

目 录

一、电桥性能实验.....	2
应变式压力传感器简介.....	2
直流电桥原理.....	6
实验一 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验.....	9
实验二 金属箔式应变片——半桥性能实验.....	13
实验三 金属箔式应变片——全桥性能实验.....	15
实验四 直流全桥的应用——称重实验.....	18
二、光电传感器.....	20
实验一 光敏电阻的特性实验.....	20
实验二 光敏电阻的应用实验.....	22
实验三 光敏二极管的光特性实验.....	24
实验四 光敏三极管的光特性实验.....	26
实验五 光电开关的测速实验.....	28
三、温度传感器.....	30
实验一 铂电阻温度传感器的特性及温度测量.....	30
实验二 K 型热电偶的特性及温度测量.....	32
实验三 二极管温度传感器的特性及温度测量.....	35
实验四 三极管温度传感器的特性及温度测量.....	37
实验五 集成温度传感器的特性及温度测量.....	39
四、 典型传感器.....	41
实验一 电感式传感器——金属识别实验.....	41
实验二 电容式传感器——物件计数实验.....	44
实验三 磁电式传感器——霍尔测速实验.....	47
实验四 震动传感器——防盗报警实验.....	50
实验五 噪声传感器——噪声测量实验.....	53
实验六 酒精传感器——酒精测量实验.....	56
实验七 旋转编码器——角度定位实验.....	59
七、扩展应用.....	62
面包板部分.....	62
八、附录.....	63
附录一 PT1000 分度表.....	63
附录二 K 型热电偶分度表.....	67

一、电桥性能实验

应变式压力传感器简介

一、应变片的结构

应变片由应变敏感元件、基片和覆盖层、引出线三部分组成，如图 1 所示。应变敏感元件一般由金属丝、金属箔（高电阻系数材料）组成，它把机械应变转化成电阻的变化。基片和覆盖层起固定和保护敏感元件、传递应变和电气绝缘作用。

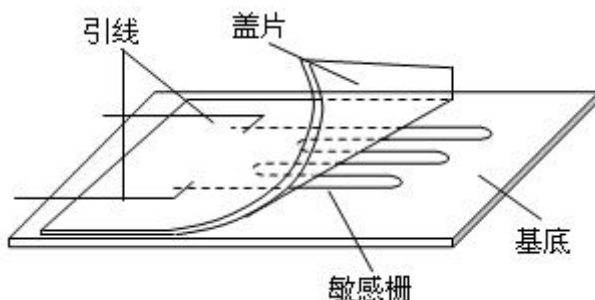


图 1 金属丝式应变片结构

由于金属箔应变片厚度小、工作电流大、寿命长、易批量生产，在应力测量中应用广泛。它是利用光刻、腐蚀等技术将厚约 0.003~0.01mm 的金属箔片制成所需图形的敏感栅，如图 2 所示。

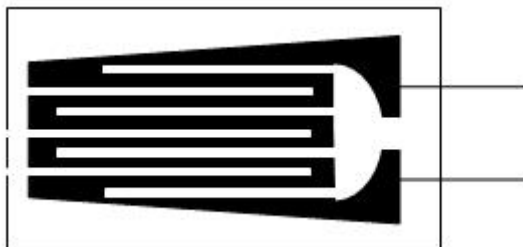


图 2 金属箔式应变片

本实验采用的是金属箔式应变片，其特点如下：①金属箔栅很薄，因而它所感受的应力状态与试件表面的应力状态更为接近。其次，当箔材和丝材具有同样的截面积时，箔材与粘接层的接触面积比丝材大，使它能更好地和试件共同工作。第三，箔栅的端部较宽，横向效应较小，因而提高了应变测量的精度。②箔材表面积大，散热条件好，故允许通过较大电流，因而可以输出较大信号，提高了测量灵敏度。③箔栅的尺寸准确、均匀，且能制成任意形状，特别是为制造应变花和小标距应变片提供了条件，从而扩大了应变片的使用范围。④便于成批生产。⑤缺点：电阻值分散性大，有的相差几十欧姆，故需要作阻值调整；生产工序较为复杂，因引出线的焊点采用锡焊，因此不适于高温环境下测量；此外价格较贵。

二、应变效应

当金属丝在外力作用下发生机械变形时，其电阻值将发生变化，这种现象称为金属的电阻应变

效应。

设有一根长度为 l 、截面积为 S 、电阻率为 ρ 的金属丝，其电阻 R 为：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-1)$$

当金属电阻丝受到轴向拉力 F 作用时，将伸长 Δl ，横截面积相应减小 ΔS ，电阻率因晶格变化等因素的影响而改变 $\Delta \rho$ ，故引起电阻值变化 ΔR 。对式 (1-1) 全微分，并用相对变化量来表示，则有：

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (1-2)$$

式中 $\frac{\Delta R}{R}$ 为电阻的相对变化， $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ 为电阻率的相对变化， $\frac{\Delta l}{l}$ 为金属丝长度相对变化，用 ε 表示， $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 称为金属丝长度方向上的应变或轴向应变， $\frac{\Delta S}{S}$ 截面积的相对变化。

由于 $S = \pi r^2$ ，对该式进行全微分，并用相对变化量来表示，则有 $\frac{\Delta S}{S} = 2 \frac{\Delta r}{r}$ ， $\frac{\Delta r}{r}$ 为金属丝半径的相对变化，即径向应变为 ε_r 。

由材料力学知： $\varepsilon_r = -\mu \varepsilon$ ，则 (1-2) 式可以写成：

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho}{\rho} = (1 + 2\mu + \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}) \frac{\Delta l}{l} = k_0 \frac{\Delta l}{l} \quad (1-3)$$

式 (1-3) 为“应变效应”的表达式。 k_0 称金属电阻的灵敏系数，从式 (1-3) 可见， k_0 受两个因素影响，一个是 $(1 + 2\mu)$ ，它是材料的几何尺寸变化引起的，另一个是 $\frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}$ ，是材料的电阻率 ρ 随应变引起的（称“压阻效应”）。对于金属材料而言，以前者为主，则 $k_0 \approx 1 + 2\mu$ ，对半导体， k_0 值主要是由电阻率相对变化所决定。实验也表明，在金属丝拉伸比例极限内，电阻相对变化与轴向应变成比例。通常金属丝的灵敏系数 k_0 在 1.8~3.6 范围内。

用应变片测量受力时，将应变片粘贴于被测对象表面上。在外力作用下，被测对象表面产生微小机械变形时，应变片敏感栅也随同变形，其电阻值发生相应变化。通过调理转换电路转换为相应的电压或电流的变化，根据 (1-3) 式，可以得到被测对象的应变值 ε ，而根据应力应变关系： $\sigma = E\varepsilon$ ，可以测得应力值 σ 。

上式中 σ 为测试的应力， E 为材料弹性模量。

通过弹性敏感元件，将位移、力、力矩、加速度、压力等物理量转换为应变，因此可以用应变片测量上述各量，从而做成各种应变式传感器。电阻应变片可分为金属丝式应变片，金属箔式应变片，金属薄膜应变片。

金属箔式应变片的工作原理基本和电阻丝式应变片相同。它的电阻敏感元件不是金属丝栅，而是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件，通过它转换被测部位受力状态变化、电桥的作用完成电阻到电压的比例变化，电桥的输出电压反映了相应的受力状态。

三、应变式压力传感器结构

应变式压力传感器包括两个部分：一是弹性敏感元件，利用它将被测物理量（如力、扭矩、加速度、压力等）转换为弹性体的应变值；另一个是应变片作为转换元件将应变转换为电阻的变化。当压力作用在薄板承压面上时，薄板变形，粘贴在另一面的电阻应变片随之变形，并改变阻值。这时测量电路中电桥平衡被破坏，产生输出电压。

应变式压力传感器的结构，如图 3 所示，传感器中各应变片上的 R1、R2、R3、R4，可用万用表测量同一种颜色的两端判别， $R1=R2=R3=R4 \approx 350 \Omega$ 。

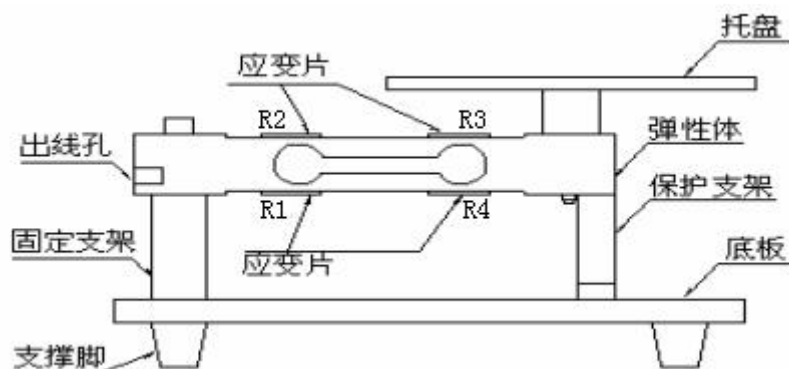


图 3 应变式压力传感器安装示意图

本实验所用的应变式压力传感器，实物如图 4 所示，技术指标参考表 1。

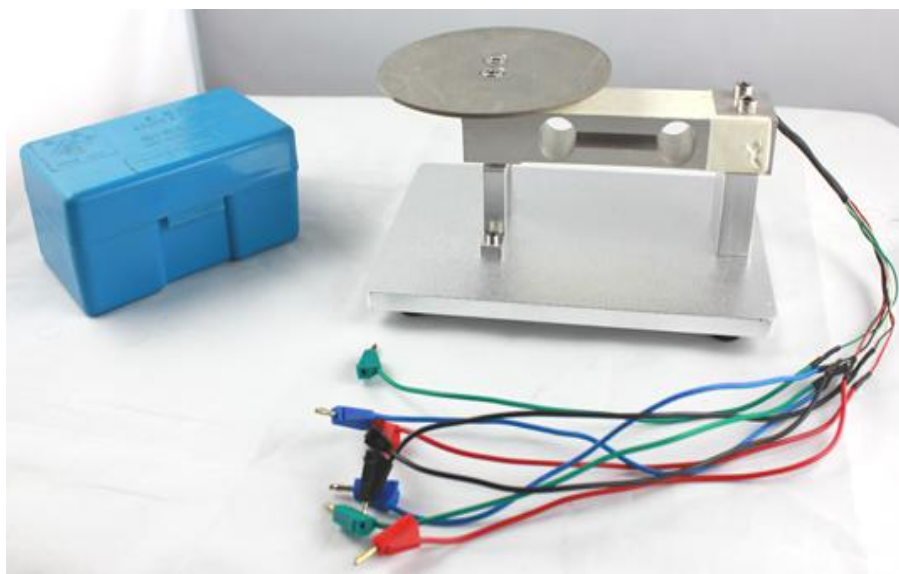


图 4 应变式压力传感器

表 1

规格	单位	技术指标	备注
量程	kg	5	
综合精度	%FS	0.03	
输出灵敏度	mV/V	2 ± 0.05	
非线性	%FS	0.02	
滞后	%FS	0.02	
重复性	%FS	0.02	
蠕变	%FS	0.02	30 min
零点漂移	%FS	0.02	120 min
零点温度漂移	%FS/10℃	0.02	
灵敏度温度漂移	%FS/10℃	0.02	
零点输出	%FS	± 1	
输入阻抗	Ω	415 ± 15	
输出阻抗	Ω	350 ± 3	
绝缘阻抗	M Ω	≥ 5000	50V DC
推荐激励电压	V(DC/AC)	10	
最大激励电压	V(DC/AC)	15	
补偿温度范围	℃	-10 ~ +40	
工作温度	℃	-20 ~ +60	
安全超载	%FS	150	
极限载荷	%FS	300	

直流电桥原理

在进行金属箔式应变片单臂、半桥、全桥性能实验之前，我们有必要先来介绍一下直流电桥的相关知识。电桥电路有直流电桥和交流电桥两种。电桥电路的主要指标是桥路灵敏度、非线性和负载特性。下面具体讨论有关直流电路和与之相关的这几项指标。

一、平衡条件

直流电桥的基本形式如图 1 所示。 R_1 , R_2 , R_3 , R_4 为电桥的桥臂电阻, R_L 为其负载 (可以是测量仪表内阻或其他负载)。

R_L 当 $\rightarrow \infty$ 时, 电桥的输出电压 V_0 应为

$$V_0 = E \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

当电桥平衡时, $V_0 = 0$, 由上式可得到 $R_1 R_4 = R_2 R_3$

或

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (1-1)$$

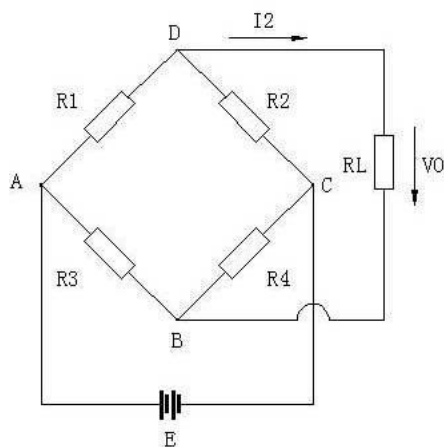


图 1

式 (1-1) 称为电桥平衡条件。平衡电桥就是桥路中相邻两桥臂阻值之比应相等, 桥路相邻两臂阻值之比相等方可使流过负载电阻的电流为零。

二、平衡状态

1. 单臂直流电桥

所谓单臂就是电桥中一桥臂为电阻式传感器, 且其电阻变化为 ΔR , 其它桥臂阻值固定不变, 这时电桥输出电压 $V_0 \neq 0$ (此时电桥为开路状态), 则不平衡电桥输出电压 V_0 为:

$$V_0 = E \left(\frac{R_2 + \Delta R_2}{R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

整理得：

$$V_0 = \frac{\left(\frac{R_3}{R_4} \right) \left(\frac{\Delta R_2}{R_2} \right)}{\left(1 + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{R_1}{R_2} \right) \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right)} E \quad (1-2)$$

设桥臂比 $n = \frac{R_1}{R_2}$ ，由于 $\Delta R_2 \ll R_2$ ，分母中 $\frac{\Delta R_2}{R_2}$ 可忽略，输出电压便为：

$$V_0'' = \frac{\left(\frac{R_3}{R_4} \right) \left(\frac{\Delta R_2}{R_2} \right)}{\left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right)} E$$

这是理想情况，式（1-2）为实际输出电压，由此可求出电桥非线性误差。实际的非线性特性曲线与理想线性曲线的偏差称为绝对非线性误差。则其相对线性误差 r 为：

$$r = \frac{V_0 - V_0''}{V_0} = \frac{\left(-\frac{\Delta R_2}{R_2} \right)}{\left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)} = \frac{\left(-\frac{\Delta R_2}{R_2} \right)}{(1+n)} \quad (1-3)$$

由此可见，非线性误差与电阻相对变化 $\frac{\Delta R_2}{R_2}$ 有关，当 $\frac{\Delta R_2}{R_2}$ 较大时，就不可忽略误差了。

下面来看电桥电压灵敏度 S_V 。在式（1-2）中，忽略分母中 $\frac{\Delta R_2}{R_2}$ 项，并且考虑到起始平衡条件

$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ ，从式（1-2）可以得到：

$$V_0' \approx E \frac{n}{(1+n)^2} \frac{\Delta R_2}{R_2} \quad (1-4)$$

电桥灵敏度的定义为：

$$S_V = \frac{\frac{\Delta V}{\frac{\Delta R_2}{R_2}}}{\frac{V_0'}{\frac{\Delta R_2}{R_2}}} \approx \frac{V_0'}{\frac{\Delta R_2}{R_2}} = \frac{n}{(1+n)^2} E \quad (1-5)$$

当 $n=1$ 时，可求得 S_V 最大。也就是说，在电桥电压 E 确定后，当 $R_1=R_2$ ， $R_3=R_4$ 时，电桥电压灵敏度最高。此时可分别将式（1-2）、（1-3）、（1-4）、（1-5）化简为：

$$V_0 = \frac{1}{4} E \frac{\Delta R_2}{R_2} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta R_2}{R_2}} \quad (1-6)$$

$$r = \frac{\frac{\Delta R_2}{R_2}}{2} \quad (1-7)$$

$$V_0' \approx \frac{1}{4} E \frac{\Delta R_2}{R_2} \quad (1-8)$$

$$S_V = \frac{1}{4} E \quad (1-9)$$

由上面四式可知，当电源电压 E 和电阻相对变化 $\frac{\Delta R_2}{R_2}$ 一定时，电桥的输出电压 V_0 ，非线性误差 r ，电压灵敏度 S_V 也是定值，与各桥臂阻值无关。

2. 差动直流电桥（半桥式）

若图 1-1 中支流电桥的相邻两臂为传感器，即 R_1 和 R_2 为传感器，并且其相应变化为 ΔR_1 和 ΔR_2 ，则该电桥输出电压 $V_0 \neq 0$ ，当 $\Delta R_1 = \Delta R_2$ ， $R_1 = R_2$ ， $R_3 = R_4$ 时，则得：

$$V_0 = \frac{1}{2} E \frac{\Delta R_2}{R_2}$$

上式表明， V_0 与 $\frac{\Delta R_2}{R_2}$ 成线性关系，比单臂电桥输出电压提高一倍，差动电桥无非线性误差，

而且电压灵敏度 S_V 为：

$$S_V = \frac{1}{2} E$$

比使用一只传感器提高了一倍，同时可以起到温度补偿的作用。

3. 双差动直流电桥（全桥式）

若图 1-1 中直流电桥的四臂均为传感器，则构成全桥差动电路。若满足 $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4$ 则输出电压和灵敏度为：

$$V_0 = E \frac{\Delta R_2}{R_2}$$

$$S_V = E$$

由此可知，全桥式直流电桥是单臂直流电桥的输出电压和灵敏度的 4 倍，是半桥式直流电桥的输出电压和灵敏度的 2 倍。

实验一 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验

一、实验目的

了解金属箔式应变片的应变效应，单臂电桥工作原理和性能。

二、实验内容及原理

电阻丝在外力作用下发生机械变形时，其电阻值发生变化，这就是电阻应变效应，描述电阻应变效应的关系式为：

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

式中 $\frac{\Delta R}{R}$ 为电阻丝电阻相对变化， K 为应变灵敏系数， $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ 为电阻丝长度相对变化，金属

箔式应变片就是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件，通过它转换被测部位受力状态变化，电桥的作用完成电阻到电压的比例变化，电桥的输出电压反映了相应的受力状态。对单臂电桥输出电压 $U_{01} = EK\varepsilon/4$ 。

图 1-2，图 1-3 是压力传感器的测量电路，由两个部分组成。前一部分是采用三个运放构成的仪表放大电路，后面的反相比例放大电路将仪表放大器的输出电压进一步放大。R28 是电桥的调零电阻，R42 是整个放大电路的调零电阻，R29 是前一级仪表放大器的运放增益调节电阻，R40 后一级反相比例放大电路的调整运放增益。仪表放大器因为输入阻抗高，共模抑制能力好而作为电桥的前置接口电路。其增益可用下式表示：

$$A = \left(1 + \frac{2R_{30}}{R_{29}} \right) \quad (1-1)$$

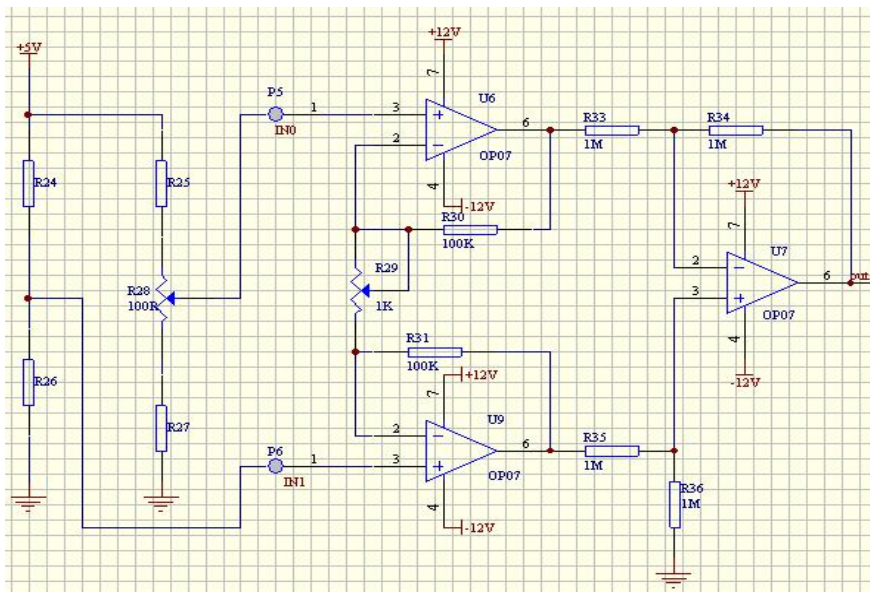


图 1-2 仪表放大电路原理图

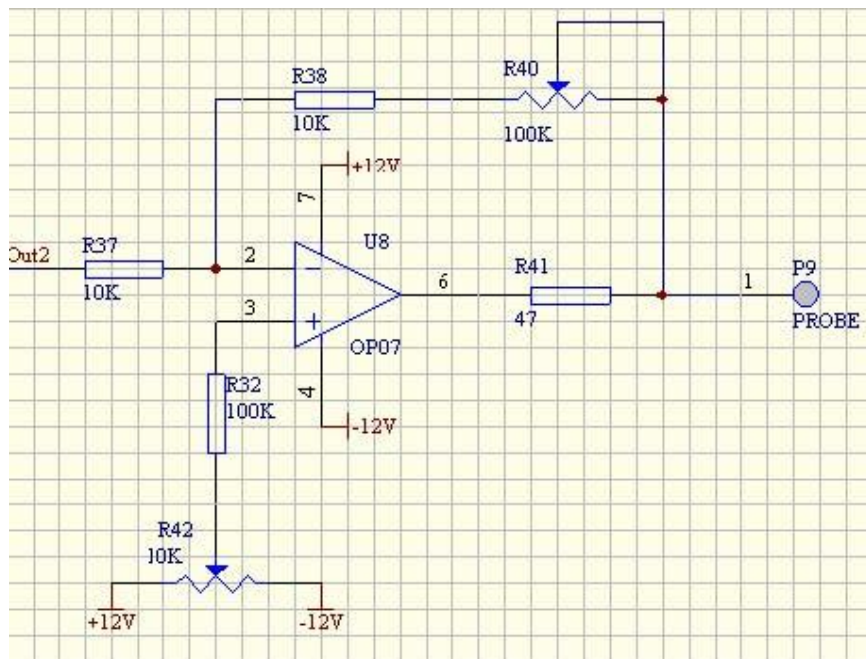


图 1-3 反比例放大电路原理图

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 应变式传感器；
3. 砝码一盒；
4. 连接线若干；
5. 万用表（自备）。

四、操作方法及实验步骤

1. 根据图 1-4 所示，传感器中各应变片上的 R1、R2、R3、R4 接线颜色分别为绿色、黑色、红色、蓝色，（备注：以上引线颜色以有插针的一端颜色为准）可用万用表测量同一种颜色的两端判别， $R1=R2=R3=R4 \approx 350 \Omega$ 。

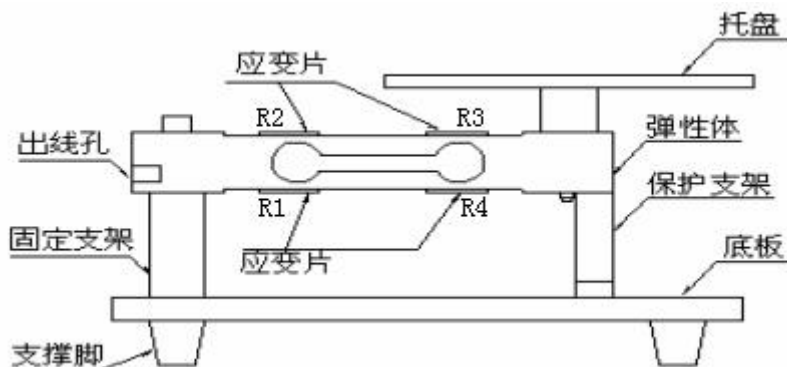


图 1-4 桥臂安装示意图

2. 根据仪表放大电路原理图（图 1-2 所示），先将电路板上的 R24、R26、R27 接入 350Ω 电阻，再将应变式传感器的其中一个应变片 R1 接到电路板上的 R25，那么一个应变片 R1 与电路板上的

R24、R26、R27 构成单臂直流电桥。检查接线无误后，接通电源。使用万用表测量 IN0 与 IN1 之间的电压，调节电位器 R28（100R 电位器），使 IN0 与 IN1 之间的电压差为零，这一步我们称之为电桥调零。

3. 将**仪表放大电路**的输出端接到**反相比例放大电路**的输入端，用万用表测**反相比例放大电路**的输出端电压。根据图 1-2 **仪表放大电路**的增益计算公式（1-1），我们可以知道，前级由三运放组成的放大器中，由于 R30 已经固定，放大器的放大系数由 R29（1K 电位器）决定，当 R29 趋于 0 时，其放大系数最大。这时放大器输出电压约为 OP07 的供电电压（其极性取决于 IN0 与 IN1 的电位差极性）。为确定具体的放大系数和避免放大器的饱和输出，这里我们可以先将 **R29 顺时针调节至顶**，其阻值大约为 1K 欧。因此前置放大器其放大系数约为 201。后级的**反相比例放大电路**其放大倍数由 R40（100K 电位器）决定，为确定反相比例放大器的具体的放大系数和避免反相比例放大器的饱和输出，此时我们将 **R40 逆时针调切至顶**。其阻值大约为 0 欧，后级的放大倍数约为 1。由于引入了两级放大器，在调整时，增加了不确定性。因此，在调节之初，我们先将前级的电位器调整到最大，后级的电位器调整至最小，固定两级的放大倍数。

4. 直接使用万用表测量**反相比例放大电路**的输出端电压。调节 R42（10K 电位器），使输出电压为零，我们称之为输出调零。

5. 完成以上步骤后，整个电桥电路完成了初始调整工作。可以进行下一步的称重实验，放置 100g 砝码到桥臂托盘上，看电压的变化量。如果电压变化量非常小，那么**先顺时针调节电位器 R40**，改变后级放大电路的增益（放大倍数）。如果变化量在 200mV 左右即可。**请注意，当改变 R40 阻值时，R42 的阻值也要再次调整，才能满足反相比例放大电路输出为零的要求。**如果调整 R40 的阻值，输出的电压变化量仍然满足不了要求，将 R40 顺时针调节至顶，再调节 R29，使输出电压变化压到要求。**请注意，当改变 R29 阻值时，R42 的阻值也要再次调整，才能满足反相比例放大电路输出为零的要求。**调好后 R29，R40 保持不变，方便跟后面的实验数据进行比较。

具体的调节思路：先固定两级，如不满足要求，调节后级，仍不满足，固定后级至最大，调节前级。

五、实验数据

在托盘上放置砝码，读取**反相比例放大电路**输出端电压值，依次增加砝码并读取相应的电压值。记下实验结果填入表 1-1 中，关闭电源。

质量（g）							
输出电压（mV）							

表 1-1 单臂测量时输出电压与对应砝码质量值

六、实验结果与数据分析

1. 根据表 1-1，绘制电压重量变化曲线图。

2. 计算灵敏度 $SI = \Delta V / \Delta M$ (输出电压变化量与质量变化量之比)。

七、思考题

单臂电桥时，作为桥臂电阻应变片应选用：()

- (1) 正(受拉)应变片
- (2) 负(受压)应变片
- (3) 正、负应变片均可

八、问题与建议

◆ 请注意：由于电桥与电路板之前的连接采用是插线方式，如不仔细操作，容易引起接触不良的情况。具体表现为，电桥无法调零。其原因是由于电桥与电路板之间的接触电阻影响了电桥平衡。如无法调零，请着重检查电桥与电路板之间的连接。

电路板上的电位器都是采用的优质电位器，同一方向上即使反复拧也不容易损坏，因而造成一种假象，认为电位器无法拧到最大值或最小值。当电位器拧到一端的顶点时，它会发出“咯咯”的响声，表示已经到最大值或最小值。

实验二 金属箔式应变片——半桥性能实验

一、实验目的

比较半桥与单臂电桥的不同性能，了解其特点。

二、实验内容及原理

不同受力方向的两只应变片接入电桥作为邻边，电桥输出灵敏度提高，非线性得到改善。当应变片阻值和应变量相同时，其桥路输出电压如下式：

$$U_{02} = EK\varepsilon/2$$

其测量电路同实验一。

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 应变式传感器；
3. 砝码一盒；
4. 连接线若干；
5. 万用表（自备）。

四、操作方法与实验步骤

1. 传感器安装同实验一。

2. 根据仪表放大电路原理图（图 1-2 所示），将电路板上的 R25、R27 接入 350Ω 电阻，将应变式传感器的红色（或白色）线连接的应变片接入电路板上的 R24，将黄色（或蓝色）线连接的应变片接入电路板上的 R26，那么应变片 R1，R3 与电路板上的 R25、R27 接成差动直流电桥（半桥）。检查接线无误后，接通电源。使用万用表测量 IN0 与 IN1 之间的电压，调节电位器 R28（100R 电位器），使 IN0 与 IN1 之间的电压差为零，这一步我们称之为电桥调零。

3. 将仪表放大电路的输出端接到反相比例放大电路的输入端，用万用表测反相比例放大电路的输出端电压。根据图 1-2 仪表放大电路的增益计算公式（1-1），我们可以知道，前级由三运放组成的放大器中，由于 R30 已经固定，放大器的放大系数由 R29（1K 电位器）决定，当 R29 趋于 0 时，其放大系数最大。这时放大器输出电压约为电源电压（其极性取决于 IN0 与 IN1 的电位差极性）。为确定具体的放大系数和避免放大器的饱和输出，这里我们可以先将 R29 顺时针调节至顶，其阻值大约为 1K 欧。因此前置放大器其放大系数约为 201。后级的反相比例放大电路其放大倍数由 R40（100K 电位器）决定，为确定反相比例放大器的具体的放大系数和避免反相比例放大器的饱和输出，此时我们将 R40 逆时针调切至顶。其阻值大约为 0 欧，后级的放大倍数约为 1。由于引入了两级放大器，在调整时，增加了不确定性。因此，在调节之初，我们先将前级的电位器调整到最大，后级的电位器调整至最小，固定两级的放大倍数。

4. 注意 R24 应和 R26 受力状态相反，即传感器中两片受力相反（一片受拉、一片受压）的电

阻应变片作为电桥的相邻边。直接使用万用表测量反相比例放大电路的输出端电压。调节 R42 (10K 电位器)，使输出电压为零，我们称之为输出调零。

5. 完成以上步骤后，整个电桥电路完成了初始调整工作。可以进行下一步的称重实验，放置 100g 砝码到桥臂托盘上，看电压的变化量。如果电压变化量非常小，那么先顺时针调节电位器 R40，改变后级放大电路的增益（放大倍数）。如果变化量在 200mV 左右即可。**请注意，当改变 R40 阻值时，R42 的阻值也要再次调整，才能满足反相比例放大电路输出为零的要求。**如果调整 R40 的阻值，输出的电压变化量仍然满足不了要求，将 R40 顺时针调节至顶，再调节 R29，使输出电压变化压到要求。**请注意，当改变 R29 阻值时，R42 的阻值也要再次调整，才能满足反相比例放大电路输出为零的要求。**调好后 R29，R40 保持不变，方便跟后面的实验数据进行比较。

具体的调节思路：先固定两级，如不满足要求，调节后级，仍不满足，固定后级至最大，调节前级。

注意：如果本实验数据要与实验一作比较，调节增益如果已经在实验一调好，R29、R40 必须保持不变。

五、实验数据

在托盘上放置砝码，读取反相比例放大电路输出端电压值，依次增加砝码并读取相应的电压值。记下实验结果填入表 2-1 中，关闭电源。

质量 (g)							
输出电压(mV)							

表 2-1 半桥测量时输出电压与对应砝码质量值

六、实验结果与分析

计算灵敏度 $S_2 = \Delta V / \Delta M$ （输出电压变化量与质量变化量之比）并与实验一数据 S_1 进行比较，若实验时无数值显示，说明 R24 与 R26 为相同受力状态应变片，应更换一个应变片。

七、思考题

半桥测量时两片不同受力状态的电阻应变片接入电桥时，应放在：（ ）

- (1) 对边
- (2) 邻边。

八、问题与建议

◆ 请注意：由于电桥与电路板之前的连接采用是插线方式，如不仔细操作，容易引起接触不良的情况。具体表现为，电桥无法调零。其原因是由于电桥与电路板之间的接触电阻影响了电桥平衡。如无法调零，请着重检查电桥与电路板之间的连接。

电路板上的电位器都是采用的优质电位器，同一方向上即使反复拧也不容易损坏，因而造成一

种假象，认为电位器无法拧到最大值或最小值。当电位器拧到一端的顶点时，它会发出“咯咯”的响声，表示已经到最大值或最小值。

实验三 金属箔式应变片——全桥性能实验

一、实验目的

了解全桥测量电路的优点。

二、实验内容及原理

全桥测量电路中，将受力性质相同的两应变片接入电桥对边，不同的接入邻边，应变片初始阻值： $R_0=R_1=R_2=R_3=R_4$ ，其变化值 $\Delta R_0=\Delta R_1=\Delta R_2=\Delta R_3=\Delta R_4$ 时，其桥路输出电压 $U_{03} = EK\varepsilon$ 。其输出灵敏度比半桥又提高了一倍，非线性误差和温度误差均得到改善。

其测量电路同实验一。

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 应变式传感器；
3. 砝码一盒；
4. 连接线若干；
5. 万用表（自备）。

四、操作方法与实验步骤

1. 传感器安装同实验一。

2. 根据仪表放大电路原理图（图 1-2 所示），将应变式传感器的红色、白色线连接的应变片接入电路板上的 R24、R27，将黄色、蓝色线连接的应变片接入电路板上的 R25、R26，构成一个全桥电路。检查接线无误后，接通电源。使用万用表测量 IN0 与 IN1 之间的电压，调节电位器 R28（100R 电位器），使 IN0 与 IN1 之间的电压差为零，这一步我们称之为电桥调零。

3. 将**仪表放大电路**的输出端接到**反相比例放大电路**的输入端，用万用表测**反相比例放大电路**的输出端电压。根据图 1-2 **仪表放大电路**的增益计算公式（1-1），我们可以知道，前级由三运放组成的放大器中，由于 R30 已经固定，放大器的放大系数由 R29（1K 电位器）决定，当 R29 趋于 0 时，其放大系数最大。这时放大器输出电压约为电源电压（其极性取决于 IN0 与 IN1 的电位差极性）。为确定具体的放大系数和避免放大器的饱和输出，这里我们可以先将 R29 **顺时针**调节至顶，其阻值大约为 1K 欧。因此前置放大器其放大系数约为 201。后级的**反相比例放大电路**其放大倍数由 R40（100K 电位器）决定，为确定反相比例放大器的具体的放大系数和避免反相比例放大器的饱和输出，此时我们将 R40 **逆时针**调切至顶。其阻值大约为 0 欧，后级的放大倍数约为 1。由于引入了两级放大器，在调整时，增加了不确定性。因此，在调节之初，我们先将前级的电位器调整到最大，后级

的电位器调整至最小，固定两级的放大倍数。

4. 直接使用万用表测量反相比例放大电路的输出端电压。调节 R42（10K 电位器），使输出电压为零，我们称之为输出调零。

5. 完成以上步骤后，整个电桥电路完成了初始调整工作。可以进行下一步的称重实验，放置 100g 砝码到桥臂托盘上，看电压的变化量。如果电压变化量非常小，那么先顺时针调节电位器 R40，改变后级放大电路的增益（放大倍数）。如果变化量在 200mV 左右即可。**请注意，当改变 R40 阻值时，R42 的阻值也要再次调整，才能满足反相比例放大电路输出为零的要求。**如果调整 R40 的阻值，输出的电压变化量仍然满足不了要求，将 R40 顺时针调节至顶，再调节 R29，使输出电压变化压到要求。**请注意，当改变 R29 阻值时，R42 的阻值也要再次调整，才能满足反相比例放大电路输出为零的要求。**调好后 R29，R40 保持不变，方便跟后面的实验数据进行比较。

具体的调节思路：先固定两级，如不满足要求，调节后级，仍不满足，固定后级至最大，调节前级。

注意：如果本实验数据要与实验一或实验二作比较，调节增益如果已经在实验一或实验二调好，R29，R40 必须保持不变。

五、实验数据

在托盘上放置砝码，读取反相比例放大电路输出端电压值，依次增加砝码并读取相应的电压值。记下实验结果填入表 3-1 中，关闭电源。

质量（g）							
输出电压（mV）							

表 3-1 全桥测量时输出电压与对应砝码质量值

六、实验结果与分析

进行灵敏度计算并将结果跟实验一、实验二的结果进行比较。

七、思考题

全桥测量中，当两组对边（R1、R3 为对边）电阻值相同时，而 $R1 \neq R2$ 时，是否可以组成全桥：（ ）

（1）可以

（2）不可以。

八、问题与建议

◆请注意：由于电桥与电路板之前的连接采用是插线方式，如不仔细操作，容易引起接触不良的情况。具体表现为，电桥无法调零。其原因是由于电桥与电路板之间的接触电阻影响了电桥平衡。如无法调零，请着重检查电桥与电路板之间的连接。

电路板上的电位器都是采用的优质电位器，同一方向上即使反复拧也不容易损坏，因而造成一种假象，认为电位器无法拧到最大值或最小值。当电位器拧到一端的顶点时，它会发出“咯咯”的响声，表示已经到最大值或最小值。

实验四 直流全桥的应用——称重实验

一、实验目的

了解应变力传感器的应用及电路标定。

二、实验内容及原理

电子秤实验原理为实验三，全桥测量原理，通过对电路调节使电路输出的电压值为质量对应值，成为一台原始电子秤。

其测量电路同实验一。

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 应变式传感器；
3. 砝码一盒；
4. 连接线若干；
5. 万用表（自备）。

四、操作方法及实验步骤：

1. 传感器安装同实验一。

2. 根据仪表放大电路原理图（图 1-2 所示），将应变式传感器的红色、白色线连接的应变片接入电路板上的 R24、R27，将黄色、蓝色线连接的应变片接入电路板上的 R25、R26，构成一个全桥电路。检查接线无误后，接通电源。使用万用表测量 IN0 与 IN1 之间的电压，调节电位器 R28（100R 电位器），使 IN0 与 IN1 之间的电压差为零，这一步我们称之为电桥调零。

3. 将仪表放大电路的输出端接到反相比例放大电路的输入端，用万用表测反相比例放大电路的输出端电压。根据图 1-2 仪表放大电路的增益计算公式（1-1），我们可以知道，前级由三运放组成的放大器中，由于 R30 已经固定，放大器的放大系数由 R29（1K 电位器）决定，当 R29 趋于 0 时，其放大系数最大。这时放大器输出电压约为电源电压（其极性取决于 IN0 与 IN1 的电位差极性）。为确定具体的放大系数和避免放大器的饱和输出，这里我们可以先将 R29 顺时针调节至顶，其阻值大约为 1K 欧。因此前置放大器其放大系数约为 201。后级的反相比例放大电路其放大倍数由 R40（100K 电位器）决定，为确定反相比例放大器的具体的放大系数和避免反相比例放大器的饱和输出，此时我们将 R40 逆时针调切至顶。其阻值大约为 0 欧，后级的放大倍数约为 1。由于引入了两级放大器，在调整时，增加了不确定性。因此，在调节之初，我们先将前级的电位器调整到最大，后级的电位器调整至最小，固定两级的放大倍数。

4. 直接使用万用表测量反相比例放大电路的输出端电压。调节 R42（10K 电位器），使输出电压为零，我们称之为输出调零。

5. 完成以上步骤后，整个电桥电路完成了初始调整工作。可以进行下一步的称重实验，放置

100g 砝码到桥臂托盘上，看电压的变化量。如果电压变化量非常小，那么先顺时针调节电位器 R40，改变后级放大电路的增益（放大倍数）。如果变化量在 200mV 左右即可。**请注意，当改变 R40 阻值时，R42 的阻值也要再次调整，才能满足反相比例放大电路输出为零的要求。**如果调整 R40 的阻值，输出的电压变化量仍然满足不了要求，将 R40 顺时针调节至顶，再调节 R29，使输出电压变化压到要求。**请注意，当改变 R29 阻值时，R42 的阻值也要再次调整，才能满足反相比例放大电路输出为零的要求。**调好后 R29，R40 保持不变，方便跟后面的实验数据进行比较。

具体的调节思路：先固定两级，如不满足要求，调节后级，仍不满足，固定后级至最大，调节前级。

五、实验数据

在托盘上放置 200g 砝码，读取反相比例放大电路输出端电压值，依次增加砝码并读取相应的电压值。记下实验结果填入表 4-1 中，关闭电源。验证电压能否反映质量的变化，那么一个简易的电子称就成功了！

质量 (g)	0	100	150	200	300	400	500
输出电压(mV)	0	1000					

表 4-1 输出电压与对应砝码质量值

六、实验结果与分析

1. 重复实验步骤 3，调节电位器 R40，改变 100g 砝码对应的电压变化量的值，比如 $\Delta 200\text{mV}/\Delta 100\text{g}$ ， $\Delta 500\text{mV}/\Delta 100\text{g}$ ， $\Delta 2\text{V}/\Delta 100\text{g}$ 。充分理解各个电位器在电路中作用。
2. 根据上表，计算误差与非线性误差。
3. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

七、问题与建议

◆请注意：由于电桥与电路板之前的连接采用是插线方式，如不仔细操作，容易引起接触不良的情况。具体表现为，电桥无法调零。其原因是由于电桥与电路板之间的接触电阻影响了电桥平衡。如无法调零，请着重检查电桥与电路板之间的连接。

电路板上的电位器都是采用的优质电位器，同一方向上即使反复拧也不容易损坏，因而造成一种假象，认为电位器无法拧到最大值或最小值。当电位器拧到一端的顶点时，它会发出“咯咯”的响声，表示已经到最大值或最小值。

二、光电传感器

实验一 光敏电阻的特性实验

一、实验目的

了解光敏电阻的光照特性和伏安特性等基本特性。

二、实验内容及原理

在光线的作用下，电子吸收光子的能量从键合状态过渡到自由状态。引起电导率的变化，这种现象成为光电导效应。光电导效应是半导体材料的一种体效应。光照愈强，器件本身电阻愈小。基于这种效应的光电器件称为光敏电阻。光敏电阻的符号如图 1-1 所示。用来制作光敏电阻的典型材料有硫化镉(CdS)及硒化镉(CdSe)两种。光敏电阻的 CdS 或 CdSe 沉积膜面积越大，其受光照后的阻值变化也越大，故通常将沉积膜做成“弓”字形，以增大其面积。光敏电阻工作时的响应速度较慢，如 CdSe 光敏电阻的响应时间约为 10ms，CdS 的响应时间约为 100ms。因此，光敏电阻通常都工作于直流或低频状态下。光敏电阻无极性，其工作特性与入射光光强、波长和外加电压有关。

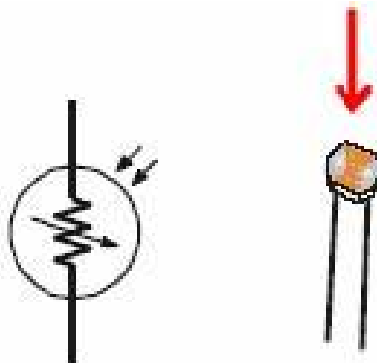


图 1-1 光敏电阻符号

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱;;
2. 连接线若干;
3. 万用表（自备）。

四、操作方法及实验步骤

1. 首先根据图 1-2 用连接线在实验箱上搭建光源电路，利用 100K 电位器调节高亮 LED 发光管亮度，接通电源。调节电位器，观察 LED 灯的亮度的变化情况。
2. 根据图 1-3 在实验箱上连接好电路（光敏电阻无极性），检测无误后打开电源。

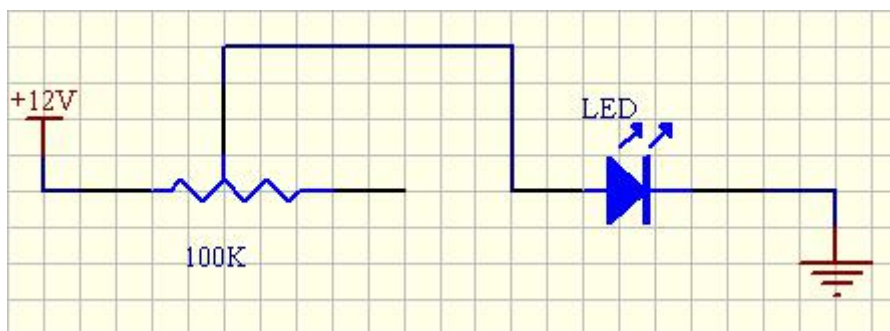


图 1-2 光源电路

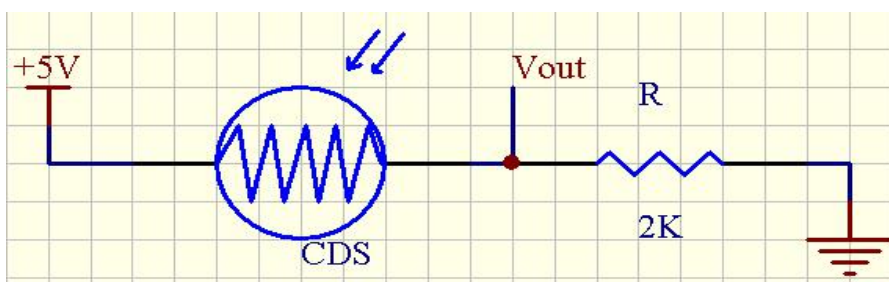


图 1-3 光敏电阻测量电路

3. 图 1-3 拔掉+5V 连接线，测量电阻值（**通电状态时不能用万用表测试电阻值，易损坏万用表**）；再接入+5V 连接线测量此时 V_{out} 电压值；将测量数据记录下来。

五、实验数据

1. 调节光源电路电位器大小，改变 LED 亮度，重复实验步骤 3，将实验数据记录在表 1-1 中。
2. 通过万用表的电压档测量输出电压值。

表 1-1

阻值 (Ω)							
输出电压 (V)							

六、实验结果与分析

1. 作出光敏电阻的电压随电阻变化曲线图；
2. 分析光敏电阻随光照强度的变化规律，验证光敏电阻是否满足伏安特性。
3. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

实验二 光敏电阻的应用实验

一、实验目的

1. 了解光敏电阻在照度测量方面的应用，掌握基本的光敏电阻应用电路。
2. 将运算放大器当电压比较器使用的方法。

二、实验内容及原理

光敏电阻的光电流随光照强度变化而变化，它们之间的关系是非线性的，基本呈对数特性。若采用简单元件对光电流进行对数压缩，对数压缩元件采用对数二极管。1Lux 以上的照度范围，采用一般的整流二极管就可以获得期望的特性。利用电压比较器，将电压变化跟我们设定的电压比较，就可以模拟路灯，白天时候灯不亮，晚上时候灯亮。

运算放大器在开环情况下可以当做电压比较器使用。

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 连接线若干；
3. 万用表（自备）。

四、操作方法及实验步骤

1. 按图 2-2 连接好光源电路。接通电源，调节电位器大小，观察高亮 LED 亮度，关闭电源。

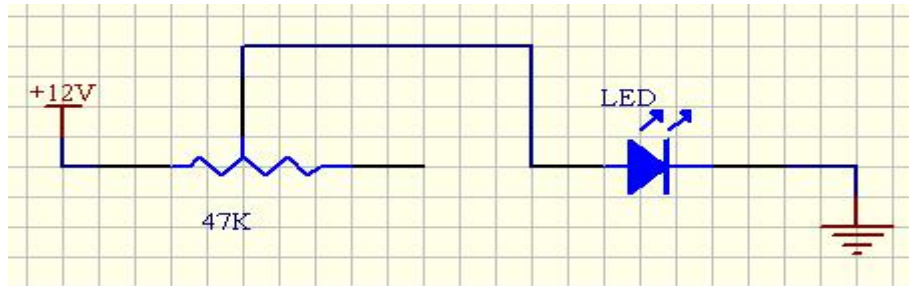


图 2-2 光源电路

2. 按图 2-3 所示，在传感器实验箱上搭建好电路，仔细检查连线，确保无误。
3. 调节电位器 R4 使反相输入端（OP07 运放 2 脚）电压为 3V，在光源没有照射情况下，运放的输出端 LED 点亮。
4. 调节光源的光照度，当亮度到一定时，观察运放的输出端 LED 亮灭情况，并用万用表测量同向输入端（OP07 运放 3 脚）电压值和输出端（OP07 运放 6 脚）电压值。并记录下来。

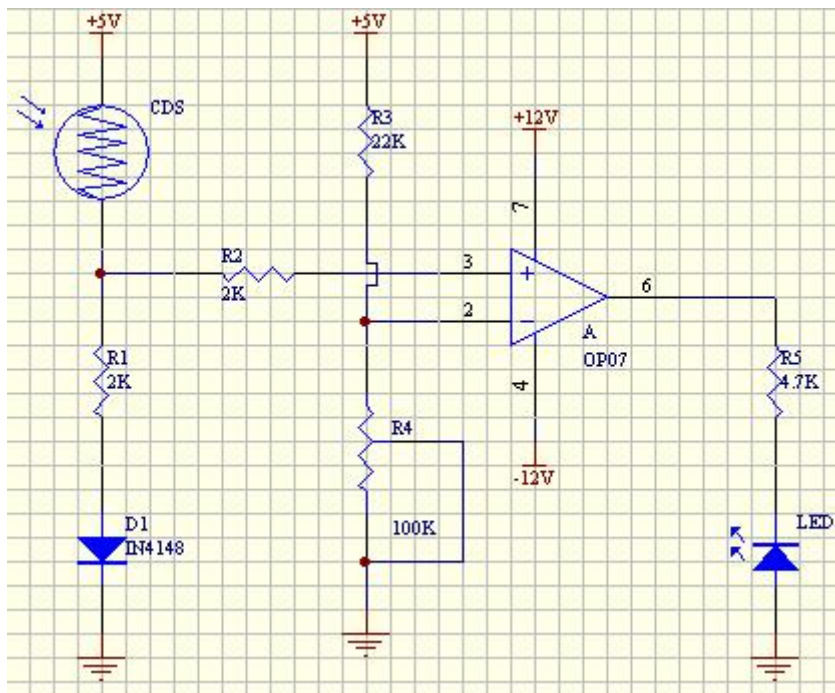


图 2-3 光敏电阻应用电路原理图

五、实验数据

1. 调节电位器 R4 使反相输入端（OP07 运放 2 脚）电压为 2V、4V 时，重复实验步骤 4，记录观测结果。
2. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

六、实验结果与分析

根据实验结果总结运算放大器当作电压比较器使用的方法，进一步理解光敏电阻在电路中的应用。

实验三 光敏二极管的光特性实验

一、实验目的

了解光敏二极管的工作原理和特性，学会光敏二极管的电路处理方法，学会二级放大电路的使用。

二、实验内容及原理

根据 PN 结反向特性可知，在一定反向电压范围内，反向电流很小且处于饱和状态。此时，如果无光照射 PN 结，则因本征激发产生的电子-空穴对数量有限，反向饱和电流保持不变，在光敏二极管中称为暗电流。当有光照射 PN 结时，结内将产生附加的大量电子空穴对（称之为光生载流子），使流过 PN 结的电流随着光照强度的增加而剧增，此时的反向电流称为光电流。

光敏二极管是根据硅 PN 结受光照后产生的光电效应原理制成的。光敏二极管具有光生伏特效应，当入射光的强度发生变化，通过光敏二极管的电流随之变化，于是在光敏二极管的两端电压也发生变化。光照时导通，光不照时，处于截止状态，光电流和照度成线性关系。光敏二极管工作于反向偏压下，其光谱响应特性主要由半导体材料中所掺的杂质所决定。光敏二极管的最大工作频率为几十 MHz。

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 连接线若干；
3. 万用表（自备）。

四、操作方法及实验步骤

1. 按图 3-1 连接好光源电路。接通电源，调节电位器大小，观察高亮 LED 亮度，关闭电源。

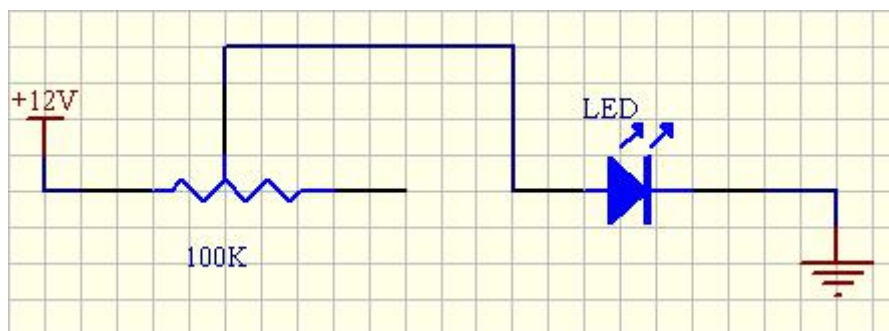


图 3-1 光源电路

2. 按图 3-2 所示，在传感器实验箱上搭建好电路，仔细检查连线，确保无误。

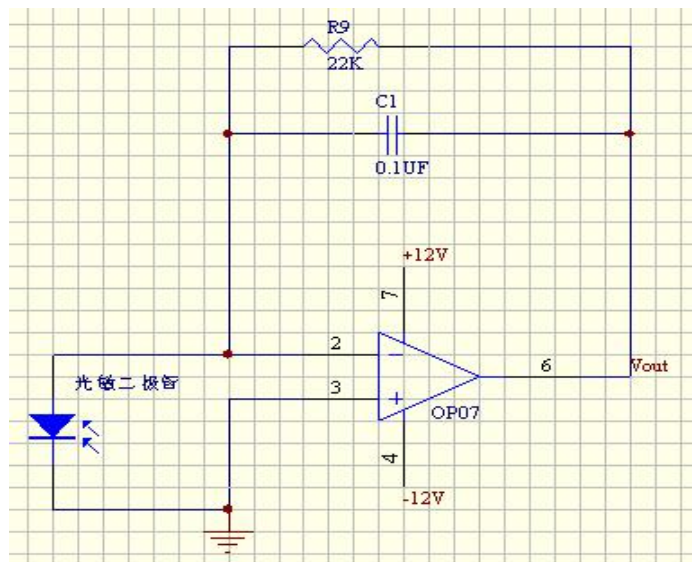


图 3-2

3. 将 Vout 端电压接到反比例放大电路（图 3-3）中，进行二级放大、调零处理。

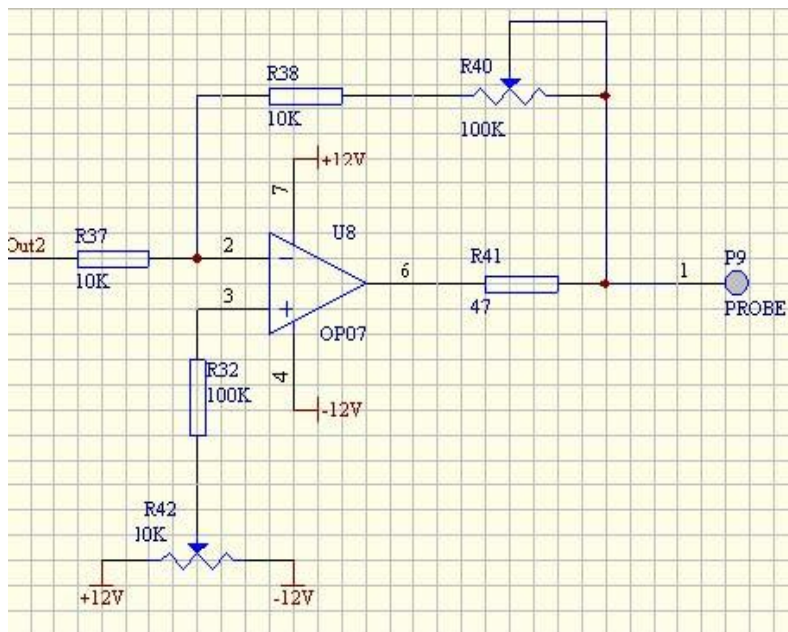


图 3-3 反比例放大电路原理图

4. 接通电源，调节光源电路中电位器的大小，使发光管处于不亮，微亮，亮状态，测量 Vout 端电压和反比例放大电路的输出端电压。

五、实验数据

1. 总结发光二极管随光照强度变化的规律，通过电压值，计算反比例放大电路的放大倍数。掌握反比例放大电路的调零处理方法。
2. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

实验四 光敏三极管的光特性实验

一、 实验目的：

了解光敏三极管的工作原理和特性。

二、 实验内容及原理

光敏三极管也是利用硅 PN 结的光电效应制成的。光敏三极管和普通三极管的结构相类似，不同之处是光敏三极管必须有一个对光敏感的 PN 结作为感光面。光敏三极管实质上是一种相当于在基极和集电极之间接有光敏二极管的普通三极管。光敏三极管使用时，其基极通常开路，基极到集电极产生的光感生电流直接馈入基极，并被三极管放大，因此光敏三极管的灵敏度比光敏二极管大得多，通常要大 100 多倍。只是它的集电极电流不只是受基极电路和电流控制，同时也受光辐射的控制。光敏三极管的最大工作频率只有几百 kHz。一般光敏三极管只引出 E、C 两个电极，其光电特性是非线性的，如图 4-1 所示。更多使用的是它的开关特性，被广泛应用于光电自动控制领域。

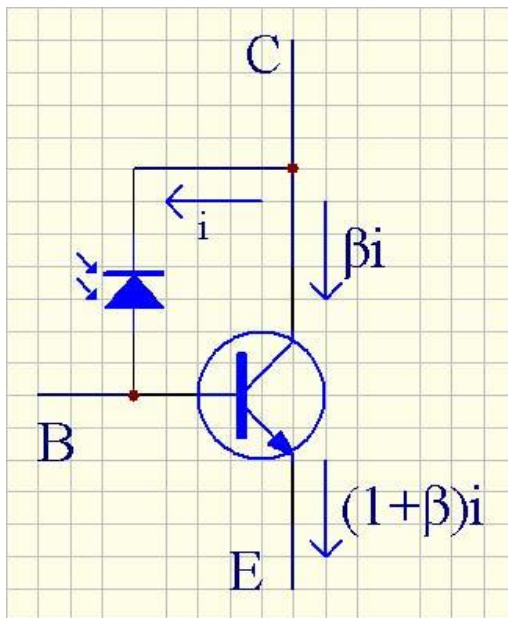


图 4-1 光敏三极管等效电路

三、 实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 连接线若干；
3. 万用表（自备）。

四、 操作方法及实验步骤

1. 用连接线按原理图 4-2 所示，搭建好电路，仔细检查连线，确保无误；
2. 接通电源，用黑色套管套在光敏三极管上（尽量遮住光，白天光线太强的话，仍然会影响实验结果），测量 2 脚 V_{out} 电压，记录下来，观察输出的电压值是否为高，大约为 +5V。

3. 将光敏三极管的接收头（凸出部分）正对着发光管，测量 2 脚 V_{out} 电压，记录下来，观察输出的电压值是否为低。

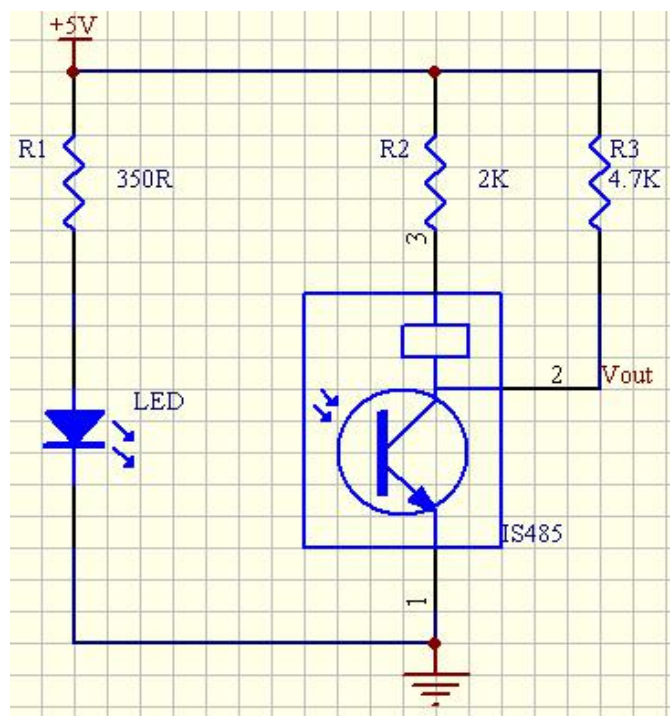


图 4-2 光敏三极管测量电路

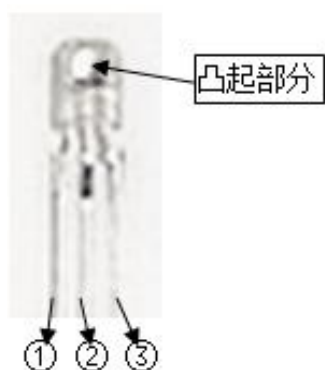


图 4-3 光敏三极管外观图

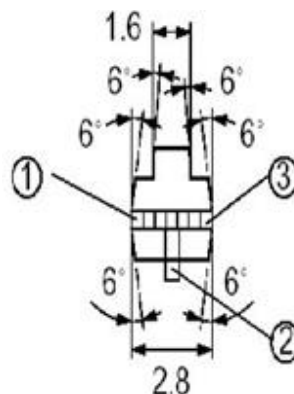


图 4-4 光敏三极管仰视图（从底部往上看）

五、实验数据

多次实验并记录数据，验证实验结果是否跟理论结果相符。

六、实验结果与分析

总结光敏三极管的开关特性。

提示：光敏三极管在光照射的情况下，1、2 两脚导通，2 脚输出为低电平；但是在没有光照射情况下，1、2 两脚为不导通状态，2 脚输出为+5V。

实验五 光电开关的测速实验

一、实验目的

了解透射式光电开关的原理和应用。

二、实验内容及原理

光电开关可以看成是一个光发射管和一个接收管组合体。按图 5-1 分析，接收管类似于一个光敏三极管，当发射管和接收管之间无物体遮挡时，接收管导通，Vout 端通过光敏三极管的发射集接地，Vout 端电压趋于 0V。当发射管和接收管之间有物体遮挡时，接收管截止，Vout 端通过上接电阻接到+5V，Vout 端电压趋于 5V。可以利用光电开关的这种特性来进行零件计数，转盘测速等。

三、实验器材

1. 传感器实验电路板；
2. 直流电机组件；
3. 连接线若干；
4. 万用表（自备）；
5. 采集仪（另需采购）；
6. DRV1（另需采购）。

四、操作方法及实验步骤

1. 按图 5-1，在试验箱上用连接线搭建好电路，仔细检查连线，确保无误。

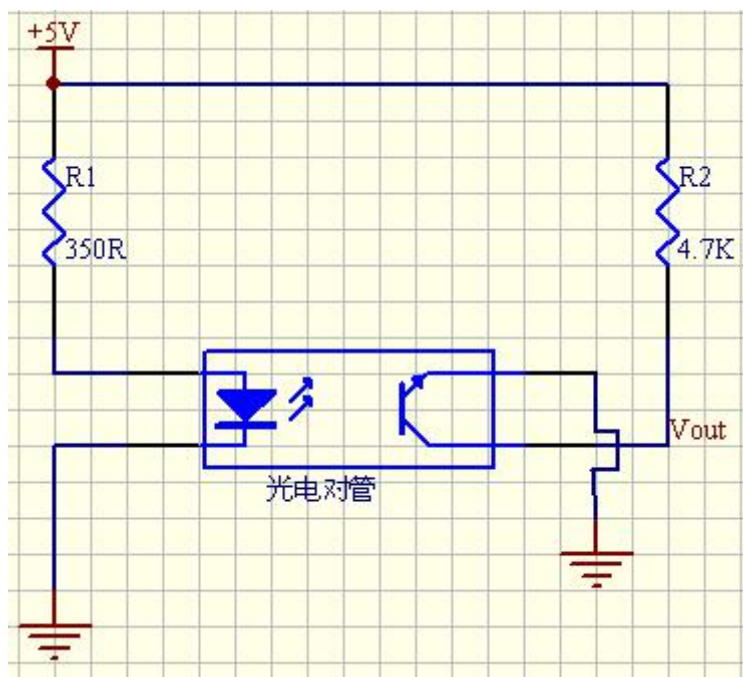


图 5-1 光电开关测量电路

2. 接通电源，用手轻轻旋转飞轮，测量输出的电压，当飞轮上面的小孔通过光电开关时，输出

低电平(趋于 0V), 小孔转过去后输出高电平(趋于 5V), 如果电压不是这样变化的, 调节飞轮的安装位置;

3. 打开电机开关, 电机带动小飞轮旋转。调节速度旋钮, 改变电机旋转速度。

4. 将输出信号 Vout 接到**信号输出**的插孔上, 通过 BNC 接头, 接到采集仪, 打开电脑的 DRVI 软件, 选“开放式传感器-光电测速实验”脚本, 进行实验。(这一步必须配置采集仪和 DRVI 软件使用)

五、实验数据

多次实验并记录数据, 验证实验结果是否跟理论结果相符。

六、实验结果与分析

1. 在已知转盘孔数的情况下, 测得的传感器输出信号脉冲的频率, 就可以计算出直流电机的转速。如小孔的孔数为 N , 转速为 n , 脉冲频率为 f , 则有: $n=f/N$ 。通常, 转速的单位是转/分钟, 所以要在上述公式的结果再乘以 60, 才能转速数据, 即 $n=60 \times f/N$ 。

2. 接通电源, 调节实验箱上的调速电位器进行转速测量, 实验结果可参图 5-2 所示, DRVI 软件观察输出波形, 计算频率和周期, 转速通过公式计算 $n=60 \times f/N$ 得到结果。

3. 关闭电源, 整理实验仪器, 填写实验报告。

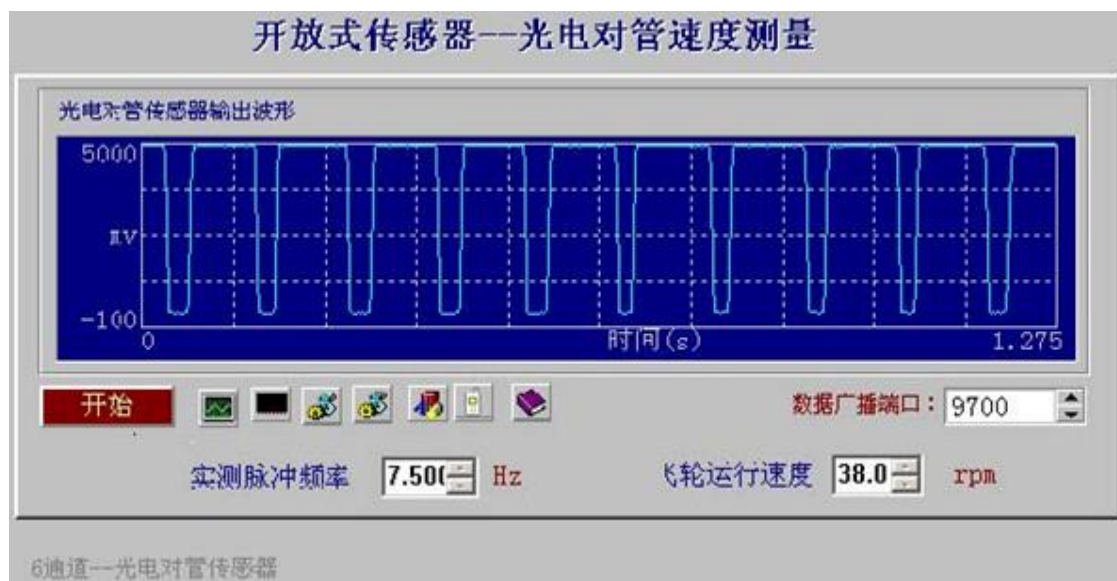


图 5-2

三、温度传感器

实验一 铂电阻温度传感器的特性及温度测量

一、实验目的

了解铂电阻的温度特性与应用，学会铂电阻的电路处理并测量温度。

二、实验内容及原理

金属铂电阻的性能十分稳定，在 $-260\sim+630^{\circ}\text{C}$ 之间，铂热电阻用作标准温度计；在 $0\sim+630^{\circ}\text{C}$ 之间铂电阻与温度呈如下关系：

$$R_t = R_0(1 + AT + BT^2)$$

式中： $R_0 = 1000\Omega$ ； $A = 0.3974973 \times 10^{-2}$ ； $B = -0.58973 \times 10^{-6}$ 。

恒压型的铂测温电路如图 1-1，该电路也是常用的测温电路之一，其中 V_{in} 为恒定输入电压；W1 用于零点调整；W2 用于范围调整。

该电路的输出电压 V_{out} 为：

$$V_{out} = \frac{R_1 \Delta R}{(R_1 + R_0 + \Delta R)(R_1 + R_0)} V_{in} \quad (1-1)$$

由式 (1-1) 可知，在恒压条件下，其输出电压取决于 V_{in} 和 R_1 。当 $R_1 = 22\text{K}\Omega$ ， $V_{in} = 12\text{V}$ 时，在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内，电路灵敏度为 $1.89\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ （由式 1-1 推导）。

本实验使用铂电阻 PT1000，它在 0°C 时候对应的电阻值为 1K 。我们也可以利用 PT1000 分度表查询阻值对应的温度。通过研究分度表我们还发现电阻值跟温度几乎是线性变化。

（注意：PT1000 分度表见附录一。）

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 铂电阻 PT1000；
3. 连接线若干；
4. 万用表（自备），热源（自备），温度计（自备）。

四、操作方法及实验步骤

1. 用万用表测量铂电阻常温下的阻值和接触热源（手或热水等）后的阻值；由式 (1-1) 来得出测量物的温度，或者利用 PT1000 分度表查询对应温度，并与温度计测量的温度比照。
2. 按图 1-1 在实验箱上搭建好电路，仔细检查接线，确保无误。

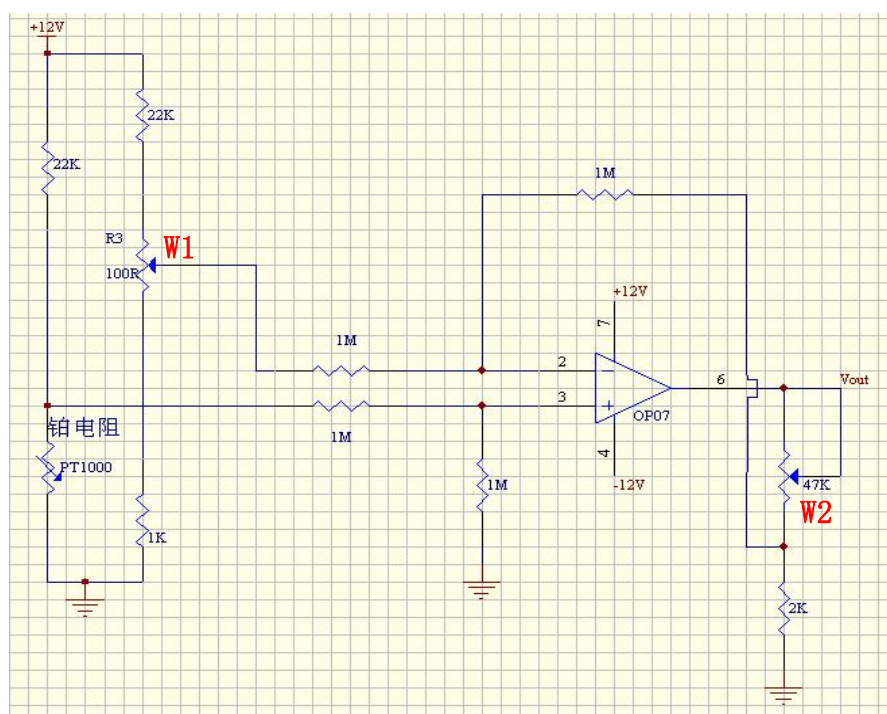


图 1-1 铂电阻测量电路

3. 将 PT1000 靠近热源，用万用表测量此时的电压值记录下来，并将当前的热源温度也记录下来填入表格 1-1 中。

五、实验数据

1. 改变热源的温度，重复实验步骤 3，并将测量结果填入表格 1-1 中。
2. 通过万用表的电压档，观察传感器输出的电压值并记录在表 1-1 中。

表 1-1

温度 (°C)						
输出电压(mV)						

六、实验结果与分析

1. 作出温度特性曲线，如图 1-2 所示，验证温度电压是否成线性关系。
2. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告



图 1-2 铂电阻温度特性曲线

实验二 K 型热电偶的特性及温度测量

一、实验目的

了解热电偶的温度特性与应用。

二、实验内容及原理

常温环境下，K 型热电偶的温差电势表，如表 2-1 所示：

表 2-1

温度 (°C)	0	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70
电势 (mV)	0	+0.397	+0.798	+1.203	+1.611	+2.022	+2.436	+2.850

在常温环境下（10-70℃），通过以上数据，通过计算，我们可以近似的用以下公式来计算电压与温度的对应变化：

$$V_0 = 0.040762T - 0.011550 \quad (\text{mV}) \quad (2-1)$$

其中 V_0 表示输出电压值，T 表示当前温度（℃）。

根据表 2-1 所示，K 型热电偶的温差电势，70℃时对应的温差电势是 2.850mV。为了看到明显的温度对应电压的变化量，应该用运放对温差电势进行适当的放大。

（注意：K 型热电偶分度表，如见附录二。）

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. K 型热电偶；
3. 连接线若干；
4. 万用表（自备），热源（自备），温度计（自备）。

四、操作方法及实验步骤

1. 按照原理图 2-1 所示，用连接线搭建电路，仔细检查接线，确保无误。

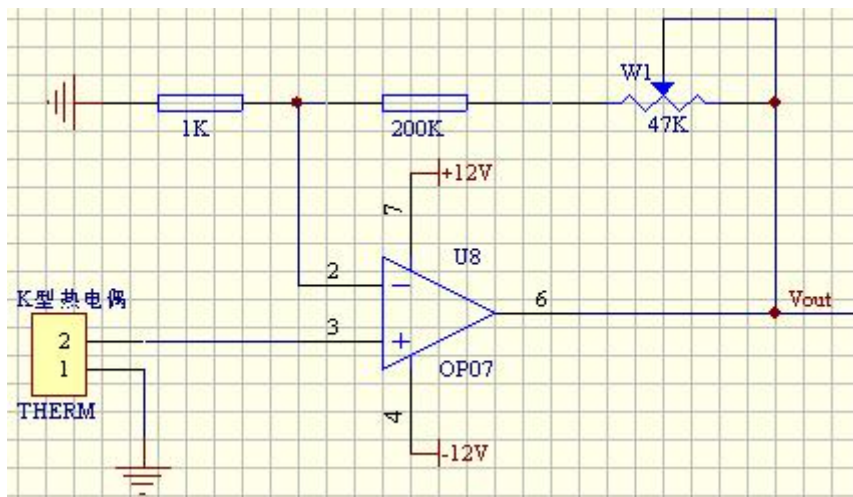


图 2-1 K 型热电偶电路

2. 将 K 型热电偶靠近热源，调节 W1 电位器，使运放输出电压满足放大要求，输出电压随温度有明显的变化。

此处的电阻选择理由为：如果 V_{out} 输出的值与温度对应上式（2-1）关系，假定 50 度时，输出 500mV，在放大器趋于理想的情况下：有 $500\text{mV}/2.022\text{mV}=247$ 倍。跟据同相放大器的放大倍数计算公式：

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

得出：图中 $R_1=1\text{K}$ ， R_2 约为 247K。考虑到其它的外部影响及 K 型热电偶的线性， R_2 取 247K。

3. 如实验室不具备热源，可以用如下方法来得到实验现象。先获取当前实验室环境温度（如温度计获取）。跟据实验步骤 2，调节电位器，让输出端 V_{out} 得到一个典型电压值（代表实验室温度，作为参考）。用体温或者是加热过后的其它介质，将 K 型热电偶的探头放置其中，测量 V_{out} 端电压，计算出其温度，并与其它类型的温度计对比。

五、实验数据

调节热源温度，用万用表测量 V_{out} 端电压值，并将当前热源温度也记录下来，填入表 2-2 中。

表 2-2

温度（℃）						
输出电压(mV)						

六、实验结果与分析

1. 作出温度特性曲线，如图 2-2 所示，验证温度电压是否成线性关系。
2. 分析温度随电压变化规律，总结 K 型热电偶的温度特性。
3. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。



图 2-2 K 型热电偶温度特性曲线

实验三 二极管温度传感器的特性及温度测量

一、实验目的

硅二极管用于温度测量具有简单价廉的优点。通过实验了解 PN 结温度传感器的工作原理和测量应用。

二、实验内容及原理

二极管的输出电压为：

$$V = V_g - KT \quad (3-1)$$

式中 V_g 为禁带宽度， T 为绝对温度。当电流一定时， K 为常数。因此，PN 结两端的电压于温度成线性关系。

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 连接线若干；
3. 万用表（自备），热源（自备），温度计（自备）。

四、操作方法及实验步骤：

1. 按照原理图 3-1 用连接线搭建电路，仔细检查接线，确保无误。
2. 接通电源，调整电位器 W1 使运算放大器输出为零，记录当前的温度。

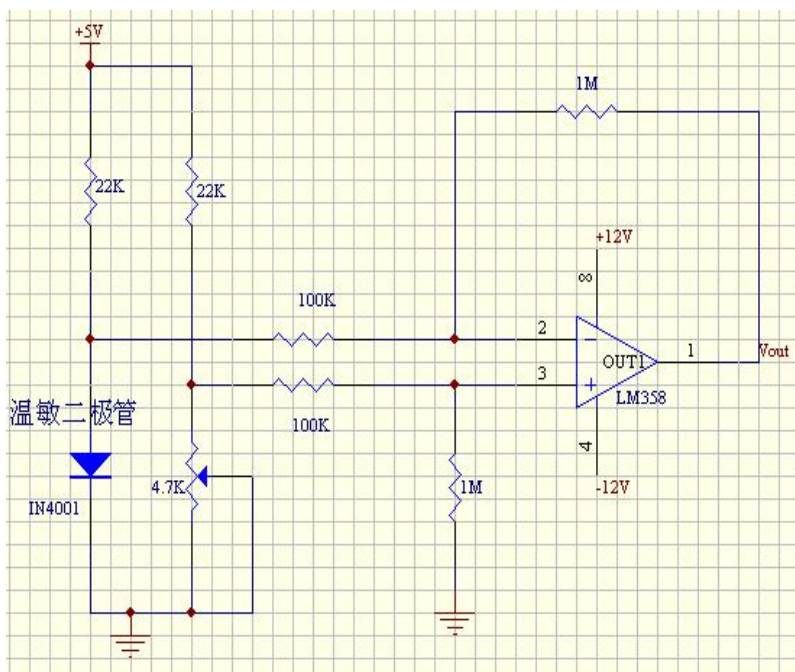


图 3-1 温敏二极管测量电路

3. 将热源靠近温敏二极管，记录运放的输出电压 V_{out} 电压值和当前温度值。

五、实验数据

调节热源温度，重复操作实验步骤 3，完成表 3-1 的填写。

表 3-1

温度 (°C)						
输出电压(mV)						

六、实验结果与分析

1. 作出温度电压特性曲线，如图 3-2 所示。
2. 分析温敏二极管温度随电压变化规律，总结温敏二极管的温度特性。
3. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。



图 3-2 温敏二极管温度特性曲线

实验四 三极管温度传感器的特性及温度测量

一、实验目的

三极管可以制成高精度、超小型的温度传感器，它能大批量生产，价格低廉。利用集成电路制作工艺，可与放大电路一起制成集成化的温度传感器。通过本实验，了解三极管的温度特性以及温度测量电路。

二、实验内容及原理

由晶体管的特性分析知道，硅三极管的 V_{be} 电压与绝对温度 T 和集电极电流 I_c 之间由如下关系：

$$V_{be} = E_g - \left(\frac{kT}{Q}\right) \ln\left(\frac{\alpha T \gamma}{I_c}\right)$$

式中： E_g 为 PN 结的禁带宽度； α 为与基极偏压有关的常数； γ 为由基区少数载流子的温度特性决定的常数； Q 为单位电荷； k 为波耳兹曼常数。

因此，当 I_c 恒定时，在温度不太高的情况下， V_{be} 与温度 T 成线性关系。

三极管 9013 的引脚分布，如图 4-1 所示：



图 4-1 9013 引脚分布图

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 连接线若干；
3. 万用表（自备），热源（自备），温度计（自备）。

四、操作方法及实验步骤：

1. 按照原理图 4-2 用连接线搭建电路，仔细检查接线，确保无误。
2. 将热源靠近三极管温度传感器，记录运放的输出电压 V_{out} 电压值和当前温度值。

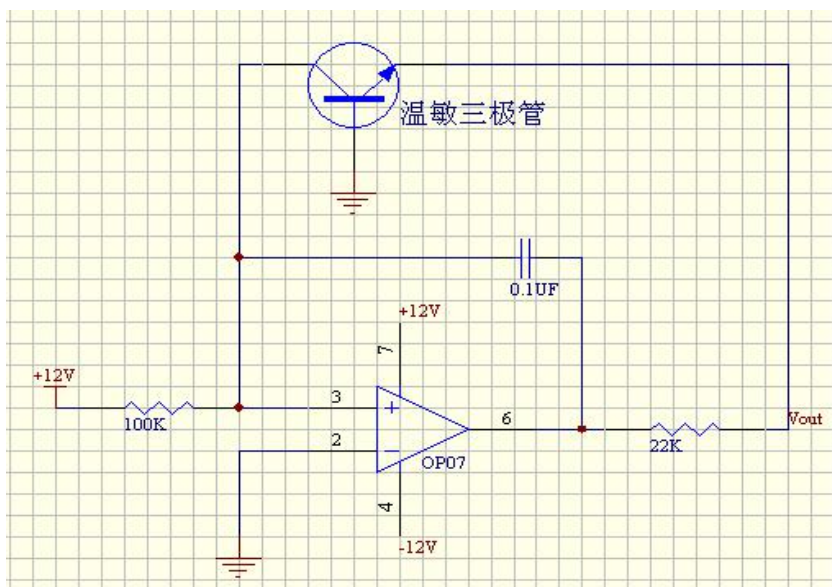


图 4-2 三极管温度传感器测量电路

五、实验数据

调节热源温度，重复实验步骤 2，完成表 4-1 的填写。

表 4-1

温度 (°C)						
输出电压(mV)						

六、实验结果与分析

1. 作出温度电压特性曲线，如图 4-3 所示。
2. 分析温敏三极管温度随电压变化规律，总结三极管温度传感器的温度特性。
3. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。



图 4-3 三极管温度传感器温度特性曲线

实验五 集成温度传感器的特性及温度测量

一. 实验目的

了解集成温度传感器 AD592 的工作原理，掌握温度测量电路。

二. 实验内容及原理

AD592 的输出电流与绝对温度成比例，像一个高阻抗的恒流源。电流与温度的关系为 $1\mu\text{A/K}$ 。AD592 应用中不需要采用线性电路，精密电压放大器，电阻测量电路和冷端补偿。

其主要特性：(1) 流过器件的电流(μA) 等于器件所处环境的热力学温度(开尔文) 度数： $I_r/T=1$ 式中， I_r 表示流过器件(AD592) 的电流，单位为 μA ； T 表示热力学温度，单位为 K ；(2) AD592 的测温范围为 $-55^\circ\text{C}\sim+150^\circ\text{C}$ ；(3) AD592 的电源电压范围为 $4\sim30\text{V}$ ，可以承受 44V 正向电压和 20V 反向电压，因而器件即使反接也不会被损坏；(4) 输出电阻为 $710\text{m}\Omega$ ；(5) 精度高，AD592 在 $-55^\circ\text{C}\sim+150^\circ\text{C}$ 范围内，非线性误差仅为 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 。

三. 实验器材

1. 开放式传感器试验箱；
2. 连接线若干；
3. 万用表（自备）。

四. 操作方法及实验步骤

1. 如图 5-1 所示，在开放式传感器试验箱上搭建好电路，仔细检查接线，确保无误。

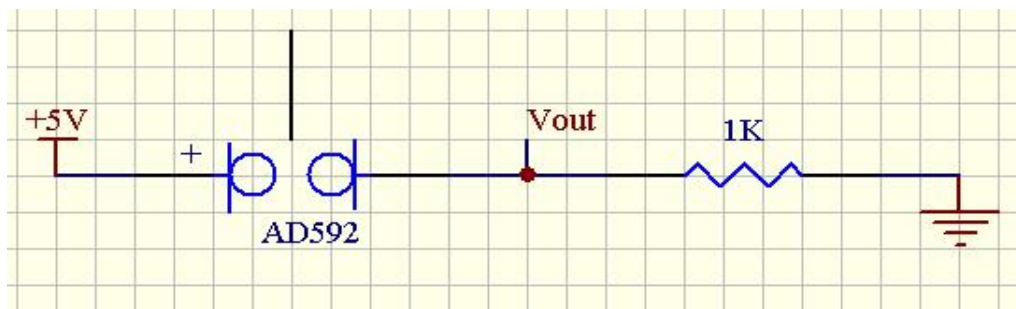


图 5-1 集成温度传感器测量电路

2. 接通电源，测量 V_{out} 端的电压，基本原理里面计算公式可知 V_{out} 输出电压很小，变化量为 $1\mu\text{A/K} \times 1000 = 1\text{mV/K}$ 。

3. 将热源靠近 AD592，记录运放的输出电压 V_{out} 电压值和当前温度值。

五. 实验数据

调节热源温度，重复实验步骤 3，完成下表 5-1 的填写。

表 5-1

温度 (°C)						
输出电压 (mV)						

六、实验结果与分析

1. 做出温度电压特性曲线，如图 5-2 所示。
2. 通过万用表的电压档测量传感器输出信号的电压值并记录在表 5-1 中，例如在 25°C 室温下，输出电压值为 298.2mV，（换算关系为 $298.2 - 273.2 = 25$ ），测量温度时，电压与温度关系为 1mV/K。
3. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。



图 5-2 集成温度传感器温度特性曲线

四、典型传感器

实验一 电感式传感器——金属识别实验

一、实验目的

了解电感式传感器的工作原理和应用，DRV1 软件使用方法。

二、实验内容及原理

电感式传感器是利用电磁感应把被测的物理量如位移，压力，流量，振动等转换成线圈的自感系数和互感系数的变化，再由电路转换为电压或电流的变化量输出，实现非电量到电量的转换。电感式接近开关由三大部分组成：振荡器、开关电路及放大输出电路。振荡器产生一个交变磁场。当金属目标接近这一磁场，并达到感应距离时，在金属目标内产生涡流，从而导致振荡衰减，以至停振。振荡器振荡、停振的变化被后级放大电路处理并转换成开关信号，触发驱动控制器件，从而达到非接触式的检测目的。其优点为：非接触检测，避免了对传感器自身和目标物的损坏。无触点输出，操作寿命长。即使在水或油喷溅的苛刻环境中也能稳定检测。反应速度快。小型感测头，安装灵活。众多优点广泛用在工业生产当中。

当接近开关靠近要检测的金属时，其内部的电路开关打开，而当其离开检测物体时，开关关闭，这也是接近开关名字的含义。下面最常用的三线 NPN 接近开关，NPN 型指的是接近开关的开关输出元件为 NPN 晶体管。其输出原理如图 1-1 所示：

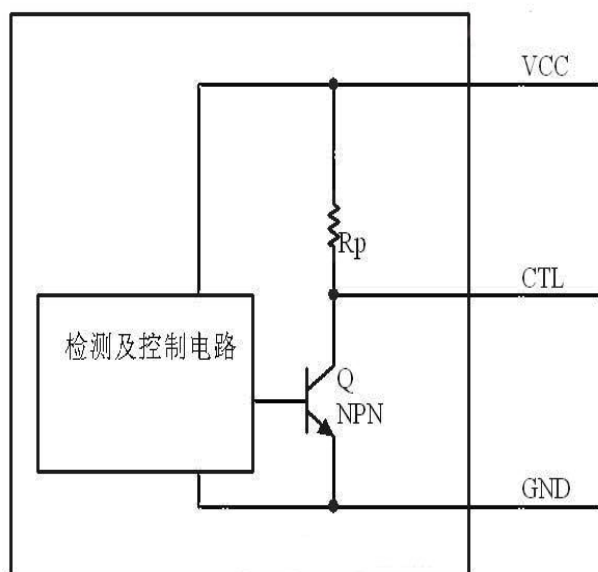


图 1-1 电感式传感器内部原理

管脚说明（以传感器线的颜色为准）：

VCC: 棕色(插头线为红色)(BN) +12VDC;

CTL: 黑色 (BK) 信号输出;

GND: 蓝色 (BU) GND;

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱;
2. 电感式接近开关;
3. 连接线若干;
4. 万用表 (自备);
5. 采集仪 (另需采购);
6. DRVI 软件 (另需采购)。

四、操作方法及实验步骤

1. 在扩展接口部分接入电感式接近开关, 按照原理图 1-2 搭建好电路, 并仔细检查接线, 确保无误。

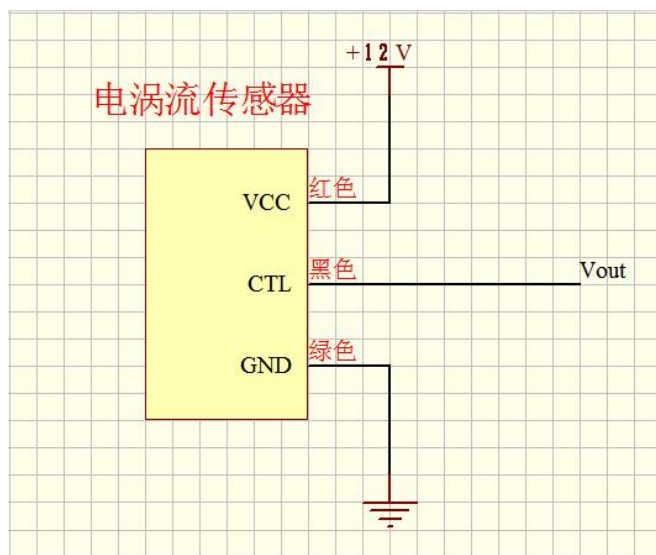


图 1-2 电感式传感器测量电路

2. 接通电源, 将电感式接近开关靠近金属物质, 传感器上面的指示灯会亮, 用万用表测量 Vout 电压值并记录下来, 然后移开电感式接近开关, 其指示灯熄灭, 再用万用表测量 Vout 电压值并记录下来。
3. 连接好外部硬件电路, 将 Vout 端接到信号输出其中任意一路输出接口上, 再将输出接口接到采集仪, 使用 DRVI 软件, 打开“开放式传感器——金属识别”实验脚本观察结果, 检查传感器所接采集仪通道号跟脚本上面标示的通道号是否一致, 点击软件中“运行”按钮, 将传感器靠近检测物体, 结果在界面上显示。
4. 当电感式接近开关靠近金属物质时, 传感器上面的指示灯会亮, 点击软件中“识别”按钮,

现象如图 1-3 所示；当电感式接近开关远离金属物质时，其指示灯熄灭，点击软件中“识别”按钮，现象如图 1-4 所示。



图 1-3



图 1-4

五、实验数据

1. 多次实验，验证是否与原理一致。
2. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

实验二 电容式传感器——物件计数实验

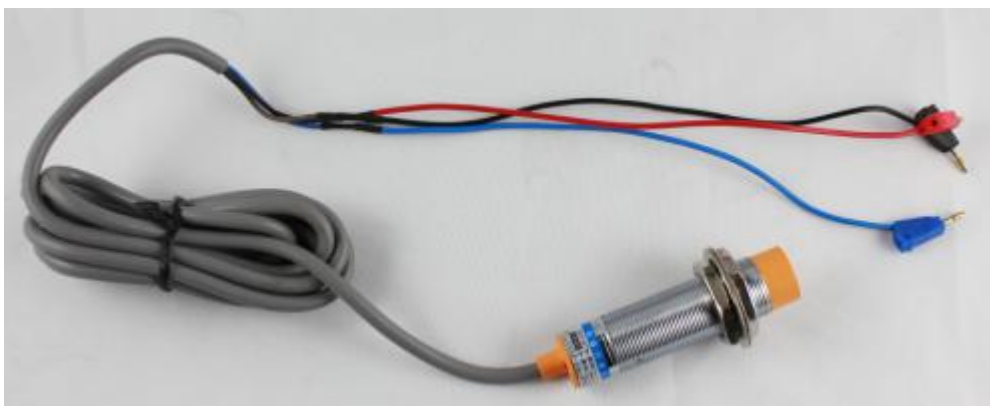
一、实验目的：

了解电容式传感器的工作原理和应用。

二、实验内容及原理

电容式传感器是把被测的机械量，如位移、压力等转换为电容量的变化。它的敏感部分就是具有可变参数的电容器。其最常用的形式是由两个平行电极组成、极间以空气为介质的电容器。

电容式传感器接近开关是由两个同轴金属电极构成感应面，很象“打开的”电容器电极，该两个电极构成一个电容，串接在 RC 振荡回路内。电源接通时，RC 振荡器不振荡，当一目标朝着电容器的电靠近时，电容器的容量增加，振荡器开始振荡。通过后级电路的处理，将振和振荡两种信号转换成开关信号，从而起到了检测有无物体存在的目的。该传感器能检测金属物体，也能检测非金属物体，对金属物体可以获得最大的动作距离，对非金属物体动作距离决定于材料的介电常数，材料的介电常数越大，可获得的动作距离越大。工业生产上常常用来物件计数，如图 2-1 所示。



2-1 电容式传感器

管脚说明（以传感器线的颜色为准）：

VCC：棕色（BN）+12VDC；

CTL：黑色（BK）信号输出；

GND：蓝色（BU）GND；

三、实验仪器

1. 开放式传感器实验箱；
2. 电容式接近开关；
3. 连接线若干；
4. 万用表（自备）；
5. 采集仪（另需采购）；

6. DRV1 软件（另需采购）。

四、实验步骤：

1. 在扩展接口部分接入电容式接近开关，按照原理图 2-2 搭建好电路，并仔细检查接线，确保无误。

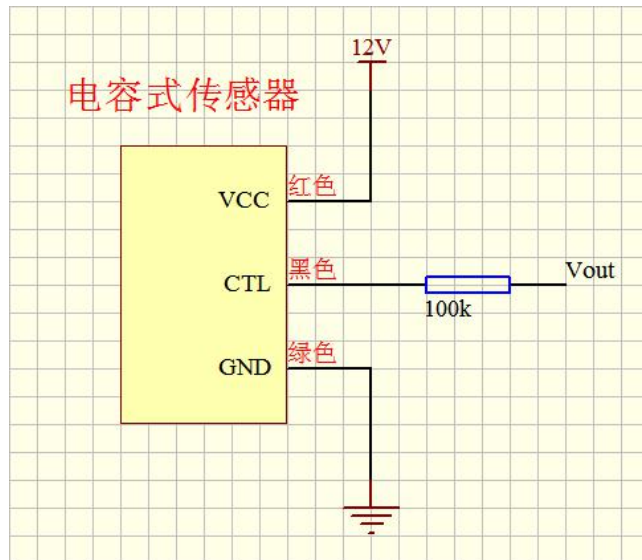


图 2-2 电容式传感器测量电路

2. 接通电源，将电容式接近开关靠近物体，传感器上面的指示灯会亮起，用万用表测量 Vout 电压值并记录下来，然后拿开电容式接近开关，指示灯熄灭，再用万用表测量 Vout 电压值并记录下来。

3. 连接好外部硬件电路，将 Vout 端接到**信号输出**其中任意一路输出接口上，再将输出接口接到采集仪，使用 DRV1 软件，打开“开放式传感器——物件计数”实验脚本观察结果，检查传感器所接采集仪通道号跟脚本上面标示的通道号是否一致，点击软件中“复位”按钮，将上次的计数清零。

4. 点击软件中“运行”按钮，将传感器靠近物体，再远离物体，重复实验，看是否能够计数功能，现象如图 2-3 所示。

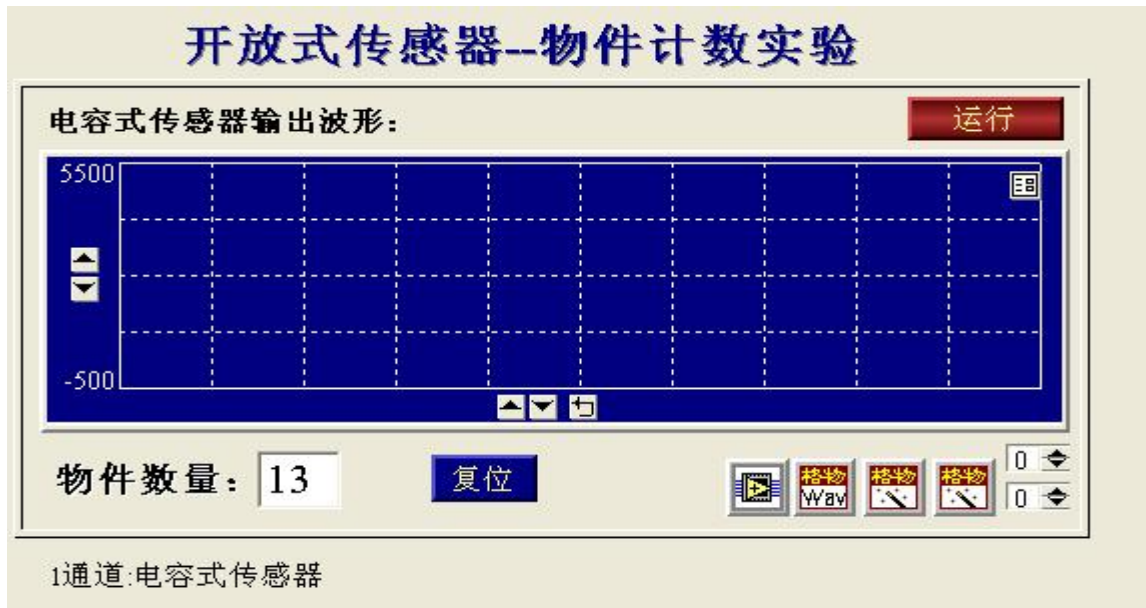


图 2-3

五、实验数据

1. 多次实验，验证是否与原理一致。
2. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

实验三 磁电式传感器——霍尔测速实验

一、实验目的

了解磁电传感器的工作原理和应用，霍尔元件使用方法，DRV1 软件的使用方法。

二、基本内容及原理

磁电式传感器是利用电磁感应原理，将输入运动速度变换成感应电势输出的传感器。它不需要辅助电源，就能把被测对象的机械能转换成易于测量的电信号，是一种有源传感器。霍尔开关就是利用这一原理做成的元件。图 3-1 是霍尔开关集成传感器的内部结构框图。当有磁场作用在传感器上时，根据霍尔效应原理，霍尔元件输出霍尔电压，该电压经放大器放大后，送至施密特整形电路。当放大后的霍尔电压大于“开启”阈值时，施密特整形电路翻转，输出高电平，使输出三极管导通。当磁场减弱时，霍尔元件输出的霍尔电压很小，施密特整形电路再次翻转，输出低电平，输出三极管关闭。这样，一次磁场强度的变化，就使传感器完成一次开关动作。

当被测电机飞轮上装有 N 只磁性体时，飞轮每转一周磁场就变化 N 次，霍尔传感器输出的电平也变化 N 次，通过计算即可知道电机的转速。

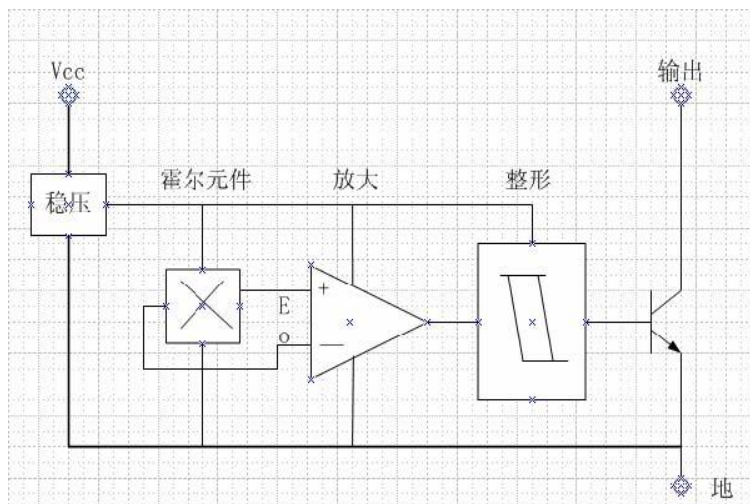


图 3-1 霍尔开关集成传感器的内部结构框图

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 电机组件；
3. 连接线若干；
4. 万用表（自备）；
5. 采集仪(另需采购)，DRV1 软件（另需采购）；

四、操作方法及实验步骤

1. 按图 3-2、图 3-3 所示，在实验箱电路板上搭建好电路，并仔细检查接线，确保无误。

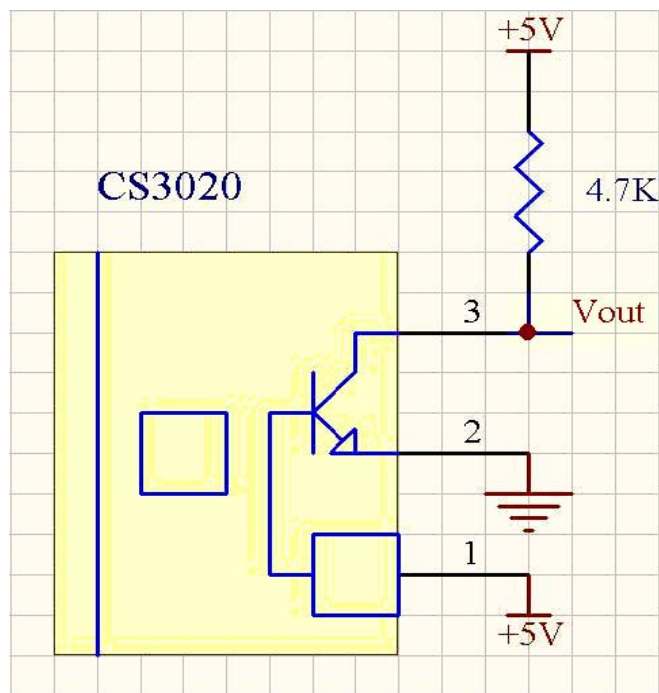


图 3-2 霍尔传感器测量电路

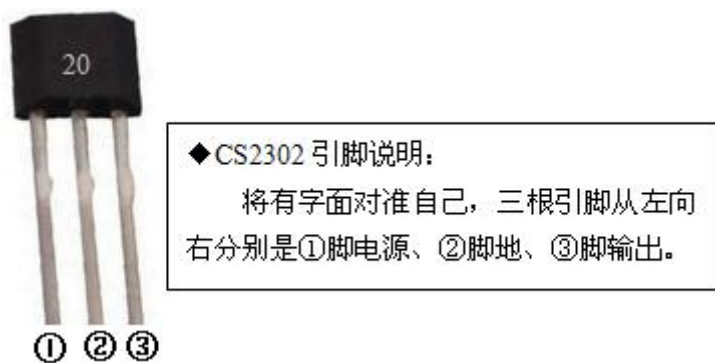


图 3-3 霍尔传感器引脚定义图

2. 接通电源, 用万用表测试霍尔传感器③脚电压, 将电机组件上的小磁钢靠近霍尔传感器, 观察输出是否有电压的跳变。如果电压有跳变, 说明接线正确, 关闭电源。

3. 安装上好电机组件, 调整电机飞轮同霍尔传感器的相对位置, 使传感器正面同磁体的距离 5mm 左右。

4. 将输出信号电压接到**信号输出**其中一路接口上, 再将输出信号接到采集仪, 使用 DRV1 软件, 打开“开放式传感器——霍尔测速”实验脚本观察结果, 检查传感器所接采集仪通道号跟脚本上面标示的通道号是否一致, 点击软件中“开关”按钮, 进行测速实验, 如图 3-4 所示。

5. 由霍尔传感器的输出计算电机的转速, 霍尔传感器输出信号脉冲的频率就可以计算出直流电机的转速。如磁铁个数为 N , 转速为 n , 脉冲频率为 f , 则有: $n=f/N$ 。通常, 转速的单位是转/分钟, 所以要在上述公式的得数再乘以 60, 才是转速数据, 即 $n=60 \times f/N$ 。

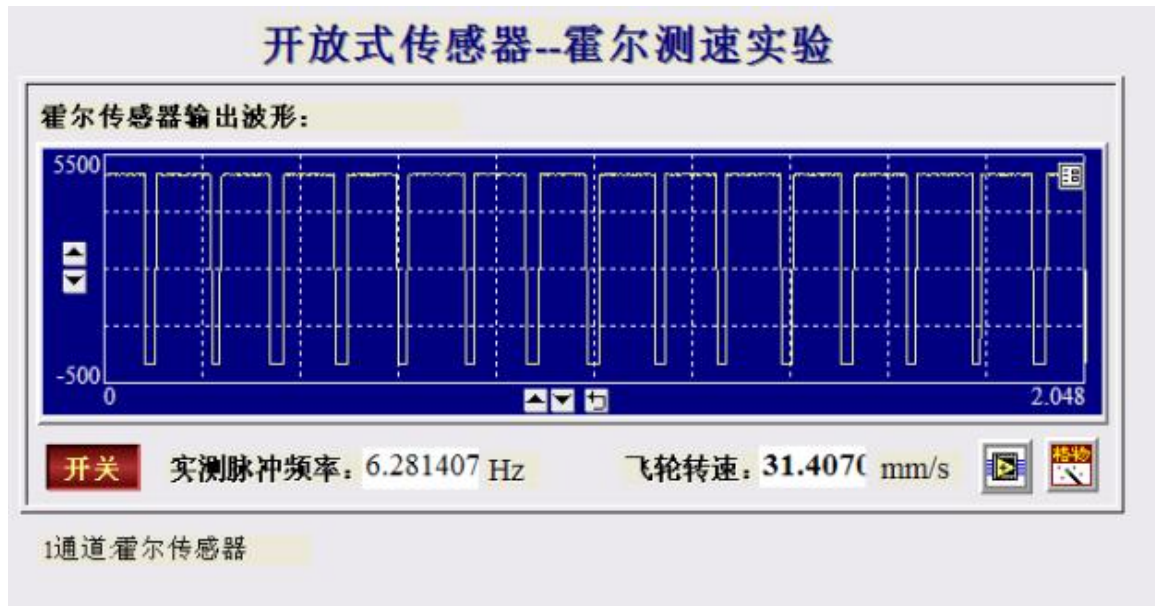


图 3-4

五、实验数据

1. 调节电机调速旋钮，改变电机转速，并记录结果，验证实验原理。
2. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

实验四 震动传感器——防盗报警实验

一、实验目的

了解震动传感器的工作原理和应用。

二、实验内容及原理

震动传感器是一种高灵敏度的传感器，是目前广泛应用的报警检测传感器如图 4-1 所示，采用蜂鸣片及触点弹簧组成的振动传感系统,内部用压电陶瓷片加弹簧重锤结构检测振动信号，并通过 LM358 等运放放大并输出控制信号，具有成本低、灵敏度高、工作稳定可靠，振动检测可调节范围大的优点，被大量应用到汽车、摩托车防盗系统上，目前 80% 的车辆报警器都用这类传感器，传感器还可与单片机、无线发射模块、有线警号等配套使用，用途十分广泛。



图 4-1 震动传感器

◆ 本实验使用的是用于摩托车/汽车震动传感器。其参数说明如下：

1. 额定工作电压：12VDC 最低工作电压：>5V。
2. 输出方式：检测到一次振动输出 1 秒的低电平信号
3. 接线标志 红色：+12V（正极），黑色：GND（负极），蓝色：信号输出，检测到一次振动输出 1 秒的下拉信号，可以和单片机接口。经 358 运放输出，没有震动时无输出，检测到一次振动输出 1 秒负脉冲。
4. 振动检测的灵敏度连续可调，可以通过灵敏度调节旋钮调节，顺时针灵敏度增加，逆时针灵敏度降低。
5. 输出端出于端口保护，如果接高电平需要加入一个 100 欧姆以下电阻。

三、实验仪器

1. 开放式传感器实验箱；
2. 震动传感器；

3. 连接线若干；
4. 万用表（自备）。

四、操作方法及实验步骤

1. 按图 4-2 所示，在实验电路板上搭建好电路，并仔细检查接线，确保无误。

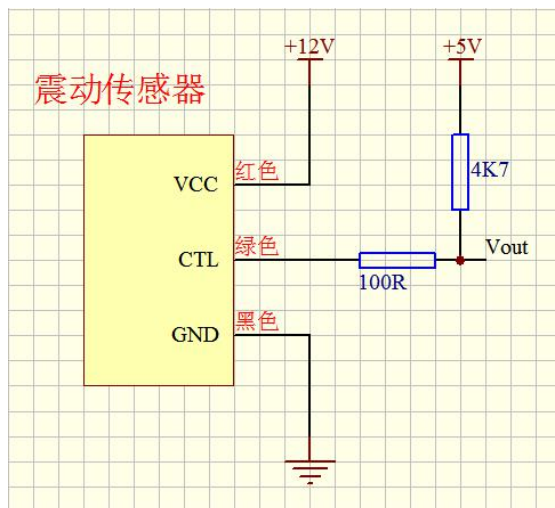


图 4-2 震动传感器测量电路

2. 连接好外部硬件电路，将 Vout 端接到**信号输出**其中任意一路输出接口上，再将输出接口接到采集仪，使用 DRVI 软件，打开“开放式传感器——防盗报警”实验脚本观察结果，检查传感器所接采集仪通道号跟脚本上面标示的通道号是否一致，点击软件中“运行”按钮，将震动传感器放在桌子上面，保持桌面平稳，敲击桌面，传感器检测到震动信号，发出报警灯显示如图 4-3 所示。

◆ **注意：**这样就简单实现了报警功能，但是当我们发现报警之后，要点击软件中“解除报警”按钮，清除报警状态。



图 4-3

五、实验数据

1. 用万用表测量震动传感器，检测到震动时候的输出电压和检测不到震动时候的输出电压，并记录下来。
2. 根据实验数据分析、总结、验证震动传感器的原理。
3. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

实验五 噪声传感器——噪声测量实验

一、实验目的

了解噪声传感器的工作原理和应用。

二、实验内容及原理

噪声传感器是一种宽声频范围、高声强动态范围、操作简便的声音传感器。该传感器体积小，重量轻，安装灵活，其声频测量范围覆盖了人耳所能听到的全部频率，测量的声强能量范围满足国家噪声管理标准中的全部要求。此外，传感器输出为标准电压信号，便于与各类数据采集和测量控制系统组成精细的噪声测量系统，是环境监测、噪声定量分析、声源定位、噪声治理及声学研究的理想选择。噪声传感器是把某些塑料经过处理可以永久带电，可以给电容麦克风需要形成电场的电压和放大器的供电，这种带电的塑料称为“驻极体”，用它们做振膜。声波推动振膜时，振膜与底座间的距离不断变化，电场也在变化，电路中就产生电势差。

声音是大气压上的压强波动，这个压强波动的大小简称为声压，以 p 表示，其单位是 Pa（帕）。从刚刚可以听到的声音到人们不堪忍受的声音，声压相差数百万倍。显然用声压表达各种不同大小的声音实属不太方便，同时考虑了人耳对声音强弱反应的对数特性，用对数方法将声压分为百十个等级，称为声压级。

声压级只反映声音的强度对人耳的响度感觉的影响，而不能反映声音频率对响度感觉的影响。利用具有一个频率计权网络的声学测量仪器，对声音进行声压级测量，所得到的读数称为计权声压级，简称声级，单位为 dB。声学测量仪器中，模拟人耳的响度感觉特性，一般设置 A、B 和 C 三种计权网络。A 计权声级是模拟人耳对 55dB 以下低强度噪声的频率特性，B 计权声级是模拟 55dB 到 85dB 的中等强度噪声的频率特性，C 计权声级是模拟高强度噪声的频率特性。三者的主要差别是对噪声低频成分的衰减程度，A 衰减最多，B 次之，C 最少。A 计权声级由于其特性曲线接近于人耳的听感特性，因此是目前世界上噪声测量中应用最广泛的一种。经大量实验证明，用 A 声级来评价噪声对语言的干扰，对人们的吵闹程度以及听力损伤等方面都有很好的相关性。另外，A 声级测量简单、快速，还可以与其它评价方法进行换算，所以是使用最广泛的评价尺度之一。如金属切削机床通用技术条件规定：高精度机床噪声容许小于 75dB(A)。

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 连接线若干；
3. 采集仪(另需采购)，DRV1 软件（另需采购）。

四、操作方法及实验步骤

1. 按图 5-1 所示，在开发式传感器实验箱上搭建好电路，并仔细检查接线，确保无误。

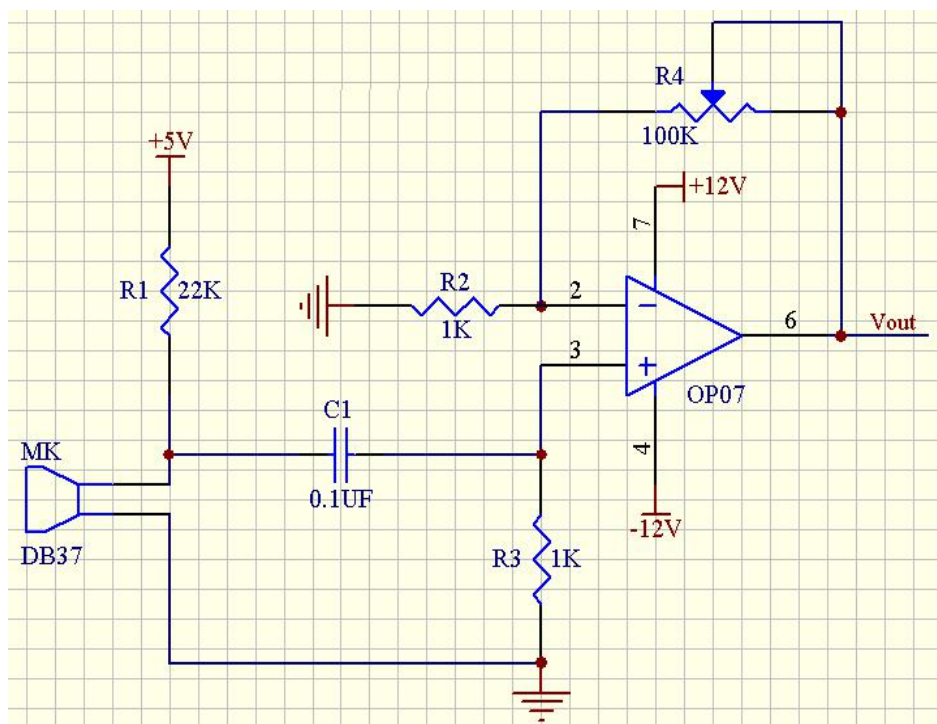


图 5-1 噪声传感器测量电路

2. 连接好外部硬件电路，将 Vout 端接到**信号输出**其中任意一路输出接口上，再将输出接口接到采集仪，使用 DRV1 软件，打开“开放式传感器——噪声测量”实验脚本观察结果，检查传感器所接采集仪通道号跟脚本上面标示的通道号是否一致，点击软件中“测量”按钮，对着噪声传感器拍手，产生噪声进行测量，如图 5-2 所示。

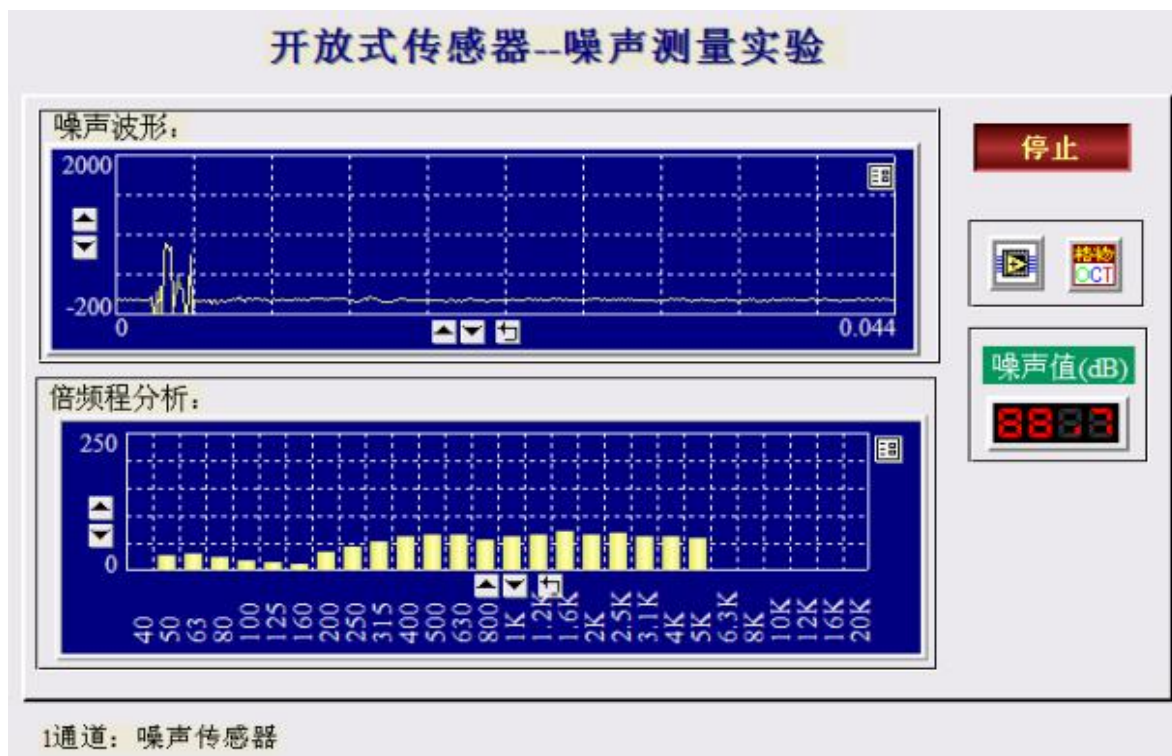


图 5-2

◆备注：首先需要将数据采集进来，DRV1 中提供了一个八通道的采集卡，用于完成对外部信号的数据采集，数据采集仪的启动采用“启/停按钮”控件来控制；要完成噪声值的计算，首先必须计算出信号的功率谱，需选择“倍频程谱控件”，采用 FFT 算法计算声音输入的声音信号的倍频程谱，并将计算出的声音信号分贝值通过总声压级输出端口显示出来。

◆提示：1. “倍频程谱控件”完成对声音信号的倍频程分析以及声压级的计算功能，因为声压级是按对数规律计算的，所以将倍频程普类型设置为“1/3 倍频程（对数）”，进行对数 1/3 倍频程计算，其频率计权网络取 A 计权，即将“频率计权”参数设置为 1。

2. 耳能感觉到的声音是 20Hz 到 20kHz，因此，10Hz 的声音人耳是听不见的，因此，在计算 A 声级时不用加权。A 声级时根据人耳感觉声音的响度来定义的，以人耳听 1000Hz 的纯音 40dB 时的响度来定义。

五、实验数据

1. 分析现象理解噪声传感器的原理及电路处理方法，加深对噪声传感器的认识。
2. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

六、实验结果与分析

噪声信号是如何转换成电信号的？

实验六 酒精传感器——酒精测量实验

一、实验目的

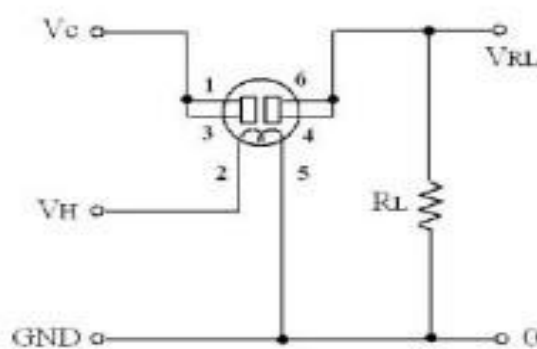
了解酒精传感器的工作原理和应用。

二、实验原理：

酒精传感器(TGS822)采用费加罗气体传感器的气敏素子，使用在清洁空气中电导率低的二氧化锡(SnO_2)。当存在检知对象气体时，传感器的电导率随空气中气体浓度增加而增大。使用简单的电路即可将电导率的变化，转换为与该气体浓度相对应的输出信号。

电路原理，如右图所示：

此传感器需要施加 2 个电压：加热器电压 (V_H) 和回路电压 (V_C)。这个 V_H 用于维持气敏素子处于与测试气体相适应的特定温度而施加在集成的加热器上。 V_C 则是用于测定与传感器串联的负载电阻 (R_L) 上的两端电压 (V_{RL})。这种传感器具有极性，所以 V_C 需用直流电源。只要能满足传感器的电性要求， V_C 和 V_H 可以共用同一个电源电路。为了将判定值水平最佳化，并使敏感素子的功耗 (PS) 低 15mW 的限度值，需要选择 R_L 的值。



对酒精传感器的简单电路处理后就可以制成测量酒后驾车的酒精含量测试仪，酒精传感器的应用范围非常广泛，所以对酒精传感器的认识和了解非常必要。

三、实验器材

1. 开放式传感器实验箱；
2. 连接线若干；
3. 万用表（自备），酒（自备）；
4. 采集仪（另需采购）；
5. DRV1 软件（另需采购）。

四、操作方法及实验步骤

1. 按图 6-1 所示，在开放式传感器试验箱上搭建好电路，并仔细检查接线，确保无误。

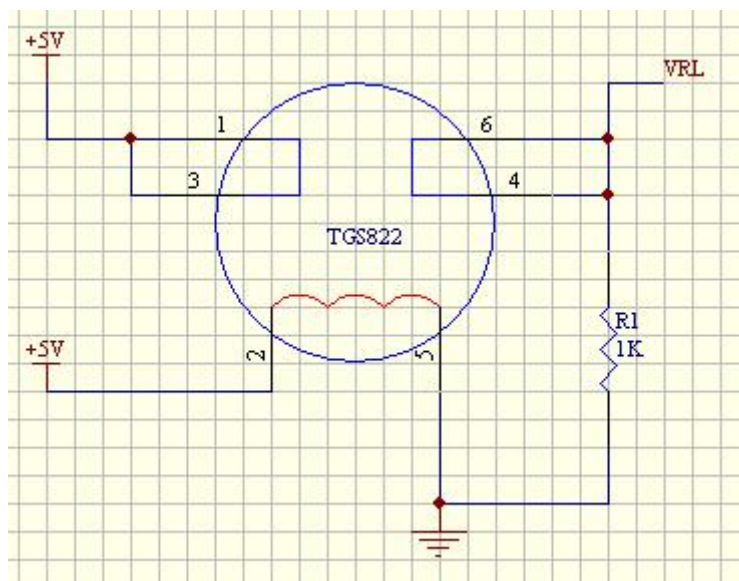


图 6-1 酒精测量电路

2. 连接好外部硬件电路，将 Vout 端接到信号输出其中任意一路输出接口上，再将输出接口接到采集仪，使用 DRV1 软件，打开“开放式传感器——酒精测量”实验脚本观察结果，检查传感器所接采集仪通道号跟脚本上面标示的通道号是否一致，点击软件中“运行”按钮，将沾有酒精的棉球或者布料靠近酒精传感器，观测酒精浓度如图 6-2 所示。

◆ **注意：**尽量将棉球布料挤干，不要接触酒精传感器，避免将酒直接洒在酒精传感器上影响其寿命，易损坏。



图 6-2

五、实验数据

1. 用万用表测量 VRL 的电压变化，我们会发现随着空气酒精浓度的增大，电压变化也很明显。
2. 分析实验数据理解酒精传感器的原理及电路处理方法。加深对酒精传感器的认识。

3. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

实验七 旋转编码器——角度定位实验

一、实验目的：

了解旋转编码器的工作原理和应用。

二、实验原理：

旋转编码器是用来测量转速的装置，光电式旋转编码器通过光电转换，可将输出轴的角位移、角速度等机械量转换成相应的电脉冲以数字量输出（REP）。它分为单路输出和双路输出两种。技术参数主要有每转脉冲数（几十个到几千个都有），和供电电压等。单路输出是指旋转编码器的输出是一组脉冲，而双路输出的旋转编码器输出两组 A/B 相位差 90 度的脉冲，通过这两组脉冲不仅可以测量转速，还可以判断旋转的方向。

旋转增量式编码器以转动时输出脉冲，通过计数设备来知道其位置，当编码器不动或停电时，依靠计数设备的内部记忆来记住位置。这样，当停电后，编码器不能有任何的移动，当上电工作时，编码器输出脉冲过程中，也不能有干扰而丢失脉冲，不然，计数设备记忆的零点就会偏移，而且这种偏移的量是无从知道的，只有错误的生产结果出现后才能知道。解决的方法是增加参考点，编码器每经过参考点，将参考位置修正到计数设备的记忆位置。在参考点以前，是不能保证位置的准确性的。为此，在工控中就有每次操作先找参考点，开机找零等方法。

一般编码器输出信号除 A、B 两相（A、B 两通道的信号序列相位差为 90 度）外，每转一圈还输出一个零位脉冲 Z。编码器每旋转一周发一个脉冲，称之为零位脉冲或标识脉冲，零位脉冲用于决定零位置或标识位置。要准确测量零位脉冲，不论旋转方向，零位脉冲均被作为两个通道的高位组合输出。由于通道之间的相位差的存在，零位脉冲仅为脉冲长度的一半。

三、需要的元件和设备：

1. 开放式传感器实验箱；
2. 旋转编码器；
3. 连接线若干；
4. 万用表（自备）；
5. 采集仪（另需采购）；DRV1 软件（另需采购）。

四、操作方法及实验步骤

1. 将旋转编码器插入开放式传感器实验箱对应的接口上，按照原理图 7-1 所示，实验箱上搭建好电路，并仔细检查接线，确保无误。

2. 用连接线将 SIG_A 接到**信号输出**其中一路接口上，再将输出接口接到采集仪，使用 DRV1 软件，打开“开放式传感器——角度定位”实验脚本观察结果，检查传感器所接采集仪通道号跟脚本上面标示的通道号是否一致，点击软件中“复位”按钮，将上次测量数据清零。

3. 点击软件中“运行”按钮，轻轻扭动旋转编码器，测量旋转角度，如图 7-2 所示。

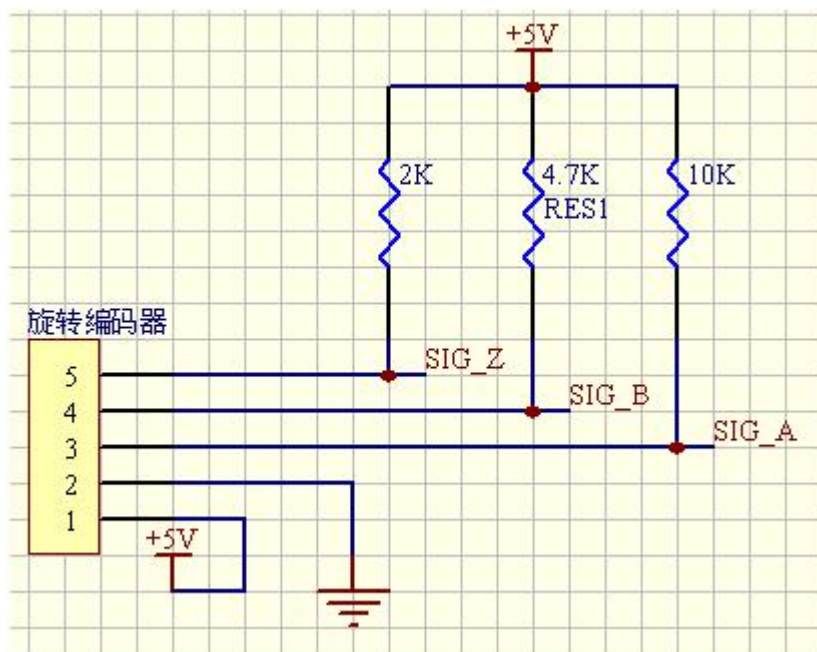


图 7-1 旋转编码器电路

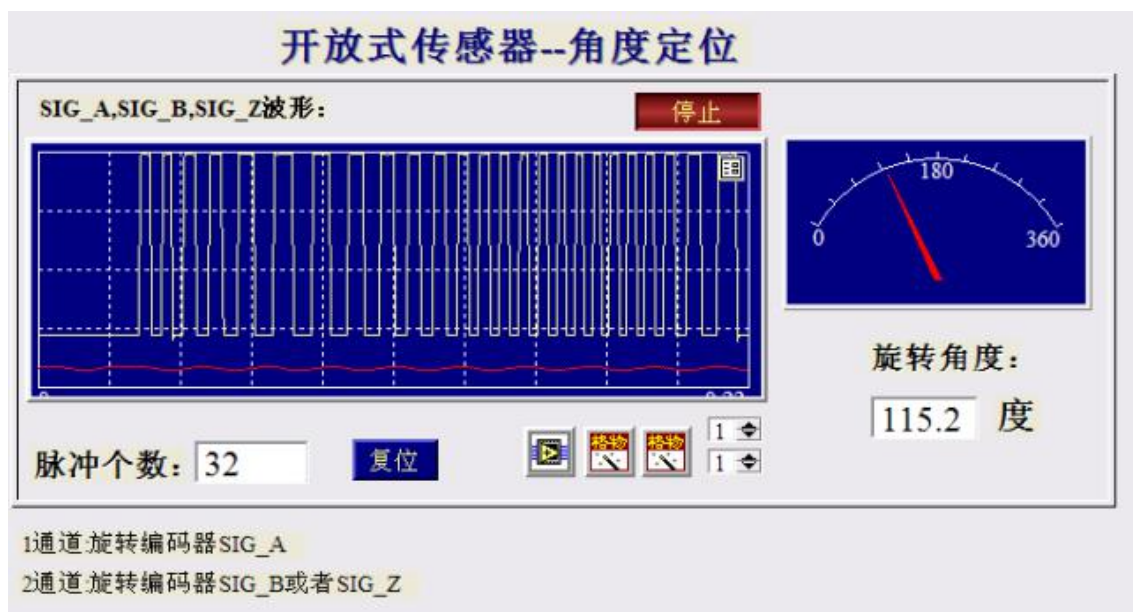


图 7-2

4. 再将 SIG_B 接入信号输出另外一路接口上，将输出信号接到采集仪通道 2，用 DRVI 观察波形输出。比较 SIG_A 和 SIG_B 区别，是否相差 90 度相位。验证原理。

5. 将 SIG_B 线拔掉，插入 SIG_Z 上面，用 DRVI 观察波形输出。比较 SIG_A 和 SIG_Z 区别，是否满足旋转编码器转过一周 SIG_Z 有一个零位信号。

五、实验数据

1. 研究旋转编码器的旋转角度跟脉冲的关系，及转动 90 度，是否 25 个脉冲(旋转编码器 100P/R)，

是否满足旋转编码器位置编码。

2. 分析实验数据，掌握旋转编码器的原理及电路处理方法。加深对旋转编码器应用的认识。
3. 关闭电源，整理实验仪器，填写实验报告。

七、扩展应用

面包板部分

该部分可以利用面包板及试验箱中的元器件，搭建所需电路进行扩展实验，来拓宽学生的知识面，提高他们的动手能力。

八、附录

附录一 PT1000 分度表

◆查询方法: 1. 左边第一列和最上边的一行是温度($^{\circ}\text{C}$), 其他的是阻值(Ω), 举个例子: 阻值是 1028.5

就在表上找到 1028.5 的格子, 则这个格子所在行和列的第一格的温度为 7 和 0.3, 将其相加就是温度了 7.3 度, 即 PT1000 铂电阻在 7.3°C 时阻值为 1028.5 欧姆。

2. 如果是负温度的话, 是加绝对值, 例如 “-47.6 度” 对应的是 “-47” 与十分位数字 “0.6” 是 812.59 欧姆。

◆备注: pt1000 是铂热电阻, 它的阻值会随着温度的变化而改变。

PT1000 分度表										
温度 ($^{\circ}\text{C}$)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-50	803.063									
-49	807.033	806.604	806.239	805.842	805.445	805.048	804.651	804.254	803.857	803.460
-48	811.003	810.606	810.209	809.812	809.415	809.018	808.621	808.224	807.827	807.430
-47	814.970	814.573	814.177	813.780	813.383	812.987	812.590	812.193	811.796	811.400
-46	818.937	818.540	818.144	817.747	817.350	816.954	816.557	816.160	815.763	815.367
-45	822.902	822.506	822.109	821.713	821.316	820.920	820.523	820.127	819.730	819.334
-44	826.865	826.469	826.072	825.676	825.280	824.884	824.487	824.091	823.695	823.298
-43	830.828	830.432	830.035	829.639	829.243	828.847	828.450	828.054	827.658	827.261
-42	834.789	834.393	833.997	833.601	833.205	832.809	832.412	832.016	831.620	831.224
-41	838.748	838.352	837.956	837.560	837.164	836.769	836.373	835.977	835.581	835.185
-40	842.707	842.311	841.915	841.519	841.123	840.728	840.332	839.936	839.540	839.144
-39	846.664	846.268	845.873	845.477	845.081	844.686	844.290	843.894	843.498	843.103
-38	850.619	850.224	849.828	849.433	849.037	848.642	848.246	847.851	847.455	847.060
-37	854.573	854.179	853.783	853.388	852.992	852.597	852.201	851.806	851.410	851.015
-36	858.526	858.131	857.735	857.340	856.945	856.550	856.154	855.759	855.364	854.968
-35	862.478	862.082	861.688	861.292	860.897	860.502	860.107	859.712	859.316	858.921
-34	866.428	866.033	865.638	865.243	864.848	864.453	864.058	863.663	863.268	862.873
-33	870.377	869.982	869.587	869.192	868.797	868.403	868.008	867.613	867.218	866.823
-32	874.325	873.930	873.535	873.141	872.746	872.351	871.956	871.561	871.166	870.772
-31	878.272	877.877	877.483	877.088	876.693	876.299	875.904	875.509	875.114	874.720
-30	882.217	881.823	881.428	881.034	880.639	880.245	879.850	879.456	879.061	878.667
-29	886.161	885.766	885.372	884.978	884.583	884.189	883.795	883.400	883.006	882.611
-28	890.103	889.709	889.315	888.920	888.526	888.132	887.738	887.344	886.949	886.555
-27	894.044	893.650	893.256	892.862	892.468	892.074	891.679	891.285	890.891	890.497
-26	897.985	897.591	897.197	896.803	896.409	896.015	895.620	895.226	894.832	894.438
-25	901.923	901.529	901.135	900.742	900.348	899.954	899.560	899.166	898.773	898.379

-24	905.861	905.467	905.073	904.680	904.286	903.892	903.498	903.104	902.711	902.317
-23	909.798	909.404	909.011	908.617	908.223	907.830	907.436	907.042	906.648	906.255
-22	913.733	913.340	912.946	912.553	912.159	911.766	911.372	910.979	910.585	910.192
-21	917.666	917.273	916.879	916.486	916.093	915.700	915.306	914.913	914.520	914.126
-20	921.599	921.206	920.812	920.419	920.026	919.633	919.239	918.846	918.453	918.059
-19	925.531	925.138	924.745	924.351	923.958	923.565	923.172	922.779	922.385	921.992
-18	929.460	929.067	928.674	928.281	927.888	927.496	927.103	926.710	926.317	925.924
-17	933.390	932.997	932.604	932.211	931.818	931.425	931.032	930.639	930.246	929.853
-16	937.317	936.924	936.532	936.139	935.746	935.354	934.961	934.568	934.175	933.783
-15	941.244	940.851	940.459	940.066	939.673	939.281	938.888	938.495	938.102	937.710
-14	945.170	944.777	944.385	943.992	943.600	943.207	942.814	942.422	942.029	941.637
-13	949.094	948.702	948.309	947.917	947.524	947.132	946.740	946.347	945.955	945.562
-12	953.016	952.624	952.232	951.839	951.447	951.055	950.663	950.271	949.878	949.486
-11	956.938	956.546	956.154	955.761	955.369	954.977	954.585	954.193	953.800	953.408
-10	960.859	960.467	960.075	959.683	959.291	958.899	958.506	958.114	957.722	957.330
-9	964.779	964.387	963.995	963.603	963.211	962.819	962.427	962.035	961.643	961.251
-8	968.697	968.305	967.913	967.522	967.130	966.738	966.346	965.954	965.563	965.171
-7	972.614	972.222	971.831	971.439	971.047	970.656	970.264	969.872	969.480	969.089
-6	976.529	976.138	975.746	975.355	974.963	974.572	974.180	973.789	973.397	973.006
-5	980.444	980.053	979.662	979.270	978.879	978.487	978.096	977.704	977.313	976.921
-4	984.358	983.967	983.575	983.184	982.793	982.401	982.010	981.618	981.227	980.835
-3	988.270	987.879	987.488	987.096	986.705	986.314	985.923	985.532	985.140	984.749
-2	992.181	991.790	991.399	991.008	990.617	990.226	989.834	989.443	989.052	988.661
-1	996.091	995.700	995.309	994.918	994.527	994.136	993.745	993.354	992.963	992.572
0	1000.000	1000.391	1000.782	1001.172	1001.563	1001.954	1002.345	1002.736	1003.126	1003.517
1	1003.908	1004.298	1004.689	1005.080	1005.470	1005.861	1006.252	1006.642	1007.033	1007.424
2	1007.814	1008.205	1008.595	1008.986	1009.377	1009.767	1010.158	1010.548	1010.939	1011.329
3	1011.720	1012.110	1012.501	1012.891	1013.282	1013.672	1014.062	1014.453	1014.843	1015.234
4	1015.624	1016.014	1016.405	1016.795	1017.185	1017.57	1017.96	1018.35	1018.747	1019.137
5	1019.527	1019.917	1020.308	1020.698	1021.088	1021.478	1021.868	1022.25	1022.649	1023.039
6	1023.429	1023.819	1024.209	1024.599	1024.989	1025.380	1025.770	1026.16	1026.550	1026.940
7	1027.330	1027.720	1028.110	1028.500	1028.890	1029.280	1029.670	1030.06	1030.450	1030.840
8	1031.229	1031.619	1032.009	1032.399	1032.789	1033.179	1033.569	1033.95	1034.348	1034.738
9	1035.128	1035.518	1035.907	1036.297	1036.687	1037.077	1037.466	1037.85	1038.246	1038.636
10	1039.025	1039.415	1039.805	1040.194	1040.584	1040.973	1041.363	1041.75	1042.142	1042.532
11	1042.921	1043.311	1043.701	1044.090	1044.480	1044.86	1045.259	1045.648	1046.038	1046.427
12	1046.816	1047.206	1047.595	1047.985	1048.374	1048.764	1049.153	1049.54	1049.932	1050.321
13	1050.710	1051.099	1051.489	1051.878	1052.268	1052.657	1053.04	1053.435	1053.825	1054.214
14	1054.603	1054.992	1055.381	1055.771	1056.160	1056.549	1056.938	1057.32	1057.716	1058.105
15	1058.495	1058.884	1059.273	1059.662	1060.051	1060.440	1060.829	1061.218	1061.607	1061.996
16	1062.385	1062.774	1063.163	1063.552	1063.941	1064.330	1064.71	1065.10	1065.496	1065.885
17	1066.274	1066.663	1067.052	1067.441	1067.830	1068.218	1068.607	1068.996	1069.385	1069.774
18	1070.162	1070.551	1070.940	1071.328	1071.717	1072.106	1072.49	1072.88	1073.272	1073.661

19	1074.049	1074.438	1074.826	1075.215	1075.604	1075.992	1076.381	1076.769	1077.158	1077.546
20	1077.935	1078.324	1078.712	1079.101	1079.489	1079.877	1080.26	1080.654	1081.043	1081.431
21	1081.820	1082.208	1082.596	1082.985	1083.373	1083.762	1084.150	1084.538	1084.926	1085.315
22	1085.703	1086.091	1086.480	1086.868	1087.256	1087.644	1088.03	1088.421	1088.809	1089.197
23	1089.585	1089.974	1090.362	1090.750	1091.138	1091.526	1091.91	1092.302	1092.690	1093.078
24	1093.467	1093.855	1094.243	1094.631	1095.019	1095.407	1095.79	1096.183	1096.571	1096.959
25	1097.347	1097.734	1098.122	1098.510	1098.898	1099.28	1099.674	1100.06	1100.450	1100.838
26	1101.225	1101.613	1102.001	1102.389	1102.777	1103.164	1103.552	1103.94	1104.328	1104.715
27	1105.103	1105.491	1105.879	1106.266	1106.654	1107.042	1107.429	1107.817	1108.204	1108.592
28	1108.980	1109.367	1109.755	1110.142	1110.530	1110.917	1111.305	1111.69	1112.080	1112.468
29	1112.855	1113.242	1113.630	1114.017	1114.405	1114.792	1115.18	1115.567	1115.954	1116.342
30	1116.729	1117.117	1117.504	1117.891	1118.279	1118.666	1119.053	1119.44	1119.828	1120.215
31	1120.602	1120.990	1121.377	1121.764	1122.151	1122.538	1122.926	1123.313	1123.700	1124.087
32	1124.474	1124.861	1125.248	1125.636	1126.023	1126.410	1126.79	1127.184	1127.571	1127.958
33	1128.345	1128.732	1129.119	1130.127	1129.893	1130.280	1130.667	1131.054	1131.441	1131.828
34	1132.215	1132.602	1132.988	1133.375	1133.762	1134.149	1134.536	1134.923	1135.309	1135.696
35	1136.083	1136.470	1136.857	1137.243	1137.630	1138.017	1138.404	1138.790	1139.177	1139.564
36	1139.950	1140.337	1140.724	1141.110	1141.497	1141.884	1142.27	1142.65	1143.043	1143.430
37	1143.817	1144.203	1144.590	1144.976	1145.363	1145.749	1146.13	1146.522	1146.909	1147.295
38	1147.681	1148.068	1148.454	1148.841	1149.227	1149.614	1150.000	1150.386	1150.773	1151.159
39	1151.545	1151.932	1152.318	1152.704	1153.091	1153.477	1153.863	1154.24	1154.636	1155.022
40	1155.408	1155.794	1156.180	1156.567	1156.953	1157.33	1157.725	1158.111	1158.497	1158.883
41	1159.270	1159.656	1160.042	1160.428	1160.814	1161.200	1161.58	1161.97	1162.358	1162.744
42	1163.130	1163.516	1163.902	1164.288	1164.674	1165.060	1165.446	1165.831	1166.217	1166.603
43	1166.989	1167.375	1167.761	1168.147	1168.532	1168.918	1169.304	1169.69	1170.076	1170.461
44	1170.847	1171.233	1171.619	1172.004	1172.390	1172.776	1173.161	1173.547	1173.933	1174.318
45	1174.704	1175.090	1175.475	1175.861	1176.247	1176.632	1177.018	1177.403	1177.789	1178.174
46	1178.560	1178.945	1179.331	1179.716	1180.102	1180.487	1180.873	1181.25	1181.644	1182.029
47	1182.414	1182.800	1183.185	1183.571	1183.956	1184.341	1184.727	1185.11	1185.597	1185.883
48	1186.268	1186.653	1187.038	1187.424	1187.809	1188.194	1188.579	1188.96	1189.350	1189.735
49	1190.120	1190.505	1190.890	1191.276	1191.661	1192.046	1192.431	1192.81	1193.201	1193.586
50	1193.971	1194.356	1194.741	1195.126	1195.511	1195.896	1196.28	1196.666	1197.051	1197.436
51	1197.821	1198.206	1198.591	1198.976	1199.361	1199.746	1200.131	1200.51	1200.900	1201.285
52	1201.670	1202.055	1202.440	1202.824	1203.209	1203.594	1203.97	1204.364	1204.748	1205.133
53	1205.518	1205.902	1206.287	1206.672	1207.056	1207.44	1207.826	1208.21	1208.595	1208.980
54	1209.364	1209.749	1210.133	1210.518	1210.902	1211.287	1211.672	1212.056	1212.441	1212.825
55	1213.210	1213.594	1213.978	1214.363	1214.747	1215.120	1215.516	1215.90	1216.285	1216.669
56	1217.054	1217.438	1217.822	1218.207	1218.591	1218.975	1219.360	1219.74	1220.128	1220.513
57	1220.897	1221.281	1221.665	1222.049	1222.434	1222.81	1223.202	1223.58	1223.970	1224.355
58	1224.739	1225.123	1225.507	1225.891	1226.275	1226.65	1227.043	1227.42	1227.811	1228.195
59	1228.579	1228.963	1229.347	1229.731	1230.115	1230.49	1230.883	1231.26	1231.651	1232.035
60	1232.419	1232.803	1233.187	1233.571	1233.955	1234.338	1234.722	1235.10	1235.490	1235.874
61	1236.257	1236.641	1237.025	1237.409	1237.792	1238.17	1238.56	1238.944	1239.327	1239.711

62	1240.095	1240.478	1240.862	1241.246	1241.629	1242.030	1242.396	1242.780	1243.164	1243.547
63	1243.931	1244.314	1244.698	1245.081	1245.465	1245.848	1246.232	1246.61	1246.999	1247.382
64	1247.766	1248.149	1248.533	1248.916	1249.299	1249.683	1250.066	1250.45	1250.833	1251.216
65	1251.600	1251.983	1252.366	1252.749	1253.133	1253.516	1253.899	1254.283	1254.666	1255.049
66	1255.432	1255.815	1256.199	1256.582	1256.965	1257.348	1257.731	1258.11	1258.497	1258.881
67	1259.264	1259.647	1260.030	1260.413	1260.796	1261.179	1261.562	1261.94	1262.328	1262.711
68	1263.094	1263.477	1263.860	1264.243	1264.626	1265.009	1265.39	1265.77	1266.157	1266.540
69	1266.923	1267.306	1267.689	1268.072	1268.455	1268.837	1269.220	1269.603	1269.986	1270.368
70	1270.751	1271.134	1271.517	1271.899	1272.282	1272.66	1273.048	1273.430	1273.813	1274.195
71	1274.578	1274.961	1274.803	1274.916	1275.029	1275.14	1275.25	1275.36	1275.479	1275.591
72	1278.404	1278.786	1279.169	1279.551	1279.934	1280.316	1280.699	1281.081	1281.464	1281.846
73	1282.228	1282.611	1282.993	1283.376	1283.758	1284.140	1284.52	1284.905	1285.287	1285.670
74	1286.052	1286.434	1286.816	1287.199	1287.581	1287.963	1288.345	1288.728	1289.110	1289.492
75	1289.874	1290.256	1290.638	1291.021	1291.403	1291.785	1292.16	1292.54	1292.931	1293.313
76	1293.695	1294.077	1294.459	1294.841	1295.223	1295.605	1295.987	1296.369	1296.751	1297.133
77	1297.515	1297.897	1298.279	1298.661	1299.043	1299.425	1299.80	1300.18	1300.570	1300.952
78	1301.334	1301.716	1302.098	1302.479	1302.861	1303.24	1303.625	1304.00	1304.388	1304.770
79	1305.152	1305.533	1305.915	1306.297	1306.678	1307.060	1307.44	1307.82	1308.205	1308.586
80	1308.968	1309.350	1309.731	1310.113	1310.494	1310.87	1311.270	1311.63	1312.020	1312.402
81	1312.783	1313.165	1313.546	1313.928	1314.309	1314.691	1315.072	1315.45	1315.835	1316.216
82	1316.597	1316.979	1317.360	1317.742	1318.123	1318.504	1318.885	1319.26	1319.648	1320.029
83	1320.411	1320.792	1321.173	1321.554	1321.935	1322.316	1322.697	1323.079	1323.460	1323.841
84	1324.222	1324.603	1324.985	1325.366	1325.747	1326.128	1326.509	1326.89	1327.271	1327.652
85	1328.033	1328.414	1328.795	1329.176	1329.557	1329.938	1330.31	1330.70	1331.081	1331.462
86	1331.843	1332.224	1332.604	1332.985	1333.366	1333.747	1334.128	1334.509	1334.889	1335.270
87	1335.651	1336.032	1336.413	1336.793	1337.174	1337.555	1337.935	1338.316	1338.697	1339.078
88	1339.458	1335.839	1332.220	1328.600	1324.981	1321.361	1317.742	1314.123	1310.503	1306.884
89	1343.264	1343.645	1344.025	1344.406	1344.786	1345.16	1345.570	1345.928	1346.308	1346.689
90	1347.069	1347.450	1347.830	1348.211	1348.591	1348.971	1349.352	1349.732	1350.112	1350.493
91	1350.873	1351.253	1351.634	1352.014	1352.394	1352.774	1353.155	1353.535	1353.915	1354.295
92	1354.676	1355.056	1355.436	1355.816	1356.196	1356.577	1356.957	1357.337	1357.717	1358.097
93	1358.477	1358.857	1359.237	1359.617	1359.997	1360.37	1360.757	1361.13	1361.517	1361.897
94	1362.277	1362.657	1363.037	1363.417	1363.797	1364.17	1364.557	1364.93	1365.317	1365.697
95	1366.077	1366.456	1366.836	1367.216	1367.596	1367.97	1368.355	1368.73	1369.115	1369.495
96	1369.875	1370.254	1370.634	1371.014	1371.393	1371.773	1372.153	1372.532	1372.912	1373.292
97	1373.671	1374.051	1374.431	1374.810	1375.190	1375.569	1375.949	1376.32	1376.708	1377.088
98	1377.467	1377.847	1378.226	1378.606	1378.985	1379.365	1379.744	1380.123	1380.503	1380.882
99	1381.262	1381.641	1382.020	1382.400	1382.779	1383.158	1383.538	1383.917	1384.296	1384.676
100	1385.055									

附录二 K 型热电偶分度表

- ◆ **查询方法：** 1. 左边第一列和最上边的一行是温度(℃)，其他的是电动势(mV)，举个例子：电动势是 2.27mV 就在表上找到 2.27 的格子，则这个格子所在行和列的第一格的温度为 50 和 6，将其相加就是温度了 56 度，即 K 型热电偶在 56℃时电动势为 2.27mV。
2. 如果是负温度的话，是加绝对值，例如“-59 度”对应的是“-50”与个位数字“9”是-2.208mV。
- ◆ **备注：** 参考端温度为 0℃。

K 型热电偶分度表										
温度 (℃)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.102	-2.137	-2.173	-2.208
-40	-1.527	-1.563	-1.600	-1.636	-1.673	-1.709	-1.745	-1.781	-1.817	-1.853
-30	-1.156	-1.193	-1.231	-1.268	-1.305	-1.342	-1.379	-1.416	-1.453	-1.490
-20	-0.777	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.005	-1.043	-1.081	-1.118
-10	-0.392	-0.431	-0.469	-0.508	-0.547	-0.585	-0.624	-0.662	-0.701	-0.739
-0	0	-0.039	-0.079	0.118	-0.157	-0.197	0.236	-0.275	-0.314	-0.353
0	0	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.162
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.570
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.940	1.981
50	2.022	2.064	2.105	2.146	2.188	2.229	2.270	2.312	2.353	2.394
60	2.436	2.477	2.519	2.560	2.601	2.643	2.684	2.726	2.767	2.809
70	2.850	2.892	2.933	2.875	3.016	3.058	3.100	3.141	3.183	3.224
80	3.266	3.307	3.349	3.390	3.432	3.473	3.515	3.556	3.598	3.639
90	3.681	3.722	3.764	3.805	3.847	3.888	3.930	3.971	4.012	4.054
100	4.095	4.137	4.178	4.219	4.261	4.302	4.343	4.384	4.426	4.467
110	4.508	4.549	4.590	4.632	4.673	4.714	4.755	4.796	4.837	4.878
120	4.919	4.960	5.001	5.042	5.083	5.124	5.164	5.205	5.246	5.287
130	5.327	5.368	5.409	5.450	5.490	5.531	5.571	5.612	5.652	5.693
140	5.733	5.774	5.814	5.855	5.895	5.936	5.976	6.016	6.057	6.097
150	6.137	6.177	6.218	6.258	6.298	6.338	6.378	6.419	6.459	6.499
160	6.539	6.579	6.619	6.659	6.699	6.739	6.779	6.819	6.859	6.899
170	6.939	6.979	7.019	7.059	7.099	7.139	7.179	7.219	7.259	7.299
180	7.338	7.378	7.418	7.458	7.498	7.538	7.578	7.618	7.658	7.697
190	7.737	7.777	7.817	7.857	7.897	7.937	7.977	8.017	8.057	8.097
200	8.137	8.177	8.216	8.256	8.296	8.336	8.376	8.416	8.456	8.497
210	8.537	8.577	8.617	8.657	8.697	8.737	8.777	8.817	8.857	8.898
220	8.938	8.978	9.018	9.058	9.099	9.139	9.179	9.220	9.260	9.300
230	9.341	9.381	9.421	9.462	9.502	9.543	9.583	9.624	9.664	9.705

240	9.745	9.786	9.826	9.867	9.907	9.948	9.989	10.029	10.070	10.111
250	10.151	10.192	10.233	10.274	10.315	10.355	10.396	10.437	10.478	10.519
260	10.560	10.600	10.641	10.682	10.723	10.764	10.805	10.848	10.887	10.928
270	10.969	11.010	11.051	11.093	11.134	11.175	11.216	11.257	11.298	11.339
280	11.381	11.422	11.463	11.504	11.545	11.587	11.628	11.669	11.711	11.752
290	11.793	11.835	11.876	11.918	11.959	12.000	12.042	12.083	12.125	12.166
300	12.207	12.249	12.290	12.332	12.373	12.415	12.456	12.498	12.539	12.581
310	12.623	12.664	12.706	12.747	12.789	12.831	12.872	12.914	12.955	12.997
320	13.039	13.080	13.122	13.164	13.205	13.247	13.289	13.331	13.372	13.414
330	13.456	13.497	13.539	13.581	13.623	13.665	13.706	13.748	13.790	13.832
340	13.874	13.915	13.957	13.999	14.041	14.083	14.125	14.167	14.208	14.250
350	14.292	14.334	14.376	14.418	14.460	14.502	14.544	14.586	14.628	14.670
360	14.712	14.754	14.796	14.838	14.880	14.922	14.964	15.006	15.048	15.090
370	15.132	15.174	15.216	15.258	15.300	15.342	15.394	15.426	15.468	15.510
380	15.552	15.594	15.636	15.679	15.721	15.763	15.805	15.847	15.889	15.931
390	15.974	16.016	16.058	16.100	16.142	16.184	16.227	16.269	16.311	16.353
400	16.395	16.438	16.480	16.522	16.564	16.607	16.649	16.691	16.733	16.776
410	16.818	16.860	16.902	16.945	16.987	17.029	17.072	17.114	17.156	17.199
420	17.241	17.283	17.326	17.368	17.410	17.453	17.495	17.537	17.580	17.622
430	17.664	17.707	17.749	17.792	17.834	17.876	17.919	17.961	18.004	18.046
440	18.088	18.131	18.173	18.216	18.258	18.301	18.343	18.385	18.428	18.470
450	18.513	18.555	18.598	18.640	18.683	18.725	18.768	18.810	18.853	18.896
460	18.938	18.980	19.023	19.065	19.108	19.150	19.193	19.235	19.278	19.320
470	19.363	19.405	19.448	19.490	19.533	19.576	19.618	19.661	19.703	19.746
480	19.788	19.831	19.873	19.916	19.959	20.001	20.044	20.086	20.129	20.172
490	20.214	20.257	20.299	20.342	20.385	20.427	20.470	20.512	20.555	20.598
500	20.640	20.683	20.725	20.768	20.811	20.853	20.896	20.938	20.981	21.024
510	21.066	21.109	21.152	21.194	21.237	21.280	21.322	21.365	21.407	21.450
520	21.493	21.535	21.578	21.621	21.663	21.706	21.749	21.791	21.834	21.876
530	21.919	21.962	22.004	22.047	22.090	22.132	22.175	22.218	22.260	22.303
540	22.346	22.388	22.431	22.473	22.516	22.559	22.601	22.644	22.687	22.729
550	22.772	22.815	22.857	22.900	22.942	22.985	23.028	23.070	23.113	23.156
560	23.198	23.241	23.284	23.326	23.369	23.411	23.454	23.497	23.539	23.582
570	23.624	23.667	23.710	23.752	23.795	23.837	23.880	23.923	23.965	24.008
580	24.050	24.093	24.136	24.178	24.221	24.263	24.306	24.348	24.391	24.434
590	24.476	24.519	24.561	24.604	24.646	24.689	24.731	24.774	24.817	24.859
600	24.902	24.944	24.987	25.029	25.072	25.114	25.157	25.199	25.242	25.284