
第一章 緒論

1.1 研究背景

近幾年來，隨著無線通訊技術快速發展，許多無線通訊相關產品漸趨成熟，在克服頻寬和傳輸的問題之後，大幅提昇了無線通訊在日常生活中所扮演的重要性，許多原本屬於軍事或者高價位的無線通訊應用，亦一步步的被帶進一般家庭生活之中，其應用包含了個人通訊系統 (Personal Communication System)、無線區域網路 (Wireless LAN)、行動衛星通訊系統 (Mobile satellite Communication System) 和藍芽通訊系統 (Blue-tooth Communication System) 等，都逐漸的在我們的生活周遭佔了極重要的份量。伴隨著無線通訊的蓬勃發展，其內部射頻電路的需求亦跟著越來越大，為了應映這樣大的市場需求，有越來越多的公司和研究單位開始積極投入無線通訊產品的研發和生產之上，而相關的新產品和研究報告亦持續不斷的被發表。

隨著應用層面的不同，相對應適合的無線通訊系統也有所不同，而不同的系統所運用的技術和規格亦跟著不同。為了避免一些如家用微波爐之類的同頻帶外部干擾，一般的無線通訊系統都是採用展頻的調變技術，以無線區域網路 (Wireless LAN) 來說，IEEE 802.11b 操作頻率為 2.4GHz，採用的是直接序列展頻技術 (DSSS: direct sequence spread spectrum)，主要是運用於無線基地台和一般家用電腦之間的資料傳輸，其頻寬最大可以到達 11Mbps，到了 IEEE 802.11a 採用正交碼分頻多工的技術 (OFDM: orthogonal frequency division multiplexing)，具有 54Mbps 的高傳輸速率，而其操作頻率提升為 5.4GHz，雖

然可減少不必要的同頻帶外部干擾，但也大大增加了設計時的難度。因此 IEEE 802.11g 和 IEEE 802.11a 雖然相同採用的是正交碼分頻多工的技術 (OFDM: Orthogonal frequency division multiplexing)，同樣具有 54Mbps 的高傳輸速率，但卻將操作頻率降為原來的 2.4GHz，以降低電路設計時的困難。藍芽通訊系統 (Blue-tooth Communication System) 是另一類的無線通訊系統，採用跳頻式展頻技術 (FHSS: Frequency hopping spread spectrum)，較之無線區域網路主要是使用於短距離的無線傳輸，舊的 class 2 規格約只有 10 公尺的傳輸距離，而新的 class 1 規格，則已擴充到 100 公尺的範圍，在較高階的滑鼠、手機、PDA 和無線耳機上都可以看到它的運用，運用藍芽接收裝置，甚至可以和一般家用電腦進行資料的傳輸和整合，不過傳輸速率較差 (384k~2Mbps)，和成本高居不下，是其較大的缺點，表 1.1 列出了上述幾種較常見無線通訊系統的規格，以供參考。



Standard	Operational frequency	Multiple access	Max Data Rate
IEEE 802.11b	2.4GHz	DSSS	11Mbps
IEEE 802.11a	5.4GHz	OFDM	54Mbps
IEEE 802.11g	2.4GHz	OFDM	54Mbps
Blue-tooth	2.4GHz	FHSS	2Mbps

表 1.1 無線通訊系統規格比較表

1.2 研究動機

為了使的產品更具有市場的競爭力，輕薄、低成本、低耗電已經成為電子相關產品必然的趨勢，而在無線通訊產品的領域之中，射頻功率放大器 (Radio

frequency power amplifier) 正是扮演著這個決定性的關鍵。圖 1.1 顯示的是一通訊系統發射端的基本架構圖，數位訊號在經過調變之後，藉由數位類比轉換器 (DAC) 轉換為類比訊號，射頻功率放大器 (PA) 位於發射端的最末端，其作用則是為了放大被混波器 (Mixer) 提升到載波頻率的類比訊號，最後再將訊號傳給天線端發射出去。系統的規格不同，通訊的有效距離也跟著不同，而射頻功率放大器的輸出功率大小則決定了產品通訊距離的長短，為了要提供足夠大的輸出功率，所以耗費的功率也是整個系統中最多的，因此射頻功率放大器效率的好壞，將決定了整個產品的耗電量和電池的使用時間，設法提升及改善功率放大器的效能，將使的整個系統的能源使用情況獲得大大的改善。

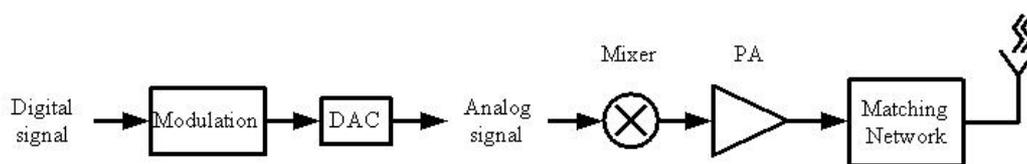


圖 1.1 通訊系統發射端的基本架構圖

從近幾年的研究發表中可以發現，如何將通訊電路中的射頻模組和基頻模組整合在同一片晶片當中，以有效的縮小面積和降低成本，一直是許多研究人員努力的方向[1-3]，而隨著互補型金氧半場效電晶體 (CMOS) 製成技術的不斷進步，其元件特性越來越符合高頻電路的要求，加上成本便宜，可以和基頻電路結合為系統單晶片 (SOC: System on chip)，逐漸吸引了許多的研究人員投入研發。可惜的是，受限於 CMOS 高階製程中高膝部電壓 (Knee voltage)、低崩潰電壓 (Breakdown voltage)，以及射頻功率放大器本身的高輸出功率特性，讓射頻功率放大器始終不容易在標準 CMOS 製成上實現，因此本篇論文將利用國家晶片中心所提供的台灣積體電路公司 TSMC 0.18 μm CMOS 標準製程來設計一顆射頻功率放大器，進而希望在未來晶片整合的過程中，能將射頻功率放大器也一併整合進整個收發系統之中，達到系統單一晶片的最後目標。

應用於不同的系統，所對應選擇的射頻功率放大器也會有所不同，以本篇論文為例，為了因應 CMOS 製程先天上高膝部電壓、低崩潰電壓的限制，所以我們選擇了輸出功率要求較低，應用於短距離傳輸的藍芽通訊系統。藍芽通訊系統使用的是跳頻式展頻技術 (FHSS)，此調變技術因為輸出的訊號強度大小相同，只有差在不同頻率之間作變動，因此對於線性度的要求並不高，可以忍受非線性功率放大器的使用，所以我們採用 E 類非線性功率放大器做為本論文的基本電路架構。

E 類功率放大器最早是由 Nathan O. Sokal 和 Alan D. Sokal 於 1975 年所提出[4]，在這篇論文中，作者將 E 類功率放大器的各個細節的原理做了理論的介紹，而其最基本的操作原理就是將電晶體當作開關來使用，藉此來提昇效率，這個創新的結構，很快就為其他研究學者所接受，並陸續對此架構的各個細節進行相關的研究和驗證[5, 6]，甚至加以改良[7, 8]，不過此時的 E 類功率放大器還是停留在單端輸出的架構。1999 年，King-Chun Tsai 和 Paul R. Gray 發表了新的差動式 E 類功率放大器[9]，這個架構為 E 類功率放大器帶來了新的契機，新的架構加上 CMOS 半導體製成的不斷改進，使的功率放大器在矽製程上的發展，從原本的不被看好變成了大有可為，也再次帶動了研究的風潮[10-12]，本篇論文正是以單端輸出的基本架構理論為出發點，輔以微波電路板進行驗證，最後採用差動式 E 類功率放大器，來作為 IC 設計的架構。

1.3 章節簡介

本論文一共分為六章，分別簡述如下：

第一章 緒論

第二章 CMOS 功率放大器的分類和原理

說明在設計射頻功率放大路時會使用到的參數，介紹各種功率放大器操

作的原理和效能。

第三章 E類功率放大器的基礎設計理論與驗證

詳細介紹E類功率放大器的基本架構，並藉由公式的推導，找出各個元件選擇的依據，最後利用微波電路板的實作，驗證理論推導的結果。

第四章 共閘差動式E類功率放大器設計、模擬和佈局

利用第三章推導出來E類功率放大器基本架構的公式為基礎，設計差動式E類功率放大器，並列出模擬和佈局的結果。

第五章 結論與未來的工作

討論現在工作的結果，以及未來的工作方向。

