

传感器原理与应用实验 指导书

商丘师范学院物理与信息工程系编

目 录

实验一 箔式应变片性能——单臂电桥.....	1
实验二 箔式应变片三种桥路性能比较.....	3
实验三 差动变压器性能测试.....	5
实验四 电容式传感器特性.....	7
实验五 压电加速度传感器.....	9
实验六 霍尔传感器的应用——电子秤	10
附 CSY 系列传感器系统实验仪使用说明	11

实验一 箔式应变片性能——单臂电桥

一、实验目的

- 1、观察了解箔式应变片的结构及粘贴方式。
- 2、测试应变梁变形的应变输出。

二、实验仪器

直流稳压电源（ $\pm 4V$ 档）、电桥、差动放大器、箔式应变片、测微头、F/V（频率/电压）表

三、实验原理

本实验说明箔式应变片及直流电桥的原理和工作情况。

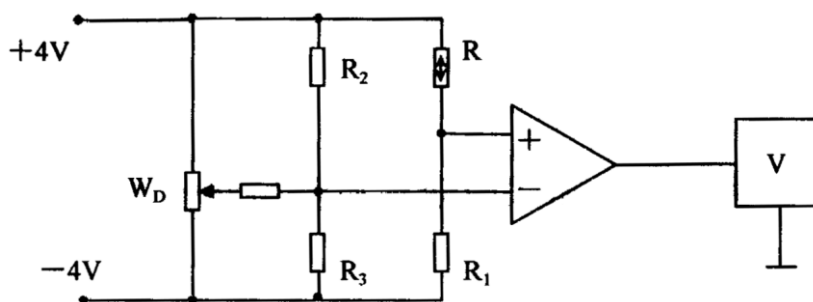
应变片是最常用的测力传感元件。当用应变片测试时，应变片要牢固地粘贴在测试体表面，测件受力发生形变，应变片的敏感栅随同变形，其电阻值也随之发生相应的变化。通过测量电路，转换成电信号输出显示。

电桥电路是最常用的非电量电测电路中的一种，当电桥平衡时，桥路对臂电阻乘积相等，电桥输出为零，在桥臂四个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 中，电阻的相对变化率分别为 $\Delta R_1/R_1$ 、 $\Delta R_2/R_2$ 、 $\Delta R_3/R_3$ 、 $\Delta R_4/R_4$ ，当使用一个应变片时， $\Sigma R = \Delta R/R$ ；当二个应变片组成差动状态工作，则有 $\Sigma R = 2\Delta R/R$ ；用四个应变片组成二个差动对工作，且 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ ， $\Sigma R = 4\Delta R/R$ 。

四、实验步骤

1、调零。开启仪器电源，差动放大器增益置 100 倍（顺时针方向旋到底），“+、—”输入端用实验线对地短路。输出端接数字电压表，用调零电位器调整差动放大器输出电压为零，然后拔掉实验线，调零后电位器位置不要变化。

2、按图（1）将实验部件用实验线连接成测试桥路。桥中 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 和 W_D 为电桥中的固定电阻和直流调平衡电位器， R 为应变片（可任选上、下梁中的一片工作片）。直流激励电源为 $\pm 4V$ 。



图（1）

测微头装于悬臂梁前端的永久磁钢上，并调节使应变梁处于基本水平状态。

- 3、确认接线无误后开启仪器电源，并预热数分钟。调整电桥 W_D 电位器，使测试系统输出为零。
- 4、旋转测微头，带动悬臂梁分别向上和向下的运动，以水平状态下输出电压为零，向上和向下移动各 5mm，测微头每移动 0.5mm 记录一个差动放大器输出电压值，并将数据填入表（1）。

五、数据处理

表（1）

位移(mm)													
电压（V）													

- 1、根据表中所测数据在坐标图上做出 $V-X$ 曲线。
- 2、计算灵敏度 S ， $S=\Delta V/\Delta X$ 。

六、问题思考

- 1、怎样才能较准确地使应变梁处于基本水平状态？
- 2、简述温度误差的产生原因和补偿办法？

实验二 箔式应变片三种桥路性能比较

一、实验目的

- 1、比较箔式应变片三种桥路性能。

二、实验仪器

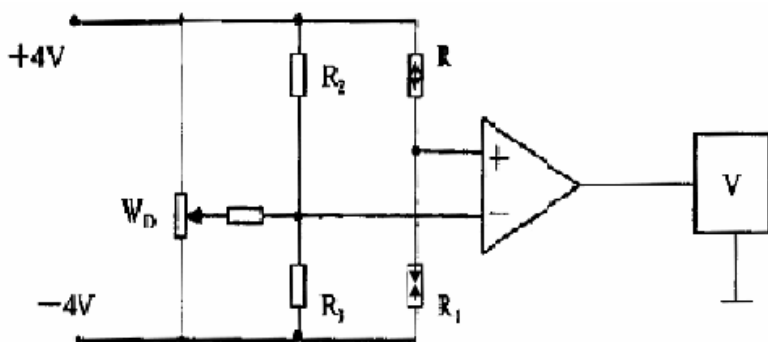
直流稳压电源（ $\pm 4V$ 档）、电桥、差动放大器、箔式应变片、测微头、F/V（频率/电压）表

三、实验原理

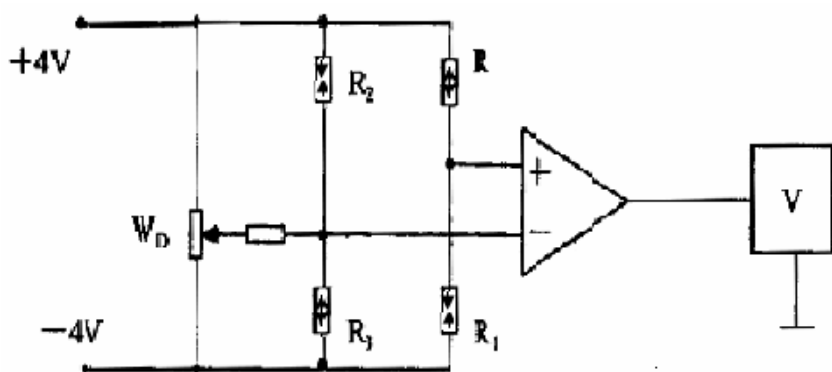
已知单臂、半桥和全桥电路的 ΣR 分别为 $\Delta R/R$ 、 $2\Delta R/R$ 、 $4\Delta R/R$ 。根据戴维南定理可以得出测试电桥的输出电压近似等于 $1/4 \cdot E \cdot \Sigma R$ ，电桥灵敏度 $K_u = V / \Delta R / R$ ，于是对应于单臂、半桥和全桥的电压灵敏度分别为 $1/4E$ 、 $1/2E$ 和 E 。由此可知，当 E 和电阻相对变化一定时，电桥及电压灵敏度与各桥臂阻值的大小无关。

四、实验步骤

- 1、在完成实验一的基础上，不变动差动放大器增益和调零电位器，依次分别接成半桥和全桥测试系统，如图（1）和图（2）。



图（1）半桥测试系统



图（2）全桥测试系统

- 2、重复实验一中 3—4 步骤，测出半桥和全桥输出电压分别填入表（1）和表（2）。

五、数据处理

表（1）

位移(mm)													
电压 (V)													

表（2）

位移(mm)													
电压 (V)													

- 1、分别计算半桥和全桥电路的灵敏度。
- 2、在同一坐标上描出 $V-X$ 曲线，比较三种桥路的灵敏度，并做出定性的结论。

六、问题思考

- 1、通过对比分析全桥电路的优越性。
- 2、电路的灵敏度和电压灵敏度是一个概念吗？

实验三 差动变压器性能测试

一、实验目的

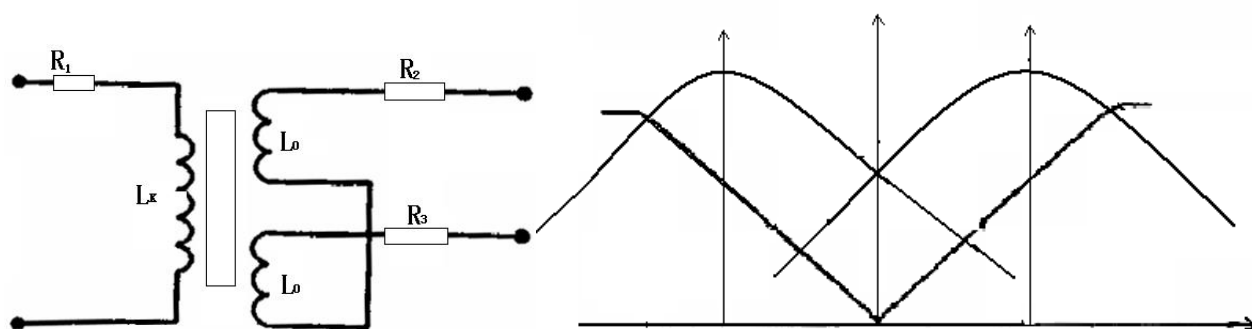
- 1、了解差动变压器的基本结构及原理；
- 2、验证差动变压器的基本特性。

二、实验仪器

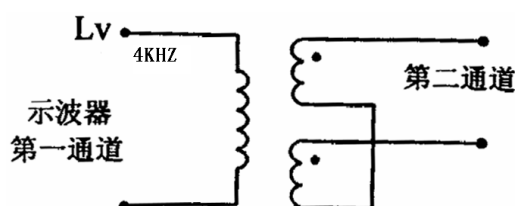
差动变压器、音频振荡器、测微仪、示波器

三、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。初级线圈做为差动变压器激励用，相当于变压器原边。次级线圈由两个结构尺寸和参数相同的线圈反相串接而成，相当于变压器副边。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）。



图(1)



图(2)

四、实验步骤

- 1、按图（2）接线，差动变压器初级线圈必须从音频信号源 LV 功率输出端接入，双线示波器第一通道灵敏度 500mv/格，第二通道 10mv/格。
- 2、音频振荡器输出频率 4KHZ，输出值 $V_{p-p}2V$ 。
- 3、用手提压变压器磁芯，观察示波器第二通道所示波形能否过零翻转，如不能则改变接两个次级线圈的串接端。
- 4、仔细调节测微仪使次级输出波形无法再小时，即为差动变压器零点残余电压，可以看出它与输入电压的相位差约为 $\pi/2$ ，是基频分量。

5、旋转测微头，带动差动变压器衔铁在线圈中上下移动，从示波器中读出次级输出电压 V_{p-p} 值，填入表（1）同时注意初次级线圈波形相位关系。

五、数据处理

表（1）

位移(mm)													
电压 (V)													

- 1、根据表格所列结果，作出 $V_{0p-p}-X$ 曲线。
- 2、指出差动变压器的线性工作范围。

六、问题思考

- 1、零点残余电压产生的原因是什么?怎样减小和消除它的影响?
- 2、差动变压器式传感器的等效电路包括哪些元件和参数?各自的含义是什么?

实验四 电容式传感器特性

一、实验目的

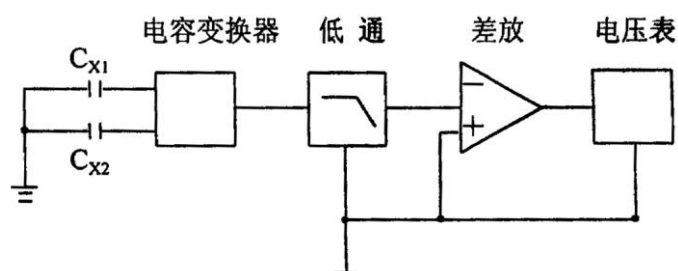
- 1、了解差动变面积式电容传感器的工作原理和特性。

二、实验仪器

电容传感器、电容变换器、差动放大器、低通滤波器、低频振荡器、测微仪、F/V（频率/电压）表、激振 I、示波器

三、实验原理

电容式传感器有多种型式，本仪器中是差动变面积式。传感器由两组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，成为差动电容。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} 电，当将 C_{x1} 和 C_{x2} 接入桥路作为相邻两臂时，桥路的输出电压与电容量的变化有关，即与振动台的位移有关。



图（1）

四、实验步骤

- 1、按图（1）接好实验线路，电容变换器和差动放大器的增益适当。
- 2、装上测微仪，带动振动台位移，使电容动片位于两定片中，此时差动放大器输出应为零。
- 3、以此为起点，向上和向下位移动片，每次 0.5mm，直至动片与一组定片完全重合为止，记录数据，填入表（1）中。
- 4、低频振荡器输出接“激振 I”端，移开测微头，适当调节频率和振幅，使差放输出波形较大但不失真，用示波器观察输出波形。

五、数据处理

表（1）

X (mm)																	
V ₀ (v)																	

- 1、根据表中数据作出 V-X 曲线。

2、求出传感器灵敏度。

六、问题思考

- 1、画出电容式传感器的等效电路。
- 2、若向上测量完成后测微头回到起始位置时，输出电压并不为零，如何消除此误差？

实验五 压电加速度传感器

一、实验目的

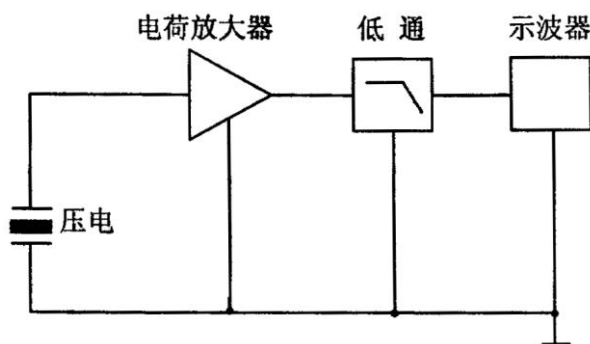
- 1、了解压电加速度计的结构、原理和应用。

二、实验仪器

压电式传感器、电荷放大器、低频振荡器、激振器 II、F/V（电压/频率）表、示波器、低通滤波器

三、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。



图（1）

四、实验步骤

- 1、观察压电式加速度传感器的结构，由双压电陶瓷晶片、惯性质量块、压簧、引出电极组装于塑料外壳中。
- 2、按图（1）接线，低频振荡器输出接“激振器 II”端，开启电源，调节振幅与频率，用示波器观察低通滤波器输出波形。
- 3、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} 值也最大，由此可得出结论：压电加速度传感器是一种对外力作用敏感的传感器。

五、数据处理

- 1、描述低频振荡器振幅不变，改变频率时，波形如何变化。
- 2、描述低频振荡器频率不变，改变振幅时，波形如何变化。
- 3、描述低频振荡器频率为谐振频率时波形情况。

六、问题思考

- 1、画出压电元件的两种等效电路。
- 2、电荷放大器的作用是什么？

实验六 霍尔传感器的应用—电子秤

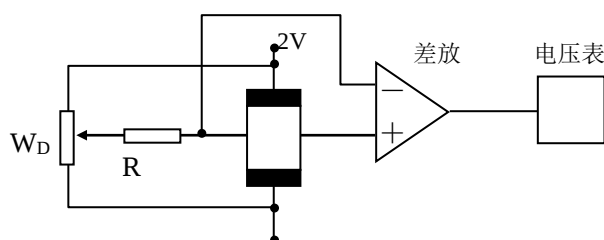
一、实验目的

- 1、了解霍尔传感器的结构和工作原理。
- 2、学会用霍尔传感器做静态位移测试。

二、实验仪器参考

霍尔式传感器、直流稳压电源、差动放大器、振动圆盘、砝码、电桥、电压表。

三、参考电路图



图（1）

四、实验步骤参考

- 1、移开测微头，按图（1）接好电路图，使输出为零。系统灵敏度尽量大（输出以不饱和为标准）。
- 2、以振动圆盘作为称重平台，逐步放上砝码，依次记下表头读数，填入表（1）。

五、数据处理

表（1）

W(g)													
V(v)													

- 1、根据表中数据做出 $V-W$ 曲线
- 2、移走称重砝码，在平台上另放置一未知重量之物品，根据表头读数从 $V-W$ 曲线中求得其重量。

六、问题思考

- 1、影响霍尔元件输出零点的因素有哪些？
- 2、你对自己的设计方案还有什么改进意见？

使用 说 明

CSY 系列(CSY.CSY10.CSY10A.CSY10B)传感器系统实验仪是用于检测仪表类课程教学实验的多功能教学仪器。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。通过实验指导书所提供的数十种实验举例,能完成包含光、磁、电、温度、位移、振动、转速等内容的测试实验。通过这些实验,实验者可对各种不同的传感器及测量电路原理和组成有直观的感性认识,并可在本仪器上举一反三开发出新的实验内容。

实验仪主要由实验工作台、处理电路、信号与显示电路三部分组成。各款实验仪的传感器配置及布局是:(具体布局详见各款仪器工作台布局图)

一、位于仪器顶部的实验工作台部分,左边是一副平行式悬臂梁,梁上装有应变式、热敏式、P-N 结温度式、热电式和压电加速度五种传感器。

平行梁上梁的上表面和下梁的下表面对应地贴有八片应变片,受力工作片分别用符号  和  表示。其中六片为金属箔式片(BHF-350)。横向所贴的两片为温度补偿片,用符号  和  表示。片上标有“BY”字样的为半导体式应变片,灵敏系数 130。(CSY10B 型应变梁上只贴有半导体应变计。)

热电式(热电偶):串接工作的两个铜-康铜热电偶(T 分度)分别装在上、下梁表面,冷端温度为环境温度。分度表见实验指导书。(CSY10B 型上梁表面安装一支 K 分度标准热电偶。)

热敏式:上梁表面装有玻璃珠状的半导体热敏电阻 MF-51,负温度系数,25℃时阻值为 8~10K。

P-N 结温度式:根据半导体 P-N 结温度特性所制成的具有良好线性范围的集成温度传感器。

压电加速度式:位于悬臂梁自由端部,由 PZT-5 双压电晶片、铜质量块和压簧组成,装在透明外壳中。

实验工作台左边是由装于机内的另一副平行梁带动的圆盘式工作台。圆盘周围一圈安装有(依逆时针方向)电感式(差动变压器)、电容式、磁电式、霍尔式、电涡流式、压阻式等传感器。

电感式(差动变压器):由初级线圈 L_1 和两个次级线圈 L_2 绕制而成的空心线圈,圆柱形铁氧体铁芯置于线圈中间,测量范围>10mm。

电容式:由装于圆盘上的一组动片和装于支架上的两组定片组成平行变面积式差动电容,线性范围 $\geq 3\text{mm}$ 。

磁电式:由一组线圈和动铁(永久磁钢)组成,灵敏度 0.4V/m/s。

霍尔式:半导体霍尔片置于两个半环形永久磁钢形成的梯度磁场中,线性范围 $\geq 3\text{mm}$ 。

电涡流式:多股漆包线绕制的扁平线圈与金属涡流片组成的传感器,线性范围>1mm。

MPX 压阻式:摩托罗拉扩散硅压力传感器,差压工作,测压范围 0~50KP。精度 1%。(CSY10B)

湿敏传感器:高分子湿敏电阻,测量范围:0~99%RH。

气敏传感器:MQ3 型,对酒精气敏感,测量范围 10-2000PPm,灵敏度 $R_0/R > 5$ 。

光敏传感器:半导体光导管,光电阻与暗电阻从 $\text{nM}\Omega$ 至 $\text{nK}\Omega$

双孔悬臂梁称重传感器:称重范围 0~500g,精度 1%。

光电式传感器装于电机侧旁。

两副平行式悬臂梁顶端均装有置于激振线圈内的永久磁钢，右边圆盘式工作台由“激振 I”带动，左边平行式悬臂梁由“激振 II”带动。

为进行温度实验，左边悬臂梁之间装有电加热器一组，加热电源取自 15V 直流电源，打开加热开关即能加热，工作时能获得高于温度 30℃左右的升温。

以上传感器以及加热器、激振线圈的引线端均位于仪器下部面板最上端一排。

实验工作台上还装有测速电机一组及控制、调速开关。（CSY10B 装有激振转换开关）

两支测微头分别装在左、右两边的支架上。（CSY10B 只有右边一支）

二、信号及仪表显示部分：位于仪器上部面板

低频振荡器：1~30Hz 输出连续可调， V_{p-p} 值 20V，最大输出电流 1.5A， V_i 端插口可提供用作电流放大器。

音频振荡器：0.4KHz~10KHz 输出连续可调， V_{p-p} 值 20V，180°、0° 为反相输出， L_v 端最大功率输出 1.5A。

直流稳压电源：±15V，提供仪器电路工作电源和温度实验时的加热电源，最大输出 1.5A。±2V~±10V，档距 2V，分五档输出，提供直流信号源，最大输出电流 1.5A。

数字式电压/频率表 $3\frac{1}{2}$ 位显示，分 2V、20V、2KHz、20KHz 四档，灵敏度≥50mV，频率显示 5Hz~20KHz。

指针式直流毫伏表：测量范围 500mV、50mV、5mV 三档，精度 2.5%。

数字式温度计：K 分度热电偶测温，精度±1℃。（CSY10B 型）

三、处理电路：位于仪器下部面板

电桥：用于组成应变电桥，面板上虚线所示电阻为虚设，仅为组桥提供插座。 R_1 、 R_2 、 R_3 为 350Ω 标准电阻， W_0 为直流调节电位器， W_A 为交流调节电位器。

差动放大器：增益可调直流放大器，可接成同相、反相、差动结构，增益 1-100 倍。

光电变换器：提供光纤传感器红外发射、接收、稳幅、变换，输出模拟信号电压与频率变换方波信号。四芯航空插座上装有光电转换装置和两根多模光纤（一根接收，一根发射）组成的光强型光纤传感器。

电容变换器：由高频振荡、放大和双 T 电桥组成。

移相器：允许输入电压 20V_{p-p}，移相范围±40°（随频率不同有所变化）。

相敏检波器：集成运放极性反转电路构成，所需最小参考电压 0.5V_{p-p}，允许最大输入电压≤20V_{p-p}。

电荷放大器：电容反馈式放大器，用于放大压电加速度传感器输出的电荷信号。

电压放大器：增益 5 倍的高阻放大器。

涡流变换器：变频式调幅变换电路，传感器线圈是三点式振荡电路中的一个元件。

温度变换器（信号变换器）：根据输入端热敏电阻值、光敏电阻及 P-N 结温度传感器信号变化输出电压信号相应变化的变换电路。

低通滤波器：由 50Hz 陷波器和 RC 滤波器组成，转折频率 35Hz 左右。

使用仪器时打开电源开关，检查交、直流信号源及显示仪表是否正常。仪器下部面板左下角处的开关控制处理电路的工作电源，进行实验时请勿关掉。

指针式毫伏表工作前需输入端对地短路调零，取掉短路线后指针有所偏转是正常现象，不影响测试。

请用户注意，本仪器是实验性仪器，各电路完成的实验主要目的是对各传感器测试电路做定性的验证，而非工程应用型的传感器定量测试。

各电路和传感器性能建议通过以下实验检查是否正常：

1. 应变片及差动放大器，进行单臂、半桥和全桥实验，各应变片是否正常可用万用表电阻档在应变片两端测量其阻值。各接线图两个节点间即为一实验接插线，接插线可多根迭插，并保证接触良好。

2. 半导体应变片，进行半导体应变片直流半桥实验。

3. 热电偶，接入差动放大器，加热器打开即可，观察随温度升高热电势的变化。

4. 热敏式，进行“热敏传感器实验”，电热器加热升温，观察随温度升高“ V_0 ”端输出电压变化情况，注意热敏电阻是负温度系数。

5. P-N 结温度式，进行 P-N 结集成温度传感器测温实验，注意电压表 2V 档显示值为绝对温度 $T(K)$ 氏温度)。

6. 进行“移相器实验”，用双踪示波器观察两通道波形。

7. 进行“相敏检波器实验”，相敏检波端口序数规律为从左至右，从上到下，其中 4 端为参考电压输入端。

8. 进行“电容式传感器特性”实验，当振动圆盘带动动片上下移动时，电容变换器 V_0 端电压应正负过零变化。

9. 进行“光纤传感器——位移测量”，光纤探头可安装在原电涡流线圈的横支架上固定，端面垂直于镀铬反射片，旋动测微头带动反射片位置变化，从“ V_0 ”端读出电压变化值。光电变换器“ F_0 ”端输出频率变化方波信号。测频率变化时可参照“光纤传感器——转速测试”步骤进行。

10. 进行光电式传感器测速实验， V_F 端输出的是频率信号。

11. 将低频振荡器输出信号送入低通滤波器输入端、输出端用示波器观察，注意根据低通输出幅值调节输入信号大小。

12. 进行“差动变压器性能”实验，检查电感式传感器性能，实验前要找出次级线圈同名端，次级所接示波器为悬浮工作状态。

13. 进行“霍尔式传感器直流激励特性”实验，直流激励信号绝对不能大于 2V！否则一定会造成霍尔元件烧坏。

14. 进行“磁电式传感器”实验，磁电传感器两端接差动放大器输入端，差动放大器增益适当控制，用示波器观察输出波形，。

15. 进行“压电加速度传感器”实验，传感器引线屏蔽层必须接地。此实验与上述第 12 项内容均无定量要求。

16. 进行“电涡流传感器的静态标定”实验，接线参照图 11，其中示波器观察波形端口应在涡流变换器的左上方，即接电涡流线圈处，右上端端口为振荡信号经整流后的直流电压。11. 进行光敏电阻测光实验，信号变换器输出电压变化范围 $>1V$ 。

17. 进行扩散硅压力传感器实验，试验传感器差压信号输出情况。

18. 进行气敏传感器特性实验，特别注意加热电压一定不能 $>\pm 2V$ 。

19. 进行湿敏传感器特性演示实验，注意控制激励信号的频率及幅值。

20. 如果仪器是带微机接口和实验软件的，请参阅数据采集及处理说明。数据采集卡已装入仪器中，其中 A/D 转换是 12 位转换器，无漏码最大分辨率 1/2048（即 0.05%），在此范围内的电压值可视为容许误差。所以建议在做小信号实验（如应变电桥单臂实验）时选用合适的量程（如 200mv），以正确选取信号，减小误差。

仪器后部的 RS232 接口请接计算机串行口工作。所接串口须与实验软件设置一致，否则计算机将收不到信号。

仪器工作时需良好的接地，以减小干扰信号，并尽量远离电磁干扰源。

仪器的型号不同，传感器种类不同，则检查项目也会有所不同，请自行根据仪器型号选择实验内容。

上述检查及实验能够完成则整台仪器各部分均为正常。

实验时请非常注意实验指导书中实验内容后的“注意事项”，要在确认接线无误的情况下开启电源，尽量避免电源短路情况的发生，加热时“15V”电源不能直接接入应变片、热敏电阻和热电偶。实验工作台上各传感器部分如相对位置不太正确可松动调节螺丝稍作调整，原则上以按下振动梁松手，周边各部分能随梁上下振动而无碰擦为宜。

附件中的称重平台是在实验工作台左边的悬臂梁旁的测微头取开后装于顶端的永久磁钢上方，铜质砝码做称重实验之用。实验开始前请检查实验连接线是否完好，以保证实验顺利进行。

本实验仪需防尘，以保证实验接触良好，仪器正常工作温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。