

通信电路实验

第一部分 基础型实验

实验 1 中频放大器

1-1 中频放大器的基本工作原理

中频放大器位于混频之后,检波之前,是专门对固定中频信号进行放大的,中放和高放都是谐振放大器,有许多共同点,但也有其特殊之处。

一. 中频放大器的作用

1. 进一步放大信号,接收机的增益,主要是中频放大器的增益。由于中放工作频率较低,因而容易获得较高而又稳定的增益。

2. 抑制邻道干扰,因为高放及输入回路工作频率较高,而中放工作频率较低,且为固定,因而可采用较复杂的谐振回路或带通滤波器,将通带做的较窄,使谐振曲线接近于理想矩形,所以中放的选择性好,对邻道干扰有较强的抑制。

二. 对中频放大器的要求

1. 增益要高,一般都采用多级中频放大器。
2. 工作要稳定,不允许出现自激。
3. 选择性要好,对有用信号应能不失真地通过,对无用信号和干扰应有很大的抑制。

三. 中频放大器的分类及工作过程

中频放大器按照负载回路的构成可分为单调谐中频放大器和双调谐中频放大器,按照三极管的接法可分为共发射极、共基极和共集电极等中频放大器。

中频放大器的工作过程与高频放大器相同,它们都是小信号放大器,工作在甲类(A类)状态,它们都采用谐振回路作负载。

1-2 中频放大器的实验电路

图 1-1 是中频放大器实验电路图。从图看出,本实验电路采用两级共射极中频放大器。图中 7P01 为中频信号输入铆孔, 7TP01 为输入信号测试点。7L01、7C04 和 7L02、7C08 分别为第一级和第二级的谐振回路。其谐振频率为 2.5MHz。

7W02 用来调整中频放大输出幅度。7P02 为中频输出铆孔, 7TP02 为输出测量点。7P03 为自动增益控制(AGC)连接孔。

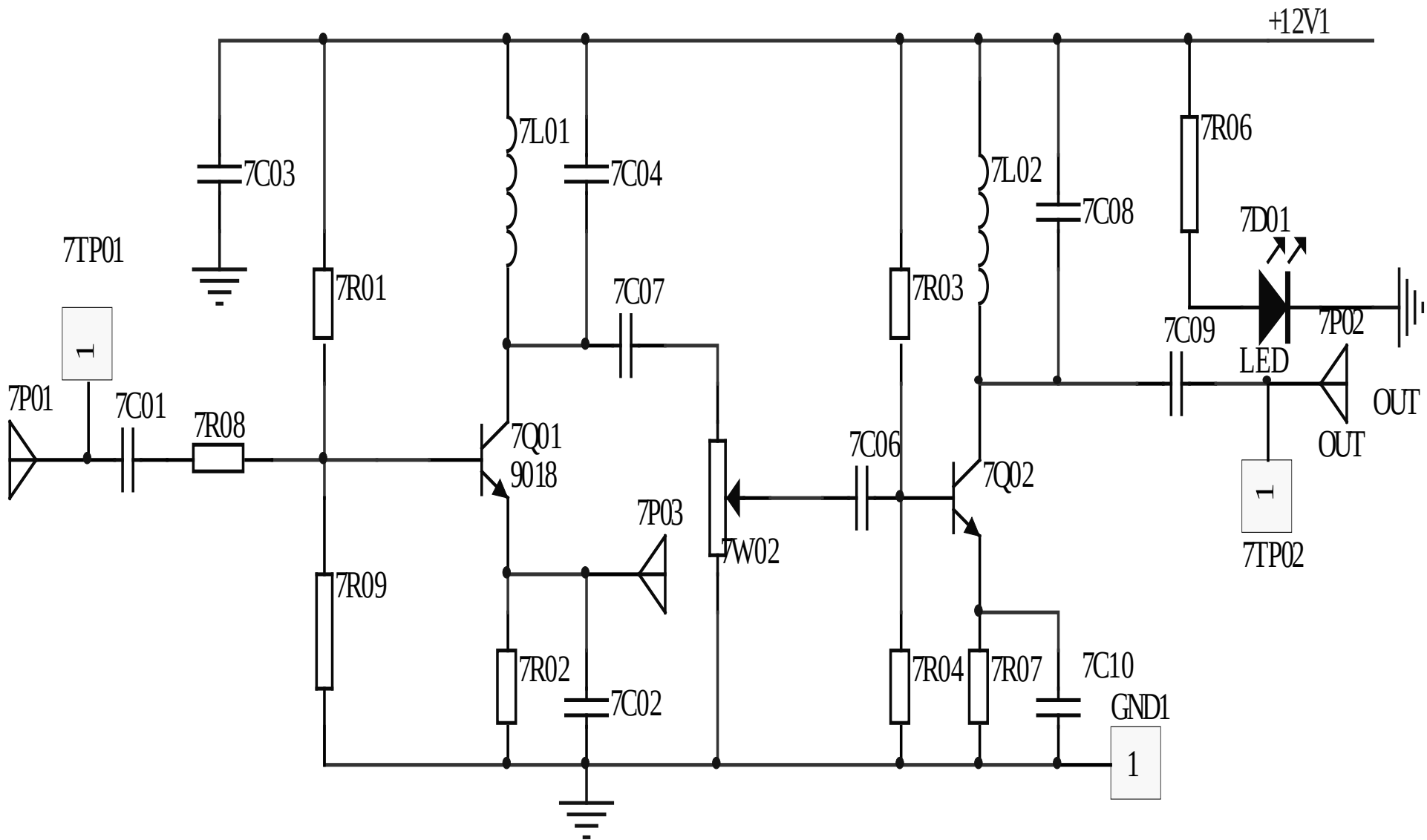


图 1-1 中频放大器实验原理图

1-3 中频放大器的实验目的、内容和步骤

一. 实验目的

1. 熟悉电子元器件和高频电子线路实验系统;
2. 了解中频放大器的作用、要求及工作原理;
3. 掌握中频放大器的测试方法。

二. 实验内容

1. 用示波器观察中频放大器输入输出波形, 并计算其放大倍数。
2. 用点测法测出中频放大器幅频特性, 并画出特性曲线, 计算出中频放大器的通频带。

三. 实验步骤

1. 实验准备

将中频放大器模块插入实验箱主板上, 按下电源开关 7K01. 电源指示灯点亮, 即可开始实验。

2. 中频放大器输入输出波形观察及放大倍数测量

将高频信号源频率设置为 2.5MHz, 峰-峰值 $V_{p-p}=150\text{mV}$, 其输出送入中频放大器的输入端 (7P01), 用示波器测量中放输出 7TP02 点的波形, 微调高频信号源频率使中放输出幅度最大。调整 7W02, 使中放输出幅度最大且不失真, 并记下此时的幅度大小, 然后再测量中放此时的输入幅度, 即可算出中放的电压放大倍数。

3. 测量中频放大器的谐振曲线(幅频特性)

保持上述状态不变, 按照表 1-1 改变高频信号源的频率 (用频率计测量), 保持高频信号源输出幅度为 150mV (示波器 CH1 监视), 从示波器 CH2 (接 7TP02) 上读出与频率相对应的幅值, 并把数据填入表 1-1, 然后以横轴为频率, 纵轴为幅度, 按照表 1-1, 画出中频放大器的幅频特性曲线。并从曲线上算出中频放大器的通频带 (幅度最大值下降到 0.707 时所对应的频率范围为通频带)。

表 1-1

频率 (MHZ)	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7
输出幅度 U (mv)													

4. 输入信号为调幅波的观察

在上述状态下, 将输入信号设置为调幅波, 其载波为 2.5MHZ。用示波器观察中放输出 7TP02 点的波形是否为调幅波。

四. 实验报告要求

1. 根据实验数据计算出中频放大器的放大倍数。
2. 根据实验数据绘制中频放大器幅频特性曲线, 并算出通频带。
3. 总结本实验所获得的体会。

实验 2 频率调制（变容二极管调频器）

2-1 频率调制工作原理

使高频振荡的频率按调制信号作相应变化的调制方式，叫频率调制，简称调频（FM）。调制后调频振荡称为频调波。通过频率调制来传递消息的通信方式称调频通信。

一. 调频及其数学表达式

设调制信号为 $u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t$ ，载波信号为 $u_c(t) = U_m \cos \omega_c t$ 。

调频时，载波高频振荡的瞬时频率随调制信号 $u_{\Omega}(t)$ 呈线性变化，其比例系数为 K_f ，即 $\omega(t) = \omega_c + K_f u_{\Omega}(t) = \omega_c + \Delta\omega(t)$ ，式中， ω_c 是载波角频率，也是调频信号的中心角频率。 $\Delta\omega(t)$ 是由调制信号 $u_{\Omega}(t)$ 所引起的角频率偏移，称频偏或频移。 $\Delta\omega(t)$ 与 $u_{\Omega}(t)$ 成正比， $\Delta\omega(t) = K_f u_{\Omega}(t)$ 。 $\Delta\omega(t)$ 的最大值称为最大频偏，用 $\Delta\omega$ 表示：

$$\Delta\omega = \left| \Delta\omega(t) \right|_{\max} = K_f \left| u_{\Omega}(t) \right|_{\max}$$

单音频调制时，对于调频信号，它的 $\omega(t)$ 为

$$\omega(t) = \omega_c + K_f U_{\Omega m} \cos \Omega t = \omega_c + \Delta\omega \cos \Omega t$$

由此就得到调频信号的数学表达式，即有

$$u(t) = U_m \cos \left[\int (\omega_c + \Delta\omega \cos \Omega t) dt + \varphi \right] = U_m \cos \left(\omega_c t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t + \varphi \right)$$

假定初相角 $\varphi = 0$ ，则得

$$u(t) = U_m \cos \left(\omega_c t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t \right)$$

式中， $\frac{\Delta\omega}{\Omega}$ 叫调频波的调制指数，以符号 m_f 表示，即

$$m_f = \frac{\Delta\omega}{\Omega}$$

它是最大频偏 $\Delta\omega$ 与调制信号角频率 Ω 之比。 m_f 值可以大于 1（这与调幅波不同，调幅指数 m_a 总是小于等于 1 的）。所以调频波数学表达式为

$$u(t) = U_m \cos(\omega_c t + m_f \sin \Omega t + \varphi)$$

调频信号随调制信号的变化情况如图 2-1 所示。在调制电压的正半周，载波振荡频率随调制电压变化而高于载频，到调制电压的正峰值时，已调高频振荡角频率至最大值，为 $\omega_{\max} = \omega_c + \Delta\omega$ ；在调制信号负半周，载波振荡频率随调制电压变化而低于载频，到调制电压负峰处，已调高频振荡角频率至最小值， $\omega_{\min} = \omega_c - \Delta\omega$ 。

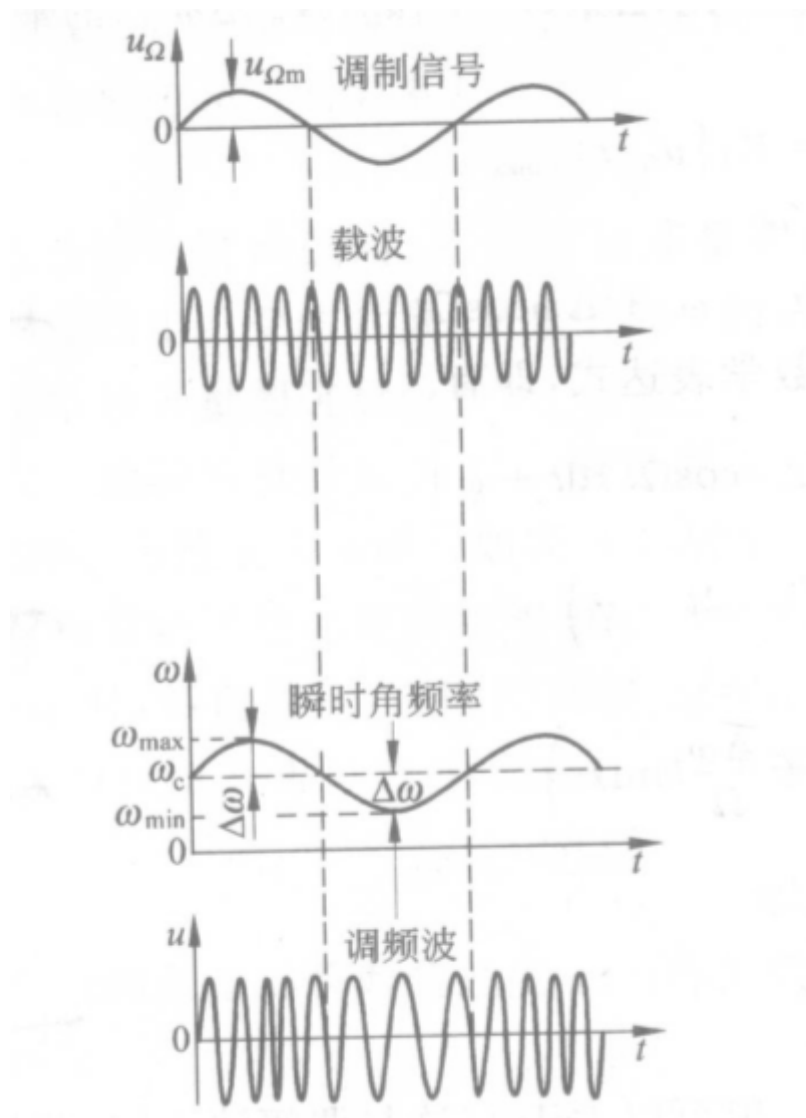


图 2-1

二. 调频波的频谱

上述频调波的频谱分析是非常复杂的，需用复杂的数学工具，这里只给出结论。

当 $m_f \ll 1$ 时，频调波的频谱和幅调波一样，也是由载频 f_0 和一对边频

$$f_0 + F, f_0 - F (F = \frac{\Omega}{2\pi}) \text{ 组成,}$$

如图 2-2 (a) 所示。但下边频的相位和上边频差 180 度。如果调制信号是一个频带，则上下边频就成了上下边带。

当 m_f 逐渐增大，边频数也逐步增大，实际上包含载频和无数对边频。

如果把调制前载波振幅 I_{cm} 的 15% 以上的边频作为有效边频，有效边频所占的频带宽度称为有效频带宽度 B ，则当 $m_f > 2$ 时（这时为宽带调频）， $B \approx 2m_f F \approx 2\Delta f_{\max}$ ，图 2-2 (b) 画出了 $m_f = 3$ 时频调波的振幅频谱。

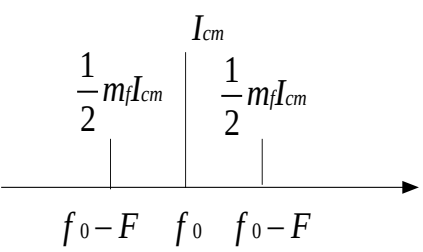


图 2-2(a)

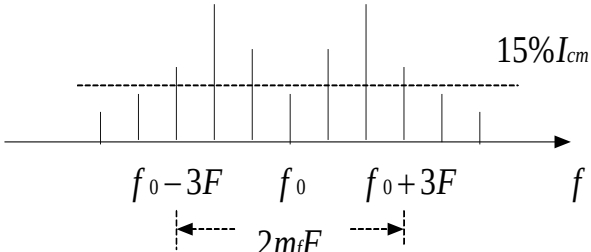


图 2-2(b)

总之，频调波的频谱成份，理论上有无穷多，所以频率调制是一种非线性调制。

三. 调频信号的产生

1. 调频方法

调频就是用调制电压去控制载波的频率。调频的方法和电路很多，最常用的可分为两大类：直接调频法和间接调频法。

直接调频就是用调制电压直接去控制载频振荡器的频率，以产生调频信号。例如：被控电路是 LC 振荡器，那么，它的振荡频率主要由振荡回路电感 L 与电容 C 的数值来决定，若在振荡回路中加入可变电抗，并用低频调制信号去控制可变电抗的参数，即可产生振荡频率随调制信号变化的调频波。在实际电路中，可变电抗元件的类型有许多种，如变容二极管、电抗管等。

间接调频法就是保持振荡器的频率不变，而用调制电压去改变载波输出的相位，这实际上是调相。由于调相和调频的关联性，所以只要附加一个简单的变换网络，就可以从调相获得调频。目前采用最多的是变容二极管直接调频法，下面主要介绍这种方法。

2. 变容二极管的特性

变容二极管是利用半导体 PN 结的结电容随外加反向电压而变化这一特性，所制成的一种半导体二极管。它是一种电压控制可变电抗元件。

变容二极管的符号如图 2-3 (a) 所示，图 2-3(b) 是其串联和并联的等效电路。其中 C_d 代表二极管的电容， $R_{串}$ 或 $R_{并}$ 代表串联或并联的等效损耗电阻。由于二极管正常工作于反向状态，其损耗很小，故 $R_{并}$ 很大而 $R_{串}$ 很小。变容二极管与普通二极管相比，所不同的是在反向电压作用下的结电容变化较大。

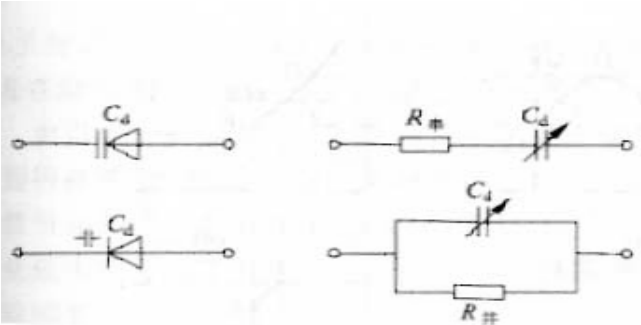


图 2-3(a)

图 2-3(b)

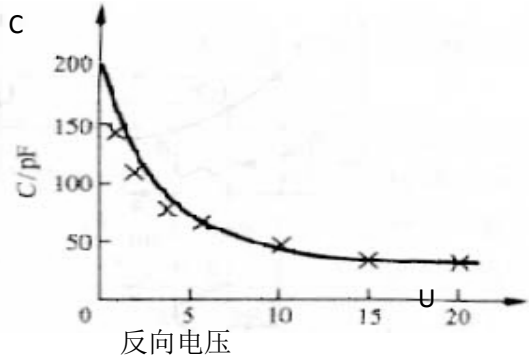


图 2-4

变容二极管的电容 C 随着所加的反向偏压 U 而变化。图 2-4 是 $C-U$ 特性曲线。

3. 变容二极管调频电路

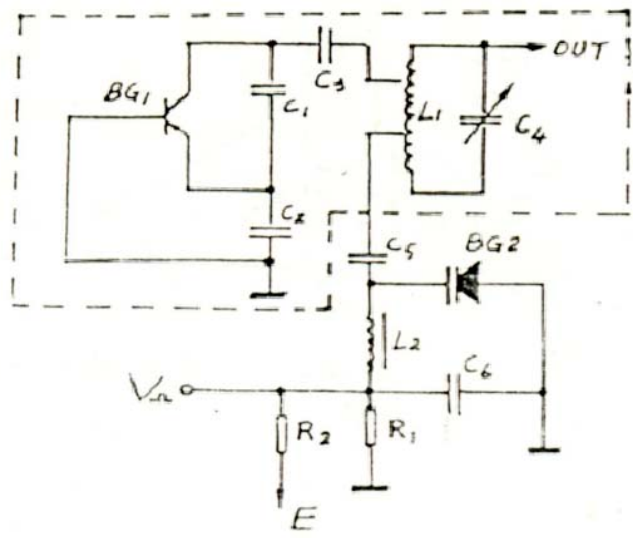


图 2-5

图 2-5 为某发信机的调频电路，其中，虚线框部分为共基极的西勒振荡器，图中仅画出了交流等效电路。框外部分为变容二极管调频器。下面就来讨论其工作原理。

直流电压 E 通过 R_1R_2 分压后，经高频扼流圈 L_2 加到变容二极管 BG_2 的负端， BG_2 的正端接地。这样 BG_2 就得到了反向偏置。 L_2 对高频起扼流作用，对直流和低频可认为短路。 C_6 为高频旁路电容，话音调制电压 V_Ω 经 L_2 也加到 BG_2 的两端，使 BG_2 的结电容随 V_Ω 而变。 L_2 和 C_6 防止高频电流流向 R_1R_2 、电源 E 和低频信号源 V_Ω 。

下面来分析振荡器的频率（或频偏）和调制信号的关系。通常 $C_5 \gg C_j$ ， $C_3 \ll C_1$ ， $C_3 \ll C_2$ ，因此， C_5 C_1 C_2 均可忽略，振荡回路可简化为图 2-6。

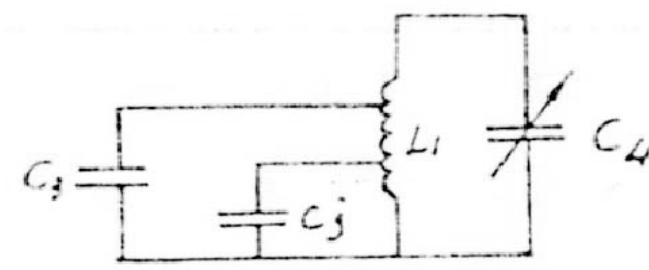


图 2-6

设 C_3 的接入系数为 P_3 ， C_j 的接入系数为 P_j ，那么可把 C_3 和 C_j 折合到 L_1 两端，回路可进一步简化成图 2-7。

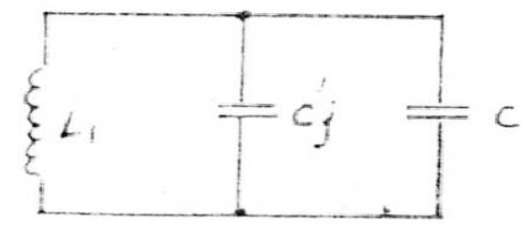


图 2-7

图中， $C = P^2_3 C_3 + C_4, C'_j = P^2_j C_j$ ，因而振荡器的振荡角频率

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_1(C + C_j)}} = \frac{1}{\sqrt{(P^2_3 C_3 + C_4 + P^2_j C_j)L}}$$

在进行调频时， C_j 将随调制信号 V_Ω 而变，因而 ω 也将随之而变。图 2-8 画出了 V_Ω 如何引起 ω 变化的工作过程。

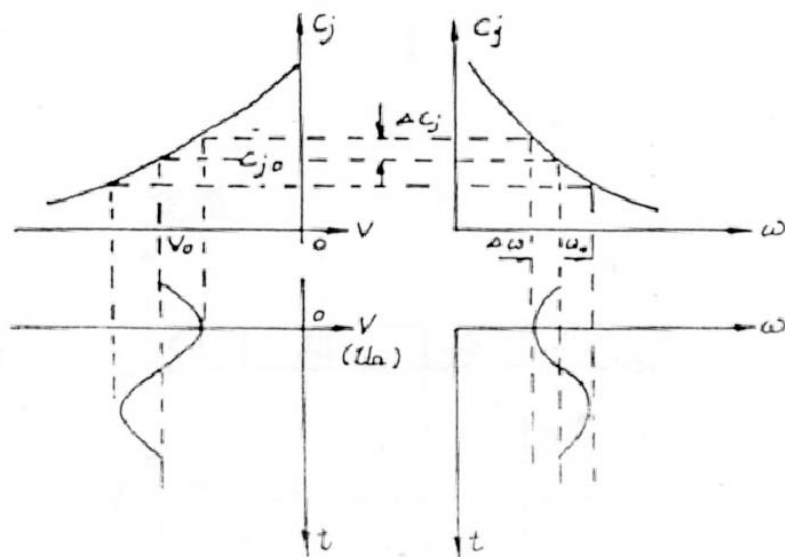


图 2-8

图中， $\omega - C_j$ 曲线是根据上述公式，在 C_3 、 C_4 、 P_3 、 P_j 一定时绘出的。当 V_Ω 按余弦规律变化时， C_j 也在 C_{j0} 基础上作相应变化，通过 $\omega - C_j$ 曲线，可求得 ω 作相应变化的曲线。可以证明在工作点（即 $V = V_0$ ）附近的区域内， ω 和 V_Ω 成线性关系，因而 ω 也按余弦规律变化。 $\omega = \omega_0 + KV_\Omega = \omega_0 + KV_{\Omega m} \cos \Omega t$ ， K 为一常数。上式表明已正确实现了调频。

根据上面的分析，可以画出 $\Delta f \sim \Delta V$ 关系曲线（如图 2-9），即调制特性。当 ΔV 较小时为直线。当 ΔV 较大时，则出现弯曲。曲线的斜率即 $\frac{\Delta f}{\Delta V}$ ，

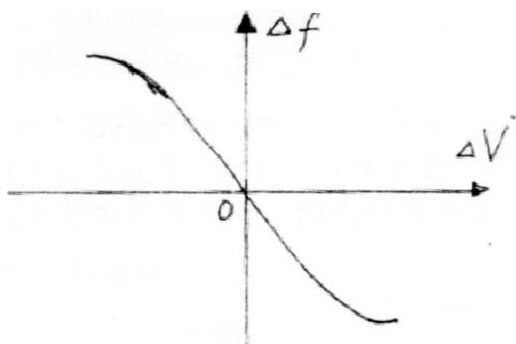


图 2-9

表示调制电压对振荡频率的控制能力，叫做控制灵敏度。显然我们希望控制灵敏度高一些。

变容二极管调频法的主要缺点是中心频率不稳。这一方面是由于振荡器本身是 LC 振荡器，稳定度不高，另一方面变容二极管的 C_j 受外界的影响比较大。

2-2 频率调制实验电路

一. 变容二极管调频器实验电路

变容二极管调频器实验电路如图 2-10 所示。图中, 12BG₀₁ 本身为电容三点式振荡器, 它与 12D01、12D02 (变容二极管) 一起组成了直接调频器。12BG₀₃ 为放大器, 12BG₀₄ 为射极跟随器。12W₀₁ 用来调节变容二极管偏压。

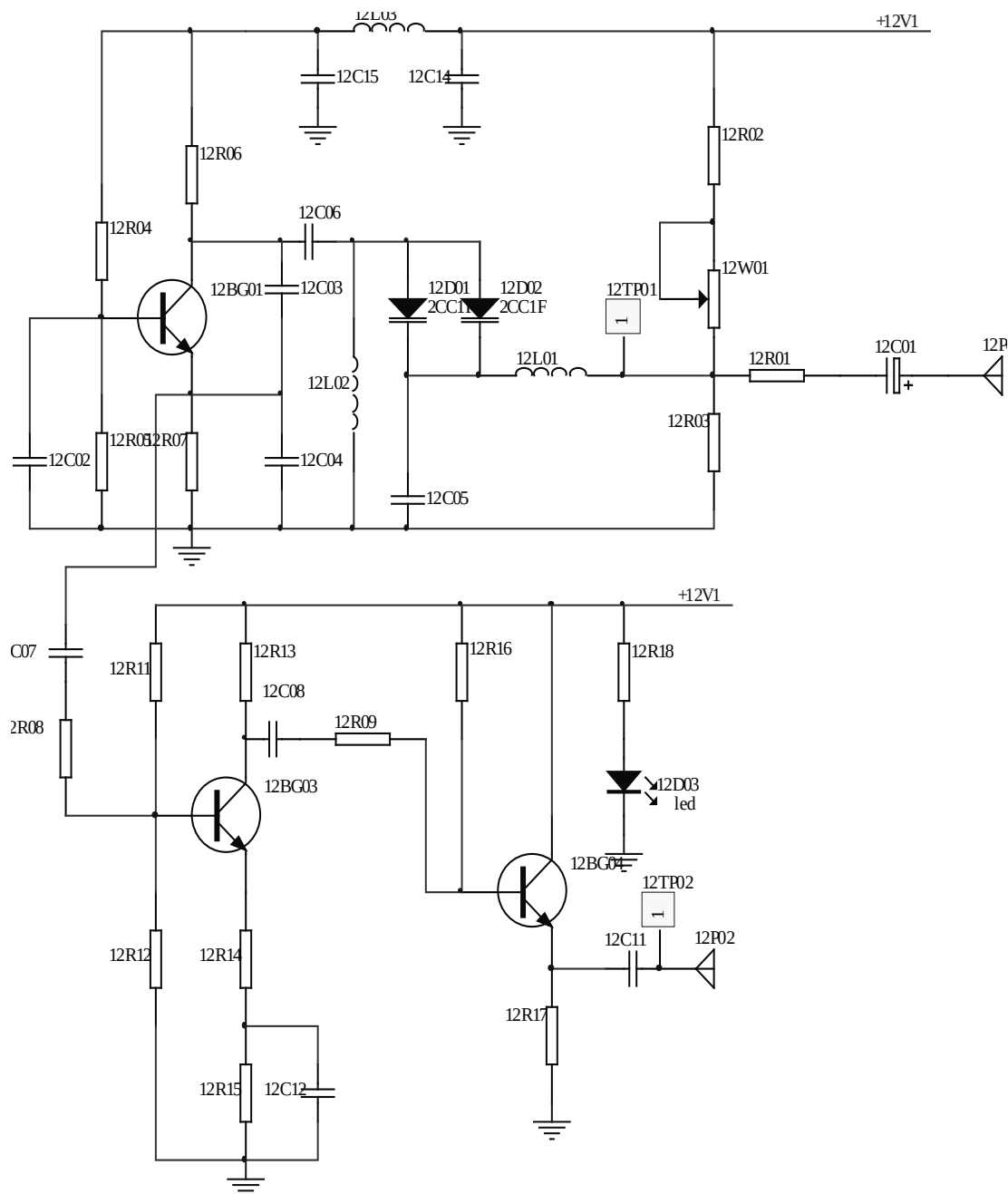


图 2-10 变容二极管调频器实验电路

二. 变容二极管调频器工作原理

由图 2-10 可见, 加到变容二极管上的直流偏置就是+12V 经由 $12R_{02}$ 、 $12W_{01}$ 和 $12R_{03}$ 分压后, 从 $12R_{03}$ 得到的电压, 因而调节 $12W_{01}$ 即可调整偏压。由图可见, 该调频器本质上是一个电容三点式振荡器 (共基接法), 由于电容 $12C_{05}$ 对高频短路, 因此变容二极管实际上与 $12L_{02}$ 相并。调整电位器 $12W_{01}$, 可改变

变容二极管的偏压，也即改变了变容二极管的容量，从而改变其振荡频率。因此变容二极管起着可变电容的作用。

对输入音频信号而言， $12L_{01}$ 短路， $12C_{05}$ 开路，从而音频信号可加到变容二极管 $12D_{01}$ 、 $12D_{01}$ 上。当变容二极管加有音频信号时，其等效电容按音频规律变化，因而振荡频率也按音频规律变化，从而达到了调频的目的。

2-3 频率调制实验目的、内容和步骤

一、实验目的

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

二、实验内容

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

三、实验步骤

1. 实验准备

在实验箱主板上插上变容二极管调频模块、斜率鉴频与相位鉴频模块，按下 $12K_{01}$ ，此时变容二极管调频模块电源指示灯点亮。

2. 静态调制特性测量

输入端先不接音频信号，将示波器接到调频器单元的 $12TP_{02}$ 。将频率计接到调频输出（ $12P_{02}$ ），用万用表测量 $12TP_{01}$ 点电位值，按表2-1所给的电压值调节电位器 $12W_{01}$ ，使 $12TP_{01}$ 点电位在1.65—9.5V范围内变化，并把相应的频率值填入表2-1。

表2-1

$V_{12P01} (V)$	1.65	2	3	4	5	6	7	8	9	9.5
$F_0 (MHz)$										

3. 动态调制特性测量

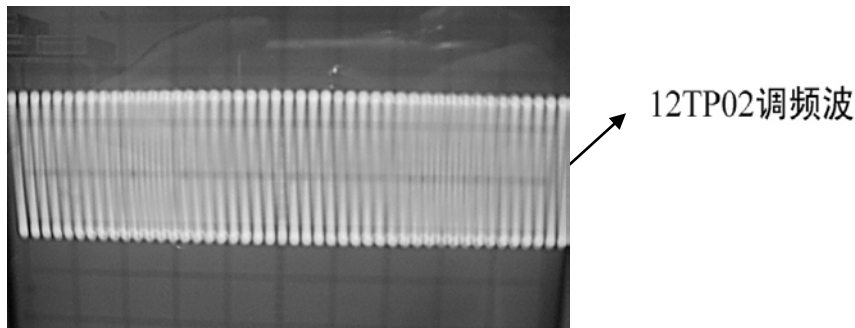
①将斜率鉴频与相位鉴频模块（简称鉴频器单元）中的+12 V 电源接通（按下 $13K_{01}$ 开关，相应指示灯亮），从而鉴频器工作于正常状态。

②调整 $12W_{01}$ 使得变容二极管调频器输出频率 $f_0=6.3MHz$ 左右。

③接入音频调制信号至音频输入端 $12P_{01}$ ，（ $f=1kHz$ 、峰-峰值 $V_{p-p}=300mV$ 、正弦波）。

④ 在调频器单元的 12TP02 端上观察到 FM 波。

用示波器观察到的调频波形如下图：



⑤把调频器单元的调频输出端 12P02 连接到鉴频器单元的输入端 (13P01)，并将鉴频器单元的 13K02 拨向相位鉴频，便可在鉴频器单元的输出端 13P02 上观察到经解调后的音频信号。如果没有波形或波形不好，应调整 12W₀₁ 和 13W₀₁。

⑥将示波器CH1接调制信号源（可接在调制模块中的12TP03上），CH2接鉴频输出13TP03，比较两个波形有何不同。改变调制信号源的幅度，观测鉴频器解调输出有何变化。调整调制信号源的频率，观测鉴频器输出波形的变化。

四. 实验报告要求

1. 根据实验数据，在坐标纸上画出静态调制特性曲线，说明曲线斜率受哪些因素影响。
2. 说明 12W₀₁ 对于调频器工作的影响。
3. 总结由本实验所获得的体会。

实验 3 调频波的解调（斜率鉴频与相位鉴频器）

3-1 调频波解调工作原理

1. 调频波解调的方法

从调频波中取出原来的调制信号，称为频率检波，又称鉴频。完成鉴频功能的电路称为鉴频器。

鉴频器实际上包含两个部分，第一是借助谐振电路将等幅的调频波转换成幅度随瞬时频率变化的调幅调频波，第二是用二极管检波器进行幅度检波，以还原出调制信号。

由于信号的最后检出还是利用高频振幅的变化，这就要求输入的调频波本身“干净”，不带有寄生调幅。否则，这些寄生调幅将混在转换后的调幅调频波中，使最后检出的信号受到干扰。为此，在输入到鉴频器前的信号要经过限幅，使其幅度恒定。

因此，调频波的检波，主要是限幅器和鉴频器两个环节，可用图 3-1（a）的方框图表示。其对应各点的波形如图 3-2（b）所示。

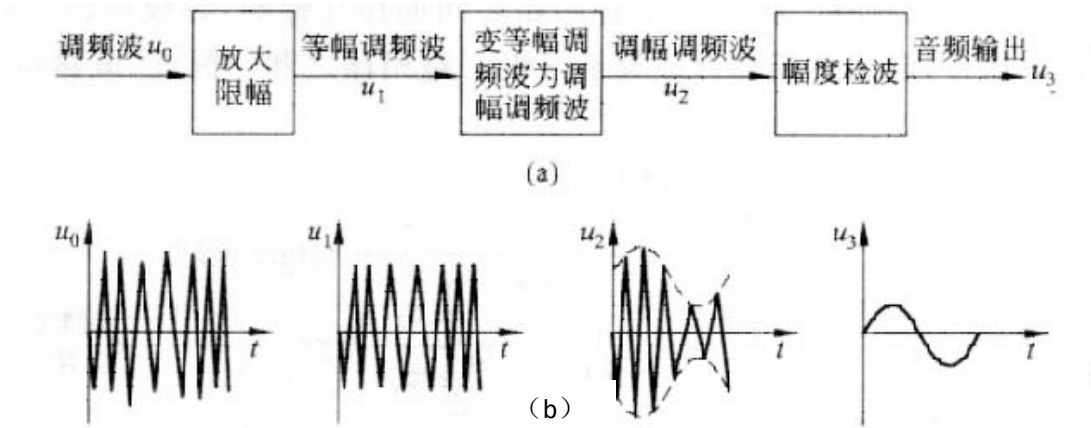


图 3-1 调谐波的检波

鉴频器的类型很多，根据它们的工作原理，可分为斜率鉴频器、相位鉴频器、比例鉴频器和脉冲计数式鉴频器。下面我们只介绍斜率鉴频器。

2. 斜率鉴频器

斜率鉴频是由失谐单谐振回路和晶体二极管包络检波器组成，如图 3-2 所示。其谐振电路不是调谐于调频波的载波频率，而是比它高或低一些，形成一定的失谐。由于这种鉴频器是利用并联 LC 回路幅频特性的倾斜部分将调频波转换成调幅调频波，故通常称它为斜率鉴频器。

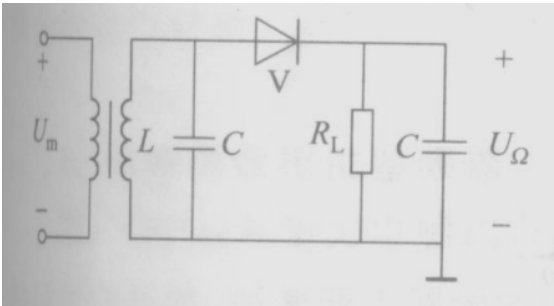


图 3-2 斜率鉴频器电路

在实际调整时，为了获得线性的鉴频特性曲线，总是使输入调频波的中心频率处于谐振特性曲线中接近直线段的中点，如图 3-3 所示 M （或 M' ）点。这样，谐振电路电压幅度的变化将与频率成线性关系，就可将调频波转换成调幅调频波。再通过二极管对调幅波的检波，便可得到调制信号 U_{Ω} 。

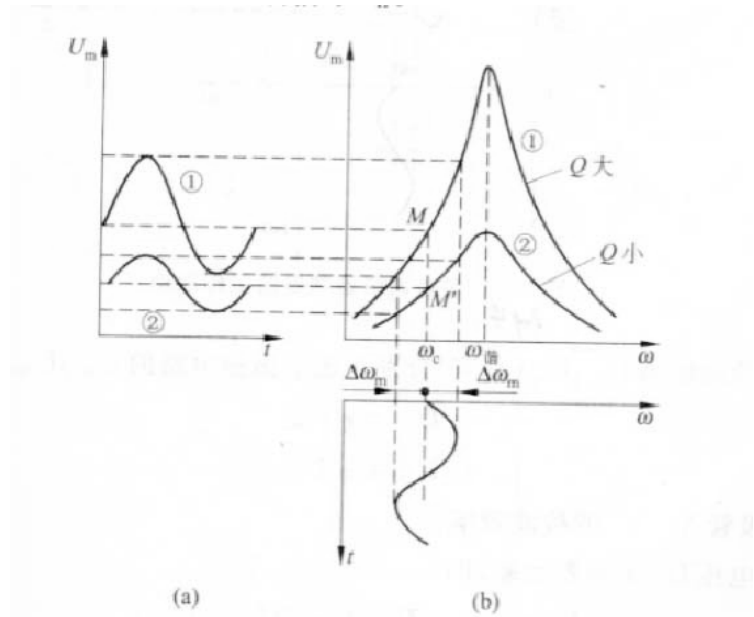


图 3-3 斜率鉴频器的工作原理

斜率鉴频器的性能在很大程度上取决于谐振电路的品质因数 Q 。图 3-3 上画出了两种不同 Q 值的曲线。由图可见，如果 Q 低，则谐振曲线倾斜部分的线性较好，在调频转换为调幅调频过程中失真小。但是，转换后的调幅调频波幅度变化小，对于一定频移而言，所检得的低频电压也小，即“鉴频灵敏度”低。反之，如果 Q 高，则鉴频灵敏度可提高，但谐振曲线的线性范围变窄。当调频波的频偏大时，失真较大。图 3-3 中曲线①和②为上述两种情况的对比。

应该指出，该电路的线性范围与灵敏度都是不理想的。所以斜率鉴频器一般用于质量要求不高的简易接收机中。

3. 调频制和调幅制的比较

和调幅制相比，调频制有许多优点。严格的分析需要进行繁琐的数学推导，我们直接讲述几点结论。

- (1) 当调频指数 m_f 较大（比如 $m_f > 3$ ）时，调频制的抗干扰及噪声性能比调幅制强得多。
- (2) 调频制的解调信号音质比调幅制好得多。
- (3) 调频制的缺点是信号频带较宽，因此只适合超短波波段。

3-2 调频波解调实验电路

图 3-4 为斜率鉴频与相位鉴频器实验电路。图中，13K02 开关打向“1”和“4”时为斜率鉴频。13Q01 用来对 FM 波进行放大，13C2、13L02 为频率振幅转换网络，其中心频率为 6.3MHz 左右。13D03 为包络检波二极管。13TP01、13TP03 为输入、输出测量点。

当开关 13K02 拨向“3”和“6”时为相位鉴频器，相位鉴频器由频相转换电路和鉴相器两部分组成。输入的调频信号加到放大器 13Q01 的基极上。放大管的负载是频相转换电路，该电路是通过电容 13C3 耦合的双调谐回路。初级和次级都调谐在中心频率 $f_0=6.3\text{MHz}$ 上。初级回路电压 U_1 直接加到次级回路中的串联电容 13C04、13C05 的中心点上，作为鉴相器的参考电压；同时， U_1 又经电容 13C3 耦合到次级回路，作为鉴相器的输入电压，即加在 13L02 两端用 U_2 表示。鉴相器采用两个并联二极管检波电路。检波后的低频信号经 RC 滤波器输出。

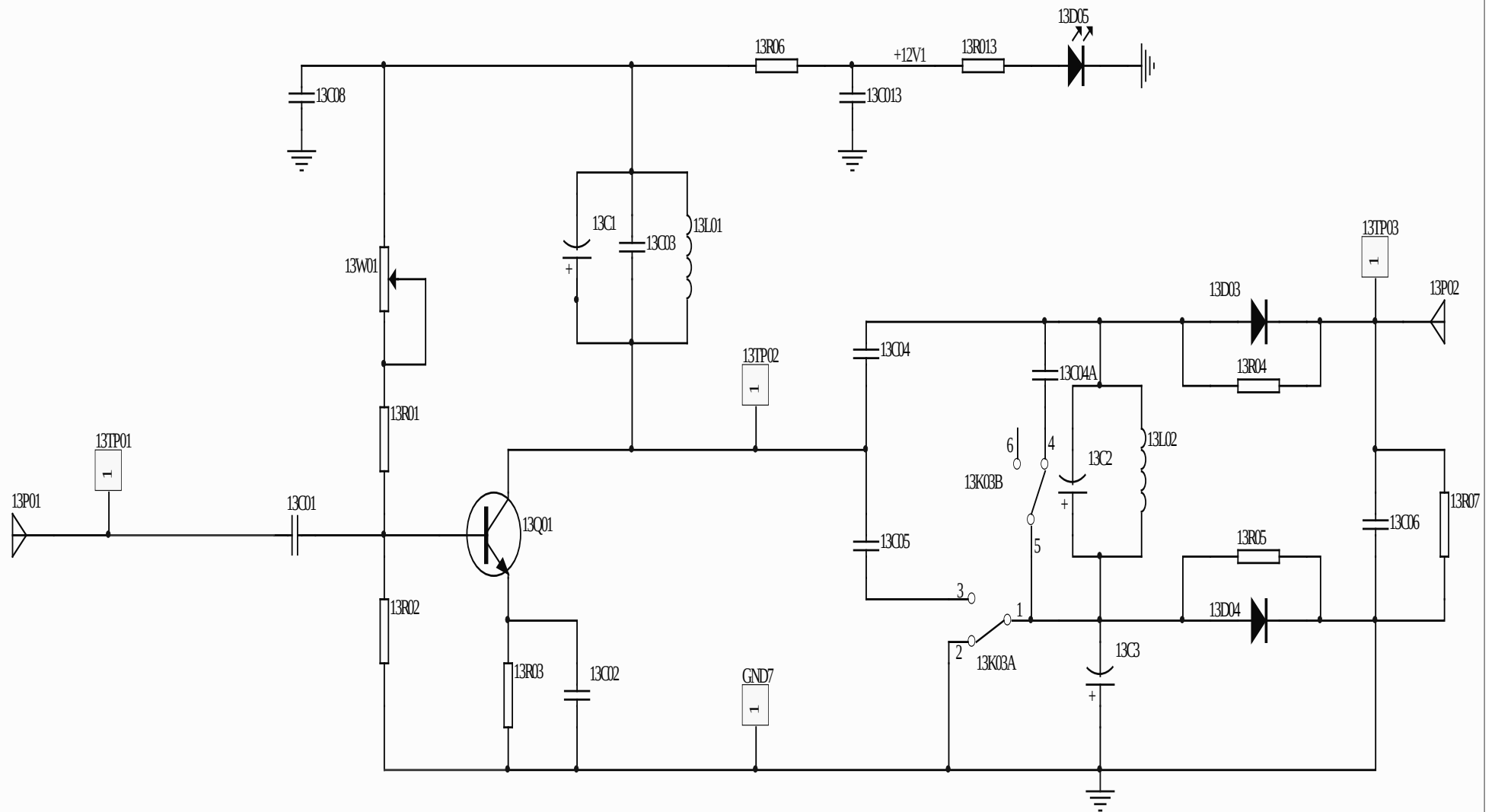


图 3-4 斜率鉴频与相位鉴频器实验电路

3-3 调频波解调实验目的、内容和步骤

一、实验目的

1. 了解调频波产生和解调的全过程以及整机调试方法，建立起调频系统的初步概念；
2. 了解斜率鉴频与相位鉴频器的工作原理；

二、实验内容

1. 调频-鉴频过程观察：用示波器观测调频器输入、输出波形，鉴频器输入、输出波形；
2. 观察初级回路电容、次级回路电容、耦合电容变化对FM波解调的影响。

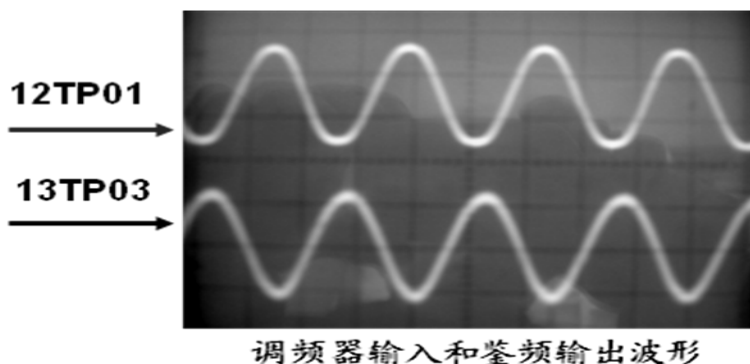
三、实验步骤

1. 实验准备

插装好斜率鉴频与相位鉴频、变容二极管调频器模块，接通电源，即可开始实验。

2. 相位鉴频实验

(1) 以实验3中的方法产生FM波，即音频调制信号（1KHZ、300MV、正弦波）加到12P01音频输入端，并将调频输出中心频率调至6.3MHZ，然后将其输出连接到鉴频单元的输入端13P01，将鉴频器单元开关13K02拨向相位鉴频。用示波器观察鉴频输出（13TP03）波形，结合调整12W01和13W01可观察到频率为1kHz的正弦波。建议采用示波器作双线观察：CH1接调频器输入端12TP03，CH2接鉴频器输出端13TP03，并作比较。



(2) 改变调制信号幅度，鉴频器输出信号幅度亦会随之变化，但信号幅度过大会导致信号失真。

(3) 改变调制信号频率，鉴频器输出频率应随之变化。

(4) 将调制信号改成三角波和方波，观察鉴频输出。

3. 斜率鉴频实验

(1) 将鉴频单元开关 13K02 拨向斜率鉴频。

(2) 信号连接和测试方法与相位鉴频完全相同，但音频调制信号幅度应增大到 $V_{P-P} = 1V$ 。

四. 实验报告要求

1. 画出调频-鉴频系统正常工作时的调频器输入、输出波形和鉴频器输入、输出波形。
2. 总结由本实验所获得的体会。

实验 4 锁相环路与频率合成器

4-1 锁相环路与频率合成器基本工作原理

一. 锁相环路

锁相环路是一个相位误差控制系统，是将参考信号与输出信号之间的相位进行比较，产生相位误差电压来调整输出信号的相位，以达到参考信号同频的目的。

1. 锁相环的构成及工作原理

(1) 锁相环的基本组成

基本的锁相环路是由鉴相器 (phase detector, PD)、环路滤波器 (loop filter, LF) 和压控振荡器 (voltage control oscillator, VCO) 三个部分组成，如图 4-1 所示。

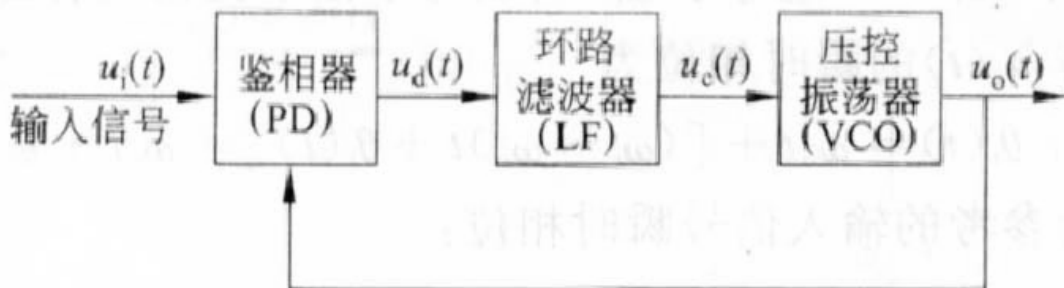


图 4-1 锁相环的基本组成

鉴相器是相位比较装置，用来比较输入信号 $U_i(t)$ 与压控振荡器输出信号 $U_o(t)$ 的相位，它的输出电压 $U_d(t)$ 是对应于这两个信号相位差的函数。

环路滤波器的作用是滤除 $U_d(t)$ 中的高频分量及噪声，以保证环路所要求的性能。

压控振荡器受电压 $U_c(t)$ 的控制，使振荡频率向输入信号的频率靠拢，直至两者的频率相同，使得 VCO 输出信号的相位和输入信号的相位保持某种特定的关系，达到相位锁定的目的。

(2) 锁相环的基本原理

设输入信号 $U_i(t)$ 和本振信号（压控振荡器输出信号） $U_o(t)$ 分别是正弦和余弦信号，它们在鉴相器内进行比较，鉴相器的输出是一个与两者间的相位差成比例的电压 $U_d(t)$ ，一般把 $U_d(t)$ 称为误差电压。环路低通滤波器滤除鉴相器中的高频分量，然后把输出电压 $U_c(t)$ 加到 VCO 输入端，VCO 送出的本振信号频率随着输入电压的变化而变化。如果二者频率不一致，则鉴相器的输出将产生低频变化分量，并通过低通滤波器使 VCO 的频率发生变化。只要环路设计恰当，这种变化将使本振信号的频率与鉴相器输入信号的频率一致起来。最后如果本振信号的频率和输入信号的频率完全一致，两者的相位差将保持某一恒定值，则鉴相器的输出将是一个恒定直流电压（高频分量忽略），环路低通滤波器的输出也是一个直流电压，VCO 的频率将停止变化，这时，环路处于“锁定状态”。

2. 环路的锁定、捕捉和跟踪

(1) 环路的锁定

当没有输入信号时，VCO 以自由振荡频率 ω_o 振荡。如果环路有一个输入信号 $U_i(t)$ ，开始时， $\omega_i \neq \omega_o$ 。如果 ω_i 和 ω_o 相差不大，在适当范围内，鉴相器输出一误差电压，经环路滤波器变换后控制 VCO 的频率，使其输出频率 ω_o 靠近 ω_i 直到相等，而且两信号的相位误差为 φ （常数），这叫环路锁定。

(2) 环路的捕捉

从信号的加入到环路锁定以前叫环路的捕捉过程。

(3) 环路的跟踪

环路锁定以后，当输入相位 φ_i 有一定变化时，鉴相器可鉴出 φ_i 与 φ_o 之差，产生一正比于这个相位差的电压，并能反映相位差的极性，经过环路滤波器变换去控制 VCO 的频率，使 φ_o 改变，减少它与 φ_i 之差，直到保持 $\omega_i = \omega_o$ ，相位差为 φ ，这一过程叫做环路跟踪过程。

3. 环路的同步带和捕捉带

设压控振荡器的自由振荡频率与输入的基准信号频率相差较远，这时环路未处于锁定状态。随着基准频率 f_i 向 VCO 频率 f_o 靠拢，达到某一频率，例如 f_1 ，这时环路进入锁定

状态。一旦入锁，VOC 频率就等于基准频率，且 f_o 随 f_i 变化，这就称为跟踪，如再继续增加 f_i ，当 $f_i > f'_2$ 时，VOC 频率 f_o 不再受 f_i 的牵引而失锁，又回到其自由振荡频率。但反之，若降低 f_i ，当 f_i 回到 f'_2 时，环路并未入锁，只有当 f_i 降低到一个更低的频率 f_2 时，环路才重新入锁。这时，如果继续降低 f_i ， f_o 也有一段跟踪 f_i 的范围。直到 f_i 降低到低于频率 f'_1 时，环路才失锁。而反过来又要在 f_1 处才入锁。将 $f_1 \sim f_2$ 之间的范围称为环路的捕捉带，而 $f'_1 \sim f'_2$ 之间的范围则称为同步带，如图 4-2 所示。

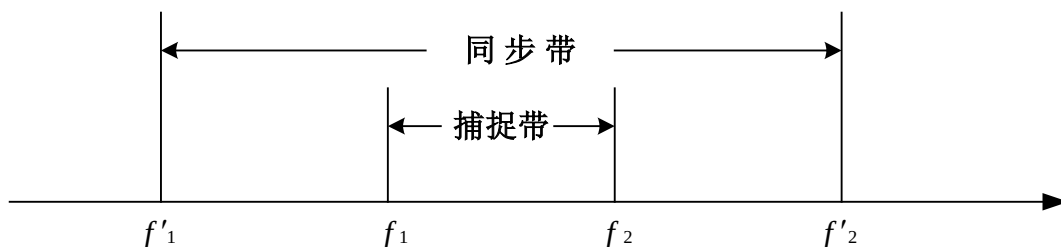


图 4-2 环路的同步带和捕捉带

二. 频率合成器

频率合成技术是现代通信对频率源的频率稳定与准确度、频率纯度及频带利用率提出越来越高的要求的产物。它能够利用一个高稳标准频率源（如晶体振荡器）合成出大量具有同样性能的离散频率。

利用锁相环可以构成频率合成器，其原理框图如图 4-3 所示。输入信号频率 f_i 经固定分频（M 分频）后得到基准频率 f_1 ，把它输入到相位比较器的一端，VCO 输出信号经可预制分频器（N 分频）后输入到相位比较器的另一端，这两个信号进行比较，当锁相环锁定后得到

$$\frac{f_i}{M} = \frac{f_2}{N}, f_2 = \frac{N}{M} f_i = Nf_1$$

当 N 变化时，输出信号频率响应跟随输入信号变化。

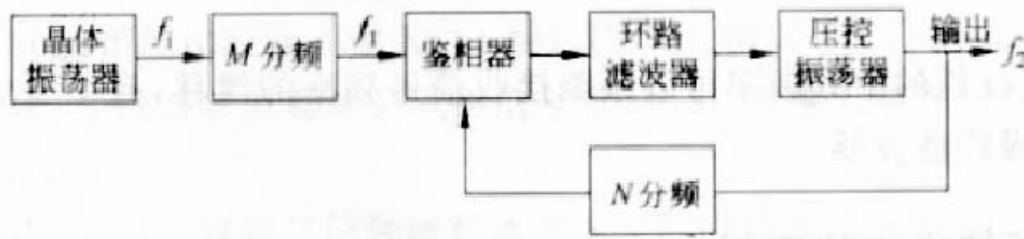


图 4-3 锁相环频率合成器原理框图

显然，只要改变分频比 N，即可达到改变输出频率 f_2 的目的，从而实现了由 f_1 合成 f_2

的任务。这样,只要输入一个固定参考频率 f_i ,即可得到一系列所需要的频率。在该电路中,输出频率点间隔 $\Delta f = f_1$,选择不同 f_1 ,可以获得不同 f_1 的频率间隔。

4-2 锁相环路与频率合成器实验电路

1. 4046 锁相环芯片介绍

4046 锁相环功能框图如图 4-4 所示。外引线排列管脚功能简要介绍:

第 1 引脚 (PD₀₃): 相位比较器 2 输出的相位差信号, 为上升沿控制逻辑。

第 2 引脚 (PD₀₁): 相位比较器 1 输出的相位差信号, 它采用异或门结构, 即鉴相特性为 PD₀₁=PD₁₁⊕PD₁₂

第3引脚 (PD_{I2}): 相位比较器输入信号, 通常PD为来自VCO的参考信号。

第 4 引脚 (VCO₀): 压控振荡器的输出信号。

第 5 引脚 (INH): 控制信号输入, 若 INH 为低电平, 则允许 VCO 工作和源极跟随器输出; 若 INH 为高电平, 则相反, 电路将处于功耗状态。

第6引脚 (CI): 与第7引脚之间接一电容, 以控制 VCO 的振荡频率。

第7引脚 (CI): 与第6引脚之间接一电容, 以控制 VCO 的振荡频率。

第 8 引脚 (GND): 接地。

第 9 引脚 (VCO_I): 压控振荡器的输入信号。

第 10 引脚 (SF₀): 源极跟随器输出。

第 11 引脚 (R_1): 外接电阻至地, 分别控制 VCO 的最高和最低振荡频率。

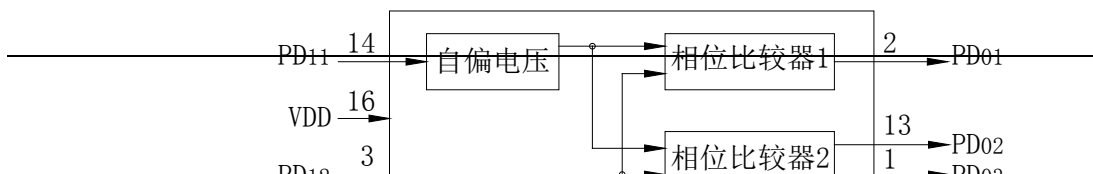
第 12 引脚 (R₂): 外接电阻至地, 分别控制 VCO 的最高和最低振荡频率。

第 13 引脚 (PD₀₂): 相位比较器输出的三态相位差信号, 它采用 PD₁₁, PD₁₂ 上升沿控制逻辑。

第 14 引脚 (PD₁₁): 相位比较器输入信号, PD₁₁ 输入允许将 0.1V 左右的小信号或方波信号在内部放大并再经过整形电路后, 输出至相位比较器。

第 15 引脚 (V_I): 内部独立的稳压二极管负极, 其稳压值 $V \approx 5 \sim 8V$, 若与 TTL 电路匹配时, 可以用来作为辅助电源用。

第 16 引脚 (V_{DD}): 正电源, 通常选+5V, 或+10V, +15V。



判明上恆率人成明定於中略

4046 锁相环组成的频率调制器与频率合成器实验中略如

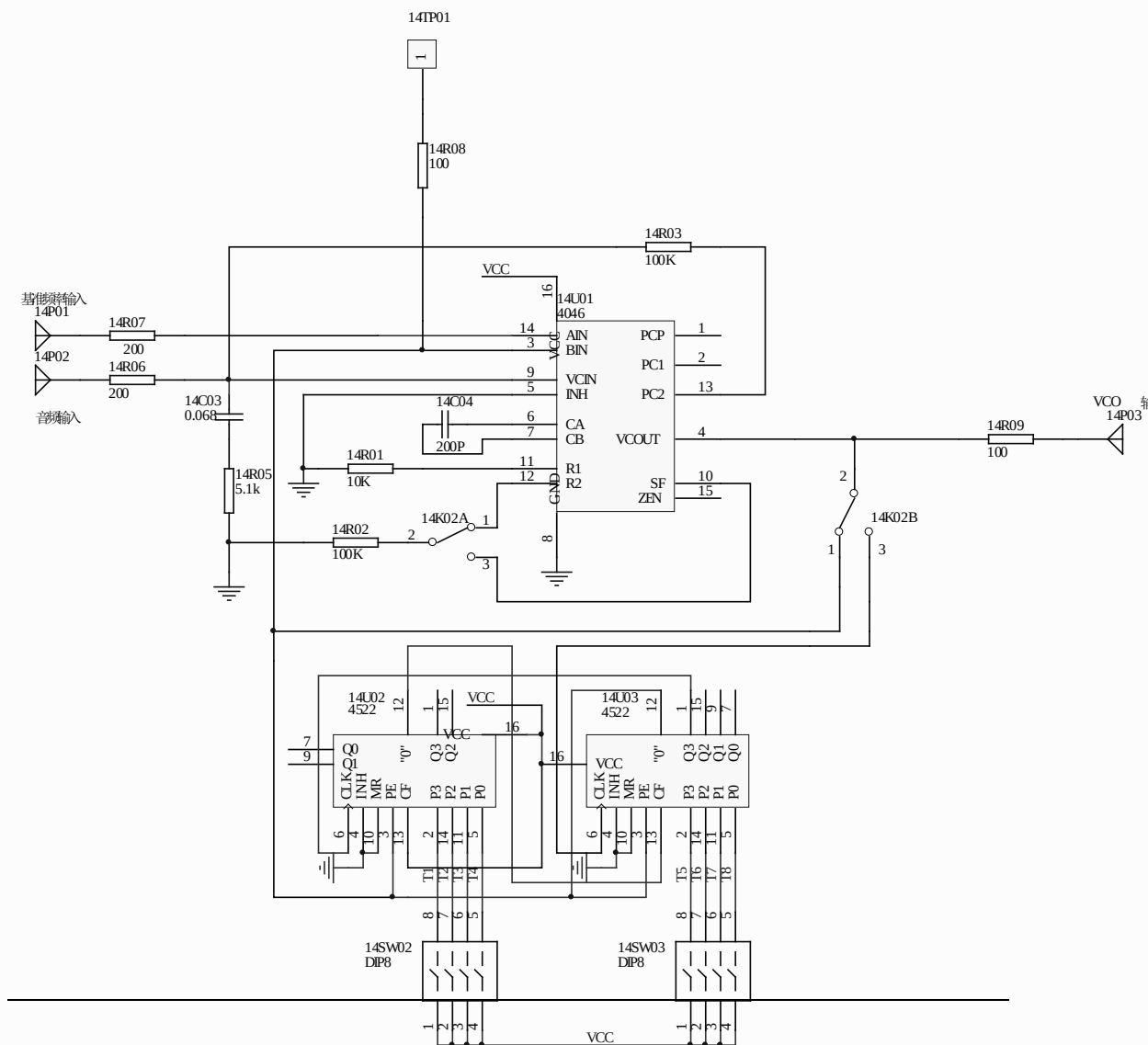


图 4-5 4046 锁相环频率调制器与频率合成器实验电路

(1) 频率调制器

图中 14K02 打向“1”时，4046 锁相环构成频率调制器。图中 14P01 为外加输入信号连接点，是在测试 4046 锁相环同步带、捕捉带时用的，14R03、14C03 和 14R05 构成环路滤波器。14P02 为音频调制信号输入口，调制信号由 14P02 输入，通过 4046 的第 9 脚控制其 VCO 的振荡频率。由于此时的控制电压为音频信号，因此 VCO 的振荡频率也会按照音频的规律变化，即达到了调频。调频信号由 14P03 输出。由于振荡器输出的是方波，因此本实验输出的是调频非正弦波。

(2) 频率合成器

图中 14K02 打向“3”时，电路变为频率合成器。频率合成器是在锁相环的基础上增加了一个可变分频器。图中，由 14U02 (MC14522)、14U03 (MS14522) 构成二级可预置分频器，14U02、14U03 分别对应着总分频比 N 的十位、个位分频器。模块上的两个 4 位红色拨动开关 14SW02、14SW03 分别控制十位数、个位数的分频比，它们以 8421BCD 码形式输入。拨动开关往上拨为“1”，往下拨为“0”。使用时按所需分频比 N 预置好 14SW02、14SW03 的输入数据，例如 $N=7$ 时，14SW02 置“0000”，14W03 置“0111”； $N=17$ 时，14SW02 置“0001”，14SW03 置“0111”。但是应当注意，当 14SW03 置“1111”时，个位分频比 $N_1=15$ ，如果 14SW02 置“0001”时，此时的总分频比为 $N=25$ 。因此为了计算方便，建议个位分频比的预置不要超过 9。

当程序分频器的分频比 N 置成 1，也就是把 14SW02 置“0000”，14SW03 置成“0001”状态。这时，该电路就是一个基本锁相环电路。当二级程序分频器的 N 值可由外部输入进行编程控制时，该电路就是一个锁相式数字频率合成器电路。

14P01 为外加基准频率输入铆孔，14TP01 为相位比较器输入信号测试点，也是分频器输出信号测试点。14P03 为 VCO 压控振荡器的输出信号铆孔。

4-3 锁相环路与频率合成器实验目的、内容和步骤

一. 实验目的

1. 熟悉4046单片集成电路的组成和应用，加深锁相环基本工作原理的理解；
2. 掌握用4046集成电路实现频率调制的原理和方法；
3. 了解频率合成的概念及实现方法；
4. 掌握锁相环同步带和捕捉带的测量方法。

二. 实验内容

1. 不接调制信号时，观测调频器输出波形，并测量其频率；
2. 测量锁相环的同步带和捕捉带；
3. 输入调制信号为正弦波时的调频方波的观测；
4. 输入调制信号为方波时的调频方波的观测；
5. 频率合成器和锁相环的测量

三. 实验步骤

1. 实验准备

插装好锁相、频率合成、调频模块，接通电源，即可开始实验。

2. 观察调频波形（14K02、14K03 置“频率调制”，14SW02、14SW03 开关全部往下拨）

（1）将实验箱上低频信号源输出的正弦波（频率 $F=4\text{KHZ}$ ， $U_{p-p} = 4\text{V}$ ）作为调制信号加入到本实验模块的输入端 14P02，用示波器观察输出的调频方波信号（14P03）。在观察调频方波时，可调整音频调制信号的幅度，电压幅值由零慢慢增加时，调频输出波形由清晰慢慢变模糊，或出现波形疏密不一致，才表明是调频。

（2）将低频信号源输出的方波（频率 $f=1\text{KHZ}$ ）作为调制信号，用示波器再作观察和记录。

3. 同步带和捕捉带的测量（14K02 置“频率调制”、14K03 置“频率合成”，14SW02 设置为“0000”、14SW03 设置为“0000”，往上拨为 1，往下拨为 0）

做此项实验时需要几百千赫兹的函数发生器，以产生所需的外加基准频率（方波）。方法如下：双踪示波器 CH1 接 14P03，CH2 接 14P01，外加基准信号接 14P01。

首先调整外加基准频率 f_i ，（ $f_i=100\text{KHZ}$ 左右），使环路处于锁定状态，即 14P03 与 14P01 的波形完全一致。然后慢慢减小基准频率，用双踪示波器仔细观察相位比较器输入（14P01）和输出（14P03）信号之间的关系，当两信号波形不一致时，表示环路已失锁，此时基准频率 f_i 就是环路同步带的下限频率 f_1' ；慢慢增加基准频率 f_i ，当发现两输入信号由不同步变为同步，且 $f_i = f_o$ ，表示环路已进入到锁定状态。此时 f_i 就是捕捉带的下限频率 f_1 ，继续增加 f_i ，此时压控振荡器 f_o 将随 f_i 而变。但当 f_i 增加到 f_2' 时， f_o 不再随 f_i 而变，这个 f_2' 就是环路同步带的上限频率。然后再逐步降低 f_i ，直至环路锁定，此时 f_i 就是捕捉带的最高频率 f_2 ，从而可求出：捕捉带 $\Delta f = f_2 - f_1$ ；同步带 $\Delta f' = f_2' - f_1'$ 。

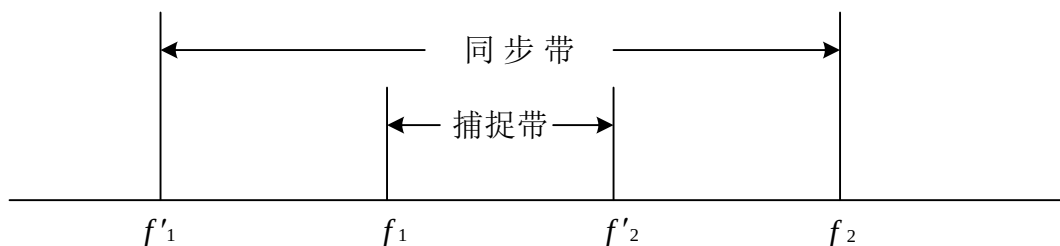


图 4-6 同步带与捕捉带

4. 频率合成器测量（14K02、14K03 置“频率合成”）

(1) 外加基准信号的设置

将底板低频信号源设置为方波（由 P102 输出），频率 $F=2\text{KHZ}$ ，将该信号作为外加基准信号（或参考信号）。

(2) 信号线连接

将底板 P102（低频信号输出）与 14P01（基准频率输入）相连。

(3) 锁相环锁定测试

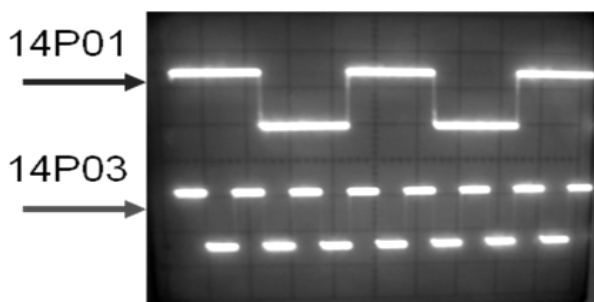
将 14SW02 设置为“0000”，14SW03 设置为“0001”（往上拨为“1”，往下拨为“0”），则程序分频器分频比 $N=1$ 。双踪示波器探头分别接 14P01、14TP01，若两波形一致，则表示锁相环锁定。

(4) 数字频率合成器及频率调节

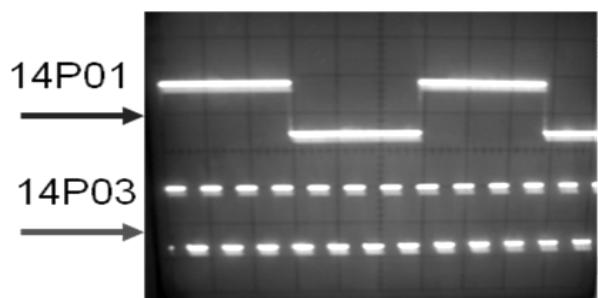
双踪示波器探头，分别接至 14P01（基准频率输入）、14P03（VCO 输出），改变程序

分频器的分频比，使 N 分别等于 2、3、5、10、20 等情况下，若 14P01、14P03 两波形同步，则表示锁相环锁定。并从示波器显示的波形，或用频率计测量 14P03 处的信号频率，它应等于输入信号频率的 N 倍。（锁相环锁定时， $f_R = f_N$ ，即 14P01 和 14TP01 两点的频率应相同，但两波形的占空比不一定相同。只有 $N=1$ 时占空比相同）。

分频比为 3 和 7 时的波形如下图：



分频比为 3 的波形



分频比为 7 的波形

(5) 测量并观察最小分频比与最大分频比

锁相环有一个捕捉带宽，当超过这个带宽时，锁相环就会失锁。本模块最小锁定频率约 800HZ，最大输出频率 f_{vmax} 约等于 350KHZ。因此，外加基准频率应大于 800HZ。且当 Nf_R 大于 350KHZ 时，锁相环将失锁。在测定最大分频比时，与输入的参考频率 f_R 有关。

测出 $f_R=2\text{KHZ}$ 和 $f_R=4\text{KHZ}$ 的最大分频比。其方法是：改变程序分频器的分频比，使它不断增大，若 14P01、14P03 两波形仍然同步，则表示锁相环锁定，当两波形不同步，即失锁时，此时的分频比为最大分频比 N 。（最小分频比 $N=1$ ）。

四．实验报告要求

1. 测量并计算锁相环同步带和捕捉带；
2. 大致画出正弦波和方波调制时的调频波，并说明调频的概念；
3. 测量当外加基准信号频率为 2KHZ 时，频率合成器输出的最高频率是多少？

实验 5 自动增益控制（AGC）

5-1 自动增益控制基本原理

接收机接收不同电台信号时，各电台信号强度相差很大，如果接收机增益不能控制，会造成接收机输出声音大小不一，另外，当接收强信号过强时容易引起晶体管过载，即产生大信号阻塞，甚至损坏晶体管或终端设备，因此，接收机需要有自动增益控制电路（AGC）。

为实现 AGC，需要提取一个随输出信号强度变化的电压，用这一电压去改变被控制级增益。这个电压可以从二极管检波器中获得，再经过一个 RC 低通滤波器，就可获得直流成分。AGC 的原理如图 5-1 所示，这种反馈式调整系统也称闭环调整系统。

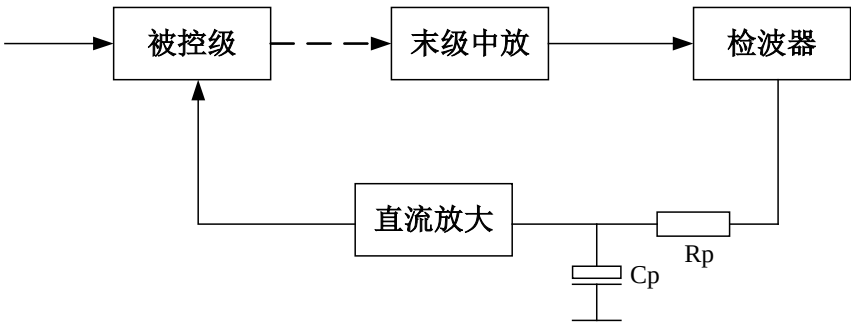


图 5-1 自动增益控制原理方框图

自动增益控制方式有很多种，一般常用以下三种：（1）改变被控级晶体管工作状态；（2）改变晶体管负载参数；（3）改变级间回路衰减量。

本实验采用第一种方式，其滤波和直流放大电路如图 5-2 所示：

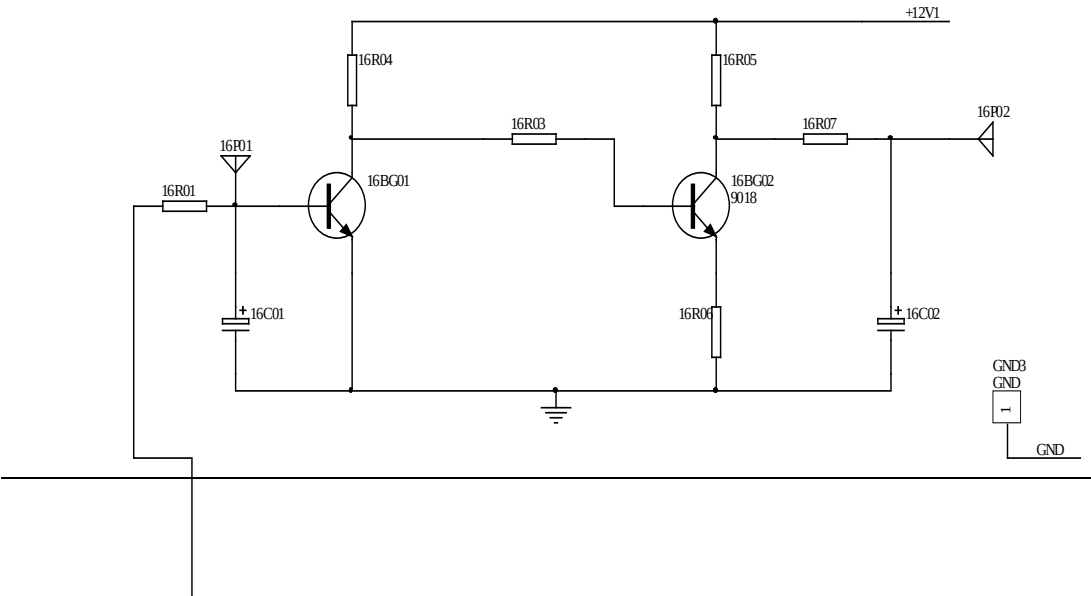


图 5-2 自动增益控制 AGC 电路

图中 16R01、16C01 和 16R07、16C02 为 RC 滤波电路。16BG01、16BG02 为直流放大器。当采用 AGC 时，16P02 应与中频放大器中的 7P03 相连，这样就构成了一个闭合系统。

下面我们分析一下自动增益控制的过程：当信号增大时，中放输出幅度增大，使得检波器直流分量增大，自动增益控制（AGC）电路输出端 16P02 的直流电压增大。该控制电压加到中放第一级的发射极 7P01，使得该级增益减小，这样就使输出基本保持平稳。

5-2 自动增益控制实验内容和步骤

一. 实验内容

1. 不接 AGC，改变中放输入信号幅度，用示波器观察中放输出波形；
2. 接通 AGC，改变中放输入信号幅度，用示波器观察中放输出波形；
3. 改变中放输入信号幅度，用三用表测量 AGC 电压变化情况。

二. 实验步骤

1. 实验准备

在实验箱主板上插上中频放大器模块、二极管检波与自动增益控制（AGC）模块，接通实验箱和各模块电源即可开始实验。

2. 控制电压的测试

高频信号源设置频率为 2.5MHZ，其输出与中频放大器的输入（7P01）相连，中放输出与二极管检波器输入相连。

用三用表直流电压档或示波器直流位测试 AGC 的控制电压输出（16P02），改变高频信号源的输出幅度，观察 AGC 控制电压的变化。可以看出当高频信号源幅度增大时，AGC 控制电压也增大。

3. 不接 AGC 时，输出信号的测试

上述步骤 2 的状态因为 AGC 输出没有与中放相连，即没有构成闭环，所以 AGC 没有起控制作用。在上述状态中，用示波器测试中放输出（7TP02）或检波器输入（10TP01）波

形，可以看出，当增大高频信号源输出幅度时，中放输出随之增大。

4. 接通 AGC 时，输出信号的测试

在步骤 2 的状态下，再将 AGC 模块输出 16P02 与中放 7P03 相连，这样就构成了闭环，即 AGC 开始起作用。用示波器测试中放输出（7TP02）或检波器输入（10TP01）波形。可以看出，当增大高频信号源输出幅度时（小于 100mv），中放输出也随着增大，当高频信号源幅度继续增大时，中放输出幅度增加不明显。这说明 AGC 起到了控制作用。

三. 实验报告要求

1. 在实验中测出中放输入信号多大幅度时，AGC 开始起控？
2. AGC 电路中的 RC 滤波的作用是什么？
3. 归纳总结 AGC 的控制过程。

第二部分 综合设计型实验

实验 6 调幅发射与接收完整系统的联调

6-1 无线电通信概述

一. 无线电通信系统的组成

无线电通信的主要特点是利用电磁波的空间的传播来传递信息，因此，一个无线电通信系统是由无线电发射设备、无线电接收设备和发射天线、接收天线和传播的空间组成的，图 6-1 是传送语言消息的无线电系统组成图。

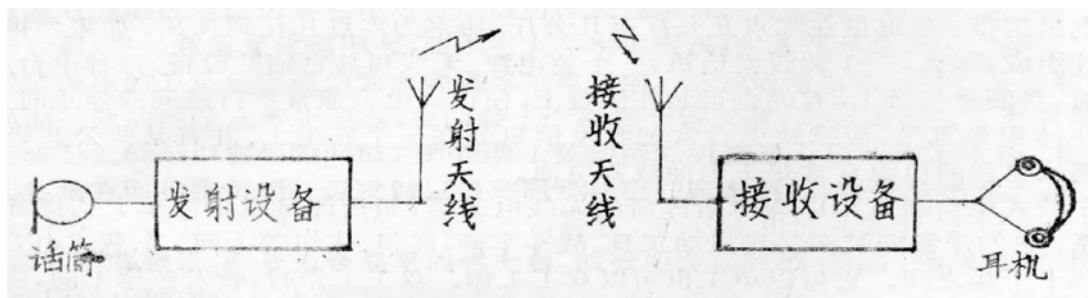


图 6-1

发射设备是一种能将电信号变换为适合于空间传播特性信号的装置。它首先要产生频率较高并且具有一定功率的振荡信号。因为只有频率较高便于被天线有效地辐射，而一定的功率才能保证传播距离。话筒是把消息转变成电信号的转换设备，由于这种电信号的频率都比较低，不适于直接从天线上辐射。因此，为了传递消息，要对这个信号进行调制。将消息“记载”在载波上而传送出去的。

接收设备的功能和发射设备相反，它是将经信道传播后接收到的信号恢复成与发送设

备输入信号相一致的一种装置。接收设备将接收天线信号中选择出需要的信号，抑制不需要的信号。经过信号放大、解调还原为原来的调制信号，再通过扬声器（喇叭）或耳机还原成原来的声音信号（语言或音乐）。

二. 发信机的组成

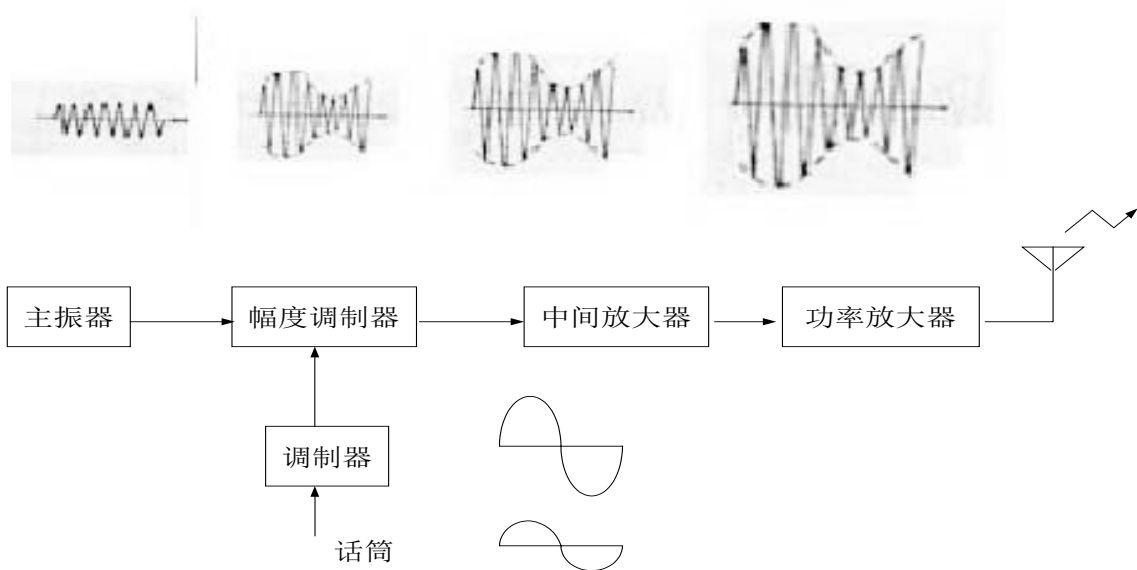


图 6-2

图 6-2 画出了调幅发信机原理方框图，在这个图中，发信机由主振器、幅度调制器、中间放大器、功率放大器和调制器组成，电源部分在图上没有画出来。

主振器是用来产生最初的高频振荡，通常振荡功率是很小的，由于整个发信机的频率稳定度由它决定，因此要求它具有准确而稳定的频率。幅度调制器是用来产生调幅波，即将调制信号调制到高频振荡频率上。中间放大器的作用是将幅度调制器输出的功率，放大到功率放大器输入端所要求的大小，功率放大器是发信机最后一级，它的主要作用是在激励信号的频率上，产生足够大的功率送到天线上，同时滤除不需要的频率（高次谐波），以免造成对其它电台的干扰。调制器实际上就是低频放大器，它的作用是将话音或低频信号放大，供给幅度调制器进行调制所需的电压和功率。

图上各处的信号波形反映了上述各部分的工作过程。

三. 接收机的组成

无线电信号的接收过程与发射过程相反，为了提高灵敏度和选择性，无线电接收设备目前都采用超外差式，其组成方框图 6-3 所示。



图 6-3

超外差接收机各级的作用和工作物理过程是这样的：

由耦合谐振回路构成的“输入电路”，依靠它的选择性能把住收信机的“大门”，当许多各式各样的电磁波“敲”着收信机的大门时，收信机只选出它所需要的那一种电磁波，让它进来，而其它电磁波都拒之于门外，所以输入电路主要完成选择信号和传输信号。

被输入电路选出的有用信号，馈送到高频放大器的输入端。高频放大器是由器件和谐振回路组成的，器件（如晶体管或电子管）具有放大信号的能力，而回路具有进一步选择信号的能力，所以高频放大器同时担负着选择和放大信号的双重任务。

经过高频放大器放大的信号，馈送给混频器，同时由一个专门设置的本机振荡器也将高频能量馈送给混频器。按照需要，我们使信号频率始终和本机振荡器的频率相差一个固定的差值——中频，则经过混频器的非线性作用后就可产生一个新频率——中频。本来，高频放大器是波段工作的，例如 1.5-30MHz，经过混频器的频率变换之后就变成频率固定不变而且较低的中频频率了，例如 465KHz。频率低而且固定，则不仅谐振回路的选择性能好了，同时放大能力也大大提高了，所以超外差收信机的性能很好。

中频放大器也叫频带放大器，它是由器件和耦合谐振电路共同组成的。对接收机的主要性能它起着很重要的作用。到此为止，收信机基本完成了对信号的选择作用。

但是所收信号还是一些已调制的中频振荡信号，必须把“载”在中频振荡上面的反映原调制的音频成分取出来，并滤除中频载波成分，这个任务是由检波器来完成的。

最后，将检波器输出的音频信号进行放大，直到达到足够的输出功率以推动耳机或扬声器发出声音为止。这就是超外差接收机的工作物理过程。图上各点的信号波形也反映了

各部分的工作过程。

6-2 调幅发送部分联试实验

一. 实验目的

1. 掌握模拟通信系统中调幅发射机组成原理，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. 调幅发射机连接图

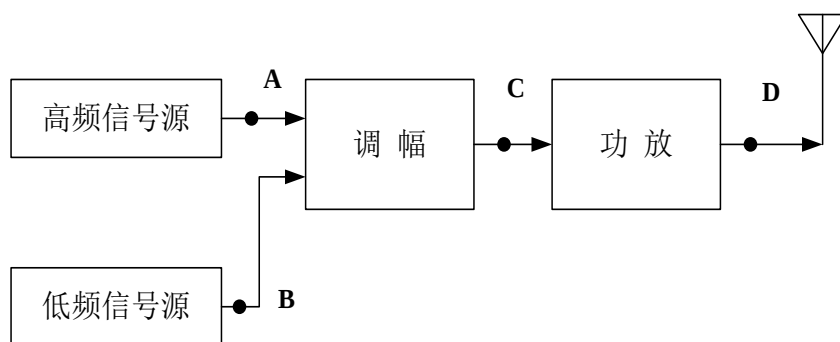


图 6-4 调幅发射机连接图

图中高频信号源相当于图 6-2 中的主振器，低频信号源相当于调制器，图 6-2 中的中间放大器，相当于功率模块中的第一级放大器，高频信号源的频率按功放模块上标注的频率设置，作为发射机的载波。低频信号源可设置为 1KHZ，或音乐信号。经调幅后送入功放，经功放放大后通过天线发射出去。

三. 实验步骤

1. 按图 6-4 连接图插好所需模块，用铆孔线将各模块输入输出连接好，接通各模块电源；
2. 将高频信号源频率设置为 6.3MHZ，低频信号源频率设置为 1KHz；
3. 用示波器测试各模块输入输出波形，并调整各模块可调元件使输出达最佳状态；
4. 改变高频信号源输出幅度和低频信号源输出幅度，观看各测量波形的变化。

6-3 调幅接收部分联试实验

一. 实验目的

1. 掌握模拟通信系统中调幅接收机组成原理，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. 调幅接收机连接图

图6-5是调幅接收机各模块连接图。

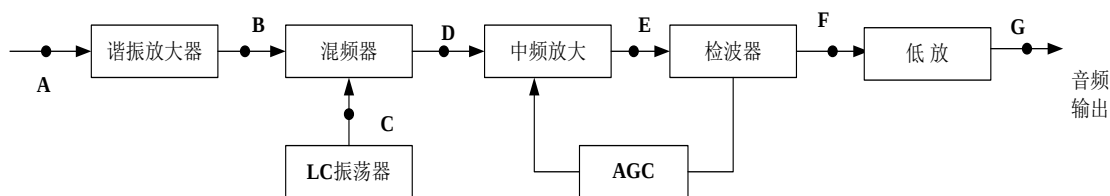


图 6-5 调幅接收连线图

图中谐振放大器采用双调谐放大器模块，混频器采用集成乘法器混频器混频，LC 振荡器可以用高频信号源，也可以用 LC 振荡器模块，图中的检波器、低放和 AGC 在同一模块上，即二极管检波与自动增益控制模块。

在做该实验时，我们先不用发射机发出的信号，而直接用集成乘法器幅度调制电路产生的调幅波送到谐振放大器输入端，幅度调制模块上的载波设置为双调谐放大器模块上标注的频率（例如 6MHz），音频信号设置为 1KHz 的正弦波。输出的调幅波幅度为 100mV 左右。调幅波经谐振放大器放大后送入混频，高频信号源输出频率设置为比双调谐模块上标注的频率高 2.5MHz（例如 8MHz），经混频输出 2.5MHz 的调幅波送入中放，中频放大后经检波得到与高频信号源中调制信号相一致的低频信号，该低频信号送入底板上低频功放(P104)即可在扬声器中听到声音。

三. 实验步骤

1. 按图6-5连接，插好所需模块（调谐回路谐振放大器模块必须插在底板D的位置），用铆孔线将各模块输入输出连接好，接通各模块电源。
2. 将幅度调制电路的载频设置为6.3MHz，音频设置为1KHz正弦波，调幅波的幅度调整为100mV左右。
3. LC振荡器的频率设置为8.8MHz。
4. 用示波器测试各模块输入输出波形，并调整各模块可调元件，使输出达最佳状态。

6-4 调幅发射与接收完整系统的联调

一. 实验目的

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

二. 收发系统各模块连接图

1. 方案一：

图 6-6 为方案一收发系统连接图

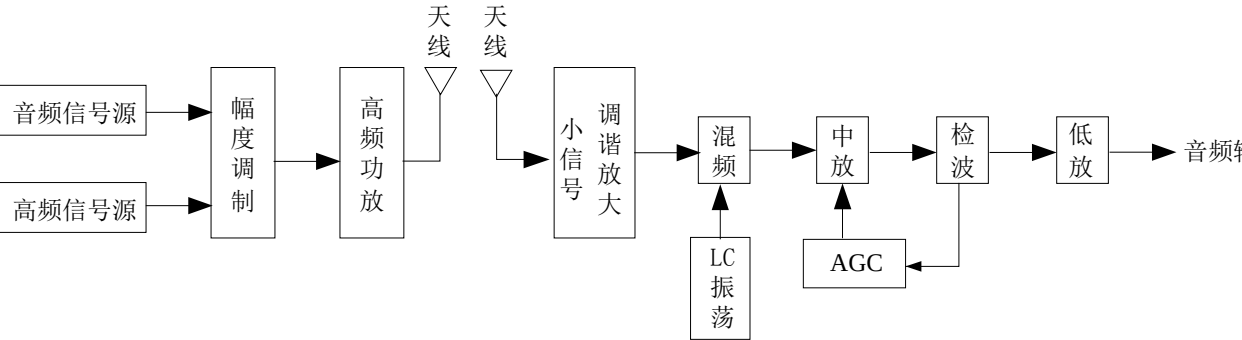


图6-6

该方案为无线收发系统，收、发各为一个实验箱，相距2米左右。该实验在上述发射机和接收机调好的基础上进行，其连接与调整和上述基本相同。所不同的是，接收机接收的信号为发射机发出的信号。

在发射方：高频信号源作为载波，其频率设置为6.3MHZ。音频信号源可以是语言，可以是音乐，也可以是固定的单音频。高频信号与音频信号经幅度调制后变为调幅波，然后送往高频功放（注意高频功放模块11K05跳线器要插上），经高频功放放大后，通过天线发射出去。

在接收方：天线上接收到的发方发出的信号，然后送往小信号调谐放大器（调谐回路谐振放大器模块），小信号调谐放大器的频率应与发方频率一致，接收到的信号经放大后送往混频，混频器采用晶体三极管混频或集成乘法器混频模块，送往混频器的本振信号可以用LC振荡器，也可以采用晶体振荡器，其频率设置为8.8MHZ。经混频后输出约2.5MHZ的调幅波。中放即为中频放大器模块，其谐振频率为2.5MHZ。图中检波、低放、AGC为同一模块，即二极管检波与AGC模块。AGC可接可不接，需要用连接线与中放（7P03）相连。经检波后输出与发端音频信号源相一致的波形，低放输出的信号送往底板低频信号源部分

功放输入端（P104），通过该部分的扬声器发出声音。其声音大小可通过“功放调节”电位W103来调节。

2. 方案二：

图6-7为方案二收发系统连接图

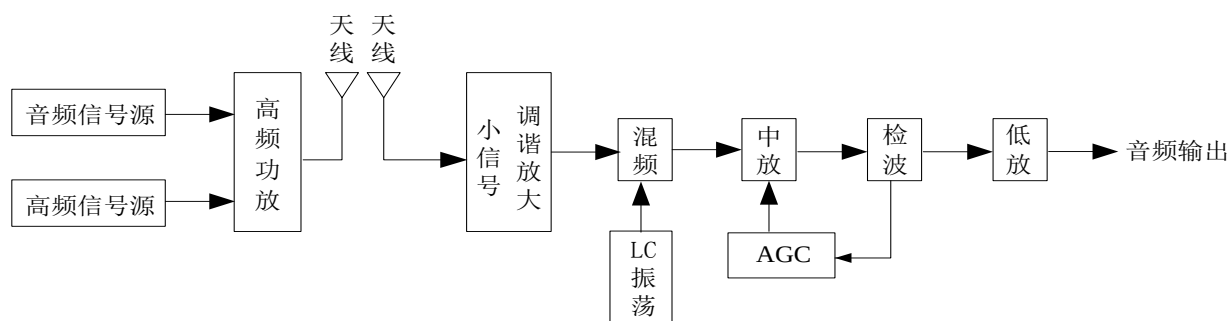


图 6-7

该方案同样为无线收发系统但可在一个实验箱上进行，与方案一基本相同，不同的是发射部分，高频信号源与音频信号源送入高频功放后，在高频功放直接进行调幅，放大后通过天线发射出去。高频信号源的频率同样为 6.3MHz，音频信号源首先选择单音频正弦波（例如 1KHz），待功放调整后再选择音乐信号或语音信号。在调试时，需要改变高频信号源和音频信号源幅度，使高频功放获得较大的发射功率（注意高频功放模块上 11K05 跳线器要拔掉，使功放工作于丙类状态）和较好的输出波形（不失真）。接收部分与方案一完全相同，不再赘述。

三. 实验步骤

1. 按以上方案联接图插好所需模块，用铆孔线将各模块输入输出连接好，接通各模块电源；
2. 将发方高频信号频率设置为 6.3MHz，低频信号源设置为 1KHz 正弦波；
3. 用示波器测试各模块输入输出波形，并调整各模块可调元件，微调高频信号源的频率及幅度，使输出达最佳状态。

四. 实验报告要求

1. 画出图 6-4 连接图中 A、B、C、D 各点波形；
2. 画出图 6-5 连接图中 A、B、C、D、E、F、G 各点波形；
3. 画出无线收发系统方案中各方框输入输出波形，并标明其频率。

4. 记录实验数据，并作出分析和写出实验心得体会。

实验 7 调频发射与接收完整系统的联调

一. 实验目的

1. 在模块实验的基础上掌握调频发射、调频接收的组成原理，建立调频通信系统的概念；
2. 掌握收发系统的联调方法，培养解决实际问题的能力。

二. 实验内容

完成调频发射、调频接收机的整机联调。

三. 实验电路原理

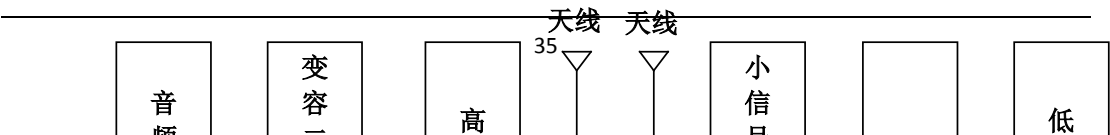


图 7-1 各模块连接图

图 7-1 为简易的调频无线收发系统。该收发系统可在一个实验箱上进行；也可在两个实验箱上进行，在两个实验箱上进行时，一方为发射，一方为接收，但距离在 2 米以内。

图中的音频信号源可由实验箱底板上的低频信号源提供，音频信号可以是语音，可以是音乐信号，也可以是函数发生器产生的低频信号。音频信号源输出的信号对变容二极管调频器进行调频。变容二极管调频器的载频调至 6.3MHz 左右（调整 12W01）。图中的高频功放即为高频功率放大与发射实验模块，其谐振频率约为 6.3MHz。变容二极管调频器输出的调频信号送入高频功放，经放大后通过天线发射出去。接收端的小信号调谐放大器采用调谐回路谐振放大器模块，其谐振频率为 6.3MHz 左右。收到的信号经调谐放大器放大后，直接送往鉴频器进行鉴频，鉴频器采用斜率鉴频与相位鉴频模块，经鉴频后得到与发端相一致的音频信号，然后送到低频放大部分进行放大，最后通过扬声器发出声音。该低频放大可采用实验箱底板低频信号源部分的功率放大器。

四. 实验步骤

1. 按图 7-1 插好所需模块，用铆孔线将各模块输入输出连接好，接通各模块电源；
2. 将变容二极管调频器的载频调到为 6.3MHz 左右，低频信号源设置为 1KHz 正弦波（也可设置为音乐信号）。
3. 将高频功率放大与发射实验模块中的开关 11K01、11K03 拨向左侧，11K02 往上拨，并将天线拉好。
4. 将调谐回路谐振放大器的天线拉好，将斜率鉴频与相位鉴频模块中的开关 13K03 拨向相位鉴频或斜率鉴频。
5. 此时扬声器中应能听到音频信号的声音，如果听不到声音或者失真，可微调变容二极管调频器的频率，以及调整调谐回路谐振放大器和鉴频器的电位器。
6. 用示波器测试各模块输入输出波形，并调整各模块可调元件，使输出达最佳状态。

五. 实验报告要求

1. 画出图 7-1 各方框输入输出波形，并标明其频率。
2. 记录实验数据，并作出分析和写出实验心得体会。

实验 8 脉冲计数式鉴频器

8-1 脉冲计数式鉴频器基本原理

脉冲计数式鉴频器是利用计过零点脉冲数目的方法实现的，所以叫做脉冲计数式鉴频器。它的突出优点是线性好，频带很宽。因此得到广泛应用，并可做成集成电路。

它的基本原理是将调频波变换为重复频率等于调频波频率的等幅等宽脉冲序列，再经低通滤波器取出直流平均分量，其原理方框图和波形图分别如图8-1和图8-2所示。

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

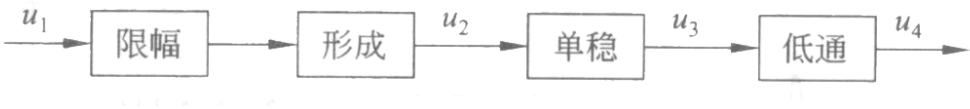


图8-1 脉冲计数式鉴频器方框图

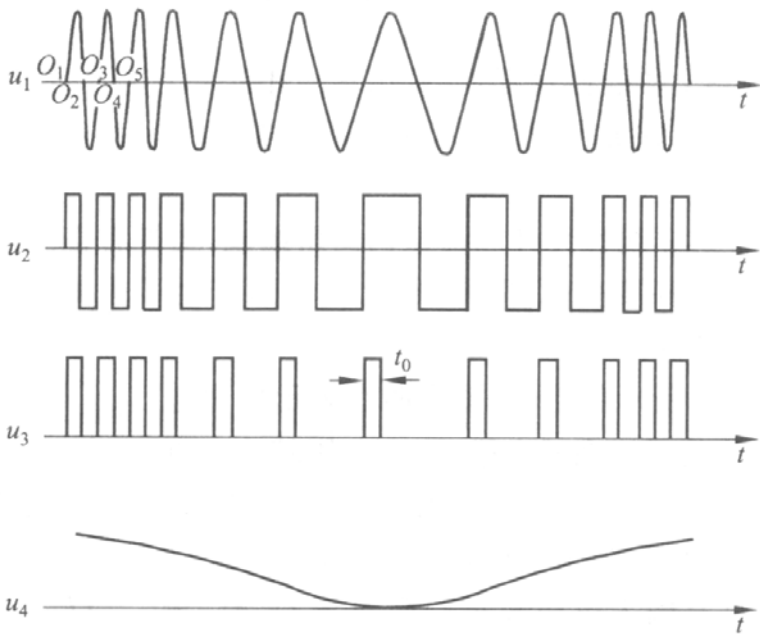


图8-2 脉冲计数式鉴频器波形图

我们知道频率就是每秒内振动的次数，而单位时间内通过零点的数目正好反映了频率的高低。图14-2中曲线 $O_1, O_2, O_3, O_4, \dots$ 都是过零点，其中 $O_1, O_3, \dots$ 点是调频信号从负到正，所以叫正过零点；而 $O_2, O_4, \dots$ 点是从正到负，所以叫负过零点。图14-2是以正过零点进行解调的（也可用负过零点进行解调）。从图中 u_1 和 u_3 的波形可看出，在单位时间内，矩形脉冲的个数直接反映了调频信号的频率，即矩形脉冲的重复频率与调频信号的瞬时频率相同。因此若对矩形脉冲计数，则单位时间内脉冲数的多少，就反映了脉冲平均幅度的大小，在频率较高的地方，脉冲序列拥挤，直流分量较大；在频率较低的位置，脉冲序列稀疏，直流分量就很小。如果低通滤波器取出脉冲序列的平均直流成分，就能恢复低频调制信号 u_4 。

8-2 脉冲计数式鉴频器实验电路

由于4046锁相环组成的频率调制器其输出为调频方波，即7-1中的“限幅”与“形成”已在调频电路中完成，因此本实验构成脉冲计数式鉴频器只需“单稳”和“低通”。图8-3为555芯片构成的单稳电路，图中15P01为调频信号输入口，15P02为单稳输出。图8-4为低通滤波器，15P03为信号输入口，15P04为滤波输出。

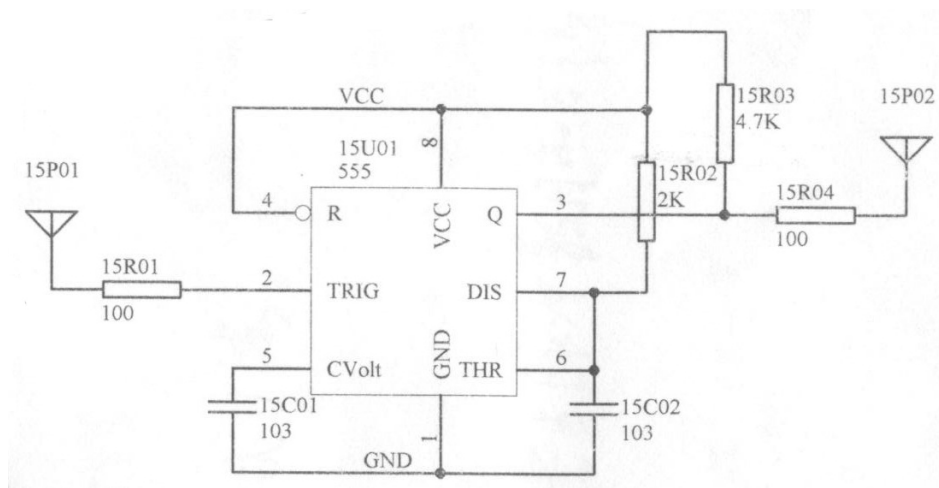


图8-3 555芯片构成的单稳电路图

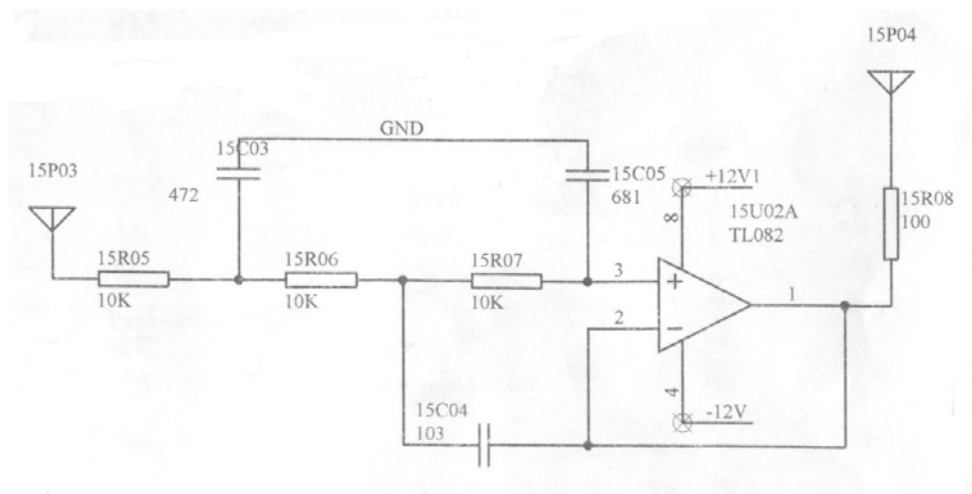


图8-4 低通滤波器电路图

8-3 脉冲计数式鉴频器实验目的和步骤

一、实验目的

1. 加深脉冲计数式鉴频器工作原理的理解；
2. 了解 555 集成电路实现单稳的原理；
3. 掌握脉冲计数式鉴频器的测试方法。

二、实验步骤

1. 实验准备

在实验箱主板上装上“锁相、频率合成调频模块”和“滤波与计数鉴频模块，接通电源，即可开始实验。

2. 信号线连接

音频调制信号（2KHZ 正弦波）与调频输入（14P02）相连，调频输出（14P03）与单稳输入（15P01）相连，单稳输出（15P02）与低通滤波器输入（15P03）相连。

3. 调频信号的产生

按照实验 10 实验步骤中的 2 产生调频波。

4. 鉴频信号的观测

用示波器测量低通滤波器输出波形（即鉴频后的输出波形），该波形应与调制信号一致。但由于低通滤波器截止频率设置为 4KHZ，因此，低于 4KHZ 的调制信号，其鉴频后的输出波形将产生失真，因为调制信号的谐波也可能通过低通滤波器。

三. 实验报告

1. 观察并记录解调后的波形。
2. 画出调频器和鉴频器构成系统通信的电路示意图。
3. 总结由本实验所获得的体会。

实验 9 高频电路开发实验（选配）

一. 实验目的

在模块实验和系统实验的基础上，培养学生设计和开发单个电路的能力。通过动手搭试电路，弄清电路的特性和功能，掌握调试和排除故障的方法，培养学生解决实际问题的能力。

二. 实验仪器和器材

- 双踪示波器
- 万用表
- 电路开发板
- 铆孔连接线

三. 实验内容

（一）LC 振荡器开发实验

1. 由学生自己设计一个 8.8MHZ 的 LC 振荡电路。
2. 参照图 9-1 LC 振荡器电原理图，分析各元件的作用和电路特性。
3. 了解 LC 振荡器开发板上各元件的构成。
4. 用铆孔连接线对 LC 振荡器开发板上各元件进行电路连接。
5. 电路连好后，安装在高频实验箱主板上进行加电调试，用示波器测试各点波形，并调整半可变电容，使其频率为 8.8MHZ。如果没有波形输出，说明电路连接有误，需要查找原因。
6. 该电路调试好后，可放入系统实验中进行验证。

（二）三极管混频器开发实验

1. 由学生自己设计一个三极管混频器，其输入本振频率为 8.8MHZ，射频输入为 6.3MHZ，混频输出为 2.5MHZ。
2. 参照图 9-2 三极管混频器电原理图，分析各元件的作用和电路原理。

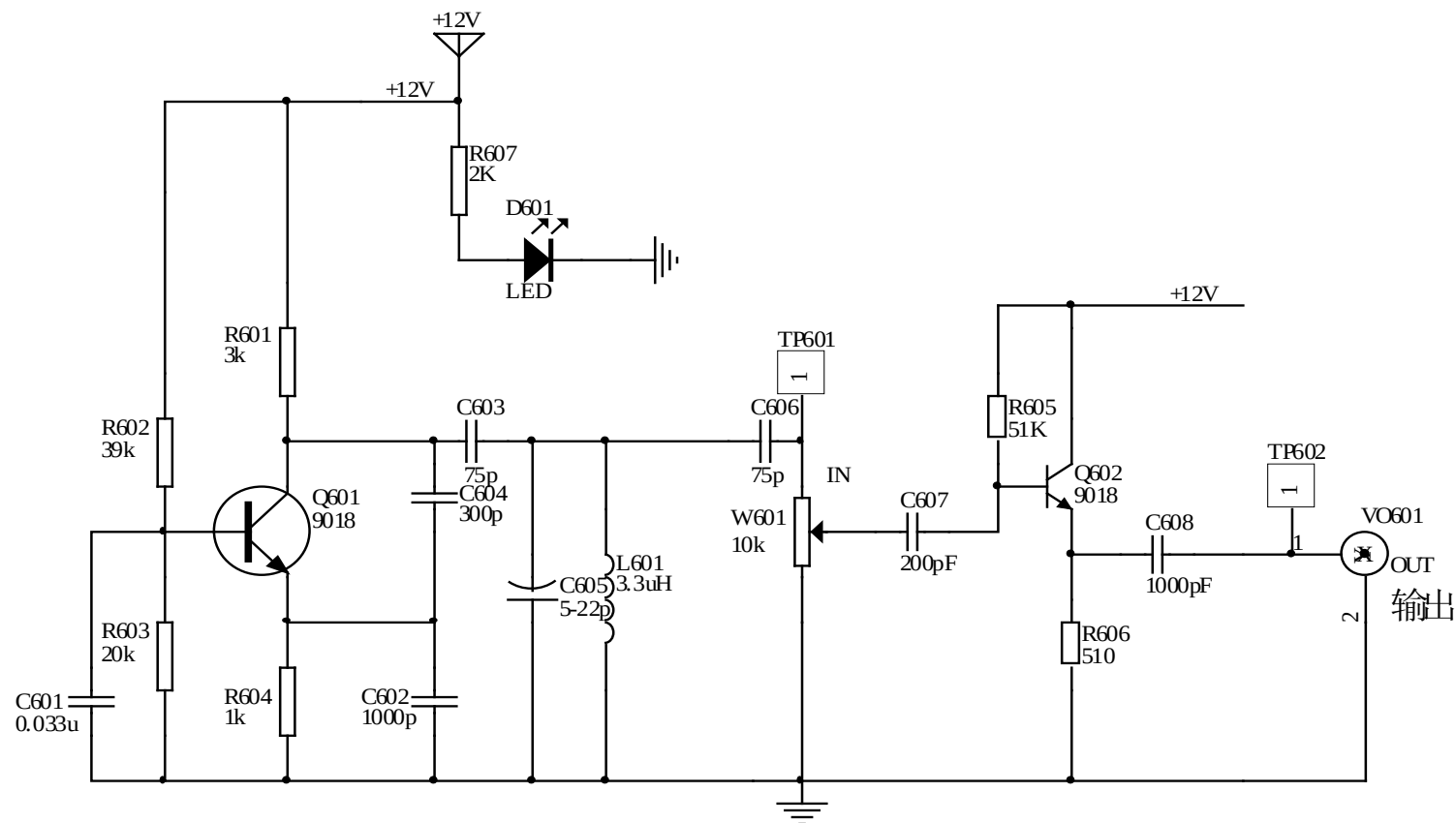


图 9-1 LC 振荡器原理图

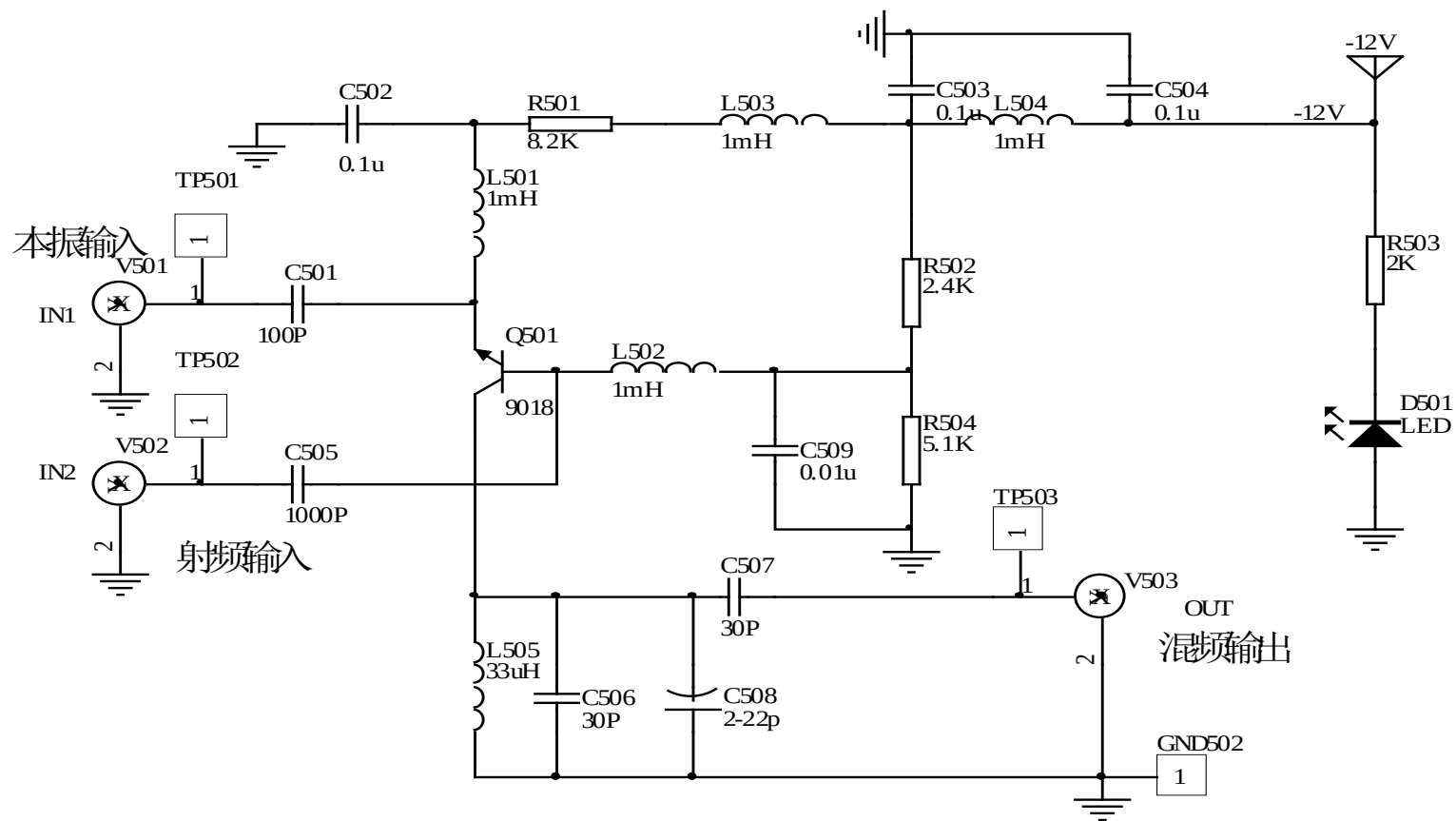


图 9-2 三极管混频器原理图

3. 了解三极管混频器开发板各元件的构成。
4. 用铆孔连接线对三极管混频器开发板上各元件进行电路连接。
5. 电路连好后，安装在高频实验箱主板上进行加电调试。调试前将 LC 振荡器模块输出的 8.8MHZ 的信号送入开发板上的 V501，高频信号源输出 6.3MHZ。送入开发板 V502。然后用示波器测试输出波形，调整半可变电容使输出幅度最大。用频率计测试 V501、V502、V503 各点频率，结果应符合 $f_1 - f_2 = f_3$ ，即 $8.8\text{MHZ} - 6.3\text{MHZ} = 2.5\text{MHZ}$ 。如果没有波形输出，或与上述公式不符，说明电路连接有误，需要查找原因。
6. 该电路调试好后，可放入系统实验中进行验证。

（三）中频放大器开发实验

1. 由学生自己设计一个频率为 2.5MHZ 的中频放大器。
2. 参照图 9-3 中频放大器原理图，分析各元件作用和电路原理。

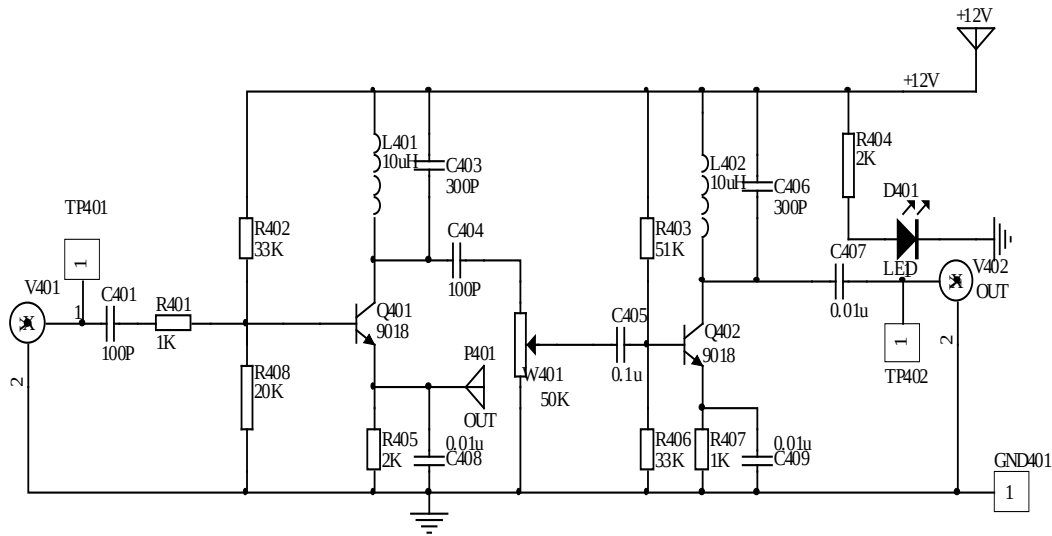


图 9-3 中频放大器原理图

3. 了解中频放大器开发板各元件的构成。
4. 用铆孔连接线对中频放大器开发板上各元件进行电路连接。
5. 电路连好后，安装在高频实验箱主板上进行加电调试，调试前，将高频信号源输出一个 2.5MHZ 的信号，送入本开发板的输入端 (V401)，然后用示波器测试各点波形，改变输入信号频率，应能观察到明显的谐振点，改变输入信号幅度，V402 输出波形幅度应发生变化。如果没有波形输出，说明电路连接有误，需要查找原因。
6. 该电路调试好后，可放入系统实验中进行验证。

（四）小信号调谐放大器开发实验

1. 由学生自己设计一个谐振频率为 6.3MHZ 左右的放大器。

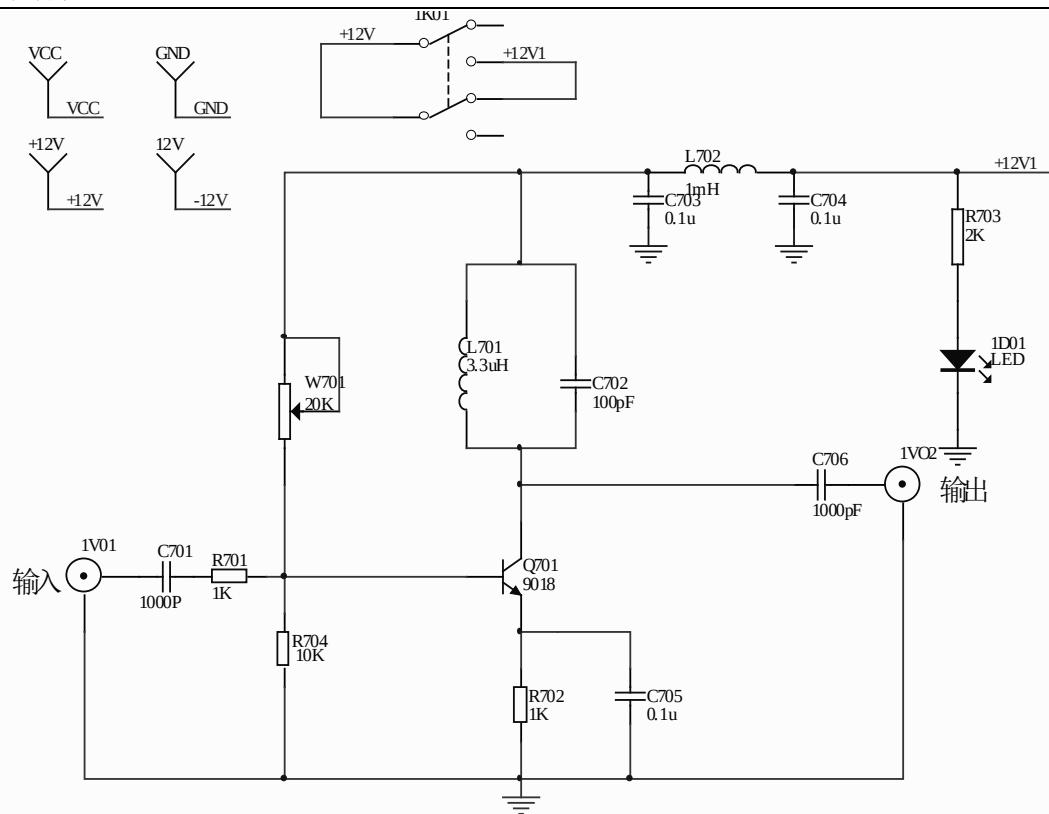


图 9-4 小信号调谐放大器原理图

2. 参照图 9-4 小信号调谐放大器原理图，分析各元件作用和电路原理。
3. 了解小信号调谐放大器开发板各元件的构成。
4. 用铆孔连线对小信号调谐放大器开发板上各元件进行电路连接。

5. 电路连好后，安装在高频实验箱主板上进行加电调试。调试前，将高频信号源输出一个 6.3MHZ 左右的信号，送入本开发板的输入端，然后用示波器测试各点波形，改变输入信号频率，应能观察到明显的谐振点。改变输入信号的幅度，输出波形幅度应发生变化。调整输入信号的幅度，输出波形幅度应发生变化。调整电位改变放大器工作点，输出波形幅度也应有变化。如果没有波形输出，说明电路连接有误，需要查找原因。

（五）晶体振荡器开发实验

1. 由学生自己设计一个频率为 6MHZ 的晶体振荡器。
2. 参照图 9-5 晶体振荡器原理图，分析各元件作用和电路原理。

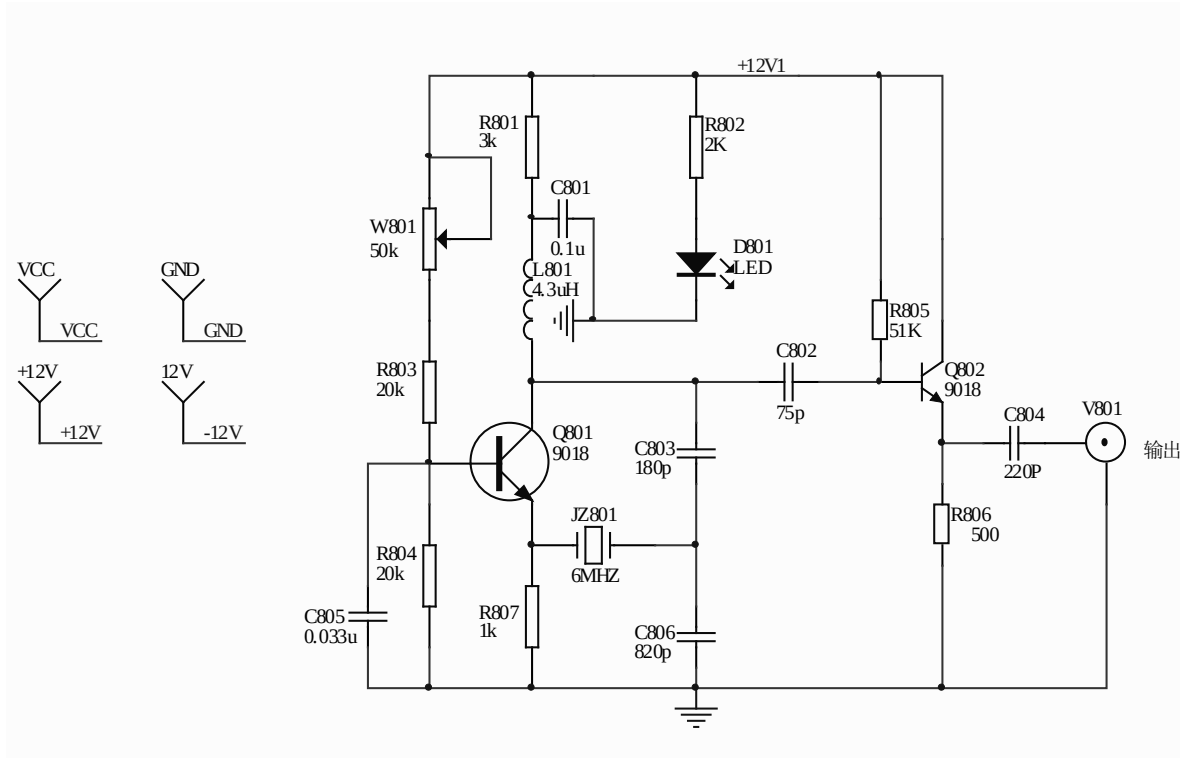


图 9-5 晶体振荡器原理图

3. 了解晶体振荡器开发板各元件的构成。
4. 用铆孔连接线对晶体振荡器开发板上各元件进行电路连接。
5. 电路连好后，安装在高频实验箱主板上进行加电调试。用示波器测试输出波形，并用频率计测试其振荡频率。如果没有波形输出，或频率不为 6MHZ，说明电路连接有误，需要查找原因。

（六）变容二极管调频开发板

1. 由学生自己设计一个中心频率为 8.2MHZ 左右的变容二极管调频器。
2. 参照图 9-6 变容二极管调频器原理图，分析各元件作用和电路原理。

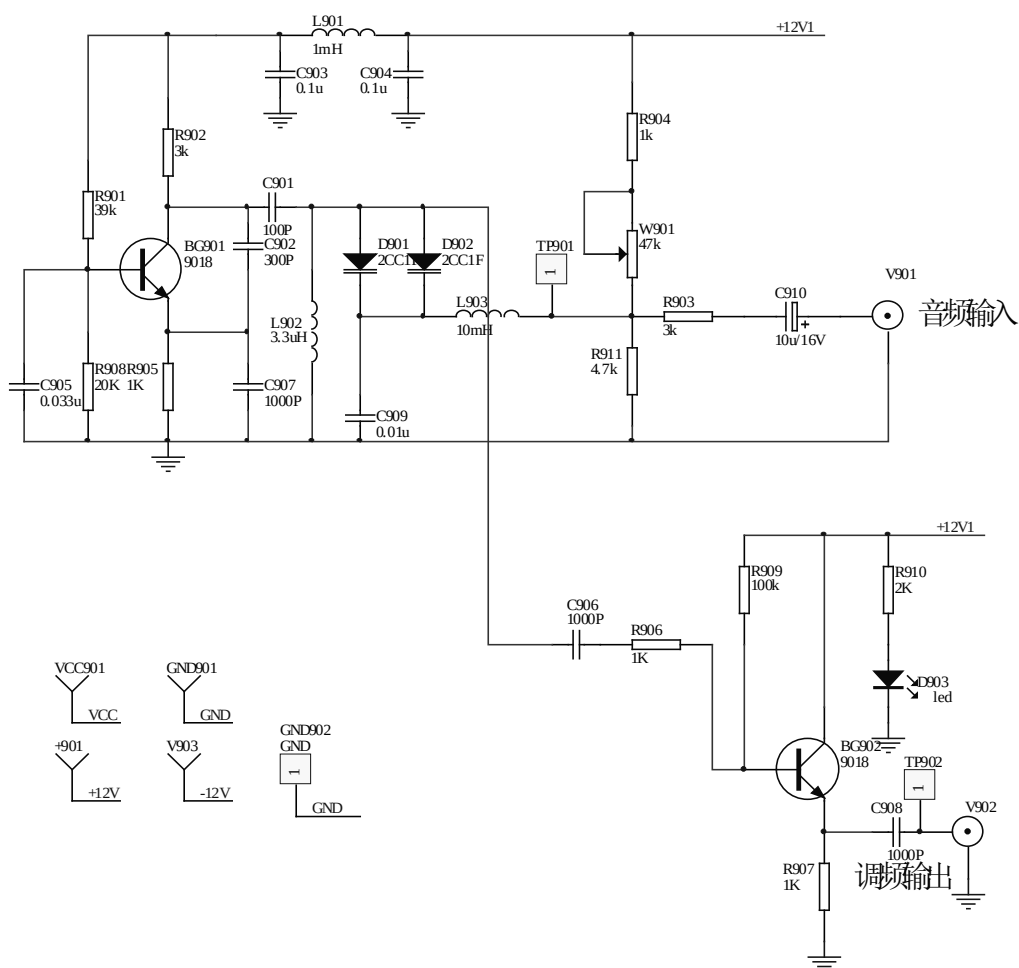


图 9-6 变容二极管调频器原理图

3. 了解变容二极管调频器开发板各元件的构成。
4. 用铆孔连接线对变容二极管调频器开发板上各元件进行电路连接。
5. 电路连好后，安装在高频实验箱主板上进行加电调试。用示波器测试输出波形，并用频率计测试其振荡频率。改变电位器 W901，看频率是否发生变化。接上音频信号，看输出波形是否有调频，即波形是否出现疏密。如果没有波形输出，或频率不为 8.2MHz 左右，说明电路连接有误，需要查找原因。
6. 电路调好后，将输出信号送入电容耦合相位鉴频器，看能否解调输出。