



银领工程系列

传感器 与检测技术

周乐挺 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

银领工程系列

传感器与检测技术

周乐挺 主编

高等教育出版社

内容提要

本书根据高职高专教育的特点,以就业为导向,以职业岗位核心能力为目标,精选教学内容,力求新颖、叙述简练、灵活应用,学用结合。

本书主要介绍两个方面的内容:一是传感器的组成原理、特性和使用方法,主要包括电阻式、变磁阻式、电容式、霍尔式、压电式、热电式、光电式和光纤传感器;二是结合大量的应用实例,介绍了测量系统的基本技术和温度、压力、位移、速度、物位、流量等参数的检测原理及方法。

本书以应用为目的,以必需、够用为尺度,理论少而精,加强理论与实际的统一,且注重新技术、新成果的应用。

本书适用于高职高专计算机控制技术、自动化、仪表、应用电子、通信、机电一体化等相关专业的教学。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/周乐挺主编. —北京:高等教育出版社,2005.12

ISBN 7-04-018105-3

I. 传... II. 周... III. 传感器-高等学校:技术学校-教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 132979 号

策划编辑 孙 杰 责任编辑 曲文利 封面设计 王凌波 责任绘图 朱 静
版式设计 王艳红 责任校对 朱惠芳 责任印制 韩 刚

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 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 12.75
字 数 310 000

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.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2005 年 12 月第 1 版
印 次 2005 年 12 月第 1 次印刷
定 价 16.40 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 18105-00

出版说明

为了认真贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,落实《2003—2007 年教育振兴行动计划》,缓解国内劳动力市场技能型人才紧缺现状,为我国走新型工业化道路服务,自 2001 年 10 月以来,教育部在永州、武汉和无锡连续三次召开全国高等职业教育产学研经验交流会,明确了高等职业教育要“以服务为宗旨,以就业为导向,走产学研结合的发展道路”,同时明确了高等职业教育的主要任务是培养高技能人才。这类人才,既要能动脑,更要能动手,他们既不是白领,也不是蓝领,而是应用型白领,是“银领”。从而为我国高等职业教育的进一步发展指明了方向。

培养目标的变化直接带来了高等职业教育办学宗旨、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面的改变。与之相应,也产生了若干值得关注与研究的新课题。对此,我们组织有关高等职业院校进行了多次探讨,并从中遴选出一些较为成熟的成果,组织编写了“银领工程”丛书。本丛书围绕培养符合社会主义市场经济和全面建设小康社会发展要求的“银领”人才的这一宗旨,结合最新的教改成果,反映了最新的职业教育工作思路和发展方向,有益于固化并更好地推广这些经验和成果,很值得广大高等职业院校借鉴。我们的这一想法和做法也得到了教育部领导的肯定,教育部副部长吴启迪专门为首批“银领工程”丛书提笔作序。

我社出版的高等职业教育各专业领域技能型紧缺人才培养培训工程系列教材也将陆续纳入“银领工程”丛书系列。

“银领工程”丛书适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校开办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2004 年 9 月

前 言

本书根据高职高专教育的特点,以就业为导向,以职业岗位核心能力为目标,精选教学内容,力求新颖、叙述简练、灵活应用。本教材包括两大部分的内容:第一部分为传感器的组成原理、特性和使用方法,主要有电阻式、变磁阻式、电容式、霍尔式、压电式、热电式、光电式和光纤式传感器;第二部分为测量系统的基本技术和温度、压力、位移、速度、物位、流量等参数的测量原理及方法。本书以应用为目的,以必需、够用为尺度,理论少而精,加强理论与实际的统一,加强实践教学环节,且注重新技术、新成果的应用。

本书充分体现教学基本要求,具有如下特点:

(1) 教学内容取材适宜,内容精练,主次分明,重点突出,知识面宽,应用性强,注重新技术、新成果的应用。

(2) 以应用为目的,以必需为尺度,以掌握概念、强化应用为重点,理论推导从简,做到理论少而精,加强理论知识和实践环节的统一。

(3) 结构新颖,层次分明,语言简练,通俗易懂,易于教学及自学。

本书摆脱了以往学科类专业课程教学“定理—推导—验证”的模式,本着知识够用为度和理论与实训相结合的思路展开,在介绍理论知识的同时,嵌入了大量的实训案例,使枯燥的概念和生动的实际操作相结合,为学习后续课程打下了基础,并储备了实际操作的经验。

本书适合于高等职业学校、高等专科学校、成人高等院校、本科院校举办的职业技术学院计算机控制技术、自动化、仪表、应用电子、通信、机电一体化等相关专业的教学使用,也可供继续教育学院、民办高校使用。

本书由河北工业职业技术学院周乐挺任主编,王俊伟任副主编,河北工业职业技术学院石文兰、李春祎、陈锐参与了本书的编写和校稿工作,在本教材的编写过程中,得到了高等教育出版社的大力支持和帮助,北京联合大学蒋蔚老师仔细审阅了全书,提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

本教材建议学时数为 96 学时,其中课堂教学 60 学时,实验和实训 36 学时。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请各位专家和本教材的使用者提出宝贵意见。

编者

2005.8.18

目 录

第一章 传感器技术基础	1	第三章 变磁阻式传感器	28
第一节 传感器简介	1	第一节 自感式传感器	28
一、传感器的定义	1	一、自感式电感传感器的工作原理	28
二、传感器的组成与作用	1	二、自感式电感传感器的测量电路	30
第二节 传感器的分类	2	第二节 差分变压器式传感器	32
一、按传感器工作原理分类	2	一、差分变压器式传感器工作原理	32
二、按被测量(或传感器的用途)分类	2	二、测量电路	32
三、按输出信号的性质分类	2	第三节 电涡流式传感器	34
第三节 传感器的特性及主要技术指标	2	一、电涡流式传感器的工作原理	34
一、传感器的静态特性和动态特性	2	二、电涡流式传感器的结构	34
二、传感器的主要技术指标	6	三、电涡流式传感器的测量电路	35
本章小结	7	四、电涡流式传感器应用举例	36
思考题及习题	7	实训1 差分变压器式电感传感器性能测试 与标定	37
第二章 电阻式传感器	8	本章小结	39
第一节 电位器式传感器	8	思考题及习题	40
一、电位器式传感器的基本工作原理	8	第四章 电容式传感器	41
二、电位器式传感器的输出特性	9	第一节 电容式传感器的结构、工作原理 和特性	41
三、电位器式传感器的结构	10	一、变面积型电容传感器	41
四、电位器式位移传感器	10	二、变极距型电容传感器	43
第二节 应变式传感器	11	三、变介电常数型电容传感器	45
一、电阻应变片的结构和工作原理	11	第二节 测量电路	46
二、电阻应变片的特性	14	一、变压器电桥电路	46
三、测量电路	16	二、差分脉冲调宽电路	47
四、温度误差及补偿	17	三、运算放大器电路	48
第三节 压阻式传感器	20	第三节 保持电容式传感器特性稳定的 方法	50
一、压阻效应	20	一、减小边缘效应的影响	50
二、结构与特性	22	二、减小寄生电容的影响	50
三、固态压阻传感器测量电路	24	实训2 差分电容传感器特性测试	51
四、温度补偿	25		
本章小结	26		
思考题及习题	27		

本章小结	52	二、热电偶的工作原理	83
思考题及习题	52	三、热电偶冷端温度补偿	87
第五章 霍尔式传感器	54	第二节 金属热电阻传感器	90
第一节 霍尔传感器的工作原理	54	一、金属热电阻测温原理	91
一、霍尔元件与霍尔效应	54	二、金属热电阻的材料	92
二、霍尔元件的主要特性	56	三、金属热电阻的结构及应用	93
第二节 霍尔传感器的基本测量电路	58	第三节 热敏电阻	94
一、将被测量转换为磁感应强度 B	59	一、热敏电阻的工作原理	94
二、将被测量转换为控制电流 I	59	二、热敏电阻的主要特性及参数	95
三、将被测量转换为 I 与 B 的乘积	59	实训 5 热电式传感器测温	98
第三节 霍尔传感器的误差与补偿	60	本章小结	99
一、零位误差与补偿	60	思考题及习题	99
二、温度误差与补偿	62	第八章 光电式传感器	101
实训 3 霍尔传感器的特性测试	64	第一节 光电效应	101
本章小结	65	第二节 光电器件	101
思考题及习题	66	一、光敏电阻	101
第六章 压电式传感器	68	二、光电二极管和光电晶体管	103
第一节 压电效应与压电材料	68	三、光电池	106
一、压电效应	68	四、光电耦合器	108
二、压电材料	68	第三节 红外光传感器	109
第二节 压电式传感器的工作原理	71	一、红外光传感器的原理和类型	109
一、压电元件的结构形式	71	二、红外探测器	110
二、压电式加速度传感器	72	实训 6 光电式传感器测速	111
三、压电式压力传感器	72	本章小结	113
第三节 压电式传感器的等效电路与 测量电路	73	思考题及习题	114
一、压电式传感器的等效电路	73	第九章 光纤传感器	115
二、压电式传感器的测量电路	74	第一节 光纤传感器基础	115
第四节 压电式传感器的应用	76	一、光纤的结构和种类	115
一、压电式金属加工切削力测量	76	二、光调制与解调技术	116
二、压电式玻璃破碎报警器	76	三、光纤传感器的分类	118
实训 4 压电式加速度计性能测试	77	第二节 功能型光纤传感器	119
本章小结	78	一、相位调制型光纤传感器	119
思考题及习题	79	二、光强调制型光纤传感器	119
第七章 热电式传感器	80	第三节 非功能型光纤传感器	122
第一节 热电偶传感器	80	一、传输光强调制型光纤传感器	122
一、热电偶的材料与常用热电偶	81	二、反射光强调制型光纤传感器	123
		第四节 光纤传感器的应用	124

一、光纤加速度传感器	124	一、电感式位移测量	152
二、光纤磁场传感器	126	二、电容式位移测量	153
本章小结	127	三、霍尔式位移测量和接近开关	156
思考题及习题	127	四、电涡流式位移测量	158
第十章 测量技术基础知识	128	第二节 速度测量系统	158
第一节 测量基础知识	128	一、磁电感应式速度测量	158
一、测量的基本概念	128	二、光电式转速计	159
二、测量方法	129	三、测速发电机	161
三、测量系统	130	四、电磁脉冲式转速计	162
第二节 测量误差	131	五、应变片式加速度计	162
一、测量误差的表示方法	131	六、压电式加速度计	163
二、测量误差的分类	132	七、电容式加速度计	164
三、测量精度与分辨率	132	本章小结	165
四、测量误差的估计和校正	133	思考题及习题	166
本章小结	136	第十三章 物位与流量测量系统 ...	167
思考题及习题	136	第一节 物位测量系统	167
第十一章 温度与压力测量系统 ...	137	一、浮力式液位计	167
第一节 温度测量系统	137	二、静压式物位测量	168
一、金属热电阻传感器测温	137	三、电容式物位测量	169
二、热敏电阻传感器测温与温度控制	138	四、超声式物位测量	170
三、热电偶测温系统	139	第二节 流量测量系统	173
四、辐射式测温系统	142	一、流量概述和测量方法	173
五、光导纤维测温系统	146	二、差压式流量计	174
第二节 压力测量系统	147	三、容积式流量计	182
一、应变片式力值测量	147	四、速度式流量计	185
二、压电式压力测量	148	五、振动式流量计	186
三、电阻应变片压力传感器	148	六、电磁流量计	188
四、电容式差压压力变送器	149	七、质量流量计	190
五、霍尔式压力测量	149	八、光纤传感器测量流量	191
本章小结	150	本章小结	192
思考题及习题	151	思考题及习题	193
第十二章 位移与速度测量系统 ...	152	参考文献	194
第一节 位移测量系统	152		

第一章 传感器技术基础



学习目标

掌握传感器的定义、组成和作用,了解传感器的分类,了解传感器的动态特性和静态特性,掌握传感器的技术指标。

第一节 传感器简介

传感器来自“感觉”一词。人们用视觉、听觉、味觉、嗅觉和触觉等感官感受外界的有关信息,如物体的大小、形状和颜色,感觉到的声音、气味等。在视觉情况下,绝不是靠眼睛本身进行感觉,而是从眼睛进入的外界刺激信号通过神经传送到大脑,由大脑感知物体的大小和颜色,然后由大脑提供命令信号支配行动。听觉和嗅觉等也完全一样。然而,要使大脑受到这些刺激,首先必须有接受外界刺激的“五官”,人的“五官”可以称之为传感器。它们的基本功能是首先接受外界的刺激信号,然后产生作用于各种神经传递信号的能量,最后再传送到大脑。

在传感器的系统中,传感器模拟人“五官”的这些作用,将外界刺激信号转换为能传递的信号,即将特定的被测量(包括物理量、化学量、生物量等)按照一定的规律转换成某种可用的输出信号。

一、传感器的定义

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与它有确定对应关系的、便于应用的另一种量的测量装置。

传感器的定义具体包含:

- ① 传感器是测量装置,能完成检测任务;
- ② 它的输入量是某一被测量,可能是物理量,也可能是化学量、生物量等;
- ③ 它的输出量是某种物理量,这种量应便于传输、转换、处理、显示等,它可以是气、光、电,但主要是电量。

二、传感器的组成与作用

生产过程中有各种各样的参数需要进行检测和控制,如常用的力、压力、温度、流量、物位、转速、位移与振动等非电量。传感器是检测和控制系统中最关键的部分。

1. 传感器的组成

传感器一般由敏感元件和转换元件两大部分组成。但很多时候也将转换电路及辅助电路作为其组成部分,因为传感器作为一个完整的器件,绝大部分都是把转换电路及必要的辅助电源单元与敏感元件、转换元件一起做成一体化的器件。

2. 传感器的作用

传感器的作用包括信息的收集、信息数据的转换和控制信息的采集。

第二节 传感器的分类

在实际工程应用中,传感器的种类很多。同一种被测量可以用不同的传感器来测量;而同一种原理的传感器,通常又可以测量多种物理量。因此,传感器的分类方法也形形色色,目前尚没有统一的方法,比较常用的方法如下:

一、按传感器工作原理分类

可分为: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、热电偶式传感器。

二、按被测量(或传感器的用途)分类

可分为: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、物位传感器、成分传感器。

三、按输出信号的性质分类

可分为:开关型传感器、模拟式传感器、数字式传感器。

第三节 传感器的特性及主要技术指标

传感器所测量的被测量经常处在各种各样的变动中,例如测量机床车刀的切削力时,若材质均匀,切削力的值可能十分稳定;若遇到材质不均匀甚至有小缺陷时,切削力的值可能有缓慢起伏或者周期性脉动变化,甚至出现突变的尖峰力。传感器能否将这些被测量的变化不失真地转换成相应的电量,涉及传感器本身的基本特性,即输出-输入特性。这种特性通常用传感器的静态特性和动态特性来描述。

一、传感器的静态特性和动态特性

(一) 传感器的静态特性

传感器变换的被测量的数值处在稳定状态时,传感器的输出与输入的关系称为传感器的静态特性。描述传感器静态特性的技术指标是:灵敏度、线性度、迟滞和重复性。

1. 灵敏度

传感器在稳态标准条件下,输出变化对输入变化的比值称灵敏度,用 K 表示,即

$$K = \frac{\text{输出量的变化量}}{\text{输入量的变化量}} = \frac{dy}{dx} \quad (1-1)$$

对于线性传感器来说,它的灵敏度 K 是个常数。

2. 线性度

传感器的静态特性是在稳态标准条件下,利用一定等级的校准设备,对传感器进行往复循环测试,得出的输出-输入特性(列表或画曲线)。通常,希望这一特性(曲线)为线性,这样,会对标定和数据处理带来方便。但实际的输出-输入特性一般都是非线性的,因此,采用各种补偿环节,如非线性电路补偿环节或计算机软件,进行线性化处理。在传感器非线性率次不高、输入量变化范围较小时,用一条直线(切线或割线)近似地代表实际曲线的一段。对传感器的输出-输入特性线性化的方法,称为直线拟合法,如图 1-1 所示。实际曲线与拟合直线之间的偏差称为传感器的非线性误差或线性度,取其中最大值与输出满度值之比作为评价线性度(或非线性误差)的指标,即

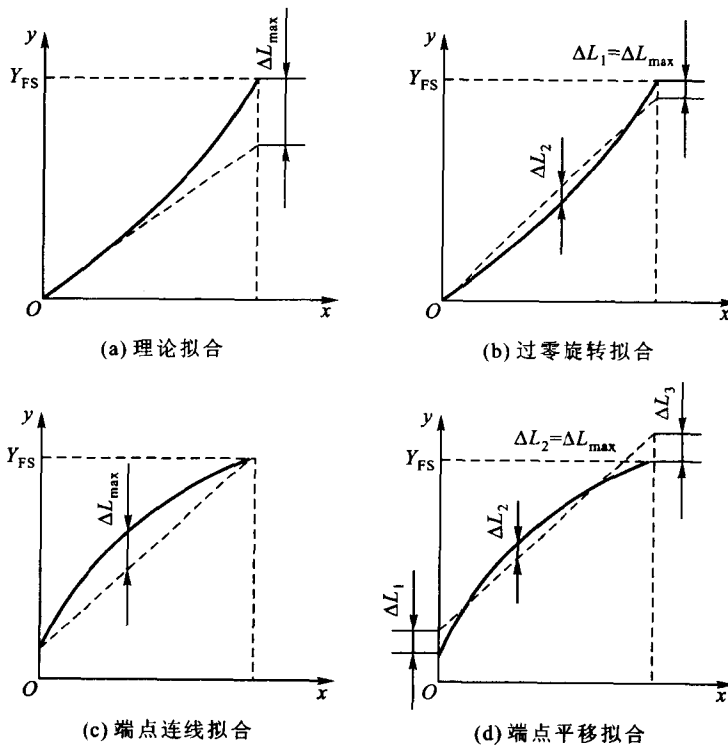


图 1-1 几种直线拟合方法

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

式中 γ_L ——线性度(非线性误差);

$\Delta L_{\max}$ ——最大非线性绝对误差示值;

Y_{FS} ——输出满度值。

由图 1-1 可见,在常用的拟合方法中,即使是同类传感器,拟合方法不同,其象形度也不同,用最小二乘法求取的拟合直线的精度最高。

3. 迟滞

迟滞是指在相同工作条件下,传感器正行程特性和反行程特性的不一致程度,如图 1-2 所示。其数值为对应同一大小的输入量,因采用的行程方向不同,传感器的输出量值不相等,这就是迟滞现象。

产生迟滞现象的原因,主要是传感器机械部分存在不可避免的缺陷,如轴承摩擦、间隙、紧固件松动和材料内摩擦等。

4. 重复性

传感器的输入量在同一方向(增加或减少)变化时,在全量程内连续进行重复测量所得到的输出-输入特性曲线不一致的程度,如图 1-3 所示。产生不一致的原因与产生迟滞现象的原因相同。多次重复测试的曲线越重合,说明该传感器重复性越好,使用误差越小。

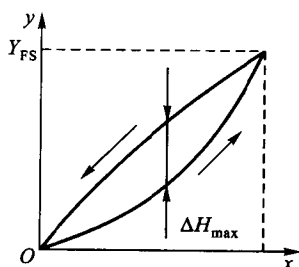


图 1-2 迟滞特性

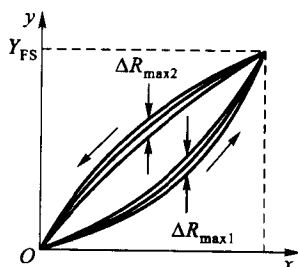


图 1-3 重复性

(二) 传感器的动态特性

1. 动态特性的定义

动态特性是指传感器测量动态信号时,输出对输入的响应特性。

传感器测量静态信号时,被测量不随时间变化,测量和记录的过程不受时间限制。而实际大量的被测量是随时间变化的动态信号,传感器的输出不仅要精确地显示被测量的大小,还要显示被测量随时间变化的规律。动态特性好的传感器,其输出随时间的变化规律将再现输入随时间变化的规律,即它们具有相同的时间函数。但是,除了理想情况外,实际传感器的输出信号与输入信号不会具有相同的时间函数,输出与输入之间会出现差异。这种输出与输入之间的差异称为动态误差,研究这种误差的性质称为动态特性分析。

2. 研究动态特性的方法

由于传感器在实际工作中随时间变化的输入信号是千变万化的,而且由于随机因素的影响,往往事先并不知道其特性,故工程上通常采用标准信号函数的方法来研究,并据此确定若干评定动态特性的指标。常用的标准信号函数是正弦函数和阶跃函数,因为它们既便于求解又便于实现。大多数情况下对非正弦周期信号,可以通过数学方法利用傅里叶级数分解为含多次谐波的正弦函数;对其他非正弦非周期的函数可通过傅里叶变换分解出各次正弦谐波来分析。而阶跃

信号是瞬间发生的变化,它有可能是输入信号中最坏的一种,传感器如能复现这种信号,则就能较容易复现其他各种输入信号,所以将它们作为标准信号函数。

(1) 阶跃响应法。当输入信号为阶跃函数时,因为它是时间的函数,故传感器的响应是在时域里发生的,因此称它为阶跃响应法。

(2) 频率响应法。当输入信号是正弦函数时,因为它是频率的函数,故传感器的响应是在频域内发生的,因此称它为频率响应法。

这两种分析方法内部存在着必然联系,可在不同场合根据实际需要选择不同的方法。

3. 传感器的阶跃响应特性

阶跃响应特性是指在输入为阶跃函数时,传感器的输出随时间的变化特性。主要参数有时间常数(T)、上升时间(t_r)、响应时间(t_s)、超调量(δ)等,作为评定指标。阶跃响应特性如图1-4所示。

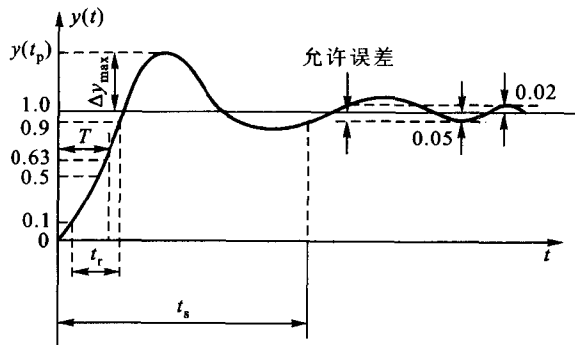


图 1-4 阶跃响应曲线图

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

(2) 上升时间 t_r 是指输出值从稳态值的 10% 变到稳态值的 90% 所需的时间。

(3) 响应时间 t_s 是指输入量开始起作用到输出值进入稳定值所规定的范围内所需的时间。

(4) 超调量 δ 是指输出量 $y(t_p)$ 与稳态值 $y(\infty)$ 的最大偏差 $\Delta y_{\max}$ 与稳态值 $y(\infty)$ 之比,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,表示传感器过渡过程越平稳。

4. 传感器的频率响应特性

在一定条件下,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,一个以时间作为独立变量的时域信号,可以变成一个以频率为独立变量的频域信号。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成分。如果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。就是把频率不同而幅值相等的正弦信号输入到传感器中,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;也可以通过对频率响应性能指标的考核来完成。

频率响应特性是指将频率不同而幅值相等的正弦信号输入传感器,其输出正弦信号的幅值、相位与频率之间的关系。频率响应特性常用的评定指标有:通频带 BW 、时间常数 τ 、固有频率 ω_0 。

- (1) 通频带 BW 是指传感器的增益保持在一定值之内的频率范围,对应应有上、下截止频率。
- (2) 时间常数 τ 用来表征一阶传感器的动态特性, τ 越小,频带越宽。
- (3) 固有频率 ω_0 用来表征二阶传感器的动态特性, ω_0 越大,快速性越好。

二、传感器的主要技术指标

由于传感器的应用范围十分广泛,类型很多,使用要求千差万别,所以列出全面衡量传感器的统一指标是十分困难的。然而,列出传感器的基本参数和比较重要的环境参数作为检验、使用和评价传感器的依据,则是十分必要的。表 1-1 给出了部分经常用到的技术指标。

对于一种具体的传感器来说,并不是全部指标都是必需的,然而,按照不同的需要,还可以列出一些不同含义的指标。在表 1-1 列出的各项指标中,对于一些性能参数也有采用不同特征参数表达的情况。

表 1-1 传感器技术指标

基本参数指标	量程	量程范围	环境参数指标	温度	工作温度范围	可靠性指标	工作寿命	其他指标	供电方式(直流、交流、频率及波形等)	
		过载能力								
	灵敏度	灵敏度			温度范围					
		满量程输出阻抗			温度系数					
	精度	精度			热滞后等		平均无故障时间		功率、分布参数数值、电压范围、稳定度等	
		误差		抗冲振	允许各项抗冲振的频率					
		线性			振幅及加速度		保险期			
		滞后			冲振所引入的误差					外形尺寸、重量、壳体材料、结构特点等
		重复性		其他环境参数	抗潮湿	疲劳性能	绝缘电阻			
		灵敏度误差			抗介质腐蚀能力					
		稳定性			抗电磁场干扰能力等	耐压及抗飞弧等				
	动态性能	固有频率				安装方式、电缆等				
		阻尼比								
		时间常数								
		频率响应范围								
		频率特性								
		临界频率								
		临界速度								
	稳定时间									

必须指出,要想使传感器的各项指标都优良,不仅制造困难,而且也没有必要。根据实际需要,保证基本参数就可以了,即使是主要参数,也不必盲目地追求指标的全面优异,而应关心其稳定性和变化规律,其他的缺点可在电路上或用计算机进行补偿和修正。这样,才能使各种传感器既低成本又高精度地得到应用。

本章小结

传感器是检测中首先感受被测量、并将它转换成与被测量有确定对应关系的电量的器件,它是检测和控制系统中最关键的部分。传感器的性能由传感器的静态特性和动态特性来评价。

传感器的静态特性是指传感器变换的被测量的数值处在稳定状态时,传感器的输出与输入的关系。传感器静态特性的主要技术指标包括灵敏度、线性度、迟滞和重复性。线性度是指实际输出-输入特性曲线与理论直线之间的最大偏差与输出满度值之比。灵敏度是指传感器在稳态标准条件下,输出变化量与输入变化量的比值,用 K 表示,线性传感器的灵敏度是一常数。迟滞是指传感器输入量增大行程期间和输入量减小行程期间,输出-输入特性曲线不重合的程度。重复性是指传感器输入量在同一方向(增加或减小)做全量程内连续重复测量所得输出-输入特性曲线不一致的程度。

传感器的动态特性是指传感器测量动态信号时,传感器输出反映被测量的大小和波形变化的能力。研究传感器的动态特性有两种方法:时域的阶跃响应法和频率响应法。阶跃响应特性是指在输入为阶跃函数时,传感器的输出随时间的变化特性。常用响应曲线的上升时间 t_r 、响应时间 t_s 、超调量 δ 等参数作为评定指标。频率响应特性是指将频率不同而幅值相等的正弦信号输入传感器,其输出正弦信号的幅值、相位与频率之间的关系。频率响应特性常用的评定指标是通频带 BW 、时间常数 τ 、固有频率 ω_0 。

思考题及习题

- 1.1 传感器静态特性和动态特性的定义是什么?
- 1.2 传感器静态特性有哪些技术指标?它们各自的定义是什么?
- 1.3 传感器动态特性有哪几种研究方法?各有哪些技术指标?
- 1.4 通常用传感器的_____和_____来描述传感器的输出-输入特性。
- 1.5 传感器被测量的数值处于_____状态时,它的输入与输出的关系称为传感器的_____。
- 1.6 传感器静态特性的主要技术指标包括____、____、____和_____。
- 1.7 频率响应特性是指将频率不同而幅值相等的_____信号输入传感器,其输出正弦信号的____、____与频率之间的关系。频率响应特性常用的评定指标是____、____、_____。
- 1.8 阶跃响应特性是指在输入为阶跃函数时,传感器的输出随时间的变化特性。常用响应曲线的____、____、_____等参数作为评定指标。

第二章 电阻式传感器



学习目标

掌握电位器式、应变式、压阻式传感器的组成和工作原理,了解各种电阻式传感器的特点、测量电路、补偿方法和用途。

电阻式传感器通过电阻参数的变化来达到非电量电测的目的。这是一种将被测信号的变化转换成电阻值变化,然后再经相关测量电路处理后,在终端仪器、仪表上显示或记录下被测量变化状态的测量装置。利用电阻式传感器可进行位移、形变、力、力矩、加速度、温度、湿度等物理量的测量。由于各种电阻材料在受到被测量作用时转换成电阻参数变化的机理各不相同,因而在电阻式传感器中就形成了许多种类。本章主要介绍电位器式传感器、应变式传感器和压阻式传感器等。

第一节 电位器式传感器

一、电位器式传感器的基本工作原理

被测量的变化导致电位器阻值变化的敏感元件称为电位器传感器。电位器式电阻传感器的工作原理是基于均匀截面导体的电阻计算公式,即

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2-1)$$

式中 ρ ——导体的电阻率($\Omega \cdot m$);

l ——导体的长度(m);

A ——导体的截面积(m^2)。

由式(2-1)可知,当 ρ 和 A 一定时,其电阻 R 与长度 l 成正比。如将上述电阻做成线性电位器,如图2-1所示,通过被测量改变电阻丝的长度,即移动电刷位置,则可实现位移与电阻间的线性转换,这就是电位器式电阻传感器的工作原理。图2-1(a)为直线式电位器,可测线位移;图2-1(b)为旋转式电位器,可测角位移。为了正确使用这种传感器,下面讨论负载对传感器特性的影响。

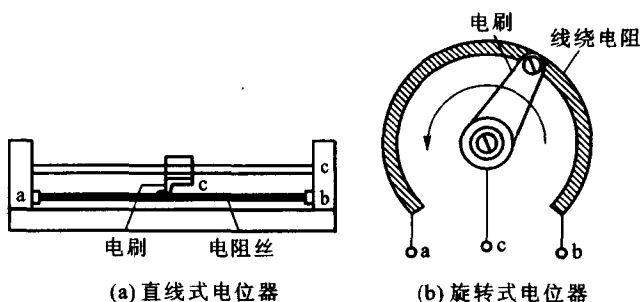


图 2-1 电位器结构图

二、电位器式传感器的输出特性

电位器式电阻传感器在实际使用时,其输出端是接负载的,如图 2-2 所示。图中 R_L 是负载电阻,即为测量仪表的内阻或放大器的输入电阻; l 为直线电位器的全长; R 为电位器的总电阻; x 为电刷的位移量; R_x 为随电刷位移 x 而变化的电阻,其值为

$$R_x = \frac{R}{l}x \quad (2-2)$$

当由电位器的工作电压为 U 时,其输出电压为

$$U_x = \frac{\frac{R_x R_L}{R_x + R_L}}{(R - R_x) + \frac{R_x R_L}{R_x + R_L}} U = \frac{1}{\frac{l}{x} + \frac{R}{R_L} \left(1 - \frac{x}{l}\right)} U \quad (2-3)$$

由式(2-3)可知,当传感器接上负载后,其输出电压 U_x 与位移 x 呈非线性关系,只有当时 $R_L \rightarrow \infty$ 时,其输出电压才与位移成正比,即

$$U_x = \frac{R_x}{R} U = \frac{U}{l} x \quad (2-4)$$

由式(2-2)和式(2-3)可得电位器式传感器的输出特性,如图 2-3 所示。

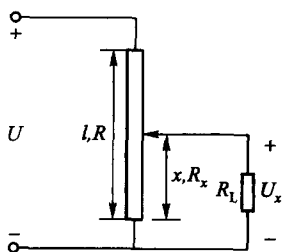


图 2-2 接上负载的电位器式传感器

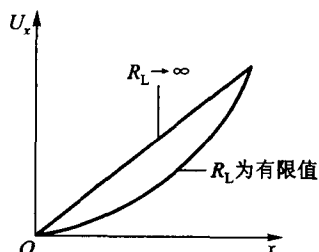


图 2-3 电位器式传感器的输出特性

为消除非线性误差的影响,在实际使用时,应使 $R_L > 20R$,这时可保证非线性误差小于 1.5%。上述条件在一般情况下均能满足,如不能满足这一条件则必须采取特殊补偿措施。