

传感器与检测技术

(第2版)

周乐挺 主编

高等教育出版社

全国高职高专教育电子电气类专业规划教材

CHUANGANQI YU JIANCE JISHU

传感器与检测技术

(第2版)

周乐挺 主编
王家伟 副主编
王俊伟 主审

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是在 2005 年 12 月第 1 版的基础上, 吸取多年使用该教材的经验和使用者的反馈意见, 并根据 2012 年 11 月《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》的精神进行修订的。

全书包括电阻式、变磁组式、电容式、霍尔式、压电式、热电式、光电式、光纤式等常用传感器与检测技术基础知识, 工程常用测量系统等内容。

本书主要适用于高职高专电气类、电子技术类和机电一体化类相关专业的教学, 适用学时为 70 ~ 100 学时; 也可供其他有关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/周乐挺主编. --2 版. --北京: 高等教育出版社, 2014. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 038944 - 9

I. ①传… II. ①周… III. ①传感器-检测-高等职业教育-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 277354 号

策划编辑 孙 薇
插图绘制 尹文军

责任编辑 孙 薇
责任校对 刘春萍

封面设计 张申申
责任印制 田 甜

版式设计 童 丹

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 100120
印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 12.5
字 数 300 千字
购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 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>
版 次 2005 年 12 月第 1 版
2014 年 1 月第 2 版
印 次 2014 年 12 月第 2 次印刷
定 价 21.10 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 38944 - A0

第2版前言

根据2012年11月《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》的具体要求对原教材进行了修订。以期在传授专业知识的基础上进一步培养学生职业道德、操作技能和继续学习的能力。

本版教材针对相关岗位的职业标准和岗位要求,在分章节介绍常用传感器的同时,融入了项目学习、施工案例等新内容,注重吸收行业发展的新知识、新技术、新工艺和新方法。

本版教材异于原教材的修订主要表现在:

1. 压缩内容、整合章节。对原教材各章的内容进行压缩,将第十一、十二和十三章整合为一章,使得全书格局统一和齐整。

2. 看得懂、学得会。根据近几年高职高专学生的来源及认知特征,删繁就简,适当简略了计算公式和理论推导,重新梳理了部分章节的逻辑顺序,精简了部分章节的内容。将复杂的公式推导和复杂线路的分析计算在相关章节中单列出来,编辑了“保持电容式传感器特性稳定的方法”、“霍尔式传感器的零位误差与补偿”、“压电传感器的等效电路与测量电路”和“测量误差的估计和校正”等4个“知识延伸”内容,供师生选择性学习。

3. 培养动手操作能力。本版教材将“差分变压器式电感传感器性能测试”、“差分电容传感器特性测试”、“霍尔式传感器特性测试”和“压电式加速度计性能测试”4个“技能操作”作为实训项目学习内容,以增加学生的学习兴趣、培养实际动手操作能力。

4. 对接职业标准和岗位要求。本版教材探索了案例教学方法,选编了“电感式传感器测压力”、“电容式传感器测量位移”、“热电式传感器测温”和“光电式传感器测速”4个“技术应用”内容,帮助学生了解传感器在企业的实际应用;同时,选取了“电阻应变片粘贴”、“接触式温度计的安装”、“差压式流量计的安装与使用”、“容积式流量计的安装使用”和“涡轮流量计的安装”5个“施工方案”,作为工作任务穿插到相应的章节中,试图再现企业岗位工作实境,丰富实践内容。

5. 拓展知识范畴。本版教材选取了“传感器技术的发展趋势”、“红外光传感器原理及应用”、“光纤传感器的应用”、“磁电感应式速度测量和测速发电机”和“流量测量仪表的选用”5个“知识拓展”内容,增加了“生活案例”——“热电偶传感器在家庭燃气热水器中的应用”和“技术前沿”——“集成温度传感器”2个专项内容,以增加学生的学习兴趣和拓展其知识范畴。

参与本版教材修订和校稿工作有:河北出入境检验检疫局王家伟、河北沧州大化集团有限责任公司工程师刘永利、河北华海冶金科技公司工程师张文学、石家庄职业技术学院董彦宗、河北工业职业技术学院周乐挺、李俊婷、石文兰、陈锐、白玉伟、王丽佳。全书由周乐挺任主编,王家伟任副主编,河北工业职业技术学院王俊伟任主审。在本版教材的修订和编写过程中,得到了高等教育出版社的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

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

编者

2013年11月

目 录

第1章 传感器技术基础	1	2.3.2 结构与特性	23
1.1 认识传感器	1	2.3.3 压阻式压力传感器的结构	25
1.1.1 传感器的定义	2	2.3.4 固态压阻传感器测量电路	26
1.1.2 传感器的组成与作用	2	2.3.5 温度补偿	28
1.2 传感器的特性及主要技术指标	2	施工方案 电阻应变片粘贴	28
1.2.1 传感器的静态特性和 动态特性	2	本章小结	29
1.2.2 传感器的主要技术指标	6	思考题及习题	30
1.3 传感器的分类	7	第3章 变磁阻式传感器	32
1.3.1 按传感器工作原理分类	7	3.1 自感式传感器	32
1.3.2 按被测量(或传感器的 用途)分类	7	3.1.1 自感式电感传感器的 工作原理	32
1.3.3 按输出信号的性质分类	7	3.1.2 自感式传感器的测量 电路	34
知识延伸 传感器技术的发展趋势	7	3.2 差分变压器式传感器	36
本章小结	8	3.2.1 差分变压器式传感器 工作原理	36
思考题及习题	9	3.2.2 差分变压器式传感器 测量电路	36
第2章 电阻式传感器	10	3.3 电涡流式传感器	38
2.1 电位器式传感器	10	3.3.1 电涡流式传感器的工作原理	38
2.1.1 电位器式传感器的基本 工作原理	10	3.3.2 电涡流式传感器的结构	38
2.1.2 电位器式传感器的输出特性	11	3.3.3 电涡流式传感器的测量电路	39
2.1.3 电位器式传感器的结构	12	技术应用 电感式传感器测压力	41
2.1.4 电位器式位移传感器	12	技能操作 差分变压器式传感器 性能测试	42
2.2 电阻应变片式传感器	13	本章小结	44
2.2.1 电阻应变片的结构和 工作原理	13	思考题及习题	44
2.2.2 电阻应变片的特性	16	第4章 电容式传感器	45
2.2.3 测量电路	18	4.1 认识电容式传感器	45
2.2.4 温度误差及补偿	19	4.1.1 变面积型电容传感器	45
2.3 压阻式传感器	22	4.1.2 变极距型电容传感器	47
2.3.1 压阻效应	22		

4.1.3 变介电常数型电容传感器	49	6.3.2 BS-D ₂ 压电式玻璃破碎 报警器	75
4.2 电容式传感器测量电路	50	技能操作 压电式加速度计性能 测试	76
4.2.1 变压器电桥电路	50	知识延伸 压电式传感器的等效电路 与测量电路	77
4.2.2 差分脉冲调宽电路	51	本章小结	80
4.2.3 运算放大电路	53	思考题及习题	80
技能操作 差分电容传感器 特性测试	53	第7章 热电式传感器	82
知识延伸 保持电容式传感器特性 稳定的方法	55	7.1 热电偶传感器	82
技术应用 电容式传感器测量位移	56	7.1.1 热电偶的材料	82
本章小结	59	7.1.2 常用热电偶	84
思考题及习题	59	7.1.3 热电偶的工作原理	85
第5章 霍尔式传感器	60	7.1.4 热电偶冷端温度补偿	88
5.1 霍尔式传感器的工作原理	60	7.2 金属热电阻传感器	92
5.1.1 霍尔元件与霍尔效应	60	7.2.1 金属热电阻测温原理	93
5.1.2 霍尔元件的主要特性	62	7.2.2 金属热电阻的材料	94
5.2 霍尔式传感器的基本测量电路	64	7.2.3 金属热电阻的结构及应用	96
5.2.1 霍尔元件的基本测量电路	64	7.3 热敏电阻	97
5.2.2 将被测量转换为磁感应 强度 B	64	7.3.1 热敏电阻的工作原理	97
5.2.3 霍尔式单相交流功率计	65	7.3.2 热敏电阻的分类、结构 及参数	98
技能操作 霍尔式传感器特性测试	66	技能操作 热电式传感器测温	101
知识延伸 霍尔式传感器的零位 误差与补偿	67	生活案例 热电偶传感器在家庭燃气 热水器中的应用	102
本章小结	69	本章小结	103
思考题及习题	69	思考题及习题	103
第6章 压电式传感器	70	第8章 光电式传感器	105
6.1 压电效应与压电材料	70	8.1 光电效应	105
6.1.1 压电效应	70	8.2 光电器件	105
6.1.2 压电材料	71	8.2.1 光敏电阻	105
6.2 压电式传感器的结构	73	8.2.2 光电二极管与光电晶体管	107
6.2.1 压电元件的结构形式	73	8.2.3 光电池	110
6.2.2 压电式加速度传感器	74	8.2.4 光电管、光电倍增管	111
6.2.3 压电式压力传感器	74	8.3 常用光电式传感器	114
6.3 压电式传感器的应用	75	8.3.1 模拟型光电式传感器	114
6.3.1 压电式刀具切削力测量	75		

8.3.2 开关型光电式传感器	115	第 11 章 工程常用测量系统	147
技能操作 光电式传感器测速	118	11.1 温度测量系统	147
知识延伸 红外光传感器原理		11.1.1 热敏电阻测温系统	147
及应用	120	11.1.2 热电偶测温系统	149
本章小结	122	11.1.3 辐射式测温系统	150
思考题及习题	122	施工方案 接触式温度计的安装	154
第 9 章 光纤传感器	123	技术前沿 集成温度传感器	156
9.1 光纤传感器基本知识	123	11.2 速度测量系统	157
9.1.1 光纤的结构和种类	123	11.2.1 光电式转速计	157
9.1.2 光调制与解调技术	124	11.2.2 电磁脉冲式转速计	157
9.1.3 光纤传感器的分类	126	11.2.3 应变片式加速度计	158
9.2 功能型光纤传感器	127	11.2.4 压电式加速度计	158
9.2.1 相位调制型光纤传感器	127	知识延伸 磁电感应式速度测量和	
9.2.2 光强调制型光纤传感器	127	测速发电机	159
9.3 非功能型光纤传感器	130	11.3 物位测量系统	161
9.3.1 传输光强调制型光纤传感器	130	11.3.1 浮力式液位计	162
9.3.2 反射光强调制型光纤传感器	131	11.3.2 静压式物位测量	162
知识延伸 光纤传感器的应用	132	11.3.3 电容式液位计	163
本章小结	135	11.3.4 超声式物位计	163
思考题及习题	135	11.4 流量测量系统	166
第 10 章 检测技术基础	136	11.4.1 流量概述和检测方法	166
10.1 认识检测技术	136	11.4.2 差压式流量计	167
10.1.1 检测技术的地位	136	施工方案 差压式流量计的安装	
10.1.2 检测技术的作用	136	及使用	171
10.2 测量基础知识	137	11.4.3 容积式流量计	174
10.2.1 测量的基本概念	137	施工方案 容积式流量计的	
10.2.2 测量方法	138	安装使用	177
10.2.3 检测系统	139	11.4.4 速度式流量计	178
10.3 测量误差	140	施工方案 涡轮式流量计的安装、	
10.3.1 测量误差的表示方法	140	使用与维护	179
10.3.2 测量误差的分类	141	11.4.5 振动式流量计	180
10.3.3 测量精度与分辨率	141	11.4.6 电磁流量计	183
知识延伸 测量误差的估计和校正	143	11.4.7 质量流量计	184
本章小结	145	施工现场 流量测量仪表的选用	185
思考题及习题	146	本章小结	186
		思考题及习题	187
		参考文献	188

第1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、静态特性和动态特性;掌握传感器的技术指标。

1.1 认识传感器

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。其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,它能够感觉外界信息,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便于应用的另一种输出信号。

传感器技术遍布各行各业、各个领域,起着不可替代的作用。如工业生产、科学研究、现代医学、现代农业、国防科技、家用电器,甚至儿童玩具中也少不了传感器。日常生活中,我们大量地使用着传感器。如电视遥控器利用红外线接收、发射传感器控制电视机;家用电冰箱、空调利用温度传感器达到温度控制的目的。在自动检测和控制系统中,传感器技术对系统各项功能的实现起着重要作用。自动化的程度越高,系统对传感器的依赖性越大。

传感器的种类繁多,从外观上看更是千差万别。图1-1所示为部分传感器的外观形貌。



图1-1 各种传感器

1.1.1 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之有确定对应关系的、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,可是物理量,亦可是化学量、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,它们可以是气、光、电,但主要是电量。

1.1.2 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,所以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。

1.2 传感器的特性及主要技术指标

传感器所测量的被测量可能是恒定量或缓慢变化的量,也可能随时间变化较快,无论哪种情况,使用传感器的目的都是使其输出信号能够准确地反映被测量的数值或变化情况。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。对传感器的输出量与输入量之间对应关系的描述就称为传感器的特性,通常分为静态特性和动态特性。

1.2.1 传感器的静态特性和动态特性

1. 传感器的静态特性

传感器变换的被测量数值处在稳定状态时,其输出与输入的关系称传感器的静态特性。描述传感器静态特性的主要技术指标包括:灵敏度、线性度、迟滞、重复性、分辨力、稳定性和可靠性。

(1) 灵敏度

传感器在稳态标准条件下,输出变化量对输入变化量的比值称灵敏度,用 S 表示,即

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

对于线性传感器来说,灵敏度 S 是个常数。

(2) 线性度

传感器的静态特性是在静态标准条件下,利用一定等级的校准设备,对其进行往复循环测试得出的输出-输入特性(列表或画曲线)。通常希望这一特性为线性,这样会给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。在传感器非线性方次不高、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,称拟合直线法,如图 1-2 所示。实际曲线与拟合直线之间的偏差称为传感器的线性度或非线形误差,取其中最大值与输出满度值之比作为评价线性度(或非线形误差)的指标,即

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

式中 γ_L ——线性度(非线性误差);

ΔL_{\max} ——最大非线性绝对误差示值;

y_{FS} ——输出满度值。

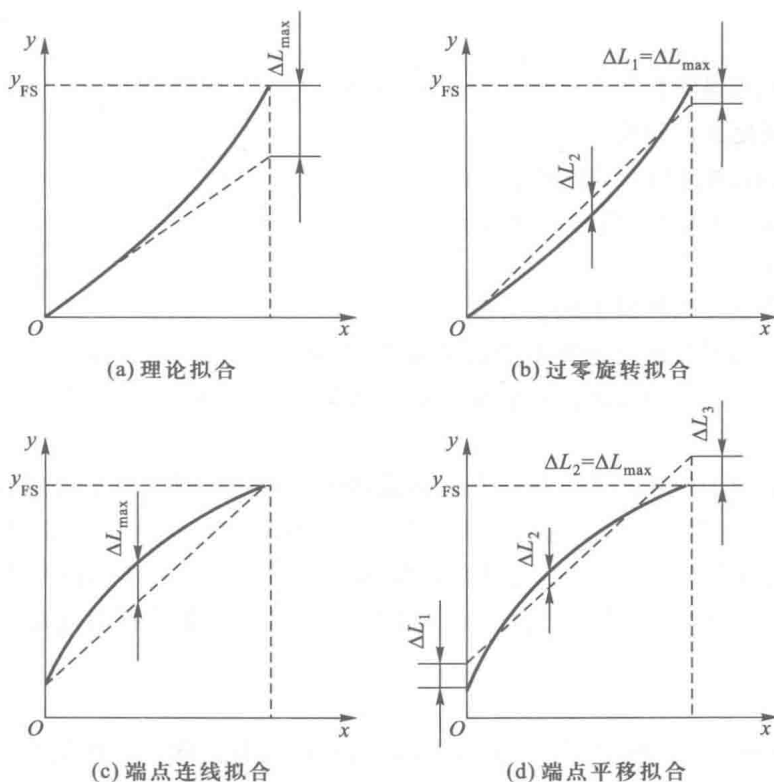


图 1-2 几种直线拟合方法

(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 1-3 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1-4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。

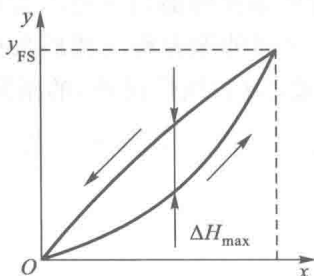


图1-3 迟滞特性

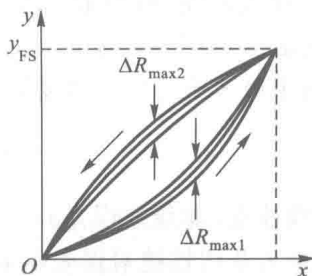


图1-4 重复性

(5) 分辨力

分辨力是指传感器能检测出被测信号的最小变化量。当被测信号的变化小于分辨力时,传感器对输入量的变化无任何反应。

对数字仪表而言,如果没有其他附加说明,一般可认为该仪表的最后一位的数值就是它的分辨力。分辨力除以仪表的量程,用百分数表示就是仪表的分辨率。

(6) 稳定性

稳定性包括稳定度和环境影响两方面。

稳定度是指传感器在使用条件不变的情况下,在规定时间内性能保持不变的能力。稳定度一般用示值的变化量与时间长短的比值来表示。如某传感器输出电压值每小时变化1 mV,则用1 mV/h表示稳定度。

环境影响是指由于外界环境变化引起传感器输出量的变化量。一般传感器都有给定的标准使用条件,如环境温度20℃、相对湿度60%、大气压力101 kPa、电源电压220 V等。而实际工作条件通常会偏离标准使用条件,这时传感器的输出也会变化。如0.2 mV/℃表示环境温度每变化1℃将引起示值变化0.2 mV。示值变化主要是零漂和灵敏度漂移引起的。零漂可以用重新调零的办法来克服。

(7) 可靠性

可靠性是指传感器在规定工作条件下和规定时间内具有正常工作性能的能力。它是一种综合性的质量指标,包括平均无故障工作时间、平均修复时间和失效率。

平均无故障工作时间:指两次故障间隔的时间。

平均修复时间:指排除故障所花费的时间。

失效率:指在规定工作条件下,在连续工作时间内发生失效的概率。

2. 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。

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 1-5 所示。

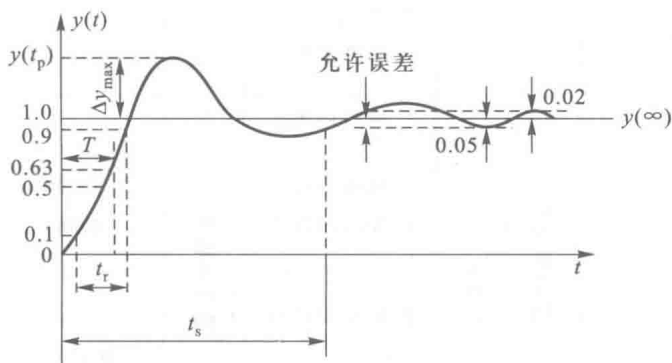


图 1-5 阶跃响应曲线图

① 时间常数 T : 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 : 输出量从稳态值的 10% 变到稳态值的 90% 所需的时间。

③ 响应时间 t_s : 输入量开始起作用到输出量进入稳定值所规定的范围内需要的时间。

④ 超调量 δ : 最大偏差 Δy_{\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, 即一个以时间作为

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。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各种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 :传感器的增益保持在一定值之内的频率范围,对应有上、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 :是用来表征二阶传感器的动态特性, ω_0 越大,快速性越好。

1.2.2 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 给出了部分常用传感器的技术指标。

表 1-1 部分常用传感器的技术指标

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			温度范围				
	灵敏度	灵敏度			温度系数				
		满量程输出阻抗		热滞后等					
	精度	精度		抗冲振	允许各项抗冲振的频率		保险期		外形尺寸、重量、壳体材料、结构特点等
		误差			振幅及加速度				
		线性		其他环境参数	冲振所引入的误差		疲劳性能		
		滞后			抗潮湿		绝缘电阻		
	重复性	抗介质腐蚀能力		耐压及抗飞弧等	安装方式、电缆等				
	灵敏度误差	抗电磁场干扰能力等							
	稳定性			动态性能			固有频率		
	固有频率	时间常数							
	阻尼比	频率响应范围							
	频率特性	频率特性							
	临界频率	临界速度							
	稳定时间	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。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。

1.3 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,在此介绍几种常用的方法。

1.3.1 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、热电偶式传感器等。

1.3.2 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、成分传感器等。

1.3.3 按输出信号的性质分类

可分为:开关型传感器、模拟传感器、数字式传感器等。

知识延伸

传感器技术的发展趋势

现代信息技术主要包含传感器技术、通信技术和计算机技术,其三大支柱是信息的采集、传输和处理技术。它们分别构成了信息技术的“感官”、“神经”和“大脑”。

信息采集系统的首要部件是传感器,且置于系统的最前端,因此,传感器也称尖端技术。21世纪传感器发展的总趋势是集成化、多功能化、智能化,传感器技术水平的高低是衡量一个国家科技发展水平的主要标志之一。

目前,传感器技术已从单一的物性传感器进入功能更强大、技术高度集成的新型传感器阶段。

(1) 传感器的集成化

利用集成加工技术,将敏感元件、测量电路、放大电路、补偿电路、运算电路等制作在同一芯片上,从而使传感器具有了体积小、质量轻、生产自动化程度高、制造成本低、稳定性和可靠性高、电路设计简单和安装调试时间短等优点。

(2) 传感器的多功能化

多功能化是指一个传感器具有多种参数的检测功能,如压力和温度、温度和湿度检测等。

(3) 传感器的智能化

智能化传感器将数据的采集、存储、处理等一体化,显然,它自身必须带有微型计算机,而且还具备自诊断、远距离通信、自动调整零点和量程等功能。

随着网络信息技术的迅猛发展,介绍有关传感器方面的新技术、新设备、新工艺、新产品内容网站也越来越多。以下网站可供参考。

中国机械网 <http://www.jx.cn/>

中国工程机械商贸网 <http://www.21-sun.com/>

中国工控网 <http://www.gongkong.com/>

中国仪表网 <http://www.ybzhan.cn/>

中国化工仪器网 <http://www.chem17.com/>

仪器信息网 <http://www.instrument.com.cn/>

国家精品课程资源网 <http://www.jingpinke.com/>

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。主要技术指标包括灵敏度、线性度、迟滞、重复性、分辨力、稳定性和可靠性。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个常数。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。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到的输出-输入特性曲线不一致的程度。分辨力是指传感器能检测出被测信号的最小变化量。稳定性包括稳定度和环境影响两方面。稳定度是指传感器在使用条件不变的情况下,在规定时间内性能保持不变的能力。环境影响是指由于外界环境变化引起传感器输出量的变化量。可靠性是指传感器在规定工作条件下和规定时间内具有正常工作性能的能力。它是一种综合性的质量指标,包括平均无故障工作时间、平均修复时间和失效率。

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变化波形的能力。研究传感器的动态特性有两种方法:阶跃响应法和频率响应法。阶跃响应特性是指在输入阶跃函数时,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各种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_____来描述传感器输出-输入特性。
- 1.5 传感器静态特性的主要技术指标包括_____、_____、_____和_____。
- 1.6 频率响应特性是指将各种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_____、_____、_____。
- 1.7 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2章 电阻式传感器

学习目标



掌握电位器式、电阻应变片式、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。

电阻式传感器是通过电阻参数的变化来达到非电量测量的目的。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。本章介绍电位器式、电阻应变片式、压阻式三种电阻式传感器。

2.1 电位器式传感器

电位器式传感器的特点是结构简单,价格低廉,输出信号大,一般不需放大,但是其分辨率不高,精度也不高,所以不适用于精度要求较高的场合。另外,动态响应较差,不适用于动态快速测量。

2.1.1 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式传感器。其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, $\Omega \cdot \text{m}$;

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。直线式电位器,可测线位移;旋转式电位器,可测角位移。除此之外还有绕线式电位器、合成膜电位器、金属膜电位器、导电塑料电位器、导电玻璃釉电位器以及光电电位器式传感器。