

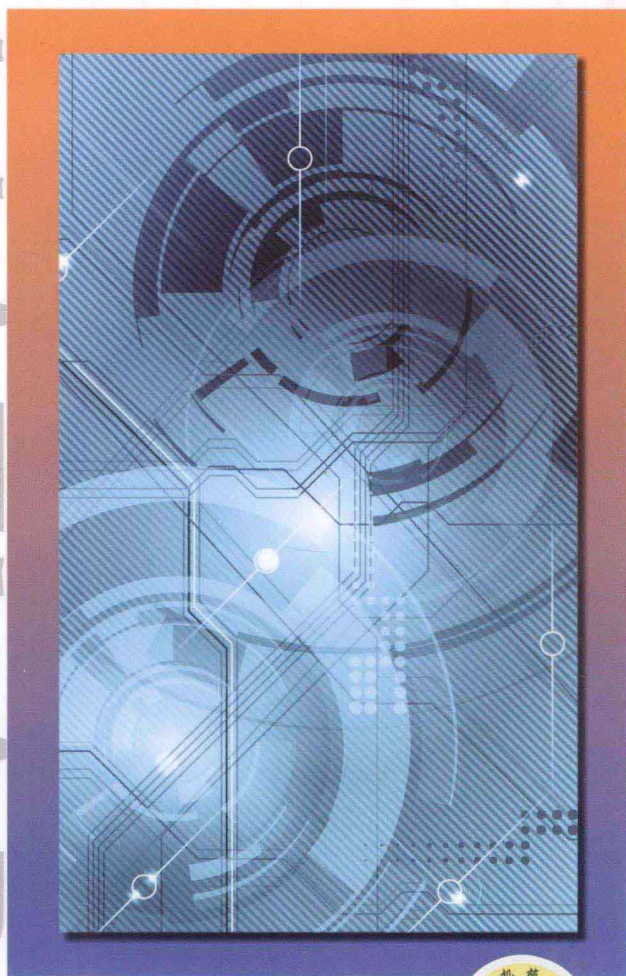
新编

控制系统 **MATLAB** 仿真实训

黄忠霖 编著



本书附赠学习课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

新编控制系统 MATLAB 仿真实训

黄忠霖 编著



机械工业出版社

本书主要包括3部分内容,即控制系统 MATLAB 计算及仿真的解题实训、控制系统 MATLAB 计算及仿真的实验实训、控制系统 MATLAB 计算及仿真课程设计与毕业设计实训等。本书可与作者以前编写的《控制系统 MATLAB 计算及仿真》配合使用,因为本书第1部分实际上主要是该书的例题习题集,第2部分则是该书的上机实验操作训练,而第3部分则是对自动控制类各专业关于自动控制仿真的课程设计与毕业设计实践训练。另外,本书附录是作者开发的自编函数。

“自动控制原理”、“自动控制系统”与“控制系统 MATLAB 仿真”等,是高等学校电气信息类各专业的主要专业基础课与专业课,本书是学习这些课程的必备参考书,既可作为电气信息类各专业的 MATLAB 仿真教材,也可作为自动控制领域工程技术人员学习 MATLAB 的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新编控制系统 MATLAB 仿真实训/黄忠霖编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-111-42163-4

I. ①新… II. ①黄… III. ①自动控制系统—系统仿真—Matlab 软件 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 075591 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑 张俊红 责任编辑: 闫洪庆

版式设计: 霍永明 责任校对: 闫玥红

封面设计: 路恩中 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·25.25 印张·627 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-42163-4

定价: 69.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

1. 撰写本书的背景

作者撰写的《控制系统 MATLAB 计算及仿真》已出版了 3 版，印刷 8 次，发行销售近 20000 册，受到同行师生与广大读者的欢迎、关心与爱护。

在《控制系统 MATLAB 计算及仿真》一书中，每一类问题都只能举一例或少量例题，因自动控制仿真内容太丰富而仿真教材篇幅又不能太长，不可能介绍太多的例题与习题。这也是同行与使用《控制系统 MATLAB 计算及仿真》的读者提出的宝贵意见，他们希望多解算些例题，介绍些控制系统仿真实验、课程设计与毕业设计方面的内容。更重要的是《控制系统 MATLAB 计算及仿真》中作者编写的解算例题与习题的 MATLAB 程序或函数的有效性如何？能否可靠解算其他题目呢？

为适应广大读者的要求，特别是适应电气信息类专业教学、仿真实验、课程设计与毕业设计需要，为配合《控制系统 MATLAB 计算及仿真（第 2 版）》教材的使用，2005 年作者撰写了配套的实训教材《控制系统 MATLAB 计算及仿真实训》。

《控制系统 MATLAB 计算及仿真》经历了几版完善，其内容有根本性修改，采用的 MATLAB 系统版本也发生了很大变化。这就是本书出版发行的缘由。

本书乃是《控制系统 MATLAB 计算及仿真》或更新版本仿真教材配套的习题集或实训教材，本书以 MATLAB 7.5 版本为仿真软件。

2. 高校应用 MATLAB 于教学的新发展

1) 由于 MATLAB 为自动控制技术提供了诸多工具箱，近几年国内有关自动控制领域的 MATLAB 仿真书籍如雨后春笋般出版发行，实为可喜之事。

2) 多年来，国内很多本科高校已经开设了“高等数学”课程的 MATLAB 实验。2009 年教育部高教司启动了“利用信息工具技术改造课程”项目，其中“用 MATLAB 和建模实践改造工科线性代数课程”项目被列为 18 个子项目之首。这为高校“利用信息工具技术改造课程”项目开了一个好头，后续项目定会积极跟进。

3) 对于学习理工科的任何课程，学生为加深理解所学理论，用手工计算做一定量的解题训练是必要的，经过一段训练后即可。传统的手工计算太慢且极易产生差错，大量复杂、繁琐的计算必须学会使用计算机工具。大科学家钱学森曾写道：“现在已经可以看到电子计算机对工程技术工作的影响。今后对一个问题求解可以全部让电子计算机去干，不需要人去一点一点算”。

4) MATLAB 应用学科门类多多：数学、电工电气、自动控制、电子信息、机械、化学化工、经济、金融、管理、图像处理、运筹学、环境科学、生物医学数据分析、选煤、选矿数据处理等不一而足。

我们热切期待着 MATLAB 更多应用的出现。

3. 本书特色

1) 本书不含 MATLAB 语言基础知识部分 (该部分作者已另书出版^[1]), 突出控制系统仿真的主要内容。

2) 密切配合课程教学。本书根据电气信息类各专业主要课程“自动控制原理”或“控制工程基础”、“电力拖动控制系统”、“生产过程控制系统”、“控制系统仿真”的内容撰写而成。

3) 在本书中, 作者推介 69 个自编函数, 作为解算例题与习题的工具, 使解题更加简捷、精准与高效。

4) 尽量使 MATLAB 软件的计算机操作更加人性化。本书内容确定了与 MATLAB 软件相关, 必然有很多计算机操作。对于比较麻烦、繁琐、困难与易于出错的计算机操作都尽力叙述清楚、详尽、易懂, 以服务读者。

5) 使用高效工具 Notebook。连接 Word 与 MATLAB 系统的文字处理软件, 是一个非常有效的工具。学习并掌握这个工具, 能给写作与 MATLAB 有关的书籍或文章的撰写者带来极大的方便, 更主要的是让学习 MATLAB 的读者提高学习效率。

4. 本书内容

本书包括 3 部分: 控制系统 MATLAB 计算及仿真的解题实训、控制系统 MATLAB 计算及仿真的实验实训、控制系统 MATLAB 计算及仿真课程设计与毕业设计实训等。第 1 部分实际上是《控制系统 MATLAB 计算及仿真》的例题习题集, 第 2 部分是《控制系统 MATLAB 计算及仿真》的上机实验操作训练, 第 3 部分是对电气信息类各专业关于自动控制仿真的课程设计与毕业设计实践训练。

本书第 1 部分除第 2、3 章外, 每章后都配有该章习题。附录是作者为《控制系统 MATLAB 计算及仿真》与本书开发的自编函数, 供读者查阅、使用。

为方便读者学习, 本书配有习题参考答案、自编函数的 MATLAB 软件电子文档与仿真模型, 有需要的读者可与出版社或作者联系。

5. 几点说明

1) 针对控制系统 MATLAB 计算及仿真的典型命题或实际问题, 在《控制系统 MATLAB 计算及仿真》开发自编函数的基础上, 作者又开发了新的 MATLAB 程序。需要指出, ①有的程序或函数语句长、行数多; 有的程序短小, 但其功能不可小视, 非常管用。②同一算题类型的多个示例, 是为了说明自编函数功能的实用性与可靠性。③希望这些程序起到抛砖引玉的作用, 有兴趣的读者还可进一步开发, 对本书程序可进一步精练、优化。

需要提醒的是, 作者开发的自编函数或程序是本书学习的重点。对此, 建议读者注意两种学习模式; 一是只要求学会用这些程序解题, 不深究程序; 另一种是既要解题, 又要弄懂程序。这对于将其用于课程设计或毕业设计的读者是必须要求的。其实本书自编程序不深也不难, 只要认真阅读《控制系统 MATLAB 计算及仿真》, 必能心想事成。

2) 本书介绍的仿真模型, 其参数值设置经作者或是计算或是仿真模型寻优、逐步逼近而得到的, 也希望起到抛砖引玉的作用, 读者也可对模型进一步寻优。

对书中开发的程序或函数、创建的仿真模型, 作者承诺: 第一, 对读者完全负责, 即在相应 MATLAB 版本系统里, 保证正常运行; 第二, 对实名制读者完全公开。

3) 作者所有著作 (包括本书) 的撰写、编辑以及其中 MATLAB 的语句、命令与本书

的示例程序都经反复调试,既能够在 MATLAB 里运行,也能够在 Notebook 中运行(除带鼠标操作的图形函数命令或绘制多条曲线或使用人机交互指令时必须采用程序文件执行)。

4) 读者在计算机上输入程序时,一定要在英语输入状态下,并特别注意标点符号。

5) 书中程序流程的顺序、选择、循环三大控制语句按规范格式书写外,为精练与简洁,书中程序是连续书写的,提请读者特别关注语句间的标点符号及其作用。

6) 对程序或自编函数运行结果列出了多个数据,是为了让读者全面了解程序或自编函数的功能,其中仅几个数据对解答问题是必需的,才写入正文。

7) 本书的曲线或图形是纸面上印刷的黑白影像,读者若能在计算机上运行其 MATLAB 程序从而绘制出彩色的曲线或图形,那一定会更清晰、更准确,一定能够更真切地表明要说明的问题或计算的数据。

8) 对不同配置的计算机、不同的 MATLAB 系统版本, MATLAB 的程序计算与模型仿真结果(包括曲线)可能出现误差,其原因复杂、多样,诸如计算机字长位数的限制、运算方法不同精度的限制、选择微分方程数值解法不当与仿真时间设置不当引起的。一般情况下误差很小,都在许可范围内。

9) 符号运算与 MATLAB 函数运算是两类同等重要的计算方法。可能出现同一单位负反馈系统两种方法求出传递函数不一致,但验证单位阶跃响应曲线是一样的,说明两种方法求出的传递函数等效。

10) 有时 MATLAB 程序运行后算出了结果,但出现了一些英文蓝色警示提醒。这些英文蓝色警示,大多是有关 MATLAB 系统函数参数设置范围、使用系统函数的注意事项等,只要计算出结果,读者不必特别在意。

11) 习题的参考答案只给出最关键的部分。

12) 书中计算的中间结果或最终结果不可能带单位。这要求读者对自动控制原理、控制系统等课程的基本概念、基本理论与基本计算方法有一定了解。

本书由黄忠霖编著,任大年、黄京、袁娅、白洛、任刚、谭邦会、刘四平、黄曦、周向明、关子诚、黄忠鑫、吴江、吴方法、刘厚福、朱贤玉、关西佳、刘晓娟、白世雄、关顺华、彭新友、李树运、徐勤、万鹏丽、田娜、张新军、田莉莉、黄雅琼、姜雨苏、谭福新、吴涛、关艳等也参与了本书的编写。在本书编写过程中,作者参阅与借鉴了国内各种教材与文献,谨对其原作者表示由衷的诚挚谢意。

在此还要特别感谢机械工业出版社电工电子分社和本书的责任编辑,为本书的编辑工作提供了全心的帮助,并为本书早日出版竭尽了全力。

由于时间仓促,加上作者水平有限,书中难免有错误与疏漏之处,恳请读者批评指正。为方便读者,欲获取本书相关资料,实名读者可通过以下 E-mail 地址与我们联系: 43737605@qq.com 或 zhuang41@163.com

黄忠霖
2013 年夏

目 录

前言

第 1 部分 控制系统 MATLAB 计算及仿真的解题实训

第 1 章 MATLAB 的程序设计	1
1.1 有关 MATLAB 程序设计的基本概念	1
1.2 MATLAB 程序设计基本规则	2
1.3 有关 MATLAB 程序设计举例	2
1.3.1 自然数列求和与由自然数列中每个自然数的倒数所组成的数列求和	2
1.3.2 杨辉三角形或 Pascal 三角形与 Pascal 矩阵	3
1.3.3 Fibonacci 数列	4
1.3.4 闰年	4
1.3.5 Vandermonde 矩阵	5
1.3.6 编程序写出以一直角边最长为任意整数值长的勾股弦数	6
1.3.7 编程再举例	6
习题	8
第 2 章 MATLAB 7.5 的仿真集成环境 Simulink 7.0	9
2.1 Simulink 仿真特色与其模型窗口	9
2.1.1 Simulink 仿真特色	9
2.1.2 进入 MATLAB 7.5 的 Simulink 7.0	10
2.1.3 Simulink 7.0 的模型窗口概述	10
2.2 Simulink 7.0 的界面与组成	13
2.2.1 Simulink 7.0 功能模块组的打开与关闭	13
2.2.2 Simulink 7.0 功能模块的分类及其用途	14
2.3 用 Simulink 建立系统仿真模型	17
2.3.1 打开模型窗口的方法	18
2.3.2 模块的查找与选择	18
2.3.3 模块的复制、移动与删除	18
2.3.4 模块的连接	19
2.4 常用 15 个模块内部参数的设置或修改	20
2.5 用 Simulink 建立系统仿真模型实例	27
第 3 章 常用电气系统 (SimPowerSystems) 实体图形化仿真模型	29
3.1 电气系统 (SimPowerSystems) 实体图形化模型库简介	29

3.1.1 电源 (Electrical Sources) 模块组	30
3.1.2 电器元件 (Elements) 模块组	30
3.1.3 电力电子元件 (Power Electronics) 模块组	31
3.1.4 电机 (Machines) 模块组	32
3.1.5 电气测量仪表 (Measurements) 模块组	32
3.2 基本电路元件的仿真模型	33
3.2.1 普通电源	33
3.2.2 受控电源	34
3.2.3 RLC 元件	35
3.3 常用电机与变压器的仿真模型	37
3.3.1 电机	37
3.3.2 变压器	40
3.4 基本电力电子器件的仿真模型	43
3.4.1 二极管 (Diode)	43
3.4.2 晶闸管 (Thyristor)	45
3.4.3 门极关断晶闸管 (GTO)	47
3.4.4 电力场效应晶体管 (MOSFET)	48
3.4.5 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)	50
3.4.6 理想开关 (Ideal Switch)	51
3.4.7 多功能桥式整流电路 (Universal Bridge)	52
3.5 电力电子变流器典型驱动装置的仿真模型	53
3.5.1 同步 6 脉冲触发器 (Synchronized 6 - Pulse Generator)	54
3.5.2 同步 12 脉冲触发器 (Synchronized 12 - Pulse Generator)	55
3.5.3 PWM 脉冲发生器 (PWM Generator)	56
3.5.4 脉冲信号发生器 (Pulse Generator)	58
3.6 常用测量元件的仿真模型	59
3.6.1 电压测量 (Voltage Measurement)	59
3.6.2 电流测量 (Current Measurement)	59
3.6.3 三相电压电流测量 (Three - Phase V - I Measurement)	60
3.6.4 选路器或选择开关 (Selector)	61
3.7 用 “SimPowerSystems” 创建系统仿真模型	62
第 4 章 控制系统数学模型的 MATLAB 实现	64
4.1 设置或修改 LTI 对象的属性值函数 set()	64
4.2 控制系统数学模型	65
4.3 控制系统模型转换与化简	69
4.4 用系统 Simulink 结构图模型化简控制系统模型	71
习题	73
第 5 章 连续系统时域分析的 MATLAB 实现	76
5.1 Laplace 变换及反变换的 MATLAB 实现	76
5.1.1 MATLAB 系统中 Laplace 变换与反变换的函数命令	76
5.1.2 两个特殊函数的表示法	76

5.1.3	计算函数的 Laplace 变换	77
5.1.4	计算用图形表示函数的 Laplace 变换	79
5.1.5	利用留数将象函数表达式展成部分分式	83
5.1.6	用 Laplace 反变换求原函数	84
5.1.7	Laplace 变换的卷积与卷积定理	85
5.1.8	用 Laplace 变换定义传递函数	86
5.1.9	用 Laplace 反变换求解微分方程	88
5.2	MATLAB 函数指令方式下的时域响应仿真	91
5.2.1	一阶系统时域分析的 MATLAB 实现	91
5.2.2	二阶及高阶系统时域分析的 MATLAB 实现	93
5.3	利用 Simulink 动态结构图的时域响应仿真	99
5.3.1	解算系统闭环传递函数的两种方法	99
5.3.2	利用 Simulink 动态结构图模型程序方式下的时域响应仿真	99
5.3.3	在 Simulink 模型窗口里菜单方式下的时域响应仿真	100
	习题	102
第 6 章	连续系统稳定性分析的 MATLAB 实现	104
6.1	代数稳定判据的 MATLAB 实现	104
6.1.1	用系统特征方程的根判定系统稳定性	104
6.1.2	用 Lienard - Chipard 稳定判据判定系统稳定性	105
6.2	用根轨迹法判定系统稳定性的 MATLAB 实现	106
6.3	用频率法判定系统稳定性的 MATLAB 实现	110
6.3.1	用 Bode 图法判断系统稳定性	110
6.3.2	用 Nyquist 曲线法判断系统稳定性	112
	习题	115
第 7 章	连续系统稳态误差计算的 MATLAB 实现	117
7.1	控制系统的静态误差系数与动态误差系数	117
7.2	三种典型信号给定输入作用下的稳态误差	120
7.3	从输出端定义的非单位负反馈系统的误差的计算	123
7.4	扰动输入作用下的稳态误差计算	124
7.5	绘制误差响应曲线	125
	习题	127
第 8 章	连续系统根轨迹分析的 MATLAB 实现	130
8.1	控制系统根轨迹分析的 MATLAB 实现	130
8.1.1	根轨迹分析 MATLAB 实现的函数指令格式	130
8.1.2	根轨迹分析的 MATLAB 实现举例	131
8.2	基于根轨迹的设计工具	139
	习题	142
第 9 章	连续系统频域分析的 MATLAB 实现	143

9.1 控制系统的频率特性	143
9.2 控制系统 Bode 图及其模值裕度与相位裕度	146
9.3 控制系统 Nyquist 曲线	150
习题	153
第 10 章 描述函数法分析非线性系统的 MATLAB 实现	155
10.1 非线性系统特性简述	155
10.2 非线性系统自振	155
10.2.1 非线性系统的典型结构	155
10.2.2 自动控制系统中典型非线性特性	156
10.3 非线性系统自振分析	157
10.4 描述函数法分析非线性系统自振的 MATLAB 实现	158
习题	173
第 11 章 离散系统分析与校正的 MATLAB 实现	175
11.1 用 MATLAB 工具解算 z 变换与 z 反变换	175
11.2 差分方程的 z 变换解法	177
11.3 离散控制系统的脉冲传递函数	178
11.4 离散系统时域分析的 MATLAB 实现	182
11.4.1 离散系统时域响应的 MATLAB 实现	182
11.4.2 离散系统稳定性分析的 MATLAB 实现	185
11.4.3 离散系统稳态误差计算的 MATLAB 实现	185
11.5 离散系统根轨迹分析的 MATLAB 实现	186
11.6 离散系统动态性能分析的 MATLAB 实现再举例	189
11.7 线性离散系统数字校正的 MATLAB 实现	193
11.7.1 数字控制器的脉冲传递函数	193
11.7.2 最少拍系统的设计	193
11.7.3 离散系统数字校正的 MATLAB 实现	194
习题	195
第 12 章 连续线性控制系统校正设计的 MATLAB 实现	197
12.1 控制系统校正设计几个问题的说明	197
12.2 控制系统 Bode 图校正设计的 MATLAB 实现	199
12.2.1 控制系统 Bode 图常规设计法超前校正设计的 MATLAB 实现	199
12.2.2 控制系统 Bode 图常规设计法滞后校正设计的 MATLAB 实现	200
12.3 控制系统根轨迹设计的 MATLAB 实现	206
12.3.1 控制系统根轨迹超前校正设计的 MATLAB 实现	206
12.3.2 控制系统根轨迹滞后校正设计的 MATLAB 实现	208
12.4 控制系统 P、PI、PID 校正设计的 MATLAB 实现	210
12.4.1 控制系统 Ziegler - Nichols 整定公式校正设计的 MATLAB 实现	211
12.4.2 控制系统 Cohen - Coon 整定公式的校正设计的 MATLAB 实现	211
12.4.3 控制系统最优控制 (误差积分指标最优) 校正设计的 MATLAB 实现	212

12.4.4 控制系统稳定边界法的 P、PI、PID 校正设计的 MATLAB 实现	215
习题	218
第 13 章 自动控制系统的 MATLAB 计算及仿真	219
13.1 简单闭环控制的 MATLAB 计算及仿真	219
13.2 多闭环控制系统 MATLAB 计算及仿真	225
13.3 转速负反馈闭环直流调速系统的 SimPowerSystems 模型仿真	232
13.3.1 单闭环直流脉宽 PWM - M 调速系统的 SimPowerSystems 模型仿真	232
13.3.2 转速微分负反馈双环直流 V - M 调速系统的 SimPowerSystems 模型仿真	235
13.4 位置随动系统的 MATLAB 仿真与稳态误差分析	237
13.4.1 位置随动系统的动态校正设计	237
13.4.2 位置随动系统的稳态误差分析	243
13.5 过程控制系统的 MATLAB 计算及仿真	246
13.5.1 简单回路控制系统的动态校正设计	246
13.5.2 前馈控制系统的 MATLAB 计算及仿真	249
13.5.3 大延迟控制系统的 MATLAB 动态校正设计	252
习题	256
第 14 章 线性系统状态空间分析的 MATLAB 实现	259
14.1 系统状态空间描述及其状态方程求解	259
14.1.1 状态空间表达式的建立	259
14.1.2 求控制系统的状态转移矩阵 $\Phi(t)$	262
14.1.3 求控制系统的传递矩阵 $G(s)$	264
14.1.4 求控制系统的特征方程、特征值及特征向量	265
14.1.5 求控制系统的状态方程的解	266
14.1.6 连续系统状态方程的离散化	266
14.2 系统状态方程的线性变换	267
14.2.1 控制系统的 P 变换	267
14.2.2 控制系统的 P^{-1} 变换	268
14.2.3 将状态方程化为对角标准型	269
14.2.4 将状态方程化为约当标准型	272
14.3 线性系统的可控性与可观性	274
14.3.1 线性系统的可控性	274
14.3.2 线性系统的可观性	277
14.4 系统状态反馈与状态观测器	281
14.4.1 系统的极点配置	281
14.4.2 系统的状态观测器	283
14.4.3 系统的状态降维观测器	286
14.5 Lyapunov 系统稳定性分析的 MATLAB 实现	294
14.5.1 李雅普诺夫函数与李雅普诺夫函数方程	295
14.5.2 李雅普诺夫稳定性理论	295
习题	296

第 15 章 线性二次型最优控制的 MATLAB 实现	300
15.1 连续系统线性二次型最优控制的 MATLAB 实现	300
15.2 离散系统线性二次型最优控制的 MATLAB 实现	303
15.3 最优观测器 (Kalman 滤波) 的 MATLAB 实现	304
15.4 线性二次型 Gauss 最优控制器的 MATLAB 实现	306
习题	308

第 2 部分 控制系统 MATLAB 计算及仿真的实验实训

第 16 章 MATLAB 仿真基础实验实训	309
【实验实训 16-1】MATLAB 7.5 系统的安装、启动与卸载	309
【实验实训 16-2】MATLAB 7.5 系统界面、菜单认识与内容查找	310
【实验实训 16-3】Simulink 7.0 系统界面与菜单认识	310
【实验实训 16-4】典型模块的参数设置	310
【实验实训 16-5】仿真模型图的绘制	311
【实验实训 16-6】程序方式下与 Notebook 方式下运行 MATLAB 程序	311
第 17 章 自动控制原理 MATLAB 实验实训	312
【实验实训 17-1】控制系统数学模型的 MATLAB 实现	312
【实验实训 17-2】连续系统时域分析的 MATLAB 实现	312
【实验实训 17-3】控制系统稳定性分析的 MATLAB 实现	313
【实验实训 17-4】控制系统稳态误差分析的 MATLAB 实现	313
【实验实训 17-5】控制系统根轨迹分析的 MATLAB 实现	313
【实验实训 17-6】控制系统频域分析的 MATLAB 实现	314
【实验实训 17-7】描述函数分析非线性系统的 MATLAB 实现	314
【实验实训 17-8】离散系统分析与校正的 MATLAB 实现	314
【实验实训 17-9】线性系统状态空间分析的 MATLAB 实现	315
【实验实训 17-10】线性二次型最优控制的 MATLAB 仿真	315
第 18 章 连续控制系统校正设计的 MATLAB 实验实训	316
【实验实训 18-1】Bode 图常规设计超前、滞后校正的 MATLAB 实现	316
【实验实训 18-2】Bode 图非常规滞后、超前校正的 MATLAB 实现	316
【实验实训 18-3】根轨迹解析法超前、滞后校正的 MATLAB 实现	316
【实验实训 18-4】用 Ziegler-Nichols 公式进行 P、PI、PID 校正的 MATLAB 实现	317
【实验实训 18-5】用 Cohen-Coon 公式进行 P、PI、PD、PID 校正的 MATLAB 实现	317
【实验实训 18-6】用 IAE、ISE、ITAE 积分值最小准则公式进行 P、PI、PID 校正的 MATLAB 实现	317
【实验实训 18-7】用稳定边界法进行 P、PI、PID 校正的 MATLAB 实现	318
第 19 章 生产过程控制系统 MATLAB 仿真实验实训	319
【实验实训 19-1】简单回路控制系统的 MATLAB 计算及仿真	319

【实验实训 19-2】前馈控制系统的 MATLAB 计算及仿真	319
【实验实训 19-3】大延迟控制系统的 MATLAB 计算及仿真	319
【实验实训 19-4】串级控制系统的 MATLAB 计算及仿真	320

第 3 部分 控制系统 MATLAB 计算及 仿真课程设计与毕业设计实训

第 20 章 自动控制仿真课程设计与毕业设计实训	322
【课程设计实训 20-1】根轨迹分析的 MATLAB 计算及仿真	322
【课程设计实训 20-2】离散系统 MATLAB 计算及仿真	325
【课程设计实训 20-3】过程控制系统的 MATLAB 计算及仿真	331
【课程设计实训 20-4】控制系统状态空间分析的 MATLAB 设计	334
【毕业设计实训 20-5】单闭环直流调速系统设计	339
【毕业设计实训 20-6】双闭环直流调速系统数学模型与 SimPowerSystems 模型仿真	345
附录 自编函数	351
参考文献	392

第 1 部分 控制系统 MATLAB 计算及仿真的解题实训

第 1 章 MATLAB 的程序设计

MATLAB 是一种高效的编程语言，它有自身程序设计的基本概念、语法规则、程序设计命令、格式、要求等，《控制系统 MATLAB 计算及仿真》已经全面介绍。这里还要再强调程序设计的几个基本概念与基本规则。

在本章作者编制了 6 个函数 sunn. m、recisum. m、fibonaci. m、leapyear. m、rigtri. m、pro. m 以方便计算，有关函数存储与运行方式，请参见参考文献 [1]，其源程序与用法参见附录。

1.1 有关 MATLAB 程序设计的基本概念

1. M 文件

M 文件是使用 MATLAB 语言编写的程序代码文件。之所以称为 M 文件，是因为这种文件都以 “.m” 作为文件的扩展名。M 文件可以分为两种类型，一种是函数文件，另一种是命令文件。

2. MATLAB 函数与函数文件

MATLAB 函数通常是指 MATLAB 系统内已设计好的完成某一种特定的运算或实现某一特定功能的一个子程序。读者也可以开发具有独特功能的函数。MATLAB 中的函数子程序即函数文件，是 M 文件最主要的形式。函数是能够接受输入参数并返回输出参数的 M 文件。在 MATLAB 中，函数名和 M 文件名必须相同。

函数 M 文件一般由五个部分组成：①函数定义行；②H1 行；③函数帮助文本；④函数体；⑤注释。

3. MATLAB 命令文件与程序

在 MATLAB 中，实现某项功能的一串 MATLAB 语句命令与函数组合成的 M 文件叫做命令文件。命令文件执行后的结果既可以显示输出，也能够使用 MATLAB 的绘图函数产生图形输出结果。另外，命令文件既可带输入参量也可不带输出参量。

多个、多种（既有函数文件又有命令文件的组成成分）M 文件组合成为一个 MATLAB 程序，所以 MATLAB 程序也是一种类似命令文件的 M 文件。

1.2 MATLAB 程序设计基本规则

MATLAB 是一种高效的编程语言。MATLAB 语言为解释性程序设计语言，程序中的语句边解释边执行。必须认真复习程序基本组成的示意结构、表达式、表达式语句与赋值语句，还有实现各种不同运算功能的顺序、选择、循环三大基本结构控制语句，这对程序设计是至关重要的。

1. 顺序结构语句

MATLAB 程序与其他任何计算机程序一样，总体上都是从上到下执行的顺序结构。

2. 分支选择结构语句

分支选择语句有 if 条件分支语句与 switch 开关分支语句两种。必须仔细复习有关分支选择语句的格式、执行规则等。

3. 循环结构语句

MATLAB 中的循环结构语句有 for 循环语句和 while 循环语句两种，各有其不同的使用场合，前者使用在指定循环次数的情况下，后者使用在不指定循环次数的情况下。也要仔细复习有关循环语句的格式、执行规则等。

除了用分支选择结构与循环结构对 MATLAB 程序进行控制外，还有几个程序流程控制指令是经常使用的。不带输入参数的命令叫做 MATLAB 指令。对指令 break、return、pause 的功能与执行规则必须掌握，否则，设计的程序是错误的。

1.3 有关 MATLAB 程序设计举例

MATLAB 程序设计的功能各种各样，形式纷繁多姿，以下介绍仅是抛砖引玉。

1.3.1 自然数列求和与由自然数列中每个自然数的倒数所组成的数列求和

1. 自然数列求和

MATLAB 有系统函数 sum.m，是用来对指定数组或向量的元素求和的。对要求计算从 1 到 n 的自然数列的和，若使用 sum.m，必须写出 1 到 n 的全部元素，十分不便。为方便计算，作者编制了求 1 到 n 的自然数列前 n 项和的函数 sunn.m。

【例 1-1】 用自编函数 sunn.m 求和 $s_{100} = 1 + 2 + \cdots + 100$ 与 $s_{10} = 1 + 2 + \cdots + 10$ ，并与使用系统函数 sum.m 进行比较。

解：给出以下调用自编函数 sunn.m 的程序解算。

```
clear; s = sunn(100); s = sunn(10);  
x = [1 2 3 4 6 7 8 9]; s = sum(x),
```

程序运行后得到 $s_{100} = 1 + 2 + \cdots + 100 = 5050$ 、 $s_{10} = 1 + 2 + \cdots + 10 = 55$ 、 $s_9 = 1 + 2 + 3 + 4 + 6 + 7 + 8 + 9 = 40$ 。

2. 由自然数列中每个自然数的倒数所组成的数列求和

为方便计算，作者编制了求 $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{n}$ 数列求和的函数 recisum.m。

【例 1-2】 求和 1) $s = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{9}$ 与 $s = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{10}$; 2) $s = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{99}$ 与 $s = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{100}$ 。

解: 1) 可以用以下调用自编函数 recisum.m 的程序解算。

```
clear;m=9;[s]=recisum(m);
```

```
m=10;[s]=recisum(m);
```

程序运行后得到 $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{9} = 2.8290$ 、 $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{10} = 2.9290$ 。

2) 还可用以下调用自编函数 recisum.m 的程序解算。

```
clear;m=99;[s]=recisum(m);
```

```
m=100;[s]=recisum(m);
```

程序运行后得到 $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{99} = 5.1774$ 、 $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{100} = 5.1874$ 。

1.3.2 杨辉三角形或 Pascal 三角形与 Pascal 矩阵

杨辉三角形是 13 世纪中国宋代数学家杨辉最早发现的, 故叫做杨辉三角形 (或贾宪三角形或 Pascal 三角形), 在基础数学研究中占有重要的地位。

杨辉三角形是两变量和的幂次方即 $(a+b)^{n-1}$ 运算后二项展开式的二项式系数排列成的一个三角形数表 (请不要在意变量 a 、 b 的值, 只关注二项展开式的二项式系数):

							1									$n=1$
							1									$n=2$
							1		2		1					$n=3$
							1		3		3		1			$n=4$
							1		4		6		4		1	$n=5$
							1		5		10		10		5	$n=6$
							1		6		15		20		15	$n=7$

.....

杨辉三角形基本性质: ①每行数字左右对称, 由 1 从左到右逐渐变大, 然后变小回到 1; ②第 n 行的数字个数为 n 个; ③第 n 行数字和为 2^{n-1} ; ④每个数字等于上一行的左右两个数字之和。请看以下程序并运行该程序。

```
clear;syms a b;
```

```
p0=expand((a+b)^0),p1=expand((a+b)^1),
```

```
p2=expand((a+b)^2),p3=expand((a+b)^3),
```

```
p4=expand((a+b)^4),p5=expand((a+b)^5),
```

```
p6=expand((a+b)^6),p7=expand((a+b)^7),
```

程序运行后得到二项展开式的二项式系数与以上数表完全一致。

以下给出 5 阶 Pascal 矩阵。

```
clear;pascal(5),
```

语句运行后得到 5 阶 Pascal 矩阵

```
ans =
```

1	1	1	1	1
1	2	3	4	5
1	3	6	10	15
1	4	10	20	35
1	5	15	35	70

请读者仔细观察, Pascal 矩阵是以杨辉三角形 (或 Pascal 三角形) 的右腰 (边) 为矩阵的第一行、左腰 (边) 为矩阵的第一列依次排列的矩阵形式。

1.3.3 Fibonacci 数列

意大利数学家 Fibonacci (斐波那契) 在 1202 年提出一个关于兔子繁殖的问题: 如果一对兔子每月能生一对小兔 (一雄一雌), 而每对小兔在它出生后的第 2 个月末又能生一对小兔, 若不发生死亡, 第 50 个月后会多少对兔子? 兔子数的数列就叫做 Fibonacci 数列。数列中的每一项都叫做 Fibonacci 数。随着数列项数的增加, 前一项数值与后一项数值之比越来越逼近黄金分割的数值 0.618, 故 Fibonacci 数列又称黄金分割数列。

Fibonacci 数与植物之间的关系也十分有趣。几乎所有花朵的花瓣数 (典型的有向日葵花瓣) 都是 Fibonacci 数; 菠萝表皮方形鳞苞形成两组旋向相反的螺线, 它们的条数是相邻的两个 Fibonacci 数, 如左旋 8 行、右旋 13 行。

在现代物理、准晶体结构、化学等领域, Fibonacci 数列都有直接的应用。

为方便计算, 作者编制了计算并列写 Fibonacci 级数的函数 `fibonacci.m`。

【例 1-3】 Fibonacci 级数是这样的一个级数: 它的前两个元素为 1 与 1, 第三个元素是前两个元素和, 以后每个元素都是前两个元素和。1) 试计算并列写小于 100 的所有 Fibonacci 数; 2) 计算 60 个所有 Fibonacci 数, 只列写出第 51 个 Fibonacci 数。

解: 1) 给出调用自编函数 `fibonacci.m` 的程序计算并列写小于 100 的 Fibonacci 数。

```
clear;c=100;n=0;m=0;key=1;
f=fibonacci(key,c,n,m);
```

程序运行后得到小于 100 的 Fibonacci 数依次是

```
f=1      1      2      3      5      8      13      21      34      55      89
```

2) 给出调用自编函数 `fibonacci.m` 的程序计算 60 个 Fibonacci 数, 只写第 51 个数。

```
clear;c=0;n=60;m=51;key=2;
f=fibonacci(key,c,n,m);
```

程序运算结果

```
ans=2.036501107400000e+010
```

即是数学家 Fibonacci 计算的第 50 个月兔子数量为 200 多亿对。

1.3.4 闰年

1. 闰年 (Leap Year) 的概念

闰年是为了弥补因人为历法规定造成的年度天数与地球实际公转周期的时间差而设立的。补上时间差的年份为闰年。闰年共有 366 天 (1~12 月分别为 31 天, 29 天, 31 天, 30 天, 31 天, 30 天, 31 天, 31 天, 30 天, 31 天, 30 天, 31 天), 其主要特征就是闰年的二月为 29 天。