



实验一 计量器具（电子秤）模拟通道（实验报告格式）

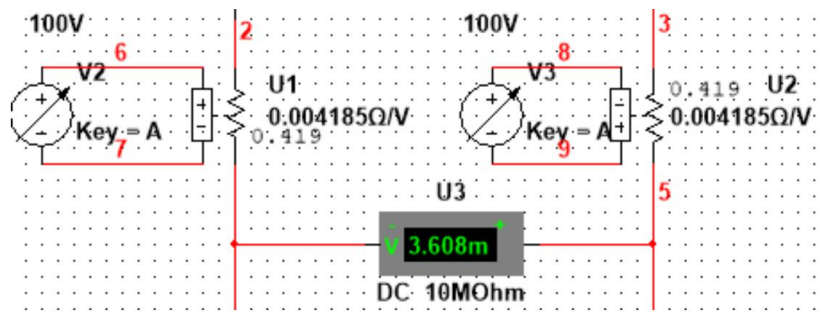
班级 姓名 学号

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. 用压控电阻模拟电阻应变片，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 OPAMP_3T_VIRTUAL 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。

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 V_{rms} 为：

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

其中：k=Boltzmann's Constant= 1.380649×10^{-23} 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）

设计原理：

电阻应变片的工作原理是电阻应变效应，即在导体产生机械变形时，它的电阻值相应发生变化。应变片是由金属导体或半导体制作的电阻体，其阻值随着压力所产生的变化而变化。对于金属导体，电阻变化率 Δ 的表达式为

$$\frac{\Delta R}{R} \approx (1 + 2\mu)\varepsilon$$

式中， μ 为材料的泊松系数， ε 为应变变量。

通常把单位应变所引起电阻相对变化称作电阻丝的灵敏系数，对于金属导体，其表达式为

$$k_0 = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} = (1 + 2\mu)$$

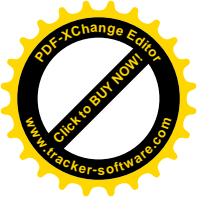
所以

$$\frac{\Delta R}{R} = k_0 \varepsilon$$

在外力作用下，应变片产生变化，同时应变片电阻也发生相应变化。当测得阻值变化为 Δ 时，可得到应变值，根据应力和应变关系，得到应力值为

$$\sigma = E\varepsilon$$

式中， σ 为应力， ε 为应变变量（为轴向应变），E 为材料的弹性模量。重力 G 与应力的关系为



$$G = mg = \sigma S$$

式中， G 为重力， S 为应变片截面积。
根据以上各式可得到

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{k_0}{ES} mg$$

由此便得出了应变片电阻变化与重物质量的关系，即

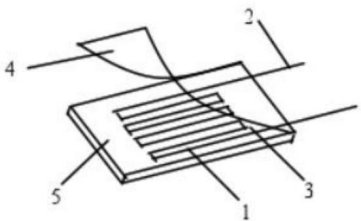
$$\Delta R = \frac{k_0}{ES} g R m$$

根据应变片常用的材料（如康铜）取

$$k_0 = 2, E = 16300 \text{ kg/mm}^2, S = 1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2, R = 348, g = 10.8 \text{ m/s}^2$$

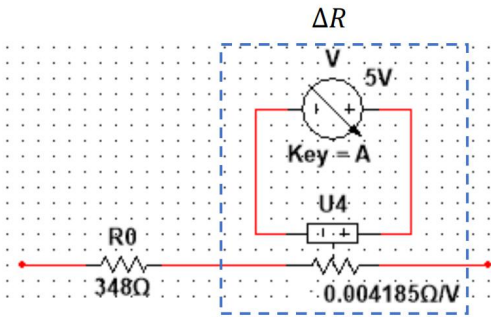
$$\Delta R = [(2 \times 9.8 \times 348) / (16300 \times 100)] m = 0.004185 m$$

所以在 Multisim 中可以建立以下模型来代替应变片进行仿真，如下图所示



电阻应变片

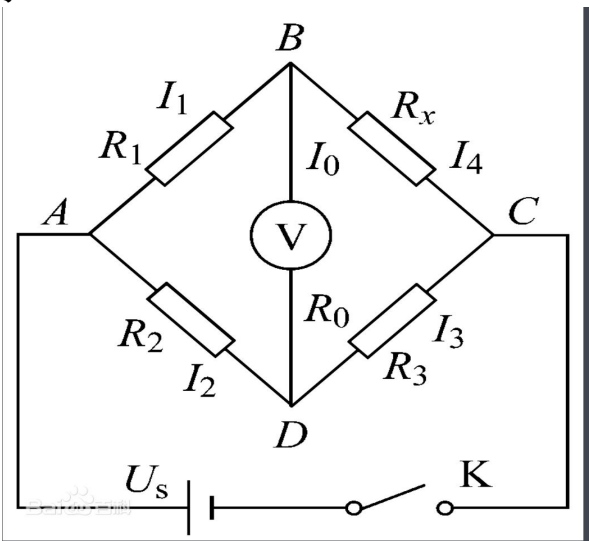
1-敏感栅；2-引线；3-粘结剂；
4-覆盖层；5-基底



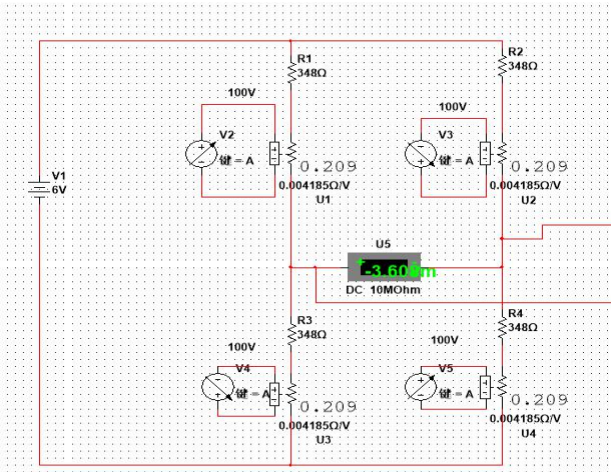
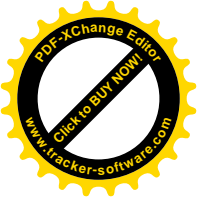
图中， R_1 模拟的是不受压力时的电阻值 R_0 ，压控电阻用来模拟电阻值的变化， V 可理解为重物的质量 m (kg)。当 V 反接时，表示受力相反。

具体实现：

电桥的基本构造为



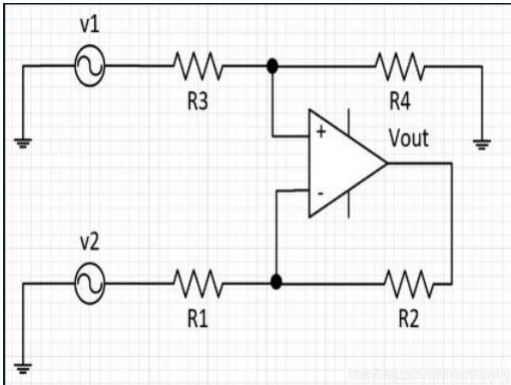
由所学知识可得，当电桥的每个电阻都与压控电阻并联后，电桥的灵敏度最高，故可以连入四个压控电阻，并将压控电阻的电阻值设为 $0.004185 \Omega/V$ ，压控电压的满量程设置为 $100V$ ，电桥的中间连入电压表测量电桥输出电压。具体电路图由图所示：



2. 放大电路的设计实现（从设计原理到具体实现展开介绍）

设计原理：

要实现将电桥输出电压放大 100 倍，可以连入减法放大器实现。首先为了减小电桥对放大器的影响，需在电桥的两个输出端连入一个电压跟随器。再连入一个反向放大器。减法放大电路的电路构造如图所示：



其输出电压与电阻值得关系为：

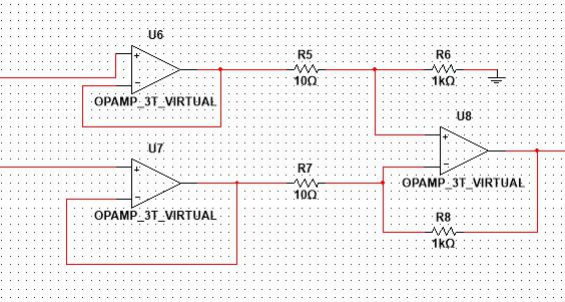
当 $R2/R1=R4/R3$ 时：

$$V0=R2/R1(V1-V2)$$

故只需反向放大器的反相输入端的 $R1/R2$ 为 100， $R4/R3$ 也为 100 即可实现减法放大电路的功能。

具体实现：

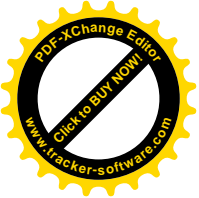
从电桥的两个输出端连入两个电压跟随器，两个电压跟随器的输出端连入放大电路的两个输入端，其中反相输入端的 $R1$ 取值 $1k\Omega$ ， $R2$ 取值 10Ω ，其比值正好为 100，正相输入端的 $R4$ 为 $1k\Omega$ ， $R3$ 为 10Ω 。故可以实现 100 倍的放大电路。其电路图为：



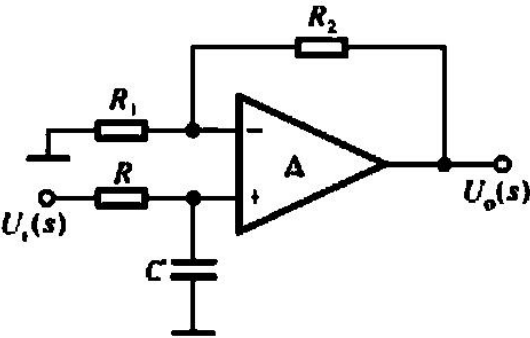
3. 滤波器的设计实现（从设计原理到具体实现展开介绍）

设计原理：

可以设计一个一阶低通滤波器实现滤波功能。



同相低通滤波器的电路图如图所示：



它的传递函数为：

$$H(\omega) = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_+} \cdot \frac{\dot{U}_+}{\dot{U}_s} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

通带放大倍数为：

$$\text{通带放大倍数} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

整体放大倍数为：

$$\text{整体（频率从 } 0 \rightarrow \infty \text{）放大倍数} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}}$$

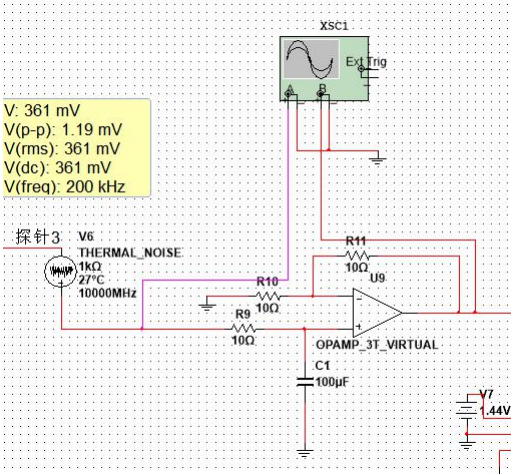
通带截止频率为：

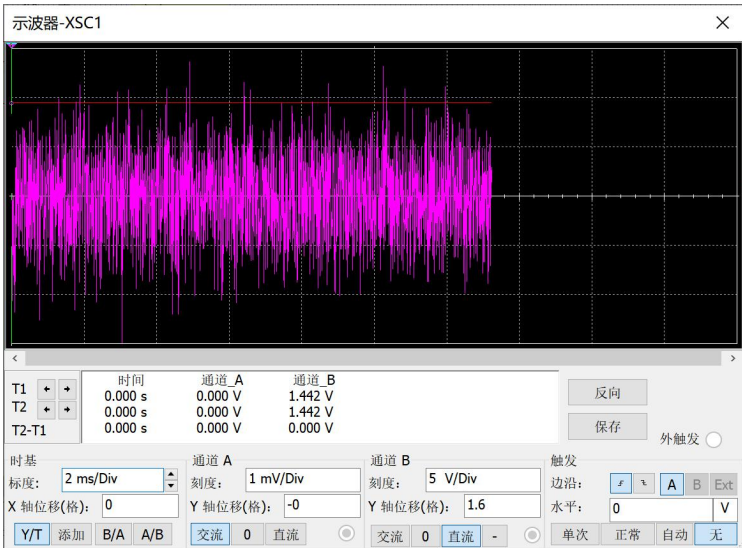
$$\text{通带截止频率 } \omega_c = \frac{1}{RC}$$

具体实现：

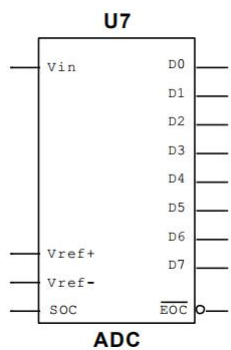
由电路图可得，滤波器的通带放大倍数为 $1+R_2/R_1$ ，放大倍数不宜过高，故可令 $R_2=R_1=10\Omega$ ，即滤波器的放大倍数为 2 倍。由于噪声源的频率很高，要过滤掉高频率的噪音，则截止频率需要很高，即 RC 的比值要小，故可令 C 为 $100\mu\text{F}$ ， R 为 10Ω 。经过检验，发现此滤波器的滤波效果很好。

具体电路图为：

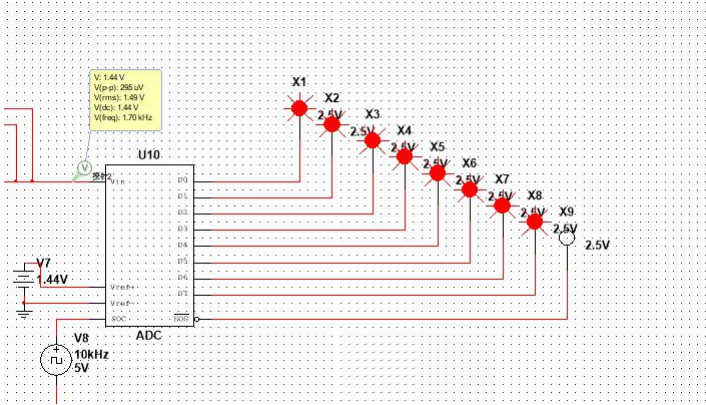




4. 模/数转换 ADC 的实现（从具体实现展开介绍）
8 位的模数转换器如图所示。

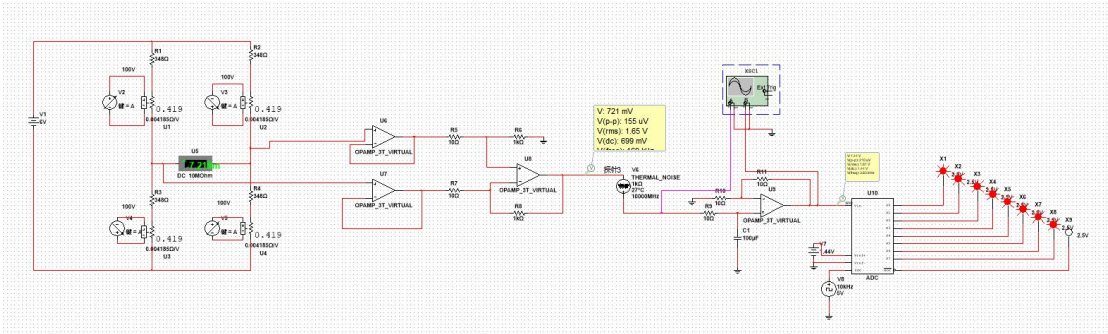


Vin 连入的为输入电压。
Vref+和 Vref-之间连入参考电压，为经过滤波器的满量程电压。
Soc 是开始转换的输入，上升沿有效
EOC 为输出引脚，输出低电平，指示转换结束
D0 到 D7 为输出引脚，输出模拟量转换的 8 位二进制数。
具体电路图为：





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）/ Ω	电桥输出电压/mv
6	100	0.419	7.215
	70	0.293	5.05
	50	0.209	3.608

结论：

电桥的输出电压与压控电压成正比。当控制电压增大时，电桥输出电压增大，电压满量程时输出电压为 7,215mV。

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
7.215mV	1k, 10, 1k, 10	721mV
	100, 8k, 100, 8k	577mV
	50, 7k, 50, 7k	1.01V

结论：

放大电路的输出电压为 $V_{out}=V_{in}*R_2/R_1$

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	
721mV	1.0	1k	27	1M	100	2F	728mV
	15	6k	27	1M	500	1F	728mV
	50	15k	27	1M	300	0.5F	728mV
	100	38k	27	1M	10	10F	730mV

结论：

噪音器对滤波器的输出电压基本没有影响，当燥引起的噪声比和带宽增大时噪音频率增大，则滤波器对应的截止频率也要增大。

表四 模数转换器 (ADC) 测试结果记录表

V_{in}	V_{ref+} V_{ref-} 间电压	SOC	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
728mV	728mv	5V	1	1	1	1	1	1	1	1
510mV			1	0	1	1	0	0	1	1
364mV			1	0	0	0	0	0	0	0
72.8mV			0	0	0	1	1	0	0	1



结论：

D0 到 D7 对应一个二进制值，其值正好为 $V_{in}/(V_{ref+} - V_{ref-}) * 255$ 所得十进制的二进制数。其功能正好为 adc 的将模拟数字信号转化为数字信号。

五、思考题

1、电桥电压的大小有范围吗？为什么？

有范围，因为电桥的输出和电桥电压成正比，过大会导致后续放大器不精准，过小会导致输出不精准。

2、模数转换器 ADC 是如何实现的？

模拟信号转换为数字信号，一般分为四个步骤进行，即取样、保持、量化和编码。前两个步骤在取样-保持电路中完成，后两步骤则在 ADC 中完成。

常用的 ADC 有积分型、逐次逼近型、并行比较型/串并行型、 $\Sigma - \Delta$ 调制型、电容阵列逐次比较型及压频变换型。

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？

为成正比关系。输出等于 $(v_{in}/v_{ref}) * 255 = (V_{控制}/V_{控制max}) * 255$ 。将输出电压的十进制转为 2 进制，对应的 0 和 1 分别代表信号灯亮还是不亮。

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。

通过本次实验，学会了电桥，滤波器，放大电路和模数转换器的设计原理和如何设计构造出一个电子秤模拟电路。但实验过程仍有一些不足，比如如何调整滤波器参数过滤掉噪音，以及 adc 的参考电压与输入电压的关系，通过上网搜寻资料和询问老师同学后便解决了问题。

2、对本实验内容、过程和方法的改进建议（可选项）。

无。