



电子信息学科基础课程系列教材

——面向现代工程师培养

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材

信号与系统实用教程 (第2版)

陈戈珩 付虹 于德海 编著
王宏志 主审



清华大学出版社



电子信息学科基础课程系列教材

——面向现代工程师培养

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材

信号与系统实用教程

(第2版)

陈戈珩 付虹 于德海 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书阐述了信号与系统的基本概念及特性,介绍了信号与系统的基本分析方法。全书共分7章:第1章,信号与系统概述;第2章,连续信号与系统的时域分析;第3章,连续信号与系统的频域分析;第4章,连续信号与系统的复频域分析;第5章,离散信号与系统的时域分析;第6章,离散信号与系统的 z 域分析;第7章,线性系统的状态变量分析法。

全书简明易懂,风格独特,图文并茂,例题丰富,突出基本概念、分析方法的理解和应用。各章均有学习目标和学习小结,并附有层次分明的基础练习、综合练习、自测题及部分参考答案,可读性、实用性强。

本书适于作为普通地方高校通信、电子信息、测控技术与仪器、自动化、计算机网络等专业的本、专科教材和教学参考书,也可供成人教育学院、本科院校设置的二级职业技术学院、民办高校、高等职业学校、高等专科学校相关专业的教师和学生以及从事相关专业的工程技术人员使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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

信号与系统实用教程/陈戈珩,付虹,于德海编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2015.9

电子信息学科基础课程系列教材

ISBN 978-7-302-40235-0

I. ①信… II. ①陈… ②付… ③于… 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(2015)第101283号

责任编辑:文 怡

封面设计:常雪影

责任校对:白 蕾

责任印制:李红英

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

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:20.5

字 数:496千字

版 次:2007年2月第1版

2015年9月第2版

印 次:2015年9月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00元

产品编号:065026-01

《电子信息学科基础课程系列教材》

编 审 委 员 会

主任委员

王志功(东南大学)

委员 (按姓氏笔画)

马旭东(东南大学)

王小海(浙江大学)

王 萍(天津大学)

刘宗行(重庆大学)

刘新元(北京大学)

张晓林(北京航空航天大学)

陈后金(北京交通大学)

郭宝龙(西安电子科技大学)

高上凯(清华大学)

徐淑华(青岛大学)

崔 翔(华北电力大学)

董在望(清华大学)

蒋宗礼(北京工业大学)

邓建国(西安交通大学)

王诗宓(清华大学)

王福昌(华中科技大学)

刘润华(中国石油大学)

张 石(东北大学)

沈连丰(东南大学)

郑宝玉(南京邮电大学)

柯亨玉(武汉大学)

高小榕(清华大学)

袁建生(清华大学)

傅丰林(西安电子科技大学)

曾孝平(重庆大学)

《电子信息学科基础课程系列教材》

丛书序

电子信息学科是当今世界上发展最快的学科,作为众多应用技术的理论基础,对人类文明的发展起着重要的作用。它包含诸如电子科学与技术、电子信息工程、通信工程和微波工程等一系列子学科,同时涉及计算机、自动化和生物电子等众多相关学科。对于这样一个庞大的体系,想要在学校将所有知识教给学生已不可能。以专业教育为主要目的的大学教育,必须对自己的学科知识体系进行必要的梳理。本系列丛书就是试图搭建一个电子信息学科的基础知识体系平台。

目前,中国电子信息类学科高等教育的教学中存在着如下问题:

- (1) 在课程设置和教学实践中,学科分立,课程分立,缺乏集成和贯通;
- (2) 部分知识缺乏前沿性,局部知识过细、过难,缺乏整体性和纲领性;
- (3) 教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息学科人才不能很好地满足社会的需求。

在新世纪之初,积极总结我国电子信息类学科高等教育的经验,分析发展趋势,研究教学与实践模式,从而制定出一个完整的电子信息学科基础教程体系,是非常有意义的。

根据教育部高教司 2003 年 8 月 28 日发出的[2003]141 号文件,教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会(基础课分教指委)在 2004—2005 两年期间制定了“电路分析”、“信号与系统”、“电磁场”、“电子技术”和“电工学”5 个方向电子信息科学与电气信息类基础课程的教学基本要求。然而,这些教学要求基本上是按方向独立开展工作的,没有深入开展整个课程体系的研究,并且提出的是各课程最基本的教学要求,针对的是“2+X+Y”或者“211 工程”和“985 工程”之外的大学。

同一时期,清华大学出版社成立了“电子信息学科基础教程研究组”,历时 3 年,组织了各类教学研讨会,以各种方式和渠道对国内外一些大学的 EE(电子电气)专业的课程体系进行收集和研究,并在国内率先推出了关于电子信息学科基础课程的体系研究报告《电子信息学科基础教程 2004》。该成果得到教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会的高度评价,认为该成果“适应我国电子信息学科基础教学的需要,有较好的指导意义,达到了国内领先水平”,“对不同类型院校构建相关学科基础教学平台均有较好的参考价值”。

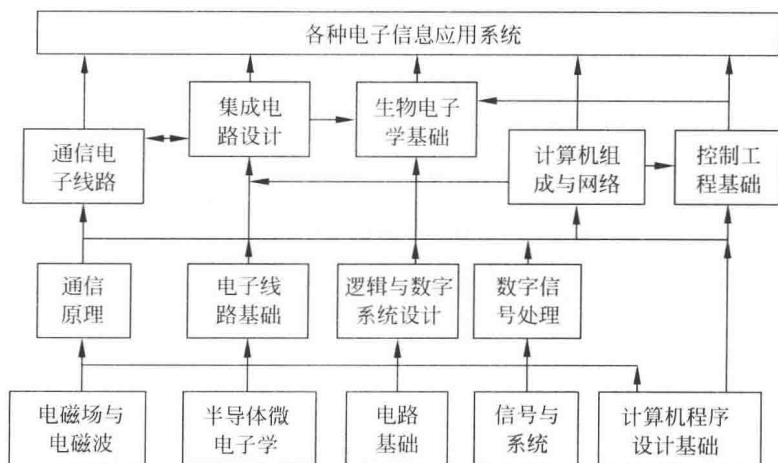
在此基础上,由我担任主编,筹建了“电子信息学科基础课程系列教材”编委会。编委会多次组织部分高校的教学名师、主讲教师和教育部高等学校教学指导委员会委员,进一步探讨和完善《电子信息学科基础教程 2004》研究成果,并组织编写了这套“电子信息学科基础课程系列教材”。

在教材的编写过程中,我们强调了“基础性、系统性、集成性、可行性”的编写原则,突出了以下特点:

- (1) 体现科学技术领域已经确立的新知识和新成果。
- (2) 学习国外先进教学经验,汇集国内最先进的教学成果。
- (3) 定位于国内重点院校,着重于理工结合。
- (4) 建立在对教学计划和课程体系的研究基础之上,尽可能覆盖电子信息学科的全部基础。本丛书规划的14门课程,覆盖了电气信息类如下全部7个本科专业:

- 电子信息工程
- 通信工程
- 电子科学与技术
- 计算机科学与技术
- 自动化
- 电气工程与自动化
- 生物医学工程

(5) 课程体系整体设计,各课程知识点合理划分,前后衔接,避免各课程内容之间交叉重复,目标是使各门课程的知识点形成有机的整体,使学生能够在规定的课时数内,掌握必需的知识和技术。各课程之间的知识点关联如下图所示:



即力争将本科生的课程限定在有限的与精选的一套核心概念上,强调知识的广度。

(6) 以主教材为核心,配套出版习题解答、实验指导书、多媒体课件,提供全面的教学解决方案,实现多角度、多层面的人才培养模式。

(7) 由国内重点大学的精品课主讲教师、教学名师和教指委委员担任相关课程的设计和教材的编写,力争反映国内最先进的教改成果。

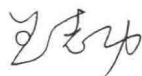
我国高等学校电子信息类专业的办学背景各不相同,教学和科研水平相差较大。本系列教材广泛听取了各方面的意见,汲取了国内优秀的教学成果,希望能为电子信息学科教学提供一份精心配备的搭配科学、营养全面的“套餐”,能为国内高等学校教学内容和课程体系的改革发挥积极的作用。

然而,对于高等院校如何培养出既具有扎实的基本功,又富有挑战精神和创造意识的社会栋梁,以满足科学技术发展和国家建设发展的需要,还有许多值得思考和探索的问题。比如,如何为学生营造一个宽松的学习氛围?如何引导学生主动学习,超越自己?如何为学生

打下宽厚的知识基础和培养某一领域的研究能力? 如何增加工程方法训练, 将扎实的基础和宽广的领域才能转化为工程实践中的创造力? 如何激发学生深入探索的勇气? 这些都需要我们教育工作者进行更深入的研究。

提高教学质量, 深化教学改革, 始终是高等学校的工作重点, 需要所有关心我国高等教育事业人士的热心支持。在此, 谨向所有参与本系列教材建设工作的同仁致以衷心的感谢!

本套教材可能会存在一些不当甚至谬误之处, 欢迎广大的使用者提出批评和意见, 以促进教材的进一步完善。



2008年1月

第2版前言

本书的第一版已出版并投入教学使用 8 年。为了更有效提高教学质量、更好地适应教学内容和课程体系改革,针对 8 年来的各院校师生实际教学使用情况以及读者给出的建议,编者对第一版内容进行了部分修改和调整,作为第二版出版。

20 世纪 80 年代后,信号与信息处理技术在各个学科领域的应用更加广泛,但是国内外各高校本科的信号与系统课程基本内容和范围大体上已经趋于稳定。在 8 年来的教学实践中,第一版教材被普遍认为能较好地满足当前普通地方院校的教学需要。鉴于上述情况,本次修订对教材整体格局,风格没有大的变动,仅对教材的部分内容进行了修订、调整和补充。保持了前版的内容精致化、结构逻辑化、公式图表化、应用案例化、方法要点化、练习分层化等特色;再次明确突出够用性和实用性的教学理念,以教学内容结构化、逻辑化、教学方法通俗化、案例化使新版教材更具可读性、实用性。

与第一版对比,第二版的调整、补充、修改如下:

- (1) 第一版中第 4 章的 4.8 系统函数,第二版调整为 4.6 系统函数。
- (2) 第一版中第 4 章的 4.6 LTI 线性系统的各种模拟图,第二版调整为 4.7 LTI 线性系统的各种模拟图。
- (3) 第一版中第 4 章的 4.7 信号流图,第二版调整为 4.8 信号流图。
- (4) 第二版中第 6 章的 6.3 节 Z 变换的性质与应用的表 6-2 移序性中增加了左移序 1 公式及通式。共计四个移序特性及通式。
- (5) 部分习题及答案。

全书经陈戈珩教授、付虹教授和于德海教授完成修改、调整、补充,是王宏志教授主审、定稿。参加本版修订工作的还有应红霞、宁立全、吕洪武、郭昕刚。此外,本书在改版及审核过程中得到了学院、课程组,以及各相关单位许多同行的大力支持和帮助,特在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在一些问题和不妥之处,敬请读者予以批评指正,有关建议和指导请发送至如下电子邮箱,谢谢!

E-mail: chengcheng@mail.ccut.edu.cn

编 者

于长春工业大学

2015 年 8 月

第1版前言

目前,“信号与系统”课程是国内通信、电子、信息、测控、计算机网络等专业的重要的专业基础核心课程之一,也是众多热门学科硕士研究生、博士研究生入学考试的必考科目,因此,实用的“信号与系统”教材是每个从事这门课程教学的教师和学习这门课的学生所关注的焦点。国内有关“信号与系统”的教材很多,从分类上看,有本科、高职高专、自学考试等方面的教材,但内容有的太过高深,有的太过薄浅,实用性不强,而且大多还深受经典教材的影响,过于注重理论体系完整性,对数学理论的物理概念、工程意义没有很好地联系、总结,使绝大部分学生误认为这门课就是数学,同时对简洁实用的具体应用方法更是没有系统介绍,真正适合普通地方院校教学的教材很少,对于如何突出信号与系统的通俗性、逻辑性和实用性等环节,并没有给出行之有效的方法。

本书作者以20年的一线教学实践经验和体会为基础,面向21世纪人才培养需求,结合高校教学改革形势和要求,针对普通地方高校学生的基本情况、特点和认识规律,对普通地方高校的“信号与系统”课程的教学提出了一种新的教学理念和教学方式,即:

教学内容结构化、逻辑化——注重知识的完整性、逻辑性和连贯性;在严谨说明基础理论的前程下,强调实用性,大胆丢弃已详细完成的公式理论推导和纯数学运算过程,强调数学理论的物理概念和工程意义的理解,注重结果的分析和实际有效应用,本着方便学生掌握和理解信号与系统的基本方法,并能很好地应用所学知识解决实际问题的原则,对传统的内容结构进行了适当调整、分配和整合,使课程知识结构紧凑、合理,更具逻辑性。

教学方法通俗化、案例化——公式理解形象化,应用内容案例化,具体方法口诀化;针对课程中理论公式多而且难于理解的特点,采用形象对应法,帮助学生正确记忆公式,灵活掌握公式,深刻理解公式,真正达到会用的目的。用一个或几个实际的案例将书中各章节的重要知识点贯穿起来,并归纳总结成具体的步骤口诀,使学生能够掌握理论知识和物理概念的综合应用。在教材的可读性、实用性编排上,更是突出了普通地方院校需求这一层次。

各知识点多样化的实例及习题练习有助于培养和开发学生的创新和发散思维以及从各种角度分析和求解问题的能力。

本教材的主要特色:

- **内容精致化**——本书定位于服务普通地方高校信号与系统课程的教学。在内容方面,严格按照本科教学大纲要求,依据普通高校电信、电气类专业培养方案和目标,根据课程内容特点和学生接受知识的规律,精减了数学理论方面的已详细完成的公式理论推导部分;对物理概念不清晰、不实用的经典数学方法只作为知识点案例介绍,并说明其局限性,重点放在对工程实用方法全面具体的介绍上。
- **结构逻辑化**——本书在教学内容的结构安排上,本着方便学生掌握和理解,并能很好地应用所学知识解决问题的原则,对传统的内容结构进行了适当的调整、分配、整合,使得课程知识结构紧凑、合理,更具逻辑性。以信号与系统概述为切入,以信号与系统综述为收尾。将输入-输出法的连续信号与系统的三大域分析,离散信号与系统时域和变换域分析,以及连续和离散系统状态变量分析安排成7章内容。另一方面为了增强本书的可读性和实用性,在每章开始处加入了本章学习目标,在每章结束处加入了本章学习小结。
- **公式图表化**——本书将常用信号、性质、常用信号的变换和变换性质等数学结论均以对应图表形式表示,使学生直接利用图表完成对信号与系统的分析,有利于培养学生的工程意识。
- **应用案例化**——用一个或几个实际的案例将书中各章节的重要知识点贯穿起来,完成一个或多个的综合案例的分析,注重数学理论的物理概念、工程意义的理解和总结,在应用介绍时注重对问题求解过程的说明以及思路和分析过程的讲解,对于典型应用都给出了逻辑步骤,力图培养学生的创新意识和开放性思维。通过一个或几个案例的分析来展示利用各种分析方法对问题求解的过程,这在目前国内信号与系统教材应用实例中实属少见。
- **方法实用化**——依据作者多年实践教学经验,将典型的分析方法归纳总结成具体的步骤口诀,针对具体问题给出了许多简捷、实用方法,使学习者轻松掌握理论知识和物理概念的综合应用,合理运用知识点和重要公式。
- **练习分层化**——打破传统的习题模式,分为基础练习和综合练习层次,并附有各层次的自测题。
- **手段网络化**——提供了学生用和教师用两类课件。学生课件有电子笔记、实例解答等;教师课件有电子教案、教学演示文稿、教学纪要等。

为了配合双语教学的有效进行,对正文首次出现的重点名词和术语给出了英文词汇及缩写,使读者在阅读时能够直接接触和熟悉相应的英文词汇,为今后阅读相关的英文文献打下基础。在索引中,关键名词以汉字的拼音字母顺序排列,以方便读者查找。

本书由陈戈珩、付虹、于德海编著,王宏志、阎智义、姜长泓、宋宇、宁立全、吕洪武、金星、尤传富、应红霞、朱洪秀、赵凤全等参编并审核。同时在本书编写和出版过程中得到了编者所在学院、课程组以及各相关单位的许多同志的大力支持和帮助,特在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在内容、结构和文字表述等一些问题和不妥之处,敬请读者批评指正,请使用如下电子邮箱地址联系,谢谢!

E-mail: chengeheng@mail. ccut. edu. cn

编 者
长春工业大学
2007年1月

目 录

第 1 章 信号与系统概述	1
本章学习目标	1
1.1 信号与系统	1
1.1.1 广义信号与系统	1
1.1.2 信号的传输与处理	2
1.1.3 信号与系统的分析	3
1.2 信号的概念及分类	4
1.2.1 消息、信息和信号的概念及其相互关系	4
1.2.2 信号的分类	4
1.2.3 信号的描述及特性	8
1.3 系统的概念及分类	8
1.3.1 系统的定义及表示	8
1.3.2 系统的分类及特性	9
1.3.3 系统的数学模型描述	14
1.4 线性时不变系统分析方法概述	14
1.4.1 输入-输出法(input-output method)(外部法)	15
1.4.2 状态变量法(state variable method)(内部法)	16
本章学习小结	17
习题练习 1	17
基础练习	17
综合练习	18
自测题	19
第 2 章 连续信号与系统的时域分析	21
本章学习目标	21
2.1 引言	21
2.2 典型的基本信号	22
2.2.1 奇异信号	22
2.2.2 指数信号	26

2.2.3	正弦信号	26
2.2.4	复指数信号	27
2.2.5	抽样信号	27
2.2.6	斜坡信号	27
2.2.7	门信号	28
2.2.8	符号函数	28
2.3	信号的基本运算	28
2.3.1	信号的代数运算	28
2.3.2	信号的微分与积分运算	29
2.3.3	信号的反褶或反转	30
2.3.4	信号的平移	30
2.3.5	信号的尺度变换	30
2.3.6	信号的综合变换	31
2.3.7	周期信号的对称性	31
2.3.8	信号的分解与合成	33
2.4	线性时不变(LTI)连续系统的描述	36
2.4.1	LTI连续系统的数学模型	36
2.4.2	LTI连续系统的时域模型(模拟)图	37
2.5	LTI连续系统的响应	39
2.5.1	LTI连续系统响应的经典法	39
2.5.2	LTI连续系统响应的分类及其意义	40
2.5.3	LTI连续系统零输入响应和零状态响应	41
2.6	冲激响应和阶跃响应	42
2.6.1	冲激响应	43
2.6.2	阶跃响应	45
2.6.3	单位冲激响应和单位阶跃响应的关系	45
2.7	叠加积分法求零状态响应	45
2.7.1	卷积积分和杜阿美尔积分求零状态响应	45
2.7.2	卷积、卷积图解法	47
2.7.3	卷积的性质与应用	51
2.8	LTI连续系统时域分析实例	53
	本章学习小结	54
	习题练习2	56
	基础练习	56
	综合练习	57
	自测题	59
第3章	连续信号与系统的频域分析	63
	本章学习目标	63

3.1	引言	63
3.2	周期信号的分解与合成——傅里叶级数	64
3.2.1	傅里叶级数的三角函数形式	64
3.2.2	傅里叶级数的指数形式	65
3.2.3	周期信号的谐波分析及吉伯斯现象	65
3.2.4	周期信号的对称性与谐波分量的关系	67
3.3	周期信号的频谱及特点	69
3.3.1	周期信号频谱的概念	69
3.3.2	周期信号的频谱特点	71
3.3.3	周期 T 、脉宽 τ 与频谱的关系	71
3.4	非周期信号的频谱——傅里叶变换	73
3.4.1	非周期信号的傅里叶变换	74
3.4.2	单个矩形脉冲信号 $g_{\tau}(t)$ 的频谱	75
3.4.3	常用信号的傅里叶变换	76
3.5	傅里叶变换的性质及应用——信号的时域特性与频域特性的关系	78
3.6	周期信号的傅里叶变换	82
3.7	信号的功率谱和能量谱	83
3.7.1	周期信号的功率谱	83
3.7.2	非周期信号的能量谱	84
3.8	调幅波及其频谱	85
3.8.1	调制的概念	85
3.8.2	调制的目的	85
3.8.3	调制定理	85
3.8.4	解调原理	86
3.8.5	调幅波的频谱	87
3.8.6	调制与解调的实际应用	89
3.9	LTI 连续系统的频域分析	91
3.9.1	频域系统函数的定义及物理意义	92
3.9.2	系统函数的求法	93
3.9.3	周期信号通过线性系统的稳态响应(分析)	94
3.9.4	非周期信号通过线性系统的暂态响应(分析)	95
3.9.5	系统不失真传输信号的条件	96
3.9.6	理想滤波器与实际滤波器及其响应	97
	本章学习小结	101
	习题练习 3	102
	基础练习	102
	综合练习	105
	自测题	107

第4章 连续信号与系统的复频域分析	111
本章学习目标	111
4.1 引言	111
4.2 拉普拉斯变换	112
4.2.1 由傅里叶变换到拉普拉斯变换及物理意义	112
4.2.2 拉普拉斯变换的收敛域	114
4.2.3 常用信号的拉普拉斯变换	115
4.3 拉普拉斯变换的性质及应用	116
4.4 拉普拉斯反变换及其应用	118
4.4.1 查表法	118
4.4.2 部分分式展开法	118
4.4.3 留数法	120
4.5 LTI连续系统的复频域分析——复频域法求系统响应	122
4.5.1 由系统(微积分)方程求系统响应	123
4.5.2 系统的 s 域模型	124
4.5.3 由系统 s 域模型求系统响应	125
4.5.4 LTI连续系统的复频域分析实例	126
4.6 系统函数	130
4.6.1 系统函数的定义及物理意义	130
4.6.2 系统函数的零、极点与 s 平面及零极点图	132
4.6.3 系统函数的零、极点在 s 平面的分布与系统的时域响应特性	132
4.6.4 系统函数的零、极点在 s 平面的分布与系统的频域响应特性	134
4.6.5 两种典型的系统函数	135
4.6.6 系统函数的求取方法	136
4.7 LTI线性系统的各种模拟图	138
4.7.1 系统微分方程的直接模拟图	138
4.7.2 系统的并联模拟图	139
4.7.3 系统的级联模拟图	139
4.8 信号流图	141
4.8.1 信号流图的基本概念和常用术语	141
4.8.2 信号流图的构筑	142
4.8.3 信号流图化简规则	145
4.9 系统稳定性	147
4.9.1 系统稳定的定义	148
4.9.2 稳定系统和不稳定系统	148
4.9.3 系统稳定性的判定	149
4.9.4 反馈系统的稳定性判定	152
4.10 LTI连续系统复频域分析应用实例	153
本章学习小结	155

习题练习 4	156
基础练习	156
综合练习	159
自测题	164
 第 5 章 离散信号与系统的时域分析	169
本章学习目标	169
5.1 引言	169
5.2 采样信号和采样定理	170
5.2.1 离散信号的获取	170
5.2.2 采样信号与采样定理	171
5.2.3 从采样信号恢复连续时间信号	175
5.3 离散时间信号的基本概念	176
5.3.1 离散时间信号的定义和描述	176
5.3.2 基本离散信号	177
5.3.3 基本离散信号的特性	179
5.4 离散信号的运算与变换	180
5.4.1 加和减	180
5.4.2 相乘	181
5.4.3 差分	181
5.4.4 求和	181
5.4.5 平移	182
5.4.6 反褶	183
5.4.7 压缩和扩展	183
5.5 离散系统的基本概念	184
5.5.1 离散系统的分类和特性	184
5.5.2 离散系统的数学模型	186
5.5.3 离散系统的模拟	187
5.5.4 离散系统数学模型与连续系统数学模型的比较	189
5.6 LTI 离散系统的响应	190
5.6.1 LTI 离散系统的响应经典法求取	190
5.6.2 零输入响应与零状态响应及全响应	192
5.7 离散系统的单位函数响应和单位阶跃响应	195
5.7.1 单位函数响应	195
5.7.2 单位阶跃响应	197
5.8 卷积和法求零状态响应	197
5.8.1 离散卷积和公式法	197
5.8.2 离散卷积和图解法	199
5.8.3 离散卷积和列表法	201

5.8.4 离散卷积和直乘法	201
5.8.5 离散卷积和性质	202
5.9 LTI 连续系统与 LTI 离散系统的平行相似性	203
5.10 LTI 离散系统时域分析实例	203
本章学习小结	205
习题练习 5	205
基础练习	205
综合练习	208
自测题	210
第 6 章 离散信号与系统的 z 域分析	213
本章学习目标	213
6.1 引言	213
6.2 离散信号的 z 变换	214
6.2.1 z 变换的定义	214
6.2.2 z 变换的收敛域	214
6.2.3 常用序列的 z 变换	216
6.3 z 变换的性质与应用	216
6.4 反 z 变换	218
6.4.1 幂级数展开法(长除法)	218
6.4.2 部分分式展开法	220
6.4.3 留数法或围线积分法	221
6.5 z 变换与拉普拉斯变换的关系	223
6.5.1 拉普拉斯变换到 z 变换	223
6.5.2 z 平面与 s 平面的对应关系	224
6.6 LTI 离散系统的 z 域分析	225
6.6.1 零输入响应的 z 域求取	225
6.6.2 零状态响应的 z 域求取	227
6.6.3 全响应的 z 域求取	229
6.7 系统函数及其系统特性分析	231
6.7.1 系统函数的定义及物理意义	231
6.7.2 系统函数的零、极点与 z 平面及零极图	232
6.7.3 系统函数的零极点在 z 平面的分布与系统的时域响应特性	232
6.7.4 系统函数的零极点在 z 平面的分布与系统的频域响应特性	233
6.7.5 离散系统的频率特性及特殊激励的零状态响应求取	234
6.7.6 系统函数的求解方法	235
6.7.7 离散时间系统的并、级联结构	237
6.8 LTI 离散系统的稳定性	237
6.9 LTI 离散系统与 LTI 连续系统的比较	238

6.10 LTI 离散系统的 z 域分析实例	238
本章学习小结	240
习题练习 6	241
基础练习	241
综合练习	243
自测题	246
第 7 章 线性系统的状态变量分析	248
本章学习目标	248
7.1 引言	248
7.2 状态和状态变量的概念及意义	250
7.2.1 状态	250
7.2.2 状态变量	250
7.3 连续和离散系统状态方程和输出方程的标准矩阵形式	250
7.3.1 状态方程的标准矩阵形式	250
7.3.2 输出方程的标准矩阵形式	251
7.4 连续系统的状态方程及输出方程的建立	251
7.4.1 由电系统建立状态方程和输出方程	251
7.4.2 由输入-输出方程或模拟图建立状态方程和输出方程	254
7.5 LTI 连续系统的状态方程复频域求解	256
7.5.1 拉普拉斯变换求解状态方程	257
7.5.2 输出方程形式	257
7.5.3 状态过渡矩阵复频域形式	258
7.5.4 多输入-多输出系统的系统函数	258
7.6 LTI 连续系统的状态方程时域求解	261
7.6.1 一阶标量微分方程到一阶矩阵微分方程的时域求解	262
7.6.2 输出方程形式	263
7.6.3 状态过渡矩阵时域形式	263
7.6.4 冲激响应矩阵	263
7.7 LTI 离散系统的状态方程及输出方程的建立	265
7.7.1 由系统模拟图建立状态方程和输出方程	265
7.7.2 由输入-输出方程建立状态方程和输出方程	267
7.8 LTI 离散系统的状态方程 z 域求解	267
7.8.1 z 变换求解状态方程	267
7.8.2 输出方程形式	268
7.8.3 状态过渡矩阵 z 域形式	268
7.8.4 系统函数矩阵	269
7.9 LTI 离散系统的状态方程时域求解	269
7.9.1 一阶标量差分方程到一阶矩阵差分方程的时域求解	269