



实验18 仪用放大器应用电路设计P341

电工电子实验中心

傅晓程

桌号请写在实验**地点**后

例如，**地点**：东3 - 2XX A1

本次**需**提交实验报告

本次实验**无**需验收



一、实验目的

1. 了解仪表放大器与运算放大器的性能区别；
2. 掌握仪表放大器的电路结构及设计方法；
3. 掌握仪表放大器的测试方法；
4. 学习仪表放大器在电子设计中的应用；
5. 学习差分输入方式，了解双端信号的获取。
6. 了解双孔梁应变式传感器。



实验任务(以课件为准)

1、测量单片集成仪表放大器INA128构成的差分放大电路的差模电压放大倍数和共模电压放大倍数，并计算此电路的共模抑制比。(可参考：实验3 集成运算放大器的指标测试P263 实验任务6)

2、用单片集成仪表放大器INA128构成放大电路，并与力传感器、零点与增益调节电路、万用表（扩展至FPGA构成电压表）一起构成电子秤，调节好电路后对5个不同重量的物体进行称重实验，这5个物体的重量可事先在标准电子秤上称好并记录。称重数据记录在自拟的表格中，并以标准重量为横坐标，称重重量为纵坐标，画出此电子秤的特性曲线并计算其测量精度。

选做3、用单个通用运算放大器设计一个差分放大电路，重复实验内容2的实验过程。

选做4、用通用运算放大器设计一个仪用放大器，重复实验内容2的实验过程。

选做5、比较以上3个称重电路的性能参数。



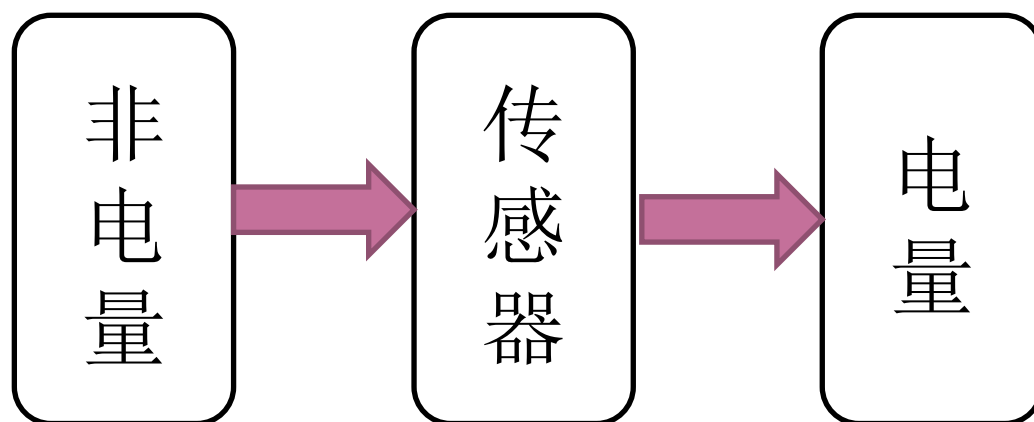
集成运算放大器是一种高增益的直接耦合放大电路。理想情况下，集成运放的：

$$A_{od} = \infty、R_i = \infty、K_{CMR} = \infty、R_o = 0、V_{IO} = 0、I_{IO} = 0；$$

然而，实际上并不存在理想的集成运算放大器。

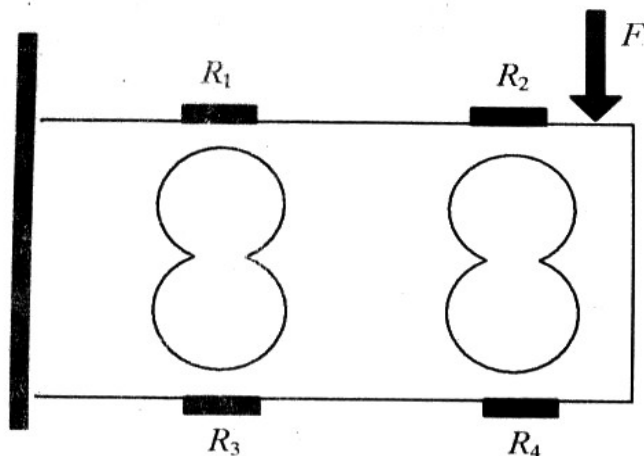
仪用运算放大器（仪表放大器、数据放大器），是测量用放大器的一种；高增益、高输入电阻、高共模抑制比和低输出电阻、低漂移、低噪声 ...（指标更优越）针对（实际）外部信号：强噪声/共模背景、微弱信号。

P348① 为什么要在数据采集系统中使用仪用放大器？

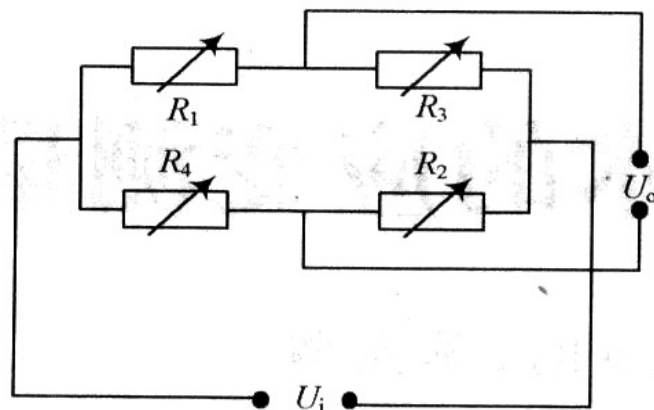


传感器是实现非电量检测的元器件，非电量是指位移、力、角度、温度、气压、流量等各种物理量。在各种工业自控、航空航天、铁路交通、生物医疗、石化、船舶、军工等领域有大量的非电量需要检测，即需要用各种传感器把以上的这些非电量转换为可以被检测的电量，如电阻、电感、电容、电压、电流、频率等电信号。

双孔梁结构示意图



(a) 双孔梁应变贴片受力电路



(b) 全桥测量电路

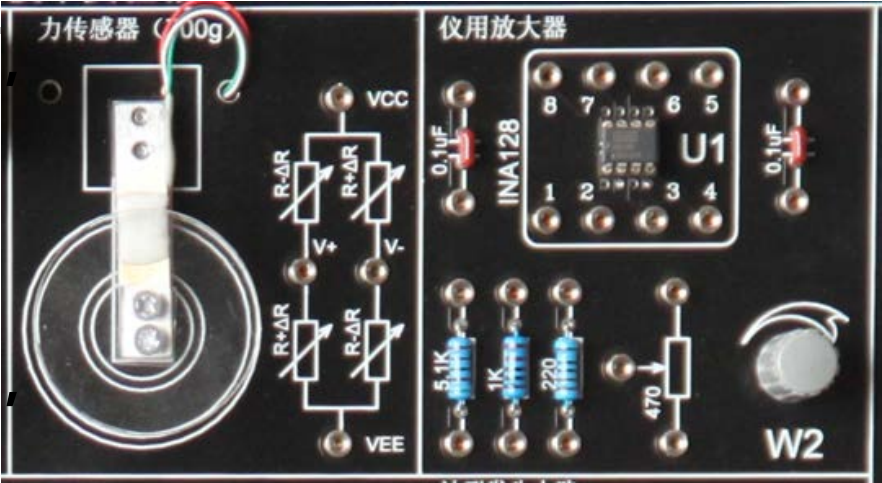
共有4个应变片，无外力时 $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ 。

当弹性体受外力 F 作用时，弹性体便产生弹性形变，粘在其表面的电阻应变片则随其同步变形，因而改变了它们的电阻值。

在 U_i 加一直流电压，当 $F=0$ ， $U_o=0V$ ；当施加一定力 F 时， R_1 、 R_2 成比例增加 ΔR ， R_3 、 R_4 成比例减小 ΔR ，引起电桥的不平衡而输出电压信号 U_o ，该信号与梁端的受力 F 成正比。

双孔梁应变式传感器及仪用放大器实物图(也可以用交流信号)

应变片的结构决定了在受到外力作用时 ΔR 的变化量非常小，而应变片本身的R又比较大，这就使得输出电压信号 U_o 很小，一般是毫伏级的信号。同时 U_i 激励电压不能太高，太高时会使得流过应变片的电路过大，引起应变片温度上升，应变片的电阻R发生变化。

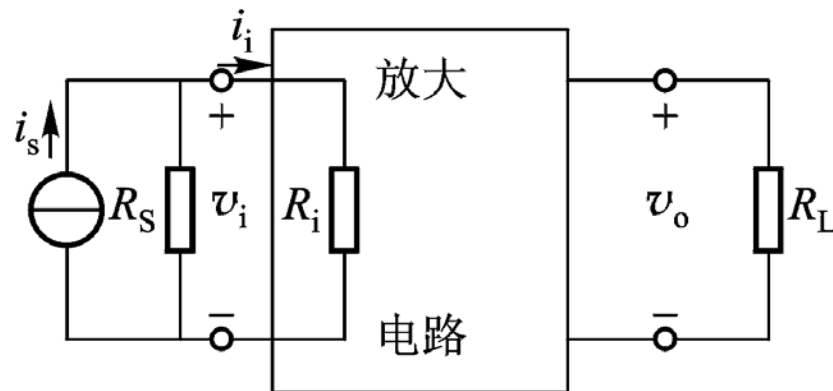
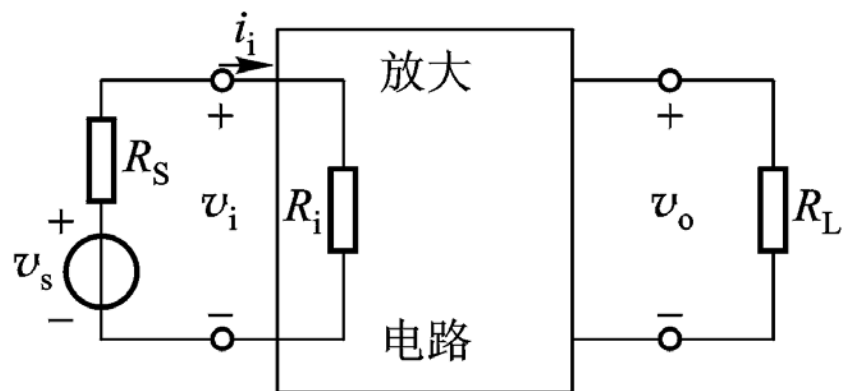


量程(g)		700	
综合误差(%F.S)	0.05	额定输出温度飘移(%F.S/10℃)	≤0.15
灵敏度(mv/v)	0.7±0.1	零点输出(mV/V)	±0.1
非线性(%F.S)	0.05	输入电阻(Ω)	1000±50
重复性(%F.S)	0.05	输出电阻(Ω)	1000±50
滞后(%F.S)	0.05	绝缘电阻(MΩ)	≥2000(100VDC)
蠕变(%F.S/3min)	0.05	推荐激励电压(V)	3~10
零点漂移(%F.S/1min)	0.05	工作温度范围 (℃)	-10~+50
零点温度漂移(%F.S/10℃)	0.3	过载能力(%F.S)	150

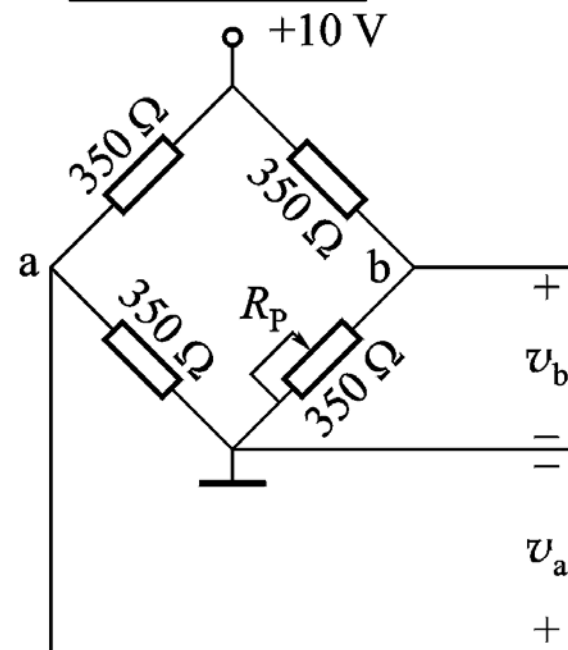
应变电阻的阻值为 $1000\pm50\Omega$ ，激励电压采用5V直流电压，则满量程时的输出电压 $U_o = 5V \times (0.7\pm0.1) \text{ mV/V} = 3.5\pm0.5 \text{ mV}$ 。

输入信号源

单端信号源：适用于单端与地之间输入信号的放大电路。



双端信号源：适用于双端输入的放大电路。
例：电桥信号输入至运算放大器、差分电路。





差模、共模信号

定义输入信号 Δv_{I1} , Δv_{I2} 。

差模信号（两个输入信号 之差 ）：
$$\Delta v_{Id} = \Delta v_{I1} - \Delta v_{I2}$$

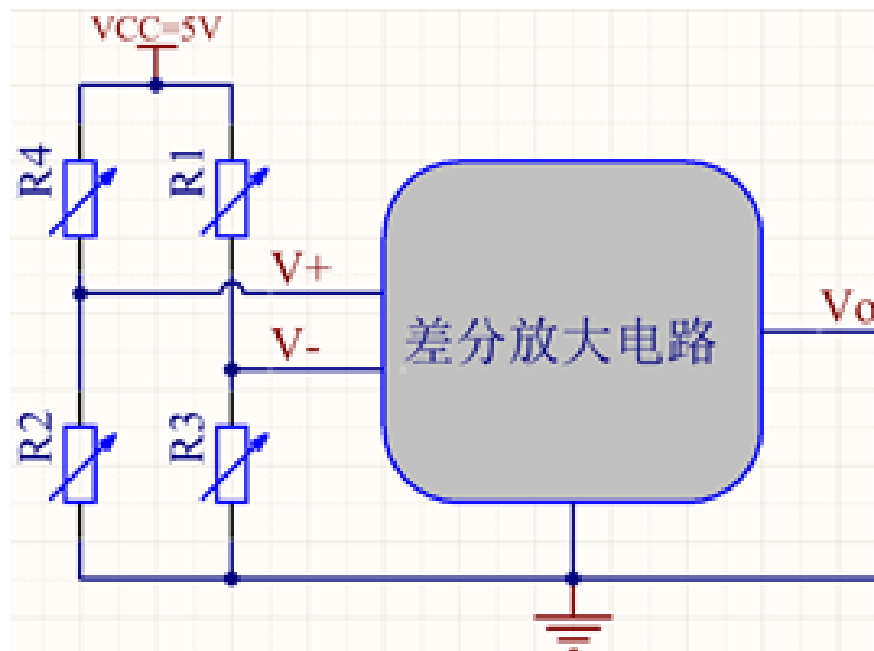
共模信号（两个输入信号平均值）：
$$\Delta v_{Ic} = \frac{\Delta v_{I1} + \Delta v_{I2}}{2}$$

输入信号：

$$\begin{cases} \Delta v_{I1} = \Delta v_{Ic} + \frac{\Delta v_{Id}}{2} \\ \Delta v_{I2} = \Delta v_{Ic} - \frac{\Delta v_{Id}}{2} \end{cases}$$

差模成分反映了被测信号的变化，需要进一步放大；
共模成分反映了测量的初始条件或外界干扰，需要加以抑制。

差分放大电路的基本概念



当力传感器上不施加外力时，4个应变电阻 $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ ，
力传感器的两个输出电压： $V_+ = V_- = V_{CC}/2$ ；

当力传感器上施加一定外力时， $R_1=R_2=R+\Delta R$ ， $R_3=R_4=R-\Delta R$ ，
两个输出电压变成：

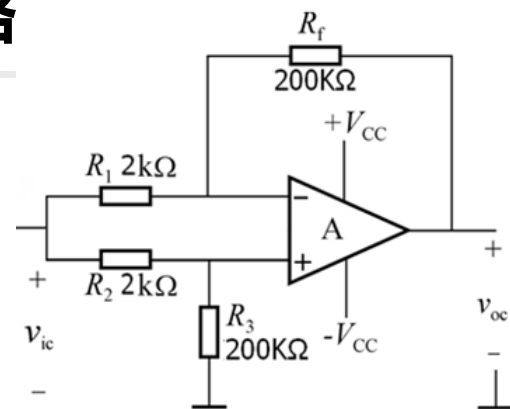
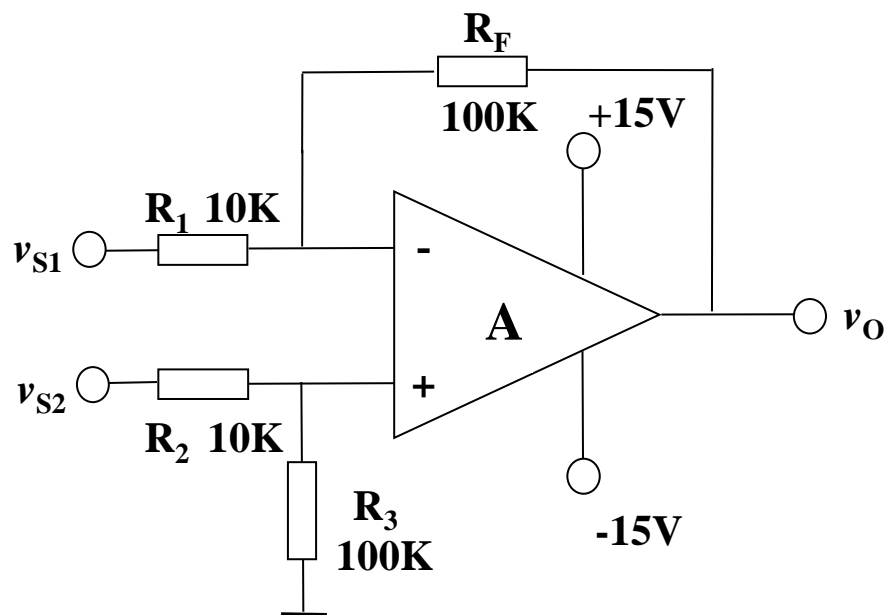
$$V_+ = V_{CC}/2 + \Delta V$$

$$V_- = V_{CC}/2 - \Delta V$$

差模信号（两个输入信号之差）： $2\Delta V$

共模信号（两个输入信号平均值）： $V_{CC}/2$

单个普通运放构成的差动放大电路

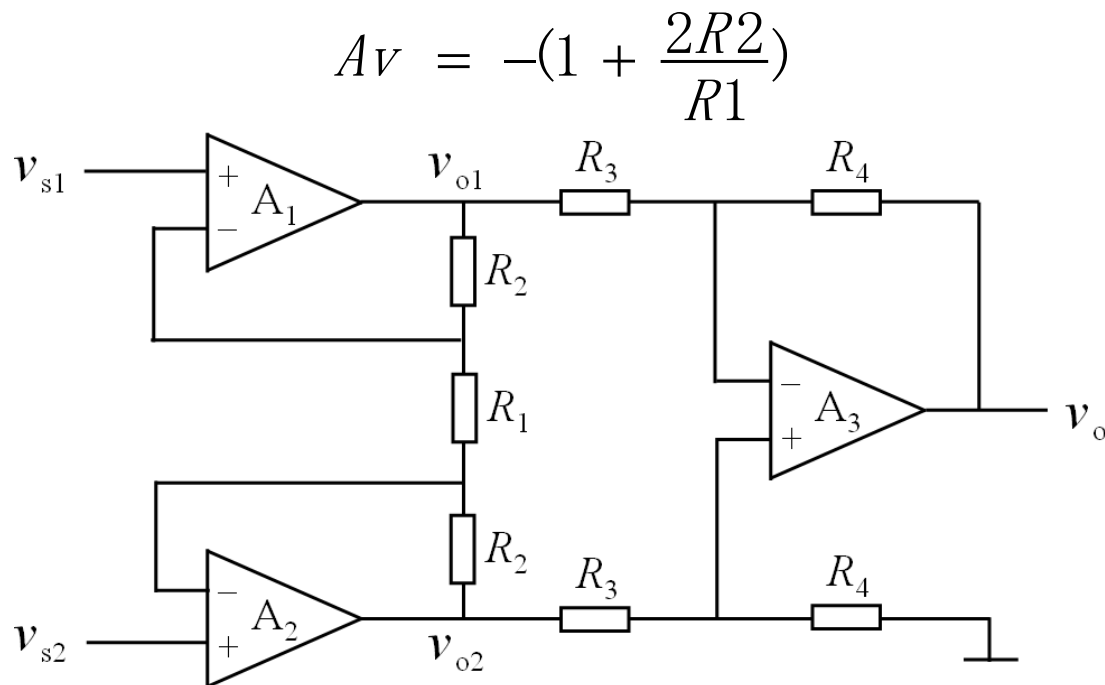


$$v_o = \frac{R_F}{R_1} (v_{s2} - v_{s1}) \quad (R_1=R_2 \quad R_3=R_F)$$

P348③ 如何实现对差分放大电路的调零？

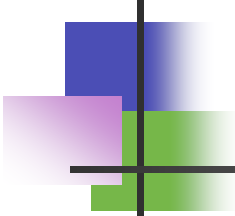
P348④ 差分放大电路的差模输出电压是与输入电压的差还是和成正比？

三个普通运放构成的仪用放大器



该典型电路为三运放结构，由两级放大电路组成。第一级为双端输入、双端输出的差分放大器结构，输入电阻很高；第二级为差分输入式比例放大器，从而使整体电路具有较高的共模抑制比。

P348② 三运放仪用放大电路有哪些特点？



由于运算放大器A1、A2、A3均处于放大状态，运放A1的反向输入端电压为 V_{s1} ，运放A2的反相输入端电压为 V_{s2} ，有：

$$\frac{V_{o1} - V_{s1}}{R2} = \frac{V_{s1} - V_{s2}}{R1} \quad \frac{V_{o2} - V_{s2}}{R2} = \frac{V_{s2} - V_{s1}}{R1}$$

$$V_{o1} = \frac{R2}{R1} (V_{s1} - V_{s2}) + V_{s1} \quad V_{o2} = \frac{R2}{R1} (V_{s2} - V_{s1}) + V_{s2}$$

若 $R_3 = R_4$ ，则：

$$V_o = V_{o2} - V_{o1} = -\left(1 + \frac{2R2}{R1}\right) (V_{s1} - V_{s2})$$

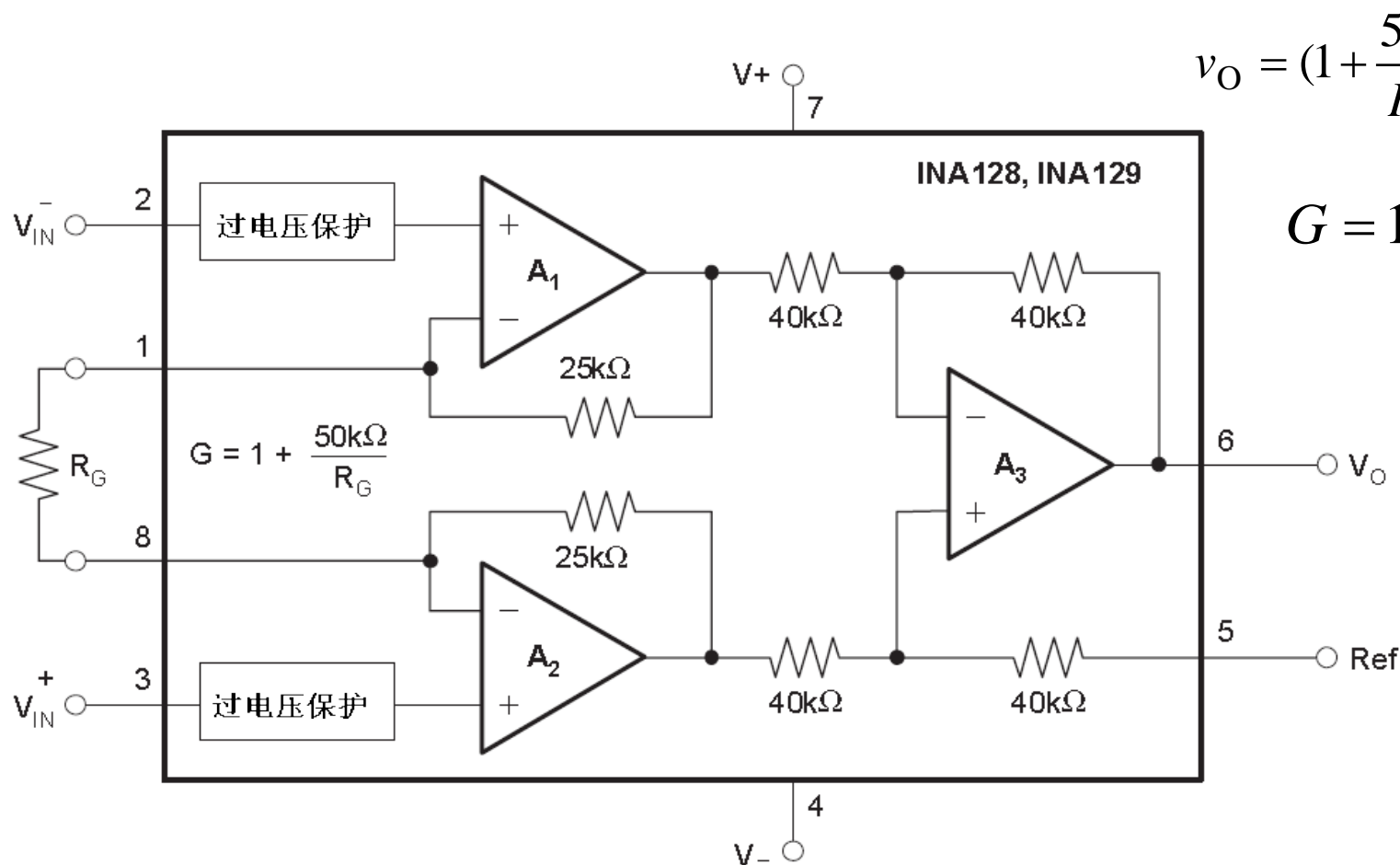
仪用放大电路电压放大倍数：

$$A_V = -\left(1 + \frac{2R2}{R1}\right)$$

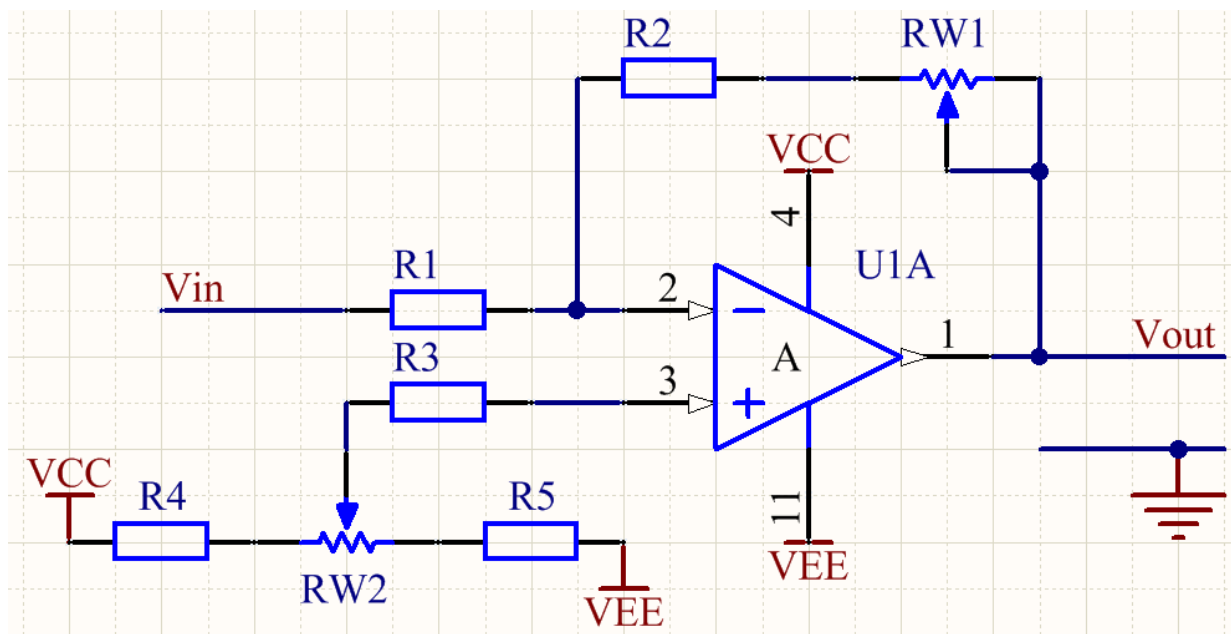
只要调节 $R1$ 的大小，即可方便地调整放大器的增益而并不影响电路的对称性。

INA128仪表放大器

INA128低功耗高精度的通用仪表放大器是TI公司的商品化集成仪表放大器，其内部电路结构如下图所示。是一种高增益放大器，其具有差分输入、单端输出、高输入阻抗及高共模抑制比等特点。



零点与增益调整电路



假设力传感器的放了一个100克的物体，按照力传感器的技术参数，将输出一个0.5mV的直流信号，经过差分放大电路1000倍放大后，差分放大电路输出0.5V的直流信号，如果想在数字万用表上显示**1V**的数值，可以通过上面的零点与增益调节电路将0.5V直流信号放大两倍，使 V_{out} 输出1V的电压信号，万用表选择2V档量程，则在万用表上显示1.000，此显示数值与被称物体的实际重量相一致，唯一的区别是小数点不对。

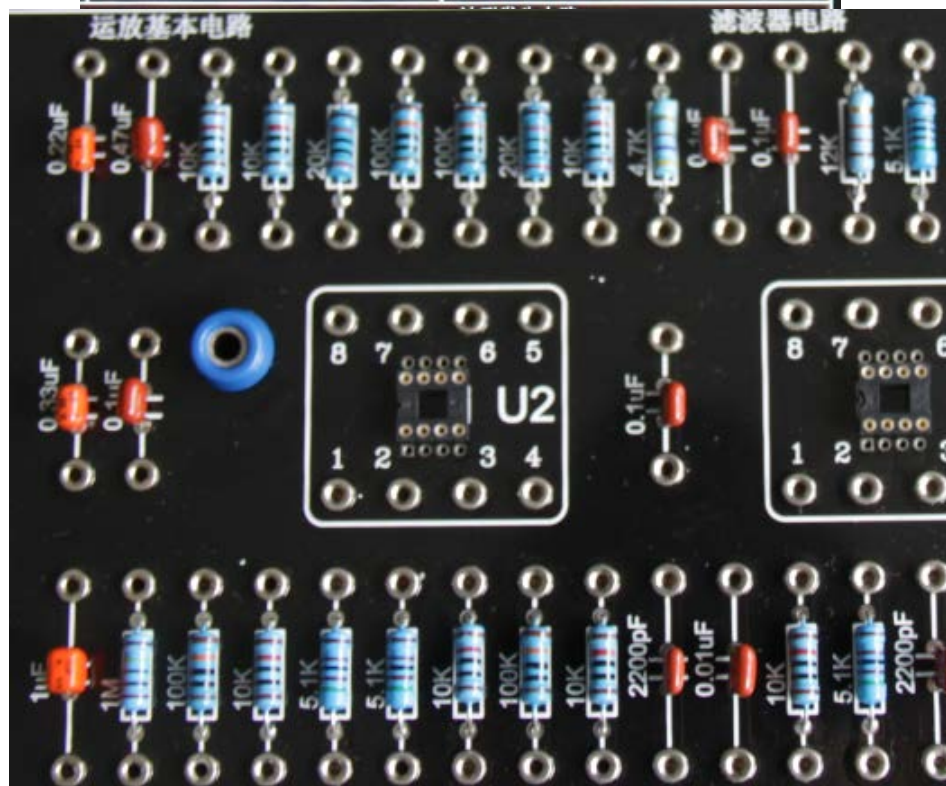
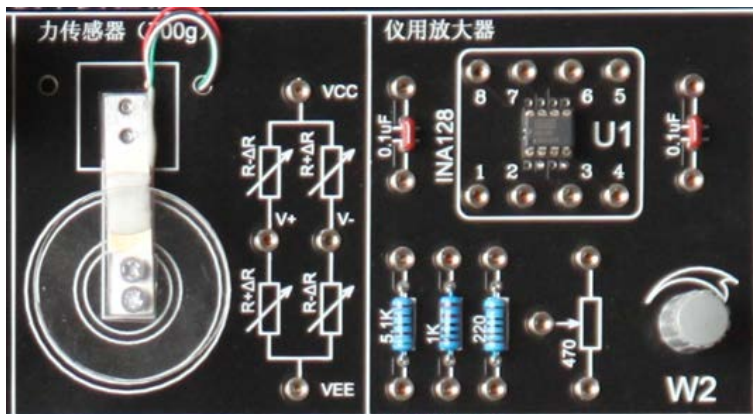
RW1用于增益的调节，RW2用于零点的调节。



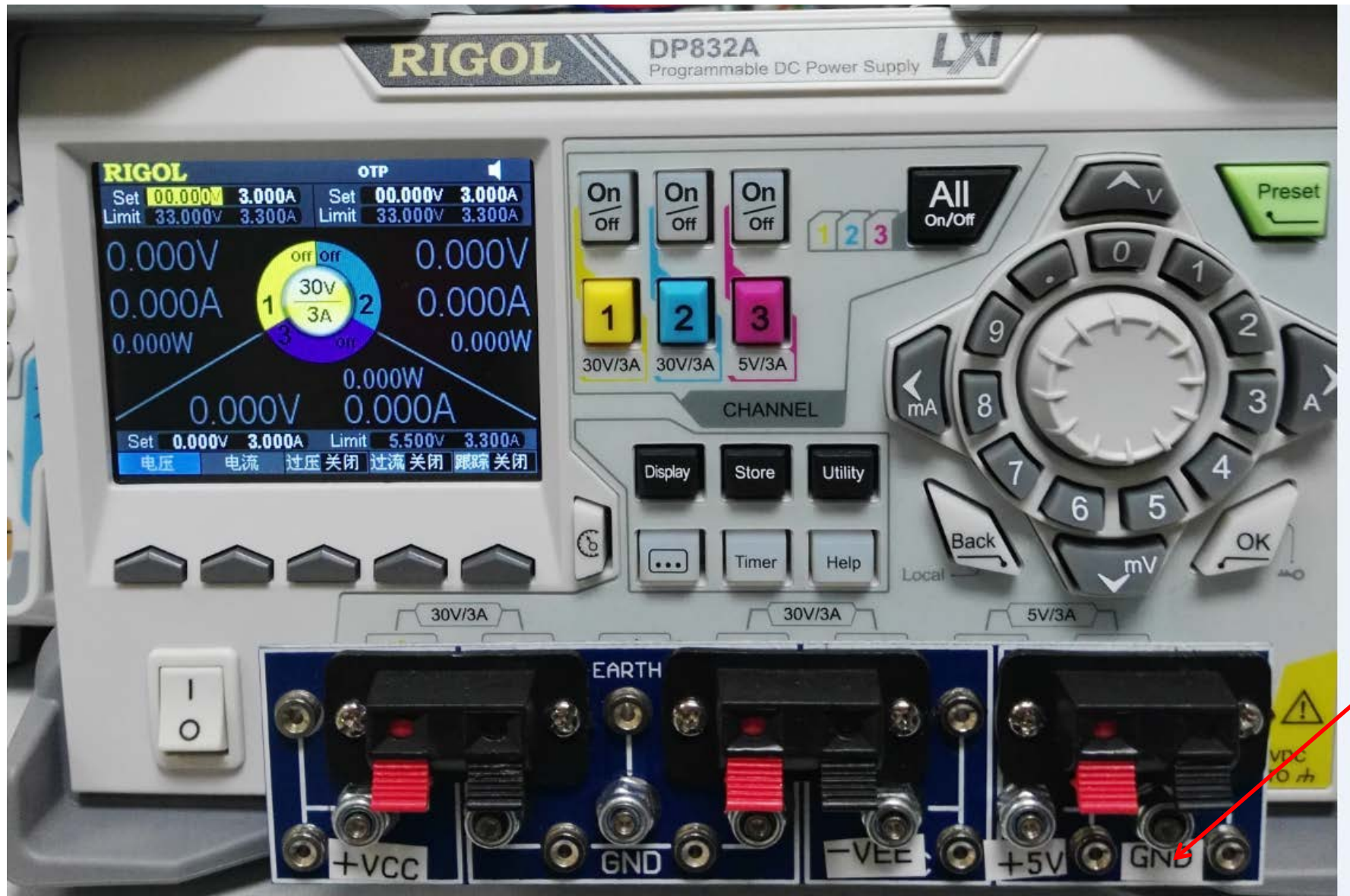
实验准备工作

- 1、在断电情况下，观察是否准确插入INA128和LM358。
- 2、用万用表测量实验箱上的+15V和-15V，或应用稳压电源调节+15V和-15V；以万用表测量示数为准。
- 3、检查万用表、示波器、函数发生器是否正常。
- 4、关闭实验箱直流电源，连接各实验电路。**注意：**用导线将工作电源与+15V、-15V和COM2（GND）的连接方式。

运放基本电路模块



Preset(2个GND是不连接在一起的)不要去连接EARTH



其他参考双端信号源

差模信号: $v_{Id} = v_a - v_b$

共模信号: $v_{Ic} = \frac{v_a + v_b}{2}$

✓ 方案一：电桥电路（右图）。

✓ 例：

$V_{CC} = 5V$, $R_1 = R_2 = 2k$, $R_3 = 10k$
 $R_p = 10k + 10k$ 电位器。

则：

$v_a \approx 4.17V$, $v_b \approx 4.17 \sim 4.55V$ 。

即：

$v_{id} \approx 0 \sim 0.38V$, $v_{ic} \approx 4.17 \sim 4.36V$

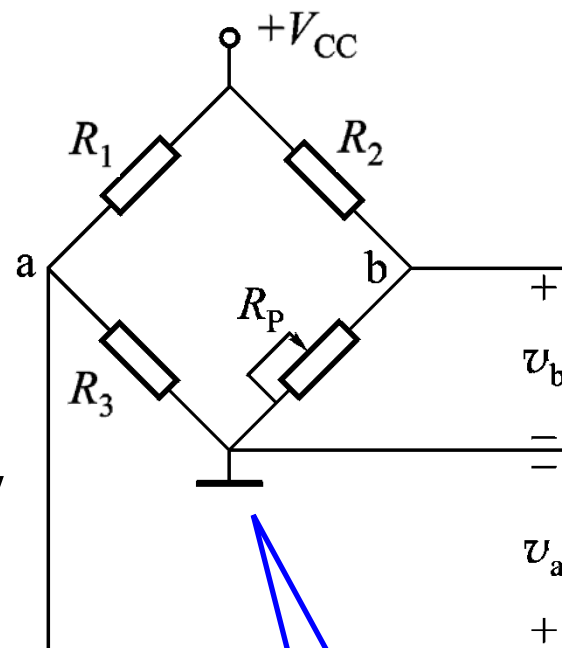
✓ 合适吗？

（共模信号仅是差模的约 10 倍；

只要 K_{CMR} 大于 40 dB，共模输出即为差模输出的十分之一以下 ...）

如何调出合适的参数？

（可相对减小 R_p 电位器数值）

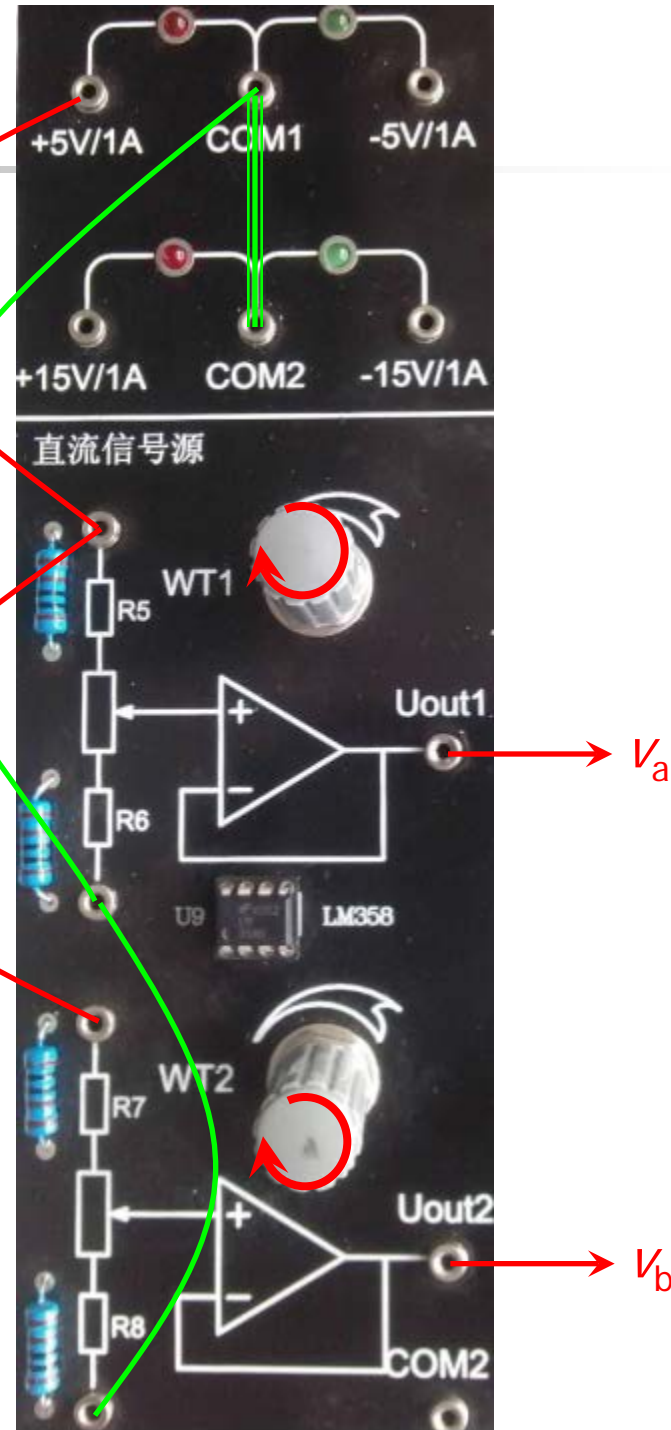


可以接
负电源吗？

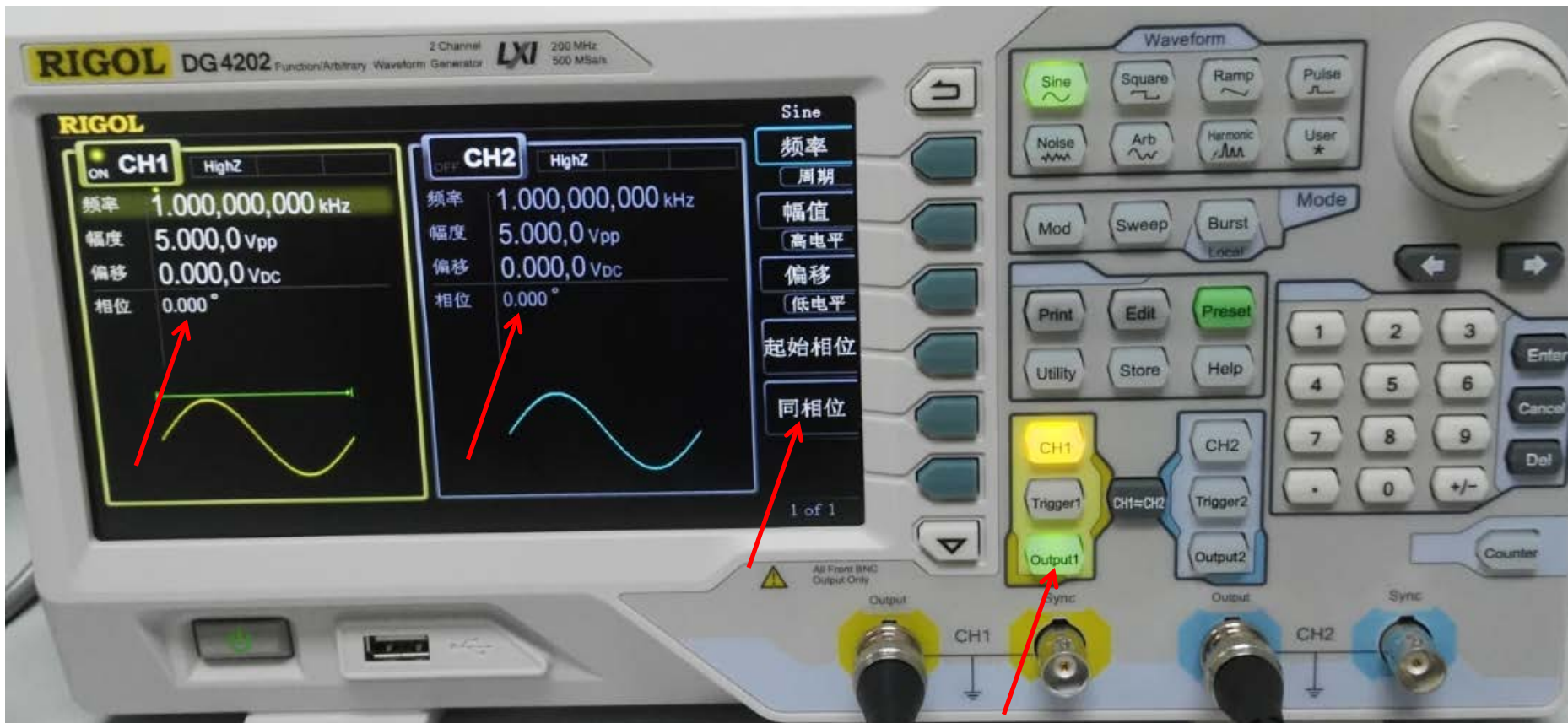
- ✓ 方案二：运放电路（右图）
- ✓ 参数可以做到合适吗？
- ✓ 优势：运放的输出电阻较小。

可以接
其它电源吗？

注意安全哦！



- ✓ 方案三：信号源双端信号源（右图）
- ✓ 优势：信号源可输出任意波形。

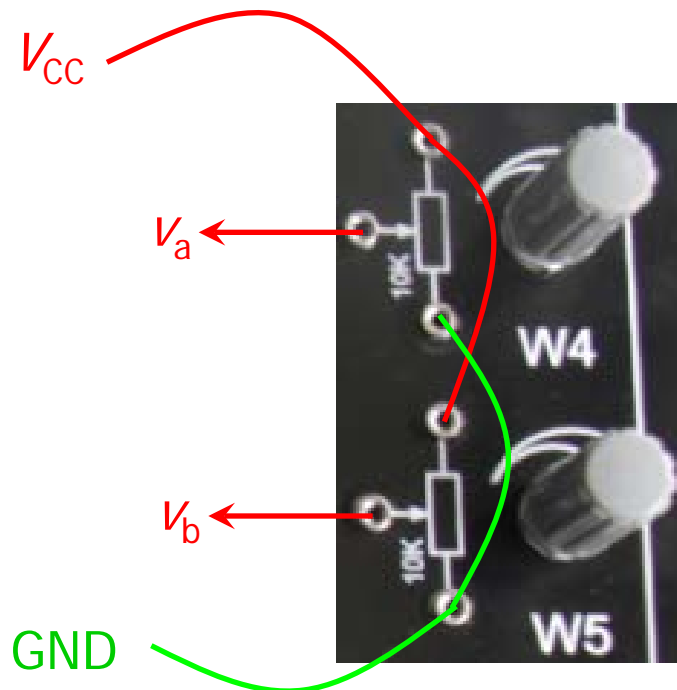


注意：相位0.000指的是各自的初始相位为0。要使函数发生器的CH1和CH2有相同的初始相位，还是两个同相位按钮得按一下。

✓ 方案四：电位器（右图）

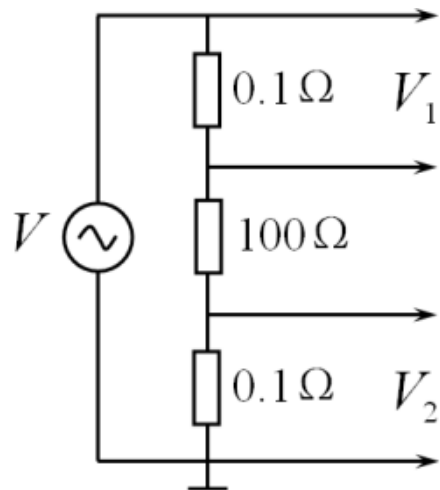
✓ 理论上完全可行。

✓ 优势：简单。



方案五

V1和V2的差模信号非常小： $V \cdot (0.1/100.2)$



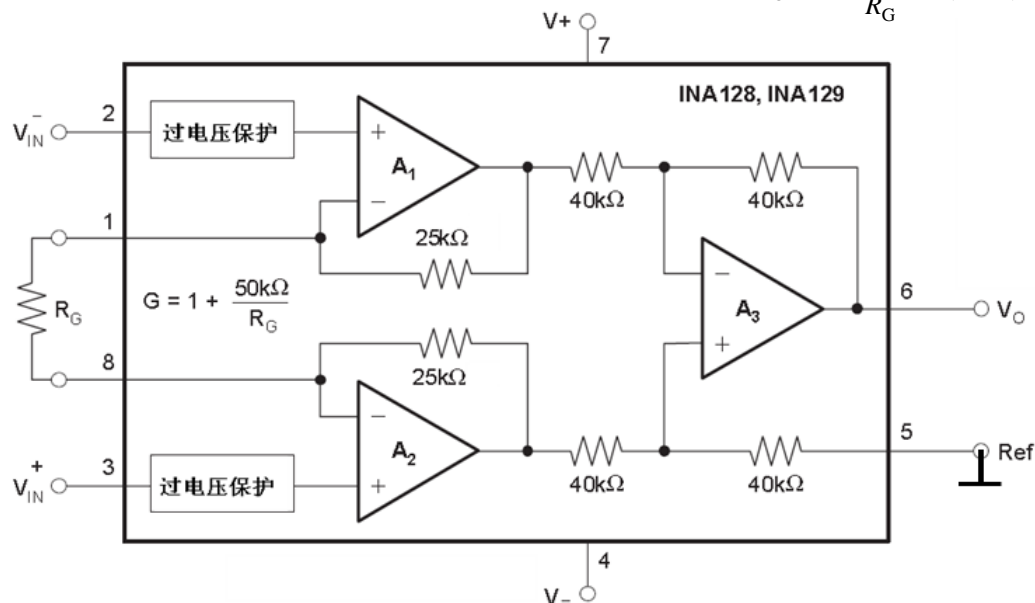
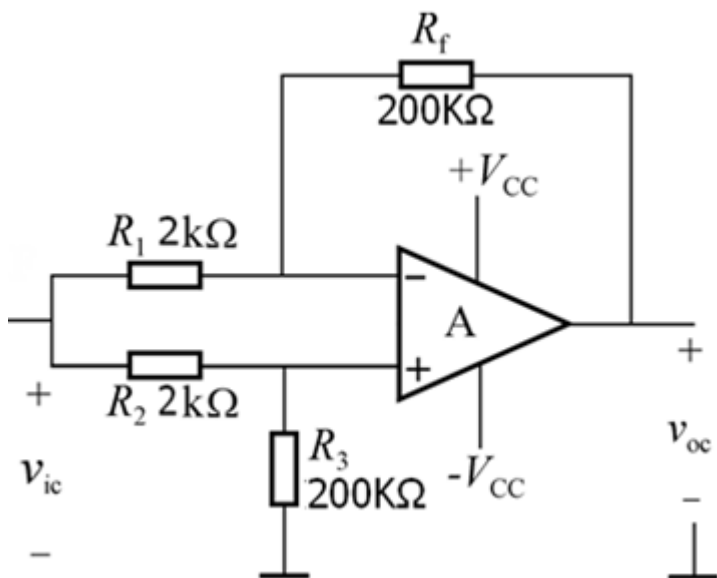
若以公共地为基准，信号 V_1 和 V_2 中还包含有不同大小的共模信号，其中 V_1 中的共模成份约为 $((V + V \cdot (100.1/100.2)))/2$ ； V_2 中的共模成份约为 $((0 + V \cdot (0.1/100.2)))/2$ 。



实验任务1

1、分别测量LM358和INA128构成的差分放大电路的差模电压放大倍数和共模电压放大倍数，并计算此电路的共模抑制比。取放大倍数约为100倍，可用直流或交流输入信号进行测量。

$$v_O = (1 + \frac{50k}{R_G})(v_{IN}^+ - v_{IN}^-)$$

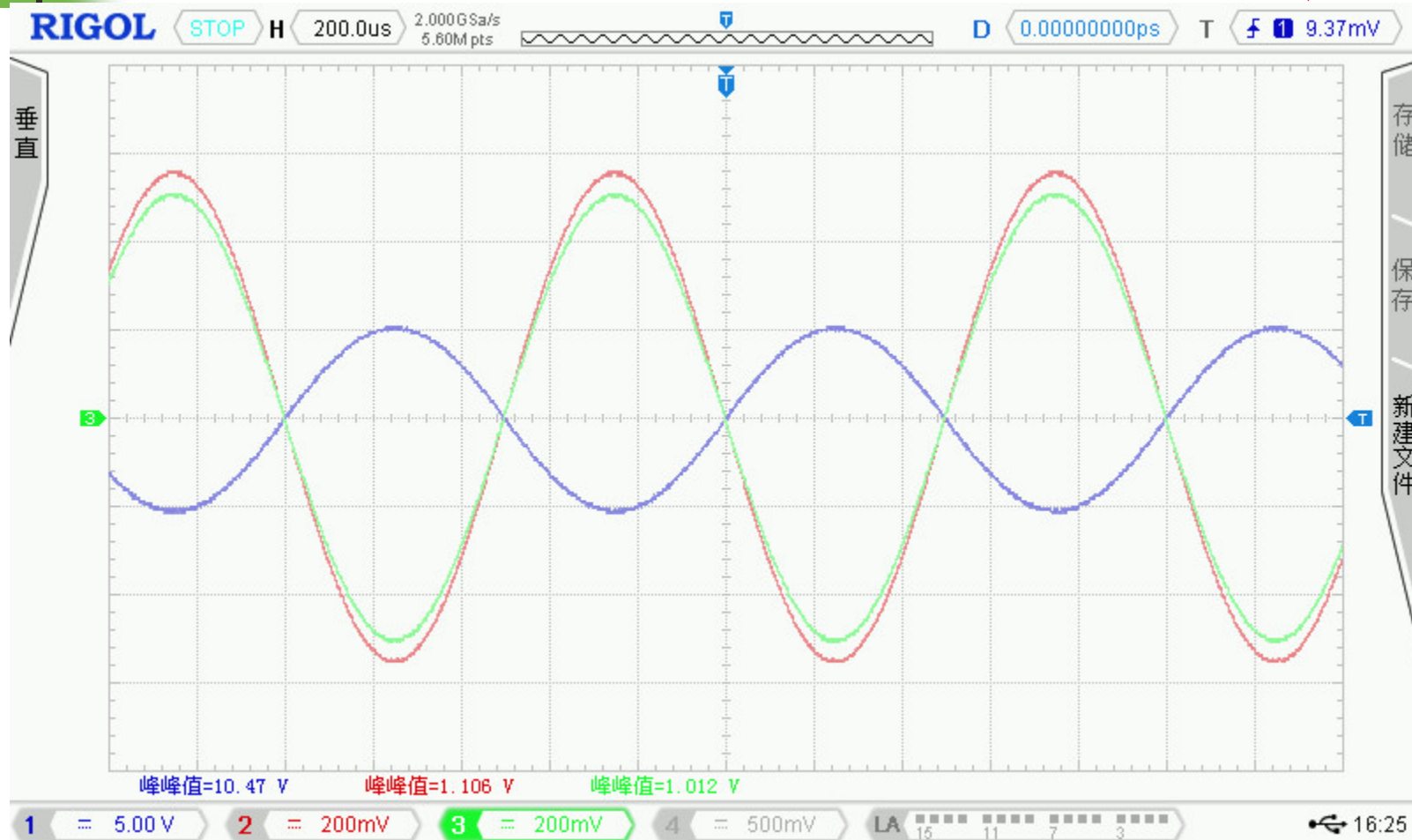


直流信号测量参考参数：共模输入**12V**，输出68.6mv

直流信号测量参考参数：共模输入**12V**，输出0.6mv

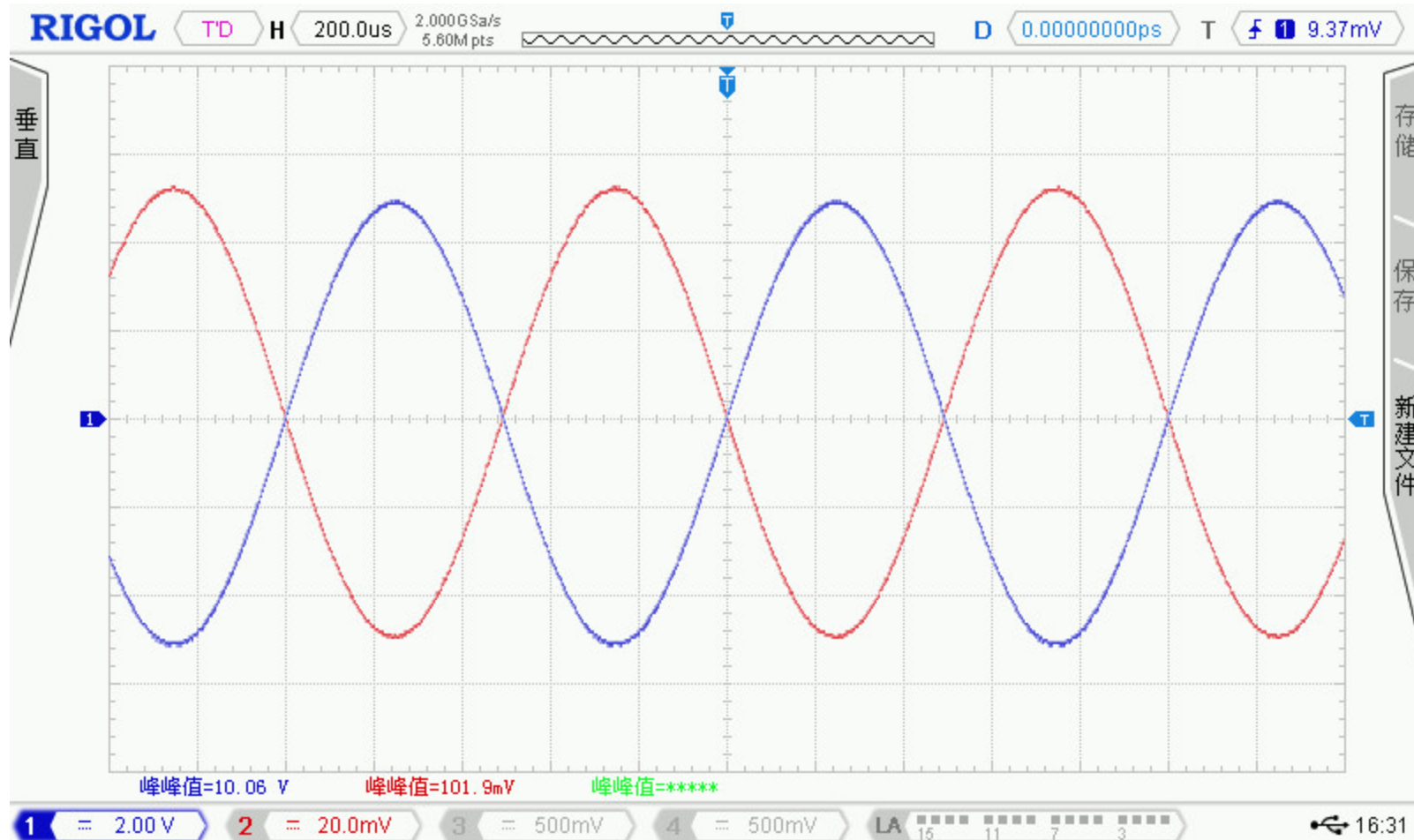
P348⑤ 测量差模放大倍数和共模放大倍数应选用什么测量仪器？为什么？

INA128参考，双端输入



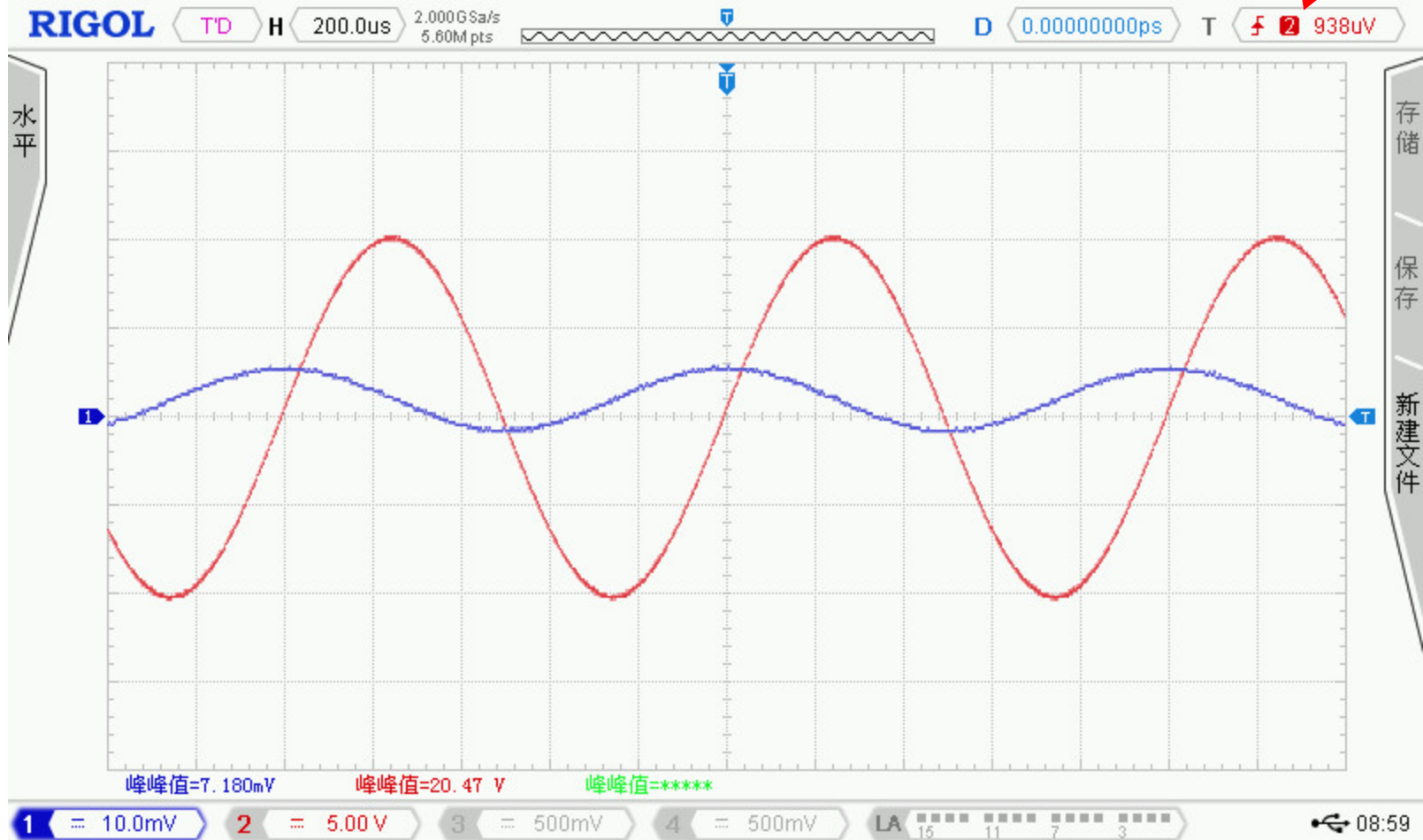
函数发生器的两路主输出，频率都为1KHz，输出的峰峰值分别为1V（接INA128同相端）和1.1V（接INA128反相端）；**两路相位相同（怎样操作？）**。

INA128参考，单端输入

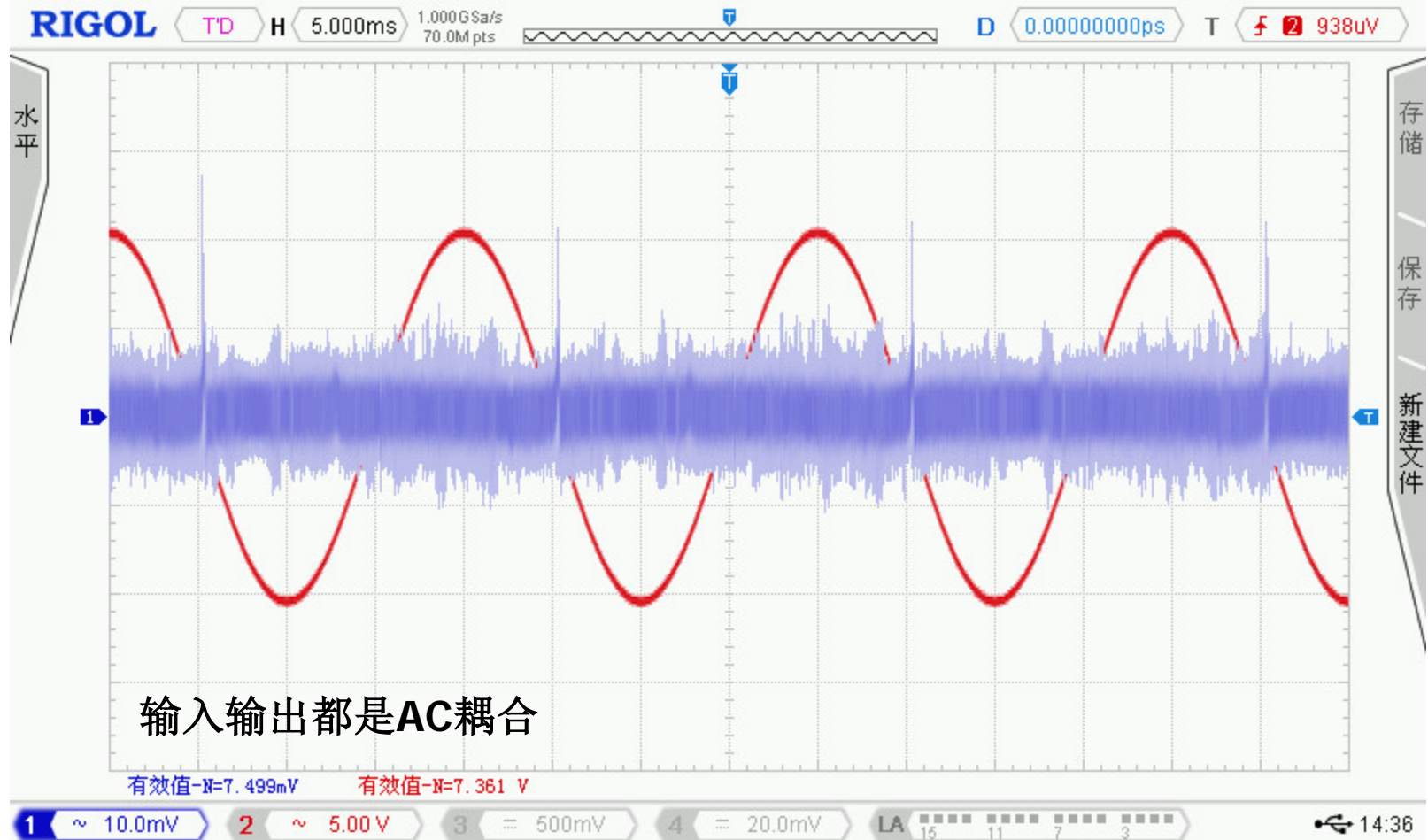


函数发生器的一路主输出，频率为1KHz，输出的峰峰值为100mV。INA128同相端接地，反相端接入100mV。

1KHz , 20Vpp共模输入 (DC耦合)

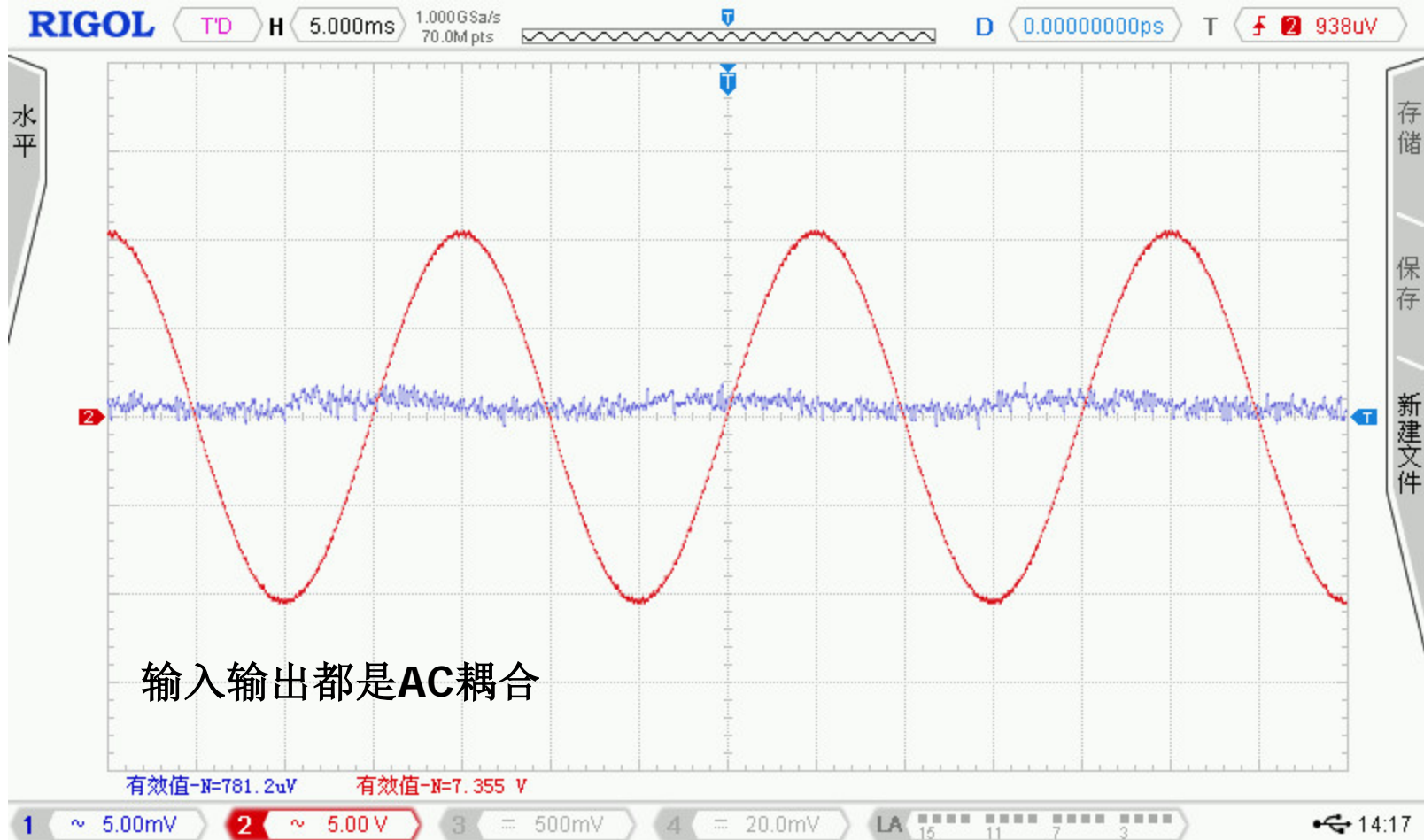


50Hz , 20Vpp共模输入(AC耦合),获取方式 “普通”



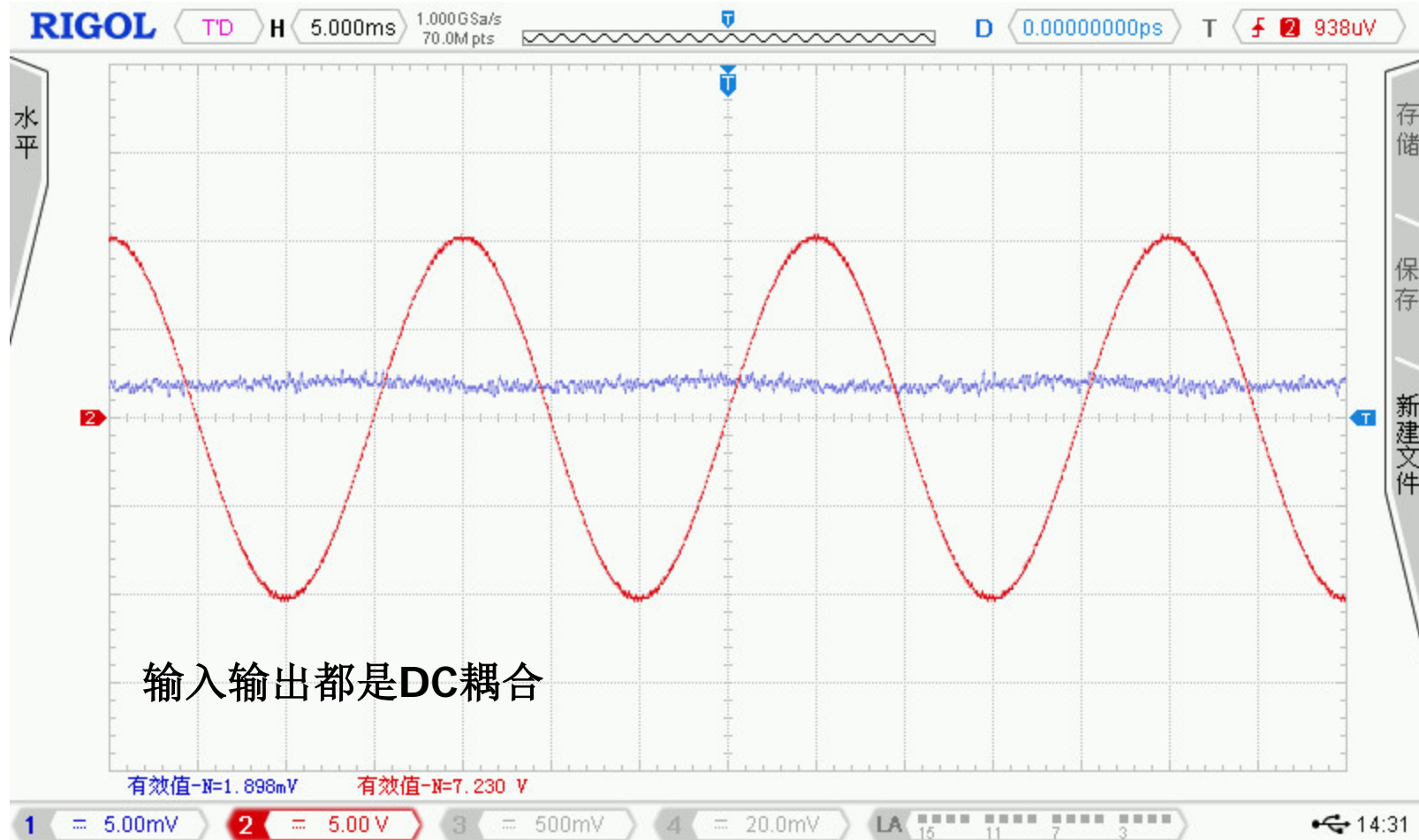
因是50Hz正弦波信号，则用万用表交流档测量输入为7V,输出为0.2mV

50Hz, 20Vpp共模输入, 获取方式“平均”要耐心等待



因是50Hz正弦波信号, 则用万用表交流档测量输入为7V,输出为0.2mV

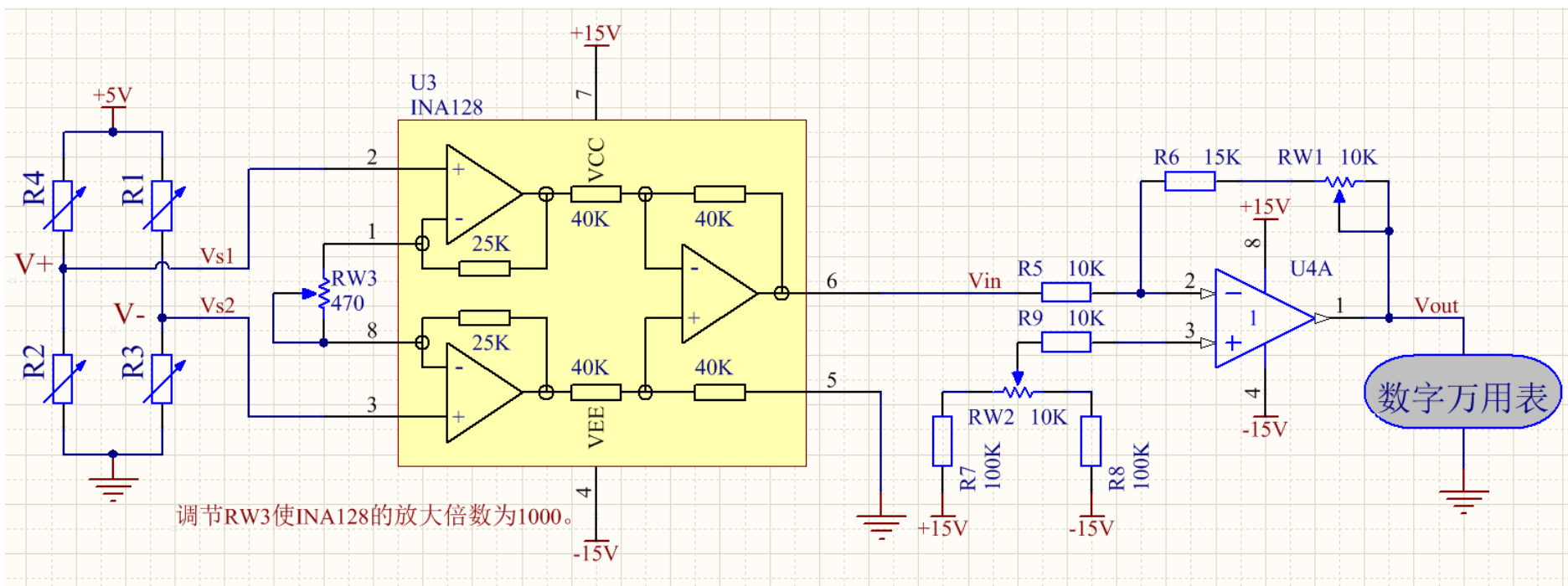
50Hz , 20Vpp共模输入,获取方式“平均”要耐心等待



因是50Hz正弦波信号，则用万用表交流档测量输入为7V,输出为0.2mV

实验任务2

2、用单片集成仪表放大器INA128构成放大电路，并与力传感器、零点与增益调节电路、万用表一起构成电子秤。（**注意**RW3可以用51欧姆替代）



INA128放大电路放大倍数约为1000倍，后面增益调节电路放大倍数1.5倍至2.5倍。测量时实验箱上COM1与COM2须连接在一起。

INA128仪用放大器的电源绝对不能接错！

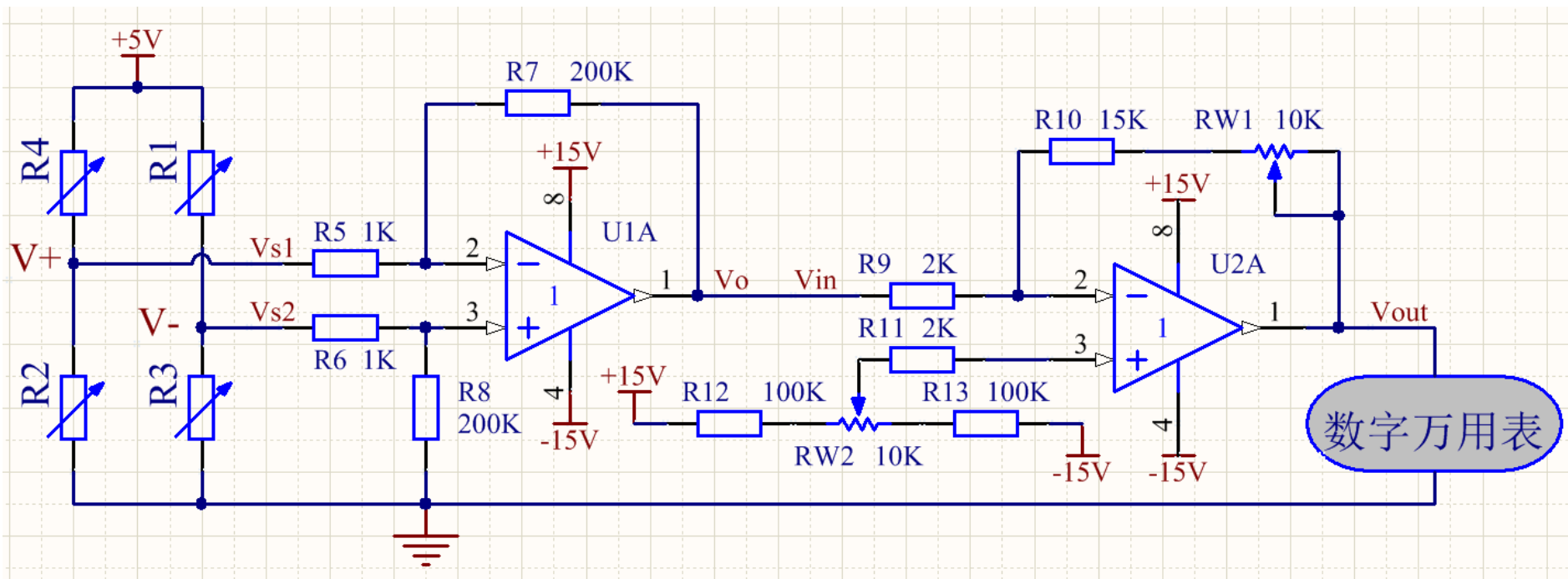


扩展实验任务2

**测量的电压表用FPGA开发板设计，应用ADS7886芯片（参考P405）。
其他资料详细见FTP。
如果要做该实验任务，所需的开发板请到东3-207来找我。**

选做实验任务3

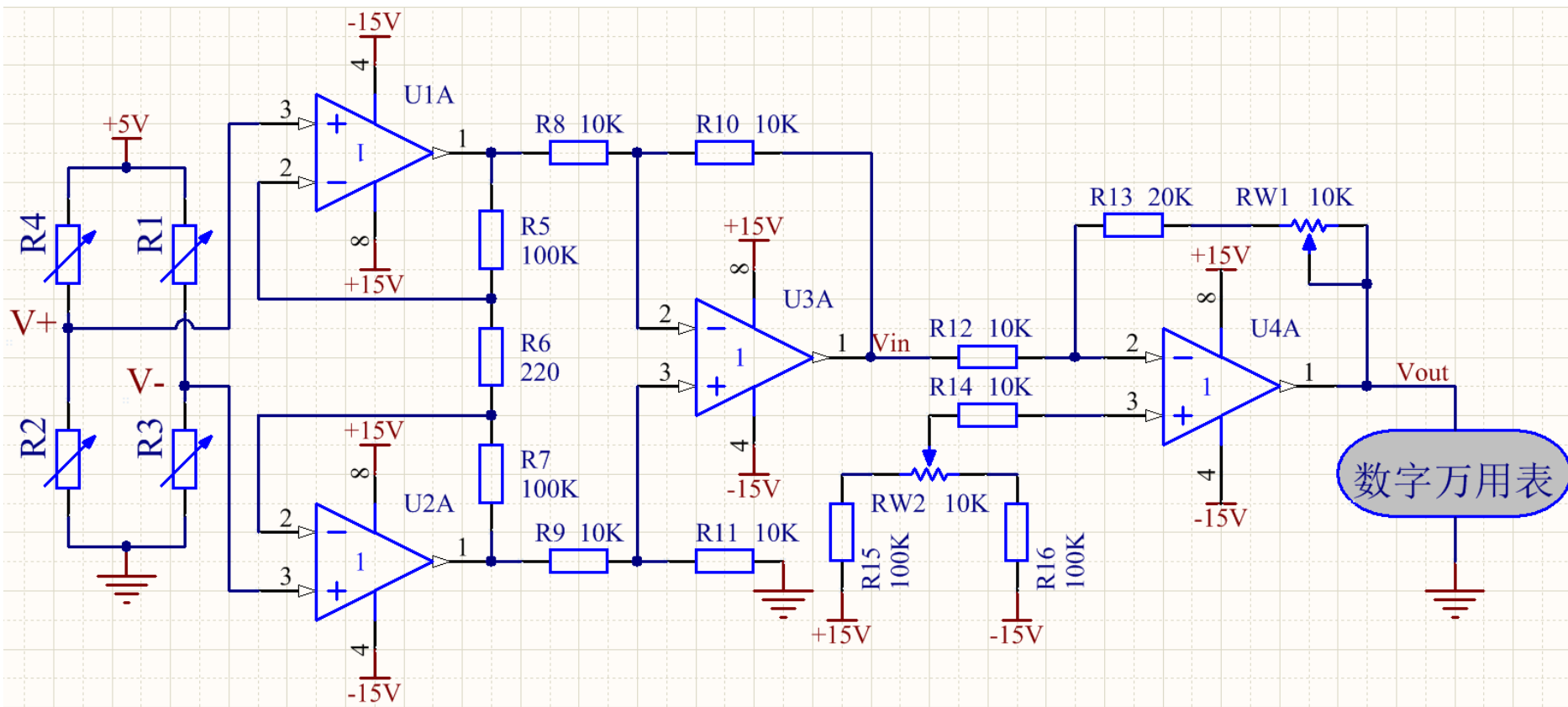
选做3、用单个通用运算放大器设计一个差分放大电路，并与力传感器、零点与增益调节电路、万用表一起构成电子秤。



差动放大电路放大倍数为200倍，后面增益调节电路放大倍数7.5倍至12.5倍。测量时实验箱上COM1与COM2须连接在一起。

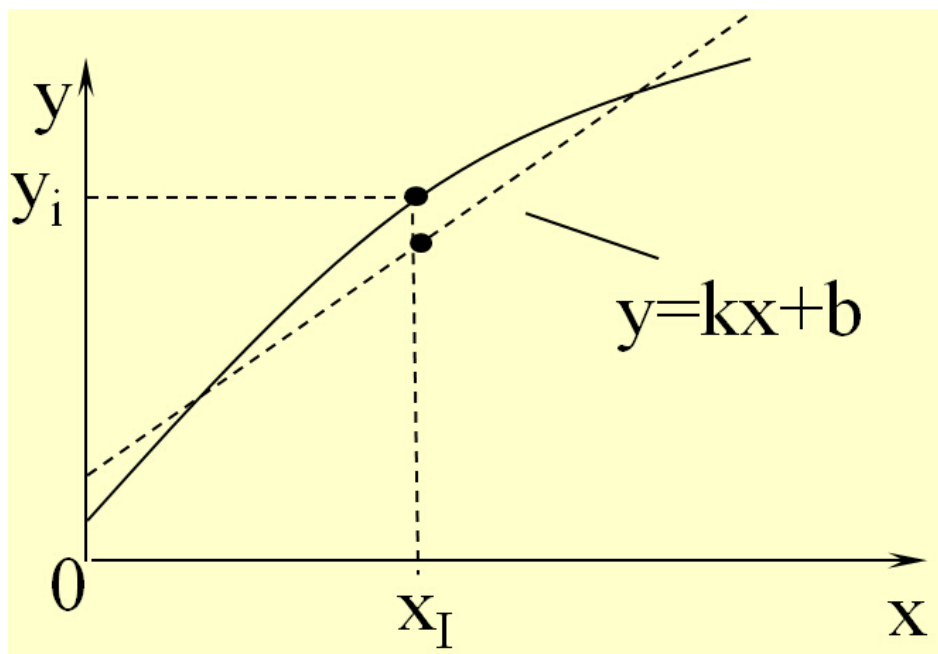
选做实验任务4

选做4、用通用运算放大器设计一个仪用放大器，并与力传感器、零点与增益调节电路、万用表一起构成电子秤。



仪用放大电路放大倍数为910倍，后面增益调节电路放大倍数2倍至3倍。测量时实验箱上COM1与COM2须连接在一起。

测量电路的线性度



在采用直线拟合线性化时，输出输入的校正曲线与其拟合曲线之间的最大偏差，就称为非线性误差或线性度。

通常用相对误差 γ_L 表示：

$$\gamma_L = \pm (\Delta L_{\max} / y_{FS}) \times 100\%$$

ΔL_{\max} — 最大非线性误差； y_{FS} — 量程输出。

测量电路的测量精度

传感器的精度是指测量结果的可靠程度，是测量中各类误差的综合反映，测量误差越小，传感器的精度越高。

传感器的精度用其量程范围内的最大基本误差与满量程输出之比的百分数表示，其基本误差是传感器在规定的正常工作条件下所具有的测量误差，由系统误差和随机误差两部分组成。

$$A = \frac{\Delta A}{Y_{F.S}} \times 100\%$$

ΔA — 测量范围内允许的最大绝对误差

$Y_{F.S}$ — 满量程输出

工程技术中为简化传感器精度的表示方法，引用了精度等级的概念。精度等级以一系列标准百分比数值分档表示，代表传感器测量的最大允许误差。

它是以一系列标准百分数值表示
(0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0,
1.5, 2.5, 4.0...)

P348

- ① 为什么要在数据采集系统中使用仪用放大器？
- ② 三运放仪用放大电路有哪些特点？
- ③ 如何实现对差分放大电路的调零？
- ④ 差分放大电路的差模输出电压是与输入电压的差还是和成正比？
- ⑤ 测量差模放大倍数和共模放大倍数应选用什么测量仪器？为什么？
- ⑥ 如何实现仪用放大电路的单电源供电？

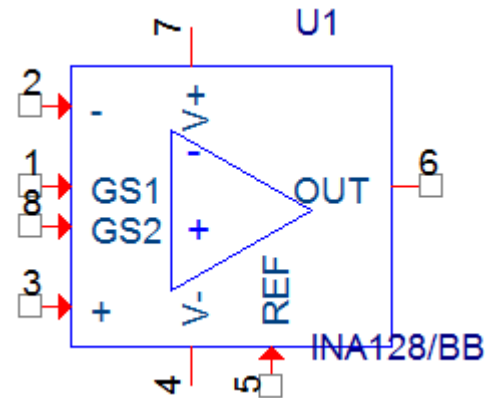
课后作业

本次需提交实验报告，要求请参看实验教材的要求和课件要求，及请回答教材和课件中思考问题。

选做：请仿真本次实验任务，且请把整个文件夹提交至FTP。

- 1、请提交做好的整个EDA文件夹的内容；请配上word文档说明。
- 2、提交时需压缩文件，压缩文件名的命名“座号_姓名.rar”。
- 3、提交的位置和截止时间：

“选做08 仪用放大器应用电路设计_下次上课前提交”





下次实验

- 实验19光电耦合器应用电路设计P348
- 请准备好10元现金，以备下次借电烙铁押金用，如果自己有电烙铁无需借用。
- 下次要领取《实验34 音频功率放大电路》的元器件。