# 传感器技术・检测技术

# 实践教程

东南大学仪器科学与工程学院

2007年10月

# 前 言

本实践教程用于为高等院校开设的"传感器原理与应用(技术)"、 "自动检测技术"、"工业自动化控制"、"非电量电测技术"、"光电检测 技术"等课程的实验教学。

本实践教程是在原有基础上征求了许多师生的意见后改编的,在编 写上我们力求有较大的适应面,同时注意培养学生的应用能力和创新能 力,便于学生独立操作并深入思考。

CSY-3000型传感器技术/检测技术实验系统采用最新推出的模块 化结构,使用的传感器虽然是教学型传感器(透明结构便于教学),但 其结构与线路是工业应用的基础。希望通过实验帮助学生加深理解课本 知识,并在实验的过程中通过信号的拾取、转换、检测和分析,掌握作 为一个科技工作者应具有的动手技能与设计能力。当然,由于编写者时 间、水平、精力所限,难免有疏漏谬误之处,热切期望您的赐教。

本实践教程中每个实验都有注意事项,希望学生认真阅读,谨慎操作,否则容易引起器件损坏。

# 祝学云 董 雷

# 2007年10月

2

# 目 录

	第一章	硬件设备与应用软件介绍
--	-----	-------------

第一节	硬件设备	5
第二节	软件使用与实验操作	7
第三节	虚拟仪器使用方法	20

# 第二章 箔式电阻应变片实验

实验一	金属箔式应变片——	单臂电桥性能实验	28
实验二	金属箔式应变片——	半桥性能实验	31
实验三	金属箔式应变片——	全桥性能实验	33
实验四	交流应变全桥的应用-	——振动测量实验	37

# 第三章 变压器、电容式传感器实验

实验五	差动变压器的性能实验	40
实验六	激励频率对差动变压器特性的影响	43
实验七	差动变压器零点残余电压补偿实验	44
实验八	差动变压器的应用一振动测量实验	45
实验九	电容式传感器的位移实验	47

# 第四章 压电、压阻、电涡流式传感器实验

实验十	压阻式压力传感器的压力测量实验	
实验十一	压电式传感器振动测量实验	51
实验十二	电涡流传感器位移实验	
实验十三	被测体材质、面积对电涡流传感器的特性影响实验	
实验十四	电涡流传感器振动测量实验	

# 第五章 霍尔、磁电式传感器实验

	直流激励时线性霍尔传感器的位移特性实验	实验十五
61	交流激励时霍尔式传感器的位移实验	实验十六
63	霍尔转速传感器测电机转速实验	实验十七
65	磁电式转速传感器测电机转速实验	实验十八

第六章 温度、气敏、湿度传感器实验

实验十九	温度源的温度控制、调节实验	66
实验二十	Pt100 铂电阻测温特性实验	75
实验二十	一 集成温度传感器 (AD590) 的温度特性实验	77
实验二十二	二 K 热电偶测温特性实验	79
实验二十三	E K 热电偶冷端温度补偿实验	
实验二十四	9 E 热电偶测温性能实验	
实验二十五	ī 气敏传感器实验	
实验二十六	√ 湿度传感器实验	

第七章 光敏、光电、光纤传感器实验

实验二十七	发光二极管(光源)的照度标定实验	91
实验二十八	光敏电阻特性实验	94
实验二十九	光敏二极管特性实验	96
实验三十 光	光敏三极管特性实验	98
实验三十一	硅光电池实验	99
实验三十二	光纤传感器的位移特性实验	101
实验三十三	光电开关实验	103
实验三十四	光电转速传感器的转速测量实验	106
实验三十五	光电传感器控制电机转速实验	108

附录(热电偶分度表)

# 第一章 硬件设备与应用软件介绍

## 第一节 硬件设备

#### 一、实验台的组成

CSY-3000 系列传感器与检测技术实验台由主机箱、温度源、转动源、振动源、传感器、 相应的实验模板、数据采集卡及处理软件、实验台桌等组成。

1、主机箱

直流稳压电源:高稳定的±15V、±5V、+5V、±2V~±10V(步进可调)、+2V~+24V(连续可调)。

直流恒流源: 0. 6mA~20mA 可调。

音频信号源(音频振荡器):1KHz~10KHz(连续可调)。

低频信号源(低频振荡器):1Hz~30Hz(连续可调)。

气压源: 0~20KPa (可调)。

智能调节仪:温度调节、转速调节。

与计算机通信接口: RS-232、USB 接口(内含数据采集卡)。

数字表: 电压、电流、频率/转速、气压、光照度数显表。

过载切断保护功能: 在排除接线错误后重新开机才能恢复正常工作(直流稳压电源、音频振荡器、低频振荡器)。

2、振动源

振动台振动频率 1Hz~30Hz 可调(谐振频率 9Hz 左右)。

3、转动源

手动控制 0~2400 转 / 分; 自动控制 300~2400 转 / 分。

4、温度源

常温~150℃。

5、传感器

共二十六个传感器(其中二个光源): 电阻应变式传感器、扩散硅压力传感器、差动变压器、电容式位移传感器、霍尔式位移传感器、霍尔式转速传感器、磁电转速传感器、压电式传感器、电涡流传感器、光纤传感器、光电转速传感器(光电断续器)、集成温度传感器、K型热电偶、E型热电偶、Pt100铂电阻、Cu50铜电阻、湿敏传感器、气敏传感器、光照度探头、纯白高亮发光二极管、红外发光二极管、光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、硅光电池、反射式光电开关。

6、实验(调理电路)模板

共十二块实验(调理电路)模板:应变式、压力、差动变压器、电容式、霍尔式、压电式、 电涡流、光纤位移、温度、移相/相敏检波/低通滤波模板、光电器件(一)、光开关。

7、数据采集卡及处理软件。

#### 二、实验台使用方法

1、开机前将电压表显示选择旋钮打到 2V 档;电流表显示选择旋钮打到 200mA 档;步进可

5

调直流稳压电源旋钮打到±2V档;其余旋钮都打到中间位置。

2、将 AC 220V 电源线插头插入市电插座中,合上电源开关,数显表显示 0000,表示实验 台已接通电源。

3、做每个实验前应先阅读实验指导,每个实验均应在断开电源的状态下接线(实验中用 到可调直流电源时,应先将该电源调到设定值并关闭后再接到实验线路中),检查无误后方可 接通电源。

4、如实验需要,合上调节仪电源开关。调节仪的 PV 显示测量值; SV 显示设定值。

5、如实验需要,合上气源开关。气泵有声响,说明气泵工作正常。

#### 三、实验台故障排除

1、开机后数显表都无显示,应查 AC 220V 电源有否接通; 主机箱侧面 AC 220V 插座中的 保险丝是否烧断。如都正常,则更换主机箱中主机电源。

2、转动源不工作,则手动输入+12V电压,如不工作,更换转动源;如工作正常,应查调 节仪设置是否准确;控制输出 Vo 有无电压,如无电压,更换主机箱中的转速控制板。

3、振动源不工作,检查主机箱面板上的低频振荡器有无输出,如无输出,更换信号板; 如有输出,更换振动源的振荡线圈。

4、温度源不工作,检查温度源电源开关有否打开;温度源的保险丝是否烧断;调节仪设 置是否准确。如都正常,则更换温度源。

#### 四、学生注意事项

1、在实验前务必详细阅读实验指导。

2、请勿将主机箱的电源、信号源输出端与地(⊥)短接,如果短接时间长易造成电路故障。

3、请勿将主机箱的电源(±)接入实验模板时接错。

4、在连接、更换接线时,应断开电源,只有在确保接线无误后方可接通电源。

5、插拔实验接线时,要握住手柄,不能拉扯实验接线。

6、实验完毕要将传感器、配件、实验模板及连线全部整理好并放回原处。

7、防止硬物撞击、划伤实验台面;防止传感器及实验模板跌落地面。

# 第二节 软件使用与实验操作

#### 一、主要功能

- 1、双通道虚拟示波器;
- 2、实验数据的实时采集、波形显示、数据处理、实验报告生成及输出;
- 3、历史实验数据的回放、处理及相关输出;
- 4、失真度仪;
- 5、频谱分析。

#### 二、软件使用及实验操作

#### 1、软件窗口说明

鼠标点击 "CSY—V9.0" 图标 (如右图所示),进入软件启动界面, 此界面是软件静态采样时的界面。如下图 1-1 所示:





图 1-1 软件启动界面

左上角是菜单栏,如下图 1-2 所示:

操作 (2) 分析 动态实验 虚拟仪器 帮助()任) 退出 (2)

# 图 1-2 菜单栏

① "操作"菜单,如图 1-3:

实验设置
软件标定
实验记录
提取实验曲线

图 1-3 "操作"菜单

● "实验设置"窗口:如下图 1-4。

🐳 实验设置				×
用户姓名	李四	实验模式	単	2步采祥
用户编号	1	采样频率	50	)K
实验编号	1	实验量纲	位	[移nm
X轴增量	0.1	实验通道	A).	<u> </u> 道
实验选择(	998型 (	2000型		
金属箔式应到	<b>&amp;片一一单臂电</b>	桥		
金应应热移相应交交差差差加动动和原金变变电相敏变流流动动动和反变变电相敏变流流动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动动	这片——单臂电桥 等、半应及现象 空流全桥 握及现象 空流一一式,一个一个一个一个一个小小小小小小小小小小小小小小小小小小小小小小小小小小		\倍	
	确	定		取消

图 1-4 "实验设置"窗口

在实验前,要进行实验设置。 首先在各自的空格中如实填写好用户姓名及用户编号; 其次选择实验台型号(本实验台选择 2000 型); 最后进行实验选择,选择实验时用鼠标点击实验栏里的实验名称,选择好实验名称也 就确定了实验编号、实验模式、采样频率、实验量纲和实验通道的初始值。

在进行实验的时候,也可以对这些值中的实验模式、采样频率(限动态采样)、每格数 值、实验通道和实验量纲另行设置。

在实验设置时,也考虑到用户自行设置的实验。在实验设置中有一项"自定义"项目,选择"自定义"时,如下图 1-5 所示。

🐳 实验设置			×	
用户姓名	李四	实验模式	单步采祥	
用户编号	1	采样频率	50K	
实验编号	39	实验量纲	自定义	
X轴增量	0.1	实验通道	A通道	
实验选择 <sub>(</sub>	● 998型 (	2000型		
自定义				
差动面积式电容传感器的静态及动态特性 双平行梁的动态特性——正弦稳态影响 扩散硅压阻式压力传感器实验 光纤位移传感器动态实验(一) 光纤位移传感器动态实验(二) 四結温度传感器测温实验 热敏电阻测温漏示实验 气敏传感器实验 湿敏传感器实验 光电传感器测转速实验				
	确	定	取消	

图 1-5 "自定义"示意图

在图 1-5 中,用户可以将实验名称"自定义"改成实际实验名称,将"实验量纲"改成实验中实际的量纲。

● "软件标定"窗口:点击此项如下图 1-6 所示。

标定密码	
请输入标定密码	   

图 1-6 "标定密码"示意图

● "实验记录"窗口: 点击"实验记录"会弹出实验记录表格。如下图 1-7 所示。

此实验记录表格中,共记录了12项实验数据。分别是:用户姓名、用户编号、实验名称、实验编号、实验日期、实验时间、X轴点数、实验量纲、实验量程、实验通道、采样频率和采样模式。

下面有4个按钮,分别是"保存"、"打开"、"删除"和"关闭"。



图 1-7 "实验记录"示意图

各键功能如下:

保存:用户进行实验后,若要保留此实验曲线以及实验数据,则在上面表格中选取你 要保存的一行,然后按"保存"按钮就保存了实验数据。

打开:用户若要打开某一保存着的实验记录,则在上面表格中选取某一保存着的实验 记录,并按"打开"按钮,就打开此实验记录,把此实验的实验曲线和实验数据在软件中 显示出来。

删除:用户若要删除某一保存着的实验记录,则在上面表格中选取将要删除的实验记录,按下"删除"按钮,就删除此实验记录,以后不能再打开此记录。

关闭:返回主界面。

● "提取实验曲线"窗口:点击"提取实验曲线",出现如下图 1-8 对话框。

输入文件名,按"确定"用来保存实验曲线,按"取消"不保存。

254520						
保存在 (I):	😂 我的文档		-	🗢 🗈	) 💣 🎟	-
表現近的文档 正 東面 東面 表的文档 表的文档	● FY2 My Webs ● PDF files 图片收藏 ● 我的音乐					
	文件名 @): 保存类型 (1):	实验曲线 bmp Bitmap Image (*.bmp)			•	保存 (S) 取消

图 1-8 保存实验曲线

# 端点分析法 ▶ 最小二乘法 ▶ 最大迟滞误差

图 1-9 "分析" 菜单

● "端点分析法"窗口,如图 1-10 所示:



图 3-10 "端点分析法"示意图

这里有 "A 通道"和 "B 通道"两个选项,如果要对 A 通道的实验曲线进行分析,则选择 "A 通道",要对 B 通道实验曲线分析则选择 "B 通道"。

选择好通道,在实验曲线里选择起点和终点,就可以对这两点进行端点分析,并求出 最大误差。

● "最小二乘法"窗口。

这里也有"A通道"和"B通道"两个选项,如果要对A通道的实验曲线进行分析,则选择"A通道",要对B通道实验曲线分析则选择"B通道"。

选择好通道,在实验曲线里选择起点和终点,就可以对这两点进行最小二乘法分析, 并求出最大误差。

● "最大迟滞误差"窗口。

应该在多次采样的模式下进行,如果不是在多次采样的模式下进行,点击"最大迟滞 误差"的时候就会出来如图 3-11 对话框:

CSY-V9. 0 🛛 🔀
此分析应在多次实验下进行
铺定

图 1-11

🔆 V9	.0—ā	感实验													
操作	分析	静态实验	虚拟仪器	帮助	退出										
	5000										ÿ	[验: 未设	置		
	4500											+	0 +10	+20	+30
	3500														
	3000														
- H	2500														
	1500														
压															
值															
6	-500											•			Þ
	-1500														
	-2000												TT #44		停止
													77.94	$\mathbf{\nabla}$	IЭШ
															uwr.
	-3500											<b>1</b> 1	夏江	19 H	山孫斤
	-4000												1		1
	-5000		25 50	: 75	100	125	150	175	200 2	225 2	50		打印	预览	
						点数									
						- A通道	_	_						× .0	•
测量	〕通道 [	Q通道	- 采样频	率 10	K 🔽	周期: 频率:		ms Hz	峰一峰值	.:	mv	渐	زيلان ⇒	大泻	2
量程	选择	±5v	▼ X轴点	数 25		B通道	_	-		-	_		いる	,耵	7
波飛	<sup>彩特性</sup>	一般波形	- -	,		周期: 频率:		Hz	峰一峰值	.:	IIIV	U	GC	)-LIN	K
当前	操作者			系统	状态	正常		当前	該	2005-1	1-6	11:01		浙江高彩	€公司

1-12 动态采样界面

④ "虚拟仪器"菜单,单击"虚拟仪器",将运行软件 V9.0 虚拟仪器,如下图 1-13。



图 1-13 虚拟仪器示意图

**⑤** 在坐标轴下面有实验参数设置框,如图 1-16:



图 1-16 实验参数设置框

这个框里有测量通道、实验模式、量程选择与定时间隔4个部分组成。

- 测量通道:选择进行测量的通道,可以供用户选择"A通道"、"B通道"和"双通道", 实验时对采样通道进行控制。
- 实验模式:一是"单步采样"、二是"定时采样",三是"双向采样"。
- 量程选择:对坐标轴的刻度进行修改,有以下六个选项:"±100mv"、"±500mv"、 "±1v"、"±2v"、"±5v"和"±10v"。
- 定时间隔: 在"定时采样"时有效,可以进行定时设置,最小定时间隔为1s,如果设置小于1s则无法正常显示实验数据。
- 动态采样时,采样频率选项,如图 1-17:

测量通道	A通道	•	采样频率	10K	•
量程选择	±10v	•	X轴点数	10	•

图 1-17

动态采样时,根据不同的数据信号频率,选择合适的采样频率,否则信号会产生失真。 ⑥ 界面右上角,有如图 1-18 所示:



图 1-18

这个实验名称框在未设置时显示"实验:未选择",选择了实验后,则显示所选择的实验名称。这里实验名称不能修改。

⑦ 在实验名称框下面,有一数据显示表格,它实时显示所采集的数据。如下图 1-19。

	+0	+5	+10	+15	+
A1					
A2					
AS					
A4					
A5					
B1					
B2					
BS					
В4					
B5					
<					>

图 1-19 实时采集的数据

#### 2、实验操作

实验(采集数据)之前先判断被测信号是动态信号还是静态信号,如果是动态信号则 选择动态方式,如果是静态信号则选择静态方式。其中静态方式又有单步采样、定时采用 和双向采样三种采样方式。

同时实验(采集数据)之前要完成硬件线路的连接。

#### ① 单步采样

先进行实验设置,选择好实验后,进入静态模式。选择实验模式为"单步采样",选择 好测量通道,设置 X 轴数值和量程选择后,就可以点击"开始"。 如图 1-20:



图 1-20

- 按下"开始"后,"开始"按钮变为"下一步",并采集到一点数据,在坐标轴图形上标出这一点,同时也在实验数据表格中显示这一点的数值。再按"下一步",将采样第二个点,同时在坐标轴图上将第二个点与第一点连起来,在实验数据表格上显示第二个点的数值。以此类推。
- 实验(采集数据)完成后,点击"停止"按钮,停止采集。
- 单步采样可以分别对 A、B 通道曲线进行端点法分析和最小二乘法分析。
- 分析后,在分析范围内实验曲线的最大值、最小值、线性 a 值、线性 b 值和量程都在 坐标轴图下面的实验结果里显示出来。如果对一直线进行多次分析,则重复以上操作。
- 分析之外,还可以把实验结果打印出来,打印时,先点击"打印预览"按钮,弹出打

14

印界面,如下图 1-21:



图 1-21 打印界面

打印界面里可以填写学校名称、院/系名称,也可以不填。内容包刮用户名称、用户编 号、实验日期、实验时间、实验数据等,还有实验结果分析:最小值、最大值、量程、最 大非线性误差、线性 a 值和线性 b 值。但实验结果分析只有在用户分析后才能显示,并按 照用户分析方法不同而不同。报告右下脚还有实验曲线。

#### ② 定时采样

进入该模式,屏幕显示的工作画面与单步采样一样,不过实验模式要设置为"定时采 样"。

在定时采样的时候,可以设置定时间隔,定时间隔要大于1s,如果定时间隔太小,则 无法正确采集数据。

设置好定时间隔后,按"开始"按钮,就按照定时间隔,每到定时时间采集一点,"开 始"按钮也同时变成"暂停",如图 1-22:



图 1-22

用户可以通过按"暂停"按钮暂停实验,同时"暂停"按钮变为"继续",如图 1-23:



图 1-23

按"继续"按钮,则继续采集数据,同时按钮显示"暂停"。以此类推。 数据分析、打印与单步时方法相同。

#### ③ 双向采样

双向采样是在同一个实验情况下,先正方向采样,归零后再反方向采样(也可以先反 方向,再正方向)。所以在实验时有"正向"和"反向"按钮可以选择,如图 1-24:



图 1-24 双向实验选择

采集时,如果按"正方"则正方向采样,按"反方"则反方向采样。

#### ④ 多次采样

多次采样是在同一个实验情况下,进行多次往返实验。所以在实验时也有"正向"和 "反向"按钮可以选择,如图 1-25。

在实验时,基本方式与单步方式相同。不同的是,在一次实验做完的时候,要重新做 一次实验,并且是反方向做实验,要选择"反向"按钮。



图 1-25 多次实验

按了"反向"按钮,实验曲线就往回延伸,而且反向实验时,采样点数应该与正向采 样的点数一致。

实验分析和打印时,基本方法和单步时一样。不同的是实验结果显示为"最大迟滞误差",而不是"最大非线性误差"。如图 1-26:



图 1-26

#### ⑤ 动态实验

动态采样前,可以设置实验通道、采样频率、量程选择和 X 轴点数,除了采样频率外 其他三项和静态采样时一致。采样频率要根据被采样的频率决定,一般情况下采样频率为 被测频率的 100 倍左右效果最好。

动态采样时,按下"开始"键,波形就显示出来,同时数据在数据表格中显示,"开始" 按钮显示为"运行"。

要继续显示波形则按"运行",结束实验按"停止"按钮。进行分析时,按上面"分析" 菜单,再选取要分析的方法,然后用鼠标在坐标轴图形中,左键选起点,右键选终点,选 取一个波形就可以得到分析结果。如图 1-27:



图 1-27 动态实验

如果要再次分析波形,则先按"刷新"按钮,再分析。如果要打印,按"结果及打印 报告",显示打印预览。

#### 3、图形拉伸放大功能

在坐标轴图形上,除了用"实验量程",还可以用鼠标拉伸来放大实验曲线。

a、用鼠标左键点住要拉伸的曲线的起点,按着鼠标不放。

b、移动鼠标,将要求放大的图形都包围在白色方框内时,放开鼠标左键,即得到放大后的图形。

c、将图形恢复正常状态,可以通过"刷新"按钮来实现,即按照主界面上的量程来确定。

#### 4、软件标定

任何测量仪器都有其使用寿命的问题,即在使用一段时间后,测量的准确率会下降, 为了解决这个问题,软件设置了标定功能,用户通过标定就可以重新调整测量的准确率。 a、点击"操作"菜单中的"软件标定"。

b、输入正确密码按确定后出现标定界面。如图 1-28:

\$	$\mathbf{\times}$
┌软件标定	
标定通道:	<b>甬道A</b> ▼
读入标定植: 🏾	
107	ον
保存标定	退出标定

图 1-28

c、按通道标定,如选"通道 A"时,先把 A 通道打到"电压"端,双端短接接地,按"0V"键,可以在方框中得到 2000-2100 的数据。多次采样,直到所得值为多次采样平均值为准。 d、A 通道仍然打到"电压"端,"A-"接地,"A+"接 9.5-10.5V。按"10V"键,可以在 方框中得到 500-600 的数据。多次采样,直到所得值为多次采样平均值为准。 e、按"保存标定"按钮。出现如图 1-29 界面。

标定电压	
请输入准确10V标定电压:	   

图 1-29

f、此处输入"10V"标定的电压值,输入后按"确定",完成A通道标定。

- g、选择"B通道",按c、d、e、f顺序对B通道标定。
- h、标定完毕后,按"退出"标定按钮退出标定界面。

# 第三节 虚拟仪器使用方法

# 一、软件界面

点击虚拟仪器菜单,软件界面如下:



图 1-30 虚拟仪器界面 (示波器)

在下列状态栏中选择需要的功能界面:



图 1-31 虚拟仪器功能选择

# 二、虚拟示波器使用说明



图 1-32 虚拟示波器界

当接上线路并运行软件后,软件将自动检查通讯是否正确,如果连接不正常,系统在运行大约5秒钟之后将弹出如下对话框:



图 1-33 通讯状态提示

请检查通讯接口,检查无误后点击确定按钮,系统将重新自动检测通讯!通讯连接后,通讯连接指示灯成绿色状态(详见Q说明)。

通讯中断的原因有两个:

- (1) 线路没有启动通讯,请仔细检查电源及线路是否正常。
- (2) 计算机通讯口错误,请仔细检查 USB 或者 RS232 通讯。如果是 USB,需确认是 否正确安装了 USB 设备的驱动。

#### 1、数据采集曲线显示区域

显示区域最大量程范围是+10V到-10V。

该显示区域的最小分辨率为10mv/div,最大分辨率是2v/div。用户在使用时应选择合适的 量程,如果选择不恰当,系统会自动将量程调到最佳选项。

#### 2、通道曲线

A 通道显示曲线为红色曲线, B 通道显示曲线为浅蓝色曲线。

用户在使用时应该知道哪条曲线对应的是哪个通道的数据,特别在双通道采样时应该注 意。

#### 3、采样通道选择

有三个选项: A 通道, B 通道及双通道。

#### 4、采样频率选择

有多达八个采样频率选择。用户可根据实际的信号源频率改变采样频率,以最合适的采样 频率采样,可使波形完整地显示。

在单通道采样中,最低的采样频率为300Hz,最高采样频率为100KHz。双通道采样时,最低采样频率是150Hz,最高频率为50KHz。

#### 5、量程选择

有七个量程可供选择,最高是 2V/DIV,最低是 10mV/DIV。系统默认值是 2V/DIV。

用户在使用中可根据外部信号幅值的大小选择合适的量程档。如果用户选择了不合适的量 程档,系统将提示以下对话框:

外部电压超出量程选择范围!
備定

#### 图 1-34 量程选择提示

单击确定按钮后,系统将自动选择最佳的量程来显示外部信号,此时通讯灯将有闪烁现象, 请耐心等候。

选择低档量程可提高对外部信号测量的精度。

#### 6、复位按钮

当用户用搜索线来观察电压或者频率时,如操作不适当,信号显示曲线及搜索线会超出信 号曲线显示区域,此时可单击该按钮来恢复信号的原始显示曲线。

复位后,系统恢复采样频率为10KHz。

#### 7、A/B 通道曲线最大值显示

显示框显示的分别是 A 通道、B 通道采样曲线的最大值,系统自动计算该值,可精确到 1mV。

#### 8、曲线搜索线中心点

系统默认时,搜索线位于曲线显示区域的中心点。用户可把鼠标光标放于中心点,用鼠标 左键拖动搜索线来观察曲线位置的电压值,同时电压值显示框会显示搜索线中心位置的电压 值。

当用户单击了复位按钮后,搜索线回到曲线显示区域中心,即和坐标位置重合。

#### 9、A/B 通道曲线最小值显示

显示框显示的是A通道、B通道采样曲线的最大值,系统自动计算该值,可精确到1mV。

#### 10、A/B 通道峰峰值电压显示

系统自动计算A通道、B通道信号的峰峰值电压。

#### 11、电压值显示

该显示框只显示搜索线中心位置的电压值,在系统默认和复位后,该显示框显示为0。

#### 12、曲线显示区域的扫描速率

扫描速率针对的是横坐标,其最大的扫描速率是 66.7ms/div,最小的扫描速率是 0.2ms/div。

用户可根据扫描速率,观察曲线显示区域的曲线来估算一下信号的周期及频率。

#### 13、触发电平

有5个触发选项可供选择,对应的是采样通道的触发点。

注: +0.5 触发指的是在曲线显示区域的+0.5 格处开始显示。如果外部信号小于触发点, 信号将不显示。用户可通过改变量程来观察曲线。如果采样频率过大,那么在曲线显 示区域将会出现显示信号的一部分,这时,用户只需选择相对小一点的采样频率。

#### 14、通讯连接指示灯(左边)

当软件运行后,系统将自动检测通讯连接是否正常,如通讯连接正常则该指示灯成高亮状:

。如通讯连接不正常则该指示灯成: 🖤, 用户需检查计算机通讯口连接是否正常。

#### 15、通讯正常指示灯(右边)

当通讯正常时,该指示灯会有闪烁: 🔛。如果该指示灯不闪烁,说明通讯不正常。

#### 16、冻结采集的曲线

Ⅰ,用鼠标单击可切换到冻结状态:

注意冻结曲线时,数据采集将停止,用户可方便地观察采集到的曲线,并可通过移动搜索 线来观察电压值、频率和周期。

#### 17、信号触发

激活状态:

该选项在单通道采样时有三个选项,分别是:无触发、正触发和负触发。当双通道采样时, 有五个选项可供选择,分别是:无触发、A+B+触发、A+B-触发、A-B+触发、A-B-触发。

# 三. 虚拟频谱分析仪使用说明



图 1-35 频谱分析仪

#### 1、时域信号显示曲线

显示外部信号的时域曲线。

#### 2、采样通道选择

在频谱分析界面,有两个选项: A 通道和 B 通道。

#### 3、量程选择

有七个量程可供选择,最高是 5V/DIV,最低是 25mV/DIV。系统默认值是 5V/DIV,用户在使用中根据外部信号的幅值大小选择合适的量程档。

如果用户选择了不合适的量程档,系统将提示以下对话框:

外部电压超出量程选择范围!
确定

图 1-36 量程选择提示

单击确定按钮后,系统将自动的选择最佳量程来显示外部信号,此时通讯灯将有闪烁现象, 请耐心等候。选择低档量程可提高对外部信号的精度。

#### 4、频域信号显示曲线

显示外部信号的时域曲线。

#### 5、时域信号的最大值显示

同示波器。

#### 6、频率显示

该显示框对应的是信号频域显示区域的搜索线坐标,在频谱分析仪中,用户可用搜索线来 观察信号的频率大小。

### 7、时域信号的最小值显示

同示波器。

### 8、幅值显示

该显示框对应频域信号的幅值。 该值是在频谱分析后的幅值,需用户选择合适的采样频率,否则其分析误差较大。

## 9、时域信号的分析点数

该显示框显示的是时域信号的分析点数。

#### 10、窗口函数选择

该按钮有五个选项,用户可选择相应的窗函数来观察信号通过窗函数处理后的分析曲线。

## 11、采样长度选择

该按钮有三个选项,分别是 256 点、512 点和 1024 点。 当采样长度不同,其数据处理的时间也相应的不同,通讯指示灯的闪烁间隔时间也不同。

#### 四、虚拟失真度仪使用说明



图 1-37 失真度仪

#### 1、基波频率显示

该显示框显示的是对信号进行谐波分析后,其基波的频率。

#### 2、谐波幅值显示

该显示框显示的是对信号进行谐波分析后,其谐波的幅值。其对应的相应谐波阶数由谐波 分量按钮进行选择。

#### 3、失真度显示

该显示框显示的是对信号进行谐波分析后,其失真度显示。

#### 4、扫描速率

扫描速率针对的是横坐标,其最大的扫描速率是100ms/div,最小的扫描速率是0.5ms/div。 用户可根据扫描速率观察曲线显示区域的曲线来估算一下信号的周期及频率。

#### 5、信号显示选择

该按钮有三个选项,分别是在信号显示区域显示原始信号、基波信号或者余波信号。

#### 6、谐波分量选择

该按钮有五个选项,用户可通过选择谐波分量来显示谐波阶数的幅值,幅值显示在谐波幅 值显示框。

## 五、软件使用注意事项:

#### 1、 为什么在确认线路没问题的情况下运行软件,通讯连接指示灯仍然不亮?

- 答:(一)请先确认通讯电缆是否已经连接。
  - (二)检查是否已经正确安装了 USB 驱动。
  - (三)请确认是否有其他也需要通讯的软件在运行。

# 2、为什么我用 1K 的采样频率和 50K 的采样频率采集外部频率为 1K 的信号时, 信号曲线都能 正确显示, 到底哪个是正确的呢?

答: 根据数字信号处理原理,采样频率至少在信号频率的两倍以上,所以用 50K 采样频率采 集的信号是正确的。

#### 3、 请问要得到信号的频率,有哪几种方法?

答:在分析信号的频率时,在三个界面都能得出。

(一)在用示波器界面,可以先冻结曲线,然后再通过观察曲线的周期来粗略地计算一下。

(二)在频谱分析仪界面,可在频域显示区域通过搜索线来搜索。但是要选择合适的采样 频率。

(三)在失真度分析仪界面,通过选择基波信号输入,然后在基波频率显示框中读出,同 样,请务必保证合适的采样频率。

# 第二章 箔式电阻应变片实验

# 实验一 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验

一、实验目的

了解金属箔式应变片的应变效应及单臂电桥工作原理和性能。

二、基本原理

电阻丝在外力作用下发生机械变形时,其电阻值发生变化,这就是电阻应变效应。

描述电阻应变效应的关系式为:  $\Delta R / R = K\epsilon$  式中:  $\Delta R / R$  为电阻丝电阻相对变化, K 为应变灵敏系数,  $\epsilon = \Delta L/L$  为电阻丝长度相对变化。

金属箔式应变片就是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件,通过它反映被测部位受力状态的变化。电桥的作用是完成电阻到电压的比例变化,电桥的输出电压反映了相应的受力状态。单臂电桥输出电压 Uoi=EKε /4。

三、实验器材

主机箱(±4V、±15V、电压表)、应变传感器实验模板、托盘、砝码、万用表、导线等。



图 2-1 应变式传感器安装示意图

如图 2-1,将托盘安装到应变传感器的托盘支点上,应变式传感器(电子秤传感器)已安装在应变传感器实验模板上。传感器左下角应变片为 R1,右下角为 R2,右上角为 R3,左上角为 R4。当传感器托盘支点受压时,R1、R3 阻值增加,R2、R4 阻值减小。

如图 2-2,应变传感器实验模板中的 R1、R2、R3、R4 为应变片。没有文字标记的 5 个电 阻是空的,其中 4 个组成电桥模型是为实验者组成电桥方便而设的。

传感器中4片应变片和加热电阻已连接在实验模板左上方的R1、R2、R3、R4和加热器上。可用万用表进行测量判别,常态时应变片阻值为350Ω,加热丝电阻值为50Ω左右。

28



图 2-2 应变传感器实验模板、接线示意图



图 2-3 单臂电桥工作原理图

四、实验步骤

1、根据图 2-3 工作原理图、图 2-2 接线示意图安装接线。

2、放大器输出调零

将实验模板上放大器的两输入端口引线暂时脱开,再用导线将两输入端短接(Vi=0);调节 放大器的增益电位器 RW3 大约到中间位置(先逆时针旋到底,再顺时针旋转 2 圈);将主机箱电 压表的量程切换开关打到 2V 档,合上主机箱电源开关;调节实验模板放大器的调零电位器 RW4,使电压表显示为零。

3、电桥调零

拆去放大器输入端口的短接线,将暂时脱开的引线复原。调节实验模板上的桥路平衡电位器 RW1,使电压表显示为零。

4、应变片单臂电桥实验

在应变传感器的托盘上放置一只砝码,读取数显表数值,依次增加砝码和读取相应的数显 表值,直到 200g(或 500 g)砝码加完。实验结果填入表 2-1,画出实验曲线。 表 2-1

重量(g)					
电压(mv)					

5、根据表 2-1 计算系统灵敏度 S= $\Delta$  U/ $\Delta$  W ( $\Delta$  U 为输出电压变化量, $\Delta$  W 为重量变化量) 和非线性误差  $\delta$ 。

 $\delta = \Delta m/yFS \times 100\%$ 

式中Δm为输出值(多次测量时为平均值)与拟合直线的最大偏差; yFS为满量程输出平均值,此处为200g(或500g)。实验完毕,关闭电源。

6、利用虚拟仪器进行测量。

五、思考题

单臂电桥工作时,作为桥臂电阻的应变片应选用:(1)正(受拉)应变片;(2)负(受压) 应变片(3);正、负应变片均可以。

# 实验二 金属箔式应变片——半桥性能实验

一、实验目的

比较半桥与单臂电桥的不同性能、了解其特点。

二、基本原理

不同受力方向的两只应变片接入电桥作为邻边,电桥输出灵敏度提高,非线性得到改善。 当应变片阻值和应变量相同时,其桥路输出电压 Uo2=EK /2。

三、实验器材

主机箱(±4V、±15V、电压表)、应变传感器实验模板、托盘、砝码、万用表、导线等。

四、实验步骤

1、根据图 2-4 工作原理图、图 2-5 接线示意图安装接线。

2、放大器输出调零

将实验模板上放大器的两输入端口引线暂时脱开,用导线将两输入口短接(Vi=0);调节放 大器的增益电位器 RW3 大约到中间位置(先逆时针旋到底,再顺时针旋转 2 圈);将主机箱电压 表的量程切换开关打到 2V 档,合上主机箱电源开关;调节实验模板放大器的调零电位器 RW4, 使电压表显示为零。

3、电桥调零

恢复实验模板上放大器的两输入口接线,调节实验模板上的桥路平衡电位器 RW1,使主 机箱电压表显示为零。

4、应变片半桥实验

在应变传感器的托盘上放置一只砝码,读取数显表数值,依次增加砝码和读取相应的数显 表值,直到 200g(或 500 g)砝码加完。实验结果填入表 2-2,画出实验曲线。

5、计算灵敏度 S=U / W, 非线性误差δ。实验完毕,关闭电源。

6、利用虚拟仪器进行测量。

表 2-2

重量(g)					
电压(mv)					

五、思考题

1、半桥测量时,两片不同受力状态的电阻应变片接入电桥时,应放在:(1)对边;(2)邻边。
2、半桥测量时,两片相同受力状态的电阻应变片接入电桥时,应放在:(1)对边;(2)邻边。
3、桥路(差动电桥)测量时存在非线性误差,是因为:(1)电桥测量原理上存在非线性;(2)
应变片应变效应是非线性的;(3)调零值不是真正为零。



图 2-4 半桥工作原理图



图 2-5 应变传感器实验模板、接线示意图

# 实验三 金属箔式应变片——全桥性能实验

一、实验目的

了解全桥测量电路的优点。

二、基本原理

全桥测量电路中,将受力方向相同的两应变片接入电桥对边,相反的应变片接入电桥邻边。 当应变片初始阻值 R1=R2=R3=R4、其变化值Δ R1=Δ R2=Δ R3=Δ R4 时,其桥路输出电 压 Uo3=KEε 。其输出灵敏度比半桥又提高了一倍,非线性误差和温度误差均得到改善。

三、实验器材

主机箱(±4V、±15V、电压表)、应变传感器实验模板、托盘、砝码、万用表、导线等。

四、实验步骤

1、根据图 2-6 工作原理图、图 2-7 接线示意图安装接线。

2、差动放大器调零

将实验模板上放大器的两输入端口引线暂时脱开,用导线将两输入口短接(Vi=0);调节放 大器的增益电位器 RW3 大约到中间位置(先逆时针旋到底,再顺时针旋转 2 圈);将主机箱电压 表的量程切换开关打到 2V 档,合上主机箱电源开关;调节实验模板放大器的调零电位器 RW4, 使电压表显示为零。

3、电桥调零

恢复实验模板上放大器的两输入口接线,调节实验模板上的桥路平衡电位器 RW1,使主 机箱电压表显示为零。

4、应变片全桥实验

在应变传感器的托盘上放置一只砝码,读取数显表数值,依次增加砝码和读取相应的数显 表值,直到 200g(或 500 g)砝码加完。实验结果填入表 2-3,画出实验曲线。

5、计算灵敏度 S=U/W,非线性误差 $\delta$ 。实验完毕,关闭电源。

6、利用虚拟仪器进行测量。

表 2-3

重量(g)					
电压(mv)					



图 2-6 全桥工作原理图



图 2-7 应变传感器实验模板、接线示意图

五、思考题

1、测量中,当两组对边(如 R1、R3 为对边)电阻值 R 相同时,即 R1=R3, R2=R4,而 R1 ≠R2 时,是否可以组成全桥:(1)可以;(2)不可以。

2、某工程技术人员在进行材料拉力测试时在棒材上贴了两组应变片,如图 2-8,能否如何利 用四片应变片组成电桥,是否需要外加电阻。



图 2-8 受拉力时应变式传感器圆周面展开图

3、金属箔式应变片单臂、半桥、全桥性能比较

基本原理如图 2-9 (a)、(b)、(c)。

比较单臂、半桥、全桥输出时的灵敏度和非线性度,根据实验结果和理论分析,阐述原因, 得出相应的结论。

注意:比较实验中,(a)、(b)、(c)放大电路的放大器增益必须相同。



(a) 单臂

(b) 半桥

(c) 全桥

图 2-9 应变电桥

① 单臂

U0 = U1 - U3 $= ((R1 + \triangle R1) / (R1 + \triangle R1 + R2) - R4 / (R3 + R4)) E$  $= ((1 + \triangle R1 / R1) / (1 + \triangle R1 / R1 + R2 / R2) - (R4 / R3) / (1 + R4 / R3)) E$ 设 R1=R2=R3=R4, 且△R1 / R1<<1。  $U0 \approx (1 / 4)(\triangle R1 / R1)E$ 所以电桥的电压灵敏度: S=U0 / (△R1 / R1)≈kE=(1 / 4)E ② 半桥 U0≈(1 / 2)(△R1 / R1)E S = (1 / 2)E③ 全桥

 $U0 \approx (\triangle R1 / R1)E$ 

```
S = E
```

4、金属箔式应变片的温度影响

电阻应变片的温度影响主要有两个方面。敏感栅丝的温度系数,应变栅的线膨胀系数与弹 性体(或被测试件)的线膨胀系数不一致而产生附加应变。当温度变化时,即使被测体受力状 态不变,输出也会有变化。

① 按照全桥性能实验步骤,将 200g 砝码放在砝码盘上,在数显表上读取数值 Uo1。

② 将主机箱中直流稳压电源+5V、地(⊥)接于实验模板的加热器+6V、地(⊥)插孔上, 数分钟后待数显表电压显示基本稳定后,记下读数 Uot。

(Uot-Uo1)即为温度变化的影响。 温度变化产生的相对误差:

$$\delta = \frac{U_{\rm ot} - U_{\rm o1}}{U_{\rm 01}} \times 100\%$$

③ 如何消除金属箔式应变片温度影响?
#### 实验四 交流应变全桥的应用——振动测量实验

一、实验目的

了解利用应变交流电桥测量振动的原理与方法。

二、基本原理

对于动态应变信号用交流电桥测量时,交流电桥为调制电路,桥路输出的波形为一调制波, 通过相敏检波和滤波电路后才能得到变化的应变信号,此信号可以从示波器或用交流电压表读 得。

三、实验器材

主机箱、应变式传感器实验模板、移相器 / 相敏检波器 / 低通滤波器模板、双踪示波器、 振动源、万用表(自备)。

四、实验步骤

1、应变传感器实验模板上的传感器不用,改为振动梁的应变片,即振动源上的应变输出。原 理图见图 2-10。



图 2-10 交流应变全桥原理图

2、接线图如图 2-11,将振动源上的应变输出插座用专用连接线与应变传感器实验模板上的应 变插座相连。

振动梁上的四片应变片已组成全桥,引出线为四芯线,接入实验模板中与电桥模型相连的 应变插座上即可。电桥模型二组对角线阻值均为 350Ω,可用万用表测量。

传感器专用插头(黑色航空插头)的插、拔方法:插头要插入插座时,只要将插头上的凸锁对准插座的平缺口稍用力自然往下插;插头要拔出插座时,必须用大姆指用力往内按住插头上的凸锁同时往上拔。

3、根据图 2-11 接线(应变传感器实验模板中的 R8、Rw1、C、Rw2 为交流电桥调平衡网络)。 检查接线无误后,合上主机箱电源开关; 将音频振荡器 Lv(桥路激励电源)的频率调节到 1KHz 左右,幅度调节到 10Vp-p(频率 可用数显频率表 Fin 监测,幅度用示波器监测);

调节低频振荡器输出(振动源的低频输入)幅度和频率使振动台(圆盘)明显看到振动。



图 2-11 应变交流全桥振动测量实验接线图

4、保持低频振荡器幅度钮旋位置(幅值)不变,调节低频振荡器频率(3Hz~25 Hz)。 每增加2Hz用示波器读出低通滤波器输出Vo的电压(峰峰值),填入表2-4,画出实验曲

线。

从实验数据得振动梁的自振频率为 Hz。 实验完毕,关闭电源。

表 2-4

f (Hz)					
Vo(p-p)					

五、思考题

1、请归纳直流电桥和交流电桥的特点。

2、定性分析如下移相器和相敏检波器电路工作原理。





图 2-12 移相、相敏检波原理图

### 第三章 变压器、电容式传感器实验

#### 实验五 差动变压器的性能实验

一、实验目的

了解差动变压器的工作原理和特性。

二、基本原理

差动变压器由一只初级线圈和二只次线圈及一个铁芯组成,根据内外层排列不同,有二段 式和三段式,本实验采用三段式结构。

当被测体移动时差动变压器的铁芯也随着轴向位移,从而使初级线圈和次级线圈之间的互 感发生变化促使次级线圈感应电势产生变化(一只次级感应电势增加,另一只感应电势则减 少)。将两只次级反向串接(同名端连接),引出差动电势输出。其输出电势反映出被测体的移 动量。

三、实验器材

主机箱、差动变压器、差动变压器实验模板、测微头、双踪示波器、万用表、导线等。

四、实验步骤

1、测微头的组成与使用

测微头组成和读数如图 3-1。



图 3-1 测位头组成与读数

测微头组成:

测微头由不可动部分安装套、轴套和可动部分测杆、微分筒、微调钮组成。

测微头读数与使用:

测微头的安装套便于在支架座上固定安装,轴套上的主尺有两排刻度线,标有数字的是整 毫米刻线(1mm/格),另一排是半毫米刻线(0.5mm/格);微分筒前部圆周表面上刻有 50 等分的刻线(0.01mm/格)。

用手旋转微分筒或微调钮时,测杆就沿轴线方向进退。微分筒每转过1格,测杆沿轴方向 移动微小位移0.01毫米,这也叫测微头的分度值。

测微头读数方法:先读轴套主尺上露出的刻度数值,注意半毫米刻线;再读与主尺横线对 准微分筒上的数值,可以估读 1 / 10 分度,如图 3-1 甲读数为 3.6 7 8 mm,不是 3.1 7 8 mm;遇到微分筒边缘前端与主尺上某条刻线重合时,应看微分筒的示值是否过零,如图 3-1 乙已过零则读 2.5 1 4 mm;如图 3-1 丙未过零,则不应读为 2 mm,读数应为 1.9 8 0 m m。

测微头使用:

测微头在实验中是用来产生位移并指示出位移量的工具。一般测微头在使用前,首先转动 微分筒到10mm处(为了保留测杆轴向前、后位移的余量),再将测微头轴套上的主尺横线 面向自己安装到专用支架座上,移动测微头的安装套(测微头整体移动)使测杆与被测体连接 并使被测体处于合适位置(视具体实验而定)时再拧紧支架座上的紧固螺钉。当转动测微头的 微分筒时,被测体就会随测杆而位移。



图 3-2 差动变压器性能实验原理图



图 3-3 差动变压器性能实验模板、接线图

2、差动变压器实验

① 按图 3-3 接线。

将差动变压器和测微头安装在实验模板的支架座上, L1 为初级线圈; L2、L3 为次级 线圈; \*号为同名端。

② 差动变压器的原边L1的激励电压从主机箱中音频振荡器的Lv端子引入,检查接线无误后合上总电源开关,调节音频振荡器的频率为4~5KHz(可用主机箱的频率表输入Fin来监测);调节输出幅度峰峰值为Vp-p=2V(可用示波器监测:X轴为0.2ms/div)。

③ 松开测微头的安装紧固螺钉,移动测微头的安装套使差动变压器的次级输出(示波器 第二通道)波形 Vp-p 为较小值(变压器铁芯大约处在中间位置)。

拧紧紧固螺钉,仔细调节测微头的微分筒使差动变压器的次级输出波形 Vp-p 为最小值 (零点残余电压),并定为位移的相对零点。

这时可以左右位移,假设其中一个方向为正位移,则另一个方向位移为负。

④ 从零点(次级输出波形 Vp-p 为最小值)开始旋动测微头的微分筒,每隔 0.2mm(可取 10~25 点)从示波器上读出输出电压 Vp-p 值,填入表 3-1。

一个方向结束后,再将测位头退回到零点反方向做相同的位移实验。

⑤ 从零点决定位移方向后,测微头只能按所定方向调节位移,中途不允许回调,否则, 由于测微头存在机械回差而引起位移误差。

实验时每点位移量须仔细调节,绝对不能调节过量而回调,如过量则只好剔除这一点 继续做下一点实验或者回到零点重新做实验。

当一个方向行程实验结束,做另一方向时,测微头回到次级输出波形 Vp-p 最小处时它的位移读数有变化(没有回到原来起始位置),这是正常的。

做实验时位移取相对变化量△X为定值,只要中途测微头不回调就不会引起位移误差。

3、实验过程中注意差动变压器次级输出的最小值即为差动变压器的零点残余电压。

根据表 3-1 画出 Vop-p-X 曲线,作出位移为±1mm、±3mm 时的灵敏度和非线性误差。实验完毕,关闭电源。

表 3-1

V(mv)					
X(mm)					

五、思考题:

1、用差动变压器测量振动频率的上限受什么影响?

2、试分析差动变压器与一般电源变压器的异同?

#### 实验六 激励频率对差动变压器特性的影响

一、实验目的

了解初级线圈激励频率对差动变压器输出性能的影响。

二、基本原理

 $\omega(M_1 - M_2)U_i$ 

差动变压器输出电压有效值的近似关系式:  $U_{0} = \sqrt{R_{p}^{2} + \omega^{2}L_{p}^{2}}$ 。式中 Lp、Rp 为初级线 圈电感和损耗电阻, Ui、 $\omega$  为激励电压和频率, M1、M2 为初级与两次级间互感系数。

由关系式可以看出,当初级线圈激励频率太低时,若 Rp<sup>2</sup>>ω<sup>2</sup>Lp<sup>2</sup>,则输出电压 Uo 受频率 变动影响较大,且灵敏度较低,只有当ω<sup>2</sup>Lp<sup>2</sup>>>Rp<sup>2</sup>时输出 Uo 与ω 无关,当然ω 过高会使线 圈寄生电容增大,对性能稳定不利。

三、实验器材

主机箱、差动变压器、差动变压器实验模板、测微头、双踪示波器。

四、实验步骤

1、接线同实验五。检查接线无误后,合上主机箱电源开关。

2、调节主机箱音频振荡器 LV 输出频率为 1KHZ (可用主机箱的频率表监测频率), Vp-p=2V (用示波器监测 Vp-p)。

调节测微头微分筒使差动变压器的铁芯处于线圈中心位置即输出信号最小时(示波器监测 Vp-p 最小时)的位置。

3、调节测微头位移量△X为 2.50mm,差动变压器有某个较大的 Vp-p 输出。

4、在保持位移量不变的情况下改变激励电压(音频振荡器)的频率从1KHZ~9KHZ(激励电压幅值2V不变)时差动变压器的相应输出的Vp-p值填入表 3-2。

表 3-2

f(KHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vp-p									

5、作出幅频(f~Vp-p)特性曲线。实验完毕,关闭电源。

#### 实验七 差动变压器零点残余电压补偿实验

一、实验目的

了解差动变压器零点残余电压补偿方法。

二、基本原理

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

三、实验器材

主机箱、测微头、差动变压器、差动变压器实验模板、示波器。

四、实验步骤

1、根据图 3-4 接线, 差动变压器原边激励电压从音频振荡器的 LV 插口引入, 实验模板中的 R1 、C1 、RW1 、RW2 为电桥单元中调平衡网络。

2、用示波器和频率表监测并调节 LV 输出频率为 4~5KHz、峰峰值为 2V 的激励电压。

3、调整测微头,使差动放大器输出电压最小。再依次交替调整 RW1、RW2,使输出降至最小。

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

5、从示波器上观察差动变压器的零点残余电压值(峰峰值),与补偿前比较。

(注:这时的零点残余电压是经放大后的零点残余电压,所以经补偿后的零点残余电压:零 点 V p-p = Vo / k, K 是放大倍数约为 7 倍左右。)实验完毕,关闭电源。



图 3-4 零点残余电压补偿实验接线图

五、思考题

零点残余电压是什么波形?分析零点残余电压补偿电路。

#### 实验八 差动变压器的应用一振动测量实验

一、实验目的

了解差动变压器测量振动的方法。

二、基本原理

由差动变压器性能实验基本原理可知,当差动变压器的铁芯连接杆与被测体连接时就能检 测到被测体的位移或振动。

三、实验器材

主机箱、差动变压器、差动变压器实验模板、移相器/相敏检波器/滤波器模板、振动源、 示波器。

四、实验步骤

1、将差动变压器按图 3-5 卡在传感器安装支架的 U 型槽上,并拧紧差动变压器的夹紧螺母; 调整传感器安装支架,使差动变压器的铁芯连杆与振动台中心点磁钢吸合,并拧紧传感器安装 支架压紧螺帽;再调节升降杆使差动变压器铁芯大约处于线圈的中心位置。



图 3-5 差动变压器振动测量安装、接线图

2、按图接线,并调整好有关部分,调整如下:

(1)检查接线无误后,合上主机箱电源开关,用频率表、示波器监测音频振荡器 LV 的频率和 幅值,调节音频振荡器的频率、幅度旋钮,使 Lv 输出 4~5KHz、Vp-p=2V 的激励电压。

(2)用示波器观察相敏检波器输出(图中低通滤波器输出接的示波器改接到相敏检波器输出), 调节升降杆(松开锁紧螺钉转动升降杆的铜套)的高度,使示波器显示的波形幅值为最小。

(3) 仔细调节差动变压器实验模板的 RW1 和 RW2(交替调节)使示波器(相敏检波器输出) 显示的波形幅值更小,基本为零点。

(4)用手按住振动平台(让传感器产生一个大位移)仔细调节移相器和相敏检波器的旋钮, 使示波器显示的波形为一个接近全波整流波形。

(5) 松手, 整流波形消失变为一条接近零点线(否则再调节 RW1 和 RW2)。

(6) 振动源的低频输入接上主机箱的低频振荡器,调节低频振荡器幅度旋钮和频率旋钮,使 振动平台振荡较为明显。用示波器观察相敏检波器输出及低通滤波器输出波形。

3、保持低频振荡器的幅度不变,改变振荡频率,用示波器观察低通滤波器的输出,读出峰峰 电压值,记下实验数据,填入下表 3-3。

表 3-3

f(Hz)					
Vp-p(V)					

4、根据实验结果作出梁的振幅~频率特性曲线,指出自振频率的近似值,并与实验四使用应 变片测出的结果相比较。

5、保持低频振荡器频率不变,改变振荡幅度,同样可得到振幅与电压峰峰值 Vp-p 曲线(定性)。

6、注意事项:低频激振电压幅值不要过大,以免梁在自振频率附近振幅过大。

实验完毕,关闭电源。

五、思考题

1、如果用直流电压表来读数,需增加哪些测量单元,测量线路该如何设计?

2、利用差动变压器测量振动,在应用上有些什么限制?

# 实验九 电容式传感器的位移实验

一、实验目的

了解电容式传感器结构及其特点。

二、基本原理

利用电容 C=ε A / d 的关系式,通过相应的结构和测量电路,可以选择ε、A、d 三个参数中保持二个参数不变,而只改变其中一个参数,就可以组成测介质的性质(ε 变)、测位移(d 变)和测距离、液位(A 变)等多种电容传感器。

本实验采用的传感器为圆筒式变面积差动结构的电容式位移传感器,如图 3-6 所示:由二 个圆筒和一个圆柱组成。

设圆筒的半径为 R;圆柱的半径为 r;圆柱的长为 x,则电容量为 C= $\epsilon^2 \pi x / \ln(R / r)$ 。

图中 C1、C2 是差动连接,当图中的圆柱产生 $\Delta X$  位移时,电容量的变化量为 $\Delta C=C1-C2=\epsilon^2\pi 2\Delta X / \ln(R/r)$ ,式中  $\epsilon^2\pi$ 、 $\ln(R/r)$ 为常数,说明 $\Delta C$  与位移 $\Delta X$  成正比,配上配套测量电路就能测量位移。



图 3-6 电容式位移传感器结构

三、实验器材

主机箱、电容传感器、电容传感器实验模板、测微头。

四、实验步骤



图 3-7 电容传感器位移实验原理图

1、按图 3-8 将电容传感器装于电容传感器实验模板上,实验模板的输出Vol 接主机箱电压表的Vin。

2、将实验模板上的 Rw 调节到中间位置(方法:逆时针转到底再顺时传 3 圈)。

3、将主机箱上的电压表量程(显示选择)开关打到2 v 档,合上主机箱电源开关;

47

旋转测微头改变电容传感器的动极板位置使电压表显示 0 v ,再转动测微头(向同一个方 向)5圈,记录此时测微头读数和电压表显示值,此点为实验起点值;

此后,反方向每转动测微头1圈即△X=0.5mm位移读取电压表读数,共转10圈读取相应的电压表读数(单行程位移方向做实验可以消除测微头的回差);

将数据填入表 3-7 并作出 X-V 实验曲线。

表 3-7 电容传感器位移与输出电压值

X(mm)					
V(mv)					

 4、根据表 3-7数据计算电容传感器的系统灵敏度 S 和非线性误差δ。 实验完毕,关闭电源。



图 3-8 电容传感器位移实验安装、接线图

五、思考题

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

# 第四章 压电、压阻、电涡流式传感器实验

#### 实验十 压阻式压力传感器的压力测量实验

一、实验目的

了解扩散硅压阻式压力传感器测量压力的原理和方法。

二、基本原理

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

三、实验器材

主机箱、压阻式压力传感器、压力传感器实验模板、引压胶管。

四、实验步骤

1、将压力传感器安装在实验模板的支架上,根据图 4-1 连接管路和电路(主机箱内的气源部分,压缩泵、贮气箱、流量计已接好)。

引压胶管一端插入主机箱面板上气源的快速接口中(注意管子拆卸时请用双指按住气源快速接口边缘往内压,则可轻松拉出),另一端口与压力传感器相连。

压力传感器引线为4芯线:1端接地线,2端为U0+,3端接+4V电源,4端为Uo-。



图 4-1 压阻式压力传感器测压实验安装、接线图

2、实验模板上 RW2 用于调节放大器零位, RW1 调节放大器增益。

按图 4-1 将实验模板的放大器输出 V02 接到主机箱电压表的 Vin 插孔,将主机箱中的显示选择开关拨到 2V 档,合上主机箱电源开关,RW1 旋到满度的 1 / 3 位置(即逆时针旋到底再顺时针旋 2 圈),仔细调节 RW2 使主机箱电压表显示为零。

3、合上主机箱上的气源开关,启动压缩泵,逆时针旋转转子流量计下端调压阀的旋钮,此时 可看到流量计中的滚珠向上浮起悬于玻璃管中,同时观察气压表和电压表的变化。

4、调节流量计旋钮,使气压表显示某一值,观察电压表显示的数值。

5、仔细地逐步调节流量计旋钮,使压力在 2~18KPa 之间变化,每上升 1KPa 气压分别读取电 压表读数,将数值列于表 4-1。

表	4-	1
---	----	---

P(KPa)					
Vo(p-p)					

6、画出实验曲线计算本系统的灵敏度和非线性误差。 实验完毕,关闭电源。

天孤九千,八阳七

五、思考题

如果本实验装置要成为一个压力计,则必须对电路进行标定。

方法采用逼近法:输入 4KPa 气压,调节 Rw2 (低限调节),使电压表显示 0.25V (有意 偏小),输入 16KPa 气压,调节 Rw1 (高限调节),使电压表显示 1.2V (有意偏小);再调气压 为 4KPa,调节 Rw2 (低限调节),使电压表显示 0.3V (有意偏小),调气压为 16KPa,调节 Rw1 (高限调节)使电压表显示 1.3V (有意偏小);这个过程反复调节,直到逼近自己的要求 (4KPa~0.4V, 16KPa~1.6V),满足足够的精度即可。

### 实验十一 压电式传感器振动测量实验

一、实验目的

了解压电传感器的测量振动的原理和方法。

二、基本原理

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

三、实验器材

主机箱、差动变压器实验模板、振动源、示波器。

四、实验步骤

1、按图 4-3 所示将压电传感器安装在振动台面上(与振动台面中心的磁钢吸合),振动源的低频输入接主机箱中的低频振荡器,其它连线按图示意接线。



图 4-2 压电传感器振动实验原理图

2、合上主机箱电源开关,调节低频振荡器的频率和幅度旋钮使振动台振动,观察低通滤波器 输出的波形。

3、用示波器的两个通道同时观察低通滤波器输入端和输出端波形;在振动台正常振动时用手 指敲击振动台同时观察输出波形变化。

4、改变振动源的振荡频率(调节主机箱低频振荡器的频率),观察输出波形变化。

低频振荡器的幅度旋钮固定至最大,调节频率,调节时用频率表监测频率,用示波器读出 峰峰值填入表 4-2。实验完毕,关闭电源。

表 4-2

f(Hz)	5	7	12	15	17	20	25
V(p-p)							

五、思考题

根据实验结果,可以知道振动台的自振频率大致多少? 传感器输出波形的相位差 $\Delta \phi$  大致为多少?



图 4-3 压电传感器振动实验安装、接线示意图

## 实验十二 电涡流传感器位移实验

一、实验目的

了解电涡流传感器测量位移的工作原理和特性。

二、基本原理

通过交变电流的线圈产生交变磁场,当金属体处在交变磁场时,根据电磁感应原理,金属 体内产生电流,该电流在金属体内自行闭合,并呈旋涡状,故称为涡流。

涡流的大小与金属导体的电阻率、导磁率、厚度、线圈激磁电流频率及线圈与金属体表面 的距离 x 等参数有关。

电涡流的产生必然要消耗一部分磁场能量,从而改变激磁线线圈阻抗,涡流传感器就是基于这种涡流效应制成的。电涡流工作在非接触状态(线圈与金属体表面不接触),当线圈与金 属体表面的距离 x 以外的所有参数一定时可以进行位移测量。

三、实验器材

主机箱、电涡流传感器实验模板、电涡流传感器、测微头、被测体(铁圆片)。

四、实验步骤



图 4-4 电涡流传感器原理图

1、观察传感器结构,这是一个平绕线圈。根据图 4-5 安装测微头、被测体、电涡流传感器并 接线。

2、调节测微头使被测体与传感器端部接触,将电压表显示选择开关切换到 20V 档,检查接线 无误后开启主机箱电源开关,记下电压表读数,然后每隔 0.1mm 读一个数,直到输出几乎不 变为止。将数据列入表 4-2。

表 4-2 电涡流传感器位移 X 与输出电压数据

X (mm)					
V(v)					

3、画出 V-X 曲线,根据曲线找出线性区域及进行正、负位移测量时的最佳工作点(即曲线 线性段的中点)。试计算测量范围为 1mm 与 3 mm 时的灵敏度和线性度(可以用端基法或其它 拟合直线)。实验完毕,关闭电源。



图 4-4 电涡流传感器安装、按线示意图

五、思考题

1、电涡流传感器的量程与哪些因素有关,如果需要测量±5mm的量程应如何设计传感器?

2、用电涡流传感器进行非接触位移测量时,如何根据量程使用选用传感器。

实验十三 被测体材质、面积对电涡流传感器的特性影响实验

一、实验目的

了解不同的被测体材料对电涡流传感器性能的影响。 了解不同的被测体形状、尺寸对电涡流传感器性能的影响。

二、基本原理

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

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

三、实验器材

主机箱、电涡流传感器实验模板、电涡流传感器、测微头、三个圆片被测体(铁、铜和铝)、 二个不同形状铝被测体(被测体面积不同)。

四、实验步骤一——被测体材质对电涡流传感器性能的影响

1、实验步骤与方法同实验十二。

2、将实验十二的被测体铁圆片换成铝和铜圆片,重复实验十二步骤,进行被测体为铝圆片和 铜圆片时的位移特性测试,分别将数据列入表和表 4-3 表表 4-4。

表 4-3 被测体为铝圆片时的位移与输出电压数据

X (mm)					
V(v)					

表 4-4 被测体为铜圆片时的位移与输出电压数据

X (mm)					
V(v)					

3、根据表 4-3 和表 4-3 画出实验曲线分别计算量程为 1mm 和 3mm 时的灵敏度和非线性误差 (线性度)。

分别比较实验十二和本实验所得结果,进行小结。
 实验完毕,关闭电源。

五、实验步骤二——被测体形状、尺寸对电涡流传感器性能的影响

1、实验步骤与方法同实验十二。

2、在测微头的测杆上分别用二种不同面积的被测铝材进行电涡位移特性测定,并分别将实验数据列入表 4-5。

3、根据表 4-5 数据画出实验曲线,计算二种被测体 1 号、2 号的灵敏度、并说明理由。

### 实验完毕,关闭电源。

表 4-5 不同尺寸时的被测体特性数据

X (mm)					
被测体1					
被测体2					

### 实验十四 电涡流传感器振动测量实验

一、实验目的

了解电涡流传感器测量振动的原理与方法。

二、基本原理

根据电涡流传感器位移特性,根据被测材料选择合适的工作点即可测量振幅。

三、实验器材

主机箱、电涡流传感器实验模板、电涡流传感器、振动源、低通滤波器、示波器。

四、实验步骤

1、根据图 4-5 安装电涡流传感器。

逆时针转出压紧螺母,装上传感器安装支架再顺时针转动压紧螺母并接线。

 2、将主机箱中的低频振荡器幅度旋钮逆时针转到底(低频输出幅度为零),检查接线无误后, 合上主控箱电源开关。

3、调节振动源中的传感器升降杆(松开锁紧螺钉,粗调升降杆再细调调节螺母),使主机箱中的电压表显示为:实验十三中铝圆片材料特性曲线的线性中点位置时的电压值(这时传感器端面与被测体振动台面之间的安装距离为线形区域的中点位置附近)。拧紧锁紧螺钉。

4、顺时针慢慢调节低频振荡器幅度旋钮,使低频振荡器输出的电压峰峰值为 2V (用示波器 监测);

调节低频振荡器振荡频率为 3~25Hz 之间变化(用频率表监测),频率每增加 2Hz 记录低 通滤波器输出端 Vo 的值(用示波器监测)。

表	4-6
· ~ ~	

f (Hz)					
$V_0(v)$					

5、画出 f~Vo 特性曲线,由曲线估算振动台的谐振频率(Vo 最大时对应频率)。 实验完毕,关闭电源。

五、思考题

1、能否用本系统数显表头,显示振动?还需要添加什么单元,如何实行?

2、当振动台振动频率一定时(如 12Hz),调节低频振荡器幅值可以改变振动台振动幅度,如 何利用电涡流传感器测量振动台的振动幅度?



图 4-5 电涡流传感器振动测量安装、接线示意图

# 第五章 霍尔、磁电式传感器实验

实验十五 直流激励时线性霍尔传感器的位移特性实验

一、实验目的

了解霍尔式传感器原理与应用。

二、基本原理

根据霍尔效应,霍尔电势  $U_H = K_H \cdot I_B$ ,当霍尔元件处在梯度磁场中运动时,它的电势会发生变化,利用这一性质可以进行位移测量。

三、实验器材

主机箱、霍尔传感器实验模板、霍尔传感器、测微头。

四、实验步骤



图 5-1 霍尔传感器(直流激励)实验原理图

1、按图 5-2 示意图接线(实验模板的输出Vol 接主机箱电压表的Vin),将主机箱上的电压表量程(显示选择)开关打到 2 v 档。

2、检查接线无误后,开启电源,调节测微头使霍尔片处在两磁钢的中间位置,再调节 Rw1 使数显表指示为零。

3、向某个方向调节测微头2mm位移,记录电压表读数作为实验起始点;

再反方向调节测微头,每增加 0.2mm 记下一个读数(建议做 4mm位移),将读数填入表 5-1。

表 5-1

X (mm)					
V(mv)					

作出 V-X 曲线,计算不同测量范围时的灵敏度和非线性误差。

实验完毕,关闭电源。

本实验中霍尔元件位移的线性度实际上反映的是什么量的变化?



图 5-2 霍尔传感器 (直流激励) 位移实验接线示意图

### 实验十六 交流激励时霍尔式传感器的位移实验

一、实验目的

了解交流激励时霍尔式传感器的特性。

二、基本原理

交流激励时霍尔式传感器与直流激励一样,基本工作原理相同,不同之处是测量电路。

三、实验器材

主机箱、测微头、霍尔传感器、霍尔传感器实验模板、移相器 / 相敏检波器 / 低通滤波器 模板、双线示波器。

四、实验步骤



图 5-3 霍尔传感器 (交流激励) 实验原理图

1、实验模板接线见图 5-4(注意:暂时不要将主机箱中的音频振荡器 Lv 接入实验模板)。

2、首先检查接线无误后,合上主机箱总电源开关。

调节主机箱音频振动器的频率和幅度旋钮,用示波器、频率表监测 Lv 输出频率为 1KHz、 峰峰值为 4V 的信号。

关闭主机箱电源,将 Lv 输出信号作为传感器的激励电压接入图 5-4 的实验模板中。

(注意:Lv电压峰峰值为4V,幅值过大会烧坏传感器)

3、合上主机箱电源,调节测微头使霍尔传感器的霍尔片处于两磁钢中点。

先用示波器观察使霍尔元件不等位电势为最小,然后观察数显表显示,调节电位器 Rw1、 Rw2 使显示为零。

4、调节测微头使霍尔传感器产生一个较大位移,利用示波器观察相敏检波器输出,旋转移相器单元电位器 Rw 和相敏检波器单元电位器 Rw,使示波器显示全波整流波形,并观察数显表显示值。

直至数显表显示为零,此点作为测量原点。然后旋动测微头,每转动 0.2mm,记下读数, 填入表 5-2。

表 5-2 交流激励时输出电压和位移数据

X (mm)					
V(mv)					

6、根据表 5-2 作出 V~X 曲线,计算不同量程时的非线性误差。 实验完毕,关闭电源。



图 5-4 交流激励时霍尔传感器位移实验接线图

### 实验十七 霍尔转速传感器测电机转速实验

一、实验目的

了解霍尔转速传感器的应用。

二、基本原理

利用霍尔效应表达式: U<sub>H</sub>=K<sub>H</sub>•I<sub>B</sub>, 当被测圆盘上装上 N 只磁性体时,圆盘每转一周磁场就变化 N 次。每转一周霍尔电势就同频率相应变化,输出电势通过放大、整形和计数电路计数就可以测量被测物体的转速。

三、实验器材

主机箱、霍尔转速传感器、转动源。

四、实验步骤

1、根据图 5-5 将霍尔转速传感器安装于霍尔架上,传感器的端面对准转盘上的磁钢并调节升降杆使传感器端面与磁钢之间的间隙大约为 2~3mm。



图 5-5 霍尔转速传感器实验安装、接线示意图

2、在接线以前,先合上主机箱电源开关,将主机箱中的转速调节电源 2~24v 旋钮调到最小(逆时针方向转到底),接入电压表(显示选择打到 20v 档),监测大约为 1.25v;

关闭主机箱电源,将霍尔转速传感器、转动电源按图 5-5 所示分别接到主机箱的相应电源和频率 /转速表(转速档)的 Fin 上。

3、合上主机箱电源开关,在小于 12v 范围内(电压表监测)调节主机箱的转速调节电源(调 节电压改变电机电枢电压),观察电机转动及转速表的显示情况。

4、从 2v 开始记录,每增加 1v 相应电机转速的数据(待电机转速比较稳定后读取数据)。

表 5-3

电压					
转速					

画出电机的  $v \sim n$  (电机电枢电压与电机转速的关系)特性曲线。 实验完毕,关闭电源。

五、思考题

1、利用霍尔元件测转速,在测量上有否限制?

2、本实验装置上用了六只磁钢,能否用一只磁钢?

一、实验目的

了解磁电式测量转速的原理。

二、基本原理

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

三、实验器材

主机箱、磁电式传感器、转动源。

四、实验步骤

磁电式转速传感器测速实验除了传感器不用接电源外,其它完全与实验十七相同。



图 5-6 磁电转速传感器实验安装、接线示意图

按图 5-6 接线,实验十七中的实验步骤做实验。 实验完毕,关闭电源。 画出电机的 v ~ n (电机电枢电压与电机转速的关系)特性曲线。 实验完毕,关闭电源。

4

电压					
转速					

五、思考题

为什么磁电式转速传感器不能测很低速的转动,能说明理由吗?

## 第六章 温度、气敏、湿度传感器实验

实验十九 温度源的温度控制、调节实验

一、实验目的

了解温度控制的基本原理及熟悉温度源的温度调节过程,学会智能调节器和温度源的使用,为以后的温度实验打下基础。

二、基本原理

当温度源的温度发生变化时温度源中的 Pt100 热电阻的阻值发生变化,将电阻变化量作为温度的反馈信号输给智能调节仪,经智能调节仪的电阻/电压转换后,与温度设定值比较再进行数字 PID 运算,输出可控硅触发信号(加热)或继电器触发信号(冷却),使温度源的温度趋近温度设定值。温度控制原理框图如图 6-1 所示。



图 6-1 温度控制原理框图

三、实验器材

主机箱、温度源、Pt100 温度传感器。

四、温度源简介

温度源是一个小铁箱子,有二个测温孔,内部装有加热器和冷却风扇。

加热器的电源插座在外壳背面(由调节仪面板上提供"加热控制"电源,装有保险丝座); 冷却风扇电源插孔在外壳正面(由调节仪面板上提供"冷却风扇"+24V或12VDC)。

温度源外壳正面还装有电源开关、指示灯,顶面测温孔一个为调节仪控制加热器加热的传 感器(Pt100)的插孔,另一个是温度测量实验传感器的插孔。

使用时将电源开关打开。根据安全性、经济性的要求,温度源设置温度应≤200℃。

66

五、调节仪简介

(一) 概述

主机箱中所装的调节仪表为人工智能工业调节仪,该仪表由单片机控制,具有热电阻、热电偶、电压、电流、频率、TTL 电平等多种信号自由输入(通过输入规格设置),手动自动切换,主控方式在传统 PID 控制算法基础上,结合模糊控制理论创建了新的人工智能调节 PID 控制算法,在各种不同的系统上,经仪表自整定的参数大多数能得到满意的控制效果,具有无超调,抗扰动性强等特点。

此外该仪表还具有良好的人机界面, 仪表能根据设置自动屏蔽不相应的参数项, 使用户更 觉简洁便易接受。

(二) 主要技术指标

1、基本误差: ≤±0.5%F.S±1 个字, ±0.3%F.S±1 个字

2、冷端补偿误差: ≤±2.0℃

3、采样周期: 0.5 秒

4、控制周期:继电器输出与阀位控制时的控制周期为 2~120 秒可调,其它为 2 秒。

5、报警输出回差(不灵敏区): 0.5 或 5

6、继电器触点输出: AC250V/7A(阻性负载)或 AC250V/0.3A(感性负载)

7、驱动可控硅脉冲输出:幅度 ≥3V,宽度 ≥50µS 的过零或移相触发脉冲(共阴)

8、驱动固态继电器信号输出:驱动电流 ≥15mA,电压 ≥9V

9、连续PID调节模拟量输出:0~10mA(负 载 500±200Ω),4~20mA(负 载250±100Ω), 或0~5V(负载≥100kΩ),1~5V(负载≥100kΩ)

10、电源: AC90V~242V(开关电源), 50/60Hz, 或其它特殊定货

**11**、工作环境:温度 0~50.0℃,相对湿度不大于 85%无腐蚀性气体及无强电磁干扰的场所 (三)调节仪面板说明

面板上有 PV 测量显示窗、SV 给定显示窗、4 个指示灯窗和 4 个按键。如图 6-2 所示。



图6-2 调节仪面板图

- 面板: 1、PV 测量值显示窗; 2、SV 给定值显示窗; 3、AT 自整定灯;
  - 4、ALM1 AL1动作指示灯; 5、ALM2 手动指示灯(兼程序运行指示灯);
    - 6、OUT 调节控制输出指示灯; 7、SET— 功能键;

    - 9、▼ 数据减少键(兼程序运行/暂停操作);

10、▲ — 数据增加键(兼程序复位操作)。

(四)参数代码及符号(仪表根据设置只开放表中相对应的参数项)

序号	符 号	名 称	说 明	取值范围	出厂值
0	SP	给定值	控制参量设定值	仪表量程 范围	50.0
1	AL-1	第一报警	测量值大于 AL-1 值时仪表将产生上限 报警。 测量值小于 ALM1(固定 0.5)值时,仪 表将解除上限报警。	同上	0.0
2	Pb	传感器 误差修正	当测量传感器引起误差时,可以用此值修 正	0~±20.0	0.0
3	Р	速率参数	<ul> <li>P 值类似常规 PID 调节器的比例带,但变化相反。</li> <li>P 值越大,比例、微分的作用成正比增强;</li> <li>P 值越小,比例、微分的作用相应减弱。</li> <li>P 参数值与积分作用无关。</li> <li>设置 P=0 仪表转为二位式控制。</li> </ul>	1~9999	100
4	Ι	保持参数	I 参数值主要决定调节算法中的积分作 用,与常规 PID 算法中的积分时间类同。 I 值越小,系统积分作用越强; I 值越大,积分作用越弱。 设置 I=0 时,系统取消积分作用,仪表 成为一个 PD 调节器。	0~3000	500
5	d	滞后时间	D参数对控制的比例、积分、微分均起影响作用。 D 越小,则比例和积分作用均成正比增强;反之,D越大,则比例和积分作用均减弱,而微分作用相对增强。 此外D还影响超调抑制功能的发挥,其设置对控制效果影响很大。	0~2000S	100S
6	FILT	滤波系数	为仪表一阶滞后滤波系数,其值越大,抗 瞬间干扰性能越强,但响应速度越滞后, 对压力、流量控制其值应较小,对温度、 液位控制应相对较大。	0~99	20

7	dp	小数点 位置	当仪表为电压或电流输入时,其显示上 限、显示下限、小数点位置及单位均可由 厂家或用户自由设定。其中当 dp=0 时小 数点在个位不显示;当 dp=1~3 时,小 数点依次在十位、百位、千位。 当仪表为热电偶或热电阻输入时,如果 dp=0,小数点在个位不显示;如果 dp=1 时,小数点在十位。	0~3	0 或 1 或按需 求定
8	outH	输出上限	当仪表控制为电压或电流输出 (如控制阀 位时), 仪表具有最小输出和最大输出限 制功能。	outL~200	按 需求定
9	outL	输出下限	同上	0~outH	按 需求定
10	AT	自整定 状态	0: 关闭; 1: 启动	0~1	0
11	LocK	密码锁	为 0 时,允许修改所有参数; 为 1 时,只允许修改给定值 (SP); 大于 1 时,禁止修改所有参数。	0~50	0
12	Sn	输入方式	Cu50: $50.0 \sim 150.0$ °C; Pt100 (Pt1): $-199.9 \sim 200.0$ °C; Pt100 (Pt2) $-199.9 \sim 600.0$ °C; K: $-30.0 \sim 1300$ °C; E: $-30.0 \sim 700.0$ °C; J: $-30.0 \sim 900.0$ °C; T: $-199.9 \sim 400.0$ °C; S: $-30 \sim 1600$ °C; R: $-30.0 \sim 1700.0$ °C; WR25: $-30.0 \sim 2300.0$ °C; N: $-30.0 \sim 1200.0$ °C; N: $-30.0 \sim 1200.0$ °C; $0 \sim 50$ MV; $10 \sim 50$ MV; $0 \sim 5$ V( $0 \sim 10$ MA); $1 \sim 5$ V( $4 \sim 20$ MA); 频率 f; 转速 u	分度号	按需求定
13	OP-A	主控 输出方式	"0"无输出; "1"继电器输出; "2"固态继电器输出; "3"过零触发; "4"移相触发; "5"0~10mA 或 0~5V; "6"4~20mA 或 1~5V; "7"阀位控制	0~7	

14	OP-B	副控 输出方式	"0"无输出; "1"RS232或RS485通讯信号	0~4	
15	ALP	报警方式	<ul> <li>"0"无报警; "1"上限报警;</li> <li>"2"下限报警; "3"上下限报警;</li> <li>"4"正偏差报警; "5"负偏差报警;</li> <li>"6"正负偏差报警; "7"区间外报警;</li> <li>"8"区间内报警; "9"上上限报警;</li> <li>"10"下下限报警。</li> </ul>	0~10	
16	COOL	正反 控制选择	0:反向控制,如加热; 1:正向控制,如制冷。	0~1	0
17	P-SH	显示上限	当仪表为热电偶或热电阻输入时, 显示 上限、显示下限决定了仪表的给定值、报 警值的设置范围,但不影响显示范围。 当仪表为电压、电流输入时,其显示上限、 显示下限决定了仪表的显示范围,其值和 单位均可由厂家或用户自由决定。	P-SL ~ 9999	按 需求定
18	P-SL	显示下限	同上	-1999 ~ P-SH	按 需求定
19	Addr	通讯地址	仪表在集中控制系统中的编号	0~63	1
20	bAud	通讯 波特率	1200; 2400; 4800; 9600		9600

(五)参数及状态设置方法

1、第一设置区

上电后,按 SET 键约 3 秒,仪表进入第一设置区,仪表将按参数代码 1~20 依次在上显示窗显示参数符号,下显示窗显示其参数值。

此时分别按◀ 、▼、▲三键可调整参数值,长按▼或▲可快速加、减,调好后按 SET 键 确认保存数据,转到下一参数继续调完为止。

长按 SET 将快捷退出,也可按 SET+◀直接退出。

如设置中途间隔 10 秒未操作, 仪表将自动保存数据, 退出设置状态。

仪表第 11 项参数 LoCK 为密码锁,为 0 时允许修改所有参数,为 1 时只允许修改第 二设置区的给定值"SP",大于 1 时禁止修改所有参数。用户禁止将此参数设置为大于 50,否 则将有可能进入厂家测试状态。

2、第二设置区

上电后, 按▲键约 3 秒, 仪表进入第二设置区, 此时可按上述方法修改设定值"SP"。

3、手动调节

上电后,按 ◀ 键约 3 秒进入手动调整状态,下排第一字显示 "H",此时可设置输出功率的百分比,再按 ◀ 键约 3 秒退出手动调整状态。

当仪表控制对象为阀门时,手动值>50为正转,否则为反转。输出的占空比固定为100%。 4、常规运行时切换显示

在常规运行时,上显示窗显示测量值,下显示窗显示设定值 SV。按 ▼ 键,下显示窗切 换成显示主控输出值,此时第 1 数码管显示 "F",后三位显示 0~100 的输出值。

(六) 自整定方法

仪表首次在系统上使用,或者环境发生变化,发现仪表控制性能变差,则需要对仪表的 某些参数如 P、I、D 等数据进行整定,省去过去由人工逐渐摸索调整,且难以达到理想效果 的繁琐工作,具体时间根据工况长短不一。以温度控制(反向)为例,方法如下:

首先设置好给定值后将自整定参数 AT 设置为 1, A-M 灯开始闪烁, 仪表进入自整定状态, 此时仪表为两位式控制方式, 仪表经过三次震荡后, 自动保存整定的 P、I、D 参数, A-M 灯 熄灭, 自整定过程全部结束。

注: ①一旦自整定开启后, 仪表将禁止改变设定值。

②仪表整定时中途断电,因仪表有记忆功能,下次上电会重新开始自整定。

③自整定中,如需要人为退出,将自整定参数 AT 设置为 0 即可退出,但整定结果 无效。

④按正确方法整定出的参数适合大多数系统,但遇到极少数特殊情况控制不够理想时,可适当微调 P、I、D 的值。人工调节时,注意观察系统响应曲线,如果是短周期振荡(与自整定或位式控制时振荡周期相当或约长),可减小 P(优先),加大 I 及 D;如果是长周期振荡(数倍于位式控制时振荡周期),可加大 I(优先),加大 P、D;如果是无振荡而有静差,可减小 I(优先),加大 P;如果是最后能稳定控制但时间太长,可减小 D(优先),加大 P,减小 I。

调试时还可采用逐试法,即将 P、I、D 参数之一增加或减少 30~50%,如果控制效果变 好,则继续增加或减少该参数,否则往反方向调整,直到效果满意为止,一般先修改 P,其次 为 I,还不理想则最后修改 D 参数。修改这三项参数时,应兼顾过冲与控制精度两项指标。

输出控制阀门时,因打开或关闭周期太长,如自整定结果不理想,则需在出厂值基础上 人工修改 PID 参数(一般在出厂值基础上加大 P,减小 I 及为了避免阀门频繁动作而应将 D 调 得较小)。

(七) 通讯

1、接口规格

为与 PC 机或 PLC 编控仪联机以集中监测或控制仪表, 仪表提供 232、485 两种数字通 讯接口, 光电隔离。其中采用 232 通讯接口时上位机只能接一台仪表, 三线连接, 传输距离 约 15 米; 采用 485 通讯接口时上位机需配一只 232-485 的转换器, 最多能接 64 台仪表, 二线连接, 传输距离约一千米。

2、通讯协议

(1) 通讯波特率

为 1200、2400、4800、9600 四档可调,数据格式为 1 个起始位、8 个数据位、2 个停止位,无校验位。

(2) 上位机发读命令

(地址代码+80H) + (地址代码+80H) + (52H (读)) + (要读的参数代码) + (00H) + (00H) + (校验和(前六字节的和/80H 的余数))

(3) 上位机发写命令

(地址代码+80H) + (地址代码+80H) + (57H (写)) + (要写的参数代码) + (参数值高 8 位) + (参数值低 8 位) + (校验和(前六字节的和/80H 的余数))

(4) 仪表返回

(测量值高 8 位) + (测量值低 8 位) + (参数值高 8 位) + (参数值低 8 位) + (输出 值) + (仪表状态字节) + (校验和(前六字节的和/80H 的余数))

(5) 上位机对仪表写数据的程序段应按仪表的规格加入参数限幅功能,以防超范围的数据写入 仪表,使其不能正常工作,各参数范围见"(四)参数代码及符号"。

(6) 上位机发读或写指令的间隔时间应大于或等于 0.3 秒, 太短仪表可能来不及应答。

(7) 仪表未发送小数点信息,编上位机程序时应根据需要设置。

(8) 测量值为 32767 (7FFFH) 表示 HH (超上量程), 32512 (7F00H) 表示 LL (超下量程)。
(9) 其它

① 每帧数据均为 7 个字节, 双字节均高位在前, 低位在后。

② 仪表报警状态字节为:

0 0 0 0 0 0 0 AL1 AL2

位状态=1 为报警,=0 为非报警。

- 六、实验步骤
- 1、调节器操作说明

在温度源的电源开关关闭(断开)的情况下,按图6-3示意接线。

检查接线无误后,合上主机箱上的总电源开关。

将主机箱中的转速调节旋钮(0~24V)顺时针转到底(24V),再将控制对象开关拨到 Rt.Vi 位置后再合上调节器电源开关。

仪表上电后, 仪表的上显示窗口(PV)显示随机数或 HH; 下显示窗口(SV)显示控制 给定值(实验值)。

按 SET 键并保持约 3 秒钟,即进入参数设置状态。在参数设置状态下按 SET 键,仪表 将按参数代码 1~20 的顺序依次在上显示窗 (PV)显示参数符号,下显示窗 (SV)显示其参 数值。

此时分别按**∢**、**▼**、▲三键可调整参数值,长按▼或▲可快速加或减,,调好后按 SET 键 确认保存数据,并转到下一参数继续调完为止。

长按 SET 将快捷退出,,也可按 SET+ ◀ 直接退出。如设置中途间隔 10 秒未操作,仪 表将自动保存数据,退出设置状态。

2、温度控制参数的设置步骤

(1)首先设置 Sn (输入方式)。按住 SET 键约 3 秒钟,仪表进入参数设置状态,PV 窗显 示 AL-1 (上限报警)。再按 SET 键 11 次,PV 窗显示 Sn (输入方式),按▼、▲键可调整 参数值,使 SV 窗显示 Pt1。
(2) 再按 SET 键, PV 窗显示 oP-A (主控输出方式), 按▼、▲键修改参数值, 使 SV 窗显示 6。

(3) 再按 SET 键, PV 窗显示 oP-b (副控输出方式), 按▼、▲键修改参数值, 使 SV 窗显示 1。

(4) 再按 SET 键, PV 窗显示 ALP (报警方式), 按▼、▲键修改参数值, 使 SV 窗显示 1。



图 6-3 温度源的温度调节控制实验接线示意图

(5)再按 SET 键, PV 窗显示 CooL (正反控制选择),按▼键,使 SV 窗显示 0。
(6)再按 SET 键, PV 窗显示 P-SH (显示上限),长按▲键修改参数值,使 SV 窗显示 200。
(7)再按 SET 键, PV 窗显示 P-SL (显示下限),长按▼键修改参数值,使 SV 窗显示-1999。
(8)再按 SET 键, PV 窗显示 Addr (通讯地址),按◀、▼、▲三键调整参数值,使 SV 窗显示 1。

(9) 再按 SET 键, PV 窗显示 bAud (通讯波特率), 按 ◀、▼、▲三键调整参数值, 使 SV 窗显示 9600。

(10)长按 SET 键快捷退出,再按住 SET 键保持约 3 秒钟,仪表进入参数设置状态,PV 窗显示 AL-1(上限报警);按◀、▼、▲三键可调整参数值,使 SV 窗显示实验给定值(如 100℃)。
(11)再按 SET 键, PV 窗显示 Pb (传感器误差修正),按▼、▲键可调整参数值,使 SV 窗显示 0。

(12) 再按 SET 键, PV 窗显示 P (速率参数),按◀、▼、▲键调整参数值,使 SV 窗显示 280。

(13)再按 SET 键, PV 窗显示 I (保持参数),按◀、▼、▲三键调整参数值,使 SV 窗

显示 380。

(14) 再按 SET 键, PV 窗显示 d (滞后时间), 按◀、▼、▲键调整参数值, 使 SV 窗显示 70。

(15) 再按 SET 键, PV 窗显示 FILt (滤波系数),按▼、▲键可修改参数值,使 SV 窗显示 2。

(16)再按 SET 键, PV 窗显示 dp (小数点位置),按▼、▲键修改参数值使 SV 窗显示 1。
(17)再按 SET 键, PV 窗显示 outH (输出上限),按◀、▼、▲三键调整参数值,使 SV 窗显示 110。

(18) 再按 SET 键, PV 窗显示 outL (输出下限),长按▼键,使 SV 窗显示 0 后释放▼键。

(19) 再按 SET 键, PV 窗显示 At (自整定状态), 按▼键, 使 SV 窗显示 0。

(20) 再按 SET 键, PV 窗显示 LoCK (密码锁), 按▼键, 使 SV 窗显示 0。

(21) 长按 SET 键快捷退出,温度控制参数设置完毕。

3、实验温度值的设置步骤

首先设置 AL-1 (上限报警)。

按住 SET 键保持约 3 秒钟,仪表进入参数设置状态,PV 窗显示 AL-1(上限报警),按 ◀、▼、▲键可修改参数值,使 SV 窗显示新的 AL-1 数值(如 100.0℃)。

长按 SET 键快捷退出。

再设置 SP (实验温度给定值)。

按住▲键约 3 秒, PV 窗显示 SP, 即仪表进入 SP (实验温度给定值)设置状态。

此时可按◀、▼、▲三键设定实验值,使 SV 窗显示的实验温度给定值与 AL-1(上限报 警)值一致(如 100.0℃)。

注:通常在实际应用中,AL-1(上限报警) > SP(给定值)。此处设置是为了体现报警功能。

4、合上图 6-3 中的温度源的电源开关,较长时间观察 PV 窗测量值的变化过程(最终在 SV 给 定值左右调节波动)。

5、如果要做其它温度值实验时,只要重新设置 AL-1(上限报警)和 SP(给定值)即可。

6、大范围改变控制参数 P、I 或 d 的其中之一设置值(注: 其它任何参数的设置值不要改动), 观察 PV 窗测量值的变化过程(控制调节效果)。这说明了什么问题?

实验完毕,关闭电源。

# 实验二十 Pt100 铂电阻测温特性实验

一、实验目的

了解铂热阻的特性与应用。

二、基本原理

利用导体电阻随温度变化的特性,可以制成热电阻,要求其材料电阻温度系数大,稳定性 好,电阻率高,电阻与温度之间最好有线性关系。

常用的热电阻有铂电阻(650℃以内)和铜电阻(150℃以内)。铂电阻是将 0.05~0.07m m的铂丝绕在线圈骨架上封装在玻璃或陶瓷管等保护管内构成。在 0~650℃以内,它的电阻 Rt 与温度 t 的关系为: Rt = Ro(1+At+Bt<sup>2</sup>)

式中: Ro 系温度为 0℃时的电阻值(本实验的铂电阻 Ro=100Ω), A=3.9684×10<sup>-3</sup> / ℃, B=-5.847×10<sup>-7</sup> / ℃2。

铂电阻一般是三线制,其中一端接一根引线而另一端接二根引线,主要是为远距离测量消除引线电阻对桥臂的影响(近距离可用二线制,导线电阻忽略不计)。实际测量时将铂电阻随 温度变化的阻值通过电桥转换成电压的变化量输出,再经放大器放大后直接用电压表显示。

#### 三、实验器材

主机箱、温度源、Pt100 热电阻二支(一支用于温度源控制、另外一支用于温度特性实验)、 温度传感器实验模板、万用表(自备)。

温度传感器实验模板简介:

图 6-4 中的温度传感器实验模板是由传感器接入口、电桥(传感器信号转换电路)、测量 放大电路及放大器工作电源引入口构成。

其中 Rw1 为电桥平衡电位器; Rw2 为放大器的增益电位器; Rw3 为放大器电平移动电位器; a b 传感器符号 "<" 接热电偶(K 热电偶或E 热电偶); 双圈符号接 AD590 集成温度传感器; Rt 接热电阻(Pt100 铂电阻或 Cu50 铜电阻)。

#### 四、实验步骤

1、用万用表欧姆档测出 Pt100 三根线中其中短接的二根线(同种颜色的线), 设为 1、2, 另 一根设为 3, 并测出它在室温时的大致电阻值。

2、在主机箱总电源、调节器电源都关闭的状态下,根据图 6-4 示意图接线,温度传感器实验 模板中 Rt (a、b)两端接传感器,这样传感器 Rt 与 R3、R1、Rw1、R4 组成直流电桥, 这是一种单臂电桥工作形式。

#### 3、放大器调零

将温度传感器实验模板中放大器的两输入端引线(一根为传感器 1 引线、另一根为桥路 输出即 Rw1 活动触点输出)暂时不要引入,而用导线直接将它们相连(短接);

将主机箱上的电压表量程切换到 2V 档,合上主机箱电源开关,调节温度传感器实验模板中的 Rw2 增益电位器(逆时针转到底),使放大器增益最小(增益 5 倍左右);

再调节 Rw3(调零电位器)使主机箱的电压表显示为0。

75



图 6-4 Pt100 铂电阻测温特性实验接线示意图

4、关闭主机箱电源开关,将实验模板中放大器的输入端引线按图 6-4 连接,检查接线无误后, 合上主机箱电源开关。

5、将主机箱上的转速调节旋钮(0~24V)顺时针转到底(24V),将调节器控制对象开关拨 到 Rt.Vi 位置。

6、参考实验十九(实验步骤)中的参数设置。

合上调节器电源开关和温度源电源开关。在常温基础上,可按每步 Δt = 10℃增加温度,最高在 200℃ 范围内设定温度源温度值,待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 6-1。

表 6-1 铂电阻温度实验数据

T (°C)

V(mV)

7、根据表 6-1 数据, 画出实验曲线并计算其非线性误差。 实验结束,关闭所有电源。

### 实验二十一 集成温度传感器 (AD590) 的温度特性实验

一、实验目的

了解常用的集成温度传感器基本原理、性能与应用。

二、基本原理

集成温度传感器将温敏晶体管与相应的辅助电路集成在同一芯片上,它能直接给出正比于 绝对温度的理想线性输出,一般用于-50℃~+120℃之间温度测量。

集成温度传感器有电压型和电流型二种,电流输出型集成温度传感器,在一定温度下,它相当于一个恒流源。因此它具有不易受接触电阻、引线电阻、电压噪声的干扰。具有很好的线性特性。

本实验采用的是 AD590 电流型集成温度传感器,其输出电流与绝对温度(T)成正比,它的 灵敏度为 1μA/K,所以只要串接一只取样电阻 R (1k)即可实现电流 1μA 到电压 1mV 的转 换,组成最基本的绝对温度(T)测量电路(1mV/K)。AD590 工作电源为 DC +4V~+30V, 它具有良好的互换性和线性。

国际实用温标也称绝对温标,用符号 T 表示,单位是 K (开尔文)。开氏温度值和摄氏 温度的分度值相同,即温度间隔 1K 等于 1℃。绝对温度 T 与摄氏温度 t 的关系是:

$$T = 273.16 + t \approx 273 + t$$
 (K)

显然,绝对零点即为摄氏零下 273.16℃(t≈-273+T ℃)。

三、实验器材

主机箱、温度源、Pt100 热电阻(用于温度源温度控制)、集成温度传感器 AD590(用于 温度特性实验)、温度传感器实验模板,万用表。

四、实验步骤

1、按图 6-5 示意接线,温度源温度控制传感器为 Pt100 热电阻,温度特性实验传感器为集成 温度传感器 AD590。

2、调节温度传感器实验模板放大器的增益为 10 倍

由上述基本原理可知, 传感器 AD590 的灵敏度为 1μA/K , 因分度值 1K=1℃, 所以灵敏 度为 1μA/℃。温度传感器实验模板的采样电阻 R1 为 1k, 则得到采样电压 1mV/℃。

根据图 6-5,检查接线无误后合上主机箱电源开关(温度源电源关闭),用电压表(2V 档)测量传感器 AD590 处于室温时的采样电压即放大器输入端电压,设为 Vi;

再用电压表(20V 档)测量放大器 Vo 输出端电压,调节 Rw2 使 Vo=10Vi (如室温为 0℃时:(1µA/K)×(1000)×(273 K)×10 倍=2.73V),则放大器的灵敏度为 10mV/K 。 3、绝对温度 T 转换成摄氏温度 t

因分度值 1K=1℃,所以转换很方便,只要电平移动一下就行。

用电压表(2V 档)测量 Vo,调节 Rw3 使 Vo 为室温对应的电压值即与调节仪显示值 (合上调节仪电源开关,温度源电源关闭)一致。

4、将主机箱上的转速调节旋钮(2~24V)顺时针转到底(24V),合上温度源电源开关和调

77

节仪电源开关,将调节仪控制方式(控制对象)拨到 Rt.Vi 位置。



图 6-5 集成温度传感器 AD590 温度特性实验接线示意图

5、参考实验十九(实验步骤)中的参数设置。

在常温基础上,可按每步 Δt = 10℃增加温度,最高在 100℃ 范围内设定温度源温度值, 待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 6-2。

表 6-2 AD590 温度特性实验数据

t (°C)

V(mV)

6、根据表 6-2 数据值画出实验曲线并计算其非线性误差。 实验结束,关闭所有电源。

## 实验二十二 K 热电偶测温特性实验

一、实验目的

了解热电偶测温原理及方法和应用。

二、基本原理

热电偶测量温度的基本原理是热电效应。将 A 和 B 二种不同的导体首尾相连组成闭合 回路,如果二连接点温度(T,T0)不同,则在回路中就会产生热电动势,形成热电流,这就 是热电效应。

热电偶就是将 A 和 B 二种不同的金属材料一端焊接而成。A 和 B 称为热电极,焊接的一端是接触热场的 T 端称为工作端或测量端,也称热端;未焊接的一端(接引线)处在温度 T0 称为自由端或参考端,也称冷端。

T 与 T0 的温差愈大, 热电偶的输出电动势愈大; 温差为0时, 热电偶的输出电动势为0。因此, 可以用测热电动势大小衡量温度的大小。

国际上,将热电偶的 A、B 热电极材料不同分成若干分度号。如常用的K(镍铬-镍硅或 镍铝)、E(镍铬-康铜)、T(铜-康铜)等等,并且有相应的分度表(见附录)即参考端温度 为0℃时的测量端温度与热电动势的对应关系表。

可以通过测量热电偶输出的热电动势值再查分度表得到相应的温度值。

三、实验器材

主机箱、温度源、Pt100 热电阻(用于温度源温度控制)、K 热电偶(用于温度特性实验)、 温度传感器实验模板、应变传感器实验模板(代替 mV 信号发生器)。

四、热电偶使用说明

热电偶由A、B热电极材料及直径(偶丝直径)决定其测温范围。

如 K (镍铬-镍硅或镍铝) 热电偶, 偶丝直径 3.2mm 时测温范围 0 ~1200℃。本实验用的 K 热电偶偶丝直径为 0.5mm, 测温范围 0 ~800℃。

E (镍铬-康铜),偶丝直径 3.2mm 时测温范围-200~+750℃。实验用的E热电偶偶丝直径为 0.5mm,测温范围-200~+350℃。

由于要求温度源温度<200℃,所以,所有热电偶实际测温范围<200℃。

从热电偶的测温原理可知, 热电偶测量的是测量端与参考端之间的温度差, 必须保证参考 端温度为 0℃时才能正确测量测量端的温度, 否则存在着参考端所处环境温度值误差。

热电偶的分度表是定义在热电偶的参考端(冷端)为0℃时热电偶输出的热电动势与热 电偶测量端(热端)温度值的对应关系。

热电偶测温时要对参考端(冷端)进行修正(补偿),计算公式:

E(t, t0) = E(t, t0') + E(t0', t0)

式中: E (t, t0) — 热电偶测量端温度为 t, 参考端温度为 t0 = 0 ℃ 时的热电势值;

E(t, t0') — 热电偶测量温度 t, 参考端温度为 t0' 不等于 0 ℃ 时的热电势值;

E(t0′,t0) — 热电偶测量端温度为 t0′,参考端温度为 t0=0 ℃ 时的热电势值。

例:用一支分度号为K(镍铬-镍硅)热电偶测量温度源的温度。
工作时的参考端温度(室温)t0'=20℃,而测得热电偶输出的热电势(经过放大器放大的信号,假设放大器的增益k=10)为32.7mv。
则 E(t,t0')=32.7mV/10=3.27mV,那么热电偶测得温度源的温度是多少呢?
解:由附录K热电偶分度表查得

E(t0', t0) = E(20, 0) = 0.798 mV

已测得

E (t, 
$$t0'$$
) = 32.7mV/10 = 3.27mV

故

E(t, t0) = E(t, t0') + E(t0', t0) = 3.27mV + 0.798mV = 4.068mV热电偶测量温度源的温度可以从分度表中杳出, 与 4.068mV 所对应的温度是 100℃。

五、实验步骤

1、在主机箱总电源、调节仪电源、温度源电源关闭的状态下,按图 6-6 示意图接线。



图 6-6 K 热电偶温度特性实验接线示意图

2、调节温度传感器实验模板放大器的增益K=30 倍

在图 6-6 中温度传感器实验模板上放大器的二输入端引线暂时不要接入。

拿出应变传感器实验模板,将应变传感器实验模板上的放大器输入端相连(短接),应变 传感器实验模板上的±15V电源插孔与主机箱的±15V电源相应连接。

合上主机箱电源开关(调节仪电源和温度源电源关闭),调节应变传感器实验模板上的电位器 Rw4(调零电位器),使放大器输出一个较大的 mV 信号,如 20mV(可用电压表 2V 档测量)。

再将这个 20mV 信号 (Vi) 输给图 6-6 中温度传感器实验模板放大器的输入端 (单端输入: 上端接 mV 信号,下端接⊥)。

用电压表(2V 档)监测温度传感器实验模板中的 Vo,调节温度传感器实验模板中的 Rw2 增益电位器,使放大器输出 Vo=600mV,则放大器的增益K=Vo / Vi = 600/20 = 30 倍。

注意: 增益K调节好后, 千万不要触碰 Rw2 增益电位器。

3、关闭主机箱电源,拆去应变传感器实验模板,恢复图 6-6 接线。

4、测量热电偶冷端温度并进行冷端温度补偿

在温度源电源开关关闭(O为关,一为开)状态下,合上主机箱和调节仪电源开关并将调 节仪控制方式(控制对象)开关拨到 Rt.Vi 位置,记录调节仪 PV 窗的显示值(实验时的室温) 即为热电偶冷端温度 t0'(工作时的参考端温度);

根据热电偶冷端温度 t0′ 查附录 K 热电偶分度表得到 E (t0′, t0), 再根据 E (t0′, t0) 进行冷端温度补偿;

调节温度传感器实验模板中的 Rw3 (电平移动), 使

Vo = E  $(t0', t0) \cdot K = E (t0', t0) \cdot 30$ 

(用电压表 2V 档监测温度传感器实验模板中的 Vo)

5、将主机箱上的转速调节旋钮(2~24V)顺时针转到底(24V),合上温度源电源开关。 6、参考实验十九(实验步骤)中的参数设置。

在室温基础上,可按每步 Δt = 10℃增加温度,最高在 200℃ 范围内设定温度源温度值,待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 6-3。

表 6-3 K 热电偶热电势(经过放大器放大后的热电势)与温度数据

t (°C)

#### V(mV)

注: 实验数据 V(mv)/k (增益) = E (t, t0)。

6、根据表 6-3 数据画出实验曲线并计算非线性误差。 实验结束,关闭所有电源。

### 实验二十三 K 热电偶冷端温度补偿实验

一、实验目的

了解热电偶冷端温度补偿的原理与方法。

二、基本原理

热电偶测温时,它的冷端往往处于温度变化的环境中,而它测量的是热端与冷端之间的温 度差,由此要进行冷端补偿。

热电偶冷端温度补偿的常用方法有:计算法、冰水法(0℃)、恒温槽法和电桥自动补偿法等。

实际检测时是在热电偶和放大电路之间接入一个其中一个桥臂是 PN 结二极管(或 Cu 电 阻)组成的直流电桥,这个直流电桥称冷端温度补偿器,电桥在 0℃时达到平衡(亦可 20℃平 衡)。

当热电偶冷端温度升高时(>0℃)热电偶回路电势 Uab 下降,而由于补偿器中的 PN 呈 负温度系数,其正向压降随温度升高而下降,促使 Uab 上升,其值正好补偿热电偶因自由端温 度升高而降低的电势,达到补偿目的。

#### 三、实验器材

主机箱、温度源、Pt100 热电阻(温度源温度控制传感器)、K 热电偶(温度特性实验传感器)、 温度传感器实验模板、冷端温度补偿器、专用直流电源+5V。

四、热电偶冷端(参考端)补偿说明

热电偶冷端温度补偿可用实验二十二"热电偶使用说明"中的公式法补偿,也可用本实验 的冷端温度补偿器补偿。

热电偶冷端温度补偿器是用来自动补偿热电偶测量值因冷端温度变化而产生变化的一种 装置。冷端温度补偿器实质上就是一个产生直流信号的毫伏发生器,把它串接在热电偶测量线 路中,就可以使读数得到自动补偿。

冷端补偿器的直流信号应随冷端温度的变化而变化,并且要求补偿器在补偿的温度范围 内,直流信号和冷端温度的关系应与配用的热电偶的热电特性一致,即不同分度号的热电偶配 用相应的冷端补偿器。

本实验为K分度热电偶,相应的冷端补偿器及原理图参见图 6-7。冷端补偿器外形为一个小方盒,有4个引线端子,4、3接 +5V 专用电源,2、1 输出冷端补偿(室温)热电势信号。 它的内部是一个不平衡电桥(见图 6-7 中原理图),通过调节 Rw 使桥路输出室温(冷端温度)时的热电势,利用二极管的 PN 结特性自动补偿冷端温度的变化。

#### 五、实验步骤

1、按图 6-7 示意接线。将冷端补偿器的专用电源插头插到主机箱侧面的交流 220 V 插座上。

2、放大器调零

在图 6-7 中温度传感器实验模板放大器二输入端的引线暂时不要接入,而用导线直接将其

82

相连(短接);将主机箱上的电压表量程(显示选择)切换到2V档,合上主机箱电源开关(调 节仪电源和温度源电源关闭),调节温度传感器实验模板中的 Rw2(顺时针转到底)增益电位器,使放大器增益最大;再调节 Rw3(调零电位器)使主机箱的电压表显示为0。



图 6-7 K 热电偶冷端温度补偿实验接线示意图

3、将主机箱上的转速调节旋钮(2~24V)顺时针转到底(24V),拆去温度传感器实验模板上 放大器二输入端的短接线,恢复图 6-7 的接线。

合上温度源和调节仪电源开关,将调节仪控制方式(控制对象)拨到 Rt.Vi 位置。

4、参考实验十九(实验步骤)中的参数设置。

在常温基础上,可按每步 Δt = 10℃ 增加温度,最高在 160℃ 范围内设定温度源温度值,待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 6-4。

表 6-4 K 热电偶经过冷端温度补偿放大器放大后的热电势与温度数据

T (℃)									
V (mv)									

注: 实验数据 V (mv)/k (增益) = E (t, t0) ,根据附录中分度表可以查到相应的温度值; 如果实验结果与理论值有很大误差是由于控制误差和放大器 k (增益)有误差,二者叠加 引起误差更大。

放大器的k(增益)可用实测法得到正确的值:拿出应变传感器实验模板,将应变传感器

实验模板上的放大器输入端相连(短接),接上±15V电源后调节电位器 Rw4(调零电位器)使放大器输出一个较大的mV信号,如20mV(可用电压表测量),再将这个信号(Vi)输给图 6-7 中温度传感器实验模板放大器的两输入端(单端输入:上端接 mV 信号,下端接⊥),可用电压表测出电压 V0,则K=V0/Vi。

5、根据表 6-4 数据画出实验曲线并计算非线性误差。 实验结束,关闭所有电源。

五、思考题

实验二十二与实验二十三有什么差别,一般实际应用时选择哪一种方法为好?

# 实验二十四 E 热电偶测温性能实验

一、实验目的

了解不同分度号热电偶测量温度的性能与应用。

二、基本原理

同K型热电偶。

三、实验器材

主机箱、温度源、Pt100 热电阻(温度源温度控制传感器)、E 热电偶(温度特性实验传感器)、温度传感器实验模板。

四、实验步骤

1、按图 6-8 示意接线,实验方法和步骤同实验二十二。 将实验数据填入表 6-5。查附录 E 热电偶分度表。



图 6-8 E 热电偶温度特性实验接线示意图

表 6-5	E热电偶热电势	(经过放大器放大后的热电势)	与温度数据
			• ·····/>•///

T (°C)					
V(mv)					

注: 实验数据 V (mv) /k (增益) = E (t, t0)。

2、根据表 6-5 数据画出实验曲线并计算非线性误差。

实验结束,关闭所有电源。

五、思考题

通过实验,比较分度号为E、K的热电偶在相同温度(相同条件)时的输出热电势大小。 K热电偶与E热电偶测温范围谁宽?

# 实验二十五 气敏传感器实验

一、实验目的

了解气敏传感器原理及应用。

二、基本原理

气敏传感器(又称气敏元件)是指能将被测气体浓度转换为与其成一定关系的电量输出的 装置或器件。

它一般可分为:半导体式、接触燃烧式、红外吸收式、热导率变化式等。

本实验所采用的 SnO2 (氧化锡)半导体气敏传感器是对酒精敏感的电阻型气敏元件。该 敏感元件由纳米级 SnO2 及适当掺杂混合剂烧结而成,具微珠式结构,应用电路简单,可将传 导性变化改变为一个输出信号,与酒精浓度对应。

传感器对酒精浓度的响应特性为:



图 6-9 传感器对酒精浓度的响应特性

三、实验器材

主机箱、气敏传感器、酒精棉球(自备)。

四、实验步骤

1、按图 6-10 接线,并将主机箱电压表(20 V档)输入端 Vin 的" $\perp$ "与可调电源(切换开关 打到 $\pm 6$  v档)的" $\perp$ "相连。注意传感器的引线号码。

2、合上主机箱电源开关,传感器通电较长时间后才能工作(至少 5 分钟以上,因传感器长时间不通电的情况下,内阻会很小,上电后  $V_0$ 输出很大,不能即时进入工作状态)。

3、等待传感器输出  $V_0$ 较小时(小于 1.5 V),用自备的酒精小棉球靠近传感器端面,并吹 2 次 气,使酒精挥发进入传感器金属网内,观察电压表读数的变化。

87



图 6-10 气敏(酒精)传感器与实验接线示意图

五、思考题

酒精检测报警,常用于交通警察检查有否酒后开车,若要制作这样的仪器还需考虑哪些环 节与因素?

# 实验二十六 湿度传感器实验

一、实验目的

了解湿敏传感器的原理及应用范围。

二、基本原理

湿度是指空气中所含有的水蒸气量。空气的潮湿程度,一般多用相对湿度的概念,即在一 定温度下,空气中实际水蒸气压与饱和水蒸气压的比值(用百分比表示),称为相对湿度(用 RH表示),其单位为%RH。

湿敏传感器种类较多,根据水分子易于吸附在固体表面渗透到固体内部的这种特性(称水 分子亲和力),湿敏传感器可以分为水分子亲和力型和非水分子亲和力型。

本实验所采用的属水分子亲和力型中的高分子材料湿敏元件(湿敏电阻)。它的原理是采 用具有感湿功能的高分子聚合物(高分子膜)涂敷在带有导电电极的陶瓷衬底上,导电机理为 水分子的存在影响高分子膜内部导电离子的迁移率,形成阻抗随相对湿度变化成对数变化的敏 感部件。

由于湿敏元件阻抗随相对湿度变化成对数变化,一般应用时都经放大转换电路处理将对数 变化转换成相应的线性电压信号输出以制成湿度传感器模块形式。



本实验的传感器在 DC +5V±5%供电的情况工下的输出特性如图 6-11。

输出电压 0.9-2.7V DC

图 6-11 湿敏传感器输出特性图

三、实验器材

主机箱、湿敏传感器、湿敏座、潮湿小棉球(自备)、干燥剂(自备)。

四、实验步骤

1、按图 6-12 示意图接线,并将主机箱电压表量程切换到 20 V档。注意传感器的引线号码。
 2、检查接线无误后,合上主机箱电源开关,传感器通电先预热 5 分钟以上,然后往湿敏座中加入若干量干燥剂(不放干燥剂为环境湿度),放上传感器,等到电压表显示值稳定后记录显示值,根据图 35—1 可得到湿度值。

3、倒出湿敏座中的干燥剂加入潮湿小棉球(可以多准备几个潮湿度不同的小棉球,分别测量实 验。),放上传感器,等到电压表显示值稳定后记录显示值。

实验完毕,关闭所有电源。



图 6-12 湿敏传器与实验接线示意图

# 第七章 光敏、光电、光纤传感器实验

实验二十七 发光二极管(光源)的照度标定实验

一、实验目的

了解发光二极管的工作原理;作出工作电流与光照度的对应关系及工作电压与光照度的对 应关系曲线,为以后实验做好准备。

二、基本原理

半导体发光二极管筒称 LED。它是由III-IV族化合物,如 GaAs(砷化镓)、GaP(磷化 镓)、GaAsP(磷砷化镓)等半导体制成的,其核心是 PN 结。因此它具有一般二极管的正向 导通及反向截止、击穿特性。此外,在一定条件下,它还具有发光特性。

其发光原理如图 7-1 所示,当加上正向激励电压或电流时,在外电场作用下,在 P-N 结 附近产生导带电子和价带空穴,电子由 N 区注入 P 区,空穴由 P 区注入 N 区,进入对方 区域的少数载流子(少子)一部分与多数载流子(多子)复合而发光。

假设发光是在 P 区中发生的,那么注入的电子与价带空穴直接复合而发光,或者先被发 光中心捕获后,再与空穴复合发光。

除了这种发光复合外,还有些电子被非发光中心(这个中心介于导带、价带中间附近)捕获,再与空穴复合,每次释放的能量不大,以热能的形式辐射出来。

发光的复量相对于非发光复合量的比例越大,光量子效率越高。由于复合是在少子扩散区 内发光的,所以光仅在靠近 PN 结面数 µm 以内产生。发光二极管的发光颜色由制作二极管的 半导体化合物决定。本实验使用纯白高亮发光二极管。



图 7-1 发光二极管的工作原理

三、实验器材

主机箱(0~20mA 可调恒流源、电流表、0~24V 可调电压源,照度表),照度计探头,发光二极管,光筒。



图 7-2 工作电流与光照度的对应关系

四、实验步骤

1、按图 7-2 配置接线,接线注意+、-极性。

2、检查接线无误后,合上主机箱电源开关。

3、调节主机箱中的恒流源电流大小(电流表量程 20mA 档),即改变发光二管的工作电流大 小就可改变光源的光照度值。拔去发光二极管的其中一根连线头,则光照度为 0(如果恒流源 的起始电流不为 0,要得到 0 照度只有断开光源的一根线)。

按表 7-1 进行标定实验(调节恒流源),得到照度~电流对应值。



图 7-3 工作电压与光照度的对应关系

4、关闭主机箱电源,再按图 7-3 配置接线,接线注意+、一极性。

5、合上主机箱电源,调节主机箱中的 0~24V 可调电压(电压表量程 20V 档)就可改变光 源(发光二极管)的光照度值。

按表 7-1 进行标定实验(调节电压源),得到照度~电压对应值。 6、根据表 7-1 画出发光二极管的电流~照度、电压~照度特性曲线。

照度(Lx)	0	10	20	 90	100	 190	200	 290	300
电流(mA)	0								
电压 (V)	0								

表 7-1 发光二极管的电流、电压与照度的对应关系

注:由于发光二极管(光源)离散性较大,每个发光二极管的电流~照度对应值及电压~照度 对应值是不同的。实验者必须保存表 7-1,为以后做光电实验服务。 以后做实验提到光照度值只要调节恒流源相应电流值或电压源相应电压值即可,省去烦琐 的每次光源照度测量。

实验者必须在同一个实验台(对应表 7-1 的相应实验台)完成以后的光电实验。

# 实验二十八 光敏电阻特性实验

一、实验目的

了解光敏电阻的光照特性和伏安特性。

二、基本原理

在光线的作用下,电子吸收光子的能量从键合状态过渡到自由状态,引起电导率的变化, 这种现象称为光电导效应。

光电导效应是半导体材料的一种体效应。光照愈强,器件自身的电阻愈小。

基于这种效应的光电器件称光敏电阻。光敏电阻无极性,其工作特性与入射光光强、波长和外加电压有关。实验原理图如图 7-4。



图 7-4 光敏电阻实验原理图

三、实验器材

主控箱、 光电器件实验(一)模板 、光敏电阻、发光二极管。

四、实验步骤

1、亮电阻和暗电阻测量

(1) 按图 7-5 安装接线(注意插孔颜色对应相连)。

打开主机箱电源,将±2V~±10V的可调电源开关打到 10V 档,再缓慢调节 0~24V 可 调电源,使发光二极管二端电压为光照度 100Lx 时的电压值(实验二十七的标定值)。

(2) 10 秒钟左右读取电流表的值为亮电流 I亮(电流表 20mA 档)。

(3)将 0~24V 可调电源的调节旋钮逆时针方向缓慢旋到底后,10 秒钟左右读取电流表的值 为暗电流 I 暗(电流表 20μA 档)。

(4) 根据以下公式,计算亮阻和暗阻(照度 100Lx):

 $R \stackrel{.}{_{\sim}} = U \stackrel{.}{_{\sim}} / I \stackrel{.}{_{\sim}} ; R \stackrel{.}{_{\sim}} = U \stackrel{.}{_{\sim}} / I \stackrel{.}{_{\sim}}$ 

2、光照特性测量

光敏电阻的二端电压为定值时,光敏电阻的光电流随光照强度的变化而变化,它们之间的 关系是非线性的。

调节图 7-5 中的 0~24V 电压得到不同的光照度(根据实验二十七光照度对应的电压值), 测得数据填入表 7-2, 并作出光电流与光照度 I~Lx 的曲线图。



图 7-5 光敏电阻特性实验接线图

表 7-2 光照特性实验数据

光照度(Lx)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
光电流 (mA)											

3、伏安特性测量

光敏电阻在一定的光照强度下,光电流随外加电压的变化而变化。

测量时,光照强度为定值时(如 100Lx),光敏电阻输入 0V、2V~10V 六档电压(调节图 7-5 中的±2V~±10V 的电压),测得光敏电阻上的电流值填入表 7-3,并在同一坐标图中作出不 同照度的三条伏安特性曲线。

表7-3 光敏电阻伏安特性实验数据

光每	牧 电 阻	电压 (V)	0	2	4	6	8	10
RZ	10Lx	电流 (mA)						
度	50Lx	电流 (mA)						
LX	100Lx	电流 (mA)						

五、思考题

为什么测光敏电阻亮阻和暗阻要经过 10 秒钟后读数?这是光敏电阻的缺点,只能应用于什么状态?

# 实验二十九 光敏二极管特性实验

一、实验目的

了解光敏二极管工作原理及特性。

二、基本原理

当入射光子在本征半导体的 p-n 结及其附近产生电子—空穴对时,光生载流子受势垒区 电场作用,电子漂移到 n 区,空穴漂移到 p 区。

电子和空穴分别在 n 区和 p 区积累,两端便产生电动势,这称为光生伏特效应,简称光 伏效应。

光敏二极管基于这一原理。

如果在外电路中把 p-n 短接, 就产生反向的短路电流, 光照时反向电流会增加, 并且光 电流和照度基本成线性关系。

三、实验器材

主机箱、光敏器件实验(一)模板、光敏二极管、发光二极管。

- 四、实验步骤
- 1、光照特性

将实验二十八图 7-5 中的光敏电阻更换成光敏二极管(注意接线孔的颜色相对应即+、-极性), 按图 7-5 安装接线,测量光敏二极管的暗电流和亮电流。

- 暗电流测试:将图 7-5 中主机箱中的将±2V~±10V 的可调电源开关打到 6V 档,合上主 机箱电源,将 0~24V 可调稳压电源的调节旋钮逆时针方向缓慢旋到底,读 取主机箱上电流表(20μA 档)的值即为光敏二极管的暗电流。暗电流基本 为 0μA,一般光敏二极管小于 0.1μA,暗电流越小越好。
  - 亮电流测试:顺时针方向缓慢地调节 0~24V 可调电源,输出相应的照度电压值(根据实验二十七光照度对应的电压值),如表 7-4 填入测量数据。

根据表 7-4 数据, 画出光敏二极管工作电压为 6V 时的 I~Lx 曲线。

表 7-4 二极管光照特性实验数据

光照度(Lx)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
光电流(mA)											

2、伏安特性测量

光敏二极管在一定的光照强度下,光电流随外加电压的变化而变化。

测量时,在给定光照强度时(根据实验二十七光照度对应的电压值),光敏二极管输入 0V、 2V~10V 六档可调电压(调节图 7-5 中的±2V~±10V 的电压),测得光敏二极管上的电流值 填入表 7-5。在同一坐标中作出不同照度的伏安特性曲线族。

表 7-5 光敏电阻伏安特性实验数据

光每	改电 阻	电压 (V)	0	2	4	6	8	10
	0Lx	电流 (mA)						
田沼	10Lx	电流 (mA)						
- All								
	50Lx	电流 (mA)						
Lx								
	100Lx	电流 (mA)						

### 实验三十 光敏三极管特性实验

一、实验目的

了解光敏三极管结构、原理和特性。

二、基本原理

在光敏二极管的基础上,为了获得内增益,就利用晶体三极管的电流放大作用,用 Ge 或 Si 单晶体制造 NPN 或 PNP 型光敏三极管。

其结构使用电路及等效电路如图 7-6 所示。



图 7-6 光敏三极管结构及等效电路

光敏三极管可以等效一个光电二极管与另一个一般晶体管基极集电极并联。集电极-基极 产生的电流,输入到共发三极管的基极在放大。

不同之处是,集电极电流(光电流)有集电结上产生的 iφ 控制。

集电极起双重作用,把光信号变成电信号起光电二极管作用,使光电流再放大起一般三极 管的集电结作用。

一般光敏三极管只引出 E、C 两个电极,体积小,光电特性是非线性的,广泛应用于光 电自动控制作光电开关应用。

三、实验器材

主机箱、光电器件实验(一)模板、发光二极管、光敏三极管。

四、实验步骤

将实验二十八图 7-5 中的光敏电阻更换成光敏三极管,实验步骤及数据测量同实验二十九。

#### 实验三十一 硅光电池实验

一、实验目的

了解光电池的光照、光谱特性,熟悉其应用。

二、基本原理

光电池是根据光生伏特效应制成的,不需加偏压就能把光能转换成电能的 p-n 结的光电器件。当光照射到光电池 P-N 结上时,便在 P-N 结两端产生电动势。这种现象叫"光生伏特效应",将光能转化为电能。该效应与材料、光的强度、波长等有关。

三、实验器材

主机箱、安装架、光电器件实验(一)模板、滤色片、普通光源、滤色镜、照度计探头、 照度计模板探头、硅光电池。

四、实验步骤

1、光照特性(开路电压、短路电流)

光电池在不同的照度下,产生不同的光电流和光生电动势。它们之间的关系就是光照特性。 实验时,为了得到光电池的开路电压 Voc 和短路电流 Is 不要同时(同步)接入电压表和电流 表,要错时(异步)接入来测量数据。

(1) 光电池的开路电压(Voc)实验

按图 7-7 安装接线(注意接线孔的颜色相对应即+、-极性相对应),发光二极管的输入电流由实验二十七光照度对应的电流值确定,读取电压表 Voc 的测量值填入表 7-6 中。



图 7-7 光电池的开路电压(Voc)实验接线图

表 7-6 光电池的开路电压 (Voc) 实验数据

照度(Lx)	0	10	 90	100
Voc (mV)				

(2) 光电池的短路电流(Is) 实验

按图 7-8 安装接线(注意接线孔的颜色相对应即+、-极性相对应),发光二极管的输入电压由实验二十七光照度对应的电压值确定,读取电流表 Is 的测量值填入表 7-7 中。



图 7-8 光电池的短路电流(Is)实验接线图

表 7-7 光电池的短路电流(Is)实验数据

照度(Lx)	0	10	 90	100
ls (mA)				

2、根据表 7-6、表 7-7 的实验数据作出特性曲线图。

### 实验三十二 光纤传感器的位移特性实验

一、实验目的

了解光纤位移传感器的工作原理和性能。

二、基本原理

本实验采用的是传光型光纤,它由两束光纤混合后,组成 Y 型光纤,半园分布即双 D 分 布,一束光纤端部与光源相接发射光束,另一束端部与光电转换器相接接收光束。

两光束混合后的端部是工作端亦称探头,它与被测体相距 X,由光源发出的光纤传到端部 出射后再经被测体反射回来,另一束光纤接收光信号由光电转换器转换成电量,而光电转换器 转换的电量大小与间距 X 有关,因此可用于测量位移。

三、实验器材

主机箱、光纤传感器、光纤传感器实验模板、测微头、反射面。

四、实验步骤

1、根据图 7-9 示意安装光纤位移传感器和测微头, 二束光纤分别插入实验模板上的光电座(其内部有发光管 D 和光电三极管 T )中。连接好其它接线。



图 7-9 光纤传感器位移实验接线图

2、检查接线无误后,合上主机箱电源开关。

调节测微头,使光反射面与Y型光纤头轻触;再调节实验模板上的 Rw 电位器,使电压表(20V档)显示为0V。

- 3、旋转测微头,被测体离开探头,每隔 0.1mm 读取电压表显示值,将数据填入表 7-8。 根据表 7-8 数据画出实验曲线,计算测量范围 1mm 时的灵敏度和非线性误差。 实验完毕,关闭电源。
- 表 7-8 光纤位移传感器输出电压与位移数据

X (mm)					
V(v)					

五、思考题

光纤位移传感器测位移时对被测体的表面有些什么要求?

# 实验三十三 光电开关实验

# I、透射式光电开关实验

一、实验目的

了解透射式光电开关组成原理及应用。

二、基本原理

光电开关可以由一个光发射管和一个接收管组成(光耦、光断续器)。

当发射管和接收管之间无遮挡时,接收管有光电流产生;一旦此光路中有物体阻挡时光电流中断。利用这种特性可制成光电开关用来工业零件计数、控制等。

三、实验器材

主机箱、光电器件实验模块(一)、发光二极管(或红外发射二极管)、光敏三极管(或光 敏二极管)。也可以利用光开关实验模板。

四、实验步骤

1、根据图 7-10 安装接线,注意接线孔颜色(极性)相对应。



图 7-10 透射式光电开关实验

2、开启主机箱电源,观察遮挡与不遮挡光路时模板上指示发光二极管的亮暗变化情况,由此 形成了开关功能。

II、反射式红外光电接近开关实验

一、实验目的

了解反射式红外光电接近开关组成原理及应用。

二、基本原理

反射式红外光电接近开关由一个红外光发射管和一个接收管组装成。

当发射管发射红外光被接近物反射到接收管时,接收管有光电流产生;一旦接近物离开时 接收管接收不到红外光光电流中断。利用这种特性可制成光电开关用来计数、控制等。

三、实验器材

主机箱、光电开关实验模块、反射式光耦(光电接近开关)。

四、实验步骤

1、根据图 7-11 安装接线,注意接线孔颜色(极性)相对应。



图 7-11 透射式光电开关实验

2、开启主机箱电源,接近物接近与远离时模板上指示发光二极管的亮暗变化情况,由此形成 了开关功能。

### 实验三十四 光电转速传感器的转速测量实验

一、实验目的

了解光电转速传感器测量转速的原理及方法。

二、基本原理

光电式转速传感器有反射型和透射型二种。

本实验装置是透射型的(光电断续器),传感器端部二内侧分别装有发光管和光电管,发 光管发出的光源透过转盘上通孔后由光电管接收转换成电信号,由于转盘上有均匀间隔的 6 个孔,转动时将获得与转速有关的脉冲数,将脉冲计数处理即可得到转速值。

三、实验器材

主机箱、转动源、光电转速传感器—光电断续器(已装在转动源上)。

四、实验步骤

1、将主机箱中的转速调节 0~24V 旋钮旋到最小(逆时针旋到底)并接上电压表;再按图 7-12 所示接线。将主机箱中频率 / 转速表的切换开关切换到转速处。



图 7-12 光电传感器测速实验

2、检查接线无误后,合上主机箱电源开关。

在小于 12V 范围内(电压表监测),调节主机箱的转速调节电源(即调节电机电枢电压),观察电机转动及转速表的显示情况。

3、从 2V 开始每增加 1V 记录相应电机转速的数据(待转速表显示比较稳定后读取数据)。 画出电机的 V-n特性曲线(电机电枢电压与电机转速的关系)。 实验完毕,关闭电源。

五、思考题

已进行的实验中用了多种传感器测量转速,试分析比较一下哪种方法最简单、方便。

### 实验三十五 光电传感器控制电机转速实验

一、实验目的

了解智能调节器和光电传感器(光电断续器一光耦)的应用,学会智能调节器的使用。

二、实验原理

利用光电传感器检测到的转速频率信号经 F/V 转换后作为转速的反馈信号,该反馈信号 与智能人工调节仪的转速设定比较后进行数字 PID 运算,调节电压驱动器改变直流电机电枢 电压,使电机转速趋近设定转速(设定值: 400 转 / 分~2200 转 / 分)。

转速控制原理框图如图 7-13 所示。



图 7-13 转速控制原理框图

三、实验器材

主机箱、转动源。

四、调节仪简介

(一) 概述

主机箱中所装的调节仪表为人工智能工业调节仪,该仪表由单片机控制,具有热电阻、热电偶、电压、电流、频率、TTL 电平等多种信号自由输入(通过输入规格设置),手动自动切换,主控方式在传统 PID 控制算法基础上,结合模糊控制理论创建了新的人工智能调节 PID 控制算法,在各种不同的系统上,经仪表自整定的参数大多数能得到满意的控制效果,具有无超调,抗扰动性强等特点。

此外该仪表还具有良好的人机界面, 仪表能根据设置自动屏蔽不相应的参数项, 使用户更 觉简洁便易接受。

(二)主要技术指标

- 1、基本误差: ≤±0.5%F.S±1 个字, ±0.3%F.S±1 个字
- 2、冷端补偿误差: ≤±2.0℃
- 3、采样周期: 0.5 秒

4、控制周期:继电器输出与阀位控制时的控制周期为 2~120 秒可调,其它为 2 秒。

108
5、报警输出回差(不灵敏区): 0.5 或 5

6、继电器触点输出: AC250V/7A(阻性负载)或 AC250V/0.3A(感性负载)

7、驱动可控硅脉冲输出:幅度 ≥3V,宽度 ≥50µS 的过零或移相触发脉冲(共阴)

8、驱动固态继电器信号输出:驱动电流 ≥15mA,电压 ≥9V

9、连续PID调节模拟量输出:0~10mA(负载 500±200Ω),4~20mA(负载250±100Ω), 或0~5V(负载≥100kΩ),1~5V(负载≥100kΩ)

10、电源: AC90V~242V(开关电源), 50/60Hz, 或其它特殊定货

**11**、工作环境:温度 0~50.0℃,相对湿度不大于 85%无腐蚀性气体及无强电磁干扰的场所 (三)调节仪面板说明

面板上有 PV 测量显示窗、SV 给定显示窗、4 个指示灯窗和 4 个按键组成。如图 7-14 所示。



图7-14 调节仪面板图

面板: 1、PV — 测量值显示窗; 2、SV — 给定值显示窗; 3、AT — 自整定灯;

4、ALM1 — AL1动作指示灯; 5、ALM2 — 手动指示灯(兼程序运行指示灯);

- 6、OUT 调节控制输出指示灯; 7、SET 功能键;
- 8、 ◀ ─ 数据移位 (兼手动 / 自动切换及参数设置进入);
- 9、▼ 数据减少键(兼程序运行/暂停操作);

10、▲ — 数据增加键(兼程序复位操作)。

(四)参数代码及符号(仪表根据设置只开放表中相对应的参数项)

序号	符号	名 称	说 明	取值范围	出厂值
0	SP	给定值	控制参量设定值	仪表量 程范围	50.0
1	AL-1	第一报警	测量值大于 AL-1 值时仪表将产生上 限报警。 测量值小于ALM1 (固定 0.5)值时, 仪表将解除上限报警。	同上	0.0
2	Pb	传感器 误差修正	当测量传感器引起误差时,可以用此 值修正	0~±20.0	0.0

3	Ρ	速率参数	P 值类似常规 PID 调节器的比例带, 但变化相反。 P 值越大,比例、微分的作用成正比 增强;P 值越小,比例、微分的作用 相应减弱。 P 参数值与积分作用无关。 设置 P=0 仪表转为二位式控制。	1~9999	100
4	Ι	保持参数	I 参数值主要决定调节算法中的积分 作用,与常规 PID 算法中的积分时间 类同。 I 值越小,系统积分作用越强; I 值越大,积分作用越弱。 设置 I=0 时,系统取消积分作用,仪 表成为一个 PD 调节器。	0~3000	500
5	d	滞后时间	D参数对控制的比例、积分、微分均起 影响作用。 D越小,则比例和积分作用均成正比增 强;反之,D越大,则比例和积分作用 均减弱,而微分作用相对增强。 此外D还影响超调抑制功能的发挥,其 设置对控制效果影响很大。	0~2000S	100S
6	FILT	滤波系数	为仪表一阶滞后滤波系数,其值越大, 抗瞬间干扰性能越强,但响应速度越 滞后,对压力、流量控制其值应较小, 对温度、液位控制应相对较大。	0~99	20
7	dp	小数点 位置	当仪表为电压或电流输入时,其显示 上限、显示下限、小数点位置及单位 均可由厂家或用户自由设定。其中当 dp=0 时小数点在个位不显示; 当 dp=1~3 时,小数点依次在十位、 百位、千位。 当仪表为热电偶或热电阻输入时,如 果dp=0,小数点在个位不显示; 如果dp=1时,小数点在十位。	0~3	0或1 或按 需求定
8	outH	输出上限	当仪表控制为电压或电流输出(如控 制阀位时),仪表具有最小输出和最 大输出限制功能。	outL~200	按需 求定

9	outL	输出下限	同上	0∼outH	按需 求定
10	AT	自整定 状态	0: 关闭; 1: 启动	0~1	0
11	LocK	密码锁	为0时,允许修改所有参数; 为1时,只允许修改给定值(SP); 大于1时,禁止修改所有参数。	0~50	0
12	Sn	输入方式	Cu50: 50.0~150.0 °C; Pt100 (Pt1): -199.9~200.0°C; Pt100 (Pt2) -199.9~600.0°C; K: -30.0~1300°C; E: -30.0~700.0°C; J: -30.0~900.0°C; T: -199.9~400.0°C; S: -30~1600°C; R: -30.0~1700.0°C; WR25: -30.0~2300.0°C; N: -30.0~1200.0°C; $0\sim$ 50MV;10~50MV;0~5V(0~10MA); $1\sim$ 5V(4~20MA); 频率f; 转速u	分度号	按 索
13	OP-A	主控 输出方式	"0"无输出; "1"继电器输出; "2"固态继电器输出; "3"过零触发; "4"移相触发; "5"0~10mA 或 0~5V; "6"4~20mA 或 1~5V; "7"阀位控制	0~7	
14	OP-B	副控 输出方式	"0"无输出; "1"RS232 或RS485 通讯信号	0~4	
15	ALP	报警方式	<ul> <li>"0"无报警; "1"上限报警;</li> <li>"2"下限报警; "3"上下限报警;</li> <li>"4"正偏差报警; "5"负偏差报警;</li> <li>"6"正负偏差报警;</li> <li>"7"区间外报警; "8"区间内报警;</li> <li>"9"上上限报警; "10"下下限报警。</li> </ul>	0~10	

16	COOL	正反控制 选择	0: 反向控制,如加热; 1: 正向控制,如制冷。	0~1	0
17	P-SH	显示上限	当仪表为热电偶或热电阻输入时,显 示上限、显示下限决定了仪表的给定 值、报警值的设置范围,但不影响显 示范围。 当仪表为电压、电流输入时,其显示 上限、显示下限决定了仪表的显示范 围,其值和单位均可由厂家或用户自 由决定。	P-SL ~ 9999	按需求定
18	P-SL	显示下限	同上	-1999 ~ P-SH	按需 求定
19	Addr	通讯地 址	仪表在集中控制系统中的编号	0~63	1
20	bAud	通讯波 特率	1200; 2400; 4800; 9600		9600

(五)参数及状态设置方法

1、第一设置区

上电后,按 SET 键约 3 秒,仪表进入第一设置区,仪表将按参数代码 1~20 依次在上显示窗显示参数符号,下显示窗显示其参数值。

此时分别按 ◀ 、▼、▲三键可调整参数值,长按▼或▲可快速加、减,调好后按 SET 键 确认保存数据,转到下一参数继续调完为止。

长按 SET 将快捷退出,也可按 SET+◀直接退出。

如设置中途间隔 10 秒未操作, 仪表将自动保存数据, 退出设置状态。

仪表第 11 项参数 LoCK 为密码锁,为 0 时允许修改所有参数,为 1 时只允许修改第 二设置区的给定值"SP",大于 1 时禁止修改所有参数。用户禁止将此参数设置为大于 50,否 则将有可能进入厂家测试状态。

2、第二设置区

上电后, 按▲键约 3 秒, 仪表进入第二设置区, 此时可按上述方法修改设定值"SP"。 3、手动调节

上电后,按 ◀ 键约 3 秒进入手动调整状态,下排第一字显示 "H",此时可设置输出功率的百分比,再按 ◀ 键约 3 秒退出手动调整状态。

当仪表控制对象为阀门时,手动值>50为正转,否则为反转。输出的占空比固定为100%。 4、常规运行时切换显示

在常规运行时,上显示窗显示测量值,下显示窗显示设定值 SV。按 ▼ 键,下显示窗切 换成显示主控输出值,此时第 1 数码管显示 "F",后三位显示 0~100 的输出值。 (六) 自整定方法

仪表首次在系统上使用,或者环境发生变化,发现仪表控制性能变差,则需要对仪表的 某些参数如 P、I、D 等数据进行整定,省去过去由人工逐渐摸索调整,且难以达到理想效果 的繁琐工作,具体时间根据工况长短不一。

以温度控制(反向)为例,方法如下:

首先设置好给定值后将自整定参数 AT 设置为 1, A-M 灯开始闪烁, 仪表进入自整定状态, 此时仪表为两位式控制方式, 仪表经过三次震荡后, 自动保存整定的 P、I、D 参数, A-M 灯 熄灭, 自整定过程全部结束。

注: ①一旦自整定开启后, 仪表将禁止改变设定值。

②仪表整定时中途断电,因仪表有记忆功能,下次上电会重新开始自整定。
③自整定中,如需人为退出,将自整定参数 AT 设置为 0 即可,但整定结果无效。
④按正确方法整定出的参数适合大多数系统,但遇到极少数特殊情况控制不够理想时,可适当微调 P、I、D 的值。人工调节时,注意观察系统响应曲线,如果是短周期振荡(与自整定或位式控制时振荡周期相当或约长),可减小 P(优先),加大 I及D;如果是长周期振荡(数倍于位式控制时振荡周期),可加大 I(优先),加大 P、D;如果是无振荡而有静差,可减小 I(优先),加大 P;如果是最后能稳定控制但时间太长,可减小 D(优先),加大 P,减小 I。

调试时还可采用逐试法,即将 P、I、D 参数之一增加或减少 30~50%,如果控制效果变 好,则继续增加或减少该参数,否则往反方向调整,直到效果满意为止,一般先修改 P,其次 为 I,还不理想则最后修改 D 参数。修改这三项参数时,应兼顾过冲与控制精度两项指标。

输出控制阀门时,因打开或关闭周期太长,如自整定结果不理想,则需在出厂值基础上 人工修改 PID 参数(一般在出厂值基础上加大 P,减小 I 及为了避免阀门频繁动作而应将 D 调 得较小)。

(七)通讯

1、接口规格

为与 PC 机或 PLC 编控仪联机以集中监测或控制仪表, 仪表提供 232、485 两种数字通 讯接口, 光电隔离。

其中采用 232 通讯接口时上位机只能接一台仪表,三线连接,传输距离约 15 米;采用 485 通讯接口时上位机需配一只 232-485 的转换器,最多能接 64 台仪表,二线连接,传输距离 约一千米。

2、通讯协议

(1) 通讯波特率

为 1200、2400、4800、9600 四档可调,数据格式为 1 个起始位、8 个数据位、2 个停止位,无校验位。

(2) 上位机发读命令

(地址代码+80H) + (地址代码+80H) + (52H (读)) + (要读的参数代码) + (00H) + (00H) + (校验和(前六字节的和/80H 的余数))

(3) 上位机发写命令

(地址代码+80H) + (地址代码+80H) + (57H (写)) + (要写的参数代码) + (参数值高 8 位) + (参数值低 8 位) + (校验和 (前六字节的和/80H 的余数))

113

(4) 仪表返回

(测量值高 8 位) + (测量值低 8 位) + (参数值高 8 位) + (参数值低 8 位) + (输出 值) + (仪表状态字节) + (校验和(前六字节的和/80H 的余数))

(5) 上位机对仪表写数据的程序段应按仪表的规格加入参数限幅功能,以防超范围的数据写入 仪表,使其不能正常工作,各参数范围见"(四)参数代码及符号"。

(6) 上位机发读或写指令的间隔时间应大于或等于 0.3 秒, 太短仪表可能来不及应答。

(7) 仪表未发送小数点信息,编上位机程序时应根据需要设置。

(8) 测量值为 32767 (7FFFH) 表示 HH (超上量程),为 32512 (7F00H) 表示 LL (超下量程)。
(9) 其它

① 每帧数据均为 7 个字节, 双字节均高位在前, 低位在后。

② 仪表报警状态字节为:

0	0	0	0	0	0	AL1	AL2	
估快大	1 头坦敬	∧ ½ ++ +	12 敬					

位状态=1 为报警,=0 为非报警。

五、实验步骤

1、设置调节器转速控制参数

按图 7-15 示意接线。检查接线无误后,合上主机箱上的总电源开关。

将控制对象开关拨到 Fi 位置后再合上调节器电源开关。

仪表上电后, 仪表的上显示窗口(PV) 显示随机数或 HH 或 LL; 下显示窗口(SV) 显示 控制给定值(实验值)。

按 SET 键并保持约 3 秒钟,即进入参数设置状态。

在参数设置状态下按 SET 键, 仪表将按参数代码 1~20 依次在上显示窗显示参数符号, 下显示窗显示其参数值, 此时分别按 ◀、▼、▲三键可调整参数值, 长按▼或▲可快速加或 减, 调好后按 SET 键确认保存数据, 转到下一参数继续调完为止。

长按 SET 将快捷退出, 也可按 SET +◀ 直接退出。如设置中途间隔 10 秒未操作, 仪表 将自动保存数据, 退出设置状态。



图 7-15 控制电机转速实验接线示意图

2、设置转速控制参数方法步骤

(1) 首先设置 Sn (输入方式)

按住 SET 键约 3 秒钟,仪表进入参数设置状态,PV 窗显示 AL-1 (上限报警)。再按 SET 键 11 次,PV 窗显示 Sn (输入方式),按▼、▲键可调整参数值,使 SV 窗显示 u。 (2)再按 SET 键, PV 窗显示 oP-A (主控输出方式),按▼、▲键修改参数值,使 SV 窗 显示 5。

(3) 再按 SET 键, PV 窗显示 oP-b (副控输出方式), 按▼、▲键修改参数值, 使 SV 窗显示 1。

(4)再按 SET 键, PV 窗显示 ALP (报警方式),按▼、▲键修改参数值,使 SV 窗显示 1。
(5)再按 SET 键, PV 窗显示 CooL (正反控制选择),按▼键,使 SV 窗显示 0。

(6)再按 SET 键, PV 窗显示 P-SH (显示上限),长按▲键修改参数值,使 SV 窗显示 9999。
(7)再按 SET 键, PV 窗显示 P-SL (显示下限),长按▼键修改参数值,使 SV 窗显示 0。
(8)再按 SET 键, PV 窗显示 Addr (通讯地址),按 ◀、▼、▲三键调整参数值,使 SV 窗显示 1。

(9) 再按 SET 键, PV 窗显示 bAud (通讯波特率)), 按 ◀、▼、▲三键调整参数值, 使 使 SV 窗显示 9600。

(10)长按 SET 键快捷退出,再按住 SET 键保持约 3 秒钟,仪表进入参数设置状态,PV 窗显示 AL-1 (上限报警);按 ◀、▼、▲三键可调整参数值,使 SV 窗显示 2500。

(11) 再按 SET 键, PV 窗显示 Pb (传感器误差修正),按▼、▲键可调整参数值,使 SV 窗显示 0。

(12) 再按 SET 键, PV 窗显示 P (速率参数), 按 ◀、▼、▲键调整参数值, 使 SV 窗显示 1。

(13) 再按 SET 键, PV 窗显示 I (保持参数), 按 ◀、▼、▲三键调整参数值, 使 SV 窗 显示 950。

(14) 再按 SET 键, PV 窗显示 d (滞后时间), 按 ◀、▼、▲键调整参数值, 使 SV 窗显示 10。

(15) 再按 SET 键, PV 窗显示 FILt (滤波系数),按▼、▲、键可修改参数值,使 SV 窗显示 1。

(16) 再按 SET 键, PV 窗显示 dp (小数点位置), 按▼、▲键修改参数值, 使 SV 窗显示 0。

(17) 再按 SET 键, PV 窗显示 outH (输出上限), 按 ◀、▼、▲三键调整参数值, 使 SV 窗显示 200。

(18) 再按 SET 键, PV 窗显示 outL (输出下限),长按▼键,使 SV 窗显示 0 后释放▼ 键。

(19) 再按 SET 键, PV 窗显示 At (自整定状态),按▼键,使 SV 窗显示 0。

(20) 再按 SET 键, PV 窗显示 LoCK (密码锁), 按▼键, 使 SV 窗显示 0。

(21) 长按 SET 键快捷退出,转速控制参数设置完毕。

3、按▲键约 3 秒,仪表进入"SP"设定值(实验给定值)设置,此时可按上述方法按 ◀、
▼、▲三键在 400~2200 转 / 分范围内任意设定实验给定值(SV 窗显示给定值,如 1000 转 / 分钟),观察 PV 窗测量值的变化过程(最终在 SV 设定值调节波动)。

115

4、做其它任意一个转速值控制实验时,只要重新设置"SP"给定值(其它参数不要改变)。 设置方法:

按住▲键约 3 秒,仪表进入"SP"给定值(实验值)设置,此时可按 ◀、▼、▲三键修 改给定值,使 SV 窗显示值为新做的转速控制实验值,进入控制电机转速过程,观察 PV 窗 测量值的变化过程。

六、思考题

按 SET 键并保持约 3 秒钟,即进入参数设置状态,仅仅大范围改变控制参数 P 或 I 或 d 的其中一个设置值(其它任何参数的设置值不要改动),观察 PV 窗测量值的变化过程。这 说明了什么问题?

实验完毕,关闭电源。

### 附录(热电偶分度表)

## 附表 1:Cu50 铜电阻分度表

-										
温度				电	阻	值	(Ω)			
(°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	50.00	50.21	50.43	50.64	50.86	51.07	51.28	51.50	51.71	51.93
10	52.14	52.36	52.57	52.78	53.00	53.21	53.43	53.64	53.86	54.07
20	54.28	54.50	54.71	54.92	55.14	55.35	55.57	55.78	56.00	56.21
30	56.42	56.64	56.85	57.07	57.28	57.49	57.71	57.92	58.14	58.35
40	58.56	58.78	58.99	59.20	59.42	59.63	59.85	60.06	60.27	60.49
50	60.70	60.92	61.13	61.34	61.56	61.77	61.98	62.20	62.41	62.63
60	62.84	63.05	63.27	63.48	63.70	63.91	64.12	64.34	64.55	64.76
70	64.98	65.19	65.41	65.62	65.83	66.05	66.26	66.48	66.69	66.90
80	67.12	67.33	67.54	67.76	67.97	68.19	68.40	68.62	68.83	69.04
90	69.26	69.47	69.68	69.90	70.11	70.33	70.54	70.76	70.97	71.18
100	71.40	71.61	71.83	72.04	72.25	72.47	72.68	72.90	73.11	73.33
110	73.54	73.75	73.97	74.18	74.40	74.61	74.83	75.04	75.26	75.47
120	75.68	75.90	76.11	76.33	76.54	76.76	76.97	77.19	77.40	77.62
130	77.83	78.05	78.26	78.48	78.69	78.91	79.12	79.34	79.55	79.77
140	79.98	80.20	80.41	80.63	80.84	81.06	81.27	81.49	81.70	81.92
150	82.13	_	_		_		_			_

分度号:Cu50 R<sub>o</sub>=50Ω α=0.004280

# 附表 2:Pt100 铂电阻分度表

分度号:BA<sub>2</sub>

 $R_{o} = 100\Omega$   $\alpha = 0.003910$ 

温度				电	阻	值	(Ω)			
(°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100.00	100.40	100.79	101.19	101.59	101.98	102.38	102.78	103.17	103.57
10	103.96	104.36	104.75	105.15	105.54	105.94	106.33	106.73	107.12	107.52
20	107.91	108.31	108.70	109.10	109.49	109.88	110.28	110.67	111.07	111.46
30	111.85	112.25	112.64	113.03	113.43	113.82	114.21	114.60	115.00	115.39
40	115.78	116.17	116.57	116.96	117.35	117.74	118.13	118.52	118.91	119.31
50	119.70	120.09	120.48	120.87	121.26	121.65	122.04	122.43	122.82	123.21
60	123.60	123.99	124.38	124.77	125.16	125.55	125.94	126.33	126.72	127.10
70	127.49	127.88	128.27	128.66	129.05	129.44	129.82	130.21	130.60	130.99
80	131.37	131.76	132.15	132.54	132.92	133.31	133.70	134.08	134.47	134.86
90	135.24	135.63	136.02	136.40	136.79	137.17	137.56	137.94	138.33	138.72
100	139.10	139.49	139.87	140.26	140.64	141.02	141.41	141.79	142.18	142.66
110	142.95	143.33	143.71	144.10	144.48	144.86	145.25	145.63	146.10	146.40
120	146.78	147.16	147.55	147.93	148.31	148.69	149.07	149.46	149.84	150.22
130	150.60	150.98	151.37	151.75	152.13	152.51	152.89	153.27	153.65	154.03
140	154.41	154.79	155.17	155.55	155.93	156.31	156.69	157.07	157.45	157.83
150	158.21	158.59	158.97	159.35	159.73	160.11	160.49	160.86	161.24	161.62
160	162.00	162.38	162.76	163.13	163.51	163.89	164.27	164.64	165.02	165.40
170	165.78	166.15	166.53	166.91	167.28	167.66	168.03	168.41	168.79	169.16
180	169.54	169.91	170.29	170.67	171.04	171.42	171.79	172.17	172.54	172.92
190	173.29	173.67	174.04	174.41	174.79	175.16	175.54	175.91	176.28	176.66

## 附表 3:K 型热电偶分度表

分度号:K

(参考端温度为0℃)

测量端				热	电 动	势	(mV)			
温度(℃)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.162
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.570
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.949	1.981
50	2.022	2.064	2.105	2.146	2.188	2.229	2.270	2.312	2.353	2.394
60	2.436	2.477	2.519	2.560	2.601	2.643	2.684	2.726	2.767	2.809
70	2.850	2.892	2.933	2.975	3.016	3.058	3.100	3.141	3.183	3.224
80	3.266	3.307	3.349	3.390	3.432	3.473	3.515	3.556	3.598	3.639
90	3.681	3.722	3.764	3.805	3.847	3.888	3.930	3.971	4.012	4.054
100	4.095	4.137	4.178	4.219	4.261	4.302	4.343	4.384	. 4.426	4.467
110	4.508	4.549	4.590	4.632	4.673	4.714	4.755	4.796	4.837	4.878
120	4.919	4.960	5.001	5.042	5.083	5.124	5.164	5.205	5.246	5.287
130	5.327	5.368	5.409	5.450	5.490	5.531	5.571	5.612	5.652	5.693
140	5.733	5.774	5.814	5.855	5.895	5.936	5.976	6.016	6.057	6.097
150	6.137	6.177	6.218	6.258	6.298	6.338	6.378	6.419	6.459	6.499
160	6.539	6.579	6.619	6.659	6.699	6.739	6.779	6.819	6.859	6.899
170	6.939	6.979	7.019	7.059	7.099	7.139	7.179	7.219	7.259	7.299
180	7.338	7.378	7.418	7.458	7.498	7.538	7.578	7.618	7.658	7.697
190	7.737	7.777	7.817	7.857	7.897	7.937	7.977	8.017	8.057	8.097
200	8.137	8.177	8.216	8.256	8.296	8.336	8.376	8.416	8.456	8.497
210	8.537	8.577	8.617	8.657	8.697	8.737	8.777	8.817	8.857	8.898
220	8.938	8.978	9.018	9.058	9.099	9.139	9.179	9.220	9.260	9.300
230	9.341	9.381	9.421	9.462	9.502	9.543	9.583	9.624	9.664	9.705
240	9.745	9.786	9.826	9.867	9.907	9.948	9.989	10.029	10.070	10.111
250	10.151	10.192	10.233	10.274	10.315	10.355	10.396	10.437	10.478	10.519

## 附表 4:E 型热电偶分度表

分度号:E

#### (参考端温度为 0℃)

测量端				热	电 动	势	(mV)			
温度(℃)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.059	0.118	0.176	0.235	0.295	0.354	0.413	0.472	0.532
10	0.591	0.651	0.711	0.770	0.830	0.890	0.950	1.011	1.071	1.131
20	1.192	1.252	1.313	1.373	1.434	1.495	1.556	1.617	1.678	1.739
30	1.801	1.862	1.924	1.985	2.047	2.109	2.171	2.233	2.295	2.357
40	2.419	2.482	2.544	2.607	2.669	2.732	2.795	2.858	2.921	2.984
50	3.047	3.110	3.173	3.237	3.300	3.364	3.428	3.491	3.555	3.619
60	3.683	3.748	3.812	3.876	3.941	4.005	4.070	4.134	4.199	4.264
70	4.329	4.394	4.459	4.524	4.590	4.655	4.720	4.786	4.852	4.917
80	4.983	5.047	5.115	5.181	5.247	5.314	5.380	5.446	5.513	5.579
90	5.646	5.713	5.780	5.846	5.913	5.981	6.048	6.115	6.182	6.250
100	6.317	6.385	6.452	6.520	6.588	6.656	6.724	6.792	6.860	6.928
110	6.996	7.064	7.133	7.201	7.270	7.339	7.407	7.476	7.545	7.614
120	7.683	7.752	7.821	7.890	7.960	8.029	8.099	8.168	8.238	8.307
130	8.377	8.447	8.517	8.587	8.657	8.827	83.797	8.867	8.938	9.008
140	9.078	9.149	9.220	9.290	9.361	9.432	9.503	9.573	9.614	9.715
150	9.787	9.858	9.929	10.000	10.072	10.143	10.215	10.286	10.358	10.429
160	10.501	10.578	10.645	10.717	10.789	10.861	10.933	11.005	11.077	11.151
170	11.222	11.294	11.367	11.439	11.512	11.585	11.657	11.730	11.805	11.876
180	11.949	12.022	12.095	12.168	12.241	12.314	12.387	12.461	12.534	12.608
190	12.681	12.755	12.828	12.902	12.975	13.049	13.123	13.197	13.271	13.345
200	13.419	13.493	13.567	13.641	13.715	13.789	13.864	13.938	14.012	14.087
210	14.161	14.236	14.310	14.385	14.460	14.534	14.609	14.684	14.759	14.834
220	14.909	14.984	15.059	15.134	15.209	15.284	15.359	15.435	14.510	15.585
230	15.661	15.736	15.812	15.887	15.963	16.038	16.114	16.190	16.266	16.341
240	16.417	16.493	16.569	16.645	16.721	16.797	16.873	16.949	17.025	17.101
250	17.178	17.254	17.330	17.406	17.483	17.559	17.636	17.712	17.789	17.865

# 附表 5:J 型热电偶分度表

分度号:J

(参考端温度为0℃)

测量端				热	电 动	势	(mV)			
温度(℃)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759
110	5.814	5.868	5,923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955
150	8.010	8.065	8.120	8.175	. 8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060
170	9.115	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446 -	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723
200	10.779	10.834	10.890	10.945	11.001	11.056	11.112	11.167	11.223	11.278
210	11.334	11.389	11.445	11.501	11.556	11.612	11.667	11.723	11.778	11.834
220	11.889	11.945	12.000	12.056	12.111	12.167	12.222	12.278	12.334	12.389
230	11.445	12.500	12.556	12.611	12.667	12.722	12.778	12.833	12.889	12.944
240	13.000	13.056	13.111	13.167	13.222	13.278	13.333	13.389	13.444	13.500
250	13.555	13.611	13.666	13.722	13.777	13.833	13.888	13.944	13.999	14.055