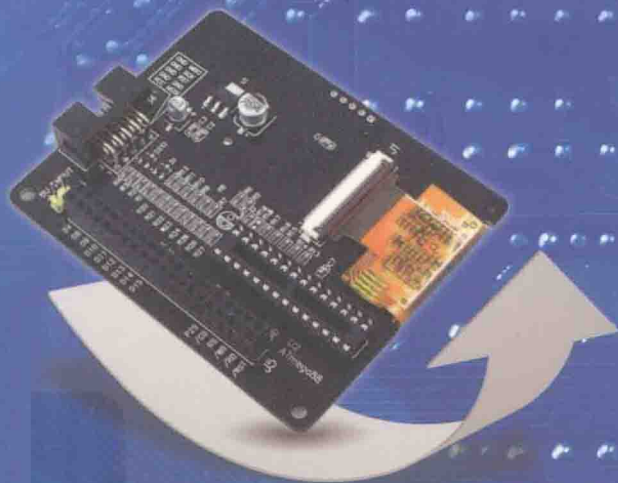




高职高专电气及电子信息专业技能型规划教材

传感器技术与应用

贾海瀛 编著



赠送
电子课件

国家级精品课程

清华大学出版社



高职高专电气及电子信息专业技能型规划教材

传感器技术与应用

贾海瀛 编 著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国家级精品课程的配套教材,详细介绍了传感器技术的基本概念、特性、作用和发展趋势,各种常用传感器的基本结构、使用性能、工作原理和测量电路,具体实例中传感器的选用原则,典型非电量——温度、湿度、气体、力、液位、流量、位移和速度等的检测应用实例。

本书由生产生活中的具体实例引入,深入浅出,将传感器技术与应用技能的相应知识点融入工作任务之中,减少了复杂公式的推导过程,增加了常用传感器性能、选用等知识,新型传感器的使用以及大量的生产生活中的实际应用实例电路参考,操作性极强。

本书可作为高等职业院校应用电子技术、自动控制、仪器仪表、机电一体化等专业的教学用书(参考学时为80~100学时),也可供中等专业学校师生、工程技术人员及自学者参考。

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

传感器技术与应用/贾海瀛编著. —北京:清华大学出版社,2011.10

(高职高专电气及电子信息专业技能型规划教材)

ISBN 978-7-302-26817-8

I. ①传… II. ①贾… III. ①传感器—高等职业教育—教材 IV. ①TP212.

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 186824 号

责任编辑:石 伟

封面设计:山鹰工作室

版式设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

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

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.75 字 数:328 千字

版 次:2011 年 10 月第 1 版 印 次:2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00 元

产品编号:040622-01

前 言

随着我国高职教育改革的不断推进, 高职教育的教学模式、教学方法在不断地创新, 高职教材也必须与之相适应, 进行重新调整和定位, 突出高职特色, 以满足培养技术应用型人才的需要。

本课程教学内容的组织与安排的特点是: 由生产、生活中具体实例引入, 采用任务引领的课程教学方式, 将传感器技术与应用技能和知识点融入到实际工作任务之中, 在符合工作过程的基础上, 充分考虑学习者的认知心理过程, 将课程内容分为 6 个学习情境, 再细化为多个工作任务的教学内容, 从典型的检测对象着手, 选择合适的传感器, 认识该类传感器的外形、标定、基本结构和使用特点, 了解测量原理, 在掌握基本知识的基础上, 介绍相应的测量转换电路、信号处理电路和安装、使用与调试方法来完成检测任务。

本书是编者结合多年来从事传感器技术的教学、科研和生产实践的体会, 学习和吸收了国内外文献资料的精华撰写而成的。本书的编写以“够用、实用”为原则, 尽可能地紧密结合生产实践和日常生活, 突出应用, 满足高职教育的需求。本书适用学时为 80~100 学时, 其参考学时分配为: 温度的检测(14~18 学时)、湿度的检测(8~10 学时)、气体的检测(8~10 学时)、力的检测(14~18 学时)、液位的检测(14~18 学时)和位移的检测(22~26 学时)。

本书由天津职业大学贾海瀛教授编写, 天津中环电子计算机公司的教授级高工王金林提供企业实际案例任务, 天津职业大学的蒋敦斌教授、李莉副教授、耿坤等教师也提供了很多资料和很好的意见, 在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 时间仓促, 书中难免有欠妥和错误之处, 恳请广大读者批评指正。

编 者



读者回执卡

欢迎您立即填写回函

您好!感谢您购买本书,请您抽出宝贵的时间填写这份回执卡,并将此页剪下寄回我公司读者服务部。我们会在以后的工作中充分考虑您的意见和建议,并将您的信息加入公司的客户档案中,以便向您提供全程的一体化服务。您享有的权益:

- ★ 免费获得我公司的新书资料;
- ★ 寻求解答阅读中遇到的问题;
- ★ 免费参加我公司组织的技术交流会及讲座;
- ★ 可参加不定期的促销活动,免费获取赠品;

读者基本资料

姓名 _____ 性别 男 女 年龄 _____
 电话 _____ 职业 _____ 文化程度 _____
 E-mail _____ 邮编 _____
 通讯地址 _____

请在您认可处打√ (6至10题可多选)

- 您购买的图书名称是什么: _____
- 您在何处购买的此书: _____
- 您对电脑的掌握程度: 不懂 基本掌握 熟练应用 精通某一领域
- 您学习此书的主要目的是: 工作需要 个人爱好 获得证书
- 您希望通过学习达到何种程度: 基本掌握 熟练应用 专业水平
- 您想学习的其他电脑知识有: 电脑入门 操作系统 办公软件 多媒体设计
编程知识 图像设计 网页设计 互联网知识
- 影响您购买图书的因素: 书名 作者 出版机构 印刷、装帧质量
内容简介 网络宣传 图书定价 书店宣传
封面、插图及版式 知名作家(学者)的推荐或书评 其他
- 您比较喜欢哪些形式的学习方式: 看图书 上网学习 用教学光盘 参加培训班
- 您可以接受的图书的价格是: 20元以内 30元以内 50元以内 100元以上
- 您从何处获知本公司产品信息: 报纸、杂志 广播、电视 同事或朋友推荐 网站
- 您对本书的满意度: 很满意 较满意 一般 不满意
- 您对我们的建议: _____

请剪下本页填写清楚,放入信封寄回,谢谢!

1 0 0 0 8 4

北京100084—157信箱

贴 邮
票 处

读者服务部

收

邮政编码:

目 录

绪论	1	情境三 湿度的检测	49
任务一 认识传感器	1	【情境描述】	49
任务二 了解常用传感器的作用和基本 构成	3	任务 浴室湿度的检测	49
任务三 了解传感器的分类和发展	4	◆ 任务要求	49
任务四 学会选用传感器	9	◆ 知识引入	49
情境一 温度的检测	13	◆ 任务实施	56
【情境描述】	13	◆ 能力拓展	58
任务一 盐浴炉温度的检测	13	思考与练习题	60
◆ 任务要求	13	情境四 力的检测	61
◆ 知识引入	14	【情境描述】	61
◆ 任务实施	18	任务一 重量的检测	61
◆ 能力拓展	21	◆ 任务要求	61
任务二 家用电器温度的检测	22	◆ 知识引入	61
◆ 任务要求	22	◆ 任务实施	72
◆ 知识引入	23	◆ 能力拓展	74
◆ 任务实施	32	任务二 煤气灶压电点火检测	79
◆ 能力拓展	35	◆ 任务要求	79
思考与练习题	39	◆ 知识引入	79
情境二 气体的检测	40	◆ 任务实施	90
【情境描述】	40	◆ 能力拓展	91
任务 家用厨房可燃气体的检测	40	思考与练习题	93
◆ 任务要求	40	情境五 液位的检测	95
◆ 知识引入	40	【情境描述】	95
◆ 任务实施	44	任务一 储水池的液位检测	96
◆ 能力拓展	46	◆ 任务要求	96
思考与练习题	47	◆ 知识引入	96
		◆ 任务实施	105

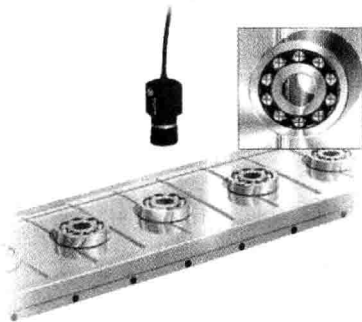
◆ 能力拓展	106	任务二 光电传感器用于物位和转速的	
任务二 密闭容器的液位检测	114	检测	145
◆ 任务要求	114	◆ 任务要求	145
◆ 知识引入	114	◆ 知识引入	145
◆ 任务实施	119	◆ 任务实施	164
◆ 能力拓展	121	◆ 能力拓展	167
思考与练习题	123	任务三 霍尔传感器用于电机转速的	
情境六 位移的检测	125	测量	171
【情境描述】	125	◆ 任务要求	171
任务一 电感式接近开关用于物位的		◆ 知识引入	171
检测	125	◆ 任务实施	180
◆ 任务要求	125	◆ 能力拓展	181
◆ 知识引入	126	思考与练习题	189
◆ 任务实施	140	附录 常用电子术语中英文对照	191
◆ 能力拓展	143	参考文献	211

绪 论

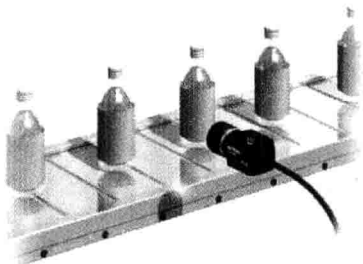
传感器技术与应用是应用电子技术专业一门实践性很强的专业核心课程，几乎所有的电子产品中都涉及传感器的应用。本课程基于“工作过程系统化”设计理念，邀请行业专家对应用电子专业所涵盖的岗位进行工作任务和职业能力分析，并以此为依据确定本课程的工作任务和课程内容。根据应用电子专业所涉及的传感器应用的知识内容，设计若干个学习情境，实施情境化教学，使学生掌握各类传感器选用、测量电路调试等相关专业知识和技能。学生通过该课程的学习，掌握常用传感器检测和选用的系统知识。本书旨在培养学生对电子产品中传感器的认识和选用技能，同时加强学生对电子测试设备的实践操作能力的培养，为测控技术、自动控制实训及家电维修实训等后续专业课程的学习打下基础，同时养成学生职业素质，锻炼学生的思考能力和实践能力。

任务一 认识传感器

人类社会在发展过程中，需要不断地认识自然与改造自然，这种认识与改造必然伴随着对各种信号的感知和测量，这些都需要应用传感器技术。传感器技术运用在自动检测和控制系统中，对系统运行的各项功能起重要作用。系统的自动化程度越高，对传感器的依赖性就越强。如图 0-1 所示生产环节中，可利用传感器在线检测：零件尺寸、产品缺陷、装配定位……



(a) 检查轴承中滚珠是否脱漏



(b) 检查容器内的液位

图 0-1 生产环节中使用传感器检测

传感器(Sensor)是能感受规定的被测量并按照一定的规律将其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。敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分;转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号的部分。传感器技术遍布各行各业、各个领域,如工业生产、科学研究、现代医学领域,现代农业生产、国防科技、家用电器、甚至儿童玩具也少不了传感器。如图 0-2 所示为现在汽车领域中的传感器应用。

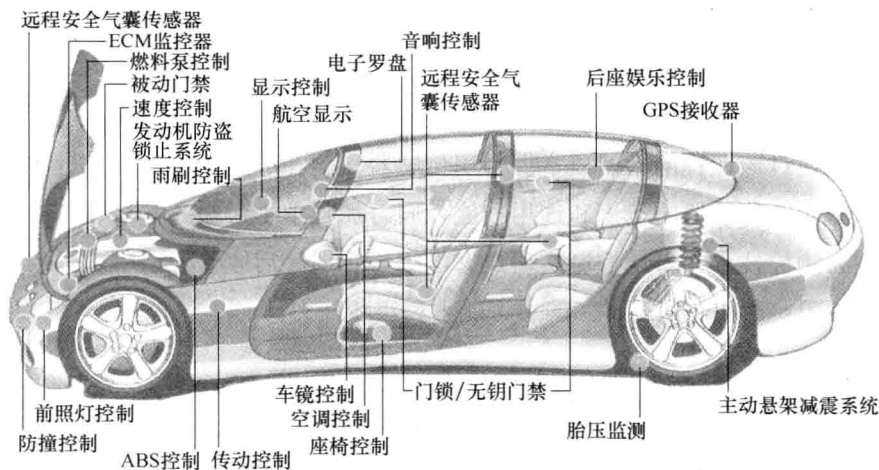


图 0-2 汽车领域中的各种传感器应用

日常生活中也大量使用了各种传感器,如全自动洗衣机、音响设备、计算机、打印机、遥控电视等。例如电视机遥控器就是利用红外光(红外线)接收与发射传感器来控制电视的。传感器的种类繁多,从外观上看千差万别,图 0-3 所示为部分传感器的外观形状,不过,这只是成千上万种传感器的一小部分。

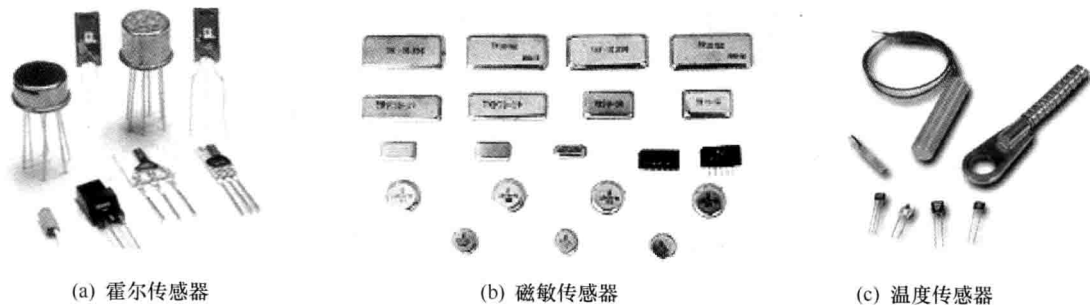


图 0-3 各种常用传感器



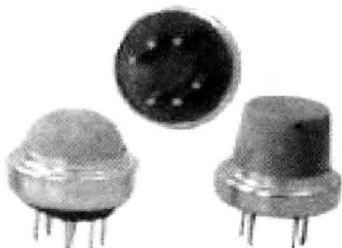
(d) 超声波传感器



(e) 压力传感器



(f) 压电传感器



(g) 气敏传感器



(h) 液位传感器

图 0-3 各种常用传感器(续)

任务二 了解常用传感器的作用和基本构成

传感器是一种能将物理量、化学量、生物量等非电量转换成电信号的器件，其组成框图如图 0-4 所示。输出信号有不同形式，如电压、电流、频率、脉冲等，能满足信息传输、处理、记录、显示、控制要求。传感器是自动检测系统和自动控制系统中不可缺少的元件，如果把计算机比作大脑，那么传感器则相当于五官，如图 0-5 所示。传感器能正确感受被测量并转换成相应输出量，对系统的质量起决定性作用，自动化程度越高，系统对传感器要求也就越高。

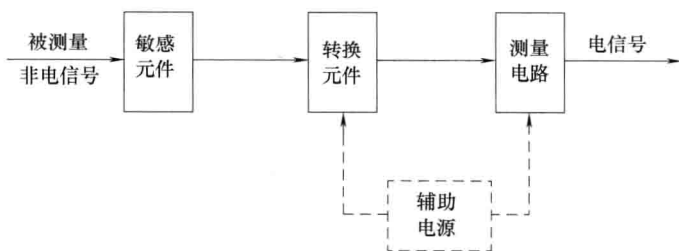


图 0-4 传感器组成框图

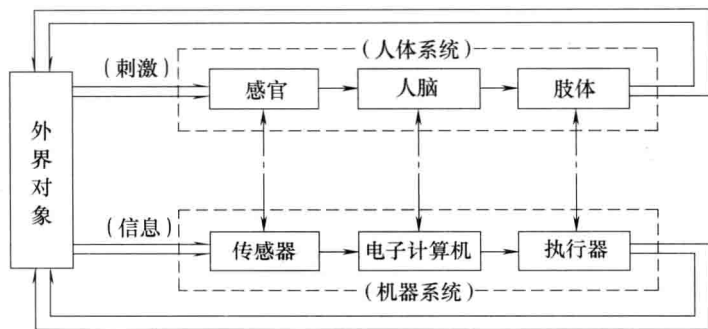


图 0-5 人与机器的机能对应关系

这里，敏感元件(sensing element)是直接感受被测量的变化，并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件，是传感器的核心；转换元件(transduction element)是将敏感元件输出的物理量转换成适于传输或测量的电信号；测量电路(measuring circuit)则是将转换元件输出的电信号进一步转换和处理，如放大、滤波、线性化、补偿等，以获得更好的品质特性，便于后续电路实现显示、记录、处理及控制等功能。

任务三 了解传感器的分类和发展

一、传感器的分类

传感器的种类繁多，其分类详见表 0-1。

表 0-1 传感器的分类

分类方法	说明	举例
按输入量分类	传感器以被测物理量分类，也即按用途分类，便于用户选择	位移传感器、速度传感器、温度传感器、压力传感器等
按工作原理分类 (变换原理)	传感器以工作原理命名，便于生产厂家专业生产	应变式、电容式、电感式、压电式、热电式等
按物理现象分类 (信号变换特征)	结构型	传感器依赖其结构参数变化实现信息转换 电容式传感器：利用电容极板间隙或面积的变化 $\rightarrow \Delta C$
	物性型	传感器依赖其敏感元件物理特性的变化实现信息转换 压电式传感器：压电效应，力 \rightarrow 电荷 热电偶：热电效应

续表

分类方法		说明	举例
按能量关系分类	能量控制型	由外部供给传感器能量, 而由被测量来控制输出的能量	电容传感器: 需外部供电, 使 $x(t) \rightarrow \Delta C \rightarrow$ 电流或电压
	能量转换型	传感器直接将测量的能量转换为输出量的能量	温度计: 吸收被测物的能量 磁电式: 线圈切割磁力线 \rightarrow 感应电势
按输出信号分类	模拟式	输出量为模拟量	
	数字式	输出量为数字量	

二、传感器的基本特性

传感器的基本特性是指系统的输出输入关系特性, 即系统输出信号 $y(t)$ 与输入信号(被测量) $x(t)$ 之间的关系, 如图 0-6 所示。

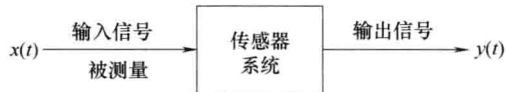


图 0-6 传感器系统

1. 静态特性

当传感器的输入信号是常量, 不随时间变化(或变化极缓慢)时, 其输出输入关系特性称为静态特性。传感器的静态特性主要由下列几种性能来描述。

1) 测量范围(measuring range)

传感器所能测量到的最小输入量 x_{\min} 与最大输入量 x_{\max} 之间的范围称为传感器的测量范围。

2) 量程(span)

传感器测量范围的上限值 x_{\max} 与下限值 x_{\min} 的代数差 $x_{\max} - x_{\min}$ 称为量程。

3) 精度(accuracy)

传感器的精度是指测量结果的可靠程度, 是测量中各类误差的综合反映。工程技术中为简化传感器精度的表示方法, 引用了精度等级的概念。精度等级以一系列标准百分比数值分档表示, 代表传感器测量的最大允许误差(相对误差)。

4) 线性度(linearity)

所谓传感器的线性度是指其输出量与输入量之间的关系曲线偏离理想直线的程度, 又称为非线性误差。

5) 灵敏度(sensitivity)

灵敏度是指传感器输出的变化量与引起该变化量的输入变化量之比, 即 $k = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, 如图 0-7 所示。

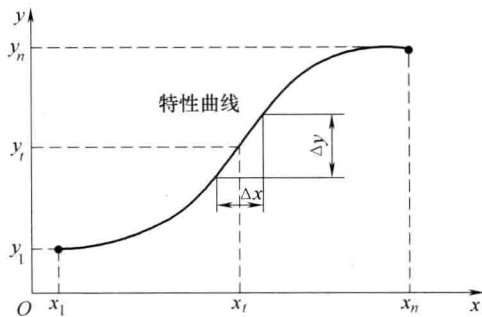


图 0-7 传感器的灵敏度

6) 分辨率和阈值(resolution and threshold)

传感器能检测到输入量最小变化量的能力称为分辨率, 当分辨率以满量程输出的百分数表示时则称为分辨率。阈值是指能使传感器的输出端产生可测变化量的最小被测输入量值, 即零点附近的分辨率。

7) 重复性(repeatability)

重复性是指传感器在输入量按同一方向作全量程连续多次变动时所得特性曲线间不一致的程度, 如图 0-8 所示, 图中 y_{FS} 为满量程输出值。

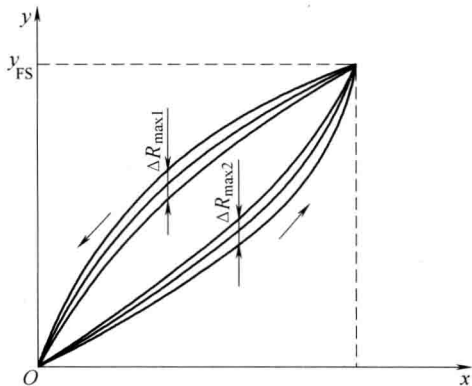


图 0-8 传感器的重复性

8) 迟滞(hysteresis)

迟滞特性表明传感器在正(输入量增大)反(输入量减小)行程中输出与输入曲线不重合的

程度,如图 0-9 所示。迟滞 $\gamma_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta H_{\max}}{y_{FS}} \times 100\%$ 。

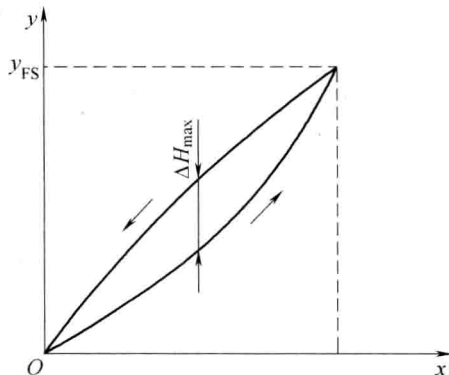


图 0-9 传感器的迟滞特性

9) 稳定性(stability)

稳定性表示传感器在一个较长的时间内保持其性能参数的能力。稳定性一般以室温条件下经过一规定时间间隔后,传感器的输出与起始标定时的输出之间的差异来表示,称为稳定性误差。稳定性误差可用相对误差表示,也可用绝对误差来表示。

10) 漂移(drift)

传感器的漂移是指在外界的干扰下,在一定时间间隔内,传感器输出量发生与输入量无关的、不需要的变化。漂移包括零点漂移和灵敏度漂移等,如图 0-10 所示。

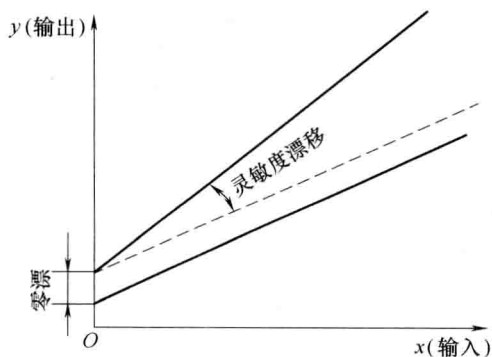


图 0-10 传感器的漂移

2. 动态特性

动态特性是指传感器对于随时间变化的输入信号的响应特性,是传感器的重要特性之一。传感器的动态特性与其输入信号的变化形式密切相关,最常见、最典型的输入信号是

阶跃信号和正弦信号。对于阶跃输入信号，传感器的响应称为阶跃响应或瞬态响应，对于正弦输入信号，则称为频率响应或稳态响应。可从时域和频域两个方面采用瞬态响应法和频率响应法来分析动态特性。动态特性好的传感器应具有较短的暂态响应时间和较宽的频率响应特性。动态特性的数学描述是微分方程，虽然实际中的传感器较复杂，一般不能直接给出动态响应特性的微分方程，但是可通过实验给出传感器与阶跃响应曲线和幅频特性曲线上的某些特征值来表示仪器的动态响应特性。大部分传感器的动态特性可近似用一阶或二阶系统来描述，其动态分析方法详见《自动控制原理》相关内容。

三、传感器的发展

在今天的信息时代里，信息产业包括信息采集、传输、处理三部分，即传感技术、通信技术、计算机技术。现代的计算机技术和通信技术由于超大规模集成电路的飞速发展，而已经充分发达后，不仅对传感器的精度、可靠性、响应速度、获取的信息量要求越来越高，还要求其成本低廉且使用方便。显然传统传感器因功能、特性、体积、成本等已难以满足现在的需求而逐渐被淘汰。世界许多发达国家都在加快对传感器新技术的研究与开发，并且都已取得极大的突破。如今传感器新技术的发展，主要有以下几个方面。

1. 发现并利用新现象

利用物理现象、化学反应、生物效应作为传感器原理，所以研究发现新现象与新效应是传感器技术发展的重要工作，是研究开发新型传感器的基础。

日本夏普公司利用超导技术研制成功高温超导磁性传感器，是传感器技术的重大突破，其灵敏度高，仅次于超导量子干涉器件。它的制造工艺远比超导量子干涉器件简单。可用于磁成像技术，有广泛推广价值。

2. 利用新材料

传感器材料是传感器技术的重要基础，由于材料科学进步，人们可制造出各种新型传感器。例如用高分子聚合物薄膜制成温度传感器；光导纤维能制成压力、流量、温度、位移等多种传感器；用陶瓷制成压力传感器。

3. 微机械加工技术

半导体技术中的加工方法有氧化、光刻、扩散、沉积、平面电子工艺，各向异性腐蚀及蒸镀，溅射薄膜等技术都已应用到传感器制造领域。因而产生了各种新型传感器，如利用半导体技术制造出硅微传感器，利用薄膜工艺制造出快速响应的气敏、湿敏传感器，利用溅射薄膜工艺制造出压力传感器等。

4. 集成传感器

集成传感器的优势是传统传感器无法达到的,它不再是一个简单的传感器,而是将辅助电路中的元件与传感元件同时集成在一块芯片上,使之具有校准、补偿、自诊断和网络通信的功能。它可降低成本、增加产量,美国 LUCAS、NOVASENSOR 公司开发的集成血压传感器,每星期能生产 1 万只。

5. 智能化传感器

智能化传感器是一种带微处理器的传感器,是微型计算机和传感器相结合的成果,它兼有检测、判断和信息处理功能,与传统传感器相比有很多特点。美国 HONYWELL 公司 ST-3000 型智能传感器,芯片尺寸才有 $3 \times 4 \times 2 \text{mm}^3$,采用半导体工艺,在同一芯片上制成 CPU、EPROM 和静压、压差、温度等三种敏感元件,把传感器、信号调节电路、单片机集成在一芯片上,形成超大规模集成化的高级智能传感器。

传感器的发展日新月异,特别是人类由高度工业化进入信息时代以来,传感器技术向更新、更高的技术发展。美国、日本等发达国家的传感器技术发展最快,我国由于基础薄弱,传感器技术与这些发达国家相比有较大的差距。因此,我们应该加大对传感器技术研究、开发的投入,使我国传感器技术与外国差距缩短,促进我国仪器仪表工业和自动化技术的发展。

任务四 学会选用传感器

一、传感器的选择原则

现代传感器在原理与结构上千差万别,如何根据具体的测量目的、测量对象以及测量环境合理地选用传感器,是在进行某个测量时首先要解决的问题。当传感器确定之后,与之相配套的测量方法和测量设备也就可以确定了。测量结果的成败,在很大程度上取决于传感器的选用是否合理。选择传感器总的原则是:在满足检测系统对传感器所有要求的情况下,成本低廉、工作可靠且容易维修,即要求性价比高。

在具体选择传感器时,应从以下几个方面考虑。

1. 测试条件与目的

- (1) 测试的目的。
- (2) 被测量的选择。
- (3) 测量范围(使用的指示在满量程的 50%以上,以保证其精度)。
- (4) 过载的发生频率。

- (5) 输入信号频带。
- (6) 测量要求的精度。
- (7) 测量时间。

2. 传感器的性能

- (1) 精度。
- (2) 稳定性。
- (3) 响应速度。
- (4) 输出信号类型(模拟或数字)。
- (5) 静态特性、动态特性和环境特性。
- (6) 传感器的工作寿命和循环寿命。
- (7) 标定周期。
- (8) 信噪比。

3. 传感器的使用条件

- (1) 所测量的流体、固体对传感器的影响。
- (2) 传感器对被测对象的质量(负荷)效应。
- (3) 安装现场条件及环境条件(温度、湿度、振动等)。
- (4) 信号的传输距离。
- (5) 传感器的输出端的连接方式。
- (6) 传感器对所测量物理量的实际值的影响。
- (7) 传感器是否符合国家标准或工业规范。
- (8) 传感器的失效形式。
- (9) 传感器的维护、安装、使用以及工作人员所具备的最低技术能力。
- (10) 传感器的标定方法。
- (11) 传感器的安装方式。
- (12) 过载保护。

4. 传感器所连接数据采集系统及辅助设备

- (1) 传感器所连接数据系统的一般性质。
- (2) 数据系统主要单元的性质,其中包括数据传输连接方式、数据处理方法、数据存储方法和数据显示方法等。
- (3) 数据系统的精确性和频率响应特性。
- (4) 传感器连接数据系统的负荷阻抗特性。