



南京理工大学  
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

# 高频电子线路综合实验 实验报告

姓 名：\_\_\_\_\_张宇萌\_\_\_\_\_

学 号：\_\_\_\_\_9151040G0513\_\_\_\_\_

专 业：\_\_\_\_\_通信工程\_\_\_\_\_

指导老师：\_\_\_\_\_丁淑艳\_\_\_\_\_

时 间：\_\_\_\_\_2017.12.20\_\_\_\_\_

---

## 目录

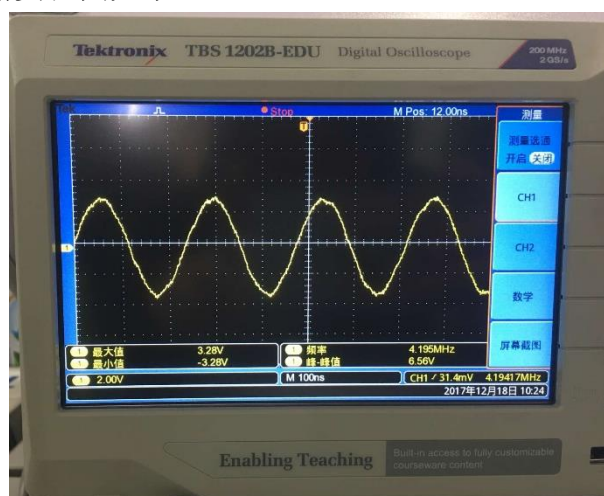
实验一 三点式正弦波振荡器（模块 1） .....	3
1.1 实验目的 .....	3
1.2 基本原理 .....	3
1.3 实验步骤 .....	3
1.4 实验报告要求 .....	4
1.5 实验仪器 .....	5
实验二 高频小信号调谐放大器实验（模块 3） .....	5
2.1 实验目的 .....	5
2.2 实验原理 .....	5
2.3 实验步骤 .....	5
2.4 实验报告要求 .....	7
2.5 实验仪器 .....	9
实验三 模拟乘法混频（模块 2） .....	9
3.1 实验目的 .....	9
3.2 实验原理及实验电路说明 .....	9
3.3 实验步骤 .....	10
3.4 实验仪器 .....	11
实验四 非线性丙类功率放大器实验（模块 3） .....	12
4.1 实验目的 .....	12
4.2 实验基本原理 .....	12
4.3 实验步骤 .....	12
4.4 实验报告要求 .....	14
4.5 实验仪器 .....	15
实验五 模拟乘法器调幅及同步检波实验（AM、DSB、SSB）（模块 5） .....	15
5.1 实验目的 .....	15
5.2 实验原理 .....	15
5.3 实验步骤 .....	16
5.4 实验报告要求 .....	16
5.5 实验仪器 .....	18
综合实验 半双工调频无线对讲机 .....	18
6.1 实验目的 .....	18
6.2 实验内容 .....	18
6.3 实验电路说明 .....	18
6.4 实验步骤 .....	19
6.5 实验报告要求 .....	24
6.6 实验仪器 .....	24
实验总结与反思 .....	25



$I_{eq}$ (mA)	1.2	1.4	1.6	1.8
$U_{(P-P)}$	2.38	2.62	2.92	3.12
$I_e$	1.43	1.667	1.907	2.137

5.晶体振荡器：将开关  $S_4$  拨上  $S_3$  拨下， $S_1$ 、 $S_2$  全部拨下，由  $Q_3$ 、 $C_{13}$ 、 $C_{20}$ 、晶体  $CRY_1$  与  $C_{10}$  构成晶体振荡器（皮尔斯振荡电路），在振荡频率上晶体等效为电感。

皮尔斯振荡电路实验图如下：



## 1.4 实验报告要求

分析静态工作点、反馈系数  $F$  对振荡器起振条件和输出波形振幅的影响，并用所学理论加以分析。

### 1.4.1 静态工作点影响分析

静态工作点对振荡器起振条件和输出波形振幅的影响：

**由实验结果可得：**

输出波形  $V_{P-P}$  的峰值随着  $I_{eq}$  的增加而增加。

**理论分析：**

静态工作点主要影响振荡器的起振条件，晶体管起振时要求  $V_{be}$  为负偏压状态，此后加上正反馈后才可起振，此时放大器处于线性放大状态；当幅度增加到一定值时放大器进入非线性平衡状态。

在此次实验中，LC 电路产生的振荡信号经由射极跟随器、谐波放大器与滤波最终到达输出端，因此输出波形应随着 LC 振荡器产生的振荡信号的变化而变化。

### 1.4.2 反馈系数 $F$ 影响分析

反馈系数  $F$  对振荡器起振条件和输出波形振幅的影响：

**理论分析：**振荡器的起振条件要求： $A_{oF} > 1$ ，要维持一定振幅的振荡，反馈系数  $F$  要设计的比  $A_{oF} = 1$  中的  $F$  大一些，一般取  $F = 1/2 \sim 1/8$ ，这样就可以使得  $A_{oF} > 1$

的情况下起振,而后随着振幅的增强  $A_0$  就向  $A$  过渡,直到振幅增大到某一程度,出现  $AF=1$  时,振幅就达到平衡状态,反馈系数  $F$  对振荡幅度的大小没有影响。

### 1.5 实验仪器

- |          |     |
|----------|-----|
| 1. 高频实验箱 | 1 台 |
| 2. 双踪示波器 | 1 台 |
| 3. 万用表   | 1 块 |

## 实验二 高频小信号调谐放大器实验（模块 3）

### 2.1 实验目的

1. 掌握小信号调谐放大器的基本工作原理；
2. 掌握谐振放大器电压增益、通频带、选择性的定义、测试及计算；

### 2.2 实验原理

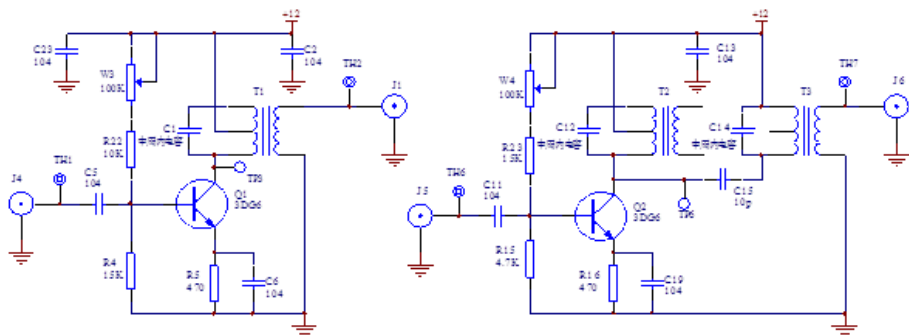


图 2-1 (a) 单调谐小信号放大

图2-1 (b) 双调谐小信号放大

#### 1.单调谐放大器

小信号谐振放大器是通信机接收端的前端电路,主要用于高频小信号或微弱信号的线性放大。其实验单元电路如图 2-1 (a) 所示。该电路由晶体管  $Q_1$ 、选频回路  $T_1$  二部分组成。它不仅对高频小信号进行放大,而且还有一定的选频作用。本实验中输入信号的频率  $f_s=12\text{MHz}$ 。基极偏置电阻  $W_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  和射极电阻  $R_3$  决定晶体管的静态工作点。可变电阻  $W_2$  改变基极偏置电阻将改变晶体管的静态工作点,从而可以改变放大器的增益。表征高频小信号调谐放大器的主要性能指标有谐振频率  $f_0$ , 谐振电压放大倍数  $A_{v0}$ , 放大器的通频带  $BW$  及选择性(通常用矩形系数  $K_{r0.1}$  来表示)等。

#### 2.双调谐放大器

双调谐放大器具有频带较宽、选择性较好的优点。双调谐回路谐振放大器是将单调谐回路放大器的单调谐回路改用双调谐回路。其原理基本相同。

### 2.3 实验步骤

#### (一) 单调谐小信号放大器单元电路实验

- 1.根据电路原理图熟悉实验板电路,并在电路板上找出与原理图相对应的的

各测试点及可调器件（具体指出）。

2.按下面框图（图 1-3）所示搭建好测试电路。

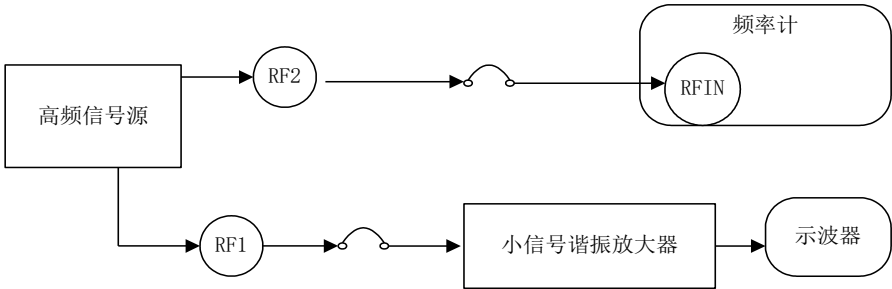


图 2-3 高频小信号调谐放大器测试连接框图

注：图中符号 表示高频连接线

3.打开小信号调谐放大器的电源开关，并观察工作指示灯是否点亮，红灯为 +12V 电源指示灯，绿灯为-12V 电源指示灯。(以后实验步骤中不再强调打开实验模块电源开关步骤)

4.调整晶体管的静态工作点：

5.测量电压增益  $A_{v0}$

在调谐放大器对输入信号已经谐振的情况下，用示波器探头在  $TH_1$  和  $TH_2$  分别观测输入和输出信号的幅度大小，则  $A_{v0}$  即为输出信号与输入信号幅度之比。

	频率（MHz）	幅度（V）
输入信号（ $V_i$ ）	12	1
输出信号（ $V_o$ ）	11.99	16.4

$$A_{v0} = \frac{V_i}{V_o} = \frac{16.4}{1} = 16.4$$

6.测量放大器通频带

对放大器通频带的测量有两种方式，

其一是用频率特性测试仪（即扫频仪）直接测量；

其二则是用点频法来测量：即用高频信号源作扫频源，然后用示波器来测量各个频率信号的输出幅度，最终描绘出通频带特性，具体方法如下：

通过调节放大器输入信号的频率，使信号频率在谐振频率附近变化（以 20KHz 为步进间隔来变化），并用示波器观测各频率点的输出信号的幅度，然后就可以在如下的“幅度—频率”坐标轴上标示出放大器的通频带特性。

输入频率（MHz）	输出幅度（V）
11.2	9
11.4	10.4
11.6	11.8
11.8	13.8
12	16.4
12.2	14.1
12.4	12.3
12.6	11.6
12.8	11.2

## （二）双调谐小信号放大器单元电路实验

双调谐小信号放大器的测试方法和测试步骤与单调谐放大电路基本相同，只是在以下两个方面稍作改动：

其一是.调节信号源“RF 幅度”和“频率调节”旋钮，使输出端口“RF1”和“RF2”输出频率为 465KHz（峰—峰值 200mV）。将信号输入到 3 号板的 J6 口 TH9 处测试观察，输出在 J7 口 TH10 处测试观察。

	频率（KHz）	幅度（V）
输入信号（ $V_i$ ）	465	0.2
输出信号（ $V_o$ ）	465	1.01

$$A_{vo} = \frac{V_i}{V_o} = \frac{1.01}{0.2} = 5.05$$

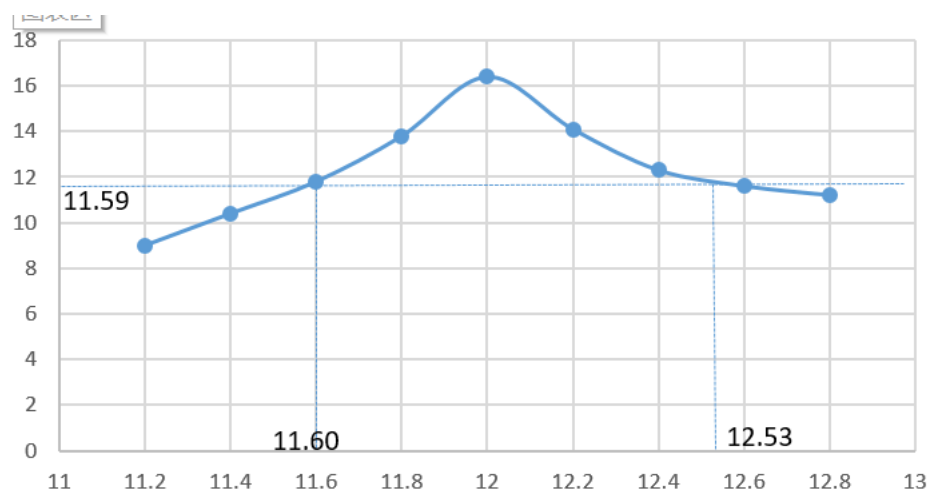
其二是在谐振回路的调试时，对双调谐回路的两个中周要反复调试才能最终使谐振回路谐振在输入信号的频点上，具体方法是，按图 1-3 连接好测试电路并打开信号源及放大器电源之后，首先调试放大电路的第一级中周，让示波器上被测信号幅度尽可能大，然后调试第二级中周，也是让示波器上被测信号的幅度尽可能大，这之后再重复调第一级和第二级中周，直到输出信号的幅度达到最大，这样，放大器就已经谐振到输入信号的频点上了。

同单调谐实验，做双调谐实验，并将两种调谐电路进行比较。（以 2KHz 为步进间隔来变化）

输入频率（KHz）	输出幅度（V）
457	0.64
459	0.68
461	0.79
463	0.81
465	1.01
467	1.38
469	2.15
471	1.83
473	1.52
475	1.11
477	0.96

## 2.4 实验报告要求

单谐放大电路拟合图：



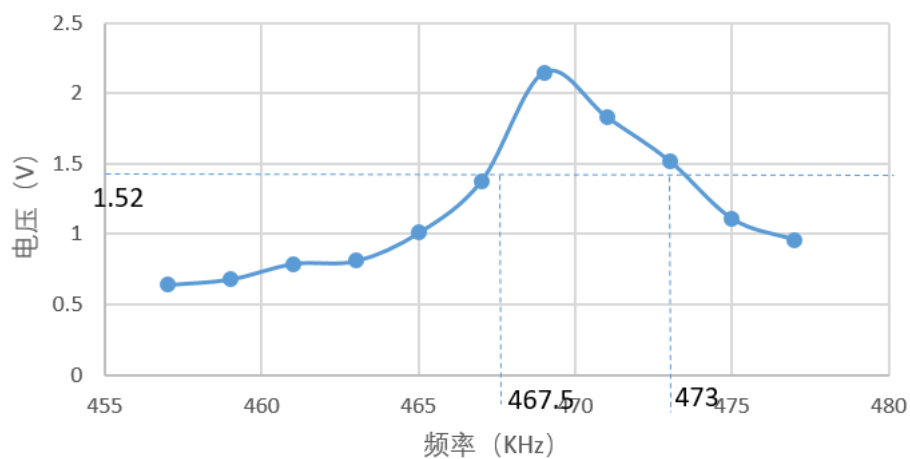
由水平线可得出：

$$f_H = 12.53MHz$$

$$f_L = 11.60MHz$$

$$B = 0.93MHz$$

双谐放大电路拟合图：



由水平线可得出：

$$f_H = 473KHz$$

$$f_L = 467.5KHz$$

$$B = 5.5KHz$$



## 2.5 实验仪器

高频实验箱	1 台
双踪示波器	1 台
万用表	1 块
扫频仪（可选）	1 台

## 实验三 模拟乘法混频（模块 2）

### 3.1 实验目的

1. 了解集成混频器的工作原理
2. 了解混频器中的寄生干扰

### 3.2 实验原理及实验电路说明

在高频电子电路中，常常需要将信号自某一频率变成另一个频率。这样不仅能满足各种无线电设备的需要，而且有利于提高设备的性能。对信号进行变频，是将信号的各分量移至新的频域，各分量的频率间隔和相对幅度保持不变。进行这种频率变换时，新频率等于信号原来的频率与某一参考频率之和或差。该参考频率通常称为本机振荡频率。本机振荡频率可以由单独的信号源供给，也可以由频率变换电路内部产生。当本机振荡由单独的信号源供给时，这样的频率变换电路称为混频器。

混频器常用的非线性器件有二极管、三极管、场效应管和乘法器。本振用于产生一个等幅的高频信号  $V_L$ ，并与输入信号  $V_S$  经混频器后所产生的差频信号经带通滤波器滤出。

本实验采用集成模拟相乘器作混频电路实验。

因为模拟相乘器的输出频率包含有两个输入频率之差或和，故模拟相乘器加滤波器，滤波器滤除不需要的分量，取和频或者差频二者之一，即构成混频器。

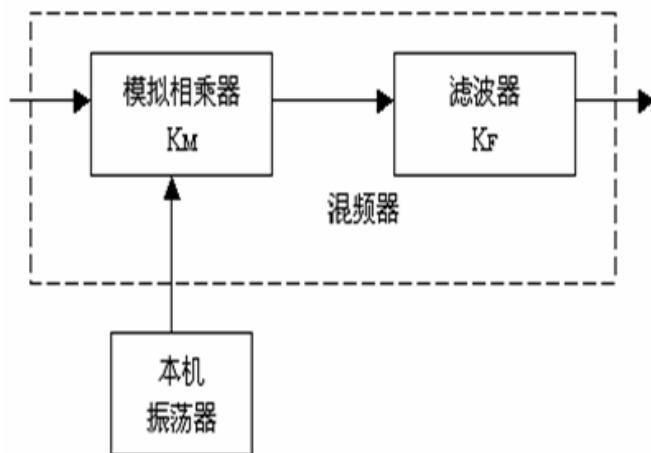


图3 -1 相乘混频方框图

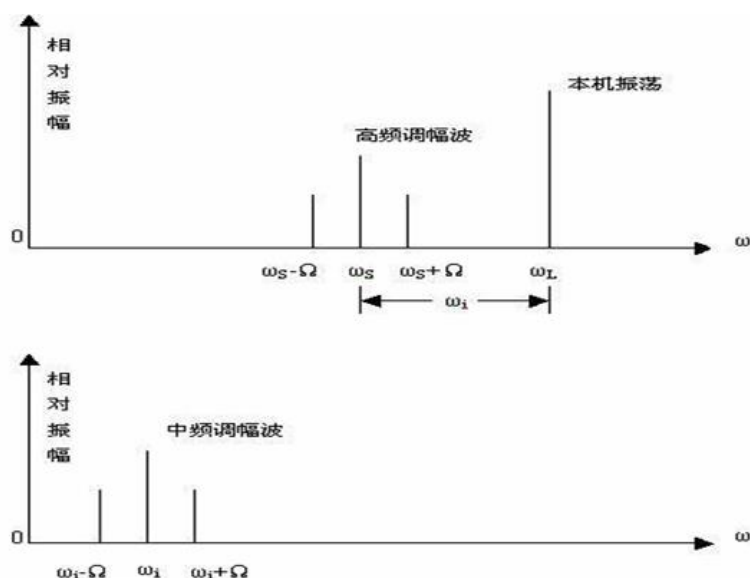


图 3-2 混频前后的频谱图

图 3-1 所示为相乘混频器的方框图。设滤波器滤除和频，则输出差频信号。图 3-2 为信号经混频前后的频谱图。我们设信号是：载波频率为  $f_L$  的普通调幅波。本机振荡频率为  $f_L$ 。

图 3-3 为模拟乘法器混频电路，该电路由集成模拟乘法器 MC1496 完成。MC1496 可以采用单电源供电，也可采用双电源供电。本实验电路中采用 +12V，-8V 供电。R<sub>22</sub> (820Ω)、R<sub>23</sub> (820Ω) 组成平衡电路，F<sub>2</sub> 为 4.5MHz 选频回路。本实验中输入信号频率为  $f_L = 4.2\text{MHz}$ ，本振频率  $f_L = 8.7\text{MHz}$ ，分别从 J<sub>3</sub>，J<sub>4</sub> 口输入。

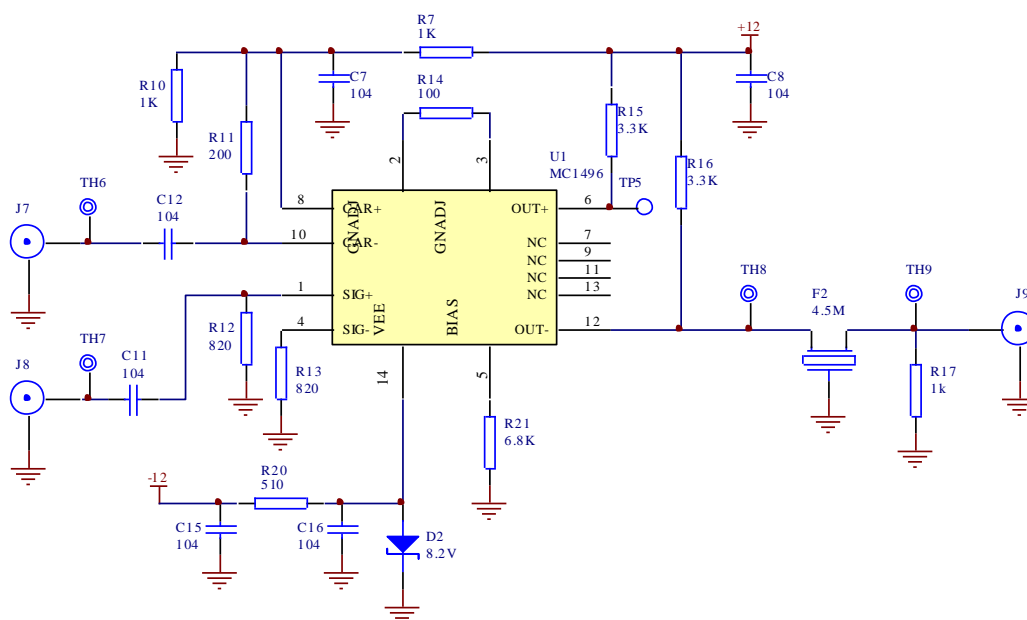


图 3-3 MC1496 构成的混频电路

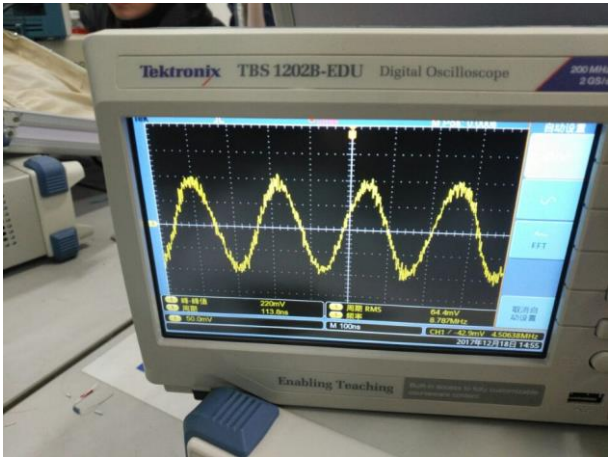
### 3.3 实验步骤

1. 打开本实验单元的电源开关，观察对应的发光二极管是否点亮，熟悉电路

各部分元件的作用。

2.用实验箱的信号源做本振信号，将频率  $f_L=8.7\text{MHz}$ （幅度  $V_{LP-P}=300\text{mV}$  左右）的本振信号从  $J_3$  口处输入（本振输入处），在相乘混频器的输出端  $J_5$  口处观察输出中频信号波形， $TH_6$  处测试观察。

3.将（1 号板提供）的晶体振荡频率  $f_L=4.19\text{MHz}$ （幅度  $V_{SP-P}=150\text{mV}$  左右）的高频信号从相乘混频器的输入端  $J_4$  口输入，用示波器观察输出端  $J_5$  口处中频信号波形的变化， $TH_6$  处测试观察。



4.改变高频信号电压幅度，用示波器观测，记录输出中频电压  $V_i$  的幅值，并填入表 3-1。

$V_{SP-P}(mV)$	150	300	400	500
$V_{iP-P}(mV)$	238	468	580	652

表 3-1

5.改变本振信号电压幅度，用示波器观测，记录输出中频电压  $V_i$  的幅值，并填入表 3-2。

$V_{LP-P}(mV)$	150	300	400	500	600
$V_{iP-P}(mV)$	178	240	258	262	266

表 3-2

7.用频率计测量混频前后波形的频率。

### 3.4 实验仪器

高频实验箱  
双踪示波器

1 台  
1 台

# 实验四 非线性丙类功率放大器实验（模块 3）

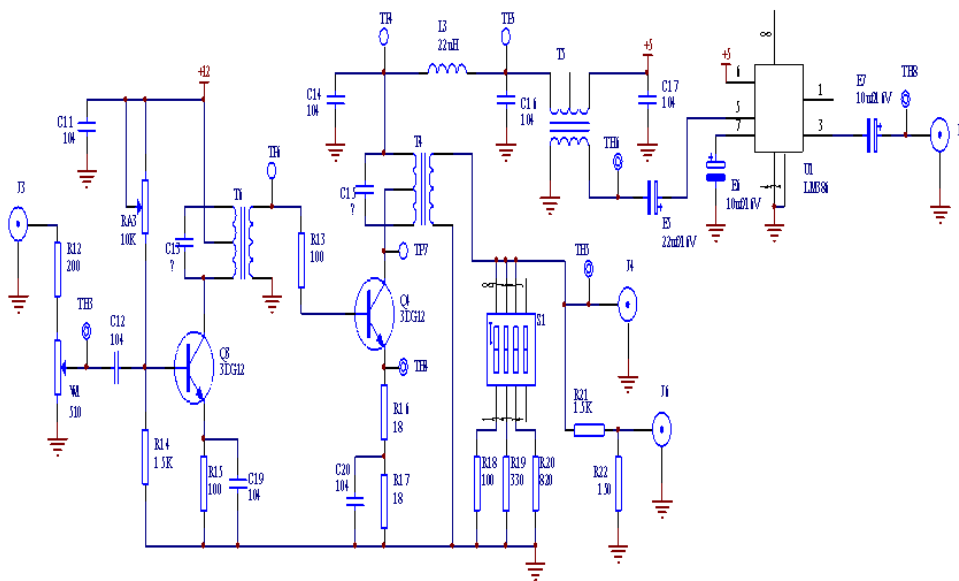
## 4.1 实验目的

了解丙类功率放大器的基本工作原理，掌握丙类放大器的调谐特性以及负载改变时的动态特性。

了解高频功率放大器丙类工作的物理过程以及当激励信号变化对功率放大器工作状态的影响。

比较甲类功率放大器与丙类功率放大器的特点、功率、效率。

## 4.2 实验基本原理



非线性丙类功率放大器通常作为发射机末级功放以获得较大的输出功率和较高的效率。特点：非线性丙类功率放大器通常用来放大窄带高频信号(信号的通带宽度只有其中心频率的 1%或更小)，基极偏置为负值，电流导通角  $\theta < 180^\circ$ ，为了不失真地放大信号，它的负载必须是 LC 谐振回路。

电路原理图如下图所示，该实验电路由两级功率放大器组成。其中  $Q_3$ （3DG12）、 $T_6$  组成甲类功率放大器，工作在线性放大状态，其中  $RA_3$ 、 $R_{14}$ 、 $R_{15}$  组成静态偏置电阻，调节  $RA_3$  可改变放大器的增益。 $W_1$  为可调电阻，调节  $W_1$  可以改变输入信号幅度， $Q_4$ （3DG12）、 $T_4$  组成丙类功率放大器。 $R_{16}$  为射极反馈电阻， $T_4$  为谐振回路，甲类功放的输出信号通过  $R_{13}$  送到  $Q_4$  基极作为丙放的输入信号，此时只有当甲放输出信号大于丙放管  $Q_4$  基极—射极间的负偏压值时， $Q_4$  才导通工作。与拨码开关相连的电阻为负载回路外接电阻，改变  $S_1$  拨码开关的位置可改变并联电阻值，即改变回路 Q 值。

## 4.3 实验步骤

### 1.测试调谐特性

注;做实验之前请将  $S_4$  开关拨下。

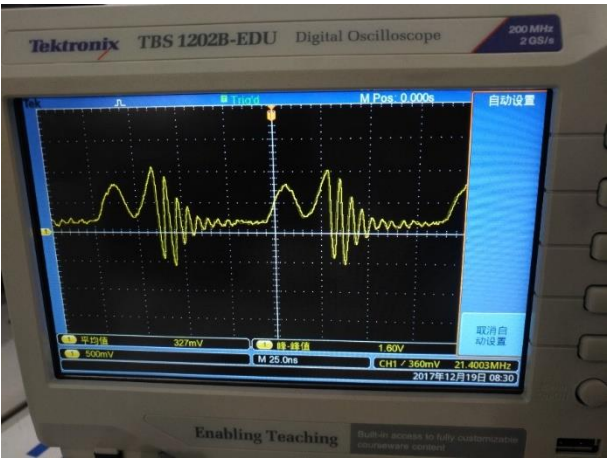
在前置放大电路输入 J<sub>3</sub> 口处输入频率 =10.7MHz( $V_{p-p}\approx 880mV$ )的高频信号, 调节 W<sub>1</sub> 和中周 T<sub>6</sub>, 使 TP<sub>6</sub> 处信号的电压幅值为 3.2V 左右, S<sub>1</sub> 至 S<sub>3</sub> 全部拨下, 改变输入信号频率, 从 9MHz~15MHz (以 1MHz 为步进) 记录 TP<sub>6</sub> 处的输出电压值, 填入表 4-1。

$f_i$	9MHz	10MHz	11MHz	12MHz	13MHz	14MHz	15MHz
$V_0$	1.08	1.80	3.2	2.92	1.56	1.16	0.88

2.测试负载特性

在前置放大电路中输入 J<sub>3</sub> 口处输入频率 =10.7MHz ( $V_{p-p}\approx 880mV$ ) 左右的高频信号, 调节 W<sub>1</sub> 使 TP<sub>6</sub> 处信号约为 3.2V 左右, 调节中周使回路调谐 (调谐标准: TH<sub>4</sub> 处波形为对称双峰)。

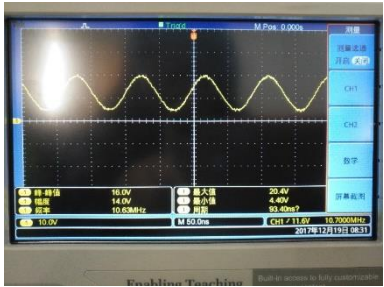
双峰图如下所示:



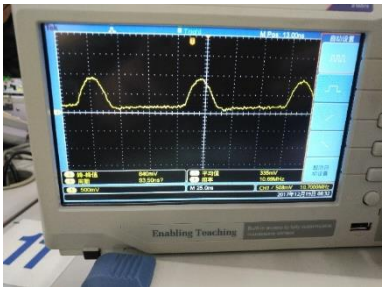
将负载电阻转换开关 S<sub>1</sub> 依次从 1—3 拨动, 用示波器观测相应的 V<sub>c</sub> 值和 V<sub>e</sub> 波形, 分析负载对工作状态的影响。

R <sub>L</sub> (Ω)	820	330	100	∞
V <sub>cP-P</sub> (V)	23.2	21.6	14.0	23.6
V <sub>e</sub> 波形	有失真	有失真	未失真	有失真

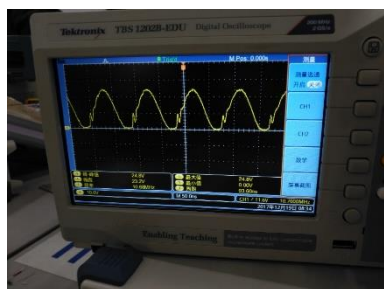
R<sub>L</sub> =100 Ω 时, V<sub>cP-P</sub> 波形图



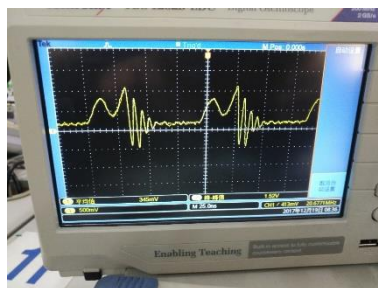
R<sub>L</sub> =100 Ω 时, V<sub>e</sub> 波形图



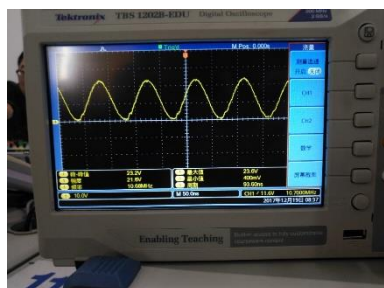
$R_L = 820 \Omega$  时,  $V_{cP-P}$  波形图



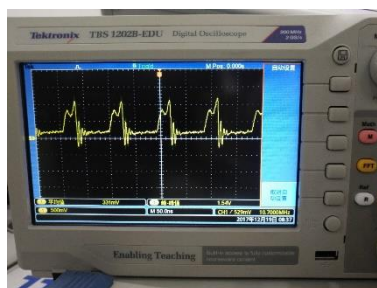
$R_L = 820 \Omega$  时,  $V_e$  波形图



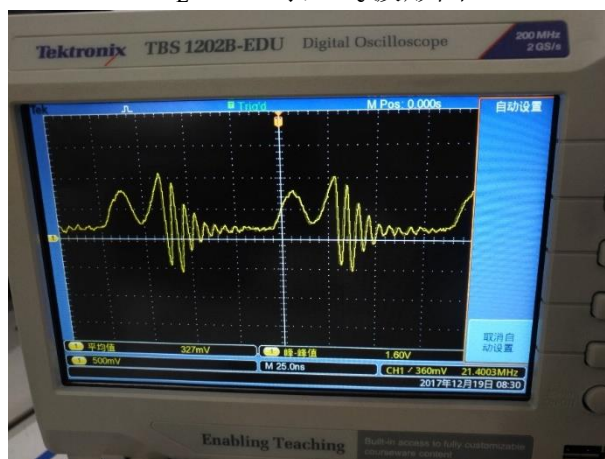
$R_L = 330 \Omega$  时,  $V_{cP-P}$  波形图



$R_L = 330 \Omega$  时,  $V_e$  波形图



$R_L = \infty$  时,  $V_e$  波形图



#### 4.4 实验思考

Q: 对实验参数和波形进行分析, 说明输入激励电压、负载电阻对工作状态的影响。

A: 根据实验波形可以得出当负载慢慢由大变小时, 输出波形依次经历过压状态、临界状态与欠压状态。

当电阻为无穷大或  $820 \Omega$  时, 输出波形呈过压状态,  $V_e$  为双峰, 电阻由  $820 \Omega$  过渡至  $300 \Omega$  时, 过压状态逐渐呈减小状态, 直至电阻达到  $100 \Omega$  时已超越临界状态达到欠压状态, 此时  $V_e$  输出波形为单峰。

由实验数据可得, 在欠压与临界状态下, 输出电压峰峰值随输出负载的增大而增大。



## 4.5 实验仪器

1. 高频实验箱	1 台
2. 双踪示波器	1 台
3. 万用表	1 块

# 实验五 模拟乘法器调幅及同步检波实验

## （AM、DSB、SSB）（模块 5）

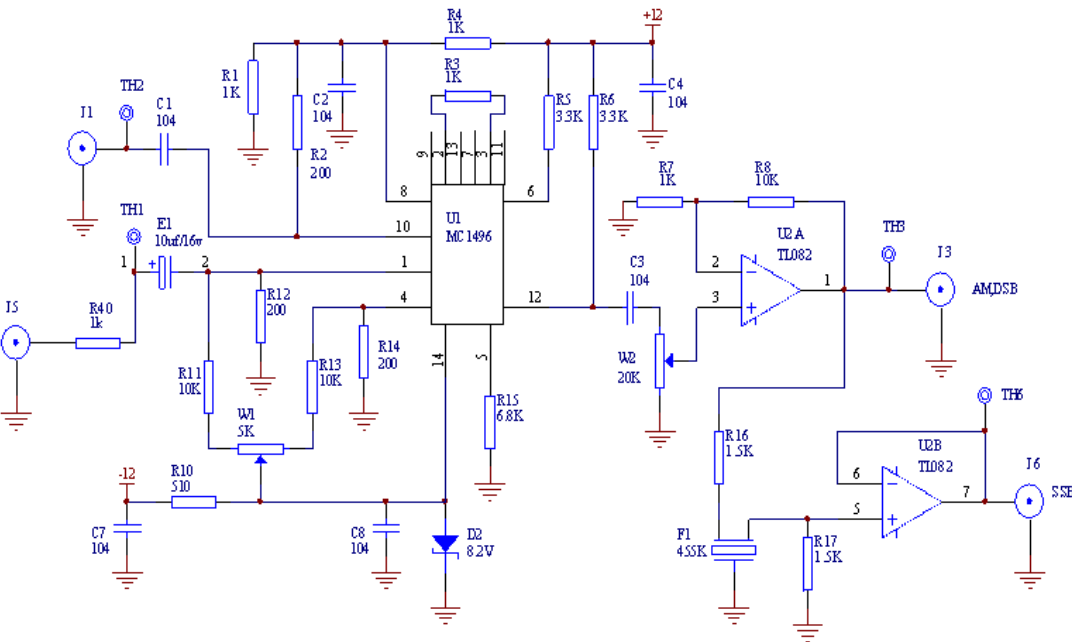
## 5.1 实验目的

- 1.掌握用集成模拟乘法器实现全载波调幅、抑止载波双边带调幅和单边带调幅的方法。
- 2.研究已调波与调制信号以及载波信号的关系。
- 3.掌握调幅系数的测量与计算方法。
- 4.通过实验对比全载波调幅、抑止载波双边带调幅和单边带调幅的波形。

## 5.2 实验原理

幅度调制就是载波的振幅（包络）随调制信号的参数变化而变化。本实验中载波是由高频信号源产生的 465KHz 高频信号，10KHz 的低频信号为调制信号。振幅调制器即为产生调幅信号的装置。

用 MC1496 集成电路构成的调幅器电路图如下图所示。



图中 W<sub>1</sub> 用来调节引出脚 1、4 之间的平衡，器件采用双电源方式供电（+

12V, -8V), 所以 5 脚偏置电阻  $R_{15}$  接地。电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$  为器件提供静态偏置电压, 保证器件内部的各个晶体管工作在放大状态。载波信号加在  $V_1$  -  $V_4$  的输入端, 即引脚 8、10 之间; 载波信号  $V_c$  经高频耦合电容  $C_1$  从 10 脚输入,  $C_2$  为高频旁路电容, 使 8 脚交流接地。调制信号加在差动放大器  $V_5$ 、 $V_6$  的输入端, 即引脚 1、4 之间, 调制信号  $V_\Omega$  经低频耦合电容  $E_1$  从 1 脚输入。2、3 脚外接  $1K\Omega$  电阻, 以扩大调制信号动态范围。当电阻增大, 线性范围增大, 但乘法器的增益随之减小。已调制信号取自双差动放大器的两集电极 (即引出脚 6、12 之间) 输出。

## 5.3 实验步骤

### 1 全载波振幅调制

$J_1$  端输入载波信号  $V_c(t)$ ,  $f_c=465KHz$ ,  $V_{CP-P}=500mV$ , 再从  $J_5$  端口输入调制信号, 其  $f_\Omega=10KHz$ , 当  $V_{\Omega P-P}$  由零逐渐增大时, 则输出信号  $V_O(t)$  的幅度发生变化, 最后出现如图 5-4 所示的有载波调幅信号的波形, 记下 AM 波对应  $V_{mmax}$  和  $V_{mmin}$ , 并计算调幅度  $m$ 。

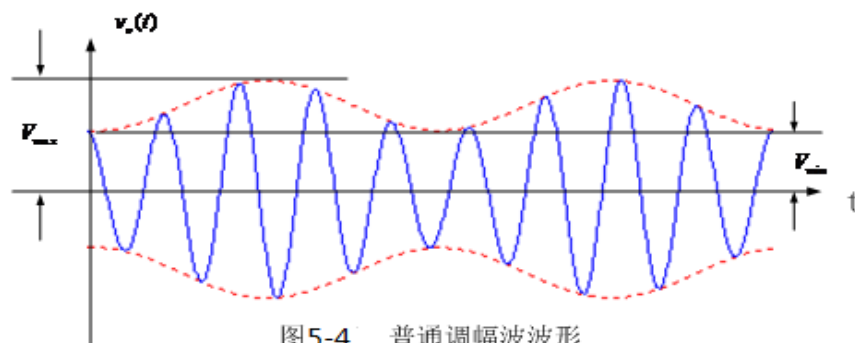


图5-4 普通调幅波形

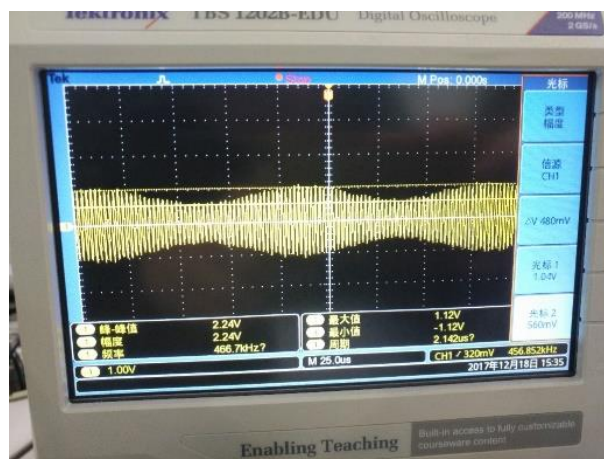
### 2. 集成电路（乘法器）构成解调器, 解调全载波信号

在保持调幅波输出的基础上, 将调幅波和高频载波输入解调乘法器  $J_{11}$  和  $J_8$  端, 用示波器观测解调器的输出, 记录其频率和幅度。

### 5.4 实验结果分析与思考

1. 画出调幅实验中  $m=30\%$ 、 $m=50\%$ 、 $m=80\%$  的调幅波形, 分析过调幅的原因。

$m=30\%$ :





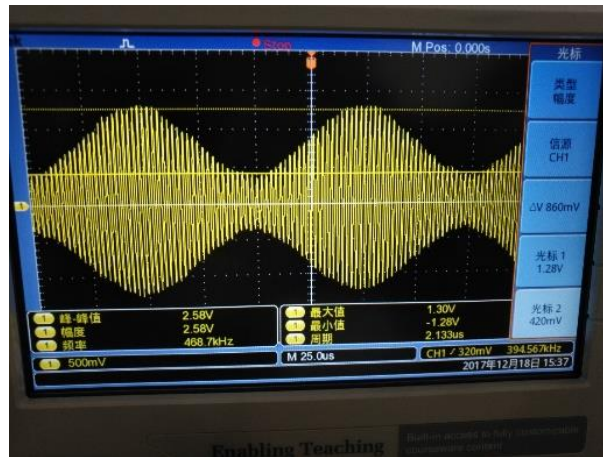
$$V_{max} = 1040mV$$

$$V_{min} = 560mV$$

$$m = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}} = 0.3$$

$$E = \frac{|0.3 - 0.3|}{0.3} = 0$$

m=50%



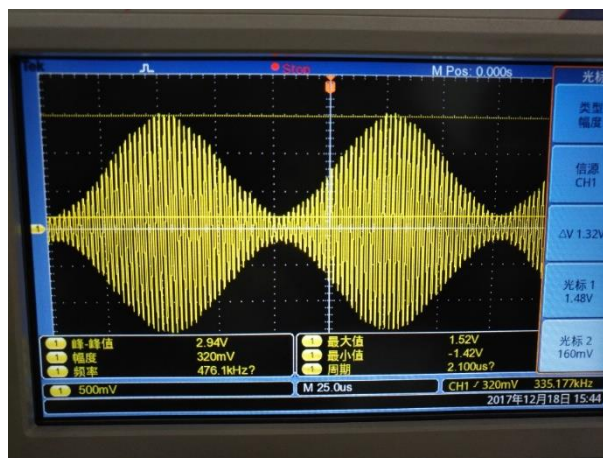
$$V_{max} = 1.28V$$

$$V_{min} = 0.42V$$

$$m = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}} = 0.51$$

$$E = \frac{|0.51 - 0.5|}{0.5} = 2\%$$

m=80%



$$V_{max} = 1.46V$$

$$V_{min} = 160mV$$

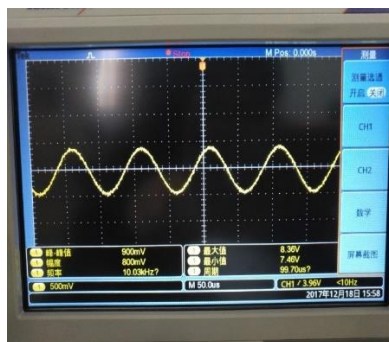
$$m = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}} = 0.802$$

$$E = \frac{|0.802 - 0.8|}{0.8} = 0.25\%$$

**过调幅原因：**调制波存在小于 0 的幅度，使得载波相乘时，小于 0 的部分会被翻到 y 轴正半轴，产生失真。

2.画出全载波调幅波形

解调：



## 5.5 实验仪器

- |         |     |
|---------|-----|
| 1.高频实验箱 | 1 台 |
| 2.双踪示波器 | 1 台 |
| 3.万用表   | 1 块 |

# 综合实验 半双工调频无线对讲机

## 6.1 实验目的

在模块实验的基础上掌握调频发射机、接收机，整机组成原理，建立调频系统概念。

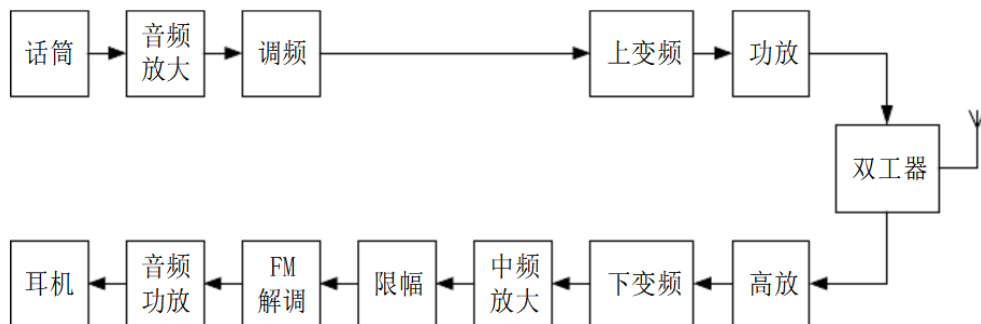
掌握系统联调的方法，培养解决实际问题的能力。

## 6.2 实验内容

- 完成调频发射机整机联调。
- 完成调频接收机整机联调。
- 进行调频发送与接收系统联调。

## 6.3 实验电路说明

半双工调频无线对讲机系统框图



该调频发射、接收机组成原理框图如图所示，发射机由音频信号发生器，音频放大，调频、上变频、功放等电路组成。接收机则由高放，下变频、中频放大、限幅、FM 解调、音频功放、耳机等部分组成。

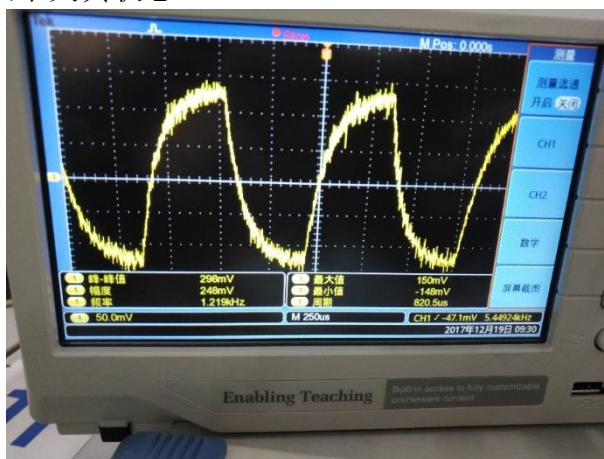
## 6.4 实验原理与步骤步骤

### （一）FM 发射机实验：

**原理：**发信电路包括：音频发生器、音频放大、调频、上变频与发射功放等电路组成。

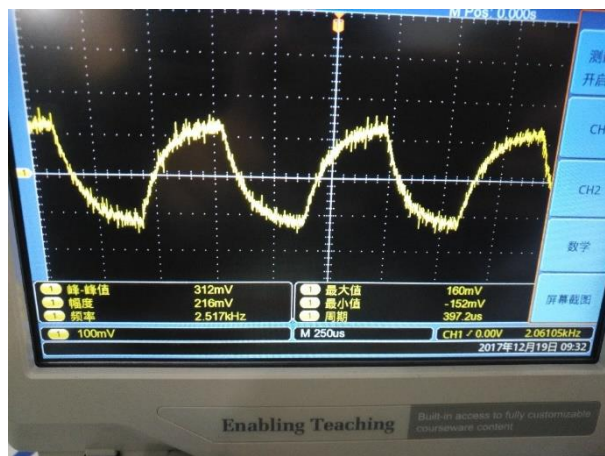
首先由模块一产生所需发射的音频信号。经过音频放大器将其放大，进行调频至 12.5MHz 后经过高频放大器进行信号放大后由天线发射出去。而后为减小传输损耗，发射信号应达到最大不失真，输出信号有静态工作点控制。

1.将模块 1 的  $S_6$  拨上，即选通音乐信号，经  $U_4$  放大从  $J_5$  口输出，调节  $W_3$  使  $J_5$  口处信号为最大不失真状态。

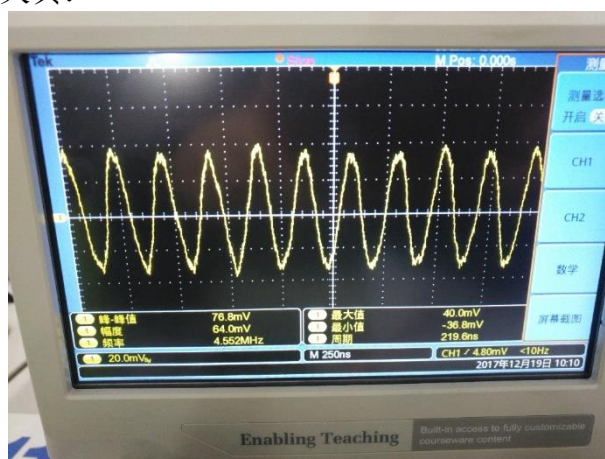


2.将模块 1 的  $J_5$  口通过开关  $S_5$  切换连接到模块 1 的  $J_2$  口， $TH_2$  处测试音乐信号,将模块 1 的  $S_1$ 、 $S_3$  均拨上，调节  $CC1$  使  $J_1$  端输出频率接近 4.5MHz 的调频信号（可在  $TH_1$  处观测），调节  $W_2$  和中周  $T_1$  使波形达到最大不失真状态。

TH<sub>2</sub> 处音乐信号:



4.5MHz 最大不失真:



3.将模块1的J1连接到模块2的J6,另将信号源频率8MHz (VP-P≈500mV)的信号从模块2的J7口输入,经平衡混频可得到12.5MHz左右的高频信号(可在TH9处观测)。

**混频原理:** 中频信号在传输过程中受干扰大,需要由混频转化为高频信号,混频的作用就是将输入已调信号频谱不失真地从  $f_c$  搬移到  $f_i$  的位置上。

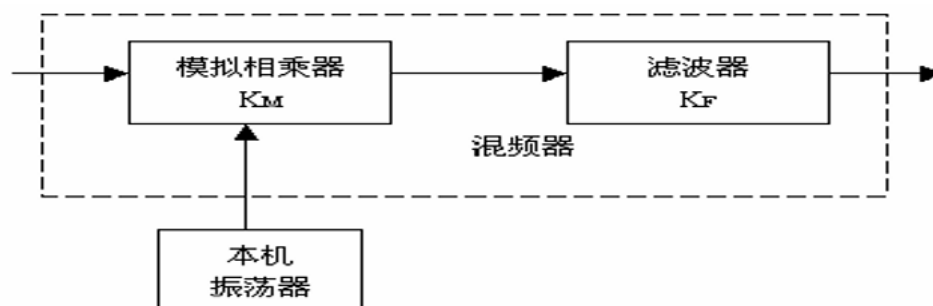


图4 - 1 相乘混频方框图

假设输入信号为:

$$V_{in} = V_m \cos \omega_c t$$

本机振荡信号为:

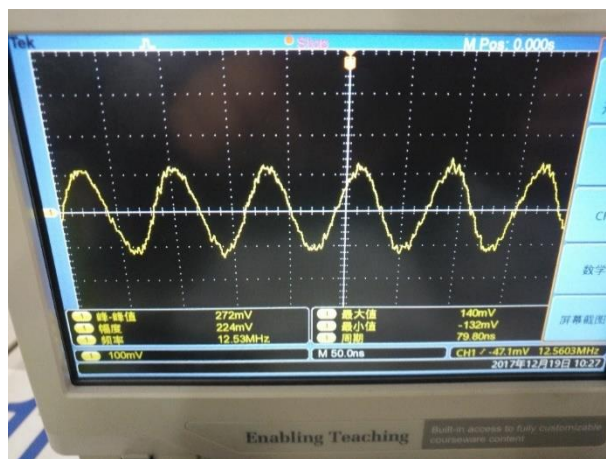
$$V_L = V_{mL} \cos w_s t$$

因此:

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{in} V_L = V_m V_{mL} \cos w_c t \cos w_s t \\ &= \frac{1}{2} V_m V_{mL} (\cos(w_c t - w_s t) - \cos(w_c t + w_s t)) \end{aligned}$$

此信号经由滤波器后可输出 12.5MHz 所需高频信号。

12.5MHz:



4.将模块 2 的 J<sub>8</sub> 口连到模块 3 的 J<sub>3</sub> 口, 从 TH<sub>5</sub> 可观测到放大后的 12.5MHz 高频信号, 将已放大的高频信号从模块 3 的 S<sub>4</sub> 切换拨上送到天线发送出去。

**功率放大原理:** 小信号谐振放大器是通信机接收端的前端电路, 主要用于高频小信号或微弱信号的线性放大。该电路由晶体管与选频回路两部分组成。对高频小信号有放大和选频作用。本实验中输入信号的频率  $f_s = 12.5\text{MHz}$ 。基极偏置电阻与射极电阻决定晶体管的静态工作点。可通过静态工作点改变放大器的增益。

#### 1. 谐振频率

放大器的调谐回路谐振时所对应的频率  $f_0$  称为放大器的谐振频率,  $f_0$  的表达式为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\sum C}}$$

式中,  $L$  为调谐回路电感线圈的电感量;

$C_\Sigma$  为调谐回路的总电容,  $C_\Sigma$  的表达式为:

$$\sum C = C + P_1^2 C_{oe} + P_2^2 C_{ie}$$

( $C_{oe}$  为晶体管的输出电容;  $C_{ie}$  为晶体管的输入电容;  $P_1$  为初级线圈抽头系数;  $P_2$  为次级线圈抽头系数)

#### 2. 电压放大倍数

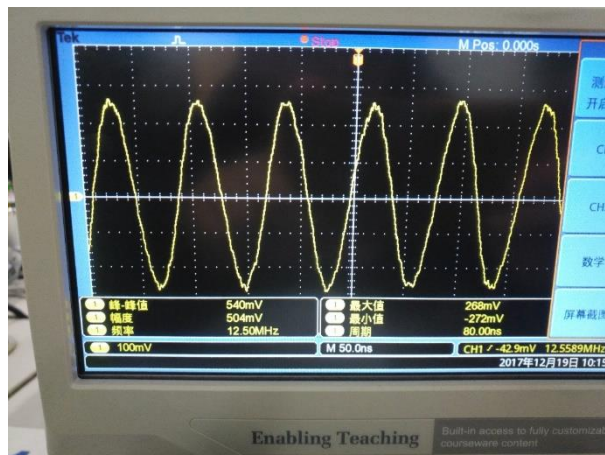
放大器的谐振回路谐振时, 所对应的电压放大倍数  $A_{V0}$  称为调谐放大器的电压放大倍数。  $A_{V0}$  的表达式为

$$A_{V0} = -\frac{v_0}{v_i} = \frac{-p_1 p_2 y_{fe}}{G + P_1^2 g_{oe} + P_2^2 g_{ie}}$$



( $g_{\Sigma}$  为谐振回路谐振时的总电导)

放大后信号:



## (二) FM 接收机实验:

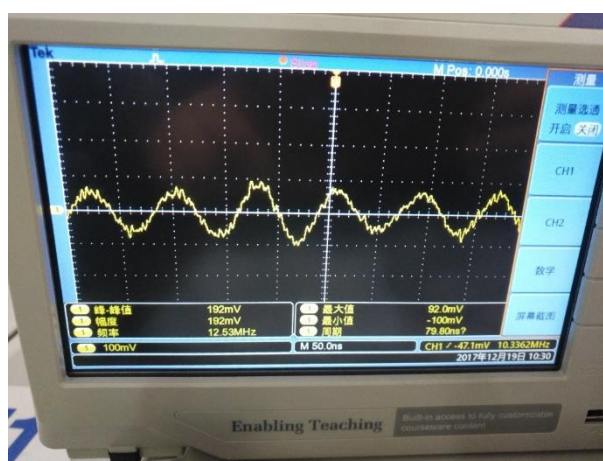
**接收原理:** 收信电路包括: 高放、下变频、中频放大, 限幅、FM 解调、音频功放等部分。

收信时, 先由高频放大天线接收信号, 再进行混频由 12.5MHz 调频至 4.5MHz, 产生中频信号; 经过中频放大器后, 送入鉴频器进行解调, 解调出音频信号。最终音频信号由音频功率放大器放大后发出声响。

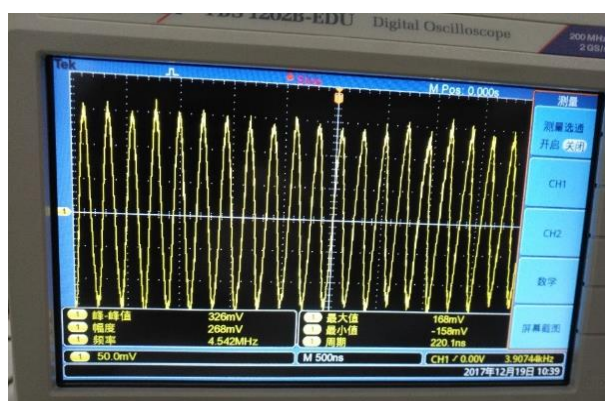
1. 将模块 1 天线接收到的信号通过  $S_7$  开关切换送入到模块 1 的  $J_3$ , 从  $TH_4$  处可观测到放大后的天线接收到的信号, 将放大的高频信号从模块 1 的  $J_4$  连接到模块 2 的  $J_3$ , 将信号源频率为 8MHz 的本振信号 (约 500mV 左右) 从模块 2 的  $J_4$  输入, 调整本振频率使得混频输出为 4.5M 的中频信号 (可在  $TH_6$  处观测)。

高频放大与混频原理如上文所示:

$TH_4$  处放大信号:

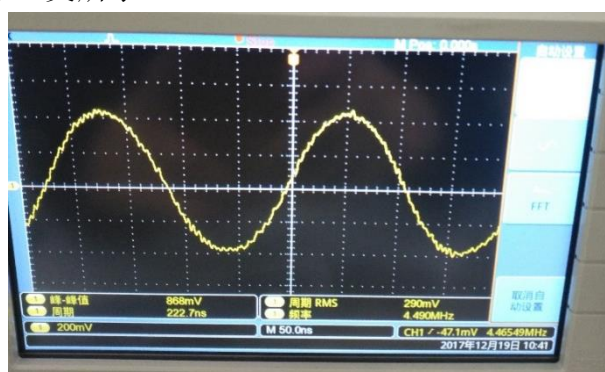


TH<sub>6</sub> 处 4.5MHz 中频信号:



2.将混频后的信号从 J<sub>5</sub> 处送入模块 2 的 J<sub>1</sub> 端口, 可在 TH<sub>3</sub> 处观测到经选频放大后的 4.5MHz 中频信号, 放大后的中频信号从模块 2 的 J<sub>2</sub> 口输出。

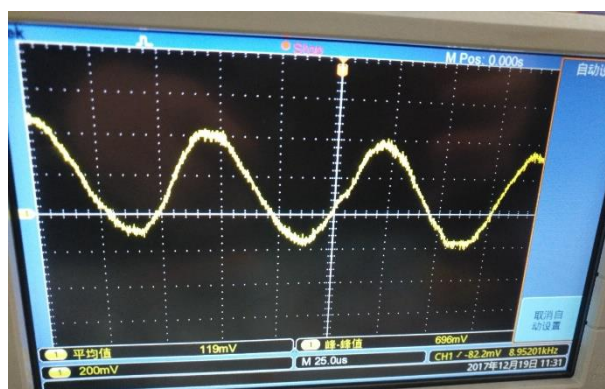
功率放大原理如上文所示:



3.将模块 2 的 J<sub>2</sub> 连到模块 4 的正交鉴频的输入端 J<sub>6</sub>, 适当调节 L<sub>1</sub>, 可从 TH<sub>7</sub> 处观测到解调后的信号。

**鉴频原理:** 鉴频的作用是从已调波中检出反映在频率变化上的调制信号。

在调频接收机中, 当等幅调频信号通过鉴频前各级电路时, 因电路频率特性不均匀而导致调频信号频谱结构的变化, 从而造成调频信号的振幅发生变化。如果存在着干扰, 还会进一步加剧这种振幅的变化。鉴频器解调这种信号时, 上述寄生调幅就会反映在输出解调电压上, 产生解调失真。因此, 一般必须在鉴频前加一限幅器以消除寄生调幅, 保证加到鉴频器上的调频电压是等幅的。可见, 限幅与鉴频一般是连用的, 统称为限幅鉴频器。



---

将模块 4 的  $J_7$  连到模块 4 的  $J_{11}$ ，经放大后的信号从模块 4 的  $J_{12}$  口连接到模块 6 的  $J_6$  口输入到喇叭，可适当调节模块 4 的  $W_1$  和模块 4 的  $L_1$ ，使耳机听到的声音音质清晰。

## 6.5 实验报告要求

写出实验目的和任务

画出调频发射机组成框图对应点的实测波形和大小

写出调试中遇到的问题，并分析说明

## 6.6 实验仪器

- |          |     |
|----------|-----|
| 1. 高频实验箱 | 1 台 |
| 2. 双踪示波器 | 1 台 |

## 实验反思与总结

1. 首先在实验过程中调频总是不稳定，后发现是由于信号发生器与示波器的连接线接反了，信号发生器的连接线自带延时功能，因此若两线接反，对最终输出有较大影响。
2. 实验过程中，涉及到调节中轴的过程如载波的产生、功放的选频等并不顺利，是由于调节过快，没有仔细观察，在后来的实验中两人便可以较为熟练的调节了，此外，调节的过程中还应注意静态工作点，否则很难调到稳定的位置。
3. 总结：本次实验通过一系列模块的应用和最后的总体设计，使我对高频原理有了更直观的印象，尤其是在各自的模块中，各部件的作用与之间的关联到底使什么，如静态工作点在振荡电路中使整个电路的起振条件，一定要保证合理的起振位置，让我更清晰地了解了高频设计中应该考虑与分析的模块，收益颇深。