

《 基于 Multisim 通信电路与系统仿真实验 》

实验指导书

梁秀玲 李志忠

广东工业大学信息工程学院

二〇二〇年六月

目 录

实验一	单调谐回路谐振放大器·····	3
实验二	LC 电容反馈式三点式振荡器 ·····	9
实验三	振幅调制器与调幅波信号的解调·····	13

实验一 单调谐放大器

实验项目名称：单调谐放大器

实验项目性质：验证性实验

所属课程名称：高频电子线路

实验计划学时：2 学时

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。

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. 万用表
5. 频率计

三、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。

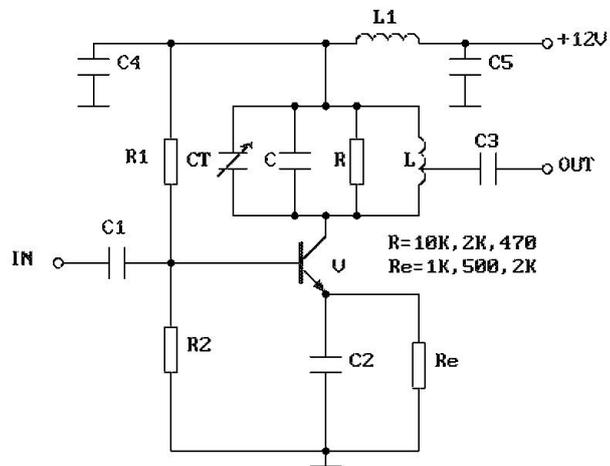


图 1-1 单调谐回路谐振放大器原理图

本次使用 Multisim 12 仿真软件。

仿真电路及条件见图 1-2:

C4、C6、L1、R4 组成中心频率为 10.7MHz 的选频回路。R1、R2 分别是电路的上、下偏置电阻，放大管采用高频小功率管 2N2222A(也可自选管子)

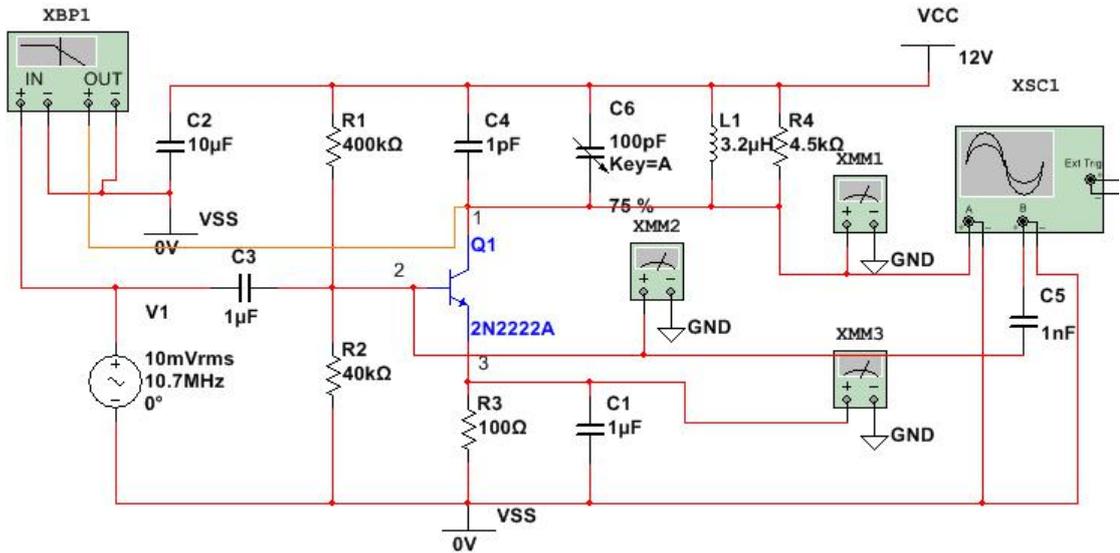


图 1-2 单调谐回路谐振放大器仿真电路图

2. 静态测量

实验电路中选 $R_3=100\Omega$

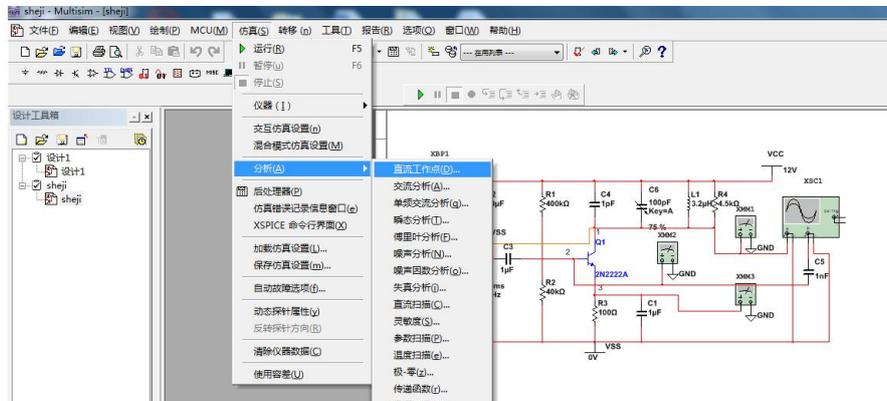
测量各静态工作点，计算并填表 1.1

表 1.1

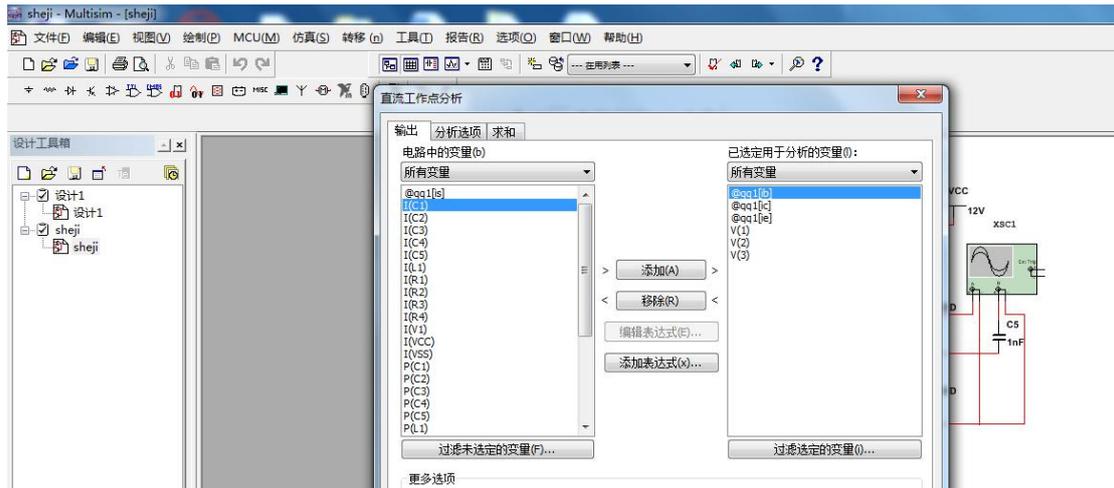
实 测		实测计算		根据 V_{CE} 判断 V 是否工作在放大区		原因
V_B	V_E	I_C	V_{CE}	是	否	

* V_B , V_E 是三极管的基极和发射极对地电压。

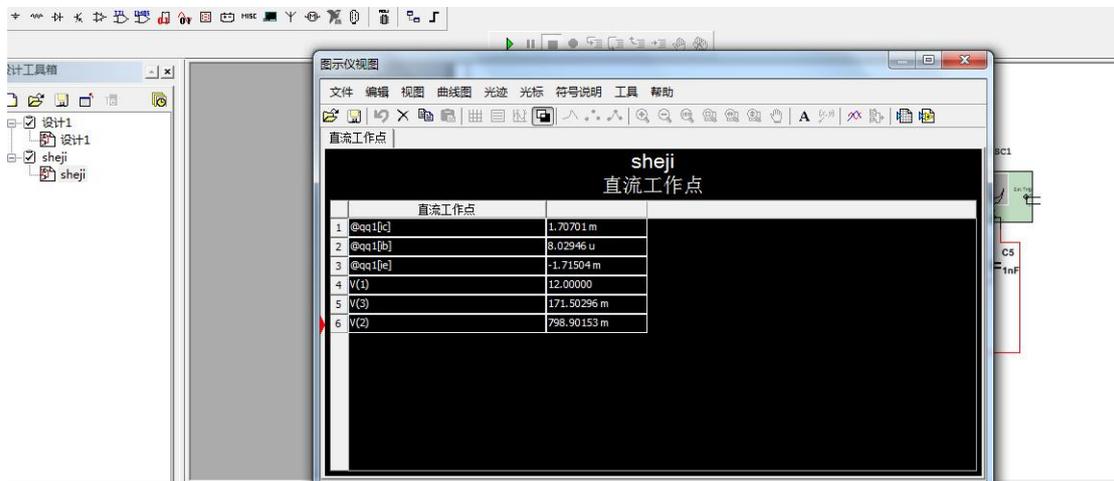
直流测试: 1) . 在仿真菜单选点分析, 打开下一级菜单点击直流工作点打开如下窗口:



2) . 在如下窗口参数表中选择添加分析变量:



3) 点击仿真得到相关直流工作点参数，如参数不符合要求需调整偏置参数。



把测得参数及计算量填入表 1-1.

3. 动态研究

(1). 测放大器参数正常状态下的输入、输出波形。即放大器的动态范围 $V_i \sim V_0$ (在谐振点)

选 $R_4=4.5K$, $R_3=100\Omega$ 。把高频信号发生器接到电路输入端，电路输入，输出端接示波器，选择正常放大区的输入电压 V_i (图中信号源 V_1)，调节 C_6 ，观察频率 f 使其为 $10.7MHz$ ，调节 C_6 使回路谐振，使输出电压幅度为最大。此时调节 V_1 由 0.02 伏变到 0.8 伏，逐点记录 V_0 电压，并填入表 1.2。并依据测试值估算放大器的电压增益。

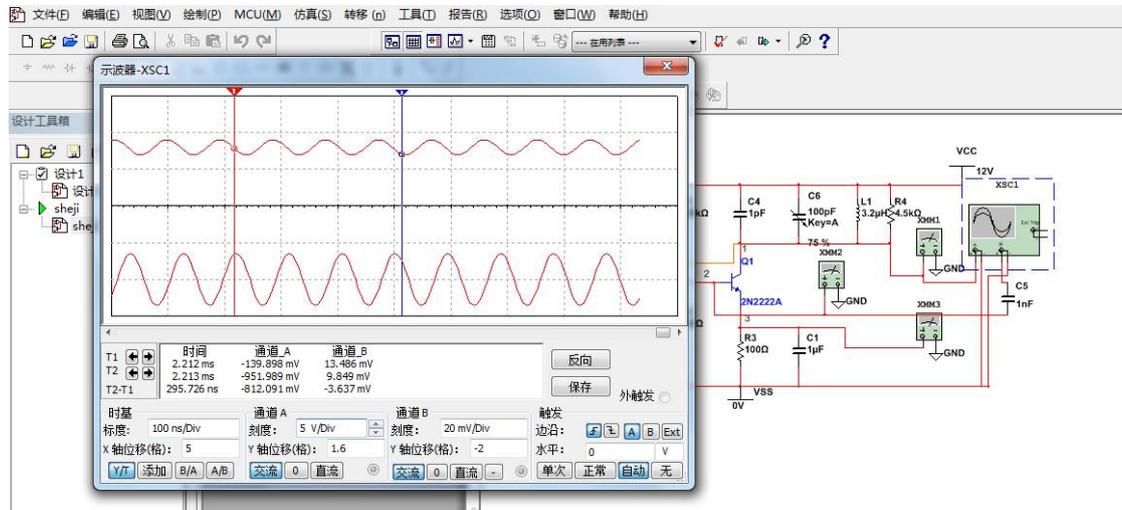
表 1.2

V_i (V)		0.02								0.8
V_0 (V)	$R_3=100\Omega$									
	$R_3=1k$									

(2). 当 $R_c=1K$ 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。

仿真测量图如下：

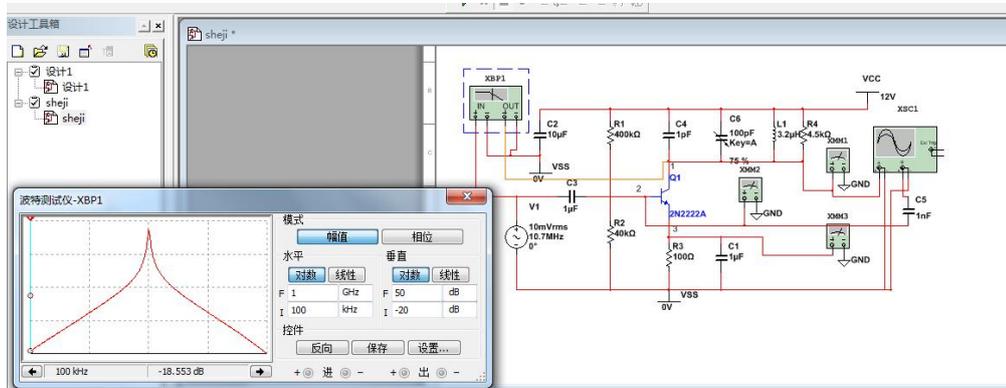
改变 V_i , 观察输入输出的幅值, 记录到表 1-2. 测试电压波形时注意示波器色时间和幅度挡的选择, 时间挡选 200ns/div, A 路幅度挡 5v/div, B 路幅度挡 20mv/div.



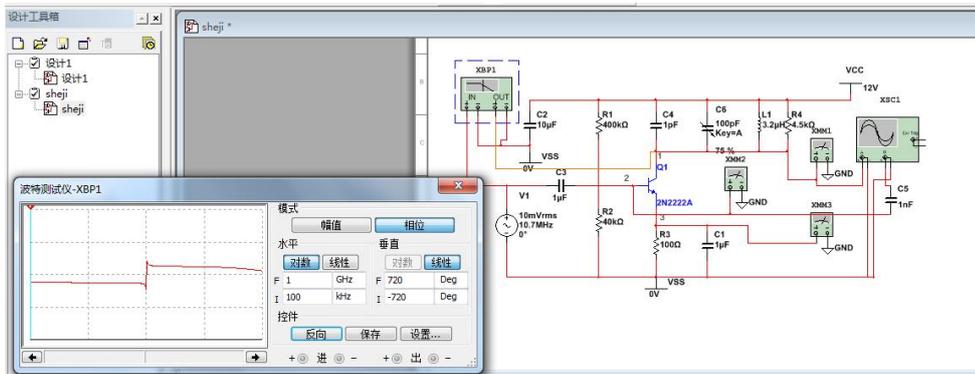
(3). 用频率特性测试仪观察幅频特性及相频特性曲线。

仍选 $R=4.5k\Omega$, $R_e=100\Omega$ 。将扫频仪射频输出送入电路输入信号, 电路输出接至扫频仪检波器输入端。观察回路谐振曲线, 调回路电容 C_6 , 使 $f_0=10.7\text{MHz}$ 。频率特性的测试需注意选择适当的衰减挡, 否则难以获得满意的特性曲线。本放大器测试的频率范围 100kHz-1GHz, F 挡取 50dB, I 挡取 -20dB. 依据测量值计算 $f_0=10.7\text{MHz}$ 时电路的电压放大倍数及回路的通频带和 Q 值。

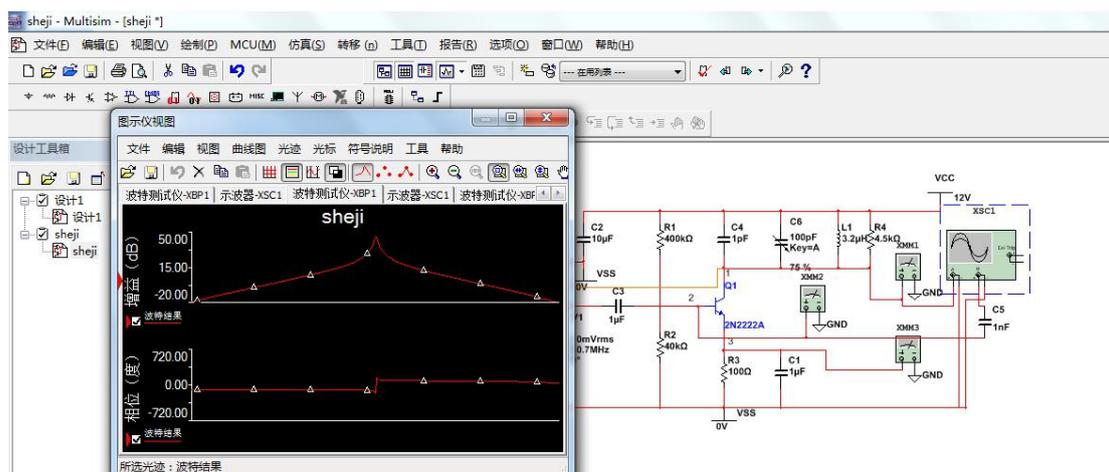
幅频特性曲线：



相频特性曲线：



交流分析得到的频率特性曲线



(4). 测量放大器的频率特性（观察回路失谐状况）

当回路电阻 $R=4.5\text{K}$ 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_6 使回路谐振，使输出电压幅度为最大，此时的回路谐振频率 $f_0=10.7\text{MHz}$ 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_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)		9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7
V_0	$R_4=4.5\text{K}$ Ω											
	$R_4=470$ 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_4 为 470Ω 时，重复上述测试，并填入表 1.3。比较不同回路电阻通频带情况。

4. 改变下偏置电阻 R_2 (由 $40\text{k}\Omega$ 变为 $30\text{k}\Omega$)，测量输出波形，观察增益变化情况。

输入电压 V_i 在 0.02 伏到 0.8 伏取任一数值。截取图形，计算增益与正常偏置值时的测量值比较其变化结果。

四、实验报告要求

1. 写明实验目的。
2. 给出实验仿真电路，计算直流工作点，与实验实测结果比较。
3. 整理实验数据，并给出幅频特性和相频特性曲线，计算通频带和 Q 值。
4. 本放大器的动态范围是多少，讨论 I_C 对动态范围的影响。

五、思考题

1. 简述谐振回路的工作原理，分析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。
2. 谐振放大器的工作频率与哪些参数有关？
3. 实验电路中，若电感量 $L=3.2\ \mu\text{H}$ ，回路总电容 $C=100\text{pF}$ （分布电容包括在内），计算回路中心频率 f_0 。

实验二 LC 电容反馈式三点式振荡器

实验项目名称：LC 电容反馈式三点式振荡器

实验项目性质：验证性实验

所属课程名称：高频电子线路

实验计划学时：2 学时

一、实验目的

1. 掌握 LC 三点式振荡电路的基本原理，掌握 LC 电容反馈式三点振荡电路设计及电参数计算。
2. 掌握振荡回路 Q 值对频率稳定度的影响。
3. 掌握振荡器反馈系数不同时，静态工作电流 I_{EQ} 对振荡器起振及振幅的影响。

二、实验仪器设备

1. 双踪示波器
2. 频率计
3. 万用表

三、实验内容及步骤

实验电路见图 2-1。

实验前根据图 2-1 所示

原理图在实验板上找到相应器件及插孔并了解

其作用。

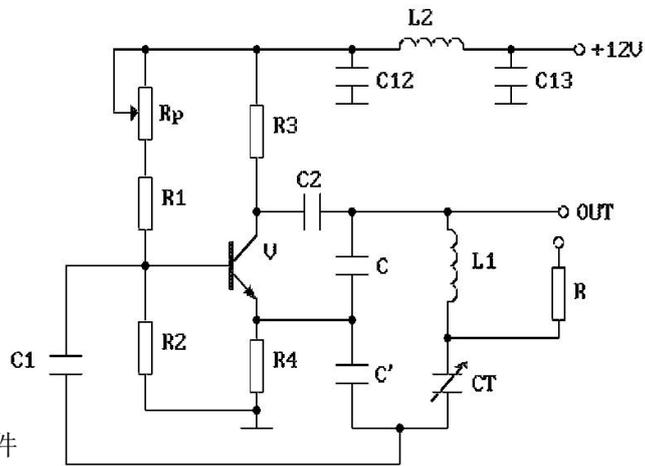


图 2-1 LC 电容反馈式三点式振荡器原理图

克拉泼振荡器仿真电路电路见图 4-2。图中 C2、C4、C5、L1 是构成克拉泼振荡器的相位元件。

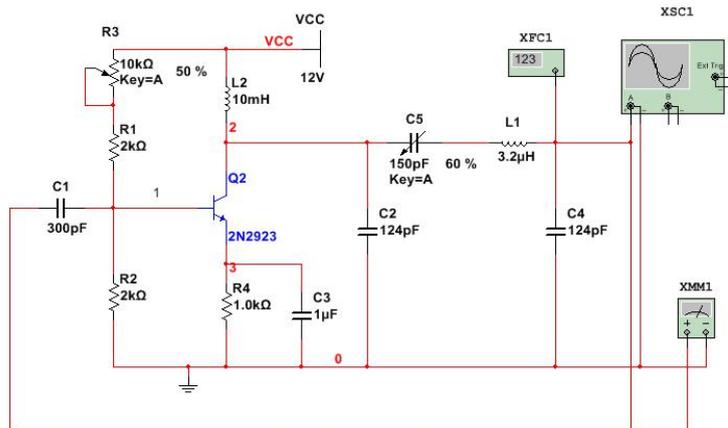


图 2-2 克拉泼振荡器仿真电路

图 2-2 中示波器 XSC1 测量振荡器的输出电压；XFC1M 频率计测量振荡器的频率、周期或脉冲的测量仪；XMM1 万用表测量交、直流电压等参数。

1. 检查静态工作点

(1). 接入+12V 直流电源。

(2). 改变电位器 R_3 测得晶体管 V 的发射极电压 V_E , V_E 可连续变化, 记下 V_E 的最大值, 计算 I_E 值:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \quad \text{设: } R_E = 1\text{K}\Omega$$

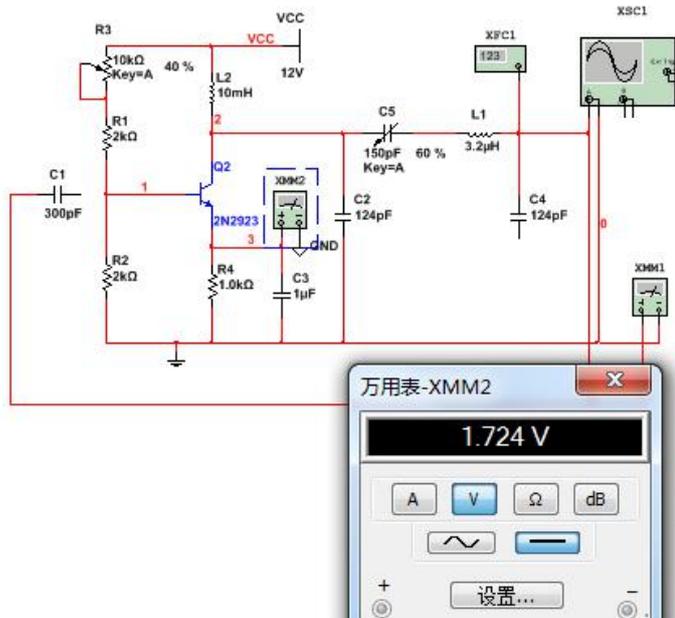


图 2-3 静态工作点测量连接图

2. 仿真实验内容

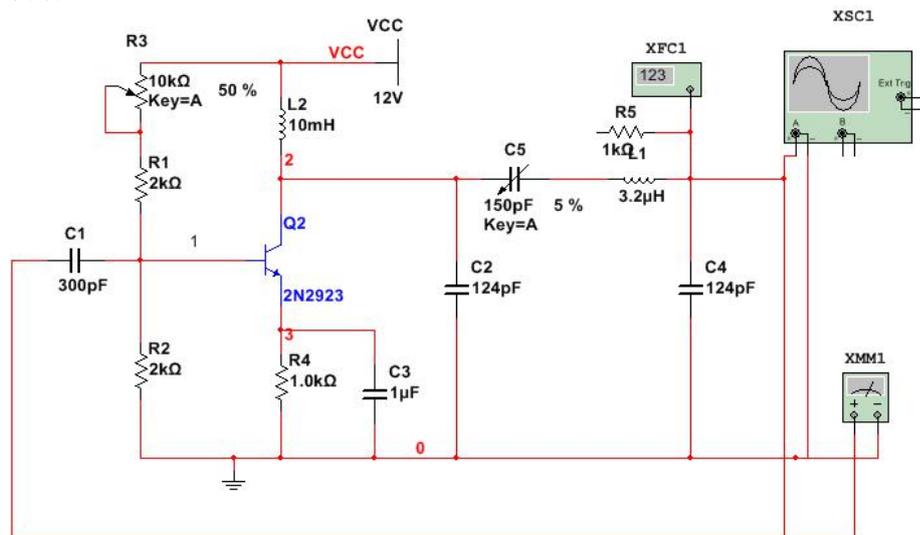
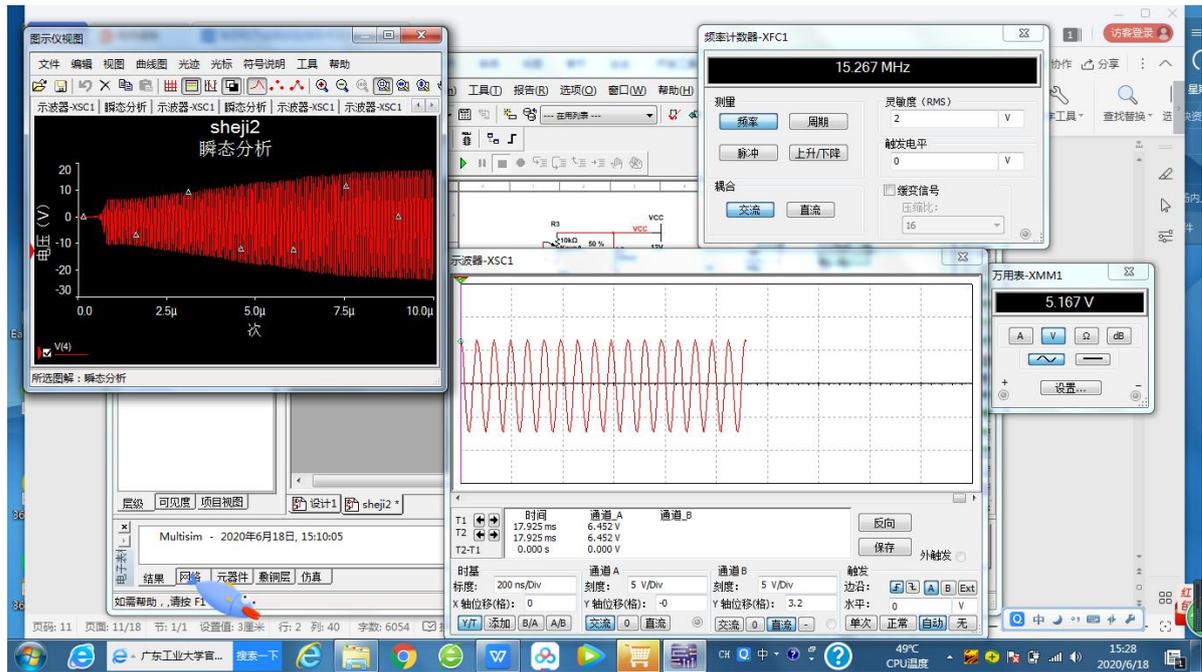


图 2-4 克拉泼振荡器仿真电路

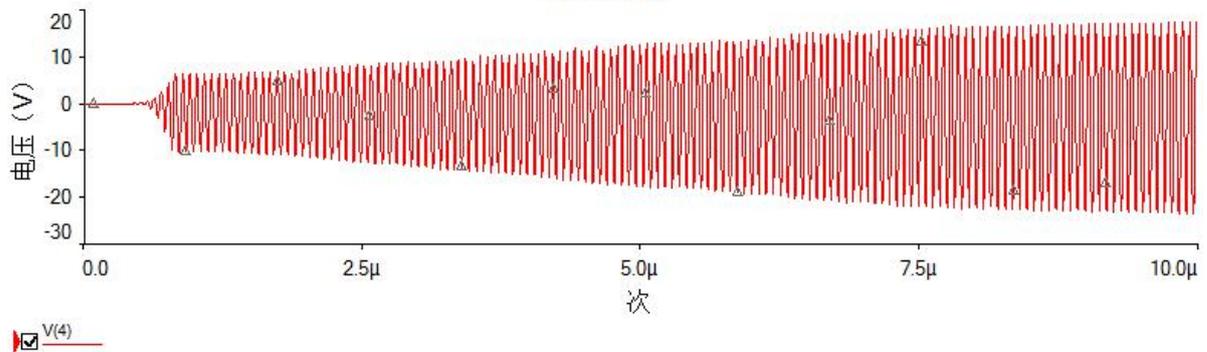
(1) 正常工作状态。在图 2-4 所示的测量电路中, 测量器起振瞬间波形、平衡时波形、振荡时频

率和输出电压值。（静态工作电流 $I_e=2\text{mA}$ ）

如测量结果：



瞬态分析



调节 C5 分别为 20%, 40%, 80% 的 150pf，记录以上波形及数值。

(2) 起振条件仿真

由克拉泼振荡器的起振条件可知，起振条件主要由晶体管跨导（工作点）、负载总耗及反馈系数确定。

①改变偏置电阻 R3 (在上面实验时静态工作点取值为 50%值, 在此基础上变大或变小) 的数值, 观察起振瞬间波形和振荡电压的变化, 注意观察增加 R3 与减小 R3 对起振条件和振荡强弱的影响。记录起振瞬间波形、平衡时波形、振荡时频率和输出电压值。

②改变 C4 (C4 换成 200pf 可调电容) 数值, 观察起振瞬间波形和振荡电压的变化, 将振荡电压测试结果画成曲线, 分析反馈系数的影响。

③改变电源电压为 9v, 观察起振瞬间波形和振荡电压强弱的变化。相同电路参数下记录不同的电源电压起振瞬间波形和振荡电压进行对比分析。(1~2 组数据) (选做)

四、实验报告要求

1. 写明实验目的。
2. 写明实验所用仿真软件。
3. 给出仿真实验电路, 整理实验数据及相关波形, 分析实验结果。
4. 说明本振荡电路有什么特点。

五、预习要求、思考题

1. 复习 LC 振荡器的工作原理。
2. 分析图 2-1 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_e 的最大值 (按图 2-2 参数)。
3. 实验电路中, $L_1=3.2 \mu\text{h}$, 若 $C_2=124\text{pf}$, $C_4=124\text{pf}$, 计算当 $C_5=50\text{pf}$ 和 $C_T=150\text{pf}$ 时振荡频率各为多少?

实验三 振幅调制与解调

实验项目名称：振幅调制与解调

实验项目性质：综合性实验

所属课程名称：高频电子线路

实验计划学时：4 学时

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的方法与过程，并研究已调波与二输入信号的关系。
2. 掌握设置与测量调幅系数的方法。
3. 掌握调幅波的解调方法。
4. 掌握用集成电路实现同步检波的方法。
5. 了解二极管包络检波的主要指标，检波效率及波形失真。
6. 通过实验中波形的变换，学会分析实验现象。

二、实验仪器设备

1. 双踪示波器。
2. 高频信号发生器。
3. 万用表。

三、实验内容及步骤

(一) 振幅调制器(利用乘法器)

幅度调制就是载波的振幅受调制信号的作用周期性的变化。变化的周期与调制信号相同。即振幅变化与调制信号的振幅成正比。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 3-1 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，电路采用了两组差分对由 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 为差分放大器 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；调制信号加在差分放大器 V_5 、 V_6 的输入端，即引脚的①、④之间，②、③脚外接 $1K\Omega$ 电阻，以扩大调制信号动态范围，已调制信号取自双差分放大器的两集电极(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 3-2 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。实验电路见图 3-2 以及仿真电路图 3-3。

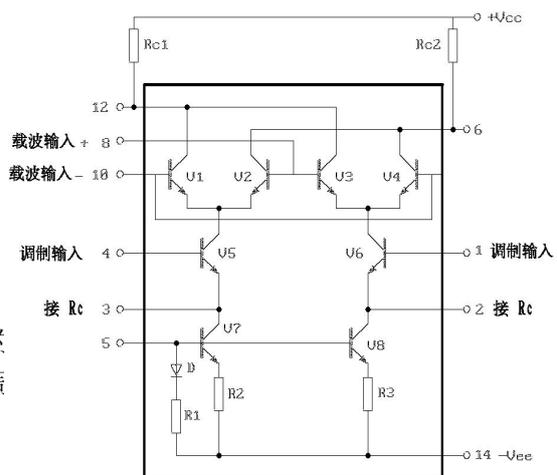


图 3-1 1496 芯片内部电路图

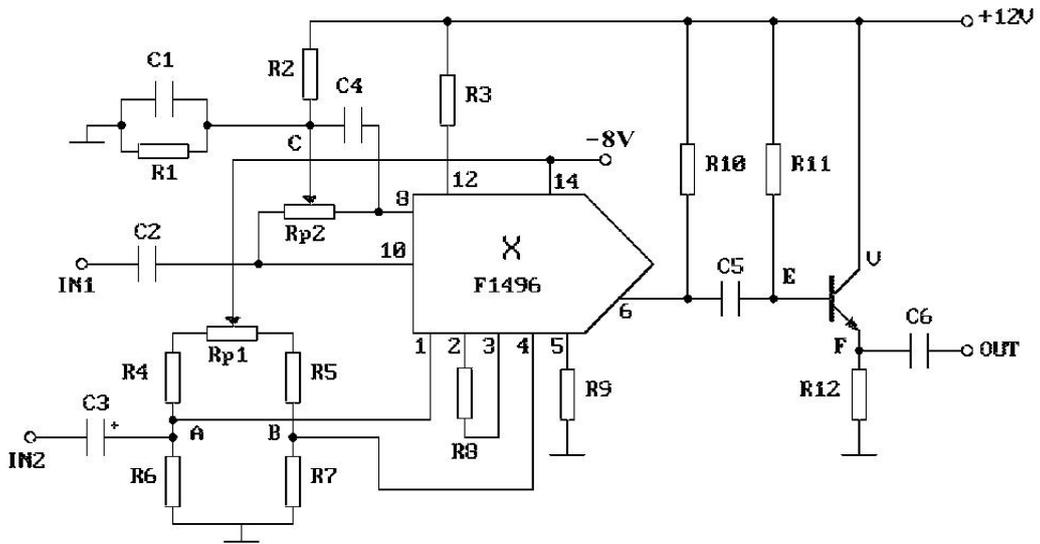


图 3-2 1496 构成的调幅器

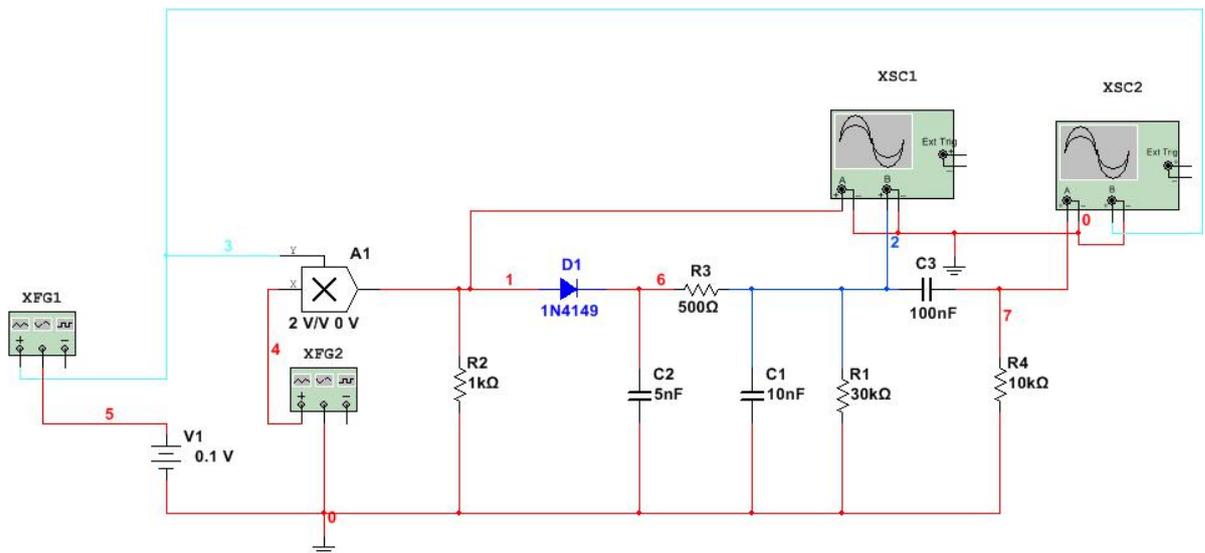


图 3-3 乘法器和二极管包络检波构成的调制与解调电路

1. 直流调制特性的测量

在载波输入端 IN1 加峰值 V_c 为 10mv，频率为 100KHz 的正弦信号，不加调制信号，改变直流电压 V_1 ，用示波器观察 OUT 输出端的波形，以 $V_1=0.1V$ 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 $V_o=KV_{AB}V_c(t)$ 计算出系数 K 值。并填入表 3.1。

表 3.1

V_1	-1.4				0				1.4
V_o (P-P)									
K									

2. 实现全载波调幅

- (1). 调节使 $V_1=0.1V$, 载波信号 U_x 端为 $V_c(t)=10\sin 2\pi \times 10^5 t$ (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 U_y , 求出 $V_s=30mV$ 和 $100mV$ 时的调幅波形 (读取峰一峰值与谷一谷值) 并测出其调制度 m 。

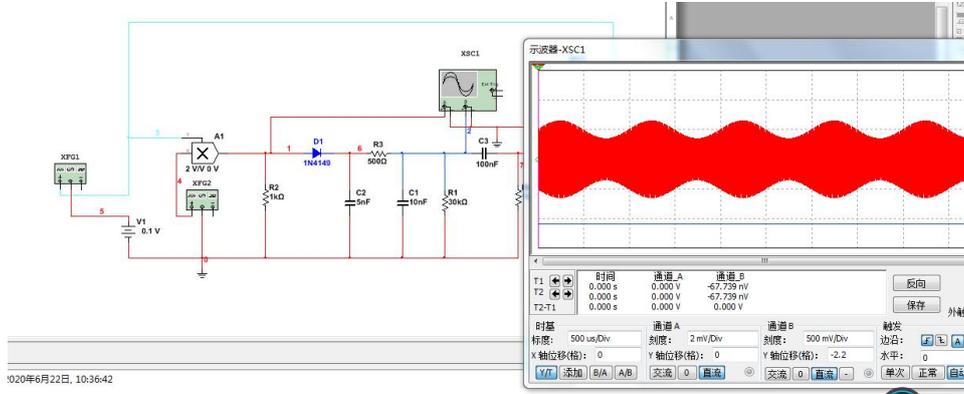


图 3-4 $m=30\%$ 已调幅波形

- (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。

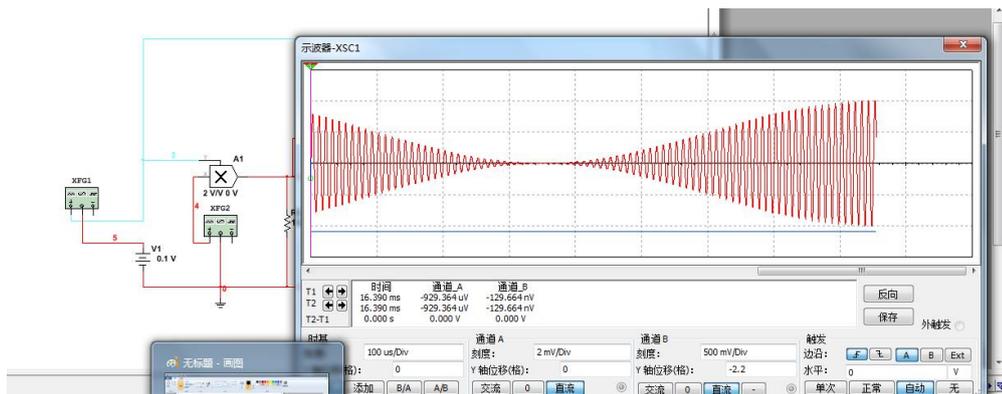


图 3-5 $m=100\%$ 调幅波在零点附近的波形

- (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 $V_1=0V$ 、 $0.1V$ 、 $0.15V$ 时的已调波。

调制信号改为方波, 幅值为 $100mV$, $V_1=0.1V$ 时的已调波仿真截如下图:

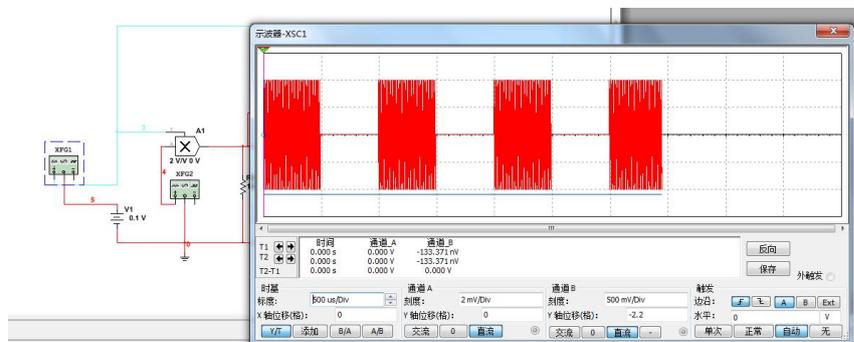


图 3-6 调制信号改为方波的已调波

3. 实现抑制载波调幅

- (1). 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, $V_1=0V$ 观察记录波形, 并标明峰一峰值电压。

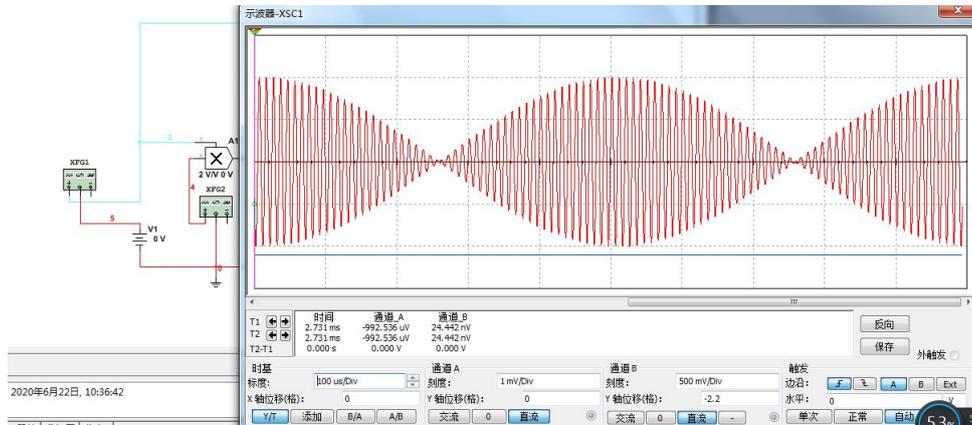


图 3-7 抑制载波双边带波形

- (2). 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。

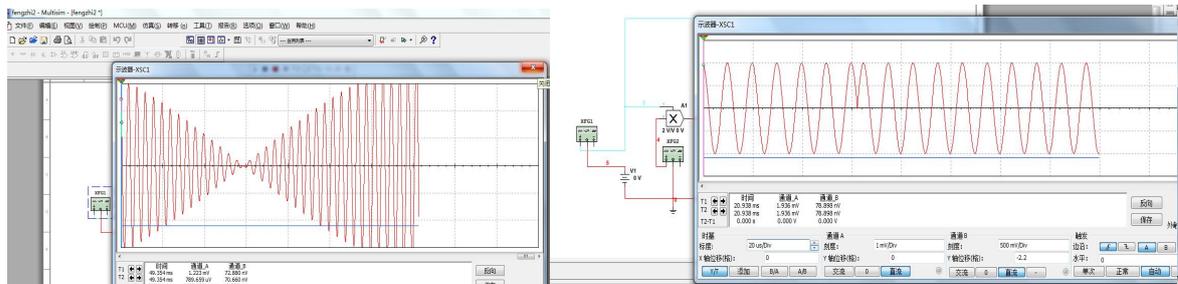


图 3-8 抑制载波双边带波形已调波在零点附近波形

(二) 调幅波信号的解调

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. 同步检波器——集成电路(乘法器)构成解调器

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。**请用乘法器构建的调制与解调仿真电路, 完成以下测量任务。**

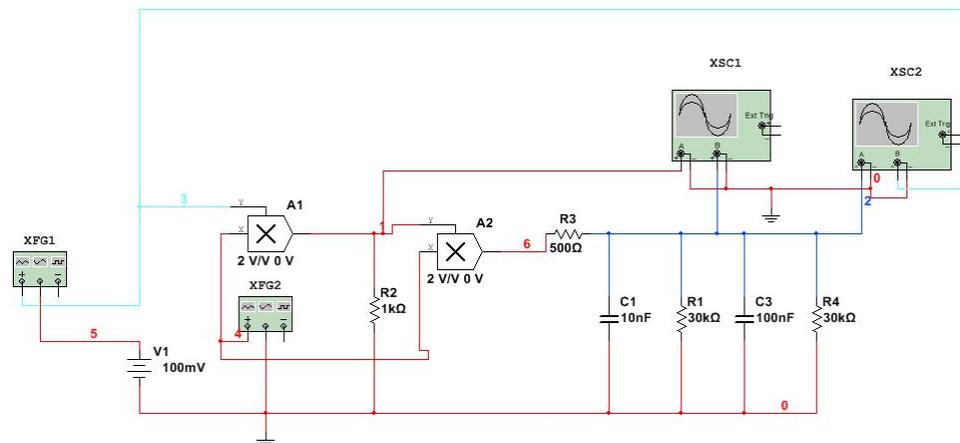


图 3-9 用乘法器构建的调制与解调仿真电路

(1). 解调全载波信号

注意：先恢复调幅实验中的实验内容调制的内容及参数。

- ①. 按调幅实验中实验内容的条件获得调制度分别为 $m=30\%$, $m>100\%$ 的调幅波。将它们依次加至解调器的输入端，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。

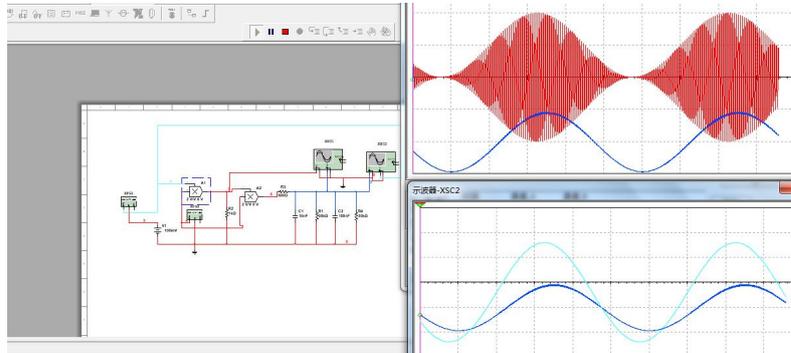


图 3-10 解调全载波信号波形

- ②. 观察记录输出接和不接滤波电容 c_1 、 c_3 , $m=30\%$ 的调幅波输入时的解调器输出波形，并与调制信号相比较。

(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(1) 的条件获得抑制载波调幅波，并加至解调乘法器的 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. 去掉滤波电容观察记录输出波形。

2. 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 3-11 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。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。

实验仿真原理电路如 3-10 图：

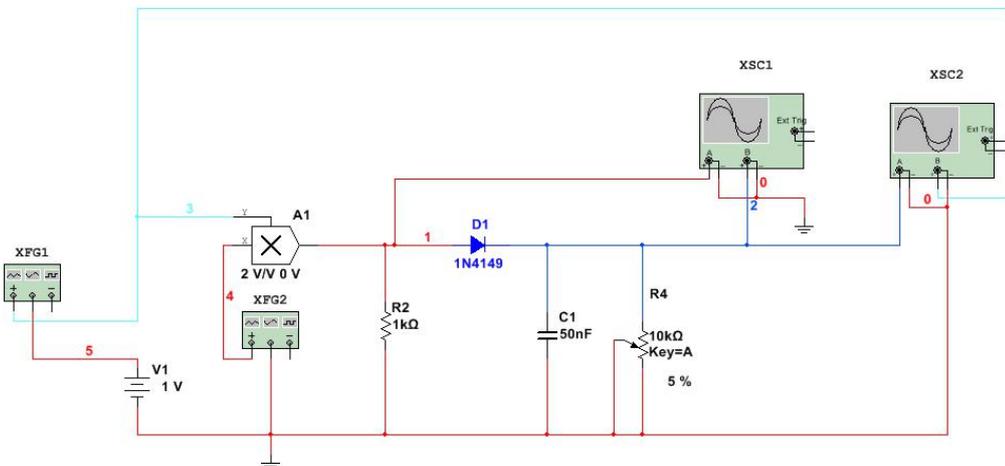


图 3-11 二极管包络检波仿真电路

(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, 适当加大已调信号幅度, 按调幅实验中获得调制度 $m < 30\%$ 的调幅波, 按图 3-11 信号输入端, 由 OUT1 处观察放大后的调幅波, 在 OUT2 观察解调输出信号。读取输入、输出的振幅, 然后根据电压传输系数概念, 计算 K_d 值。

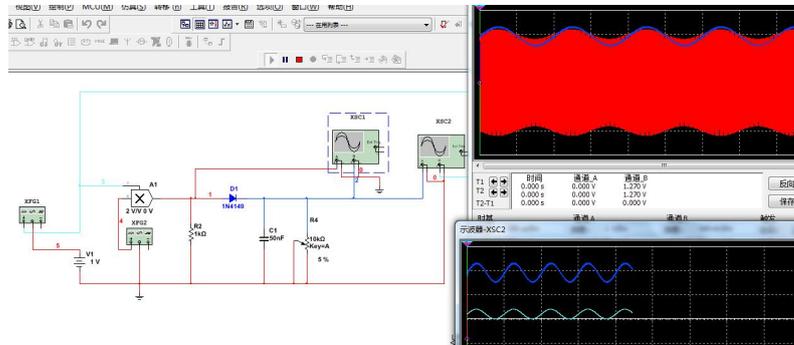


图 3-11 二极管包络检波波形

改变检波电路负载参数, 观察失真情况。测试电路图 3-12。

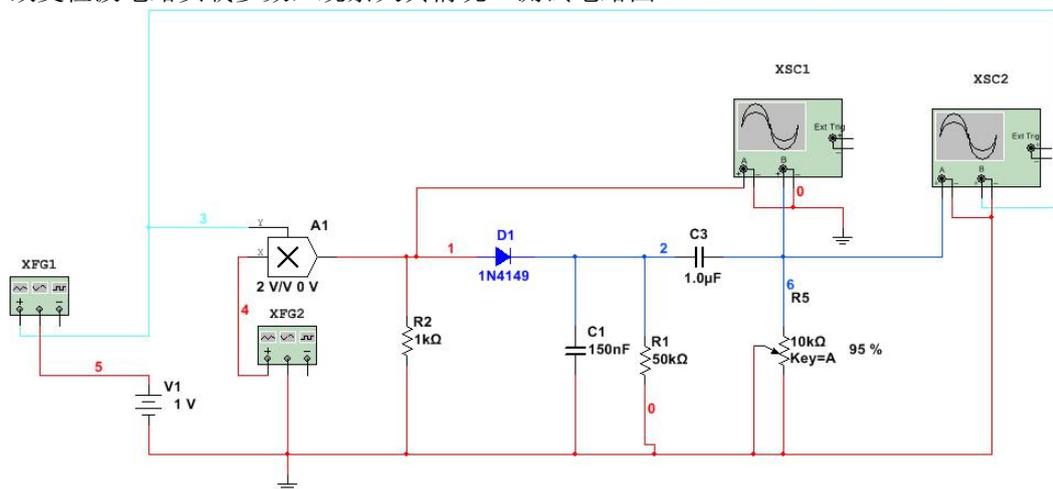
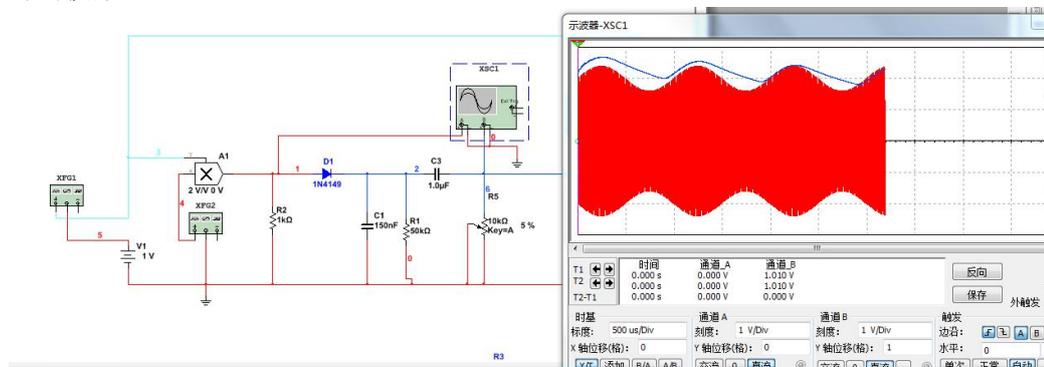
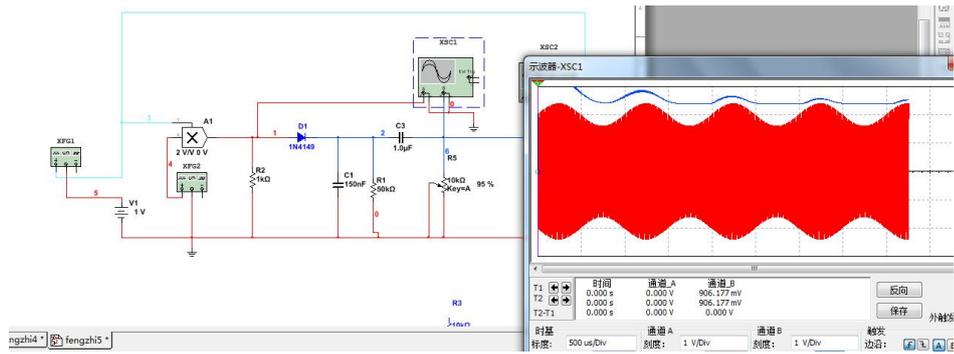


图 3-12 惰性失真及负峰切割失真测试电路

②. 改变直流负载为 $R_1=50k$, $C_1=150Pf$, 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。



③. 改变交流负载 R_5 , 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。



四、实验报告要求

(一) 振幅调制器

1. 整理实验数据，用坐标纸画出直流调制特性曲线。
2. 给出调幅实验中 $m=30\%$ 、 $m=100\%$ 、 $m>100\%$ 的调幅波形，在图上标明峰一峰值电压。
3. 给出当改变 V_1 时能得到几种调幅波形，分析其原因。
4. 给出 100% 调幅波形及抑制载波双边带调幅波形，比较二者的区别。

(二) 调幅波信号的解调

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
同步检波输出			
二极管包络检波器输出			

2. 给出二极管包络检波惰性失真及负峰切割失真波形。

五、预习要求、思考题

1. 预习课本中有关调幅和解调原理。
2. 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。
3. 二极管包络检波产生波形失真的主要因素是什么？

