



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

信号与系统

主 编 许丽佳
康志亮

1.000 000 000 00 $\times 10^{-10}$

详细介绍信号与系统的理论与方法
依据编者多年的教学经验精选内容
各章习题类型多样并附有习题答案



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

信号与系统

主 编	许丽佳	康志亮	
副主编	庞 涛	黄诚剔	
参 编	宋国明	张昌华	罗 航



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书简明扼要地介绍了信号与系统的基本理论和分析方法,包括信号与系统的基本概念、连续信号与系统的时域分析、离散信号与系统的时域分析、连续信号与系统的频域分析、离散信号与系统的频域分析、连续信号与系统的复频域分析、离散信号与系统的Z域分析、MATLAB在信号与系统中的应用。

本书精选了一些重要的例题,旨在帮助读者理解和掌握信号与系统的基本理论和分析方法。本书叙述精练,深入浅出,举例翔实,适合教学和自学。本书适合作为普通高校信息与通信工程、电子科学与技术、电气工程、控制科学与工程等相关专业的教材,也可供高职高专院校的相关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/许丽佳,康志亮主编. —北京:北京大学出版社,2013.7

(21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-22582-0

I. ①信… II. ①许…②康… III. ①信号系统—高等学校—教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第116906号

书 名: 信号与系统

著作责任者: 许丽佳 康志亮 主编

策 划 编 辑: 童君鑫 宋亚玲

责 任 编 辑: 宋亚玲

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-22582-0/TP·1289

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 20.25印张 468千字

2013年7月第1版 2013年7月第1次印刷

定 价: 38.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书详细地介绍了信号与系统的基本理论和分析方法。编者依据多年的教学经验，精选了各章的内容。本书分为8章，以最基本的内容为主线，注重系统性和逻辑性，介绍精练，层次分明，便于读者自学。本书主要内容如下：

第1章 信号与系统的基本概念。介绍信号与系统的基本概念、分类、信号的基本运算，系统的性质，并辅之以实例。

第2章 连续信号与系统的时域分析。介绍了微分算子方程和卷积，对连续系统的零输入响应、零状态响应、完全响应等给予了详细的介绍。

第3章 离散信号与系统的时域分析。介绍了差分算子方程和卷和，对离散系统的零输入响应、零状态响应、完全响应等给予了详细的介绍。

第4章 连续信号与系统的频域分析。介绍了连续信号的正交分解、周期信号的傅里叶级数、非周期信号的傅里叶变换、傅里叶变换的性质、周期信号的傅里叶变换，最后详细地阐述了傅里叶变换的三大应用及连续信号与系统的频域分析，并辅以实例。

第5章 离散信号与系统的频域分析。介绍了离散周期信号傅里叶级数、非周期信号的傅里叶变换、傅里叶变换的性质，最后详细地阐述了快速傅里叶变换算法及离散信号与系统的频域分析，并辅以实例。

第6章 连续信号与系统的复频域分析。介绍了连续信号的双边拉普拉斯变换、收敛域、单边拉普拉斯变换、常见信号拉普拉斯变换对、拉普拉斯变换的性质，最后详细阐述了连续信号与系统的复频域分析，并辅以实例。

第7章 离散信号与系统的Z域分析。介绍了离散信号的双边Z变换、收敛域、单边Z变换、常见信号Z变换对、Z变换的性质，最后详细阐述了离散信号与系统的Z域分析，并辅以实例。

第8章 MATLAB在信号与系统中的应用。介绍了信号的基本运算、卷积、卷和、系统时域响应、频域分析、复频域分析、Z域分析，并配有大量MATLAB程序。

各章后均附有习题，在学完每章后，读者可通过大量习题的练习进一步巩固所学的内容。

本书第1章由成都工业学院宋国明编写，第2章由四川农业大学庞涛、电子科技大学张昌华编写，第3章由四川农业大学庞涛编写，第4、5章由四川农业大学康志亮编写，第6章由四川农业大学许丽佳编写，第7章由四川农业大学许丽佳、华侨大学黄诚剔编写，第8章由四川大学罗航、四川农业大学康志亮编写。全书由许丽佳、康志亮统稿并定稿。

由于时间有限，加上编者水平所限，书中难免存在一些不足之处，恳请广大读者不吝指正。

编者

2013.4

北京大学出版社本科计算机系列实用规划教材

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
1	7-301-10511-5	离散数学	段禅伦	28	38	7-301-13684-3	单片机原理及应用	王新颖	25
2	7-301-10457-X	线性代数	陈付贵	20	39	7-301-14505-0	Visual C++程序设计案例教程	张荣梅	30
3	7-301-10510-X	概率论与数理统计	陈荣江	26	40	7-301-14259-2	多媒体技术应用案例教程	李 建	30
4	7-301-10503-0	Visual Basic 程序设计	闵联营	22	41	7-301-14503-6	ASP .NET 动态网页设计案例教程(Visual Basic .NET 版)	江 红	35
5	7-301-21752-8	多媒体技术及其应用(第2版)	张 明	39	42	7-301-14504-3	C++面向对象与 Visual C++程序设计案例教程	黄贤英	35
6	7-301-10466-8	C++程序设计	刘天印	33	43	7-301-14506-7	Photoshop CS3 案例教程	李建芳	34
7	7-301-10467-5	C++程序设计实验指导与习题解答	李 兰	20	44	7-301-14510-4	C++程序设计基础案例教程	于永彦	33
8	7-301-10505-4	Visual C++程序设计教程与上机指导	高志伟	25	45	7-301-14942-3	ASP .NET 网络应用案例教程(C#.NET 版)	张登辉	33
9	7-301-10462-0	XML 实用教程	丁跃潮	26	46	7-301-12377-5	计算机硬件技术基础	石 磊	26
10	7-301-10463-7	计算机网络系统集成	斯桃枝	22	47	7-301-15208-9	计算机组成原理	姜国焕	24
11	7-301-22437-3	单片机原理及应用教程(第2版)	范立南	43	48	7-301-15463-2	网页设计与制作案例教程	房爱莲	36
12	7-5038-4421-3	ASP.NET 网络编程实用教程(C#版)	崔良海	31	49	7-301-04852-8	线性代数	姚喜妍	22
13	7-5038-4427-2	C 语言程序设计	赵建锋	25	50	7-301-15461-8	计算机网络技术	陈代武	33
14	7-5038-4420-5	Delphi 程序设计基础教程	张世明	37	51	7-301-15697-1	计算机辅助设计二次开发案例教程	谢安俊	26
15	7-5038-4417-5	SQL Server 数据库设计与管理	姜 力	31	52	7-301-15740-4	Visual C# 程序开发案例教程	韩朝阳	30
16	7-5038-4424-9	大学计算机基础	贾丽娟	34	53	7-301-16597-3	Visual C++程序设计实用案例教程	于永彦	32
17	7-5038-4430-0	计算机科学与技术导论	王昆仑	30	54	7-301-16850-9	Java 程序设计案例教程	胡巧多	32
18	7-5038-4418-3	计算机网络应用实例教程	魏 峥	25	55	7-301-16842-4	数据库原理与应用(SQL Server 版)	毛一梅	36
19	7-5038-4415-9	面向对象程序设计	冷英男	28	56	7-301-16910-0	计算机网络技术基础与应用	马秀峰	33
20	7-5038-4429-4	软件工程	赵春刚	22	57	7-301-15063-4	计算机网络基础与应用	刘远生	32
21	7-5038-4431-0	数据结构(C++版)	秦 锋	28	58	7-301-15250-8	汇编语言程序设计	张光长	28
22	7-5038-4423-2	微机应用基础	吕晓燕	33	59	7-301-15064-1	网络安全技术	骆耀祖	30
23	7-5038-4426-4	微型计算机原理与接口技术	刘彦文	26	60	7-301-15584-4	数据结构与算法	佟伟光	32
24	7-5038-4425-6	办公自动化教程	钱 俊	30	61	7-301-17087-8	操作系统实用教程	范立南	36
25	7-5038-4419-1	Java 语言程序设计实用教程	董迎红	33	62	7-301-16631-4	Visual Basic 2008 程序设计教程	隋晓红	34
26	7-5038-4428-0	计算机图形技术	龚声蓉	28	63	7-301-17537-8	C 语言基础案例教程	汪新民	31
27	7-301-11501-5	计算机软件技术基础	高 巍	25	64	7-301-17397-8	C++程序设计基础教程	郁亚辉	30
28	7-301-11500-8	计算机组装与维护实用教程	崔明远	33	65	7-301-17578-1	图论算法理论、实现及应用	王桂平	54
29	7-301-12174-0	Visual FoxPro 实用教程	马秀峰	29	66	7-301-17964-2	PHP 动态网页设计与制作案例教程	房爱莲	42
30	7-301-11500-8	管理信息系统实用教程	杨月江	27	67	7-301-18514-8	多媒体开发与编程	于永彦	35
31	7-301-11445-2	Photoshop CS 实用教程	张 瑾	28	68	7-301-18538-4	实用计算方法	徐亚平	24
32	7-301-12378-2	ASP.NET 课程设计指导	潘志红	35	69	7-301-18539-1	Visual FoxPro 数据库设计案例教程	谭红杨	35
33	7-301-12394-2	C#.NET 课程设计指导	龚白霞	32	70	7-301-19313-6	Java 程序设计案例教程与实训	董迎红	45
34	7-301-13259-3	Visual Basic .NET 课程设计指导	潘志红	30	71	7-301-19389-1	Visual FoxPro 实用教程与上机指导(第2版)	马秀峰	40
35	7-301-12371-3	网络工程实用教程	汪新民	34	72	7-301-19435-5	计算方法	尹景本	28
36	7-301-14132-8	J2EE 课程设计指导	王立丰	32	73	7-301-19388-4	Java 程序设计教程	张剑飞	35
37	7-301-21088-8	计算机专业英语(第2版)	张 勇	42	74	7-301-19386-0	计算机图形技术(第2版)	许承东	44

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
75	7-301-15689-6	Photoshop CS5 案例教程 (第2版)	李建芳	39	84	7-301-16824-0	软件测试案例教程	丁宋涛	28
76	7-301-18395-3	概率论与数理统计	姚喜妍	29	85	7-301-20328-6	ASP. NET 动态网页案例教程 (C#.NET 版)	江 红	45
77	7-301-19980-0	3ds Max 2011 案例教程	李建芳	44	86	7-301-16528-7	C#程序设计	胡艳菊	40
78	7-301-20052-0	数据结构与算法应用实践教程	李文书	36	87	7-301-21271-4	C#面向对象程序设计及 实践教程	唐 燕	45
79	7-301-12375-1	汇编语言程序设计	张宝剑	36	88	7-301-21295-0	计算机专业英语	吴丽君	34
80	7-301-20523-5	Visual C++程序设计教程与上 机指导(第2版)	牛江川	40	89	7-301-21341-4	计算机组成与结构教程	姚玉霞	42
81	7-301-20630-0	C#程序开发案例教程	李挥剑	39	90	7-301-21367-4	计算机组成与结构实验实训 教程	姚玉霞	22
82	7-301-20898-4	SQL Server 2008 数据库应 用案例教程	钱 峭	38	91	7-301-22119-8	UML 实用基础教程	赵春刚	36
83	7-301-21052-9	ASP.NET 程序设计与开发	张绍兵	39					

北京大学出版社电气信息类教材书目(已出版)

欢迎选订

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
1	7-301-10759-1	DSP 技术及应用	吴冬梅	26	38	7-5038-4400-3	工厂供配电	王玉华	34
2	7-301-10760-7	单片机原理与应用技术	魏立峰	25	39	7-5038-4410-2	控制系统仿真	郑恩让	26
3	7-301-10765-2	电工学	蒋 中	29	40	7-5038-4398-3	数字电子技术	李 元	27
4	7-301-19183-5	电工与电子技术(上册)(第2版)	吴舒辞	30	41	7-5038-4412-6	现代控制理论	刘永信	22
5	7-301-19229-0	电工与电子技术(下册)(第2版)	徐卓农	32	42	7-5038-4401-0	自动化仪表	齐志才	27
6	7-301-10699-0	电子工艺实习	周春阳	19	43	7-5038-4408-9	自动化专业英语	李国厚	32
7	7-301-10744-7	电子工艺学教程	张立毅	32	44	7-5038-4406-5	集散控制系统	刘翠玲	25
8	7-301-10915-6	电子线路 CAD	吕建平	34	45	7-301-19174-3	传感器基础(第2版)	赵玉刚	32
9	7-301-10764-1	数据通信技术教程	吴延海	29	46	7-5038-4396-9	自动控制原理	潘 丰	32
10	7-301-18784-5	数字信号处理(第2版)	阎 毅	32	47	7-301-10512-2	现代控制理论基础(国家级十一五规划教材)	侯媛彬	20
11	7-301-18889-7	现代交换技术(第2版)	姚 军	36	48	7-301-11151-2	电路基础学习指导与典型题解	公茂法	32
12	7-301-10761-4	信号与系统	华 容	33	49	7-301-12326-3	过程控制与自动化仪表	张井岗	36
13	7-301-19318-1	信息与通信工程专业英语(第2版)	韩定定	32	50	7-301-12327-0	计算机控制系统	徐文尚	28
14	7-301-10757-7	自动控制原理	袁德成	29	51	7-5038-4414-0	微机原理及接口技术	赵志诚	38
15	7-301-16520-1	高频电子线路(第2版)	宋树祥	35	52	7-301-10465-1	单片机原理及应用教程	范立南	30
16	7-301-11507-7	微机原理与接口技术	陈光军	34	53	7-5038-4426-4	微型计算机原理与接口技术	刘彦文	26
17	7-301-11442-1	MATLAB 基础及其应用教程	周开利	24	54	7-301-12562-5	嵌入式基础实践教程	杨 刚	30
18	7-301-11508-4	计算机网络	郭银景	31	55	7-301-12530-4	嵌入式 ARM 系统原理与实例开发	杨宗德	25
19	7-301-12178-8	通信原理	隋晓红	32	56	7-301-13676-8	单片机原理与应用及 C51 程序设计	唐 颖	30
20	7-301-12175-7	电子系统综合设计	郭 勇	25	57	7-301-13577-8	电力电子技术及应用	张润和	38
21	7-301-11503-9	EDA 技术基础	赵明富	22	58	7-301-20508-2	电磁场与电磁波(第2版)	邹春明	30
22	7-301-12176-4	数字图像处理	曹茂永	23	59	7-301-12179-5	电路分析	王艳红	38
23	7-301-12177-1	现代通信系统	李白萍	27	60	7-301-12380-5	电子测量与传感技术	杨 雷	35
24	7-301-12340-9	模拟电子技术	陆秀令	28	61	7-301-14461-9	高电压技术	马永翔	28
25	7-301-13121-3	模拟电子技术实验教程	谭海曙	24	62	7-301-14472-5	生物医学数据分析及其 MATLAB 实现	尚志刚	25
26	7-301-11502-2	移动通信	郭俊强	22	63	7-301-14460-2	电力系统分析	曹 娜	35
27	7-301-11504-6	数字电子技术	梅开乡	30	64	7-301-14459-6	DSP 技术与应用基础	俞一彪	34
28	7-301-18860-6	运筹学(第2版)	吴亚丽	28	65	7-301-14994-2	综合布线系统基础教程	吴达金	24
29	7-5038-4407-2	传感器与检测技术	祝诗平	30	66	7-301-15168-6	信号处理 MATLAB 实验教程	李 杰	20
30	7-5038-4413-3	单片机原理及应用	刘 刚	24	67	7-301-15440-3	电工电子实验教程	魏 伟	26
31	7-5038-4409-6	电机与拖动	杨天明	27	68	7-301-15445-8	检测与控制实验教程	魏 伟	24
32	7-5038-4411-9	电力电子技术	樊立萍	25	69	7-301-04595-4	电路与模拟电子技术	张绪光	35
33	7-5038-4399-0	电力市场原理与实践	邹 斌	24	70	7-301-15458-8	信号、系统与控制理论(上、下册)	邱德润	70
34	7-5038-4405-8	电力系统继电保护	马永翔	27	71	7-301-15786-2	通信网的信令系统	张云麟	24
35	7-5038-4397-6	电力系统自动化	孟祥忠	25	72	7-301-16493-8	发电厂变电所电气部分	马永翔	35
36	7-5038-4404-1	电气控制技术	韩顺杰	22	73	7-301-16076-3	数字信号处理	王震宇	32
37	7-5038-4403-4	电器与 PLC 控制技术	陈志新	38	74	7-301-16931-5	微机原理及接口技术	肖洪兵	32

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
75	7-301-16932-2	数字电子技术	刘金华	30	107	7-301-20506-8	编码调制技术	黄 平	26
76	7-301-16933-9	自动控制原理	丁 红	32	108	7-301-20763-5	网络工程与管理	谢 慧	39
77	7-301-17540-8	单片机原理及应用教程	周广兴	40	109	7-301-20845-8	单片机原理与接口技术实验与课程设计	徐懂理	26
78	7-301-17614-6	微机原理及接口技术实验指导书	李丁林	22	110	301-20725-3	模拟电子线路	宋树祥	38
79	7-301-12379-9	光纤通信	卢志茂	28	111	7-301-21058-1	单片机原理与应用及其实验指导书	邵发森	44
80	7-301-17382-4	离散信息论基础	范九伦	25	112	7-301-20918-9	Mathcad 在信号与系统中的应用	郭仁春	30
81	7-301-17677-1	新能源与分布式发电技术	朱永强	32	113	7-301-20327-9	电工学实验教程	王士军	34
82	7-301-17683-2	光纤通信	李丽君	26	114	7-301-16367-2	供配电技术	王玉华	49
83	7-301-17700-6	模拟电子技术	张绪光	36	115	7-301-20351-4	电路与模拟电子技术实验指导书	唐 颖	26
84	7-301-17318-3	ARM 嵌入式系统基础与开发教程	丁文龙	36	116	7-301-21247-9	MATLAB 基础与应用教程	王月明	32
85	7-301-17797-6	PLC 原理及应用	缪志农	26	117	7-301-21235-6	集成电路版图设计	陆学斌	36
86	7-301-17986-4	数字信号处理	王玉德	32	118	7-301-21304-9	数字电子技术	秦长海	49
87	7-301-18131-7	集散控制系统	周荣富	36	119	7-301-21366-7	电力系统继电保护(第2版)	马永翔	42
88	7-301-18285-7	电子线路 CAD	周荣富	41	120	7-301-21450-3	模拟电子与数字逻辑	郭春明	39
89	7-301-16739-7	MATLAB 基础及应用	李国朝	39	121	7-301-21439-8	物联网概论	王金甫	42
90	7-301-18352-6	信息论与编码	隋晓红	24	122	7-301-21849-5	微波技术基础及其应用	李泽民	49
91	7-301-18260-4	控制电机与特种电机及其控制系统	孙冠群	42	123	7-301-21688-0	电子信息与通信工程专业英语	孙桂芝	36
92	7-301-18493-6	电工技术	张 莉	26	124	7-301-22110-5	传感器技术及应用电路项目化教程	钱裕禄	30
93	7-301-18496-7	现代电子系统设计教程	宋晓梅	36	125	7-301-21672-9	单片机系统设计及实例开发(MSP430)	顾 涛	44
94	7-301-18672-5	太阳能电池原理与应用	靳瑞敏	25	126	7-301-22112-9	自动控制原理	许丽佳	30
95	7-301-18314-4	通信电子线路及仿真设计	王鲜芳	29	127	7-301-22109-9	DSP 技术及应用	董 胜	39
96	7-301-19175-0	单片机原理与接口技术	李 升	46	128	7-301-21607-1	数字图像处理算法及应用	李文书	48
97	7-301-19320-4	移动通信	刘维超	39	129	7-301-22111-2	平板显示技术基础	王丽娟	52
98	7-301-19447-8	电气信息类专业英语	缪志农	40	130	7-301-22448-9	自动控制原理	谭功全	44
99	7-301-19451-5	嵌入式系统设计与应用	邢吉生	44	131	7-301-22474-8	电子电路基础实验与课程设计	武 林	36
100	7-301-19452-2	电子信息类专业 MATLAB 实验教程	李明明	42	132	7-301-22484-7	电文化——电气信息学科概论	高 心	30
101	7-301-16914-8	物理光学理论与应用	宋贵才	32	133	7-301-22436-6	物联网技术案例教程	崔逊学	40
102	7-301-16598-0	综合布线系统管理教程	吴达金	39	134	7-301-22598-1	实用数字电子技术	钱裕禄	30
103	7-301-20394-1	物联网基础与应用	李蔚田	44	135	7-301-22529-5	PLC 技术与应用(西门子版)	丁金婷	32
104	7-301-20339-2	数字图像处理	李云红	36	136	7-301-22386-4	自动控制原理	佟 威	30
105	7-301-20340-8	信号与系统	李云红	29	137	7-301-22528-8	通信原理实验与课程设计	郭春明	34
106	7-301-20505-1	电路分析基础	吴舒辞	38	138	7-301-22582-0	信号与系统	许丽佳	38

相关教学资源如电子课件、电子教材、习题答案等可以登录 www.pup6.com 下载或在线阅读。

扑六知识网(www.pup6.com)有海量的相关教学资源和电子教材供阅读及下载(包括北京大学出版社第六事业部的相关资源),同时欢迎您将教学课件、视频、教案、素材、习题、试卷、辅导材料、课改成果、设计作品、论文等教学资源上传到 pup6.com,与全国高校师生分享您的教学成就与经验,并可自由设定价格,知识也能创造财富。具体情况请登录网站查询。

如您需要免费纸质样书用于教学,欢迎登陆第六事业部门户网(www.pup6.com)填表申请,并欢迎在线登记选题以到北京大学出版社来出版您的大作,也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱,我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

扑六知识网将打造成全国最大的教育资源共享平台,欢迎您的加入——让知识有价值,让教学无界限,让学习更轻松。

联系方式:010-62750667, pup6_czq@163.com, szheng_pup6@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信咨询。

目 录

第 1 章 信号与系统的基本概念	1	2.1.2 卷积的性质	31
1.1 信号的描述与分类	2	2.1.3 常用信号的卷积积分	36
1.1.1 信号的定义和描述	2	2.2 连续系统的微分算子方程	37
1.1.2 信号的分类	2	2.2.1 微分算子和积分算子	37
1.2 信号的基本运算	6	2.2.2 一般 LTI 系统的微分算子 方程	38
1.2.1 信号相加和相乘	6	2.2.3 电路系统算子方程的 建立	39
1.2.2 信号翻转、平移、尺度 变换	7	2.3 连续系统的零输入响应	41
1.2.3 连续信号的微分和积分 ...	10	2.3.1 系统的初始条件	41
1.2.4 离散信号的差分 and 迭分 ...	10	2.3.2 零输入响应算子方程	42
1.3 阶跃信号与冲激信号	12	2.3.3 简单系统的零输入响应 ...	42
1.3.1 连续时间阶跃信号	12	2.4 连续系统的零状态响应	45
1.3.2 连续时间冲激信号	13	2.4.1 连续信号的 $\delta(t)$ 分解	45
1.3.3 冲激信号与阶跃信号的 关系	14	2.4.2 冲激响应	46
1.3.4 广义函数和 δ 函数性质 ...	14	2.4.3 一般信号 $f(t)$ 激励下的 零状态响应	49
1.3.5 冲激序列和阶跃序列	18	2.4.4 阶跃响应	50
1.4 系统的描述	18	2.5 连续系统微分方程经典分析法 ...	52
1.4.1 系统模型	18	2.5.1 齐次解和特解	52
1.4.2 系统的输入输出描述	19	2.5.2 完全解	53
1.5 系统特性与分类	21	本章小结	55
1.5.1 线性特性	21	习题二	56
1.5.2 时不变特性	22	第 3 章 离散信号与系统的时域 分析	60
1.5.3 因果性	24	3.1 卷积和	61
1.5.4 稳定性	24	3.1.1 卷积和的定义	61
1.5.5 系统的分类	25	3.1.2 卷积和的图解机理	62
本章小结	25	3.1.3 卷积和的性质	62
习题一	25	3.1.4 列表法和竖式乘法 计算卷积和	63
第 2 章 连续信号与系统的时域 分析	28	3.1.5 常用序列的卷积和公式 ...	65
2.1 卷积积分	29	3.2 离散系统的差分算子方程	66
2.1.1 卷积的定义	29	3.3 离散系统的零输入响应	68



3.3.1 简单系统的零输入响应	69
3.3.2 一般系统的零输入响应	70
3.4 离散系统的零状态响应	72
3.4.1 离散系统的单位响应	72
3.4.2 一般序列 $f(k)$ 激励下的 零状态响应	75
3.5 离散系统差分方程经典分析法	79
本章小结	81
习题三	82

第4章 连续信号与系统的频域

分析	85
4.1 信号的正交分解	86
4.1.1 正交信号	86
4.1.2 信号的正交分解	87
4.2 周期信号的傅里叶级数	89
4.2.1 三角形式的傅里叶级数	89
4.2.2 指数形式的傅里叶级数	92
4.2.3 两种形式傅里叶级数的 关系	92
4.2.4 周期信号的频谱	93
4.2.5 周期信号频谱的特点	95
4.2.6 周期信号的功率	97
4.3 非周期信号的傅里叶变换	98
4.3.1 傅里叶变换	98
4.3.2 非周期信号的频谱 函数	100
4.3.3 常见信号的傅里叶 变换	101
4.4 傅里叶变换的性质	105
4.5 周期信号的傅里叶变换	114
4.5.1 利用傅里叶变换的 性质	114
4.5.2 利用两种频谱函数之间 关系	116
4.5.3 利用周期信号与非周期信号 之间关系	117
4.6 傅里叶变换的三大应用	118
4.6.1 滤波	118
4.6.2 采样与恢复	122

4.6.3 调制与解调	126
4.7 连续系统的频域分析	128
本章小结	130
习题四	130

第5章 离散信号与系统的频域

分析	134
5.1 周期序列的离散时间傅里叶 级数	135
5.1.1 离散时间傅里叶级数 (DFS)	135
5.1.2 周期序列的频谱	136
5.2 非周期序列的离散时间傅里叶 变换	138
5.2.1 离散时间傅里叶变换 (DTFT)	139
5.2.2 常见序列的离散时间 傅里叶变换	140
5.3 离散时间傅里叶变换的性质	144
5.4 周期序列的离散时间傅里叶 变换	147
5.5 离散傅里叶变换(DFT)	149
5.5.1 离散傅里叶变换(DFT)的 引入	150
5.5.2 DFT 的计算	153
5.6 DFT 的快速算法(FFT)	154
5.7 离散系统的频域分析	156
5.7.1 基本序列 $e^{j\omega k}$ 通过离散 系统的零状态响应	156
5.7.2 一般序列 $f(k)$ 通过离散 系统的零状态响应	158
本章小结	159
习题五	159

第6章 连续信号与系统的复频域

分析	161
6.1 拉普拉斯变换及其逆变换	162
6.1.1 双边拉普拉斯变换	162
6.1.2 单边拉普拉斯变换	164
6.1.3 拉普拉斯逆变换	166
6.2 拉普拉斯变换的性质	169



6.3 连续系统的复频域分析·····	176	7.4 离散系统的 Z 域分析·····	228
6.3.1 连续信号的 S 域分解·····	176	7.4.1 零输入响应的 Z 域求解·····	229
6.3.2 基本信号 e^{at} 激励下的零状态响应·····	176	7.4.2 零状态响应的 Z 域求解·····	229
6.3.3 一般信号 $f(t)$ 激励下的零状态响应·····	177	7.4.3 全响应的 Z 域求解·····	229
6.3.4 系统微分方程的 S 域解·····	178	7.5 传递函数与系统特性·····	231
6.3.5 RLC 系统的 S 域分析·····	180	7.5.1 传递函数的零点与极点·····	231
6.4 连续系统的表示和模拟·····	184	7.5.2 传递函数的零、极点与时域响应·····	232
6.4.1 连续系统的方框图表示·····	184	7.5.3 传递函数与频率响应·····	232
6.4.2 连续系统的信号流图表示·····	187	7.5.4 传递函数与稳定性·····	234
6.4.3 连续系统的模拟·····	190	本章小结·····	236
6.5 传递函数与系统特性·····	193	习题七·····	236
6.5.1 $H(s)$ 的零点和极点·····	193	第 8 章 MATLAB 在信号与系统中的应用 ·····	241
6.5.2 $H(s)$ 与系统的时域特性·····	194	8.1 信号的基本知识·····	242
6.5.3 $H(s)$ 与系统的频率特性·····	196	8.1.1 数字信号与模拟信号之间的转换及采样频率·····	242
6.5.4 $H(s)$ 与系统的稳定性·····	197	8.1.2 信号的表示·····	243
本章小结·····	201	8.1.3 信号的基本运算·····	246
习题六·····	201	8.2 信号和系统的时域分析·····	249
第 7 章 离散信号与系统的 Z 域分析 ·····	206	8.2.1 连续系统的冲激响应·····	249
7.1 Z 变换及其逆变换·····	207	8.2.2 连续系统的零状态响应·····	250
7.1.1 Z 变换的定义·····	207	8.2.3 离散系统的零状态响应·····	250
7.1.2 Z 变换的收敛域·····	208	8.2.4 离散系统的冲激响应·····	252
7.1.3 常用序列的 Z 变换·····	211	8.2.5 卷积和的运算·····	253
7.1.4 Z 逆变换·····	212	8.3 信号与系统的频域分析·····	254
7.2 Z 变换的性质·····	214	8.3.1 离散傅里叶变换及其逆变换·····	254
7.3 离散系统的表示和模拟·····	224	8.3.2 信号的功率密度谱·····	256
7.3.1 传递函数的定义·····	224	8.3.3 信号的互相关功率密度谱·····	256
7.3.2 离散系统的方框图表示·····	224	8.3.4 数字滤波器·····	258
7.3.3 离散系统的信号流图表示·····	226	8.4 连续信号与系统的复频域分析·····	260
7.3.4 离散系统的模拟·····	227		



8.4.1	MATLAB 实现部分因式展开	260	习题二参考答案	274
8.4.2	$H(s)$ 零极点与系统特性	262	习题三参考答案	280
8.4.3	拉普拉斯变换的计算	264	习题四参考答案	284
8.5	离散信号和系统的 Z 域分析	265	习题五参考答案	291
8.5.1	MATLAB 实现部分因式展开	265	习题六参考答案	293
8.5.2	$H(z)$ 零极点与系统特性	266	习题七参考答案	296
8.5.3	Z 变换的计算	267	习题八参考答案	299
本章小结		268	参考文献	310
习题八		268		
习题一参考答案		270		

第1章

信号与系统的基本概念



本章学习目标

- ★ 了解信号的定义和分类；
- ★ 掌握信号的基本运算；
- ★ 掌握阶跃信号和冲激信号；
- ★ 了解系统的定义和描述；
- ★ 掌握系统分类和性质。



本章教学要点

知识要点	能力要求	相关知识
信号的定义和分类	了解信号的定义和分类	连续与离散、周期与非周期、确定与随机、能量与功率
信号的基本运算	掌握信号的基本运算	相加、相乘、翻转、平移、展缩、微分、差分、积分、迭分
阶跃信号和冲激信号	掌握阶跃信号和冲激信号	广义函数的定义和性质
系统的定义和描述	了解系统的定义和分类	系统的数学模型建立
系统分类和性质	掌握系统分类和性质	线性与非线性、时变与时不变、因果与非因果、稳定与非稳定



导入案例

信号与系统的概念出现在极为广泛的各种领域中。物质的运动形式或状态的变化，如声、光、电、振动、流量、温度等都是信号。系统是由若干相互联系、相互作用的单元组成的具有一定功能的整体，包括通信系统、计算机系统、自动控制系统、生态系统、经济系统、社会系统等。系统的功能是传输和处理各种信号。图1所示的收音机系统，就是把从接收电路接收到的高频信号经检波(解调)还原成音频信号，送到耳机或扬声器变成音波。



图 1 收音机系统

引言

本章主要介绍信号与系统的基本概念、信号的基本运算(加法、乘法、翻转、平移、尺度变换、微分、积分、差分、迭分)、系统的分类与特性(线性、时不变性、因果、稳定),重点阐述信号的基本运算和讨论线性时不变系统的特性,并以此为基础介绍信号与系统分析的基本内容和方法。

1.1 信号的描述与分类

本节主要介绍信号的描述和分类。在数学上,信号一般用函数描述,可以是一维,也可以是 n 维信号。本书只讨论一维信号,为方便起见,一般都将信号的自变量设为时间 t 和序号 k 。与函数一样,信号除用函数表示外,还可以用图形、测量数据或统计数据表示。按照信号的函数关系和是否具有随机性,可以将信号分为连续信号和离散信号、确定信号与随机信号、周期信号与非周期信号、能量信号与功率信号等。

1.1.1 信号的定义和描述

信号的概念广泛出现在各个领域,它以各种各样的形式表现且携带特定的信息。信号就是这些信息的载体,一般表现为随时间变化的某种物理量。从广义上讲,它包含光信号、声信号和电信号等。例如,古代人利用点燃烽火台而产生的滚滚狼烟,向远方军队传递敌人入侵的信息,这属于光信号;当人们说话时,声波传递到他人的耳朵,使他人了解其意图,这属于声信号;遨游太空的各种无线电波、四通八达的电话网中的电流等,都可以用来向远方表达各种信息,这属于电信号。信号分为电信号和非电信号,所谓电信号通常是指随时间变化的电压和电流,也可以是电荷或磁通以及电磁波等。其他形式的非电信号通常可以通过各类传感器转换为电信号,例如,通过热电偶可以把温度信号转换为热电势,通过电阻应变片和相应的转换电路可以将压力转换为电压信号。在可以作为信号的诸多物理量中,电信号是应用最广的物理量,且易于产生和控制,传送效率高,也容易实现电信号与非电信号的相互转换,所以本书主要讨论电信号。

信号一般可以表示为一个或多个变量的函数。例如,语音信号可以表示为声压随时间变化的函数,黑白图像信号可以表示为灰度随二维空间变量变化的函数。信号是随时间变化的,在数学上通常描述为时间的函数,用 $f(t)$ 或 $f(k)$ 表示(其中, $f(t)$ 表示连续信号, $f(k)$ 表示离散信号),故信号和函数这两个名词通常交替使用。

1.1.2 信号的分类

信号的分类方法很多,可以从不同的角度对信号进行分类。在信号与系统的分析中,

根据信号与自变量的特性,信号可以分为连续信号和离散信号、确定信号与随机信号、周期信号与非周期信号、能量信号与功率信号等。

1. 连续信号与离散信号

一个信号,如果在某个时间区间除了有限间断点外都有定义,就称该信号在此区间内为连续时间信号,简称连续信号。这里“连续”一词是指在定义域内(除有限个间断点外)信号是连续可变的。例如,正弦信号的表达式为

$$f_1(t) = A \sin(\pi t) \quad (1-1)$$

式中: A 为常数,自变量 t 在定义域 $(-\infty, \infty)$ 内连续变化,信号在值域 $[-A, A]$ 上连续取值,如图 1.1 所示。

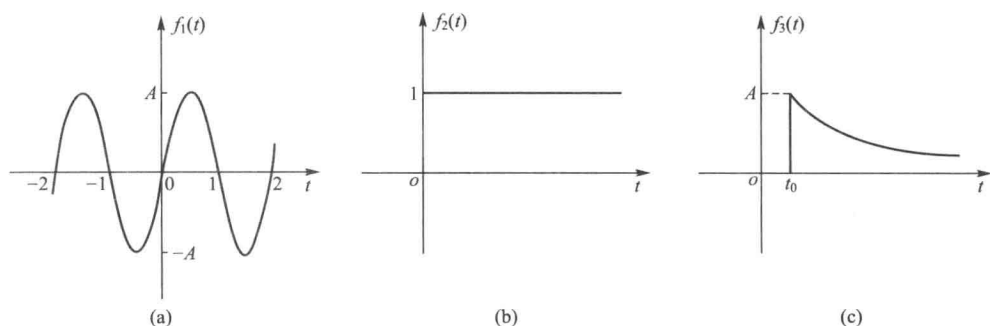


图 1.1 模拟信号

仅在离散时刻点上有定义的信号称为离散时间信号,简称离散信号。这里“离散”一词表示自变量只取离散的数值,相邻离散时刻点的间隔可以相等或不相等。

定义在等间隔离散时刻点上的离散信号也称为序列,通常记为 $f(k)$, k 称为序号。例如,与序号 $k=2$ 相应的序列值 $f(2)$ 称为信号的第 2 个样值。一般情况下, $f(k)$ 是 $f(t)$ 等间隔抽样得到的,假设抽样周期为 T ,那么 $t=kT$,则抽样信号可以表示为 $f(kT)$ 。工程应用中为了简化书写,抽样信号表示为 $f(k)$ 。

在工程应用中,常常把幅值可连续取值的连续信号称为模拟信号;把幅值可连续取值的离散信号称为抽样信号,如图 1.2 中(a)所示;而把幅值只能取某些规定数值的离散信号称为数字信号,如图 1.2(b)、图 1.2(c)所示。

2. 确定信号与随机信号

若信号被表示为一确定的时间函数,对于指定的某一时刻,可确定其相应的函数值,这种信号称为确定信号或规则信号,例如正弦信号。

但是,实际传输的信号往往具有未可预知的不确定性,这种信号是随机的,不能以明确的数学表达式表示,只能知道该信号的统计特性,这种信号通常称为随机信号或不确定信号。例如,在通信传输过程中引入的各种噪声,即使在相同的条件下进行观察测试,每次的结果都不相同,呈现出随机性和不可预测性。本书主要研究确定性信号。

3. 周期信号与非周期信号

一个连续信号 $f(t)$,若对所有 t 均有

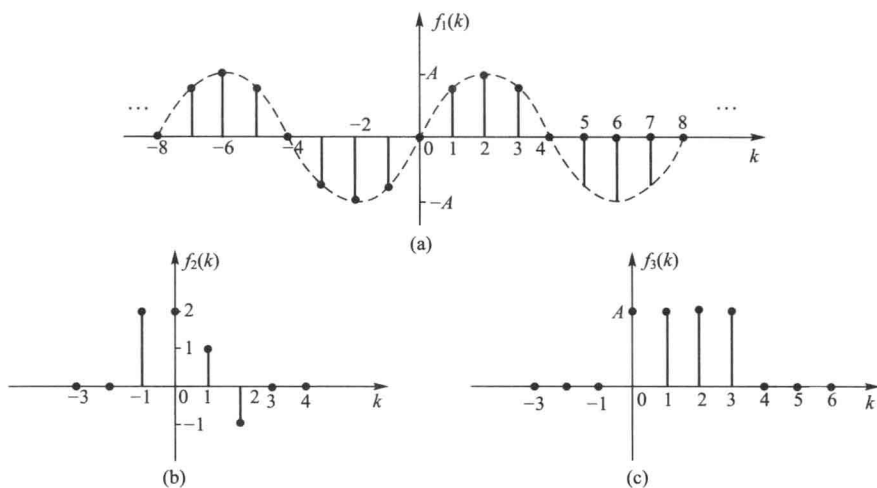


图 1.2 离散信号

$$f(t) = f(t + mT) \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1-2)$$

则称 $f(t)$ 为连续周期信号，满足式(1-2)的最小 T 值称为 $f(t)$ 的周期，如图 1.3(a)所示。

一个离散信号 $f(k)$ ，若对所有 k 均有

$$f(k) = f(k + mN) \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1-3)$$

就称 $f(k)$ 为离散周期信号或周期序列，如图 1.3(b)所示。

非周期信号在时间上不具有周而复始的特性。若令周期信号的周期 T 趋于无限大，则成为非周期信号。

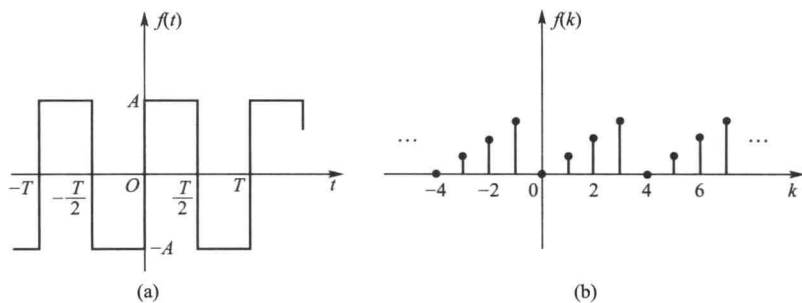


图 1.3 周期信号

4. 能量信号与功率信号

若将信号 $f(t)$ 设为电压或电流，则加载在单位电阻上产生的瞬时功率为 $|f(t)|^2$ ，在一定的时间区间 $(-\frac{\tau}{2}, +\frac{\tau}{2})$ 内会消耗一定的能量，如果将时间区间无限扩展，那么信号 $f(t)$ 的能量定义为



$$E = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{+\frac{\tau}{2}} |f(t)|^2 dt \quad (1-4)$$

信号 $f(t)$ 的平均功率 P 为

$$P = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{+\frac{\tau}{2}} |f(t)|^2 dt \quad (1-5)$$

如果在无限大时间区间内信号的能量为有限值, 即 $E < \infty$, 就称该信号为能量有限信号, 简称能量信号。如果在无限大时间区间内, 信号的平均功率为非零有限值, 即 $0 < P < \infty$, 则称此信号为功率有限信号, 简称功率信号。

对于离散信号, 其能量的计算公式定义为

$$E = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |f(k)|^2 \quad (1-6)$$

例 1-1 计算图 1.4 所示信号的能量。

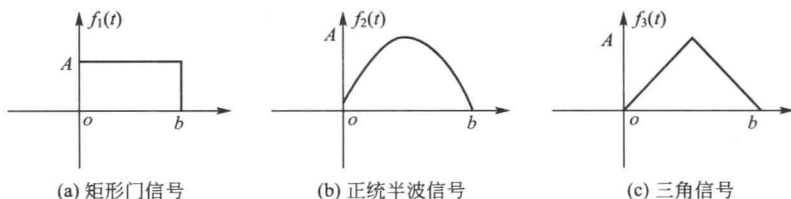


图 1.4 例 1-1 图

解: (a) 根据能量的定义, 矩形门信号的能量为

$$E_1 = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{+\frac{\tau}{2}} |f_1(t)|^2 dt = \int_0^b |A|^2 dt = A^2 b$$

(b) 同理, 正弦半波信号的能量为

$$E_2 = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{+\frac{\tau}{2}} |f_2(t)|^2 dt = \int_0^b \left| A \sin\left(\frac{\pi}{b}t\right) \right|^2 dt = \frac{1}{2} A^2 b$$

(c) 三角信号的能量为

$$E_3 = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{+\frac{\tau}{2}} |f_3(t)|^2 dt = \int_0^{\frac{b}{2}} \left| \frac{2A}{b}t \right|^2 dt + \int_{\frac{b}{2}}^b \left| 2A - \frac{2A}{b}t \right|^2 dt = \frac{1}{3} A^2 b$$

5. 因果信号和反因果信号

因果信号是指信号 $f(t)$ 在 $t < 0$ 时, 取值为零, 只有 $t > 0$ 才有取值的信号, 如图 1.5(a) 所示。反因果信号是指 $t > 0$ 时, $f(t) = 0$, 只有 $t < 0$ 时才有取值的信号, 如图 1.5(b) 所示。

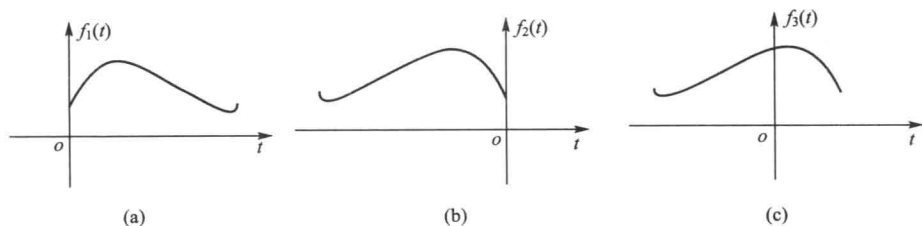


图 1.5 因果信号与非因果信号