

普通高等院校“十一五”规划教材  
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根



# 工程测试与信号处理

GONGCHENG CESHI YU XINHAO CHULI

(第二版)

蔡共宣 林富生 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

# 工程测试与信号处理

(第二版)

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 蔡共宣 | 林富生 |
| 副主编 | 唐善华 | 陈 玉 |
|     | 马鹏阁 | 陈兴洲 |

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 提 要

本书分为五个部分。第一部分为第1章,主要介绍信号的概念、信号的描述方法、信号的组成及信号分析的基础知识。该部分内容是信号测试的基础。第二部分为第2~4章,主要介绍测试系统的基本特性,组成测试系统的传感器、信号调理电路和显示记录仪器的基本概念和原理。该部分内容是本教材的主要内容,和实际联系较为紧密。通过必要的教学实验,使学生达到融会贯通的目的。第三部分为第5章,主要介绍相关分析及其应用、功率谱分析及其应用,以及数字信号处理的基本概念。该部分体现了测试信号处理的相关内容。第四部分为第6章,主要介绍工程测试的典型应用,包括振动测试、位移测试、应变和力的测试、温度的测试、流体参量的测试和噪声的测试等。该部分内容是教材必要的补充,是从理论过渡到实际的重要部分。该部分内容较多,可以适应不同专业的需求。第五部分为第7章,主要介绍虚拟测试系统,重点介绍虚拟仪器和LabVIEW及其组成的测试系统,这是第二版新增的内容。

本书可作为高等学校机械类各专业的教材,也可供大专、职大、成人高校各相关专业选用,还可供从事测试工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程测试与信号处理(第二版)/蔡共宣 林富生 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2011.9  
ISBN 978-7-5609-3832-5

I. 工… II. ①蔡… ②林… III. 自动检测-信号处理-高等学校-教材 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 004588 号

### 工程测试与信号处理(第二版)

蔡共宣 林富生 主编

策划编辑:俞道凯

封面设计:潘群

责任编辑:吴晗

责任校对:朱玢

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×960mm 1/16

印张:19.25 插页:2

字数:424千字

版次:2011年9月第2版第4次印刷

定价:32.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育而跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来，已有许多普通院校采用规划教材，就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循，有规可依，有鉴可借，有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内

容不在深浅,能切合学生培养目标,能抓住学生应掌握的要言,能做到彼此呼应、相互配套,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十个应用型机械专业,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了真正确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设、特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士  
教育部高等学校机械学科指导委员会主任

杨红子

2006.1

# 第一版前言

自 20 世纪 80 年代以来,各高校相继开设了“工程测试”方面的课程。20 多年的教学实践,深感有一本合适的教材是非常重要的。

本书系根据 2005 年机械类精品教材建设与立体化开发研讨会的精神,秉承“百年大计,人才为本;人才大计,教育为本;教育大计,教师为本;教师大计,教学为本;教学大计,教材为本”的理念,在充分总结与研讨了教学改革经验及教材体系建设的基础上而编写的适用于高等学校机械类各专业使用的教材。

本书力求在以下几个方面突出其特色。

(1) 注重应用性,强调实践性。以基本概念、基本原理、基本方法为主线,以培养学生的综合能力为重心的,以必要的基础理论为支撑,来形成教材的总体框架。

(2) 在测试系统的特性分析上,对静、动态特性进行了必要的理论分析,而重点则放在基本概念和物理意义的理解上。

(3) 在信号描述及分析处理上,力争做到将抽象的概念具体化、形象化,以期达到易于理解和掌握的目的。

(4) 从工程应用的角度出发,力争做到以实际案例引出每一章,开门见山,直入主题。

(5) 突出重点,强调难点。在每一章之后增加了重点、难点和知识拓展小栏目,使学生学习起来具有针对性,避免了盲目性,而且对必要的知识进行了适当的拓展。

本书由蔡共宣、林富生主编,参加编写工作的有:河南工业大学蔡共宣,武汉科技学院林富生,武汉工业学院唐善华,河南工业大学陈兴洲,郑州航空工业管理学院马鹏阁,景德镇陶瓷学院韩文,湖北工业大学王海涛等,全书由蔡共宣、林富生统稿。

本书在编写过程中,参阅了以往其他版本的同类教材和文献资料,并得到了许多同志的关心和帮助,在此谨表谢意。

由于作者水平有限,书中不足之处敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 6 月

## 第二版前言

本书系根据 2005 年机械类精品教材建设与立体化开发研讨会的精神,秉承“百年大计,人才为本;人才大计,教育为本;教育大计,教师为本;教师大计,教学为本;教学大计,教材为本”的理念,在充分总结与研讨了教学改革经验及教材体系建设的基础上而编写的适用于高等学校机械类各专业使用的教材。本书第一版自 2006 年出版至今已有 5 年。经过 5 年的使用,旧版本在某些内容上已显得不能适应当今发展的需要。为了适应新世纪不断发展的需要,也为了保持原书的风格和基本内容的完整性和一致性,此次再版仅对局部内容做了修订和增删。

此次再版主要对以下一些内容做了较大的修订:

- (1) 对第一版出现的文字错误和不妥之处做了更正。
- (2) 更换了第 4 章中的部分内容,增加了三小节新的内容。
- (3) 增加了一章“虚拟测试系统”。

本书修订后仍然保持并继承了原书的风格和特色。

参加本次修订工作的有:河南工业大学蔡共宣(绪论、第 2 章)、武汉科技学院林富生(第 1 章、第 5 章)、武汉工业学院唐善华(第 3 章)、河南工业大学陈兴洲(第 4 章)、郑州航空工业管理学院马鹏阁(第 6 章)、安徽工程大学陈玉(第 7 章),以及王海涛、韩文、杨永明等。本书由蔡共宣、林富生担任主编。

本书在修订过程中得到了许多同志的关心和帮助,在此谨表谢意。

由于作者水平有限,书中不足之处敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月



# 目 录

## 绪论

## 第1章 信号描述及分析基础

- 1.1 概述
- 1.2 周期信号及其频谱
- 1.3 非周期信号及其频谱
- 1.4 随机信号

思考题与习题

## 第2章 测试系统的基本特性

- 2.1 概述
- 2.2 测试系统的静态特性
- 2.3 测试系统的动态特性
- 2.4 典型测试系统动态特性分析
- 2.5 实现不失真测试的条件
- 2.6 测试系统动态特性参数的测试

思考题与习题

## 第3章 常用传感器工作原理与测量电路

- 3.1 传感器概述
- 3.2 应变式电阻传感器
- 3.3 电容式传感器
- 3.4 电感式传感器
- 3.5 压电式传感器
- 3.6 磁电式传感器
- 3.7 光电式传感器
- 3.8 其他常用传感器
- 3.9 传感器的选用

思考题与习题

## 第4章 信号的调理与显示记录

- 4.1 电桥
- 4.2 信号的调制与解调



4.3 滤波器

4.4 信号的显示与记录

思考题与习题

## 第5章 信号的分析与处理

5.1 概述

5.2 相关分析及其应用

5.3 功率谱分析及其应用

5.4 相干函数分析与应用

5.5 倒频谱分析与应用

5.6 数字信号处理

思考题与习题

## 第6章 工程测试的典型应用

6.1 振动测试

6.2 位移的测试

6.3 应变和力的测试

6.4 温度的测试

6.5 流体参量的测试

6.6 噪声的测试

思考题与习题

## 参考文献

# 绪 论

## 1. 测试技术的任务和重要性

测试是科学的基础,从某种意义上讲,没有测试就没有科学。测试技术是科学研究工作者感官、思维的延展和深化。测试是指采用专门的技术手段和仪器设备,设计合理的实验方法并进行必要的数据处理,从而找到被测量的量值和性质的过程。由此可知,测试技术包含测量和试验两方面的含义,是指具有试验性质的测量或测量与试验的综合。

测试的基本任务是获取有用的信息,是人们认识客观事物并掌握其客观规律的一种科学方法。广义来讲,测试属于信息科学的范畴。信息总是蕴涵在某些物理量中,并依靠物理量来传递,这些物理量就是信号。因此,信号是信息的载体,而信息蕴涵于信号之中。例如,单自由度质量-弹簧系统的动态特性可以通过质量块的位移-时间关系来描述,质量块位移的时间历程就是信号,它包含该系统的固有频率和阻尼比等特征参数,这些特征参数就是所需要的信息。分析采集到的这些信息,就掌握了这一系统的动态特性。

一般情况下,被测信号中既包含需要研究的有用信息,往往也不同程度地混入了无用信息,例如噪声信号等,各种电磁测量线路和测试装置在不同的环境下工作,不可避免地会受到噪声的干扰。噪声对被测信号所产生的影响,最终将以误差的形式表现出来,导致测试的精确度降低,甚至难以进行正常的测试工作。因此,如何在有噪声背景的情况下提取有用的信息,便成为测试工作者首先要解决的问题。

测试技术在工程技术领域中已被广泛应用,现代机械设备的动态分析设计、过程检测控制、产品的质量检验、设备现代化管理、生产工况监测和故障诊断等,都离不开测试技术。特别是近代工程技术广泛应用的自动控制技术已越来越多地运用测试技术,测试装置已成为控制系统的重要组成部分。甚至在日常生活用具,如汽车、家用电器等方面也离不开测试技术。

总之,测试技术已广泛应用于工农业生产、科学研究、内外贸易、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护和人民生活的各个方面,成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要基础技术。

## 2. 测试系统的组成

如前所述,测试的主要任务是从被测信号中获取所需的特征信息。信号中包含大量的信息,不同的测试目的,需要的信息是不同的。信号中包含有用信息和无用信息。无用信息通常被称为噪声。信号也是多种多样的,按物理性质的不同可将信号分为电信号和非电信号。为便于拾取、转换、放大、传输、分析处理和显示记录等,一般都需要将非电信号转换为电信号。

测试过程一般包含被测信号的拾取、转换、放大、传输、处理、分析等环节。有时为了能够从被测对象提取所需要的信息,需要采用适当的方式对被测对象进行激励,使其特征信息能够表现出来,以便于信号的检测。

测试系统一般由一个或若干个功能元件组成。广义来说,一个测试系统应具有如下功能,即将被测对象置于预定状态下,并对被测对象所输出的特征信息进行拾取、转换、放大、分析处理、显示记录等。一个测试系统一般由试验装置、传感器、信号调理电路、信号分析处理装置和显示记录仪器等组成,如图 0-1 所示。

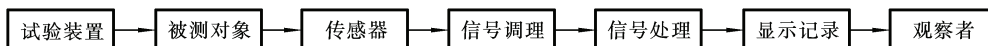


图 0-1 测试系统的基本组成

试验装置的作用是使被测对象处于预期的状态下,并将被测对象的特征参数充分显示出来,以便有效地检测载有这些信息的信号。传感器处于测试系统的输入端,其直接或间接地作用于被测对象,完成对被测物理量的感知、转换和信号的输出。信号调理电路把来自传感器的信号转换成更适合于进一步传输和处理的形式。如将信号幅值放大、将阻抗的变化转换成电压的变化或频率的变化,等等。这时的信号转换更多的是电信号之间的转换。信号分析处理装置接收来自信号调理电路的信号,并进行各种运算、滤波、分析等,最后将结果输出给显示记录仪器。显示记录仪器以观察者易于识别的形式来显示测量结果,或将测量结果储存,供必要时使用。

在组成测试系统时,必须遵循的原则是各环节的输出量与输入量之间应保持一一对应的关系,尽量不失真,且必须尽可能地减小或消除各种干扰。

应当指出,并非所有的测试系统都具备图 0-1 中的所有环节,事实上,许多被测系统的特征参数在系统的某些状态下,已充分地显示出来,因此,就不需要试验装置。

### 3. 测试技术的发展方向

随着科学技术的不断发展和生产技术水平的不断提高,测试技术也将向着高可靠性、高智能化的方向发展。其发展特征主要表现在如下几个方面。

#### (1) 采用新型信息处理方法。

新型信息处理技术,如数据融合技术、模糊信息处理技术和神经网络技术等,在现代测试技术中得到了有效的应用,而且其发展方兴未艾。随着新型信息技术的发展,现代测试系统的信息处理方法必将有革命性的改变。

#### (2) 集成仪器。

仪器与计算机技术的深层次结合,产生了全新的测试仪器的概念和结构,有卡式仪器、VXI 总线仪器直至集成仪器。近年来出现的虚拟仪器也不断丰富着测试手段。一般来说,将数据采集卡插到计算机的插槽中,利用软件在计算机屏幕上生成虚拟面板,在软

件引导下进行数据采集、运算、分析处理,实现仪器功能并完成测试的全过程,这就是所谓的虚拟仪器。在此平台上调用不同的测试软件就可构成不同功能的虚拟仪器,可方便地将多种测试功能集于一体,便成为多功能集成仪器。

### (3) 采用高智能化软件。

由于计算机技术在现代测试系统中的地位越来越重要,软件技术已成为现代测试系统的重要组成部分。测试软件不论对大的测试系统还是单台仪器子系统都十分重要,而且是未来发展和竞争的焦点。但是,计算机软件不可能完全取代测试系统的硬件。因此,现代测试技术要求从事测试工作的科技人员不但要具备良好的计算机技术基础,更要深入掌握测试技术的基本理论和方法。

### (4) 网络化。

网络技术的普及与发展,为测试技术带来了前所未有的发展空间和机遇。将现代测试系统与网络连接,不但能实现对测试系统的远程操作与控制,而且还可以把测试结果通过网络显示在世界各地的 Web 浏览器中,以实现测试系统资源和数据的共享。

### (5) 通用化与标准化。

为了便于获取和传输信息,实现系统更改和升级,现代测试系统的通用化、标准化设计十分重要。目前,接口与总线系统较多,随着智能测试技术的发展,可望制定出全世界通用的几种统一接口与总线系统标准,或者制定出几种相互兼容的接口与总线系统标准,以便于系统的组建、更改、升级和连接。由于采用通用化、标准化设计,现代测试仪器将易于实现分散使用和大范围联网使用。

在现代测试技术中,通用集成仪器平台的构成技术、数据采集、数字信号分析处理软件技术,是决定现代测试仪器系统性能和功能的三大关键技术。以软件化的虚拟仪器为代表的现代测试仪器系统与传统测试仪器相比较的最大优点就在于,用户可在集成仪器平台上按自己的要求开发相应的应用软件,构成自己所需要的实用仪器和实用测试系统。特别当测试仪器系统进一步实现了网络化以后,仪器资源将得到很大的延伸,其性能价格比将获得更大的提高,工程测试领域将出现一个蓬勃发展的新局面。

## 4. 课程的研究对象和要求

本课程的研究对象是机械工程动态物理量测试中常用的传感器、信号调理电路及显示记录仪器的工作原理,测试系统的基本特性和评价方法,测试信号的分析处理,以及常见物理量的测试方法等。

根据本门学科的对象和任务,对高等学校机械类各有关专业来说,“工程测试与信号处理”是一门主干基础课。通过对本课程的学习,培养能合理地选用测试装置,能初步掌握进行动态测试所需的基本知识和技能,为在工程实际中完成测试任务打下必要的基础。

具体而言,学生在学完本门课程后应具备以下知识和技能。

### (1) 对工程测试工作的概貌和思路有一个比较完整的概念,对工程测试系统及其各

个环节有一个比较清楚的认识,并能初步运用于工程中某些参数的测试和产品或结构的动态特性试验。

(2) 了解常用传感器、常用信号调理电路和记录仪器的工作原理和性能,并能根据测试工作的具体要求较为合理地选用。

(3) 掌握测试系统静、动态特性的评介方法和测试系统实现不失真测试的条件,能正确地运用于测试系统的分析和选择中。

(4) 掌握信号的时域和频域的描述方法,建立明确的信号频谱结构的概念。掌握信号频谱分析和相关分析的基本原理和方法,掌握数字信号分析的一些基本概念。

本课程具有很强的实践性。在教与学的过程中,应紧密联系实际,既要注重掌握基本理论,同时,也必须加强对学生动手能力的培养,必须通过教学实验和实践环节,使学生尽可能熟练地掌握有关的测试技术和测试方法,并具有初步处理实际测试工作的能力。

由于本课程综合应用了多学科的原理和技术,是数学、物理学、电工电子学、机械振动工程、自动控制工程等多学科的交叉融合,因此,为了学好本课程,要求学生学习本课程之前,应当具备相关学科特别是电工电子学等课程的基础知识。

# 第 1 章 信号描述及分析基础

为了实现安全高效地供电,发电厂除了要实时监测电网的电压、电流、功率因数,进而检测频率、谐波分量等电气量外,还要实时监测发电机组各部位的振动参数(如幅值、速度、加速度等),以及各辅助系统的压力、温度、流量、液位等多种非电量,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。这些测量得到的数据称为信号。显然,这些信号中包含发电厂设备运行的各种信息。

## 1.1 概 述

信号中包含某些反映被测物理系统或过程的状态和特性等方面的有用信息,它是我们认识客观事物内在规律、研究事物之间相互关系和预测事物未来发展的重要依据。信号通常是时间的函数,信号随时间变化的特性不同,对所用测试装置的要求也就不同,相应的分析和处理的方法也不同,而且测试结果的误差直接与信号的频率结构有关。总之,被测信号的特性对测试工作有着直接而重要的影响,因此,研究测试技术必须从信号入手,通过对信号的描述与分析,了解信号的频率构成,以及时域与频域特性的内在联系。

### 1.1.1 信号的概念与分类

信号是载有信息的物理变量,是传输信息的载体;信息是事物存在状态或属性的反映。信息蕴涵于信号之中,信号中携带着人们所需要的有用信息。对信号进行分析,其目的是通过对信号的数学变换,改变信号的形式,以便于识别、提取信号中有用的信息。因而信号是研究客观事物的依据。例如,回转机械由于动不平衡产生振动,那么,振动信号就反映了该回转机械动不平衡的状态,因此,它就成为研究回转机械动不平衡的依据。

信号有不同的分类方法。对实际信号,可以从不同的角度、不同的特征,以及不同的使用目的等几个方面进行分类。对机械工程测试信号(或测试数据),通常有以下几种分类方法。

#### 1. 按所传递的信息的物理属性分类

按所传递的信息的物理属性,信号分为机械量(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)、光学量等。

#### 2. 按照时间函数取值的连续性和离散性分类

按照时间函数取值的连续性和离散性,信号可分为连续时间信号和离散时间信号。

描述某一信号时,若自变量  $t$  在某一段时间内连续取值,则称此信号为时间的连续信

号,如图 1-1(a)所示。模拟信号属于时间连续信号。描述某一信号时,若自变量  $t$  只在一些确定的时刻取值,则称此信号为时间的离散信号。图 1-1(b)所示是将连续信号等时距采样后的结果,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。

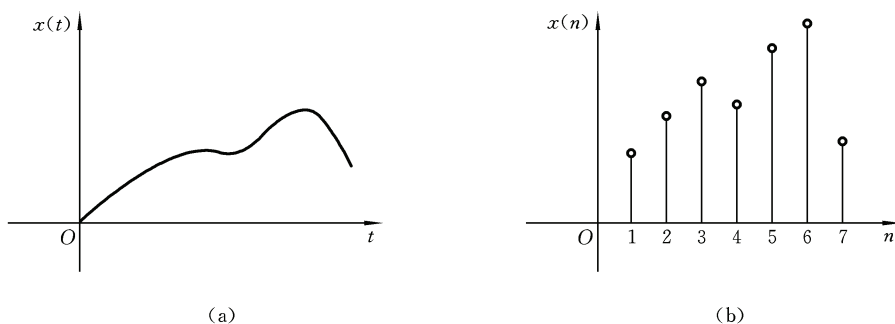


图 1-1 时间的连续信号与时间的离散信号

(a) 时间的连续信号;(b) 时间的离散信号

### 3. 按照信号随时间变化的特点分类

按照信号随时间变化的特点,信号可分为确定性信号和非确定性信号两大类(见图 1-2)。

#### 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,称为确定性信号。确定性信号又可分为周期信号和非周期信号。

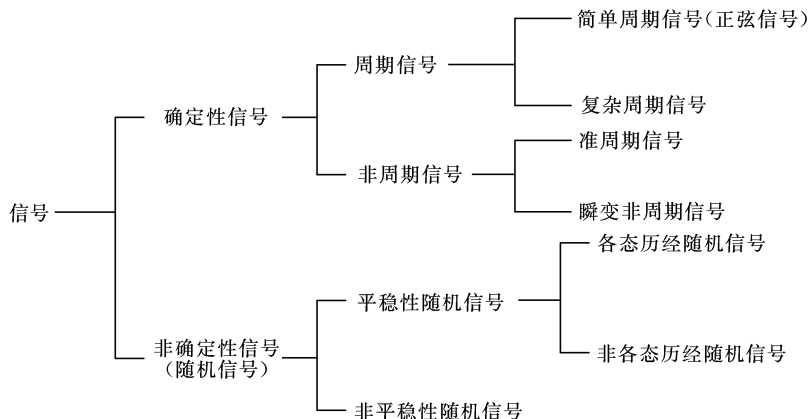


图 1-2 信号的分类

(1) 周期信号 周期信号是经过一定时间可以重复出现的信号。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(见图 1-3)。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。

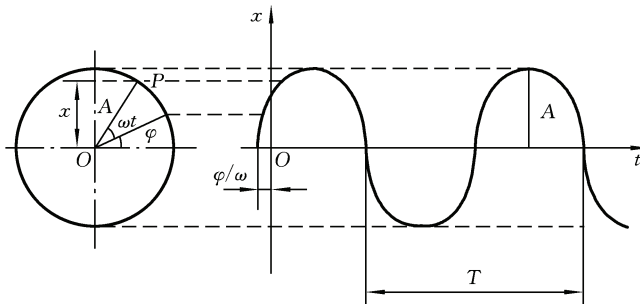


图 1-3 谐波信号示意图

(2) 非周期信号 能用确定的数学关系式表达,但取值不具有周期重复性的信号称为非周期信号。指数信号、阶跃信号等都是非周期信号。

非周期信号有准周期信号(有时称为拟周期信号)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间不是公倍数关系,合成信号不满足周期条件,例如,信号  $x(t) = \sin t + \sin \sqrt{2}t$ ,就是两个正弦信号的合成,其频率比不是有理数,不成谐波关系。这种信号往往出现于通信、振动系统,应用于机械转子振动分析、齿轮噪声分析、语音分析等中。

除准周期信号之外的非周期信号,是一些在一定时间内存在或随着时间的增长而衰减至零的信号,称为瞬变非周期信号。例如按指数衰减的振荡信号、各种波形(如矩形、三角形、梯形等)的单个脉冲信号等。

## 2) 非确定性信号

不能用确定的数学关系式来表达的信号称为非确定性信号。非确定性信号又称随机信号,可分为平稳性随机信号和非平稳性随机信号两类。如果描述随机信号特征的那些统计数学参数(如平均值、均方根值、概率密度函数等)都不随时间推移而变化,则这种信号称为平稳性随机信号;反之,如果在不同采样时间内测得的统计数学参数不能看成常数,则这种信号就称为非平稳性随机信号。

在工程测试中,随机信号大量存在,如汽车行驶时的振动信号、环境噪声信号、切削材质不均匀工件时的切削声音信号等,其幅值的大小、最大幅值出现的时间等,均无法由数学公式进行精确描述、计算、预测,就是实际测量的结果每次也不相同,这种性质称为随机性。这类信号无法用公式表示,也无法预见任一时刻此信号确定的大小,最多只可用统计数学的方法指出在某一时刻此信号取得某一个值的概率。

## 4. 模拟信号与数字信号

随着计算机技术的应用,也可以从另一个角度把信号分为模拟信号和数字信号。用

连续变量的函数表示的信号称为模拟信号,如图 1-1(a)所示;如果信号变量和幅值都是离散的,称为数字信号,如图 1-1(b)所示。模拟信号若要用计算机进行分析,必须经模拟/数字转换器(A/D 转换器)变为数字信号。

### 1.1.2 信号的描述方式

信号作为一定物理现象的表示,它包含着丰富的信息。为了从中提取某种有用信息,需要对信号进行必要的分析和处理。所谓“信号分析”就是采取各种物理的或数学的方法提取有用信息的过程。为了实现这个过程,从数学角度讲,需要对原始信号进行各种不同变量域的数学描述,以研究信号的构成或特征参数的估计等。因此,讨论信号的描述,在一定程度上就是讨论与“信号分析”有关的数学模式及其图像。

通常,用四种变量域来描述信号,即时间域(时域)、幅值域(幅域)、频率域(频域)和时频域,对应的信号分析有时域分析、幅域分析、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,从不同的角度观察和描述信号,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从不同的角度去认识同一事物。在不同域的分析,并未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,而傅里叶反变换则可以从频域变换到时域。

本节简单介绍信号的时域分析和频域分析。

#### 1. 信号的时域分析

##### 1) 时域分析

直接观测或记录的信号一般是随时间变化的物理量,即以时间作为自变量的信号表达,称为信号的时域描述。时域描述是信号最直接的描述方法,它只能反映信号的幅值随时间变化的特征。信号的时域分析就是求取信号在时域中的特征参数及信号波形在不同时刻的相似性和关联性。

通常,描述信号的时域特征参数有峰值、峰峰值、均值、方差、均方值和均方根值等。时域的相关分析主要有自相关函数和互相关函数。

(1) 峰值和峰峰值。峰值是指信号在时间间隔  $T$  内的最大值,用  $x_f$  表示,即

$$x_f = |x(t)|_{\max}$$

峰峰值是信号在时间间隔  $T$  内的最大值与最小值之差,用  $x_{f-f}$  表示,即

$$x_{f-f} = |x(t)|_{\max} - |x(t)|_{\min}$$

它表示信号的动态范围,即信号大小的分布区间。

(2) 均值。均值是指信号在时间间隔  $T$  内的平均值,用  $\mu_x$  表示,即

$$\mu_x = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$