

信息与电子学科百本精品教材工程

新编电气与电子信息类本科规划教材

传感器与检测技术

徐科军 主编 马修水 李晓林 等副主编

王化祥 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

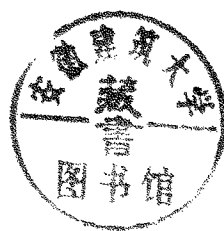
新编电气与电子信息类本科规划教材

传感器与检测技术

徐科军 主 编

马修水 李晓林 李文涛 李莲 副主编

王化祥 主 审



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书包括自动检测技术的基础知识、传感器原理与应用、检测仪表及自动检测的新进展与共性技术 4 部分内容。第一部分介绍传感器与检测技术的基本概念、测量误差与数据处理,以及传感器的静态特性和标定方法;第二部分介绍电阻式、变阻抗式、光电式和电动势式传感器的工作原理与应用;第三部分介绍温度、流量和成分检测;第四部分介绍误差修正技术、现场总线、虚拟仪器和多传感器数据融合等。

本书可以作为自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器等专业本科生的教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/徐科军主编. —北京:电子工业出版社,2004.9

新编电气与电子信息类本科规划教材

ISBN 7-121-00301-5

I. 传… II. 徐… III. 传感器—高等学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 088924 号

责任编辑:凌 毅 王羽佳

印 刷:北京大中印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1 092 1/16 印张:20.5 字数:525 千字

印 次:2004 年 9 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:26.80 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

信息与电子学科百本精品教材工程

《新编电气与电子信息类本科规划教材》 电气信息类专业教材编委会

主任委员：王宏华（河海大学）

副主任委员：戴文进（南昌大学）

赵英凯（南京工业大学）

胡先福（电子工业出版社）

委 员：孔 峰 任庆昌 唐志平 王云亮

谢克明 徐科军 薛士龙 凌 毅

编辑出版组

主 任：胡先福

成 员：王 颖 凌 毅 韩同平 张孟玮

冉 哲 李 岩 李维荣 张 昱

《新编电气与电子信息类本科规划教材》参编院校

（按拼音排序）

- | | | |
|------------|------------|------------|
| ▶ 安徽大学 | ▶ 华北电力大学 | ▶ 山东理工大学 |
| ▶ 北京联合大学 | ▶ 淮海工学院 | ▶ 山东科技大学 |
| ▶ 北华大学 | ▶ 桂林电子工业学院 | ▶ 青岛大学 |
| ▶ 常州工学院 | ▶ 桂林工学院 | ▶ 上海第二工业学院 |
| ▶ 成都理工大学 | ▶ 广西工学院 | ▶ 上海海运学院 |
| ▶ 哈尔滨工程大学 | ▶ 济南大学 | ▶ 太原理工大学 |
| ▶ 杭州电子科技大学 | ▶ 南京邮电学院 | ▶ 太原重型机械学院 |
| ▶ 合肥工业大学 | ▶ 南京工业大学 | ▶ 天津理工大学 |
| ▶ 合肥电子工程学院 | ▶ 南昌大学 | ▶ 厦门大学 |
| ▶ 湖北工业大学 | ▶ 南华大学 | ▶ 西南科技大学 |
| ▶ 湖南科技大学 | ▶ 南通大学 | ▶ 西安建筑科技大学 |
| ▶ 河海大学 | ▶ 内蒙古科技大学 | ▶ 武汉工业学院 |
| ▶ 河北工业大学 | ▶ 山东大学 | ▶ 云南大学 |

前 言

现代科学技术迅速发展,人们在研究自然现象和规律及生产活动时,必然从外界获得信息,要及时正确地获取这些信息,就必须合理地选择和善于应用各种传感器和检测仪表。本书是作者在多年从事传感器及仪器仪表教学和科学研究的基础上编写的。本书在讲清基本概念、基本理论的基础上,强调工程的概念,从工程的角度出发编写教材,而不是仅仅作为知识点介绍。同时我们注重近年来本领域中理论和技术的发展,根据目前我国本科教学的需要,有选择地将部分新方法和新技术编入本教材中。

全书内容分为4个部分。第一部分介绍自动检测技术的基本知识,包括测量误差和数据处理的基本知识、传感器的一般特性及标定和校准知识。第二部分系统地介绍各种传感器的原理、结构和应用,目的在于培养学生使用各类传感器的能力。第三部分介绍传感器在工程检测中的应用。将传感器和工程检测方面的知识有机地结合起来,以温度检测、流量检测和成分检测为例,使学生能够进一步应用传感器方面的知识解决工程检测中的具体问题。第四部分介绍自动检测的新发展和其中的共性技术。

全书共分9章,各章相对独立,在使用本教材时,可根据不同专业的需要和特点,对内容进行取舍。实验是本课程不可缺少的重要组成部分,使用本教材时,可根据各校具体的实验仪器情况,结合教材内容开设实验,以深化对理论知识的理解,提高学生分析问题和解决问题的能力,从而取得良好的教学效果。

本书由合肥工业大学徐科军担任主编,安徽大学马修水、太原理工大学李晓林、内蒙古科技大学李文涛和天津理工大学李莲担任副主编。马修水编写1.1~1.3节、3.1~3.3节和第8章;李文涛编写1.4~1.5节、第2章和6.2节;李莲编写3.4~3.5节和第4章;李晓林编写第5章、6.3节和7.1~7.7节;徐科军编写6.1、6.4、7.4节和第9章。全书最后由徐科军统稿。本书配套的电子课件由合肥工业大学王永红副教授制作。

天津大学检测技术与自动化装置国家重点学科带头人、博士生导师王化祥教授仔细审阅了书稿,并提出了许多宝贵的指导意见。合肥工业大学陈荣保副教授、王文博讲师及安徽大学孙伟副教授对本书提出了许多好的建议。在编写过程中,我们参阅了许多专家的教材、著作和论文,还得到国内外有关企业和同行的支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中误漏难免,敬请广大读者批评指正。

编著者
2004年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 自动检测技术概述	2
1.1.1 自动检测技术的重要性	2
1.1.2 自动检测系统的组成	2
1.1.3 自动检测技术的发展趋势	3
1.2 传感器概述	4
1.2.1 传感器的定义	4
1.2.2 传感器的组成	4
1.2.3 传感器分类	5
1.3 测量误差与数据处理	5
1.3.1 测量误差的概念和分类	5
1.3.2 精度	6
1.3.3 测量误差的表示方法	6
1.3.4 随机误差	8
1.3.5 系统误差	12
1.3.6 粗大误差	14
1.3.7 数据处理的基本方法	15
1.4 传感器的一般特性	16
1.4.1 传感器的静态特性	16
1.4.2 传感器的动态特性	19
1.5 传感器的标定和校准	23
1.5.1 传感器的静态标定	24
1.5.2 传感器的动态标定	24
1.5.3 压力传感器的静态标定	26
1.5.4 压力传感器的动态标定	27
思考题与习题	31
第 2 章 电阻式传感器原理与应用	33
2.1 应变式传感器	34
2.1.1 金属电阻应变片的工作原理	34
2.1.2 电阻应变片的特性	36
2.1.3 电阻应变片的测量电路	39
2.1.4 电阻应变式传感器的应用	42
2.2 压阻式传感器	47
2.2.1 半导体的压阻效应	47
2.2.2 体型半导体电阻应变片	48

2.2.3 扩散型压阻式压力传感器	49
2.2.4 压阻式加速度传感器	50
2.2.5 测量桥路及温度补偿	50
思考题与习题	52
第3章 变阻抗式传感器原理与应用	54
3.1 自感式传感器	55
3.1.1 工作原理	55
3.1.2 变气隙式自感传感器	56
3.1.3 变面积式自感传感器	58
3.1.4 螺线管式自感传感器	58
3.1.5 自感式传感器测量电路	59
3.1.6 自感式传感器应用举例	64
3.2 差动变压器	65
3.2.1 变隙式差动变压器	65
3.2.2 螺线管式差动变压器	68
3.2.3 差动变压器应用	74
3.3 电容传感器	76
3.3.1 电容传感器的工作原理	77
3.3.2 电容传感器的主要性能	79
3.3.3 电容传感器的特点和设计要点	81
3.3.4 电容传感器等效电路	82
3.3.5 电容传感器测量电路	83
3.3.6 电容传感器的应用	86
3.3.7 容栅式传感器	88
3.4 电涡流式传感器	93
3.4.1 高频反射式电涡流传感器	93
3.4.2 低频透射式电涡流传感器	97
3.4.3 电涡流式传感器的应用	98
3.5 压磁式传感器	101
3.5.1 基本原理	101
3.5.2 压磁传感器的形式	102
3.5.3 压磁传感器参数选取的基本原则	105
3.5.4 压磁传感器的误差	106
思考题与习题	106
第4章 光电式传感器原理与应用	108
4.1 光电效应和光电器件	109
4.1.1 光电管	109
4.1.2 光电倍增管	110
4.1.3 光敏电阻	110
4.1.4 光敏二极管和光敏晶体管	113

4.1.5 光电池	116
4.1.6 光电式传感器的应用	118
4.2 光电码盘	119
4.2.1 工作原理	120
4.2.2 码盘和码制	120
4.2.3 二进制码与循环码的转换	122
4.2.4 光电码盘的应用	123
4.3 电荷耦合器件	124
4.3.1 电荷耦合器件的结构和工作原理	124
4.3.2 CCD 图像传感器	128
4.3.3 图像传感器的应用	130
4.4 光纤传感器	131
4.4.1 光导纤维的结构和导光原理	131
4.4.2 光导纤维的主要参数	134
4.4.3 光纤传感器的结构原理	134
4.4.4 光纤传感器的分类	135
4.4.5 光纤传感器的特点	137
4.4.6 光纤传感器的应用	138
4.5 光栅传感器	141
4.5.1 光栅传感器的结构	141
4.5.2 莫尔条纹形成的原理	142
4.5.3 莫尔条纹技术的特点	143
4.5.4 光栅的光路	144
4.5.5 辨向原理	144
4.5.6 细分技术	146
思考题与习题	148
第 5 章 电动势式传感器原理与应用	150
5.1 磁电式传感器	151
5.1.1 磁电式传感器的工作原理	151
5.1.2 动圈式磁电传感器	151
5.1.3 磁阻式磁电传感器	152
5.1.4 磁电式传感器的动态特性	153
5.2 霍尔传感器	154
5.2.1 霍尔传感器的工作原理	155
5.2.2 霍尔元件的结构和基本电路	156
5.2.3 霍尔元件的主要特性参数	157
5.2.4 霍尔元件的误差及补偿	158
5.2.5 霍尔式传感器的应用	160
5.3 压电式传感器	161
5.3.1 压电式传感器的工作原理	161

5.3.2 压电元件的等效电路及信号变换电路	164
5.3.3 压电式加速度传感器	168
5.3.4 压电式测力传感器	169
思考题与习题	170
第6章 温度检测	171
6.1 概述	172
6.1.1 温度的基本概念和测量方法	172
6.1.2 温标	172
6.2 热电阻式传感器	174
6.2.1 金属热电阻	174
6.2.2 半导体热敏电阻	175
6.2.3 热电阻式传感器的应用	179
6.3 热电偶传感器	183
6.3.1 热电偶测温原理	183
6.3.2 热电偶的基本定律	184
6.3.3 热电偶的冷端处理和补偿	186
6.3.4 标准化热电偶	188
6.3.5 非标准化热电偶	191
6.3.6 热电偶结构形式	191
6.3.7 热电偶安装注意事项	192
6.4 非接触式测温	193
6.4.1 热辐射基本定理	193
6.4.2 光学高温计	196
6.4.3 光电高温计	197
6.4.4 辐射温度计	200
6.4.5 比色温度计	201
思考题与习题	203
第7章 流量检测	204
7.1 流量的基本概念	205
7.1.1 流量测量的基本概念	205
7.1.2 流量检测的方法和分类	205
7.2 差压式流量计	206
7.2.1 差压式流量计组成及测量原理	207
7.2.2 节流装置	209
7.3 电磁流量计	212
7.3.1 电磁流量计结构与原理	212
7.3.2 电磁流量计的选用与安装注意事项	214
7.4 涡轮流量计	216
7.4.1 结构和工作原理	217
7.4.2 特点和应用	218

7.4.3 安装注意事项	219
7.5 涡街流量计	220
7.5.1 工作原理与结构	220
7.5.2 安装使用注意事项	223
7.6 超声流量计	225
7.6.1 工作原理及组成	225
7.6.2 选用与安装考虑要点	227
7.7 质量流量计	229
7.7.1 直接式质量流量计	229
7.7.2 间接式质量流量计	233
思考题与习题	234
第8章 成分检测	235
8.1 概述	236
8.1.1 成分分析仪器简介	236
8.1.2 成分分析仪器的分类	236
8.1.3 成分分析仪器的组成	236
8.1.4 成分分析仪器的主要性能指标	238
8.2 热导式气体分析仪器	239
8.2.1 基本原理	239
8.2.2 热导池(检测器)	241
8.2.3 测量电路	244
8.2.4 热导式气体分析仪的应用	245
8.3 磁性氧量分析仪	246
8.3.1 磁性氧量分析仪的物理基础	246
8.3.2 磁力机械式氧量分析仪	248
8.3.3 磁压式氧量分析仪	249
8.4 红外线气体分析仪	250
8.4.1 测量原理	250
8.4.2 红外线气体分析仪结构	252
8.4.3 红外线分析仪的应用	255
8.5 气相色谱仪	255
8.5.1 色谱分析方法的由来	256
8.5.2 气相色谱法的分离原理	256
8.5.3 定性分析和定量分析	259
8.5.4 工业气相色谱仪的基本组成	262
8.5.5 气相色谱仪的新发展	266
习题和思考题	266
第9章 自动检测的新发展及共性技术	267
9.1 误差修正技术	268
9.1.1 系统误差的数字修正方法	268

9.1.2 随机误差的数字滤波方法	271
9.1.3 动态补偿方法	274
9.2 现场总线	277
9.2.1 CAN 总线概述	277
9.2.2 基于 SJA1000 的 CAN 总线接口设计	280
9.3 虚拟仪器	286
9.3.1 概述	286
9.3.2 系统构成	287
9.3.3 软件结构	289
9.3.4 软件开发平台	291
9.4 网络化智能传感器	293
9.4.1 网络化智能传感器提出背景	293
9.4.2 IEEE 1451 标准	294
9.4.3 IEEE 1451 标准的特点	299
9.5 多传感器数据融合	300
9.5.1 概念与意义	300
9.5.2 基本原理	301
9.5.3 数据融合层次	302
9.5.4 数据融合过程	302
9.6 软测量技术	305
9.6.1 辅助变量的选取	305
9.6.2 测量数据的处理	306
9.6.3 软测量模型的建立	307
9.6.4 软仪表的在线校正	309
9.6.5 软测量的工业应用	309
思考题与习题	310
附录 A 常用铂铑 ₁₀ -铂热电偶(S 型) $E(t)$ 分度表	311
参考文献	316

第1章 绪论

本章简要介绍自动检测技术和传感器的基本知识,重点介绍误差分析和数据处理、传感器静态特性和标定方法。

1.1 自动检测技术概述

1.1.1 自动检测技术的重要性

在科学研究过程中,一些研究成果,必须要通过实验证实,这就需要一定的测试手段完成;在工农业生产中,为了保证能正常、高效地生产,要有一定的测试手段进行生产过程的检查和监视。这些测试手段就是仪器仪表。

关于仪器仪表,最早得到广泛应用的是机械式仪表,以后发展到光学的、电学的仪表等。仪表也是随着科学技术的发展而发展的,每当科学技术前进一步,就要求能够提供新的测试手段,从而促进了仪器仪表的发展,而科学技术的成果也为发展新型的仪器仪表提供了条件。

由于微电子技术、计算机技术、通信技术及网络技术的迅速发展,对电量的测量技术相应地得到提高,如准确度高、灵敏度高、反应速度快、能够连续进行测量、自动记录、远距离传输和组成控制网络等。可是,在工程上所要测量的参数大多数为非电量,如机械量(位移、尺寸、力、振动、速度等)、热工量(温度、压力、流量、物位等)、成分量(化学成分、浓度等)和状态量(颜色、透明度、磨损量等),因而促使人们用电测的方法研究非电量,即研究用电测的方法测量非电量的仪器仪表,研究如何能正确和快速地测得非电量的技术。

由于非电量电测量技术具有测量精度高、反应速度快、能自动连续地进行测量、可进行遥测、便于自动记录、可与计算机联接进行数据处理、可采用微处理器做成智能仪表、能实现自动检测与转换等优点,在国民经济各部门得到广泛应用。

在机械制造业中,需要测量位移、尺寸、力、振动、速度、加速度等机械量参数,利用非电量电测仪器,监视刀具的磨损和工件表面质量的变化,防止机床过载,控制加工过程的稳定性。此外,还可利用非电量电测单元部件作为自动控制系统中测量反馈量的敏感元件(如光栅尺、容栅尺等)控制机床的行程、起动、停止和换向。在化工行业需要在线检测生产过程的温度、压力、流量、物位等热工量参数,实现对工艺过程的有效控制,确保生产过程能正常高效地进行,确保生产安全,防止事故发生。在烟草行业,如卷烟包装等自动化生产线,常利用非电量电测技术,监控产品质量,剔除废品,并在线统计产品的产量、合格率等管理信息,为生产自动化、管理现代化提供可靠的技术保障。在环境保护等部门需要检测物质的化学成分、浓度等成分量。在现代物流行业,如在控制搬运机器人作业过程中,需要实时地检测工件安放的位置参数,以便准确地控制执行机构工作,可靠地安放货物。在科学研究和产品开发中,将非电量电测技术应用到逆向设计和逆向加工过程中,可缩短产品设计和开发的周期。甚至在文物保护领域,研究人员已开始用非电量电测技术进行文物的保护和修复。

综上所述,自动检测技术与我们的生产、生活密切相关,它是自动化领域的重要组成部分,尤其在自动控制中,如果对控制参数不能有效准确地检测,控制就成为无源之水、无本之木。

1.1.2 自动检测系统的组成

在自动检测系统中,各组成部分常以信息流的过程划分,一般可分为:信息的提取、转换、处理和输出几部分。它首先要获取被检测的信息,把它变换成电量,然后把已转换成电量的信息进行放大、整形等转换处理,再通过输出单元(如指示仪和记录仪)把信息显示出来,或者通

过输出单元把已处理的信息送到控制系统其他单元使用,成为控制系统的一部分等,其组成框图如图 1.1.1 所示。

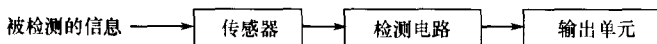


图 1.1.1 检测系统的组成

在检测系统中,传感器是把被测非电量转换成为与之有确定对应关系,且便于应用的某些物理量(通常为电量)的检测装置。传感器获得信息的正确与否,关系到整个检测系统的精度,如果传感器的误差很大,即使后续检测电路等环节精度很高,也难以提高检测系统的精度。

检测电路的作用是把传感器输出的变量转换成电压或电流信号,使之能在输出单元的指示仪上指示或记录仪上记录;或者能够作为控制系统的检测或反馈信号。检测电路的种类通常由传感器类型而定,如电阻式传感器需用一个电桥电路把电阻值转换成电流或电压输出,由于电桥输出信号一般比较微弱,常常要将电桥输出信号加以放大,所以在测量电路中一般还带有放大器。

输出单元可以是指示仪、记录仪、累加器、报警器、数据处理电路等。若输出单元是显示器或记录器,则该测试系统为自动检测系统;若输出单元是计数器或累加器,则该测试系统为自动计量系统;若输出单元是报警器,则该测试系统为自动保护系统或自动诊断系统;若输出单元是处理电路,则该测试系统为部分数据分析系统,或部分自动管理系统或部分自动控制系统。

1.1.3 自动检测技术的发展趋势

随着微电子技术、通信技术、计算机网络技术的发展,对自动检测技术也提出了越来越高的要求,并进一步推动了自动检测技术的发展,其技术发展趋势主要有以下几方面。

(1) 不断提高仪器的性能、可靠性,扩大应用范围。随着科学技术的发展,对仪器仪表的性能要求也相应地提高,如提高其分辨率、测量精度,提高系统的线性度、增大测量范围等,使其技术性能指标不断提高,应用领域不断扩大。

(2) 开发新型传感器。开发新型传感器主要包括:利用新的物理效应、化学反应和生物功能研发新型传感器,采用新技术、新工艺填补传感器空白,开发微型传感器,仿照生物的感觉功能研究仿生传感器等。

(3) 开发传感器的新型敏感元件材料和采用新的加工工艺。新型敏感元件材料的开发和应用是非电量电测技术中的一项重要任务,其发展趋势为:从单晶体到多晶体、非晶体,从单一型材料到复合型材料,原子(分子)型材料的人工合成。其中,半导体敏感材料在传感器技术中具有较大的技术优势,陶瓷敏感材料具有较大的技术潜力,磁性材料向非晶体化、薄膜化方向发展,智能材料的探索在不断地深入。智能材料指具备对环境的判断和自适应功能、自诊断功能、自修复功能和自增强功能的材料,如形状记忆合金、形状记忆陶瓷等。

在开发新型传感器时,离不开新工艺的采用。如把集成电路制造工艺技术应用于微机电系统中微型传感器的制造。

(4) 微电子技术、微型计算机技术、现场总线技术与仪器仪表和传感器的结合,构成新一代智能化测试系统,使测量精度、自动化水平进一步提高。

(5) 研究集成化、多功能和智能化传感器或测试系统。传感器集成化主要有两层含义,一

是同一功能的多元件并列化,即将同一类型的单个传感元件在同一平面上排列起来,排成一维构成线型传感器,排成二维构成面型传感器(如 CCD)。另一层含义是功能一体化,即将传感器与放大、运算及温度补偿、信号输出等环节一体化,组装成一个器件(如容栅传感器动栅数显单元)。

传感器多功能化是指一器多能,即用一个传感器可以检测两个或两个以上的参数。多功能化不仅可以降低生产成本、减小体积,而且可以有效地提高传感器的稳定性、可靠性等性能指标。

传感器的智能化就是把传感器与微处理器相结合,使之不仅具有检测功能,还具有信息处理、逻辑判断、自动诊断等功能。

1.2 传感器概述

1.2.1 传感器的定义

传感器是一种以一定精确度把被测量(主要是非电量)转换为与之有确定关系、便于应用的某种物理量(主要是电量)的测量装置。这一定义包含了以下几方面的含义:① 传感器是测量装置,能完成检测任务;② 它的输入量是某一被测量,如物理量、化学量、生物量等;③ 它的输出是某种物理量,这种量要便于传输、转换、处理、显示等,这种量可以是气、光、电量,但主要是电量;④ 输出与输入间有对应关系,且有一定的精确度。

在有些学科领域,传感器又称为敏感元件、检测器、转换器、发信器等。这些不同提法,反映了在不同的技术领域中,只是根据器件的用途,对同一类型的器件使用着不同的术语而已,它们的内含是相同或相似的。

1.2.2 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路 3 部分组成,组成框图如图 1.2.1 所示。

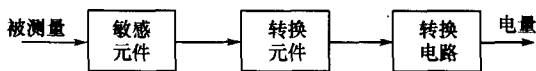


图 1.2.1 传感器组成框图

- ① 敏感元件 它是直接感受被测量,并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。
- ② 转换元件 敏感元件的输出就是它的输入,它把输入转换成电路参数。
- ③ 转换电路 将上述电路参数接入转换电路,便可转换成电量输出。

实际上,有些传感器很简单,有些则较为复杂,大多数是开环系统,也有些是带反馈的闭环系统。最简单的传感器由一个敏感元件(兼转换元件)组成,它感受被测量时直接输出电量,如热电偶传感器。有些传感器由敏感元件和转换元件组成,没有转换电路,如压电式加速度传感器。有些传感器,转换元件不止一个,需经过若干次转换。

1.2.3 传感器分类

传感器是一门知识密集型技术。传感器的原理各种各样,它与许多学科有关,种类繁多,分类方法也很多,目前广泛采用的分类方法有如下几种。

(1) 按照传感器的工作机理,可分为物理型、化学型、生物型等。

(2) 按构成原理,可分为结构型和物性型两大类。

结构型传感器是利用物理学中场的定律构成的,包括力场的运动定律,电磁场的电磁定律等。这类传感器的特点是传感器的性能与它的结构材料没有多大关系,如差动变压器。

物性型传感器是利用物质定律构成的,如欧姆定律等。物性型传感器的性能随材料的不同而异,如光电管、半导体传感器等。

(3) 按传感器的能量转换情况,可分为能量控制型传感器和能量转换型传感器。

能量控制型传感器在信息变换过程中,其能量需外电源供给。如电阻、电感、电容等电路参量传感器都属于这一类传感器。

能量转换型传感器,主要是由能量变换元件构成,它不需要外电源。如基于压电效应、热电效应、光电效应、霍尔效应等原理构成的传感器属于此类传感器。

(4) 按照物理原理分类,可分为电参量式传感器(包括电阻式、电感式、电容式等基本型式)、磁电式传感器(包括磁电感应式、霍尔式、磁栅式等)、压电式传感器、光电式传感器、气电式传感器、波式传感器(包括超声波式、微波式等)、射线式传感器、半导体式传感器、其他原理的传感器(如振弦式和振筒式传感器等)。

(5) 按照传感器的使用分类,可分为位移传感器、压力传感器、振动传感器、温度传感器等。

1.3 测量误差与数据处理

1.3.1 测量误差的概念和分类

1. 有关测量技术中的部分名词

(1) 等精度测量 在同一条件下所进行的一系列重复测量称为等精度测量。

(2) 非等精度测量 在多次测量中,如对测量结果精确度有影响的一切条件不能完全维持不变的测量称为非等精度测量。

(3) 真值 被测量本身所具有的真正值称之为真值。真值是一个理想的概念,一般是不知道的,但在某些特定情况下,真值又是可知的,如一个整圆圆周角为 360° 等。

(4) 实际值 误差理论指出,在排除系统误差的前提下,对于精密测量,当测量次数无限多时,测量结果的算术平均值极接近于真值,因而可将它视为被测量的真值。但是测量次数是有限的,故按有限测量次数得到的算术平均值,只是统计平均值的近似值,而且由于系统误差不可能完全被排除,因此通常只能把精度更高一级的标准器具所测得的值作为真值。为了强调它并非是真的真值,故把它称为实际值。

(5) 标称值 测量器具上所标出来的数值。

(6) 示值 由测量器具读数装置所指示出来的被测量的数值。