

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材  
电子信息

# 信号与系统分析

刘长征 叶瑰昀 编著  
陈德运 主审

清华大学出版社

高等学校教材  
电子信息

# 信号与系统分析

刘长征 叶瑰昀 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书全面而又系统地论述连续与离散时间信号及系统的基本理论和分析方法。全书分为4部分,共8章。其主要内容包括:第一部分(第1章)为基础篇,主要介绍信号与系统分析的基本概念;第二部分(第2章~第4章)为信号分析篇,主要论述信号的时域分析、频域分析及变换域分析;第三部分(第5章~第7章)为系统分析篇,主要论述线性系统的时域分析、频域分析、变换域分析;第四部分(第8章)为应用篇,引入 MATLAB 作为信号与系统分析的工具,利用 MATLAB 仿真软件的超强计算能力对全书介绍的分析方法进行原理验证。各章均配有足够数量的习题,习题的特点是与实际工程相结合,供作业和复习时选用。

本教材适合应用型人才培养的需要,可作为计算机、自动化、通信等电类相关专业本科生所用教材,也可作为研究生和相关专业领域的工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

信号与系统分析/刘长征,叶瑰昀编著. —北京:清华大学出版社,2012.4

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-27612-8

I. ①信… II. ①刘… ②叶… III. ①信号分析—高等学校—教材 ②信号系统—系统分析—高等学校—教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 271097 号

责任编辑:郑寅堃 徐跃进

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22.25 字 数:554 千字

版 次:2012 年 4 月第 1 版 印 次:2012 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

---

产品编号:041854-01

**改**革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合新世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

**清华大学出版社教材编审委员会**  
**E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn**

“信号与系统”是几乎所有电类与机械类相关专业本科生必修的专业基础课程。它主要研究信号与系统分析的基本理论与方法,其基本概念和分析方法广泛应用于各种不同的领域和学科中,是一门理论性、工程应用性极强,但又较为抽象的课程,在教学计划中起着承前启后的作用,是学生合理知识结构中的重要组成部分。

随着网络技术、多媒体技术、嵌入式系统、人机交互、信息安全等新技术的出现与应用,信息的传输与处理高速实时、数字化、智能化成为可能。因此,培养具有国际竞争能力的高水平信息技术人才,促进我国信息产业发展和国家信息化水平的提高,对电子信息类专业创新人才的培养、课程体系的改革、课程内容的更新提出了富有时代特色的要求。作者以高等工程教育、创新人才社会需求、信息科学发展的趋势为依据,结合多年的教学改革和实践成果,查阅和借鉴了国内外大量的最新教材,重新组织和编写了“信号与系统分析”。

在本教材编写过程中,注重以应用型人才培养为目标的课程体系建设和教学改革成果在本教材内容中的落实;既保持本教材内容的基础性,又体现其先进性,同时体现专业特色,特别注重理论与工程实际之间的联系;以培养学生发现、分析、解决问题的能力为主要目的。本教材特点如下:

### 1. 合理调整教材体系,适应学生对知识的认知规律

经过反复的调查研究、分析比较,并向国内很多同行老师请教和交流,同时征求了各届学生的意见,在保持这门课程的完整和严密的知识体系的基础上,对全书的整体结构做了大胆的调整变革:

(1) 先时域分析再变换域分析。信号与系统时域的概念比较直观,易于理解和掌握。在深刻理解和掌握时域的基本概念和分析方法,并了解有些问题在时域很难得以解决时,自然进入变换域分析的范围。所以本教材保持了传统的“由时域分析到变换域分析”、“由基本信号到一般信号”等循序渐进的知识演进体系。

(2) 先信号分析再系统分析。以往的绝大部分教材都是将信号分析与系统分析同步进行。但是在长期的教学过程中发现,学生在学习本课程的过程中,普遍存在将信号分析和系统分析概念混淆的现象。所以在本教材编写的过程中,作者在这方面进行了大胆的改革。因为信号分析是系统分析的基础,只有通过对信号及其特征进

行准确的分析和表达,才能正确地选择和设计与之匹配的系统,从而对信号进行有效的处理。

(3) 加重离散部分内容,适应后续课程调整和当前新技术需要。信号课程属于专业基础课,其重要功能就是为后续课程打基础。随着计算机的普遍使用及其相关课程不断地增补到各电类专业授课计划中,为了满足后续课程及新技术发展的需要,在信号与系统课程或教材中加强离散信号与系统(以下简称离散)分析势在必行。基于此,本教材将离散部分分析与连续部分分析并行。除了上述原因之外,这样做的另一个优点在于,介绍连续信号与系统后马上介绍离散的相关内容,有利于学生对问题的理解,省课时,相应地减少了工作量,从而做到事半功倍。

## 2. 应用软件 MATLAB 的辅助应用,增强学生对本课程的理解能力和分析问题、解决问题的能力

本教材单设一章,专门讨论 MATLAB 在信号与系统分析中的应用问题。利用 MATLAB 超强的数值计算和波形绘制能力,使复杂的数学计算和变换变得简单明了,有利于帮助学生将视线从数学计算的过程转向计算结果所对应的物理意义;引入 MATLAB 更是为了加强理论知识与实际相结合,同时复习和强化了信号与系统课程中的一些重要概念,是对信号与系统分析的巩固和验证,有助于提高学生利用计算机辅助分析方法解决问题的能力。

## 3. 每章配备应用举例和习题,增强内容的吸引力

根据每章的具体内容,并结合当前通信、自动控制、信号处理等方面的最新技术,或结合编者多年的科研实践增加了新的应用举例。为解决“解题难”问题,我们用大量例题介绍分析方法和解题技巧,用于开拓思维,促进对基本概念和基本理论的理解。在各主要章节之后还附有类型各异、深度不同的习题。在习题中力求理论与实际相结合,避免学生出现单纯做题的现象,有助于激发学生学习的兴趣和热情,推动学生灵活、深入地理解和掌握基本知识。

本书由哈尔滨理工大学刘长征教授负责全书的结构统筹、统稿及第 2 章、第 5 章的编写,由黑龙江科技学院叶瑰昀负责第 3 章、第 4 章、第 6 章、第 7 章的编写工作。其他参编人员有哈尔滨理工大学王莉莉负责第 1 章、第 8 章的编写,哈尔滨理工大学李扬负责全书习题的编写。

哈尔滨理工大学陈德运教授(博导)在百忙当中对全书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

另外,硕士研究生吕连军、黄茂成、齐秋实、李津京、崔明博、周磊等参与本书的文字录入工作,胡志恒、刘志广、杨锐、孙万路参与本书部分软件编辑和图形录入工作,在此表示感谢。

限于作者水平,书中难免有错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月于哈尔滨

## 第一部分 基础篇

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第 1 章 信号与系统</b> ..... | 3  |
| 1.1 信号与系统概述 .....        | 3  |
| 1.2 信号与信号分析 .....        | 4  |
| 1.2.1 信号的描述与分类.....      | 4  |
| 1.2.2 常用典型信号.....        | 8  |
| 1.2.3 信号分析概述 .....       | 19 |
| 1.3 系统及系统分析.....         | 20 |
| 1.3.1 系统的描述与分类 .....     | 20 |
| 1.3.2 线性时不变系统 .....      | 24 |
| 1.3.3 系统的联结 .....        | 26 |
| 1.3.4 系统分析概述 .....       | 28 |
| 习题 .....                 | 29 |

## 第二部分 信号分析篇

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>第 2 章 信号的时域分析</b> ..... | 37 |
| 2.1 信号的时域分解.....           | 37 |
| 2.2 信号的运算与变换.....          | 41 |
| 2.3 连续信号的卷积.....           | 48 |
| 2.3.1 卷积的定义 .....          | 48 |
| 2.3.2 卷积的性质 .....          | 50 |
| 2.3.3 卷积的图形扫描法 .....       | 52 |
| 2.4 序列的卷积和.....            | 54 |
| 2.4.1 卷积和的定义 .....         | 54 |
| 2.4.2 卷积和的性质 .....         | 57 |
| 2.4.3 序列卷积和的图形计算 .....     | 58 |
| 习题 .....                   | 60 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第 3 章 信号的频域分析</b>         | 65  |
| 3.1 连续时间周期信号的傅里叶级数           | 65  |
| 3.1.1 周期信号的傅里叶级数             | 65  |
| 3.1.2 傅里叶级数的基本性质             | 70  |
| 3.1.3 连续周期信号的频谱分析            | 73  |
| 3.1.4 周期信号的功率谱及信号的带宽         | 77  |
| 3.2 连续时间非周期信号的频域分析           | 79  |
| 3.2.1 傅里叶变换                  | 79  |
| 3.2.2 常见连续时间信号的频域分析          | 82  |
| 3.2.3 傅里叶变换的基本性质及应用          | 87  |
| 3.3 离散时间序列的频域分析              | 101 |
| 3.3.1 离散时间序列的傅里叶变换 DTFT      | 101 |
| 3.3.2 离散傅里叶级数及其性质            | 103 |
| 3.3.3 离散傅里叶变换及其性质            | 106 |
| 习题                           | 114 |
| <b>第 4 章 信号的变换域分析</b>        | 125 |
| 4.1 引言                       | 125 |
| 4.2 连续时间信号的复频域分析             | 126 |
| 4.2.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换          | 126 |
| 4.2.2 单边拉普拉斯变换               | 127 |
| 4.2.3 典型信号的拉普拉斯变换            | 128 |
| 4.2.4 拉普拉斯变换的性质              | 130 |
| 4.2.5 拉普拉斯反变换的部分分式展开法        | 137 |
| 4.3 离散时间序列的 $z$ 域分析          | 142 |
| 4.3.1 $z$ 变换的定义              | 142 |
| 4.3.2 典型序列的 $z$ 变换           | 143 |
| 4.3.3 $z$ 变换的主要性质            | 146 |
| 4.3.4 $z$ 反变换                | 155 |
| 4.4 拉普拉斯变换与 $z$ 变换的关系        | 162 |
| 4.4.1 拉普拉斯变换与 $z$ 变换表达式之间的关系 | 162 |
| 4.4.2 $s$ 平面与 $z$ 平面的对应关系    | 163 |
| 习题                           | 165 |

### 第三部分 系统分析篇

|                      |     |
|----------------------|-----|
| <b>第 5 章 系统的时域分析</b> | 173 |
| 5.1 引言               | 173 |

|       |                                   |     |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 5.2   | 连续时间 LTI 系统的时域分析 .....            | 174 |
| 5.2.1 | 连续时间 LTI 系统的数学描述 .....            | 174 |
| 5.2.2 | 连续时间 LTI 系统响应的经典法 .....           | 180 |
| 5.2.3 | 零输入响应和零状态响应 .....                 | 184 |
| 5.2.4 | 阶跃响应和冲激响应 .....                   | 188 |
| 5.2.5 | 零状态响应的卷积积分法 .....                 | 192 |
| 5.3   | 离散时间 LTI 系统的时域分析 .....            | 194 |
| 5.3.1 | 离散时间 LTI 系统的数学描述 .....            | 194 |
| 5.3.2 | 离散时间 LTI 系统响应的迭代解法 .....          | 197 |
| 5.3.3 | 离散时间 LTI 系统响应的经典解法 .....          | 198 |
| 5.3.4 | 零输入响应与零状态响应 .....                 | 200 |
| 5.3.5 | 单位脉冲响应和单位阶跃响应 .....               | 202 |
| 5.3.6 | 零状态响应的卷积和求法 .....                 | 205 |
| 5.4   | 复杂系统的冲激响应 .....                   | 207 |
| 5.4.1 | 级联系统的冲激响应 .....                   | 207 |
| 5.4.2 | 并联系统的冲激响应 .....                   | 208 |
| 5.4.3 | 混联系统的冲激响应 .....                   | 209 |
| 习题    | .....                             | 209 |
| 第 6 章 | 系统的频域分析 .....                     | 219 |
| 6.1   | 连续时间 LTI 系统的频域分析 .....            | 219 |
| 6.1.1 | 连续时间 LTI 系统的频率特性 .....            | 219 |
| 6.1.2 | 连续时间 LTI 系统零状态响应的频域求解 .....       | 221 |
| 6.2   | 离散时间 LTI 系统的频域分析 .....            | 224 |
| 6.2.1 | 离散时间 LTI 系统的频率特性 .....            | 224 |
| 6.2.2 | 离散时间 LTI 系统零状态响应的频域求解 .....       | 225 |
| 6.3   | 频域分析用于通信系统 .....                  | 227 |
| 6.3.1 | 无失真传输系统与理想滤波器 .....               | 227 |
| 6.3.2 | 信号的调制与解调 .....                    | 232 |
| 6.3.3 | 取样与取样定理 .....                     | 234 |
| 6.3.4 | 频分复用、时分复用与码分复用 .....              | 238 |
| 习题    | .....                             | 243 |
| 第 7 章 | 系统的变换域分析 .....                    | 251 |
| 7.1   | 连续时间 LTI 系统的复频域分析( $s$ 域分析) ..... | 251 |
| 7.1.1 | 连续时间 LTI 系统全响应的拉氏变换解法 .....       | 251 |
| 7.1.2 | 连续时间 LTI 系统的系统函数 .....            | 254 |
| 7.1.3 | 系统函数的零极点分布与系统特性的关系 .....          | 256 |
| 7.1.4 | 连续时间 LTI 系统的 $s$ 域模拟 .....        | 261 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 7.2 离散时间 LTI 系统的 $z$ 域分析 .....    | 265 |
| 7.2.1 差分方程的 $z$ 变换解 .....         | 265 |
| 7.2.2 离散时间 LTI 系统的系统函数与系统特性 ..... | 268 |
| 7.2.3 离散时间 LTI 系统的 $z$ 域模拟 .....  | 273 |
| 习题 .....                          | 277 |

## 第四部分 应用篇

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 第 8 章 MATLAB 在信号与系统分析中的应用 .....           | 289 |
| 8.1 引言 .....                              | 289 |
| 8.2 MATLAB 在信号分析中的应用 .....                | 290 |
| 8.2.1 典型信号的 MATLAB 实现 .....               | 290 |
| 8.2.2 信号基本运算与变换的 MATLAB 实现 .....          | 297 |
| 8.2.3 卷积和的 MATLAB 实现 .....                | 303 |
| 8.2.4 应用 MATLAB 进行信号的频谱分析 .....           | 304 |
| 8.2.5 应用 MATLAB 进行连续时间信号的拉普拉斯变换与反变换 ..... | 310 |
| 8.2.6 应用 MATLAB 进行离散序列的 $z$ 变换与反变换 .....  | 312 |
| 8.3 MATLAB 在系统分析中的应用 .....                | 313 |
| 8.3.1 应用 MATLAB 进行系统的时域分析 .....           | 313 |
| 8.3.2 应用 MATLAB 进行系统的频域分析 .....           | 319 |
| 8.3.3 应用 MATLAB 进行系统的复频域分析 .....          | 323 |
| 8.3.4 应用 MATLAB 进行系统的 $z$ 域分析 .....       | 330 |
| 习题 .....                                  | 337 |
| 参考文献 .....                                | 341 |

第①部分

基 础 篇

- 第1章 信号与系统



# 第1章

## 信号与系统

### 1.1 信号与系统概述

自古以来人们都在不断地寻求传递各种信息的方法。我国古代利用烽火传送敌人入侵的警报,战场上用击鼓鸣金传达各种命令。当今社会已经进入了信息时代,人们通过听广播、看电视等方式接收带有信息的信息,通过发短信、打电话把带有信息的信息传出去,人们每时每刻都可以从各种媒体获得大量信息,这些信息对人们的日常生活和工作产生深刻的影响。那么,究竟什么是信息?控制论的创始人维纳认为,信息是人和物体与外界世界交换内容的名称,“内容”是事物的原形,“交换”即信息载体将事物原形映射到人或其他物体的感觉器官,人们把这种映射的结果视为获得的“信息”。信息多种多样,它们的具体物理形态也千差万别。例如,电话传送的是语音信息;电视传送的主要是图像信息;雷达传送的是目标的距离、高度、方位等参量信息。通常,人们把信息的具体表现形式称为信号,而信息是信号的内容。

不同的信息通过不同的信号表现出来,例如,表现环境温度信息的温度信号、表现交通红绿灯信息的光信号,还有压力信号、声音信号、电信号等。但是无论表现哪种信息的信号都有一个共同点,就是信号总是一个或者多个变量的函数,而且具有不同物理形态的信号之间是可以互相转换的。例如,以声压变化表示的语音信号可以转化成以电压或者电流变化表示的语音电信号,甚至可以转换成一组数据表示的语音信号,即所谓的数字语音。由于电信号处理起来比较方便,所以工程上通常用各种传感器把不同的非电信号按照一定的函数关系转化成电信号进行传输和处理。基于电信号的重要性,本书仅研究电信号并把它简称为信号。

在近代,人们在自然科学及工程、经济、社会等许多领域中广泛引用“系统”的概念、理论和方法,并根据各学科本身的规律,建立相应的数学模型,研究各自的问题。所谓系统是由若干个相互作用和相互依赖的事物组合而成的具有某种或者某些特定功能的整体。例如:各种通信系统、各种自动化系统、各种计算机系统、因特网、各种信息管理系统、电力系统和电力网、交通运输系统、机械系统、航空航天系统、软件系统、生态系统、神经系统、消化系统、血液循环系统、气象和天气预报系统、经济预测系统、决策系统等。由此可见,根据规模和完成功能不同,系统的种类很多。系统的规模可大可小,视实际需要而定。如通信系统包括发射机、接收机、计算机等,它们是通信系统的组成单元,同时它们本身又是一个较小的系统,称为子系统,而构成每个子系统内的各种元件又称其为更小的子系统。所以,系统是相对而

言的。一个特定系统中包含若干子系统,同时它可能是另一系统中的子系统。系统的功能也随其构成形式而定,有的可以完成对信号的加工和处理,如放大、滤波、延迟、积分等;有的则可以完成对运动物体的遥控遥测,如雷达、卫星遥控遥测系统等;有的可以完成工业过程中各种物理量(如温度、湿度、流量、电压、电流、速度等)的自动检测。可见不同的系统具有不同的属性和规模。尽管如此,众多领域中各不相同的系统也都具有一个共同点,即所有系统总是对施加于它的信号(激励、刺激、影响因素等)作出响应,产生另外的信号。施加于它们的信号称为系统的输入信号或激励,由此产生的信号称为系统的输出信号或响应。其输入输出的对应关系可以简单地用框图表示出来,如图 1-1 所示。

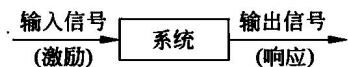


图 1-1 信号与系统

如果系统的输入和输出信号均为一个,这样的系统称为单输入单输出系统(SISO);如果系统的输入和输出信号有多个,则称其为多输入多输出系统(MIMO)。虽然实际中多输入多输出系统用得很多,但就方法和概念而言,单输入单输出系统是重要的基础,因此,本书重点研究单输入单输出系统及其分析方法。

在各种系统中,电系统具有特殊的重要作用,因为大多数的非电系统都可以用电系统模拟或仿真。在电系统中,信号的两种主要形式是电压信号和电流信号,并且都是时间的函数,分别表示为  $u(t)$ 、 $i(t)$ 。一般信号也可以表示为  $f(t)$ 、 $y(t)$  等。

信号和系统的概念是紧密相连的。一方面任何系统都接收输入信号,产生输出信号,系统的特定功能就是用其输入输出信号的变换关系来描述的;另一方面,任何信号的改变,无论是物理形态的改变,还是所包含的信息内容的变化,都是通过系统实现的。信号和系统之间的这种关系就形成了所谓“信号与系统”问题。由于本书所研究的信号主要是电信号,所以也是重点研究电系统。但是,书中所介绍的信号与系统的许多理论和分析方法对其他非电系统同样具有普遍的指导意义。

## 1.2 信号与信号分析

### 1.2.1 信号的描述与分类

#### 1. 信号的描述

信号可以表示为时间函数(序列),该函数的图像称为信号的波形。因此,通常可以用以下几种方法来描述信号。

##### 1) 数学表达式

通过数学表达式描述信号随时间的变化,例如连续时间信号  $f(t) = \sin t$ ,  $f(t) = e^{-at}$ , 离散时间信号  $f(n) = a^n \varepsilon(n)$  等。

##### 2) 图形法

通过信号的波形来描述信号随时间的变化,例如图 1-2 所示的波形。

##### 3) 序列表示

离散时间信号也可以用序列来表示,例如图 1-2(b)也可以表示为:

$$f(n) = \{2, -1, 0, 1, -2, 3\}$$

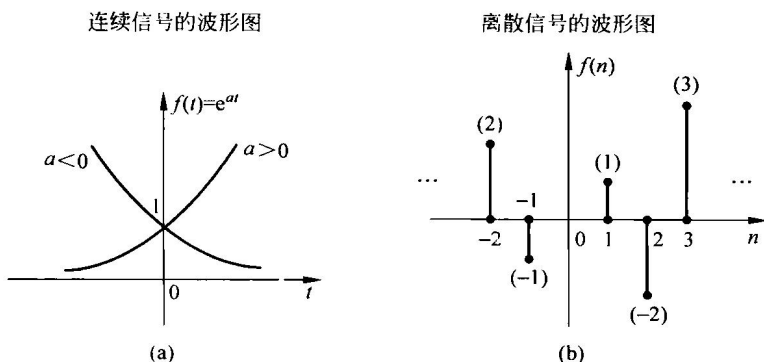


图 1-2 信号的图形表示

## 2. 信号的分类

信号随时间变化的规律是多种多样的,可以从不同的角度对信号进行分类。

### 1) 一维信号和多维信号

根据信号自变量的个数不同,可把信号分成一维信号和多维信号。用一个自变量的函数描述的信号称为一维信号,如语言信号可表示为声压随时间变化的函数,则这是一维信号。用两个或两个以上的自变量的函数描述的信号则称为多维信号,例如一张黑白照片的每个点(像素)具有不同的光强度,任一点又是二维平面坐标中两个变量的函数,这是二维信号。显然,一维信号就是数学中的单变量函数,多维信号就是数学中的多变量函数。

由于在信号与系统的分析中,大量场合只涉及一维信号,所以在以后的讨论中,一般情况下只研究一维信号,且自变量为时间。

### 2) 确定性信号和随机信号

如果信号可以用确定的数学函数表示,对于指定的某一时刻,可以确定一个相应的函数值,这种信号称为确定性信号。例如,正弦信号、余弦信号、指数衰减信号等。相反,如果信号的取值在不同时刻随机变化,不可能预先确切知道它的变化规律,则称为随机信号或非确定信号。例如,在通信系统传输信号的过程中,不可避免地受到干扰和噪声的影响,这些干扰和噪声都具有随机特性,因此属于随机信号。从原则上讲,理想的确定性信号是不存在的。但是,确定性信号作为一种科学的抽象,是研究随机信号的基础。因此,研究确定性信号的特性仍具有十分重要的意义,因此本书只研究确定性信号。

### 3) 连续时间信号和离散时间信号

根据信号定义域的特点可将信号分为连续时间信号和离散时间信号。

在连续时间范围内( $-\infty < t < \infty$ )有定义的信号称为连续时间信号,简称连续信号。这里的“连续”是指函数的定义域——时间是连续的,至于信号的值域可以是连续的,也可以是不连续的。

图 1-3(a)中的信号  $f(t) = \sin t$ ,  $-\infty < t < \infty$ , 其定义域为  $(-\infty, \infty)$ , 值域为  $[-1, 1]$  都是连续的。图 1-3(b)中的阶跃信号

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

在  $t=0$  处存在间断点,但是其定义域为  $(-\infty, \infty)$ , 所以为连续信号。

时间和取值都为连续的信号又称为模拟信号。在实际应用中,模拟信号和连续信号往往不予区分。

仅在一些离散的瞬间才有定义的信号称为离散时间信号,简称离散信号。这里“离散”是指信号的定义域——时间是离散的,只在某些不连续的规定瞬间给出函数值,在其他时间没有定义,如图 1-4 所示。

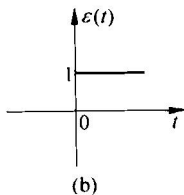
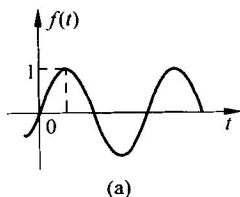


图 1-3 连续信号

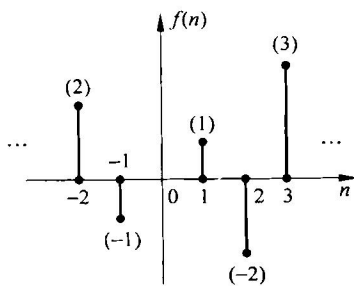


图 1-4 离散信号

图 1-4 对应  $f(t)$  只在  $t=\dots-2, -1, 0, 1, 2, 3\dots$  离散时刻给出函数值  $\dots, 2, -1, 0, 1, -2, 3\dots$ 。给出函数值的离散时刻的间隔可以是均匀的,也可以是不均匀的。一般采取均匀的间隔。这时,自变量  $t$  可以简化为用整数序号  $n$  表示,函数符号写作  $f(n)$ ,只有当  $n$  为整数时  $f(n)$  才有定义。这种取法不仅统一和简化了离散时间信号的表示,而且与计算机或数学系统对它们进行处理的实际情况相一致。因此,离散时间信号又可称做离散时间序列,或简称序列。其图形表示如图 1-4 所示,称为序列图形或离散时间信号的波形。与连续信号一样,离散信号也有序列表达式,图 1-4 所示的信号可写成序列

$$f(n) = \begin{cases} 2, & n = -2 \\ -1, & n = -1 \\ 0, & n = 0 \\ 1, & n = 1 \\ -2, & n = 2 \\ 3, & n = 3 \end{cases} \quad (1.2)$$

为简化表达式,此序列也可以写作:

$$f(n) = \{2, -1, 0, 1, -2, 3\} \quad (1.3)$$

↑

数字 0 下面的箭头表示与  $n=0$  相对应,左右两边也依次给出  $n$  取负整数和正整数时相应的  $f(n)$  值。另外,离散时间信号实际上是一个数值序列,还可以用序列值表来表示,见表 1-1。至少可以说,在有限区间的离散时间信号,它的序列值表可以完全地表示该序列。

表 1-1 图 1-4 所示离散时间信号的序列值表

| $n$    | $\dots$ | $-2$ | $-1$ | $0$ | $1$ | $2$ | $3$ | $\dots$ |
|--------|---------|------|------|-----|-----|-----|-----|---------|
| $f(n)$ | $\dots$ | 2    | -1   | 0   | 1   | -2  | 3   | $\dots$ |