

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 數位微波通信發射器線性化技術

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-002-068-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學電信工程學研究所

計畫主持人：黃天偉

計畫參與人員：蔡政翰、嚴聚川、蔡明籠、莊惠涵、凌志璋、孫國榮、朱虹霖

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 1 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告



※ 數位微波通信發射器線性化技術 ※

※ ※



計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2213 - E - 002 - 068

執行期間：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

計畫主持人：黃天偉副教授

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學電信所

中華民國 93 年 10 月 29 日

# 數位微波通信發射器線性化技術

## Transmitter Linearization Techniques for Digital Microwave Communications

計畫編號: NSC 92 - 2213 - E - 002 - 068

執行期限: 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人: 黃天偉 國立台灣大學電信所副教授

E-mail : twhuang@cc.ee.ntu.edu.tw

一. 中文摘要 (關鍵詞: 線性化、前置失真線性化、功率放大器, 調變器, 前置失真器、單晶微波積體電路。)

為了有效的使用頻帶, 現今的無線通信系統使用複雜的數位調變訊號, 而這些數位訊號使發射器的線性度要求提高, 以達成低失真及高可靠度的通信。

我們在這一年的計畫中, 首次將前置失真器與可變增益放大器相結合, 提昇發射器線性化技術的整合度, 發表於 IEEE IMS 國際會議。另外, 我們也是首次成功地研製出毫米波頻段調變器及其線性化技術, 也發表於 APMC 國際會議及 IEEE MTT 論文中。

**Abstract** (Keywords: Linearization, Pre-distortion, Power Amplifier, Modulator, Pre-distorter, MMIC,)

To increase the spectral efficiency, the broadband wireless communications need complex digital modulation techniques and also high-linearity RF transmitters to lower the distortions and increase reliabilities in broadband applications.

For this one year research project, for the first time, we have successfully combined the pre-distorter, and the variable-gain amplifier into one circuit, which increases the integration level of

linearization techniques in transmitter designs, that also published in IEEE IMS. On the other hand, we have successfully developed millimeter-wave IQ modulators with linearization techniques, which have been published in APMC and IEEE transaction of MTT.

## 二. 研究計畫之背景及目的

隨著多媒體網路通信的快速發展, 將有更多的資訊在有限的通信頻帶來傳輸, 為提高頻帶效率, 無線通信需要發展複雜的數位調變及高線性度 (High-Linearity) 的射頻發射器 (RF Transmitter), 以達成低失真及高可靠度的寬頻通信。在較高的微波頻率可提供較寬的頻寬 (如, 60GHz LMDS 有 3.5GHz 頻寬), 但是大功率的毫米波功率放大器 (Power Amplifier, PA) 不易製作, 因此, 本計畫將傳統功率放大器的線性化技術用於微波/毫米波頻段的發射器, 使低耗電/低成本的發射器, 發揮最佳的線性度。

IQ 調變器以及功率放大器為決定發射器線性度的主要依據; IQ 調變器是數位通訊的主要元件, 因為其能執行多模態的調變; 而一個好的 IQ 調變器需要高線性度, 才能降低訊號的失真; 此外, 功率放大器是射頻發射器中另一個主要造成失真的元件, 我們經常要在線性度與效率間作一個

取捨。

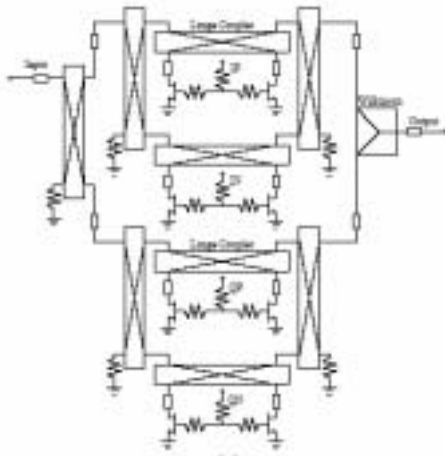
傳統的發射器線性化(Linearization)技術，專注在消除放大器的失真 [1-4]，至於升頻器的失真現象 [5] 則較少考慮，若是對整個發射器的線性化，則可消除從升頻器、驅動放大器至功率放大器的全部非線性度 [6]。

本子計畫目的在於降低微波/毫米波頻段發射器的非線性失真，讓它能符合現今一些通信系統嚴格的線性度需求，我們首先針對發射器的調變器作線性化，之後再加上元件功率放大器的線性化，將來可將兩者同時用於發射器，使得寬頻數位微波通信的失真降至最低，且在有限的通信頻帶來傳輸更多的資訊，同時減少對鄰近通信頻道的干擾。

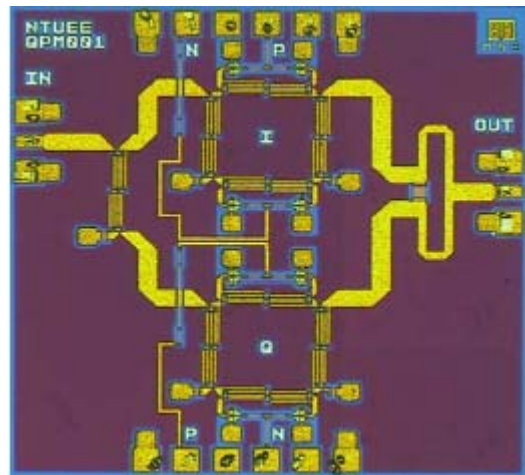
### 三. 研究方法與結果

#### Modulator Linearization

我們所設計的微波單晶片 IQ 調變器 (IQ modulator)(如圖一所示)[7],[8] 可以操作在 30-110GHz，並且可實現 QPSK、8-PSK、 $\pi/4$ -DQPSK 以及 16-QAM 四種不同調變模式；使用 TRW standard 0.15-um InGaAs/AlGaAs/PHEMT MMIC 製程，以及 4-mil GaAs 基板來實現此電路，圖二為此電路的照片。



圖一、IQ 調變器之架構圖



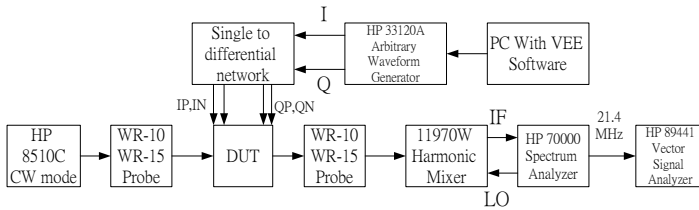
圖二、IQ 調變器之晶片照片

此調變器的主要架構是建立在反射式 BPSK(reflection-type BPSK)電路上；一般的反射式 BPSK 電路是由藍吉耦合器(Lange coupler)和冷模元件(cold mode devices)；冷模元件可以是高速電子牽移率電晶體(HEMT)或異質接面雙極性電晶體(HBT)，由於 HEMT 只需要負偏壓即可操作，而且不消耗電流，因此為較恰當的選擇。

在 QPSK 的操作下，10-110GHz 之間，四種模態量測出的輸入損耗(insertion loss)皆比 12dB 小；振幅不對稱(amplitude imbalance)皆小於 2dB 以及相位不對稱(phase imbalance)小於 15 度，反射損耗(return loss)皆比 8dB 好。

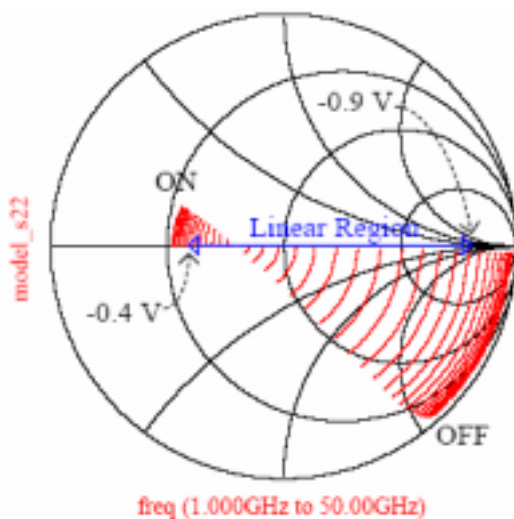
向量訊號量測系統的示意圖如圖三所示，HP 11970 系列諧波混頻器(HP 11970-series harmonic mixer)和 HP 70000 頻譜分析儀(HP 70000 spectrum analyzer)用來當作降頻器，將毫米波訊號轉成 21.4MHz 的 IF 頻率，並且給入 HP 89441A 向量訊號分析儀(HP 89441A vector signal analyzer)分析調變訊號的品質；而 HP 33120A 任意波形產生器(HP 33120A arbitrary waveform generators)用來產生基

頻的 IQ 訊號，提供給 IQ 調變器。



圖三、向量訊號量測系統之示意圖

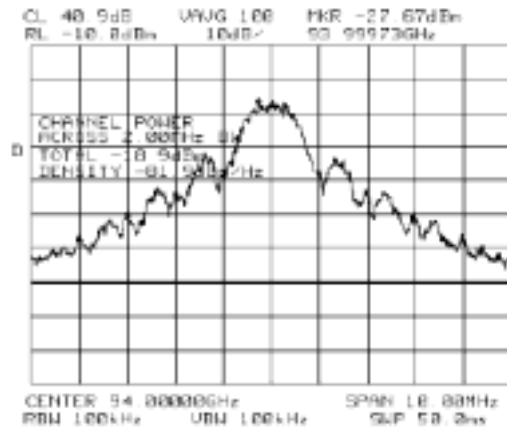
由於使用反射式 BPSK(reflection-type BPSK)電路，調變訊號的相位和大小可以藉由控制電壓(IP、IN、QP、QN)來改變，但兩者之間並非是線性關係，因此我們必須找出最好的偏壓點來應用。藉著模擬 HEMT 的反射係數對應不同的基級偏壓(如圖四所示)，由-1V 掃到-0.2V 每個間隔為 0.025V，可看到從-0.9V 到-0.4V 之間線與線的間隔差異不大，此區即為調變訊號的相位、大小和控制偏壓的關係較為線性之區塊，從當中選出所需的控制電壓來做調變可有最好的線性度。



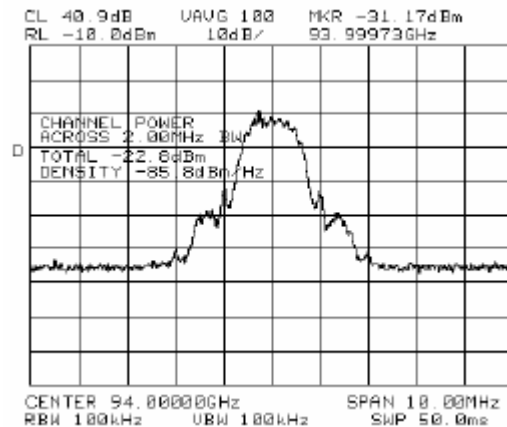
圖四、基級偏壓在-1 到-0.2V 時  
模擬之反射係數

使用上述的向量訊號量測系統測量此

IQ 調變器在 94GHz 的數位調變品質，結果如圖五以及圖六所示，EVM 在 6.2%之內大小誤差(magnitude error)在 2.7%內，相位誤差(phase error)小於 3.2 度，ACPR 比 -30dBc 好，較原先未經線性化補償之 -20dBc，改善了 10dB 的 ACPR。在 2 MHz 通道頻寬內，通道功率為-23dBm。



圖五、未經過線性化補償 94GHz 量  
測到之輸出頻譜



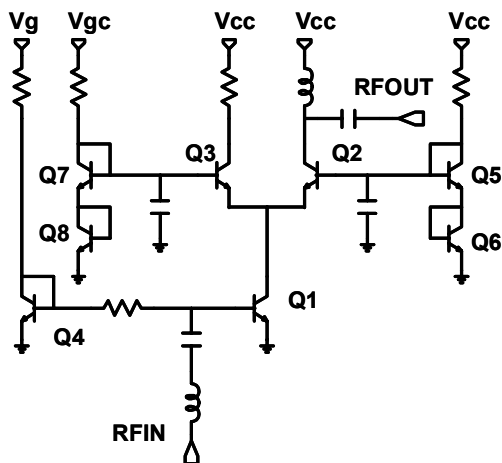
圖六、經過線性化補償 94GHz 量測  
到之輸出頻譜

## PA Linearization using Active Pre-distorter

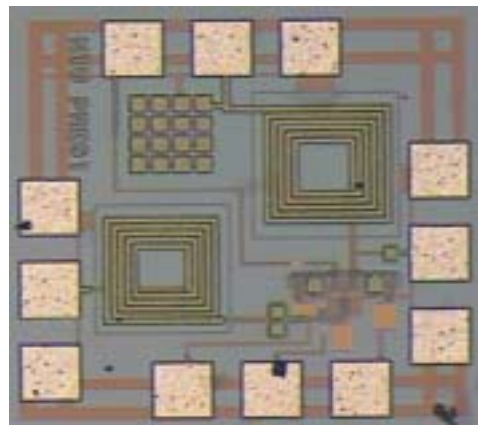
對於功率放大器的線性化，此次我們採用類比前置失真線性化的技巧(Analog Pre-distortion Linearization)，因為前置失真線性化比起其他 feedback、feed-forward 等線性化技巧，有架構簡單、面積小和成本低等一些優勢，因此適合應用在微波/毫米波頻段。

我們利用 TSMC 0.35 $\mu\text{m}$  SiGe 設計了一個可調增益主動前置失真器[9]，因為矽鍺將來可以和數位電路做整合，可達到 RF-SOC 的目標。

此電路是利用傳統的電流抽取架構，並且將它操作在低電流區域，使他產生隨輸入功率變化的增益擴展特性，電路圖如圖七所示，圖八是此電路的晶片照片，晶片大小為 0.8mm x 0.8mm，圖九是他的小訊號模擬與量測結果，可以看到模擬與量測具有很好的一致性，在 2.4GHz 有 8dB 的小訊號增益，輸入輸出反射損耗都有大於 10dB，圖十是大訊號特性，輸入功率對增益做圖，可以看到在不同的控制電壓  $V_{gc}$  下將會有不同程度的增益擴展，最高可達 7dB，因此我們將使用此增益擴展特性來補償功率放大器的非線性失真。

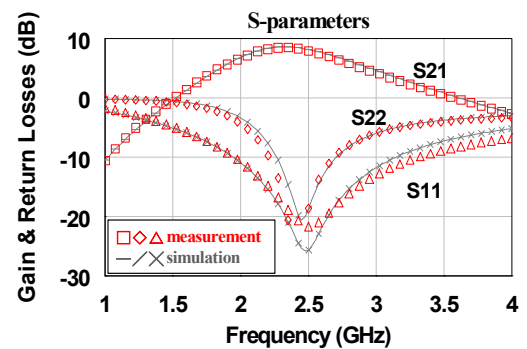


圖七、可調增益主動前置失真器之架構圖

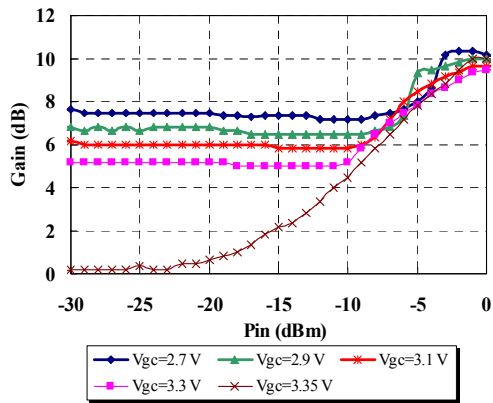


圖八、可調增益主動前置失真器之晶片照片

接下來我們將把此主動前置失真器應用到前置失真線性化中，我們用 FR4 做了一個 2.4 GHz Hybrid 功率放大器，並且把此主動前置失真放大器當作是此功率放大器的驅動級，經過適當選取前置失真器的控制電壓  $V_{gc}$ ，使他產生恰好可以補償功率放大器的輸出功率 1dB 壓縮點(P1dB)，圖十一是補償前與補償後的 P1dB 比較圖，可看到補償後 P1dB 明顯提升。

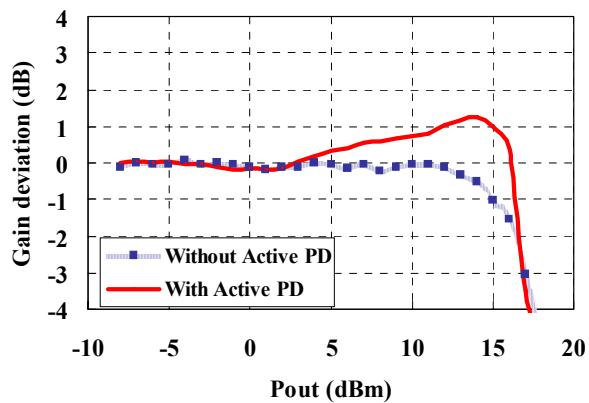


圖九、小訊號模擬與量測結果

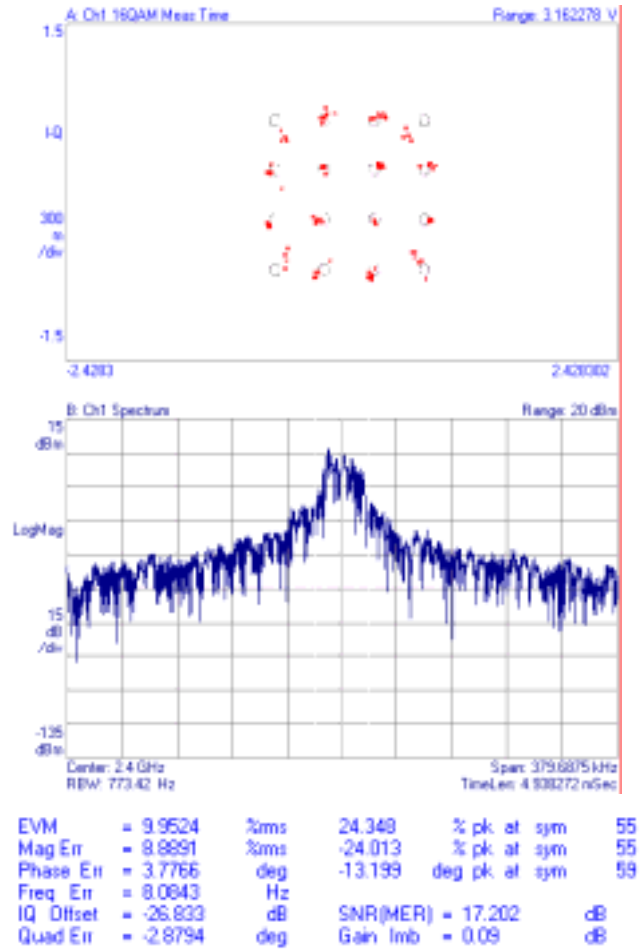


圖十、輸入功率 vs. 增益

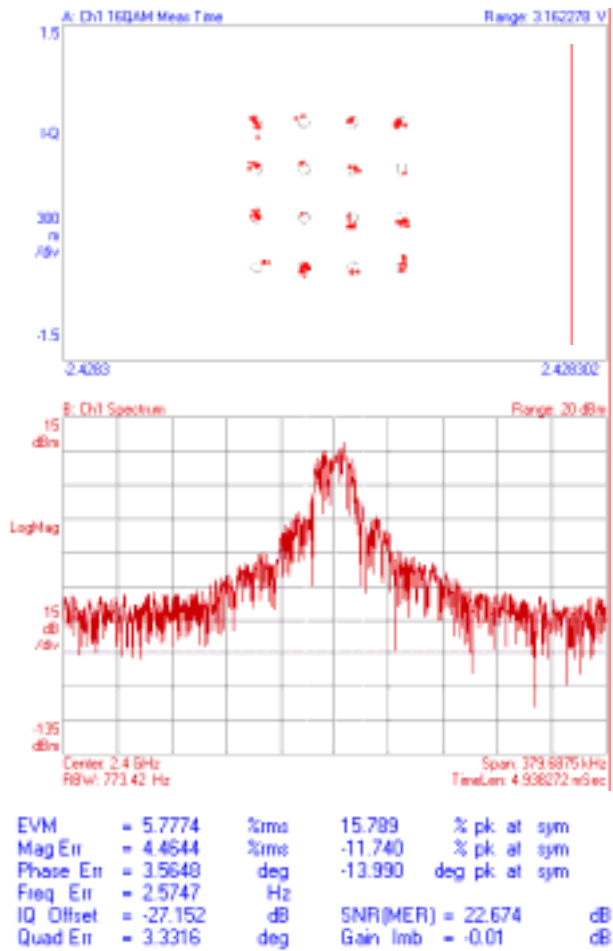
最後我們用一 16QAM 的訊號來測試此功率放大器的數位訊號特性，圖十二(a)是未經過主動前置失真器補償前與圖十二(b)經過主動前置失真器補償後的數位訊號特性，可以看到補償後的 16QAM 星狀圖比較整齊散開，而輸出鄰近通道頻譜 (ACPR)，被壓制了約 7-9dB，EVM 也由原先的 9.9% 降到 5.7%。



圖十一、經過主動前置失真器補償前與補償後之 P1dB 比較圖



圖十二(a)、未經過主動前置失真器補償後的數位訊號特性



圖十二(b)、經過主動前置失真器  
補償後的數位訊號特性

#### 四. 參考文獻

- [1] Muhonen, K.; Kavehrad, M.; "Amplifier linearization for the local multipoint distribution system application," *The Ninth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 2, pp. 687 – 692 Sept. 1998
- [2] Jaehyok Yi; Youngoo Yang; Myungkyu Park; Wonwoo Kang; Bumman Kim; "Analog predistortion linearizer for high-power RF amplifiers," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, no.12, pp. 2709 – 2713 Dec. 2000
- [3] Hyun-Min Park; Dong-Hyun Baek; Kye-Ik Jeon; Songcheol Hong, "A predistortion linearizer using envelope-feedback technique with simplified carrier cancellation scheme for class-A and class-AB power amplifiers," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, no. 6, June 2000
- [4] Junghyun Kim; Moon-Suk Jeon; Jaehak Lee; Youngwoo Kwon; "A new "active" predistorter with high gain and programmable gain and phase characteristics using cascode-FET structures," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, no. 11, pp. 2459 -2466, Nov. 2002
- [5] Youngwook Kim; Youngsik Kim; Soonghak Lee, "Linearized mixer using predistortion technique," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 12, No. 6, pp.204-205, June 2002



- [6] Peter B. Kenington, "Linearized Transmitters: An Enabling Technology for Software Defined Radio," *IEEE Communications Magazine*, Feb 2002
- [7] Hong-Yeh Chang, Tian-Wei Huang, Huei Wang, "Vector Signal Characterization for a HEMT IQ Modulator MMIC at 94 GHz," *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*, FC1\_05, Seoul, Korea, Nov. 2003. (NSC92-2213-E-002-068)
- [8] Hong-Yeh Chang, Tian-Wei Huang, Huei Wang, Yu-Chi Wang, Pane-Chane Chao, Chung-Hsu Chen, "Broadband HBT BPSK and IQ Modulator MMICs and Millimeter-wave Vector Signal Characterization" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 52, No. 3, pp. 908-919, Mar. 2004.
- [9] Jeng-Han Tsai, Tian-Wei Huang, "A Novel SiGe BiCMOS Variable-Gain Active Predistorter Using Current Steering Topologies," *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symp. Digest*, TUIFR-13, Fort Worth, TX, June 2004. (NSC 92-2213-E-002-068)