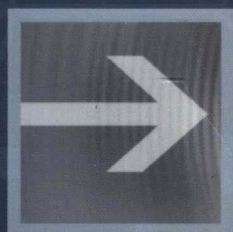


高等学校教材·电子信息

可赠送课件

jsjc@tup.tsinghua.edu.cn

信号与系统



余成波 张莲 邓力 编著

1.6-43



清华大学出版社

高等学校教材·电子信息

信号与系统

余成波 张 莲 邓 力 编著

内 容 简 介

本书为一本面向 21 世纪教学的有关信号处理基础的教材。全书共分 7 章,即信号与系统的基本概念、连续时间系统的时域分析、连续时间信号与系统的频域分析、连续时间信号与系统的复频域分析、离散时间系统的时域与频域分析、离散系统的 Z 域分析和系统分析的状态变量法。

本书着重讲述了连续时间信号和离散时间信号与系统的表示与分析方法,两类信号与系统之间的相似关系,它们之间的内在联系或转换,建立了偏重于信号处理较完善的基本方法和基本理论。书中配有大量的例题和习题。

本书可作为高等工科院校电子信息工程、通信工程、自动化等专业的教材,也可供成人教育及有关科技人员学习参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/余成波,张莲,邓力编著. —北京:清华大学出版社,2004.10

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 7-302-09546-9

I. 信… II. ①余…②张…③邓… III. 信号系统—高等学校—教材 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 095672 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:李江涛

文稿编辑:陶萃洲

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:18 字数:439 千字

版 次:2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-09546-9/TN·213

印 数:1~4000

定 价:24.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

高等学校教材·电子信息

编审委员会

- | | |
|-----|-----------------------|
| 王志功 | (东南大学 教授) |
| 王成山 | (天津大学电气与自动化工程学院 教授) |
| 王煦法 | (中国科学技术大学信息科学技术学院 教授) |
| 王新龙 | (南京大学 教授) |
| 王成华 | (南京航空航天大学 教授) |
| 方 勇 | (上海大学 教授) |
| 方建安 | (东华大学信息科学与技术学院 教授) |
| 邓元庆 | (解放军理工大学理学院基础部 教授) |
| 冯久超 | (华南理工大学 教授) |
| 冯全源 | (西南交通大学 教授) |
| 刘惟一 | (云南大学信息学院 教授) |
| 刘复华 | (武汉理工大学 教授) |
| 朱 杰 | (上海交通大学 教授) |
| 朱守正 | (东北师范大学 教授) |
| 张秉权 | (沈阳工业学院 教授) |
| 张丽英 | (长春大学电子信息工程学院 教授) |
| 张德民 | (重庆邮电学院通信与信息工程学院 教授) |
| 迟 岩 | (集美大学信息工程学院 教授) |
| 严国萍 | (华中科技大学 教授) |
| 何明一 | (西北工业大学 教授) |
| 何怡刚 | (湖南大学电气与信息工程学院 教授) |
| 何 晨 | (上海交通大学 教授) |
| 余成波 | (重庆工学院 教授) |
| 林 君 | (吉林大学 教授) |
| 金炜东 | (西南交通大学 教授) |
| 郑永果 | (山东科技大学信息学院 教授) |
| 赵鹤鸣 | (苏州大学电子信息学院 教授) |
| 徐佩霞 | (中国科学技术大学 教授) |
| 郭从良 | (中国科学技术大学电子科学与技术系 教授) |
| 郭维廉 | (天津大学电子信息工程学院 教授) |

曾凡鑫 (重庆通信学院 教授)
曾喆昭 (长沙理工大学电气与信息工程学院 教授)
曾孝平 (重庆大学通信工程学院 教授)
彭启琮 (电子科技大学 教授)
谢显中 (重庆邮电学院 教授)
樊昌信 (西安电子科技大学通信工程学院 教授)

出版说明

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”,是教育部正在制订的《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以下三个系列:

(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。

清华大学出版社经过近二十年的努力，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。清华版教材经过二十多年的精雕细刻，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。

总策划 李家强

策 划 卢先和 丁 岭

清华大学出版社教材编审委员会

E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

luxh@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

“信号与系统”课程是高等工科院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、计算科学与技术和生物医学工程等专业的一门重要的技术基础课程。它的应用领域非常广泛,几乎遍及电类及非电类的各个工程技术学科。随着科学的进步,特别是近年来高集成度与高速数字技术的飞跃发展,新材料、新工艺和新器件的不断出现,使各技术学科领域和现代化工业的面貌发生了巨大的变化。当今科技革命的特征是以信息技术为核心,促使社会由电气化时代进入信息化时代,并以知识密集产业作为主体产业。

在人类面临 21 世纪的新问题、新技术和新机遇的挑战所进行的教育改革中,加强素质培养,淡化专业,拓宽基础,促进各学科和专业的交叉与渗透已成为不可逆转的世界潮流。为了适应我国社会主义现代化建设和以信息技术为核心的高新技术迅猛发展的需要,贯彻我国西部地区发展战略和当今的教学规律,依据我国当前电气工程学科课程设置与教学改革的实际情况,对传统的“信息与系统”课程的教学内容,经适当选择和裁剪组合“数字信号处理”课程的内容及体系,形成该《信号与系统》教材。它突出了信号与系统课程最重要的概念与基本的理论和方法,可适应少学时的教学要求,为信号处理理论与技术日益广泛应用于电气工程领域的发展奠定了必备的基础理论知识,并直接与数字信号处理的基本理论和方法相衔接,使学生有可能在最短的时间内获得最大的信息量,培养工作能力,达到事半功倍的效果。这样既有利于教学,提高质量,又有利于科技人员,学以致用。

全书共分 7 章。第一章讲述信号与系统的基本概念,第二章讲述连续时间系统的时域分析,第三章讲述连续时间信号与系统的频域分析,第四章讲述连续时间信号与系统的复频域分析,第五章讲述离散时间系统的时域与频域分析,第六章和第七章讲述离散系统的 Z 域分析和系统分析的状态变量法。建议课堂教学 54 学时,教师可根据各自的实际情况要求进行补充与删减。

全书由余成波教授统稿。参加编写的有余成波(第一、二、三、四章),张莲(第五、六章),邓力(第七章)。陶红艳、刘东、刘江生等同志参加了本书审核与编排工作。

本书在编写过程中得到了重庆工学院领导自始至终的大力支持和帮助。许多兄弟院校的同行们为本书的编写提出了许多宝贵的意见并提供了帮助。在此,一并表示衷心的感谢。

本书既可作为高等工科院校电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、计算科学与技术等专业的教材,也可供自学考试及成人教育有关专业选用,还可供有关科技人员学习参考。

由于作者的水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请广大的同行给予批评指正。

编 者

2004 年 6 月

目 录

第一章 信号与系统的基本概念	1
1.1 信号的定义与分类	1
1.1.1 信号及其描述	1
1.1.2 信号的分类	2
1.2 基本的连续时间和离散时间信号	6
1.2.1 单位阶跃信号与单位冲激信号	6
1.2.2 正弦信号与正弦序列	9
1.2.3 指数信号与指数序列	11
1.3 信号的基本运算与波形变换	13
1.3.1 信号的基本运算	13
1.3.2 自变量变换导致的信号变换	17
1.3.3 信号的分解	23
1.4 系统的数学模型及其分类	26
1.4.1 系统的概念	26
1.4.2 系统模型	27
1.4.3 系统的基本连接方式	29
1.4.4 系统的分类	31
1.5 系统的模拟与相似系统	35
1.5.1 相似系统	35
1.5.2 系统模拟	36
1.6 线性时不变系统分析方法概述	40
1.7 习题	41
第二章 连续时间系统的时域分析	46
2.1 线性连续系统的描述及其响应	46
2.1.1 LTI 系统的微分方程描述	46
2.1.2 微分方程的经典解	47
2.1.3 零输入响应与零状态响应	50
2.2 冲激响应和阶跃响应	53
2.2.1 冲激函数的性质	53
2.2.2 任意信号的冲激表示	56
2.2.3 冲激响应	57
2.2.4 阶跃响应	59

2.3	卷积积分及其应用	61
2.3.1	卷积积分的定义	61
2.3.2	用卷积积分计算线性时不变系统的零状态响应	61
2.3.3	卷积的计算:图形扫描法	62
2.3.4	卷积积分的性质	64
2.4	习题	68
第三章	连续时间信号与系统的频域分析	72
3.1	信号的正交分解	72
3.1.1	正交函数集	72
3.1.2	信号的正交分解与最小均方误差	73
3.1.3	周期信号的傅里叶级数分析	74
3.2.1	傅里叶级数的三角函数形式	75
3.2.2	傅里叶级数的指数形式	76
3.2.3	函数的对称性与傅里叶系数的关系	77
3.3	周期信号的频谱	81
3.3.1	周期信号频谱的特点	81
3.3.2	周期矩形脉冲的频谱	83
3.3.3	周期信号的功率	87
3.4	非周期信号的频谱	88
3.5	常用非周期信号的傅里叶变换	92
3.5.1	单位冲激	92
3.5.2	冲激函数导数	92
3.5.3	单位直流信号	93
3.5.4	单位阶跃信号	94
3.5.5	符号函数	94
3.5.6	矩形脉冲信号	96
3.5.7	虚指数函数	96
3.5.8	周期信号	97
3.5.9	高斯函数信号	97
3.6	傅里叶变换的性质	98
3.6.1	线性性质	98
3.6.2	奇偶特性	99
3.6.3	正反变换的对称性	100
3.6.4	尺度变换(展缩性质或波形的缩放特性)	100
3.6.5	时移特性	101
3.6.6	频移特性	102
3.6.7	卷积定理	104
3.6.8	时域微分和积分性质	105

3.6.9 频域微分和频域积分	107
3.6.10 能量谱和功率谱	108
3.7 傅里叶反变换	110
3.7.1 利用傅里叶变换对称特性	110
3.7.2 部分分式展开	111
3.7.3 利用傅里叶变换性质和常见信号的傅里叶变换对	112
3.8 LTI 系统的频域分析	113
3.8.1 频率响应	113
3.8.2 信号无失真传输	116
3.8.3 理想低通滤波器的响应	118
3.9 希尔伯特变换	120
3.9.1 因果时间函数的傅里叶变换的实部或虚部自满性	120
3.9.2 连续时间解析信号的希尔伯特变换表示法	121
3.9.3 希尔伯特变换的性质	122
3.10 调制与解调	124
3.10.1 正弦幅度调制和解调	124
3.10.2 脉冲幅度调制	131
3.11 连续时间信号的抽样	133
3.11.1 周期抽样	133
3.11.2 抽样的时域表示	134
3.11.3 时域抽样定理	136
3.11.4 连续时间信号的重建	137
3.12 习题	139
第四章 连续时间信号与系统的复频域分析	145
4.1 拉普拉斯变换	145
4.1.1 拉普拉斯变换的定义	145
4.1.2 拉普拉斯变换的收敛域	147
4.1.3 常用信号的拉普拉斯变换	149
4.2 拉普拉斯变换的性质	151
4.2.1 线性性质	151
4.2.2 时移(延时)特性	152
4.2.3 尺度变换(展缩性质)	154
4.2.4 频移特性	155
4.2.5 时域微分定理	156
4.2.6 时域积分定理	157
4.2.7 S 域微分定理	160
4.2.8 S 域积分定理	160
4.2.9 初值定理	161

4.2.10	终值定理	161
4.2.11	时域卷积定理	161
4.3	拉普拉斯反变换	163
4.3.1	逆变换表法	163
4.3.2	部分分式展开法(海维塞展开法)	163
4.3.3	围线积分法(留数法)	167
4.4	LTI 系统的复频域分析	168
4.4.1	微分方程的拉氏变换解法	169
4.4.2	拉普拉斯变换法分析电路和 S 域元件模型	171
4.5	系统函数 $H(s)$	175
4.5.1	$H(s)$ 的定义与性质	175
4.5.2	利用系统函数 $H(s)$ 求解连续时间 LTI 系统的响应	177
4.5.3	系统的方框图表示与模拟	179
4.5.4	系统函数的零、极点与系统特性的关系	183
4.6	系统的稳定性	188
4.6.1	系统稳定的概念	188
4.6.2	稳定性判据	190
4.7	习题	191
第五章	离散时间系统的时域与频域分析	196
5.1	离散时间系统	196
5.1.1	离散时间系统的基本概念	196
5.1.2	离散时间系统的描述	197
5.2	离散时间系统的时域分析	198
5.2.1	迭代法	198
5.2.2	经典解法	200
5.2.3	零输入响应和零状态响应	201
5.2.4	用卷积和求零状态响应	202
5.3	离散时间信号与系统的频域响应	206
5.3.1	周期离散时间信号的离散傅里叶级数表示	206
5.3.2	非周期离散时间信号的离散时间傅里叶变换	211
5.3.3	周期序列的离散时间傅里叶变换	213
5.3.4	离散时间傅里叶变换的性质	215
5.3.5	离散时间 LTI 系统的频域分析	219
5.4	习题	223
第六章	离散系统的 Z 域分析	227
6.1	Z 变换	227
6.1.1	Z 变换的定义及其收敛域	227

6.1.2	典型序列的 Z 变换及其与收敛域的对应关系	229
6.1.3	Z 变换与拉普拉斯变换的关系	230
6.2	Z 反变换	232
6.2.1	幂级数展开法(长除法)	232
6.2.2	部分分式展开法	233
6.2.3	围线积分法(留数法)	236
6.3	Z 变换的性质	237
6.3.1	线性性质	237
6.3.2	移位特性	238
6.3.3	尺度变换	240
6.3.4	初值定理	241
6.3.5	终值定理	241
6.3.6	卷积定理	242
6.4	离散时间系统的 Z 域分析	244
6.4.1	利用 Z 变换求解差分方程	244
6.4.2	离散系统函数	246
6.4.3	离散系统的稳定性	250
6.5	习题	251
第七章	系统分析的状态变量法	254
7.1	状态方程	254
7.1.1	状态变量和状态方程	254
7.1.2	状态方程的一般形式	259
7.2	连续系统状态方程的解	260
7.2.1	状态方程的时域求解	260
7.2.2	状态方程的复频域求解	262
7.3	离散系统的状态变量分析	264
7.3.1	离散系统状态方程的建立	264
7.3.2	状态方程的时域解	265
7.3.3	状态方程的 Z 变换解	268
7.4	习题	270
参考文献		273

第一章 信号与系统的基本概念

随着近代科学技术的进步与发展,特别是高集成度与高速数字技术的飞跃发展,信息高速公路的建设,新材料、新工艺和新器件的不断出现,各技术学科领域和现代化工业的面貌发生了深刻和巨大的变化。当今科技革命的特征是以信息技术为核心,促使社会进入信息时代,使信号与系统日益复杂,也促进了信号与系统理论研究的发展。

系统理论主要研究两类问题:系统分析与系统综合。系统分析是对给定的某具体系统,求出它对于给定激励的响应;系统综合则是在给定输入(激励)的条件下,为获得预期的输出(响应)设计具体的系统。

本书讨论的范围仅限于信号与系统的分析。

1.1 信号的定义与分类

1.1.1 信号及其描述

人类在社会活动与日常生活中,时时刻刻都涉及信息的获取、存储、传输与再现。可以说上至天文,下至地理;大到宇宙,小到粒子、核子的研究乃至工农业生产、社会发展及家庭生活都离不开信息科学,故信息对每个人都赋予了特别重要的意义。何谓“信息”?信息是反映人们得到“消息(即原来不知道的知识)”,信息是人类认识客观世界和改造客观世界的知识源泉。获取信息、传输信息和交换信息,自古至今一直是人类基本的社会活动。从公元前 700 余年,我们的祖先利用烽火传递警报,到现代的电话、电报、传真、无线广播与电视,其目的都是要把某些“消息(message)”借一定形式的信号从一个地方传递到另一个地方,给对方以信息(information),即信息要用某种物理方式表达出来,通常可以用语言、文字、图画、数据、符号等来表达。也就是说,信息通常隐含于一些按一定规则组织起来的约定的“符号”之中,这种用约定方式组成的“符号”统称为消息。因此,消息中通常包含有大量的信息。但是,信息一般都不能直接传送,它必须借助于一定形式的信号(光信号、声信号、电信号等)才能远距离快速传输和进行各种处理。因此可以说信号是消息的载体,是消息的一种表现形式。

那么,什么是“信号(signal)”?广义地说,信号是带有信息的随时间变化的物理量或物理现象。例如,机械振动产生力信号、位移信号及噪声信号;雷电过程产生的声、光信号;大脑、心脏运动分别产生脑电信号和心电信号;电气系统随参数变化产生电磁信号等。在通信技术中,信号是消息的表现形式,它是传送各种消息的工具,是通信传输的客观对象。本课程只讨论应用广泛的电信号,它通常是随时间变化的电压或电流。由于信号是随时间变化的,在数学上可以用时间 t 的函数 $f(t)$ 来表示。

信号的特性可以从时间特性和频率特性两方面来描述,由于信号有各自不同的时间特性和频率特性,故信号的形式不同。但信号的时间特性和频率特性有着对应的关系,不同的时间特性将导致不同的频率特性的出现。

1.1.2 信号的分类

为了深入了解信号的物理实质,将其分类研究是非常必要的。对于各种信号,可从不同角度进行分类。下面讨论几种比较常见的分类方法。

1. 确定信号与随机信号

按时间函数的确定性划分,信号可分为确定信号与随机信号两类。

确定信号(determinate signal)是指信号随时间的变化服从于某种确定规律,能用确定的数学函数表达,对任一确定时刻,信号有确定的函数值。也就是预先可以知道它的变化规律,是时间的确定函数,即在给定的某一时刻,信号是有确定值的。如正弦信号、周期脉冲信号等。

随机信号(random signal)则与之不同,不能预知它随时间变化的规律,不是时间的确定函数,即不能用数学关系式描述。其幅值、相位变化是不可预知的,通常只知道它取某一些数值的概率,如噪声信号、汽车行驶时所产生的振动信号等。但是在一段时间内,由于它的变化规律从统计的角度看仍然是比较确定的,可以近似为确定信号。所以,为了分析方便,我们只讨论确定信号。

图 1.1 给出了几种简单信号的波形,其中,图 1.1(a)~图 1.1(e)所示各信号均是确定性信号;图 1.1(f)所示信号是随机信号,无法写出其函数表达式。

对于确定信号,它可以进一步分为周期信号、非周期信号和准周期信号。

周期信号(periodic signal)是指按某一固定时间重复出现的信号,它可表示为

$$f(t) = f(t + nT) \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.1)$$

满足此关系式的最小 T 值称为信号的周期。这种信号,只要给出任一周期内的变化规律,即可确定它在所有其他时间内的规律性,如图 1.1(c)所示。

非周期信号(aperiodic signal)在时间上不具有周而复始的特性,往往具有瞬变性,也可以看做为一个周期 T 趋于无穷大时的周期信号,如图 1.1(a)、(b)所示。

准周期信号是周期与非周期的边缘情况,是由有限个周期信号合成,但各周期信号的频率相互间不是公倍关系,其合成信号不满足周期条件。这种信号往往出现于通信中,如信号

$$f(t) = \cos t + \cos(\sqrt{2}t) \quad (1.2)$$

2. 连续时间信号与离散时间信号

不论周期信号还是非周期信号,若从时间变量的取值是否连续出发,又可以分为连续时间信号与离散时间信号,简称连续信号与离散信号。

连续信号(continuous signal)是指在所讨论的时间间隔内,除了若干个第一类间断点外,对于任意时刻都可给出确定的函数值。此类信号称为连续信号或模拟信号,通常用 $f(t)$ 表示,如图 1.2 所示。

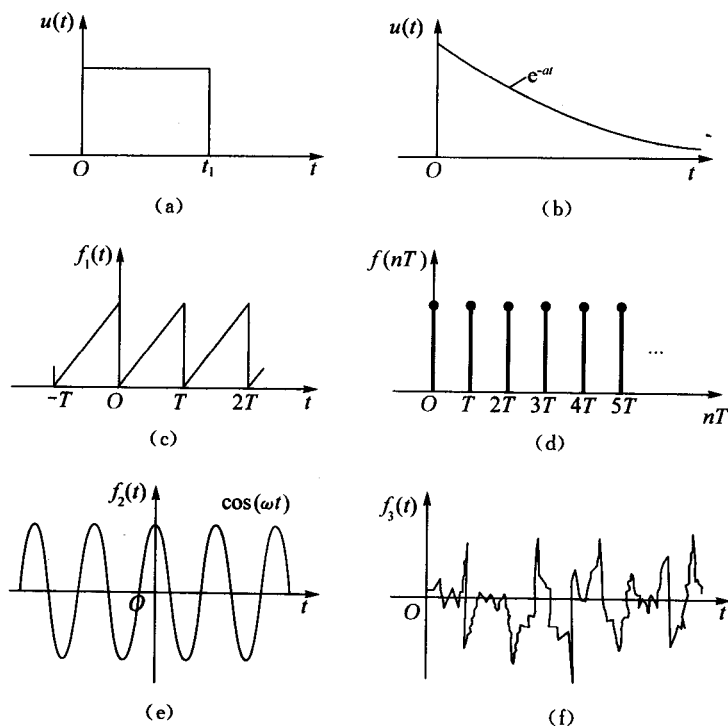


图 1.1 简单信号的波形

离散信号(discrete signal)是指在所讨论的时间区间,只在某些不连续规定的时刻给出函数值,而在其他时刻没有给出函数,通常用 $f(t_k)$ 或 $f(kT)$ (简写为 $f[k]$) 表示。由于它由一组按时间顺序的观测值组成,所以也称为时间序列或简称序列,如图 1.3 所示。说到离散信号,有必要说明数字信号的概念。通常将模拟信号变换为离散值称为离散化。离散化包括对变量的离散化和对数值的离散化。将变量在某一区间的值用一个数值来表示的离散化称为取样。对测定值的离散化称为量化。时间变量和测定幅值均被离散化的信号统称为数字信号(digital signal)。从模拟信号转换为数字信号称为 A/D 转换。如图 1.4 为模拟信号转换为数字信号的示意图。

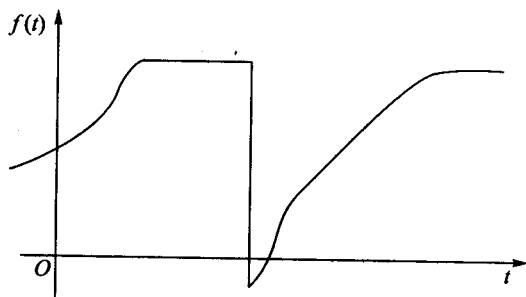


图 1.2 连续时间信号

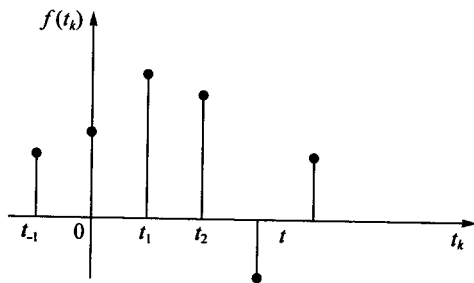


图 1.3 离散时间信号

3. 能量信号与功率信号

信号按时间函数的可积性可分为能量信号、功率信号和非功率非能量信号。

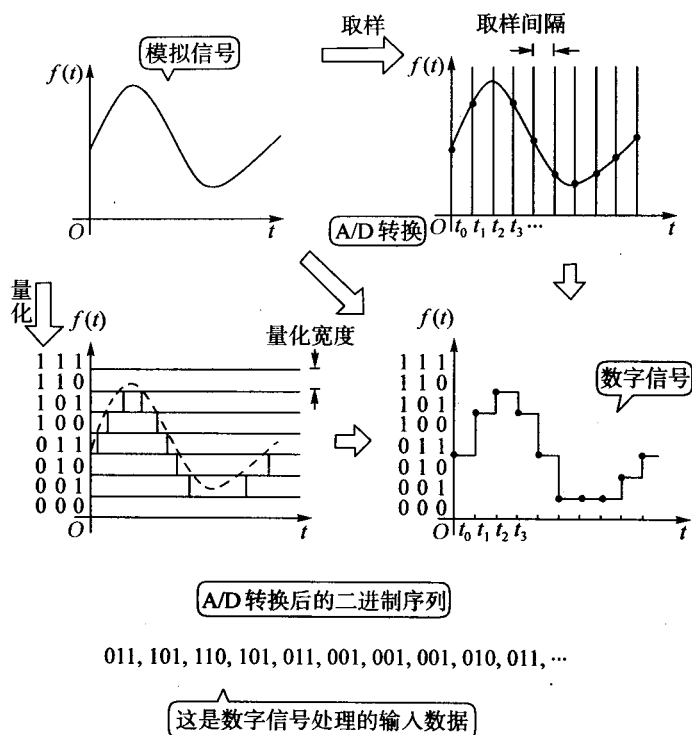


图 1.4 从模拟信号到数字信号

信号可以看做是随时间变化的电压或电流,信号平方的无穷积分总值加到 1Ω 电阻上的能量,简称为信号能量 E ,即

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T f^2(t) dt \quad (1.3)$$

其平均功率定义为

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f^2(t) dt \quad (1.4)$$

若信号 $f(t)$ 的能量有界,即 $0 < E < \infty$,此时 $P = 0$,则称此信号为能量有限信号,简称能量信号(energy signal)。

若信号 $f(t)$ 的功率有界,即 $0 < P < \infty$,此时 $E = \infty$,则称此信号为功率有限信号,简称功率信号(power signal)。

值得注意的是,一个信号不可能既是功率信号,又是能量信号,但可以是既非功率信号,又非能量信号,如单位斜坡信号就是一个例子。一般来说,周期信号都是功率信号;非周期信号则可能出现三种情况:能量信号、功率信号和非功率非能量信号。如持续时间有限的非周期信号为能量信号,如图 1.5(a)所示的脉冲信号;持续时间无限、幅度有限的非周期信号为功率信号,如图 1.5(b)所示;持续时间、幅度均无限的非周期信号为非功率非能量信号,如图 1.5(c)所示。

4. 时限与频限信号

时域有限信号是在有限区间 (t_1, t_2) 内定义,而此区间外恒等于零,如矩形脉冲、三角脉