

第2版

# MATLAB 语言与 自动控制系统设计

魏克新 王云亮 陈志敏 高 强 编著

电气自动化  
新技术丛书

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



电气自动化新技术丛书

# MATLAB 语言与自动 控制系统设计

第 2 版

魏克新 王云亮  
陈志敏 高 强 编著

机械工业出版社

这是一本介绍 MATLAB 软件在自动控制系统分析、设计和仿真应用方面的专业书。全书共分 11 章。第 1~4 章介绍了与自动控制系统设计有关的 MATLAB 命令和 SIMULINK 仿真软件；第 5~10 章介绍了应用 MATLAB 软件程序对自动控制系统进行分析和设计的方法，如状态空间设计方法、数字控制和线性二次型最优控制设计方法等，并给出系统设计实例；第 11 章介绍了 MATLAB 的其他软件工具箱。书中用大量的例题说明该软件在设计工作中的用法，并在每一章后给出了一定量的习题，以利于读者自学。

这次修订主要以目前应用较广的 MATLAB6.x 版兼顾 5.x 版为计算和分析平台，对原书内容进行较大幅度的修改，如增加了 MATLAB 软件提供的 SIMULINK 软件包的使用和分析说明，完善了工具箱相关内容等，便于读者更全面地掌握和使用 MATLAB。

本书适用于从事自动控制设计的工程技术人员阅读，也可供大专院校有关专业师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

MATLAB 语言与自动控制系统设计 / 魏克新等编著 .

—2 版 . —北京 : 机械工业出版社, 2004.8

ISBN 7-111-05644-2

I. M… II. 魏… III. ①计算机辅助计算 Ⅲ. 软件包,  
MATLAB ②自动控制系统 Ⅳ. ①TP391.75 ②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 00691 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 孙流芳 版式设计: 霍永明 责任校对: 姚培新

封面设计: 姚毅 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2004 年 9 月第 2 版 · 第 1 次印刷

850mm × 1168mm <sup>1</sup>/<sub>32</sub> · 18.75 印张 · 501 千字

10 501—14 500 册

定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面防伪标均为盗版

## 第4届《电气自动化新技术丛书》

### 编辑委员会成员

主任：王 炎

副主任：王兆安 王志良 赵相宾 牛新国

委员：王正元 王永骥 王兆安 王 旭  
王志良 王 炎 牛新国 尹力明  
刘宗富 许宏纲 孙流芳 阮 毅  
李永东 李崇坚 陈伯时 陈敏逊  
陈维均 周国兴 赵光宙 赵 杰  
赵相宾 张 浩 张敬明 郑颖楠  
涂 健 徐殿国 黄席樾 彭鸿才  
霍勇进 戴先中

秘 书：刘凤英

# 《电气自动化新技术丛书》

## 序 言

科学技术的发展，对于改变社会的生产面貌，推动人类文明向前发展，具有极其重要的意义。电气自动化技术是多种学科的交叉综合，特别在电力电子、微电子及计算机技术迅速发展的今天，电气自动化技术更是日新月异。毫无疑问，电气自动化技术必将在提高国民经济水平中发挥重要的作用。

为了帮助在经济建设第一线工作的工程技术人员能够及时熟悉和掌握电气自动化领域中的新技术，中国自动化学会电气自动化专业委员会和中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会联合成立了《电气自动化新技术丛书》编辑委员会，负责组织编辑《电气自动化新技术丛书》。丛书将由机械工业出版社出版。

本丛书有如下特色：

一、本丛书是专题论著，选题内容新颖，反映电气自动化新技术的成就和应用经验，适应我国经济建设急需。

二、理论联系实际，重点在于指导如何正确运用理论解决实际问题。

三、内容深入浅出，条理清晰，语言通俗，文笔流畅，便于自学。

本丛书以工程技术人员为主要读者，也可供科研人员及大专院校师生参考。

编写出版《电气自动化新技术丛书》，对于我们是一种尝试，难免存在不少问题和缺点，希望广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会

## 第4届《电气自动化新技术丛书》 编辑委员会的话

自1992年本丛书问世以来，在学会领导和广大作者、读者的支持下，至今已出版发行丛书38种33万余册，受到广大读者的欢迎，对促进我国电气传动自动化新技术的发展和传播起到了很大作用。

许多读者来信，表示这套丛书对他们的工作帮助很大，希望我们再接再厉，不断推出介绍电气传动自动化新技术的丛书。因此，本届编委会决定选择一些大家所关心的新选题，继续组织编写出版，同时对受读者欢迎的已出版的丛书，根据技术的发展，我们将组织一些作者进行修订再版，以满足广大读者的需要。

我们诚恳地希望广大读者来函，提出您的宝贵意见和建议，以使本丛书搞得更好。

在本丛书出版期间，为加快与支持丛书出版，成立了丛书出版基金，得到了中国电工技术学会、天津电气传动设计研究所等单位的支持，在此我们对所有资助单位再次表示感谢。

第4届《电气自动化新  
技术丛书》编辑委员会  
2002年10月12日

## 第 2 版 前 言

《MATLAB 语言与自动控制系统设计》一书自 1997 年出版以来受到各方面的大力支持，得到了包括工程技术人员、教师、学生等广大热情读者的肯定。该书已经重印了四次。为了适应 MATLAB 的不断发展，应广大读者的要求，我们在第 1 版的基础之上做了大量的修改工作。在这期间，广大的读者对我们的再版工作提出了许多建议和意见，使我们对 MATLAB 软件在自动控制系统分析与设计的内容有了进一步的提高，为这次再版奠定了坚实的基础。

这次再版主要是针对 MATLAB 软件的发展修改了本书内容。MATLAB 自 1984 年开始推出，到本书第一次印刷出版时，已经发展到 MATLAB4.0 版。在 1999 年 MathWorks 公司推出来该软件的经典版本 MATLAB5.3 (R11) 以来，到目前为止 MATLAB 已经升级到 6.x (R14) 版。随着 MATLAB 软件本身逐步完善，功能越来越强大。MATLAB 软件充分体现了为工程研究设计人员提供一个计算、可视化、程序设计融合的交互的工作环境，利用该软件可以实现工程计算、算法研究、建模和仿真、数据分析及可视化、科学和工程绘图、应用程序开发等等功能，并且针对各专业用户还提供了丰富实用的工具箱资源。由于 MATLAB 具有丰富的计算和系统分析功能，使得它在国内外的大学和研究机构里已经得到了广泛的应用，并且成为研究和解决工程计算问题的一种实用标准软件。此次再版主要以目前应用较广的 MATLAB 6.x 版兼顾 5.x 版为计算和分析平台，对原书内容进行了较大幅度的修改，如增加了 MATLAB 软件提供的 SIMULINK 软件包的使用和分析说明，完善控制工具箱相关内容等，便于读者更全面地掌握和使用 MATLAB。

本书再版工作由魏克新、王云亮、陈志敏、高强完成。其中第1~3章由魏克新教授编写；第4、5章由高强副教授编写；第6~8、10章由王云亮教授编写；第9、11章由陈志敏副教授编写。此次的再版工作得到了机械工业出版社孙流芳老师和其他人员的大力帮助，在此表示十分的感谢。当然书中仍不免有不妥与错误之处，希望得到广大读者的批评帮助。

作者

2004年5月于天津理工大学



## 第 1 版 前 言

以往人们在自动控制系统设计过程中都使用笔算解决问题，运算量很大。尽管人们可借助于计算器的帮助，而对于大多数初学者来说，很少有人能够实际地计算出如阶跃响应，且描绘出响应的曲线波形。而且我们能够求出解析解的控制系统设计问题只限于二阶和三阶系统。后来，人们使用计算机来求解控制系统的设计问题。然而许多人花费了很多的时间，编制与调试程序，却都很难得到满意的结果。特别是对于初学者而言，事情似乎变得更糟。在许多情况下，其他人难以判断你编制的程序正确性与系统响应结果的正确程度。

MATLAB 软件的诞生，使控制系统的分析与设计问题变得简单了。它为控制系统的设计与仿真提供了一个强有力的工具，必将使传统的方法产生一种变革。由于该软件具有容易使用、矩阵运算功能强和丰富的控制理论与 CAD 应用程序集（或称工具箱）等特点，已经成为国际控制领域内最流行的控制系统的计算机辅助设计软件。该软件的推广应用必将提高我们的控制系统的设计水平。目前我们国内已有不少研究单位、高等院校正在其控制系统的研究工作中使用或开始使用这种软件。许多专业科技人员、教师、研究生与大学生都需要一本如何使用该语言进行控制系统设计的专业书籍。为此，我们总结了近几年来国外与国内研究工作的经验，参考了一些有关资料而编写了这本书。

本书结合自动控制系统设计问题介绍了 MATLAB 软件及 SIMULINK 仿真软件的一般使用方法。该书分为两大部分。第一部分介绍了 MATLAB 常用的命令、控制系统工具箱及 SIMULINK 仿真工具软件。在这一部分中我们针对控制系统设计问题介绍了与其相关的 MATLAB 命令，并举例加以说明。在第二部分中，介

绍了 MATLAB 软件程序的分析和设计方法，如状态空间设计方法、数字控制、线性二次型控制和控制系统设计举例等。书中还介绍了 MATLAB 的一些软件工具箱。总之书中包括和涉及到了有关 MATLAB 各个方面的指令，覆盖了在控制方面较广的论题。书中用大量的例题说明该软件在设计工作中的用法，并在每一章后面给出了一定量的习题，以利于读者自学。它既是一本介绍 MATLAB 软件在控制系统分析、设计与仿真应用方面的专业书，又可作为大专院校学生与研究生的教材。我们希望该书的出版能够对从事控制系统研究的专业技术人员和专业教师的工作，以及对研究生和大学学生的学习，给予一定的帮助。本书共有 10 章，第 1~4 章由魏克新副教授编写；第 5~7、9 章由王云亮副教授编写；第 8、10 章由陈志敏老师编写。在编写过程中，我们得到了丛书编委会和喻士林教授级高级工程师、天津理工学院岳有军老师和高强老师的大力支持，在此我们表示衷心的感谢。由于我们学识水平有限，书中不免有不妥与错误之处，希望能够得到各高校和各研究单位的专家教授、科技人员、教师和学员们的批评帮助。

作者

1997 年 5 月

# 目 录

《电气自动化新技术丛书》序言	
第4届《电气自动化新技术丛书》编辑委员会的话	
第2版前言	
第1版前言	
第1章 MATLAB 语言简介 .....	1
1.1 帮助系统 .....	1
1.2 文件管理 .....	8
1.3 数据结构：矢量与矩阵 .....	10
1.3.1 矩阵的标号 .....	14
1.3.2 特殊矩阵 .....	15
1.3.3 字符串 .....	16
1.4 数学运算与函数 .....	17
1.4.1 基本运算 .....	18
1.4.2 基本数学运算 .....	19
1.4.3 数据分析：列函数 .....	19
1.5 多项式 .....	20
1.6 绘图命令 .....	23
1.7 例题 .....	26
习题 .....	34
附录 A MATLAB (Version 6.5) 常用函数命令一览表 .....	37
第2章 MATLAB 语言的编程方法 .....	48
2.1 关系与逻辑运算符 .....	48
2.2 循环与条件结构 .....	51
2.3 M 文件：程序文件与函数文件 .....	56
2.3.1 程序文件 .....	56
2.3.2 函数 .....	57
2.3.3 其他 MATLAB 文件类型与 M 文件建立 .....	59

2.4	字符串宏命令 .....	60
2.5	常用编程命令 .....	60
2.6	编程举例 .....	63
	习题 .....	67
<b>第3章 经典控制系统分析的常用命令</b> .....		<b>68</b>
3.1	时间域命令 .....	68
3.2	频率域命令 .....	70
3.3	根轨迹法命令 .....	71
3.4	传递函数的常用命令 .....	73
3.5	控制系统分析例题 .....	75
	习题 .....	85
<b>第4章 SIMULINK 交互式仿真集成环境</b> .....		<b>94</b>
4.1	SIMULINK 仿真工具简介 .....	94
4.2	SIMULINK 运行和建立系统模型 .....	96
4.2.1	SIMULINK 运行 .....	96
4.2.2	一个 SIMULINK 应用示例 .....	98
4.3	SIMULINK 模块库简介 .....	104
4.3.1	Continuous (连续系统) 模块库 .....	107
4.3.2	Discrete (离散系统) 模块库 .....	108
4.3.3	Functions & Tables (函数与表) 模块库 .....	109
4.3.4	Math (数学运算) 模块库 .....	110
4.3.5	Nonlinear (非线性系统) 模块库 .....	111
4.3.6	Sinks (输出) 模块库 .....	112
4.3.7	Sources (输入源) 模块库 .....	113
4.3.8	Signals & Systems (信号与系统) 模块库 .....	115
4.4	SIMULINK 仿真模型编辑器 .....	116
4.4.1	模型窗口 .....	117
4.4.2	模块及其编辑 .....	117
4.4.3	模块的连接 .....	120
4.4.4	子系统 .....	122
4.4.5	模型的建立方法和模型文件 .....	124
4.5	SIMULINK 的调试、运行与分析 .....	125
4.5.1	SIMULINK 的调试 .....	125

4.5.2	SIMULINK 的仿真运行 .....	127
4.5.3	SIMULINK 的仿真结果分析 .....	132
4.6	SIMULINK 高级仿真功能 .....	136
4.6.1	概述 .....	136
4.6.2	封装编辑器 .....	137
4.6.3	条件执行子系统 .....	139
4.6.4	SIMULINK 扩展工具 S 函数简介 .....	143
4.7	SIMULINK 命令 .....	143
4.7.1	命令行中的 SIMULIK 命令 .....	143
4.7.2	SIMULINK 命令集 .....	145
4.8	例题 .....	147
	习题 .....	153
第 5 章	经典控制系统设计方法 .....	155
5.1	引言 .....	155
5.1.1	根轨迹法 .....	155
5.1.2	博德图法 .....	156
5.2	系统补偿 .....	158
5.3	比例、积分与微分 (PID) 控制 .....	159
5.3.1	Ziegler-Nichols 方法 .....	159
5.3.2	解析方法 .....	162
5.3.3	PD 控制 .....	164
5.4	超前补偿 .....	166
5.4.1	根轨迹设计方法 .....	167
5.4.2	根轨迹的几何方法 .....	168
5.4.3	根轨迹的解析方法 .....	171
5.4.4	超前补偿的博德图设计方法 .....	173
5.4.5	博德图设计的解析方法 .....	177
5.4.6	PD 控制器与超前补偿器的比较 .....	179
5.5	滞后补偿 .....	180
5.5.1	根轨迹设计方法 .....	180
5.5.2	根轨迹的解析方法 .....	182
5.5.3	滞后补偿器的博德图设计方法 .....	185
5.5.4	博德图设计的解析方法 .....	188

5.5.5 PI 控制器与滞后补偿器的比较 .....	189
5.6 一般补偿控制 .....	190
5.7 非最小相位系统的稳定裕量 .....	195
习题 .....	199
附录 A 程序清单 .....	202
第 6 章 调节系统的状态空间设计方法 .....	206
6.1 概述 .....	206
6.2 极点配置方法 .....	206
6.2.1 传递函数分析 .....	210
6.2.2 理论分析 .....	211
6.3 用于状态空间设计的 MATLAB 命令 .....	219
6.4 观测器的设计 .....	224
6.5 降阶观测器的设计 .....	232
6.6 有关状态空间设计的讨论 .....	242
习题 .....	243
附录 A 程序清单 .....	243
第 7 章 数字控制系统设计方法 .....	248
7.1 概述 .....	248
7.2 差分方程 .....	248
7.3 采样信号的频谱 .....	251
7.3.1 采样定理 .....	252
7.3.2 信号的混叠 .....	253
7.4 $z$ 变换 .....	255
7.5 离散状态空间模型 .....	257
7.6 数字控制系统仿真 .....	258
7.6.1 脉冲响应不变法 .....	258
7.6.2 带有零阶保持器的 $z$ 变换法 .....	259
7.6.3 差分变换法 .....	261
7.7 用于离散系统的 MATLAB 命令 .....	264
7.8 偏差问题 .....	270
7.8.1 偏差的预补偿方法 .....	271
7.8.2 临界频率的预补偿方法 .....	274
7.9 数字补偿器 .....	276

7.9.1	PID 控制 .....	277
7.9.2	PID 控制器分析技术 .....	281
7.9.3	超前-滞后补偿 .....	283
7.9.4	$\omega$ 变换 .....	286
7.9.5	补偿器的延迟 .....	293
7.10	离散状态空间设计简介 .....	293
	习题 .....	293
	附录 .....	294
附录 A	程序清单 .....	294
附录 B	$z$ 变换表和 ZOH 表 .....	297
第 8 章	离散系统极点配置和观测器设计方法 .....	298
8.1	概述 .....	298
8.2	极点配置方法 .....	300
8.2.1	说明 .....	303
8.2.2	无差拍响应 .....	303
8.2.3	无差拍控制的说明 .....	306
8.3	系统设计实例 .....	311
8.4	全阶状态观测器的设计 .....	324
8.4.1	全阶观测器的结构 .....	324
8.4.2	观测器增益矩阵 $K_o$ 的方程 .....	327
8.5	最小阶状态观测器 .....	330
	习题 .....	339
第 9 章	线性二次型最优控制设计方法 .....	341
9.1	引言 .....	341
9.2	连续系统的二次型最优控制 .....	341
9.2.1	连续系统二次型调节器问题的求解 .....	342
9.2.2	连续系统二次型调节器问题的拓展 .....	344
9.2.3	MATLAB 实现 .....	345
9.3	离散系统的二次型最优控制 .....	352
9.3.1	离散系统二次型最优控制问题的求解 .....	352
9.3.2	采用离散极小值原理的求解 .....	352
9.3.3	最小性能指标的计算 .....	356
9.4	离散系统的稳态二次型最优控制 .....	371

9.4.1	离散系统稳态二次型最优控制的求解	371
9.4.2	MATLAB 实现	373
9.5	最少能量控制问题	380
9.5.1	伪逆	380
9.5.2	伪逆的 MATLAB 实现	383
9.5.3	最少能量控制问题的讨论	385
9.6	最优观测器设计	391
9.6.1	公式与求解	391
9.6.2	MATLAB 实现	393
9.7	线性二次型高斯问题	398
9.7.1	LOG 问题的求解	398
9.7.2	MATLAB 实现	399
	习题	404
第 10 章	系统设计实例	406
10.1	概述	406
10.2	连续系统设计实例	406
10.3	离散系统设计实例	417
10.3.1	离散系统根轨迹的设计实例	417
10.3.2	离散系统动态响应分析设计实例	422
10.3.3	具有离散系统状态空间方程的系统动态响应 设计实例	428
10.3.4	离散系统的频率响应	429
10.3.5	离散系统观测器设计实例	443
第 11 章	常用 MATLAB 工具箱简介	448
11.1	控制系统工具箱	448
11.1.1	LTI 模型的建立与转换	449
11.1.2	系统建模	466
11.1.3	模型转换	475
11.1.4	模型降阶和最小实现	478
11.1.5	模型实现	479
11.1.6	模型性质	480
11.1.7	时间域响应	483
11.1.8	频率域响应	489



11.1.9	根轨迹 .....	496
11.1.10	增益选择 .....	498
11.1.11	方程求解 .....	503
11.1.12	演示程序 .....	504
11.1.13	GUI 图形工具 .....	505
11.2	系统辨识工具箱 .....	511
11.2.1	参数估计 .....	415
11.2.2	非参数估计 .....	521
11.2.3	数据处理 .....	524
11.2.4	模型建立 .....	532
11.2.5	模型转换 .....	549
11.2.6	递推参数估计 .....	556
11.2.7	模型绘图 .....	559
11.2.8	信息提取 .....	564
11.2.9	模型结构选择 .....	566
11.2.10	模型不确定性评估和模型校验 .....	568
11.2.11	GUI 图形工具 .....	571
	参考文献 .....	579