

DI5-042

Multi-Band and Multi-Mode BiCMOS Power Amplifier with High Performance Envelope Tracking Circuit

具高效率封包追蹤電路之多頻多模 BiCMOS 功率放大器

隊名 追蹤 B4G，放大新世紀

隊長 蔡維庭 / 臺灣大學電信工程學研究所

隊員 駱椿昱 / 臺灣大學電信工程學研究所

許皓倫 / 臺灣大學電信工程學研究所

作品摘要

近年行動通訊演進快速，數據需求量劇增，4G 與 B4G 伴隨快速傳輸的優勢，目前已成為各國積極佈局的重要項目。由於傳輸速度的提升，其訊號 Data rate 變得更快，峰均功率比 (PAPR) 也越大，同時 3G 到 B4G 手機功耗大幅增加，意味著使用與待機時間大幅縮短。此外，為滿足多頻帶多模態系統的應用，往往會使用多頻段 PA 來支援，或是使用其他的散佈式 PA 或平衡式 PA 的技術，但卻往往犧牲了其他優點。散佈式 PA 雖獲得較寬頻的增益，但卻付出更大的面積和成本。平衡式 PA 則需搭配四分之一波長分波器，因此晶片尺寸將會相對增加，並不適合於手持設備中實現。

一般來說，PA 都是固定供應電壓，其效率最高值接近於最大功率輸出點；隨著功率遞減，效率也隨之下降，但由於高 PAPR 的關係，PA 通常還須考慮中低功率處的效率，此功率下的效率一般不會太高，這使得傳統功率放大器的設計不敷使用。效率低落的主因為高 PAPR 造成功率放大器的封包訊號與供應電源的差距較大，因而造成多餘的功率消耗及熱能產生，使得功率附加效率不佳。

為了解決功率放大器之效率低落與多頻帶多模態的應用問題，本設計提出之電路架構除了可以支持 1.95 GHz WCDMA、2.15GHz FD-LTE、2.35 GHz TD-LTE 和 2.45 GHz WLAN 多種調變訊號以外，更利用封包追蹤技術來改善效率低落的問題。本設計之 MMPA 採用三級差動功率放大器架構來達到高增益，根據所需要的頻段，輸入端透過開關的開啟與否選擇所對應的輸入匹配電容，如此一來 MMPA 可透過切換輸入匹配網路來涵蓋 1.85-2.5GHz 之不同操作頻率與不同調變訊號。最後搭配功率結合變壓器將兩路差動輸出功率結合以獲得最大輸出功率。同時 PA 之偏壓對於 PAE、線性度 (ACLR、EVM、AM-AM... 等) 整體特性有顯著的影響，因此 MMPA 也搭配主動式偏壓電路來提供 MMPA 所需之供應偏壓。封包追蹤放大器 (Envelope Amplifier, EA) 共分為三大部分，分別為 Linear stage、Switch stage 與 Comparator，其中 Linear stage 扮演高線性度的角色，

而 Switch stage 扮演高效率的角色，兩者相輔相成提高電路效能。

本設計之 MMETPA 使用 TSMC SiGe 0.18 μm 製程，總晶片面積為 2.6x1.5mm²，MMPA 三級架構可達到 41.3-42dB 的增益，在 WCDMA Band1 1.92-1.98GHz、TD-LTE Band40 2.3GHz-2.4GHz、WLAN 802.11g 2.4-2.5GHz 頻段，1dB 增益壓縮點的輸出功率為 28.2-28.6dBm 且此時 PAE 約為 20.8-27.6%。在 WCDMA 與 TD-LTE 通過 ACLR 為 -33dBc 時的平均輸出功率量測值分別為 25.6 與 24.6dBm。在 WLAN 802.11g 64QAM 20MHz 頻寬之輸入訊號下可達到 EVM 3% 以下時的平均輸出功率為 20.2dBm。為了減少功率消耗，在 TD-LTE 16QAM 7.5dB 之 PAPR 20MHz 的訊號下我們搭配封包追蹤技術，使用 ETPA 架構來提升效率，與固定供給電壓時的 PA 相比，在 ETPA 的操作中，ACLR 小於 -33dBc 時，量測平均輸出功率為 24.7dBm，PAE 提升幅度 6.5%。而在與上述同樣 TD-LTE 的訊號下我們亦量測到了 EVM 小於 3% 時的平均輸出功率為 23.1dBm，並且並未透過任何的預失真技術。

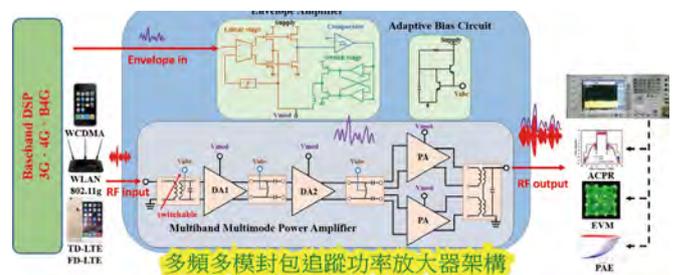


圖 1 / 多頻多模封包追蹤功率放大器架構



指導教授 毛紹綱 / 臺灣大學電機工程學系電信工程研究所

1998 年獲得臺大電機工程學系博士學位。2000 年起於大葉大學任教，2002 年於臺北科技大學擔任助理教授，並於 2012 年升等為教授。2007 年至 2009 年間擔任 IEEE MTT-S 臺北分會與電子通訊秘書長。2001 年獲得 APMC 最佳論文獎及 2004 年 USRI 年輕科學家獎。2012 至 2015，獲得國家科學委員會傑出年輕學術研究獎。目前為台灣大學電機系暨電信工程學研究所專任教授。

研究領域

超穎材料、天線、主動與被動射頻前端電路、無線射頻系統。

Abstract

A power amplifier (PA) supporting wideband code division multiple access, long-term evolution (LTE), and wireless local area network applications has been implemented in 0.18- μm SiGe BiCMOS technology. The PA integrates a tunable input matching network, a broadband output matching network, and adaptive bias circuits in a single chip to achieve high linearity and high power in different modulation schemes and operating bands. The three-stage PA adopts a differential-type configuration without using through-silicon-via technology to deliver 41.3–42 dB of gain and 28.2–28.6 dBm of 1-dB compression output power with a 20.8–27.6% power-added efficiency (PAE) at 1.85–2.5 GHz. To further validate the usefulness of the proposed PA, the envelope-tracking PA is designed to improve the PAE by 6.5% within the linearity specification of a 24.7-dBm average output power and a 33-dBc adjacent channel leakage ratio for 2.35-GHz 16 quadrature-amplitude-modulation time-division LTE signal with 20-MHz bandwidth.

With the growing demand of complex mobile devices that can function in multi-standard wireless communication systems for various user roaming needs, multi-mode and multi-band power amplifiers (MMPAs) have become a critical component for future handset development because of their frequency flexibility, easy implementation, and small size. The MMPA adaptability enables the performance and cost constraint challenges on the reconfigurable RF front-end by reducing the number of the dedicated single-band power amplifiers (PAs) for each additional frequency band.

The novel SiGe BiCMOS three-stage differential-type PA proposed in this study combines a power-combining transformer, a tunable input balun, and adaptive bias circuits (ABCs) in an on-chip configuration. Switched capacitors are adopted to reconfigure the input balun to match widely varying standards, including wideband code division multiple access (WCDMA), time-division long-term evolution (TD-LTE), and wireless local area networks (WLANs). The switched capacitor is operated in the low-input power region. Therefore, loss and nonlinearity effects can be avoided due to low RF voltage swing compared to the tuning

elements at the PA output port. Furthermore, an envelope-tracking (ET) circuit is realized as a voltage supply modulator to enhance the power-added efficiency (PAE) of the MMPA, which is the first-reported envelope-tracking power amplifier (ETPA) using an ET circuit to dynamically change the collector voltage of the standalone MMPA for TD-LTE application.

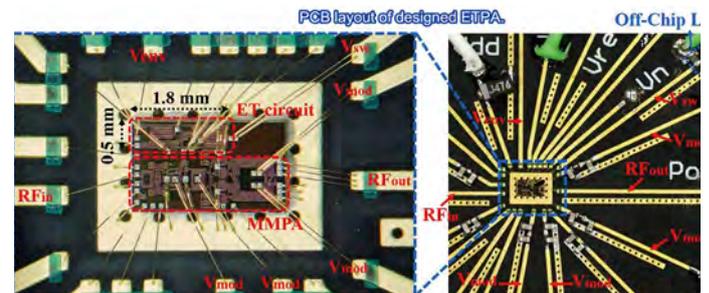


Fig.2 / PCB layout of designed ETPA

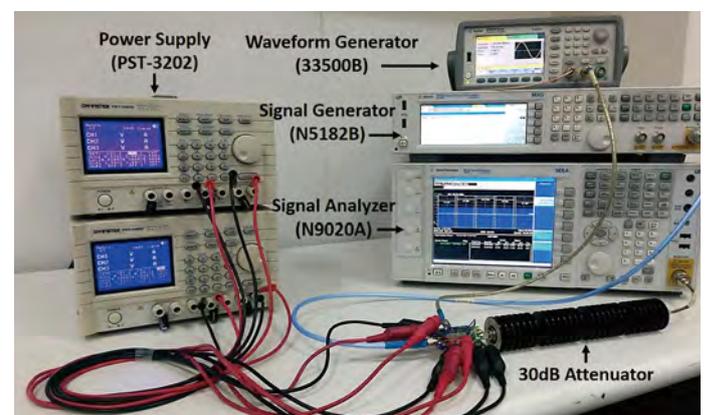


Fig.3 / Measurement setup of test bench for MMETPA.