

《高频电子线路》

实验指导书

电子信息与电气技术实验中心

2013年2月

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

实验一 调谐放大器

一、实验目的

1. 熟悉电子元件和 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。

三、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 $L=1\ \mu\text{H}$ ，回路总电容 $C=220\text{pF}$ （分布电容包括在内），计算回路中心频率 f 。

二、实验仪器设备

1. 双踪示波器
2. 扫频仪
3. 高频信号发生器
4. 毫伏表
5. 万用表
6. 实验板 G1

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

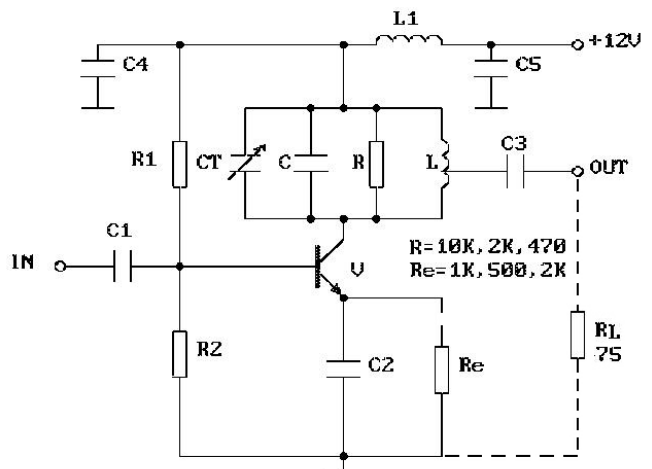


图 1-1 单调谐回路谐振放大器原理图

实验电路中选 $R_c=1K$

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 $V_i \sim V_o$ (在谐振点)

选 $R=10K, R_c=1K$ 。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 V_i ，调节频率 f 使其为 10.7MHz，调节 C_T 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_o 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_o (V)	$R_c=1k$											
	$R_c=500\Omega$											
	$R_c=2K$											

(2). 当 R_c 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 $R=10K, R_c=1K$ 。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_T ，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 R_L ，而当扫频仪的检波探头为低阻探头时，则不要接入 R_L (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 V_i ，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 V_i 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_o ，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 _o	R=10K Ω									
	R= 2K Ω									
	R=470 Ω									

计算 $f_0=10.7\text{MHz}$ 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 $2\text{K}\Omega$, 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

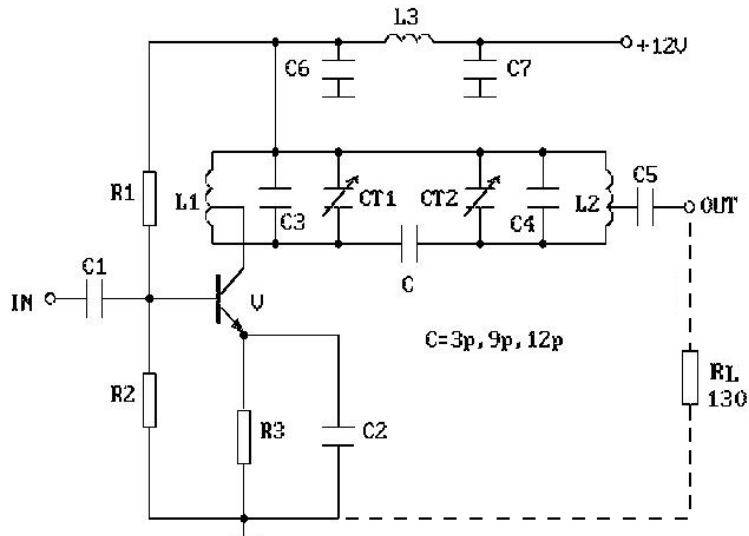


图 1-2 双调谐回路谐振放大器原理图

(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 $C=3\text{pf}$, 反复调整 C_{i1} 、 C_{i2} 使两回路谐振在 10.7MHz 。

(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 $C=3\text{pf}$, 置高频信号发生器频率为 10.7MHz , 反复调整 C_{i1} 、 C_{i2} 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 C 为 9Pf、12Pf，重复上述测试，并填入表 1.3。

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 V₀ 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 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的基本特性，实验中所有调整过程，无一不是以理论为基础的。
2. 认真阅读本实验指导书，特别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. 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。

2. 高频谐振功率放大器的工作原理

参见图 1。

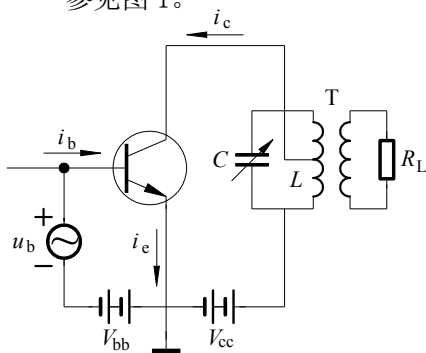


图 1 高频功放原理图

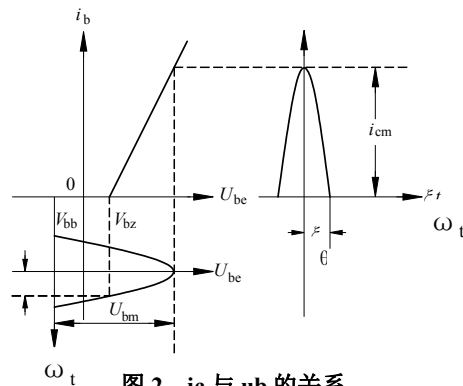


图 2 i_c 与 u_b 的关系

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 $\theta < 90^\circ$ ，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：

$$i_c = I_{C0} + I_{C1m} \cos \omega t + I_{C2m} \cos 2\omega t + \dots + I_{Cnm} \cos n\omega t + \dots$$

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

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 $\theta = 70^\circ \sim 80^\circ$ 左右。

完整的电路图见图 3。

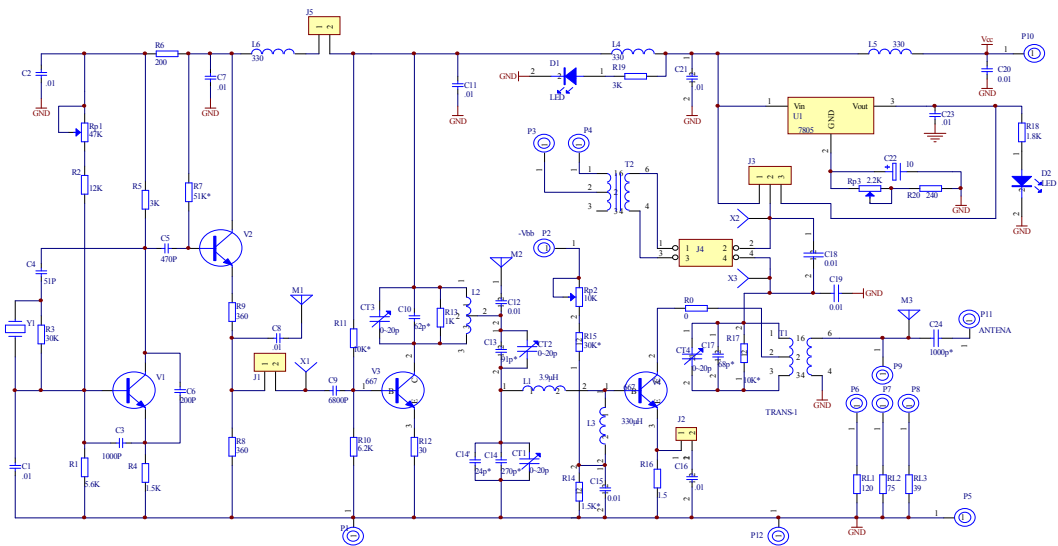


图 3 高频功放（调幅）及发射电路原理图

图中， V_1 、 V_2 构成了独立的石英晶体振荡电路，为实验提供了稳定的载波信号，大大方便了电路的调整。 V_3 为推动级，为末级功放电路提供足够的激励电压。 V_4 构成丙类谐振放大电路。为了能较好的演示功放电路的负载特性，较为方便的观察脉冲

电流，本电路采用了独立的偏置电路，由 R_{P2} 、 R_{15} 、 R_{14} 构成的分压器对 $-12V$ 进行分压，为功放级提供适当的负偏压，确保工作在丙类状态。 R_L 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。在功放输出级电路中设置了三个跳线短路端子 J_2 、 J_3 和 J_4 。 J_3 可完成 $+12V$ 电源和 $+6\sim 9V$ 可调电源之间的转换，以观察集电极调制特性以及完成调幅电路的实验。 J_2 是为了观察负载特性而设置的，当 J_2 断开时，在 R_{16} 上可直接观察到脉冲电流波形，从而可较为直观地观察到负载特性，便于加深对于谐振功率放大电路的理解。而 J_2 短接时，可得到稍大一些的输出电压。 J_4 是为了在集电极回路中加入低频调制信号而设置的。

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 $75\ \Omega$ 。因此调试时也应以此负载为调试基础。

四. 实验仪表设备

1. 双踪示波器
2. 直流电压表
3. 直流电流表
4. 高频电路学习机
5. 高频功放（调幅）及发射实验电路板（G2F）

五. 实验内容及步骤

1. 按图连接好实验电路板所需电源（ $\pm 12V$ ）。[$-V_{bb}$ 接 $-12V$]
2. 功放级静态工作点的调整
 - A. 用短路环将 J_3 的 1、2 端和 J_4 的 2、4 端短路，以使 $+12V$ 电源直接提供给功放输出级的集电极回路。（注意：此时一定要使 J_5 或 J_1 保持开路状态，否则，静态工作点将受到本振电压的影响。）
 - B. 用万用表测试 V_4 的基极电压。调整 R_{P2} ，使 $V_{4B} = -0.3V$ 左右。
3. 调整载波振荡源
接通 J_5 ，以给载波振荡电路加电。 J_1 仍保持开路状态，然后在测试点 $M1$ 处接入示波器，以观察振荡波形。调整 R_{P1} ，使载波振荡源输出 $U_0 = 1V$ 左右。
4. 推动级的调整

用短路环短接 J1，使载波振荡信号 [$f_0=6.5\text{MHz}$, $U_0\approx 1\text{V(p-p)}$] 通过 C9 接至晶体管 V3 的基极。在 M2 端用示波器观察推动级的输出波形，由于功放级输入端阻抗元件的影响，波形为一失真的正弦波，此时不必做很多调整工作，只要证实推动级已经工作即可。

5. 脉冲电流及放大特性的观察

- ◆ 保持前面的电路连接不变，将 J₂ 的短路环取下，使 C₁₆ 开路。将负载电阻接至 75 Ω。
- ◆ 将示波器 1 通道测试探头（衰减 10 倍，下同）连接至 V₄ 的发射极电阻上（即 J₂ 的 1 端），灵敏度置于 20mV/DIV 档（由于探头有 10 倍衰减，故实际相当于 200mV/DIV），用以监测脉冲电流。将示波器 2 通道测试探头（衰减 10 倍，下同）连接至测试点 M3 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。

A. 负载特性的观察

- i. 仔细调整 CT₄，使输出回路谐振，且实现负载到集电极间的阻抗转换。观察 M3 处的波形，应能得到失真最小的正弦波形。同时观察 V₄ 的发射极（取样）电阻上的波形，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 CT₂、CT₃，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 M3 处观察到的输出波形幅度应不低于 9.4V。
- ii. 保持信号源频率和幅度不变，将负载分别接至 120 Ω 和 39 Ω，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的情况下，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。

三种状态的脉冲电流波形大致如图所示。

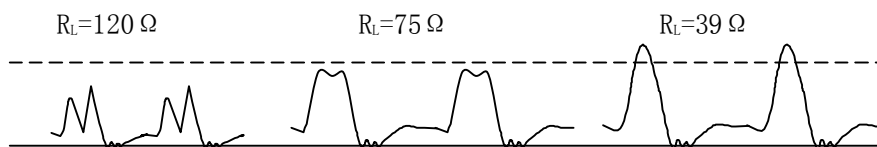


图 4 不同负载下的脉冲电流波形

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。

- iii. 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（取样）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 $R_E=1\ \Omega$ ）。最后将测试结果填入表中。

表 1 高频功放实验数据记录表

$R_L\ (\Omega)$	实测数据			计算结果		
	$I_{C0}\ (A)$	$V_{L(P-P)}\ (V)$	$V_C\ (V)$	$P_S\ (mW)$	$P_L\ (mW)$	$\eta\ (\%)$
39						
75						
120						

B. 集电极调制特性的观察

将负载置于 $39\ \Omega$ 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 $6\sim 9V$ 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。

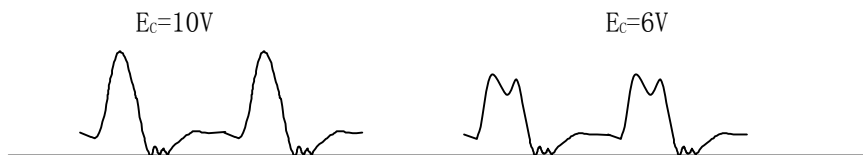


图 5 E_c 不同时的脉冲电流波形 ($R_L=39\ \Omega$)

C. 基极调制特性的观察

将负载置于 $75\ \Omega$ ，电源电压 $V_{cc}=12V$ ，输入信号幅度保持不变，调整 R_{P2} ，仔细观察脉冲电流的形状与幅值的变化，它描述了谐振功率放大器的基极调制特性。

D. 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. 设计一自给偏压工作方式的丙类谐振放大器。

七. 附录

1. 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 65%左右，实际上集电极效率可达 80%左右。

实验三上 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. 高频信号发生器。
3. 万用表。
4. 实验板 G3。

四、实验电路说明

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 ，

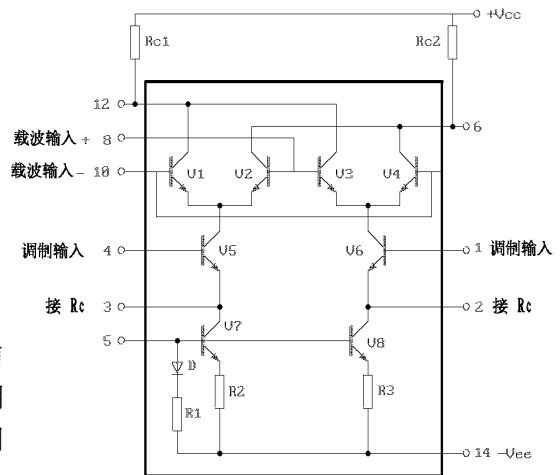


图 5-1 1496 芯片内部电路图

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、V₇、V₈ 为差动放大器 V₅、V₆ 的恒流源。进行调幅时，载波信号加在 V₁-V₄ 的输入端，即引脚的⑧、⑩之间；调制信号加在差动放大器 V₅、V₆ 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⑥、⑫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_{p1} 用来调节引出脚①、④之间的平衡，R_{p2} 用来调节⑧、⑩脚之间的平衡，三极管 V 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

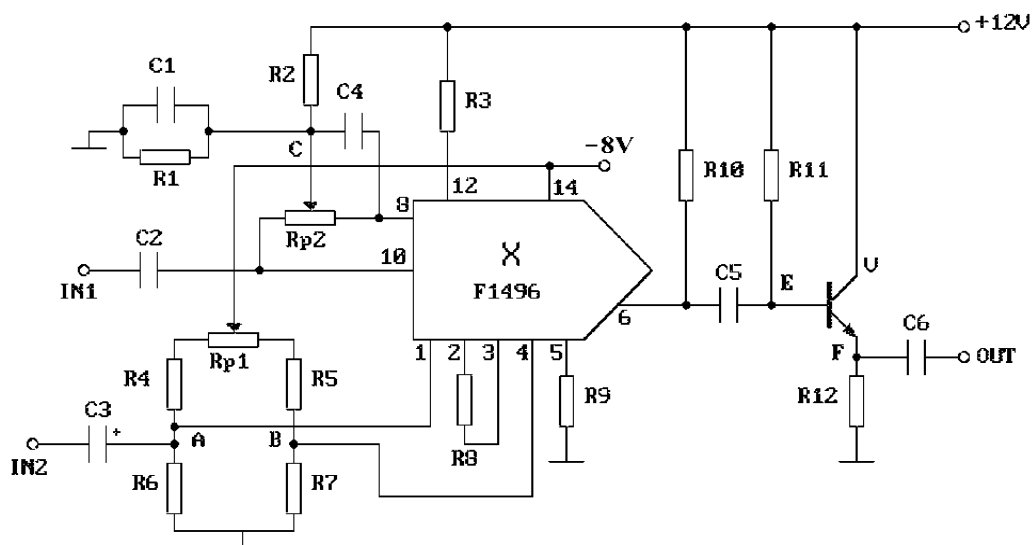


图 5-2 1496 构成的调幅器

1. 直流调制特性的测量

- (1). 调 R_{p2} 电位器使载波输入端平衡：在调制信号输入端 IN2 加峰值为 100mv，频率为 1KHz 的正弦信号，调节 R_{p2} 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 IN1 加峰值 V_c 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_{p1} 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 $V_0 = KV_{AB}V_C(t)$ 计算出系数 K 值。并填入表 5.1。}

表 5.1

V_{AB}									
V_0 (P-P)									
K									

2. 实现全载波调幅

- (1). 调节 R_{P1} 使 $V_{AB}=0.1V$, 载波信号仍为 $V_c(t)=10\sin 2\pi \times 10^5 t$ (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 IN2, 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). 加大示波器扫描速率, 观察并记录 $m=100\%$ 和 $m>100\%$ 两种调幅波在零点附近的波形情况。
- (3). 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_{P1} 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。
- (4). 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_{P1} 使调制端平衡, 并在载波信号输入端 IN1 加 $V_c(t)=10\sin 2\pi \times 10^5 t$ (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_{P2} 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_{P2} 后的输出波形, 分析其现象。

实验三下 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. 高频信号发生器
3. 万用表
4. 实验板 G3

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 6-1 所示，主要由二极管 D 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。

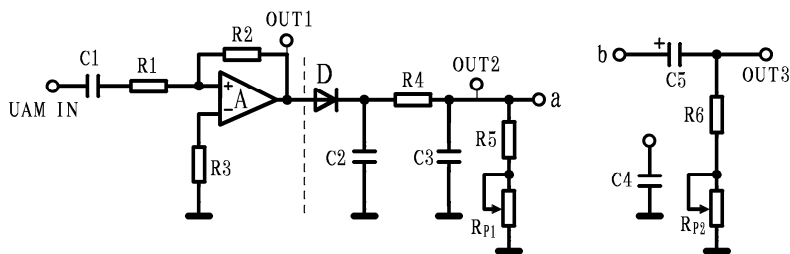


图 6-1 二极管包络检波器

综合考虑要求满足下式：

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

其中： m 为调幅系数， f_0 为载波频率， Ω 为调制信号角频率。

图中 A 对输入的调幅波进行幅度放大(满足大信号的要求)，D 是检波二极管，R4、C2、C3 滤掉残余的高频分量，R5、和 R_{P1} 是可调检波直流负载，C5、R6、 R_{P2} 是可调检波交流负载，改变 R_{P1} 和 R_{P2} 可观察负载对检波效率和波形的影响。

2. 同步检波器

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 6-2 所示，采用 1496 集成电路构成解调器，载波信号 V_c 经过电容 C1 加在⑧、⑩脚之间，调幅信号 V_{AM} 经电容 C2 加在①、④脚之间，相乘后信号由(12)脚输出，经 C4、C5、R6 组成的低通滤波器，在解调输出端，提取调制信号。

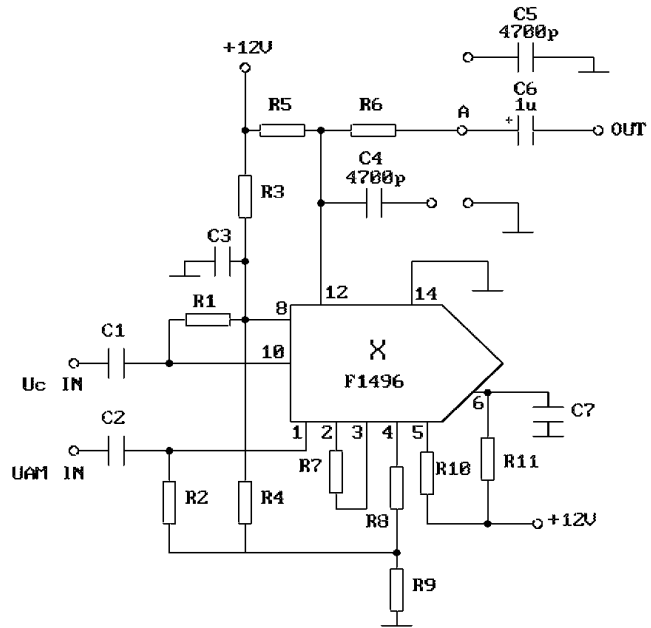


图 6-2 1496 构成的解调器

五、实验内容及步骤

注意：做此实验之前需恢复**实验五**的**实验内容 2 (1)** 的内容。

(一) 二极管包络检波器

实验电路见图 6-1

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 6-1 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_{P1} 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 C4，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 a、b 两点，在 OUT3 观察解调输出信号，调节 R_{P2} 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。

实验四上 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 的单片机集成的)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. 实验板 G5

四、实验电路说明

图 9-1 为 566 型单片集成 VCO 的框图及管脚排列

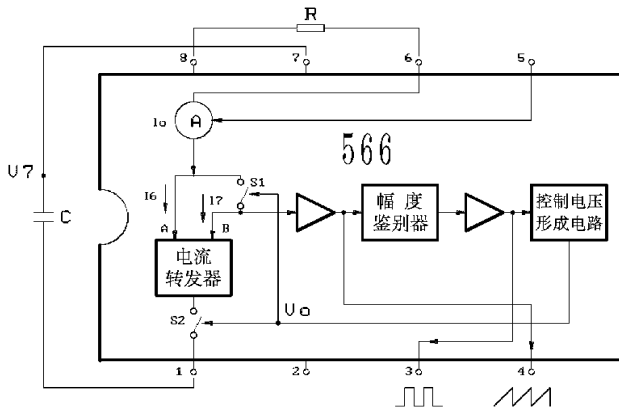


图 9-1 566 (VCO) 的框图及管脚排列

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

图 9-1 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，

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。

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

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

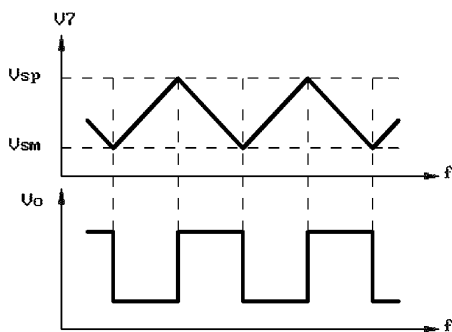


图 9-2

五、实验内容及步骤

实验电路见图 9-3

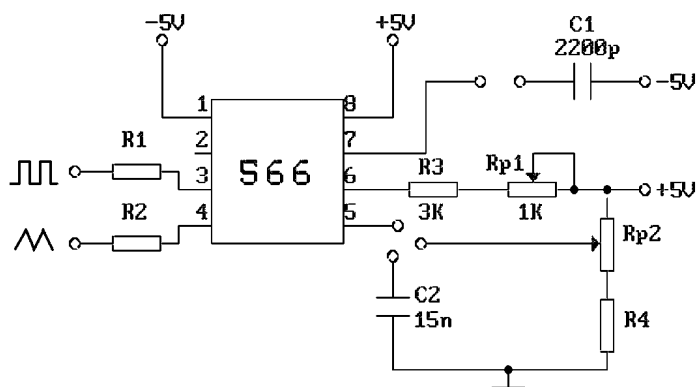


图 9-3 566 构成的调频器

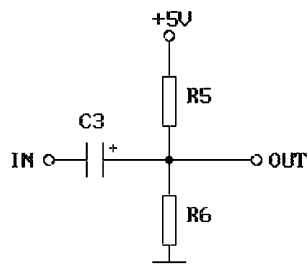


图 9-4 输入信号电路

- 按图接线, 观察 R、C1 对频率的影响(其中 $R=R_3+R_{P1}$)
 - 将 C1 接入 566 管脚⑦, R_{P2} 及 C2 接至 566 管脚⑤; 接通电源($\pm 5V$)。
 - 调 R_{P2} 使 $V_5=3.5V$, 将频率计接至 566 管脚③, 改变 R_{P1} 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。
- 观察输入电压对输出频率的影响

(1) 直流电压控制：先调 R_{P1} 至最大，然后改变 R_{P2} 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 9.1。

表 9.1

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，断开⑤脚所接 C_2 、 R_{P2} ，将图 9-4(即：输入信号电路)的输出 OUT 接至图 9-3 中 566 的⑤脚

(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 $f=5\text{KHz}$ 、 $V_{P-P}=1\text{V}$ ，然后接至图 9-4 电路的 IN 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，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 $f_m=1\text{KHz}$ ， $V_{P-P}=1\text{V}$ ，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 的单片机集成电路)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③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。

实验四下 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. 实验板 G5

四、实验电路说明

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 f_1 ; 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 f_2 , 当 f_1 和 f_2 差别很小时, 可用频率差代表两信号之间的相位差, 即 $f_1 - f_2$ 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 f_2 发生变化, 这一过程不断进行, 直至 $f_2 = f_1$ 为止, 这时称为锁相环锁定。

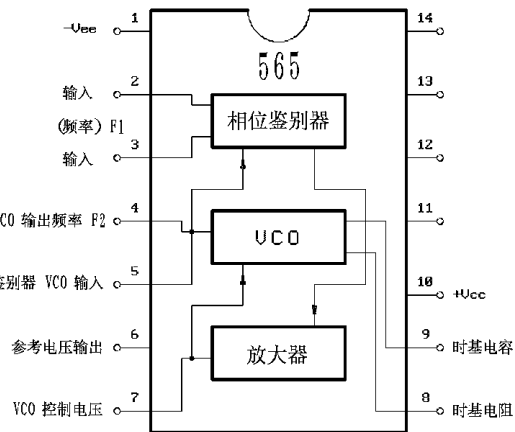


图 10-1 565(PLL) 的框图及管脚排列

五、实验内容及步骤

实验电路见图 10-2

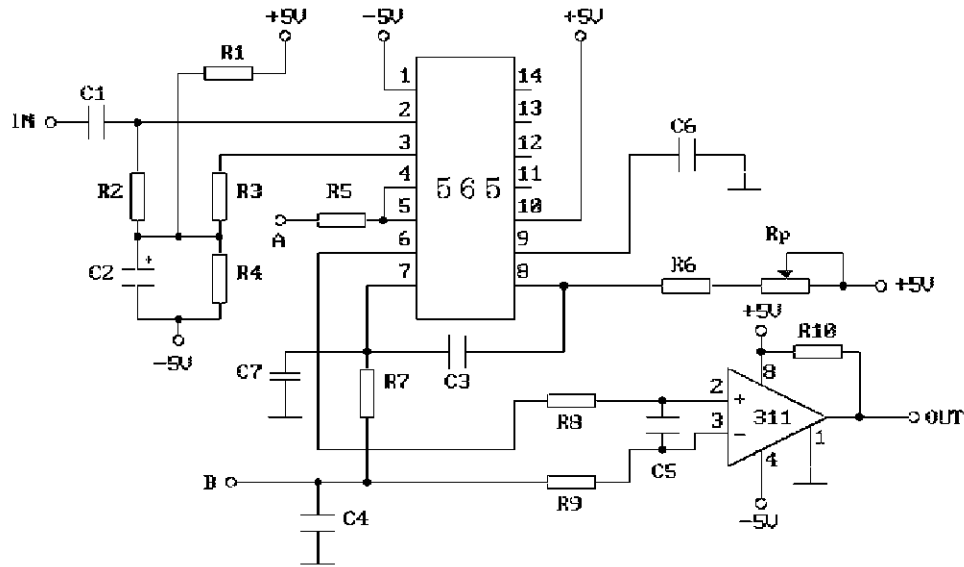


图 10-2 565(PLL)构成的频率解调器

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。先按实验九的实验内容 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_{p1} (逆时针旋转) 使 R 最小, 用双踪示波器观察并记录 566 的输入调制信号 e_m 和 565 “B” 点的解调输出信号。

2. 相移键控解调器: 用峰-峰值 $V_{P-P} \leq 0.2V$, $f_m=1KHz$ 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。