

第 1 章 通信电子电路基础实验

1.1 小信号调谐放大器设计

1. 实验目的

- (1) 掌握小信号调谐放大器的工作原理和设计方法。
- (2) 进一步理解小信号调谐放大器的放大能力和选择性。
- (3) 掌握测量调谐放大器幅频特性的方法。

2. 实验原理

小信号调谐放大器是通信接收机的前端电路,主要用于高频小信号或微弱信号的线性放大和选频。单调谐回路谐振放大器原理电路如图 1-1 所示。图中, R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_c 用以保证晶体管工作于放大区域,从而使放大器工作于甲类。 C_e 是 R_c 的旁路电容, C_b 、 C_c 是输入、输出耦合电容, L 、 C 是谐振回路, R_c 是集电极(交流)电阻,它决定了回路的 Q 值和带宽。为了减轻晶体管集电极电阻对回路 Q 值的影响,采用了部分回路接入方式。

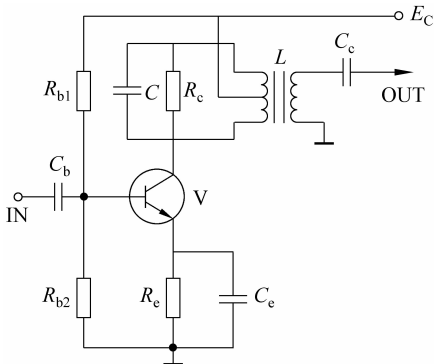


图 1-1 单调谐放大器原理电路

3. 实验仪器

- | | |
|-----------------|----|
| (1) 通信电子电路实验箱 | 一台 |
| (2) 小信号调谐放大器开发板 | 一块 |

- (3) 实验开发板

一块
- (4) 双踪示波器

一台

4. 实验参考电路

小信号单调谐放大器实验参考电路如图 1-2 所示。

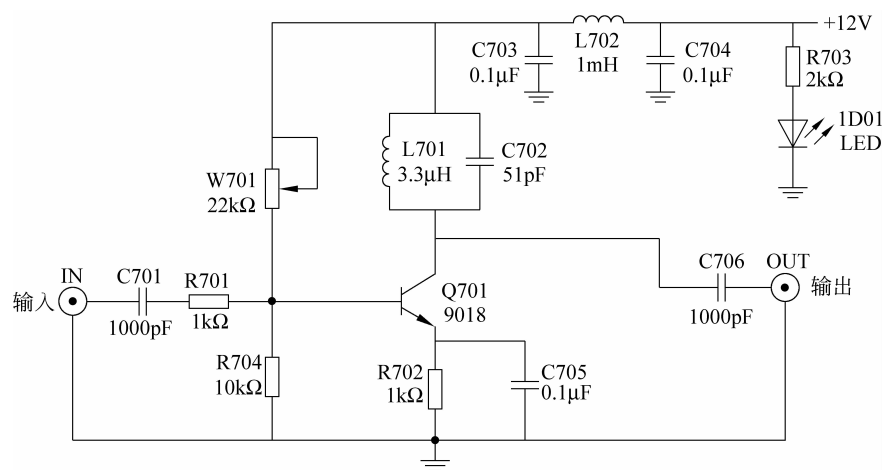


图 1-2 小信号单调谐放大器实验参考电路图

5. 实验内容及步骤

- (1) 由学生自己设计一个谐振频率为 6.3MHz 左右的调谐放大器。
- (2) 设计电路可参考图 1-2,也可另行设计。
- (3) 利用小信号调谐放大开发板或实验电路开发板,将所设计的电路插接好。

(4) 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;调整电位器改变放大器工作点,输出波形幅度也应有变化。如果没有波形输出,说明电路设计或连接有误,需要查找原因。

- (5) 幅频特性的测量。以上都正常的情况下,测量所设计电路的幅频特性曲线。

测量幅频特性通常有两种方法,即扫频法和点测法。扫频法简单直观,可直接观察到单调谐放大特性曲线,但需要扫频仪。本实验采用点测法,即保持输入信号幅度不变,改变输入信号的频率,测出与频率相对应的单调谐放大器的输出电压幅度,然后画出频率与幅度的关系曲线,该曲线即为单调谐放大器的幅频特性。其步骤如下:

- ① 观察输入、输出波形,计算谐振点时的放大倍数。
- ② 保持高频信号源输出幅度不变,改变高频信号源的频率,从示波器上读出与频率相对应的单调谐放大器输出的电压幅值,并把数据记录到自制的幅频特性数据表格中。

③ 以横轴为频率、纵轴为电压幅值,根据实验所得的数据,画出单调谐放大器的幅频特性曲线。

6. 实验预习要求

- (1) 认真阅读小信号调谐放大器的有关教材内容。
- (2) 试设计一个谐振频率为 6.3MHz 左右的小信号调谐放大器。
- (3) 熟悉实验参考电路及实验开发板,并画出所测数据的表格。
- (4) 熟悉所需仪器的使用方法。

7. 实验报告要求

- (1) 说明小信号调谐放大器的设计过程,分析其工作原理。
- (2) 对实验数据进行分析,并画出相应的幅频特性曲线。
- (3) 总结实验过程和实验体会。

1.2 双调谐回路谐振放大器实验

1. 实验目的

- (1) 进一步加深对双调谐回路谐振放大器基本理论的理解。
- (2) 熟悉耦合电容对双调谐回路放大器幅频特性的影响。
- (3) 了解放大器动态范围的概念和测量方法。

2. 实验原理

双调谐回路是指有两个调谐回路,一个靠近“信源”端(如晶体管输出端),称为初级;另一个靠近“负载”端(如下级输入端),称为次级。两者之间,可采用互感耦合或电容耦合。与单调谐回路相比,双调谐回路的矩形系数较小,它的谐振特性曲线更接近于矩形。电容耦合双调谐回路谐振放大器原理图如图 1-3 所示。

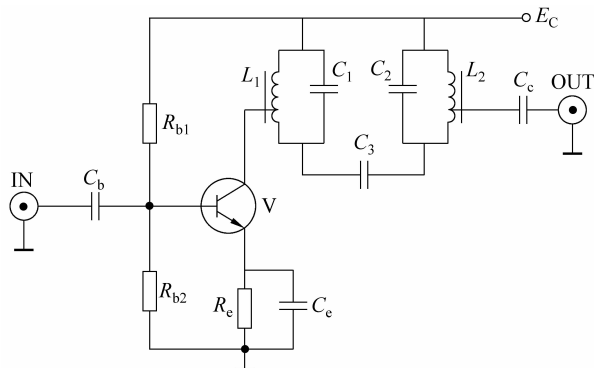


图 1-3 电容耦合双调谐回路放大器原理电路

由于该电路采用了分压偏置电路,故放大器工作在甲类。图 1-3 中有两个谐振回路, L_1 、 C_1 组成了初级回路, L_2 、 C_2 组成了次级回路,两者之间并无互感耦合(必要时,可分别对 L_1 、 L_2 加以屏蔽),而是由电容 C_3 进行耦合,故称为电容耦合。

3. 实验仪器

- (1) 通信电子电路实验箱
- 一台
- (2) 双调谐回路谐振放大器模块
- 一块
- (3) 双踪示波器
- 一台

4. 实验参考电路

双调谐回路谐振放大器实验参考电路如图 1-4 所示,其基本部分与图 1-3 相同。图中,2C04、2C11 用来对初、次级回路调谐;2K02 用以改变耦合电容数值,以改变耦合程度;2K01 用以改变集电极负载。2K03 用来改变放大器输入信号:当 2K03 往上拨时,放大器输入信号为来自天线上的信号;2K03 往下拨时,放大器的输入信号为直接送入。

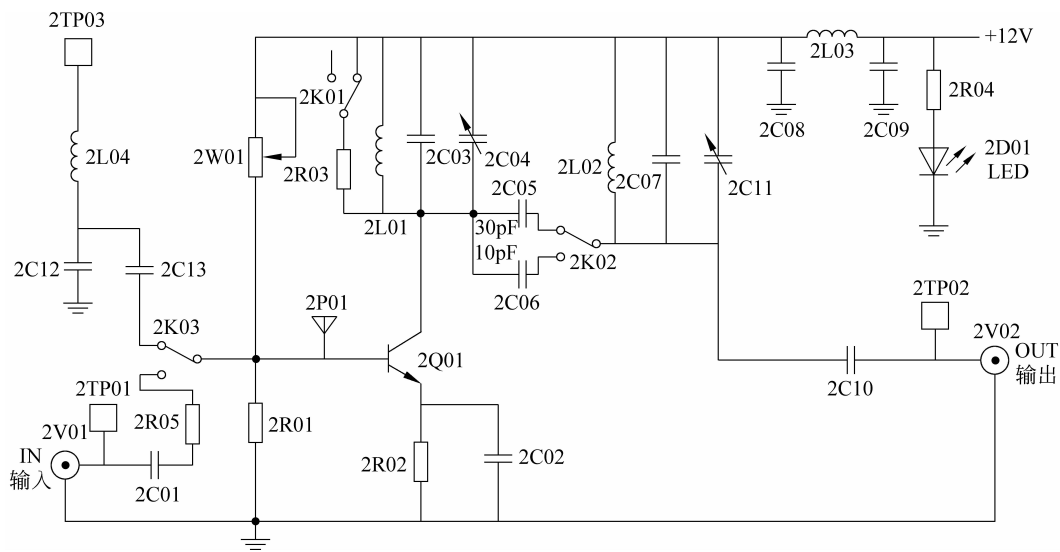


图 1-4 双调谐回路谐振放大器实验电路

5. 实验内容与步骤

1) 双调谐回路谐振放大器幅频特性测量

本实验仍采用点测法,即保持输入幅度不变,改变输入信号的频率,测出与频率相对应的双调谐放大器的输出幅度,然后画出频率与幅度的关系曲线,该曲线即为双调谐回路放大器的幅频特性。

(1) 幅频特性测量。2K02 往上拨,接通 2C05(30pF)。高频信号源输出频率 6.3MHz,幅度 200mV(注意高频信号源开关 K208 往下拨),然后用电缆接入双调谐放大器的输入端(IN)。2K03 往下拨,使高频信号送入放大器输入端。示波器 CH1 接 2TP01,示波器

CH2 接放大器的输出(2TP02)端。反复调整 2C04、2C11 使双调谐放大器输出为最大值,此时回路谐振于 6.3MHz。

(2) 保持高频信号源输出幅度峰-峰值为 200mV 不变,改变高频信号源的频率,从示波器上读出与频率相对应的双调谐放大器输出的幅度值,并把数据记录在自制的幅频特性数据表格中。

(3) 以横轴为频率、纵轴为幅度,根据实验所测数据,画出双调谐放大器的幅频特性曲线。

(4) 按照上述方法测出耦合电容为 2C06(10pF, 2K02 拨向下方)时的幅频特性曲线。

2) 放大器动态范围测量

(1) 2K02 拨向上方,接通 2C05。调整高频信号源频率为 6.3MHz,幅度 60mV,2K03 拨向下方,使高频信号源输出的信号送入放大器输入端,示波器 CH1 接 2TP01,示波器 CH2 接双调谐放大器的输出(2TP02)端。反复调整 2C04、2C11,使双调谐放大器输出为最大值,此时回路谐振于 6.3MHz。

(2) 改变高频信号源的输出幅度,使放大器输入幅度在 60~1200mV 之间,从示波器上读出放大器所对应输出幅度值,并把数据记录在自制的表格中,并且计算出放大器电压放大倍数。可以发现,当放大器的输入增大到一定数值时,放大倍数开始下降,输出波形开始畸变(失真)。

6. 实验预习要求

- (1) 认真阅读双调谐回路谐振放大器的有关内容。
- (2) 熟悉实验参考电路及实验步骤,画出所测数据的表格。
- (3) 熟悉所需仪器使用方法。

7. 实验报告要求

- (1) 画出耦合电容为 2C05 和 2C06 两种情况下的幅频特性曲线,计算-3dB 带宽,并由此说明其优缺点。
- (2) 当放大器输入幅度增大到一定程度时,输出波形会发生什么变化?为什么?
- (3) 画出放大器电压放大倍数与输入电压幅度之间的关系曲线。若把放大器的动态范围定义为放大倍数下降 1dB 时对应的输入电压幅度,试求本放大器的动态范围。
- (4) 总结实验所获得的体会。

1.3 调谐功率放大器实验

1. 实验目的

- (1) 进一步了解调谐功率放大器的工作原理。
- (2) 掌握激励电压、集电极电源电压及负载变化对放大器工作状态的影响。
- (3) 掌握调谐功率放大器的调谐特性。

2. 实验原理

调谐功率放大器是一种能量转换器件,它将电源供给的直流能量转换为高频交流输出。调谐功率放大器是通信系统中发送装置的重要组件,其作用是放大信号,使之达到足够功率输出,以满足天线发射和其他负载的要求。

调谐功率放大器的基本原理电路如图 1-5 所示。输入信号经变压器 T_1 耦合到晶体管基-射极,这个信号也叫激励信号。 E_C 是直流电源电压, E_b 是基极偏置电源电压。 L 、 C 组成并联谐振回路,作为集电极负载,这个回路也叫槽路。放大后的信号通过变压器 T_2 耦合到负载 R_L 上以达到阻抗匹配的要求。因为 E_b 是反向偏置,放大器工作在丙类,提高了效率。但集电极电流输出波形是周期性的尖顶余弦脉冲,对这种波形可利用傅里叶级数展开得到它的直流分量、基波分量及各次谐波分量。若 L 、 C 组成并联谐振回路调谐在基波频率,就只对基波项呈现为纯电阻,对直流和其他谐波阻抗很小,可以忽略。这样在并联谐振电路上得到的电压和经变压器 T_2 耦合到负载 R_L 的电压,就基本上是一个被放大的输入信号。

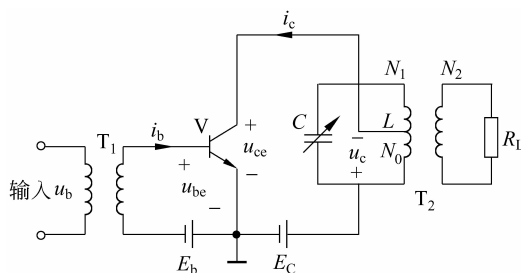


图 1-5 调谐功率放大器原理电路

3. 实验仪器

- | | |
|---------------------|----|
| (1) 通信电子电路实验箱 | 一台 |
| (2) 高频功率放大与射频发射实验模块 | 一块 |
| (3) 双踪示波器 | 一台 |
| (4) 万用表 | 一块 |

4. 实验参考电路

高频功率放大器实验电路如图 1-6 所示。本实验电路由两级放大器组成,11BG02 是前置放大级,工作在甲类线性状态,以适应较小的输入信号电平。11TP01、11TP02 为该级输入、输出测量点。由于该级负载是电阻,对输入信号没有滤波和调谐作用,因而既可作为调幅放大,也可作为调频放大。11BG01 为丙类高频功率放大电路,其基极偏置电压为零,通过发射极上的电压构成反偏。因此,只有在载波的正半周且幅度足够大时才能使功率管导通。其集电极负载为 L_c 选频谐振回路,谐振在载波频率上以选出基波,因此可获得较大的功率输出。本实验的功放有两个选频回路,由 11K03 来选定。当 11K03 拨至

左侧时,所选的谐振回路谐振频率为 6.3MHz 左右,此时的功放可用于构成无线收发系统。当 11K03 拨至右侧时,谐振回路谐振频率为 1.9MHz 左右,此时可用于测量三种状态(欠压、临界、过压)下的电流脉冲波形,因频率较低时测量效果较好。11K04 用于控制负载电阻的接通与否,11W02 电位器用来改变负载电阻的大小。11W01 用来调整功放集电极电源电压的大小(谐振回路频率为 1.9MHz 左右时)。在功放构成系统时,11K02 控制功放是由天线发射输出还是直接通过电缆输出。当 11K02 往上拨时,功放输出通过天线发射,11TP09 为天线接入端。11K02 往下拨时,功放通过 11V03 输出。11V02 为音频信号输入端,加入音频信号时可对功放进行基极调幅。11TP03 为功放集电极测试点,11TP04 为发射极测试点,可在该点测量电流脉冲波形。11TP06 用于测量负载电阻大小。

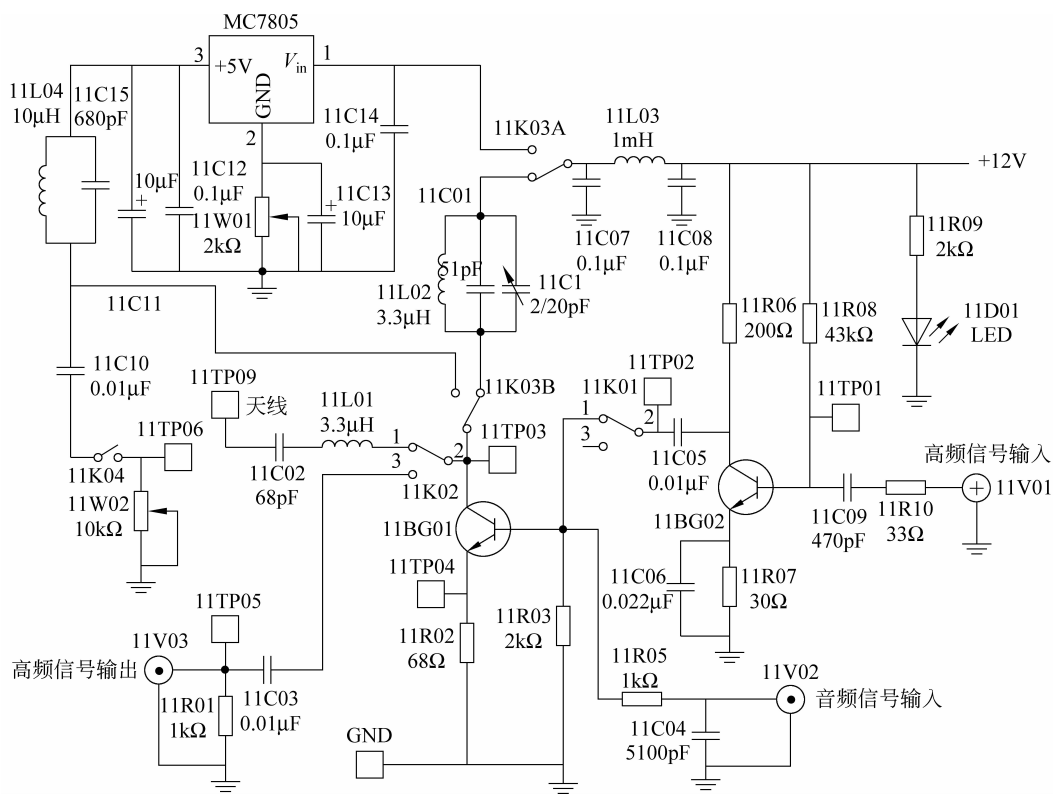


图 1-6 高频功率放大器实验电路图

5. 实验内容及步骤

1) 激励电压、电源电压及负载变化对丙类功放工作状态的影响

(1) 激励电压 U_{bm} 对放大器工作状态的影响

开关 11K01 置“on”,11K03 置“右侧”,11K02 往下拨。保持集电极电源电压 $E_c = 6V$ (用万用表测 11TP03 直流电压,调 11W01 等于 6V),负载电阻 $R_L = 8k\Omega$ (11K04 置“off”,用万用表测 11TP06 电阻,调 11W02 使其为 $8k\Omega$,然后 11K04 置“on”)不变。

高频信号源频率为 1.9MHz 左右,连接至功放模块输入端(11V01)。示波器 CH1 接 11TP03,CH2 接 11TP04。调整高频信号源频率,使功放谐振即输出幅度(11TP03)最大。改变信号源幅度,即改变激励信号电压 U_{bm} ,观察 11TP04 电压波形。信号源幅度变化时,应观察到欠压、临界、过压脉冲波形,其波形如图 1-7 所示(如果波形不对称,应微调高频信号源频率)。改变高频信号源信号的幅度 U_{bm} 值,测出与之相对应的 U_{cm} 、 I_{co} ($I_{co}=U_c/R_c$,用万用表直流电压挡测 U_c) 的值,至少测出 10 个以上的点,填入自制的表格中,并绘出 $U_{cm}-U_{bm}$ 、 $I_{co}-U_{bm}$ 关系曲线。

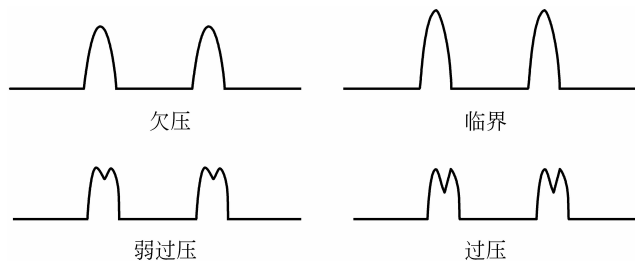


图 1-7 三种状态下的电流脉冲波形

(2) 集电极电源电压 E_c 对放大器工作状态的影响

保持合适的激励电压 U_{bm} 不变,负载电阻 $R_L=8k\Omega$ 不变,改变功放集电极电压 E_c (调整 11W01 电位器,使 E_c 在 5~10V 之间变化),观察 11TP04 电压波形。调整电压 E_c 时,仍可观察到图 1-7 的波形。改变 E_c 的值,测出与之相对应的 U_{cm} 、 I_{co} 的值,至少测出 10 个以上的点,填入自制的表格中,并绘出 $U_{cm}-E_c$ 、 $I_{co}-E_c$ 关系曲线。

(3) 负载电阻 R_L 变化对放大器工作状态的影响

保持集电极电压 $E_c=6V$,激励电压保持不变,改变负载电阻 R_L (调整 11W02 电位器),观察 11TP04 电压波形,同样能观察到图 1-7 的脉冲波形。测试电阻时必须将 11K04 拨至“off”,测完后再拨至“on”。改变负载电阻 R_L 的值,测出与之相对应的 U_{cm} 、 I_{co} 的值,至少测出 10 个以上的点,填入自制的表格中,并绘出 $U_{cm}-R_L$ 、 $I_{co}-R_L$ 关系曲线。

2) 功放调谐特性测试

11K01 置“on”,11K02 往下拨,11K03 置“左侧”。前置级输入信号幅度峰-峰值约为 200mV(11TP01)。频率范围从 5.5~8.5MHz,用示波器测量 11TP03 的电压值,并填入自制的表格中,然后画出频率与电压的关系曲线。

3) 功放调幅波的观察(选做)

调整高频信号源的频率约为 6.3MHz,使功放谐振,即使 11TP03 点输出幅度最大。然后从 11V02 输入音频调制信号,用示波器观察 11TP03 的波形,此时该点波形应为调幅波,改变音频信号的幅度,输出调幅波的调制度应发生变化,改变调制信号的频率,调幅波的包络亦随之变化。

6. 实验预习要求

(1) 认真阅读本实验教材及有关教材内容。

- (2) 熟悉实验参考电路及实验步骤,并画出所测数据的表格。
- (3) 熟悉所需仪器使用的方法。

7. 实验报告要求

- (1) 认真整理记录数据,绘出 $U_{cm}/I_{co}-U_{bm}$, $U_{cm}/I_{co}-E_c$, $U_{cm}/I_{co}-R_L$ 三组曲线及功放调谐特性曲线。
- (2) 总结记录调试过程中出现的问题,说明解决问题的方法。
- (3) 给出对本实验的建议。

1.4 改进型电容三点式振荡器实验

1. 实验目的

- (1) 进一步加深对改进型电容三点式振荡电路(克拉泼电路、西勒电路)基本理论的理解。
- (2) 学会对高频振荡器基本参数(频率、幅频特性、波段覆盖系数等)的测量。

2. 实验原理

LC 振荡器实质上是满足振荡条件的正反馈放大器。从交流等效电路可知,由 LC 振荡回路引出三个端子分别接振荡管的三个电极,而构成反馈式自激振荡器,因而又称为三点式振荡器。如果反馈电压取自分压电感,则称为电感反馈 LC 振荡器或电感三点式振荡器;如果反馈电压取自分压电容,则称为电容反馈 LC 振荡器或电容三点式振荡器。

以实验采用改进型电容三点式振荡电路(西勒电路)为例,交流等效电路如图 1-8 所示。

1) 静态工作点的调整

合理选择振荡管的静态工作点,对振荡器工作的稳定性及波形的好坏有一定的影响,偏置电路一般采用分压式电路。

当振荡器稳定工作时,振荡管工作在非线性状态,通常是依靠晶体管本身的非线性实现稳幅。若选择晶体管进入饱和区来实现稳幅,则将使振荡回路的等效 Q 值降低,输出波形变差,频率稳定度降低。因此,一般在小功率振荡器中总是使静态工作点远离饱和区,靠近截止区。

2) 振荡频率 f 的计算

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C+C_T)}} \quad (1-1)$$

式中, C_T 为 C_1 、 C_2 和 C_3 的串联值,因 C_1 (300pF) $\gg$ C_3 (75pF), C_2 (1000pF) $\gg$ C_3 (75pF), 故 $C_T \approx C_3$, 所以,振荡频率主要由 L 、 C 和 C_3 决定。

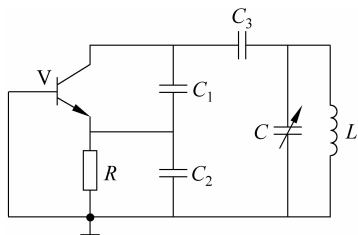


图 1-8 电容三点式 LC 振荡器交流等效电路

3) 反馈系数 F 的选择

$$F = \frac{C_1}{C_2}$$

(1-2)

反馈系数 F 不宜过大或过小,一般经验数据 $F \approx 0.1 \sim 0.5$,本实验取 $F = \frac{300}{1000} = 0.3$ 。

3. 实验仪器

- (1) 通信电子电路实验箱

一台
- (2) LC 振荡与射随放大电路模块

一块
- (3) 双踪示波器

一台

4. 实验参考电路

电容三点式 LC 振荡器实验参考电路如图 1-9 所示。图中 3K05 打到“S”位置(左侧)时为改进型克拉泼振荡电路,打到“P”位置(右侧)时,为改进型西勒振荡电路。3K01、3K02、3K03、3K04 控制回路电容的变化,调整 3W01 可改变振荡器三极管的电源电压,3Q02 为射极跟随器,3TP01 为振荡器直流电压测量点,3W02 用来改变输出幅度。

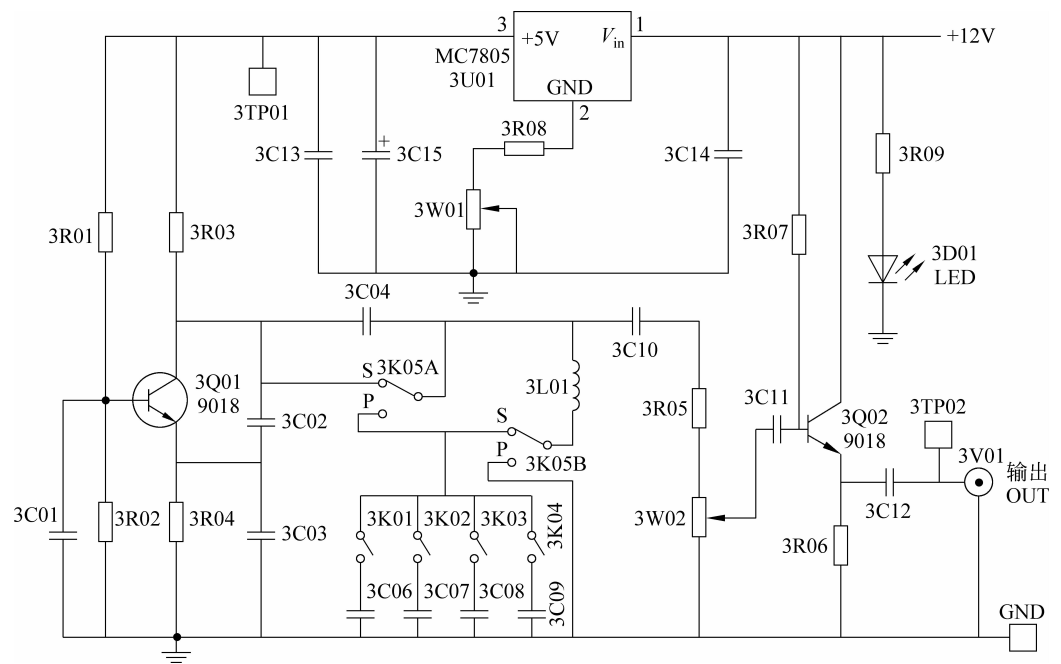


图 1-9 LC 振荡器实验电路

5. 实验内容与步骤

1) 振荡电路幅频特性的测量

调整 3W01,使得芯片 7805 输出的(3TP01)电源电压为 7.5V。调整电位器 3W02,使输出最大。开关 3K05 拨至右侧,此时振荡电路为西勒电路,反之为克拉泼电路。

3K01、3K02、3K03、3K04 分别控制 3C06 (10pF)、3C07 (50pF)、3C08 (100pF)、3C09 (150pF)是否接入电路,开关往上拨为接通,往下拨为断开。四个开关接通的不同组合,可以控制电容的变化,例如 3K01、3K02 往上拨,其接入电路的电容为 $10+50=60(\text{pF})$ 。按照表 1-1 中电容的变化测出与电容相对应的振荡频率和输出电压(峰-峰值 $V_{\text{P-P}}$),并将两种振荡电路测量的结果分别记录于表 1-1 中。

表 1-1 振荡电容对电路幅频特性的影响

电容 C/pF	310	250	200	160	150	100	60	50
振荡频率 f/MHz								
输出电压 $V_{\text{P-P}}/\text{V}$								

2) 波段覆盖系数的测量

波段覆盖系数即振荡器的频率范围,此范围的大小通常以波段覆盖系数 K 表示:

$$K = \frac{f_{\text{max}}}{f_{\text{min}}} \tag{1-3}$$

测量方法: 根据测量的幅频特性,以输出电压最大点的频率为基准,即为一边界频率,再找出输出电压下降至 1/2 处的频率,即为另一边

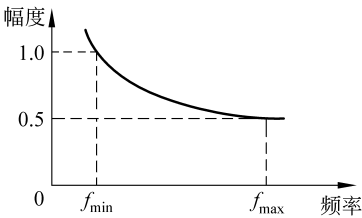


图 1-10 波段覆盖系数测量

3) 测量电源电压变化对振荡器频率的影响

分别将开关 3K05 打至左测(S)和右侧(P)位置,改变电源电压 E_c ,测出不同 E_c 下的振荡频率,并将测量结果填入表 1-2 中。

其方法是: 选定回路电容为 100pF,即 3K03 往上拨。用万用表直流电压挡测 3TP01 点电压,按照表 1-2给出的电压值 E_c 调整 3W01 电位器,分别测出与电压相对应的频率。表中 Δf 为改变 E_c 时振荡频率的偏移,假定 $E_c=7.5\text{V}$ 时, $\Delta f=0$,则 $\Delta f=f-f_{7.5\text{V}}$ 。

表 1-2 E_c 变化对频率稳定度的影响

串联(S)	E_c/V	5.5	6.5	7	7.5	8	9	10
	f/MHz							
	$\Delta f/\text{MHz}$							
并联(P)	E_c/V	5.5	6.5	7	7.5	8	9	10
	f/MHz							
	$\Delta f/\text{MHz}$							

6. 实验预习要求

- (1) 认真阅读本实验教材及有关教材内容。
- (2) 熟悉实验参考电路及实验步骤。

(3) 熟悉所需仪器的使用方法。

7. 实验报告要求

(1) 根据测试数据,分别绘制西勒振荡器和克拉泼振荡器的幅频特性曲线,并进行分析比较。

(2) 根据测试数据,计算频率稳定度,分别绘制克拉泼、西勒振荡器的 $\frac{\Delta f}{f_0}-E_C$ 曲线。

(3) 对实验中出现的問題进行分析判断。

(4) 总结实验体会。

1.5 石英晶体振荡器设计

1. 实验目的

(1) 掌握石英晶体振荡器、串联型晶体振荡器的基本工作原理。

(2) 熟悉静态工作点、微调电容、负载电阻对晶体振荡器工作的影响。

(3) 感受晶体振荡器频率稳定度高的特点,了解晶体振荡器工作频率微调的方法。

2. 实验原理

晶体振荡器的工作原理:一种晶体振荡器的交流通路如图 1-11 所示。图中,若将晶

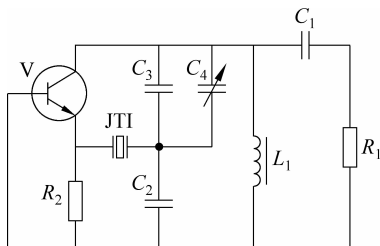


图 1-11 晶体振荡器交流通路

体短路,则 L_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 就构成了典型的电容三点式振荡器(考毕兹电路),因此,图 1-11 所示电路是一种典型的串联型晶体振荡器电路(共基接法)。若取 $L_1=4.3\mu\text{H}$, $C_2=820\text{pF}$, $C_3=180\text{pF}$, $C_4=20\text{pF}$,则可算得 LC 并联谐振回路的谐振频率 $f_0\approx 6\text{MHz}$,与晶体工作频率相同。图中, C_4 是微调电容,用来微调振荡频率; C_1 是耦合(隔直流)电容; R_1 是负载电阻。很显然, R_1 越小,负载越重,输出振荡幅度将越小。

3. 实验仪器

- | | |
|----------------|----|
| (1) 通信电子电路实验箱 | 一台 |
| (2) 晶体振荡器开发板模块 | 一块 |
| (3) 实验开发板 | 一块 |
| (4) 双踪示波器 | 一台 |

4. 实验参考电路

晶体振荡器实验参考电路如图 1-12 所示。图中 R_{801} 、 C_{801} 为去耦元件, C_{805} 为旁路电容,并构成共基接法, W_{801} 用以调整振荡器的静态工作点(主要影响起振条件), C_{802} 为输出耦合电容, Q_{802} 为射随器,用以提高带负载能力。

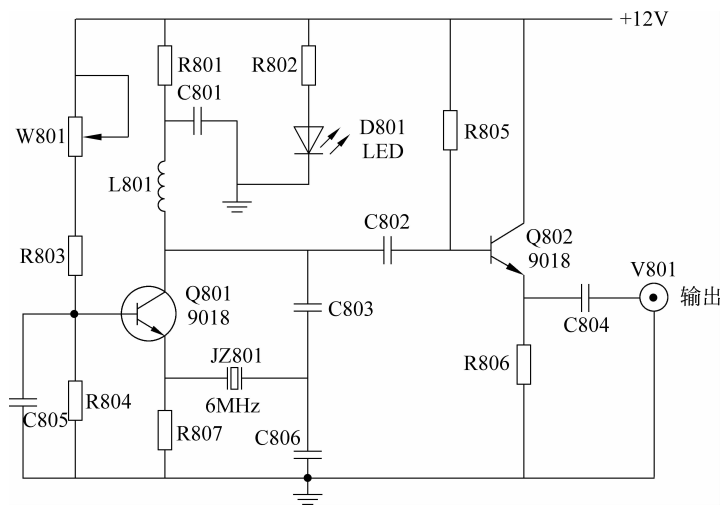


图 1-12 晶体振荡器实验参考电路

5. 实验内容及步骤

(1) 由学生自己设计一个频率为 6MHz 的晶体振荡器电路。

(2) 设计电路可参考图 1-12,也可另行设计。

(3) 利用晶体振荡器开发板和电路开发板,将所设计的电路插接好。

(4) 电路连好后,安装在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。

(5) 静态工作点测量,其方法如下:

改变电位器 W801 可改变 Q801 的基极电压 V_B ,并改变其发射极电压 V_E 。记下 V_E 的最大、最小值,并计算相应的 $I_{E\max}$ 、 $I_{E\min}$ 值(发射极电阻 $R807=1k\Omega$)。

(6) 测试静态工作点变化对振荡器工作的影响,其方法如下:

① 实验初始条件: $V_{EQ}=2.5V$ (调 W801 达到)。

② 调节电位器 W801 以改变晶体管的静态工作点 I_E ,使其分别为表 1-3 所示各值,且把示波器探头接到 V801 端,观察振荡波形,测量相应的振荡电压峰-峰值 V_{PP} ,并以频率计读取相应的频率值,填入表 1-3 中。

表 1-3 静态工作点变化对振荡器的影响

V_{EQ}/V	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
f/MHz						
V_{PP}/V						

6. 实验预习要求

(1) 认真阅读石英晶体振荡器的有关教材内容。

- (2) 试设计一个振荡频率为 6MHz 的石英晶体振荡器电路。
- (3) 掌握石英晶体振荡器的工作原理。
- (4) 熟悉实验参考电路及实验开发板,并画出所测数据的表格。

7. 实验报告要求

- (1) 说明石英晶体振荡器的设计过程,分析其工作原理。
- (2) 根据实验测量数据,分析静态工作点(I_{EQ})对晶体振荡器工作的影响。
- (3) 总结实验体会。

1.6 调幅与检波实验

1. 实验目的

- (1) 掌握用集成模拟乘法器构成调幅与检波系统的方法及工作原理。
- (2) 通过实验了解集成模拟乘法器的使用方法。
- (3) 了解二极管峰值检波及模拟乘法器相乘(同步)检波系统。
- (4) 学会对调幅与检波系统的测试。

2. 实验原理

1) 集成乘法器幅度调制原理

所谓调幅就是用低频调制信号去控制高频振荡(载波)的幅度,使其成为带有低频信息的调幅波。目前由于集成电路的发展,集成模拟相乘器得到广泛的应用。本实验采用价格较低廉的 MC1496 集成模拟相乘器来实现调幅之功能。

MC1496 是一种四象限模拟相乘器,其内部电路以及用作振幅调制器时的外部连接如图 1-13 所示。由图可见,电路中采用了以反极性方式连接的两组差分对($U_1 \sim U_4$),且这两组差分对的恒流源管(U_5 、 U_6)又组成了一个差分对,因而亦称为双差分对模拟相乘

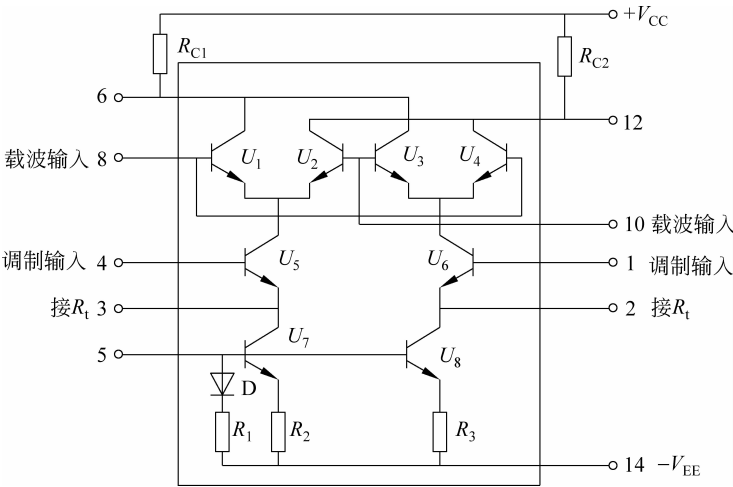


图 1-13 MC1496 内部电路及外部连接图

器。其典型用法是：8、10脚间接一路输入（称为上输入 v_1 ），1、4脚间接另一路输入（称为下输入 v_2 ），6、12脚分别经由集电极电阻 R_c 接到正电源+12V上，并从6、12脚间取输出 v_o 。2、3脚间接负反馈电阻 R_f 。5脚到地之间接电阻 R_B ，它决定了恒流源电流 I_7 、 I_8 的数值，典型值为 $6.8k\Omega$ 。14脚接负电源-8V。7、9、11、13脚悬空不用。由于两路输入 v_1 、 v_2 的极性皆可取正或负，因而称之为四象限模拟相乘器。可以证明

$$v_o = \frac{2R_c}{R_f} v_2 \cdot \tanh\left(\frac{v_1}{2v_T}\right) \quad (1-4)$$

因而，当输入满足 $v_1 \leq v_T$ (26mV) 时，方有

$$v_o = \frac{R_c}{R_f v_T} v_1 \cdot v_2 \quad (1-5)$$

才是真正的模拟相乘器。

2) 振幅解调器(包络检波、同步检波)

振幅解调即是从振幅受调制的高频信号中提取原调制信号的过程，亦称为检波。通常，振幅解调的方法有包络检波和同步检波两种。

(1) 二极管包络检波

二极管包络检波器是包络检波器中最简单、最常用的一种电路。它适合于解调信号电平较大(俗称大信号)的 AM 波，具有电路简单、检波线性好、易于实现等优点。本实验电路主要包括二极管、RC 低通滤波器和低频放大部分。

(2) 同步检波

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

3. 实验仪器

(1) 通信电子电路实验箱	一台
(2) 集成乘法器幅度调制电路	一块
(3) 集成乘法器幅度解调电路	一块
(4) 二极管检波器与自动增益控制电路	一块
(5) 双踪示波器	一台

4. 实验参考电路

1) MC1496 组成的调幅器实验电路

用 1496 组成的调幅器实验电路如图 1-14 所示。与图 1-13 相对应之处是：8R08 对应于 R_f ，8R09 对应于 R_B ，8R03、8R10 对应于 R_c 。此外，8W01 用来调节 1、4 端之间的平衡，8W02 用来调节 8、10 端之间的平衡。8K01 开关控制 1 端是否接入直流电压，当 8K01 置“on”时，1496 的 1 端接入直流电压，其输出为正常调幅波(AM)，调整 8W03 电位器，可改变调幅波的调制度。当 8K01 置“off”时，其输出为平衡调幅波(DSB)。晶体管 8Q01 为射极跟随器，以提高调制器的带负载能力。

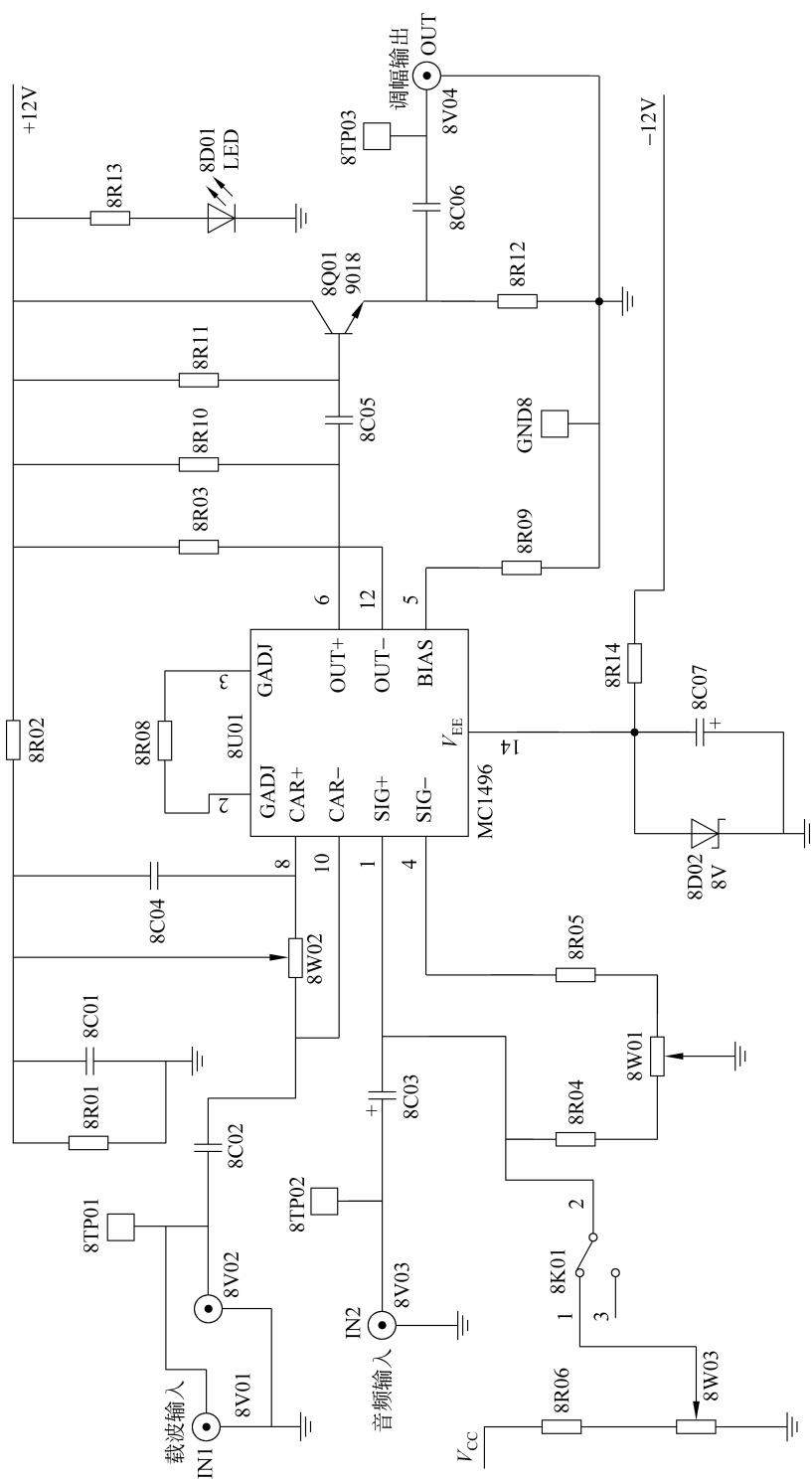


图 1-14 MC1496 组成的调幅器实验电路图

2) 二极管包络检波参考电路

二极管包络检波参考电路如图 1-15 所示。图中, 10D01 为检波管, 10C02、10R08、10C07 构成低通滤波器, 10R01、10W01 为二极管检波直流负载, 10W01 用来调节直流负载大小, 10R02 与 10W02 相串联构成二极管检波交流负载, 10W02 用来调节交流负载大小。开关 10K01 是为二极管检波交流负载的接入与断开而设置的, 10K01 置“on”为接入交流负载, 10K01 置“off”为断开交流负载。10K02 开关控制着检波器是接入交流负载还是接入后级低放。开关 10K02 拨至左侧时接交流负载, 拨至右侧时接后级低放, 当检波器构成系统时, 需与后级低放接通。10BG01、10BG02 对检波后的音频进行放大, 放大后音频信号由 10P01 输出, 因此 10K02 可控制音频信号是否输出, 调节 10W03 可调整输出幅度。图中, 利用二极管的单向导电性, 使得电路的充放电时间常数不同(实际上, 相差很大)来实现检波, 所以 RC 时间常数的选择很重要。 RC 时间常数过大, 则会产生对角切割失真(又称对角线失真)。 RC 常数太小, 高频分量会滤不干净。综合考虑要求满足下式:

$$RC_{\Omega} \ll \frac{\sqrt{1-m_a^2}}{m_a} \quad (1-6)$$

式中, m_a 为调幅系数, Ω 为调制信号角频率。

当检波器的直流负载电阻 R 与交流音频负载电阻 R_{Ω} 不相等, 而且调幅度 m_a 又相当大时, 会产生割底失真(又称负峰切割失真), 为了保证不产生割底失真, 应满足

$$m_a < \frac{R_{\Omega}}{R} \quad (1-7)$$

二极管包络检波与自动增益控制电路同在一块实验板上。当接收机输出的信号强弱需要自动控制时, 则可启用自动增益控制电路(AGC), 即将二极管检波器的输出接至 AGC 电路的输入, AGC 电路的输出接至中频放大器三极管的发射极(7P01 孔), 这样便可实现自动增益控制的功能。

3) 同步检波参考电路

由 MC1496 组成的解调器(同步检波)电路如图 1-16 所示。图中, 恢复载波 u_c 先加到输入端 IN1 上, 再经过电容 9C01 加在 8、10 脚之间。已调波即调幅波 u_{AM} 先加到输入端 IN2 上, 再经过电容 9C02 加在 1、4 脚之间。相乘后的信号由 6 脚输出, 再经过由 9C04、9C05、9R06 组成的 Π 型低通滤波器滤除高频分量后, 在解调输出端(OUT)提取出调制信号。

5. 实验内容及步骤

1) MC1496 组成的调幅器实验电路

(1) 实验准备

① 在实验箱主板上插上集成乘法器幅度调制电路模块, 接通实验箱上电源开关, 此时电源指示灯点亮。

② 调制信号源, 采用低频信号源中的函数发生器。

- 频率范围: 1kHz 左右。

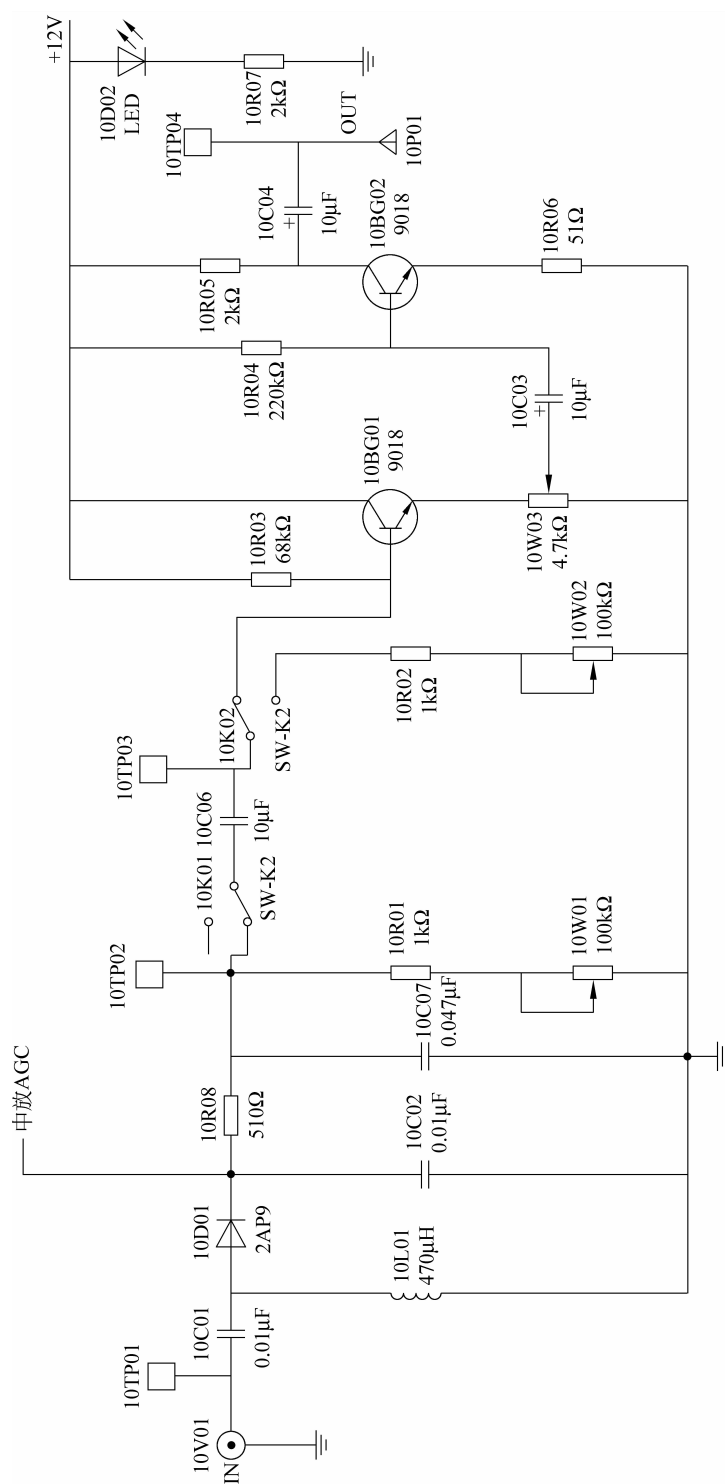


图 1-15 二极管包络检波实验电路

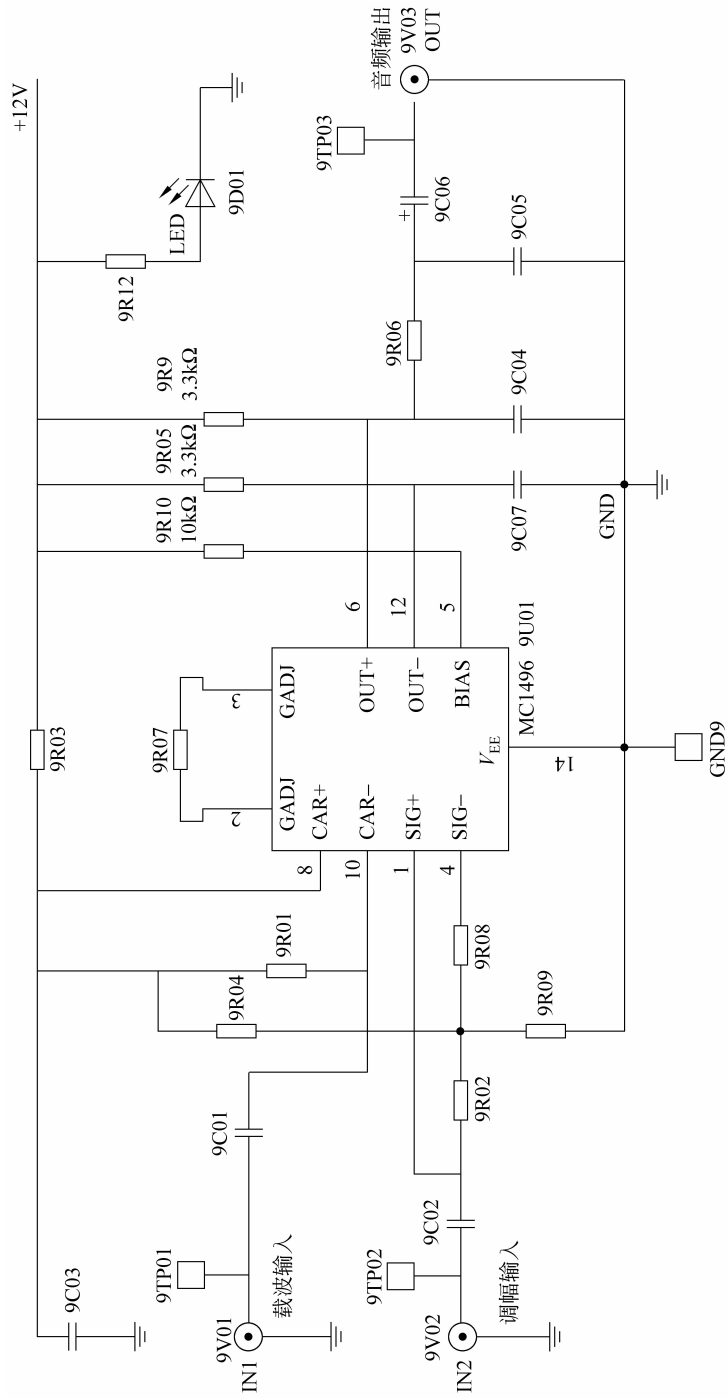


图 1-16 MC1496 组成的解调器实验电路

- 波形选择: 正弦波。
- 输出峰-峰值: 300mV 左右。

③ 载波源, 采用高频信号源。

- 工作频率: 2MHz 左右。
- 输出幅度(峰-峰值): 200mV 左右。

(2) 输入失调电压的调整(交流馈通电压的调整)

集成模拟相乘器在使用之前必须进行输入失调调零, 也就是要进行交流馈通电压的调整, 其目的是使相乘器调整为平衡状态。因此在调整前必须将开关 8K01 置“off”(往下拨), 以切断其直流电压。交流馈通电压指的是相乘器的一个输入端加上信号电压, 而另一个输入端不加信号时的输出电压, 这个电压越小越好。

① 载波输入端输入失调电压调节

把调制信号源输出的音频调制信号加到音频输入端(8V03), 而载波输入端不加信号。用示波器监测相乘器输出端(8TP03)的输出波形, 调节电位器 8W02, 使此时输出端(8TP03)的输出信号(称为调制输入端馈通误差)最小。

② 调制输入端输入失调电压调节

把载波源输出的载波信号加到载波输入端(8V01 或 8V02), 而音频输入端不加信号。用示波器监测相乘器输出端(8TP03)的输出波形。调节电位器 8W01, 使此时输出端(8TP03)的输出信号(称为载波输入端馈通误差)最小。

(3) 调幅波的观察

将高频信号源输出的载波接入载波输入端(8V01), 低频调制信号接入音频输入端(8V03), 在调幅输出端(8TP03)即可观察到调幅信号波形。当 8K01 置“on”向上时, 其输出为普通调幅波(AM), 波形如图 1-17 所示, 调整 8W03 电位器, 可改变调幅波的调制度。当 8K01 置“off”向下时, 其输出为平衡调幅波(DSB), 波形如图 1-18 所示。如果观察到的 DSB 波形不对称, 可微调 8W01 电位器。在观察输出波形时, 改变音频调制信号的频率及幅度, 输出波形应随之变化。

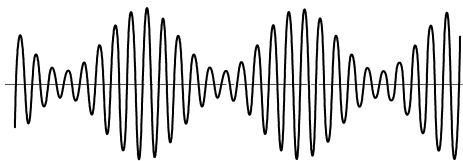


图 1-17 普通调幅波波形

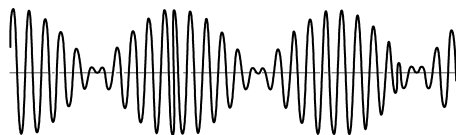


图 1-18 平衡调幅波波形

(4) 调制度 m_a 的测试

可以通过直接测量调制包络来测出 m_a 。将被测的调幅信号加到示波器上, 如图 1-19 所示, 根据 m_a 的定义, 测出 A、B, 即可得到 m_a :

$$m_a = \frac{A - B}{A + B} \times 100\% \quad (1-8)$$