



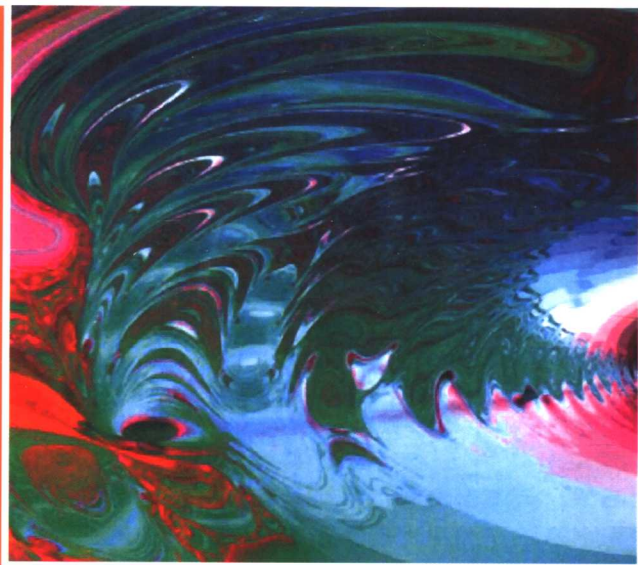
教育科学“十五”国家规划课题研究成果

Signals and Systems

信号与系统教程

第 二 版

燕庆明 主编



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

信号与系统教程

(第二版)

燕庆明 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是为电子、电气信息类专业本科生编写的教材。内容既符合教育部颁布的《高等学校信号与系统课程教学基本要求》,又适应培养应用型人才的需要。全书共9章:导论,连续时间信号,连续系统的时域分析,信号与系统的频域分析,连续系统的复频域分析,系统函数与零、极点分析,离散系统的时域分析,离散系统的 z 域分析、连续与离散系统的状态变量分析。全书重点突出、风格独特、简明易懂、面向应用、文理渗透、适于教学。书中介绍了 MATLAB 分析方法,生动形象,便于读者学习。

本书可作为电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、电气工程与自动化、计算机科学与技术、信息安全、测控技术与仪器专业的“信号与系统”课程的教材,也可供广大科技工作者参考。

本书第1版于2005年被评为江苏省精品教材。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统教程/燕庆明主编. —2版. —北京:高等教育出版社,2007.11
ISBN 978-7-04-022504-4

I. 信... II. 燕... 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(2007)第141310号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	中青印刷厂		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2004年1月第1版
印 张	25.5		2007年11月第2版
字 数	470 000	印 次	2007年11月第1次印刷
插 页	2	定 价	29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22504-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转变阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和 In 研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

本书第1版是教育科学“十五”国家规划课题研究成果,是旨在适应高等学校“信号与系统”课程的教学改革和培养应用型人才的需要编写的电子信息类本科生教材。2004年出版以来,受到全国众多高校的关注并选为教材。这次修订,按照国家“十一五”教材建设的要求和教育部新颁布的《高等学校信号与系统课程教学基本要求》的精神,并征求了许多高校师生的反馈意见,对原书内容进行了认真的调整、增删与凝练,使之成为更适于教学、更符合发展趋势的教材。

人类社会已步入了信息时代。作为主导信息时代的电子科学和信息科学的发展日新月异。以无线通信、计算机、微电子、光电子、智能科学、遥感科学、光学通信、高速数据处理为代表的信息技术,已达到很高的水平。同时,以可控核聚变、太阳能利用、空间发电厂、微波传输为标志的新能源技术,以功能材料、结构材料、生物与仿生材料为主体的新材料科学,以及空间科学、化学、天文学和生命科学等,都渗透着信号与系统的概念。因此,本课程的重要地位是不言而喻的。

为了进一步提炼本书的教学内容并凸显教材的特色,这次修订,编者重点加强的有以下几个方面:

一是突出基本、简明易懂。科学技术的飞速发展,使得信号与系统的理论不断丰富,涉及的领域也更加广泛。面对如此丰富的知识和日益变化的世界,究竟如何取舍才能适合于本科教学呢?古人云:易则易知,简则易从;天下难事作于易,天下大事作于细。编者认为,对于培养应用型、创新型本科生而言,应以信号与系统的基本概念、基本理论和基本分析方法为教学重点,为学生打下适应变化、更新知识的基础。力戒不分主次、面面俱到。同时,力求以简约的形式将感性知识、理性知识、应用性知识和方法性知识等相互统一,而不让读者有抽象、乏味之感。基于此,修订稿比原书增写了第2章,较大篇幅地改写了第3、4两章。

二是循序渐进、适于教学。学习是一种由浅入深、逐步升华的过程。本书在体系和内容的安排上,以确定性信号和线性时不变系统为重点,先时域后变换域,先连续后离散,先输入-输出描述后状态空间描述。实践证明,这样的体系学生容易接受。在内容的处理上,删繁就简,突出概念,以简知繁,保证重点。把易懂性和严密性尽量结合得完美些。对于方法性知识的介绍,尽量采用简单、先进、实用的方法。适当反映时代气息,体现经典与现代、连续与离散、时域与频域、信号与系统的辩证统一关系。

三是联系实际、注重应用。“信号与系统”课程不仅内容丰富,系统性强,而且应用广泛。本书所研究的对象和众多例题都是以应用为目的。为了适应发展和便于工程应用,本书介绍了 MATLAB 方法,引导学生学会用其快速地解决信号与系统分析的有关问题,从而提高学习效率,培养工程素养。MATLAB 方法的训练,可以结合实验一并进行。

四是文理渗透、启迪思维。从教育思想上说,教材不能只罗列一些知识或公式,重要的是展现认知规律。不仅要引导学生从书本上学习前人总结的基础知识,还要培养他们的学习能力和创新思维。为了提高学生的综合素质,本书特意编写了 8 个专题的“扩展与启迪”的内容,分列于有关章末。这些内容并不一定都言及信号与系统本身,其重要特点是将科学技术与科学思想、科学方法及人文艺术等知识相互渗透,以便让读者开阔视野,启发思维,激发创新意识。这些内容连同书中打“*”号的章节均不作基本要求,可由学生阅读思考。为了给第 3 章的算子法、第 4 章的频域分析等提供基础和依据,特增写了附录 A。

为了便于教学,配合本书另行编制了电子教案;重新修订了学习指导书,其中有全书的习题解析、模拟试题和于凤芹与周治平研制的 CAI 课件,这对于师生都有参考价值。

本书可作为电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、计算机科学与技术、信息安全、测控技术与仪器等专业本科生的“信号与系统”课程的教材。

本书 1~9 章由燕庆明执笔,鲁纯熙修编了附录,并在习题的选编、解答和提供素材等方面付出了辛勤的劳动,顾斌杰修编部分 MATLAB 实现。特别感谢清华大学郑君里教授审阅了本书第 1 版书稿,提出了许多宝贵意见。感谢同济大学陆明达教授审阅了第 2 版书稿,给了编者许多鼓励和有价值的建议。高等教育出版社的策划、责编及有关同志与编者愉快合作,使得本书顺利完成修订工作,在此一并表示谢意。

追求科学,创新可歌;时代催人,与你同行;期望建言,以利修正。

编著者

2007 年 5 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

策划编辑	韩 颖
责任编辑	曲文利
封面设计	于文燕
责任绘图	吴文信
版式设计	马敬茹
责任校对	王 雨
责任印制	朱学忠

广播与电视

广播和电视的发明为人类提供了一种大众的媒介,加快了人类的文化交流与信息和知识传播。特别是电视,作为20世纪影响最大的传播媒体,潜移默化地影响着人们的观念和行为。



费森登(1866—1932)美国电子和无线电技术专家。1916年成功地进行了人类历史上第一次语音和音乐的无线电广播实验。



美国早期的无线电广播时的情景

阿纳斯特罗(1890—1954)美国无线电专家。1912年发明超外差接收电路,并组装成功第一台超外差接收机。



早期无线电广播天线



早期的矿石收音机

图 0-1 早期的广播、接收设备

通信技术



1976年,美国成功地进行了光纤通信试验。

1965年,世界上第一颗地球同步静止轨道通信卫星投入使用。可以用于电话、电视、数据传输和电视转播。现在全球已经建成了环球卫星通信网。



微波通信是二战后发展起来的,20世纪50年代成为电视传输系统的主要手段。

1998年11月,颗星通信正式启动运营。



图 0-2 现代微波、卫星通信

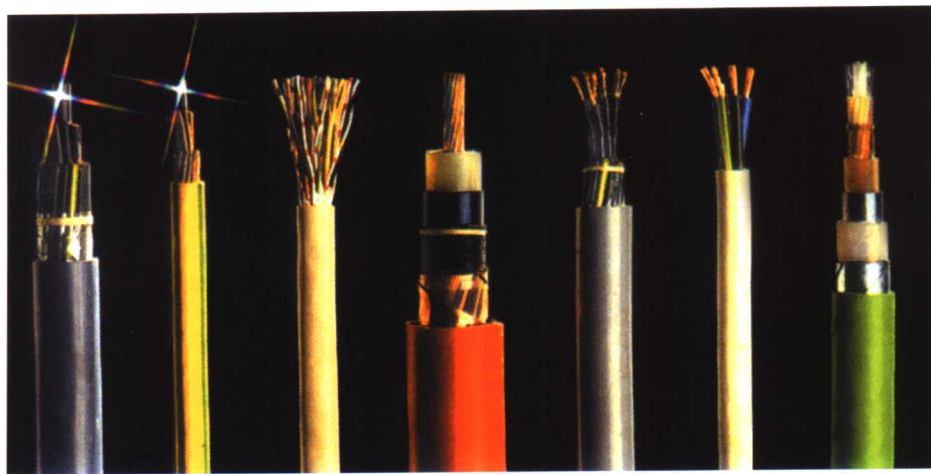
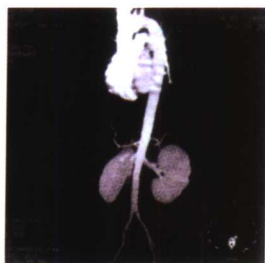


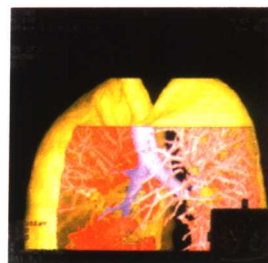
图 0-3 用于通信系统的光纤电缆



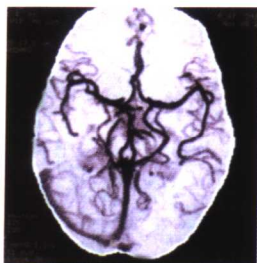
膝关节三维重建



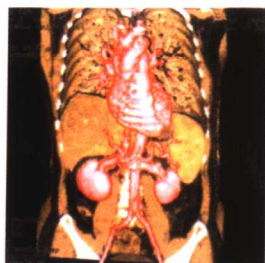
CT 大血管造影



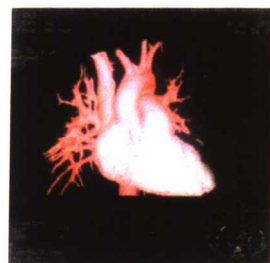
肺三维重建



CT 脑血管造影



CT 多平面重组



心脏三维重建

图 0-4 用于医学诊断的电子信息技术（CT 技术）

探索宇宙空间的奥秘

20 世纪 50 年代后期，人类开始对月球和太阳系的各大行星，以及遥远的行星际空间进行探测，至今已发射了 100 多颗空间探测器，去揭示宇宙的形成与演化，探索生命的起源及空间环境对人类生存环境的影响。



20 世纪 70 年代美国发射的“先驱者”号探测器

图 0-5 电子信息技术用于空间技术

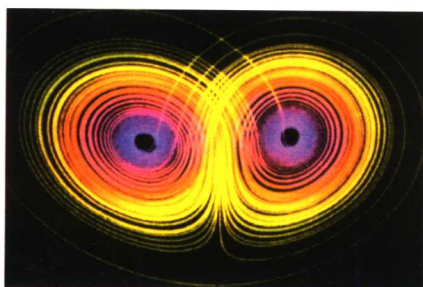


图 0-6 气象学的混沌状态



图 0-7 银河外星系 (M81)



“分形”被称为是“新几何学”。
树枝、海岸线、江河支流、山脉形
状等不规则的复杂图像，都可以运
用分形来分析。



图 0-8 计算机生成的分形图案

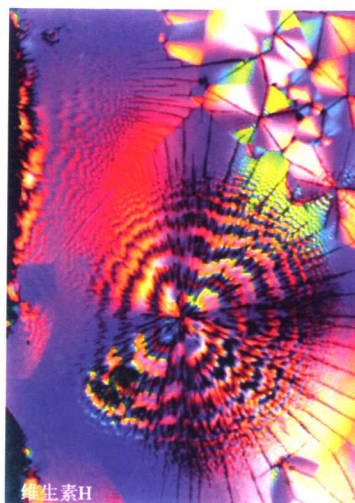
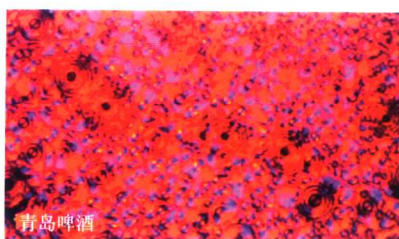


图 0-9 显微镜下青岛啤酒、可口可乐、维生素 H 的分形结构

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 历史的回顾	1
1.2 信号的概念	4
1.2.1 信号及其分类	4
1.2.2 信号分析与处理	8
1.3 系统的概念	9
1.3.1 系统及其分类	9
1.3.2 系统分析	16
1.4 应用领域	17
小结	18
习题	18
第 2 章 连续时间信号	20
2.1 常用的基本信号	20
2.2 信号的简单处理	24
2.3 单位冲激函数	27
2.4 MATLAB 方法实现信号波形	34
扩展与启迪:规律崇简	36
小结	37
习题	37
第 3 章 连续系统的时域分析	40
3.1 线性时不变系统描述及其响应	40
3.1.1 系统的微分方程	40
3.1.2 零输入响应与零状态响应	43
3.2 阶跃响应与冲激响应	49
3.2.1 阶跃响应	49
3.2.2 冲激响应	51
3.2.3 利用转移算子求冲激响应	53
3.3 卷积及其应用	58
3.3.1 卷积的概念与性质	58
3.3.2 系统的卷积分析法	61
3.3.3 卷积的计算:图形扫描法	65
3.4 特征函数及其应用	68

3.5 MATLAB 方法用于时域分析	75
扩展与启迪:系统方法之妙	78
小结	79
习题	80
第4章 信号与系统的频域分析	84
4.1 周期信号的分解与合成	84
4.1.1 周期信号的三角级数表示	84
4.1.2 周期信号的复指数级数表示	89
4.2 周期信号的频谱	94
4.2.1 周期信号频谱的特点	94
4.2.2 双边频谱与信号的带宽	95
4.3 非周期信号的频谱	101
4.3.1 傅里叶变换	101
4.3.2 常用非周期信号的频谱	103
4.3.3 帕塞瓦尔定理	108
4.4 傅里叶变换的性质与应用	110
4.4.1 线性性质	110
4.4.2 脉冲展缩与频带变化	110
4.4.3 信号的延时与相位移动	112
4.4.4 信号的调制与频谱搬移	114
4.4.5 时-频对称性	117
4.4.6 卷积定理	119
4.4.7 时域微分特性	120
4.4.8 时域积分特性	121
4.5 周期信号的傅里叶变换	124
4.6 系统的频域分析	128
4.6.1 系统函数与不失真传输	128
4.6.2 信号通过理想滤波器	133
4.7 取样定理及其应用	137
4.7.1 取样信号	137
4.7.2 取样定理	139
4.8 频域分析用于通信系统	145
4.8.1 信号的调制与解调	145
4.8.2 正弦调幅与频分复用	147
4.8.3 脉冲调幅与时分复用	150
4.9 MATLAB 方法用于频域分析	152
扩展与启迪:对称之美	157

小结	158
习题	159
第 5 章 连续系统的复频域分析	165
5.1 拉普拉斯变换	166
5.1.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	166
5.1.2 常用信号的拉普拉斯变换	168
5.2 拉普拉斯变换的性质	171
5.2.1 线性性质	171
5.2.2 延时特性	171
5.2.3 复频移特性	174
5.2.4 微分定理	174
5.2.5 积分定理	176
5.2.6 卷积定理	177
5.3 拉普拉斯反变换	180
5.4 系统的 s 域分析	186
5.4.1 微分方程的拉普拉斯变换解法	186
5.4.2 电路的 s 域模型	188
5.5 MATLAB 方法用于复频域分析	194
5.5.1 部分分式展开	194
5.5.2 拉普拉斯变换与反变换	195
扩展与启迪:数学方法的魅力	196
小结	197
习题	198
第 6 章 系统函数与零、极点分析	203
6.1 系统函数与系统模拟	203
6.1.1 再论系统函数	203
6.1.2 系统的方框图表示与模拟	208
6.2 系统函数的零、极点	212
6.2.1 $H(s)$ 的零、极点	212
6.2.2 $H(s)$ 的零、极点分布与时域特性的关系	214
6.2.3 $H(s)$ 的零、极点分布与频域特性的关系	217
6.3 线性系统的稳定性	221
6.3.1 系统稳定的概念	221
6.3.2 稳定性判据	224
6.4 s 域分析应用于控制系统	225
6.4.1 开环与闭环控制	225
6.4.2 系统阶跃响应的动态指标	230

6.5 MATLAB 方法用于系统函数分析	232
扩展与启迪:善用模拟	236
小结	237
习题	238
第7章 离散系统的时域分析	242
7.1 离散时间信号	242
7.1.1 离散信号的概念与表示	242
7.1.2 离散信号的基本运算	246
7.2 离散时间系统	249
7.2.1 差分方程	249
7.2.2 离散系统的时域模拟	251
7.2.3 系统的零输入响应	252
7.3 卷积和及其应用	256
7.3.1 离散信号的分解与卷积和	256
7.3.2 离散系统的零状态响应	260
*7.4 反演卷积和	264
7.5 MATLAB 方法用于离散系统时域分析	265
扩展与启迪:连续与离散	268
小结	268
习题	269
第8章 离散系统的z域分析	271
8.1 z 变换	271
8.1.1 z 变换的定义	271
8.1.2 典型序列的 z 变换	273
8.2 z 反变换	276
8.2.1 幂级数展开法(长除法)	276
8.2.2 部分分式展开法	277
8.3 z 变换的主要性质	281
8.3.1 线性性质	281
8.3.2 移位特性	282
8.3.3 尺度变换	284
8.3.4 卷和定理	284
8.4 离散系统的 z 域分析	287
8.4.1 差分方程的 z 变换解	287
8.4.2 系统函数 $H(z)$	290

8.4.3 离散系统的 z 域模拟	293
8.5 系统的零、极点与稳定性	296
8.5.1 $H(z)$ 的零、极点分布与 $h(n)$ 的关系	296
8.5.2 离散系统的稳定性	298
8.6 数字信号处理	303
8.6.1 离散系统的频率特性	303
8.6.2 数字信号处理的概念	307
*8.7 离散时间信号的频谱(DTFT)	310
8.8 MATLAB 方法用于 z 域分析	313
8.8.1 离散信号的 z 变换、反变换及零、极点分析	313
8.8.2 离散时间傅里叶变换(DTFT)	315
8.8.3 低通 FIR 数字滤波器设计	316
扩展与启迪:移植而旁通	317
小结	318
习题	319
第9章 连续与离散系统的状态变量分析	323
9.1 线性系统的状态方程	324
9.1.1 状态变量与状态方程	324
9.1.2 动态方程的一般形式	328
9.2 状态方程的解	331
9.2.1 状态方程的时域求解	331
9.2.2 状态方程的 s 域求解	332
*9.3 非线性系统的状态方程	337
9.4 离散系统的状态变量分析	340
9.4.1 离散系统的状态方程	340
9.4.2 离散状态方程的时域求解	341
9.4.3 状态方程的 z 域求解	342
*9.5 MATLAB 方法用于状态变量分析	344
9.5.1 状态方程的解	344
9.5.2 系统函数矩阵的计算	348
扩展与启迪:非线性与复杂性	349
小结	351
习题	352
全书总结	355
附录 A 有理函数的部分分式展开法	359
附录 B 常用周期信号的傅里叶级数表	362

附录 C 常用非周期信号的傅里叶变换表	364
附录 D 波特图	367
附录 E 罗斯 - 霍尔维茨稳定性判据	373
部分习题答案	378
索引	387
参考文献	391