《高频电子技术》

实 验 指 导 书

北京工商大学计算机与信息工程学院

前　言

实验是学习电子技术的一个重要环节。对巩固和加深课堂教学内容，提高学生实际工作技能，培养科学作风，为学习后续课程和从事实践技术工作奠定基础具有重要作用。为配合教学需要，我们新研制了TPE-GP4 高频综合实验学习机。

该学习机仍属于 TPE—GP 系列产品，与 TPE-GP2 相比，TPE-GP4 所提供的实验是基于建立一个完整的无线电收发系统而设置的，因此更强调电路的系统性、相关性和综合性。电路的设计多采用原理性强的典型电路，以便结合理论知识进行学习与分析。同时，尽量多地介绍一些功能相同但电路形式不同的单元电路，以便学生掌握各电路的共性与差异。

本学习机采用了整板结构形式，所有的实验均集成在同一电路板上，并且面板上绘制了电原理图，连接方便，易于教学和使用。内置电源直接将直流连接到各单元电路，并用独立的按键开关切换。同时还设置了外供电源，采用自锁紧插孔，为用户的外挂电路提供电源。

电路的设计多采用原理性强的典型电路，以便结合理论知识进行学习与分析。各实验单元电路板既可完成独立的单元实验，又可通过适当连接完成系统性实验。

为使理论教学和实践教学紧密结合，注重学生的能力培养，同时为了更好地使用 TPE-GP4 高频学习机，我们特编写了这本实验指导书。实验项目的编排和指导书的编写主要以近年来出版的以面向 21 世纪课程教材“电子线路非线性部分”，“通信电子电路”，“高频电路”等高校教材，同时也参考了中等专业学校电子信息类教材“高频电子线路”等资料，因此该实验指导书有较强的通用性。指导书的编写力求简明扼要，突出实验要求与过程，必要时结合工作原理对电路特点加以说明。对于

通过实验应能解决的问题或应能解释的现象，均在实验报告要求中提出。

由于编者水平所限，时间仓促，错误及欠缺之处恳请批评指正。

编者

2008 年 2 月于清华大学

实验要求

1. 实验前必须充分预习，完成指定的预习任务。预习要求如下：
   1） 认真阅读实验指导书，分析、掌握实验电路的工作原理，并进行必要的估算。
   2） 完成各实验“预习要求”中指定的内容。
   3） 熟悉实验任务。
   4） 预习实验中所用各仪器的使用方法及注意事项。
2. 使用仪器和学习机前必须了解其性能、操作方法及注意事项，在使用时应严格遵守。
3. 实验时接线要认真，相互仔细检查，确定无误才能接通电源，初学或没有把握应经指导教师审查同意后再接通电源。
4. 高频电路实验注意：
   1） 将实验板插入主机插座后，即已接通地线，但实验板所需的正负电源则要另外使用导线进行连接。
   2） 由于高频电路频率较高，分布参数及相互感应的影响较大。所以在接线时连接线要尽可能短。接地点必须接触良好，以减少干扰。
   3） 做放大器实验时如发现波形削顶失真甚至变成方波，应检查工作点设置是否正确，或输入信号是否过大。
5. 实验时应注意观察，若发现有破坏性异常现象（例如有元件冒烟、发烫或有异味）应立即关断电源，保持现场，报告指导教师。找出原因、排除故障，经指导教师同意再继续实验。
6. 实验过程中需要改接线时，应关断电源后才能拆、接线。
7. 实验过程中应仔细观察实验现象，认真记录实验结果(数据、波形、现象)。所记录的实验结果经指导教师审阅签字后再拆除实验线路。
8. 实验结束后，必须关断电源、拔出电源插头，并将仪器、设备、工具、导线等按规定整理。
9. 实验后每个同学必须按要求独立完成实验报告。

目　　录

实验一　小信号调谐放大器 ……1

1. 单调谐回路谐振放大器

2. 双调谐回路谐振放大器

实验二　集中选择滤波式高频小信号放器 ……5

实验三　丙类高频功率放大器实验 ……8

实验四　LC 电容反馈三点式振荡器 ……13

实验五　石英晶体振荡器 …… 17

实验六　低电平振幅调制器 ……19

实验七　高电平振幅调制器实验 ……23

实验八　调幅波信号的解调实验……26

实验九　变容二极管调频振荡器 …… 30

实验十　相位鉴频器实验 …… 34

实验十一　集成电路(压控振荡器)构成的频率调制器……39

实验十二　集成电路(锁相环)构成的频率解调器……42

实验十三　集成乘法器混频实验 ……44

实验十四　晶体管混频电路 ……47

实验十五　二次变频与鉴频实验…… 50

实验十六　中放、检波与低放电路…… 54

实验十七　小功率调频/调幅发射机与接收机实验……55

实验一　调谐放大器

一、实验目的

1. 熟悉电子元器件和高频电路实验箱。
2. 熟悉谐振回路的幅频特性分析--通频带与选择性。
3. 熟悉信号源内阻及负载对谐振回路的影响，从而了解频带扩展。
4. 熟悉和了解放大器的动态范围及其测试方法。

二、预习要求

1. 复习谐振回路的工作原理。
2. 了解谐振放大器的电压放大倍数、动态范围、通频带及选择性相互之间关系。
3. 实验电路中，若电感量　L=1μH，回路总电容 C=220pf（分布电容包括在内），计算回路中心频率 f。

三、实验仪器设备

1. 双踪示波器
2. 扫频仪
3. SP1461 型高频信号发生器
4. 毫伏表
5. 万用表
6. TPE-GP4 实验箱（实验区域：单回路调谐放大器、双回路调谐放大器）

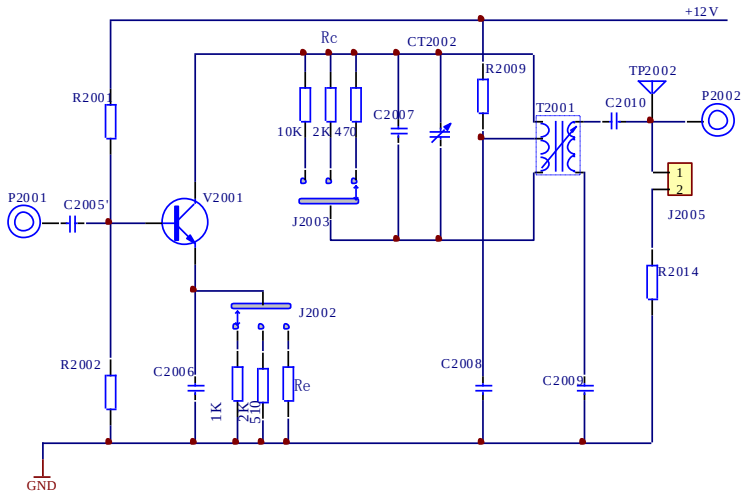


图 1-1　单调谐回路谐振放大器原理图

四、实验内容及步骤

(一)单调谐回路谐振放大器。

1. 实验电路见图 1-1

(1). 按图 1-1 所示连接电路(注意接线前先测量+12V 电源电压，无误后，关断电源再接线)。

(2).接线后仔细检查，确认无误后接通电源。

2. 静态测量

实验电路中选 R_e=1K

测量各静态工作点，计算并填**表 1.1**

表 1.1

实　　测		实测计算		根据 V_{CE} 判断 V 是否工作在放大区		原因
V_B	V_E	I_C	V_{CE}	是	否	

* V_B，V_E 是三极管的基极和发射极对地电压。

3.动态研究

(1). 测放大器的动态范围 Vi～V_0(在谐振点)

选 R=10K，R_e=1K。把高频信号发生器接到电路输入端，电路输出端接高频毫伏表，选择正常放大区的输入电压 Vi，调节频率 f 使其为 10.7MHz，调节 C_{T2002} 使回路谐振，使输出电压幅度为最大。此时调节 V_i 由 0.02 伏变到 0.8 伏，逐点记录 V_0 电压，并填入 **表 1.2**。V_i 的各点测量值可根据(各自)实测情况来确定。

表 1.2

V_i(V)		0.02										0.8
V_0(V)	R_e=1k											
	R_e=500Ω											
	R_e=2K											

(2) 当 R_e 分别为 500Ω、2K 时，重复上述过程，将结果填入**表 1.2**。在同一坐标纸上画出 I_C 不同时的动态范围曲线，并进行比较和分析。

(3) 用扫频仪调回路谐振曲线。

仍选 R=10K，R_e=1K。将扫频仪射频输出送入电路输入端，电路输出接至扫频仪检波器输入端。观察回路谐振曲线(扫频仪输出衰减档位应根据实际情况来选择适当位置)，调回路电容 C_{T2002}，使 f_0=10.7MHz。

注意：当扫频仪的检波探头为高阻时，电路的输出端必须接入 RL，而当扫频仪的检波探头为低阻探头时，则不要接入 RL（下同）。

(4) 测量放大器的频率特性

当回路电阻 R=10K 时，选择正常放大区的输入电压 Vi，将高频信号发

生器输出端接至电路输入端，调节频率 f 使其为 10.7MHz，调节 C_T使回路谐振（输出电压幅度为最大），此时的回路谐振频率 f_0=10.7MHz 为中心频率，然后保持输入电压 Vi 不变，改变频率 f 由中心频率向两边逐点偏离，测得在不同频率 f 时对应的输出电压 V_0，将测得的数据填入**表 1.3**。频率偏离范围可根据(各自)实测情况来确定。

表 1.3

f(MHz)						10.7				
V_0	R=10KΩ									
	R= 2KΩ									
	R=470Ω									

计算 f_0=10.7MHz 时的电压放大倍数及回路的通频带和 Q 值。

(5) 改变谐振回路电阻，即 R 分别为 2KΩ，470Ω时，重复上述测试，并填入**表 1.3**。比较通频带情况。

(二)双调谐回路谐振放大器

1.实验线路见**图 1-2**

(1).用扫频仪调双回路谐振曲线

接线方法同上 3(3)。观察双回路谐振曲线，选 Cc=3pf,反复调整 C_T2003、C_T2004 使两回路谐振在 10.7MHz。

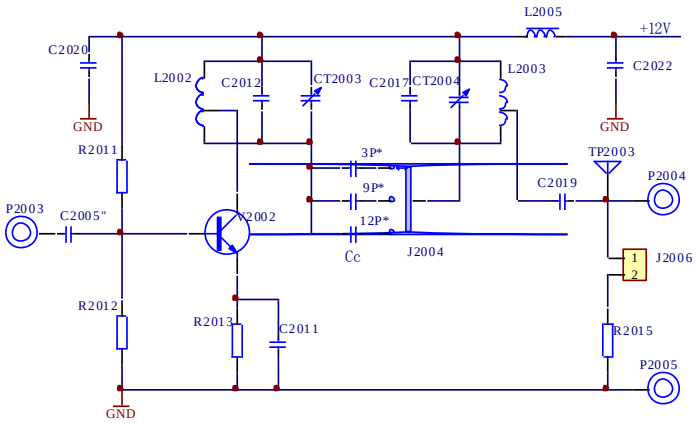


图 1-2　双调谐回路谐振放大器原理图

(2).测双回路放大器的频率特性按**图 1-2** 所示连接电路,将高频信号发生器输出端接至电路输入端，选 Cc=3pf，置高频信号发生器频率为 10.7MHz，反复调整 C_T2003 、C_T2004 使两回路谐振，使输出电压幅度

为最大，此时的频率为中心频率，然后保持高频信号发生器输出电压不变，改变频率，由中心频率向两边逐点偏离，测得对应的输出频率 f 和电压值,并填入**表 1.3**。

表 1.3

f(MHz)						10.7				
V_0	C= 3pf									
	C= 9pf									
	C=12pf									

2.改变耦合电容 Cc 为 9Pf、12Pf，重复上述测试，并填入**表 1.3**。

(三)附：天线输入回路的调整方法：

天线输入回路是无线电接收设备中必不可少的电路。天线回路使用扫频仪调整，将扫频仪输出与检波探头同时加在 M2001，调整 CT2001，使输入回路谐振于 10.7MHz。在实际联机时，再作进一步调整。

五、实验报告要求

1.写明实验目的。

2.画出实验电路的直流和交流等效电路，计算直流工作点，与实验实测结果比较。

3.写明实验所用仪器、设备及名称、型号。

4.整理实验数据，并画出幅频特性。

(1).单调谐回路接不同回路电阻时的幅频特性和通频带,整理并分析原因。

(2).双调谐回路耦合电容 C 对幅频特性，通频带的影响。从实验结果找出单调谐回路和双调谐回路的优缺点。

5.本放大器的动态范围是多少（放大倍数下降 1dB 的折弯点 V_0定义为放大器动态范围），讨论 I_c对动态范围的影响。

实验二　　集中选择滤波式高频小信号放大器

一、实验目的：

1. 了解宽带放大器集成电路的特点和使用方法。
2. 了解陶瓷滤波器的特点和使用方法。
3. 熟悉扫频仪的使用。

二、预习要求

1. 查阅有关宽带集成电路的相关资料。
2. 了解陶瓷滤波器的原理与使用。

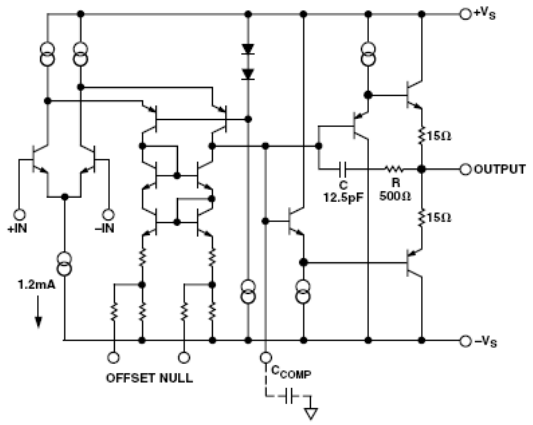


图 1　AD829 原理图

三、实验仪器设备

1. 扫频仪
2. 万用表
3. TPE-GP4 高频综合实验箱（宽带放大器与集中选择式滤波器部分）

四、实验原理简介

本实验采用 AD829 集成电路作宽带放大器，其输出连接一陶瓷滤波器，于是就构成了集中选择滤波式放大器。AD829 是一种高速、低噪声运算放大器。由于它具有及低的输入噪声电压和输入噪声电流，即使不加外部补偿电容，当增益在 1～20 之间时，可保证具有 50MHz 的带宽，用于视频放大器或前置放大器均十分理想。

1. AD829 内部电路原理如图 1 所示。
2. 典型应用：

图 1 是用 AD829 构成的视频放大器，这是一种典型应用。该电路在 5MHz 的带宽内可以提供 70 倍的增益。1pf

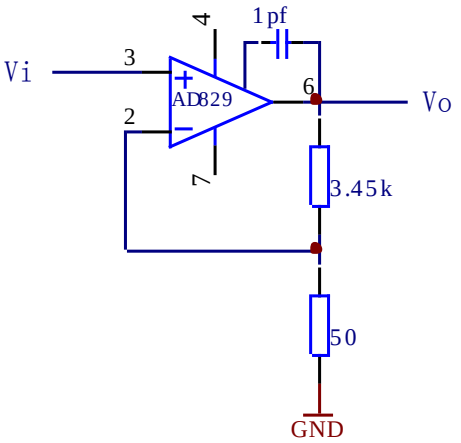


图2　用AD829构成的视频放大器

电容在高增益下使芯片能够稳定工作。

3. 实验方框图：

本实验是由 AD829 集成宽带运算放大器和 10.7MHz 陶瓷滤波器组成，方框图如图 3 所示。

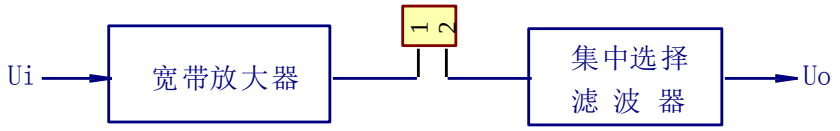


图3 选择滤波式高频小信号放大器方框图

4. 实际实验电路

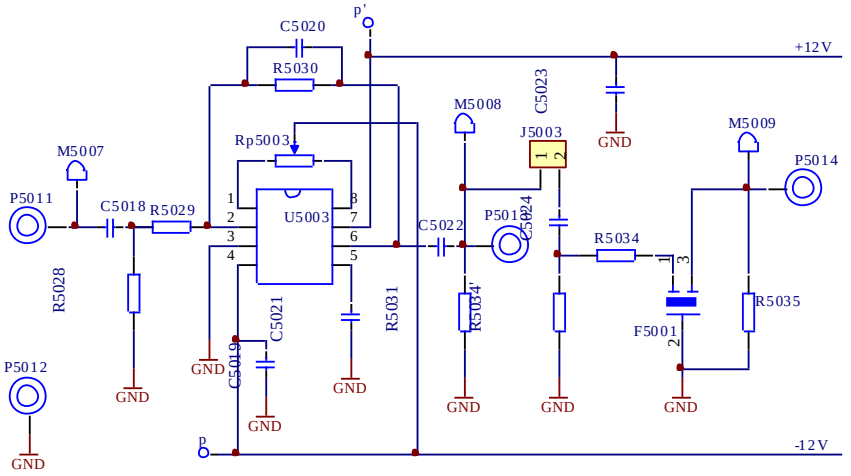


图 4　　实际实验电路图

五、实验内容与步骤

1. 用扫频仪测试宽带放大器的增益

1） 扫频仪 0db 的定义方法：

将扫频仪的输出电缆与扫频仪的检波探头短接(切不可地线与信号端接反)，将扫频仪输出衰减器置于 0db，调整 Y 轴增益，使荧光屏上所显示的图形占纵坐标 5 个大格（也可以是其它数值）。

2） 测试宽带放大器的幅频特性和增益：

保持扫频仪的 Y 轴增益不变，将扫频输出接至宽带放大器的输入端（P5011），宽带放大器的输出（P5013）经检波探头连接至扫频仪的 Y 输入，这时荧光屏上将显示放大器的频率特性曲线，调整扫频仪输出衰减器，使所显示的曲线仍占据 5 个大格，此时的衰减值就是放大器的增益。

3） 测试集中选频高频小信号放大器的频率特性：

ａ） 用短路环将跳线端子 J5003 短接，使电路构成窄带放大器的形式。

ｂ） 依然保持扫频仪的 Y 轴增益不变，且扫频输出依然接至 P5011。在滤波器的输出端（P5014）接检波探头。

ｃ） 旋转扫频仪中心频率旋钮，找到特性曲线，读出增益值。（特性曲线的中心频率大约为 10.7MHz）

2. 用点频法测试宽带放大器的增益

六、实验报告要求

1. 简述选择滤波式高频小信号放大器的工作原理。

2. 如何使用仪器测量放大器的幅频特性的中心频率、带宽、增益，怎样定义 0db。

3. 画出放大器的幅频特性，记录有关数据。

七、问题思考：

1. 此实验电路属于窄带放大器还是宽带放大器，其频率带宽主要决定于那个元件？

2. 陶瓷滤波器主要影响 FM 接收机的那项技术指标？

实验三　丙类高频功率放大器实验

特别提示：

1．本电路的核心是谐振功率放大器，因此，实验前必须认真预习有关教材，熟悉谐振功率放大器本，中调整过程，无一不是以理论为基础的。

2．认真阅读本实验指导书，是对于画有波浪线的文字，实验中要给与关注。

一．实验目的

1．通过实验，加深对于高频谐振功率放大器工作原理的理解。

2．研究丙类高频谐振功率放大器的负载特性，观察三种状态的脉冲电流波形。

3．了解基极偏置电压、集电极电压、激励电压的变化对于工作状态的影响。

4．掌握丙类高频谐振功率放大器的计算与设计方法。

二．预习要求：

1．复习高频谐振功率放大器的工作原理及特点。

2．熟悉并分析图 3 所示的实验电路，了解电路特点。

三．实验仪表设备

双踪示波器

2．直流电压表

3．直流电流表

4．TPE-GP4 高频综合实验箱[实验区域：高频功放（调幅）及发射电路部分、LC 与晶体振荡器部分]

四．电路特点及实验原理简介

1．电路特点

本电路的核心是谐振功率放大器，在此电路基础上，将音频调制信号加入集电极回路中，利用谐振功率放大电路的集电极调制特性，完成集电极调幅实验。当电路的输出负载为天线回路时，就可以完成无线电发射的任务。为了使电路稳定，易于调整，本电路设置了独立的载波振荡源。

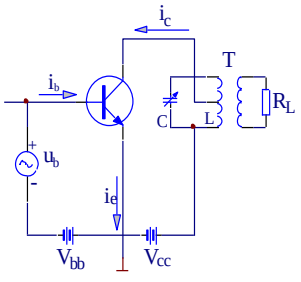


图1　高频功放原理图

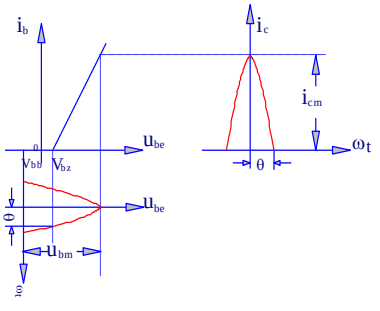


图2　ic与ub的关系

2．**高频谐振功率放大器的工作原理**

参见图 1。

谐振功率放大器是以选频网络为负载的功率放大器，它是在无线电发送中最为重要、最为难调的单元电路之一。根据放大器电流导通角的范围可分为甲类、乙类、丙类等类型。丙类功率放大器导通角 $\theta < 90^0$，集电极效率可达 80%，一般用作末级放大，以获得较大的功率和较高的效率。

图 1 中，V_{bb} 为基极偏压，V_{cc} 为集电极直流电源电压。为了得到丙类工作状态，V_{bb} 应为负值，即基极处于反向偏置。u_b 为基极激励电压。图 2 示出了晶体管的转移特性曲线，以便用折线法分析集电极电流与基极激励电压的关系。V_{bz} 是晶体管发射结的起始电压（或称转折电压）。由图可知，只有在 u_b 的正半周，并且大于 V_{bb} 和 V_{bz} 绝对值之和时，才有集电极电流流通。即在一个周期内，集电极电流 i_c 只在 $-\theta \sim +\theta$ 时间内导通。由图可见，集电极电流是尖顶余弦脉冲，对其进行傅里叶级数分解可得到它的直流、基波和其它各次谐波分量的值，即：

$$i_c = I_{C0} + I_{C1m}\cos\omega t + I_{C2M}\cos 2\omega t + \cdots + I_{CnM}\cos n\omega t + \cdots$$

$$\cos\theta = \frac{V_{bz} + V_{bb}}{U_{bm}}$$

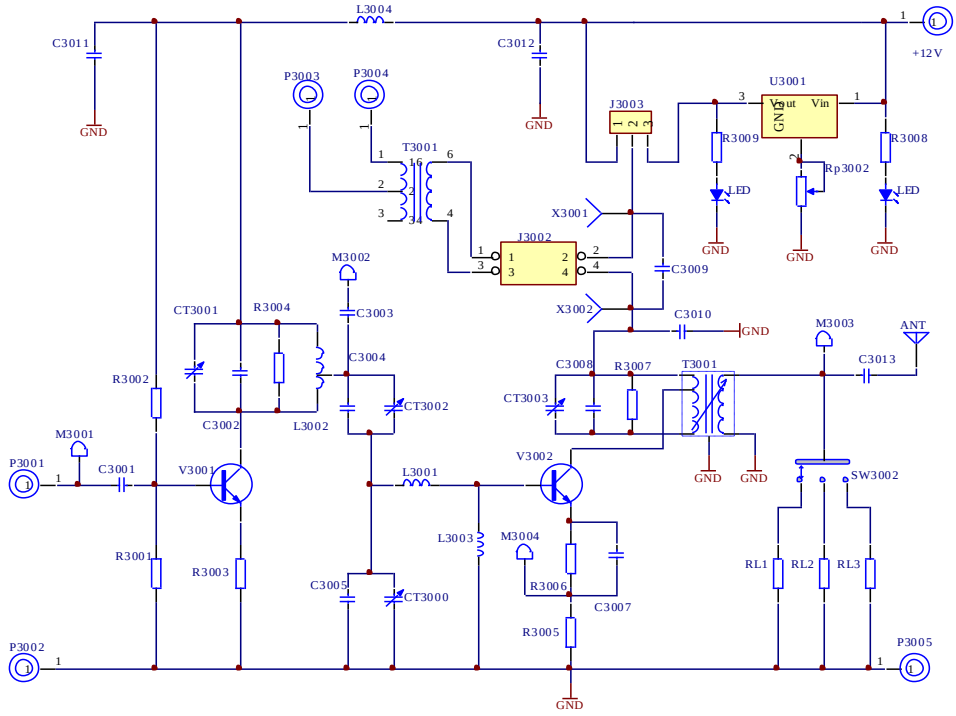


图 3　高频功放（调幅）及发射电路原理图

求解方法在此不再叙述。为了获取较大功率和有较高效率，一般取 $\theta = 70^0 \sim 80^0$ 左右。

完整的电路图见图 3。

V_{3001}为推动级，为末级功放电路提供足够的激励电压。V_{3002}构成丙类谐振放大电路。R3006、C3007 以及 L3003 等元件构成了自给负偏置电路。R_{L1}～R_{L3}为负载电阻，在负载电阻和功放电路集电极之间采用变压器电路，以完成负载和集电极之间阻抗变换。利用跳线端子 SW3002 可以方便地把不同的负载电阻分别接入电路中，以完成负载特性的实验。在功放输出级电路中设置了跳线短路端子 J_{3002}和 J_{3003}。J_{3003}可完成+12V 电源和+6～9V 可调电源之间的转换，以观察集电极调制特性和完成高电平调幅电路的实验。J_{3002}是为了在集电极回路中加入低频调制信号而设置的。R_{3005}是取样电阻，以便观察脉冲电流波形。高频信号由 P3001 输入，可以使用外接信号源，也可以用实验箱上的“LC 与晶体振荡器”电路或“变容二极管振荡器”电路的输出作信号源。

3．高频功放电路的调谐与调整原则

理论分析表明，当谐振功率放大器集电极回路对于信号频率处于谐振状态时（此时集电极负载为纯电阻状态），集电极直流电流 I_{C0}为最小，回路电压 U_L最大，且同时发生。然而，由于晶体管在高频工作状态时，内部电容 C_{bc}的反馈作用明显，上述 I_{C0}最小、回路电压 U_L最大的现象不会同时发生。因此，本实验电路，不单纯采用监视 I_{C0}的方法，而采用同时监视脉冲电流 i_C的方法调谐电路。由理论分析可知，当谐振放大器工作在欠压状态时，i_C是尖顶脉冲，工作在过压状态时，i_C是凹顶脉冲，而当处于临界状态下工作时，i_C是一平顶或微凹陷的脉冲。这也正是高频谐振功率放大器的设计原则，即在最佳负载条件下，使功率放大器工作于临界状态，以获取最大的输出功率和较大工作效率。本电路的最佳负载为 75Ω。因此调试时也应以此负载为调试基础。

五. 实验内容及步骤

1．调整载波振荡源：

a) 首先接通实验箱总电源，并在实验箱左侧中部找到“LC 与晶体振荡器”，按下该电路的电源按键 SW1001，此时该电路的电源指示灯发光，表示电源已接通。

b) 将该电路连接成晶体振荡器的形式，用示波器测试其输出波形，调整 Rp1001，使输出幅度大约为 0.4V（频率为 10.7MHz）。用短接线将该信号连接至 P3001（高频功放电路的输入端）。

2．按下高频功放电路的电源按键 SW3001，此时该电路的电源指示灯发光，表示电源已接通。用短路环分别短接跳线端子 J3003 的 1、2 端和跳线端子 J3002 的 2、4 端，使+12V 电源直接接入 V3002 的集电极。用跳线端子接通负载电阻 RL2（75Ω）。

3．电路调整：

a) 推动级的调整：

将示波器 1 通道测试探头（衰减 10 倍，下同）连接至 M3001，灵敏度置于 0.2V/DIV 档（由于探头有 10 倍衰减，故实际相当于 2V/DIV），

用以监测推动级的输出电压波形。仔细调整 CT3001，使推动级的输出电压最大（约 4～6V_{P-P}）。

b） 丙类功放的调整：

将示波器 2 通道测试探头（衰减 10 倍，下同）连接至测试点 M3003 处，灵敏度置于 0.2V/DIV 档（由于探头有 10 倍衰减，故实际相当于 2V/DIV），用以监测功放级的输出波形。将示波器 1 通道测试探头（衰减 10 倍，下同）改接至 M3004，用以检测脉冲电流。

仔细调整 CT3003，使输出回路谐振，且实现负载到集电极间的阻抗转换。观察 M3003 处的波形，应能得到失真最小的正弦波形。同时观察 M3004 处的波形，是否得到了一个临界状态的脉冲电流波形（略有凹陷的波形）。若未能观察到临界状态的脉冲电流，则需要仔细调整 CT3001、CT3002 和 CT3000，使功放级的输入达到较好的匹配状态，必要时还需适当地调整载波信号源的输出幅度。正常情况下，在 M3001 处观察到的输出波形幅度应不低于 9.4V。

4．负载特性的观察

a） 保持信号源频率和幅度不变，将负载分别接至 RL1(120Ω)和 RL3(47Ω)，应能观察到过压和欠压状态的脉冲电流形状。若不能，则电路还需做细心调整，直至在保持信号源频率和幅度不变得情况下，随着负载的改变可出现过压、临界、和欠压的三种状态的脉冲电流波形。

b） 三种状态的脉冲电流波形大致如图所示。

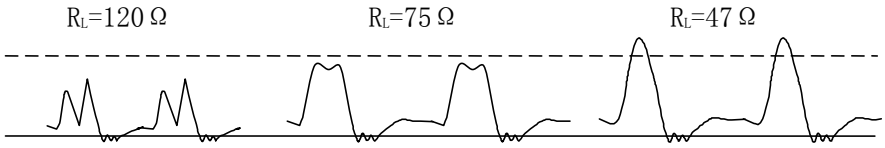


图 4 不同负载下的脉冲电流波形

上述脉冲波形，描绘了放大器的负载特性，即随着 R_c 的增大，I_c 随之减小。放大状态由欠压状态向过压状态过渡。

c） 当观察到负载特性后，记录三种负载条件下的负载上获得的输出电压 $U_{L(P-P)}$，电源提供给功放管集电极的电压 U_C，为了避免电压表输入阻抗对于输出回路的影响，测量 U_C 应当在 J4 的 2 端测试。测试三种状态下的集电极直流电流时，既可以采用在 J4 的 2、4 两点间接入直流电流表(200mA 档)直接读数，也可以采用测量发射极电阻上的压降再换算成电流的方法。但电流表接入回路中后，会对输出及脉冲电流波形产生一定影响，所以推荐采用第二种方法测试集电极直流电流。换算方法：$I_{C0}=V_E/R_E$(已知 R_E=10Ω)。最后将测试结果填入表中

表 1　高频功放实验数据记录表

R_L（Ω）	实测数据			计算结果		
	I_{C0}(A)	$V_{L(P-P)}$(V)	V_C(V)	P_S(mW)	P_L(mW)	η (%)
47						
75						
120						

5．集电极调制特性的观察

a)　将负载置于 47Ω档，输入信号电压及 E_b 保持不变，用短路环将 J_3 的 2、3 端短接，用 6～9V 可调电源给功放管的集电极供电。调整 R_{P3}，观察发射极脉冲电流波形的变化，这些变化描述了丙类功放电路的集电极调制特性，即随着 V_{cc} 增大，脉冲电流将会由过压状态向临界再向欠压状态变化。

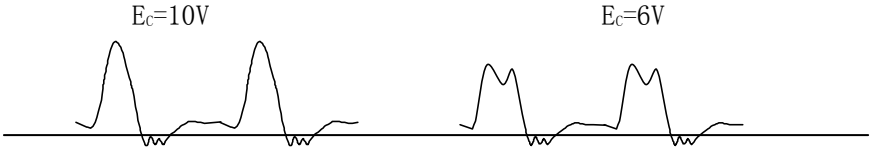


图 5　E_C不同时的脉冲电流波形（R_L=39Ω）

b)　放大特性的观察

保持 V_{cc}、E_b、R_L 不变，改变输入电压的幅值，可以看出随着信号幅度由小到大变化，脉冲电流将由欠压状态向临界状态再向过压状态变化的现象。

六. 问题思考

1. 若谐振放大器工作在过压状态，为了使其工作在临界状态，可以改变哪些因素？
2. 如何验证本电路工作于丙类？

七. 附录

效率的计算与计算公式说明：

利用下面提供的公式和前述表中的测试结果计算三种负载条件下的效率，并将结果填入表中。

电源提供给功放级的总功率：$P_S=I_{C0}\times V_D$

负载上得到的功率：　$P_L=V_{OP-P}^2 / 8R_L$

功率放大级的总效率：　$\eta = P_L / P_S$

本电路的总效率一般可达到 50%以上。

实验四　LC 电容反馈式三点式振荡器

一、实验目的

1. 熟悉电容三点式振荡器（考毕兹电路）、改进型电容三点式振荡器（克拉泼电路及西勒电路）的电路特点、结构及工作原理。
2. 掌握振荡器静态工作点调整方法。
3. 熟悉频率计、示波器等仪器的使用方法。

二、预习要求

1. 复习 LC 振荡器的工作原理。

2. 分析**图 3-1** 电路的工作原理，及各元件的作用，并计算晶体管静态工作电流 I_C的　最大值(设晶体管的β值为 50)。

3. 实验电路中，L1=10μH，若 C=120pf，C′=680pf，计算当 C_T=50pf 和 C_T=150pf 时振荡频率各为多少?

三、实验仪器设备

1. 双踪示波器

2. 频率计

3. 万用表

4. TPE-GP4 高频综合实验箱（实验区域：LC 与晶体振荡器）

四、实验原理及电路简介：

1. 实验原理：

振荡器是一种在没有外来信号的作用下，能自动地将直流电源的能量转换为一定波形的交变振荡能量的装置。根据振荡器的特性，可将振荡器分为反馈式振荡器和负阻式振荡器两大类，LC 振荡器属于反馈式振荡器。工作时它应满足两个条件：

1)　相位条件：反馈信号必须与输入信号同相，以保证电路是正反馈电路，即电路的总相移 $\Sigma\varphi=\varphi_k+\varphi_F=n\times360^0$。

2)　振幅条件：反馈信号的振幅应大于或等于输入信号的振幅，即 $|\dot{A}\dot{F}|\geq1$，式中 $\dot{A}$ 为放大倍数，F　为反馈系数。

当振荡器接通电源后，电路中存在着各种电的扰动（如热噪声、晶体管电流的突变等），它们就是振荡器起振的初始激励。经过电路放大和正反馈的作用，它们的幅度会得到不断的加强。同时，由于电路中 LC 谐振回路的选频作用，只有等于其谐振频率的电压分量满足振荡条件，最终形成了单一频率的振荡信号。

2. 电路特点：

图 1 为实验电路，V1001 及周边元件构成了电容反馈振荡电路及石英晶

体振荡电路。V1002 构成射极输出器。S1001、S1002、S1003、J1001 分别连接在不同位置时，就可分别构成考毕兹、克拉泼和西勒三种不同的 LC 振荡器以及石英晶体振荡器。

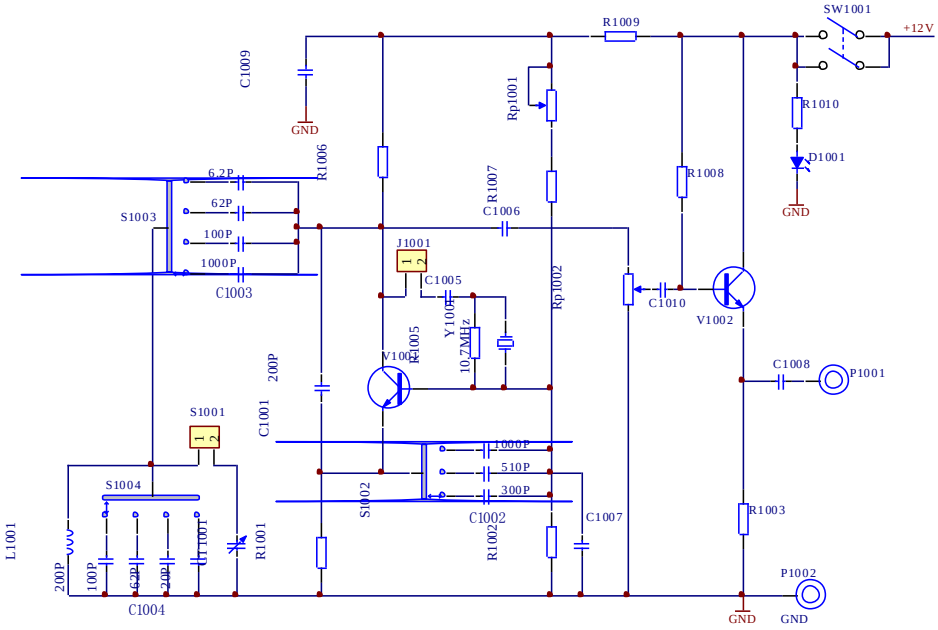
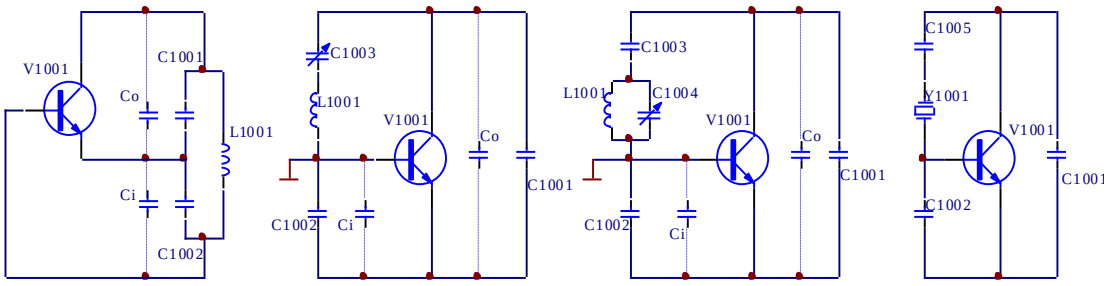


图1　LC与晶体振荡器原理图

3. 思路提示：

图二给出了几种振荡电路的交流等效电路图。

图二(a)是考毕兹电路，是电容三点式振荡电路的基本形式， 可以看出晶体管的输出、输入电容分别与回路电容 C1、C2 相并联（为叙述方便，图中 C1001、C1002 等均以 C1、



(a) 考毕兹电路　　(b)克拉泼电路　　(c)西勒电路　　(d)皮尔斯电路

图二　几种振荡电路计入 Co、Ci 时的交流等效电路

C2 表示，其余类推），当工作环境改变时，就会影响振荡频率及其稳定性。加大 C1、C2 的容值可以减弱由于 Co、Ci 的变化对振荡频率的影响，但在频率较高时，过分增加 C1、C2，必然减小 L 的值（以维持震荡频率不变），从而导致回路 Q 值下降，振荡幅度下降，甚至停振。

图二(b)为克拉泼电路，回路电容 $1/C_\Sigma=1/C_3+1/(C_2+C_i)+1/(C_1+C_o)$，因 $C_3<<C_1$、$C_3<<C_2$，$1/C_\Sigma\approx1/C_3$，即 $C_\Sigma\approx C_3$，故：$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_\Sigma}}\approx\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_3}}$ 回路电容主要取决于 C_3，从而使晶体管极间电容的影响降低。但应注意的是：C_3 改变，接入系数改变，等效到输出端的负载电阻 R_L 也将随之改变，放大器的增益也会将发生改变，即 $C_3\downarrow\rightarrow R_L\downarrow\rightarrow$增益↓，有可能因环路增益不足而停振。

图二(c)为西勒电路，同样有 $C_3<<C_1$、$C_3<<C_2$，故 $C_\Sigma\approx C_3+C_4$，振荡频率为：

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_\Sigma}}\approx\frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_3+C_4)}}$$

而接入系数为：$p=\frac{\frac{1}{j\omega C_1}}{\frac{1}{j\omega C_1}+\frac{1}{j\omega C_2}+\frac{1}{j\omega C3}}\approx\frac{C_3}{C_1}$ 由于 C_4 的接入并不影响接入系数，故对增益影响较小，这样不仅使电路的频率稳定性提高了，而且使得频率覆盖范围扩大。

图二(d)所示的是并联晶体振荡器（皮尔斯电路），该电路的振荡频率近似为晶体的标称频率，C_5 可以减小晶体管与晶体之间的耦合作用。

五、实验内容与方法：

1. 实验内容：

1) 分析电路结构，正确连接电路，使电路分别构成三种不同的振荡电路。

2) 研究反馈大小及工作点对考毕兹电路振荡频率、幅度及波形的影响。

3) 研究克拉泼电路中电容 $C_{1003\text{-}1}$、$C_{1003\text{-}2}$、$C_{1003\text{-}3}$ 对振荡频率及幅度的影响。

4) 研究西勒电路中电容 C_{1004} 对振荡频率及幅度的影响。

2. 实验方法：

1) 考毕兹电路：

a) 利用跳线端子将实验电路连接成考毕兹电路。

S1001	开路
S1002	按需要接入 C1002 的值
S1003	接 C1003-4(1000P)
S1004	开路

b) 调整静态工作点，使 Ue 分别为 1V、1.5V、2V 时，测量 C1=200pf、

C1002=1000pf 的幅度、频率及波形。

c) 固定 Ue=1V，C1=200pf，改变 C1002 的值，测量幅度、频率计波形。

2) 克拉泼电路：

a) 利用跳线端子将实验电路连接成克拉泼电路。

S1001	开路
S1002	接入 C1002-3=1000pf
S1003	按需要接入 C1003 的值
S1004	开路

b) 固定 Ue=1.5V，C1001=200pf，C1002-3=1000pf，改变 C1003 的数值测量幅度、频率及波形。

3) 西勒电路：

a) 利用跳线端子将实验电路连接成西勒电路。

S1001	开路
S1002	C1002-3(1000pf)
S1003	C1003-2(62pf)
S1004	按需要接入 C1004 的值

b) 固定 Ue=2V，C1001=200pf，C1002-3=1000pf，改变 C1004 的数值测量幅度、频率及波形。

c) 求出西勒电路的频率覆盖系数。

六、实验报告要求

1. 写明实验目的。
2. 写明实验所用仪器设备。
3. 画出实验电路的直流与交流等效电路，整理实验数据，分析实验结果。
4. 以 I_{EQ} 为横轴，输出电压峰峰值 V_{P-P} 为纵轴，将不同 C/C′ 值下测得的三组数据，在同一座标纸上绘制成曲线。
5. 说明本振荡电路有什么特点。

实验五　石英晶体振荡器

一、实验目的

1. 了解晶体振荡器的工作原理及特点。
2. 掌握晶体振荡器的设计方法及参数计算方法。

二、预习要求

1. 查阅晶体振荡器的有关资料。阐明为什么用石英晶体作为振荡回路元件就能使　振荡器的频率稳定度大大提高。
2. 试画出并联谐振型晶体振荡器和串联谐振型晶体振荡器的实际电路，并阐述两者　在电路结构及应用方面的区别。

三、实验仪器设备

1. 双踪示波器
2. 频率计
3. 万用表
4. TPE-GP4 高频综合实验箱（LC 与晶体振荡器部分）

四、实验原理及电路简介

由于石英晶体具有正、反压电效应，因此可以做成谐振器使用。与一般谐振回路相比，石英晶体谐振器有以下特点：回路的标准性高，受外界影响小；接入系数 $p=\dfrac{C_q}{C_0}<<1$ $Q=\dfrac{\omega L_q}{r_q}>>1$。故而石英晶体谐振器的频率稳定度较高，可达 10^{-4} 量级以上。

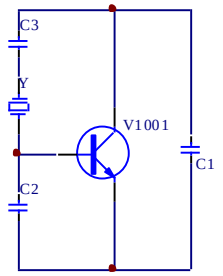


图1　并联晶体振荡器交流等效电路

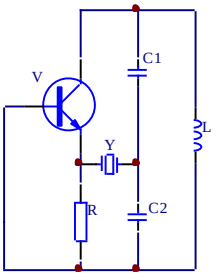


图2　串联晶体振荡器交流等效电路

晶体振荡器可以分为两大类：并联型晶体振荡器和串联型晶体振荡器。在并联型晶体振荡器中，晶体起等效电感的作用；在串联型晶体振荡器中，晶体起选频短路线的作用。

1. 并联型晶体振荡器：

图 1 所示为并联型晶体振荡器（皮尔斯振荡器）的交流等效电路图，当振

荡频率在晶体的串联谐振频率与并联谐振频率之间时晶体呈感性，满足三点式振荡器的组成原则，故可以振荡。其振荡频率近似为晶体的标称频率，电路中与晶体串联的小电容可减小晶体管与晶体之间的耦合作用，同时，调整该电容可以微调振荡频率。

2. 串联型晶体振荡器

图 2 所示为串联型晶体振荡器的交流等效电路图，晶体串联在反馈之路中，当谐振频率等于晶体的振荡频率时，晶体相当于短路，从而构成反馈式振荡器电路。

3. 实际电路简介：

实际电路图见上节实验指导书中的图 1，利用跳线端子 J1001 可以方便的切换为皮尔斯电路。

五、实验内容及步骤

1. 短接跳线端子 J1001，S1001、S1003 和 S1004 开路，S1002 作适当连接。
2. 调整 Rp1001 和 Rp1002，使输出幅度最大且失真最小。
3. 比较 S1002 在三种不同位置时的波形与幅值。
4. 测量频率稳定度：

将 S1002 置于 S1002-2 的位置，使 C1002-2(510pf)接入电路，电源接通 5 分钟后在 P1001 处用频率计测试频率，以后每隔 5 分钟测量一次，共测 7 次，记录测试数据。计算相对频率稳定度：$\frac{\Delta f_0}{f_0}=\frac{f_0-f}{f_0}$

式中 f_0 是标准频率（10.7MHz），f 是实际测试频率

将实验结果与 LC 振荡器相比较。

六、实验报告要求

1. 整理实验数据。
2. 根据图 2 所示的串联型晶体振荡器交流等效等效电路，绘出实际完整电路图。

实验六　低电平振幅调制器(利用乘法器)

一、实验目的

1. 掌握用集成模拟乘法器实现全载波调幅和抑制载波双边带调幅的方法与过程，并研究已调波与二输入信号的关系。

2. 掌握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、预习要求

1. 预习幅度调制器有关知识。

2. 认真阅读实验指导书，了解实验原理及内容，分析实验电路中用 1496 乘法器调制的工作原理，并分析计算各引出脚的直流电压。

3. 分析全载波调幅及抑制载波调幅信号特点，并画出其频谱图。

三、实验仪器设备

1. 双踪示波器。

2. SP1461 型高频信号发生器。

3. 万用表。

4. TPE-GP4 高频综合实验箱（实验区域：乘法器调幅电路）

四、实验电路说明

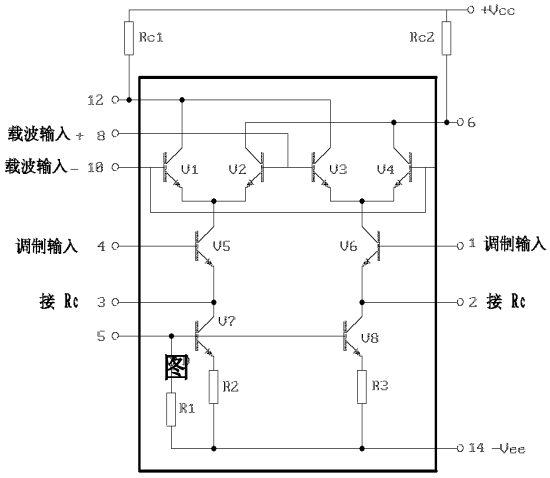


图　5-1　1496 芯片内部电路图

幅度调制就是载波的振幅受调制信号的控制作周期性的变化。变化的周期与调制信号周期相同。即振幅变化与调制信号的振幅成正比。通常称高频信号为载波信号，低频信号为调制信号，调幅器即为产生调幅信号的装置。

本实验采用集成模拟乘法器 1496 来构成调幅器，图 5-1 为 1496 芯片内部电路图，它是一个四象限模拟乘法器的基本电路，电路采用了两组差动对由 V_1-V_4 组成，以反极性方式相连接，而且两组差分对的恒流源又组成一对差分电路，即 V_5 与 V_6，因此恒流源的控制电压可正可负，以此实现了四象限工

作。D、V_7、V_8为差动放大器 V_5、V_6的恒流源。进行调幅时，载波信号加在 V_1-V_4的输入端，即引脚的⑧、⑩之间；调制信号加在差动放大器 V_5、V_6 的输入端，即引脚的①、④之间，②、③脚外接
1KΩ电阻，以扩大调制信号动态范围，已调制信号取自双差动放大器的两集电极(即引出脚⑹、⑿之间)输出。

用 1496 集成电路构成的调幅器电路图如**图 5-2** 所示，图中 R_P5002 用来调节引出脚①、④之间的平衡，R_P5001 用来调节⑧、⑩脚之间的平衡，三极管 V5001 为射极跟随器，以提高调幅器带负载的能力。

五、实验内容及步骤

实验电路见**图 5-2**

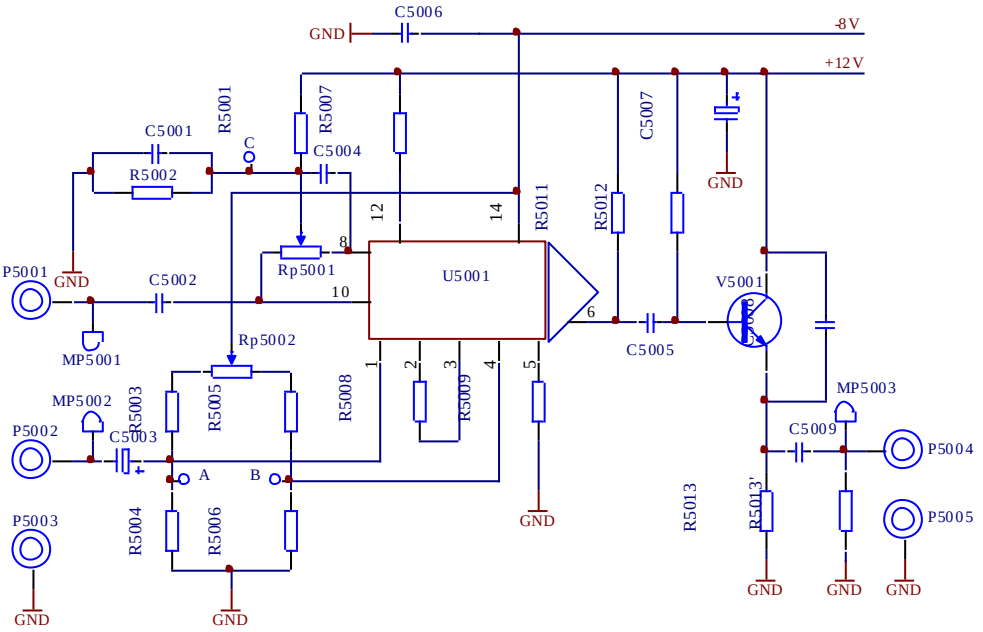


图 5-2　1496 构成的调幅器

1. 直流调制特性的测量
   1) 载波输入端平衡调节：在调制信号输入端 P5002 加入峰值为 100mv，频率为 1KHz 的正弦信号，调节 Rp5001 电位器使输出端信号最小，然后去掉输入信号。
   2) 在载波输入端 P5001 加峰值为 10mv，频率为 100KHz 的正弦信号，用万用表测量 A、B 之间的电压 V_{AB}，用示波器观察 OUT 输出端的波形，以

V_{AB}=0.1V 为步长，记录 R_P5002 由一端调至另一端的输出波形及其峰值电压，注意观察相位变化，根据公式 $V_O=KV_{AB}V_C(t)$ 计算出系数 K 值。并填入**表 5.1**。

表 5.1

V_{AB}									
$V_{O\ (P-P)}$									
K									

2. 实现全载波调幅

1) 调节 R_P5002 使 V_{AB}=0.1V，载波信号仍为 $V_C(t)=10\sin 2\pi\times 10.7\times 10^6 t$(mV)，将低频信号 $V_S(t)=V_S\sin 2\pi\times 10^3 t$(mV)加至调制器输入端 P5002，画出 V_S=30mV 和 100mV 时的调幅波形(标明峰一峰值与谷一谷值)并测出其调制度 m。
2) 载波信号 $V_C(t)$不变，将调制信号改为 $V_S(t)=100\sin 2\pi\times 10^3 t$(mV)调节 R_P5002 观察输出波形 $V_{AM}(t)$的变化情况，记录 m=30%和 m=100%调幅波所对应的 V_{AB}值。
3) 载波信号 $V_C(t)$不变，将调制信号改为方波，幅值为 100mV，观察记录 V_{AB}=0V、0.1V、0.15V 时的已调波。

3. 实现抑制载波调幅

1) 调 R_P5002 使调制端平衡，并在载波信号输入端 IN1 加 $V_C(t)=10\mathrm{Sin}2\pi\times 10^5 t$(mV)　信号，调制信号端 IN2 不加信号，观察并记录输出端波形。
2) 载波输入端不变，调制信号输入端 IN2 加 $V_S(t)=100\sin 2\pi\times 10^3 t$(mV)信号，　观察记录波形，并标明峰一峰值电压。
3) 加大示波器扫描速率，观察记录已调波在零点附近波形，比较它与 m=100%调幅波的区别。
4) 所加载波信号和调制信号均不变，微调 R_P5001 为某一个值，观察记录输出波形。
5) 在(4)的条件下，去掉载波信号，观察并记录输出波形，并与调制信号比较。

六、实验报告要求

1.整理实验数据，用坐标纸画出直流调制特性曲线。

2.画出调幅实验中 m=30%、m=100%、m＞100%的调幅波形，在图上标明峰一峰值电压。

3.画出当改变 V_{AB}时能得到几种调幅波形，分析其原因。

4.画出 100%调幅波形及抑制载波双边带调幅波形，比较二者的区别。

5.画出实现抑制载波调幅时改变 R_P5001 后的输出波形，分析其现象。

实验七　高电平振幅调制器（集电极调幅）实验

一、实验目的

1. 通过实验加深对于高电平调幅器的了解。
2. 熟悉并掌握集电极调幅器的调整方法。
3. 掌握调幅系数的测量方法。

二、预习要求

1. 预习高电平幅度调制器的有关知识，并与低电平调幅器相对照。
2. 了解高电平调幅器都有那些工作形式，以及构成高电平调幅器的基础电路。

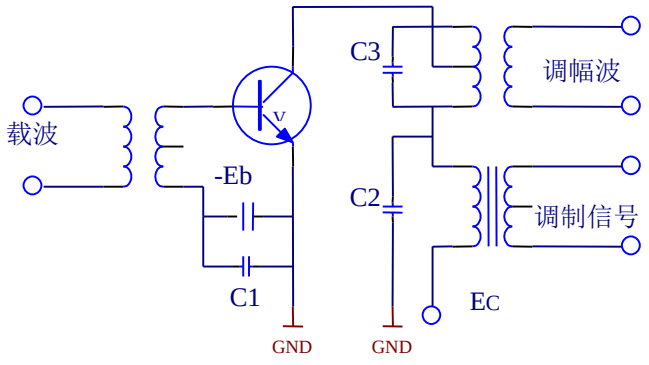
三、实验仪器

1. 双踪示波器
2. TPE-GP4 高频综合实验箱[实验区域：高频功放（调幅）及发射电路、LC 与晶体振荡器、函数波发生器等部分]
3. 万用表

四、高电平振幅调制电路工作原理简介

在无线电发送中，振幅调制的方法按功率电平的高低分为高电平调幅电路和低电平调幅电路两大类。而普通调幅波的产生多用高电平调幅电路。其优点是不需要采用效率低的线性放大器，有利于提高整机效率。但他必须兼顾输出功率、效率和调幅线性的要求。

高电平调幅电路是以调谐功率放大器为基础构成的，实际上它是一个输出电压振幅受调制信号控制的调谐功率放大器。根据调制信号注入调幅器的方式不同，分为基极调幅、发射极调幅和集电极调幅三种，本实验是晶体管集电极调幅器。



所谓集电极调幅，就是用调制信号来改变高频功率放大器的集电极直流电源电压，以实现调幅。电路原理图如图 1 所示，载波信号由基极加入，而

调制信号加在集电极。由于调制信号与电源 Ec 串联在一起，故可将二者合在一起看作一个随调制信号变化的综合集电极电源电压 Ecc。

$$Ecc=Ec+u_{\Omega}=Ec+U_{\Omega m}\cos\Omega_t=Ec(1+m_a\cos\Omega_t)$$

$$m_a=\frac{U_{\Omega m}}{E_C}$$

式中：Ec 为集电极固定电源电压；m_a 为调幅度。

在调制过程中，Eb 和载波保持不变，只是集电极等效电压 Ecc 随调制信号而变。放大器工作于过压区，集电极电流为凹陷脉冲。其基波分量随 Ecc 的变化近似线性变化，同样，集电极谐振回路两端的高频电压也随 Ecc 的变化近似线性变化，即受调制电压的控制，从而完成了集电极调幅。

完整的实验电路如图 2 所示。

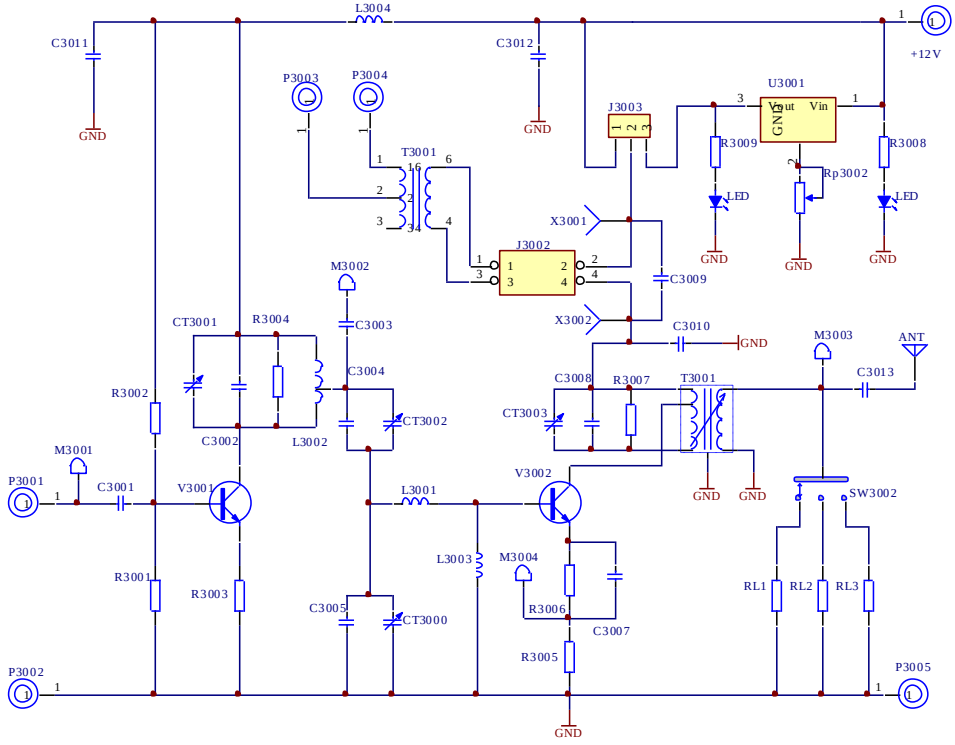


图 2　高频功放（调幅）及发射电路原理图

五、实验内容与步骤

1. 按照**实验三丙类高频谐振功率放大器**实验指导书第五项的要求调整好高频功放电路，使其在 12V 电源条件下，负载电阻为 75Ω时，工作在临界状态下。
2. 将 J3003 的短路环跳接在 2、3 端，接通 6～9V 可调电源，调整 RP3，使电源电压为 6V。

3．用短路环将 J3002 的 1、2 端和 3、4 端分别短接，使低频调制信号（f_Ω =1KHz）加至 V_Ω输入端，在输出端 M3 处观察输出波形，逐渐加大 V_Ω的幅度可得到调幅度近似等于 1 的调幅波形。

4．将电源电压调整为 9V，将低频调制信号调整为 4.2V_{P-P}左右，由于音频变压器的变压比大约为 1.41，所以实际加至集电极回路的音频电压为 6V_{P-P}（$U_{\Omega m}$=3V），用包络法测量调幅度，并与计算值进行比较。

5．测量电参数变化对调幅度 m_a 的影响。

A．保持音频调制频率Ω=1KHz，测出 m_a～U_Ω曲线。

B．保持调制电压 $U_{\Omega m}$=3V 不变，测出 m_a～Ω 曲线。

调幅度计算公式　　$$m_a = \frac{U_{\Omega m}}{E_C}$$

六、问题思考

1. 集电极调幅为什么必须工作于过压状态，本实验是如何保证工作在过压状态的？
2. 设计一基极调幅器，对于基极调幅器应工作在什么状态？为什么？

实验八　调幅波信号的解调

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。
3. 掌握用集成电路实现同步检波的方法。

二、预习要求

1. 复习课本中有关调幅和解调原理。
2. 分析二极管包络检波产生波形失真的主要因素。

三、实验仪器设备

1. 双踪示波器
2. SP1461 型高频信号发生器
3. 万用表
4. TPE-GP4 高频综合实验箱（实验区域：二极管包络检波器、同步检波器）

四、实验电路说明

调幅波的解调即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和同步检波器。

1. 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，本实验如**图 1** 所示，主要由二极管 D5006 及 RC 低通滤波器组成，它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 时间常数选择很重要， RC 时间常数过大，则会产生对角切割失真。RC 时间常数太小，高频分量会滤不干净。

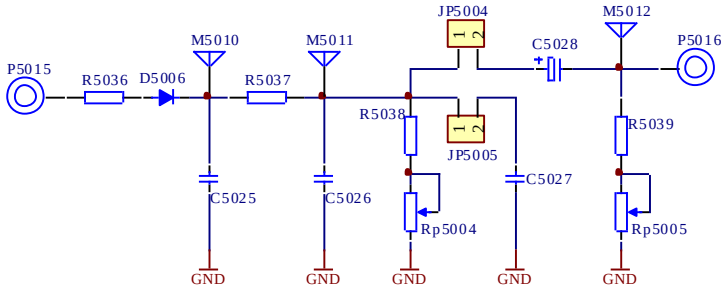


图 1　二极管包络检波器

综合考虑要求满足下式:

$$\frac{1}{f_0} << RC << \frac{\sqrt{1-m^2}}{\Omega_m}$$

其中: m 为调幅系数，f_O 为载波频率，Ω 为调制信号角频率。

图中，D5006 是检波二极管，R5037、C5025、C5026 滤掉残余的高频分量，R5038、和 R_{P5004} 是可调检波直流负载，C5028、R5039、R_{P5005} 是可调检波交流负载，改变 R_{P5004} 和 R_{P5005} 可观察负载对检波效率和波形的影响。

2. 同步检波器

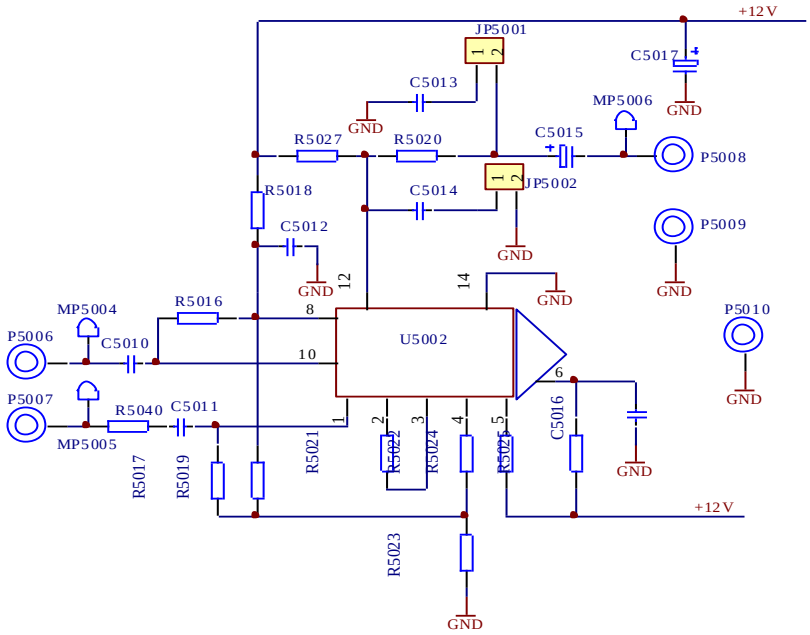


图 2　1496 构成的解调器

利用一个和调幅信号的载波同频同相的载波信号与调幅波相乘，再通过低通滤波器滤除高频分量而获得调制信号。本实验如**图 2** 所示，采用 1496 集成电路构成解调器，载波信号 V_C 经过电容 C5010 加在⑧、⑩脚之间，调幅信号 V_{AM} 经电容 C5011 加在①、④脚之间，相乘后信号由(12)脚输出，经 C5013、C5014、R5020 组成的低通滤波器，在解调输出端，提取调制信号。

五、实验内容及步骤

注意:做此实验之前需恢复**实验六**的**实验内容及步骤中 2、3** 的内容。

(一)二极管包络检波器

实验电路见**图 1**

1. 解调全载波调幅信号

(1).m＜30%的调幅波的检波

载波信号仍为 $V_C(t)=10\sin 2\pi \times 10^5(t)$(mV)调节调制信号幅度，按调幅实验中实验内容 2(1)的条件获得调制度 m＜30%的调幅波，并将它加至**图 1** 信号输入端，（需事先接入－12V 电源），由 OUT1 处观察放大后的调幅波（确定放大器工作正常），在 OUT2 观察解调输出信号，调节 R_{P5004} 改变直流负载，观测二极管直流负载改变对检波幅度和波形的影响，记录此时的波形。

(2).适当加大调制信号幅度，重复上述方法，观察记录检波输出波形。

(3).接入 C5027，重复(1)、(2)方法，观察记录检波输出波形。

(4).去掉 C4，R_{P1} 逆时针旋至最大，短接 JP5004，在 P5016 处观察解调输出信号，调节 R_{P5005} 改变交流负载，观测二极管交流负载对检波幅度和波形的影响，记录检波输出波形。

2.解调抑制载波的双边带调幅信号。

载波信号不变，将调制信号 V_S 的峰值电压调至 80mV，调节 R_P1 使调制器输出为抑制载波的双边带调幅信号，然后加至二极管包络检波器输入端，断开 a、b 两点，观察记录检波输出 OUT2 端波形，并与调制信号相比较。

(二)集成电路(乘法器)构成解调器

实验电路见**图 6-2**

1.解调全载波信号

(1).将**图 6-2** 中的 C4 另一端接地，C5 另一端接 A，按调幅实验中实验内容 2(1)的条件获得调制度分别为 30%，100%及＞100%的调幅波。将它们依次加至解调器 V_{AM} 的输入端，并在解调器的载波输入端加上与调幅信号相同的载波信号，分别记录解调输出波形，并与调制信号相比。

(2).去掉 C4，C5 观察记录 m=30%的调幅波输入时的解调器输出波形，并与调制信号相比较。然后使电路复原。

2.解调抑制载波的双边带调幅信号

(1).按调幅实验中实验内容 3(2)的条件获得抑制载波调幅波，并加至**图 6-2** 的 V_{AM} 输入端，其它连线均不变，观察记录解调输出波形，并与调制信号相比较。

(2).去掉滤波电容 C4，C5 观察记录输出波形。

六、实验报告要求

1. 通过一系列两种检波器实验，将下列内容整理在表内，并说明二种检波结果的异同原因。

输入的调幅波波形	m＜30%	m=100%	抑制载波调幅波
二极管包络检波器输出			
同步检波输出			

2. 画出二极管包络检波器并联 C4 前后的检波输出波形，并进行比较，分析原因。

3.在同一张坐标纸上画出同步检波解调全载波及抑制载波时去掉低通滤波器中电容 C4、C5 前后各是什么波形，并分析二者为什么有区别。

实验九　变容二极管调频振荡器

一、实验目的

1. 了解变容二极管调频器电路原理及构成。

2. 了解调频器调制特性及测量方法。

3. 观察寄生调幅现象，了解其产生原因及消除方法。

二、预习要求

1. 复习变容二极管的非线性特性，及变容二极管调频振荡器调制特性。

2. 复习角度调制的原理和变容二极管调频电路有关资料。

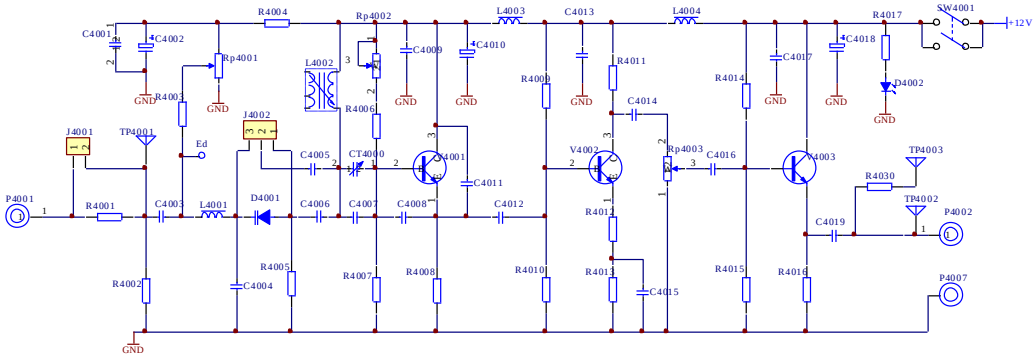
三、实验仪器设备

1. 双踪示波器

2. 频率计

3. 万用表

4. TPE-GP4 高频综合实验箱（实验区域：变容管调频器）



图一　　变容管调频器实验电路

四、实验原理及电路简介：

1. 变容管调频原理：

变容管相当于一只压控电容，其结电容随所加的反向偏压而变化。当变容管两端同时加有直流反向偏压和调制信号时，其结电容将在直流偏压所设定的电容基础上随调制信号的变化而变化，由于变容管的结电容是回路电容的一部分，所以振荡器的振荡频率必然随着调制信号而变化，从而实现了调频。

变容二极管结电容 C_j 与外加偏压的关系为：

$$C_j = C_0(1+\frac{u}{V_D})^{-\gamma}$$

式中：C_0 为变容管零偏时的结电容，V_D 为 PN 结的势垒电位差，γ 为电容变化指数。设加在变容管两端电压 $u=V_Q+U_\Omega\sin\Omega t$，代入上式经简化后得

$$C_j= C_{j0}(1+m_c\sin\Omega t)^{-\gamma}$$

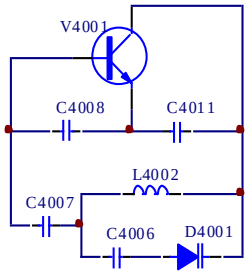
式中：$C_{j0} = \dfrac{C_0 V_D^{\ \gamma}}{(V_D+V_Q)^{\gamma}}$

表示 $u=V_Q$ 时的电容量，即无调制时的电容量。

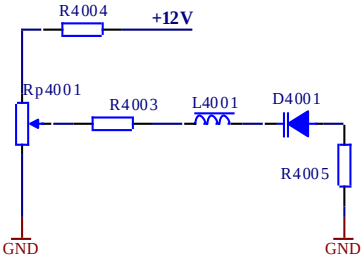
2. 实验电路简介：

图一是本实验电路的原理图。

图中，V4001、C4012、C4008、C4006、C4007、D4001 以及电感 L4002 构成了调频器的主振级，电路采用了西勒电容三点式振荡形式。其交流等效电路如图二所示。由图可见，变容二极管的结电容以部分接入的形式纳入在回路中。



图二　主振级交流等效电路



图三　变容二极管直流偏置电路

回路总电容为：$C_\Sigma = \dfrac{1}{\frac{1}{C_7}+\frac{1}{C_8}+\frac{1}{C_{11}}} + \dfrac{1}{\frac{1}{C_6}+\frac{1}{C_j}} = C + \dfrac{C_6 C_j}{C_6+C_j}$

C 为 C_{4007}、C_{4008}、C_{4011} 的串联等效电容（式中缩写为 C_7、C_8、C_{11} 等）

回路振荡频率：$f = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_\Sigma}} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{L(C+\frac{C_6 C_j}{C_6+C_j})}}$

当回路电容有微量变化是，振荡频率的变化由下式决定：

$$\frac{\Delta f}{f_0} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta C_\Sigma}{C_\Sigma}$$

无调制时 $C_{\Sigma}=C+\dfrac{C_6C_{j0}}{C_6+C_{j0}}$

有调制时回路电容为 C_{Σ}'， $C_{\Sigma}'=C+\dfrac{C_6C_j}{C_6+C_j}$

变容二极管结电容接入系数为：$P_c=\dfrac{C_6}{C_6+C_{j0}}$

变容二极管的直流偏置电路，如图三所示。

本实验电路中还设置了跳线端子 J4002，当其 2-3 端被短路环短接时，该电路的振荡频率大约为 6.45MHz，该信号可用于二次变频的实验中。该电路的调整不在此处叙述。

五、实验内容及步骤：

接通 TPE-GP4 高频综合实验箱的总电源，然后按下本次实验单元电路的电源开关按钮，发光二极管发光，表示电源已接通。

1. 电路调整：

1） 将示波器探头接在电路输出端（M4002)以观察波形，在 M4003 处接频率计。

2） 输入端不接音频信号，J4002 保持开路状态，调整电位器 R_P4001，使 Ed =4V。调整调整电位器 R_P4003，使输出波形幅值最大。调整电位器 R_P4002 使输出幅度大约为 1.5V_{P-P}，频率 f=10.7MHz，若频率偏离较远，可微调可变电容（此后不要再调整）。

2. 静态调制特性测量：

输入端不接音频信号，J4002 保持开路状态，重新调节电位器 R_P1，使 Ed 在 0.5～8.5V 范围内变化，将对应的频率填入表中。将 J4002 的 1-2 端短接，使 C4005(150pf)接入回路中，重复上述步骤。

Ed(V)		0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	8.5
f_0 (MHz)	J4002 开路										
	J4002 1-2 短路										

3. 动态测试(需利用相位鉴频器作辅助测试)：

重要提示：为进行动态测试，必须首先完成鉴频器的实验内容，并利用其实验结果，即相应的 S 曲线。

J4002 保持开路状态，调 R_P1 使 Ed=4V 时，调 R_P2 使=10.7MHz,自 IN 端口输入频率 f=1KHz、V_{P-P}=0.5V 的音频信号 V_m，输出端接至相位鉴频器的输入端，用示波器观察解调输出正弦波的波形，并记录输出幅值，将其与测量得出的 S 曲线相比较，计算出的对应的中心频率与上下频偏。将音频信号 V_{P-P} 分别改为 0.8V、1V,重复以上步骤。将实验所得数据填入表格（表格自拟），记下调制电压幅度与调制波上下频偏的关系，核算中心频率附近动态调制灵敏度即曲线斜率 S。

$$S = \frac{\Delta f}{\Delta V}\Big|_{f=10.7M}$$

将动态调制灵敏度与静态调试特性相比较。

六、实验报告要求

1. 整理实验数据。
2. 在同一坐标纸上画出静态调制特性曲线，并求出其调制灵敏度 S，说明曲线斜率受哪些因素的影响。
3. 在坐标纸上画出动态调制特性曲线，说明输出波形畸变原因。

实验十　相位鉴频器

一、实验目的

相位鉴频器是模拟调频信号解调的一种最基本的解调电路，它具有鉴频灵敏度高，解调线性好等优点。

通过本实验：

1. 熟悉相位鉴频电路的基本工作原理。
2. 了解鉴频特性曲线(S 曲线)的正确调整方法。
3. 将变容二极管调频器与相位鉴频器两实验进行联合试验，进一步了解调频和解调全过程及整机调试方法。

二、预习要求

1. 认真阅读实验内容，预习有关相位鉴频的工作原理，以及典型电路和实用电路。
2. 分析初级回路、次级回路和耦合回路有关参数对鉴频器工作特性(S 曲线)的影响。

三、实验仪器设备

1. 双踪示波器
2. 扫频仪
3. 万用表
4. TPE-GP4 高频综合实验箱（实验区域：相位鉴频器部分）

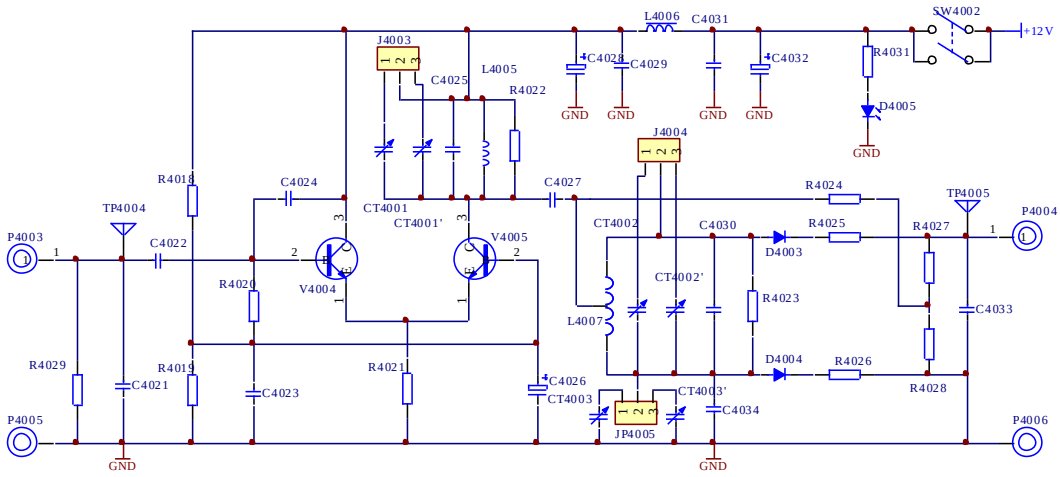


图 1　电容耦合双调谐相位鉴频器原理图

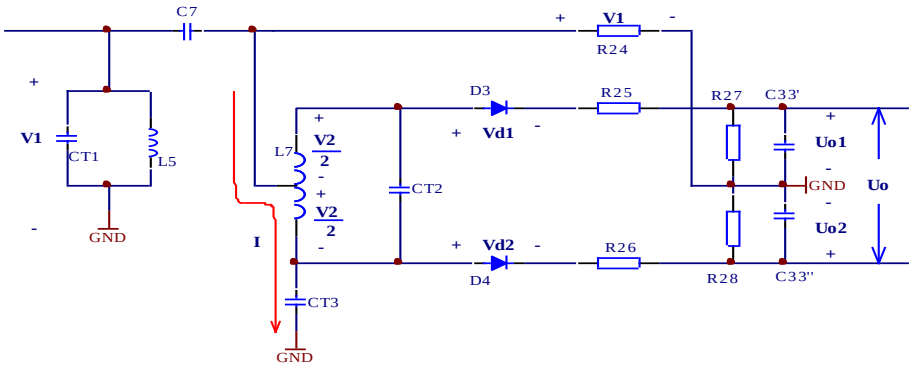


图 2　相位鉴频器简化原理图

四、实验原理及电路简介：

1. 电容耦合双调谐相位鉴频器原理：

图一是本实验电路的原理图。图二是相位鉴频器简化图，图中对相关元件的编号进行了缩写，如 L4005、CT4001 分别写为 L5、CT1，其余相同，以便于叙述。

1） 晶体管 V4004、V4005 与 C4025、L4005、CT4001 等元件组成限幅放大器，以提高相位鉴频器输入电压和抑制寄生调幅对解调输出的影响。

2） 参见图二，V1 是限幅放大器的输出电压，极性如图所示。L5、CT1，L7、CT2 通过 CT3 组成电容耦合双调谐电路，L5、CT1 等为初级回路，L7、CT2 等为次级回路。由于 C7>> CT3，所以 C7 主要起隔直流的作用，它使放大器输出电压 V1 加到线圈 L7 的中间抽头与地之间和电阻 R24 的两端。V1 通过 CT3 产生流过次级的电流 I，它在 L7 两端感应出电压 V2。于是加到二极管两端的高频电压由两部分组成，即 R24 上的电压和 L7 感应的一半电压的矢量和，为

$$\dot{V}_{d1} = \dot{V}_{R24} + \frac{\dot{V}_2}{2}$$

$$\dot{V}_{d2} = \dot{V}_{R24} - \frac{\dot{V}_2}{2}$$

而它们检波输出的电压 V_{01} 和 V_{02} 分别与 $\dot{V}_{d1}$、$\dot{V}_{d2}$ 成正比，即

$$V_{O1} = \eta V_{d1} \qquad V_{O2} = \eta V_{d2}$$

鉴频器的输出电压为　　$V_0 = V_{01} - V_{02}$

3） 由于 CT3 的容量很小，其容抗远大于 L7、CT2 回路的并联谐振电阻，

故 I 可看作一个不随谐振电路阻抗变化的电流源，即 $\dot{I} = j\omega C_{T3}\dot{V}_1$

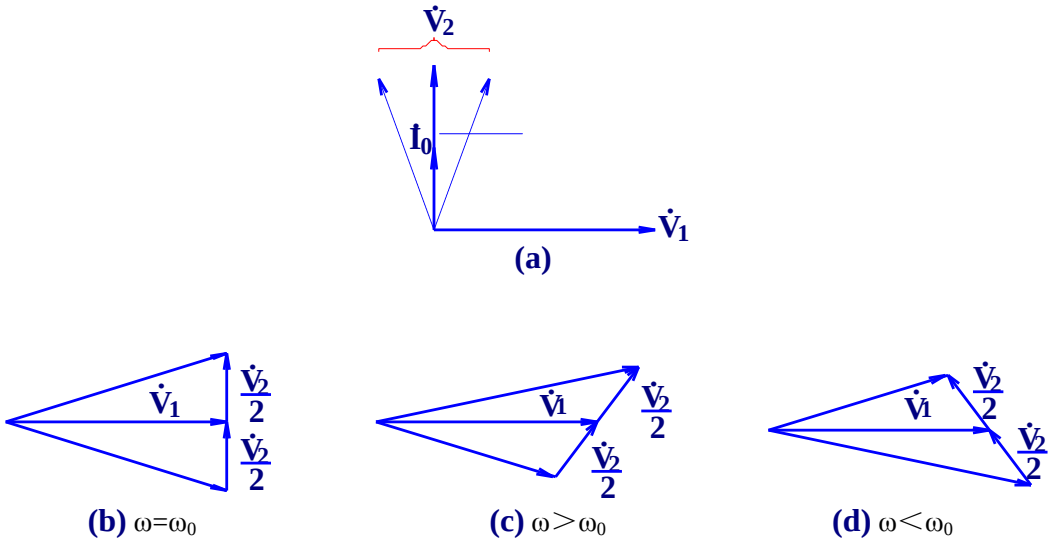


图 3

其相位超前于 $\dot{V}_1$ 相位 90^0，如图 3 所示，而 L7 两端感应的电压 $\dot{V}_2$ 的相位视谐振电路的情况有如下几种状态:

当 ω=ω0 时，回路谐振，$\dot{V}_2$ 超前 $\dot{I}_0$ 相位 90^0；

$V_{O1}= V_{O2}$　　$V_O=0$

当 ω>ω0 时，回路并联阻抗呈容性，$\dot{V}_2$ 滞后于 $\dot{I}_0$ 某个角度；

$V_{O1}>V_{O2}$　　$V_O>0$

当 ω<ω0 时，回路并联阻抗呈感性，$\dot{V}_2$ 超前 $\dot{I}_0$ 某个角度；

$V_{O1}<V_{O2}$　　$V_O<0$

上述关系用曲线表示，则成 S 型，S 曲线表示了鉴频特性。

2. 实验电路简介：

本电路中，两个谐振回路的谐振电容和两回路间的耦合电容分别由两组电容构成，一组设置在电路板的正面，另一组则设置在电路板的背面。正面一组电容（CT4001、CT4002 和 CT4003）提供给实验者调整电路使用，而背面的一组（CT4001’、CT4002’和 CT4003’）提供给实验者参考。两组

电容的切换由三个跳线端子 J4003、J4004 和 J4005 作适当连接完成。

五、实验内容及步骤

实验电路见图 8-1

1. 用扫频仪调整鉴频器的鉴频特性。

用短路环使跳线端子 J4003、J4004 和 J4005 的各自的 1-2 端短接，以使正面一组电容（CT4001、CT4002 和 CT4003）接入电路。

将扫频仪输出探头接至 M4004，其输出信号不宜过大，一般用 30db 衰减器。Y 输入使用开路探头（双夹子电缆线），接至 M4005 观察鉴频特性曲线。

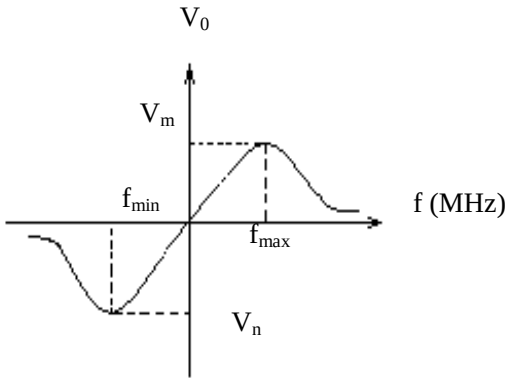


图 8-2 鉴频特性

适当调整 C_T4001，以使 S 型曲线上下对称；调整 C_T4002 使曲线中心为 6.5MHz；调 C_T4003 可使中心点附近线性度最佳。调好后，记录上、下二峰点频率和二峰点高度格数,即 f_{max}、f_{min}、V_m、V_n。

2. 用高频信号发生器逐点测出鉴频特性

用短路环使跳线端子 J4003、J4004 和 J4005 的各自的 2-3 端短接，以使背面一组电容（CT4001’、CT4002’和 CT4003’）接入电路。输入信号改接高频信号发生器，输入电压约为 50mv， 用万用表测鉴频器的输出电压，在 9.7MHz～11.7MHz 范围内，以每格 0.1MHz 条件下测得相应的输出电压。并填入表格（表格形式自拟）。找出 S 曲线零点频率 f_0、正负两极点频率 f_{max}、f_{min} 及其 V_M、V_N。鉴频曲线的灵敏度可用以下公式计算 $S = \dfrac{\Delta V_O}{\Delta f}\Big|_{f_0=10.7MHz}$。再将正面一组电容（CT4001、CT4002 和 CT4003）接入电路，重复以上步骤。根据以上数据，在坐标纸上逐点描绘出两条频率——电压 S 曲线，并与扫频仪观察结果相比较。

3. 观察回路电容 CT4001、CT4002 和耦合电容 CT4003 对 S 曲线的影响。

1) 调整电容 CT4002 对鉴频特性的影响。

记下 CT4002> CT4002-0 或 CT4002< CT4002-0 的变化并与 CT4002= CT4002-0 的曲线比较，再将 CT4002 调至 CT4002-0 正常位置。

注: CT4002-0 **表示回路谐振时的电容量。**

2) 调 CT4001 重复(1)的实验

3) 调 CT4003 至较小的位置，微调 CT4001、CT4002 得 S 曲线，记下曲线中

点及上下两峰的频率（f_0、f_{min}、f_{max}）和二点高度格数 V_m、V_n，再调 CT4003 到最大，重新调 S 曲线为最佳，记录：f_0' 、f_{min}、f_{max} 和 V'_m、V'_n 的值。

定义：峰点带宽　$BW=f_{max}-f_{min}$

曲线斜率　$S=(V_m-V_n)/BW$

比较 CT4003 最大、最小时的 BW 和 S。

4. 将调频电路与鉴频电路连接。

将调频电路的中心频率调为 10.7MHz，鉴频器中心频率也调谐在 10.7MHz，调频输出信号送入鉴频器输入端，将 f=1KHz，V_m=400mV 的音频调制信号加至调频电路输入端进行调频。用双踪示波器同时观测调制信号和解调信号，比较二者的异同，如输出波形不理想可调鉴频器 C_T1、C_T2、C_T3。将音频信号加大至 V_m=800mV，1000mV……观察波形变化，分析原因。

六、实验报告要求

1. 整理实验数据，画出鉴频特性曲线。

2. 分析回路参数对鉴频特性的影响。

3. 分析在调频电路和鉴频电路联机实验中遇到的问题及解决办法，画出调频输入和鉴频输出的波形，指出其特点。

实验十一　集成电路(压控振荡器)构成的频率调制器

一、实验目的

1.进一步了解压控振荡器和用它构成频率调制的原理
2.掌握集成电路频率调制器的工作原理。

二、预习要求

1.查阅有关集成电路压控振荡器资料。
2.认真阅读指导书，了解 566(VCO 的单片集成电路)的内部电路及原理。
3.搞清 566 外接元件的作用。

三、实验仪器设备

1.双踪示波器
2.频率计
3.万用表，
4.电容表
5. TPE-GP4 高频综合实验箱[实验区域：压控振荡器（VCO）]

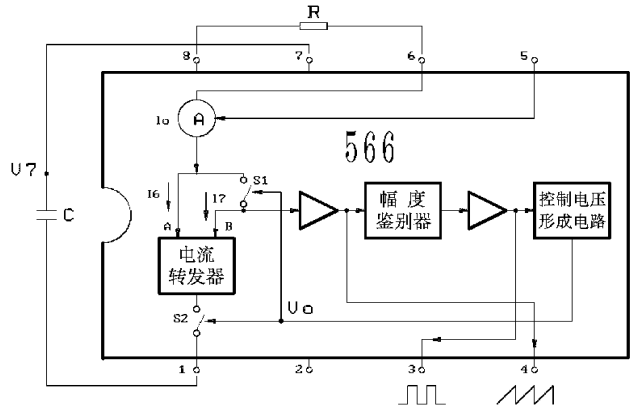


图 1　566(VCO)的框图及管脚排列

四、实验电路说明

图 1 为 566 型单片集成 VCO 的框图及管脚排列图。

图 1 中幅度鉴别器，其正向触发电平定义为 V_{SP}，反向触发电平定义为 V_{SM}，当电容 C 充电使其电压 V_7(566 管脚⑦对地的电压)上升至 V_{SP},此时幅度鉴别器翻转，输出为高电平，从而使内部的控制电压形成电路的输出电压,该电压 V_0为高电平；当电容 C 放电时，其电压 V_7下降，降至 V_{SM}时幅度鉴别器再次翻转，输出为低电平从而使 V_0也变为低电平，用 V_0的高、低电平控制 S1 和 S2 两开关的闭合与断开。V_0为低电平时 S1 闭合，S2 断开，这时 $I_6=I_7=0$, I_0全部给电容 C 充电，使 V_7上升，

由于 I_0为恒流源，V_7线性斜升，升至 V_{SP}时 V_0跳变为高电平，V_0高电平时控制 S2 闭合，S1 断开，恒流源 I_0全部流入 A 支路，即 $I_6=I_0$，由于电流转发器的特性，B 支路电流 I_7应等于 I_6，所以 $I_7=I_0$，该电流由 C 放电电流提供，因此 V_7线性斜降，V_7降至 V_{SM}时 V_0跳变为低电平,如此周而复始循环下去，I_7及 V_0波形如**图 9-2**。

566 输出的方波及三角波的载波频率(或称中心频率)可用外加电阻 R 和外加电容 C 来确定。

$$f=\frac{(V_8-V_5)}{R\cdot C\cdot V_8}(Hz)$$

其中：R　为时基电阻

C　为时基电容

V_8 是 566 管脚⑧至地的电压

V_5 是 566 管脚⑤至地的电压

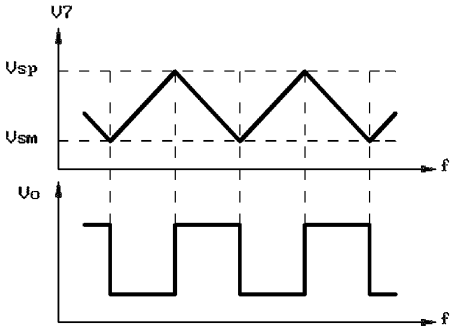


图 2

五、实验内容及步骤

实验电路见**图 3**

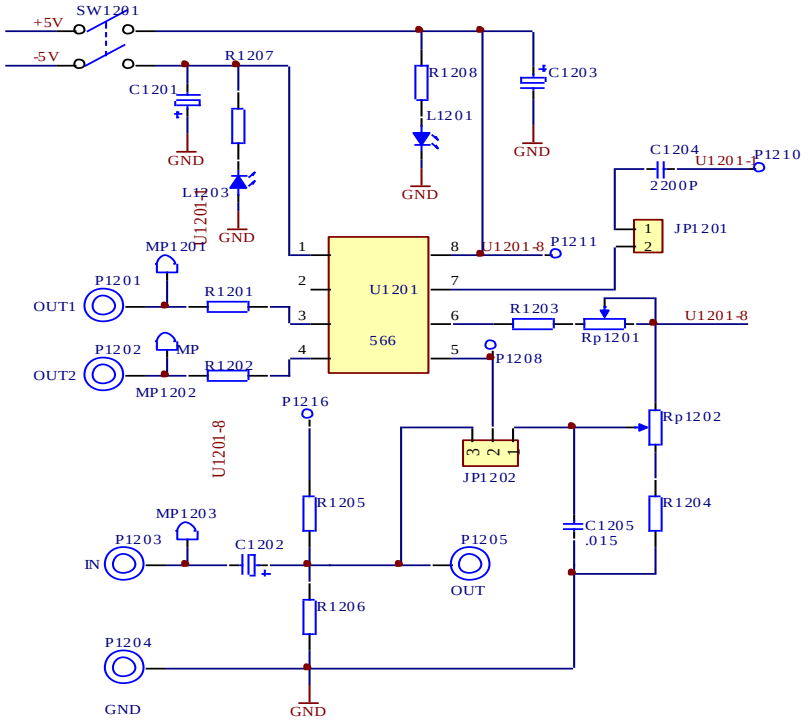


图 3　566 构成的调频器

1. 按图接线，观察 R、C1204 对频率的影响(其中 R=R1203+R_P1201)

1）短接 JP1201,将 C1204 接入 566 管脚⑦，短接 JP1202 的 1-2 端，使 R_P1202 及 C1205 接至 566 管脚⑤；接通电源(±5V)。

2）调 Rp1202，使 566⑤脚电压 V5=3.5V，将频率计接至 M1201，改变 R_P1201, 观察方波输出信号频率，记录当 R 为最大和最小值时的输出频率。当 R 分别为 R_{max} 和 R_{min} 及 C1=2200 时，计算这二种情况下的频率，并与实际测量值进行比较。用双踪示波器观察并记录 R=R_{min} 时方波及三角波的输出波形。

2. 观察输入电压对输出频率的影响

1）直流电压控制：先调 R_P1201 至最大（顺时针旋转到底），然后改变 R_P1202 调整输入电压,测当 V_5 在 2.2V～4.2V 变化时输出频率 f 的变化，V_5 按 0.2V 递增。将测得的结果填入**表 1**。

表 1

V_5(V)	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.2
f(MHz)											

2）用交流电压控制：仍将 R 设置为最大，用跳线端子短接 JP1202 的 2-3 端。

a) 将函数发生器的正弦波调制信号 e_m (输入的调制信号)置为 f=5KHz、V_{P-P}=1V，然后接至 M1203 端。用双踪示波器同时观察输入信号 e_m 和 566 管脚③的调频(FM)方波输出信号（M1201），观察并记录当输入信号幅度 V_{P-P} 和频率 f_m 有微小变化时，输出波形如何变化。注意：输入信号 e_m 的 V_{P-P} 不要大于 1.3V。

注意:为了更好的用示波器观察频率随电压的变化情况,可适当微调调制信号的 频率,即可达到理想的观察效果。

b) 调制信号改用方波信号 e_m，使其频率 f_m=1KHz，V_{P-P}=1V，用双踪示波器观察并记录 e_m 和 566 管脚③的调频(FM)方波输出信号。

六、实验报告要求

1.阐述 566(VCO 的单片集成电路)的调频原理。

2.整理实验结果，画出波形图，说明调频概念。

3.根据实验，说明接在 566 管脚⑥上 R 的作用，计算当 R 最大、最小时 566 的频率，并与实验结果进行比较。

实验十二　集成电路(锁相环)构成的频率解调器

一、实验目的

1.了解用锁相环构成调频波的解调原理。
2.学习掌握集成电路频率调制器/解调器系统的工作原理。

二、预习要求

1.查阅有关锁相环内部结构及工作原理。
2.弄清锁相环集成电路与外部元器件之间的关系。

三、实验仪器设备

1.双踪示波器
2.频率计
3.万用表
4. TPE-GP4 高频综合实验箱
[实验区域：锁相环（PLL）解调器
压控振荡器（VCO）]

四、实验电路说明

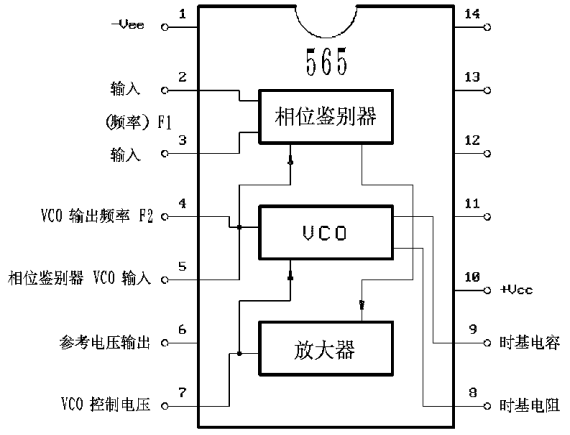


图 1　565(PLL)的框图及管脚排列

图 10-1 为 565(PLL 单片集成电路）的框图及管脚排列,锁相环内部电路由相位鉴别器、压控振荡器、放大器三部分构成，相位鉴别器由模拟乘法器构成，它有二组输入信号，一组为外部管脚②、③输入信号 e_1， 其频率为 f1；另一组为内部压控振荡器产生信号 e_2，经④脚输出，接至⑤脚送到相位鉴别器，其频率为 f2，当 f1 和 f2 差别很小时，可用频率差代表两信号之间的相位差，即 f1-f2 的值使相位鉴别器输出一直流电压， 该电压经⑦脚送至 VCO 的输入端，控制 VCO, 使其输出信号频率 f2 发生变化,这一过程不断进行，直至 f2=f1 为止，这时称为锁相环锁定。

五、实验内容及步骤

实验电路见图 10-2

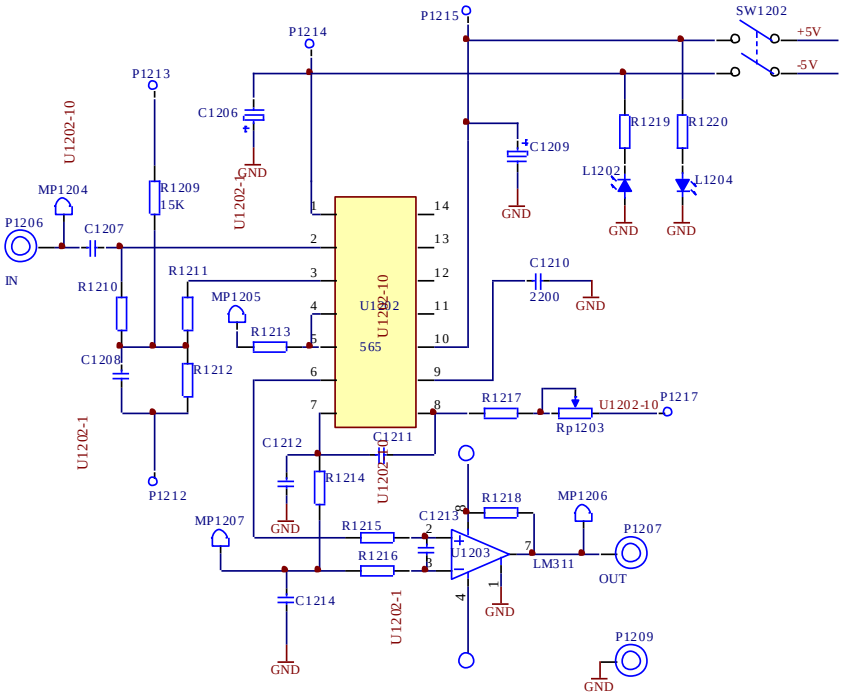


图 2　565(PLL)构成的频率解调器

1. 正弦波解调器

   调 R_P 使其中 VCO 的输出频率 f_0(A 点：即④⑤脚)为 50KHz。先按**实验十一的实验内容** 2(1)的要求获得调频方波输出信号(③脚)，要求输入的正弦调制信号 e_m 为：V_{P-P}=0.8V，f=1KHz，然后将其接至 565 锁相环的 IN 输入端，调节 566 的 R_P1201(**顺时针旋转**)使 R 最大，用双踪示波器观察并记录 566 的输入调制信号 e_m 和 565 的解调输出信号（在 M1207 处观察）。

2. 相移键控解调器：用峰一峰值 V_{P-P}≤0.2V，f_m=1KHz 的方波做调制信号送给调制器 566，分别观察调制器 566 的调制信号和比较器 311 的输出信号。

六、实验报告要求

1. 整理全部实验数据、波形及曲线。
2. 分析用集成电路(566、565)构成的调频器和解调器在联机过程中遇到的问题及解决方法。

实验十三　集成乘法器混频实验

一、实验目的

1. 熟悉集成电路实现的混频器的工作原理。
2. 了解混频器的多种类型及构成。
3. 了解混频器中的寄生干扰。

二、预习要求

1. 预习混频电路的有关资料。
2. 认真阅读实验指导书，对实验电路的工作原理进行分析。

三、实验仪器设备

1. 双踪示波器　　一台
2. SP1461 型高频信号发生器　一台（最好有产生调制信号功能的信号源）
3. 频率计　　一台
4. TPE-GP4 高频综合实验箱（集成电路混频器、LC 与晶体振荡器以及乘法器调频电路等部分）

四、实验原理及电路简介

1. 工作原理

混频器按工作原理可分为两大类，即叠加型混频和乘积型混频。叠加型混频原理是先将信号电压和本振电压叠加，在作用于非线性器件的混频。后面的晶体管混频器即是如此。而乘积型混频是将信号电压和本振电压通过模拟乘法器直接相乘。本实验采用 MC1496 集成模拟乘法器构成乘积型混频器，方框图如图 1，实际电路见图 2。

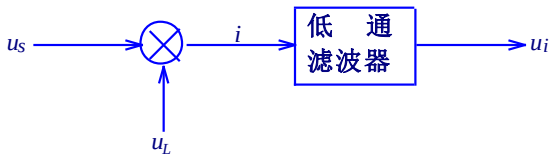


图1　乘积型混频器方框图

设信号电压为 u_s　　$u_s = U_{sm}\cos\omega_s t$

本振信号为 u_L　　$u_L = U_{Lm}\cos\omega_L t$

则模拟乘法器的输出电流为：

$$i = Ku_s u_L = KU_{sm}U_{Lm}\cos\omega_s t\cos\omega_L t$$

$$= \frac{1}{2}KU_{sm}U_{Lm}[\cos(\omega_L+\omega_s)t + \cos(\omega_L-\omega_s)t]$$

上式中 K 为相乘增益，输出经过低通滤波器取出差频分量，即可获得中频输出信号。

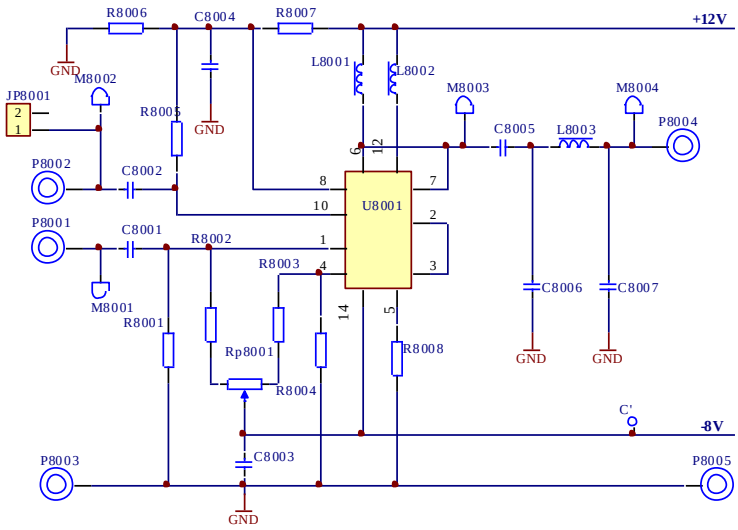


图 2　集成电路混频器原理图

2. 实验电路简介：

电路中设置了跳线端子 J8001 和 J6001(在本振电路部分)，当他们被短路环短接时，本地振荡信号就会由 P8002 通过 C8002 加至 U8001（1496）的 10 脚，其频率为 17.155MHz。信号电压由 P8001 通过 C8001 加至 U8001（1496）的 1 脚，6 脚输出经 π 型带通路波器在 P8004 得到中频信号（6.455MHz）。

五、实验步骤与内容：

1. 中频频率的观测

1） 接通本次实验电路和相关实验电路的电源，将 J6002 的 2-3 端用短路环短接，使本振电路为晶体振荡电路。

2） 用示波器在 M6002 处观察波形，调整 Rp6001 和 Rp6002，使输出电压大约为 100mV$_{PP}$，短接 J6001 的 2-3 端，和 J8001，使本振信号加至 U8001(MC1496)的第 10 脚。

3） 将 LC 与晶体振荡器连接成晶体振荡器的形式，调整 Rp1001 使输出幅度大约为 200mV，用连接线将其输出信号加至 P8001，即乘法器的另一输入端（1 脚）。观测混频电路输出端（OUT）的输出波形和频率（中频），可适当调节 R$_P$8001 和 L8003 使输出波形最大，记录测试结果。注意波形与频率不要同时观测。

2. 调幅波混频的观测

1） 将信号源调整为调幅输出形式，载波频率为 10.7MHz，调制信号频率为 1KHz，调幅度为 30%，输出幅值大约为 200mV$_{PP}$。

2）将该信号接至 P8001 处。本振信号维持不变，在混频器的输出端（P8004）可得到第一中频调幅包络信号。记录实验结果。

3. 调频波混频的观测：

1）将信号源调整为调频输出形式，载波频率为 10.7MHz，调制信号频率为 1KHz，频偏为 3.5KHz，输出幅值大约为 200mV。

2）将该信号接至 P8001 处。本振信号维持不变，在混频器的输出端（P8004）可得到第一中频调频信号。记录实验结果。

4. 附：用实验箱相关电路的调整方法

1）按照低电平调幅实验指导书中所述的实验步骤，以晶体振荡器的输出（f=10.7MHz）为载频，以频率为 1KHz 低频信号为调制信号，使乘法器调幅器输出调幅度大约为 30%的调幅波。其幅值不大于 200mV$_{PP}$。

2）将乘法器调幅器的输出（P5004）连接到 P8001（混频器的输入），本振信号维持不变，在混频器的输出端（P8004）可得到一频率为 6.455MHz 的调幅包络信号。记录实验结果。

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. 本实验用到实验一的(LC 与晶体振荡器实验)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、 实验报告要求

1. 根据观测的结果，画出波形图，作出相应的分析。

根据个人理解，完整叙述信号混频的过程，并讨论与振幅调制电路（实验五）的共同点。

实验十四　晶体管混频电路

一、 实验目的

1. 了解调幅接收机的工作原理及组成
2. 加深对混频概念的认识。

二、 实验原理

混频电路是超外差接收机的重要组成部分，它的作用是将载频为 f_C 的已调信号 $u_S(t)$不失真地变换成载频为 f_I 的已调信号 $u_I(t)$（固定中频），其电路框图如图 1 所示。它是将输入调幅信号 $u_S(t)$与本振信号（高频等幅信号）$u_L(t)$ 同

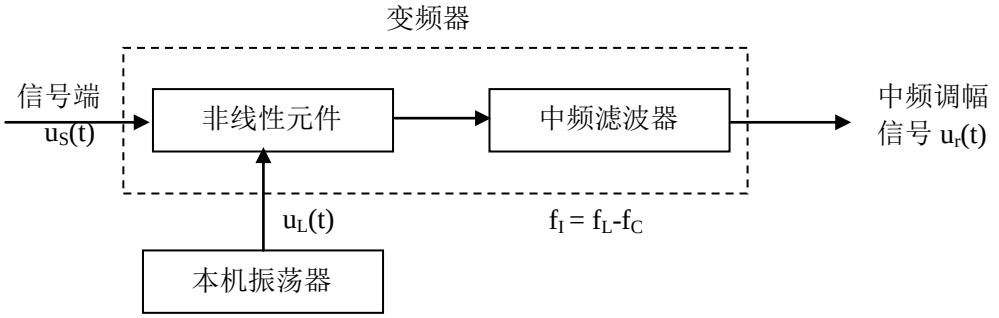


图 1 混频电路方框图

时加到变频器，经频率变换后通过滤波器，输出中频调幅信号 $u_I(t)$，$u_I(t)$ 与 $u_S(t)$ 载波振幅的包络形状完全相同，唯一的差别是信号载波频率 f_C 变换成中频频率 f_I 。

混频器有很多种，在高质量的通信接收机中常采用二极管环形混频器和双差分对混频器，而在一般的广播接收中则通常采用晶体管混频器。本实验电路采用的是晶体三极管混频电路，本振信号由晶体振荡器产生，其频率为 17.155MHz，混频后成生的中频信号频率为 6.455MHz。

晶体管混频器实际电路见图 2。

三、 实验仪表设备

1. 双踪示波器
2. 万用表
3. SP1461 型高频信号发生器(或其他可成生调幅信号的高频信号源)
4. TPE-GP4 高频试验箱（本振电路、晶体管混频、变容管调频器、二极管振荡器乘法器调幅电路等部分）

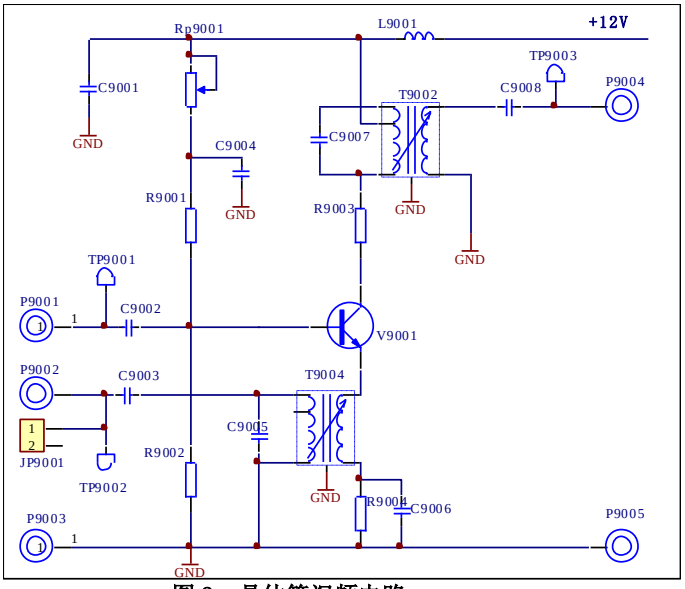


图 2　晶体管混频电路

四、 实验内容及步骤

1. 晶体本机震荡电路的调整

1） 按下总电源开关和本振电路电源开关，指示灯亮。

2） 短接 J6002 跳线端子的 2-3 端，使本振电路工作于晶体振荡方式。

3） 用示波器在 M6002 处观察波形，调整电位器 Rp6001 和 Rp6002，使输出波形不失真幅值最大。

2. 晶体管混频电路的调整：

1） 工作点初步调整：暂不接入信号，用万用表测量 V9001 发射极电压，调整 Rp9001，使该点电压为 0.3～0. 5V。

2） 短接跳线端子 J6001 的 1-2 端和 J9001，使本振信号加至 V9001 的发射极。

3） 将高频信号源的输出信号调整为 f_S=10.7MHz，峰峰值为 200mV 的等幅信号，将 f_S 从 P9001 端（M9001 端）输入，在输出端会得到一 6.455MHz 的中频电压。

4） 调整中周变压器 T9002 和发射极耦合变压器 T9004，使输出幅值最大。将高频信号源的输出信号调整为调幅波，调制度大约在 30%，在 P9004 端（输出端）可以得到频率为 6.455MHz 的包络信号，此时要仔细调整 Rp9001 电位器就会得到比较理想的包络信号。除有必要，一般不需要再调整中周变压器。

附：用实验箱相关电路的调整方法

1) 按照低电平调幅实验指导书中所述的实验步骤，以晶体振荡器的输出（f=10.7MHz）为载频，以频率为 1KHz 低频信号为调制信号，使乘法器调幅器输出调幅度大约为 30%的调幅波。其幅值不大于

200mV$_{PP}$。

2) 将乘法器调幅器的输出（P5004）连接到 P8001（混频器的输入），本振信号维持不变，在混频器的输出端（P8004）可得到一频率为 6.455MHz 的调幅包络信号。记录实验结果。

3. 注意事项：调整过程须仔细，不要过度调整中周变压器的磁帽和 T_1 的磁芯，以免损坏。

五、 实验报告要求

1. 整理测量数据和结果，画出波形图。
2. 分析如果输入信号 f_S 的频率为 23.610MHz 时，会产生什么样的结果?

实验十五　　二次变频与鉴频实验

一、实验目的：

通过实验，实际了解二次混频集成电路的工作原理，与调测方法。

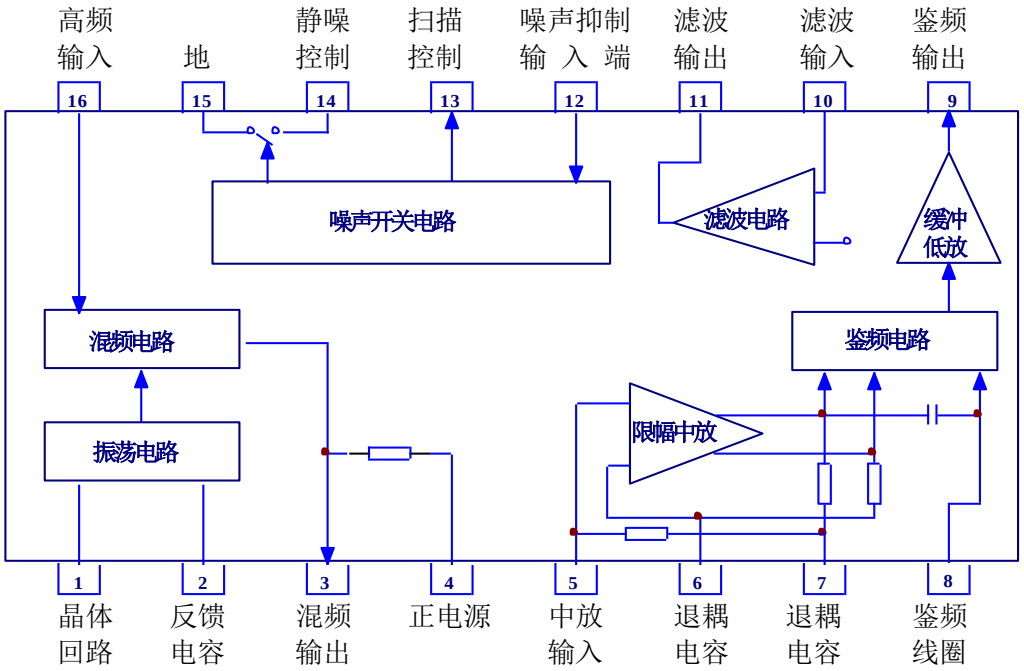
二、预习要求：

1. 查阅 MC3361 相关资料。

2. 预习正交鉴频的有关内容。

三、集成二次混频电路的工作原理：

1. 集成电路 MC3361 的内部方框图，与引脚功能如下图所示：



图一：MC3361 内部方框图

2. 电路分析：

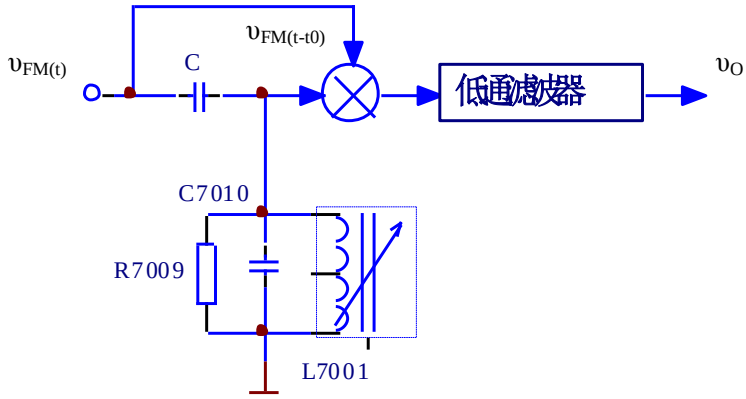
MC3361 是单片窄带调频接收电路，主要应用于二次变频的通信设备中。由方框图看出，MC3361 内部有振荡电路、混频电路、噪声开关电路等几部分组成，下面对其中几个主要电路作重点分析：

1) 振荡电路：参照实际实验电路，MC3361 芯片 1 脚和 2 脚分别连接了石英晶体（Y7001)和反馈电容 C7003 与 C7004，它们与内部三极管构成了典型的并联晶体振荡器，所产生的振荡信号在芯片内部被加到混频电路中。在芯片 1 脚可观察到振荡信号。在典型应用中，其振荡频率为 10.245MHz。在本实验电路中，为适应前级中频信号

的需要，实际振荡频率为 6MHz。

2) 混频电路：集成电路混频器大多是乘法器混频，其工作原理在前面的实验中已有叙述，此处不再重复。第一中频 IF 输入信号从第 16 脚输入，在内部第二混频级进行混频，所产生的第二中频信号由 3 脚输出。在典型应用中，第一中频信号的频率为 10.7MHz，其差频为：10.700-10.245=0.455MHz，即 455KHz 第二中频信号。在本实验的实际电路中，由前级输入的第一中频 IF 信号频率为 6.455MHz，本振信号频率为 6MHz，其差频依然为 455KHz。

3) 鉴频电路：MC3361 芯片采用了集成电路中最常用的正交鉴频电路。在 8 脚外接了 L7001、C7010 和 R7009，它们同芯片内部的电容元件构成了频-相转换网络，相位检波器采用乘积型鉴相器，其原理图如下：



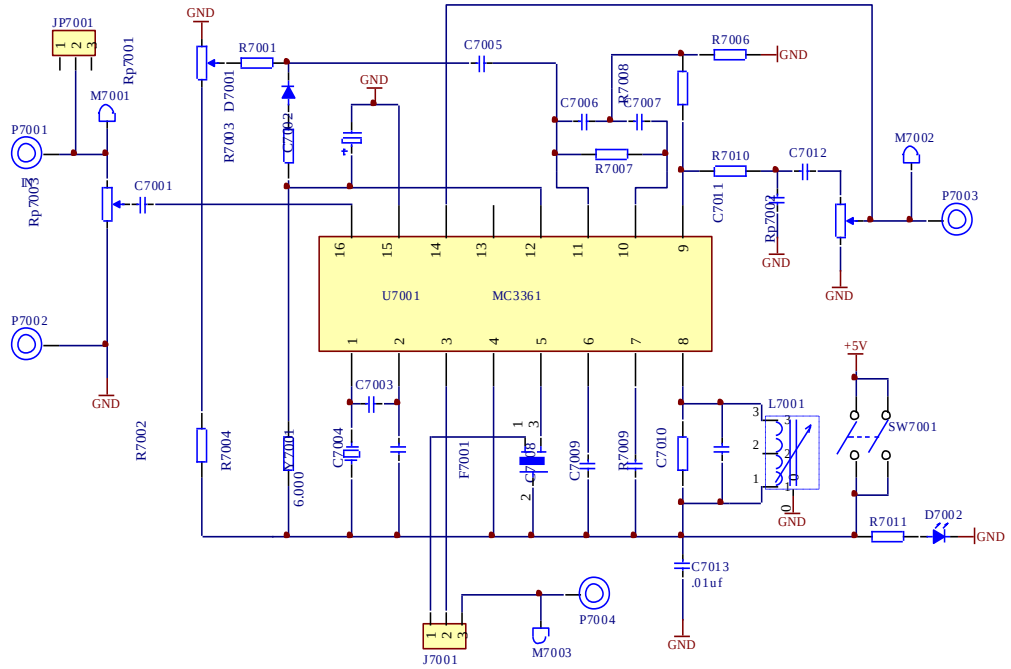
图二　乘积型正交鉴频器

当调频波经过转换网络时，会将调频波的瞬时频率变化规律变成附加的相位变化，形成调频-调相波，再经过乘法器解调，就会得到低频信号。

4) 静噪电路： 在本实验电路中，利用 MC3361 芯片内部提供的运算放大器以及相关的外围元件组成了一个带通有源滤波器和一个静噪开关电路，其主要作用是从鉴频输出中选出频率高于音频范围（6KHz 以上）的白噪声信号，进行放大、检波、滤波处理，得到一个直流电平，去控制静噪开关电路以保证在没有载波信号时输出为 0，从而达到静音目的。

参见实验原理图，当没有载波信号时，MC3361 鉴频后的音频噪声电压信号从 9 脚输出，经 R7008 送至 10 脚，即带通（有源滤波）放大器的输入端，放大后噪声电压达到一定的幅值，由 11 脚输出，在经 C7005 送至由 C7002、D7001、R7003 组成的检波器，检波后得到一个直流电压。此电压有 12 脚送至内部噪声开关电路，使

输出电压为 0V。当接收机收到一定强度的载波信号时，噪声信号被抑制，经放大、鉴频在 9 脚得到的是纯音频信号，此时静噪开关电路输出的直流电压升高，在电路输出端得到音频输出电压。



图三 二次变频与鉴频实验原理图

四、实验仪表设备：

1. 双踪示波器
2. 频率计
3. SP1461 型高频信号发生器
4. 万用表
5. TPE-GP4 高频综合实验箱（实验区域：二次变频电路）

五、实验内容及步骤：

接通 TPE-GP4 高频综合实验箱的总电源，然后按下本次实验单元电路的电源开关按钮，发光二极管发光，表示电源已接通。

1. MC3361 芯片本振信号的观察：用示波器在 U7001 的 1 脚观察本振信号，其幅值大约为 600mV$_{pp}$，频率为 6MHz。
2. 二次变频实验：
   1) 等幅波二次变频实验：由 M7001 输入 f=6.455MHz、U$_{p\text{-}p}$=20mV 的正弦波，将 J7002 的 2、3 端短接，在 M7003 处观察二次变频后的波形，可得到幅值约为 200mV$_{pp}$ 左右、频率为 455KHz 的正弦波。

2) 调频波二次变频实验：由 M7001 输入 f=6.455MHz、U_{p-p}=20mV 的调频波信号，调制信号为 F=1KHz、频偏为 3.5KHz。将 JP7001 的 2、3 端短接，在 M7003 处观察二次变频后的波形，可得到幅值约为 200mV_{pp} 左右、频率为 455KHz 调频波。

3) 调频波解调实验：短接跳线端子 J7002 的 1-2 端，用示波器在 M7002 处观察解调后的音频信号，注意调整电位器 Rp7001（顺时针调整）和 Rp7002（逆时针调整），可观察到频率为 1KHz 的音频信号，调整 L7001，使输出幅值最大、时针最小，此时幅值约为 400mV_{pp}。

4) 调幅波二次变频实验：

a) 由 M7001 输入 f=6.455MHz、U_{p-p}=20mV 的调幅波信号，调制信号为 F=1KHz。调幅度为 30%，用示波器观察为 200mV 的调幅波。

b) 短接跳线端子 J7002 的 2-3 端，用示波器在 M7003 处观察，可得到 U_{pp}=200mV，f=455KHz 的调幅波包络

c) 将包络信号由 P7004 输出，用专用连接线连接 P7004 与 P1101，使信号进入中放及检波电路即可还原出音频调制信号。

附：用实验箱相关电路的调整方法

1) 等幅波二次变频实验：接通变容管调频器电路的电源，短接 J4002 的 2-3 端，在 M4003 处观察频率，在 M4004 处用示波器观察波形，调整 Rp4001，使输出波形的频率为 6.455MHz，调整 Rp4003，使输出电压的幅值为 20mV_{pp}。将该信号用专用线连接至 P7001 处，将 J7002 的 2、3 端短接，在 M7003 处观察二次变频后的波形，可得到幅值约为 200mV_{pp} 左右、频率为 455KHz 的正弦波。

2) 调频波二次变频实验：接通函数波发生器电源，将频率为 1KHz、幅值为 200mV_{pp} 的信号连接至 P4001，短接 J4001，重复上述过程，在 M7003 处观察二次变频后的波形，可得到幅值约为 200mV_{pp} 左右、频率为 455KHz 调频波。

2） 调幅波二次变频实验：

利用变容管调频器输出的频率为 6.455MHz 的信号作为载频信号，用函数波发生器产生的 1KHz 信号作为调制信号，参照低电平调幅实验指导书中所述的实验步骤，将乘法器调幅电路产生的调幅信号加至 P7001 处，短接跳线端子 J7002 的 2-3 端，用示波器在 M7003 处观察，可得到 U_{pp}=200mV，f=455KHz 的调幅波包络。

六、实验报告

1. 画出二次变频前后、鉴频前后的波形。

实验十六　中放、检波及低放电路

一、说明：这一部分内容在模拟电路中和高频电路的课程中，均已学习过，因此对于电路原理等内容不作介绍。但这部分电路又是无线电接收系统的重要组成部分，因此本节重点介绍的是调整方法。

二、电路调整步骤

1. 低放电路调整：

将跳线端子 J1102 置于开路状态，由 P1104 端口注入 1KHz、幅度适当的音频电压信号，扬声器中应发出 1KHz 的音响。调整电位器 Rp1101，声音大小应有所变化。

2. 中放电路的调整：

1） 用短路环将跳线端子 J1101 的 1-2 端短接，使直流负载 R1105 接入电路中。

2） 直流工作点的调整：调整电位器 Rp1102，使晶体管 V1101 发射极电压大约为 3V。

3） 将信号源的输出连接至中放电路的输入端（P1101），调整信号源，使输出信号频率为 455KHz，幅值大约为 200mV。

4） 将示波器探头接至 M1102 观测波形，调整中周变压器，使输出幅度最大，且波形不失真。

5） 将输入信号改为调幅波（调制度 30%，调制频率 1KHz），用短路环将跳线端子 J1101 的 2-3 端短接，将示波器探头接至 M1103 观测波形，并与调制信号相对照。

6） 用短路环将跳线端子 J1102 短接，调整电位器 Rp1101，扬声器中就可还原出 1KHz 的音响。

3. 注：此电路也可在联机调试时再作调整，可直接使用无线接收的信号去调整。

实验十七　小功率调幅/调频发射机与接收机系统实验

一. 实验目的：

1. 了解模拟通信系统中调幅/调频发射机与接收机的工作原理及组成，建立无线电发射与接收的系统概念。
2. 掌握系统联机调整的方法，提高解决实际问题的能力。

二. 实验原理

1. 无线电发射机的构成与分析：

一台小型无线电发射机，通常由主振级、调制级、功率放大级和发射天线构成。

主振级用来产生发射载频信号（高频正弦波），主要要求是频率稳定、幅度较大、波形失真小。通常用 LC 晶体管振荡器。

调制级主要用来产生调制波，可以是单独一级（低电平调制），也可以在功放级完成（高电平调制）。对于全信号调幅波一般多在功放级实现调制。本实验系统两种调制方式均可实现。

功放级是发射机的重要组成部分，要求以较高的效率给出较大的功率，以满足发射机的要求。同时，要求输出波形失真小，以保证发射效果。

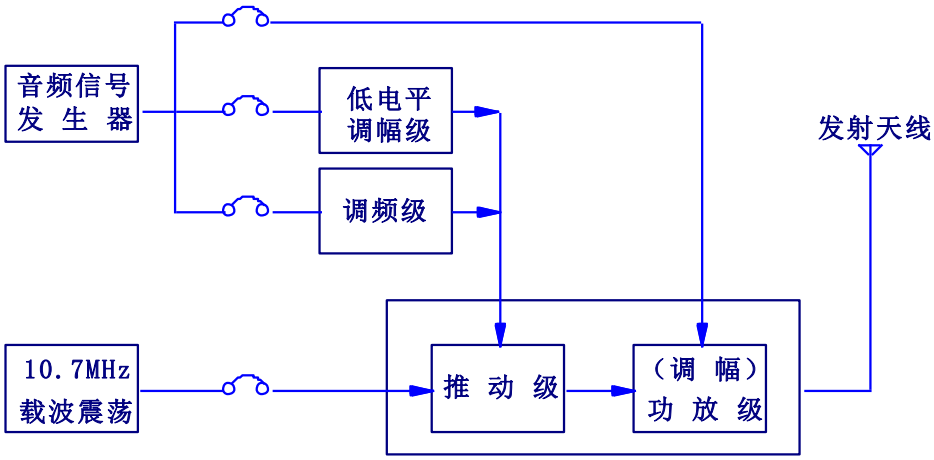


图1 无线电发射实验系统方框图

在图 1 所示的无线电发射实验系统的方框图中，调制级给出了低电平调幅（乘法器调幅）、高电平调幅（集电极调幅）两种调幅方式，还给出了调频方式，这样就构成了 10.7MHz 的调频、调幅发射机。

为了便于实验者操作，图 2 给出连接示意图，图中标示出各相关电路之间的连接端口。

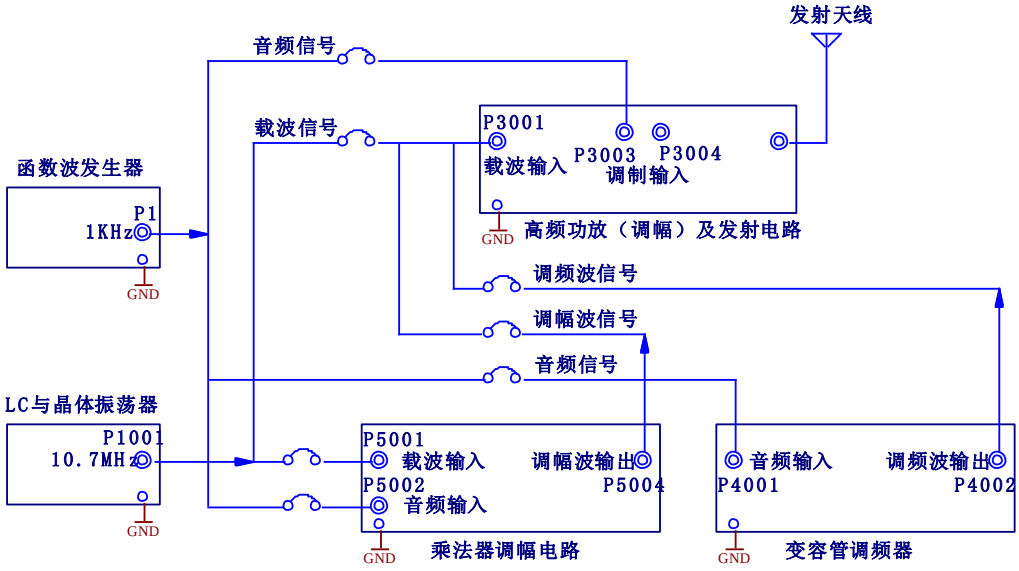


图2　无线电发射联机示意图

说明：图中符号表示需要用 ⌒ 短线连接的地方。只要按图正确连接就可以组成 10.7MHz 小型调频、调幅发射机。

2.　无线电接收系统的构成与分析

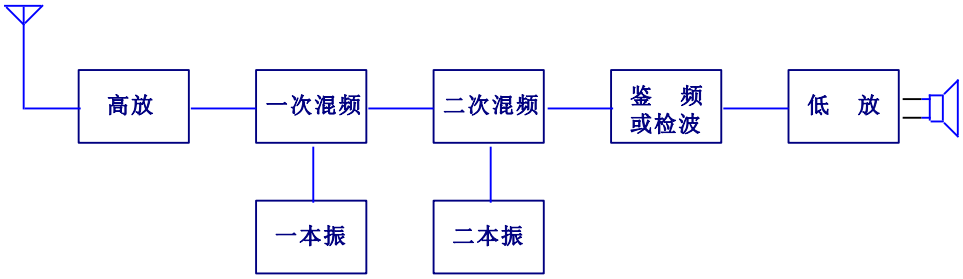


图3　二次变频超外差式无线电接收机方框图

接收天线将收到的无线发射机发射的调幅或调频信号（载频 10.7MHz）送到一次混频电路，产生一 6.455MHz 的第一中频信号（调频或调幅波），再经过二次变频生成 455KHz 的第二中频（调频或调幅波），然后经鉴频或检波后就可以收到与发射机相一致的音频信号。

本接收机中，高放部分由天线输入回路及小信号调谐放大器组成；一次混频电路由集成电路混频器与晶体管混频器分别构成，前者既可以用于调频接收，也可以用于调幅接收，而后者只能用于调幅接收；一本振由本振电路提供。二次混频电路和鉴频电路由集成电路 3361 完成；二中频调幅信号的放大及检波由中放、检波及低放电路完成。

无线电接收联机实验图如图 4 所示。

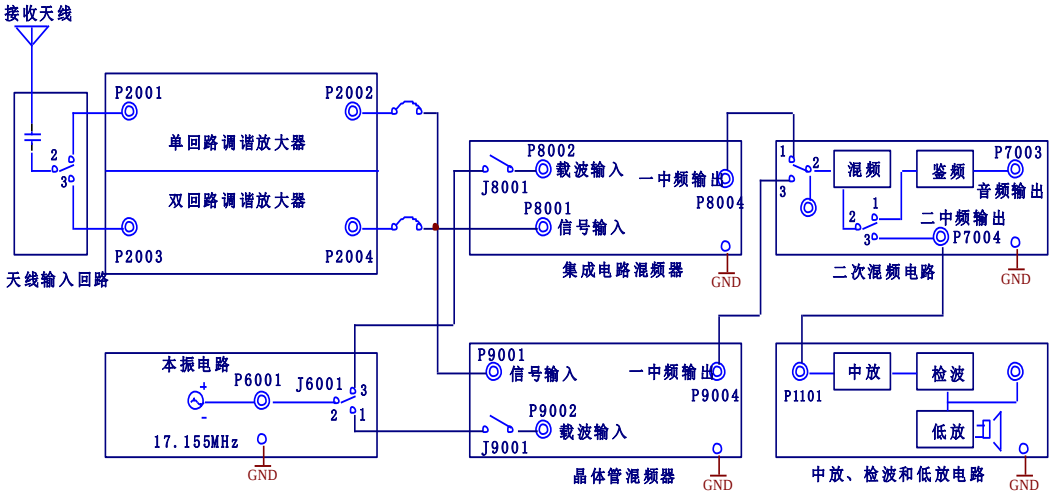


图4　无线电接收联机实验图

说明：图中符号表  示需要用短线连接的地方。而符号  和  则表示试验箱中已设置的短路端子。操作时，只要按图正确连接短线或短路环就可组成超外差式接收装置。

三． 实验仪表设备

1. 双踪示波器
2. 万用表
3. 频率计
4. SP1461 型高频信号发生器(或其他可成生调幅信号的高频信号源)
5. 高频电路学习机

四． 实验内容及步骤

（一） 调幅发射机的调整

1. 高电平调幅波无线发射机电路的调整（系统连接参见图 1）

   1）按照方框图和连线图的提示，正确地将有关电路连接成高电平调幅发射系统。

   2）参照实验七《高电平振幅调制器（集电极调幅》实验指导书， 按照该指导书第五项《实验内容与步骤》中所述的方法，将输出调整为调幅度大约为 30%的调幅波（调制频率 1KHz，载频 10.7MHz）。

   3）断开负载电阻，在天线座上接好拉杆天线，适当调整载波幅度，使输出信号清晰无失真。

2. 低电平调幅波发射机的调整：

1）按照方框图和连线图的提示，分步骤正确地连接相关电路，即首先完成低电平调幅电路的连接，待调整好后，再进一步连接成低电平调幅发射系统。

2）参照实验六《低电平振幅调制器》实验指导书，按照该指导书第五,2节《实现全载波调幅》中所述的方法，将乘法器输出调整为调幅度大约为 30%,全载波调幅信号(载频 10.7MHz),输出幅值按实际需要调整。

3）参照实验三的实验调整步骤，以低电平调幅器的输出作为推动信号，完成调幅波发射机的调整。

（二） 调频发射机的调整：

1. 按照方框图和连线图的提示，分步骤正确地连接相关电路，即首先完成变容管调频器的连接，待调整好后，再进一步连接成调频发射系统。

2. 参照实验九《变容二极管调频振荡器》实验指导书，按照该指导书第五、1 节《电路调整》中所述的方法调整好电路，使电路输出为 10.7MHz 的正弦波。再将音频调制信号(1KHz)从 P4001 处输入，使输出成为载频为 10.7MHz 的调频波。

3. 将该信号作为推动信号，参照实验三的实验调整步骤，完成调频发射机的调整。

（三） 调频、调幅接收机的调整：

1. 中放、检波及低放电路的调整：

按照实验十六《中放、检波及低放电路》指导书所述的调整方法调整好电路。

2. 二次变频与鉴频电路的调整：

1）接收调频波信号时的二次变频与鉴频：

a) 参照实验十五《二次变频与鉴频》实验指导书，按照该指导书中第五项第 2 节中 2)、3）条中介绍的方法，从 P7001 注入调频信号，调整电路。

b) 连接 P7003 与 P1104 端,扬声器中就会发出频率为 1KHz 的声音。

2）接收调幅波信号时的二次变频：

a) 参照实验十五实验指导书，按照该指导书中第五项第 2 节中 4）条中介绍的方法调整电路，从 P7001 注入调幅波信号，注意此时跳线端子 J7001 的 1-2 端短路。第二中频信号由 P7004 输出，此处得到的是中频包络信号。

b) 连接 P7004 与 P1104 端,短接跳线端子 J1101 的 2-3 端和 J1102，此时扬声器中就会发出频率为 1KHz 的声音。

3. 乘法器混频电路的调整：

1）接收调幅波信号时

用短路环将 J8001 和 J6001 的 2-3 端短路，使本振电路的输出信号（17.155MHz）加至 P8002，即乘法器的输入端（10 脚）。在 P8001 注入 10.7MHz 的调幅波信号，在 M8004 处观测第一中频调幅波络信号，调整 L8003 和电位器 Rp8001 使输出信号最大。短接 J7002 的 2-3 端，在 M7003

处观测 455KHz 的第二中频包络信号。若 P7004 与 P1104 端此时已作连接，则在 M1102 处能观测到以被放大的第二中频包络信号，若短接跳线端子 J1101 的 2-3 端，则在 M1103 处可观测到 1KHz 的音频信号，同样若 J1102 被短接，扬声器则发出频率为 1KHz 的响声。

2）接收调频波信号时

与接收调幅波信号时的过程基本相同，只不过在 P8001 注入的是 10.7MHz 的调频波信号，而跳线端子 J7002 则短接的是 1-2 端，鉴频输出信号（1KHz)，则在 P7003 观察。

4. 晶体管混频电路的调整：

参照实验十四《晶体管混频电路》指导书，按照指导书的实验步骤调整电路。将跳线端子 J6001 的 1-2 端短接，使本振电路的输出信号（17.155MHz）加至 P9002,即晶体管的发射极，在 P9001 注入 10.7MHz 的调幅波信号,在 P9004 得到 6.455MHz 的第一中频调幅波络信号,短接 J7001 的 2-3 端,连通二次变频电路,该单元电路的其他跳线端子参照上面第 3 •2）款中的内容去连接。于是扬声器中就会还原出频率为 1KHz 的声响。

5. 天线回路与小信号谐振放大器的调整

1） 按照实验一《调谐放大器》指导书中提供的方法调整好天线输入回路。

2） 短接跳线端子 J2001 的 1-2 端，使单调谐电路接入。同时将拉杆天线连接在天线座上，用天线无线接收 10.7MHz 的调频或调幅波信号。

3） 利用 J2003，使 Rc 接成 10K,利用 J2002，使 Re 为 1K。在 M2002 处观测输出，微调 CT2001 和 CT2002，使输出幅值最大。

4） 连通跳线端子 J2001 的 2-3 端，使双调谐电路接入，重复上述实验。