

# 行政院國家委員會電信國家型科技研究計畫成果報告

## K-頻段無線收發關鍵元組件之研究(2/3)-子計畫四：頻率倍頻器之研製(2/3)

### Study of Frequency Multiplier (2/3)

計畫編號：NSC88-2219-E-002-019

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

計畫主持人：瞿大雄 教授 國立台灣大學電信工程學研究所

#### 一、摘要

本計畫旨在建立K-頻段無線收發關鍵元組件中  
之頻率倍頻器，包含其相關之理論分析、模擬、製  
作與實驗量測。本報告係敘述第二年之研究成果，  
敘述以CIC之PML GaAs PHEMT MMIC製程，研製3  
至18 GHz六倍倍頻器模組之設計、模擬及量測結  
果。該倍頻器模組包含一3至6GHz二倍倍頻器、6至  
18GHz三倍倍頻器以及一17至22GHz緩衝放大器。

關鍵字：二倍倍頻器，三倍倍頻器、A類放大器偏  
壓點，B類放大器偏壓點，緩衝放大器。

#### 英文摘要

The purpose of this three-year research project is to  
develop the basic theory, numerical simulation,  
implementation and experimental measurement of  
frequency multiplier circuits. Frequency multiplier is  
one of the key components in K-band T/R module for  
wireless communication. In this second-year report, the  
study results are design, simulation and measurement  
of PHEMT MMIC frequency multipliers using CIC  
PML GaAs foundry.

#### 二、計畫緣由及目的

無線收發機中，本地振盪器之相位調變雜訊和  
頻率調變雜訊，對信號品質影響甚巨，尤其是在毫  
米波段中。因此設計上多採用較低頻之頻率合成  
器，再經多級倍頻器，以達到較高之工作頻率。

本報告主要敘述研製之3至18GHz MMIC六

倍倍頻器模組。其中二倍倍頻器及三倍倍頻器，均  
係以 HEMT 電晶體作為非線性元件及放大元件，設  
計主動式倍頻器。主動式倍頻器之優點為：(1)效率  
較被動式高，(2)需較低之輸入功率，(3)轉換損失較  
降低。研製之倍頻器模組，其工作頻寬設計為11%。

#### 三、研究方法與成果

倍頻器模組之設計，係使用 Sun Sparc  
Workstation 20，以 HP/Libra 軟體進行 HEMT 於直  
流偏壓點之線性與非線性特性，以及電路分析，  
MMIC 佈局以及設計法則檢驗(design rule check,  
DRC)則使用 Cadence 軟體。

##### 3.1 設計原理與方法

該主動式倍頻模組由於使用主動元件，因此設  
計時必須分析其穩定度，以免造成倍頻器產生振  
盪。此外，並需考量輸入端係匹配至基頻，而輸出  
端則匹配至諧波頻率。各相關之 MMIC 設計步驟如  
下。

##### A. 二倍倍頻器(doubler)

首先偏壓點選擇為 B 類放大器偏壓點，即將閘  
極偏壓在接近夾止電壓附近。如此，電晶體需要夠  
大，才能驅動並將輸入信號，轉換成較大之二倍頻  
率信號，因此設計上選用 8 指(finger) 400 μm HEMT  
元件。

匹配電路方面，首先設計輸出端，因為輸出端  
則須將基頻以及三倍頻短路，以得到較佳之輸出。  
設計上使用 LC 串聯共振器，以使其在共振頻率  
時，提供短路阻抗，最後輸出端則匹配至 50 Ω。輸  
入端係使用低通型式之匹配電路，以阻絕二倍頻出

現於輸入端。

#### B. 三倍倍頻器 (tripler)

三倍倍頻器之偏壓點選擇為 A 類放大器偏壓點，選擇元件方面，則係考慮三倍頻的輸出功率以及匹配電路設計之難易度。太大之元件，將使得三倍頻信號功率減小，而使二倍頻功率增加。而太小之元件，將使得輸出功率太早飽和，同時也不易匹配，因此選擇 6 指  $180\ \mu\text{m}$  之 HEMT。匹配電路方面，同樣首先設計輸出端匹配，此時輸出端必須將基頻 二倍頻及四倍頻短路，才能得到較佳之輸出，設計時使用 LC 串聯共振器，以在共振頻率時，提供短路阻抗。輸入端則使用低通型式匹配網路，以阻絕高次諧波出現至輸入端。

#### C. 緩衝放大器 (buffer amplifier)

緩衝放大器之主要功能為 (1) 提高輸出功率，(2) 提供輸出端良好之匹配，(3) 做為帶通濾波器。故選擇 A 類放大器偏壓點，同時使用損失匹配 (lossy match)，以達到較佳之輸出端匹配。選擇元件之考量，主要為輸出功率及匹配難易度，因此選擇 6 指  $150\ \mu\text{m}$  HEMT 元件。

### 3.2 量測結果

上述之二倍倍頻器、三倍倍頻器以及緩衝放大器模擬係使用 HP/EEsof-Libra，進行線性及非線性電路分析。以下分別敘述其實驗量測結果。

#### A. 二倍倍頻器

圖一為研製之二倍倍頻器之 MMIC 佈局圖 圖二為量測二倍倍頻器輸入功率為  $10.84\text{dBm}$  時，輸出功率之頻率響應，顯示輸出功率約  $0\text{dBm}$ ~ $5\text{dBm}$ ，因此轉換損失約為  $10\sim 15\text{dB}$ 。圖三為量測當輸入頻率  $2.92\text{GHz}$  時，輸入功率與二倍頻輸出功率之響應特性。圖四為輸入功率為  $10.84\text{dBm}$ ，且輸入頻率為  $2.81\text{GHz}$  時，由 HP 90004A 頻譜分析儀量測得之輸出頻譜，顯示研製之二倍頻對基頻拒斥比約  $20\text{dB}$ ，對三倍頻拒斥比則約  $33\text{dB}$ 。

#### B. 三倍倍頻器

圖五為研製之三倍倍頻器 MMIC 佈局圖 圖六為量測三倍倍頻器輸入功率為  $10.61\text{dBm}$  時，輸出功率之頻率響應，顯示輸出功率約  $5\text{dBm}$ ~ $1\text{dBm}$ ，

因此轉換損失約為  $5\sim 11\text{dB}$ 。圖七為量測當輸入頻率  $5.64\text{GHz}$  時，輸入功率與三倍頻輸出功率之響應特性。圖八為輸入功率為  $10.61\text{dBm}$  且輸入頻率為  $5.71\text{GHz}$  時，量得之輸出功率頻譜，顯示對基頻拒斥比約為  $15\text{dB}$ ，對二倍頻拒斥比約  $20\text{dB}$ ，對四倍頻拒斥比則約  $23\text{dB}$ 。

#### C. 緩衝放大器

圖九為研製之緩衝放大器 MMIC 佈局圖 圖十為量測輸入端及輸出端之反射係數 ( $S_{11}$  &  $S_{22}$ )，圖十一為穿透係數 ( $S_{21}$ )。該量測與模擬結果十分相近，穿透係數略低於模擬值，應係由於量測時偏壓低於模擬之偏壓所致。

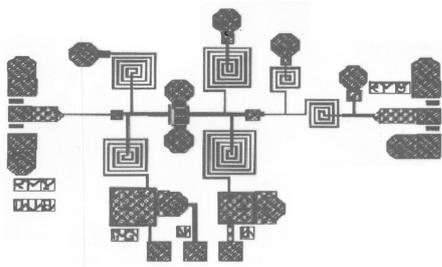
## 四、結論

由上節之量測結果顯示，研製之各倍頻器 MMIC，其造成與模擬結果不相同之原因，可能有以下兩點：(1) 模型之不正確，即大訊號模型對於倍頻器於操作偏壓範圍，特性較不準確，因而造成誤差。(2) 偏壓點不同，因電路在原先設計之偏壓點極易產生低頻振盪，因此量測時改變偏壓點，以致與設計之阻抗不同。而由差異較大之二倍倍頻器量測結果顯示，模型之不準確因素較為可能。此外，本計畫已進一步使用 TRW 之  $0.15\ \mu\text{m}$  PHEMT 製程，完成倍頻器 MMIC 之設計。

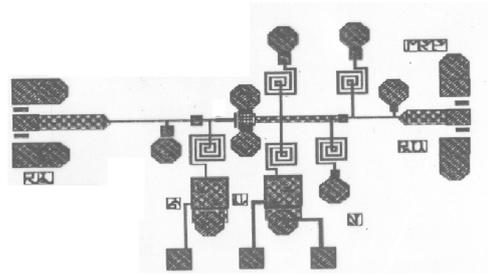
## 五、參考文獻

- [1] S. A. Maas, *Nonlinear Microwave Circuit*, Chapter 10, p.397-416, Artech House, 1988.
- [2] D. G. Thomas, Jr. and G. R. Branner, "Optimization of active microwave frequency multiplier performance utilizing harmonic terminating impedances", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.MTT-44. no. 12, pp.2617-2624, December 1996.
- [3] T. Hirota and H. Ogawa, "Uniplanar monolithic frequency doublers", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.MTT-37, no.8, pp.1249-1254, August 1989.

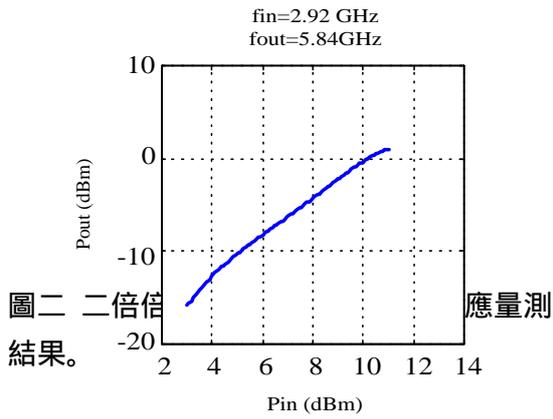
六、圖表



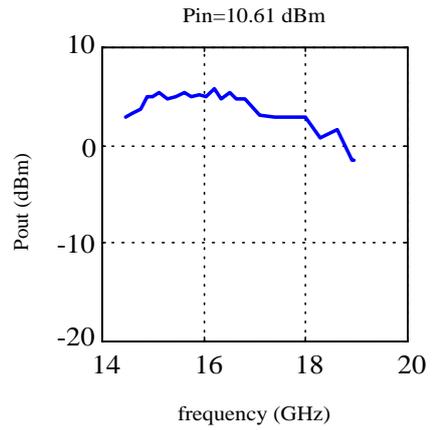
圖一 二倍倍頻器佈局圖。



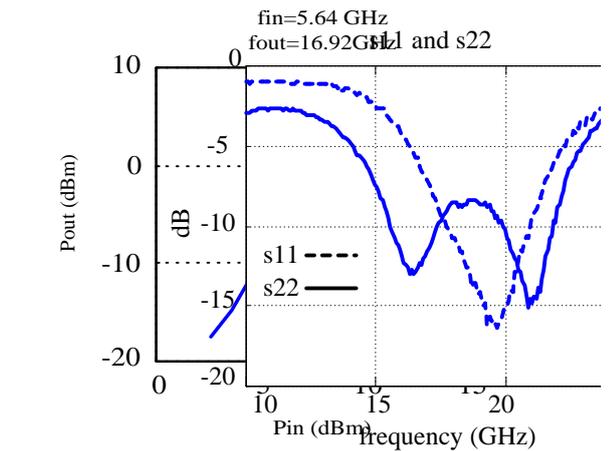
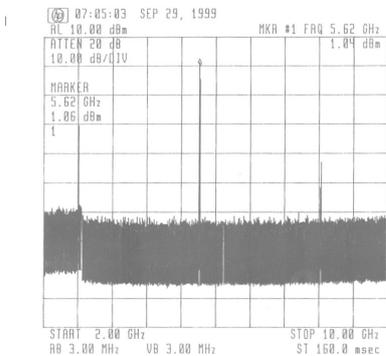
圖五 三倍倍頻器佈局圖。



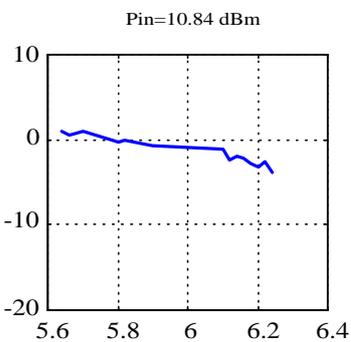
圖三 二倍倍頻器之輸入/輸出功率特性量測結果。

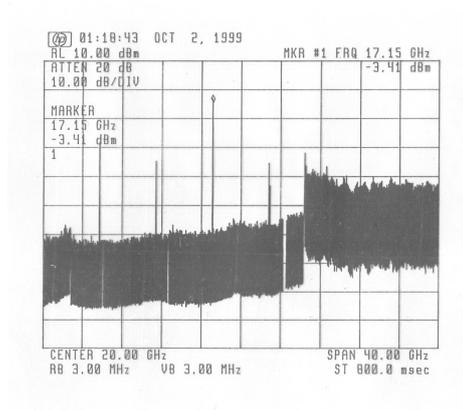


圖六 三倍倍頻器之輸出功率頻率響應量測結果。

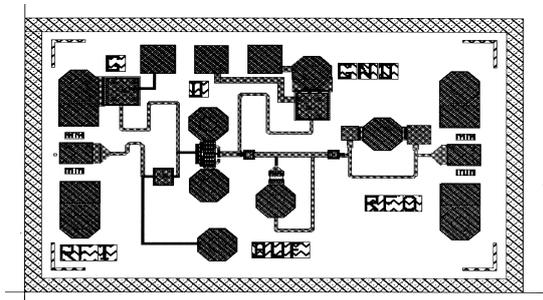


圖七 三倍倍頻器輸入/輸出功率特性量測結果。



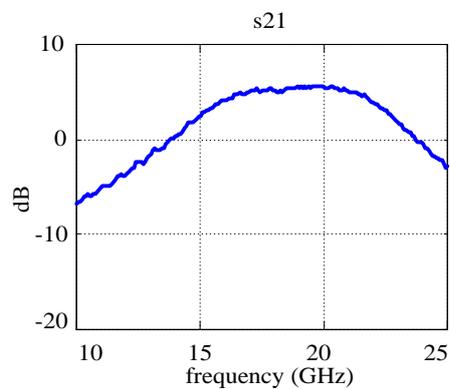


圖八 三倍倍頻器輸出頻譜量測結果。



圖九 三倍倍頻器器佈局圖。

圖十 緩衝放大器之輸入端及輸出端反射係數(S11&S22) 量測結果。



圖十一 緩衝放大器之穿透係數(S21)量測結果。

