

A large, stylized illustration of a gear mechanism, featuring a large grey gear with a smaller brown gear inside it, set against a white background.

机械设计制造及其自动化专业应用型本科系列规划教材

工程测试技术及应用

GONGCHENG CESHI JISHU JI YINGYONG

主 编 王振成 张雪松
副主编 刘爱荣 郭晨鲜 李立凯
张璐璐 王 欣



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

014057439

TB22-43
46

工程测试技术及应用

主 编 王振成 张雪松
副主编 刘爱荣 郭晨鲜 李立凯
张璐璐 王 欣



TB22-43
46

重庆大学出版社



北航

C1742233

内容提要

本书主要介绍工程中常见参量的测试技术和应用及信号转换的原理与方法。主要包括:测试信号的描述和分析、测试系统及其特性、应变和力的测试、位移的测试、速度的测试、机械振动的测试、流量和压力的测试、温度的测试、环境量的测试及无损探伤技术、新型传感器及应用和计算机辅助测试系统。全书附有实验课题指导,供任课教师选用。

本书适用于高等院校机械、电气及电子工程、自动化、汽车和冶金类等工科专业使用,也可供传感器技术爱好者自学及从事测控技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测试技术及应用/王振成,张雪松主编. —重庆:重庆大学出版社,2014.8

机械设计制造及其自动化专业应用型本科系列规划教材

ISBN 978-7-5624-8121-8

I. ①工… II. ①王… ②张… III. ①工程测试—测试技术—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 123933 号

工程测试技术及应用

主 编 王振成 张雪松

策划编辑:曾显跃

责任编辑:文 鹏 版式设计:曾显跃

责任校对:谢 芳 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

万州日报印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:412 千

2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3000

ISBN 978-7-5624-8121-8 定价:33.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

随着工业自动化技术和信息技术的发展,现代化生产实际对信号测试和处理的需求越来越强烈且日趋精确。工程测试技术及应用课程,全面讲述了信号的采集、分析和数据处理;各种传感器的原理和应用技术、非电量信号的测试与转换方法方面的知识。高等学校工科类专业学生学习并熟练掌握这些基本内容,将提高自身的智能测试和自动化水平,并有助于对后续专业课程的学习。

本书从教学和岗位需求出发,教材内容的选择、构造和体系适用于工科教学的需要,力求理论简洁实用、图文并茂、通俗易懂,达到举一反三、融会贯通的目的,体现教材特色。在编写安排上力争做到由浅入深、循序渐进,所编写内容注重实用性和可操作性,理论分析以“适度、够用”为限,突出重点,分散难点。

全书除绪论外共分 11 章,具体内容如下:

第 1 章为测试信号的描述和分析,主要介绍信号的表示与分类,信号的时域分析和频域分析及测试信号的处理。

第 2 章为测试系统及其特性,主要介绍测试系统的组成,数学建模,线性系统的特性,测试系统的静态特性和动态特性,误差分析与处理,不失真测量的条件。

第 3 章为应变和力的测试,主要介绍应变的测试,测量电路——电桥、应变片的选择与粘贴。

第 4 章为位移的测量,主要介绍位移-数字式传感器和其他常用的位移传感器。

第 5 章为速度的测试,主要介绍运动速度的测量和转速的测量。

第 6 章为机械振动的测试,主要介绍机械振动的类型,振动的激励和激振器,测振传感器和振动的测量。

第 7 章为流量和压力的测量,主要介绍总量测量仪表,流体阻力式流量计,测速式流量计和压力的概念。

第 8 章为温度的测试,主要介绍温度测量的基本概念,热电偶传感器的工作原理,热电偶的种类及结构,热电偶冷端的延长,热电偶的冷端温度补偿,热电偶的应用,膨胀式温度计、压力式温度计和热敏电阻温度传感器。

第9章为环境量的测试及无损探伤技术,主要介绍湿敏电阻传感器,噪声的测量,气体及烟雾的测试和无损测试技术。

第10章为新型传感器及应用,主要介绍光纤传感器、图像传感器、生物传感器、机器人传感器、微波传感器、智能传感器。

第11章为计算机辅助测试系统,主要介绍计算机辅助测试系统、计算机辅助测试技术及应用实例。

本书附有工程测试设计常用表及课题实验指导,供任课教师和工程技术人员选用。

针对本书,配有计算题解答和教学课件,教材使用者可以在重庆大学出版社教育资源网站下载:<http://www.cqup.com.cn>。

本书由中州大学教授、高级工程师王振成担任主编并负责全书的统稿,具体的编写分工为:王振成编写绪论、附表、附录、实验课题指导、习题、习题解答和课件制作;中原工学院张雪松副教授、博士编写第3章和第4章;中州大学刘爱荣教授编写第10章;中州大学郭晨鲜讲师编写第5章和第6章;中州大学李立凯老师编写第1章和第2章;中州大学张璐璐老师编写第7章和第8章;中州大学王欣老师编写第9章和第11章。此外,中州大学工学院的凡广生、郑路、狄恩仓、李九宏、宋海军、吴耀宇6位老师对本书所需资料的收集、实验数据的提供及全书的插图等给予了大力协助,在此深表谢意!本书在编写过程中参阅了很多专家老师编纂的教材和专著,在此一并表示感谢!

高等教育在新时期应具有新的教学模式和特色。目前,许多院校都在进行这方面的探索。如果我们的努力能为这项教学改革尽到微薄之力,这将是我们的最大心愿。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请专家和广大读者批评指正。

编 者

2014年4月

目录

绪 论	1
第1章 测试信号的描述与分析	8
1.1 信号的表示与分类	8
1.2 信号的时域分析	10
1.3 信号的频域分析	11
1.4 机械信号的测试与预处理	20
复习思考题	21
第2章 测试系统及其特性	22
2.1 测试系统的组成	22
2.2 测试系统数学模型	23
2.3 线性定常系统的基本特性	24
2.4 测试系统的静态特性	25
2.5 测试系统的动态特性	35
2.6 实现不失真测量的条件	43
复习思考题	45
第3章 应变和力的测试	47
3.1 应变的测试	47
3.2 测量电路——电桥	49
3.3 应变片的选择与粘贴	51
复习思考题	54
第4章 位移的测试	55
4.1 概述	55
4.2 位移-数字式传感器	56
4.3 其他常用的位移传感器	68

复习思考题	84
第5章 速度的测试	86
5.1 速度的测试	86
5.2 转速的测试	88
复习思考题	97
第6章 振动的测试	98
6.1 概述	98
6.2 机械振动的类型	99
6.3 振动的激励和激振器	107
6.4 测振传感器	112
6.5 振动的测试	122
复习思考题	126
第7章 流量和压力的测试	127
7.1 概述	127
7.2 总量测量仪表	129
7.3 流体阻力式流量计	131
7.4 测速式流量计	134
7.5 压力的概念	137
复习思考题	142
第8章 温度的测试	143
8.1 温度测量的基本概念	143
8.2 热电偶传感器的工作原理	145
8.3 热电偶的种类及结构	147
8.4 热电偶冷端的延长	151
8.5 热电偶的冷端温度补偿	152
8.6 热电偶的应用	154
8.7 膨胀式温度计和压力式温度计	157
8.8 热敏电阻温度传感器	159
复习思考题	163
第9章 环境量的测试及无损探伤技术	164
9.1 湿敏电阻传感器	164
9.2 噪声的测量	167
9.3 气体及烟雾的检测	170
9.4 无损检测技术	174

复习思考题	177
第 10 章 新型传感器及应用	179
10.1 光纤传感器	179
10.2 图像传感器	193
10.3 生物传感器	196
10.4 机器人传感器	204
10.5 微波传感器	211
10.6 智能传感器	215
复习思考题	220
第 11 章 计算机辅助测试系统	221
11.1 计算机辅助测试系统简介	221
11.2 计算机辅助测试技术应用实例	227
复习思考题	231
附表	234
附录	237
附录 1 测量的基准、标准和单位制简介	237
附录 2 实验课题指导	238
参考文献	252

绪 论

测试是人类认识客观世界的手段,是科学研究的基本方法。测试技术在科学探索,用定量关系和数学语言来表达科学规律和理论,检验科学理论和规律的正确性等方面具有重要作用。测试技术在工程技术领域中的工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等方面具有重要作用。

测试技术是测量和试验技术的统称。测量,就是把被测对象中的某种信息测试出来,并加以量度;试验,就是通过某种人为的方法,把被测系统所存在的某种信息通过专门的装置,人为地把它激发出来并加以测试。本课程的研究对象是机械工程领域与设计有关的试验,以及控制和运行监测中所涉及物理量及其他工程量的测量和测量装置与系统的性能,包括:物理量和其他工程量的测量方法,测试中常用的传感器,信号调理电路及记录,显示仪器的工作原理,测量装置基本特性的评价方法,测试信号的分析 and 处理。

(1) 测试的基本概念

世上万物千差万别,含有大量的信息。无论是现代化大生产、科学研究,还是人们的日常生活、身心健康,无不包含着大量的有用信息。信息测试技术作为信息科学的一个分支,与计算机技术、自动控制技术、通信技术等一起,构成了信息技术的完整学科。信息测试技术除了能为相关学科分支提供所需的信息原材料外,本身也融信息的采集、调理、处理、控制与输出为一体,形成完整的测控系统及仪器设备,以满足越来越多和越来越高的需求。例如,在工业生产中对产品质量的控制;在科学研究中对未知世界的探求;在生物医学工程中对人体生命活动的监视和诊断;在人类赖以生存的外部世界内,对环境和各类设施的监测和控制,如在对航天飞机、人造卫星、导弹飞行轨迹的测控领域等,都离不开测试技术。信息工业的要素包括信息的获取、存储、处理、传输和利用,而信息的获取主要是靠仪器仪表来实现的。测试技术是基础,如果获取的信息量是错误的,那么存储、传输、处理都是毫无意义的。没有现代化的测试技术,也就没有现代化的生产和现代化的社会生活。测试和控制更是密不可分的,测试是控制的前提条件,而控制又是测试的目的之一。所以,仪器仪表是信息产业的一个重要组成部分,是信息工业的源头,被誉为工业生产的“倍增器”,科学研究的“先行官”,军事上的“战斗力”,社会上的“物化法官”,遍及“农轻重、海陆空、吃穿用”各个领域,是一个国家科技水平和综合国力的重要体现,应予以高度重视。

一个完整的测试过程,一般应包括:

①信息的提取——用传感器来完成。信号是信息的载体。一般将被测信息转换成电信号,也就是说,把被测信号转换成电压、电流或电路量(电阻、电感、电容)等电信号输出。

②信号的转换存储与传输——用中间转换装置来完成。一般是把信号转换成传输方便、功率足够,可以被传输、存储、记录并具有驱动能力的电压量。

③信号的显示和记录——用显示器、指示器、各类磁或半导体存储器和记录仪完成。

④信号的处理和分析——用数据分析仪、频谱分析仪、计算机等来完成。找出被测信息的规律,给出测得信息的精确度,为研究和鉴定工作提供有效依据,为控制提供信号。目前,这些单一的仪器功能可通过计算机软件来实现,构成“虚拟仪器”。

图 0.1 所示为一个典型的测试系统框图。

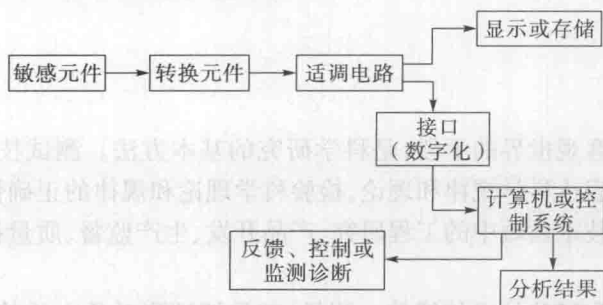


图 0.1 典型测试系统框图

综上所述,测试技术归纳起来,有如下 3 种功能:

- ①过程中参数测量功能;
- ②过程中参数监测控制功能;
- ③测量数据分析、处理和判断功能。

(2) 测试技术研究的内容

为实现对某一特定物理量的测试,需要涉及测量原理、测量方法、测试系统和测量数据处理等。所谓测量原理,是指实现测量所依据的物理、化学、生物等现象与有关定律的总体,例如热电偶测温时所依据的热电效应、压电晶体测力时所依据的压电效应、激光测速时所依据的多普勒效应等。一般说来,对应于任何一个信息,总可以找到多个与其对应的信号;反之,一个信号中也往往包含着许多信息。这种信息、信号表现形式的多样化给测试技术的发展提供了广阔的天地。一种物理量的测量可通过若干种不同的测量原理来实现,发现与应用新的测量原理,从事相应传感器的开发研究是测试工程技术人员最富有创造性的工作,选择合适的测量原理也是测试人员最为日常的工作。要选择好的测量原理,必须充分了解被测量的物理化学特性、变化范围、性能要求和外界环境条件等。这些都要求测试技术人员知识面广,具有扎实的基础理论和专业知识。

测量方法是指测量原理确定后,根据测量任务的具体要求所采用的不同的策略,包括:电测法或非电测法,模拟量测量法或数字量测量法,单次或多次测量,等精度或不等精度测量,直接测量或间接测量法,偏差测量法或零位测量法等。确定了测量原理和测量方法之后即可着手设计或选用各类装置组成测量系统,并对测量数据进行必要的整理加工、分析处理,得出符合客观实际的结论。

(3) 测试的方法与装置

测量的方法各种各样,从不同的角度出发,有不同的分类方法。

测量按手段的不同可分为直接测量和间接测量。直接测量就是用标定的仪表直接读取测量结果的方法,例如用电压表测量电压,用弹簧式压力表测量锅炉压力,用标准尺测量长度等;间接测量则首先确定被测量的函数关系式,然后对关系式中的有关量进行直接测量,最后将测量值代入函数关系式计算得出被测量的值。例如要测量长方体的密度 ρ ,其密度的单位为 kg/m^3 ,显然无法直接获得具有这种单位的量值,但是可以先测出长方体的边长 a 、 b 、 c 及其质量 m ,然后根据下式求得密度 ρ ,即

$$\rho = \frac{m}{abc} (\text{kg}/\text{m}^3)$$

间接测量比较麻烦,一般在直接测量很不方便或直接测量误差较大或缺乏直接测量仪器时才被使用。一般来说,间接测量法所需要测量的量较多,测量和计算的工作量很大,引起误差的因素也较多。但是如果对误差进行分析并选择和确定具体的优化测量方法,在比较理想的条件下进行间接测量时,测量结果的精确度不一定低,有的甚至有较高的精确度。

按结果显示方式的不同,测量还可分为模拟式测量和数字式测量,精密测量时一般采用数字式测量方法。按被测量变化的快慢可分为静态测量和动态测量。按测量时是否与被测对象接触可分为接触式测量和非接触式测量。一般非接触式测量不影响被测对象的运行情况。

监视生产过程或在生产流水线上监测被加工工件的质量的测量称为在线测量;反之,称为离线测量。

进一步,根据测量的具体手段的不同,还可以分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量。下面简单介绍这3种测量方式的特点。

1) 偏差式测量

以仪表指针的偏移量表示被测量的测量方式称为偏差式测量。在偏差式测量仪器中,被测量对仪器产生某种物理效应,此物理效应引起仪器的某一部件产生与它大小相等但方向相反的反作用。在测量过程中,反作用与被测量所产生的物理效应相平衡。位移或偏移所对应的标尺刻度值就表示被测量值。例如:用磁电式电流表测量电路中的电流,当有电流流入电流表时,在电磁力的作用下,经传动机构带动指针转动并压缩表内的弹性元件,若弹性元件的反作用力矩与电磁力矩平衡,指针就稳定指示在刻度盘的某个位置。若该电流表的刻度已用标准量具进行校准,则该位置就对应于所测电流的值。目前在工程测量中,大多数的测量仪表都依据的是这个原理。这种仪表结构简单、直观、经济,应用较广,但精度不高。在这种测量方式中,必须事先用标准量具对仪表刻度进行校正。显然,采用偏差式测量的仪表内不包括标准量具。偏差式测量易产生灵敏度漂移和零点漂移。例如,随着时间的推移,弹性元件的刚度发生变化,读数就会产生误差。所以,必须定期对偏差式仪表进行校验和校准。

2) 零位式测量

在测试过程中,将被测量与仪表内部的标准量进行比较,当测量系统达到平衡时,用已知标准量的值决定被测量的值,由指零仪表的零位指示来测试测量系统的平衡状态。这种测量方式称为零位式测量。很明显,在零位式测量仪表中,标准量具是装在测量仪表内的。同样,零位式仪器要求适当施加一种像被测量在偏差式仪器中所引起的反作用。但此反作用是使

零位式仪器的偏差保持在零值状态。所以,零位式仪器需要一只指零器,即不平衡测试器和一个使测量系统恢复平衡的装置。这样,在测量过程中,指零器就能指示出测量系统处于平衡状态还是处于不平衡状态。不平衡时,可通过平衡恢复装置使系统达到平衡。同时,平衡恢复装置能准确地指示出反作用的数值,该数值就是被测量的量值。例如用天平测量物体质量、用平衡式电桥测量电阻值等均属于零位式测量。这种测量方法的优点是可以获得高的测量精度,但测量过程中要进行平衡运行,速度不快,平衡复杂,适用于测量变化较为缓慢的信号,在工程实践和实验室中应用也很普遍。

3) 微差式测量

微差式测量法综合了偏差式测量方法速度快和零位式测量方法精度高的优点,测量时预先使被测量与测量装置内部的标准量取得平衡。当被测量有微小变化时,测量装置失去平衡,并指示出其变化部分的数值。也就是说,整个测量分两步进行:第一步,将被测量基本工作点与标准量进行比较,即被测量与测量装置内部的标准量进行比较,调节达到平衡状态;第二步,在前面的基础上,当被测量有微小变化时,测量装置便失去平衡,此时仪表的指示值就是变动部分的值。由于不需要平衡调整,故大大提高了测量速度。例如用天平测量药品的质量,当天平平衡之后,又增添少许药品,天平将失去平衡。这时,即使用最小的砝码也称不出这一微小的差值,但可以从天平指针在标尺上移动的格数来读取这一微小差值。

自动测试系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号等诸多系统的总称,其原理框图如图 0.2 所示。自动测试系统一般由传感器、信号处理器、显示器、数据处理装置和执行机构五部分组成。



图 0.2 自动测试系统框图

传感器是能将被测的非电量转换成电量的敏感器件,是连接被测对象和测试系统的接口。它提供给系统赖以进行处理和决策所必需的原始信息,是现代自动控制技术的起点,在很大程度上决定了系统的功能,属于关键性器件。

信号处理器的作用是把传感器输出的电量变成具有一定驱动和传输能力的信号(如电压、电流、频率等),以推动后级的数据处理装置、显示电路及执行机构。

目前常用的显示器有 4 类:模拟显示、数字显示、图像显示及记录仪。模拟显示是利用指针在标尺上的相对位置来表示读数的,常见的有毫伏表、微安表、模拟光柱等。

目前数字显示多采用发光二极管(LED)和液晶显示器(LCD)等,以数字的形式来显示读数。前者亮度高、耐振动、可适应较宽的温度范围;后者耗电低,集成度高。目前还研制出了带背光板的 LCD,便于在夜间观看 LCD 显示的内容。

图像显示是用 CRT 或点阵式的 LCD 来显示读数或显示被测参数的变化曲线,有时还可以用图表或彩色图等形式来反映整个生产线上的多组数据。

记录仪主要用来记录被测试对象的动态变化过程,常用的有笔式记录仪、高速打印机、绘

图仪、数字存储示波器、磁带记录仪等。

数据处理装置用于对测试所得的实验数据进行处理、运算、分析,对动态测试结果作频谱分析(如幅值谱分析、功率谱分析)和相关分析等,完成这些任务必须采用计算机技术。

数据处理的结果通常送到显示器和执行机构中去,以显示运算处理的各种数据或控制各种被控对象。在不带数据处理装置的自动测试系统中,显示器和执行机构由信号处理器直接驱动。

执行机构通常是指各种接触器、电磁铁、电磁阀门、电磁调节阀、伺服电动机等,它们是在电路中起通断、控制、调节和保护等作用的电器设备。许多测试系统能输出与被测量有关的电流或电压信号,作为自动控制系统的控制信号来驱动这些执行机构。

(4) 测试技术的作用

人类对客观世界的认识和改造总是以测试工作为基础的。人类在从事早期生产活动时,就已经开始对长度(距离)、面积、时间和质量进行测量了,其最初的计量单位与自身生理特点相联系(如长度),或与自然环境(如时间)相联系。

工程技术中的研究对象往往十分复杂,有些实际问题必须依靠实验研究来解决,而通过测试工作积累原始数据是工程设计和研究中的一项十分艰巨且十分重要的工作。

随着社会的进步和发展,自动测试技术已成为一些发达国家最重要的热门技术之一,它可以给人们带来巨大的经济效益,并促进科学技术飞跃发展,因此在国民经济中占有极其重要的地位。

在实际工业生产中,测试技术涉及的内容极为广泛,如表 0.1 所示。

表 0.1 工业测试技术的内容

被测量类型	被测量	被测量类型	被测量
热工量	温度、热量、比热容、热流、热分布、压力(压强)、压差、真空度、流量、流速、物位、液位、界面	物体的性质和成分量	气体、液体、固体的化学成分以及浓度、黏度、湿度、密度、酸碱度、浊度、透明度、颜色
机械量	直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量(重量)	状态量	机械的运动状态(启停等)、设备的异常状态(超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等)
几何量	长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平行度、同轴度、表面粗糙度、硬度、材料缺陷	电工量	电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度、材料的磁性能

在国防科研中,测试技术极为重要,应用也极为广泛,而且许多测试技术是随着国防科研的需要而发展起来的。人们的日常生活更是离不开测试技术,如家庭煤气泄漏自动报警装置、空气温度的测试装置等。目前,自动测试技术已渗透到各行各业和人们生活的方方面面,可以说,测试技术直接影响着人类文明的发展和人类社会的进步。

(5) 测试技术的发展

现代科学技术的迅猛发展为测试技术的进步和发展创造了条件,同时也不断地向测试技术提出更新、更高的要求。尤其是计算机技术和微电子技术的发展,使得测试技术和仪器仪表得到了划时代的进步和发展。将测量和控制自然地组合在一起的“测控技术与仪器”专业近年来以异乎寻常的速度发展,受到普遍欢迎。可以预见,伴随着我国由制造大国向制造强

国发展的步伐,这种发展趋势将变得越来越强劲。

电子测量仪器的发展,围绕着如何更好地实现自动测试这一核心技术,大体经历了5个阶段:模拟仪器、数字化仪器、智能仪器、虚拟仪器和合成仪器。

1) 模拟仪器

这类仪器在多数实验室中仍能看到,如指针式万用表、晶体管电压表等。它们的基本结构是电磁机械式,借助于指针来显示测量结果。

2) 数字化仪器

这类仪器目前相当普及,如数字电压表、数字频率计等。这类仪器将模拟信号的测量转化为数字信号测量,并以数字方式输出测量结果,适用于需要快速响应和较高准确度的测量。

3) 智能仪器

通常,人们把内含微处理器和通用标准接口总线(GPIB, Geneml Purpose Interface Bus)的仪器称为智能仪器,以区别于传统的电子测量仪器。这种仪器具备通用的测试功能,可以单独使用,也可以通过 GPIB 接口作为可编程仪器组建自动测试系统。这类仪器既能进行自动测试,又具有一定的数据处理能力,可取代部分脑力劳动,习惯上称为智能仪器。但由于其功能块都是以硬件(或固化的软件)的形式存在的,因而无论开发还是应用,都缺乏灵活性。

4) 虚拟仪器

虚拟仪器(VI, Virtual Instruments)是测试技术与计算机技术和通信技术有机结合的产物。它是在美国国家仪器(NI, National Instruments)公司于1981年提出的个人仪器(Personal Computer Instrument)的基础上发展起来的。虚拟仪器是指在通用计算机上添加一层软件和一些硬件模块,使用户操作这台通用计算机就像操作一台真实的仪器一样。虚拟仪器技术强调软件的作用,提出了“软件就是仪器”的概念。

虚拟仪器软件体系结构(VISA, Virtual Instrument Software Architecture)使得不管虚拟仪器使用的计算机或操作系统是什么,所编写的用户应用程序都是可移植的,从而使软件模块具有通用性。

自虚拟仪器概念提出以来,以软件代替硬件,以图形代替代码,以组态代替编程,以虚拟仪器代替真实仪器,组建自动测试系统的技术得到迅速发展。

5) 合成仪器

合成仪器(SI, Synthetic Instrument)是美国军方首先提出的概念,现已被公认为下一代自动测试系统(NxTest)的发展方向。合成仪器SI的核心思想是将传统仪器分割成一些基本功能模块,通过微处理器的软、硬件组合成仪器系统,并用标准接口对外连接,取代专用高端仪器并实现标定、校正等功能,完成不同的测量任务,并建立开放的软、硬件平台,为各军种武器系统提供维护和保障。例如,将频谱分析仪、射频功率计、波形分析仪、时间/频率测试仪和交直流电压测量等7种仪器的功能用合成仪器模块来实现。合成仪器代表了自动测试系统未来的发展方向,开展对合成仪器软、硬件平台的研制具有非常重要的意义。

通常,将能自动进行测量、数据处理、传输,并以适当方式显示或输出测试结果的系统称为自动测试系统(ATS, Automatic Test System)。在自动测试系统中,整个测试工作都是由计算机在预先编制好的测试程序统一指挥下自动完成的。因此,自动测试系统有时也称为计算机辅助测试(CAT, Computer Aided Test)系统。

由于现代信息科学领域中的微电子技术、计算机技术、信号处理技术的高速发展,加速了

电子测量技术与仪器的变革,新的测量方法和理论、新的测量仪器和结构及新的测试领域正在不断出现,冲击着电子测量技术和仪器的传统观念。同时,网络技术迅猛发展,正渗透到各个领域,推动社会朝网络化方向发展。网络除了资源共享、传递文字、图像信息外,还可用来传递实时测控信息,实现异地监测与控制,组建一个庞大的远程自动测控系统。

以虚拟仪器和智能(程控)仪器为核心的自动测试技术在各个领域得到了广泛的应用,促使现代电子测量技术向着自动化、智能化、网络化和标准化方向发展。

(6) 本课程的任务和学习要求

本课程的任务是:在阐述测量基本原理的基础上,分析各种传感器如何将非电量转换为电量,并对相应的测量转换电路、信号处理电路及其在各领域中的应用作一介绍,同时也将适当地介绍误差处理、弹性元件、抗干扰技术、信号的处理与转换及自动测试技术的综合应用等知识。目的是使学生掌握各类传感器的基本理论、工作原理、转换电路、主要性能和特点以及自动测试技术的相关知识,从而使学生能合理地选择、使用传感器;了解传感器的发展动向和运用测试技术的相关知识解决各领域中的实际问题等。

由于本课程涉及机、电、光、热等多方面知识,学科面广,需要学习者有较广泛的基础和专业知识,学习本课程之前应有所准备。学习中要把握全书重点和各章重点,弄清基本概念,做到理论联系实际,富于联想、善于借鉴,重视实验和实训,这样才能学得活,学得好,才有利于提高今后解决实际问题的能力。

第 1 章

测试信号的描述与分析

自然界和工程实践中充满着大量的信息。获取其中的某些信息并对其进行分析、处理,揭示事物的内在规律和固有特性以及事物之间的相互关系,继而作出判断、决策等是测试工程的主要任务。信号是信息的载体,一个信号中包含着丰富的信息,它是测试工程师的原材料。人们在长期的生产斗争和科学实践中不断寻找反映信息内容的各种各样的信号,并研究这些信号之间的定性定量关系。对于各种不同信号,可以从不同角度进行分类。在动态测试技术中,常将信号作为时间函数来研究。按能否用明确的时间函数关系描述,可将信号分为确定性信号和随机信号两大类。

机械测试中的被测量信号一般都是时间的函数,反映着被测对象的状态或特性。根据信号分析理论、方法并采用适当的手段和设备,对信号进行变换与处理的过程称为信号分析。本章主要介绍机械工程测试中常见信号的分类和分析方法。

1.1 信号的表示与分类

1.1.1 信号的表示

信号作为一定物理现象的表示,它包含着丰富的信息,是研究客观事物状态或属性的依据。例如,旋转机械由于动不平衡产生振动,那么振动信号就反映了该旋转机械动不平衡的状态信息,因此它就成为研究旋转机械动不平衡的依据。为了从信号中提取有用信息,需要对信号进行多种不同变量域的分析,以研究信号的构成或特征参数的估计等。

数学上,信号可以表示为一个或多个自变量的函数或序列。例如以信号为例, t 是自变量,可以是时间变量,也可以是空间变量。

信号可以有多种方式来表示,但是在所有的情况下,信号中的信息总是包含在某种变化形式的波形之中。除时域波形之外,“频谱”也是信号的常用表示方法,它是频率的函数,与信号的时域波形一一对应。如果信号的频谱不是恒定的而是随时间变化的,那么还可以用“时频分析”方式更加准确地描述信号的频谱分布和变化。

由此可见,信号通常以时间域、频率域和时频域来表示,相应的信号分析则分为时域分

析、频域分析和时频分析。值得指出的是,对同一被分析信号,可以根据不同的分析目的,在不同的分析域进行分析,提取信号不同的特征参数。从本质上看,信号的各种描述方法仅是在不同域进行分析,从不同的角度去认识同一事物,并不改变同一信号的实质。而且信号的描述可以在不同的分析域之间相互转换,如傅里叶变换可以使信号描述从时域变换到频域,而傅里叶反变换可以从频域变换到时域。

1.1.2 信号的分类

为了深入了解信号的物理实质,有必要对其进行分类研究。对于机械测试信号(或测量数据),通常有以下几种分类方法:

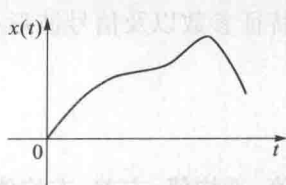
(1) 按所传递信息的物理属性分类

信号可分为机械量(如位移、速度、加速度、力、温度、流量等),电学量(如电流、电压等),声学量(如声压、声强等),光学量(如光通量、光强等)。

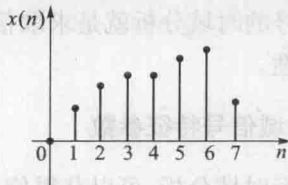
(2) 按照时间函数取值的连续性和离散性分类

信号可分为连续时间信号和离散时间信号。对于某一信号,若自变量 t 在某一个时间段内连续取值,称此信号为时间的连续信号。模拟信号属于时间连续信号,如图1.1(a)所示。

对于某一信号,若时间 t 只在一些确定的时刻取值,称此信号为时间的离散信号。图1.1(b)是将图1.1(a)中的连续信号进行等时间间距采样后的结果,它就是离散信号。模拟信号经计算机模数转换(A/D采样)后的数字序列是离散信号,也称数字信号。



(a) 连续信号



(b) 离散信号

图1.1 连续信号和离散信号

(3) 按照信号随时间变化的特点分类

信号可分为确定性信号和非确定性信号两大类。

1) 确定性信号

能够用明确的数学关系式描述的信号,或者可以用实验的方法以足够的精度重复产生的信号,属于确定性信号。确定性信号又可分为周期信号和非周期信号。

周期信号是经过一定时间可以重复出现的信号,它满足条件:

$$x(t) = x(t + nT) \quad (1.1)$$

式中, T 为周期, $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 。简谐(正、余弦)信号和周期性的方波、三角波等非简谐信号都是周期信号。

确定性信号中那些不具有周期重复性的信号称为非周期信号。非周期信号有准周期信号和瞬变非周期信号两种。准周期信号是由两种以上的周期信号合成的,但各周期信号的频率相互之间不是公倍关系,无公有周期,其合成信号不满足周期信号的条件,例如:

$$x(t) = \sin t + \sin \sqrt{2}t \quad (1.2)$$

这是两个正弦信号的合成,其频率比不是有理数,无法按某一时间间隔重复出现。在机