

# 机电系统测控实验

东南大学机械工程学院  
2006年

# 目 录

绪论	1
第 1 章 位移的测量	1
1.1 常用位移传感器	1
1.2 位移测量（电涡流）	1
1.3 光纤、光电传感器	20
1.4 综合型实验内容	21
第 2 章 振动的测量	28
2.1 常用振动传感器	28
2.2 振动测量实验内容	28
第 3 章 温度的测量	39
3.1 常用温度传感器	39
3.2 温度测量	39
3.3 综合型实验内容	44
第 4 章 力、弯矩、压力的测量	48
4.1 常用力传感器	48
4.2 力测量（应变片）	48
4.3 综合、研究型实验内容	69
第 5 章 噪声的测量	73
5.1 常用噪声传感器（电容式，磁铁式，压电式）	73
5.2 噪声测量实验内容	73
第六章 信号调理电路	78
6.1 常用信号调理单元	78
6.2.1 移相器实验	78
6.2.2 相敏检波器	80
第七章 控制系统实验	84
7.1 系统时间响应模拟实验	84
7.2 系统频率响应模拟实验	91
主要参考文献	97
附录：电子模拟原理简述	97
附录：CSY—10 型传感器实验仪使用说明	101
附录：YE3817 型应变放大器使用说明	104
附录：YE2536 型静态应变仪	112
附录：YE5937 型位移测量仪	115
附录：CWY——D0500 电涡流传感器	117
附录：UJ31 型低电势直流电位差计	119
附录：AC15 型直流复射式检流计	124

## 绪 论

现代科学技术的发展，使得改革传统的教学方式迫在眉睫。现代教学改革的重要手段之一就是改革传统的实验教学模式，通过增加实验和培训内容，重点培养学生的创新能力和动手能力，提高学生的实际操作水平，培养适应社会需求的人才。

本教材是机械系统测试技术，控制工程基础两门专业课程的实验教材。

CSY—10 型综合传感器实验仪是“传感器技术”、“工业自动化控制”、“非电量电测技术”、“工程检测技术”等检测仪表类课程实验教学的多功能教学仪器。其特点是集被测体、各种传感器、信号激励源、处理电路和显示器于一体，可以组成一个完整的测试系统。通过教材所提供的书数十种实验内容，能完成包含光、电、磁、温度、位移、振动、转速等内容的测试实验。通过学习，实验者可以对各种不同的传感器及测量电路原理和组成有比较直观的感性认识，并可在该实验仪器上举一反三地开发出新的实验内容。

本书总的实验数目 48 个。

所有的实验内容要求在每一个实验内容中介绍。

# 第1章 位移的测量

## 1.1 常用位移传感器

根据传感器的变换原理，常用的位移测量传感器有电阻式，电感式，差动变压器式，感应同步，磁栅，光栅和激光等。本章主要是通过实验进一步加深对电涡流式，电感式，差动变压器式，激光传感器的了解。

## 1.2 位移测量

### 1.2.1 电涡流式传感器静态位移性能研究

#### 一、实验目的

了解电涡流式传感器的工作原理和工作情况，和其它与之相关的实验进行灵敏度比较。

#### 二、实验原理

电涡流式传感器的结构是由线圈和金属涡流测试片组成，当线圈中通以高频交变电流后与其平行的金属片上感应产生电涡流，电涡流的大小影响线圈的阻抗  $Z$ ，而涡流的大小与金属片的电阻率、导磁率、厚度、温度以及与线圈的距离  $X$  有关。当线圈、被测体（涡流片）、激励信号源确定，保持温度不变，则阻抗  $Z$  只与距离  $X$  有关。将阻抗变化经涡流变换器换成电压  $V$  输出，则输出电压是距离  $X$  的单值函数。

#### 三、所需单元和部件

涡流变换器，涡流式传感器探头，铁测片，测微器，V/F表。

#### 四、有关旋钮的初始位置

V/F表置于20V档。

#### 五、注意事项

1、被测物体与涡流式传感器探头平面必须平行，探头尽量对准被测物体中间，以减小涡流损失。

2、由于信号调理单元电路结构的特殊性，涡流变换器的输出始终为负值。（注：涡流变换器见仪器面板示意图）。

3、当涡流变换器与电涡流传感器探头线圈连接，并处于工作状态时，在两者联接线端接入示波器后由于负载效应会影响线圈的阻抗，使变换器的输出电压减小（如果示波器探头阻抗太小，甚至会使变换器停振而无输出，或是使传感器在初始状态有一死区）。

#### 六、实验内容

1、转动测微器，振动圆平台中间的磁铁与“测微头”相吸，圆平台处于（目测）水平位置，按注意事项调整好涡流传感器探头（这时被测铁测片与涡流传感器探头平面相接）。

2、根据图 1.1 的电路结构，将涡流传感器探头、涡流变换器、电压表、示波器连接起来，组成一个测量线路。

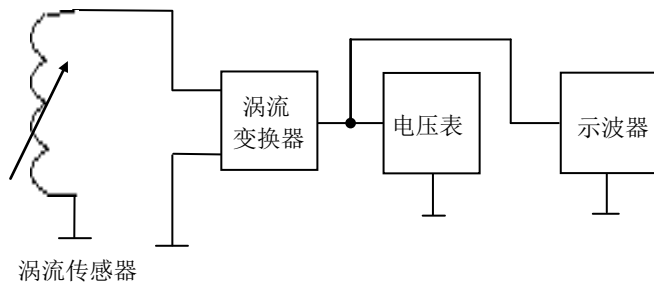


图 1.1 电涡流传感器接线图

3、开启仪器电源，将测微头位移，使得电涡流线圈与涡流片分开一定距离，此时输出端有一电压值。用示波器连接涡流变换器输出端观察电涡流传感器高频波形，信号频率约为 1MHz。

4、用测微头带动振动平台使平面线圈完全贴紧铁测片，此时涡流变换器输出电压为零。涡流变换器中的振荡电路“停振”。

5、往下旋动测微器，使圆平台的“自由端”往下产生位移（刚开始时，电压表显示的数值为零，一直到有一定距离后才会发生变化，这时的数据作为起始数据）。每位移 0.25mm，记一个电压表数值，将所记数据填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为相应的振动圆平台的位移变化）。

X (mm)	0.0									
V(mV)										

## 七、实验设备

- 1、CSY—10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，作出  $V-X$  关系曲线
- 2、开始时，电压表显示的数值为零，一直到有一定距离后才会发生变化，为什么？
- 3、根据测试结果，找出当前被测物体为金属片时，线性范围的中点位置（最佳工作点），涡流传感器探头与铁测片的距离。
- 4、如何提高其线性范围。
- 5、与其它传感器比较有什么优缺点。

## 1.2.2 电涡流式传感器幅频性能测量及应用

### 一、实验目的

通过实验掌握用电涡流传感器测量振动的原理和方法。

### 二、所需单元和部件

涡流变换器，涡流式传感器探头，铁测片，测微器，V/F表，直流稳压电源，差动放大器，电桥，低频振荡器（激振器 I）。

### 三、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源置于-10V档，V/F表置于20V档，差动放大器增益旋钮置于最小。

### 四、注意事项

1、实验过程中，低频振荡器“激振器 I”的调幅旋钮不能过大，以振动圆平台振动时不碰撞其它物体为佳。

2、实验中，差动放大器与电桥平衡网络组成一个电平移位电路，使得系统在最佳工作点的输出为零，以便反映出位移的正负值（以工作点为基准）。

3、如果加大涡流式传感器探头与被测物体初始间距，虽然可测量较大的振幅，但会产生明显的失真。

4、实验过程中，按图接线，但涡流探头的位置不能变动。

### 五、实验内容

1、根据图 1.2 的电路结构，将涡流传感器探头，涡流变换器，电压表连接起来，组成一个测量线路。

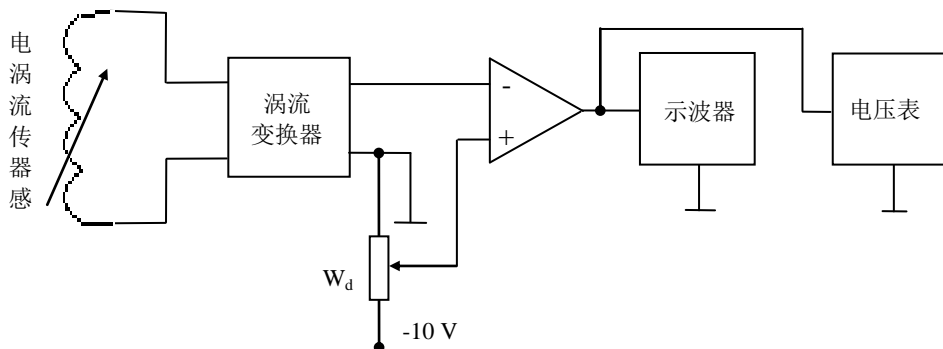


图 1.2 电涡流传感器接线图

2、转动测微器，振动圆平台中间的磁铁与测微头分离，测微头缩至测微器中使其不至于再被吸住（这时圆平台处于自由静止状态），适当调节涡流传感器探头的高低位置，以实验 1.1 的结果（线形范围的中点为佳）为参考。

3、调节电桥平衡网络  $W_d$ ，电压表读数为零。

4、去除差动放大器与电压表的连线，差动放大器的输出与示波器连起来，示意图见 1.2。V/F 表用 2KHz 档，低频振荡器的输出端与频率表的输入端连接起来。

5、固定低频振荡器的幅值旋钮至某一位置（振动圆平台谐振时不碰撞其它物体），调节频率，调节时用频率表监测频率，用示波器读出峰峰值电压填入下表。

6、同时用双线示波器另一端通道观察涡流变换器输入端的调幅波。

7、改变低频振荡器输出信号的频率和幅值，提高振动圆盘振幅，用示波器可以看到变换器输出波形有失真现象，说明电涡流式传感器的振幅测量范围是很小的。

F (Hz)														
$V_{(P-P)}$														

## 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据测试结果，画出电涡流传感器幅频特性曲线。
- 2、可以知道圆平台的自振频率大约是多少。
- 3、如果已知被测振动圆平台的振幅为 0.2mm，传感器是否一定要安装在最佳工作点。
- 4、如果此传感器仅用来测量振动频率，工作点问题是否仍十分重要。

### 1.2.3 被测体材料对电涡流式传感器的影响

#### 一、实验目的

通过实验说明不同的涡流感应材料对电涡流传感器特性的影响。

#### 二、所需单元和部件

涡流变换器，涡流式传感器探头，（铁、铝、铜）质测试片，测微器，V/F 表。

#### 三、有关旋钮的初始位置

V/F 表置于 20V 档。

#### 四、注意事项

- 1、更换测试片，被测物体与涡流传感器探头平面必须平行，探头尽可能对准被测体中间。
- 2、有必要时可以多测几个数据，便于统计计算。

#### 五、实验内容

- 1、转动测微器，振动圆平台中间的磁铁与测微头相吸，圆平台处于（目测）水平位置，按注意事项调整好涡流传感器探头（这时被测铁片与电涡流传感器探头平面相接）。
- 2、根据实验图 1.3 的电路结构，将电涡流传感器探头，涡流变换器，电压表，示波器连接起来，组成一个测量线路。

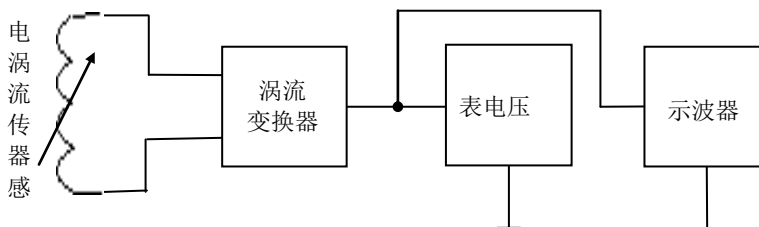


图 1.3 电涡流传感器接线图

2、往下旋动测微器，使圆平台的自由端往下产生位移，从而改变被测物体与涡流变换器探头之间距离（刚开始时，电压表显示的数值可能为零，一直到有一定距离后才会发生变化），这时的数据作为起始数据。每位移 0.25mm，记一个电压表数值，将所记数据填入下表。

3、将铁质测试片换下，按装上铝质测试片，和铜质测试片。重复实验 1、2、3，根据所得数据分别计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为相应的平台端位移变化）进一步比较不同被测物体的线性范围和灵敏度。在同一坐标轴上作出  $V-X$  曲线。

4、分别找出各被测物体的线性范围，灵敏度，最佳工作点（双向或单向），并进行比较。

X(mm)	0.0										
V 铁 (V)											
V 铝 (V)											
V 铜 (V)											

#### 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

#### 七、仪器说明书

见附录。



## 八、实验报告

1、使用铁测片时，刚开始，电压表显示的数值为零，一直到有一定距离后才会发生变化，而使用铝测片时，刚开始，电压表显示的数值不为零，这是为什么。

2、从实验中得出什么结论？

### 1.2.4 差动变压器式电感传感器性能研究

#### 一、实验目的

了解差动变压器式电感传感器的原理和工作情况。

#### 二、实验原理

差动变压器由衔铁，初级线圈，次级线圈和线圈骨架组成。把初级线圈作为差动变压器的激励源线圈用，相当于变压器的原边，次级线圈由两个结构尺寸和参数相同的线圈反向串接而成，相当于变压器的副边。差动变压器是开磁路，工作是建立在互感基础上的。其原理及输出特性见图 1.4A。

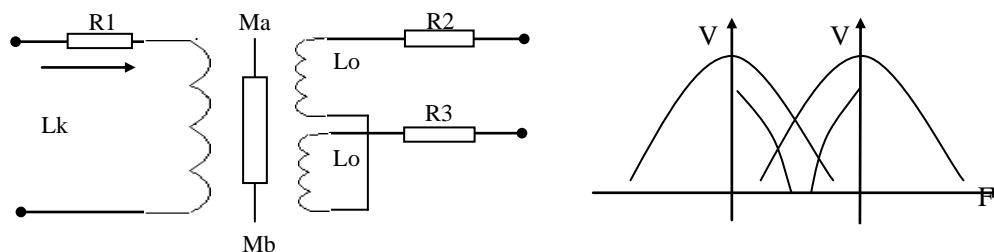


图 1.4 A 差动变压器原理接线图  
A

#### 三、所需单元和部件

差动变压器式电感传感器，音频振荡器，测微头。

#### 四、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为 5KHz，Lv 输出幅度为峰峰 2V。

#### 五、注意事项

1、音频振荡器的信号必须从 Lv 输出端输出，双线示波器第一通道灵敏度 500mV/格，第二通道 10mV/格。

2、振动圆平台处于（目测）水平位置时，示波器上观察到的差动变压器式传感器的输出端信号应为最小，否则要调整电感中磁棒的位置。

3、差动变压器次级的两个线圈必须接成差动形式（同名端相接）。

#### 六、实验内容

1、根据图 1.4B 的电路结构，将差动变压器式电感传感器，音频振荡器，示波器连接起来，组成一个测量线路。示波器探头分别接至差动变压器式电感传感器的输入端和输出段。

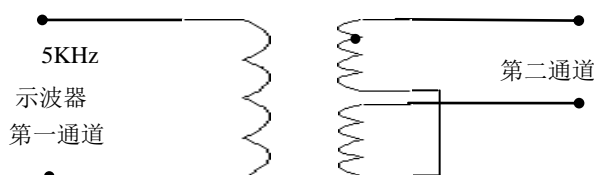


图 1.4 B 测试电路图

2、转动测微器，振动圆平台处于（目测）水平位置，再向上转动测微器 5mm，圆平台的自由端往上位移。

3、用手提压差动变压器磁芯，观察示波器第二通道波形是否过零翻转，如不能则改变两个次级线圈的串接端。

4、向下转动测微器，圆平台的自由端产生位移。每位移  $\Delta X$  mm，用示波器读出差动变压器输出端的峰峰值填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中。 $\Delta X$  为相应的平台端位移变化， $\Delta V$  为电压变化），读数过程中注意初、次级波形的相位关系。并作出  $V - X$  关系曲线。

5、仔细调节测微头，使次级线圈的输出波形调至最小，这就是零点残余电压。可以看出它与输入电压的相位差约为  $\pi / 2$ ，是“基频”分量。

X (mm)	0.0										
V(mV)											

## 七、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出  $V_{O(P-P)} - X$  曲线，指出线性工作范围。
- 2、电感中磁棒的位置由上到下移动，双线示波器观察到的波形相位发生怎样的变化。
- 3、用测微器调节振动圆平台位置，使示波器上观察到的差动变压器式电感传感器的输出端信号为最小，这个最小电压称作什么，由于什么原因造成。

### 1.2.5 差动变压器式电感传感器零点残余电压的补偿 （不做）

#### 一、实验目的

由于零残电压的存在会造成差动变压器式电感传感器的不灵敏区，如此电压经过放大器还会使放大器末级趋向饱和，影响电路正常工作，因此必须采用适当的方法进行补偿抵消。

#### 二、实验原理

零残电压中主要包含两种波形成分：

1、基波分量，这是由于差动变压器两个次级绕组因材料或工艺差异造成等效电路参数（ $M$ 、 $L$ 、 $R$ ）不同，线圈中的铜损电阻及导磁材料的铁损，线圈中间电容的存在，都使得激励电流与所产生的磁路不相同。

2、高次谐波。主要是由导磁材料磁化曲线非线性引起，由于磁滞损耗和铁磁饱和的影响，使激励电流与磁通波形不一致，产生了非正弦波（主要是三次谐波）磁通，从而在二次绕组中感应出非正弦波的电动势。

3、减少零残电压的办法有：从设计和工艺制作上尽量保证线路和磁路的对称。采用相敏检波电路。选用补偿电路。

### 三、所需单元和部件

差动变压器式电感传感器，音频振荡器，测微器，差动放大器，电桥。

### 四、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为 4KHz， $L_v$  输出幅度为峰峰 2V，差动放大器的增益旋钮旋至中间。

### 五、注意事项

- 1、音频振荡器的信号必须从  $L_v$  输出端输出。
- 2、差动变压器次级的两个线圈必须连接成差动形式（同名端相连）。
- 3、实验中，电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$  的调整，是配合调整的。
- 4、实验中，为了便于观察，需要调整示波器的灵敏度。
- 5、由于补偿线路要求差动变压器输出必须悬浮，所以需用差动放大器将次级的双端输出转换为单端输出，以便示波器观察。

### 六、实验内容

1、根据图 1.5 的电路结构，将差动变压器式电感传感器，音频振荡器，电桥平衡网络，差动放大器和示波器连接起来，组成一个测量线路。将示波器探头接至差动放大器输出端。

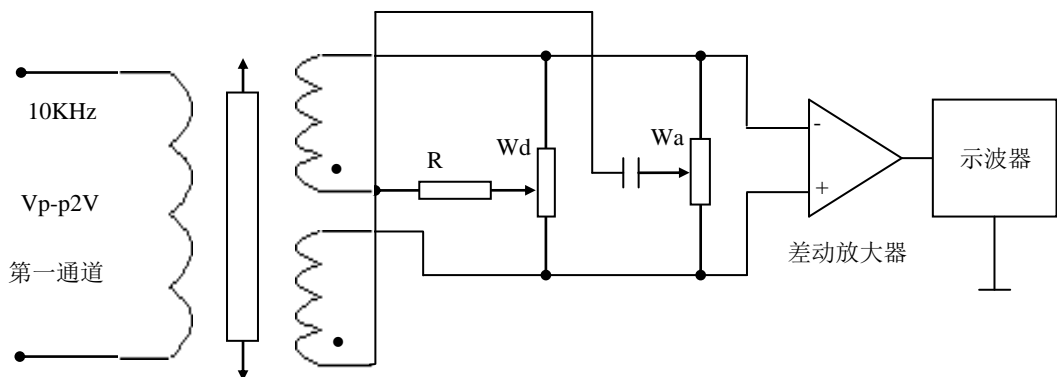


图 1.5 差动变压器实验接线图

2、转动测微器，振动圆平台处于（目测）水平位置，仔细转动测微器，使差动放大器的输出端输出的信号为最小。如果补偿效果不好，则可在电桥交流接口另外并联一个数  $\mu f$  的电容。

3、调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，使差动放大器的输出端输出的信号更小。（这时差动放大器的增益旋钮旋至最大）。

## 七、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、指出本实验中，零点残余电压的补偿有那两个方面。
- 2、示波器观察到差动放大器输出端的最小信号是什么波形，这说明波形中有什么分量。
- 3、是否可以采用次级补偿线路来调零。

### 1.2.6 差动变压器式电感传感器静态位移性能研究

#### 一、实验目的

了解差动变压器式电感传感器测量系统的组成和标定方法。

#### 二、所需单元和部件

差动变压器式电感传感器，音频振荡器，测微器，V/F 表，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器，电桥。

#### 三、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为 5KHz， $L_v$  输出幅度为峰峰值 2V，V/F 表置于 20V 档，差动放大器的增益旋钮旋至中间。

#### 四、注意事项

- 1、音频振荡器的信号必须从  $L_v$  输出端输出。
- 2、差动变压器次级的两个线圈必须连接成“差动”形式（同名端相连）。
- 3、实验中，电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$  的调整，是配合调整的。
- 4、实验中，为了便于观察，需要调整示波器的灵敏度。
- 5、系统标定需要调节电桥、移相器、衔铁三者之间位置，正确的调节方法是：把有关旋钮调在初始位置上，调节电桥  $W_d$ ， $W_a$  电位器，调节测微头带动衔铁改变其在线圈中的位置使系统输出为零，用手将衔铁压至线圈最底部，调节移相器，用示波器两个通道观察相敏检波器 1、2 端口，当两端口波形正好同相或反相时，恢复衔铁位置，这样才能做到系统输出灵敏度最高并正负对称。

## 五、实验内容

1、根据图 1.6 的电路结构，差动变压器式电感传感器，音频振荡器，电桥平衡网络，双线示波器，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器，电压表连接起来，组成一个测量线路。将示波器探头分别接至差动放大器输出端和相敏检波器的输出端（这时，V/F 表置于 20V 档）。

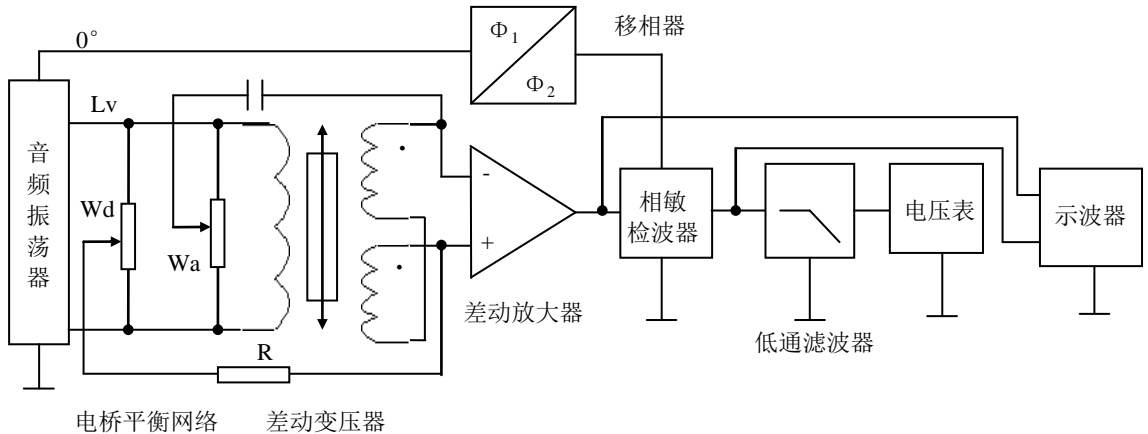


图 1.6 差动变压器实验接线图

2、转动测微器，振动圆平台处于（目测）水平位置，仔细转动测微器，差动放大器的输出端输出的信号为最小。

3、调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，差动放大器的输出端输出的信号更小。这时差动放大器的增益旋钮旋至最大。

3、再向上转动测微器 2.0mm，使圆平台的自由端往上产生位移。

4、调整移相器上的移相电位器，使得电压表显示最大。

5、为减小相敏检波器输出端的两个半波的高低差异，需调整差动放大器的调零电位器。

6、往下旋动测微器，圆平台的自由端产生位移，记下电压表显示的数值。每隔  $\Delta X$ mm 记一个数值，将所记数据填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta X$  为相应的平台端位移变化， $\Delta V$  为电压变化）。

X (mm)	0.0									
V (mV)										

## 六、实验设备

1、CSY — 10 型传感器实验仪。

2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验结果，作出  $V - X$  关系曲线
- 2、在实验步骤 5 中，同时用示波器观察相敏检波器的输出端输出波形，是什么波形？
- 3、移相在这里的作用是什么。

### 1.2.7 差动变压器式电感传感器幅频性能研究及应用

#### 一、实验目的

了解差动变压器式电感传感器动态位移测量，幅频性能和工作情况。

#### 二、所需单元和部件

差动变压器式电感传感器，音频振荡器，低频振荡器，V/F 表，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器，电桥。

#### 三、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为 5KHz， $L_v$  输出幅度为峰峰 2V，V/F 表置于 2KHz 档，差动放大器的增益旋钮旋至中间，低频振荡器接入“激振 I”。

#### 四、注意事项

- 1、音频振荡器的信号必须从  $L_v$  输出端输出。
- 2、差动变压器次级的两个线圈必须接成差动形式（同名端相连）。
- 3、实验中，电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$  的调整，是配合调整的。
- 4、实验中，为了便于观察，需要调整示波器的灵敏度。

#### 五、实验内容

1、根据图 1.7A 的电路结构，将差动变压器式电感传感器，音频振荡器，电桥平衡网络，双线示波器，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器连接起来，组成一个测量线路。示波器探头分别接至差动放大器输出端和相敏检波器的输出端。

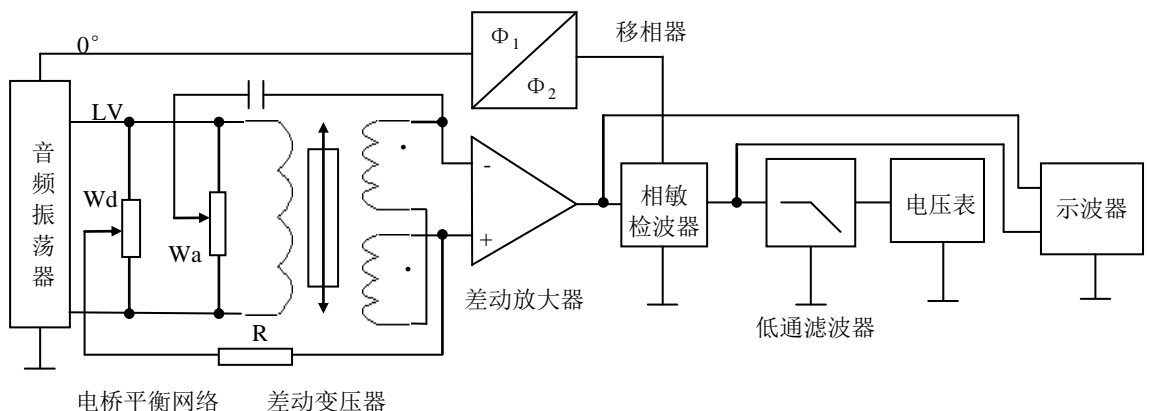


图 1.7A 差动变压器实验接线图

2、转动测微器，振动圆平台中间的磁棒与测微头分离，测微头缩至测微器中，圆平台振动时不至于再被吸住（圆平台处于自由静止状态）。

3、调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，使差动放大器的输出端输出的信号最小。此时差动放大器的增益旋钮旋至最大。（若电桥平衡网络不过零，需要调整电感中磁棒的位置）。

4、为减小相敏检波器输出端的两个半波的高低差异，需调整差动放大器的调零电位器。

5、低频振荡器的幅度旋钮固定至某一位置，使圆平台产生上下振动。再调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ （这一步要反复地调），使差动放大器的输出端输出的调幅波信号中显示的残余电压最小。

6、调整移相器上的移相电位器，使得相敏检波器输出端的波形如图 1.7B 所示（时基为小于等于 30Hz 的低频）。

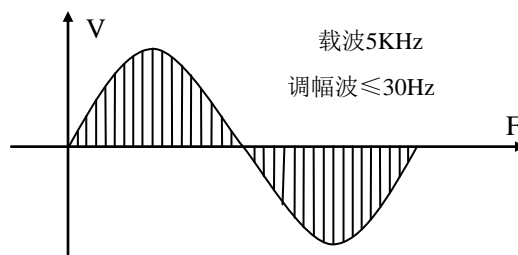


图 1.7 B相敏检波器波形图

7、低频振荡器接入“激振 I”，振动圆盘保持适当振幅。

8、维持低频振荡器输出幅度不变，调节频率，调节时用频率表监测频率，再将示波器输入端改接，与低通滤波器输出端相连，读出峰峰值填入下表。

F (Hz)													
$V_{O(P-P)}$													

## 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验结果，作出幅频特性曲线。

- 2、作出示波器上观察到的差动放大器输出端和相敏检波器输出端的输出波形（时基是30Hz的低频时），并指出分别是什么波形。
- 3、根据实验结果，可以知道振动圆平台的自振频率大致是多少。

### 1.2.8 差动螺管式电感传感器静态位移性能

#### 一、实验目的

了解差动螺管式电感传感器测量系统的组成的性能和工作情况。

#### 二、实验原理

利用差动变压器的两个次级线圈和衔铁组成。衔铁和线圈的相对位置变化引起螺管线圈电感值的变化。次级二个线圈必须呈差动状态连接，当衔铁移动时将使一个线圈电感增加，而另一个线圈的电感减小。

#### 三、所需单元和部件

差动变压器，音频振荡器，测微器，V/F表，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器，电桥。

#### 四、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为5KHz， $L_v$ 输出幅度为峰峰2V，V/F表置于20V档，差动放大器的增益旋钮旋至中间。

#### 五、注意事项

- 1、音频振荡器的信号必须从 $L_v$ 输出端输出。
- 2、此实验只需用原来的差动变压器两个次级线圈，注意接法。
- 3、实验中，电桥平衡网络的电位器 $W_a$ 和 $W_d$ 的调整，是配合调整的。
- 4、实验中，为了便于观察，需要调整示波器的灵敏度。

#### 六、实验内容

- 1、根据图1.8的电路结构，将差动螺管式电感传感器，音频振荡器，电桥平衡网络，差动

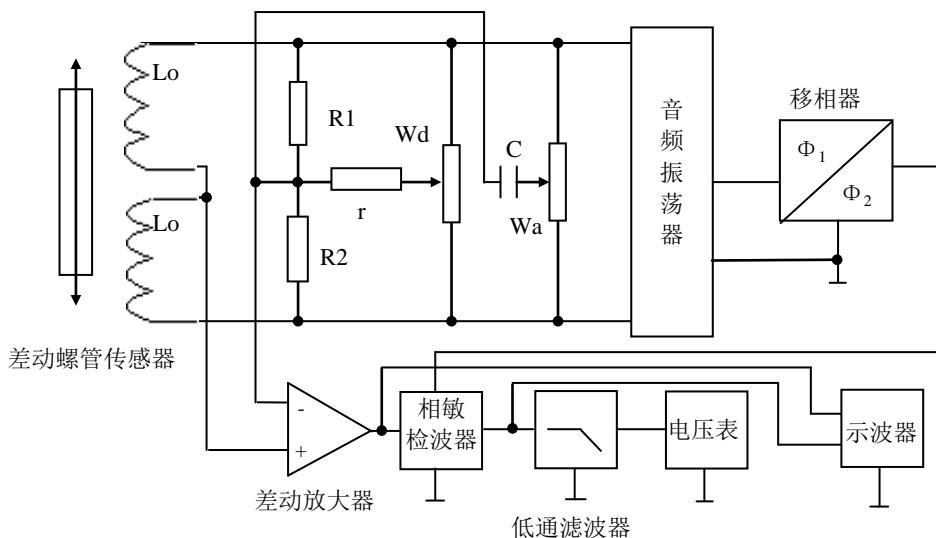


图 1.8 差动螺管式传感器接线图



放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器连接起来，组成一个测量线路。示波器探头分别接至差动放大器输出端和相敏检波器的输出端。

2、转动测微器，振动圆平台中间的磁铁与测微头分离，测微头缩至测微器中，圆平台处于自由静止状态。

3、调整电桥平衡网络的电位器  $W_A$  和  $W_D$ ，使差动放大器的输出端输出的信号最小。这时差动放大器的增益旋钮旋至最大。

4、转动测微器，振动圆平台中间的磁铁与测微头相吸，圆平台处于水平位置（既原自由静止状态位置）附近，仔细转动测微器，差动放大器的输出最小后，再向上转动测微器 5mm，使圆平台的自由端往上位移。

5、调整移相器上的移相电位器，使得电压表显示数值最大。（可以参考相敏检波器的输出波形）。

6 为了减小相敏检波器输出端的两个半波的高低差异，必要时可以调整差动放大器的调零电位器。

7、当衔铁上下移动时，“ $L_0 \neq L_0$ ”，电桥失衡就有输出，大小与衔铁位移量成比例，相位与衔铁移动方向有关，衔铁向上移动和向下移动时输出波形相位差约  $180^\circ$ ，由于电桥输出是一个调幅波，因此必须经过相敏检波器后才能判断电压极性，以衔铁位置居中为起点，分别向上，向下移动。

8、往下旋动测微器，使圆平台的自由端产生位移，记下电压表显示的数值。每隔  $\Delta X$ mm 记一个数值，将所记数据填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta X$  为相应的圆平台位移变化， $\Delta V$  为电压变化）。

X (mm)	0.0										
V (mV)											

## 七、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出传感器静态位移特性曲线图。
- 2、实验与实验 1.2.6 比较相似，请指出它们的各自特点。

## 1.2.9 差动螺管式电感传感器幅频性能研究及应用

### 一、实验目的

了解差动螺管式电感传感器测量动态位移的幅频性能，通过实验可以说明利用差动螺管式电感传感器可进行较大动态位移的测量。

### 二、所需单元和部件

差动变压器，音频振荡器，测微器，V/F表，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器，电桥，低频振荡器。

### 三、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为 5KHz， $L_v$  输出幅度为峰峰 2V，V/F表置于 2KHz 档，差动放大器的增益旋钮旋至中间。低频振荡器的幅度旋钮置于最小，并且接至“激振 I”。

### 四、注意事项

- 1、音频振荡器的信号必须从  $L_v$  输出端输出。
- 2、差动螺管式传感器电感的两个线圈注意接法。
- 3、实验中，电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$  的调整，是配合调整的。
- 4、实验中，为了便于观察，需要调整示波器的灵敏度。

### 五、实验内容

1、根据图 1.9A 的电路结构，将差动螺管式电感传感器，音频振荡器，电桥平衡网络，双线示波器，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器连接起来，组成一个测量线路。示波器探头分别接至差动放大器输出端和相敏检波器的输出端。

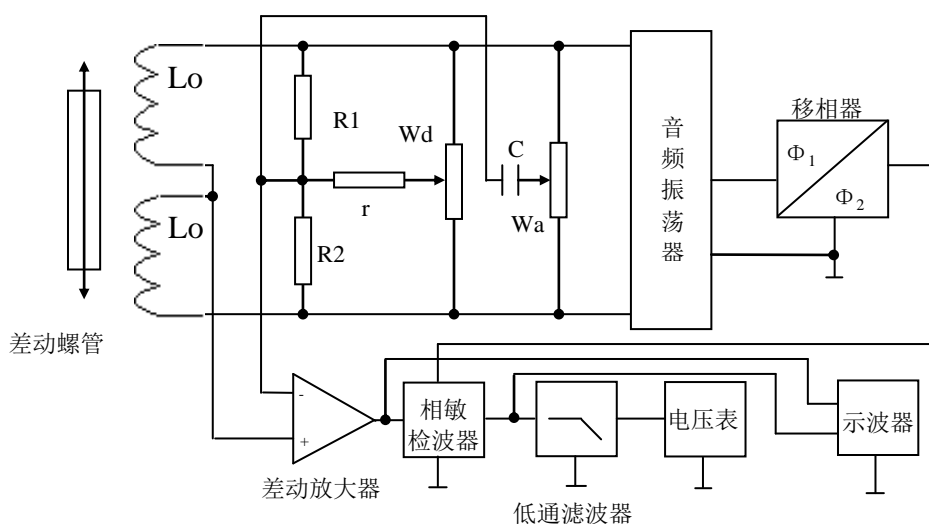


图 1.9 A 差动螺管实验线路图

2、转动测微器，振动圆平台中间的磁棒与测微头分离，测微头缩至测微器中，圆平台振动时不至于再被吸住（此时圆平台处于自由静止状态）。

3、给振动台施加一交变信号，振动台能做上下运动，用示波器观察系统输出幅值是否对称，如不对称做以下 4，5，6 步骤调整。

4、调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，使差动放大器的输出端信号最小。这时差动放大器的增益旋钮旋至最大。（如果电桥平衡网络不过零，则需要调整电感中磁棒的位置）。

5、为减少相敏检波器输出端两个半波的高低差异，可以调整差动放大器的调零电位器。

6、低频振荡器的幅度旋钮固定至某一位置，使圆平台产生上下振动。再调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ （这一步要反复地调），使差动放大器的输出端输出的调幅波信号中显示的残余电压最小。

7、调整移相器上的移相电位器，使得相敏检波器输出端的波形如图 1.9B 所示（时基为小于等于 30KHz 的低频）。

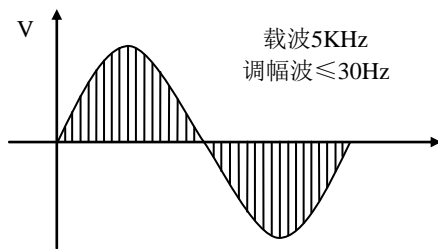


图 1.9 B 相敏检波器输出波形

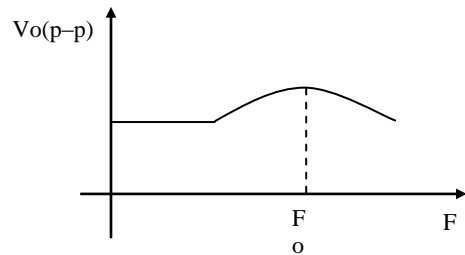


图 1.9 C 幅频特性曲线

8、将示波器探头转接至低通滤波器的输出端。

9、调节频率，调节时用频率表监测频率，用示波器读出峰峰值填入下表，。

F (Hz)												
$V_{O(P-P)}$												

## 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

1、根据实验结果，作出幅频特性曲线。便可得到它的动态测试结果  $V_{O(P-P)} - F$  的曲线图，如图 1.9C 所示。可以知道振动圆平台的自振频率是多少。

2、本实验与实验 1.2.7 比较相似，请指出它们的各自特点。

### 1.2.10 激励频率对差动螺管式电感传感器的影响

#### 一、实验目的

说明在不同激励频率影响下差动螺管式电感传感器的不同特性。

#### 二、所需单元和部件

差动螺管式电感传感器，音频振荡器，差动放大器，电桥，测微头。

#### 三、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为 5KHz， $L_v$  输出幅度居中，V/F 表置于 20KHz 档，差动放大器的增益旋钮适度。

#### 四、注意事项

- 1、音频振荡器的信号必须从  $L_v$  输出端输出，实验过程中幅度不再改变。
- 2、差动螺管式电感的两个线圈注意接法。
- 3、实验中，电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$  的调整，是配合调整的。
- 4、实验中，为了便于观察，需要调整示波器的灵敏度。

#### 五、实验内容

1、根据图 1.10 的电路结构，将差动螺管式电感传感器，音频振荡器，电桥平衡网络，双线圈示波器，差动放大器连接起来，组成一个测量线路。

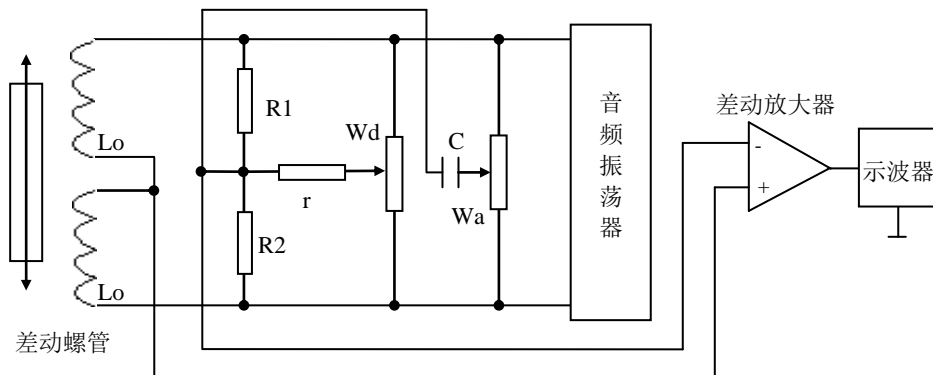


图 1.10 差动螺管实验接线图

2、转动测微器，圆平台处于（目测）水平位置附近。仔细转动测微器，使差动放大器的输出端输出的信号为最小。

3、调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，差动放大器的输出端输出的信号进一步减小。

4、向上转动测微器 5mm，圆平台的自由端往上位移。

5、固定音频振荡器的频率至下表某一个数值，往下旋动测微器，圆平台的自由端产生位移，记录下示波器读出的峰峰值。每隔  $\Delta X$ mm 记一个数值，将所记数据填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta X$  为相对应的圆平台位移变化， $\Delta V$  为电压变化），并作出  $V - X$  关系曲线。

6、调节频率，用频率表监测频率。重复步骤 2、3、4、5。示波器读出各点频率的电压峰峰值填入下表，并作出一组  $V - X$  曲线。计算灵敏度，再作出灵敏度与频率的关系曲线。

X (mm)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
$V_{o(p-p)}$											

7、改变音频振荡器频率，从新调整好零位重复以上步骤，将结果填入下表：

$V_{p-p}$ (V)	X (mm)	0.0										
		F (Hz)										
	1000											
	2000											
	4000											
	6000											
	8000											
	10000											

## 六、实验设备

- 1、CSY — 10 传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验结果，指出激励频率对差动螺管式电感传感器的影响。
- 2、根据所测数据在同一坐标做出  $V - X$  曲线，计算灵敏度，并做出灵敏度与频率的关系曲线。

3、根据实验数据，是否可以看出，差动螺管式电感传感器的灵敏度与频率特性关系密切。某一个特定频率，传感器最为灵敏，在其两边，灵敏度都有所下降。在测试系统中应选用那个激励频率。

### 1.3.1 光纤位移传感器的应用 —— 位移测量

#### 一、实验目的

了解反射式光纤位移传感器用来测量位移的基本原理，和位移——输出电压特性，学会分析外界干扰的影响以及扩充位移传感器的应用范围。

#### 二、实验原理

反射式光纤位移传感器的工作原理如图 1.11 所示，光纤采用 Y 型结构，两束多模光纤一端合并组成光纤探头，在传感系统中，一支为接收光纤，另一支为光源光纤，光纤只起传输信号的作用。当光源发射器发生的红外光时，经光源照射至反射体，被反射的光线经接收至光电转换器，光电元件将接收到的光信号转换为电信号。其输出的光强决定于反射物体距光纤探头的距离，通过对光强的检测而得到的位置量。

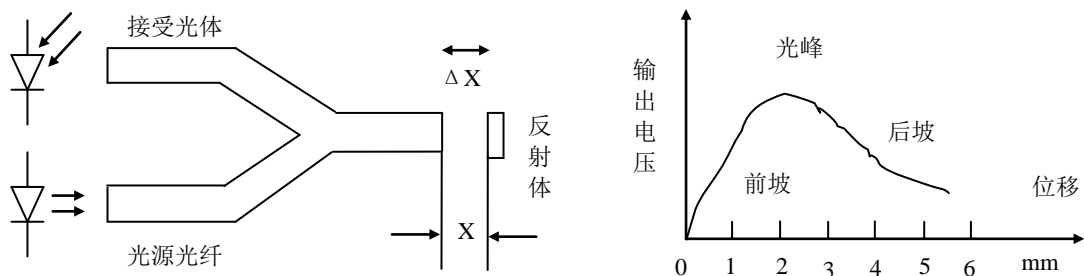


图 1.11 反射式光纤位移传感器原理及输出特性曲线

#### 三、实验所需部件

光纤、光电转换器、光电变换器、低频振荡器、电压表、支架、反射片、测微头。

#### 四、注意事项

- 1、光电变换器工作时  $V_o$  最大输出电压及 2V 左右为好，如增益过高可能导致  $F_o$  端无法读取频率值，可通过调节增益电位器控制。
- 2、实验时请保持反射片的洁净与光纤端面的垂直度。
- 3、工作时光纤端面不宜长时间直接照强光，以免损坏内部电路。
- 4、注意背景光对实验的影响，光纤勿折成锐角。
- 5、仪器的光电转换器都是与仪器单独调配的，请勿互换使用，光电转换器应与仪器编号配对，以保证仪器正常使用。

#### 五、实验内容

1、观察光纤结构，仪器中的光纤探头为半圆型结构，由数百根光导纤维组成，一半为光源光纤，另一半为接收光纤。

2、将原装在电涡流线圈支架上的电涡流线圈取下，装上光纤探头传感器，探头对准镀铬反射片（既电涡流片）。

3、振动台上装上测微头，开启电源，光电变换器  $V_o$  端口接至电压表。旋动测微头，带动振动平台，使光纤探头端面紧贴在反射镜面上（必要时可稍许调整探头角度），此时  $V_o$  输出为最小。然后旋动测微头，使旋动反射镜面离开探头，每隔 0.25mm 取一  $V_o$  电压值填入下表，作出  $V-X$  曲线。

X (mm)	0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0	3.25	3.5
V															

得出输出电压特性曲线如图 1.11 所示分前坡和后坡，通常测量是采用线性较好的前坡。

4、振动实验，移开测微头，振动台处于自由状态，根据  $V-X$  曲线选取前坡中点位置装好光纤探头。低频振荡器输出接“激振 I”，调节激振频率和幅度旋钮，振动台保持适当的振动（以不碰撞光纤探头为宜）。示波器观察  $V_o$  端电压波形。频率表 2K 档读出振动频率。

## 六、实验设备

- 1、CSY—10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、光纤位移传感器的工作原理及优越性。
- 2、有那些因素会影响输出特性曲线的形状，线性范围等？
- 3、影响测量稳定性有那些因素？
- 4、如何克服环境光影响？

### 1.4 综合型应用

#### 1.4.1 光纤传感器——转速测量

##### 一、实验目的

掌握运用单头反射式光纤位移传感器作为转速测量，以及与一般光电式转速测量的比较。

##### 二、实验原理

当光纤探头与反射面的相对位置发生周期性变化时，光电变换器输出电量也发生相应的变化，经 V/F 电路变换，成方波频率信号输出。

### 三、实验所需部件

光纤，光电变换器，测速电机以及转盘，电压/频率表。

### 四、注意事项

- 1、光纤探头在支架上固定时应保持与转盘平行，切不可相擦，以免使光纤端面受损。
- 2、电机开关平时应置于关闭状态，以保证稳压电源正常工作。
- 3、实验时应避免强光直接照射转盘盘面，以免造成测试误差。
- 4、作为转动件，边缘的水平跳动不能大于 2mm，否则会影响测量的准确性，若与光纤探头碰撞还会损坏光纤探头和转动件

### 五、实验内容

- 1、继实验 1.3.1，将光纤探头转一角度置于测速电机上方，并调整探头高度，使其距离转盘面约 1mm 左右，光纤探头对准转盘边缘内 3mm 处为宜。
- 2、光电变换器 Fo 端分别接入电压/频率表 2KHz 档和示波器 DC 档。开启电机开关，调节转盘转速，用示波器观察输出波形并读出频率
- 3、测量转速时“光纤输出”和“光电输出”必须首先接入“转速信号入”端，经整形电路输出，在“转速信号出”端口读取频率信号。  
电机转速 = Fo 端口方波频率除以 2（每周两个方波信号）。
- 4、调节电机转速，使电机转速从 10 ~ 60Hz（相当于 600~3600 转/分）每隔 5Hz 观察光纤传感器的测量值，并记录数据。

转动光源 输出 F1											
光纤转速 输出 F2											

### 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器

### 七、仪器说明书

见附录。

### 八、实验报告

- 1、光纤转速传感器的工作原理及优越性。
- 2、有那些因素会影响测量准确性？
- 3、影响测量稳定性有那些因素？
- 4、任何克服环境光影响？



## 1.4.2 光电传感器的应用——光电转速测量

### 一、实验目的

了解光电开关的原理和应用。


### 二、实验原理

光电开关由红外发射、接收以及整形电路组成，为遮断式工作方式。

### 三、实验所需部件

光电传感器、光电变换器、测速电机以及转盘、电压/频率表置于 2KHz 档、等。

### 四、实验内容

- 1、光电传感器“光电”端接光电变换器输入端（见图）， $V_F$ 端接示波器和电压/频率表 2KHz 档。
- 2、装好光电传感器位置，勿与转盘盘面相碰。
- 3、接通电源，调节电机转速。用示波器观察光电变换器  $V_F$  端（转速信号输出端），同时读出波形频率，与频率表读数值进行比较。
- 4、电机转速 = 方波的频率  $\div 2$
- 5、将一较强光源照射仪器转盘上方，观察测试方波信号是否正常。

### 五、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

### 六、仪器说明书

见附录。

### 七、实验报告

- 1、实验可以得出什么结论？
- 2、工作可靠性？

## 1.4.3 电涡流式传感器电子秤实例

### 一、实验目的

说明电涡流式传感器在静态测量中的应用。

## 二、所需单元和部件

电涡流传感器，电涡流变换器，铁测片，差动放大器，电桥，V/F表，稳压电源，砝码。

## 三、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源置于0V档，V/F表置于20V档，差动放大器的增益旋钮旋至最小。

## 四、注意事项

实验过程中，注意不要超出电涡流式传感器的量程范围。

## 五、实验内容

1、根据图 1.12 的电路结构，将电涡流传感器探头，电涡流变换器，差动放大器，电压表连接起来，组成一个测量电路。

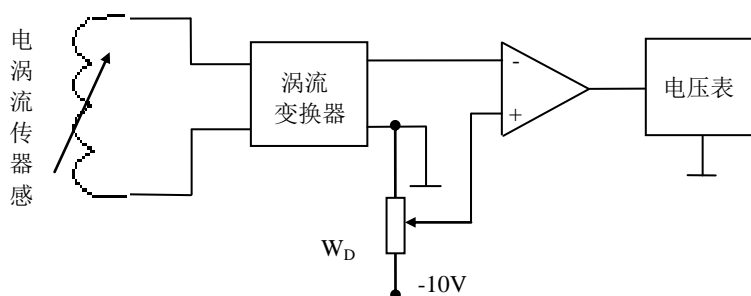


图 1.12 电涡流传感器接线图

2、转动测微器，振动圆平台中间的磁铁与测微头分离，测微头缩至测微器中，圆平台振动时不至于再被吸住（振动圆平台处于自由静止状态），适当调整电涡流传感器探头的高低位置，以实验 1.2.1 的结果（线性范围的上点附近为佳）为参考。

3、调节电桥平衡网络，使电压表读数为零。

4、按下表提示，在振动平台中间加不同重量的砝码，进行标定，将结果填入下表。并作出对应的  $W - V$  曲线。

W (g)											
V (mV)											

5、去除砝码，在振动平台中间加一个未知的重物，记录电压表的读数。

## 六、实验设备

1、CSY — 10 型传感器实验仪。

2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验数据，求出重物的重量。
- 2、将这个电子秤方案投入实际应用，那些部分需要改进。

### 1.4.4 差动变压器式电感传感器的电子秤实验

#### 一、实验目的

了解差动变压器式电感传感器用于电子秤的应用。

#### 二、所需单元和部件

差动变压器式电感传感器，音频放大器，差动放大器，电桥，V/F 表，砝码，相敏检波器，移相器，低通滤波器。

#### 三、有关旋钮的初始位置

音频振荡器频率为 4KHz， $L_v$  输出幅度为峰峰值 2V，差动放大器的增益旋钮旋至中间，V/F 表置于 2V 档。

#### 四、注意事项

- 1、音频振荡器的信号必须从  $L_v$  输出端输出。
- 2、转动变压器的两个电感线圈必须接成差动形式。
- 3、实验过程中，电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$  的调整，是配合调整的。
- 4、实验过程中，差动放大器的增益旋钮不能改变。
- 5、振动圆平台的在加减砝码时不能与其它物体相碰撞。

#### 五、实验内容

- 1、转动测微器，振动圆平台中间的磁铁与测微头分离，测微头缩至测微器中，振动时不再被吸住（振动圆平台处于自由静止状态）。
- 2、根据图 1.13 的电路结构，将差动变压器式电感传感器，音频放大器，差动放大器，电桥，V/F 表，相敏检波器，移相器，低通滤波器，双线示波器连接起来，组成一个测量线路。将示波器探头分别接至差动放大器的输出端和相敏检波器的输出端。

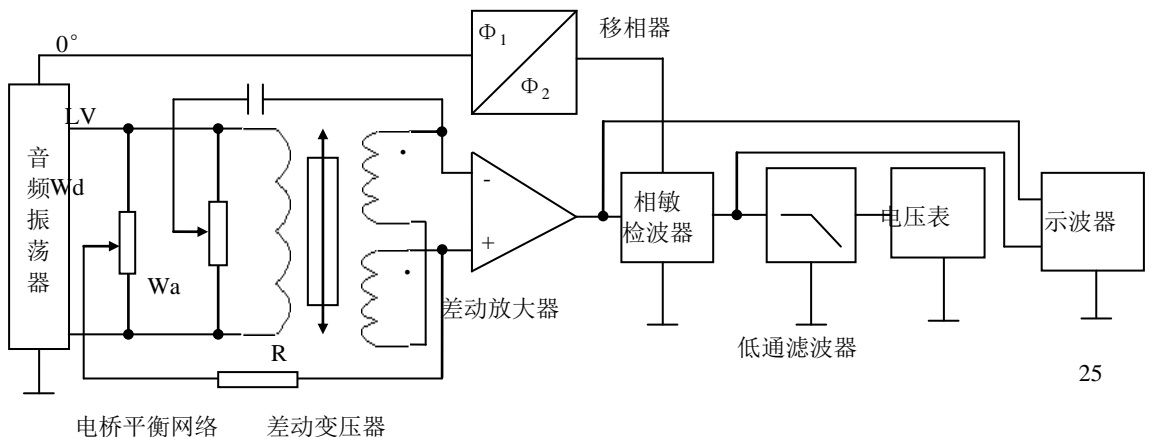


图 1.13 差动变压器电子秤线路图

3、调整电桥平衡电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，使差动放大器的输出端输出的信号最小，差动放大器的增益旋钮旋至最大。（如果电桥平衡网络调整不过零，则需要调整电感中磁铁的位置）。

4、为减小相敏检波器输出端的两个半波的高低差异，可调整差动放大器的调零电位器。

5、按下表提示，在振动平台中间加不同重量的砝码，进行标定，将结果填入下表。并作出对应的  $W - V$  曲线。

W (g)	0.0											
V (mV)												

6、去除砝码，在振动平台中间加一个未知的重物，记录电压表的读数。

## 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验数据，求出重物的重量。
- 2、这个电子秤方案投入实际应用，那些部分需要改进。
- 3、与实验 1.4.3 进行比较，回答各自的特点。

### 1.4.5 电涡流式传感器转速测量

#### 一、实验目的

了解电涡流式传感器在测量转速方面的应用。

#### 二、实验原理

本实验仪采用光电开关（光断续器）作为转速测量的基准参考。

光电偶器件是由发光元件和光敏器件组合在一起的四端器件。它的输入端口通常配置发光二极管，实现电—光转换。在它的输出端口通常采用光敏二极管、光敏三极管，实现光—电转换。光电偶器件的输入端和输出端之间在电器上是绝缘的。只能由光电传输信号。按使用目的的不同，可分为光耦合器和光“断续器”。前者主要用于电路内的场合，后者作为一个非接触

式传感器，是专门用来检测物体的传感器。可用于许多场合。本实验仪实验台上电机旁一个立柱上装有“光”断续器，电机的转盘是处于“断续器”的中间，当平面线圈与金属被测物体的相对位置发生周期变化时，电涡流及线圈阻抗的变化经涡流变换器转换为周期性的电压信号变化，用来测量转速。

### 三、所需单元和部件

涡流变换器，涡流式传感器探头，V/F表，电机转动盘，电机控制器。

### 四、有关旋钮的初始位置

V/F表置于2KHz档。

### 五、实验步骤

1、电涡流线圈支架转一角度，安装于电机转盘上方，线圈与转盘面平行，在不碰撞的情况下相距越近越好。

2、根据图示 1.14 的电路结构，将涡流传感器探头，涡流变换器，电压表连接起来，组成一个测量线路。同时可将示波器接至涡流传感器的输出端。

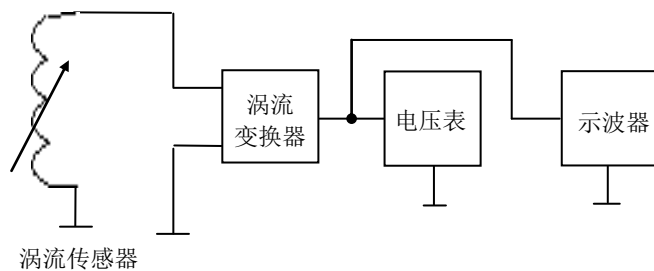


图 1.14 电涡流测转速接线图

3、开启电机开关，调节转速，调整平面线圈在转盘上方的位置，用示波器观察，使变换器输出的脉动波形较为对称。

4、仔细观察示波器中两相邻波形是否一样，如有差异则说明线圈与转盘面有不平行，或是电机有振动现象。利用实验（1.2.3）中铁涡流片的特性曲线大致判断转盘面与线圈的不平行度。

5、电压/频率表 2KHz 档接入涡流变换器输出端读取脉动波形变化周期值，并与示波器读取的频率数值作比较。转盘的转速 = 脉动波形数 ÷ 2。

6、在每一个转速点记下电涡流测量转速的频率表显示值，并将频率表输入端改接在电机控制器输出端，读出光电开关的测试值（一一对应），从而得到一组测试值。

### 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

### 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验结果，作出相应曲线。
- 2、分析电涡流测转速与光电测转速的不同点。

# 第二章 振动的测量

## 2.1 常用振动传感器

机械振动测试方法一般有机电方法，光学方法和电测方法。各种测试方法要采用相对应的测量振动传感器。可用于测量振动传感器按测量量分有位移式传感器，速度式传感器，加速度式传感器。按测量方式分有相对式传感器，绝对式传感器。按测量原理分有磁电式传感器，压电式传感器，电阻式应变式，电感式，电容式等传感器。本章节主要介绍压电式传感器、磁电式传感器（含霍耳式传感器）、和光纤传感器的使用特点。

## 2.2 振动测量

### 2.2.1 压电式传感器的性能及应用

#### 一、实验目的

了解压电式传感器的工作原理和工作情况。

#### 二、实验原理

压电式传感器是一种典型的有源传感器（发电型传感器）。压电传感元件是力敏感元件，在压力，应力，加速度等外力作用下，在电介质表面产生电荷，从而实现非电量的电测。

#### 三、所需单元和部件

压电式传感器，差动放大器，低通滤波器，低频振荡，V/F表。

#### 四、有关旋钮的初始位置

差动放大器增益旋钮置于中间，低频振荡器输出端，接“激振 II”，幅度旋钮置于最小，V/F表置于频率表。

#### 五、注意事项

实验过程中，低频振荡器幅度旋钮不能过大，以梁振动时不碰撞其它器件为佳。悬臂梁振动频率不能低于 5Hz，否则电荷放大器将无输出。

#### 六、实验内容

1、观察压电式传感器的结构，由 PZT 双压电陶瓷晶片、惯性质量块、压簧、引出电极组装于塑料外壳中。根据图 2.1 的电路结构，将压电式传感器，差动放大器，低通滤波器，双线示波器连接起来，组成一个测量线路，并将低频振荡器的输出端与频率表的输入端相连。

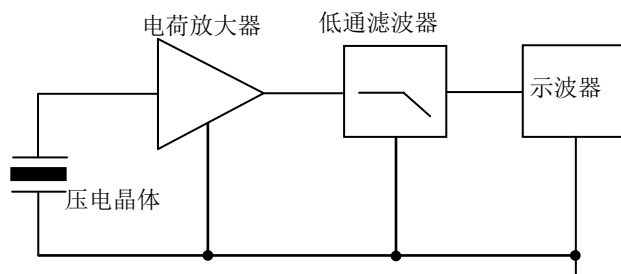


图 2.1 压电式传感器线路图

2、当悬臂梁处于谐振状态时振幅最大，此时示波器所观察到的波形  $V_{P-P}$  也最大。

3、调整好示波器，低频振荡器的幅度旋钮固定至适中位置，调节频率与振幅，用示波器观察低通滤波器，调节时用频率表监测频率，用示波器读出峰峰值填入下表。

F (Hz)	5										
$V_{P-P}$											

## 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验结果，可以知道悬臂梁的自振频率大致为多少。
- 2、试回答压电式传感器与其它传感器的各自特点。

### 2.2.2 磁电式传感器的性能及应用

#### 一、实验目的

了解磁电式传感器的工作原理和工作情况。

#### 二、实验原理

磁电式传感器是一种能将非电量的变化转为感应电动势的传感器，所以也称为感应式传感器。根据电磁感应定律， $\omega$  匝线圈中的感应电动势  $e$  的大小决定于穿过线圈的磁通  $\Phi$  的变化率： $e = -\omega \cdot d\omega/dt$ 。仪器中的磁电式传感器由“动铁”与感应线圈组成，永久磁钢做成的“动铁”产生恒定的直流磁场，当“动铁”与线圈有相对运动时，线圈与磁场中的磁通交链产生感应电势， $e$  与磁通变化率成正比，所以是一种动态传感器。

#### 三、所需单元和部件

磁电式传感器，差动放大器，低频振荡器，激振器（I），涡流式传感器，涡流变换器。

#### 四、有关旋钮的初始位置

差动放大器增益旋钮置于中间，低频振荡器幅度旋钮置于最小，并与“激振 I”连接。

### 五、注意事项

实验过程中，低频振荡器幅度旋钮不能过大，以振动时不碰撞其它物体为佳。

### 六、实验内容

1、观察磁电式传感器的结构，根据图 2.2A 的电路结构，将磁电式传感器，差动放大器，双线示波器连接起来，组成一个实验线路，并将低频振荡器的输出端与频率表的输入端相连。接通电源，调节振荡器频率和幅度，观察输出波形。

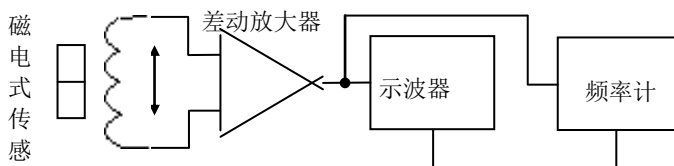


图 2.2 A 磁电式传感器接线图

2、按图 2.2B 接好电涡流线圈和金属涡流片，注意两者必须保持平行（必要时可稍许调整探头角度）因为不要求进行位置测量，所以平面线圈与金属涡流片的相对位置可以高些，以振动时不相碰撞为宜。

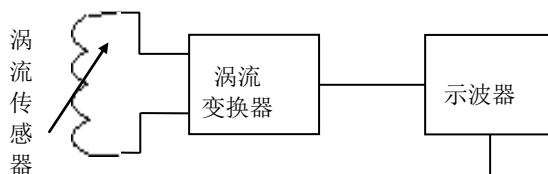


图 2.2 B 电涡流传感器接线图

3、双线示波器的通道 1 和通道 2 分别接差动放大器的输出端和涡流变换器的输出端，反复调节低频振荡器的振动频率和振幅，观察比较两波形。通过观察，可以得出结论：磁电式传感器对速度敏感，电涡流传感器对位置敏感，速度变化对它影响不大。

4、将“激振 I”与“磁电”端接线互换，接通低频振荡器，观察差动放大器的输出端波形。与原磁电式传感器波形比较。可以得出结论，磁电式传感器是一种磁变电，电变磁转换的双向式传感器。

F (Hz)	5									
V (P-P)										

### 七、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。



## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，可以知道振动台的自振频率是多少。
- 2、试回答磁电式传感器与电涡流传感器之间的特点。

### 2.2.3 霍耳式传感器直流激励的静态位移性能

#### 一、实验目的

了解霍耳式传感器的工作原理和工作情况，学会使用霍耳传感器做静态位移测试。

#### 二、实验原理

霍尔式传感器是由两个环形磁钢组成的梯度磁场和位于梯度磁场中的霍尔元件组成。当霍尔元件通以恒定电流时，霍尔元件就有电势输出。霍尔元件在梯度磁场中上、下移动时，输出的霍尔电势  $V$  值取决于其在磁场中的位置量  $X$ ，所以测量得到的霍尔电势的大小便可获知霍尔元件的静态位移。

#### 三、所需单元和部件

霍耳式传感器，直流稳压电源，差动放大器，电桥，测微器，V/F表。

#### 四、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源输出置于 0V 档，V/F 表置于 20V 档，差动放大器增益旋钮置于中间。

#### 五、注意事项

- 1、振动圆平台处于（目测）水平位置，霍耳片应处于环形磁铁（示意图 2.3A 的中间）。
- 2、直流激励不能过大，以免损坏霍耳片。
- 3、本实验按测出的实际上是磁场的分布情况，它的线性越好，位移测量的线性度也越好，它的变化越陡，位移测量的灵敏度也就越大。

#### 六、实验内容

1、根据图 2.3A 观察霍耳式传感器的结构，根据图 2.3B 的电路结构，将霍耳式传感器，直流稳压电源，差动放大器，电桥，测微器，V/F 表连接起来，组成一个测量线路。

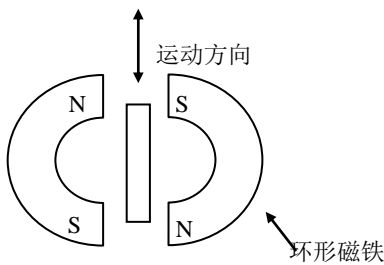


图 2.3 A 霍耳传感器的结构

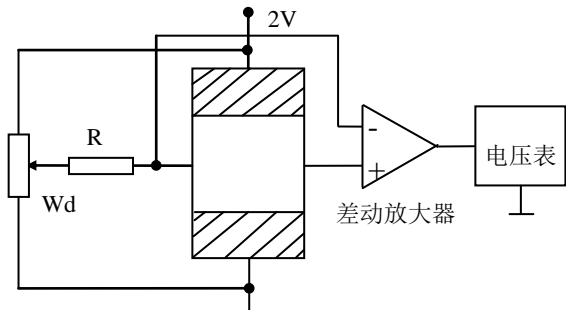


图 2.3 B 霍耳传感器接线图

2、转动测微器，振动圆平台处于（目测）水平位置，向上转动 2mm，圆平台的自由端往上产生位移。

3、将直流稳压电源置于 2V 档，调整电桥平衡电位器  $W_d$ ，使电压表指示为零，稳定数分钟后，再仔细调零。

4、往下旋动测微器，振动圆平台的自由端往下产生位移，记电压表显示数值。每次位移  $\Delta X$ mm，记一个电压表数值，将所记数据填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为相应的圆平台端位移变化）。

X (mm)	0.0										
V(mV)											

### 七、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

### 八、仪器说明书

见附录。

### 九、实验报告

- 1、根据实验结果，作出  $V - X$  关系曲线。
- 2、结合梯度磁场分布，回答为什么霍尔片应处于环形磁铁的中间。

## 2.2.4 霍尔式传感器交流激励的静态位移性能

### 一、实验目的

了解霍尔式传感器交流激励下的工作情况。

### 二、所需单元和部件

霍尔式传感器，移相器，差动放大器，电桥，音频振荡器，V/F 表，相敏检波器，低通滤波器，测微器。

### 三、有关旋钮的初始位置

V/F 表置于 20V 档，差动放大器增益旋钮置于中间，低频振荡器接至“激振 I”，音频振荡器的频率为 4KHz，LV 输出幅度为峰峰值 2V。

### 四、注意事项

- 1、振动圆平台处于（目测）水平位置时，霍尔片应处于环形磁铁中间，否则要调整环形磁铁的位置。
- 2、实验中，交流激励信号应从音频振荡器电压  $180^\circ$  输出端输出，幅度严格限定在  $V_{p-p}5V$  以下，以免损坏霍尔片。

## 五、实验内容

1、观察霍耳传感器的结构，根据图 2.4 的电路结构，将霍耳传感器，电桥平衡网络，差动放大器，相敏检波器，低通滤波器，测微器，V/F 表连接起来，组成一个测量线路。示波器探头分别接至差动放大器的输出端和相敏检波器的输出端。

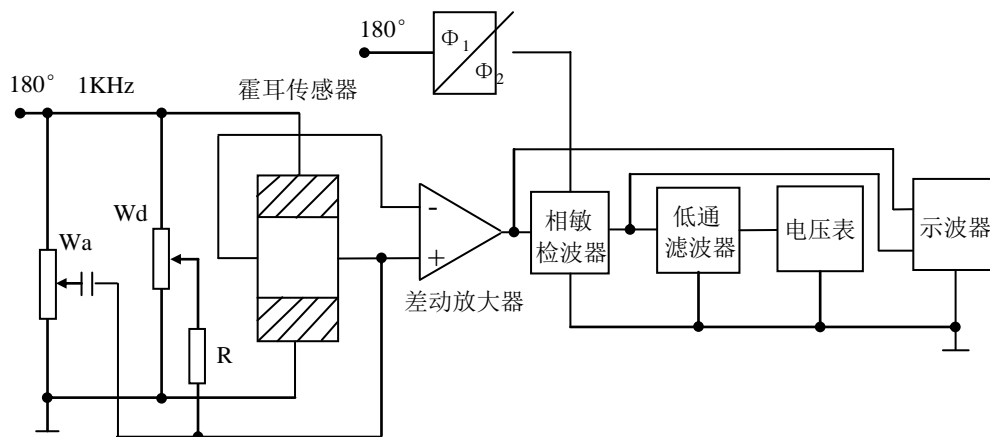


图 2.4 霍耳传感器交流激励线路图

2、转动测微器，振动圆平台处于（目测）水平位置时，调整电桥平衡电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，差动放大器的输出为最小（用示波器观察）稳定数分钟后，再仔细调零。

3、往上旋动测微器 2mm，振动圆平台的自由端往上产生位移，调整移相电位器，电压表指示为最大（绝对值），同时观察相敏检波器的输出波形。

4、往下旋动测微器，振动圆平台的自由端往下产生位移，记电压表显示数值。每次位移  $\Delta X$ mm，记一个电压表数值，将所记数据填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为平台端点位移变化）。

X (mm)	0.0									
V(mV)										

## 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验结果，作出  $V - X$  关系曲线。
- 2、叙说并解释示波器上观察到的波形。

### 2.2.5 霍尔传感器振幅测量

#### 一、实验目的

通过本实验了解霍尔式传感器在振动测量中的作用。

#### 二、实验所需部件

霍尔传感器、电桥、差动放大器、移相器、相敏检波器、低通滤波器、低通滤波器、直流稳压电源。

#### 三、实验内容

- 1、图 2.5A 接线，将系统调零。

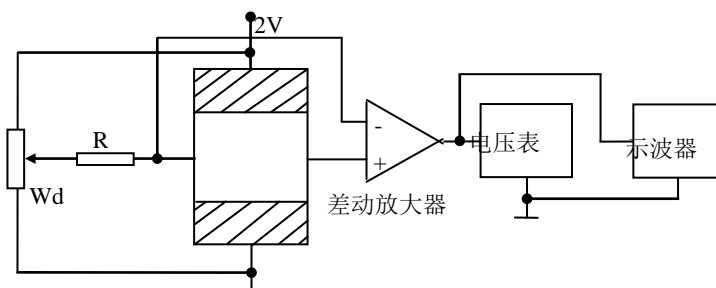


图 2.5 A 霍尔传感器线路图

- 2、低频振荡器接“激振 I”保持适当振幅，用示波器观察差动放大器输出波形。
- 3、进一步提高低频振幅，示波器观察差动放大器输出波形，当波形出现顶部削顶时，说明霍尔元件已进入均匀磁场，霍尔电压已不再随位移量的增加而线性增加。
- 4、再按图 2.5B 交流激励接线，调节电桥与移相器，提压振动圆盘，使低通移相器输出电压正负对称。

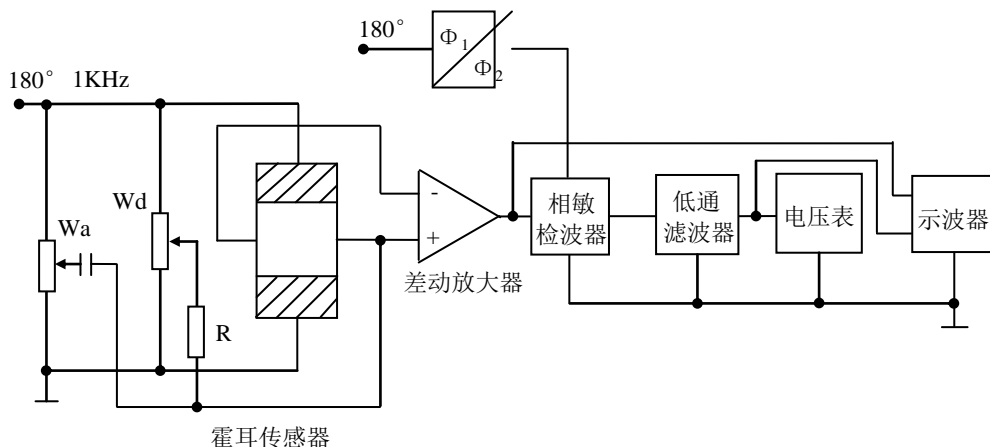


图 2.5 B 霍尔传感器振动测量线路图

5、接通低频振荡器，保持适当振幅，用示波器观察差动放大器和低通滤波器的输出端波形，并加以描绘。

#### 四、注意事项

- 1、振动圆平台处于（目测）水平位置时，霍耳片应处于环形磁铁中间。
- 2、交流激励信号应从音频振荡器电压  $180^\circ$  输出端输出，幅度严格限定在  $V_{p-p}5V$  以下。

#### 五、实验设备

- 1、CSY—10型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

#### 六、仪器说明书

见附录。

#### 七、实验报告

解释在激励源为交流信号，位移变化信号也为交流时需采用相敏检波器的原因。

### 2.2.6 霍耳式传感器的应用——电子秤实验

#### 一、实验目的

说明线性霍耳式传感器的实际应用。

#### 二、所需单元和部件

霍耳式传感器，差动放大器，电桥，V/F表，砝码，直流稳压电源，振动圆盘。

#### 三、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源置于0V档，V/F表置于20V档，差动放大器的增益旋钮旋至最小。

#### 四、注意事项

- 1、振动圆平台处于（自由）水平位置时，霍耳式传感器应处于环型磁铁的中间，否则要调整环形磁铁的位置。
- 2、实验过程中，差动放大器的增益旋钮不能改变。
- 3、振动圆平台处于自由平衡，在加减砝码时不能与其它器件相碰撞。
- 4、霍尔式传感器在做称重实验时只能工作在梯度磁场中，所以砝码和被称重物都不应太重。
- 5、砝码应置于圆平台的中间部分，避免平台倾斜。

## 五、实验内容

1、转动测微器，将振动圆平台中间的磁铁与测微头分离，测微头缩至测微器中，圆平台运动时不至于再被吸住（这时圆平台处于自由静止状态）。

2、根据图 2.6 的电路结构，霍耳式传感器，差动放大器，电桥，V/F 表，直流稳压电源连接起来，组成一个测量线路，使输出为零。系统灵敏尽量大（输出以不饱和为标准）

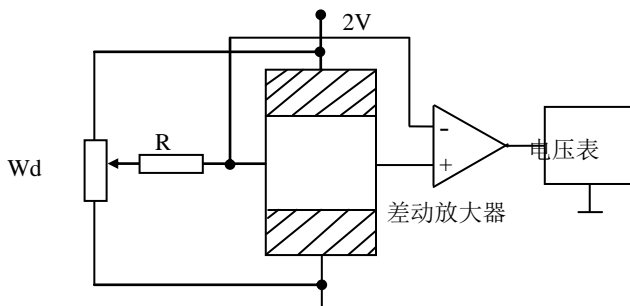


图 2.6 霍耳传感器线路图

3、调整电桥平衡电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，差动放大器的输出端为零（这时，直流稳压电源应置于 2V 档，电压表应置于 2V 档）。

4、按下表提示，在振动平台中间加不同重量的砝码，进行标定，将结果填入下表。并作出对应的  $W - V$  曲线。

5、移走称重砝码，在振动平台中间加一个未知的重物，记录电压表的读数。

重量 (G)										
电压 (V)										

## 六、实验设备

CSY — 10 型传感器实验仪。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验数据，求出重物的重量。
- 2、将这个电子秤方案投入实际应用，那些部分需要改进。
- 3、与实验 1.4.3, 1.4.4 进行比较，回答各自的特点。

## 2.2.7 光纤传感器振动测量

### 一、实验目的

过实验了解光纤位移传感器的动态响应以及用它来测量振动。

### 二、实验原理

镀铬反射片安装在振动台上，光纤位移传感器的探头对准反射片，组成了测振传感器系统。这种传感器工作原理与光纤位移传感器相同，光源发出的光，由发射光纤传输并投射到反射镜片的表面上，然后反射，由接收光纤接收并传回光敏元件，当反射片随振动而发生位置变化时，输出的信号也跟着发生变化，如果振动是周期性的，那么反射片的位置变化也是周期性的变化，因此输出信号也是周期性的变化。根据位移—输出特性曲线，适当选择光纤探头的反射片的起始位置，就可以测量出振动频率，和振幅。

### 三、实验所需部件

光纤传感器、光电转换器、光电变换器、低频振荡器“激振 I”、V/F 表、支架、反射片。

### 四、注意事项

- 1、光电变换器工作时  $V_o$  最大输出电压及 2V 左右为好，如增益过高可能导致  $F_o$  端无法读取频率值，可通过调节增益电位器控制。
- 2、实验时请保持反射片的洁净与光纤端面的垂直度。
- 3、工作时光纤传感器端面不宜长时间直接照强光，以免损坏内部电路。
- 4、注意背景光对实验的影响，光纤勿折成锐角。
- 5、仪器的光电转换器都是与仪器单独调配的，请勿互换使用，光电转换器应与仪器编号配对，以保证仪器正常使用。

### 五、实验内容

- 1、观察光纤传感器结构，仪器中的光纤探头为半圆型结构，由数百根光导纤维组成，一半为光源光纤，另一半为接收光纤。
- 2、将原装在电涡流线圈支架上的电涡流线圈取下，装上光纤传感器探头，探头对准镀铬反射片（既电涡流片）。
- 3、细心调节探头和反射片的距离（根据实验 1.3.1 曲线  $V - X$ ）选取前坡中点位置安装好光纤传感器探头。
- 4、显示仪表置于频率测量档位，信号源输出的信号  $F_i$  应从低频振荡器输出口取得。光纤输出信号  $F_o$  应从光电变换器的光纤输出口取得。
- 5、低频振荡器输出幅度调至最小，将低频振荡器的接“激励 I”调节激振源频率和幅度，使振动台保持适当的幅度的振动（以不碰到光纤探头为宜）。调节振动频率旋钮，观察振动源输出频率范围在（5~28Hz 之间）时的振幅是否正常。
- 6、调节振动源输出频率使振动频率从 5~18Hz，每隔 1 Hz，观察光纤传感器测量值并填入下表，作出  $F_i - F_o$  曲线计算出线性度和误差。

振动源 频率 $F_i$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
光纤输出 频率 $F_o$														

### 六、注意事项

实验时特别注意，振动台在谐振附近（包括谐振点），在激励源不变的情况下，振幅会变得很大，容易损坏光纤探头。

### 七、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

### 八、仪器说明书

见附录。

### 九、实验报告

- 1、传感器的工作原理和优越性。
- 2、有那些因素影响测量的准确性。
- 3、影响测量稳定性有那些因素。
- 4、你能构思一台手持示非接触光纤振动测量仪。



## 第 3 章 温度的测量

### 3.1 常用温度传感器

温度是描述系统不同能量分布状况的基本物理量。温度是决定系统是否与其它系统处于热平衡的条件，其特征在于所有热平衡的系统都具有相同的温度。温度的测量就是建立在热平衡基础上的。温度的测量主要有接触式与非接触式二种方法。传感器有热电偶式，热敏电阻式，半导体 P—N 结式传感器等。本章节主要介绍半导体 P—N 结传感器、热敏电阻式温度传感器、热电偶温度式传感器。

### 3.2 温度测量

#### 3.2.1 热电偶传感器的温度效应

##### 一、实验目的

了解热电偶传感器的工作原理和工作情况，学会查阅热电偶分度表。

##### 二、实验原理

热电偶的基本工作原理是热电效应，当其热端和冷端的温度不同时，既产生热电动势。通过测量此电动势既可知道两端温差。如固定某一端温度（一般固定冷端为室温或  $0^{\circ}\text{C}$ ），则另一端的温度就可知，从而实现温度的测量。CSY 系列实验仪中热电偶为铜—康铜（T 分度）和镍铬—镍硅（K 分度）。

##### 三、所需单元和部件：

热电偶，加热器，差动放大器，V/F 表，水银温度计。

##### 四、有关旋钮的初始位置

V/F 表置于 2V 档，加热器处于关闭状态。

##### 五、注意事项

- 1、差动放大器的放大被数  $\approx 100$  倍。由于差动放大器放大后的热电势并非十分精确，因此查表所得到的热端温度也为近似值。
- 2、水银温度计安置时，不要放在应变片上，只要触及应变片附近的梁体即可。及室温。
- 3、本实验采用的热电偶材料为铜——康铜。
- 4、本实验仪中，有 2 组热电偶，成串联接法，所以电压表显示的热电势是 2 组热电偶产生的电势的总和，公式计算时，应将电压表显示值除以 2 既为  $E(T, T_1)$ 。

##### 六、实验内容

1、根据图 3.1 示的电路结构，将热电偶和电压表连接起来，组成一个测量线路（加热器处于关闭状态），记录下水银温度计的读数（即室温）。

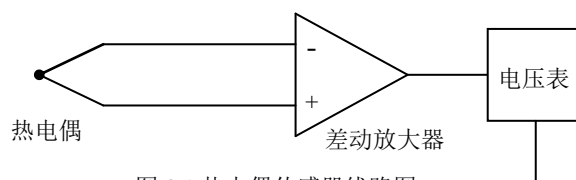


图 3.1 热电偶传感器线路图

2、按下加热器开关，电压表显示的数值会慢慢地发生变化。当变化趋于稳定时，（到达热平衡需要一定的时间）记录电压表电压表显示的数值与水银温度计的读数。

3、根据热电偶中间温度定律的计算公式，试计算出工作端的温度，并与水银温度计的读数进行比较。

4、在热电偶回路中，俩接点温度为  $T$ 、 $T_0$  时的热电势等于热电偶在接点温度为  $T$ 、 $T_1$  和  $T_1$ 、 $T_0$  时热电势的代数和。即

$$E(T, T_0) = E(T, T_1) + E(T_1, T_0)$$

根据这一定律，只要给出热电偶自由端为  $0^\circ\text{C}$  时的热电势和温度的关系（即下列的热电偶的分度表），就可求出俩点在任意温度时的热电势，再求出测量端的温度来。

附、铜—康铜热电表（自由端温度为  $0^\circ\text{C}$ ）（ $S = \Delta E / \Delta T$ ）

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	S ( $\mu\text{V}$ )
0	0.000	0.039	0.078	0.116	0.155	0.194	0.234	0.173	0.312	0.352	38.6
10	0.391	0.431	0.471	0.510	0.550	0.590	0.630	0.671	0.711	0.751	39.5
20	0.792	0.832	0.873	0.914	0.954	0.995	1.036	1.077	1.118	1.159	40.4
30	1.201	1.242	1.284	1.352	1.367	1.408	1.450	1.492	1.534	1.576	41.3
40	1.618	1.661	1.703	1.745	1.788	1.830	1.873	1.916	1.958	2.001	42.4
50	2.044	2.087	2.130	2.174	2.217	2.260	2.304	2.347	2.391	2.435	43.0
60	2.478	2.522	2.566	2.610	2.654	2.698	2.743	2.787	2.831	2.876	49.8
70	3.920	3.965	3.010	3.054	3.099	3.144	3.189	3.234	3.279	3.325	44.5
80	3.370	3.415	3.491	3.506	3.552	3.597	3.643	3.689	3.735	3.781	45.3
90	3.827	3.873	3.919	3.965	4.012	4.058	4.105	4.151	4.198	4.244	46.0
100	4.291	4.338	4.385	4.432	4.479	4.529	4.573	4.621	4.668	4.715	46.8

## 七、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、水银温度计。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

本实验中，先根据温度计读出的室温，从分度表中读出  $E(T_1, T_0)$ ，再加上电压表读出来的工作端热电势  $E(T, T_1)$ ，求出  $E(T, T_0)$ ，而后从分度表中查出来。

### 3.2.2 热敏电阻传感器的温度计量

#### 一、实验目的

了解热敏电阻传感器测量温度的原理和工作情况。

#### 二、实验原理

半导体材料制成的热敏电阻具有灵敏度高，可用各领域的优点，热电偶一般测高温线性较好，热敏电阻则用于 200 度以下温度较为方便，本实验中所用热敏电阻为负温度系数。温度变化时热敏电阻阻值的变化、将导致运放电路组成的压/阻变换电路的输出电压发生相应变化。

#### 三、所需单元和部件

热敏电阻，温度变换器，加热器，V/F 表，温度计（可用仪器中的 P—N 结温度传感器或热电偶作测温参考）。

#### 四、有关旋钮的初始位置

V/F 表置于 20V 档。

#### 五、注意事项

- 1、水银温度计探头安置时，不要放在应变片上，只要触及应变片附近的梁体即可。及室温。
- 2、本实验采用的热敏电阻为 NTC 热敏电阻，负温度系数。

#### 六、实验内容

1、根据图 3.2 的电路结构，将热敏电阻和温度变换器、电压表连接起来，组成一个测量电路。（加热器处于关闭状态），记录下水银温度计的读数（即室温）。调节“增益”旋钮，使加热前电压输出  $V_0$  端电压值尽可能大但不能饱和。用温度计测出环境温度  $T_0$  值并记录。



图 3.2 热敏电阻传感器接线图

2、打开加热器开关，电压表显示的数值会慢慢发生变化。每升高  $1^{\circ}\text{C}$  记录一个电压值，当变化趋于稳定状态时，（到达热平衡需要一定的时间）记录电压表显示的数值与水银温度计的读数。

3、在加热器过程中，也可以随时关闭加热器开关，此时电压表显示的峰值的数值与水银温度计的读数会出现在一个相对稳定的峰值（读数先升后降），记录此时电压表显示的峰值与水银温度计的读数。

4、在实验过程中，不应变动调零电位器。

To (°C)															
Vo (V)															

5、负温度系数热敏电阻的电阻温度特性可表示为

$$R_t = R_{t_0} \exp [B_n (1/T_0)]$$

式中  $R_t$ ， $R_{t_0}$  分别为温度  $T$ ， $T_0$  时的阻值， $B_n$  为电阻常数，它与材料激活能有关，一般情况下， $B_n=2000—6000K$ ，在高温时使用， $B_n$  值将增大。

### 七、实验设备

CSY — 10 型传感器实验仪。

### 八、仪器说明书

见附录。

### 九、实验报告

- 1、本实验可与热电偶实验进行比较。
- 2、作出  $T—V$  曲线，求出灵敏度  $S = \Delta V / \Delta T$ 。

## 3.2.3 温度传感器（P—N 结）的温度计量

### 一、实验目的

了解 P—N 结测量温度的原理和工作情况。

### 二、实验原理

半导体二极管是由一个 PN 结构成的根据其正向电流  $I_F$  和 PN 结上的压降  $V_F$  之间的关系，简化为：

$$I = I_s (e^{QV/RT} - 1)$$

从计算结果可知，当一个 P—N 结制成后，其反向饱和电流只与温度有关，根据这一原理制成的 P—N 结集成温度传感器，可以直接显示绝对温度  $K$ ，并且具有良好的线性与精度。

### 三、所需单元和部件

P—N 结集成温度传感器，温度变换器，加热器，V/F 表，水银温度计。

#### 四、有关旋钮的初始位置：

V/F 表置于 2V 档。

#### 五、注意事项

- 1、水银温度计探头安置时，不要放在应变片上，只要触及应变片附近的梁体即可。（因在塑套外与传感器感受到的温度是有差别的，实验时请注意这一点。）
- 2、本实验仪要用的 P—N 结温度传感器为硅半导体二极管，这是因为锗二极管的反向电流大，特性差。热敏电阻为 NTC 热敏电阻，负温度系数。
- 3、按图 3.3 接线，注意 P—N 结方向，不能接反。

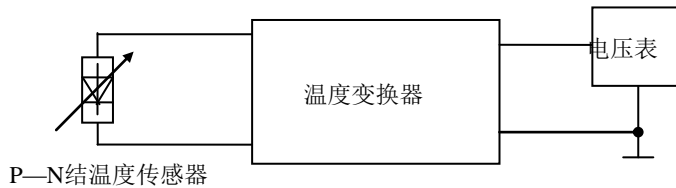


图 3.3 P—N 结温度传感器接线图

#### 六、实验内容

- 1、根据图 3.3 的电路结构，将 P—N 结温度传感器和温度变换器、电压表连接起来，组成一个测量电路。（加热器处于关闭状态），记录下水银温度计的读数（即室温）。开启电源，电压表 2V 档显示室温的绝对温度  $T$ ，室温  $^{\circ}\text{C} = T - 273$ ，与温度计显示温度进行比较。如有差异可调整电位器加以修正。
- 2、按下加热器开关，这时电压表显示的数值会慢慢发生变化。当变化趋于稳定状态时，（到达热平衡需要一定的时间）记录电压表显示的数值与水银温度计的读数。
- 3、在加热过程中，也可以随时关闭加热器开关，此时电压表显示的峰值的数值与水银温度计的读数会出现在一个相对稳定的峰值（读数先升后降），记录此时电压表显示的峰值与水银温度计的读数。
- 4、用温度计测量得到  $\Delta T$  值，电压表测量得到  $\Delta V$  值，作出  $T-V$  曲线，求出灵敏度  $S = \Delta V / \Delta T$ 。
- 5、由于 P—N 结温度传感器有着良好的线性度，所以可以在温度变化过程中逐一记录几个温度点和相应的电压值，与上述作出的  $T-V$  比较，观察其线性情况。
- 6、在实验过程中，不应变动调零电位器。

$T_0 (^{\circ}\text{C})$														
$V_0 (\text{V})$														

#### 七、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

#### 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

本实验可与热电偶实验和热敏电阻实验进行比较，指出各自的特点。（可以同时使用数字电压表与指针式毫伏表，注意不要超出相应的量程）。

### 3.3.1 热电偶传感器在工程测试应用 —— 自冷状态下散热器的热阻测试

热电偶是热阻测试中常用的传感器之一。而热阻测试是电子设备热设计一项最基本的测试内容。对掌握各种传热形式。如导热，对流和辐射等过程的有着重要的作用。对了解各种元器件（组件）的温度分布，对于控制电子设备的温度有重要的意义。

当电子设备的元（组）件的耗热量为  $P$  时，根据“热电模拟”关系。热阻可表示如下：

$$R_t = \frac{\Delta T}{P} (\text{°C/W})$$

式中： $R_t$ ——总热阻（包括导热、对流和辐射的热阻）（ $\text{°C/W}$ ）。

$\Delta T$ ——元件的平均温度与散热空间环境温度之差（ $\text{°C}$ ）。

$P$ ——元件的耗热量。（ $\text{W}$ ）。

#### 一、热组测试原理

当耗热器件装在散热器上而组成一个系统时，其等效热路如图 3.4A 所示。

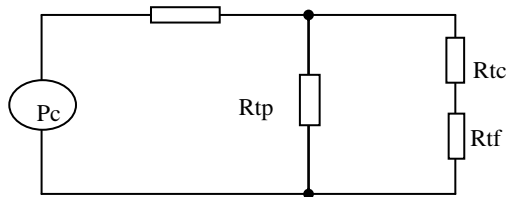


图 3.4 A

$P_c$ ——元件耗散的功率（ $\text{W}$ ）

$T_f$ ——散热器的最高温度（ $\text{°C}$ ）

$T_c$ ——元件的平均壳温（ $\text{°C}$ ）

$R_{tc}$ ——元件与散热器之间的接触热阻（ $\text{°C/w}$ ）

$R_{tf}$ ——散热器热阻（ $\text{°C/w}$ ）

$T_a$ ——周围环境温度（ $\text{°C}$ ）

接触热阻  $R_{tc}$ （包括器件表面与衬垫、与散热器之间的接触热阻）和散热器热阻  $R_{tf}$ 。可通过测量散热器装置各点温度，按以下关系式进行换算。

$$R_{tc} = \frac{T_c - T_f}{P_c} \text{ (}^\circ\text{C/W)}$$

本试验采用功率晶体管作为热源，并将其安装在散热器上，当功率晶体管加上负载后，结片耗散的热量（ $P_c$ ）传至管壳，经衬垫（导热膏）至散热器，最终想周围环境耗散出热量。对散热装置各点温度的测试，采用温度传感器配二次显示仪表。

## 二、测试设备

本试验采用热电偶作温度传感器。

### 1、显示仪表

由热电偶温度传感器传递的微电势信号，可通过电位差计计量。电位差计工作原理，见 UJ31 型仪器说明书。

### 2、冷端补偿器

为了正确反映被测目标的温度值。通常在测量系统中设置一个：“基准温度”（恒定温度）。对于利用热电偶进行测温的系统中，需用冰点槽法。即是将冰与水混合后置于保温桶中，保持  $0^\circ\text{C}$  的恒定温度。

按图 3.4B 接线并检查线路正确与否，并开通电源，校正仪表的零点准确性。

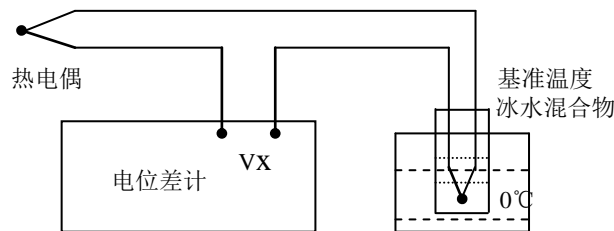


图 3.4 B 热电偶测试线路图

按图 3.4C 接线并检查线路正确与否。在对功率器件施加电功率负载时，检查等效热源和散

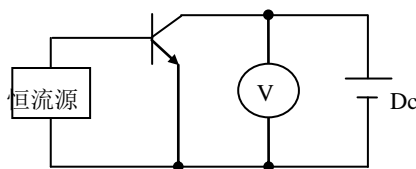


图 3.4 C 热源线路图

热器组成的系统的线路，各部分线路检查无误后，根据附录（测试数据整理表的要求），逐级施加电功率。开机后 30 分钟是热平衡时间，即可连续测定某一功耗下的各点温度，继而按要求改变功耗（改电流值），再测定各点温度。

### 三、仪器设备一览表

1、电位差计	一台
2、光电检流计	一台
3、标准电池	一只
4、稳压电源（300W）	一台
5、自制6伏直流电源（5W）	一台
6、电流表	一只
7、自制恒流电源（0—150MA）	一台
8、热电偶	一组
9、冷端补偿器（冰瓶）	一只
10、连接线	一组
11、被测件	一组
12、万用表	一只

### 四、实验内容

- 1、根据实验教材，仪器说明书写出实验方案。
- 2、设计出热源线路图，工作参数（电流值，电压值）。
- 3、画出测试线路的接线图。
- 4、阅读仪器说明书，能正确的使用测量仪表。

### 五、试验报告要求

- 1、按附录（测试数据整理表格）要求，认真填写各种数据。
- 2、对实测数据应及时进行分析，发现不符合规律应重复测试，直至正确为止。个别因仪器故障引起的实验数据不稳定时，应及时报告指导教师，待故障排除后进行。
- 3、根据实验数据，绘制下列曲线。

$$R_{TF} = F(P_c)$$
$$P_c = F(\Delta T_{fa})$$

- 4、对测试过程产生的误差（如疏失误差、系统误差、随机误差）进行分析。
- 5、叙述对本实验的认识、体会并提出改进的建议。

∴



测试数据整理表

晶 体 管	$V_{(v)}$						
	$I (A)$						
	$P (w)$		5	10	15	20	25
热 平 衡 温 度	$T_c$	$E (\mu v)$					
		$T (^\circ C)$					
	$T_{f1}$	$E (\mu v)$					
		$T (^\circ C)$					
	$T_{f2}$	$E (\mu v)$					
		$T (^\circ C)$					
	$T_a$	$E (\mu v)$					
		$T (^\circ C)$					
数 据 整 理	$\Delta T_{cf}=T_c-T_{f1}$						
	$R_{Tc} (^\circ C / W)$						
	$\Delta T_{fa}=T_{f1}-T_a$						
	$R_{Tf} (^\circ C / W)$						

# 第4章 力、弯矩、压力的测量

## 4.1 常用力传感器

力传感器可以归纳为利用力的静态效应和动态效应二种。一种可使用差动变压器，压电效应，压磁效应，应力应变等传感器来测量。另一种可使用加速度计测量。本章介绍常用的应力片测量方法。它们有电阻式应变片，半导体式应变片等。

## 4.2 力测量（应变片）

### 实验基本原理

应变片是粘贴式电阻应变计的简称，也有称作电阻应变片或电阻片。一般应变片由电敏感元件，基底和引线组成。在测量应变时，应变片用粘合剂粘贴在试件上，当试件受载荷后其表面产生微小变形，这时贴在其上的应变片的线栅亦随之发生变形。因为金属线材的应变效应，线栅的电阻发生变化，电阻变化率  $\Delta R/R$  的大小与应变片粘贴处试件的应变  $\epsilon$  ( $L/L$ ) 的大小成比例，（注： $R$  是应变片的原始电阻， $\Delta R$  是应变片的电阻变值， $L$  是线栅的纵向长度， $\Delta L$  是线栅的纵向变形。）如果用电测仪器测出电阻的变化，根据某一例常数，可得到试件的应变值。

### 4.2.1 金属箔式应变片单臂电桥

#### 一、实验目的

了解金属箔式应变片单臂电桥的工作原理和工作情况。

#### 二、实验内容

1、观察梁上应变片，并且了解结构和粘贴位置（应受力，变形方向，见图 4.1A）。

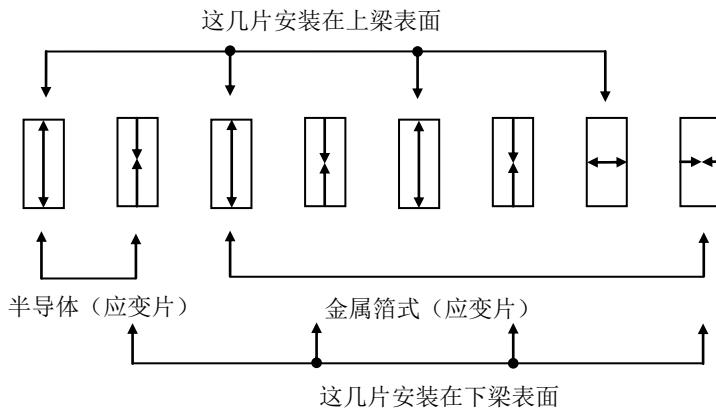


图 4.1A 应变片安装示意图

2、差动放大器调零。用导线将差动放大器的正负输入连接起来，然后将差动放大器的输出端接到电压表的输入端，电压表的量程取 2 伏档，调整差动放大器上的调零旋钮，使电压表指示为零。稳定后去除差动放大器输入端的导线。

3、根据图 4.1B 的电路结构，将一片应变片与电桥平衡网络、差动放大器、电压表、直流稳压电源联接起来，组成一个测量线路（这时直流稳压电源应置于 0 伏档）。应变片接入图 4.1B 的 Rx 位置。

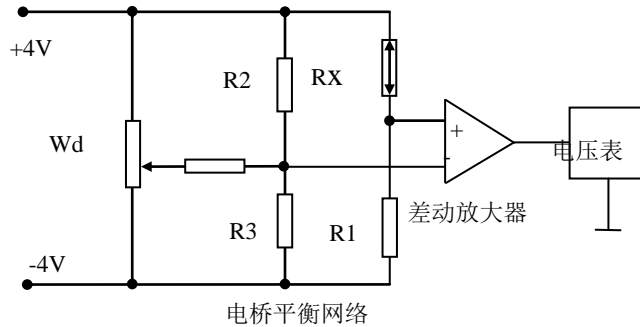


图 4.1B 单臂电桥接线图

4、转动测微器，平行梁上中间的磁铁与测微头相吸（必要时松开测微器的固定螺钉，使之完全可靠吸附后，再拧紧固定螺钉），平行梁处于（目测）水平位置。

5、直流稳压电源输出置于 4 伏档，调整电桥平衡电位器 Wd，电压表指示为零，稳定数分钟后，将电压表量程置于 2 伏档后，再仔细调零。

6、往下旋动测微器，平行梁的自由端往下产生位移，记下电压表显示的数值。每次位移 0.5mm 记下一个电压数值，所记数据填入下表，根据所得结果计算灵敏度 S。S = ΔV/ΔX（式中ΔV 为电压变化，ΔX 为相应平行梁自由端位置变化）。

位移 mm	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 V											

### 三、注意事项

1、电桥单元上部所示的四个桥臂电阻(Rx)并未按装，仅作为组桥示意标记，表示在组桥时应外接桥臂电阻（如应变片或固定电阻）。R1，R2，R3，作为备用的桥臂电阻，按需接入桥路。电桥单元面板和差动放大器单元示意图见图 4.1B。

2、做此实验时应将低频放大器、音频放大器的幅度调至最小，以减小对直流电桥的影响。

3、实验过程中，直流稳压电源输出不允许大于 4 伏，以防应变片过热损坏。

4、不能用手触及应变片及过度弯曲平行梁，以免应变片损坏。

5、实验中用到所需单元，则该单元上有电源开关的应合上开关，完成实验后应关闭所有开关及输出。

#### 四、所需单元和部件

直流稳压电源、差动放大器、电桥、测微器、V/F 表。

#### 五、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源输出置于 0 伏档，V/F 表置于 20 伏档，差动放大器增益旋钮调至最大。

#### 六、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

#### 七、仪器说明书

见附录。

#### 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出  $V - X$  关系曲线图。
- 2、实验电路对直流稳压电源有何要求，对放大器有何要求。
- 3、将应变片换成横向补偿后，又会产生怎样的数据，并根据结构说明原因。

### 4.2.2 金属箔式应变片双臂电桥（半桥）

#### 一、实验目的

了解金属箔式应变片双臂电桥的工作原理和工作情况，与实验 4.2.1 进行线性度灵敏度较。

#### 二、实验内容

1、根据图 4.2 的电路结构，将两片应变片与电桥平衡网络、差动放大器、电压表、直流稳压电源连接起来，组成一个测量线路（这时直流稳压电源应置于 0 伏档，电压表应置于 20 伏档）。此时两片应变片处于  $R_x$  位置组成半桥。

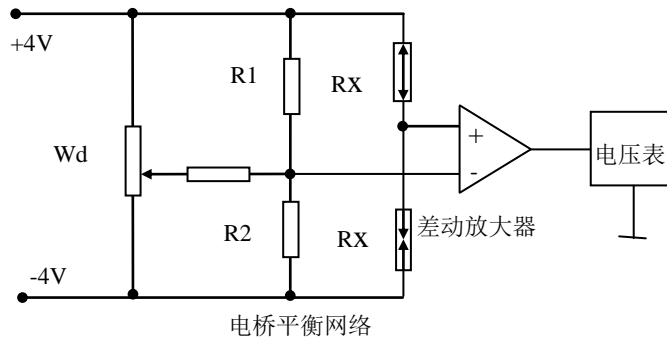


图 4.2 半桥电路接线图

2、转动测微器，平行梁上中间的磁铁与测微头相吸（必要时松开测微器的固定螺钉，使之完全可靠吸附后，再拧紧固定螺钉）。平行梁处于（目测）水平位置，再向上位移 5mm，平行梁的自由端往上产生位移。

3、直流稳压电源输出置于 4 伏档，调整电桥平衡电位器  $Wd$ ，电压表指示为零，稳定数分钟后，电压表量程置于 2 伏档，仔细调零。

4、往下旋动测微器，平行梁的自由端往下产生位移，记下电压表显示的数值。每次位移 0.5mm 记下一个电压数值，所记数据填入下表，根据所得结果计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为相应平行梁自由端位置变化）。

位移 mm	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 V											

### 三、注意事项

1、电桥单元上部所示的四个桥臂电阻( $R_x$ )并未按装，仅作为组桥示意标记，表示在组桥时应外接桥臂电阻（如应变片或固定电阻）。 $R_1$ ， $R_2$ ，作为备用的桥臂电阻，按需接入桥路。双臂电桥的两片应变片应注意工作状态与方向，不能接错。电桥单元面板和差动放大器单元示意图见图 4.2。

2、实验时应将低频放大器、音频放大器的幅度调至最小，以减小对直流电桥的影响。

3、实验过程中，直流稳压电源输出不允许大于 4 伏，以防应变片过热损坏。

4、不能用手触及应变片及过度弯曲平行梁，以免应变片损坏。

5、实验中用到所需单元时，则该单元上有电源开关的应合上开关，完成实验后应关闭所有开关及输出。

### 四、所需单元和部件

直流稳压电源、差动放大器、电桥、测微器、V/F 表。

### 五、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源输出置于 0 伏档，V/F 表置于 20 伏档，差动放大器增益旋钮调至最大。

### 六、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

### 七、仪器说明书

见附录。

### 八、实验报告

1、根据实验结果，画出  $V - X$  关系曲线图。

2、根据应变片受力情况变化，对实验结果作出解释。

3、将受力方向相反的两片应变片换成同方向应变片后，又会产生怎样的数据。

4、比较单臂，半桥两种接法的灵敏度。

### 4.2.3 金属箔式应变片四臂电桥（全桥）的静态位移性能

#### 一、实验目的

了解金属箔式应变片全臂电桥的工作原理和工作情况，与实验 4.2.1，4.2.2 进行线性度灵敏度较。

#### 二、实验内容

1、根据图 4.3 的电路结构，将四片应变片与电桥平衡网络、差动放大器、电压表、直流稳压电源连接起来，组成一个测量线路（这时直流稳压电源应置于 0 伏档、电压表应置于 20 伏档）。此时四片应变片组成全桥。

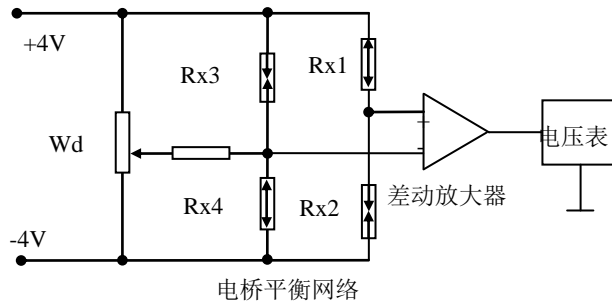


图 4.3 全桥电路接线图

2、转动测微器，平行梁上中间的磁铁与测微头相吸（必要时松开测微器的固定螺钉，使之完全可靠吸附后，再拧紧固定螺钉）。平行梁处于（目测）水平位置，再向上位移 5mm，平行梁的自由端往上产生位移。

3、将直流稳压电源输出置于 4 伏档，调整电桥平衡电位器 Wd，使电压表指示为零，稳定数分钟后，电压表量程置于 2 伏档，再仔细调零。

4、往下旋动测微器，平行梁的自由端往下产生位移，记下电压表显示的数值。每次位移 0.5mm 记下一个电压数值，将所记数据填入下表，根据所得结果计算灵敏度 S。S =  $\Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为相应平行梁自由端位置变化），并作 V—X 关系曲线。

位移 mm	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 V											

#### 三、注意事项

1、电桥单元上部所示的四个桥臂电阻(Rx)并未按装，仅作为组桥示意标记，表示在组桥时应外接桥臂电阻（如应变片或固定电阻）。四臂电桥的两片应变片应注意工作状态与方向，不能接错。电桥单元面板和差动放大器单元示意图见图 4.3。

2、实验时应将低频放大器、音频放大器的幅度调至最小，以减小对直流电桥的影响。

3、实验过程中，直流稳压电源输出不允许大于 4 伏，以防应变片过热损坏。

- 4、不能用手触及应变片及过度弯曲平行梁，以免应变片损坏。
- 5、实验中用到所需单元时，该单元上有电源开关的应合上开关，完成实验后应关闭所有开关及输出。
- 6、注意不能改变差动放大器增益和调零电位器。

#### 四、所需单元和部件

直流稳压电源、差动放大器、电桥、测微器、V/F 表。

#### 五、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源输出置于 0 伏档，V/F 表置于 20 伏档，差动放大器增益旋钮调至最大。

#### 六、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

#### 七、仪器说明书

见附录。

#### 八、实验报告

- 1、在同一坐标上描出  $V - X$  曲线。
- 2、比较单臂，半桥，全桥各种接法的灵敏度。
- 3、如果不考虑应变片受力的方向，实验结果又会怎样。

### 4.2.4 金属箔式应变片四臂电桥（全桥）振动幅频性能

#### 一、实验目的

了解金属箔式应变片全臂电桥的振动工作原理和工作情况。

#### 二、实验内容

1、根据图 4.4A 的电路结构，将四片应变片与电桥平衡网络、差动放大器、电压表、直流稳压电源连接起来，组成一个测量线路。此时四片应变片组成全桥。

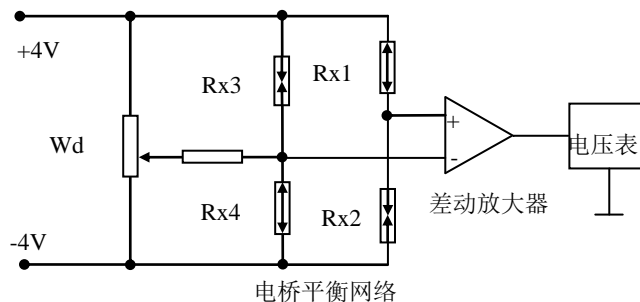


图 4.4 A 全桥接线图

2、转动测微器，平行梁上中间的磁铁与测微头分离。平行梁处于自由静止状态，测微头缩至测微器中，平行梁振动时不被吸住。

3、直流稳压电源输出置于 $\pm 4$ 伏档，调整电桥平衡电位器  $W_d$ ，电压表指示为零。

4、去除差动放大器输出端与电压表的连线，差动放大器输出与示波器连接起来如图 4.4B。V/F 表置于 2KHz 档，并将低频振荡器的输出端与频率表的输入相连，用来观察振动频率。

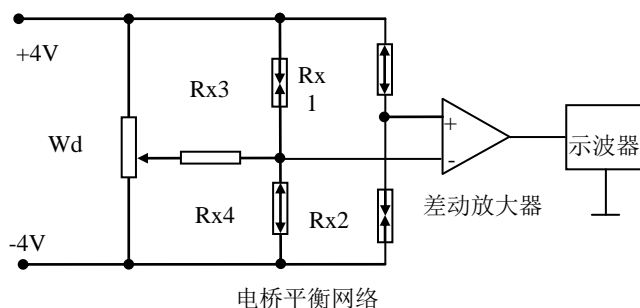


图 4.4 B 全桥线路动态测试图

5、按下激振器的开关，固定低频振荡器的幅度旋钮至某一位置，调节低频振荡器频率，频率表监测频率值，示波器读放大器输出峰峰值电压。

F (Hz)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
V (P-P)											

### 三、注意事项

- 1、实验过程中，低频振荡器频率的幅度旋钮不能过大，以梁振动时不碰撞其它部件为佳。
- 2、低频振荡器的频率调节是按对数型调节，调节时频率的低端变化较小而高端变化较大。
- 3、在测量过程中，注意随时调节示波器的灵敏度。

### 四、所需单元和部件

直流稳压电源、差动放大器、电桥、V/F 表、低频振荡器。

### 五、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源输出置于 0 伏档，V/F 表置于 20 伏档，差动放大器增益旋钮调至最大，联接低频振荡器与“激振 II”，低频振荡器的幅度旋钮置于最小。

### 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、示波器。



## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验结果，画出幅频特性曲线图。
- 2、在测量过程中，观察示波器读出频率与频率表是否一致，根据应变片的幅频特性可作何应用。
- 3、根据试验结果，可以知道梁的共振频率大致为多少。
- 4、在某一频率固定时，调节低频振荡器的幅度旋钮，改变梁的振动幅度，通过示波器读出的数据与实验 4.2.3 对照，是否可以推算出梁振动时的位移距离。
- 5、试想一下，用其他方法来测量平行梁振动时的位移距离。

### 4.2.5 半导体式应变片性能

#### 一、实验目的

了解半导体式应变片性能，灵敏度和温度效应。

#### 二、实验原理

对一块半导体的某一端轴向施加一定的载荷而产生应力时，它的电阻率会发生一定的变化，这种现象称为半导体的压阻效应。不同的载荷施加方向，压阻效应也不一样。

#### 三、实验内容

- 1、观察平行梁上半导体应变片，了解结构和粘贴位置（对应的受力，变形方向）。
- 2、根据图 4.5 的电路结构，将一片半导体应变片与电桥平衡网络、差动放大器、电压表、直流稳压电源连接起来，组成一个测量线路（直流稳压电源置于 0 伏档，电压表置于 20 伏档）。

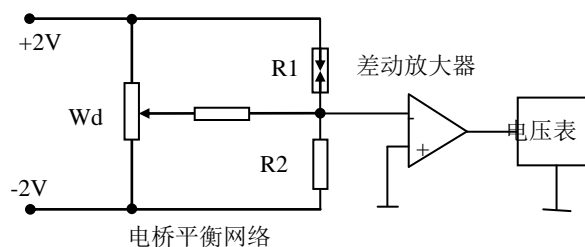


图 4.5 单片半导体应变片接线图

- 3、转动测微器，平行梁上中间的磁铁与测微头相吸。平行梁处于（目测）水平位置。
- 4、直流稳压电源输出置于 2 伏档，调整电桥平衡电位器  $W_d$ ，电压表指示为零。
- 5、往下旋动测微器，平行梁的自由端往下产生位移，记下电压表显示的数值。每次位移 0.5mm 记下一个电压数值，所记数据填入下表，根据所得结果计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为相应平行梁自由位置变化）。

6、重新调整测试系统输出为零，记录加温前的工作温度  $T$ 。

7、接通“加热”开关，观察温度升高系统输出电压温度漂移情况。待电压稳定后测得温升，求出系统的温度漂移  $\Delta V/\Delta T$ 。

位移 mm	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 mv											

#### 四、注意事项

此实验中直流电源电压只能用  $\pm 2V$ ，以免引起半导体自热。

#### 五、所需单元和部件

直流稳压电源、差动放大器、电桥、V/F 表、测微器，温度计（可用仪器中的 P—N 结温度传感器或热电偶温度传感器作测温参考）。

#### 六、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源输出置于 0 伏档，V/F 表置于 20 伏档，差动放大器增益旋钮调至最小。

#### 七、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

#### 八、仪器说明书

见附录。

#### 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出  $V—X$  关系曲线图。
- 2、差动放大器增益置于最大，是否可以与金属箔式应变片进行灵敏度比较，结果如何。

### 4.2.6 半导体式应变片半桥电桥

#### 一、实验目的

了解半导体式应变片双臂电桥工作原理和工作情况。

#### 二、实验原理

对一块半导体的某一端轴向施加一定的载荷而产生应力，它的电阻率会发生一定的变化，这种现象称为半导体的压阻效应。不同的载荷施加方向，压阻效应也不一样。

#### 三、实验内容

- 1、观察梁上导体式应变片，了解结构和粘贴位置（对应的受力，变形方向）。

2、根据图 4.6 的电路结构，将两片半导体应变片与电桥平衡网络、差动放大器、电压表、直流稳压电源连接起来，组成一个测量线路。

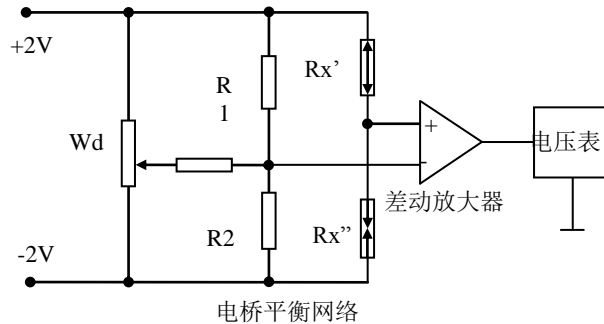


图 4.6 半导体应变片半桥接线图

3、转动测微器，平行梁上中间的磁铁与测微头相吸，平行梁处于（目测）水平位置，向上位移 5mm，平行梁的自由端往上位移。

4、直流稳压电源输出置于±2 伏档，调整电桥平衡电位器 Wd，使电压表指示为零。

5、往下旋动测微器，平行梁的自由端往下产生位移，记下电压表显示的数值。每次位移 0.5mm 记下一个电压数值，所记数据填入下表，根据所得结果计算灵敏度 S。S =  $\Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为相应平行梁自由端位置变化）。

位移 mm	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
电压 mv											

6、重新调整测试系统输出为零，记录加温前的工作温度 T。

7、接通“加热”开关，观察温度升高系统输出电压温度漂移情况。待电压稳定后测量升温，求出系统的温度漂移  $\Delta V / \Delta T$ 。

#### 四、注意事项

此实验中直流电源电压只能用±2V，以免引起半导体自热。

#### 五、所需单元和部件

直流稳压电源、差动放大器、电桥、V/F 表、测微器。

#### 六、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源输出置于±2 伏档，V/F 表置于 20 伏档，差动放大器增益旋钮调至最小。

#### 七、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出  $V-X$  关系曲线图。
- 2、将差动放大器增益置于最大，是否可以与金属箔式应变片进行灵敏度比较，结果如何。
- 3、与实验 4.2.5 进行线性度与灵敏度比较。

### 4.2.7 金属箔式应变片与半导体应变片性能的比较

#### 一、实验目的

通过实验比较两种应变电路的灵敏度与温度特性

#### 二、实验所需部件

直流稳压电源，差动放大器，箔式应变片，半导体应变片，测微头，电压表，加热器，温度计（可用仪器中的 P-N 结温度传感器或热电偶传感器作测温参考）。

#### 三、注意事项

进行上述实验时激励电压，差动放大器增益，测微头的起始位置等实验条件必须一致，否则将无可比性。

#### 四、实验内容

1、分别做箔式单臂电桥和半导体单臂电桥实验，接线如图示 4.7，直流激励源为  $\pm 2V$ ，差动放大器增益为 100 倍。

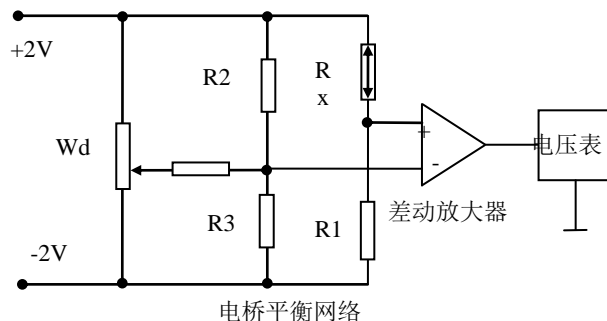


图 4.7 电桥接线图

2、调整系统，在相同的实验条件下分别测得两组数据填入以下表格，求出灵敏度。

位移 X (mm)	0.0									灵敏度
V 半导体 单臂										
V 箔式 单臂										
V 半导体 半桥										
V 箔式 半桥										

3、电桥中一固定电阻换成应变片，做箔式单臂电桥和半导体单臂电桥实验，将测得的四组数据分别填入表格，求出灵敏度。

4、分别对箔式应变片和半导体应变片加热，测出两种测试电路的温漂，并进行比较。

## 五、实验设备

CSY — 10 型传感器实验仪。

## 六、仪器说明书

见附录。

## 七、实验报告

- 1、在同一坐标上画出四条 V—X 曲线图，以作比较。
- 2、实验结果以证实实验 4.2.5 中对半导体应变片性能的分析。

### 4.2.8 金属箔式应变片温度效应与补偿

#### 一、实验目的

了解温度对应变测试系统的影响。

#### 二、实验原理

温度变化引起应变片阻值发生变化的原因是应变片电阻丝的温度系数既电阻丝与测试中的膨胀系数不同。由此引起测试系统输出电压发生变化。

#### 三、实验内容

1、根据图 4.8 的电路结构，将金属箔式应变片与电桥平衡网络、差动放大器、电压表、直流稳压电源连接起来，组成一个测量线路。

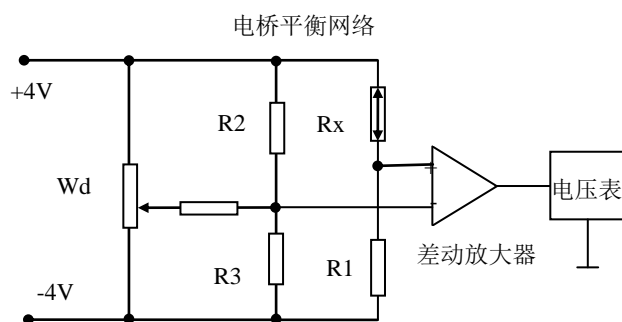


图 4.8 电桥接线图

2、转动测微器，平行梁上中间的磁铁与测微头相吸（必要时松开测微器的固定螺钉，使之完全可靠吸附，再拧紧固定螺钉），平行梁处于（目测）水平位置，向上位移 5mm，平行梁的自由端往上产生位移。

3、直流稳压电源输出置于 4 伏档，调整电桥平衡电位器 Wd，电压表指示为零，稳定数分钟，电压表量程置于 2 伏档，再仔细调零。

4、记录加热前测试系统感受的温度，可用热电偶或 P—N 结温度传感器测量。

5、按下加热器开关，这是电压表显示的数值会慢慢地发生变化。当变化趋于稳定时，记录此时输出电压值和温度值，求出温度漂移值 $\Delta V/\Delta T$ 。并重新调零。

6、往下旋动测微器，平行梁的自由端往下产生位移，记下电压表显示的数值。每次位移 0.5mm 记下一个电压数值，所记数据填入下表，根据所得结果计算灵敏度 S。 $S = \Delta V/\Delta X$ （式中 $\Delta V$ 为电压变化， $\Delta X$ 为相应平行梁自由端位置变化）。

位移 (mm)	0.0										
电压 (mv)											

#### 四、注意事项

- 1、水银温度计探头安置时，不要放在应变片上，只要触及应变片附近的梁体即可。
- 2、实验过程中，直流稳压电源输出不允许大于 4 伏，以防应变片过热损坏。
- 3、不能用手触及应变片及过度弯曲平行梁，以免应变片损坏。
- 4、实验中用到所需单元时，则该单元上有电源开关的应合上开关，完成实验后应关闭所有开关及输出。

#### 五、所需单元和部件

直流稳压电源、差分放大器、电桥、测微器、V/F 表、加热器、水银温度计（可用仪器中的 P—N 结温度传感器或热电偶温度传感器作测温参考）。

## 六、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源输出置于 0 伏档，V/F 表置于 20 伏档，差动放大器增益旋钮调至最小，加热器处于关闭状态。

## 七、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出 V—X 关系曲线图。
- 2、实验结果与实验 4.2.1 结果进行比较，观察输出灵敏度和零点漂移情况（一般来说零点漂移明显），如何进行电路补偿。

### 4.2.9 金属箔式应变片温度补偿

#### 一、实验目的

由于温度变化引起了测量误差，因此实用测试电路中必须进行温度补偿。

#### 二、实验原理

用补偿法是应变电路补偿方法中的一种，如图 4.9A 所示，在电桥中，R1 为工作片，R2 为

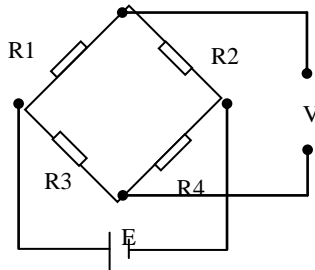


图 4.9A 电桥电路图

补偿片， $R1 = R2$ 。温度变化时，两应变片的电阻变化  $\Delta R1$  与  $\Delta R2$  符号相同，数量相等，桥路如果原来是平衡的，温度变化后  $R1 \times R2 = R3 \times R4$ ，电桥仍满足平衡条件，无漂移电压输出，由于补偿片所贴位置与工作片成  $90^\circ$ ，所以只感受温度变化，而不感受悬臂梁的应变。

#### 三、实验内容

- 1、根据图 4.9B 的电路结构，将金属箔式应变片与电桥平衡网络、差动放大器、电压表、

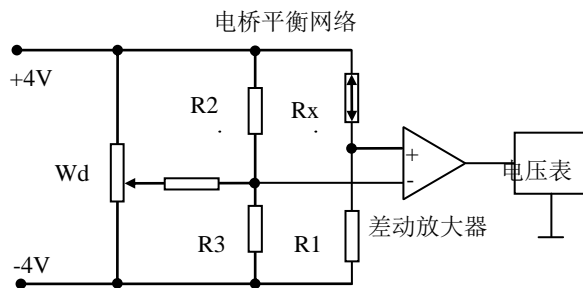


图 4.9B 电桥接线图

直流稳压电源连接起来，组成一个测量线路。（注： $R_x$  为工作片， $R_1$  为补偿片）

2、转动测微器，平行梁上中间的磁铁与测微头相吸（必要时松开测微器的固定螺钉，使之完全可靠吸附后，再拧紧固定螺钉），平行梁处于（目测）水平位置，向上位移 5mm，平行梁的自由端往上产生位移。

3、直流稳压电源输出置于 4 伏档，调整电桥平衡电位器  $W_d$ ，电压表指示为零，稳定数分钟，电压表量程置于 2 伏档，再仔细调零。

4、记录加热前测试系统感受的温度，可用热电偶或 P—N 结温度传感器测量。

5、按下加热器开关，这是电压表显示的数值会慢慢地发生变化。当变化趋于稳定时，记录此时输出电压值和温度值，求出温度漂移值  $\Delta V/\Delta T$ 。（重新调零）。

6、往下旋动测微器，平行梁的自由端往下产生位移，记下电压表显示的数值。每次位移 0.5mm 记下一个电压数值，所记数据填入下表，根据所得结果计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V/\Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为相应平行梁自由端位置变化）。v

位移 (mm)	0.0										
电压 (mV)											

#### 四、注意事项

- 1、水银温度计探头安置时，不要放在应变片上，只要触及应变片附近的梁体即可。
- 2、实验过程中，直流稳压电源输出不允许大于 4 伏，防应变片过热损坏。
- 3、不能用手触及应变片及过度弯曲平行梁，以免应变片损坏。
- 4、实验中用到所需单元时，该单元上有电源开关的应合上开关，完成实验后应关闭所有开关及输出。

#### 五、所需单元和部件

直流稳压电源、差动放大器、电桥、测微器、V/F 表、加热器、水银温度计（可用仪器中的 P—N 结温度传感器或热电偶温度传感器作测温参考）。



## 六、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源输出置于 0 伏档，V/F 表置于 20 伏档，差动放大器增益旋钮调至最小，加热器处于关闭状态。

## 七、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出 V—X 关系曲线图。
- 2、实验结果与实验 4.2.8 结果进行比较，观察输出灵敏度和零点漂移情况

### 4.2.10 金属箔式应变片全桥交流激励下的静态位移性能

#### 一、实验目的

了解金属箔式应变片在交流激励下的工作性能及其应用。

#### 二、实验原理

下图 4.10 是交流全桥的一般形式。当电桥平衡时， $Z_1Z_4 = Z_2Z_3$ ，电桥输出为零。若桥臂阻抗相对变化为 $\Delta Z_1/Z_1$ ， $\Delta Z_2/Z_2$ ， $\Delta Z_3/Z_3$ ， $\Delta Z_4/Z_4$ ，则电桥的输出与桥臂阻抗的相对变化。交流电桥工作时增大相角差可以提高灵敏度，传感器最好是纯电阻性或电抗性的。交流电桥只要满足输出电压的实部和虚部为零的条件下才会平衡。

#### 三、所需单元和部件

音频振荡器，差动放大器，电桥，相敏检波器，测微器，移相器，低频滤波器，V/F 表。

#### 四、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为 4KHz，幅度为最大，差动放大器的增益旋钮旋至最大。V/F 表置于 2V 档。

#### 五、注意事项

- 1、音频振荡器的信号必须从 Lv 输出端输出。
- 2、实验中，电桥平衡网络的电位器 Wa 和 Wd 的调整，是配合调整的。
- 3、实验中，为了便于观察，需要调整示波器的灵敏度。
- 4、四臂全桥的四片应变片应注意工作状态与方向，不能接错。
- 5、差动放大器输出为最小，电压表不一定为零，这是由于相敏检波器，低通滤波器等电路中存在交流分量。

6、由于本实验中，输出信号较小，噪声信号又相对较大，所以必须认真按实验步骤操作，配合调整的部件需反复调整。调节电桥直流平衡电位器  $W_D$ ，使系统输出基本为零，再仔细调节交流平衡电位器  $W_A$ ，使系统输出为零。

7、欲提高交流全桥的灵敏度，可用示波器观察相敏检波器输出端波形，若相敏检波器输出端波形脉动成份较大，系统虽然可以调零，但灵敏度较低，提高灵敏度的方法是当系统初步调零后，用手将悬臂梁下压至最低点，再调节电路中的“移相”电位器，使相敏检波器输出波形尽量平直，再调节移相器“相敏”旋钮，用示波器观察相敏检波器 3 端，使其输出波形为手尾相接的全波整流波形，然后再松开悬臂梁，用电桥调系统为零，这样系统灵敏度会提高。

8、做交流全桥实验时用指针式毫伏表可以比较直观地看出应变梁在正，反向受力时系统输出电压的变化情况。

## 六、实验内容

1、根据图 4.10 的电路结构，将四片应变片与电桥平衡网络，音频振荡器，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器，电压表连接起来，组成一个测量线路。示波器探头分别接至差动放大器的输出端和相敏检波器的输出端。

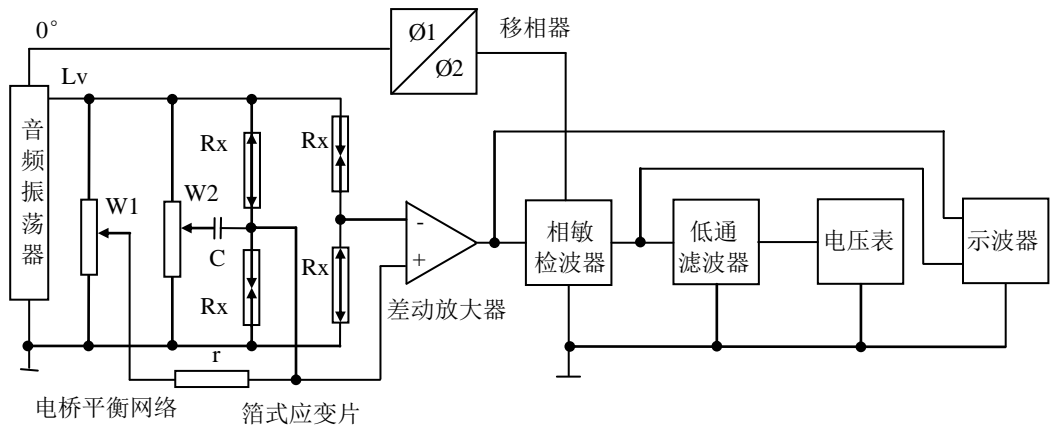


图 4.10 全桥交流测试线路图

- 2、转动测微器，平行梁处于（目测）水平位置附近。
- 3、调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，差动放大器的输出端输出的信号最小。
- 4、向上转动测微器 5mm，梁的自由端往上位移。
- 5、调整移相电位器，使得电压显示最大。示波器观察相敏检波器的输出的波形。
- 6、为减小相敏检波器输出端两个半波的高低差异，必要时调整差动放大器的调零电位器。
- 7、往下转动测微器，梁的自由端产生位移，记下电压表的数值。每隔 0.5mm 记一个数值，所记数据填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为梁的自由端的位移变化）。

位移 mm	0.0									
电压 mV										

## 七、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出  $V - X$  曲线图。
- 2、在交流电路中，必须考虑那几个因素才能使电桥平衡

### 4.2.11 激励频率对交流全桥的影响

#### 一、实验目的

了解激励频率对交流全桥的影响。

#### 二、实验原理

由于交流电桥中的各种阻抗的影响，改变激励频率可以提高交流全桥的灵敏度和提高抗干扰性。

#### 三、实验所需部件

电桥，音频振荡器，差动放大器，移相器，相敏检波器，低通滤波器，电压表，测微头。

#### 四、实验内容

1、根据图 4.11 的电路结构，将四片应变片与电桥平衡网络，音频振荡器，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器，电压表连接起来，组成一个测量线路。将示波器探头分别接至差动放大器的输出端和相敏检波器的输出端。

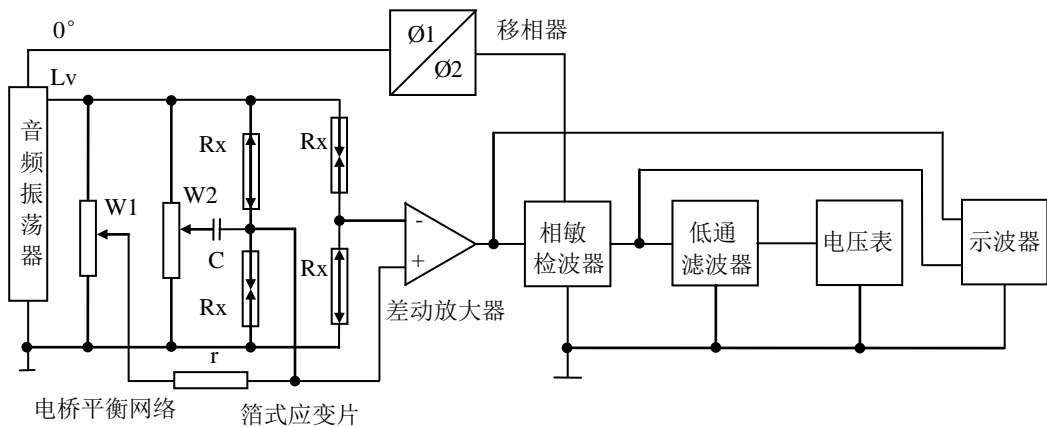


图 4.11 全桥交流激励接线图

- 2、转动测微器，平行梁处于（目测）水平位置附近。
- 3、调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，差动放大器的输出端输出的信号最小。
- 4、向上转动测微器 5mm，梁的自由端往上位移。
- 5、调整移相电位器，使得电压表显示最大值。同时从示波器上观察相敏检波器的输出端的波形。
- 6、为了减小相敏检波器输出端的两个半波的高低差异，必要时调整差动放大器的调零电位器。
- 7、音频振荡器  $0^\circ$  端输出信号，频率从 2KHz — 10KHz，接交流全桥，分别测出系统输出电压，填入下表，在同一坐标上做出  $V - X$  曲线，比较灵敏度。
- 8、往下转动测微器，悬臂梁的自由端产生位移，记下电压表的数值。每隔 0.5mm 记一个数值，所记数据填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为梁的自由端的位移变化）。

位移 (mm)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
电压 2K (V)										
电压 5K (V)										
电压 8K (V)										
电压 10K (V)										

### 五、注意事项

做以上实验时改变频率，音频振荡器幅值不能变，否则无可比性。

### 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器

### 七、仪器说明书

见附录。

### 八、实验报告

- 1、根据实验结果，画出  $V - X$  曲线图。
- 2、交流全桥工作在哪个频率时较为合适

## 4.2.12 金属箔式应变片全桥交流激励下振动时幅频性能及应用

### 一、实验目的

了解金属箔式应变片在交流激励下振动时的工作性能及其应用。

### 二、实验原理

当悬臂梁受到不同的频率信号激励时，由于振幅不同，带给应变片的应力不同，电桥输出也就不同。若激励频率和梁的固有频率相同时，就产生共振，此时电桥输出最大。根据这一原理可以找出梁的固有频率是多少。

### 三、所需单元和部件

音频振荡器，差动放大器，电桥，相敏检波器，移相器，低频滤波器，V/F表，低频振荡器。

### 四、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为 4KHz，幅度为最大，差动放大器的增益旋钮旋至最大。V/F表置于 2KHz档，低频振荡器接“激振 I”，低频振荡器的幅度旋钮置于最小。

### 五、注意事项

- 1、音频振荡器的信号必须从 Lv 输出端输出。
- 2、实验中，电桥平衡网络的电位器 Wa 和 Wd 的调整，是配合调整的。
- 3、实验中，为了便于观察，需要实时地调整示波器的灵敏度。
- 4、四臂全桥的四片应变片应注意工作状态与方向，不能接错。
- 5、给悬臂梁施加一激振力时，振幅不能太大。

### 六、实验内容

1、根据图 4.12 的电路结构，将四片应变片与电桥平衡网络，音频振荡器，差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器，电压表连接起来，组成一个测量线路。示波器探头分别接至差动放大器的输出端和相敏检波器的输出端。

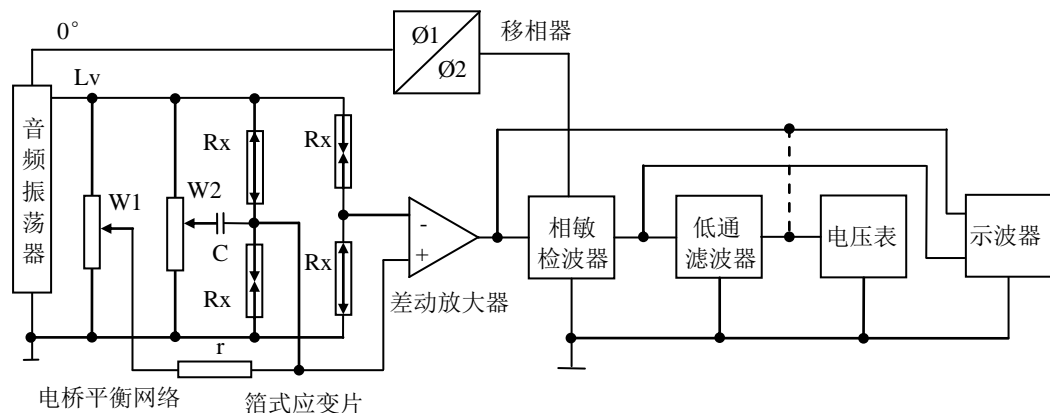


图 4.12 全桥交流线路图

2、转动测微器，悬臂梁中间的磁铁与测微头分离，测微头缩至测微器中，梁在振动时不再被吸住（这时梁处于自由静止状态）。

3、调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ ，使差动放大器的输出端输出的信号最小。

4、低频振荡器输出端口接至“激振 II”端，低频振荡器的幅度旋钮固定至某一位置，使梁产生上下振动。调整电桥平衡网络的电位器  $W_a$  和  $W_d$ （这一步要反复地调），差动放大器输出的调幅波信号中显示的残余电压信号最小。

5、去除双线示波器与差动放大器输出端的连线，示波器探头接至低通滤波器的输入端和输出端。见示意图 4.12 之中的虚线。调整移相器上的移相电位器，示波器上观察到的低频滤波器输出端的输出波形显示最大。

6、减小相敏检波器输出端的两个半波的高低差异，必要时调整差动放大器的调零电位器。

7、固定低频振荡器幅值旋钮不变，电压/频率表置于 2KHz 档，接通低频振荡器输出端，调节低频振荡频率，示波器读出系统最大振幅值，此时频率表所指示值即为梁的固有频率。

频率 (Hz)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
电压 (P-P)											

## 七、实验设备

1、CSY—10 型传感器实验仪。

2、双线示波器。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

1、根据结果结果，可以知道悬臂梁的自振频率大致是多少。

2、本实验与实验 4.2.4 比较，请指出它们的各自特点。

### 4.2.13 箔式应变片交流全桥激励下电子秤实例

#### 一、实验目的

了解交流激励的应变全桥的实际应用。

#### 二、所需单元和部件

差动放大器，电桥，V/F 表，相敏检波器，砝码，音频振荡器，移相器，低通滤波器，称重平台。

#### 三、有关旋钮的初始位置

V/F 表置于 20V 档，差动放大器的增益旋钮旋至最大。

#### 四、注意事项

1、双臂电桥的四片应变片注意工作状态与方向，不能接错。

2、悬臂梁的自由端在加减砝码时不能与其它相碰撞。

3、梁的弹性恢复有滞后效应，造成减砝码时，电压表读数不为原来的读数，有一定误差。

## 五、实验内容

1、根据图 4.13 的电路结构，将四片应变片与电桥平衡网络，差动放大器，电压表，相敏检波器，砝码，音频振荡器，移相器，低通滤波器，称重平台连接起来，组成一个测量系统。

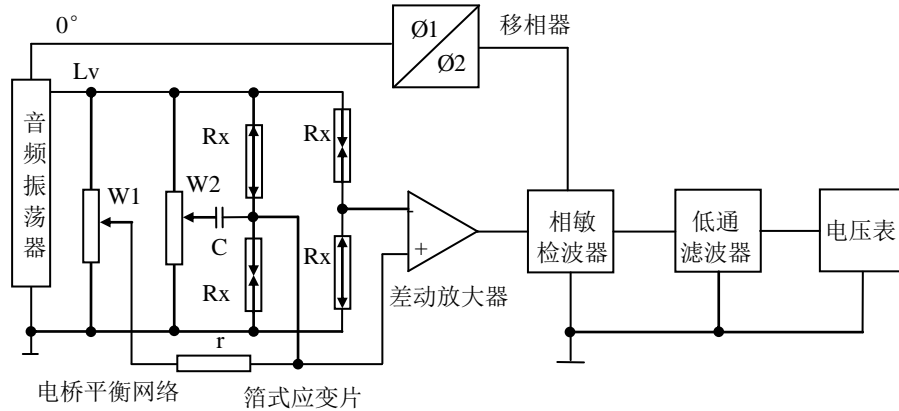


图 4.13 应变片电子秤线路图

2、转动测微器，悬臂梁上振动平台中间的磁铁与测微头分离，测微头缩至测微器中，梁振动时不再被吸住（这时梁应处于自由静止状态）。

3、调节测微头处于水平位置，调节电桥直流平衡电位器  $W_D$ ，系统输出基本为零，仔细调节交流平衡电位器  $W_A$ ，系统输出为零。

4、示波器观察各环节波形。

5、在振动平台中间加不同重量的砝码，进行标定，将结果填入下表。并作出对年个的  $W-V$  曲线。

W (G)	0.0									
V (V)										

6、去除砝码，在振动平台中间加一个未知的重物，记录电压表的数数。

7、根据实验数据，求出重物的重量。

## 六、实验设备

CSY—10 型传感器实验仪。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

1、这个电子秤方案投入实际应用，那些部分需要改进。

2、与实验 1.4.3 进行比较，回答各自的特点。

### 4.3 综合、研究型应用实例等截面悬臂梁应力、应变的测量

#### 一、实验目的

- 1、了解悬臂梁应力状态。
- 2、学会使用应变仪，位移测量仪。
- 3、验证计算结果

#### 二、应变片测试原理

- 1、金属材料的灵敏度系数  $S$  应变的单位电阻变化率，通常可改写为

$$S = \frac{dR/R}{\varepsilon}, \quad \Delta R/R = S * \varepsilon$$

对制作应变片的敏感元件的金属材料的要求是  $S$  在尽可能大的应变范围是常数，电阻率高（注：实验用  $120 \Omega$ 、 $\pm 0.9 \Omega$ ）

#### 2、测量电路

测量电路的作用是将应变片的电阻变化转化为电压的变化，通常应变片的电阻变化是很小的，所以测量电路的输出信号也极为微弱，因此要用电子放大器将信号放大，然后接通到指示或记录仪上，测量电路是应变仪的重要组成部分。

测量电路一般有两种，一种是电位计式电路，一种是惠斯顿电桥，简称电桥，本实验用电桥做。电桥有四个电阻，其中任一个都可以是应变片电阻，电桥的一个对角线接入电压  $U$ ，则另一个对角用来测量输出电压  $E$ 。电桥的一个特点是四个电阻达到平衡关系时，电桥输出为零。当桥臂电阻有变化时，即不满足平衡条件时，就有可能应用很灵敏的检流计来测量输出信号。传感器电路多用全桥式以增加灵敏度。应注意电阻变化和应变值的符号（如果是压变形则用负号）。

#### 3、温度补偿问题

温度变化对应变片的影响是比较大的，可以利用电桥的特点进行温度补偿，也就是补偿片法。如一片为工作片  $R_1$  另一片为补偿片  $R_2$ ，另外  $R_3$ ， $R_4$  为固定电阻片， $R_1$  粘贴在试件上，

$$\Delta E = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) U$$

$R_2$  粘贴在与试件材料相同，温度与试件相同的补偿块上，当温度变化时，工作片和补偿片的电阻变化为  $\Delta R_1/R_1$  和  $\Delta R_2/R_2$  大小相等，符号相同，而  $\Delta R_3/R_3 = \Delta R_4/R_4 = 0$ ，因  $R_3$ ， $R_4$  在仪器内，可以认为温度不变化，从上式可以看出， $\Delta E = 0$ ，温度对电桥的输出没有影响。

（注：在半桥电路中，如果两片应变片的应变绝对值相等，符号相反则非线性大大降低）。

#### 4、电桥的平衡

进行测量前，必须先使电桥平衡。对于直流电桥只考虑电阻平衡。



## 5、测量

当采用某种应变片布置的方式，按特种形式接入电桥进行测量时，常出现这样问题，测量结果是否反映被测载荷，有无非测量载荷的渗入和干扰。测量结果是否正是被测载荷，有无因为应变片的接桥、并联、串联的方法而使指示应变片比被测真应变增大几倍。

1)、桥臂系数，因电桥的输出与每个桥臂有关，往往电桥输出为某一应变片单独输出的几倍。说明是几倍的这个系数为“对某一应变片的电桥系数”简称电桥系数或“桥臂系数”。

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{测}/A$$

$\varepsilon_i$  为某一应变片的真应变值， $\varepsilon_{测}$  为应变仪的直接指示读数，半桥电路，每臂一个电阻片，第一臂工作，第二臂不工作（即温度补偿）。 $A=1$  只要桥压不变，在第一臂和第二臂串联电阻应变片不能提高桥臂系数，但应变片串联后，每一个应变片的电压降减小，应变片中的电流也会减小，发热也就小了，因而有可能增加桥压，增加桥压是可以提高电桥的输出，但这时的桥臂系数并不增加。应变片的串联可起到平均电桥电阻的作用。

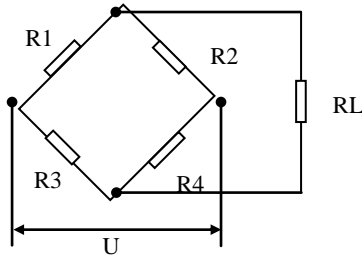


图 4.14A 电桥原理图

## 2)、悬臂梁（应变）测试

弯矩是一个力与一个长度的乘积，测弯矩常用的传感器性元件是悬臂梁，在梁的正反两面贴上应变片  $R_1, R_2$ ，因悬臂梁的上下表面的应变大小相等符号相反，电桥相邻两臂又是相减，桥臂系数可写成

$$A = \frac{1}{\varepsilon} [\varepsilon - (-\varepsilon)] = 2$$

若用一片， $A = \frac{1}{\varepsilon} [\varepsilon - (0)] = 1$  弯矩的计算，悬臂梁在测点处的弯曲应变为

$$\varepsilon = \varepsilon_{测} / A$$

$\varepsilon_{测}$  为应变仪读数， $A$  为桥系数。悬臂梁测点处应力为

$$\gamma = \varepsilon \cdot E$$

弯矩： $M = PL = W \cdot \sigma = W \cdot \varepsilon E = W \cdot E \varepsilon_{测}/A$

$W$  为梁的抗弯断面系数。

## 6、线性、滞后、零漂

1)、应变片安装在试件上后, 如对试件逐渐加载, 应变片的 $\Delta R/R$  特性曲线严格地说不是 一条直线, 这就是它的非线性, 通常是很小的。

2)、当对贴有应变片的试件进行循环加卸载时,  $\Delta R/R - \epsilon$  特性曲线, 见图 4.14B 开始时的特性曲线以直线规律上升, 达到某一应变值后, 电阻变应的关系呈现一定的非线性, 达某一最大应变值后开始减小载荷, 此时应变零时曲线不回到原点; 当第二次加载时, 曲线如 4.14B 图③所示, 所谓机械滞后就是循环加卸载时, 加载特性曲线与卸载特性的不重合程度。为了减小新安装的应变片的滞后和非线性, 最好能在正式测量前对试件进行三次以上的加卸载循环, 如图 4.14C 所示。

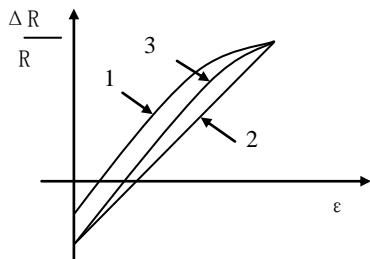


图 4.14B

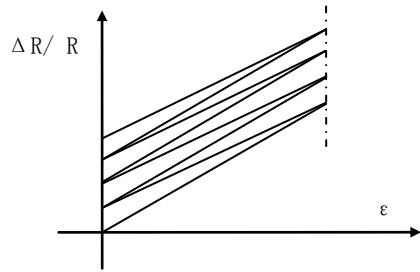


图 4.14C

3)、零漂是在试件不受力的情况下, 在某恒定温度 (如应变片的极限工作温度), 应变片的指示应变值随时间而变化的特性。

## 三、实验内容

- 1、通过在一悬臂梁上粘贴应变片 (单片, 单片加温度补偿, 双片) 测量悬臂梁的弯矩。
- 2、通过电涡流位移传感器测量悬臂梁的位移, 并通过计算校验 2 种实验方法的结果。
- 3、设计实验数据记录表格。

## 四、实验设备

- 1、悬臂梁实验台 (长 300mm、350mm、400mm)。
- 2、应变仪一台。
- 3、应变片若干片, 灵敏度系数 2.07
- 4、位移测量仪。
- 5、电涡流位移传感器。
- 6、镊子、电烙铁各一把。
- 7、万用表。
- 8、砝码五只 (每只 100g)。

## 五、仪器仪表说明书

- 1、应变仪说明书。
- 2、位移测量仪说明书。
- 3、电涡流位移传感器说明书。

## 六、实验报告要求

- 1、实验方案，包括原理简介，实验用仪器、传感器等，实验接线图等。
- 2、实验结果，包括数据、表格、特性曲线等。
- 3、实验分析，包括误差分析，简述实验过程中出现的问题等。
- 4、结论。
- 5、体会等。

# 第五章 噪声的测量

## 5.1 常用噪声传感器

传声器是将声波信号转换为相应电信号的传感器。原理是由声波造成的空气压力推动传声器的振动膜，经变换器将机械振动变成电参数的变化。根据变换器形式不同，常用的传声器主要有电容式传声器，动圈式传声器，压电式传声器等。本实验主要使用电容式传感器。

### 5.2.1 差动变面积式电容传感器的性能

#### 一、实验目的

了解差动变面积式电容传感器的工作原理和工作情况。

#### 二、实验原理

电容式传感器有多种形式，本仪器是差动平行变面积式。传感器由两片定片和一组动片组成。当安装于振动台上的动片上、下改变位置，与两组静片之间的重叠面积发生变化，极间电容也发生相应变化，形成差动电容。如将上层定片与动片形成的电容定为  $C_{X1}$ ，下层定片与动片形成的电容定为  $C_{X2}$ ，当将  $C_{X1}$ ，和  $C_{X2}$  接入双 T 型桥路作为相邻两臂时，桥路的输出电压量与电容量的变化有关，即于振动台的位移有关。

#### 三、所需单元和部件

电容传感器，电容变换器，差动放大器、V/F 表、测微器，低通滤波器，低频振荡器等。

#### 四、有关旋钮的初始位置

差动放大器增益旋钮置于中间，V/F 表置于 2V 档。

#### 五、注意事项

电容片的一组动片和二组定片不能相碰，距离必须相等，必要时可稍做调整。位移和振动时不可有相互磨擦现象，否则会造成输出信号突变。

#### 六、实验内容

1、转动测微器，振动平台中间的磁铁与测微头相吸，振动圆平台处于（目测）水平位置，见示意图 5.1，向上转动 5mm，振动圆平台的自由端往上产生位移（这时电容片的一组动片一般处于上组定片之间）。

2、根据图 5.1 的电路结构，将电容片的动片和上下二组定片，与电容变换器、差动放大器、V/F 表、测微器，低通滤波器连接起来，组成一个测量线路。

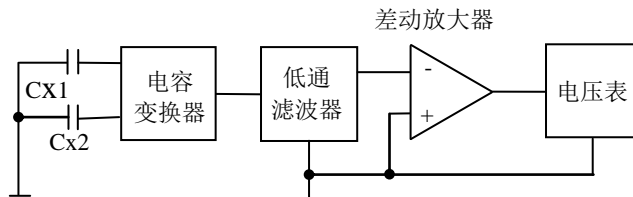


图5.1 电容传感器接线图

3、往下旋动测微器，振动园平台的自由端往下产生位移，从而改变电容器的动片和定片的相对位置（既改变覆盖面积）。每位移 0.5mm，记一个电压表数值，将所记数据填入下表，根据所得数据计算灵敏度  $S$ 。 $S = \Delta V / \Delta X$ （式中  $\Delta V$  为电压变化， $\Delta X$  为相应的梁端位移变化）。

X (mm)	0.0										
V(mV)											

## 七、实验设备

CSY — 10 型传感器实验仪。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出  $V - X$  关系曲线图。
- 2、结合电容变换器电路原理分析，为什么读数会过零。

### 5.2.2 差动变面积式电容传感器幅频性能及应用

#### 一、实验目的

了解差动变面积式电容传感器性能及其应用。

#### 二、所需单元和部件

电容变换器，差动放大器、V/F 表、低通滤波器，低频振荡器。

#### 三、有关旋钮的初始位置

差动放大器增益旋钮置于中间，低频振荡器输出接“激振 I”，低频振荡器的幅度旋钮置于最小，V/F 表置于 2KHz 档。

#### 四、注意事项

- 1、实验过程中，低频振荡器的幅度旋钮不能过大，以振动时不碰撞其它器件为佳。
- 2、必要时调整电容片的相对位置，使电容片一组动片处于二组定片之中间附近。
- 3、差动放大器输出端用示波器观察到波形中有杂波，请将电容变换器增益减小。

#### 五、实验内容

1、转动测微器，振动平台中间的磁铁与测微头分离，测微头缩至测微器中，振动时不再被吸住（振动圆平台处于自由静止状态，电容片的一组动片一般处于二组定片之间）。

2、根据图 5.2 的电路结构，将电容片的动片和二组定片，与电容变换器、差动放大器、V/F 表、测微器，低通滤波器，示波器，连接起来，组成一个测量线路。将 V/F 表置于 2KHz 档，低频振荡器的输出端与频率表的输入端连接起来。

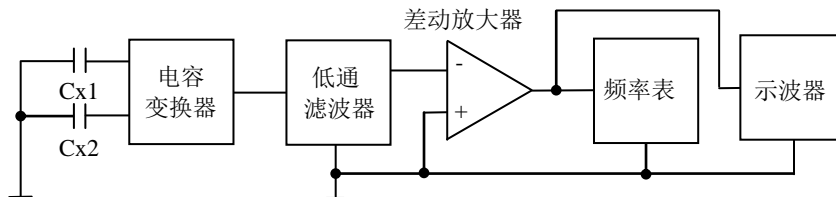


图 5.2 电容传感器线路图

3、固定低频振荡器的幅度旋钮至某一位置，调节频率，调节时用频率表监测频率，用示波器读出峰峰值填入下表。

F (Hz)											
V (P-P)											

## 七、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 八、仪器说明书

见附录。

## 九、实验报告

- 1、根据实验结果，画出 V — F 曲线图。
- 2、如果不调整电容片的相对位置，会有什么现象。

### 5.2.3 差动变面积式电容传感器的电子秤实验

#### 一、实验目的

了解差动变面积式电容传感器用于电子秤的应用。

#### 二、所需单元和部件

电容变换器，差动放大器，V/F 表，砝码，低通滤波器。

#### 三、有关旋钮的初始位置

V/F 表置于 2V 档，差动放大器的增益旋钮旋至中间。

#### 四、注意事项

- 1、实验过程中，差动放大器的增益旋钮不能改变。
- 2、振动圆平台的自由端在加减砝码时不能与其它器件相碰撞。

#### 五、实验内容

- 1、转动测微器，振动圆平台中间的磁铁与测微头分离，测微头缩至测微器中，振动时不再被吸住（振动圆平台处于自由静止状态，电容片的一组动片一般处于二组定片的中间）。
- 2、根据图 5.3 的电路结构，将电容片的一组动片和二组定片，与电容变换器，差动放大器，低通滤波器，电压表连接起来，组成一个测量线路。

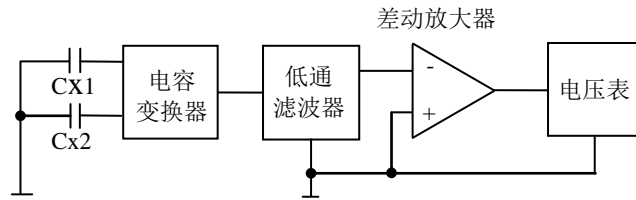


图 5.3 电容传感器电子秤线路图

- 3、按下表提示，在振动平台中间加不同重量的砝码，进行标定，将结果填入下表。并作出对应的  $W - V$  曲线。
- 4、去除砝码，在振动平台中间加一个未知的重物，记录电压表的读数。
- 5、根据实验数据，求出重物的重量。

W (G)											
V (MA)											

#### 六、实验设备

CSY — 10 型传感器实验仪。

#### 七、仪器说明书

见附录。

#### 八、实验报告

- 1、将这个电子秤方案投入实际应用，那些部分需要改进。
- 2、与实验（应变全桥电子秤），（电涡流秤）进行比较，回答各自的特点。

## 第 6 章 信号调理

### 6.1 常用的信号调理单元

虽然大多数传感器已将各种被测信号转换为电量信号，但是传感器的输出由于信号的种类、强度等方面不能直接用于仪表显示、传输、数据处理和在线控制。因此，在采用这些信号之前，必须对信号调理。本章节学习移相器和相敏检波器原理和使用方法。

### 6.2

#### 6.2.1 移相器实验

##### 一、实验目的

说明由运算放大器构成的移相电路的工作原理。

##### 二、实验原理

如图 6.1 所示为移相器电路示意图。

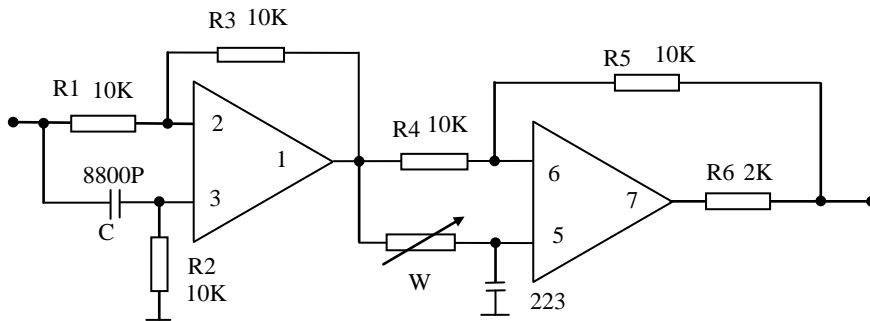


图 6.1 相移器电路

该电路的闭环增益

$$G(S) = -\frac{R_f}{R_1} + \frac{SRC}{1+RCS} \left( 1 + \frac{R_f}{R_1} \right)$$

把拉普拉斯算符换成频率域的参数，则得到

$$G(j\omega) = -\frac{R_f}{R_1} + \frac{W^2 R^2 C^2 + j\omega RC}{1 + W^2 R^2 C^2} \left( 1 + \frac{R_f}{R_1} \right)$$

$$G(j\omega) = -\frac{R_f}{R_1} + \frac{W^2 R^2 C^2 + j\omega RC}{1 + W^2 R^2 C^2} \left( 1 + \frac{R_f}{R_1} \right) + j \frac{WRC}{1 + W^2 R^2 C^2} \left( 1 + \frac{R_f}{R_1} \right)$$



在实验电路中，常设定幅频特性  $|G(j\omega)| = 1$ ，为此选择参数  $R_1 = R_f = 10K\Omega$ ， $R_2 = 20K\Omega$ ，则输出幅度与频率无关，闭环电路增益可简化为

$$G(j\omega) = -\frac{1 - W^2 R^2 C^2}{1 + W^2 R^2 C^2} + j\frac{WRC}{1 + W^2 R^2 C^2}$$

当  $R = 2R_1 = 2RR_f$  时， $|G(j\omega)| = 1$ 。由此可以得到相频特性表达式

$$\operatorname{tg}\psi = -\frac{2W^2 RC}{1 - W^2 R^2 C^2}$$

由  $\operatorname{tg}\psi$  表达式和正三角函数半角公式可以得到

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{2\operatorname{tg}(\psi/2)}{1 - \operatorname{tg}^2(\psi/2)} = \frac{2\operatorname{tg}(1 - \psi/2)}{1 - \operatorname{tg}^2(-\psi/2)} = \frac{2WRC}{1 - W^2 R^2 C^2}$$

因此可以得到移相  $\psi$  为

$$\psi = -2\operatorname{arctg}\frac{1}{WRC} = -2\operatorname{arctg}^{-1}(WRC)$$

电阻  $R$  可以在很宽的范围内变化，当  $WRC$  很大时，移相  $\psi \rightarrow 0$ ，式中负号表示相位超前，如将电路中  $R$  和  $C$  互换位置，则可得到相位滞后的情况。如果阻容网络  $RC$  不变，则移相将随输入信号的频率而改变。

### 三、实验所需部件

移相器、音频振荡器。

### 四、实验内容

1、根据图示 6.2

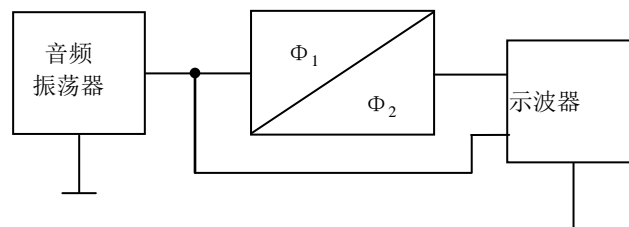


图 6.2 移相器实验线路图

- 2、音频振荡器频率、幅值旋钮居中，将信号（ $0^\circ$  或  $180^\circ$  均可）送入移相器输入端。
- 3、将双线示波器两测试线分别接至移相器输入端和输出端，调整示波器，观察波形。
- 4、调节移相器“相移”旋钮，观察两路波形的相位的变化。
- 5、改变音频振荡器频率，观察不同频率时移相器的移相范围。

F (KHz)	1	3	6	10
$\Phi_1 / \Phi_2$				

## 五、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 六、仪器说明书

见附录。

## 七、实验报告

根据移相器实际电路，分析其工作原理。

### 6.2.2 相敏检波器实验

#### 一、实验目的

说明由施密斯开关电路及运放组成的相敏检波电路的原理。

#### 二、实验原理

1、相敏检波电路如图 6.3A 所示，图中①为输入信号端，③为输出信号端，②为交流参考电压输入端，④为直流参考电压输入端。

2、当②、④端输入控制电压信号时，通过差分放大器的作用使 D 和 J 处于开关状态，从而把①端输入的正旋信号转换成半波整流信号。

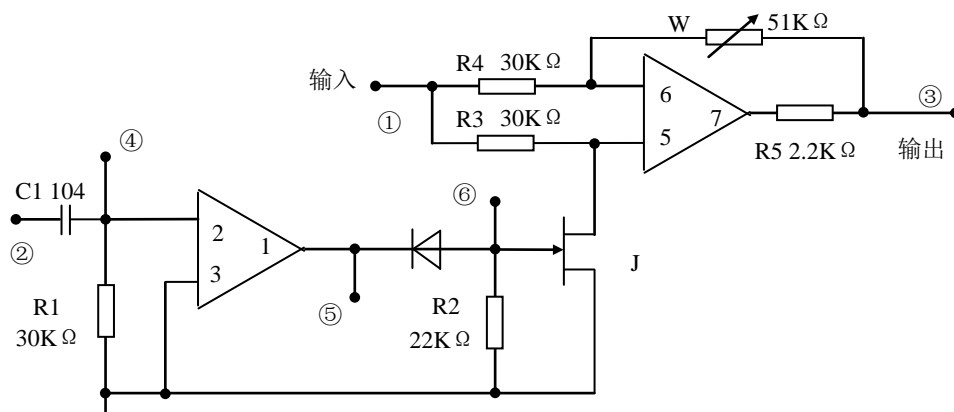
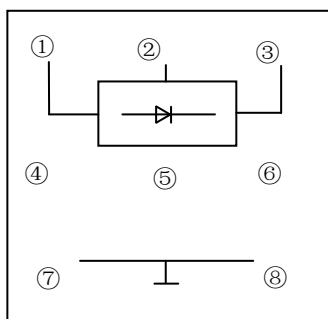


图 6.3A 相敏检波器原理图



6.3 B 相敏检波器框图

### 三、实验所需部件

相敏检波器、移相器、音频振荡器、直流稳压电源、低通滤波器、电压表。

### 四、实验内容

1、根据图示 6.3C 所示的电路结构，将相敏检波器、移相器、音频振荡器、直流稳压电源、低通滤波器、示波器连接起来，组成一个实验线路。

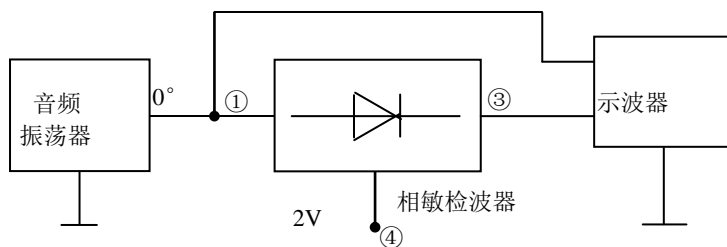


图 6.3 C 相敏检波器实验线路图

2、音频振荡器频率、幅度旋钮居中，输出信号（ $0^\circ$  或  $180^\circ$  均可）。接相敏检波器输入端。

3、将直流稳压电源 2V 档输出电压（正或负均可）接相敏检波器④端。

4、示波器两通道分别接相敏输入、输出端，观察输入、输出端波形的相位关系和幅值关系。

5、改变相敏检波器④参考电压的极性，观察输入、输出端波形的相位关系和幅值关系。可以得出结论，当参考电压为正时，输入与输出同相，当参考电压为负时，输入与输出反向。

6、根据图 6.3D 将音频振荡器  $0^\circ$  端输出信号送入移相器输入端，移相器的输出端与相敏检波器的参考输入端②连接，相敏检波器的信号输入端接音频振荡器  $0^\circ$  输出。

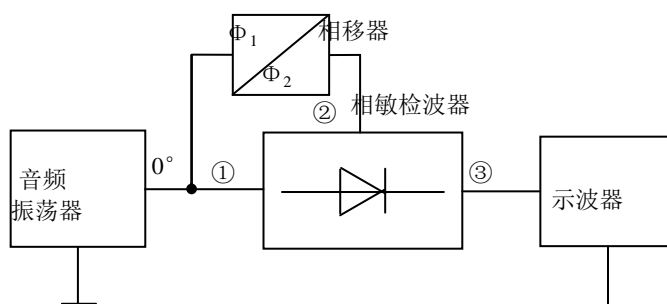


图 6.3 D 相敏检波器实验线路图

7、用示波器两通道观察附加插口⑤、⑥的波形。可以看出，相敏检波器中整形电路的作用是将输入的正旋波转换成方波信号，使相敏检波器中的电子开关正常工作。

8、根据图 6.3E 的电路结构重新接线，将相敏检波器的输出端与低通滤波器的输入端连接，低通滤波器的输出端接数字电压表 20V 档。

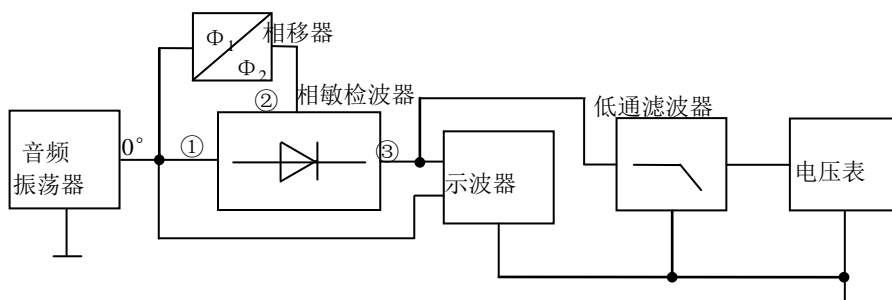


图 6.3 E 相敏检波器实验线路图

9、示波器两通道分别接相敏检波器输入端与输出端。

10、适当调节音频振荡器幅值旋钮和移相器“移相”旋钮，观察示波器中波形变化和电压表电压变化，然后相敏检波器的输入端改接至音频振荡器  $180^\circ$  输出端口，观察示波器和电压表的变化。由此可以看出，当相敏检波器的输入信号与开关同相时，输出为正极性的全波整流信号，电压表指示正极性方向最大值，反之，则输出负极性的全波整流波形，电压表指示负极性的最大值。

11、调节移相器“移相”旋钮，使用示波器和电压表，测出相敏检波器的输入  $V_{p-p}$  值与输出直流电压表的关系。

12、使用信号与参考信号的相位改变  $180^\circ$ ，测出上述关系。

输入 $V_{p-p}$ (V)	0.5	1	2	3	5	8	10
输出 $V_o$ (V)							

## 五、注意事项

相敏检波器的最大输入电压  $V_{p-p}$  为 20V。

## 六、实验设备

- 1、CSY — 10 型传感器实验仪。
- 2、双线示波器。

## 七、仪器说明书

见附录。

## 八、实验报告

- 1、根据实验结果，可以知道相敏检波器的作用是什么。移相器在实验线路中的作用是什么（注参考端输入波形相位的作用）。
- 2、当相敏检波器的输入与开关同相时，输出是什么极性的什么波，电压表的读数是什么极性的最大值。

# 第七章控制系统实验

## 7.1

### 7.2.1 系统时间响应模拟实验

一、通过机械、液压系统的电子模拟，了解系统的模拟研究方法。研究一阶惯性环节的运动规律，改变其时间常数，观察在阶跃信号作用下的过度变化。研究二阶系统的运动规律，观察两个重要的参数  $\xi$  和  $T$  对系统动态的影响。熟悉模拟实验装置的组成及原理，学会使用实验中所用到的仪器和设备。

#### 二、模拟的对像

1、某油缸——弹簧——阻尼系统，其物理模型如图 7.1 所示。

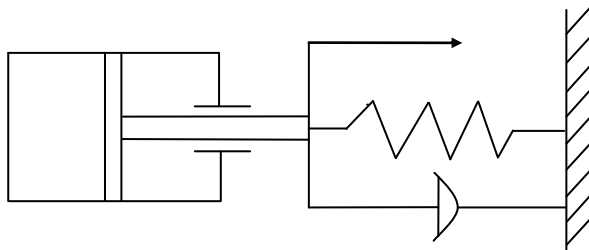


图 7.1油缸示意图

系统输入：进入油缸的油压  $P(t)$

系统输出：活塞杆在油压推动下产生的位移  $Y(t)$

图示：A 活塞面积，k 弹簧常数，B 阻尼系数。

系统微分方程

$$B \frac{dy}{dt} + ky = PA$$

传递函数

$$\frac{Y(s)}{P(s)} = \frac{A/k}{(B/k)S + 1} = \frac{K}{TS + 1}$$

式中

$K = A / k$  ，叫做增益系数。

$T = B / k$  ，叫做时间常数。

显然，上述系统与典型惯性环节传递函数形式完全一致，可用电子线路来模拟，以测定在不同的增益  $K$  及时间常数  $T$  的情况下，系统的时域特性。在给定活塞有效面积  $A$  的情况下，可以推算出最佳状态下系统的参数  $k$  和  $B$ 。

2、质量——弹簧——阻尼系统，其物理模型如图 7.2 所示

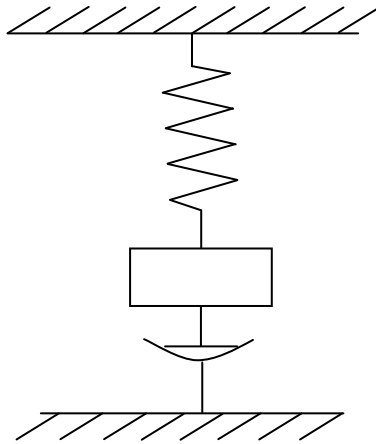


图 7.2 振动模型示意图

系统输入：施加于质量  $M$  上的外力  $F(t)$ 。

系统输出：质量  $M$  在外力作用下的位移  $Y(t)$

系统的运动方程：

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + B \frac{dy}{dt} + ky = F(t)$$

其传递函数为

$$\begin{aligned} \frac{Y(s)}{F(s)} &= \frac{1}{mS^2 + BS + k} = \frac{(1/k) * (k/m)}{S^2 + (B/m)S + k/m} \\ &= K \frac{(\omega_n)^2}{S^2 + 2\xi\omega_n S + (\omega_n)^2} = \frac{K}{T^2 S^2 + 2\xi TS + 1} \end{aligned}$$

式中  $\omega_n = \sqrt{k/m}$  称为自然谐振频率， $K$  为弹簧系数。

$$\xi = B/Bc = \frac{B}{2\sqrt{mk}} \quad \text{称为阻尼比。}$$

$$Bc = 2\sqrt{mk} \quad \text{称为临界阻尼系数。}$$

$B$  为系统阻尼系数。

$K = 1/k$  为系统增益。

显然，上述系统与典型的二阶振荡环节的传递函数完全一致。通过电子线路模拟测定在不同  $\xi$  和  $\omega_n$  下的瞬态响应。在给定质量  $M$  的情况下，可以推算下系统在最佳工作状态下的参数  $k$  和  $B$ 。

### 三、实验原理及线路

根据电子模拟原理（参阅附录），采用运算放大器和其它电阻，电容元件组成各种基本运算部件。可以构成本实验所要研究的一阶系统和二阶系统的模拟线路。如图 7.3 所示

#### 1、一阶惯性环节

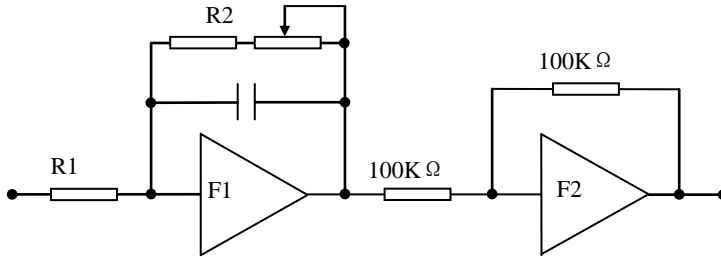


图 7.3 一阶系统电路图

上图所示的模拟环节为如图 7.4 所示

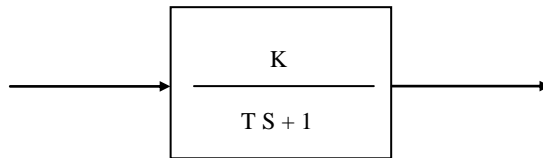


图 7.4 一阶系统方框图

图中

$$K = R2 / R1 \quad , \quad R1 = 100 \text{ K} \Omega \quad , \quad R2 = 100 \text{ K} \Omega \sim 1.1 \text{ M} \Omega$$

$$T = R2 \cdot C \quad , \quad \text{故 } T \text{ 由 } 0.1 \text{ 秒} \sim 1.1 \text{ 秒变化。}$$

#### 2、二阶环节

二阶系统，方框图如图 7.5 所示下

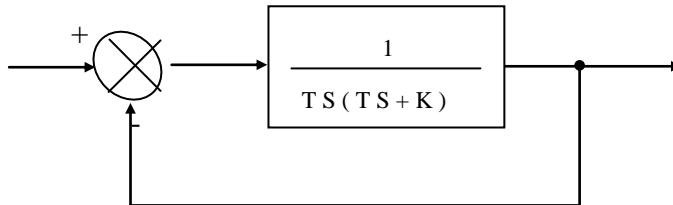


图 7.5 二阶系统方框图

其特征方程为： $T^2 \cdot S^2 + K \cdot T \cdot S + 1 = 0$



式中  $T$  为时间常数,  $K = 2 \cdot \xi$ ,  $\xi$  为阻尼比。  
 传递函数为

$$\frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{1}{T^2 S^2 + 2\xi TS + 1}$$

模拟线路图为图 7.6 所示

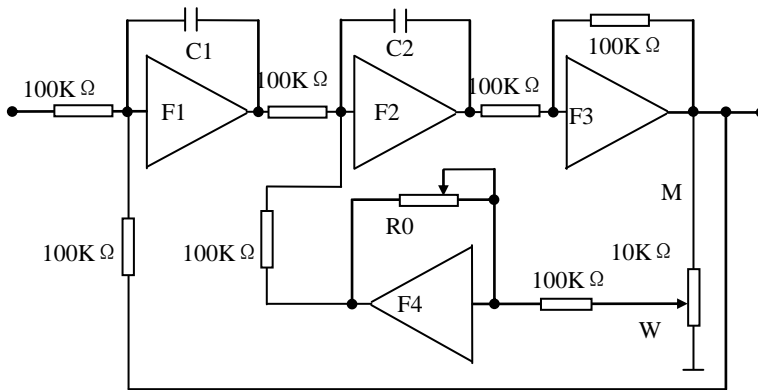


图 7.6 二阶系统电路图

第一组:  $C1 = C2 = 1 \mu F$ 。放大器,  $F1, F2, F3, F4$  或为  $A1, A2, A3, A4$   
 $T = 100 K\Omega \times 1 \mu F = 0.1$  秒, 改变  $W$  和  $R_0$  即可改变阻尼比  $\xi$ 。

第二组:  $C1 = C2 = 0.1 \mu F$ 。放大器,  $F1, F2, F3, F4$  或为  $A2, A5, A1, A3$   
 $T = 100 K\Omega \times 0.1 \mu F = 0.01$  秒, 改变  $W$  和  $R_0$  即可改变阻尼比  $\xi$ 。

#### 四、实验仪器和设备

- |               |    |
|---------------|----|
| 1、自动控制系统教学模拟机 | 一台 |
| 2、双踪示波器       | 一台 |
| 3、万用表         | 一只 |

#### 五、实验内容

- 1、改变一阶惯性环节的时间常数, 使  $T = 0.1$  秒、 $0.5$  秒、 $1$  秒左右, 分别加适合幅度的阶跃信号 (或方波信号), 观察并描出过过程曲线。
- 2、调节二阶环节模拟电路中的反馈电位计 (既改变  $K$  值)。使  $\xi = 0, 0.2, 0.5, 0.7, 1$ 。
1. 分别加同样幅度的阶跃信号, 用双线示波器的“时标”定时间, 求出  $M_o$  和时间  $T_p$ 。
- 3、在某一  $\xi$  值下, 改变时间常数  $T$ , 观察  $M_o$  和时间  $T_p$ , 并记录。

#### 六、实验步骤

- 1、检查电源线路, 地线是否接好, 注意将模拟装置, 电源, 示波器, 信号源的线接好。
- 2、将运算放大器接成比例状态, 将波段开关拨到“调零”后, 开通电源后调零。
- 3、关电源后, 按预先准备好的电路连线, 不用的运算放大器必须接成比例状态。
- 4、用示波器观察阶跃波形、方波信号或由电位计给出的  $E$  端电压信号大小 ( $1 - 2V$ )。

5、合上模拟装置电源，按实验内容 1、2 进行，对每一组参数都要将曲线描绘下来，由示波器的“时标”轴定时间。

### **七、实验报告要求**

- 1、写明实验线路及一切原始数据。
- 2、要有准确的实验记录，包括测量参数及曲线，仪表编号。
- 3、对实验中出现的现象要能准确描述与分析。
- 4、与理论值进行比较。

### **八、实验注意事项**

- 1、实验前认真复习与实验有关的教材内容，并阅读实验指导书（包括附录部分）。
- 2、运算放大器“输出端”严禁对地短路，不要带电接线，接好后仔细复查，经指导教师查看后方可通电。
- 3、爱护仪器，正确使用。
- 4、实验完成后，认真整理数据，写出实验报告。

表一、一阶系统瞬态响应实验报告

组别 \_\_\_\_\_ 日期 \_\_\_\_\_

系统增益 K			
时间常数 T			
调整时间 $T_s$			
调整电压			
输出波形 (草图)			
K = T = 时  阶跃响应 曲线	理 论		实 验

表二、二阶系统瞬态响应实验报告

组别 \_\_\_\_\_ 日期 \_\_\_\_\_

系统增益 K	1				
阻尼比	0	0.2	0.5	0.7	1
无阻尼自然频率					
输出电压					
实测超调量 Mp					
实测峰值时间 Tp					
输出波形 (草图)					
K = 时  阶跃响应 曲线	理 论			实 验	

## 7.2.2 系统频率响应模拟实验

### 一、实验目的

进一步了解模拟实验研究的原理及其方法，研究一阶系统和二阶系统的频率特性，分析系统结构参数对系统动态性能的影响。

### 二、模拟的对像

1、某油缸——弹簧——阻尼系统，其物理模型如图 7.1 所示。

系统输入：进入油缸的油压  $P(t)$

系统输出：活塞杆在油压推动下产生的位移  $Y(t)$

图示：A 活塞面积，k 弹簧常数，B 阻尼系数。

系统微分方程

$$B \frac{dy}{dt} + ky = PA$$

传递函数

$$\frac{Y(s)}{P(s)} = \frac{A/k}{(B/k)S+1} = \frac{K}{TS+1}$$

式中

$$K = A / k \quad , \quad \text{叫做增益系数。}$$

$$T = B / k \quad , \quad \text{叫做时间常数。}$$

显然，上述系统与典型惯性环节传递函数形式完全一致，可用电子线路来模拟，以测定在不同的增益  $K$  及时间常数  $T$  的情况下，系统的频域特性。在给定活塞有效面积  $A$  的情况下，可以推算出最佳状态下系统的参数  $k$  和  $B$ 。

2、质量——弹簧——阻尼系统，其物理模型如图 7.2 所示

系统输入：施加于质量  $M$  上的外力  $F(t)$ 。

系统输出：质量  $M$  在外力作用下的位移  $Y(t)$

系统的运动方程

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + B \frac{dy}{dt} + ky = F(t)$$

其传递函数为

$$\frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{K}{T^2 S^2 + 2\xi TS + 1} = \frac{K}{(1/\omega_n)^2 S^2 + 2\xi(1/\omega_n)S + 1}$$

式中  $\omega_n = \sqrt{k/m}$  称为自然谐振频率， $k$  为弹簧系数。

$$\xi = \frac{B}{B_c} = \frac{B}{2\sqrt{mk}} \quad \text{称为阻尼比。}$$

$$B_c = 2\sqrt{mk} \quad \text{称为临界阻尼系数。}$$

B 为系统阻尼系数。

$K = 1/k$  为系统增益。

显然，上述系统与典型的二阶振荡环节的传递函数完全一致。通过电子线路模拟测定在不同  $\xi$  和  $\omega_N$  下的动态响应。在给定质量 M 的情况下，可以推算出系统在最佳工作状态下的参数 k 和 B。

### 三、实验原理及线路图

根据电子模拟原理（参阅附录），采用运算放大器和其它电阻，电容元件组成各种基本运算部件。可以构成本实验所要研究的一阶系统和二阶系统的模拟线路。如图 7.7 所示

#### 1、一阶惯性环节

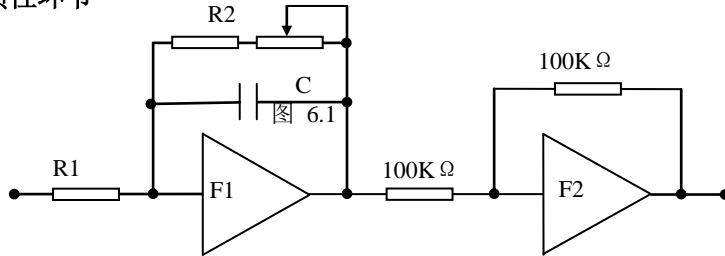


图 7.7 一阶系统电路图

取  $C = 1 \mu\text{F}$ ,  $R_2 = 500 \text{K}\Omega$ , 可得增益  $K = 5$ , 时间常数  $T = 0.5$  秒  
频率特性

$$G(j\omega) = \frac{K}{1 + j\omega T}$$

#### 2、二阶系统模拟环节

有一个二阶系统，其方框图见 7.5.

其特征方程为：

$$T^2 \cdot S^2 + K \cdot T \cdot S + 1 = 0$$

式中 T 为时间常数， $K = 2 \cdot \xi$ ,  $\xi$  为阻尼比。

传递函数为

$$\frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{1}{T^2 S^2 + 2\xi T S + 1}$$

模拟线路如图 7.8 所示

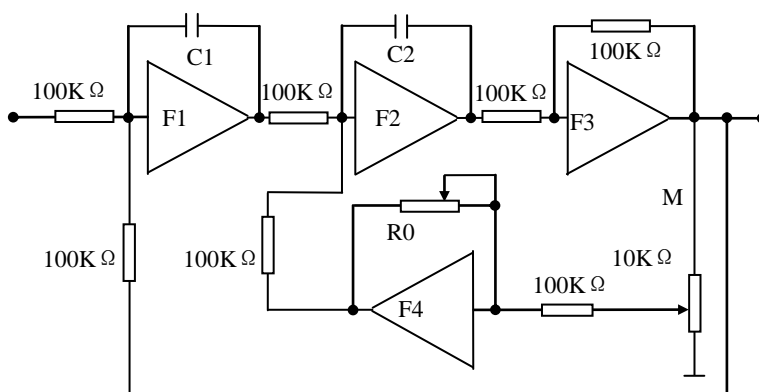


图 7.8 二阶系统电路图

取  $C1 = C2 = 1 \mu\text{F}$ ,  $R0 = 100\text{K}\Omega$ , 可得系统开环增益  $K = 1$ , 时间常数  $T = 0.1$  秒。  
开环频率特性

$$G(j\omega) = \frac{1}{j\omega T(j\omega T + K)}$$

闭环传递函数

$$\Phi(j\omega) = \frac{1}{T^2(j\omega)^2 + 2\xi T(j\omega) + 1}$$

#### 四、实验仪器和设备

- |               |    |
|---------------|----|
| 1、自动控制系统教学模拟机 | 一台 |
| 2、双踪示波器       | 一台 |
| 3、万用表         | 一只 |
| 4、正弦超低频信号发生器  | 一台 |

#### 五、实验内容

- 1、在一阶惯性环节中，固定时间常数  $T$ ，在输入端加入等幅度的正弦超低频信号电压，改变信号频率，记录输出端电压的峰——峰值，并画出对数幅频特性曲线。
- 2、在二阶环节模拟电路中固定时间常数  $T$ ，使  $\xi = 0.2, 0.7$ 。加等幅度的正弦超低频信号电压，改变信号频率，记录输出端电压的峰——峰值，并画出对数幅频特性曲线。
- 3、实验步骤参见实验一的实验步骤，只是实验一中的信号为“阶跃信号”，在实验二中信号为“超低频信号”。

#### 六、实验步骤

- 1、检查电源线路，地线是否接好，注意将模拟装置，电源，示波器，信号源的线接好。
- 2、将运算放大器接成比例状态，将波段开关拨到“调零”后，开通电源后调零。
- 3、关电源后，按预先准备好的电路联线，不用的运算放大器须接成比例状态。
- 4、用示波器观察正弦超低频信号波形，电压信号大小（1—2V）。

5、合上模拟装置电源，按实验内容 1、2 进行，对每一组参数都要将曲线描绘下来，由示波器“时标”定时间轴。

### **七、实验报告要求**

- 1、写明实验线路及一切原始数据。
- 2、要有准确的实验记录，包括测量参数及曲线，仪表编号。
- 3、对实验中出现的现象要能准确描述与分析。
- 4、与理论值进行比较。

### **八、实验注意事项**

- 1、实验前认真复习与实验有关的教材内容，并阅读实验指导书（包括附录部分）。
- 2、运算放大器“输出端”严禁对地短路，不要带电接线，接好后仔细复查，经指导教师查看后方可通电。
- 3、爱护仪器，正确使用。
- 4、实验完成后，认真整理数据，写出实验报告。



表三、一阶系统频率响应实验报告

组别 \_\_\_\_\_ 日期 \_\_\_\_\_

K =

T =

输入信号 频率 (Hz)	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8
角频率 $\omega$												
输入信号 $ U_I $												
输出信号 $ U_O $												
幅值比 $20\lg  U_O/U_I $												
K =  T = 时  对数幅频 特性曲线	理 论 BODE 图						实 验 BODE 图					

表四、二阶系统频率响应实验报告

组别 \_\_\_\_\_ 日期 \_\_\_\_\_

K = \_\_\_\_\_ , T = \_\_\_\_\_ ,  $\xi =$  \_\_\_\_\_ ,  $\omega =$  \_\_\_\_\_

输入信号 频率 (Hz)	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8
角频率 $\omega$												
输入信号 $ U_I $												
输出信号 $ U_O $												
幅值比 $20\lg  U_O/U_I $												
K =  T = 时  对数幅频 特性曲线	理 论 BODE 图						实 验 BODE 图					