



普通高等教育仪器类“十三五”规划教材



检测与转换技术

付 华 徐耀松 初淑香 主 编
王雨虹 王丹丹 郭 瑞 副主编

 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育仪器类“十三五”规划教材

检测与转换技术

主 任：王天保（清华大学）

编 员：主 编 付 华 徐耀松 初淑香

副主编 王雨虹 王丹丹 郭 瑞



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统详细地介绍了检测与转换技术的基本概念及基础知识。全书共分9章,内容包括:检测技术基础、温度的检测、力与压力的检测、磁电检测、光电检测、声的检测、气体检测、湿度检测、生物信号与电化学检测。本书注重科学性、系统性和实用性,体现检测与转换技术的概念及原理,在阐述的同时,介绍了应用案例,充分反映了相关新技术、新器件的发展。书中采用二维码技术,实现知识点的扩展,方便读者采用更多方式进行学习。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电气工程与自动化、机械设计制造及其自动化和计算机应用等专业的本科生教材,也可从事测控技术、传感器与检测技术、电子技术、计算机应用技术等专业的人员提供参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

检测与转换技术/付华,徐耀松,初淑香主编. —北京:电子工业出版社,2017.6

普通高等教育仪器类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-121-31591-6

I. ①检… II. ①付… ②徐… ③初… III. ①自动检测—高等学校—教材②传感器—高等学校—教材
IV. ①TP274②TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第116859号

策划编辑:赵玉山

责任编辑:刘真平

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:12.75 字数:326.4千字

版 次:2017年6月第1版

印 次:2017年6月第1次印刷

定 价:29.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: zhaoy@phei.com.cn。

普通高等教育仪器类“十三五”规划教材

编委会

主任：丁天怀（清华大学）

委员：陈祥光（北京理工大学）

王 祁（哈尔滨工业大学）

王建林（北京化工大学）

曾周末（天津大学）

余晓芬（合肥工业大学）

侯培国（燕山大学）

编 者

2017年2月

前 言

检测与转换技术是传感与检测技术、电子技术、通信技术等结合的产物,内容涉及较广泛,涵盖了传感器检测信号、信号的调理及分析处理等内容。

本书共分9章。第1章介绍检测与转换技术、智能检测技术的基本概念、构成及其应用。第2章介绍温度检测的方法,主要包括热电偶、热电阻、PN结和集成温度传感器、光电温度传感器,介绍了各自的原理、特征及应用方法。第3章介绍力与压力检测技术,阐述了测力与称重、压力检测的传感器及应用方法。第4章介绍电磁检测方法、霍尔式传感器、变磁阻传感器、磁敏二极管和磁敏三极管及磁敏电阻传感器。第5章介绍光电检测技术,主要包括光电式传感器的基本概念、光电效应与光电器件,并介绍了常用的光电器件及光纤传感器的工作原理与应用方法。第6章介绍声的检测技术,在介绍声波性质的基础上,阐述了声敏传感器、超声波传感器、声表面波传感器、声板波传感器的检测原理及应用方法。第7章介绍气体检测技术,介绍了气体检测的基本原理及常见气体检测用传感器。第8章介绍湿度检测方法、湿度的基本定义,对常见的湿度检测方法及应用进行了阐述。第9章介绍生物信号与电化学检测技术,包括酶电极生物传感器、免疫传感器、微生物传感器、组织传感器、生物芯片和电化学传感器。

本书注重与工程实践的联系,每章均有相关工程应用案例或产品应用介绍,同时采用二维码技术,对相关知识点进行扩充,读者可以通过扫描二维码,学习对相关知识点的更多辅助介绍,包括相关文字介绍、图片展示或动画演示。

本书由付华、徐耀松、初淑香主编。其中,1.1节由付华、马玉芳、高姬执笔,1.2~1.5节由郭瑞执笔;第2章由初淑香执笔;第3~7章由徐耀松执笔;第8章由王丹丹执笔;第9章由王雨虹执笔。全书的写作思路由付华教授提出,全书由付华和徐耀松统稿。此外,参编人员还有刘宏志、魏林、李猛、任仁、陶艳风、代巍、汤月、司南楠、陈东、谢鸿、郭玉雯、于田、孟繁东、梁漪、曹坦坦、刘雨竹、王庆贵、邱尚龙、赵珊影等。在此,向对本书的完成给予了热情帮助的同行们表示感谢。

由于作者的水平有限,加上时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2017年2月

目 录

第 1 章 检测技术基础	(1)
1.1 检测的基本概念及方法	(1)
1.1.1 检测的基本概念	(1)
1.1.2 检测信号及其分类	(2)
1.1.3 检测方法	(4)
1.2 检测技术的作用	(6)
1.3 检测系统的组成	(7)
1.3.1 敏感元件	(7)
1.3.2 信号的转换与处理电路	(8)
1.3.3 显示电路	(8)
1.3.4 信号传输	(9)
1.4 检测系统的分类	(9)
1.5 智能检测技术	(10)
习题	(11)
第 2 章 温度的检测	(12)
2.1 温度与温标	(12)
2.2 热电偶及应用	(13)
2.2.1 热电偶	(13)
2.2.2 热电偶的基本定律	(15)
2.2.3 热电偶的使用原理	(17)
2.3 电阻式温度传感器及应用	(20)
2.3.1 热电阻温度传感器及应用	(20)
2.3.2 热敏电阻温度传感器及应用	(23)
2.4 PN 结和集成温度传感器及应用	(25)
2.4.1 PN 结温度传感器及其应用电路	(25)
2.4.2 集成温度传感器	(26)
2.4.3 集成温度传感器应用电路	(29)
2.5 光电温度计	(31)
2.5.1 光电高温计	(31)
2.5.2 红外测温仪	(32)
2.5.3 光纤温度传感器	(33)
习题	(35)
第 3 章 力与压力的检测	(36)
3.1 测力与称重	(36)
3.1.1 测力传感器的原理	(36)

3.1.2	测力传感器的应用	(43)
3.1.3	扭矩测量	(44)
3.1.4	电子皮带秤	(46)
3.1.5	电子计价秤	(47)
3.2	压力传感器及应用	(49)
3.2.1	压力的基本概念及单位	(49)
3.2.2	压力传感器的检测原理	(50)
3.2.3	压力传感器及其类别	(65)
3.2.4	集成压力传感器的应用电路	(71)
3.2.5	压力计的选择和使用	(72)
习题		(74)
第4章	磁电检测	(75)
4.1	霍尔传感器	(75)
4.1.1	霍尔传感器工作原理	(75)
4.1.2	霍尔传感器的结构及其特性分析	(77)
4.1.3	测量电路	(78)
4.1.4	霍尔式传感器的应用	(82)
4.2	变磁阻式传感器	(84)
4.2.1	电感式传感器	(84)
4.2.2	差动电感式传感器	(85)
4.2.3	差动变压器式传感器	(86)
4.2.4	电动式传感器	(86)
4.2.5	电涡流式传感器	(87)
4.3	磁敏二极管和磁敏三极管	(88)
4.3.1	磁敏二极管	(88)
4.3.2	磁敏三极管	(91)
4.3.3	磁敏二极管和磁敏三极管的应用	(93)
4.4	磁敏电阻传感器	(95)
4.4.1	磁阻效应	(95)
4.4.2	磁阻元件的主要特性	(98)
4.4.3	磁敏电阻传感器的应用	(99)
习题		(103)
第5章	光电检测	(104)
5.1	光电传感器概述	(104)
5.2	光电效应与光电器件	(106)
5.2.1	基本原理	(106)
5.2.2	光电器件	(107)
5.3	CCD 固体图像传感器	(119)
5.3.1	CCD 概述	(119)
5.3.2	CCD 图像传感器的应用	(122)
5.4	光纤传感器	(123)

5.4.1	光纤结构及其传光原理	(123)
5.4.2	光纤传感器	(124)
5.4.3	光纤传感器的应用领域	(126)
5.5	其他光电传感器	(128)
5.5.1	高速光电二极管	(128)
5.5.2	色敏光电传感器	(129)
5.5.3	光位置传感器	(129)
	习题	(131)
第6章	声的检测	(132)
6.1	声波的基本性质	(132)
6.2	声敏传感器	(133)
6.2.1	电阻变换型声敏传感器	(133)
6.2.2	压电声敏传感器	(133)
6.2.3	电容式声敏传感器	(140)
6.2.4	音响传感器	(140)
6.3	超声波传感器	(142)
6.3.1	超声波及其物理性质	(142)
6.3.2	超声波探头	(143)
6.3.3	超声波传感器的应用	(145)
6.4	声表面波传感器	(147)
6.4.1	SAW 传感器的结构和工作原理	(148)
6.4.2	高分辨率 SAW 温度传感器	(148)
6.4.3	SAW 压力传感器	(149)
6.5	声板波传感器	(150)
6.5.1	APM 传感器原理	(150)
6.5.2	APM 传感器的应用	(152)
	习题	(152)
第7章	气体检测	(153)
7.1	气体检测基本概述	(153)
7.2	气体检测原理	(154)
7.2.1	半导体式气敏传感器	(154)
7.2.2	接触燃烧式气体传感器	(157)
7.2.3	电化学式气体传感器	(157)
7.2.4	红外式传感器	(158)
7.3	常见气体传感器的应用	(159)
7.3.1	可燃性气体检测	(159)
7.3.2	CO 气体检测	(160)
7.3.3	CO ₂ 气体检测	(160)
7.3.4	瓦斯气体检测	(161)
7.3.5	PM2.5 检测	(163)
	习题	(163)

第 8 章 湿度检测	(165)
8.1 湿度的基本定义	(165)
8.1.1 绝对湿度	(165)
8.1.2 相对湿度	(166)
8.1.3 含湿量	(166)
8.2 常见湿度检测方法	(166)
8.2.1 干湿球法	(167)
8.2.2 露点法	(168)
8.2.3 电解法	(168)
8.2.4 电阻法	(169)
8.2.5 电容法	(172)
8.3 湿度检测的应用	(173)
习题	(179)
第 9 章 生物信号与电化学检测	(180)
9.1 生物传感器基本知识	(180)
9.2 酶电极生物传感器	(181)
9.2.1 基本原理	(181)
9.2.2 酶传感器的应用	(182)
9.3 免疫传感器	(183)
9.3.1 基本原理	(183)
9.3.2 免疫传感器的应用	(185)
9.4 微生物传感器	(186)
9.4.1 基本特性	(186)
9.4.2 种类与原理	(187)
9.4.3 微生物传感器的应用	(187)
9.5 组织传感器	(188)
9.5.1 基本原理	(188)
9.5.2 组织传感器的应用	(189)
9.6 生物芯片	(189)
9.6.1 基本介绍	(189)
9.6.2 生物芯片的应用	(190)
9.7 电化学传感器	(191)
9.7.1 离子选择性电极	(191)
9.7.2 固态电解质传感器	(192)
9.7.3 电化学联用传感器	(192)
9.7.4 电化学传感器的应用	(192)
习题	(193)

第1章

检测技术基础

本章知识点:

- 检测技术基本概念
- 检测系统的组成
- 检测系统的分类
- 智能检测技术

基本要求:

- 掌握检测技术基本概念、组成与分类

能力培养目标:

通过本章的学习,掌握检测技术基本概念、检测技术在工业中的作用及检测系统的组成,理解检测系统的分类与智能检测技术的含义。

1.1 检测的基本概念及方法

1.1.1 检测的基本概念

检测就是检查和测量,是信息获取的过程,是人们借助于专门设备,通过一定的技术手段和方法,对被测对象收集信息、取得数量概念的过程。它是从客观事物中提取有关信息的过程,是人们认识客观事物的方法。

检测是一个比较的过程,包括比较、平衡、误差和读数,这一过程的核心是比较,即将被测对象与它同性质的标准量进行比较,获得以被检测量为标准量的若干倍数量的概念。此外,检测还必须进行一定的变换。因为人们的感官能直接给出定量概念的被测量不多,绝大多数的被测量都要变换为某一个中间变量,然后才能给出定量的概念。例如,人的感官对温度只能给出定性的冷与暖的感觉,而要想得出定量的温度,则需要利用物质热胀冷缩原理,把温度变为中间变量(如长度),然后进行比较和测量。因此,变换是实现检测的必要手段和有效途径。再如,在自动检测控制系统中,多数被检测量是模拟量,通常需要将其转换成数字量,才能送到计算机中进行数据处理。因此,必须用传感器将模拟量变换成为标准电量(如电压或电流),再经 A/D 转换器送入微处理器中进行分析处理。

检测的目的就是求取被检测量的真值。所谓真值是指在一定的客观条件下,某物理量确切存在的真实值。但是,真值是永远无法获得的,因为在检测中会不可避免地产生各种误差,这些误差是由于测量设备、测量方法和手段以及检测者本身因素造成的而且影响无法克服。例如,

在检测温度时,热量可以通过温度传感器从被测物体上传导出来,这将导致温度的下降。因此,检测结果并未反映出被测对象的真实面貌,而仅仅是一种近似值。

检测可以在一个物理变化过程中进行,也可以在此过程之外或过程结束后对提取的样本进行操作,前者称“在线”检测,后者称“离线”检测。

根据检测对象不同,可分在线和实时两类检测。在线和实时是两个不同的概念。在线不一定是实时,而实时必定是在线。如果监控系统与检测对象直接连接进行检测,这种方式叫在线方式。在线方式不一定要求实时。实时是指信号的输入、计算、分析、处理和输出都必须在一定时间内完成,即及时完成,如果超出了这个时限,就失去了控制的时机,控制就失去了意义。实时的概念不能脱离具体过程,如温室大棚的温度控制,如果延迟1s,仍然可以认为是实时;而在军事领域中的导弹控制系统,当目标状态发生变化时,必须在短时间内及时控制,否则就不能实现目标攻击。

1.1.2 检测信号及其分类

1. 信息与信号

信息是人和外界作用过程中互相交换内容的名称,是人类社会和自然界中需要传送、交换、存储和提取的抽象内容。信息具有客观性,它存在于一切事物之中,事物的一切变化和运动都伴随着信息的交换和传送。同时,信息具有抽象性,只有通过一定的形式才能把它表现出来。它不是物质,也不是能量,而是事物运动的状态和方式。例如,语言文字是社会信息,商品广告是经济信息等。

由于信息的抽象性,为了交换和传送,必须通过一定的表现形式将它表示出来。人们把表示信息的语言、文字、图像、数据等称为消息,而信息是消息之中赋予人们新知识与新概念的内容。可见,信息是消息的内容,而且是预先不知道的内容。通常人们说:“这张报纸信息量大”或“那个消息不含一点信息”就体现了消息和信息之间的关系。

一般情况下,信息不便于传送和交换,往往需要借助于某种便于传送和交换的物理量作为运载手段,运载信息的物理量被称为信号,它所携带的信息则体现在信号的变化之中。信号具有能量,它描述了物理量的变化过程,是时间或空间的函数。它包含光信号、声信号和电信号等。例如,古代人利用点燃烽火台而产生的滚滚狼烟,向远方军队传递敌人入侵的信息,这属于光信号;当我们说话时,声波传递到他人的耳朵,使他人了解我们的意图,这属于声信号;遨游太空的各种无线电波信号、通信网络中的电话语音、视频图像信号等,都可以用来向远方表达各种信息,这属于电信号。在作为信号的众多物理量中,电是应用最广泛的物理量,因为它容易产生、传输和控制,也容易实现与其他物理量的相互转换。

信号是信息的表现形式,是运载信息的工具,是信息传输的载体。信息蕴含于信号之中,是信号的具体内容。

2. 信号的分类

信号的分类有很多种方法。按照实际用途区分,信号包括电视信号、广播信号、雷达信号、通信信号等;按照性质划分,信号可分为静态信号和动态信号。静态信号是不随时间变化的信号,那么随时间变化的信号就称为动态信号。按照所具有的时间特性区分,动态信号又分为确定性信号和随机性信号(又称为非确定性信号)等。其详细分类如图1-1所示。

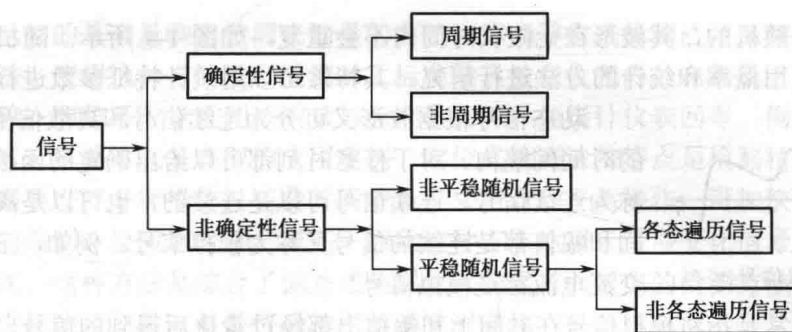


图 1-1 动态信号分类

确定性信号可以用函数解析式、图表和波形等来表示。它可以分为周期信号和非周期信号两类。当信号按一定时间间隔周而复始重复出现时称为周期信号，否则称为非周期信号。

周期信号的波形每经过一定时间重复一次，一旦确定了信号在一个周期内的形状，则其他任一时刻的波形就可以准确确定。周期信号有两种，一种是谐波（正弦或余弦）信号，一种是由频率不同的谐波叠加而成的复杂周期信号。

复杂周期信号可以表示为

$$x(t) = x(t + kT) \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (1-1)$$

其中， k 为任意整数，则称 $x(t)$ 为周期函数，其周期为 T 。如图 1-2 所示为周期信号。

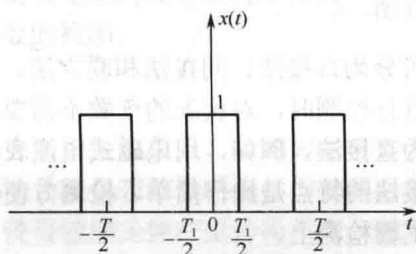


图 1-2 周期信号

非周期信号不具有重复性，其波形在有限时间内不会重复出现，也可把非周期信号看成周期为无穷大的周期信号。非周期信号包括瞬变信号和准周期信号。瞬变信号是在有限时间范围内存在，或随着时间增加而幅值衰减至零的信号，如图 1-3 (a) 所示。准周期信号也是由多个频率成分叠加的信号组成的，但叠加后各个频率成分不存在公共周期，如图 1-3 (b) 所示。

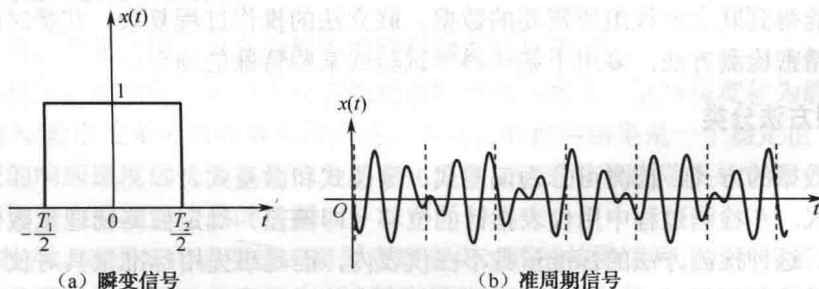


图 1-3 非周期信号

随机性信号是无法用数学关系式表达的信号，即取值具有不确定性的信号，如电子系统中的起伏热噪声、雷电干扰信号、加工零件的尺寸、机械振动、环境的噪声等。随机信号在任一

时刻的幅值都是随机的,其波形在无限长时间内不会重复,如图 1-4 所示。随机信号服从统计规律,因此可以用概率和统计的方法进行研究,其特性可以用统计特征参数进行描述。

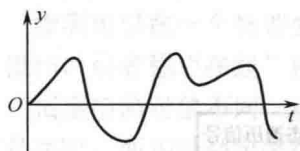


图 1-4 随机信号

动态信号根据波形又可分为连续信号和离散信号。若在所讨论的时间间隔内,对于任意时刻都可以给出确定的函数值,这种信号称为连续信号。连续信号可以是连续的,也可以是离散的。对于时间和幅值都是连续的信号又称为模拟信号。例如,三相交流电压、交流电流都是模拟信号。

数字信号通常是指将模拟信号在时间上和幅值上都经过量化后得到的信号,也就是说,数字信号是指定义域和值域均离散的信号。所谓量化,是利用一组数值来表示变量的过程。所以,数字信号可以用一系列的数(序列)来表示。

1.1.3 检测方法

检测方法是实施检测所采用的具体手段。检测方法不仅对完成检测任务非常重要,而且还影响到检测的数据精度,甚至还影响到检测结果的可信度。因此,需要针对不同的检测任务,进行认真而具体的分析,采取切实可行的检测方法并选择适当的检测仪器设备。如果检测方法不当,即使选择再先进的检测仪器设备,也不能得到满意的检测结果。

检测方法很多,可按不同的方法分类。

1. 按检测过程分类

根据检测过程,检测方法可分为直接法、间接法和联立法。

(1) 直接法。在使用仪表进行检测时,对仪表的读数不需要经过任何的运算,就能得到所需要的检测结果,这种方法称为直接法。例如,用电磁式电流表检测电路中的电流,用弹簧管式压力表检测流体压力等。直接法的特点是操作简单、检测方便,但检测精度不易达到很高。目前,这种方法被广泛应用于工程检测上。

(2) 间接法。在使用仪表进行检测时,首先对与被测量有确定关系的几个量进行检测,然后将检测量的值代入已知的函数关系式中,经过计算得到所需要的结果,这种方法称为间接法。间接法需要的检测手续较多,花费的检测时间较长,但往往能得到较高的检测精度。这种方法多用于科学实验室中的实验室检测,工程检测中也有应用。

(3) 联立法。在应用仪表进行检测时先检测出若干个中间量,再经过联立方程组求解后才能得到所需要的结果,这种方法称为联立法,又称组合法。在进行联立测量时,一般需要改变测试条件,才能得到联立方程组所需要的数据。联立法的操作过程复杂、花费时间较长,但它是一种特殊的精密检测方法,多用于某些科学试验或某些特殊的场合。

2. 按检测方法分类

根据获取数据的方式,检测可分为偏差式、零位式和微差式。

(1) 偏差式。在检测过程中用仪表指针的位移(即偏差)确定被测物理量数值的方法称为偏差式检测法。这种检测方法的标准量具不在仪表内,而是事先用标准量具对仪表刻度进行校准。当对被测量进行测量时,按照仪表指针在刻度上的示值来确定被测量的数值。它以直接方式实现被测量与标准量的比较,检测过程比较简单、迅速,但检测结果的精度比较低。这种方法在工程检测中应用较为广泛。

(2) 零位式。在检测过程中,用指零仪表的零位指示检测系统的平衡状态,当检测系统达

到平衡时,用已知的基准量确定被测未知量的方法,称为零位式检测法,又称为补偿式检测法或平衡式检测法。应用这种方法进行检测时,标准量具放在仪表内,在测量过程中,标准量与被测量进行比较;调整标准量直到被测量与标准量相等,使指针仪表回零。例如,用平衡电桥测量电阻、电容、电感等就是典型的应用实例。零位式检测法的特点是检测精度高,但检测过程比较复杂,需要进行平衡操作,花费时间较长;采用自动平衡操作,可加快检测过程,但由于受工作原理的限制,反应速度不会很高。因此这种方法适用于缓慢变化信号的检测。

(3) 微差式。这种方法是综合了偏差式与零位式的优点而提出的检测方法。它将被测量与已知的标准量进行比较,并取得差值后,用偏差法测得此差值。应用这种方法进行检测时,标准量具放在仪表内,并且在检测过程中,标准量直接与被测量进行比较,由于二者的值很近,因此,检测过程不需要调整标准量,而只需要检测二者的差值。利用微差法可以测量稳压电源输出电压的微小变化,其测量原理图如图 1-5 所示。

利用微差法测量稳压电源的基本电路由电位差计和稳压源构成,初始时调节 RP_1 ,使 I 恒定;使稳压源负载电阻 R_L 为定值,调节 RP ,使检流计指针为零,再增加或减小 R_L ,此时检流计指示即由负载微小变化产生。此电路中要求检流计内阻很高,具有反应速度快且检测精度高的特点,特别适用于在线控制参数的检测。

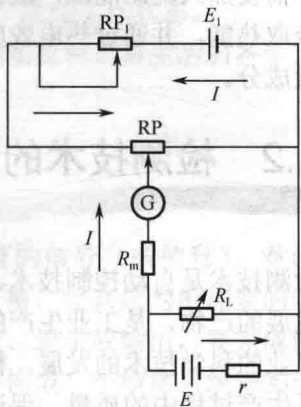


图 1-5 微差法测量稳压电源输出电压

3. 按接触关系分类

根据检测敏感元件与被测介质的接触关系,检测方法可分为接触式和非接触式两种。

(1) 接触式。接触式检测法是将仪表的敏感元件与被测对象相接触。敏感元件从被测对象得到能量或被带动产生运动,使得敏感元件产生转换作用。如用热电偶、电感式测厚仪进行检测都是接触式检测。接触式检测法可用于静态或运动速度缓慢的物质参数检测。

(2) 非接触式。非接触式检测法的敏感元件与被测对象之间无机械接触,当被测参数(如 X 射线测厚仪中 X 射线强度随厚度衰减)变化或被测物体能量变化(如红外测温仪中仪表接收的红外线随被测温度变化)时,检测仪表辐射能量随之变化,根据仪表辐射能量变化的大小检测出被测物理量的值。这种方法适用于高速运动或环境恶劣场合的检测。

4. 按被测量的变化快慢分类

根据被测量的变化快慢,可分为静态检测和动态检测两类。

(1) 静态检测。被测信号相对于仪表的动态特性变化缓慢,这种检测称为静态检测。静态检测系统的输入/输出关系可用代数方程描述,其输出的检测结果是一个稳定值(或恒定值)。这种检测系统的响应速度远快于被测信号的变化速度。它适用于被测值不变化(如成品的尺寸)或变化缓慢(如室内温度)信号的检测。

(2) 动态检测。对于变化速度快或需要观察变化过程的被测信号,为了保证结果真实可靠,需要检测系统具有足够的快速反应能力。被测信号和检测系统的输入/输出关系一般都需要用含时间变量的微分方程描述;为保证被测量具有足够的精度(在允许的误差范围内),采样周期必然很短,即需要快速采样。只有满足这种要求的检测系统,才能实时地检测出被测信号的变化情况,这种检测称为动态检测。为了实现动态检测,除了敏感元件具有快速转换功能外,信号

变换电路的动态响应也要好,同时还应有快速记录、记忆器件。

5. 按检测系统是否增加能量分类

(1) 主动式。在检测过程中,主动式检测需要外加辅助能源。因为检测系统的输出信号的强弱(大小),除了反映被测量的大小以外,还依赖于辅助能源的大小;检测系统施加的能量会影响信号大小,故称其为主动式。

(2) 被动式。在检测过程中,检测系统的输出只与被测量有关,即只从被测对象中获取能量,不需要加入辅助能源,故称其为被动式检测。如用热电偶检测温度,热电偶只从被测温度场中获取热能,并通过热电效应转换为热电动势,热电动势是温度的单值函数,而没有其他辅助能量成分。

1.2 检测技术的作用

检测技术是自动控制技术、微电子技术、通信技术、计算机科学和物理学等学科有机结合、综合发展的产物,是工业生产的耳目,是监测、控制、保证和提高产品质量的重要手段。随着现代工业的科学技术的发展,检测技术的重要性越来越被人们所重视。检测技术对于控制和改进产品生产过程中的质量、保证设备的安全运行以及提高生产率、降低成本等方面都起着重要的作用,是发展现代工业和科学技术必不可少的重要手段之一。目前,检测技术已经广泛应用于化工、冶金、水利、电力、电子、航空、轻工、纺织和楼宇自动化等行业。

随着现代科学技术的迅速发展,人类社会步入信息时代。在信息时代中,人们的社会活动将主要依靠对信息资源的开发及获取、传输与处理。而检测通常包含了测量、计量、计算、检测、判断等多层含义,其目的是采用物理、化学或生物的方法,获取被检测对象运动或变化的信息,通过信息转换和处理,使其成为易于人们阅读和识别表达(信息显示、转换和运用)的量化形式。可以说,检测技术的发展标志着一个国家的信息化水平和工业发展程度。

检测技术是科学研究的先行官,在现代科学研究中起着越来越重要的作用。科学技术的发展突破通常以检测技术的水平为基础。同时,科学技术的发展又促进检测技术的发展。俄国化学家门捷列夫指出“科学是从测量开始的”。我国著名科学家钱学森院士在新技术革命的论述中提到“新技术革命的关键技术是信息技术,信息技术由测量技术、计算机技术和通信技术三部分组成。测量技术是关键和基础”。广义地说,任何实验科学的结论,都是对实验数据统计推断的结果。而数据的获得,只有靠检测来完成。

检测技术是现代工业生产的推动器,是带动国民经济增长的一个关键领域。检测技术或系统在工业生产中起着把关者和指导者的作用,如在生产过程中产品质量的控制、节能和生产过程的自动化等,这些都要从生产现场获取各种参数,运用科学规律和系统工程的做法,综合有效地利用各种先进技术,通过自控手段和装备,使每个生产环节得到优化,进而保证生产规范化,提高产品质量,降低成本,满足需要,保证安全生产。

检测技术是现代国防军事战斗力的重要保证,在国防中对检测技术的应用更多、要求更高。研制一架飞机,从设计零部件到样机试飞,都要经过许许多多严格的检测,如为研究飞机强度,要在机身、机翼上贴上成百上千的电阻应变片;在试飞时要检测发动机的转速、转矩、温度振动等参数,以及机上特征点的应力、温度、振动、管道内的压力、流量等也需要同时监测,并要自动存储、记录下来,供进一步分析。一架飞机大概需要 3600 只传感器及其配套监测仪表。

在导弹、卫星的研制和控制过程中,则需要动态检测的参量更多,要求更高。

在各种现代装备系统的设计和制造工作中,检测技术已占到首位。检测系统的成本已达到该装备系统总成本的 50%~70%,它是保证现代工程装备系统性能指标和正常工作的重要手段,是其先进性能及实用水平的重要标志。以火力发电厂为例,为了实现安全高效发电,火力发电厂除了实时监测电网电压、电流、功率因数、频率、谐波分量等电气量外,还要实时监测发电机、汽轮机各个部位的振动(振幅、速度、加速度)以及动力系统中的各种设备运行中的非电量参数,如压力、温度、流量、液位等(对于一台 300MW 的发电机组,各类测量点数达到一万多点),并实时分析处理、判断决策、调节控制,以使系统处于最佳工作状态。

可以说,检测技术已经深深地渗透到人类的科学研究、工程实践和日常生活的各个方面。

1.3 检测系统的组成

检测系统需要完成的工作是:从被测对象中获得代表其特征的信号(或信息),对已获得的信号进行转换和放大;对已获得的足够大的信号按需要进行变换,使其成为所需要的表现形式,并与标准量进行比较;把检测结果以数字或刻度的形式显示、记录或输出。要完成这些工作,一般用简单敏感转换元件是不够的,需要用多个环节或部件构成一个检测系统来实现。检测系统主要由敏感元件、信号的转换与处理电路、显示电路和信号传输组成,如图 1-6 所示。

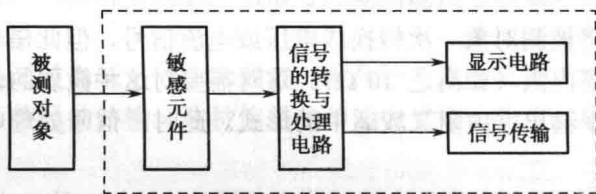


图 1-6 检测系统结构示意图

1.3.1 敏感元件

敏感元件是检测系统从被测对象获取特征信号的首要环节。它是按照物理定律(如热电、光电、压电等)和某种转换规律将被测量转换成为易于变换和处理的信号形式(如电、光等)。敏感元件是一个广义的概念,可以是一个简单的器件,也可以是结构复杂的传感器、变换器,它的主要功能是变换。从能量变换角度分析,可将变换功能分为单形态能量变换和双形态能量变换。

1. 单形态能量变换

这种变换形式是将 A 形态能量(反映被测量)作用于物体,遵照一定的物理定律转换成 B 形态的能量(反映变换后的物理量)。这种变换的特点是变换时所需的能量取自被测介质,不需要从外界补充能量。因此,这种变换的前提条件是从被测介质中取出变换所需的能量后,不影响被测介质的物理状态。这种变换的结构与形式都比较简单,但要求变换器中消耗的能量应尽量少。

2. 双形态能量变换

这种变换形式是将 A 形态的能量(反映被测量)和 B 形态的能量(参比量)同时作用于被

测对象,按照一定的物理定律转换成 B 形态或 C 形态的能量(反映变换后的物理量)。例如,用霍尔效应检测磁场,要将霍尔元件置于被测磁场中,并在霍尔元件中通入电流,这时霍尔元件上有霍尔电动势 E_H 产生,也就是说将磁场能量和电能同时作用于霍尔元件上,通过霍尔效应转换成电能输出。

这种变换形式的特点是变换过程所需要的能量不从被测对象(磁场)取得,而是从附加的能量(参比电流源)取得。其优点是附加电源的电平高,从而使变换后的信号较强。由于从不从被测介质吸取能量,这种变换不破坏被测介质的物理状态。这种变换器的结构一般比较复杂。

1.3.2 信号的转换与处理电路

信号的转换与处理电路完成的功能是将敏感元件所获得的代表被测量特征的信号转换成能进行显示或输出的信号,主要有以下几方面的变换。

1. 信号形态的变换

敏感元件不一定将被测对象直接转换成电流或电压形态。如电感式位移传感器是将铁芯的位移变化转换为电感量的变化,半导体压力传感器是将被测压力转换为电阻的变化。信号处理电路的功能,首先是将电感、电阻等不易变换、处理、传输的信号形态变换成易于传输和处理的电流、电压形态。

2. 放大或阻抗变换

敏感元件或传感器将被测对象一次转换成电压或电流信号,但此信号通常还很微弱(如毫伏级或微伏级)并兼有高内阻(如高达 $10^7\Omega$)。这时需要对这种微弱的信号进行放大或阻抗变换,变换成具有一定电平输出、内阻又较适中的形式。此时,信号处理电路将承担信号放大或阻抗变换的功能。

信号形态变换、放大或阻抗变换的电路又称为前置放大电路、接口电路、信号调理电路等,常见的有电桥、电荷放大器、隔离放大器和程控增益放大器等。

3. 功能性变换

经过放大处理的信号,按照检测的要求,还要进行一定的变换处理。若被测信号为模拟信号,而输出或显示需要数字量时,信号处理电路则完成模拟到数字的信号转换(即 A/D 转换);若放大输出与被测对象存在非线性关系,而又需要显示或输出与被测对象为线性关系,这就需要加入线性化电路。通常要根据检测系统的功能来确定相应的信号处理电路。

1.3.3 显示电路

显示电路的作用是将被测对象以人能感知的形式表现出来。显示的形式通常有模拟式和数字式两大类。

1. 模拟式

模拟式显示是将被测对象变换成为表针的线位移或角位移,其值从刻度盘上表针对应的位置读出。刻度盘的形状有条形和圆盘形,其刻度有均匀(线性)和非均匀(非线性)两种。显示电路的作用是把被测对象的量值变换成驱动表针运动的电流值,这种电路一般比较简单。