



国外名校最新教材精选

Prentice
Hall

线性动态系统与信号

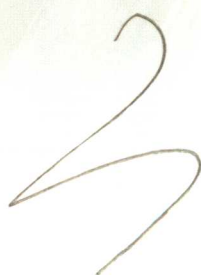
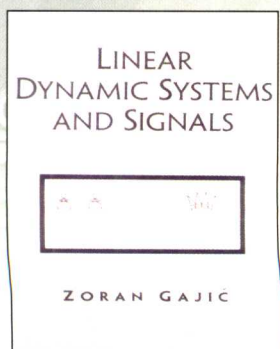
Linear Dynamic Systems and Signals

ZORAN GAJIĆ

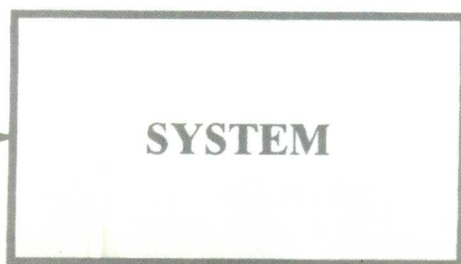
[美] Z·嘉杰克 著

王立琦 康欣 译

韩崇昭 校译



INPUT



OUTPUT



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS





清华大学出版社



线性动态系统与信号

Linear Dynamic Systems and Signals

James K. S. Hwang

1941 年 11 月 11 日

1963 年 10 月 10 日

1988 年 10 月



清华大学出版社

 国外名校最新教材精选

Linear Dynamic Systems and Signals

线性动态系统与信号

〔美〕Z·嘉杰克 著

Zoran Gajić

王立琦 康 欣 译

韩崇昭 校译



西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

内容提要

本书是关于线性动态系统与信号方面的一本新颖的教材。全书共分12章,全面系统而又深入浅出地讲述了线性动态系统与信号的基本理论和方法。第1~2章介绍了线性系统与信号的基本概念及分类。后面10章分为三个部分:第一部分由第3~5章组成,主要讲述频域技术,对线性动态系统与信号频域分析的基本理论与方法进行了全面的叙述,包括傅里叶级数和傅里叶变换、拉普拉斯变换、Z变换等;第二部分由第6~8章组成,主要讲述时域技术,包括卷积概念、时域线性动态系统响应、线性系统的稳定性,以及线性系统的状态空间方法等;第三部分由第9~12章构成,主要讲述电气工程中的线性系统,其中第9章叙述数字信号处理中的信号,第10章叙述通信系统中的信号,第11章叙述线性电路,第12章叙述线性控制系统。通过大量真实例题的讲述,充分反映了近年来该领域发展起来的新理论、新技术和新应用。

全书取材新颖、内容丰富、概念清晰、阐述层次分明,每章都安排了大量的例题和习题,并多取自实际系统。本书适合于作为自动化、电气工程及相关专业的二、三年级本科生教材,亦可供从事相关专业的工程技术人员自学参考。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Linear Dynamic System and Signals*, 1st Edition,

ISBN: 0-021-61854-0 by ZORAN GAJIC, published by Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall, Copyright © 2003, Pearson Education Asia Ltd.

All Rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education Inc.

Simplified Chinese edition published by Pearson Education Asia Limited and Xi'an Jiaotong University Press Copyright © 2004

This Edition is authorized for sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macao SAR).

本书封面贴有 Pearson Education 出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

陕西省版权局著作权合同登记号:25-2003-090号

图书在版编目(CIP)数据

线性动态系统与信号/(美)嘉杰克(Gajic, Z.)著;
王立琦,康欣译. —西安:西安交通大学出版社,2004.9
书名原文:Linear Dynamic Systems and Signals
ISBN 7-5605-1887-7

I. 线… II. ①嘉… ②王… ③康… III. 线性系
统;动态系统;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 080432 号

书 名:线性动态系统与信号

著 者:[美]Z·嘉杰克

译 校 者:王立琦 康 欣 译 韩崇昭 校译

出版发行:西安交通大学出版社

地 址:西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)

电 话:(029)82668357 82667874(发行部)

(029)82668315 82669096(总编办)

电子邮件:xjtpress@163.com

印 刷:西安东江印务有限公司

字 数:835 千字

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:34.625

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

印 数:0 001~4 000

书 号:ISBN 7-5605-1887-7/TN·79

定 价:60.00 元

版权所有 侵权必究

译者序

我国的工程教育中,传统的教学体系把《信号与系统》与《自动控制原理》区分开来,分别作为信息工程和自动化专业的主干课程。然而,令学生困惑的是难以理解这两门课程之间的区别与联系,而且很难形成一个有关“动态系统与信号”的统一概念。

由专家推荐的美国 Rutgers 大学的《线性动态系统与信号》教材,非常详细地讲述了包括连续时间和离散时间线性动态系统与信号的频域分析方法和时域分析方法,以及在机械系统、电气、电路、通信、计算机网络、生物医学等方面的应用及广泛深入的内容,特别是把系统分析与信号处理有机地融为一体,具有突出特色。在频域引入线性动态系统与信号的概念,然后在时域作进一步解释,对傅里叶级数和傅里叶变换、拉普拉斯变换、Z 变换等频域分析方法,以及卷积概念、线性动态系统响应、线性系统的稳定性、线性系统的状态空间法等都作了详细的叙述,内容深入浅出,非常适合本科教学,这是该书的一个重要特点。与此同时,该书还安排了大量例题和习题,反映了不同工程领域的应用实例,这是该书的另一个重要特点。该书反映了在美国大学工程教育中有关电气与计算机工程课程中大部分最新变化的内容,增加了有关无线通信、网络、图像学和信号处理等方面的新进展,而且对原有的课程体系也产生了较大的冲击,对电路、系统与信号、控制系统、电磁场、通信系统、电子学、电力系统,以及相关课程的改革都产生了深远的影响。译者鉴于对该书新颖体系结构的高度欣赏,同时也为了给我国电气与信息类本科生提供一本内容新颖、系统完整、特色突出的教材,冒昧承担翻译该书的重任。原文有个别不当或错误之处,在翻译过程中也已作了更正,并加了译者注释。

本书在翻译过程中始终得到韩崇昭教授的指导,并且对全书进行了仔细的审校;在翻译过程中也得到相明副教授的帮助和支持,在此一并致谢。

由于译者水平有限,翻译不当或表述不清的地方在所难免,恳请广大读者不吝施教,提出修改意见,我们将不胜感激。

译者 王立琦 康欣

2004 年 10 月

于西安交通大学电子与信息工程学院

前言

本书是为大学二年级和三年级学生而写的,他们的电气工程课目中包括线性系统和信号方面的课程。其它工科学生对线性动态系统和信号感兴趣的话,同样也可以使用本书,特别是生物医学、航空、机械和工业工程学科的学生。本书是基于作者 16 年来在 Rutgers 大学为电气与计算机工程系的本科生和研究生讲授线性系统与信号课程的经历而写成的。

在电气工程类课程中,线性动态系统和信号的课程是作为控制系统、通信系统和数字信号处理课程的一门先修课。另外,很多存在于无线通信、网络、信号处理、电子学、图像学和机器人学中的问题,现在也按动态系统的观点来研究。本书对连续时间和离散时间的线性系统和信号都进行了介绍。过去,老师和学生首先讨论连续时间现象,然后把结果应用到离散时间域。然而,随着现代计算机技术的发展,离散时间分析已经逐渐占据了主导地位,特别是从应用和计算的观点来看更是如此。进而,某些现象在离散时间域中进行解释和理解比在连续时间域中更为简单,因为离散时间系统使用简单的递归公式来表示。

需要强调的是,本书反映了在美国大学中电气与计算机工程课程中大部分最新的变化内容。在最近的 15 年间,由于计算机工程课程数量的增长,以及在无线通信、网络、图像学和信号处理方面新增加的高年级课程,一些在传统电气工程领域的课程不得不修改、浓缩、组合甚至取消。这些变化主要影响了电工原理、电路、系统与信号、控制系统、电磁场、通信系统、电子学,电力系统,以及其相关的课程。对于线性系统与信号课程已经在两个方向上进行了修订:(1)在大学二年级把这门课作为信号和时域-频域变换的课程来讲授,不太强调系统的动态行为(一般情况下,大学二年级学生不具备差分方程的足够知识);(2)在大学三年级(甚至大学四年级)的课程强调系统的动态行为,并包括一些来自电路、反馈系统、通信和信号处理方面的专题。本书按两个方面进行组织,第 2 至第 6 章,以及第 9 至 10 章作为方向(1)来编写;而第 1 章、第 7 至第 8 章,以及第 11 至 12 章是按方向(2)来编写。

本书可分为三个主要部分:(1)线性动态系统的频域法;(2)线性动态系统的时域法;(3)电气工程的线性系统法。第 2 章讲述连续时间和离散时间信号,而第 3 至第 5 章讲述信号变换(傅里叶变换、拉普拉斯变换、 Z 变换)。

傅里叶级数和傅里叶变换出现在第3章的连续时间域部分,而第9章则覆盖了离散傅里叶变换及其变形的全部内容。线性系统时域法讲述连续时间和离散时间卷积(第6章),求解微分方程和差分方程的方法(第7章),以及连续时间和离散时间的状态空间法(第8章)。其它有关数字信号处理和通信系统中的信号问题将在第9章和第10章中进行讲述。打算讲授线性动态系统课程的教师应该有可能在一个学期内讲授完第1至第8章的大部分内容(见表1)。而对信号更感兴趣的教师应该详细讲述第2至第6章和第9章的内容,并可选择第10章的一部分内容(见表2)。

全书可在两个学期讲完。本书第三部分的章节(第9至第12章)解释如何进入电气工程中的其它线性系统领域。因为电气工程中的很多系统都是线性的,读者将会发现,在与本科生其它后续课程(如控制系统、机器人学、信号处理、通信、神经网络、计算机/通信网络、电力系统、电子学等)衔接时,这些章节的内容是极其有用的。在此情况下,读者将会领会到,线性系统课程(领域)不像电气工程的其它课程,而是一门核心课程。围绕着这一核心课程,电气工程的其它几门课程才能赖以发展。

表1 强调线性动态系统内容的一学期课程的建议章节

强调动态系统的一学期课程
第1章:1.3节可跳过
第2章
第3章:傅里叶级数和变换可以少讲
第4章
第5章
第6章:卷积(可在第2章之后讲)
第7章:选择部分内容
第8章:状态空间(8.6节可略去)

表2 强调信号内容的一学期课程的建议章节

强调信号的一学期课程
第1章:引言和1.1.1小节即可
第2章
第3章
第4章
第5章
第6章:卷积(可在第2章之后讲)
第9章:DFDT,DFT,FFT,以及DFS
第10章:10.1~4节

表 3 对于独立涵盖连续时间和离散时间信号/系统的两学期课程的建议章节

关于连续时间信号与系统的第一学期课程	关于离散时间信号与系统的第一学期课程
第 1 章:连续部分	第 1 章:离散部分
第 2 章:连续部分	第 2 章:离散部分
第 3 章	第 5 章
第 4 章	第 6 章:离散部分
第 6 章:连续部分	第 7 章:离散部分
第 7 章:连续部分	第 8 章:离散部分
第 8 章:连续部分	第 9 章
第 10 至第 12 章:选择内容	第 10 章:选择 10.6 节

大学三年级强调线性动态系统的一个学期课程,能够由表 1 的内容所涵盖。在 Rutgers 大学,我们也涵盖了第 12 章线性反馈系统的概述性内容,因为在我们的课程中并不要求有本科的控制课程内容。一个学期二、三年级强调信号的课程内容可以按表 2 来教学。两个学期二、三年级区分连续时间和离散时间信号/系统的课程(第一学期是连续时间信号与系统,第二学期是离散时间信号与系统),可按表 3 所组织的材料进行教学。

线性动态系统分析的主要目的,是求取任意激励(输入)下的系统响应。已经表明,达到这一目的的大多数系统化方法是先求取系统的脉冲响应。在连续时间域直接求取系统的脉冲响应是一件非常单调冗长的任务。由作者的教学经验来看,学生们在频域求取系统的脉冲响应相对容易,而在时域就相对困难。为了避免这个问题,所有重要的系统概念(包括系统脉冲响应)都应该首先在频域引入。在频域定义系统的传递函数是一个非常简单的任务。定义了(或者得到了)系统的传递函数之后,按照一个逆程序,也会非常简单地定义(或得到)系统的脉冲响应,在这个逆程序中是把信号由频域映射到时域。在本书中,连续时间系统的脉冲响应,是由系统的传递函数进行拉普拉斯反变换得到的。由脉冲响应,我们导出了线性动态系统理论最重要的结果,也就是说,对于一个静止的系统(系统中没有初始能量储存),系统对任意输入的响应是系统脉冲响应与给定输入信号的卷积。这种卷积运算将在第 6 章进行深入研究。

所有重要的线性系统的概念在频域引入之后,我们又在时域解释这些概念,而且发展了求解连续时间和离散时间线性系统响应的时域法。这又导出了研究线性系统时域法中重要方法的状态空间法。由于电气工程和其它工程学科在过去 20 年的快速发展,频繁地使用现代计算机软件包(如 MATLAB)进行系统分析,一件紧迫的事情是,线性系统分析的现代课程要扩展以涵盖状态空间法。本书仅仅要求具有线性代数和微分方程的基础知识而达到这个目的。利用这一数学背景,状态空间法的主要概念缓慢地但透彻地得以发展,而且新的概念也完全得以解释。在一般情况下,大家都知

道也接受了这样的观念,对于所考虑的物理现象,在频域会得到更好的理解。但是,从计算的观点来看,时域更有效。在本书的最后一部分,我们演示如何用线性系统理论概念去解决电气工程其它领域,如信号处理、控制系统、通信系统和电路中的问题。

本书提供的素材已经在 Rutgers 大学经受了几年为大学三年级学生讲授线性系统与信号课程的教学考验。本书包含了许多例题和习题。大多数具有解析性质,某一些,特别是所谓高阶系统的例子是用 MATLAB 软件包完成的(或者说应该完成)。现实的线性系统例题都是用微分/差分方程给出的,或者用状态空间形式给出(系统,以及输入和输出矩阵),无须解释线性系统的物理本质,而只是发展相应的数学模型。作者相信,对来自各种各样涉及线性系统学科(电气工程、机械工程、化学工程和生物工程)的问题,大多数二、三年级的学生要掌握所有的建模问题是困难的。因而,现实物理系统是用相应微分/差分方程的数值项或者矩阵(对于状态空间描述)来表示的。在某些方面,为了表示数学模型之间的关系,状态空间形式,以及系统传递函数、数学建模都全面地进行了解释。

在 Rutgers 大学的本科线性系统与信号课程,是与线性系统与信号实验室密切联系的,而该实验室近年来已经慢慢地从硬件为主的实验室,逐渐变为完全基于 MATLAB 以软件为主的实验室。这个计算机辅助系统设计软件包在本书中相当频繁地使用,以求解决问题且设计实验室的实验。MATLAB 是一个很好的学习工具,可以帮助学生更好地理解线性系统与信号的主要概念。对于学习高阶线性动态系统特别有用。

本书同时为线性系统与信号提供了一个实验室手册。因为在美国以及其它国家主要大学的本科生实验越来越软件化,我们应用 MATLAB 软件包来设计实验室相应的实验课程。在每个重要的专题之后,就提出一个实验。然而, MATLAB 的内涵仅仅有助于加深理解主要的线性系统理论概念和增强实际工作知识,而 MATLAB 本质决不在本书所提供的素材中。

本书还把习题与实验教师手册作为补充材料,这仅仅对使用本教材教学的教师有用。本书使用的 MATLAB 程序和数据可以在本书的网页上得到,网址是:<http://www.ece.rutgers.edu/~gajic/systems.html>。同一网址也包含了其它习题及其全部或部分答案、实验室的实验、样板试题,以及改正的列表(如果有的话)。作者正处在建立透明胶片的过程中,以帮助任教于线性系统与信号相应课程的教师们。

作者动手编写本书,是因为需要提供一本充分详细介绍线性系统理论本质的教材,并且要按一种方式来解释这些本质,使得电气工程的每个学生都有可能用它作为自学的指导书。在选修了这门课程之后,工科学生应该已经得到很好的训练以处理各种各样的动态系统问题,特别是在相关课程(如通信、信号处理、控制、网络、机器人、电力系统、电路和电子学)中遇到的问题。因此,本课程的主要目的,就是发展识别和解决线性动态系统问题的统一方法,而不管其来源。

许多人都为本书做出了有价值的贡献。作者要特别感谢他以前的博士研究生(很多现在已经是大学教授)对本书的支持和贡献,包括 M. Lim (Korea University), M. Qureshi (University of Western Sydney), D. Skataric (University of Belgrade), X. Shen (University of Waterloo), W-C. Su (Taiwan, Chung-Hsing University), 以及来自 AT&T Bell Labs 的 I. Borno, 和来自 Lucent Bell labs 的 L. Qian 等研究人员。以前的教学助理 M. Sheth 和 M. Wehle 曾更正过本教材的早期版本, 而且帮助开发了 MATLAB 实验。以前的本科生 T. Carpenter-Alvarez (现在是 New Jersey Institute of Technology 的教授) 帮助开发了实验, 而 M. Funk 和 G. Topalovic 阅读并更正了本书草稿的部分章节。我要感谢我的同事 G. Hung 教授和 J. Li 教授 (Rutgers University), V. Kecman 教授 (University of New Zealand), M. Lelic 教授 (University of Tuzla, 现在是 Corning Incorporated 的研究员), 以及 S. Orfanidis 教授 (Rutgers University) 为本书提供了有用的建议和有趣的应用例题。

作者感谢使本书出版成为可能的所有人们, Prentice Hall 出版公司的编辑 Paul Becker 和助理编辑 Alice Dworkin。他们对本书表示了很大兴趣, 而且花费了大量时间与作者进行讨论, 征得对本书草稿的多次评阅, 给出了有价值的建议, 鼓励作者对此茫茫无涯的编写最终定稿。最后, 作者要感谢各位评阅人提出的建议和推荐。如下评阅人为本书提供了特别有用的评审意见: 在奥斯汀 University of Texas 的 Maruthi R. Akella, 在 University of Iowa 的 Er-Wei Bai, 在 New Mexico State University 的 Robert A. Paz, 在 Florida State University 的 Rodney Roberts, 以及在 University of Virginia 的 Gang Tao。

对我的妻子 Verica Radisavljević-Gajić 表示特别的致谢, 感谢她为本书绘制了所有的插图和解答手册。

Z·嘉杰克
于新泽西 Piscataway

作者简介

Z· 嘉杰克教授自从 1984 年以来,一直在 New Jersey 的 Rutgers 大学电气与计算机工程系讲授线性系统、控制和计算机网络的课程。他独自或合作发表了 50 多篇期刊论文,这些文章主要发表在 IEEE Transactions 的 Automatic Control 和 IFAC 的 Automatica 期刊上,还通过 Academic, Prentice Hall International, Marcel Dekker 和 Springer 等出版社出版了 7 本线性和双线性控制系统领域的书籍。嘉杰克教授已经在国际会议上宣读了两篇大会论文。发表了近 100 篇会议论文。他还是连续、离散和冲击系统的动力学杂志的编委,以及一本关于控制系统技术专刊的特约编辑。嘉杰克教授在贝尔格莱德大学获得了电气工程专业的学士和硕士学位,在密歇根州立大学获得了应用数学专业的硕士学位和系统科学工程专业的博士学位。他是美国国际象棋协会的终身大师和世界国际象棋协会的大师。

目 录

译者序	
前 言	
作者简介	

第 1 章 线性系统引论	1
1.1 连续和离散信号与线性系统	2
1.1.1 连续和离散信号与采样	2
1.1.2 连续时间和离散时间系统	4
1.2 系统线性性与时不变性	11
1.2.1 系统的线性性	11
1.2.2 线性系统的时不变性	14
1.3 系统的数学建模	15
1.4 系统分类	21
1.5 MATLAB 系统分析与设计	22
1.6 本书的组织	23
1.7 总结	23
1.8 参考文献	24
1.9 习题	25
第 2 章 信号引论	29
2.1 线性系统中常用的信号	29
2.1.1 脉冲 δ 信号	37
2.2 信号运算	44
2.3 信号分类	48
2.4 信号的 MATLAB 实验	50
2.5 总结	51
2.6 参考文献	53
2.7 习题	55

第一部分 频域技术

第3章 傅里叶级数与傅里叶变换	62
3.1 傅里叶级数	62
3.1.1 从傅里叶级数到傅里叶变换	71
3.2 傅里叶变换及其性质	73
3.2.1 傅里叶变换的性质	74
3.2.2 逆傅里叶变换	86
3.3 系统分析中的傅里叶变换	89
3.3.1 系统传递函数和系统响应	89
3.3.2 频谱	92
3.4 系统分析中的傅里叶级数	96
3.4.1 对周期性输入的系统响应	96
3.4.2 对正弦波输入的系统响应	101
3.5 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	104
3.6 傅里叶分析 MATLAB 实验室的实验	106
3.7 总结	107
3.8 参考文献	110
3.9 习题	110
第4章 拉普拉斯变换	120
4.1 拉普拉斯变换和它的性质	121
4.1.1 定义和存在条件	121
4.1.2 拉普拉斯变换的性质	123
4.2 逆拉普拉斯变换	130
4.3 线性系统分析中的拉普拉斯变换	137
4.3.1 系统传递函数与脉冲响应	138
4.3.2 系统零状态响应	142
4.3.3 单位阶跃响应和斜坡响应	144
4.3.4 全系统响应	146
4.3.5 实例研究	150
4.4 方框图	153
4.5 从拉普拉斯变换到 Z 变换	158
4.6 MATLAB 实验室的实验	159
4.7 总结	160
4.8 参考文献	163
4.9 习题	164

第 5 章 Z 变换	174
5.1 Z 变换和它的性质	175
5.2 Z 变换的逆	186
5.3 线性系统分析中的 Z 变换	191
5.3.1 离散时间线性系统的两个公式	191
5.3.2 利用积分公式求系统响应	194
5.3.3 利用微分公式求系统响应	203
5.3.4 实例分析:一个 ATM 计算机网络交换机	209
5.4 框图	213
5.5 离散时间频谱	216
5.5.1 正弦输入的系统响应	218
5.6 Z 变换的 MATLAB 实验	219
5.7 总结	220
5.8 参考文献	224
5.9 习题	224

第二部分 时域技术

第 6 章 卷积	234
6.1 连续时间信号卷积	234
6.1.1 图形卷积	238
6.2 线形连续时间系统的卷积	245
6.3 离散时间信号的卷积	248
6.3.1 滑动带(Sliding Tape)方法	250
6.4 线性离散时间系统的卷积	254
6.5 使用 MATLAB 进行数值卷积	256
6.6 卷积的 MATLAB 实验	259
6.6.1 信号的卷积	259
6.6.2 线性动态系统的卷积	260
6.7 总结	261
6.8 参考文献	262
6.9 习题	262
第 7 章 时域的系统响应	268
7.1 求解线性微分方程	268
7.2 求解线性差分方程	275
7.3 离散时间系统的脉冲响应	282
7.3.1 求脉冲响应的直接法	282
7.3.2 利用线性和时不变性求脉冲响应	284
7.4 连续时间系统的脉冲响应	289

7.5	连续时间系统的完全响应	293
7.6	离散时间系统的完全响应	294
7.7	连续时间线性系统的稳定性	296
7.7.1	连续时间线性系统的内部稳定性	296
7.7.2	劳思-赫维茨(Routh-Hurwitz)稳定性判据	299
7.7.3	连续时间线性系统有界输入有界输出(BIBO)稳定性	306
7.8	离散时间线性系统的稳定性	307
7.8.1	离散时间线性系统的内部稳定性	307
7.8.2	离散系统稳定性检验的代数方法	309
7.8.3	离散时间线性系统 BIBO 稳定性	312
7.9	连续时间系统 MATLAB 实验	313
7.10	离散时间系统 MATLAB 实验	314
7.11	总结	315
7.12	参考文献	319
7.13	习题	320
第 8 章	状态空间法	327
8.1	状态空间模型	330
8.2	状态空间方程的时间响应	334
8.2.1	时域解	334
8.2.2	使用拉普拉斯变换求解	338
8.2.3	状态空间模型和传递函数	341
8.2.4	脉冲响应和阶跃响应	342
8.3	离散时间模型	343
8.3.1	差分方程与状态空间形式	344
8.3.2	连续时间系统的离散化	344
8.3.3	离散时间状态空间方程的求解	347
8.3.4	使用 Z 变换的解	348
8.3.5	离散时间脉冲和阶跃响应	351
8.4	系统特征方程和特征值	354
8.5	凯莱-哈密顿定理	356
8.6	非线性系统的线性化	360
8.7	状态空间 MATLAB 实验	367
8.7.1	实验 1——倒立摆	367
8.7.2	实验 2——连续系统的响应	368
8.7.3	实验 3——离散系统的响应	370
8.8	总结	371
8.9	参考文献	375
8.10	习题	376

第三部分 电气工程中的线性系统

第 9 章 数字信号处理中的信号	388
9.1 采样定理	388
9.1.1 理想采样器采样和 DTFT	393
9.1.2 物理可实现采样器采样	394
9.2 离散时间傅里叶变换(DTFT)	395
9.2.1 线性系统中的 DTFT	401
9.2.2 从 DTFT 到双边 Z 变换	403
9.3 双边 Z 变换	404
9.3.1 线性系统中的双边 Z 变换	408
9.4 离散傅里叶变换(DFT)	409
9.4.1 快速傅里叶变换(FFT)	412
9.5 离散时间傅里叶级数(DFS)	413
9.6 离散时间信号的相关性	415
9.7 IIR 和 FIR 滤波器	417
9.8 信号处理实验	418
9.9 总结	419
9.10 参考文献.....	422
9.11 习题.....	423
第 10 章 通信系统中的信号	427
10.1 通信系统中的信号传输.....	428
10.2 信号相关、能量和功率谱	431
10.3 希尔伯特变换.....	434
10.4 理想滤波器.....	437
10.5 调制和解调.....	438
10.6 数字通信系统.....	444
10.7 通信系统实验.....	445
10.8 总结.....	446
10.9 参考文献.....	448
10.10 习题	449
第 11 章 线性电路	451
11.1 基本关系.....	452
11.1.1 电压源和电流源之间的等效关系.....	454
11.2 一阶线性电路.....	456
11.2.1 RC 电路	456
11.2.2 RL 电路	460

11.3	二阶线性电路	464
11.3.1	串联 LC 电路,电压源驱动	465
11.3.2	R,L 和 C 元件的串联	467
11.3.3	R,L 和 C 元件的并联	469
11.4	高阶线性电路	469
11.5	MATLAB 实验	472
11.6	总结	473
11.7	参考文献	473
11.8	习题	474
第 12 章	线性控制系统	478
12.1	反馈的本质	479
12.2	二阶系统的瞬态响应	483
12.2.1	高阶系统的瞬态响应	487
12.3	反馈系统稳态误差	488
12.4	反馈系统频率特性	491
12.5	伯德图	493
12.6	常用动态控制器:PI,PD 和 PID	503
12.7	控制系统实验	505
12.8	总结	506
12.9	参考文献	508
12.10	习题	509
附录 A	线性代数	512
	参考文献	518
附录 B	微积分的一些结果	519
	参考文献	521
附录 C	MATLAB 的介绍	522
	参考文献	531
附录 D	Simulink 简介	533
	参考文献	535