

高等院校机械类专业教材

- 汇集典型工程案例
- 注重实际工程应用
- 融合教学科研经验
- 兼顾理论性实践性

传感器原理与应用

CHUAN'GANQI YUANLI YU YINGYONG

刘利秋 主编 卢艳军 徐涛 副主编

清华大学出版社

传感器原理与应用

刘利秋 主 编
卢艳军 徐 涛 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本教材吸取了作者多年的教学经验和科研成果,从实用的角度出发,以案例教学思路编排内容。书中理论知识全面,汇集大量典型工程应用案例,涉及理论技术领域广泛。本教材具有理论性、系统性、应用性和创新性四大特色。

本教材内容分为三大部分,共9章,详细介绍了传感器技术基础、传统传感器原理与应用、现代传感器原理与应用等内容。编写中注重结合典型工程应用案例分析,加强理论性,兼顾系统性,提升应用性,激发创新性。

本教材可作为高等学校机械类专业及相近专业本科生的教材,也可供大专、高职等有关专业选用,还可以作为相关专业高等学校教师及工程技术人员参考书。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与应用 / 刘利秋 主编. —北京:清华大学出版社, 2015

ISBN 978-7-302-40099-8

I. ①传… II. ①刘… III. ①传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 089656 号

责任编辑:刘金喜

封面设计:思创景点

责任校对:曹 阳

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62796045

印 装 者:三河市吉祥印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19

字 数:474 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版

印 次:2015 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:36.00 元

产品编号:059189-01

前 言

传感器是人们获取信息的工具,是人类感知器官的延伸,它能更加精密地探知人类器官所能感知和不能感知的外部世界信息。传感器技术是现代信息技术(包括传感与控制技术、通信技术和计算机技术)的三大支柱之一。一切科学研究与自动化生产过程都需要通过传感器获取准确的工程信息,因而传感器技术是现代高科技发展的关键。本书将对传感器测量系统特性和常用信号调理电路功能进行简介,并对传统和现代传感器的测量原理、测量特性、应用特点及其典型应用案例进行深入剖析。

本教材遵循传感器原理与应用课程教学大纲设置编写内容,理论体系全面具体,设有大量理论知识基础型的思考与练习题和实践能力提升型的分析设计题,以便读者巩固所学基础理论、提升实践能力。本书以传感器测量系统基础理论和综合应用设计为学习目标,全书内容分为传感器技术基础、传统传感器原理与应用、现代传感器原理与应用三大部分,共9章。

第1章绪论对传感器的基本概念、作用和地位、传感器技术的发展及本课程的特点和目的进行了简单的介绍。

第2章传感器技术概述介绍了传感器一般组成和分类、测量系统性能分析和常用信号调理电路功能及其应用。

第3章电参量型传感器详细阐述了电阻式、电感式和电容式三种电参量型传感器的测量原理、应用特点及其典型工程案例分析与设计。

第4章电量型传感器详述了电压输出型和电荷(包括电流)输出型两大类电量型传感器的测量原理、应用特点及其典型工程案例分析与设计。

第5~第9章分别介绍了几种常用的现代传感器,包括光电式、光纤式、数字式、波与射线式和其他新型传感器的测量原理、测量特性及其典型应用。

本教材以理论够用为度,实用性为根本,以案例教学模式设计编写思路。本着通过应用示例分析引出基础理论,通过具体工程应用实例案例深化基础理论,提升实践能力,培养工程素质和创新能力的主旨,将基础理论和工程案例有序、科学地结合在一起,基础理论和案例分析交叉互动,相互印证。

本书PPT课件可通过<http://www.tupwk.com.cn/downpage>下载。

本书中传感器技术基础部分(第1章和第2章)由沈阳航空航天大学的卢艳军博士编写,传统传感器原理与应用部分和现代传感器原理与应用的部分章节(第3~第7章)由沈阳航空航天大学的刘利秋副教授编写,现代传感器原理与应用部分中的第8章和第9章由沈阳航空航天大学的徐涛博士编写。

由于作者水平有限,书中不足和疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2014年6月20日

目 录

第1部分 传感器技术基础

第1章 绪论	3
1.1 传感器的基本概念	3
1.2 传感器的作用和地位	4
1.3 传感器技术的发展	5
1.4 本课程的特点和目的	7
思考与设计	8
第2章 传感器技术概述	9
2.1 传感器的组成和分类	9
2.1.1 传感器的一般组成	9
2.1.2 传感器的分类	10
2.1.3 对传感器的基本性能要求	14
2.2 传感器的基本特性	15
2.2.1 传感器的数学模型	15
2.2.2 传感器的静态特性与指标	21
2.2.3 传感器的动态特性与指标	26
2.2.4 传感器的标定和校准	31
2.2.5 传感器的选用原则	34
2.2.6 传感器不失真测量条件	35
2.3 常用信号调理电路	37
2.3.1 测量电桥	38
2.3.2 信号放大电路	42
2.3.3 信号转换电路	50
2.3.4 滤波电路	54
2.3.5 调制解调电路	60
思考与设计	65

第2部分 传统传感器原理与应用

第3章 电参量型传感器	69
3.1 电阻式传感器	69
3.1.1 电位器式传感器	69

3.1.2 电阻应变式传感器	73
3.1.3 热电阻传感器	78
3.1.4 电阻输出型半导体传感器	84
3.2 电感式传感器	92
3.2.1 自感式传感器	92
3.2.2 互感式传感器	97
3.2.3 电涡流传感器	102
3.3 电容式传感器	107
3.3.1 变极距型电容传感器	108
3.3.2 变面积型电容传感器	111
3.3.3 变介质型电容传感器	114
3.3.4 应用中存在的问题和改进措施	116
3.4 电参量型传感器测量电路	118
3.4.1 测量电路功能框图	118
3.4.2 设计示例	119
思考与设计	121
第4章 电量型传感器	125
4.1 电压输出型传感器	125
4.1.1 磁电式传感器	125
4.1.2 压磁式传感器	132
4.1.3 霍尔式传感器	136
4.1.4 热电偶传感器	141
4.2 电荷输出型传感器	148
4.2.1 压电式传感器	148
4.2.2 集成温度传感器 AD590	156
4.3 电量型传感器测量电路	158
4.3.1 测量电路功能框图	159
4.3.2 设计示例	159
思考与设计	161

第3部分 现代传感器原理与应用

第5章 光电式传感器	167
5.1 概述	167
5.2 光电式传感器的组成	168
5.2.1 光源	169
5.2.2 光电器件	171
5.3 光电式传感器及其应用	177
5.3.1 模拟式光电传感器	177
5.3.2 脉冲式光电传感器	179
5.4 新型光电器件	182
5.4.1 光位置敏感器件	182
5.4.2 固态图像传感器	182
5.4.3 半导体色敏器件	183
思考与设计	184
第6章 光纤式传感器	187
6.1 概述	187
6.2 光纤波导原理	188
6.2.1 光的全反射原理	188
6.2.2 光纤的结构和传光原理	188
6.2.3 光纤的分类	189
6.2.4 光纤的主要参数	190
6.3 光纤式传感器的组成和分类	191
6.3.1 光纤式传感器的组成	191
6.3.2 光纤式传感器的分类	191
6.4 光纤式传感器的应用	194
6.5 应用案例	195
6.5.1 光纤振动测量仪	195
6.5.2 光纤温度开关	196
6.5.3 光纤涡流流量计	197
思考与设计	198
第7章 数字式传感器	199
7.1 感应同步器	199
7.1.1 结构和类型	199
7.1.2 工作原理	201

7.1.3 应用特性	204
7.1.4 应用案例	205
7.2 编码器	206
7.2.1 绝对编码器	207
7.2.2 增量编码器	209
7.2.3 应用特性	210
7.2.4 应用案例	211
7.3 光栅传感器	212
7.3.1 结构和类型	212
7.3.2 工作原理	213
7.3.3 应用特性	218
7.3.4 应用案例	218
7.4 磁栅传感器	220
7.4.1 磁栅	220
7.4.2 磁头	221
7.4.3 信号处理方式	223
7.4.4 应用特性	224
7.4.5 应用案例	224
7.5 容栅传感器	225
7.5.1 结构和类型	226
7.5.2 工作原理	226
7.5.3 信号处理方式	227
7.5.4 应用特性	229
7.5.5 应用案例	229
7.6 谐振式传感器	230
7.6.1 RC 频率式传感器	230
7.6.2 石英晶体频率式传感器	230
7.6.3 弹性振体频率式传感器	231
7.6.4 应用案例	233
思考与设计	236
第8章 波与射线式传感器	237
8.1 超声波传感器	237
8.1.1 超声波传感器的结构	237
8.1.2 超声波传感器的基本原理	238
8.1.3 超声波传感器的基本特性	239
8.1.4 超声波传感器专用器件	241

8.2 微波传感器	245	9.1.2 生物传感技术的分子识别 原理	270
8.2.1 微波的性质与特点	245	9.1.3 酶传感器	272
8.2.2 微波传感器原理	245	9.1.4 微生物传感器	273
8.2.3 微波传感器的分类与特点	246	9.1.5 免疫传感器	275
8.2.4 微波传感器的应用	247	9.2 机器人传感器	276
8.3 红外线传感器	250	9.2.1 视觉传感器	276
8.3.1 红外线概述	250	9.2.2 听觉传感器	278
8.3.2 红外线传感器的工作原理	251	9.2.3 接触觉传感器	279
8.3.3 红外线传感器应用电路	255	9.2.4 压觉传感器	280
8.3.4 红外线防盗报警器	257	9.3 微机电传感器	281
8.4 激光传感器	258	9.3.1 微传感器	281
8.4.1 激光产生机理	258	9.3.2 微机电传感器的基础理论和 技术基础	281
8.4.2 激光特性	259	9.3.3 几种典型的微机电传感器	283
8.4.3 激光器的类型	260	9.4 智能传感器	287
8.4.4 激光传感器的应用	260	9.4.1 智能传感器基础	287
8.5 核辐射传感器	263	9.4.2 智能传感器的结构和功能	288
8.5.1 核辐射粒子	263	9.4.3 智能传感器的硬件结构	289
8.5.2 辐射源的特性	264	9.4.4 智能传感器的软件设计	289
8.5.3 核辐射传感器原理	266	思考与设计	292
思考与设计	268	参考文献	293
第9章 其他新型传感器	269		
9.1 生物传感器	269		
9.1.1 生物传感器的工作原理和 分类	269		

第 1 部分

传感器技术基础

第1章 绪 论

在人类进入信息时代的今天,人们的一切社会活动都是以信息获取与信息转换为中心,获取自然界信息已成为几乎所有自然科学与工程技术领域的共同要求。因此,信息科学就成为了信息时代的必然产物。检测技术作为信息科学的一个重要分支,与计算机技术、自动控制技术和通信技术等一起构成了信息技术的完整学科。传感器作为信息获取与信息转换的重要手段,是信息科学最前端的一个阵地,是实现信息化的基础技术之一。“没有传感器就没有现代科学技术”的观点已为全世界所公认。如今,传感器技术已经成为基础科学研究与现代信息技术相互融合的新领域,它集合了物理、材料、电子和计算机等多种学科的成果,是人类获取自然界信息、实现测量、测试和控制的源头和关键。

1.1 传感器的基本概念

传感器(Transducer/Sensor)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、便于应用的某种物理量的测量装置,能完成检测任务;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;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,但主要是电量;输入/输出的转换规律(关系)已知,转换精度要满足测控系统的应用要求。传感器应用场合(领域)不同,叫法也不同。如在过程控制中叫作变送器(标准化的传感器),在射线检测中则称为发送器、接收器或探头等。

最广义地说,传感器是一种能把物理量或化学量转变成便于利用的电信号的器件。国际电工委员会(IEC, International Electrotechnical Commission)的定义为:“传感器是测量系统中的一种前置部件,它将输入变量转换成可供测量的信号”。按照 Gopel 等的说法是:“传感器是包括承载体和电路连接的敏感元件”,而“传感器系统则是组合有某种信息处理(模拟或数字)能力的系统”。传感器是传感器系统的一个组成部分,它是被测量信号输入的第一道关口。

国家标准 GB 7665—1987 对传感器下的定义是:“能感受规定的被测量件并按照一定的规律(数学函数法则)转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成”。

在《韦氏新国际词典》中“传感器”的定义为:“从一个系统接受功率,通常以另一种形式将功率送到第二个系统中的器件”。根据这个定义,传感器的作用是将一种能量转换成另一种能量形式,所以不少学者也用“换能器(Transducer)”来称谓“传感器”。

中国物联网校企联盟认为,传感器的存在和发展,让物体有了触觉、味觉和嗅觉等感官,让物体慢慢变得活了起来。如今,传感器的品种已经非常多,而且原理各异,应用领域也越来越广泛,可以说每一个自动化项目都离不开传感器。

1.2 传感器的作用和地位

在信息技术高速发展、电子计算机广泛应用的今天，担负着信息采集任务的传感器在社会生活、自动控制及信息处理技术中发挥着越来越重要的作用，越来越多的传感器服务于我们的生活和工作，可以说当今社会，几乎没有任何一种科学技术的发展及应用能够离得开传感器和信号探测技术的支持。传感器是获取信息的主要途径和手段，没有传感器，现代化生产就失去了基础。

人们为了从外界获取信息，必须借助于感觉器官。而单靠人们自身的感觉器官，在研究自然现象和规律以及生产活动中，它们的功能就远远不够了。为适应这种情况，就需要传感器。因此可以说，传感器是人类五官的延长，又称为电五官。由此可见：传感器的作用就是感觉、感知和传送。

在人体系统中，人类有五大感觉器官，即眼、耳、鼻、舌、皮肤，人体通过这些感觉器官感知外界信息。在机器系统中，传感器是各种机械和电子设备的感觉器官——能感知光、色、温度、压力、声音、湿度、气味及辐射等，从而获取外界的信息。人机系统的对应关系如图 1.1 所示。可见，传感器是机器系统探知外界信息的触角，它可以探测到人的感觉器官无法感知的信息，尤其可以适应人体无法忍受的高温、高压、高辐射等恶劣环境，而且能够获取人体所不能感知的高频、高能、微电磁场、射线等各种信息。

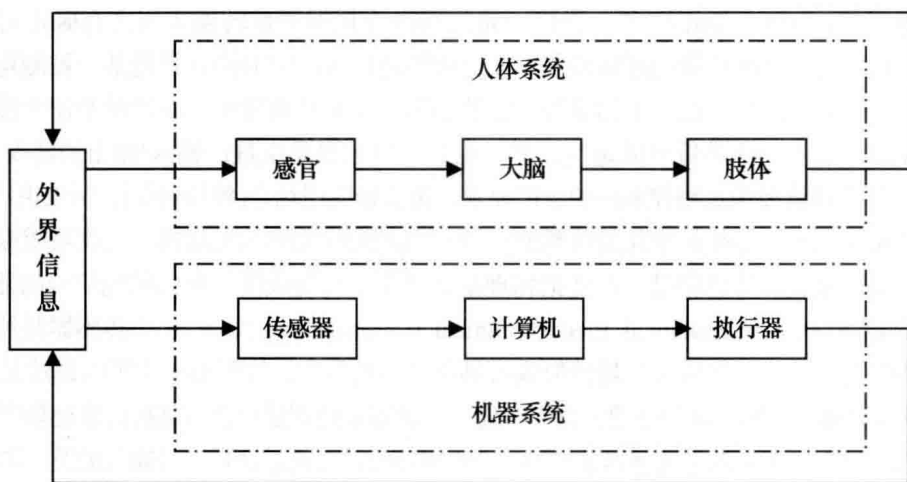


图 1.1 人机系统的对应关系

传感器处于被测量与控制系统的接口位置，是感知、获取与检测自然界信息的窗口，更是现代检测技术和自动控制技术的重要基础。如今，传感器已经渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程，甚至文物保护等极其广泛的领域。从茫茫的太空到浩瀚的海洋，以及各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。例如，生活中常见的汽车，由于越来越多的部件采用电子控制，如电控喷油喷射、废气排放、刹车防抱死系统、自动空调、大灯亮度控制、驾驶座位自动调整、转向控制、电控悬挂等。这些电子自动控制的实现完全依赖传感器的信息反馈。据统计，目前一般轿车上大约有几十种传感器，高级轿车有 100 多种传感器。例如，美国阿波罗 10 号

飞船共使用了 3295 个传感器。

传感器是获取自然和生产领域中信息的主要途径与手段。在现代工业生产尤其自动化生产过程中,要用各种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数,使设备工作在正常状态或最佳状态,并使产品达到最好的质量。因此可以说,没有众多的优良的传感器,现代化生产也就失去了基础。在基础学科研究中,传感器更具有突出的地位。现代科学技术的发展,进入了许多新领域,例如在宏观上要观察上千光年的茫茫宇宙,微观上要观察小到飞米(fm)的粒子世界,纵向上要观察长达数十万年的天体演化,短到秒(s)的瞬间反应。此外,还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术研究,如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等。显然,要获取大量人类感官无法直接获取的信息,没有相适应的传感器是不可能的。许多基础科学研究的障碍,首先就在于对象信息的获取存在困难,而一些新机理和高灵敏度的检测传感器的出现,往往会导致该领域内的突破。一些传感器的发展,往往是一些边缘学科开发的先驱。

由此可见,传感器技术在发展经济、推动社会进步方面的重要作用,是十分明显的。世界各国都十分重视这一领域的发展。相信不久的将来,传感器技术将会出现一个飞跃,达到与其重要地位相称的新水平。

1.3 传感器技术的发展

传感器在科学技术领域、工农业生产以及日常生活中发挥着越来越重要的作用。人类社会对传感器提出的越来越高的要求是传感器技术发展的强大动力,而现代科学技术突飞猛进的发展则为传感器技术的发展提供了坚强的后盾。随着科技的发展,传感器技术也在不断地更新发展。

1. 新型传感器的开发

新型传感器大致应包括:①采用新原理;②填补传感器空白;③仿生传感器等多方面。它们之间是互相联系的。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,并以此研制出具有新原理的新型物性型传感器件,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。结构型传感器发展得较早,目前日趋成熟。结构型传感器,一般说它的结构复杂,体积偏大,价格偏高。物性型传感器大致与之相反,具有不少诱人的优点,加之过去发展也不够,世界各国都在物性型传感器方面投入大量人力、物力加强研究,从而使它成为一个值得注意的发展动向。

2. 集成化、多功能化和智能化

传感器集成化包括两种定义,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用集成工艺在同一平面上排列起来,排成一维的为线性传感器,如 CCD 图像传感器。

集成化的另一个定义是多功能一体化,即将传感器与放大、运算以及温度补偿等环节一体化,组装成一个器件。随着集成化技术的发展,各类混合集成和单片集成式的传感器相继出现,有的已经成为商品,如集成化压力传感器(压阻式、电容式)。

传感器的多功能化也是其发展方向之一。把多个功能不同的传感元件集成在一起,除可同时进行多种参数的测量外,还可对这些参数的测量结果进行综合处理和评价,可反映出被测系统的整体状态。例如我国研制出的复合式热阻传感器,就可以同时测量压力与温度。另一个多功能化的典型实例是美国某大学传感器研究发展中心研制的单片硅多维力传感器,可以同时测量3个线速度、3个离心加速度(角速度)和3个角加速度。主要元件是由4个正确设计安装在一个基板上的悬臂梁组成的单片硅结构,9个正确布置在各个悬臂梁上的压阻敏感元件。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。

传感器的智能化是指将传感器与微处理机相结合,借助于半导体集成化技术把传感器与信号预处理电路、输入/输出接口、微处理器等制作在同一块芯片上,使之不仅具有检测功能,还具有信息处理、逻辑判断、自诊断及“思维”等人工智能,即成为大规模集成智能传感器。可以说智能传感器是传感器技术与大规模集成电路技术相结合的产物,它的实现将取决于传感技术与半导体集成化工艺水平的提高与发展。这类传感器具有多能、高性能、体积小、适宜大批量生产和使用方便等优点,是传感器重要的方向之一。

同一般传感器相比,智能式传感器有以下几个显著特点:

(1) 精度高。由于智能式传感器具有信息处理的功能,因此通过软件不仅可以修正各种确定性系统误差(如传感器输入/输出的非线性误差、温度误差、零点误差、正反行程误差等),而且还可以适当地补偿随机误差,降低噪声,从而使传感器的精度大大提高。

(2) 稳定、可靠性好。它具有自诊断、自校准和数据存储功能,对于智能结构系统还有自适应功能。

(3) 检测与处理方便。它不仅具有一定的可编程自动化能力,可根据检测对象或条件的改变,方便地改变量程及输出数据的形式等,而且输出数据可通过串行或并行通信线直接送入远程计算机进行处理。

(4) 功能广。不仅可以实现多传感器多参数综合测量,扩大测量与使用范围,而且可以有多种形式输出(如RS-232 串行输出、PIO 并行输出、IEEE-488 总线输出以及经D/A 转换后的模拟量输出等)。

(5) 性能价格比高。在相同精度条件下,多功能智能式传感器与单一功能的普通传感器相比,其性能价格比高,尤其在采用比较便宜的单片机后更为明显。

3. 新材料开发

传感器材料是传感器技术的重要基础,是传感器技术升级的重要支撑。随着材料科学的飞速发展,人们已研制、设计与制造出各种用于传感器的新功能材料。

除了早期使用的半导体材料、陶瓷材料以外,光导纤维以及超导材料的开发为传感器的发展提供了物质基础。例如,根据以硅为基体的许多半导体材料易于微型化、集成化、多功能化、智能化,以及半导体光热探测器具有灵敏度高、精度高、非接触性等特点,发展红外线传感器、激光传感器、光纤传感器等现代传感器。在敏感材料中,陶瓷材料、有机材料发展很快,可采用不同的配方混合原料,在精密调配化学成分的基础上,经过高精度成型烧结,得到对某一种或某几种气体具有识别功能的敏感材料,用于制成新型气体传感器。此外,高分子有机敏感材料是近几年人们极为关注的具有应用潜力的新型敏感材料,可制成热敏、光

敏、气敏、湿敏、力敏、离子敏和生物敏等传感器。传感器技术的不断发展,也促进了更新型材料的开发,如纳米材料等。美国 NRC 公司已开发出纳米 ZrO_2 气体传感器,控制机动车辆尾气的排放,对净化环境效果很好,应用前景比较广阔。由于采用纳米材料制作的传感器具有庞大的界面,能提供大量的气体通道,而且导通电阻很小,有利于传感器向微型化发展,随着科学技术的不断进步将有更多的新型材料诞生。

4. 新工艺、新技术的采用

在发展新型传感器中,离不开新工艺和新技术的采用。传感器敏感元件的性能、尺寸不仅与材料有关,而且还与加工工艺及技术有关。例如,利用 IC 技术发展起来的细微加工技术,该技术又称微机械加工技术。它能加工出性能稳定、可靠性高、体积小、质量轻的敏感元件。该技术是近年来随着集成电路工艺发展起来的,它是离子束、电子束、分子束、激光束和化学刻蚀等用于微电子加工的技术,目前已越来越多地用于传感器领域,如溅射、蒸镀、等离子体刻蚀、化学气体淀积(CVD)、外延、扩散、腐蚀、光刻等,迄今已有大量采用上述工艺制成的传感器的国内外报道。

利用 IC 技术将敏感元件和信号调理电路集成在同一芯片上,就可制成低成本、高精度、超小型的集成传感器。目前,集成传感器主要使用半导体硅材料,它既可以制作磁敏、力敏、温敏、光敏和离子敏等敏感元件,又可以制作电路,便于传感器的微型化与集成化。现今一些发达国家正在把传感器与信号调理电路、辅助电源等集成在一起进行研究。

5. 智能材料

智能材料是指设计和控制材料的物理、化学、机械、电学等参数,研制出生物体材料所具有的特性或者优于生物体材料性能的人造材料。也有人认为具备对环境的判断可自适应功能,具备自诊断功能、自修复功能或自增强功能(或称时基功能)的材料也可称为智能材料。生物体材料的最突出特点是具有时基功能,因此这种传感器特性是微分型的,它对变分部分比较敏感。反之,长期处于某一环境并习惯了此环境,则灵敏度下降。一般来说,它能适应环境调节其灵敏度。除了生物体材料外,最引人注目的智能材料是形状记忆合金、形状记忆陶瓷和形状记忆聚合物。智能材料的探索工作刚刚开始,相信不久的将来会有很大的发展。

1.4 本课程的特点和目的

传感器原理与应用课程是测控、自动化、计算机应用、机电一体化等专业的专业课或专业基础课,是一门新兴的边缘学科。通过本课程的学习,使学生了解各类传感器的原理与功能、测量电路和应用范围,能对实际的检测系统提出合理的设计方案,并选择合理的检测器件和系统方案进行检测。该课程内容涉及知识面广,理论性、综合性和实践性强。

在实际应用中,传感器作为“感觉器官”,是将压力、温度、位移量等信息(或者被测量)转化成电信号,而这些转化是利用物理学、化学、生物学现象和有关效应来进行的,被测量转化成电信号的方式是各种各样的,即各类传感器的工作原理是不同的,因此,本课程信息量大,涉及的范围较广,且各章节教学内容相对独立,缺乏连续性和系统性。此外,由于传

传感器的应用领域十分广泛,大至飞机、数控机床(加工中心)、汽车,小至家用电器,因此该课程与实际结合非常紧密。

思考与设计

1. 传感器是如何定义的?举例说明传感器在信息技术中的作用。
2. 传感器应满足哪些必要条件才能快速、准确、可靠地实现信息转换?
3. 传感器技术的发展趋势如何?

第2章 传感器技术概述

2.1 传感器的组成和分类

2.1.1 传感器的一般组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、信号调理电路和辅助电源等组成,如图 2.1 所示。敏感元件是直接感受或响应规定的被测量,并按一定规律转换成与被测量有确定关系的物理量(如位移、应变、压力、光强等);转换元件将敏感元件的输出作为它的输入,转换成适于传输或测量的电路参量(如电阻、电容、电压、电荷等);信号调理电路将转换元件输出的可用信号进行信号调理(如转换、放大、运算、调制、滤波等),以便进行相应的信息处理;辅助电源为传感器和信号调理电路提供工作电源。

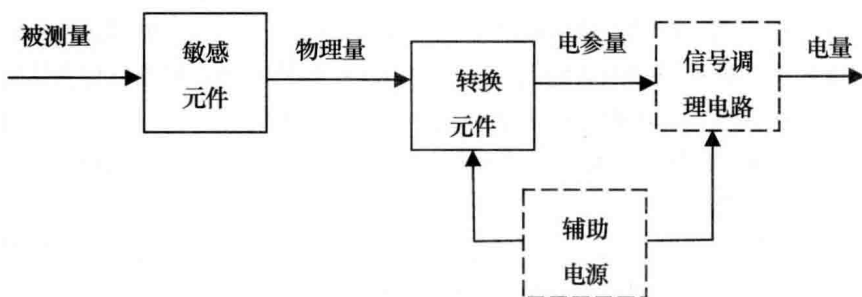


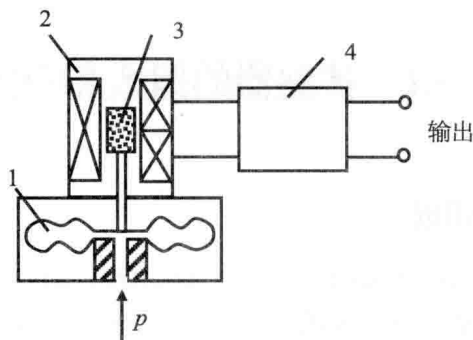
图 2.1 传感器组成框图

敏感元件是直接作用于被测对象,直接感受被测量,并输出与被测量具有确定关系的某一物理量的元件。被测量是被测对象的待测特性,如温度、压力、流量等工程参量。敏感元件输出信号的中间变量一般为容易实现测量的,与被测量具有确定关系的另外一种非电量,如位移、机械应变、温度变化等。例如图 2.2 气体压力传感器结构示意图所示,压力信号 p 从接头进入膜盒 1,膜盒感受压力膜片产生位移,膜盒即是敏感元件,输出容易实现测量的中间量——位移量。

转换元件的输入来自于敏感元件的输出——中间量,其输出为电量或电参量。电量包括电荷、电流和电压,电参量包括电阻、电容和电感。在图 2.2 中,转换元件是差动变压器式传感器 2,膜盒 1 中的膜片产生位移带动与之相连的铁芯 3 上下移动,使差动变压器传感器输出的差动感应电动势发生变化。

转换电路将转换元件输出量转换为便于传输、指示或控制的电量,一般为电压和电流。图 2.2 中调理电路 4 的作用就是将传感器输出的交流电压幅值转换成对应于位移的直流电压输出。可见,传感器只完成被测参量至电量或电参量的基本转换,然后输入到测量电路完成

到电量(电压或电流)的转换。调理电路的功能很多,最基本的功能是实现电量或电参量到电量输出的转换功能,如电阻—电压转换、电感—电压转换、电容—电压转换、电荷—电压转换等。测量电路还可以完成放大、滤波、调制与解调等功能,以提高信噪比,便于信号的放大和传输。



1—膜盒; 2—差动变压器; 3—铁芯; 4—调理电路

图 2.2 气体压力传感器结构示意图

在实际应用中,传感器的敏感元件和转换元件之间并无严格的界限。有些简单的传感器只有一个敏感元件,它可以直接感受被测量的变化并输出可用信号,如热电偶温度传感器,它直接将测温度的变换转换成热电势输出,电容式位移传感器则是将被测位移变化转换成电容量的变化。可见,热电偶和电容器既是敏感元件,又是转换元件。又如由半导体材料制成的物性型传感器,其基本是敏感元件与转换元件二合一,直接能将测量转换为电量输出,如压电传感器、光电池、热敏电阻等。

有些传感器是由敏感元件和转换元件组成的,如应变式压力传感器,它是由弹性膜片和电阻应变片所组成,其中,弹性膜片将被测压力转换成弹性膜片的形变(应变),弹性膜片的形变施加在电阻应变片上,电阻应变片将应变转换成电阻量的变化。可见,弹性膜片是敏感元件,电阻应变片是转换元件。

也有些传感器不止一个转换元件,而是要经过多次转换,如应变式密度传感器,该传感器由浮子、悬臂梁和电阻应变片等组成,浸入液体的浮子将被测液体的密度转换为浮力的变化,浮力再作用于悬臂梁,使悬臂梁产生变形,随之粘贴在悬臂梁上的电阻应变片再将悬臂梁的变形转换成电阻量的变化,经过了三次转换才将被测液体的密度转换为电阻量的变化。

随着半导体器件的发展,以及集成技术和微机械加工技术在传感器领域的应用,传感器的信号调理电路和辅助电源既可以安装在传感器壳体内部,也可以与敏感元件一起集成在一个芯片上,构成集成传感器,如ADI公司生产的AD22100型模拟集成温度传感器就是一个典型的例子。

2.1.2 传感器的分类

传感器的品种很多,原理各异,检测对象门类繁多,因此,其分类方法很多,至今尚无统一的规定。人们通常是从不同的角度,突出某一侧面而进行分类。下面介绍几种常见的分类。