

# 射頻微波訊號放大器

陳煜仁<sup>1</sup>，劉邦軒<sup>2</sup>，張 弦<sup>2</sup>，郭華丞<sup>\*1</sup>

1 中興大學奈米科學研究所，台中，台灣

2 中興大學物理學系，台中，台灣

隨著時代的進步，科技日新月異，每天都有各式各樣的產品被發明，而電子產品，更是我們生活中不可或缺的一部分，然而只要是用電的產品，就會發出電磁波，如果訊號需要藉由電磁波傳遞，那如何隔絕掉我們不要的訊號呢?因此我們設計了電路板，希望其工作範圍在3GHz以下，我們將電路板曝光、顯影、蝕刻再焊上所設計的元件製成我們要放大器。48.2 MHz到 3GHz範圍內皆能夠被放大10dB，雖與預期的20 dB有出入，推測是實際進入晶片的訊號不足，而我們也發現在1GHz及2GHz之間特定頻率下會出現放大倍率變小之情形，交叉測試下發現這與外加的穩壓電容有關，通過將電容改為可變電容，可有效改善這個現象。

## 介紹

科技越來越發達，現今的電子產品也越來越多，然而只要是需要電的電子產品，都會發出電磁波，不同的電子產品所發出的電磁波頻率也各不盡相同，如果我們能設計出一個電子產品(電路)，希望能夠在特定的頻率下，能夠順利工作，在不同的頻率下，可以隔絕掉這些雜訊，這樣就能有效的利用頻率去控制不同的電子產品，在這個實驗中，我們希望電子產品電磁波範圍在 1.5G Hz 到 3.5G Hz，因此我們閱讀文獻[1-2]而設計了一個放大器電路，使此放大電路頻寬大約在此範圍內可運作。

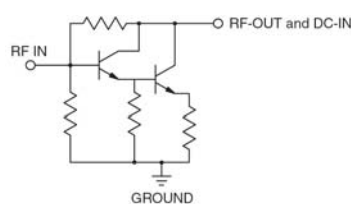
## 實驗方法

為了製造出一個 RF 放大器的元件，我們選擇了 RF 訊號放大 IC(ERA-3SM)，其工作範圍在 3GHz 以下，內部是結構主要由兩個 npn 的雙載子電晶體(BJT)組合成的放大線路如圖 1(A)，且而其放大倍率以在晶片內部規畫完成，參閱表一，無法像 OP 利用外接電阻決定出放大率。

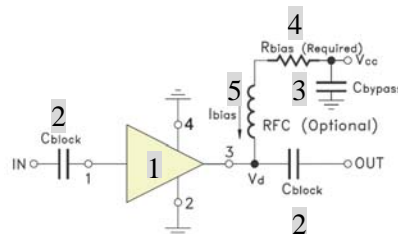
購買來後需要設計出相對應線路，才能使元件順利的工作，線路的設計，如圖 1(B)。

(表一) ERA-3SM 放大倍率對照表[3-4]

	Min. (dB)	Typ. (dB)	Max. (dB)
f=0.1 GHz	21	22.1	24.3
f=1 GHz		21	
f=2 GHz	17.6	18.7	19.5
f=3 GHz	15.4	16.4	17.3



(A)



(B)

圖 1 (A) ERA-3SM 內部結構  
(B)說明書上之建議電路

我們參考文獻[5]在電路中設計了兩個電容 33 pF (標記 2)，其目的是為了將 DC 偏壓與 VNA 量測系統隔離，避免 DC 偏壓燒壞儀器。但加入了此電容後，會使得部分的低頻訊號無法通過，我們可以透過簡單的高通網路，如圖 2。推估出可通過的頻段，決定訊號頻率只能在 48 MHz 以上而 ERA-3SM 決定訊號頻率不能高於 3G Hz，因此我們工作頻率為 48 MHz 到 3G Hz。相關計算公式如圖 3。

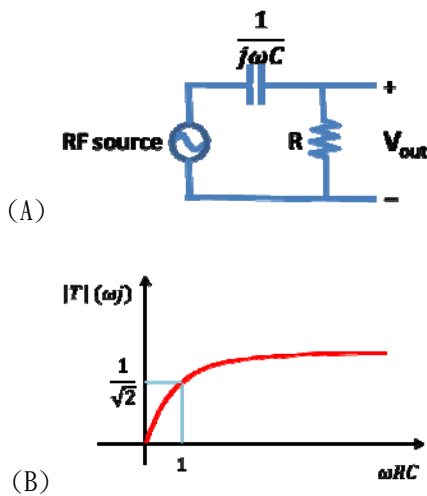


圖 2 (A)高通網路模型(B)頻率和分壓大小的關係圖

$$T(j\omega) = \frac{V_{out}(j\omega)}{V_{in}(j\omega)} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

$$|T(j\omega)| = \left| \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \right| = \frac{\omega RC}{(1 + \omega^2 R^2 C^2)^{1/2}}$$

$$\text{頻寬定義 } -3dB = 20 \log(1/\sqrt{2})$$

$$\text{所以 } \omega RC = 1$$

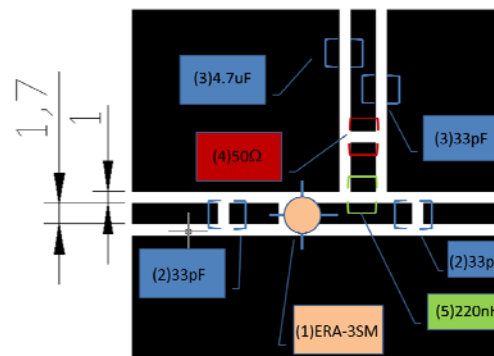
$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 100 \times 33 \times 10^{-12}} = 48.2 \text{ MHz}$$

圖 (3) 限制通過頻段相關計算公式

然而要使 ERA-3SM 運作，必須施加一工作電流，參考文獻[6]加入兩個電容 4.7 uF 與 33 pF (標記 3)使工作電流穩定，而電阻 50

Ω(標記 4)決定工作電流大小。然而為了避免 RF 訊號跑到 DC 工作電流系統裡面，我們放置了一電感 220 nH(標記 5)，使訊號不能通過。

設計電路板上波導所使用的參數是使用 AppCAD 模擬得到的。由程式模擬得知，我們寬度 W 為 1.7 mm，寬度 G 為 1.0 mm，此時阻抗為 50Ω。另外，我們也規畫出放大 IC 及被動元件所的布局，圖(4)即是最後完成電路板的配置圖。完成配置後使用 autocad 設計出我們的光罩，用以將電路板曝光留下我們要的電路圖形。在此選用之電路板的光阻為正光阻，所以在沒有光罩的地方(曝光處)光阻將可被顯影劑洗除，顯影時需不時擾動電路板，以致顯影較均勻，若不均勻或時間過久很有可能使未曝光的光阻部分也被清除。顯影完之電路板再放入蝕刻液裡蝕刻，未有光阻保護的部份銅薄將被洗除。蝕刻過程中需注意拿捏時間以免將所要保留的金屬電路部份也被洗除。蝕刻後再用酒精(99.8%)將剩下的光阻洗除。將電路板剪下，再按照我們先前所設計的電路圖形，將電容、電桿、電阻及放大晶片焊至我們的電路板上，再焊上輸入輸出接頭及電源接頭。即完成我們的微波放大器電路板(圖 5)。接著就可進行量測。測量分析方法參考[7-8]。



圖(4) 最後完成電路板的配置圖

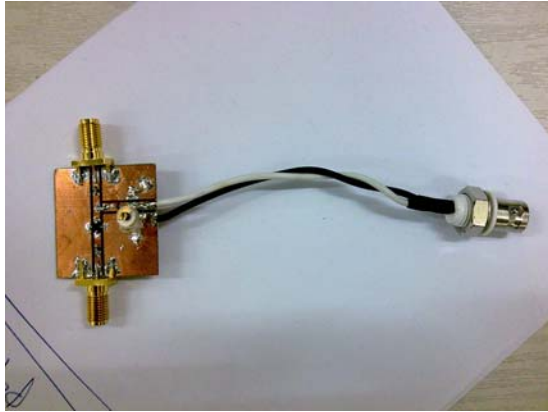


圖 (5) 為播放大電路完成品

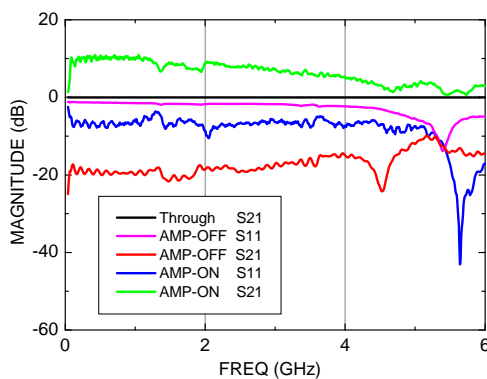


圖 (6) 接上放大器樣品及外加偏壓的 VNA 量測結果。紅色及桃紅的線代表兩端接上 VNA 後未加偏壓，而綠色及藍色則是加上 5V 的偏壓。

## 實驗結果與討論

在 VNA 校正完後，未接上樣品前兩端 VNA 兩端呈現 OPEN 的狀態，從測量結果可看出由於 OPEN 所以從 PORT1 的傳送出的訊號，完全反射去 S11 參數顯示出 0 dB 的數值。接著將自製的放大器樣品兩端分別接上 VNA 的兩 PORT 上，結果如圖 (6)，在未加工作偏壓下，可以從 VNA 量得的結果看出來，在 4GHz 以下通過的訊號大約只有 -20dB 左右，相較於標準 Through 通過的訊號只有 1% 的訊號能夠通過放大器到達另一邊的 PORT，推論這可能是由於放大器在未加工作偏壓下，晶片內部的 BJT

電晶體處於一個未導通的狀態，微波訊號自然就無法正常通過才使得通過量降低，大多反射回去，從量測結果上看來 4GHz 以下的頻段約有 -1.5dB 反射回 PORT1。若是在外加 5V 偏壓提供給 AMPIC 後，情況將會大大的改變，內部的 BJT 轉變為主動區，使訊號能夠通過，因此反射訊號也就降低到了 -7dB，而穿透的 S21 參數也從原來的 -20dB 轉為 +10dB，也就是說訊號通過自製的放大器後，訊號強度與單純 Through 的訊號增強了 10dB，雖然達到了訊號放大的目的，但跟晶片預設的 20dB 仍有出入，我們推測這應該是由於實際進入晶片的訊號不足，從 S11 的反射量，可以推算出只有 80% 的微波訊號能夠正確的進入樣品被放大，放大後的訊號到達另一側的接頭後又再次的發生反射，也因此通過的樣品放大的訊號才沒有到達預期的放大效果，而只有 10 倍的放大率。

又我們單獨的將放大器樣品 0.04-3GHz 的結果放大出來看，圖(7)中顯示出了在 90MHz 以下的訊號無法通過，這是由於在設計中包含了兩個阻隔 DC 進入 VNA 的兩個隔絕電容，不過這樣的設計將會造成低頻濾波的效果，而量測的結果中也顯示出與先前預設 3 dB 點為 48.2MHz 結果符合。

不過，在量測結果中，我們還可以發現在裝上放大器樣品後無論偏壓供應與否，在 1GHz 及 2GHz 之間會出現一個吸收得現象，但參閱 IC 晶片原廠說明中並未出現這樣得吸收現象，因此我們必須要找出造成此吸收的成因。

為了確定吸收的現象是來自於為波放大器本身或是線路設計上所造成的，因此我們直接將編號 5 號的高頻隔離電感移除，單純的觀察訊號通過放大晶片造成的吸收特性，其移除

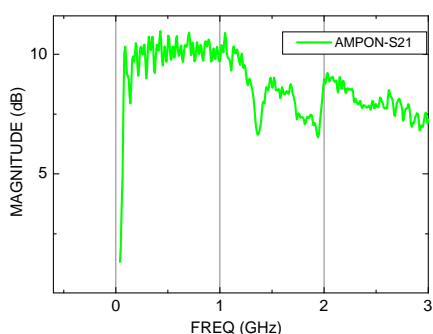


圖 (7) 局部放大，VNA 接上放大器樣品並外加 5V 偏壓 13.5MHz 到 3GHz 的結果。

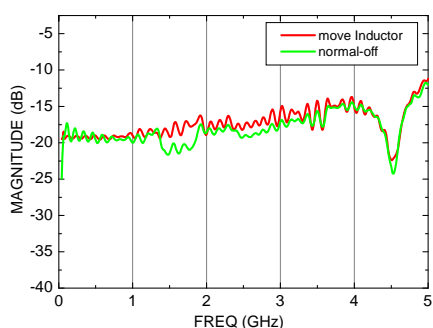


圖 (8) 移除放大器樣品上的電桿，使樣品成獻出電容-放大器-電容串連的結果。

後的結果如圖 (8) ，紅色線為移除電感後的吸收特性，我們可以看出發生在 1.7GHz 左右的吸收已隨著電感的移除而消失，所以可以確定出，此吸收現象是源自於線路的設計上所產生的。但高頻隔離電感的功用是為了隔絕高頻與直流系統互相干擾，也因此電感的存在是必要的，因此我們也考慮了電阻是否有影響，這次採用的方法是使用短路的方試跳開電阻，但其結果依然呈現出有相同的吸收現象。所以也就排除了電阻吸收的可能形，因此吸收現象的成因也就指向了兩個外加的穩壓電容。

由於外加偏壓後 VNA 量測結果中訊號會在 1.36GHz 以及 1.97GHz 有兩個吸收出現，這樣

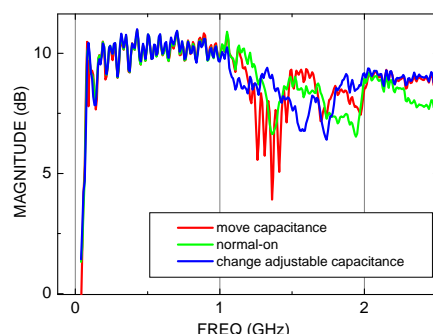


圖 (9) 比較裝有 chip 型電容及換成可調式電容以及移，VNA 量測比較。

的吸收數量恰好是我們所裝的兩個穩壓電容的數量，因此我們懷疑是否是編號 3 號的兩個穩壓電容造成這樣的吸收現象。最快得確認方法有就是將這兩個穩壓電容移除，這麼一來應該不會再出現這兩個吸收。但結果不然，我們將兩電容移除後，其結果如圖 (9) 紅色線所示，從結果中我們可以發現吸收行為並不會因此消失，而且變的更加的嚴重，在 1.3GHz 的地方出現了 5 個吸收峰，雖然吸收的情形變的更加惡化了，但可以確定的是電容將是造成吸收的主要成因，所以我們決定將原來的兩個電容移除改裝上一個可 5 pF 的調式電容，這麼一來就可以在量測時一邊調整電容大小，觀察吸收的變化。調整過程中，隨著電容的改變吸收的兩個吸收峰互有消長，且所有峰值皆移動較低頻的頻率，因此我們可以透過調整電容的大小，修正電路設計上所造成的不正常吸收，這樣一來就可以有效得避開所需的通訊頻寬，而不被此吸收現象影響訊號的傳遞。

## 結論

透過此段路設計搭配上微波放大晶片確實能夠在外加偏壓下，確實能夠使訊號增大為原來的十倍。頻譜下的結果也符合線路上所設

計的高通模式，低於 48.2 MHz 的訊號將不允許通過，而 48.2 MHz 以上頻率到晶片所設計的 3GHz 工作範圍內皆能夠被放大，而在這個範圍內所擁有的特殊吸收，則是因為直流偏壓供應線路所造成的，其中電容的角色最為重要，在未接上穩壓電容以及接上 IC 封裝型電容或是換上了可調式電容，都會大大的影響工作區域內的吸收特性，也因此我們只要調整適當的電容值即可以將吸收峰值移動遠離通訊時所需的協波頻段。

### Reference

- [1] D. M. Pozar, 'Microwave Engineering', P610-663 主動射頻微波通訊電路：放大器
- [2] <http://wenku.baidu.com/view/4c46ed24ccbff121dd3683e5.html> 陝西科技大學電子信息工程, 董蓬勃, 微波放大器的設計與實現
- [3] <http://parts.usbid.com/datasheets/37/37419B524EAB431D91E7E5D80065D424.pdf> IC(ERA-3SM) 封裝參數及工作範圍放大倍率介紹
- [4] <http://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/302/ERA-3SM-pdf.php>
- [5] 謝慶南, "3~5GHz 射頻電路製作及其對 UWB-OFDM 訊號之影響評估", 碩士論文, 南台科技大學
- [6] 蒙國軒, "射頻功率放大器之靜電放電防護設計", 碩士論文, 國立交通大學
- [7] S. Y. Liao, 'Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design', P89-119
- [8] G. Gonzalez, 'Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design', P93-120