

# D18-015

## 高線性度高效率封包 追蹤射頻前端模組

### High-Linearity and High-Efficiency Envelope-Tracking Front-End Module

#### 隊伍名稱 iTech

- 隊長 彭正安 / 臺灣大學電信工程學研究所  
隊員 蔡維庭 / 臺灣大學電信工程學研究所  
隊員 鄭立晟 / 臺灣大學電信工程學研究所  
隊員 黃釋平 / 臺灣大學電信工程學研究所

#### 作品摘要

5G通訊世代在近年蓬勃發展，以高資料傳輸速率、低延遲、針對密集人潮的資料傳輸品質做出改善等為目標。要獲得高資料傳輸速率，訊號的頻寬必須相應提升，也因此使整體的系統操作頻率提升。目前5G系統可分為兩個頻段：Sub-6GHz與毫米波。我們發現將系統設計在Sub-6GHz具備以下優勢：1.傳輸距離較遠 2.訊號較不易受到環境干擾 3.具備較佳的效率 4.使用者在高速移動的同時也能夠保持良好的傳輸品質。

傳統射頻前端模組由功率放大器與開關組成，其功率消耗為整體射頻系統之最，因此如何提高功率放大器的效率，是所有設計者都必須思考的議題。此外，由於5G通訊的調變方式相對以往更趨複雜，最高可達到1024-QAM的訊號調變，且更多的頻段將被使用，因此維持頻段內的訊號品質，以及避免影響其他頻段的訊號，成為了5G射頻前端電路設計的重要考量。

本團隊提出了一封包追蹤射頻前端模組（ETFEM）。透過封包追蹤技術，可同時提高了功率放大器的效率，以及射頻前端模組的線性度。整體電路由一個封包追蹤模組、雙模態功率放大器、以及單刀雙擲開關組成。其中最關鍵的是封包追蹤模組，由寬頻的線性放大器、遲滯比較器和降壓式轉換器構成。線性放大器的主要作用為將寬頻輸入封包訊號完美的放大至輸出，並且依據功率放大器所需要的供應電壓範圍給予適當的放大封包訊號，此外，線性放大器也會將輸出另外送給遲滯比較器。而遲滯比較器將線性放大器所送入的電壓相互比較調節後，傳送給降壓式轉換器，並藉此來控制輸出電流。降壓式轉換器提供功率放大器大部分的電流，其原因是因為當電流流過降壓式轉換器時所造成的功率消耗比流過線性放大器的輸出級所產生的功率散逸來的少，可以提升整體前端模組的效率。

本射頻前端模組的封包追蹤模組、雙模態功率放大器、以及單刀雙擲開關分別以TSMC 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS製程、TSMC 3P6M SiGe BiCMOS製程，以及TSMC 1P8M 0.13- $\mu\text{m}$  CMOS製程製作。本設計也是世界第一個適用於寬頻高線性度高效率LTE-A載波聚合應用（ $1 \times 20$ ,  $2 \times 20$ ,  $3 \times 20$ , and  $4 \times 20$  MHz）的封包追蹤射頻前端模組。封包追蹤模組的線性放大器經量測可於封均功率比7.4-, 9.6-, 11.2-, 以及 12.3-dB的16-QAM LTE-A  $1 \times 20$ ,  $2 \times 20$ ,  $3 \times 20$ , 與  $4 \times 20$  MHz頻寬的載波聚合訊號獲得 79.6%, 76.4%, 74%, 以及 72.8% 的效率。雙功率模態功率放大器由SiGe BiCMOS製程製作，結合封包追蹤模組後在LTE-A 16-QAM  $1 \times 20$ ,  $2 \times 20$ , 及  $3 \times 20$  MHz 頻寬於1.95 GHz下，量測結果顯示可改善相鄰頻道洩漏功率比（Adjacent Channel Leakage Ratio, ACLR）11.7, 7.9, 以及 4.7 dB；並且可改善誤差向量幅度（Error Vector Magnitude, EVM）7.1%, 6.1%, 及4.1% 於 26.8-, 24.3-, 及 21.7-dBm平均輸出功率。單刀雙擲開關結合封包追蹤模組後，在12-dBm平均輸入功率下可獲得0.3-dB輸出功率提升、1.1-dB ACLR改善，以及0.7% EVM改善。在12.5-dB PAPR 64-QAM LTE-A  $4 \times 20$  MHz載波聚合訊號量測下，封包追蹤射頻前端模組在13.1-dBm輸出功率改善了1.3-dB ACLR 以及1% EVM。

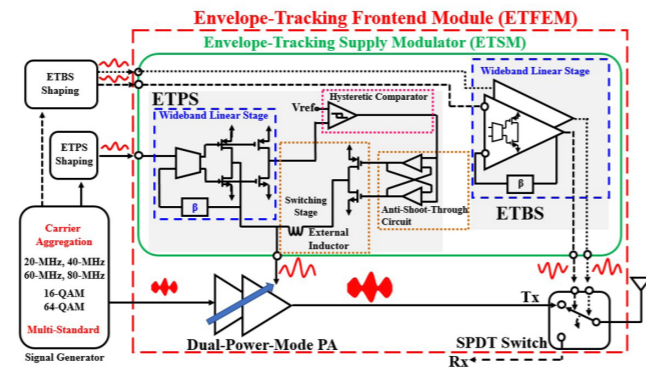


圖1. 高線性度高效率封包追蹤射頻前端模組



#### 指導教授

毛紹綱  
臺灣大學電機工程學系

臺灣大學電機工程學博士，現為臺灣大學電機工程學系教授。曾任IEEE台北支會執行秘書。獲得2001年亞太微波會議最佳論文獎以及2004年國際無線電聯合會青年科學家獎。執行多年期科研計畫與首席科學家，擔任許多IEEE國際期刊的審查委員與主辦IEEE研討會。

#### 研究領域

Metamaterial、天線、射頻前端電路。

#### Abstract

With the rapidly increasing demands for high data rate and wide-bandwidth wireless communications, two or more individual component carriers of the same or different bandwidths belonging to contiguous or noncontiguous frequency bands are aggregated for the concurrent multichannel operation. To meet the stringent requirements of the next-generation wireless communication system, the multipower-mode operation, high-isolation path selection, high efficiency, and high-linearity characteristics are critical for the PA and switch designs in the advanced RF FEM. The CMOS-based envelope-tracking front-end module (ETFEM) consisting of an envelope-tracking supply modulator (ETSM), a dual-power-mode power amplifier (PA), and a single-pole double-throw (SPDT) switch is proposed for the Long-Term Evolution-Advanced (LTE-A) intraband carrier aggregation (CA) signal. To the best of our knowledge, we are the first to present the wide-bandwidth and high-linearity Envelope Tracking Front-End Module (ETFEM) for the LTE-A intraband contiguous CA applications ( $1 \times 20$ ,  $2 \times 20$ ,  $3 \times 20$ , and  $4 \times 20$  MHz). The linear stage of ETSM is implemented by introducing the dual-path crossover current-reuse mechanism to obtain the measured efficiency 79.6%, 76.4%, 74%, and 72.8% for 7.4-, 9.6-, 11.2-, and 12.3-dB peak-to-average-power ratio (PAPR) 16-QAM LTE-A CA signals

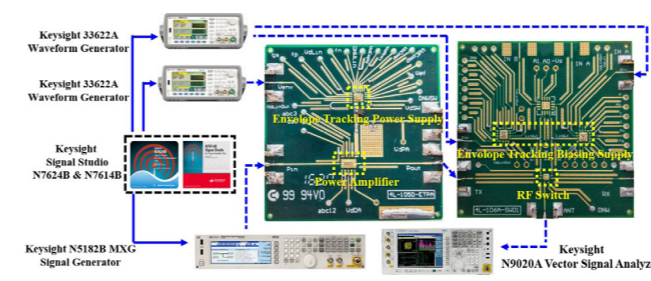


Fig.2 High-linearity and high-efficiency envelope-tracking front-end module

with  $1 \times 20$ ,  $2 \times 20$ ,  $3 \times 20$ , and  $4 \times 20$  MHz bandwidths, respectively. A SiGe BiCMOS dual-power-mode PA with two output power modes is realized and incorporated with ETSM to improve the adjacent channel leakage ratio (ACLR) by 11.7, 7.9, and 4.7 dB and the error vector magnitude (EVM) by 7.1%, 6.1%, and 4.1% at 26.8-, 24.3-, and 21.7-dBm output powers for the LTE-A 16-QAM signals with  $1 \times 20$ ,  $2 \times 20$ , and  $3 \times 20$  MHz bandwidths at 1.95 GHz, respectively. The SPDT switch integrated with ETSM provides 0.3-dB power loss reduction, 1.1-dB ACLR improvement, and 0.7% EVM enhancement at 12-dBm average input power. The ETFEM operated at 12.5-dB PAPR 64-QAM LTE-A CA signal with  $4 \times 20$  MHz bandwidth demonstrates that the improvements of 1.3-dB ACLR and 1% EVM at 13.1-dBm output power are achieved for the wide bandwidth and high-linearity FEM applications. The proposed technique demonstrates the effectiveness of the ETFEM with high linearity, wide bandwidth, and high efficiency for the next-generation wireless devices with faster data rate and longer power life.

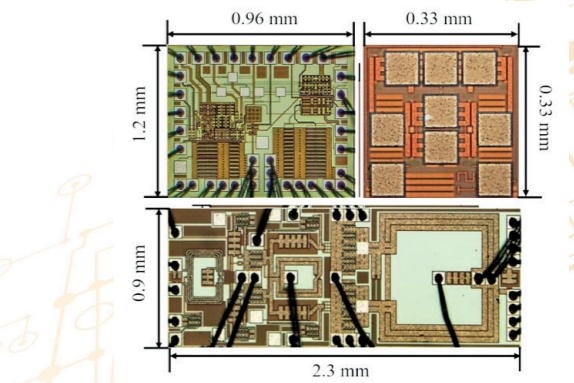


Fig.3 Chip microphotograph of the presented wideband ETPS (up left), SPDT CMOS switch (up right), and dual-power-mode PA (bottom)