

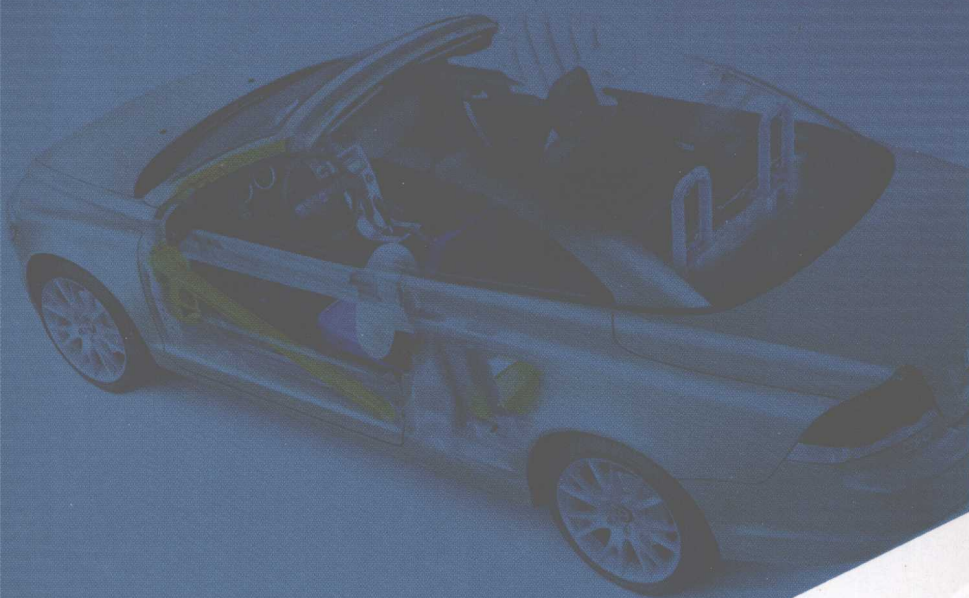
高等院校“十一五”规划教材·汽车类



汽车测试技术

陈勇 主编 孙逢春 主审

Q I C H E C E S H I J I S H U



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等院校“十一五”规划教材·汽车类

汽车测试技术

陈 勇 主编

孙逢春 主审

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是关于汽车测试技术的基础理论和基本技术的专业基础教材,介绍汽车测试技术的理论和方法,内容涉及汽车试验过程中测试系统组成的各个环节,主要包括信号及其分类,测试系统的基本特性,常用传感器的原理、特点与选用原则,测试信号调理与显示记录,测试数据分析,计算机测试系统以及典型的汽车性能试验等内容,在有些章节,列出了 MATLAB 语言的源程序。

本书可作为车辆工程及汽车服务工程及相关专业的本科生教材,也可作为研究生和从事汽车试验的工程技术

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车测试技术 / 陈勇主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2008. 1

高等院校“十一五”规划教材. 汽车类

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1373 - 8

I. 汽… II. 陈… III. 汽车 - 测试技术 - 高等学校 - 教材 IV. U467

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 206085 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 331 千字

版 次 / 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 23.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

编写委员会

编委会主任：王耀斌（吉林大学）

编委会副主任：上官文斌（华南理工大学）

马 钧（同济大学）

刘玉梅（吉林大学）

付百学（黑龙江工程学院）

编委（排名不分先后）：

边明远（清华大学）

徐雯霞（同济大学）

何 璜（同济大学）

胡 宁（上海工程技术大学）

金海松（上海工程技术大学）

宋年秀（青岛理工大学）

刘瑞昌（青岛理工大学）

陈 勇（辽宁工业大学）

杨守丽（辽宁工业大学）

王海林（华南农业大学）

朱 刚（华南理工大学）

丁问司（华南理工大学）

王 春（广州大学）

赵福堂（北京理工大学）

谭德荣（山东理工大学）

曲金玉（山东理工大学）

韩加蓬（山东理工大学）

齐晓杰（黑龙江工程学院）

于春鹏（黑龙江工程学院）

倪明辉（黑龙江工程学院）

张 蕾（天津工程师范学院）

董恩国（天津工程师范学院）

迟瑞娟（中国农业大学）

庞昌乐（中国农业大学）

李真芳（中国农业大学）

李淑艳（中国农业大学）

陈 理（中国农业大学）

韩同群（湖北汽车工业学院）

陈立辉（河北师范大学）

征小梅（重庆工学院）

范钦满（淮阴工学院）

高爱云（河南科技大学）

出版说明

近几年，我国的汽车生产量和销售量迅速增大，全国汽车保有量大幅度上升，世界各知名汽车企业纷纷进入国内汽车市场，促进了国内汽车技术的发展。汽车保有量的急剧增加和汽车技术的不断更新，使得汽车运用与维修行业的车源、车种、服务对象以及维修作业形式都已发生了新的变化，以致技能型、运用型人才非常紧缺。

本套教材针对汽车专业学生教学特点的变化和新形势下教材的编写要求，面向高等院校（应用型），以服务市场为基础，以提高能力为本位，注重培养学生的综合能力，同时合理控制理论知识，丰富实例，力求突出应用型学科教材的实用性、操作性特色。

本套教材可供开设有汽车运用工程、汽车服务工程、汽车交通与运输、汽车维修等汽车相关专业的高等院校使用，也可作为成人高等教育、汽车技术培训等相关课程的培训教材。

本套教材经编委会相关老师评审，做了适当的修改，内容更具体、更实用，特推荐出版。但限于水平和经验，本套图书难免存在不足之处，敬请广大同行和读者批评指正。

丛书编委会

前言

汽车测试技术是伴随汽车工业的发展逐渐成长起来的。汽车测试技术基础是车辆工程和汽车服务工程专业本科生的必修课,所涉及的内容是本科生需要掌握的基础知识。汽车测试技术所涉及的知识面较广,需要有较好的数学基础,同时,新技术在汽车试验中的使用,使得汽车试验技术发展较快。编写本教材的出发点就是希望既能够较全面地介绍汽车试验技术,又能够便于学生理解和掌握试验技术涉及的基础知识。

本书作者长期从事汽车试验技术的教学与科研工作,在内容的安排上借鉴了同类教材的优点,同时注意把该学科的最新成果及时引入到教材中,在注意介绍基础理论知识的同时,也注意到了新技术在汽车试验中的应用。在编写过程中,力求做到深入浅出,物理概念准确,以汽车工程应用为背景,便于学生理解和掌握。

本书是为车辆工程及汽车服务工程专业的本科生而编写的,计划学时在48学时左右,同时也可供研究生及有关工程技术人员参考。全书共分八章。第1章简要介绍汽车试验技术的发展与现状、研究内容、研究对象及学习方法;第2章介绍信号及其分类方法;第3章介绍测试系统的特性;第4章介绍汽车上常用的传感器原理及其测量电路,着重介绍传感器的工作原理及结构,使学生了解典型测量电路,能够根据需要选择传感器;第5章介绍信号调理与显示记录装置,包括电桥、放大器、信号的调制与解调、滤波器、信号的传输及干扰抑制等内容;第6章介绍测试数据分析的内容,包括测量误差的概念、静态测试数据分析、动态测试数据分析以及数字信号分析与处理的内容;第7章介绍计算机测试技术,包括计算机辅助测试系统组成、虚拟仪器系统以及汽车车载网络系统的内容;第8章介绍典型汽车试验的系统组成、试验方法等内容,是前面各章内容的综合运用,便于学生理解汽车试验技术的组织实施过程,包括动力性能试验、燃油经济性试验、制动性能试验、平顺性试验、噪声试验和尾气排放试验。

本书由辽宁工业大学陈勇担任主编,华南理工大学康龙云、辽宁工业大学段敏担任副主编。第1章、第2章、第4章、第6章和第8章第2节由陈勇编写;第3章由段敏编写;第5章、第7章由康云龙编写;第8章1、3、4、5、6、7节分别由李贵远(辽宁工业大学)、韩宗奇(燕山大学)、何辉(辽宁工业大学)、张立军(辽宁工业大学)、王岩松(辽宁工



业大学)和韩宝坤(山东科技大学)编写。张大明、陆中奎、赵治、马也等绘制了部分插图。

本书由北京理工大学大学孙逢春教授担任主审,他在百忙之中抽出时间对全书进行了仔细而全面的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示最诚挚的谢意。

本书在编写的过程中,引用了一些国内外书籍、期刊等文献资料,充实和丰富了本书的内容,在此向有关文献的作者表示感谢。

由于作者水平和能力有限,书中不足和不当之处恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 汽车测试技术的发展与现状	(1)
1.2 汽车测试技术的基本内容	(2)
1.3 本课程的研究对象与学习方法	(3)
思考题	(4)
第2章 信号及其分类	(5)
2.1 概述	(5)
2.2 信号的分类及描述	(6)
2.3 周期信号及其频谱	(10)
2.4 非周期信号及其频谱	(14)
2.5 典型信号及其频谱	(17)
2.6 随机信号	(21)
思考题	(23)
第3章 测试系统的基本特性	(24)
3.1 概述	(24)
3.2 测试系统的特性	(26)
思考题	(45)
第4章 常用的传感器	(47)
4.1 传感器的分类	(47)
4.2 电阻应变片式传感器	(49)
4.3 电感式传感器	(54)
4.4 电容式传感器	(61)
4.5 压电式传感器	(68)
4.6 磁电式传感器	(72)
4.7 霍尔式传感器	(74)
4.8 光电式传感器	(76)
4.9 热敏传感器	(81)
4.10 光纤传感器	(87)
4.11 超声波传感器	(90)
4.12 传感器的发展方向	(91)

4.13 传感器的选用原则	(92)
思考题	(94)
第5章 测试信号变换调理与显示记录	(96)
5.1 电桥	(96)
5.2 放大器	(100)
5.3 信号的调制与解调	(104)
5.4 滤波器	(109)
5.5 信号的传输及干扰抑制	(115)
5.6 信号的显示与记录装置	(119)
思考题	(122)
第6章 测量误差分析与试验数据处理	(123)
6.1 测量误差概述	(123)
6.2 异常数据的取舍	(126)
6.3 直接测量参数和间接测量参数测定值的处理	(130)
6.4 静态试验数据分析	(132)
6.5 动态试验数据分析	(139)
6.6 数字信号分析与处理	(153)
思考题	(161)
第7章 计算机测试系统	(162)
7.1 概述	(162)
7.2 计算机测试系统的组成技术	(163)
7.3 虚拟仪器系统开发平台 LABVIEW	(170)
7.4 汽车车载网络系统 (CAN)	(174)
思考题	(176)
第8章 汽车性能试验	(178)
8.1 汽车的分类与试验的一般要求	(178)
8.2 汽车动力性能试验	(180)
8.3 汽车燃料经济性试验	(188)
8.4 汽车制动性能试验	(195)
8.5 汽车平顺性试验	(202)
8.6 汽车噪声试验	(206)
8.7 汽车尾气排放试验	(212)
思考题	(219)
参考文献	(220)

第1章

绪论

1.1 汽车测试技术的发展与现状

测试技术是科学技术的一部分，是科学技术和生产发展中不可或缺的。其发展促进了科学技术水平的不断提高，推动了生产的自动化水平。科学技术水平的提高又为测试技术的创新、完善和发展创造了条件。

现代测试技术是指在科学技术高度发展的今天进行测试所采用的技术。与一般的测量相比，采用现代测试技术进行测试使得可以测量的量更多，测量的范围更广，得到的被测量的值更准确，采用的技术更先进、更复杂，可以对被测量进行自动采集、分析和处理数据，并以人们常见的形式予以显示。测试技术与信号处理（简称测试）是信息技术三大支柱（测控技术、计算机技术和通信技术）之一。

汽车工业的特点是产量大、品种多、产品的使用条件复杂多变，对产品的性能、寿命、质量和成本等方面要求高，影响产品质量的因素多。汽车由上万个零件组成，已经成为高度机电一体化的产品。汽车技术涉及机械、动力、电子、电磁、控制和网络等多个领域。许多影响因素很难在设计 and 制造过程中考虑得非常周密，而且许多理论问题研究得还不够充分，不少设计还不能根据现有的理论做出准确的预测，这些都需要经过测试结果来检验。测试可以帮助设计人员了解汽车在实际使用中各种现象的本质及其规律，为解决问题提供依据，同时也为技术进步提供推动力。特别是随着汽车电子技术的不断发展，对汽车测试技术提出了新的更高的要求。汽车测试技术对于保证汽车整车及零部件产品的质量和性能，提高汽车产品的竞争力具有重要意义。

汽车测试技术是伴随汽车工业的发展而逐渐成长起来的。自1913年第一条汽车总装生产流水线建成后，劳动生产率显著提高，汽车的成本下降，产量增加，并扩大了使用范围。从20世纪初至20世纪40年代，由于采用了大规模生产技术和流水生产线，产品的可靠性、寿命和性能方面的许多问题需要通过试验来解决，汽车行业逐渐制订了相关的标准和规范，形成了具有行业特色的试验方法和试验设备，如转鼓试验台、疲劳试验台等，道路试验成为汽车试验的重要方法之一，并出现了专用的汽车试验场。

随着汽车工业的不断发展，特别是相关学科的发展，汽车测试技术开始大量应用电子、光学、理化与机械相结合的测试技术。进入20世纪70年代以来，随着计算机技术的发展和應用，以及汽车各系统功能的不断提升与扩展，汽车测试技术获得了巨大发展，相关的测试标准日臻完善。有限元方法（FEM）、虚拟仪器（VI）、仿真（Simulation）分析方法、虚拟现实（VR）技术和虚拟试验场（VPG）技术等在汽车测试中得到了不同程度的应用，不仅能够预测汽车的整车性能，而且能够模拟特定的试验工况进行试验。汽车测试技术正在向高性能、多功能、集成化和网络化方向发展。

1.2 汽车测试技术的基本内容

试验是对迄今未知事物的探索性认识过程,测量是为确定被测对象的量值而进行的试验过程。测试可以理解为测量和试验的综合,是具有试验性质的测量,是为获得有关研究对象的状态、运动和特征等方面的信息而进行的。信息反映了系统运动的状态和特性,信息本身不是物质,也不具有能量,但信息的传输却依靠物质和能量。信号是信息的载体,实际的信号往往包含着多种信息成分,其中有些是我们需要的,称之为有用信号,而那些我们不关心的信息成分,则称之为干扰信号(也称之为噪声或冗余信息)。但有用信号和干扰信号是相对的,在一种的场合下,认为是干扰信号,在另一种场合中却可能是有用的。例如,车内噪声对车内乘客是噪声,但对于降低车内噪声的试验而言却是有用信号,试验人员需要根据噪声来确定噪声的来源,为降噪提供依据。测试人员的任务之一就是复杂的信号中提取有用的信息。

测试系统因测试目的不同而存在差异,其种类、型号繁多,用途、性能差异很大,但作用都是用于各种物理量或化学成分等参量的测量。信号在系统组成单元之间传递的流程为:各种传感器(变送器)将非电被测物理量或化学成分参量转换成电信号,经信号调理(信号变换、信号检波、信号滤波、信号放大等)、传输、数据采集、信号处理后显示并输出。测试系统的一般结构框图如图1-1所示。

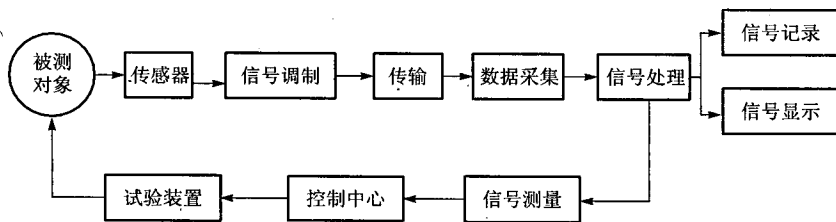


图 1-1 测试系统框图

传感器是测试系统中的第一个环节,是测量的源头,是测试系统与被测对象直接发生联系的器件或装置,用于从被测对象中获取所需要的信息,并按照一定规律将其转换为适于测量的变量或信号。对于一个测量任务来说,第一步是能够有效地获取从被测对象上所能取得的有用信息,所以传感器在整个测量系统中的作用是至关重要的。传感器通常由敏感元件和转换部分组成,其中敏感元件为传感器直接感受被测参量变化的部分,转换部分的作用通常是将敏感元件的输出转换为便于传输和后续环节处理的电信号。但并不是所有的传感器均可以明确地区分敏感和转换两部分,有的传感器是合二为一,有的仅有敏感元件(如热电阻、热电偶)而无转换部分。传感器的种类繁多,分类方法也较多。

信号调理是对来自于传感器的微弱信号作进一步的加工和处理,例如将幅值放大、调制与解调、阻抗变换、抗混滤波、放大等,以方便测试系统的后续环节处理或显示。例如,被测件变形引起电阻应变片的电阻变化时,通常采用电桥将电阻值的变化转变为电压信号,其输出既可用指示仪表直接测量,也可以送入放大器进行放大。

传输是用导线把测量仪器与被测对象联系起来,完成信号的传递,分为无线传输和导线

传输两种,在传输回路中应对干扰进行抑制。

数据采集模块在测试系统中的作用是对信号调理后的连续模拟信号进行离散化并转换成与模拟信号电压幅度相对应的一系列数值信息,同时以一定方式把这些转换数据及时传递给微处理器或依次自动存储。数据采集模块通常以各类模/数(A/D)转换器为核心,辅以模拟多路开关、采样/保持器、输入缓冲器、输出锁存器等。

信号处理模块是进行数据处理和各种控制的中枢环节,通常以各种单片机、微处理器为核心,目前专用的高速数据处理器(DSP)也已广泛应用。

信号显示对被测参量随时间变化的情况进行显示,有模拟显示、数字显示、屏幕显示等多种显示形式。

被测对象和观察者也是测试系统的组成部分,他们同传感器、信号调理部分和数据存储与显示部分一起构成了一个完整的测试系统。这是由于在用传感器获取被测对象的有用信号时,被测对象与传感器之间不同的连接方式或耦合方式也会对传感器产生影响和作用,同样观察者自身的行为和方式也直接或间接地影响着系统的传递特性,所以在评价测试系统性能时也要考虑这两个环节。

如果所测试的信号不随时间变化,或相对观察时间而言变化非常缓慢而可以忽略其变化者,则称这种测试是静态的;如果所测试的信号随时间变化较快,这种测试属于动态测试。本书的重点在动态测试方面。

1.3 本课程的研究对象与学习方法

本课程研究的对象是汽车研究与开发过程中与测试相关的技术,主要涉及测试系统的静、动态特性,常用传感器原理、特性及选择,以及与之匹配的测量电路、信号调理及记录仪器的结构与工作原理,电子计算机在测试系统中的应用,测试信号的分析 and 数据处理方法,汽车的性能试验。

对高等学校车辆工程专业、汽车服务工程专业及相关专业的学生来讲,“汽车测试技术”是一门专业基础课。通过本课程的学习,学生应该掌握有关测试技术的基本理论和技术,培养学生能较为正确地选择测试装置,初步掌握试验方法和测试技术,正确处理试验数据和分析试验结果,为学生进一步学习、研究和处理汽车工程技术中的测试技术问题打下基础。为此,本课程的重点内容包括:

(1) 掌握信号与信号处理的理论和方法,包括信号时域和频域的描述方法,建立明确的信号的频谱概念;掌握相关分析和频谱分析的基本原理和方法;了解数字信号处理的基本理论和方法。

(2) 掌握测试系统特性的评价方法,包括测试系统传递特性的时域、频域描述,传递函数和频率响应函数,一阶、二阶系统的动态特性描述及其参数的测量方法以及不失真测试的条件。

(3) 掌握传感器的原理,了解传感器的选用原则,包括各类常用传感器的原理、结构及性能参数等,能较为正确地选用传感器。

(4) 掌握信号调理的原理和方法,包括电桥电路和信号的调制与解调、信号的放大与滤波、信号的存储与记录等,以及上述各种电路的原理与应用。

(5) 对计算机组成的测试系统有一个完整的概念。

(6) 了解静、动态测试数据的处理方法,了解误差的来源,静态测试数据分析方法及动态测试数据的时域、幅值域和频域的处理方法。

(7) 了解汽车工程中典型性能试验的测试系统原理、构成和测试方法。

“汽车测试技术”课程中涉及过去所学的许多有关知识,需要多种学科知识的综合运用,其内容包括常用的试验基本理论和技能,具有涉及面宽、实践性强的特点。学生在学习过程中要注意理解物理概念,掌握基本原理和特性,密切联系实际,加强实践环节。学习中,学生必须通过必要的试验课,亲自动手完成某些试验项目的全过程,受到科学试验能力的基本训练,才能掌握有关试验的知识和测试技术,初步具有在实际生产、科研中组织、实施各种试验工作的能力。

思考题

1-1 简述汽车测试技术的发展现状和趋势。

1-2 简述测试系统的组成及各部分功用。

第2章

信号及其分类

2.1 概 述

2.1.1 信号的概念

在科学研究和生产过程中,测试是从客观事物中提取有关信息的认识过程,因此,测试技术属于信息科学范畴。所谓信息,一般可理解为消息、情报或知识,在自然科学中,信息是对这些物理对象的状态或特性的反映。信息是物理现象、过程或系统所固有的。信息本身不是物质,不具有能量,但信息的传输却依靠物质和能量。

信号与信息不能混为一谈。信号只是信息的某种表现形式,是传输信息的载体。信号是物理性的,并且随时间而变化,这是信号的本质所在。一般说来,传输信息的载体称为信号,信息蕴涵在信号中。例如,在无线电通信中,电磁波信号运载着新闻或音乐信息。信号是有能量的物质,它描述了物理量的变化过程,在数学上,可以表示为一个或几个独立变量的函数,可以是随时间或空间变化的图形。例如,汽车驾驶员座椅振动信号可以表示为一个时间函数;机械零件的表面粗糙度,则可以表示为一个二元空间变量的高度函数。

实际的信号中往往包含着多种信息成分,其中有些是我们关心的有用信息,有些是我们不关心的噪声或冗余信息。测试的目的就是把未知的被测信号转化为可观察的信号,以提取所研究对象的有关信息。

2.1.2 信号的时域分析和频域分析

通常,信号可以被看作是一个随时间变化的量,是时间的函数 $x(t)$ 。在相应的图形表示中,时间 t 作为自变量出现在横坐标上。信号的这种描述方法就是信号的时域描述。一般的,信号的波形就是指被测信号幅度随时间的变化历程。基于微分方程和差分方程等知识,在时域中对信号进行分析的方法称为信号的时域分析。

对于快速变化的信号,时域描述不能很好地揭示信号特征。此时,人们感兴趣的是较大的幅值会出现在哪些频率或哪些频带上,或在特定的频率或频带上,幅值是如何分布的。通常把时域描述的信号进行变换,以达到更加全面深入研究信号、从中获得更多有用信息的目的。将信号的时域描述通过数学处理变换为频域分析的方法称为频谱分析。常用的变换方法有傅里叶(Fourier)变换、拉普拉斯(Laplace)变换和Z变换等。

将频率作为自变量,把信号看作是频率 f 的函数 $X(f)$,在相应的图形表示中,频率 f 作为自变量出现在横坐标上,信号的这种描述方法就是信号的频域描述。信号在频域中的图形表示又称作信号的频谱,包括幅频谱和相频谱等。幅频谱以频率为横坐标以幅度为纵坐标;相频谱以频率为横坐标以相位为纵坐标。基于傅里叶变换理论,在频域中对信号进行分

析的方法称为信号的频域分析。对信号的频域, 可以用幅值谱、相位谱、幅值谱密度、功率谱密度等描述。

信号分析的主要任务就是要从尽可能少的信号中, 取得尽可能多的有用信息。时域分析和频域分析, 只是从两个不同角度去观察同一现象。时域分析比较直观, 能一目了然地看出信号随时间的变化过程, 但看不出信号的频率成分; 而频域分析正好与此相反。在工程实际中应根据不同的要求和不同的信号特征, 选择合适的分析方法, 或两种分析方法结合起来, 从同一测试信号中取得所需要的信息。

2.2 信号的分类及描述

为深入了解信号的物理实质, 将其进行分类研究是非常必要的。下面介绍几种比较常见的分类方法。

2.2.1 确定性信号和非确定性信号

信号按其运动规律, 可分为确定性信号和非确定性信号, 如图 2-1 所示。

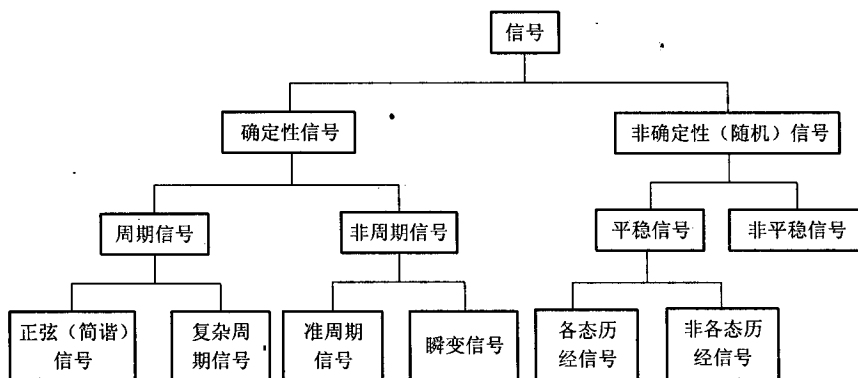


图 2-1 信号的分类

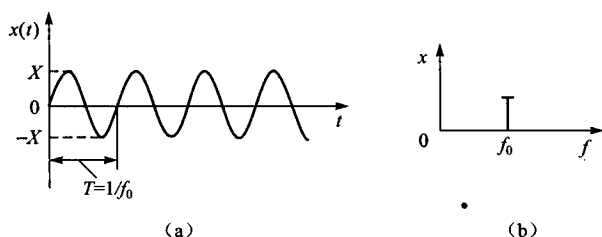


图 2-2 正弦信号的时间历程和频谱图

(a) 时间历程; (b) 频谱图

1. 确定性信号

可以用明确的数学关系式描述的信号称为确定性信号, 可以进一步分为周期信号、非周期信号。

周期信号是经过一定时间就重复出现的信号。周期信号又分为正弦信号（包括余弦信号）和复杂周期信号。图 2-2 所示为正弦信号的时间历程和频谱图。

周期信号满足下列条件:

$$x(t) = x(t + nT) \quad (2-1)$$

式中 $n=0, \pm 1, \dots$

T ——周期, $T = 2\pi/\omega = 1/f$ (ω 为角频率或圆频率, f 为频率)。

复杂周期信号可以看成由若干个频率之比为有理数 (精确地表示为两个整数之比的数, 整数和通常所说的分数都是有理数, 包括正有理数, 0, 负有理数) 的正弦波叠加而成。图 2-3 所示为复杂周期信号的时间历程和频谱图。

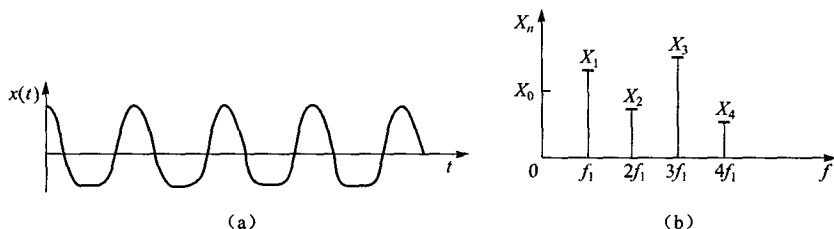


图 2-3 复杂周期信号的时间历程和频谱图

(a) 时间历程; (b) 频谱图

非周期信号往往具有瞬变性, 虽可用明确的时间函数描述, 但不具有周期性。它包括瞬变信号和准周期性信号。瞬变信号

$$x(t) = \begin{cases} Ae^{-at} \cos bt & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

其时间历程和频谱图如图 2-4 所示。例如锤子的敲击力为瞬变信号, 可以表示为 $F = \sin \omega t$ ($0 < t < \tau$)。

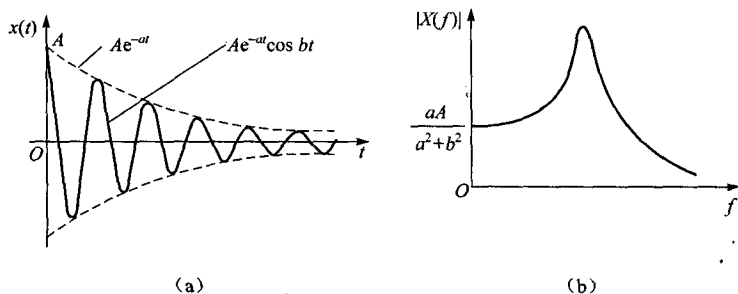


图 2-4 瞬变信号的时间历程和频谱

(a) 时间历程; (b) 频谱图

准周期信号是周期与非周期的边缘情况, 是有限个周期信号的合成, 但各周期信号的频率相互间不是公倍数的关系, 其合成信号不满足周期条件, 频谱如图 2-5 所示。例如:

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

这是两个正弦信号的合成, 其频率比 $\omega_1/\omega_2 = 1/\sqrt{2}$, 不是有理数, 不是谐波关系。

2. 非确定性信号

非确定性信号, 又称随机信号, 不能用数学关系式描述, 其幅值、相位变化是不可预知的, 所描述的物理现象是一种随机过程。例如,

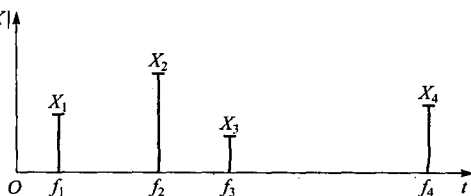


图 2-5 准周期信号的频谱



汽车行驶时所产生的振动、飞机在大气流中的浮动、环境噪声等，只能通过统计分析方法得到信号的整体统计特征，如均值、方差、自相关等。

2.2.2 能量信号和非能量信号

从信号能量的角度区分为能量信号和非能量信号，在非能量信号中又可分为功率信号和非功率信号。

1. 能量信号

在所分析的区间 $(-\infty, +\infty)$ ，能量为有限值的信号 $x(t)$ 称为能量信号。信号应满足条件：

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(t)^2 dt < \infty \quad (2-2)$$

否则为非能量信号。

信号的能量，可以这样解释：对于电信号，通常是电压或电流，电压 $U(t)$ 在已知区间 (t_1, t_2) 内消耗在电阻 R 上的能量为

$$E = \int_{t_1}^{t_2} \frac{U^2(t)}{R} dt \quad (2-3)$$

对于电流 $i(t)$ ，能量为

$$E = \int_{t_1}^{t_2} i^2(t) R dt \quad (2-4)$$

在上面每一种情况下，能量都是正比于信号平方的积分。讨论消耗在 1Ω 电阻上的能量是非常方便的，因为 $R=1 \Omega$ 时，上述两式具有相同的形式，采用这种规定时，就称方程

$$E = \int_{t_1}^{t_2} x^2(t) dt \quad (2-5)$$

为任意信号 $x(t)$ 的“能量”。但必须注意到，这一关系式中包括了一个带有适当量纲的数“1”。通常定义，当区间 (t_1, t_2) 为 $(-\infty, +\infty)$ 时，能量为有限值的信号称为能量信号，或称为能量有限信号，例如矩形脉冲 (t_1, t_2) 、减幅正弦波 $(0, +\infty)$ 和衰减指数等信号。

2. 功率信号

有许多信号，如周期信号、随机信号等，在所分析的区间 $(-\infty, +\infty)$ 内能量不是有限值，此时研究信号的平均功率更为合适。

在区间 (t_1, t_2) 内，信号的平均功率为

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} x^2(t) dt \quad (2-6)$$

若所分析的区间为 $(-\infty, +\infty)$ 时，式 (2-6) 仍然大于零，那么信号具有有限的平均功率，称之为功率信号。功率信号 $x(t)$ 应满足条件：

$$0 < \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)^2 dt < \infty \quad (2-7)$$

否则为非功率信号。

对比式 (2-2) 和式 (2-7) 可以发现，一个能量信号具有零平均功率，而一个功率信号具有无穷大能量。