

國立交通大學

電信工程學系碩士班

碩 士 論 文

射頻辨識系統標籤前端電路之研究

Study of Front End of CMOS RFID Tag Circuit

研 究 生：劉嘉川

指導教授：高曜煌 教授

中 華 民 國 九 十 六 年 七 月

射頻辨識系統標籤前端電路之研究

Study of Front End of CMOS RFID Tag Circuit

研 究 生：劉嘉川

Student：Chia-Chuan Liu

指導教授：高曜煌 博士

Advisor：Prof. Yao-Huang Kao

國 立 交 通 大 學

電信工程學系碩士班

碩 士 論 文



A Thesis

Submitted to Department 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 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年七月

射頻辨識系統標籤前端電路之研究

Study of Front End of CMOS RFID Tag Circuit

研 究 生：劉嘉川

Student : Chia-Chuan Liu

指導教授：高曜煌 博士

Advisor : Prof. Yao-Huang Kao

國立交通大學電信工程學系碩士班



本篇論文旨在利用 TSMC 1P6M 0.18 μ m 製程實現 915MHz RFID 標籤前端電路。在標籤前端電路中成功整合了整流電路、限流電路、穩壓電路、啟動重置電路、解調變電路、環形振盪電路以及調變電路，提供了高效能整合性的 RFID 標籤前端電路。

本論文對於能量轉換與消耗方面特別專注。由於對 RFID 系統而言，RF 與 DC 功率間的轉換與功率消耗是極為重要的，在充電泵電路中透過半導體元件電晶體選擇以及電路設計情況下在重載情況下仍可提供 11% 高效率能量轉換，而在功率消耗方面可提供而在不包括自振盪源情況下，所耗功率約為 0.27mW，基於低功耗與高能量轉換效率下，在與天線阻抗匹配情況下，以 ATMEL ATA5590 數位電路最低工作電壓在 1.3V 情況下，實測標籤前端電路感應距離可到達 4 公尺以上。晶片也提供解調訊號、振盪源、調變電路以及電源重置電路功能。另外標籤前端電路亦可工作在 2.4GHz 以及 5.8GHz。

Study of Front End of RFID Tag Circuit

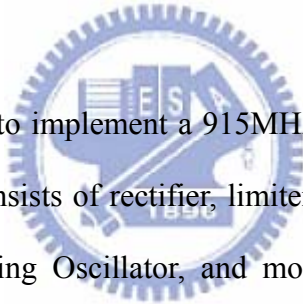
Student : Chia-Chuan Liu

Advisor : Prof. Yao-Huang Kao

Department of Communication Engineering

National Chiao Tung University

Abstract



The purpose of this paper is to implement a 915MHz front end circuit of passive tag in RFID applications. The circuit consists of rectifier, limiter, voltage reference, power on reset circuit for logic, demodulator, Ring Oscillator, and modulator. The chip is fabricated by TSMC 1P6M 0.18um process.

For passive tag, power conversion efficiency and power consumptions are especially focused. By using native NMOS in Semiconductor Device and optimized structure, the charge pump circuit can present about 11% power conversion efficiency under heavy load situation. The power consumptions reduced to 0.27mW without ring oscillator takes into account.

The measured distance achieves 4 meter(definitions of ATMEL ATA5590)under matching condition between antennas and the IC chip. Additionally, the proposed circuit also functionally works well at 2.4GHz and 5.8GHz.

誌 謝

一轉眼兩年的時間過去了，此論文得以順利完成，首先要感謝我的指導教授高曜煌博士，在兩年的研究生活中，無論在電機專業領域或生活上的處事態度，都使我有很大的收穫。此外，感謝教授、許孟庭教授、吳霖堃教授、孟慶宗副教授撥冗擔任我的口試委員，對論文內容提供寶貴的建議及指導。

感謝國家晶片系統設計中心(CIC)及台灣積體電路公司(TSMC)，提供晶片下線與製作的機會，也感謝 912 微波精密量測實驗室和 925 天線近場量測實驗室提供儀器量測。

感謝我們 909 高頻電路暨光纖通訊實驗室的所有成員：感謝義濱、炯宏學長在專業領域及工作經驗上與我分享許多寶貴的想法和觀念，也感謝我上一屆的學長勇銚、晏慶、志雄、佳宏，學長們在我剛進入研究所時，協助我適應新環境，也不厭其煩的回答我許多問題。在此，也要感謝宏彰、邦郁、乃元在這兩年來與我一起同甘共苦，生活和課業上都受到你們許多幫忙，我很幸運的能夠認識你們並成為同學，也祝福你們有幸福的未來。威宇學弟，也謝謝你平時生活的照顧與協助，研究生的生活因你們而多了許多歡笑與回憶。

最後，更要特別感謝我的家人，有你們在背後毫無保留的付出和默默的支持才使我可以專心完成學業，真的謝謝你們，僅以此小小的成果與你們分享。在未來的日子裡，我會更加努力工作，不會讓你們失望。

嘉川 於 Lab. 909, NCTU 2007/7/25

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.1.1 <i>RFID</i> 系統與條碼系統比較	2
1.1.2 <i>RFID</i> 系統國內外發展現況	3
1.1.3 <i>RFID</i> 系統使用頻率	5
1.2 架構探討與選擇	8
1.3 電路規格制訂	11
1.3.1 系統規格	11
1.3.2 子電路規格	12
1.4 論文組織架構	13
第二章 915MHz UHF RFID 標籤前端電路架構與模	15
2.1 架構介紹	15
2.1.1 充電泵電路	16
2.1.2 啟動重置電路	36

2.1.3 環式振盪電路	38
2.1.4 解調變電路與調變電路	50
2.1.4 模擬結果討論	56
2.2 設計流程	27
2.2.1 整流電路	56
2.2.2 穩壓電路	56
2.2.3 啟動重置電路	57
2.2.4 環式振盪電路	57
2.2.4 解調變電路與調變電路	58
2.3 電路模擬功率消耗結果	59
2.4 預計規格列表	60
第三章 晶片量測與討論	61
3.1 915MHz RFID 標籤充電泵晶片量測(T18-95E-No.142)	61
3.1.1 充電泵電路與穩壓電路架構	61
3.1.2 量測環境	64
3.1.3 晶片量測結果與討論	66
3.2 915MHz RFID 標籤前端電路量測(T18-96C)	73
第四章 結論	79
附錄 A RFID 系統應用實例	81
A.1 系統發展實例與應用	81
A.2 台灣 RFID 應用計畫	84
附錄 B 調變電路討論	85
參考文獻	89
簡歷	92

表 目 錄

表 1.1	射頻辨識系統與條碼辨識系統比較	3
表 1.2	亞太鄰近國家發展與應用比較	4
表 1.3	FCC Part 15 對 RFID 其頻率範圍相對應於磁場強度的規範	5
表 1.4	依頻段區分的 RFID 應用範圍	6
表 1.5	標準與應用	7
表 1.6	EPC CLASS 標準與應用	8
表 1.7	子電路架構	13
表 2.1	整流電路電容大小與 MOS diode 尺寸	19
表 2.2	傳統 Ladder Rectifier 與 Modified rectifier 比較表	20
表 2.3	充電泵十級各級寬長比例與 DC 輸出比較表	27
表 2.4	限流電路電晶體尺寸	29
表 2.5	穩壓電路電晶體尺寸	34
表 2.6	啟動重置電路電晶體尺寸	37
表 2.7	環式振盪電路及除二電路電晶體尺寸	40
表 2.8	五個 corner 對振盪器輸出頻率影響	44
表 2.9	環式振盪電路及除二電路電晶體尺寸	52
表 2.10	子電路功率消耗表	59
表 2.11	RFID 標籤前端電路規格表	60

圖目錄

圖 1.1	RFID 系統圖	2
圖 1.2	RFID 使用頻段	5
圖 1.3	標籤(transponder)方塊圖	8
圖 1.4	能量感應方式	9
圖 1.5	RFID 標籤前端電路方塊圖	10
圖 2.1	RFID 標籤系統圖	15
圖 2.2	Block diagram of this work	16
圖 2.3	charge pump with voltage reference	17
圖 2.4	charge pump with voltage reference 電路方塊圖	17
圖 2.5	整流電路電路圖	18
圖 2.6	Bulk 加電壓 forward bias 圖	18
圖 2.7	Conventional ladder Schottky-diode rectifier	20
圖 2.8	Modified Schottky-diode rectifier	21
圖 2.9	Modified native MOS-diode rectifier and Limiter	21
圖 2.10	充電泵電路圖	22
圖 2.11	建立電壓時域圖	22
圖 2.12	第一正半週	23
圖 2.13	第一負半週	24
圖 2.14	第二正半週	24
圖 2.15	第二正半週	25
圖 2.16	VD versus CD	26
圖 2.17	TT corner	27

圖 2.18	SS corner.....	28
圖 2.19	FF corner.....	28
圖 2.20	限流電路 MOS diode size 對 Limiter Out(DC)影響	29
圖 2.21	限流電路 MOS diode size 對 Vo(DC)影響	30
圖 2.22	RF Input Power 為 13dBm 時流經限流電路電流	30
圖 2.23	TSMC Model 中源級至汲級電壓與 Id 關係圖	31
圖 2.24	Modified native MOS-diode charge pump and Limiter	33
圖 2.25	穩壓電路等效圖	34
圖 2.26	Limiter Out(DC)輸出 versus RF input power	35
圖 2.27	Vo(DC)輸出 versus RF input power.....	36
圖 2.28	啟動重置(Power On Reset)電路.....	37
圖 2.29	Por signal 時間變化圖	38
圖 2.30	環形震盪電路	39
圖 2.31	主僕式除頻器方塊圖	40
圖 2.32	除二電路	40
圖 2.33	TT Output Oscillation frequency	41
圖 2.34	FF Output Oscillation frequency	42
圖 2.35	SS Output Oscillation frequency	42
圖 2.36	SF Output Oscillation frequency	43
圖 2.37	FS Output Oscillation frequency	43
圖 2.38	設計電容偏移 10%(-)	44
圖 2.39	設計電容偏移 10%(+)	45
圖 2.40	Input power 為 -2dBm 時 Output Oscillation frequency.....	46
圖 2.41	Input power 為 -1dBm 時 Output Oscillation frequency.....	47
圖 2.42	Input power 為 0dBm 時 Output Oscillation frequency	47
圖 2.43	Input power 為 1dBm 時 Output Oscillation frequency	43

圖 2.44	Input power 為 2dBm 時 Output Oscillation frequency	48
圖 2.45	Input power 為 3dBm 時 Output Oscillation frequency	48
圖 2.46	Input power 為 4dBm 時 Output Oscillation frequency	49
圖 2.47	Input power 為 5dBm 時 Output Oscillation frequency	49
圖 2.48	Input power versus Output frequency	50
圖 2.49	Demodulator	51
圖 2.50	Demodulator 電路方塊圖	51
圖 2.51	Input power 為 7dBm 的 data slicer 輸出	53
圖 2.52	Input power 為 -4dBm 的 data slicer 輸出	53
圖 2.53	調變電路	54
圖 2.54	調變電路模擬系統	55
圖 2.55	利用 backscatter 調變電路產生 ASK 訊號	55
圖 3.1	RFID 標籤晶片前端電路方塊圖	62
圖 3.2	charge pump with voltage reference	62
圖 3.3	佈局圖	63
圖 3.4	實際晶片圖	64
圖 3.5	On Wafer 平台	65
圖 3.6	Agilent Technologies E8247C Signal Generator	65
圖 3.7	Agilent Technologies 8510C	66
圖 3.8	Limiter Out (DC) versus RF input power	67
圖 3.9	V_o (DC) versus RF input power	68
圖 3.10	重載情況下的能量轉換效率量測	69
圖 3.11	標籤前端電路輸出直流 V_o 上升時間	70
圖 3.12	標籤前端電路輸出直流 V_o 下降時間	70
圖 3.13	頻率對於標籤前端電路 Limiter Out 影響	71
圖 3.14	頻率對於標籤前端電路輸出直流 V_o 影響	72

圖 3.15	RFID 標籤系統圖	73
圖 3.16	佈局圖	74
圖 3.17	解調變電路示波器波形量測結果	75
圖 3.18	環式振盪器輸出	75
圖 3.19	RF Input Power 為 -6dBm 時輸入阻抗	76
圖 3.20	RF Input Power 為 0 dBm 時輸入阻抗	77
圖 3.21	RF Input Power 為 10 dBm 時輸入阻抗	78
圖 B.1	天線等效電路	85
圖 B.2	利用 Switch 所調變 modulated backscatter model	86
圖 B.3	利用 Switch 所調變的實部調變(real modulation)	87
圖 B.4	利用 Switch 所調變的電容調變(Capacitive modulation)	87
圖 B.5	Switch 所造成的 DSB 效應	88

