

电动汽车测试技术 及传感器

吴华伟 聂金泉 主 编



微信扫码获资源
加入读者交流圈
主编零距离互动



南京大学出版社

电动汽车测试技术 及传感器

主 编 吴华伟 聂金泉
副主编 刘建强 景文倩



内容提要

纯电动汽车经历了十一五、十二五研究,目前已经进入市场推广应用阶段。为更好服务“应用型”人才培养,本书在信号处理基础知识的基础上,讲述了常见电参数测量工具及数据处理,介绍了现代汽车常用传感器的工作原理和测试方法,重点突出了电动汽车和智能汽车特有的电池、电驱等系统测试方法和评价。本书可作为面向应用型人才培养的汽车类专业(车辆工程、新能源汽车、汽车服务工程等)的教材,也可供从事汽车测试、可靠性工作的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

电动汽车测试技术及传感器 / 吴华伟, 聂金泉主编

— 南京: 南京大学出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-305-19645-4

I. ①电… II. ①吴… ②聂… III. ①电动汽车—测试技术②电动汽车—传感器 IV. ①U467②U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 295197 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

出 版 人 金鑫荣

书 名 电动汽车测试技术及传感器

主 编 吴华伟 聂金泉

责任编辑 刘 灿 编辑热线 025-83597482

照 排 南京南琳图文制作有限公司

印 刷 南京大众新科技印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 13.25 字数 319 千

版 次 2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-19645-4

定 价 34.00 元

网址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: njupress

销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购图书销售部门联系调换

前 言

现代汽车是一个集机械、电气、电子、控制、通信为一体的综合机电系统,随着计算机技术和电池技术的发展,为解决日益严峻的环境污染问题,电动汽车再次走向了前台,成为未来出行的首选交通工具,如何对这些产品进行有效运行监测、故障诊断与维护,提高车辆的可靠性等,都与信息精准获取息息相关,汽车测试技术作为汽车研制、运行过程数据获取和评价及改进的重要手段,具有很强的综合性和应用性。传感器是获取数据、提高安全性和可靠性的最重要的信息来源,是该测试技术的核心反馈环节,汽车上的传感器种类越来越多、智能化水平也不断提升,掌握传感器的基本结构和原理十分重要。目前车辆专业,尤其是地方本科院校的汽车测试技术主要从传统汽车、测试和传感器分开来阐述,理论较多,电动汽车的一些新的典型系统测试没有统筹起来。为帮助学生更好掌握现代汽车的特别是电动汽车的测试这一应用实践性很强的课程,本书综合传统汽车、电动汽车典型系统的测试技术基础理论、传感器及应用于一体。

本书主要内容:现代汽车的测试技术及传感器发展和应用;信号分类及时域和频域分析方法,测试系统的数学描述和静态特性;电气参数测量与汽车测试常见电工仪表;车用典型传感器;传统汽车和电动汽车的基本性能测试;电动汽车电池、电机及动力系统测试;常用电动汽车标准等。

本书从实用角度出发,重点突出了现代汽车典型系统测试的方法、原理、处理等,本书可作为高等教育车辆工程、汽车服务与应用工程、交通运输工程等专业教材之外,也可作为从事汽车制造、维修和科研方面的人员的参考用书。

本书由湖北文理学院吴华伟、聂金泉主编。参加编写的有:湖北文理学院吴华伟(第1、2、3章)、湖北文理学院机械与汽车工学院聂金泉(第4章)、湖北省蓄电池质量监督检验中心刘建强(第4、6章)、湖北文理学院机械与汽车工学院景文倩(第5章)。湖北文理学院新能源汽车团队的丁华锋、王敏旺、张远进、叶从进、苏业东、刘冬冬等老师和研究生对本书资料的收集和整理提供了无私的帮助和支持!本书在编写过程中,参考了一些国内外书籍、期刊等文献资料,在此一并表达感谢。

由于作者水平和能力有限,书中不足和不妥之处恳请读者批评指正,并能提出宝贵的反馈意见!

编 者

2017年9月于隆中山下

目 录

扫码试读
本书样章

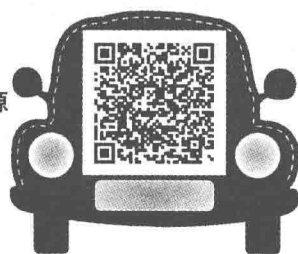


第1章 绪 论	1
1.1 测试技术的定义	1
1.2 测试技术的内容和任务	1
1.3 测试系统的组成	2
1.4 汽车测试技术和传感器	3
1.5 汽车车用传感器	4
1.6 课程的对象和本书的主要内容	4
第2章 测试信号分析及测量装置特性	6
2.1 信号的表示与分类	6
2.2 信号的时域分析	8
2.3 信号的频谱分析	13
2.4 测量系统的基本特性	22
思考题与习题	34
第3章 信号调理及电气参数测量	35
3.1 信号处理	35
3.2 电气参数测量	46
3.3 电工仪表	58
3.4 汽车测试中常见通用测试仪表	69
思考题与习题	72
第4章 传感器	73
4.1 参数式传感器	73
4.2 发电式传感器及应用	94
思考题与习题	118



第 5 章 汽车性能测试	119
5.1 汽车性能测试	119
5.2 纯电动汽车的测试与评价	137
思考题与习题	149
第 6 章 电动汽车动力系统测试	150
6.1 动力蓄电池的测量	150
6.2 电动机测试	174
思考题与习题	192
附录 电动汽车标准与规范	194
附录 1 我国已经发布的电动汽车和电动摩托车相关标准	194
附录 2 国外电动汽车相关标准	198
参考文献	205

扫码获取
本章电子资源



第1章 绪论

1.1 测试技术的定义

测试是人类认识客观世界的手段和科学研究的基本方法。测试是测量和试验技术(含检测)的统称,为了获得被测物理量的量值进行测量,获取有用的信息则需要试验。借助专门的仪器、设备、设计合理的实验方法以及进行必要的信号分析与数据处理,获得与被测对象有关的信息,最后将结果显示或输入其他信息处理装置、控制系统。测试技术与通信技术、计算机技术一起成为信息技术的三大支柱。

信号是随时间或空间变化的物理量。电信号易于变换、处理和传输,通常需要将非电信号转换成电信号。信号是信息的载体,信息是信号的内容。测量是以确定被测对象属性和量值为目的的全部操作,其特点是用度量工具直接对被测对象进行度量。检测则是对被测对象进行属性和量值的信息提取、分析处理、显示记录的工程,其特点是在测量基础上进行信息处理。工程技术中的试验一般是指以规定程序进行的被测对象新属性和量值的检测过程,其特点也就是有具体要求的检测。

测试技术是工程技术领域一项重要的技术,工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等都离不开测试技术。测试技术不仅能为产品的质量和性能提供客观的评价,为生产技术的合理改进提供基础数据;为探索性、开发性、原创性的科学发现或技术发明提供重要的实验数据和测试结果。如果没有测试数据,就很难在设计中进行合理计算、优化乃至自动化生产。

随着《中国制造 2025》的提出和工业 4.0 的深入,智能传感器和检测被提到前所未有的高度,尤其是节能环保纯电动汽车的发展,将汽车测试技术带到了新的领域。

1.2 测试技术的内容和任务

1. 测试技术的内容

测试的本质就是按一定的目的和要求,获取感兴趣的、有限的某些特定有用的信息。测试过程中涉及测试理论、测试方法、测试设备等。测试技术研究的主要内容包括测量原理、测量方法、测量系统以及数据处理四个方面。

测量原理实现测量所依据的物理、化学、生物等现象及有关定律的总体。如压电效应、热电效应、光电效应、涡流效应等。不同性质的被测量用不同的原理去测量,同一性质的被测量也可用不同的原理去实现。

测量主要是采用直接、间接、电测、非电测、模拟、数字等方式实现。



测量系统就是选择什么样的产品或装置组成系统,最后对测试数据进行滤波、变换等处理,得到有用的信息。

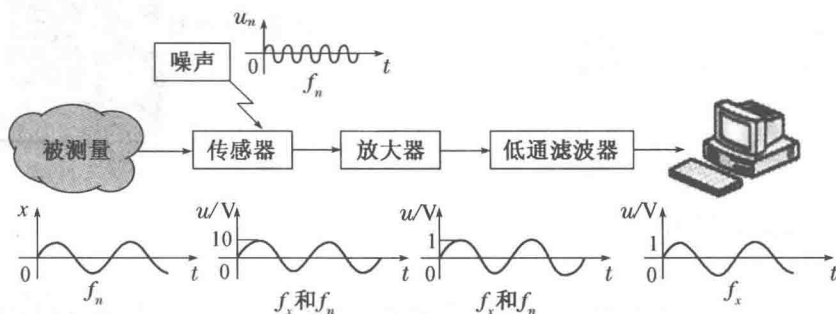


图 1-1 测试技术一般分析处理过程

2. 测试技术的作用和任务

设备(产品)设计、改造和优化中进行参数优化、强度校核、效率提高提供数据依据,在日常工作、环境净化和监测中,进行 NVH 测量,验证改进措施有效性,保障人们身心健康,科学规律发现和新定律、公式的诞生都离不开测试技术,从试验中发现规律,验证理论研究成果,实验和理论可以相互促进,共同发展;在工业化生产中,通过对工艺参数的测试和数据采集,实现状态监测、质量控制、故障诊断。

1.3 测试系统的组成

测试系统是指由相关的元器件、仪器和测试装置有机组合而成的具有获取某种信息功能的整体,一般组成如图 1-2 所示。

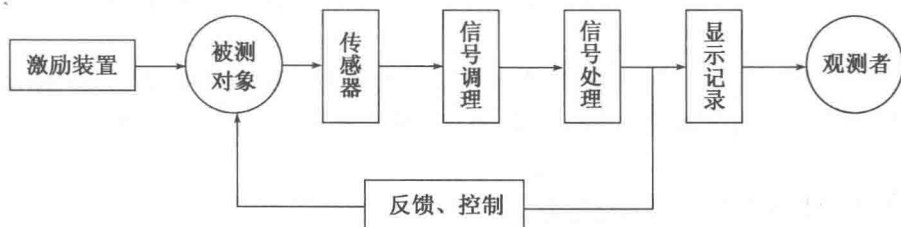


图 1-2 测试系统组成

传感器:将被测信息转换成某种电信号的器件。

信号的调理环节:把来自传感器的信号转换成更适合进一步传输和处理的形式。

信号处理环节:对调理好的信号进行各种运算和分析。

信号记录、显示:将处理好的信号以便于观察和分析的形式显示或存储。

反馈和控制环节:用于闭环控制。

激励装置:作用于被测对象,使之产生有用并载于其中的信号,并不是所有测试系统都有激励装置。



1.4 汽车测试技术和传感器

自 1886 年世界上第一部汽车在德国问世以来,汽车的发展给整个世界和人类生活带来了巨大而深刻的变化。随着新兴科学技术领域的不断发展,尤其是信息技术的迅速发展对汽车工业的发展产生了巨大的影响。汽车产业的迅速发展也使相关的高新技术产业获得了最大的收益。汽车工业生产也由原来的手工小批量转为大批量规模生产、精益生产等,截至 2016 年底,我国汽车保有量为 1.9 亿辆,年产销量超 2 500 万辆。

汽车工业促进了社会经济的发展,但同时它对人类生存的环境也带来了不少严重问题,如石油资源的枯竭、环境污染、汽车安全及交通环境的恶劣。现代及未来汽车更加环保、节能,更注重安全性、舒适性、集成化,如现在网络汽车、共享汽车、无人驾驶汽车等。涉及机械、电子、信息、材料等领域的测试技术为汽车整体及零部件的性能评定、故障诊断提供了方法和手段,使得汽车更加智能、安全和舒适。

汽车测试技术是随着汽车工业的发展而发展的,汽车产品生产和使用的主要特点是:大批量生产,结构复杂多样,产品性能质量要求高,使用条件多变,任何设计制造缺陷和技术状态变化都可能造成严重后果。

汽车测试技术涉及试验与检测两个方面,试验主要针对产品研发设计与性能鉴定;而检测主要是针对产品质量监测及在用状态检测等诸多方面。通过试验以检验产品设计、制造及结构的先进性、设计思想的正确性、制造工艺的合理性、使用维修的方便性、各总成部件的工作可靠性。

汽车试验包括探索性试验;新结构的原理试验;获取原始控制数据的标定试验;为产品、结构改进提供支持的功能试验;产品、工艺的验证试验;整车及总成部件的可靠性、耐久性试验;产品质量控制试验等。

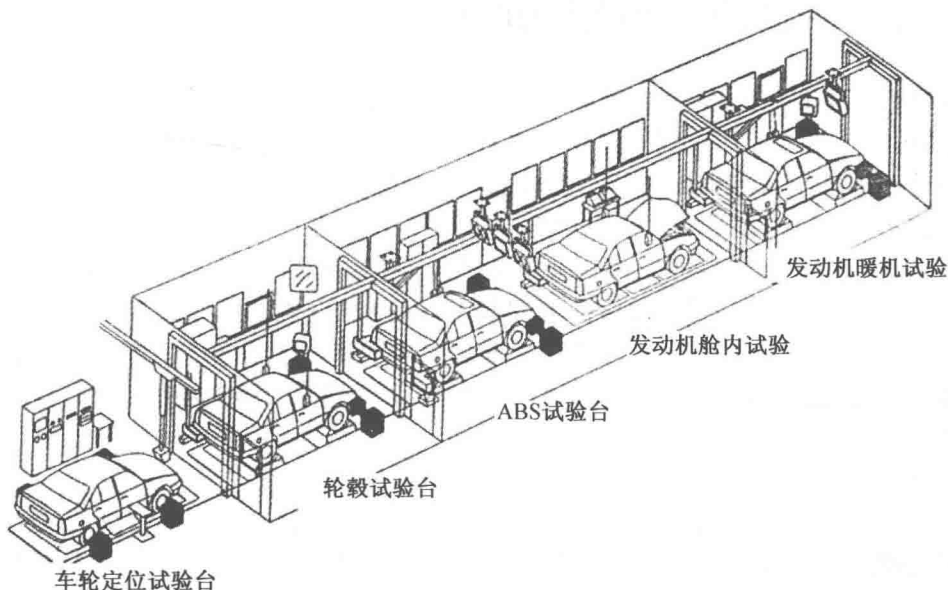


图 1-3 某汽车集成式测试平台



汽车试验方法发展趋势:(1) 试验内容不断增加:为了满足人们对汽车日益增加的各项要求,需要不断地增加试验项目和试验内容;汽车功能的扩展,各种新结构、新技术在汽车上的应用亦需要增加试验内容。(2) 试验方法不断更新:汽车法规的日渐严格,需要更新试验方法;对汽车要求的日益提高,需要更新试验方法;试验技术的进步也会带来试验方法的变化。

汽车试验仪器设备发展的重要特征是:(1) 自动化程度越来越高;(2) 功能集成;(3) 环境再现;(4) 高精度、高效率。

1.5 汽车车用传感器

现代汽车的智能化、安全化、环保和舒适化要求对汽车零部件及整车性能进行测试和评价,而传感器是信息的源头,只有拥有良好多样的传感器,才能有效使用这些测试设备和技术。传感器的作用就是将光、电、温度、压力、时间等物理、化学量转化成电信号,供控制单元识别。传感器作为现代汽车电控系统的关键部件,直接影响汽车的性能的发挥。早期普通汽车装有十几种传感器,高级轿车需要用传感器对温度、压力、位置、距离、转速、加速度、湿度、电磁、光电、振动等进行实时准确的测量,一般需要 30~100 种传感器。大体来说分为:① 发动机控制用温度、压力、转速、氧、流量、爆震等传感器;② 汽车底盘控制用车速、加速度、负荷、水温、油温,节气门、高度、转角传感器;③ 车身控制用温度、风量、日照、图像、超声波传感器等几大类。

由于传感器的重要作用,世界各国对其理论研究、新材料应用、产品开发都非常重视。具体来说就是各类新材料、新工艺、新效应(原理)不断应用,集成化、多维化、多功能化、智能化的产品不断出现。

1.6 课程的对象和本书的主要内容

本课程主要讲述现代汽车的测试技术及传感器发展和应用;信号分类及时域和频域分析方法,测试系统的数学描述和静态特性;电气参数测量与汽车测试常见电工仪表;车用典型传感器;传统汽车和电动汽车的基本性能测试;电动汽车电池、电机及动力系统测试;常用电动汽车标准等。

对高校的车辆和汽车应用工程专业来说,“汽车测试技术”是一门专业基础(核心)课程。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,了解测试所用常见传感器原理,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。

本书的重点内容:

(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;掌握频谱分析和相关分析的基本原理和方法;掌握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,脉冲响



应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) 掌握信号调理的原理和方法。包括电桥电路、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。

(4) 了解传感器理论。包括各类常用传感器的原理、结构及性能参数,并能较为正确地选用传感器。

(5) 对微机组成的测试系统有一个完整的概念。

(6) 了解汽车工程中典型的测试方法。

本课程实践性要求很强,只有在学习中密切联系实际,加强实验,深入理解物理概念,有条件的院校可以鼓励学生通过论文、创新训练、科研项目、企业实践等方式取得相应的实践学分。

第2章 测试信号分析及测量装置特性

扫码获取
本章电子资源



测试工作是按一定的目的和要求,获取感兴趣的、有限的某些特定信息,而信号是信息的载体,信息则是信号所载的内容。由于测试系统内部和外部的影响,输出信号中往往会混杂很多干扰信号,造成有用信号难于识别和利用,同时为了准确获取被测量的量值及其变化,必须考虑测量装置的静态与动态特性、负载特性、抗干扰特性等。

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,我们不仅要精准地测量被测信号的幅值大小,还包括测量动态信号随时间变化过程的波形。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。本章主要介绍工程测试中常见信号的分类、分析方法和分析评价测量装置对激励的响应程度特性。

2.1 信号的表示与分类

2.1.1 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,因而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 $x(t)$ 为例, t 是自变量,可以是时间变量,也可以是空间变量。

信号可以用多种方式来表示,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。限于篇幅,本书只作时域、频域分析。



2.1.2 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

如图 2-3 所示,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,若自变量时间 t 在某一个时间内连续取值,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 2-1(a)所示。

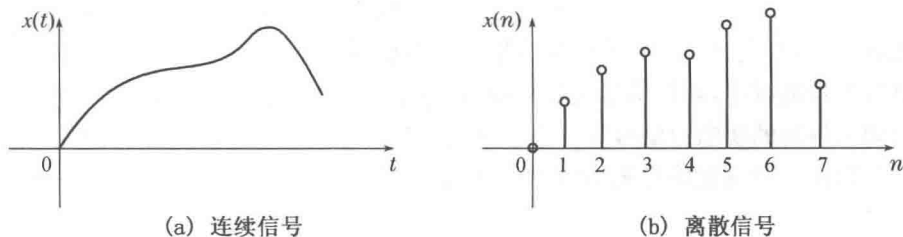


图 2-1 连续信号和离散信号

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。如图 2-1(b)是将图 2-1(a)中的连续信号进行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(A/D 采样)后的数字序列是离散信号,也称数字信号。

3. 按照信号随时间变化的特点分类

如图 2-3 所示,信号可分为确定性信号和非确定性信号两大类。

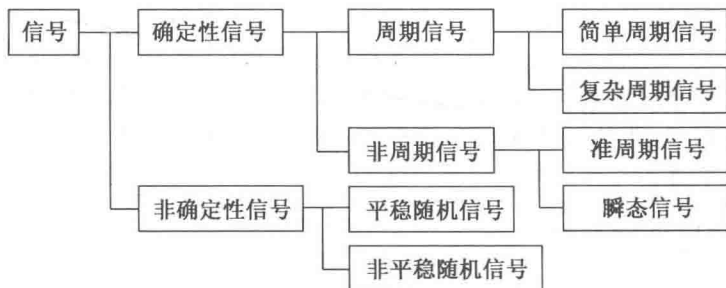


图 2-2 信号分类

(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:

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



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。

将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

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

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。在机械工程测试中, 这种信号往往出现于机械转子振动信号、齿轮噪声信号中。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。如按指数衰减的振荡信号、各种波形(矩形、三角形)的单个脉冲信号等。

(2) 非确定性信号。非确定性信号又称随机信号, 可分为平稳随机信号和非平稳随机信号两类。如果描述随机信号的各种统计特征(如平均值、均方根值、概率密度函数等)不随时间推移而变化, 则这种信号称为平稳随机信号。反之, 如果在不同采样时间内测得的统计参数不能看作常数, 则这种信号就称为非平稳随机信号。

在机械工程测试中, 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力信号等。由于这类信号无法用数学公式进行精确描述, 因而也无法预见今后任一时刻此信号确切的大小, 只能用统计数学的方法给出今后某一时刻此信号取值的概率。

4. 实信号与复信号

物理可实现的信号都是时间的实函数, 其在各时刻的函数值均为实数。

虽然实际上不能产生复信号, 但为了理论分析的需要, 常常利用复信号的概念。在连续信号中最常用的是复指数信号。

$$x(t) = e^{st} \quad -\infty \leq t \leq \infty \quad (2-3)$$

2.2 信号的时域分析

直接观测或记录的信号一般是随时间变化的物理量, 这种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, 它能够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以及信号波形在不同时刻的相似性和关联性。

2.2.1 时域信号特征参数

对信号 $x(t)$ 进行时域分析, 可以获得信号的峰值、峰峰值、平均值、方差、方均值、方均根值等时域特征参数。

1. 周期信号的时域分析参数

(1) 峰值和峰峰值

峰值是信号在时间间隔 T 内的最大值, 用 x_p 表示, 即



$$x_p = \max\{x(t)\} \quad (2-4)$$

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_{pp} 表示,即

$$x_{pp} = \max\{x(t)\} - \min\{x(t)\} \quad (2-5)$$

它表示了信号的动态变化范围,即信号的分布区间。

(2) 平均值

平均值是信号在时间间隔 T 内的平均值,用的 μ_x 表示,即

$$\mu_x = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2-6)$$

它表示了信号变化的中心趋势,也称为固定分量或直流分量,即不随时间变化的分量。

(3) 方差和均方差

在时间间隔 T 内信号的方差定义为

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \mu_x]^2 dt \quad (2-7)$$

(4) 方均值和方均根值

在时间间隔 T 内信号的方均值定义为

$$\varphi_x^2 = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (2-8)$$

也可称为平均功率,它表示了信号的强度大小。

信号的方均根值 φ_x 是方均值的平方根,也称为有效值,它表示了信号的平均能量。可以证明,方均值、方差和均值之间存在下述关系:

$$\varphi_x^2 = \sigma_x^2 + \mu_x^2 \quad (2-9)$$

这些统计参数从不同方面反映了信号的特征,如在故障诊断中常用方均根值作为故障程度的判断依据。

2. 随机信号的时域分析参数

确定信号一般是在一定条件下的出现的特殊情况,或者是忽略了次要的随机因素后的抽象出来的模型,但随机信号广泛存在于工程技术的各个领域,测试信号总是受到环境噪声污染,故研究随机信号具有普遍、现实意义。描述随机性信号的主要时域特征参数主要有均值、方差、均方值,概率密度函数自相关函数等。

均值表示信号的常值分量:

$$\mu_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2-10)$$

方差描述信号的波动分量:

$$\sigma_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \mu_x]^2 dt \quad (2-11)$$

均方差表示信号的强度:



$$\psi_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T x^2(t) dt \quad (2-12)$$

三者之间的关系:

$$\sigma_x^2 = \psi_x^2 - \mu_x^2 \quad (2-13)$$

随机信号的概率密度函数是表示信号幅值落在指定区间的概率。如图 2-3 所示的信号, $x(t)$ 值落在 $(x, x+\Delta x)$ 区间的时间为

$$T_x = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \cdots + \Delta t_n = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (2-14)$$

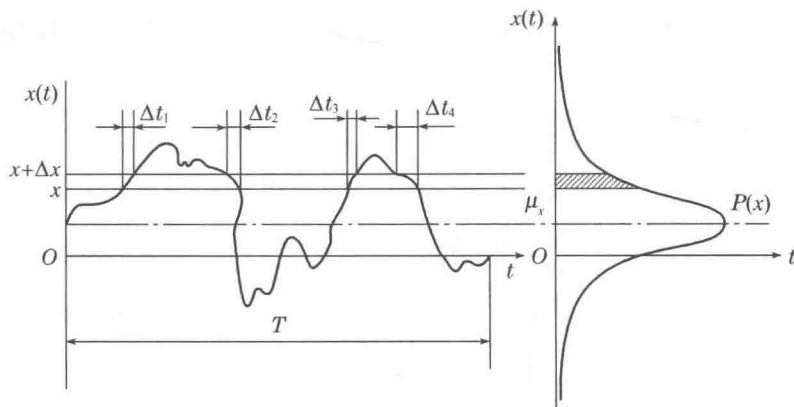


图 2-3 概率密度函数的计算

当样本函数的记录时间 T 趋于无穷大时, T_x/T 的比值就是幅值落在 $(x+\Delta x)$ 区间的概率, 即

$$P_T[x \leq x(t) \leq x + \Delta x] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T_x}{T} \quad (2-15)$$

定义幅值概率密度函数:

$$p(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P_T[x \leq x(t) \leq x + \Delta x]}{\Delta x} \quad (2-16)$$

概率密度函数提供了随机信号幅值分布的信息, 是随机信号的主要特征参数之一。是概率相对于振幅的变化率, 不同的随机信号有着不同的概率密度函数图形, 因此可以用来判别信号的性质。常见信号的概率密度函数图形如图 2-4 所示。

2.2.2 时域相关分析

为了反映一个信号幅值随时间变化的波动规律, 即在不同时刻的相关程度, 可以采用自相关函数来描述。而对于不同的信号来说, 为了描述它们之间的相关程度, 可以采用互相关分析方法。

1. 自相关函数

信号 $x(t)$ 的自相关函数定义为

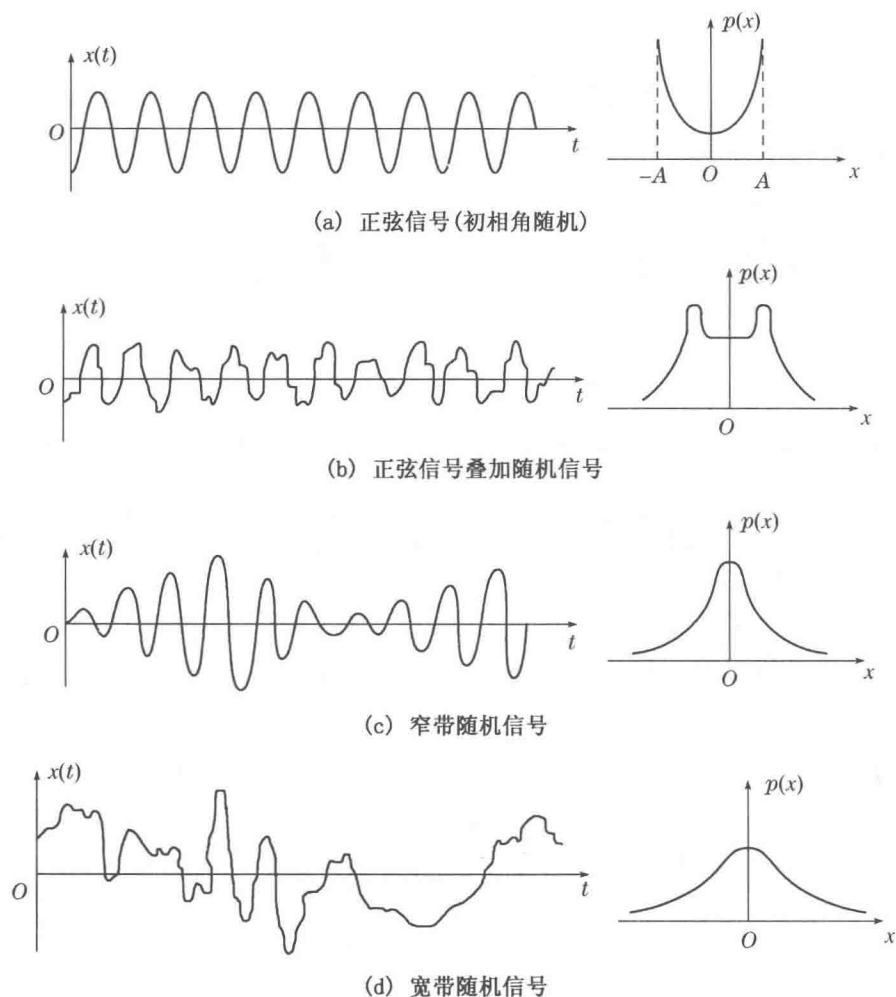


图 2-4 几种常见信号的概率密度函数

$$R_x(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau) dt \quad (2-17)$$

它描述了信号在一个时刻的取值与相隔 τ 时刻取值的依赖关系,或相似程度。自相关函数是偶函数,且周期信号的自相关函数是与原信号周期相同的周期信号。自相关函数主要应用于判断信号的性质和检测混淆在随机噪声中的周期信号。自相关函数具有如下属性:

- ① $\tau=0$ 时,自相关函数即信号均方值;
- ② 自相关函数在 $\tau=0$ 时为最大值;
- ③ 自相关函数为偶函数;
- ④ 周期信号的自相关函数仍为同频率的周期函数,其幅值与原周期函数的幅值有关,但丢失相位信息。

自相关函数描述了信号的现在值与未来值之间的依赖关系,能反映信号变化的剧烈程度,也是信号的几倍特征之一,信号如果越是“随机”, τ 离开零点时 $x(t)$ 和 $x(t+\tau)$ 相关性越