

# 控制系统 MATLAB

# 计算及仿真



黄忠霖 编著

# MATLAB

国防工业出版社

National Defence Industry Press

<http://www.ndip.com.cn>

# 控制系统 MATLAB 计算及仿真

黄忠霖 编著

国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

控制系统 MATLAB 计算及仿真/黄忠霖编著. —北京:  
国防工业出版社, 2001.11  
ISBN 7-118-02603-4

I. 控... II. 黄... III. 计算机辅助计算—软件包,  
MATLAB IV. TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 042533 号

**国防工业出版社** 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 33<sup>3</sup>/<sub>4</sub>, 784 千字  
2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月北京第 1 次印刷  
印数: 1—3000 册 定价: 45.00 元

---

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

# 前 言

自从 Mathworks 软件公司开发的数值计算软件 MATLAB 问世以来，就引起了国内外学者的广泛关注。MATLAB 推出后不久，即风行美国、西欧，流传世界。特别是随着 MATLAB 控制工具箱的开发、丰富与逐步完善，使得越来越多的从事自动控制专业的科技工作者接触、了解并熟悉使用它。

自动控制领域里有大量繁琐的计算与仿真曲线绘制任务。计算机被广泛应用以后，人们有了先进的计算工具，但又不得不与计算机程序打交道，要求必须熟悉计算机语言的语句命令、语法规则、程序编制与调试的规则方法等，而要把一个功能很强的高级语言学会、学好并非易事。

MATLAB (Matrix Laboratory，即“矩阵实验室”)是当今世界上最优秀的数值计算软件。MATLAB 强大的计算功能；丰富、方便的图形功能；适用范围广；编程效率高，扩充能力强；语句简单，易学易用；功能齐备的自动控制软件工具包等优点，正是它广为流传的原因。特别是当今控制界的很多权威专家，在各自从事的控制领域里开发了具有特殊功能的软件工具箱，使得 MATLAB 从一个数值运算软件成为自动控制计算与仿真的强有力工具。MATLAB 的控制工具箱，已覆盖了控制系统的各个领域，每一个工具箱都是当今世界上该控制领域里最顶尖、最优秀的计算与仿真软件。所以 MATLAB 已经成为国际、国内控制领域内最流行的、被广泛采用的控制系统计算、仿真与计算机辅助设计软件。

MATLAB 的研究工作在国内也已得到很大发展。很多高校都开展了有关 MATLAB 内容的教学及其相关的科研工作，并取得了一批可喜的科研成果，极大地推动了控制领域 MATLAB 的仿真研究。

本书就是本着把最好的计算仿真软件 MATLAB 与自动控制两者结合起来的宗旨编写的。如果没有 MATLAB 的基础，直接介绍控制系统 MATLAB 计算及仿真，可能有很多读者对如何进入 MATLAB，如何运行程序，如何仿真还都不知晓。这样，还是得买一本有关 MATLAB 语言的书籍，先学学程序设计基础及语法规则。这不仅不方便，而且也不经济。基于这个考虑，本书内容包括 MATLAB 程序设计语言基础与控制系统 MATLAB 计算及仿真两大部分：第一部分介绍 MATLAB 用于控制系统计算及仿真的有关知识，包括 MATLAB 数值运算基础；M 文件与 MATLAB 函数；MATLAB 程序设计基础与 MATLAB 的文字处理工具 Notebook 等，并具体介绍了仿真集成环境 SIMULINK。这部分已独立构成 MATLAB 的完整体系。附录 A 列出了 MATLAB 程序设计中经常使用的各种函数命令，且按英语字母顺序索引，以方便读者查阅。

本书第二部分内容涵盖了经典控制理论、电力拖动控制系统、位置随动系统、过程控制系统、现代控制理论等方面，介绍控制系统仿真基础，自动控制系统的 MATLAB

计算及仿真, 自动控制系统设计, 状态空间分析的 MATLAB 实现, 以及最优控制系统的 MATLAB 计算及仿真。附录 B 也按英语字母顺序列出了 MATLAB 系统提供的 TOOLBOX 控制工具箱函数命令。函数的内容极为丰富, 都是用于自动控制方面的。

另外, 在扩展 MATLAB 函数库与创新方面, 作者对于典型输入信号响应稳态误差的计算与仿真、阶跃给定输入响应性能指标的计算与仿真以及控制系统校正设计等方面开发了 12 个 MATLAB 函数, 供读者进行 MATLAB 计算与仿真时使用。

在叙述方法上, 每个章节先对与自动控制有关的基本概念进行简要的介绍, 然后介绍 MATLAB 有关函数并举例。这样既提出并引入了自动控制的基本问题, 又提供解决问题的工具, 并辅以算例帮助读者理解与消化。

本书示例丰富, 大部分示例取材于自动控制理论、电力拖动控制、位置随动控制、生产过程控制、现代控制理论等方面的经典教科书, 还有一部分取自实际工程的课题, 有些课题是作者参与完成的工程项目。本书各章节的示例程序都经作者反复调试, 既能够在 MATLAB 里运行, 也能够在 Notebook 中运行 (除开一些带鼠标操作的图形函数命令必须在 MATLAB 命令窗口里运行之外)。

本书可作为自动控制及其相关专业、机械设备及自动化专业或机电一体化专业的学生教材, 也可作为自动控制领域科技人员的参考用书。

在本书编写过程中, 黄京、王冠先、毛瑞刚绘制了部分插图, 黄京、陈蓓蕾、吴江陵录入了部分文稿, 许德阳、张慧峰、张育林协助整理了部分附录, 刘福、关大海、黄少铭、马男华录入并校对了部分程序, 彭达成、姜迎春、李德瑞、戴云南、田园亮、夏天浩核对了全书文稿。还要特别感谢沙市大学邹时智教授给予的全力支持和帮助。在此一并表示感谢。

由于时间仓促, 加上作者学识水平有限, 书中难免有错误与疏漏之处, 恳请广大读者批评指正。

作 者

## 内 容 简 介

本书包括 MATLAB 程序设计语言基础与控制系统 MATLAB 计算及仿真两大部分：第一部分介绍 MATLAB 用于控制系统计算及仿真的有关知识，包括 MATLAB 数值运算基础，M 文件与 MATLAB 函数，MATLAB 程序设计基础与 MATLAB 的文字处理工具 Notebook 等，并具体介绍了仿真集成环境 SIMULINK。第二部分内容涵盖了经典控制理论、电力拖动控制系统、位置随动系统、过程控制系统、现代控制理论等方面，介绍了控制系统仿真基础，自动控制系统的 MATLAB 计算及仿真，自动控制系统设计，状态空间分析的 MATLAB 计算及仿真，以及最优控制系统的 MATLAB 计算及仿真。附录 A 列出了 MATLAB 程序设计中经常使用的各种函数命令；附录 B 列出了 MATLAB 系统提供的 TOOLBOX 控制工具箱函数命令。函数的内容极为丰富，都是用于自动控制方面的。

本书示例丰富，大部分示例取材于自动控制理论、电力拖动控制、位置随动控制、生产过程控制、现代控制理论等方面的经典教科书，还有一部分取自实际工程的课题。示例程序都经作者反复调试，既能够在 MATLAB 里运行，也能够在 Notebook 中运行（除开一些带鼠标操作的图形函数命令必须在 MATLAB 命令窗口里运行之外）。

本书可作为自动控制及其相关专业、机械设备与自动化专业或机电一体化专业的学生教材，也可作为自动控制领域科技人员的参考用书。

# 目 录

第 1 章 控制系统及仿真概述	1
1.1 自动控制系统的广泛应用	1
1.1.1 电力拖动自动控制系统的应用	1
1.1.2 工业生产过程自动控制系统的应用	2
1.2 控制系统计算机仿真的基本概念	2
1.2.1 系统计算机仿真	2
1.2.2 控制系统计算机仿真的过程	3
1.3 控制系统 MATLAB 计算及仿真	4
1.3.1 先进的软件 MATLAB	4
1.3.2 控制系统 MATLAB 计算及仿真的优秀性能	7
第 2 章 MATLAB 程序设计语言	9
2.1 MATLAB 安装与启动	9
2.1.1 MATLAB5.3 的安装	9
2.1.2 MATLAB5.3 的启动	13
2.1.3 Notebook 的启动	13
2.2 MATLAB 环境	15
2.2.1 MATLAB 的命令窗口	15
2.2.2 MATLAB 的工作空间	23
2.2.3 MATLAB 的变量浏览器	23
2.2.4 MATLAB 的程序编辑器	24
2.2.5 MATLAB 的路径浏览器	25
2.2.6 MATLAB 的 Work 子目录	27
2.2.7 MATLAB 运行外部程序	27
2.3 MATLAB 数值运算基础	28
2.3.1 常量与变量	28
2.3.2 MATLAB 运算符	29
2.3.3 矩阵、数组及其算术运算	31
2.3.4 数组的关系运算与逻辑运算及其数组函数	44
2.3.5 矩阵函数	47
2.3.6 多项式及其运算	50
2.3.7 字符串	53
2.4 M 文件与 MATLAB 函数	54

2.4.1	脚本 (Script) 文件 .....	54
2.4.2	函数 (Function) 文件 .....	54
2.4.3	MATLAB 函数分类 .....	56
2.4.4	MATLAB 函数应用举例 .....	57
2.5	MATLAB 程序设计基础 .....	85
2.5.1	MATLAB 程序设计基本规则 .....	85
2.5.2	表达式、表达式语句与赋值语句 .....	86
2.5.3	MATLAB 程序流程控制 .....	86
2.5.4	MATLAB 程序流程控制指令 .....	93
2.5.5	MATLAB 程序的交互式指令 .....	93
2.5.6	MATLAB 程序的调试指令 .....	95
2.5.7	MATLAB 程序的常用警示指令 .....	97
2.6	MATLAB 文字处理工具 Notebook .....	97
2.6.1	Notebook 简介 .....	97
2.6.2	创建与打开 M-book 文档 .....	98
2.6.3	Notebook 菜单命令简介 .....	99
2.6.4	Notebook 的使用 .....	100
<b>第 3 章</b>	<b>MATLAB 仿真集成环境工具 SIMULINK .....</b>	<b>105</b>
3.1	SIMULINK 仿真工具简介 .....	105
3.1.1	SIMULINK 仿真工具概述 .....	105
3.1.2	SIMULINK for Windows 仿真工具的安装 .....	107
3.1.3	SIMULINK 仿真工具子目录及文件 .....	108
3.2	SIMULINK3.0 的界面与菜单 .....	108
3.2.1	SIMULINK 3.0 的界面形象 .....	108
3.2.2	SIMULINK 功能模块的分类及其用途 .....	109
3.2.3	SIMULINK 模型窗口 .....	116
3.3	用 SIMULINK 建立系统模型 .....	119
3.3.1	模型窗口 .....	119
3.3.2	模块的查找与选择 .....	120
3.3.3	模块的拷贝、移动与删除 .....	121
3.3.4	模块的连接 .....	122
3.3.5	模块标题名称的修改 .....	124
3.3.6	模块内部参数的修改 .....	124
3.3.7	创建模型的复原操作 .....	127
3.3.8	系统模型标题名称的标注 .....	127
3.3.9	模型文件的保存与打开 .....	127
3.3.10	模型框图的打印 .....	128
3.3.11	SIMULINK 建模注意事项 .....	128
3.4	SIMULINK 仿真算法的数学基础 .....	129



3.4.1	微分方程初值问题的数值解法	129
3.4.2	欧拉法	129
3.4.3	数值积分运算的几个概念	130
3.4.4	阿达姆斯法(梯形法)和预估-校正法	131
3.4.5	龙格-库塔法	133
3.4.6	算法精度与稳定性比较	135
3.5	<b>SIMULINK 仿真的数值分析</b>	136
3.5.1	求微分方程数值解的几种算法	136
3.5.2	菜单操作方式下仿真算法选择和参数设置	137
3.5.3	在 MATLAB 命令窗口中的指令工作方式	143
3.6	<b>观察 SIMULINK 的仿真结果</b>	149
3.6.1	使用示波器模块观察仿真输出	149
3.6.2	使用 To Workspace 模块将仿真输出信息返回到 MATLAB 命令窗口	151
3.6.3	使用 out1 模块将仿真输出信息返回到 MATLAB 命令窗口	153
3.7	<b>SIMULINK 的分析工具</b>	154
3.7.1	模型线性化概述	154
3.7.2	连续系统的线性化模型	154
3.7.3	离散系统的线性化模型	155
3.7.4	SIMULINK 平衡点的求取	156
3.7.5	SIMULINK 里由状态方程转换成 LTI (线性时不变系统) 对象	156
3.7.6	在 SIMULINK 里绘制波德 (Bode) 图与时间响应图	156
3.8	<b>SIMULINK 3.0 的自定义模块库与自定义子系统</b>	165
3.8.1	自定义模块库与自定义子系统概述	165
3.8.2	SIMULINK 窗口下自定义模块库	165
3.8.3	SIMULINK 窗口下自定义子系统	167
3.9	<b>SIMULINK 的 Mask 功能</b>	171
3.9.1	Mask (封装) 概述	171
3.9.2	Mask 编辑器	172
3.9.3	Mask 的 Icon 标签页	172
3.9.4	Mask 的 Initialization 标签页	174
3.9.5	Mask 的 Documentation 标签页	175
3.9.6	Mask 举例	175
3.9.7	Mask 的 Unmask 功能	182
第 4 章	<b>控制系统 MATLAB 仿真基础</b>	183
4.1	<b>控制系统的数学模型</b>	183
4.1.1	LTI 对象	183
4.1.2	控制系统数学模型的种类与转换	185
4.1.3	环节方框图模型的化简	196

4.1.4	SIMULINK 动态结构图举例	202
4.2	控制系统稳定性分析的 MATLAB 实现	203
4.2.1	控制系统稳定性的有关概念	203
4.2.2	控制系统稳定性的基本概念与分析方法简述	204
4.2.3	稳定性分析 MATLAB 实现的方法与举例	204
4.3	控制系统稳态误差分析的 MATLAB 实现	211
4.3.1	控制系统稳态误差分析的有关概念	211
4.3.2	控制系统稳态误差计算	212
4.3.3	控制系统稳态误差计算举例	213
4.4	控制系统时域分析的 MATLAB 实现	219
4.4.1	自动控制的一些基本概念	219
4.4.2	控制系统时域响应仿真的主要问题	222
4.4.3	时域分析 MATLAB 实现的方法	222
4.4.4	MATLAB 函数指令方式下的时域响应仿真	222
4.4.5	利用 SIMULINK 动态结构图的时域响应仿真	236
4.5	控制系统频域分析的 MATLAB 实现	243
4.5.1	频率特性的有关概念	243
4.5.2	系统频域分析的内容与 MATLAB 仿真的主要问题	245
4.5.3	频域分析 MATLAB 实现的方法	246
4.6	根轨迹分析的 MATLAB 实现	260
4.6.1	有关根轨迹的几个基本概念	260
4.6.2	自动控制系统根轨迹分析 MATLAB 实现的主要问题	261
4.6.3	MATLAB 函数指令方式下根轨迹分析的 MATLAB 实现	261
4.6.4	MATLAB 基于根轨迹的设计工具	270
<b>第 5 章</b>	<b>自动控制系统的 MATLAB 计算及仿真</b>	<b>276</b>
5.1	简单闭环控制的 MATLAB 计算及仿真	276
5.1.1	自动控制系统的几个基本概念	276
5.1.2	简单闭环控制系统的数学模型	277
5.1.3	简单闭环控制系统的 MATLAB 仿真实例	278
5.1.4	线性时不变系统 (LTI) 观测器	288
5.2	多闭环控制系统的 MATLAB 计算及仿真	293
5.2.1	多闭环控制系统概述	293
5.2.2	多闭环控制系统的数学模型	294
5.2.3	双闭环调速系统的 MATLAB 计算与仿真实例	294
5.2.4	三环控制系统的 MATLAB 计算与仿真	308
5.3	位置随动系统的 MATLAB 计算及仿真	310
5.3.1	位置随动系统的概念	310
5.3.2	位置随动系统的控制特点	311
5.3.3	位置随动系统的分析方法与品质指标	311

5.3.4	位置随动系统 MATLAB 计算及仿真实例	311
5.4	过程控制系统的 MATLAB 计算及仿真	328
5.4.1	生产过程控制的特点	328
5.4.2	过程控制被控对象的动态特性	328
5.4.3	过程控制系统的性能指标	329
5.4.4	过程控制中延迟特性的处理	331
5.4.5	简单回路控制系统的 MATLAB 计算及仿真	333
5.4.6	串级控制系统的 MATLAB 计算及仿真	335
5.4.7	前馈控制系统的 MATLAB 计算及仿真	340
5.4.8	大延迟系统的 MATLAB 计算及仿真	344
<b>第 6 章</b>	<b>自动控制系统设计</b>	<b>350</b>
6.1	控制系统设计概述	350
6.1.1	经典控制系统的设计	350
6.1.2	控制系统设计的几个概念	350
6.1.3	控制系统的无源校正与有源校正	351
6.1.4	控制系统串联校正的基本思路	351
6.2	控制系统波德图设计法	352
6.2.1	波德图超前校正设计	352
6.2.2	波德图滞后校正设计	361
6.2.3	波德图滞后-超前校正设计	369
6.3	控制系统的根轨迹设计法	379
6.3.1	根轨迹超前校正设计	379
6.3.2	根轨迹滞后校正设计	388
6.4	控制系统 PID 校正器设计法	394
6.4.1	PID 调节简述	394
6.4.2	PID 调节规律	395
6.4.3	PID 调节作用分析	396
6.4.4	PID 校正器设计方法	399
<b>第 7 章</b>	<b>状态空间分析的 MATLAB 实现</b>	<b>417</b>
7.1	控制系统状态空间分析的几个基本概念	417
7.2	系统状态空间表达式及其状态方程的解	420
7.2.1	状态空间表达式的建立	420
7.2.2	系统状态方程的解	424
7.2.3	连续系统状态方程的离散化	430
7.3	系统状态方程的线性变换	435
7.3.1	传递矩阵	435
7.3.2	状态方程的线性变换	436
7.3.3	范德蒙特矩阵与约当标准形	441
7.4	线性系统的可控性与可观性	444

7.4.1	线性系统的可控性	444
7.4.2	线性系统的可观测性	450
7.4.3	线性定常系统的实现问题	456
7.5	系统状态反馈与状态观测器	457
7.5.1	系统的输出反馈与状态反馈	457
7.5.2	系统的极点配置	459
7.5.3	系统的状态观测器	462
7.5.4	系统的状态降阶观测器	464
7.6	系统稳定性分析的 MATLAB 计算及仿真	468
7.6.1	系统稳定性概述	468
7.6.2	李亚普诺夫意义下的稳定性理论	469
7.6.3	线性定常系统的李亚普诺夫稳定性分析	470
7.6.4	李亚普诺夫方程的求解	471
<b>第 8 章</b>	<b>线性二次型最优控制的 MATLAB 实现</b>	<b>474</b>
8.1	最优控制的基本概念	474
8.1.1	最优控制问题	474
8.1.2	最优控制的性能指标	475
8.1.3	最优控制问题的数学分类法	476
8.1.4	最优控制问题的求解方法	477
8.1.5	线性二次型最优控制	477
8.2	连续系统线性二次型最优控制的 MATLAB 实现	478
8.2.1	连续系统线性二次型最优控制	478
8.2.2	连续系统线性二次型最优控制的 MATLAB 实现	478
8.3	离散系统稳态线性二次型最优控制的 MATLAB 实现	484
8.3.1	离散系统稳态线性二次型最优控制	484
8.3.2	离散系统稳态线性二次型最优控制的 MATLAB 实现	485
8.4	最优观测器的 MATLAB 实现	489
8.4.1	连续时不变系统的 Kalman 滤波	489
8.4.2	Kalman 滤波的 MATLAB 实现	490
8.5	线性二次型 Guass 最优控制的 MATLAB 实现	493
8.5.1	LQG 最优控制的求解	493
8.5.2	LQG 最优控制的 MATLAB 实现	493
附录 A	MATLAB 常用函数	495
附录 B	TOOLBOX 基本工具箱函数	512
参考文献		528

# 第 1 章 控制系统及仿真概述

本章简要概述控制系统的计算与仿真的基本知识。本章共 4 节。1.1 节简要介绍自动控制系统的广泛应用，包括电力拖动自动控制系统与工业生产过程控制系统的应用，1.2 节说明控制系统的计算机仿真的基本概念，1.3 节介绍控制系统 MATLAB 计算及仿真，通过本章的介绍，使读者了解全书的概貌与本书的主要内容及任务。

## 1.1 自动控制系统的广泛应用

现代自动控制控制系统应用非常广泛，几乎遍及国民经济的所有部门。本书讨论的控制系统不是广义的、泛指的控制系统的，而是工程技术领域里常指的自动控制系统。以控制对象生产工艺过程的性质、特点而论，控制系统大体可分为两大门类：一类是以机械运动为主要生产形式，以电动机为执行机构的“电力拖动自动控制系统”；另一类是以化学反应或者热能转换为主要生产形式，以自动化仪表与装置为检测与执行机构的“工业生产过程控制系统”。

这两类控制系统仅仅是执行机构和系统的设备生产形式不同，其自动控制的理论完全一样，研究的方法以及仿真理论、过程没有什么差别。本书以拖动自动控制系统、过程控制系统为讨论对象，还涉及到了控制系统设计、状态空间分析与最优控制系统等内容。

### 1.1.1 电力拖动自动控制系统的应用

在现代工业生产中，为了实现各种不同生产工艺过程的要求，需要使用各种各样的生产机械。例如各类生产机床、轧钢机、矿井提升机、球磨机、造纸机、纺织机械、印刷机械、化工机械、电力机车、压缩机、电梯、起重机、卷扬机、挖掘机、榨油机、碾米机、水泵、电动工具乃至家用电器等等，数不胜数。

电动机拖动生产机械运转叫做电力拖动。电力拖动，是电动机将电能转换为机械能的过程，是当代各种生产活动最基本也是最先进的形式。这是新型的电力代替传统而原始的人力或者畜力的历史必然，也是现代文明的标志之一。

作为现代能源主要形式的电能，其生产集中在火力、水力、风力与原子能发电厂进行。电能可远距离输送，简单经济、易于分配、转换与控制，检测方便，价格低廉。电机拖动比其他形式的拖动效率要高得多，原动机与被拖动机械的连接简便。电动机效率高，运转经济。电动机的形式种类与规格很多，具有各种良好的特性，可适应各种不同生产机械的需要。电机拖动易于操作及控制，电动机的起动、制动、反向及调速等控制

简便快捷，调节性能良好。电力拖动可实现远距离控制与自动调节，并进而实现生产过程的自动化。

综上所述，电力拖动自动控制系统已经成为现代工业生产电气化及自动化的基础，而实现工业企业的电气化及自动化对于提高产品质量、改善工人的劳动条件、增加工作可靠性以及提高劳动生产率均有着重大的意义。

### 1.1.2 工业生产过程自动控制系统的應用

工业生产过程自动控制是指在冶金、机械、石油、化工、电力、轻工、建材、原子能与环保等部门的生产中，对于温度、压力、流量、液位、成分等变量实现的自动控制。它是利用过程检测控制仪表、自动化设备与装置、数字计算机等自动化技术工具，对整个生产过程进行自动检测与控制，以期达到各种最优的技术、经济指标，提高经济效率与劳动生产率、节约能源、改善劳动生产条件、保护生态环境等目的。

工业生产过程自动控制系统（简称过程控制系统），是由控制对象与过程控制仪表所组成。以控制的角度而论，工业生产过程自动控制着重研究串级控制、前馈控制、均匀控制、比值控制、分程控制、选择性控制、多变量控制、多冲量控制以及数字过程控制等方面的课题。

工业生产过程自动控制系统是一门内容极为丰富的综合性应用技术学科，它与工程实践联系紧密，与电力拖动自动控制系统一样，在现代工业生产过程自动化中也得到了十分广泛的应用。

## 1.2 控制系统计算机仿真的基本概念

### 1.2.1 系统计算机仿真

控制系统的计算机仿真是一门涉及到控制理论、计算数学与计算机技术的综合性新型学科。这门学科的产生及发展差不多是与计算机的发明及发展同步进行的。计算机仿真是自从1946年世界上第一台电子计算机问世以后，在20世纪70年代初期发展起来的、用来帮助设计人员进行设计的一种新技术。它包含控制系统分析、综合、设计、检验等多方面的计算机处理：计算机仿真基于计算机的高速而精确的运算，以实现各种功能。

系统，是物质世界中相互制约又相互联系着的、以期实现某种目的的一个运动整体，这个整体叫做系统。如果系统用于自动控制，则称之为自动控制系统。

模型，是对所要研究的系统在某些特定方面的抽象。通过模型对原型系统进行研究，将具有更深刻、更集中的特点。模型分为物理模型和数学模型两种。数学模型可分为机理模型、统计模型与混合模型。

系统仿真，就是以系统数学模型为基础，以计算机为工具对系统进行实验研究的一种方法。需特别指出，系统仿真是用模型（即物理模型或数学模型）代替实际系统进行实验和研究，使仿真更具意义。仿真所遵循的基本原则是相似原理，即几何相似、环境相似与性能相似。依据这个原理，仿真可分为物理仿真与数学仿真（即模拟计算机仿真

与数字计算机仿真)。

所谓物理仿真就是应用几何相似原理,仿制一个与实际系统工作原理相同、质地完全相同但是体积小得多的物理模型(例如将飞机模型放在气流场相似的风洞中以模仿真实的飞机在地球的大气中)进行实验研究;所谓数学仿真就是应用性能相似原理,构成数学模型在计算机上进行实验研究。

由于计算机仿真能够为各种实验提供方便、廉价、灵活而可靠的数学模型,因此凡是要用模型进行实验的,几乎都可以用计算机仿真来研究被仿真系统的工作特点、选择最佳参数和设计最合理的系统方案。

随着计算机技术的发展,计算机仿真越来越多地取代纯物理仿真。现在所称谓的仿真,主要是指计算机参与的计算机仿真。计算机仿真是一门综合性的新学科,它既取决于计算机工具本身硬件与软件的发展,又依赖于仿真计算方法在精度与效率方面的研究与提高,还要服从于计算机仿真对象学科领域的发展需要。所以计算机仿真是多种学科互相渗透、相互融合又与多种学科相关联的边缘科学。

而自动控制系统的计算机仿真,它是一门涉及到计算机技术、计算数学与控制理论、系统辨识、控制工程以及系统科学的综合性学科。它为控制系统的分析、计算、研究、综合设计以及自动控制的计算机辅助教学提供了快速、经济、科学及有效的手段。

## 1.2.2 控制系统计算机仿真的过程

控制系统仿真,就是以控制系统的模型为基础,主要用数学模型代替实际的控制系统,以计算机为工具,对控制系统进行实验和研究的一种方法。

通常,控制系统仿真的过程按以下步骤进行:

### (1) 建立自控系统的数学模型

系统的数学模型,是描述系统输入、输出变量以及内部各变量之间关系的数学表达式。描述自控系统诸变量间静态关系的数学表达式,称为静态模型;描述自控系统诸变量间动态关系的数学表达式,称为动态模型。最常用的基本的数学模型是微分方程与差分方程。

根据系统的实际结构与系统各变量之间所遵循的物理、化学基本定律,例如牛顿定律、克希霍夫定律、运动动力学定律、焦耳-楞次定律等等来列写出变量间的数学表达式以建立数学模型。这是解析法建立数学模型。

对于很多复杂的系统,则必须通过实验方法并利用系统辨识技术,考虑计算所要求的精度,略去一些次要因素,使模型既能准确地反映系统的动态本质,又能简化分析计算的工作。这是实验法建立数学模型。

控制系统的数学模型是系统仿真的主要依据。

### (2) 建立自控系统的仿真模型

原始的自控系统的数学模型比如微分方程,并不能用来直接对系统进行仿真,还得将其转换为能够对系统进行仿真的模型。

对于连续系统而言,将像微分方程这样的原始数学模型,在零初始条件下进行拉普拉斯变换,求得自控系统传递函数之数学模型。以传递函数模型为基础,等效变换为状态空间模型,或者将其图形化为动态结构图模型,这些模型都是自控系统的仿真模型。

对于离散系统而言，有像差分方程这样的原始数学模型以及类似连续系统的各种模型，这些模型都可以对离散系统直接进行仿真。

### (3) 编制自控系统仿真程序

对于非实时系统的仿真，可以用一般的高级语言，例如 Basic 或 Fortran 或 C 等语言编制仿真程序。对于快速的实时系统的仿真，往往用汇编语言编制仿真程序。当然也可以直接利用仿真语言。

应用 MATLAB 的 TOOLBOX 工具箱及其 SIMULINK 仿真集成环境作仿真工具，这就是 MATLAB 仿真。控制系统的 MATLAB 仿真是控制系统计算机仿真一个特殊软件工具的子集。

### (4) 进行仿真实验并输出仿真结果

通过仿真实验对仿真模型与仿真程序进行检验和修改，再按照系统仿真的要求输出仿真结果。

## 1.3 控制系统 MATLAB 计算及仿真

### 1.3.1 先进的软件 MATLAB

MATLAB 程序设计语言是美国 Mathworks 公司 20 世纪 80 年代中期推出的高性能数值计算软件。Mathworks 公司经过十几年的开发、扩充与不断完善，使 MATLAB 已经发展成为适合多学科、功能特强、特全的大型系统软件。在国外 MATLAB 已经经受了多年考验。在欧美高校，MATLAB 已经成为线性代数、自动控制理论、数理统计、数字信号分析与处理、动态系统仿真等高级课程的基本数学工具，成为高校大学生、硕士生、博士生必修课。

在科学研究与工程技术应用中常常要进行大量的数学运算。在当今计算机时代，通常的作法是借助高级语言 Basic、Fortran 和 C 语言编制计算程序，输入计算机做近似计算。但是，这需要熟练地掌握所用语言的语法规则与编制程序的相关规定，而且编制程序绝非易事。

当初的 MATLAB 是 Cleve Moler 博士于 1967 年用 Fortran 编写的(第二代的 MATLAB 的主要部分是用 C 语言编写的)。1980 年前后，Moler 开始筹建 MATLAB。Moler 开发 MATLAB 的最初目的只是为线性代数的矩阵运算提供一个运算工具，但后来功能逐渐完善扩充，可以进行各种科学与工程技术计算，应用范围也越来越广，而且 MATLAB 的函数命令简单高效，特别容易学习和方便的使用。于是，Moler 博士等一批数学家与软件专家组建了 Mathworks 软件开发公司，专门研究、扩展并改进 MATLAB，该公司于 1992 年推出了 MATLAB 4.0 版本，并于 1993 年推出其微机版，1994 年又推出了 MATLAB 4.2 扩充版，1998 年的 MATLAB 5.1 版本，近两年又相继推出 MATLAB 的 5.2 与 5.3 版本。

MATLAB 有以下主要特点：

#### (1) 功能强大、适用范围广

MATLAB 可用于线性代数里的向量、数组、矩阵运算，复数运算，高次方程求根，



插值与数值微商运算, 数值积分运算, 常微分方程的数值积分运算、数值逼近、最优化方法等, 即几乎所有科学研究与工程技术应用需要的各方面的计算, 均可用 MATLAB 来解决。

现有的资料表明, 这些运算, 在自动控制、生物医学工程、语音处理、图像信号处理、雷达工程、信号分析、计算机技术、汽车制造、建筑业、航空航天、分子模型研究以及半导体制造业等各行各业都有极广泛的应用。可以说, 无论从事工程技术方面的哪个学科, 在 MATLAB 里都能有相应合适的功能解决该学科的计算问题。

### (2) 编程效率高

MATLAB 程序设计语言提供了丰富的库函数(称为 M 文件), 既有常用的基本库函数, 又有种类齐全、功能丰富多样的专用库函数(工具箱 TOOLBOX 就是专门功能库函数)。函数即是预先编制好的子程序。在为进行数学运算编制程序时, 这些库函数都可以被直接调用, 而不必将其子程序的命令或语句再逐一列出。无疑, 这会大大提高编程效率。

MATLAB 的基本数据编程单元是不需要指定维数的复数矩阵, 所以在 MATLAB 环境下, 数组(向量或矩阵)的操作如同数的操作一样简单方便, 不必像其他 Basic、Fortran 和 C 等高级语言, 因为基本数据单元是数而要事先定义数组, 然后才能进行有关操作。这样的编程效率肯定不如 MATLAB 的高。

在科学与工程应用的数值计算领域里, 有文献指明, 使用 MATLAB 语言的程序设计比使用 Basic、Fortran 和 C 等语言进行程序设计的编程效率要高几倍。

### (3) 界面友好、用户使用方便

首先, MATLAB 具有友好的用户界面与易学易用的帮助系统。MATLAB 的函数命令繁多, 功能各异。用户在命令窗里通过 help 命令可以查询某个函数的功能及用法, 命令的格式极为简单(格式为: help 命令或函数)。用户在命令窗里通过某些命令还可以查询某个函数的路径以及查询某个子目录中的函数集合。这样, 面对 MATLAB 的强大功能与各种先进技术, 即便是初学者, 也不会望而生畏。因为 MATLAB 已为用户提供了学习它的方便之路。

其次, MATLAB 程序设计语言把编辑、编译、连接、执行、调试等多个步骤融为一体。如果直接在命令行输入语句(命令), 包括调用 M 文件的语句, 每输入一条(语句), 就立即完成编译、连接和运行的全过程。如果将 MATLAB 源程序编辑为 M 文件, 编辑后的源文件就可像库函数一样直接运行, 而不再需要编译和连接。运行 M 文件时, 如果有错, 计算机屏幕上会给出详细的出错信息提示, 让用户修改, 直到正确为止。

再者, MATLAB 语言可设置中断点, 存储多个中间结果。除此以外, 它还可进行跟踪调试。MATLAB 语言灵活方便, 其调试手段丰富, 调试速度快。

还有, 在 MATLAB 里, 既可执行程序(即 M 文件), 又可通过人机对话, 调用不同的库函数(即子程序), 方便快速地达到用户自己的目的, 以实现 MATLAB 的交互功能。

最后, MATLAB 是演算纸式的科学工程计算语言。使用 MATLAB 编程运算与人进行科学计算的思路和表达方式完全一样, MATLAB 的语法更贴近人的思维方式, 用 MATLAB 编写程序, 犹如在一张演算纸上排列书写公式, 运算、求解问题十分方便。