



魏克新 王云亮 陈志敏 编著

# MATLAB 语言 与自动控制 系统设计

电气自动化  
新技术  
丛书

机械工业出版社

电气自动化新技术丛书

# MATLAB语言 与自动控制系统设计

魏克新 王云亮 陈志敏 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、设计问题和仿真应用方面的专业书。全书共分10章，第1~3章介绍了与控制系统设计有关的MATLAB命令和SIMULINK仿真软件；第4~9章结合自动控制系统设计问题，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；第10章介绍了MATLAB的其它软件工具箱。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。

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—  
北京：机械工业出版社，1997.8

(电气自动化新技术丛书)

ISBN 7-111-05644-2

I. M… II. 魏… III. ①命令语言, MATLAB②自  
动控制系统-设计 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第11506号

出版人：马九荣（北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037）  
责任编辑：孙流芳 版式设计：张世琴 责任校对：林去菲  
封面设计：姚毅 责任印制：卢子祥  
北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
1997年8月第1版第1次印刷

850mm×1168mm 1/32·13.875印张·360千字

0001-4500册

定价：25.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

# 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

# 《电气自动化新技术丛书》

## 出版基金资助单位

机械工业部天津电气传动设计研究所

深圳华能电子有限公司

北京电力电子新技术研究开发中心

天津普辰电子工程有限公司

# 《电气自动化新技术丛书》

## 编辑委员会成员

**主任委员:** 陈伯时

**副主任委员:** 喻士林      夏德钤      李永东

**委员:** (以下以姓氏笔划为序)

王 炎      王文瑞      王正元

刘宗富      孙 明      孙武贞

孙流芳      过孝瑚      许宏纲

朱稚清      夏德钤      陈伯时

陈敏逊      李永东      李序葆

张 浩      张敬民      周国兴

涂 健      蒋静坪      舒迪前

喻士林      霍勇进      戴先中

# 《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建设“四化”、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,适合我国经济建设急需。

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,希广大读者给予支持和帮助,并欢迎大家批评与指正。

《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会



# 目 录

《电气自动化新技术丛书》序言

前言

## 第1章 MATLAB语言简介

1.1 屏幕帮助.....	1
1.2 文件管理.....	4
1.3 数据结构: 矢量与矩阵.....	6
1.3.1 矩阵的标号.....	9
1.3.2 特殊矩阵.....	10
1.3.3 字符串.....	12
1.4 数学运算与函数.....	12
1.4.1 基本运算.....	13
1.4.2 基本数学函数.....	14
1.4.3 数据分析: 列函数.....	14
1.5 多项式.....	15
1.6 绘图命令.....	18
1.7 例题.....	20
习题.....	28
附录 MATLAB(Version 4.2c)常用函数命令一览表.....	32
第2章 MATLAB语言的编程方法	
2.1 关系与逻辑运算符.....	42
2.2 循环与条件结构.....	45
2.3 M文件: 程序文件与函数文件.....	50
2.3.1 程序文件.....	50
2.3.2 函数.....	51
2.3.3 建立M文件.....	52
2.4 字符串宏命令.....	53

2.5 常用编程命令.....	53
2.6 编程举例.....	54
习题.....	58
<b>第3章 经典控制系统分析的常用命令 及SIMULINK仿真软件简介</b>	
3.1 时间域命令.....	60
3.2 频率域命令.....	61
3.3 根轨迹法命令.....	63
3.4 传递函数的常用命令.....	65
3.5 控制系统分析例题.....	66
3.6 SIMULINK简介.....	76
3.6.1 建立模型的基本步骤.....	77
3.6.2 SIMULINK命令.....	82
3.6.3 例题.....	87
3.6.4 SIMULINK的高级特征.....	93
习题.....	94
<b>第4章 经典控制系统设计方法</b>	
4.1 引言.....	104
4.1.1 根轨迹法.....	104
4.1.2 伯德图法.....	106
4.2 系统补偿.....	107
4.3 比例、积分与微分(PID)控制.....	108
4.3.1 Ziegler-Nichols方法.....	108
4.3.2 解析方法.....	110
4.3.3 PD控制.....	113
4.4 超前补偿.....	115
4.4.1 根轨迹设计方法.....	116
4.4.2 根轨迹的几何方法.....	118
4.4.3 根轨迹的解析方法.....	120
4.4.4 超前补偿的伯德图设计方法.....	122
4.4.5 伯德图设计的解析方法.....	126

4.4.6 PD控制器与超前补偿器的比较.....	128
4.5 滞后补偿.....	128
4.5.1 根轨迹设计方法.....	129
4.5.2 根轨迹的解析方法.....	131
4.5.3 滞后补偿器的伯德图设计方法.....	133
4.5.4 伯德图设计的解析方法.....	136
4.5.5 PI控制器与滞后补偿器的比较.....	138
4.6 一般补偿控制.....	138
4.7 非最小相位系统的稳定裕量.....	144
习题.....	147
附录 程序清单.....	150
<b>第5章 调节系统的状态空间设计方法</b>	
5.1 概述.....	155
5.2 极点配置方法.....	155
5.2.1 传递函数分析.....	159
5.2.2 理论分析.....	160
5.3 用于状态空间设计的MATLAB命令.....	168
5.4 观测器的设计.....	173
5.5 降阶观测器的设计.....	181
5.6 有关状态空间设计的讨论.....	190
习题.....	191
附录 程序清单.....	191
<b>第6章 数字控制系统设计方法</b>	
6.1 概述.....	196
6.2 差分方程.....	196
6.3 采样信号的频谱.....	199
6.3.1 采样定理.....	200
6.3.2 信号的混叠.....	201
6.4 $z$ 变换.....	203
6.5 离散状态空间模型.....	205
6.6 数字控制系统仿真.....	206

6.6.1	脉冲响应不变法.....	206
6.6.2	带有零阶保持器的 $z$ 变换法.....	207
6.6.3	差分变换法.....	209
6.7	用于离散系统的MATLAB命令.....	212
6.8	偏差问题.....	218
6.8.1	偏差的预补偿方法.....	219
6.8.2	临界频率的预补偿方法.....	222
6.9	数字补偿器.....	224
6.9.1	PID控制.....	225
6.9.2	PID控制器分析技术.....	229
6.9.3	超前-滞后补偿.....	231
6.9.4	$\omega$ 变换.....	234
6.9.5	补偿器的延迟.....	241
6.10	离散状态空间设计简介.....	241
	习题.....	241
	附录.....	242
	A 程序清单.....	242
	B $z$ 变换表和ZOH表.....	245
<b>第7章 离散系统极点配置和观测器设计方法</b>		
7.1	概述.....	246
7.2	极点配置方法.....	248
7.2.1	说明.....	251
7.2.2	无差拍响应.....	251
7.2.3	无差拍控制的说明.....	254
7.3	系统设计实例.....	259
7.4	全阶状态观测器的设计.....	271
7.4.1	全阶观测器的结构.....	271
7.4.2	观测器增益矩阵 $K$ 的方程.....	273
7.5	最小阶状态观测器.....	276
	习题.....	285
<b>第8章 线性二次型最优控制设计方法</b>		

8.1	引言.....	286
8.2	连续系统的二次型最优控制.....	286
8.2.1	连续系统二次型调节器问题的求解.....	287
8.2.2	连续系统二次型调节器问题的拓展.....	289
8.2.3	MATLAB实现.....	290
8.3	离散系统的二次型最优控制.....	297
8.3.1	离散系统二次型最优控制问题的求解.....	297
8.3.2	采用离散极小值原理的求解.....	297
8.3.3	最小性能指标的计算.....	301
8.4	离散系统的稳态二次型最优控制.....	316
8.4.1	离散系统稳态二次型最优控制问题的求解.....	316
8.4.2	MATLAB实现.....	317
8.5	最少能量控制问题.....	325
8.5.1	伪逆.....	325
8.5.2	伪逆的MATLAB实现.....	327
8.5.3	最少能量控制问题的讨论.....	330
8.6	最优观测器设计.....	335
8.6.1	公式与求解.....	336
8.6.2	MATLAB实现.....	337
8.7	线性二次型高斯问题.....	342
8.7.1	LOG问题的求解.....	342
8.7.2	MATLAB实现.....	343
	习题.....	348
<b>第9章 系统设计实例</b>		
9.1	概述.....	350
9.2	连续系统设计实例.....	350
9.3	离散系统设计实例.....	360
9.3.1	离散系统根轨迹的设计实例.....	360
9.3.2	离散系统动态响应分析设计实例.....	365
9.3.3	具有离散系统状态空间方程的系统动态响应设计实例.....	370
9.3.4	离散控制系统的频率响应.....	372

9.3.5 离散系统观测器设计实例.....	384
第10章 常用MATLAB工具箱简介	
10.1 控制系统工具箱.....	388
10.1.1 模型建立.....	389
10.1.2 模型转换.....	395
10.1.3 模型降阶和最小实现.....	396
10.1.4 模型实现.....	397
10.1.5 模型性质.....	398
10.1.6 时域响应.....	401
10.1.7 频域响应.....	403
10.1.8 根轨迹.....	407
10.1.9 增益选择.....	408
10.1.10 方程求解.....	410
10.1.11 演示程序.....	411
10.2 系统辨识工具箱.....	411
10.2.1 参数估计.....	413
10.2.2 非参数估计.....	415
10.2.3 数据处理.....	415
10.2.4 模型结构定义.....	416
10.2.5 模型转换.....	417
10.2.6 递推参数估计.....	418
10.2.7 模型结构处理.....	420
10.2.8 模型表达.....	421
10.2.9 信息提取.....	422
10.2.10 模型结构选择.....	423
10.2.11 模型不确定性评估和模型校验.....	424
参考文献.....	426

## 第1章 MATLAB语言简介

MATLAB是一个高级的数学分析与运算软件, 可以用作动态系统的建模与仿真。正如其名(矩阵实验室), 它非常适用于矩阵的分析与运算。MATLAB是一个开放的环境, 在这个环境下, 人们开发了许多具有特殊用途的工具箱软件, 如控制系统、信号处理、最优控制、鲁棒控制及模糊控制工具箱等。本章主要介绍MATLAB文件管理、数据结构、数学运算、多项式及MATLAB绘图的一些规则及使用方法。MATLAB函数命令说明请见本章附录。

### 1.1 屏幕帮助

在MATLAB命令提示符下, 使用help命令可以得到有关MATLAB命令的屏幕帮助信息。因此可以省去因记忆MATLAB命令而带来的麻烦。

输入

» help

就会在屏幕中给出下列所示的MATLAB的基本命令及与其相关的工具箱软件命令。

HELP topics:

toolbox\local	-Local function library.
MATLAB\datafun	-Data analysis and Fourier transform functions.
MATLAB\elfun	-Elementary math functions.
MATLAB\elmat	-Elementary matrices and matrix manipulation.
MATLAB\funfun	-Function functions-nonlinear numerical methods.
MATLAB\general	-General purpose commands.

MATLAB\color -Color control and lighting model functions.  
MATLAB\graphics -General purpose graphics functions.  
MATLAB\iofun -Low-level file I/O functions.  
MATLAB\lang -Language constructs and debugging.  
MATLAB\matfun -Matrix functions-numerical linear algebra.  
MATLAB\ops -Operators and special characters.  
MATLAB\plotxy -Two dimensional graphics.  
MATLAB\plotxyz -Three dimensional graphics.  
MATLAB\polyfun -Polynomial and interpolation functions.  
MATLAB\sounds -Sound processing functions.  
MATLAB\sparfun -Sparse matrix functions.  
MATLAB\specfun -Specialized math functions.  
MATLAB\specmat -Specialized matrices.  
MATLAB\strfun -Character string functions.  
MATLAB\dde -DDE Toolbox.  
MATLAB\demos -The MATLAB Expo and other demonstrations.  
SIM~\SIMULINK -SIMULINK model analysis and construction functions.  
SIM~\simdemos -SIMULINK demonstrations and samples.  
SIMULINK\blocks -SIMULINK block library.  
SIMULINK\sb2sl -System Build 3.0 model import into SIMULINK.  
Toolbox\control -Control System Toolbox.  
Toolbox\ncd -Nonlinear Control Design Toolbox.  
Toolbox\ident -System Identification Toolbox.  
Toolbox\uitools -User Interface Utilities.  
Fuzzy\fuzzy -Fuzzy Logic Toolbox.  
Fuzzy\fuzdemos -Fuzzy Logic Toolbox Demos.  
Toolbox\wintools -GUI tools for MATLAB for MS Windows.  
For more help on directory/topic, type "help topic".

输入



» help command name

就可以得到这个命令的具体信息。例如输入

» help bode

就可以在屏幕上得到如下有关该命令的使用说明。

**BODE** Bode frequency response for continuous-time linear systems. **BODE(A,B,C,D,IU)** produces a Bode plot from the single input **IU** to all the outputs of the continuous state-space system **(A,B,C,D)**. **IU** is an index into the inputs of the system and specifies which input to use for the Bode response. The frequency range and number of points are chosen automatically.

**BODE(NUM,DEN)** produces the Bode plot for the polynomial transfer function  $G(s) = \text{NUM}(s)/\text{DEN}(s)$  where **NUM** and **DEN** contain the polynomial coefficients in descending powers of **s**.

**BODE(A,B,C,D,IU,W)** or **BODE(NUM,DEN,W)** uses the user-supplied frequency vector **W** which must contain the frequencies, in radians/sec, at which the Bode response is to be evaluated. See **LOGSPACE** to generate logarithmically spaced frequency vectors.

When invoked with left hand arguments,

$$[\text{MAG}, \text{PHASE}, \text{W}] = \text{BODE}(\text{A}, \text{B}, \text{C}, \text{D}, \dots)$$
$$[\text{MAG}, \text{PHASE}, \text{W}] = \text{BODE}(\text{NUM}, \text{DEN}, \dots)$$

returns the frequency vector **W** and matrices **MAG** and **PHASE** (in degrees) with as many columns as outputs and **length(W)** rows. No plot is drawn on the screen.

See also **FBODE**, **LOGSPACE**, **SEMILOGX**, **MARGIN**, **NICHOLS**, and **NYQUIST**.

一般MATLAB命令格式如下:

[输出参数1, 输出参数2, ...]=命令名(输入参数1, 输入参数2, ...)

输出参数使用方括号, 而输入参数使用圆括号。如果输出量