

24 GHz 頻率調變連續波雷達系統之前端電路設計與整合

學生：黃泓偉

指導教授：鍾世忠 博士

國立交通大學電機學院產業研發碩士班



本論文研製一個 24 GHz 頻率調變連續波雷達系統的前端電路，適合於車輛防撞機制。24 GHz 頻率調變連續波雷達前端電路，包括 6 GHz 壓控振盪器、倍頻器、放大器、低雜訊放大器。最後加入原有的電路進行整合及量測，使得雷達的偵測，能夠達到 40 公尺以上的能力。

Front-End Circuit Design and Integration of 24 GHz FMCW Radar System

student : Hung-Wei Huang

Advisors : Dr. Shyh-Jong Chung

Industrial Technology R & D Master Program of
Electrical and Computer Engineering College
National Chiao Tung University



A front-end circuit of 24 GHz FMCW Radar system has been developed in this thesis. It is applied in the vehicle anti-collision mechanism. This FMCW Radar consists of the 6 GHz voltage control oscillator (VCO), the frequency doubler, the power amplifier, the 24 GHz low noise amplifier (LNA). Finally, we integrated the RF circuits to measure and make sure the radar detection ability can be achieved to 40 meters.

致謝

在這兩年的研究所學習中，首先要感謝的就是我的指導教授鍾世忠博士，感謝老師在研究方面給予相當充足的指導，並且提供很良好的研究環境讓我學習成長。還要感謝的是口試老師：張志揚教授、郭仁財教授、周詠晃教授，能在百忙之中抽前來，給予論文上的指導與建議，讓我受益良多，也使論文更為完整。謝謝實驗室的成員：何博、菁偉、小阿信、佩宗、標哥、凱哥、峰哥、克老二、彥圻、彥志，達叔、光甫、小圓、小花、小巴、建宏、沒0、purple、阿雷、蘇警棍、馬爺、阿本、小華、皓子、珮華… 及所有幫助過我的人，在這邊謝謝你們，有你們的參與讓我的研究所生活多采多姿，不管在什麼時候，就會想起有這些人一起在跟我努力中。特別要謝謝的就是標哥跟雷達組的成員，有你們幫助，讓我這個門外漢能夠踏入這個微波的世界，並且從你們的身上學到很多很多的東西，特別的謝謝你們。最後感謝我的家人，因為有你們在後面的全力支持及鼓勵，才讓我在這兩年的研究所生活，順順利利的完成。



目 錄

中文摘要		i
英文摘要		ii
致謝		iii
目錄		iv
圖表目錄		v
第一章	研究內容與緒論	1
第二章	雷達系統	3
2-1	雷達系統基本原理	3
2-2	雷達的分類	3
2-3	頻率調變連續波雷達	6
2-4	影響雷達效能因素之討論	9
第三章	微波電路之設計基礎理論	11
3-1	振盪器原理	11
3-2	倍頻器	17
3-3	放大器原理	23
第四章	24 GHz 元件架構特性量測和雷達測試	41
4-1	雷達感測器系統架構	41
4-2	壓控振盪器	44
4-3	6 GHz 至 12 GHz 主動倍頻器	49
4-4	12 GHz 訊號放大器	51
4-5	12 GHz 至 24 GHz 主動倍頻器	55
4-6	24 GHz 低雜訊放大器(LNA)	57
4-7	24 GHz 帶通濾波器(Band pass Filter)	62
4-8	24 GHz 天線陣列	64
4-9	雷達量測測試	66
第五章	結論	74
參考文獻		76

圖 表 目 錄

圖(2-1) (a)脈衝波雷達與 (b)FMCW 雷達	4
圖(2-2) FMCW 雷達系統的 function diagram	7
圖(2-3) 發射信號的線性調頻和散射回來的接收信號頻率變化	8
圖(2-4) FMCW 雷達調變頻率測距示意圖	9
圖(3-1) 振盪器架構示意圖	11
圖(3-2) 振盪器的組態分類	12
圖(3-3) 單埠負阻振盪電路	13
圖(3-4) 倍頻器之模型示意圖	17
圖(3-5) class-A 偏壓 i_D 與 V_{DS} 之相關係圖	20
圖(3-6) class-AB 偏壓 i_D 與 V_{DS} 之相關係圖	20
圖(3-7) 各諧波與責任週期之關聯圖	22
圖(3-8) 雙埠網路可用功率與實際功率示意圖	23
圖(3-9) 微波放大器 Γ_S 、 Γ_L 、 Γ_{IN} 與 Γ_{OUT} 的關係模型圖	24
圖(3-10) 史密斯圖與穩定圓 $\ C_L -r_L >1$	30
圖(3-11) 史密斯圖與穩定圓 $\ C_L -r_L <1$	32
圖(3-12) 兩級放大點之雜訊模型	38

圖(4-1) 雷達感應器模組 Functional Diagram	42
圖(4-2) 壓控振盪器電路圖	45
圖(4-3) 壓控振盪器實體照片圖	45
圖(4-4) 輸入阻抗之實部與虛部模擬圖	46
圖(4-5-1) 相位雜訊量測圖	47
圖(4-5-2) 相位雜訊量測圖	47
圖(4-6) 輸出頻率對電壓關係圖	48
圖(4-7) 輸出訊號一階與二階諧波的功率圖	48
圖(4-8) 6 GHz 至 12 GHz 倍頻器照片	49
圖(4-9) 6 GHz 至 12 GHz 倍頻器輸出功率量測結果	50
圖(4-10) 轉換損耗圖	50
圖(4-11) 12 GHz 放大器電路示意圖	52
圖(4-12) 12 GHz 放大器實體電路照片圖	53
圖(4-13) 12 GHz 放大器模擬結果	53
圖(4-14) 12 GHz 放大器量測結果	54
圖(4-15) 輸入功率為-10dBm 至 10dBm 時輸出及諧波功率	54
圖(4-16) 12 GHz 至 24 GHz 倍頻器實體電路照片圖	55
圖(4-17) 12 GHz 至 24 GHz 倍頻器輸出功率量測結果	56
圖(4-18) 12 GHz 至 24 GHz 轉換損耗結果圖	56
圖(4-19) 兩級放大器可用功率與實際功率應用示意圖	57

圖(4-20) 兩級放大器雜訊模型	58
圖(4-21) LNA Noise Parameters 數據和示意圖	58
圖(4-22) LNA 考慮 noise 和 matching 示意圖	59
圖(4-23) 兩級放大器電路示意圖	59
圖(4-24) 兩級放大器電路實際照片圖	60
圖(4-25) 兩級放大器電路模擬圖	60
圖(4-26) 兩級放大器電路實際量測圖	61
圖(4-27) 兩級放大器電路實際量測 Noise Figure 圖	61
圖(4-28) 24 GHz Band pass Filter 實體電路照片圖	62
圖(4-29) 24 GHz Band pass Filter 量測結果-1	63
圖(4-30) 24 GHz Band pass Filter 量測結果-2	63
圖(4-31) 前視雷達天線實際照片圖	64
圖(4-32) 前視雷達天線場型圖	64
圖(4-33) 24 GHz 雷達正面電路-1	66
圖(4-34) 24 GHz 雷達正面電路-2	67
圖(4-35) MCU 與基頻電路	67
圖(4-36) 實際量測的環境照片圖	69
圖(4-37) 實際量測的結果	69
圖(4-38) 實際量測的環境照片圖	70
圖(4-39) 實際量測物體照片圖	71
圖(4-40) 電腦上解出目標物體照片圖	71

圖(4-41) 實際量測的環境照片圖	72
圖(4-42) 實際量測物體照片圖目標物 20 公尺	73
圖(4-43) 實際量測物體照片圖目標物 50 公尺	73
表(4-1) 雷達電路要求	42
表(4-2) 輸出功率、Phase Noise 量測表格,輸出功率約為12dBm	46
表(4-3) 天線場型量測結果	65

