



高等学校电子信息类专业规划教材

传感器技术

孙建民 杨清梅 编 著



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>



21 世纪高等学校电子信息类专业规划教材

传 感 器 技 术

孙建民 杨清梅 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社
• 北京 •

内 容 简 介

传感器技术已成为电子信息工程、自动控制工程、机械工程等领域中不可缺少的重要技术。本书系统地介绍了各类常用传感器的基本概念、基本原理和基本特性,并分析了相应的测量电路和应用实例。

全书共分12章,可分为两部分:第一部分重点介绍了传感器的定义、组成、分类及传感器的静、动态特性;第二部分具体介绍了电阻式、电感式、电容式、磁电式、压电式、光电式、热电式、气敏、湿敏、磁敏及智能传感器。

本书内容较广泛,在编写中兼顾传感器的原理和实用性,可作为高等院校电子信息工程、自动控制、电子工程、应用电子技术、机械工程及自动化等专业的教学用书,也可作为相关工程技术人员学习和参考用书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术/孙建民,杨清梅编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2005.10
(21世纪高等学校电子信息类专业规划教材)

ISBN 7-81082-595-X

I. 传… II. ①孙… ②杨… III. 传感器-高等学校-教材 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第090996号

责任编辑:周益丹 特邀编辑:刘 标

出版者:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:19.25 字数:467千字

版 次:2005年10月第1版 2005年10月第1次印刷

书 号:ISBN 7-81082-595-X/TP·219

印 数:1~4 000册 定价:27.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043,51686008;传真:010-62225406;E-mail:press@center.bjtu.edu.cn。

前 言

在社会信息化发展进程中,无论信息的转换和处理,还是数据的显示和控制,无一不建立在对原始的各种参数进行精确可靠测量的基础上。因此,若没有精确可靠的传感器,就不存在精确可靠的自动检测和控制系统。传感器技术是现代信息技术的重要基础技术之一。传感器的性能对自动化系统的功能起着决定作用,许多国家都把传感器技术列为尖端技术。随着现代检测、控制和自动化技术的发展,传感器技术越来越受到人们的重视。由于科学技术、经济发展及生态平衡的需要,传感器在各个领域中的作用日益显著。在工业生产自动化、能源、交通、环境与安全监测以及军事等方面开发的各种传感器,不仅具有人的感官功能,并且在检测特殊状态参数方面具有明显优势。

本书以培养生产一线所需的技术应用型人才为目标,突出传感器理论知识的技术应用,以应用为目的,以掌握概念、强化应用为重点。本教材共分12章,第1章、第2章介绍了传感器的定义、组成、分类及一般特性;第3章至第12章分别介绍了电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、磁电式传感器、压电式传感器、光电式传感器、热电式传感器、气敏传感器、湿敏传感器、磁敏传感器以及智能传感器的工作原理、特性、结构形式、测量电路、误差分析及补偿方法和应用实例。本书内容较广泛,对传感器理论与实用技术进行了探索。

本书内容全部按传感器的工作原理分章,力求详简得当、条理清晰、重点突出,每章末附有一定数量的思考题与习题,以便对书中的难点和重点进行学习掌握,以提高解决实际问题的能力。本教材可作为高等院校电子信息工程、自动控制、电子工程、应用电子技术、机械工程及自动化等专业的教学用书,也可作为相关工程技术人员的学习和参考用书。

本书由北京建筑工程学院孙建民和北京联合大学杨清梅编写。杨清梅编写第1章至第4章,由孙建民编写第5章至第12章。全书在编写过程中得到了北京理工大学王向周教授、北京建筑工程学院陈宝江副教授的热情指导和帮助。在此,对他们表示诚挚的谢意。同时,对本书参考文献的作者致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之经验不足,书中难免出现错误和疏漏之处,恳请关心和阅读本书的同行与广大读者批评指正。

编 者

2005年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 传感器技术概述	1
1.1.1 传感器技术与信息技术	1
1.1.2 自动检测技术	1
1.2 传感器的定义、组成及分类	2
1.2.1 传感器的定义	2
1.2.2 传感器的组成	2
1.2.3 传感器的分类	3
1.3 传感器发展的新趋势	5
思考题与习题 1	6
第2章 传感器的一般特性	7
2.1 传感器的静特性	7
2.1.1 测量范围和量程	7
2.1.2 线性度(非线性误差)	8
2.1.3 迟滞	9
2.1.4 重复性	10
2.1.5 灵敏度与灵敏度误差	10
2.1.6 分辨力与阈值	11
2.1.7 稳定性	11
2.1.8 漂移	11
2.1.9 精确度(精度)	12
2.1.10 误差表达	12
2.2 传感器的动态特性	13
2.2.1 动态特性的一般模型	13
2.2.2 传感器对任意输入信号的时域响应与脉冲响应函数	15
2.2.3 传感器的频率响应特性	17
2.2.4 传感器典型环节的动态响应	18
2.2.5 传感器的无失真检测条件	21
2.2.6 传感器的动态性能指标	22
2.3 传感器的标定与校准	23
2.3.1 传感器的标定	23
2.3.2 传感器的静态标定	24
2.3.3 传感器的动态标定	24
思考题与习题 2	26

第3章 电阻式传感器	28
3.1 应变式电阻传感器	28
3.1.1 电阻应变片的工作原理	28
3.1.2 电阻应变片的种类和材料	30
3.1.3 电阻应变片的主要特性	36
3.1.4 电阻应变片的测量电路	40
3.1.5 电阻应变片的温度误差及补偿	46
3.1.6 应变式传感器	50
3.2 压阻式传感器	57
3.2.1 压阻效应与压阻系数	57
3.2.2 结构与特性	65
3.2.3 测量电路	67
3.2.4 温度补偿	69
3.2.5 压阻式传感器及应用	69
3.3 电位器式传感器	70
3.3.1 线性电位器	71
3.3.2 非线性电位器	73
3.3.3 负载特性及负载误差	76
思考题与习题3	79
第4章 电感式传感器	81
4.1 自感式传感器	81
4.1.1 工作原理	81
4.1.2 结构形式及特性	82
4.1.3 转换电路	85
4.1.4 误差分析	87
4.1.5 自感式传感器的应用	88
4.2 差动变压器式传感器	89
4.2.1 工作原理	89
4.2.2 结构形式及特性	91
4.2.3 转换电路	93
4.2.4 误差分析	94
4.2.5 差动变压器的应用	94
4.3 电涡流式传感器	97
4.3.1 工作原理及等效电路	97
4.3.2 结构特点	99
4.3.3 转换电路	100
4.3.4 电涡流式传感器的应用	102
4.4 自感式和差动变压器式传感器设计	104
4.4.1 设计步骤	105

4.4.2 设计举例	107
思考题与习题 4	109
第 5 章 电容式传感器	111
5.1 工作原理、类型及性能	111
5.1.1 工作原理	111
5.1.2 基本类型	111
5.1.3 主要性能	116
5.2 转换电路	118
5.2.1 电容式传感器的等效电路	118
5.2.2 电桥电路	119
5.2.3 运算放大器式电路	121
5.3 误差分析	121
5.4 电容式传感器的特点及应用	124
5.4.1 电容式传感器的特点	124
5.4.2 电容式传感器的应用	126
思考题与习题 5	128
第 6 章 磁电式传感器	130
6.1 磁电式传感器理论基础	130
6.2 磁电式传感器	131
6.2.1 恒定磁通磁电式传感器	131
6.2.2 变磁阻磁电式传感器	132
6.3 磁电式传感器设计基础	133
6.3.1 磁路设计	133
6.3.2 线圈参数计算与设计	138
6.3.3 传感器固有频率的确定及弹簧刚度的计算	139
6.3.4 阻尼器设计及阻尼系数的计算	142
6.4 磁电式传感器的误差	143
6.4.1 电流和电压灵敏度的误差	143
6.4.2 温度误差	144
6.4.3 永久磁铁不稳定误差	145
6.4.4 非线性误差	145
6.5 磁电式传感器的应用	146
6.5.1 振动测量	146
6.5.2 扭矩测量	148
6.5.3 流量测量	148
思考题与习题 6	149
第 7 章 压电式传感器	150
7.1 压电效应与压电材料	150
7.1.1 压电效应	150

7.1.2 压电材料	154
7.2 压电式传感器测量电路	157
7.2.1 压电式传感器等效电路	157
7.2.2 电压放大器	158
7.2.3 电荷放大器	160
7.3 压电式传感器的误差	161
7.3.1 环境温度的影响	161
7.3.2 环境湿度的影响	162
7.3.3 横向灵敏度	163
7.3.4 基座应变的影响	163
7.3.5 电缆噪声	163
7.3.6 接地回路噪声	164
7.4 压电式传感器的应用	164
7.4.1 压电式加速度传感器	164
7.4.2 压电式力传感器	170
7.4.3 压电式压力传感器	171
7.4.4 压电式超声波传感器	173
7.4.5 压电式微位移传感器	175
思考题与习题 7	175
第 8 章 光电式传感器	177
8.1 光电效应及光电器件	177
8.1.1 光电效应	177
8.1.2 外光电型光电器件	179
8.1.3 光电导型光电器件	180
8.1.4 光伏型光电器件	184
8.1.5 光电传感器的应用	189
8.2 光纤传感器	191
8.2.1 光纤的结构和传光原理	191
8.2.2 光纤的性能	192
8.2.3 光纤传感器及应用	193
8.3 电荷耦合器件	204
8.3.1 CCD 的基本结构和工作原理	205
8.3.2 电荷的注入和输出	206
8.3.3 CCD 图像传感器	207
8.3.4 CCD 的主要参数	209
8.3.5 CCD 传感器的应用	211
思考题与习题 8	213
第 9 章 热电式传感器	214
9.1 热电偶传感器	214

9.1.1	热电偶测温原理	214
9.1.2	热电偶的基本定律	216
9.1.3	热电偶传感器	218
9.1.4	热电偶的误差及补偿措施	222
9.1.5	热电偶的标定	228
9.2	热电阻传感器	230
9.2.1	热电阻测温原理	230
9.2.2	金属热电阻	230
9.2.3	半导体热敏电阻	232
9.3	其他测温传感器	236
9.3.1	晶体管 PN 结温度传感器	236
9.3.2	晶体三极管温度传感器	237
9.3.3	集成温度传感器	238
9.3.4	薄膜热敏传感器	238
思考题与习题 9		239
第 10 章 气、湿敏传感器		240
10.1	气敏传感器	240
10.1.1	半导体气敏传感器	240
10.1.2	固体电解质气敏传感器	243
10.2	湿敏传感器	244
10.2.1	烧结型半导体陶瓷湿敏传感器	244
10.2.2	多孔氧化物湿敏传感器	247
10.2.3	结型和 MOS 型湿敏传感器	250
10.2.4	其它湿敏传感器	251
10.3	气、湿敏传感器的应用	253
10.3.1	自动吸排油烟机	254
10.3.2	便携式缺氧监视器	255
10.3.3	SMC-2 型湿度传感器的应用	256
10.3.4	自动去湿器	257
10.3.5	自动烹调湿度检测系统	257
思考题与习题 10		258
第 11 章 磁敏传感器		259
11.1	霍尔传感器	259
11.1.1	霍尔效应	259
11.1.2	霍尔元件	260
11.1.3	霍尔传感器的应用	268
11.2	磁阻传感器	271
11.2.1	磁阻效应	271
11.2.2	磁阻元件	271

11.2.3 磁阻传感器的应用	272
11.3 磁敏二极管和磁敏三极管.....	274
11.3.1 磁敏二极管	275
11.3.2 磁敏三极管	278
11.3.3 磁敏二极管和磁敏三极管的应用	281
思考题与习题 11	283
第 12 章 智能传感器	284
12.1 概述.....	284
12.1.1 智能传感器的概念	284
12.1.2 智能传感器的特点及结构	284
12.2 智能传感器的数据采集.....	285
12.2.1 信号的预处理	285
12.2.2 数据采集	285
12.3 智能传感器的数据处理技术.....	287
12.3.1 标度变换技术	288
12.3.2 非线性补偿技术	289
12.3.3 温度误差补偿技术	291
12.3.4 数字滤波技术	293
12.4 智能传感器设计.....	294
12.4.1 结构设计	295
12.4.2 敏感元件设计	295
12.4.3 传感器工艺设计	295
12.4.4 软件设计	296
思考题与习题 12	297
参考文献.....	298

第1章 绪 论

1.1 传感器技术概述

1.1.1 传感器技术与信息技术

在信息化时代发展过程中,高科技的快速发展是重要标志。作为当今高科技的重要组成部分,电脑、各类智能仪器、机器人技术得到了越来越广泛的应用。在电子信息工程应用中,各种信息的感知、采集、转换、传输和处理都需要必不可少的“感觉器官”,这就是传感器,也被称为“电五官”。实际上,目前一些传感器具有的功能已经超出人类五官感知信息的功能。

传感器技术已经成为各个应用领域,特别是电子信息工程、自动控制工程、机械工程等领域中不可缺少的重要技术。对各种信息的有效获取是信息技术发展的关键。

传感器是信息采集系统的首要部件,是实现现代化测量和自动控制的主要环节,是现代信息产业的源头,又是信息社会赖以存在和发展的物质与技术基础。当今社会是信息化的社会,传感技术与信息技术、计算机技术并列称为支撑现代信息产业的三大支柱。可以设想,若没有精度高和性能可靠的传感器,没有先进的传感器技术,那么信息的准确获取将无从谈起,信息技术与计算机技术将成为无源之水。目前,从宇宙探索、海洋开发、环境保护、灾情预报到包括生命科学在内的每一项现代科学技术的研究以及人类的日常生活,几乎无一不与传感器和传感器技术紧密联系着。可见,应用、研究和开发传感器和传感器技术是信息时代的必然要求。

1.1.2 自动检测技术

在信息时代,对各种信息的获取几乎已经完全由自动检测来完成。自动检测技术就是人们为了对自然规律进行定性的了解和定量的掌握所采取的一系列技术措施。

自动检测技术的研究主要包括两方面内容:一个是研究如何正确地获得所需信息的方法;另一个是研究在当今电子信息时代,对所需信息进行采集、转换、传输和处理的测量仪器及自动检测系统。

自动检测技术的应用主要包括以下三个方面。

(1) 发现事物规律

其内容是测量各种所需参数,找出满足各种参数关系的数学模型。

(2) 验证事物规律

建立已知事物运动规律的数学模型,将测量所需参数代入数学模型,验证所测参数的正确性。

(3) 控制事物规律

按照给定的规律(数学模型)和给定的参数,进行自动控制,达到预期的效果,称为过程测控。

自动检测系统是自动完成这三方面任务之一的装置,它是检测器和研究对象的总和。通常可分为闭环和开环两种。

1.2 传感器的定义、组成及分类

1.2.1 传感器的定义

传感器是一种装置或器件。国家标准 GB 7665—87 给传感器的定义是: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,通常由敏感元件和转换元件组成。这里所说的“可用输出信号”是指便于加工处理、便于传输利用的信号。当今电信号是最易于处理和传输的信号,因此可以把传感器狭义地定义为:将非电信号转换为电信号的器件。但目前光信息技术已经异军突起,可以预料当人类跨入光子时代,光信息成为便于快速、高效地处理与传输的可用信号时,传感器的概念也会随之发展为:能把外界信息转换成光信号输出的器件。

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的另一种量的测量装置。传感器的定义包含四个方面的内容: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,可能是物理量,也可能是化学量、生物量等;③它的输出量是某种物理量,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,目前主要是电量;④输出和输入有对应关系,且应有一定的精确度。

1.2.2 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成,组成框图如图 1-1 所示。

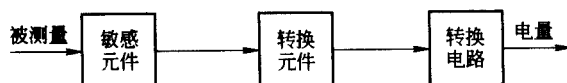


图 1-1 传感器组成框图

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种量的元件。图 1-2 是一种气体压力传感器的示意图。膜盒 2 的下半部与壳体 1 固定连接,上半部通过连杆与磁芯 4 相连,磁芯 4 置于两个电感线圈 3 中,电感线圈接入转换电路 5。这里的膜盒就是敏感元件,其外部与大气压力 p_0 相通,内部与被测量压力 p 相通。当 p 变化时,引起膜盒上半部移动,即输出相应的位移量。

2. 转换元件

敏感元件的输出量就是转换元件的输入量,转换元件把输入量转换成电路参量。在图 1-2 中,转换元

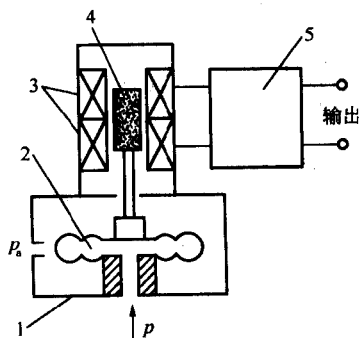


图 1-2 压力传感器

1—壳体 2—膜盒 3—电感线圈
4—磁芯 5—转换电路

件是电感线圈3,它把输入的位移量转换成电感的变化。

3. 转换电路

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。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,其中的质量块是敏感元件,压电片(块)是转换元件。有些传感器,转换元件不只一个,要经过若干次转换。

敏感元件与转换元件在结构上常是装在一起的。为了减小外界的影响也希望将转换电路和它们装在一起,不过由于空间的限制或者其他原因,转换电路常置于传感器外部。尽管如此,因为不少传感器要在通过转换电路之后才能输出电量信号,从而决定了转换电路是传感器的组成环节之一。这里顺便说明一下:一般情况下,转换电路后面的后续电路,如信号放大、处理、显示等电路,就不再包括在传感器范围之内了。

1.2.3 传感器的分类

传感器行业是一个知识密集、技术密集的行业,它与许多学科有关,其种类繁多。为了更好地掌握它、应用它,需要有一个科学的分类方法。下面将目前常用的分类方法做一个简单介绍。

1. 按传感器的工作机理分类

按传感器的工作机理不同,可分为结构型、物性型和复合型三类。

结构型传感器是利用物理学定律等构成的,其性能与构成材料关系不大。这是一类其结构的几何尺寸(如厚度、角度、位置等)在被测量作用下会发生变化,并可获得比例于被测非电量的电信号的敏感元器件或装置。例如用于测量压力位移、流量、温度的力平衡式、电容式、电感式等的传感器。这类传感器开发得最早,至今仍然广泛应用于工业过程检测设备中。

物性型传感器是利用物质的某种或某些客观属性构成的,其性能因构成材料的不同而有明显区别。这是一类由其构成材料的物理特性、化学特性或生物特性直接敏感于被测非电量,并可将被测非电量转换成电信号的敏感元器件或装置。由于它的“敏感体”就是材料本身,故不存在显著的结构特征,也无所谓“结构变化”,所以这类传感器通常具有响应快的特点;又因为它多以半导体为敏感材料,故易于集成化、小型化、智能化,显然,这对于与微型计算机接口是有利的。所有半导体传感器,以及一切利用因环境发生变化而导致本身性能发生变化的金属、陶瓷、合金等制成的传感器都属于物性型传感器。

复合型传感器是指将中间转换环节与物性型敏感元件复合而成的传感器。采用中间环节是因为在大多数被测非电量中,只有少数(如应变、光、磁、热、水分和某些气体)可直接利用某些敏感材料的物质特性转换成电信号。为了增加非电量的测量种类,必须将不能直接转换成电信号的非电量变换成上述少数量中的一种,然后再利用相应的物性型敏感元件将其转换成电信号。可见,复合型传感器实际上是既具有将被测非电量先变换成中间信号的

功能,又具有将该中间信号随即转换成电信号的功能的一类敏感元器件或装置。因此,这类传感器的性能不仅与物性型敏感元件的优劣及选用得当与否密切相关,而且还与中间转换环节设计的好坏及选用恰当与否有关系。

2. 按传感器的能量转换分类

根据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号变换过程中,其能量需要外电源供给。如电阻式、电感式、电容式等电路参量式传感器都属于这一类。基于应变电阻效应、磁阻效应、热阻效应、霍尔效应等的传感器也属此类。

能量转换型传感器同时又是能量变换元件。在信号变换过程中,它不需要外电源。如基于压电效应、热电效应等的传感器均属此类。

3. 按传感器的测量原理分类

这种分类方法以传感器的测量原理为分类依据,见表 1-1。

表 1-1 传感器按测量原理的分类

测量原理	传感器举例
变电阻	应变式、压阻式、电位器式等传感器
变磁阻	自感式、差动变压器式、电涡流式等传感器
变电容	电容式传感器
变电势	热电偶式、霍尔式等传感器
变电荷	压电式传感器

有些传感器的测量原理是两种或两种以上测量原理的复合,如半导体式传感器。根据测量原理分类的优点是对于传感器的测量原理比较清楚,有利于触类旁通,且划分类别少。本书就是以传感器的测量原理为分类依据编写的。

4. 按传感器的输入量分类

这种方法是根据输入物理量的性质进行的分类。表 1-2 给出了传感器输入的基本被测量和由此派生的其他量。

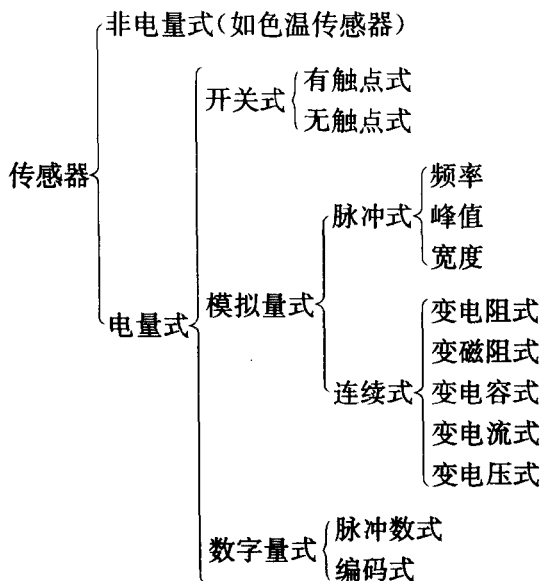
表 1-2 传感器输入的被测量

基本被测量	派生的被测量
机械量	位移、尺寸、形状、力、应力、力矩、振动、加速度、噪声等
热工量	温度、热量、比热、压力、压差、流量、流速、风速、真空度等
物理、化学量	气体(液体)的化学成分、浓度、盐度、粘度、湿度、密度、比重等
生物医学量	心音、血压、体温、气流量、心电流、眼压、脑电波等

这种分类方法的优点是比较明确地表达了传感器的用途,便于使用者根据不同的用途选用。但名目繁多,对建立传感器的一些基本概念、掌握基本原理及分析方法是不利的。

5. 按传感器的输出信号形式分类

这种分类方法是根据传感器输出信号的不同进行的分类,归纳如下。



1.3 传感器发展的新趋势

随着现代科学技术,特别是大规模集成电路技术的飞速发展和电脑的普及,传感器在新的技术革命中的地位和作用将更为突出,一股竞相开发与应用传感器的热潮已在世界范围内掀起。这是因为:①“电五官”落后于“电脑”的现状,已成为微型计算机进一步开发与应用的一大障碍;②许多有竞争力的新产品的开发和卓有成效的技术改造,都离不开传感器;③传感器的应用直接带来了明显的经济效益和社会效益;④传感器普及于社会各个领域,具有良好的销售前景。

目前的传感器,无论是在数量上、质量上还是功能上,还远不适应社会多方面发展的需要。当前,人们在充分利用先进的电子技术条件、研究和采用合适的外部电路以及最大限度地提高现有传感器的性能价格比的同时,正在寻求传感器技术发展的新途径。传感器发展的新趋势如下。

(1) 开发新型传感器

鉴于传感器的工作机理是基于各种效应和定律,由此启发人们进一步探索具有新效应的敏感功能材料,并以此研制出基于新原理的传感器。这是发展高性能、多功能、低成本和小型化传感器的重要途径。其中利用量子力学诸效应研制的高灵敏度传感器来检测极微弱信号,是传感器技术发展的新趋势之一。

(2) 传感器的集成化和多功能化

固态功能材料——半导体、电介质、强磁体的进一步开发和集成技术的不断发展,为传感器集成化开辟了广阔的前景。所谓集成化,就是在同一芯片上将众多同一类型的单个传感器集成为一维线型、二维阵列(面)型传感器,或将传感器与调理、补偿等电路集成一体化。前一种集成化使传感器的检测参数由点到线到面到体的扩展,甚至能加上时序,变单参数检测为多参数检测;后一种传感器由单一的信号变换功能,扩展为兼有放大、运算、误差补偿等多种功能。

(3) 传感器的智能化

“电五官”与“电脑”的结合就是传感器的智能化。智能化传感器不仅具有信号检测、转换功能,同时还具有记忆、存储、分析、统计处理,及自诊断、自校准、自适应等功能。如进一步将传感器与计算机的这些功能集成于同一芯片上,就成为智能传感器。它的特点如下。

① 自补偿功能。对信号检测过程中的非线性误差、温度变化及其导致的信号零点漂移和灵敏度漂移、响应时间延迟、噪声与交叉感应等效应的补偿功能。

② 自诊断功能。接通电源时系统的自检;系统工作时实现运行的自检;系统发生故障时的自诊断,确定故障的位置与部件等。

③ 自校正功能。系统中参数的设置与检查;测试中的自动量程转换;被测参数的自动运算等。

④ 数据的自动存储、分析、处理与传输等。

⑤ 微处理器与微型计算机和基本传感器之间具有双向通信功能。

(4) 研究生物感官,开发仿生传感器

大自然是生物传感器的“优秀设计师”。它通过漫长的岁月,不仅造就了集多种感官于一身的人类,而且还设计了许多功能奇特、性能优越的生物传感器。例如,狗的嗅觉(灵敏度为人的 10^6 倍),鸟的视觉(视力为人的 $8 \sim 50$ 倍),蝙蝠、飞蛾、海豚的听觉(主动型生物雷达——超声波传感器),蛇的接近觉(分辨力达 0.001°C 的红外测温传感器)等。这些生物的感官功能是当今传感器技术望尘莫及的。研究它们的机理,开发仿生传感器,是引人注目的方向。

传感器在工业、国防等方面的应用越来越广泛,所处的地位越来越重要。传感器正向着新型化、集成化和多功能化、智能化及开发仿生传感器的方向发展。

思考题与习题 1

- 1-1 什么是传感器、自动检测技术?
- 1-2 画出传感器的组成框图,并说明各组成部分的作用。
- 1-3 简述传感器的分类。
- 1-4 通过互联网或其他信息源调研传感器发展的新趋势。

第2章 传感器的一般特性

2.1 传感器的静特性

传感器的静特性是指传感器在输入量的各个值处于稳定状态时,输出与输入的关系,即当输入量是常量或变化极慢时,输出与输入的关系。

人们总是希望传感器的输出与输入成惟一的对应关系,而且最好成线性关系。但一般情况下,输出与输入关系不会完全符合所要求的线性关系,同时由于存在着迟滞、蠕变、摩擦、间隙和松动等各种因素的影响以及外界条件的干扰,使输出与输入对应关系的惟一性也不能实现。衡量传感器静态特性的主要技术指标有线性度、测量范围和量程、重复性、迟滞、灵敏度等。

2.1.1 测量范围和量程

传感器所能测量的最大被测量(即输入量)的数值称为测量上限,最小被测量则称为测量下限。用测量下限和测量上限表示的测量区间则称为测量范围,简称范围。

测量范围有单向的(只有正向或负向)、双向对称的、双向不对称的和无零值的。

测量上限和测量下限的代数差为量程。即

$$\text{量程} = \text{测量上限} - \text{测量下限}$$

这里,以一个力传感器为例说明测量范围和量程。

- ① 测量范围为 $0 \sim +10 \text{ N}$, 量程为 10 N ;
- ② 测量范围为 $-10 \sim +10 \text{ N}$, 量程为 20 N ;
- ③ 测量范围为 $-3 \sim +10 \text{ N}$, 量程为 13 N ;
- ④ 测量范围为 $+2 \sim +10 \text{ N}$, 量程为 8 N 。

图 2-1 中(a)、(c)、(c)、(d)图分别说明了上面的四种情况。

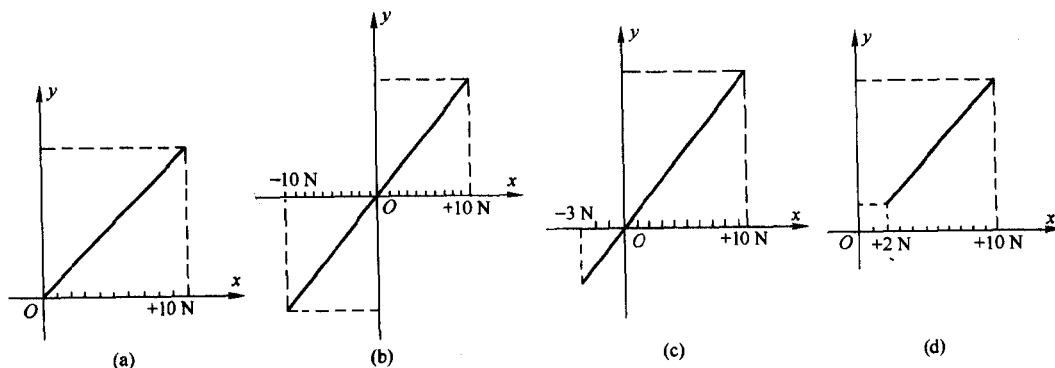


图 2-1 测量范围和量程的例图