



21 世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information •
Science and Technology

控制系统仿真

张袅娜 冯 雷 主 编
朱宏殷 副主编



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

014018695

TP273-43
182

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

控制系统仿真

张袅娜 冯 雷 主编

朱宏殷 副主编

赵丽艳 张 欣 参编



机械工业出版社



北航

C1707186

TP273-43
182

03810510

本书从工程应用角度出发,为控制系统的分析、设计和综合研究提供了先进的技术手段;从 MATLAB/Simulink 基础知识、控制系统数学模型、控制系统分析、控制器设计、控制系统仿真实验等几个方面讲述了运用 MATLAB 进行控制系统分析和设计的方法。全书共分 7 章,包括控制系统仿真的基本概念与步骤、MATLAB 语言基础、Simulink 仿真工具、控制系统数学模型、控制系统时域分析、频域分析、稳定性分析、根轨迹分析法、线性系统的状态可控性与状态可观性分析、李雅普诺夫稳定性分析、控制器设计、控制系统仿真实验等内容。各章通过具体的应用实例和习题帮助读者理解和掌握自动控制原理、现代控制理论以及 MATLAB/Simulink 相关功能和工具的使用。

本书各章节之间的内容既相互联系又相对独立,读者可根据需要进行选择性阅读。本书可作为高等院校控制工程、自动化、机电、测控技术等专业学生和研究生在教学参考用书,也可作为相关领域的工程技术和研究人员的参考用书。

本书配套授课电子课件,需要的老师可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1157122010, 电话: 010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

控制系统仿真/张袞娜,冯雷主编. —北京:机械工业出版社,2013.11

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

ISBN 978-7-111-44862-4

I. ①控… II. ①张… ②冯… III. ① 自动控制系统—数字仿真—高等学校—教材 IV. ① TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 276340 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:时 静

责任编辑:时 静 崔利平

责任印制:李 洋

北京华正印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·15.5 印张·379 千字

0001—3500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-44862-4

定价:33.00 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

出版说明

随着科学技术的不断进步,整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展,社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中,电气信息类(Electrical and Information Science and Technology)包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时,也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下,只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去,才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要,机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的,期间,与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨,旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业教材。

本套教材涵盖多层次专业课程,定位准确,注重理论与实践、教学与教辅的结合,在语言描述上力求准确、清晰,适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前言

控制系统仿真技术是近几十年发展起来的建立在系统科学、系统辨识、控制理论、计算方法和计算机技术等学科上的一种综合性很强的实验科学技术。它遵循相似性原理,为自动控制系统的分析、设计和综合研究提供了先进的手段。控制系统仿真技术广泛应用于航空、航天、化工、电力、交通及制造等各种工程领域,以及环境、生态、生理、社会及经济等各种非工程领域;贯穿于方案论证、产品设计、试验、生产制造、使用和维护等各个方面。

目前,适用于控制系统计算机辅助设计的软件很多。作为控制理论与控制工程及其计算机仿真的强有力工具,在众多仿真语言中, MATLAB 以其模块化的计算方法,可视化与智能化的人机交互功能,丰富的矩阵运算、图形绘制、数据处理函数以及模块化图形组态的动态系统仿真工具 Simulink,成为控制系统设计和仿真领域最受欢迎的软件系统。

为了更好地推动 MATLAB/Simulink 在控制系统仿真、分析与设计中的应用,全书参考了有关同类教材及资料,结合教学科研工作实践,以教案为蓝本编写而成。全书从工程实用角度出发,通过典型的例题、习题与实验指导,详细论述了 MATLAB 7.0/Simulink 7.0 的功能、操作及其在控制系统中的应用。书中所述的大部分内容和例子,是编者多年来从事教学与科研的成果,具有很强的代表性。

本书由长春工业大学张袅娜老师和长春工程学院冯雷老师担任主编,长春工业大学朱宏殷老师担任副主编。全书共分 7 章,第 2 章、第 3 章由张袅娜老师编写;第 1 章、第 6 章、第 7.1~7.5 节由朱宏殷老师编写;第 4 章、第 5 章由长春工程学院冯雷老师编写,书中部分习题、程序和第 7.6 节由吉林工程技术师范学院赵丽艳老师、长春工程学院张欣老师编写与调试。全书由张袅娜老师统稿。本书从 MATLAB/Simulink 基础知识、控制系统数学模型、控制系统分析、控制器设计、控制系统仿真实验指导等几个方面讲述了运用 MATLAB 进行控制系统分析和设计的全过程。编者从工程应用角度出发组织素材,注重基本概念,强调工程背景,力求使读者学以致用。在使用本书时,可以根据不同专业的要求和特点,对内容进行取舍。

本书的写作得到了王冬梅博士、王莹莹硕士、张哲硕士、孙颖教授、吴瑞芝副教授、于微波副教授等人的大力协助与支持,许多参与课程教学的同行提出了宝贵的意见,在此深表谢意!本书的编写还参考了相关文献,在此向这些文献的作者表示感谢!

由于作者水平和经验有限,书中错误与不当之处在所难免,恳请专家、读者指正。

编 者



本科电气精品教材推荐

高等院校精品课程系列教材

电路原理 (第2版)

书号: 34512 定价: 49.00 元

作者: 陈晓平 配套资源: 电子教案

获奖情况: 国家精品课程、省级精品教材

推荐简言: 本书是根据教育部电子电气基础课程教学指导分委员会制订的高等工业学校电路课程教学的基本要求, 并充分考虑各院校新的教学计划及现代科技发展趋势, 为电子电气信息类专业学生编写的教材。配有《电路原理学习指导与习题全解》、《电路原理题库与题解》。

模拟电子电路原理与设计基础

书号: 34392 定价: 42.00 元

作者: 刘祖刚 配套资源: 电子教案

获奖情况: 省级精品课程配套教材。

推荐简言: 本书着重讲清讲透模拟电子电路的工作原理、分析方法; 各章对一些基本电路的设计作了必要的讨论。通过本书的学习, 读者不仅能较好地理解和掌握模拟电子电路的工作原理和分析方法, 而且还能根据实际要求初步设计一些实用的模拟电子电路。

自动控制原理

书号: 31071 定价: 36.00 元

作者: 潘丰 配套资源: 电子教案

获奖情况: 江苏省高等教育质量工程建设精品教材

推荐简言: 本书以经典控制理论为主, 较系统地介绍了自动控制理论的基本内容, 着重于基本概念、基本理论、基本的分析和设计方法。为适应不同专业和不同层次教学的需要, 各章所述的基本分析方法尽可能做到相对独立, 以便灵活选择。

单片机原理及控制技术

书号: 29900 定价: 36.00 元

作者: 王君 配套资源: 电子教案

推荐简言: 本书着重介绍计算机控制系统的组成, 单片微型计算机的结构, 软硬件系统, 基本控制算法及在工业控制中的应用技术。以单片机控制系统为例, 介绍微机控制系统的结构、组成、算法; 讲述基于 MCS-51 系列单片机的结构及工作原理、指令系统及程序设计 (包括 C51 程序设计)、中断系统及定时/计数器、串行通信、系统扩展技术等内容。

单片机原理与应用——基于 Proteus 虚拟仿真技术

书号: 31033 定价: 43.00 元

作者: 徐爱钧 配套资源: 电子教案、光盘

推荐简言: 省级精品课程配套教材。本书以 Proteus 虚拟仿真技术为基础阐述 8051 单片机原理与应用, 对 8051 单片机基本结构、中断系统、定时器、串行口等功能部件的工作原理作了完整介绍。给出了大量在 Proteus 集成环境 ISIS 中绘制的原理电路图、汇编语言和 C 语言应用程序范例, 所有范例均在 Proteus 软件平台上调试通过, 可以直接运行。

信号与系统——信号分析与处理 (上册)

书号: 26030 定价: 22.00 元

作者: 程耕国 配套资源: 电子教案

推荐简言: 省级精品课程配套教材。本书是根据当前信息和电子技术的发展, 结合高校教学改革形势和要求, 综合近十年来的教学实践, 整合原“信号与系统”和“数字信号处理”两门课程的教学内容精心编写而成的。上册讲述信号分析与处理。



本科电气精品教材推荐

普通高等教育电气信息类规划教材

单片机原理与应用

书号: 23603

定价: 27.00 元

作者: 杭和平

配套资源: 电子教案

推荐简言:

C 语言已经成为单片机开发的主流语言。单片机应用的关键是对单片机功能应用的掌握。实践证明, 重点学习高级语言, 可以避免在使用汇编语言时, 把大量精力花费在局限于具体问题的编程上。本书从实际应用出发, 力图从以前单片机教材纠缠具体单片机原理的解析上解脱出来, 以 AT89C51 为讲解蓝本, 以 C 语言为编程语言, 着重讲解单片机各种功能的应用, 以及如何用 C 程序去实现要求的功能。

机电传动控制

书号: 25733

定价: 33.00 元

作者: 张志义

配套资源: 电子教案

推荐简言:

本书以常规机床及数控机床的控制系统为主线, 力求突出机电结合、电为机用的特点, 从实际应用出发, 详细介绍各种电器元件及控制电路。本书共分 8 章, 内容包括继电器-接触器控制电路的元件、典型环节、常用机床电气控制线路分析; 可编程控制器的基础知识、基本指令系统及设计; 伺服电动机原理及驱动、变频器原理及应用; 数控机床电气控制系统及数控车床、铣床等电气控制系统介绍。

微机原理与接口技术

书号: 33594

定价: 36.00 元

作者: 周鹏

配套资源: 电子教案

推荐简言: 本书更加适应新形势下高校对微机接口知识的需求, 以适应众多工科不同层次、不同类型、不同专业的需要。教师在授课过程根据不同专业和教学大纲要求, 因地制宜, 灵活使用教材内容。特色是: 突出重点, 循序渐进, 力求通俗易懂; 例题丰富, 形式多样; 注重实用, 强调实践性, 书中各章都有例题和习题, 通过练习可帮助学生将理论知识应用于实践。

TMS320C54X DSP 应用技术教程

书号: 35536

定价: 39.80 元

作者: 叶青

配套资源: 电子教案

推荐简言: 本书以美国 TI 公司的 TMS320C54x 系列 DSP(数字信号处理器)为描述对象, 从初学者的角度入手, 对 DSP 系统所涉及的硬件和软件技术进行了系统的介绍。本书内容新颖全面、通俗易懂、实用性强, 可作为高等院校电子信息、通信、自动化、电气及相关专业、高年级本科生和研究生的教材和参考用书。

PLC 基础及应用教程 (三菱 FX2N 系列)

书号: 32329

定价: 27.00 元

作者: 秦春斌

配套资源: 电子教案

推荐简言: 本书在简单介绍电气控制基本电路的基础上, 阐述了三菱 FX2N PLC 的结构、工作原理、内部资源及硬件组态配置。然后重点介绍了三菱 FX2N PLC 指令系统、编程规则、编程软件、特殊功能模块和通信模块及其应用。最后, 通过 PLC 控制系统设计方法和 PLC 在工程中的应用实例, 对常用 PLC 控制系统的设计思想、设计步骤、设计方法及调试维护, 进行了详细讲述。

传感器技术实用教程

书号: 35962

定价: 38.00 元

作者: 吕勇军

配套资源: 电子教案

推荐简言: 本书对于每种传感器, 在阐述基本工作原理的基础上, 均给出了典型测量电路和应用实例。本书特色是: 以被测对象为线索介绍相关传感器, 便于读者掌握、比较与选择传感器; 简化工作原理以及工艺结构的描述, 强化传感器的外部特性、主要参数、接口方式以及应用电路等方面内容, 可帮助读者在了解传感器工作原理的基础上, 掌握选择合适传感器和正确使用传感器的方法。



北航

C1707186

目 录

出版说明

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 控制系统仿真的基本概念	1
1.1.1 仿真的基本概念	1
1.1.2 计算机仿真的分类	1
1.1.3 控制系统仿真	2
1.2 控制系统仿真研究的步骤	2
1.3 控制系统仿真的应用和发展	4
1.3.1 控制系统仿真的应用	4
1.3.2 控制系统仿真的发展	4
1.4 MATLAB/Simulink 简介	5
1.4.1 MATLAB 简介	5
1.4.2 Simulink 简介	6
1.5 本章小结	7
第 2 章 MATLAB 语言基础	8
2.1 MATLAB 的编程环境	9
2.1.1 MATLAB 启动和退出	9
2.1.2 MATLAB 的命令窗口	10
2.1.3 MATLAB 的工作空间	10
2.1.4 当前目录窗口	11
2.1.5 命令历史窗口	11
2.1.6 MATLAB 文件管理	11
2.1.7 MATLAB 帮助使用	12
2.1.8 数据交换系统	13
2.2 MATLAB 基础知识	14
2.2.1 变量与常量	14
2.2.2 数字变量的运算及显示格式	14
2.2.3 字符串	15
2.3 矩阵运算	16
2.3.1 矩阵生成	16
2.3.2 矩阵基本操作	17
2.3.3 矩阵运算	19
2.4 数组运算	22
2.4.1 基本数学运算	22

2.4.2	关系运算	22
2.4.3	逻辑运算	23
2.4.4	基本初等函数	24
2.5	符号运算	25
2.6	矩阵函数	25
2.6.1	三角分解法	25
2.6.2	正交分解法	26
2.6.3	奇异值分解法	27
2.6.4	特征值分解法	27
2.6.5	矩阵的秩	28
2.6.6	多项式	28
2.7	MATLAB 常用绘图命令	32
2.7.1	二维图形的绘制	32
2.7.2	三维图形	40
2.7.3	图形的输出	44
2.8	MATLAB 程序设计	44
2.8.1	M 文件编辑器	44
2.8.2	MATLAB 程序类型	46
2.8.3	函数变量及变量作用域	49
2.8.4	子函数与私有函数	50
2.8.5	交互式输入	50
2.8.6	MATLAB 程序流程控制	51
2.9	本章小结	55
	习题	55
第 3 章	Simulink 仿真工具	57
3.1	运行 Simulink 演示程序	57
3.2	Simulink 模型的建立	58
3.2.1	Simulink 模型窗口	58
3.2.2	Simulink 模块库简介	59
3.2.3	Simulink 模块的操作	66
3.2.4	模块的连接	67
3.2.5	模块的参数修改	68
3.2.6	Simulink 模块的联机帮助系统	69
3.2.7	Simulink 模型的输出与打印	69
3.2.8	Simulink 模型举例	70
3.3	Simulink 的仿真方法	71
3.3.1	仿真过程的设置	71
3.3.2	系统仿真	76
3.3.3	模糊控制系统的仿真	78

3.4 S-函数	82
3.4.1 S-函数的工作方式	82
3.4.2 用 MATLAB 语言编写 S-函数	84
3.4.3 用 C 语言编写 S-函数	89
3.5 本章小结	94
习题	94
第 4 章 控制系统数学模型	95
4.1 动态过程微分方程描述	95
4.2 动态过程的传递函数描述	96
4.2.1 传递函数定义与性质	96
4.2.2 传递函数零极点表示	98
4.2.3 传递函数的部分分式表示	101
4.2.4 典型环节的传递函数及其时域响应	102
4.2.5 高阶系统的时域分析	106
4.3 动态过程状态空间描述	106
4.4 系统模型转换及连接	109
4.4.1 模型转换	109
4.4.2 模型连接	112
4.5 本章小结	115
习题	115
第 5 章 控制系统分析	117
5.1 时域分析	117
5.1.1 典型输入信号	117
5.1.2 动态性能指标	119
5.1.3 线性系统时域响应	120
5.1.4 时域分析相关的 MATLAB 函数	122
5.1.5 MATLAB/Simulink 在时域分析中的应用	123
5.2 稳定性分析	127
5.2.1 稳定性基本概念	127
5.2.2 稳定性判据	128
5.2.3 稳态误差计算	128
5.2.4 MATLAB 在稳定性分析中的应用	131
5.3 根轨迹分析	137
5.3.1 幅值条件和相角条件	137
5.3.2 绘制根轨迹的一般法则	138
5.3.3 广义根轨迹	139
5.3.4 根轨迹分析相关的 MATLAB 函数	139
5.3.5 MATLAB 在绘制根轨迹图中的应用	140
5.4 频域分析	144

5.4.1	频率特性	144
5.4.2	典型环节频率响应分析	146
5.4.3	闭环频率响应分析	151
5.4.4	稳定性分析	152
5.4.5	频域分析相关的 MATLAB 函数	154
5.4.6	MATLAB 在绘制频率特性中的应用	155
5.5	线性系统的状态可控性与状态可观性分析	163
5.5.1	状态可控性	164
5.5.2	状态可观性	165
5.5.3	MATLAB 在状态可控性和可观性分析中的应用	166
5.6	李雅普诺夫稳定性分析	170
5.6.1	李雅普诺夫第一法	170
5.6.2	李雅普诺夫第二法	171
5.6.3	利用 MATLAB 进行系统稳定性分析	174
5.7	本章小结	177
	习题	177
第 6 章	控制器设计	178
6.1	PID 控制器设计	178
6.1.1	PID 控制器概述	178
6.1.2	比例控制器	178
6.1.3	积分控制器	180
6.1.4	比例积分控制器	180
6.1.5	比例微分控制器	181
6.1.6	比例积分微分控制器	183
6.2	PID 控制器参数整定	184
6.2.1	Ziegler-Nichols 整定法	184
6.2.2	临界振荡法	186
6.2.3	衰减曲线法	189
6.2.4	凑试法	189
6.3	控制系统校正的根轨迹法	190
6.3.1	基于根轨迹法的超前校正	190
6.3.2	基于根轨迹法的滞后校正	193
6.3.3	基于根轨迹法的超前滞后校正	195
6.4	控制系统校正的频率响应法	196
6.4.1	基于频率法的超前校正	196
6.4.2	基于频率法的滞后校正	198
6.5	状态反馈与极点配置	200
6.5.1	状态反馈	200
6.5.2	输出反馈	201

6.5.3 极点配置	202
6.6 状态观测器	204
6.7 本章小结	210
习题	210
第 7 章 控制系统仿真实验	212
7.1 MATLAB 平台认识实验	212
7.2 MATLAB 绘图	216
7.3 控制系统的阶跃响应	219
7.4 控制系统的根轨迹作图	223
7.5 直流电动机调速系统	224
7.6 交流电动机调速系统	226
7.7 本章小结	235
参考文献	236

第1章 绪 论

本章介绍控制系统仿真的基本概念、研究步骤及其应用和发展等基础理论知识,并对 MATLAB 和 Simulink 进行简单介绍,这是学习本书后续内容的必要准备。

1.1 控制系统仿真的基本概念

1.1.1 仿真的基本概念

系统仿真是一门多学科的综合性的技术,它以相似原理、控制论、系统论、信息技术和其他应用领域的相关专业技术为基础,以计算机和其他各种专用设备为工具,利用系统模型对实际的或设想的系统进行动态研究。仿真的基本思想是利用物理模型或者数学模型来类比模拟现实过程,以寻求对真实过程的认识,它遵循相似性原理。

仿真技术具有经济、实用、灵活、可靠、安全和可重复使用等优点,是很多复杂系统进行分析、设计、实验和评估必不可少的技术手段。美国国家关键技术委员会在 1991 年确定仿真技术为影响国家安全和繁荣的 22 个关键技术之一,可见仿真技术在现代生产、生活和军事中发挥的重要作用。仿真技术已经成为人们认识世界、改造世界的重要技术手段。

计算机仿真是利用计算机对所建立的系统模型进行分析与研究的一种技术方法。第一台电子计算机的产生,为计算机仿真技术的发展奠定了基础,其首先应用于航空航天等军事领域;而 20 世纪 80 年代以来数字计算机的高速发展才真正将计算机仿真技术带入蓬勃发展的时代,它开始在各行各业发挥巨大的作用,深度和广度也在不断扩大,计算机技术的迅猛发展更是为计算机仿真带来更加广阔的应用前景和应用空间。如今,计算机仿真技术在众多领域得到广泛应用,意义非凡,而这也反过来更加促进了计算机仿真技术的发展。

1.1.2 计算机仿真的分类

可以从模型角度和计算机类型角度两个方面对计算机仿真进行分类。

1. 按模型分类

模型是指对现实系统有关结构信息和行为的某种形式的描述,是对系统特征与变化规律的一种定量抽象,是人们认识事物的一种手段和工具。按模型分类,计算机仿真可分为物理仿真和数学仿真。

(1) 物理仿真

采用物理模型,有实物介入,具有效果逼真、精度高等优点,但造价高或耗时长,多用于一些特殊场合(如导弹、卫星等飞行器的仿真,发电站综合调度仿真与培训系统等),具有实时、在线等特点。

(2) 数学仿真

采用数学模型,在计算机上进行仿真,具有非实时、离线等特点,经济、快速且实用。

2. 按计算机类型分类

按计算机类型分类, 计算机仿真可以分为模拟仿真、数字仿真、混合仿真和现代计算机仿真。

(1) 模拟仿真

模拟仿真指采用数学模型, 在模拟计算机上进行的仿真实验。特点是描述连续物理系统的动态过程比较自然、逼真, 具有仿真速度快、失真小和结果可靠的优点, 但受元器件性能的影响, 仿真精度较低, 对计算机控制系统的仿真较困难, 自动化程度低。

(2) 数字仿真

数字仿真指采用数学模型, 在数字计算机上借助数值计算方法所进行的仿真实验。特点是计算与仿真精度较高, 自动化程度也较高, 可方便地实现显示、打印等功能, 但计算速度较低。理论上的仿真精度可以通过改变计算机的字长来“随意”设置, 达到无限。但是, 受误差累计和仿真时间等因素的影响, 其精度往往不宜定得过高。而且数字仿真没有专用的仿真软件支持, 需要设计人员用高级程序设计语言编写求解系统模型及结果输出的程序。

(3) 混合仿真

混合仿真指将模拟仿真和数字仿真相结合的仿真实验。

(4) 现代计算机仿真

现代计算机仿真指采用先进的微型计算机, 基于专用的仿真软件、仿真语言来进行的仿真实验。特点是数值计算功能强大, 易学易用。这是当前主流的仿真技术方法。

1.1.3 控制系统仿真

控制系统仿真是系统仿真的一个重要分支, 它是涉及自动控制理论、计算数学、计算机技术、系统辨识、控制工程以及系统科学的一门综合性学科。它为控制系统的分析、计算、研究、设计以及控制系统的计算机辅助教学等提供了快速、经济、科学和有效的手段。

控制系统仿真以控制系统模型为基础, 采用数学模型描述实际的控制系统, 以计算机为工具, 对控制系统进行实验、分析、预测和评估的一种技术方法。

控制系统仿真的主要研究内容是通过系统的数学模型和计算方法, 编写程序运算语句, 使之能自动求解各环节变量的动态变化情况, 从而得到关于系统输出和所需要的中间各变量的有关数据、曲线等, 以实现了对控制系统性能指标的分析与设计。

1.2 控制系统仿真研究的步骤

控制系统仿真过程总体上分为系统建模、仿真建模、仿真实验和结果分析这几个步骤, 联系这些步骤的三个要素是系统、模型和计算机, 如图 1-1 所示。其中, 系统是所研究的对象, 模型是对系统的数学抽象, 计算机是进行仿真的工具和手段。

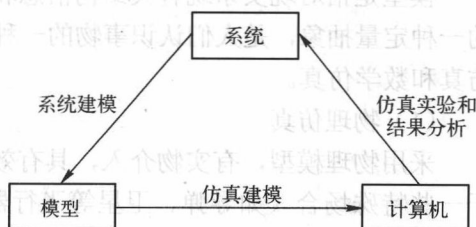


图 1-1 计算机仿真三要素

1. 系统建模

系统建模就是建立所研究的控制系统的数学模型, 具体是指建立描述控制系统输入、输

出变量以及内部各变量之间关系的数学表达式。控制系统的数学模型是进行仿真的主要依据，所建的模型常常是忽略了一些次要因素的简单数学模型，微分方程和差分方程是系统建模时最常用的基本数学模型。控制系统模型分为静态模型和动态模型，静态模型描述了控制系统变量间的静态关系，动态模型描述了控制系统变量间的动态关系。控制系统数学模型的建立方法将在第 4 章中进行详细讲解。

2. 仿真建模

仿真建模是根据所建立的控制系统的数学模型，用适当的算法和仿真语言转换为计算机可以实施计算和仿真的模型。受计算机计算能力的限制，诸如微分方程这样的数学模型是无法直接进行数值计算的，而是需要对其进行拉普拉斯变换转换为传递函数形式，或在此基础上再转换为状态空间模型进行仿真，这就是一个将数学模型转化为能够进行系统仿真的仿真模型的过程。

3. 仿真实验

具备了仿真模型，下一步就是对模型进行仿真实验。仿真实验首先需要根据所使用的仿真软件语言编写仿真程序，将仿真模型载入计算机，再按照预先设计的实验方案运行仿真模型，得到一系列仿真实验结果。在这一步中，仿真程序的编写是重点，好的仿真软件可以提高编程效率且界面友好，本书中将要介绍的 MATLAB/Simulink 对于控制系统仿真而言就是一款优秀的仿真软件。

4. 实验结果分析

通过对仿真实验结果进行分析来检验仿真模型和仿真程序的正确性，多次反复分析和修改后，最终可以得到预期或满意的仿真结果。

遵循以上几个步骤，可以得到控制系统仿真的流程图，如图 1-2 所示。

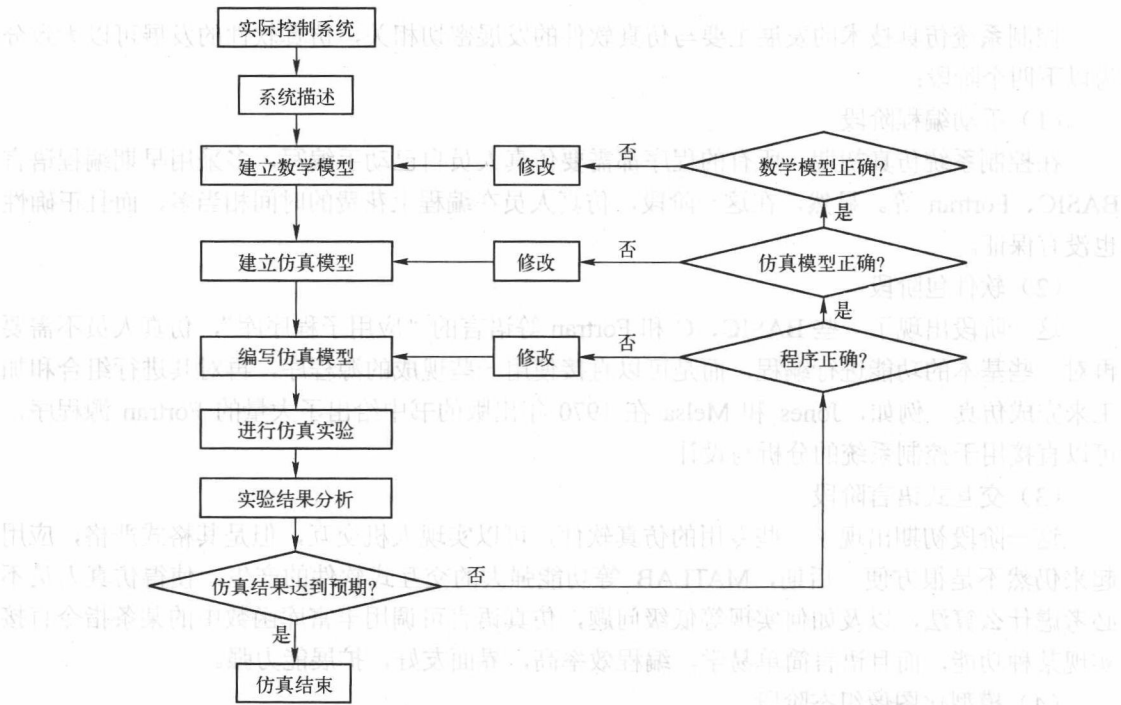


图 1-2 控制系统仿真流程图

1.3 控制系统仿真的应用和发展

1.3.1 控制系统仿真的应用

控制系统仿真可以应用到我们生产、生活、科学研究和军事应用等很多方面，下面列举其中一些进行说明：

(1) 航空航天方面

例如，航天器飞行轨迹的模拟、发射火箭或者卫星时图像的自动跟踪与捕获等。

(2) 武器控制与制导方面

例如，导弹的飞行轨迹模拟、导弹的自动目标追踪等。

(3) 工业控制方面

例如，机械手臂的控制、工业设备温度的控制等。

(4) 核电站控制方面

例如，通过大量的堆芯数据计算燃烧棒和控制棒的最佳位置，从而优化核反应堆的功率输出。

(5) 日常生产生活方面

例如，温室大棚中温湿度的恒定控制，相机的自动调焦调光控制等。

控制系统仿真的应用远不止以上几个方面，随着仿真技术的提高，越来越多的控制系统可以通过仿真来辅助完成分析、设计、开发和研制，从而收获巨大的社会效益和经济效益。

1.3.2 控制系统仿真的发展

控制系统仿真技术的发展主要与仿真软件的发展密切相关，仿真软件的发展可以大致分为以下四个阶段：

(1) 手动编程阶段

在控制系统仿真初期，所有的程序都需要仿真人员自己动手编写，多采用早期编程语言 BASIC、Fortran 等。显然，在这一阶段，仿真人员在编程上花费的时间相当多，而且正确性也没有保证。

(2) 软件包阶段

这一阶段出现了一些 BASIC、C 和 Fortran 等语言的“应用子程序库”，仿真人员不需要再对一些基本的功能进行编程，而是可以直接使用一些现成的源程序，再对其进行组合和加工来完成仿真。例如，Jones 和 Melsa 在 1970 年出版的书中给出了大量的 Fortran 源程序，可以直接用于控制系统的分析与设计。

(3) 交互式语言阶段

这一阶段初期出现了一些专用的仿真软件，可以实现人机交互，但是其格式严格，应用起来仍然不是很方便。后期，MATLAB 等功能强大的交互式软件的产生，使得仿真人员不必考虑什么算法，以及如何实现等低级问题，仿真语言可调用丰富库函数中的某条指令直接实现某种功能，而且语言简单易学，编程效率高，界面友好，扩展能力强。

(4) 模型化图像组态阶段

这一阶段出现了模型图形化的描述方法，使得仿真不再受编程语言的限制，编程界面更

加友好, 直观形象, 如 Simulink、LabVIEW 等。

随着计算机技术的日新月异, 控制系统仿真技术也在飞速发展, 其发展趋势体现在以下几个方面:

(1) 硬件方面

基于多 CPU 并行处理技术的全数字仿真将有效提高仿真系统的速度, 大大增强数字仿真的实时性。

(2) 应用软件方面

直接面向用户的数字仿真软件不断推陈出新, 各种专家系统与智能化技术将更深入地应用于仿真软件开发之中, 使得在人机界面、结果输出、综合评判等方面达到更理想的境界。

(3) 分布式数字仿真

充分利用网络技术进行分布式仿真, 投资少, 效果好。

(4) 虚拟现实技术

综合了计算机图形技术、多媒体技术、传感器技术、显示技术以及仿真技术等多学科, 使人仿佛置身于真实环境之中, 这是“仿真”追求的终极目标。

1.4 MATLAB/Simulink 简介

1.4.1 MATLAB 简介

1. MATLAB 的发展历程

MATLAB 是 MathWorks 公司推出的一个功能强大的计算仿真软件, 是目前世界上应用最广泛的计算机仿真软件。它最早出现于 1980 年, 美国新墨西哥大学计算机科学系主任 Cleve Moler 教授采用 Fortran 语言编写了集命令翻译、科学计算于一身的一套交互式软件系统, 设计初衷是为了方便学生解决“线性代数”课程的矩阵运算问题。这个软件系统被命名为 MATLAB, 是 Matrix Laboratory 的缩写, 译为“矩阵实验室”, 表明其基本操作单元是矩阵。这就是最初的 MATLAB。

第一个 MATLAB 商业版本是在 1984 年 Cleve Moler 教授及一批专家组建了 MathWorks 的公司, 并用 C 语言重新编写其核心软件后推出的。此后, 陆续增添的图形图像处理、符号运算、与其他流行软件的接口等功能, 使得 MATLAB 的功能越来越强大。经过几十年的不断完善与升级, 到 20 世纪 90 年代, 在国际上三十几个数学类科技应用软件中, MATLAB 在数值计算方面独占鳌头。目前, MATLAB 已在 2013 年更新至最新的 MATLAB R2013b 版本。但 MATLAB 的扩展开发还远远没有结束, 各学科的相互促进和计算机技术的发展, 将使得 MATLAB 更加强大。

2. MATLAB 的影响

在欧美各高等院校, MATLAB 已经被正式列入研究生和本科生的教学计划, 成为线性代数、数值分析、数理统计、自动控制理论、数字信号处理、动态系统仿真、图像处理等课程的基本教学工具, 是大学生必须掌握的基本技能之一。

在科研单位和工业系统, MATLAB 也深受科研工作者和工程师们的喜爱, 被认为是高效研究和开发设计的首选软件工具。