



湖南省高等教育 21 世纪课程教材

MATLAB

系统仿真分析与设计

—— MATLAB 语言工程应用

黄文梅 杨勇 熊桂林 成晓明 编著

国防科技大学出版社

湖南省高等教育 21 世纪课程教材

系统仿真分析与设计

——MATLAB 语言工程应用

黄文梅 杨 勇 编著
熊桂林 成晓明

国防科技大学出版社
·长沙·

内容简介

本书采用最新的 MATLAB 6 版本编写,内容包括系统模型及转换,系统的频率特性,连续、离散控制系统辅助设计,系统辨识,智能控制系统, MATLAB 使用与程序设计基础。本书力图将自动控制原理、计算机仿真和设计等有关内容与 MATLAB 语言相结合,使读者在学习基础理论知识的同时,增强计算机的应用能力。书中编入大量 MATLAB 应用程序,并附有一定数量的习题。

本书可作为大学自动控制、机械电子、机械制造、电气、电子信息、汽车等专业的本科生教材或学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

系统仿真分析与设计:MATLAB 语言工程应用/黄文梅等编著. —长沙:国防科技大学出版社, 2001.12

ISBN 7-81024-794-8

I. 系… II. 黄… III. 计算机辅助设计-软件包, MATLAB IV. TB391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 079514 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

E-mail:gfkdcbs@public.cs.hn.cn

责任编辑:石少平 责任校对:张 静

新华书店总店北京发行所经销

宁乡县印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:24.75 字数:572 千

2001 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1-4000 册

*

定价:32.00 元

前 言

MATLAB 是一种面向科学和工程计算的高级计算机语言, 现已成为国际科技界公认的最优秀的应用软件, 在世界范围内广为流行和使用。该软件的特点是: 强大的计算功能、计算结果和编程可视化及极高的编程效率, 这是其他语言无与伦比之处。MATLAB 包含的几十个工具箱, 涉及自动控制、人工智能、系统辨识、模式识别、动态仿真、信号分析、图像处理、数值计算和分析等学科, 广泛应用于通信、工业控制、电子、机械、汽车、建筑、财经、生命科学等工程技术领域。它汲取了当今世界这些领域最新研究成果, 使之迅速成为从事科学研究和工程设计不可缺少的工具软件。今天, MATLAB 已成为国内外理工科大学、硕士生、博士生、教师在科学研究、工程计算、教学、论文撰写时必备的基本技能。

本书专为大学自动控制、机械电子、机械制造、电气、电子信息、汽车等专业的本科生、研究生、教师、科技工作者编写。本书力图将自动控制原理、控制工程基础、计算机仿真、计算机辅助分析和设计等有关教学内容和 MATLAB 语言紧密、有机地结合起来, 使学生在掌握基础理论知识的同时学会应用 MATLAB; 在学习应用 MATLAB 的同时, 加深对基础知识的理解, 增强学生的计算机应用能力, 提高教学效果。本书编入了智能控制等内容, 目的是使读者了解学科发展的最新动态。本书编入大量 MATLAB 应用程序, 每章也有一定数量习题, 供读者能尽快掌握 MATLAB 编程技巧。

本书采用最新的 MATLAB 6.0 版本编写, 它包含功能更强大的编程工具, 内容更加丰富的工具箱, 编程语言更简捷、更友好的图形界面和可视化编程。这些特点使本书在内容上是完全崭新的。

本书共分八章、绪论和附录。第一、五章和习题由杨勇编写, 第三、七章由熊桂林编写, 第八章和绪论由成晓明编写, 其余各章由黄文梅编写。杨宇、赵升奇、刘红显等也参加了部分编写工作。本书由黄文梅教授主编, 林丞教授主审。

本书被列入“湖南省高等教育 21 世纪课程教材”, 并得到湖南省教育委员会的资助, 在此表示衷心感谢。

由于时间仓促, 作者水平有限, 书中有不当之处, 恳请读者不吝指教。

编 者

2001 年 8 月

绪 论

简要介绍系统仿真分析和设计的有关名词术语、基本概念,回顾了系统仿真发展的过程与应用,说明了系统分析与设计方法,并对所采用的 MATLAB 语言与本书的结构作了简单介绍。

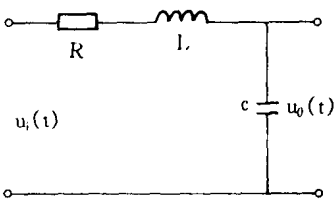
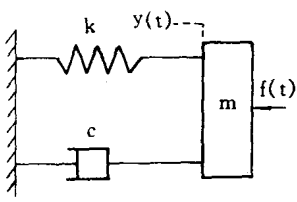
0.1 基本概念

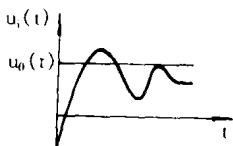
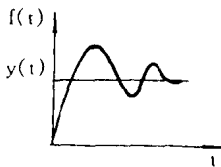
0.1.1 系统描述

系统是指完成某些预定任务或目标的相互联系又相互作用的对象的集合。“系统”这一名词已广泛地应用在社会、经济、工业等各个领域。通常,系统可分为非工程系统和工程系统。非工程系统的范围十分广泛,如社会系统、国民经济系统、生态系统、交通管理系统等。工程系统覆盖了机电、机械、化工、热力、流体等工程应用领域。

任何系统都存在三个方面的内容,即实体、属性和活动。组成系统的具体的对象或单元称为实体,如电液控制系统中的电液伺服阀、伺服缸、放大器、控制器等。实体的特性(状态和参数)称为属性,如位移、速度、加速度、电流、电压等,可用来描述系统中各实体的性能。活动是指对象随时间推移而发生的状态的变化,活动含有明显的时间概念。见表 0-1。

表 0-1 简单的机械系统和电系统的例子

	电 系 统	机 械 系 统
系 统 实 体		
系 统 描 述	$LC \frac{d^2 u_o}{dt^2} + RC \frac{du_o}{dt} + u_o = u_i(t)$	$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = f(t)$

	电 系 统	机 械 系 统
系 统 属 性	电压: $u_i(t), u_0(t)$ 电感: L 电容: C 电阻: R	位移: $y(t)$ 力: $f(t)$ 弹簧刚度: k 阻尼系数: c 质量: m
系 统 活 动		

研究系统除了研究系统实体、属性和活动外,还需要研究系统的环境,考察环境和系统之间的相互作用及对系统活动的影响。因此,研究系统首先应确定系统实体,即包括哪些对象,确定系统与环境边界,这样可以清楚地了解环境的变化对系统的影响。在研究恒温系统时,往往要考虑环境温度的影响;在研究电系统中,常常要考虑电压波动;在研究机械系统中,也常常把温度、摩擦力等其他非线性因素当作干扰对系统影响加以考虑。研究系统的重要内容一是探讨系统及输入、输出三者之间的动态关系。系统输入(包含干扰)可看成环境对系统的作用,而系统输出可看成系统的活动。系统、环境、输入和输出之间的关系可由图0-1来描述。

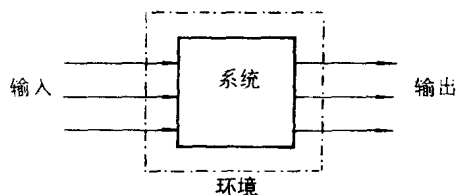


图0-1 系统与环境

0.1.2 系统分类

系统可分为连续系统和离散系统。系统的状态随时间连续变化的系统称为连续系统。连续系统又可分为集中参数系统和分布参数系统。连续系统动态特性可以用微分方程来描述,而微分方程可以转化为其他形式如传递函数、状态方程、脉冲响应函数等。系统的状态变化只在离散时刻点上发生,该系统称为离散系统。离散系统又可分为离散时间系统和离散事件系统。离散时间系统的动态特性可用差分方程来描述,而离散事件系统状态变量在某些时间点上才发生变化,导致状态改变的事件往往是随机的,这类系统的数学模型一般很难用数学方程描述,而用流程图或网络图来描述。系统的数学模型形式

详见表 0-2 所示情况。

表 0-2 系统数学模型的描述

系统类型	连续系统		离散系统	
	集中参数	分布参数	离散时间	离散事件
数学描述	微分方程 传递函数 状态方程 脉冲响应函数	偏微分方程	差分方程 z 传递函数 离散状态方程	概率分布 排队论
工程举例	机电系统	电场 流场 热传导场 薄板应力	数字控制系统	交通系统 库存系统

0.1.3 系统建模

模型是系统的一种表示,是为了研究系统而开发的,是系统的内在联系及它与外界的关系的一种描述。研究一个系统主要目的是弄清系统各个组成部分之间的关系,系统及其组成部分的动态特性,并通过适当的策略改善系统的特性。为达到此目的,必须做以下几项工作:系统建模、系统仿真、系统分析和综合。

系统建模就是建立系统的数学模型,它是系统分析和综合的基础。系统数学模型是系统动态性能的描述和表达,揭示了系统的运动本质,准确地建立系统模型是一项十分重要的工作。系统模型建立的主要任务是确定系统模型的结构和参数。系统建模通常有三种方法:

1. 解析法

根据物理,化学,生物学以及有关学科的定理、定律或公式,经过分析和演绎,找出系统内部各部分或环节之间的相互关系,推导出系统的数学模型。一般来说,这种方法仅适用于一些简单的系统或系统各环节的参数变化规律较简单的系统,例如,弹簧—质量—阻尼机械系统可根据牛顿第二定律和力学分析建立系统的微分方程,电系统可根据克希霍夫定律和电路分析建立系统的微分方程等。

数据

2. 系统辨识

根据系统的输入和输出的观测信息来估计它的数学模型。这种方法适于那些内部结构和特性不清楚的系统,即所谓黑盒子系统。这种方法首先必须对被控对象进行实验观测获取它的输入和输出的数据,再假设其数学模型的形式,根据一定的算法估计出系统的数学模型。

3. 综合法

综合法就是将解析和实验结合起来的建模方法。在实际工程系统中,对于它们的内部结构有基本了解但不十分清楚,或者对内部部分环节的特性不了解,采用解析法和以实

验为基础的辨识法相结合可获得一个较精确的模型描述整个系统的动态特性。

系统建模实际上是一个反复推演和验证的过程,这一过程通常必须和实验相结合,脱离实验的纯理论建模所获得的数学模型往往与实际相差较大。实际工程系统一般都较复杂,建模时抓住影响系统动态特性的主要因素,忽略一些次要的、影响较小的因素,会使问题得到简化。系统中的一些特性和参数需要用实验的方法获得,以弥补理论建模的不足。用上面方法所获得的模型也需要在不同工况条件下用实验修正和验证,最后才能得到较准确的反映实际系统动态特性的模型。

0.2 系统仿真

0.2.1 系统仿真及其分类

1. 系统仿真的定义^[2]

“仿真”一词译自英文 Simulation,另一个曾用的译名是“模拟”,意指在实际系统尚不存在的情况下,系统或活动本质的复现。目前,比较流行于工程技术界的技术定义是:系统仿真的是通过对系统模型的实验,研究一个存在的或设计中的系统。

2. 系统仿真的分类

系统仿真的分类方法主要有以下几种。

根据计算机分类:

(1) 模拟计算机仿真

将系统模型编排在模拟计算机上并使之运行。

(2) 数字计算机仿真

将系统模型用一组程序来描述,并使它在数字计算机上运行。

(3) 模拟数字混合仿真

将系统模型分为两部分,其中一部分放在模拟机上,而另一部分放在数字机上,两台计算机之间利用 D/A 及 A/D 转换器交换信息。

但现在数字仿真成为计算机仿真主流,计算机仿真就是用计算机为主要工具,在真实系统或预研系统的数学模型基础上建立仿真模型并运行它,从而获得真实系统的动态特性或有关信息。

根据系统模型分类:

(1) 连续系统仿真

系统模型中的状态变量是连续变化的。一般可表示为微分方程的形式。离散时间系统仿真也可归于这一类。

(2) 离散事件系统仿真

系统模型中的状态变量只在模型某些离散时刻由于某种事件而发生变化。这种模型一般不能表示为方程式的形式,而只能用一组逻辑条件或流程图来表示。

按所用模型的类型(物理模型、数学模型、物理—数学模型)来分类,系统仿真可分为物理仿真、计算机仿真(或称数学模型仿真)、半实物仿真。

0.2.2 仿真模型与仿真研究

1. 仿真模型

根据上述系统仿真的分类,我们将系统仿真模型分类为图 0-2 所示。

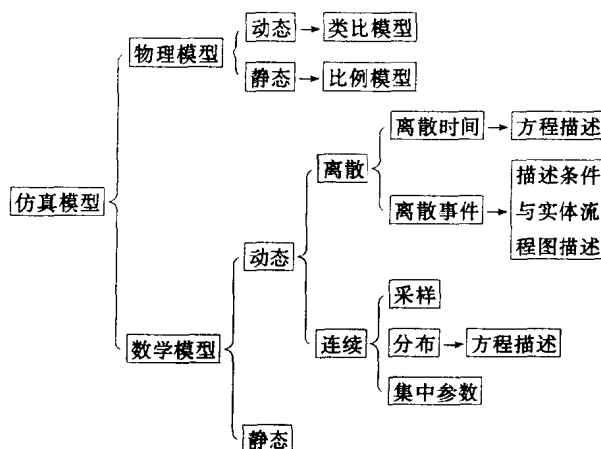


图 0-2 仿真模型分类图

对于计算机仿真,需要在计算机上建立起对象的数学模型。

一般来说,系统的数学模型都必须改写成适合于计算机处理的形式,称为仿真数学模型。系统数学模型是系统的一次近似模型,仿真数学模型则是系统的二次近似模型。

2. 计算机仿真三要素与过程

建立计算机模型(即仿真数学模型)很重要的一点是要具有实验的性质,即模型与对象的功能及参数之间所具有的相似性和对应性。这种相似关系和对应关系不应被数学演算过程所掩盖,否则就仅仅是一次数值求解。

长期以来,仿真领域的研究重点是放在仿真数学模型建立这一环节上来研究各种算法,然后将其编制成计算机程序并在计算机上运行,因此产生各种仿真算法和仿真软件。

从仿真定义可知,仿真基本上是一种通过实验求解问题的技术。为了对仿真模型进行深入研究和优化结果,还必须进行多次运行、参数优化等仿真研究。

仿真是一个建模——实验——分析——修改模型——再实验——分析……不断反复的过程,因此,良好的人—机交互性是系统仿真的重要特性。对动态系统的计算机仿真而言,仿真三个要素包括系统、模型和计算机。三者之间的关系如图 0-3 所示。相应仿真过程可划分为三个基本活动:建模,模型实现和模型试验。三者之间的关系见图 0-4。

3. 动态系统计算机仿真学科

综上所述,系统仿真一般采用计算机仿真,一般是针对动态系统而言,因此又称为动态系统计算机仿真。动态系统计算机仿真是一门以系统科学、计算机科学、系统工程理论、数理统计等多个学科理论为基础,以工程系统和各类社会经济系统为主要处理对象的,以数学模型和数字计算机为主要研究工具的新兴边缘学科。

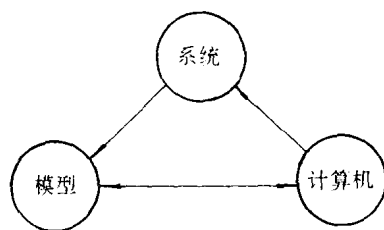


图 0-3 仿真三要素关系图

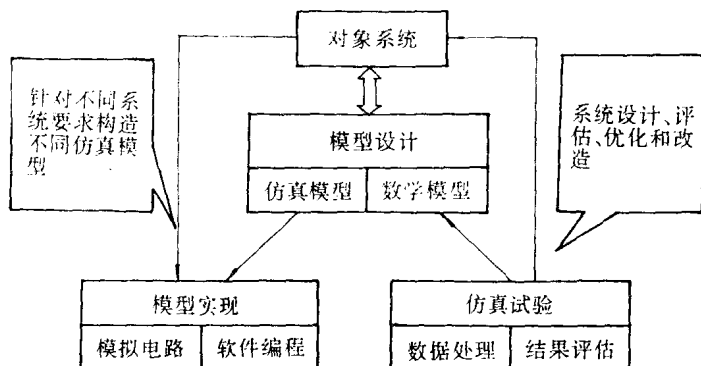


图 0-4 仿真的三项基本活动

0.2.3 系统仿真的发展及其应用

纵观系统仿真技术发展的历史可知,仿真技术的发展是与控制工程,系统工程及计算技术的发展密切联系的。1958 年第一台混合计算机系统用于洲际导弹的仿真。1964 年生产出第一台商用混合计算机系统。20 世纪 60 年代,阿波罗登月计划的成功及核电站的广泛使用进一步促进了仿真技术的发展。20 世纪 70 年代,系统工程被应用于社会、经济、生态、管理等非工程系统的研究,开拓了系统动力学及离散事件系统仿真技术的广阔应用前景。仿真技术在每个阶段有一个比较热门的应用领域,比如 20 世纪 50 年代热门的应用领域是武器系统及航空,60 年代热门的领域是航空与航天,70 年代热门的应用领域是核能、电力与石油化工,80 年代热门的应用领域是制造系统。仿真技术现在已成为系统分析、研究、设计及人员训练不可缺少的重要手段,它给工程界及企业界带来了巨大的社会效益与经济效益。使用仿真技术可以降低系统的研制成本,提高系统实验、调试及训练过程中的安全性,对于社会、经济系统,由于不可能直接进行实验,仿真技术更显出它的重要性。

最近几年,我国在仿真技术上的发展也是十分突出的。我国已自行研制成银河仿真计算机、训练起落的飞行模拟器、20 万 kW 电站训练仿真器、大型海战仿真器等仿真系统,许多工业部门都已建立或正在建立仿真研究中心,并研制出不少仿真软件及应用成果。

仿真技术在可能性、安全性、准确性、方便性等方面具有明显的优点,除在要求十分准

确或建模有一定困难时利用实际系统外,均应尽量利用系统仿真技术。

仿真技术发展的主要方向:

- 1) 改善建模环境。
- 2) 动画。反映在辅助建模、显示仿真结果、系统的活动及其特征。
- 3) 实现仿真结果分析到建模的自动反馈。
- 4) 基于虚拟技术在仿真中的应用(虚拟技术简称 VR,具有交互性、沉浸性、想象力等)。

总而言之,创建人、信息、计算机融合的智能化、集成化、协调化高度一体的仿真环境是信息时代仿真技术的发展方向。20 世纪的仿真技术综合集成计算机、网络、自动控制等多项高新技术,已经渗透到各个领域,得到愈来愈广泛的应用,具有不可替代的作用。

0.3 系统分析和设计

控制系统分析包括系统的时域性能分析和频域性能分析。控制系统设计就是根据预先给定的系统性能指标,去设计一个能满足性能要求的控制系统。而在被控对象确定后,系统设计实际上归结为控制器的设计,即控制系统综合和校正问题。控制系统设计方法有根轨迹法、频率设计法、极点配置法等。根据这些设计方法的基本原理,编写相应的计算机程序,再用仿真技术分析和验证控制系统性能,十分方便求得最优控制器的基本参数,完成控制系统设计任务。计算机辅助分析和设计,也是系统仿真的目的。

自动控制系统是典型的工程系统,对控制系统的分析理论和方法,可以拓展到其他工程系统中。

0.4 关于 MATLAB

20 世纪 70 年代后期,身为美国 New Mexico 大学计算机系系主任的 Cleve Moler,利用业余时间为学生编写 EISPACK 和 LINPACK 的接口程序。Cleve Moler 给这个接口程序取名为 MATLAB,该名为矩阵(matrix)和实验室(laboratory)两个英文单词的前三个字母的组合。时至今日,经过美国 MathWorks 公司的不断完善, MATLAB 已经推出了 6.0 版。其在卓越数值计算和图示能力的基础上,率先在专业水平上开拓了其符号计算、文字处理、可视化建模和实时控制能力,开发了适合多学科、多部门要求的新一代科技应用软件。

MATLAB 的语言特点:语言简洁紧凑,具有源程序的开放性、功能强劲的工具箱。MATLAB 语言是以矩阵和向量为基本数据单位,包括控制流程语句、函数、数据结构、输入输出及面向对象等特点的高级语言。它既适合编写只有区区几行的小程序(如对数据文件进行处理的程序),也适合开发复杂的大型程序,被称为第四代计算机语言。

MATLAB 提供的动态系统仿真工具箱 Simulink,则是众多仿真软件中功能最强大、最优秀的一种。它使得建模、仿真算法、仿真结果分析与可视化等实现起来非常简便。Simulink 会使你的计算机变成一个实验室,可以对机械的、电子的,连续的、离散的或混合

系统,现实存在的、不存在的系统等,进行建模与仿真。

0.5 本书结构

本书紧密结合系统仿真、分析和设计介绍 MATALB 软件及工程应用。第一章阐述系统建模及模型形式,第二章和第三章介绍系统仿真方法和系统时域频域分析,第四章和第五章讨论控制系统辅助设计方法和应用实例,第六章介绍系统辨识和建模方法,第七章介绍智能系统,引导读者在最新研究的领域内更深入地使用 MATALB 有关工具箱。第八章根据本书学习的需要介绍 MATLAB 语言使用与编程基础,读者可根据情况先选学该章。

本书除使用 MATALB 基本工具箱外,涉及的一些专业工具箱有:控制工具箱(Control System Toolbox), Simulink 工具包,非线性控制工具箱(Nonlinear Control Toolbox),神经网络工具箱(Neural Network Toolbox),模糊控制工具箱(Fuzzy Control Toolbox)等。

本书是应用 MATLAB 作为系统仿真、自动控制理论、计算机辅助分析与设计智能控制等高级课程的教学工具,提高本科生、硕士生进行科学研究和技能,为进一步深入应用 MATLAB 语言打下基础。

目 录

绪论

第一章 系统模型及转换

1.1 系统分类	(1)
1.2 系统数学模型及转换	(2)
1.2.1 系统的时域模型	(2)
1.2.2 系统的传递函数模型	(2)
1.2.3 系统的状态空间模型	(4)
1.2.4 系统的零极点增益模型	(5)
1.2.5 系统的模型转换	(6)
1.2.6 系统模型参数的获取	(9)
1.2.7 时间延迟系统建模	(10)
1.2.8 模型属性设置和获取	(11)
1.3 系统模型的连接	(13)
1.3.1 模型串联	(14)
1.3.2 模型并联	(14)
1.3.3 反馈连接	(15)
1.3.4 系统扩展	(16)
1.4 状态空间模型实现	(17)
1.4.1 状态空间标准形式	(17)
1.4.2 系统能控性和能观性	(23)
1.4.3 系统的最小实现	(25)
1.4.4 模型降阶	(27)
习题	(29)

第二章 系统时间响应和动态仿真

2.1 概述	(31)
2.2 基于数值积分的连续系统仿真	(31)
2.2.1 数值积分基本原理	(31)

2.2.2	数值积分方法的选择	(43)
2.2.3	基于数值积分法的连续系统仿真	(50)
2.2.4	数值积分方法的 MATLAB 函数	(51)
2.3	离散时间系统仿真	(56)
2.4	基于离散相似法的连续系统仿真	(57)
2.4.1	连续系统离散化基本方法	(57)
2.4.2	离散化模型精度	(62)
2.4.3	系统离散化和连续化函数	(65)
2.4.4	系统仿真的 MATLAB 函数	(67)
2.5	系统非线性环节的仿真	(71)
2.5.1	饱和环节	(71)
2.5.2	死区环节	(72)
2.5.3	齿隙非线性环节	(73)
2.5.4	继电非线性环节	(74)
2.5.5	具有滞环的继电环节	(76)
2.5.6	库仑-粘性摩擦力环节	(77)
2.6	采样控制系统仿真	(78)
2.6.1	采样控制系统的基本组成	(78)
2.6.2	采样控制系统仿真特点	(79)
2.6.3	仿真步长和采样周期	(79)
2.6.4	采样控制系统仿真方法	(79)
2.7	Simulink 动态仿真	(86)
2.7.1	启动 Simulink	(87)
2.7.2	系统 Simulink 模型的建立	(89)
2.7.3	系统仿真运行	(91)
2.7.4	仿真结果的输出和保存	(97)
2.7.5	子系统的创建和封装	(101)
2.7.6	Simulink 仿真实例	(108)
2.7.7	非线性系统优化设计	(109)
习题		(112)

第三章 系统频率特性

3.1	频率响应和频率特性	(115)
3.1.1	一般概念	(115)
3.1.2	频率响应的计算	(116)
3.2	频率特性图示法	(118)
3.2.1	Nyquist 图的绘制	(119)

3.2.2 Bode 图的绘制	(121)
3.3 稳定裕度	(122)
3.4 系统时域频域一般性能指标的计算	(124)
3.4.1 系统瞬态性能指标	(124)
3.4.2 系统稳定性和相对稳定性	(127)
3.4.3 闭环系统频率特性	(128)
3.4.4 稳态性能计算	(130)
3.5 系统分析图形用户界面	(133)
习题	(137)

第四章 连续控制系统辅助设计

4.1 根轨迹法	(138)
4.1.1 根轨迹方程	(138)
4.1.2 根轨迹图	(138)
4.1.3 根轨迹的 MATLAB 实现	(139)
4.1.4 根轨迹设计法	(141)
4.2 Bode 图法	(148)
4.2.1 相位超前校正	(149)
4.2.2 相位滞后校正	(154)
4.2.3 相位滞后—超前校正	(158)
4.3 模拟 PID 控制器	(163)
4.3.1 PID 控制原理	(163)
4.3.2 PID 控制器设计	(165)
4.4 状态反馈的极点配置法	(173)
4.4.1 极点配置的一般原理	(173)
4.4.2 极点配置的 MATLAB 函数	(174)
4.4.3 基于极点配置法的系统设计	(174)
4.4.4 状态观测器设计	(176)
4.4.5 带状态观测器的闭环状态反馈系统	(179)
4.5 线性二次型最优控制	(182)
4.5.1 线性二次型调节器	(182)
4.5.2 线性二次型高斯最优控制	(187)
4.6 Riccati 方程的解	(193)
4.7 Lyapunov 方程的解	(194)
4.8 系统设计实例	(196)
4.8.1 直流电机转速控制	(196)
4.8.2 汽车悬架系统控制	(206)

习题	(217)
----------	-------

第五章 离散控制系统辅助设计

5.1 概述	(219)
5.2 频率特性和根轨迹设计法	(219)
5.2.1 频率特性	(220)
5.2.2 根轨迹设计	(221)
5.3 数字 PID 控制器	(226)
5.3.1 数字 PID 控制算法	(226)
5.3.2 数字 PID 控制器设计	(230)
5.3.3 改进的 PID 控制算法	(234)
5.4 极点配置和观测器设计	(243)
5.4.1 极点配置法	(243)
5.4.2 离散状态观测器	(247)
5.4.3 带状态观测器的闭环状态反馈系统	(249)
5.5 离散线性二次型最优控制	(252)
5.5.1 离散系统的 LQ 调节器	(252)
5.5.2 连续系统的离散 LQ 调节器	(253)
5.6 离散系统的线性二次型高斯最优控制问题	(255)
习题	(256)

第六章 系统辨识

6.1 概述	(258)
6.2 数据预处理	(259)
6.2.1 去除趋势项	(259)
6.2.2 数据滤波	(259)
6.2.3 系统辨识信号的产生	(260)
6.2.4 信号重新采样	(262)
6.3 系统非参数模型估计	(264)
6.3.1 概述	(264)
6.3.2 系统脉冲响应估计	(264)
6.3.3 实验传递函数估计	(265)
6.4 系统参数模型估计	(268)
6.4.1 概述	(268)
6.4.2 系统的差分方程模型估计	(270)
6.4.3 系统状态方程模型估计	(276)

6.5 模型的验证	(278)
6.5.1 模型验证函数	(278)
6.5.2 模型仿真函数	(279)
6.6 模型结构的选择	(282)
6.7 递推参数模型估计	(286)
6.7.1 概述	(286)
6.7.2 参数模型估计函数	(287)
6.8 系统辨识图形用户界面	(293)

第七章 智能控制系统

7.1 概述	(298)
7.2 神经网络控制	(299)
7.2.1 概述	(299)
7.2.2 BP 神经网络的 MATLAB 实现	(300)
7.2.3 BP 神经网络应用举例	(305)
7.3 模糊控制	(313)
7.3.1 模糊控制器设计原理	(313)
7.3.2 模糊逻辑控制器设计	(315)
7.3.3 模糊逻辑控制器设计举例	(318)
7.4 神经网络模糊控制	(320)
7.4.1 基于神经网络的模糊控制	(320)
7.4.2 模糊神经功能单元	(321)

第八章 MATLAB 程序设计基础

8.1 MATLAB 入门	(325)
8.1.1 MATLAB 6 启动	(325)
8.1.2 MATLAB 6 的通用操作界面	(325)
8.1.3 命令窗口操作简介	(326)
8.1.4 帮助命令	(327)
8.2 数据表示及基本运算	(328)
8.2.1 基本概念	(328)
8.2.2 数组运算和矩阵运算	(330)
8.2.3 多项式	(333)
8.3 绘图命令	(335)
8.3.1 基本图形命令	(335)
8.3.2 二维绘图的基本用法	(335)
8.4 MATLAB 程序设计基础	(337)
8.4.1 程序编辑与执行程序	(337)