

中等专业学校 规划教材
电子信息类

传感器应用技术

薛文达 谢文和 张呈祥



东南大学出版社

T-212

X-1

444613

中等专业学校电子信息类规划教材

传感器应用技术

薛文达 谢文和 张呈祥



00444613

2

东南大学出版社

内 容 提 要

本书系全国电子信息类专业“九五”规划教材,内容共分三部分:①传感器应用技术基础;②传感器及其应用;③智能检测技术和检测系统。主要内容有:传感器的特性及测试,传感器电路的类型、噪声及抗干扰技术,各种传感器的工作原理、测量电路及实际应用,传感器与计算机的结合、主要接口器件及常用算法与程序,检测系统实例分析等。

本书着眼于提高读者的传感器应用水平和对系统(或环节)的分析、调试和维护能力,书中尽量反映传感器应用领域的新技术和新动态。每章末均有思考题和习题。

本书可作为中等专业学校和职业中学机电类、自动化类、仪器仪表类专业的教材,亦可供有关工程技术人员和技术工人参考。

责任编辑:朱经邦

责任校对:孙 宁

DV23/02

传感器应用技术

薛文达 谢文和 张呈祥

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210096)

江苏省新华书店经销 盐城市印刷二厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 13 字数 340 千

1998 年 12 月第 1 版 1998 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—5000 册

ISBN 7—81050—391—X/TP·57

定价:15.50 元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作,根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》,我们组织各有关高等学校、中等专业、出版社,各专业教学指导委员会,在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上,根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求,编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报,经各学校、出版社推荐,由各专业教学指导委员会评选,并由我部教材办商各专指委、出版社后,审核确定的。本轮规划教材的编制,注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需,尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时,选择了一批对学科发展具有重要意义,反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划,以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足,希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议,以不断提高教材的编写、出版质量,共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部 1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划,由中专电子机械专业教学指导委员会审定、推荐出版。

本教材由无锡无线电工业学校薛文达担任主编,无锡轻工大学范福钧担任主审,责任编委为常州无线电工业学校桂强生。

本教材的参考学时数为 70 学时。

全书内容共分三部分:①传感器应用技术基础;②传感器及其应用;③智能检测技术和检测系统。主要内容有:传感器的特性及测试,传感器电路的类型、噪声及抗干扰技术,各种传感器的工作原理、测量电路及实际应用,传感器与计算机的结合、主要接口器件及常用算法与程序,检测系统实例分析等。

本书特别注意内容的适用性和实用性,并尽量反映传感器应用领域的新技术和新动态,着眼于提高读者的传感器应用水平和对系统或环节的分析、调试和维护能力。本书在数字传感器一章中以较多的篇幅重点介绍了数控机床用位置检测传感器,以适应机电一体化专业数控专门化教学的需要。

本书的绪论及第一、二、七、九、十章由无锡无线电工业学校薛文达编写,第三、四、五、八章由南京无线电工业学校谢文和编写,第六、十一章由北京无线电工业学校张呈祥编写。

作者在本书的编写过程中参阅了多种教材和专著,在此谨向原编者致谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1998 年 2 月

目 录

绪论	(1)
第 1 章 传感器概论	(4)
1-1 传感器的组成与分类	(4)
1-2 传感器的基本特性	(5)
1-3 传感器的校验	(11)
1-4 传感器的新发展	(13)
思考题与习题	(15)
第 2 章 传感器测量电路	(16)
2-1 传感器测量电路的作用与要求	(16)
2-2 传感器测量电路的类型与组成	(17)
2-3 噪声与抗干扰技术	(21)
思考题与习题	(27)
第 3 章 电阻式传感器及其应用	(28)
3-1 电阻应变式传感器	(28)
3-2 压阻式传感器	(35)
3-3 热电阻传感器和热敏电阻传感器	(38)
3-4 气敏传感器和湿敏电阻传感器	(42)
思考题与习题	(49)
第 4 章 电感式传感器及其应用	(51)
4-1 自感式传感器	(51)
4-2 差动变压器式传感器	(56)
4-3 电涡流式传感器	(58)
4-4 电感式传感器的应用	(60)
思考题与习题	(64)
第 5 章 电容式传感器及其应用	(66)
5-1 电容式传感器的工作原理及结构形式	(66)
5-2 电容式传感器的测量电路	(69)
5-3 电容式传感器的应用	(73)
思考题与习题	(75)
第 6 章 压电式传感器及其应用	(77)
6-1 压电式传感器的工作原理	(77)
6-2 压电式传感器的测量电路	(79)
6-3 压电式传感器的结构与应用	(82)

思考题与习题	(86)
第 7 章 霍尔传感器及其应用	(87)
7-1 霍尔元件	(87)
7-2 霍尔传感器	(93)
7-3 霍尔传感器的应用	(99)
思考题与习题	(101)
第 8 章 热电偶传感器及其应用	(102)
8-1 热电偶工作原理及主要定律	(102)
8-2 热电偶的结构与种类	(106)
8-3 热电偶的冷端温度补偿	(108)
8-4 热电偶的测温线路及应用	(109)
思考题与习题	(111)
第 9 章 光电传感器及其应用	(112)
9-1 光敏电阻	(112)
9-2 光敏晶体管	(117)
9-3 光电耦合器件	(124)
思考题与习题	(134)
第 10 章 数字式传感器及其应用	(135)
10-1 光栅传感器	(135)
10-2 光电式脉冲编码器	(147)
10-3 感应同步器	(150)
10-4 旋转变压器	(159)
10-5 磁栅传感器	(164)
思考题与习题	(170)
第 11 章 计算机智能测试技术	(171)
11-1 智能测试系统的组成	(171)
11-2 传感器与计算机的接口器件	(173)
11-3 智能测试系统中常用算法与程序	(184)
11-4 单片机检测系统实例	(188)
思考题与习题	(196)
参考文献	(198)

绪 论

随着现代科学技术的不断发展,世界正面临一场大规模的新的工业革命(又称信息革命)。人们正在对原有的工业结构和组织结构进行改革,把当代的工业技术划分为物质技术、能源技术和信息技术,相应地把整个工业改组为物质工业、能源工业和信息工业。信息工业的关键在于信息的采集和信息的处理,信息采集主要依靠各种类型的传感器进行;信息的处理则主要依靠各类电子计算机完成。传感器被人们誉为“电五官”,计算机则常称为“电脑”。

近代科学技术的发展也对检测和自动控制技术提出了更高的要求,而在这些领域里,传感器技术已成为必不可少的关键技术之一,已越来越引起各国科技界的重视,并已逐步形成一类专门的技术学科。我国目前已把传感器技术的发展列为国家重要的科学技术发展项目。

一、传感器的定义及其重要性

国家标准 GB7665—87 对传感器下的定义是:“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”。从定义中可见,传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将检测感受到的信息,按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。

传感器的重要性集中体现在它是实现自动检测和自动控制的首要环节,如果没有传感器对原始信息(参数)进行精确可靠的测量,就谈不上信号检测、信号变换、信号处理和生产过程自动化。一台普通的家用电器也常装备有控温、控时等传感器,一架波音飞机上的传感器达千只以上,而“阿波罗 10”运载火箭部分的传感器竟达 2077 个。各种高技术的智能武器、机器及家用电器的水平的高低,其分界与所应用的传感器的数量和水平密切相关。传感器已是智能化高技术的前驱和标志,在现代科学技术中发挥着越来越大的作用。

二、检测系统的组成

一个检测系统常由若干个功能单元组成。通常一个检测系统应具有以下功能:①能激励被测对象(信源),使它产生表征其特征(信息)的信号;②对信号进行转换、传输、分析、处理和显示;③最终达到提取被测对象中 useful 信息的目的。



图 0-1 检测系统组成框图

一个完整的测量系统由激励装置、测量装置、数据处理装置和显示、记录装置四大部分组成,其框图如图 0-1 所示。但并非都必须包含以上四个部分,不同的被测对象,不同的检测目的要求,系统的组成可简可繁,如液柱式温度计这样简单的温度检测系统就仅有测量和显示两个部分。

1. 激励装置

激励装置是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,由它产生各种信号激励被测对象。如要测定音叉的固有频率,就得激励它振动起来,这可以用橡皮锤敲击的方法,也可以用信号发生器提供一定频率范围的正弦电压信号,经功率放大器放大后去驱动激振器。激振器产生一定的交变激振力,此力作用在音叉上,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,使它变成合乎需要,便于输送、显示和记录以及可作进一步后续处理的信号。

3. 数据处理装置

数据处理装置对从测量装置输出的信号进行处理、运算、分析,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。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也都采用计算机进行数字信号处理。

4. 显示、记录装置

显示记录装置是把测得的信号变为人们感觉所能理解的形式,以供人们观察和分析的装置。常用的显示方法有模拟显示、数字显示和图像显示三种。记录装置既可记录测得信号的图形或数据,还可记录被测对象的变化过程,如需要的话,还能重放记录结果。

值得一提的是,近年来随着计算机技术和微电子技术的发展,检测系统或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。智能化检测仪器将检测系统中的四大部分融为一体,在微处理器的控制下,完成测量、信号转换、数据处理等任务,并且有自动校准、自动切换量程和自动故障诊断等功能,最后以各种方式输出,如送到显示器显示,送到打印机打印等。这样,一个智能传感器或一台智能仪器就可构成一个检测系统,使系统的组成变得简单化,而系统的功能却更完善。检测人员在检测过程中,只需按动有关功能键,就能自动选择量程、自动校准、自动调整检测点,不仅操作方便,而且还提高了检测精度。

三、自动控制系统的组成

各行各业都有适应自身工艺要求的自动控制系统,而且每一个控制系统都有许多型式。但是,所有控制系统(无论含有计算机或不含有计算机)都可划分为两种通用类型:开环系统和闭环系统。

若系统的输出量不被引回来对系统的控制部分产生影响,也即系统的输出和输入端之间不存在反馈回路,这样的系统称为开环控制系统。如一般的无智能控制功能的洗衣机就是一个开环控制系统,其浸湿、洗涤、漂清和脱水过程都是以设定的时间程序依次进行的,无需对输出量(如衣服的洗洁程度、脱水程度等)进行测量,当然对系统的控制部分也不会产生任何影响。

若系统的输出量通过反馈环节返回来作用于控制部分,形成一个闭合环路,这样的系统称为闭环控制系统。如数控机床的进给伺服系统就是一个闭环控制系统,它在机床移动部件

上直接装有直线位移检测装置,将测量到的实际位移值反馈到数控装置中,与输入的指令位移值进行比较,用差值进行控制,使移动部件按照实际需要的位移量运动,最终实现移动部件的精确定位。

典型的自动控制系统组成框图如图 0-2 所示。系统通过检测装置获取变化的被控参数信息,并经过反馈环节把它引回到系统的输入端,与给定值比较后成为误差信号,控制器按误差信号的大小产生一相应的控制信号,自动调整系统的输出,使其误差趋向于零。由此可知,系统中反馈环节的精度和特性直接影响到控制系统的质量,它是构成闭环系统的关键环节之一,对它所采用的传感器和测量电路无论在精度方面,还是在灵敏度和特性方面都有很严格的要求。

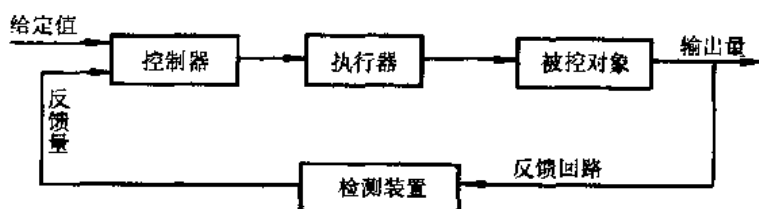


图 0-2 自动控制系统组成框图

在常规的控制系统中,上述的控制器是用自动化仪表或其他控制装置来实现的。如果控制器用计算机来代替,即用计算机为工具来控制系统的运动过程,则称这样的自动控制系统为计算机控制系统。

四、本课程的任务

本课程是机电类专业一门重要的专业课,具有涉及学科范围广、综合性强及实践性强的特点,通过本课程的学习,要求达到:

(1)深入了解传感器在检测和控制系统中的作用和地位,建立传感器在现代工业技术中应用的系统整体观念。

(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来组成一个简单检测系统的能力,同时会分析各种自动化设备中检测系统的构成方式,并具有运行、维护、调试和修复中等复杂程度自动化设备中检测环节的能力。

(3)了解传感器与微电子技术和计算机技术的结合和发展,从而提高对引进设备的自动检测技术和智能仪器仪表的消化吸收能力。

第 1 章 传感器概论

1-1 传感器的组成与分类

一、传感器的组成

传感器是一种以测量为目的,以一定精度把被测量转换为与之有确定关系的,便于处理的另一种物理量的测量装置、器件或元件。因此,传感器直接与被测对象发生联系,采集并获取被测对象的信息。由于一般的被测对象是非电信号,如位移、速度、温度、压力、流量等,所以传感器还必须将上述信号转换成便于传输和处理的电信号。

传感器一般由敏感元件和转换元件两部分组成,有时也将转换电路及辅助电源作为传感器的组成部分,其组成框图如图 1-1 所示。

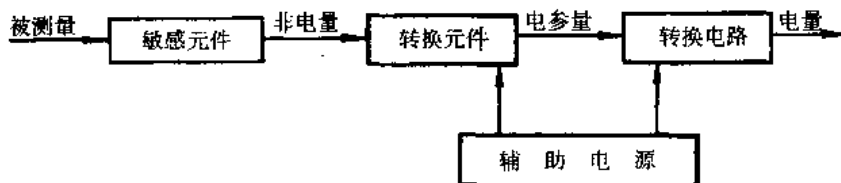


图 1-1 传感器组成框图

(1)敏感元件——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量(其中也包括电量)的元件。如图 1-2 中的弹簧管就是敏感元件,它的作用是感受被测压力 p 的变化,并将其转换成与 p 有确定关系的位移量。

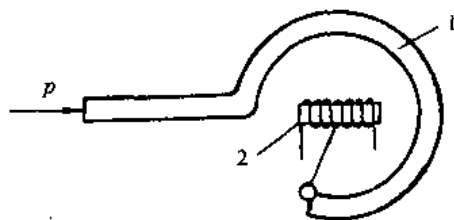


图 1-2 测压力的电位器传感器结构简图
1—弹簧管(敏感元件); 2—电位器(转换元件)

(2)转换元件——也称传感元件,通常它不直接感受被测量,而是将敏感元件的输出量转换为电参量再输出。如图 1-2 中的电位器,它的作用就是将弹簧管的位移量转换为电位器的电阻变化量。

应该指出,不是所有的传感器都有敏感元件与转换元件之分。如热电偶是直接感知温度变化的敏感元件,但它又直接将温度转换为电压输出,敏感和转换两者合二为一了。还有许多光电传感器也都是这种敏感和转换合为一体的传感器。

(3)转换电路——将转换元件输出的电参量转换成电压、电流或频率量。若转换元件输出的已经是上述电量,则就不需要基本转换电路了。

二、传感器的分类

关于传感器的分类,目前尚无一个统一的方法。比较常用的分类方法有如下三种:

(1)按被测物理量分类,可分为位移、力、速度、温度、流量、气体成分等传感器。

(2)按传感器工作原理分类,可分为电阻、电容、电感、压电、霍尔、光电、光栅、热电偶等传感器。

(3)按传感器输出信号的性质分类,可分为①输出为开关量“1”和“0”或“开”和“关”的开关型传感器;②输出为模拟量的模拟型传感器;③输出为脉冲或代码的数字型传感器。

在实际工程中,有的传感器可以用来测量多种参数。如电阻应变式传感器,既可用于测量力、压力,又可用于测量应力、重量等;而对同一种被测量也可采用多种不同原理的传感器,如测量转速,既可用电容式,又可用电感式,还可用光电式传感器等。所以在具体称呼时常将两者结合起来,如应变式压力传感器,电容式液面传感器,光电转速传感器,压电加速度传感器等。

在讨论传感器测量电路和传感器与计算机的接口时,常以传感器输出信号的性质来分类。

1-2 传感器的基本特性

一、概述

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,它为检测系统提供必需的原始信息。检测系统获取信息的质量也往往是由传感器的性能一次性确定的。为了能使其输出在精度要求范围之内反映被测量,传感器必须具备一定的基本特性,因为只有这样,传感器的输出才能作为其输入(被测物理量)的量度。因此,了解和掌握传感器的基本特性,是正确选择和使用传感器的基本条件。

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,一般分为静态特性和动态特性两类。当被测量不随时间变化或变化很缓慢(常称其为静态信号)时,可用一系列静态参数来描述和表征传感器的静态特性。当被测量随时间变化很快(常称其为动态信号)时,可用一系列动态参数来描述和表征传感器的动态特性。

通常,把被测物理量作为传感器的输入信号,称为激励;而把传感器对该激励的反应——输出信号,称为响应。这样,就可以把传感器看成是一个信息通道,如图 1-3 所示。理想的测量应当是一个不失真地传递测量信号的过程。理想的传感器应该具有单值的、确定的输出—输入关系,其中以呈线性关系为最好。

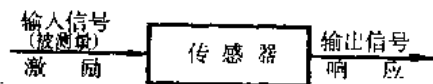


图 1-3 传感器、输入和输出

二、传感器的静态特性

传感器的静态特性是指对静态的输入信号,传感器的输出量与输入量之间所具有的相互关系。因为这时输入量和输出量都和时间无关,所以它们之间的关系,即传感器的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程,或以输入量作横坐标,把与其对应的输出量作纵坐标而画出的特性曲线来描述。表征传感器静态特性的主要参数有:线性度、灵敏度、分辨力和迟滞等。

1. 测量范围与量程

测量范围是指在正常工作条件下,传感器能够测量的被测量量值的总范围。通常以测量范围的下限值和上限值来表示。如某温度计的测量范围是 -50°C 至 $+300^{\circ}\text{C}$ 。

量程是测量范围上限值与下限值的代数差。如上述温度计的量程是 350°C 。

给出测量范围即给出了被测量的上、下限,也就给出了量程。但仅知量程,仍无法判断传感器的测量范围。

2. 线性度

在通常情况下传感器的输出不可能丝毫不差地反映被测量的变化,总存在一定的误差,所以它的实际特性曲线并不完全符合测量所要求的线性关系,如图 1-4 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接近程度的一个性能指标,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

$$E_L = \frac{\Delta y_m}{Y_{FS}} \times 100\%$$

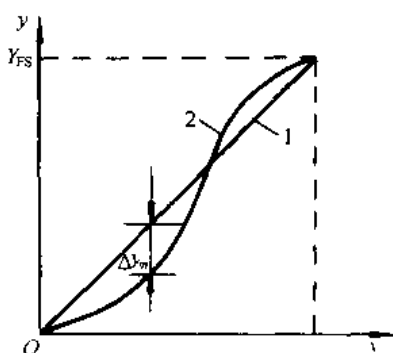


图 1-4 特性曲线与线性度

1—拟合直线; 2—实际特性曲线

线性度(非线性误差)是以所参考的拟合直线作为基准直线计算出来的,基准直线不同,求出的线性度也不同。拟合直线的选取有多种方法。如将零输入和满量程输出点相连的理论直线作为拟合直线;或将与特性曲线上各点偏差的平方和为最小的理论直线作为拟合直线,此拟合直线称为最小二乘法拟合直线。

3. 灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态工作情况下输出量变化 Δy 对输入量变化 Δx 的比值,即

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{或} \quad S = \frac{dy}{dx}$$

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。

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 1mm 时,输出电压变化为 200mV ,则其灵敏度应表示为 200mV/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。

提高灵敏度,可得到较高的测量精度。但灵敏度愈高,测量范围愈窄,稳定性也往往愈差。

4. 分辨力

分辨力是指传感器可能感受到的被测量的最小变化的能力。也就是说,如果输入量从某一非零值缓慢地变化,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,即传感器对此输入量的变化是分辨不出来的。只有当输入量的变化超过分辨力时,其输出才会发生变化。

通常传感器在满量程范围内各点的分辨力并不相同,因此常用满量程中能使输出量产

生阶跃变化的输入量中的最大变化值作为衡量分辨力的指标。上述指标若用满量程的百分比表示,则称为分辨率。

灵敏度愈高,分辨力愈好。一般模拟式仪表的分辨力规定为最小刻度分格值的一半,数字式仪表的分辨力是最后一位的一个字。

5. 迟滞

迟滞特性表征传感器在正向(输入量增大)和反向(输入量减小)行程期间输出—输入特性曲线不一致的程度,如图 1-5 所示。迟滞一般用两条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

$$E_t = \frac{\Delta y_m}{Y_{FS}} \times 100\%$$

迟滞可能是由传感器内部元件存在能量吸收或传动机构的摩擦、间隙等原因造成的。

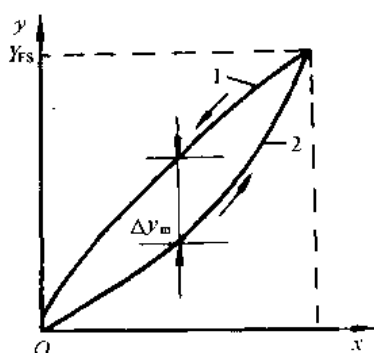


图 1-5 迟滞特性

1—反向特性; 2—正向特性

6. 精度等级

精度等级是为简单地表示传感器测量结果的可靠程度而引用的。它是传感器在规定工作条件下,其绝对

误差(仪表的指示值与被测量真值之间的差值)的最大值 δ_{max} 与仪表量程 L 的百分比,即

$$A = \frac{\delta_{max}}{L} \times 100\%$$

精度等级 A , 常见的挡级有 0.1 级, 0.2 级, 0.5 级, 1.0 级, 1.5 级, 2.0 级, 2.5 级, 5.0 级。数值越小,精度等级越高,测量越精确。

三、传感器的动态特性

当传感器用于动态测量时,由于被测量随时间快速变化,此时传感器如果不能迅速响应并正确地感受信号,测量工作就无法进行,即使有测量结果也会因误差太大而全无用处。例如,用百分表在车床上测量回转体零件的径向跳动时,若工件快速转动,即使能读出指针的最大偏摆量,但也不能作为径向跳动的量度。这是因为百分表的响应时间不够短,或者说它的动态特性不好的缘故。因此,研究动态测量,就必须考察传感器的动态特性,才能判断它是否合用和使用时会带来什么样的误差。

所谓动态特性,是指传感器在输入变化时,它的输出的特性。在实际工作中,传感器的动态特性常用它对某些标准输入信号的响应来表示。这是因为传感器对标准输入信号的响应容易用实验方法求得,并且它对标准输入信号的响应与它对任意输入信号的响应之间存在一定的关系,往往知道了前者就能推定后者。最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号两种,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

对于按照阶跃状态变化的输入的响应称为阶跃响应。从阶跃响应中,可以获得它在时域内的瞬态响应特性。

幅值为 A 的阶跃信号如图 1-6 所示。当 $t=0$ 时, $x(t)=0$, 即没有输入也没有输出。当 $t>0$ 时,输入量 $x(t)$ 瞬间突变,即有一幅值为 A 的阶跃信号输入。这时传感器的阶跃响应

(输出)如图 1-7 所示。整个响应分为动态和稳态两个过程。动态过程又称为过渡过程,是指传感器从初始状态到接近最终状态的响应过程。稳态过程是指时间 $t \rightarrow \infty$ 时传感器的输出状态。阶跃响应主要通过分析动态过程来研究传感器的动态特性,而下面所介绍的频率响应则是通过研究稳态过程来分析传感器的动态特性的。

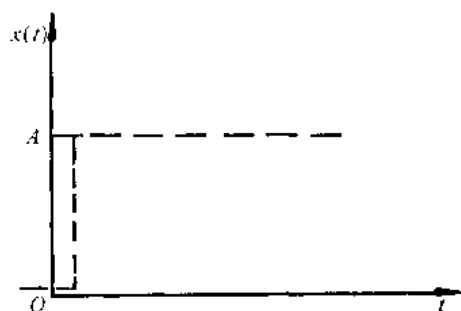


图 1-6 阶跃信号

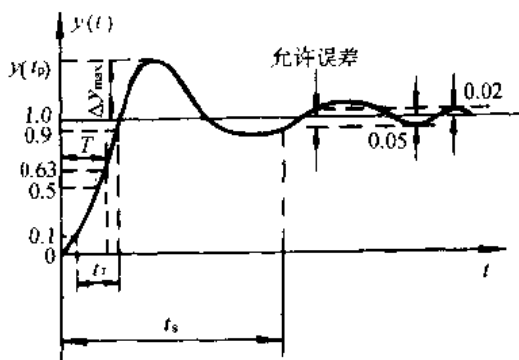


图 1-7 阶跃响应曲线

传感器的时域动态性能指标一般都用其阶跃响应中过渡过程曲线上的特性参数来表示,主要有:

1) 时间常数 T

输出量上升到稳态值 $y(\infty)$ 的 63% 所需的时间,称为时间常数 T 。

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% 所需的时间。它是传感器响应速度的一种度量, t_r 愈小, 响应愈快。

3) 响应时间 t_s (也称调节时间)

响应时间是指从输入量开始起作用到输出进入稳定值的允许误差范围 (如 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$) 内所需的时间。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 是从总体上反映传感器响应的快慢。

4) 超调量 σ

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, 叫超调量 σ , 即

$$\sigma = \frac{\Delta y_{\max}}{y(\infty)} \times 100\%$$

超调量反映了传感器的动态精度, 超调量越小, 则说明传感器过渡过程进行得越平稳。

5) 振荡次数 N

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

6) 稳态误差 e_s

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。

在上述指标中, σ 和 N 反映了传感器的稳定性能; t_r 反映了传感器响应的快速性; e_s 反映了传感器的精度。一般说来, 我们总是希望超调量小一点, 振荡次数少一点, 响应时间短一

些,稳态误差小一点。

2. 频率响应

由物理学可知,在一定条件下,任意信号均可分解为一系列不同频率的正弦信号。也就是说,一个以时间作为独立变量进行描述的时域信号,可以变换成一个以频率作为独立变量进行描述的频域信号。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。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,就可对传感器的频域动态性能作出分析和评价。

1) 频率响应的通式

输入信号为正弦波

$$x(t) = A \sin(\omega t)$$

时,输出信号 $y(t)$ 的波形如图 1-8 所示。由于瞬态响应的影响,开始时输出信号并不是正弦波。但经过一定时间后,瞬态响应部分逐渐衰减以至消失,这时输出量 $y(t)$ 是与输入量 $x(t)$ 的频率相同、幅值不等且有一定相位差的正弦波,即 $y(t) = B \sin(\omega t + \phi)$ 。因此,输入信号振幅 A 即使一定,只要 ω 有所变化,输出信号的振幅和相位也会发生变化。频率响应就是在稳定状态下,幅值比 B/A 和相位 ϕ 随 ω 变化而变化的状况。

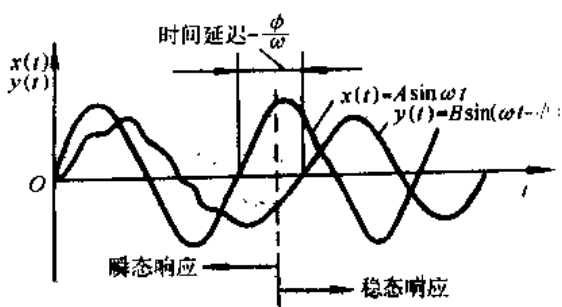


图 1-8 正弦输入时的频率响应

2) 频率响应特性曲线

用频率响应法求传感器的动态特性,只要对它施以正弦激励信号,令 $x(t) = A \sin(\omega t)$,

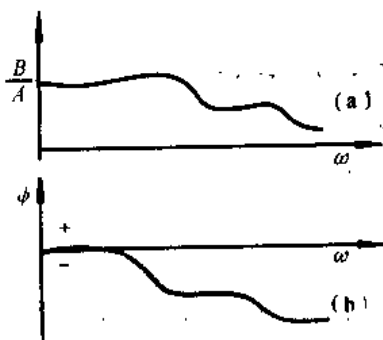


图 1-9 幅频和相频特性曲线
(a) 幅频特性; (b) 相频特性

在输出达到稳态后测量输出和输入的幅值比和相位差。逐次改变输入信号 $x(t)$ 的频率,即可绘出输出、输入幅值比和频率的关系——幅频特性曲线(a)和输出、输入相位差与频率的关系——相频特性曲线(b),其一般情况如图 1-9 所示。利用它可以从频率域形象、直观、定量地表征传感器的动态特性。

在实际作图时,对于幅频曲线,常以 $\lg \omega$ 作自变量,以 $20 \lg(B/A)$ 作因变量(单位为分贝)。对于相频曲线,常以 $\lg \omega$ 作自变量,以 $\phi(\omega)$ 作因变量(单位为度)。两者分别称为对数幅频曲线和对数相频曲线。

3) 频率响应性能指标

传感器的频率响应性能指标是由其幅频特性(或对数幅频特性)和相频特性曲线上的特性参数来表示的。为使被测信号中的各种频率成分通过传感器时,输出、输入的幅值比和相位差(即滞后时间)相同,也即不产生失真,传感器的幅频特性应工作在曲线的平直段,相频特性应工作在曲线的直线段。

通常在表示传感器的频响特性时主要用幅频特性。典型的对数幅频特性曲线如图 1-10

所示,其主要性能指标有:

(1)频率响应范围 图 1-10 中的 0dB 的水平线为对数幅频曲线上的平直段,是理想的传感器的幅频特性,其输出与输入有固定的比例关系。如果传感器的幅频曲线偏离理想直线,但曲线上的某一段其幅值比的变化量还不超过某个允许的公差带,则仍然认为是可用的范围。如在声学 and 电学仪器中往往规定 $\pm 3\text{dB}$ 的公差带。而对传感器来讲则要根据所需的测量精度来定公差带。幅频曲线越出公差带处所对应的频率分别叫做下截止频率 ω_L 和上截止频率 ω_H 。而这个频率区间($\omega_H - \omega_L$)称为传感器的频率响应范围,或称频响范围,简称频带或通频带。

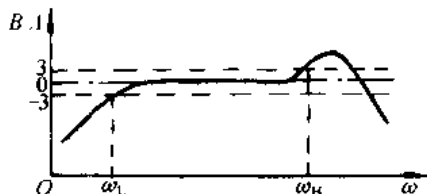


图 1-10 对数幅频特性曲线

在选择频响范围时,为不丢失被测对象的全部有用信息,应使被测信号的有用谐波频率都在这个范围之内。

(2)幅值误差和相位误差 在频率响应范围内与理想传感器相比产生的幅值和相位。

四、实现不失真测量的条件

所谓不失真测量,就是被测信号输入测量装置后,其输出无滞后,且能不失真地复现被测输入信号的波形。此时,输出 $y(t)$ 与输入 $x(t)$ 应满足如下关系:

$$y(t) = Kx(t)$$

式中, K 为一常数。此式表明输出无滞后($\tau_d = 0$),波形不失真,只不过幅值增大了 K 倍而已,如图 1-11(a)所示。

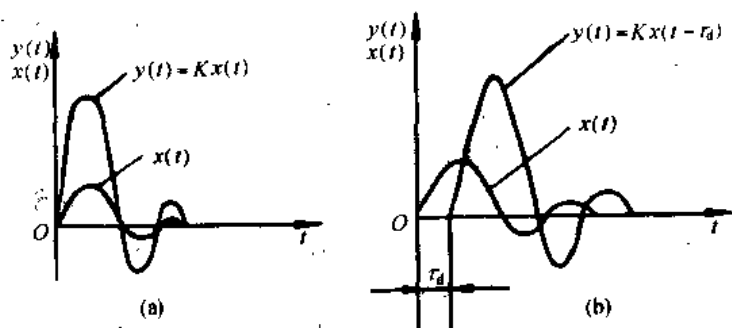


图 1-11 不失真测量

(a) $\tau_d = 0$ (b) $\tau_d \neq 0$

如果测量的目的只是为精确地测定输入,而不作为控制系统的反馈信号,那么输出滞后于输入($\tau_d \neq 0$)也无妨,只要波形不失真即可,如图 1-11(b)所示。此时输出 $y(t)$ 与输入 $x(t)$ 应满足如下关系:

$$y(t) = Kx(t - \tau_d)$$

式中, τ_d 为滞后时间。此时,若将输出信号沿时轴向左平移 τ_d ,再将其幅值缩小 K 倍,则与输入信号完全重合。

要使上式成立,测量装置的频率响应特性应同时满足两个条件:

(1)装置对输入的被测信号中所包含的各种频率成分的幅值放大倍数都一样,即装置的幅频特性应满足 $(B/A) = K = \text{常数}$;