

《电工电子学》

实验指导书

食品科学系工程教研室 编

北京农学院

二〇〇九年四月

实验一 电位值、电压值的测定

(一) 实验目的：

通过电位值、电压值的测定，验证点位值的相对性和电压值的绝对性。

(二) 实验内容及步骤：

1、在通用底板上按照图 1-1 连接好电路。

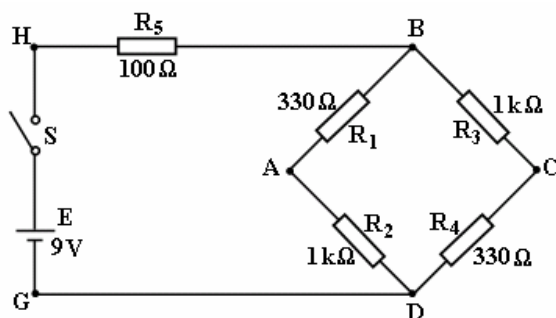


图 1-1

2、将稳压电源调至 9V 接入电路，用万用表直流 10V 档以 D 为参考点分别测量 A、B、C、H、G 各点电位值及电压值 U_{HB} 、 U_{BA} 、 U_{BC} 、 U_{DA} 、 U_{HD} ，将测量结果填入下表 1-1 中。

3、以 A 点为参考点，重复步骤 2，将测量结果填入下表 1-1 中。

(三) 测量结果与数据处理：

表 1-1 电位值与电压值的测定

| 测量值 | | 参考点 | | 两次测量是否一致？ |
|-----|--------------|---------|---------|-------------------------------------------------------|
| | | D 点为参考点 | A 点为参考点 | |
| 电位值 | V_A (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | V_B (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | V_C (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | V_D (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | V_H (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | V_G (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| 电压值 | U_{HB} (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | U_{BA} (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | U_{BC} (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | U_{DA} (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | U_{HD} (V) | | | 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |

(四) 思考并回答问题：

1、什么是电位？什么是电压？

2、结合实验结果，说明电位的相对性与电压的绝对性？

实验二 基尔霍夫定律的验证

(一) 实验目的：

通过实验验证基尔霍夫定律的正确性，从而加深对基尔霍夫定律的理解。

(二) 实验内容及步骤：

1、在通用底板上按照图 2-1 连接好电路。

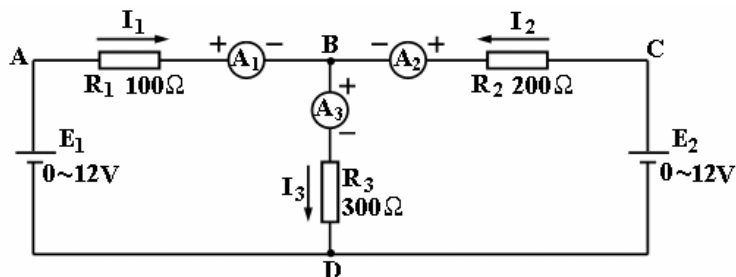


图 2-1

2、检查电路连接无误后，打开稳压电源开关，观察电流表有无异常现象。若发现电流表反转，应立即切断电源，调换电流表极性后重新通电。

3、在 E_1 、 E_2 分别在 12V、12V，9V、12V，12V、10V 时，用一只 50mA 直流电流表读出三种情况下 I_1 、 I_2 、 I_3 值，同时用万用表分别测量三个电阻上电压 U_{AB} 、 U_{BD} 、 U_{CB} 。将测量结果填入下表 2-1 中。

(三) 测量结果与数据处理：

表 2-1 基尔霍夫定律的验证

| 电源电压 测量值 | | $E_1=12V$ $E_2=12V$ | $E_1=9V$ $E_2=12V$ | $E_1=12V$ $E_2=10V$ | 验证 |
|-------------|--------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电 流 | I_1 (mA) | | | | KCL 方程是否成立？ ($I_1+I_2=I_3$) 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | I_2 (mA) | | | | |
| | I_3 (mA) | | | | |
| 电 压 | U_{AB} (V) | | | | KVL 方程是否成立？ ($U_{AB}+U_{BD}=E_1$ ， $U_{CB}+U_{BD}=E_2$) 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> |
| | U_{BD} (V) | | | | |
| | U_{CB} (V) | | | | |

(四) 思考并回答问题：

- 基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律的两种表述方式各是什么？
- 在求解复杂电路时，可以列出很多 KCL 和 KVL 方程式，其中独立的方程式数目如何确定，和电路本身的结构特点有什么关系？

实验三 日光灯电路的连接和功率因数的改善

(一) 实验目的：

- 1、学会日光灯电路的连接方法；
- 2、学会提高功率因数的方法。

(二) 实验内容及步骤：

1、电容 C 选 2uf 元件盒，电感 L 选镇流器元件盒，电流表选交流 500mA，选取启辉器及灯管固定元件盒，按图 3-1 所示连接电路。

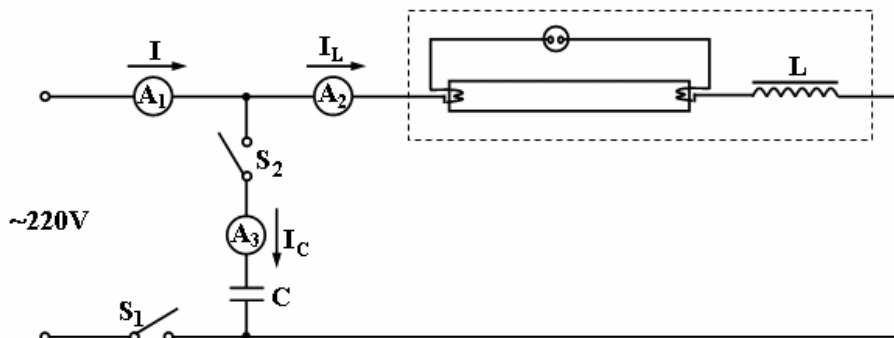


图 3-1

2、检查电路连接无误后，接通开关 S_1 ，日光灯正常发光后读出电流表 A_1 、 A_2 和 A_3 的读数。将测量结果填入下表 3-1 中。

3、再接通开关 S_2 ，分别读出电流表 A_1 、 A_2 和 A_3 的读数。将测量结果填入下表 3-1 中。

(三) 测量结果与数据处理：

表 3-1 日光灯电路的连接和功率因数的改善

| 测量值 开关状态 | I | I_L | I_C |
|------------------|---|-------|-------|
| S_1 断、 S_2 断 | | | |
| S_1 通、 S_2 断 | | | |
| S_1 通、 S_2 通 | | | |

(四) 思考并回答问题：

1. 接通开关 S_2 前后各电流表读数有何变化？为什么会有这种变化？
2. 什么是功率因数？从本实验结果中，可以看出在阻抗串联电路中，并入电容可以改善功率因数，用你所学的知识解释为什么能改善？

实验四 三相负载的Y、 Δ 接法

(一) 实验目的：

- 1、熟悉三相负载的联接方法；
- 2、验证对称三相电路中，线电压与相电压，线电流与相电流之间的关系。

(二) 实验内容及步骤：

1、负载作星形连接。

(1) 如图 4-1 连接电路，实验台上电源需经一端是接线柱，一端是自锁紧插座引入电路，电流表选交流 500mA，负载选 15 瓦小灯泡元件盒。

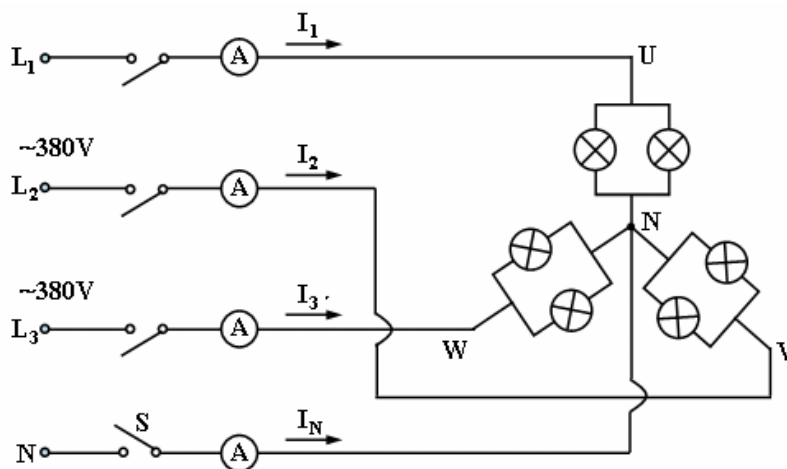


图 4-1

(2) 用万用表交流 500V 档分别测量对称与不对称三相负载在有中线时的线电压和相电压（去掉一相中一只灯泡即为不对称）。

(3) 测量对称与不对称时中线电流 I_N 。

2、负载作三角形联接。

(1) 将三相灯泡负载作三角形联接，如图 4-2，经指导教师检查无误后方可通电。

(2) 分别测量对称与不对称负载时线电压，相电压，线电流与相电流。

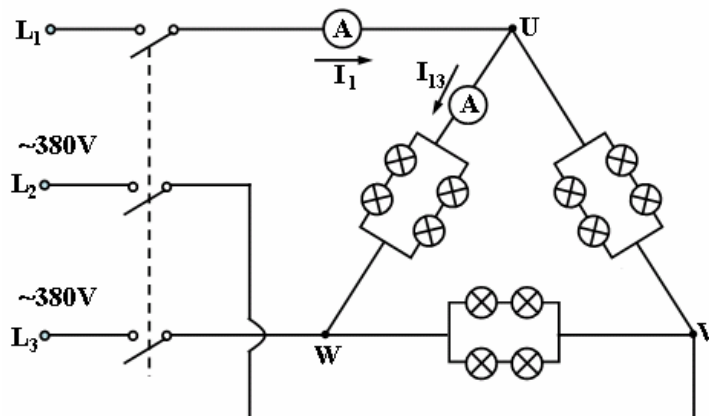


图 4-2

(三) 测量结果与数据处理:

表 4-1 三相负载的 Y、 Δ 接法

| 接法 | | 星形接法 | | 三角形接法 | |
|-----|-------------------|------|-------|-------|-------|
| | | 对称负载 | 不对称负载 | 对称负载 | 不对称负载 |
| 线电压 | U_{12} | | | | |
| | U_{13} | | | | |
| | U_{23} | | | | |
| 线电流 | I_1 | | | | |
| | I_2 | | | | |
| | I_3 | | | | |
| 相电压 | U_{1N} | | | | |
| | U_{2N} | | | | |
| | U_{3N} | | | | |
| 相电流 | $I_{1N} (I_{13})$ | | | | |
| | $I_{2N} (I_{12})$ | | | | |
| | $I_{3N} (I_{23})$ | | | | |

(四) 思考并回答问题:

1. 何为负载对称, 何为负载不对称?
2. 从实验结果中可以看出: 线电压与相电压, 线电流与相电流之间存在什么样的关系?

实验五 三相异步交流电动机继电器—接触器正反转控制线路

(一) 实验目的：

- 1、了解交流接触器、热继电器、按钮开关等电器的结构及使用方法；
- 2、用继电器接触控制电路对异步电动机进行正、反转控制。

(二) 实验内容及步骤：

- 1、取出交流接触器、热继电器、按钮开关，观察它们的结构并了解它们的使用方法。
- 2、按下图 5-1 连接电路，经教师检查无误后闭合闸刀，按下按钮 SB1 使电动机启动，观察电动机的转向。按 SB2 验证联锁触头的作用。
- 3、按下停止按钮，待电动机停止转动后，再按下 SB2，使电动机转动，观察电动机的旋转方向。按 SB1 验证联锁触头的联锁作用。

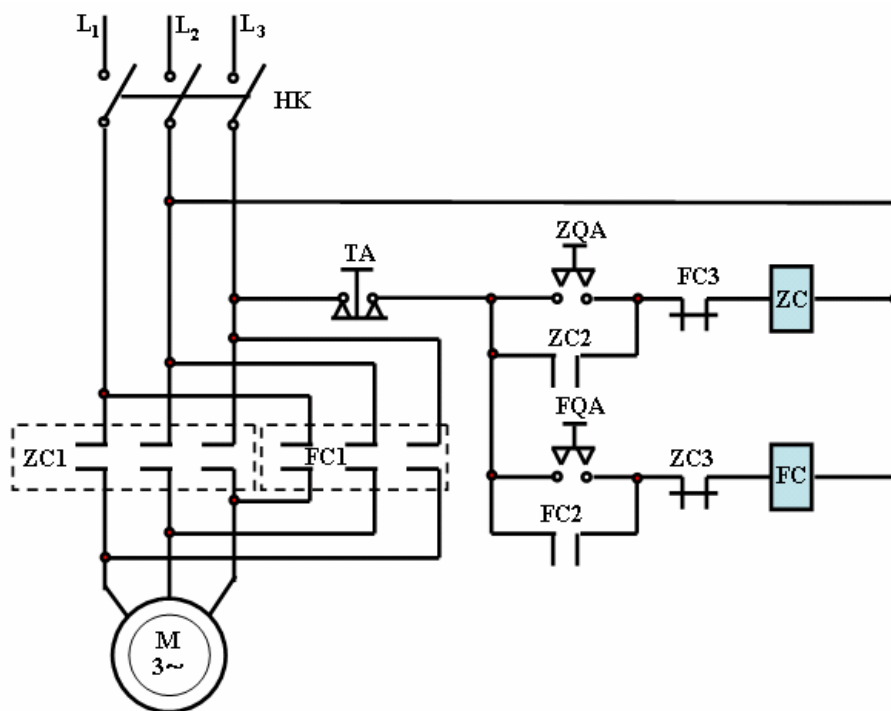


图 5-1

(三) 思考并回答问题：

1. 什么叫自锁？什么叫联锁？
2. 试分析本实验中电路是如何实现自锁和联锁的？

实验六 晶体二级管的特性与检测

(一) 实验目的：

- 1、了解二极管的外形与封装；
- 2、测试二极管的伏安特性。

(二) 实验内容及步骤：

1、测正向特性。

1)按图 6-1 连接电路， U_F 用直流 1V档电压表， P_V 用万用表 2.5V档，电流表用 50mA，二极管用 2AP。

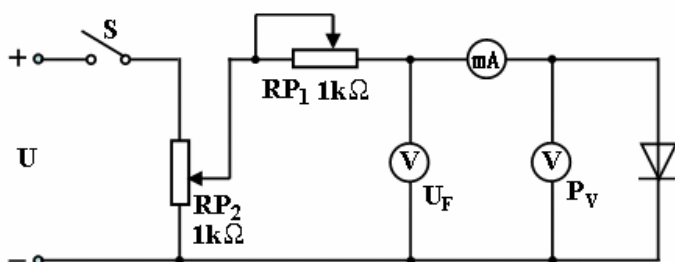


图 6-1

2) 将 RP_2 和作限流作用的 RP_1 阻值调至最大位置，稳压电源输出电压调至 5V，合上开关，分别调节 RP_1 和 RP_2 ，观察不同正向电压 U_F 时流过二极管的电流和该管两端的电压 P_V 。将测量结果填入下表 6-1 中。

表 6-1 晶体二极管的正向特性

| U_F (V) | I (mA) | P_V (V) | U_F (V) | I (mA) | P_V (V) |
|-----------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|
| 0 | | | 0.30 | | |
| 0.05 | | | 0.35 | | |
| 0.10 | | | 0.40 | | |
| 0.15 | | | 0.45 | | |
| 0.20 | | | 0.50 | | |
| 0.25 | | | 0.55 | | |

2、测反向特性。

1) 按图 6-2 连线， U_F 用直流 15V档电压表，电流表用 50 μ A。

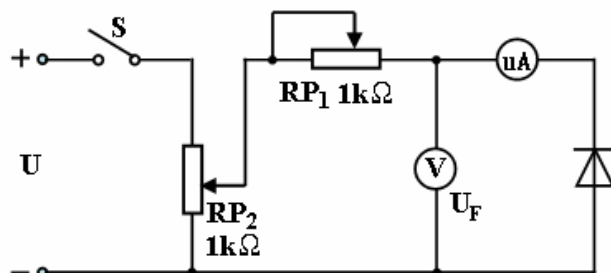


图 6-2

2) 从输出电压 0V 开始, 按 1V 间隔调高电源电压至 14V, 观测不同反向电压时反向电流。将测量结果填入下表 6-2 中。

表 6-2 晶体二极管的反向特性

| U_F (V) | I (uA) | U_F (V) | I (uA) |
|-----------|--------|-----------|--------|
| 0 | | 8 | |
| 2 | | 10 | |
| 4 | | 12 | |
| 6 | | 14 | |

(三) 思考并回答问题:

1. 依据测得的数据, 在下面空白区域绘制二极管的伏安特性曲线。

2. 在绘制的伏安特性曲线上, 如何理解二极管的单向导电性?

4、将 RP1 调至微安表 I_b 为零，然后由 $U_{CE}=0V$ 开始至 12V 观测 I_C 。将测定结果填入下表 7-2 中。

5、使 I_b 为 20、40、60、80、100 μA 时，重复第 4 步。将测定结果填入下表 7-2 中。

表 7-2 晶体三极管的输入、输出特性

| | $I_b=0\mu A$ | $I_b=20\mu A$ | $I_b=40\mu A$ | $I_b=60\mu A$ | $I_b=80\mu A$ | $I_b=100\mu A$ |
|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| $V_{CE} (V)$ | $I_C (mA)$ | $I_C (mA)$ | $I_C (mA)$ | $I_C (mA)$ | $I_C (mA)$ | $I_C (mA)$ |
| 0V | | | | | | |
| 0.2V | | | | | | |
| 0.4V | | | | | | |
| 0.6V | | | | | | |
| 0.8V | | | | | | |
| 1V | | | | | | |
| 1.2V | | | | | | |
| 1.4V | | | | | | |
| 1.6V | | | | | | |
| 1.8V | | | | | | |
| 2V | | | | | | |
| 3V | | | | | | |
| 4V | | | | | | |
| 6V | | | | | | |
| 8V | | | | | | |
| 10V | | | | | | |
| 12V | | | | | | |

(三) 思考并回答问题：

1. 依据测得的数据，在下面空白区域绘制三极管的输入特性曲线和输出特性曲线。
2. 在绘制的输出特性曲线上，指出三极管可能工作的三个区域：饱和区、截止区、放大区。
3. 欲使三极管起放大作用，应满足什么样的外部电压条件？

实验八 单向半波整流、单向桥式整流和单向桥式整流滤波

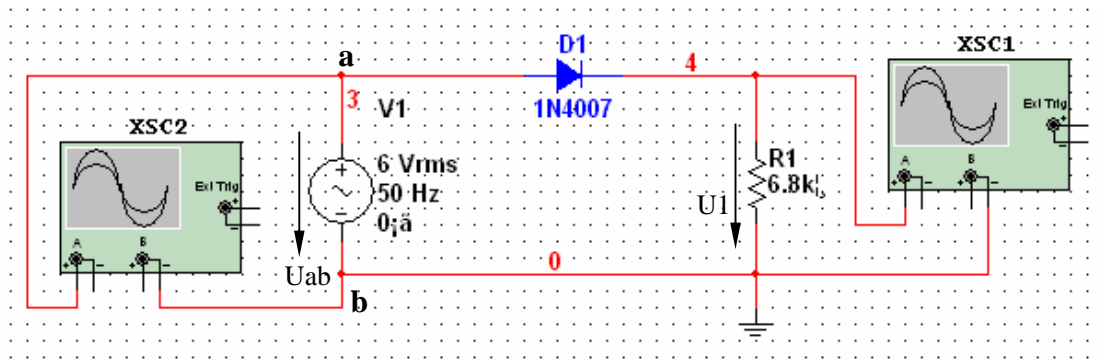
(一) 实验目的：

- 1、学习电路分析软件 multisim 10.0 的使用方法；
- 2、观察整流前后电压波形，了解输入、输出电压变化；
- 3、比较两种整流方式的区别。
- 4、观察电容的滤波作用。

(二) 实验步骤：

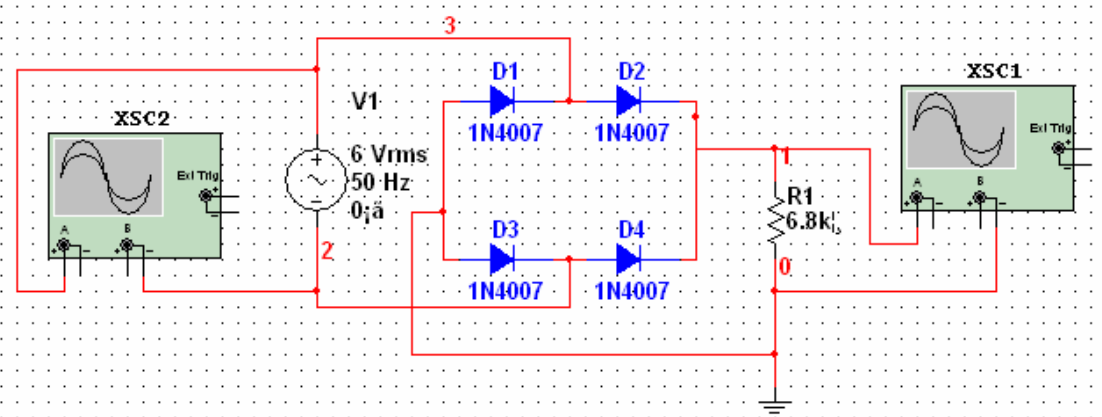
1. 半波整流

- 1) 在 multisim 10.0 绘图环境中，按下图 1 所示绘制单相半波整流电路。
- 2) 启动开关，双击示波器观察 U_{ab} 和 U_1 的波形。
- 3) 依据需要，按键盘上的 $PrtScr$ 键抓图，并保存。



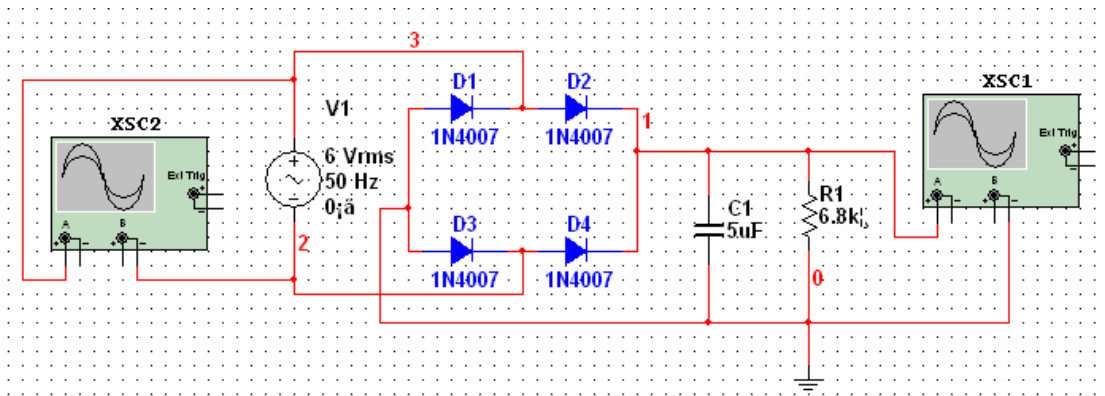
2. 桥式整流

- 1) 在 multisim 10.0 绘图环境中，按下图 2 所示绘制单相桥式整流电路。
- 2) 启动开关，双击示波器观察 U_{ab} 和 U_1 的波形。
- 3) 依据需要，按键盘上的 $PrtScr$ 键抓图，并保存。



3. 桥式整流滤波

- 1) 在 multisim 10.0 绘图环境中，在图 2 基础上添加电容元件，绘制桥式整流滤波电路。
- 2) 启动开关，双击示波器观察 U_{ab} 和 U_1 的波形。
- 3) 比较并电容与不并电容两种情况下 U_{ab} 、 U_1 波形，并用万用表监测 U_{ab} 和 U_1 。
- 3) 依据需要，按键盘上的 $PrtScr$ 键抓图，并保存。



(三) 实验结果:

将半波整流、桥式整流、全波整流滤波的输入输出波形图粘贴在新建 word 文档中，打印后附在实验报告后面，并写清哪个是半波整流，哪个是桥式整流，哪个是桥式整流滤波。

(四) 思考并回答问题:

查阅教材或资料，在下面空白处写出半波整流、桥式整流、全波整流滤波的工作原理。

实验九 单级阻容耦合放大电路

(一) 实验目的

1. 学会用电子仿真软件 Multisim10 分析单管电压放大电路主要性能指标的方法。
2. 了解仿真分析中的直流工作点分析法。
3. 学会检查调整、测量电路的工作状态。
4. 掌握测量放大器的电压放大倍数。
5. 了解不同的负载对放大倍数的影响。
6. 学会测量放大器输入、输出电阻的方法。

(二) 实验准备

典型的静态工作点稳定的阻容耦合放大器如图 1 所示（分压式偏置电路），一般只要满足：

$$I_R \geq (5 \sim 10) I_{BQ} \quad \text{—— (1)}$$

$$U_{BQ} \geq (5 \sim 10) U_{BEQ} \quad \text{—— (2)}$$

则静态工作点就有足够的温度稳定性。

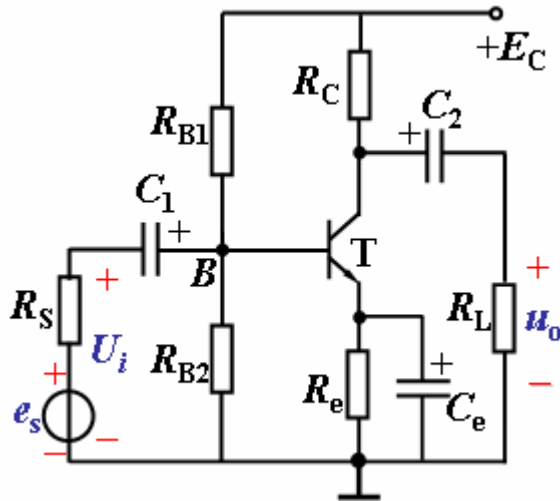


图 1

1. 静态工作点和动态范围：

(1) 静态工作点的影响因素：

如果满足 (1)、(2) 式，该电路的静态工作点可由下式近似估算得到：

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_e}{R_e} = \frac{U_B - U_{BEQ}}{R_e} \approx \frac{U_B}{R_e} = \frac{E_c \cdot R_{b2}}{(R_{b1} + R_{b2}) \cdot R_e} \quad \text{—— (3)}$$

$$U_{CEQ} = E_c - I_{CQ}(R_c + R_e) \quad \text{—— (4)}$$

硅管的 U_{BEQ} 取 0.7V、锗管取 0.3V。

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} \quad \text{--- (5)}$$

可见，静态工作点与 E_C 、 R_C 、 R_e 、 R_{b1} 和 R_{b2} 的取值均有关系，电路确定后，静态工作点是
通过调节 R_{b1} （电位器）来实验的。

(2) 静态工作点的设置对输出波形的影响：

静态工作点的设置位置对输出波形有很大的影响，这种影响见图 2 所示，工作点 Q 如果设置的
过低 (Q'')，将出现截止失真，如图 2 (a)；过高 (Q') 则出现饱和失真，这些情况在实际电路中
都应该避免。如图 2 (b)。

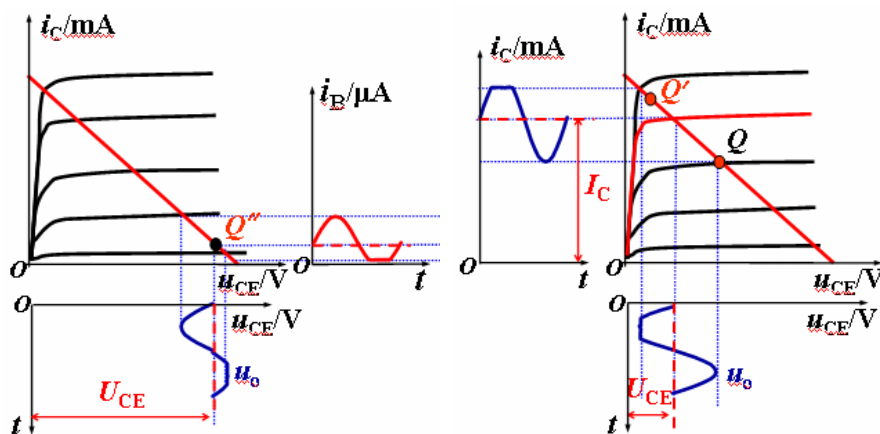


图 2

图 2

(3) 静态工作点的测量：

静态工作点电流、电压 I_{CQ} 、 I_{BQ} 、 U_{BEQ} 和 U_{CEQ} 可以用万用表直接测得， I_{BQ} 很小，可以不
测。测 I_{CQ} 有两种方法，可以焊开集电极电路，将电流表串在集电极电路中直接测得；也可以先测
集电极电阻上的压降，然后通过下式计算得到：

$$I_{CQ} = \frac{U_{Rc}}{R_C} \quad \text{--- (6)}$$

第二种方法不用焊接电路，比较实用，实验中常采用。

(4) 动态范围：

从图 2 看到，如果将静态工作点设置在负载线的中点 (Q)，则基极输入电流允许有一个最大的
变化范围，在这个范围内对应的输出电压也有一个最大的变化范围，即在这个范围内，均不至于发
生截止和饱和失真，我们将位于负载线中点的静态工作点，叫做最佳静态工作点，这个电压的变化
范围叫做放大器的动态范围，这个最大的不失真的输出电压常用输出电压的峰—峰值来表示，即

U_{OP-P} 。

对于一个放大器来说，静态工作点不一定都要设置在最佳位置，这要视放大器本身所承担的任务而定。例如，作为放大器的前置级，所放大的信号很小，静态工作点设置得低一点（离截止区近一些），也不一定就会发生截止失真。这对放大器降低损耗、减小噪声是有好处的，但是在末级放大

器（例如：视频放大），需要考虑有最大的不失真电压输出时，才考虑设置最佳静态工作点。

2. 放大倍数：

放大倍数是反映电路对信号的放大能力的一个参数，低频放大器的电压放大倍数是指输入、输出电压有效值（或峰值）之比：

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} \quad \text{--- (7)}$$

图 1 的交流等效电路如图 3 所示。

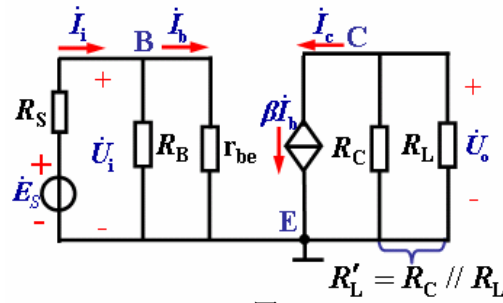


图 3

图中， $R_B = R_{b1} // R_{b2}$

$$U_i^{\otimes} = I_b^{\otimes} r_{be}$$

$$U_o^{\otimes} = -I_c^{\otimes} R'_L = -\beta I_b^{\otimes} R'_L$$

所以，电压放大倍数：
$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} \quad \text{--- (8)}$$

电源电压放大倍数（此处不做推导）：
$$A_{us} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} \times \frac{r_i}{R_S + r_i} \quad \text{--- (9)}$$

由此可见： A_u 总是随负载电阻 R'_L 的增加而增加； A_{us} 总是随信号源电阻 R_S 的增加而减小。

3. 放大倍数的测量：

放大倍数必须在输入、输出电压波形不失真的情况下测量，通常有两种方法：

(1) 直接用交流毫伏表测得输入、输出电压的有效值，然后求他们之比即为电压放大倍数，此法一般适用于正弦信号时的测量。

(2) 还可以用示波器测出 U_o 和 U_i 的峰—峰值，然后将两峰峰值之比取为电压放大倍数，此法不但适用于正弦信号，也同样适用于非正弦信号。

4. 放大器输入和输出阻抗的测量：

(1) 输入阻抗的测量：

测量输入阻抗的原理框图如图 4 所示。

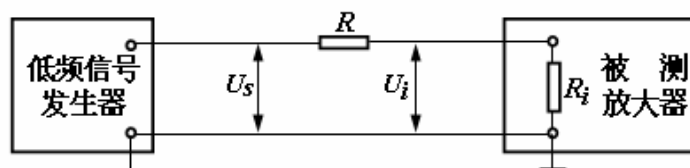


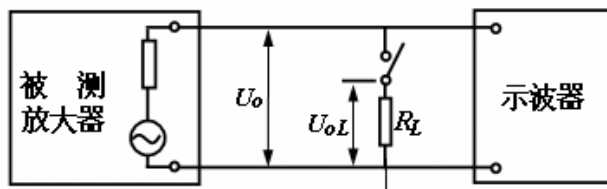
图 4

在输入回路中串接一个已知值的电阻 R ，调整低频信号发生器的输出，使示波器出现不失真的波形，用交流毫伏表测得 R 两端的电压 U_s 和 U_i ，因为输入回路的电流 I_i 为：

$$I_i = \frac{U_R}{R} = \frac{U_s - U_i}{R}, \text{ 因此: } R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{U_s - U_i} \cdot R \quad \text{--- (10)}$$

(2) 输出阻抗的测量：

测量输出阻抗的原理框图如图 5 所示。



先不接 R_L ，用示波器测输出端的开路电压 U_o ，然后接上 R_L ，再测出带负载的电压 U_{oL} ，由被测放大器的输出回路有：

$$U_{oL} = \frac{R_L}{R_o + R_L} \cdot U_o, \text{ 因此: } R_o = \left(\frac{U_o}{U_{oL}} - 1 \right) \cdot R_L \quad \text{--- (11)}$$

(三) 计算机仿真实验内容：

1. 静态工作点的测试：

(1) 从电子仿真软件 Multisim10 基本界面左侧真实元件工具条中，按图 6 所示电路调出所需电阻、电容、晶体三极管、电源等元件。

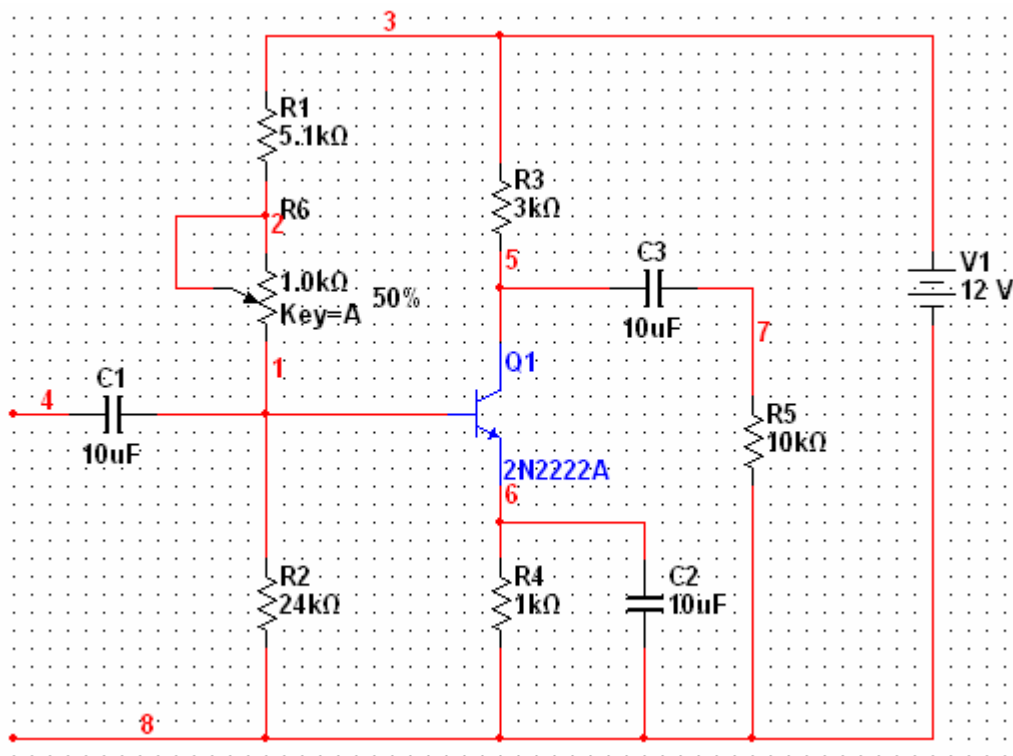


图 6

(2) 电位器 R_6 从电子仿真软件Multisim10基本界面左侧右列虚拟元件工具条中调出，具体方法如下：在任一工具条上单击右键，在弹出的菜单中，把图7所示的条目均选中，特别要选中“Virtual”，把“Virtual”工具条放置到屏幕上方，如图8；点击虚拟元件工具条“Show Basic Family”按钮右侧的下拉箭头，如图9所示，将出现虚拟元件列表框，选其中的“Place Virtual Linear Potentiometer”，如图10所示，将虚拟电位器调出，将它放置在电子平台上。

(3) 双击虚拟电位器图标，将弹出对话框，将“Increment”栏改成“1”%；将“Resistance”栏改成“220”k Ω ，如图11所示，点击下方“确定”按钮退出。

(4) 将所有元件整理并连好仿真电路，见图6所示。

(5) 点击电子仿真软件Multisim10基本界面右侧虚拟仪器工具条中的“Multimeter”按钮，如图12所示，将虚拟万用表调出并连在集电极电阻两端，发射极 R_4 电阻下端接入虚接地，如图13所示。

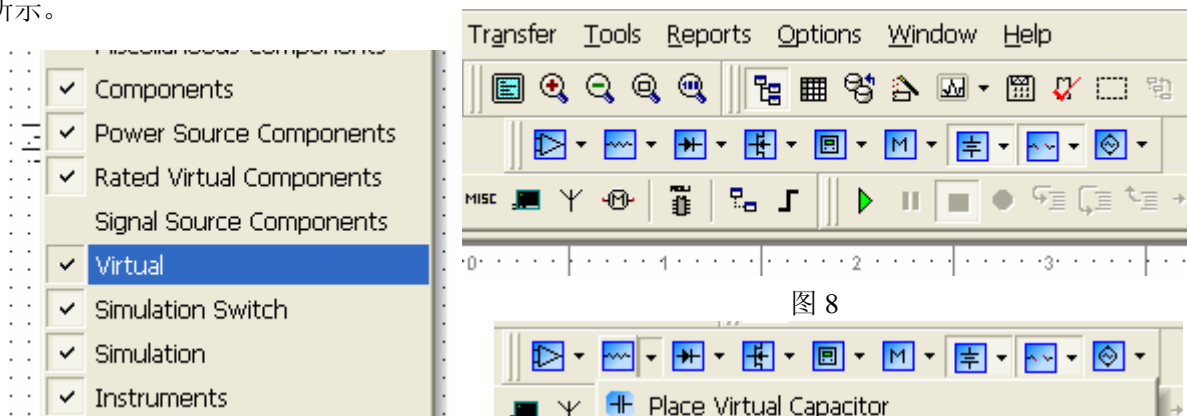


图7



图9

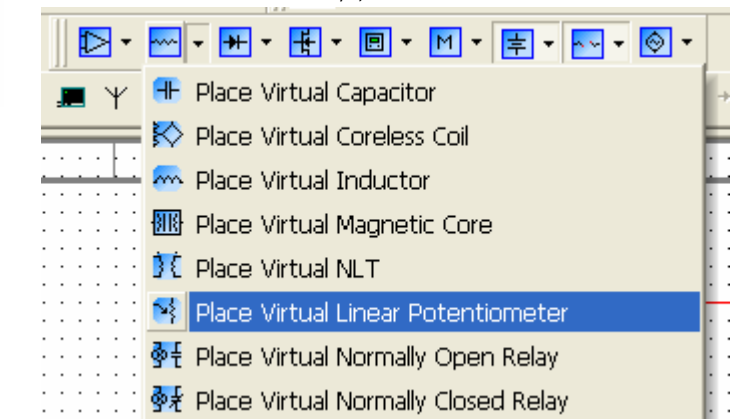


图8

图10

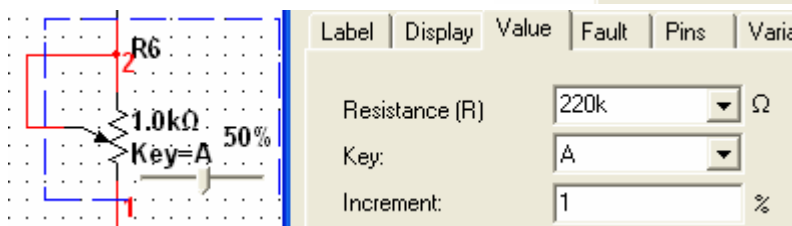


图11



图12

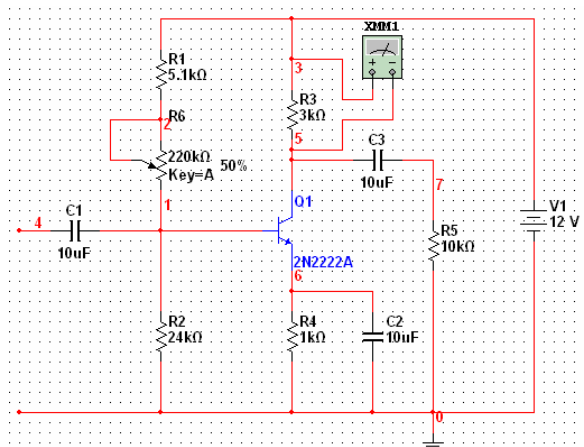


图13

(6) 打开仿真开关, 双击虚拟万用表图标“XMM1”, 在弹出的放大面板上显示: 直流电压 3.838V, 如图 14 所示。如在此过程中出现提示“是否修正错误”的对话框, 点击“确定”即可。

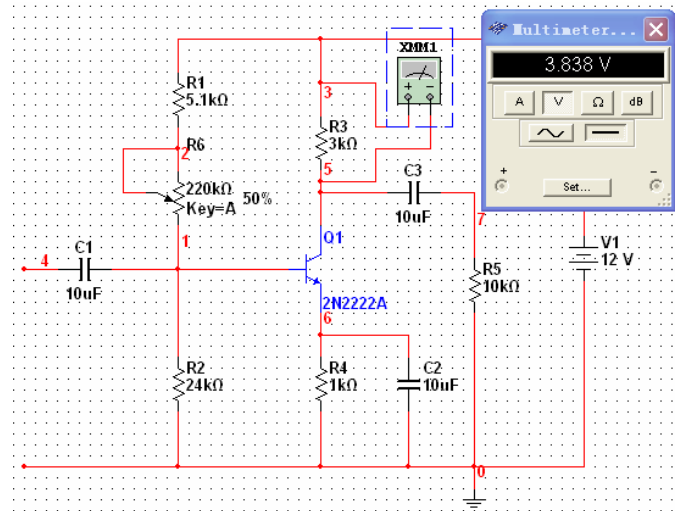


图 14

(7) 先按住键盘上的“shift”键, 在连续按“A”键, 这时可见电位器R₆的百分比逐渐减小, 万用表放大面板上显示的直流电压值逐渐增加, 当电位器R₆的百分比约为 32%左右时, 显示的直流电压值约为 6V (5.957V), 如图 15 所示。根据欧姆定律, 可知电路的静态工作点 $I_{CQ} = \frac{U_{R_C}}{R_C} \approx 2mA$ 。

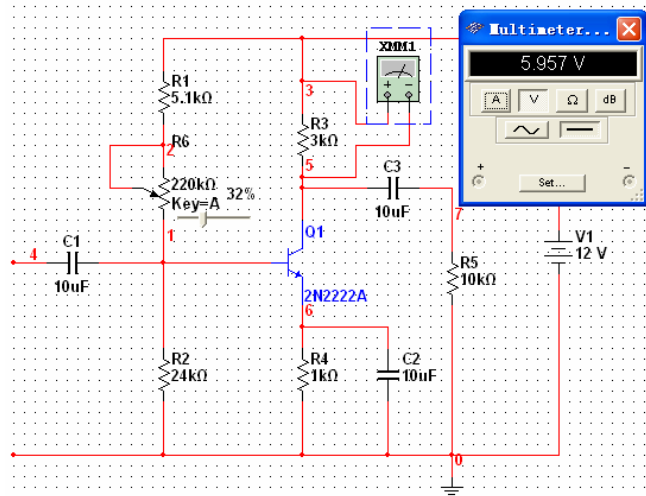


图 15

(8) 先关闭仿真开关, 将万用表分别接入电路相关位置, 然后重新打开仿真开关, 测出 U_{CEQ} 和 U_{BEQ} , 并将测试结果填入表 1 中。

表 1. 静态工作点的测试

| V_1 (V) | U_{R_C} (V) | I_{CQ} (mA) | U_{CEQ} (V) | U_{BEQ} (V) |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | |

2. 电压放大倍数的测试:

(1) 先关闭仿真开关，然后删除数字万用表。从电子仿真软件 Multisim10 基本界面右侧虚拟仪器工具条中，调出虚拟函数信号发生器和虚拟双踪示波器，将虚拟函数信号发生器接到电路输入端，将虚拟双踪示波器两通道分别接到电路输入和输出端，如图 16 所示。

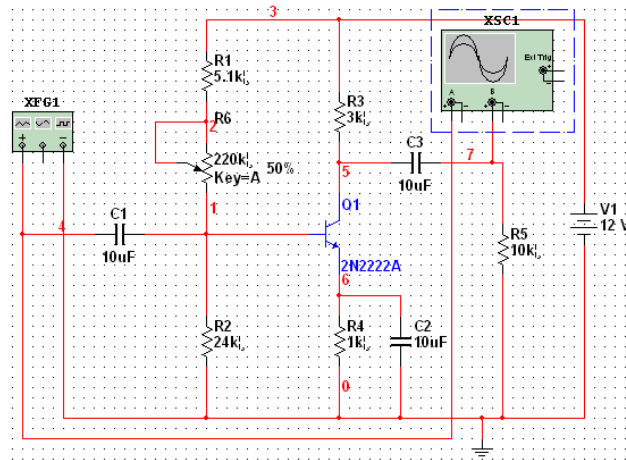


图 16

(2) 打开仿真开关，分别双击虚拟函数信号发生器图标“XFG1”和虚拟双踪示波器图标“XSC1”，函数信号发生器和示波器面板设置可参阅图 17 所示。

(3) 从图 17 的虚拟示波器放大面板上可以观察到输入和输出的正弦波形，拉出虚拟示波器屏幕上的两条读数指针，分别到输入和输出正弦波的波峰位置，从屏幕下方可以读出他们的幅值，并计算出电压放大倍数 A_u ，将它们填入表 2 中。

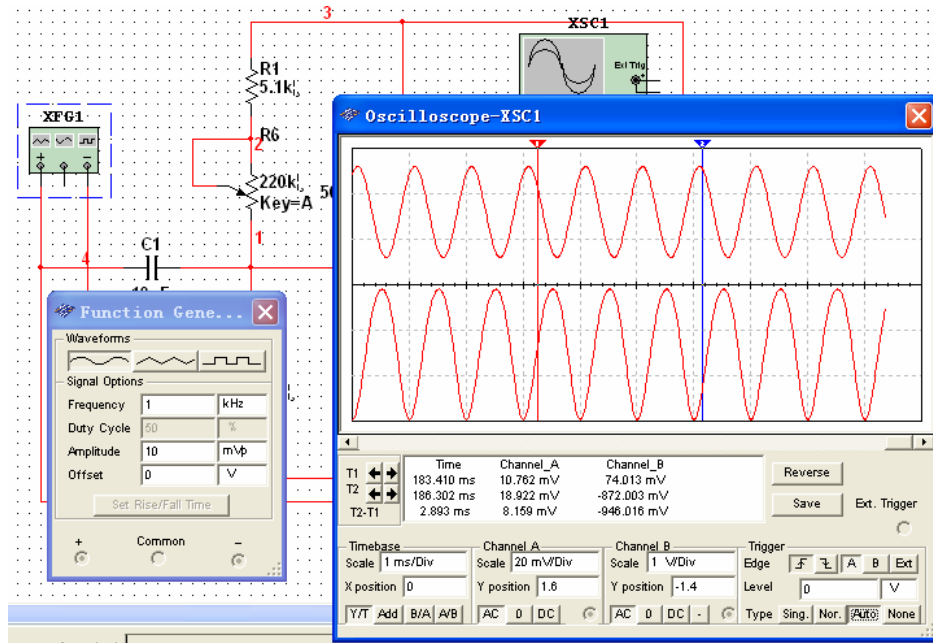


图 17

(4) 先关闭仿真开关，在电路输出端在并联一个负载电阻 R_7 ($10k\Omega$)，然后再打开仿真开关，重新调整读数指针位置并读出电路输出正弦波幅值，算出电压放大倍数（输入信号不变），将它们填入表 2 中。

表 2.电压放大倍数的测试

| R'_L (k Ω) | U_i (mV) | U_o (mV) | A_u (测量值) | A_u (估量值) |
|----------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 3 // 10 | | | | |
| 3 // 5 | | | | |

3. 观察静态工作点变化对放大器输出波形的影响:

(1) 关闭仿真开关, 先删除并接的负载电阻 R_7 (10k Ω), 再打开仿真开关, 改变电位器 R_6 的百分比为 17%左右时, 屏幕出现如图 18 所示的波形。此波形属于何种失真? 说出判别理由。

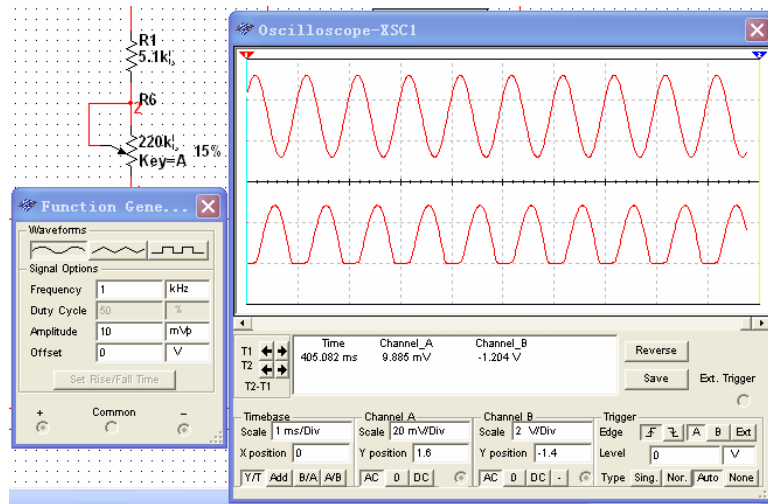


图 18

(2) 将电位器 R_6 的百分比调到 100%, 然后将虚拟函数信号发生器的信号幅度增加到 30mV, 打开仿真开关, 虚拟示波器屏幕将出现如图 19 所示波形。此波形属于何种失真? 说出判别理由。

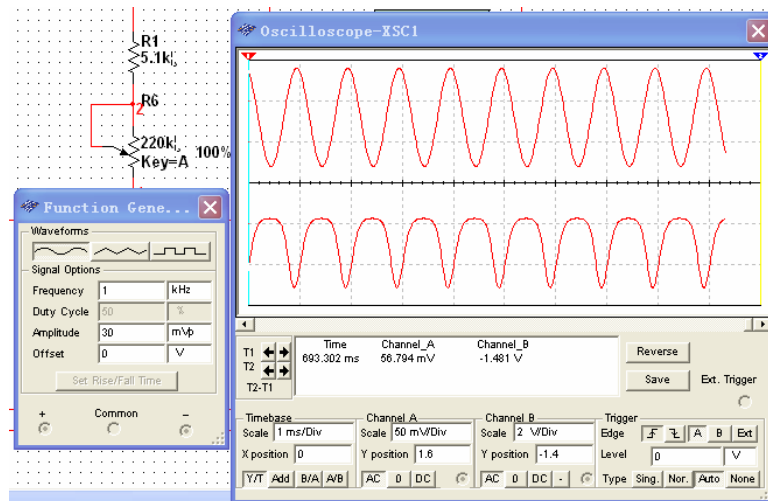


图 19

4. 测放大器的输入、输出电阻:

(1) 输入电阻的测量:

1) 关闭仿真开关, 删除虚拟示波器; 虚拟函数信号发生器的信号频率仍为 1kHz, 幅度恢复到 10mV; 电位器 R_6 的百分比恢复到 32%。

2) 再放大器输入端串接一个 5.1k 电阻，再调出两只虚拟万用表，按图 20 所示将仿真电路连好。

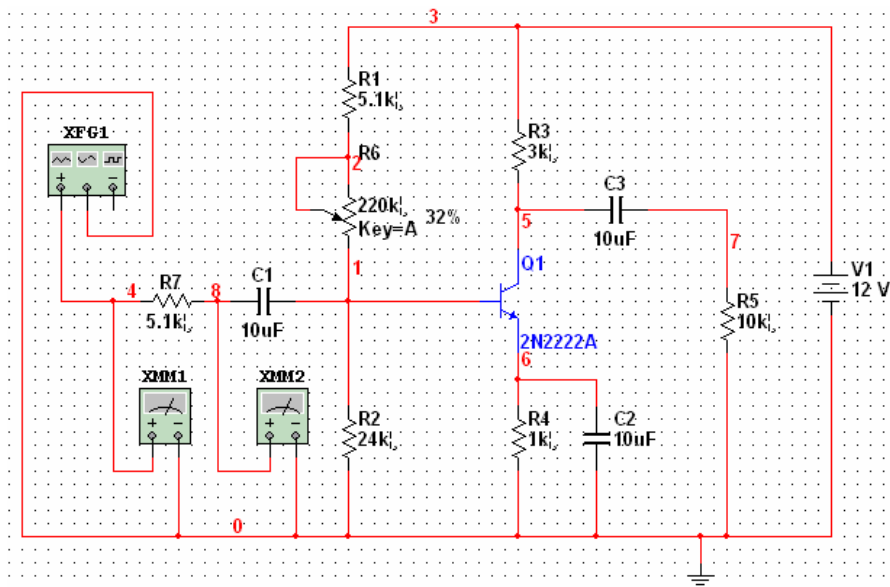


图 20

3) 重新打开仿真开关，双击两只虚拟万用表图标，将它们切换到交流电压档；在双击虚拟函数信号发生器图标，用鼠标点击 10mV 右侧向上箭头，逐渐加大信号幅度，大约在 31mV 左右时，“XMM2”的放大面板显示 10.077mV (10mV) 左右 (U_i)，这时读出“XMM1”的放大面板显示数据 (U_s)，将它们填入表 3 中，根据公式 (10) 即可求出输入电阻。

(2) 输出电阻的测量：

恢复仿真电路如图 16 所示，删除原负载电阻 R_5 (10kΩ)，电位器百分比调整成 33%。打开仿真开关，用示波器屏幕上读数指针读出空载时的输出电压 U_o ，关闭仿真开关，然后将负载电阻 R_5 (10kΩ) 接到输出端，再打开仿真开关，读出带负载时的输出电压 U_{oL} ，将它们填入表 3 中。根据公式 (11) 即可求出输出电阻。

表 3. 输入、输出电阻的测量

| U_s (mV) | U_i (mV) | R_i (kΩ) | U_o (mV) | U_{oL} (mV) | R_o (kΩ) |
|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|
| | | | | | |

(四) 实验结果处理：

- 1、整理测量数据表格，完成表 1、表 2、表 3。
- 2、思考并回答观察静态工作点变化对放大器输出波形的影响时所提出的两个问题，在下面空白处把你的判断和分析写下来。
- 3、估算 2 (3)、2 (4) 步骤情况下放大电路的电压放大倍数，并与实验值进行比较并分析出现差异的原因，写在下面。

请在空白纸上写出你的实验结果处理！

实验十 集成运算放大器的应用

(一) 实验目的

1. 掌握用电子仿真软件 Multisim10 进行集成运放的仿真实验方法。
2. 了解用集成运算放大电路组成比例、求和电路的特点及性能。
3. 了解用集成运算放大电路组成电压比较器电路的特点及性能。
4. 掌握上述电路的测试和分析方法。

(二) 实验准备

在分析集成运放的各种应用电路时，常常将集成运放看作是一个理想的运算放大器。理想的运算放大器有如下性质：

1. 开环差模电压增益 $A_{od} = \infty$ ；
2. 差模输入电阻 $R_{id} = \infty$ ；
3. 输出电阻 $R_o = 0$ ；
4. 共模抑制比 $K_{CMR} = \infty$ ；
5. 输入失调电压 U_{IO} 、失调电流 I_{IO} 、以及它们的温漂均为零等等。

在分析估算集成运放的应用电路时，运用这些性质有利于抓住事物的本质，忽略次要因素，简化分析的过程，直接得到结论。

1. 理想运放工作在线性区时有两个重要特点：

(1) 理想运放的差模输入电压等于零：

由于理想运放的 $A_{od} = \infty$ ，即：
$$A_{od} = \frac{U_o}{U_+ - U_-} = \infty,$$

所以 $U_+ = U_- = 0$ ，即 $U_+ = U_-$

上式表示运放同相输入端与反向输入端的电压相等，如同将该两点短路一样。但是这两点实际上并非真正的短路，故称之为“虚短”。

(2) 理想运放的差模输入电流等于零：

由于理想运放的差模输入电阻 $R_{id} = \infty$ ，因此在其两个输入端均没有电流流入运放，所以：

$$I_+ = I_- = 0,$$

此时，运放的同相输入端与反向输入端的电流都等于零，如同这两点被断开一样，故称为“虚断”。

集成运放的一个重要应用方面就是实现模拟信号的运算，运用上述两个重要结论，可以对用集成运放组成的比例、求和电路进行分析和计算。

2. 理想运放工作在线性区时有两个重要特点：

(1) 理想运放的输出电压 U_o 的值只有两种可能：或等于运放的正相最大输出电压 $U_{OP=P(+)}$ ，

或等于其反相最大输出电压 $U_{oP=P(-)}$ 。

当 $U_+ > U_-$ 时, $U_o = U_{oP=P(+)}$

当 $U_+ < U_-$ 时, $U_o = U_{oP=P(-)}$

在非线性区, 运放的净输入电压 $U_+ - U_-$ 可能很大, 即 $U_+ \neq U_-$, 也就是说, 此时, “虚短”现象不复存在。

(2) 理想运放的输入电流等于零。在非线性区, 虽然运放两个输入端的电压不等, 即 $U_+ \neq U_-$, 但因为理想运放的 $R_{id} = \infty$, 故仍认为此时的输入电流的功能与零, 即 $I_+ = I_- = 0$ 。

电压比较器就中的集成运放通常工作在线性区。它是一种模拟信号的处理电路, 它的作用是与输入端的模拟信号的电平进行比较, 然后将比较的结果反映在输出端。多数情况下, 比较器有两个输入端和一个输出端。其中的一个输入端通常接固定不变的电压, 称为参考电压, 而另一个输入端则是变化的信号电压。比较器的输出端只有两种可能的状态: 高电平或低电平。

(三) 计算机仿真实验内容

1. 反相比例放大器:

(1) 用鼠标左键点击电子仿真软件 Multisim10.0 基本界面真实元件工具条中的“Place Analog”按钮, 如图 1 所示, 在弹出的对话框“Family”栏下选取“OPAMP”, 再在“Component”栏下选取“741”运放, 将它调入电路窗口, 如图 2 所示。

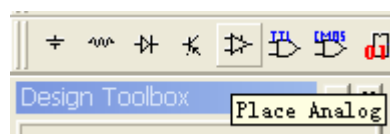


图 1

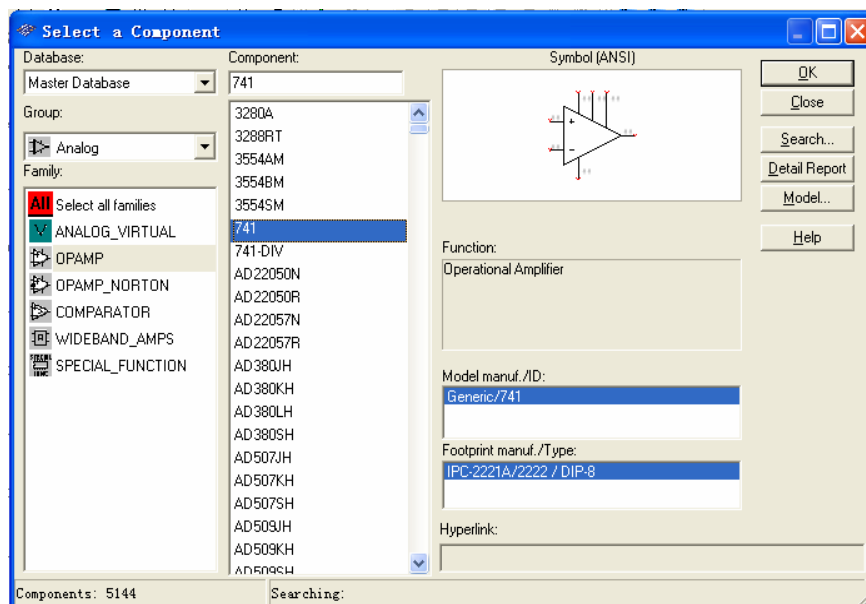


图 2

(2) 电位器从电子仿真软件 Multisim10.0 基本界面虚拟元件库中调出 (参阅上次实验), 如图 3 所示。双击虚拟电位器图标, 将弹出的对话框“Resistance”栏改成“100”, 单击“OK”按钮退出对话框, 如图 4 所示。

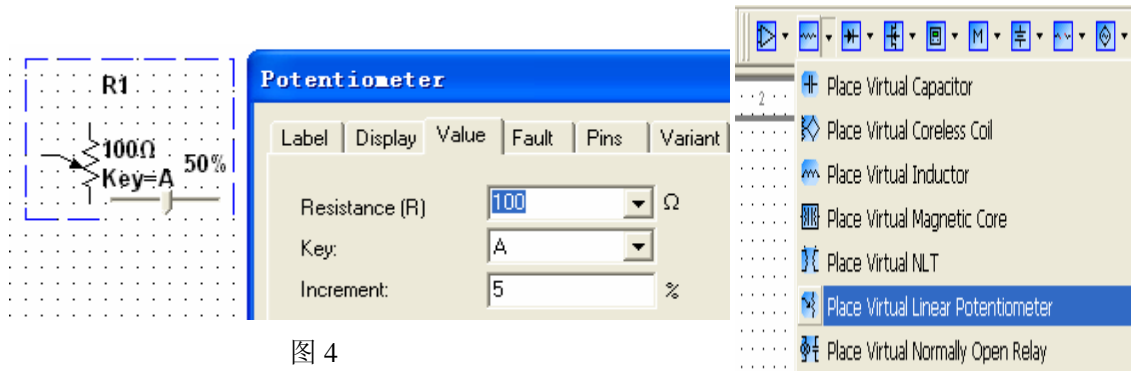


图 4

图 3

(3) 将所有元件调出组成反相比例放大仿真电路如图 5 所示。

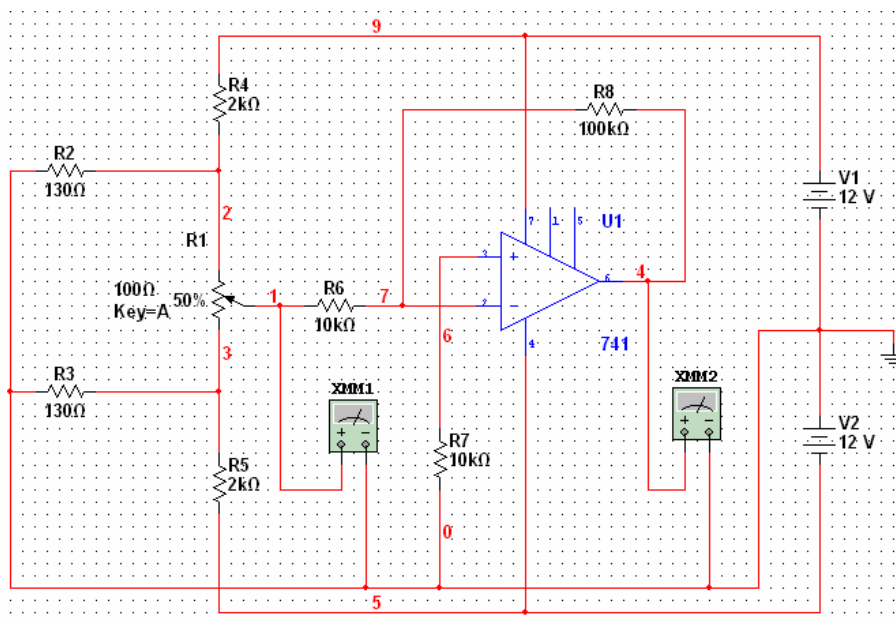


图 5

(4) 打开仿真开关，先按住“shift”键，再连续按“A”键，使电位器 R1 的百分比为 5%，如图 6 所示。记下电压表“XMM1”和“XMM2”的值，填入表 1 中。

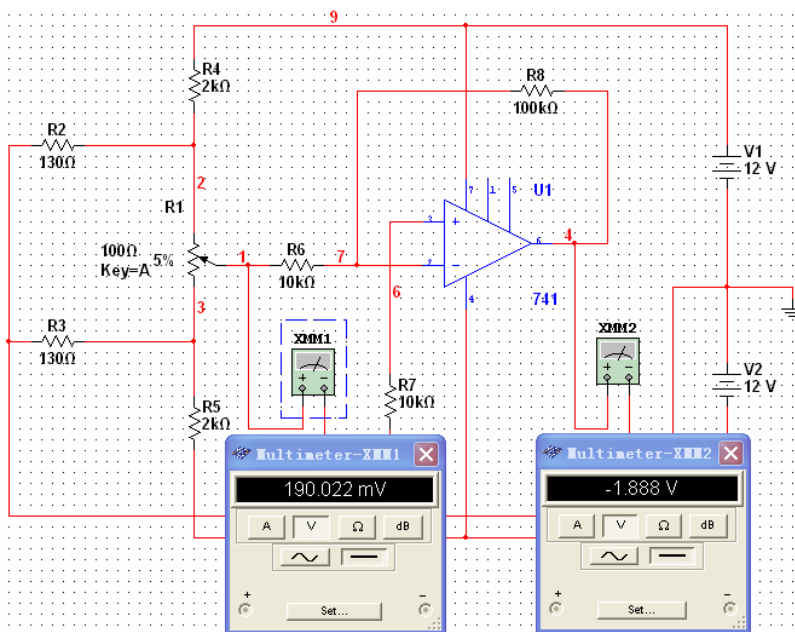


图 6

(5) 按表 1 中电位器 R1 的百分比要求完成仿真实验和记录，并与理论估算值做比较。

表 1 反相比例放大电路测试结果记录表

| 输入电压 | 电位器百分比 | 5% | 25% | 40% | 65% | 80% | 95% |
|------|-----------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | U_i (V) (即XMM1) | | | | | | |
| 输出电压 | 理论值 U_o (V) | | | | | | |
| | 实测值 U_o (V) (即XMM2) | | | | | | |

(6) 保存。

2. 反相求和放大电路:

(1) 新建一个仿真任务，如图 7 所示。

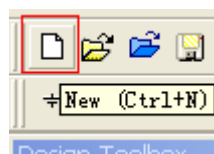


图 7

(2) 从电子仿真软件 Multisim10.0 基本界面虚拟元件库中调出两个电位器 R1 和 R2，并双击电位器 R1 图标，将弹出的对话框中“Resistance”栏改成“50”，再单击“OK”按钮退出；然后双击电位器 R2 图标，点击弹出对话框中“Key”栏右侧的下拉箭头选取“B”，同样将“Resistance”栏改成“50”，再点击“OK”按钮退出，如图 8 所示。

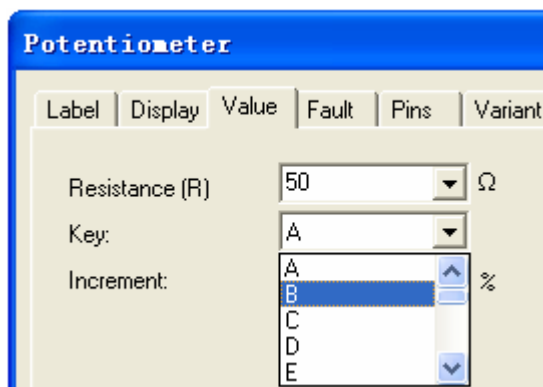


图 8

(3) 其他元件调出与反相比例电路相同，经重新整流后组成反相求和放大仿真电路，如图 9 所示。

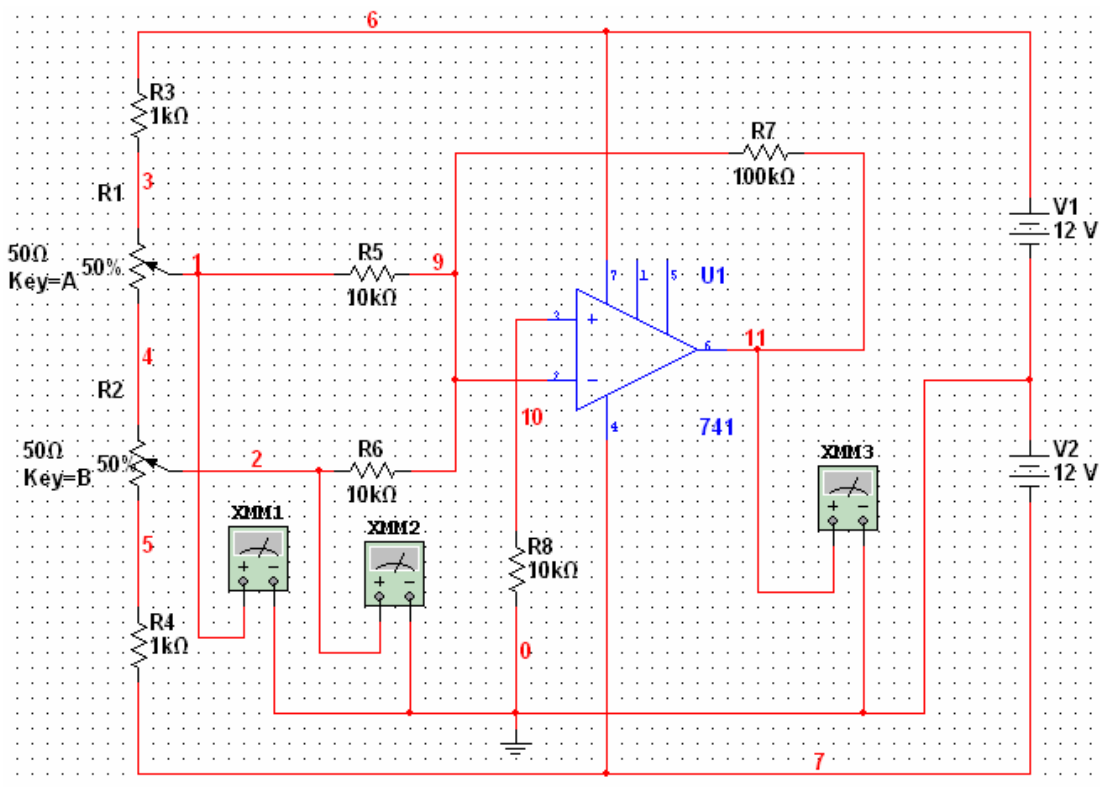


图 9

(4) 打开仿真开关，连续按 A 键（或 shift+A）和 B 键（shift+B），使两个电位器的百分比如表 2 所示，将 3 个电压表的数据填入表中，并根据表中数据计算电压放大倍数。

表 2 反相求和放大电路测试结果记录表

| | | |
|----------------------------|-----|-----|
| 电位器 R1 百分比 | 90% | 30% |
| 电位器 R2 百分比 | 55% | 10% |
| 输入电压 U_{i1} (V) (即 XMM1) | | |
| 输入电压 U_{i2} (V) (即 XMM2) | | |
| 输入电压 U_o (V) (即 XMM3) | | |
| 理论计算 | | |

(5) 保存。

3. 同相滞回比较电路:

(1) 新建一个仿真任务，从电子仿真软件 Multisim10.0 基本界面虚拟元件库中调出电位器，并双击虚拟电位器图标，将弹出的对话框中“Increment”栏设置成“1”%。

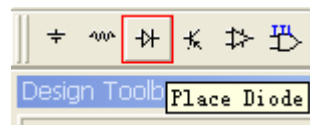


图 10

(2) 左键点击电子仿真软件 Multisim10.0 基本界面真实元件工具条中的“Place Diode”按钮，如图 10 所示，在弹出的对话框中“Family”栏下选取“ZENER”，再在“Component”栏下选取“1Z6.2”稳压管，共调出两只稳压管到电路窗口，如图 11 所示。

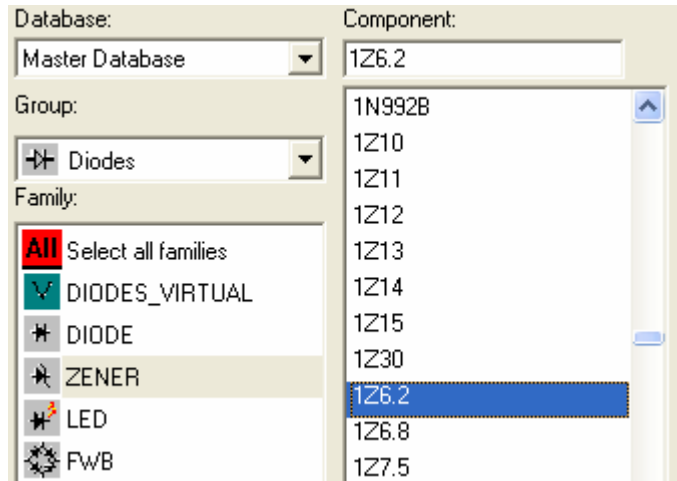


图 11

(3) 再调出其他元件，并整理电路组成同相滞回比较仿真电路如图 12 所示。

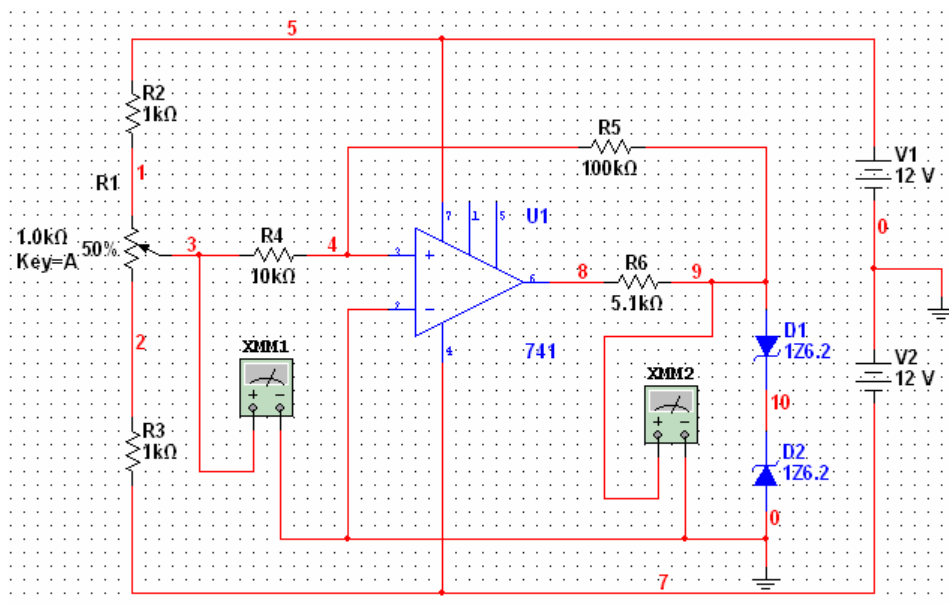


图 12

(4) 打开仿真开关，每按一次A键，电位器的百分比按 1% 递增，同时电压表XMM1 的数值也增大，而电压表XMM2 保持负值不变。当电位器的百分比和电压表XMM1 的数值增大到某一数值时，电压表XMM2 的负值突然变成正值，这时电压表XMM1 的值就是临界值 (U_o 由 $U_{oP-P(-)}$ 变为 $U_{oP-P(+)}$)。

(5) 同样，每按一次“Shift+A”键，电位器的百分比按 1% 递减，同时电压表XMM1 的数值也减小，而电压表XMM2 保持正值不变。当电位器的百分比和电压表XMM1 的数值减小到某一数值时，电压表XMM2 的正值突然变成负值，这时电压表XMM1 的值就是临界值 (U_o 由 $U_{oP-P(+)}$ 变为 $U_{oP-P(-)}$)。将临界值记录下来。

(6) 关闭仿真开关，删除 R1、R2、R3、XMM1 及 XMM2；从电子仿真软件 Multisim10.0 基本界面右侧调出虚拟函数信号发生器和虚拟示波器，将虚拟函数信号发生器设置成幅值为 1V，频率为 500Hz 的正弦波接入同相滞回比较仿真电路，如图 13 所示；

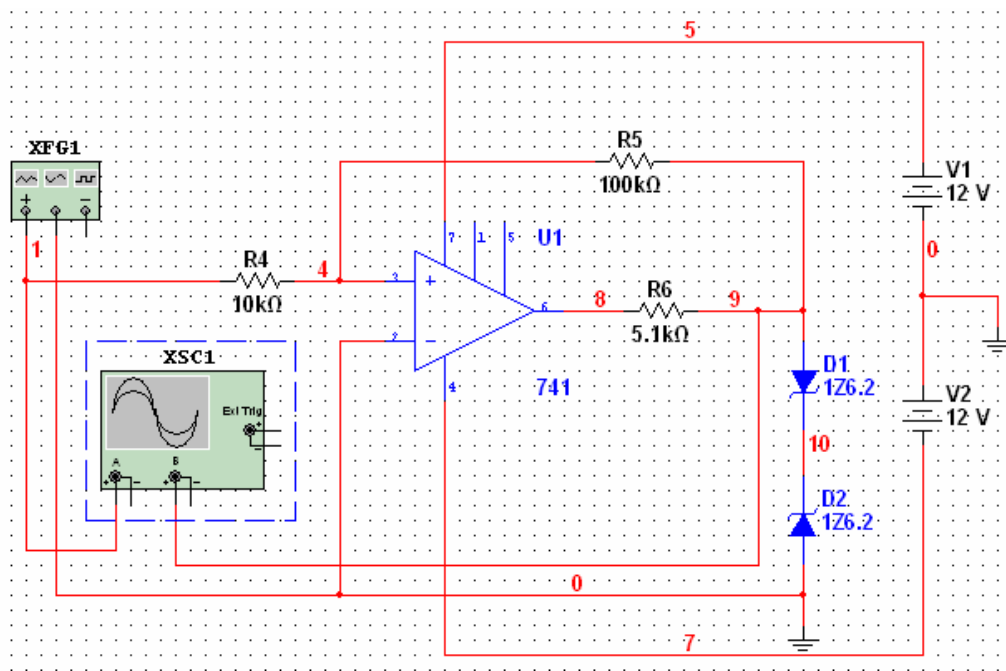


图 13

(7) 打开仿真开关，观察同相滞回比较仿真电路的输入、输出波形。

(8) 抓图并保存。

(四) 实验结果处理：

- 1、整理测量数据表格，完成表 1、表 2。
- 2、思考并写出你对集成运算放大器之特性的理解。

实验十一 集成非门、与门、或门、与非门

(一) 实验目的：

- 1、了解基本门电路逻辑功能的测试方法；
- 2、加深对基本门电路的逻辑功能的理解。

(二) 实验步骤：

1. 非门

(1) 单击电子仿真软件 Multisim 10.0 基本界面上侧真实元件工具条的“TTL”按钮，如图 11-1 所示，从弹出的“Select a Component”对话框中选取非门 74LS04N，如图 11-2，单击“Select a Component”对话框中的“OK”按钮，在电子平台的空白处单击左键，将出现如图 11-3 所示对话框，单击“A”选项，将出现的非门 74LS04N 放置在电子平台上（注：如需要再调出第二个非门，可以继续单击“B”选项，以此类推）。单击“Cancel”按钮退出，又弹出“Select a Component”对话框，单击“Close”关闭。

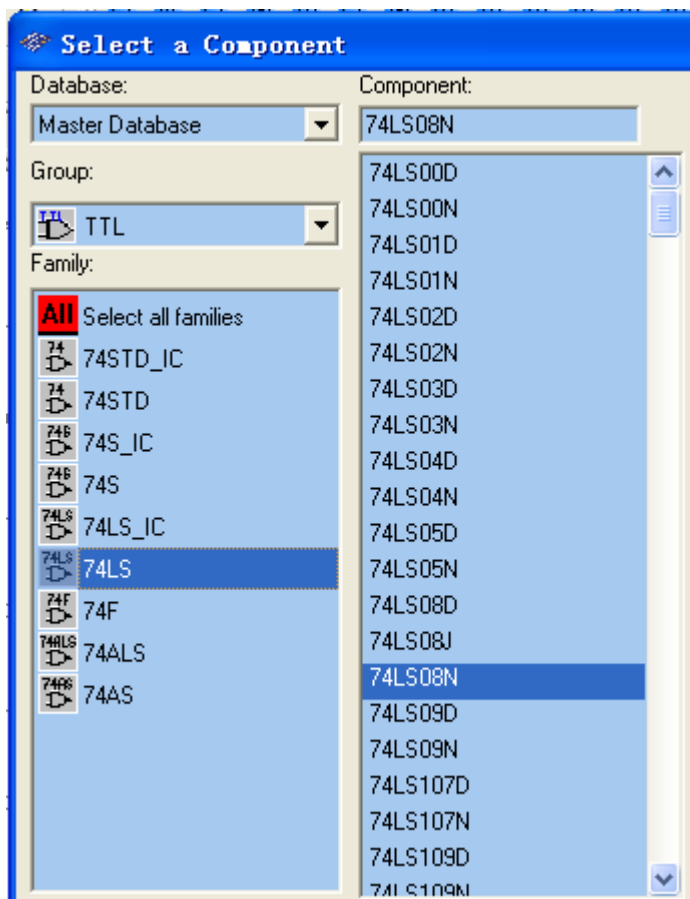


图 11-2



图 11-1

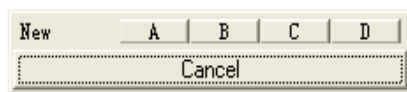


图 11-3



图 11-4

(2) 单击真实元件工具条的“Source”按钮，如图 11-4，将弹出“Select a Component”对话框，在列表中选择直流电源 VCC，如图 11-5，单击“OK”按钮，将 VCC 5V 电源放置在电子平台上。

(3) 单击真实元件工具条的“Basic”按钮，如图 11-6，将弹出“Select a Component”对话框，在列表中选择单刀双掷开关 SPDT，如图 11-7，单击“OK”按钮，将单刀双掷开关“J1”调出放置在电子平台上。双击“J1”图标，将弹出的对话框“Switch”中的“Key for Switch”栏设置成“A”，如图 11-8，单击对话框下方“OK”按钮退出。

(4) 单击右侧虚拟仪器工具条“Multimeter”按钮，如图 11-9，调出虚拟万用表“XMM1”放置在电子平台上。

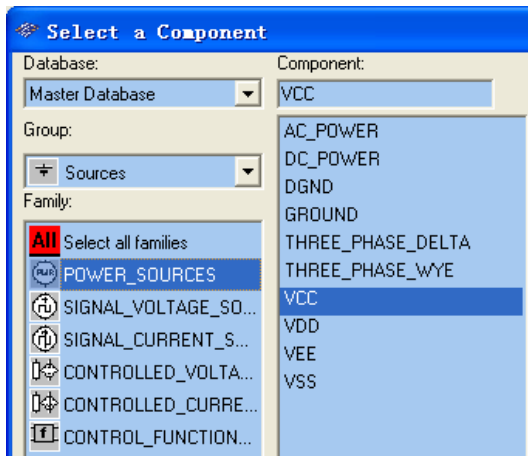


图 11-5

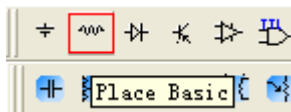


图 11-6

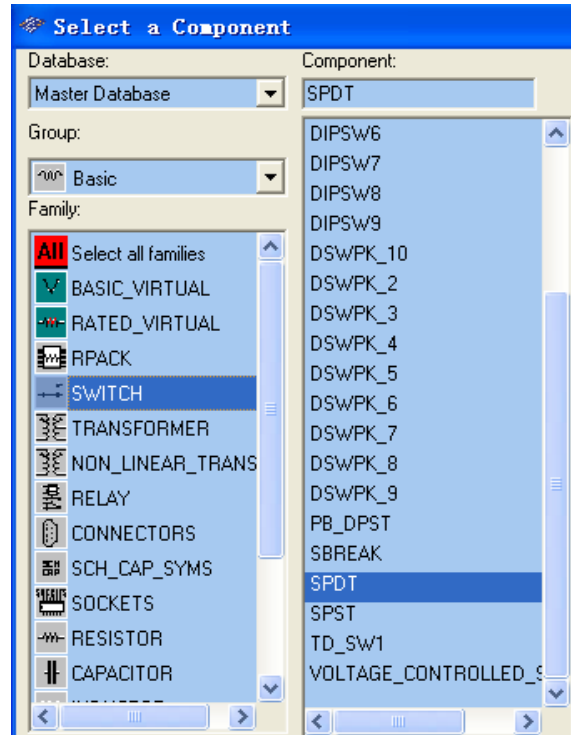


图 11-7

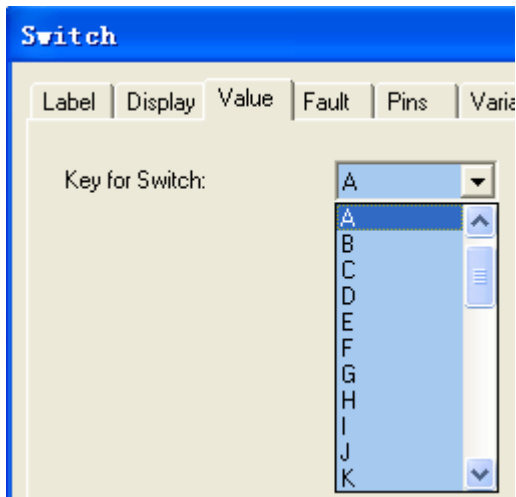


图 11-8



图 11-9

(5) 将所有元件和仪器连成仿真电路如图 11-10 所示。单击虚拟元件工具条的“Ground”按钮，如图 11-11，调出接地符号，在图 11-10 中将虚拟万用表负接线柱接地。

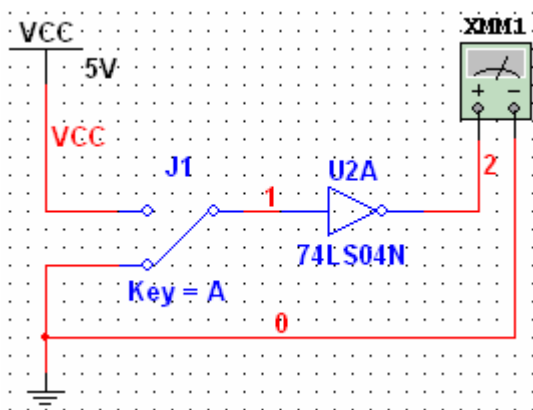


图 11-10

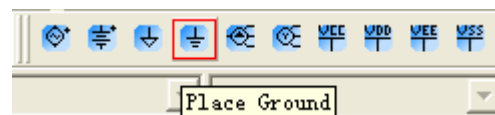


图 11-11

(6) 双击虚拟万用表图标“XMM1”，将出现它的放大面板，按下放大面板上的“电压”和“直流”两个按钮，将它用来测量直流电压，如图 11-12。



图 11-12

(7) 打开仿真开关，按表 11-1 所示，按动“A”键，让非门输入端取表中两种情况，从虚拟万用表的放大面板上读出各种情况的直流电位，将它们填入表中，并将电位转换成逻辑状态填入表中。

表 11-1 非门的逻辑功能

| 输入端 | 输出端 | |
|-----|--------|------|
| A | 电位 (V) | 逻辑状态 |
| 0 | | |
| 1 | | |

2. 与门

- (1) 关闭测试非门的仿真开关。
- (2) 将电路图中的非门删除，按照步骤 1 (1) 重新调出与门元件 74LS08N，将其放置在电子平台上。
- (3) 按照步骤 1 (3) 再调出一个单刀双掷开关“J2”，并将其控制按键设置成“B”。
- (4) 将所有元件和仪器连成仿真电路如图 11-13 所示。

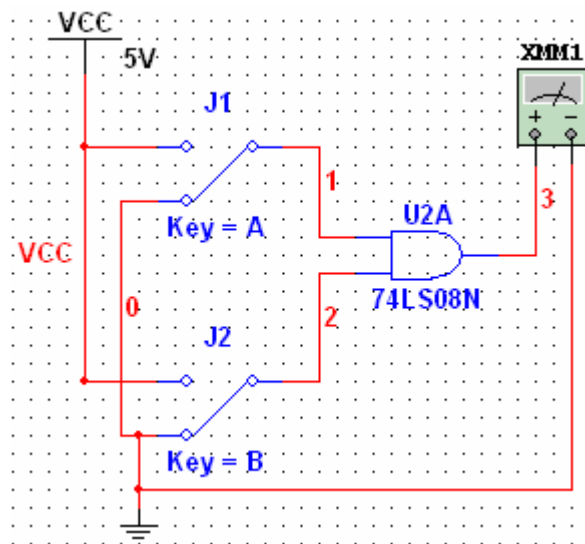


图 11-13

(5) 打开仿真开关，按表 11-2 所示，分别按动“A”和“B”键，使与门的两个输入端为表中四种情况，从虚拟万用表的放大面板上读出各种情况的直流电位，将它们填入表中，并将电位转换成逻辑状态填入表中。

表 11-2 与门的逻辑功能

| 输入端 | | 输出端 | |
|-----|---|--------|------|
| A | B | 电位 (V) | 逻辑状态 |
| 0 | 0 | | |
| 0 | 1 | | |
| 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | | |

3. 或门

- (1) 关闭测试与门的仿真开关。
- (2) 将电路图中的与门删除，按照步骤 1 (1) 重新调出或门元件 74LS32N，将其放置在电子平台上。

(3) 将所有元件和仪器连成仿真电路如图 11-14 所示。

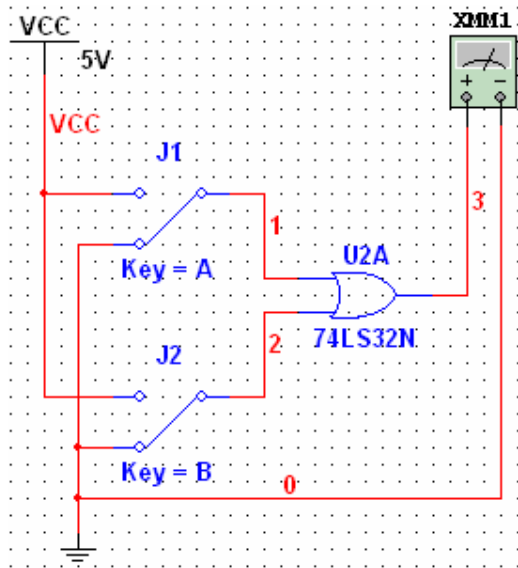


图 11-14

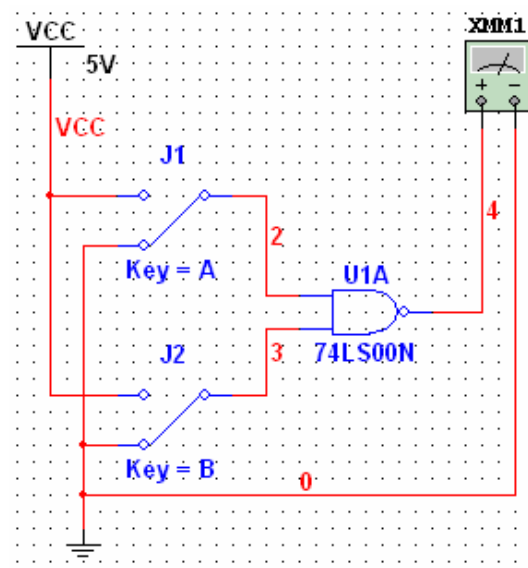


图 11-15

(4) 打开仿真开关，按表 11-3 所示，分别按动“**A**”和“**B**”键，使与门的两个输入端为表中四种情况，从虚拟万用表的放大面板上读出各种情况的直流电位，将它们填入表中，并将电位转换成逻辑状态填入表中。

表 11-3 或门的逻辑功能

| 输入端 | | 输出端 | |
|-----|---|--------|------|
| A | B | 电位 (V) | 逻辑状态 |
| 0 | 0 | | |
| 0 | 1 | | |
| 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | | |

4. 与非门

(1) 关闭测试或门的仿真开关。

(2) 将电路图中的或门删除，按照步骤 1 (1) 重新调出与非门元件 74LS00N，将其放置在电子平台上。

(3) 将所有元件和仪器连成仿真电路如图 11-15 所示。

(4) 打开仿真开关，按表 11-3 所示，分别按动“**A**”和“**B**”键，使与门的两个输入端为表中四种情况，从虚拟万用表的放大面板上读出各种情况的直流电位，将它们填入表中，并将电位转换成逻辑状态填入表中。

表 11-3 或门的逻辑功能

| 输入端 | | 输出端 | |
|-----|---|--------|------|
| A | B | 电位 (V) | 逻辑状态 |
| 0 | 0 | | |
| 0 | 1 | | |
| 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | | |

(四) 实验结果处理:

- 1、整理测量数据表格，完成表 11-1、11-2、11-3、11-4。
- 2、依据测试结果，总结思考并写出你对集成运算放大器之特性的理解。
- 3、总结和讨论使用电子仿真软件 Multisim10.0 的体会和感受。