



21 世纪高等学校机械设计
制造及其自动化专业系列教材

工程测试技术基础

曾光奇 胡均安 主编

卢文祥 主审



A1002008

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程测试技术基础/曾光奇 胡均安 主编
武汉:华中科技大学出版社, 2002年3月
ISBN 7-5609-2668-1

I. 工…
II. ①曾… ②胡… ③卢…
III. 工程测试-自动检测
IV. TB22

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
工程测试技术基础

曾光奇 胡均安 主编
卢文祥 主审

责任编辑:钟小珉
责任校对:蔡晓璐

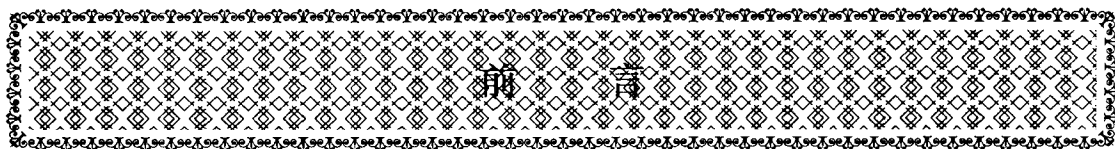
封面设计:潘 群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社 武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室
印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16	印张:19.5	字数:360 000
版次:2002年3月第1版	印次:2002年3月第1次印刷	印数:1—3 000
ISBN 7-5609-2668-1/TB·52		定价:22.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)



前言

1998 年教育部颁布了新的普通高等学校专业目录,这是我国教育的重大举措之一。华中科技大学出版社在这世纪之交,顺应教育的时代潮流,为了满足各高校开办“机械设计制造及其自动化”宽口径新专业的需要,努力推出了“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。这套系列教材是在众多院士的支持与指导下,由全国 20 多所高等院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师经过多年辛勤劳动编写而成。本书就是这套系列教材之一。

21 世纪工程教育的一个基本特征就是“适应性”,就是坚持邓小平同志指出的“三个面向”的教育思想。为了适应科学技术和社会、经济的发展,培养高质量的适应 21 世纪所需要的人才,本着整合、拓宽、更新和更加注重应用的原则,本书在内容、体系等方面进行了诸多重要的改革,因此,这是一部具有较大改革力度的教科书。

全书共九章。前六章着重测试流程主线基础理论的论述,主要内容有:信号分析基础,测试装置的静、动态响应特性,工程中常用传感器的转换原理及应用,智能化传感器简介(其中包括智能传感器和模糊传感器),信号调理方法,记录及存储仪器等;后三章主要突出应用,主要内容有:信号分析仪及微机测试系统,虚拟仪器及工程应用,典型非电量参量的测量方法(包括振动测量及位移、速度、噪声、温度、压力等参量的测量)等。

书中基础理论部分沿测试流程主线逐次论述,条理清晰,分析透彻;应用部分列举了大量实例,这些实例来自于科研及生产实践。尤其更具特色的是,书中较多及较好地吸取了当代的新理论和新技术研究成果。因此,本书既能方便于教学和自学,也能供科研、设计和其他工程技术人员借鉴。

本书可作为机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为其他机类和非机类专业的教材,也可作为高职院校的教科书,并可作为相关工程技术人员的参考书。

从教学和教学改革实践得知,各学校的教学计划,特别是在教学要求、课时数和课程安排次序等方面有一定的差异。因此,采用此书教学时,切忌“千篇一律”的模式,主张因史制宜、因势制宜,实现教学模式的多样化。因此,任课教师可根据本校的专业特点、学生层次、课时数多少和前修课程来适当地删减、调整和补充教学内容,以便适应各高校的教学实际需要。

参加本书编写工作的有:武汉科技学院曾光奇、丁忠民,湖北工学院胡均安、何涛、张道德、肖莉,华中科技大学郑定阳,上海应用技术学院张培芝,瑞典伊莱克斯公司亚洲分公司宋时涛等。本书由曾光奇教授和胡均安教授任主编,宋时涛、张培芝、何涛、郑定阳任副主编。

本书由华中科技大学卢文祥教授主审。

在本书的编写过程中,得到了武汉科技学院、湖北工学院、华中科技大学及华中科技大学出版社的领导和同志们的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

当然,由于编者学术水平有限,改革探索经验不足,书中错误和缺点在所难免,殷切期望同行专家及读者们不吝赐教,多加批评与指正。

编者

2002年2月



工程测试技术基础

绪论	(1)
第一章 信号分析基础	(6)
1-1 信息与信号的基础知识	(6)
1-2 信号分类	(9)
1-3 周期信号的特征	(10)
1-4 非周期信号的特征	(15)
1-5 随机信号的特征	(29)
习题	(42)
第二章 测试装置的静、动态响应特性	(44)
2-1 测试装置的静态响应特性	(44)
2-2 测试装置的动态响应特性	(46)
2-3 不失真测试的条件	(54)
2-4 测试装置对典型输入信号的响应	(55)
习题	(57)
第三章 工程中常用传感器的转换原理及应用	(59)
3-1 传感器概述	(59)
3-2 工程中常用的传感器及其分类	(60)
3-3 电阻式传感器	(65)
3-4 电容式传感器	(71)
3-5 电感式传感器	(77)
3-6 磁电式传感器	(81)
3-7 压电式传感器	(84)
3-8 磁敏传感器	(89)
3-9 热敏传感器	(91)
3-10 气敏传感器	(96)
3-11 超声波传感器	(99)

3-12	光电传感器	(103)
3-13	光纤传感器	(108)
3-14	CCD 传感器	(110)
3-15	生物传感器	(113)
	习题	(120)
第四章	智能化传感器简介	(123)
4-1	智能传感器	(123)
4-2	智能模糊传感器	(128)
	习题	(142)
第五章	信号调理方法	(143)
5-1	电桥转换原理	(143)
5-2	信号的调制与解调	(149)
5-3	滤波器原理	(159)
5-4	模拟-数字转换原理	(170)
	习题	(176)
第六章	记录及存储仪器	(177)
6-1	磁带记录器	(177)
6-2	磁盘存储器	(185)
6-3	光盘记录器	(190)
	习题	(194)
第七章	信号分析仪及微机测试系统简介	(195)
7-1	信号分析仪简介	(195)
7-2	微机测试系统简介	(205)
7-3	微机测试系统应用实例	(211)
	习题	(215)
第八章	虚拟仪器及工程应用	(216)
8-1	虚拟仪器概述	(216)
8-2	虚拟仪器硬件	(218)
8-3	虚拟仪器软件的开发平台及应用	(221)
8-4	虚拟仪器应用	(231)
	习题	(234)
第九章	典型非电量参量的测量方法	(235)
9-1	振动测量	(235)
9-2	位移测量	(245)

9-3 速度测量	(256)
9-4 噪声测量	(262)
9-5 温度测量	(272)
9-6 压力测量	(285)
习题	(291)
参考文献	(293)



工程测试技术基础

人类对客观世界的认识和改造活动,总是以测试工作为基础的。工程测试技术,就是利用现代测试手段对工程中的各种物理信号,特别是随时间变化的动态物理信号进行检测、试验、分析,并从中提取有用信息的一门新兴技术。其测量和分析的结果客观地描述了研究对象的状态、变化和特征,并为进一步改造和控制研究对象提供了可靠的依据。随着各相关学科不断发展,测试理论在不断地发展,测试方法和手段也在不断地完善和提高,新的测试仪器和设备也在不断地研制和更新。测试技术达到的水平越高,就越能客观、准确地描述所研究的对象,对科学技术发展的推动作用也就越大。

(一)测试技术在现代工业生产中的作用

在各工业生产部门中,测试技术都是一项重要的基础技术,其作用是其他技术所不能替代的。

在早期工业生产中,由于生产效率低,自动化程度低,设备精度和加工精度要求低,因此对测试工作没有过高的要求,往往只是孤立地测量一些与时间无关的静态量。其测量方法、测量工具以及数据处理方法等都很简单。在现代工业生产中,随着生产效率、自动化程度、设备精度和加工精度要求的不断提高,随着各种机电一体化新产品、新设备的不断开发,提出了自动检测、自动控制、过程测量、状态监测和动态试验等方面的迫切要求,从而使现代测试技术得到了迅速发展和愈来愈广泛的应用。

在自动化生产过程中,对工艺流程、产品质量和设备运行状态的监测和控制是测试技术的重要应用之一。利用现代测试技术,可以实时检测生产过程中变化的工艺参数和产品质量指标,并据此对整个自动生产线进行调节和控制,使其达到最佳运行状态,生产出合格产品。例如,在图 0-1 所示的由计算机控制的自动化轧钢系统中,需要根据轧制力和板材厚度信息来调整轧辊的位置,以保证板材的轧制尺寸。由于轧制速度很高,采用传统的间断测量和手工控制方法已经不行了,必须采用连续测量方法(板厚测量还须采用非接触测量方式)。同时,测量的结果要转换成电信号送入到通信系统中进行处理,以便计算机能进行分析、计算并发出控制指令。在其他类似的计算机过程控制系统中,首先要解决的问题也是利用现代测试技术对物理信号进行检测与转换。

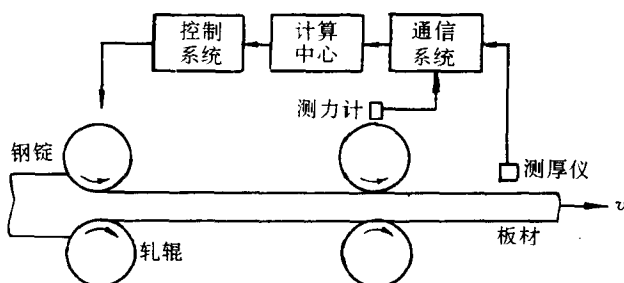


图 0-1 自动化轧钢系统

各种自动化机电设备在运行过程中都会受到力、热、摩擦和磨损等多种因素的影响,工作状态将不断地发生变化,有时还会出现故障。为了保证设备的正常工作,要求随时进行设备状态的监测,并对故障进行诊断,为此,需要用到许多现代测试手段。图 0-2 是某机床工作状态监测情况示意图。

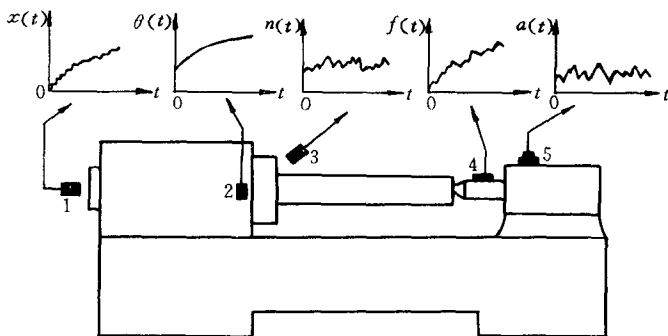


图 0-2 某机床工作状态监测系统

1—用电感式位移计测主轴系统热变形;2—用热电偶测主轴系统温升;

3—用电容式拾音器测噪声;4—用电阻应变式传感器测切削力;

5—用压电式加速度计测振动

随着各种机电产品的精度要求和工作性能的提高,产品设计方法正在从传统的静态设计方法向考虑了动态参数的设计方法转变。因此,在产品的设计和试制过程中,需要进行动态特性试验,以达到优化设计的目的。现代测试技术是进行动态特性试验的必要手段。

目前,对传统产业的改造工作正在各行各业中深入进行。其中,电子技术和机电一体化技术的应用在这项工作中起着重要作用。而机电一体化技术发展的必要条件之一,就是不断研究和开发各种先进的测试手段、传感装置和测试设备。

总之,现代工业生产面临着新技术发展的挑战,在生产能力大幅度提高的工业文明进程中,现代测试技术无疑会发挥愈来愈重要的作用。

(二)测试工作的范围及测试系统的组成

测试技术的应用非常广泛,几乎在所有行业中都有应用。测试工作又是一项非常复杂的工作,它是多种学科知识的综合运用。特别是现代测试技术,几乎应用了所有近代新技术和新理论,如半导体技术、激光技术、光纤技术、声控技术、遥感技术、自动化技术、计算机应用技术,以及数理统计、控制论、信息论等。从广义的角度来讲,测试工作的范围涉及到试验设计、模型理论、传感器、信号加工与处理、控制工程、系统辨识、参数估计等诸学科的内容;从狭义的角度来讲,是指对物理信号的检测、变换、传输、处理直至显示、记录或以电量输出测试结果的工作。本课程主要是从狭义的角度来介绍测试工作的基本过程和基本原理。

在机械工程中,测试的量主要是一些非电的物理量,如长度、位移、速度、加速度、频率、力、力矩、温度、压力、流量、振动、噪声等。用现代测试技术测量非电量的方法主要是电测法,即将非电量先转换为电量,然后用各种电测仪表和装置乃至电子计算机对电信号进行处理和分析。在电量中,有电能量和电参量之分。如电流、电压、电场强度和电功率属于电能量;而描述电路和波形的参数,如电阻、电容、电感、电频率、相位则属于电参量。由于电参量不具有能量,在测试过程中还需要将其进一步转换为电能量。电测方法具有许多其他测量方法所不具备的优点,如测量范围广、精度高,响应速度快,能自动、连续地测量,数据的传送、存储、记录、显示方便,可以实现远距离遥测遥控;还可以与计算机系统相连接,实现快速、多功能及智能化测量。

典型电测方法的测量过程如图 0-3 所示。

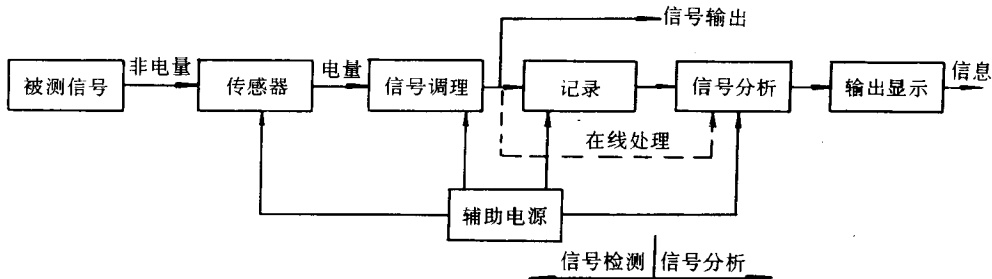


图 0-3 典型电测方法的测量过程

被测信号一般都是随时间变化的动态量,对测试过程中不随时间变化的静态量,由于其中往往混杂有动态的干扰噪声,一般也可以按动态量来测量。由于被测信号是被测对象特征信息的载体,并且信号本身的结构对选用测试装置有着重大影响,因此应当熟悉和了解各种信号的基本特征和分析方法。

传感器是测试系统的第一个环节,其主要作用是感知被测的非电量和将非电量转换为电量。传感器的种类很多,所能检测的非电量几乎无所不包。传感器的工作原理涉及到许多自然学科。从理论上讲,凡是具有确定因果关系的物理现象、化学现象、生物现象等,都能作为传感器的设计依据。

传感器输出的电信号需要经过信号调理电路进行加工、处理后,才能进一步输送到后续记录装置和分析仪器中。常见的调理方式有衰减、放大、转换、调制和解调、滤波、运算、数字化处理等。

调理电路输出的测量结果是被测信号的真实记录,为了显示被测量的变化过程,可以采用光线示波器、笔录仪、屏幕显示器、打字机等输出装置。此外,还可以用磁记录器来存储被测信号,以供反复使用。至此,测试系统已完成信号检测的任务。但是,要从这些客观记录的信号中找出反映被测对象的本质规律,还必须对信号进行分析,从中提取一些有用的信息,如信号的强度信息、频谱信息、相关信息、概率密度信息等。从这个意义上讲,信号分析是测试系统中更为重要的一个环节。

信号分析设备种类繁多,有各种专用的分析仪,如频谱分析仪、相关分析仪、概率密度分析仪、传递函数分析仪等;也有可以作多项综合分析用的信号处理机和数字信号处理系统。计算机在现代信号分析设备中起着重要的作用,目前国内外一些先进的信号处理系统,都采用了专用或通用计算机,使信号的处理速度达到了“实时”。将调理电路输出的信号直接送到信号分析设备中进行处理,称之为在线处理。由于数字电路和计算机高速处理数据的能力,使在线测试和处理已成为可能,而且在工程测试和工业控制中得到愈来愈广泛的应用。

信号分析设备可以通过数据或图像的形式输出人们感兴趣的信息。常用的输出显示装置有示波器、显示屏、打印机等。

在实际测试过程中,根据测试目的不同,测试系统可繁、可简。例如,有的被测对象还需要进行激励,使其达到测试所要求的预定状态;而有的被测物理量只需一种简单的测量仪表,即可得到测量结果。本课程基本上按照以上典型的测试过程,对各个测试环节的基本原理、基本理论和基本方法作一些分析和介绍。

(三)测试科学在现代科学中的地位

现代科学认为,物质、能量、信息是物质世界的三大支柱,是科学史上三个最重要的概念。例如,对一个自动控制系统来说,物质使其具有形体,没有物质,就不会有这个系统的存在;能量使其具有力量,没有能量,系统就不能工作;信息则使系统具有“灵魂”,没有信息,系统就不知应如何工作。物质、能量、信息是三位一体,相辅相成的,三者之中,驾驭全局的是信息。

与三大支柱相对应,现代科技形成了三大基本技术,即新材料技术、新能源技术和信息技术。信息技术是指可以扩展人的信息功能的技术,其主体内容是传感技术、通信技术和计算机技术。

传感技术是人的感官功能的扩展和延伸,包括信息的识别、检测、提取、变换等功能;通信技术是人的信息传输系统(神经系统)功能的扩展和延伸,包括信息的变换、处理、传递、存储以及某些控制和调节等功能;计算机技术是人的信息处理器官(大脑)功能的延伸,包括信息的存储、检索、处理、分析、产生决策、控制等功能。传感、通信和计算机技术构成了信息技术的核心,被称为“3C”技术,即 Collection(信息收集)、Communication(通信)和 Computer(计算机)。测试科学就是研究信息技术中的普遍规律,因此属于信息科学范畴。在科学研究中,现代测试技术具有自己独特的地位。

(四)本课程的特点和学习要求

本课程是一门专业基础课程,研究对象主要是机电工程中动态物理量的测试原理、方法及常用的测试装置。本课程涉及的知识面较宽,在学习本课程之前,应具有物理学、工程数学(概率论与随机过程、复变函数、积分变换)、电子学、微机原理、控制工程基础等学科的知识,以及某些相关的专业课知识。

通过本课程的学习,学生应掌握动态测试技术的基本知识,对动态量的测试过程应有一个完整的概念,为今后深层次的学习打下基础。本课程要掌握的要点如下:

(1)了解测试技术在现代工业生产、技术改造以及新产品研究开发中的重要作用;测试科学与信息科学的关系;非电量电测方法的典型测量过程。

(2)掌握信号的分类及其在时域和频域内的描述方法,建立明确的信号频谱概念;掌握信号的时域分析、相关分析和功率谱分析方法。

(3)掌握测试装置的静、动态特性的评价方法和不失真的测试条件;低阶系统动态特性的测定。

(4)了解常用传感器的工作原理、基本特性、使用范围;传感器的选用原则。

(5)掌握常用信号调理方法的原理及应用;了解数字信号分析、处理的基本概念。

(6)了解常用记录装置的工作原理及应用。

(7)通过对机电工程中常见参量测试方法的介绍,初步了解测试技术在工程中的应用。

本课程同时具有很强的实践性,应加强实验环节,培养学生独立进行科学实验的能力;学生在学习过程中应联系实际,注意了解本课程知识在其他专业课程和专业基础课程中的应用情况。



信号分析基础

被测物理量往往通过测量装置转变成电信号并加以记录。记录的信号是分析事物的依据,其中蕴藏着大量有用信息。信号分析的任务,就是从信号中提取各种信息。本章将在介绍信息与信号基本知识的基础上,着重介绍工程中常用的一些信号描述和信号分析方法。

1-1 信息与信号的基础知识

信息是对事物运动状态和方式的描述,是人们认识世界和改造世界所必须获取的东西。例如,为了变革某个事物,首先必须获得关于该事物的信息,然后通过所获得的信息进行分析和处理,从而得到对该事物必要的认识,产生相应的判断,才能着手变革这个事物。

信息论是信息科学的理论基础,是运用数理统计方法研究信息的获取、变换、传输与处理的一门新兴学科。广义信息论已广泛地渗透于各种科学领域。将信息论引入工程测试领域,对于促进工程技术的发展,拓宽和深入理解工程技术的各种问题,具有十分重要的意义。

信息与信号是互相联系的两个不同的概念。信号不等于信息,它是信息的载体;而信息则是信号所载的内容。所谓测试过程,就是检测信号,并从信号中获取信息的过程。也就是说,通过测试得到电信号,再经过对电信号的分析和处理,最后从这些信号中获取所需要的信息。所以,首先了解一些信号和信息的基础知识是十分必要的。

一、信息的定义

信息比较抽象,有关信息的概念及其数学模型的研究,还在不断深入;有关信息的定义,也是一个值得进一步探讨的问题。

信息的定义有多种,但其中经典的、有代表性的定义有两条。其一是控制论的创始人之一,美国数学家维纳(N. Wiener)指出:“信息就是信息,不是物质也不是能量。”他的这个论断在信息与物质和能量之间划了一条界线。其二是另一位英国数学家、信息论的奠基人山农(C. E. Shannon)指出的:信息是“能够用来消除不定性的东西”。所谓不定性,就是“具有多种可能而难以确断”。熵是不定性程度的度量,熵的减少就是不定性的减少。山农的信息定义虽然得到了度量信息的方法,但是这个定义也有局限性,它只描述了信息的功能,并没有正面回答“信息

是什么”的问题。后来,被波里昂(L. Brilloun)等人引申为“信息就是负熵”,并且他们进一步提出:“信息是系统有序性和组织程度的度量”。

随着对信息认识的不断深入,信息的定义也被推广。事物运动的状态和方式具有不定性。人们不知道事物处在什么运动之中,也不知道事物会以什么方式来运动。而要消除这种不定性,唯一的办法就是要了解事物运动的具体状态和方式,也就是说,要得到信息。因此,广义的信息定义为:描述事物运动的状态和方式。这种广义的定义,统一了维纳、山农等人的定义,既能从概念上抓住信息的本质,又能为定量描述和度量提供可行的方法。

二、信息的性质

由信息的定义,可以概括出信息具有以下一些重要的性质:

- (1)信息来源于物质运动,又不等同于物质;
- (2)信息与能量息息相关,又互相异质,获得信息需要能量,控制能量又需要信息;
- (3)信息可以识别,可以通过人的感官直接识别,也可以通过各种探测器间接识别;
- (4)信息可以转换,可以从一种形态转换成另一种形态,如语言、文字、图像、图表等信号形式,可以转换成计算机代码及广播、电视等电信号,而电信号和代码又可以转换成语言、文字、图像等;
- (5)信息可以存储,人用脑神经细胞存储信息(称作记忆);计算机用内存储器 and 外存储器存储信息;录音机、录像机用磁带存储信息等;
- (6)信息可以传输,人与人之间的信息传输依靠语言、表情、动作,社会信息的传输借助报纸、杂志、广播,工程中的信息则可以借助机械、光、声、电等传输。

一般说来,信息是比较抽象的。虽然它很抽象,却可以被观察者(包括人、生物以及人造的仪器设备)所感知、检测、提取、识别、存储、传输、显示、分析、处理和利用,且为众多的观察者所共享。它是决策的依据,控制的基础和管理的保证。

三、信息科学

信息科学是以信息为主要研究对象,以信息的运动规律和应用方法为主要研究内容,以计算机为主要研究工具,以扩展人类的信息功能(特别是智力功能)为主要研究目标的综合性科学。

信息科学的研究范畴为:进一步探讨信息的本质;建立信息的完整描述和度量的方法;研究信息是如何产生,如何检测、提取、变换、传输、存储、处理、识别等规律和关系;揭示利用信息进行控制,实现组织最优系统的一般原理及方法。这个范畴包括了认识和利用两个方面的问题,其主体是信息论、控制论和系统论,以及由它们派生出来的人工智能。其中,信息论主要涉及信息的认识问题,控制论和系统论主要涉及信息的利用问题。显然,认识是基础,利用是目的,两者之间的有机结合就成为一门完整的科学。

信息科学还发展了一套独特的方法论,即以信息论为背景的信息分析综合法;以控制论为背景的功能模拟法;以系统论为背景的系统整体优化法。它们互相联系组成了有机的整体——信息科学方法论。

四、信息技术

按照对信息和信息科学的理解,可以认为,凡是能够扩展人的信息功能的技术,都是信息技术。信息技术中比较典型的代表,是传感器技术、通信技术和计算机技术。它们大体上相当于人的感觉器官、神经系统和思维器官。传感或信息收集技术、通信技术及计算机技术,是信息技术的核心。

五、信息的描述

通常对于信息论有三种理论:①狭义信息论,主要研究信息的测度、信道容量以及信源和信道编码理论等;②一般信息论,主要研究通信问题,但也包括噪声理论,信号滤波与预测,信号调制与信号处理等;③广义信息论,不仅包括上述内容,而且还包括与信息有关的领域,如心理学、遗传学、神经生理学、语言学,甚至包括社会学中有关信息的问题。

山农的贡献在于,运用概率论与数理统计学的方法,对信息给予了数学描述和从定量的角度去度量。从而使信息论作为一门科学建立起来。自1948年山农理论发表后,信息论被认为是二次世界大战后的一门新兴科学。

随着科学技术的发展,源于通信工程的信息论,已经广泛地渗透到其他科学技术领域中,超越了狭义的通信工程的范畴,形成为广义信息论。广义信息论中的通信系统是泛指所有信息流通的系统,如生物有机体的神经系统、人类社会的管理系统、工程物理系统等等。广义信息论中的信息来源,即信源,就是所研究的客观事物,其输出是随机性的,是不确定性的。这种不确定性是客观存在的,一旦信源的输出经过变换、传输、处理而被人们所理解,就消除了不确定性,获得了信息。如果事先已经知道信源的输出,那么就无信息可言。因此,山农信息理论的基本假设是信源的输出为随机变量,即随机信息量。其大小用被消除的不确定性的多少来衡量。而事物不确定性的大小,可以用概率分布来描述。

六、信息技术在工程测试中的应用

工程测试是为了获取有关研究对象的状态、运动和特征方面的信息。从信息论的观点出发,深入理解工程测试中的有关问题,对工程测试有很大的促进作用。20世纪60年代以来,信息论及信息技术逐步引入到测试技术领域。例如:用信息论中广义通信系统来分析、解释测试系统;传感器被认为是信息检测与转换的装置;用熵的概念,作为评价被测对象不确定性的尺度;用山农信道容量理论来分析测试系统的最佳信息传输条件;在信息处理中,采用时序建模方法的最大熵谱分析,以及用维纳滤波,等等。实践表明,在工程测试领域中,运用信息论、信息

技术来认识、分析、处理问题是卓有成效的。

七、信息与信号

信号是信息的载体,是物质,具备能量;信息是信号所载的内容,不等于物质,不具备能量。同一个信息,可以用不同的信号来运载。例如,街道上的红灯,是用灯光信号来运载和表示交通的指挥信息的;而同样的信息也可以通过交警的手势这样的信号来表示。甚至,这个信息还可以通过口令这种声音来表示。反过来,同一种信号也可以运载不同的信息。由此可见,信息和信号并不是同一概念。

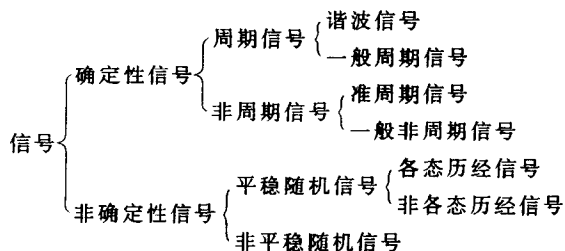
信息是客观存在或运动状态的特征,它总是通过某些物理量的形式表现出来,这些物理量就是信号。从信号的获取、变换、加工处理、传输、显示、记录和控制等方面来看,以电量形式表示的电信号最为方便。所以本书所指测得的信号,一般为随时间而变化的电量——电信号。

被研究对象的信息量是非常丰富的。测试工作总是根据一定的目的和要求,获取有限的、观察者感兴趣的某些特定的信息。例如,研究单自由度的质量-弹簧系统,感兴趣的是该系统的固有频率和阻尼比,所以,可以通过系统中的质量块的位移-时间历程信号来提取信息,而对系统运动中弹簧的微观表现信息则可以舍去。测试工作总是要用最简捷的方法获取和研究与任务相联系的、最有用的、表征对象特性的有关信息,而不是企图获取该事物的全部信息。这样,就要求善于从信号中提取有用的信息。

为了存储、传输、读取或反馈有用信息,常常需要把信号作必要的变换,使得信息从信源点尽可能真实地传输到信宿。整个过程要求既不失真,也不受干扰。严格地说,就是要在外界严重干扰的情况下,能够提取和辨识出信号中所包含的有用信息。

1-2 信号分类

信号按其变化规律可分类如下:



可以用数学关系式或图表精确描述的信号称为确定性信号;反之,不能用数学关系式或图表精确描述的信号称为非确定性信号或随机信号。在同样测量条件下重复测量,确定性信号的测量结果在一定误差范围内保持不变,而非确定性信号的测量结果每次都不相同,工程上常以

此来判断一个信号是确定性还是非确定性信号。

在确定性信号中,每隔一定时间 T 重复取值的信号称为周期信号。周期信号满足下述关系式:

$$x(t) = x(t + nT) \quad (1-1)$$

周期信号周期 T 的整数倍 nT 仍然是其周期。若无特别声明,周期信号的周期 T 均指其最小周期。

在周期信号中,按正弦或余弦规律变化的信号称为谐波信号。谐波信号是最简单、最重要的一类周期信号。

谐波信号的一般表达式为

$$x(t) = X \cos(\omega t + \varphi) \quad (1-2)$$

式中, X 称为谐波信号的幅值; ω 称为谐波信号的圆频率; φ 称为谐波信号的初相位。谐波信号的周期 T 与圆频率 ω 的关系为

$$\omega T = 2\pi \quad \text{或} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1-3)$$

周期的倒数称为频率,记为 f ,即

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (1-4)$$

式(1-4)表达了谐波信号的周期、频率、圆频率三者之间的关系。频率 f 的含义为每秒内波形重复 f 次;圆频率 ω 的含义为每秒内旋转矢量转过的弧度为 ω (谐波信号可看成是某一旋转矢量在横轴上的投影,旋转矢量旋转 2π 弧度对应谐波信号的一个周期)。

非谐波的周期信号是一般的周期信号,例如周期方波、周期三角波、周期锯齿波等等。

1-3 周期信号的特征

一、周期信号的频谱特征

谐波信号是最简单、最基本的周期信号。那么,一般的非谐波周期信号能否化成一些简单的谐波信号的叠加呢?回答是肯定的。其数学工具就是傅里叶级数。下面不加证明地给出傅里叶级数定理。

傅里叶级数定理 以 T 为周期的函数 $x(t)$,如果在 $[-T/2, T/2]$ 上满足狄利克雷条件,即函数在 $[-T/2, T/2]$ 上满足:①连续或只有有限个第一类间断点(即左、右极限均存在但不相等的间断点);②只有有限个极值点,那么在 $[-T/2, T/2]$ 上就可以展开成傅里叶级数。在 $x(t)$ 的连续点处,级数的三角形式为

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (1-5)$$