

高等学校教材

自动检测技术

张欣欣 孙艳华 主编
张家栋 主审



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

高等学校教材

自动检测技术

张欣欣 孙艳华 主编

张家栋 主审

清华大学出版社

北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本教材全面地介绍了检测技术的基本内容。其中对检测技术的基础——自动检测的基本概念、检测系统基本特性、测试信号处理与分析进行了重点阐述,对自动检测系统设计及抗干扰设计,应力应变与力和力矩的检测,位移、转速、速度及加速度的检测,流量检测,温度检测,检测算法等内容作了较为详细的阐述,使读者了解自动检测技术的发展趋势及通过实例了解其在铁路中的应用。

本教材主要作为检测技术相关专业教材,也可供从事本领域的技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术/张欣欣,孙艳华主编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2006.10
ISBN 7-81082-879-7

I. 自… II. ①张… ②孙… III. 自动检测—高等学校—教材 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 110834 号

责任编辑:韩 乐 特邀编辑:李晓敏

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京瑞达方舟印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:13 字数:333 千字

版 次:2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-81082-879-7/TP·307

印 数:1~4 000 册 定价:22.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@center.bjtu.edu.cn。

前 言

自动检测技术是现代科学技术与现代化生产中重要的技术手段之一,是信息技术的重要组成部分,在科学实验、工业过程等许多活动中都以参数的自动检测为基础。自动检测技术不仅为这些活动提供了可靠的技术保证,也成为提高科学研究水平、提高产品质量和保障安全等方面不可缺少的技术手段。因此,掌握一定的自动检测技术是十分必要的。

本教材从应用的角度出发,以各参数检测为主线介绍了各参数的检测方法,强调检测系统的构建。在编写本教材时力图做到以下几点。

1. 以自动检测技术的基础知识、共性的内容为主,避免过深的检测理论和数学分析,侧重基础和应用。

2. 结合一些参数的检测,讲述参数检测原理、检测系统的组成和误差分析与补偿方法,以达到对检测系统有一个完整的概念,便于检测系统的设计与传感器的选用。

3. 在编写过程中,注意到我国目前的检测技术水平和未来发展。

4. 为读者今后应用检测技术打下牢固的基础。

在本教材的编写过程中,得到了北京交通大学机电学院测控专业的霍凯、邱成、邓湘、徐双满、王淑敏及郭玉明老师的帮助,在此一并表示感谢。全书由北京交通大学张家栋教授主审。

在本教材的编写过程中,参考了许多同行的著作,在此特向有关作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 9 月于北京

目 录

第1章 绪论	1
1.1 检测与自动检测	1
1.2 检测理论的发展历程	2
1.3 自动检测的任务	3
1.4 自动检测技术的主要研究内容	3
1.5 检测技术的特点	6
1.6 本课程的学习要求	7
习题	8
第2章 检测系统的基本特性	9
2.1 检测系统的静态特性	9
2.2 检测系统的动态特性	11
习题	20
第3章 信号及其特性分析	21
3.1 概述	21
3.2 周期信号	23
3.2.1 傅里叶级数和周期信号的分解	23
3.2.2 周期信号的有关参数	27
3.3 非周期信号	28
3.3.1 准周期信号	28
3.3.2 瞬变信号	29
3.3.3 傅里叶变换的主要性质	31
3.3.4 几种典型信号的频谱	34
3.4 随机信号	40
3.4.1 概述	40
3.4.2 随机信号的主要特征参数	41
习题	60
第4章 检测系统及其抗干扰设计	62
4.1 检测系统设计的一般步骤	62
4.2 检测系统的组建原则与性能评价	63
4.2.1 检测系统的组建原则	63
4.2.2 检测系统的性能评价	67
4.3 传感器的选用原则	67
4.4 抗干扰技术	69
4.4.1 干扰的类型及产生	69
4.4.2 干扰信号的耦合方式	73
4.4.3 常用的抑制干扰措施	75

4.4.4 其他抑制干扰的措施	78
习题	82
第5章 应力与应变检测	83
5.1 概述	83
5.2 应变片	86
5.2.1 应变片的工作原理	86
5.2.2 应变片的结构	87
5.2.3 电阻应变片主要特性	87
5.2.4 应变片的选择与粘贴	89
5.2.5 试件上的布片与接桥	90
5.2.6 提高应变测试精确度的措施	91
5.2.7 应变式传感器的应用	93
习题	94
第6章 位移、速度、加速度检测	95
6.1 概述	95
6.2 位移检测	95
6.3 速度检测	101
6.4 转速检测	105
6.5 加速度检测	111
习题	113
第7章 压力及扭矩检测	114
7.1 概述	114
7.2 压力测量仪表	116
7.3 集成压力传感器	118
7.4 压力传感器动态校准装置	125
7.5 扭矩检测	128
习题	131
第8章 流量检测	132
8.1 容积式流量计	132
8.2 转子流量计	133
8.3 涡轮流量计	137
8.4 电磁式流量传感器	140
8.5 超声波流量传感器	141
习题	142
第9章 温度检测	143
9.1 概述	143
9.2 常用温度敏感元器件	145
9.3 电流型集成温度传感器	153
9.4 电压型集成温度传感器	156
9.5 总线式数字温度传感器 DS18B20	161

习题	162
第 10 章 检测算法	164
10.1 数字滤波技术	164
10.2 克服系统误差的软件算法	167
10.2.1 系统误差的模型校正法(非线性校正)	168
10.2.2 系统误差的标准数据校正法(查表法)	174
10.2.3 系统零位误差和增益误差的校正方法	175
10.2.4 传感器温度误差的校正方法	176
10.3 量程自动切换及标度变换	176
习题	179
第 11 章 检测系统方案实例	180
11.1 列车随车检测系统方案设计	180
11.2 列车电机电器微机测试系统设计	182
附录 A 铂铑 ₁₀ -铂热电偶分度表	186
附录 B 铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 热电偶分度表	189
附录 C 镍铬-镍硅(镍铬-镍铝)热电偶分度表	191
附录 D 铜-康铜热电偶分度表	194
附录 E 镍铬-康铜热电偶分度表	196
参考文献	200

第1章 绪 论

人类在观察自然界各种现象时,需要借助于仪器仪表及由仪器仪表组成的检测系统,它们是人类感官极其重要的扩展和延伸。曾有学者这样认为:“仪器仪表是对测量方法和仪器仪表设计的共同理论进行研究的一门科学。”自动检测是自动化科学技术的一个重要分支科学,是在仪器仪表的使用、研制、生产的基础上发展起来的一门综合性技术科学。

应用自动检测技术首先应明确如下基本概念:什么是自动检测?自动检测的任务是什么?自动检测技术研究哪些内容?检测技术有哪些基本特点?

1.1 检测与自动检测

1. 测量

测量(Measurement)是人类认识事物必不可少的手段和方法。通过测量和试验能使人们对事物获得定性或定量的概念,并发现客观事物的规律性。

那么究竟什么是测量呢?广义而言,测量就是使用专门的技术工具,依靠实验和计算找到被测量值的过程。

2. 测试

测试(Test and Measurement)是测量和试验的总称,有时也把比较复杂的测量称为测试。

国标 GB 6583《质量-术语》中对试验(Test)的定义是“对产品、过程或服务的特性进行的试验和测定。”试验这个词常用于对产品的额定值或极限值进行验证的场合。

3. 检测

检测(Detection)是检验和测量的总称,或者说是指自动化大生产中为确保产品质量对生产过程中某些物理量值和工艺质量进行的监控性测量过程。

检验常常不需要被测参数的准确值,但要分辨参数所在的范围。

自动检测就是在测量和检验过程中完全不需要或仅需要很少的人工干预而自动进行并完成的。实现自动检测可以提高自动化水平和程度,减少人为干扰因素和人为差错,可以提高生产过程或设备的可靠性及运行效率。

4. 检测系统

随着测量领域的不断扩大,参数的范围也在不断延伸。另外,很多情况下需要测试的信息又往往与其他一些背景物理量掺杂在一起,采用简单的测量很难完成任务,这时需要若干测试仪表或仪器,以及附加设备来构成一个有机的整体,才能完成检测任务,这就是检测系统。因此,检测系统应能完成对被测对象进行变换、分析、处理、判断、比较、存储、控制及显示等功能。一个完整的检测系统包括四大部分:信息的获取部分;信息的变换处理部分;信息的记录、传输或显示部分;附加设备(如电源等)。检测系统是检测技术发展 to 一定阶段的必然产物,特别是在自动化生产过程中,要求过程参数的检测能自动进行,这就产生了自动检测系统。

1.2 检测理论的发展历程

检测理论是经过控制论、预测论、智能与模糊控制、谱分析、故障诊断及神经网络等有关理论的进展、自动化仪器仪表的进步,超大规模集成电路和计算机技术的飞速发展而成长起来的。

1. 常规单参数测量原理

19世纪初,蒸汽机的问世引发了产业革命,欧美等国家的手工业工场逐步发展成为工业化机械化生产工厂。由于机械制造业的兴起需要准确的几何量测量、转速测量及温度测量等,于是陆续出现了一些相当准确的量具与温度表及传递这些量的标准器,并对有关的测量原理进行了研究。但直到20世纪40年代,都只是研究某一个参数的测量原理,所测量的数值都是直观的读数。到20世纪60年代,理论上主要仍在探索应用物理学、几何学、化学及电学等基本原理,研制传感器和测量方法,所得信号只能用慢时域方法描述,研制的仪器仪表主要追求测量的实用性和一定程度的准确性,对实时性与可靠性及噪声的危害等还知之甚少,或基本上没有考虑。

2. 多参数测量原理

随着生产规模的发展和生产技术的进步,为了克服生产中有关参数之间的相互影响,要求对各有关参数进行检测,于是对各参数之间的关系进行了大量的研究,并从宏观物理过程进入微观物理过程,而且也通过研究化学过程、生物过程的一些现象,在测量原理方面得到极快的发展,为传感器的开发、研究提供了理论基础,从20世纪70年代到20世纪90年代传感器技术得到飞速发展,促进了多参数测量技术的发展和运用。理论上着重研究测量原理及新检测元器件的开发制造,在方法上尽管仍然采用逐个参数独立进行测量,但已经注意到零点漂移、温度、湿度及电源变化的影响与噪声干扰的危害,并对这些影响的消除或补偿,对微弱信号的测量及模拟滤波器理论、设计与应用已经有了明显的进展,检测理论也随之发展起来。

3. 检测理论的形成与发展

实际的工农业生产过程及其他有关人类各种活动过程都是在相互影响、相互制约的环境中进行的,加上各种干扰的影响,以至所获得的信息真假掺杂,甚至所需要的信息被干扰完全湮没,所以不采用有效的检测手段和必要的理论分析与数据处理,不可能完善测量工作并取得有用的信号,从而获得满意的测量结果。这种由信号和噪声构成的系统,一般要测量的参数不止一个,它们又是互相影响互相关联的,因此应考虑如何消除相互关联的影响和排除干扰或将干扰抑制到可以接受的程度,从而获得满意的测量结果,获得有用的信号,满足参数检测的实时性、准确性和可靠性。现代检测系统要解决信号的提取、信号的处理(如滤波、平滑等)及自动量程扩展,自校正、自诊断及自恢复等综合测量方法和理论问题,由于检测手段已发展到比较全面和完善的地步,信息检测元器件再也不是问题的关键,重要的是如何组织它们以构成合适的近代自动检测系统,从被干扰的信号中成功地提取有用信号。这就要求除采用慢时域分析外,还需要采用快时域分析或多种非时域特征函数分析法,以适应快速、准确、实时及可靠性的要求。20世纪90年代前后,关于检测理论的文章很多涉及前面提到的各种理论,在数学手段方面,广泛应用概率论、矩阵、复数与数组运算、数理统计、各种傅氏变换、状态空间法及模糊数学等,大大推进和发展了自动检测理论的发展。

1.3 自动检测的任务

自动检测的任务主要有两种,一是将被测参数直接测量并显示出来,以告诉人们或其他系统有关被测对象的变化情况,即通常而言的自动检测或自动测试;二是用作自动控制系统的前端系统,以便根据参数的变化情况做出相应的控制决策,实施自动控制。

举个例子,测量柴油机的转速。可以使用光电式传感器将柴油机的转速信号转换成电脉冲信号,通过测量电脉冲的频率可以得到柴油机的转速,再通过数码管或液晶显示出来。这是自动检测的第一个任务。进一步,把上面提到的柴油机进行改装,使它成为柴油—天然气双燃料发动机,也就是使发动机主要燃烧天然气,而柴油只作为引燃燃料。那么要控制的一个最基本的量就是发动机每次喷射的天然气的量。那么如何来控制喷射的天然气的量呢?一种方法就是通过以发动机的转速和负荷为根据来进行控制,但在这个系统中必须要检测发动机的转速,这里的转速测量就已经成为了自动控制系统的前端系统,这是自动检测的第二个任务。

1.4 自动检测技术的主要研究内容

自动检测技术的主要研究内容包括测量原理、测量方法、测量系统及数据处理。

1. 测量原理

若要测量一个参数,首先要确定采用什么原理来进行测量。不同性质的被测量用不同的原理来测量,同一性质的被测量也可以采用不同的原理来测量。例如压力和温度两个不同性质的量就采用不同的测量原理;又如飞机的高度可用测量大气静压、无线电波的反射特性,激光测距等原理来测量。因此,检测技术首先要研究被测量的测量原理。

2. 测量方法

对一个被测量来讲,确定了测量原理后,就要考虑用什么样的测量方法。常用的测量方法有直接测量法和间接测量法。

直接测量法是借助于测量系统,将被测量与同性质的标准量进行比较以确定被测量。但是将被测量直接与标准量比较的场合不太多,大多数情况下都要将被测量和标准量转换为某一便于比较的中间量来测量。

间接测量法是对与被测量有确定函数关系的其他物理量进行直接测量,然后根据函数式计算出被测量。我们所经常遇到的就是非电参量的电测法。这种测量方法是把被测的非电参量通过各种相应的传感器变换为电量,有时还需对变换后的电量进行从电量到电量的转换或放大,最后输入显示仪表、记录仪表或计算机中,对数据进行显示、记录或处理。这是目前使用最多的测量方法。它包含了参量的感受、变换、传输、显示、记录和处理全部过程,这种测量不是用单个仪表而是由多个仪表(或称环节)所组成的一个测量系统,这个系统被称作非电参量电测系统。

自动检测中的检测方法有很多,下面介绍一些常用的检测方法。

1) 直接按照物理定律检测法

这种方法是把从被测对象中取得的一部分能量作用到检测元件上,使其按照一定的物理定律转换为易于测量和传输的量,再对这一经变换所得的量进行直接测量,其大小就代表了被

测对象的值。采用这种检测方法时,从被测对象中取得能量不应影响被测对象的物理状态。根据是否需要外加辅助能源将这种检测方法分为无源式和有源式两种形式。

(1) 无需辅助能源的直接变换式

这种检测方法是从被测对象取得一部分能量作用在检测元件上,从检测元件得到反映被测量大小的输出值。例如使用热电偶测温。

(2) 需要辅助能源的调制变换式

这种检测形式的特点是,反映被测对象的输出值的能量由两部分组成,一部分从被测对象取得,另一部分由辅助能源供给。例如用霍尔元件测量磁场。

2) 探查型检测法

采用这种检测方法的检测系统其输入信号是由探查部件发出的探查信号与被测对象的被测量以某种规律变换而成的。例如用超声波法测密闭容器的液位。

3) 比较型检测法

这种检测方法是将被测量与标准量进行比较而实现对被测量进行测量的方法。具体实施方案有3种。

(1) 平衡法

所谓平衡法,就是把被测量与标准量进行直接比较,若有差值,则调整标准量,使标准量与被测量达到平衡,即两者相等,这时标准量的示值就代表被测量的大小。例如用平衡电桥测电阻。

采用平衡法测量时,必须执行调节标准量的操作,这就需要一个时间历程,因而仪表就难以测量变化较快的被测量,即使做成自动平衡仪表,其测量速度也受到一定限制。

(2) 偏差法

测量仪表用指针相对于刻度线的位移(偏差)来直接表示被测量大小,这种方法就是偏差式测量法(简称偏差法)。在使用偏差法测量时,指针式仪表内没有标准量具,而只有经过标准量具标定过的刻度尺。由于刻度尺的精确度不是很高,所以这种测量方法的测量精度一般不高于0.5%,经过特殊设计时可达0.1%。

在偏差法测量仪表中,被测量的作用为仪表中某个元件的反作用(这个反作用常与指针位移或偏转角度成线性关系)所平衡。被测量增大,所需平衡的反作用也要相应增大,因此指针的偏转也随之按比例增大。最常见的例子是动圈毫伏表。

(3) 微差法

微差法是偏差法和平衡法的组合,被测量的大部分作用先与已知标准量的作用相抵消,剩余的部分即两者的差值再用偏差法测量。微差法总是使得差值很小,差值越小,它的测量误差对总的误差影响就越小。微差法的另一个优点是不需要可调节的标准量具,也无需平衡操作,这样,标准量的精度容易做得高,对被测量的反应也可以很快,比较适用于工程测试。例如检定标准电池。

4) 信息处理型检测法

这种方法是对被测对象进行检测,检测量不是直接转换成所需的被测量,而是经过对检测所得信息进行处理分析后,才能得到所需的被测量的检测方法。例如用相关法测旋转体的转速。

3. 测量系统

确定了被测量的测量原理和测量方法后,就要设计或选用装置组成测量系统。目前的测量系统从信息的传输形式看,主要有模拟式和数字式两种。

1) 模拟式测量系统

模拟式测量系统是由传感器,信号调理器,显示、记录装置和(或)输出装置组成,如图 1-1 所示。在该系统中信息传输大多为电量。

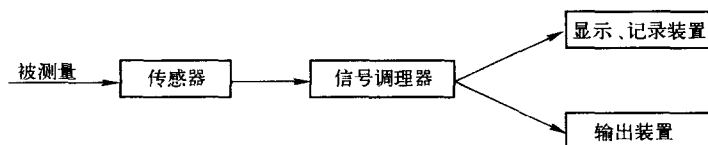


图 1-1 模拟式测量系统组成框图

(1) 传感器是测量系统的信息敏感和检测部件。它感受被测量并将其转换成与被测量成一定函数关系的另一种物理量,这种物理量通常为电量。

(2) 信号调理器是将传感器的输出信号进行转换以便于记录、传输、显示和输出的电路或装置。

(3) 显示、记录装置和(或)输出装置是用来显示、记录被测量的大小和(或)输出与被测量有关的控制信号,以供对象使用。

2) 数字式测量系统

数字式测量系统目前主要是带微机的测量系统,是由传感器、信号调理器、输入接口、中央处理器组件、输出接口和显示记录等外围设备组成。见图 1-2。在该系统中信息传输大多为数字量。

(1) 传感器把被测量作为信号提取出来并传输到信号调理器部分,传感器的输出一般有以下特点:

① 输出量一般为电压、电流或频率信号,或者是通过电阻、电容及电感的变化转换为电压、电流及频率的变化,输出信号为模拟信号和数字信号两种形式;

② 输出信号一般较微弱,例如电压信号为毫伏级甚至微伏级,电流信号为毫安级或纳安级;

③ 由于传感器内部噪声的存在,输出信号与噪声混在一起,若传感器的信噪比较小而输出信号又比较微弱,则信号几乎淹没在噪声中;

④ 传感器的输出特性呈线性或非线性;

⑤ 外界环境如温度、湿度及电磁场等的变化会影响传感器的输出特性。

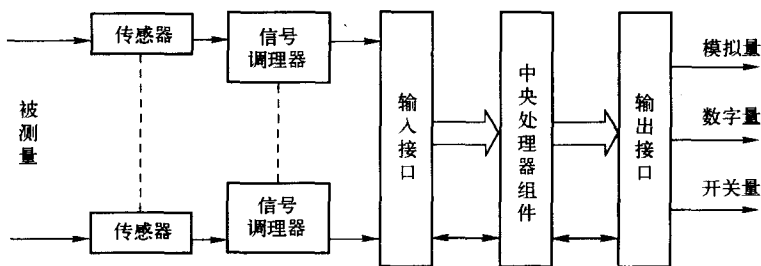


图 1-2 数字式测量系统组成框图

(2) 信号调理器是使传感器输出信号变换成适合于分析处理的信号的电路,要针对传感器输出的特点及其非理想情况进行合理的变换及处理,主要包括信号的放大、滤波、抑制噪声及电流电压的变换等。

(3) 输入接口将传感器经信号调理后的输出信号转换成数字量信息,经总线传输给中央处理器组件。

(4) 中央处理器组件是数据处理、对输入接口及输出接口进行管理的主要组件。它包括中央处理器、存储器和总线驱动器等。

(5) 输出接口主要将数字信息转换成外设所需的信息,如交直流电压、电流、开关量和一定格式的数字量,等等,以供显示、记录和控制用。

4. 数据处理

有了测量系统,就可以实施实际的检测工作。在实际检测中,得到的数据必须加以处理,以得到正确可信的检测结果。检测算法部分将在第 10 章中具体介绍。

1.5 检测技术的特点

检测技术是多学科的综合应用,没有计算机硬件和软件技术的飞速发展,各种先进的计算方法就不能采用;没有电子技术的高速发展,快速、准确、可靠的测量、放大、处理的元器件就无从获得,那么检测理论就不可能迅速发展。因此,建立在检测理论上的现代检测技术应具有以下特点。

1. 实时性强

由于生产规模越来越大,产品质量要求越来越高,或生产过程的强度与速度都相应提高,对参数的检测大都要求快速响应,因此对检测系统的实时性要求较高。只有那些对生产过程影响不大或并无直接影响的参数测量响应快慢关系不大。这就要求信息获取及时,信号的处理速度要跟得上信号的变化速度,前者要求传感器的时间常数小,响应速度快;后者要求信号的放大与处理速度快,保证不丢失也不歪曲测量数据,这样才能得到实时测量结果。

2. 精确度高

现代检测变送装置广泛采用微机技术,应用它的快速运算、灵活存取和处理数据功能,可以自动进行零漂、温漂、时漂的自检与自校正;对信号自动进行线性化,对量程进行自动调整,对系统进行自诊断、自恢复,测量结果误差小,因而精确度高。

3. 可靠性高

随着电子元器件、计算机技术的迅速发展及信号采集、数据处理、显示打印记录等专用芯片与专用模块的超大规模集成化,性能优越的传感器、变送器、信号放大器、信号发生器、各种各样的运算处理器、输入/输出接口、A/D、D/A、多路模拟开关与信号保持器、译码器、调制解调器及通信接口等,不但可以很方便地组成大小规模不同的自动采集系统,而且功能齐全,性能稳定可靠,平均无故障时间很长。

4. 通道多

一台仪器一般只能测量一个参数,即使是数字万用表具有测量交直流电压、电流,测量电阻值、电容值、甚至频率和温度等多种能力,但是不具备同时测量这些参数的能力。自动检测系统配备多个信号通道,有的多达上千路。例如美国 Neff720 数据采集处理系统,其基本通道

64路,可扩展到2048路。对于多路信号,通过计算机软件控制,进行高速扫描采样。从宏观上看,测量过程是同时的。当然,采样速度也可根据实际需要而降低。由于多通道信号同时测量,大大提高了工作效率。同时,既检测到各个信号参数,还能检测各信号的相关特性。这对工业自动化、国防试验及科学研究都是十分有用的。

5. 功能强

国内外先进的检测系统都具有很强的功能,以满足用户的需要。典型的功能归结为以下几个方面。

1) 选择功能

包括量程选择、信号通道选择、通道扫描方式选择、采样频率选择等。

2) 信号分析与处理功能

包括FFT、相关分析、统计分析、平滑滤波等。

3) 波形显示功能

实时显示多个被测信号的时域波形,即具有存储示波器功能。

4) 自诊断功能

系统越复杂,自身故障的诊断越重要。目前计算机都具有自诊断能力,一般可以诊断到插件板一级。一些通用性较强的检测系统,可以诊断到关键部位。

5) 自校准功能

高精度的自动检测系统都配有标准信号源。测试时,对标准信号和被测信号分别进行测试,计算机对两个测试结果进行分析,消除系统误差,以上过程是自动完成的。

6) 绘图与打印功能

多数测试系统都配有绘图仪和打印机,能将测试结果以图形和表格的形式输出,做到图文并茂,一目了然。

7) 操作简便

目前先进的检测系统都追求高度自动化,即在测试与处理过程中无须人工参与,在测试前仅做简单的准备工作,例如面板按键选择或键盘及鼠标操作。

1.6 本课程的学习要求

对测控专业来说,本课程是一门专业课。通过学习,学生应能较正确地设计检测系统和选用检测装置进行基本参量的检测,并具有一定对测试数据进行存储、转储及处理能力,还应该初步掌握进行动态测试所需要的基本理论、基本知识和基本技能。

学生在学完本课程后具体应掌握以下几个方面的知识:

- 掌握测试系统的静态、动态特性的描述方法和理想测试系统的条件;
- 能够对测试信号进行分析和处理,包括对测试信号进行时域分析和频域分析等;
- 掌握传感器的应用,信号的中间转换和数据的显示、记录及存储技术,合理选用主控制器,能够正确进行检测系统的设计;
- 在设计具体的检测系统过程中,能采用一些必要的抗干扰措施以增加系统的可靠性。

习题

- 1-1 什么是检测？检测技术有哪些研究内容？
- 1-2 什么是非电参量的电测法？
- 1-3 什么是数字式测量系统？
- 1-4 举例说明在生活中哪些方面应用了检测技术？

第2章 检测系统的基本特性

对检测系统的认识是通过分析其特性实现的。了解和掌握检测系统的特性可以采用实验方法和理论分析方法。实验方法是对已实现的检测系统用适当的仪器、设备直接测试,这种方法比较直观,不必对检测系统的内部结构进行剖析,这是工程上常采用的方法之一。另外一个重要的方法是理论分析法,它是通过对检测系统的研究、进行动力学分析,建立数学模型,再对该数学模型进行适当的处理,在此基础上对它进行特性分析,这种方法对深入分析研究检测系统和设计检测系统都是非常重要的。

2.1 检测系统的静态特性

检测系统的静态特性是指系统在常量或缓慢变化的输入情况下的输出特性。通常用非线性、滞后、灵敏度等指标来表征。

1. 测量范围

测量范围(Range)是指系统能够不失真测量时最大的输入信号范围。测量范围是以上限和下限值给出的。例如一个温度检测系统的测量范围可能是 $200^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ 。一个位移检测系统的测量范围可能是 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 。值得指出的是,一套检测系统可能有几个不同的测量范围(由不同的放大器增益决定),这些范围可能不重叠或部分重叠。因此在叙述一个系统的测量范围时,最好给出系统的最高测量限值和最低测量限值。

2. 跨度

跨度(Span)是测量范围的导出量。它是测量范围上限与测量范围下限的算术差值。如上面的温度检测系统,其跨度为 600°C ;而位移检测系统的跨度为 1 mm 。当测量范围下限为 0 时,跨度与测量范围具有相同的意义。

3. 灵敏度

系统的灵敏度(Sensitivity)通常是指系统的静态灵敏度。它表示系统输出信号变化相对于输入信号变化的比值。可用下式表示:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2-1)$$

对于线性系统,输出量与输入量之间的关系是一条直线,灵敏度就是该直线的斜率,为一常数。对于非线性系统,灵敏度随输入量的变化而变化。值得注意的是,叙述灵敏度的同时必须强调灵敏度的量纲,有了量纲灵敏度才具有物理意义,否则很难从数值上理解系统的灵敏度。例如压力传感器的灵敏度可表示为 $S = 5 \text{ mV/MPa}$ 。由于某些传感器(如应变式)具有电桥电路,输出量的大小不仅与输入量有关,还与电桥的输入电压有关,这类传感器的灵敏度量纲常表示为 mV/V ,如压力传感器的灵敏度 $S = 1.5 \text{ mV/V}$,其含义是指该传感器在额定压力作用下,当电桥输入电压为 1 V 时,电桥输出电压为 1.5 mV 。

4. 分辨率

分辨率(Resolution)也称分辨力,是指系统的输出发生变化所对应的最小输入变化量。系统分辨率的数值越小,其分辨率越高。

例如线绕电位器,电刷在一匝导线上滑动时,能引起输出电压发生变化的电刷最小位移量 Δx 就是导线的直径,电位器所用的导线越细,其分辨率就越高。通常在检测系统的测量范围内各点的分辨率并不相同。常用测量范围中的最低分辨率作为系统的分辨率。

5. 非线性

非线性(Non-linearity)也称线性,广义上是指一条曲线偏离直线的程度,在这里用系统标定值和拟合直线的最大偏差 B (也称非线性偏差)与系统满量程输出 A 的比值的百分数来表示。

$$\delta_L = \frac{B}{A} \times 100\% \quad (2-2)$$

由于最大偏差是以拟合直线为基准计算的,因此不同的拟合方法得到的拟合直线不同,所以系统的非线性指标并非为一定值。非线性偏差如图 2-1 所示。

6. 滞后特性

滞后特性(Hysteresis)在加载减载、加速减速、升温降温的过程中,对于同一个被测值,检测系统在不同的循环测量中,其测量结果是不一致的。这种在输入值增大和减小往复测量过程中所造成的、对同一被测值测量所得结果不一致的现象称为滞后现象,也称滞后或迟滞,如图 2-2 所示。滞后特性的存在往往是由于机械、弹性元件及磁性元件的摩擦和电磁滞后而产生的。在量值上,常以最大滞后误差 H 相对于系统满量程输出 A 的比值的百分数来表示。

$$\delta_H = \frac{H}{A} \times 100\% \quad (2-3)$$

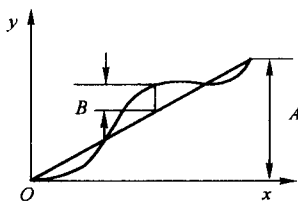


图 2-1 非线性偏差

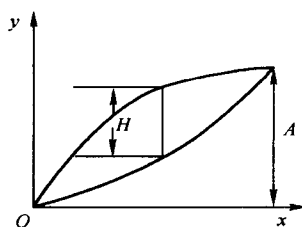


图 2-2 滞后偏差

7. 死区

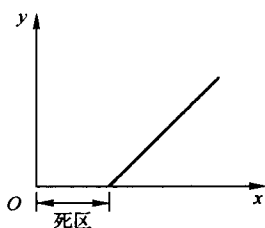


图 2-3 死区特性

死区(Dead band)是指当系统在量程零点(或起始点)处输出信号不发生变化时所对应的输入信号的变化范围,是衡量起始点不灵敏的程度,如图 2-3 所示。死区主要是由于系统元件的摩擦及空程等现象引起的。

8. 漂移

漂移(Drift)是指检测系统的输入-输出特性(如范围、增益、分辨率等)在一段时间内发生变化的现象。这种现象是由于仪器自身结构参数的变化或外界工作环境参数的变化引起的,常见的有灵敏度漂移和零漂。