

高频电子线路

实验指导书

山东理工大学
电气与电子工程学院

目 录

高频电子线路实验箱简介	2
实验一 高频小信号调谐放大器	6
实验二 振荡器(LC、晶体)	13
实验三 幅度调制电路 (AM、DSB、SSB)	17
实验四 简易通信实验 (包络检波及同步检波)	22

高频电子线路实验箱简介

一、 实验箱组成

该实验箱由 2 个实验仪器模块和 8 个实验模块及实验箱体（含电源）组成。

1、 实验仪器及主要指标如下：

1) 频率计（模块 6）：

频率测量范围：5Hz~2400MHz

输入电平范围：100mV~2V（有效值）

测量误差： $\leq \pm 20\text{ppm}$ (频率低端 $\leq \pm 1\text{Hz}$)

输入阻抗： $1\text{M}\Omega/10\text{pF}$

2) 高频信号源（模块 1）：

输出频率范围：400KHz~45MHz（连续可调）

频率稳定度： $10\text{E}-4$ (1×10^{-4})

输出波形：正弦波，谐波 $\leq -30\text{dBc}$

输出幅度：峰峰值 1mV~1V（连续可调）

输出阻抗： 50Ω

3) 低频信号源（模块 1）：

输出频率范围：200Hz~10KHz（连续可调，方波频率可达 250KHz）

频率稳定度： $10\text{E}-4$ (1×10^{-4})

输出波形：正弦波、方波、三角波

输出幅度：峰峰值 10mV~5V（连续可调）

输出阻抗： 100Ω

2、 实验模块及电路组成如下：

1) 模块 2：小信号选频放大模块

包含单调谐放大电路、电容耦合双调谐放大电路、集成选频放大电路、自动增益控制电路（AGC）等四种电路。

2) 模块 3：正弦波振荡及 VCO 模块

包含 LC 振荡电路、石英晶体振荡电路、压控 LC 振荡电路、变容二极管调频电路等四种电路。

3) 模块 4：AM 调制及检波模块

包含模拟乘法器调幅（AM、DSB、SSB）电路、二极管峰值包络检波电路、三极管小信号包络检波电路、模拟乘法器同步检波电路等四种电路。

4) 模块 5: FM 鉴频模块一

包含正交鉴频(乘积型相位鉴频)电路、锁相鉴频电路、基本锁相环路等三种电路。

5) 模块 7: 混频及变频模块

包含二极管双平衡混频电路、模拟乘法器混频电路。

6) 模块 8: 高频功放模块

包含非线性丙类功放电路、线性宽带功放电路、集成线性宽带功放电路、集电极调幅电路等四种电路。

7) 模块 9: 收音机模块

包含三极管变频、AM 收音机、FM 收音机。

8) 模块 10: 综合实验模块

包含话筒及音乐片放大电路、音频功放电路、天线及半双工电路、分频器电路等四种电路。

二、 实验箱主要特点

1、 采用模块化设计,使用者可以根据需要选择模块,既可节约经费又方便今后升级。

2、 实验箱集成了多种高频电路设计及调试所必备的仪器,既可使学生在做实验时观察实验现象、调整电路时更加全面有效,同时又可为学生在进行高频电路设计及调试时提供工具。

3、 实验箱各模块有良好的系统性,八个模块可组合成五种典型系统:

(1) 中波调幅发射机(525KHz~1605KHz)。

(2) 超外差中波调幅接收机(525KHz~1605KHz,中频 465KHz)。

(3) 半双工调频无线对讲机(10MHz~15MHz,中频 4.5MHz,信道间隔 200KHz)。

(4) 锁相频率合成器(频率步进 40KHz~4MHz 可变)。

(5) 超外差 FM 收音机(88MHz~108MHz,中频 10.7MHz)。

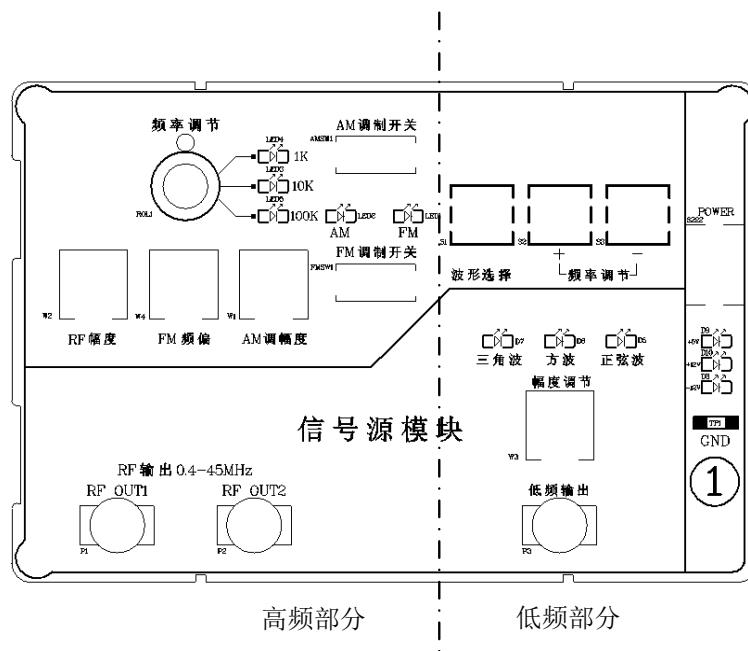
4、 实验内容非常丰富,十多个单元实验包含了高频电子线路课程的几乎所有知识点,并有丰富的、有一定复杂性的综合实验。

5、 电路板采用贴片工艺制造,高频特性良好,性能稳定可靠。

三、 实验箱使用说明

1、 信号源的使用

信号源面板如下图所示:



信号源分高频和低频两部分，图中虚线左边为高频信号源，右边为低频信号源。使用时，将最右边的“POWER”开关拨置下方，指示灯点亮。

高频信号源频率调节有四个档位：1KHz，10KHz，100KHz 和 1MHz 档。按下面板左上上的“频率调节”旋钮可在各档位间切换，为 1KHz，10KHz 和 100KHz 档时，相对应绿灯点亮，当三灯齐亮，即为 1MHz 档，旋转该旋钮可改变输出高频信号的频率。

低频信号源通过“波形选择”按键可切换输出波形，有相应的指示灯指示，若选择正弦波，则“正弦波”指示灯亮。通过“+”“-”按键可以增大、减小信号的频率。

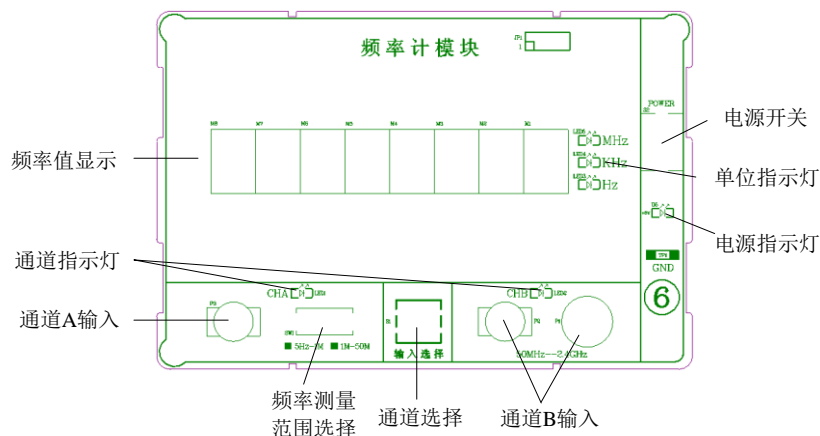
调节“RF 幅度”旋钮可改变输出高频信号源的幅度，顺时针旋转幅度增加；调节“幅度调节”旋钮可改变输出低频信号源的幅度。

本信号源有内调制功能，“FM 调制开关”拨置“ON”，对应的“FM”指示灯点亮，输出调频波，调制信号为信号源低频正弦波信号，载波信号为信号源高频信号；“FM 调制开关”拨置“OFF”，“FM”指示灯点灭，输出无调制的高频信号。“AM 调制开关”拨置“ON”，对应的“AM”指示灯点亮，输出调幅波，调制信号为信号源低频正弦波信号，载波信号为信号源高频信号；“AM 调制开关”拨置“OFF”，“AM”指示灯点灭，输出无调制的高频信号。调节“FM 频偏”旋钮可改变调频波的调制指数，调节“AM 调幅度”旋钮可改变调幅波的调幅度。

面板下方“RF OUT1”和“RF OUT2”插孔输出 400KHz~45MHz 的正弦波信号，其中一路用作输出信号频率显示，另一路可用作电路的信号输入。（在观察频率特性的实验中，可将“RF OUT1”作为信号输入，“RF OUT2”通过射频跳线连接到频率计观察频率）；“低频输出”插孔输出 200Hz~10KHz 的正弦波、三角波、方波信号。

2、频率计的使用

本实验箱自带频率计，主要用于实验中频率测量，频率计面板如下图所示：



使用说明如下：频率计数值显示使用了 8 个数码管，单位指示灯用来指示当前数值单位。例如数码管显示 100，“Hz”指示灯亮，则当前频率为 100Hz。频率计输入按照频率范围分为 A、B 两个通道，通过按下“输入选择”键来切换。A 通道测量范围为 5Hz 到 50MHz，其中又分为两段，当开关 SW1 拨置左边时，测量范围为 5Hz 到 1MHz，拨置右边时测量范围为 1MHz 到 50MHz，如果在测量中出现无读数的情况，请首先检查 SW1 是否拨到正确的量程档。B 通道主要用来测量较高的频率，并留有一个 BNC 接口 P1。

四、 另配设备

- 1、 实验桌
- 2、 双踪示波器
- 3、 万用表
- 4、 扫频仪(选配)

实验一 高频小信号调谐放大器

一、实验目的

- 1、掌握高频小信号谐振电压放大器的电路组成与基本工作原理。
- 2、熟悉谐振回路的调谐方法及测试方法。
- 3、掌握高频谐振放大器处于谐振时各项主要技术指标意义及测试技能。

二、实验内容

- 1、谐振频率的调整与测定。
- 2、主要技术性能指标的测定：谐振频率、谐振放大增益 A_V 及动态范围、通频带 $BW_{0.7}$ 。

三、实验仪器

- | | |
|--------------|----|
| 1、1号板信号源模块 | 1块 |
| 2、2号板小信号放大模块 | 1块 |
| 3、6号板频率计模块 | 1块 |
| 4、双踪示波器 | 1台 |
| 5、扫频仪（可选） | 1台 |

四、实验原理

（一）单调谐小信号放大器

小信号谐振放大器是接收机的前端电路，主要用于高频小信号或微弱信号的线性放大。实验单元电路由晶体管N1、变压器T1、电容C1等组成，不仅对高频小信号放大，而且还有选频作用。本实验中单调谐小信号放大的谐振频率为 $f_s = 10.7\text{MHz}$ 。

放大器各项性能指标及测量方法如下：

1、谐振频率

放大器的调谐回路谐振时所对应的频率 f_0 称为放大器的谐振频率，对于图 1-1 所示电路（也是以下各项指标所对应电路）， f_0 的表达式为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_\Sigma}}$$

式中， L 为调谐回路电感线圈的电感量；

C_Σ 为调谐回路的总电容， C_Σ 的表达式为

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

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

系数。

谐振频率 f_0 的测量方法是：

用扫频仪作为测量仪器，测出电路的幅频特性曲线，调变压器 T 的磁芯，使电压谐振曲线的峰值出现在规定的谐振频率点 f_0 。

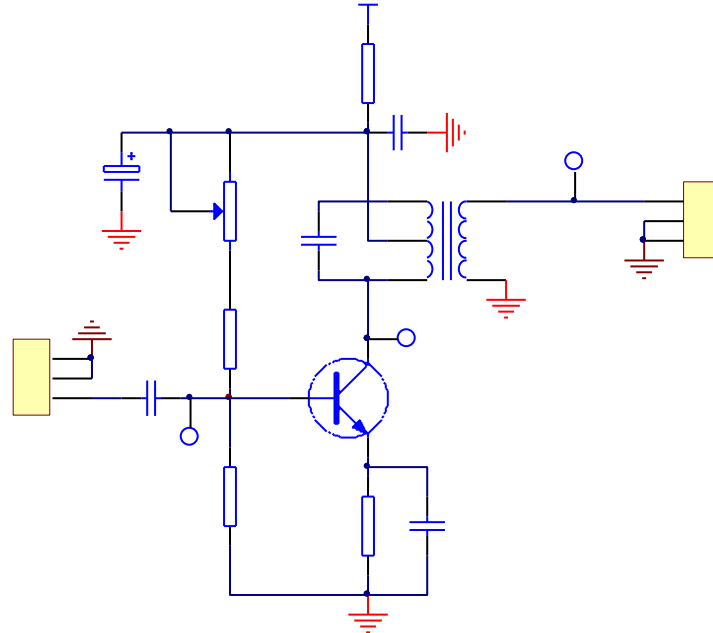


图 1-1 单调谐小信号放大电路图

2、电压增益

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

$$A_{V0} = -\frac{V_0}{V_i} = \frac{-P_1 P_2 y_{fe}}{g_\Sigma} = \frac{-P_1 P_2 y_{fe}}{P_1^2 g_{oe} + P_2^2 g_{ie} + G}$$

式中， g_Σ 为谐振回路谐振时的总电导。要注意的是 y_{fe} 本身也是一个复数，所以谐振时输出电压 $v_0(t)$ 与输入电压 $v_i(t)$ 相位差不是 180° 而是为 $180^\circ + \Phi_{fe}$ 。 V_0 、 V_i 分别为输出电压、输入信号电压的有效值，实际中为了方便，用示波器测量波形的峰峰值，不影响增益的计算结果。

A_{V0} 的测量方法是：在谐振回路已处于谐振状态时，用高频电压表测量图 1-1 中输出信号 V_0 及输入信号 V_i 的大小，则电压增益 A_{V0} 由下式计算：

$$A_{V0} = V_0 / V_i \quad \text{或} \quad A_{V0} = 20 \lg (V_0 / V_i) \text{ dB}$$

3、通频带

由于谐振回路的选频作用，当工作频率偏离谐振频率时，放大器的电压增益下降，习惯上称电压增益 A_V 下降到谐振电压增益 A_{V0} 的 0.707 倍时所对应的频率偏移称为放大器的通频带 BW ，其表达式为

$$BW = 2\Delta f_{0.7} = f_0 / Q_L$$

式中， Q_L 为谐振回路的有载品质因数。

分析表明，放大器的谐振电压增益 A_{V0} 与通频带 BW 的关系为

$$A_{V0} \cdot BW = \frac{|y_{fe}|}{2\pi C_{\Sigma}}$$

上式说明，当晶体管选定即 y_{fe} 确定，且回路总电容 C_{Σ} 为定值时，谐振电压增益 A_{V0} 与通频带 BW 的乘积为一常数。这与低频放大器中的增益带宽积为一常数的概念是相同的。

通频带 BW 的测量方法：是通过测量放大器的谐振曲线来求通频带。测量方法可以是扫频法，也可以是逐点法。逐点法的测量步骤是：先调谐放大器的谐振回路使其谐振，记下此时的谐振频率 f_0 及电压增益 A_{V0} 。然后改变高频信号的频率，记下此时的信号频率，测出电路的输出电压及，算出对应的电压增益。由于回路失谐后电压增益下降，所以放大器的谐振曲线如图 1-2 所示。

可得：
$$BW = f_H - f_L = 2\Delta f_{0.7}$$

通频带越宽，放大器的电压增益越小。要想得到一定宽度的通频宽，同时又能提高放大器的电压增益，除了选用 y_{fe} 较大的晶体管外，还应尽量减小调谐回路的总电容量 C_{Σ} 。如果放大器只用来放大来自接收天线的某一固定频率的微弱信号，则可减小通频带，尽量提高放大器的增益。

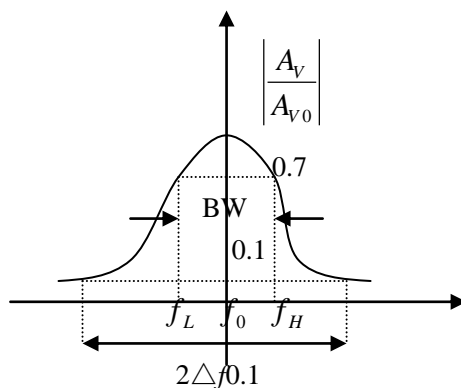


图 1-2 谐振曲线

(二) 双调谐放大器

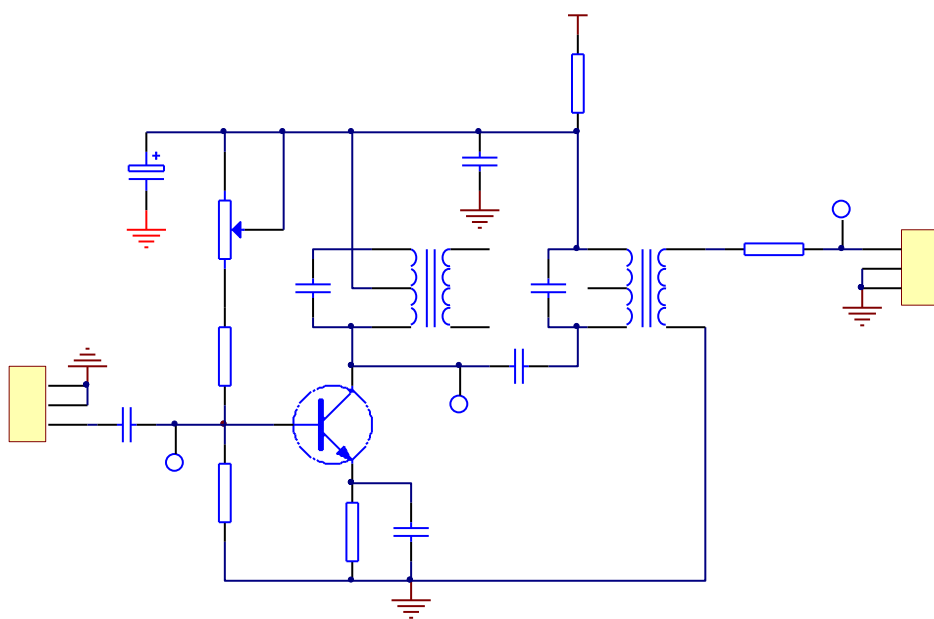


图 1-3 双调谐小信号放大电路图

为了克服单调谐回路放大器的选择性差、通频带与增益之间矛盾较大的缺点，可采用双调谐回路放大器。

双调谐回路放大器具有频带宽、选择性好的优点，并能较好地解决增益与通频带之间的矛盾，从而在通信接收设备中广泛应用。

在双调谐放大器中，被放大后的信号通过互感耦合回路加到下级放大器的输入端，若耦合回路初、次级本身的损耗很小，则均可被忽略。

1、谐振时的电压增益为 $A_{V0} = -\frac{V_0}{V_i} = \frac{-P_1 P_2 y_{fe}}{2g}$

2、通频带

为弱耦合时，谐振曲线为单峰；

为强耦合时，谐振曲线出现双峰；

临界耦合时，双调谐放大器的通频带 $BW = 2\Delta f_{0.7} = \sqrt{2} f_0 / Q_L$

五、实验步骤

(一) 单调谐小信号放大器单元电路实验

1、断电状态下，按如下框图进行连线：(注：图中符号  表示高频连接线)

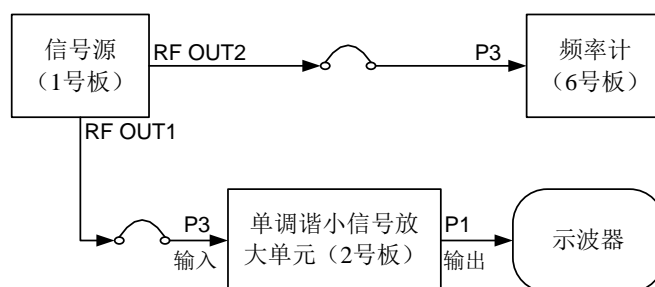


图 1-4 单调谐小信号放大电路连线框图。

表 1-1 连线表

源端口	目的端口	连线说明
1 号板: RF OUT1 ($V_{i(p-p)} = 200\text{mV}$ $f_s = 10.7\text{MHz}$)	2 号板: P3	高频小信号输入
1 号板: RF OUT2	6 号板: P3	频率计观察输入频率

注：P-P (peak 的首字母) 表示峰峰值，本实验指导书的实验大多是用示波器观察、测量信号，为了测量方便，输入、输出等信号的大小都用峰峰值表示。

2、频率谐振的调整

(1) 用示波器观测 TP3，调节①号板信号源模块，使之输出峰峰值幅度为 200mV、频率为 10.7MHz 正弦波信号。

(2) 顺时针调节 W1 到底，用示波器观测 TP1，调节中周，使 TP1 幅度最大且波形稳定不失真。

3、动态测试

保持输入信号频率不变，调节信号源模块的幅度旋钮，改变单调谐放大电路中输入信号 TP3 的幅度。用示波器观察在不同幅度信号下 TP1 处的输出信号的峰峰值电压，并将对应的实测值填入下表，计算电压增益 A_V 。在坐标轴中画出动态曲线。

表 1-2 动态测试表

输入信号 f_i (MHz)	10.7MHz			
输入信号 $V_{i(p-p)}$ (mV) TP3	100	200	300	400/500
输出信号 $V_{o(p-p)}$ TP1				
增益 A_V				

4、通频带特性测试

保持输入信号幅度不变，调节信号源的频率旋钮，改变单调谐放大电路中输入信号 TP3 的频率。用示波器观察在不同频率信号下 TP1 处的输出信号的峰峰值电压，并将对应的实测值填入下表，在坐标轴中画出幅度--频率特性曲线。若配有扫频仪，可用扫频仪观测回路谐振曲线。

表 1-3 幅度--频率特性测试数据表

输入信号 $V_{i(p-p)}$ TP3	200mV							
输入信号 f_i (MHz)	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	11.0	11.1
输出信号 $V_{o(p-p)}$ TP1								
增益 A_V								

(二) 双调谐小信号放大器单元电路实验(选)

1、断电状态下，按如下框图进行连线：

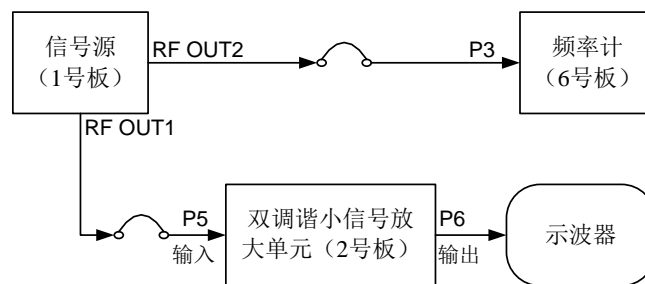


图 1-5 双调谐小信号放大电路连线框图

注：图中符号  表示高频连接线。

表 1-4 连线表

源端口	目的端口	连线说明
1号板: RF OUT1 ($V_{i(p-p)} = 150\text{mV}$ $f = 465\text{KHz}$)	2号板: P5	高频小信号输入
1号板: RF OUT2	6号板: P3	频率计观察输入频率

2、频率谐振的调整

- (1) 用示波器观测 TP6, 调节①号板信号源模块, 使之输出峰峰值为 150mV、频率为 465KHz 正弦波。
- (2) 顺时针调节 W1 到底, 反复调节中周 T2 和 T3, 使 TP7 幅度最大且波形稳定不失真。

3、动态测试

保持输入信号频率不变, 调节信号源模块的幅度旋钮, 改变双调谐放大电路中输入信号 TP6 的幅度。用示波器观察在不同幅度信号下 TP7 处的输出信号的峰峰值电压, 并将对应的实测值填入下表, 计算电压增益 A_V 。在坐标轴中画出动态曲线。

表 1-5 动态测试表

输入信号 f_s (KHz)	465KHz			
输入信号 $V_{i(p-p)}$ (mV) TP6	100	150	200	250
输出信号 $V_{o(p-p)}$ TP7				
增益 A_V				

4、通频带特性测试

保持输入信号幅度不变, 调节信号源的频率旋钮, 改变双调谐放大电路中输入信号 TP6 的频率。用示波器观察在不同频率信号下 TP7 处的输出信号的峰峰值电压, 并将对应的实测值填入下表, 在坐标轴中画出幅度-频率特性曲线。若配有扫频仪, 可用扫频仪观测回路谐振曲线。

表 1-6 幅度-频率特性测试表

输入信号 $V_{i(p-p)}$ (mV) TP6	150mV							
输入信号 f_s (KHz)	435	445	455	465	475	485	495	505
输出信号 $V_{o(p-p)}$ TP7								
增益 A_V								

六、实验报告要求

- 1、整理实验数据, 将所有的实验数据整理到实验报告纸上。
- 2、根据实验数据, 将表格转换成坐标轴的形式, 得到动态曲线和幅频特性曲线, 并在幅频特性曲线上标出通频带。

实验二 振荡器(LC、晶体)

一、实验目的

- 1、掌握三点式正弦波振荡器基本原理，起振条件。
- 2、通过实验掌握 LC 振荡器中静态工作点、反馈系数大小、负载变化对起振和振荡幅度影响。
- 3、研究外界条件（温度、电源电压、负载变化）对振荡器频率稳定度的影响。
- 4、比较 LC 振荡器和晶体振荡器的频率稳定度。

二、实验内容

- 1、熟悉振荡器模块各元件及其作用。
- 2、研究 LC 振荡器中静态工作点、反馈系数以及负载对振荡器的影响。
- 3、分析与比较 LC 振荡器与晶体振荡器的频率稳定度
- 4、改变变容二极管的偏置电压，观察振荡器输出频率的变化。

三、实验仪器

- | | |
|---------|-----|
| 1、模块 3 | 1 块 |
| 2、频率计模块 | 1 块 |
| 3、双踪示波器 | 1 台 |
| 4、万用表 | 1 块 |

四、基本原理

1. LC 压控振荡器：将开关 S1 的 1 拨下 2 拨上（01），S2 全部断开（00），由晶体管 N1 和 C3、C10、C11、C4、CC1、L1 构成电容反馈三点式振荡器的改进型振荡器——西勒振荡器，电容 CC1 可用来改变振荡频率。

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1(C_4 + CC_1)}}$$

振荡器的频率约为 4.5MHz（计算振荡频率可调范围）

振荡电路反馈系数

$$F = \frac{C_3}{C_3 + C_{11}} = \frac{220}{220 + 470} \approx 0.32$$

振荡器输出通过耦合电容 C5（10PF）加到由 N2 组成的射极跟随器的输入端，因 C5 容量很小，再加上射随器的输入阻抗很高，可以减小负载对振荡器的影响。射随器输出信号经 N3 调谐放大，再经变压器耦合从 P1 输出。

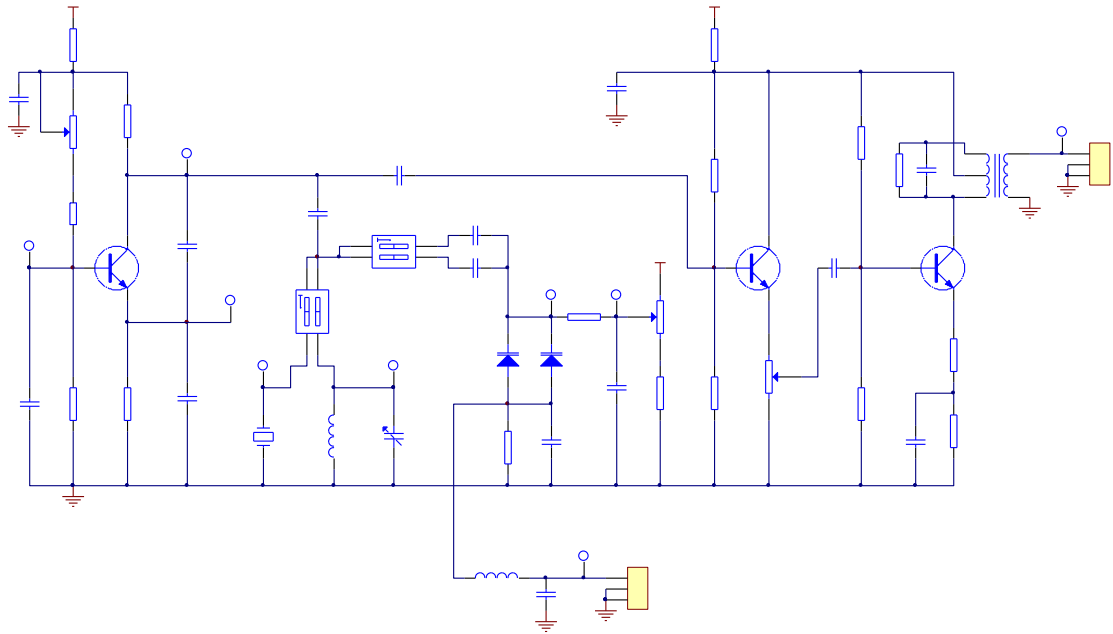


图 2-1 正弦波振荡器 (4.5MHz) (附录有大图)

注：3号模块上示意图由于空间的局限做了简化，以电路图为准

2. 晶体振荡器：将开关 S2 拨为“00”，S1 拨为“10”，由 N1、C3、C10、C11、晶体 CRY1 与 C4 构成晶体振荡器（皮尔斯振荡电路），在振荡频率上晶体等效为电感。

3. LC 压控振荡器：将 S2 拨为“10”或“01”，S1 拨为“01”，则变容二极管 D1、D2 并联在电感 L1 两端。当调节电位器 W2 时，D1、D2 两端的反向偏压随之改变，从而改变了 D1 和 D2 的结电容 C_j ，也就改变了振荡电路的等效电感，使振荡频率发生变化。

4. 晶体压控振荡器：开关 S2 拨为“10”或“01”，S1 拨为“10”，就构成了晶体压控振荡器。

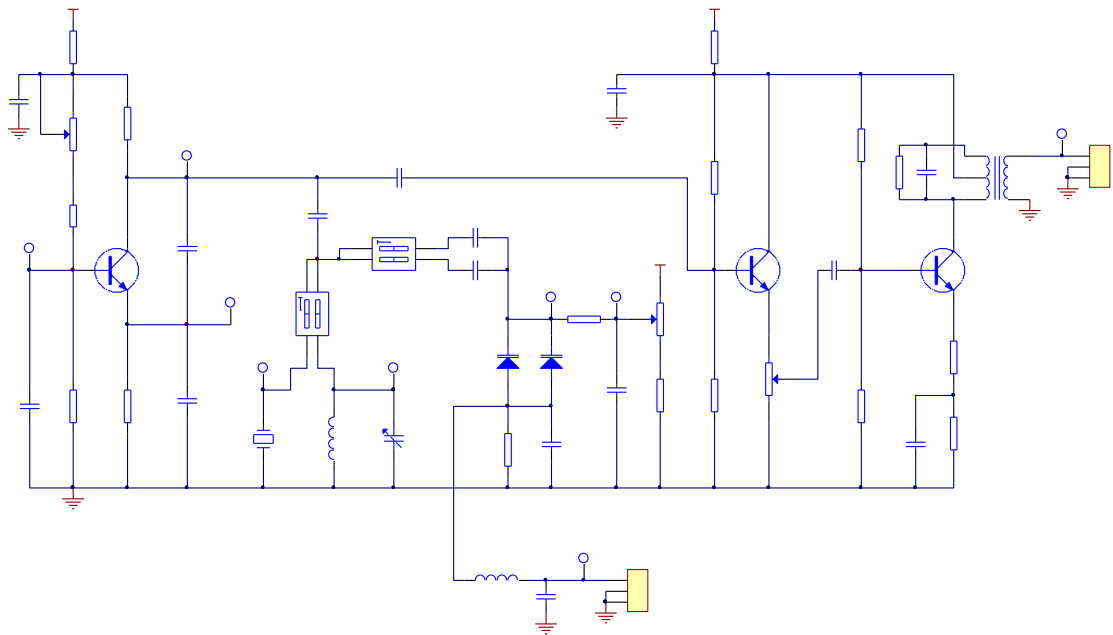


图 2-2 正弦波振荡器 (4.5MHz)

五、实验步骤

- 1、 根据图 2-1 在实验板上找到振荡器各零件的位置并熟悉各元件的作用。
- 2、 研究振荡器静态工作点对振荡幅度的影响。

1) 将开关 S1 拨为“01”，S2 拨为“00”，构成 LC 振荡器。

2) 改变上偏置电位器 W1，记下 N1 发射极电流 $I_{eo} (= \frac{V_e}{R_{I1}}$ ， $R_{I1}=1K\Omega$) (将万用表红表笔接 TP2，黑表

笔接地测量 V_e)，并用示波测量对应点 TP4 (探头用 $\times 10$ 档) 的振荡幅度 $V_{TP4 P-P}$ ，填于表 2-1 中，分析输出振荡电压和振荡管静态工作点的关系。

表 2-1 起振条件测试表

振荡状态	$V_{TP4 P-P}$ (V)	I_{eo} (mA)
起振		
停振(即将消失前的波形)	0 ()	
振荡幅度最大		
起振到振幅最大之间		

分析思路：静态电流 I_{CQ} 会影响晶体管跨导 g_m ，而增益和 g_m 是有关系的。在饱和状态下 (I_{CQ} 过大)，管子电压增益 A_V 会下降，一般取 $I_{CQ}=(1\sim 5mA)$ 为宜。

3、 测量振荡器输出频率范围

将频率计接于 P1 处，改变 CC1，用示波器从 TP8 观察波形及输出频率的变化情况，记录最高频率和最低频率填于 2-2 表中。

表 2-2 频率数据记载表

f_{max}	
f_{min}	
输出振幅最大时的频率	4.5 MHz

4、 温度对两种振荡器谐振频率的影响 (在 4.5 MHz 处)

- 1) 电路接成 LC 振荡器，在室温下记下振荡频率 (频率计接于 P1 处)。
- 2) 将热风机靠近振荡管 N1，采用恒温档每隔 20 秒记下频率的变化值。
- 3) 开关 S1 交替设为“01” (LC 振荡器) 和“10” (晶体振荡器)，并将数据记于表 2-3。

表 2-3 振荡器数据对比记载表

温度时间变化	室温	20s	40 s	60 s	80 s	100 s
LC 振荡器 (f_1)						
晶体振荡器 (f_2)						

5、两种压控振荡器的频率变化范围比较（在 4.5 MHz 处）

1) 将电路连接成 LC 压控振荡器（S1 设为“01”，S2 拨为“10”或“01”），频率计接于 P1，直流电压表接于 TP7。

2) 将 W2 调节从低阻值、中阻值、高阻值位置（即从左→中间→右顺时针旋转），分别将变容二极管的反向偏置电压、输出频率记于下表中。

3) 将电路连接成晶体压控振荡器（S1 设为“10”，S2 拨为“10”或“01”），重复步骤 2)，将测试结果填于下表。

表 2-4 阻值变化对振荡器的影响数据记载表

W2 电阻值		W2 低阻值	W2 中阻值	W2 高阻值
V_{D1} (V_{D2})				
振荡 频率	LC 压控振荡器 (f_1)			
	晶体压控振荡器 (f_2)			

六、实验报告要求

1. 分析静态工作点、反馈系数对振荡器起振条件和输出波形振幅的影响。

2. 计算实验电路的振荡频率 f_0 ，并与实测结果比较。

3. 整理实验数据，将所有的实验数据整理到实验报告纸上。并根据表 2-1，画出输出振荡电压和振荡管静态电流的关系曲线。

实验三 幅度调制电路（AM、DSB、SSB）

一、实验目的

- 1、掌握用集成模拟乘法器实现全载波调幅、抑制载波双边带调幅和音频信号单边带调幅的方法。
- 2、掌握调幅系数 m 的测量与计算方法。
- 3、通过实验对比全载波调幅、抑制载波双边带调幅和单边带调幅的波形。

二、实验内容

- 1、实现全载波调幅，改变调幅度，观察波形变化并计算调幅度。
- 2、实现抑制载波的双边带调幅波。
- 3、实现单边带调幅。

三、实验仪器

1、信号源模块	1 块
2、频率计模块	1 块
3、4 号板	1 块
4、双踪示波器	1 台

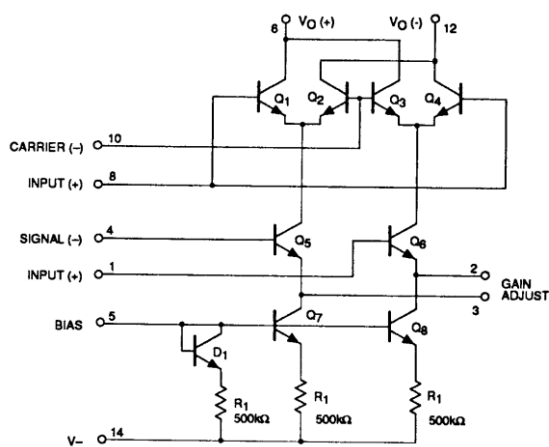
四、实验原理及实验电路说明

1. 幅度调制就是载波的振幅（包络）随调制信号参数变化而变化。本实验中载波是由高频信号源产生的 465KHz 高频信号，1KHz 的低频信号为调制信号。振幅调制器即为产生调幅信号的装置。

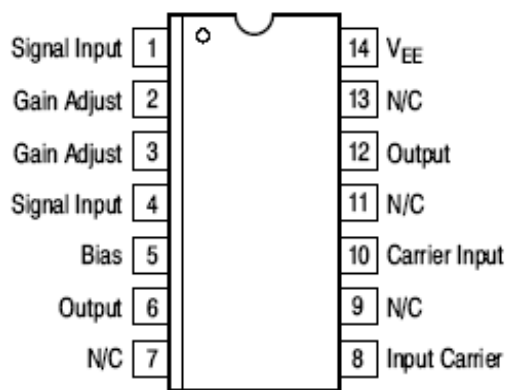
集成模拟乘法器是完成两个模拟量（电压或电流）相乘的电子器件。在高频电子线路中，振幅调制、同步检波、混频、倍频、鉴频、鉴相等调制与解调的过程，均可视为两个信号相乘或包含相乘的过程。采用集成模拟乘法器实现上述功能，比采用分离器件如二极管和三极管要简单得多，而且性能优越。所以目前无线通信、广播电视等方面应用较多。集成模拟乘法器常见产品有 BG314、F1595、F1596、MC1495、MC1496、LM1595、LM1596 等。

1) 集成模拟乘法器 MC1496 的内部结构

在本实验中采用集成模拟乘法器 MC1496 来完成调幅作用。MC1496 是四象限模拟乘法器，其内部电路图和引脚图如图 3-1 所示。其中 Q1、Q2 与 Q3、Q4 组成双差分放大器，以反极性方式相连接，而且两组差分对的恒流源 Q5 与 Q6 又组成一对差分电路，因此恒流源的控制电压可正可负，以此实现了四象限工作。Q7、Q8 为差分放大器 Q5 与 Q6 的恒流源。



(a) 内部结构图



(b) 引脚图

图 3-1 MC1496 的内部电路及引脚图

2) 静态工作点的设定

(1) 静态偏置电压的设置

静态偏置电压的设置应保证各个晶体管工作在放大状态，即晶体管的集-基极间的电压应小于或等于 2V，即小于或等于最大允许工作电压。

(2) 静态偏置电流的确定

静态偏置电流主要由恒流源 I_0 的值来确定。

当器件为单电源工作时，引脚 14 接地，5 脚通过一电阻 R 接正电源 $+V_{CC}$ 由于 I_0 是 I_5 的镜像电流，所以改变 R 可以调节 I_0 的大小，即

$$I_0 \approx I_5 = \frac{V_{CC} - 0.7V}{R + 500}$$

当器件为双电源工作时，引脚 14 接负电源 $-V_{ee}$ ，5 脚通过一电阻 R 接地，所以改变 R 可以调节 I_0 的大小，即

$$I_0 \approx I_5 = \frac{V_{ee} - 0.7V}{R + 500}$$

根据 MC1496 的性能参数，器件的静态电流应小于 4mA，一般取 $I_0 \approx I_5 = 1\text{mA}$ 。在本实验电路中 R 用 6.8KΩ 的电阻 R15 代替。

2、实验电路说明

用 MC1496 集成电路构成的调幅器电路图如图 3-2（见本实验后）所示。

图中 W1 用来调节引出脚 1、4 之间的平衡，器件采用双电源方式供电（+12V，-8V），所以 5 脚偏置电阻 R15 接地。电阻 R1、R2、R4、R5、R6 为器件提供静态偏置电压，保证器件内部的各个晶体管工作在放大状态。载波信号加在 V1—V4 的输入端，即引脚 8、10 之间；载波信号 V_C 经高频耦合电容 C1 从 10 脚输

入，C2 为高频旁路电容，使 8 脚交流接地。调制信号加在差动放大器 V5、V6 的输入端，即引脚 1、4 之间，调制信号 v_{Ω} 经低频耦合电容 C5 从 1 脚输入。2、3 脚外接 $1K\Omega$ 电阻，以扩大调制信号动态范围。当电阻增大，线性范围增大，但乘法器的增益随之减小。已调制信号取自双差动放大器的两集电极（即引出脚 6、12 之间）输出。

五、实验步骤

1、连线框图如图 3-3 所示

表 3-1 实验连线表

源端口	目的端口	连线说明
信号源: RF OUT1 ($V_{H(P-P)} = 600mV$ $f = 465KHz$)	4 号板: P1	载波输入
信号源: 低频输出 ($V_{L(P-P)} = 100mV$ $f = 1KHz$)	4 号板: P3	音频输入

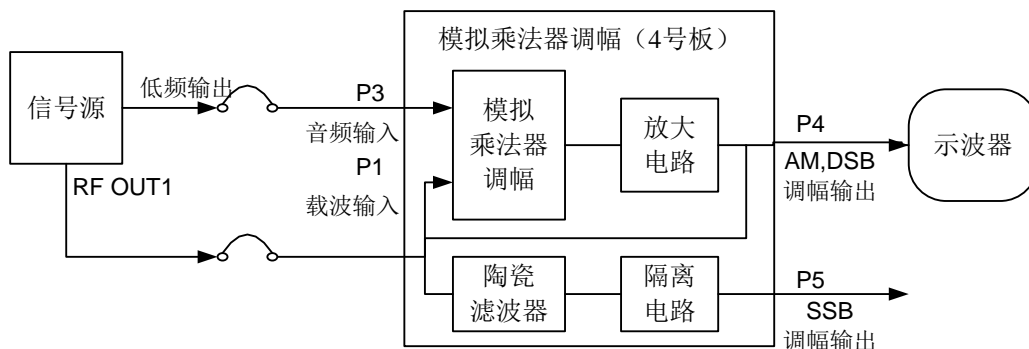


图 3-3 模拟乘法器调幅连线框图

注：4 号模块上由于丝印空间的局限省略了“放大电路”部分。

抑制载波振幅调制：

1) P1 端输入载波信号，调节平衡电位器 W1，使输出信号 $v_O(t)$ (TP6) 中载波输出幅度最小（此时 MC1496 的 1、4 脚电压相等）。

2) 再从 P3 端输入音频信号（正弦波），逐渐增加输入音频信号频率，观察 TP6 处最后出现如图 3-4 所示的抑制载波的调幅信号。（将音频信号频率调至最大，即可测得清晰的抑制载波调幅波）

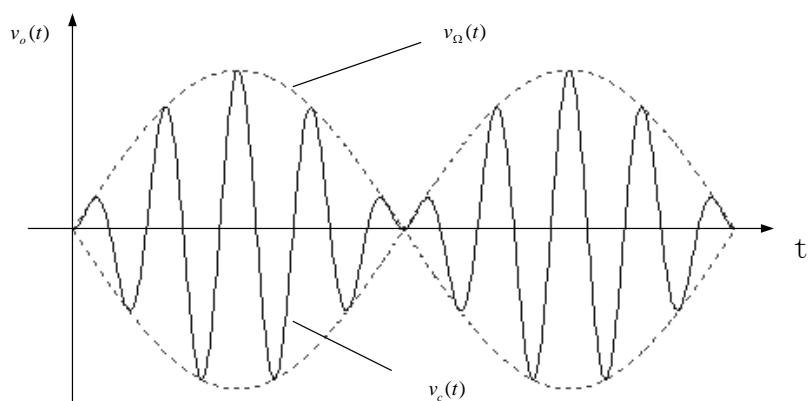


图 3-4 抑制载波调幅波形

全载波振幅调制:

1) 先将 P1 端输入载波信号, 调节平衡电位器 W1, 使输出信号 $v_o(t)$ (TP6) 中有载波输出 (此时 V_1 与 V_4 不相等, 即 MC1496 的 1、4 脚电压)。

2) 再从 P3 端输入音频信号 (正弦波), 逐渐增大 (或降低) 音频信号频率, TP6 最后出现如图 3-5 所示的有载波调幅信号的波形, 记下 AM 波对应 V_{\max} 和 V_{\min} , 并计算调幅度 m 。

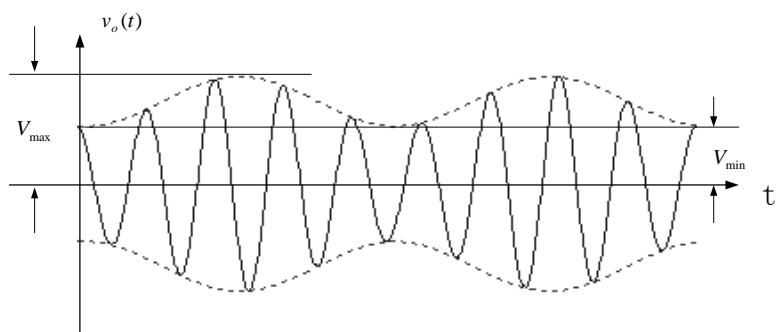


图 3-5 普通调幅波波形

抑制载波单边带振幅调制:

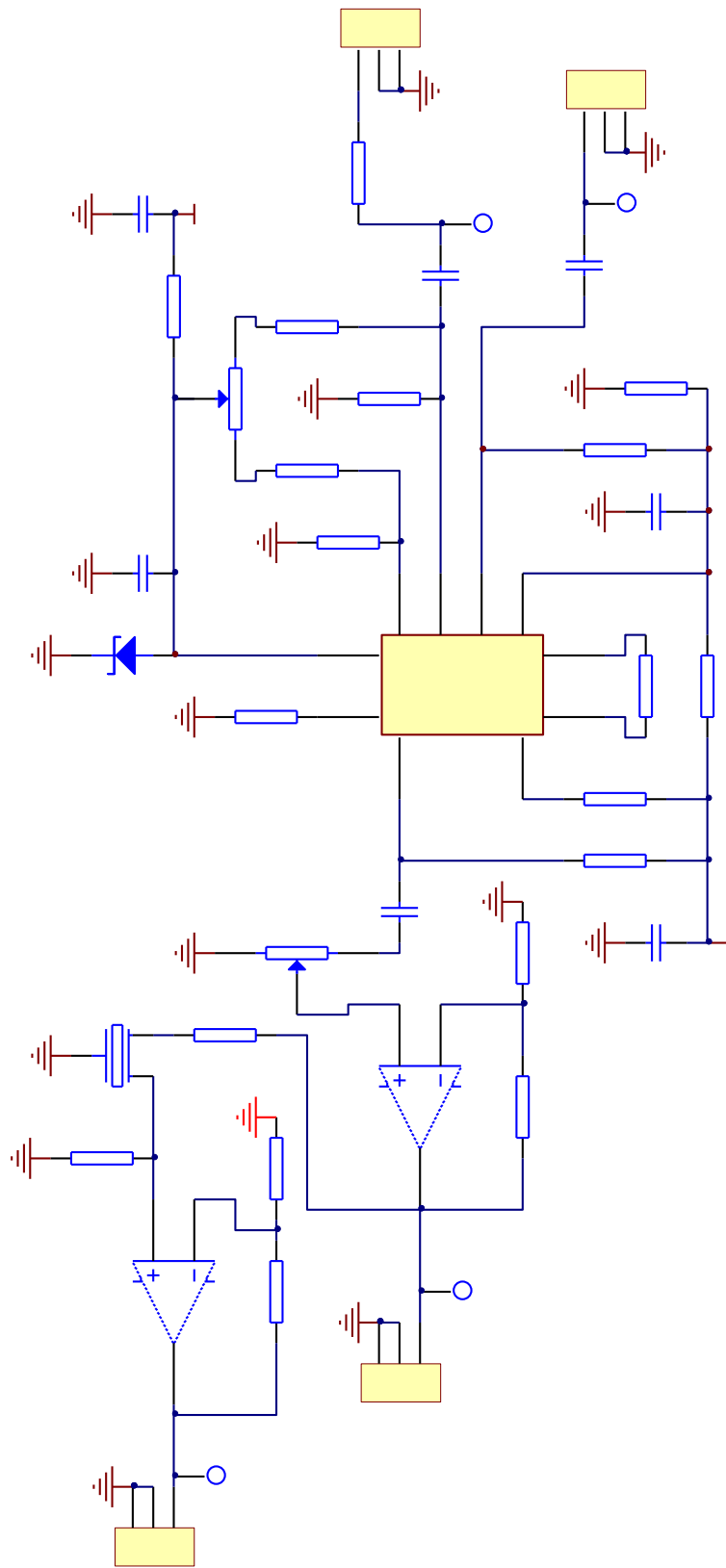
步骤同抑制载波振幅调制, 将音频频率调到 10KHz, 从 P5 (TP7) 处观察输出波形。

比较全载波调幅、抑制载波双边带调幅和抑制载波单边带调幅的波形。

六、实验报告要求

1、整理实验数据, 画出实验波形。

2、画出全载波调幅中 $m < 100\%$ 、 $m = 100\%$ 、 $m > 100\%$ 的调幅波形, 抑制载波双边带调幅波形及抑制载波的单边带调幅波形, 比较三者区别。



3-2 模拟乘法器调幅

实验四 简易通信实验（包络检波及同步检波）

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、掌握二极管峰值包络检波的原理。
- 3、掌握包络检波器的主要质量指标，检波效率及各种波形失真的现象，分析产生的原因。
- 4、掌握用集成电路实现同步检波的方法。

二、实验内容

- 1、完成普通调幅波的解调。
- 2、观察抑制载波的双边带调幅波的解调。
- 3、观察普通调幅波解调中的对角切割失真，底部切割失真以及检波器不加高频滤波时的现象。

三、实验仪器

1、信号源模块	1 块
2、频率计模块	1 块
3、4 号板	1 块
4、双踪示波器	1 台

四、实验原理及实验电路说明

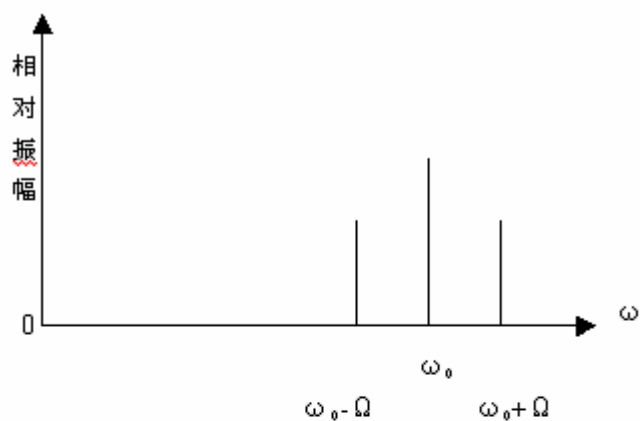
检波过程是一个解调过程，它与调制过程正好相反。检波器的作用是从振幅受调制的高频信号中还原出原调制的信号。还原所得的信号，与高频调幅信号的包络变化规律一致，故又称为包络检波器。

假如输入信号是高频等幅信号，则输出就是直流电压。这是检波器的一种特殊情况，在测量仪器中应用比较多。例如某些高频伏特计的探头，就是采用这种检波原理。

若输入信号是调幅波，则输出就是原调制信号。这种情况应用最广泛，如各种连续波工作的调幅接收机的检波器即属此类。

从频谱来看，检波就是将调幅信号频谱由高频搬移到低频，如图 5-1 所示（此图为单音频 Ω 调制的情况）。检波过程也是应用非线性器件进行频率变换，首先产生许多新频率，然后通过滤波器，滤除无用频率分量，取出所需要的原调制信号。

常用的检波方法有包络检波和同步检波两种。全载波振幅调制信号的包络直接反映了调制信号的变化规律，可以用二极管包络检波的方法进行解调。而抑制载波的双边带或单边带振幅调制信号的包络不能直接反映调制信号的变化规律，无法用包络检波进行解调，所以采用同步检波方法。



(a) 检波前



(b) 检波后

图 4-1 检波器检波前后的频谱

1、二极管包络检波的工作原理

当输入信号较大(大于 0.5 伏)时, 利用二极管单向导电特性对振幅调制信号的解调, 称为大信号检波。

大信号检波原理电路如图 4-2 (a) 所示。检波的物理过程如下: 在高频信号电压的正半周时, 二极管正向导通并对电容器 C 充电, 由于二极管的正向导通电阻很小, 所以充电电流 i_D 很大, 使电容器上的电压 V_C 很快就接近高频电压的峰值。充电电流的方向如图 4-2 (a) 图中所示。

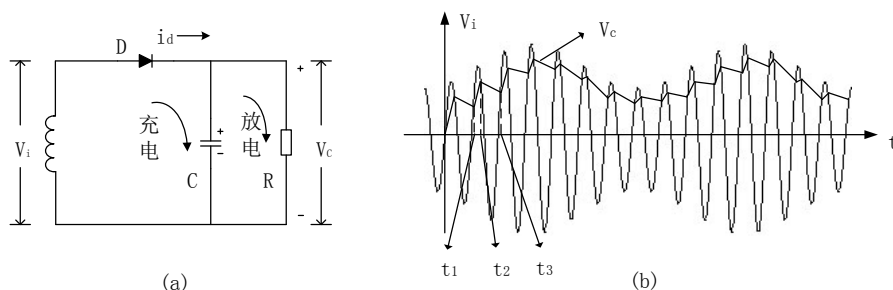


图 4-2

这个电压建立后通过信号源电路, 又反向地加到二极管 D 的两端。这时二极管导通与否, 由电容器 C 上的电压 V_C 和输入信号电压 V_i 共同决定。当高频信号的瞬时值小于 V_C 时, 二极管处于反向偏置, 管子截止, 电

(1) 同步检波原理

同步检波器用于对载波被抑止的双边带或单边带信号进行解调。它的特点是必须外加一个频率和相位都与被抑止的载波相同的同步信号。同步检波器的名称由此而来。

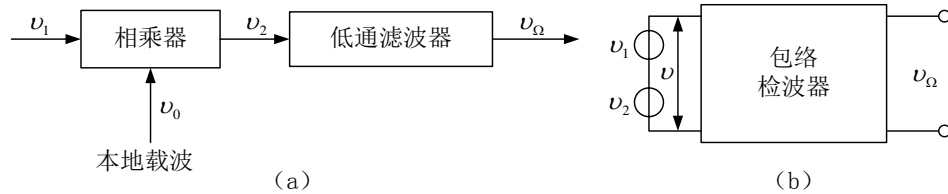


图 4-4 同步检波器方框图

外加载波信号电压加入同步检波器可以有两种方式：

一种是将其与接收信号在检波器中相乘，经低通滤波器后检出原调制信号，如图 4-4(a)所示；另一种是将其与接收信号相加，经包络检波器后取出原调制信号，如图 4-4(b)所示。

本实验选用乘积型检波器。设输入的已调波为载波分量被抑止的双边带信号 v_1 ，即

$$v_1 = V_1 \cos \Omega t \cos \omega_1 t$$

本地载波电压

$$v_0 = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

本地载波的角频率 ω_0 准确的等于输入信号载波的角频率 ω_1 ，即 $\omega_1 = \omega_0$ ，但二者的相位可能不同；这里 φ 表示它们的相位差。

这时相乘输出（假定相乘器传输系数为 1）

$$\begin{aligned} v_2 &= V_1 V_0 (\cos \Omega t \cos \omega_1 t) \cos(\omega_2 t + \varphi) \\ &= \frac{1}{2} V_1 V_0 \cos \varphi \cos \Omega t + \frac{1}{4} V_1 V_0 \cos[(2\omega_1 + \Omega)t + \varphi] \\ &\quad + \frac{1}{4} V_1 V_0 \cos[(2\omega_1 - \Omega)t + \varphi] \end{aligned}$$

低通滤波器滤除 $2\omega_1$ 附近的频率分量后，就得到频率为 Ω 的低频信号

$$v_\Omega = \frac{1}{2} V_1 V_0 \cos \varphi \cos \Omega t$$

由上式可见，低频信号的输出幅度与 φ 成正比。当 $\varphi=0$ 时，低频信号电压最大，随着相位差 φ 加大，输出电压减弱。因此，在理想情况下，除本地载波与输入信号载波的角频率必须相等外，希望二者的相位也相同。此时，乘积检波称为“同步检波”。

(2) 实验电路说明

实验电路如图 4-8（见本实验后）所示，采用 MC1496 集成电路构成解调器，载波信号从 P7 经相位调节网络 W3、C13、U3A 加在 8、10 脚之间，调幅信号 $v_{AM}(t)$ 从 P8 经 C14 加在 1、4 脚之间，相乘后信号由 12 脚输出，经低通滤波器、同相放大器输出。

五、实验步骤

一、二极管包络检波

1、连线框图如图 4-5 所示，用信号源产生实验中需要的信号，然后经二极管包络检波后，用示波器观测输出波形。

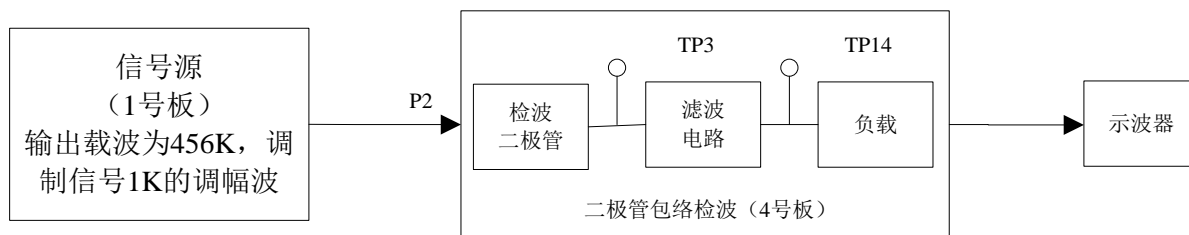


图 4-5 二极管包络检波连线示意图

2、解调全载波调幅信号，连线框图如图 4-6 所示。

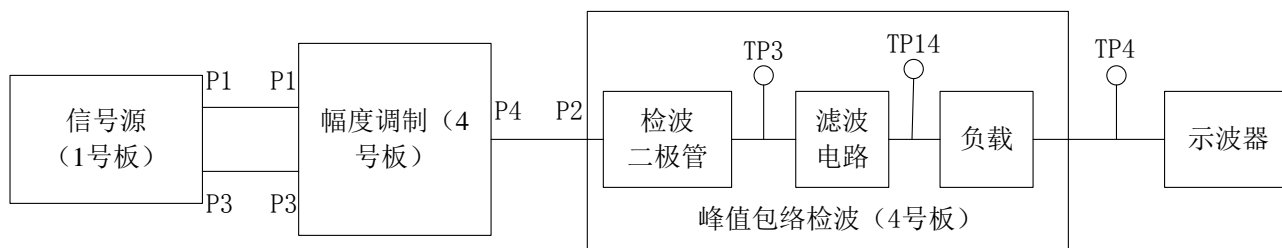


图 4-6 调幅输出进行二极管包络检波连线示意图

(1) $m < 30\%$ 的调幅波检波

按调幅实验中实验内容获得峰—峰值为 2V、 $m < 30\%$ 的已调波(音频调制信号频率约为 1KHz，幅度足够小)。将 4 号板开关 S1 拨为 10，S2 拨为 00，将示波器接入 TP4 处，观察输出波形。

(2) 加大调制信号幅度，使 $m = 100\%$ ，观察记录检波输出波形。

3、观察对角切割失真：在上面 2、(2) 步骤后，减小调制信号的幅度，至 TP4 处波形刚好不失真，将开关 S1 拨为“01”，检波负载电阻由 $2.2K\Omega$ 变为 $20K\Omega$ ，在 TP4 处用示波器观察波形并记录，与上述波形进行比较。

4、观察底部切割失真：将开关 S2 拨为“10”，S1 仍为“01”，在 TP4 处观察波形，记录并与正常解调波形进行比较。

二、集成电路（乘法器）构成解调器

1、连线框图如图 4-7 所示

2、解调全载波信号

按调幅实验中实验内容获得调制度分别为 30%，100% 及 >100% 的调幅波。将它们依次加至解调器调制信号输入端 P8，并在解调器的载波输入端 P7 加上与调幅信号相同的载波信号作为同步信号，分别记录解调输出波形，并与调制信号对比（注意示波器用交流耦合）。

3、解调抑制载波的双边带调幅信号

按调幅实验中实验内容的条件获得抑制载波调幅波，加至解调器调制信号输入端 P8，并在解调器的载波输入端 P7 加上与调幅信号相同的载波信号作为同步信号，观察记录解调输出波形，并与调制信号相比较（注意示波器用交流耦合）。

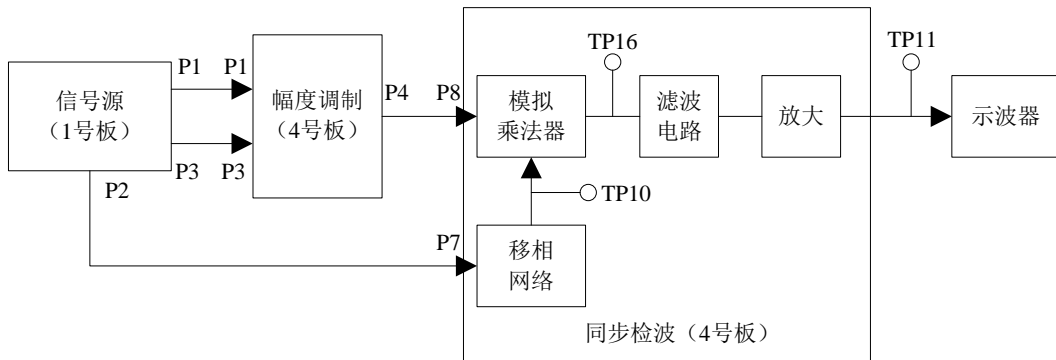


图 4-7 同步检波连线示意图

六、实验报告要求

- 1、通过一系列检波实验，画出实验做出的所有波形。
- 2、观察对角切割失真和底部切割失真现象并分析产生原因。
- 3、从工作频率上限、检波线性以及电路复杂性三个方面比较二极管包络检波和同步检波。

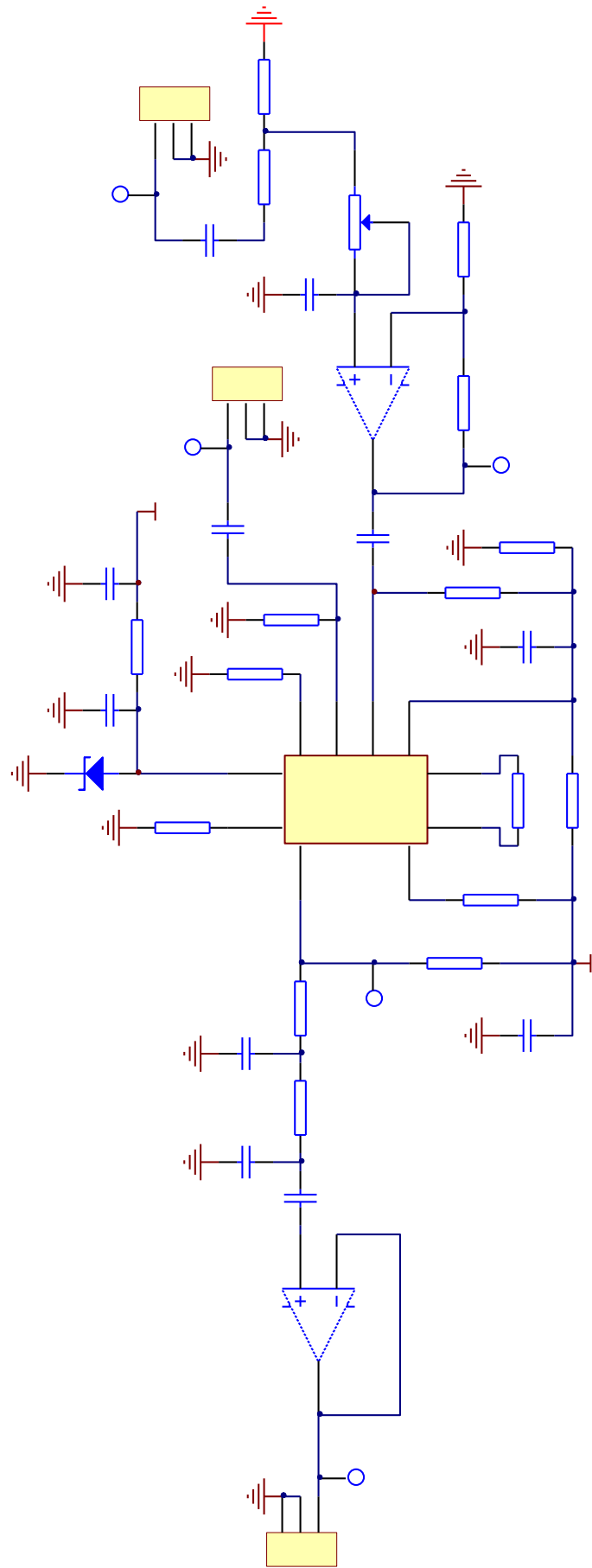


图 4-8 同步检波电路图