

机械参数的测量

机械实验教学中心

奚鹰

4 - 1 计算机数据采集及相关分析法

一、实验目的

了解模/数转换原理及AD34的主要性能。熟练掌握CRAS4.3软件的使用方法。学会单通道-多通道数据采集的方法，为今后的实验打好基础。

二、实验原理

各种信号如振动、噪声、应变、速度、位移、温度等都可以通过相应的传感器变成电压信号，该信号通过A/D转换、放大后，由计算机实现采样，记录、分析、显示、输出，从而完成机械量的测量。

在测试技术领域，分析两个信号的关系可用相关分析。相关分析分为自相关分析及互相关分析二种。

自相关函数的性质有：

1. 因为： $R_x(\tau) = \frac{1}{\sigma_x^2} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)dt$ ， $|\rho_x(\tau)| \leq 1$ 所以： $R_x(\tau) = \rho_x(\tau) \sigma_x^2$ 式中： $R_x(\tau)$ 是自相关函数， $\rho_x(\tau)$ 是自相关系数， μ_x 是信号的均值， σ_x 是信号的标准差。
2. 自相关函数在 $\tau=0$ 时为最大值，并等于该信号的均方值 σ_x^2 。
3. 当 $\tau \rightarrow \infty$ 时，自相关函数衰减为0， $R_x(\infty) = 0$
4. 自相关函数是偶函数， $R_x(\tau) = R_x(-\tau)$
5. 周期函数的自相关函数仍为同频率的周期函数，其幅值与原周期信号的幅值有关，但丢失了原信号的相位信号。

互相关函数的性质有：

1. $R_{xy}(\tau) = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t+\tau)dt$ 其中： $R_{xy}(\tau)$ 是信号 $x(t)$ 、 $y(t)$ 的互相关函数， μ_x 、 μ_y 分别为信号 $x(t)$ 、 $y(t)$ 的均值， σ_x 、 σ_y 分别为信号 $x(t)$ 、 $y(t)$ 的标准差。
2. 同频相关，不同频不相关。当 $x(t)$ 、 $y(t)$ 存在相同频率分量时，当时 $\tau \rightarrow \infty$ ， $R_{xy}(\infty)$ 不会衰减到零。
3. $R_{xy}(\tau)$ 的最大值是在 $\tau = \tau_0$ 处， τ_0 代表 $x(t)$ 、 $y(t)$ 之间的滞后时间。
4. 互相关函数不是偶函数。
5. 互相关函数保留了 $x(t)$ 、 $y(t)$ 之间的相位差。

我们可以利用上述性质来分析信号的频率，完成测距。

三、需用器件与单元

个人计算机一台、BJC-210SP喷墨打印机一台、QL001组合式仪器接口箱一台、AD34模/数转换卡一个、低频信号发生器一台。

四、实验步骤

1. 按图4-1联接仪器

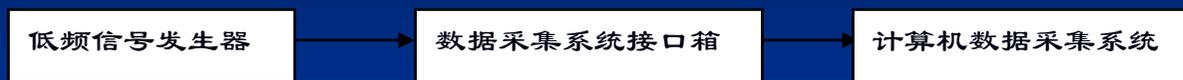


图4-1 计算机数据采集系统接线图

2. 开启计算机电源，当显示屏出现C>后，开启QL001电源及打印机电源。

3. 键入CD\CRAS，进入CRAS子目录。

4. 键入CRAS，计算机进入CRAS4.3采集软件总菜单。

5. 用←，→键选定要运行的软件包，再用↑或↓键选择要运行的软件。

例：选中‘单通道数据采集’，键入回车，便进入单通道数据采集软件。

6. 数据采集系统ADCRAS，ADSCA单通道数据采集程序。

(1) 功能。采集接在接口箱第一通道上的模拟信号，对信号进行示波显示、编辑处理，计算统计量及存盘等文件操作。

(2) 菜单。

[设置]，[文件]，[示波]，[采集]，[时间历程]，[编辑]，[处理]，[退出]

ESC、x/X、y/Y、m/M、l/L、r/R、e/E、o/O、ALT+P、ALT+S、pgdn、pgup、end、home

菜单用←或→键选择，用Enter表示选中该功能，ESC表示结束该功能。

(3) [设置参数] 参数设置用↑或↓键选中所要设置的栏目。

电压范围 :5V、2.5V、1.25V、0.625V, 缺省值为5V, 用←, →选。

采样频率 :共有2.56Hz、5.12Hz、12.8Hz、25.6Hz、51.2Hz、128Hz、512Hz、1.28KHz、2.56KHz、12.8KHz、2.56KHz、5.12KHz、12.8KHz、25.6KHz供选择, 用←, →键, 缺省值25.6KHz。

数据块数 :有1、2、4、8、16、32挡, 用←, →键选择, 缺省值为4。

通道标记 :不多于8个字符, 用于屏幕图形注释, 可以不送, 缺省值为ch1。

工程单位 :共有12种, 用←, →键选择, 缺省值为mv。

校正因子 :即每一工程单位对应的mv数, 由用户键入, 送完后按Enter键。

触发方式 :有三种选择FreeRun (自由运行)、1ch+ (正触发)、1ch- (负触发), 用←, →键选择。

触发电平 :5%~100%分20挡, 以满量程电压的百分数计, 用←, →键选择。

触发延迟 : -200~200共分21挡, 负表示超前, 正表示滞后。

全部参数设置好后, 按ESC键结束参数设置。

(4) [文件] 用↑或↓键选定需操作的栏目。

文件列表: 键入↓, 显示作业名, 再键入↓, 列出C:\CRAS*. *文件。

读盘: 读已存在之文件, 需指出路径名, 可省略扩展名。例: \DAT\SIN

存盘: 对已采集或修正过的文件存盘。例: \DAT\SIN

退出: 退出文件功能。

ADSCA的文件仅二种: 参数文件 (.PTS) 及数据文件 (.DTS)。

(5) [示波]

每采集一页400个样本立即在屏幕上显示波形, 直到键入“s”为止, 同时显示该400点的均值、有效值、峰值等。

(6) [采集]

根据所设置的参数进行采集。屏幕提示“稍候……”。

(7) [时间历程显示]

采样后可进入此功能显示波形, 编辑处理已采样曲线。

键入l/L, 1/R可进行块选择。选定后, 可进行块放大、缩小及块拷贝。

键入x/X 缩放x 方向尺寸, 时域缩放。

键入y/Y 垂直刻度尺缩放。

键入m/M 标记某些特征数据。

键入e/E 扩展光标带内数据。

键入o/O 时域复原。

键入Alt+P 光标带打印。

键入Alt+S 屏幕拷贝。

键入PgDn、Paup、end、home 换页。

(8) [编辑]

Esc l/L, r/R Delete Zero Move Modify m/M

退出 选定光标带 删除 置零 块移动 修改 标注

(9) [处理]

ESC Zero-mean Intigration Derivation Smooth m/M

退出 零均值化 积分 微分 平滑 标注

7. 单通道数据采集练习

(1) 在总菜单图下，使光标棒处于ADSCA时按回车键，进入该程序。

(2) 光标框停在“设置”位置，回车进入设置参数框，用↑、↓、←、→键设置参数，键入ESC退出设置参数。

(3) 光标框移到“文件”处，↓进入文件操作功能菜单，光标框在“目录列表”处回车，送入\DAT*.PTS，屏幕出现DAT子目录中所有单通道文件，回车回到“文件”操作窗口。用↓将光标框移到“读盘”处，↓，键入\DAT\SIN，↓，则可读入该文件。

(4) 移动光标棒到“时间历程”处，↓，屏幕显示该文件波形及有关的数据。

根据屏幕下部的操作提示，分别熟悉以下功能：

- 用Pgdn, Pgup, End, Home观察全部数据的波形曲线。
- 用m/M标注感兴趣的瞬时值。
- 用x/X改变X轴刻度，使图形在时间轴上缩放。
- 用y/Y改变Y轴刻度，使图形在垂直轴上缩放。
- 用→、←键移动光标，用l/L, r/R设置光标带，用e/E将此光标带扩充为一整幅，用o/O复原。
- 联接打印机，在设置好左右光标后打印一段数据，用ESC返回主菜单。

(5) 移动光标框到“编辑”。

根据屏幕下部的操作提示，分别熟悉以下功能：

- 用l/L, r/R设置光标带，键入d/D删除一段数据。
- 用l/L, r/R设置光标带，键入z/Z使一段数据置零。
- 用l/L, r/R设置光标带，再移动光标至某处，键入v/V将光标带内数据移到光标处。
- 用f/F修改某一时刻的数据。

用ESC返回主菜单。

(6) 移动光标棒到“处理”。

根据屏幕下部的操作提示，分别熟悉以下功能：

- 积分 i/I
- 微分 d/D
- 平滑 s/S
- 零均值 z/Z

(7) 移动光标棒到“采集”，采集QL001自身的正弦波。

(8) 移动光标棒到“文件”，将采集到的信号存盘。

8. 自相关函数计算及显示：

- (1) 将低频信号发生器信号输出设为噪声信号，用CRAS软件的单通道或双通道数据采集该噪声信号，然后存盘并退出数据采集模块。进入“信号分析与系统分析”模块，读入采集到的信号，进行自相关计算及显示。
- (2) 也可直接进入自相关函数计算及显示，以缺省参数值采集低频信号发生器信号，然后自动完成自相关函数计算及显示。

9. 互相关函数的计算及显示：

- (1) 返放时间数据计算互相关函数是在“信号分析与系统分析”中读入“数据采集”采集到的双通道数据进行分析。
- (2) 直接采集数据计算互相关函数是在“信号分析与系统分析”中采集信号并计算互相关函数。

五、思考题

1. 在CRAS软件中，示波功能与时间历程功能在示波上有何区别？
2. 该数据采集系统采用AD34模/数转换卡，该卡能同时采集几路信号，其采样频率可在何范围内
3. 设置？AD34模/数转换卡能否输出数/模信号？
4. 试中存在高频干扰时，可采用何种功能滤出该高频干扰？
5. 打印机设置不匹配时，你该怎么办？
6. 对测试数据进行积分、微分、平滑、零均值化处理后，CRAS软件能否将处理过数据恢复到处理前？

4-2静应力测量

一、实验目的

1. 了解金属箔式应变片的应变效应
2. 了解单臂，半桥，全桥测量电路工作原理。
3. 比较单臂、半桥、全桥输出时的各自性能、特点，灵敏度和非线性度，得出相应的结论。
4. 了解温度对应变片测试系统的影响。
5. 完成应变直流全桥的应用及电路的标定。

二、实验原理

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： $\Delta R/R = K\varepsilon$ 式中 $\Delta R/R$ 为电阻丝电阻相对变化， K 为应变灵敏系数， $\varepsilon = \Delta L/L$ 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 $U_1 = EK\varepsilon R/4$ 。对半桥，将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 $U_2 = EK\varepsilon R/2$ 。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，当应变片初始阻值： $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ，其变化值 $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4$ 时，其桥路输出电压 $U_3 = KE\varepsilon R$ 。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。

电阻应变片的温度影响，主要来自两个方面。敏感栅丝的电阻温度系数，应变栅的线膨胀系数与弹性体（或被测试件）的线膨胀系数不一致会产生附加应变。因此当温度变化时，在被测体受力状态不变时，输出会有变化。

三、需用器件与单元

应变式传感器实验模板、应变式传感器—电子秤、砝码、 $\pm 15V$ 电源、 $\pm 4V$ 电源、万用表、加热器（已贴在应变片底部）

四、实验步骤

1. 图4-2应变式传感器（电子秤）装于应变传感器模板上。传感器中各应变片已接入模板的左上方的R1、R2、R3、R4。加热丝也接于模板上，可用万用表进行测量判别， $R1 = R2 = R3 = R4 = 350 \Omega$ ，加热丝阻值为 50Ω 左右。

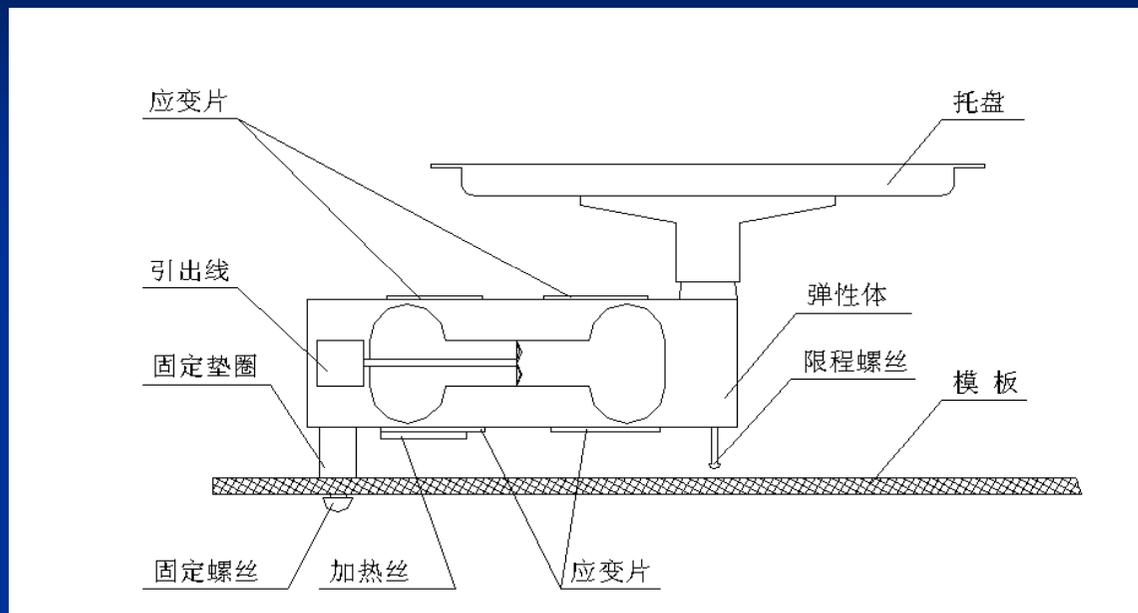


图 4 - 2 应变式传感器安装示意图

2. 接入模板电源 $\pm 15V$ （从主控台引入），检查无误后，合上主控台电源开关，将实验模板调节增益电位器RW3顺时针调节大致到中间位置，再进行差动放大器调零，方法为将差放的正负输入端与地短接，输出端与主控台面板上数显表输入端 V_i 相连，调节实验模板上调零电位器RW4，使数显表显示为零（数显表的切换开关打到2V档）。关闭主控箱电源（注意：当RW3、RW4的位置一旦确定，就不能改变。一直到做完实验为止）。

3. 将应变式传感器的其中一个电阻应变片R1（即模板左上方的R1）接入电桥作为一个桥臂与R5、R6、R7接成直流电桥（R5、R6、R7模块内已接好），接好电桥调零电位器RW1，接上桥路电源±4V（从主控台引入）如图4-3所示。检查接线无误后，合上主控台电源开关。调节RW1，使数显表显示为零。

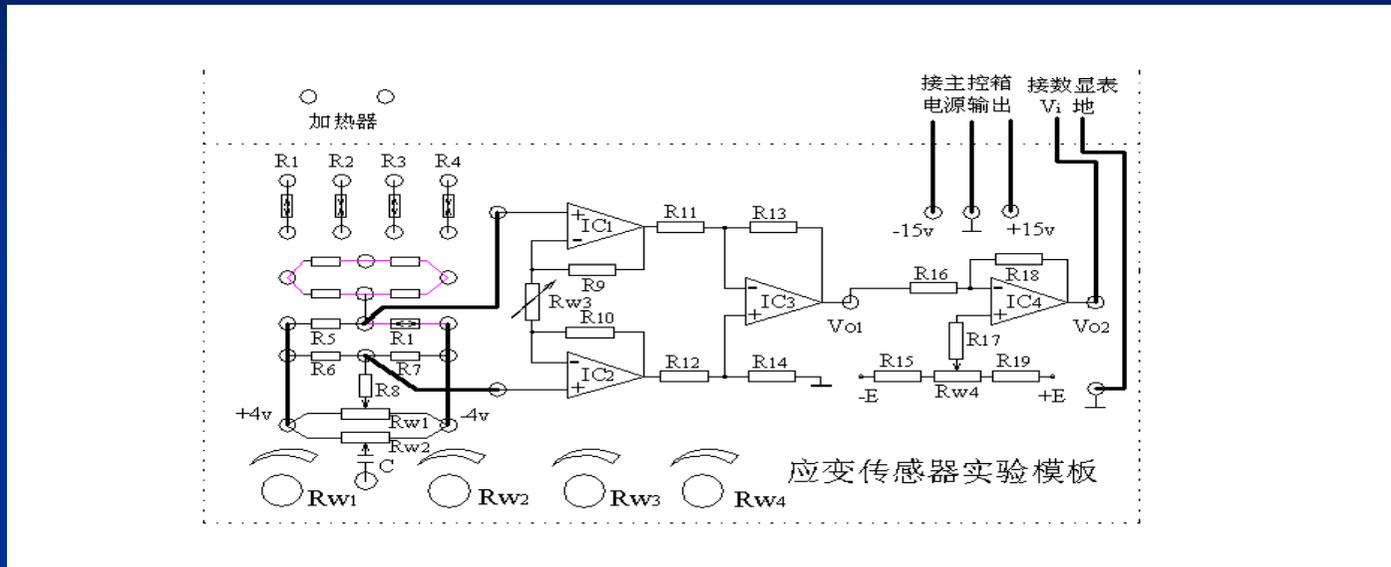


图4.3应变式传感器单臂电桥实验接线图

4. 在电子秤上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显表值，直到200g（或500g）砝码加完。记下实验结果，关闭电源。
5. 根据实验结果计算系统灵敏度 $S_1 = \Delta U / \Delta W$ （ ΔU 输出电压变化量， ΔW 重量变化量）和非线性误差 $\delta f_1 = \Delta m / y_F \cdot S \times 100\%$ 式中 Δm 为输出值（多次测量时为平均值）与拟合直线的最大偏差： $y_F \cdot S$ 满量程输出平均值，此处为200g（500g）。

6. 根据图4-4接线。R1、R2为实验模板左上方的应变片，注意R2应和R1受力状态相反，即将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。接入桥路电源±4V，调节电桥调零电位器RW1进行桥路调零，重复实验步骤4、5，记下实验结果，计算灵敏度 $S_2 = \Delta U / \Delta W$ ，非线性误差 δf_2 。若实验时无数值显示说明R2与R1为相同受力状态应变片，应更换另一个应变片。

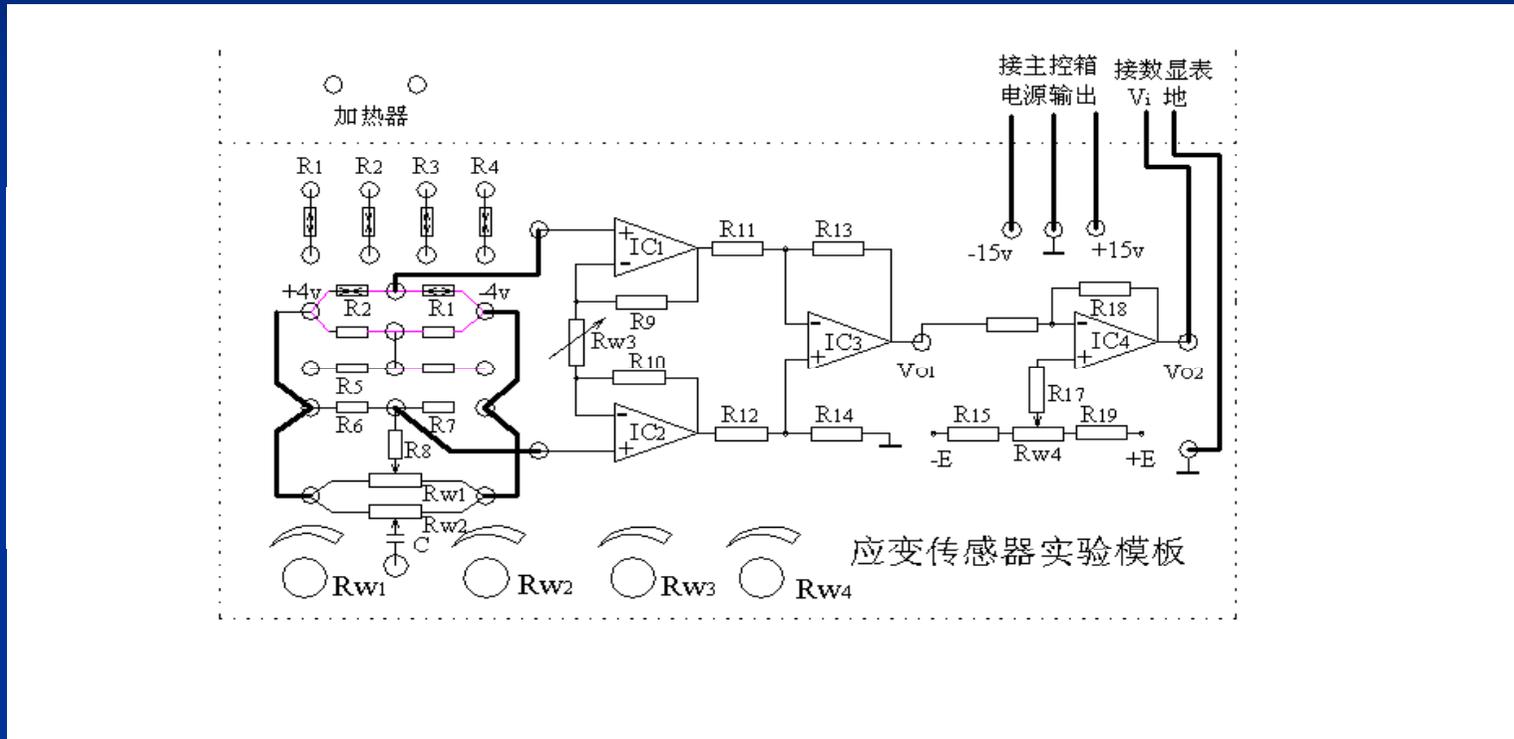


图4-4应变式传感器半桥实验接线图

7. 根据图4-5接线，将R1、R2、R3、R4、为实验模板左上方的应变片，注意R4、R2应和R3、R1受力状态相反，即将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。接入桥路电源 $\pm 4V$ ，调节电桥调零电位器RW1进行桥路调零，重复实验步骤4、5，记下实验结果；进行灵敏度和非线性误差计算。

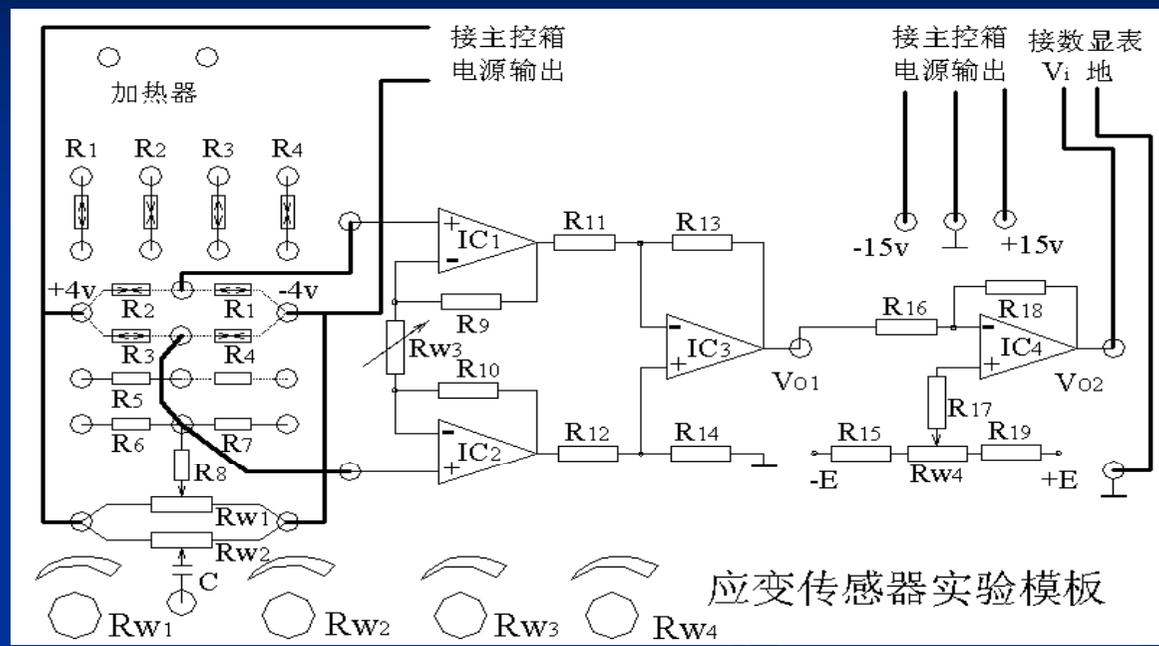


图4-5应变式传感器全桥实验接线图

8. 根据实验所得的单臂、半桥和全桥输出时的灵敏度和非线性度，从理论上进行分析比较。阐述理由（注意：单臂、半桥和全桥接法的放大器增益必须相同）

9. 保持步骤7的实验结果，将200g砝码放入托盘上，在数显表上读取某一整数。将5V直流稳压电源接于实验模板的加热器插孔上，数分钟后待数显表电压显示基本稳定后，记下读数，即为温度变化的影响。计算这一温度变化产生的相对误差：~~26.9%~~。

10. 按图4-5全桥接线, 合上主控台电源开关, 调节电桥平衡电位RW1, 使数显表显示0.00V。将10只砝码全部置于传感器的托盘上, 调节电位器RW3 (增益即满量程调节) 使数显表显示为0.200V (2V档测量) 或-0.200V。拿去托盘上的所有砝码, 调节电位器RW4 (零位调节) 使数显表显示为0.0000V。重复上述标定过程, 一直到精确为止, 把电压量纲V改为重量纲g, 就可以称重。成为一台原始的电子秤。把砝码依次放在托盘上, 记下实验结果, , 计算误差与非线性误差。

五、思考题

1. 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、负应变片均可以。
2. 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。
3. 桥路 (差动电桥) 测量时存在非线性误差, 是因为_____?
(1) 电桥测量原理上存在非线性 (2) 应变片应变效应是非线性的 (3) 调零值不是真正为零。
4. 全桥测量中, 当两组对边 (R_1 、 R_3 为对边) 电阻值R相同时, 即 $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$, 而 $R_1 \neq R_2$ 时, 是否可以组成全桥_____?
(1) 可以 (2) 不可以。
5. 金属箔式应变片温度影响有哪些消除方法?
6. 应变式传感器可否用于测量温度?

4.3 振动测试

4-3-1 交流全桥的应用 —— 振动测量实验

一 实验目的：了解利用交流电桥测量动态应变参数的原理与方法。

二 实验原理：对于交流应变信号用交流电桥测量时，桥路输出的波形为一调制波，不能直接显示其应变值，只有通过移相检波和滤波电路后才能得到变化的应变信号，此信号可以从示波器或计算机数据采集系统获取。

三 需用器件与单元：音频振荡器、低频振荡器、万用表（自备）、应变式传感器实验模板、相敏检波器模板、双综示波器、振动源、计算机数据采集器、示波器。

四 实验步骤

1. 模块上的传感器不用，改用振动梁的应变片，即台面上的应变输出。
2. 将台面三源板上的应变插座用连接线插入应变传感器实验模板上。因振动梁上的四片应变片已组成全桥，引出线为四芯线，因此可直接接入实验模板面上已联成电桥的四个插孔上。接线时应注意连接线上每个插头的意义，对角线的阻值为 $350\ \Omega$ ，若二组对角线阻值均为 $350\ \Omega$ 则接法正确（万用表测量）。
3. 根据图4-6，接好交流电桥调平衡电路及系统， R_8 、 R_{w1} 、 C 、 R_{w2} 为交流电桥调平衡网络。检查接线无误后，合上主控台电源开关，将音频振荡器的频率调节到1KHz左右，幅度调节到 $10V_{p-p}$ （频率可用数显表 F_{in} 监测，幅度用示波器监测）。图4.6中的移相器原理见图4.7，相敏检波器原理图见图4.8
4. 将低频振荡器输出接入振动台激励源插孔，调低频输出幅度和频率使振动台（圆盘）明显感到振动。

5. 固定低频振荡器幅度旋钮位置不变，低频输出端接入数显单元的Fin，把数显表的切换开关打到频率档监测低频频率，调低频频率，用示波器读出频率改变时低通滤波器输出 V_0 的电压峰-峰值，记下实验结果。从实验数据得振动梁的自振频率。

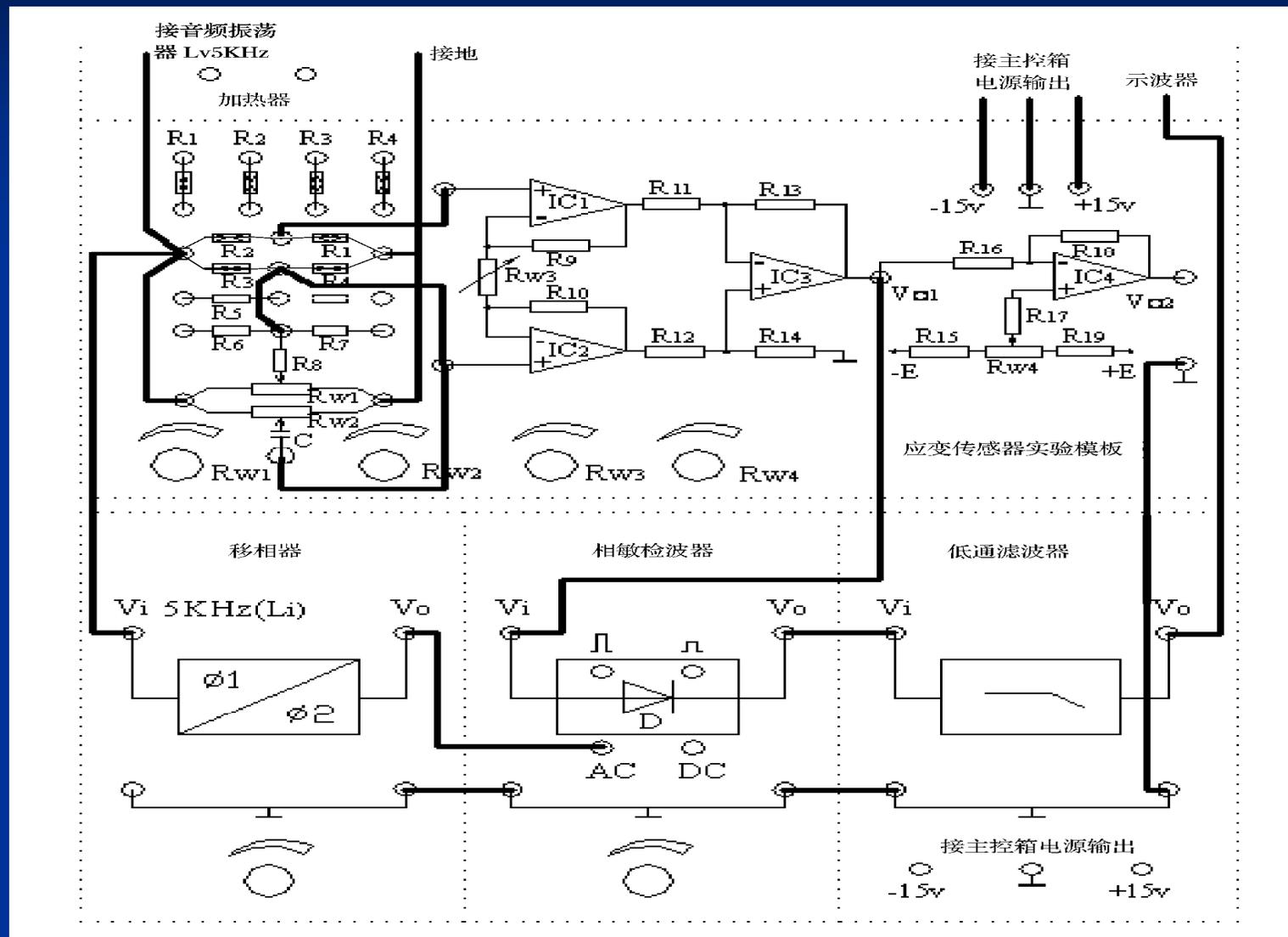


图4-6应变片振动测量实验接线图

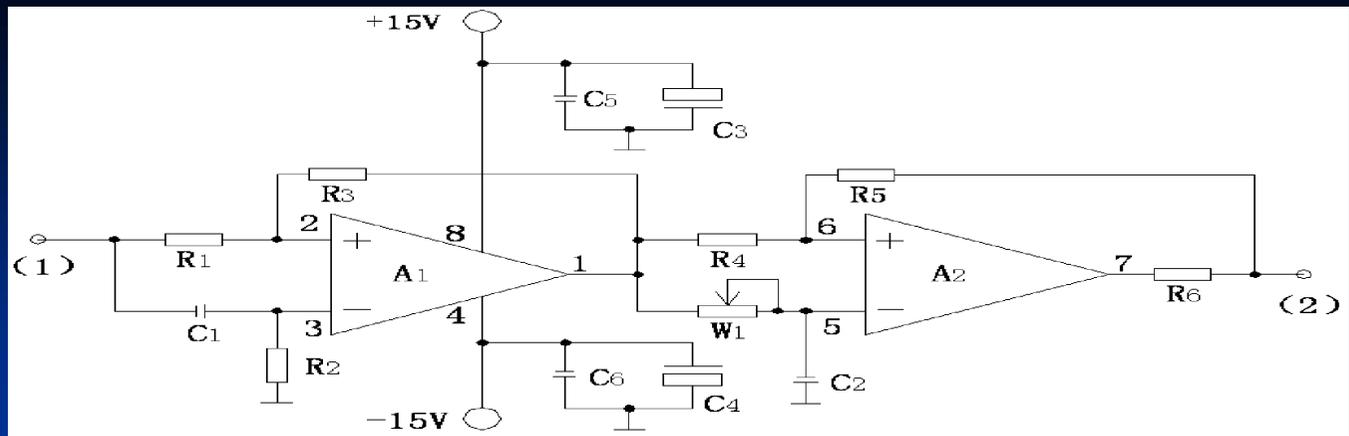


图4-7移相器电路原理图

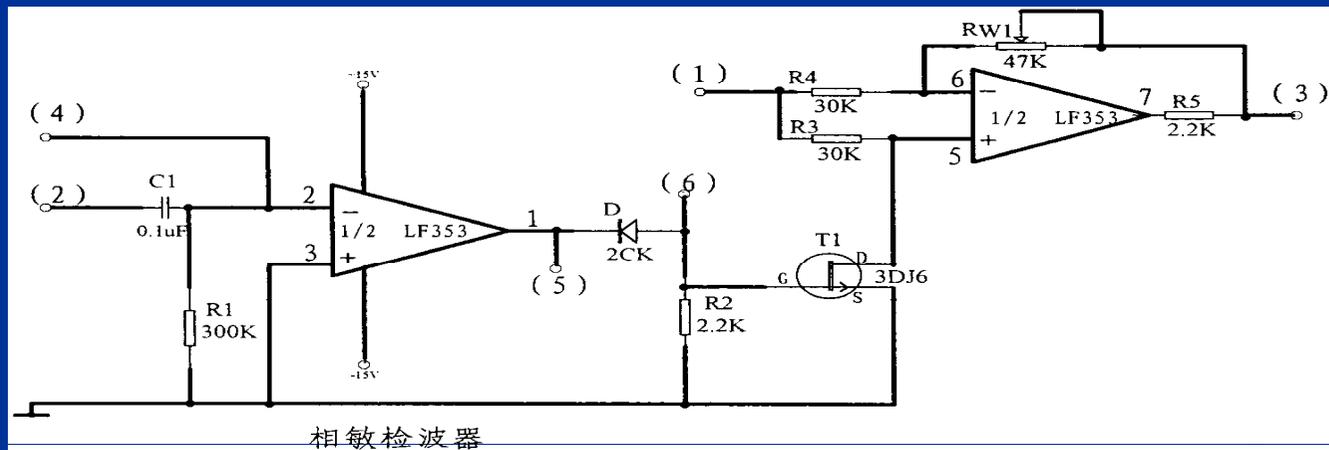


图4-8相敏检波器的电路原理图

五 思考题

1. 在交流电桥测量中，对音频振荡器频率和被测梁振动频率之间有什么要求？
2. 请归纳直流电桥和交流电桥的特点？

4-3-2 差动变压器的应用 —— 振动测量实验

一 实验目的：了解差动变压器测量振动的方法。

二 实验原理：利用差动变压器测量动态参数与位移测量的原理相同。

三 需用器件与单元：音频振荡器、差动放大器模板、移相器/相敏检波器/滤波器模板、测微头、数显单元、低频振荡器、振动源、直流稳压电源、计算机数据采集器、示波器。

四 实验步骤

1. 将差动变压器按图4-9，安装在台面三源板的振动源单元上。

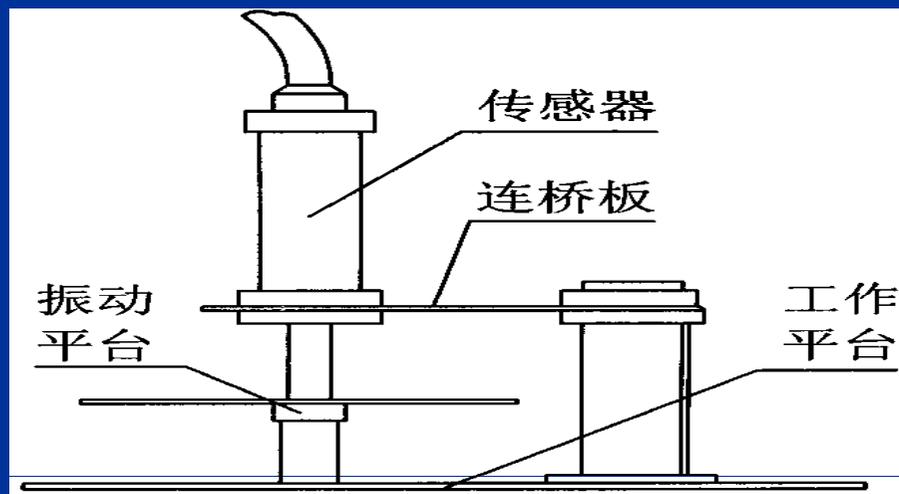


图4-9 差动变压器振动测量安装图

2. 按图4-10接线，（1）检查接线无误后，合上主控台电源开关，用示波器或计算机数据采集器观察LV峰-峰值，调整音频振荡器幅度旋钮使 $V_{op-p}=2V$ （2）利用示波器或计算机数据采集器观察相敏检波器输出，调整传感器连接支架高度，使示波器或计算机数据采集器显示的波形幅值为最小。（3）仔细调节RW1和RW2使示波器（相敏检小波器）显示的波形幅值更小，基本为零。（4）用手按住振动平台（让传感器产生一个大位移）仔细调节移相器和相敏检波器的旋钮，使示波器显示的波形为一个接近全波整流波形。（5）松手，整流波形消失变为一条接近零点线，否则再调节RW1和RW2。激振源接上低频振荡器，调节低频振荡器幅度旋钮和频率旋钮，使振动平台振荡较为明显。用示波器或计算机数据采集器观察放大器 V_0 相敏检波器的 V_0 及低通滤波器的 V_0 波形。

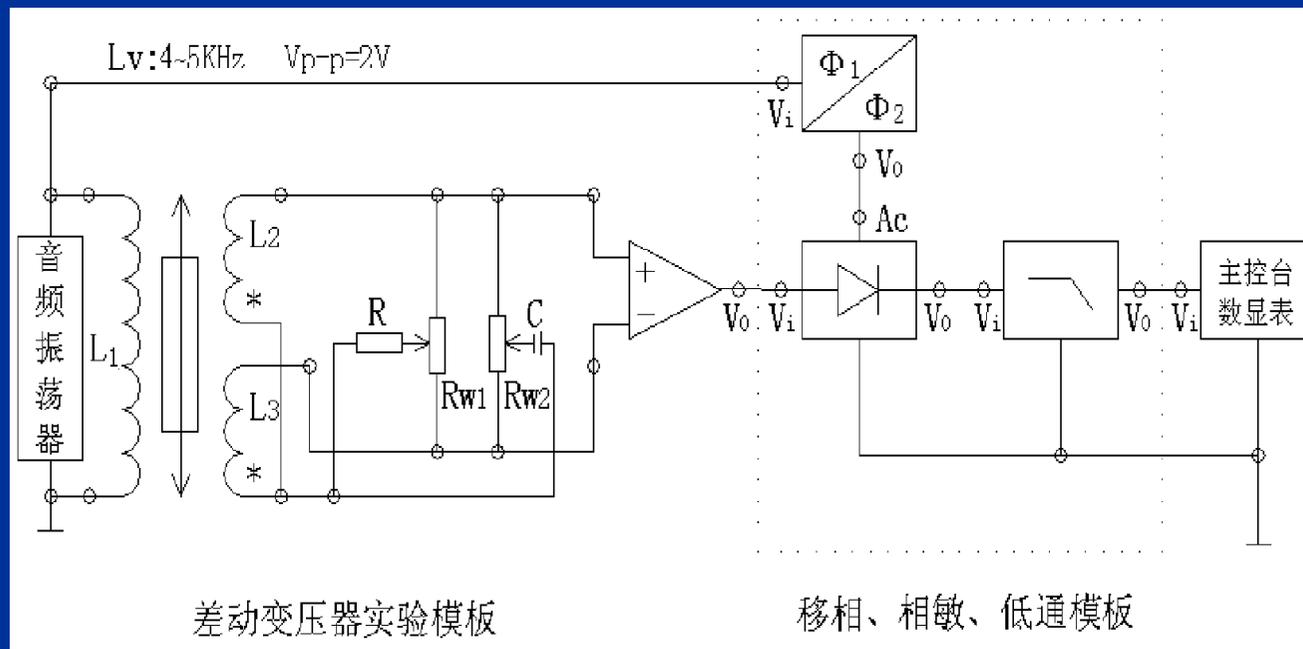


图4-10 差动变压器振动测量实验接线图

3. 保持低频振荡器的幅度不变，改变振荡频率（频率与输出电压 V_{p-p} 的监测方法与§4-6-2相同）用示波器或计算机数据采集器观察低通滤波器的输出，读出峰-峰电压值，记下实验数据。根据实验结果作出梁的振幅-频率特性曲线，指出自振频率的大致值，并与用应变片测出的结果相比较。

4. 保持低频振荡器频率不变，改变振荡幅度，同样实验可得到振幅与电压峰峰值 V_{p-p} 曲线（定性）。注意：低频激振电压幅值不要过大，以免梁在自振频率附近振幅过大。

五、思考题：

1. 如果用直流电压表来读数，需增加哪些测量单元，测量线路该如何？
2. 利用差动变压器测量振动，在应用上有些什么限制？
3. 用磁电式原理测量地震：磁电式传感器是绝对测量原理的传感器，因此它可以直接放在地面上测量地震，用而不用找其它相对静止点。请设计一个简易的地震仪用来测量车床、床身振动。

4-3-3 压电式传感器测量振动实验

一 实验目的：了解压电传感器测量振动的原理和方法。

二 实验原理：压电式传感器由惯性质量块和受压的压电晶片等组成，观察实验用压电加速度计结构，工作时传感器感受与试件相同频率的振动，质量块便有正比于加速度的交变力作用在晶片上，由于压电效应，压电晶片上产生正比于运动加速度的表面电荷。

三 需用器件与单元：振动台、压电传感器、检波、移相、低通滤波器模板、压电式传感器实验模板、双踪示波器、计算机数据采集器、示波器。

四 实验步骤

1. 压电传感器已装在振动台面上。
2. 将低频振荡器信号接入到台面三源板振动源的激励源插孔。
3. 将压电传感器输出端插入到压电传感器实验模板输入端，见图4-11，与传感器外壳相连的接线端接地，另一端接R1。将压电传感器实验模板电路输出端V01，接R6。将压电传感器实验模板电路输出端V02，接入低通滤波器输入端Vi，低通滤波器输出V0与示波器或计算机数据采集器相连。

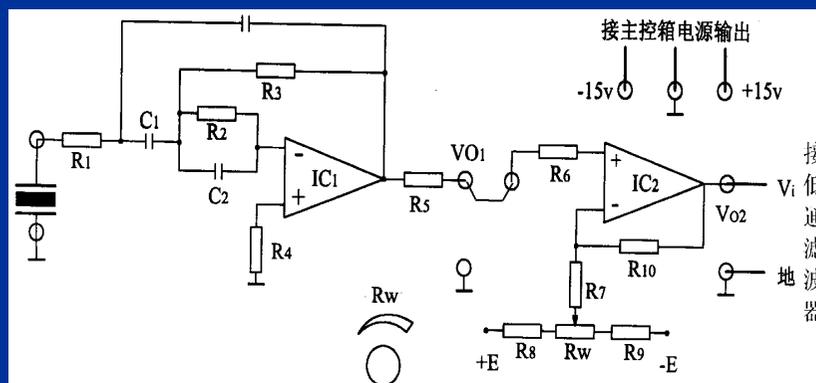


图4-11压电式传感器性能实验接线图

4. 合上主控箱电源开关，调节低频振荡器的频率和幅度旋钮使振动台振动，观察示波器或计算机数据采集器波形。
5. 改变低频振荡器的频率，观察输出波形变化。
6. 用示波器或计算机数据采集系统的两个通道同时观察低通滤波器输入端和输出端波形。用计算机数据采集器采集信号，并进行数据分析。

4-3-4 电涡流传感器测量振动实验

一 实验目的：了解电涡流传感器测量振动的原理与方法。

二 实验原理：用电涡流传感器动态特性和位移特性，选择合适的工作点即可测量振幅。

三 需用器件与单元：电涡流传感实验模板、电涡流传感器、低频振荡器、振动台、直流电源、检波、滤波模块、数显单元、测微头、示波器、计算机数据采集器。

四 实验步骤

1. 根据图4-9安装电涡流传感器。注意传感器端面与被测体振动台面（铝材料）之间的安装距离即为线形区域，将电涡流传感器两端插入实验模板标有L的两端插孔中，实验模板输出端接示波器或计算机数据采集器的一个通道，接入15V电源

2. 将低频振荡信号接入振动台激励源插孔，一般应避开梁的自振频率，将振荡频率设置在6-10Hz之间。

3. 低频振荡器幅度旋钮初始为零，慢慢增大幅度，振动台面与传感器端面不碰撞

4. 用示波器或计算机数据采集器观察电涡流实验模板输出端 V_0 波形，调节传感器安装支架高度，读取正弦波形失真最小时的电压峰-峰值。

5. 保持振动台振动频率不变，改变振动幅度测出相应的传感器输出电压峰-峰值。

五 思考题

1. 电涡流传感器动态响应好可以测高频振动的物体，电涡流传感器的可测高频上限受什么限制？

2. 有一个振动频率为10K的被测体需要测其振动参数，你是选用压电式传感器还是电涡流传感器或认为两者均可？

3. 能否用本系统数显表头，显示振动？还需要添加什么单元，如何实行？

4-3-5 电容传感器动态特性实验

- 一 实验目的：了解电容传感器的动态特性的测量原理与方法。
- 二 实验原理：用电容传感器频率响应好，可以非接触测量等特点。进行动态位移测量。
- 三 需用器件与单元：电容传感器、电容传感器实验模板、低通滤波模板、数显单元、直流稳压电源、双踪示波器、计算机数据采集器。

四 实验步骤

1. 传感器安装见图4-9，按图4-23接线。实验模板输出端 V_{01} 接滤波器输入端、滤波器输出端 V_0 接示波器或计算机数据采集器的一个通道。调节传感器连接支架高度，使 V_{01} 输出在零点附近。
2. 主控箱低频振荡器输出端与振动台激励源相接，振动频率选6-10Hz之间，幅度旋钮初始置0。
3. 输入 $\pm 15V$ 电源到实验模板，调节低频振荡器的频率与幅度旋钮使振动台振动幅度适中，注意观察示波器或计算机数据采集器上显示的波形。
4. 保持低频振荡器幅度旋钮不变，改变振动频率，可以用数显表测频率（将低频振荡器输出端与数显 F_{in} 输入口相接，数显表波段开关选择频率档）。从示波器或计算机数据采集系统测出传感器输出的 V_{01} 峰-峰值。保持低频振荡器频率不变，改变幅度旋钮，测出传感器输出的 V_{01} 峰-峰值。

五 思考题

1. 为了进一步提高电容传感器灵敏度，本实验用的传感器可作何改进设计。如何设计成所谓容栅传感器。
2. 根据实验所提供的电容传感器尺寸，计算其电容量 C_0 和移动0.5mm时的变化量，（本实验外圆半径 $R=8mm$ ，内圆柱外半径 $r=7.25mm$ ，外圆筒与内圆筒覆盖部分长度 $l=16mm$ 。）

4-3-6 光纤传感器测量振动实验

一 实验目的：了解光纤位移传感器动态特性。

二 实验原理：利用光纤位移传感器的位移特性和其高的频率响应，配以合适的测量电路即可测量振动。

三 需用器件与单元：光纤位移传感器、光纤位移传感器实验模板、振动台、低频振荡器、动态测量支架、检波、滤波实验模板、数显表、计算机数据采集器。

四 实验步骤

1. 光纤传感器安装见图4-9，光纤探头对准振动台的反射面。

2. 找出线性段的中点，通过调节安装支架高度将光纤探头与振动台台面的距离调整在线性段中点（大致目测）。

3. 在图4-30中 V_{o1} 与低通滤波器模板 V_i 相接，低通输出 V_o 接到示波器或计算机数据采集器。

4. 将低频振荡器幅度输出旋转到零，低频信号输入到振动台的激励端。

5. 将频率档选择在6-10Hz左右，逐步增大输出幅度，注意不能使振动台面碰到传感器。保持振动幅度不变，改变振动频率，观察波形及峰-峰值，振动频率不变，改变振动幅度（但不能碰撞光纤探头）观察波形及峰-峰值。

五 思考题

试分析电容式、电涡流、光纤三种传感器测量振动时的应用及特点？

4-4 压力测试

4-4-1 压阻式压力传感器的压力测量实验

一 实验目的：了解扩散硅压阻式压力传感器测量压力的原理和方法。

二 基本原理：扩散硅压阻式压力传感器在单晶硅的基片上扩散出P型或N型电阻条，接成电桥。在压力作用下根据半导体的压阻效应，基片产生应力，电阻条的电阻率产生很大变化，引起电阻的变化，我们把这一变化引入测量电路，则其输出电压的变化反映了所受到的压力变化。

三 需用器件与单元：压力源（已在主控箱）、压力表、压阻式压力传感器、压力传感器实验模板、流量计、三通连接导管、数显单元、直流稳压源 $\pm 4V$ 、 $\pm 15V$ 。

四 实验步骤

1. 根据图4-12连接管路和电路，主控箱内的气源部分，压缩机、贮气箱、流量计已接好。将标准压力表放置传感器支架上，三通连接管中硬管一端插入主控板上的气源快速插座中（注意管子拉出时请用双指按住气源插座边缘往内压，则可轻松拉出）。其余两根黑色导管分别与标准表和压力传感器接通。这里选用的差压传感器两只气咀中，一只为高压咀，另一只为低压咀。当高压咀接入正压力时，输出为正，反之为负，若输出负时可调换气咀。本实验模板连接见图4-12，压力传感器有4端：1端接地线，2端为 U_0+ ，3端接 $+4V$ 电源，4端为 U_0- 。1、2、3、4端顺序排列见图4-13。
2. 实验模板上RW2用于调节零位，RW1可调放大倍数，按图4-13接线，模板的放大器输出 V_0 引到主控箱数显表的 V_i 插座。将显示选择开关拨到2V档，反复调节RW2（RW1旋到满度的 $1/3$ ）使数显表显示为零。

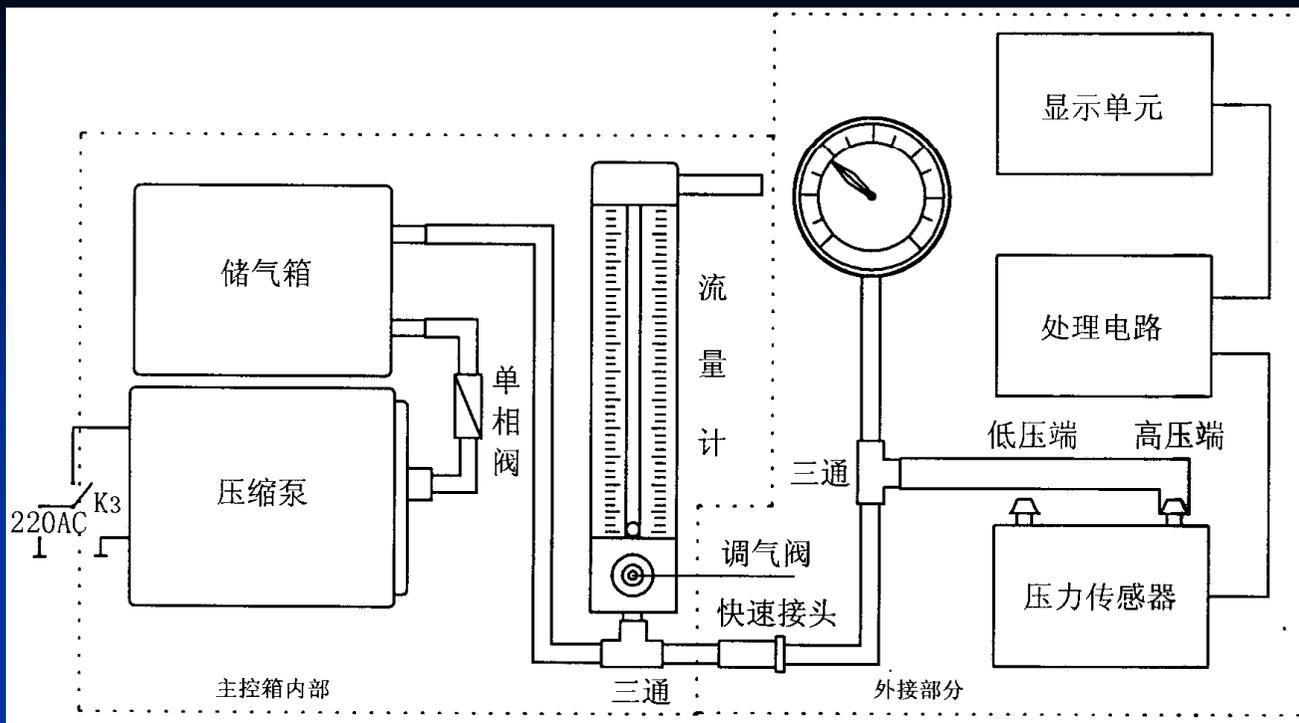


图4-12 压阻式压力传感器测量系统

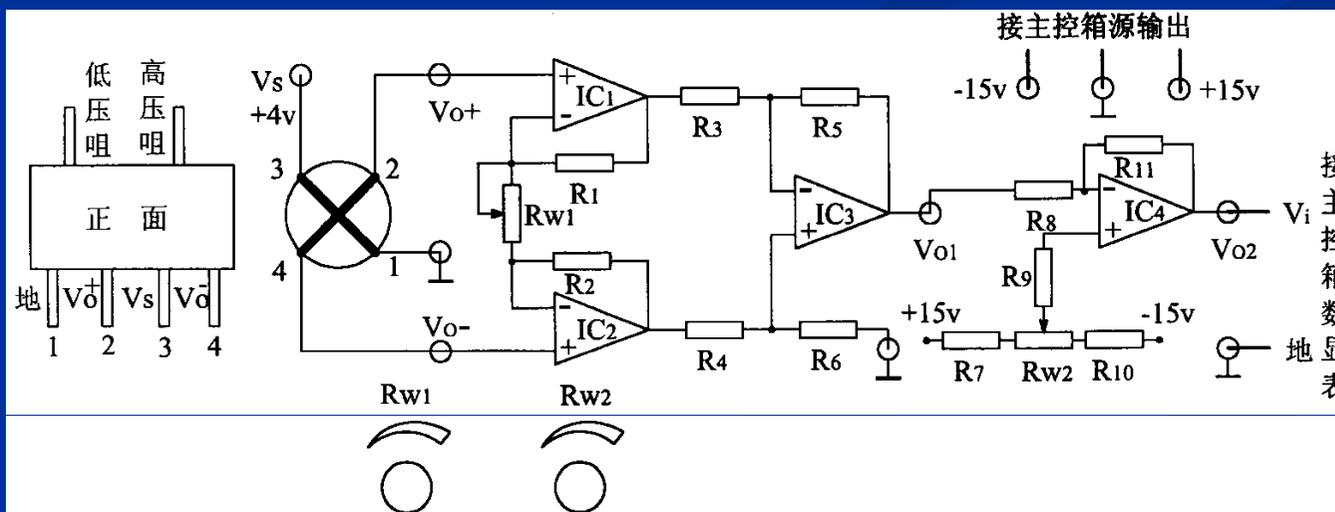


图4-13 压力传感器压力实验接线图

3. 先松开流量计下端进气口调气阀的旋钮，开通流量计。
4. 合上主控箱上的气源开关K3，启动压缩泵，此时可看到流量计中的滚珠浮子在向上浮起悬于玻璃管中。
5. 逐步关小流量计旋钮，使标准压力表指示某一刻度，观察数显表显示电压的正、负，若为负值则对调传感器气咀接法。
6. 仔细地逐步由小到大调节流量计旋钮，使压力显示在4-14KPa之间每上升1KPa分别读取压力表读数，记下相应的数显表值，计算的灵敏度和非线性误差。
7. 如果本实验装置要成为一个压力计，则必须对电路进行标定，方法如下：输入4KPa气压，调节RW2（低限调节），使数显表显示0.400V，当输入12KPa气压，调节RW1（高限调节）使数显表显示1.200V这个过程反复调节直到足够的精度即可。

五 思考题 利用本系统如何进行真空度测量？

4-4-2 压阻式压力传感器的压力测量实验 (2000D)

一、实验目的：了解扩散硅压阻式压力传感器进行压力测量的原理与方法。

二、实验步骤

1. 将主控箱面板右下角的漏电开关合上ON，通电预热几分钟，气压数显表显示为0。

2. 将压阻式压力传感器安装在实验模板的支座上，将传感器上的导压管插入主控箱面板上的气源快接插座内。将传感器的引线插头插入实验模板的插座中，关闭主控箱漏电保护开关 (OFF)。按图4-13接线， V_s 端 (3端) 接主控箱 + V_{out} 插孔，“电压选择”切换开关设为： $\pm 4V$ 挡，1端接地，2 (V_{o+}) 端、4 (V_{o-}) 端分别接实验模板放大器输入端。

3. 将实验模板输出接到主控箱，“显示选择”切换开关设在2V档，合上主控箱漏电保护开关 (ON)，仔细调节实验模板中 R_{w2} (R_{w1} 顺时针旋到1/3位置) 调零电位器，使电压表数显为0。

4. 将主控箱面板左下方的气源开关合上 (开)，使压力泵工作，调节左边有机玻璃转子流量计的调节阀，使气压表显示1.8 KPa，这时改变实验模板中的量程电位器，电压表显示相应的值：1.8V；调节流量计的调节阀，使气压表显示1 KPa，这时改变实验模板中的调零电位器，使电压表显示相应的值0.1V。重复以上过程，使电压表显示与气压表显示满足对应关系。

5. 仔细地逐步由小到大调节流量计的调节阀，使气压表显示在1-1.8 KPa之间，每上升2 KPa分别读取电压表的读数，记录实验结果。

6. 关闭电源。根据实验数据画出实验曲线，计算传感器的灵敏度： $S = \frac{\Delta V_o}{\Delta P}$ (伏 / KPa) 和非线性误差及线性范围。

4-4-3 扩散硅压阻式压力传感器差压测量

一 实验目的：了解利用压阻式压力传感器进行差压测量的方法。

二 实验原理：压阻式压力传感器的硅膜片受到两个压力 P_1 和 P_2 作用时由于它们对膜片产生的应力正好相反，因此作用在压力膜片上是 $\Delta P = P_1 - P_2$ ，从而可以进行差压测量。

三 需用器件与单元：与§4-4-1相同、增加压力气囊。

四 实验步骤：请学员们自拟一个差压测量的方法。

4-5 温度测量

4-5-1 集成温度传感器的特性实验

一 实验目的：了解常用的集成温度传感器基本原理、性能与应用。

二 实验原理：集成温度传感器将温敏晶体管与相应的辅助电路集成在同一芯片上，它能直接给出正比于绝对温度的理想线性输出，一般用于 -50°C — $+150^{\circ}\text{C}$ 之间温度测量，温敏晶体管是利用管子的集电极电流恒定时，晶体管的基极—发射极电压与温度成线性关系。为克服温敏晶体管 U_b 电压生产时的离散性、均采用了特殊的差分电路。集成温度传感器有电压型和电流型二种，电流输出型集成温度传感器，在一定温度下，它相当于一个恒流源。因此它具有不易受接触电阻、引线电阻、电压噪声的干扰。具有很好的线性特性。本实验采用的是国产的AD590。它只需要一种电源（ $+4\text{V}$ — $+30\text{V}$ ）。即可实现温度到电流的线性变换，然后在终端使用一只取样电阻（本实验中为 R_2 见图4-14）即可实现电流到电压的转换。它使用方便且电流型比电压型的测量精度更高。

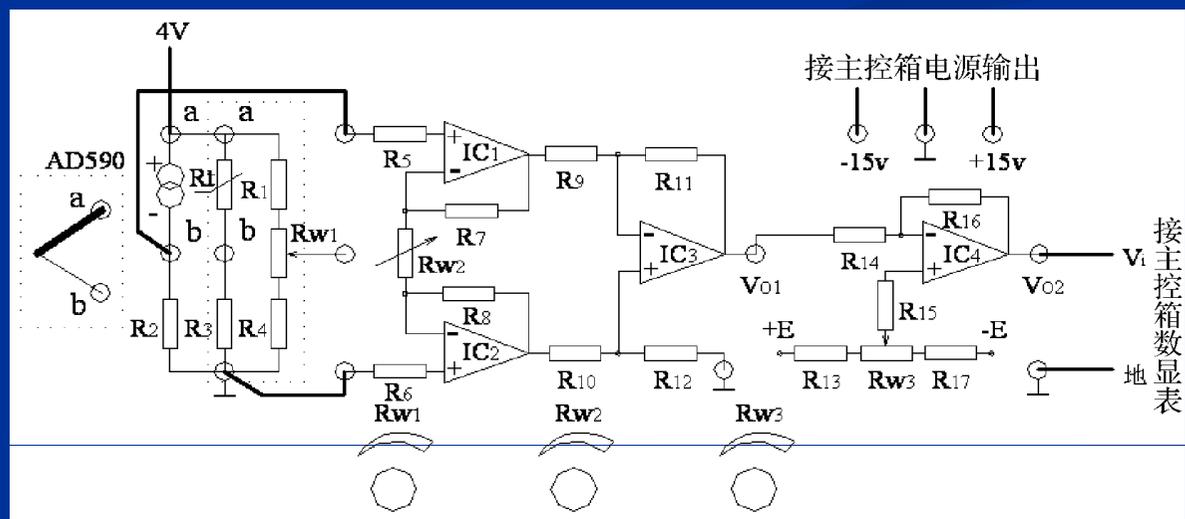


图4-14集成温度传感器实验原理图

三 需用器件与单元：温度控制单元、加热源、集成温度传感器、温度传感器实验模板、数显单元、万用表。

四 实验步骤（位式控制）

1. 将热电偶（K型）插入加热源的传感器安置孔中。选择K型热电偶插入主控面板上的Ei(+, -)热电偶插孔中，红线为正极，注意热电偶护套中已安置了二支热电偶。K型和E型，它们的热电势值不同从热电势表中可以判别K型和E型（E型热电势大）。

2. 将加热器的220V电源插头插入主控箱面板上的电源插座上。将电风扇电源24V(+, 地)接入主控箱面板风扇电源24V(+, -)，并将转速调节电源旋钮顺时针旋到24V（可用万用表测量），合上热电源开关，使温度控制仪表通电。

3. 在温度控制仪上设定 $t=40^{\circ}\text{C}$ 。

4. 将温度传感器实验模板输出V02与主控箱数显表输入Vin相接，波段开关选择电压2V档，此时逆时针调节 R_{w2} 到底（增益最小），短接 R_5 , R_6 ，调节 R_{w3} 使数显表显示为0。

5. 将集成温度传感器加热端插入加热源的一个插孔中，尾部红色线为正端，插入实验模板的a端，见图4-14，另一端插入b孔上，a端接电源+4V，b端与相接，接地，将主控箱的直流源±15V接入温度传感器实验模板。

6. 运放IC4调零：V01接地，调RW3使输出U02为零，数显表显示为零，除去V01短路线。

7. 合上加热源开关，温度从40°C开始，仪表每隔5°C读取一个点。记下数显表上相应读数，上限不超过125°C，记下实验结果，计算在此范围内集成温度传感器的非线性误差。

五 思考题：大家知道在一定的电流模式下PN结的正向电压与温度之间具有较好的线性关系，因此就有温敏二极管，你若有兴趣可以利用开关二极管或温敏二极管在50°C~100°C之间作温度特性曲线，然后与集成温度传感器相同区间的温度特性进行比较，从线性看集成温度传感器线性优于温敏二极管，请说明理由。

4-5-2 集成温度传感器(AD590)特性实验 (2000D型)

一 需用器件与单元：与4-5-1相同、增加Pt100铂电阻传感器。

二 实验步骤

1. 将Pt100铂电阻传感器接入主控箱调节仪单元中的“Pt100输入”，传感器引线标

记相同的二根接入“Pt100输入”上方的二个孔中，传感器另一根引线接入“Pt100

输入”下方的孔中；合上调节仪中的“温度开关”为开，合上“控制方式”开关为内。

(1) 调节仪仪表板面板简述 (图4.15)：仪表面板上有二个窗口，PV是测量值显示窗，SV是给定值显示窗。“SET”是设置功能键，“▲”是数据增加键（兼程序复位键），“▼”是数据减少键，“◀”是数据移位（兼自动/手动切换及程序运行指示灯），“▶”是数据移位（兼手动指示灯（兼输出指示灯）。

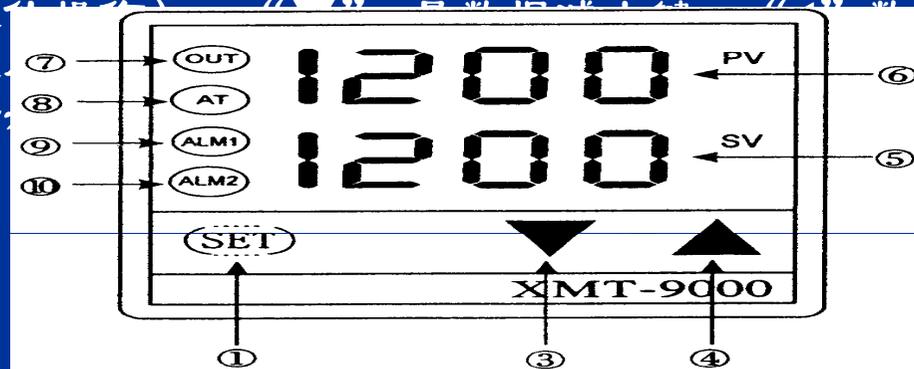


图4-15 位式温度控制原理图

(2) 调节仪设置：按住“SET”键并保持2秒，进入参数设置状态，PV窗显示功能菜单，SV窗显示相应PV功能菜单的参数。再按一下“SET”，仪表依次显示菜单及各参数值。此时，分别按▲、▼、◀键可进行参数值修改。相应菜单

(3) 参数设定表

参数代号	参数定义	说 明	设 定 值
HIAL	上限报警	必须设置（根据实验经常改动）	设置为实验温度值
LOAL	下限报警	必须设置（跟随HIAL经常改动）	设置为实验温度值
dHAL	正偏差报警	取消报警	9999
dLAL	负偏差报警	取消报警	9999
dF	回差	可设0~0.3	0
ctrl	控制方式	允许从面板启动（AT）自整定功能（为了提高控制精度，可以每做一点温度实验，重新设置1）	1
M50	保持参数	可不设，由AT（自整定自动设定）设置	自动设置
P	速率参数	可不设，由AT（自整定自动设定）设置	自动设置
t	滞后时间	可不设，由AT（自整定自动设定）设置	自动设置
ct1	输出周期	0.5~2秒	1
Sn	数入规格	K设1，E设，0~5V设34，Pt100设21	21
dIP	小数点位置	小数点位数（分辨率）	1（分辨率为0.1℃）
dIL	输入下限值	无效	默认值
dI	输入上限值	无效	默认值
CJC	热电偶冷端补偿温度	Pt100无效	默认值
SC	主输入平移修正	可修正仪表的显示误差	0
OP1	输出方式	时间比例输出发式必须设2	2
OPL	输出下限	无效	默认值
OPH	输出上限	无效	默认值
CF	系统功能选择	调节输出的正、反（1为正，0为反）	0
bAud	兼报警定义	上限报警继电器输出	17
Addr	地址	无效	默认值
dL	输入源波	0~2 0	2
run	运行状态	1 自动，0 手动	1
LOC	参数修改级别	不准改动808	808
EP1~EP8	现场参数定义	不改动	默认值

2. 将Pt100铂电阻传感器插入温度源的测试孔中（有两个测试孔，插入其中之一）作为调节仪的标准输入传感器，另一孔插入AD590集成温度传感器。将主控箱面板上“显示选择”切换到 $\pm 20V$ 档。温度传感器实验模板的输出及地分别与主控箱电压表

输入 V_{in} 及地相连；将温度传感器实验模板的 $\pm 15V$ 、地分别与主控箱稳压源 $\pm 15V$ 、地相连。将温度传感器实验模板中放大器的输入端 R_{in} 用实验线短接，逆时针调节到底（增益最小），调节调零电位器使数显表显示为0。

3. 将主控箱中的“电压选择”切换到 $\pm 4V$ 档。拆除输入端、短接线，按图4-14接线。把AD590集成温度传感器的引线接入模板的a, b端，再将a端、地线端分别连接到主控箱稳压电源输出 $+V_{out}$ 及地线端。此时，电压表显示AD590集成温度传感器在室温时的输出值。

4. 将温度源中的电源引线（二芯插头线）接入主控箱调节仪单位中的加热插座中（二芯插座），再将冷却风扇+12V电源接入温度源的风扇电源的+12V中。

5. 根据以上参数设定表设定经常改动的参数。例如：假设仪表已根据参数设定表设定好，当要做实验温度值为 $50^{\circ}C$ 的温度实验时，则只要进行一下参数改动：

(1) 按住SET键约2秒种，进入参数设定状态。PV显示HIAL, 按▲或▼使SV显示为50.0

(2) 按一下SET键，PV显示LOAL, 按▲或▼使SV显示为50.0。

(3) 重复按SET键，使PV显示ctrl时，按▲或▼使SV显示为1。

(4) 先按住◀键不放，接着按SET键退出设置参数状态，或不按任何键等待30秒后自动退出设置参数状态，返回到仪表正常显示工作状态。此时按▲或▼使SV显示为实验温度设定值。

(5) 按住◀键并保持约2秒种，此时仪表AT指示灯亮，启动自整定工作状态，自动设置M50、P、t参数进行温度自动调节。

(6) 等待仪表PV显示（被测温度值）恒定时，记录主控箱上电压表的显示值（此值是温度传感器在 $50^{\circ}C$ 的输出值）。

(7) 每做一个温度值实验，重复步骤5的过程，记下实验结果，并根据实验数据画实验曲线，计算灵敏度、线性度。

4-5-3 热电阻测温特性实验

一 实验目的：了解热电阻的特性与应用。

二 实验原理：利用导体电阻随温度变化的特性，热电阻用于测温时，要求其材料电阻温度系数大，稳定性好，电阻率高，电阻与温度之间最好有线性关系。常用铂电阻和铜电阻，铂电阻在 $0-630.74^{\circ}\text{C}$ 以内，电阻 R_t 与温度 t 的关系为： $R=R_0(1+A_t t+B_t t^2)$ ， R_0 系温度为 0°C 时的电阻。本实验 $R_0=100\Omega$ 。 $A_t=3.9684\times 0.1/^{\circ}\text{C}$ ， $B_t=-5.847\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^2$ 。铂电阻采用三线连接，其中一端接二根引线主要为消除引线电阻对测量的影响。

三 需用器件与单元：与4-5-1相同、增加K型热电偶、Pt100热电阻。

四 实验步骤：Pt100或K型热电偶作为温度标准接法不变。温度值查表4-1。

1. 将Pt100铂电阻三根线插入实验模板标 R_t 的a、b端上，用万用表欧姆档测出Pt100三根线中短接的二根线接b端和R5端，另一根接a端， R_{w1} 中心活动点接R6，这样 R_t 与 R_3 、 R_1 、 R_{w1} 、 R_4 组成直流电桥，是一种单臂电桥工作形式。见图4-16。

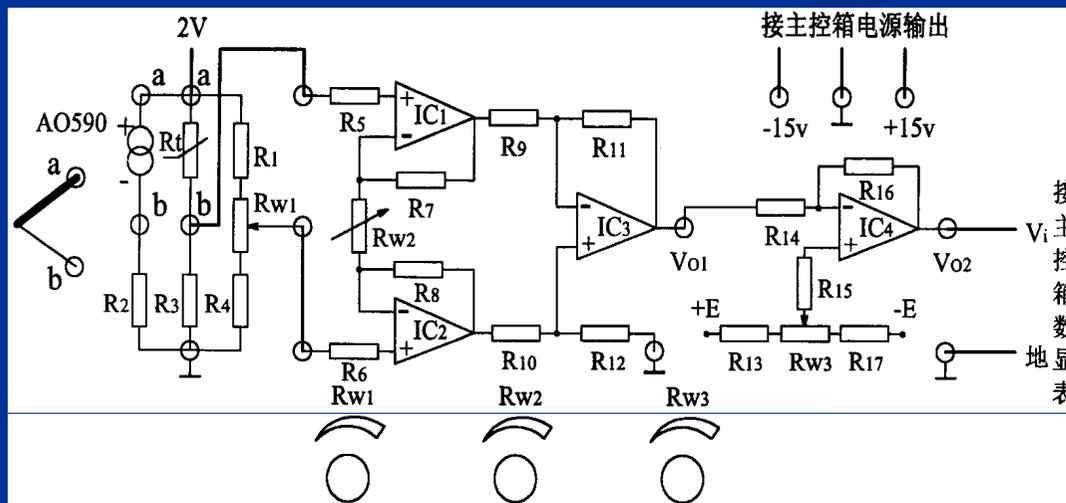


图4-16 热电阻测温特性实验接线图

2. 在端点a与地之间加直流源2V，合上主控箱电源开关，调RW1使电桥平衡，桥路输出端b和中心活动点之间在室温下输出为零。
3. 加±15V运放电源，调RW3使 $U_{O2} = 0$ ，接数显单元，“电压显示”置于2V档，此时“电压显示”为零。
4. 在常温基础上，将设定温度值按 $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$ 读取数显表值。记下实验结果，关闭电源主控箱电源开关。根据实验结果值计算非线性误差。

五 思考题：如何根据测温范围和精度要求选用热电阻？

表4-1 热电阻分度表

电阻 温度 (°C)	Cu ₅₀ 铜电阻分度表 R ₀ = 50Ω α=0.004280					Pt100铂电阻分度表 R ₀ = 100Ω α=0.003910				
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
0	50.00	50.43	50.86	51.28	51.71	100.00	100.79	101.59	102.38	103.17
10	52.14	52.57	53.00	53.43	53.86	103.96	104.75	105.54	106.33	107.12
20	54.28	54.71	55.14	55.57	56.00	107.91	108.70	109.49	110.28	111.07
30	56.42	56.85	57.28	57.71	58.14	111.85	112.64	113.43	114.21	115.00
40	58.56	58.99	59.42	59.85	60.27	115.78	116.57	117.35	118.13	118.91
50	60.70	61.13	61.56	61.98	62.41	119.70	120.48	121.26	122.04	122.82
60	62.84	63.27	63.70	64.12	64.55	123.60	124.38	125.16	125.94	126.72
70	64.98	65.41	65.83	66.26	66.69	127.49	128.27	129.05	129.82	130.60
80	67.12	67.54	67.97	68.40	68.83	131.37	132.15	132.92	133.70	134.47
90	69.26	69.68	70.11	70.54	70.97	135.24	136.02	136.79	137.56	138.33
100	71.40	71.83	72.25	72.68	73.11	139.10	139.87	140.64	141.41	142.18
110	73.54	73.97	74.40	74.83	75.26	142.95	143.71	144.48	145.25	146.10
120	75.68	76.11	76.54	76.97	77.40	146.78	147.55	148.31	149.07	149.84
130	77.83	78.26	78.69	79.12	79.55	150.60	151.37	152.13	152.89	153.65
140	79.98	80.41	80.84	81.27	81.70	154.41	155.17	155.93	156.69	157.45
150	82.13					158.21	158.97	159.73	160.49	161.24
						162.00	162.76	163.51	164.27	165.02

4-5-4 铜电阻测温性能实验

一 实验目的：了解铜电阻测温原理与应用范围。

二 实验原理：铜电阻的电阻值与温度的关系为： $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ ，式中 R_t 为温度 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻值， R_0 为温度 0°C 时的电阻值， α 是电阻温度系数。铜电阻的优点是线性好，价格低，电阻温度系数大，缺点是易氧化，氧化后线性度会变差。适合用于测试较低温度。在 0°C 时铜电阻阻值为 $50\ \Omega$ 。

三 需用器件与单元：与4-5-1相同、增加Pt100、Cu50铜热电阻、带插头的 $100\ \Omega$ 电阻一个。

四 实验步骤 Pt100或K型热电偶作为温度标准接法不变。温度值查表4-1。

1. 将Cu50铜热电阻三根线插入实验模板标 R_t 的 a、b 端上，用万用表欧姆档测出Cu50铜热电阻三根线中短接的二根线接 b 端和 R_5 端，另一根接 a 端， R_{w1} 中心活动点接 R_6 ，把带插头的 $100\ \Omega R_3'$ 电阻并联在 R_3 两端，这样 R_t 与 R_3' 、 R_1 、 R_{w1} 、 R_4 组成直流电桥，是一种单臂电桥工作形式。见图4-17铜电阻测温特性实验接线图。 $R_3=R_3'=100\ \Omega$ ， R_{w2} 左旋到底使增益最小。

2. 与4-5-3中的实验步骤2、3、4相同。

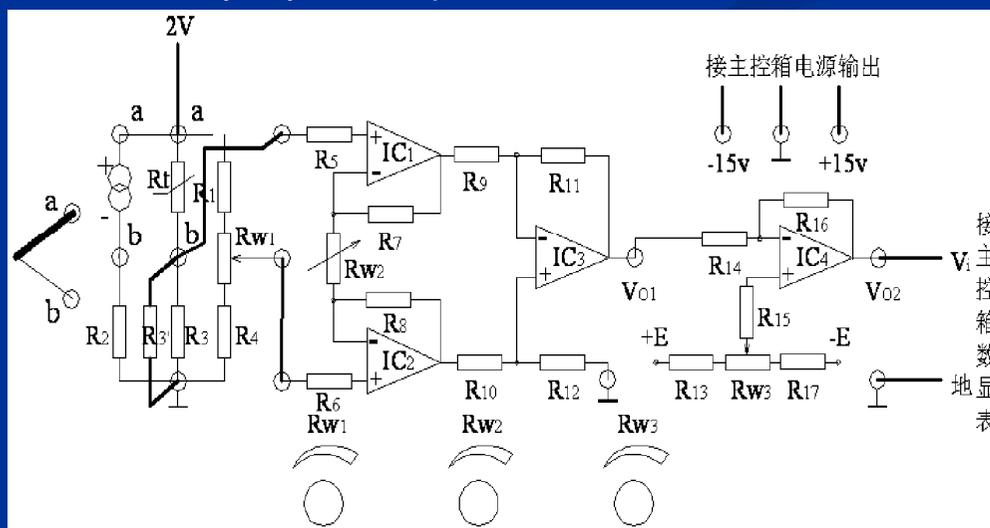


图4-17铜电阻测温特性实验接线图

4-5-5 热电偶测温性能实验

一 实验目的：了解热电偶测量温度的性能与应用范围。

二 实验原理：当两种不同的金属组成回路，二个接点有温度差，会产生热电势，这就是热电效应。温度高的接点就是工作端，将其置于被测温度场配以相应电路就可间接测得被测温度值。

三 需用器件与单元：与4-5-1相同、增加K型热电偶、E型热电偶。

四 实验步骤

Pt100或K型热电偶作为温度标准接法不变。温度值查表4-2。

1. 将被测E型热电偶接入温度传感器实验模板上标有热电偶符号的a、b孔上，热电偶自由端连线中带红色套管或红色斜线的一条为正端。将a、b端与R₅、R₆相接
2. 设定温度值 $t = 40^{\circ}\text{C}$ 。将R₅、R₆短路接地，接入 $\pm 15\text{V}$ 电源，打开主控箱电源开关，将V₀₂与数显表单元上V_m的相接。调R_{w3}使数显表显示零位，主控箱上电压波段开关拨到2V档。
3. 去掉R₅、R₆短路接线，将a、b端分别与放大器R₅、R₆相接，调R_{w2}、将信号放大到比分度值大10倍的毫伏值。
4. 在 40°C 到 150°C 之间设定 $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$ 。读出数显表头输出电势与温度值，记录实验数据，计算非线性误差。
5. 用K型热电偶替代E型热电偶，重复上述过程。

表4-2 热电偶分度表

热电动势 (mV)温度 (°C)	K型热电偶分度表			E型热电偶分度表			J型热电偶分度表		
	0	4	8	0	4	8	0	4	8
0	0.000	0.158	0.317	0.000	0.235	0.472	0.000	0.202	0.405
10	0.397	0.557	0.718	0.591	0.830	1.071	0.507	0.711	0.916
20	0.798	0.960	1.122	1.192	1.434	1.678	1.019	1.226	1.433
30	1.203	1.366	1.529	1.801	2.047	2.295	1.537	1.745	1.954
40	1.611	1.776	1.949	2.419	2.669	2.921	2.059	2.269	2.480
50	2.022	2.188	2.353	3.047	3.300	3.555	2.585	2.797	3.009
60	2.436	2.601	2.767	3.683	3.941	4.199	3.116	3.329	3.543
70	2.850	3.016	3.183	4.329	4.590	4.852	3.650	3.864	4.079
80	3.266	3.432	3.598	4.983	5.247	5.513	4.187	4.402	4.618
90	3.681	3.847	4.012	5.646	5.913	6.182	4.726	4.943	5.160
100	4.095	4.261	4.426	6.317	6.588	6.860	5.269	5.487	5.705
110	4.508	4.673	4.837	6.996	7.270	7.545	5.814	6.032	6.251
120	4.919	5.083	5.246	7.683	7.960	8.238	6.360	6.579	6.799
130	5.327	5.490	5.652	8.377	8.657	8.938	6.909	7.129	7.349
140	5.733	5.895	6.057	9.078	9.361	9.644	7.459	7.679	7.900
150	6.137	6.298	6.459	9.787	10.072	10.358	8.010	8.231	8.452
160	6.539	6.699	6.859	10.501	10.789	11.077	8.562	8.783	9.005
170	6.939	7.099	7.259	11.222	11.512	11.805	9.115	9.337	9.559
180	7.338	7.498	7.658	11.949	12.241	12.534	9.669	9.891	10.113
190	7.737	7.897	8.057	12.681	12.975	13.271	10.224	10.446	10.668
200	8.137	8.296	8.456	13.419	13.715	14.012	10.779	11.001	11.223
210	8.537	8.697	8.857	14.161	14.460	14.759	11.334	11.556	11.778
220	8.938	9.099	9.260	14.909	15.209	14.510	11.889	12.111	12.334
230	9.341	9.502	9.664	15.661	15.963	16.266	11.445	12.667	12.889
240	9.745	9.907	10.070	16.417	16.721	17.025	13.000	13.222	13.444
250	10.151	10.315	10.478	17.178	17.483	17.789	13.555	13.777	13.999

五 思考题

1. 通过温度传感器的三个实验你对各类温度传感器的使用范围有何认识？
2. 能否用AD590设计一个直接显示摄氏温度 -50°C - +50°C 数字式温度计并利用本实验台进行实验

4-5-6 热电偶冷端温度补偿实验

一 实验目的：了解热电偶冷端温度补偿的原理与方法。

二 实验原理：热电偶冷端温度补偿的常用方法有：冰水法、恒温槽法和电桥自动补偿法，见图4-18。电桥自动补偿法是在热电偶和测温仪表之间接入一个直流电桥，称冷端温度补偿器，补偿器电桥在 0°C 时达到平衡（亦有 20°C 平衡）。当热电偶自由端温度升高时，热电偶回路电势 V_{ab} 下降，由于补偿器中，PN呈负温度系数，其正向压降随温度升高而下降，促使 V_{ab} 上升，其值正好补偿热电偶因自由端温度升高而降低的电势，达到补偿目的。

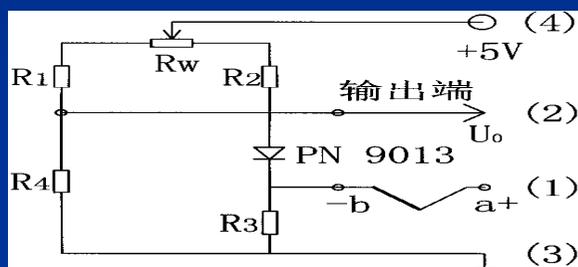


图4-18冷端温度补偿原理图

三 需用器件与单元：温度传感器实验模板、热电偶、冷端温度补偿器、直流源。

四 实验步骤

1. 温度控制仪表设定温度值 50°C 。接入 $\pm 15\text{V}$ 电源，合上主控箱电源开关，调 R_{w3} 使温度传感器实验模板输出 V_{02} 为零，并使实验模板输出端 V_{02} 与数显表 V_{in} 相接，此时数显表显示零位，电压显示用 200mV 档。
2. 将K型热电偶置于加热器插孔中，自由端与实验模板输入端 R_5 、 R_6 插孔相接，合上主控箱加热源开关，使温度达到 50°C ，放大器增益 R_{w2} 置最小，读取数显表上数据 V_1 。
3. 保持工作温度 50°C 不变， R_{w2} 、 R_{w3} 不变，冷端温度补偿器上的热电偶插入加热器另一插孔中，在补偿器4端加补偿器电源 $+5\text{V}$ ，使冷端补偿器工作，读取数显表上数据 V_2 。
4. 比较 V_1 、 V_2 二个数据，根据实验时的室温和输出值，计算因自由端温度上升而产生的温度差。

五 思考题：此温度差值代表什么含义？

4-6 位移测量

4-6-1 差动变压器的性能实验

一 实验目的：了解差动变压器的工作原理和特性。

二 实验原理：差动变压器由一只初级线圈和二只次级线圈及一个铁芯组成，根据内外层排列不同，有二段式和三段式，本实验采用三段式结构。当传感器随着被测体移动时，由于初级线圈和次级线圈之间的互感发生变化促使次级线圈感应电势产生变化，一只次级感应电势增加，另一只感应电势则减少，将两只次级反向串接（同名端连接），就引出差动输出，此输出电势反映出被测体的移动量。

三 需用器件与单元：差动变压器实验模板、测微头、双踪示波器、差动变压器、音频信号源、直流电源（音频振荡器）、万用表。

四 实验步骤

1. 根据图4-19，将差动变压器装在差动变压器实验模板上。

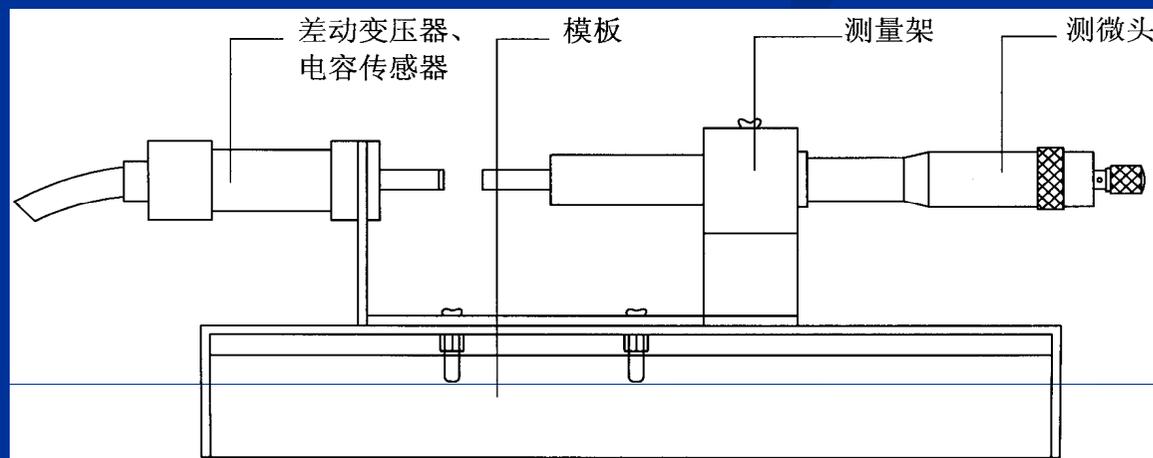


图4-19 差动变压器电容传感器安装示意图

2. 将传感器引线插头插入实验模板的插座中，在模块上按图4-20接线，音频振荡器信号必须从主控箱中的Lv端子输出，调节音频振荡器的频率，输出频率为4-5KHz（可用主控箱的频率表输入Fin来监测）。调节输出幅度为峰-峰值 $V_{p-p}=2V$ （可用示波器监测：X轴为0.2ms/div，Y轴CH₁为1V/div，CH₂为20ms/div）。图中1、2、3、4、5、6为连接线插座的编号。接线时，航空插头上的号码与之对应。当然不看插孔号码，也可以判别初次级线圈及次级同名端。判别初次级线圈及次级线圈同名端方法如下：设任一线圈为初级线圈，并设另外两个线圈的任一端为同名端，当铁芯左、右移动时，观察示波器中显示的初级线圈波形，次级线圈波形，当次级波形输出幅度值变化很大，基本上能过零点，而且相应与初级线圈波形（Lv音频信号 $V_{p-p}=2V$ 波形）比较能同相或反相变化，说明已连接的初、次级线圈及同名端是正确的，否则继续改变连接再判别直到正确为止。图中（1）（2）（3）（4）为实验模块中的插孔编号。

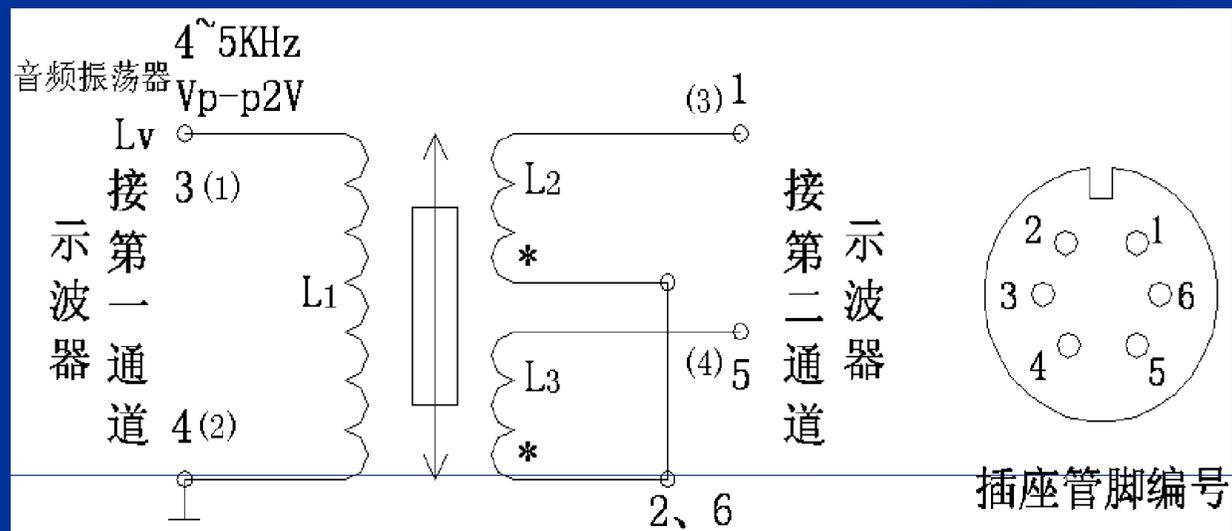


图4-20双踪示波器与差动变压器联结示意图

3. 旋动测微头，使示波器第二通道显示的波形峰-峰值 V_{p-p} 为最小，这时可以左右位移，假设其中一个方向为正位移，另一个方向为负位移。从 V_{p-p} 最小开始旋动测微头，每增加0.2mm从示波器上读出输出电压 V_{p-p} 值，记录实验数据。再从 V_{p-p} 最小开始旋动测微头，每减小0.2mm从示波器上读出输出电压 V_{p-p} 值，记录实验数据，完成反向位移实验。在实验过程中，注意左、右位移时，初、次级波形的相位关系。

4. 实验过程中注意差动变压器输出的最小值即为差动变压器的零点残余电压大小。记录数据，画出 $V_{op-p}-X$ 曲线，计算量程为 $\pm 1\text{mm}$ 、 $\pm 3\text{mm}$ 灵敏度和非线性差。

五 思考题

1. 用差动变压器测量较高频率的振幅，例如1KHz的振动幅值，可以吗？差动变压器测量频率的上限受什么影响？
2. 试分析差动变压器与一般电源变压器的异同？
3. 移相器的电路原理图如图4-7，试分析其工作原理？
4. 相敏检波器的电路原理图如图4-8，试分析其工作原理？

4-6-2 激励频率对差动变压器特性的影响实验

一 实验目的：了解初级线圈激励频率对差动变压器输出性能的影响。

二 实验原理：差动变压器的输出电压的有效值可以近似用关系式：

$$U_0 = \frac{\omega M_1 M_2}{\sqrt{R_p^2 + \omega^2 L_p^2}} U_i$$

表示，式中 L_p 、 R_p 为初级线圈电感和损耗电阻， U_i 为激励电压、 ω 为频率， M_1 、 M_2 为初级与两次级间互感系数，由关系式可以看出，当初级线圈激励频率太低时若 $R_p^2 > \omega^2 L_p^2$ ，则输出电压 U_0 受频率变动影响较大，且灵敏度较低；只有当 $R_p^2 \leq \omega^2 L_p^2$ 时，输出 U_0 与 ω 无关，当然 ω 过高会使线圈寄生电容增大，对性能稳定不利。

三 实验步骤

1. 差动变压器安装及接线图同4-6-1。
2. 选择音频信号输出频率为1KHz， $V_{p-p} = 2V$ 。从LV输出，（可用主控箱的数显表频率档显示频率）移动铁芯至中间位置即输出信号最小时的位置，调节 R_{w1} 、 R_{w2} 使输出变得更小。
3. 用示波器监视第二通道，旋动测微头，向左（或右）旋到离中心位置2.50mm处，有较大的输出。记下测试结果。使激励频率从1KHz - -9KHz变化，保持幅值不变，记录测试结果，作出幅频特性曲线。

4-6-3 差动变压器零点残余电压补偿实验

一 实验目的：了解差动变压器零点残余电压补偿方法。

二 实验原理：由于差动变压器二只次级线圈的等效参数不对称，初级线圈的纵向排列的不均匀性，二次级的不均匀、不一致，铁芯B-H特性的非线性等，因此在铁芯处于差动线圈中间位置时其输出电压并不为零。称其为零点残余电压。

三 需用器件与单元：振荡器、测微头、差动变压器、差动变压器实验模板、示波器。

四 实验步骤

1. 按图4-21接线，音频信号源从LV插口输出，实验模板 R_1 、 C_1 、 R_{W1} 、 R_{W2} 为电桥单元中调平衡网络。

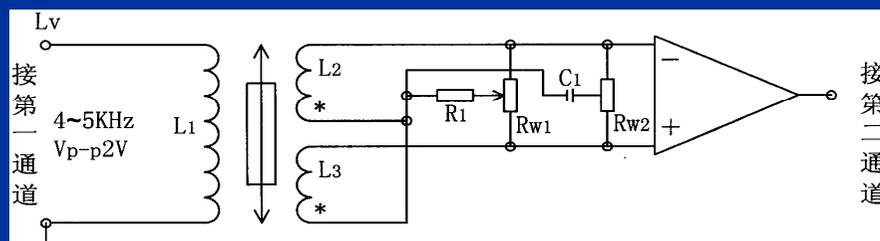


图4-21 零点残余电压补偿电路

2. 利用示波器调整音频振荡器输出为2V峰-峰值。

3. 调整测微头，使差动放大器输出电压最小。依次调整 R_{W1} 、 R_{W2} ，使输出电压降至最小。

4. 将第二通道的灵敏度提高，观察零点残余电压的波形，注意与激励电压相比较。

5. 从示波器上观察，差动变压器的零点残余电压值（峰-峰值）。（注：这时零点残余电压经放大后 = $V_{\text{零点p-p}} / K$ ， K 为放大倍数）

五 思考题

1. 请分析经过补偿后的零点残余电压波形。

2. 本实验也可用图4-22所示线路，请分析原理。

4-6-4 电容式传感器的位移实验

一 实验目的：了解电容式传感器结构及其特点。

二 实验原理：利用平板电容 $C = \epsilon A / d$ 和其它结构的关系式通过相应的结构和测量电路可以选择 ϵ 、 A 、 d 三个参数中，保持二个不变，只改变其中一个，则可以组成测谷物干燥度（ ϵ 变）、测微小位移（变 d ）和测量液位（变 A ）等多种电容传感器。

三 需用器件与单元：电容传感器、电容传感器实验模板、测微头、相敏检波、滤波模板、数显单元、直流稳压源。

四 实验步骤

1. 按图 4-22 将电容传感器安装于电容传感器实验模板上，将传感器引线插头插入实验模板的插座中。

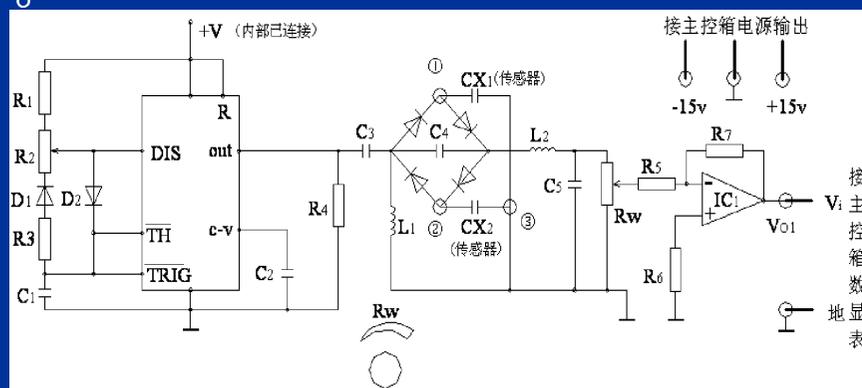


图4-23 电容传感器位移实验接线图

2. 将电容传感器实验模板的输出端 V_{01} 与数显表单元 V_i 相接（插入主控箱 V_i 孔）， R_w 调节到中间位置。

3. 接入 $\pm 15V$ 电源，旋动测微头推进电容器传感器动极板位置，每间隔 $0.2mm$ 记下位移 X 与输出电压值，根据数据计算电容传感器的系统灵敏度 S 和非线性误差 δf 。

五 思考题：试设计利用 ϵ 的变化测谷物湿度的传感器原理及结构？能否叙述一下在设计中应考虑哪些因素？

4-6-5 直流激励时霍尔式传感器位移特性实验

一 实验目的：了解霍尔式传感器原理与应用。

二 实验原理：根据霍尔效应，霍尔电势 $U_H = K_H IB$ ，当霍尔元件处在梯度磁场中运动时，它就可以进行位移测量。

三 需用器件与单元：霍尔传感器实验模板、霍尔传感器、直流源、测微头、数显单元。

四 实验步骤

1. 将霍尔传感器按图4-23安装，将传感器引线插头插入实验模板的插座中。霍尔传感器与实验模板的连接按图4-24进行。1、3为电源 $\pm 4V$ ，2、4为输出。

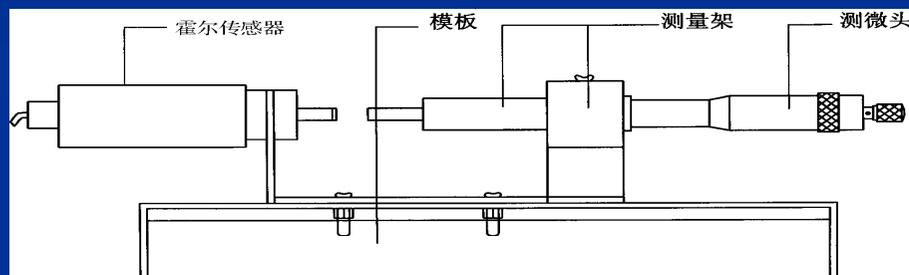


图4-23 霍尔传感器
安装示意图

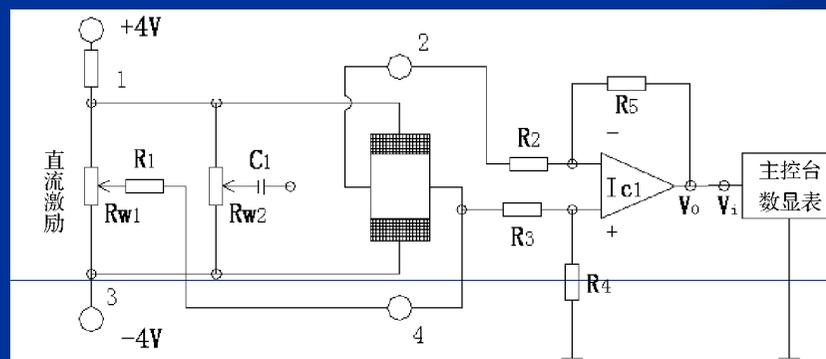


图4-24 霍尔传感器位移——直
流激励实验接线图

2. 开启电源，调节测微头使霍尔片在磁钢中间位置再调节RW1使数显表指示为零。

3. 测微头向轴向方向推进，每转动0.2mm记下一个读数，直到读数近似不变，记录读数，画出 $V-X$ 曲线，计算不同线性范围时的灵敏度和非线性误差。

五 思考题：本实验中霍尔元件位移的线性度实际上反映的是什么量的变化？

4-6-6 交流激励时霍尔式传感器的位移实验

一 实验目的：了解交流激励时霍尔式传感器的特性。

二 实验原理：交流激励时霍尔式传感器与直流激励时的基本工作原理相同，但测量电路不同。

三 需用器件与单元：在4-6-5基础上增加相敏检波、移相、滤波模板、双踪示波器或计算机数据采集器。

四 实验步骤

1. 传感器安装与4-6-5相同，实验模板上连线见图4-25。

2. 调节音频振荡器频率和幅度旋钮，从LV输出，激励电压从音频输出端LV输出频率1KHz，幅值为4V峰-峰值（注意电压过大会烧坏霍尔元件）。这可用示波器或计算机数据采集器测量。

3. 调节测微头使霍尔传感器处于磁钢中点，先用示波器观察使霍尔元件不等位电势为最小，然后从数显表上观察，调节电位器 R_{W1} 、 R_{W2} 使显示为零。

4. 调节测微头使霍尔传感器产生一个较大位移，利用示波器观察相敏检波器输出，旋转移相单元电位器 R_W 和相敏检波电位器 R_w ，使示波器显示全波整流波形，且数显表显示相对值。

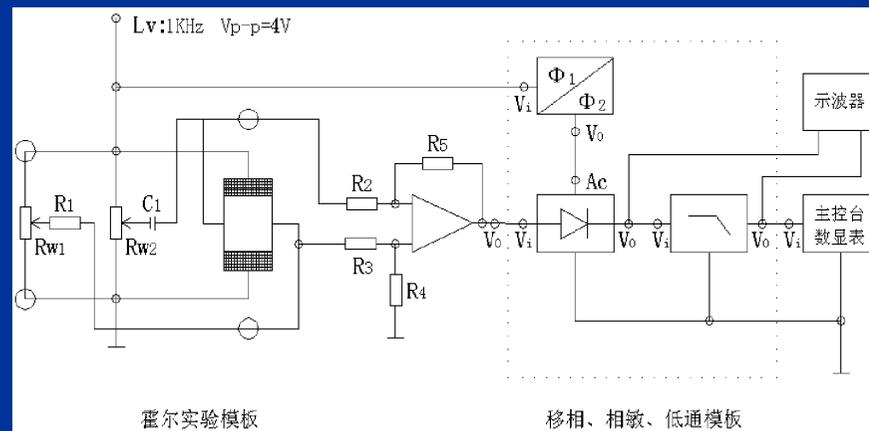


图4-25交流激励时霍尔传感器位移实验接线图

5. 使数显表显示为零，然后旋动测微头记下每转动0.2mm时表头读数， $V-X$ 曲线，计算不同量程时的非线性误差。

五 思考题：利用霍尔元件测量位移和振动时，使用上有什么限制？

4-6-7 电涡流传感器位移实验

一 实验目的：了解电涡流传感器测量位移的工作原理和特性。

二 实验原理：通过高频电流的线圈产生磁场，当有导电体接近时，因导电体涡流效应产生涡流损耗，而涡流损耗与导电体离线圈的距离有关，因此可以进行位移测量。

三 需用器件与单元：电涡流传感器实验模板、电涡流传感器、直流电源、数显单元、测微头、铁圆片。

四 实验步骤

1. 根据图4-26安装电涡流传感器。观察传感器结构，这是一个平绕线圈。

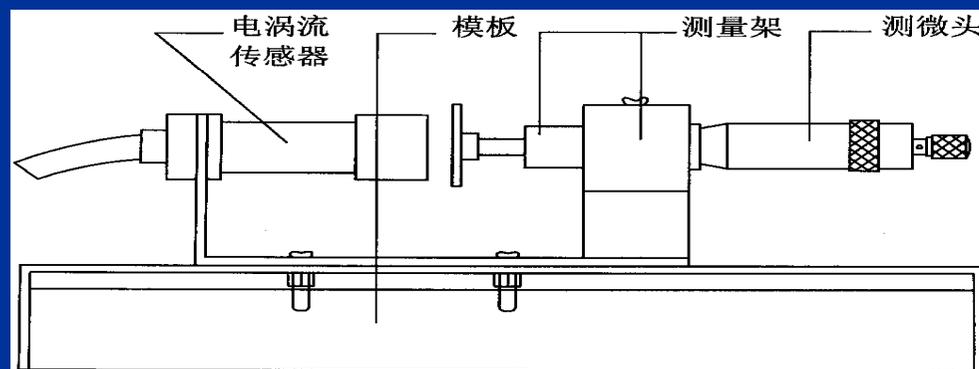


图4-26电涡流传感器安装示意图

2. 将电涡流传感器输出线接入实验模板上标有L的两端插孔中，作为振荡器的一个元件。在测微头端部装上铁质金属圆片，作为电涡流传感器的被测体。

3. 图4-27是电涡流传感器位移实验接线图，将实验模板输出端 V_0 与数显单元输入端 V_i 相插，数显表量程切换开关选择电压20V档。

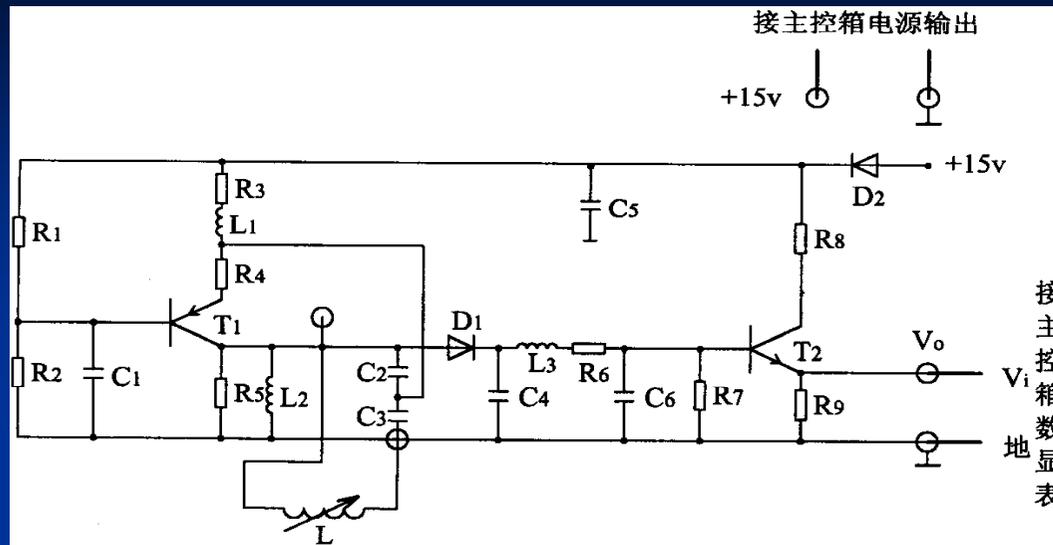


图4-27 电涡流传感器位移实验接线图

4. 用连接导线从主控台接入15V直流电源接到模板上标有+15V的插孔中。
5. 使测微头与传感器线圈端部接触，开启主控箱电源开关，记下数显表读数，然后每隔0.2mm读一个数，直到输出几乎不变为止，记录结果，画出 $V-X$ 曲线，根据曲线找出线性区域及进行正、负位移测量时的最佳工作点，试计算量程为1mm、3mm及5mm时的灵敏度和线性度（可以用端基法或其它拟合直线）。

五 思考题

1. 电涡流传感器的量程与哪些因素有关，如果需要测量 $\pm 5\text{mm}$ 的量程应如何设计传感器？
2. 用电涡流传感器进行非接触位移测量时，如何根据量程选用传感器。

4-6-8 被测体材质对电涡流传感器特性影响实验

一、实验目的：了解不同的被测体材料对电涡流传感器性能的影响。

二、实验原理：涡流效应与金属导体本身的电阻率和磁导率有关，因此不同的材料就会有不同的性能。

三、实验步骤

1. 传感器安装同=4-6-7。将原铁圆片换成铝和铜圆片。
2. 重复电涡流传感器位移实验的步骤，进行被测体为铝圆片和铜圆片时的位移特性测试，记录数据，分别计算量程为1mm和3mm时的灵敏度和非线性误差（线性度）。
3. 分别比较电涡流传感器位移实验和本实验所得结果进行小结。

四 思考题：当被测体为非金属材料如何利用电涡流传感器进行测试？

4-6-9 被测体面积大小对电涡流传感器的特性影响实验

一 实验目的：了解电涡流传感器在实际应用中其位移特性与被测体的形状和尺寸有关。

二 实验原理：电涡流传感器在实际应用中，由于被测体的形状，大小不同会导致被测体上涡流效应的不充分，会减弱甚至不产生涡流效应，因此影响电涡流传感器的静态特性，所以在实际测量中，往往必须针对具体的被测体进行静态特性标定。

三 需用器件与单元：与 § 4-6-7 相同、增加不同形状铝被测体二个。

四 实验步骤

1. 与4-6-7实验步骤1、2、3相同。

2. 在测微头上分别用二种不同的被测铝圆盘进行电涡位移特性测定，分别记结果，根据数据计算目前范围内三种被测体1号、2号的灵敏度、并说明理由。

五 思考题：现有一个直径为10mm的电涡流传感器，需对一个轴直径为8mm的振动进行测量？试说明具体的测试方法与操作步骤。

4-6-10 光纤传感器的位移特性实验

一 实验目的：了解光纤位移传感器的工作原理和性能。

二 实验原理：本实验采用的是传光型光纤，它由两束光纤混合后，组成Y型光纤，半园分布即双D型一束光纤端部与光源相接发射光束，另一束端部与光电转换器相接接收光束。两光束混合后的端部是工作端亦称探头，它与被测体相距 X ，由光源发出的光纤传到端部出射后再经被测体反射回来，另一束光纤接收光信号由光电转换器转换成电量，而光电转换器转换的电量大小与间距 X 有关，因此可用于测量位移。

三 需用器件与单元：光纤传感器、光纤传感器实验模板、数显单元、测微头、直流源、反射面。

四 实验步骤

1. 根据图4-28安装光纤位移传感器，二束光纤插入实验板上的座孔上。其内部已和发光管D及光电转换管T相接。

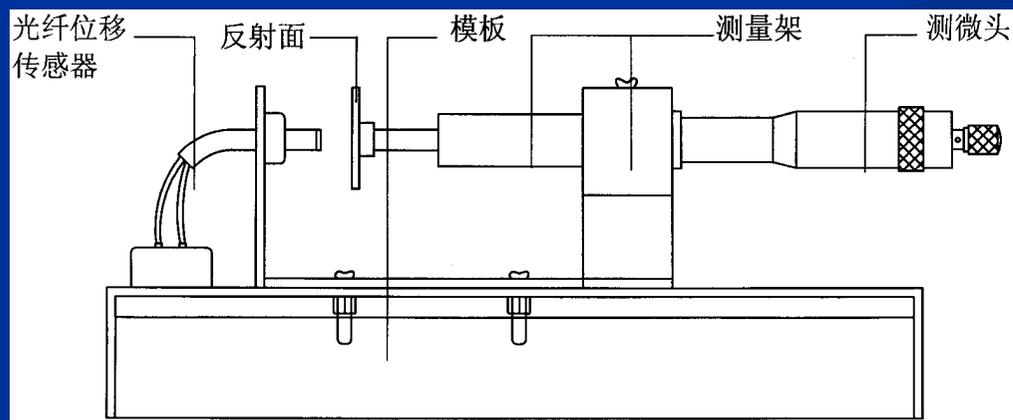


图4-28 光纤传感器安装示意图

2. 将光纤实验模板输出端V01与数显单元相连，见图4-29。
3. 调节测微头，使探头与反射面圆平板接触。
4. 实验模板接入 $\pm 15\text{V}$ 电源，合上主控箱电源开关，调RW使数显表显示为零。
5. 旋转测微头，被测体离开探头，每隔 0.1mm 读出数显表值，记录数据。根据数据，作光纤位移传感器的位移特性，计算在量程 1mm 时灵敏度和非线性误差。

五、思考题：光纤位移传感器测位移时对被测体的表面有些什么要求？

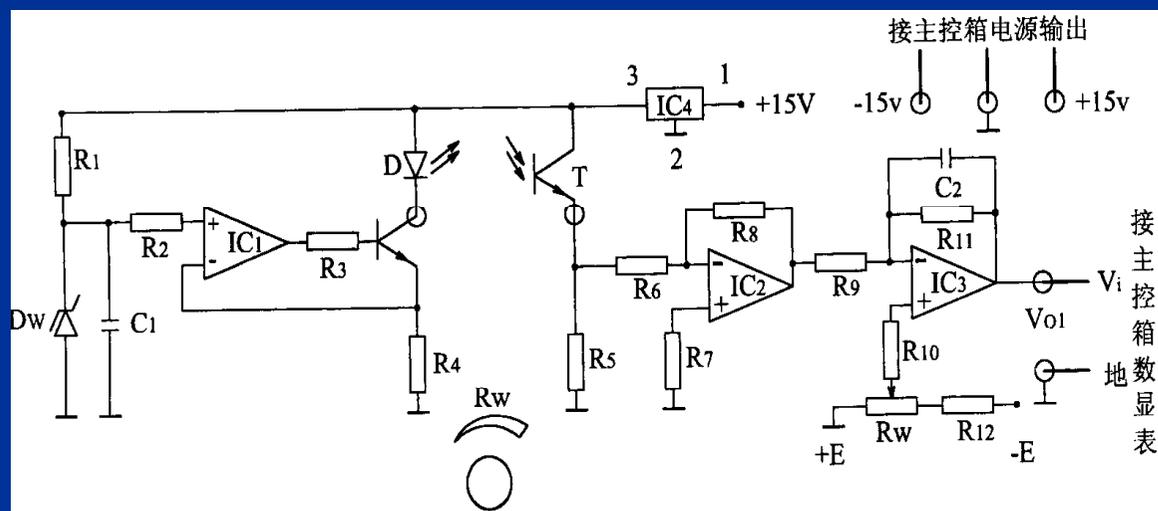


图4-29 光纤传感器位移实验接线图

4-7 转速测量

4-7-1 霍尔测速实验

一 实验目的：了解霍尔转速传感器的应用。

二 实验原理：利用霍尔效应表达式： $U_H = KHIB$ ，当被测圆盘上装上N只磁性体时，圆盘每转一周磁场就变化N次。每转一周霍尔电势就同频率相应变化，输出电势通过放大、整形和计数电路就可以测量被测旋转物的转速。

三 需用器件与单元：霍尔转速传感器、直流源+5V、转动源 $2\sim 24V$ 、转动源单元、数显单元的转速显示部分。

四 实验步骤

1. 根据图4-30，将霍尔转速传感器装于传感器支架上，探头对准反射面内的磁钢

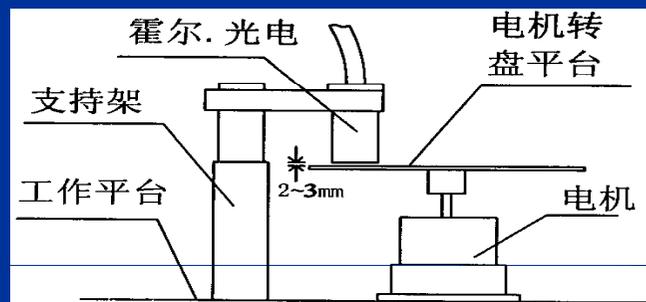


图4-31 霍尔、光电、磁电转速传感顺安装示意图

2. 将5V直流源加于霍尔转速传感器的电源端（1号接线端）

3. 将霍尔转速传感器输出端（2号接线端）插入数显单元Fin端，3号接线端接地。

4. 将转速调节中的 $2V\sim 24V$ 转速电源接入三源板的转动电源插孔中。

5. 将数显单元上的开关拨到转速档。

6. 调节转速调节电压使转动速度变化。观察数显表转速显示的变化。

五 思考题：

1. 利用霍尔元件测转速，在测量上有否限制？

2. 本实验装置上用了十二只磁钢，能否用一只磁钢？

4-7-2 磁电式转速传感器测速实验

一 实验目的：了解磁电式测量转速的原理。

二 实验原理：基于电磁感应原理，N匝线圈所在磁场的磁通变化时，线圈中感应电势： $e = -N \frac{d\phi}{dt}$ 发生变化，因此当转盘上嵌入N个磁棒时，每转一周线圈感应电势产生N次的变化，通过放大、整形和计数等电路即可以测量转速。

三 需用器件与单元：磁电式传感器、数显单元测转速档、直流电源2-24V。

四 实验步骤

1. 磁电式转速传感器按图4-30安装传感器端面离转动盘面2mm左右。
将磁电式传感器输出端插入数显单元Fin孔。（磁电式传感器两输出插头插入台面板上二个插孔）
2. 将显示开关选择转速测量档。
3. 将转速电源2-24V用引线引入到台面板上24V插孔，合上主控箱电源开关。使转速电机带动转盘旋转，逐步增加电源电压观察转速变化情况。

五 思考题

为什么说磁电式转速传感器不能测很低速的转动？

4-7-3 光电转速传感器的转速测量实验

一、实验目的：了解光电转速传感器测量转速的原理及方法。

二、实验原理：光电式转速传感器有反射型和透射型二种，本实验装置是透射型的，传感器端部有发光管和光电池，发光管发出的光源在转盘上反射后由光电池接受转换成电信号，由于转盘上有黑白相间的16个间隔，转动时将获得与转速及黑白间隔数有关的脉冲，将电脉冲计数处理即可得到转速值。

三、需用器件与单元：光电转速传感器、直流电源+5V、转动源及2⁻24V直流源、数显单元。

四、实验步骤

1. 光电转速传感器已安装在三源板上，把三源板上的+5V、接地V0与主控箱上的+5V、地、数显表的Fin相连。数显表转换开关打到转速档。
2. 将转速源2⁻24V输出旋到最小，接到转动源24V插孔上。
3. 合上主控箱电源开关，使电机转动并从数显表上观察电机转速。

五、思考题

已进行的实验中用了多种传感器测量转速，试分析比较哪种方法最简单、方便。

4-7-4 利用光电传感器控制电机转速实验

一 实验目的：了解光电传感器用于测量转速的方法。

二 实验原理：利用光电传感器（光耦）检测到的转速信号作为控制信号，由智能人工调节仪采用模糊逻辑进行PID调节，经过一段时间调节后使电机转速控制在设定转速上。（设定值：1600-1900r/min）

三 需用器件与单元：调节仪单元、振动源、频率/转速表、光电转速传感器、数显单元测转速档、直流源±15V、转速源2-24V。

四 实验步骤

1. 合上漏电保护器开关为ON，合上调节仪单元中的“调节仪电源开关”为“开”，“控制方式”开关为外。

2. 调节仪设置：测转速时调节仪（仪表）各参数设置：

HIAL(上限报警) 设为：5500

LOAL(下限报警) 设为：0

DHAL(正偏差报警) 设为：9999(取消报警)

DLAL(负偏差报警) 设为：9999(取消报警)

DF(回差) 设为：0

Ctrl(控制方式) 设为：1

M50(50保持参数) 设为：6000

P(速率参数) 设为：0

T(尺后参数) 设为：160⁻300

Ctl(输出周期) 设为：2

Sn(输入规格) 设为：34

dIP(小数点) 设为：0

dIL(输入下限显示值) 设为：0

dIH(输入下限显示值) 设为：5000

CJC(热电偶补偿温度) 设为：不设

SC(主输入平移修正) 设为：显示误差校准(可不设)

OP1(输出方式) 设为：4

OPL(输出下限) 设为：0

OPH(输出下限) 设为：110

CF(系统功能选择) 设为：1

BAud(报警定位) 设为：17

Addr(地址) 设为：可不设

DL(输入滤波) 设为：2⁻4

Run(运作状态) 设为：1

LOC(参数修改级别) 设为：默认值为808

EP1-EP8(现场参数定一) 设为：默认值

3. 关闭主控箱漏电保护开关为OFF，将转动电源上的光电传感器+5V端、地端接入主控箱的+5V、地端，光电输出端、地端分别与主控箱调节仪单元中的“控制输入”的“+”端，“-”端相连；调节仪单元中的“控制输出”的“+”端，“-”端分别与转动源的“转动电源2⁻24V”“+”端，“-”端相连；将调节仪中的“信号输出”的“+”端，“-”端分别与主控箱面板中的“频率/转速表”输入Fin端、地端相连。

4. 检查接线无误后，合上漏电保护开关为ON，再将主控箱面板上的转速调节钮顺时针旋到底，就可进行转速控制演示实验，在仪表正常显示情况下，按“▲”键或“▼”可改变转速设置以控制转速。按“■”SV窗口显示输出大小比例。

4-7-5 光纤传感器测速实验

一 实验目的：了解光纤位移传感器用于测量转速的方法。

二 实验原理：利用光纤位移传感器探头对旋转体被测物反射光的明显变化产生的电脉冲，经电路处理即可测量转速。

三 需用器件与单元：光纤传感器、光纤传感器实验模板、数显单元测转速档、直流源 $\pm 15V$ 、转速源2-24V。

四 实验步骤

1. 将光纤传感器按图4-30装于传感器支架上，使光纤探头与电机转盘平台中反射点对准，距离正好在光纤线性区域内。
2. 按图4-29，将光纤传感器实验模板输出V01与数显表Vi端相接，接上实验模板上 $\pm 15V$ 电源，数显表的切换选择开关拨到2V档，用手转动圆盘，使探头避开发射面（暗电流），合上主控箱电源开关，调节RW使数显表显示接近零（ ≥ 0 ），再将V01与数显表Fin输入端相接，数显表的波段开关拨到转速档，数显表的转速指示灯亮。
3. 将转速源2-24V先旋到最小，接于转动源24V插孔上，使电机转动，逐渐加大转速源电压。使电机转速盘加快，固定某一转速观察并记下数显表上读数 n_1 。
4. 转速电压不变，将选择开关拨到频率测量档，测量频率记下频率读数，根据转盘上的测速点数折算成转速值 n_2 。
5. 将实验步骤4与实验步骤3比较，以转速 n_1 作为真值计算二种方法的测速误差，相对误差 $r = ((n_1 - n_2) / n_1) \times 100\%$ 。

五 思考题

测量转速时转速盘上反射（或吸收点）的多少对测速精度有否影响，你可以用实验来验证比较转盘上仅一个黑点的情况。

4-7-6电涡流传感器测速实验

一 实验目的：了解电涡流传感器测转速的原理与组成。

二 实验原理：利用电涡流的位移传感器及其位移特性，当被测转轴的端面或径向有明显的位移变化（齿轮，凸台）时，就可以得到相应的电压变化量，再配上相应电路测量转轴转速。

三 实验步骤

本实验请学员自己利用电涡流传感器和转动源、数显单元组建。

4-8 气味，湿度参量测量

4-8-1 气敏传感器实验（三线制）

一 实验目的：了解气敏传感器原理及应用。

二 实验原理：

气敏元件与气敏传感器种类很多，如：氧、氢、氮、一氧化碳、二氧化碳、丁烷、甲烷、乙醇等，针对不同的测试对象有不同的原理和结构。本实验采用的是适合测试酒精气体浓度的气敏元件，其基本结构为薄膜型 SnO_2 （氧化锡）敏感元件。此导体气敏传感器属电阻型气敏元件，它是利用气体在半导体表面的氧化还原反应导致敏感元件阻值变化，阻值随气体浓度发生变化。根据这一特性，可以通过测量阻值的变化来获取吸附气体的种类和浓度。

工作时，酒精敏感层的等效电阻 R_S 随酒精浓度的增加而呈非线性减小。通过测量电路把此电阻的变化转换成输出电压的变化，同时进行线性化处理，使输出电压与气体浓度呈线性。

三 需用器件与单元：

气敏传感器、直流稳压电源、酒精、棉球、数显单元、差动变压器实验模板。

四 实验步骤

1. 将气敏传感器的1号引线接入主机箱的“电压选择”中的“ V_{out} ”插孔；2号引线接入“显示选择”中的“ V_{in} ”插孔中，3号引线接入“电压选择”中的“ \perp ”，并与 V_{in} 的 \perp 连接。
2. 将“电压选择”切换开关置于 $\pm 6V$ 档，将“显示选择”切换到 $20V$ 。
3. 合上主机箱电源开关，预热3-5分钟后，将酒精棉球靠近传感器探头，观察电压数显表的变化。

4-8-2气敏传感器实验（四线制）

一 实验目的：了解气敏传感器原理及应用。

二 实验原理：本实验采用的气敏元件，其基本结构和原理见图4-32。它由微型陶瓷管、薄膜SnO₂（氧化锡）敏感层、测试电极和加热器组成，敏感元件固定在不锈钢网制成的腔体内。气敏元件有6个针状管脚、4个管脚A、A、B、B并联成AB，AB两端用于测试，r、r管脚用于提供加热电流。

三 需用器件与单元：与4-8-1相同。

四 实验步骤

1. 将气敏传感器夹持在差动变压器实验模板上，传感器固定在支架上。
2. 根据图4-31接线，将气敏传感器，r线之一（加热线）接+5V电压，r线之二接地，A线端接10V电压、B端线接入差动变压板的插孔内，下端接地。连接运算放大器IC，输出V_o与数显单元Vin相接，电压拨2V档。
3. 接上±15V电源使运放工作，预热5分钟。
4. 用浸透酒精的小棉球，靠近传感器，并吹2次气，使酒精挥发进入传感器金属网内，观察电压表读数变化。

五 思考题：酒精检测报警，常用于交通警察检查司机是否酒后驾车的手段，若要这样一种传感器还需考虑哪些环节与因素？

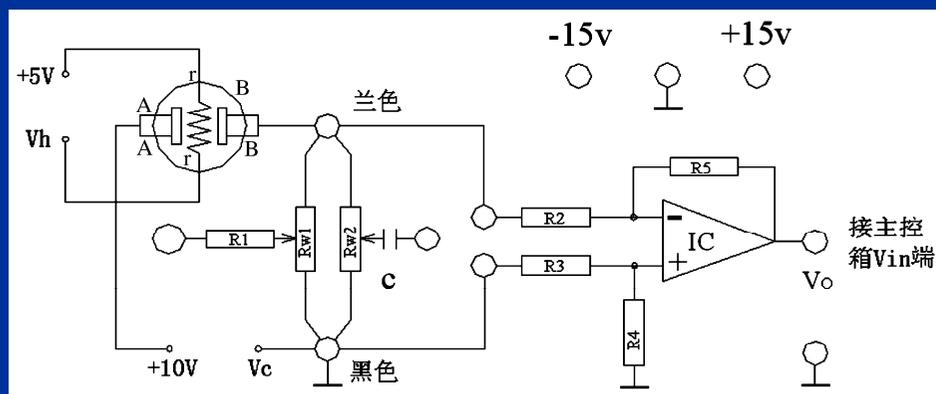


图4-31 MQ系列气敏元件结构和工作原理

4-8-3 湿敏传感器实验

一 实验目的：

了解湿敏传感器的原理及应用范围。

二 实验原理：

湿度是指大气中水的含量，通常采用绝对湿度和相对湿度两种方法表示，绝对湿度是指单位体积中所含水蒸汽的浓度，用符号AH表示，相对湿度是指被测气体中的水蒸汽压和该气体在相同温度下饱和水蒸汽压的百分比，用符号% RH表示。湿度给出大气的潮湿程度，因此它是一个无纲的值。实验中多使用相对湿度概念。

湿敏传感器种类较多，根据水分子易于吸附在固体表面渗透到固体内部的这种特性（称水分子亲和力），湿敏传感器可以分为水分子亲和力型和非水分子亲和力型，本实验所采用的属水分子亲和力型中的高分子材料湿敏元件。

高分子电容式湿敏元件是利用元件的电容值随湿度变化的原理。具有感湿功能的高分子聚合物，例如，乙酸-丁酸纤维素和乙酸-丙酸比纤维素等，做成薄膜，它们具有迅速吸和脱湿的能力，感湿薄膜粘复在金箔电极（下电极）上，然后在感湿薄膜上再镀一层多孔金属膜（上电极），这样形成平行板电容器，通过测量电容的变化来感觉空气湿度的变化。

三 需用器件与单元：湿敏传感器（内含测量电路）、直流源、数显单元。

四 实验步骤

1. 湿敏传感器的电路原理图如图4-32，电路和湿敏传感器探头已成一体。
2. 将传感器1号红色线接电源5V，2号兰色线接主控箱数显单元Vin，3号线接地。
3. 接通电源开关，预热3~5分钟，然后往有机玻璃湿敏腔中加入少量干燥剂，放上传感器，等到显示单元稳定后记录数据。
4. 取出干燥剂，将湿纱布放入有机玻璃湿敏腔，放上湿度传感器，等到显示单元稳定后记录数据。
5. 取出湿纱布，待数显表示值下降回复到原示值时，在有机玻璃湿敏腔放入部分干燥剂，同样将湿度传感器置于容腔孔上，观察数显表头读数变化。

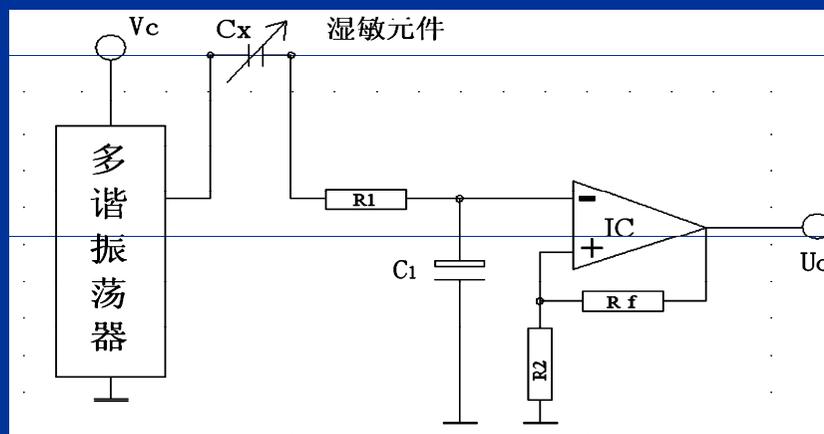


图4-32湿敏传感器电路原理图

五 思考题 若要设计一个恒湿控制装置，应考虑具备哪些环节？

4-9 电子秤实验

4-9-1 霍尔传感器应用 —— 电子秤实验

一 实验目的：了解霍尔式传感器用于称重实验方法。

二 实验原理：利用霍尔式位移传感器和振动台加载时悬臂梁产生位移，通过测位移来称重。

三 需用器件与单元：霍尔传感器实验模板、振动台、直流电源、砝码、数显单元。

四 实验步骤

1. 将霍尔传感器按图4-24安装、霍尔传感器与实验模板的连接按图4-25进行。1、3为电源 $\pm 4V$ ，2、4为输出。
2. 在霍尔元件上加直流电压 $\pm 4V$ 数显表为2V档。
3. 调节传感器连接支架高度，使传感器在磁钢中点位置（要求当振动台无重物时，调节传感器高度使它在线性段起点）调RW2使数显表输出零。
4. 在振动台面上中间部位分别加砝码：20g、40g、60g、80g、100g，读出数显表上相应值，记录数据，计算该称重系统的灵敏度。
5. 放上未知重物，读出数显表电压值。计算出未知重物为_____g。

五 思考题：该电子称系统所加重量受到什么限制？试分析本称重系统的误差。

4-9-2 电涡流传感器的应用 —— 电子秤实验

一 实验目的：了解电涡流传感器用于称重量的原理与方法。

二 实验原理：利用电涡流传感器位移特性和振动台受载时的线性位移，可以组合成一个称重测量系统。

三 需用器件与单元：电涡流传感器、电涡流传感器实验模板、直流源、数显表单元、振动台、砝码。

四 实验步骤

1. 根据图4-9安装电涡流传感器注意传感器端面与被测体振动台面（铝材料）之间的安装距离即为线形区域。
2. 将电涡流传感器两端插入实验模板标有L的两端插孔中，实验模板输出端接示波器一个通道，接入15V电源。
3. 利用前面中铝材料（铝测片）线性范围，将线性段距离最近的一点作为零点记下此时数显表读数。
4. 在振动台上加砝码从20g起到200g，（砝码应尽量远离传感器）分别读取数显表读数，计算出该称重系统的灵敏度S、注意和前面所做电子秤实验比较即可知梁的重复性能。
5. 在振动台面上放置一未知物记下数显表读数，根据实验步骤4，计算出未知物重量。

五 思考题 实际应用中的称重系统常利用杠杆平衡原理（天平），弹性元件的应力变化、弹性元件的变形量（位移），还有利用其它原理的称重系统吗？

4-10 应变片粘贴及静态应力测试

一 实验目的及要求

1. 了解应变片的构造特点、种类，掌握应变片的贴片工艺。
2. 利用不同的接桥方式，对等强度梁进行静态应力测量，从而了解电桥加减特性的应用，达到熟练运用电桥解决测量中的问题。
3. 了解温度对测量的影响，了解应变片的机械滞后现象，并懂得消除的方法。
4. 熟悉静态应变仪YJ-29的作用，并掌握其使用方法。

二 仪器及材料

等强度梁一架，砝码3Kg，DT9202A万用电表一只，ZC11-D9兆欧表一只，QJ-23万用电桥盒一只，ZX21电阻箱一只，200W红外线灯一只，工具一套（电烙铁、剪刀、镊子、螺丝刀、透明胶带各一），120Ω应变片，502胶水一瓶，丙酮一瓶，砂布，棉花，导线，接线柱等若干，0-150mm游标卡尺一把，30cm钢皮尺一把。

三、步骤与方法

1. 仔细观察纸基应变片，箔式应变片，高温应变片，半导体应变片，应变花等的结构，并熟悉其应用场合；根据测试需要选用 $2 \times 2\text{mm}$ 、 120Ω 的应变片；外观检查应变片完好后，先用万用表检查其是否开路，然后用万用电桥测出应变片的准确阻值。要求组成同一电桥的各应变片的灵敏系数相同，各片阻值相差 $< 0.3\Omega$ ；贴片处表面处理：用“0”号砂布在被测表面进行打磨，使表面光洁，最后用丙酮清洗表面，直至表面无污垢；用划针在测点处轻轻地划出应变片的定位线，见图4-33。

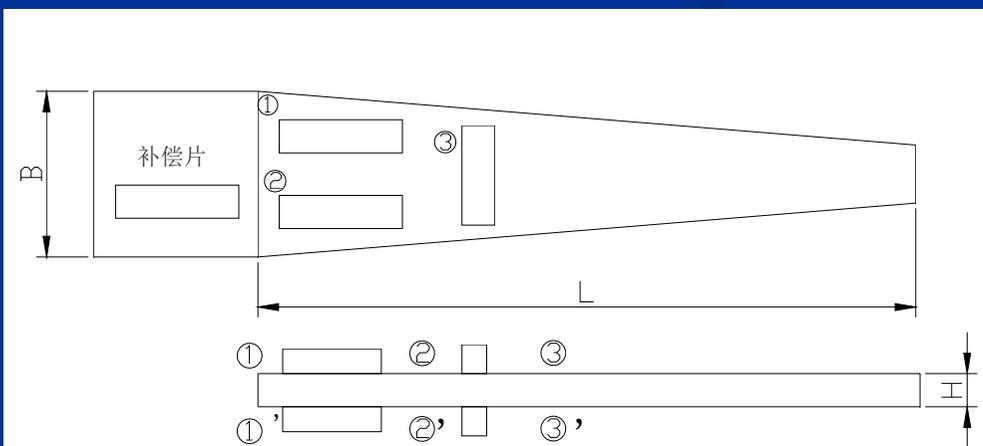


图4.33应变片粘贴位置图

2. 粘贴应变片：在应变片的基底滴一滴KH502胶水，将应变片放在测点上，对好定位线，迅速用聚乙烯薄膜轻轻地放在应变片上，然后用手指挤压应变片下的气泡及多余胶水，沿应变片纵向挤压2-3分钟，待胶水固化后去掉聚乙烯薄膜。注意手不能碰KH502胶水，防止将皮肤粘牢。
3. 安装连接线：先将过桥粘贴在应变片根部，再将应变片的引出线焊在过桥上，并将测量线固定好
4. 粘贴质量检查：首先用放大镜检查胶层中是否有气泡；再用万用表检查应变片是否断路、短路；然后用红外线灯烘烤固化3-5分钟，最后用兆欧表检查绝缘电阻是否 $>200\text{M}\Omega$ ，若未达到，则可用红外线灯继续烘烤固化，直到达到要求。
5. 应变片的防潮保护：完成4.后可用914胶及其它防潮剂涂在片子表面及周围。
6. 电桥加减特性及其运用：熟悉YJ-29的使用方法，做好测量前梁的预加、卸载工作。按表1的顺序接桥，调平衡，然后加30牛顿法码，读数，记录。
7. 将等强度梁上6个应变片分别接到YJ-29的6个AB臂上，补偿片接至BC臂上，逐点平衡后逐级加载，读取各点数据。
8. 卸载后，用红外线灯对补偿片或工作片加温，观察仪器的读数变化情况，并与其它数据进行比较
9. 用游标卡尺及钢皮尺测量等强度梁的几何尺寸 L、B、H。
10. 计算等强度梁在20牛顿力作用下的应力及应变（包括纵向及横向应变 假设 $E=2 \times 10^5\text{MPa}$, $\mu=0.25$ ）。
11. 计算各桥的桥臂系数，并说明如何运用电桥来提高测量灵敏度和消除不利因数的影响。说明各应变片间的差异，并从四个纵向片测量值差异说明误差原因。
12. 通过加温实验，说明应变片的温度特性，指出消除温度影响的方法。

五、思考题

1. 简述选择应变片的原则？
2. 为什么贴应变片要定位？为什么要挤掉多余的胶水及气泡？
3. 为什么要进行温度补偿？为什么要做防潮处理？
4. 粘贴应变片时要注意什么？你有何经验或教训？
5. 为什么组桥要选择灵敏系数及阻值相同的应变片？

4-11 动态应力测试

一、实验目的及要求

1. 了解等强度梁受动载荷作用时的应力测量方法；
2. 学习多路信号采集系统CRAS、A/D34与动态应变仪的联合使用；
3. 了解动态应变仪YD21/2的工作原理及使用方法；
4. 了解机械标定的原理和方法。

二、实验仪器及材料

已粘贴好应变片(由实验二完成)的等强度梁一只；
YD21/2动态应变仪一台；XJ4241双踪示波器一台；
数据采集装置一套；DT-9202万用电表一只。

三、实验步骤

1. 阅读仪器操作手册。
2. 按图4-34接好仪器，按图4-35中的半桥接线法及全桥接线法中任选一种，将电桥盒接好线。
3. 调平衡：将“粗、细”开关置于“粗”、“预、静、动”开关置于“预”，选择最大的衰减档，调电阻及电容平衡旋钮，使仪器读数为零；改变衰减档，再调电阻、电容平衡旋钮使仪器读数为零；将“预、静、动”开关置于“静、动”重复调平衡过程，直到每个衰减档位都整好。
4. 调灵敏度：由电标定出200，衰减系数0，调灵敏系数旋钮，使仪器在下显示1000，在下显示400。



图4-34 动应力测量图

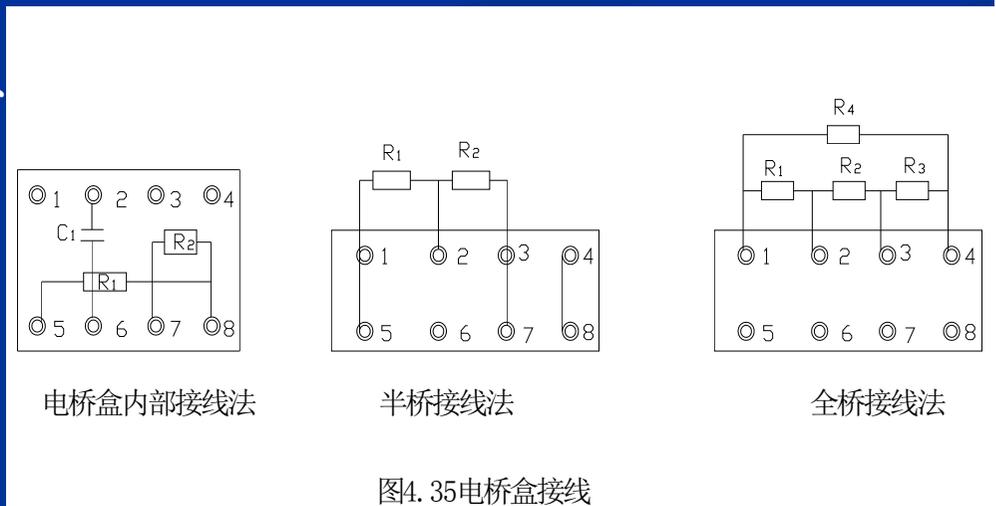
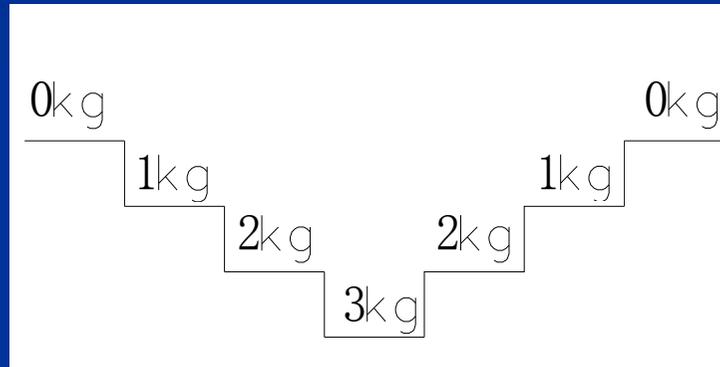


图4.35电桥盒接线

6. 将动态应变仪的输出值联至QL001的第一通道。
7. 开启计算机，进入\CRAS子目录。运行CRAS，设置好参数。（设置参数：采样频率选256Hz，校正因子 1000。）由YD21/2给出500，采集之，再用时间历程显示，键入M标注mv值，算出校正因子：MV值/500，再在参数设置栏内将校正因子修改成为 MV值/500，工程单位改为。
8. 取一只1KG法码，让其位于砝码底盘1cm高处自由落下，给梁以动 载荷，同时按下采集键，记录相应的动载荷应变曲线，并存盘。
9. 卸载。
10. 进入时间历程中，用“M”标驻最大振幅值Mp，振荡频率Wd，然后键入ALT+S将实验曲线打印出来。
11. 机械标定：首先进行参数设置：频率选择2.56Hz，块数1，校正因子为1000，触发延迟20。然后在等强度梁上分三级加载(1kg、2kg、3kg)，再依次卸载(3kg、2kg、1kg)，得到曲线：



在时间历程功能中，分别在1kg、2kg、3kg、2kg、1kg曲线处键入“M”标注应变值，得到D1、D2、D3、D4、D5；则应变与力的比值为： $(D1+D2+D3+D4+D5) / (1kg+2kg+3kg+2kg+1kg)$ （比值乃校正因子）将上述曲线存盘，然后键入ALT+S将曲线打印出来。

12. 重复步骤7、此时的校正因子由步骤11、中得到。
13. 重复步骤8、得到被测物所受的力随时间的变化规律。

四、思考题

1. 根据实验曲线确定该测试系统的动态参数：最大振幅值Mp，振荡频率Wd，并由这些参数计算系统固有频率Wn，阻尼系数 ζ ，写出系统动态方程？
2. 为什么要作机械标定？根据记录曲线绘制机械标定曲线。
3. 采样频率对系统测试有何影响？
4. 键入win，运行windows。在win下执行“测试技术”，便可依提示填写实验报告，最后由打印机打印输出。

4-12 电动机试验台振动实测

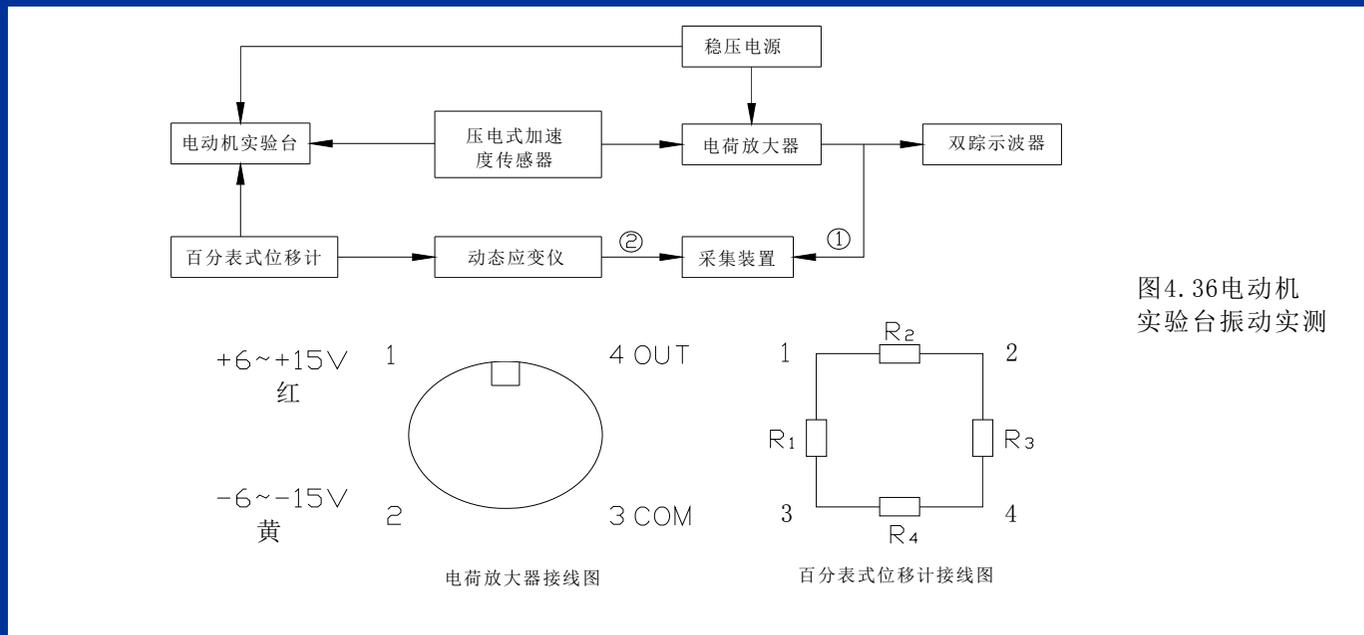
一 实验目的

1. 了解压电式加速度传感器及百分表式位移传感器原理、结构及使用方法；
2. 熟悉振动参数的测量方法；掌握振动信号的采集方法；掌握转速的测量方法；
3. 了解CRAS4.31中谱分析软件的应用。

二 实验仪器：电动机实验台一架；电荷放大器YE5851一只；压电式加速度传感器CA-YD-104一只；百分表式位移计WBD—30一只；磁性表座一只；稳压电源WYD-4一台；双踪示波器XJ4241一台；数据采集装置一套；DT-9202万用电表一只；联接线若干；DT-441转速表一只。

三、实验步骤

1. 阅读设备使用手册，
2. 按图4-36联接好仪器：



3. 开启计算机，进入CRAS软件，开启QL-001电源。

4. 转速测量：在电动机实验台圆盘上帖一反光片，由稳压电源给出2V，4V，6V，8V，10V，12V的稳压值，用转速表测量输出轴的转速，记录数据。

5. 压电式加速度传感器的动态标定：将参数设置好，（采样频率 1280 Hz，校正因子 1000，数据块数 1 工程单位 V），使数据采集系统处于等待状态。电动机联入稳压电源，稳压电源旋钮处于 6V，开启稳压电源开关，即给电动机加入了 6V 的激励信号，同时按下采集键，采集该过程；然后进入时间历程中显示采集到的波形，标注最大点 A1，输出该标定曲线

6. 百分表式位移计静态标定：百分表联入动态应变仪 YD-21/2 的第一通道，调平衡。将采样频率设置为 256 Hz，校正因子 1000，数据块数 1。给百分表加入 10mm 位移，采集该过程，用时间历程显示该波形，读取平均值 B1，算出校正因子 $F2 = B1/10$ (mv/mm)

7. 电动机实验台的动态测试：测输出轴的偏心位移 用百分表式位移计测量 用磁性表座安装好百分表式位移计，调整好预备位移量，对动态应变仪调平衡；设置参数（校正因子 F2，采样频率 256 Hz，工程单位 mm），然后开启电动机电源，由数据采集装置采集稳压电源给出的稳压值 4V、8V、12V 时电动机实验台输出轴的偏心过程，并存盘。
测电动机的振动 用压电式加速度传感器测量 将压电式加速度传感器安装在电动机不旋转部位，进入 CRAS，设置参数（校正因子 $F1 = S_q/C$ ，其中 S_q 是压电式传感器的电荷灵敏度，C 是该传感器的电容，采样频率 25600 Hz，数据块数 1 工程单位 m/s^2 ），开启电动机电源，由数据采集装置采集稳压电源给出的稳压值为主 4V、8V 时电动机的振动过程，并存盘。

8. 用 CRAS 软件，分析此次记录信号的频谱。进入 SSCRAS，光标棒选 SSSFA，按回车读入已采集的文件进行谱计算，显示，按屏幕提示操作，并用打印机输出计算结果。

四 思考题

1. 分析、比较位移测量及加速度测量的异同点。
2. 分析、比较相对式测振与绝对式测振的异同点。
3. 电动机振动频率为多少？激励大小对电动机振动有何影响？根据实际的频谱来说明在这个系统中应选择具有怎样特性参数的振动传感器？
4. 由本次实验测得输出轴的位移为多少？写出位移方程？