

# 实验一 LC 与晶体振荡器实验

## 一、实验目的

- 1)、了解电容三点式振荡器和晶体振荡器的基本电路及其工作原理。
- 2)、比较静态工作点和动态工作点，了解工作点对振荡波形的影响。
- 3)、测量振荡器的反馈系数、波段复盖系数、频率稳定度等参数。
- 4)、比较 LC 与晶体振荡器的频率稳定度。

## 二、实验预习要求

实验前，预习教材：“电子线路非线性部分”第3章：正弦波振荡器；  
“高频电子线路”第四章：正弦波振荡器的有关章节。

## 三、实验原理说明

三点式振荡器包括电感三点式振荡器（哈脱莱振荡器）和电容三点式振荡器（考毕兹振荡器），其交流等效电路如图 1-1。

### 1、起振条件

1)、相位平衡条件： $X_{ce}$  和  $X_{be}$  必需为同性质的电抗， $X_{cb}$  必需为异性质的电抗，且它们之间满足下列关系：

$$X_c = -(X_{be} + X_{ce}) \quad \text{即}$$

$$|X_L| = -|X_C|, \quad \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

### 2)、幅度起振条件：

$$q_m > Fu^* q_{ie} + \frac{1}{Au} (q_{oe} + q'_L)$$

式中： $q_m$ ——晶体管的跨导，

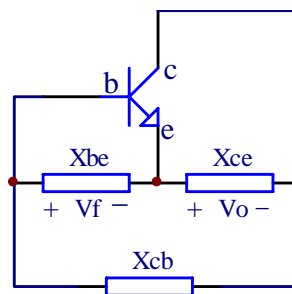


图 1-1 三点式振荡器

$F_U$ ——反馈系数， $A_U$ ——放大器的增益，

$q_{ie}$ ——晶体管的输入电导，

$q_{oe}$ ——晶体管的输出电导，

$q'_L$ ——晶体管的等效负载电导，

$F_U$ 一般在 0.1~0.5 之间取值。

## 2、电容三点式振荡器

### 1)、电容反馈三点式电路——考毕兹振荡器

图 1-2 是基本的三点式电路，其缺点是晶体管的输入电容  $C_i$  和输出电容  $C_o$  对频率稳定度的影响较大，且频率不可调。

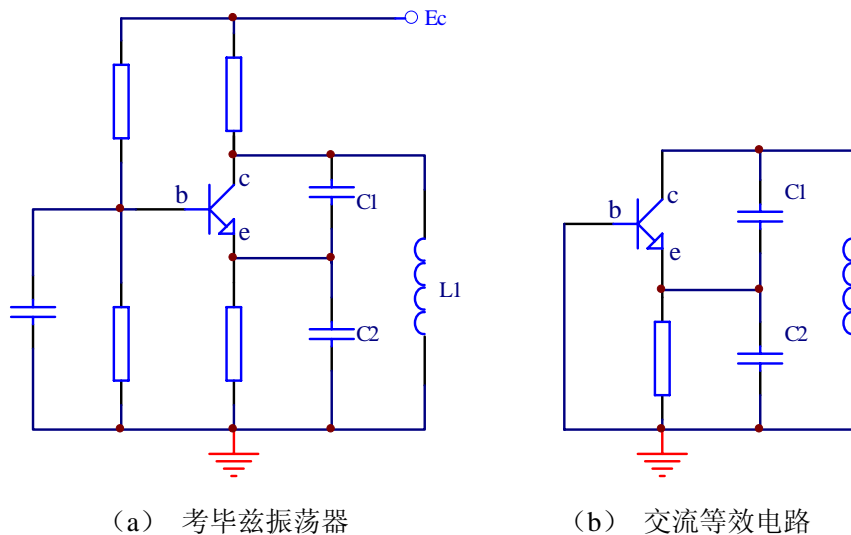
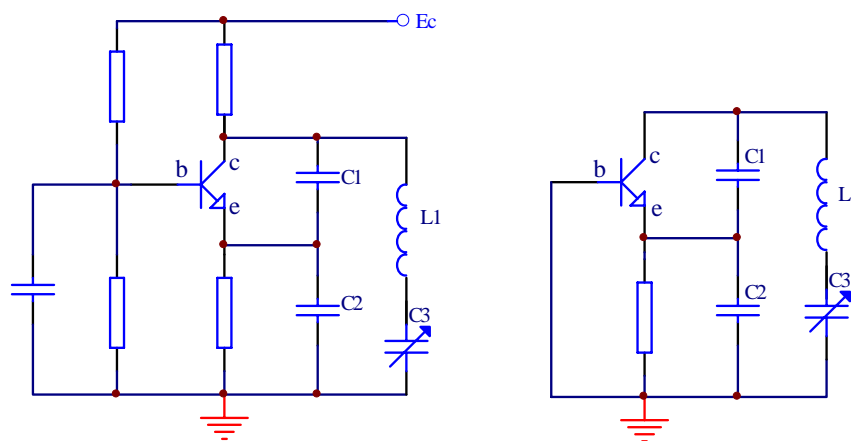


图 1-2 考毕兹振荡器

### 2)、串联改进型电容反馈三点式电路——克拉泼振荡器

电路如图 1-3 所示，其特点是在  $L$  支路中串入一个可调的小电容  $C_3$ ，并加大  $C_1$  和  $C_2$  的容量，振荡频率主要由  $C_3$  和  $L$  决定。 $C_1$  和  $C_2$  主要起电容分压反馈作用，从而大大减小了  $C_i$  和  $C_o$  对频率稳定度的影响，且使频率可调。



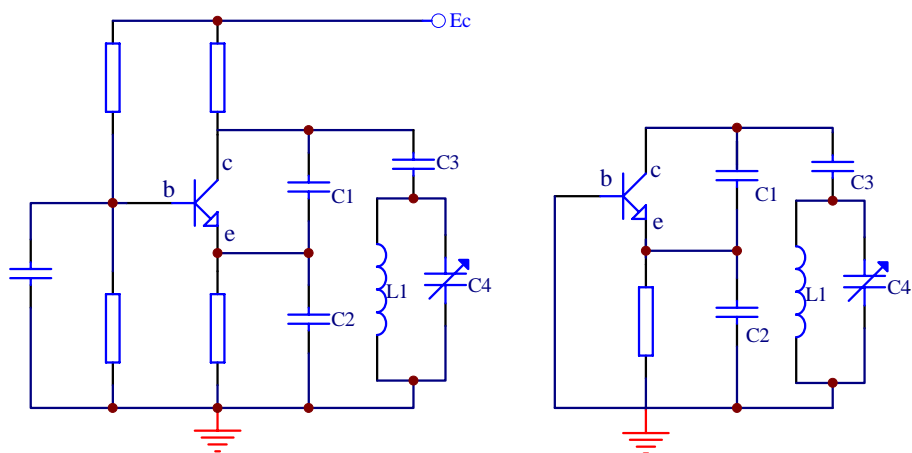
(a) 克拉泼振荡器

(b) 交流等效电路

图 1-3 克拉泼振荡器

### 3)、并联改进型电容反馈三点式电路——西勒振荡器

电路如图 1-4 所示，它是在串联改进型的基础上，在  $L_1$  两端并联一个小电容  $C_4$ ，调节  $C_4$  可改变振荡频率。西勒电路的优点是进一步提高电路的稳定性，振荡频率可以做得较高，该电路在短波、超短波通信机、电视接收机等高频设备中得到非常广泛的应用。本实验箱所提供的 LC 振荡器就是西勒振荡器。



(a) 西勒振荡器

(b) 交流等效电路

图 1-4 西勒振荡器

### 3、晶体振荡器

本实验箱提供的晶体振荡器电路为并联晶振 b-c 型电路，又称皮尔斯电路，其交流等效电路如图 1-5 所示。

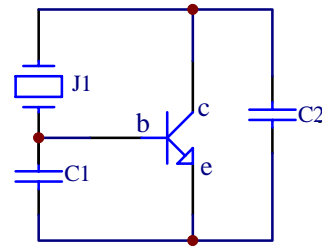


图 1-5 皮尔斯振荡器

#### 四、实验设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

双踪示波器；

频率计；

繁用表。

#### 五、实验内容与步骤

开启实验箱，在实验板上找到与本次实验内容相关的单元电路，并对照实验原理图，认清各个元器件的位置与作用，特别是要学会如何使用“短路帽”来切换电路的结构形式。

作为第一次接触本实验箱，特对本次实验的具体线路作如下分析，如图 1-6 所示（见图 1-6）。

电阻  $R_{101} \sim R_{106}$  为三极管  $BG_{101}$  提供直流偏置工作点，电感  $L_{101}$  既为集电极提供直流通路，又可防止交流输出对地短路，在电阻  $R_{105}$  上可生成交、直流负反馈，以稳定交、直流工作点。用“短路帽”短接切换开关  $K_{101}$ 、 $K_{102}$ 、 $K_{103}$  的 1 和 2 接点（以后简称“短接  $K_{xxx} \times - \times$ ”）便成为 LC 西勒振荡电路，改变  $C_{107}$  可改变反馈系数，短接  $K_{101}$ 、 $K_{102}$ 、 $K_{103}$  2-3，并去除电容  $C_{107}$  后，便成为晶体振荡电路，电容  $C_{106}$  起耦合作用， $R_{111}$  为阻尼电阻，

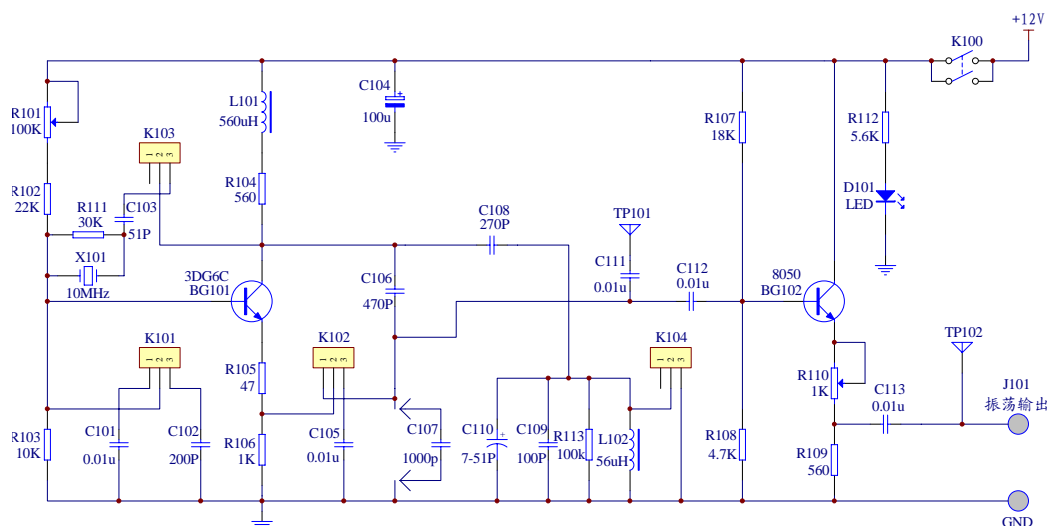


图 1-6 LC 与晶体振荡器实验电原理图

用于降低晶体等效电感的  $Q$  值，以改善振荡波形。在调整 LC 振荡电路静态工作点时，应短接电感  $L_{102}$ （即短接  $K_{104}$  2-3）。三极管  $BG_{102}$  等组成射极跟随电路，提供低阻抗输出。本实验中 LC 振荡器的输出频率约为 1.5MHz，晶体振荡器的输出频率为 10MHz，调节电阻  $R_{110}$ ，可调节输出的幅度。

经过以上的分析后，可进入实验操作。接通交流电源，然后按下实验板上的+12V 总电源开关  $K_1$  和实验单元的电源开关  $K_{100}$ ，电源指示发光二极管  $D_4$  和  $D_{101}$  点亮。

（一）、调整和测量西勒振荡器的静态工作点，并比较振荡器射极直流电压（ $U_e$ 、 $U_{eq}$ ）和直流电流（ $I_e$ 、 $I_{eq}$ ）：

1、组成 LC 西勒振荡器：短接  $K_{101}$  1-2、 $K_{102}$  1-2、 $K_{103}$  1-2、 $K_{104}$  1-2，并在  $C_{107}$  处插入 1000p 的电容器，这样就组成了与图 1-4 完全相同的 LC 西勒振荡器电路。用示波器(探头衰减 10)在测试点  $TP_{101}$  观测 LC 振荡器的输出波形，再用频率计测量其输出频率。

2、调整静态工作点：短接  $K_{104}$  2-3（即短接电感  $L_{102}$ ），使振荡器停振，

并测量三极管  $BG_{101}$  的发射极电压  $U_{eq}$ ; 然后调整电阻  $R_{101}$  的值, 使  $U_{eq}=0.5V$ , 并计算出电流  $I_{eq}$  ( $=0.5V/1K=0.5mA$ )。

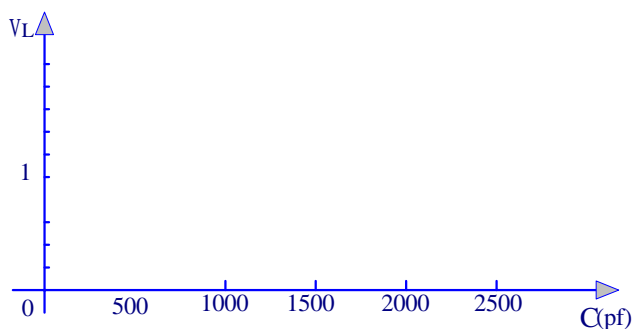
3、测量发射极电压和电流: 短接  $K_{104}$  1-2, 使西勒振荡器恢复工作, 测量  $BG_{102}$  的发射极电压  $U_e$  和  $I_e$ 。

4、调整振荡器的输出: 改变电容  $C_{110}$  和电阻  $R_{110}$  值, 使 LC 振荡器的输出频率  $f_0$  为  $1.5MHz$ , 输出幅度  $V_{Lo}$  为  $1.0V_{P-P}$ 。

(二)、观察反馈系数  $K_{fu}$  对振荡电压的影响:

由原理可知反馈系数  $K_{fu}=C_{106}/C_{107}$ 。按下表改变电容  $C_{107}$  的值, 在  $TP_{102}$  处测量振荡器的输出幅度  $V_L$  (保持  $U_{eq}=0.5V$ ), 记录相应的数据, 并绘制  $V_L=f(C)$  曲线。

$C_{107}(pf)$	500	1000	1500	2000	2500
$V_L(p-p)$					



(三)、测量振荡电压  $V_L$  与振荡频率  $f$  之间的关系曲线, 计算振荡器波段复盖系数  $f_{max}/f_{min}$ :

选择测试点  $TP_{102}$ , 改变  $C_{110}$  值, 测量  $V_L$  随  $f$  的变化规律, 并找出振荡器的最高频率  $f_{max}$  和最低频率  $f_{min}$ 。

f (KHz)						
V <sub>L</sub> (p-p)						
f <sub>max</sub> = _____ 和 f <sub>min</sub> = _____, f <sub>max</sub> /f <sub>min</sub> = _____						



(四)、观察振荡器直流工作点  $I_{eq}$  对振荡电压  $V_L$  的影响:

保持  $C_{107}=1000p$ ,  $U_{eq}=0.5V$ ,  $f_0=1.5MHz$  不变, 然后按以上调整静态工作点的方法改变  $I_{eq}$ , 并测量相应的  $V_L$ , 且把数据记入下表。

$I_{eq}(mA)$	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
$V_L(p-p)$							

(五)、比较两类振荡器的频率稳定度:

#### 1、LC 振荡器

保持  $C_{107}=1000p$ ,  $U_{eq}=0.5V$ ,  $f_0=1.5MHz$  不变, 分别测量  $f_1$  在  $TP_{101}$  处和  $f_2$  在  $TP_{102}$  处的频率, 观察有何变化?

#### 2、晶体振荡器

短接  $K_{101}$ 、 $K_{102}$ 、 $K_{103}2-3$ , 并去除电容  $C_{107}$ , 再观测  $TP_{102}$  处的振荡波形, 记录幅度  $V_L$  和频率  $f_0$  之值。

波形: \_\_\_\_\_ 幅度  $V_L$ =\_\_\_\_\_ 频率  $f_0$ =\_\_\_\_\_。

然后将测试点移至  $TP_{101}$  处, 测得频率  $f_1$  =\_\_\_\_\_。

根据以上的测量结果，试比较两种振荡器频率的稳定度 $\Delta f/f_0$ ：

LC振荡器  $\Delta f / f_0 = (f_0 - f_1) / f_0 * 100\% =$  %

晶体振荡器  $\Delta f / f_0 = (f_0 - f_1) / f_0 * 100\% =$  %

## 六、预习思考题

- 1、静态和动态直流工作点有何区别？如何测定？
- 2、本电路采用何种形式的反馈电路？反馈量的大小对电路有何影响？
- 3、试分析  $C_{103}$ 、 $L_{102}$  对晶振电路的影响？
- 4、射极跟随电路有何特性？本电路为何采用此电路？

## 七、实验注意事项

- 1、本实验箱提供了本课程所有的实验项目，每次实验通常只做其中某一个单元电路的实验，因此不要随意操作与本次实验无关的单元电路。
- 2、用“短路帽”换接电路时，动作要轻巧，更不能丢失“短路帽”，以免影响后续实验的正常进行。
- 3、在打开的实验箱箱盖上不可堆放重物，以免损坏机箱的零部件。
- 4、实验完毕时必须按开启电源的逆顺序逐级切换相应的电源开关。

## 八、实验报告

- 1、整理实验数据，绘画出相应的曲线。
- 2、总结对两类振荡器的认识。
- 3、实验的体会与意见等。



## 实验二 函数信号发生实验

### 一、实验目的

- 1)、了解单片集成函数信号发生器 ICL8038 的功能及特点。
- 2)、掌握 ICL8038 的应用方法。

### 二、实验预习要求

参阅相关资料中有关 ICL8038 的内容介绍。

### 三、实验原理

#### (一)、ICL8038 内部框图介绍

ICL8038 是单片集成函数信号发生器，其内部框图如图 2-1 所示。它由恒流源  $I_2$  和  $I_1$ 、电压比较器 A 和 B、触发器、缓冲器和三角波变正弦波电路等组成。

外接电容 C 可由两个恒流源充电和放电，电压比较器 A、B 的阈值分别为总电源电压（指  $U_{CC}+U_{EE}$ ）的  $2/3$  和  $1/3$ 。恒流源  $I_2$  和  $I_1$  的大小可通过外接电阻调节，但必须  $I_2 > I_1$ 。当触发器的输出

为低电平时，恒流源  $I_2$  断开

，恒流源  $I_1$  给 C 充电，它的两端电压  $u_c$  随时间线性上升，当达到电源电压的确  $2/3$  时，电压比较器 A 的输出电压发生跳变，使触发器输出由低电平变

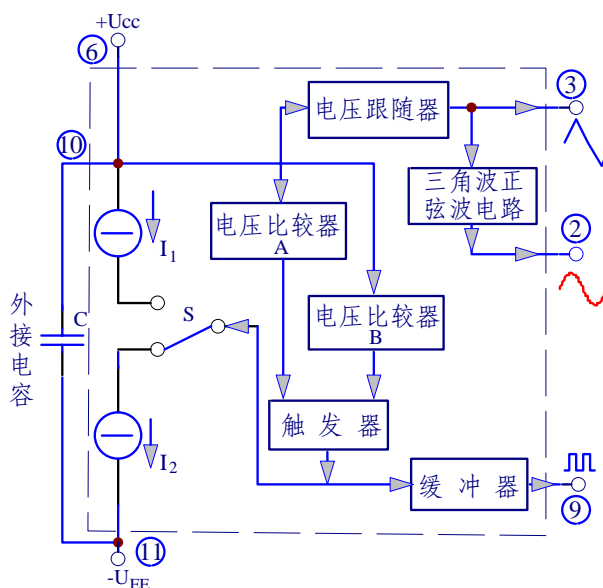


图 2-1 ICL8038 原理框图

为高电平，恒流源  $I_2$  接通，由于  $I_2 > I_1$ （设  $I_2 = 2I_1$ ）， $I_2$  将加到  $C$  上进行反充电，相当于  $C$  由一个净电流  $I$  放电， $C$  两端的电压  $u_c$  又转为直线下降。当它下降到电源电压的  $1/3$  时，电压比较器  $B$  输出电压便发生跳变，使触发器的输出由高电平跳变为原来的低电平，恒流源  $I_2$  断开， $I_1$  再给  $C$  充电，……如此周而复始，产生振荡。若调整电路，使  $I_2 = 2I_1$ ，则触发器输出为方波，经反相缓冲器由引脚 9 输出方波信号。 $C$  上的电压  $u_c$ ，上升与下降时间相等（呈三角形），经电压跟随器从引脚 3 输出三角波信号。将三角波变为正弦波是经过一个非线性网络（正弦波变换器）而得以实现，在这个非线性网络中，当三角波电位向两端顶点摆动时，网络提供的交流通路阻抗会减小，这样就使三角波的两端变为平滑的正弦波，从引脚 2 输出。

#### 1、ICL8038 引脚功能图

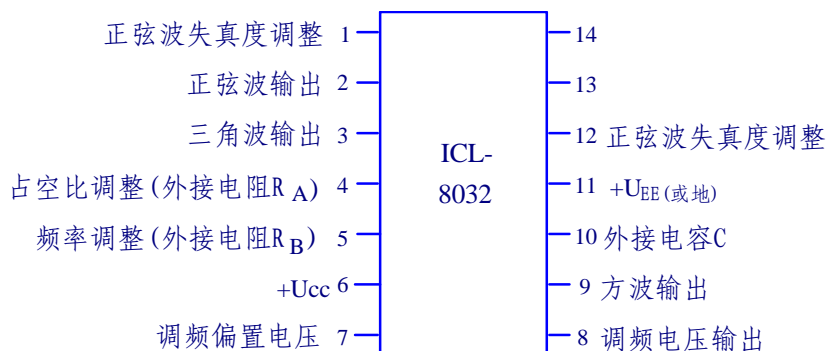


图 2-2 ICL8038 引脚图

供电电压为单电源或双电源： 单电源 10V~30V

双电源  $\pm 5V \sim \pm 15V$

2、实验电路原理图如图 2-3 所示。

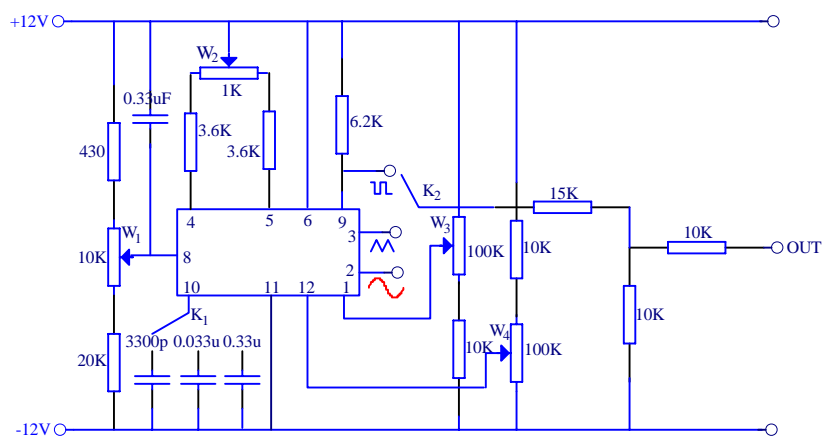


图 2-3 ICL8038 实验电路图

其中  $K_1$  为输出频段选择波段开关， $K_2$  为输出信号选择开关，电位器  $W_1$  为输出频率细调电位器，电位器  $W_2$  调节方波占空比，电位器  $W_3$ 、 $W_4$  调节正弦波的非线性失真。

### 3、实际线路分析

ICL8038 的实际线路与图 2-3 基本相同，只是在输出增加了一块 LF353 双运放，作为波形放大与阻抗变换。如图 2-4 所示。根据所选的电路元器件值，本电路的输出频率范围为约 10Hz~11KHz；幅度调节范围：正弦波为 0~12V，三角波为 0~20V，方波为 0~22V。若要得到更高的频率，可适当改变三档电容的值。

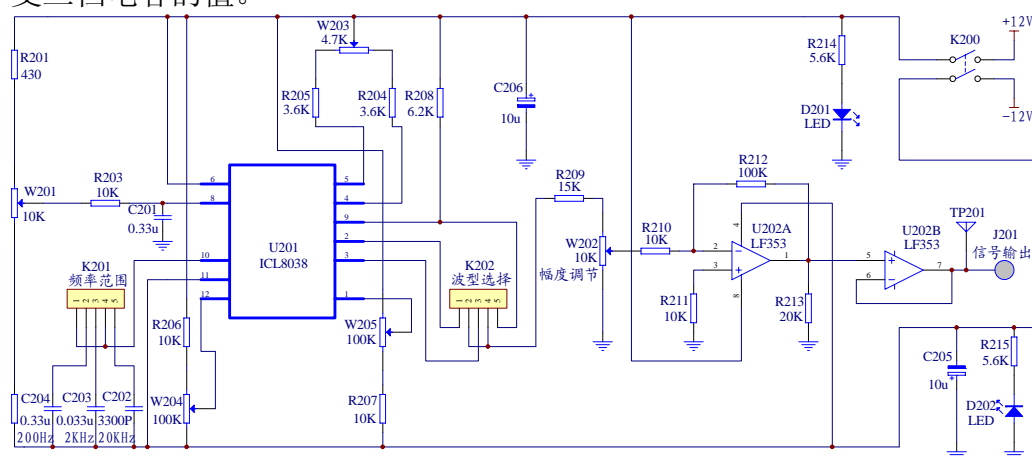


图 2-4 函数信号发生实验电原理图

## 四、实验仪器与设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

双踪示波器；

频率计；

交流毫伏表。

## 五、实验内容与步骤

在实验箱上找到本次实验所用的单元电路，并与电路原理图相对照，了解各个切换开关的功能与使用。然后按前述的实验步骤开启相应的电源开关。

### (一)、输出正弦波的调整与测量

1、取某一频段的正弦波输出，用示波器观测输出端（TP<sub>701</sub>）的波形。通过反复调节电位器 W<sub>2</sub>、W<sub>3</sub>、W<sub>4</sub>，使输出正弦波的失真为最小。

2、用频率计和交流毫伏表分别测量三个频段的频率调节范围和各频段的输出频响特性  $V=f(f)$ ：

①从最低频段开始，调节频率细调电位器 W<sub>1</sub>，测定本频段的频率调节范围和输出电压（在最高与最低频率之间选取若干点）。

频率 f										
电压 V										

②切换到中间频段，重复①的步骤。

③切换到最高频段，重复①的步骤。

### (二)、输出三角波的观察

通过调节频率和幅度，观测输出的波形。

### (三)、观察输出的方波信号

- 1、通过调节频率和幅度，观测输出的波形。
- 2、通过调节  $W_2$ ，可以改变输出方波的占空比。

## 六、实验注意事项

- 1、正弦波的波形调整是一项较细致的实验步骤，往往需要反复多次调整相关的电位器，以获得一个失真度最小的正弦波形。
- 2、经实验（三）的第 2 项步骤后，要想重新恢复正弦波输出，则必须重新调整电位器  $W_2$ 。

## 七、预习思考题

- 1、如果采用单电源或不对称的双电源供电，对输出有何影响？
- 2、本电路输出的最高频率与最低频率受哪些因素的影响？
- 3、要想同时输出三种不同波形的信号，有否可能？如何实现？
- 4、在实验的实际电路中后两级的运放有何作用？去除它行吗？

## 八、实验报告

- 1、作出各频段的频响特性曲线。
- 2、回答预习中的思考题。

## 实验三 幅度调制与解调实验

### 一、实验目的

- 1)、加深理解幅度调制与检波的原理。
- 2)、掌握用集成模拟乘法器构成调幅与检波电路的方法。
- 3)、掌握集成模拟乘法器的使用方法。
- 4)、了解二极管包络检波的主要指标、检波效率及波形失真。

### 二、实验预习要求

实验前预习“电子线路非线性部分”第4章：振幅调制、解调与混频电路；“高频电子线路”第六章：调幅与检波；“高频电子技术”第8章：调幅、检波与混频——频谱线性搬移电路有关章节。

### 三、实验原理

#### 1、调幅与检波原理简述：

调幅就是用低频调制信号去控制高频振荡（载波）的幅度，使高频振荡的振幅按调制信号的规律变化；而检波则是从调幅波中取出低频信号。振幅调制信号按其不同频谱结构分为普通调幅（AM）信号，抑制载波的双边带调制（DSB）信号，抑制载波和一个边带的单边带调制信号。

把调制信号和载波同时加到一个非线性元件上(例如晶体二极管和晶体三极管)，经过非线性变换电路，就可以产生新的频率成分，再利用一定带宽的谐振回路选出所需的频率成分就可实现调幅。

#### 2、集成四象限模拟乘法器 MC1496 简介：

本器件的典型应用包括乘、除、平方、开方、倍频、调制、混频、检波、鉴相、鉴频动态增益控制等。它有两个输入端  $V_X$ 、 $V_Y$  和一个输出端  $V_O$ 。一个理想乘法器的输出为  $V_O=KV_XV_Y$ ，而实际上输出存在着各种误差，其输出的关系为： $V_O=K(V_X+V_{XOS})(V_Y+V_{YOS})+V_{ZOX}$ 。为了得到好的精度，必须消除  $V_{XOS}$ 、 $V_{YOS}$  与  $V_{ZOX}$  三项失调电压。集成模拟乘法器 MC1496

是目前常用的平衡调制/解调器，内部电路含有 8 个有源晶体管。本实验箱在幅度调制，同步检波，混频电路三个基本实验项目中均采用 MC1496。

MC1496 的内部原理图和管脚功能如图 3-1 所示：

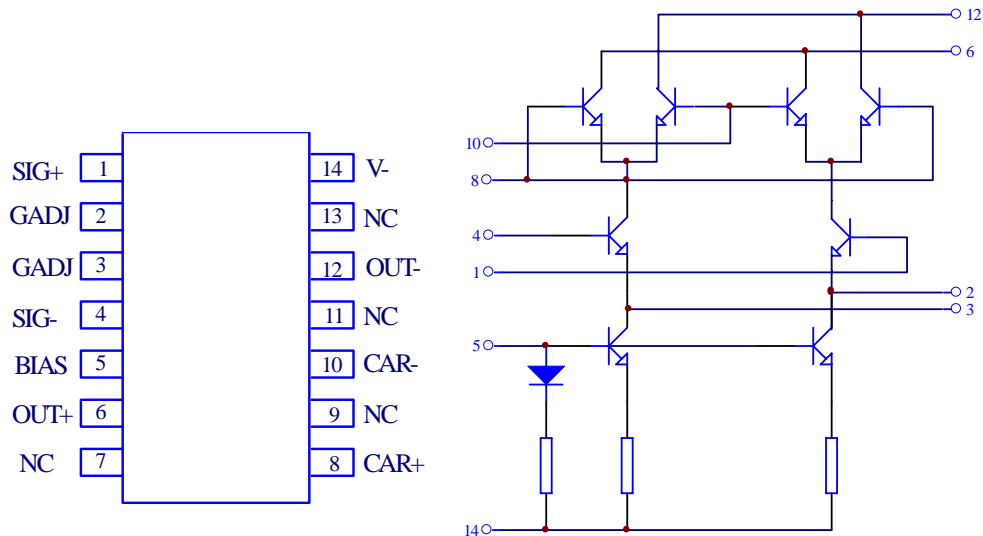


图 3-1 集成电路 MC1496 电路原理图

MC1496 各引脚功能如下：

- |                |                   |
|----------------|-------------------|
| 1)、SIG+ 信号输入正端 | 2)、GADJ 增益调节端     |
| 3)、GADJ 增益调节端  | 4)、SIG- 信号输入负端    |
| 5)、BIAS 偏置端    | 6)、OUT+ 正电流输出端    |
| 7)、NC 空脚       | 8)、CAR+ 载波信号输入正端  |
| 9)、NC 空脚       | 10)、CAR- 载波信号输入负端 |
| 11)、NC 空脚      | 12)、OUT- 负电流输出端   |
| 13)、NC 空脚      | 14)、V- 负电源        |

### 3、实际线路分析

实验电路如图 3-2 所示，图中  $U_{301}$  是幅度调制乘法器，音频信号和载波分别从  $J_{301}$  和  $J_{302}$  输入到乘法器的两个输入端， $K_{301}$  和  $K_{303}$  可分别将两路输入对地短路，以便对乘法器进行输入失调调零。 $W_{301}$  可控制调幅波的调制度， $K_{302}$  断开时，可观察平衡调幅波， $R_{302}$  为增益调节电阻， $R_{309}$  和  $R_{304}$  分

别为乘法器的负载电阻， $C_{309}$  对输出负端进行交流旁路。 $C_{304}$  为调幅波输出耦合电容， $BG_{301}$  接成低阻抗输出的射级跟随器。

$U_{302}$  是幅度解调乘法器，调幅波和载波分别从  $J_{304}$  和  $J_{305}$  输入， $K_{304}$  和  $K_{305}$  可分别将两路输入对地短路，以便对乘法器进行输入失调调零。 $R_{311}$ 、 $R_{317}$ 、 $R_{313}$  和  $C_{312}$  作用与上图相同。

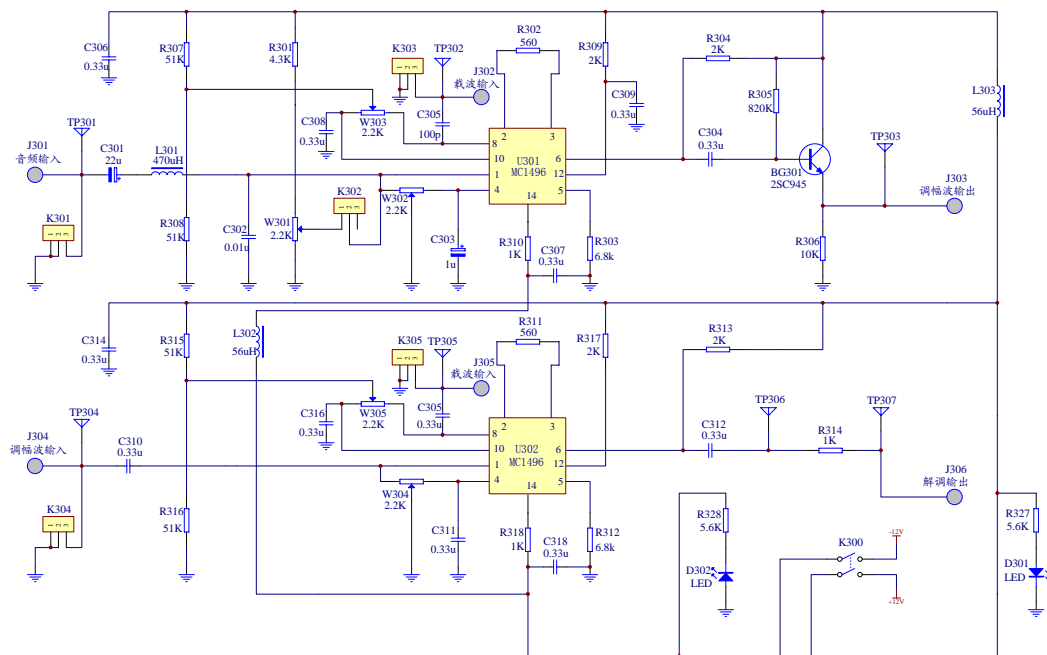


图 3-2 幅度调制与解调实验电原理图

## 四、实验仪器与设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

高频信号发生器；

双踪示波器；

繁用表。

## 五、实验内容与步骤

在实验箱上找到本次实验所用的单元电路，对照实验原理图熟悉元器件的位置和实际电路的布局，然后按下 +12V，-12V 总电源开关  $K_1$ ， $K_3$ ，函数信号发生实验单元电源开关  $K_{200}$ ，本实验单元电源开关  $K_{300}$ ，与此相对



应的发光二极管点亮。

准备工作：

幅度调制实验需要加音频信号  $V_L$  和 高频信号  $V_H$ 。调节函数信号发生器的输出为  $0.3V_{P-P}$ 、1KHz 的正弦波信号；调节高频信号发生器的输出为  $0.6V_{P-P}$ 、10MHz 的正弦波信号。

(一)、乘法器  $U_{501}$  失调调零

将音频信号接入调制器的音频输入口  $J_{301}$ ，高频信号接入载波输入口  $J_{302}$  或  $TP_{302}$ ，用双踪示波器同时监视  $TP_{301}$  和  $TP_{303}$  的波形。通过电路中有关的切换开关和相应的电位器对乘法器的两路输入进行输入失调调零。具体步骤参考如下：

1)、短接  $K_{301}$  的 2-3， $K_{303}$  的 1-2， $K_{302}$  的 2-3，调节  $W_{302}$  至  $TP_{303}$  输出最小。

2)、短接  $K_{301}$  的 1-2， $K_{303}$  的 2-3， $K_{302}$  的 1-2，调节  $W_{303}$  和  $W_{301}$ ，至  $TP_{303}$  输出最小。

3)、短接  $K_{301}$  的 1-2， $K_{303}$  的 1-2， $K_{302}$  的 1-2，微调  $W_{302}$ ，即能得到理想的 10MHz 调幅波。

(二)、观测调幅波

在乘法器的两个输入端分别输入高、低频信号，调节相关的电位器( $W_{301}$  等)，短接  $K_{302}$  1-2，在输出端观测调幅波  $V_O$ ，并记录  $V_O$  的幅度和调制度。此外，在短接  $K_{302}$  2-3 时，可观测平衡调幅波  $V_O'$ ，记录  $V_O$  的幅度。

(三)、观测解调输出

1、参照实验步骤（一）的方法对解调乘法器进行失调调零。

2、在保持调幅波输出的基础上，将调制波和高频载波输入解调乘法器  $U_{302}$ ，即分别连接  $J_{303}$  和  $J_{304}$ ， $J_{302}$  和  $J_{305}$ ，用双踪示波器分别监视音频输入和解调器的输出。然后在乘法器的两个输入端分别输入调幅波和载波。用示

波器观测解调器的输出，记录其频率和幅度。若用平衡调幅波输入（ $K_{302}$  2-3 短接），再观察解调器的输出并记录之。

## 六、实验注意事项

1、为了得到准确的结果，乘法器的失调调零至关重要，而且又是一项细致的工作，必须要认真完成这一实验步骤。

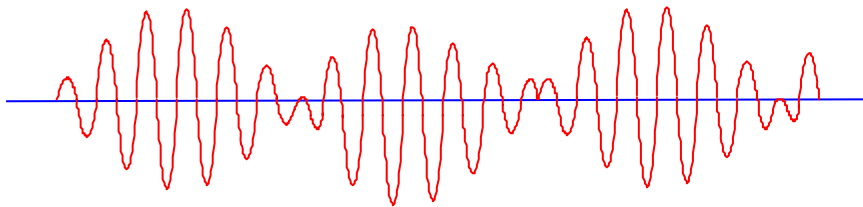
2、用示波器观察波形时，探头应保持衰减 10 倍的位置。

3、其它同前。

## 七、预习思考题

1、三极管调幅与乘法器调幅各自有何特点？当它们处于过调幅时，两者的波形有何不同？

2、如果平衡调幅波出现下图所示的波形，是何缘故？



3、检波电路的电压传输系统  $K_d$  如何定义？

## 八、实验报告

1、根据观察结果绘制相应的波形图，并作详细分析。

2、回答预习思考题。

3、其它体会与意见。

## 实验四 变容二极管调频器与相位鉴频器实验

### 一、实验目的

- 1)、了解变容二极管调频器的电路结构与电路工作原理。
- 2)、掌握调频器的调制特性及其测量方法。
- 3)、观察寄生调幅现象，了解其产生的原因及其消除方法。

### 二、实验预习要求

实验前，预习“电子线路非线性部分”第5章：角度调制与解调电路；“高频电子线路”第八章：角度调制与解调；“高频电子技术”第9章：角度调制与解调—非线性频率变换电路等有关章节的内容。

### 三、实验原理

#### 1、变容二极管直接调频电路：

变容二极管实际上是一个电压控制的可变电容元件。当外加反向偏置电压变化时，变容二极管 PN 结的结电容会随之改变，其变化规律如图 4-1 所示。

变容二极管的结电容  $C_j$  与电容二极管两端所加的反向偏置电压之间的关系可以用下式来表示：

$$C_j = \frac{C_o}{\left(1 + \frac{|u|}{U_\phi}\right)^\gamma}$$

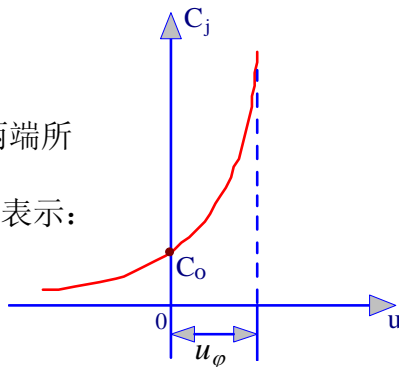


图 4-1 变容二极管的  $C_j \sim u$  曲线

式中， $U_\phi$ 为 PN 结的势垒电位差（硅管约 0.7V，锗管约为 0.2~0.3V）； $C_o$  为未加外电压时的耗尽层电容值； $u$  为变容二极管两端所加的反向偏置电压； $\gamma$  为变容二极管结电容变化指

数，它与 PN 结掺杂情况有关，通常  $\gamma=1/2\sim 1/3$ 。采用特殊工艺制成的变容二极管  $\gamma$  值可达 1~5。

直接调频的基本原理是用调制信号直接控制振荡回路的参数，使振荡器的输出频率随调制信号的变化规律呈线性改变，以生成调频信号的目的。

若载波信号是由 LC 自激振荡器产生，则振荡频率主要由振荡回路的电感和电容元件决定。因而，只要用调制信号去控制振荡回路的电感和电容，就能达到控制振荡频率的目的。

若在 LC 振荡回路上并联一个变容二极管，如图 4-2 所示，并用调制信号电压来控制变容二极管的电容值，则振荡器的输出频率将随

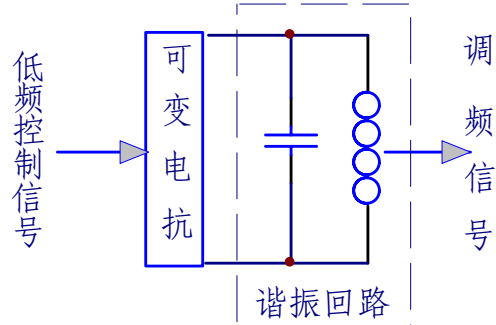


图 4-2 直接调频示意图

调制信号的变化而改变，从而实现了直接调频的目的。

## 2、电容耦合双调谐回路相位鉴频器：

相位鉴频器的组成方框图如 4-3 示。图中的线性移相网络就是频—相变换网络，它将输入调频信号  $u_1$  的瞬时频率变化转换为相位变化的信号  $u_2$ ，然

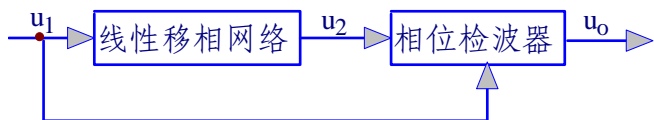


图 4-3 相位鉴频器的组成框图

后与原输入的调频信号一起加到相位检波器，检出反映频率变化的相位变化，从而实现了鉴频的目的。

图 4-4 的耦合回路相位鉴频器是常用的一种鉴频器。这种鉴频器的相位检波器部分是由两个包络检波器组成，线性移相网络采用耦合回路。为了扩

大线性鉴频的范围，这种相位鉴频器通常都接成平衡和差动输出。

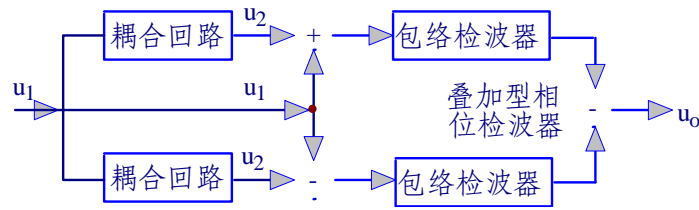


图 4-4 耦合回路相位鉴频器

图 4-5 (a) 是电容耦合的双调谐回路相位鉴频器的原理图，它是由调频—调相变换器和相位检波器两部分所组成。调频—调相变换器实质上是一个电容耦合双调谐回路谐振放大器，耦合回路初级信号通过电容  $C_p$  耦合到次级线圈的中心抽头上， $L_1C_1$  为初级调谐回路， $L_2C_2$  为次级调谐回路，初、次级回路均调谐在输入调频波的中心频率  $f_c$  上，二极管  $D_1$ 、 $D_2$  和电阻  $R_1$ 、 $R_2$  分别构成两个对称的包络检波器。鉴频器输出电压  $u_o$  由  $C_5$  两端取出， $C_5$  对高频短路而对低频开路，再考虑到  $L_2$ 、 $C_2$  对低频分量的短路作用，因而鉴频器的输出电压  $u_o$  等于两个检波器负载电阻上电压的变化之差。电阻  $R_3$  对输入信号频率呈现高阻抗，并为二极管提供直流通路。图 (a) 中初次级回路之间仅通过  $C_p$  与  $C_m$  进行耦合，只要改变  $C_p$  和  $C_m$  的大小就可调节耦合的松紧程度。由于  $C_p$  的容量远大于  $C_m$ ， $C_p$  对高频可视为短路。基于上述，耦合回路部分的交流等效电路如图 4-5 (b) 所示。初级电压  $u_1$  经  $C_m$  耦合，在次级回路产生电压  $u_2$ ，经  $L_2$  中心抽头分成两个相等的电压  $\frac{1}{2}u_2$ ，由图可见，加到两个二极管上的信号电压分别为： $u_{D1}=u_1 + \frac{1}{2}u_2$  和  $u_{D2}=u_1 - \frac{1}{2}u_2$ ，随着输入信号频率的变化。 $u_1$  和  $u_2$  之间的相位也发生相应的变化，从而使它们的合成电压发生变化，由此可将调频波变成调幅—调频波，最

后由包络检波器检出调制信号。

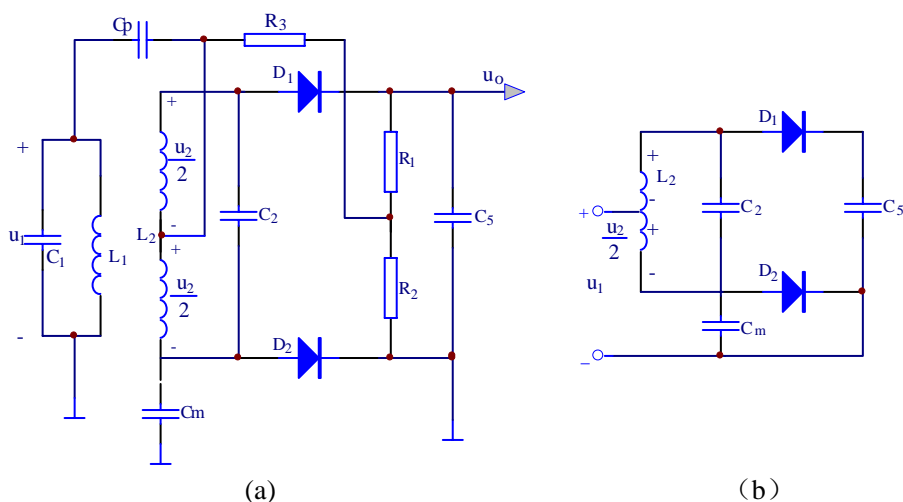


图 4-5 电容耦合双调谐回路相位鉴频器

### 3、实际线路分析：

电路原理图如图 4-6 所示，图中的上半部分为变容二极管调频器，下半部分为相位鉴频器。 $BG_{401}$  为电容三点式振荡器，产生 10MHz 的载波信号。变容二极管  $D_{401}$  和  $C_{403}$  构成振荡回路电容的一部分，直流偏置电压通过  $R_{427}$ 、 $W_{401}$ 、 $R_{403}$  和  $L_{401}$  加至变容二极管  $D_{401}$  的负端， $C_{402}$  为变容二极管的交流通路， $R_{402}$  为变容二极管的直流通路， $L_{401}$  和  $R_{403}$  组成隔离支路，防止载波信号通过电源和低频回路短路。低频信号从输入端  $J_{401}$  输入，通过变容二极管  $D_{401}$  实现直接调频， $C_{401}$  为耦合电容， $BG_{402}$  对调制波进行放大，通过  $W_{402}$  控制调制波的幅度， $BG_{403}$  为射级跟随器，以减小负载对调频电路的影响。从输出端  $J_{402}$  或  $TP_{402}$  输出 10MHz 调制波，通过隔离电容  $C_{413}$  接至频率计；用示波器接在  $TP_{402}$  处观测输出波形，目的是减小对输出波形的影响。 $J_{403}$  为相位鉴频器调制波的输入端， $C_{414}$  提供合适的容性负载； $BG_{404}$  和  $BG_{405}$  接成共集一共基电路，以提高输入阻抗和展宽频带， $R_{418}$ 、 $R_{419}$  提供公用偏

置电压，C<sub>422</sub> 用以改善输出波形。BG<sub>405</sub> 集电极负载以及之后的电路在原理分析中都已阐明，这里不再重复。

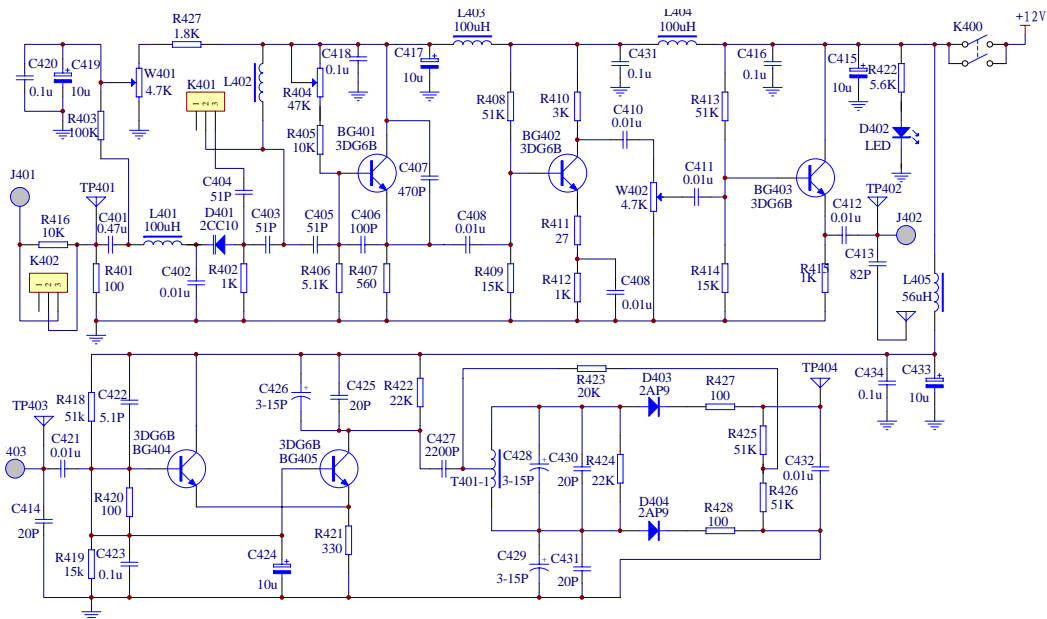


图 4-6 变容二极管调频器与相位鉴频器实验电原理图

#### 四、实验仪器设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

扫频仪；

双踪示波器；

频率计；

繁用表。

#### 五、实验内容与步骤

在实验箱上找到本次实验所用的单元电路，然后接通实验箱的电源，并按下+12V 总电源开关 K<sub>1</sub>，-12V 总电源开关 K<sub>3</sub>，函数信号发生实验单元的电源开关 K<sub>200</sub> 和本单元电源开关 K<sub>400</sub>，相对应的三个红色发光二极管和三

个绿色二极管点亮。

#### (一)、振荡器输出的调整

1、将切换开关  $K_{401}$  的 1-2 接点短接，调整电位器  $W_{401}$  使变容二极管  $D_{401}$  的负极对地电压为+2V，并观测振荡器输出端的振荡波形与频率。

2、调整线圈  $L_{402}$  的磁芯和可调电阻  $R_{404}$ ，使  $R_{407}$  两端电压为  $2.5 \pm 0.05V$  (用直流电压表测量)，使振荡器的输出频率为  $10 \pm 0.02MHz$ 。

3、调整电位器  $W_{402}$ ，使输出振荡幅度为  $1.6 V_{P-P}$ 。

#### (二)、变容二极管静态调制特性的测量

输入端  $J_{401}$  无信号输入时，改变变容二极管的直流偏置电压，使反偏电压  $E_d$  在  $0 \sim 5.5V$  范围内变化，分两种情况测量输出频率，并填入下表。

$E_d (V)$		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
$f_0$ MHz	不并 $C_{404}$												
	并 $C_{404}$												

#### (三)、相位鉴频器鉴频特性的测试

##### 1、相位鉴频器的调整：

扫频输出探头接  $TP_{403}$ ，扫频输出衰减 30db，Y 输入用开路探头接  $TP_{405}$ ，Y 衰减 10 (20db)，Y 增幅最大，扫频宽度控制在 0.5 格/MHz 左右，使用内频标观察和调整 10MHz 鉴频 S 曲线，可调器件为  $L_{406}$ ， $T_{401}$ ， $C_{426}$ ， $C_{428}$ ， $C_{429}$  五个元件。其主要作用为：

$T_{401}$ 、 $C_{428}$  调中心 10MHz 至 X 轴线。

$L_{406}$ 、 $C_{426}$  调上下波形对称。

$C_{429}$  调中心 10MHz 附近的的线性。



## 2、鉴频特性的测试：

使高频信号发生器输出载波 CW，频率 10MHz，幅度 0.4 V<sub>P-P</sub>，接入输入端 TP<sub>403</sub>，用直流电压表测量输出端 TP<sub>405</sub> 对地电压（若不为零，可略微调 T<sub>401</sub> 和 C<sub>428</sub>，使其为零），然后在 9.0MHz~11MHz 范围内，以相距 0.2MHz 的点频，测得相应的直流输出电压，并填入下表。

f(MHz)	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10	10.2	10.4	10.6	10.8	11
V <sub>0</sub> (mV)											

绘制 f-V<sub>O</sub> 曲线，并按最小误差画出鉴频特性的直线（用虚线表示）。

## 3、相位鉴频器的解调功能测量：

使高频信号发生器输出 FM 调频信号，幅度为 0.4 V<sub>P-P</sub>，频率为 10MHz，频偏最大，并接入电路输入端 J<sub>403</sub>，在输出端 TP<sub>405</sub> 测量解调信号：

波形：\_\_\_\_\_波 频率：\_\_\_\_\_K 幅度：\_\_\_\_\_V<sub>P-P</sub>（允许略微调节 T<sub>401</sub>）。

## （四）、变容二极管动态调制特性的测量

在变容二极管调频器的输入端 J<sub>401</sub> 接入 1K 的音频调制信号 V<sub>i</sub>。将 K<sub>401</sub> 的 1-2 短接，令 E<sub>d</sub>=2V，连接 J<sub>402</sub> 与 J<sub>403</sub>。用双踪示波器同时观察调制信号与解调信号，改变 V<sub>i</sub> 的幅度，测量输出信号，结果填入下表。

V <sub>I</sub> (V <sub>P-P</sub> )	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
V <sub>0</sub> (V <sub>P-P</sub> )														

## 六、实验注意事项

- 1、实验前必须认真阅读扫频仪和高频信号发生器的使用方法。
- 2、实验时必须对照实验原理线路图进行，要与实验板上的实际元器件一一对应。

3、其它同前。

## 七、预习思考题

1、变容二极管有何特性？有何应用？

2、电容耦合双调谐回路是如何实现鉴频的？

3、相位鉴频器的频率特性为什么会是一条以载波频率为中心的 S 曲线？试从原理上加以分析。

## 八、实验报告

1、在同一座标纸上画出两根变容二极管的静态调制特性曲线，并求出其调制灵敏度  $S$ ，说明曲线斜率受哪些因素的影响。

2、根据实验数据绘制相位鉴频器的鉴频特性  $f \sim V_O$  曲线。

3、根据实验数据绘制相位鉴频器的动态调制特性曲线  $V_O \sim V_I$  和  $V_O \sim f$ ，并分析输出波形产生畸变的原因。

4、根据实验步骤(四)的测量结果，并结合相频特性测试所得的  $S$  曲线，求出变容二极管输出调频波的频偏  $\Delta f$ 。

## 实验五 高频功率放大与发射实验

### 一、实验目的

- 1)、了解丙类功率放大器的基本工作原理，掌握丙类功率放大器的调谐特性及负载变化时的动态特性。
- 2)、了解激励信号变化对功率放大器工作状态的影响。
- 3)、比较甲类功率放大器与丙类功率放大器的功率、效率与特点。

### 二、实验预习要求

实验前预习教材“电子线路非线性部分”第2章：谐振功率放大器；“高频电子线路”第三章：高频功率放大器；“高频电子技术”第7章：高频功率放大电路的有关章节。

### 三、实验原理

丙类功率放大器通常作为发射机末级功放以获得较大的功率和较高的效率。本实验单元由三级放大器组成，如图5-1所示。

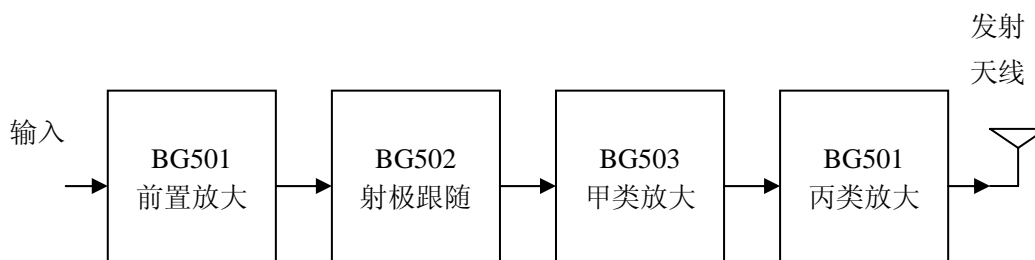


图 5-1 高频功率放大器原理框图

高频功率放大与发射的实际电路如图5-2所示。图中，BG<sub>501</sub>是一级甲类线性放大器，以适应较小的输入信号电平。W<sub>501</sub>和R<sub>503</sub>可调节这一级放大器的偏置电压，同时控制输入电平；BG<sub>502</sub>为射级跟随电路，W<sub>502</sub>和W<sub>503</sub>可控制后两级放大器的输入电平，以满足甲类功放和丙类功放对输入电平的要求；BG<sub>503</sub>为甲类功率放大器，其集电极负载为LC选频谐振回路，谐振频率为10MHz，R<sub>509</sub>和R<sub>511</sub>可调节甲类放大器的偏置电压，以获得较宽的动态范围；BG<sub>504</sub>为一典型的丙类高频功率放大电路，其基级无直流偏置电



放与丙放的输出最大，失真最小。（ $SW_{501}$  全部开路）

### （二）、甲类、丙类功放直流工作点的比较

在上述状态下，用繁用表直流电压档测量  $BG_{503}$  和  $BG_{504}$  的基极电压，然后断开  $TP_{501}$  处的高频输入信号，再次测量  $BG_{503}$  和  $BG_{504}$  的基极电压，进行比较。

### （三）、调谐特性的测试

在上述状态下，改变输入信号频率，频率范围从 4MHz~16MHz，用示波器测量  $TP_{504}$  的电压值（ $SW_{501}$  全部开路）。

f(MHz)	4MHz	6MHz	8MHz	10MHz	12MHz	14MHz	16MHz
$U_c(V_{P-P})$							

### （四）、负载特性的测试

在上述状态下，保持输入信号频率 10MHz，然后将负载电阻转换开关  $SW_{501}$  依次从 1-4 拨动，用示波器测量  $TP_{504}$  的电压值  $U_c$  和发射极的电压值  $U_e$ ，分析负载  $R_L$  对工作状态的影响。

$R_L(\Omega)$	680	150	51	天线
$U_c(V_{P-P})$				
$U_e(V_{P-P})$				

### （五）、功率、效率的测量与计算

f(10MHz)	Vb	Vc	Vce	$V_i$	$V_i$	$V_o$	$I_o$	$I_c$	$P_{\Sigma}$	$P_o$	$P_c$	$\eta$
甲放												
丙放												

其中： $V_i$ ：输入电压峰—峰值

$V_o$ ：输出电压峰—峰值

$I_o$ ：发射极直流电压 / 发射极电阻值

$P_{\Sigma}$ ：电源给出直流功率（ $P_{\Sigma}=V_{CC} \cdot I_o$ ）

$P_c$ : 为三极管损耗功率 ( $P_c=I_c \cdot V_{ce}$ )

$P_o$ : 输出功率 ( $P_o=0.5 \cdot V_o^2 / R_L$ )

## 六、实验注意事项

1)、实验时, 应注意 BG<sub>503</sub>、BG<sub>504</sub> 金属外壳的温升情况, 必要时, 可暂时降低高讯仪输出电平。

2)、发射天线可用短接线插头向上叠加代替, 高度应适当。

## 七、预习思考题

1)、丙类放大器的特点是什么? 为什么要用丙类放大器?

2)、影响功率放大器功率和效率的主要电路参数是什么?

## 八、实验报告

按照实验内容的四个步骤写出实验报告。

## 实验六 接收与小信号调谐放大实验

### 一、实验目的

- 1)、了解谐振回路的幅频特性分析——通频带与选择性。
- 2)、了解信号源内阻及负载对谐振回路的影响,并掌握频带的展宽方法。
- 3)、掌握放大器的动态范围及其测试方法。

### 二、实验预习要求

实验前,预习“电子线路非线性部分”附录:选频网络;“高频电子线路”第二章:小信号谐振放大器;“高频电子技术”第1章:直接检波接收机,LC选频与检波电路,第6章:高频小信号放大电路分析基础。

### 三、实验原理说明

#### (一)、小信号调谐放大器基本原理

高频小信号放大器电路是构成无线电设备的主要电路,它的作用是放大信道中的高频小信号。为使放大信号不失真,放大器必须工作在线性范围内,例如无线电接收机中的高放电路,都是典型的高频窄带小信号放大电路。窄带放大电路中,被放大信号的频带宽度小于或远小于它的中心频率。如在调幅接收机的中放电路中,带宽为 9KHz,中心频率为 465KHz,相对带宽  $\Delta f/f_0$  约为百分之几。因此,高频小信号放大电路的基本类型是选频放大电路,选频放大电路以选频器作为线性放大器的负载,或作为放大器与负载之间的匹配器。它主要由放大器与选频回路两部分构成。用于放大的有源器件可以是半导体三极管,也可以是场效应管,电子管或者是集成运算放大器。用于调谐的选频器件可以是 LC 谐振回路,也可以是晶体滤波器,陶瓷滤波器,

LC 集中滤波器，声表面波滤波器等。本实验用三极管作为放大器件，LC 谐振回路作为选频器。在分析时，主要用如下参数衡量电路的技术指标：中心频率、增益、噪声系数、灵敏度、通频带与选择性。

单调谐放大电路一般采用 LC 回路作为选频器的放大电路，它只有一个 LC 回路，调谐在一个频率上，并通过变压器耦合输出，图 6-1 为该电路原理图。

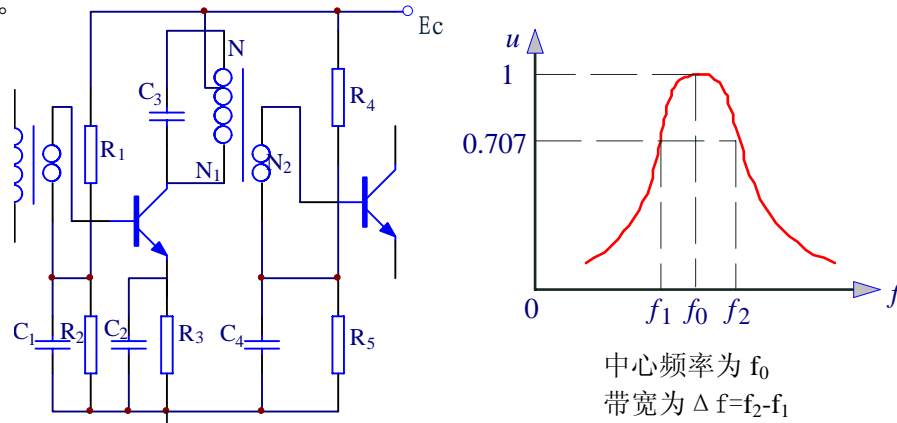
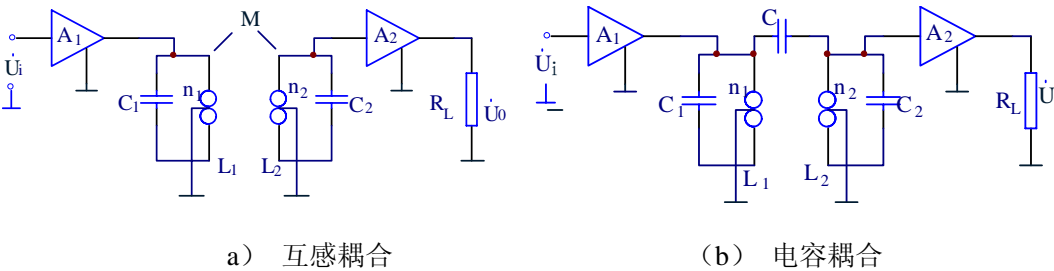


图 6-1 单调谐放大电路

为了改善调谐电路的频率特性，通常采用双调谐放大电路，其电路如图 6-2 所示。双调谐放大电路是由两个彼此耦合的单调谐放大回路所组成。它们的谐振频率应调在同一个中心频率上。两种常见的耦合回路是：1) 两个单调谐回路通过互感  $M$  耦合，如图 6-2 (a) 所示，称为互感耦合双调谐振回路；2) 两个单调谐回路通过电容耦合，如图 6-2 (b) 所示，称为电容耦合双调谐回路。



a) 互感耦合

(b) 电容耦合

图 6-2 双调谐放大电路



若改变互感系数  $M$  或者耦合电容  $C$ ，就可以改变两个单调谐回路之间的耦合程度。通常用耦合系数  $k$  来表征其耦合程度。

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

电容耦合双调谐回路的耦合系数为：

$$k = \frac{C}{\sqrt{(C'_1 + C)(C'_2 + C)}}$$

式中  $C'_1$  与  $C'_2$  是等效到初、次级回路的全部电容之和。

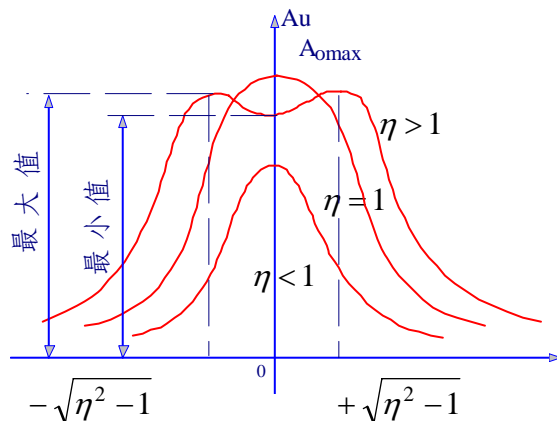


图 6-3 双调谐电路的幅频特性曲线

## (二)、实际线路分析

实际电路如图 6-4 所示，图中，由  $BG_{601}$  等元器件组成单调谐放大器，由  $BG_{602}$  等元器件组成双调谐放大器，它们的天线输入端 ( $J_{601}$  和  $J_{603}$ ) 接收 10MHz 调制波信号。至放大管之间的 LC 元件组成天线输入匹配回路。切换开关  $K_{601}$  用于改变射级电阻，以改变  $BG_{601}$  的直流工作点。切换开关  $K_{602}$  用于改变 LC 振荡回路的阻尼电阻，以改变 LC 回路的 Q 值。切换开关  $K_{603}$  可改变双调谐回路的耦合电容，以观测  $\eta < 1$ ， $\eta = 1$ ， $\eta > 1$  三种状态下的双调谐回路幅频特性曲线。

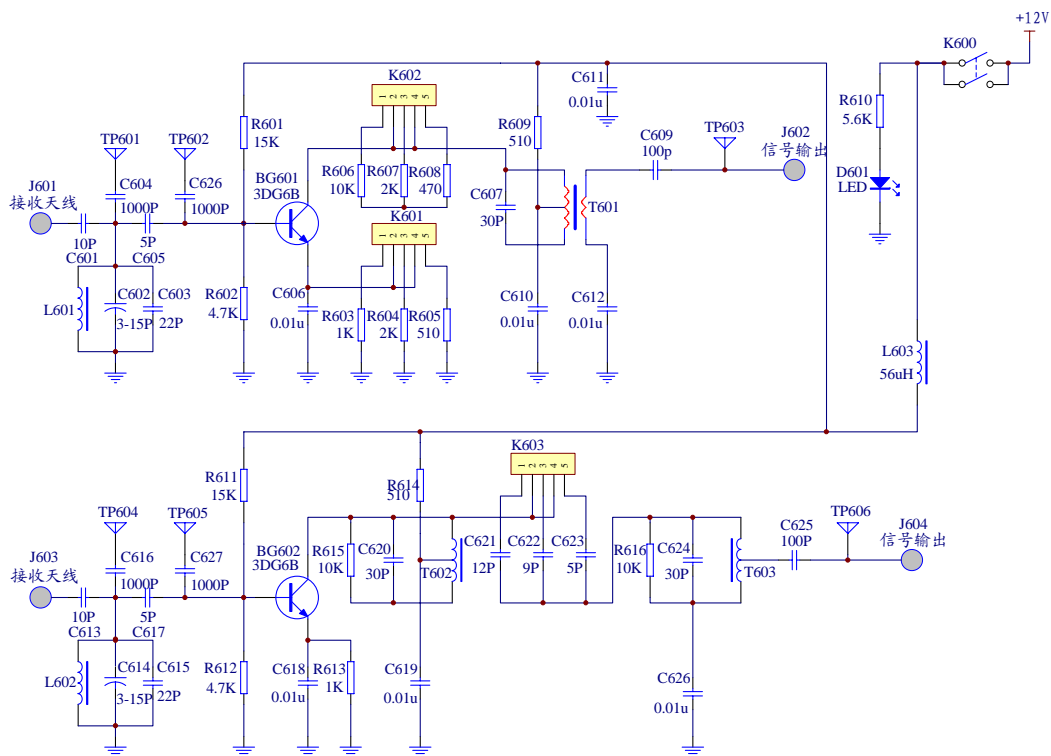


图 6-4 接收与小信号调谐放大实验电原理图

#### 四、实验仪器与设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

扫频仪；

高频信号发生器；

双踪示波器。

#### 五、实验内容与步骤

首先在实验箱上找到本次实验所用到的单元电路，然后接通实验箱电源，并按下+12V 总电源开关  $K_1$ ，以及本实验单元电源开关  $K_{600}$ 。

##### (一)、输入回路的调节

将扫频仪的输出探头和检波探头同时接在  $TP_{601}$  或  $TP_{604}$ ，调节  $L_{601}$  或  $L_{602}$ 、 $C_{602}$  或  $C_{614}$ ，使输入回路谐振在 10MHz 频率处。测量输入回路的谐振

曲线，并记录之。

### (二)、单调谐放大器增益和带宽的测试

将扫频仪的输出探头接到电路的输入端  $TP_{602}$ ，扫频仪的检波探头接到电路的输出端  $TP_{603}$ ，然后在放大器的射极和调谐回路中分别接入不同阻值的电阻，并通过调节调谐回路的磁芯  $T_{601}$ ，使波形的顶峰出现在频率为  $10MHz$  处，分别测量单调谐放大器的增值与带宽，并记录之。

### (三)、双调谐放大电路的测试

将扫频仪的输出探头接到电路的输入端  $TP_{605}$ ，扫频仪的检波探头接到电路的输出端  $TP_{606}$ 。

1)、改变双调谐回路的耦合电容，并通过调节初、次级谐振回路的磁芯，使出现的双峰波形的峰值等高。测量放大器的增益与带宽，并记录之。

#### 2)、不同信号频率下的耦合程度测试

在电路的输入端  $J_{603}$  输入高频载波信号 ( $0.4V_{P-P}$ ，其频率分别为  $9.5$ ， $10$ ， $10.5MHz$ )，用示波器在电路的输出端 ( $TP_{606}$ ) 分别测试三种耦合状态下的输出幅度 ( $V_{P-P}$ )。

	9.5MHz	10MHz	10.5MHz
$K_{1103}$ 1-2 紧耦合			
$K_{1103}$ 2-3 适中耦合			
$K_{1103}$ 4-5 松耦合			

以上测试用的高频载波亦可取自“变容二极管调频器及相位鉴频器实验”所产生的载波信号，其频偏可用电位器  $W_{401}$  进行调节。

## 六、实验注意事项

在调节谐振回路的磁芯时，要用小型无感性的起子，缓慢进行调节，用

力不可过大，以免损坏磁芯。

## 七、预习思考题

- 1、试分析单调谐放大回路的发射极电阻  $R_e$  和谐振回路的阻尼电阻  $R_L$  对放大器的增益、带宽和中心频率各有何影响？
- 2、为什么发射极电阻  $R_e$  对增益、带宽和中心频率的影响不及阻尼  $R_L$  大？
- 3、在电容耦合双调谐回路中，为什么耦合电容大的（紧耦合）会出现双峰，小的耦合电容（松耦合）会出现单峰？

## 八、实验报告

- 1、根据实验结果，绘制单调谐放大电路在不同参数下的频响曲线，并求出相应的增益和带宽，并作分析。
- 2、根据实验结果，绘制双调谐放大电路在不同参数下的频响曲线，并求出相应的增益和带宽，并作分析。

## 实验七 本机振荡发生实验

### 一、实验目的

- 1)、了解电容三点式振荡器和晶体振荡器的基本电路及基本工作原理。
- 2)、比较 LC 与晶体振荡器的频率稳定度。

### 二、实验预习要求

实验前，预习“电子线路非线性部分”第3章：正弦波振荡器；“高频电子线路”第四章：正弦波振荡器的有关章节。

### 三、实验原理说明

本单元实验原理部分与实验一完全相同。这里谨说明本单元实验的 LC 振荡器为克拉泼振荡器；晶体振荡器为皮尔斯振荡器。请自行对照分析。

### 四、实验仪器设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

双踪示波器；

频率计；

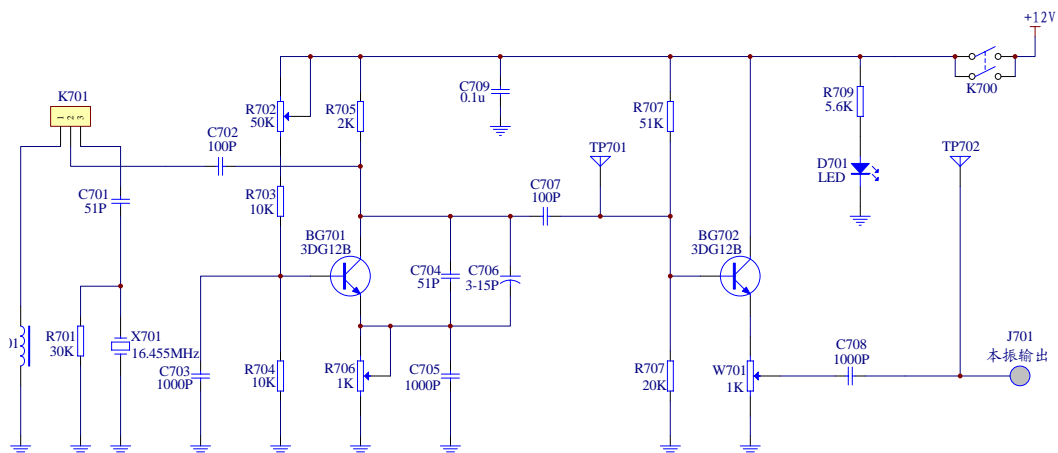
繁用表。

### 五、实验内容与步骤

#### (一)、准备工作

在实验箱上找到本次实验所用的单元电路，并对照实验原理图，认清各元器件的位置与功能作用。

本次实验的电原理图如图 7-1 所示。



图中，晶体三极管  $\text{BG}_{701}$  及其外围电路组成典型的 LC 克拉泼振荡器和晶体皮尔斯振荡器，以上两种振荡器通过切换开关  $\text{K}_{701}$  转换。 $\text{R}_{702}$  和  $\text{R}_{706}$  可调整  $\text{BG}_{701}$  的直流偏置，可调至波形失真最小，输出电压幅度最大。LC 振荡器的频率可由  $\text{L}_{701}$  和  $\text{C}_{706}$  调整。本电路的本机振荡频率（LC 或晶体）为 16.455MHz。晶体三极管  $\text{BG}_{702}$  及其偏置电路组成射极跟随电路。 $\text{W}_{701}$  可调节本振输出幅度。

了解电路后，可进入实验操作，先接通交流电流，然后按下实验板上的+12V 总电源开关  $K_1$  和本实验单元的电源开关  $K_{700}$ ，相应的电源指示发光二极管  $D_4$  和  $D_{701}$  点亮。

(一)、LC 本机振荡电路的调整: ( $K_{701}$  为 1-2)

1)、用示波器在 TP<sub>702</sub> 观察, 调整 R<sub>702</sub> 和 R<sub>706</sub>, 使 TP<sub>702</sub> 的正弦波输出失点最小, 幅度最大。

2、用频率计在 TP<sub>702</sub> 计数，调整 L<sub>701</sub> 和 C<sub>706</sub>，使 LC 本振荡频率为 16.455MHz。

(二)、晶体本机振荡器电路的调整: ( $K_{701}$  为 2-3)

1、用示波器在 TP<sub>702</sub> 观察，调整 R<sub>702</sub> 和 R<sub>706</sub>，使 TP<sub>702</sub> 的正弦波输出失真最小，幅度最大。

2、用频率计在 TP<sub>702</sub> 计数，调整 C<sub>706</sub>，使晶体本机振荡频率为 16.455 MHz。

### (三)、比较 LC 与晶体管振荡器的稳定度

用频率计在 TP<sub>702</sub> 计数，开启电源后各等待五分钟，比较 LC 与晶体振荡器的频率稳定度。

## 六、预习思考题

- 1、如何调整振荡器三极管的偏置。
- 2、本振信号的稳定度对超外差接收的性能有何影响，试加以分析。

## 七、实验注意事项

- 1、不要将示波器和频率计同时接在 TP<sub>702</sub> 上，以免影响波形。若有需要时，可分别接在 TP<sub>702</sub> 和 TP<sub>701</sub> 上。
- 2、在试验温度对振荡频率稳定度的影响时，可用电烙铁靠近 BG<sub>701</sub> 试验之。

## 八、实验报告

- 1、记录实验数据。
- 2、计算频率稳定度。
- 3、回答预习思考题。

## 实验八 集成乘法器混频实验

### 一、实验目的

1)、进一步了解集成混频器的工作原理。

2)、了解混频器中的寄生干扰。

### 二、实验预习要求

实验前，预习“电子线路非线性部分”第4章：振幅调制、解调与混频电路；“高频电子线路”第七章：混频，第九章：集成模拟乘法器及其应用；“高频电子技术”第3章：外差式接收机线性频率变换与AGC电路，第8章调幅、检波与混频——频谱线性搬移电路等有关章节的内容。

### 三、实验原理

混频器的功能是将载波为  $f_s$ （高频）的已调波信号不失真地变换为另一载频  $f_i$ （固定中频）的已调波信号，而保持原调制规律不变。例如在调幅广播接收机中，混频器将中心频率为 535~1605KHz 的已调波信号变换为中心频率为 465KHz 的中频已调波信号。此外，混频器还广泛用于需要进行频率变换的电子系统及仪器中，如频率合成器、外差频率计等。

混频器的电路模型如图 8-1 所示。

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  $u_L$ ，并与输入信号  $u_s$  经混频器后所产生的差频信号经带通滤波器滤出。目前，高质量的通信接收机广泛采用二极管环形混频器和由双差

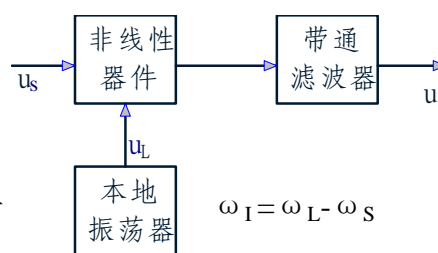


图 8-1 混频器电路模型



分对管平衡调制器构成的混频器，而在一般接收机（例如广播收音机）中，为了简化电路，还是采用简单的三极管混频器。本实验采用集成模拟相乘器作混频电路实验。

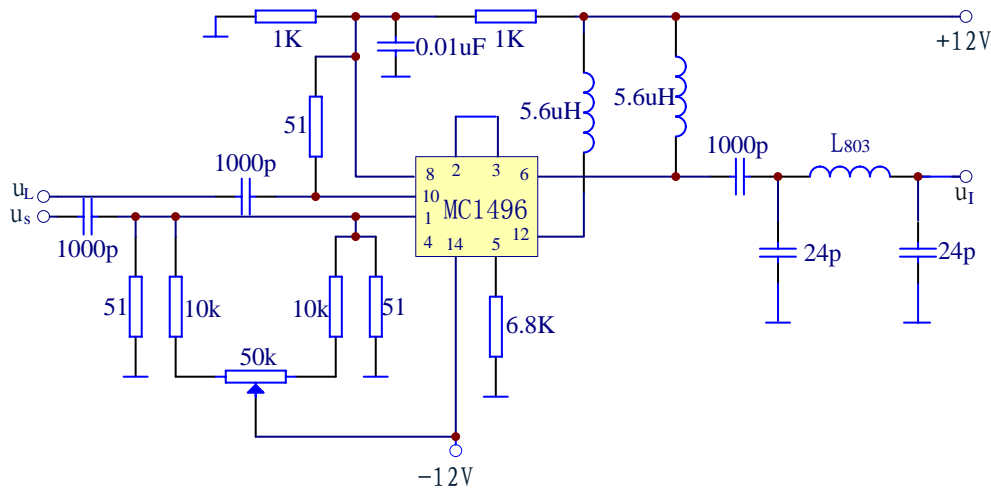


图 8-2 MC1496 构成的混频器电路图

图 8-2 是用 MC1496 构成的混频器，本振电压  $u_L$ （频率为 16.455MHz）从乘法器的一个输入端（10）输入，信号电压  $u_S$ （频率为 10MHz）从乘法器的另一个输入端（1）输入，混频后的中频（6.455MHz）信号由乘法器的输出端（6）输出。令输出端的  $\pi$  型带通滤波器调谐在 6.455MHz，回路带宽为 450KHz，以获得较高的变频增益。

为了实现混频功能，混频器件必须工作在非线性状态，而作用在混频器上的除了输入信号电压  $u_S$  和本振电压  $u_L$  外，不可避免地还存在干扰和噪声。它们之间任意两者都有可能产生组合频率，这些组合信号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，对输出级产生干涉，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，因此不可避免地会

产生干扰, 其中影响最大的是中频干扰和镜象干扰。

#### 四、实验仪器与设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱;

高频信号发生器;

扫频仪;

双踪示波器;

频率计。

## 五、实验内容与步骤

在实验箱上找到本实验的单元电路，并接通实验箱电源，按下+12V，-12V 总电源开关  $K_1$ 、 $K_3$ ，“LC 与晶体振荡器实验单元”电源开关  $K_{100}$ ，以及本实验单元的电源开关  $K_{800}$ ，相对应的发光二极管点亮。

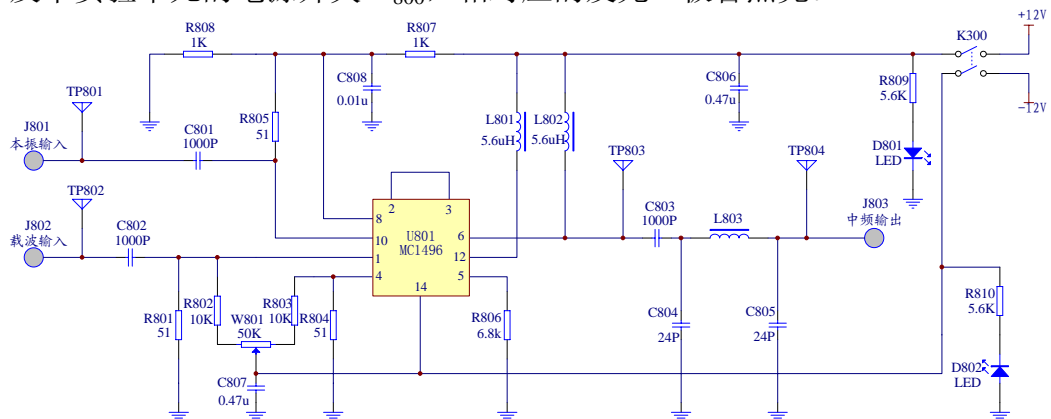


图 8-3 集成乘法器混频实验电原理图

### (一)、中频 LC 滤波器的调整

扫频输出衰减 10db, Y 衰减 10, 调节 Y 增幅至适当的幅度, 扫频输出接至 LC  $\pi$  型带通滤波器的输入端 (TP<sub>803</sub>), 检波探头接至输出端 (TP<sub>804</sub>), 调整电感线圈 L<sub>803</sub> 的磁芯, 使 6.455MHz 出现峰值, 并记录之。

## （二）、中频频率的观测

将实验七（本机振荡发生实验）的振荡输出信号(16.455MHz)作为本实验的本振信号输入乘法器的一个输入端,乘法器的另一个输入端(载波输入)接高频信号发生器的输出（10MHz, 0.4V<sub>P-P</sub> 的载波）。在输出端（TP<sub>804</sub>）观测输出的中频信号，并记录之。

## （三）、镜象干涉频率的观测

在双踪同时观测载波-中频后，缓慢将高频信号发生器的输出频率从10MHz 调至 22.91MHz，再次观测载波-中频，记录之，并验证下列关系：

$$f_{\text{镜象}} - f_{\text{载波}} = 2f_{\text{中频}}$$

## （四）、混频的综合观测

令高频信号发生器输出一个经由 1K 音频调制的载波频率为 10MHz 的调幅波，作为本实验的载波输入，在 TP<sub>801</sub>、TP<sub>802</sub>、TP<sub>803</sub> 和 TP<sub>804</sub> 处，用双踪示波器对照观测混频的过程，并记录之。

# 六、实验注意事项

- 1、测量时应用双踪同时观察本振-载波，载波-中频，以便比较。
- 2、本实验用到实验七的（本机振荡发生实验）输出信号。因此，在进行本实验前必须调整好实验七的输出，使之满足本实验的要求。

# 七、预习思考题

- 1、除乘法器外，还有哪些器件可组成混频器？试举例说明。
- 2、分析寄生干涉的原因，并讨论预防措施。

# 八、实验报告

- 1、根据观测的结果，绘制所需要的波形图，并作分析。
- 2、在幅频坐标中绘出本振频率与载波频率和镜象干扰频率之间的关系，并作分析。
- 3、归纳并总结信号混频的过程。

## 实验九 晶体三极管混频实验

### 一、实验目的

- 1)、进一步了解三极管混频器的工作原理。
- 2)、了解混频器中的寄生干扰。

### 二、实验预习要求

实验前，预习“电子线路非线性部分”第4章：振幅调制、解调与混频电路；“高频电子线路”第七章：混频；“高频电子技术”第3章：外差式接收机线性频率变换与AGC电路，第8章调幅、检波与混频——频谱线性搬移电路等有关章节的内容。

### 三、实验原理

混频器的功能是将载波为  $f_s$ （高频）的已调波信号不失真地变换为另一载频  $f_i$ （固定中频）的已调波信号，而保持原调制规律不变。例如在调幅广播接收机中，混频器将中心频率为 535~1605KHz 的已调波信号变换为中心频率为 465KHz 的中频已调波信号。此外，混频器还广泛用于需要进行频率变换的电子系统及仪器中，如频率合成器、外差频率计等。

混频器的电路模型如图 9-1 所示。

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  $u_L$ ，并与输入信号  $u_s$  经混频器后所产生的差频信号经带通滤波器滤出。目前，高质量的通信接收机广泛采用二极管环形混频器和由双差

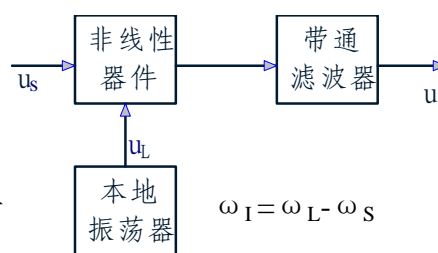


图 9-1 混频器电路模型

波器滤出。目前，高质量的通信接收机广泛采用二极管环形混频器和由双差

分对管平衡调制器构成的混频器，而在一般接收机（例如广播收音机）中，为了简化电路，还是采用简单的三极管混频器。本实验采用晶体三极管作混频电路实验。

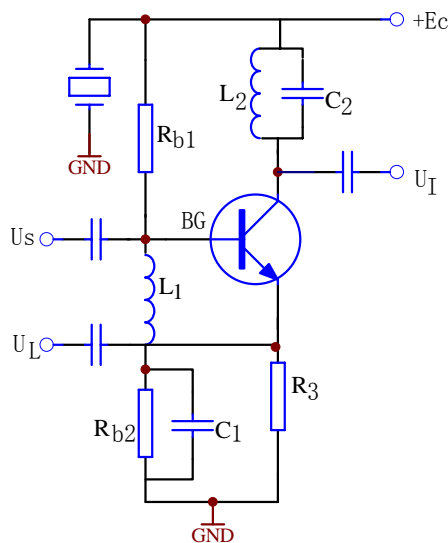


图 9-2 晶体三极管的混频器电路图

图 9-2 是晶体三极管的混频器电路，本振电压  $u_L$ （频率为 16.455MHz）从晶体三极管的发射极 e 输入，信号电压  $u_s$ （频率为 10MHz）从晶体三极管的基极 b 输入，混频后的中频（6.455MHz）信号由晶体三极管的集电极 C 输出。令输出端的带通滤波器调谐在 6.455MHz，回路带宽为 450KHz，以获得较高的变频增益。

为了实现混频功能，混频器件必须工作在非线性状态，而作用在混频器上的除了输入信号电压  $u_s$  和本振电压  $u_L$  外，不可避免地还存在干扰和噪声。它们之间任意两者都有可能产生组合频率，这些组合信号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，对输出级产生干涉，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，因此不可避免地会

产生干扰，其中影响最大的是中频干扰和镜像干扰。

## 四、实验仪器与设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

高频信号发生器；

扫频仪；

双踪示波器；

频率计。

## 五、实验内容与步骤

在实验箱上找到本实验的单元电路，并接通实验箱电源，按下+12V，-12V 总电源开关  $K_1$ 、 $K_3$ ，“LC 与晶体振荡器实验单元”电源开关  $K_{100}$ ，以及本实验单元的电源开关  $K_{900}$ ，相对应的发光二极管点亮。

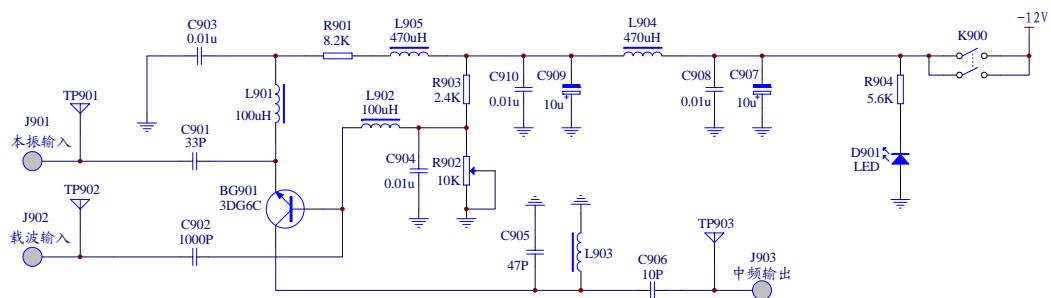


图 9-3 晶体三极管实验电原理图

### (一)、中频 LC 滤波器的调整

扫频输出衰减 10db，Y 衰减 10，调节 Y 增幅至适当的幅度，扫频输出和检波探头同时接至输出端(TP<sub>903</sub>)，调整电感线圈 L<sub>903</sub> 的磁芯，使 6.455MHz 出现峰值，并记录之。

### (二)、中频频率的观测

将实验七（本振荡发生实验）的振荡输出信号作为本实验的本振信号输入混频器的一个输入端，混频器的另一个输入端（载波输入）接高频信号发生器的输出（10MHz，0.4V<sub>P-P</sub>的载波）。在输出端（TP<sub>903</sub>）观测输出的中频信号，并记录之。

### （三）、镜象干涉频率的观测

在双踪同时观测载波-中频后，缓慢将高频信号发生器的输出频率从10MHz调至22.91MHz，再次观测载波-中频，记录之，并验证下列关系：

$$f_{\text{镜象}} - f_{\text{载波}} = 2f_{\text{中频}}$$

### （四）、混频的综合观测

令高频信号发生器输出一个经由1K音频调制的载波频率为10MHz的调幅波，作为本实验的载波输入，在TP<sub>901</sub>、TP<sub>902</sub>、TP<sub>903</sub>和TP<sub>904</sub>处，用双踪示波器对照观测混频的过程，并记录之。

## 六、实验注意事项

- 1、测量时应用双踪同时观察本振-载波，载波-中频，以便比较。
- 2、本实验用到实验七的（本机振荡发生实验）输出信号。因此，在进行本实验前必须调整好实验一的输出，使之满足本实验的要求。

## 七、预习思考题

- 1、除三极管外，还有哪些器件可组成混频器？试举例说明。
- 2、分析寄生干涉的原因，并讨论预防措施。

## 八、实验报告

- 1、根据观测的结果，绘制所需要的波形图，并作分析。



2、在幅频座标中绘出本振频率与载波频率和镜象干扰频率之间的关系，并作分析。

3、归纳并总结信号混频的过程。

## 实验十 二次变频与鉴频实验

### 一、实验目的

- 1)、掌握集成电路 MC3361 的基本电路功能和方法。
- 2)、掌握集成电路 MC3361 用于二次变频和频率解调的方法。

### 二、实验预习要求

实验前，查阅低功耗宽带调频中频电路 MC3361 介绍的有关资料。

### 三、实验原理

- 1、集成电路 MC3361 内部功能框额头和引脚功能介绍：

MC3361P 内部功能框图如图 10-1 所示。

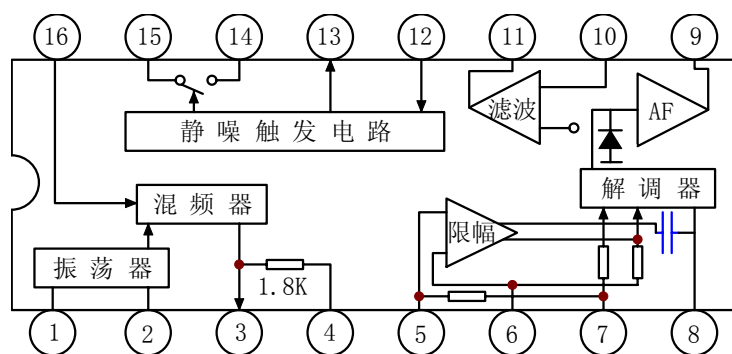


图 10-1 MC3361p 内部功能框图

- |                |                |
|----------------|----------------|
| 第 1、2 端：接晶体振荡器 | 第 10 端：滤波输入    |
| 第 3 端：混频器输出端   | 第 11 端：滤波输出    |
| 第 4 端：正电源 VCC  | 第 12 端：噪声抑制输入端 |
| 第 5 端：限幅输入端    | 第 13 端：扫描控制    |
| 第 6 端：去耦。      | 第 14 端：静噪开关    |
| 第 7 端：去耦       | 第 15 端：地       |
| 第 8 端：积分输入     | 第 16 端：射频输入    |

## 第9端：解调输出

### 2、实际电路分析

该实验电路原理图 10-2 所示，它主要完成二次变频和鉴频。MC3361 广泛用于通信机中完成接收功能，用于解调窄带调频信号。它的内部包含振荡、混频、相移、鉴频、有源滤波、噪声抑制、静噪等到功能。该电路工作电压为+5V。输入信号频率为 10.7MHz，内部振荡信号为 10.245MHz。本实验电路中的根据前端电路信号频率，将输入信号频率定为 6.455MHz，内部振荡频率为 6MHz，二次混频信号仍为 455KHz。集成块 16 脚为高频 6.455MHz 信号输入。通过内部混频电路与 6.0MHz 本振信号差拍出 455KHz 中频信号由 3 脚输出，由 K<sub>1001</sub> 切换该信号经过 FL1 陶瓷滤波器（455KHz）。输出 455KHz 中频信号并经 5 脚送到集成电路内部限幅、鉴频、滤波。MC3361 的鉴频采用如图 10-3 所示的乘积型相位鉴频器，其中的相移网络部分由 MC3361 的 8 脚引在组件外部（由 LC 移相器）完成。

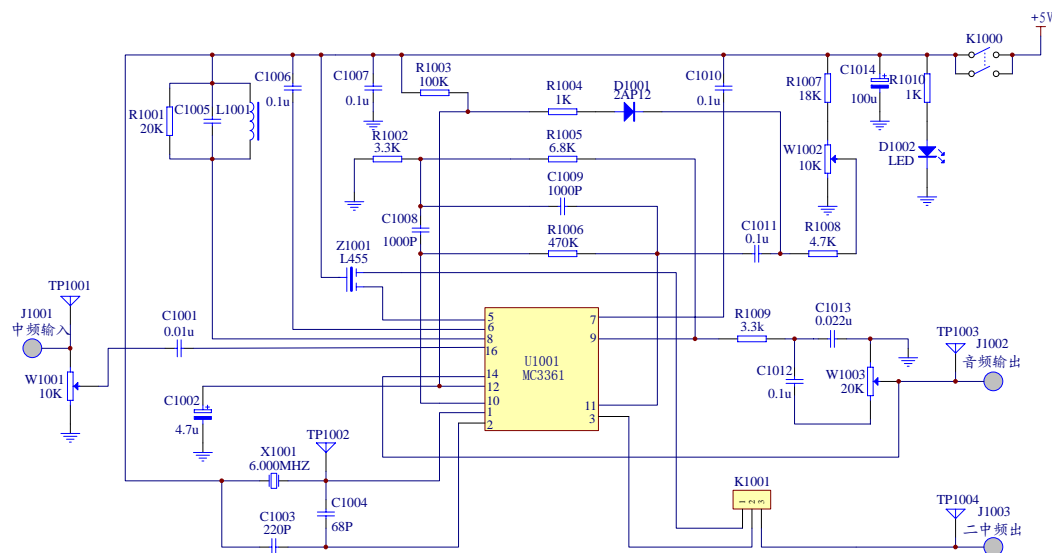


图 10-2 二次变频和鉴频实验电原理图

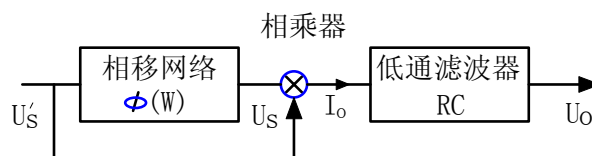


图 10-3 乘积型相位鉴频器

$C_{1008}$ 、 $C_{1009}$ 、 $R_{1002}$ 、 $R_{1005}$ 、 $R_{1006}$  与集成电路内的运算放大器组成有源滤波器。二极管  $D_{1001}$ 、 $C_{1011}$ 、 $W_{1002}$ 、 $R_{1008}$ 、 $C_{1002}$  完成噪声检波。当 MC3361 没有输入载波信号时, 鉴频器的噪声经过有源滤波器后分离出频率为 10KHz 的噪声电平。经噪声检波器变成直流电平, 控制静噪触发器, 使输出电压为 0 伏。当接收机收到一定强度的载波信号时, 鉴频器的解调输出只有话音信号。此时, 从静噪控制触发器给出的直流电压就由原来的 0V 增加到 1.8V 左右, 低频放大器导通工作。 $W_{1002}$  可控制噪声触发电平。

(11、12 脚之间组成噪声检波, 10、11 脚间为有源滤波, 14、12 脚之间为静噪控制电路。) 鉴频后的低频信号由 9 脚送到片外低通滤波后由  $J_{1002}$  输出。

#### 四、实验设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱;

高频讯号发生器;

双踪示波器;

频率计。

#### 五、实验内容及步骤

在实验箱上找到本次实验所用的单元电路, 然后接通实验箱电源, 并按下 +5V 总电源开关  $K_2$  和本单元电源开关  $K_{1000}$ , 相对应的黄色二极管点亮。

### (一)、观察 MC3361 二次混频

1、将 6.455MHz, 0.1V<sub>P-P</sub> 的 CW 载波加至 J<sub>1001</sub> 处, 适当微调 W<sub>1001</sub> 短接 K<sub>1001</sub> 2-3, 在 TP<sub>1002</sub> (J<sub>1003</sub>) 处用示波器可观察到 455K 第二中频正弦波, 记下波形和频率并输入波形进行比较。

2、将输入的 CW 载波改成 AM 调幅波。(音频 1K, 调制度 30%), 比较 J<sub>1003</sub> 和 J<sub>1001</sub> 处的第二中频调幅波和第一中频调幅波。

### (二)、调频波的解调

1、将输入的 CW 载波改成 FM 调频波(音频 1K, 频偏适当), 短接 K<sub>1001</sub> 1-2. 在 TP<sub>1003</sub> (J<sub>1002</sub>) 处用示波器可观察到鉴频后的 1K 正弦波。记下波形和频率, 并与高讯仪上的调制波 1K 波形进行比较, 注意此时可调节 W<sub>1001</sub> 和移相器 L<sub>1001</sub> 使输出幅度最大, 失真最小, 调节 W<sub>1002</sub> 控制静噪电平。另外, W<sub>1003</sub> 可改变输出信号幅度大小。

2、加大、减小频偏观察波形变化并进行分析。

3、改变输入信号频率, 观察输出波形变化并进行分析。

## 六、实验注意事项

1、要注意控制输入信号幅度、调制度和精确调整输入频率, 以减小输出波形的失真。

2、调节控制静噪电平电位器 W<sub>1002</sub> 不能过头, 否则会把整个信号电平都抑制掉。

3、调节中频线圈, 手势要轻缓, 以免损坏。

4、实验时, 必须对照实验线路原理图进行, 要与实验板上的实际元器件

件一一对应。

5、试验时联结上 J<sub>803</sub> 和 J<sub>1001</sub>，以减小输入信号噪声。

## 七、预习思考题

1、进一步分析静噪原理。

2、如何正确使用集成电路 MC3361。

## 八、实验报告

1、根据实验内容与步骤的要求，整理实验数据，通过波形，分析二次变频的作用。

2、通过调试，分析 MC3361 使用中应注意的问题及实际调试中如何解决的方法。

## 实验十一 晶体二极管检波实验

### 一、实验目的

- 1)、进一步了解调幅波的原理，掌握调幅波的解调方法。
- 2)、了解二极管包络检波的主要指标，检波效率及波形失真。

### 二、实验预习要求

实验前，预习“电子线路非线性部分”第4章：振幅调制、解调与混频电路，“高频电子线路”第六章：调幅与检波；“高频电子技术”第8章：调幅、检波与混频——频谱线性搬移电路有关章节。

### 三、实验原理说明

调幅波的解调是从调幅信号中取出调制信号的过程，通常称之为检波。调幅波解调方法有二极管包络检波器，同步检波器。本实验板上主要完成二极管包络检波。

二极管包络检波器适合于解调含有较大载波分量的大信号的检波过程，它具有电路简单，易于实现的优点。本实验电路如图11-1所示，主要由二极管  $D_{1101}$  及 RC 低通滤波器组成，利用二极管的单向导电特性和检波负载 RC 的充放电过程实现检波。所以 RC 时间常数的选择很重要，RC 时间常数过大，则会产生对角切割失真。RC 常数太小，高频分量会滤不干净。综合考虑要求满足下式：

$$\frac{1}{f_0} \ll RC \ll \frac{\sqrt{1-m^2}}{\Omega m}$$

其中：m 为调幅系数， $f_0$  为载波频率， $\Omega$  为调制信号角频率。

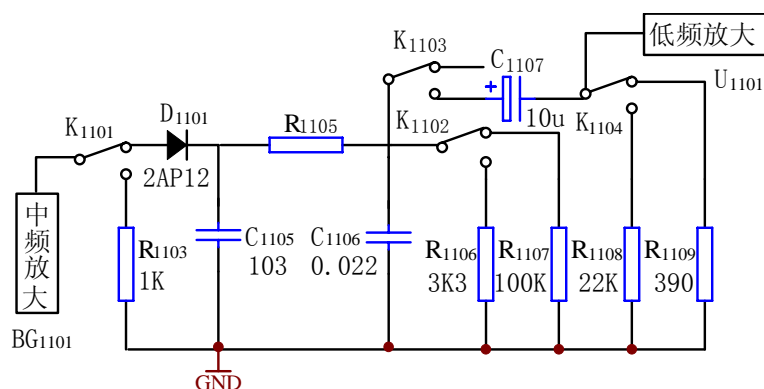


图 11-1 晶体二极管检波实验电路图

#### 四、实验仪器设备

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

高频讯号发生器；

双踪示波器；

频率计。

#### 五、实验内容及步骤

在实验箱上找到本次实验所用的单元电路，然后接通实验箱电源，并按下+12V 总电源开关  $K_1$ ，+5V 总电源开关  $K_2$ ，本单元电源开关  $K_{1100}$ ，相对应的红色发光二极管和黄色二极管点亮。

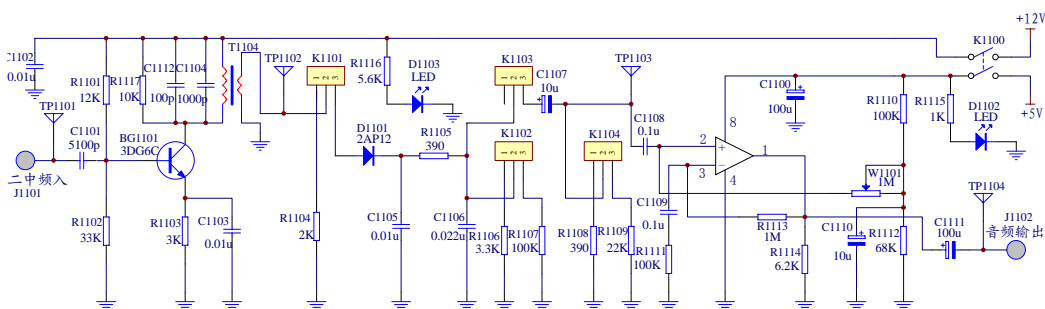


图 11-2 晶体二极管检波实验电原理图

##### (一)、解调全载波调幅信号

从高频讯号发生器输出 455K 调幅波（调制度 $\leq 30\%$ ， $0.1V_{P-P}$ ）至  $J_{1101}$ ，



短接  $K_{1101}1-2$ ，调节  $T_{1104}$  至  $TP_{1102}$  调幅波幅度最大。（然后再略为减小一些以防自激）

短接  $K_{1101}2-3$ ， $K_{1102}1-2$ ， $K_{1103}2-3$ ， $K_{1104}2-3$ ，在  $TP_{1103}$  和  $TP_{1104}$  观察正常输出波形。

### （二）、观察对角切割失真

保持以上输出，短接  $K_{1102}2-3$ ，检波直流负载电阻由  $3.3K$  变为  $100K$ ，在  $TP_{1103}$  和  $TP_{1104}$  观察输出波形（必要时可加大高讯仪输出），并与上述波形进行比较。

### （三）、观察底部切割失真

保持正常输出波形，短接  $K_{1102}1-2$ 、 $K_{1104}2-3$ ，检波交流负载电阻由  $390\Omega$  变为  $22K$ ，在  $TP_{1103}$  和  $TP_{1104}$  观察输出波形（必要时可加大高讯仪输出），并与上述波形进行比较。

## 六、实验注意事项

- 1、实验时必须对照实验原理线路图进行，要与实验板上的实际元器件一一对应。
- 2、调节中频线圈，手势要轻缓，以免损坏。
- 3、其余同前。

## 七、预习思考题

- 1、检波失真有哪几种，与电路的那些参数有关，如何形成？
- 2、抑制载波调幅波能否用本单元电路检出信号？你能否利用本实验箱验证你的结论。

## 八、实验报告

1、在正常检波负载的情况下，作输入中频信号幅度与检波输出幅度的对应关系表。

2、画出观察到的对角线失真和负峰失真波形，并进行分析说明。

## 实验十二 接收部分的联试实验

### 一、实验目的

- 1、掌握模拟通信系统中调幅、调频、超外差式接收组成原理，建立系统概念。
- 2、掌握系统联调的方法，培养解决实际问题的能力。

### 二、实验仪器

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

双踪示波器；

高频信号发生器；

数字式频率计。

### 三、实验电路原理

图 12-1 是 10MHz 调频、调幅二次变频无线接收机联机试验示意图。这是一个标准的超外差接收机，信号流程如下图所示（图 12-2）。

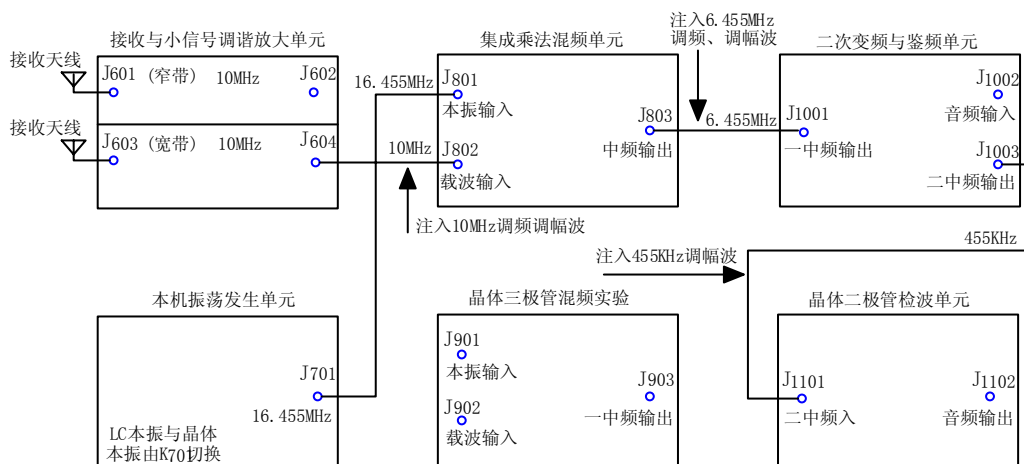


图 12-1 10MHz 调频调幅二次变频无线接收联机试验示意图

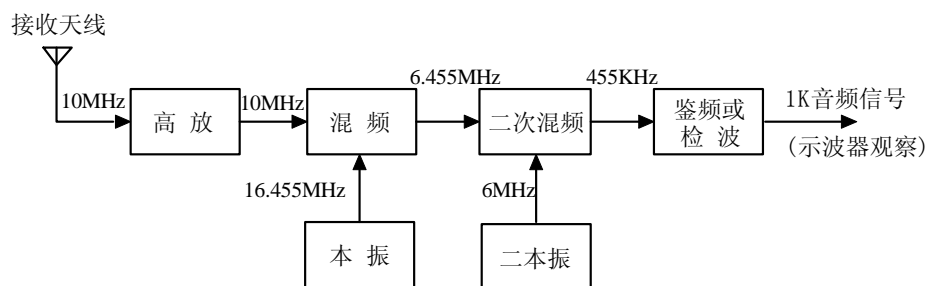


图 12-2 二次变频超外差式无线接收机方框图

接收天线接收来自无线电发射台的 10MHz 调频或调幅制波，经过一次变频后，形成 6.455MHz 调频、调幅波（一中频），再经过二次变频后，形成 455KHz 的调频、调幅波（二中频），对二中频信号进行鉴频或检波，就能得到与无线电台完全一致的音频调制信号。

本单元实验要完成的是对整个接收系统的联调，以对接收系统有一个完整的认识。

## 四、实验内容与步骤

### （一）、实验内容

需要说明的是本实验系统与市场上销售的超外差接收（商品机）比较，相同的部分是同样具有较高的信号电平增益和较好的选择性。差异的部分主要是缺少 AFC 电路（自动频率校正）和 AGC 电路（自动增益控制），因此控制输入信号的频率、输入电平、调制度以及本振信号的输入电平是至关重要的，要求在实验过程中调整、测试和纪录有关的数据。

### （二）、实验步骤（参见图 12-1）

实验联调步骤采用由后及前的逐级调试方法。

#### 1、晶体二极管检波单元的调整

短接  $K_{1101}$  2-3,  $K_{1102}$  1-2,  $K_{1103}$  2-3,  $K_{1104}$  1-2, 使检波单元处于正常工作状态。在  $TP_{1101}$  ( $J_{1101}$ ) 注入 455K 调幅波, 调整  $T_{1102}$  和  $W_{1101}$  使幅度最大, 在  $TP_{1104}$  处用示波器观察 1K 正弦波。(  $T_{1102}$  至最大后要退出一些, 以防自激)。

## 2、二次变频与鉴频单元的调整

联结  $J_{1003}$  和  $J_{1101}$ ,  $J_{803}$  和  $J_{1001}$ , 在  $J_{1001}$  处注入 6.455MHz 调频或调幅波在  $J_{1002}$  或  $J_{1104}$  观察 1K 正弦波。鉴频与检波由  $K_{1001}$  切换, 鉴频时需调整  $L_{1001}$ , 使幅度最大。

## 3、集成乘法器混频单元的调整

联结  $J_{701}$  和  $J_{801}$ , 本振处于晶振状态或 LC 振荡状态, 在  $TP_{802}$ (或  $J_{802}$ )处注入 10MHz 调频或调幅波, 调整  $L_{803}$  使调幅波输出最大, 观察 1K 正弦波的测试点位置与前相同。

## 4、晶体三极管混频单元的调整

用晶体三极管混频单元代替集成乘法器混频单元, 调整  $L_{903}$  使调幅波输出最大。

## 5、接收与小信号调谐放大单元的调整

联结  $J_{602}$  和  $J_{802}$ , 在  $J_{601}$  处用接收天线无线接收 10MHz 调频或调幅波, 调整  $L_{601}$  和  $C_{602}$  使调幅波输出最大, 观察 1K 正弦波的测试点位置与前相同。

用宽带放大器代替窄带放大器。进行试验, 并调整相应元件。

# 五、实验注意事项

1、注意各实验步骤对信号频率、幅度、调制度的要求。

2、当输出波形有失真时，可减小调制度和微调信号源信号频率，频率调整不大于  $10^{-4}f$ 。

3、用频率计测试信号频率时，输出信号应处于 CW（载波）位置，调准后再转成调幅波和调频波。

## 六、实验报告

记录数据，并作出分析和写出实验心得体会。

## 实验十三 发送部分的联试实验

### 一、实验目的

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

### 二、实验仪器

TKGPZ-1 型高频电子线路综合实验箱；

高频信号发生器；

数字式频率计；

双踪示波器。

### 三、实验电路原理

本实验系统组成原理框图如图 13-1 所示。

图 13-1 是 10MHz 调频、调幅无线电发射电台联机试验示意图。信号流程如下图所示（图 13-2）。

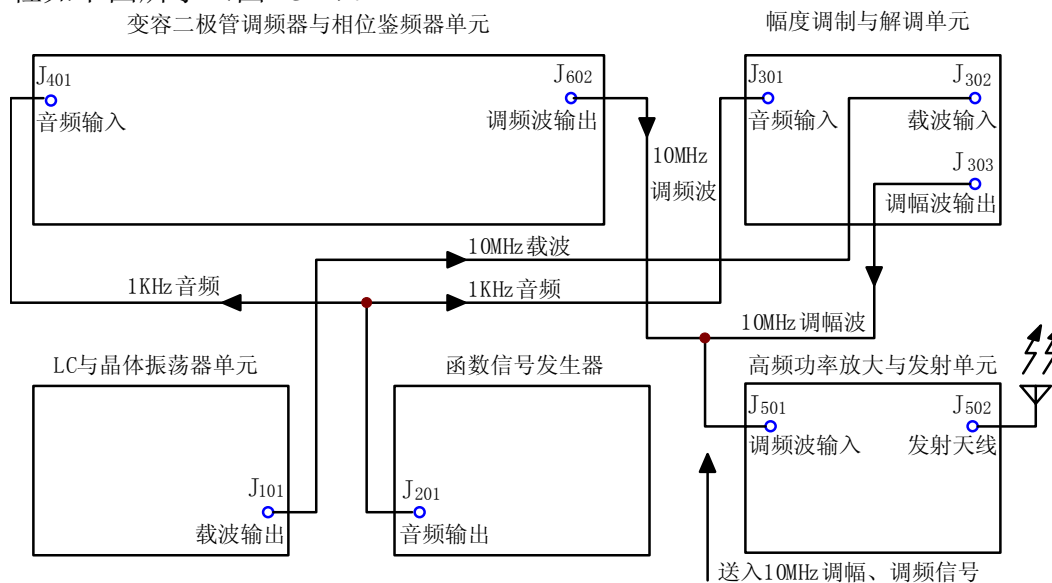


图 13-1 10MHz 调频、调幅无线电发射电台联机试验示意图

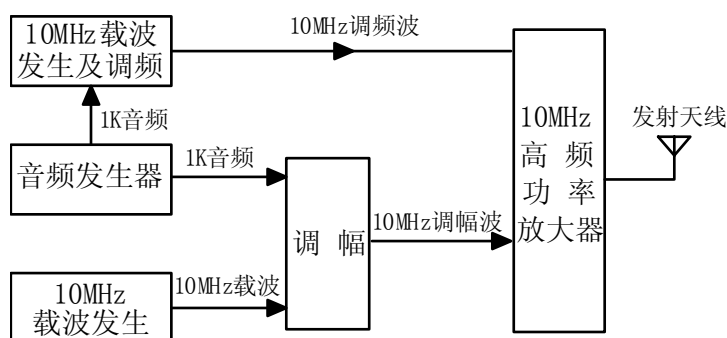


图 13-2 10MHz 调频、调幅无线电发射机方框图

如上图所示，调频是利用变容二极管直接调频的，调幅是利用集成乘法器间接调幅的。注意不能开启两个 10MHz 载波发生电路，否则会产生同频干涉。

本单元实验要完成的是对整个发送系统的联调，以对整个发送系统的有一个完整的认识。

## 四、实验内容与步骤

### （一）、实验内容

本实验系统提供的是一个简单的原理性电路，同样需要说明的是控制各级信号的频率，输出电平和调制度是至关重要的，本实验系统的最终效果是与接收系统的联试来体现的。

### （二）、实验步骤

实验联调步骤采用由后及前的逐级调试方法。

#### 1)、高频功率放大与发射单元的调整

高频功率放大与发射单元的调整与第五单元的实验步骤一基本相同，在观察联调效果方面所不同的是用整个接收系统来验证发射效果(用发射天线无线发送，用接收天线无线接收，调频、调幅功率发送都需要验证。)



### 2)、变容二极管调频器单元的调整

变容二极管调频器单元的调整与与第四单元的实验步骤一基本相同,即首先不送音频调制波。调整  $L_{402}$  使载波频率为 10MHz(精度为  $10^{-4}f$ )然后送入音频信号,适当控制音频输入幅度。即控制调频调制度。联结  $J_{402}$  和  $J_{501}$ ,即用变容二极管调频器代替前一实验的调频高讯仪。从而完成调频信号发送与接收的大系统联试。

### 3)、幅度调制单元的调整

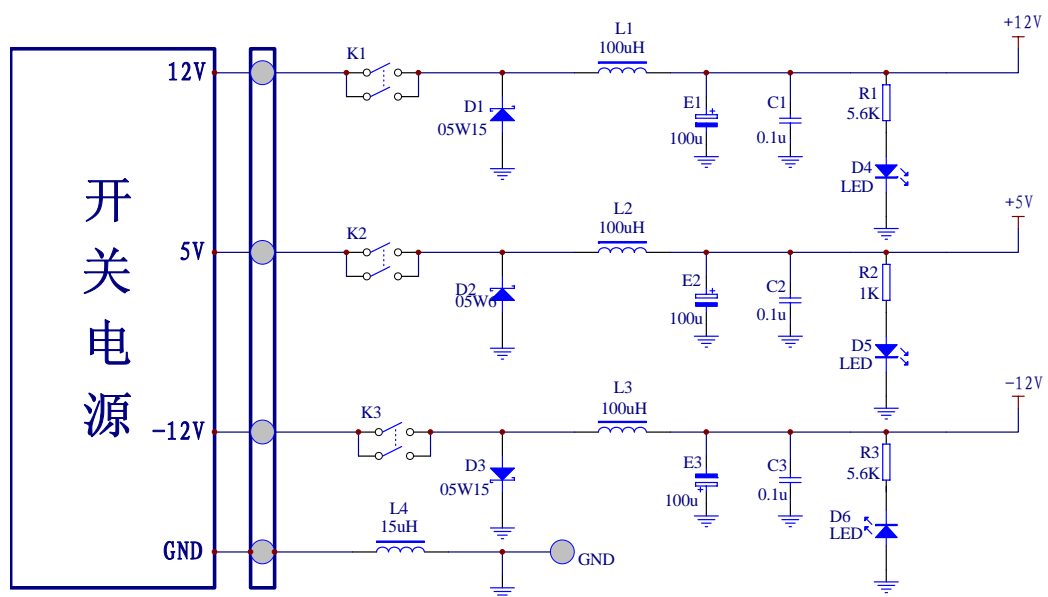
幅度调制单元的调整与第三单元的实验步骤一基本相同,联结  $J_{303}$  和  $J_{501}$ ,即用幅度调制器代替前一实验的调幅高讯仪,从而完成调幅信号发送与接收的大系统联试。

## 五、实验注意事项

- 1、注意各实验步骤对信号频率、幅度、调制度的要求。
- 2、当输出波形有失真时,可减小调制度和微调载波信号频率(频率调整不大于  $10^{-4}f$ ),或减小功率放大器的各级增益。
- 3、应注意两个同频发射机之间应相距一定的距离,以防止同频干涉。

## 六、实验报告

记录数据并作出分析和写出实验心得体会。



直流电源输入电原理图