

# 电子科技大学

# 实验报告

学生姓名：韩博宇

学号：2019040708023

指导教师：荣智海 郭迅

实验地点：主楼 A2-412

实验时间：2021 年 5 月 29 日

## 一、实验项目名称：Multisim 仿真软件环境练习一

## 二、实验目的：

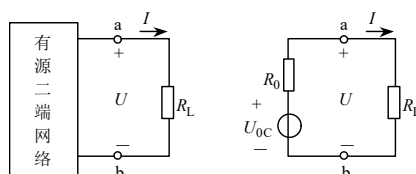
1. 熟悉并掌握 Multisim 仿真软件的使用
2. 掌握各种常用电路元器件的逻辑符号
3. 设计电路并仿真验证戴维宁定理，
4. 设计一阶电路 RC 仿真，掌握暂态响应的观察和测试。
5. 学习基本 R/L/C 的相位观察，掌握相位差的测试

## 三、实验内容、数据及结果分析：

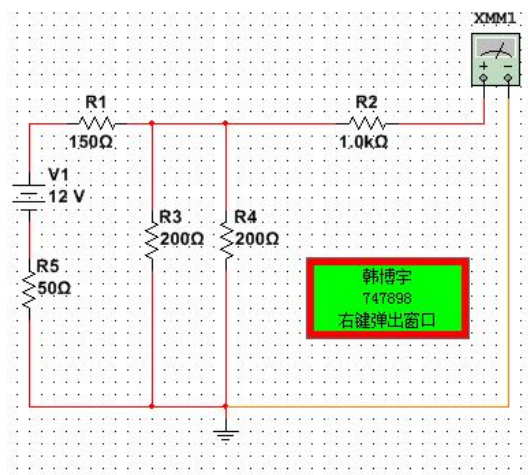
### 1. 戴维南定理验证

#### (1) 戴维南定理内容

对外电路来说，任何一个线性有源二端网络，都可以用一个电压源即恒压源和电阻串联的支路来代替，其恒压源电压等于线性有源二端网络的开路电压  $U_{OC}$ ，电阻等于线性有源二端网络除源后两端间的等效电阻  $R_0$ 。



#### (2) 戴维南定理实验电路



### (3) 实验过程

①按照电路图搭建电路，并设置各仪器数值；

②通过理论计算可以得出  $U_{OC}=4V$ ， $R_0=\frac{200}{3}\Omega$ ；

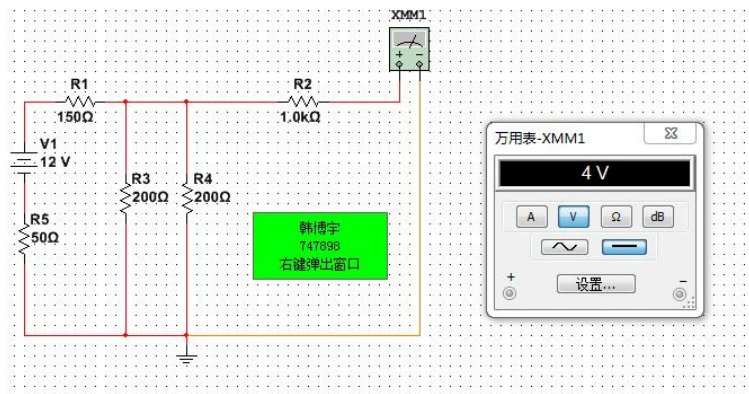
③将万用表调至直流电压档，测出电压；

④将电压源去掉，万用表调至电阻档，测出电阻；

⑤对比测试结果与理论结果。

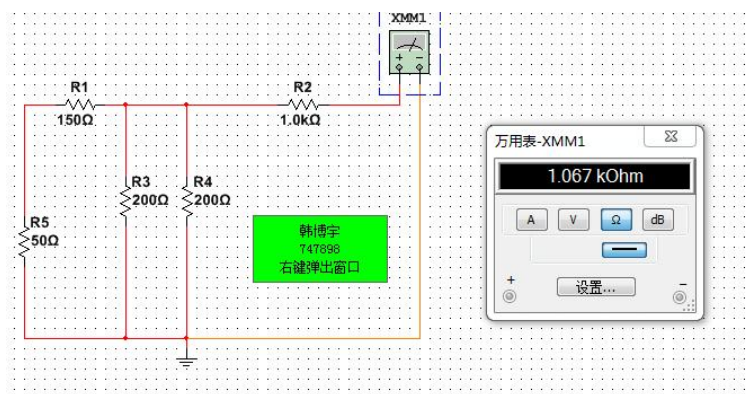
### (4) 实验运行结果及结果分析

①测得电压的数据如下：



由实验结果可知，测得的  $U_{OC}=4V$ ，与理论结果 4V 完全相同。

②测得电阻的数据如下：



由实验结果可知，测得的  $R_0=1.067k\Omega-1k\Omega=67\Omega$ ，与理论结果  $\frac{200}{3}\Omega$  基本相同。

### (5) 实验结论

由实验结果可知，测得的  $U_{OC}$  和  $R_0$  与理论结果相同，戴维南定理验证成立。

## 2.一阶 RC 电路零输入零状态响应观察

### (1) 一阶 RC 电路零输入零状态响应内容

#### ①一阶 RC 电路零输入响应

储能元件的初始值为零，仅仅由输入激励引起的响应。

$$u_C(t) = U_S(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) (t \geq 0)$$

时间常数： $\tau=RC$ ，工程上当  $t \geq 5\tau$  时可以看成稳态。

当  $t=0$  时， $u_C(0)=0$ ，当  $t=\tau$  时， $u_C(\tau) = 0.632u_S$ ，即在零状态响应中，电容电压上升到稳态值  $u_C=u_S$  的 63.2%所需的时间是  $\tau$ 。而当  $t=4\sim 5\tau$  时， $u_C$  上升到其稳态值  $u_S$  的 98.17%~99.3%，一般认为充电过程即告结束。

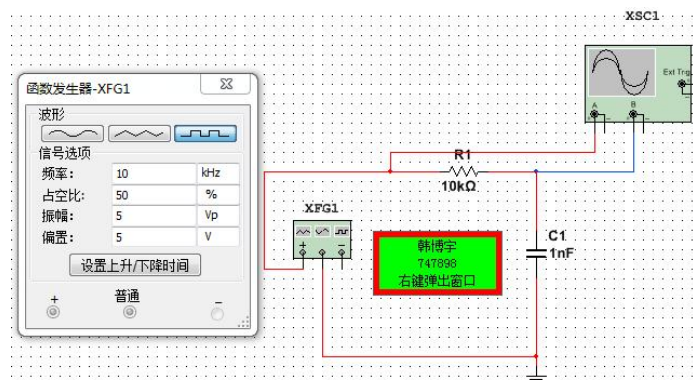
## ②一阶 RC 电路零状态响应

电路在无激励情况下，由储能元件的初始状态引起的响应。

$$u_C(t) = U_C(0_-)e^{-\frac{t}{\tau}} (t \geq 0)$$

时间常数： $\tau = RC$ ，工程上当  $t \geq 5\tau$  时可以看成稳态。

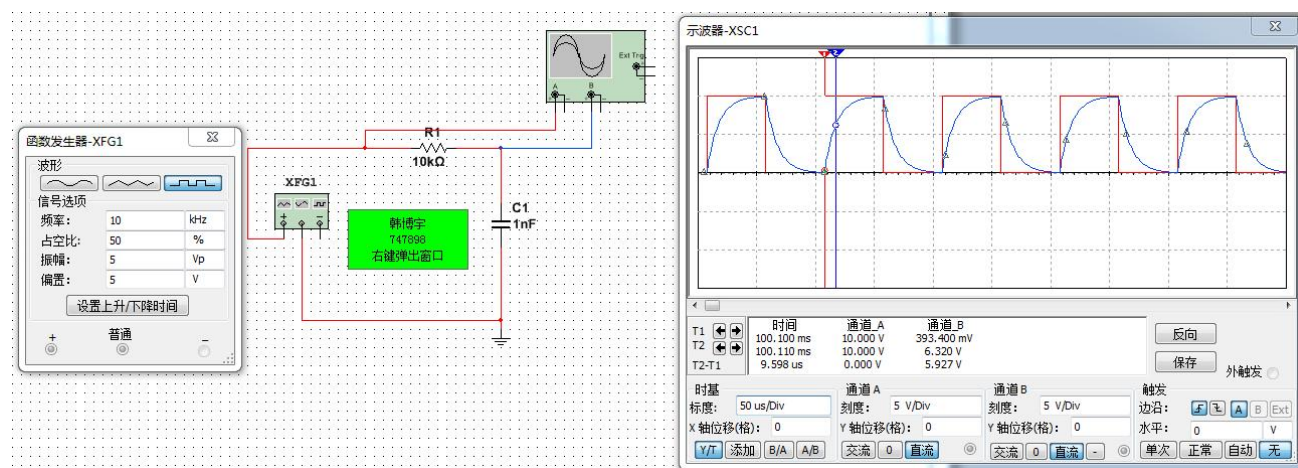
### (2) 一阶 RC 电路零输入零状态响应电路



### (3) 实验过程

- ①按照电路图搭建电路，并设置各仪器数值；
- ②设置  $R=10k\Omega$ ， $C=1nF$ ；
- ③计算时间常数  $\tau=RC=10^{-5}$ ；
- ④函数发生器选择周期  $T=10\tau=10^{-4}s$ ，调好频率  $f=10kHz$ ；
- ⑤函数发生器选择输出方波信号，振幅=5V，偏置=5V；
- ⑥用示波器观察电容响应波形；
- ⑦测出时间常数  $\tau$ ，绘出  $u_S(t)$ 、 $u_C(t)$  的波形。

### (4) 实验运行结果及结果分析



$u_S(t)$ 、 $u_C(t)$  的波形如上图所示。

通过读数可得到，测得  $\tau$  的值为  $9.598 \mu s$ ，与理论值  $10 \mu s$  基本相同。

### (5) 实验结论

由实验结果可知，测得  $\tau$  的值与理论结果基本相同，成功观察到一阶 RC 电路零输入零状态响应。

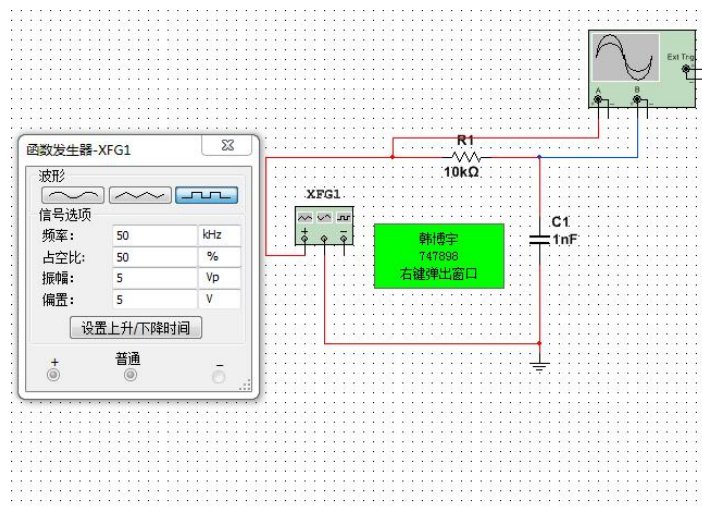
## 3.一阶 RC 电路全响应

### (1) 一阶 RC 电路全响应内容

全响应=零输入响应+零状态响应

$$u_C = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} + U_S (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) (t \geq 0)$$

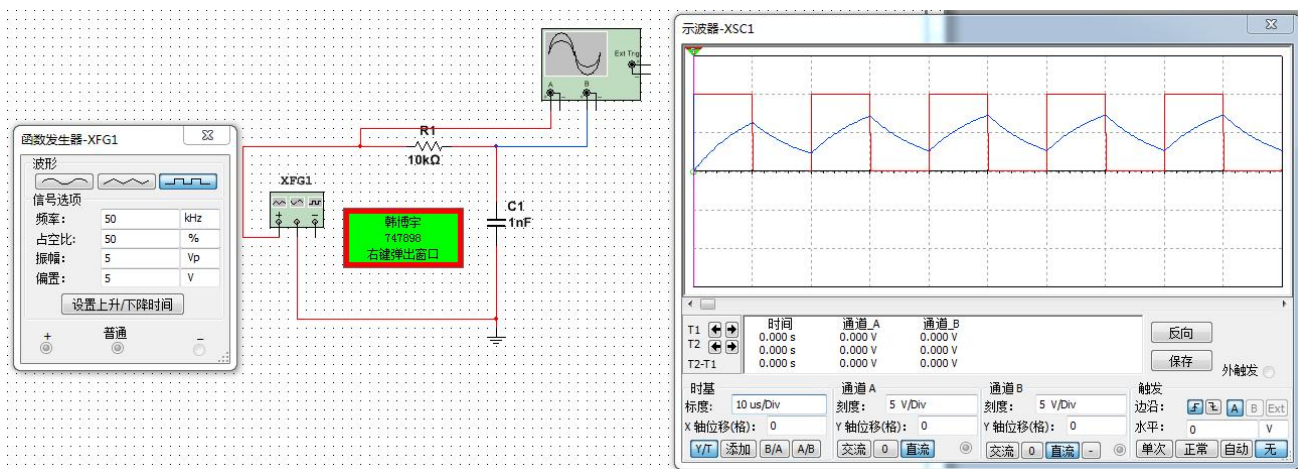
### (2) 一阶 RC 电路全响应电路



### (3) 实验过程

- ①按照电路图搭建电路，并设置各仪器数值；
- ②设置  $R=10k\Omega$ ， $C=1nF$ ；
- ③计算时间常数  $\tau=RC=10^{-5}s$ ；
- ④函数发生器选择周期  $T=2\tau=2\times 10^{-5}s$ ，调好频率  $f=50kHz$ ；
- ⑤函数发生器选择输出方波信号，振幅=5V，偏置=5V；
- ⑥在示波器上观察激励与响应的变化规律，绘出  $u_s(t)$ 、 $u_C(t)$  的波形。

### (4) 实验运行结果及结果分析



$u_s(t)$ 、 $u_C(t)$  的波形如上图所示。

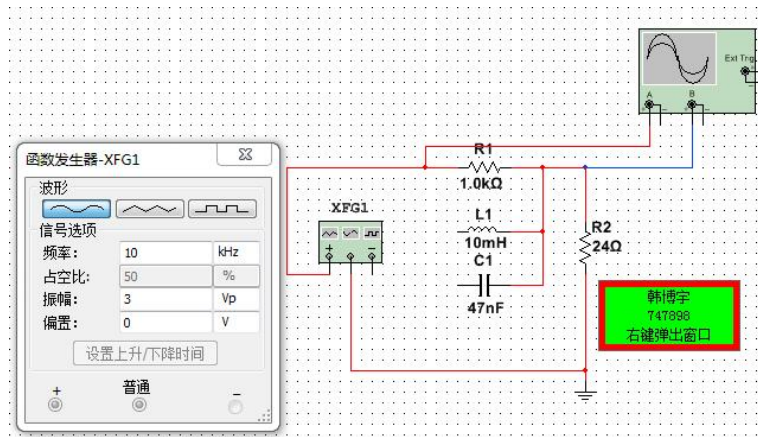
## 4.基本器件 R/L/C 电压电流相位差观察

### (1) 基本器件 R/L/C 电压电流相位差内容

- ①电阻电压、电流同相，即电压电流的相位差为零；
- ②电感的电压比电流超前  $90^\circ$ ；
- ③电容的电压比电流滞后  $90^\circ$ 。

### (2) 基本器件 R/L/C 电压电流相位差电路



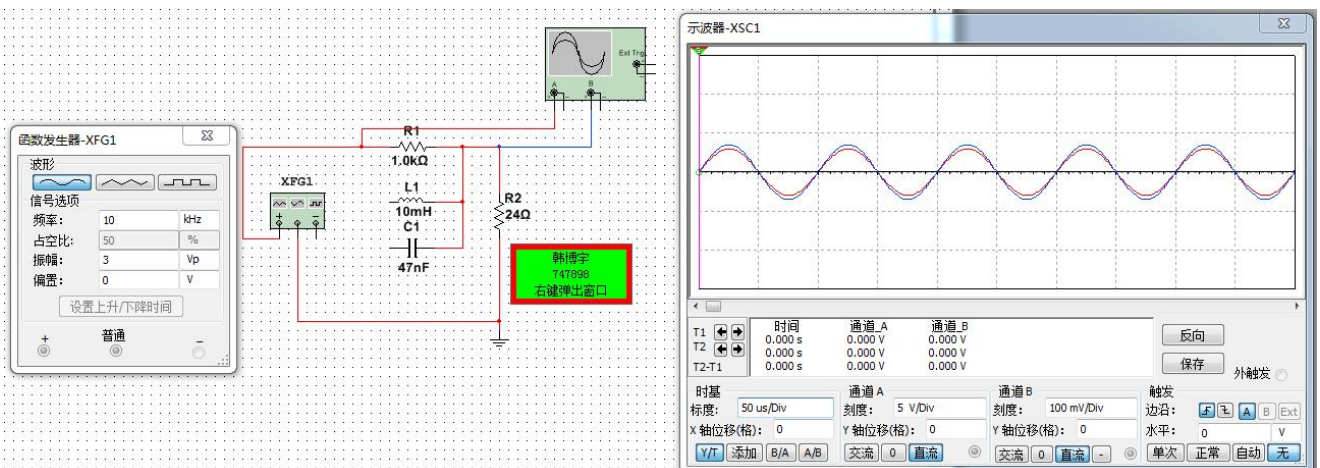


### (3) 实验过程

- ①按照电路图搭建电路，并设置各仪器数值；
- ②调节函数发生器为正弦波，振幅=3V， $f=10\text{kHz}$ ；
- ③调整取样电阻为  $24\Omega$ ；
- ④分别选取  $R=10\text{K}\Omega$ ， $L=10\text{mH}$ ， $C=47\text{nF}$ ，测试三种基本元器件并记录输入与输出波形，标明对应元件的电压和电流的相位关系。

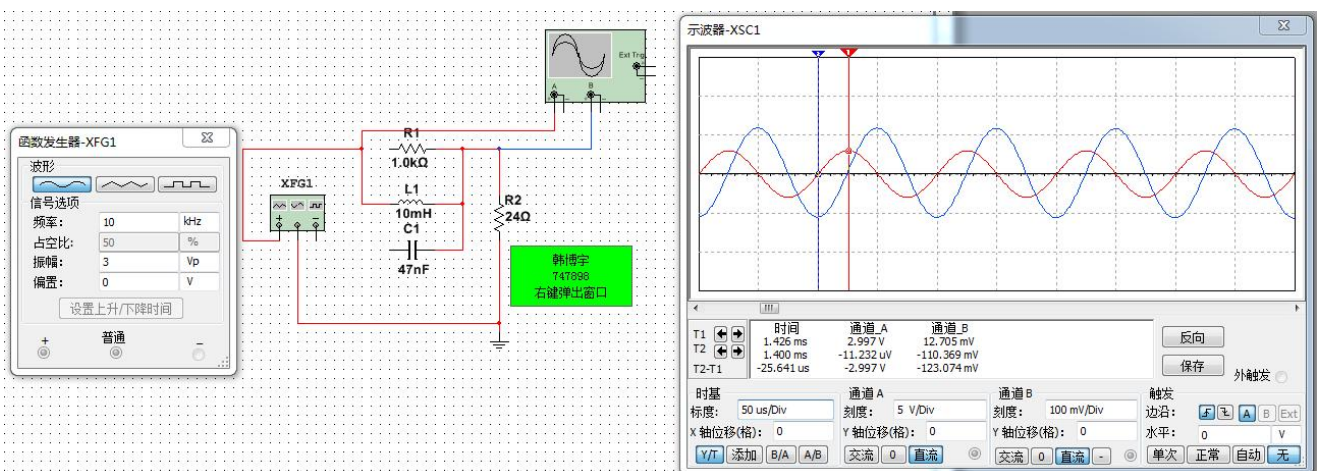
### (4) 实验运行结果及结果分析

#### ①电阻



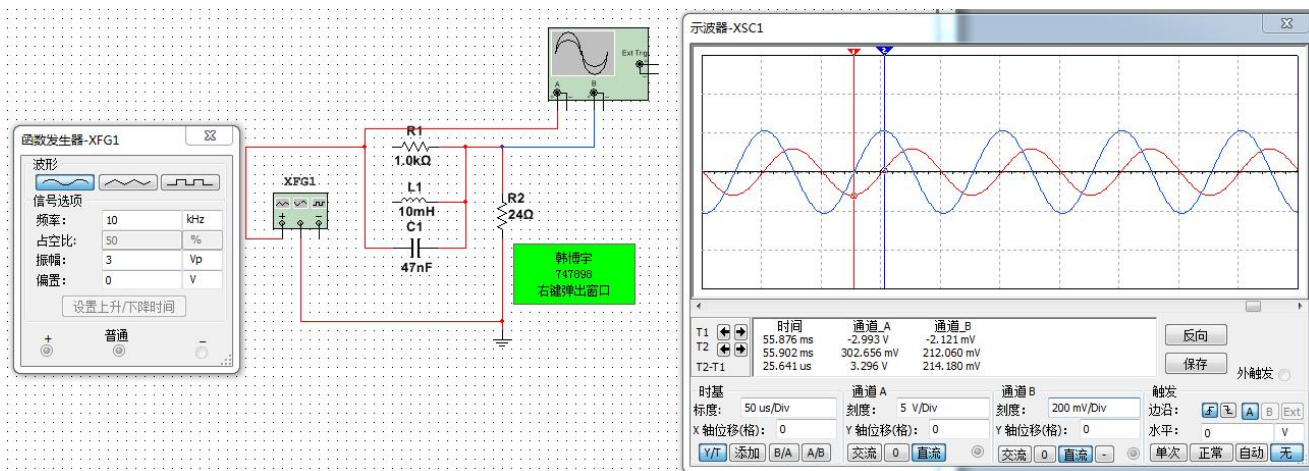
通过实验结果可以观察到，电阻的电压电流的相位差为 0，电阻电压、电流同相。

#### ②电感



通过实验结果可以观察到，电感的电压比电流超前  $90^\circ$ 。

#### ③电容



通过实验结果可以观察到，电容的电压比电流滞后  $90^\circ$ 。

#### (5) 实验结论

由实验结果可知，电阻电压、电流同相，即电压电流的相位差为零；电感的电压比电流超前  $90^\circ$ ；电容的电压比电流滞后  $90^\circ$ 。

### 四、总结及实验结论：（联系理论知识进行说明得体会）

本次完成了四个实验内容：戴维南定理验证、一阶 RC 电路零输入零状态响应观察、一阶 RC 电路全响应、基本器件 R/L/C 电压电流相位差观察。（理论知识部分在上一部分已做详细陈述）

①戴维南定理验证实验中，测得的  $U_{OC}=4V$ ，与理论结果  $4V$  完全相同；测得的  $R_0=1.067k\Omega-1k\Omega=67\Omega$ ，

与理论结果  $\frac{200}{3}\Omega$  基本相同，因此戴维南定理验证成立。

②一阶 RC 电路零输入零状态响应观察实验中，测得  $\tau$  的值与理论结果基本相同，并成功观察到  $u_s(t)$ 、 $u_c(t)$  的波形。

③一阶 RC 电路全响应实验中，成功观察到  $u_s(t)$ 、 $u_c(t)$  的波形。

④基本器件 R/L/C 电压电流相位差观察实验中，测得：电阻电压、电流同相，即电压电流的相位差为零；电感的电压比电流超前  $90^\circ$ ；电容的电压比电流滞后  $90^\circ$ 。

通过这次实验，我更加深入理解了电路分析与模拟电路这门课上电路分析部分所学内容，提高了动手能力，而且能让我今后遇到不会的问题时，有方法动手操作验证，收获颇丰。

# 电子科技大学

# 实验报告

学生姓名：韩博宇

学 号：2019040708023

指导教师：荣智海 郭迅

实验地点：主楼 A2-412

实验时间：2021 年 6 月 5 日

## 一、实验项目名称：Multisim 仿真软件环境练习二

## 二、实验目的：

- 1.进一步熟悉软件使用。
- 2.了解二极管三极管伏安特性的观测方法
- 3.掌握直流电压、电流及正弦信号的测试方法
- 4.学习共射 NPN 单级放大器静态工作点、放大倍数及其输入、输出电阻的测试
- 5.学习运放电路的基本运算功能的仿真测试

## 三、实验内容、数据及结果分析：

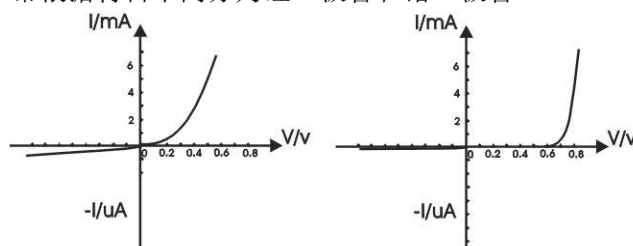
### 1.二极管伏安特性的观测

#### (1) 二极管内容

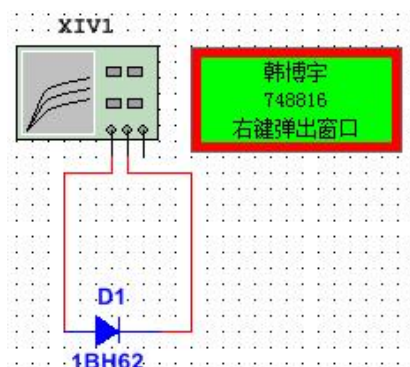
在一个 PN 结的两端加上引线，然后把它封装在管壳内，就构成了一个二极管。其构成材料包括硅、锗、砷化镓等，其特性是单向导电性，其用途有检波、整流、开关、稳压、变容、发光、光敏。

P 区引出的一端叫正极，N 区引出的一端叫负极。

二极管的分类方法很多，常根据材料不同分为硅二极管和锗二极管。



#### (2) 二极管伏安特性的观测实验电路

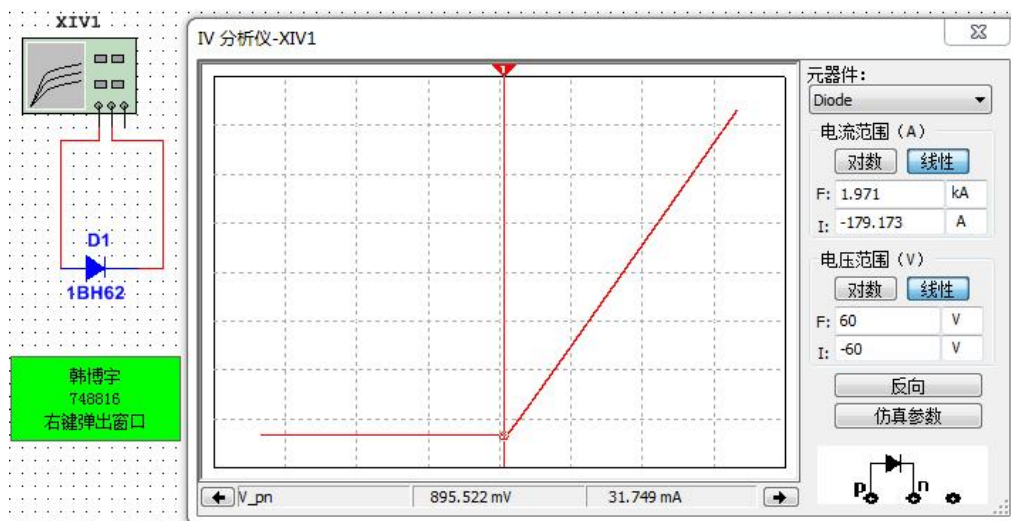


#### (3) 实验过程

- ①按照电路图搭建电路；
- ②运行电路，观测 IV 分析仪。

#### (4) 实验运行结果及结果分析

测得 IV 分析仪的结果如下：



通过 IV 分析仪观察到了二极管的伏安特性。

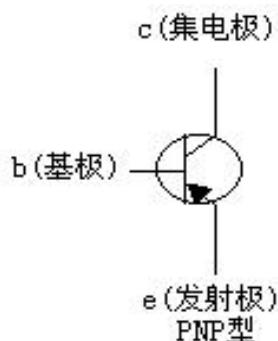
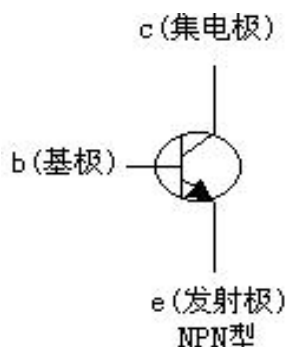
#### (5) 实验结论

由实验结果可知，成功观察到二极管的伏安特性。

### 2. 共射 NPN 单级放大器静态工作点、放大倍数及其输入、输出电阻的测试

#### (1) 共射 NPN 单级放大器静态工作点、放大倍数及其输入、输出电阻的测试内容

晶体三极管内部含有两个 PN 结，外部具有三个电极的半导体器件，其构成材料有硅、锗，作用：电路的放大、振荡、控制、稳压、倒相、开关、阻抗匹配。



#### ① 基极分压射极偏置电路

估算 Q 点：

$$V_B \approx \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} R_2$$

$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$$

$$V_{CE} \approx V_{CC} - (R_C + R_E) I_C$$

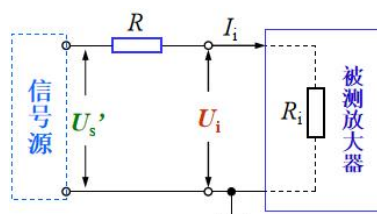
Q 点的选取：

一般 Q 点设置在交流负载线的中间位置是最为理想的；实际工作中，也经常取  $V_{CE} = 0.5V_{CC}$

#### ② 输入电阻的测量

两次电压法：



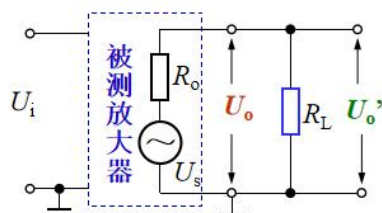


在输入回路串联取样电阻  $R$ ；直接测量取样电阻  $R$  两端的信号电压： $U_s'$ 、 $U_i$

带入公式计算： $R_i = \frac{U_i}{U_s' - U_i} R$

### ③输出电阻的测量

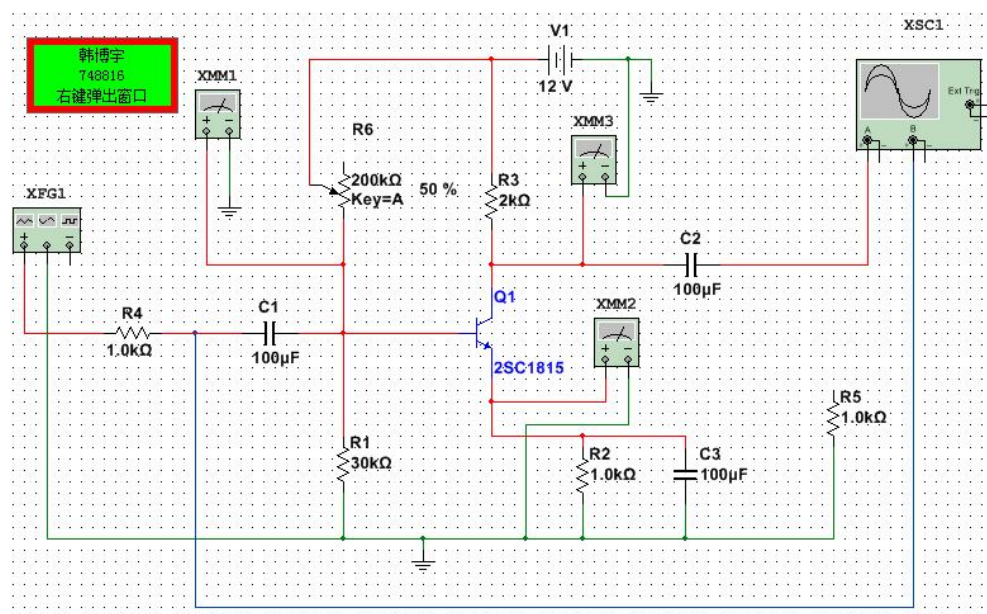
两次电压法：



保持输入信号电压不变，测出无负载电阻  $R_L$  时的输出电压  $U_o$ ，再测量带载以后的输出  $U_o'$

带入公式计算： $R_o = (\frac{U_o}{U_o'} - 1) R_L$

## (2) 共射 NPN 单级放大器静态工作点、放大倍数及其输入、输出电阻的测试电路



### (3) 实验过程

①按照电路图搭建电路，并设置各仪器数值；

②静态工作点的测量：令  $V_{CC} = 12V$ ，调节电位器满足设计的  $I_C$  电流要求，测量  $V_E$ 、 $V_B$ 、 $V_C$ ，计算  $V_{BE}$ 、

$V_{CE}$  和  $I_e$ ， $V_{BE} = V_B - V_E$ ， $I_e = V_E / R_e$  数据计入表中；

③放大倍数的测试：在正常状态下测量放大电路的电压放大倍数。设置正弦信号频率  $f = 1KHz$ ， $U_{spp} = 20mv$ ，

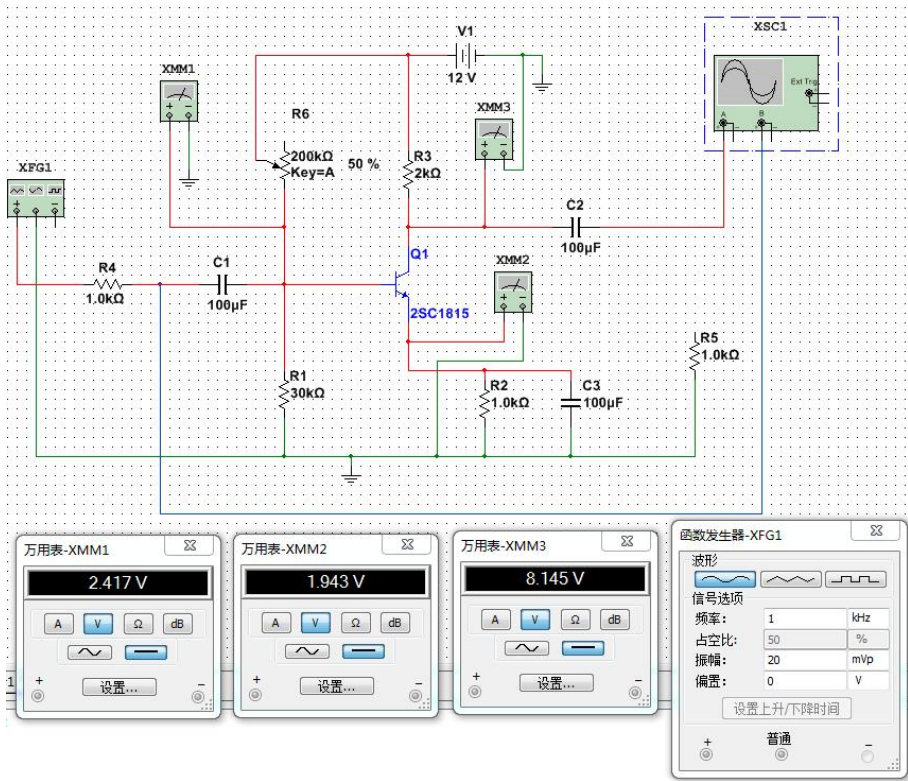
测量  $U_{opp}$ ，计算增益  $A_v = U_{opp} / U_{spp}$ ；

④输入电阻的测量：在放大器输入口串接一取样电阻  $R$ ，用两次电压法测量该放大器的输入电阻  $R_i$ ，数据填入表中（我在测试时电压使用有效值进行计算）；

⑤输出电阻的测量：在放大器输出口选择一个合适的负载电阻  $R_L$ ，运用两次电压法分别测量空载与接上负载时输出电压值，数据填入表中（我在测试时电压使用有效值进行计算）；

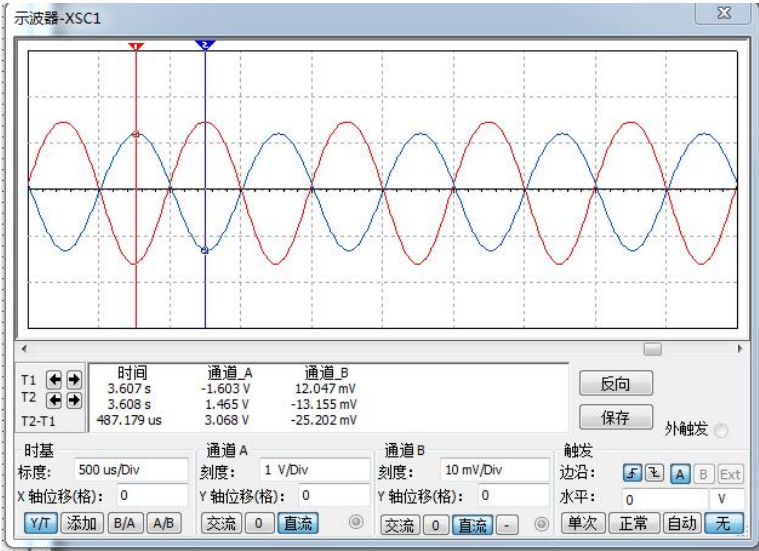
(4) 实验运行结果及结果分析

①静态工作点的测量



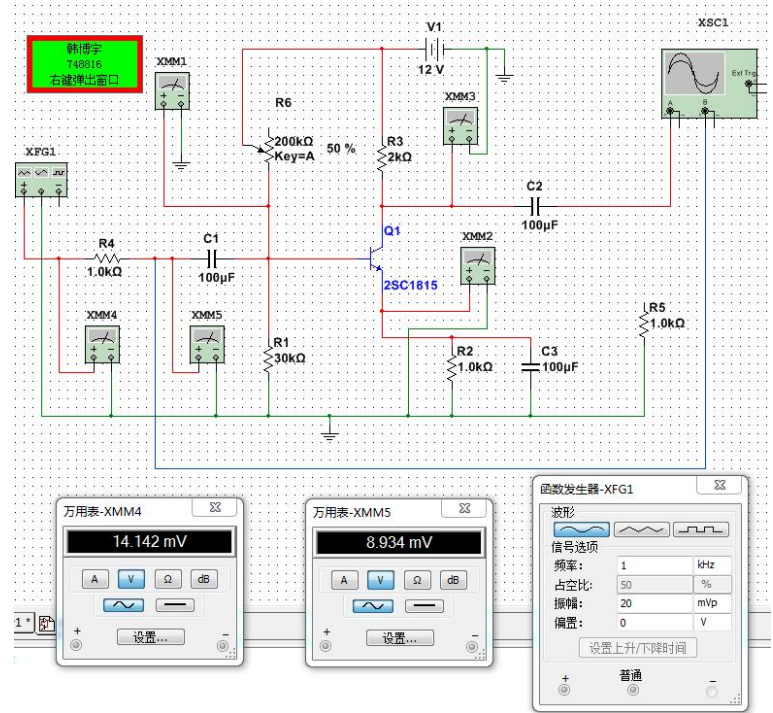
$V_E$	$V_B$	$V_C$	$V_{BE}$	$V_{CE}$	$I_e$
1.943V	2.417V	8.145V	0.474V	6.202V	1.943mA

②放大倍数的测试



测试条件	工作状态	输出电压 ( $U_{opp}$ )	放大倍数 ( $A_v$ )	输入输出 波形比较
$f=1\text{kHz}$ $U_{ipp}=12.047\text{mV}$	正常	1.465V	121.61	正弦波 如上图

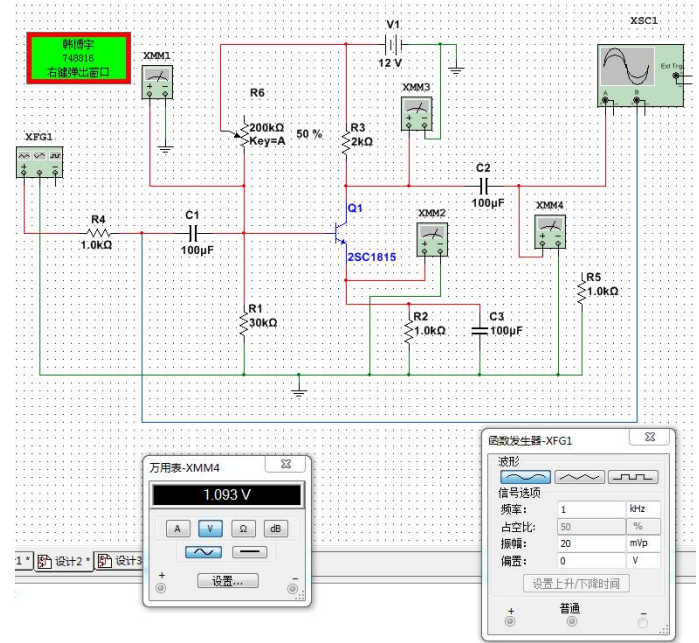
### ③输入电阻的测量



$U'_s$	$U_i$	取样电阻 R	$R_i$
14.142mV	8.934mV	1k $\Omega$	1.715k $\Omega$

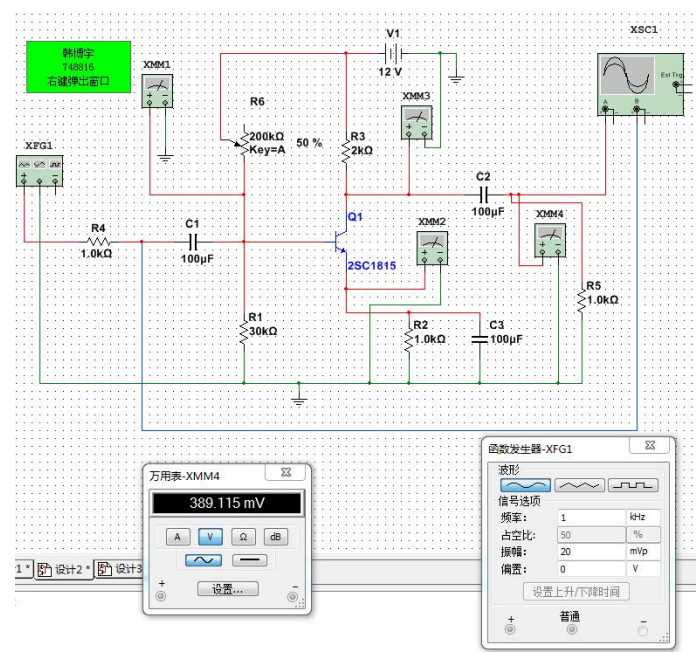
### ④输出电阻的测量

无负载:





有负载：



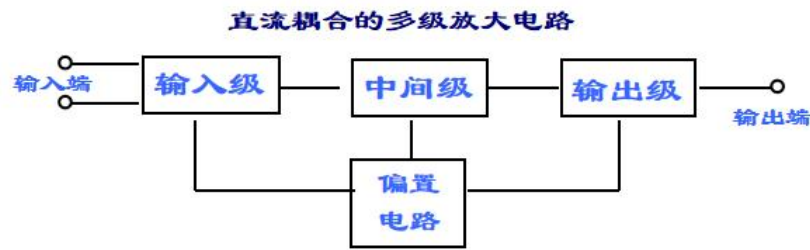
$U_0$	$U'_0$	负载电阻 $R_L$	$R_0$
1.093V	389.115mV	1k $\Omega$	1.81k $\Omega$

(5) 实验结论

由实验结果可知，成功完成共射 NPN 单级放大器静态工作点、放大倍数及其输入、输出电阻的测试。

3.运放电路的基本运算功能的仿真测试

(1) 运算放大器内容



输入级：由差放构成。可减小零点漂移和抑制干扰。

中间级：共射放大电路。用于电压放大。

输出级：互补对称电路。降低输出电阻，提高带载能力。

偏置电路：由恒流源电路构成。确定运放各级的静态工作点。

实际运放具有高增益、低漂移、高输入阻抗、低输出阻抗、可靠性高的特点，因此可以视其为理想器件。  
运放的理想参数：

开环电压增益  $A_{vd} = \infty$

输入电阻  $R_{id} = \infty$

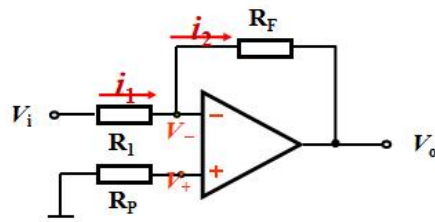
输出电阻  $R_o = 0$

开环带宽  $BW = \infty$

共模抑制比  $K_{CMR} = \infty$



### ①反相比例放大器



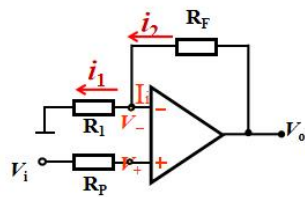
$$V_+ = V_- = 0$$

$$i_1 = i_2$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_o}{R_F}$$

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_F}{R_1}$$

### ②同相比例放大器



$$V_+ = V_- = V_i$$

$$i_1 = i_2$$

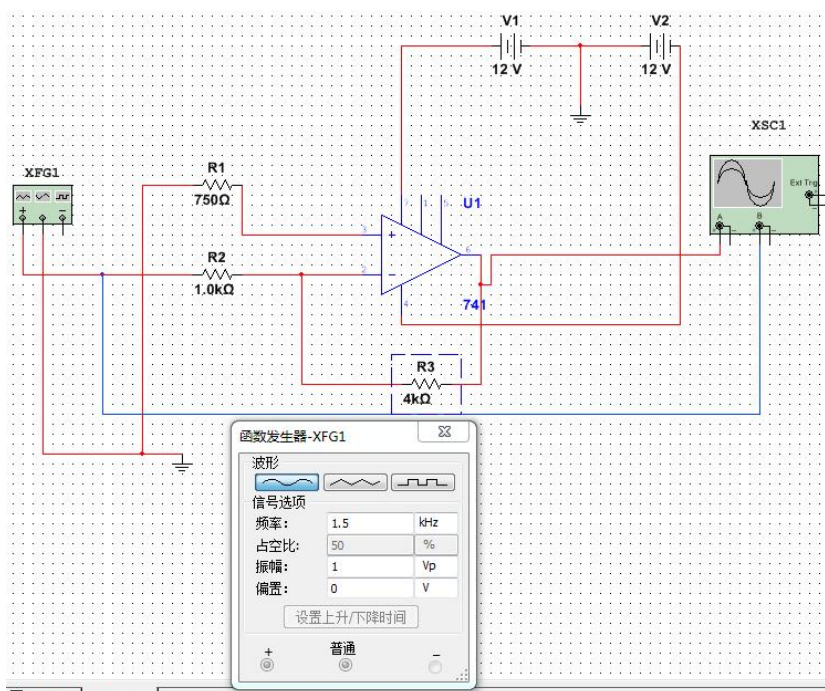
$$\frac{V_o - V_i}{R_F} = \frac{V_i}{R_1}$$

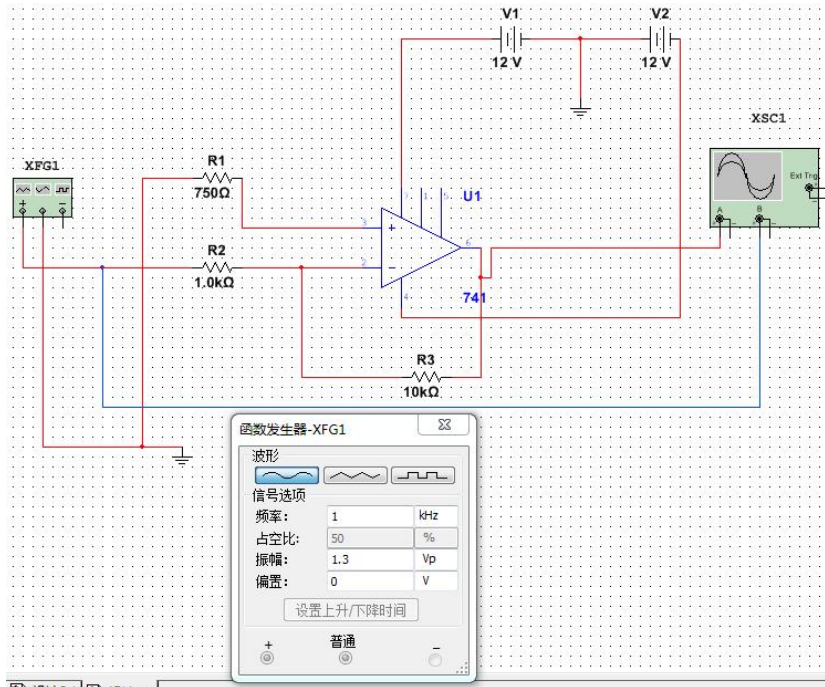
$$V_o = (1 + \frac{R_F}{R_1})V_i$$

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

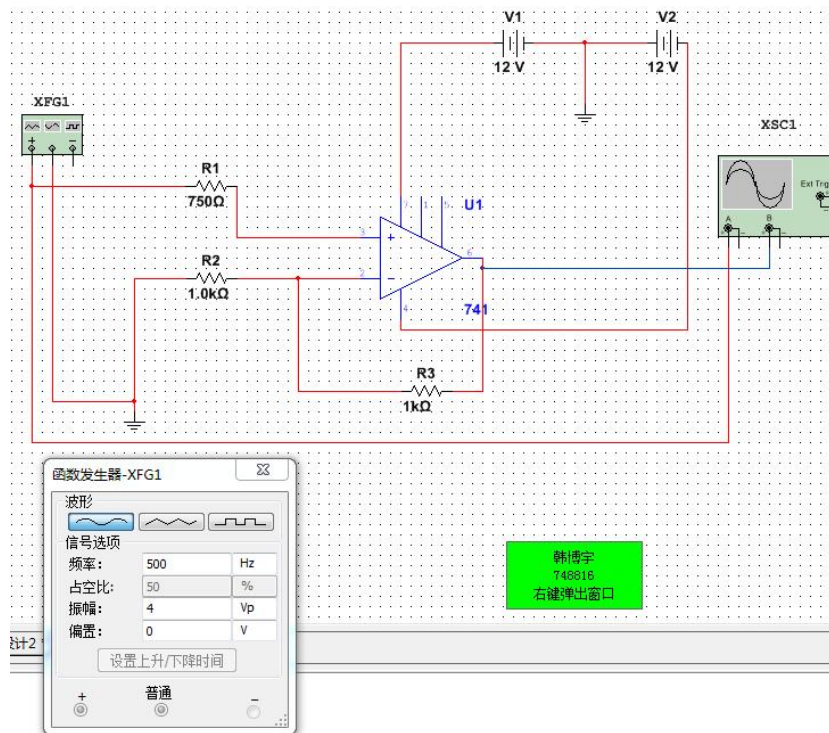
## (2) 运放电路的基本运算功能的仿真测试电路

### ①反相比例放大器





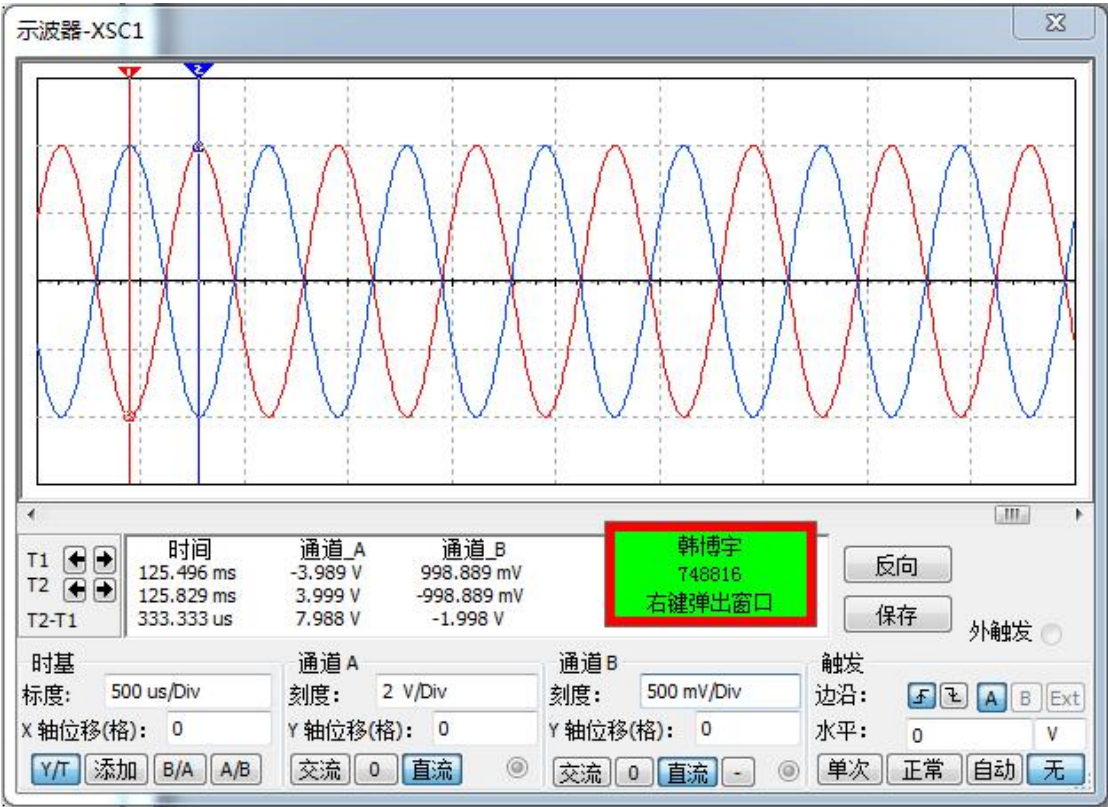
## ②同相比例放大器



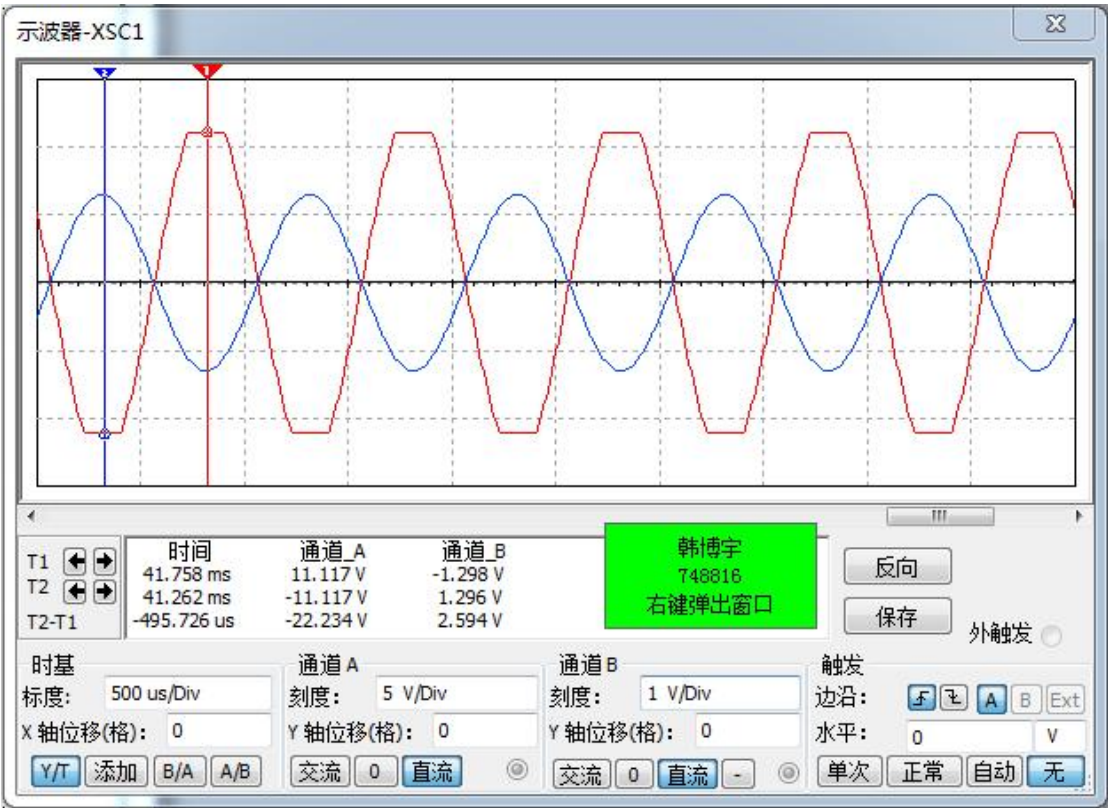
## (3) 实验过程

- ①按照电路图搭建电路，并设置各仪器数值；
- ②反相比例放大器的设计与测试：根据测试电压计算出输出电压值，并计算出实际放大倍数；
- ③同相比例放大器的测试：根据测试电压计算出输出电压值，并计算出实际放大倍数；
- (4) 实验运行结果及结果分析
- ①反相比例放大器的设计与测试：

$\cos 3000 \pi t$  V:

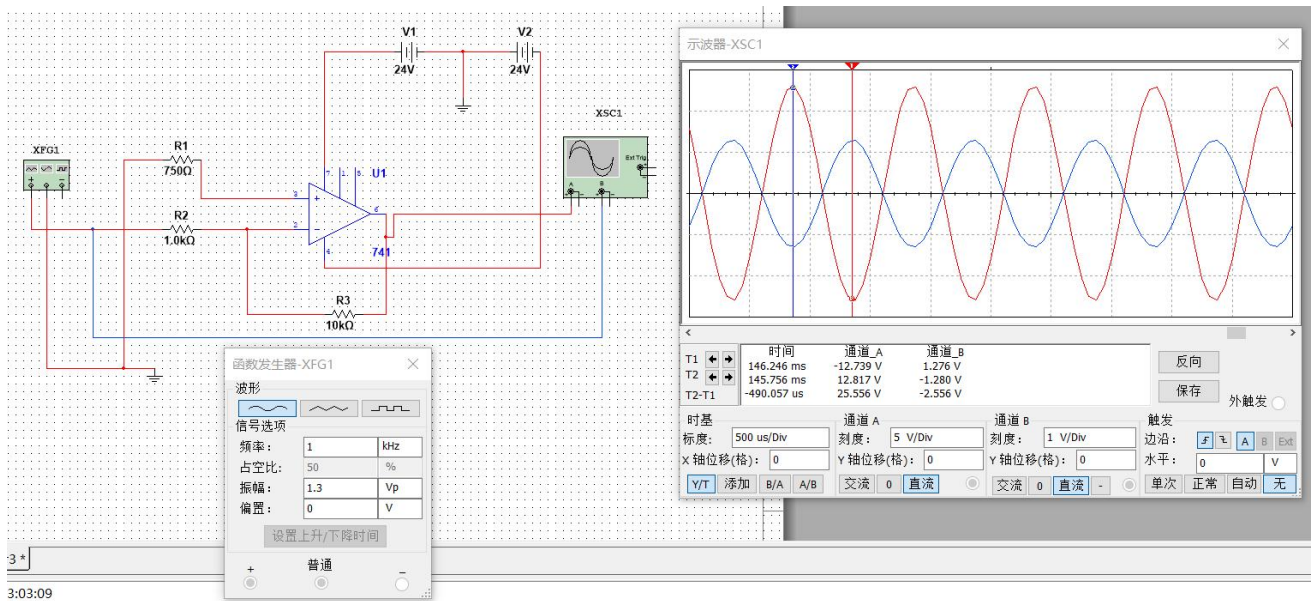


$f=1\text{KHz}$ ,  $U_i=1.3\text{Vp}$ :



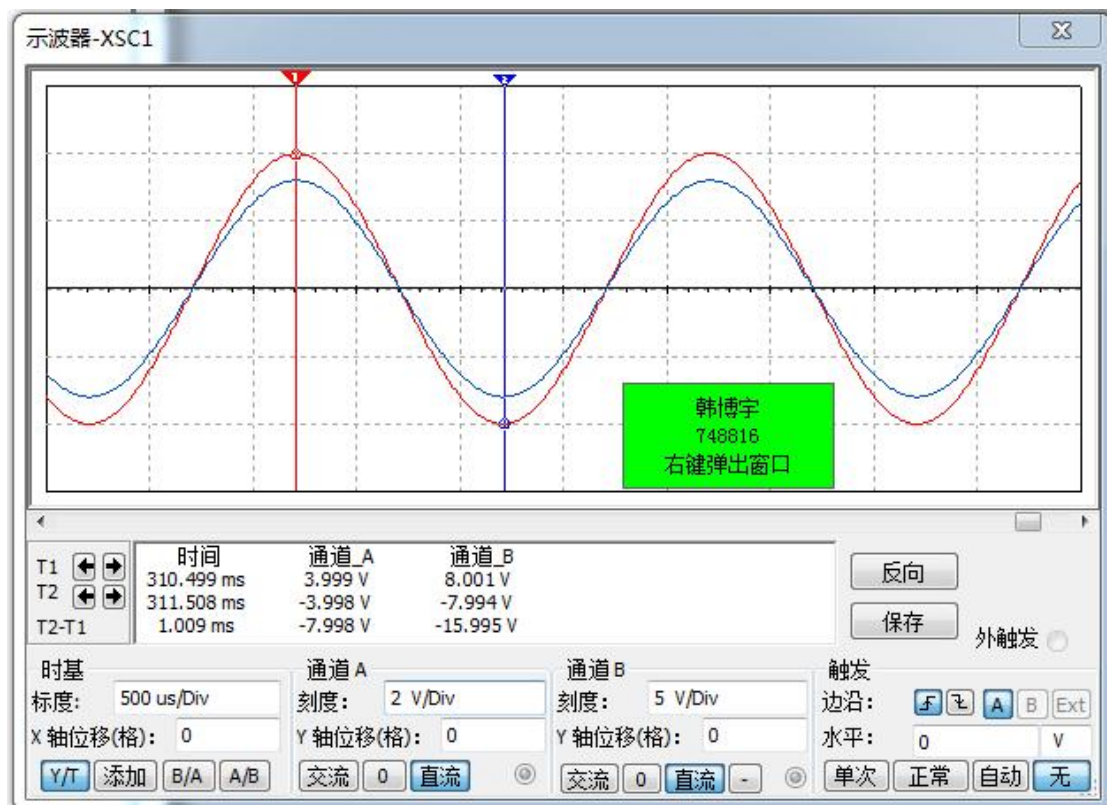
由结果可知，波形失真。  
失真原因：电压不够支持放大后输出的电压，将 12V 电压改为 24V 电压后解决失真，如下如图：





测试条件		输出电压 $U_0$	实测放大倍数 A	所选电阻的大小	
$U_i$	A			$R_1$	$R_f$
$\cos 3000 \pi t$ V	-4	$U_{0\max} = 3.999$ V $U_{0\min} = -3.989$ V	-3.994	1k $\Omega$	4k $\Omega$
$f = 1$ KHz $U_i = 1.3$ Vp	-10	$U_{0\max} = 12.817$ V $U_{0\min} = -12.739$ V	-9.83	1k $\Omega$	10k $\Omega$

②同相比例放大器的测试:





测试条件		输出电压 $U_0$	所选电阻的大小	
$U_i$	A		$R_1$	$R_f$
$4\cos 1000\pi tV$	2	$U_{0\max}=3.999V$ $U_{0\min}=-3.998V$	$1k\Omega$	$1k\Omega$

（5）实验结论

由实验结果可知，成功完成了运放电路的基本运算功能的仿真测试，发现实际放大倍数和理论放大倍数基本相同，并且解决了失真问题。

四、总结及实验结论：（联系理论知识进行说明得体会）

本次完成了三个实验内容：二极管伏安特性的观测，共射 NPN 单级放大器静态工作点、放大倍数及其输入、输出电阻的测试，运放电路的基本运算功能的仿真测试。（理论知识部分在上一部分已做详细陈述）

- ①二极管伏安特性的观测实验中，成功观察到二极管的伏安特性。
- ②共射 NPN 单级放大器静态工作点、放大倍数及其输入、输出电阻的测试实验中，成功测得共射 NPN 单级放大器静态工作点、放大倍数及其输入、输出电阻。
- ③运放电路的基本运算功能的仿真测试实验中，成功完成了运放电路的基本运算功能的仿真测试，发现实际放大倍数和理论放大倍数基本相同，并且解决了失真问题。

通过这次实验，我更加深入理解了电路分析与模拟电路这门课上电路分析部分所学内容，提高了动手能力，而且能让我今后遇到不会的问题时，有方法动手操作验证，收获颇丰。