國 立 交 通 大 學

電子工程學系 電子研究所

博 士 論 文

無線網路應用之互補金氧半射頻接收器設計

CMOS RF Receiver Design for Wireless LAN Applications

研 究 生: 溫 文 燊

指 導 教 授: 溫 瓌 岸

中 華 民 國 九 十 三 年 六 月

無線網路應用之互補金氧半射頻接收器設計

CMOS RF Receiver Design for Wireless LAN Applications

研究生: 溫文燊 **Student: Wen-Shen Wuen**

指導教授: 溫瓌岸博士 **Advisor: Dr. Kuei-Ann Wen**

國 立 交 通 大 學

電子工程學系 電子研究所

博 士 論 文

A Dissertation

Submitted to the Institute of Electronics

College of

Electrical Engineering and Computer Science

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Doctor of Philosophy

In

Electronics Engineering

June 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 九 十 三 年 六 月

無線網路應用之互補金氧半射頻接收器設計

學生: 溫文燊　　指導教授: 溫瓌岸博士

國 立 交 通 大 學 電 子 研 究 所

摘要

本論文針對應用至無線區域網路之互補式金氧半(CMOS) 射頻接收器提出系統化設計。設計考量涵蓋了通訊標準規格、電路的行爲模式、電路設計到封裝模型以及射頻/基頻共同驗證的方法。對於各種無線區域網路之標準提出2.4/5-GHz 雙頻直接轉換接收器架構之系統分析, 並針對部分關鍵電路進行設計實做。首先以0.25-μm 互補式金氧半製程技術設計之5-GHz 頻段低雜訊放大器。此低雜訊放大器配有雙頻可切換負載, 能夠操作於5-GHz 無線區域網路應用之低頻段與高頻段; 其頻段的切換特性並不因溫度改變而影響。此外, 本文提出一個低閃爍雜訊、電流折疊 (Current-Folded) 之混波器結構應用於低電壓直接轉換接收器。提出的混波器分離了傳統 Gilbert-Cell 混波器結構在雜訊指數、轉換增益以及交互調變失眞之間的設計取捨, 並且比「注射電流復用」(Current-Reused Injection) 的架構展現更佳的效能。並以0.18-μm 互補式金氧半製程進行電路實作, 實驗結果驗證此混波器電路架構的優點。再者, 提出射頻/基頻共同驗證的方法, 得以在接收器進行實作前確認接收器之系統 EVM 表現, 並以0.25-μm 互補式金氧半製程技術實做2.4-GHz 直接轉換前端接收器, 實驗結果與射頻/基頻共同模擬的結果相當吻合。

CMOS RF Receiver Design for Wireless LAN Applications

Student: Wen-Shen Wuen **Advisor: Dr. Kuei-Ann Wen**

Institute of Electronics
National Chiao Tung University

Abstract

The dissertation presents the systematic design of a direct conversion CMOS radio receiver for wireless LAN applications. The design considerations cover from standard specifications, circuit behaviors, schematic designs to package models as well as the RF/Baseband co-verification method. A 2.4/5 GHz dual-band receiver architecture is proposed and analyzed for various wireless LAN applications and some of the key circuits are designed and implemented. First a 5-GHz low noise amplifier designed in 0.25-μm CMOS technology is presented. The LNA equips with a dual-band switchable load and is capable to operate in the upper and lower bands in the 5-GHz WLAN band. The switching ability is not affected by the temperature variation. In addition, a low flicker noise current-folded mixer topology for low voltage direct conversion receiver is also proposed. The proposed mixer decouples the design tradeoffs between noise figure, conversion gain and third order intermodulation distortion in Gilbert-cell mixers and exhibits much

better performance compared with the conventional current-reused injection mixers. Moreover, an RF/Baseband co-verification methodology has been proposed to verify system EVM performance of the receiver prior to chip fabrication. A 2.4-GHz direct conversion front-end receiver has been implemented in 0.25-μm CMOS technology as a part of the dual-band receiver and the measurement result shows agreement with the RF/Baseband co-simulation result.

誌謝

這本論文的完成需要感謝許多的朋友、同事與同學, 由於他們的時時刻刻支持與鼓勵, 才讓我得以完成博士論文。

首先, 最要感謝的是指導教授溫瓌岸老師。在這幾年研究生涯中, 無論是在學術研究或待人處事上, 因爲老師的指導與教誨, 使我可以不斷的成長; 也由於老師提供自由的研究空間, 使我能夠隨心所欲地進行研究, 激發研究的樂趣。此外, 我要由衷感謝師丈陳良波博士, 在這幾年中除了在 RF 的研究方向給予指引, 並時常給予關懷與勉勵, 讓我得以持續努力、堅持下去。其次要特別感謝學位考試委員們在百忙之中抽空前來給予論文指導; 承蒙口試委員們的指導與建議, 才能讓本論文的內容得以更加完備。

很榮幸能成爲無線通訊技術實驗室的一員, 參與 RF 電路的研究工作。我要感謝 RF 團隊: 美芬學姐、哲生、文安, 感謝他們對我論文研究所給予的批評與討論, 以及熬夜趕工的互相打氣。感謝 Baseband 團隊: 嘉笙、源欣, 在論文研究過程中所給予的協助與建議討論。特別是嘉笙, 能夠經常與其討論關於無線通訊系統的大大小小問題, 讓我能夠順利完成 RF/Baseband 共同驗證的工作。感謝實驗室眾多的學弟們, 直接或間接所給予的協助。

在 RF 電路的研究中, 總要面對許多的量測問題。在這裡要特別感謝國家奈米元件實驗室黃國威博士, 在元件物理、模型及高頻量測技術上給予深入淺出的指導, 讓我得到許多觀念, 在論文研究上有許多幫助。由衷感謝黃博士所領導的射頻元件模型實驗室團隊, 對於我在電路測量上許許多多的特殊的、不合理的要求, 都能不辭辛勞、鼎力協助。

感謝爸爸、媽媽的不辭辛勞、全心全力一路支持我; 在研究過程中難免遇到些挫折, 也因爲家人的勉勵, 讓我重拾信心全力以赴, 完成學業。謹將本論文獻給我最親愛的家人。

溫文燊

93年6月

Contents

List of Tables

List of Figures