电气自动化新技术丛书

配套梯形图语言与自动控制系统设计

第 圆版

魏克新　王云亮
陈志敏　高　强　编著

机 械 工 业 出 版 社

需要全本请访问 www.ertongbook

这是一本介绍 配薄鞭薄月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 员缘章。第 员~源章介绍了与自动控制系统设计有关的 配薄鞭薄月命令和 张福志鞭福运仿真软件；第 缘~员园章介绍了应用 配薄鞭薄月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 员员章介绍了 配薄鞭薄月的其他软件工具箱。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 配薄鞭薄月员园版兼顾 缘园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 配薄鞭薄月软件提供的 张福志鞭福运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 配薄鞭薄月。

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 (悄蹦孕 数据

配薄鞭薄月语言与自动控制系统设计 辅魏克新等编著 郾—员园版 郾-北京：机械工业出版社，员员员员

陨杂员-晕苑原员员员员员园园园-园

Ⅰ郾配… Ⅱ郾魏… Ⅲ郾①计算机辅助计算 原软件包，配薄鞭薄月②自动控制系统 原系统设计 Ⅳ郾①栽…②栽员员员

中国版本图书馆 悄蹦数据核字 (员员员员员员 第 员员员员员号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 员员员号 邮政编码 员员员员员员

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

员员员员年 怨月第 员版 · 第 员次印刷

愿缘员~员园园园册 定价：猿员员元

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 (员园员) 员愿愿怨缘员员员员 愿愿缘怨员元

封面无防伪标均为盗版

第 源届《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 源届《电气自动化新技术丛书》编辑委员会的话

自 员怨园年本丛书问世以来，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 猿愿种 猿怨万余册，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 源届《电气自动化新技术丛书》编辑委员会

圆园园园年 员员月 员园日

需要全本请访问 www.ertongbook

第 圆版 前 言

《配蒜蒜蒜月语言与自动控制系统设计》一书自 员怨怨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。为了适应配蒜蒜蒜月的不断发展，应广大读者的要求，我们在第 员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 配蒜蒜蒜月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 配蒜蒜蒜月软件的发展修改了本书内容。配蒜蒜蒜月自 员怨怨员年开始推出，到本书第一次印刷出版时，已经发展到 配蒜蒜蒜月圆圆版。在 员怨怨怨年 配蒜蒜蒜公司推出来该软件的经典版本 配蒜蒜蒜月缘猿版（砸砸员）以来，到目前为止 配蒜蒜蒜月已经升级到 远圆圆（砸砸源）版。随着 配蒜蒜蒜月软件本身逐步完善，功能越来越强大。配蒜蒜蒜月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 配蒜蒜蒜月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 配蒜蒜蒜月远圆圆版兼顾 缘圆圆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 配蒜蒜蒜月软件提供的 杂阻抗蒜蒜蒜运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 配蒜蒜蒜月。

本书再版工作由魏克新、王云亮、陈志敏、高强完成。其中第 员~ 猿章由魏克新教授编写；第 源 缘章由高强副教授编写；第 远~ 愿 员园章由王云亮教授编写；第 怨 员员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

圆园员园年 缘月于天津理工大学

第 员版 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。

配蔼辣蘑月软件的诞生，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 忧得阅应用程序集 (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 配蔼辣蘑月软件及杂痴试辣曝运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 配蔼辣蘑月常用的命令、控制系统工具箱及 杂痴试辣曝运仿真工具软件。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 配蔼辣蘑月命令，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 9 章，第 1 章由魏克新副教授编写；第 2 章由王云亮副教授编写；第 3 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

2000 年 4 月

目　录

《电气自动化新技术丛书》序言
第 源届 《电气自动化新技术丛书》编辑委员会的话
第 圆版前言
第 员版前言
第 员章　酝凿藻蹭月语言简介 …… 员
　员噪员 帮助系统 …… 员
　员噪圆 文件管理 …… 愿
　员噪猿 数据结构：矢量与矩阵 …… 员园
　　员噪猿噪员 矩阵的标号 …… 员源
　　员噪猿噪圆 特殊矩阵 …… 员缘
　　员噪猿噪猿 字符串 …… 员远
　员噪源 数学运算与函数 …… 员苑
　　员噪源噪员 基本运算 …… 员愿
　　员噪源噪圆 基本数学运算 …… 员怨
　　员噪源噪猿 数据分析：列函数 …… 员怨
　员噪缘 多项式 …… 圆园
　员噪远 绘图命令 …… 圆猿
　员噪苑 例题 …… 圆远
　习题 …… 猿源
　附录 粤　酝凿藻蹭月（灾藻凿燥憎泽 运行环境）常用函数命令一览表 …… 猿苑
第 圆章　酝凿藻蹭月语言的编程方法 …… 源愿
　圆噪员 关系与逻辑运算符 …… 源愿
　圆噪圆 循环与条件结构 …… 缘员
　圆噪猿 酝文件：程序文件与函数文件 …… 缘远
　　圆噪猿噪员 程序文件 …… 缘远
　　圆噪猿噪圆 函数 …… 缘苑
　　圆噪猿噪猿 其他 酝凿藻蹭月文件类型与 酝文件建立 …… 缘怨

4.4 字符串宏命令 …… 103
4.5 常用编程命令 …… 103
4.6 编程举例 …… 106
习题 …… 108
第 5 章 经典控制系统分析的常用命令 …… 109
5.1 时间域命令 …… 109
5.2 频率域命令 …… 114
5.3 根轨迹法命令 …… 116
5.4 传递函数的常用命令 …… 118
5.5 控制系统分析例题 …… 119
习题 …… 123
第 6 章 MATLAB 与 Simulink 交互式仿真集成环境 …… 124
6.1 Simulink 仿真工具简介 …… 124
6.2 Simulink 运行和建立系统模型 …… 125
6.2.1 Simulink 运行 …… 125
6.2.2 一个 Simulink 应用示例 …… 126
6.3 Simulink 模块库简介 …… 128
6.3.1 Sources (连续系统) 模块库 …… 128
6.3.2 Discrete (离散系统) 模块库 …… 129
6.3.3 Lookup Tables (函数与表) 模块库 …… 130
6.3.4 Math (数学运算) 模块库 …… 131
6.3.5 Nonlinear (非线性系统) 模块库 …… 131
6.3.6 Sinks (输出) 模块库 …… 132
6.3.7 Sources (输入源) 模块库 …… 133
6.3.8 Signals & Systems (信号与系统) 模块库 …… 133
6.4 Simulink 仿真模型编辑器 …… 134
6.4.1 模型窗口 …… 134
6.4.2 模块及其编辑 …… 135
6.4.3 模块的连接 …… 136
6.4.4 子系统 …… 136
6.4.5 模型的建立方法和模型文件 …… 136
6.5 Simulink 的调试、运行与分析 …… 136
6.5.1 Simulink 的调试 …… 136

需要全本请访问 www.ertongbook

3.3.3 SIMULINK 的仿真运行 …… 53
3.3.4 SIMULINK 的仿真结果分析 …… 54
3.4 SIMULINK 高级仿真功能 …… 56
3.4.1 概述 …… 56
3.4.2 封装编辑器 …… 56
3.4.3 条件执行子系统 …… 58
3.4.4 SIMULINK 扩展工具函数简介 …… 59
3.5 SIMULINK 命令 …… 59
3.5.1 命令行中的 SIMULINK 命令 …… 59
3.5.2 SIMULINK 命令集 …… 60
3.6 例题 …… 61
习题 …… 63
第 4 章 经典控制系统设计方法 …… 65
4.1 引言 …… 65
4.1.1 根轨迹法 …… 65
4.1.2 博德图法 …… 67
4.2 系统补偿 …… 68
4.3 比例、积分与微分（PID）控制 …… 69
4.3.1 在 SIMULINK 中的实现方法 …… 69
4.3.2 解析方法 …… 70
4.3.3 PID 控制 …… 71
4.4 超前补偿 …… 72
4.4.1 根轨迹设计方法 …… 72
4.4.2 根轨迹的几何方法 …… 73
4.4.3 根轨迹的解析方法 …… 74
4.4.4 超前补偿的博德图设计方法 …… 75
4.4.5 博德图设计的解析方法 …… 76
4.4.6 PID 控制器与超前补偿器的比较 …… 77
4.5 滞后补偿 …… 78
4.5.1 根轨迹设计方法 …… 78
4.5.2 根轨迹的解析方法 …… 79
4.5.3 滞后补偿器的博德图设计方法 …… 80
4.5.4 博德图设计的解析方法 …… 81

5.4.4 PI控制器与滞后补偿器的比较 ……
5.5 一般补偿控制 ……
5.6 非最小相位系统的稳定裕量 ……
习题 ……
附录 5 程序清单 ……
第6章 调节系统的状态空间设计方法 ……
6.1 概述 ……
6.2 极点配置方法 ……
6.2.1 传递函数分析 ……
6.2.2 理论分析 ……
6.3 用于状态空间设计的 acker 命令 ……
6.4 观测器的设计 ……
6.5 降阶观测器的设计 ……
6.6 有关状态空间设计的讨论 ……
习题 ……
附录 6 程序清单 ……
第7章 数字控制系统设计方法 ……
7.1 概述 ……
7.2 差分方程 ……
7.3 采样信号的频谱 ……
7.3.1 采样定理 ……
7.3.2 信号的混叠 ……
7.4 z变换 ……
7.5 离散状态空间模型 ……
7.6 数字控制系统仿真 ……
7.6.1 脉冲响应不变法 ……
7.6.2 带有零阶保持器的 z变换法 ……
7.6.3 差分变换法 ……
7.7 用于离散系统的 acker 命令 ……
7.8 偏差问题 ……
7.8.1 偏差的预补偿方法 ……
7.8.2 临界频率的预补偿方法 ……
7.9 数字补偿器 ……

6.1.1 PID 控制 ····· 106
6.1.2 PID 控制器分析技术 ····· 107
6.1.3 超前-滞后补偿 ····· 109
6.1.4 ω 变换 ····· 110
6.1.5 补偿器的延迟 ····· 111
6.2 离散状态空间设计简介 ····· 112
习题 ····· 113
附录 ····· 115
附录 A 程序清单 ····· 115
附录 B z 变换表和 z 性质表 ····· 116
第 7 章 离散系统极点配置和观测器设计方法 ····· 118
7.1 概述 ····· 118
7.2 极点配置方法 ····· 119
7.2.1 说明 ····· 119
7.2.2 无差拍响应 ····· 120
7.2.3 无差拍控制的说明 ····· 121
7.3 系统设计实例 ····· 122
7.4 全阶状态观测器的设计 ····· 124
7.4.1 全阶观测器的结构 ····· 124
7.4.2 观测器增益矩阵 K_e 的方程 ····· 125
7.5 最小阶状态观测器 ····· 126
习题 ····· 128
第 8 章 线性二次型最优控制设计方法 ····· 130
8.1 引言 ····· 130
8.2 连续系统的二次型最优控制 ····· 130
8.2.1 连续系统二次型调节器问题的求解 ····· 131
8.2.2 连续系统二次型调节器问题的拓展 ····· 133
8.2.3 配置稳定性实现 ····· 134
8.3 离散系统的二次型最优控制 ····· 135
8.3.1 离散系统二次型最优控制问题的求解 ····· 135
8.3.2 采用离散极小值原理的求解 ····· 136
8.3.3 最小性能指标的计算 ····· 137
8.4 离散系统的稳态二次型最优控制 ····· 138

9.3.1 离散系统稳态二次型最优控制的求解 …… 169
9.3.2 MATLAB 实现 …… 169
9.4 最少能量控制问题 …… 170
9.4.1 伪逆 …… 170
9.4.2 伪逆的 MATLAB 实现 …… 170
9.4.3 最少能量控制问题的讨论 …… 171
9.5 最优观测器设计 …… 172
9.5.1 公式与求解 …… 172
9.5.2 MATLAB 实现 …… 173
9.6 线性二次型高斯问题 …… 174
9.6.1 问题的求解 …… 174
9.6.2 MATLAB 实现 …… 175
习题 …… 176
第 10 章 系统设计实例 …… 178
10.1 概述 …… 178
10.2 连续系统设计实例 …… 178
10.3 离散系统设计实例 …… 181
10.3.1 离散系统根轨迹的设计实例 …… 181
10.3.2 离散系统动态响应分析设计实例 …… 182
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 …… 183
10.3.4 离散系统的频率响应 …… 184
10.3.5 离散系统观测器设计实例 …… 185
第 11 章 常用 MATLAB 工具箱简介 …… 187
11.1 控制系统工具箱 …… 187
11.1.1 模型的建立与转换 …… 187
11.1.2 系统建模 …… 188
11.1.3 模型转换 …… 189
11.1.4 模型降阶和最小实现 …… 190
11.1.5 模型实现 …… 191
11.1.6 模型性质 …… 192
11.1.7 时间域响应 …… 193
11.1.8 频率域响应 …… 194

5.3.3 根轨迹 …… 109
5.3.2 增益选择 …… 108
5.3.1 方程求解 …… 107
5.3 演示程序 …… 107
5.2.3 贴附图形工具 …… 106
5.2 系统辨识工具箱 …… 105
5.1.5 参数估计 …… 104
5.1.4 非参数估计 …… 103
5.1.3 数据处理 …… 102
5.1.2 模型建立 …… 101
5.1.1 模型转换 …… 100
4.6.5 递推参数估计 …… 99
4.6.4 模型绘图 …… 98
4.6.3 信息提取 …… 97
4.6.2 模型结构选择 …… 96
4.6.1 模型不确定性评估和模型校验 …… 95
4.5.3 贴附图形工具 …… 94
参考文献 …… 93

第 员章　配?鞋藏蘸月语言简介

配?鞋藏蘸月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,配?鞋藏蘸月是英文 配?鞋藏蘸月(矩阵实验室)缩写,它非常适用于矩阵的分析与运算。配?鞋藏蘸月是一个开放的环境,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,目前已开发了 猿缘多个工具箱,如控制系统、信号处理、最优控制、鲁捧控制及模糊控制工具箱等。本章主要介绍 配?鞋藏蘸月文件管理、数据结构、数学运算、多项式及 配?鞋藏蘸月绘图的一些规则及使用方法。配?鞋藏蘸月常用函数命令说明请见本章附录。

员.员　帮助系统

配?鞋藏蘸月为了便于用户使用，提供了丰富的帮助系统。

在 配?鞋藏蘸月命令窗口的命令提示符下，使用 澡藻造命令可以得到有关 配?鞋藏蘸月命令的屏幕帮助信息。因此可以省去因记忆配?鞋藏蘸月命令而带来的麻烦。

运行不带任何限定的 澡藻造 可以得到分类名称明细表。

输入

澡藻造

就会在屏幕中给出下列所示的 配?鞋藏蘸月基本命令及与其相关的工具箱软件命令。

与?鞋藏蘸月相关的工具箱

皂藻藏蚤贼藻造　　原 则?鞋藏蘸月一般函数

皂藻藏蚤贼藻泽　　原 符号数学工具箱

皂藻藏蚤贼藻凿藻　　原 实时仿真与嵌入式工具箱

皂藻藏蚤贼藻灶藻贼　　原 标准神经网络工具箱

皂藻藏蚤贼藻灶藻贼　　原 标准神经网络工具箱

需要全本请访问 www.ertongbook