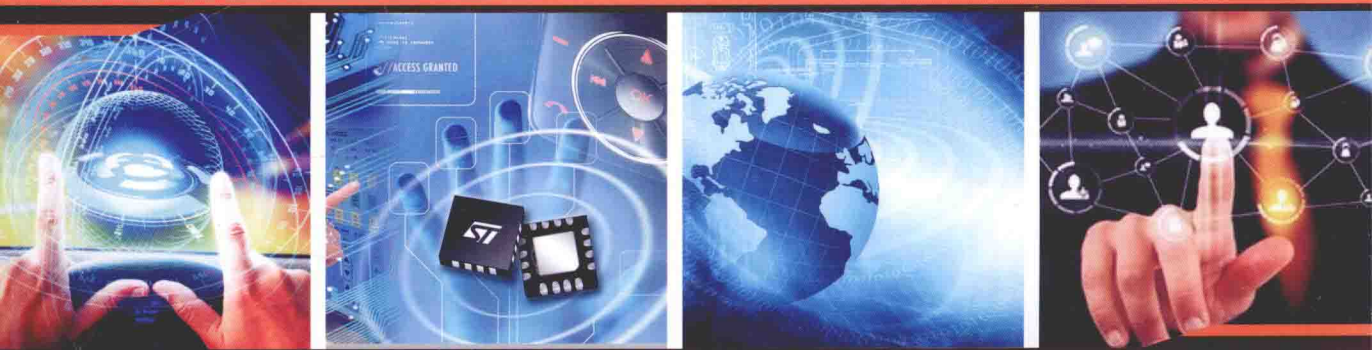


高等学校精品规划教材

PLANNING TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



传感器原理与应用

刘红平 冯 鸥 主编



西北工业大学出版社

21 世纪高等学校精品规划教材

CHUANGANQI YUANLI YU YINGYONG

传感器原理与应用

主 编 刘红平 冯 鸥
副主编 丁 群 唐良跃 陈 敏
欧亚军 肖 炜 高洪兴
刘红宇

西北工业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

传感器原理与应用/刘红平,冯鸥主编. —西安:西北工业大学出版社,2015.9
ISBN 978-7-5612-4618-4

I. ①传… II. ①刘…②冯… III. ①传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 223934 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:<http://www.nwpup.com>

印 刷 者:陕西翔云印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:12.875

字 数:306 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版

2015 年 9 月第 1 次印刷

定 价:35.00 元

前言

prologue

传感器技术由探头技术发展而来,它的发展已经历时半个多世纪,现在成了一个独特的领域。近年来,随着信息的发展,与信息相关的各个行业都得到了很快的发展。传感器在这种形式下也不断发展壮大。最近的几十年中,传感器在工业自动化、国防军事以及宇宙、海洋开发等尖端科学技术领域得到了广泛的应用。同时,在交通运输、安全防范、医疗卫生、生物工程、环境保护、家用电器等与人类日常生活密切相关的领域得到了应用。

由于传感器种类繁多,涉及的学科门类广泛,本书从教学实践要求出发,以传感器的应用为目的地精选内容,对工程生产中典型、常用的几类传感器的原理和应用进行了分析和介绍,避免了过深的理论分析和公式推导,给出了较多的应用实例。全书共十三单元,第一单元传感器概述、第二单元电阻应变式传感器、第三单元电容式传感器、第四单元电感式传感器、第五单元磁电感式传感器、第六单元压电式传感器、第七单元热电式传感器、第八单元光电式传感器、第九单元数字式传感器、第十单元固态图像传感器、第十一单元其他类型传感器、第十二单元传感器应用技术和第十三单元综合试验。本书可作为普通高等院校、高职高专机电一体化技术、自动化等专业的教材,也可作为跨专业选修课教材和相关工程技术人员学习的参考书。

本书由刘红平、冯鸥担任主编,具体分工如下:长沙师范学院刘红平编写第1至5单元,湖南理工职业技术学院冯鸥、湖南都市职业学院丁群、湖南潇湘技师学院唐良跃编写第6至8单元,湖南工学院陈敏、湖南电子科技职业学院刘红宇、邵阳职业技术学院肖炜编写第9至11单元,长沙师范学院刘红平、广东省云浮市新兴理工学校高洪兴、长沙民政职业技术学院欧亚军编写第12单元和第13单元,全书由刘红平老师统稿和定稿。

传感器技术涉及的学科众多,加之编者水平所限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2015年6月

目 录

contents

第一单元 传感器的概述	1
项目一 初步认识传感器.....	1
项目二 传感器的基本特性.....	4
项目三 测量误差及检测电路.....	8
单元提炼	13
单元练习	14
第二单元 电阻应变式传感器	15
项目一 电阻应变式传感器	15
项目二 电阻应变式传感器的应用	19
单元提炼	23
单元练习	24
第三单元 电容式传感器	25
项目一 电容式传感器的工作原理和结构类型	25
项目二 电容式传感器的转换电路及测量电路	28
项目三 电容式传感器的特点及作用	33
项目四 电容式传感器设计与应用	38
单元提炼	40
单元练习	41
第四单元 电感式传感器	42
项目一 自感式传感器	42
项目二 差动变压器式传感器	46
项目三 涡流式传感器	51
单元提炼	58
单元练习	58

第五单元 磁电式传感器	59
项目一 霍尔传感器的认识与应用	59
项目二 认识其他磁敏元件	65
单元提炼	72
单元练习	72
第六单元 压电式传感器	73
项目一 压电式传感器的工作原理	73
项目二 压电式传感器的等效电路与测量电路	79
项目三 压电式传感器的结构与应用	81
单元提炼	86
单元练习	86
第七单元 热电式传感器	87
项目一 热电阻、热敏电阻传感器	87
项目二 热电偶传感器	92
项目三 热电偶的基本定律	96
项目四 热电偶的结构及材料	98
项目五 热电偶实用测温线路	99
项目六 热电偶的温度补偿	101
单元提炼	103
单元练习	103
第八单元 光电式传感器	104
项目一 光源及光电效应	104
项目二 光电传感器件	107
项目三 光电传感器的应用	117
项目四 光纤传感器	121
单元提炼	126
单元练习	126
第九单元 数字式传感器	127
项目一 光栅传感器	127
项目二 编码器	131
项目三 感应同步器	136
项目四 频率式数字传感器	138
项目五 磁栅传感器和球同步器	142

单元提炼·····	144
单元练习·····	145
第十单元 固态图像传感器·····	146
项目一 固态传感器的概念及敏感器件·····	146
项目二 电荷耦合图像传感器·····	147
项目三 线阵与面阵 CCD 图像传感器及特性参数 ·····	152
项目四 其他类型的图像传感器·····	159
单元提炼·····	162
单元练习·····	162
第十一单元 其他类型传感器·····	163
项目一 超声波传感器·····	163
项目二 生物传感器·····	170
单元提炼·····	174
单元练习·····	174
第十二单元 传感器应用技术·····	175
项目一 传感器测量电路·····	175
项目二 噪声与抗干扰技术·····	178
单元提炼·····	183
单元练习·····	183
第十三单元 综合试验·····	184
实验一 金属箔式应变片——全桥性能实验·····	184
实验二 电容式传感器的位移特性实验·····	186
实验三 差分变压器的性能测定·····	187
实验四 压电式传感器测振动实验·····	189
实验五 光电、磁电传感器测量转速 ·····	190
实验六 温度源的温度调节控制实验·····	192
参考文献·····	196

第一单元 传感器的概述

传感器技术和通信技术、计算机技术已成为现代信息技术的三大重要支柱,传感器在当代科学技术中占有十分重要的地位,是高新技术竞争的核心技术之一。其开发研究和生产能力与应用水平直接影响到科学技术的发展和应用。随着人类活动领域的扩大和探索过程的深化,传感器技术已经成为基础科学研究与现代信息技术相融合的新领域。传感技术是一门综合性学科,在系统学习各种传感器之前,我们应该对传感器的基本概念、组成、分类以及基本特性、测量误差和检测系统作了解,这些基本知识的讲解为后续学习和了解各种传感器打下了良好的基础。

项目一 初步认识传感器

学习任务

- (1)了解传感器的概念。
- (2)掌握传感器的组成,一般由敏感元件、转换元件、信号调理电路和辅助电源。
- (3)了解传感器的分类,根据不同的特性以及功能的不同分类就会不同。

相关理论

传感器在广泛意义上来说,就是将物理信号和化学信号转化为电信号的设备。传感器在国际上的正式定义是“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”。这样的定义更明确了传感器的功能。通过从传感器的组成以及分类的认识,对传感器有进一步的了解。

一、传感器的概念

国家标准 GB7665—1987 对传感器的定义是“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”。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。

传感器定义中“规定的测量量”包括电量和非电量,一般是指非电量信号,主要包括物理量、化学量和生物量等,在工程中常需要测量的非电量信号有力、压力、温度、流量、位移、速度、

加速度、转速、浓度等。而“可用信号”是指便于传输、转换及处理的信号,主要包括气、光和电信号,现在一般就是指电信号(如电压、电流、电势及各种电参数等),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。

传感器在明确定义后可以理解为包括承载体和电路连接的敏感元件,传感器系统则是在获得数字信号后对信号进行某种信息处理的系统。传感器是传感器系统中的主要组成部分,也是传感器系统中负责信息采集的窗口。

传感器从外界获得的信号是自然信号,信号幅度可能很小,并且难以避免其他信号和噪声的干扰。传感器在获得这些信号后,为了能方便后续的处理,就要将信号整理成为具有一定特性的波形,或对这些信号做线性化处理,形成数字化信号进行传导。

传感器处理后的信号通常是传导给微处理系统,由此完成对传感器测量对象的控制。传感器在整个操作系统中的作用是信息收集,传感器的系统定位决定了传感器必须具备将某种形式的能量转化成另外一种形式能量的能力。

传感器主要可以分为有源传感器和无源传感器两种,其中有源传感器是不需要外界电源或能源即可完成能量转换的传感器,而无源传感器则是无法自行完成能量转换需要外接电源或刺激源的传感器。

传感器是测量和控制系统的第一环节,输出信号和被测量之间应具有明确的因果关系;为了满足信息的传输、转换、处理和显示,输出信号要与控制系统、信号处理系统或光学系统相匹配;对于动态范围、响应特性、分辨率和信号噪声比都有一定的要求;对于被测系统的干扰要尽量的小以及能量消耗要少,原有的状态不要改变;抗外界干扰能力强外,性能要可靠、适应能力强,具有一定的过载能力;成本低,寿命长,便于使用、维修等。

二、传感器的组成

传感器的种类很多,根据原理、性能特点以及应用的领域不同,其结构、组成差异各不相同。总的来说,传感器一般由敏感元件、转换元件、信号调理电路和辅助电源等组成,如图 1-1-1 所示。

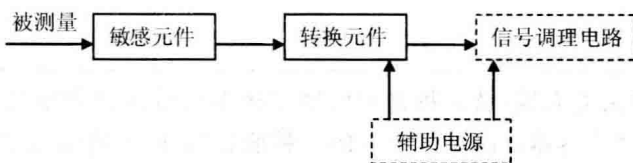


图 1-1-1 传感器组成框图

1. 敏感元件(sensing element)

敏感元件是指传感器中直接感受或响应被测量(一般为非电量)的变化,并输出与被测量成一定关系的其他量(如位移、应变、压力、光强等)的元件。

2. 转换元件(transduction element)

转换元件是指传感器中能将敏感元件输出量转换成适于传输或测量的可用信号(如电阻、电容、电压、电荷等)。

传感器的敏感元件和转换元件之间的界限不明显,不是所有的传感器都有敏感元件和转

换元件,有些传感器很简单,有些传感器很复杂。简单的传感器(如热电偶传感器、电容式位移传感器)只有一个敏感元件,直接感受被测量并输出可用信号。有些传感器(如应变式压力传感器、压力式加速传感器)由敏感元件和转换元件组成,而有些传感器转换元件也不止一个,而是经过很多次的转换。如应变式密度传感器,它由浮子、悬臂梁和电阻应变片等组成,如图 1-1-2 所示。根据被测液体的密度不同,浮子的浮力会有相应的变化,通过浮力的作用使悬臂梁变形,随着悬臂梁的变形粘贴在悬臂梁上的电阻应变片将梁的变形转换成电阻的变化,经过转换将液体的密度转换成电阻量的变化。

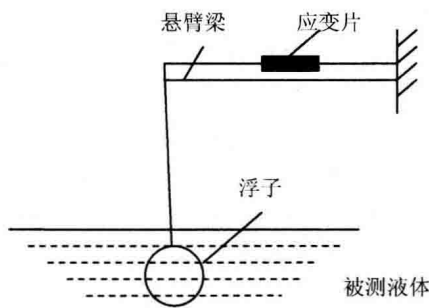


图 1-1-2 应变式密度传感器

3. 信号调理电路

信号调理电路又称测量电路或转换电路,它是将转换元件输出的可用信号进行处理(如放大、运算、滤波、线性化、补偿等),为电路的显示、记录、处理及控制提供基础。信号调理电路一般有电桥电路、阻抗变换电路、振荡电路等。

4. 辅助电源

辅助电源为信号调理电路和传感器提供工作电源,并不是所有的传感器都需要电源(如应变式传感器)。

三、传感器的分类

传感器技术的应用非常的广泛,原理各异,形式多样,与很多的学科有关。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被测量。因此,传感器的分类方法也不尽相同。可以用不同的观点对传感器进行分类:转换原理(传感器工作的基本物理或化学效应)、用途;输出信号类型以及制作材料和工艺等。

根据传感器转换原理,可分为物理传感器和化学传感器二大类。物理传感器应用的是物理效应,诸如压电效应,磁致伸缩现象,离子化、极化、热电、光电、磁电等效应。被测信号量的微小变化都将转换成电信号。化学传感器包括那些以化学吸附、电化学反应等现象为因果关系的传感器,被测信号量的微小变化也将转换成电信号。有些传感器既不能划分到物理类,也不能划分为化学类。大多数传感器是以物理原理为基础运作的。化学传感器技术问题较多,例如可靠性问题,规模生产的可能性,价格问题等,解决了这类难题,化学传感器的应用将会有巨大的增长。

按照用途,传感器可分为:压力敏和力敏传感器,位置传感器,液面传感器,能耗传感器,速度传感器,热敏传感器,加速度传感器,射线辐射传感器,振动传感器,磁敏传感器,真空度传

感器,物传感器等。以其输出信号为标准可将传感器分为以下几种类型。

(1)模拟传感器——将被测量的非电学量转换成模拟电信号。

(2)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)。

(3)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。

在外界因素的作用下,所有材料都会作出相应的、具有特征性的反应。它们中的那些对外界作用最敏感的材料,即那些具有功能特性的材料,被用来制作传感器的敏感元件。从所用材料观点出发可将传感器分成以下几类。

(1)按照传感器的分类其所用材料的类别分金属、聚合物、陶瓷、混合物。

(2)按材料的物理性质分 导体、绝缘体、半导体、磁性材料。

(3)按材料的晶体结构分单晶、多晶、非晶材料。

与采用新材料紧密相关的传感器开发工作,可以归纳为下述 3 个方向。

(1)在已知的材料中探索新的现象、效应和反应,然后使它们能在传感器技术中得到实际使用。

(2)探索新的材料,应用那些已知的现象、效应和反应来改进传感器技术。

(3)在研究新型材料的基础上探索新现象、新效应和新反应,并在传感器技术中加以具体实施。



知识链接

现代传感器制造业的进展取决于用于传感器技术的新材料和敏感元件的开发强度。传感器开发的基本趋势是和半导体以及介质材料的应用密切关联的。

按照其制造工艺,可以将传感器区分为集成传感器、薄膜传感器、厚膜传感器、陶瓷传感器。集成传感器是用标准的生产硅基半导体集成电路的工艺技术制造的。通常还将用于初步处理被测信号的部分电路也集成在同一芯片上。薄膜传感器则是通过沉积在介质衬底(基板)上的,相应敏感材料的薄膜形成的。使用混合工艺时,同样可将部分电路制造在此基板上。厚膜传感器是利用相应材料的浆料,涂覆在陶瓷基片上制成的,然后进行热处理,使厚膜成形。陶瓷传感器是采用标准的陶瓷工艺或其某种变种工艺(溶胶-凝胶等)生产的。完成适当的预备性操作之后,已成形的元件在高温中进行烧结。厚膜和陶瓷传感器这两种工艺之间有许多共同特性,在某些方面,可以认为厚膜工艺是陶瓷工艺的一种变型。

项目二 传感器的基本特性

学习任务

(1)掌握传感器的基本特性包括静态特性:线性度、灵敏度、迟滞、重复性、分辨率和阈值、

温漂和稳定性、电磁兼容性等。

(2)了解传感器的动态特性。

相 关 理 论

传感器所测得的非电量是不断变化的,传感器能否将这些非电量的变化不失真地变换成相应的电量,取决于传感器的输出与输入之间的关系特性。传感器的这种基本特性是通过其静态特性和动态特性表现出来的。

一、传感器的静态特性

传感器的静态特性是指当被测量处于稳态,即被测量不随时间变化或变化极其缓慢时,传感器的输出量与输入量之间的相互关系。衡量静态特性的重要指标是线性度、灵敏度、迟滞、重复性、分辨率和阈值、电磁兼容性等。

1. 线性度(非线性误差)

传感器的线性度是指传感器的输出与输入之间数量关系的线性程度,又称为非线性误差。如不考虑迟滞、蠕变等因素,传感器的输入输出特性可用多项式表示为

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \cdots + a_n x^n \quad (1-1)$$

式中, x 为传感器输入量; y 为输出量; a_0 为输入量为零时的输出量,即零位输出量; a_1 为线性项的待定系数,即线性灵敏度; $a_2, a_3, \cdots, a_n$ 为非线性项的待定系数。

传感器的输入与输出关系可分为线性和非线性,我们理想的线性关系如图 1-2-1 所示,如果多项式(1-1)中的非线性项的阶次不高,在输入量变化范围不大的情况下,可以用一条直线代替,如图 1-2-2 所示。这种方法称为传感器非线性特性的线性化,所采用的直线称为拟合直线传感器在全量程范围内静态标定曲线与拟合直线的接近程度称为线性度。线性度 γ_L 用静态标定曲线和拟合直线之间最大偏差的绝对值 $\Delta L_{\max}$ 与满量程输出值 Y_{FS} 的百分比来表示,其表达式为

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

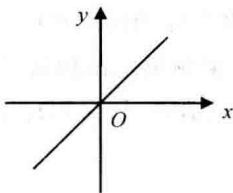


图 1-2-1 理想的线性关系

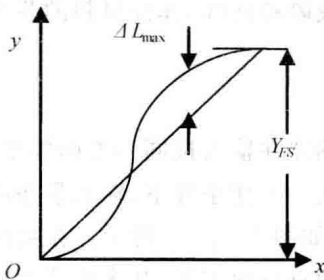


图 1-2-2 线性度

2. 灵敏度

灵敏度是指传感器输出变化量与输入变化量之比,常用 S 表示,其表达式为

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-3)$$

对于线性传感器,灵敏度是一个常数,表示特性曲线的斜率,与输入量大小无关;对于非线性传感器,灵敏度是一个变量,随输入量的变化而变化,如图 1-2-3 所示。一般希望传感器的灵敏度高,在满量程范围内是恒定的,即传感器的特性曲线是一条直线。

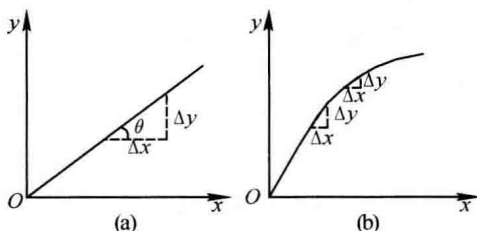


图 1-2-3 传感器的灵敏度

由于外界因素的影响,会引起传感器灵敏度的变化,从而产生灵敏度误差。灵敏度误差用相对误差来表示,其表达式为

$$\gamma_s = \frac{\Delta S_{\max}}{S} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, γ_s 为灵敏度的相对误差; $\Delta S_{\max}$ 为灵敏度的最大变化量。

3. 迟滞

迟滞是指在相同条件下,当输入量由小到大(正行程),而后又有大到小(反行程)中,输出与输入曲线不重合的程度。在满量程范围内,传感器正反行程输出差值的绝对值中最大的成为滞后量。用来描述正反行程的不一致程度,如图 1-2-4 所示。迟滞用正反行程最大偏差与满量程输出值的百分比来表示,其表达式为

$$\gamma_H = \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, $\Delta H_{\max}$ 正反行程输出最大偏差。

传感器敏感元件的物理性质和机械零件的缺陷是造成迟滞的主要原因。如磁性材料在外加电场的作用下形成磁滞回线、弹性材料的弹性滞后、机械运动的摩擦、零部件的松动、器件的间隙。

4. 重复性

重复性是指传感器在输入按同一方向作全量程连续多次变动时所得的特性曲线不一致的程度。重复是指在同一工作条件下,输入量按同一方向在全测量范围内连续变动多次所得特性曲线的不一致性,如图 1-2-5 所示。在数值上用各测量值正、反行程标准偏差最大值的两倍或三倍与满量程的百分比表示,其表达式为

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中: $\Delta R_{\max}$ 正、反重复性偏差中较大的。

重复性所反映的是测量结果偶然误差的大小,而不表示与真值之间的差别。有时重复性虽然很好,但可能远离真值。

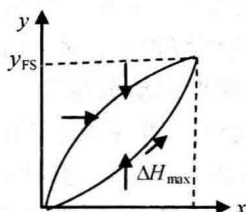


图 1-2-4 传感器的迟滞特性

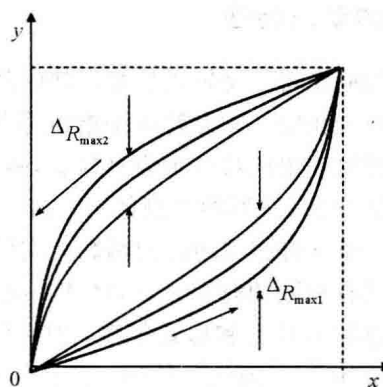


图 1-2-5 传感器的重复性

5. 分辨率和阈值

分辨力是指传感器能检出被测信号的最小变化量,是有量纲的数。当被测量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,一般可以认为该表的最后一位所表示的数值就是它的分辨力。一般地说,分辨力的数值小于仪表的最大绝对误差。但是若没有其他附加说明,有时也可以认为分辨力就等于它的最大绝对误差。将分辨力除以仪表的满度量程就是仪表的分辨率,它常以百分数或几分之一表示。当分辨力用满量程输出的百分数表示时称为分辨率。

阈值是传感器输出端产生最小被测输入量值,也就是零点附近的分辨力。

6. 漂移和稳定性

在外界的干扰下,输出量发生与输入量无关的、不需要的变化叫做漂移。漂移包括零点漂移和灵敏度漂移。零点漂移和灵敏度漂移又可分为时间漂移和温度漂移。时间漂移是指在规定的条件下,零点或灵敏度随时间的缓慢变化。温度漂移为环境温度变化而引起的零点或灵敏度漂移。

稳定性是在室温条件下,经过相当长的时间间隔,传感器的输出与起始标定时的输出之间的差异。

7. 电磁兼容性

电磁兼容是指电子设备在规定的电磁干扰环境中能按照原设计要求而正常工作的能力,而且也不向处于同一环境中的其他设备释放超过允许范围的电磁干扰。随着科学技术、生产力的发展,高频、宽带、大功率的电器设备几乎遍布地球的所有角落,随之而来的电磁干扰也越来越严重地影响检测系统的正常工作。轻则引起测量数据上下跳动;重则造成检测系统内部逻辑混乱、系统瘫痪,甚至烧毁电子线路。因此抗电磁干扰技术就显得越来越重要。自 20 世纪 70 年代以来,越来越强调电子设备、检测、控制系统的电磁兼容性。

对检测系统来说,主要考虑在恶劣的电磁干扰环境中,系统必须能正常工作,并能取得精度等级范围内的正确测量结果。

二、传感器的动态特性

传感器的静态特性是输入信号不随时间的变化而变化,而大多数传感器的输入信号是随时间的变化而变化的。动态特性是指传感器在输入发生变化时的输出特性。当传感器的输入信号变化缓慢时输出的特性很容易检测,随着输入信号变化加快,输出特性就会很难准确地反应输入信号的变化,波形的再现能力下降。一个动态特性好的传感器,其输出将再现输入量的变化规律,即具有相同的时间函数。实际上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。

虽然传感器的种类和形式很多,但它们一般可以简化为一阶或二阶系统(高阶可以分解成若干个低阶环节),因此一阶和二阶传感器是最基本的。传感器的输入量随时间变化的规律是各种各样的,在对传感器动态特性进行分析时,采用最典型、最简单、易实现的正弦信号和阶跃信号作为标准输入信号。

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,是指传感器在振幅不变的正弦信号作用下的响应特性。在工程中所有的信号都不是正规的正弦信号,但是都可以经过傅里叶变换或者展开成傅里叶级数的形式,即可以把原曲线用一系列的正弦曲线叠加得到。因此,各个复杂变化的曲线的响应,可以用正弦信号的响应特性判断。

对于阶跃输入信号,则称为传感器的阶跃响应或瞬态响应。传感器的瞬态响应是时间响应。在研究传感器的动态特性时,有时需要从时域中对传感器的响应和过渡过程进行分析。这种分析方法是时域分析法,传感器对所加激励信号响应称瞬态响应。常用激励信号有阶跃函数、斜坡函数、脉冲函数等,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。瞬态响应反应传感器的固有特性,它和激励的初始状态有关,而与激励的稳态频率无关。瞬态响应的存在说明传感器的响应有一个过渡过程。

项目三 测量误差及检测电路

学习任务

- (1)了解测量误差,包括绝对误差和相对误差、粗大误差、系统误差、随机误差和动态误差。
- (2)了解检测系统的基本概念和基本构成。
- (3)了解测量方法,其中包括直接测量、间接测量与组合测量、等精度测量与不等精度测量、偏差式测量、零位式测量与微差式测量。
- (4)了解传感器测量电路的作用。

相关理论

测量的误差直接影响到测量的精度,所以在测量的过程中对各种误差的产生都要了解并且把所有避免的误差都降到最低。检测系统是测量的关键部分,因此在合理使用传感器的情况

况下,对于检测系统也应有一定的了解。

一、测量误差

测量的目的是希望得到被测量的真实值,但是在测量的过程中由于传感器的不理想、测量方法的不合理、外界因素的干扰和人为的失误等,都会导致测量的值与真实值有一定的差距,这种差距用测量误差来表示。误差就是测量值与真实值之间的差值,它反映了测量值的精度。在测量过程中误差越小越好。

真值:是表征物理量与给定的特定量的定义一致的量值。真值是客观存在,但是不可测量。随着科学技术的不断发展,人们对客观事物认识的不断提高,测量结果的数值会不断接近真值。

约定真值:是按国际公认的单位定义,利用科学技术发展的最高水平所复现的单位基准,常以法定形式规定或指定。就给定目的而言,约定真值的误差是可以忽略的,如国际计量局保存的国际千克原器。约定真值相对真值也叫实际值,是在满足规定准确度时用来代替真值使用的值。

标称值:是计量或测量器具上标注的量值。如标准砝码标出的 1kg,标准电池上标出的 1.0186V 等。标称值不一定等于它的实际值,所以,在给出标称值的同时,通常还给出它的误差范围或准确度等级。

示值:是由测量仪表给出或提供的量值,也称测量值。

准确度:是测量结果中系统误差和随机误差的综合,表示测量结果与真值的一致程度。准确度涉及到真值,由于真值的不可知性,所以它只是一个定性概念。定量表达时应该用“测量不确定度”。

测量不确定度:是表示测量结果(测量值)不能肯定的程度,或者说它是表征测量结果分散程度高低的一个可量化的表示值。通常用标准偏差法或统计学方法进行评定测量结果。

重复性:在相同条件下(即相同程序、条件、人员、设备、地点),对同一被测量进行多次连续测量所得结果之间的一致性。

误差公理:在实际测量中,由于测量设备不准确、测量方法(手段)不完善、测量程序不规范及测量环境因素的影响,都会导致测量结果或多或少地偏离被测量的真值。测量结果与被测量真值之差就是测量误差。测量误差的存在是不可避免的,也就是说“一切测量都有误差,误差自始至终存在于所有科学试验的过程中”,这就是误差公理。

人们研究测量误差的目的就是寻找产生误差的原因,认识误差的规律、性质,进而找出减小误差的途径与方法,以求获得尽可能接近真值的测量结果。

1. 绝对误差和相对误差

绝对误差是测量值与被测量真值之间的差值,其表达式为

$$\Delta = x - A \quad (1-7)$$

式中, Δ 为绝对误差; x 为测量值; A 为真值。

例如在称重的测试中,测量某一重量的误差为测量重与真实重量的差值。绝对误差可能是正值或负值。在实际测量中,常用被测的量的实际值来代替真值,而实际值的定义是满足规定精确度的用来代替真值使用的量值。

在实际工作中,经常使用修正值,为消除系统误差用代数法加到测量结果上的值称为修正

值,将测得的值加上修正值后可得近似的真值。修正值与误差值的大小相等而符号相反,测得值加修正值后可以消除该误差的影响,但必须注意一般情况下难以得到真值,因为修正值本身也有误差,修正后只能得到较测量值更为准确的结果。

相对误差定义为绝对误差与真值之比,因为测量值与真值接近,故也近似用绝对误差与测量值之比值作为相对误差,其表达式为

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中, γ_A 为相对误差,一般用百分数表示; Δ 为绝对误差; A 为真实值。

由于绝对误差可能为正值或负值,因此相对误差也可能为正值或负值。

特别指出的是满度(引用)相对误差,满度(引用)相对误差是指测量仪表中相对仪表满量程的一种相对误差,也用百分数表示,其表达式为

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{\text{测量范围上线} - \text{测量范围下限}} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中, γ_m 为引用误差; Δ 为绝对误差。

仪表的精度等级是根据引用误差 γ_m 来确定,我国电工仪表的精度等级按 γ_m 的大小分为7级:0.1,0.2,0.5,1.0,1.5,2.5和5.0。

2. 粗大误差

超出在规定条件下预期的误差称为粗大误差,或称“寄生误差”。粗大误差主要是由于测量人员的粗心大意及电子测量仪器受到突然而强大的干扰所引起的。如测错、读错、记错、外界过电压尖峰干扰等造成的误差。就数值大小而言,粗大误差明显超过正常条件下的误差。当发现粗大误差时,应予以剔除。

3. 系统误差

在同一条件下,多次测量同一量时,绝对误差和符号保持不变,或在条件改变时,按一定规律变化的误差称为系统误差。系统误差决定了测量的准确度,系统误差越小,测量结果越准确,故系统误差说明了测量结果偏离被测量真值的程度。系统误差是有规律性的,因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法计算修正,也可以重新调整测量仪表的有关部件予以消除。

4. 随机误差

在同一条件下,多次测量同一被测量,有时会发现测量值时大时小,误差的绝对值及正、负以不可预见的方式变化,该误差称为随机误差,也称偶然误差,它反映了测量值离散性的大小。随机误差是测量过程中许多独立的、微小的、偶然的因素引起的综合结果。

存在随机误差的测量结果中,虽然单个测量值误差的出现是随机的,既不能用实验的方法消除,也不能修正,但是就误差的整体而言,多数随机误差都服从正态分布规律。

5. 动态误差

当被测量随时间迅速变化时,系统的输出量在时间上不能与被测量的变化精确吻合,这种误差称为动态误差。