

传感器实训教程

主编 刘 伟

Chuanganganqi Shixun Jiaocheng

全国电子信息类
职业教育实训系列教材

东南大学出版社

全国电子信息类职业教育实训系列教材

传感器实训教程

主编 刘 伟

参编 黄定明 蒋鸣雷 王茹香

东南大学出版社

为原
本的
可以

内 容 提 要

本书主要讲述传感器的工作原理、特性、测量电路以及应用举例。首先介绍了传感器的有关概念、特性、分类及其发展趋势,其次分别介绍了应变式电阻传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、霍尔传感器、热电式传感器、光电式传感器、数字式传感器和其他新型传感器及其应用。本书共分 10 章,每章后均附有小结与习题,参考学时 50 学时(含实验)。

本书用简明的语言阐明了传感器的工作原理,减少了原理中复杂公式的推导,加强了实用性。添加了大量的传感器在实际生产、生活以及科研中的应用实例,使读者通过学习本书,能够掌握传感器的工作原理、特性,并能在实际中应用。

本书可作为高职、中职电子技术应用专业、数控及自动化专业、仪器仪表专业、机电一体化专业等课程的教材,也可作为机电工程技术人员的参考和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器实训教程/刘伟主编—南京:东南大学出版社,2003.7

ISBN 7-81089-245-2

I. 传… II. 刘… III. 传感器-专业学校-教材
IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 040073 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 扬中市印刷有限公司印刷
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:10 字数:250 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:17.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3795801)

出版说明

全国电子信息类职业教育实训教材建设研讨会于 2002 年 12 月 12 日在辽宁省本溪市电子工业学校召开,历时 4 天。

与会代表通过了“全国电子信息类职业教育实训教材编委会组建意见”,成立了“全国电子信息类职业教育实训教材编委会”,确定出版首批“电子信息类职业教育实训系列教材”。

目前的职业教育教材还留有不少理论教育的影子,教育观念和培养模式相对滞后,片面强调知识灌输,教学活动与生产和生活实际联系不紧密,特别是对知识应用、创新精神和实践能力的培养重视不够,即使有职业教育教学改革愿望的学校,苦于没有合适的教材,也无法实现教学体制改革。为了更好地深化职业教育改革,满足广大职业技术教育院校教材建设的需求,编委会将首先从职业教育实训教材建设着手,利用 3 年的时间,出版一批高质量的职业教育实训教材。

与会代表认真地讨论了首批预选编写的教材,提出了教材的编写要求:立足当前学生现状,面向用人单位(市场),打破条条框框,少一些理论,多一些技能教育。采取逆向思维的方式编写,即从市场需要什么技能来决定学生需要什么知识结构,并由此决定编写什么教材。虽然第一批教材是个尝试,不一定能按要求编写出真正意义上的实训教材,但我们要求编写人员为此努力。要有创新思想,因为职业教育本来就是在探索中,教材建设也是任重而道远的事,需要老师们不断地探索,把自己最新的思想和教学实践体现在教材中。

参加教材编写的单位有:

山东信息职业技术学院	南京信息职业技术学院
福建省电子工业学校	长沙电子工业学校
扬州电子信息学校	山西省电子工业学校
河南信息工程学校	北京市电子工业学校
大连电子工业学校	锦州铁路运输学校
黑龙江省电子工业学校	新疆机械电子职业技术学院
本溪财贸学校	山西省邮电学校
宜昌市职业技术学院	山西省工程职业技术学院
四川省电子工业学校	哈尔滨机电工程学校
本溪市电子工业学校	

全国电子信息类职业教育实训教材编委会
2003 年 3 月

前 言

本书克服了以往教材原理过于繁复、实用技术内容少且单一的缺点,在内容上作了较大的改革,以适应目前职业教育的特点以及传感器技术发展的需求。

全书共分 10 章,参考学时 50 学时(含实验)。第 1 章介绍了传感器的基本概念及传感器的特性等有关内容,第 2~9 章分别介绍了应变式电阻传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、霍尔传感器、热电式传感器、光电式传感器和数字式传感器的工作原理、测量电路及实际应用。第 10 章主要介绍了生物传感器及气敏、湿敏、磁敏传感器的应用。

本书用简明的语言阐明了传感器的工作原理,减少了原理中复杂公式的推导,加强了实用性。添加了大量的传感器在实际生产、生活以及科研中的应用实例,使读者通过学习本书,能够掌握传感器的工作原理、特性,并能在实际中应用。

本教材面向职业技术学院的学生,同时,也是机电技术人员很好的自学参考读物。

本书 5、6、9、10 章由本溪市电子工业学校刘伟编写,1、2 章由宜昌市职业技术学院黄定明编写,3、4 章由北京电子工业学校蒋鸣雷编写,7、8 章由山东信息职业技术学院王茹香编写。全书由刘伟统稿。

本书在编写过程中,得到了领导和同事们热情帮助,并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免有些错误与不足,恳请广大读者批评指正。

编 者
2003 年 5 月

目 录

1 传感器概论	(1)
1.1 传感器的概念、组成及分类	(2)
1.1.1 传感器的概念	(2)
1.1.2 传感器的组成	(2)
1.1.3 传感器的分类	(2)
1.2 传感器的基本特性	(3)
1.3 传感器的作用	(5)
1.4 传感器的发展方向	(6)
本章小结	(8)
习题 1	(8)
2 应变式电阻传感器及其应用	(9)
2.1 应变式电阻传感器原理、测量电路及使用注意事项	(9)
2.1.1 弹性敏感元件	(9)
2.1.2 应变式电阻传感器原理及测量电路	(11)
2.1.3 应变式电阻传感器使用注意事项	(14)
2.2 应变式电阻荷重传感器及其应用	(15)
2.2.1 应变式电阻荷重传感器	(16)
2.2.2 应变式电阻传感器在电子衡器中的应用	(17)
2.3 应变式加速度传感器及其应用	(29)
2.4 扩散硅压力传感器及其应用	(31)
本章小结	(32)
习题 2	(33)
3 电感式传感器及其应用	(34)
3.1 自感式电感传感器及其应用	(34)
3.1.1 自感式电感传感器的结构及工作原理	(34)
3.1.2 自感式电感传感器的测量电路	(37)
3.1.3 自感式电感传感器的应用	(39)
3.2 差动变压器及其应用	(41)
3.2.1 差动变压器的工作原理及测量电路	(41)
3.2.2 差动变压器的应用	(43)
3.3 电涡流式传感器及其应用	(45)
3.3.1 电涡流式传感器的工作原理	(45)
3.3.2 电涡流式传感器的应用	(45)
本章小结	(47)

习题 3	(47)
4 电容式传感器及其应用	(49)
4.1 电容式传感器的工作原理与结构形式.....	(49)
4.1.1 变极距型传感器.....	(49)
4.1.2 变遮盖面积型传感器.....	(50)
4.1.3 变介电常数型传感器.....	(51)
4.2 电容式传感器的测量电路.....	(52)
4.2.1 桥式电路.....	(52)
4.2.2 调频电路.....	(52)
4.2.3 脉冲调制电路.....	(53)
4.3 电容式传感器的应用.....	(54)
4.3.1 差动式电容差压传感器.....	(54)
4.3.2 电容料位计.....	(54)
4.3.3 电容测厚仪.....	(55)
4.3.4 电容式加速度传感器.....	(55)
4.3.5 电容式油量表.....	(56)
4.3.6 电容式湿度传感器.....	(57)
4.3.7 电容式接近开关.....	(57)
本章小结	(58)
习题 4	(58)
5 压电式传感器及其应用	(59)
5.1 压电式传感器工作原理、结构及测量电路	(59)
5.1.1 压电式传感器的工作原理.....	(59)
5.1.2 压电式传感器的测量电路.....	(60)
5.2 压电式加速度传感器.....	(61)
5.3 超声波传感器及其应用.....	(62)
5.3.1 超声波的特性.....	(62)
5.3.2 超声波传感器的应用.....	(63)
本章小结	(68)
习题 5	(69)
6 霍尔传感器及其应用	(70)
6.1 霍尔传感器及其集成电路.....	(70)
6.1.1 霍尔传感器的工作原理.....	(70)
6.1.2 霍尔集成电路.....	(71)
6.2 霍尔传感器在转速测量中的应用.....	(72)
6.2.1 霍尔计数与霍尔转速表.....	(72)
6.2.2 霍尔电流、电压传感器	(72)
6.2.3 霍尔电机与霍尔汽车无触点电子点火器.....	(73)
本章小结	(74)
习题 6	(74)

7 热电式传感器及其应用	(75)
7.1 热电偶原理、结构及其应用	(75)
7.1.1 热电偶测温的基本原理	(75)
7.1.2 热电偶的结构和种类	(76)
7.1.3 热电偶的冷端温度补偿	(81)
7.1.4 热电偶的测温电路	(84)
7.2 热电阻传感器及其应用	(85)
7.2.1 常用的热电阻传感器及其性能	(85)
7.2.2 热电阻传感器的结构形式	(86)
7.2.3 热电阻传感器的测量电路	(87)
7.3 热敏电阻及其应用	(88)
7.3.1 热敏电阻的分类	(89)
7.3.2 热敏电阻的应用	(90)
本章小结	(92)
习题 7	(92)
8 光电式传感器及其应用	(94)
8.1 光敏电阻及其应用	(94)
8.1.1 光敏电阻的结构及工作原理	(94)
8.1.2 光敏电阻的特性及参数	(95)
8.1.3 光敏电阻的应用	(96)
8.2 光敏晶体管及其应用	(98)
8.2.1 光敏二极管	(98)
8.2.2 光敏三极管	(100)
8.3 CCD 摄像传感器及其应用	(103)
8.3.1 CCD 的基本结构及原理	(103)
8.3.2 CCD 图像传感器的应用	(104)
8.4 光纤传感器在通信中的应用	(104)
8.4.1 光纤的结构及传光原理	(105)
8.4.2 光纤传感器的种类	(105)
8.4.3 功能型光纤传感器实例	(106)
8.4.4 非功能型光纤传感器实例	(108)
本章小结	(110)
习题 8	(110)
9 数字式传感器及其应用	(111)
9.1 光栅传感器及其应用	(111)
9.1.1 光栅传感器的工作原理	(111)
9.1.2 光栅传感器的结构	(112)
9.1.3 光栅传感器的应用	(114)
9.2 感应同步器及其应用	(115)
9.2.1 感应同步器的种类及结构	(116)

9.2.2 感应同步器的工作原理	(117)
9.2.3 感应同步器在数控机床中的应用	(119)
9.2.4 感应同步器在 A/B 尺寸检测中的应用	(120)
9.3 旋转变压器及其应用	(124)
9.3.1 旋转变压器的结构及工作原理	(124)
9.3.2 旋转变压器的应用	(125)
本章小结	(126)
习题 9	(126)
10 其他传感器及其应用	(127)
10.1 气敏和湿敏传感器及其应用	(127)
10.1.1 气敏传感器	(127)
10.1.2 湿敏传感器	(131)
10.2 生物传感器及其应用	(135)
10.2.1 生物传感器的特点	(135)
10.2.2 生物传感器的工作原理及结构	(136)
10.2.3 生物传感器的应用领域	(139)
10.2.4 生物传感器的应用实例	(141)
10.3 磁敏传感器及其应用	(146)
10.3.1 磁敏电阻	(146)
10.3.2 磁敏晶体管	(148)
10.3.3 磁敏传感器的应用	(149)
本章小结	(151)
习题 10	(151)
参考文献	(152)

1 传感器概论

在高度发达的现代社会中,科学技术的突飞猛进和生产过程的高度自动化已成为人所共知的必然趋势,而它们的共同要求是必须建立在不断发展与提高的信息工业基础上。人们只有从外界获取大量准确、可靠的信息后,经过一系列的科学分析、处理、加工与判断,进而认识、掌握自然界和科学技术中的各种现象与其相关的变化规律。工业生产过程的现代化面临的第一个问题是必须采用各种传感器来检测、监视和控制各种静态及动态参数,使设备或系统能正常运行并处于最佳状态,从而保证生产的高效率、高质量,所以进行信息采集的传感器技术是重要的基础。此后,才有后期的信息分析、处理、加工、控制等技术问题。当然,人们在早期是通过人体自身的感觉器官与外界保持接触,在一定程度上和一定范围内获得颇有意义与有限的重要信息,以维持与指导人类的正常生活和生产活动。例如人类的耳朵能听到声波在音频段的声音,但却听不到声波中的超低频段或超高频段的声音;又如人类的眼睛能视辨出自然光或白光中的主要光波颜色,但却无法辨别出红外光或紫外光。因而,多年来人们不仅研究出具有人类感觉器官上所具有的感觉功能的检测元件——传感器,而且还千方百计地开发出了人类感觉器官所不具备的感觉功能的传感器。

近 30 年来快速发展的 IC 技术与电子计算机技术,为传感器的高速发展提供了非常好与可靠的科学技术基础,同时也提出了更高的要求。在近 20 年中,世界各国都将传感器技术列为尖端技术,尤其是在经济发达的美、英、德、俄、日等国,对传感器及其技术的发展更是倍加重视。由于现代生活中的人们已经认识到现代信息技术的三大基础是信息的采集、传输和处理技术,即传感器技术、通信技术与计算机技术分别构成了信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”,而信息采集系统的最前端就是传感器。现代通信技术与计算机技术已经达到高度发达的地步,所以,人们常说:“征服了传感器,就等于征服了科学技术”。美国在 20 世纪 80 年代就称其是传感器的时代;日本把十大技术之首定位于传感器;俄罗斯国防发展中的“军事航天”计划也把传感器技术列为重点;英、德、法等国也拨出专款来发展传感器技术;我国在“八五”规划中也把传感器技术列为重点发展技术和 21 世纪发展的高科技项目之一。鉴于我国对传感器的研究与发展较晚,基础较差,所以为了缩小差距,必须加速与促进我国传感器技术的发展。

传感器是探索与测量自然界各种参数的检测元件,有人曾通俗称其为“探头”(Probe),英语中还有“Sensor”(敏感元件)与“Transducer”(传感器)之称,我国有“传感器”、“换能器”与“变换器”之称。国际标准化组织(ISO)和日本工业标准“JIS-Z130”将传感器定义为“对应于被测量、能给出易于处理的输出信号的变换器”。实际上,能够完成两种量(光、热、电、力学量、机械量等)之间的变换或转换关系,都符合于传感器的定义范围。从目前实际应用情况看,鉴于目前电学及其器件与系统的高度发展,往往是传感器配用测量电路以后的输出量都是电学

量,所以在一些资料与参考书中,将电量作为输出量的传感器称为电子传感器。

1.1 传感器的概念、组成及分类

传感器是一种能将被测的非电量转换为各种易于测量的电信号的部件。一般由敏感元件、转换元件和测量电路组成。

敏感元件相当于人的感觉器官,直接感受被测量并将其变换成与被测量成一定关系的易于测量的物理量,如位移、应变等。

转换元件也称传感元件,通常不直接感受被测量,而是将敏感元件输出的物理量转换成电量输出。

测量电路是将转换元件输出的电参量转换成易于测量的电参量,如电压、电流或频率等。

1.1.1 传感器的组成

一般地说,传感器由两个基本元件组成:敏感元件、转换元件。相对于传感器的转换作用而言,常称敏感元件为预变换器。因为在完成非电量到电量的变换过程中,并非所有的非电量参数都能一次直接变换为电量,往往是先变换成一种易于变换成电量的非电量(如位移、应变等);然后,通过适当的方法变换成电量。因而,人们将能够完成预变换的器件称为敏感元件。在传感器中,建立在力学结构分析上的各种类型的弹性元件(如梁、板等)常称为敏感元件,并统称为弹性敏感元件。而转换元件是能将感觉到的被测非电量参数转换为电量的器件,如应变计、压电晶体、热电偶等。当然,转换元件是传感器的核心部分,它是利用各种物理、化学、生物效应等原理制成的。新的物理、化学、生物效应的发现,常被应用到新型传感器上,使其品种与功能日益增多,应用领域更加广阔。

应该指出的是,并不是所有的传感器都包括敏感元件与转换元件,有一部分传感器不需要预变换作用的敏感元件,例如热敏电阻、光电器件等。此外,还有一部分传感器在采用先进工艺技术和材料后,能使敏感元件与转换合为一体,例如通过半导体材料集成的 IC 技术,便能使其合为整体的固态压力传感器。

1.1.2 传感器的分类

传感器的输出量 y 与输入量 x 的函数关系 $y=f(x)$ 称为变换函数,它表示传感器的输入-输出特性。但传感器在实际测量应用中,传感器的输入量除了被测量 x 以外,还有被测对象与测量环境的许多干扰量,如温度、湿度、噪声、振动、电磁感应等。所以,传感器的变换函数是一元函数,仅是一种理想状态。严格地说,它应该是多元函数 $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。为此,选用传感器时,传感器要近似满足 $y=f(x)$ 的单值对应关系,这就要求必须考虑到具有选择性能的转换元件和配用相应的传感器电路,使被测量以外的各种干扰量对传感器输出量的影响限制在最低的水平,才能保证传感器有足够的测量精度和良好的稳定性。

转换元件的物理特性的内在规律或者它所依据的物理、化学、生物效应是设计传感器的理论基础。因而,按不同的方法对传感器进行分类,将有助于从总体上来认识和掌握传感器的原理、性能与应用。

传感器可以按不同的方法进行分类。

1) 按被测量分类

根据被测量可分为加速度传感器、速度传感器、位移传感器、压力传感器、负荷传感器、扭矩传感器、温度传感器等。这种分类方法对于用户与生产单位来说是一目了然的。但是,这种分类方法的弊病造成了传感器名目繁多,又把原理互不相同的同一用途的传感器归为一类,这就很难找出各种传感器在转换原理上的共性与差异,难于建立起对传感器的基本概念,不利于掌握传感器的原理与性能的分析方法。

2) 按传感器的工作原理分类

这种分类方法是以传感器的工作原理为依据的,可分为电阻应变式、压电式、电容式、涡流式、动圈式、电磁式、差动变压器式等。这种分类方法的优点是可以避免传感器的名目繁多,使传感器的划分类别较少,并有利于传感器专业工作者对传感器的工作原理与设计归纳性的分析研究,使设计与应用更具有合理性与灵活性,但其缺点是会使对传感器不够了解的用户感到使用不方便。

3) 按能量的传递方式分类

从能量观点来看,所有的传感器可分为有源传感器与无源传感器两大类。前者可把传感器视为一台微型发电机,能将非电功率转换为电功率,它所配用的测量电路通常是信号放大器。所以,有源传感器是一种能量变换器,如压电式、热电式(热电偶)、电磁式、电动式等。在有源传感器中,有些传感器的能量转换是可逆的,另一些是不可逆的,并且有些有源传感器通常附有力学系统,只能用在接触式的测量中,如压电式加速度传感器。这类传感器不具有直流响应,只能用于动态测量中,如温度传感器中的热电偶,它是利用两种不同金属的温差所产生的电势进行测量的。无源传感器不进行能量的转换,被测的非电量仅对传感器中的能量起着控制或调节的作用,所以,它必须具有辅助能源(电源),例如电阻、电容、电感式传感器等,遥感技术中的微波、激光等传感器可以归结为此类。无源传感器本身并不是一个信号源,所以,它所配用的测量放大器与有源传感器不一样,通常是电桥电路或谐振电路,并且无源传感器具有直流响应,一般不配力学系统,因而适用于静态和动态测量,有时还可以用在非接触的测量场合。

4) 按输出信号的性质分类

可分为模拟传感器与数字传感器两大类。模拟传感器要通过 A/D 变换器才能应用电子计算机进行信号分析加工与处理;数字式传感器则直接可送到电子计算机进行处理。

1.2 传感器的基本特性

传感器的种类繁多,测量参数、用途各异,其性能参数也各不相同。一般产品给出的性能参数主要是静态特性和动态特性。所谓静态特性,是指被测量不随时间变化或变化缓慢情况下,传感器输出值与输入值之间的关系,一般用数学表达式、特性曲线或表格来表示。动态特性是反映传感器随时间变化的响应特性。动态特性好的传感器,其输出量随时间变化的曲线与被测量随时间变化的曲线相近。一般产品只给出响应时间。

传感器的主要特性参数有:

(1) 测量范围(量程)

量程是指在正常工作条件下传感器能够测量的被测量的总范围,通常为上限值与下限值之差。如某温度传感器的测量范围为 $-50^{\circ}\text{C} \sim +300^{\circ}\text{C}$,则该传感器的量程为 350°C 。

(2) 灵敏度

传感器的灵敏度是指传感器在稳态时输出量的变化量与输入量的变化量的比值。通常用 K 表示。对于线性传感器,传感器的校准直线的斜率就是灵敏度,是一个常量。而非线性传感器的灵敏度则随输入量的不同而变化,在实际应用中,非线性传感器的灵敏度都是指输入量在一定范围内的近似值。传感器的灵敏度越高,信号处理就越简单。

(3) 线性度(非线性误差)

在稳态条件下,传感器的实际输入、输出特性曲线与理想直线之间的不吻合程度,称为线性度或非线形误差,通常用实际特性曲线与理想直线之间的最大偏差 $\Delta_{1\max}$ 与满量程输出值 y_{FS} 之比的百分数来表示,如图 1.1 所示。该系统的线性度 γ_L 为

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta_{1\max}}{y_{FS}} \times 100 \% \quad (1.1)$$

(4) 不重复性

不重复性是指在相同条件下,传感器的输入量按同一方向作全量程多次重复测量,输出曲线的不一致程度。通常用 3 次测量输出曲线之间的最大偏差 $\Delta_{2\max}$ 与满量程输出值 y_{FS} 之比的百分数表示,如图 1.2 所示,1、2、3 分别表示 3 次所得到的输出曲线,它是传感器总误差中的一项。

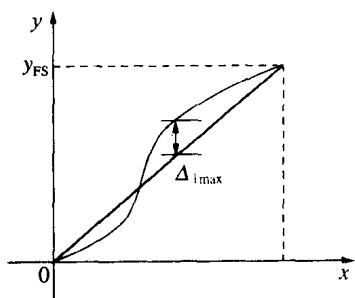


图 1.1 传感器的线性度(非线性误差)

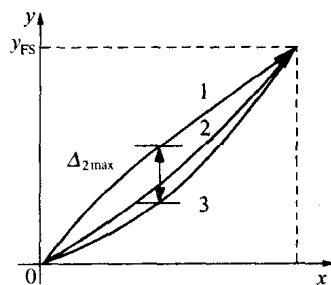


图 1.2 传感器的不重复性

(5) 滞后(迟滞误差)

迟滞现象是传感器正向特性曲线(输入量增大)和反向特性曲线(输入量减小)的不重合程度,通常用 γ_H 表示,如图 1.3 所示。

$$\gamma_{H\max} = \frac{\Delta_{3\max}}{y_{FS}} \times 100 \% \quad (1.2)$$

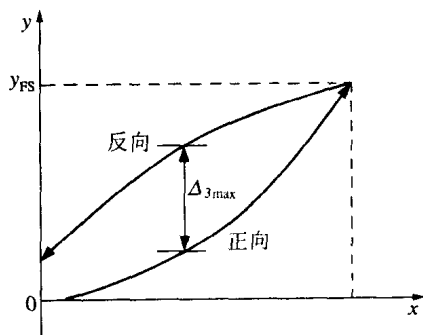


图 1.3 传感器的迟滞现象

(6) 精确度

精确度也称精度,它是非线性误差、不重复性及迟滞 3 项指标的综合指数,反映了系统误差和随机误差的综合指标。如果非线性误差、不重复性及迟滞已知,则通过误差合成的方法可求出精确度。

(7) 零点时间漂移

传感器在恒定的温度环境中,当输入信号不变或为 0 时,输出信号随时间变化的特性,称为传感器零点时间漂移,简称零漂。一般按 8 h 内输出信号的变化来度量。

(8) 零点温度漂移

当输入信号不变或为 0 时,传感器的输出信号随温度变化的特性,称为传感器零点温度漂移,简称温漂。一般常用环境温度变化 10°C 所引起的输出变化量与传感器最大输出量的百分比来表示。在实际应用中,一定要考虑环境温度对传感器的影响。由于温漂的影响,传感器的灵敏度也会随温度的变化而变化。

(9) 响应速度

响应速度是反映传感器动态特性的一项重要参数,是传感器在阶跃信号作用下的输出特性。它主要包括上升时间、峰值时间及响应时间等,反映了传感器的稳定输出信号(在规定误差范围内)随输入信号变化的快慢。

(10) 频率响应

频率响应是指传感器的输出特性曲线与输入信号的频率之间的关系,包括幅频特性和相频特性。在实际应用中,应根据输入信号的频率范围来确定适合的传感器。

(11) 工作环境条件

传感器在实际应用中,对环境的温度和湿度都有一定的要求。在规定的温度和湿度条件下,传感器能够正常工作,否则,就会异常。因此,在使用传感器时,一定要考虑环境条件。

1.3 传感器的作用

随着现代科学技术的迅猛发展和生产过程的高度自动化以及人类生活质量的不断提高,以传感器 - 微机为核心的现代测试与控制系统正在越来越广泛地应用于航天、航空、兵器、舰船、交通运输、电力、冶金、机械制造、动力机械、化工、轻工、生物医学工程等领域。可以说,现代测试与控制系统已覆盖了国民经济中的第一、二、三产业的各个领域。日益发展的载人航天飞机、卫星以及现代化的多功能信息家用电器,无一不是使用传感器 - 微处理器或微机组成的测试与控制系统。以电阻应变式的负荷传感器组成的电子秤计量测试系统已是国内外公认的高精度、高可靠性的可室内外使用的标准计量器具,更是科学研究、工业生产自动化领域以及商品交换与流通领域的有力计量工具。所以说,测试技术与自动化控制技术的水平高低是衡量科学技术现代化的重要标志,而科学技术中很多新的发现与突破,或者说新兴交叉边缘学科的发展,都离不开传感器。现代传感器起着工业控制眼睛的作用已成为人们的共识。

现代测试与控制系统常常是以信息的流通过程来划分的,如图 1.4 所示的开环测试系统和图 1.5 所示的闭环测试系统。

在开环测试系统中,把二次仪表输出的连续变化的模拟电信号,经过模拟 - 数字变换器(A/D)转换成数字信号后,送入计算机完成信号的分析处理与加工,得到数字结果,以反映被测量对象的静态和动态物理属性的客观变化规律。若要得到形象的曲线等方式的描述结果,

则可以通过数字 - 模拟变换器(D/A)把电子计算机得到的数字结果转换为连续变化的模拟信号。

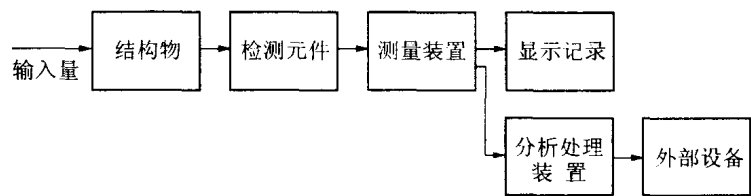


图 1.4 开环测试系统

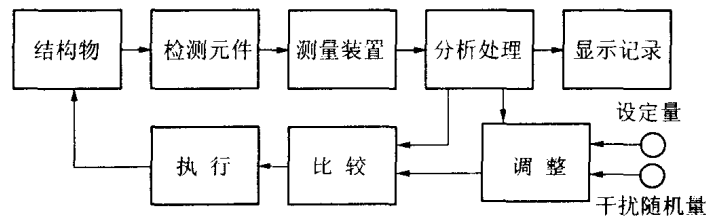


图 1.5 闭环测试系统

若是闭环测试与控制系统,则还需要把计算机分析、处理、加工后的结果返回到执行机构,实现对被测量对象的参数调整与控制,以达到优化的生产或变化过程的自动调节与控制。所以,现代的测量系统是综合多种科学技术实现测量、处理与控制的一体化的多功能、智能化的测试系统。随着传感器技术与微机技术以及网络信息技术的日益发展,将有力地推动与加速现代测试技术的发展。

传感器相当于人的感觉器官,它能将各种非电量(如机械量、化学量、生物量及光学量等)转换成电量,从而实现非电量的电测技术。在自动控制系统中,检测是实现自动控制的首要环节,没有对被控对象的精确检测,就不可能实现精确控制。如数控机床中的位移测量装置,是利用高精度位移传感器(光栅传感器或感应同步器)进行位移的测量,从而实现对零部件的精密加工。

目前,传感器的应用已十分广泛,在航空、航天、国防、交通运输、化工、轻工等方面大量地使用各种各样的传感器。

在工业生产中,由于传感器的大量使用,从而实现生产的自动化或半自动化,大大地减轻了工人的劳动强度,提高了产品的质量,降低了产品成本。在家用电器和医疗卫生方面,新颖的智能化产品不断涌现,使人们的生活越来越轻松舒适。总而言之,在信息技术不断发展的今天,传感器将会在信息的采集和处理过程中发挥出巨大的作用。

1.4 传感器的发展方向

(1) 采用新技术、新材料

传感器工作的基本原理是建立在人们不断探索与发展各种新的物理现象、化学效应和生物效应以及具有特殊物理、化学特性的功能材料的基础上的。因而,发现与应用新的现象、反应、材料与研制新颖的特性与功能的材料是现代传感器的重要基础,其意义也极为深远。例如日本夏普公司利用超导技术研制成功的高温超导磁传感器,该传感器在温度为 80 K 时呈超导

状态。可以说超导磁传感器的出现是传感器技术的重大突破,其灵敏度比霍尔器件的高,仅低于超导量子干涉器件,而其制造工艺远比超导量子干涉器件的简单,并可用于磁成像技术等领域。又如人造的陶瓷传感器材料可在高温环境中使用,弥补了半导体传感器材料难于承受高温的弊病。而另有不少有机材料的特殊功能特性,也和陶瓷材料一样,越来越受到高度重视。

(2) 微型化

人们在工程、生活和医学领域中,越来越要求传感器的微型化。目前的微机械加工技术已获得高速发展,有氧化、光刻、扩散、沉积等传统的微电子技术,还发展了平面电子工艺技术、各向异性腐蚀、固相键合工艺和机械分断技术等新型微加工技术,都为新的微型传感器的研制开发提供了良好的条件。例如采用平面电子工艺技术制作的快速响应的传感器,已用于检测 NH_3 和 H_2S 的快速响应变化;又如利用各相异性腐蚀技术进行的高精度三维加工,在细小的硅片上构成孔、沟、棱锥、半球等各种形状的微机械元件。为此,日本横河公司制作了高质量的全硅谐振式压力传感器,其品质因素 Q 值达到 5×10^5 ,稳定度为 10^{-6}°C ;再如固相键合工艺是将 2 个硅片直接键合在一起,不用中间粘接剂,也不加电场,只需要表面活化处理,在室温下 2 个热氧化硅片面对面接触,经过一定温变退火,就可以使 2 个硅片键合在一起。美国诺瓦公司 (Nova Corp) 利用这种工艺研制的 $0.40\text{ mm} \times 0.90\text{ mm} \times 0.15\text{ mm}$ 微型压力传感器,能够承受高达 400°C 的温度环境。

(3) 集成化

集成传感器是新型传感器重要的发展方向之一,随着微加工技术的不断提高,可将敏感元件、测量电路、放大器及温度补偿元件等集成在一个芯片上。它不仅具有体积小、重量轻、可靠性高、响应速度快、稳定等特点,而且便于批量生产,成本较低。

在各种半导体材料中,以硅为基底材料的集成传感器发展最快。硅集成传感器是利用硅本身的物理效应与其平面技术相结合的产品。例如集成温度传感器、霍尔集成电路及扩散硅压力传感器等。

采用集成传感器可简化电路设计、减小产品体积、便于安装调试、提高可靠性并降低成本,因此,很多传感器都向集成方向发展,并已广泛应用于汽车、家用电器、医疗卫生及航空航天技术中。

(4) 数字化、多功能化和智能化

在今后的传感器技术发展中,数字化、多功能与智能化是传感器在信息社会中重要的发展特征。在航天工业的火箭、卫星运行及太空探测工作过程中,传感器数字化、多功能与智能化已是人所共知的基本要求。如日本丰田研究所开发的多离子传感器,芯片尺寸只有 $2.5\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$,仅用一滴血液就能同时快速检测出 Na^+ , K^+ 和 H^+ 的浓度;又如美国霍尼威尔公司的 ST-3000 型智能传感器,它是一种带有信息处理功能的传感器,其芯片尺寸仅为 $3.0\text{ mm} \times 4.0\text{ mm} \times 0.2\text{ mm}$,它采用离子注入等半导体工艺在同一芯片上制作差压、静压和湿度等 3 种敏感元件,每一部分都有一个专用的 EPROM 用于存储其特性数据,可供三维补偿。这种智能传感器具有如下特点:

- ① 有着比一般传感器高出 2 个数量级的量程,即可覆盖多台传感器的量程。
- ② 高精度,可在万分之几到千分之一之间,并具有高稳定性。
- ③ 有较高的温度与静压特性,在工作温度为 $-40^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 的静压为 $0 \sim 21\text{ MPa}$ 。
- ④ 可远距离设定与调整量程、阻尼系数和选择检测单位。
- ⑤ 能自诊断和自动选定合适量程,可用于压力波动的场合下测量。

本章小结

在科学技术迅速发展的今天,非电量电测技术已经成为各个领域、特别是自动测量和自动控制系统中必不可少的组成部分,而使非电量电测技术得以实现的传感器技术无疑成为这些系统的关键。传感器是利用物理、化学、生物等学科的某些效应或原理按照一定的制造工艺研制出来的,由某一原理设计的传感器可以测量多种参量,而某一参量可以用不同的传感器测量。因此,传感器可以按不同的方法分类,可以按被测量来分,也可按工作原理来分,各有所长。在实际应用中,传感器的命名通常用工作原理与被测量合成命名,如扩散硅压力传感器。传感器的特性有静态特性和动态特性之分,静态特性主要有线性度、灵敏度、不重复性、温漂及零漂等,而动态特性主要考虑它的幅频特性和相频特性,通常只给出响应时间。

习题 1

- (1) 什么是传感器? 它由哪几部分组成? 它在自动控制系统中起什么作用?
- (2) 传感器有哪几种分类方法? 实际应用中,传感器是如何命名的?
- (3) 传感器的静态特性参数有哪些?
- (4) 某传感器的输入、输出特性为 $f(x) = 2x^3 + 3x + 5$, 试求出该传感器的灵敏度。
- (5) 集成传感器有何优点?