



同濟大學  
TONGJI UNIVERSITY

# 电子电路课程设计报告

学院：电子信息工程学院

专业：电子信息工程

学号：1951706

姓名：黄锴康

完成时间：2021/7/22

## 一、 电路设计

### 1.1 设计功能

我们希望设计一个电路完成以下目标：(1)测量直流电压和交流电压，电压的量程为 2V、20V、200V 三挡。(2)测量电阻，电阻的量程为 2k、20k、200k、2M。(3)测量结果通过八段数码管显示，且显示位数为三位半。(4)增添测量电流电路。

## 二、 原理分析

### 2.1 电路总体框架图

根据上述功能我们得出电路的框架图如下：

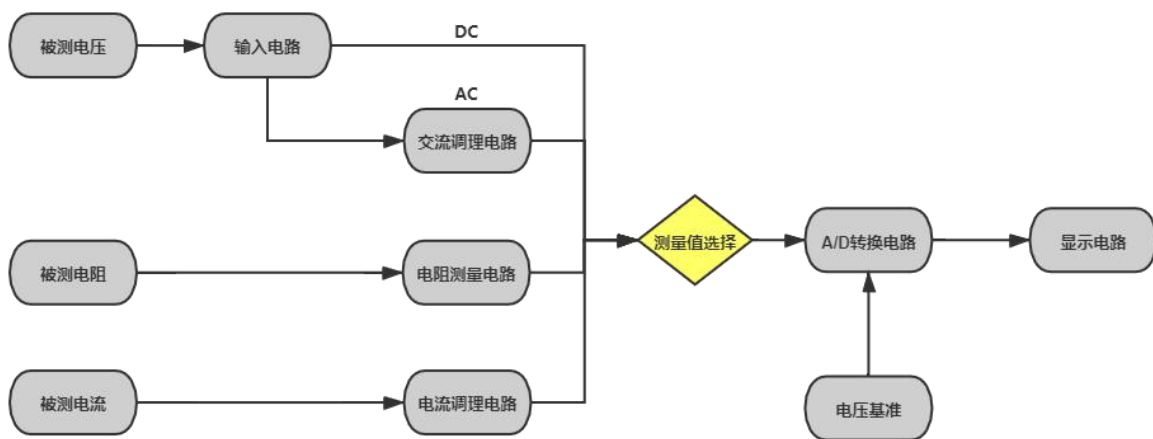


图 1.电路框架图

### 2.2 电源滤波电路

本电路板采用±5V 双极性电源的供电方式，电源由实验箱提供，由于电源本身较为稳定，因此在实验电路上滤波的部分不需要过于复杂。电源滤波的作用是：是防止设备本身产生的电磁干扰进入电源线，同时防止电源线上的干扰进入设备。

在此滤波电路本质是低通滤波器，通过采用旁路电容接地的方法旁路电容设计在电源管脚根部，将电源相对高频的部分通过低阻抗的通路到地，从而将高频干扰部分过滤。

### 2.3 测电压输入电路

本模块由三部分组成，其一是电压分压器，由于选择不同量程的电压测量值。通过电阻的分压保证输入端为 2V，在下文参数计算部分将会详细阐述电阻的选值。

其二是保护电路，由两个二极管组成和 100k 欧姆电阻组成，防止电流过大损坏运算放大器。

其三是电压跟随器，通过将运算放大器的反相输入端与输出端相连，得到放大倍数为 1 的放大器。由于理想运算放大器输入阻抗无穷大，输出阻抗无穷小，可以有效用于信号的隔离，防止对下一级电路的干扰。

$$V_{out} = V_{in}$$

## 2.4 测电阻输入电路

本模块主要由反比例运算放大器组成，通过量程不同输出不同的电压值，由以下公式决定输出的电压值：

$$V_{Rx} = - \frac{R_x}{R_{\max}} V_{ref}$$

$R_{\max}$  的值由不同的量程决定。

## 2.5 交流调理电路

调理电路设计的目的是：在模拟信号接入 AD 模块之前，需要将信号通过电压、电流互感器调理到 DSP 片内 AD 允许的输入范围之内(0.0V~3.0V)，同时为了防止信号的干扰和混叠，必须对变换后的信号进行滤波处理，将高次谐波滤除掉。

本模块是全波整流电路，其输出电压是输入电压的绝对值，因此也叫绝对值电路。主要由两部分构成，其一是由运放和二二极管组成的半波精密整流电路，其二是滤波定标点路。

下图为半波整流电路原理图，在本实验中二极管与下图相反，因此输出波形极性相反。输入端为反相输入端，当输入信号大于零时，VD2 导通，VD1 截止，相当于电压跟随器，输出电压值为零；当输入信号小于零时，VD1 导通，VD2 截止，相当于电路为反相放大器模式，对半波信号倒相输出。

$$u_0 = \begin{cases} 0, & \text{当 } u_1 \geq 0 \text{ 时} \\ \frac{R_f}{R_t} |u_1|, & \text{当 } u_1 < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

最终得到如下公式：

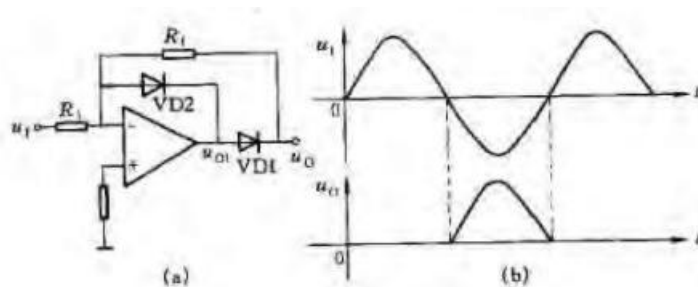


图 2.半波整流电路原理图

滤波定标电路反相放大器并联  $10\mu\text{F}$  的极性电容，在半波周期内，电容不断充放电，使得输出电压维持相对稳定值。注意要求输入信号的频率不能过高，在 Multisim 中测试当输入信号约为 1Mhz 时，不能正常调理交流电路。

## 2.6 基准电压电路

基准电压电路的主要功能是将 5V 电源供电稳压为 2.5V，便于后续电路测量。本电路中使用的稳压模块是 TL431,可等效为稳压二极管。该模块是并联稳压集成电路，可编程输出电压为 2.5V~36V，而误差相对较小，为  $\pm 0.4\%$ 。

同时设置基准电压选择开关，便于后续电路调试与基准电压的选择。

## 2.7 基本测量电路

测量电路使用 MC14433 芯片，这是一款 31/2 位 A/D 转换器，其中集成了双积分型 A/D 转换器所有的 CMOS 模拟电路和数字电路。它具有外接元件少、输入阻抗高、功耗低、电源电压范围宽、精度高等特点，并且具有自动校零和自动极性转换功能，只要外接少量的阻容元件即可以即可构成一个完整的 A/D 转换器。

由于 MC14433 芯片模拟电压的输入量程只有 1.999V 和 199.9mV 两档，因此要保证输入电压值在量程以内。在本设计中由于我们选取量程为 1.999V 挡，因此我们外接积分元件  $R_t$  和  $C_t$  为  $0.1\mu\text{F}$  的电容和  $470\text{k}\Omega$  的电阻。C01 和 C02 外接  $0.1\mu\text{F}$  的失调补偿电容。CLK1 和 CLK0 为时钟外接元件端我们接入  $300\text{k}\Omega$ ，保证时钟频率为  $66\text{kHz}$ 。同时我们将 DU 和 EOC 端接一起，使得电路每转换一次，更新一次显示示数。输出端 DS 信号为选通信号，Q 信号为 BCD 数据码输出信号，OR' 为过量程显示标志位，当  $V_x > V_{\text{ref}}$  时，输出低电平。将以上信号依次接入数位管。

## 2.8 显示电路

显示电路由共阴数位管、显示译码器和选通驱动电路组成。显示方式采用动态显示的方式，即每次只有一个数位管是使能的。CD4511 为数位管译码器，4 位输入，8 位输出高电平；其中 BI' 为灭屏控制端，当量程超过参考值时，数位管全灭。

在实际实验中我们使用 ULN2003A 代替 MC1413，该芯片的本质就是一个保护开关，COM 管脚接地，当输入电压过大时，三极管起到泄流作用从而保护电路。

数位管使用 4 个分立的七段数位管，实际上将 4 个数位管直接焊接在一起会大程度降低电路焊接的难度。数位管对应的引脚图如下所示。

## 2.9 电流测量电路

由于我们希望测量电流为高频小信号，电流较小但频率范围从直流到高频均有，因此采用分流电阻测量电流的方法。同时分流电阻的测量方法分为高端测量和低端测量两种方法，其示意图如下：

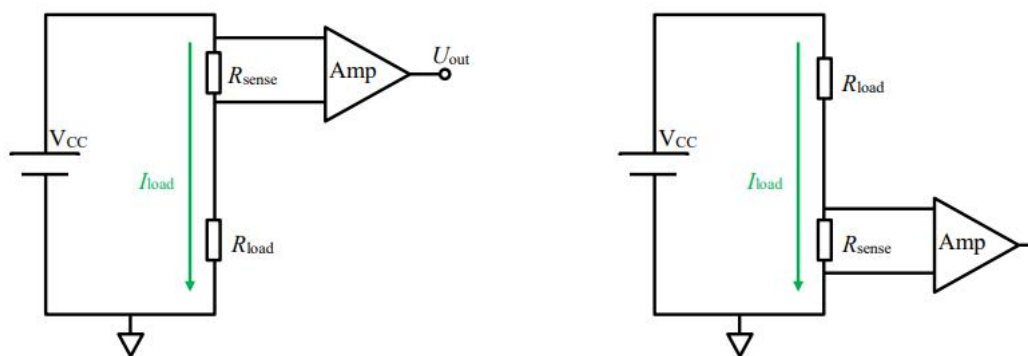


图 3. 高端电流测量（左）与低端电流测量（右）

高端测量保证负载具有稳定的 GND，保证负载的稳定工作，缺点就是测量运算放大器必须承受较高的共模电压；低端电流测量不存在运算放大器承载高共模电压，但影响负载的正常工作。考虑到后续电路有多级运算放大器与 IC 芯片，因此设计采用高端电流测量。

值得一提的是分流电阻应采用特定电阻，以防止电流频率过高后产生等效电感，其示意图如下：

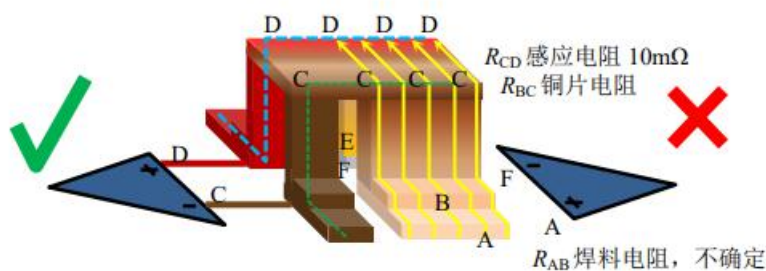


图 4.感应电阻示意图

下图为一般电流检测电路示意图：

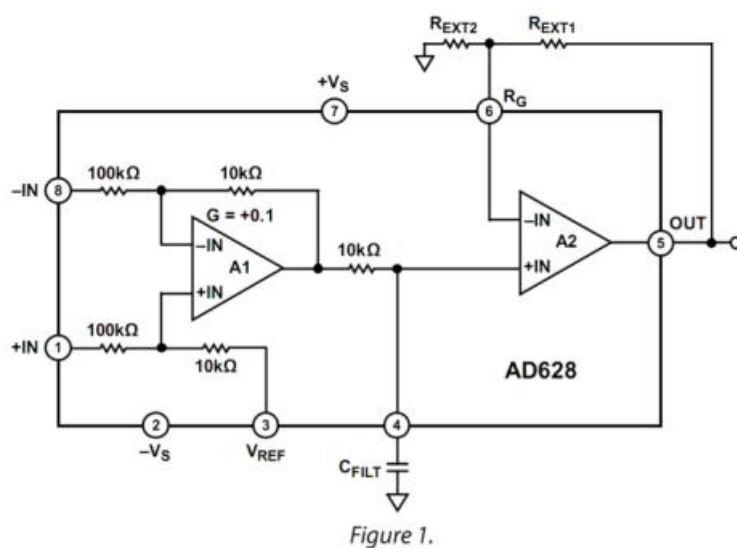


图 5.一种电流检测电路

### 三、 参数计算

#### 3.1 电压分压器

电压分压器采用电阻分压的方式，用 9.1MΩ、910kΩ、100kΩ 和 1kΩ 电阻组成分压网络。不同量程的分压网络接近 1:10，电阻值的误差可以直接决定量程的误差大小。

#### 3.2 测电阻分压

电阻不同量程的选择是通过选择接入运算放大器反相输入端电阻大小来实现的。因此选择 2kΩ、18kΩ（与先前电阻相加为 20k 欧姆，以下同理）、180kΩ 和 1.8MΩ。

#### 3.3 电容选择

在设计电路的过程中我们使用了三种电容，一种是独石电容(黄色)，一种是铝电解质电容，还有一种是 CBB 电容。CBB 电容即是聚丙烯电容，其特点是稳定性好，用于要求较高的电路，在本实验中我们将其接在 MC14433 芯片做积分和调零电容；独石电容具有可靠性高和电容量大等优点，在本电路中用作滤波和旁路电容；铝电解质电容是具有极性的电容，在接入电路时由需要注意电容极性的正负，带有极性的电容值较大，在本实验中用作电源滤波和交流调理电路滤波。

## 四、 电路原理图及仿真

### 4.1 电源模块仿真

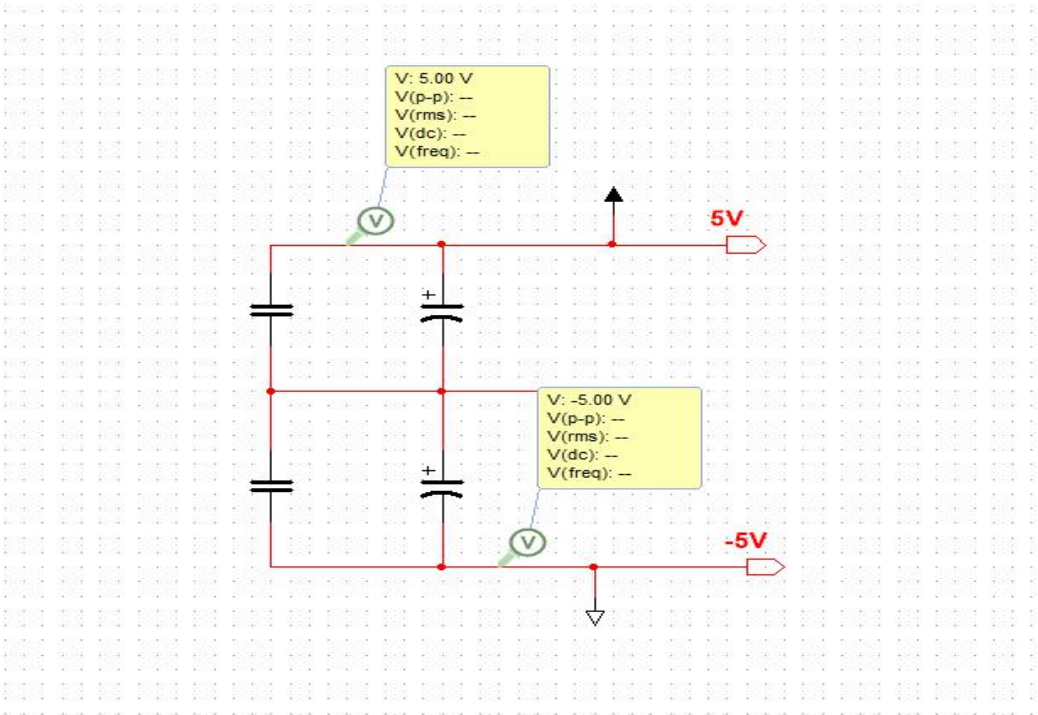


图 6.电源模块仿真及示数

### 4.2 测电压输入电路

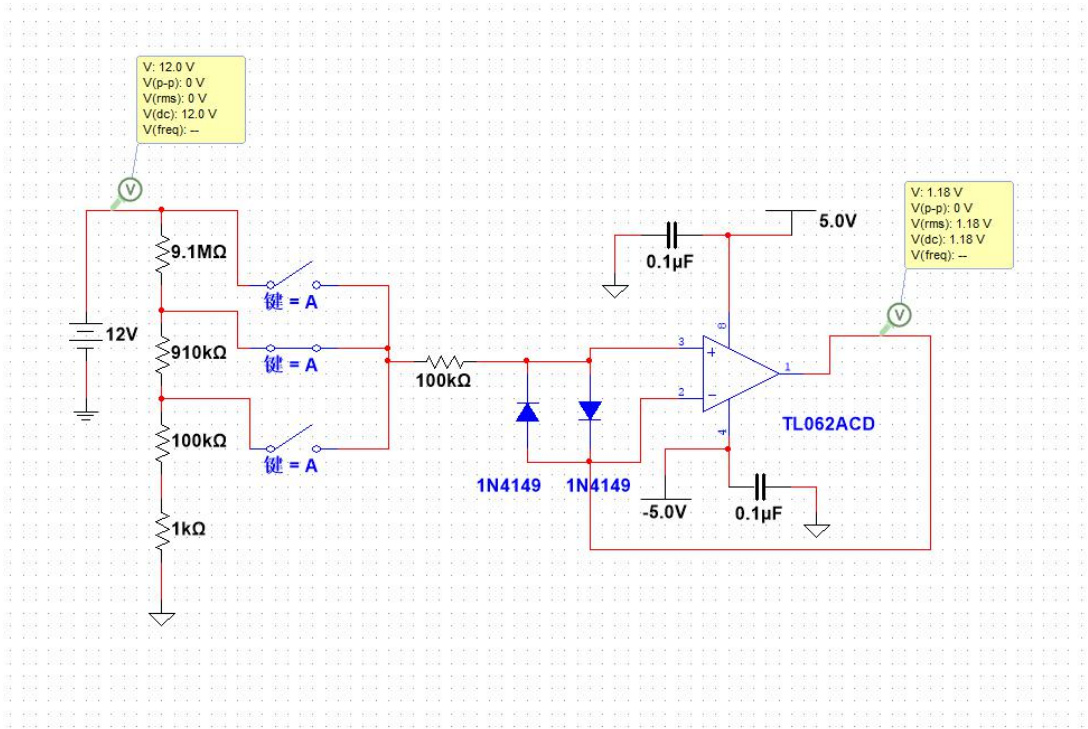


图 7.电压输入仿真及示数



通过不同量程选择，将运算放大器输出端降为 2V 以下，保证输出电压能被 MC14433 接受。

#### 4.3 交流调理电路

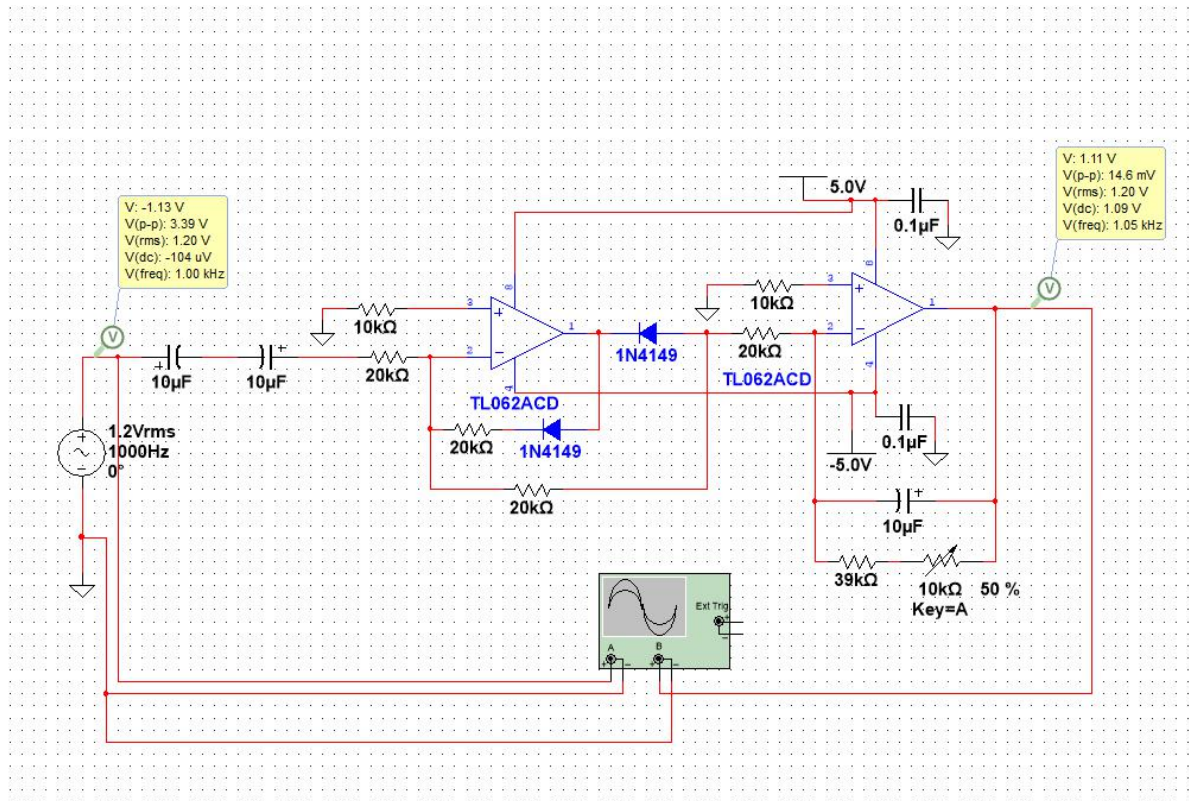


图 8.1 交流调理电路仿真（有效值测量）

由此可见电路有效值输出与输入保持一致。

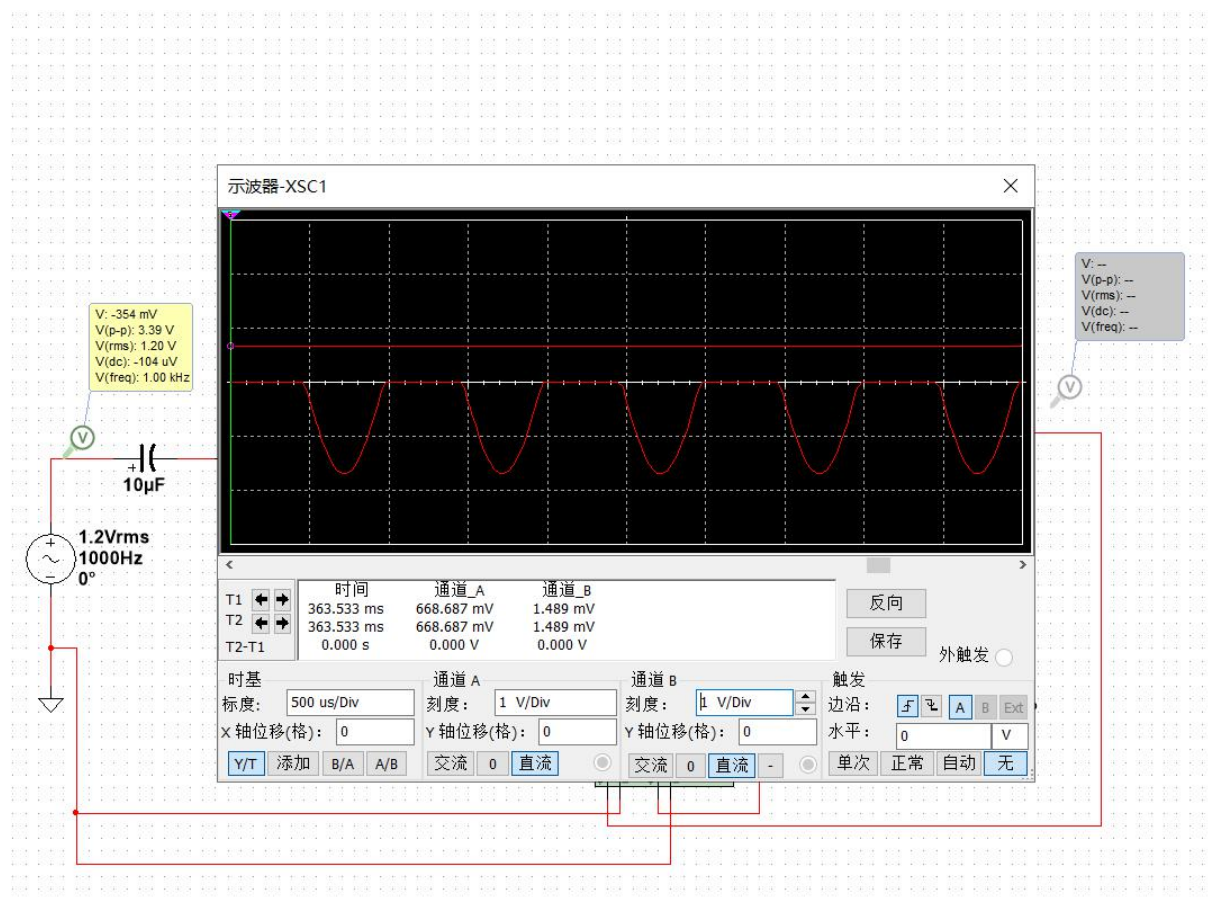


图 8.2 交流调压电路（输出波形与半波整流波形）

上图为半波整流电路和输出电压波形。



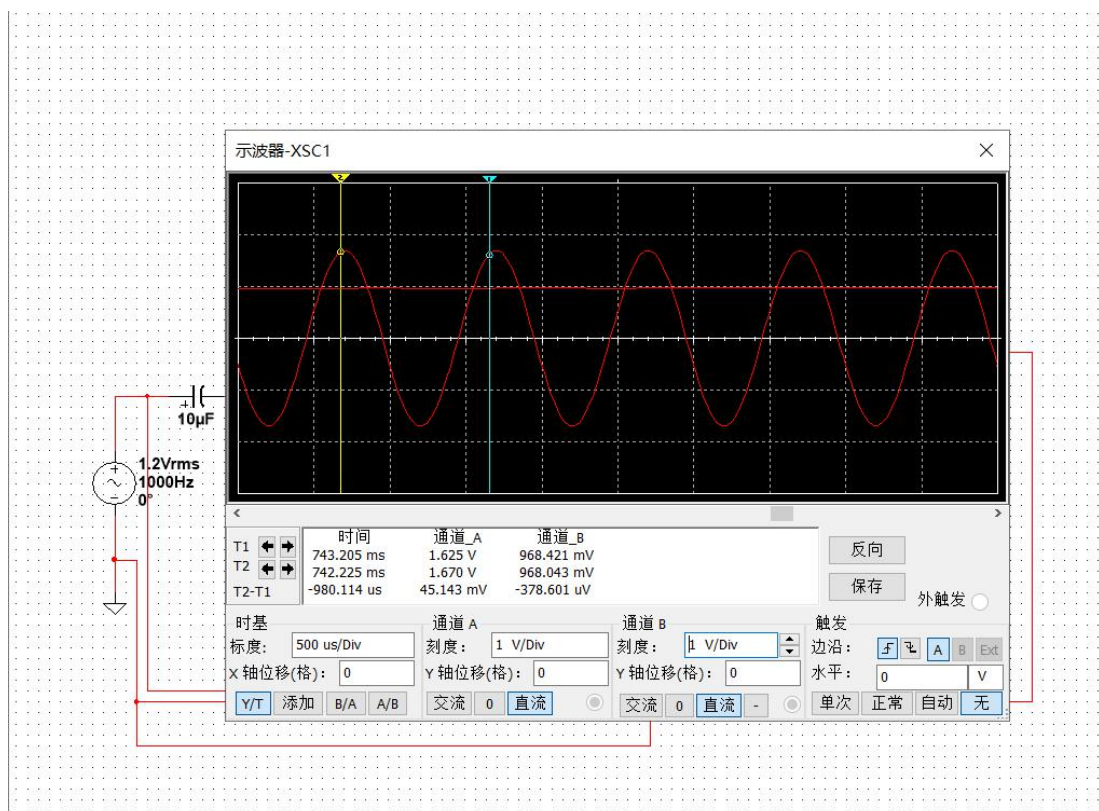


图 8.3 交流调理电路（输出波形与输入波形）

观察示波器波形可知，1kHz 的正弦波信号被转为稳定的直流信号。

#### 4. 4 电阻测量电路

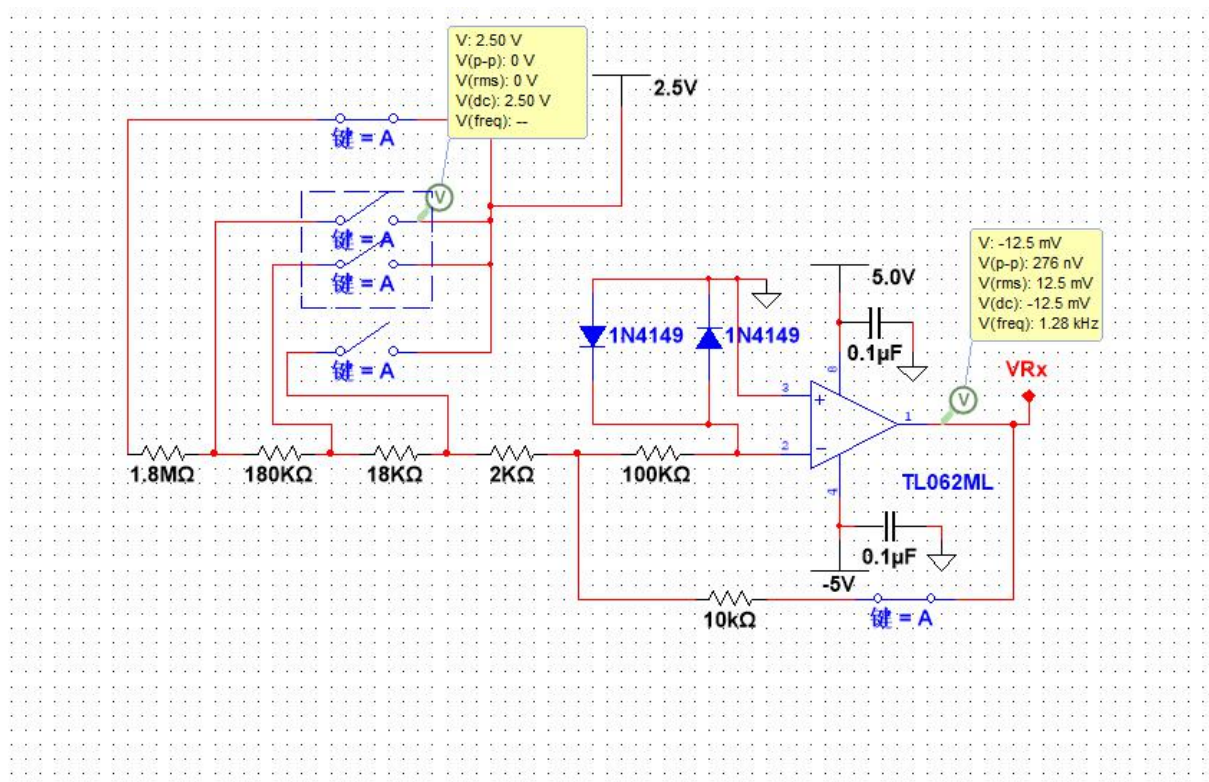


图 9.1 电阻测量电路（2MΩ档）

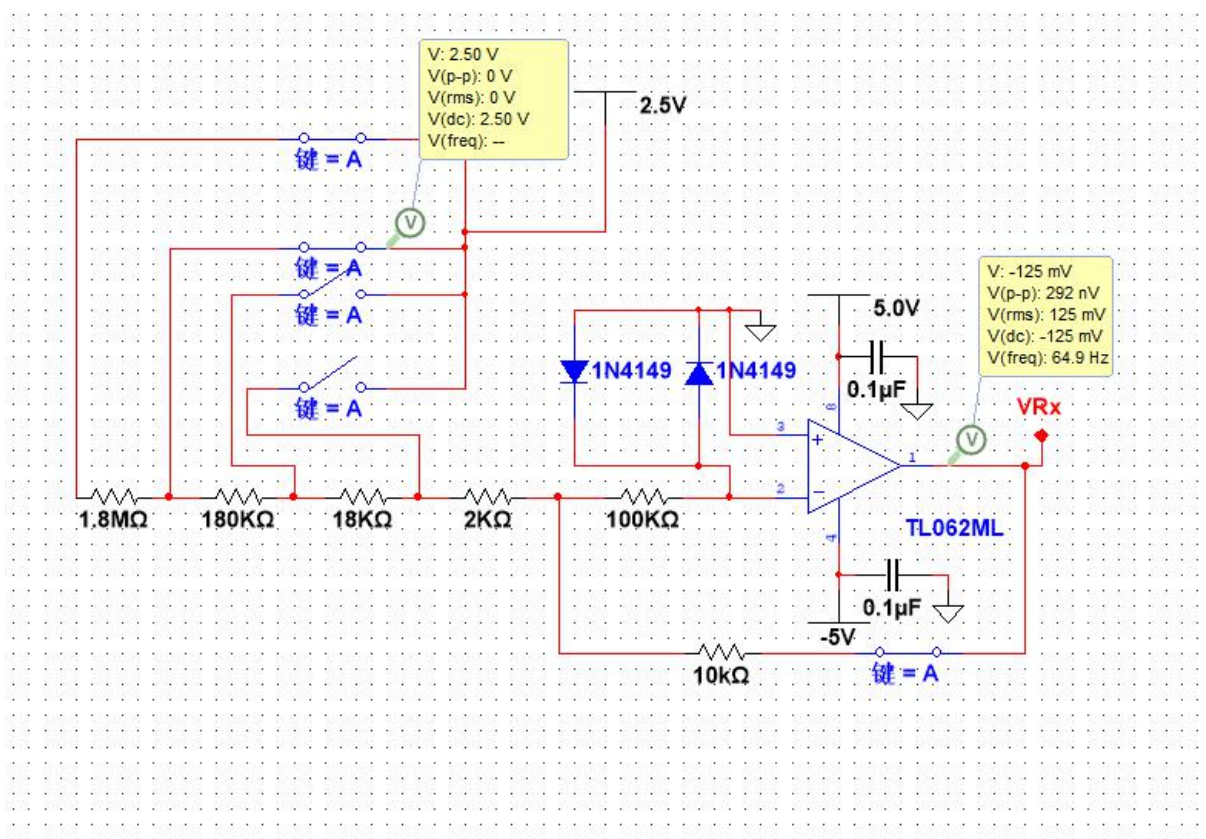


图 9.2 电阻测量电路 (200kΩ档)

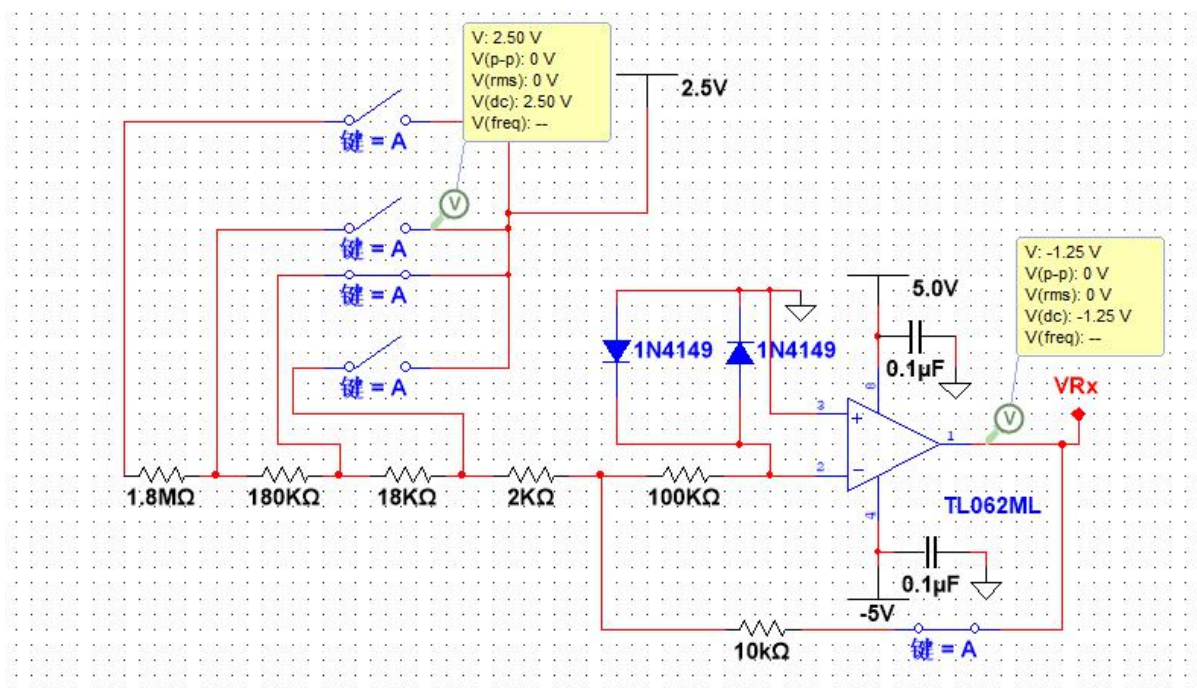


图 9.3 电阻测量电路 (20kΩ档)

上图分别为 2M、200k 和 20kΩ 档位的输出电压，由此可见随着量程的改变，电压输出值向左移位。



## 4.5 稳压模块

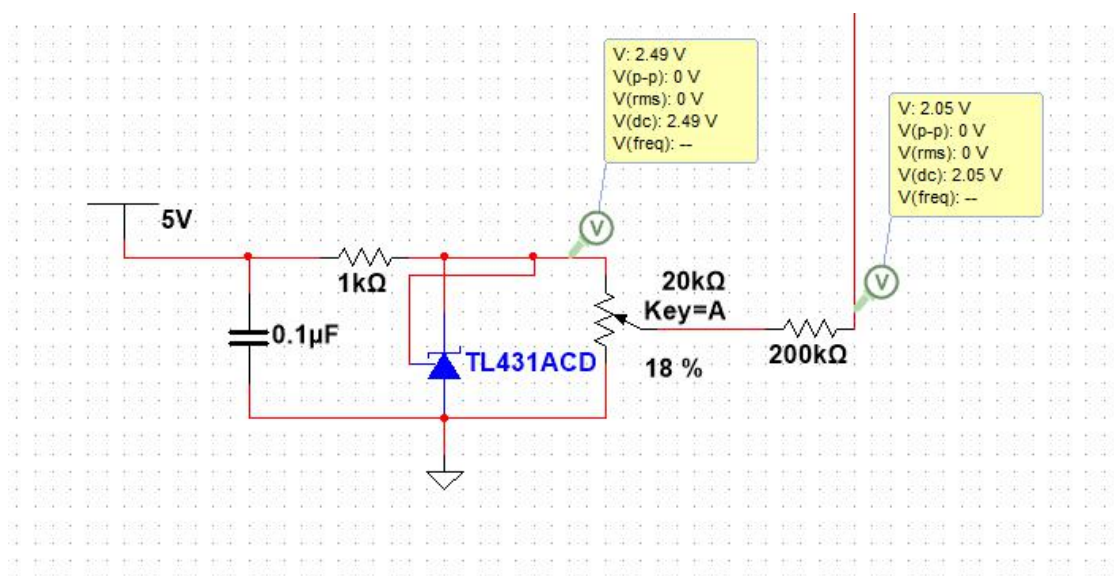


图 10.稳压电路及示数

电压稳压模块稳定为 2V，电压波动值较小

## 4.6 数模转换模块

由于 Multisim 软件内缺少 AD 转换芯片，因此我自己设计一块并联比较型 AD 转换器，忽略由于传输延迟时间产生的误差，仿真如下。

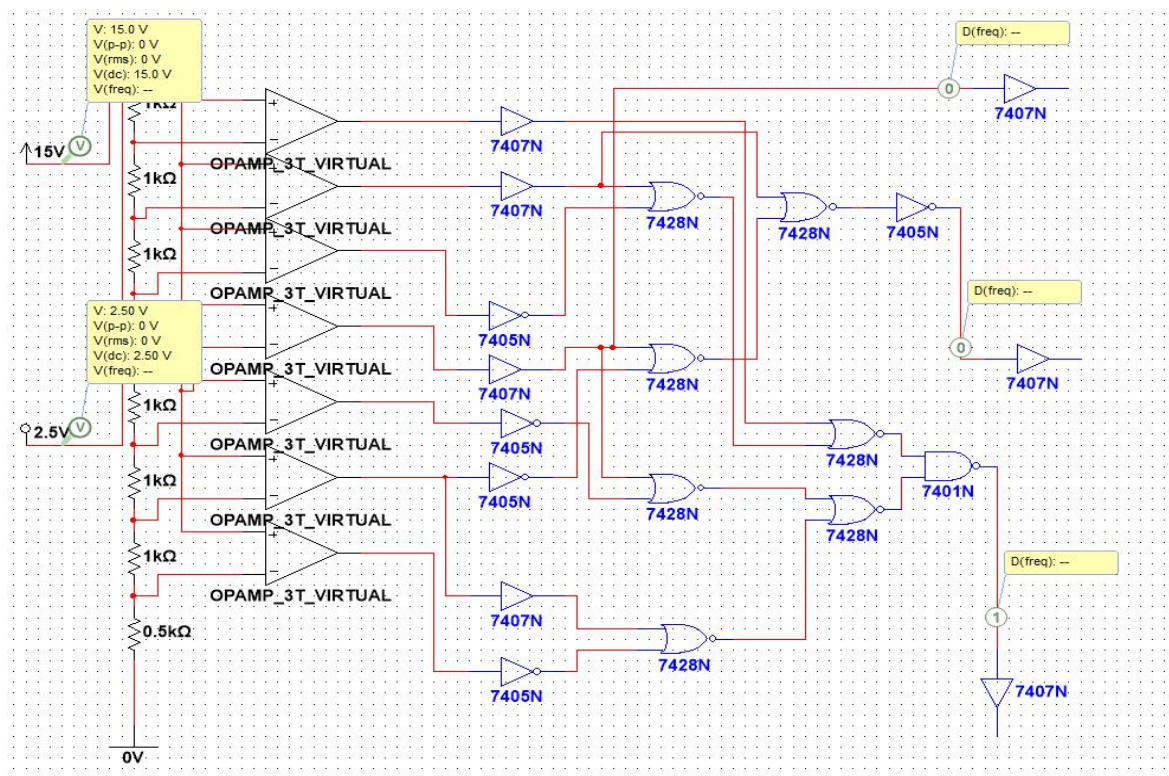


图 10.1 并联比较型 AD 转换器（无寄存器）

我使用LS147 优先译码器增加AD转换的输出位数, 不过为了保证输入电压量程可以达到2V, 基准电压值要上调。

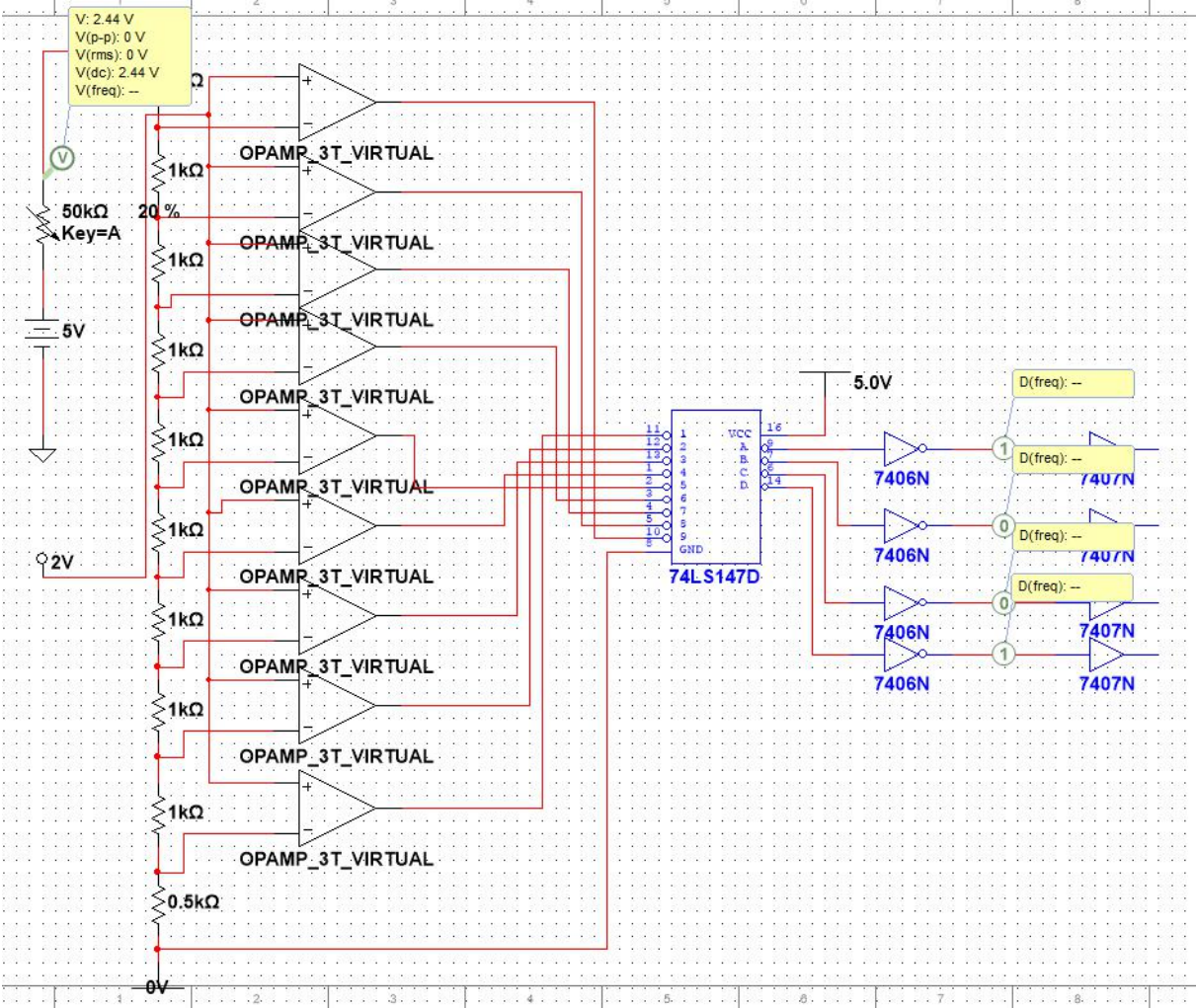


图 10.2 并联比较型 AD 转换器（优先编码器设计）

#### 4.7 显示电路

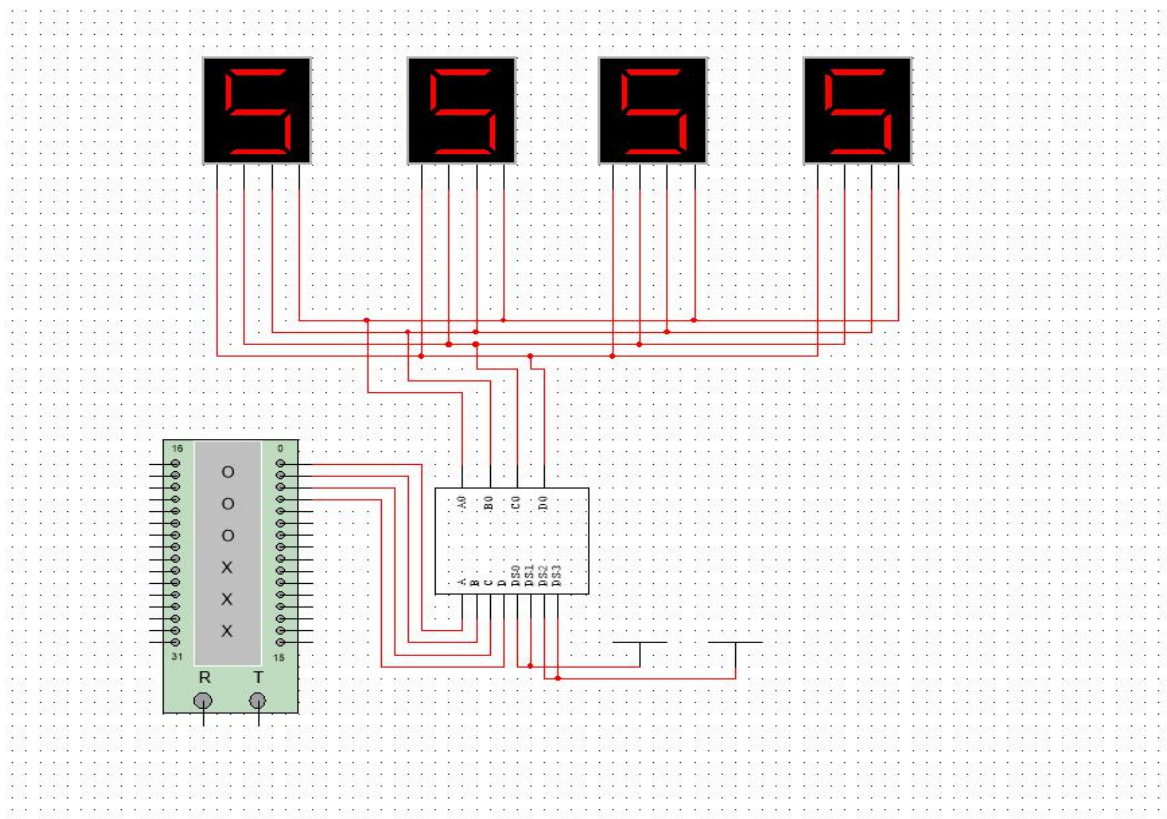


图 11.BCD 码静态数位管显示

数位管仿真采用 BCD 数位管显示并且为静态显示，这一方面仿真效果有待提高。



## 4.8 电流测量

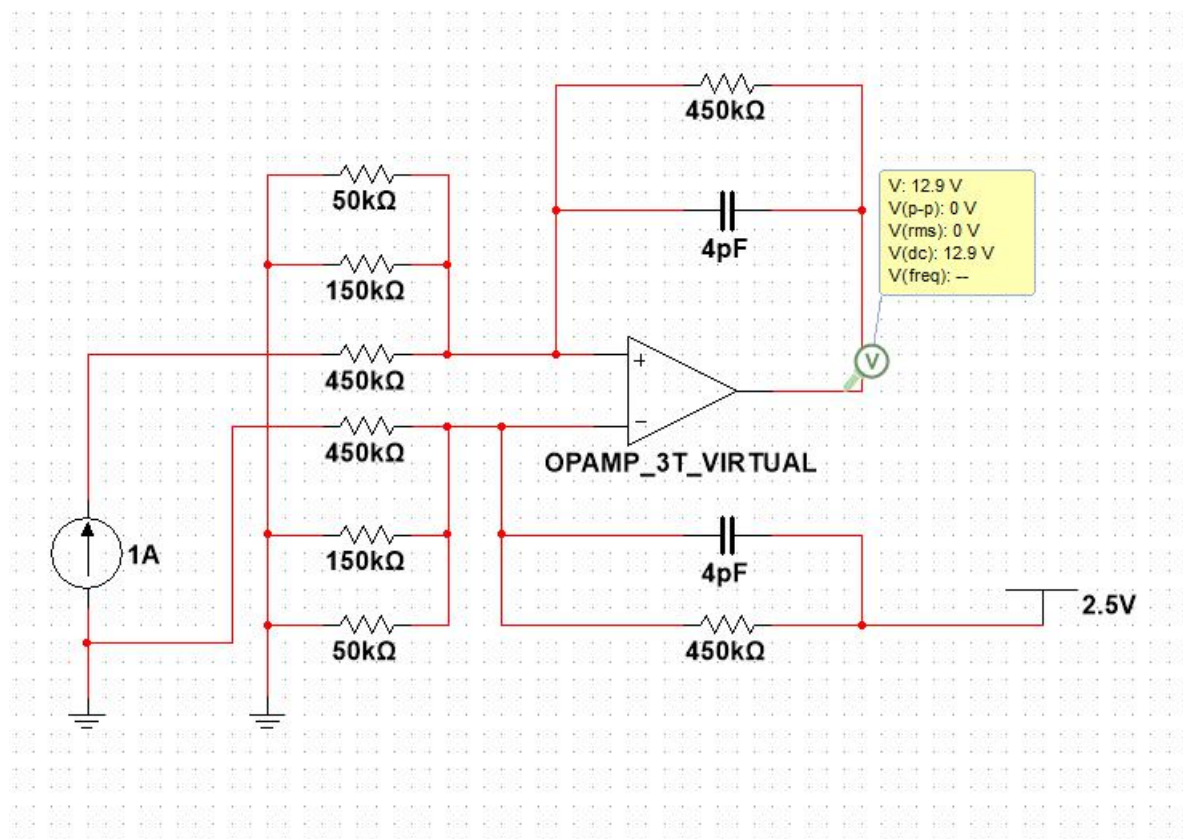


图 11.高端电流测量电路

低端测量电路，使电流信号转化为稳定的电压信号，但仿真结果表明电压信号过大，因此还要继续通过分压模块进行调整。



4.9 整体电路原理图

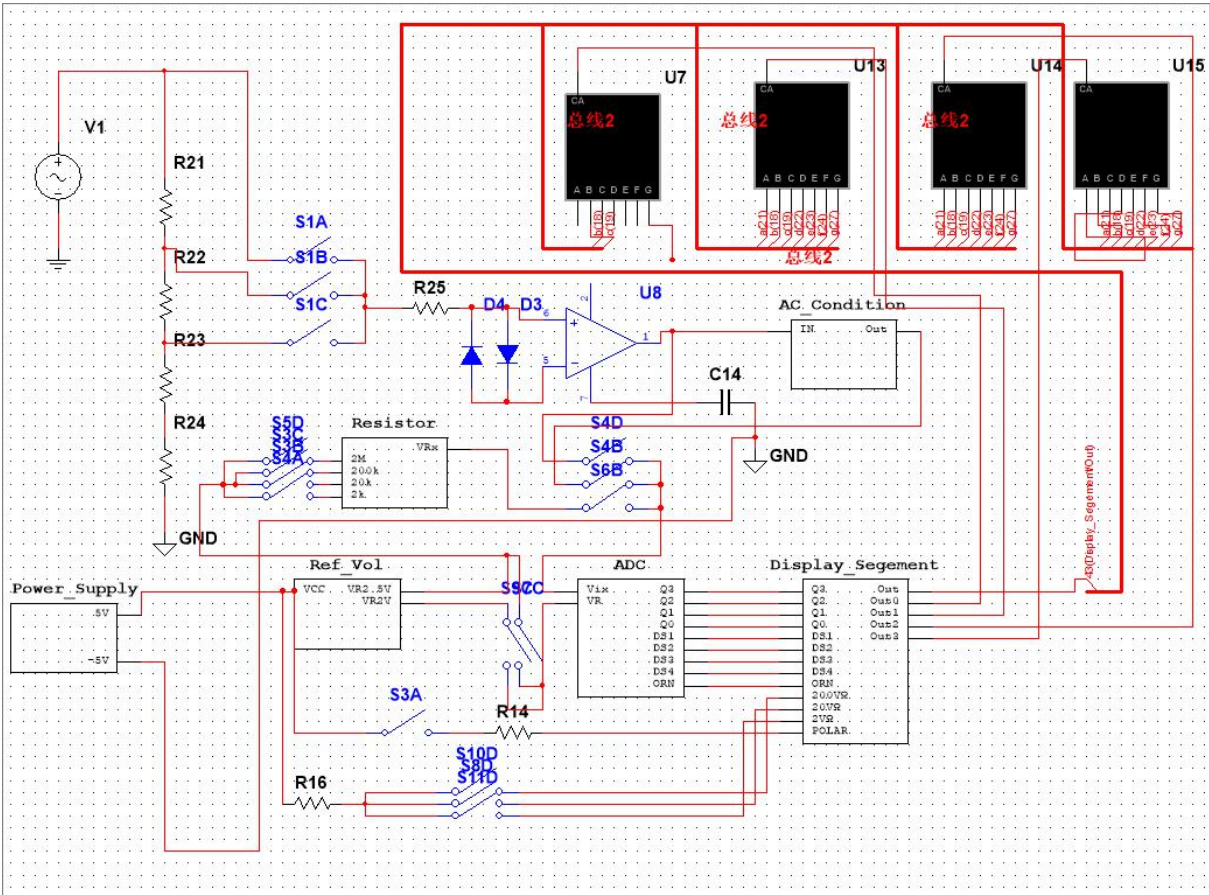


图 11.整体电路仿真模块

以上为 Multisim 模块仿真电路图。

五、 预期目标

5.1 电路基本功能

电路实现 2V、20V、200V 三档交流与直流电压测量，同时可以实现 2k、20k、200k、2MΩ电阻测量。显示示数至少为三位半，并且可以实现电压极性的测量，量程不同可以通过选择不同数位管的小数点显示。

5.2 电路精度要求

基本 2V 测量电路精度要求在 0.5%以内，大量程测量电路的精度取决于分压电阻的精度，要求测量精度在 5%以内。

5.3 电路稳定要求

电路测量结果具有可重复性，并且多次测量结果相对稳定。要求能稳定显示测量数值，这取决于数位管焊接与走线可靠与否。

## 六、 实验验证步骤

### 6.1 调试步骤

- 焊接完成后，用万用表欧姆档检测电源是否有短路和断路，保证芯片插入后不会被烧坏。
- 上电，用手触摸各个芯片，若芯片发热，断电检查。坚决杜绝让芯片一直发热的现象发生，防止芯片烧毁的现象发生。可以在断电的情况下测量芯片各个引脚是否有短路现象发生，从而检查芯片是否正常。
- 调试基准电压为 2V，调好后接入 AD 转换模块，显示极性开关 JP7 短路。
- 选直流 2V 档，输入短路到地，观察显示电路是否正常，尤其注意数位管接线部分是否有虚焊等接触不良情况。若电路能稳定显示零值，则表示数码管、MC14433、CD4511 和 MC1413 芯片正常工作。
- 显示正常时，直流 2v 档基本不用做任何调试即可正常测量。
- 调试 20V、200V 直流档，当 2v 档正常时，此两个量程亦无问题，若误差大，可能输入电阻分压器有问题。
- 选 2V 交流电压档，调试交流调整电路。输入 1kHz、1.5V 左右的正弦波信号值,此时可以通过调整交流调理电路电位器的值使测量值与真实值相匹配。
- 上面电路调试好后，20V、200V 交流电压档无需调整即可使用。
- 电压测量电路调试好后，最后调试电阻测量电路。只要电阻测量电路焊接正确，电阻电路上电即可使用。注意此时电压值为负值,要将 JP7 即极性开关开路。若出现误差,可能原因是 MC14433 模块基准电压设置有问题。