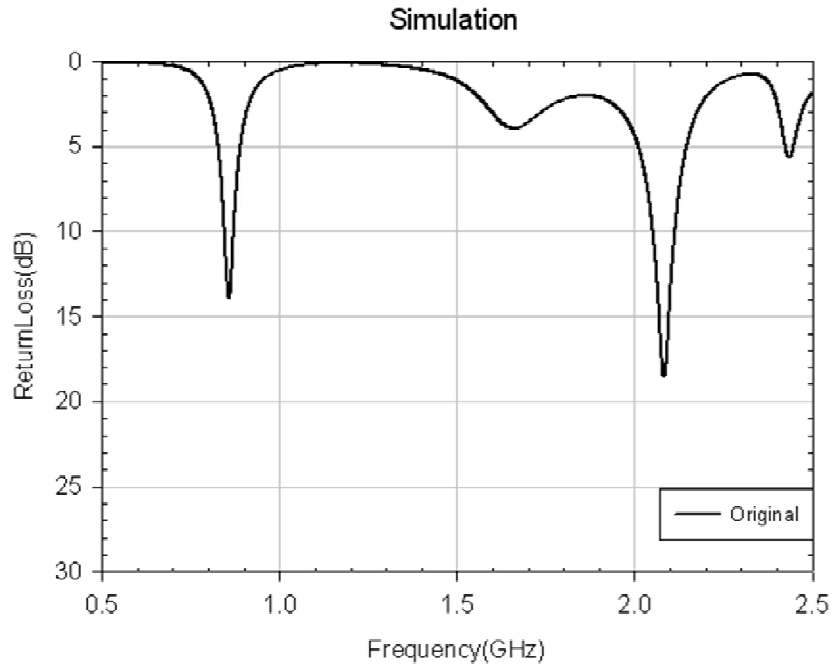


圖 2.22 模擬迴路天線之反射損失與頻率響應圖

圖2.22 為在接地面的完整性下所設計之多頻迴路天線模擬之反射損失圖，操作的頻帶之阻抗頻寬在此以 6dB 作定義。從圖中可以非常清楚的看出低頻的操作頻率範圍約在 830 MHz 至 890 MHz，阻抗頻寬為60 MHz，然後高頻的頻寬還非常的不夠，但可以看出有兩個共振模態是我們所需要的，下一步就是做好阻抗匹配來得到我們所需求的阻抗頻寬，這三個模態也如迴路天線的特性一般，分別由基頻的設計得到我們想要的高頻倍頻，於是將以圖2.15 的結構為基礎，設計出一可調頻的手機五頻天線。下一節中，我們將會著墨於高頻的匹配設計來達成本隻天線所需求的頻寬。

## 2.2.2 提升頻寬的匹配設計(Impedance matching)

### (i)天線設計(Layout)：

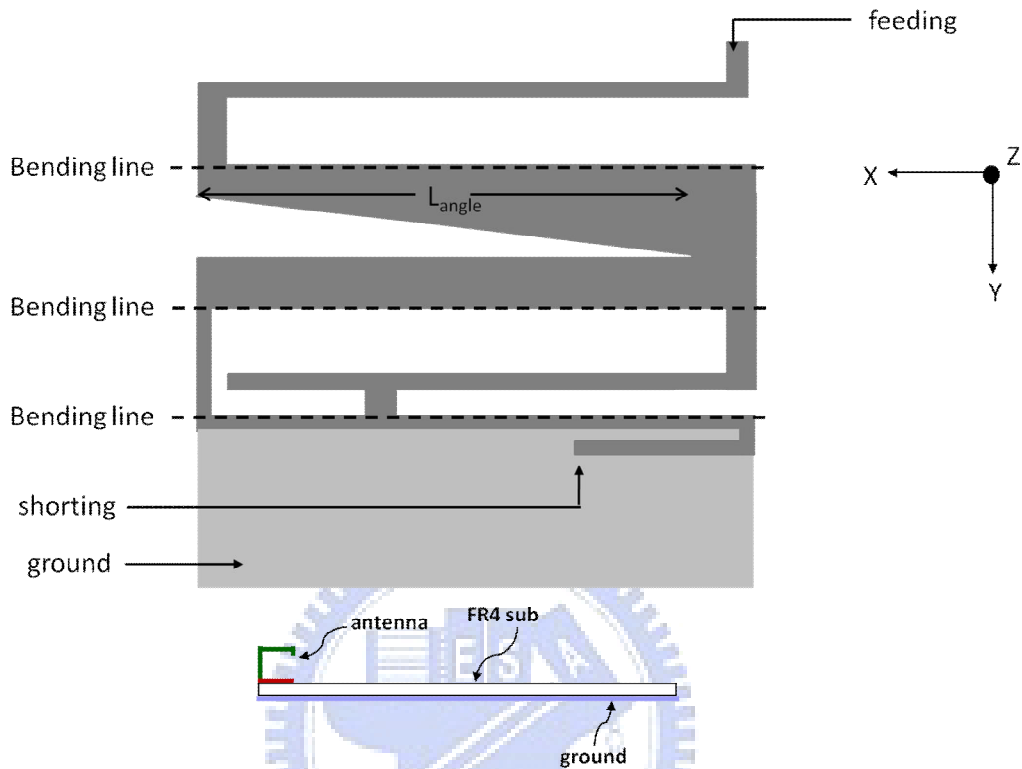


圖 2.23 多頻迴路天線加入三角之平面結構與側視圖

由圖2.22看出一開始的天線架構分別有三個頻率共振點，而且也座落於我們所想要的頻率範圍內，現在所要做的就是調整高頻的阻抗匹配，使其達成我們的五頻可調頻需求。由上圖2.23中，我們調整的位置在於三角缺口的的位置，她是一個長方形的缺口，我們將它呈現一個Tapered的設計，在此設計中，當 $L_{angle}$ 的長度慢慢增加時，會發現在第二個頻率點他會有比較好的阻抗匹配，達成第一階段的頻寬改善設計，改善過後的反應損失與頻率響應圖如下圖所示。

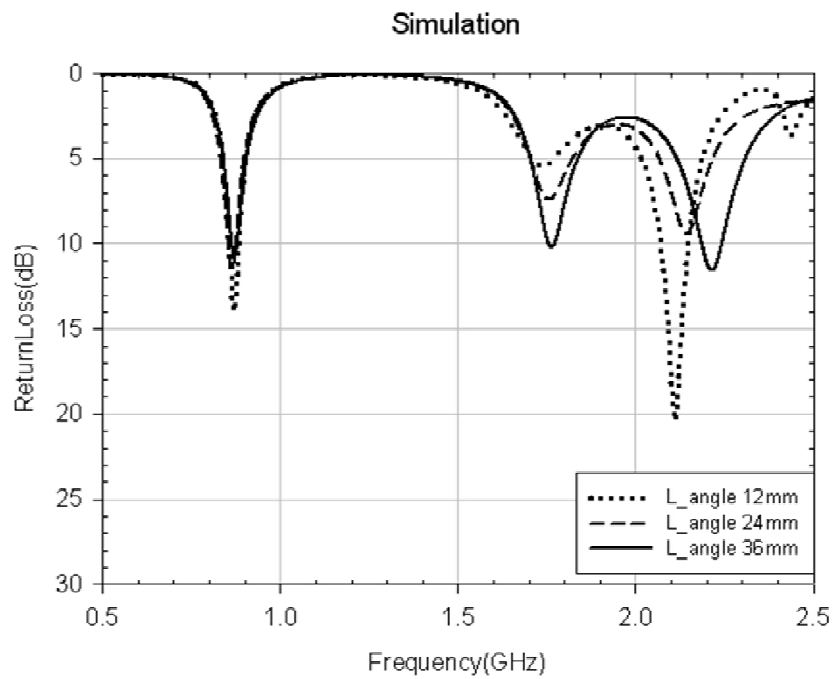


圖 2.24 模擬加入 L\_angle 之反射損失與頻率響應圖

(ii) 天線設計(Layout):

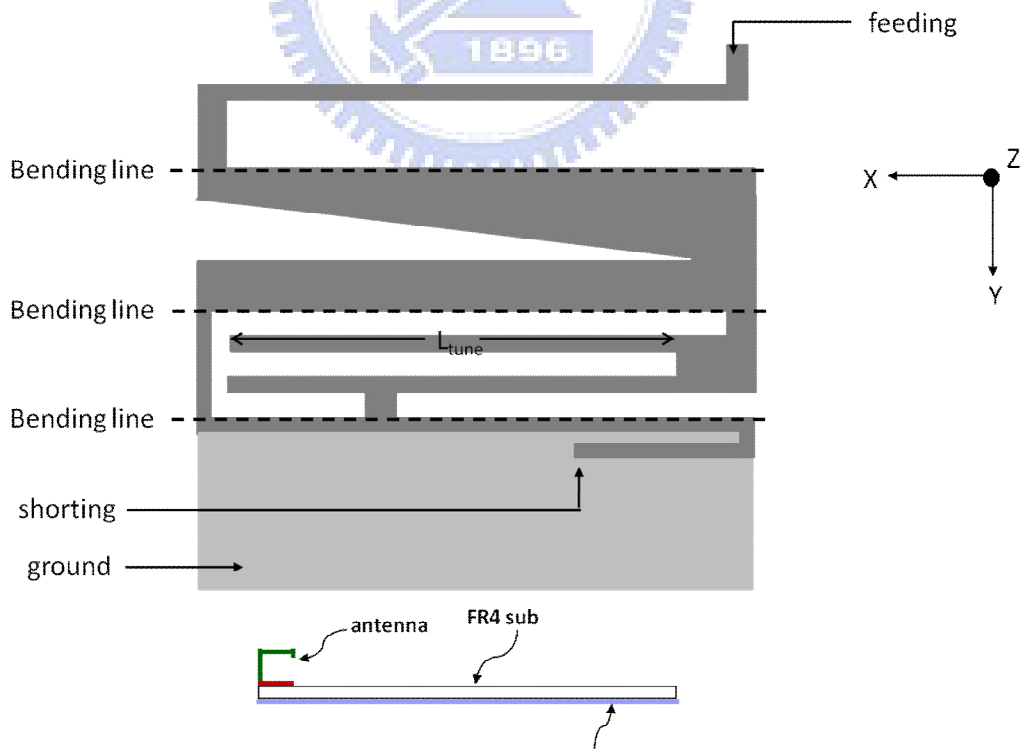


圖 2.25 多頻迴路天線加入三角與一 strip 之平面結構與側視圖

如圖2.25 所示，這是進行阻抗匹配的第二步，由圖2.24 可看出雖然在高頻的兩個頻率共振點位於我們所需求的頻寬上，但兩個頻率點之間的匹配不是很好，因此我們調整了下一個參數 $L_{tune}$ ，經由改變 $L_{tune}$ 的長度，當 $L_{tune}$ 與它下面的strip長度越接近時，高頻整體的匹配將越來越好，最後我們將兩個strip的長度調為一樣，在此狀況下，高頻的5dB阻抗頻寬可以達到 1710MHz-2170MHz，如下圖2.19 所示，雖然不足6dB的阻抗頻寬，但在最後量測的結果是足夠可以在業界使用的標準之內。

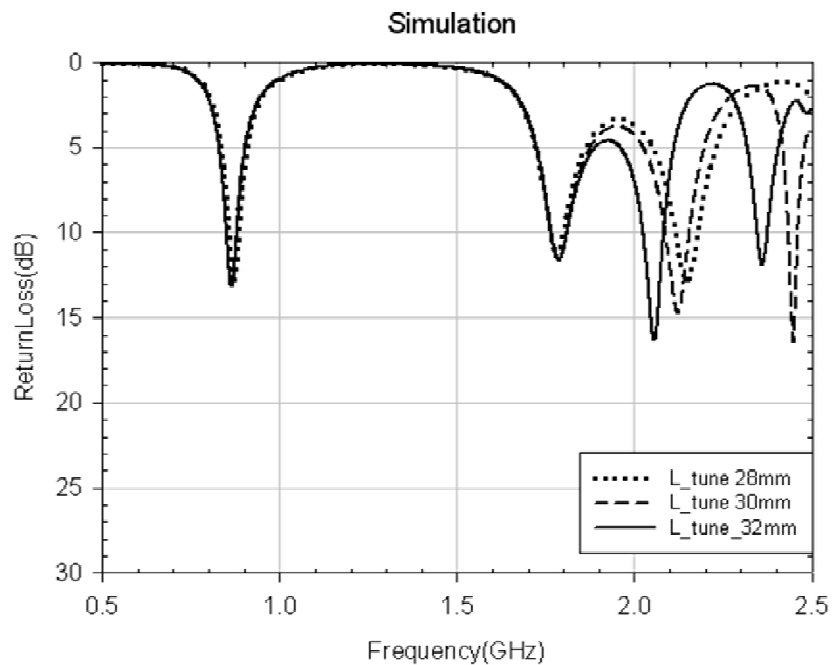


圖 2.26 模擬加入  $L_{tune}$  之反射損失與頻率響應圖



### 2.2.3 天線與開關電路的整合(Layout)

天線設計(Layout)：

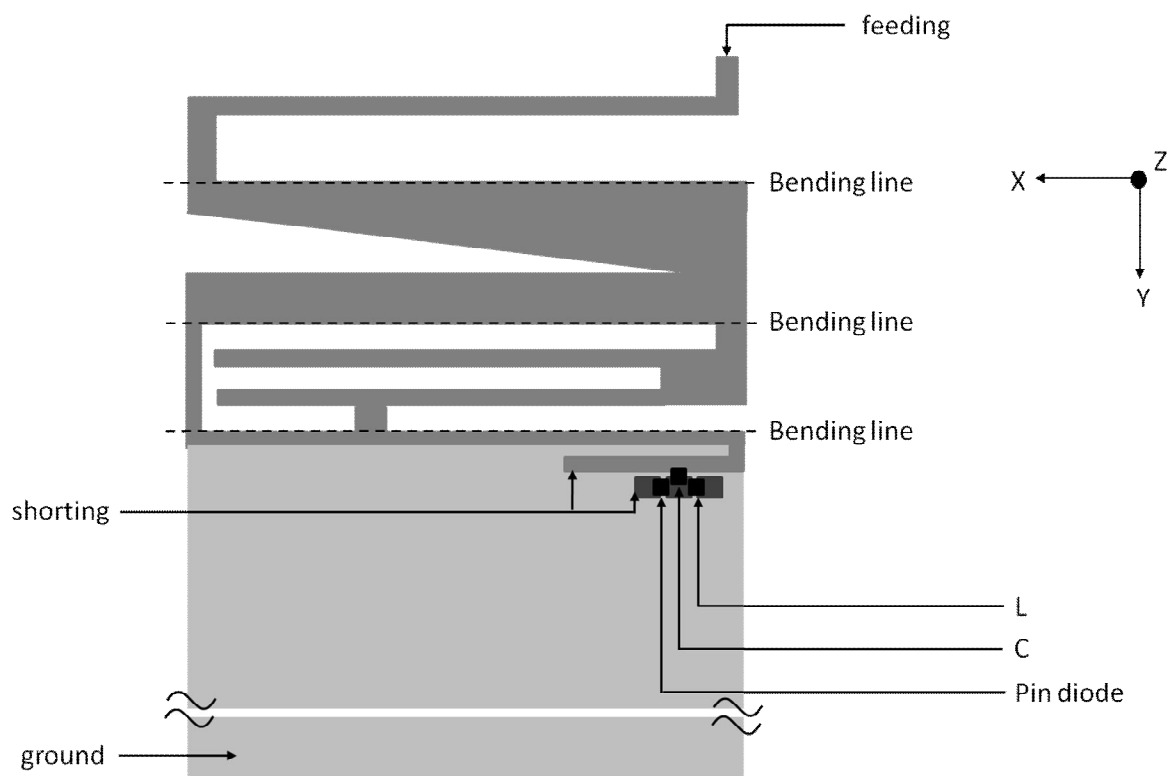


圖 2.27 五頻可調頻迴路天線平面結構示意圖

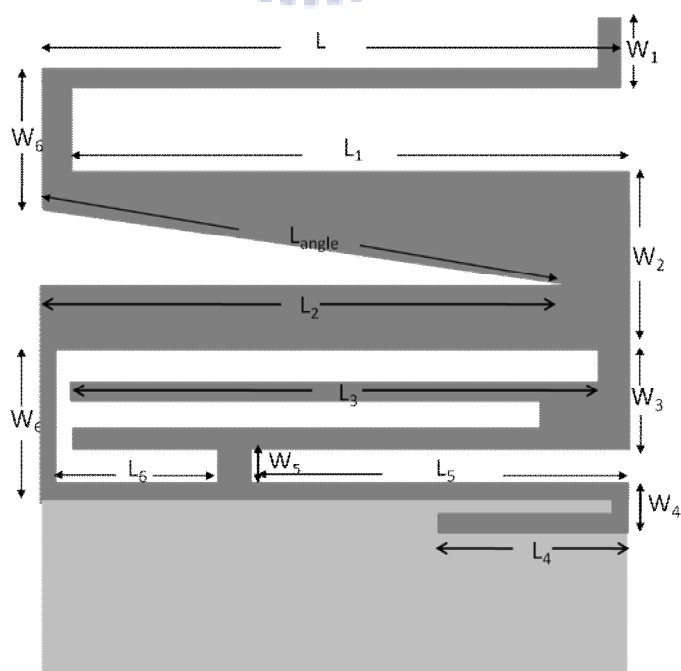


圖 2.28 五頻可調頻迴路天線平面結構參數示意圖

最後，接地面完整性的五頻可調頻天線架構如上圖2.27 所示，完整的參數圖如圖2.28 所示，與前一節的調頻開關電路相同，在此設計配置下，中間的三塊黑色小區塊，即是用來分別放置L、C以及Pin diode，因為Pin diode需以大於0.7V的偏壓去啟動它，故以L=50nH來當做RF block，C=20nF來隔絕DC，其中電感與電容都是採用0402的規格。

在圖2.27中，將LC元件、Pin diode與天線整合後，然後經由饋入線饋入，當Pin diode處於open狀態，即是沒有輸入偏壓的狀態，此時低頻GSM850與高頻的頻段由整段的天線路徑貢獻。然而，當Pin diode處於off的狀態時，亦即輸入偏壓使其導通，此時饋入的訊號將會因為開關導通而提早短路下地，因而使電流繞行的路徑變短，進而達到調頻的效果，達成此天線的設計需求。

模擬與量測結果：

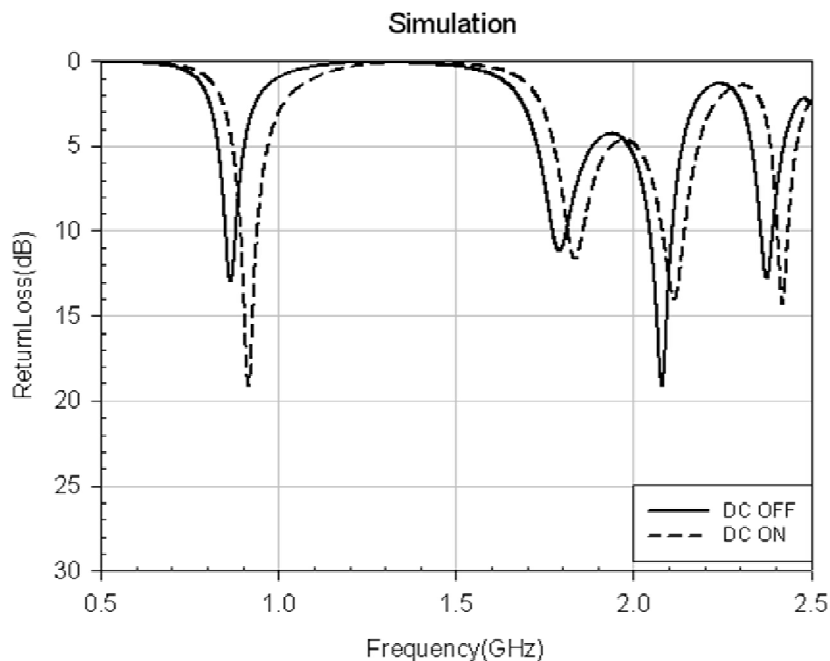


圖 2.29 模擬五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖

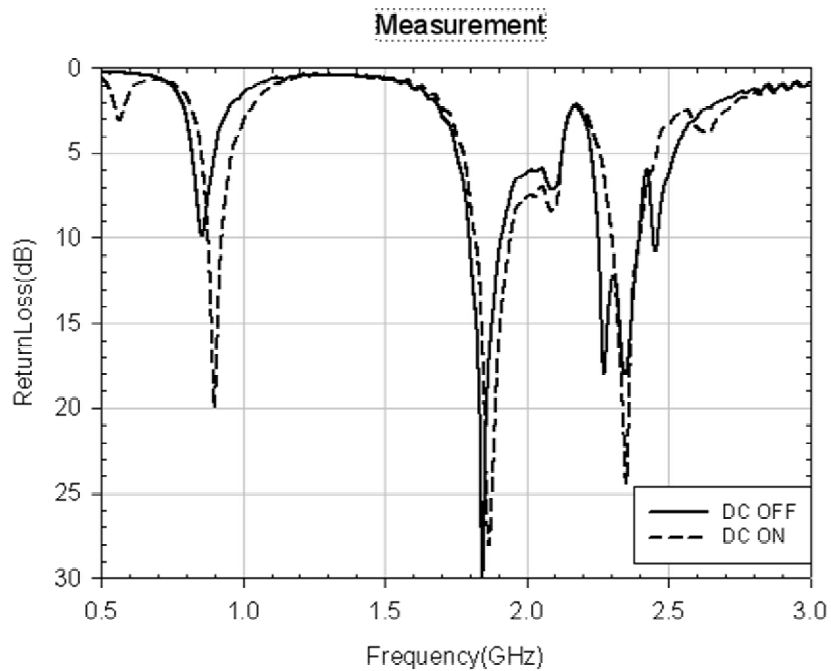


圖 2.30 量測五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖

在接地面的完整性條件下，五頻可調頻天線的模擬與量測結果如圖2.29與圖2.30，圖2.29為模擬圖，由此圖可看出開關導通前，天線之6-dB阻抗頻寬滿足GSM850與GSM1800/1900/UMTS2100，開關導通後，天線之6-dB阻抗頻寬可滿足GSM900與GSM1800/1900/UMTS2100，確實具有頻率可調的效果。雖然高頻有些許部分不到-6dB，但可以再對照量測的結果。

圖2.30為實際量測圖，雖與模擬有些誤差，但調頻的效果確實有達到，且整體的6-dB阻抗頻寬，低頻可滿足GSM850/900(824-894 MHz, 880-960 MHz)，雖然高頻在GSM1800/1900/UMTS2100這三個頻段中似乎無法完全的滿足，但在下一節會有所量測到的效率以及場型圖，可證明此天現在業界是具有其實際效用的。

## 2.2.4 天線場型的量測與效率

本節中，將以最後所設計的五頻可調頻天線量測其重要的效率及場型圖，在目前手機天線的應用上，實際上所量到的效率比起各個平面的場型圖還要來的重要，因此會先附上在天線量測實驗室中所量得的效率，以下即為完整的效率表及場型圖，都有不錯的表現。

	OFF	ON
Frequency	Efficiency	
824MHz	40.04%	19.72%
836MHz	49.82%	26.68%
849MHz	52.91%	36.05%
869MHz	53.18%	43.38%
880MHz	49.18%	48.70%
894MHz	48.84%	51.04%
900MHz	37.26%	48.33%
915MHz	33.71%	53.79%
925MHz	30.93%	55.76%
940MHz	25.02%	49.88%
960MHz	19.57%	40.63%

(a)

	OFF	ON
Frequency	Efficiency	
1710 MHz	40.43%	39.55%
1730 MHz	40.88%	40.77%
1750 MHz	47.78%	45.58%
1760 MHz	50.38%	52.33%
1790 MHz	59.58%	53.45%
1810 MHz	61.43%	55.31%
1840 MHz	70.84%	68.61%
1850 MHz	73.50%	73.22%
1880 MHz	68.57%	72.77%

(b)

	OFF	ON
Frequency	Efficiency	
1910 MHz	62.09%	70.20%
1920 MHz	61.17%	69.63%
1930 MHz	58.53%	67.50%
1950 MHz	54.15%	62.05%
1960 MHz	51.31%	59.46%
1980 MHz	50.02%	57.49%
1990 MHz	49.88%	55.07%
2110 MHz	59.84%	63.87%
2140 MHz	44.88%	42.47%
2170 MHz	42.43%	41.67%

(c)

表2.3 開關前後量測之效率表

(a)開關前後之低頻效率

(b)開關前後之高頻效率前半部

(c)開關前後之高頻效率後半部

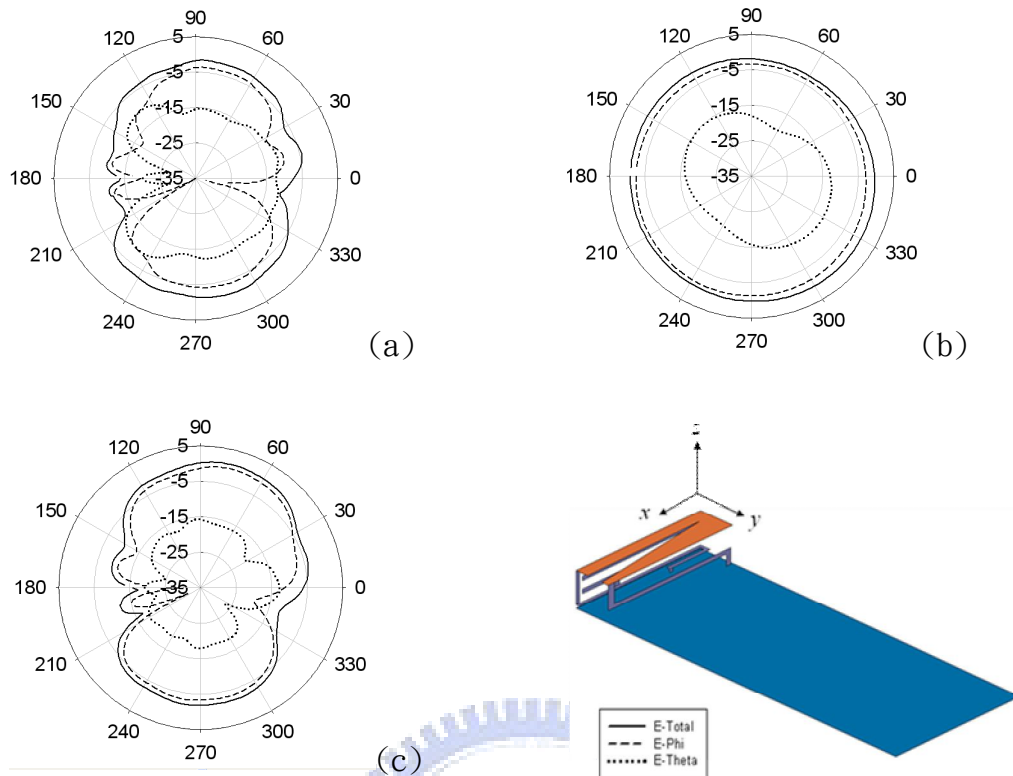


圖 2.31 850MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

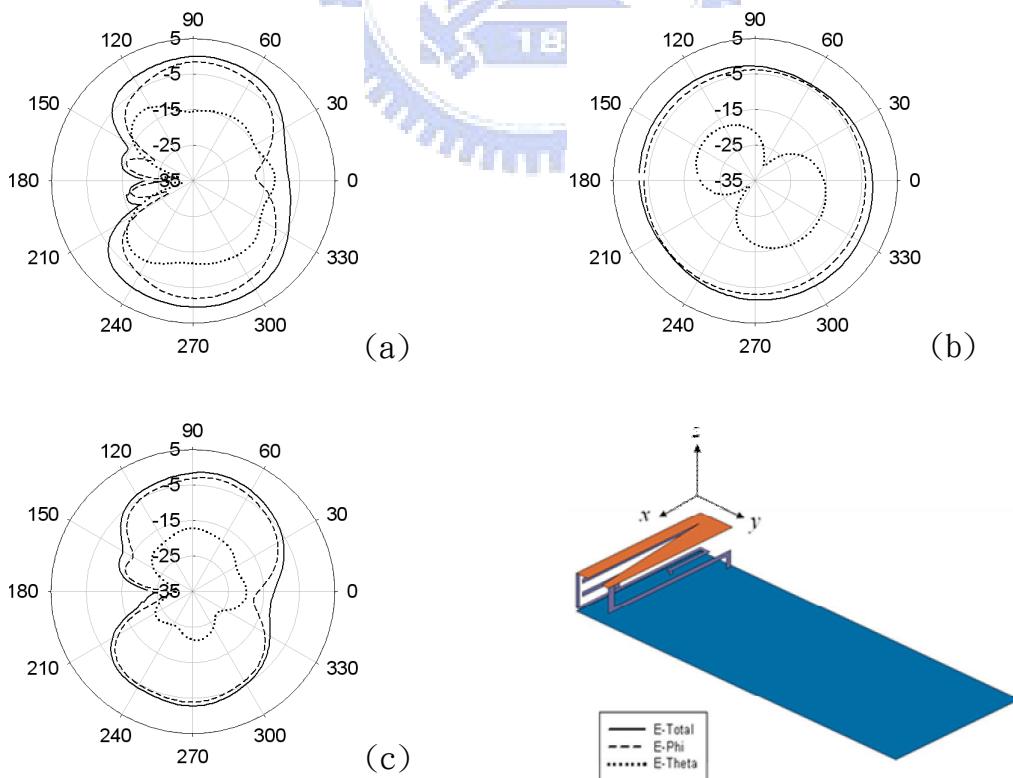


圖 2.32 900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

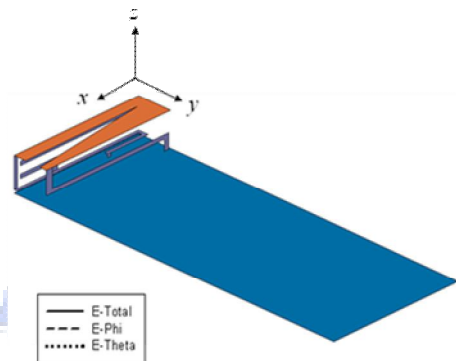
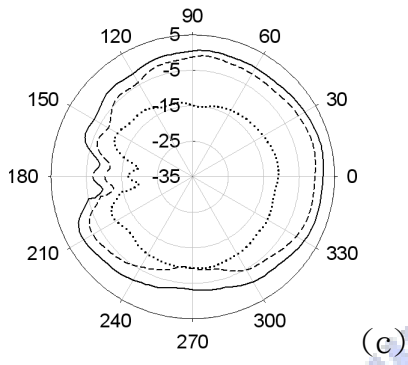
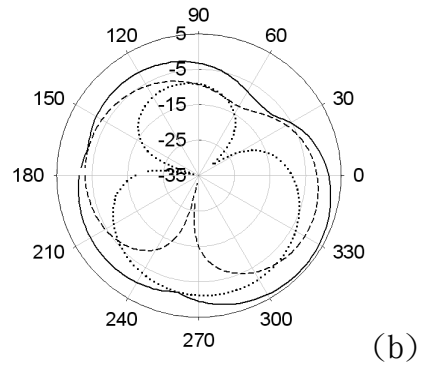
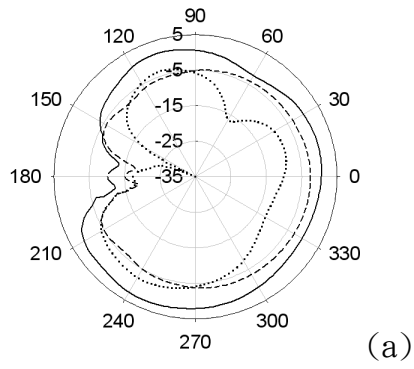


圖 2.33 1800MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

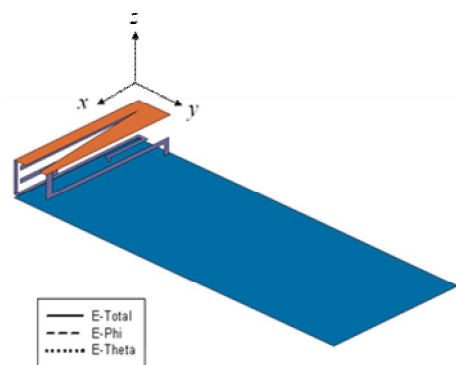
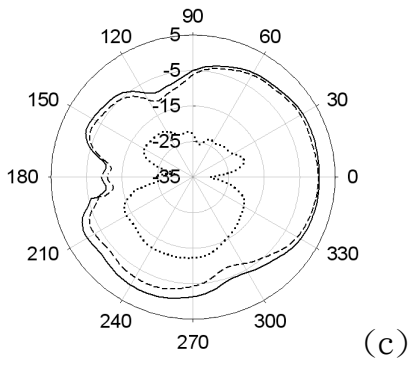
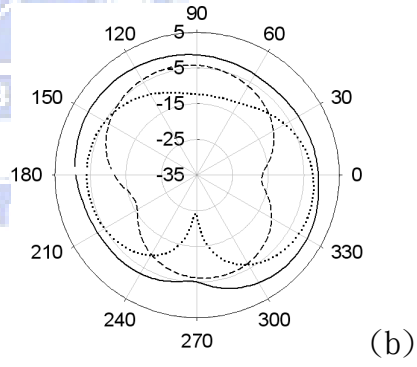
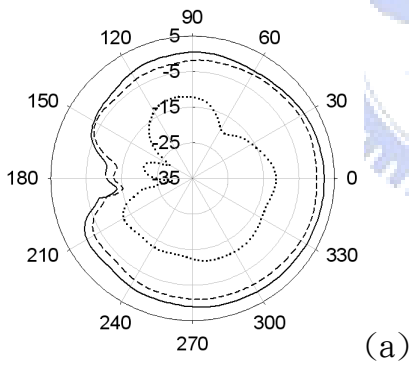


圖 2.34 1900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

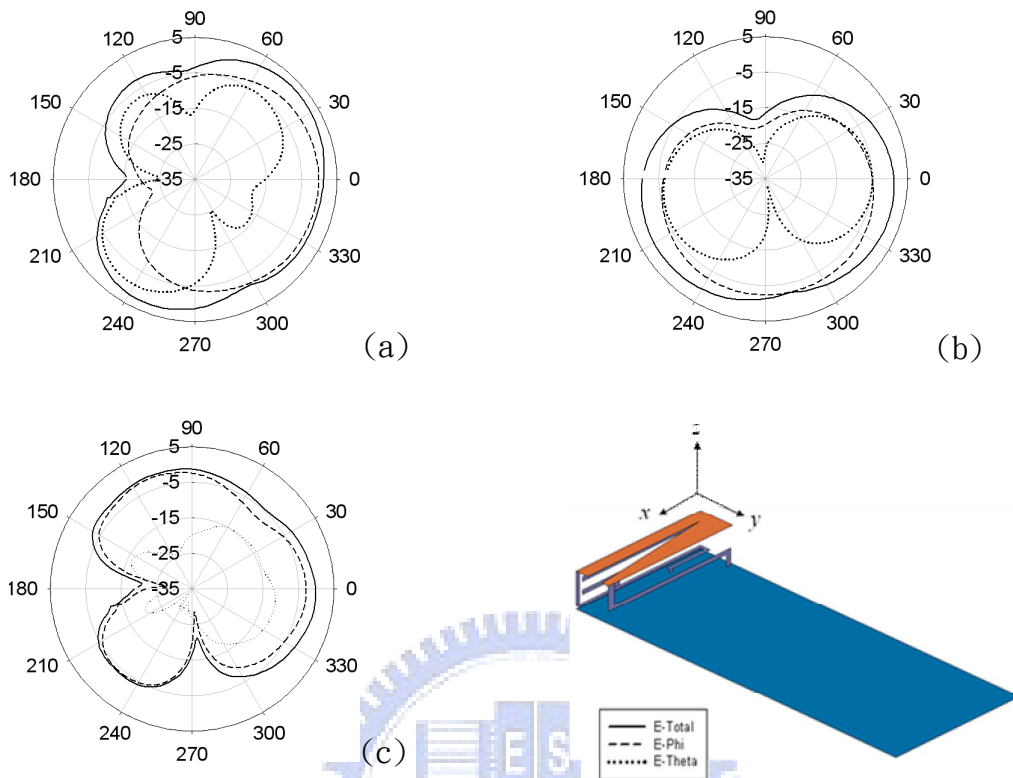


圖 2.35 2100MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

表 2.4 天線各頻段之平均增益根最大增益

頻率	Average gain (dB)			Peak gain (dB)		
	XY-plane	XZ-plane	YZ-plane	XY-plane	XZ-plane	YZ-plane
850	-4.78	-2.67	-3.37	-0.67	-0.32	-2.3
900	-4.12	-2.5	-3.23	-1.53	-0.13	-1.89
1800	-3.56	-2.34	-3.27	-1.42	-1.13	-1.78
1900	-3.17	-2.46	-2.89	-0.25	-1.07	-1.34
2100	-3.2	-2.75	-3.14	-0.78	-1.01	-1.03

### 第三章 應用於手機之七頻可調頻天線

本章節主要將提出一個適用於手機頻段的立體迴路天線，天線部分利用一適當蜿蜒迴圈輻射體的機制來調整模態頻率比進而能滿足多頻操作的需求，並且在天線 short 端之附近配置一開關電路來達成低頻的可調，此開關由一直流偏壓提供啟動與否，當沒有輸入偏壓時，此時開關閉閉，低頻操作在 LTE 700 與 GSM 850 兩個頻段，當輸入偏壓時，此時開關打開，低頻操作在 GSM 850 與 GSM 900。但在開關前後，高頻依舊都能維持在 GSM1800/GSM1900/UMTS2100/WLAN2500 這四個頻段，使得天線整體是屬於七頻操作的。完成一應用於手機之七頻可調頻天線。

#### 3.1 七頻可調頻天線設計

##### 3.1.1 多頻的迴路天線架構(Layout)：

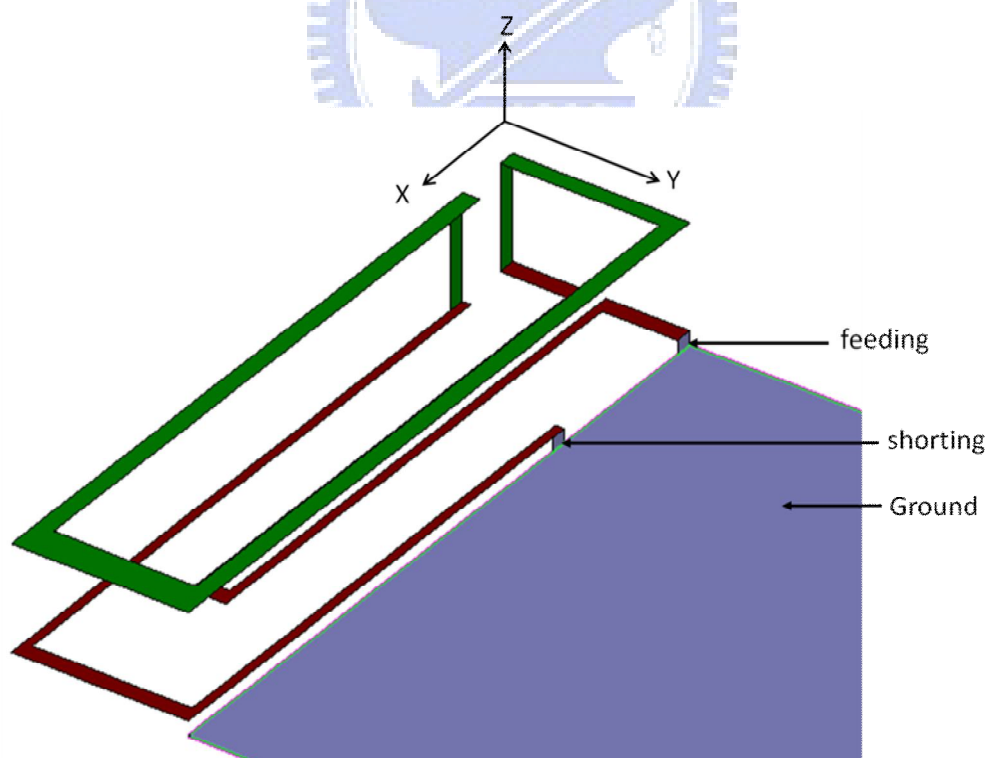


圖 3.1 多頻迴路天線立體結構示意圖



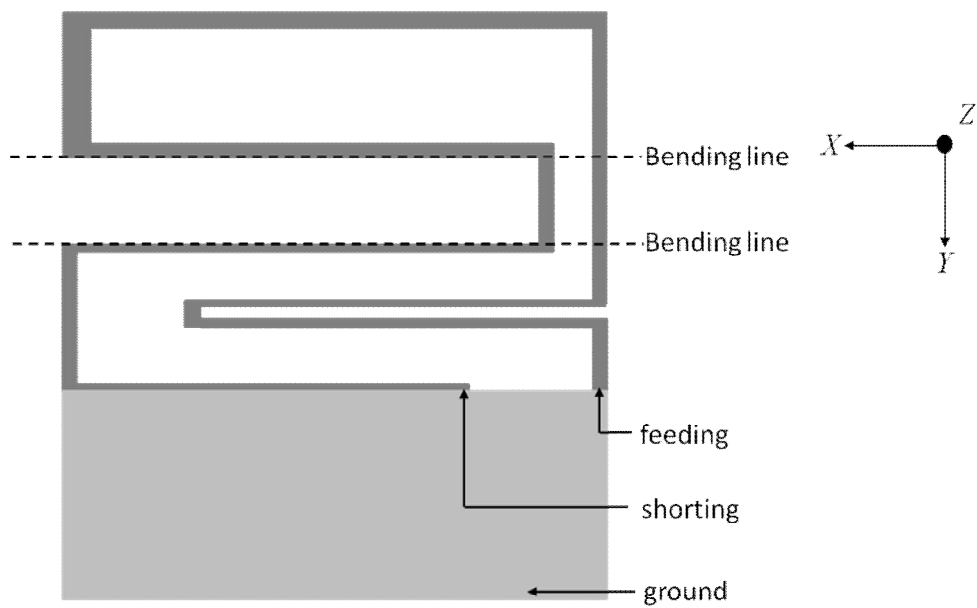


圖 3.2 多頻迴路天線平面結構示意圖

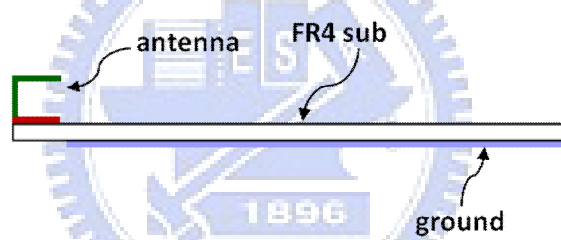


圖 3.3 多頻迴路天線側視圖

本章所提出的立體迴路天線結構如圖3.1所示，平面結構如圖3.2。此天線輻射體體積為  $40 \times 10 \times 6 \text{ mm}^3$ ，並設計製作在一雙層金屬面的介電材料(FR4)板上。

本論文中所使用的板材為FR4板，板材參數設定如下：

介電常數 (Dielectric constant  $\epsilon_r$ ): 4.4

損耗正切 (Loss tangent  $\tan \delta$ ): 0.02

導體金屬，導電係數：銅(copper)， $5.88 \times 10^7$

基板厚度：0.8mm

上層金屬面包含：輻射主體；下層為接地金屬面，接地面面積為  $40 \times 93 \text{ mm}^2$ 。

饋入點以一cable線經由feeding端饋入，並在shorting端打一個via接至接地面完成一迴路天線的設計。

天線主體由彎曲的矩形金屬所構成，此迴路天線共振路徑總長度約為 $0.5\lambda_1$  ( $\lambda_1$ 為0.75GHz的全波長)，而在1.7GHz、2GHz與2.35GHz分別為 $1\lambda_2$ 、 $1.6\lambda_3$ 跟 $2\lambda_4$ ，此波長比例很符合我們所設計的迴路天線特性，以基頻的頻段為底，然後分別會得到它的倍頻來滿足我們所需求的頻段位置。

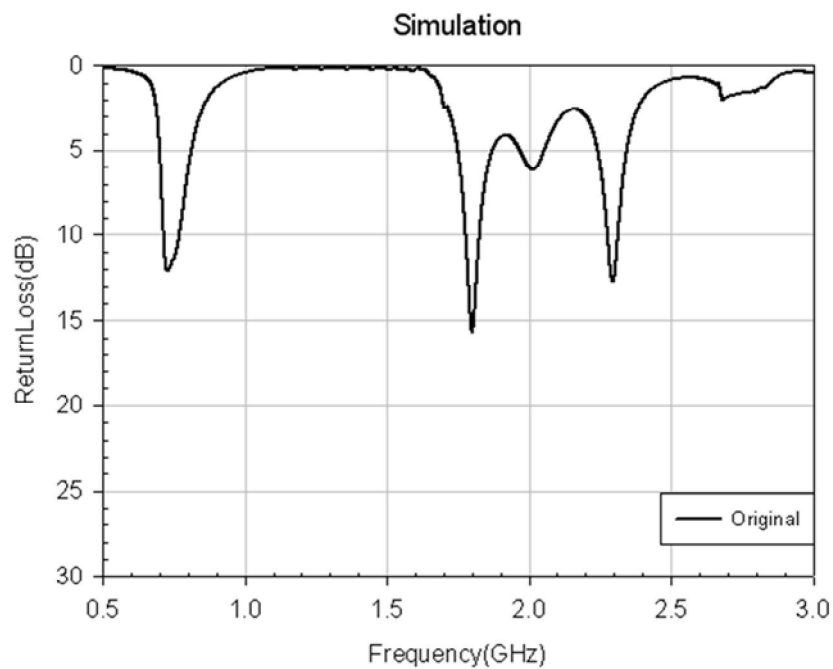


圖 3.4 模擬多頻迴路天線之反射損失圖

圖3.4為多頻迴路天線模擬之反射損失圖，其操作的頻帶之阻抗頻寬在此以 6dB 作定義。從圖中可以非常清楚的看出低頻的操作頻率範圍約在 710 MHz 至 800 MHz，阻抗頻寬為90 MHz，大致上已經接近LTE(694 MHz - 806 MHz)，然後高頻分別有三個共振頻率點，由此模擬圖可看出座落的四個頻段與所需求的七頻頻段相當接近，於是將以圖3.1、3.2的結構為基礎，設計出一可調頻的手機七頻可調頻天線。

### 3.1.2 增加頻段之耦合設計：

(i) 天線設計(Layout)：

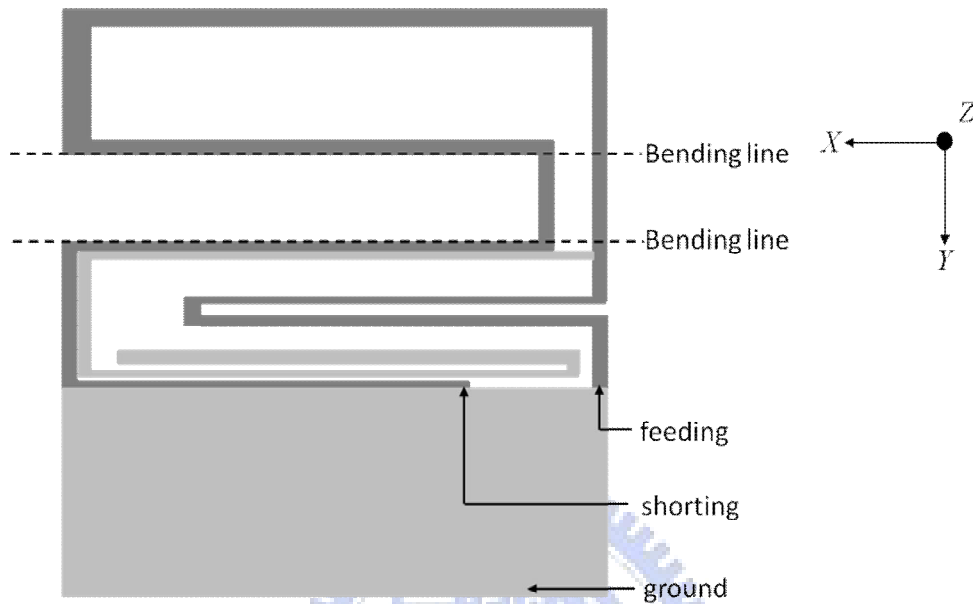


圖 3.5 多頻迴路天線平面結構示意圖

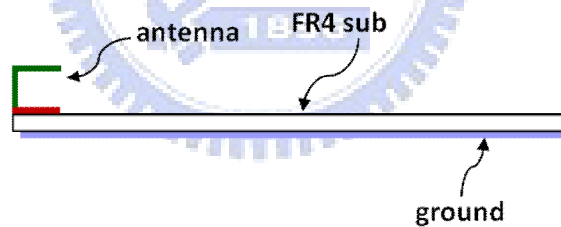


圖 3.6 多頻迴路天線側視圖

在本節中，多頻迴路天線加入 coupling strip 後平面結構圖如圖 3.5 所示，在不改變天線整體架構下，但又為了提升低頻的頻寬，我們嘗試著在天線底下的另一面空曠地方，加入一段 strip，並將其設計在四分之一波長共振於 GSM850 的頻段，在此設計中，我們必須先找到原本天線輻射電流夠強之處，然後經由直接的耦合，使其能夠達到我們的需求，但在為了滿足低頻需求下，此設計勢必也會為高頻帶來影響，但這節中僅先探討如何保有低頻的頻寬，於下一節，再來調

整高頻的要求頻寬。

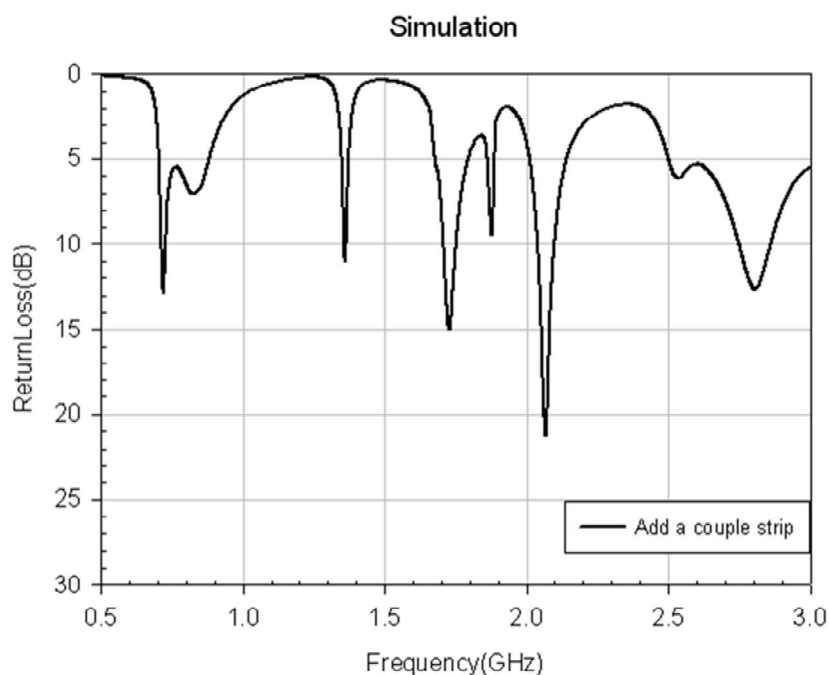


圖 3.7 模擬加入 coupling strip 之反射損失圖

圖3.7為加入coupling strip之後所模擬之反射損失圖。由於3.1.1節所設計之原始天線在低頻的操作頻率範圍在 710 MHz 至 800 MHz (參考圖3.4) , 以 3:1 VSWR作定義, 大約可操作於LTE(694 MHz - 806 MHz)頻帶, 在經過本節所提出的coupling strip設計後, 使其在6dB頻寬擴增為1700 MHz- 2700 MHz, 使此迴路天線的低頻涵蓋到LTE700/GSM850, 在6dB阻抗頻寬下, 低頻大幅度提升為 710 MHz -880 MHz, 而且高頻並沒有因為此coupling strip的加入而產生太大的變動, 於是我們可以在下一節中著墨於如何提高高頻的匹配以達到我們所需求的頻寬。

### 3.1.3 提升頻寬的匹配設計：

#### (i) 天線設計(Layout)：

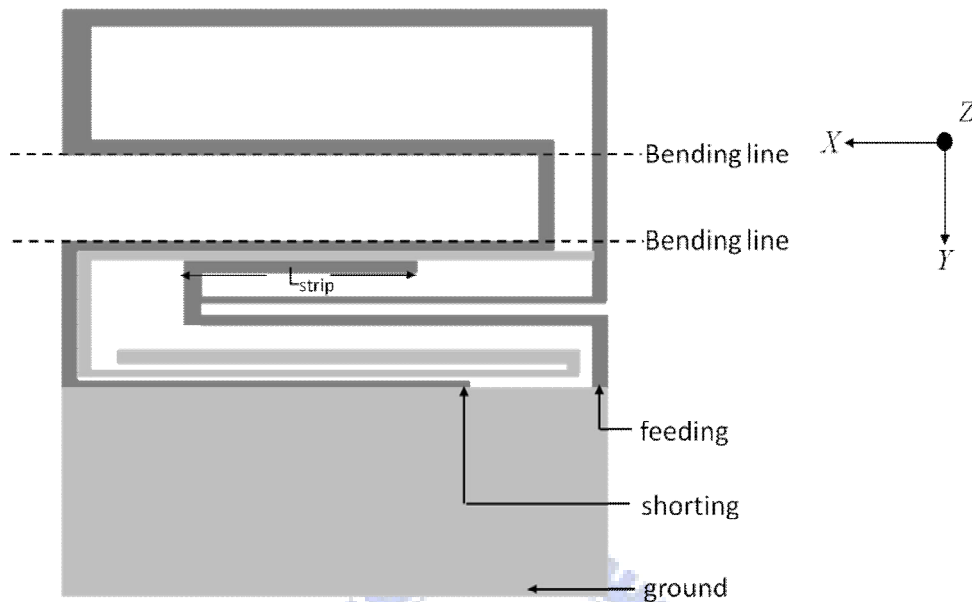


圖 3.8 多頻迴路天線平面結構示意圖

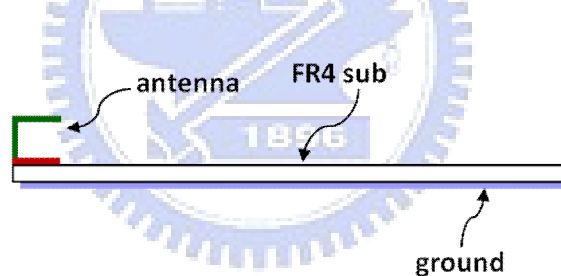


圖 3.9 多頻迴路天線側視圖

在本節中，多頻迴路天線加入 tuning  $L_{strip}$  後平面結構圖如圖 3.8 所示，在不改變天線整體架構下，但又為了提升高頻的 6dB 阻抗頻寬，我們嘗試著在 FR4 上之天線彎曲線段上，多加了一段  $L_{strip}$  來調整，經由此長度的變化，確實可以看到對高頻的阻抗匹配有相當大的影響，而且低頻原本的頻寬並沒有受到太大的變化，是可以被接受的範圍之內，於是我們將針對  $L_{strip}$  長度變化來進行模擬，調整出我們理想中的高頻頻寬設計。

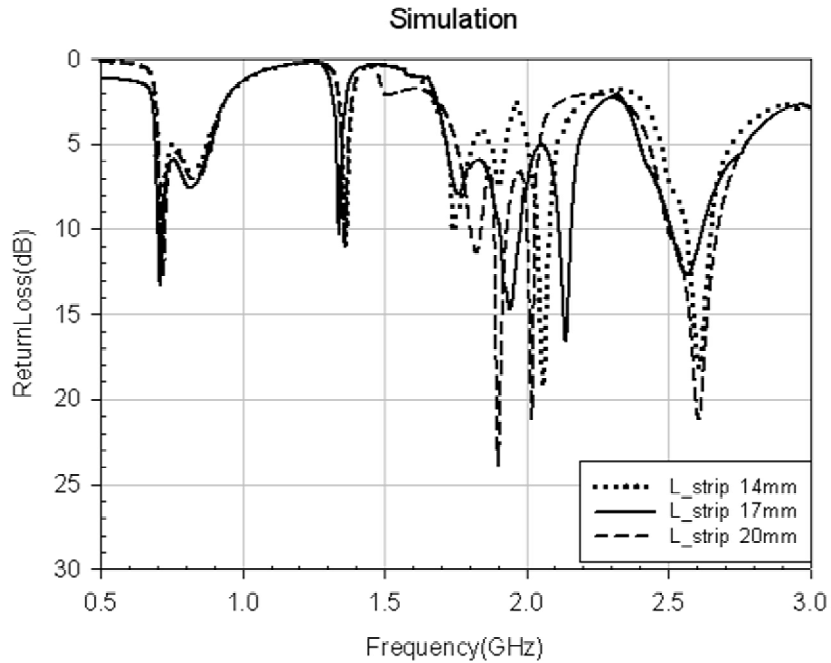


圖 3.10 模擬加入  $L_{strip}$  之反射損失圖

如圖3.10 所示，這是在原本的天線主體上加上一段tuning  $L_{strip}$ 後所得到的模擬結果，當長度為14mm時，我們發現在1.7GHz到2.2GHz之間的頻段，有獲得明顯的阻抗匹配，因此，我們決定將長度增加為17mm，發現匹配有變更好的趨勢，但是當長度增長為20mm時，匹配雖然做得更好了，但卻犧牲了頻寬，頻寬有明線的縮小，在此狀況下已經不夠於我們的頻寬需求，因此我們將決定17mm為我們最後所設計的 $L_{strip}$ ，在下一節中將會加入開關Pin diode的設置，以期許達成我們的調頻需求。

### 3.1.4 天線與開關電路的整合：

(i) 天線設計(Layout)：

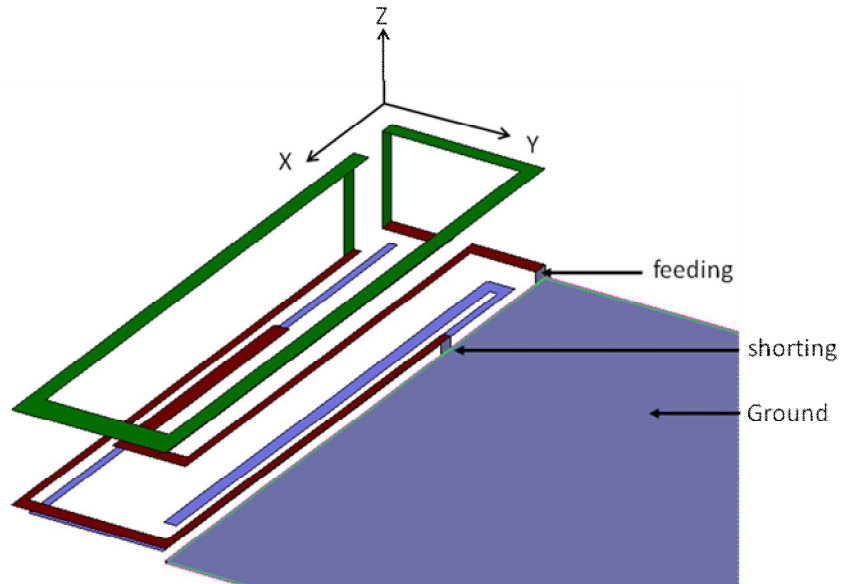


圖 3.11 七頻可調頻迴路天線立體結構示意圖

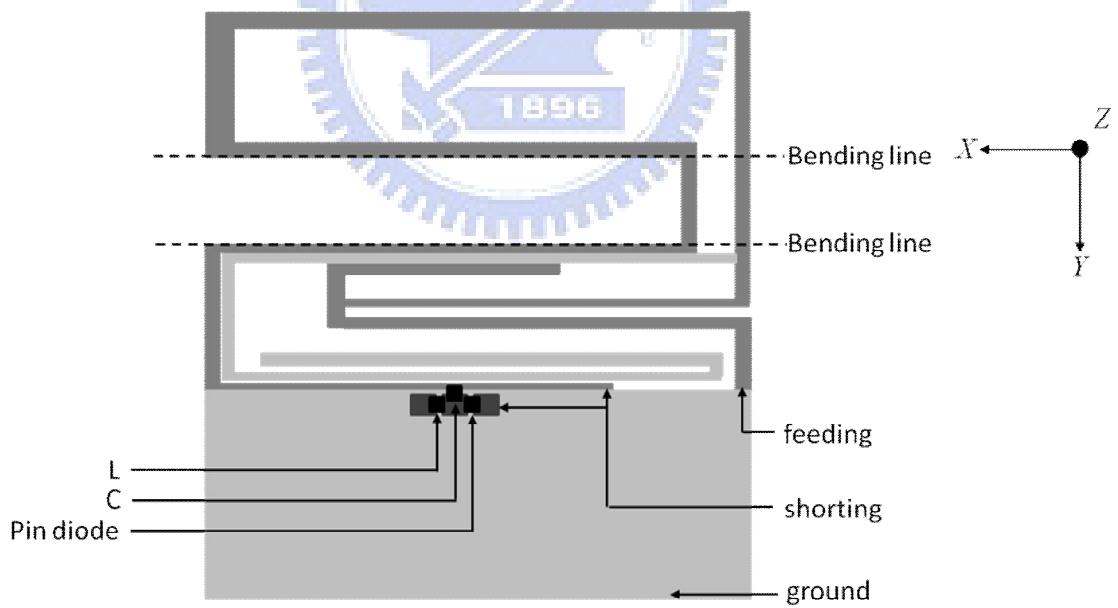


圖 3.12 七頻可調頻迴路天線平面結構示意圖

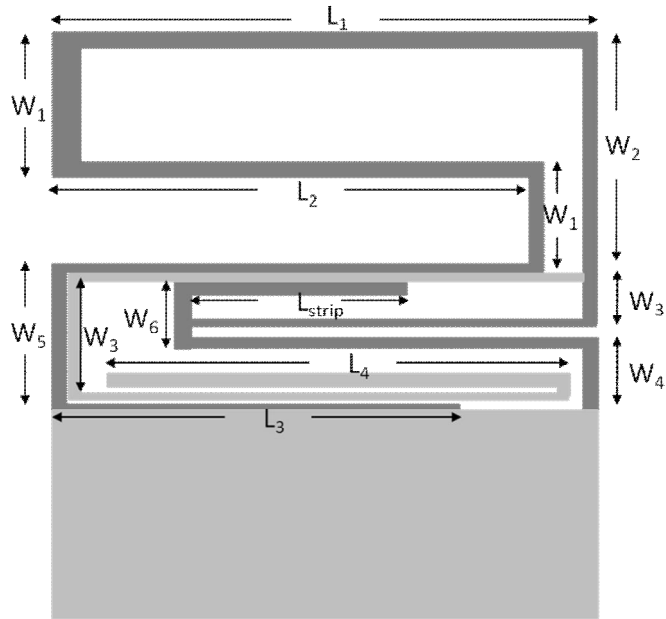


圖 3.13 七頻可調頻迴路天線平面結構示意圖

這是本章最後所提出的完整天線架構圖，經由一連串的天線設計以及調頻開關機制的設計，讓兩者整合後所得到架構圖如圖3.12 所示，在此設計配置下，中間的三塊黑色小區塊，即是用來分別放置L、C以及Pin diode，因為Pin diode需以大於0.7V的偏壓去啟動它，故以 $L=50\text{nH}$ 來當做RF block， $C=20\text{nF}$ 來隔絕DC，其中電感與電容都是採用0402的規格。

在圖3.12 中，經由饋入線饋入訊號後，訊號經由此天線迴圈的輻射體輻射，並且這時開關的Pin diode呈現沒有導通的狀態，將可使我們得到低頻LTE700(694MHz-806 MHz)與GSM850(824MHz-894MHz)兩個頻段的需求，在輸入偏壓後，開關的Pin diode呈現導通狀態，這時低頻操作於GSM850(824MHz-894MHz)與GSM900(880MHz-960MHz)兩個頻段，並且在這兩種情況時，高頻依舊能夠維持在GSM1800/GSM1900/UMTS2100/WLAN2.4G 這四個頻段，使得我們的設計能夠達成此一應用於手機之七頻可調頻的天線。



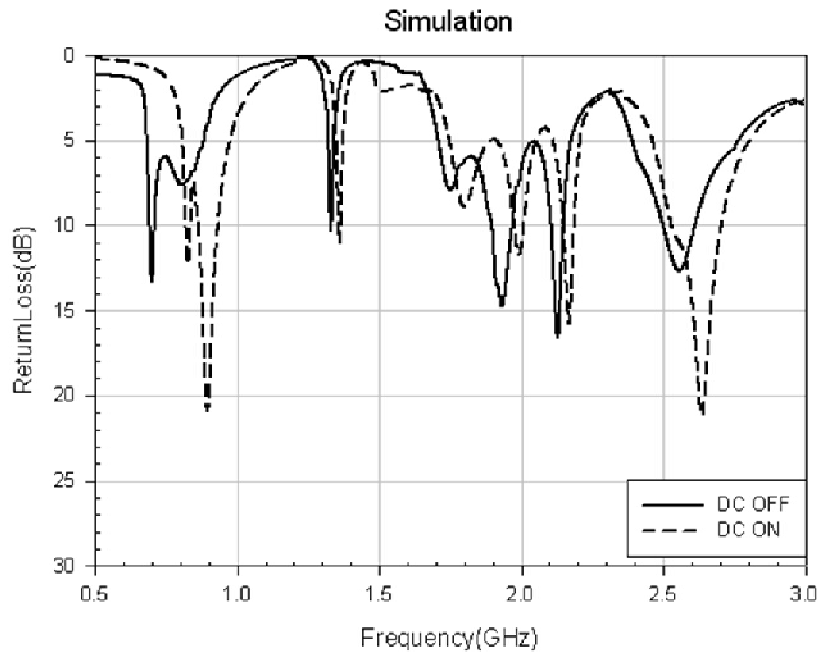


圖 3.14 模擬五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖

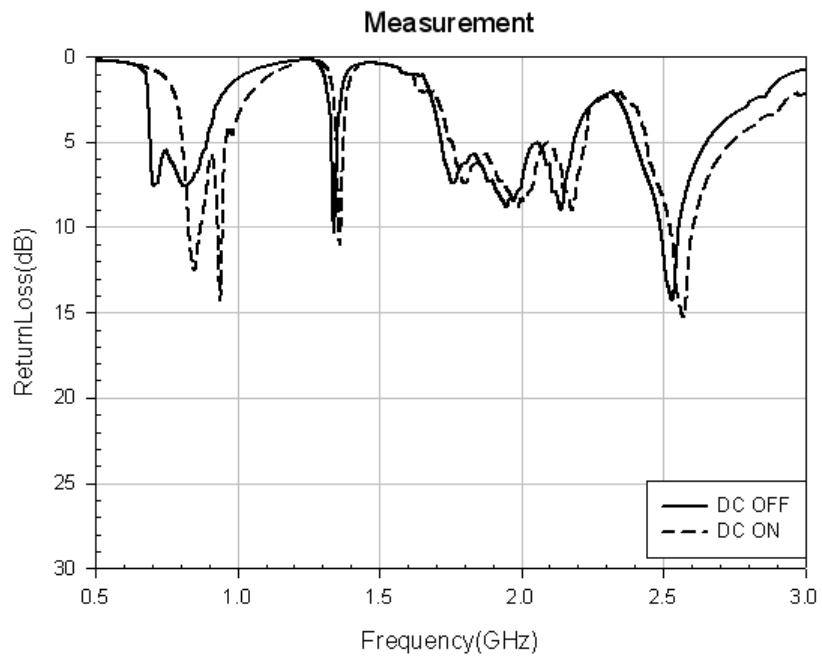


圖 3.15 量測五頻可調頻迴路天線之反射損失與頻率響應圖

在要滿足七頻可調頻的規格下，七頻可調頻天線的模擬與量測結果如圖3.14 與圖3.15。圖3.14 為模擬圖，由此圖可看出開關導通前，天線之6-dB阻抗頻寬滿足LTE700/GSM850與GSM1800/1900/UMTS2100/WLAN2.4G，開關導通後，天線之6-dB阻抗頻寬可滿足GSM850/GSM900與GSM1800/1900/UMTS2100/WLAN2500，確實具有頻率可調的效果。雖然高頻有些許部分不到-6dB，但可以再對照量測的結果。圖3.15 為實際量測圖，雖與模擬有些誤差，但調頻的效果確實有達到，而且整體的6-dB阻抗頻寬，低頻可分別滿足LTE700(694MHz-806MHz)/GSM850/900(824-894 MHz, 880-960 MHz)，高頻可滿足GSM1800/1900/UMTS2100/WLAN這四個頻段，且在下一節會有所量測到的效率以及場型圖，可證明此天現在業界是具有其實際效用的。



### 3.1.5 天線場型的量測與效率

本節中，將以最後所設計的七頻可調頻天線量測其重要的效率及場型圖，在目前手機天線的應用上，實際上所量到的效率比起各個平面的場型圖還要來的重要，因此會先附上在天線量測實驗室中所量得的效率，以下即為完整的效率表及場型圖，都有不錯的表現。

	<b>OFF</b>	<b>ON</b>			<b>OFF</b>	<b>ON</b>
Frequency	Efficiency			Frequency	Efficiency	
694 MHz	38.51%	7.13%	(a)	694 MHz	38.51%	7.13%
710 MHz	38.49%	8.32%		710 MHz	38.49%	8.32%
734 MHz	39.71%	10.37%		734 MHz	39.71%	10.37%
751 MHz	41.61%	11.86%		751 MHz	41.61%	11.86%
775 MHz	41.84%	15.21%		775 MHz	41.84%	15.21%
790 MHz	40.23%	22.39%		790 MHz	40.23%	22.39%
804 MHz	37.93%	25.12%		804 MHz	37.93%	25.12%
810 MHz	38.58%	27.25%		810 MHz	38.58%	27.25%
824 MHz	43.20%	35.34%		824 MHz	43.20%	35.34%
836 MHz	45.27%	39.76%		836 MHz	45.27%	39.76%
	<b>OFF</b>	<b>ON</b>				<b>OFF</b>
Frequency	Efficiency			Frequency	Efficiency	
1710 MHz	55.64%	47.29%	(c)	1950 MHz	61.33%	57.73%
1730 MHz	58.13%	48.37%		1960 MHz	59.32%	56.32%
1750 MHz	52.54%	51.87%		1980 MHz	54.75%	59.94%
1760 MHz	54.25%	52.68%		2050 MHz	50.29%	58.43%
1790 MHz	51.34%	49.21%		2110 MHz	55.49%	47.85%
1810 MHz	50.78%	48.19%		2140 MHz	59.83%	51.49%
1840 MHz	53.68%	52.12%		2170 MHz	62.66%	55.61%
1850 MHz	57.25%	51.54%		2450 MHz	69.28%	55.75%
1880 MHz	60.18%	55.94%		2500 MHz	72.63%	58.91%
1900 MHz	63.77%	53.67%		2550 MHz	70.32%	62.28%
	<b>OFF</b>	<b>ON</b>				<b>OFF</b>
Frequency	Efficiency			Frequency	Efficiency	
1710 MHz	55.64%	47.29%	(d)	1950 MHz	61.33%	57.73%
1730 MHz	58.13%	48.37%		1960 MHz	59.32%	56.32%
1750 MHz	52.54%	51.87%		1980 MHz	54.75%	59.94%
1760 MHz	54.25%	52.68%		2050 MHz	50.29%	58.43%
1790 MHz	51.34%	49.21%		2110 MHz	55.49%	47.85%
1810 MHz	50.78%	48.19%		2140 MHz	59.83%	51.49%
1840 MHz	53.68%	52.12%		2170 MHz	62.66%	55.61%
1850 MHz	57.25%	51.54%		2450 MHz	69.28%	55.75%
1880 MHz	60.18%	55.94%		2500 MHz	72.63%	58.91%
1900 MHz	63.77%	53.67%		2550 MHz	70.32%	62.28%

表3.1 開關前後量測之效率表

(a)開關前後之低頻效率前半部

(b)開關前後之低頻效率後半部

(c)開關前後之高頻效率前半部

(d)開關前後之高頻效率後半部

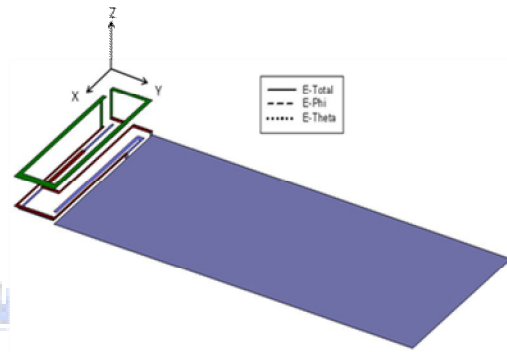
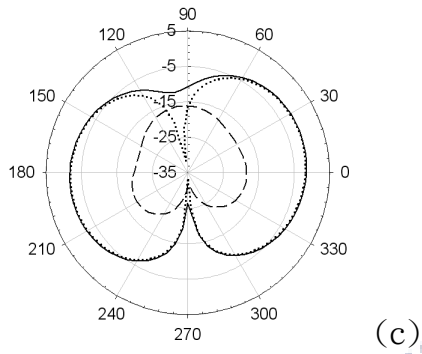
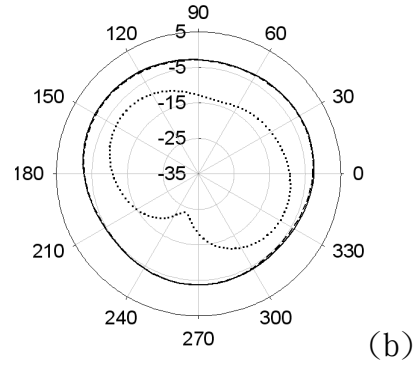
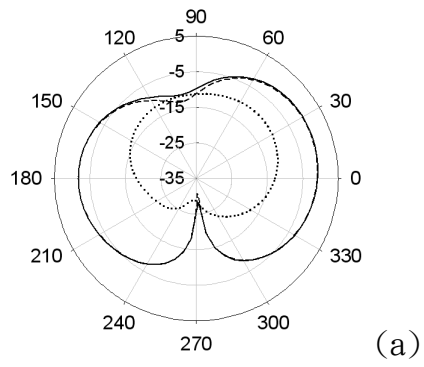


圖 3.16 750MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

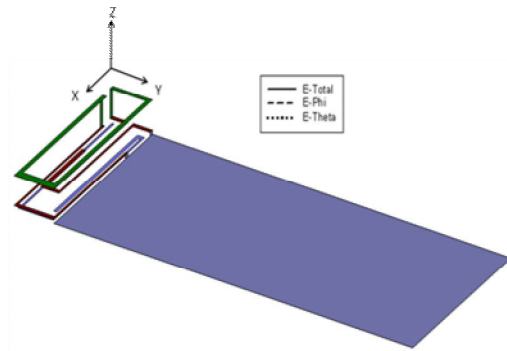
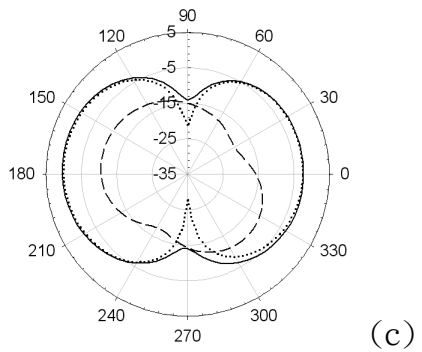
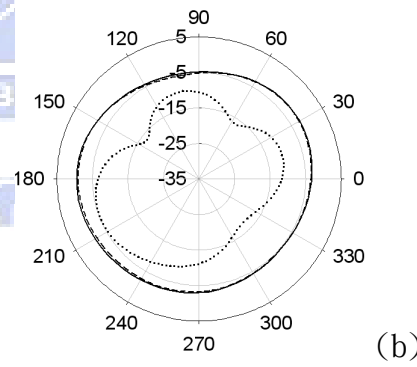
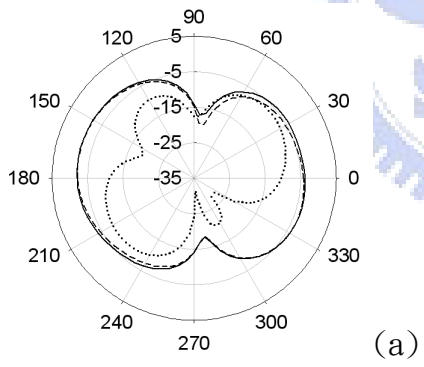


圖 3.17 850MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

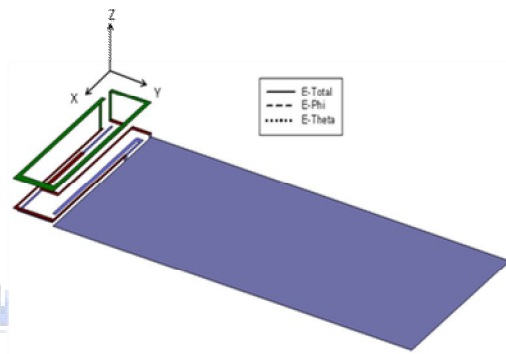
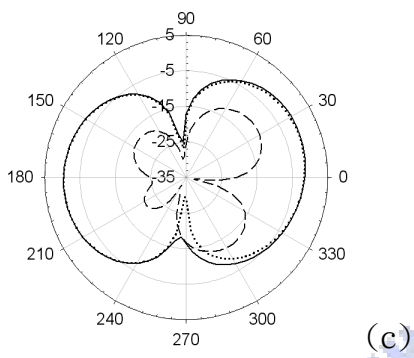
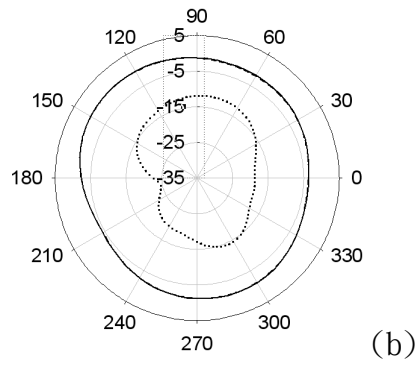
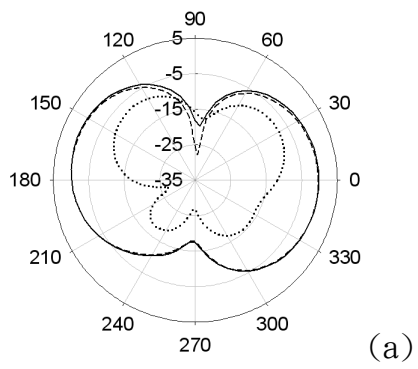


圖 3.18 900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

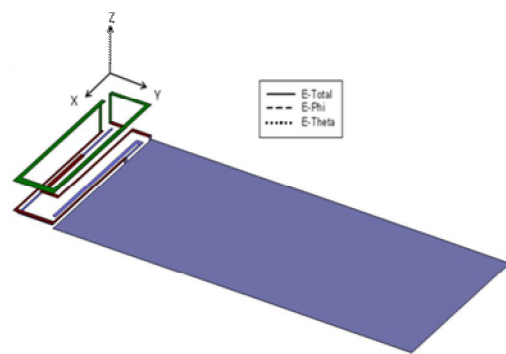
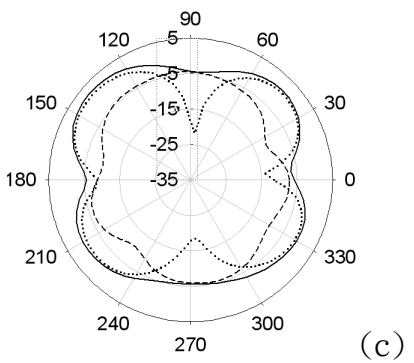
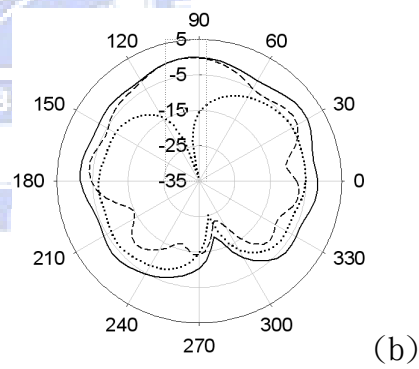
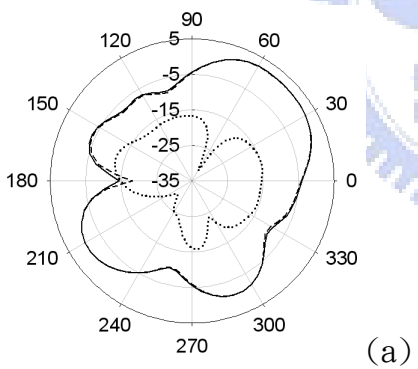


圖 3.19 1800MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

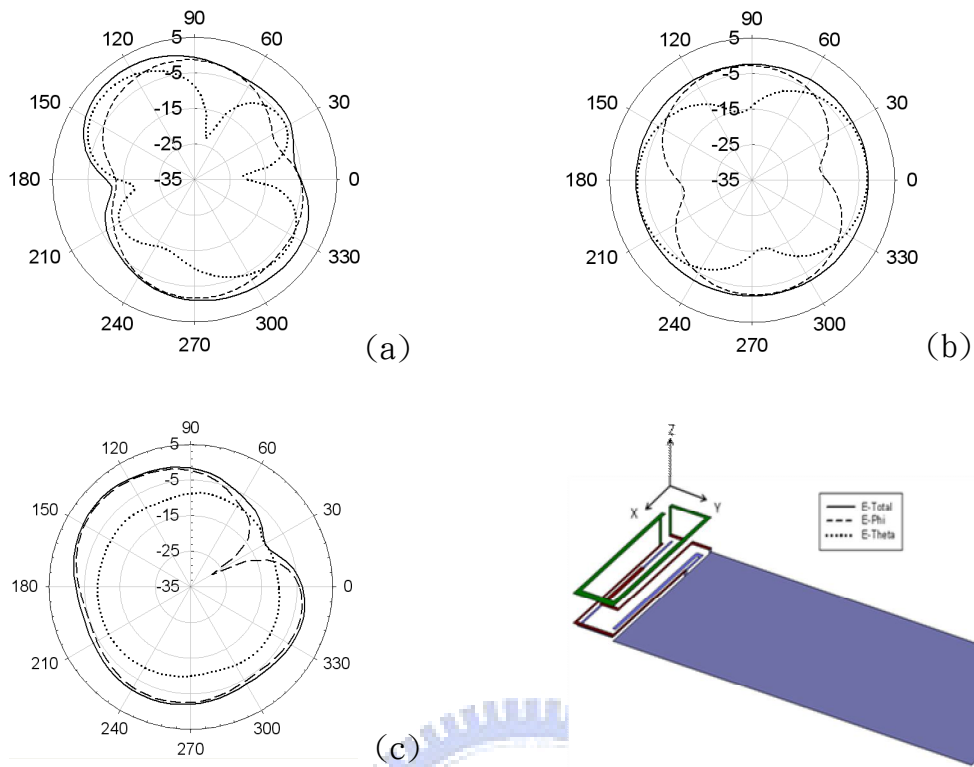


圖 3.20 1900MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

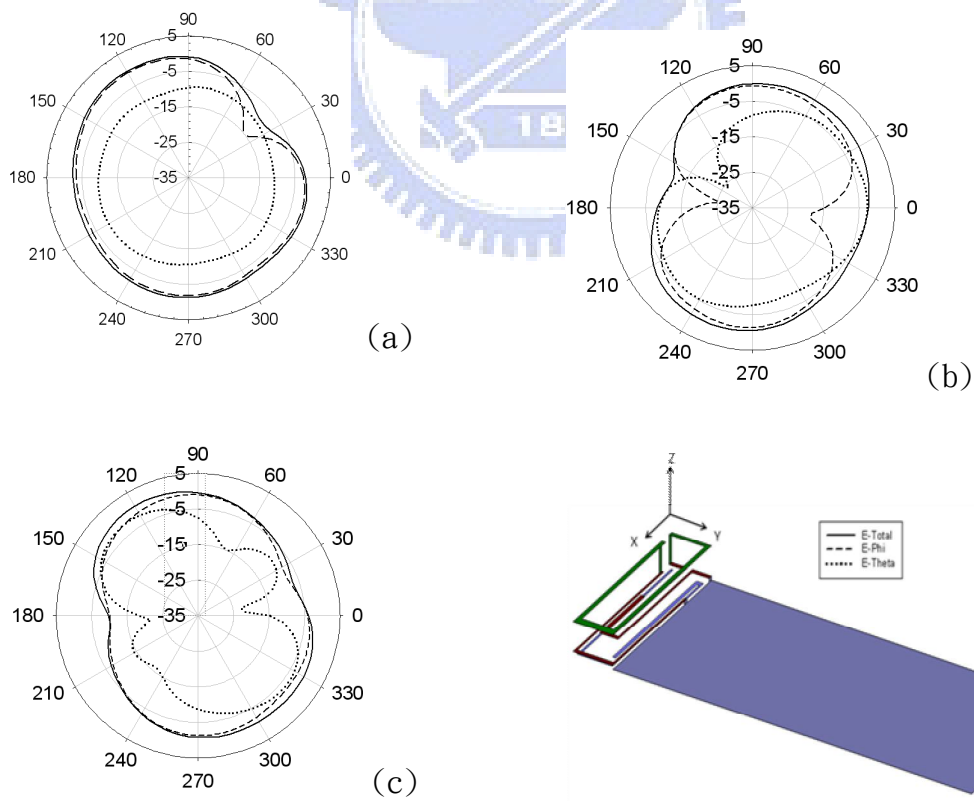


圖 3.21 2100MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

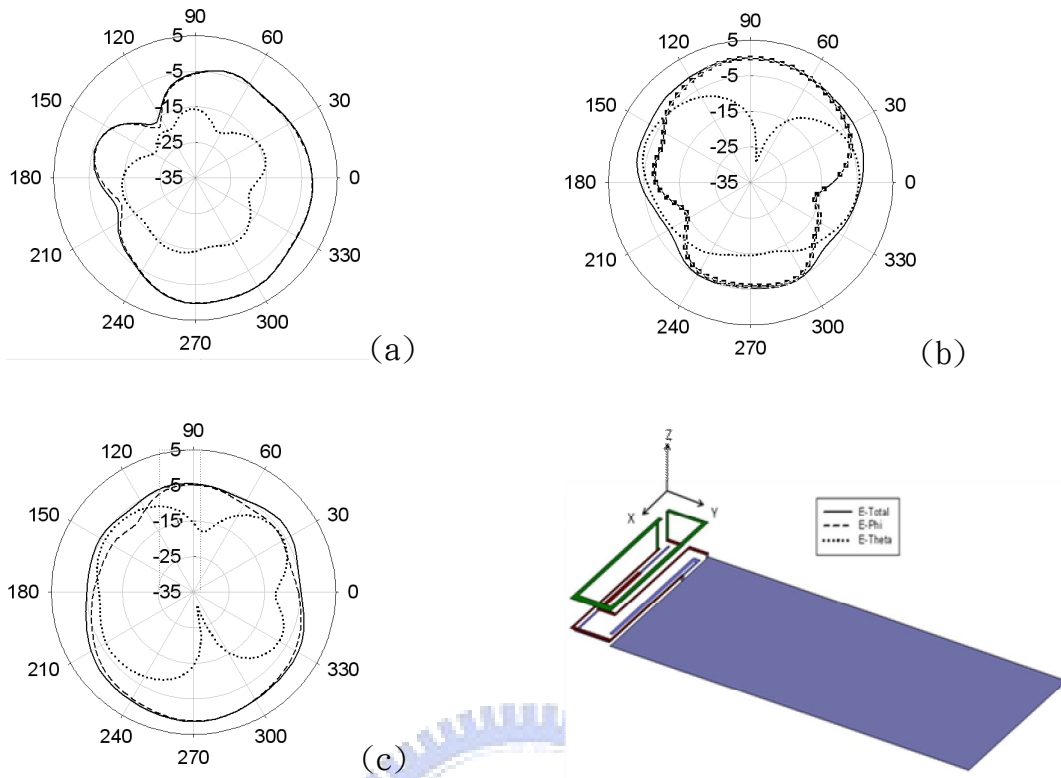


圖 3.22 2500MHz 的輻射場型 (a)x-y plane (b)x-z plane (c)y-z plane

表3.2 天線各頻段之平均增益跟最大增益

頻率	Average gain (dB)			Peak gain (dB)		
	XY-plane	XZ-plane	YZ-plane	XY-plane	XZ-plane	YZ-plane
750	-3.54	-3.01	-4.47	-0.34	-1.33	-1.46
850	-4.87	-2.46	-3.24	-1.91	-1.97	-1.59
900	-3.13	-1.45	-3.59	-0.14	-0.46	-1.32
1800	-1.51	-2.67	-2.53	2.3	-0.48	2.53
1900	-2.49	-2.51	-2.12	1.87	-2.32	-0.58
2100	-2.32	-2.84	-3.12	-0.78	-0.14	-0.87
2450	-2.17	-2.04	-1.89	-0.24	-0.41	0.73

## 第四章 結論(Conclusion)

本論文對於使用Pin diode當作切換開關之多頻可調頻的天線提出設計方法，以便應用於手機天線的多個頻段，在當今天線體積規格越來越小的情況下，我們不只使用了價格低廉的印刷電路板，降低天線製作成本，也在一極小的體積下運用了一個Pin diode的開關機制完成一多頻操作的手機天線，此開關機制運用在低頻的切換調頻，不僅經由切換來降低頻段與頻段間的互相干擾，亦可減少了濾波器的使用，又再度的降低成本。

第一個與第二個天線主要運用於時下的3G手機天線，我們成功的運用了開關切換來達到五頻的操作，從824MHz-960MHz到1710MHz-2170MHz 都是此天線效能良好的適用範圍。而第三個天線是以未來4G手機市場的需求，我們在一符合現今規格下的體積做出一滿足七頻的可調頻天線，從694MHz-960MHz到1710MHz-2170MHz 以及WLAN2500 均能有效能良好的表現。

最後，量測的結果幾乎滿足於低頻輻射效率大於四十%以及高頻輻射效率大於五十%之業界市場需求，而且天線本身為一體成形成容易製作，加上Pin diode的開關機制也易於架構於天線之上，而且在開關前後，對天線所造成的病沒有造成多大的能量損耗，而且還能夠維持其場型的分布，因此，相信本論文所提出的多頻可調頻天線，能對於手機天線在無線通訊技術上有顯著的幫助。



## 參考文獻

### (Reference)

- [1] R. Li, B. Pan, J. Laskar, and M. M. Tentzeris, "A Compact Broadband Planar Antenna for GPS, DCS-1800, IMT-2000, and WLAN Applications," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 25-27, 2007.
- [2] X. Jing, Z. Du, and K. Gong, "A Compact Multiband Planar Antenna for Mobile Handsets," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 5, pp. 343-345, Dec. 2006.
- [3] Y.-W. Chi and K.-L. Wong, "Internal Compact Dual-Band Printed Loop Antenna for Mobile Phone Application," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no.5, pp. 1457-1462, May 2007.
- [4] K.-L. Wong, C.-H. Chang, and J.-S. Row, "Internal GSM/DCS patch antenna mounted above the system ground plane of the PDA phone," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 49, no. 8, pp. 2002-2006, Aug. 2007.
- [5] S.-W. Su, A. Chen, K.-L. Wong, and Y.-C. Lin, "Integrated internal patch antenna for UMTS mobile phone application," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 49, no. 2, pp. 349-351, Feb. 2007.
- [6] H. Hitoshi, S. Takahiro, K. Shin, and T. Shinichi, "Mobile phone antenna," U.S. Patent No. 20040130493A1, Jul. 8, 2004.
- [7] C.-I. Lin and K.-L. Wong, "Internal meandered loop antenna for GSM/DCS/PCS multiband operation in a mobile phone with the user's hand," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 49, no. 4, pp. 759-765, Apr. 2007.

- [8] K.-L. Wong and C.-H. Chang, "An EMC foam-base chip antenna for WLAN operation," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 47, no. 1, pp. 80-82, Oct. 2005.
- [9] C.-I. Lin., K.-L. Wong, S.-H. Yeh, and C.-L. Tang, "Study of an L-shaped EMC chip antenna for UMTS operation in a PDA phone with the user's hand," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 48, no. 9, pp. 1746-1749, Sep. 2006.
- [10] C. J. Panagamuwa, A. Chauraya, J. (Yiannis) C. Vardaxoglou, "Frequency and Beam Reconfigurable Antenna Using Photoconducting Switches", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 54, no 2, pp. 449-454, Feb. 2006.
- [11] S. Yang, A. E. Fathy and V. K. Nari, "Reconfigurable multi-band twin-PIFA antennas for Wi-Fi/WiMAX and WWAN services on a multi-radio laptop platform", *IEEE AP-S 2008*, pp. 1-4.
- [12] W. Junfeng, C. J. Panagamuwa, P. McEvoy, J. C. Vardaxoglou, and O. A. Saraereh, "Switching a dual band PIFA to operate in four bands," in *Proc. IEEE AP-S 2006*, pp. 2675-2678.
- [13] M. Komulainen, M. Berg, V. K. Palukuru, H. Jantunen, and E. Salonen, "Frequency-reconfigurable dual-band monopole antenna for mobile handsets," in *Proc. IEEE AP-S 2007*, pp. 3289-3292.
- [14] M. Komulainen, M. Berg, H. Jantunen, E. T. Salonen, and C. Free, "A frequency tuning method for a planar inverted-F antenna," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 56, no 4, pp. 944-950, Apr. 2008.
- [15] A. C. K. Mak, C. R. Rowell, and R. D. Murch, "High power performance for

reconfigurable multi-band mobile antenna,” in *Proc. IEEE AP-S 2007*, pp. 1032-1035.

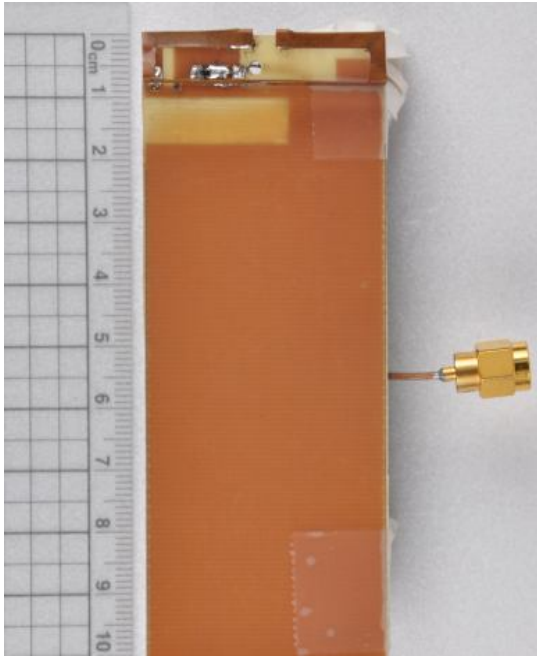
[16] K. R. Boyle and P. G. Steeneken, “A low SAR, five-band MEMS switched PIFA for mobile phones,” *IEEE AP-S 2007*, pp. 2833-2836.

[17] Cho, J. Jung, C.W. Kim, K. “Frequency-reconfigurable two-port antenna for mobile phone operating over multiple service bands,” *Electron Lett.*,vol. 45,no 20, pp.1009–1011,Sept.2009

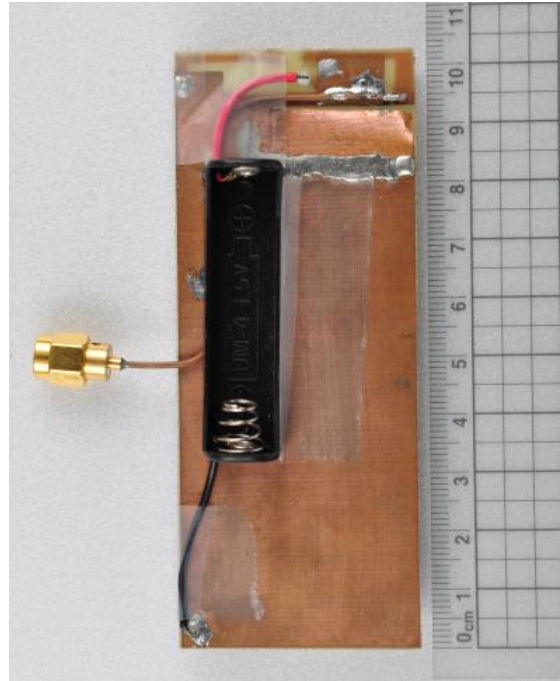


## 附錄

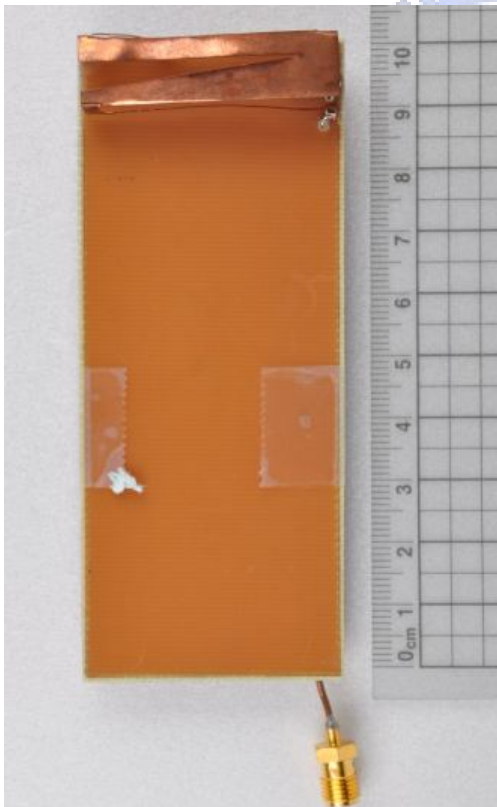
### 天線實體架構照片



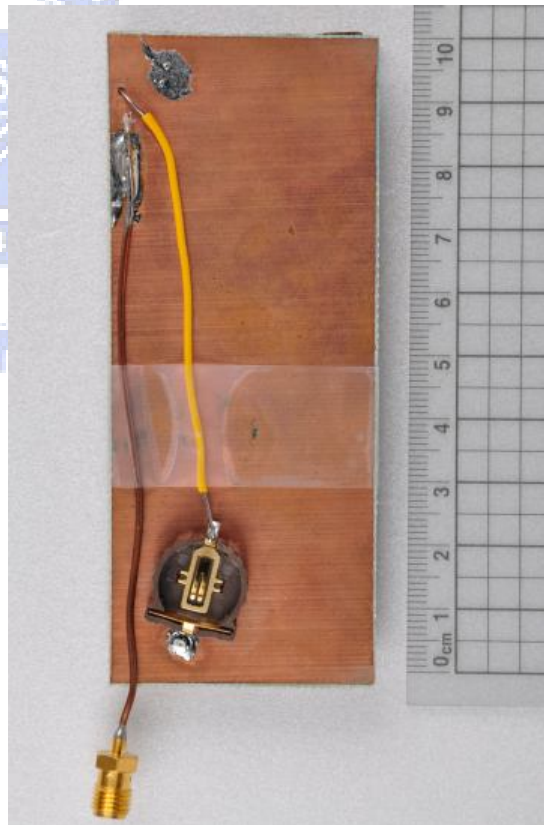
第一個天線 (a) 正面圖



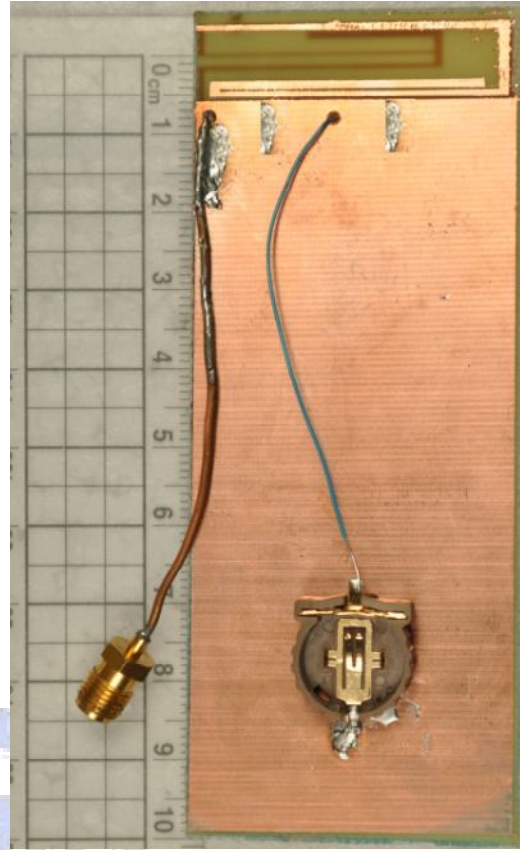
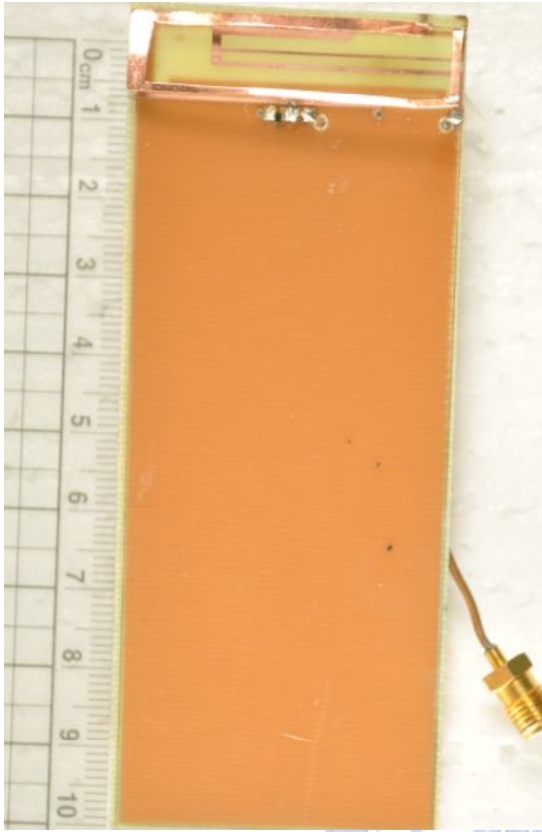
(b)反面圖



第二個天線 (a) 正面圖



(b)反面圖



第三個天線 (a) 正面圖

(b) 反面圖

