

CHUANGANQI JISHU
SHIYAN YU SHIXUN JIAOCHENG

传感器技术 实验与实训教程

主编 叶国文 副主编 胡叶民

TRANSDUCER
SENSOR
TRANSDUCER
SENSOR



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

传感器技术 实验与实训教程

主编 叶国文 副主编 胡叶民

TRANSDUCER
SENSOR
TRANSDUCER
SENSOR



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分5章。第1章为传感器技术实验基础,简要介绍常用传感器的基本原理、基本测量电路、实验数据处理等方面的知识;第2章为传感器技术基础实验;第3章为综合设计实验;第4章为传感器应用课程设计,给出该课程设计的实施方法,并在此基础上选编了参考选题21个,以供读者选用;第5章为实验报告。

本书内容丰富、全面,可作为高等院校自动化、测控技术与仪器、机电工程以及电气工程与自动化等专业开设“传感器技术”课程的配套实验、实训教材,也可作为其他专业师生和相关专业的实践参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术实验与实训教程/叶国文主编. —北京:中国水利水电出版社, 2009

ISBN 978-7-5084-6801-3

I. 传… II. 叶… III. 传感器-教材 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第150613号

书 名	传感器技术实验与实训教程
作 者	主编 叶国文 副主编 胡叶民
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 11.75印张 279千字
版 次	2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	22.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

传感器技术是一门实践性很强的学科，学生通过实验不仅能验证理论知识，还能加强创新和实践能力的培养。一般专业基础课均采用实验方法，传统的传感器实验课程主要是完成几十种传感器的基本实验。而本书以“传感器系统实验仪”作为实验平台，主要进行验证性实验，鉴于此，本书编写了47个实验。同时为了反映出当今传感器的应用技术，本书在传统实验书的基础上，又精心编辑了6个综合设计实验，来提高学生的学习兴趣 and 创造欲望。此外为了方便写实验报告，统一格式，本书还将每个实验的实验报告编写成一章。学生只要做好实验，将实验数据填入表中，进行有关数据运算，画好曲线，回答问题即可。

本书共分5章。第1章为传感器技术实验基础，简单介绍常用传感器的基本原理、基本测量电路、实验数据处理等方面的知识；第2章为传感器技术基础实验；第3章为综合设计实验；第4章为传感器应用课程设计，给出该课程设计的实施方法，并在此基础上选编了参考选题21个，以供读者选用；第5章为实验报告。

在本书的编写过程中，参阅了传感器技术的相关书籍与文献，编者在此表示诚挚的感谢。

本教材由叶国文主编，胡叶民副主编。其中，由丽水学院叶国文编写第2章，胡叶民编写第4章，赵小杰编写第1章，徐淑民、王超编写第3章，雷楚编写附录，丽水职院付潞潞、嘉兴南阳职院虞嘉丞编写第5章，全书由叶国文整理定稿。

限于时间、水平和能力，书中难免有不足和疏漏之处，希望读者能提出批评、指正。

作 者

2009年5月

目 录

前 言

第 1 章 传感器技术实验基础	1
第 1 节 传感器概述	1
1.1 传感器的概念	1
1.2 传感器特性	1
第 2 节 实验中常用传感器原理及应用简介	3
2.1 电阻应变式传感器	3
2.2 电感式传感器	3
2.3 热电式传感器	4
2.4 谐振式传感器	4
2.5 压电式传感器	4
2.6 磁电传感器	5
2.7 光电传感器	5
2.8 光纤传感器	5
2.9 气敏传感器	6
2.10 电容传感器	6
2.11 湿度传感器	6
2.12 传感器标定和校准	6
第 3 节 传感器技术实验中的信号检测电路	7
3.1 检测电路形式	7
3.2 常用电路	7
3.3 传感器和微型计算机的连接	11
第 4 节 传感器实验技术与数据处理	13
4.1 改善传感器性能的技术途径	13
4.2 传感器实验数据处理方法	14
第 2 章 传感器技术基础实验	17
实验 1 金属箔式应变片性能——单臂电桥（一）	17
实验 2 金属箔式应变片性能——单臂电桥（二）	18
实验 3 金属箔式应变片：单臂、半桥、全桥比较（一）	20
实验 4 金属箔式应变片：单臂、半桥、全桥比较（二）	21
实验 5 应变片的温度效应及补偿（一）	22
实验 6 应变片的温度影响（二）	24

实验 7	热电偶原理及现象 (一)	24
实验 8	热电偶原理及现象 (二)	26
实验 9	移相器实验	28
实验 10	相敏检波器实验	30
实验 11	金属箔式应变片——交流全桥 (一)	32
实验 12	金属箔式应变片——交流全桥 (二)	33
实验 13	交流全桥的应用——振幅测量	34
实验 14	交流全桥的应用——电子秤之一 (一)	35
实验 15	交流全桥的应用——电子秤之一 (二)	36
实验 16	差动变压器性能	37
实验 17	差动变压器零点残余电压的补偿	38
实验 18	差动变压器的标定 (静态位移性能)	40
实验 19	差动变压器的应用——振动测量	41
实验 20	差动变压器的作用——电子秤之二	42
实验 21	差动螺管式电感传感器的静态位移性能	43
实验 22	差动螺管式电感传感器振动时的动态性能	44
实验 23	电涡流式传感器的静态标定	45
实验 24	被测体材料对电涡流传感器特性的影响	46
实验 25	电涡流式传感器的应用——振幅测量	47
实验 26	电涡传感器应用——电子秤之三	48
实验 27	霍尔式传感器的特性——直流激励	49
实验 28	霍尔式传感器的应用——电子秤之四	50
实验 29	霍尔式传感器的特性——交流激励	51
实验 30	霍尔式传感器的应用——振幅测量	52
实验 31	磁电式传感器的性能	53
实验 32	压电式传感器的动态响应实验	54
实验 33	压电传感器的引线电容对电压放大器、电荷放大器的影响	55
实验 34	差动变面积式电容传感器的静态及动态特性	57
实验 35	双平行梁的动态特性——正弦稳态影响	58
实验 36	扩散硅压阻式压力传感器实验	59
实验 37	光纤位移传感器静态实验	60
实验 38	光纤位移传感器的动态测量 (一)	62
实验 39	光纤位移传感器的动态测量 (二)	63
实验 40	PN 结温度传感器测温实验	64
实验 41	热敏电阻演示实验 (99x 型)	65
实验 42	气敏传感器 (MQ ₃) 实验	65
实验 43	湿敏电阻 (R _H) 实验	68
实验 44	光电传感器 (反射型) 测转速实验 (选配)	69

实验 45	力平衡式传感器——综合实验	69
实验 46	光电传感器实验	71
实验 47	微机检测与转换——数据采集处理	75
第 3 章	综合设计实验	77
实验 1	虚拟电子秤的设计与实现	77
实验 2	虚拟位移测量仪的设计与实现	77
实验 3	虚拟温度计的设计与实验	78
实验 4	集成温度传感器特性测试及应用	78
实验 5	电子秤的设计及实现	80
实验 6	电子罗盘的设计及实现	81
实验 7	气敏传感器应用实验	81
第 4 章	传感器应用课程设计	85
第 1 节	传感器技术及应用课程设计说明	85
第 2 节	传感器技术及应用课程设计参考选题	88
第 5 章	实验报告	95
实验报告 1	金属箔式应变片性能——单臂电桥（一）	95
实验报告 2	金属箔式应变片性能——单臂电桥（二）	97
实验报告 3	金属箔式应变片：单臂、半桥、全桥比较（一）	98
实验报告 4	金属箔式应变片：单臂、半桥、全桥比较（二）	101
实验报告 5	应变片的温度效应及补偿（一）	103
实验报告 6	应变片的温度影响（二）	105
实验报告 7	热电偶原理及现象（一）	106
实验报告 8	热电偶原理及现象（二）	108
实验报告 9	移相器实验	110
实验报告 10	相敏检波器实验	111
实验报告 11	金属箔式应变片——交流全桥（一）	113
实验报告 12	金属箔式应变片——交流全桥（二）	115
实验报告 13	交流全桥的应用——振幅测量	116
实验报告 14	交流全桥的应用——电子秤之一（一）	117
实验报告 15	交流全桥的应用——电子秤之一（二）	118
实验报告 16	差动变压器性能	120
实验报告 17	差动变压器零点残余电压的补偿	121
实验报告 18	差动变压器的标定（静态位移性能）	122
实验报告 19	差动变压器的应用——振动测量	124
实验报告 20	差动变压器的作用——电子秤之二	125
实验报告 21	差动螺管式电感传感器的静态位移性能	126
实验报告 22	差动螺管式电感传感器振动时的动态性能	128

实验报告 23	电涡流式传感器的静态标定	129
实验报告 24	被测体材料对电涡流传感器特性的影响	130
实验报告 25	电涡流式传感器的应用——振幅测量	132
实验报告 26	电涡传感器应用——电子秤之三	133
实验报告 27	霍尔式传感器的特性——直流激励	135
实验报告 28	霍尔式传感器的应用——电子秤之四	137
实验报告 29	霍尔式传感器的特性——交流激励	138
实验报告 30	霍尔式传感器的应用——振幅测量	140
实验报告 31	磁电式传感器的性能	141
实验报告 32	压电传感器的动态响应实验	142
实验报告 33	压电传感器的引线电容对电压放大器、电荷放大器的影响	143
实验报告 34	差动变面积式电容传感器的静态及动态特性	144
实验报告 35	双平行梁的动态特性——正弦稳态影响	146
实验报告 36	扩散硅压阻式压力传感器实验	146
实验报告 37	光纤位移传感器静态实验	148
实验报告 38	光纤位移传感器的动态测量（一）	149
实验报告 39	光纤位移传感器的动态测量（二）	151
实验报告 40	PN 结温度传感器测温实验	152
实验报告 41	热敏电阻演示实验（99x 型）	153
实验报告 42	气敏传感器（MQ ₃ ）实验	154
实验报告 43	湿敏电阻（R _H ）实验	154
实验报告 44	光电传感器（反射型）测转速实验（选配）	155
实验报告 45	力平衡式传感器——综合实验	156
实验报告 46	光电传感器实验	157
实验报告 47	微机检测与转换——数据采集处理	161
综合性（设计性）实验报告		163
附录一	CSY 传感器实验仪示意图及简介	165
附录二	PC 数据采集卡（串行）操作说明	169
附录三	国际单位制（SI）	170
附录四	热电偶分度表	172
参考文献		178

第1章 传感器技术实验基础

第1节 传感器概述

1.1 传感器的概念

1.1.1 传感器的定义

传感器 (Transducer/Sensor) 在我国国家标准 (GB/T 7665—1987) 中的定义是：“能够感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置”。传感器又称为敏感元件、检测器、转换器。

1.1.2 传感器的组成

敏感元件和转换元件组成 (如图 1.1.1 所示)。其中, 敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分; 转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分。

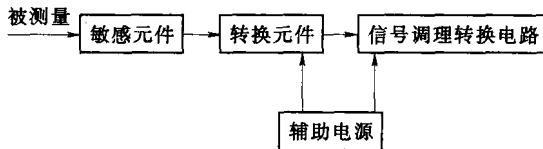


图 1.1.1

1.1.3 传感器的分类

(1) 按工作原理——应变式、电容式、电感式、压电式、霍尔式、光电式、辐射式、超声波式、半导体式等。

一般传感器教材中大多以这种分类方法。

(2) 按被测参数——位移、温度、压力、成分、流量、振动等。

一般检测技术教材中大多是以被测参数进行分类的。

(3) 按构成原理——结构型、物性型。

结构型传感器主要是通过机械结构的几何形状或尺寸的变化, 将外界被测参数转换成相应的电阻、电感、电容等物理量的变化, 从而实现被测参数的检测。上面叙述的气体压力传感器则属于结构型传感器。

物性型传感器则是利用某些材料本身物理性质的变化而实现测量。如半导体、电解质、铁电体为敏感材料的固态器件。热电偶就是典型的物性型传感器。

(4) 按能量转换——能量控制型、能量转换型。

能量控制型传感器是按能量控制原理将被测非电量转换为电参量输出的传感器, 在信息转换的过程中, 其能量需要外电源供给。又称为无源传感器, 如电阻式、电容式、电感式等电路参量传感器属于此类传感器。

能量转换型传感器按能量转换原理将被测非电量转为电能量输出的传感器。又称为有源传感器、发电传感器, 如压电传感器、热电偶、光电池等属于此类传感器。

1.2 传感器特性

传感器的各种特性一般是根据输入和输出的对应关系来描述的。传感器在稳态 (静态

或准静态)信号作用下,输入和输出的对应关系称为静态特性;在动态(周期或暂态)信号作用下,输入和输出的对应关系称为动态特性。

1.2.1 传感器的静态特性

传感器的静态特性可以用一组性能指标来描述,如灵敏度、线性度、迟滞、重复性和漂移等。

(1) 灵敏度。灵敏度是传感器静态特性的一个重要指标。其定义是输出量增量 Δy 与引起输出量增量 Δy 的相应输入量增量 Δx 之比。

(2) 线性度。传感器的线性度是指传感器的输出与输入之间数量关系的线性程度。输出与输入关系可分为线性特性和非线性特性。传感器的线性度也称为非线性误差,是指在全量程范围内实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差值 $\Delta L_{\max}$ 与满量程输出值 Y_{FS} 之比。

(3) 迟滞。传感器在输入量由小到大(正行程)及输入量由大到小(反行程)变化期间其输入输出特性曲线不重合的现象称为迟滞。迟滞误差又称为回差或变差。

(4) 重复性。重复性是指传感器在输入量按同一方向作全量程连续多次变化时,所得特性曲线不一致的程度。

(5) 漂移。传感器的漂移是指在输入量不变的情况下,传感器输出量随着时间变化,此现象称为漂移。

1.2.2 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指输入量随时间变化时传感器的响应特性。

(1) 传感器的时域动态性能指标叙述如下:

- 1) 时间常数 τ 。一阶传感器输出上升到稳态值的 63.2% 所需的时间。
- 2) 延迟时间 t_d 。传感器输出达到稳态值的 50% 所需的时间。
- 3) 上升时间 t_r 。传感器输出达到稳态值的 90% 所需的时间。
- 4) 峰值时间 t_p 。二阶传感器输出响应曲线达到第一个峰值所需的时间。
- 5) 超调量 σ 。二阶传感器输出超过稳态值的最大值。
- 6) 衰减比 d 。衰减振荡的二阶传感器输出响应曲线第一个峰值与第二个峰值之比。

(2) 传感器频率响应特性指标、频率响应特性指标叙述如下:

- 1) 通频带 $\omega_{0.707}$ 。传感器在对数幅频特性曲线上幅值衰减 3dB 时所对应的频率范围。
- 2) 工作频带 $\omega_{0.95}$ (或 $\omega_{0.90}$)。当传感器的幅值误差为 $\pm 5\%$ (或 $\pm 10\%$) 时其增益保持在一定值内的频率范围。
- 3) 时间常数 τ 。用时间常数 τ 来表征一阶传感器的动态特性。 τ 越小,频带越宽。
- 4) 固有频率 ω_n 。二阶传感器的固有频率 ω_n 表征其动态特性。
- 5) 相位误差。在工作频带范围内,传感器的实际输出与所希望的无失真输出间的相位差值,即为相位误差。
- 6) 跟随角 $\phi_{0.707}$ 。当 $\omega = \omega_{0.707}$ 时,对应于相频特性上的相角,即为跟随角。

第2节 实验中常用传感器原理及应用简介

2.1 电阻应变式传感器

2.1.1 工作原理

电阻应变片的工作原理是基于电阻应变效应，即导体在外界作用下产生机械变形（拉伸或压缩）时，其电阻值相应发生变化，再经过转换电路变成电量输出。根据传感器组成材料变化或传感器原理变化，产生了各种各样的电阻式传感器，主要包括应变式传感器及压阻式传感器。

电阻传感器可以测量力、压力、位移、应变、加速度和温度等非电量参数。电阻式传感器结构简单、性能稳定、灵敏度较高，有的还可用于动态测量。

2.1.2 注意事项

应变极限：随应变加大，应变器件输出的非线性加大，一般将误差达到10%时对应的应变，作为应变器件的应变极限。

机械滞后：敏感栅、底基及胶粘层承受机械应变后，一般都会存在残余变形，造成应变器件的机械滞后。

零漂和蠕变：在恒定温度、无机械应变时，应变器件阻值随时间变化的特性，称为零漂；在恒定温度、恒定应变时，应变器件阻值随时间变化的特性，称为蠕变。

零漂和蠕变的原因：应变器件制造过程中产生的内应力；在一定温度和载荷条件下电阻丝材料、胶粘剂和底基内部结构的变化。

绝缘电阻：粘在试件上的应变器件的引出线与试件之间的电阻通常绝缘电阻为50~100M Ω ，在长时间精密测量时要求大于100M Ω ，甚至达到10G Ω 。

最大工作电流：应变器件正常工作允许通过的最大电流。通常静态测量时为25mA，动态测量时为75~100mA。工作电流过大会导致应变器件过热、灵敏度变化、零漂和蠕变增加，甚至烧毁。

温度影响：由温度变化导致的应变器件电阻变化与由应变引起的电阻变化往往具有同等数量级，须用适当电路进行温度补偿。

2.2 电感式传感器

2.2.1 工作原理

电感式传感器工作原理利用电磁感应原理将被测非电量如位移、压力、流量、振动等转换成线圈自感系数 L 或互感系数 M 的变化，再由测量电路转换为电压或电流的变化量输出，这种装置称为电感式传感器。当一金属物体接近模拟传感器的感应面时使模拟传感器LC振荡量衰减，利用这一点的变化量，转换电流输出量，输出电流的大小，直接和金属物体与模拟传感器感应面之间距离远近成正比例关系。

2.2.2 应用

带有模拟输出的电感式接近传感器是一种测量式控制位置偏差的电子信号发生器，其用途非常广泛。例如可测量弯曲和偏移，可测量振荡的振幅高度，可控制尺寸的稳定性，可控制定位，可控制对中心率或偏心率。

电感传感器还可用作磁敏速度开关、齿轮龄条测速等,该类传感器广泛应用于纺织、化纤、机床、机械、冶金、机车汽车等行业的链轮齿速度检测,链输送带的速度和距离检测,齿轮龄计数转速表及汽车防护系统的控制等。另外,该类传感器还可用在给料管系统中小物体检测、物体喷出控制、断线监测、小零件区分、厚度检测和位置控制等。

2.3 热电式传感器

2.3.1 工作原理

热电式传感器是一种将温度变化转换为电量变化的装置。在各种热电式传感器中,把温度转换为电势或电阻的方法最为普遍。其中将温度转换为电势的热电式传感器称为热电偶,将温度转换为电阻值的热电式传感器称为热电阻。

2.3.2 热电传感器选用时需考虑的问题

热电传感器目前在工业生产中得到了广泛的应用,并且可以选用定型的显示仪表和记录仪来进行显示和记录。

选择热电传感器比选择其他类型的传感器所需要考虑的内容更多。首先,必须选择传感器的结构,使敏感元件在规定的测量时间之内达到所测流体或被测表面的温度。温度传感器的输出仅仅是敏感元件的温度。实际上,要确保传感器指示的温度即为所测对象的温度,常常是很困难的。在大多数情况下,对温度传感器的选用,需考虑以下几个方面的问题:

- (1) 被测对象的温度是否需记录、报警和自动控制,是否需要远距离测量和传送。
- (2) 测温范围的大小和精度要求。
- (3) 测温元件大小是否适当。
- (4) 在被测对象温度随时间变化的场合,测温元件的滞后能否适应测温要求。
- (5) 被测对象的环境条件对测温元件是否有损害。
- (6) 价格如何,使用是否方便。

温度传感器的选择主要是根据测量范围。当测量范围预计在总量程之内,可选用铂电阻传感器。较窄的量程通常要求传感器必须具有相当高的基本电阻,以便获得足够大的电阻变化。热敏电阻所提供的足够大的电阻变化使得这些敏感元件非常适用于窄的测量范围。如果测量范围相当大时,热电偶更适用。最好将冰点也包括在此范围内,因为热电偶的分度表是以此温度为基准的。已知范围内的传感器线性也可作为选择传感器的附加条件。

2.4 谐振式传感器

2.4.1 工作原理

利用谐振子振动频率、相位和幅值作为敏感信息的参数,自身为周期信号输出,再用简单的数字电路转换为微处理器容易接受的数字信号,从而达到对压力等的测量。

2.4.2 应用

主要用于压力测量,如气压、地面大气压力等。

2.5 压电式传感器

2.5.1 工作原理

压电效应:某些电介质在沿一定方向上受到外力的作用而变形时,其内部会产生极化

现象,同时在它的两个相对表面上出现正负相反的电荷。当外力去掉后,它又会恢复到不带电的状态,这种现象称为正压电效应。当作用力的方向改变时,电荷的极性也随之改变。相反,当在电介质的极化方向上施加电场,这些电介质也会发生变形,电场去掉后,电介质的变形随之消失,这种现象称为逆压电效应,或称为电致伸缩现象。依据电介质压电效应研制的传感器称为压电传感器。

2.5.2 应用

压电式加速度传感器在飞机、汽车、船舶、桥梁和建筑的振动和冲击测量中得到了广泛的应用,特别是航空和宇航领域中更有不可替代的作用。

2.6 磁电传感器

2.6.1 工作原理

磁电式传感器也称感应式传感器,或称电动式传感器。它把被测物理量的变化转变为感应电动势,是一种机—电能量变换型传感器,不需要外部供电电源,电路简单,性能稳定,输出阻抗小,又具有一定的频率响应范围(一般为 $10\sim 1000\text{Hz}$),适用于振动、转速、扭矩等测量。但这种传感器的尺寸和重量都较大。

按工作原理不同,磁电感应式传感器可分为恒定磁通式和变磁通式,即动圈式传感器和磁阻式传感器。

2.6.2 应用

用于测量振动、厚度、应变、压力、加速度等各种物理量。

2.7 光电传感器

2.7.1 工作原理

光电式传感器是以光电元件作为转化元件,可以将被测的非电量通过光量的变化再转化成电量的传感器。光电式传感器一般由光源、光学元件和光电元件三部分组成。光电式传感器的物理基础是光电效应。

2.7.2 应用

光电式传感器可用于检测直接引起光量变化的非电量,如光强、光照度、辐射测量、气体成分分析等;也可以用于检测能转化成光量变化的其他非电量,如直径、表面粗糙度、应变位移、振动、速度、加速度以及物体形状、工作状态的识别等。

2.8 光纤传感器

2.8.1 工作原理

功能型光纤传感器:利用光纤本身感受被测量变化而改变传输光的特性,光纤既是传光元件,又是敏感元件。

传光型光纤传感器:利用其他敏感元件感受被测量的变化,光纤仅作为光信号的传输介质。

2.8.2 应用

光纤传感器应用相当广泛,尤其适用于下列情况:

- (1) 高压、电磁感应噪音条件下的测试。
- (2) 危险和环境恶劣条件下的测试。
- (3) 机器设备内部的狭小间隙中的测试。

(4) 远距离的传输中的测试。

典型应用：光纤温度传感器、分布式光纤传感器、光纤电流传感器。

2.9 气敏传感器

2.9.1 工作原理

利用被测气体与气敏元件发生的化学反应或物理效应等机理，把被测气体种类或浓度的变化转化成气敏元件输出电压或电流的变化。

2.9.2 应用

主要有利用半导体气体器件检测的电气法；利用电极和电解液对气体进行检测的电化学法；利用气体对光的折射率或光吸收等特性检测气体的光学法。

典型应用：家用气体报警器、有害气体辨别、可燃性气体浓度检测、矿灯瓦斯报警器、烟雾报警器、酒精检测报警器。

2.10 电容传感器

2.10.1 工作原理

电容式传感器是将被测量的变化转换成电容量变化的一种装置，实质上就是一个具有可变参数的电容器。

电容式传感器具有结构简单、动态响应快、易实现非接触测量等突出的优点。随着电子技术的发展，它所存在的易受干扰和分布电容影响等缺点不断得以克服，而且还开发出容栅位移传感器和集成电容式传感器。

2.10.2 应用

广泛应用于压力、位移、加速度、液位、成分含量等测量之中。

2.11 湿度传感器

2.11.1 工作原理

水分子亲和力型湿度传感器，是利用水分子有较大的偶极矩，因而易于吸附在固体表面并渗透到固体内部的特性（成为水分子亲和力）制成的湿度传感器，其测量原理在于感湿材料吸湿或脱湿过程改变其自身的性能从而构成不同类型的湿度传感器。

非水分子亲和力型湿度传感器，主要的测量原理有利用潮湿空气和干燥空气的热传导之差来测定湿度；利用微波在含水蒸气的空气中传播，水蒸气吸收微波使其产生一定的能量损耗，传输损耗的能量与环境空气中的湿度有关以此来测定湿度；利用水蒸气能吸收特定波长的红外线来测定空气中的湿度。

2.11.2 应用

在精密仪器、半导体集成电路与元器件制造场所，以及气象预报、医疗卫生、食品加工等行业都有广泛的应用。

2.12 传感器标定和校准

传感器的标定是通过试验建立传感器输入量与输出量之间的关系。校准是指确定出不同使用条件下的误差关系。按照标定的内容，又可分为静态标定和动态标定。

2.12.1 静态标定

静态标定目的是确定传感器的静态特性指标，如线性度、灵敏度、滞后和重复性等。

2.12.2 动态标定

动态标定目的是确定传感器的动态特性参数,如频率响应、时间常数、固有频率和阻尼比等。

第3节 传感器技术实验中的信号检测电路

完成传感器输出信号处理的各种接口电路统称为传感器检测电路。

3.1 检测电路形式

- (1) 直接用传感器输出的开关信号驱动控制电路和报警电路工作。
- (2) 传感器输出信号达到设置的比较电平时,比较器输出状态发生变化,驱动控制电路及报警电路工作。
- (3) 由数字式电压表将检测结果直接显示出来。

3.2 常用电路

3.2.1 阻抗匹配器

传感器输出阻抗都比较高,为防止信号的衰减,常常采用高输入阻抗的阻抗匹配器作为传感器输入到测量系统的前置电路。

半导体管阻抗匹配器,实际上是一个半导体管共集电极电路,又称为射极输出器。场效应管是一种电平驱动元件,栅漏极间电流很小,其输入阻抗可高达 $10^{12}\Omega$ 以上,可作阻抗匹配器。

运算放大器阻抗匹配器,理想运算放大器具有以下特性:①开环增益 $A_{od} = \infty$;②输入电阻 $R_{id} = \infty$;③输出电阻 $R_o = 0$;④共模抑制比 $K_{cmr} = \infty$ 等特性,使得它很容易通过外加电路,当作阻抗匹配器之用。

3.2.2 电桥电路

电桥电路是传感器检测电路中经常使用的电路,主要用来把传感器的电阻、电容、电感变化转换为电压或电流。

(1) 直流电桥。直流电桥的基本电路,如图 1.3.1 所示。它是由直流电源供电的电桥电路,电阻构成桥式电路的桥臂,桥路的一对角线是输出端,一般接有高输入阻抗的放大器。在电桥的另一对角线接点上加有直流电压。

电桥的输出电压可由下式给出,即:

$$U_{out} = \frac{U(R_2R_4 - R_1R_3)}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}$$

电桥的平衡条件为:

$$R_2R_4 = R_1R_3$$

当电桥平衡时,输出电压为零。

当电桥 4 个臂的电阻发生变化而产生增量时,电桥的平衡被打破,电桥此时的输出电压为:

$$U_{out} = \frac{U}{4} \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right)$$

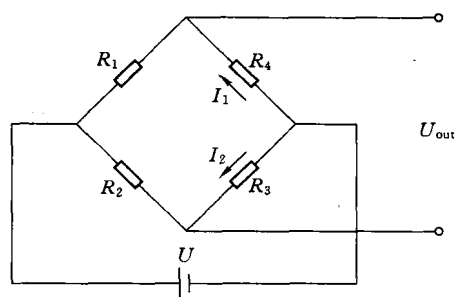


图 1.3.1

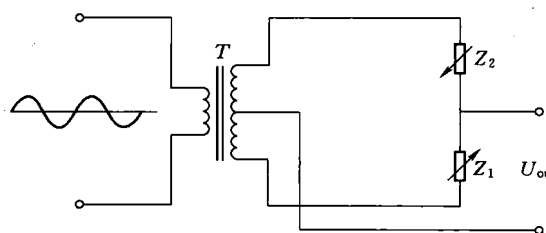


图 1.3.2

如果 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ 时，则电桥电路被称为四等臂电桥，此时输出灵敏度最高，而非线性误差最小，

因此在传感器的实际应用中多采用四等臂电桥。

(2) 交流电桥（如图 1.3.2 所示）。

其中 Z_1 和 Z_2 为阻抗元件，它们同时可以为电感或电容。电桥两臂为差动方式，又

称为差动交流电桥。在初始状态时， $Z_1 = Z_2 = Z_0$ ，电桥平衡，输出电压 $U_{out} = 0$ 。

测量时一个元件的阻抗增加，另一个元件的阻抗减小，假定 $Z_1 = Z_0 + \Delta Z$ ， $Z_2 = Z_0 - \Delta Z$ ，则电桥的输出电压为：

$$U_{out} = \left(\frac{Z_0 + \Delta Z}{2Z_0} - \frac{1}{2} \right) U = \frac{\Delta Z}{2Z_0} U$$

(3) 热导式气体传感器采用不平衡电桥电路测量电阻的变化。电桥电路有单电桥电路和双电桥电路之分。

单电桥电路，如图 1.3.3 所示。电桥由 4 个热导池组成，每个热导池的电阻丝作为电桥的一个桥臂电阻。 R_1 、 R_3 的热导池称为测量热导池，通以被测气体； R_2 、 R_4 的热导池称为参比热导池，气室内充以测量的下限气体。当通过测量热导池的被测组分含量为下限时，由于 4 个热导池的散热条件相同，4 个桥臂电阻相等，因此电桥输出为零。当通过测量热导池的被测组分含量发生变化时， R_1 、 R_3 电阻值将发生变化，电桥失去平衡，其输出信号的大小反映了被测组分的含量。

(4) 双电桥电路。双电桥原理如图 1.3.4 所示。Ⅰ为测量电桥，它与单电桥电路相同，其输出的不平衡电压的大小反映了被测组分的含量。Ⅱ为参比电桥， R_5 、 R_7 的热导池中密封着测量上限的气体， R_6 、 R_8 的热导池中密封着测量下限的气体，其输出的电压是一固定值。电桥采用交流供电电源，变压器的副边供两个电桥的电压是相等的。与滑线电阻 A、C 间的电压之差加在放大器输入端，信号经放

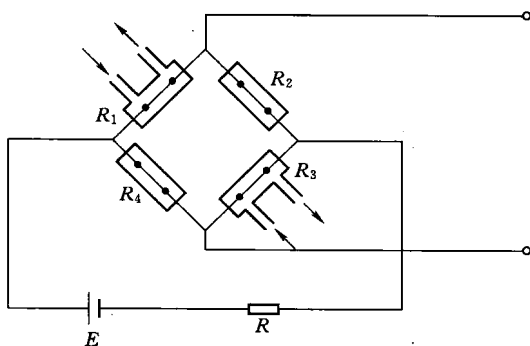


图 1.3.3

大后驱动可逆电机，带动滑线电阻滑触点 C 向平衡点方向移动，使得系统达到平衡，平衡点 C 的位置反映了混合气体中被测组分的含量。

3.2.3 放大电路

传感器的输出信号一般比较微弱，因而在大多数情况下都需要放大电路。

目前检测系统中的放大电路，除特殊情况外，一般都采用运算放大器构成。

(1) 反相放大器。图 1.3.5 (a) 是反相放大器的基本电路。反相放大器的输出电压，可由下式确定，即：

