

## 实验一 计量器具（电子秤）模拟通道

班级 计科 210X 姓名 甘晴void 学号 202108010XXX

### 一、实验目的

1. 掌握金属箔式应变片的应变效应，电桥的工作原理。
2. 学会使用应变片原理建立电子称传感器模型。
3. 学会设计电桥、滤波器和放大器。
4. 学会使用模数转换器。
5. 加深对基本原理的认识，提升设计能力。

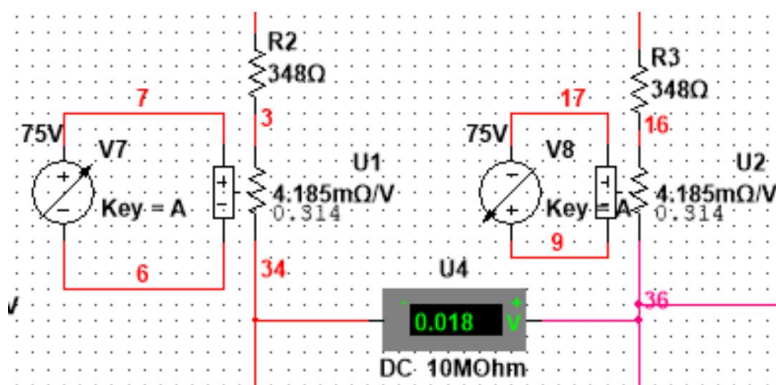
### 二、实验内容

1. 用压控电阻和阻值为 348 欧的电阻一起模拟应变片，设计电桥，使电桥的输出与压控电阻的控制电压成正比例，采用电压表测电桥输出端的电压。

（压控电阻的位置：点击 view--Toolbars--Virtual，然后会跳出一个工具栏，找到电阻，最下面一个就是压控电阻。

压控电阻控制电压（DC\_INTERACTIVE\_VOLTAGE）的位置：点击 place 菜单—>component—>弹出菜单的左上角 database 选 master database，下边的 group 选 sources，再下边的 family 选 signal voltage sources，再选 DC\_INTERACTIVE\_VOLTAGE 即可。

DC\_INTERACTIVE\_VOLTAGE 的使用：单击按键可在仿真过程中按事先设定的比例增加或减少电压值，如 Key=A，那么单击 A 可以增加电压，shift+A 可以减少电压。）



2. 运用 Virtual 3-Terminal Opamp 设计放大电路，要避免电桥对放大电路的影响，使电桥输出放大 100 倍，采用电表或探针测放大器输出电压。

（Virtual 3-Terminal Opamp 的位置：点击 view--Toolbars--Virtual，然后会跳出一个工具栏，找到“Analog Family”，选择放置“Virtual 3-Terminal Opamp”。）

3. 对放大器输出引入热噪声 THERMAL\_NOISE，再采用有源滤波器进行滤波，采用双通道示波器或四通道示波器对比滤波前后的电压波形。THERMAL\_NOISE 的为：

$$V_{rms} (B) = Noise_{ratio} * \sqrt{4kTRB}$$

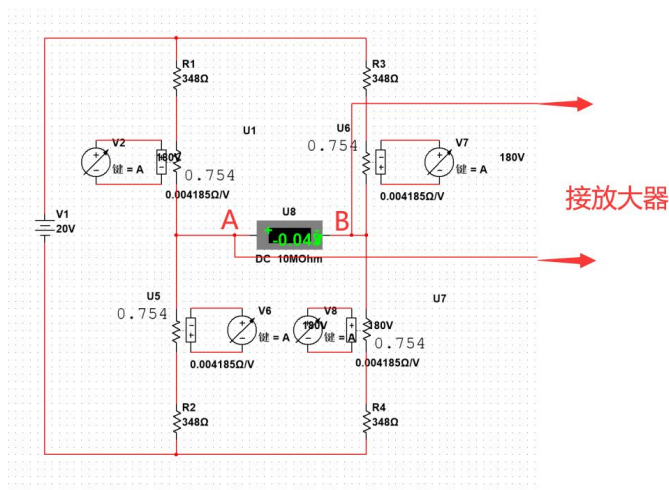
其中：k=Boltzmann's Constant=1.380649 × 10<sup>-23</sup>J/K，温度 T 单位为开尔文  
THERMAL\_NOISE 的位置：点击 place 菜单—>component—>弹出菜单的左

上角 database 选 master database, 下边的 group 选 sources, 再下边的 family 选 signal voltage sources, 再选 thermal noise 即可。

4. 运用 ADC（或者采用积分方法自行设计 AD 转换器）将放大电路的输出转换成数字信号，并进行显示。

### 三、电子秤模拟通道的设计实现

#### 1、电桥的设计实现（从设计原理到具体实现展开介绍）

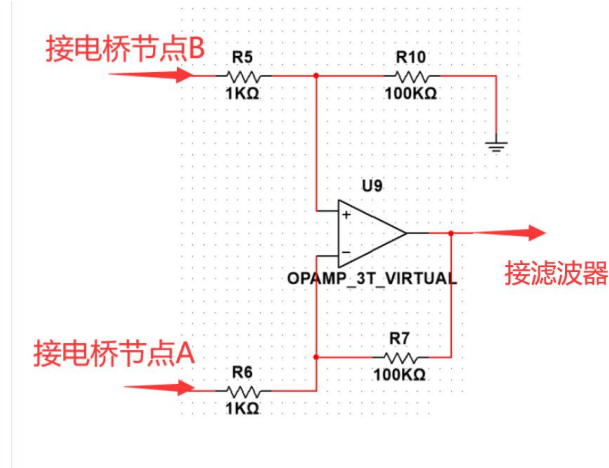


用压控电阻和阻值为 348 欧的电阻一起模拟应变片，设计如图所示的电桥，使电桥的输出与压控电阻的控制电压成正比例。对于上图有

$$\text{电桥电压差} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) * V_1$$

该电压差经过后一步的减法器获得，并通过放大器进行放大。

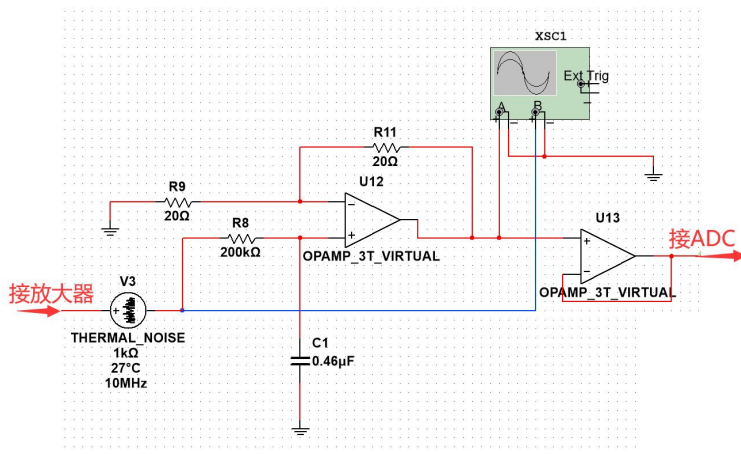
#### 2、放大电路的设计实现（从设计原理到具体实现展开介绍）



根据减法器的原理可以得到放大器放大倍数为 100 倍，输出结果为

$$V_{\text{out}} = \frac{100\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} * (V_B - V_A)$$

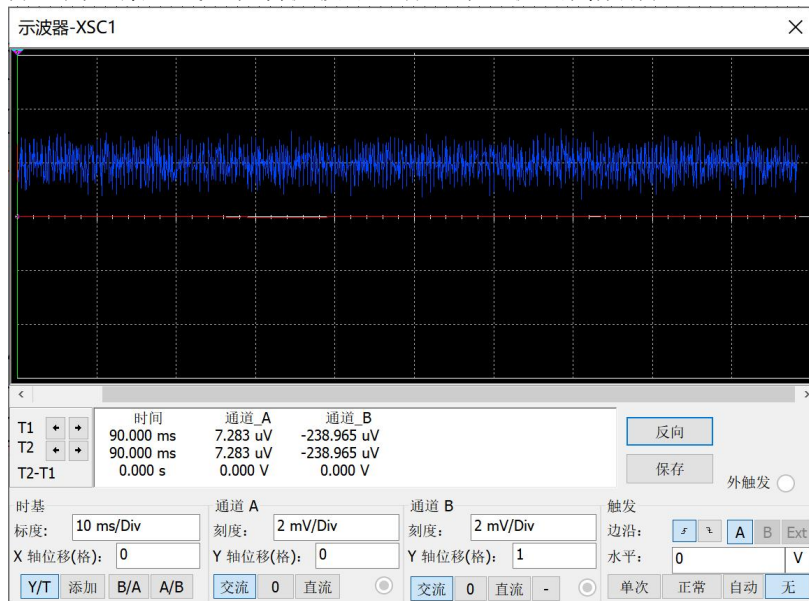
## 3、滤波器的设计实现（从设计原理到具体实现展开介绍）



滤波器由模拟噪声发生源与滤波电路组成。

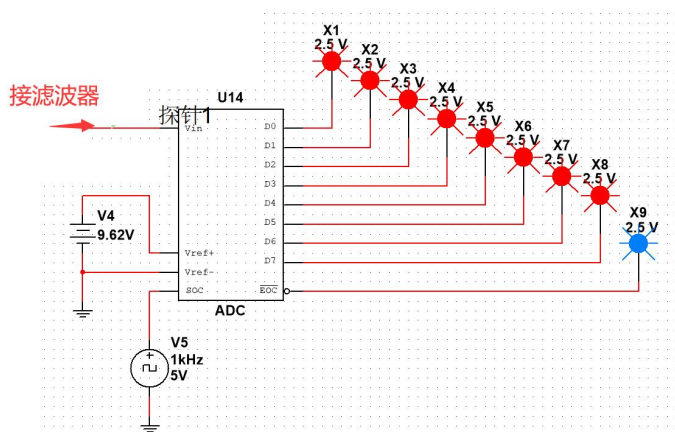
$V_3$ 为噪声发生器，其右侧接了一个有源同相低通滤波器，在滤波的同时按照倍数 $(1 + \frac{R_{11}}{R_9})$ 进行放大，故该部分右端输出将有一个两倍的放大。

示波器 XSC1 的两个 channel 分别接滤波前的部分（A）与滤波后的部分（B），可以很清晰地看到，在同刻度下，未经滤波的信号（蓝色部分）较杂乱，而经过滤波后的信号（红色部分）为一条直线。说明滤波器运行正常且滤去高频噪声。



示波器的每一个 channel 一端接需测量位置，另一端接地。该部分结束后接一个电压跟随器增强该部分的独立性与模块性。

## 4、模/数转换 ADC 的实现（从具体实现展开介绍）



首先介绍各部分的功能：

$V_{in}$  为输入引脚，接转换的模拟量

$V_{ref+}$ 和  $V_{ref-}$ 引脚之间电压成立满量程电压。满量程电压由下式给出：

$V_{ref} = V_{ref+} - V_{refSOC}$  是开始转换的输入，上升沿有效

EOC 为输出引脚，输出低电平，指示转换结束

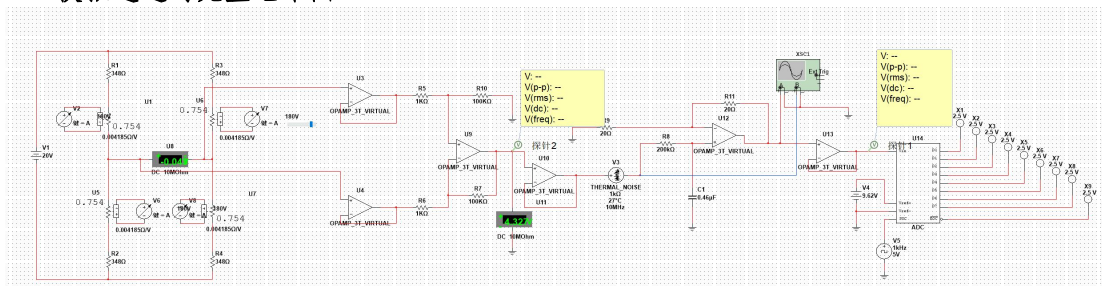
D0 到 D7 为输出引脚，输出模拟量转换的 8 位二进制数。

从左端滤波器获取过滤过噪声的信号之后，接入  $V_{in}$  引脚，根据如下等式可以将电压信号转换为灯泡亮灭的二进制信号。

$$\frac{V_{in}}{V_{ref+} - V_{ref-}} = \frac{(\text{灯泡输出信号})_{10}}{255}$$

在整个电子秤装置加上全满控制电压的时候，根据  $V_{in}$  调节  $V_{ref} = V_{in}$ ，即可满足该条件。

## 5、模拟通道的完整电路图



## 四、实验数据记录

表一 电桥电路测试结果记录表

电桥电压	控制电压	变化的电阻（一个）	电桥输出电压
20V	200V	0	0.048V
	170V	0.12555Ω	0.041V
	120V	0.3348Ω	0.029V

结论：电桥控制电压发生改变，电桥输出电压也发生改变。并且电桥输出电压与控制电压成正比。可以视作为将控制电压变化量通过电桥成功反应到输出端。

表二 放大电路测试结果记录表

电桥输出电压	放大电路 4 个电阻值	运放输出电压
--------	-------------	--------

实验一 计量器具（电子秤）模拟通道

0.029V	1k $\Omega$ , 1k $\Omega$ , 100k $\Omega$ , 100k $\Omega$	2.885V
	10k $\Omega$ , 10k $\Omega$ , 100k $\Omega$ , 100k $\Omega$	0.289V
	50k $\Omega$ , 50k $\Omega$ , 100k $\Omega$ , 100k $\Omega$	0.057V

结论：根据减法器的公式，放大电路工作正常。从电桥来的电压差经过减法器并被放大了100倍。

表三 滤波电路测试结果记录表

运放输出电压	THERMAL NOISE				滤波器参数设定		滤波器输出电压
	Noise ratio	R	T	B	R (R 的个数 滤波器决定)	C	
2.885V	30	1k $\Omega$	27 $^{\circ}$ C	1MHz	200k $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	30	1k $\Omega$	27 $^{\circ}$ C	10MHz	200k $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	30	1k $\Omega$	54 $^{\circ}$ C	1MHz	200k $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	30	1k $\Omega$	54 $^{\circ}$ C	10MHz	200k $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	50	1k $\Omega$	27 $^{\circ}$ C	1MHz	200k $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	50	1k $\Omega$	27 $^{\circ}$ C	10MHz	200k $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	50	1k $\Omega$	54 $^{\circ}$ C	1MHz	200k $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	50	1k $\Omega$	54 $^{\circ}$ C	10MHz	200k $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	30	1k $\Omega$	27 $^{\circ}$ C	1MHz	20 $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	30	1k $\Omega$	27 $^{\circ}$ C	10MHz	20 $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	30	1k $\Omega$	54 $^{\circ}$ C	1MHz	20 $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	30	1k $\Omega$	54 $^{\circ}$ C	10MHz	20 $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	50	1k $\Omega$	27 $^{\circ}$ C	1MHz	20 $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	50	1k $\Omega$	27 $^{\circ}$ C	10MHz	20 $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	50	1k $\Omega$	54 $^{\circ}$ C	1MHz	20 $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V
	50	1k $\Omega$	54 $^{\circ}$ C	10MHz	20 $\Omega$	0.46 $\mu$ F	5.77V

结论：滤波电路工作正常，能够过滤掉不同温度、带宽的波，并且滤波器参数设置较为正确。

表四 模数转换器(ADC)测试结果记录表

Vin	Vref+ Vref- 间电压	SOC	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
200	9.62V	5V 1kHz	1	1	1	1	1	1	1	1
190			1	1	1	1	0	0	1	1
180			1	1	1	0	0	1	1	0
170			1	1	0	1	1	0	0	1
160			1	1	0	0	1	1	0	0
150			1	0	1	1	1	1	1	1
140			1	0	1	1	0	0	1	1
130			1	0	1	0	0	1	1	0
120			1	0	0	1	1	0	0	1
110			1	0	0	0	1	1	0	0
100			0	1	1	1	1	1	1	1
90			0	1	1	1	0	0	1	1
80			0	1	1	0	0	1	1	0
70			0	1	0	1	1	0	0	1
60			0	1	0	0	1	1	0	0
50			0	0	1	1	1	1	1	1
40			0	0	1	1	0	0	1	1
30			0	0	1	0	0	1	1	0
20			0	0	0	1	1	0	0	1
10			0	0	0	0	1	1	0	0
0			0	0	0	0	0	0	0	0

结论：模数转换器工作正常，对于不同的输入电压  $V_{in}$  按照如下等式给出灯泡的输出信号。

$$\frac{V_{in}}{V_{ref+}-V_{ref-}} = \frac{(\text{灯泡输出信号})_{10}}{255}$$

## 五、思考题

### 1、电桥电压的大小范围吗？为什么？

有范围。若电桥电压差过大，经运放电路后有可能超出运算放大器输出电压，导致在一定范围内调节电桥电压时运放输出电压不变。这将对结果造成影响。

### 2、模数转换器 ADC 是如何实现的？

输入端输入模拟电压，经采样、保持、量化和编码四个过程的处理，转换成对应的二进制数码输出。

采样就是利用模拟开关将连续变化的模拟量变成离散的数字量。由于经采样后形成的数字量宽度较窄，经过保持电路可将窄脉冲展宽，形成梯形波。

量化就是将阶梯形模拟信号中各个电压值转化为某个最小单位的整数倍，便于用数字量来表示。

编码就是将量化的结果(即整数倍值)用二进制数码来表示。

以上过程可以实现模数转换。

### 3、电子秤模数转换器（ADC）8 位的输出与压控电阻的控制电压是什么关系？为什么？

ADC8 位输出的最大值（8 个灯泡全亮）对应于压控电阻控制电压的最大值，也就是满量程。

在一般情况下，有如下等式成立。

$$\frac{kV_R}{V_{ref+}-V_{ref-}} = \frac{(\text{灯泡输出信号})_{10}}{255}$$

其中，k 为经过全电路后， $V_R$  的放大倍数，有 ADC 输入电压  $V_{in} = kV_R$ 。

## 六、实验总结、必得体会及建议

### 1、从需要掌握的理论、遇到的困难、解决的办法以及经验教训等方面进行总结。

#### ①需要掌握的理论：

电桥的工作原理、电桥放大电路、低通滤波器原理、ADC 数模转换。

#### ②遇到的困难：

对 Multisim 的运用不熟练，不能够灵活使用减法器，滤波器。

#### ③解决办法：

利用网络查阅相关资料，练习使用 Multisim，求助老师同学等。

#### ④经验教训：

要先搞懂实验原理，再下手搭建电路，不然容易思路混淆。同时若遇到难以解决的问题，首先要自己多思考，同时要善于和同学讨论，总结经验。

### 2、对本实验内容、过程和方法的改进建议（可选项）。

①可以将最后的二进制输出后再加一个步骤，由数码管直接输出数据，更加贴合实际需求。

②对于去噪声效果的检测可以不仅仅停留在示波器观察，而是更进一步，使用量化的指标去刻画与比较。

③希望在 Multisim 仿真实验的基础上可以增设实践环节，在实验室中亲手搭建真实的电子秤。由此可以对电子秤的实现有更深的印象与更深入的理解。