



普通高等教育电气信息类规划教材



教育部财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目
《职教师资本科自动化专业培养标准、培养方案、核心课程和特色教材开发》专业职教师资培养资源开发 (VTNE030)



免费教学资源下载

www.cmpedu.com

传感器与 检测技术及应用

张立新 罗忠宝 冯璐 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育电气信息类规划教材

师

教育部财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目
《职教师资本科自动化专业培养标准、培养方案、核心课程和特色教
材开发》专业职教师资培养资源开发 (VTNE030)



免费教学资源下载

www.cmpedu.com



传感器与 检测技术及应用

张立新 罗忠宝 冯璐 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书共6章,主要介绍了常用传感器的原理及其应用电路,内容包括温度传感器、压力传感器、环境传感器的工作原理、特性参数及其实用电路设计与制作。书中提供了较多的应用电路实例。作为传感器技术向实际工程应用的延伸,本书还介绍了工业常用的温度变送器、压力变送器、液位变送器、流量变送器的工作原理、选型方法及应用场合。

本书是一本基于工作过程系统化基本环节编写的“理实一体化”教材,每章都结合一些实际工作任务,重点突出“懂理论、会设计、能制作、勇创新”的基本原则,培养学生的理论设计水平和实践动手能力,激发学生的学习兴趣和创新意识。

本书可作为高等工科院校本科生、高职高专学生的测控技术及仪器、自动化、电子信息及机电一体化等专业的教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术及应用/张立新,罗忠宝,冯璐编著. —北京:机械工业出版社,2018.4

ISBN 978-7-111-59627-1

I. ①传… II. ①张… ②罗… ③冯… III. ①传感器-检测
IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第068766号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:丁伦 责任编辑:丁伦

责任校对:张艳霞 封面设计:子时文化

责任印制:张博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2018年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.25印张·368千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-59627-1

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

教育部 财政部职业院校教师素质提高计划成果系列丛书

项目牵头单位：吉林工程技术师范学院

项目负责人：刘君义

项目专家指导委员会

主任：刘来泉

副主任：王宪成 郭春鸣

成员：（按姓氏笔画排列）

刁哲军 王继平 王乐夫 邓泽民 石伟平 卢双盈

汤生玲 米 靖 刘正安 刘君义 孟庆国 沈希李

仲 阳 李栋学 李梦卿 吴全全 张元利 张建荣

周泽扬 姜大源 郭杰忠 夏金星 徐 流 徐 朔

曹 晔 崔世钢 韩亚兰

出版说明

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》颁布实施以来，我国职业教育进入了加快构建现代职业教育体系、全面提高技能型人才培养质量的新阶段。加快发展现代职业教育，实现职业教育改革发展新跨越，对职业学校“双师型”教师队伍建设提出了更高的要求。为此，教育部明确提出，要以推动教师专业化为引领，以加强“双师型”教师队伍建设为重点，以创新制度和机制为动力，以完善培养培训体系为保障，以实施素质提高计划为抓手，统筹规划，突出重点，改革创新，狠抓落实，切实提升职业院校教师队伍的整体素质和建设水平，加快建成一支师德高尚、素质优良、技艺精湛、结构合理、专兼结合的高素质、专业化的“双师型”教师队伍，为建设具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系提供强有力的师资保障。

目前，我国共有60余所高校正在开展职教师资培养，但由于教师培养标准的缺失和培养课程资源的匮乏，制约了“双师型”教师培养质量的提高。为完善教师培养标准和课程体系，教育部、财政部在“职业院校教师素质提高计划”框架内专门设置了职教师资培养资源开发项目，中央财政划拨1.5亿元，系统地开发用于本科专业的职教师资培养标准、培养方案、核心课程和特色教材等系列资源。其中，包括88个专业项目、12个资格考试制度开发等公共项目。这些项目由42所开设职业技术师范专业的高校牵头，组织近千家科研院所、职业学校、行业企业共同研发，号召一大批专家学者、优秀校长、一线教师、企业工程技术人员参与其中。

经过三年的努力，培养资源开发项目取得了丰硕成果。一是开发了中等职业学校88个专业（类）职教师资本科培养资源项目，内容包括专业教师标准、专业教师培养标准、评价方案，以及一系列专业课程大纲、主干课程教材及数字化资源；二是取得了6项公共基础研究成果，内容包括职教师资培养模式、国际职教师资培养、教育理论课程、质量保障体系、教学资源中心建设和学习平台开发等；三是完成了18个专业大类职教师资资格标准及认证考试标准的开发。基于上述成果，完成了共计800多本正式出版物。总体来说，培养资源开发项目实现了高效益：形成了一大批资源，填补了相关标准和资源的空白；凝聚了一支研发队伍，强化了教师培养的“校—企—校”协同；引领了

一批高校的教学改革，带动了“双师型”教师的专业化培养。职教师资培养资源开发项目是支撑专业化培养的一项系统化、基础性工程，是加强职教教师培养培训一体化建设的关键环节，也是对职教师资培养培训基地教师专业化培养实践、教师教育研究能力的系统检阅。

自2013年项目立项开题以来，各项目承担单位、项目负责人及全体开发人员做了大量深入细致的工作，结合职教教师培养实践，研发出很多填补空白、体现科学性和前瞻性的成果，有力地推进了“双师型”教师专门化培养向更深层次发展。同时，专家指导委员会的各位专家以及项目管理办公室的各位同志，克服了许多困难，按照两部对项目开发工作的总体要求，为实施项目管理、研发、检查等投入了大量时间和心血，也为各个项目提供了专业的咨询和指导，有力地保障了项目实施和成果质量。在此，我们一并表示衷心的感谢。

编写委员会

前 言

传感器技术是一种综合技术，涉及微电子技术、微机械技术、信号处理技术和计算机技术等，是测控技术及仪器、自动化、电子信息及机电一体化等专业的一门专业基础课程。

本书以实际工作任务为主题，引导学生在传感器应用电路设计与制作过程中，加深对理论知识理解，掌握相关专业知识的综合运用，不断提高理论设计水平和实践动手能力，逐步实现“懂理论、会设计、能制作、勇创新”这一教学目标。

全书共6章，第1章介绍了传感器的基础知识和常用测量电路，并制作了一台数字电压表，供后续章节使用；第2~4章介绍了温度传感器、压力传感器、环境传感器的工作原理、特性参数及其实用电路的设计与制作；第5章介绍了工业常用温度变送器、压力变送器、液位变送器、流量变送器的工作原理、选型方法及应用场合，作为传感器技术向实际工程应用的延伸。第6章介绍了大量传感器工程应用实例，供学生了解传感器在实际工程中的应用，教师可根据各自的教学条件和要求，选用适当的实例作为工作任务。

本书每章中至少涉及一个“理实一体化”教学任务，内容编排上基于工作过程系统化的基本环节：工作目标、工作内容、工作方案、工作过程和工作评价，其目的不是让学生教条地学、教条地做，而是通过指导教师各自的理念，结合本书提供的阅读资料、工程实例帮助学生创新地学、兴趣地做，不断提高理论应用设计水平和实践动手能力，培养学生的综合专业知识运用能力、独立分析解决问题能力和创新创造能力。

“理实一体化”教学的基本要求：教学场所应满足理论教学和实践教学，授课教师具备相关理论知识、实践经验丰富，实验设备、器材比较齐全。同时建议将学生分成若干小组，成绩考核采用师生共同评定的形式，每次课时以4学时为宜。

本书由张立新任主编，负责策划、内容编排和最终统稿。编写分工如下：张立新编写第2、5章，冯璐编写第3、4章，罗忠宝编写第1、6章。在此谨向本书所列参考文献作者和给予帮助支持的同事表示诚挚的谢意。

由于本书所涉及的知识领域广泛且应用实例较多，加上水平有限，书中难免存在缺陷和疏漏之处，恳请读者提出建议和批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前 言

第 1 章 传感器与检测技术概述	1
1.1 传感器简介	1
1.2 常用传感器测量电路	7
1.3 数显直流电压表	15
第 2 章 温度传感器及其应用	26
2.1 热电阻温度传感器应用电路的设计与制作	27
2.2 热敏电阻温度传感器应用电路的设计与制作	41
2.3 热电偶温度传感器应用电路的设计与制作	47
2.4 常用温度传感器	54
2.4.1 红外测温传感器	54
2.4.2 红外测温仪	55
2.4.3 集成温度传感器	56
第 3 章 压力传感器及其应用	61
3.1 电阻应变片固体压力传感器应用电路的设计与制作	61
3.2 半导体应变片液体、气体压力传感器应用电路的设计与制作	74
3.3 常用压力传感器	77
3.3.1 压电式测力传感器	77
3.3.2 电感式压力传感器	86
3.3.3 谐振式压力传感器	90
3.3.4 电容式压力传感器	95
第 4 章 环境传感器及其应用	105
4.1 基于红外光电传感器的循迹、避障小车设计与制作	105
4.2 基于声光控制照明灯装置的设计与制作	116
4.3 气体传感器	121
4.4 湿敏传感器	126
4.5 位置传感器	130
4.6 图像传感器	137
4.7 光纤传感器	141
第 5 章 变送器及其应用电路	147
5.1 温度变送器及其应用	149
5.1.1 热电偶温度变送器	151
5.1.2 热电阻温度变送器	154

5.2 压力变送器及其应用	161
5.2.1 压力变送器应用电路的设计与制作	163
5.2.2 压阻式压力变送器	164
5.2.3 电感式压力变送器	168
5.2.4 电容式压力变送器	170
5.3 液位变送器及其应用	173
5.3.1 电容式液位变送器及其应用	173
5.3.2 差压式液位变送器及其应用	177
5.3.3 浮球式液位变送器及其应用	181
5.3.4 投入式液位变送器及其应用	182
5.3.5 超声波液位变送器及其应用	186
5.4 流量变送器及其应用	188
5.4.1 叶轮式流量变送器	190
5.4.2 涡街流量变送器	192
5.4.3 差压式流量变送器	198
5.4.4 电磁流量变送器	202
5.4.5 超声波流量变送器	206
第6章 传感器工程应用实例	211
6.1 温度传感器应用实例	211
6.2 气体传感器应用实例	218
6.3 物位传感器应用实例	220
6.4 位移传感器应用实例	222
6.5 流量传感器应用实例	232
参考文献	236

传感器与检测技术概述

在实际生产生活中，测量的目的是要获得关于研究对象或工艺过程的物理或化学性质的信息，以便根据所得到的信息来控制研究对象，能够完成这一功能的测量器件就是传感器。从某种意义上讲，传感器性能的优劣，决定着整个控制系统的性能。

1.1 传感器简介

在当今的信息化时代，传感器作为信息感知、采集、转换、传输和处理的功能器件，已经成为各个应用领域，特别是自动检测、自动控制系统中不可缺少的重要技术工具，而能够获取各种信息的传感器无疑也控制着这些系统的命脉。

1. 传感器的定义

关于传感器，至今尚无一个比较全面的定义。传感器（Transducer 或 Sensor）有时也被称为换能器、变换器、变送器或探测器，其主要特征是能感知和检测某种形态的信息，并将其转换成另一种形态的信息。因此，传感器是指那些对被测对象的某一确定信息具有感受与检测功能，并使之按照一定规律转换成与其对应的有用输出信号的器件或装置。在不少场合，人们将传感器定义为敏感于待测非电量并可将其转换成与之对应的电信号的元件、器件或装置的总称。当然，将非电量转换为电信号并不是唯一的形式，也可将一种形式的非电量转换成另一种形式的非电量，例如将力转换成位移等。如果从技术发展的角度而言，将非电量转换成光信号或许更为有利。

传感器一般由敏感元件和转换元件组成，其原理框图如图 1-1 所示。图中的敏感元件是指传感器中能直接感应或响应被测量的部分；转换元件是指传感器中能将测量转换成适于传输或测量的电信号部分。由于传感器的输出信号一般都很微弱，需要有信号调理电路输出易于传输的电量，调理电路主要包括信号转换、放大、运算及调制等。当然，信号调理电路和传感器的工作还必须有辅助电源供电。

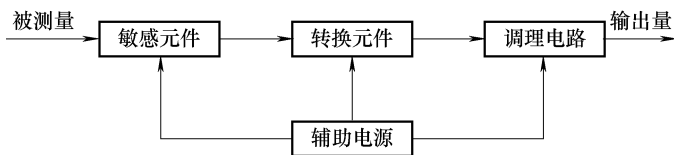


图 1-1 传感器原理框图

2. 传感器的分类

传感器的工作原理各种各样，它与许多学科相关，其种类繁多，分类方法也很多，至今尚无统一的规定。归纳起来，传感器有如下几种当前比较认可的分类方法。

(1) 按工作原理分类

这种分类方法是按其工作原理不同而划分，是将物理、化学和生物等学科的原理、规律、效应作为分类的依据，可分为结构型传感器、物性型传感器和复合型传感器三大类。结构型传感器是利用物理学的定律等构成的，其性能与构成材料关系不大。物性型传感器是利用物质的某种客观属性构成的，其性能与构成材料密切相关。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。

(2) 按被测量性质分类

这种分类方法是按被测量的性质不同而划分，可划分为物理量传感器、化学量传感器和生物量传感器三大类。

(3) 按敏感材料分类

这种分类方法是按制造传感器的材料不同而分类，种类相对较多，如半导体传感器、陶瓷传感器、光导纤维传感器、高分子材料传感器和金属传感器等。

(4) 按能量关系分类

这种分类方法可将传感器分为有源传感器和无源传感器两大类。前者一般是将非电能量转换为电能量，属于能量转换型传感器，也称为换能器。通常配有电压测量和放大电路，如压电式、热电式和压阻式等。无源传感器又称为能量控制型传感器。它本身不是一个换能装置，被测非电量仅对传感器中的能量起控制或调节作用，因此必须具有辅助能源（电源），这类传感器有电阻式、电容式和电感式等，无源传感器通常采用电桥电路或谐振电路将非电量转化成电量。

(5) 按实际用途分类

这种分类方法是按照传感器的测量用途不同而分类，如温度传感器、湿度传感器、压力传感器、液位传感器和流量传感器等。

(6) 其他分类方法

除了以上几种常用的分类方法以外，传感器的分类还有按科目分类、按功能分类以及按输出信号的性质分类等方法。

本书所采用的分类方式是按传感器用途进行分类的。特别说明：我们所关注的并不是传感器的制造，而是传感器应用电路的设计与制作。

3. 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，如用灵敏度、线性度、迟滞、重复性和漂移等性能来描述。

(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，传感器灵敏度的定义如图 1-2 所示。一般用字母 S 表示传感器的灵敏度，公式定义如下：

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-1)$$

图 1-2a 所示为线性传感器的灵敏度，该直线的斜率就是传感器的灵敏度，它是一个常数；图 1-2b 所示为非线性传感器的灵敏度，在不同的曲线段灵敏度 S 有所变化，它是一个变量。无论线性和非线性传感器，灵敏度 S 值越大，就表示该传感器的分辨率越高。

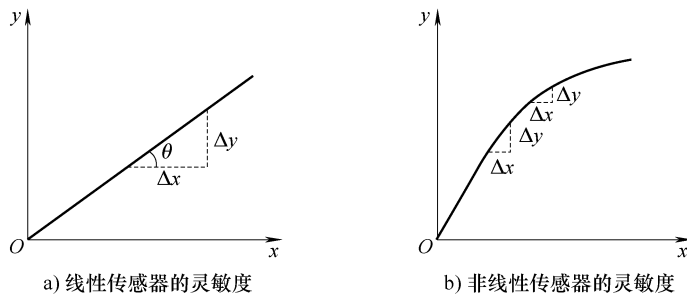


图 1-2 传感器的灵敏度

(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，如图 1-3 所示。从传感器的性能看，我们希望传感器具有线性关系，但实际遇到的传感器大多为非线性关系。如果传感器的非线性程度不严重，在输入量变化范围较小时，可用一段直线近似地代表实际曲线的一段，使传感器输入、输出特性线性化，这里所采用的直线一般称为拟合直线。

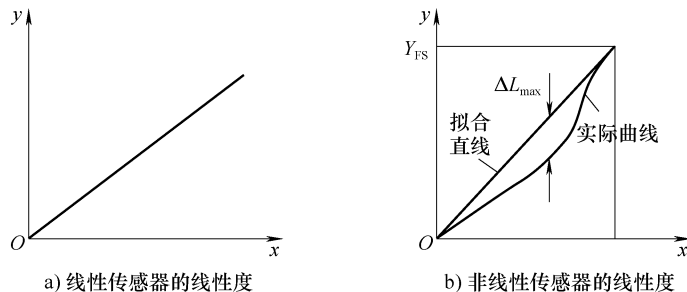


图 1-3 传感器的线性度

因此，传感器的线性度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 ΔL_{\max} 与满量程输出值 Y_{FS} 之比，一般用 γ_L 表示，公式定义如下：

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-2)$$

(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。传感器的迟滞特性如图 1-4 所示，对于同一大小的输入信号，传感器的正反行程输出信号大小不相等，这个差值称为迟滞差值。传感器在全量程范围内最大的迟滞差值 ΔH_{\max} 与满量程输出值 Y_{FS} 之比称为迟滞误差，用 γ_H 表示，迟滞误差又称为回差或变差，公式定义如下：

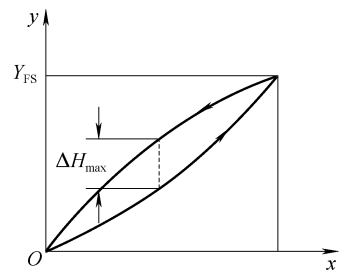


图 1-4 传感器的迟滞特性

$$\gamma_H = \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

(4) 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向做全量程连续多次变化时, 所得特性曲线不一致的程度, 如图 1-5 所示。重复性误差属于随机误差, 常用标准差 σ 计算, 公式见式 (1-4), 也可用正反行程中最大重复差值 ΔR_{\max} 计算, 公式见式 (1-5)。

$$\gamma_R = \pm \frac{(2 \sim 3)\sigma}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

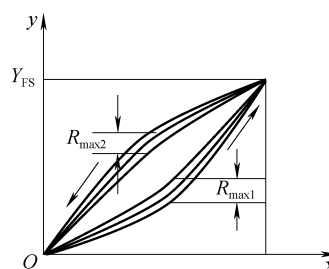


图 1-5 传感器的重复性

(5) 漂移

传感器的漂移是指在输入量不变的情况下, 传感器的输出量随着时间的变化而变化。产生漂移的原因主要有两个: 一是传感器自身的结构参数; 二是周围环境 (如温度、湿度等)。最常见的漂移是温度漂移, 即周围环境温度变化而引起输出的变化。

4. 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。由于传感器的惯性和滞后, 当被测量随时间变化时, 传感器的输出往往来不及达到平衡状态, 处于动态过程之中, 所以传感器的输出量也是时间的函数, 此时输出量与输入量之间的关系要用动态特性来表示。一个动态特性好的传感器, 其输出将再现输入量的变化规律, 即具有相同的时间函数。而实际的传感器其输出信号将不会与输入信号具有相同的时间函数, 这种输出与输入的差异就是动态误差。

传感器的动态特性不仅与传感器的“固有因素”有关, 还与传感器输入量的变化形式有关。也就是说, 同一个传感器在不同形式的输入信号作用下, 其输出量的变化是不同的, 通常采用阶跃信号和正弦信号作为标准输入信号来研究传感器的响应特性。

5. 传感器的主要应用

由于传感器能够把自然界中的各种物理量、化学量、生物量转化为可测量的电信号装置与元件, 感知被检测对象的各种性能参数和工作状态, 因此其应用相当广泛, 凡是具有检测和控制功能的场所一般都离不开传感器。目前传感器最重要的应用领域主要是工程机械行业、医疗设备产业、汽车电子产业、航天航空产业和物联网等。

在工程机械方面, 传感器比较典型的应用是挖掘机的液压控制系统, 主要有控制液压油的温度传感器、压力传感器、流量传感器和液位传感器等。此外, 还有用于装载机械超载的压力传感器以及工程机械驾驶室的温度、湿度、光照等传感器。工程机械常用的挖掘机如图 1-6a 所示, 装载机如图 1-6b 所示。

在医疗设备方面, 传感器广泛应用于各种医疗器械, 如呼吸机、麻醉机、输液泵、胰岛素泵, 以及各种检测仪和监护仪等。传感器的应用能使患者在治疗过程中感觉到更加舒适, 提高器械使用的安全性、可靠性和稳定性。医疗器械常用的呼吸机如图 1-7a 所示, 人体监护仪如图 1-7b 所示。目前医疗领域是传感器销售量巨大、利润可观的新兴市场。



图 1-6 传感器在工程机械上的应用

在汽车电子产业方面，现代高级轿车的电子化控制系统水平的关键就在于采用传感器的数量和水平，目前一辆普通家用轿车上大约安装几十到近百只传感器。如汽车发动机控制系统，它就离不开温度传感器、压力传感器、流量传感器、位置传感器、转速传感器、气体浓度传感器和爆燃传感器等。这些传感器可使发动机的动力性能发挥极致、降低油耗、减少废气排放及进行发动机故障检测等。



图 1-7 传感器在医疗设备上的应用

物联网也称传感网，物联网的定义是：通过射频识别、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何物品与互联网连接起来，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络，如图 1-8 所示。

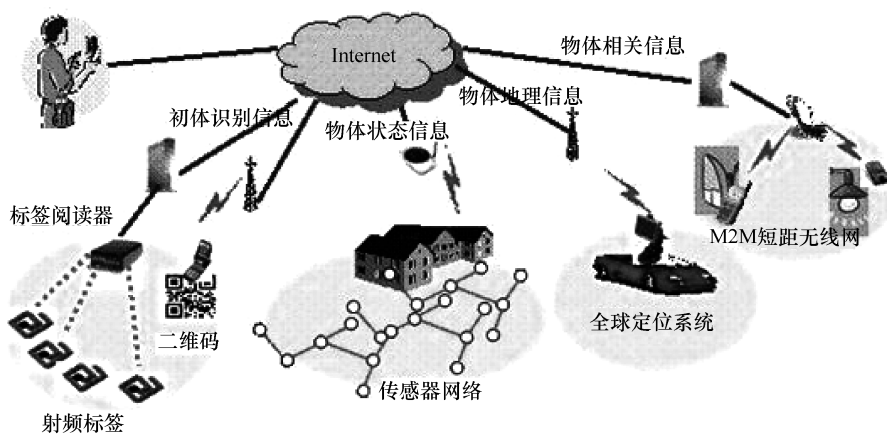


图 1-8 物联网应用结构图

物联网传感器早已渗透到诸如工业生产、智能家居、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领域。我们可以毫不夸张地说，从茫茫的太空到浩瀚的海洋，以至各种复杂的工程控制系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。

以上几个方面是传感器应用最多的行业，也是传感器的主要销售市场，但是随着传感器的发展，很多行业也在积极对其进行开发和利用，比如在鞋子上安装跑步传感器，在护腕上安装脉搏传感器等。总之，很多新型的传感器都在广泛地被开发与利用。

6. 传感器的发展趋势

近年来，随着我国传感技术的蓬勃发展，其应用领域也在迅速扩大，由于传感技术涉及面比较广泛，几乎渗透到了各个学科领域，因此对传感器新理论的探讨、新技术的应用、新材料的使用和新工艺的研究，将成为传感器未来的发展方向。

随着微机和微电子技术的日益普及和应用，对传感器的性能、数量及用途提出了新的要求，这就使人们更加重视对新型传感器的开发。对于传感器的发展，应注意以下几个方面。

(1) 努力实现传感器的新特性

由于自动化生产程度的不断提高，必须研制出一批检测范围宽、灵敏度高、精度好、响应速度快及互换性强的新型传感器，以确保自动化生产检测和控制的准确性。

(2) 确保传感器的可靠性，延长其使用寿命

确保传感器工作可靠性的意义是很重要的，因为它直接关系到电子设备的抗干扰和误动作的问题。传感器的可靠性主要体现在：具有较长的使用寿命，能在恶劣环境下工作及具有失效保险功能等。

(3) 提高传感器集成化及功能化的程度

传感器集成化是实现传感器小型化、智能化和多功能的前提。现在已能将敏感元件、温度补偿电路、信号放大电路、电压调制电路和基准电压等单元电路集成在同一芯片上，根据工程实际需要，今后将会把超大规模集成电路、执行机构与多种传感器集成在单个芯片上，以实现传感器检测功能与信息处理功能的一体化。

(4) 实现传感器微型化

微机电系统（又称 MEMS）是一种轮廓尺寸在毫米量级，组成元器件尺寸在微米量级的可运动的微型机电装置。MEMS 技术借助集成电路的制造技术来制造机械装置，可制造出微型齿轮、微型电机、泵、阀门、各种光学镜片及各种悬臂梁等，而它们的尺寸仅有 30 ~ 100 μm 。微机电系统技术与微电子技术的结合，为实现信号检测、信号处理、控制及执行机构集于一体的微型集成传感器提供了可能性。采用这种技术可以制成压力、加速度、光学、化学等微型集成传感器，它们在生物、医学、通信、交通运输、军事、航天及核能利用等领域有着非常重要的应用价值。

(5) 注重新型功能材料的开发

传感器技术的发展是与新材料的研究开发密切结合在一起的，各种新型传感器孕育在新材料之中。例如，半导体材料和新工艺的创新，促进了半导体传感器的迅速发展，促使人们研制和生产出了一批新型半导体传感器；压电半导体材料促进了压电集成传感器的开发；高分子压电薄膜的出现，将使机器人的触觉系统更加接近人的皮肤功能。我们可以预料在不久的将来，高分子材料、金属互化物、超导体与半导体的结合材料、非晶半导体、超微粒陶瓷、记忆合金、功能性薄膜等新型材料，将会促进一批新型传感器的出现。

1.2 常用传感器测量电路

传感器测量电路对于传感器和检测系统是一个非常重要的环节，其性能直接影响到整个系统的测量精度和灵敏度。在实际应用中，传感器测量电路位于传感器和检测电路之间，起着信号预处理和连接的作用。不同的传感器具有不同的输出信号，因此传感器测量电路的选择是根据传感器的输出信号特点及用途确定的，传感器测量电路可以是一个放大器，也可以是一个信号转换电路或者其他类型的处理电路。

1. 传感器输出信号的特点及处理方法

传感器输出信号通常可以分为两类：一类为模拟量，如压力、温度、加速度等物理量的测量值；另一类为数字量，如用光电或电磁传感器测量转速等的测量值。不同的传感器输出信号具有不同的特点，但总体上来说，传感器输出信号具有如下共同特点。

- 1) 传感器的输出会受温度的影响，其材料温度系数是变化的。
- 2) 传感器的输出随着输入物理量的强弱变化而变化，它们之间不一定是线性关系。
- 3) 由于传感器的动态特性的存在，其输出动态范围很宽。传感器的输出阻抗都比较高，这样传感器输出信号传输到测量电路时会产生较大的信号衰减。
- 4) 传感器的输出信号一般比较微弱，有的传感器输出的电压为 $0.1\mu\text{V}$ 量级。

根据传感器输出信号的特点，可采取不同的信号处理方法来提高测量系统的测量精度和线性度。而且，传感器的信号处理与传感器测量电路是相互关联的，往往要将传感器测量电路设计成具有一定信号预处理的功能，经预处理后的信号就会变成便于向控制器传输的信号形式。传感器测量电路对不同的传感器是有所差异的，其典型测量电路的功能见表 1-1。

表 1-1 传感器测量电路的功能

测量电路类型	主要功能
阻抗变换电路	将传感器的输出高阻抗转换为低阻抗，最大获取传感器的输出信号
信号放大电路	将微弱的传感器输出信号进行放大，易于信号处理
电流电压转换电路	将传感器的输出电流转换成电压信号，易于信号传输
交直流电桥电路	将传感器的电阻、电容、电感变化转换为易于传输的电流或电压信号
频率电压转换电路	将传感器输出的频率信号转换为易于传输的电流或电压信号
电荷放大器电路	将电场型传感器产生的输出电荷转换为易于传输的电压信号
信号滤波电路	通过低通、高通及带通滤波器消除传感器的噪声部分

2. 传感器的典型测量电路

(1) 电桥电路

当敏感元件是电阻、电容、电感时，检测测量改变的是传感器测量器件的电阻值、电容值或电感值。将传感器的电阻值、电容值或电感值变化量转换为易于传输的电流或电压，通常要用到电桥电路。桥式电路在传感器技术中的应用非常广泛，根据电桥供电电源类型的不同，电桥可以分为直流电桥和交流电桥。直流电桥主要用于电阻值变化的量，如热敏电阻、应变电阻、压敏电阻等；交流电桥主要用于测量电容值变化或电感值变化的传感器。

1) 直流电桥。

如图 1-9 所示为直流电桥的基本电路，它由直流电源供电，加在电桥的对角线 AC 上，4 个电阻构成桥式电路的桥臂，桥路的另一对角线 BD 是电桥的输出端，对于有高输入阻抗的放大器，可以将电桥的输出端视为开路，电路不受负载阻抗的影响。

电桥的输出电压可由下式给出：

$$U_{\text{out}} = \frac{E(R_2R_4 - R_1R_3)}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} \quad (1-6)$$

电桥平衡的条件为 $R_2R_4 = R_1R_3$ ，当电桥平衡时，公式 (1-6) 的输出电压为零。

当电桥 4 个臂的电阻发生变化而产生增量 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 和 ΔR_4 时，电桥的平衡被破坏，电桥此时的输出电压为

$$U_{\text{out}} = \frac{ER_1R_4}{(R_1 + R_4)^2} \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right) \quad (1-7)$$

若取 $K = \frac{R_4}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$ ，则有

$$U_{\text{out}} = \frac{Ek}{(1+k)^2} \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right) \quad (1-8)$$

当 $k=1$ 时，此时 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ，电桥输出灵敏度最大，即

$$U_{\text{out}} = \frac{E}{4} \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right) \quad (1-9)$$

该电桥电路称为四等臂电桥，此时输出灵敏度最高，其非线性误差最小，因此当条件具备时，在传感器的实际应用电路中采用四等臂电桥效果最佳。

2) 交流电桥。

如图 1-10 所示为适用于电容变化的交流电桥测量电路。

其中， C_1 、 C_2 、 C_4 和 C_x 为电桥的 4 个桥臂， C_x 为电容式传感器的电容值。交流电源经变压器 T 接到交流电桥的一对角线上，从交流电桥的另一对角线输出电压。当电容式传感器输入的被测物理量为 0 时， $C_x = C_0$ （电容初始值），通过合理选择电容参数值，满足 $\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_0}{C_4}$ ，此时交流电桥平衡，电桥输出电压 $U_{\text{out}} = 0$ 。

当被测物理量不为 0 时，传感器输出为 $C_x = C_0 + \Delta C$ ，交流电桥失去平衡， $U_{\text{out}} \neq 0$ ，因此可根据电桥输出电压的大小来测量被测物理量。

如图 1-11 所示为适用于电感变化的交流电桥测量电路。其中， Z_1 和 Z_2 为螺管式差动传感器的两个线圈阻抗，电桥的另两个桥臂为变压器二次绕组。因

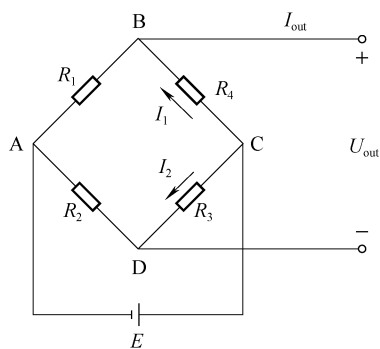


图 1-9 直流电桥的基本电路

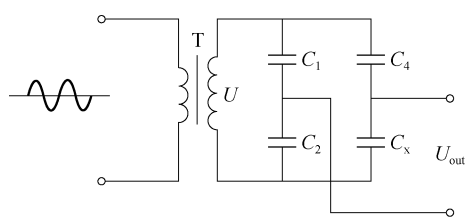


图 1-10 适合测量电容值改变的交流电桥

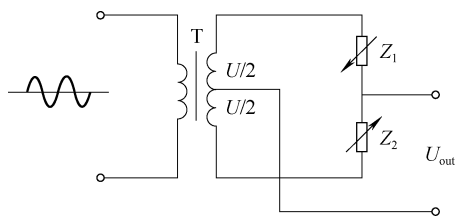


图 1-11 适合测量电感值改变的交流电桥