

检测技术与自动化仪表

实验指导书

河南理工大学电气系测控教研室编写

2004 年 8 月

前 言

《检测技术与自动化仪表》课程是电类专业一门实践性较强的专业课。它主要介绍检测与转换的基本概念和常用传感器的结构、工作原理、使用特性以及实际应用。为了配合检测技术与自动化仪表课程的学习，特编写了本实验教材。

本指导书共有十五个实验，分为验证性实验、综合设计性实验和选做实验三大类。通过验证性实验使学生加深对传感器基本理论、基本概念的理解，巩固所学知识；综合设计性实验是为了锻炼提高学生的综合设计能力，培养学生的综合分析问题和解决问题的能力；对有些加深、加宽的内容和一些因实验材料有限制的实验项目作为选做实验。因为这些内容比较新颖、有较好的应用价值，其目的是为了扩大学生的眼界，起到抛砖引玉的作用，激发学生的兴趣。

检测技术与自动化仪表实验，是电类专业教学的重要环节，通过实验可验证所学理论的正确性，培养学生实际操作和调试的基本技能，培养学生从事工程实际能力。

本实验指导书侧重于如何在实验室中学习和掌握实验方法，应用所学到的理论知识，分析研究传感器的工作原理、特性，掌握传感器的应用方法。考虑到检测技术与自动化仪表实验单独设

置的需要和对学生独立实验的指导作用,实验原理部分作了较详细的介绍。

我们在编写过程中,收集教学要求中尽可能多的实验内容,可根据教学要求和实验设备来选作。

本实验指导书由河南理工大学电气工程系测控教研室的全体教师编写,由于时间仓促,加上编者水平有限,错误之处敬请读者给予指正。

河南理工大学电气工程系测控教研室

2004年8月20日

目 录

学生实验守则	1
--------	---

第一部分 验证性实验

实验一	温度传感器	2
实验二	霍尔元件	7
实验三	差动变压器	10
实验四	光电传感器	14
实验五	电涡流传感器	17

第二部分 综合设计性实验

实验一	金属箔式应变传感器	21
实验二	振幅测量	24
实验三	位移测量	29
实验四	称重实验	34
实验五	力平衡式传感器	39

第三部分 选做实验

实验一	湿敏传感器	41
实验二	气敏传感器	43
实验三	光栅传感器	46
实验四	电荷耦合图像传感器	48
实验五	超声波距离测量实验	51
附录	传感器实验台简介与使用说明	54

学生实验守则

1. 实验课前要认真阅读实验指导书,按照每个实验的要求做好必要的准备工作。
2. 进入实验室,要保持室内安静、整洁。要注意文明形象,进实验室不准穿拖鞋、背心、短裤等。
3. 爱护仪器设备,不要随意拨弄旋钮,未经教师许可,不得擅自挪换。实验操作要谨慎,防止损坏仪器设备。
4. 接好线后,应仔细检查,确定连线无误方可接通电源。改换电路,必须先断电源。
5. 观察实验现象,记录实验数据,都要认真仔细,实事求是。实验完毕,经分析结果无误后方可拆线。
6. 实验完毕,应将实验仪器、设备复位,将连线进行清查、整理。
7. 注意人身和设备的安全,遇到事故或出现异常现象,应先关断电源,再进行分析和处理。
8. 实验室内仪器设备是国家财产,凡损坏仪器设备者应填写损失单。对违反操作规程而损坏设备者,要写出书面检查,找出事故原因,并保证今后不再发生类似事故。对情节严重,认识态度不好者,要按规定进行赔偿。

实验一 温度传感器

实验目的

(1) 了解热电偶结构、温控电加热器的工作原理，掌握热电偶的测温性能。

(2) 观察两种典型的温度传感器（铂热电阻和半导体热敏电阻）的结构，掌握其特性及应用。

实验原理

由两根不同质的导体熔接而成的闭合回路叫做热电回路，当其两端处于不同温度时则回路中产生一定的电流，这表明电路中有电势产生，此电势即为热电势。

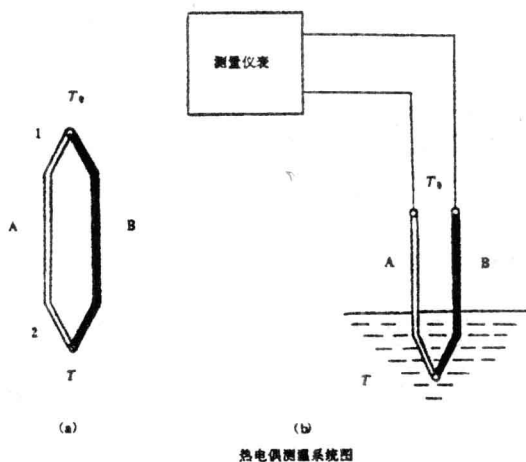


图 1

图 1 中 T 为热端，T₀ 为冷端，热电势 $E_t = \ell_{AB}(T) - \ell_{AB}(T_0)$

本实验中选用两种热电偶镍铬—镍硅 (K) 和镍铬—铜镍 (E)。

铂热电阻测温范围一般为 -200~650 °C，铂热电阻的阻值与温度的关系近似线性，当温度在 $0^\circ\text{C} \leq T \leq 650^\circ\text{C}$ 时， $R_T = R_0 (1 + A_T + BT^2)$

式中 R_T ——铂热电阻 T°C 时的电阻值

R_0 ——铂热电阻在 0°C 时的电阻值

A——系数 ($=3.96847 \times 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$)

B——系数 ($=-5.847 \times 10^{-7} 1/^\circ\text{C}^2$)

将铂热电阻作为桥路中的一部分在温度变化时电桥失衡便可测得相应电路的输出电压变化值。

热敏电阻是利用半导体的电阻值随温度升高而急剧下降这一特性制成的热敏元件。它呈负温度特性，灵敏度高，可以测量小于 0.01°C 的温差变化。图 2 为金属与热敏电阻温度曲线的比较。

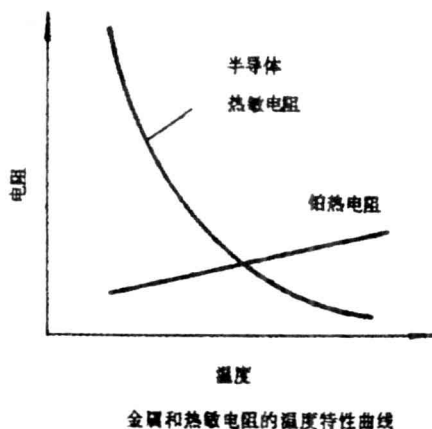


图 2

实验部件

- (1) K、E 分度热电偶；
- (2) 铂热电阻 (Pt_{100})；
- (3) MF 型热敏电阻；
- (4) 温控电加热器；
- (5) 温度传感器实验模块；
- (6) 电压表；
- (7) 温度计；
- (8) $4\frac{1}{2}$ 位数字电压表。

实验内容与步骤

1. 热电偶

(1) 观察热电偶结构 (可旋开热电偶保护外套), 了解温控电加热器工作原理。

温控器: 作为热源的温度指示、控制、定温之用。温度调节方式为时间比例式, 绿灯亮时表示继电器吸合电炉加热, 红灯亮时加热炉断电。

温度设定: 拨动开关拨向“设定”位, 调节设定电位器, 仪表显示的温度值 $^{\circ}\text{C}$ 随之变化, 调节至实验所需的温度时停止。然后将拨动开关扳向“测量”侧, (注: 首次设定温度不应过高, 以免热惯性造成加热炉温度过冲)。

(2) 首先将温度设定在 50°C 左右, 打开加热开关, (加热电炉电源插头插入主机加热电源插座), 热电偶插入电加热炉内, K 分度热电偶为标准热电偶, 冷端接“测试”端, E 分度热电偶接“温控”端, 注意热电偶极性不能接反, 而且不能断偶, $4\frac{1}{2}$ 位万用表置 200mV 档, 当钮子开关倒向“温控”时测 E 分度热电偶的热电势, 并记录电炉温度与热电势 E 的关系。

(3) 因为热电偶冷端温度不为 0°C , 则需对所测的热电势值进行修正

$$E(T, T_0) = E(T, t_1) + E(t_1, T_0)$$

实际电动势 = 测量所得电势 + 温度修正电势

查阅热电偶分度表, 上述测量与计算结果对照。

(4) 继续将炉温提高到 70°C 、 90°C 、 110°C 和 130°C , 重复上述实验, 观察热电偶的测温性能。

2. 铂热电阻

(1) 观察已置于加热炉顶部的铂热电阻，连接主机与实验模块的电源线及传感器与模块处理电路接口，铂热电阻电路输出端 V_0 接电压表，温度计置于热电阻旁感受相同的温度。

(2) 开启主机电源，调节热电阻电路调零旋钮，使输出电压为零，电路增益适中，由于铂电阻通过电流时其电阻值要发生变化，因此电路有一个稳定过程。

(3) 开启加热开关，设定加热炉温度为 $\leq 100^{\circ}\text{C}$ ，观察随炉温上升铂电阻的阻值变化及输出电压变化，(温度表上显示的温度值是炉内温度，并非加热炉顶端传感器感受到的温度)。并记录数据填入下表：

$^{\circ}\text{C}$													
$V_0 \text{ (mv)}$													

做出 V - T 曲线，观察其工作线性范围。

3. 半导体热敏电阻

(1) 观察已置于加热炉上的热敏电阻，温度计置于与传感器相同的感温位置。连接主机与实验模块的电源线及传感器接口线，热敏电阻测温电路输出端接数字电压表。

(2) 打开主机电源，调节热敏转换电路电压输出，使其值尽量大但不饱和。

(3) 设定加热炉加热温度后开启加热电源。

(4) 观察随温度上升时输出电压值变化，待温度稳定后将 V - T 值记入下表：

$^{\circ}\text{C}$												
V_T												

作出 V - T 曲线，(因为热敏电阻负温度特性呈非线性，所以实验时建议多采几个点)。

得出用热敏电阻测温结果的结论。

注意事项

(1) 加热炉温度请勿超过 150°C ，当加热开始，热电偶一定要插入炉内，否则炉温会失控，同样做其它温度实验时也需用热电偶来控制加热炉温度。

(2) 因为温控仪表为 E 分度，所以当钮子开关倒向“测试”方接入 K 分度热电偶时，数字温度表显示的温度并非为加热炉内的温度。

(3) 加热器温度一定不能过高，以免损坏传感器的包装。

(4) 热敏电阻感受到的温度与温度计上的温度相同，并不是加热炉数字表上显示的温度。而且热敏电阻的阻值随温度不同变化较大，故应在温度稳定后记录数据。

实验二 霍尔式传感器

实验目的

(1) 了解霍尔式传感器的工作原理, 掌握霍尔式传感器的直流和交流激励特性。

(2) 了解和掌握在交、直流信号激励下霍尔传感器测试系统的一般形式。

实验原理

霍尔元件是根据霍尔效应原理制成的磁电转换元件, 当霍尔元件位于由两个环形磁钢组成的梯度磁场中时就成了霍尔位移传感器。

霍尔元件通以恒定电流时, 就有霍尔电势输出, 霍尔电势的大小正比于磁场强度(磁场位置), 当所处的磁场方向改变时, 霍尔电势的方向也随之改变。

实验部件

- (1) 霍尔传感器;
- (2) 音频信号源;
- (3) 直流稳压电源(2V);
- (4) 公共电路模块;
- (5) 霍尔传感器实验模块;
- (6) 螺旋测微仪;
- (7) 电压表;
- (8) 示波器。

实验内容与步骤

1. 直流激励特性

(1) 安装好梯度磁场及霍尔传感器连接主机与实验模块电源及传感器接口, 确认霍尔元件直流激励电压为 2V , 另一激励端接地。实验接线按图 1 所示, 差动放大器增益 10 倍左右。

(2) 用螺旋测微仪调节振动平台(精密位移装置)使霍尔元件置于梯度磁场中间, 并调节电桥直流电位器 W_D , 使输出为零。

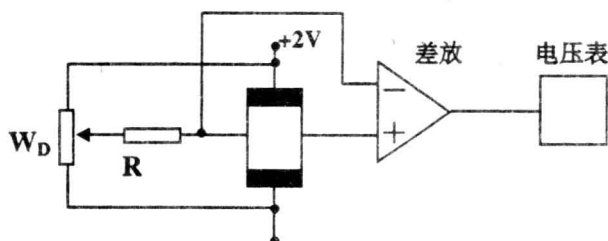


图 1

(3) 从中点开始, 调节螺旋测微仪, 上下(左右)移动霍尔元件各 3.5mm , 每变化 0.5mm 读取相应的电压值, 并记入下表:

X/mm							0							
V/mV							0							

作出 V - X 曲线, 求得灵敏度和线性工作范围。如出现非线性情况, 请查找原因。

2. 交流激励特性

(1) 连接主机与实验模块电源线, 按下图接好实验电路, 差动放大器增益适当, 音频信号输出从 180° 端口(电压输出)引出, 幅度 $V_{p-p} \leq 4\text{V}$, 示波器两个通道分别接相敏检波器①、②端。

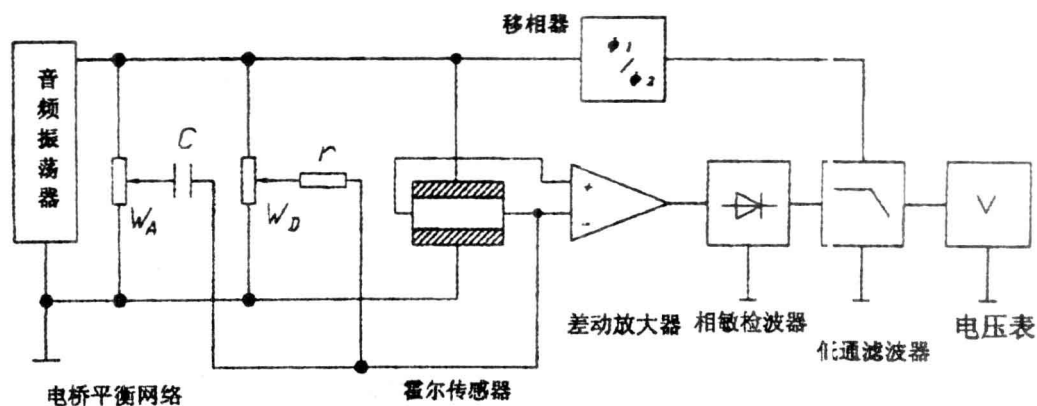


图 2

(2) 开启主机电源，调节移相器及电桥，使霍尔元件位于磁场中间时输出电压为零。

(3) 调节测微仪，带动霍尔元件在磁场中上、下（左、右）各位移 3.5mm，记录电压读数并记入下表：

Xmm							0								
VmV							0								

作出 V-X 曲线，求出灵敏度，并与直流激励测试系统进行比较。

注意事项

(1) 直流激励电压只能是 2V，不能接 $\pm 2V$ (4V) 否则铟化镓霍尔元件会烧坏。

(2) 交流激励信号勿从 0° 或 LV 端口输出。

实验三 差动变压器

实验目的

(1) 了解差动变压器的基本结构及原理, 通过实验验证差动变压器的基本特性。

(2) 观察由于零残电压的存在造成的差动变压器零点附近的不灵敏区, 掌握零残电压的补偿方法。

实验原理

电感传感器是一种将位置量的变化转为电感量变化的传感器, 差动变压器由衔铁、初级线圈和次级线圈组成, 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。

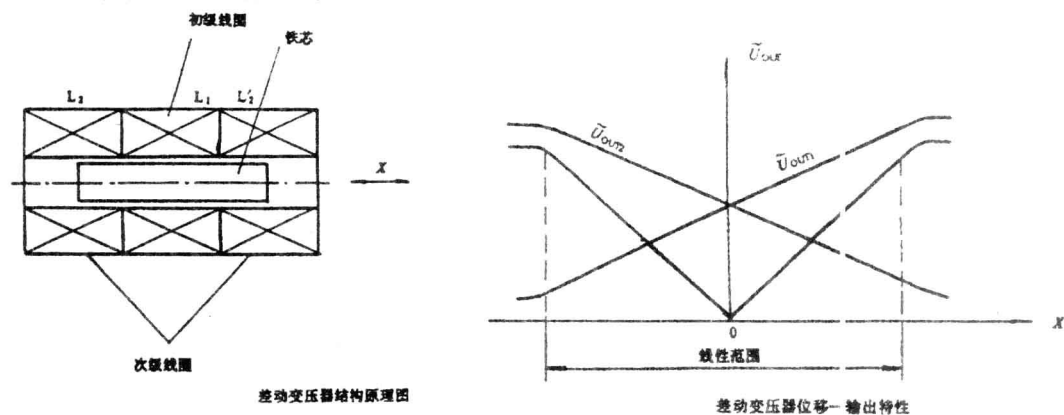


图 1

零残电压中主要包含两种波形成份:

(1) 基波分量: 这是由于差动变压器二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、线圈中线间电容的存在, 都使得激励电流与所产生的磁通不同相。

(2) 高次谐波：主要是由导磁材料磁化曲线的非线性引起，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。减少零残电压的办法是：(1) 从设计和工艺制作上尽量保证线路和磁路的对称。(2) 采用相敏检波电路。(3) 选用补偿电路。

实验部件

- (1) 差动变压器；
- (2) 电感传感器实验模块；
- (3) 公共电路模块；
- (4) 音频信号源；
- (5) 螺旋测微仪；
- (6) 示波器；
- (7) 电压表。

实验步骤：

1. 验证变压器性能

(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 1.0mv/格。

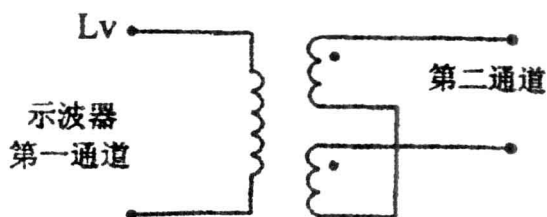


图 2

(2) 打开主机电源，调整音频输出信号频率，输出 V_{p-p} 值 2V，以示波器第二通道观察到波形不失真为好。

(3) 用手上下提压{左右移动}改变变压器磁芯在线圈中位置，观察示

波器第二通道所示波形能否过零翻转，否则改接次级二个线圈的串接端。

(4) 用螺旋测微仪带动铁芯在线圈中移动，从示波器中读出次级输出电压 V_{p-p} 值，同时注意初次级线圈波形相位。

位移 mm										
电压 V_{p-p}										

根据表格所列结果，作出 $V-X$ 曲线，指出线性工作范围。

(5) 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，提高示波器第二通道灵敏度，观察残余电压波形，分析其频率成分。

注意事项

示波器第二通道为悬浮工作状态（即示波器探头二根线都不接地）。

2. 零残电压的补偿

(1) 按图 3 接线，连接主机与实验模块电源，示波器接相敏检波器①、②端，电压表接低通滤波器输出端，差动放大器稍有增益（10 倍左右）即可。

(2) 打开主机电源，调节音频信号源输出频率，使次级线圈波形不失真，用手将中间铁芯压至最低，{移至最左端}，然后调节移相器，当示波器两通道所示波形正好是同相或反相时，松开铁芯，{将铁心重新安装到位移装置上}，用测微仪将铁芯置于线圈中部（可利用实验二十二、二十三的结果），调节电桥 W_b 、 W_a 电位器使系统输出电压为零。

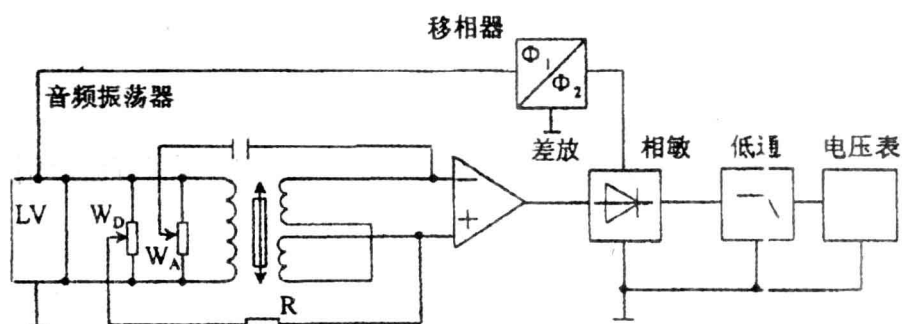


图 3

(3) 用测微仪分别带动铁芯向上{左}和向下{右}位移 5mm，每位移 0.5mm 记录一电压值并填入下表：

位移 mm						0					
电压 V						0					

作出 V-X 曲线，求出灵敏度 S。 $S = \Delta V / \Delta X$ ，指出线性工作范围。

注意事项

观察相敏检波器①、②端波形时示波器各功能键及“触发”选择要正确，否则可能看不到正确的波形相位的变化。