

中等职业教育国家规划教材配套教学用书

传感器及其应用

(电子技术应用专业)

主编 谢文和



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材配套教学用书

传感器及其应用

(电子技术应用专业)

主 编 谢文和

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材配套教学用书,根据2001年教育部颁发的《中等职业学校电子技术应用专业教学指导方案》中“传感技术及应用教学基本要求”,并参照有关行业的职业技能鉴定及中级技术工人等级考核标准编写。

本书主要内容包括传感技术基础知识、常用典型传感器及其应用、传感器实验等内容。

本书采用由总体到局部,逐级展开、延伸的编写方式,将传感技术的基础知识与常用的典型传感器件相结合,并通过必要的实验分析相贯通;对传统内容进行必要的压缩,加强应用内容的介绍,注重提高学生的应用能力及分析能力。

本书可供中等职业学校电子信息类专业使用,亦可作为相关岗位技术人员的学习和培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器及其应用/谢文和主编.—北京:高等教育出版社,2003.7(2007重印)

ISBN 978-7-04-012617-4

I. 传... II. 谢... III. 传感器-高等学校-教材
IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 025079 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京未来科学技术研究所
有限责任公司印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 8.75
字 数 200 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2003 年 7 月第 1 版
印 次 2007 年 5 月第 7 次印刷
定 价 11.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 12617-00

前 言

本书根据 2001 年教育部颁发的《中等职业学校电子技术应用专业教学指导方案》中“传感技术及应用教学基本要求”编写。本书主编在电子行业已工作了三十多年，从事中等职业教育二十余年，在长期从事理论与实践教学的过程中，深切感受到目前这一学科现有的有关教材，大多数不太适合中等职业教育教学的需要，与新的教学基本要求存在一定的差距。为了及时提供与新教学基本要求配套的教材，尽快培养一大批能够适应现代化工业生产，具备高素质的操作、维护、保养现代化生产加工设备的技术工人，满足当今工业自动化生产的迫切需要，本书主编在两位有着丰富教学经验的老师配合下，着手编写了本教材。

本书在编写时，尽力体现以下特点：

1. 考虑到使用对象，故特别注意编写内容的适应性和适用性，尽可能地降低理论难度，简单、明了，分析中尽可能采用定性分析的原则加以处理，删除复杂的理论叙述及定量分析。
2. 各类传感器的介绍，遵循从原理到应用、逐段展开、深入浅出、图文并茂的原则。
3. 尽力拓宽基本知识、基本技能的理解和掌握。教材中加大了实际应用的内容。
4. 为加强实践能力的培养，教材中同时编写了实验内容（在教材编写中，实验内容过去绝大多数是另外处理的）。本书根据教材编写内容选编了八个实验，供授课时选用。
5. 为了学好这门课程，在选修该课程之前，应具有相应的专业基础课程（如：电工、电子线路、模拟电路、数字电路、工程制图、机械基础等）知识及必要的分析能力。
6. 与时俱进，编写时尽力引进新知识、新技术、新产品、新工艺。例如：一些新型号的传感器件，新的标准、新的电路等，以保证教材的新颖。
7. 考虑到模块化教学和适应弹性学制的要求，在教材处理时，除基础知识外，均采用了单个传感器件介绍的原则，授课时可根据主干课的需要，自行选用。实验亦是如此。

本书参考学时数为 64 学时（其中：理论教学 46 学时，实验教学 16 学时），学时分配建议按下表进行（仅供参考），学分数为 4 学分（按 16 学时为 1 学分计算）。

课时分配表

序号	课 程 内 容	课 时 数			
		讲课	实训与实验	机 动	合 计
1	绪 论	1			1
2	第一章 传感器简论	3			3
3	第二章 传感器测量电路	4			4
4	第三章 电阻式传感器	4	2		6
5	第四章 电容式传感器	4	2		6
6	第五章 电感式传感器	4	2		6
7	第六章 霍尔式传感器	4	2		6

续表

序号	课 程 内 容	课 时 数			
		讲课	实训与实验	机 动	合 计
8	第七章 压电式传感器	4	2		6
9	第八章 热电式传感器	6	2		8
10	第九章 光电式传感器	6	2		8
11	第十章 数字式传感器	6	2		8
12	第十一章 传感器实验				
13	机 动			2	2
14	总 计	46	16	2	64

本书由南京信息职业技术学院谢文和主编，湖南铁道职业技术学院严俊、曹卫权参编。其中：谢文和编写了绪论及第一、二、三、四章等；第五、六、八章由严俊编写；第七、九、十章由曹卫权编写。第十一章中的实验分属相关章节，由三位老师根据教材内容要求选编而成。全书由南京信息职业技术学院谢文和统稿。本书由东南大学吴宗汉教授担任主审，审稿期间提出了许多宝贵的修改意见，为提高本书的质量起到了很好的作用，在此表示衷心感谢。

由于编者学识和水平有限，错漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2002 年 12 月

目 录

绪论	(1)	第一节 霍尔式传感器的工作原理	(57)
第一章 传感器简论	(3)	第二节 霍尔元件及主要技术参数	(58)
第一节 传感器的基本概念	(3)	第三节 霍尔式传感器的集成与应用	(64)
第二节 传感器的组成与分类	(3)	思考题与习题	(66)
第三节 传感器的基本特性	(4)	第七章 压电式传感器	(67)
第四节 传感器检测系统的基本组成	(8)	第一节 压电式传感器的工作原理	(67)
思考题与习题	(9)	第二节 压电式传感器的测量电路	(70)
第二章 传感器测量电路	(10)	第三节 压电式传感器的结构与应用	(71)
第一节 传感器测量电路的作用与 要求	(10)	思考题与习题	(73)
第二节 传感器测量电路的类型、 特点与组成	(11)	第八章 热电式传感器	(74)
第三节 噪声与抗干扰技术	(14)	第一节 热电阻、热敏电阻传感器	(74)
思考题与习题	(20)	第二节 热电偶传感器	(77)
第三章 电阻式传感器	(21)	思考题与习题	(85)
第一节 电阻应变片式传感器	(21)	第九章 光电式传感器	(86)
第二节 气敏与湿敏电阻传感器	(31)	第一节 光电式传感器的基本知识	(86)
思考题与习题	(38)	第二节 光电式传感器及其基本特性	(87)
第四章 电容式传感器	(39)	第三节 光电式传感器的应用	(97)
第一节 电容式传感器的基本概念 及主要特点	(39)	思考题与习题	(102)
第二节 电容式传感器的工作原理 及结构形式	(40)	第十章 数字式传感器	(103)
第三节 电容式传感器典型测量电 路及分析	(43)	第一节 光栅传感器	(103)
第四节 电容式传感器的应用	(45)	第二节 光电式脉冲传感器	(109)
思考题与习题	(48)	第三节 感应同步器	(111)
第五章 电感式传感器	(49)	思考题与习题	(118)
第一节 自感式电感传感器	(49)	第十一章 传感器实验	(119)
第二节 互感式电感传感器	(52)	第一节 电阻式传感器实验	(119)
第三节 电感式传感器的应用	(54)	第二节 电容式传感器实验	(121)
思考题与习题	(56)	第三节 电感式传感器实验	(122)
第六章 霍尔式传感器	(57)	第四节 霍尔式传感器实验	(125)
		第五节 压电式传感器实验	(126)
		第六节 热电式传感器实验	(127)
		第七节 光电式传感器实验	(129)
		第八节 数字式传感器实验	(131)
		参考文献	(133)

绪 论

一、传感器技术的由来、现状与发展

由探头技术发展而来的传感器技术历经半个多世纪的发展，至今已形成了一个独特的领域。随着信息时代的到来和不断推进，信息技术的相关行业正如雨后春笋，破土而出，蒸蒸日上。传感器技术正是在这一背景下孕育生成，不断壮大的。近几十年来，传感器技术在工业自动化、国防军事及以宇宙、海洋开发为代表的尖端科学技术等重要领域广泛应用的同时，正以它巨大的潜力和独特的魅力向着与人类生活息息相关的各个层面进行渗透，如交通运输、安全防范、医疗卫生、生物工程、环境保护、家用电器等。

信息技术的关键在于信息的采集和信息的处理。其中信息的采集是由传感器来完成的，而信息的处理则是由计算机去完成。因此，传感器又被人们称之为“电五官”（它应具有人的眼、耳、鼻、口和皮肤的功能）。传感器技术与计算机技术两者之间相互协调、共同促进与发展的程度，将直接导致整个信息技术发展的速度和走向。

传感器的重要性集中体现在它是实现自动检测与自动控制的首要环节。如果没有传感器对原始信息（信号或参数）进行精确、可靠的测量，就无法实现从信号的提取、转换、处理到生产过程的自动化。一个复杂的系统工程是如此，一台普通的家用电器也是如此。随着计算机技术的飞速发展和大面积普及，传感器在新技术中的地位和作用将更为突出。传感器的开发与应用速度落后于计算机开发与应用速度的现状已成为微型计算机进一步发展和应用的一大障碍；许多具有竞争力的产品的开发和技术改造，都离不开传感器技术的支持。因此，研制、开发大批急需的传感器件以适应当今科技发展和普及的要求，已成定局；科学、合理地应用传感器技术为人类服务，已刻不容缓。

随着科学技术的不断进步，特别是自动化技术的广泛应用，传感器技术与相应的检测技术必将得到更大的发展。其发展的趋势将向以下几个方面突破。

1. 集成化

集成化就是利用集成加工技术，将敏感元件、放大电路、运算电路、补偿电路等集成在一块芯片上；或是在同一个芯片上，将众多同类型的单个传感器件集成为一维、二维或三维阵列型传感器，使它们成为一体化装置或器件。集成化后的传感器件或装置的优点是可简化电路设计、节省安装和调试的时间，增加可靠性。不利的是一旦损坏就得更换整个器件(或装置)。

2. 微型化

微型化就是利用微型加工技术，尽可能使传感器的体积和重量做到最小。微米、纳米技术的问世以及微机械加工技术的不断实用化，为微型传感器的研制、加工提供了可能。微型传感器最显著的特征就是体积微小、重量很轻，其敏感元件的尺寸一般都为 μm 级。它是由微加工技术（即光刻、蚀刻、沉积、键合等工艺）制作而成的。近年来曾风靡一时的畅销书《数字化

生存》的作者预言，微型化电脑十年后将变得无所不在，在人们的日常生活中可能布满了各种电脑芯片，到那时，人类可以把一种含有微型传感器的微型电脑像吃药片一样吞下，从而可在人体内进行各种检测，帮助医生进行诊断。微型传感器的研制和应用，目前乃至今后一个时期，最引人关注的是在航空航天领域。

3. 数字化

在全球进入信息时代的同时，人类也进入了数字化时代，因为数字化技术是信息技术的基础。数字化传感器是指能把被测（模拟）量直接转换成数字量输出的传感器。因此，测量精度高、分辨率高、测量范围广、抗干扰能力强、稳定性好、自动控制程度高、便于动态和多路检测、性能可靠就是这类传感器的主要特点。

4. 智能化

智能化传感器是一种将普通传感器与专用微处理器一体化后，兼有检测与信息处理功能，具有双向通信功能的新型传感器系统。它不仅具有信号采集、转换和处理的功能，还同时具有信息存储、记忆、识别、自补偿、自诊断等多种功能。传感器智能化后，就具备了认识广阔空间状态的能力。在复杂的自动化系统中，在机器人、宇宙飞船、人造卫星等领域都发挥着重要作用。

5. 仿生化

大自然是生物传感器的优秀设计师，在漫长的岁月里，它不仅造就了集多种感官于一身的人类本身，还设计了许多多功能奇特、性能高超的生物传感器。仿生传感器就是人类在对生物界不断认识、不断研究的过程中发展起来的。例如，研究狗的嗅觉，鸟的视觉，蝙蝠、海豚的听觉等，分析它们的机理，利用生物效应和化学效应研制出可供实用的仿生传感器在国外已初具规模，国内还有待于开发。随着科技的发展，这种仿生化的程度会越来越强。

二、传感技术的基本概念

以传感器为核心的传感器技术是涉及传感器原理、传感器件设计、传感器件开发与应用的一门综合技术。而传感技术的含义则更为广泛，它是包括敏感材料科学、传感器技术及系统、微机电加工技术、微型计算机及通信技术等多学科相互交叉、相互渗透而形成的一门新的工程技术。

三、课程性质及主要任务

本课程是电子技术专业的一门重要的配套性专业课程。具有涉及知识面广，综合性、实践性强的特点。通过本课程的学习，应达到以下几点要求。

① 基本了解传感器的工作原理、传感器在检测与控制系统中的作用和地位，对传感器在现代化工业技术中的应用有一个较为系统的整体概念。

② 具有根据被测对象及测量要求合理选用传感器及相应测量电路的能力，并能构建简单的检测系统；了解和掌握常用物理量（位移、速度、力、温度等）的检测方法，并能分析典型传感器的应用电路。

③ 了解传感器与计算机技术、微电子技术等相关技术的结合与发展趋势，从而提高对引进设备的自动化检测技术和智能化仪器、仪表的理解和使用能力。

第一章 传感器简论

第一节 传感器的基本概念

在工程技术领域中，通常将能够把被测量（如被测物理量、化学量、生物量等）的信息转换成与之有确定关系的电量输出的装置，称为传感器。有些国家和有些学科领域将传感器称为变换器、检测器或探测器。

国家标准（GB7665—87）给出的传感器的定义是：能感受规定的被测量并按照一定的规律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。由此定义可见，传感器是一种检测装置。它能感受到被测量的信息，并能把感受到的信息按一定的规律变换成为电信号或其他所需形式的信号输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录、控制等要求。需要指出的是，定义中的“可用信号”通常是指那些便于处理、传输的信号。而当今信号处理技术中，电信号最易于处理又便于传输，因此也可把传感器狭义地定义为能把外界非电信息量转换成电量输出的器件。而定义中的“被测量”就是被测的信号，它包括电量和非电量。一般使用传感器检测时，被测信号绝大部分为非电量。非电量的种类很多，常见的非电量如位移、力、速度、温度、浓度等。

第二节 传感器的组成与分类

一、传感器的组成

由传感器定义可知，传感器一般由敏感元件和转换元件两大部分组成。但很多时候也可将转换电路及辅助电源作为其组成部分，因为当今传感器作为一个完整的器件，绝大多数都是把转换电路及必要的辅助电源单元（自发电型传感器除外）与敏感元件、转换元件一起做成一体化的器件。传感器组成框图如图 1-1 所示。

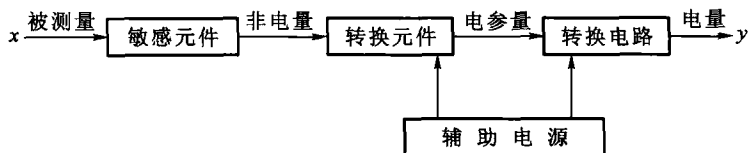


图 1-1 传感器组成框图

1. 敏感元件

敏感元件是能直接感受被测量（一般为非电量），并输出与被测量成确定关系的其他物理

量（其中包括电量）的元件（如对力敏感的电阻应变片，对光敏感的光敏电阻，对温度敏感的热敏电阻等）。

2. 转换元件

转换元件也称传感元件，其功能为将敏感元件的输出量转换成电量后再输出（如将光信号转换成电信号的光电管，把压力信号转换成电信号的压电晶体片等）。

需要指出的是，不是所有的传感器都有敏感元件与转换元件。例如，热电偶传感器，它既是直接感知温度变化的敏感元件，又能直接将温度转换成电压输出，两种元件合二为一。还有许多光电式传感器也是如此。

3. 转换电路

它是将转换元件输出的电参量转换成电压、电流或频率量的电路（注：若转换元件输出的已经是上述电参量，就不需要用转换电路了）。

4. 辅助电源

它是用于提供传感器正常工作能源的电源。主要是指那些需要电源才能工作的转换电路和转换元件（注：并不是所有的传感器件都需要辅助电源，例如压电式传感器就不需要辅助电源）。

二、传感器的分类

在实际工程应用中，用于信号测量与控制的传感器种类繁多。同一种被测量可以用不同的传感器来测量；而同一原理的传感器，通常又可以测量多种非电物理量。因此，传感器的分类方法也就五花八门，目前尚无一个统一的方法。比较常用的分类方法如表 1-1 所示。

表 1-1 传感器分类

分类方法	传感器名称
按被测物理量分类	位移传感器、力传感器、速度传感器、温度传感器、流量传感器、气体传感器等
按工作原理分类	电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、霍尔式传感器、光电式传感器、光栅式传感器、热电偶传感器等
按输出信号的性质分类	开关型传感器、模拟式传感器、数字式传感器等

第三节 传感器的基本特性

传感器是检测系统中与被测对象直接发生联系的部分，是信息输入的窗口，它为检测系统提供了必要的原始信息。检测系统获取信息的质量高低通常是由传感器的性能一次性确定的。为了能使传感器的输出在精度要求范围之内有效地反映被测量，传感器必须具备一定的基本特性，只有这样，传感器的输出才能作为其输入信号（被测物理量）的度量依据。

传感器的基本特性是指传感器的输出与输入之间的关系特性，分为静态特性和动态特性两类。

一、传感器的静态特性

传感器的静态特性是指当被测量为静态信号（即被测量不随时间变化或变化极其缓慢）时，传感器的输出量(y)与输入量(x)之间的相互关系。由于此时输入量和输出量都与时间无关，因此它们之间的关系（即传感器的静态特性）就可以用一个不含时间变量的代数方程式来表示，或以输入量为横坐标，以输出量为纵坐标所画出的特性曲线来描述。用于表征传感器静态特性的主要参数有线性度、灵敏度、分辨力、迟滞、重复性等。

1. 线性度 (Ef)

传感器理想的线性特性应如图 1-2 所示。它是线性方程 $y = a_1 x$ 的直线（式中， y —输出量； x —输入量； a_1 —传感器的线性灵敏度），在这种情况下， $a_1 = \text{常数}$ 。但由于传感器在加工、装配、调试等过程中不可避免地要受到结构材料、元器件、加工设备、装配手段及操作人员技术水平诸方面的影响，所以通常情况下，传感器的输出不可能丝毫不差地反映出被测量的变化，总会存在一定的误差。因此它的实际特性曲线并不完全符合测量时所要求的线性关系，如图 1-3 所示。在实际工作中，为了读数方便，使仪表具有均匀刻度的标尺和便于分析、处理测量结果，常用一条拟合直线近似地代表实际的特性曲线。线性度就是用来表示实际特性曲线与拟合直线之间的一个性能指标，它采用实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差 Δy_m 与满量程输出 y_{FS} 的百分比来表示，即

$$Ef = \left(\frac{\Delta y_m}{y_{FS}} \right) \times 100\%$$

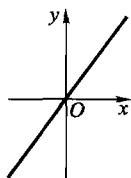


图 1-2 传感器理想线性特性图

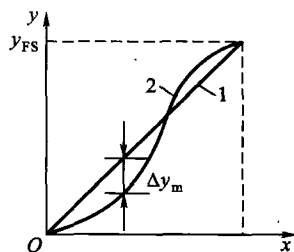


图 1-3 特性曲线与线性度关系曲线

1—拟合直线 2—实际特性曲线

2. 灵敏度 (S)

灵敏度是指传感器在稳态工作情况下，传感器输出量增量 Δy 与被测量增量 Δx 的比值，即 $S = \Delta y / \Delta x$ 。它是输出—输入特性曲线的斜率。如果传感器的输出和输入之间呈线性关系，则灵敏度 (S) 是一个常数。否则，它将随输入量的变化而变化。

$$S = \frac{dy}{dx}$$

灵敏度的量纲是输出、输入量的量纲之比。例如，某位移传感器在位移变化 1 mm，输出电压变化为 50 mV 时，则其灵敏度应表示为 50 mV/mm。当传感器的输出、输入量的量纲相同时，灵敏度可理解为放大倍数。

3. 分辨力

分辨力是指传感器在规定测量范围内检测被测量的最小变化量的能力。也就是说，如果输

入量从某一非零值开始缓慢地发生变化,当输入变化值未超过某一数值时,传感器的输出不会发生变化(即传感器分辨不出输入量的变化)。只有当输入量的变化超过了分辨力量值时,其输出才会发生变化。分辨力的高低从某一个侧面也反映了传感器的精度。

4. 重复性

重复性是指当传感器在相同工作条件下,输入量按同一方向全量程连续多次测试时,所得到的特性曲线不一致的程度。重复性指标的高低程度属于随机误差性质。

5. 迟滞

迟滞是指传感器在正向(输入量增大)和反向(输入量减小)行程中,输出与输入特性曲线不一致的程度。如图 1-4 所示。迟滞一般用两曲线之间输出量的最大差值 Δy_m 与满量程输出 y_{FS} 的百分比表示。即 $E_t = (\Delta y_m / y_{FS}) \times 100\%$ 。

在了解传感器静态特性的同时,还应知道传感器在使用时的测量范围、量程及精度等级。

传感器的测量范围是指在相同的工作条件下,传感器能够测量的被测量的量值的总范围。通常是以测量范围的上限和下限值来表示。例如某温度传感器的测温范围是 $-100\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

量程是指测量范围的上限值与下限值的代数差。例如上述温度传感器的量程是 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

传感器的精度等级是为了简单表示传感器测量结果的可靠程度而引用的。常见的精度等级有 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.0 级、2.5 级、5.0 级。数值愈小,精度等级越高,测量越精确。

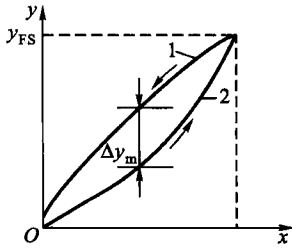


图 1-4 迟滞特性图
1—正向 2—反向

二、传感器的动态特性

在动态测量时,由于被测的量要随时间变化而变化,此时传感器如果不能快速响应并正确地提取信号,测量工作就无法进行。例如在做人体的心电图检测时,如果测量端不能准确地将人体心脏随时间不断跳动的状况及时检测出来,并迅速打印成心电图,那么就不能为医生进行诊断提供依据。因此,必须研究动态测量,考察用于动态测量的传感器的动态特性。只有这样,才能判断选用的传感器是否合适,并判定使用时可能会带来多大的误差。

动态特性是指传感器在输入发生变化时的输出特性。传感器的动态特性通常是通过传感器对某些标准信号的响应情况来表示的。传感器对标准信号的响应比较容易求得(计算、实验均可),由于它对标准输入信号的响应与它对其他任意输入信号的响应之间存在一定的关系,因此,已知前者就能推算出后者。最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号,所以传感器的动态特性也常用阶跃响应和频率响应来表示。

1. 阶跃响应

按照阶跃状态变化输入的响应被称之为阶跃响应。从阶跃响应中可获得它在时间域内的瞬态响应特性,描述的方式为时域描述。例如幅值为 A 的阶跃信号如图 1-5 所示。 $t < 0$, $x(t) = 0$,表明既无输入也无输出; $t > 0$, $x(t) = A$ 是一个幅值为 A 的信号输入。而此时传感器的阶跃响应(输出)如图 1-6 所示。

整个响应分为动态和稳态两个过程。其中动态过程是指传感器从初始状态到接近最终状态

的响应过程（又称过渡过程）。而稳态过程是指时间 $t \rightarrow \infty$ 时传感器的输出状态。阶跃响应主要是通过分析动态过程来研究传感器的动态特性。传感器的时域动态性能指标通常是用其阶跃响应中的过渡曲线上的特性参数来表示。主要参数有时间常数（ T ）、上升时间（ t_r ）、响应时间（或调节时间）（ t_s ）、超调量（ δ ）、振荡次数（ N ）、稳态误差（ e_s ）等。

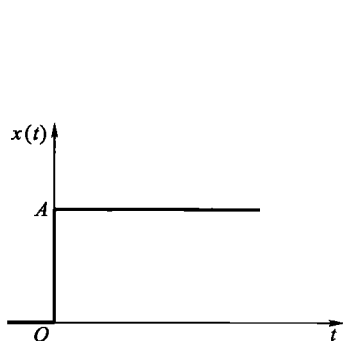


图 1-5 阶跃信号图

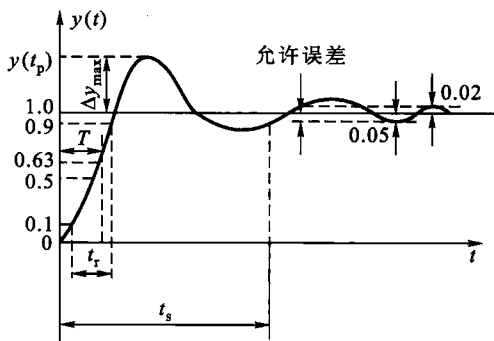


图 1-6 阶跃响应曲线图

(1) 时间常数（ T ）

是指输出量上升到稳态值 $y(\infty)$ 的 63% 所需要的时间。

(2) 上升时间（ t_r ）

通常是指阶跃响应曲线由稳态值的 10% 上升到 90% 时所需要的时间。它反映了传感器的响应速度， t_r 越小，响应速度越快。

(3) 响应时间（ t_s ）（又称调节时间）

它是指从输入量开始起作用到输出进入稳定值所需要的时间。它与 t_r 都反映了传感器的响应速度。不同的是， t_r 反映的是传感器在初始阶段响应的快慢，而 t_s 则是从总体上反映传感器响应的快慢。

(4) 超调量（ δ ）

它是指在过渡过程中，输出量 $y(t_p)$ 与稳态值 $y(\infty)$ 的最大偏差 $\Delta y_{\max}$ 与稳态值 $y(\infty)$ 之比的百分数，即 $\delta = [\Delta y_{\max} / y(\infty)] \times 100\%$ 。超调量反映了传感器的动态精度，超调量越小，说明传感器过渡过程进行得越平稳。

(5) 振荡次数（ N ）

它是指在响应时间内，输出量在稳态值上、下摆动的次数。振荡次数越少，则表明传感器的稳定性越好。

(6) 稳态误差（ e_s ）

它是指当 $t \rightarrow \infty$ 时，传感器阶跃响应的实际值与期望值之差，它反映了传感器的稳态精度。

注：在上述几项指标中， δ 与 N 反映了传感器的稳定性能； t_s 反映了传感器响应的快速性； e_s 反映了传感器的精度。通常情况下希望超调量小一些，振荡次数少一些，响应时间短一些，稳态误差小一些。

2. 频率响应

在一定的条件下，任何一个信号均可以分解为一系列不同频率的正弦信号。也就是说，一个以时间为独立变量的时域信号，可变换成一个以频率为独立变量的频域信号，这些可以从物理学中得到证明。所以，一个复杂的被测实际信号往往包含了许多种不同频率的正弦波成分。如果我们把正弦信号作为传感器的输入，然后测出它的响应，那么就可以对传感器在频域中的动态性能做出分析和评价。再具体一点讲，就是把各种频率不同而幅值相同的正弦信号输入传感器中，求其输出的正弦信号的幅值、相位与频率之间的相互关系。所以频率响应是通过研究稳态过程来分析传感器的动态特性的，它可以通过对传感器在频域响应过程中的波形参数进行计算，并对响应特性曲线进行分析；也可通过对频率响应性能指标（如频率响应范围、幅值误差、相位误差等）的考核来完成。

第四节 传感器检测系统的基本组成

包含传感器的检测系统通常由若干功能单元共同组成。作为一个检测系统，通常应具有以下功能：① 能激励被测对象，使其产生表示其特征的信号；② 能对信号进行转换、传输、分析、处理和显示；③ 能最终提取被测对象中的有用信息。

一个完整的测量系统通常由激励装置，测量装置，数据处理装置和显示、记录装置四大部分组成。其组成框图如图 1-7 所示。

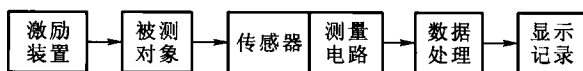


图 1-7 检测系统组成框图

1. 激励装置

激励装置是用来激励被测对象产生表征其特征信号的一种装置。激励装置的核心部分是信号发生器，由它所产生的各种信号激励被测对象。例如要测定音叉的固有频率，可以用橡皮锤敲击使它振动起来；也可以用信号发生器提供一定频率范围的正弦电压信号，再经放大后去驱动激励器产生一定强度的交变激励力，当此激励力作用在音叉上后就可强迫音叉振动起来。

2. 测量装置

测量装置是把被测对象产生的信号转换成易于处理和记录的信号的一种装置。其中，传感器是检测系统的信号获取部分，它把被测物理量转换成以电参量为主要形式的信号；测量电路是对传感器所输出的信号进行加工，使它变成所需要的便于输送、显示、记录以及可进一步处理的信号。

3. 数据处理装置

数据处理装置是负责对从测量装置输出的信号进行处理、运算、分析的装置。通过该装置可以提取有用的信息，使人们对客观事物的动态过程有更深入的认识和了解。随着计算机技术在信号处理中日益广泛的应用，检测系统中的数据处理装置多采用计算机进行数字信号的处理。

4. 显示、记录装置

显示、记录装置是把测得的信号变成人们所能理解的形式，以便人们观察、分析的装置。常用的显示方法有模拟显示、数字显示和图像显示 3 种。而记录装置既可记录所测得信号的图

像和数据，还可记录被测对象的变化过程。如果需要还可重放记录的结果。

需要说明的是，检测系统并非都必须包含以上 4 个部分，针对不同的被测对象、不同的检测目的，系统的组成可简可繁。比如，场强计这样简单的场的强度检测系统就仅有测量和显示两部分。还需要说明一点的是，随着计算机技术和微电子技术的不断发展，检测系统和检测装置正迅速地向智能化方向发展，带有微处理器的各种智能化仪器的应用越来越多。智能化检测仪器可将检测系统中的四大组成部分融为一体，在微处理器的控制下完成信号测量、信号转换、数据处理等任务。有自动校准、自动切换量程和故障自动诊断等功能。最后可根据需要进行多种形式的输出，如送到显示器显示、送到打印机打印等。在这种情况下，一个智能传感器加一台智能仪器就可以构成一个检测系统。系统的组成变得简单化，而功能却更加完善，测量的结果精度更高，相对而言，检测人员的劳动量会更低。

思考题与习题

- 1-1 简述传感器的基本概念。
- 1-2 简述传感器的组成与分类。
- 1-3 简述传感器检测系统的主要组成及功能。
- 1-4 简述传感器的基本特性。
- 1-5 简述传感器的静态特性及考核项目。
- 1-6 简述传感器的动态特性及考核项目。

第二章 传感器测量电路

传感器使用时需与专用测量电路有效结合才能发挥其功能。应用传感器时选用合适的传感器测量电路对于信号的检测十分重要。理想的传感器电路不仅能使其正常工作，还能在一定程度上克服传感器本身的不足，扩展其功能，使得传感器的功能得到充分的发挥。此外，为使传感器的输出信号能用于仪器、仪表的显示或控制，往往要对输出信号进行必要的加工处理。在传感技术中，通常把对传感器的输出信号进行加工的电子电路称为传感器测量电路。传感器的输出信号一般具有如下特点：

- ① 传感器输出的电信号的类型有电压、电流、电阻、电容、电感、频率等，通常是动态的。
- ② 输出的电信号一般都比较弱，如电压信号通常为 $\mu\text{V} \sim \text{mV}$ 级，电流信号为 $\text{nA} \sim \text{mA}$ 级。
- ③ 传感器内部存在噪声，输出信号会与噪声信号混合在一起。当噪声比较大而输出信号又比较弱时，常会使有用信号淹没在噪声之中。
- ④ 传感器的大部分输出 - 输入关系曲线可呈线性关系或接近线性关系，但仍有少部分传感器的输出 - 输入关系曲线是非线性的。
- ⑤ 传感器的输出信号易受外界环境（如温度、电场或磁场）的干扰。

上述特点及传感器在使用时所处的环境因素的影响，完全有可能影响甚至破坏传感器及其测量系统的正常工作，因此，在选用传感器测量电路时，还必须考虑如何应对这些“影响”因素。本章将就上述内容，从检测系统的角度作扼要介绍。

第一节 传感器测量电路的作用与要求

一、传感器测量电路的作用

由传感器输出信号的特点可知，传感器的输出信号比较弱，一般不能直接驱动显示仪器、记录仪器、控制器或输入计算机进行数据处理等，而需要通过专门的电子电路对其输出信号进行必要的加工、处理后才能满足要求。比如，需要将电参数的变化转换成电量的变化，将弱信号放大，滤除信号中无用的杂波和干扰噪声，校正传感器的非线性，消除环境温度对传感器的影响，将传感器输出的模拟信号转换成可以输入计算机的数字信号，或是将传感器的输出信号转换成数字编码信号等。传感器的输出信号经过加工后可以提高其信噪比并易于传输和与后续电路环节相匹配。传感器测量电路可由各种单元电路组成。常用的单元电路有：电桥电路、谐振电路、脉冲调宽电路、调频电路、取样保持电路、模/数（A/D）和数/模（D/A）转换电路、调制解调电路、温度补偿电路、具有非线性特性的线性化电路、细分电路、辨向电路、当量变换和编码变换电路等。虽然目前测量电路还是以模拟电路为主，但随着微机应用的进一步发展，以计算机和数字电路芯片为基础的数字电路、数字化滤波器等的应用会越来越普遍。

传感器测量电路在由传感器所组成的测量系统中只是一个中间环节。根据测量项目的要求,这一中间环节有时可能只是一个简单的转换电路,有时则要与数台为了完成某些特定功能的仪器、仪表相组合。传感器测量电路前、后两端的配置一般如图 2-1 所示。

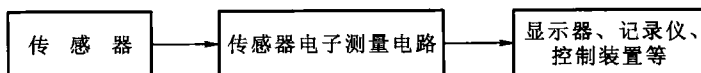


图 2-1 测量电路连接框图

二、传感器测量电路的要求

传感器测量电路的选用通常要根据传感器输出信号的形式和输出特性以及后续仪器、仪表、装置和设备等对信号的要求来确定。与此同时,还要考虑工作环境和整个检测系统对它的要求。一般情况下,应考虑如下几个方面。

① 在测量电路与传感器的连接上,要考虑阻抗匹配及长电缆可能带来的电阻、电容和噪声的影响。

② 放大器的放大倍数要满足显示器、A/D 变换器或 I/O 接口对输入电压的要求。

③ 测量电路的选用要满足仪器、仪表或自动控制系统的精度、动态特性及可靠性要求。

④ 测量电路中采用的晶体管、集成电路和其他元器件应满足仪器、仪表或自动控制装置使用环境的要求(如温度、湿度等)或某种特殊要求(如防磁、防爆等)。

⑤ 测量电路应考虑外部和内部的温度影响及电磁场的干扰,并采取相应的措施予以解决。如附加温度补偿电路、加屏蔽或加光电隔离等。

⑥ 测量电路的结构和尺寸、电源电压和功耗要与仪器、仪表或自动控制系统整体相协调。

第二节 传感器测量电路的类型、特点与组成

传感器测量电路的组成首先与传感器输出的测量信号形式及仪器的功能有关,并由此来决定测量电路的类型。由于传感器品种繁多,不同类型的传感器输出的电信号信噪比不同,其输出特性也不一样。此外,后续仪器、仪表、控制装置等对测量电路输出电压的幅值和精度要求也各不相同,所以测量电路的组成方式和内容差别很大。下面就传感器几种典型的测量电路做简要介绍。

一、模拟电路

模拟电路是传感器测量电路中最常用、最基本的电路。当传感器的输出信号为动态的电阻、电容、电感等电参数时,或以电压、电荷、电流等电量变化时,通常由模拟电路将信号按模拟电路的制式传输到测量系统的终端。其测量电路的基本组成框图如图 2-2 所示。

需要说明的是:① 若传感器的输出已经是电参量,则不需要基本转换电路;如果传感器的输出是一些电参数的变化,则需要通过基本电路将其转换成电参量。常用的基本转换电路有电桥电路、调频电路、分压电路、运算电路、脉冲调制电路等。② 为了使测量信号具有区别于其他杂散信号的特征,提高其抗干扰能力,可采用“调制”的方法对信号进行处理。调制就