

# 电子仪器实习指导书

(2014 版)

蔡志刚 陈元林 张寿春 编

上海海事大学

2014 年 9 月

## 前 言

《电子仪器实习》是一门实践性课程，通过本课程的理论学习和实验操作，培养具有电子测量技术和仪器方面的基础知识和应用能力，开拓思路，培养综合应用知识能力和实践能力；培养良好的实验操作规范、严肃认真求是求真的科学作风，为后续课程的学习和从事科研工作打下扎实的基础。

由于 EDA (Electronics Design Automation) 技术的发展，计算机虚拟仪器的应用能力对于专业知识的学习和科研工作显得越来越重要，因此为《电子仪器实习》课程增加 MultiSIM 和虚拟仪器实习项目，使用软件为 MultiSIM9 以上兼容版本。

《电子仪器实习》主要开设以下实习项目：

1. 电子示波器使用：了解示波器的基本原理，操作使用电子示波器，建立校正测量仪器的概念，学习电子示波器的简单校正方法。

2. 时间与频率的测量：了解时间、频率的基本概念及时间与频率标准，频率和时间的数字测量和模拟测量，电子计数器应用。

3. 相位差的测量：了解相位差的定义，用示波器测量相位差的常见方法及原理，相位差转换成时间间隔进行测量，转换成电压进行测量的原理方法。

4. 电压测量：了解电压测量的意义、特点，电压测量的基本原理、方法和分类，电压标准；了解交流电压的基本参数测量及交流电流的基本参数测量；了解电流、电压、阻抗变换技术，数字多用表的组成及电路参数测量。

5. 阻抗测量：了解阻抗定义及表示方法，电阻器、电容器、电感器的电路模型，元件参数的测量；了解阻抗的模拟测量法、Q 值测量及阻抗的数字测量法。

6. 单级放大电路：熟悉 Multisim 软件的使用方法，掌握放大器静态工作点的仿真方法及其对放大器性能的影响，学习放大器静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的仿真方法，了解共射极电路特性。

7. 射极跟随器：掌握放大器静态工作点的仿真方法及其对放大器性能的影响，学习放大器静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的仿真方法，了解共

射极电路特性, 学习 Multisim 参数扫描方法。

8. 负反馈放大电路:掌握负反馈放大电路对放大器性能的影响,学习负反馈放大器静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的开环和闭环仿真方法,学习掌握 Multisim 交流分析。

本实习指导书由蔡志刚, 陈元林, 张寿春编写, 由于编者水平有限, 难免存在不足之处, 敬请批评指正。

编者

2014 年 9 月

# 目 录

前 言.....	1
项目一 电子示波器的使用.....	4
项目二 时间与频率的测量.....	6
项目三 相位差的测量.....	7
项目四 电压测量.....	9
项目五 阻抗的测量.....	12
项目六 单级放大电路.....	15
项目七 射极跟随器.....	36
项目八 负反馈放大电路.....	44
附录一: NFC—1000C—1 多功能计数器使用简介.....	49
附录二: SG1645 功率函数信号发生器使用简介.....	51
附录三: HFJ — 8D/P 超高频毫伏表.....	53
附录四: XJ4318 型二踪示波器使用简介.....	57
附录五: DS1000 型数字示波器使用简介.....	61
附录六: PF66E 型数字万用表使用简介 .....	76

## 项目一 电子示波器的使用

### 一、实验目的

1. 学会使用示波器。
2. 学会示波器校正方法。

### 二、实验器材：示波器 电工电子实验台

### 三、实验内容

#### 1. 示波器的预调

(1) 将示波器的电源接通预热后，使示波器的各个控制旋钮或开关置于下表所示位置

控制旋钮或开关	作用位置	控制旋钮或开关	作用位置
垂直位移	居中	扫描速率选择	2ms
水平位移	居中	Y轴灵敏度选择	0.02-5
电平	自动	触发信号源	内
输入耦合方式	接地	出发信号极性	+

- (2) 适当调节辉度旋钮，使荧光屏上出现一条适当宽度的水平扫描线
- (3) 反复调节聚焦和辅助聚焦旋钮，使水平扫描基线又细又清晰
- (4) 调节水平位移和垂直位移使水平基线位于屏幕的中央。
- (5) 使扫描速率选择和 Y 轴灵敏度选择处于校准状态。

#### 2. 示波器的初步使用

- (1) 用输入电缆线探头将标准信号源（0.5V<sub>p-p</sub>、1KHz）接到 CH1 通道（使输入耦合方式为 AC），衰减比置为 X1 调节 LEVESLOPE 旋钮使波形稳定在荧光屏上。
- (2) 调节水平位移和垂直位移使使波形清晰的显示在荧光屏上。
- (3) 若显示波形失真，调节探头上的补偿电容，使波形正常显示。
- (4) 调节触发电平和触发极性旋钮，观察波形的变化。
- (5) 将扫描速率选择和 Y 轴灵敏度选择分别置于下表位置，并读数填写。

t/DIV (ms)	V/DIV (V)	t/DIV (格数)	V/DIV (格数)	T (周期)	F(频率)	峰峰值	有效值
0.5	0.2						
0.5	0.1						
0.2	0.2						
0.2	0.1						

四、误差分析：

五、思考题：

1. 说明下列各开关所在的位置及作用：

(1) AC GND DC

(2) CH1 CH2 ADD

(3) AUTO NORM

## 项目二 时间与频率的测量

### 一、实验目的

1. 学会正确使用函数信号发生器、频率计
2. 进一步学习示波器的使用

二、实验器材：示波器 电工电子实验台 函数信号发生器 频率计

### 三、实验内容：

1. 接通各个仪器的电源，进行预热。
2. 调整各个仪器，使其能够达到测量要求；

利用示波器监测信号发生器输出信号，满足电压峰峰值要求；同时在表格中填写对应的“V/DIV 位置”和“读数（格）”等信息。

3. 按照表格的要求进行测量，并填写下表。

信号发生器输出信号	波形	正弦波		方波		三角波	
	电压的有效值 (V)	0.5	0.05	0.48	2.80	2.40	2.0
	频率 (Hz)	1000	5000	1000	5000	20000	2000
示波器测量电压和频率	V/DIV 位置 (V/格)						
	读数 (格)						
	t/DIV 位置 (t/格)						
	读数 (格)						
	周期 (ms)						
	频率 (Hz)						
信号发生器输出电压有效值 (V)							
频率计	频率 (Hz)						

### 四、误差分析：

### 五、思考题：

1. 如何提高频率计灵敏度。

## 项目三 相位差的测量

### 一、实验目的

1. 正确使用函数信号发生器，进一步学习示波器的使用。
2. 用示波器进行电路信号相位差的测量。

二、实验器材：示波器，RC 移相电路，电工电子实验台，函数信号发生器。

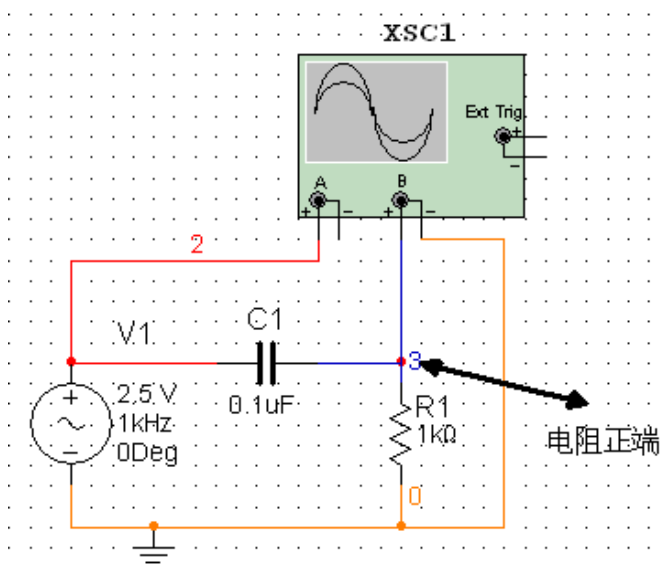
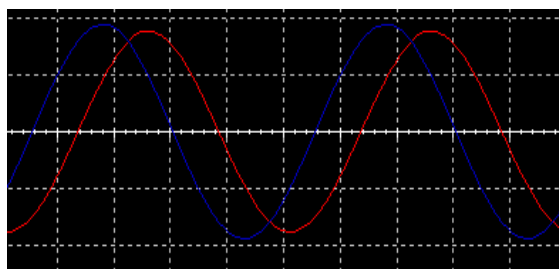
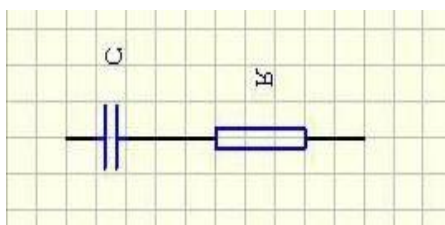
### 三、实验内容：

1. 接通各个仪器的电源，进行预热。
2. 调整各个仪器，使其能够达到测量要求。

利用示波器监测信号发生器输出信号，满足电压峰峰值要求；同时在表格中填写对应的“V/DIV 位置”和“读数（格）”等信息。

3. 按照电路图接线，按照表格的要求进行测量，并填写下表。

信号发生器的负端连接电阻，信号发生器正端连接电容，如图所示。





信号发生器输出信号	波形	正弦波					
	电压峰-峰值	2.5V					
	频率 (Hz)	300Hz	600Hz	1KHz	2.5KHz	5KHz	20KHz
示波器测量电压和频率	V/DIV 位置						
	读数 (格)						
	t/DIV 位置						
	读数 (格)						
	周期 (ms)						
	频率 (Hz)						
信号发生器输出波形							
电阻正端输出波形							
相位差	度						
号发生器输出信号	波形	方波					
	电压峰-峰值	2V					
	频率 (Hz)	350Hz	700Hz	1.5KHz	3KHz	6KHz	12KHz
示波器测量电压和频率	V/DIV 位置						
	读数 (格)						
	t/DIV 位置						
	读数 (格)						
	周期 (ms)						
	频率 (Hz)						
信号发生器输出波形							
电阻正端输出波形							
相位差	度						

#### 四、误差分析：

#### 五、思考题：

1. 如何确定信号相位的超前。

## 项目四 电压测量

### 一、实验目的：

1. 学习正确使用晶体管毫伏表进行电压有效值的测量。
2. 使用示波器进行电路信号电压的测量。

二、实验器材：器体管毫伏表，示波器，RC 电路，电工电子实验台，信号发生器。

### 三、实验内容：

1. 接通各个仪器的电源，进行预热。
2. 调整各个仪器，使其能够达到测量要求。

利用示波器监测信号发生器输出信号，满足电压峰峰值要求；同时在表格中填写对应的“V/DIV 位置”和“读数（格）”等信息。

3. 按照电路图接线，按照表格的要求进行测量，并填写下表。

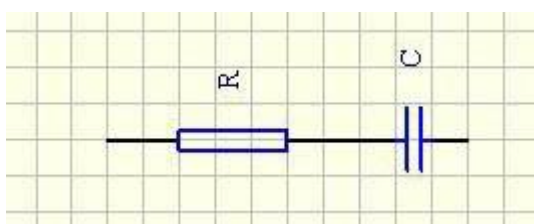


图 1 元件焊接图

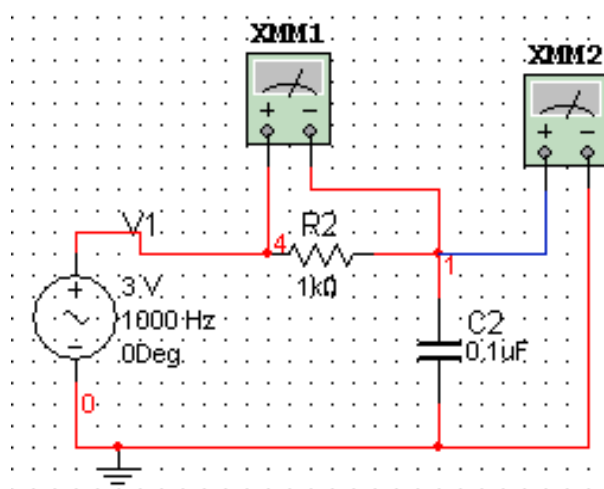


图 2 电压测量原理图

信号发生器 输出信号	波形	正弦波					
	电压峰-峰值	3V					
	频率 (Hz)	300Hz	600Hz	1KHz	2.5KHz	5KHz	10KHz
示波器测量 电压和频率	V/DIV 位置						
	读数 (格)						
	t/DIV 位置						
	读数 (格)						
	周期 (ms)						
	频率 (Hz)						
信号发生器输出电压有效值							
电容两端电压有效值							
电阻两端电压有效值							

注：如果实验室无法提供晶体管毫伏表，可以采用示波器间接测量电压有效值，如下所述：

### 1. 电容两端电压有效值测量电路

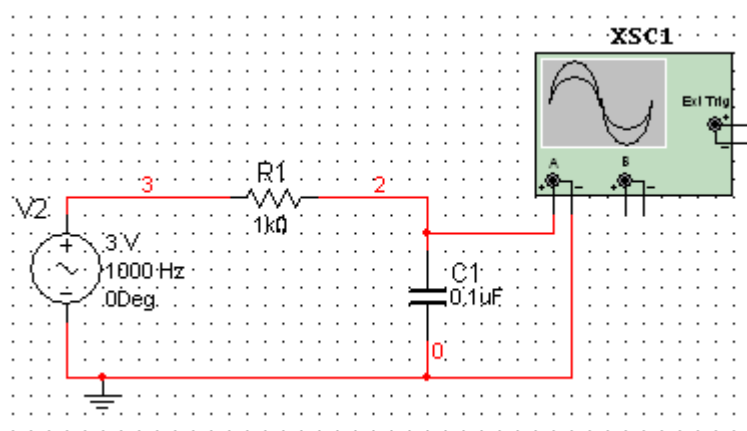


图 3. 示波器测量电容两端电压有效值电路

## 2. 电阻两端电压有效值测量电路

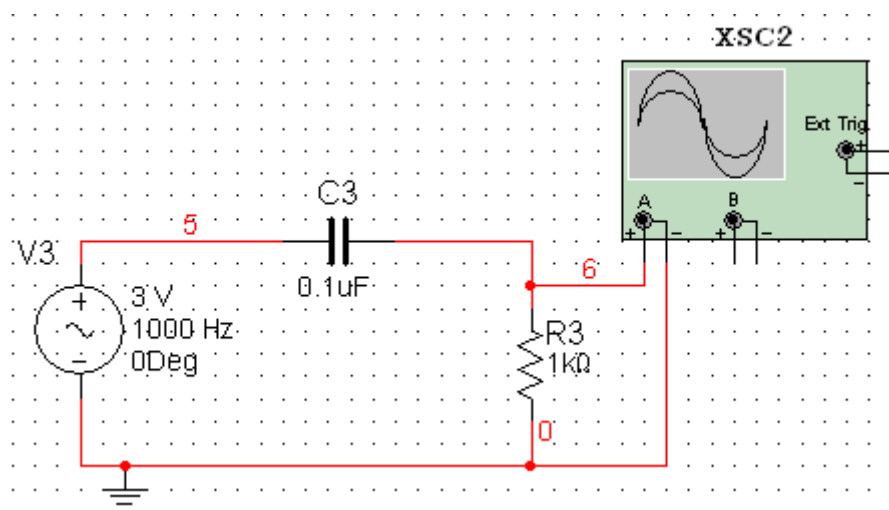


图 4. 示波器测量电阻两端电压有效值电路

## 四、误差分析：

## 五、思考题：

1. 如何选择晶体管毫伏表的测量量程。

## 项目五 阻抗的测量

### 一、实验目的

1. 学习正确使用晶体管毫伏表进行电压有效值的测量。
2. 进一步学习正确使用函数信号发生器。
3. 进一步学习使用示波器进行电路信号电压的测量。

二、实验器材：晶体管毫伏表，示波器，RLC 电路，电工电子实验台，信号发生器。

### 三、实验内容：

1. 接通各个仪器的电源，进行预热。
2. 调整各个仪器，使其能够达到测量要求。

利用示波器监测信号发生器输出信号，满足电压峰峰值要求；同时在表格中填写对应的“V/DIV 位置”和“读数（格）”等信息。

3. 按照电路图接线，按照表格的要求进行测量，并填写下表。

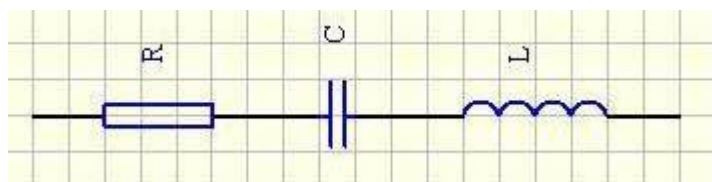


图 1 元件焊接图

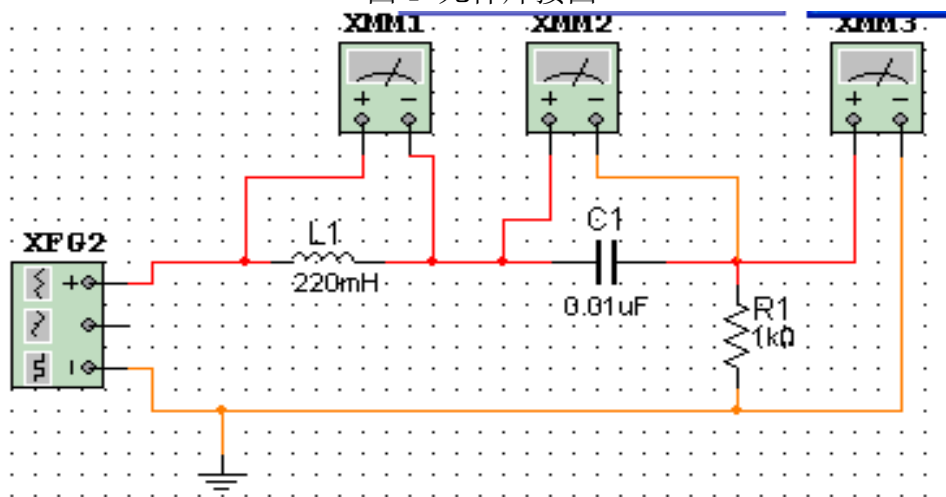


图 2 电压有效值测量图

信号发生器 输出信号	波形	正弦波					
	电压峰-峰值	3V					
	频率 (Hz)	300Hz	600Hz	1KHz	5KHz	10KHz	50KHz
示波器测量 电压和频率	V/DIV 位置						
	读数 (格)						
	t/DIV 位置						
	读数 (格)						
	周期 (ms)						
	频率 (Hz)						
信号发生器输出电压有效值							
电容两端电压有效值							
电感两端电压有效值							
电阻两端电压有效值							
计算电容、电感值							

注：如果实验室无法提供晶体管毫伏表，可以采用示波器间接测量电压有效值，

如下所述：

### 1. 电阻两端电压有效值测量电路

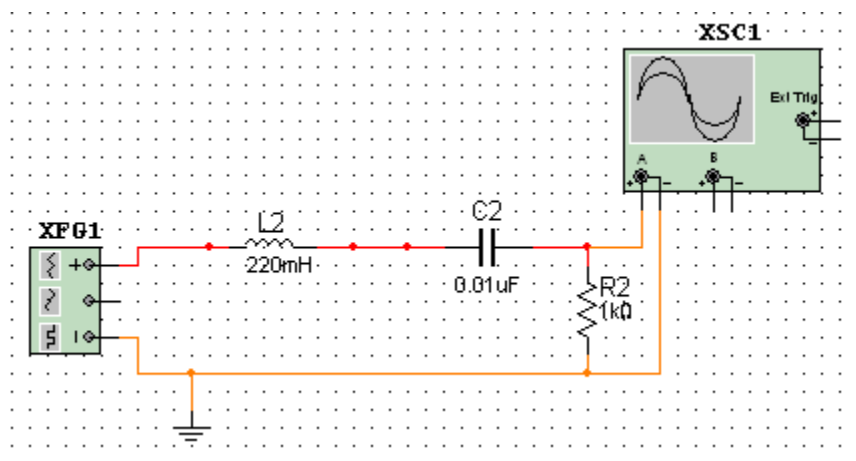


图 3. 示波器测量电阻两端电压有效值电路

## 2. 电感两端电压有效值测量电路

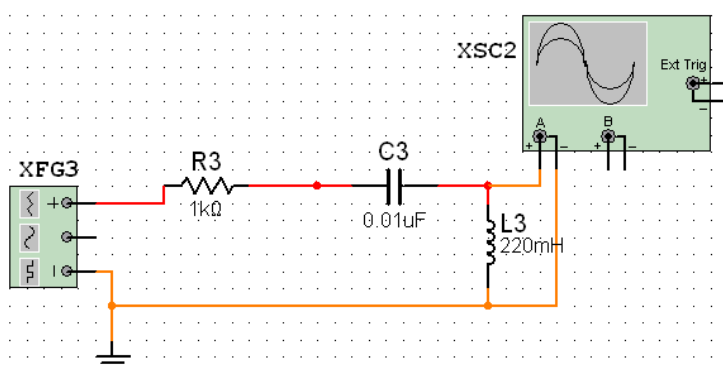


图 4. 示波器测量电阻两端电压有效值电路

## 3. 电容两端电压有效值测量电路

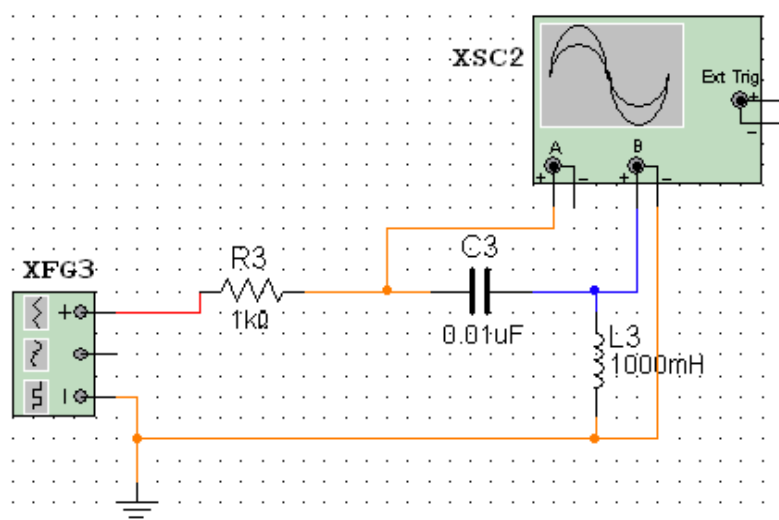


图 5. 示波器测量电容两端电压有效值电路

测量原理说明：电感两端电压向量  $V_1$  与电容两端电压向量  $V_2$  相位差为  $180^\circ$ 。示波器的 B 通道测量得到电感两端  $V_1$  向量的峰峰值，而 A 通道测量得到  $V_1$  和  $V_2$  的合成向量的电压峰峰值，由此可以合成计算出  $V_2$  向量的峰峰值。

## 四、误差分析：

## 五、思考题：

1. 如何计算电容、电感值。

## 项目六 单级放大电路

### 一、实验目的

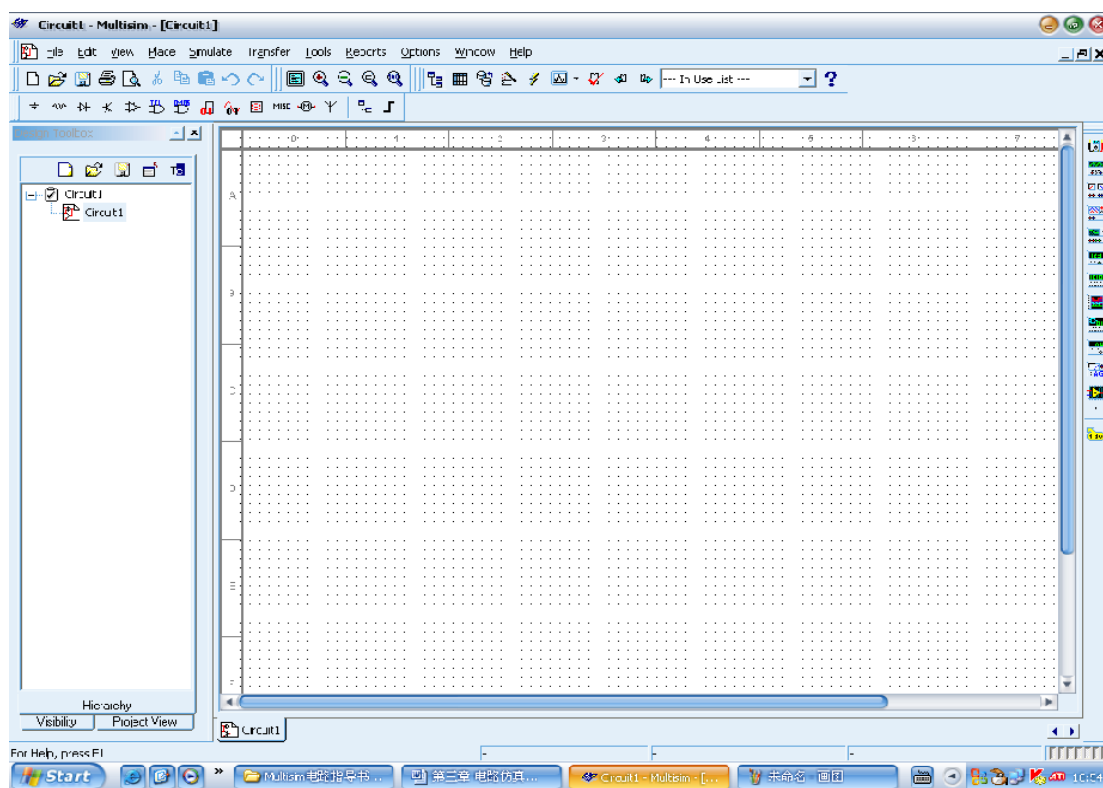
- 1、熟悉 Multisim 软件的使用方法。
- 2、掌握放大器静态工作点的仿真方法及其对放大器性能的影响。
- 3、学习放大器静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的仿真方法，了解共射极电路特性。

### 二、虚拟实验仪器及器材

双踪示波器      信号发生器      交流毫伏表      数字万用表

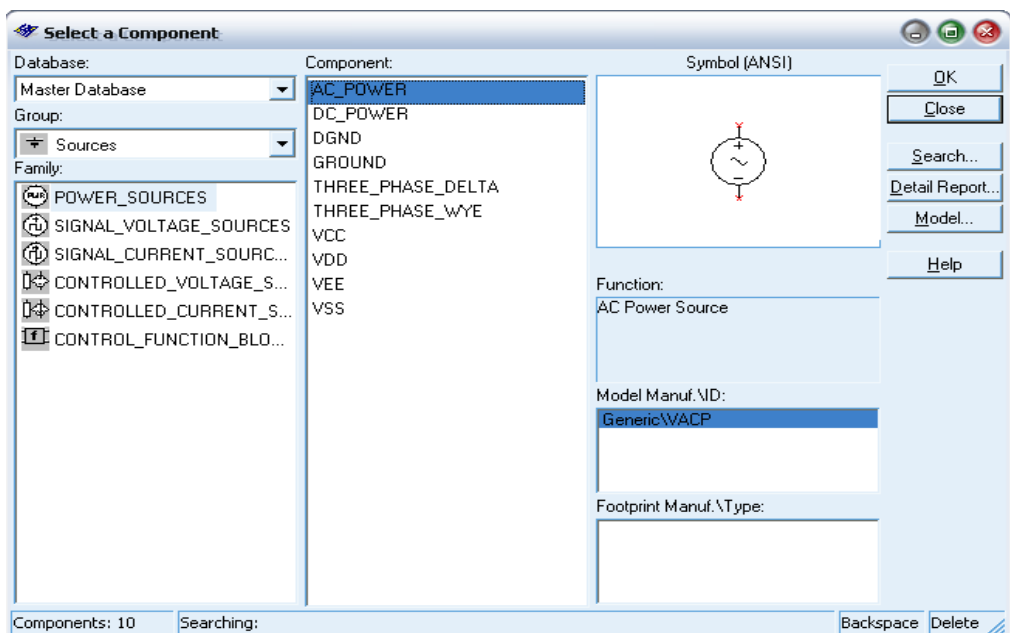
### 三、实验步骤

1. 启动 multisim 如图所示

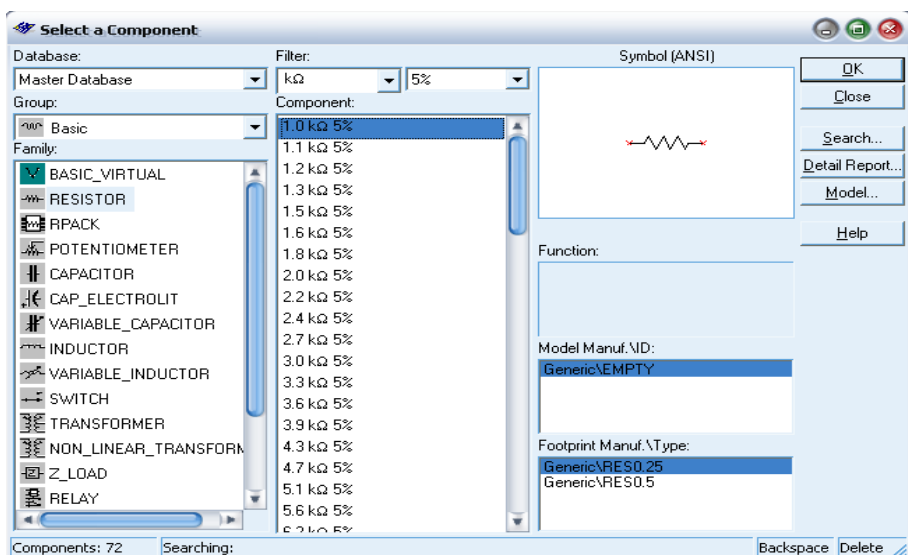


2. 点击菜单栏上 place/component, 弹出如下所示的 select a component 对话框

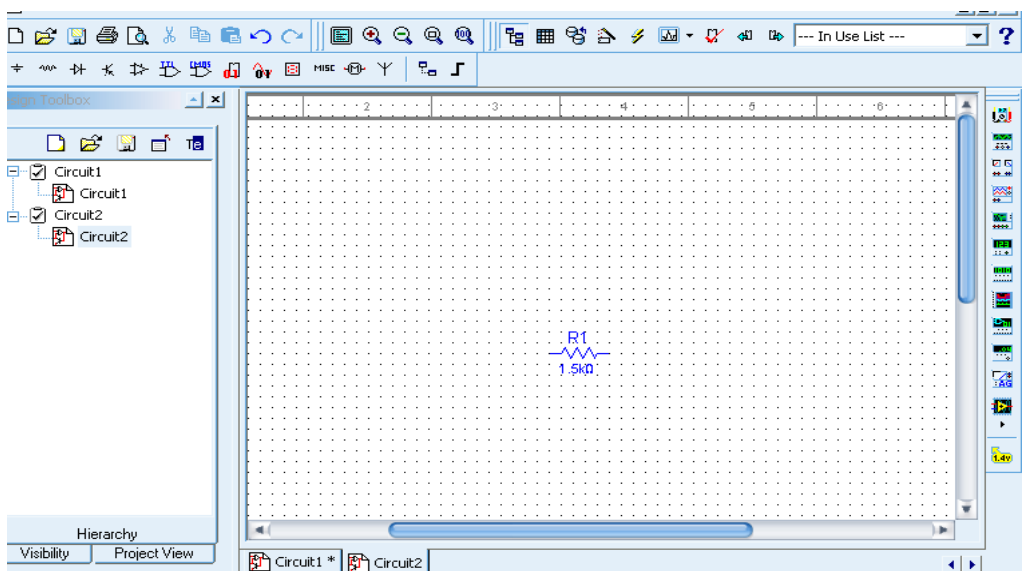




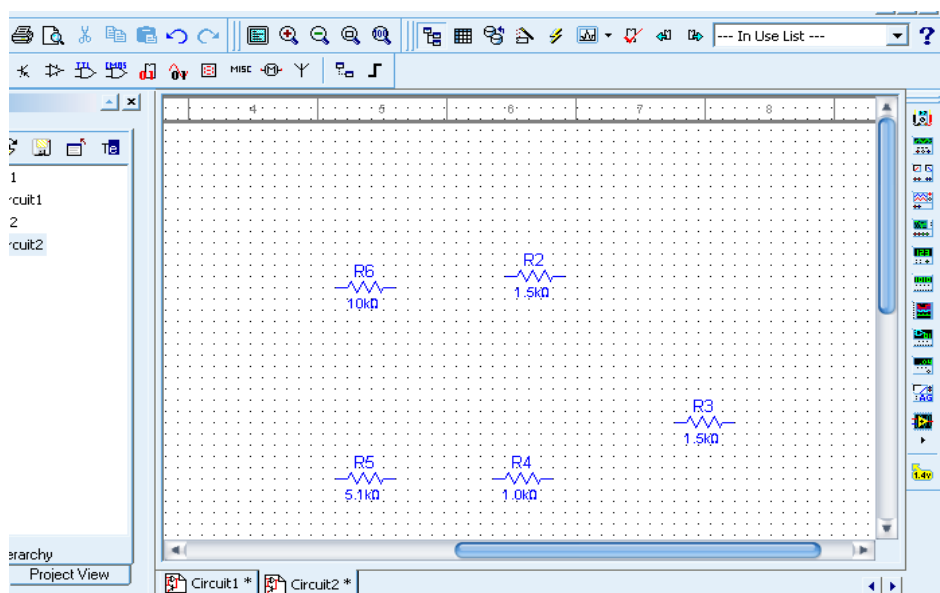
3.在 group 下拉菜单中选择 basic，如图所示



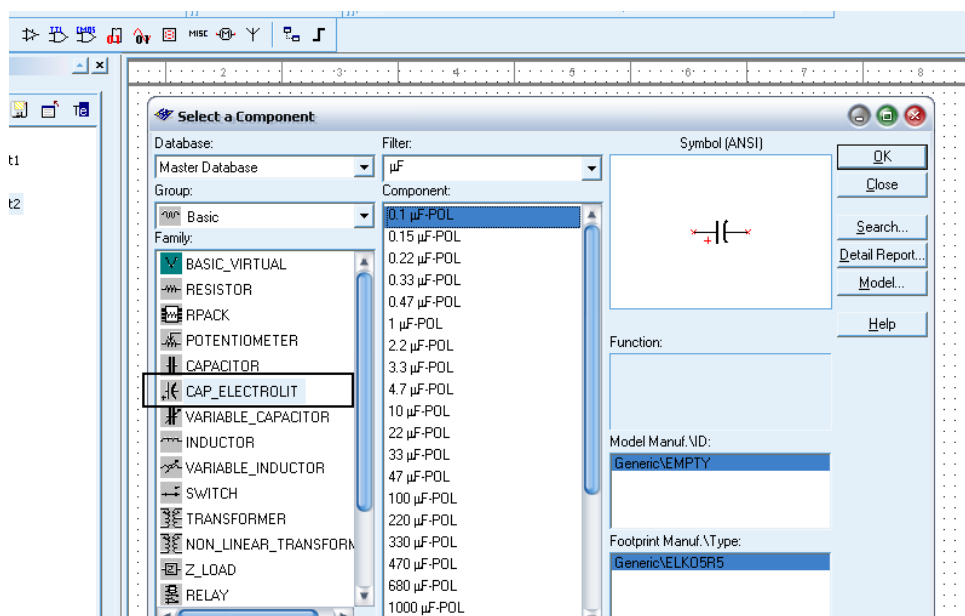
4.选中 RESISTOR，此时在右边列表中选 1.5kΩ 5%电阻，点击 OK 按钮。此时该电阻随鼠标一起移动，在工作区适当位置点击鼠标左键，如下图所示



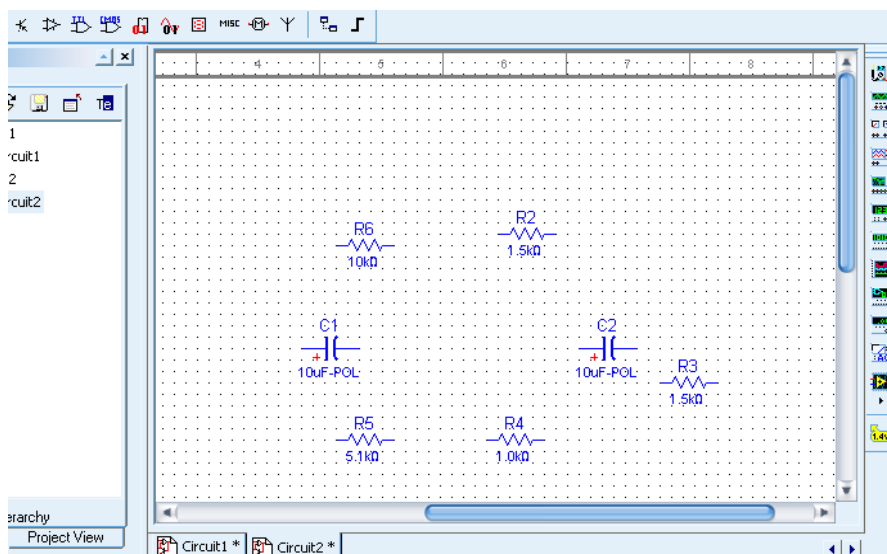
5. 同理，把如下所示的所有电阻放入工作区



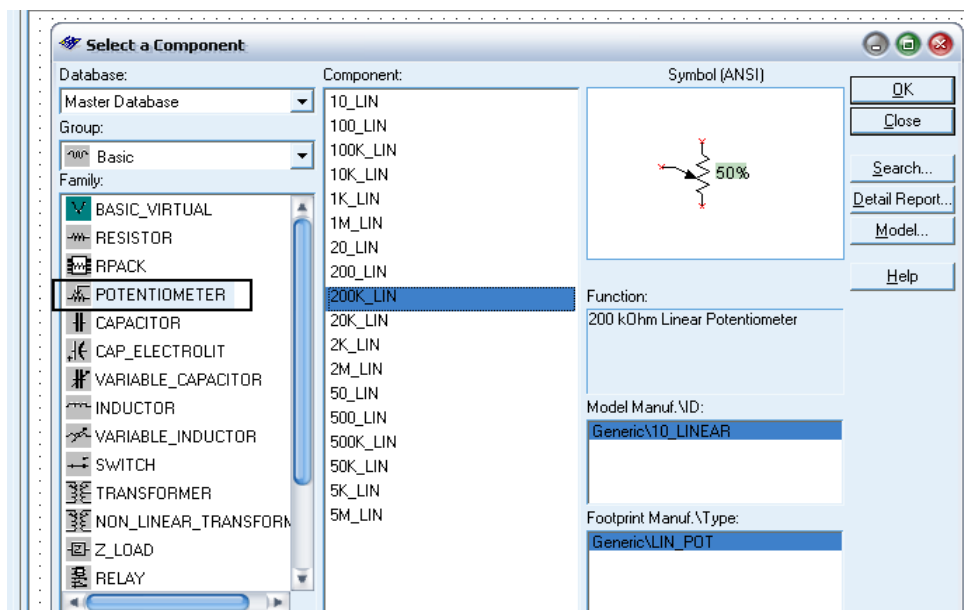
6. 同样，如下图所示选取电容 10uF 两个，放在工作区适当位置



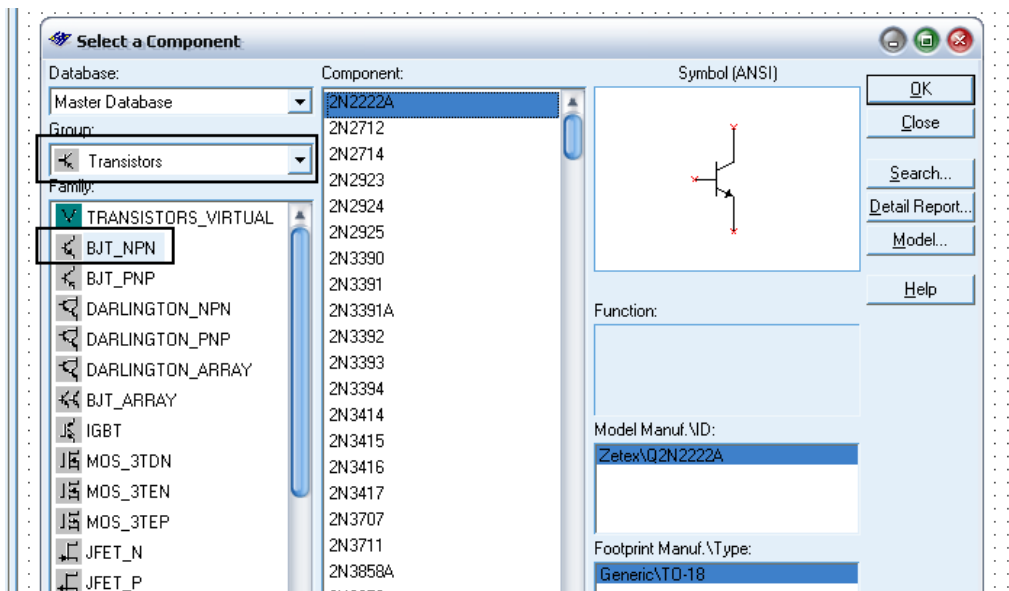
结果如下：



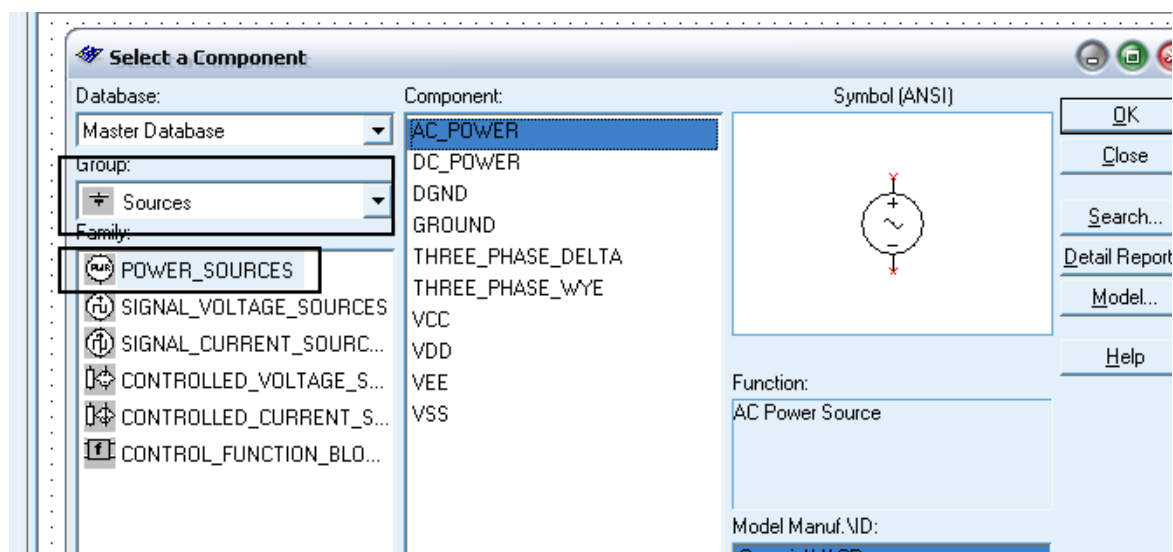
7.同理如下所示，选取滑动变阻器



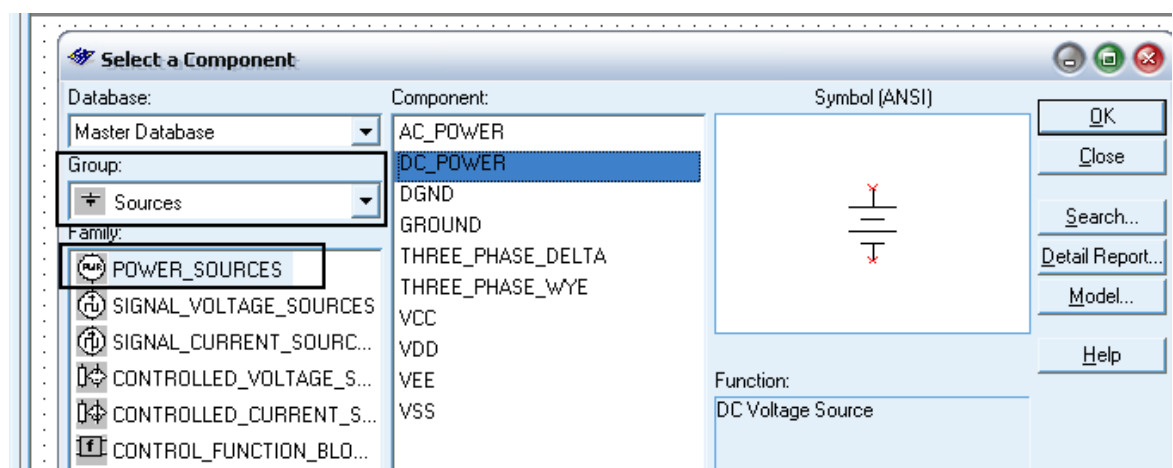
8.同理选取三极管



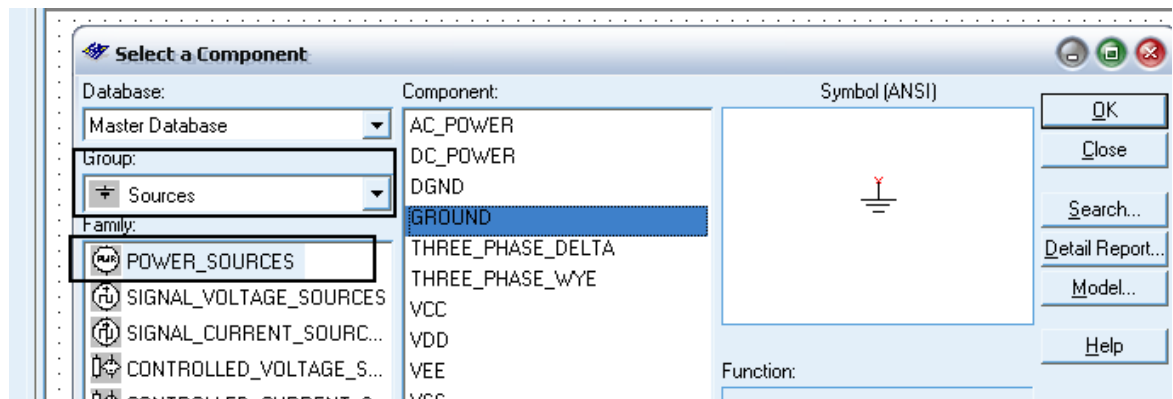
9. 选取信号源



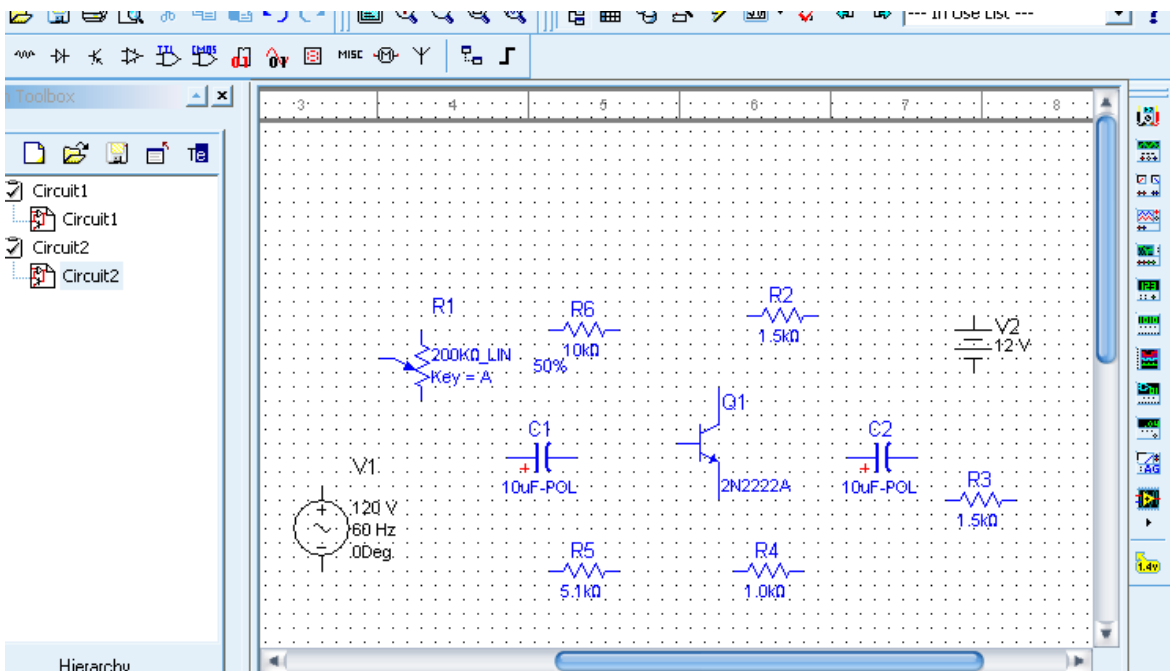
10.选取直流电源



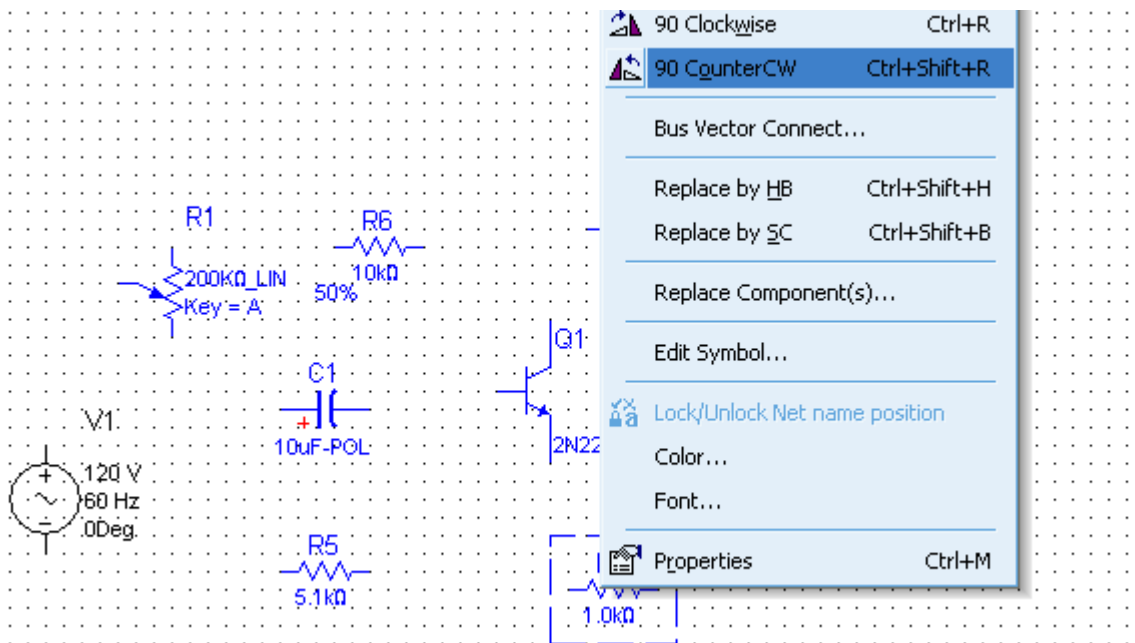
11.选取地



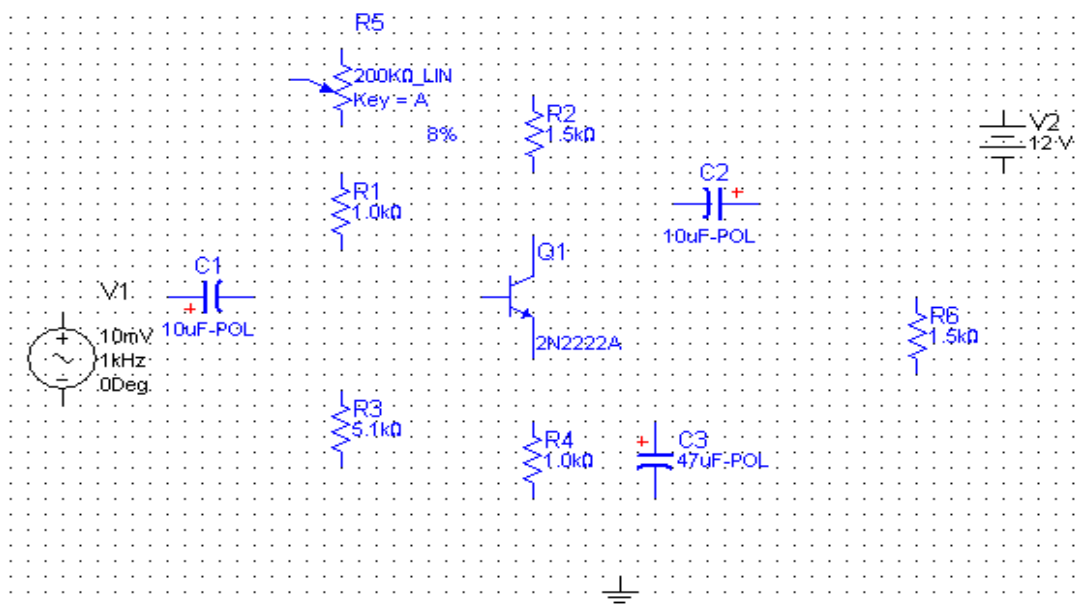
12.最终，元器件放置如下



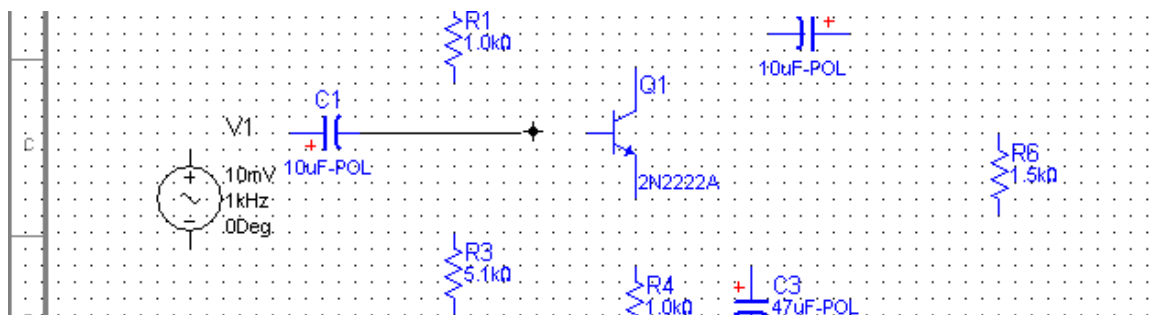
13.元件的移动与旋转，即：单击元件不放，便可以移动元件的位置；单击元件（就是选中元件），鼠标右键，如下图所示，便可以旋转元件。



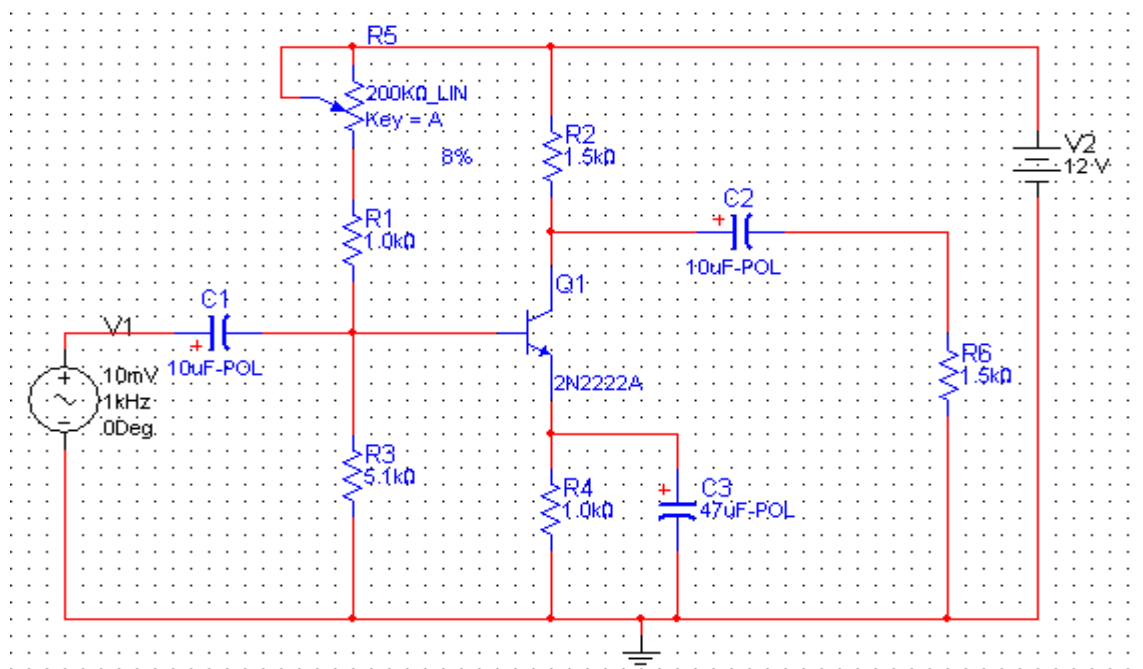
14.同理，调整所有元件如下图所示



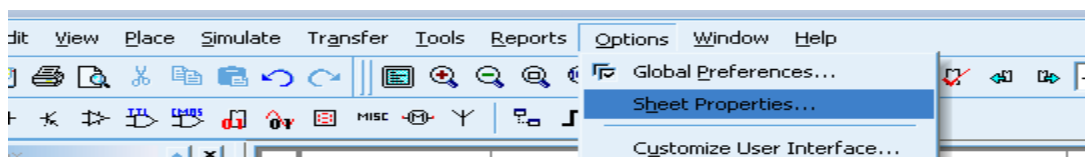
15.把鼠标移动到元件的管脚，单击，便可以连接线路。如下图所示



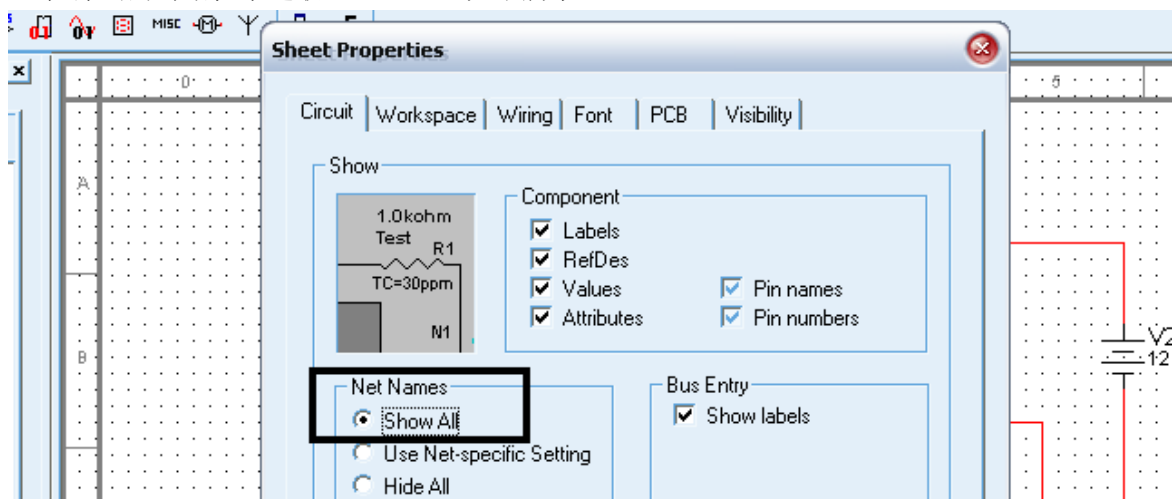
16.同理，把所有元件连接成如下所示电路



17.选择菜单栏 options/sheet properties,如图所示

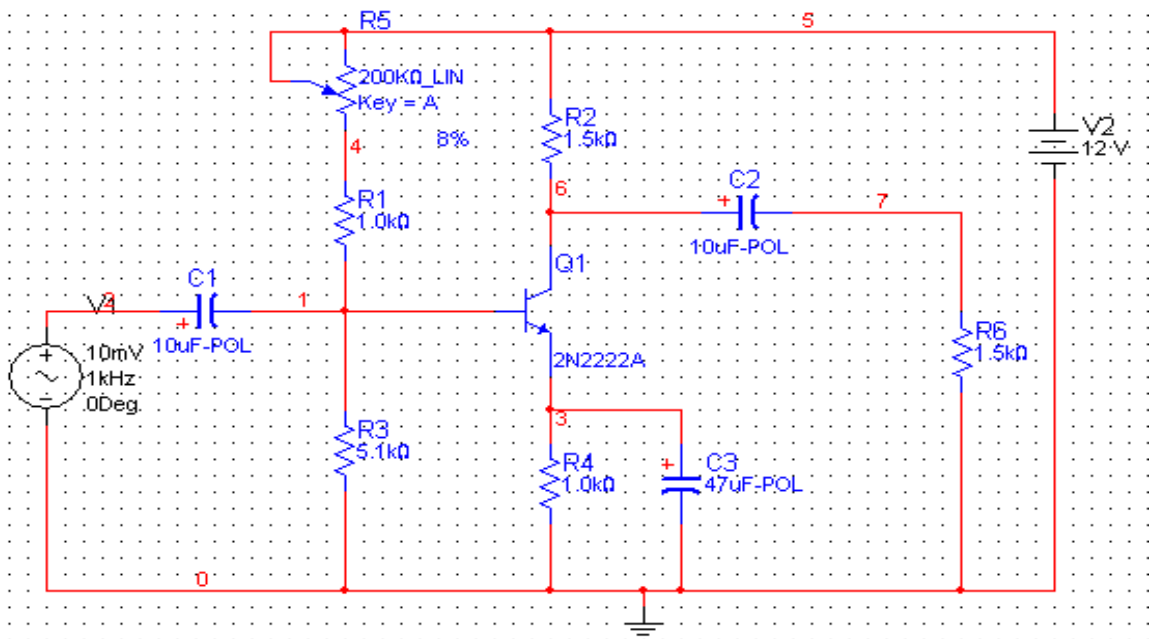


18.在弹出的对话框中选择 show all , 如下所示

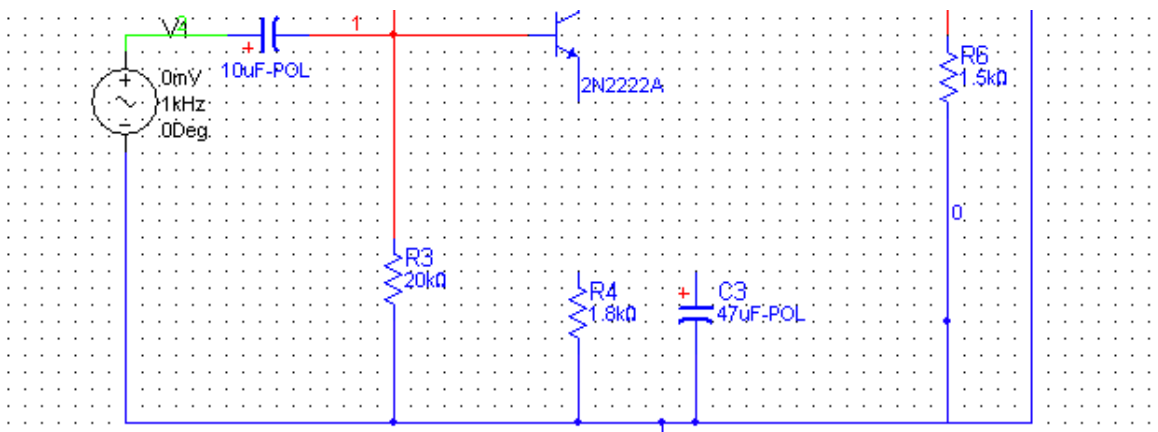




19.此时，电路中每条线路上便出现编号，以便为后来仿真。

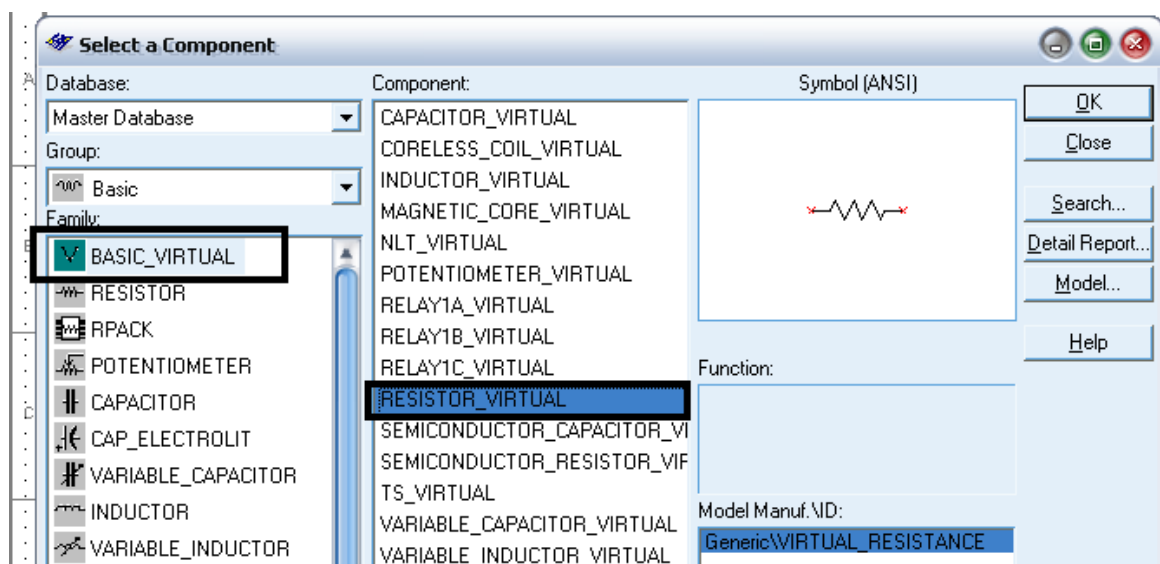


20.如果要在 2N222A 的 e 端加上一个 100 欧电阻，可以先选中“3”这条线路，然后按键盘 del 键，就可以删除。如下图所示

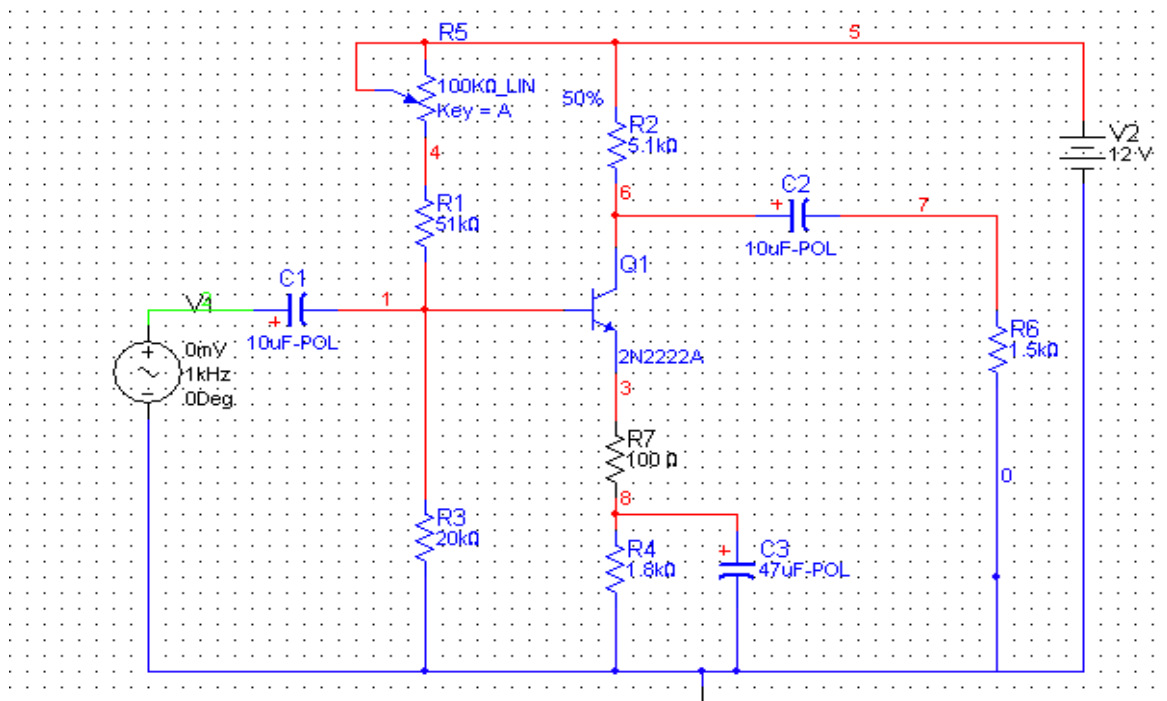


21.之后，点击菜单栏上 place/component，弹出如下所示的 select a component 对话框，选取 BASIC\_VIRTUAL, 然后选取 RESISTOR\_VIRTUAL, 再点击 OK 按钮。

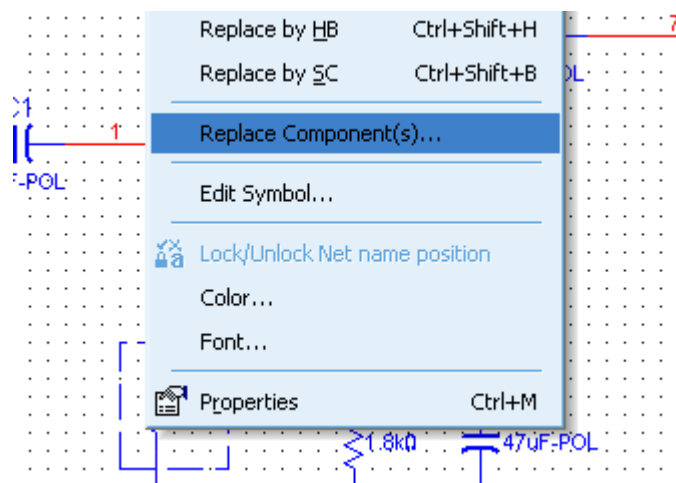
**注意：这是虚拟电阻（都带有\_VIRTUAL），因为只有虚拟电阻才能更改其阻值！同样，电容，电感，三极管等等元件，只有虚拟元件才能更改其参数。**



22.最后，电路如下：

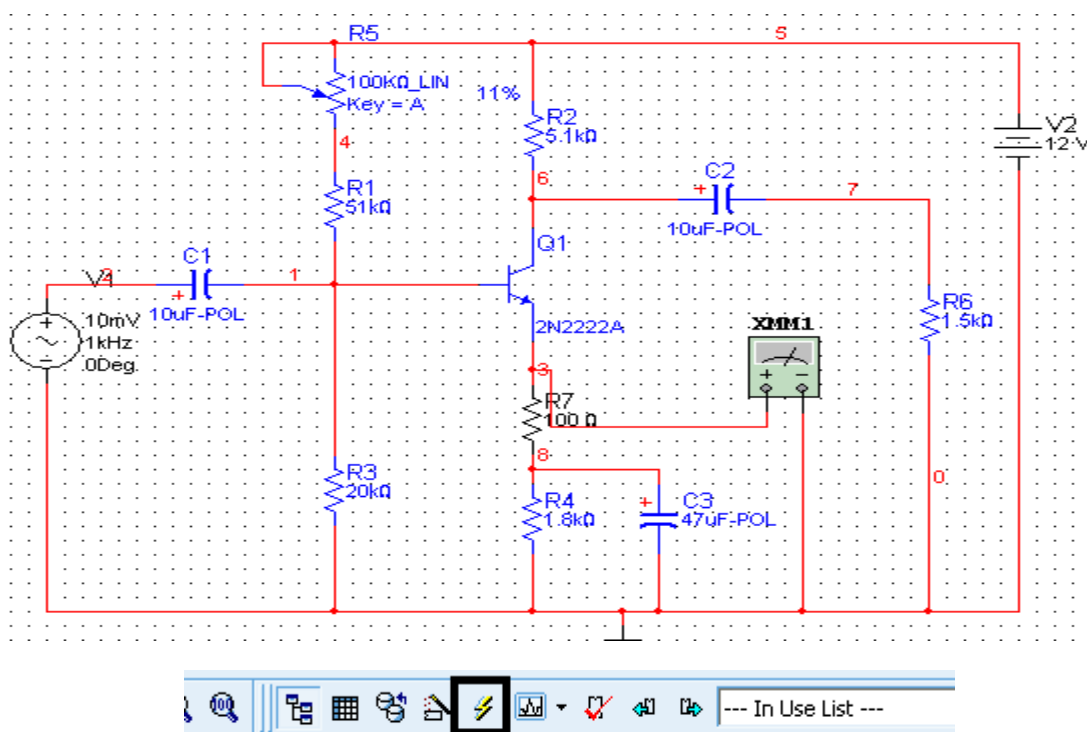



**注意：**该电路当中元件阻值与前面几个步骤中阻值不一样，更改的方法是：比如（要把 R3 从 5.1 千欧更改为 20 千欧），选中 R3 电阻，右键，如图所示：



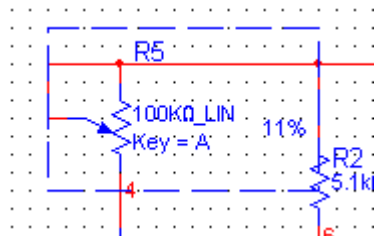
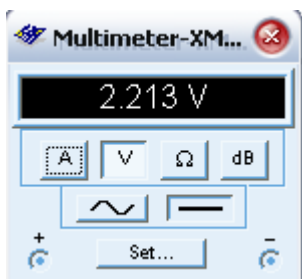
之后，重新选取 20 千欧电阻便会自动更换。

23.单击仪表工具栏中的第一个（即：万用表），放置如下图所示



24.单击工具栏中  运行按钮，便

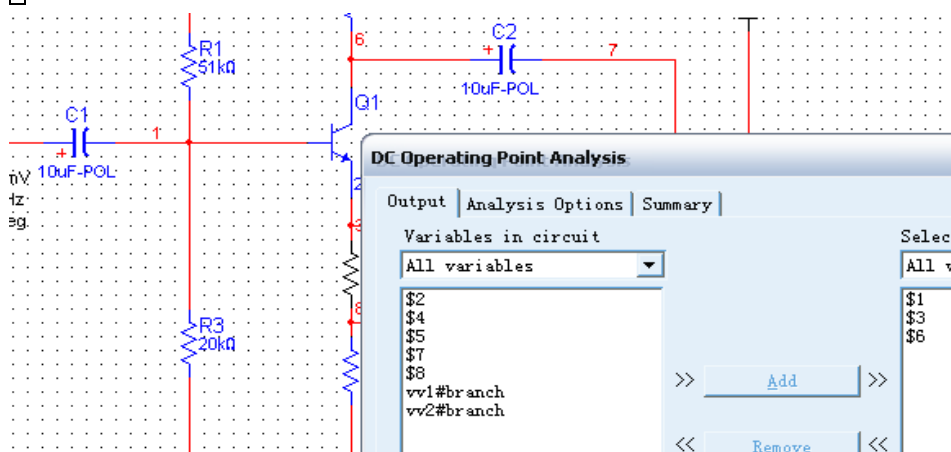
进行数据的仿真。之后，双击  图标，就可以观察三极管 e 端对地的直流电压。如图所



示，然后，单击滑动变阻器，会出现一个虚框，之后，按键盘上的 A 键，就可以增加滑动变阻器的阻值，shift+A 便可以降低其阻值。

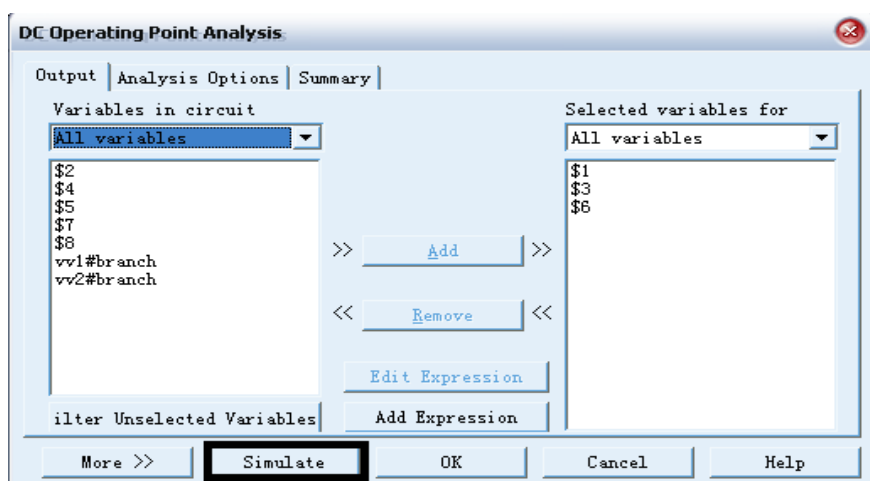
## 25.静态数据仿真：

- ①、调节滑动变阻器的阻值，使万用表的数据为 2.2V。
- ②、执行菜单栏中 simulate/analyses/DC Operating Point...
- ③、如下所示操作

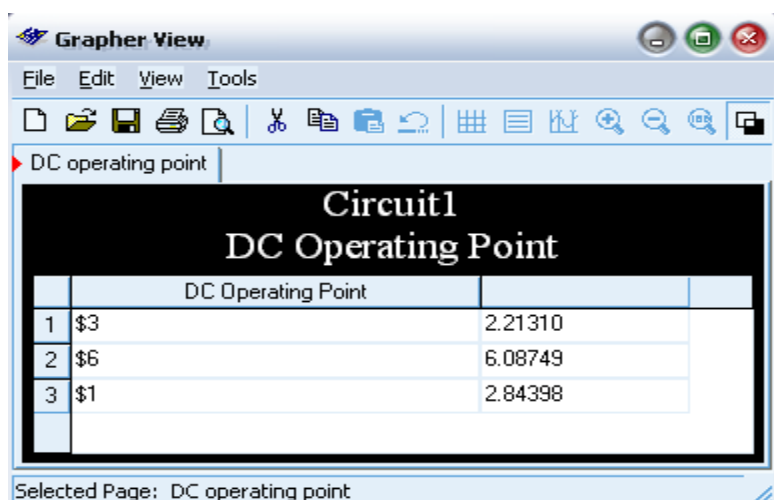


注意：\$1 就是电路图中三极管基级上的 1，\$3，\$6 分别是发射极和集电极上的 3 和 6

- ④、点击对话框上的 Simulate，如下图所示



- ⑤、结果是：



6、记录数据，填如下表：

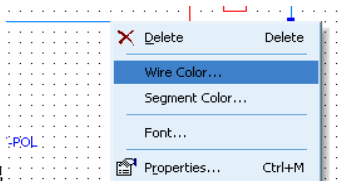
仿真数据（对地数据）单位：V			计算数据 单位：V		
基 级	集电极	发射级	Vbe	Vce	Rp

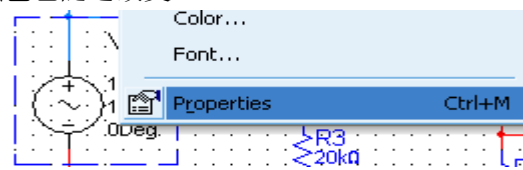
★Rp 的值，等于滑动变阻器的最大阻值乘上百分比。

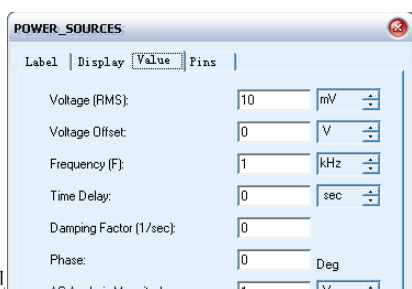
## 26.动态仿真一

1、单击仪表工具栏中的第四个（即：示波器 Oscilloscope），放置如下图所示，并且连接电路。

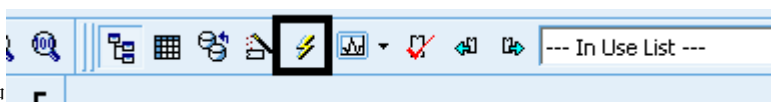
（注意：示波器分为 2 个通道，每个通道有+和-，连接时只需用+即可，示波器默认的地已经连接好的。观察波形图时会出现不知道那个波形是那个通道的，解决方法是更改连接通

道的导线颜色，即：右键击导线，弹出 ，单击 wire color，可以更改颜色，同时示波器中波形颜色也随之改变）

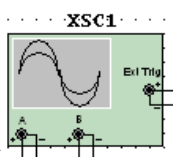
2、右击 V1，出现 ，单击 properties，出



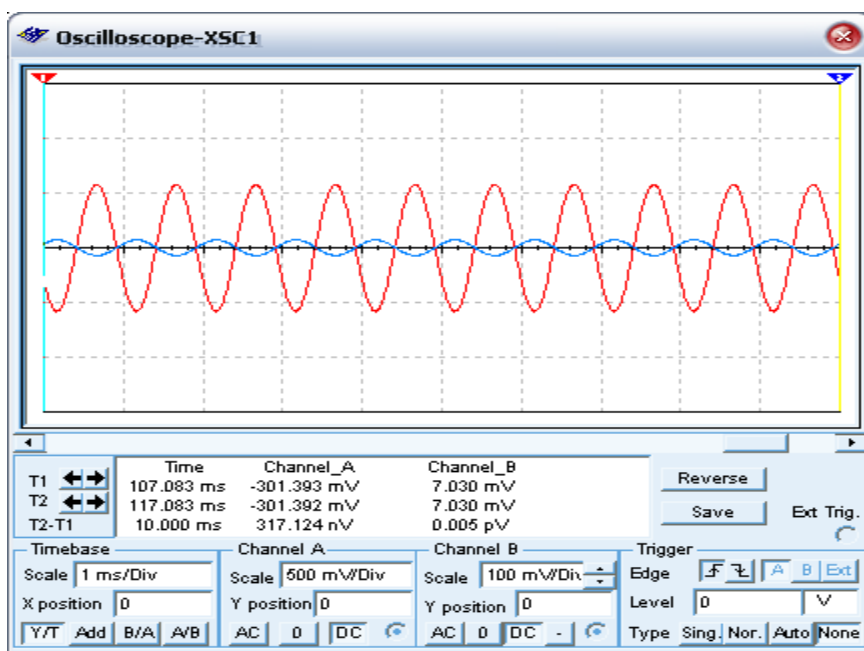
现对话框，把 Voltage 的数据改为 10mV，Frequency 的数据改为 1kHz，确定。



3、单击工具栏中运行按钮，便进行数据的仿真。



4、双击图标，得如下波形：

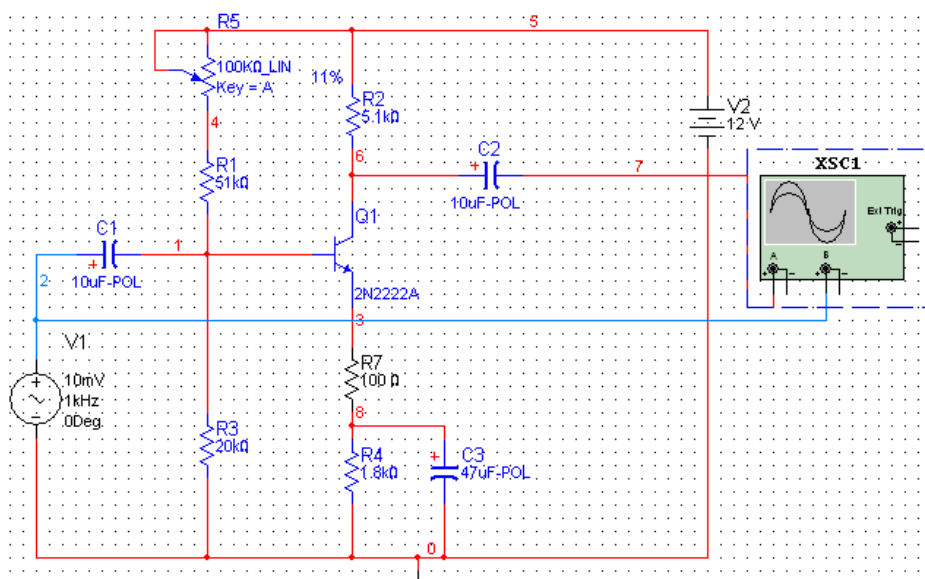


★：如果波形太密或者幅度太小，可以调整 Scale 里边的数据。

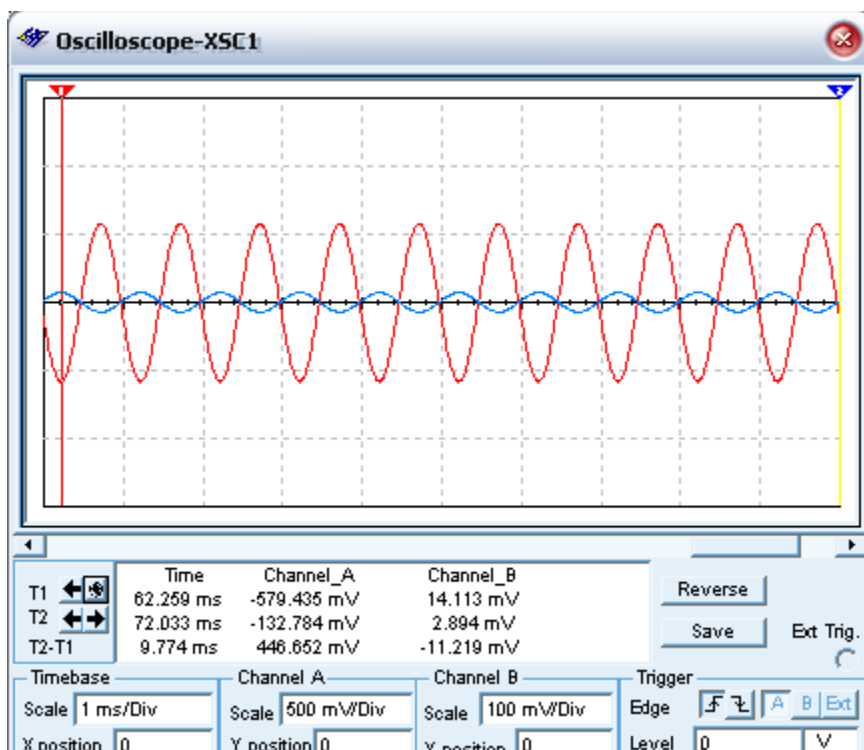
5、记录波形，并说出他们的相位有何不同

## 27 动态仿真二

1、删除负载电阻 R6，重新连接示波器如图所示



2、重新启动仿真，波形如下：



★可以单击 T1 和 T2 的箭头，移动如图所示的竖线，就可以读出输入和输出的峰值。

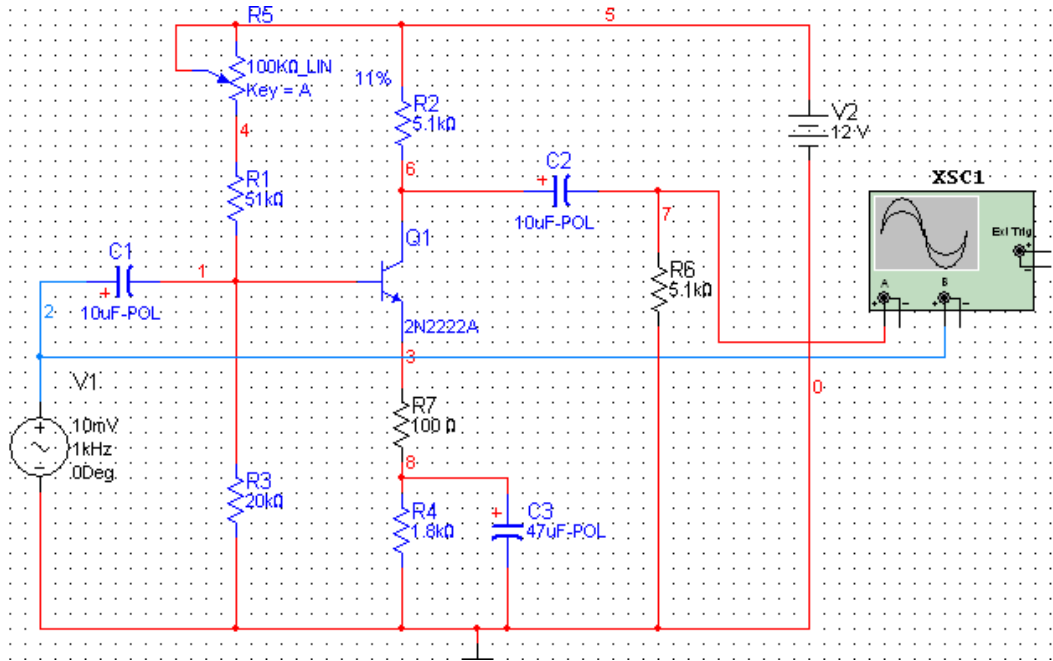
注意：峰峰值变为有效值除以  $2\sqrt{2}$

记录数据如下表:

(注 此表为RL 为无穷)

仿真数据（注意 填写单位）		计算
Vi 有效值	V0 有效值	Av

3、其他不变，分别加上 5.1k 欧和 330 欧的电阻，如下图所示，并填表



填表:

仿真数据（注意填写单位）			计算
RL	Vi	V0	Av
5.1K $\Omega$			
330 $\Omega$			



4、其他不变，增大和减小滑动变阻器的值，观察 V0 的变化，并记录波形。

	Vb	Vc	Ve	画出波形
Rp 增大				
Rp 减小				

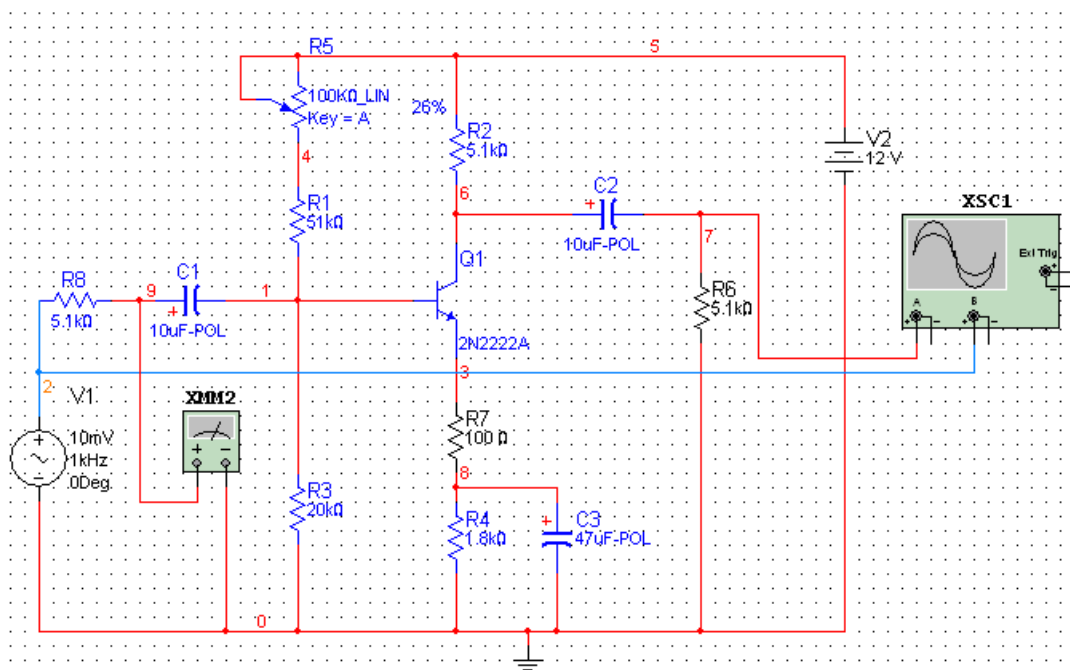
★ 如果效果不明显，可以适当增大输入信号

### 28.动态仿真三

#### 1、测量输入电阻 Ri

在输入端串联一个 5.1k 的电阻，如图所示，并且连接一个万用表，如图连接。启动仿真，记录数据，并填表。

☆万用表要打在交流档才能测试数据

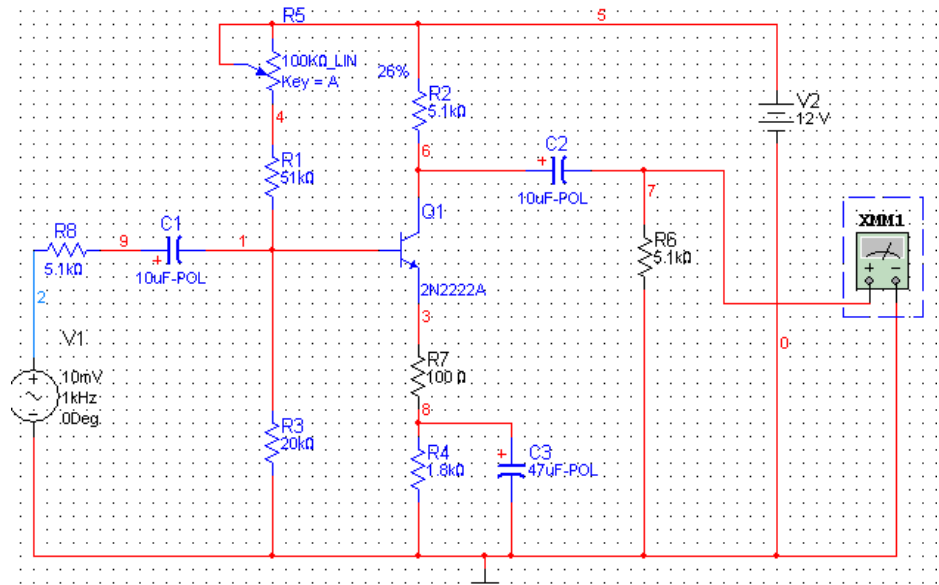


填表：

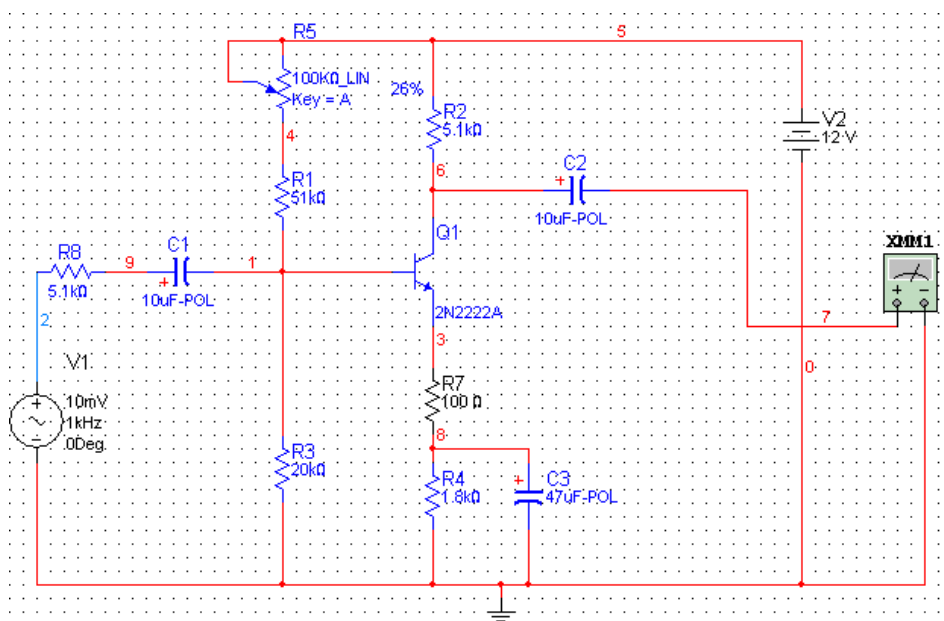
仿真数据（注意填写单位）		计算
信号发生器有效电压值	万用表的有效数据	Ri

2、测量输出电阻  $R_0$

如图所示： ☆万用表要打在交流档才能测试数据，其数据为 VL



如图所示： ☆万用表要打在交流档才能测试数据，其数据为 V0

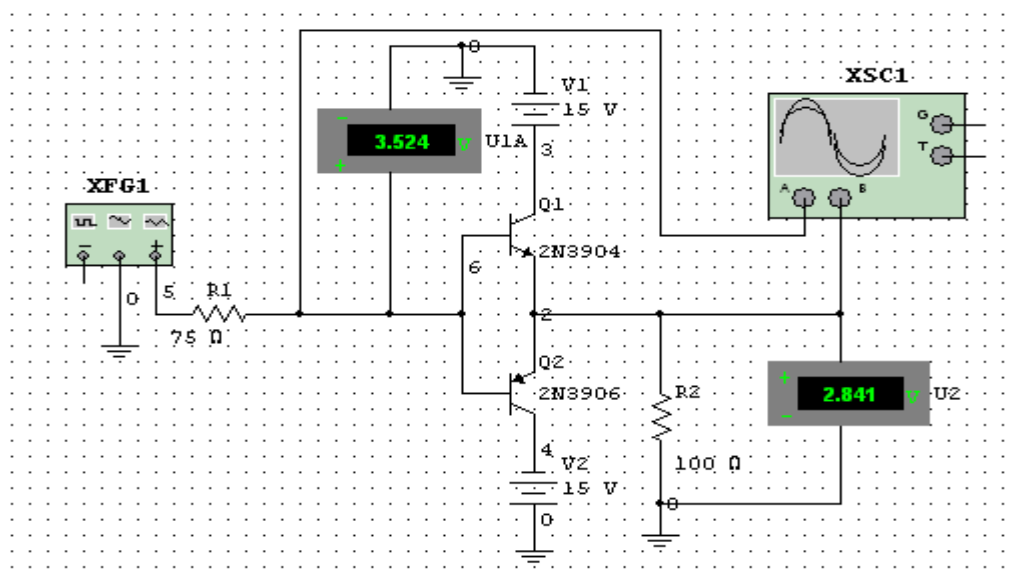


填表：

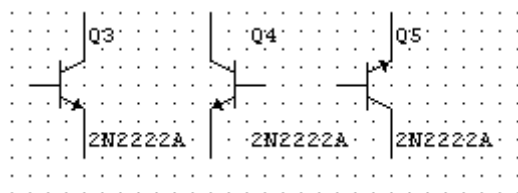
仿真数据		计算
VL	V0	R0

#### 四、思考题

1、画出如下电路：



2、如何把元件水平翻转和垂直翻转呢？如图所示



3、如何更改元件的数值呢？

4、如果去掉实验中的 R7 既是 100 欧电阻，输出波形有何变化？动手仿真看一看。

5、元件库中有些元件后带有 VIRTUAL，它表示什么意思？

## 项目七 射极跟随器

### 一、实验目的

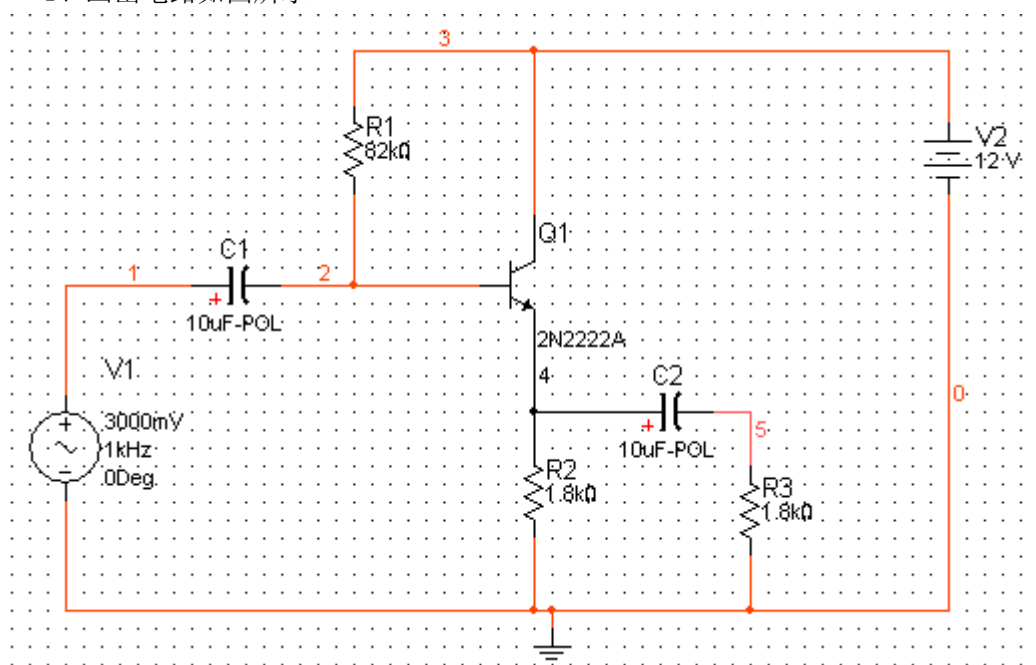
- 1、熟悉 Multisim 软件的使用方法。
- 2、掌握放大器静态工作点的仿真方法及其对放大器性能的影响。
- 3、学习放大器静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的仿真方法，了解共射极电路特性。
- 4、学习 Multisim 参数扫描方法
- 5、学会开关元件的使用

### 二、虚拟实验仪器及器材

双踪示波器      信号发生器      交流毫伏表      数字万用表

### 三、实验步骤

- 1、画出电路如图所示

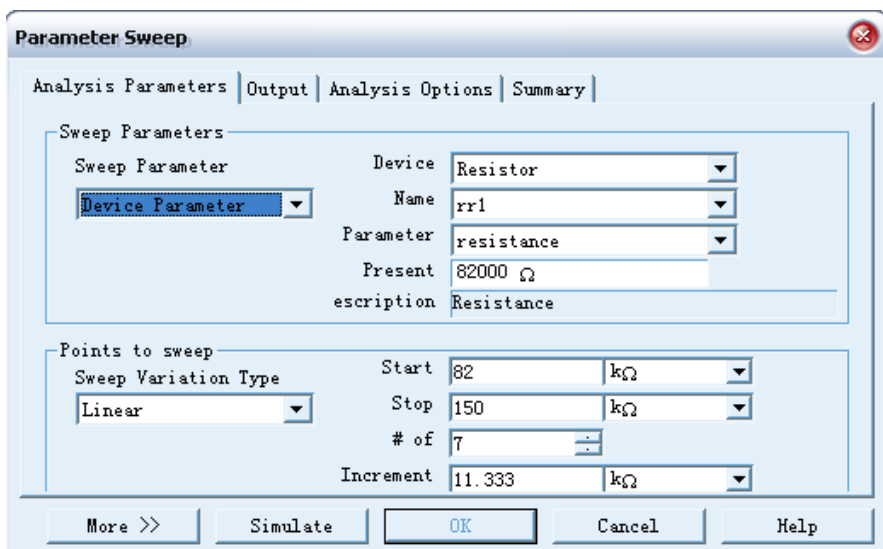


- 2、直流工作点的调整

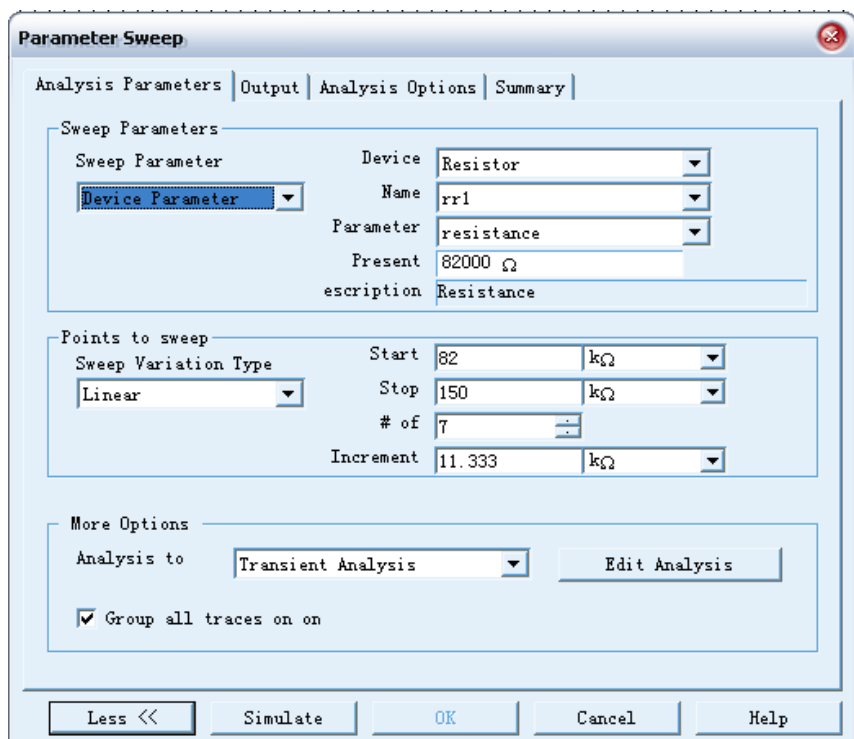
如上图所示，V1 频率 1kHz， $V_i=3V$ ， $R_1=82K\Omega$ ， $R_2=1.8K\Omega$ 。通过扫描电阻  $R_1$  的阻值，在输入端输入稳定的正弦波信号，通过观察输出 5 端的波形，使其为最大不失真波形，此时，便可以确定 Q1 的静态工作点。具体步骤如下：

- (1) 选择菜单栏中 simulate/analyses/parameter sweep。

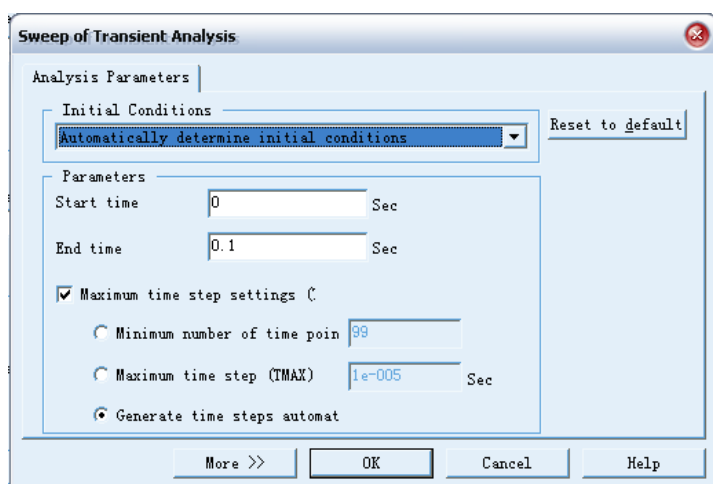
(2) 参数设置如下图所示



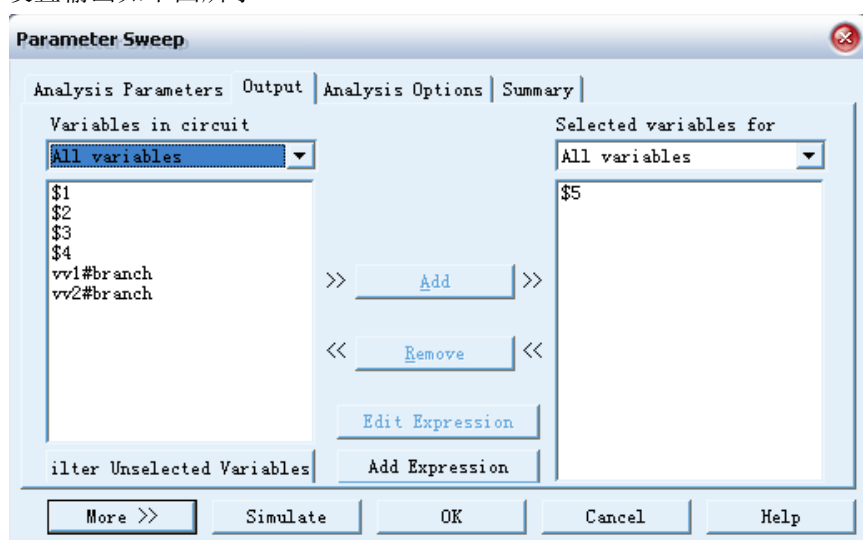
点击上图中按钮“More>>”，出现如下图所示



点击按钮“Edit Analysis”，如下图所示



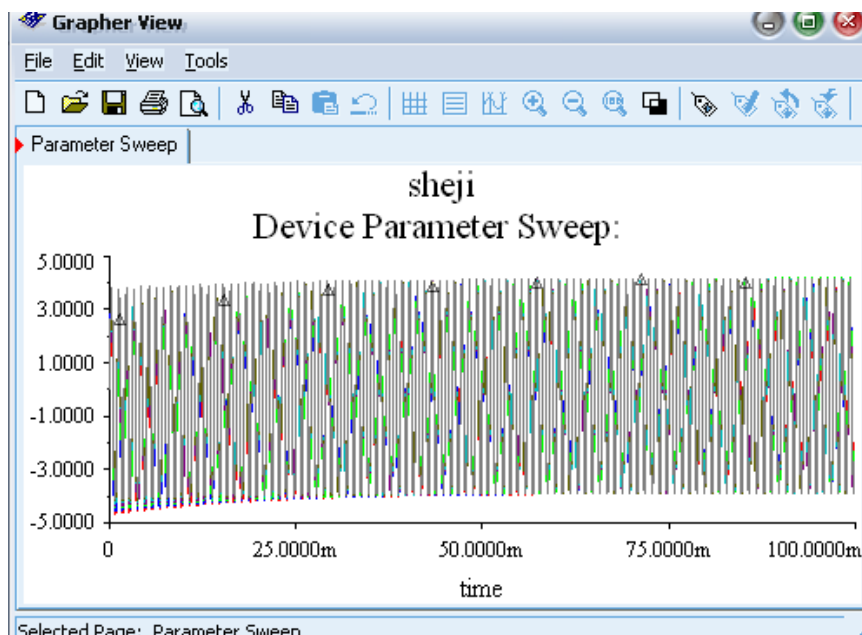
☆把其中的 end time 设置为 0.1 秒，如果太大，那计算机计算时间将会变得很长  
(3) 设置输出如下图所示



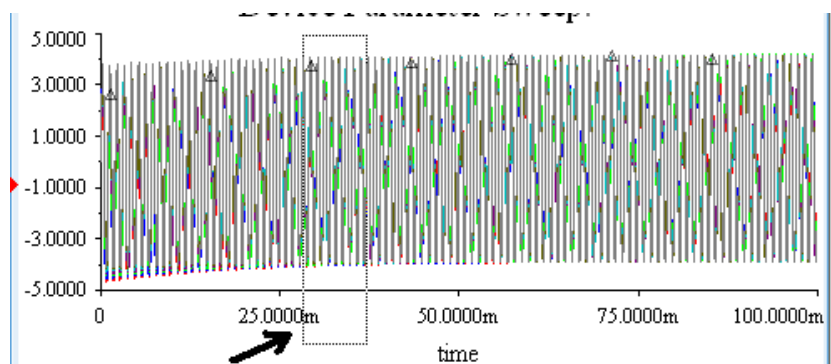
※其中的\$5 就是输出电阻上的“5”编号

3、点击 Simulate 按钮

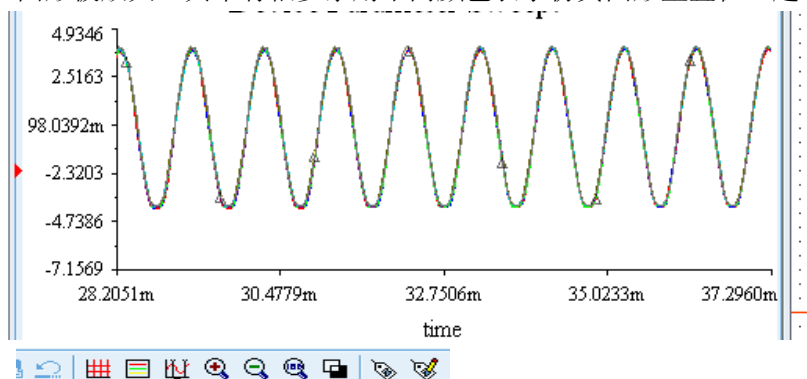
4、出现如下图形




5、用鼠标左键单击图形，选出一个虚拟矩形框，如下所示



6、结果如下，图形被放大。其中有很多条用不同颜色表示仿真图形重叠在一起。



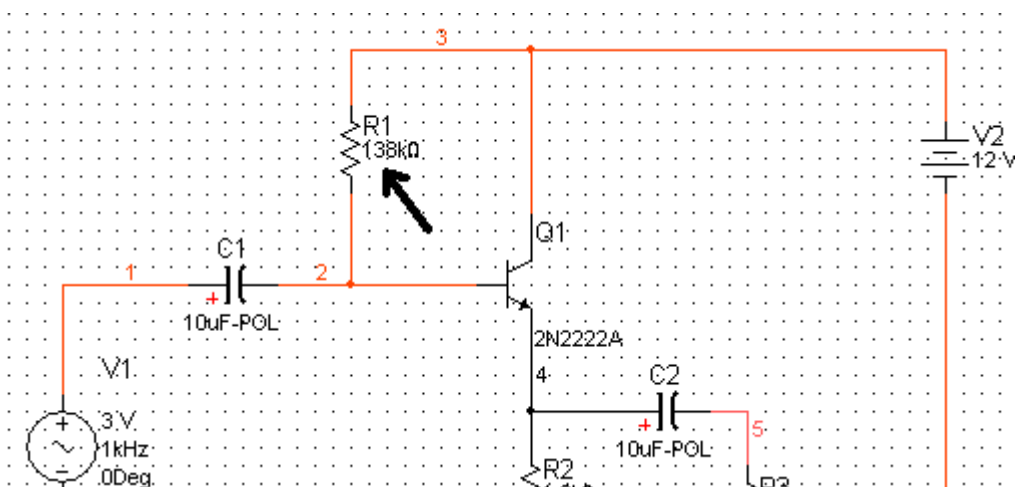
7、单击工具栏 ，便出现如下所示数据



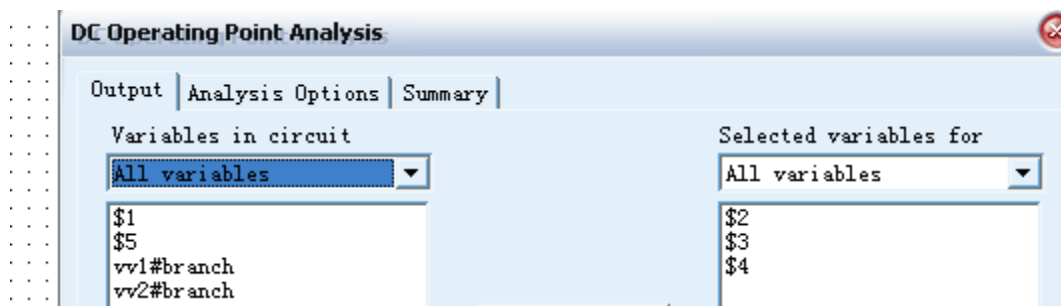
Device Parameter Sweep:			
	\$5, rr1 resistance=820	\$5, rr1 resistance=933	\$5, rr1 resist
x1	28.2051m	28.2051m	
y1	3.5777	3.6866	
x2	28.2051m	28.2051m	
y2	3.5777	3.6866	
dx	0.0000	0.0000	
dy	0.0000	0.0000	
1/dx			
1/dy			
min x	0.0000	0.0000	
max x	100.0000m	100.0000m	
min y	-4.6736	-4.5641	
max y	4.1313	4.1576	
offset x	0.0000	0.0000	
offset y	0.0000	0.0000	

找 max y 和 min y 所对应行的数据，他们数据差别最小的便是我们要的数据。找到它所对应的电阻阻值（该例题为  $138k\Omega$ ），去更改 R1 的阻值。

8、更改电路图如下



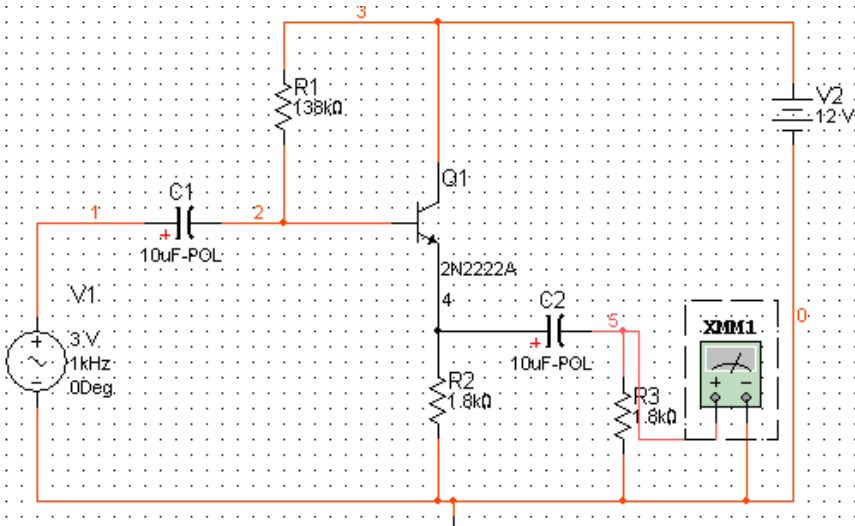
9、进行静态工作点仿真，选择菜单栏中 simulate/analyses/Dc operating point，如右图所示



10、单击 simulate，把所仿真数据填入下表

Vb	Vc	Ve	Ie=Ve/Re

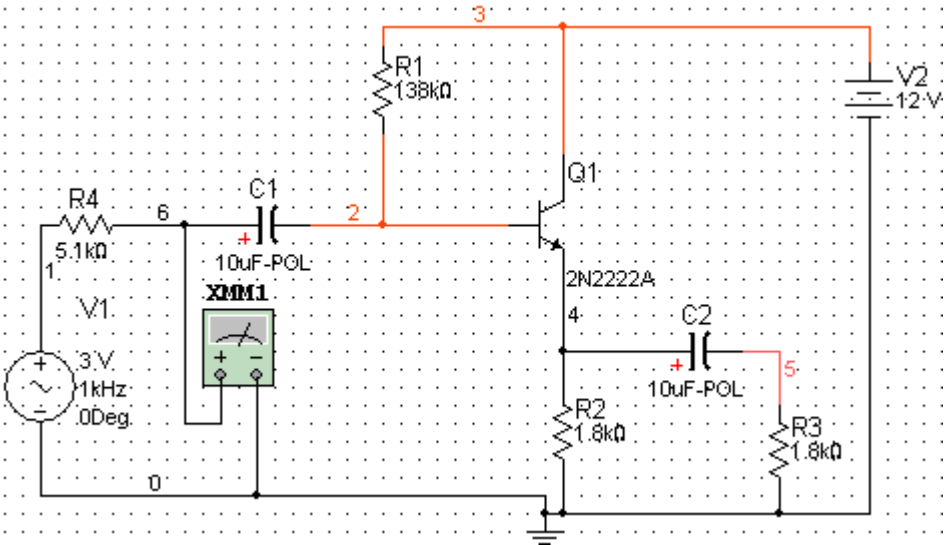
11、测量电压放大倍数



双击万用表，档位在交流，此时把数据填入下表

Vi（单位）	V0（单位）	Av=V0/Vi

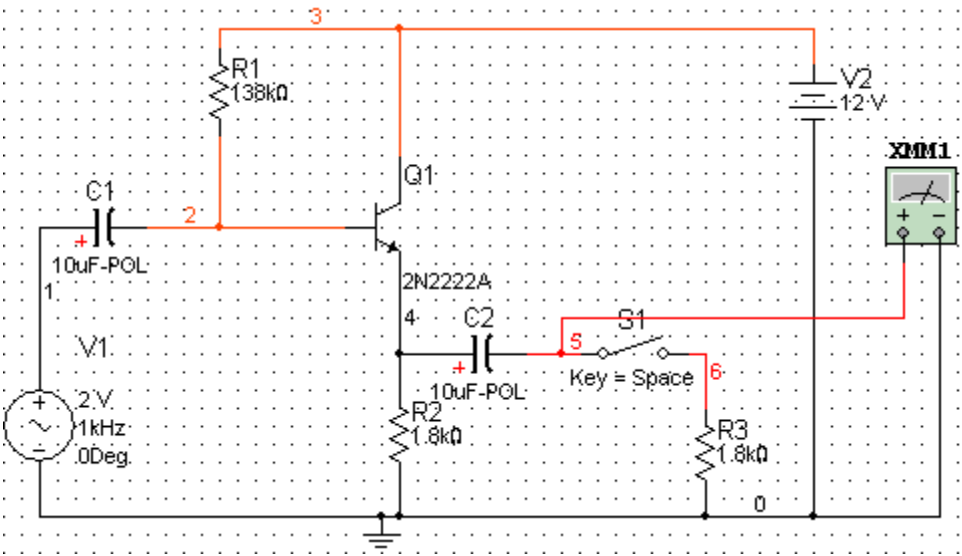
12、测量输入电阻，电路如下所示



双击万用表，填下表

Vs（图中 1 端电压）	Vi（图中 6 端电压）	Ri=Vi*Rs/（Vs-Vi）

13、测量输出电阻，电路如下所示



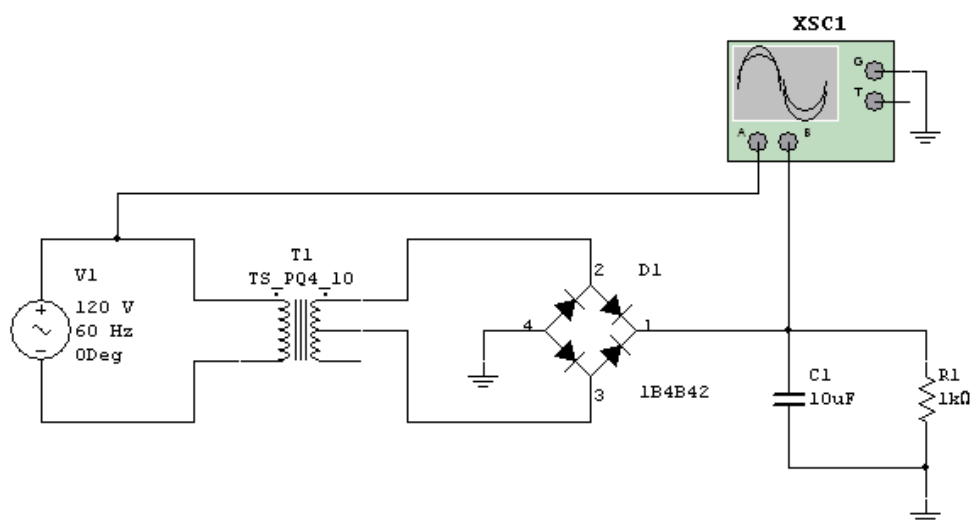
※S1 是开关，是为了测试无穷和带负载是的电压，用空格键来控制其开与关。万用表要打在交流档。注意：信号源电压为 2V，因为空载时电路会失真。

填表

V0（就是开关打开时）	VL（就是开关闭合时）	R0=（V0-VL）*RL/VL

四、思考与练习

1、创建如图所示的整流电路，并进行仿真，观察输入和输出波形。



2、分析射极跟随器的性能和特点。

# 项目八 负反馈放大电路

## 一、实验目的

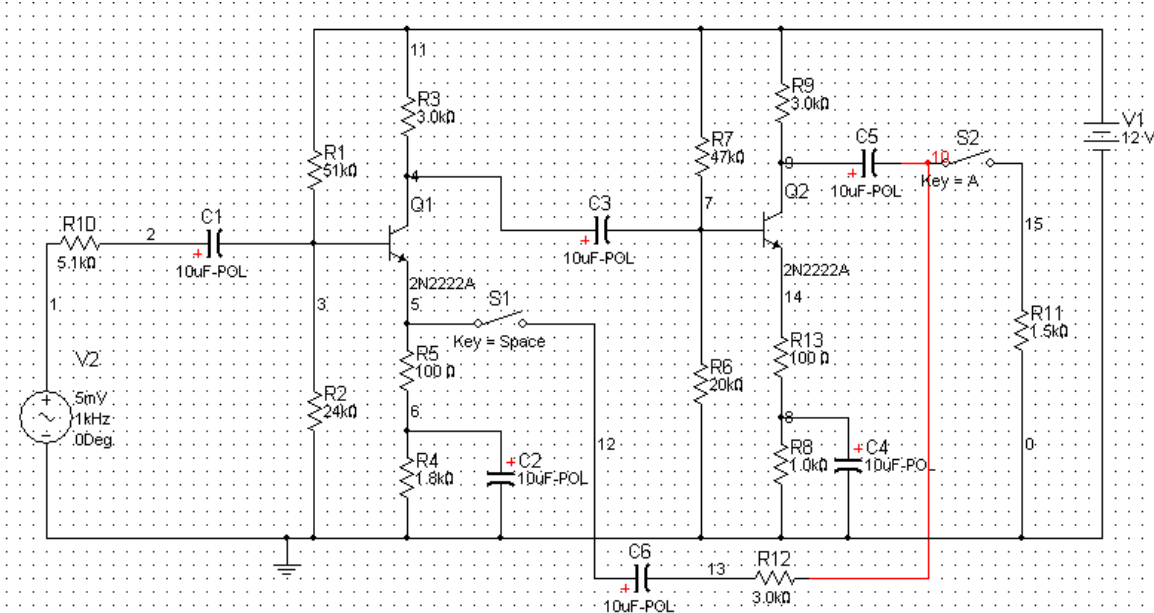
- 1、熟悉 Multisim 软件的使用方法。
- 2、掌握负反馈放大电路对放大器性能的影响。
- 3、学习负反馈放大器静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的开环和闭环仿真方法。
- 4、学习掌握 Multisim 交流分析
- 5、学会开关元件的使用

## 二、虚礼实验仪器及器材

双踪示波器      信号发生器      交流毫伏表      数字万用表

## 三、实验步骤

1、启动 Multisim，并画出如下电路



- 2、调节信号发生器 V2 的大小，使输出端 10 在开环情况下输出不失真。
- 3、启动直流工作点分析，记录数据，填入下表

三极管 Q1			三极管 Q2		
Vb	Vc	Ve	Vb	Vc	Ve

4、交流测试

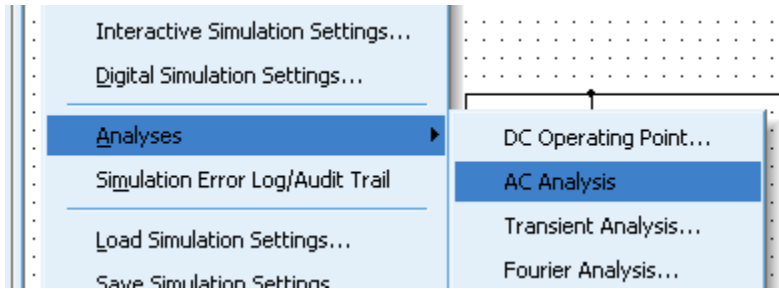
	RL（图中 R11）	Vi	V0	Av
开环	RL=无穷（S2 打开）			
	RL=1.5k（S2 闭合）			
闭环	RL=无穷（S2 打开）			
	RL=1.5k（S2 闭合）			

5、负反馈对失真的改善

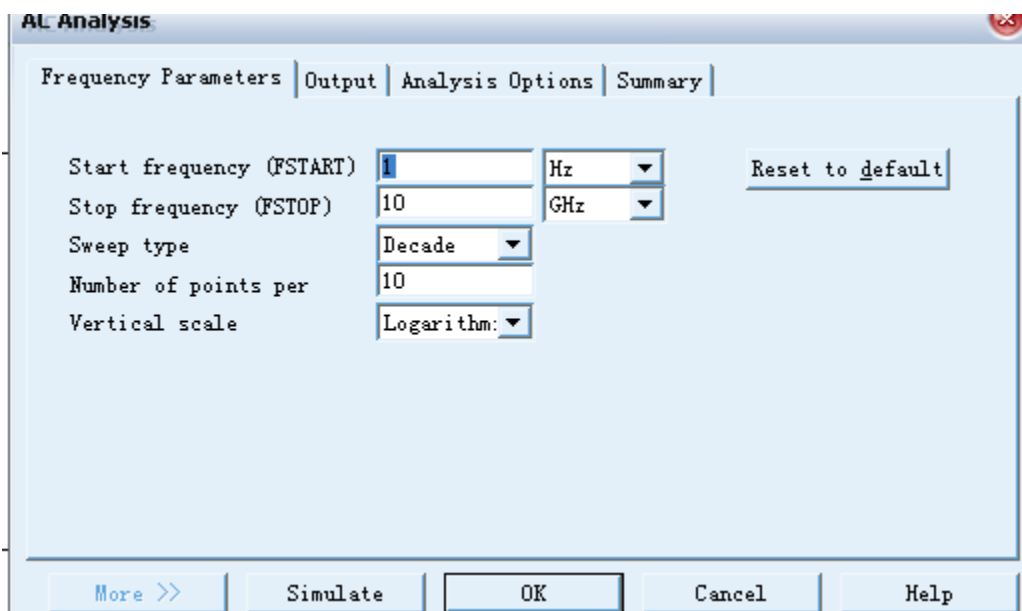
在开环情况下适当加大 Vi 的大小，使其输出失真，记录波形		闭合开关 S1，并记录波形
波 形		

6、测试放大频率特性

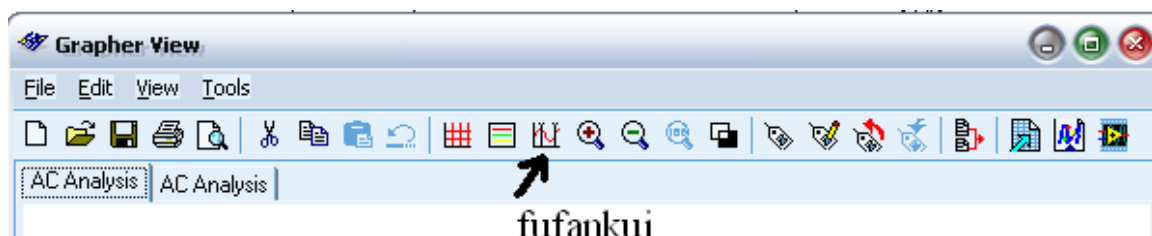
1. 如图所示，进入交流分析



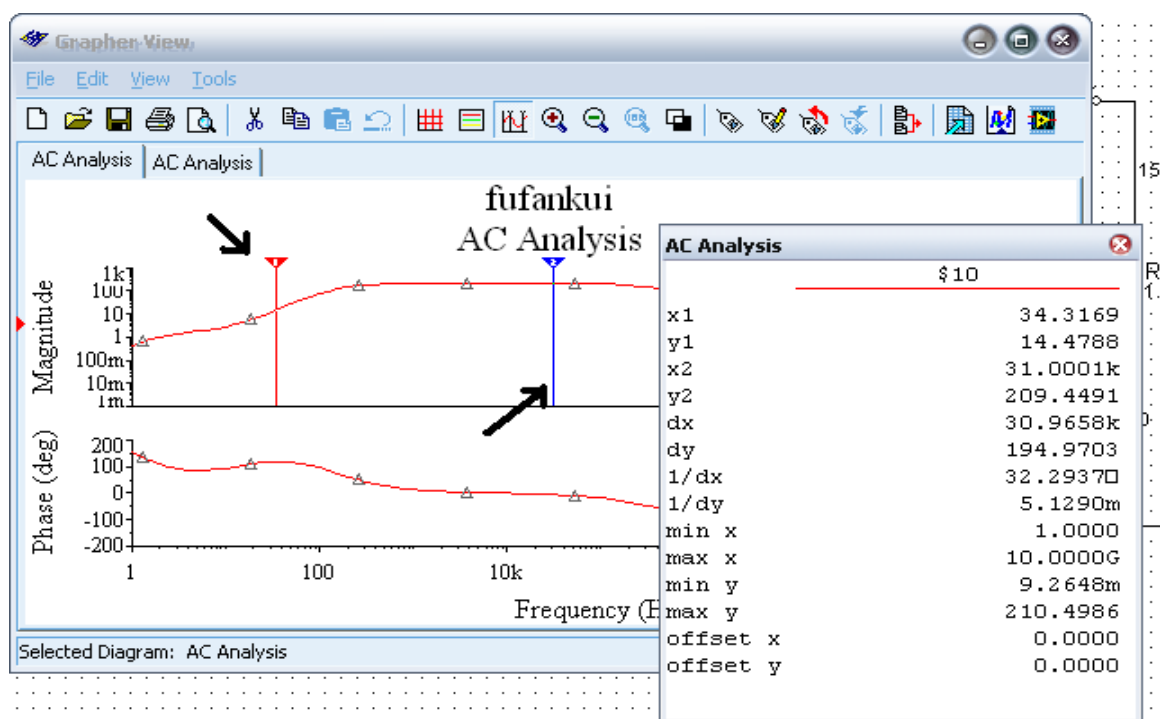
2. 如下所示，输入参数，包括 Frequency Parameters 和 Output 两项



3. 点击如图所示工具栏



4. 出现如下图形



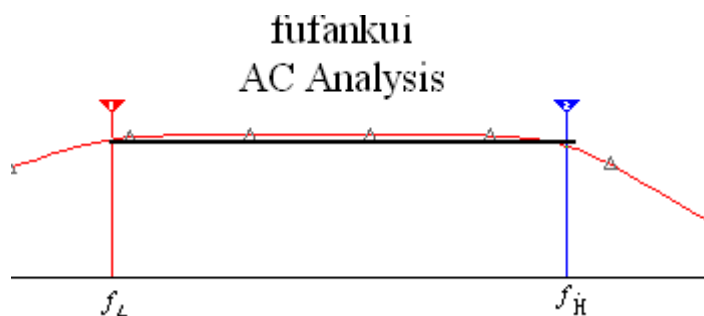
图中的箭头是可以移动的，左边框里的数据也随之改变，把开环时的图形和闭环时的图形记录，并填入下表

开 环		闭 环	
图 形		图 形	
$f_L$	$f_H$	$f_L$	$f_H$



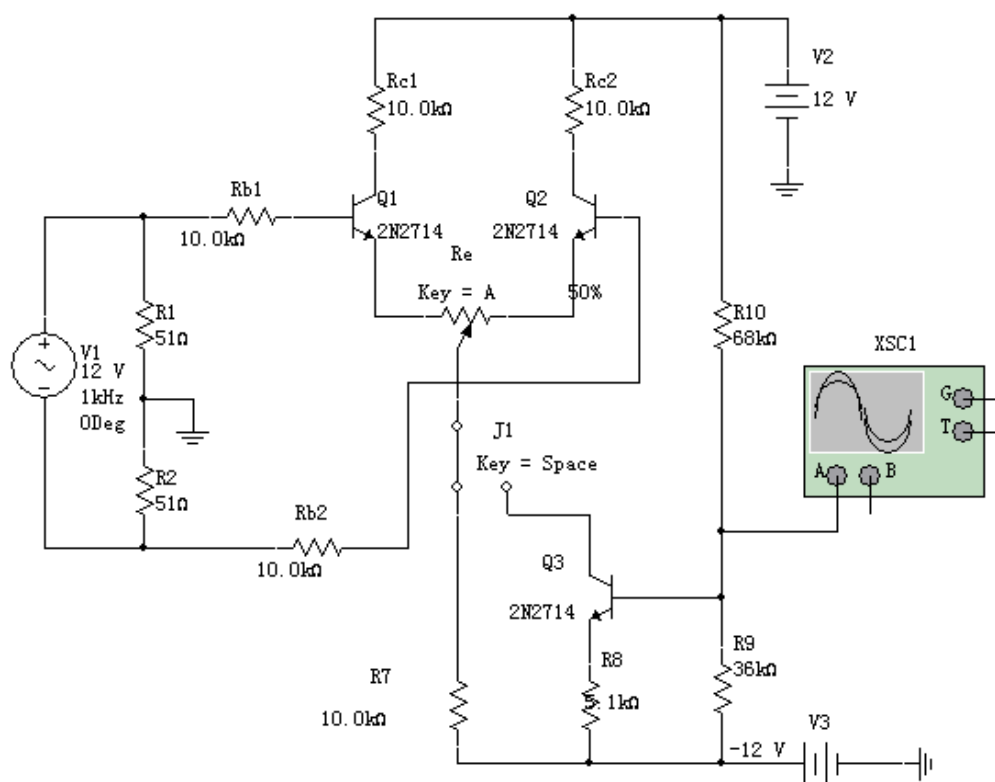
$f_L$ ,  $f_H$  是幅频曲线图中最大值的 0.707 倍，如下图

$f_H - f_L$  就是带宽



#### 四、思考题

1、分析如下的幅频特性和输出波形



## 附录一： NFC—1000C—1 多功能计数器使用简介

### 一、仪器特点：

频率范围为：1Hz~1500MHz

采用 8 位数数码管显示，灵敏度高

全频段等精度测量

主要功能：A 通道测量、B 通道测量、A 通道测周期、A 通道记数

由于本机的标准时钟为 10MHz，则每个钟脉冲的周期为 100ns，故累计误差为 100ns。

根据上述原理，可知本机的闸门时间实际上是预选时间实际测量时间为被测信号的整周期数(总比预选时间长)。当被测信号的单周期时间超过预选时间，则实际测量时间为被测信号的一个周期时间。

### 二、使用说明

1、电源开关：按下按钮电源打开，仪器进入工作状态，再按一下关闭整机电源。

2、功能选择：功能选择模块，可选择“FA ”“ FB”“PA”“TOTA”测量方式，按一下所选功能键，仪器发出声响，若可操作有效，机内原有测量无效，机器自动复原，并根据所选功能进行新的控制。“TOTA”键按动一次为计数开始，闸门指示灯点亮，此时 A 输入通道所输入的信号个数将被累计并显示。当“TOTA”键再按动一次则计数停止。停止前的累计结果将保留并显示。下次测量时，仪器将自动清零。

3、闸门时间：闸门时间选择模块提供四种闸门预选 ((0.01s、0.1s、1s) 或保持)。

闸门时间的选择不同将得到不同的分辨率。

“保持”键的操作：按动一下保持指示灯亮，仪器进入休眠状态，显示窗口保持当前的显示结果，功能选择键、闸门选择键均操作无效(仪器不给予响应)。“保持”键重新按动一次保持批示灯灭。仪器进入正常工作状态。(注“TOTA”功能操作时，仪器置保持状态下，此时虽然显示状态不变，但机内计数器仍然在进行正常累计。当“保持”键释放后，机器将立即把累计的实际值显示出来)。

4、衰减：A 通道输入信号衰减开关，当按下时输入灵敏度被降低 20 倍。

5、低通滤波器：此键按下，输入信号经低通滤波器后进入测量(被测信号频率大于 100KHz，将被衰减)。此键使用可提高低频测量的准确性和稳定性，提高抗干扰性能。

6、A 输入通道：标准 BNC 插座，被测信号频率 1Hz~100MHz 接入此通道进行测量。当输入信号幅度大于 300mV 时，应按下衰减开关 ATT，降低输入信号幅度，能提高测量值的准确度。当信号频率<100KHz，应按下低通滤波器进行测量，可防止叠加再输入信号上的高频信号干扰低频主信号的测量，以提高测量值的准确度。

7、B 通道输入端：标准 BNC 插座，被测信号频率大于 100MHz，接入此通道进行测量。

8、“us”显示灯：周期测量时自动点亮。

9、“kHz”显示灯：频率测量时被测频率小于 1MHz 时自动点亮。

10、“MHz”显示灯：频率测量时被测频率大于或等于 1MHz 时自动点亮。

11、数据显示窗口：测量结果通过此窗口显示。

12、溢出指示：显示超出八位时灯亮。

13、闸门指示：指示机器的工作状态，灯亮表示机器正在测量，灯灭表示测量结束，等待下次测量。(注：灯亮时显示窗口显示的数据为前次测量的结果，灯灭后，新的测量数据处理后将被立即送往显示窗口进行显示)。

### 三、频率测量

- 1、根据所需测量信号的频率大致范围选择“FA”或“FB”测量。
- 2、“FA”测量输入信号接至A输入通道口，“FA”功能键按一下。“FB”测量输入信号接至B输入通道，“FB”功能键按一下。
- 3、“FA”测量时，根据输入信号的幅度大小决定衰减按键置×1或×20位置；输入幅度大于300mVrms，衰减开关应置×20位置。
- 4、“FA”测量时，根据输入信号的频率高低决定，低通滤波器按键置“开”或“关”位置。输入频率低于100KHz，低通滤波器应置“开”位置。
- 5、根据所需的分辨率，选择适当的闸门预选时间（0.01s、0.1s或1s）。闸门预选时间越长，分辨率越高。

#### 四、周期测量

- 1、功能选择模块置“PERA”，输入信号接入A输入通道口。
- 2、根据输入信号频率高低和输入信号幅度大小，决定低通滤波器和衰减器的所处位置，具体操作参考“频率测量”第3条和第4条内容。
- 3、根据所需的分辨率，选择适当的闸门预选时间（0.01s、0.1s或1s）。闸门预选时间越长，分辨率越高。

##### （六）累计

- 4、功能选择模块置“TOTA”键一次，输入信号接入A输入通道口。
- 5、根据输入信号频率高低和输入信号幅度大小，决定低通滤波器和衰减器的所处位置，具体操作参考“频率测量”第3条和第4条内容。
- 6、“TOTA”键再置一次，则计数控制门关闭，计数停止。
- 7、当计数值超过后，则溢出指示灯亮，表示计数器已经计满，显示已溢出，而显示的数值为计数器的累计尾数。

#### 五、常用故障处理

故障现象 检查及排除接上电源后，

数码管不显示 应检查电源保险丝是否完好，若保险丝已烧毁则更换保险丝。若保险丝完好，则开机检查电源电路。

仪器忽好忽坏 检查机内连接电缆是否接触不良

注：电源电路为常见三端稳压电路，按工作原理检查顺序为：变压器次级电压，整流滤波，三端稳压块。若有损坏，更换已坏器件。

# 附录二： SG1645 功率函数信号发生器使用简介

## 一、概述

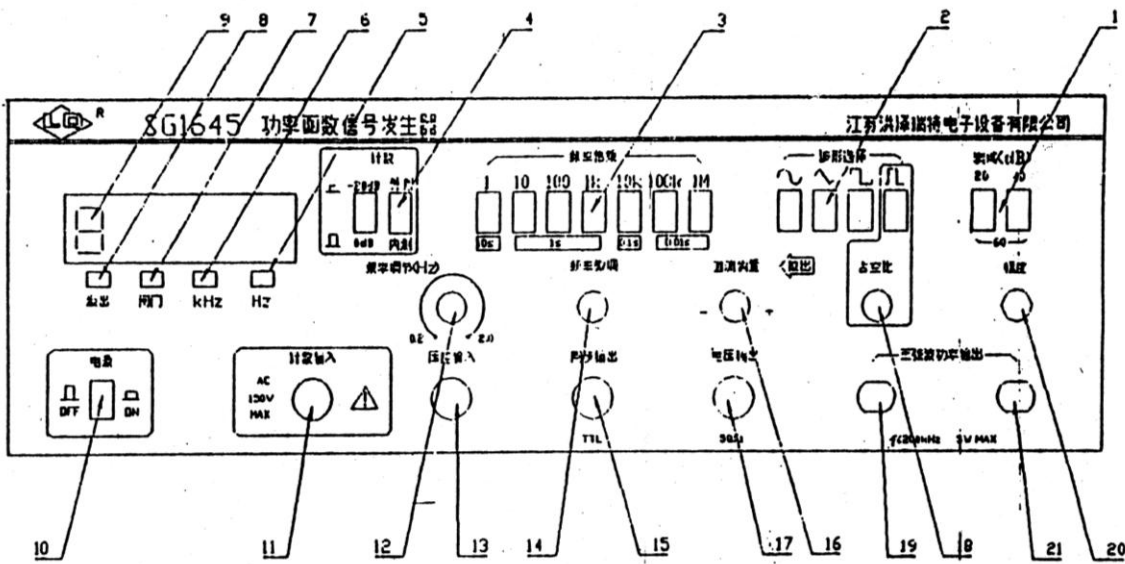
本仪器是一台具有高度稳定性、多功能等特点的函数信号发生器。能直接产生正弦波、三角波、方波、脉冲波，波形对称可调并具有反向输出，直流电平可连续调节。TTL 可与主信号做同步输出。

主要技术参数及特征：

- 1、输出频率：0.02Hz~2MHz
- 2、输出波形：正弦波、方波、三角波、脉冲波等
- 3、最大输出幅度：20Vp-p
- 4、最大输出功率（正弦波）：10W
- 5、正弦波失真： $\leq 1\%$
- 6、电压输出阻抗：50 $\Omega$
- 7、输出功率大、幅度高
- 8、输出波形多
- 9、具有过流、短路保护功能
- 10、有数字频率计，可内外测频

## 二、使用说明

面板的说明及功能见表 1 和图 1-1



面板示意图

图 1-1

SG1645 型功率函数发生器常用控制件主要有电源开关、输出幅度调节旋钮、衰减按钮、波形选择按钮、占空比调节旋钮、频率倍乘按钮、频率调节旋钮、计数器控制件组（内外测量选择按钮，外测衰减按钮，被测频率信号输入端口）、直流偏置推拉式旋钮等。信号发生器的使用主要包括初始设置、开机、工作调节、善后处理等环节。同样，信号发生器使用完毕，应将各控制按钮重新设置，回到初始位置，关闭电源开关直至电源指示灯灭。

表 1

1	衰减 (db)	1) 按下按钮可产生 $-20\text{db} \sim -40\text{db}$ 衰减 2) 两只按钮同时按下可产生 $-60\text{ db}$ 衰减
2	波形选择	1) 输出波形选择 2) 波形选择脉冲波时，可与“10”配合使用可以改变脉冲占空比
3	频率倍乘	1) 频率倍乘开关与“12”、“14”配合选择工作频率 2) 外测频率时选择闸门时间
4	计数	1) 频率及内测和外测频率信号（按下）选择 2) 外测频率信号衰减选择，按下时信号衰减 $-20\text{db}$
5	HZ	指示频率单位，灯亮有效。
6	KHZ	指示频率单位，灯亮有效。
7	闸门	此灯闪烁，说明频率计正在工作
8	溢出	当频率超过 6 个 LED 所显示范围时灯亮
9	显示	数字 LED, 所有内部产生频率或外测时的频率均由此 6 个 LED 显示
10	电源	按下开关电源接通，频率计显示
11	计数输入	外测频率时，信号从此输入
12	频率调节	与“3”配合选择工作频率
13	压控输入	外接电压控制频率输入端
14	频率微调	与“12”配合微调工作频率
15	同步输出	输出波形为 TTL 脉冲，可作同步信号
16	直流偏置	拉出此旋钮可设定任何波形电压输出的直流工作点，顺时针方向为正，逆时针方向为负，将此旋钮推进则直流电位为零。
17	电压输出	电压输出波形由此输出，阻抗为 $50\Omega$
18	占空比	当“2”选择脉冲时，改变此电位器可以改变脉冲的占空比
20	幅度	调节幅度电位器可以同时改变电压输出和正弦波功率输出幅度
19、 21	正弦波功 率输出	1) 当波形选择为正弦波时，有正弦波输出 2) 当选择其它波形时输出为 0 3) 当 $F > 200\text{KHz}$ 时，电路会保护而无输出

## 附录三： HFJ—8D/P 超高频毫伏表

### 一、概述

HFJ—8D/P, 超高频毫伏表是采用双二极管检波、低噪声深负反馈放大电路、轻触开关电子切换功能的电路, 是新型超高频电压测量仪器。测量电压范围为 $1\text{mV}\sim 10\text{V}$  (HF—8D / P)。频率宽度达到 $1\text{KHz}\sim 1000\text{MHz}$ 。具有测量范围宽、刻度线性好及工作环境适应性强的特点。量程控制采用轻触按键, 因此, 使用方便及可靠性高。HF—8P还具有程控功能, 便于微机控制及自动测量。

### 二、工作特性

1、被测电压频率范围： **$1\text{KHz}\sim 1000\text{MHz}$** 。

2、电压测量范围：

$1\text{mV}\sim 10\text{V}$ 分八档, 用 $40\text{dB}$ 分压器可扩展到  $1000\text{V}$  (HFJ—8D / P) ; 满度值分为 $3\text{mV}$ 、 $10\text{mV}$ 、 $30\text{mV}$ 、 $100\text{mV}$ 、 $300\text{mV}$ 、 $1\text{V}$ 、 $3\text{V}$ 、 $10\text{V}$ ;

0.  $3\text{mV}\sim 3\text{V}$ 分八档, 用 $40\text{dB}$ 分压器可扩展到 $300\text{V}$  (AS2271A) ; 满度值为 $1\text{mV}$ 、 $3\text{mV}$ 、 $10\text{mV}$ 、 $30\text{mV}$ 、 $100\text{mV}$ 、 $300\text{mV}$ 、 $1\text{V}$ 、 $3\text{V}$ 。

3、电压测量固有误差：

$1\text{mV}$ :  $\pm 70\%$ ;  $3\text{mV}$ :  $\pm 5\%$ ; 其余各档为:  $3\%$ 。

4、固有频率影响误差：

$100\text{KHz}\sim 50\text{MHz}$ :  $\pm 3\%$ ;  $10\text{KHz}\sim 100\text{MHz}$ ,  $50\text{MHz}\sim 600\text{MHz}$ :  $\pm 10\%$ ;  $1\text{KHz}\sim 10\text{MHz}$ 、 $600\text{MHz}\sim 1000\text{MHz}$ :  $\pm 20\%$ 。

5、工作误差：

$1\text{mV}$ 档:  $\pm 7\%$  (满度值)、 $\pm 3\%$  (读数值) (AS2271A) ;  $3\text{mV}$ 档:  $\pm 5\%$  (满度值)、 $\pm 3\%$  (读数值)。其余各档:  $\pm 3\%$  (满度值)、 $\pm 2\%$  (读数值)。

6、工作条件下频率影响误差：

$100\text{KHz}\sim 50\text{MHz}$ :  $\pm 5\%$ ;  $10\text{KHz}\sim 100\text{MHz}$ 、 $50\text{MHz}\sim 600\text{MHz}$ :  $\pm 15\%$ ;  $1\text{KHz}\sim 10\text{MHz}$ 、 $600\text{MHz}\sim 1000\text{MHz}$ :  $\pm 30\%\sim \pm 10\%$ 。

7、输入电容 $<2.5\text{pF}$ 。

8、输出直流电压：

$100\text{mV}$ :  $\pm 5\%$  (输出阻抗约 $1\text{K}\Omega$ )

9、量程遥控性能：

BCD码控制 (HFJ—8P)。

10、正常工作条件: 环境温度:  $0\sim 40^\circ\text{C}$ , 相对湿度:  $<90\%$  ( $40^\circ\text{C}$ ), 大气压:  $750\pm 30\text{mmHg}$ , 电源电压:  $220\text{V}\pm 10\%$ ;  $50\text{Hz}\pm 5\%$ , 电源功耗:  $<10\text{VA}$ 。

### 三、仪器的使用。

仪器前面板功能如图1所示。

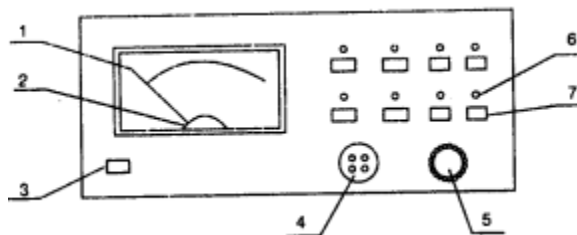


图1 仪器前面板功能图

- 1、表头：读数指示。黑刻度为电压V或mV；分别对应于0.1及0.3满度指示。红刻度为dBm读数；对应于50欧姆及75欧姆。
- 2、表头机械调零。BAL区为平衡区：HFJ—8D/ P在3mV档时调节，AS2271在1mV档时调节。
- 3、电源开关：按下时为电源接通。
- 4、探头插座：插入探头作测量用。
- 5、BAL调节：在30mV以下时有作用。HFJ—8D/ P使用时在3mV档调节，AS2271A使用时在1mV档调节。使指针指BAL区后，其他各档不用调节，直接测量。

#### 四、测量准备

- 1、调整电表机械零点。
- 2、把探头接到探头插座上。
- 3、接通电源。
- 4、置量程为3mV档（HFJ—8D/P）或1mV档（AS2271A）。
- 5、探头插入本仪器提供的T型接头内，并接终端负载。
- 6、调节BAL（平衡）钮使表针指在BAL区内。
- 7、切换合适量程对相应的被测电压进行测量。

#### 五、操作注意事项

1. 探头应尽量离开发热体，以免引起探头升温。
2. 平衡调节只能在最小量程档调节，调整后测量各档不需重新调节。
3. 探头测量电压，直流电压应不大于100V，交流电压不大于15Vrms。（HFJ—8D / P）6Vrms（AS2271A）。在测量小信号时，应避免周围环境有强电磁场干扰。
4. 探头是本仪器主要部件，如果使用不当，探针及连线容易损坏，因此需特别小心。

#### 六、测量步骤

例1：需测某一信号源输出电压（电平）  
连接图如图2所示。

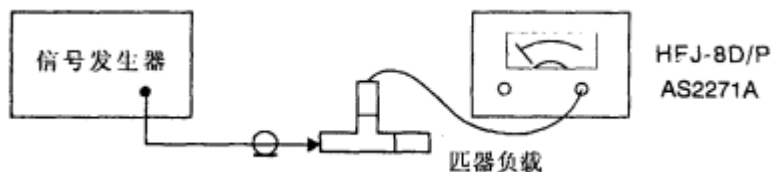


图2测试连接图

选择合适的量程，读取电表指示值，如果量程为3V档，读得数为“1”，则该信号源输出电压为1V，如需读取电平值，因3V档对应于+20dB，“1V”相对于-7dB（50欧姆时），则1V的电平为  $20-7=+13\text{dBm}$ ，电平输出为13dBm。

例2：测放大器增益

测放大器增益如图3所示。

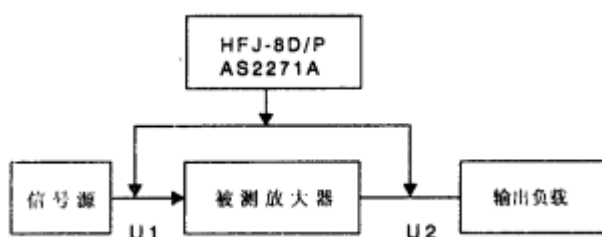


图3测放大器增益图

- 1、信号源置被测放大器工作频率。
- 2、信号源置输出电平为放大器正常工作的电平。
- 3、HFJ—8D / P测得放大器输入电压 $U_1$ 或电平  $P_1$ 。
- 4、HFJ—8D / P再测得放大器输出电压 $U_2$ 或电平 $P_2$ ，则放大器 $K=U_2/U_1$   $K_{dB}=P_2-P_1$ 。

如： $U_1=10\text{mV}$      $U_2=1\text{V}$     则  $K=1\text{V}/10\text{mV}=100$   
 $P_1=-27\text{dB}$      $P_2=13\text{dB}$     则  $K_{dB}=13-(-27\text{dB})=40\text{dB}$

## 七、程控功能使用（HF—SP）

当使用HFJ—8 / P 超高频毫伏表时具有程控功能，其插座引脚安排如图4所示。

- 1、直流输出负端；2——BCD码D；3——直流输出正端；4—— BCD码C；5—— BCD码B；6、BCD码A；7——接地。

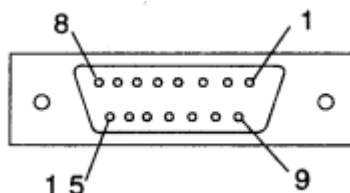


图4 插座引脚图

逻辑功能表见表1。

表1

量程	BCD码			
	D	C	B	A
3V	0	0	0	0
10V	0	0	0	1
30V	0	0	1	0
100V	0	0	1	1
300V	0	1	0	0
1V	0	1	0	1
3V	0	1	1	0
10V	0	1	1	1
手动	1	—	—	—

## 八、例行校正

当仪器使用或存放6~12个月后，应例行校正一次。

- 1、各档满度值之调整。其连接图如图5所示。



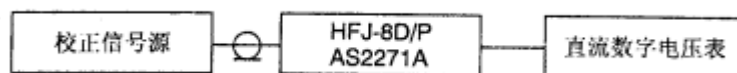


图5 连接图

校正信号源基准频率为100KHz，输出电压0.3mV~10Vmps，电压准确度为大于0.5%，失真度小于1%的正弦波信号。

## 2、校正步骤：

校正信号源输出10V（HFJ—8D/P），3V（AS2271A）电压。调节3W<sub>2</sub>电位器，使表头指示为满度值；调节3W<sub>1</sub>电位器，使直流输出为100mV。由于二者相互有影响，需反复调节。再改变校正信号源输出电压为3V~3mV（HFJ—8D / P），1V—1mV（AS2271A），分别调节 3W<sub>9</sub>~3W<sub>3</sub>，使各档满度值达标，同时对各档线性作检查。

**注意：**HFJ—8D / P在3mV档时需BAL调整。10mV、30mV需在3mV档BLA调整后再作满度调整，以免引起误差。

## 3、频响校正

在检波探头作过改动或修理后，需对探头的频响作检查。其连线如图6所示。

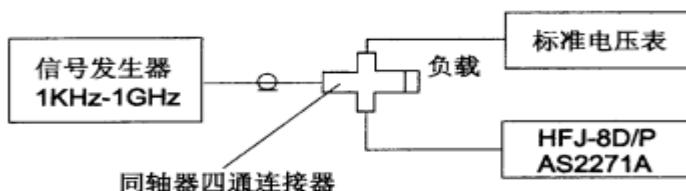


图6 连线如图

改变不同的信号源频率，使标准表定位在相对于100KHz时的定值。HFJ—8D / P测得的不同值即为该探头的频响值。

# 附录四： XJ4318 型二踪示波器使用简介

## 一、XJ4318 型示波器各旋钮的用途及使用方法

- 1、内刻度坐标线：它消除了光迹和刻度线之间的观察误差，测量上升时间的信号幅度和测量点位置在左边指出。
- 2、电源指示器：它是一个发光二极管，在仪器电源通过时发红光。
- 3、电源开关：它用于接通和关断仪器的电源，按入为接通，弹出为关断。
- 4、AC、⊥、DC 开关：可使输入端成为交流耦合、接地、直流耦合。

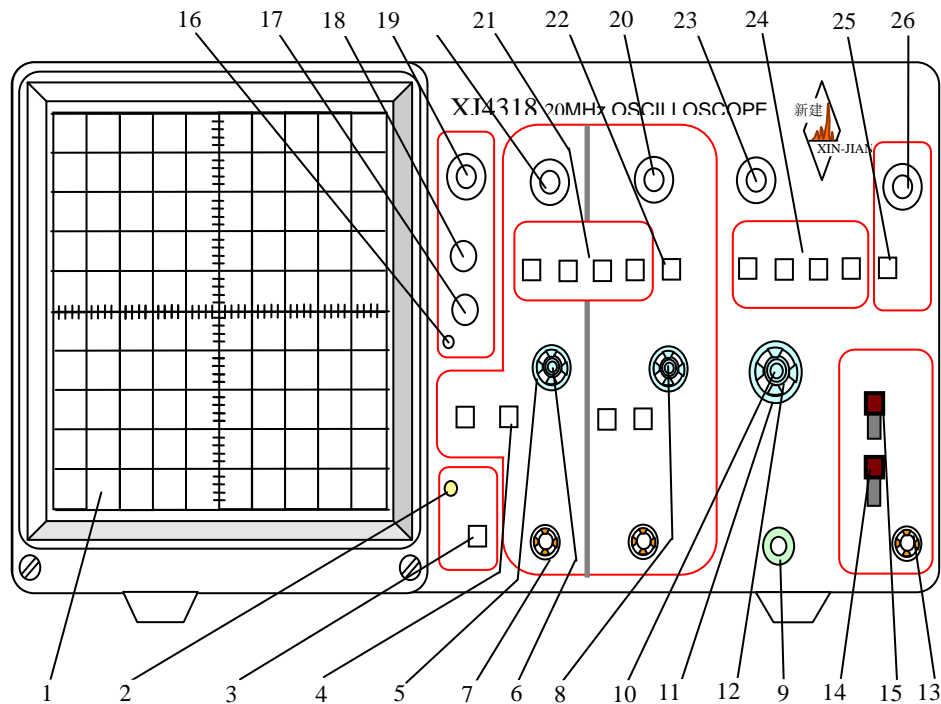


图 1 XJ4318 型示波器面板

- 5、偏转因数开关：改变输入偏转因数 5mV/DIV—5V/DIV，按 1—2—5 进制共分 10 个档级。
- 6、PULL×5：改变 Y 轴放大器的发射极电阻，使偏转灵敏度提高 5 倍。
- 7、输入：作垂直被测信号的输入端。
- 8、微调：调节显示波形的幅度，顺时针方向增大，顺时针方向旋足并接通开关为“标准”位置。
- 9、仪器测量接地装置。
- 10、PULL×10：改变水平放大器的反馈电阻使水平放大器放大量提高 10 倍，相应地也使扫描速度及水平偏转灵敏度提高 10 倍。
- 11、t/DIV 开关：为扫描时间因数档级开关，从 0.2μs—0.2s/DIV 按 1—2—5 进制，共十九档，当开关顺时针旋足是 X—Y 或外 X 状态。
- 12、微调：用以连续改变扫描速度的细调装置。顺时针方向旋足并接通开关为“校准”位置。

- 13、外触发输入：供扫描外触发输入信号的输入端用。
- 14、触发源开关：选择扫描触发信号的来源，内为内触发，触发信号来自 Y 放大器；外为外触发，信号来自外触发输入；电源为电源触发，信号来自电源波形，当垂直输入信号和电源频率成倍数关系时这种触发源是有用的。
- 15、内触发选择开关：是选择扫描内触发信号源。CH1—加到 CH1 输入连接器的信号是触发信号源。CH2—加到 CH2 输入连接器的信号是触发信号源。VERT—垂直方式内触发源取自垂直方式开关所选择的信号。
- 16、CAL0.5：为探极校准信号输出，输出 0.5Up-p 幅度方波，频率为 1KHz。
- 17、聚焦：调节聚焦可使光点圆而小，达到波形清晰。
- 18、标尺亮度：控制坐标片标尺的亮度，顺时针方向旋转为增亮。
- 19、亮度：控制荧光屏上光迹的明暗程度，顺时针方向旋转为增亮，光点停留在荧光屏上不动时，宜将亮度减弱或熄灭，以延长示波器使用寿命。
- 20、位移：控制显示迹线在荧光屏上 Y 轴方向的位置，顺时针方向迹线向上，逆时针方向迹线向下。
- 21、垂直方式开关：五位按钮开关，用来选择垂直放大系统的工作方式。
- CH1—显示通道 CH1 输入信号。
- ALT—交替显示 CH1、CH2 输入信号，交替过程出现于扫描结束后回扫的一段时间里，该方式在扫描速度从  $0.2 \mu\text{s}/\text{DIV}$  到  $0.5\text{ms}/\text{DIV}$  范围内同时观察两个输入信号。
- CHOP—在扫描过程中，显示过程在 CH1 和 CH2 之间转换，转换频率约 500KHz。该方式在扫描速度从  $1\text{ms}/\text{DIV}$  到  $0.2\text{s}/\text{DIV}$  范围内同时观察两个输入信号。
- CH2—显示通道 CH2 输入信号。
- ALL OUT ADD—使 CH1 信号与 CH2 信号相加（CH2 极性“+”）或相减（CH2 极性“-”）。
- 22、CH2 极性：控制 CH2 在荧光屏上显示波形的极性“+”或“-”。
- 23、X 位移：控制光迹在荧光屏 X 方向的位置，在 X—Y 方式用作水平位移。顺时针方向光迹向右，逆时针方向光迹向左。
- 24、触发方式开关：五位按钮开关，用于选择扫描工作方式。AUTO—扫描电路处于自激状态。NORM—扫描电路处于触发状态。TV—V—电路处于电视场同步。TV—H—电路处于电视行同步。
- 25、极性开关：供选择扫描触发极性，测量正脉冲前沿及负脉冲后沿宜用“+”，测量负脉冲前沿及正脉冲后沿宜用“-”。
- 26、电平锁定：调节和确定扫描触发点在触发信号上的位置，电平电位器顺时针方向旋足并接通开关为锁定位置，此时触发点将自动处于被测波形中心电平附近。

## 二、双踪示波器的正确调整与操作

示波器的正确调整和操作对于提高测量精度和延长仪器的使用寿命十分重要。

### 1、聚焦和辉度的调整

调整聚焦旋钮使扫描线尽可能细，以提高测量精度。扫描线亮度（辉度）应适当，过亮不仅会降低示波器的使用寿命，而且也会影响聚焦特性。

### 2、正确选择触发源和触发方式

触发源的选择：如果观测的是单通道信号，就应选择该通道信号作为触发源；如果同时观

测两个时间相关的信号，则应选择信号周期长的通道作为触发源。

触发方式的选择：首次观测被测信号时，触发方式应设置于“AUTO”，待观测到稳定信号后，调好其它设置，最后将触发方式开关置于“NORM”，以提高触发的灵敏度。当观测直流信号或小信号时，必须采用“AUTO”触发方式。

### 3、正确选择输入耦合方式

根据被观测信号的性质来选择正确的输入耦合方式。一般情况下，被观测的信号为直流或脉冲信号时，应选择“DC”耦合方式；被观测的信号为交流时，应选择“AC”耦合方式。

### 4、合理调整扫描速度

调节扫描速度旋钮，可以改变荧光屏上显示波形的个数。提高扫描速度，显示的波形少；降低扫描速度，显示的波形多。显示的波形不应过多，以保证时间测量的精度。

### 5、波形位置和几何尺寸的调整

观测信号时，波形应尽可能处于荧光屏的中心位置，以获得较好的测量线性。正确调整垂直衰减旋钮，尽可能使波形幅度占一半以上，以提高电压测量的精度。

### 6、合理操作双通道

将垂直工作方式开关设置到“DUAL”，两个通道的波形可以同时显示。为了观察到稳定的波形，可以通过“ALT/CHOP”（交替/断续）开关控制波形的显示。按下“ALT/CHOP”开关（置于CHOP），两个通道的信号断续的显示在荧光屏上，此设定适用于观测频率较高的信号；释放“ALT/CHOP”开关（置于ALT），两个通道的信号交替的显示在荧光屏上，此设定适用于观测频率较低的信号。在双通道显示时，还必须正确选择触发源。当CH1、CH2信号同步时，选择任意通道作为触发源，两个波形都能稳定显示，当CH1、CH2信号在时间上不相关时，应按下“TRIG. ALT”（触发交替）开关，此时每一个扫描周期，触发信号交替一次，因而两个通道的波形都会稳定显示。

值得注意的是：双通道显示时，不能同时按下“CHOP”和“TRIG ALT”开关，因为“CHOP”信号成为触发信号而不能同步显示。利用双通道进行相位和时间对比测量时，两个通道必须采用同一同步信号触发。

### 7、触发电平调整

调整触发电平旋钮可以改变扫描电路预置的阀门电平。向“+”方向旋转时，阀门电平向正方向移动；向“-”方向旋转时，阀门电平向负方向移动；处在中间位置时，阀门电平设定在信号的平均值上。触发电平过正或过负，均不会产生扫描信号。因此，触发电平旋钮通常应保持在中间位置。

## 三、示波器测量

### （1）直流电压的测量

1) 将示波器垂直灵敏度旋钮置于校正位置，触发方式开关置于“AUTO”。

2) 将垂直系统输入耦合开关置于“GND”，此时扫描线的垂直位置即为零电压基准线，即时间基线。调节垂直位移旋钮使扫描线落于某一合适的水平刻度线。

3) 将被测信号接到示波器的输入端，并将垂直系统输入耦合开关置于“DC”。调节垂直衰减旋钮使扫描线有合适的偏移量。

4) 确定被测电压值。扫描线在Y轴的偏移量与垂直衰减旋钮对应档位电压的乘积即为被测电压值。

5) 根据扫描线的偏移方向确定直流电压的极性。扫描线向零电压基准线上方移动时，直流电压为正极性，反之为负极性。

### （2）交流电压的测量

1) 将示波器垂直灵敏度旋钮置于校正位置，触发方式开关置于“AUTO”。

2) 将垂直系统输入耦合开关置于“GND”，调节垂直位移旋钮使扫描线准确的落在水平中

心线上。

3) 输入被测信号, 并将输入耦合开关置于“AC”。调节垂直衰减旋钮和水平扫描速度旋钮使显示波形的幅度和个数合适。选择合适的触发源、触发方式和触发电平等使波形稳定显示。

4) 确定被测电压的峰-峰值。波形在 Y 轴方向最高与最低点之间的垂直距离(偏移量)与垂直衰减旋钮对应档位电压的乘积即为被测电压的峰-峰值。

### (3) 周期的测量

1) 将水平扫描微调旋钮置于校正位置, 并使时间基线落在水平中心刻度线上。

3) 输入被测信号。调节垂直衰减旋钮和水平扫描速度旋钮等, 使荧光屏上稳定显示 1~2 波形。

3) 选择被测波形一个周期的始点和终点, 并将始点移动到某一垂直刻度线上以便读数。

4) 确定被测信号的周期。信号波形一个周期在 X 轴方向始点与终点之间的水平距离与水平扫描速度旋钮对应档位的时间之积即为被测信号的周期。

用示波器测量信号周期时, 可以测量信号 1 个周期的时间, 也可以测量  $n$  个周期的时间, 再除以周期个数  $n$ 。后一种方法产生的误差会小一些。

### (3) 频率的测量

由于信号的频率与周期为倒数关系, 即  $f=1/T$ 。因此, 可以先测信号的周期, 再求倒数即可得到信号的频率。

### (4) 相位差的测量

1) 将水平扫描微调旋钮、垂直灵敏度旋钮置于校正位置。

2) 将垂直系统工作模式开关置于“DUAL”, 并使两个通道的时间基线均落在水平中心刻度线上。

3) 输入两路频率相同而相位不同的交流信号至 CH1 和 CH2, 将垂直输入耦合开关置于“AC”。

4) 调节相关旋钮, 使荧光屏上稳定显示出两个大小适中的波形。

5) 确定两个被测信号的相位差。如图 2 所示, 测出信号波形一个周期在 X 轴方向所占的格数  $m$  (5 格), 再测出两波形上对应点(如过零点)之间的水平格数  $n$  (1.6 格), 则  $u_1$  超前  $u_2$  的相位差角

$$\Delta\varphi = \frac{n}{m} \times 360^\circ = \frac{1.6}{5} \times 360^\circ = 115.2^\circ。$$

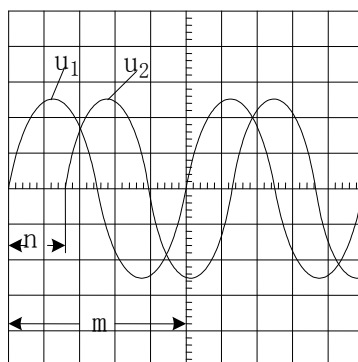


图 2 测量两正弦交流电的相位差

相位差角  $\Delta\varphi$  符号的确定。当  $u_2$  滞后  $u_1$  时,  $\Delta\varphi$  为负; 当  $u_2$  超前  $u_1$  时,  $\Delta\varphi$  为正。

# 附录五： DS1000 型数字示波器使用简介

## 一、DS1000 系列数字示波器前操作面板简介

DS1000 系列数字示波器前操作面板如图 3-5-1。按功能前面板可分为 8 大区即液晶显示区、功能菜单操作区、常用菜单区、执行按键区、垂直控制区、水平控制区、触发控制区、信号输入/输出区等。

功能菜单操作区有 5 个按键，1 个多功能旋钮和 1 个按钮。5 个按键用于操作屏幕右侧的功能菜单及子菜单；多功能旋钮用于选择和确认功能菜单中下拉菜单的选项等；按钮用于取消屏幕上显示的功能菜单。

常用菜单区如图 1。按下任一按键，屏幕右侧会出现相应的功能菜单。通过功能菜单操作区的 5 个按键可选定功能菜单的选项。功能菜单选项中有“◀”符号的，标明该选项有下拉菜单。下拉菜单打开后，可转动多功能旋钮（↻）选择相应的项目并按下予以确认。功能菜单上、下有“◀”、“▶”符号，表明功能菜单一页未显示完，可操作按键上、下翻页。功能菜单中有↻，表明该项参数可转动多功能旋钮进行设置调整。按下取消功能菜单按钮，显示屏上的功能菜单立即消失。

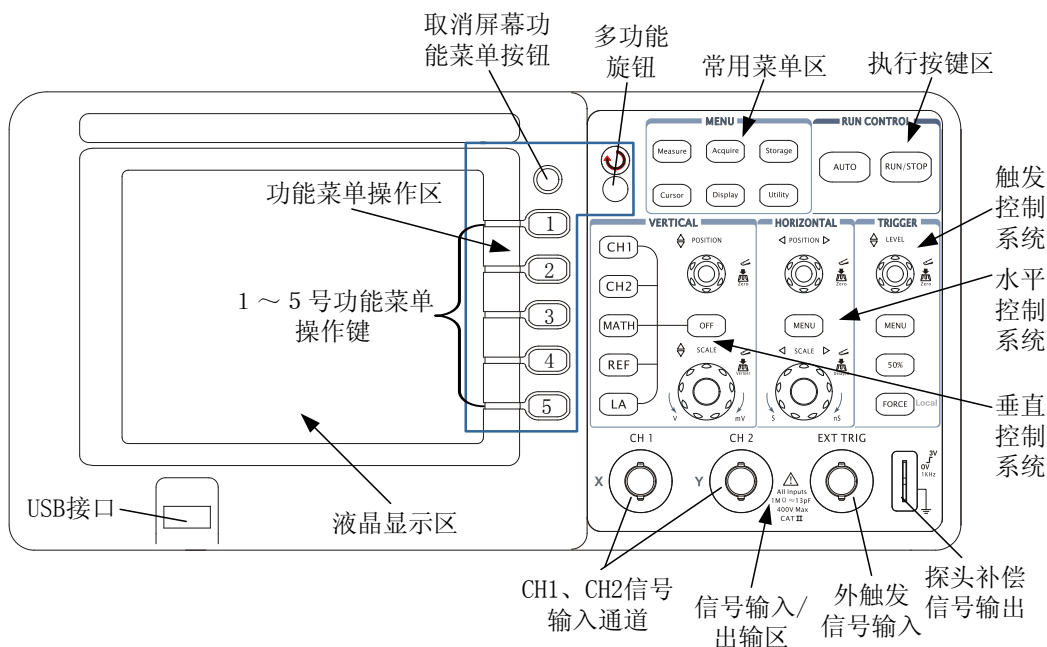


图3-5-1 DS1000系列示波器前操作面板

执行按键区有 **AUTO**（自动设置）和 **RUN/STOP**（运行/停止）2 个按键。按下 **AUTO** 按键，示波器将根据输入的信号，自动设置和调整垂直、水平及触发方式等各项控制值，使波形显示达到最佳适宜观察状态，如需要，还可进行手动调整。按 **AUTO** 后，菜单显示及功能如图 3-5-3。RUN/STOP 键为运行/停止波形采样按键。运行（波形采样）状态时，按键为黄色；按一下按键，停止波形采样且按键变为红色，有利于绘制波形并可在一定范围内调整波形的垂直衰减和水平时基，再按一下，恢复波形采样状态。注意：应用自动设置功能时，要求被测信号的频率大于或等于 50Hz，占空比大于 1%。

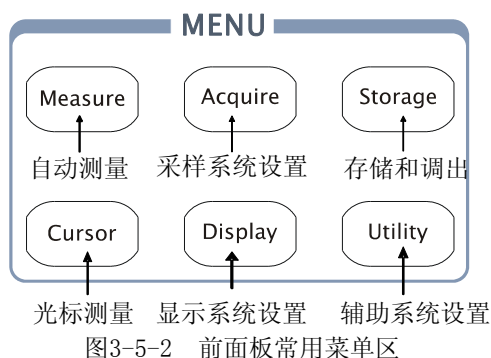


图3-5-2 前面板常用菜单区

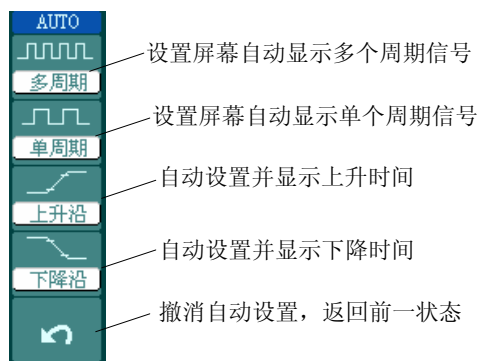


图3-5-3 AUTO按键功能菜单及作用

垂直控制区如图 3-5-4。垂直位置 $\odot$ POSITION 旋钮可设置所选通道波形的垂直显示位置。转动该旋钮不但显示的波形会上下移动，且所选通道的“地”（GND）标识也会随波形上下移动并显示于屏幕左状态栏，移动值则显示于屏幕左下方；按下垂直 $\odot$ POSITION 旋钮，垂直显示位置快速恢复到零点（即显示屏水平中心位置）处。垂直衰减 $\odot$ SCALE 旋钮调整所选通道波形的显示幅度。转动该旋钮改变“Volt/div（伏/格）”垂直档位，同时下状态栏对应通道显示的幅值也会发生变化。 $\square$ CH1、 $\square$ CH2、 $\square$ MATH、 $\square$ REF 为通道或方式按键，按下某按键屏幕将显示其功能菜单、标志、波形和档位状态等信息。 $\square$ OFF 键用于关闭当前选择的通道。

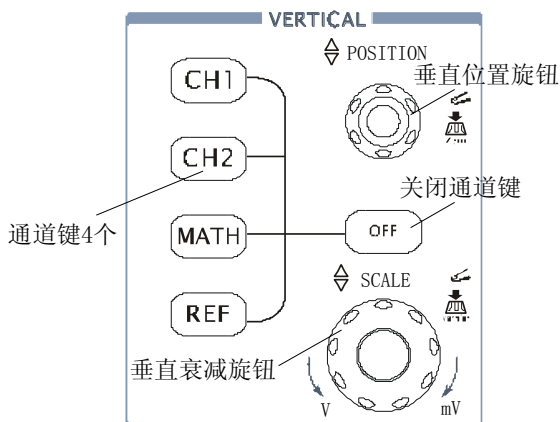


图3-5-4 垂直系统操作区

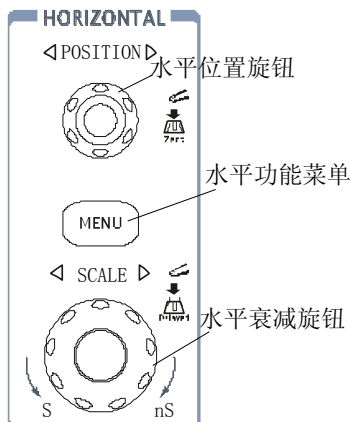


图3-5-5 水平系统操作区

水平控制区如图 3-5-5，主要用于设置水平时基。水平位置 $\odot$ POSITION 旋钮调整信号波形在显示屏上的水平位置，转动该旋钮不但波形随旋钮而水平移动，且触发位移标志“ $\blacksquare$ ”也在显示屏上部随之移动，移动值则显示在屏幕左下角；按下此旋钮触发位移恢复到水平零点（即显示屏垂直中心线置）处。水平衰减 $\odot$ SCALE 旋钮改变水平时基档位设置，转动该旋钮改变“s/div（秒/格）”水平档位，下状态栏 Time 后显示的主时基值也会发生相应的变化。水平扫描速度从 20ns ~ 50s，以 1—2—5 的形式步进。按动水平 $\odot$ SCALE 旋钮可快速打开或关闭延迟扫描功能。按水平功能菜单  $\square$ MENU 键，显示 TIME 功能菜单，在此菜单下，可开启/关闭延迟扫描，切换 Y（电压）—T（时间）、X（电压）—Y（电压）和 ROLL（滚动）模式，设置水平触发位移复位等。

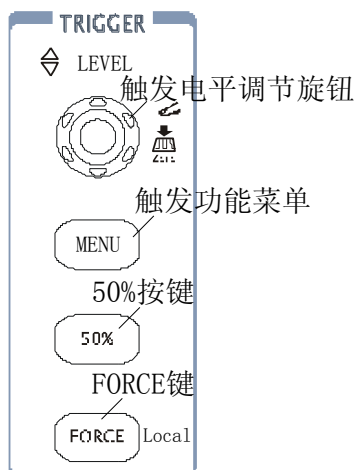


图3-5-6 触发系统操作区

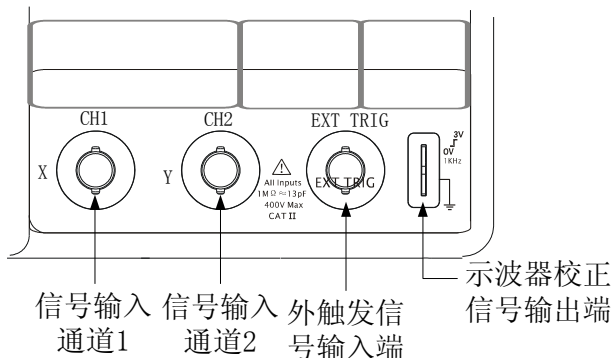


图3-5-7 信号输入/输出区

触发控制区如图 3-5-6，主要用于触发系统的设置。转动 $\odot$ LEVEL触发电平设置旋钮，屏幕上会出现一条上下移动的水平黑色触发线及触发标志，且左下角和上状态栏最右端触发电平的数值也随之发生变化。停止转动 $\odot$ LEVEL旋钮，触发线、触发标志及左下角触发电平的数值会在约 5 秒后消失。按下 $\odot$ LEVEL旋钮触发电平快速恢复到零点。按 MENU键可调出触发功能菜单，改变触发设置。50%按钮，设定触发电平在触发信号幅值的垂直中点。按 FORCE键，强制产生一触发信号，主要用于触发方式中的“普通”和“单次”模式。

信号输入/输出区如图 3-5-7，“CH1”和“CH2”为信号输入通道，EXT TREIG 为外触发信号输入端，最右侧为示波器校正信号输出端（输出频率 1kHz、幅值 3V 的方波信号）。

## 2.DS1000 系列数字示波器显示界面说明

DS1000 系列数字示波器显示界面如图 3-5-8，它主要包括波形显示区和状态显示区。液晶屏边框线以内为波形显示区，用于显示信号波形、测量数据、水平位移、垂直位移和触发电平值等。位移值和触发电平值在转动旋钮时显示，停止转动 5s 后则消失。显示屏边框线以外为上、下、左 3 个状态显示区（栏）。下状态栏通道标志为黑底的是当前选定通道，操作示波器面板上的按键或旋钮只有对当前选定通道有效，按下通道按键则可选定被按通道。状态显示区显示的标志位置及数值随面板相应按键或旋钮的操作而变化。



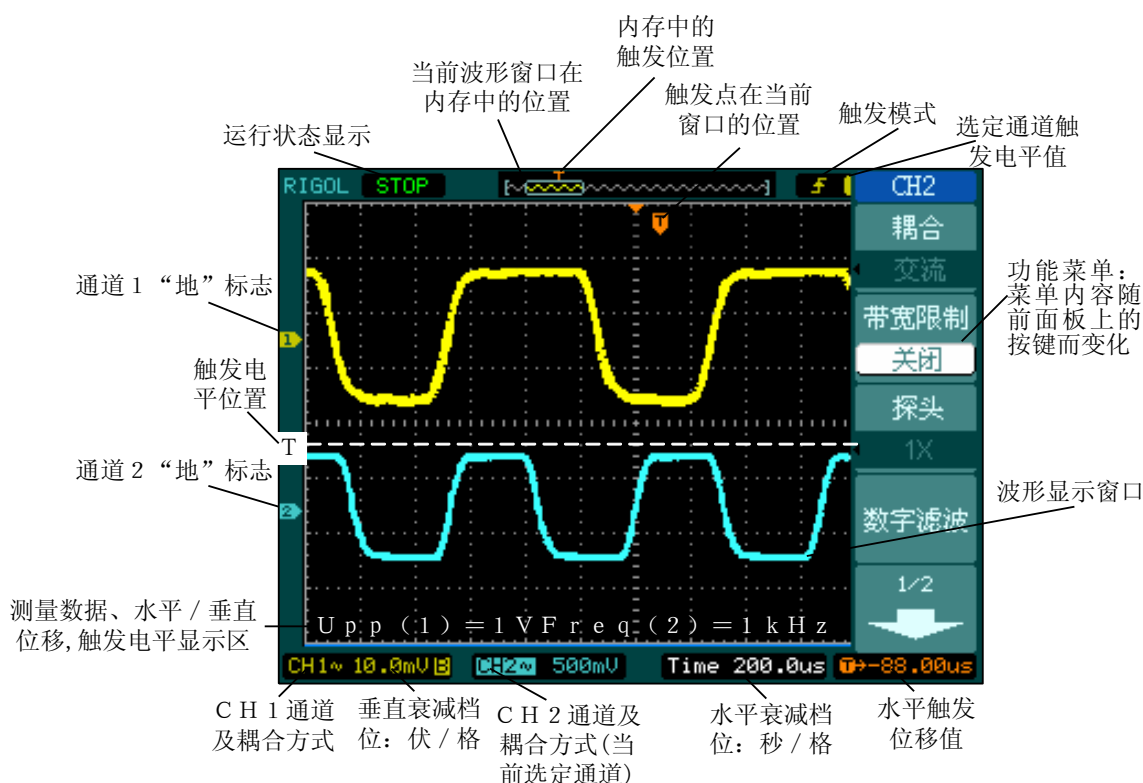


图3-5-8 DS1000数字示波器显示界面

### 3.使用要领和注意事项

#### (1) 信号接入方法

以 CH1 通道为例介绍信号接入方法。

1) 将探头上的开关设定为 10X，将探头连接器上的插槽对准 CH1 插口并插入，然后向右旋转拧紧。

2) 设定示波器探头衰减系数。探头衰减系数改变仪器的垂直档位比例，因而直接关系测量结果的正确与否。默认的探头衰减系数为 1X，设定时必须使探头上的黄色开关的设定值与输入通道“探头”菜单的衰减系数一致。衰减系数设置方法是：按 **CH1** 键，显示通道 1 的功能菜单，如图 3-5-9 所示。按下与探头项目平行的 3 号功能菜单操作键，转动 选择与探头同比例的衰减系数并按下 予以确认。此时应选择并设定为 10X。

3) 把探头端部和接地夹接到函数信号发生器或示波器校正信号输出端。按 **AUTO**（自动设置）键，几秒钟后，在波形显示区即可看到输入函数信号或示波器校正信号的波形。

用同样的方法检查并向 CH2 通道接入信号。

(2) 为了加速调整，便于测量，当被测信号接入通道时，可直接按 **AUTO** 键以便立即获得合适的波形显示和档位设置等。

(3) 示波器的所有操作只对当前选定（打开）通道有效。通道选定（打开）方法是：按 **CH1** 或 **CH2** 按钮即可选定（打开）相应通道，并且下状态栏的通道标志变为黑底。关闭通道的方法是：按 **OFF** 键或再次按下通道按钮当前选定通道即被关闭。

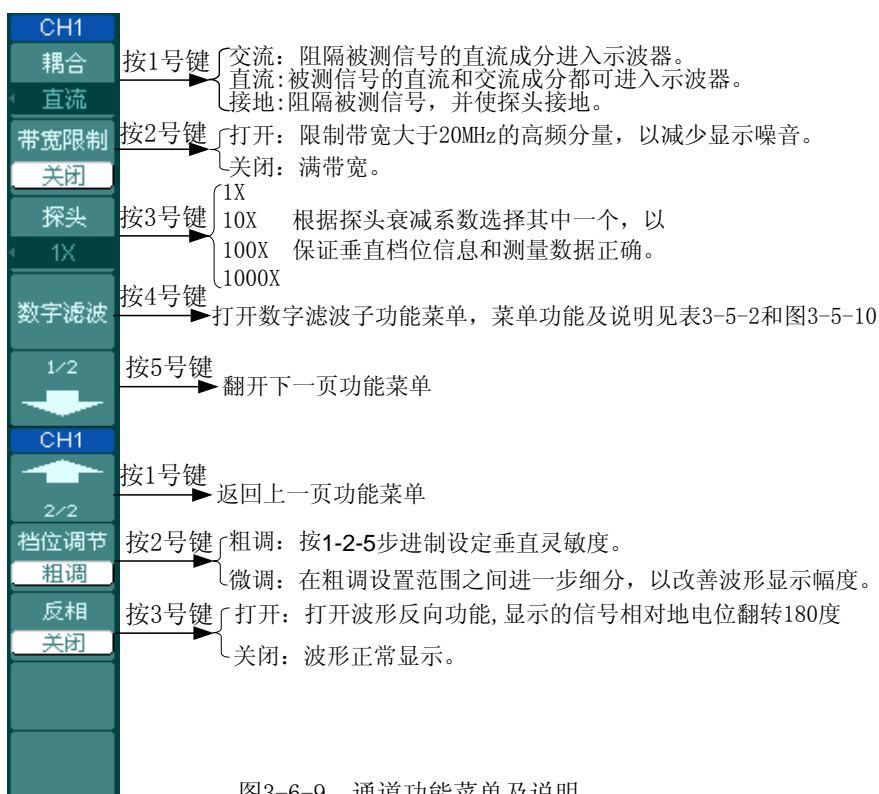


图3-6-9 通道功能菜单及说明

(4) 数字示波器的操作方法类似于操作计算机, 其操作分为三个层次。第一层: 按下前面板上的功能键即进入不同的功能菜单或直接获得特定的功能应用; 第二层: 通过 5 个功能菜单操作键选定屏幕右侧对应的功能项目或打开子菜单或转动多功能旋钮调整项目参数; 第三层: 转动多功能旋钮选择下拉菜单中的项目并按下对所选项目予以确认。

(5) 使用时应熟悉并通过观察上、下、左状态栏来确定示波器设置的变化和状态。

### 3.5.2 数字示波器的高级应用

#### 1. 垂直系统的高级应用

##### (1) 通道设置

该示波器 CH1 和 CH2 通道的垂直菜单是独立的, 每个项目都要按不同的通道进行单独设置, 但 2 个通道功能菜单的项目及操作方法则完全相同。现以 CH1 通道为例予以说明。

按 **CH1** 键, 屏幕右侧显示 CH1 通道的功能菜单如图 3-5-9 所示。

##### 1) 设置通道耦合方式

假设被测信号是一个含有直流偏移的正弦信号, 其设置方法是: 按 **CH1** → **耦合** → **交流/直流/接地**, 分别设置为交流、直流和接地耦合方式, 注意观察波形显示及下状态栏通道耦合方式符号的变化。

##### 2) 设置通道带宽限制

假设被测信号是一含有高频振荡的脉冲信号。其设置方法是: 按 **CH1** → **带宽限制** → **关闭/打开**。分别设置带宽限制为关闭/打开状态。前者允许被测信号含有的高频分量通过, 后者则阻隔大于 20MHz 的高频分量。注意观察波形显示及下状态栏垂直衰减档位之后带宽限制符号的变化。

##### 3) 调节探头比例

为了配合探头衰减系数, 需要在通道功能菜单调整探头衰减比例。如探头衰减系数为 10 :

1，示波器输入通道探头的比例也应设置成 10X，以免显示的档位信息和测量的数据发生错误。探头衰减系数与通道“探头”菜单设置要求见表 3-5-1。

4) 垂直档位调节设置

垂直灵敏度调节范围为 2mV/div 至 5V/div。档位调节分为粗调和微调两种模式。粗调以 2mV/div、5mV/div、10mV/div、20mV/div……5V/div 的步进方式调节垂直档位灵敏度。微调指在当前垂直档位下进一步细调。如果输入的波形幅度在当前档位略大于满刻度，而应用下一档位波形显示幅度稍低，可用微调改善波形显示幅度，以利于观察信号的细节。

5) 波形反相设置

波形反相关闭，显示正常被测信号波形；波形反相打开，显示的被测信号波形相对于地电位翻转 180 度。

6) 数字滤波设置

按数字滤波对应的 4 号功能菜单操作键，打开 Filter（数字滤波）子功能菜单，如图 3-5-10。可选择滤波类型，见表 3-5-2；转动多功能旋钮可调节频率上限和下限；设置滤波器的带宽范围等。



图3-5-10 数字滤波子功能菜单

(2) MATH（数学运算）按键功能

数学运算（MATH）功能菜单及说明如图 3-5-11 和表 3-5-3。它可显示 CH1、CH2 通道波形相加、相减、相乘以及 FFT（傅立叶变换）运算的结果。数学运算结果同样可以通过栅格或光标进行测量。

(3) REF（参考）

按键功能

在有电路工作点参考



表3-5-1 通道“探头”菜单设置表

探头衰减系数	通道“探头”菜单设置
1：1	1×
10：1	10×
100：1	100×
1000：1	1000×

表3-5-2 数字滤波子菜单说明

功能菜单	设定	说明
数字滤波	关闭	关闭数字滤波器
	打开	打开数字滤波器
滤波类型		设置为低通滤波器
		设置为高通滤波器
		设置为带通滤波器
		设置为带阻滤波器
频率上限	(上限频率)	转动多功能旋钮设置频率上限
频率下限	(下限频率)	转动多功能旋钮设置频率下限
		返回上一级菜单

表3-5-3 MATH功能菜单说明

功能菜单	设定	说明
操作	A+B	信源A与信源B相加
	A-B	信源A与信源B相减
	A×B	信源A与信源B相乘
	FFT	FFT（傅立叶）数学运算
信源A	CH1	设置信源A为CH1通道波形
	CH2	设置信源A为CH2通道波形
信源B	CH1	设置信源B为CH1通道波形
	CH2	设置信源B为CH2通道波形
反相	打开	打开数学运算波形反相功能
	关闭	关闭数学运算波形反相功能

波形的条件下，通过 REF 按键的菜单，可以把被测波形和参考波形样板进行比较，以判断故障原因。

(4) 垂直 **POSITION** 和 **SCALE** 旋钮的使用

1) 垂直 **POSITION** 旋钮调整所有通道（含 MATH 和 REF）波形的垂直位置。该旋钮的解析度根据垂直档位而变化，按下此旋钮选定通道的位移立即回零即显示屏的水平中心线。

2) 垂直 **SCALE** 旋钮调整所有通道（含 MATH 和 REF）波形的垂直显示幅度。粗调以 1—2—5 步进方式确定垂直档位灵敏度。顺时针增大显示幅度，逆时针减小显示幅度。细调是在当前档位进一步调节波形的显示幅度。按动垂直 **SCALE** 旋钮，可在粗调、微调间切换。

调整通道波形的垂直位置时，屏幕左下角会显示垂直位置信息。

2. 水平系统的高级应用

(1) 水平 **POSITION** 和 **SCALE** 旋钮的使用

1) 转动水平 **POSITION** 旋钮，可调节通道波形的水平位置。按下此旋钮触发位置立即回到屏幕中心位置。

2) 转动水平 **SCALE** 旋钮，可调节主时基，即秒/格 (s/div)；当延迟扫描打开时，转动水平 **SCALE** 旋钮可改变延迟扫描时基以改变窗口宽度。

(2) 水平 **MENU** 键

按下水平 **MENU** 键，显示水平功能菜单，如图 3-5-12。在 X-Y 方式下，自动测量模式、光标测量模式、REF 和 MATH、延迟扫描、矢量显示类型、水平 **POSITION** 旋钮、触发控制等均不起作用。

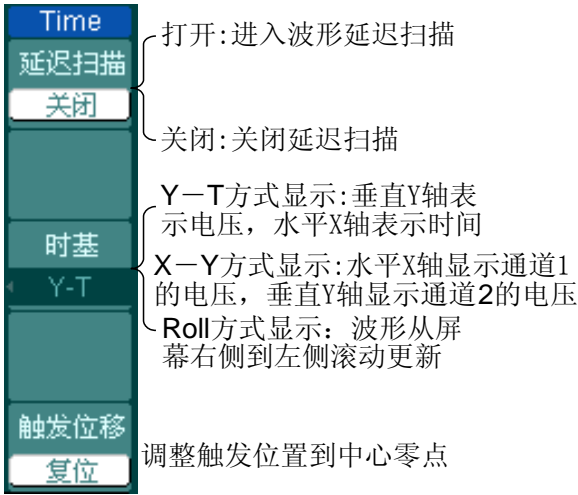


图3-5-12 水平MENU键菜单及意义

延迟扫描用来放大某一段波形，以便观测波形的细节。在延迟扫描状态下，波形被分成上、下两个显示区，如图 3-5-13。上半部分显示的是原波形，中间黑色覆盖区域是被水平扩展的波形部分。此区域可通过转动水平

**POSITION** 旋钮左右移动或转动水平 **SCALE** 旋钮扩大和缩小。下半部分是对上半部分选定区域波形的水平扩展即放大。由于整个下半部分显示的波形对应于上半部分选定的区域，因此转动水平 **SCALE** 旋钮减小选择区域可以提高延迟时基，即提高波形的水平扩展倍数。可见，延迟时基相对于主时基提高了分辨率。

按下水平 **SCALE** 旋钮可快

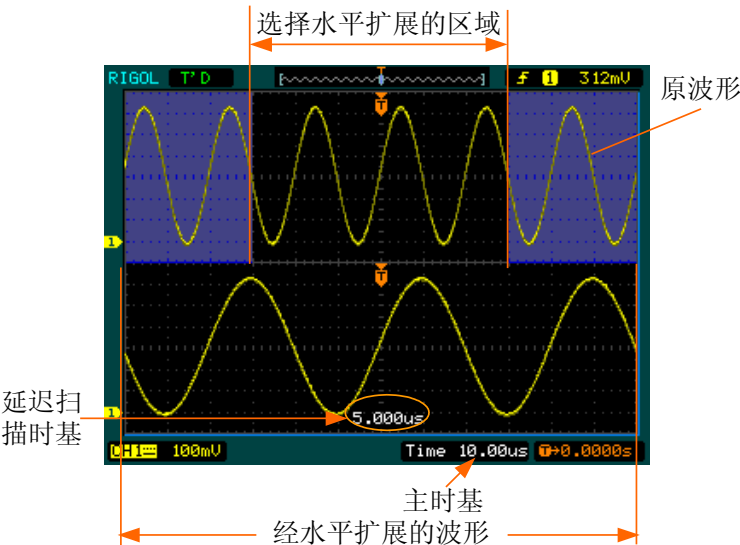


图3-6-13 延迟扫描波形图

速退出延迟扫描状态。

3.触发系统的高级应用

触发控制区包括触发电平调节旋钮 **LEVEL**、触发菜单按键 **MENU**、**50%**按键和强制按键 **FORCE**。

触发电平调节旋钮 **LEVEL**：设定触发点对应的信号电压，按下此旋钮可使触发电平立即回零。

**50%**按键：按下触发电平设定在触发信号幅值的垂直中点。

**FORCE**按键：按下强制产生一触发信号，主要用于触发方式中的“普通”和“单次”模式。

**MENU**按键为触发系统菜单设置键。其功能菜单、下拉菜单及子菜单如图 3-5-14 所示。下面对主要触发菜单予以说明。

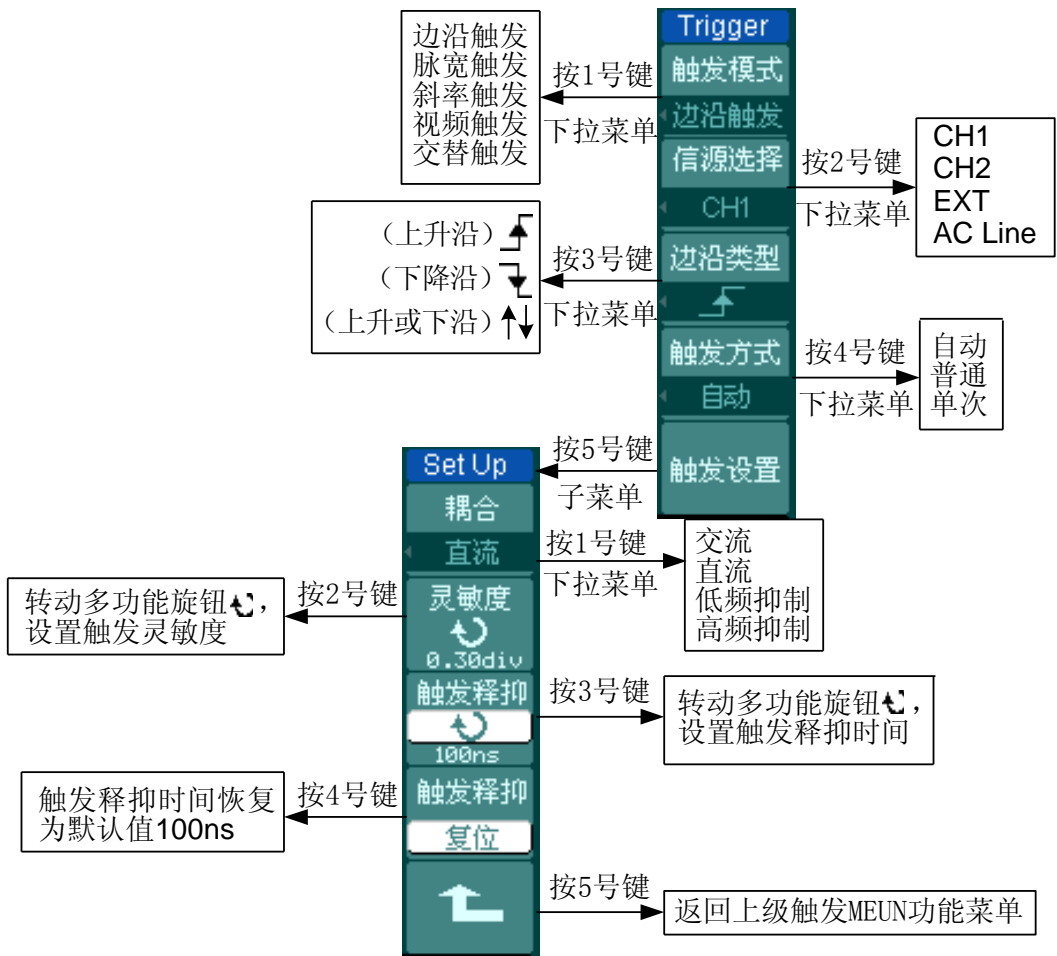


图3-5-14 触发系统MENU菜单及子菜单

(1) 触发模式

1) 边沿触发：指在输入信号边沿的触发阈值上触发。在选择“边沿触发”后，还应选择是在输入信号的上升沿、下降沿还是上升和下降沿触发。

2) 脉宽触发：指根据脉冲的宽度来确定触发时刻。当选择脉宽触发时。可以通过设定脉宽条件和脉冲宽度来捕捉异常脉冲。



3) 斜率触发: 指把示波器设置为对指定时间的正斜率或负斜率触发。选择斜率触发时, 还应设置斜率条件、斜率时间等, 还可选择 $\odot$ LEVEL 钮调节 LEVEL A、LEVEL B 或同时调节 LEVEL A 和 LEVEL B。

4) 交替触发: 在交替触发时, 触发信号来自于两个垂直通道, 此方式适用于同时观察两路不相关信号。在交替触发菜单中, 可为两个垂直通道选择不同的触发方式、触发类型等。在交替触发方式下, 两通道的触发电平等信息会显示在屏幕右上角状态栏。

视频触发: 选择视频触发后, 可在 NTSC、PAL 或 SECAM 标准视频信号的场或行上触发。视频触发时触发耦合应设置为直流。

(2) 触发方式: 触发方式有三种: 自动、普通和单次。

1) 自动: 自动触发方式下, 示波器即使没有检测到触发条件也能采样波形。示波器在一定等待时间(该时间由时基设置决定)内没有触发条件发生时, 将进行强制触发。当强制触发无效时, 示波器虽显示波形, 但不能使波形同步, 即显示的波形不稳定。当有效触发发生时, 显示的波形将稳定。

2) 普通: 普通触发方式下, 示波器只有当触发条件满足时才能采样到波形。在没有触发时, 示波器将显示原有波形而等待触发。

3) 单次: 在单次触发方式下, 按一次“运行”按钮, 示波器等待触发, 当示波器检测到一次触发时, 采样并显示一个波形, 然后采样停止。

3) 触发设置

在 MEUN 功能菜单下, 按 5 号键进入触发设置子菜单, 可对与触发相关的选项进行设置。触发模式、触发方式、触发类型不同, 可设置的触发选项也有所不同。此处不再赘述。

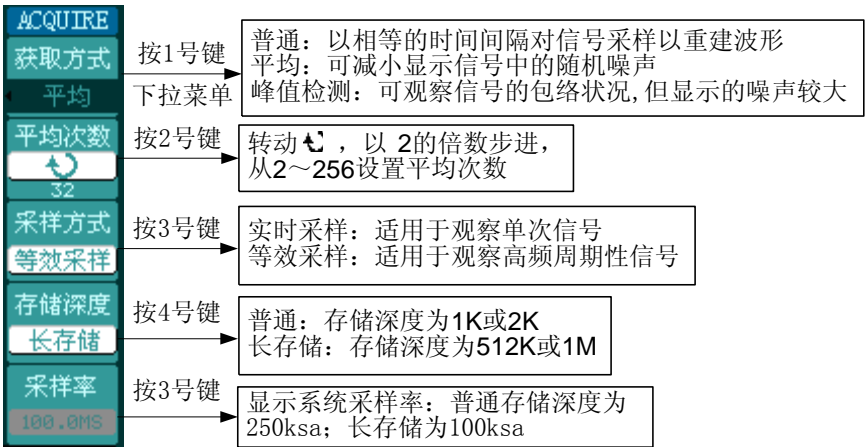


图3-5-15 采样系统功能菜单

4. 采样系统的高级应用

在常用 MENU 控制区按 **Acquire** 键, 弹出采样系统功能菜单。其选项和设置方法如图 3-5-15。

5. 存储和调出功能的高级应用

在常用 MENU 控制区按 **STORAGE** 键, 弹出存储和调出功能菜单, 如图 3-5-16。通过该菜单及相应的下拉菜单和子菜单可对示波器内部存储区和

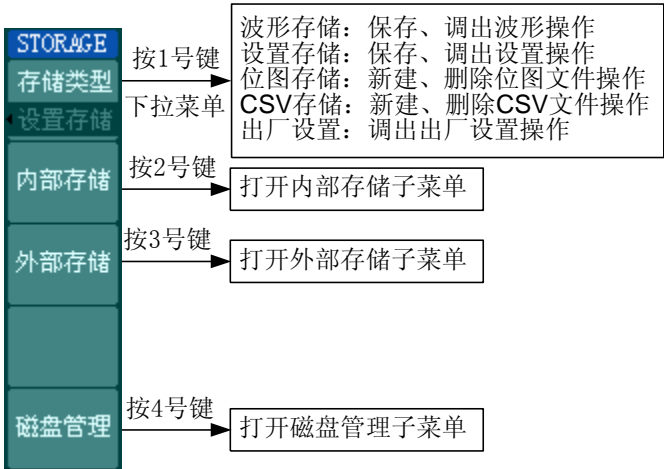


图3-5-16 存储与调出功能菜单

USB 存储设备上的波形和设置文件等进行保存、调出、删除操作，操作的文件名称支持中、英文输入。

存储类型选择“波形存储”时，其文件格式为 wfm，只能在示波器中打开；存储类型选择“位图存储”和“CSV 存储”时，还可以选择是否以同一文件名保存示波器参数文件（文本文件），“位图存储”文件格式是 bmp，可用图片软件在计算机中打开，“CSV 存储”文件为表格，Excel 可打开，并可用其“图表导向”工具转换成需要的图形。

“外部存储”只有在 USB 存储设备插入时，才能被激活进行存储文件的各种操作。

6. 辅助系统功能的高级应用

常用 MENU 控制区的 UTILITY 为辅助系统功能按键。在 UTILITY 按键弹出的功能菜单中，可以进行接口设置、打印设置、屏幕保护设置等，可以打开或关闭示波器按键声、频率计等，可以选择显示的语言文字、波特率值等，还可以进行波形的录制与回放等。

7. 显示系统的高级应用

在常用 MENU 控制区按 DISPLAY 键，弹出显示系统功能菜单。通过功能菜单控制区的 5 个按键及多功能旋钮可设置调整显示系统。如图 3-5-17 所示。

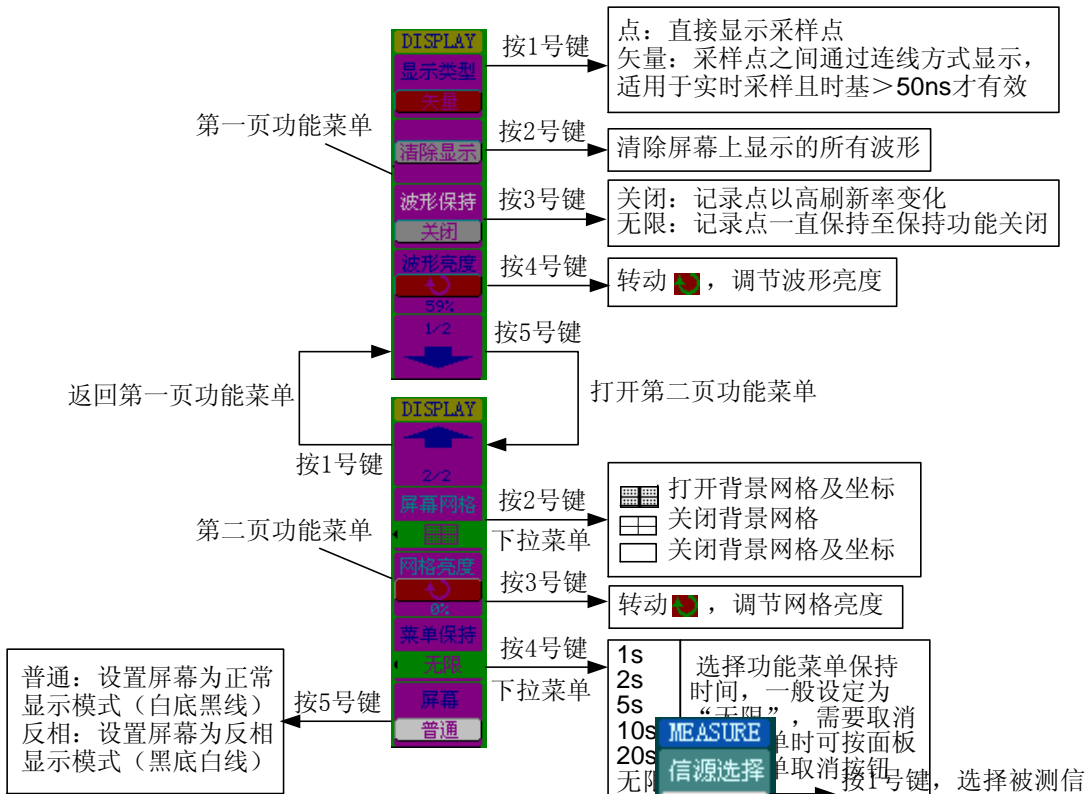


图3-5-17 显示系统功能菜单、子菜单

8. 自动测量功能的高级应用

在常用 MENU 控制区按 MEASURE (自动测量) 键，弹出自动测量功能菜单，如图 3-5-18 所示。其中电

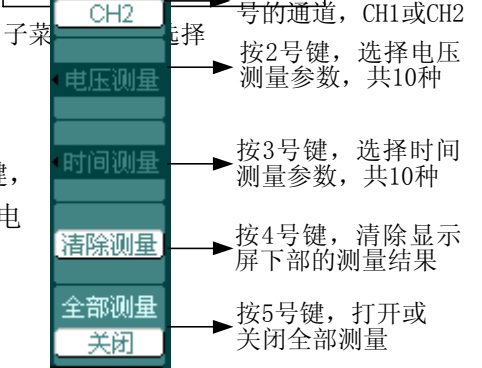


图3-5-18 自动测量功能菜单

压测量参数有：峰峰值（波形最高点至最低点的电压值）、最大值（波形最高点至 GND 的电压值）、最小值（波形最低点至 GND 的电压值）、幅值（波形顶端至底端的电压值）、顶端值（波形平顶至 GND 的电压值）、底端值（波形平底至 GND 的电压值）、过冲（波形最高点与顶端值之差与幅值的比值）、预冲（波形最低点与底端值之差与幅值的比值）、平均值（1 个周期内信号的平均幅值）、均方根值（有效值）共 10 种；时间测量有频率、周期、上升时间（波形幅度从 10% 上升至 90% 所经历的时间）、下降时间（波形幅度从 90% 下降至 10% 所经历的时间）、正脉宽（正脉冲在 50% 幅度时的脉冲宽度）、负脉宽（负脉冲在 50% 幅度时的脉冲宽度）、延迟 1→2↑（通道 1、2 相对于上升沿的延时）、延迟 1→2↓（通道 1、2 相对于下降沿的延时）、正占空比（正脉宽与周期的比值）、负占空比（负脉宽与周期的比值）共 10 种。

自动测量操作方法如下：

（1）选择被测信号通道：根据信号输入通道不同，选择 CH1 或 CH2。按键顺序为：MEASURE→信源选择→CH1 或 CH2。

（2）获得全部测量数值：按键顺序为：MEASURE→信源选择→CH1 或 CH2→“5 号”菜单操作键，设置“全部测量”为打开状态。18 种测量参数值显示于屏幕下方。

（3）选择参数测量：按键顺序为：MEASURE→信源选择→CH1 或 CH2→“2 号”或“3 号”菜单操作键选择测量类型，转动旋钮查找下拉菜单中感兴趣的参数并按下旋钮予以确认，所选参数的测量结果将显示在屏幕下方。

（4）清除测量数值：在 MEASURE 菜单下，按 4 号功能菜单操作键选择清除测量。此时，屏幕下方所有测量值即消失。

9. 光标测量功能的高级应用

按下常用 MENU 控制区 CURSOR 键,弹出光标测量功能菜单如图 3-5-19。光标测量有手动、追踪和自动测量三种模式。

（1）手动模式：光标 X 或 Y 成对出现，并可手动调整两个光标间的距离，显示的读数即为测量的电压值或时间值。如图 2-5-20 所示。

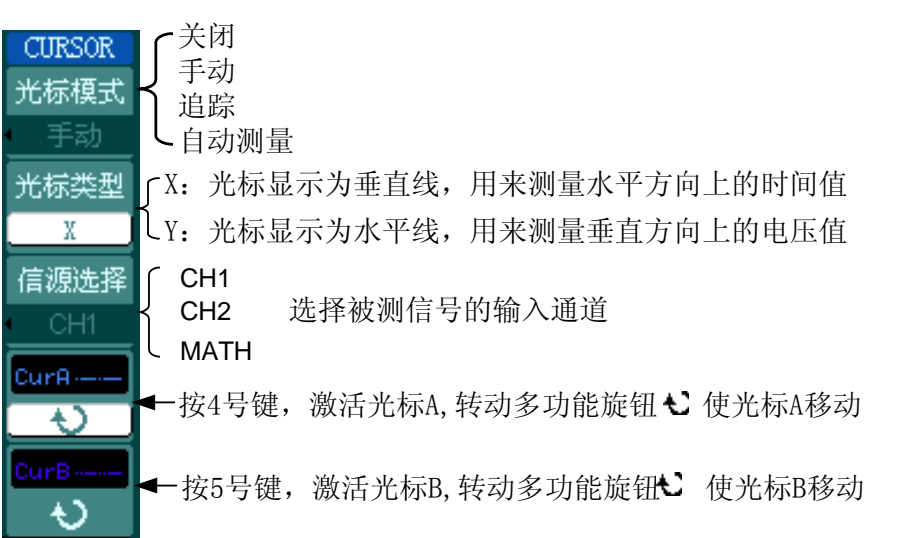
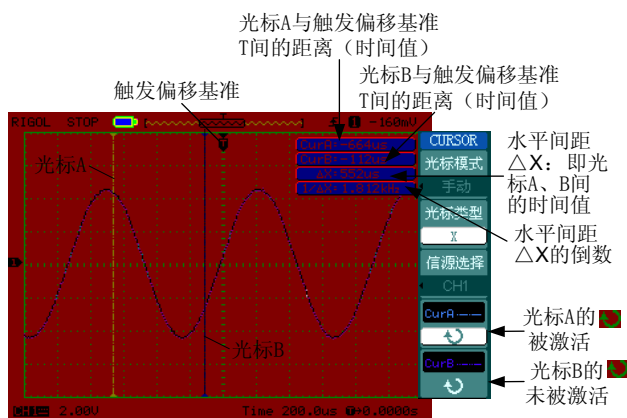


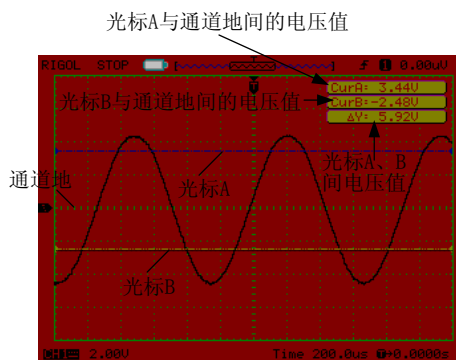
图3-5-19 光标测量功能菜单





a) 光标类型X

图3-5-20 手动模式测量显示图



a) 光标类型Y

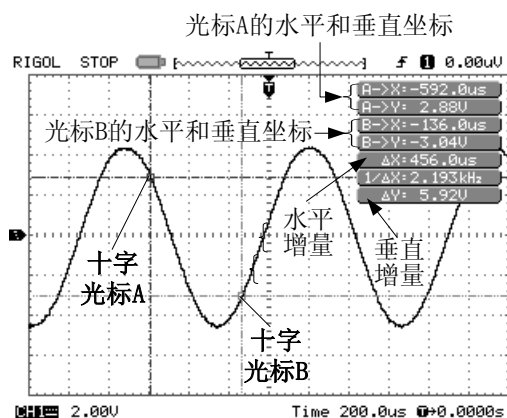


图3-5-21 光标追踪测量模式显示图

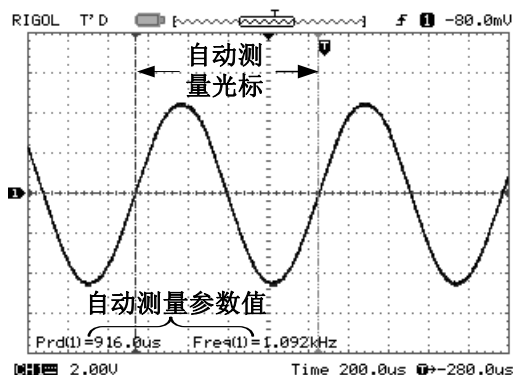


图3-5-22 周期、频率自动测量光标显示图

(2) 追踪模式: 水平与垂直光标交叉构成十字光标, 十字光标自动定位在波形上, 转动多功能旋钮, 光标自动在波形上定位, 并在屏幕右上角显示当前定位点的水平、垂直坐标和两个光标间的水平、垂直增量。其中, 水平坐标以时间值显示, 垂直坐标以电压值显示, 如图 3-5-21。光标 A、B 可分别设定给 CH1、CH2 两个不同通道的信号, 也可设定给同一通道的信号, 此外光标 A、B 也可选择无光标显示。

在手动和追踪光标模式下, 要转动 移动光标, 必须按下功能菜单项目对应的按键激活, 使 底色变白, 才能左右或上下移动激活的光标。

(3) 自动测量模式: 在自动测量模式下, 屏幕上会自动显示对应的电压或时间光标, 以揭示测量的物理意义, 同时系统还会根据信号的变化, 自动调整光标位置, 并计算相应的参数值。如图 3-5-22 所示。光标自动测量模式显示当前自动测量参数所应用的光标。若没有在 **MEASURE** 菜单下选择任何自动测量参数, 将没有光标显示。

### 3.6.3 数字示波器测量实例

用数字示波器进行任何测量前, 都先要将 CH1、CH2 探头菜单衰减系数和探头上的开关衰减系数设置一致。

#### 1. 测量简单信号

例如：观测电路中一未知信号，显示并测量信号的频率和峰峰值。其方法和步骤如下：

### （1）正确捕捉并显示信号波形

- 1) 将 CH1 或 CH2 的探头连接到电路被测点。
- 2) 按 **AUTO**（自动设置）键，示波器将自动设置使波形显示达到最佳。在此基础上，可以进一步调节垂直、水平档位，直至波形显示符合要求。

### （2）进行自动测量

示波器可对大多数显示信号进行自动测量。现以测量信号的频率和峰峰值为例。

#### 测量峰峰值

按 **MEASURE** 键以显示自动测量功能菜单→按 1 号功能菜单操作键选择信源 CH1 或 CH2→按 2 号功能菜单操作键选择测量类型为电压测量，并转动多功能旋钮在下拉菜单中选择峰峰值，按下。此时，屏幕下方会显示出被测信号的峰峰值。

#### 测量频率

按 3 号功能菜单操作键，选择测量类型为时间测量，转动多功能旋钮在时间测量下拉菜单中选择频率，按下。此时，屏幕下方峰峰值后会显示出被测信号的频率。

测量过程中，当被测信号变化时测量结果也会跟随改变。当信号变化太大，波形不能正常显示时，可再次按 **AUTO** 键，搜索波形至最佳显示状态。测量参数等于“※※※※”，表示被测通道关闭或信号过大示波器未采集到，此时应打开关闭的通道或按下 **AUTO** 键采集信号到示波器。

2.观测正弦信号通过电路产生的延迟和畸变

### （1）显示输入、输出信号

1)将电路的信号输入端接于 CH1，输出端接于 CH2。

2) 按下 **AUTO**（自动设置）键，自动搜索被测信号并显示在显示屏上。

3) 调整水平、垂直系统旋钮直至波形显示符合测试要求，如图 3-5-23 所示。

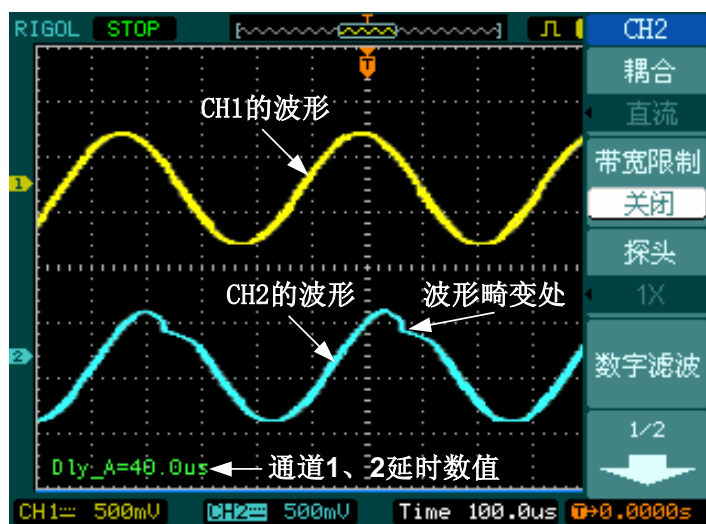


图3-5-23 正弦信号通过电路产生的延迟和畸变

### （2）测量并观察正弦信号通过电路后产生的延时和波形畸变

按 **MEASURE** 键以显示自动测量菜单→按 1 号菜单操作键选择信源 CH1→按 3 号菜单键选择时间测量→在时间测量下拉菜单中选择延迟 1→2↑。此时，在屏幕下方显示出通道 1、2 在上升沿的延时数值，波形的畸变如图 3-5-23。

### 3.捕捉单次信号


用数字示波器可以快速方便地捕捉脉冲、突发性毛刺等非周期性的信号。要捕捉一个单次信号，先要对信号有一定的了解，以正确设置触发电平和触发沿。例如，若脉冲是 TTL 电平的逻辑信号，触发电平应设置为 2V，触发沿应设置成上升沿。如果对信号的情况不确定，则可以通过自

动或普通触发方式先对信号进行观察，以确定触发电平和触发沿。捕捉单次信号的具体操作步骤和方法如下：

- (1) 按触发（TRIGGER）控制区 **MENU** 键，在触发系统功能菜单下分别按 1~5 号菜单操作键设置触发类型为边沿触发、边沿类型为上升沿、信源选择为 CH1 或 CH2、触发方式为单次、触发设置→耦合为直流。
- (2) 调整水平时基和垂直衰减档位至适合的范围。
- (3) 旋转触发（TRIGGER）控制区 **LEVEL** 旋钮，调整适合的触发电平。
- (4) 按 **RUN/STOP** 执行钮，等待符合触发条件的信号出现。如果有某一信号达到设定的触发电平，即采样一次，并显示在屏幕上。
- (5) 旋转水平控制区（HORIZONTAL）**POSITION** 旋钮，改变水平触发位置，以获得不同的负延迟触发，观察毛刺发生之前的波形。

4. 应用光标测量  $Sinc$  函数（ $Sincx = \frac{\sin x}{x}$ ）信号波形

示波器自动测量的 20 种参数都可以通过光标进行测量。现以  $Sinc$  函数信号波形测量为例，说明光标测量方法。

- (1) 测量  $Sinc$  函数信号第一个波峰的频率。
  - 1) 按 **CURSOR** 键以显示光标测量功能菜单。
  - 2) 按 1 号菜单操作键设置光标模式为手动。
  - 3) 按 2 号菜单操作键设置光标类型为 X。
  - 4) 如图 3-5-24 所示，按 4 号菜单操作键，激活光标 CurA，转动  将光标 A 移动到  $Sinc$  波形的第一个峰值处。

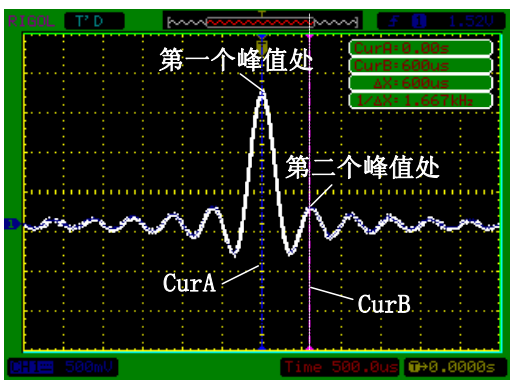


图3-5-24 测量Sinc信号第一个波峰的频率

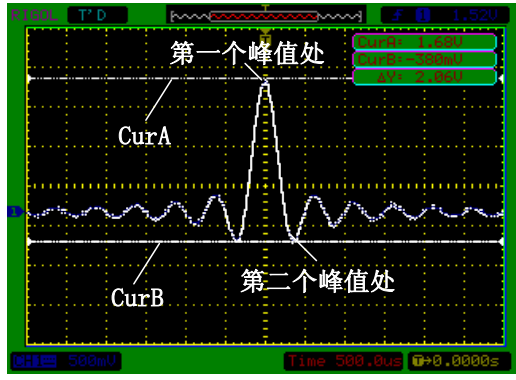




图3-5-25 测量Sinc信号第一个波峰的幅值

- 5) 按 5 号菜单操作键，激活光标 CurB，转动  将光标 B 移动到  $Sinc$  波形的第二个峰值处。此时，屏幕右上角显示出光标 A、B 处的时间值、时间增量和  $Sinc$  波形的频率。
- (2) 测量  $Sinc$  函数信号第一个波峰的峰峰值
  - 1) 如图 3-5-25 所示，按 **CURSOR** 键以显示光标测量功能菜单。
  - 2) 按 1 号菜单操作键设置光标模式为手动。
  - 3) 按 2 号菜单操作键设置光标类型为 Y。
  - 4) 分别按 4、5 号菜单操作键，激活光标 CurA、CurB，转动  将光标 A、B 移动到  $Sinc$  波形



# 附录六： PF66E 型数字万用表使用简介

## 一、概述

PF66E 型数字万用表是 4½位台式万用表是由低漂移放大器和 CMOS 集成电路所组成 4 位半数字仪表,它具有基本的 DCV, ACV, DCA, ACA 和 OHM 等测量功能,电压测量最高到 1000V 直流或交流峰值,分辨力可达 10μV,电流可测量到 20A,极性自动转换,读数显示直观。PF66E 型数字万用表交流测量采用高精度真有效值,具有测量频带宽,对任何波形的交流量都可准确测量其有效值的特点。

## 二、一般特性

- 1、 手动量程选择;
- 2、 4½位超大屏幕液晶显示 (显示范围 75×40mm), 最大读数为 19999;
- 3、 电压测量达到 1000V (直流) 和 750V (交流);
- 4、 交直流电流测量 20 A;
- 5、 交流电压频率响应 50kHz;
- 6、 频率、电阻、二极管及通断测试功能;
- 7、 使用环境: 0~40℃, 相对湿度小于 75%;
- 8、 交流供电: 220V±10%;
- 9、 过载保护 250V 有效值;
- 10、 外形尺寸: 260×220×105mm;
- 11、 重量: 约 1kg。

## 三、技术特性及使用

预热时间: 30 分钟; 保证准确度环境温度 23±5℃, 相对湿度<75%, 校准保证期从出厂日起为一年。

直流电压 (DCV)

量程	准确度	分辨力
200mV	± (0.05% 读数+3)	10μV
2V		100μV
20V		1mV
200V		10mV
1000V	± (0.1% 读数+5)	100mV

输入阻抗: 所有量程为 10MΩ;

过载保护: 200mV 量程为 250V 直流或交流峰值, 其余为 1000V 直流或交流峰值。

## 交流电压（ACV）

量程	输入频率	准确度	分辨力
200mV	50Hz—50kHz	±（0.8%读数+80）	10μV
2V	50Hz—20kHz		100μV
20V			1mV
200V	50Hz—5kHz		10mV
750V	50Hz—400Hz	±（1.0%读数+50）	100mV

保证准确度的输入值应大于量程的 10%；

输入阻抗：所有量程为 2M $\Omega$ ；

过载保护：200mV 量程为 250V 直流或交流峰值，其余为 1000V 直流或交流峰值。

## 直流电流（DCA）

量程	准确度	分辨力
20mA	$\pm (0.35\% \text{ 读数} + 10)$	1 $\mu$ A
200mA		10 $\mu$ A
2A	$\pm (0.8\% \text{ 读数} + 10)$	100 $\mu$ A
20A		1mA

最大输入压降：200mV；

最大输入电流：20A（不超过 15 秒）；

过载保护：2A/250V 保险丝，20A/250V 速熔保险丝。

## 交流电流（ACA）

量程	输入频率	准确度	分辨力
200mA	50Hz—5kHz	$\pm (0.8\% \text{ 读数} + 80)$	10 $\mu$ A
2A	50Hz—400Hz	$\pm (1.0\% \text{ 读数} + 50)$	100 $\mu$ A
20A*			1mA

最大输入压降：200mV；

最大输入电流：20A（不超过 15 秒）；

过载保护：2A/250V 保险丝，20A/250V 保险丝。

## 电阻（ $\Omega$ ）

量程	准确度	分辨力
200 $\Omega$	$\pm (0.1\% \text{ 读数} + 20)$	0.01 $\Omega$
2k $\Omega$	$\pm (0.1\% \text{ 读数} + 5)$	0.1 $\Omega$
20k $\Omega$		1 $\Omega$
200k $\Omega$		10 $\Omega$
2M $\Omega$		100 $\Omega$
20M $\Omega$	$\pm (0.4\% \text{ 读数} + 5)$	1k $\Omega$

开路电压：小于 3V；

过载保护：250V 直流和交流峰值；

电容（CAP）

量程	准确度	分辨力
20nF	$\pm (3.5\% \text{ 读数} + 20)$	1pF
2 $\mu$ F		100pF
200 $\mu$ F	$\pm (5\% \text{ 读数} + 30)$	10nF

测试频率：约 400Hz；

过载保护：36V 直流或交流峰值。

频率（FREQ.）

量程	准确度	分辨力
20kHz	$\pm (1.0\% \text{ 读数} + 20)$	0.1Hz
200kHz		1Hz

输入灵敏度：500mV 有效值；

过载保护：250V 直流和交流峰值（不超过 15 秒）。

晶体管 hFE 参数测试

量程	显示值	测试条件
hFE NPN 或 PNP	0~1000.0	基极电流约 10 $\mu$ A，Vce 约为 3V

二极管及通断测试

量程	说明	测试条件
	测量值为正向压降近似值，当被测电阻低于 70 $\Omega \pm 20\Omega$ 时，蜂鸣器发声，并显示近似值，开路电压约 3V	正向直流电流约 1mA，反向直流电压不大于 3V