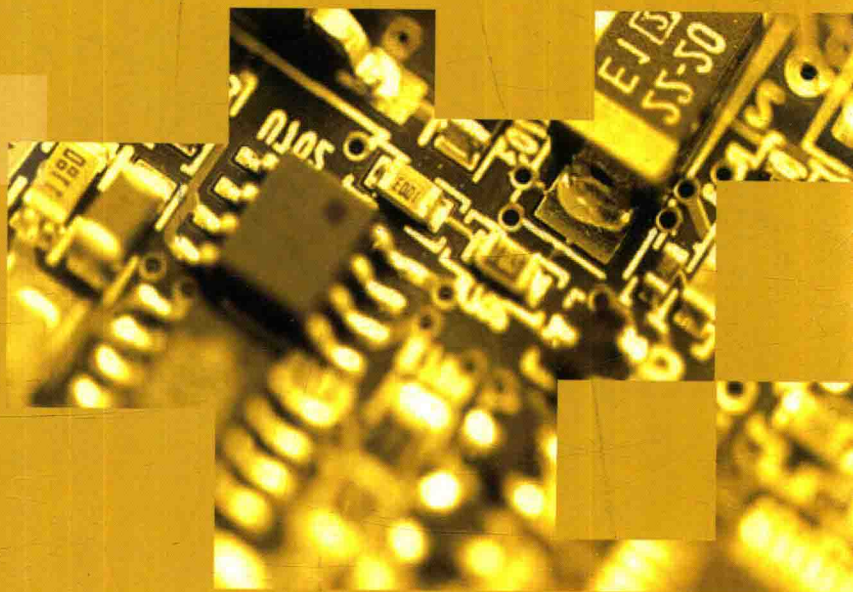


传感器原理 及应用电路设计

主 编◎陈书旺 宋立军 许云峰



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

传感器原理 及应用电路设计

主 编◎陈书旺 宋立军 许云峰



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书重点介绍了传感器在不同被测对象中的工作原理及应用电路。全书共分9章,主要内容为:传感器的基础知识,温度、压力、物位、厚度、位移、转速、磁场、气体、声音及味觉的检测方法,传感器在智慧城市中的应用等。全书除介绍传感器原理外,还附有实际应用电路图或应用设计原理图,突出了传感器在实际中的应用介绍。

本书题材新颖,内容丰富,可作为电子信息工程、电气工程与自动化、电子科学与技术、测试计量技术及仪器、物联网技术等专业的高等院校教材,也可为相关行业的技术人员提供实际参考例证。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理及应用电路设计 / 陈书旺, 宋立军, 许云峰主编. --北京: 北京邮电大学出版社, 2015. 11
ISBN 978-7-5635-4545-2

I. ①传… II. ①陈… ②宋… ③许… III. ①传感器—电路设计 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 236763 号

书 名: 传感器原理及应用电路设计
主 编: 陈书旺 宋立军 许云峰
责任编辑: 刘春棠
出版发行: 北京邮电大学出版社
社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编: 100876)
发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578
E-mail: publish@bupt.edu.cn
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京源海印刷有限责任公司
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张: 13.25
字 数: 313 千字
印 数: 1—2 000 册
版 次: 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4545-2

定 价: 28.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

传感器是信息采集的重要工具,它作为信息获取和信息转换的重要手段,是实现信息化的基础之一。以传感器为核心的检测系统已被广泛应用于工业、农业、国防和科研等领域。

本书主要介绍了传感器原理及其在实际中的应用电路设计。全书共分9章:第1章介绍了传感器的基础知识、测量过程及误差分析,包括传感器的基本特性和测量的基本概念;第2章介绍了温度检测的方法,包括膨胀式温度计、热电阻、热电偶等接触式测温以及红外线等非接触式测温方法;第3章介绍了压力的测量方法,包括应变式传感器、压电传感器、电容传感器等;第4章介绍了物位及厚度检测,包括超声波传感器、涡流传感器等;第5章介绍了位移及转速检测,包括电感传感器、电位器式传感器、光电传感器等;第6章介绍了磁场检测,包括霍尔传感器、磁敏元件等;第7章介绍了气体、声音及味觉检测,包括气敏传感器、声音传感器、电子舌等;第8章介绍了传感器在智慧城市中的应用;第9章给出了本课程基于传感器实验台的一些主要实验。全书除介绍传感器原理外,均附有实际应用电路图或应用设计原理图,突出了传感器在实际中的应用介绍。

本书具有以下特点。

(1) 根据当前生产生活及科研应用的实际情况,从基本物理概念入手,按测量对象分章节进行讲述,重点突出,针对性强。

(2) 检测的方法种类较多,应用领域广阔。

(3) 信息量大,知识面宽,便于读者灵活运用。对于不同类型的检测对象,均提供了几种不同类型的传感器以供选择,实用性强。

(4) 加强了实际应用电路的分析,能够使学生们更好地在分析实际电路的基础上理解并巩固理论知识。

本书题材新颖,内容丰富,深入浅出,具有科学性、先进性和很高的实用价值,在介绍常见传感器的基本原理的基础上,从设计及应用电路出发,介绍了许多实际应用电路实例,可作为电子信息工程、电气工程与自动化、电子科学与技术、测试计量技术及仪器、物联网技术等专业的高等院校教材。推荐理论

课时为 48 学时,实验课时为 8 学时,可根据不同专业的实际情况进行增减。本书也可为相关行业的技术人员提供实际参考例证。

本书由陈书旺、宋立军、许云峰任主编,负责全书的内容策划、章节安排、文稿组织及审核修订工作。其中,陈书旺、王书海、张英、孙涛、郭靖、曹磊编写了第 14 章,宋立军、田园园、赵亚楠、路明洋、李岳山编写了第 57 章,许云峰、张晓文、田峰、景丽编写了第 8、9 章。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 传感器的基础知识	1
1.1 概述	1
1.1.1 传感器的概念	1
1.1.2 传感器的组成	1
1.1.3 传感器的分类	2
1.2 测量方法	3
1.2.1 测量概论	3
1.2.2 测量的定义	3
1.2.3 测量方法的分类	4
1.2.4 测量系统	5
1.3 传感器的基本特性	6
1.3.1 传感器的静态特性	6
1.3.2 传感器的动态特性	8
1.4 误差分析	15
1.4.1 测量误差	15
1.4.2 测量数据的估计和处理	17
课后习题	24
第 2 章 温度检测	25
2.1 温标及测温方法	25
2.1.1 温标	25
2.1.2 温度检测的主要方法及分类	27
2.2 膨胀式温度计	28
2.2.1 双金属温度计	28
2.2.2 压力式温度计	28
2.3 电阻式温度传感器	29
2.3.1 金属热电阻传感器	30
2.3.2 半导热敏体电阻传感器	33
2.3.3 温度传感器选用时需考虑的问题	37
2.4 热电偶	38

2.4.1	热电偶的工作原理	38
2.4.2	热电偶的基本定律	40
2.4.3	热电极材料及常用热电偶	41
2.4.4	热电偶的结构	43
2.4.5	热电偶冷端温度补偿	45
2.4.6	热电偶常用测温线路	47
2.4.7	热电偶测温电路实例	49
2.5	辐射测温原理	50
2.5.1	辐射测温的物理基础	50
2.5.2	辐射测温方法	52
2.6	红外线传感器	54
2.6.1	红外线传感器简介	54
2.6.2	红外线传感器的分类	54
2.6.3	红外线传感器的应用	55
	课后习题	56
第3章	压力检测	58
3.1	应变式传感器	58
3.1.1	电阻应变效应	58
3.1.2	电阻应变片的特性	59
3.1.3	应变片的温度误差及补偿	61
3.1.4	电阻应变片的测量电路	63
3.1.5	应变式传感器的应用	67
3.1.6	应变式传感器应用实例	71
3.2	压电传感器	73
3.2.1	压电效应及压电材料	73
3.2.2	压电效应的物理解释	74
3.2.3	压电传感器的测量电路	76
3.2.4	压电式传感器的应用	79
3.3	电容传感器	81
3.3.1	电容式传感器的工作原理	81
3.3.2	电容式传感器的灵敏度	84
3.3.3	电容式传感器的测量电路	86
3.3.4	电容式传感器的应用	90
	课后习题	94
第4章	物位及厚度检测	95
4.1	超声波传感器	95
4.1.1	超声波及其物理性质	95

4.1.2 超声波传感器的结构	99
4.1.3 超声波传感器的基本应用	101
4.1.4 超声波传感器的基本电路	103
4.1.5 超声波传感器应用实例	106
4.2 涡流传感器	109
4.2.1 涡流传感器的基本特性	109
4.2.2 高频反射式涡流传感器	111
4.2.3 低频透射式涡流传感器	113
课后习题	114
第5章 位移及转速检测	115
5.1 电感传感器	115
5.1.1 变磁阻式传感器	115
5.1.2 差动变压器式传感器	119
5.2 电位器式传感器	125
5.2.1 电位器式传感器的基本工作原理	125
5.2.2 电位器式传感器的输出特性	126
5.2.3 电位器式传感器的结构	128
5.2.4 电位器式传感器应用举例	128
5.3 光电传感器	130
5.3.1 光电器件	130
5.3.2 光电传感器的应用	141
课后习题	144
第6章 磁场检测	145
6.1 霍尔传感器	145
6.1.1 霍尔传感器的工作原理	145
6.1.2 霍尔元件	146
6.1.3 霍尔式传感器的应用	150
6.1.4 霍尔开关	151
6.2 磁敏元件	152
6.2.1 磁敏二极管	152
6.2.2 磁敏三极管	156
6.2.3 磁敏电阻	159
课后习题	162
第7章 气体、声音及味觉检测	163
7.1 气敏传感器	163
7.1.1 概述	163

7.1.2 半导体式气敏传感器	164
7.1.3 气敏传感器的应用	170
7.2 声音检测	173
7.2.1 概述	173
7.2.2 主要技术指标	176
7.2.3 声音传感器的应用方向	176
7.2.4 声音传感器应用电路	176
7.3 味觉检测	178
7.3.1 概述	178
7.3.2 电子舌的工作原理及应用领域	179
课后习题	180
第8章 传感器在智慧城市中的应用	181
8.1 智慧城市的建设	181
8.1.1 智慧城市概述	181
8.1.2 智慧城市的发展	182
8.1.3 智慧城市中的物联网应用	183
8.2 智慧城市中传感器的应用实例	183
8.2.1 传感器和智慧城市的关系	183
8.2.2 智能 LED 路灯中传感器的应用	184
8.2.3 智能家居中传感器的应用	185
课后习题	191
第9章 实验指导参考	192
9.1 实验仪器简介	192
9.1.1 信号源	192
9.1.2 显示仪表	193
9.1.3 传感器工作台	193
9.1.4 处理变换电路	193
9.2 热电偶与热敏电阻测温	193
9.3 应变片电桥特性实验	196
9.4 电容传感器特性实验	199
9.5 涡流传感器测位移	200
9.6 差动变压器特性实验	201
参考文献	203

第1章 传感器的基础知识

1.1 概 述

1.1.1 传感器的概念

国家标准 GB/T 7666—2005 对传感器(Transducer/Sensor)下的定义是:“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”。传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并且能将感受到的信息按一定规律变换成电信号或其他形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

国际电工委员会(IEC)对传感器的定义为: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。

《韦式新国标词典》中对传感器的定义为:“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形式转换成另一种能量形式,所以不少学者也用“换能器(Transducer)”来称呼“传感器(Sensor)”。

在有些学科领域,传感器又称为敏感元件、检测器、转换器等。这些不同提法反映了在不同的技术领域中,只是根据器件用途对同一类型的器件使用着不同的技术术语而已。在电子技术领域,常把能感受信号的电子元件称为敏感元件,如热敏元件、磁敏元件、光敏元件及气敏元件等;在超声波技术中则强调的是能量的转换,如压电式换能器。这些提法在含义上有些狭窄,而传感器一词是使用最为广泛而概括的用语。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。

1.1.2 传感器的组成

传感器的输出信号通常是电量,它便于传输、转换、处理、显示等。电量有很多形式,如电压、电流、电容、电阻等,输出信号的形式由传感器的原理确定。

通常传感器由敏感元件和转换元件组成。其中,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。由于传感器的输出信号一般都很微弱,因此需要有信号

调理与转换电路对其进行放大、运算、调制等。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用,传感器的信号调理与转换电路可以安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在同一芯片上。此外,信号调理转换电路以及传感器工作必须有辅助的电源,因此信号调理转换电路以及所需的电源都应作为传感器组成的一部分。传感器的组成框图如图 1.1.1 所示。

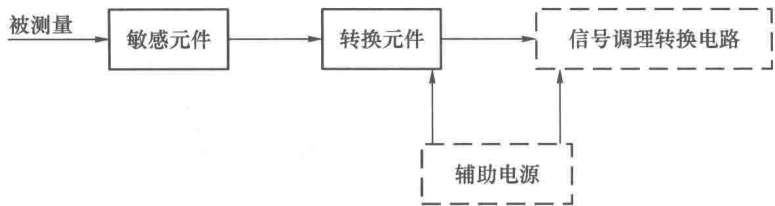


图 1.1.1 传感器的组成框图

敏感元件与转换元件之间并无严格的界限。例如,热电偶传感器直接将被测温度转换成热电势输出,热电偶既是敏感元件,又是转换元件,也不需要信号调理电路。

有些传感器由敏感元件和转换元件组成。例如,电感式压力传感器由膜盒和电感线圈组成,膜盒是敏感元件,电感线圈是转换元件,如图 1.1.2 所示。

有些传感器的敏感元件不止一个。例如,应变式密度传感器中,浮子先将被测液体的密度转换成浮力变化,浮力作用在悬臂梁上使梁产生变形,粘贴在悬臂梁上的电阻应变片再将梁的变形转换成电阻量变化,如图 1.1.3 所示。

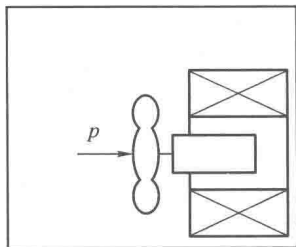


图 1.1.2 电感式压力传感器

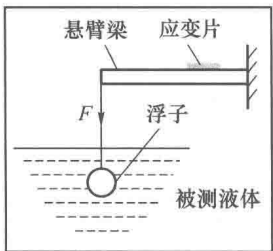


图 1.1.3 应变式密度传感器

1.1.3 传感器的分类

传感器按照其用途分类,有:压敏和力敏传感器、位置传感器、液面传感器、能耗传感器、速度传感器、加速度传感器、辐射传感器、温度传感器、雷达传感器等。

传感器按照其工作原理分类,有:电阻、电容、电感传感器,湿敏、磁敏、气敏、光敏、热敏传感器,真空度、压电、流量传感器等。

传感器按照其输出信号分类,有:模拟传感器(将被测量的非电学量转换成模拟电信号)、数字传感器(将被测量的非电学量转换成数字输出信号(包括直接和间接转换))、开关传感器(当一个被测量的信号达到某个特定的阈值时,传感器相应地输出一个设定的低电平或高电平信号)。

1.2 测量方法

1.2.1 测量概论

在科学技术高度发达的今天,人类已进入瞬息万变的信息时代。人们在从事工业生产和科学实验等活动中,主要依靠对信息资源的开发、获取、传输和处理。传感器处于研究对象与测控系统的接口位置,是感知、获取与检测信息的窗口。一切科学实验和生产过程中,特别是自动检测和自动控制系统中要获取的信息,都要通过传感器转换为容易传输与处理的电信号。

在工程实践和科学实验中提出的检测任务是正确及时地掌握各种信息,大多数情况下是要获取被测对象信息的大小,即被测量的大小。这样,信息采集的主要含义就是测量,取得测量数据。

“测量系统”这一概念是传感技术发展到现在一定阶段的产物。在工程中,需要由传感器与多台仪表组合在一起,才能完成信号的检测,这样便形成了测量系统。随着计算机技术及信息处理技术的发展,测量系统所涉及的内容也不断得以充实。

为了更好地了解传感器,需要对测量的基本概念、测量系统的特性、测量误差及数据处理等方面的理论及工程方法进行学习和研究。只有了解和掌握了这些基本理论,才能更有效地完成检测任务。

1.2.2 测量的定义

测量是以确定被测量的量值为目的的一系列操作。所以测量也就是将被测量与同种性质的标准量进行比较,确定被测量对标准量的倍数。它可由下式表示:

$$x = nu \quad (1.2.1)$$

或

$$n = \frac{x}{u} \quad (1.2.2)$$

式中, x 为被测量值; u 为测量单位; n 为比值(纯数),含有测量误差。

由测量所获得的量值叫测量结果。测量结果可用一定的数值表示,也可以用一条曲线或某种图形表示。但无论其表现形式如何,测量结果应包括两部分:比值和测量单位。确切地讲,测量结果还应包括误差部分。

被测量值和比值都是测量过程的信息,这些信息依托于物质才能在空间和时间上进行传递。参数承载了信息而成为信号,选择其中适当的参数作为测量信号。测量过程就是传感器从被测对象获取被测量的信息,建立起测量信号,经过变换、传输、处理,从而获得被测量的量值。

1.2.3 测量方法的分类

实现被测量与标准量比较得出比值的方法,称为测量方法。针对不同测量任务进行具体分析以找出切实可行的测量方法,对测量工作是十分重要的。

对于测量方法,从不同角度有不同的分类方法。根据获得测量值的方法可分为直接测量、间接测量和组合测量;根据测量的精度因素情况可分为等精度测量与非等精度测量;根据测量方式可分为偏差式测量、零位式测量与微差式测量;根据被测量变化快慢可分为静态测量与动态测量;根据测量敏感元件是否与被测介质接触可分为接触式测量与非接触式测量;根据测量系统是否向被测对象施加能量可分为主动式测量与被动式测量等。这里简单介绍其中的几种情况。

1. 直接测量、间接测量与组合测量

在使用仪表或传感器进行测量时,对仪表读数不需要经过任何运算就能直接表示测量所需要的结果的测量方法称为直接测量。例如,用磁电式电流表测量电路的某一支路电流,用弹簧管压力表测量压力等,都属于直接测量。直接测量的优点是测量过程简单而又迅速,缺点是测量精度不高。

在使用仪表或传感器进行测量时,首先对与测量有确定函数关系的几个量进行测量,将被测量代入函数关系式,经过计算得到所需要的结果,这种测量称为间接测量。间接测量测量手续较多,花费时间较长,一般用在直接测量不方便或者缺乏直接测量手段的场合。

若被测量必须经过求解联立方程组才能得到最后结果,则称这样的测量为组合测量。组合测量是一种特殊的精密测量方法,操作手续复杂,花费时间长,多用于科学实验或特殊场合。

2. 等精度测量与不等精度测量

用相同的仪器仪表、相同的测量方法、在相同的环境中对同一被测量进行多次重复测量,称为等精度测量。目前,在高校实验室中进行的绝大多数验证性实验常用此种方法。

采用不同精度的测量仪表、不同的测量方法、在环境条件相差很大时对同一被测量进行多次重复测量称为非等精度测量。此方法一般出现在实际工程测量中。

3. 偏差式测量、零位式测量与微差式测量

用仪表指针的位移(即偏差)决定被测量的量值,这种测量方法称为偏差式测量。应用这种方法测量时,仪表刻度事先用标准器具标定。在测量时,输入被测量,按照仪表指针在标尺上的示值决定被测量的数值。这种方法测量过程比较简单、迅速,但测量结果精度较低。

用指零仪表的零位指示检测测量系统的平衡状态,在测量系统平衡时,用已知的标准量决定被测量的量值,这种测量方法称为零位式测量。在测量时,已知标准量直接与被测量相比较,已知量应连续可调。当指零仪表指零时,则表明被测量与已知标准量相等,例如天平、电位差计等。零位式测量的优点是可以获得比较高的测量精度,但测量过程比较复杂,费时较长,不适用于测量迅速变化的信号。

微差式测量是综合了偏差式测量与零位式测量的优点而提出的一种测量方法。它将被测量与已知的标准量相比较,取得差值后,再用偏差法测得此差值。应用这种方法测量

时,不需要调整标准量,而只需测量两者的差值。

1.2.4 测量系统

测量系统是传感器与测量仪表、变换装置等的有机组合。图 1.2.1 所示为测量系统的原理结构框图。

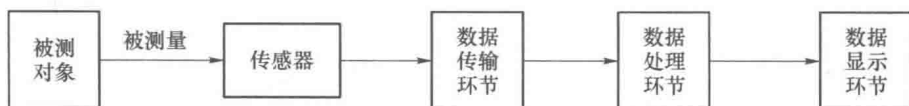


图 1.2.1 测量系统原理结构框图

系统中的传感器是感受被测量的大小并输出相对应的可用输出信号的器件或装置。数据传输环节用来传输数据。当测量系统的几个功能环节独立地分隔开的时候,必须由一个地方向另一个地方传输数据,数据传输环节就是完成这种传输功能。数据处理环节是将传感器输出信号进行处理和变换。如对信号进行放大、运算、线性化、数/模或模/数转换,变成另一种参数的信号或变成某种标准化的统一信号等,使其输出信号便于显示、记录,既可用于自动控制系统,也可与计算机系统连接以便对测量信号进行信息处理。数据显示环节将被测信息变成人的感官能接受的形式,以完成监视、控制或分析的目的。测量结果可以采用模拟显示或者数字显示,也可以由记录装置进行自动记录或由打印机将数据打印出来。

测量系统分为两类,简述如下。

(1) 开环测量系统:全部信息变换只沿着一个方向进行,如图 1.2.2 所示。

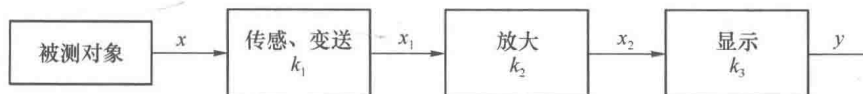


图 1.2.2 开环测量系统框图

其中, x 为输入量, y 为输出量, k_1 、 k_2 、 k_3 为各个环节的传递系数。输入输出关系为

$$y = k_1 k_2 k_3 x \quad (1.2.3)$$

采用开环方式构成的测量系统,结构较简单,但各环节特性的变化都会造成测量误差。

(2) 闭环测量系统:闭环测量系统有两个通道,一个为正向通道,另一个为反馈通道,其结构如图 1.2.3 所示。

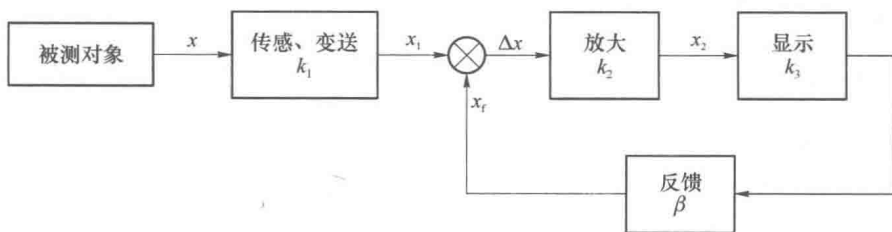


图 1.2.3 闭环测量系统框图

其中, Δx 为正向通道的输入量, β 为反馈环节的传递系数, 正向通道的总传递系数 $k=k_2k_3$ 。整个系统的输入输出关系由反馈环节的特性决定, 放大器等环节特性的变化不会造成测量误差, 或者造成的误差很小。

1.3 传感器的基本特性

传感器可看作二端口网络, 即有一个输入端和一个输出端, 如图 1.3.1 所示。

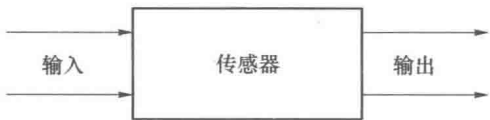


图 1.3.1 二端口网络

化或随机变化的量。

输入输出特性是其基本特性, 可用静态特性和动态特性来描述。一个高精度的传感器必须有良好的静态特性和动态特性才能完成信号无失真的转换。静态量指常数或变化非常缓慢的量, 动态量指周期性变化、瞬态变化

1.3.1 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指被测量的值处于稳定状态时的输出输入关系。只考虑传感器的静态特性时, 输入量与输出量之间的关系式中不含有时间变量。尽管可用方程来描述输出输入关系, 但传感器静态特性的好坏是用一些指标来衡量的, 重要指标有线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。

1. 线性度

传感器的校准曲线与选定的拟合直线的偏离程度称为传感器的线性度, 又称非线性误差, 如图 1.3.2 所示。

非线性误差的表达式如下:

$$e_L = \pm \frac{\Delta y_{\max}}{y_{F.S.}} \times 100\% \tag{1.3.1}$$

可选择拟合直线的方法如图 1.3.3 所示。

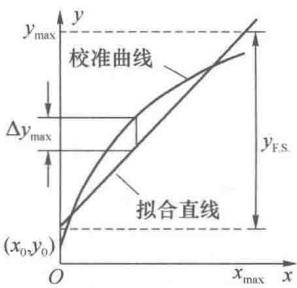
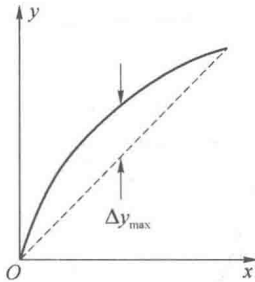
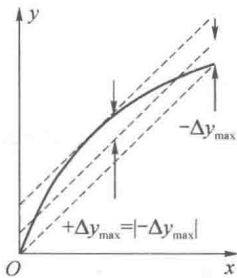


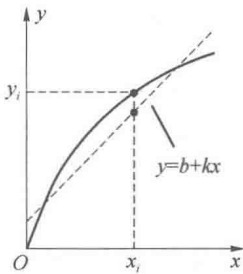
图 1.3.2 线性度



(a) 端基线性度



(b) 独立线性度



(c) 最小二乘法线性度

图 1.3.3 拟合直线的选取方法

(1) 端点连直线法:对应的线性度称为端基线性度。该方法简单直观,但拟合精度较低,最大正、负偏差不一定相等。

(2) 端点平移直线法:对应的线性度称独立线性度。该方法最大正、负偏差相等。

(3) 最小二乘法直线法:对应的线性度称为最小二乘法线性度。设拟合直线方程为 $y=b+kx$,可按最小二乘法原理,求得最佳 k 和 b 。

2. 灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态工作情况下输出改变量与引起此变化的输入改变量之比。常用 S_n 表示灵敏度,其表达式为

$$S_n = \frac{dy}{dx} \quad (1.3.2)$$

对线性传感器,可表示为

$$S_n = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1.3.3)$$

甚至可以写成

$$S_n = \frac{y}{x} \quad (1.3.4)$$

有源传感器(能量控制型传感器)的输出与电源有关,其灵敏度表达式中还需要考虑电源的影响。例如,某位移传感器的电源电压为 1 V 时,每 1 mm 的位移变化引起输出电压变化 100 mV,则其灵敏度可表示为 100 mV/(mm · V)。

还可以使用相对灵敏度表示法:

$$S = \frac{\Delta y/y}{\Delta x/x} \quad \text{或} \quad S = \frac{\Delta y}{\Delta x/x} \quad (1.3.5)$$

一般希望测试系统的灵敏度在满量程范围内恒定,这样才便于读数。也希望灵敏度较高,这样输出的数值大,便于测量,但灵敏度也并不是越大越好。

3. 迟滞

在相同工作条件下作全量程范围校准时,正行程(输入量从小到大)和反行程(输入量从大到小)所得输出输入特性曲线不一定重合,如图 1.3.4 所示。

迟滞特性用来描述这种不重合的程度,迟滞误差表达式如下:

$$e_r = \pm \frac{\Delta y_{\max}}{y_{F.S.}} \times 100\% \quad (1.3.6)$$

4. 重复性

重复性是指在相同工作条件下,输入量按同一方向作全量程多次测试时,所得特性曲线不一致性的程度,如图 1.3.5 所示。

重复性误差的表达式如下:

$$e_h = \pm \frac{\Delta y_{\max}}{y_{F.S.}} \times 100\% \quad (1.3.7)$$

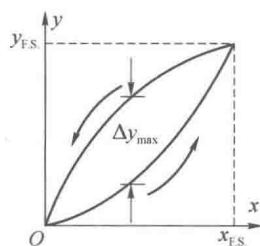


图 1.3.4 迟滞特性

重复性误差属随机误差,按标准偏差更合适。标准偏差可按贝塞尔公式计算,也可用极差法计算。

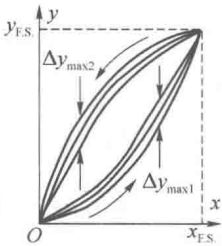


图 1.3.5 重复特性

5. 阈值和分辨力

(1) 阈值

当传感器的输入从零开始缓慢增加时,只有在达到了某一值后,输出才发生可观测的变化,这个值就是传感器可测出的最小输入量,称为传感器的阈值。

(2) 分辨力

当传感器的输入从非零的任意值缓慢增加时,只有在超过某一输入增量后,输出才发生可观测的变化,这个输入增量称为传感器的分辨力。

(3) 分辨率

分辨率用分辨力相对于满量程输入值的百分数表示。对于数字式传感器,分辨力是指能引起数字输出的末位数发生改变所对应的输入增量。

6. 稳定性

稳定性表示传感器在较长时间内保持其性能参数的能力,故又称长期稳定性。

稳定性可用相对误差或绝对误差表示。表示方式如: 2 个月不超过 5 % 满量程输出。有时也采用给出标定的有效期来表示。

7. 漂移

漂移是指传感器的被测量不变,而其输出量却发生了不希望有的改变。

漂移可以分为零点漂移、灵敏度漂移、时间漂移(时漂)、温度漂移(温漂)。如图 1.3.6 所示,曲线 1 是标准曲线,曲线 2 是产生漂移的曲线。

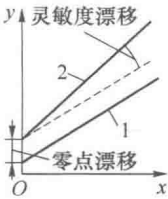


图 1.3.6 传感器漂移

1.3.2 传感器的动态特性

当被测量随时间变化时,传感器的输出量也随时间变化,其间的关系要用动态特性来表示。除了具有理想的比例特性外,输出信号将不会与输入信号具有相同的时间函数,这种输出与输入间的差异就是所谓的动态误差。

动态误差除了与传感器的固有因素有关之外,还与传感器输入量的变化形式有关。所以,通常采用最典型、最简单、最易实现的正弦信号和阶跃信号作为标准输入信号,来考察传感器的动态响应。

对于正弦输入信号,传感器的响应称为频率响应或稳态响应;对于阶跃输入信号,则称为阶跃响应或瞬态响应。

1. 传感器的动态数学模型

通常把传感器看成一个线性时不变系统,用常系数线性微分方程来描述其输出输入