



电子、信息与通信工程专业系统实验系列之 8

# 高频电路实验平台 实验指导书 TLS-G205

江苏盛泰信通科技发展有限公司

## 表一 实验模块列表

模块序号	模块名称
1.	单调谐放大器
2.	双调谐放大器
3.	LC 振荡器
4.	晶体三极管混频器
5.	晶体振荡器
6.	集成乘法器混频电路
7.	集成乘法器幅度调制电路
8.	集成乘法器幅度解调电路
9.	中频放大器
10.	晶体管二极管检波与 AGC 电路
11.	高频功率放大器
12.	变容二极管调频电路
13.	集成锁相\频率合成\调频电路
14.	电容耦合相位鉴频与斜率鉴频
15.	锁相环鉴频器
16.	*脉冲计数式鉴频器（选配）
17.	*二极管环形混频器（选配）

# 目 录

实验一 单调谐放大器.....	4
实验二 双调谐放大器.....	8
实验三 电容三点式 LC 振荡器.....	11
实验四 石英晶体振荡器.....	15
实验五 晶体三极管混频实验.....	18
实验六 集成乘法器混频器实验.....	21
实验七 中频放大器.....	23
实验八 集成乘法器幅度调制电路.....	25
实验九 振幅解调电路（包络检波、同步检波）.....	31
实验十 高频功率放大与发射实验.....	39
实验十一 变容二极管调频器.....	46
实验十二 斜率鉴频与相位鉴频器.....	49
实验十三 锁相、频率合成与频率调制.....	52
实验十四 锁相环鉴相器.....	56
实验十五 自动增益控制（AGC）.....	59
实验十六 二极管环形混频器.....	62
实验十七 脉冲计数式鉴频器.....	65
实验十八 调幅发射机实验.....	67
实验十九 调幅接收机实验.....	68
实验二十 调幅系统整机联调.....	70
实验二十一 调频发射机实验.....	73
实验二十二 调频接收机实验.....	75
实验二十三 调频系统整机联调.....	77

# 实验一 单调谐放大器

## 一、实验目的

1. 熟悉电子元器件和高频电子线路实验系统；
2. 掌握单调谐放大器幅频特性的测量方法；
3. 熟悉单调谐放大器静态工作点的测量方法，以及单调谐放大器静态工作点对单调谐放大器幅频特性的影响；
4. 熟悉集电极负载对单调谐放大器幅频特性（包括电压增益、通频带、品质因数  $Q$  值）的影响。

## 二、实验原理

### 1. 电路与工作原理

原理电路如图 1-1 所示：单调谐放大器是通信接收单元的前端电路，主要用于高频小信号或微弱信号的线性放大和选频。

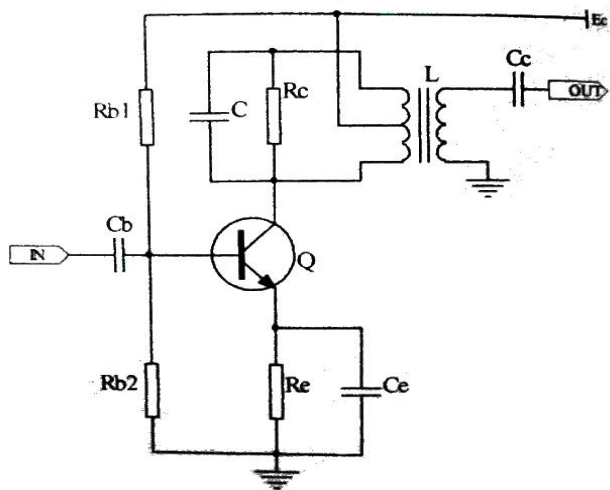


图 1-1 单调谐放大器原理电路

图中分压电阻  $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$ 、 $R_e$  用以保证晶体管工作于放大区域，从而放大器工作于甲类状态。 $C_e$  是  $R_e$  的旁路电容， $C_b$ 、 $C_c$  是输入、输出耦合电容， $L$ 、 $C$  是谐振回路元件， $R_c$  是集电极（交流）负载电阻，它决定回路的  $Q$  值和带宽。为了减轻晶体管集电极电阻和下一级负载对回路品质因数  $Q$  值的影响，均采用部分回路接入方式。

## 2. 实验电路

如图 1-2 所示，可调电容 1VC01 用来调谐，可调电位器 1W01 用以改变基极偏置电压，以观察放大器直流静态工作点变化对单调谐放大器（包括电压增益、带宽、Q 值）的影响；单刀双掷开关 1K01 用以改变集电极电阻，以观察集电极负载变化对单调谐放大器（包括电压增益、带宽、Q 值）的影响。第二级电路 1Q02 为射极跟随器，主要用于提高带负载能力。

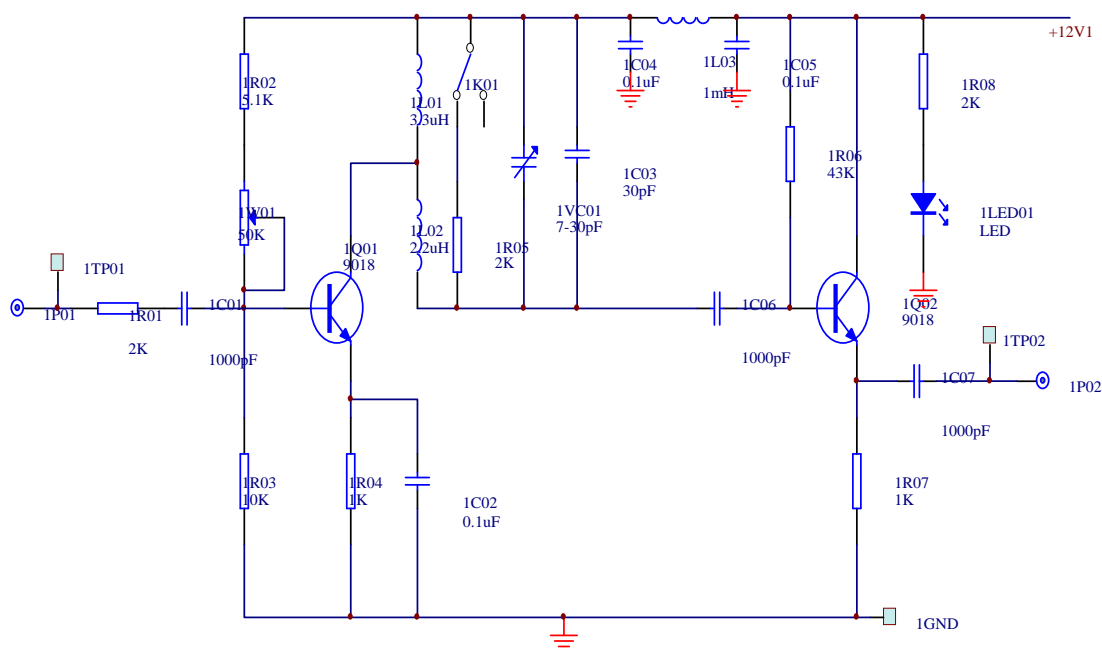


图 1-2 单调谐回路谐振放大器实验原理图（改图，做成图片）

## 三、实验内容

1. 用示波器观察单调谐放大器的谐振特性，绘制幅频特性曲线；
2. 用示波器观察静态工作点对单调谐放大器幅频特性的影响；
3. 用示波器观察集电极负载对单调谐放大器幅频特性的影响。

## 四、实验步骤

### （一）实验模块上电

将单调谐放大器模块①插在实验箱的主板上，接通实验箱右侧电源开关，打开模块上电源开关，接通电源，此时电源指示灯亮。

### （二）单调谐回路谐振放大器幅频特性测量

测量幅频特性通常有两种方法，即扫频法和点测法。扫频法简单直观，指保持 DDS 信号源输出信号的幅度不变，调整输出频率，利用示波器观察单调谐放大特输出电压幅度，画出单调谐放大器的幅频特性曲线。点测法，指保持输入信号幅度和频率均不变，改变 LC 回路中的可调电容，测出与频率相对应的单调谐放大器的输出电压幅度，画出单调谐放大器的幅频特性。**本实验采用扫频法。**

1. 将 1K01 置“off”位，断开集电极电阻 1R05，调整 1W01，使 1Q01 放大器工作于线性放大状态。DDS 信号源输出连接到单调谐放大器的输入端（1P01）。示波器 CH1 接放大器的输入端 1TP01，按照表 1- 2，保持 DDS 信号源输出幅度为 300mv，逐步改变频率（参考谐振频率为 7.5MHZ 左右），从示波器上读出相对应的单调谐放大器的电压幅值，并把数据填入表中。

表 1-1

DDS 输出信号频率 $f$ (MHz)																	
输出电压幅值 $U$ (mV)																	

### 2. 观察静态工作点对单调谐放大器幅频特性的影响

顺时针调整 1W01（此时 1W01 阻值增大），使 1Q01 基极直流电压改变，从而改变静态工作点。可以发现：当 1W01 加大时，由于  $ICQ$  减小，幅频特性幅值会减小，同时曲线变“瘦”（带宽减小）；而当 1W01 减小时，由于  $ICQ$  加大，幅频特性幅值会加大，同时曲线变“胖”（带宽加大）。

### 3. 观察集电极负载对单调谐放大器幅频特性的影响

当单调谐放大器处于放大状态下，按照上述幅频特性的测量方法测出接通与不接通 1R05 的幅频特性曲线。可以发现：当不接 1R05 时（集电极负载增大），幅频特性幅值加大，曲线变“瘦”，品质因数  $Q$  值增高，带宽减小。而当接通 1R05

时（集电极负载减小），幅频特性幅值减小，曲线变“胖”，品质因数  $Q$  值降低，带宽加大。

## 五、实验报告

1. 按照表 1-1，以频率为横轴，电压幅值为纵轴，画出单调谐放大器的幅频特性曲线。

2. 分析实验数据，说明静态工作点变化对单调谐放大器幅频特性的影响，并画出相应的幅频特性。

3. 分析实验数据，说明集电极负载变化对单调谐放大器幅频特性的影响，并画出相应的幅频特性。

4. 总结本实验体会。

## 实验二 双调谐放大器

### 一、实验目的

1. 熟悉电子元件和高频电子线路实验系统；
2. 掌握耦合电容对双调谐放大器幅频特性的影响；
3. 掌握双调谐放大器动态范围的概念和测量方法。

### 二、实验原理

#### 1. 电路与工作原理

如图 2-1 所示，双调谐放大器有两个 LC 调谐回路：一个靠近“信源”端（晶体管输出端），称为初级；另一个靠近“负载”端（下级输入端），称为次级。两者之间采用互感耦合或电容耦合。与单调谐放大器相比，双调谐放大器的矩形系数较小，谐振特性曲线更接近于矩形。

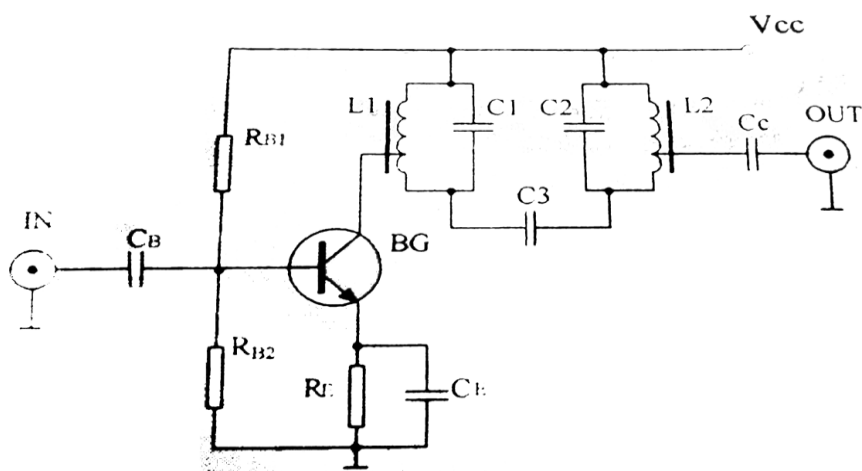


图 2-1 双调谐放大器原理电路

#### 2. 实验电路

双调谐放大器电路如图 2-2 所示，基本部分与图 2-1 相同，可调电容 2VC01、2VC02 用来对初、次级回路调谐，2K01 用以改变耦合电容数值，2W01 用来改变



2Q01 的基极偏置电压，天线 2ANT01 接收无线信号，2Q02 用来对双调谐选出的信号进一步放大。

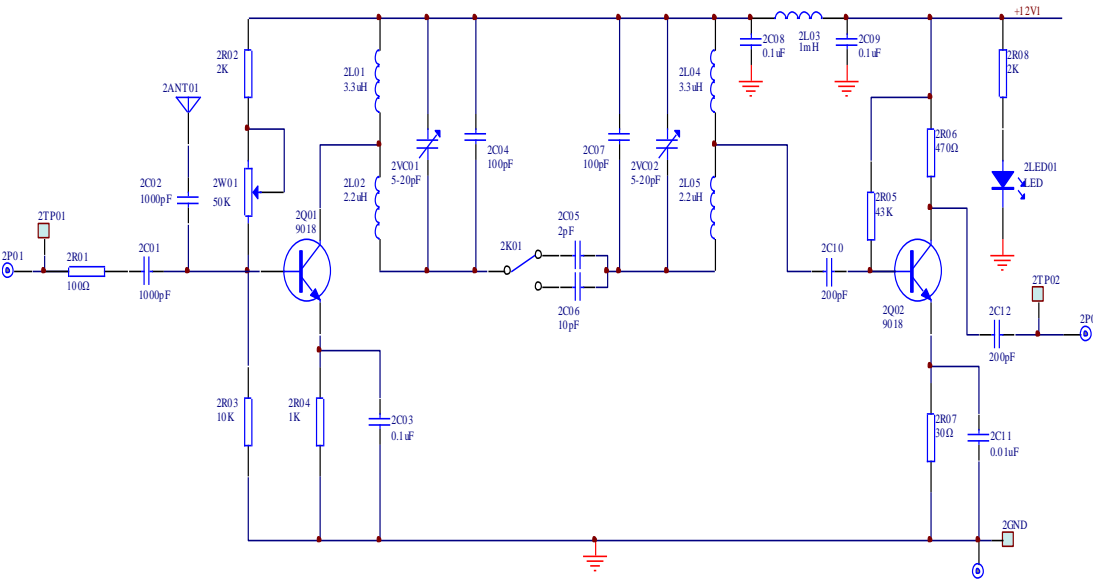


图 2-2 双调谐放大器实验电路

### 三、实验内容

1. 测量双调谐放大器的幅频特性；
2. 用示波器观察耦合电容对双调谐放大器幅频特性的影响；
3. 用示波器观察双调谐放大器的动态范围。

### 四、实验步骤

#### （一）模块上电

将双调谐放大器模块②接通电源。

#### （二）双调谐放大器幅频特性测量

本实验仍采用扫频法，即保持输入信号幅度不变，改变信号频率，测出与频率相对应的双调谐放大器的输出电压幅度，画出双调谐放大器的幅频特性。

1. 将 2K01 往右拨，接通 2C06 (10PF)。将 DDS 信号源设置为 7.1MHZ (参

考频率)，幅度 500mv 的正弦波，接入 2P01。示波器 CH1 接 2TP01，示波器 CH2 接 2TP02。

2. 按照表 2-1 保持 DDS 信号源输出幅度为 500 mv，改变信号频率 f，从示波器 CH2 上读出相对应的双调谐放大器的电压幅度值，并把数据填入表中。

表 2-1

输入信号频率 f (MHZ)	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5
输出幅值 U (mv)										

3. 2K01 拨向左方，接通 2C05 (2PF)，保持 DDS 信号源输出幅度为 500 mv，改变信号频率 f，从示波器 CH2 上读出电压幅度值，画出幅频特性曲线。

4. 放大器动态范围测量

将 2K01 拨向右方，接通 2C06 (10PF)，按照表 2-1，DDS 信号源的输出频率不变（参考谐振频率 7.1MHZ），改变电压幅度，读取放大器输出电压幅度值，并把数据填入表中，计算放大器电压放大倍数。可以发现，当放大器输入增大到一定数值时，放大倍数开始下降，输出波形开始失真。

表 2-2

输入(mv)	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
输出 (V)											
A(U)											

五、实验报告

- 1. 按表 2-1，以频率为横轴，幅度为纵轴，画出双调谐放大器幅频特性曲线。
- 2. 说明耦合电容分别为 2C05 和 2C06 两种情况下幅频特性曲线的优缺点。
- 3. 画出双调谐放大器电压放大倍数与输入电压幅度之间的关系曲线。解释输入幅度增大到一定程度时输出波形发生变化原因。

## 实验三 电容三点式 LC 振荡器

### 一、实验目的

1. 掌握电容三点式 LC 振荡电路的实验原理；
2. 了解静态工作点、耦合电容、反馈系数、品质因数  $Q$  值对振荡器振荡幅度和频率的影响；
3. 了解负载变化对振荡器振荡幅度的影响。

### 二、实验原理

#### 1. 电路与工作原理

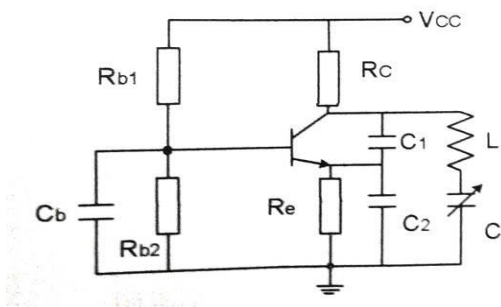


图 3-2 克拉泼振荡电路

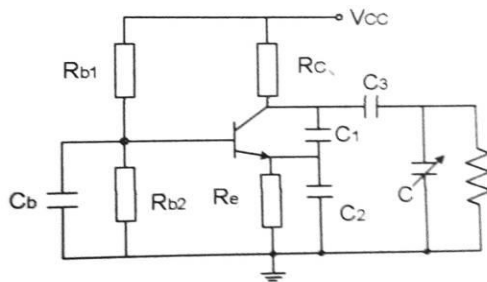


图 3-3 西勒振荡电路

(1) 图 3-2 克拉波电路中，串联电容  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C$  构成总电容。因为  $C_1$  ( $300\text{p}$ )  $\gg C$  ( $75\text{p}$ )， $C_2$  ( $1000\text{P}$ )  $\gg C$  ( $75\text{p}$ )，故总电容约等于  $C$ ，所以振荡频率主要由  $L$  和  $C$  决定。

(2) 图 3-3 西勒振荡电路中，电容  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  的串联值后与电容  $C$  相并。因为  $C_1$  ( $300\text{p}$ )  $\gg C_3$  ( $75\text{p}$ )， $C_2$  ( $1000\text{P}$ )  $\gg (75\text{p})$ ，故总电容约等于  $C+C_3$ ，所以振荡频率主要由  $L$ 、 $C$  和  $C_3$  决定。

反馈系数  $F=F_1:F_2$ ，反馈系数  $F$  不宜过大或过小，一般经验数据  $F \approx 0.1 \sim 0.5$ ，本实验取  $0.3$ 。

## 2. 实验电路

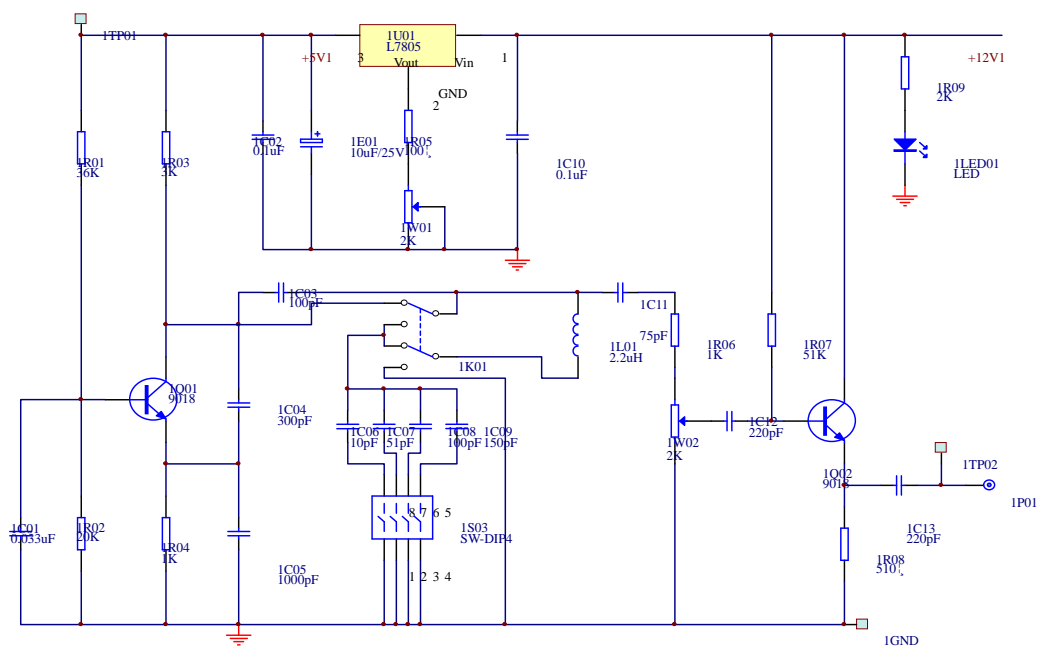


图 3-4 LC 振荡器实验电路

如图 3-4 所示，1K01 打到“串 S”位置时，为改进型克拉泼振荡电路；打到“并 P”位置时，为改进型西勒振荡电路。开关 1S03 控制回路电容的变化；调整 1W01 可改变振荡器三极管的电源电压；1Q02 为射极跟随器，1TP02 为振荡器直流电压测量点，1W02 用来改变输出幅度。

## 三、实验内容

1. 测量“并 P”西勒振荡电路幅频特性；
2. 测量“串 S”克拉泼振荡电路幅频特性；
3. 测量波段覆盖系数。

## 四、实验步骤

### （一）模块上电

将 LC 振荡器模块③接通电源，即可开始实验。

### （二）测量振荡电路的幅频特性

#### 1. 西勒振荡电路的幅频特性

将 1K01 拨至“并 P”侧，此时振荡电路为西勒电路。示波器接 1TP02，频率计接 1P01。调整 1W02，使输出适中。1S03 分别控制 1C06（10P）、1C07（50P）、1C08（100P）、1C09（150P）接入电路，开关往上拨为接通，往下拨为断开，四个开关接通的不同组合，可以控制电容的变化。按照表 3-1，将测量结果记于表中。选择 C（150pF）时，分别顺时针调整 1W01 和 1W02，观察波形变化。注：如果在开关转换过程中振荡器停振，可调整 1W01，使之恢复振荡。

表 3-1

电容 C（pF）	10	50	100	150	200	250	300	350
西勒振荡频率 （MHz）								
输出电压 V <sub>p-p</sub> （V）								
克拉泼振荡频率 （MHZ）								
克拉泼输出电压 V <sub>p-p</sub> （V）								

#### 2. 克拉泼振荡电路的幅频特性

将 1K01 拨至“串 S”位，振荡电路转换为克拉泼电路。按照上述方法，测出振荡频率和输出电压，并将测量结果记于表 3-1 中。选择 C（150pF）时，分别顺时针调整 1W01 和 1W02，观察波形变化。

#### 3. 测量波段覆盖系数

波段覆盖即调谐振荡器的频率范围，其大小通常以波段覆盖系数  $K$  表示：

$$K = \frac{f_{\max}}{f_{\min}}。$$

**测量方法：**根据测量的幅频特性，以输出电压最大点的频率为基准，即为一边界频率，再找出输出电压下降至一半的频率，即为另一边频率，如图 3-5、图 3-6 所示，再由公式求出  $K$ 。

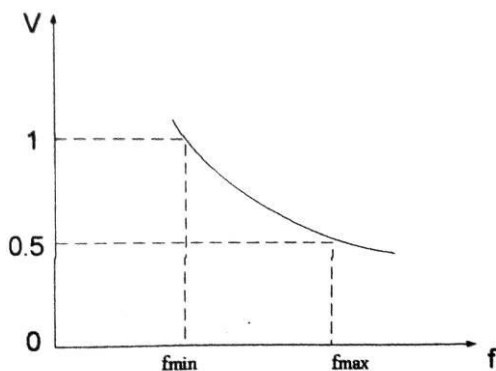


图 3-5

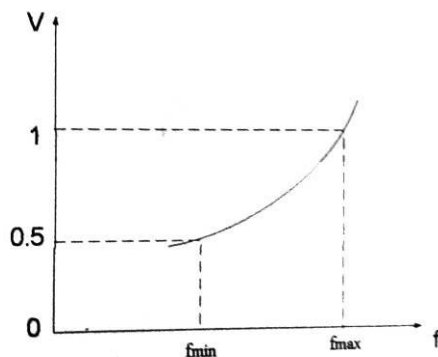


图 3-6

## 五、实验报告

1. 分别绘制西勒振荡器、克拉泼振荡器的幅频特性曲线，并分析比较。
2. 选择  $C$  为  $150\text{pF}$  时，分别顺时针调整  $1W01$  和  $1W02$ ，说明波形变化原因。
3. 根据测试数据，分别计算克拉泼振荡器、西勒振荡器的波段覆盖系数  $K$ 。
4. 总结实验体会。

## 实验四 石英晶体振荡器

### 一、实验目的

1. 熟悉石英晶体振荡器的基本工作原理；
2. 掌握静态工作点对晶体振荡器工作的影响；
3. 掌握晶体振荡器频率稳定度高的特点，了解晶体振荡器工作频率微调的方法。

### 二、实验原理

#### 1. 电路与工作原理

一种晶体振荡器的交流通路如图 4-1 所示，若将晶体短路，则  $L_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$  就构成了典型的电容三点式振荡器（考毕兹电路）。因此，图 4-1 的电路是一种典型的串联型晶体振荡器电路（共基接法）。若取  $L_1=4.3 \mu\text{H}$ 、 $C_2=820\text{pF}$ 、 $C_3=180\text{pF}$ 、 $C_4=20\text{pF}$ ，则可算得 LC 并联谐振回路的谐振频率  $f \approx 6\text{MHz}$ ，与晶体工作频率相同。图中， $C_4$  是微调电容，用来微调振荡频率； $C_5$  是耦合电容， $R_5$  是负载电阻。很显然， $R_5$  越小，负载越重，输出振荡幅度将越小。

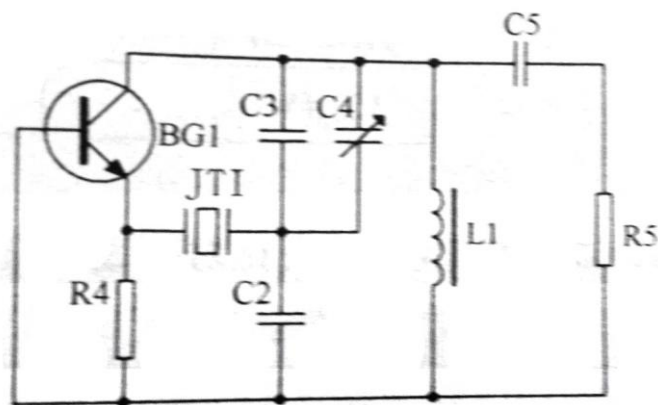


图 4-1 晶体振荡器交流通路

## 2. 实验电路

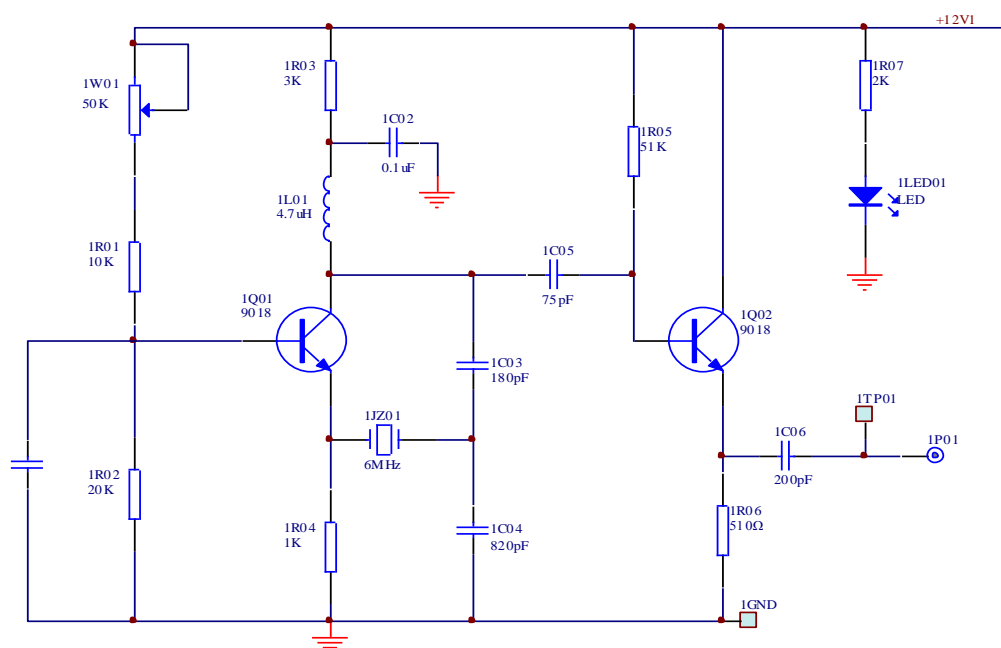


图 4-2 晶体振荡器实验电路

如图 4-2 所示，1R03、1C02 为去耦元件，1C01 为旁路电容，并构成共基接法。1W01 用以调整振荡器的静态工作点（主要影响起振条件）。1C05 为输出耦合电容。1Q02 为射随器，用以提高带负载能力。实际上，图 4-2 电路的交流通路即为图 4-1 所示的电路。

## 三、实验内容

1. 观察振荡器输出波形，测量振荡频率和振荡电压峰值  $V_{p-p}$ ；
2. 观察静态工作点等因素对晶体振荡器振荡幅度和频率的影响。

## 四、实验步骤

### （一）模块上电

将晶体振荡器模块⑤，接通电源，此时电源指示灯点亮。



## （二）测量晶体振荡器的振荡频率

把示波器接 1P01 端， 顺时针调节电位器 1W01， 以改变晶体管静态工作点， 读取振荡频率（应为 6MHz）。

## （三）观察静态工作点对振荡器工作的影响

把示波器接 1P01 端， 观察顺时针调节电位器 1W01 时晶体振荡器振荡频率和幅度的变化。

# 五、实验报告

1. 根据实验测量数据， 分析静态工作点对晶体振荡器振荡幅度和频率的影响， 并阐述原因。
2. 比较静态工作点对晶体振荡器与 LC 振荡器影响等， 并分析其原因。
3. 总结实验体会。

# 实验五 晶体三极管混频实验

## 一、实验目的

1. 掌握三极管混频器的工作原理；
2. 了解混频器的寄生干扰。

## 二、实验原理

### 1. 混频器工作原理

混频器的功能是将已调波信号（高频）不失真地变换为另一已调波信号（中频），保持原调制规律不变。为实现混频功能，混频器件必须工作在非线性状态，混频器中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高频信号  $U_L$ ，与输入信号  $U_S$  经混频器后产生差频信号，经带通滤波器滤出。除输入信号电压  $U_S$  和本振电压  $U_L$  外，还存在干扰和噪声。它们之间任意两者都有可能产生组合频率，这些组合频率如果等于或接近中频，将与输入信号一起通过中频放大器、解调器，对输出级产生干扰，影响输入信号的接收。干扰是由于混频不满足线性时变工作条件而形成的，不可避免，其中影响最大的是中频干扰和镜像干扰。

### 2. 实验电路

图中，本振频率为 11.2MHZ 从晶体管的发射极 e 输入，信号频率为 8.2MHZ 从晶体三极管的基极 B 输入，混频后的中频信号由晶体三管的集电极 C 输出。输出端的带通滤波器必须调谐在中频上，本实验的中频为 3MHZ。

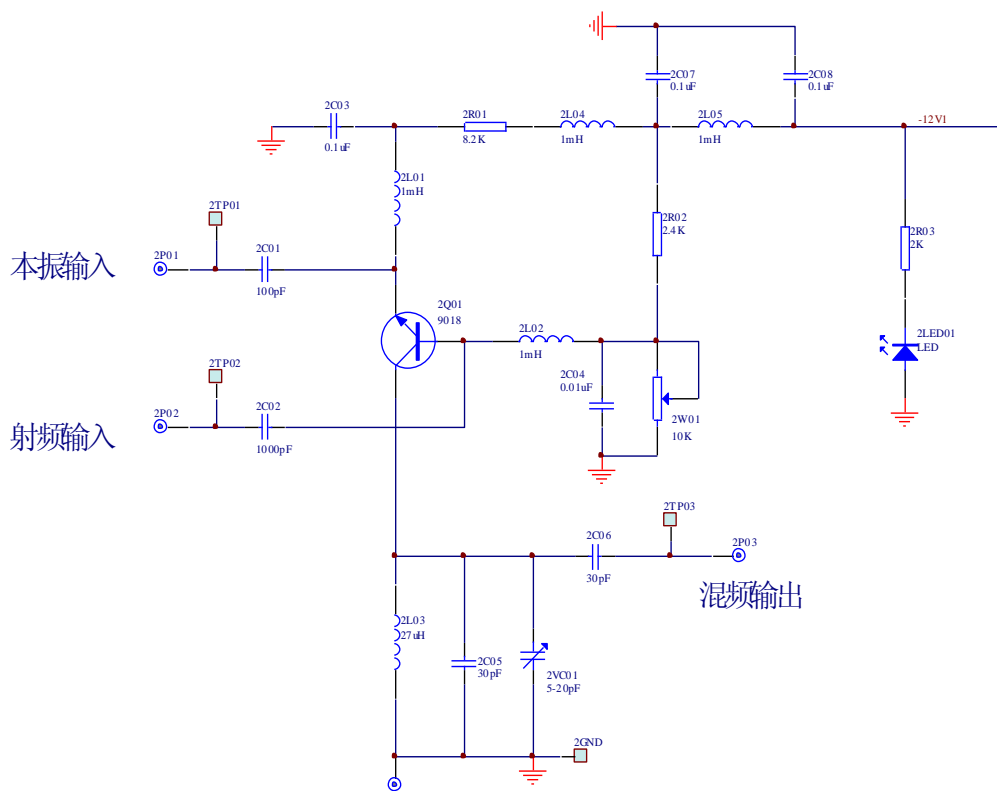


图 5-2 晶体三极管混频的实验电路图

### 三、实验内容

1. 用频率计测量混频器输入输出频率，观察输入输出波形；
2. 用示波器观察输入波形为调幅波时的输出波形。

#### 四、实验步骤

### （一）模块上电

将 LC 振荡器模块③晶体三极管混频器模块④接通电源。

## （二）中频频率的观测

1. 将 LC 振荡器调整到“串 S”、1C09 (150P) 状态下, 其产生的振荡频率为 11.9MHz 信号作为本实验的本振信号, 接晶体三极管混频器本振输入 2P01, 高频信号发生器输出 8.9MHz,  $V_{p-p}=0.5V$  信号接晶体三极管混频器射频输入 2P02。

用示波器观测 2TP03 波形，测量其中频值。顺时针调整 2W01，观察 2TP03 波形变化。

2. 混频的综合观测。将调制信号为 1KHz 载波频率为 8.9MHZ 的调幅波，作为本实验的晶体三极管混频器射频输入，用双踪示波器的观察 2TP01、2TP02、2TP03 各点波形，特别注意观察 2TP02 和 2TP03 两点波形的包络是否一致。

## 五、实验报告

1. 根据观测结果，归纳并总结信号混频的过程；
2. 说明晶体三极管混频的综合观测现象及原因；
3. 总结实验体会。

## 实验六 集成乘法器混频器实验

### 一、实验目的

1. 了解集成混频器的工作原理，掌握用 MC1496 来实现混频的方法；
2. 了解混频器的寄生干扰。

### 二、实验原理

#### 1. 电路与工作原理

参照实验五电路与工作原理。

#### 2. 实验电路

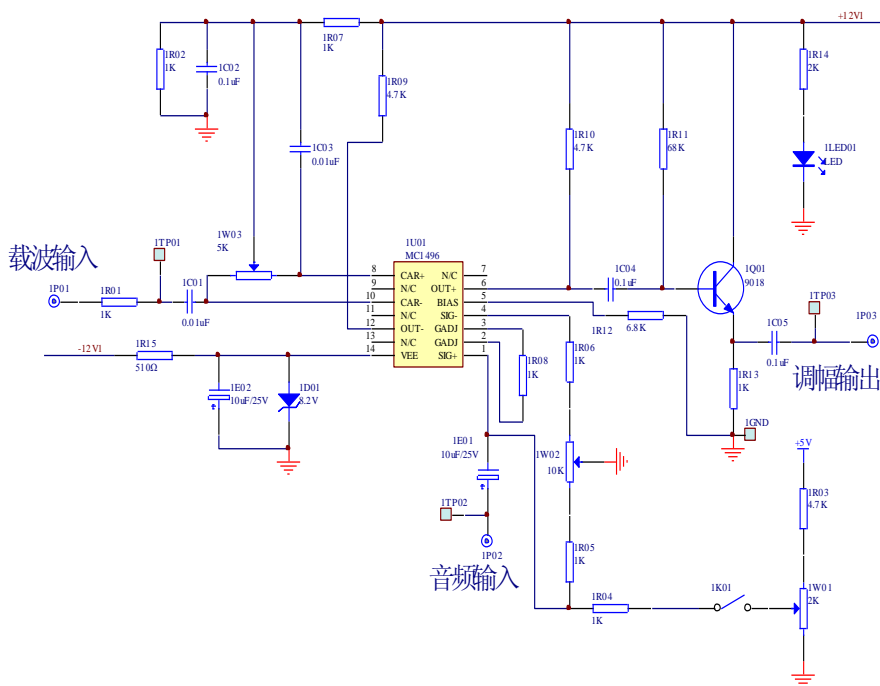


图 6-2 MC1496 构成的混频器电路图

图 6-2 是 MC1496 构成的混频器，本振频率为 11.2MHZ 从乘法器的一个输入

端（10脚）输入，信号频率为 8.2MHZ 从乘法器的另一个输入端（1脚）输入，混频后的中频信号由乘法器的输出端（6脚）输出。输出端的带通滤波器必须调谐在中频上，本实验的中频为 3MHZ。

### 三、实验内容

1. 用频率计测量混频器输入输出频率并观察输入输出波形；
2. 用示波器观察输入波形为调幅波时的输出波形。

### 四、实验步骤

#### （一）模块上电

将集成乘法器混频模块⑥、LC 振荡器模块③接通电源。

#### （二）中频频率的观测

1. 将 LC 振荡器调整到“串 S”、1C09（150P）状态下，其产生的振荡频率为 11.9MHZ 信号作为本实验的本振信号，接集成乘法器混频器本振输入 2P01，高频信号发生器输出 8.9MHz， $V_{p-p}=0.5V$  信号接集成乘法器混频器射频输入 2P02。用示波器观测 2TP03 波形，测量其中频值。顺时针调整 2W01，观察 2TP03 波形变化。

2. 混频的综合观测。将调制信号为 1KHz 载波频率为 8.9MHZ 的调幅波，作为本实验的集成乘法器混频电路射频输入，用双踪示波器的观察 2TP01、2TP02、2TP03 各点波形，特别注意观察 2TP02 和 2TP03 两点波形的包络是否一致。

### 五、实验报告

1. 根据观测结果，归纳并总结信号混频的过程；
2. 说明集成乘法器混频的综合观测现象及原因；
3. 总结实验体会。

# 实验七 中频放大器

## 一、实验目的

1. 了解中频放大器的作用、要求及工作原理；
2. 掌握中频放大器的测试方法。

## 二、实验原理

中放通常分为单调谐中频放大器和双调谐中频放大器，本实验采用单调谐。

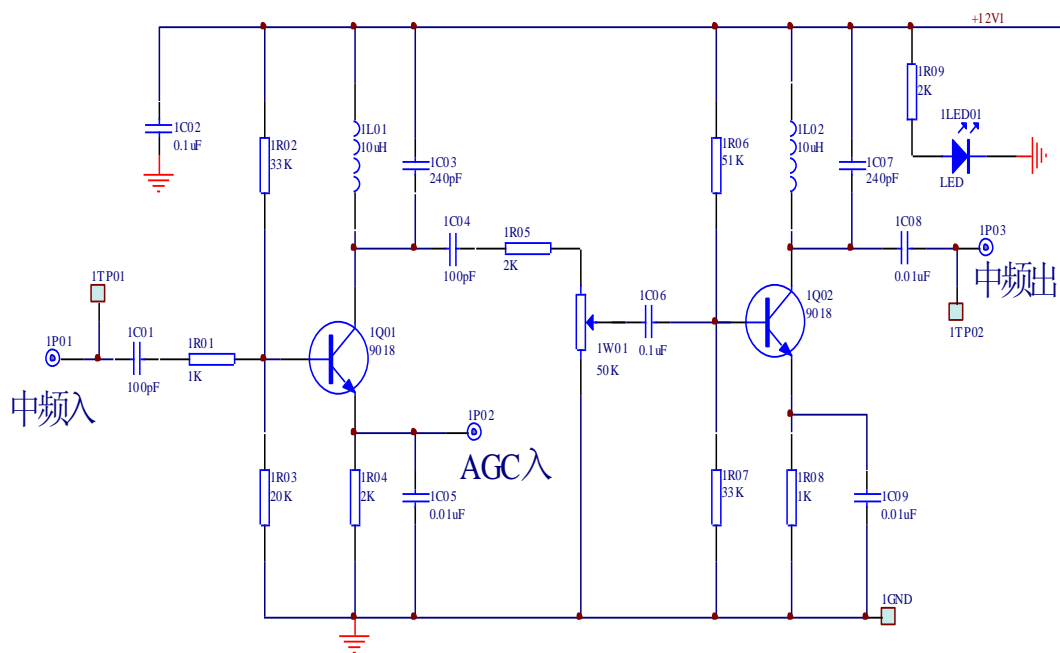


图 7-1 中频放大器实验原理图

图 7-1 是中频放大的实验图，采用两级中频放大器，可获得较大的增益。图中 1W01 用来调整中频放大输出幅度，1L01、1C03 和 1L02、1C07 分别为第一级和第二级的谐振回路。1P02 孔为自动增益控制（AGC）连接孔。

## 三、实验内容

1. 用示波器观测中频放大器输入输出波形，并计算其放大倍数；

2. 测中频放大器幅频特性，并计算中频放大的通频带。

## 四、实验步骤

### （一）模块上电

将中频放大器模块⑨接通电源。

### （二）中频放大器输入输出波形观察及放大倍数测量

1. 将 DDS 信号源频率设置为 3MHz， $V_{p-p}=500\text{mv}$ ，先测频率，然后再调幅度，否则幅度太小时，频率计测不出。其输出送入中频放大器的输入端 1P01，测量中放输出 1TP02 点的波形，微调 DDS 信号源频率使中放输出幅度最大。调整 1W01 使输出幅度最大且不失真，然后再测量中放此时的输入幅度，即可算出中放的电压放大倍数。

### 2. 测量中频放大器的谐振曲线（幅频特性）

按照表 7-1，保持 DDS 信号源输出幅度为 500mV，改变频率，从接 1TP02 示波器上读出与频率相对应的幅值，画出中频放大器的幅频特性曲线。

表 7-1

频率 (MHz)												
输出幅度 U (mv)												

### 3. 观察输入为调幅波的信号

在上述状态下，将 DDS 信号源设置为调幅波，频率为放大器的谐振频率。用示波器观察中放输出 1TP02 点的波形是否为调幅波。

## 五、实验报告

1. 根据实验数据计算出中频放大器的放大倍数；
2. 根据实验数据绘制中频放大器幅频特性曲线，并算出通频带。



# 实验八 集成乘法器幅度调制电路

## 一、实验目的

1. 掌握用 MCI496 来实现 AM 和 DSB 的方法，并研究已调波与调制信号、载波之间关系；
2. 掌握在示波器上测量调幅系数的方法；
3. 通过实验中波形的变换，学会分析实验现象。

## 二、实验原理

1496 组成的调幅器实验电路如图 8-2 所示。

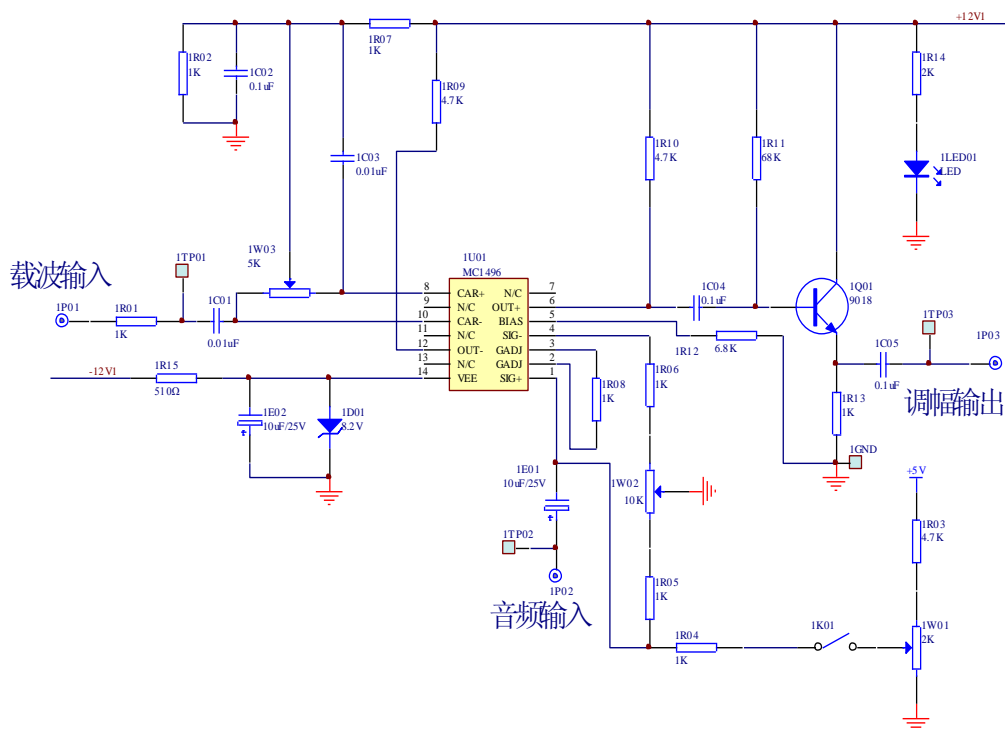


图 8-2 1496 组成的调幅器实验电路

1W02 用来调节 (1)、(4) 端之间的平衡，8W03 用来调节 (8)、(10) 端之间的平衡。1K01 开关控制 (1) 端是否接入直流电压，当 1K01 置“左侧”时，1496

的（1）端接入直流电压，其输出为普通调幅波 AM，调整 1W01，可改变调幅波的调制度。当 1K01 置“右侧”时，其输出为抑制载波双边带调幅波 DSB。晶体管 1Q01 为射极跟随器，以提高调制器的带负载能力。

### 三、实验内容

1. 模拟乘法器调幅电路的输入失调电压调节、直流调制特性测量；
2. 用示波器观察 DSB 波形；
3. 用示波器观察 AM 波形，测量调幅系数；
4. 用示波器观察调制信号为方波三角波时的调幅波。

### 四、实验步骤

#### （一）模块上电

将集成乘法器幅度调制电路模块⑦接通电源。

#### （二）输入失调电压的调整（交流馈通电压的调整）

1. 调制信号源：低频信号源中的函数发生器（1KHZ，500mV，正弦波）；
2. 载波源：DDS 信号源（2MHZ，500mV）；
3. 输入失调调零，使相乘器调整为平衡状态。将 1K01 置双边带侧，把音频调制信号加到 1P02，不加载波信号，调节 1W02，监测 1TP03 的输出波形最小；然后，把载波源输出的信号加到 1P01，不加音频信号，调节 1W03 监测 1TP03 的输出波形最小。

#### （三）观察 DSB 信号波形

1. 将 DDS 信号源输出的载波接入 1P01，音频调制信号接入 1P02。示波器 CH1 接调幅输出端 1TP03，即可观察到调制信号及其对应的 DSB 信号波形。其波形如图 8-3 所示，如果观察到的 DSB 波形不对称，应微调 1W02 电位器。

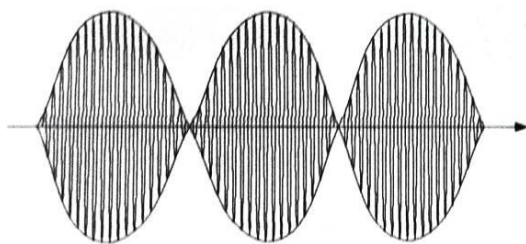


图 8-3

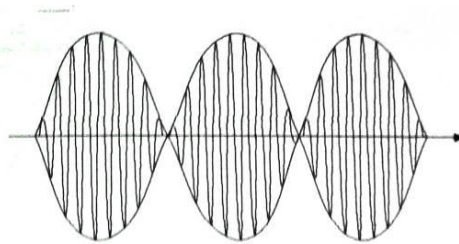


图 8-4

## 2. DSB 信号反相点观察

为了清楚地观察双边带信号过零点的反相，必须降低载波的频率。将载波设为 100KHz，500mV。调制信号仍为 1KHz，幅度 600mV。增大示波器 X 轴扫描速率，仔细观察调制信号过零点时刻所对应的 DSB 信号，过零点时刻的波形应该反相，如图 8-4 所示。

## 3. DSB 信号波形与载波波形的相位比较

将示波器 CH1 改接 1TP01 点，CH2 接 1TP03，比较输入载波波形与输出 DSB 波形的两者相位，发现在调制信号正半周期间同相：在调制信号负半周期间反相。

## （四）观察 SSB 信号波形

将载波频率为 100KHz，幅度 300mV 的正弦波接入载波输入端 1P01，将频率为 4KHz，幅度 300mV 的正弦波接入音频输入端 1P02。按照 DSB 的调试得到 DSB 波形。将调幅输出 1P03 连接到二极管环形混频器电路模块 17 中的带通滤波器输入端 2P01，用示波器测量带通滤波器输出 2P02，即可观察到 SSB 信号波形。本实验中，正常的 SSB 波形应为 104KHz 的等幅波形，但由于带通滤波器频带较宽，下边带不可能完全抑制，因此，其输出波形不完全是等幅波。

## （五）测量 AM（普通调幅）波形

### 1. AM 波形观测

在保持输入失调电压调节基础上，将 1K01 置“普通调幅”侧。载波（2MHz，500mV），调制信号（1KHz，600mV）。示波器 CH1 接 1TP02、CH2 接 1TP03，即可观察到正常的 AM 波形，如图 8-5 所示。

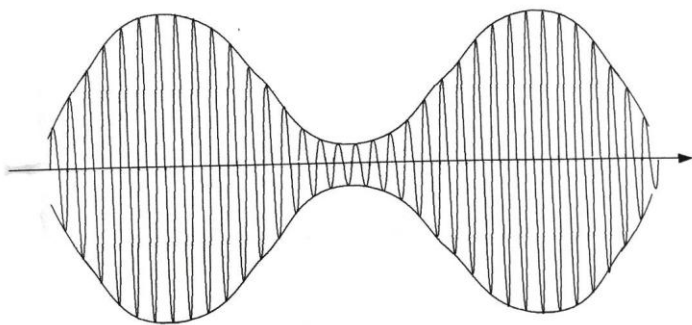
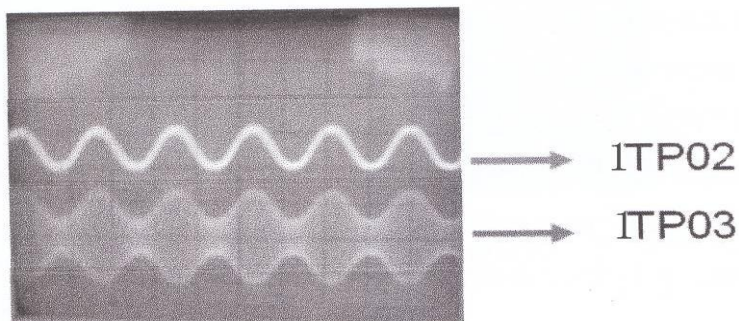
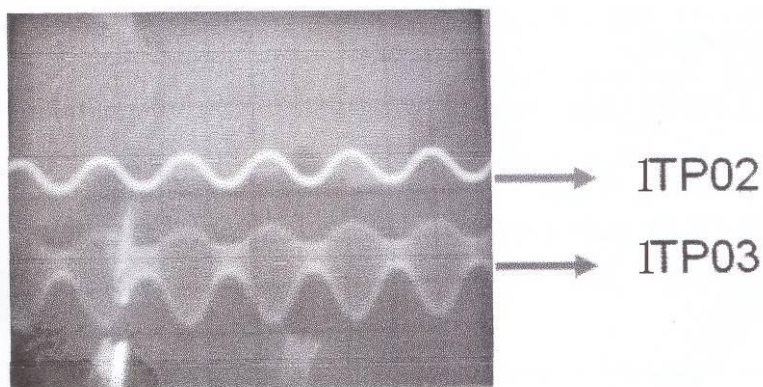


图 8-5

(1) 调整电位器 1W01, 可以改变调幅波的调制度。在观察输出波形时, 改变音频调制信号的频率及幅度, 输出波形随之变化。下图为用示波器测出的正常调幅波波形:

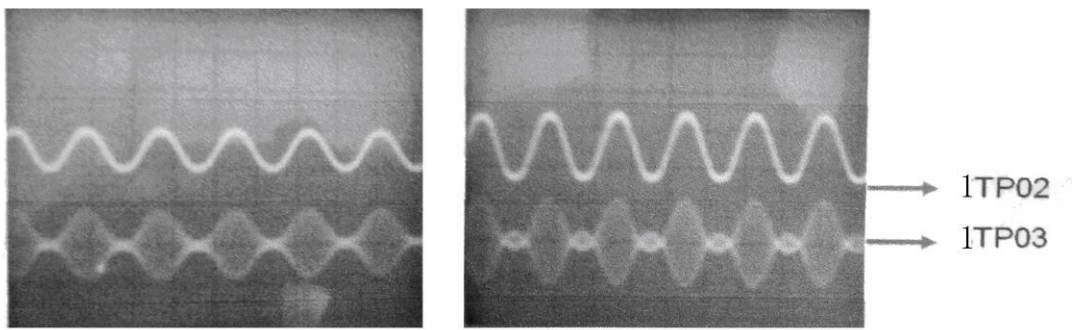


(2) 在 AM 正常波形调整的基础上, 改变 1W03, 可观察到调制度不对称的情形, 最后仍调到调制度对称的情形。下图为用示波器测出的不对称调幅波波形:



(3) 在上述实验的基础上, 即载波 2MHz(幅度 500mV), 音频调制信号 1KHz(幅度 600mV), 示波器 CH1 接 ITP02、CH2 接 ITP03。调整 1W01 使调制度为

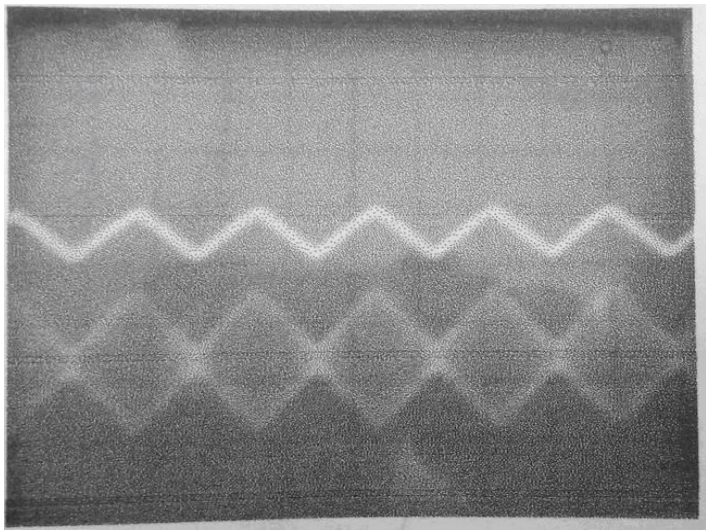
100%，然后增大音频调制信号的幅度，可以观察到过调制时 AM 波形，并与调制信号波形作比较。下图为调制度为 100%和过调制的 AM 波形：



（4）保持调制信号输入不变，逐步增大载波幅度，并观察输出已调波形。可以发现：当载波幅度增大到某值时，已调波形开始有失真；而当载波幅度继续增大时，已调波形包络出现模糊。最后把载波幅度复原（500mV）。

2. 调制信号为三角波和方波时的调幅波观察

保持载波不变，将调制信号改为三角波（峰-峰值 500mV）或方波（500mV），改变其频率，观察已调波形的变化，调整 1W01，观察输出波形调制度的变化。下图为调制信号为三角波时的调幅波形：



3. 调制度 Ma 的测试

通过直接测量调制包络来测出  $M_a$ 。将被测的调幅信号加到示波器 CH1 或 CH2。调节时间基准显示几个周期的调幅波波形，如图 8-6 所示。根据  $M_a$  的定义，测出 A、B，即可得到  $M_a$ 。

$$m_a = \frac{A - B}{A + B} \times 100\%$$

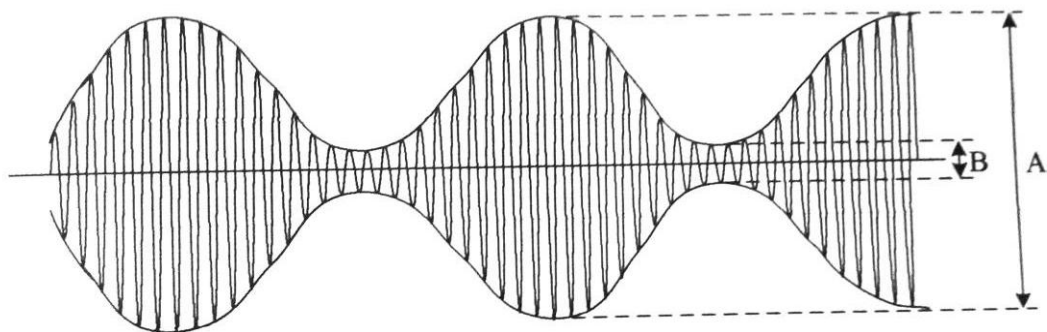


图 8-6

## 五、实验报告

1. 整理实验数据，绘制波形，给出相应的结论；
2. 画出 DSB 波形和  $M_a=100\%$  时的 AM 波形，比较两者的区别。

## 实验九 振幅解调电路（包络检波、同步检波）

### 一、实验目的

1. 掌握用包络检波器实现 AM 波解调的方法，了解滤波电容数值对 AM 波解调影响；
2. 理解包络检波器只能解调  $m \leq 100\%$  的 AM 波，而不能解调  $m > 100\%$  的 AM 波以及 DSB 波的概念；
3. 掌握用 MC1498 模拟乘法器组成的同步检波器来实现 AM 波和 DSB 波解调方法；
4. 了解输出端的低通滤波器对 AM 波解调、DSB 波解调的影响；
5. 理解同步检波器能解调各种 AM 波以及 DSB 的概念。

### 二、实验内容

1. 用示波器观察包络检波器解调 AM 波、DSB 波的性能；
2. 用示波器观察同步检波器解调 AM 波、DSB 波的性能；
3. 观察普通调幅波（AM）解调中的对角线失真和底部切割失真的现象。

### 三、实验原理

调幅波的解调方法主要有包络检波和同步检波两种。

#### 1. 二极管包络检波

二极管包络检波器是包络检波器中最简单、最常用的一种电路。它适合解调信号电平较大（俗称大信号，通常要求峰—峰值为 1.0V 以上）的 AM 波。它具有电路简单，检波线性好，易于实现等优点。本实验电路主要包括二极管和 RC 低通滤波器，如图 9-1 所示。



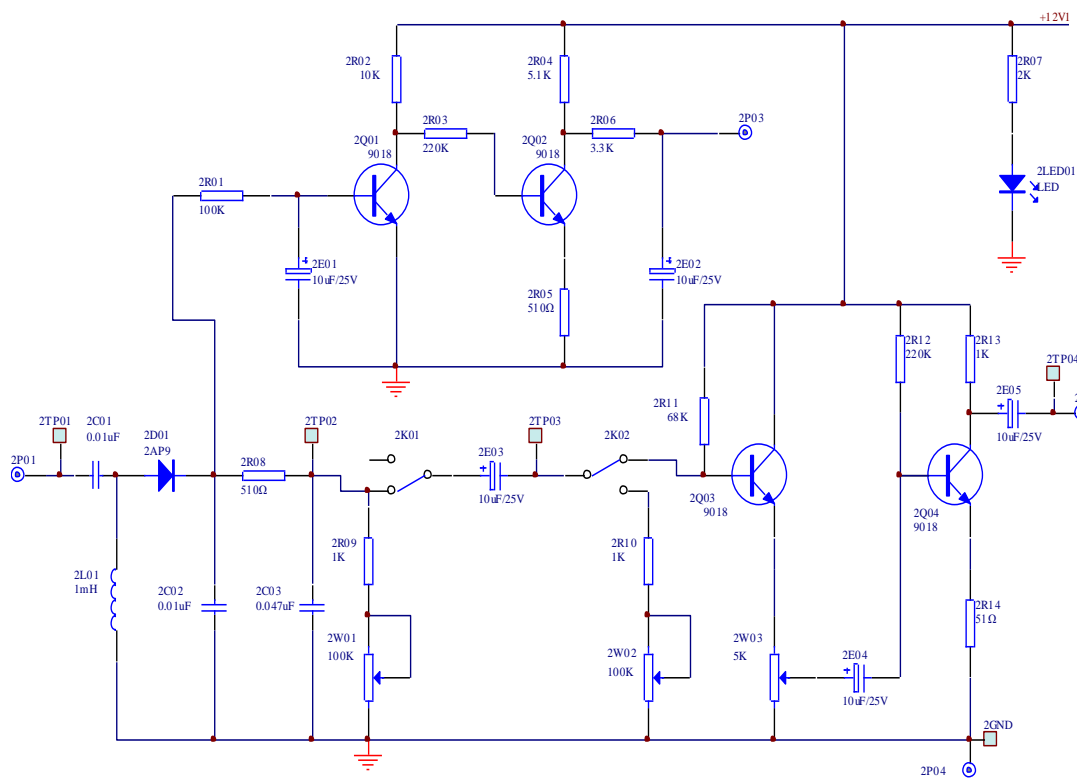


图 9-1 二极管包络检波器电路

在电路图和电路板中，2D01 为检波管，2C02、2R08、2C03 构成低通滤波器，2R09、2W01 为二极管检波直流负载，2W01 用来调节直流负载大小。开关 2K01 是为了二极管检波交流负载的接入与断开而设置的，2K01 置“ON”为接入交流负载，置“OFF”为断开交流负载。

2K02 的作用：（1）拨至左侧时接交流负载（观察割底失真现象）；（2）拨至右侧时接后级放大，检波后的音频经 2Q03、2Q04 放大后由 2P02 输出。因此，2K02 可控制音频信号是否输出，2W03 可调整输出电压幅度。

利用二极管的单向导电性使得电路的充放电时间常数不同（实际上，相差很大）来实现检波。所以 RC 时间常数的选择很重要。RC 时间常数过大，则会产生对角线失真（又称惰性失真）。RC 常数太小，高频分量会滤不干净。

当检波器的直流负载电阻与交流负载电阻不相等，而且调幅度  $M_a$  又相当大时会产生底部切割失真（又称负峰切割失真）。



## 2. 同步检波

又称相干检波。它利用与已调幅波的载波同步（同频同相）的一个恢复载波（又称基准信号）与已调幅波相乘，再用低通滤波器滤除高频分量，从而解调出调制信号。本实验采用 MC1496 集成电路来组成解调器，如图 9-2 所示。

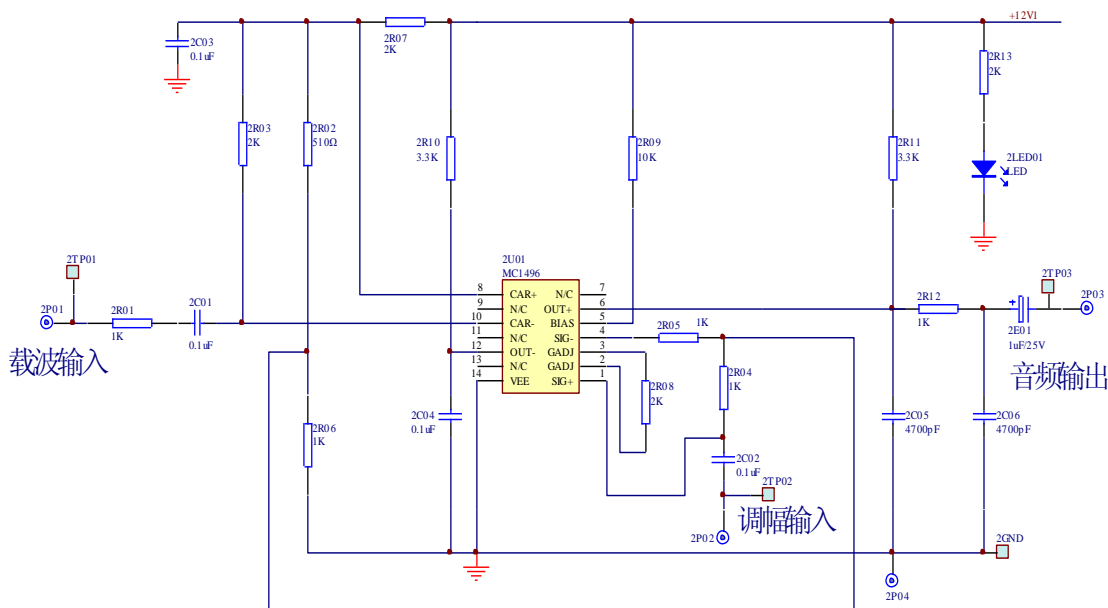


图 9-2 MC1496 组成的解调器实验电路

图中，恢复载波由 2P01 输入，在经过耦合电容 2C01 加在（8）、（0）脚之间。已调幅波由 2P02 端输入，再经过耦合电容 2C02 加在（1）、（4）引脚之间。相乘后的信号由（12）引脚输出，再经过由 2C05、2C06、2R12 组成的 II 型低通滤波器滤除高频分量后，在解调输出端（2P03）输出调制信号。

## 四、实验步骤

### （一）模块上电

选择集成乘法器幅度调制电路、二极管检波器、集成乘法器幅度解调电路模块板，接通实验板的电源开关，相关电源指示灯亮，即可开始实验。（注意：做本实验仍需重复实验八中部分实验项目，先产生调幅波再供此解调之用）。

## (二) 二极管包络检波器解调

### 1. AM 波的解调

#### (1) $M_a=30\%$ 的 AM 的解调

低频信号发生器作为调制信号源 (1KHz, 500mVp-p, 正弦波), DDS 信号源作为载波源 (2MHz, 500mVp-p, 正弦波), 调节 1W01, 便可从幅度调制电路单元上输出  $M_a=30\%$  的 AM 波, 其输出幅度 (峰-峰值) 为 0.8V 左右。

a. 观察检波输出。将开关 2K01 至右侧 (“OFF”), 2K02 拨至右侧 (放大输出)。把上面得到的 AM 波加到包络检波器输入端 2P01, 在 2TP02 观察到包络检波器的输出, 并记录输出波形。为了更好地观察包络检波器的解调性能, 可将示波器 CH1 接包络检波器的输入 2TP01, 而将示波器 CH2 接包络检波器的输出 2TP02 (下同)。调整 2W01, 使输出得到一个不失真的解调信号, 画出波形。

b. 观察对角线失真。保持以上输出, 调节直流负载 (2W01), 使输出产生对角线失真, 如果失真不明显可以加大调幅度 (调整 1W01), 画出其波形, 并计算此时的  $M_a$  值。

c. 观察底部切割失真。当交流负载未接入前, 先调节 2W01 使解调信号不失真。然后接通交流负载 (2K01 至左侧 (“ON”), 2K02 至底部失真), 示波器 CH2 接 2TP03。调节交流负载的大小 (2W02), 使解调信号出现割底失真, 如果失真不明显, 可加大调幅度 (即增大音频调制信号幅度), 画出其相应的波形, 并计算此时的  $M_a$ 。当出现割底失真后, 减小  $M_a$  (减小音频调制信号幅度) 使失真消失, 并计算此时的  $M_a$ 。在解调信号不失真的情况下, 将 2K02 拨至右侧, 示波器 CH2 接 2TP04, 可观察到放大后音频信号, 调节 2W03 音频幅度会发生变化。

#### (2) $M_a=100\%$ 的 AM 波的解调

调节 1W01, 使  $M_a=100\%$ 。重复步骤 (1), 观察并记录检波器输出波形。

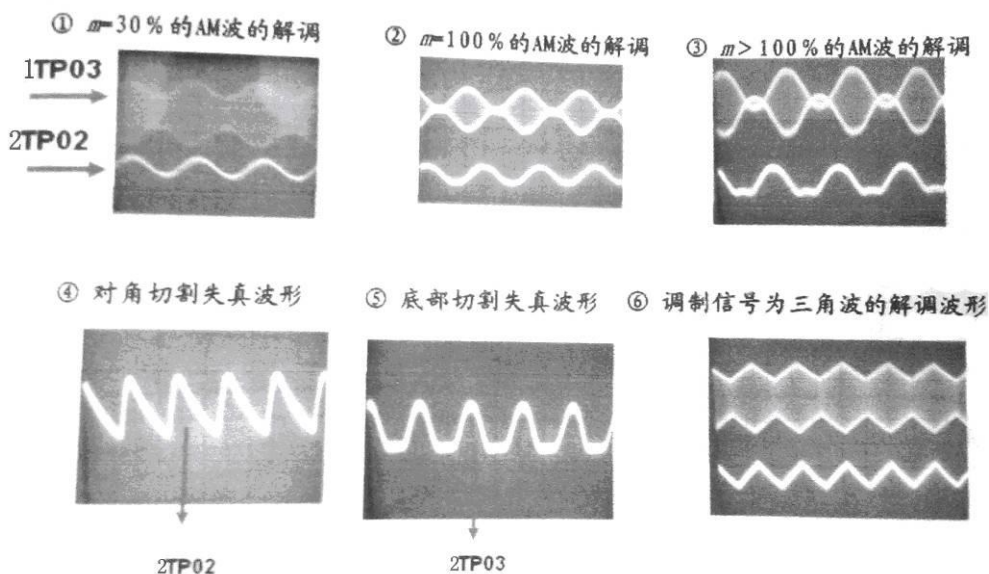
#### (3) $M_a>100\%$ 的 AM 波的解调

加大音频调制信号幅度, 使  $M_a>100\%$ 。重复步骤 (1), 观察并记录检波器输

出波形。

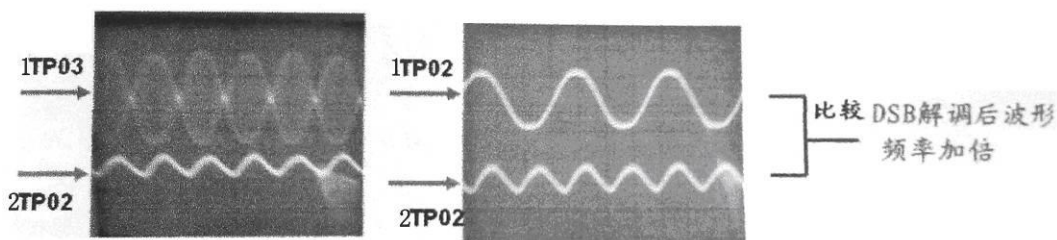
## 2. 调制信号为三角波和方波的解调

低频信号源的调制信号改为三角波和方波,重复上述步骤(1)(恢复  $M_a > 30\%$ , 调节 2W01 和 2W02, 使解调输出波形不失真), 即可在检波器输出端 (2TP02、2TP03、2TP04) 观察到与调制信号相对应的波形, 调节音频信号频率 (低频信号源中 1W01), 输出波形随之变化。实际观察到各种调制度的解调波形如下图:



## 3. DSB 波形的解调

采用实验八中相同的方法得到 DSB 波形, 并增大载波信号及调制信号幅度, 使调制电路输出端产生较大幅度的 DSB 信号, 加到二极管包络检波器的输入端, 观察并记录检波器的输出波形, 并与调制信号作比较。实际观察到 DSB 解调波形如下图:



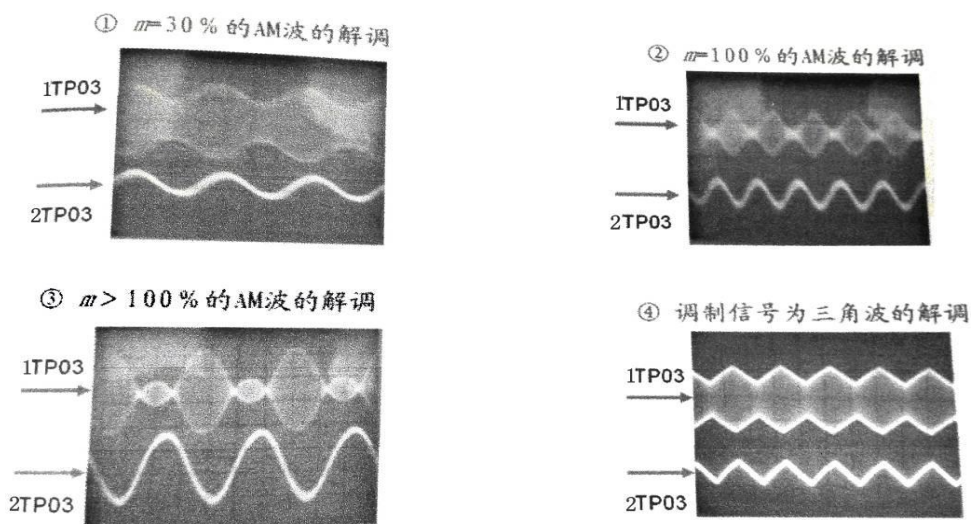
#### 4. SSB 波的解调

采用实验八中的方法来获得 SSB 波，并将带通滤波器输出的 SSB 波形(2P02)连接到幅度解调电路的调幅输入端，载波输入与上述连接相同。观察并记录输出波形，并与调制信号做比较。改变调制信号的频率及幅度，观察解调信号有何变化。由于带通滤波器的原因，当调制信号的频率降低时，其解调后波形将产生失真，因为调制信号降低时，双边带（DSB）中的上边带与下边带靠的更近，带通滤波器不能有效的抑制下边带，使得解调后的信号失真。

### （三）集成电路乘法器构成的同步检波

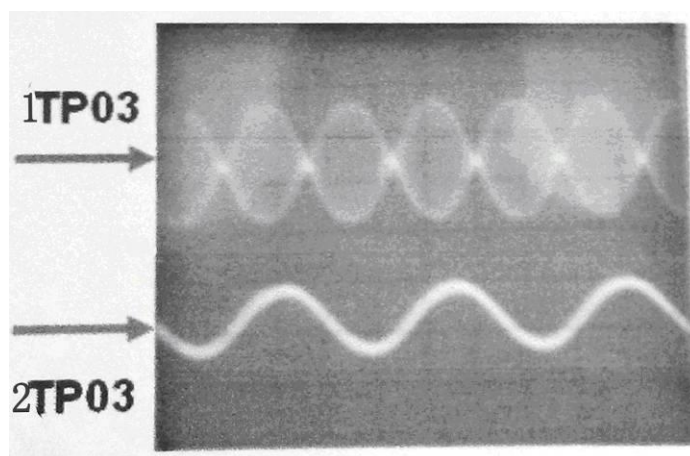
#### 1. AM 波的解调

将幅度调制电路的输出接到幅度解调电路的调幅输入端 2P02。解调电路的恢复载波，可用铆孔线直接与调制电路中载波输入相连（即 1P01 与 2P01 相连）。示波器 CH1 接调幅信号 2TP02，CH2 接同步检波器的输出 2TP03。分别观察并记录当调制电路输出为  $M_a=30\%$ 、 $M_a=100\%$ 、 $M_a>100\%$  时三种 AM 的解调输出波形，并与调制信号作比较。实际观察到各种调制度的解调波形如下图：



## 2. DSB 波的解调

采用实验八中的方法获得 DSB 波，并加入到幅度解调电路的调幅输入端，而其它连线均保持不变，观察并记录解调输出波形，并与调制信号作比较。改变调制信号的频率及幅度，观察解调信号有何变化。将调制信号改成三角波和方波，再观察解调输出波形。DSB 波解调波形如下图：



## 五、实验报告

1. 由本实验归纳两种检波器的解调特性，在表中标明能否正确解调。

输入的调幅波	AM 波			DSB
	Ma=30%	Ma=100%	Ma>100%	
包络检波				
同步检波				

2. 观察对角线失真和底部切割失真现象并分析产生的原因。

3. 总结实验中的两种解调方式。

# 实验十 高频功率放大与发射实验

## 一、实验目的

1. 加深理解丙类功率放大器基本工作原理和调谐特性；
2. 掌握输入激励电压，集电极电源电压及负载变化对放大器工作状态影响；
3. 通过实验进一步了解调幅的工作原理。

## 二、实验原理

放大器按照电流导通角  $\theta$  的范围可分为甲类、乙类及丙类等。功率放大器电流导通角  $\theta$  越小，放大器的效率则越高。

### 1. 工作原理

由于丙类调谐功率放大器采用的是反向偏置，静态时管子处于截止状态。只有当激励信号  $U_b$  足够大，超过反偏压  $E_b$  及晶体管起始导通电压  $U_i$  之和时管子才导通。这样管子只有在一个周期的一小部分时间内导通。所以集电极电流是周期性的余弦脉冲。

**丙类功放工作状态判断。**根据功率放大器在工作时是否进入饱和区，可将放大器分为欠压、过压和临界三种工作状态。若在整个周期内，晶体管工作不进入饱和区，也即在任何时刻都工作在放大区，称放大器工作在欠压状态；若刚刚进入饱和区的边缘，称放大器工作在临界状态；若晶体管工作时有部分时间进入饱和区，则称放大器工作在过压状态。放大器的这三种工作状态取决于电源电压  $E_c$ 、偏置电压  $E_b$ 、激励电压幅值  $U_{bm}$  以及集电极等效负载电阻  $R_c$ 。

(1) 激励电压幅值  $U_{bm}$  对工作状态的影响（偏置电压  $E_b$  影响基本相同）

当功放的电源电压  $E_c$ 、偏置电压  $E_b$  和负载电阻  $R_c$  保持恒定时，激励信号的振幅  $U_{bm}$  增大， $I_{cmax}$ 、 $U_{cm}$  也增大；当  $U_{bm}$  增大到一定程度，放大器的工作状态由欠压进入过压，电流波形出现凹陷，但此时  $U_{cm}$  还会增大。

### (2) 负载电阻 $R_c$ 变化对放大器工作状态的影响

当  $E_c$ 、 $E_b$ 、 $U_{bm}$  保持恒定时，负载电阻  $R_c$  较小， $U_{cm}$  也较小，集电极电流波形是余弦脉冲。随着  $R_c$  增加，动态负载线的斜率逐渐减小， $U_{cm}$  逐渐增大，放大器工作状态由欠压到临界，此时电流波形仍为余弦脉冲，只是幅值比欠压时略小。当  $R_c$  继续增大， $U_{cm}$  进一步增大，放大器进入过压状态，此后电流  $I_c$  随  $U_{cm}$  沿饱和线下降，电流波形顶端下凹，呈马鞍形。

### (3) 集电极电源电压 $E_c$ 对放大器工作状态的影响

在  $E_b$ 、 $U_{bm}$ 、 $R_c$  保持恒定时， $E_c$  变化， $U_{cemin}$  也随之变化，使得  $U_{cemin}$  和  $U_{ces}$  的相对大小发生变化。当  $E_c$  较大时， $U_{cemin}$  具有较大数值，且远大于  $U_{ces}$ ，放大器工作欠压状态。随着  $E_c$  减小， $U_{cemin}$  也减小，当  $U_{cemin}$  等于  $U_{ces}$  时，放大器工作在临界状态。 $E_c$  再减小， $U_{cemin}$  小于  $U_{ces}$  时，放大器工作在过压状态。当  $E_c$  由大变小时，放大器的工作状态由欠压进入过压， $i_c$  波形也由余弦脉冲波形变为中间凹陷的脉冲波。

## 2. 实验电路

如图 10-5 所示，本实验单元由两级放大器组成，Q01 是前置放大器级，工作在甲类线性状态，以适应较小的输入信号电平（保证丙类功放输入为大信号）。TP01、TP02 为该级输入、输出测量点。由于该级负载是电阻，对输入信号没有滤波和调谐作用，因而既可作为调幅放大，也可作为调频放大。当 K02 置“右侧”时，Q02 为丙类高频功率放大电路，其基极偏置电压为零，通过发射极上的电压构成反偏。因此，只有在载波正半周且幅度足够大时才能使功率管导通。其集电极负载为 LC 谐振回路，选择基波（载波频率），因此可获得较大功率输出。





当输入信号为调幅波时，Q02 不能工作在丙类状态，因为调幅波在波谷时，幅度较小，Q02 可能不导通，导致输出严重失真。因此输入信号为调幅波时，K02 必须拨至左侧，使 Q02 工作在甲类状态。

### 三、实验内容

1. 观察高频功率放大器丙类工作状态的现象，并分析其特点；
2. 测试丙类功放的调谐特性；
3. 测试负载变化时三种状态（欠压、临界、过压）的余弦电流波形；
4. 观察激励电压、集电极电压变化时余弦电流脉冲的变化过程；
5. 观察功放基极调幅波形。

### 四、实验步骤

#### （一）模块上电

将高频功率放大器模块 11 接通电源。

#### （二）激励电压、电源电压及负载变化对丙类功放工作状态的影响

##### 1. 激励电压 $U_b$ 对放大器工作状态的影响

K04 置右侧（2MHz 调谐），保持集电极电源电压  $E_c=6V$ （用万用表测 TP03 直流电压，调 W01），负载电阻  $R_L=8K\Omega$ （用万用表测 TP05 电阻，调 W02）不变。DDS 信号源频率 2MHZ 左右，幅度 500mV（峰-峰值），连接至功放模块输入端 P01。示波器 CH1 接 TP03，CH2 接 TP04。调整 DDS 信号源频率，使功放谐振，输出幅度 TP03 最大。改变信号源幅度（即改变激励信号电压  $U_b$ ），观察 TP04 电压波形，应观察到欠压、临界、过压脉冲波形。其波形如图 10-6 所示（如果波形不对称，应微调 DDS 信号源频率）。

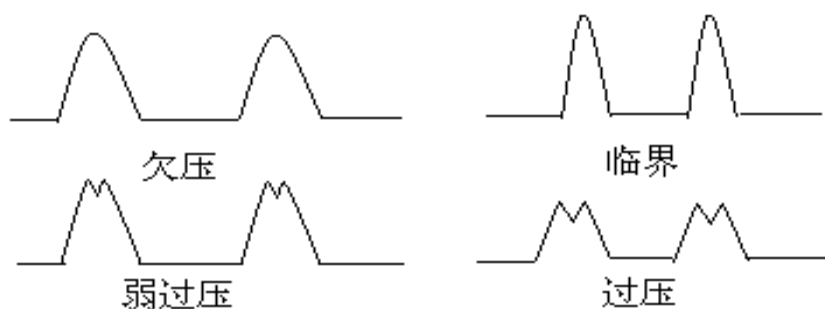
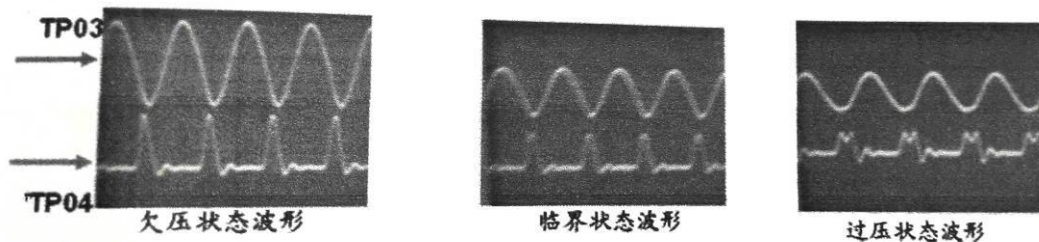


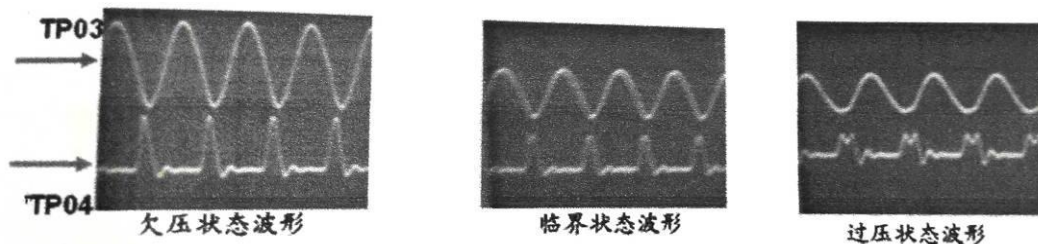
图 10-6 三种状态下的电流脉冲波形

实验过程中，可以观察到的以下波形：



## 2. 集电极电源电压 $E_c$ 对放大器工作状态的影响

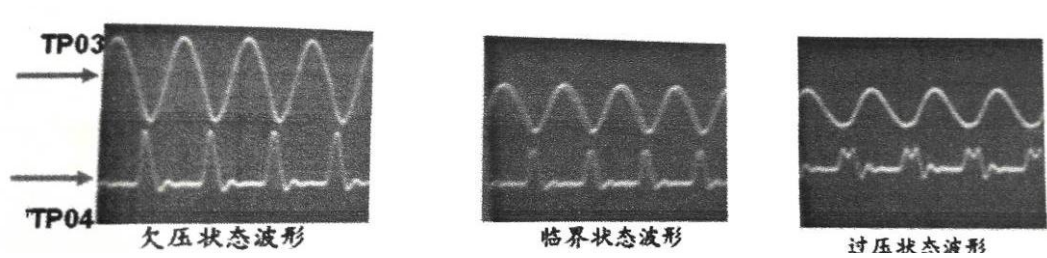
保持激励电压  $U_b$  (TP01 电压为 200mV 峰-峰值)、负载电阻  $R_L=8K\Omega$  不变，改变功放集电极电压  $E_c$  (调整 W01 电位器，使  $E_c$  为 5—10V 变化)，观察 TP04 电压波形。调整电压  $E_c$  时，仍可观察图 10-6 的波形。但此时欠压波形幅度比临界时稍大。实验过程中，可以观察到的以下波形：



## 3. 负载电阻 $R_L$ 变化对放大器工作状态的影响

保持功放集电极电压  $E_c=6V$ ，激励电压 (TP01 点电压、150mV 峰-峰值) 不变，改变负载电阻  $R_L$  (调整 W02 电位器)，观察 TP04 电压波形。同样能观察到

图 10-6 的脉冲波形，但欠压时波形幅度比临界时大，测出欠压、临界、过压时负载电阻的大小。实验过程中，可以观察到的以下波形：



4. 功放调谐特性测试

K04 置左侧（8.2MHz 调谐），K02 置右侧（丙类功放）。前置级输入信号幅度峰-峰值为 600mV。频率范围从 7.2MHZ—9.2MHZ，用示波器测出 TP03 的电压值，并填入表 10-1，然后画出频率与电压的关系曲线。

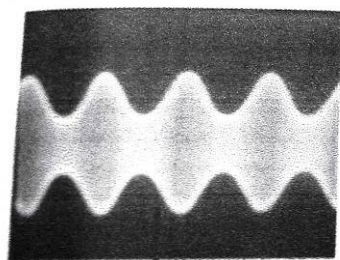
表 10-1

f（MHz）	7.2	7.5	7.8	8.0	8.2	8.4	8.7	9.0	9.2
Vc(Vp-p)									

5. 功放调幅波的观察

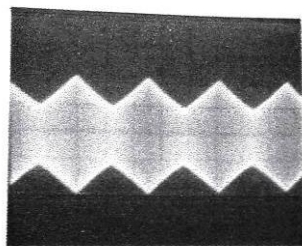
保持上述 3 的状态，调整 DDS 信号源的频率，使功放谐振，TP03 点输出幅度最大。然后从 P02 输入音频调制信号，用示波器观察 TP03 的波形。此时该点波形应为调幅波，改变音频信号的幅度，输出调幅波动调制度应发生变化。改变调制信号的频率，调幅波的包络亦随之变化。实际观测的调幅波如下图：

① 正弦波调幅



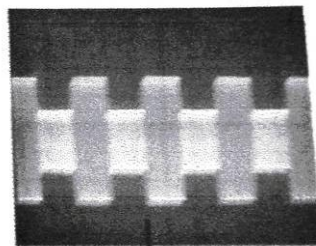
TP03

② 三角波调幅



TP03

③ 方波调幅



TP03

## 五、实验报告

1. 认真整理实验数据，对实验参数和波形进行分析，说明输入激励电压、集电极电源电压，负载电阻对工作状态的影响。
2. 用实测参数分析丙类功率放大器的特点。
3. 总结实验体会。

# 实验十一 变容二极管调频器

## 一、实验目的

1. 熟悉电子元件和高频电子线路实验系统；
2. 掌握用变容二极管调频振荡器实验 FM 的方法；
3. 理解静态调制特性、动态调制特性概念和测试方法。

## 二、实验原理

变容二极管调频器实验电路如图 11-1 所示。

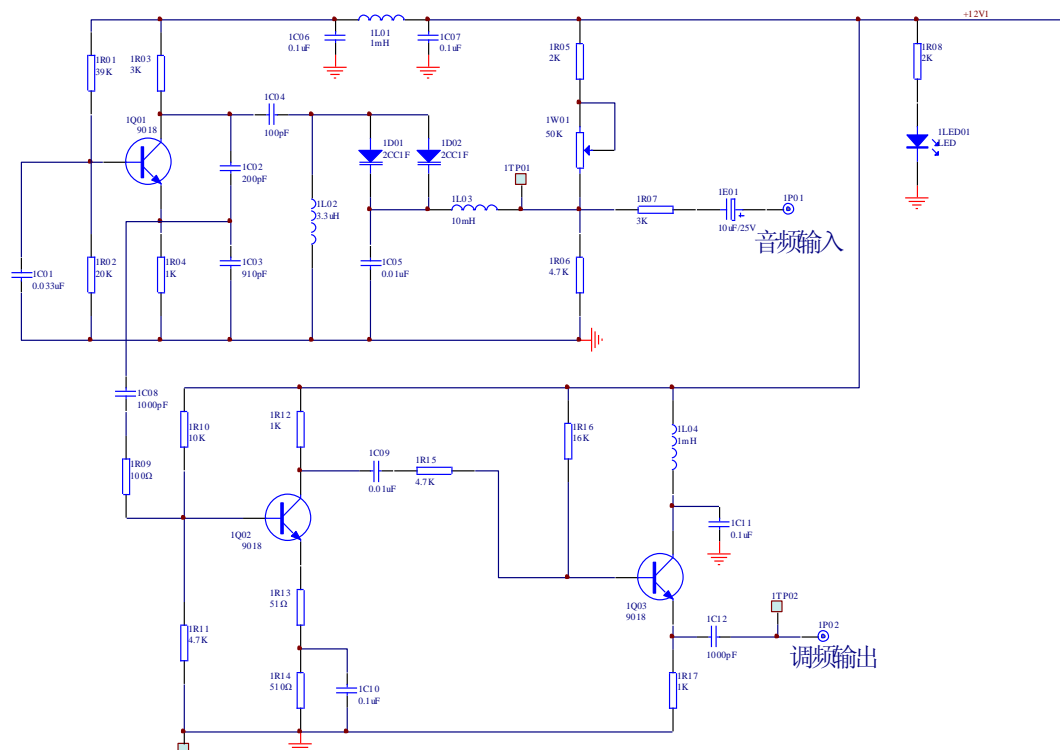


图 11-1 变容二极管调频器实验电路

1Q01 本身为电容三点式振荡器，它与 D01、D02（变容二极管）一起组成了直接调频器。1Q02 为放大器，1Q03 为射级跟随器。1W01 用来调节变容二极管偏压。图 11-1 可见，加到变容二极管上的直流偏置就是+12V 经由 1R05、1W01

和 1R06 分压后，从 1R06 得到的电压，因而调节 1W01 即可调整偏压。由图可见，该调制器本质上是一个电容三点式振荡器（共基接法），由于电容 1C05 对高频短路，因此变容二极管实际上与 1L02 相并。调整电位器 1W01，可改变变容二极管的偏压，改变变容二极管的容量，从而改变振荡频率。

对输入音频信号而言，1L03 短路，1C05 开路，从而音频信号可加到变容二极管 1D01、1D02 上。当变容二极管加有音频信号时，其等效电容接音频规律变化，因而振荡频率也按音频规律变化，从而达到了调频的目的。

### 三、实验内容

- 1. 观察调频器输出波形，考察各种因素对于调频器输出波形的影响；
- 2. 变容二极管调频静态调制特性测量；
- 3. 变容二极管调频器动态调制特性测量。

### 四、实验步骤

#### （一）模块上电

在实验箱主板上插上变容二极管调频模块、电容耦合相位鉴频与斜率鉴频模块，按下模块上电源开关，此时电源指示灯点亮。

#### （二）静态调制特性测量

- 1. 输入端先不接音频信号，将示波器接 1P02，用万用表测 1TP01 点电位，按表 11-1，调节 1W01，使 1TP01 点电位 V1p02 变化，并把相应的频率填入表中。

表 11-1

V1p02（V）	1.65	2	3	4	5	6	7	8	9	9.5
F0（MHZ）										

#### 2. 动态调制特性测量

将斜率鉴频与相位鉴频模块（简称鉴频器）中的+12V 电源接通。调整 1W01

使得变容二极管调频器输出频率  $f_0=6.3\text{MHz}$ 。以实验箱上的函数发生器作为音频调制信号源，输出频率  $f=1\text{kHz}$ 、峰-峰值  $V_{p-p}=500\text{mV}$ （用示波器检测）的正弦波。将音频调制信号加入到调频器的音频输入端 1P01，便可在调频器器的 1TP02 端上观察到 FM 波。

把调频器的调频输出端 1P02 连接到鉴频单元的输入端 1P01，并将鉴频器的 1K01 拨向相位鉴频器，便可知鉴频器的输出端 1P02 上观察到经解调后的音频信号。如果没有波形或波形不好，应调整调频器 1W01 和鉴频器 1W01。将示波器 CH1 接调制信号源（可接在调制模块中 1TP01 上），CH2 接鉴频输出 1TP02，比较两个波形有何不同。改变调制信号源的幅度，观测鉴频器解调输出有何变化。调制信号源的频率，观察鉴频器输出波形的变化。

## 五、实验报告

1. 根据实验数据，画出静态调制特性曲线，说明曲线斜率受哪些因素的影响。
2. 说明 1W01 对于鉴频器工作的影响。
3. 总结实验体会。



## 实验十二 斜率鉴频与相位鉴频器

### 一、实验目的

1. 了解调频波产生和解调全过程及整机调试方式，建立调频系统初步概念；
2. 掌握斜率鉴频器与相位鉴频器的工作原理；
3. 熟悉初、次级回路电容、耦合电容变化对 FM 波解调的影响。

### 二、实验原理

鉴频器实际上是一个频率-电压幅度转换电路。实现鉴频的方法有很多种，本实验介绍斜率鉴频和电容耦合回路相位鉴频。

#### 1. 斜率鉴频电路

先将 FM 波通过线性频率振幅转换网络，使输出 FM 波的振幅按照瞬时频率的规律变化，而后通过包络检波器检出反映振幅变化的解调信号。实践中频率振幅转换网络常常采用 LC 并联谐振回路，为了获得线性的频率幅度转换特性，总是使输入 FM 波的载频处在 LC 并联回路幅频特性曲线斜坡的近似直线段中点，即处在回路失谐曲线中点。这样，单失谐回路就可以将输入的等幅 FM 波转变为 AM-FM 波，通过二极管包络检波器进行检波，解调出原调制信号，完成鉴频。

图 12-1 为斜率鉴频与相位鉴频实验电路，1K01 开关置于左侧时为斜率鉴频。1Q01 用来对 FM 波进行放大，1C03、1L01 为频率振幅转换网络，其中心频率为 6.3MHz 左右。1D01 为包络检波二极管。1TP01、1TP02 为输入、输出测量点。

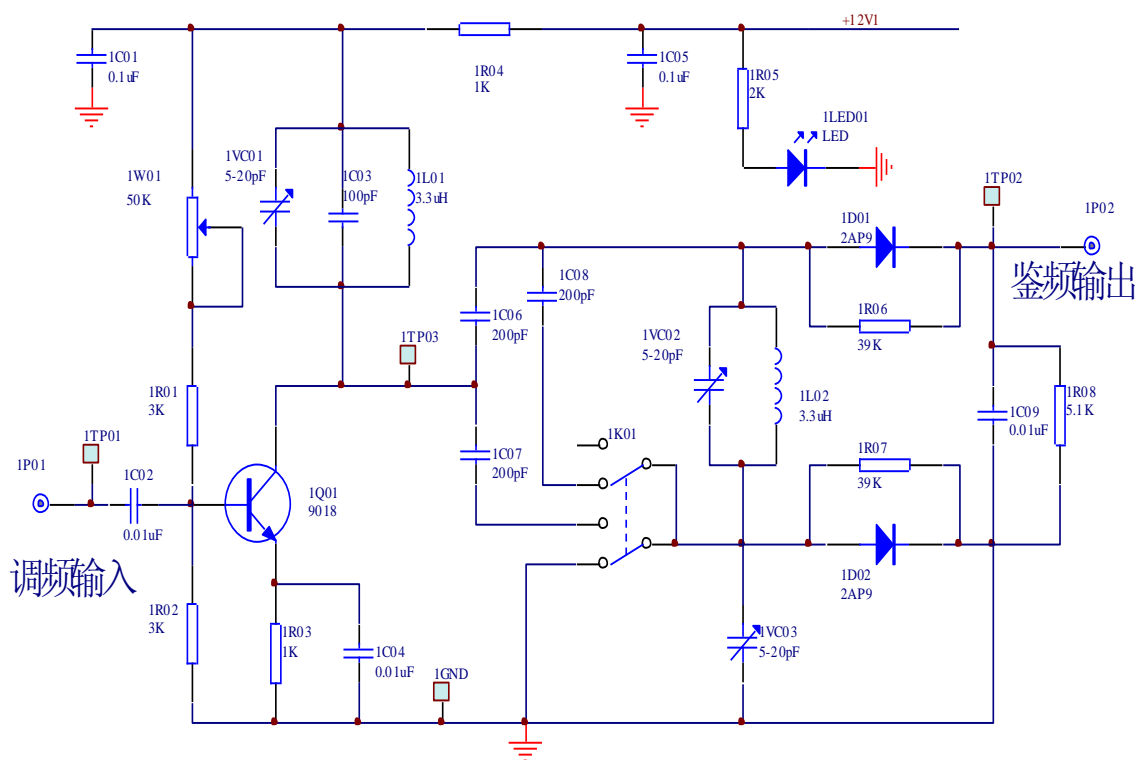


图 12-1 斜率鉴频与相位鉴频器实验电路

## 2. 相位鉴频器

本实验采用平衡叠加型电容耦合回路相位鉴频器，实验电路如图 12-1 所示，开关 1K01 拨向右侧时为相位鉴频。相位鉴频器由频相转换电路和鉴相器两部分组成。输入的调频信号加到放大器 1Q01 的基极上。放大管的负载是频相转换电路，该电路是通过电容 1VC03 耦合的双调谐回路，初级和次级都调谐在中心频率  $f_0=6.3\text{MHz}$  上。初级回路电压  $U_1$  直接加到次级回路中的串联电容 1C06、1C07 的中心点上，作为鉴相器的参考电压；同时， $U_1$  又经电容 1VC03 耦合到次级回路，作为鉴相器的输入电压，即加到 1L02 两端用  $U_2$  表示。鉴相器采用两个并联二极管检波电路。检波后的低频信号经 RC 滤波器输出。

## 三、实验内容

1. 观察鉴频过程：调频器输入、输出波形，鉴频器输入、输出波形；

2. 观察初次级回路电容、耦合电容对 FM 波解调的影响。

## 四、实验步骤

### （一）模块上电

主板上插好斜率鉴频与相位鉴频、变容二极管调频器模块，接通电源。

### （二）相位鉴频实验（该实验与实验 11 的内容有部分重复）

1. 以实验 10 中的方法产生 FM 波，即音频调制信号频率为 1KHz，电压峰-峰值 500mV，加到 1P01 音频输入端，并将调频输出中心频率调至 8.2MHz 左右，然后将其输出连接到鉴频器的输入端 1P01，将鉴频器器开关 1K01 拨向相位鉴频。

用示波器观察鉴频输出 1TP02 波形，此时可观察到频率为 1KHz 的正弦波。如果没有波形或波形不好，应调整调频器 1W01 和鉴频器 1W01。采用示波器作双通道观察：CH1 接调频器输入端 1TP01，CH2 接鉴频器输出端 1TP02，并比较。

2. 若改变调制信号幅度，则鉴频器输出信号幅度亦会随之变大，但信号幅度过大时，输出将会出现失真。

3. 改变调制信号的频率，鉴频器输出频率应随之变化，将调制信号改成三角波和方波，再观察鉴频输出。

### （三）斜率鉴频实验

1. 将鉴频器开关 1K01 拨向斜率鉴频。
2. 信号连接和测试方法与相位鉴频完全相同。

## 五、实验报告

1. 画出调频-鉴频系统正常工作时的调频器输入、输出波形和鉴频器输入、输出波形。
2. 总结实验体会。

# 实验十三 锁相、频率合成与频率调制

## 一、实验目的

1. 熟悉 4046 单片集成电路的组成和应用；
2. 加深锁相环基本工作原理的理解；
3. 掌握用 4046 集成电路实验频率调制的原理和方法；
4. 了解调频波的基本概念。

## 三、实验原理

### 1. 工作原理

直接式锁相频率合成器构成如图 13-3 所示。图中  $f_R$  为高稳定的参考脉冲信号（如晶体振荡器输出的信号）。压控振荡器（VCO）输出经  $N$  次分频后得到频率为  $f_N$  的脉冲信号。 $f_R$  和  $f_N$  在鉴相器（PD）进行比较，当环路处于锁定状态时，则：

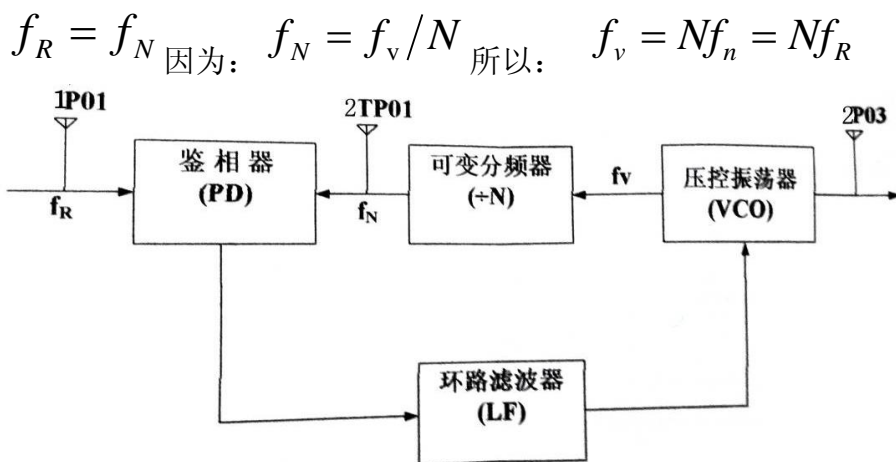


图 13-3 直接式锁相环频率合成器功能框图

### 2. 实验电路

电路如图 13-4 所示。2U02、2U03 构成二级可预置分频器，分别对应总分频

比 N 的十位、个位分频器。模块上的两个 4 位红色拨动开关 2S01、2S02 分别控制十位数、个位数的分频比，它们以 8421BCD 码形式输入。拨动开关往上拨为“1”，往下拨为“0”。使用时按所需分频比 N 预置好 2S01 的输入数据，例如 N=7 时，2S01 置“0000”，2S02 置“0111”；N=17 时，2S01 置“0001”，2S02 置“0111”。但是应当注意，当 2S02 置“1111”时，个位分频比 N1=15,如果 2S01 置“0001”时，此时的总分频比为 N=25。因此为了计算方便，建议个位分频比的预置不要超过 9。

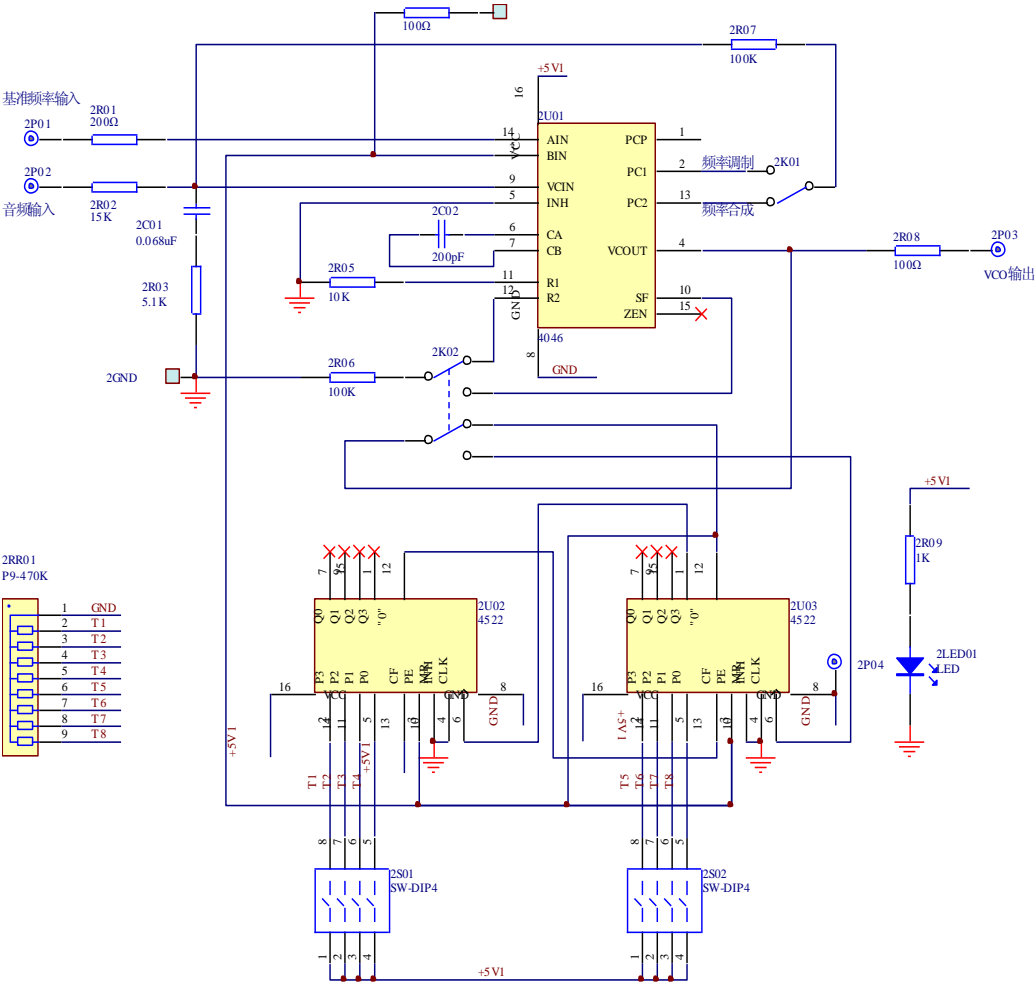


图 13-4 4046 锁相环频率调制器与频率合成器实验电路

当程序分频器的分频比 N 置成 1，也就是把 2S01 置“0000”，2S02 置成“0001”状态。这时，该电路就是一个基本锁相环电路。当二级程序分频器的 N 值可由外部输入进行编程控制时，该电路就是一个锁相式数字频率合成器实验电路。

2K02 打向“左侧”时，4046 锁相环构成频率调制器。2P01 为外加输入信号连接点，是在测试 4046 锁相环同步带、捕捉带时用的，2R07、2C01 和 2R03 构成环路滤波器。2P02 为音频调制信号输入口，调制信号由 2P02 输入，通过 4046 的第 9 脚控制其 VCO 的振荡频率。由于此时的控制电压为音频信号，因此 VCO 的振荡频率也会按照音频的规律变化。即达到了调频。调频信号由 2P03 输出。由于振荡器输出的是方波，因此本实验输出的是调频非正弦波。

2K02 打向右侧时，电路变为频率合成器。频率合成器是在锁相环的基础上增加了一个可变分频器。2P01 为外加基准频率输入，2TP01 为相位比较器输入信号测试点，也是分频器输出信号测试点。2P03 为 VCO 压控振荡器的输出信号。

### 三、实验内容

1. 不接调制信号时，观测调频器输出波形，并测量其频率；
2. 输入调制信号为正弦波时的调频方波的观测；
3. 输入调制信号为方波时的调频方波的观测。

### 四、实验步骤

#### （一）模块上电

将锁相、频率合成、调频模块插在高频大底板上，接通电源、即可开始试验。

#### （二）观察调频波波形（2K01、2K02 置“频率调制”）

将试验箱上函数发生器输出的正弦波（频率  $F=4\text{kHz}$ ， $U_{p-p}=4\text{V}$ ）作为调制信号加入到本试验模块的输入端 2p02，用示波器观察输出的调频方波信号 2p03。在观察调频方波时，可调整音频调制信号的幅度，电压幅值由零慢慢增加时，调频输出波形由清晰慢慢变模糊，或出现波形疏密不一致，才表明是调频。

将函数发生器输出的方波（频率  $f=1\text{kHz}$ ， $U_{p-p}=2\text{v}$ ）作为调制信号，用示波器再作观察和记录。

### (三) 频率合成器测量 (2K01、2K02 置“频率合成”)

#### 1. 外加基准信号的设置

将底板低频信号源设置为函数输出, 且输出方波, 频率  $F=2\text{KHZ}$ , 电压峰—峰值  $4\text{V}$  以上, 将该信号作为外加基准信号 (或参考信号)。

#### 2. 信号线连接, 将底板(低频信号输出)与 2P01 (基准频率输入) 相连。

3. 锁相环锁定测试: 将 2S01 设置为“0000”, 2S02 设置为“0001”(往上拨为“1”, 往下拨为“0”), 则程序分频器分频比为  $N=1$ 。双踪示波器探头分别接 2P01、2TP01, 若两波形一致, 则表示锁相环锁定。

4. 数字频率合成器及频率调节: 双踪示波器探头, 分别接至 2P01(基准频率输入)、2P03 (VCO 输出), 改变程序分频器的分频比, 使  $N$  分别等于 2、3、5、10、20 等情况下, 若 2P02、2P03 两波形同步, 则表示锁相环锁定。并从示波器显示的波形, 或用频率计测量 2P03 处的信号频率, 它应等于输入信号频率的  $N$  倍。  
(锁相环锁定时,  $f_R=f_N$ , 即 2P01 和 2TP01 两点的频率应相同, 但两波形的占空比不一定相同。只有  $N=1$  时占空比相同)。

## 五、实验报告

1. 测量并计算锁相环同步带和捕捉带;
2. 大致画出正弦波和方波调制时的调制波, 并说明调制的概念;
3. 当外加基准信号频率为  $2\text{KHz}$  时, 测量频率合成器输出的最高频率。

# 实验十四 锁相环鉴相器

## 一、实验目的

- 1. 加深锁相环工作原理的理解；
- 2. 了解用 4046 集成电路实验频率解调的原理并熟悉其方法；
- 3. 掌握锁相环鉴频的测试方法。

## 二、实验原理

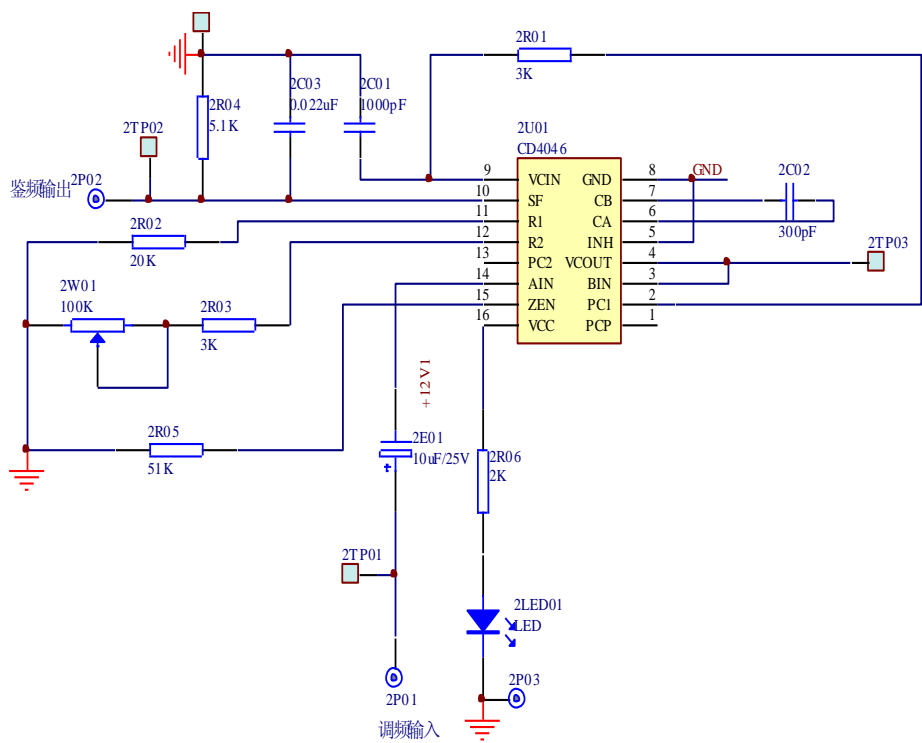


图 14-2 4046 锁相环鉴频器实验电路图

4046 锁相环鉴频器实验电路如图 14-2 所示，图中 2P01 为调频信号输入口，2TP01 为调频波测试点，2P02 为鉴频输出测试点，2TP03 为锁相环压控振荡器 VCO 测试点，调整 2W01 可改变 VCO 的振荡频率。来自实验 13 的调频波，通过 2P01 加到 4046 的 14 脚，当锁相环在调频波信号上锁定时，压控振荡器始终跟踪



外来信号的变化，VCO 的输入电压来自相位检测的经滤波的误差电压，它相当于鉴频输出，也即第 10 脚的输出应为解调的低频调制信号。

### 三、实验内容

1. 锁相环鉴频器的调整；
2. 了解用 4046 集成电路实现频率解调的原理，并熟悉其方法；
3. 掌握锁相环鉴频器的测试方法。

### 四、实验步骤

#### （一）模块上电

在主板上插入集成锁相\频率合成\调频电路模块和锁相环鉴频器模块，接通电源，开始实验。

#### （二）调频信号为正弦波的 FM 解调

1. 利用实验 13 获得正弦波调频波。低频信号源输出调制信号，其输出设置为：波形选择—正弦波(2KHz, 0.5V<sub>p-p</sub>)。将调制信号送入调频单元的输入端 2P02，在调频输出端（2P03）获得正弦波调制的调频波信号。

2. 将调频波信号接入到锁相环鉴频器的输入端（2P03）与鉴频器的 2P01 相连。波器的 CH1 观察调频单元输入（2P02），CH2 观察鉴频器解调输出（2P02）。如果无解调输出，或输出波形失真，调整鉴频器的电位器 2W01。改变调制信号的频率和幅度，波形随之变化。

#### 3. 调制信号为方波和三角波的解调

按照上述方法，将低频信号源输出波形设置为方波和三角波，在鉴频器输出端便可解调出与调制信号相一致的方法和三角波。但应注意：调制信号幅度不应过大，方波调制时，调制信号频率变化应在 1KHz 以下，否则解调输出会有失真。

#### （三）系统通信实验

上述连接方法不变，将鉴频器输出用铆孔线与主板低频信号源部分功放输入（SP02）相连，便可在扬声器中发出声音。将低频信号源部分设置为音频输出，在扬声器中就能听到音乐信号，调整“功放调解”电位器（W04）可调节音量输出大小。接上麦克风，设置为“麦克风输出”，便可完成通话实验。

## 五、实验报告

- 1、画出调频器和鉴频器构成系统通信的电路和示意图，并画出调制信号为正弦波时，调频器和鉴频器输入输出波形。
- 2、观察并记录解调波形。
- 3、总结实验体会。

## 实验十五 自动增益控制（AGC）

### 一、实验目的

1. 了解自动增益控制的作用；
2. 熟悉自动增益控制的原理及其实验的方法。

### 二、实验原理

接收单元在接收来自不同电台的信号时，由于各电台的功率不同，与接收器的距离不同，所以接收器的信号强度变化范围很大，如果接收单元增益不能控制，一方面不能保证接收单元输出适当的的声音强度，另一方面，在接收强信号时引起晶体管过载，即产生大信号阻塞，甚至损坏晶体管或终端设备，因此，接收单元需要有增益控制设备。常用的增益控制由人工和自动两种，本实验采用自动增益控制，简称 AGC 电路。

AGC 控制方式常用三种：（1）改变被控制级晶体管工作状态；（2）改变晶体管负载参数；（3）改变级间回路衰减量。本实验采用方式一，如图 16-2 所示：

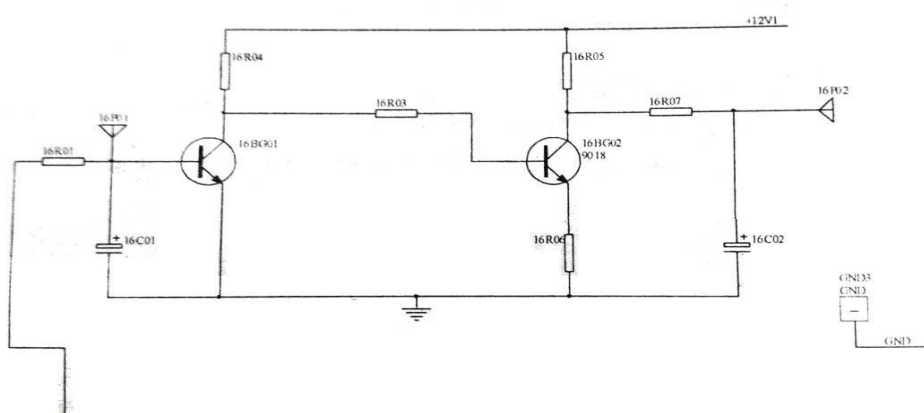


图 15-2 自动增益控制 AGC 电路

图中 16R01、16C01 和 16R07、16C02 为 RC 滤波电路，16BG01、16BG02

为直流放大器，当采用 AGC 时，16P02 应与中频放大器中的 7P01 相连，这样就构成了一个闭合系统。自动增益控制的过程：当信号增大时，中放输出幅度增大，使得检波器直流分量增大，自动增益控制电路输出端的直流电压增大。该控制电压加到中放第一级的发射极 1P01，使得该级增益减小，输出基本保持平稳。

### 三、实验内容

1. 不接 AGC，改变中放输入信号幅度，用示波器观察中放输出波形；
2. 接通 AGC，改变中放输入信号幅度，用示波器观察中放输出波形；
3. 改变中放输入信号幅度，用万用表测量 AGC 电压变化情况。

### 四、实验步骤

#### （一）模块上电

在实验箱主板上插上中频放大器模块，晶体二极管检波与 AGC 电路模块，接通实验箱和各模块电源即可开始实验。

#### （二）控制电压的测试

DDS 信号源为调幅波、频率 3MHz，其输出与中频放大器的输入（IN）相连，中放输出与二极管检波器输入相连。用万用表或示波器测试 AGC 的控制电压输出（晶体二极管检波模块中的 2P03），改变 DDS 信号源的输出幅度，观察 AGC 控制电压的变化。可以看出当 DDS 信号源幅度增大时，AGC 控制电压也增大。

#### （三）不接 AGC 时，输出信号的测试

上述步骤（二）的状态因为 AGC 输出没有与中放相连，即没有构成闭环，所以 AGC 没有起控制作用。在上述状态中，用示波器测试中放输出或检波器输入波形，可以看出，当增大 DDS 信号源输出幅度时，中放输出随之增大。

#### （四）接通 AGC 时，输出信号的测试

在步骤（二）的作用下，再将 AGC 模块输出与中放相连，即二极管检波器模块中 2P03 与中放模块 1P02 相连，构成了闭环，即 AGC 开始起作用。用示波

器测试中放输出或检波器输入波形。可以看出，当增大 DDS 信号源输出幅度时，中放输出也随之增大，当 DDS 信号源幅度继续增大时，中放输出幅度增加不明显。这说明 AGC 起到了控制作用。

## 五、实验报告

1. 在实验中中放输入信号多大幅度时，AGC 开始起作用？
2. 说明 AGC 电路中的 RC 滤波的作用。
3. 归纳总结 AGC 的控制过程。

## 实验十六 二极管环形混频器

### 一、实验目的

1. 进一步了解二极管环形混频器的工作原理；
2. 了解环形混频器与其他混频器的特点。

### 二、实验原理

#### 1. 电路与工作原理

由于混频器工作在非线性状态，在混频过程中除产生有用的中频信号外，还会产生许多不需要的频率分量，其中一部分将落在中频回路的通频带范围内，使中频信号与输入信号的包络不一样，产生了包络失真。另外，在混频过程中还将产生组合频率干扰、交叉调制干扰等，这些干扰存在会影响正常通信。所以在设计和调整混频电路时，应尽量减小失真及干扰。环形混频器由于它的平衡作用，使得输出端无用频率分量大为减少，得到广泛使用。本实验采用二极管环形混频器。如图 16-1 所示。

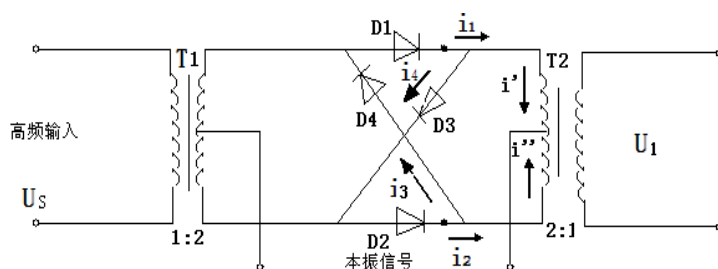
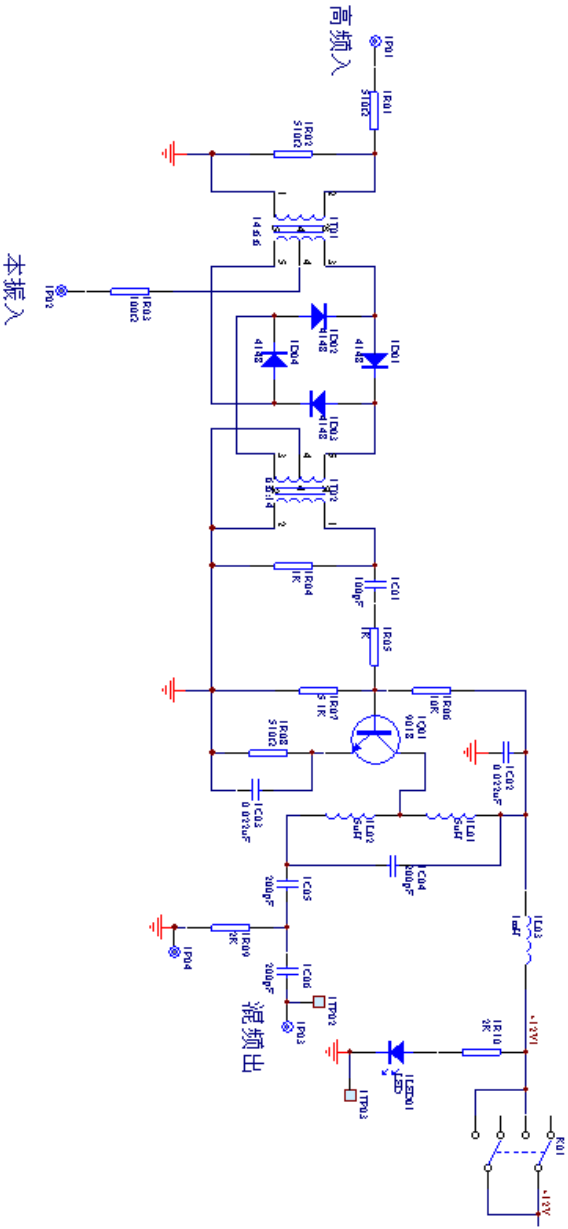


图 16-1 环形混频电路

经过数学分析，在环形混频电路中，只要电路堆成，则输出电流中仅有  $(2n-1)\omega_L \pm \omega_S$ ，没有  $\omega_L$  项出现。也就是它的输出中仅包含  $P\omega_L \pm \omega_S$  ( $P=2n-1$  为奇数) 的组合分量，而抵消了  $\omega_L$  以及  $P\omega_L \pm \omega_S$  ( $P$  为偶数) 等众多的组合分量。

#### 2. 实验电路

图 16-3 为本实验的实验电路。图中 T1、T2、D01、D02、D03 、D04 构成环形混频电路，P01 为输入信号输入口，P03 为本振信号输入口。图中的 L01、C04 谐振回路构成滤波电路，选出所需要的中频信号而滤除其他无用信号。Q01 对中频信号进行放大。TP02 为输出测量点，P02 为中频信号输出口。



### 三、实验内容

1. 用示波器观察输入输出波形；
2. 用频率计测量环形混频器输入输出频率；
3. 用示波器观察输入波形为调幅波时的输出波形。

### 四、实验步骤

#### （一）模块上电

将二极管环形混频器模块，LC 振荡器与射随放大模块插入实验箱主板，接通实验箱与所需各模块电源。

#### （二）中频频率的观测

1. 将 LC 振荡器的输出频率为 8.8MHz（幅度调至最大）作为本实验的本振信号输入（1P02），环形混频器的另一个输入端（1P01）接高频信号发生器的输出（5.8MHz， $V_{p-p}=1V$ ）。用示波器观测 1P01、1P02、1P03 各点波形，用频率计测量 1P01（FS）、1P02（FL）、1P03（Fi）的频率，并计算各频率是否符合  $F_i=FL-F_s$ 。当改变高频信号源的频率时，观察输出中频（1P03）的波形变化。

2. 混频的综合观测。将音频调制信号为 1KHz，载波频率为 5.8MHz 的调幅波（可用集成乘法器幅度调制电路产生该调幅信号），作为本实验的射频输入，本振信号仍为 8.8MHz。用示波器观测 1P01、1P02、1P03 各点波形，特别注意观察 1P01 和 1P03 两点波形的包络是否一致。

### 五、实验报告

1. 根据观测结果，绘制所需要的波形图，并作分析。
2. 归纳并总结信号混频的过程。



## 实验十七 脉冲计数式鉴频器

### 一、实验目的

- 1、加深脉冲计数式鉴频器工作原理的理解；

### 二、实验原理

鉴频器的工作原理与其它几种鉴频器不同。由于这种鉴频器是利用计过零点脉冲数目的方法实现的，所以叫做脉冲计数式鉴频器。它的突出优点是线性好，频带很宽，因此得到广泛应用，并可做成集成电路。它的基本原理是将调频波变换为重复频率等于调频波频率的等幅等宽脉冲序列，再经低通滤波器取出直流平均分量，其原理方框图和波形图分别如图 17-1 和图 17-2 所示。

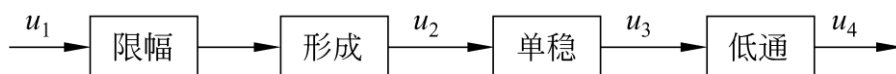


图 17-1 脉冲计数式鉴频器方框图

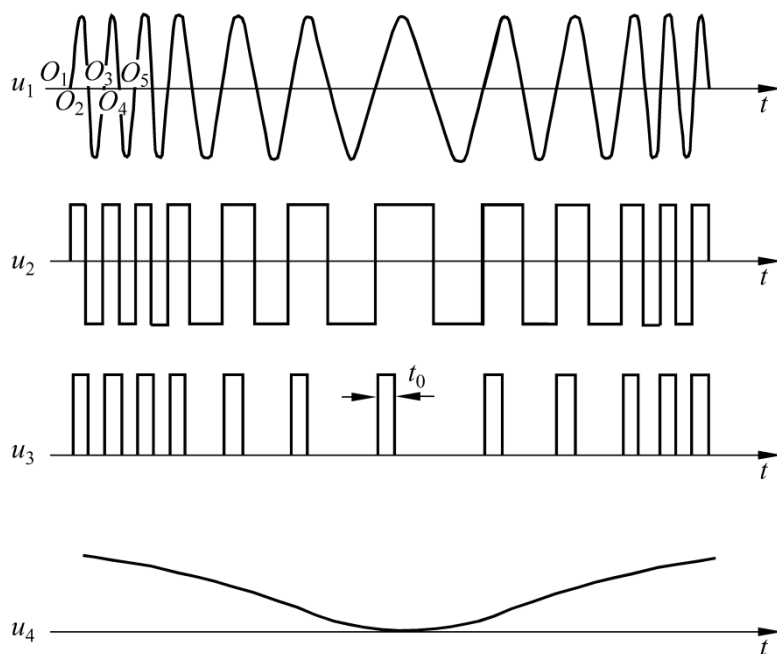


图 17-2 脉冲计数式鉴频器波形图

调频信号  $u_1$  经限幅加到形成级进行零点形成，这可采用施密特电路，形成级给出幅度相等、宽度不同的脉冲信号  $u_2$  去触发一级单稳态触发器，这里是用正脉冲沿触发，在触发脉冲作用下，单稳电路产生等幅等宽（宽度为  $t_0$ ）的脉冲序列  $u_3$ 。

然后，利用低通滤波器，从脉冲序列中恢复出低频调制信号。

### 三、实验内容

1. 用示波器观察输入中频调频波；
2. 用示波器观察单稳电路输出波形；
3. 用示波器观察低通滤波输出音频信号；

### 四、实验步骤

（一）模块上电

（二）依次执行以下实验步骤：

1. 根据前面实验利用频率综合器模块实现调频信号，用示波器观察输入调频波波性；（结合做的过程，补上具体参数：幅度、频率）
2. 连接调频波信号至单稳态电路，用示波器观察单稳电路输出波形；
3. 将单稳态电路输出信号接入低通滤波电路，用示波器观察低通滤波输出音频信号；

### 五、实验报告

1. 记录和分析实验中的数据，绘制各点信号波形；
2. 写出实验心得。

# 实验十八 调幅发射机实验

## 一、实验目的

1. 掌握模拟通信系统中调幅发射机组成原理；
2. 掌握系统联调的方法，培养解决实际问题的能力。

## 二、实验原理

调幅发射机主要是由丙类工作状态下的低频调谐功率放大器组成。DDS 信号源频率为 8.2MHz，幅度 500mV，作为发送机的载波，低频信号源频率可设置为 1KHz，幅度为 1V。经调幅后送入功放，然后通过天线发射出去。

## 三、实验内容

1. 建立调幅发射机的整机电路。
2. 测试观察调幅发射机的各个模块的工作波形。

## 四、实验步骤

1. 按图 18-1 插好所需模块，将各模块输入输出连接好，接通各模块电源；
2. 将 DDS 信号源频率设置为 8.2MHz，低频信号源频率设置为 1KHz；
3. 用示波器测试各模块输入输出波形，并调整各模块可调元件使输出达最佳状态；
4. 改变 DDS 信号源输出幅度，观看各测试波形的变化。

## 五、实验报告

1. 记录和分析实验数据，绘制发射机各点信号波形；
2. 写出实验心得。

# 实验十九 调幅接收机实验

## 一、实验目的

1. 掌握模拟通信系统中调幅接收机组成原理；
2. 掌握系统联调的方法，培养解决实际问题的能力。

## 二、实验原理

图 19-1 所示为调幅接收机组成框图。各模块之间用铆孔线连接，谐振放大器可以是单调谐回路谐振放大器，或者双调谐回路谐振放大器。混频器可以用三极管混频，也可以用集成乘法器混频。

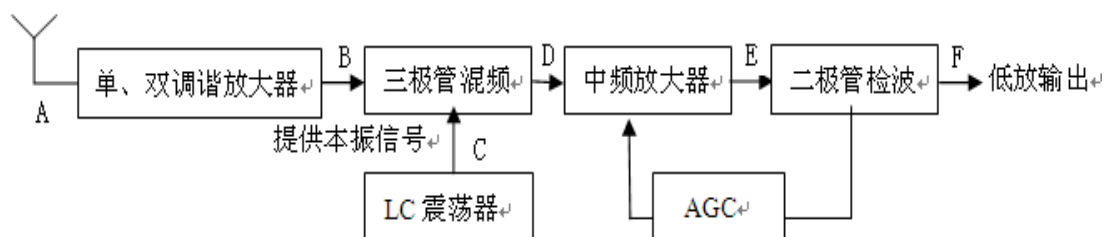


图 19-1 调幅接收连接图

DDS 信号源输出一个频率为 8.2MHz，幅度为 500mV 的调幅波，经谐振放大器后送入混频器。LC 振荡器输出频率为 11.2MHz，混频输出 3MHz 的调幅波送入中放，中放放大后经检波得到与 DDS 信号源中调制信号相一致的低频信号。

## 三、实验内容

1. 建立调幅接收机的整机电路。
2. 测试观察调幅接收机的各个模块的工作波形。

## 四、实验步骤

1. 按图 19-1 连接图将各模块输入输出连接好，接通各模块电源。
2. 将 DDS 信号源设为频率 8.2MHz，幅度为 300mV 的调幅波，送入谐振放大器。
3. 用示波器测试各模块输入输出波形，并调整各模块可调元件，使输出达最佳状态。

## 五、实验报告

1. 画出图 19-1 连接图中，A、B、C、D、E、F 各点波形。
2. 记录实验数据，并作出分析和写出实验心得体会。

## 实验二十 调幅系统整机联调

### 一、实验目的

1. 在模块实验的基础上掌握调幅发送单元、调幅接收单元整机组成原理，建立通信系统的概念；
2. 掌握收发系统的联调方法，培养解决实际问题的能力。

### 二、实验原理

#### 1. 方案一（如图 20-1 所示）

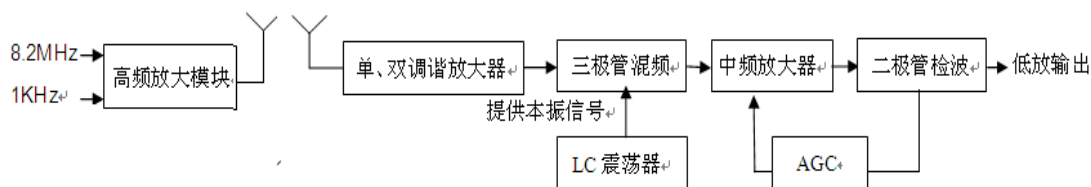


图 20-1 方案一 各模块连接图

该方案为调幅收发系统，可在两个实验箱上进行，一方为发射，一方为接收，距离为 2 米以内。DDS 信号源输出 8.2MHz 的等幅波，音频信号源可以是语音、音乐或固定的单音频。高频功放即为高频功率放大与发射实验模块，其谐振频率约 8.2MHz。DDS 信号源与音频信号源送入高频功放后，在本级进行调幅、放大，然后通过无线发射出去。在调试时，需要改变 DDS 信号源和音频信号源的幅度，使高频功放获得较大的发射功率。接收端的小信号调谐放大器采用双调谐放大器模块（因该模块配有接收天线），其谐振频率为 6.3MHz 左右。混频器可采用三极管混频模块，也可采用集成乘法器混频模块。LC 振荡器采用 LC 振荡模块，LC 振荡经射随放大后输出约 11.2MHz 的等幅波送入混频，经混频后输出约 3MHz 的调幅波。中放即为中频放大器模块，其谐振频率为 3MHz。图中检波、低放、AGC

为同一模块，即二极管检波与 AGC 模块。AGC 可接可不接，需要用连接线与中放相连。经检波后输出与发端音频信号源相一致波形，低放输出的信号可以送往耳机或扬声器。

2. 方案二（如图 20-2 所示）

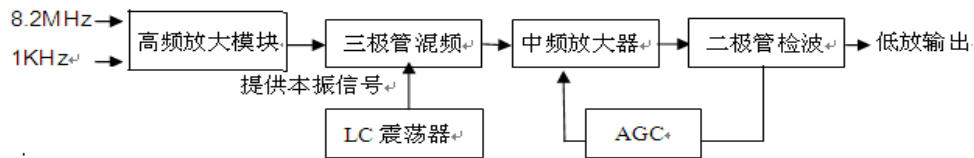


图 20-2 方案二 各模块连接图

该方案与方案一基本相同，但不是无线收发系统。高频功放输出直接与混频相连，因为高频功放输出幅度较大，接收端不需经小信号放大而直接送往混频。其它均与方案一相同。

三、实验内容

- 1. 建立调幅系统的整机电路（方案一和方案二）。
- 2. 测试观察调幅系统的各个模块的工作波形。

四、实验步骤

- 1. 分别按照以上方案一、二连接图插好所需模块，用铆孔线将各模块输入输出连接好，接通各模块电源；
- 2. 将 DDS 信号源频率设置为 8.2MHz，低频信号源设置为 1KHz；
- 3. 用示波器测试各模块输入输出波形，并调整各模块可调元件，微调 DDS 信号源的频率及幅度，使输出达最佳状态。

## 五、实验报告

1. 画出方案中各方框输入输出波形，并标明其频率。
2. 记录实验数据，并作出分析和写出实验心得体会。



## 实验二十一 调频发射机实验

### 一、实验目的

1. 掌握模拟通信系统中调频发射机组成原理；
2. 掌握系统联调的方法，培养解决实际问题的能力。

### 二、实验原理

下图是调频发射各模块连接图，二极管调频频率为 8.2MHZ，低频信号源频率可设置为 1KHZ，幅度为 2V 的正弦波。经调频后送入功放，放大后通过天线发射出去。

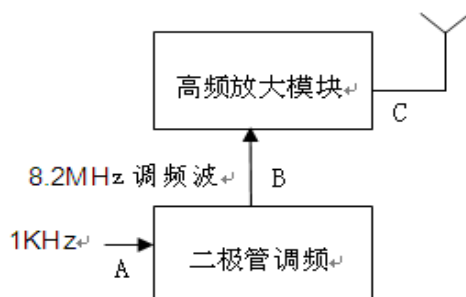


图 21-1 调频发射连接图

### 三、实验内容

1. 建立调频发射机的整机电路。
2. 测试观察调频发射机各个模块的工作波形。

### 四、实验步骤

1. 按上图连接图将各模块输入输出连接好，接通各模块电源；
2. 将二极管调频频率设置为 8.2MHZ，低频信号源频率设置为 1KHZ，幅度

为 2V;

3. 用示波器测试各模块输入输出波形，并调整各模块可调元件使输出达最佳状态;

4. 改变 DDS 信号源输出幅度，观看各测试波形的变化。

## 五、实验报告

1. 画出上图连接图中、A、B、C 各点波形。
2. 记录实验数据，并作出分析和写出实验心得体会。

## 实验二十二 调频接收机实验

### 一、实验目的

1. 掌握模拟通信系统中调频接收机组成原理；
2. 掌握系统联调的方法，培养解决实际问题的能力。

### 二、实验原理

下图为调频接收机的组成框图。各模块之间用铆孔线连接，谐振放大器是单、双调谐回路谐振放大器。鉴频器可以用斜率鉴频，也可以用相位鉴频。

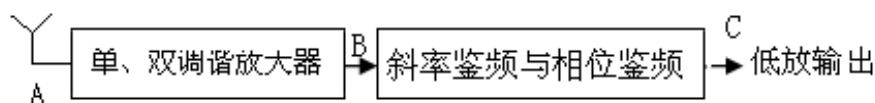


图 22-1 调频接收连接图

双调谐谐振放大器经天线接收到发送端的信号，将之放大后送至斜率与相位鉴频器经行解调，得出的信号应与调频信号相一致的低频信号。

### 三、实验内容

1. 建立调频接收机的整机电路；
2. 测试观察调频接收机各个模块的工作波形。

### 四、实验步骤

1. 按图将各模块输入输出连接好，接通各模块电源；
2. 将发送部分的信号经由天线或者铆孔线送至谐振放大器；
3. 用示波器测试各模块输入输出波形，调整各模块可调元件，使输出达最佳状态。

## 五、实验报告

1. 画出图 20-1 连接图中，A、B、C 各点波形。
2. 记录实验数据，并作出分析和写出实验心得体会。

## 实验二十三 调频系统整机联调

### 一、实验目的

1. 在模块实验的基础上掌握调频发送单元、调频接收单元整机组成原理，建立通信系统的概念；
2. 掌握收发系统的联调方法，培养解决实际问题的能力。

### 二、实验原理

#### 1. 方案一（如图 23-1 所示）

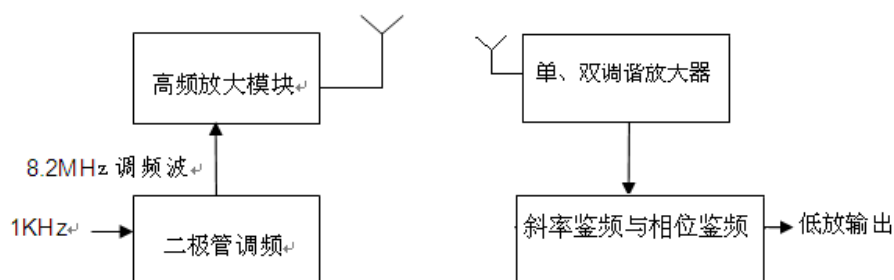


图 23-1 方案一 各模块连接图

该方案为无线收发系统，可在两个实验箱上进行，一方为发射，一方为接收，但距离在 2 米以内。二极管调频模块输出 8.2MHz 的正弦波，音频信号源可以是语音、音乐或固定的单音频。高频功放即为高频功率放大与发射实验模块，其谐振频率约 8.2MHz。二极管调频模块将已调频的信号送入高频功放后，在本级进行放大，然后通过无线发射出去。在调试时，需要调节音频信号源的幅度，使高频功放获得较大的发射功率。接收端的小信号调谐放大器采用双调谐放大器模块（因该模块配有接收天线），其谐振频率为 8.2MHz 左右。鉴频器通过开关可以选择斜率或者相位鉴频，经由鉴频器解调后的信号与发端音频信号源相一致波形，

最后将解调的信号送至低放（低频信号源）由扬声器发出声音。

## 2. 方案二（如图 23-2 所示）

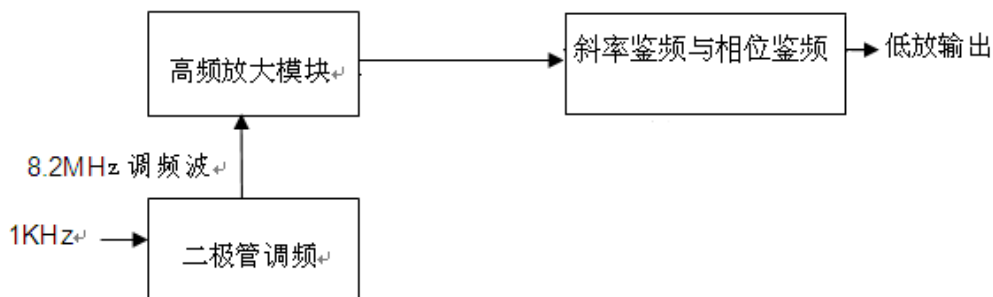


图 23-2 方案二 各模块连接图

该方案与方案一基本相同，但不是无线收发系统。高频功放输出用铆孔直接与单、双调谐放大器相连，因为高频功放输出幅度较大，接收端不需经小信号放大而直接送往鉴频器。其它均与方案一相同。

## 三、实验内容

1. 建立调频系统的整机电路（方案一和方案二）。
2. 测试观察调频系统的各个模块的工作波形。

## 四、实验步骤

1. 按联接图将各模块输入输出连接好，接通各模块电源；
2. 将二极管调频设置为 8.2MHz，低频信号源设置为 1KHz，幅度为 2V；
3. 用示波器测试各模块输入输出波形，并调整各模块可调元件，微调二极管调频的输出频率，使输出达最佳状态。

## 五、实验报告

1. 画出方案中各方框输入输出波形，并标明其频率。
2. 记录实验数据，并作出分析和写出实验心得体会。