

自动控制原理



实验指导书

IDONG KONGZHI YUANLI SHIYAN ZHIDAOSHU

阮谢永 主编



电子科技大学出版社

自动控制原理

Z 实验指导书

IDONG KONGZHI YUANLI SHIYAN ZHIDAOSHU

阮谢永 主编



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理实验指导书 / 阮谢永主编. —成都:

电子科技大学出版社, 2015. 4

ISBN 978-7-5647-2904-2

I. ①自… II. ①阮… III. ①自动控制理论—实验—
教学参考资料 IV. ①TP13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 070034 号

内 容 简 介

本教材为“自动控制原理实验指导”课程用书。内容包括: Matlab 与 Simulink 入门基础训练和五个实验单元。本书编写的目的是使自动控制原理课程的学习不再是纯粹的理论学习,不用把大量的时间花费在理论计算和复杂公式的推导方面,而是更加注重理论联系实际,将理论中的控制系统转化到实际中的工程系统上,并能够合理运用实际可行的方法去测试、校正系统,真正意义上掌握控制技术,设计改进方案,去解决实际工程中的控制难题。

本教材可供自动化、电子信息类专业教学选用。

自动控制原理实验指导书

阮谢永 主编

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 谢晓辉

责任编辑: 谢晓辉

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 8.5 字数 226 千字

版 次: 2015 年 4 月第一版

印 次: 2015 年 4 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2904-2

定 价: 26.50 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

“自动控制原理”是自动化、电子信息类专业的一门专业基础课。课程的教学目的是使学生能学好工业部门所需的电气自动化理论和技术,深刻理解线性控制理论的数学原理和方法,掌握自动控制的基本理论、基本计算方法,为自动控制系统分析与设计打下基础。

“自动控制原理”又是一门理论性和实验性均很强的专业基础课,加强本课程的实验环节有助于加深对理论知识的理解,培养学生自己动手,独立思考的习惯,使之进一步提高分析问题与解决问题的能力。

电子模拟的方法作为自动控制原理课程的教学实验手段,优点是十分明显的:设备简单、易于调整,改变参数灵活、效果直观。我们结合自动控制系统实验箱的特点,整理编写了自动控制原理实验指导书,作为实验参考。

本教材为“自动控制原理实验指导”课程用书。内容包括:Matlab 与 Simulink 入门基础训练和五个实验单元。本书编写的目的是使自动控制原理课程的学习不再是纯粹的理论学习,不用把大量的时间花费在理论计算和复杂公式的推导方面,而是更加注重理论联系实际,将理论中的控制系统转化到实际中的工程系统上,并能够合理运用实际可行的方法去测试、校正系统,真正意义上掌握控制技术,设计改进方案,去解决实际工程中的控制难题。

本教材可供自动化、电子信息类专业教学选用。

编 者

2015 年 1 月



目 录

引言 实验须知	1
一、仪器简介	1
1.1 构成	1
1.2 虚拟示波器	3
二、预习及报告	4
三、实验及实验报告	4
第 1 章 Matlab 与 Simulink 基础	5
1.1 Matlab 与 Simulink 简介	5
一、Matlab 语言	5
二、Simulink	6
1.2 基于 Matlab 连续系统的仿真练习	6
一、实验目的	6
二、实验环境	7
三、Matlab 应用实例	7
四、课后实验练习	17
第 2 章 控制系统的数学模型	18
2.1 基于 Matlab/Simulink 建立控制系统的数学模型	18
一、控制系统设计过程	18
二、实验目的	18
三、实验内容及步骤	19
四、实验报告	19
2.2 典型环节模拟电路及其数学模型	20
一、实验目的	20
二、实验属性（验证性）	20
三、实验仪器设备及器材	20
四、实验要求	20
五、实验原理	20
六、实验步骤	22
第 3 章 线性系统的时域分析法	23
实验一 典型环节及其阶跃响应	23

一、实验要求	23
二、实验仪器	23
三、实验内容及步骤	23
四、实验报告	28
五、预习要求	28
3.1 典型二阶系统模拟电路及其动态性能分析	28
实验一 二阶系统的阶跃响应	28
实验二 控制系统的动态响应和稳定性	31
一、实验目的	31
二、实验属性(验证性)	31
三、实验仪器设备及器材	31
四、实验要求	31
五、实验原理	31
六、实验步骤	33
实验三 控制系统的瞬态响应	33
一、实验要求	33
二、实验仪器	34
三、实验内容及步骤	34
四、实验报告	35
五、预习要求	36
实验四 控制系统的稳定性分析	36
一、实验要求	36
二、实验仪器	36
三、实验内容及步骤	36
四、实验报告	37
五、预习要求	38
3.2 基于 Matlab 控制系统的响应分析	38
实验练习: 控制系统的时域、频域和根轨迹分析	38
一、实验目的	38
二、实验内容	38
三、实验报告要求	39
第4章 线性系统的频域分析法	40
4.1 典型环节频率特性测试	40
一、实验目的	40
二、实验仪器	40
三、实验内容	40
四、实验方法	40



五、实验线路	41
4.2 系统的频率特性测量	42
一、实验要求	42
二、实验仪器	42
三、实验内容及步骤	42
四、实验报告	45
五、预习要求	45
4.3 随机过程的白噪声功率谱及工况诊断	45
一、实验要求	45
二、实验设计方案	46
三、实验步骤	47
四、实验报告要求	48
第 5 章 线性系统的校正与设计	49
5.1 连续系统串联校正	49
实验：连续系统的串联校正	49
一、实验要求	49
二、实验仪器	49
三、超前校正实验原理及说明	49
四、超前校正实验内容及步骤	50
五、实验报告	56
六、预习要求	56
5.2 连续系统串联校正装置模拟电路实现	56
实验：串联校正装置对线性系统稳定性和动态特性的影响	56
一、实验目的：	56
二、实验属性（验证性）	57
三、实验仪器设备及器材	57
四、实验要求	57
五、实验原理	57
六、实验步骤	59
5.3 基于 Matlab 控制系统的串联超前校正设计	59
第六章 控制系统综合设计	62
6.1 PID 控制器的动态特性实验（控制理论电子模拟实验箱下完成）	62
一、实验目的	62
二、实验仪器	62
三、实验原理	62
四、实验内容	63
五、实验报告要求	63

六、实验思考题	63
6.2 PID 控制器的动态特性实验 (Matlab 仿真下完成)	63
一、PID 控制概述	63
二、Ziegler-Nichols 整定方法	70
6.3 直流双闭环启动过程仿真实验	76
一、实验性质	76
二、实验目的	76
三、实验设备	76
四、实验内容与实验步骤	76
五、实验报告要求	79
第 7 章 Simulink 建模和仿真基础知识	80
7.1 Simulink 的概述和基本操作	80
7.1.1 Simulink 概述	80
7.1.2 Simulink 基本操作	81
一、模型基本结构	81
二、仿真运行原理	81
7.2 基本模块	83
7.3 模块的操作	91
一、选取模块	91
二、复制、删除模块	91
三、模块的参数和特性设置	92
四、模块外形的调整	93
五、模块名的处理	94
7.4 模块的连接	94
一、在模块间连线	94
二、在连线上反映信息	96
7.5 系统仿真举例	97
7.5.1 非线性系统的模拟	98
7.5.2 混合系统 PID 控制器仿真	99
7.6 Simulink 子系统和子系统的封装	101
7.6.1 Simulink 子系统	101
7.6.2 压缩子系统	103
7.6.3 子系统模块	104
7.6.4 Simulink 子系统的封装	106
7.6.5 Simulink 子系统到封装模块的转换	107
7.6.6 查看封装和解封装	109
7.7 回调	109



7.7.1 回调函数的介绍	109
7.7.2 基于回调的图形用户界面	110
7.8 S 函数	112
7.8.1 S 函数模块	113
7.8.2 S 函数的工作原理	113
7.8.3 S 函数中的几个概念	114
7.8.4 S 函数动画	115
本章小结	120
附录 数字存储示波器简介	122
一、DS3042M (40M) 数字存储示波器的简介	122
二、DS3042M (40M) 数字存储示波器常用功能的简要说明	123
参考文献	126

引言 实验须知

一、仪器简介

本课程实验的仪器主要为爱迪克 labACT 自控/计控原理教学实验系统。

1.1 构成

labACT 自控/计控原理实验机由以下 7 个模块组成：

1. 自动控制原理实验模块
2. 计算机控制原理实验模块
3. 信号源模块
4. 控制对象模块
5. 虚拟示波器模块
6. 控制对象输入显示模块
7. CPU 控制模块

各模块相互交联关系见图 0-1 所示：

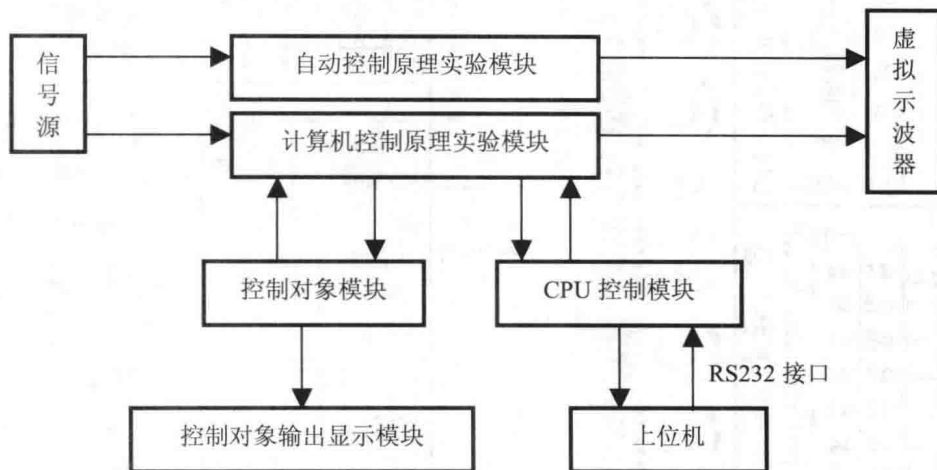


图 0-1 各模块相互交联关系框图

自动控制原理实验模块由模拟运算单元及模拟运算扩充库组成，这些模拟运算单元的输入回路和反馈回路上配有多个各种参数的电阻、电容，因此可以完成各种自动控制模拟运算。例如构成比例环节、惯性环节、积分环节、比例微分环节，PID 环节和典型的二阶、三阶系统等。利用本实验机所提供的多种信号源输入到模拟运算单元中去，再

使用本实验机提供的虚拟示波器界面可观察和分析各种自动控制实验的响应曲线。

主实验板外形尺寸为 35cm×47cm，主实验板的布置简图见图 0-2 所示。

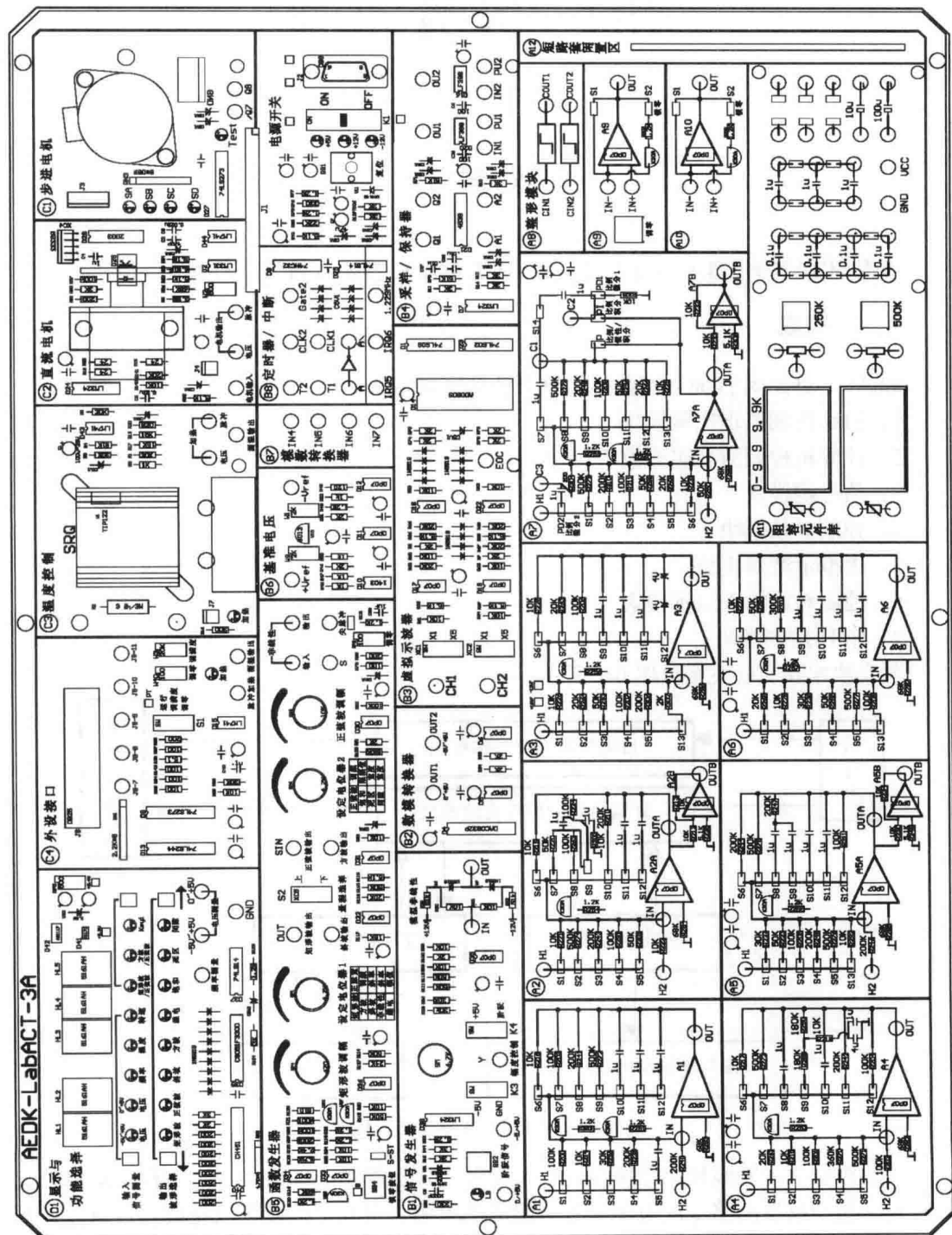


图 0-2 主实验板的布置简图

根据功能本实验机划分了各种实验区均在主实验板上。实验区组成见表 0-1。

表 0-1 实验区组成

A 实验区	模拟运算单元	有 6 个模拟运算单元, 每单元由多组电阻、或电容构成的输入回路、反馈回路和 1~2 个运算放大器组成	A1~A6
	模拟运算扩充库	包括校正网络库 (A7)、整形模块 (A8), 可调零放大器 (A9), 放大器 (A10) 和 2 个 0~999.9k Ω 的直读式可变电阻、2 个电位器及多个电容 (A11)	A7~A11
B 实验区	手控阶跃信号发生器	由手控阶跃发生 (0/+5V、-5V/+5V), 幅度控制 (电位器), 非线性输出组成	B1
	函数发生器	含有 10 种 (可选择) 波形输出: 矩形波、正弦波、斜坡、方波输出, 方波/正弦波、矩形波/正弦波同时输出, 继电特性、饱和特性、死区特性及间隙特性等非线性输出	B5
	数模转换器	8 位数/模转换, 输出有 0~+5V、-5V~+5V 二个测孔供选择。	B2
	模数转换器	8 位模/数转换, 其中有 2 个通道为 0~+5V 输入, 有 2 个通道为 -5V~+5V 输入	B7
	定时器/中断单元	有 8253 定时器中的计数器 1、计数器 2, 有中断控制器 8259 中的 IRQ5, IRQ6 中断输入, 固定时钟 (1.229MHz) 输出	B8
	采样/保持器	采样/保持器 LF398, 单稳态电路 4538	B4
	虚拟示波器	2 个通道模拟信号输入, 输入信号可不衰减输入, 也可衰减 5 倍后输入	B3
	基准电压单元	+Vref (+5.00V), -Vref (-5.00V)	B6
C 实验区	步进电机模块	步进电机 35BY48	C1
	直流电机模块	直流电机 BY25, 直流电压驱动, 脉冲测速及电压测速输出	C2
	温控模块	模拟电压加热及脉宽控制加热, 热敏电阻测温	C3
	外设接口模块	6 路开关量输入和 8 路开关量输出, TTL 电平兼容。1 路测温传感器 (铂电阻 PT100) 输入及控制固态继电器输出	C4
D 实验区	显示与功能选择	5 位 8 段数码管、四个功能选择按键和 16 个指示灯。具有独立于实验机的 CPU 控制模块, 提供控制对象输出显示, 提供函数发生器 (B5) 的输出切换控制和输出数据显示	D1

1.2 虚拟示波器

1. 虚拟示波器的显示方式

为了满足自动控制不同实验的要求我们提供了示波器的 4 种显示方式。

(1) 示波器的时域显示方式

(2) 示波器的相平面显示 (X-Y) 方式

(3) 示波器的频率特性显示方式有对数幅频特性显示、对数相频特性显示 (伯德图)、

幅相特性显示方式（奈奎斯特图）、时域分析（弧度）显示方式。

（4）示波器的计算机控制显示方式

2. 虚拟示波器的设置

用户可以根据不同的要求选择不同的示波器，具体设置方法如下：

（1）示波器的一般用法：运行 LABACT 程序，选择“工具”栏中的“单迹示波器”项或“双迹示波器”项，将可直接弹出该界面。“单迹示波器”项的频率响应要比“双迹示波器”项高，将可观察每秒 6500 个点；“双迹示波器”项只能观察每秒 3200 个点。点击“开始”即可当做一般的示波器使用。

（2）实验使用：运行“LABACT”程序，选择“自动控制/微机控制/控制系统”菜单下的相应实验项目，就会弹出虚拟示波器的界面，点击“开始”即可使用本实验机配套的虚拟示波器（B3）单元的 CH1、CH2 测孔测量波形。

二、预习及报告

为避免因准备不充分而影响实验顺利进行，实验者应事先预习并写出预习报告，内容包括：

1. 熟悉本次实验所用设备、仪器的使用方法；
2. 预习与本次实验有关的原理、计算方法及操作要领等；
3. 与每次实验相应的实验讲义内容。

在充分预习的基础上写出预习报告，应包括：

1. 根据实验内容提供的方块图，绘制模拟电路图，并确定有关元件参数；
2. 根据实验要求拟定出实验步骤；
3. 估计实验中会出现的问题并考虑如何解决；
4. 准备好实验数据记录表格。

三、实验及实验报告

在充分预习的基础上方可参加实验，并要求：

1. 遵守实验室纪律，注意人身、设备安全；
2. 照图接线。连线插头要注意正确使用，经指导教师检查后通电；
3. 认真观察、记录实验现象和数据；
4. 发生事故应及时断电并报告；
5. 实验结束后，照原样整理好实验仪器和设备；
6. 认真按期完成实验报告。



第 1 章 Matlab 与 Simulink 基础

1.1 Matlab 与 Simulink 简介

一、Matlab 语言

Matlab 语言是当今科学界 (Simulink 尤其在自动控制领域) 最具影响力、也是最有活力的软件。它起源于矩阵运算, 并已经发展成一种高度集成的计算机语言。它提供了强大的科学运算、灵活的程序设计流程、高质量的图形可视化与界面设计、便捷的与其他程序和语言接口的功能。Matlab 语言是集数值计算、符号运算和图形处理等强大功能于一体的科学计算语言, 适用于工程应用领域的分析、设计和复杂计算, 而且易学易用, 不要求使用者具备高深的数学知识和编程技巧, 现已成为大学教学和科研中最常用的工具, 掌握该工具将大大提高课程教学、解题作业、分析研究的效率。

Matlab 产品家族是美国 MathWorks 公司开发的用于概念设计, 算法开发, 建模仿真, 实时实现的理想的集成环境。由于其完整的专业体系和先进的设计开发思路, 使得 Matlab 在多种领域都有广阔的应用空间, 特别是在 Matlab 的主要应用方向——科学计算、建模仿真以及信息工程系统的设计开发上已经成为行业内的首选设计工具, 全球现有超过五十万的企业用户和上千万的个人用户, 广泛的分布在航空航天、金融财务、机械化工、电信、教育等各个行业, Matlab 语言在各国高校与研究单位起着重大的作用

在 Matlab 产品家族中, Matlab 工具箱是整个体系的基座, 它是一个语言编程型 (M 语言) 开发平台, 提供了体系中其他工具所需要的集成环境 (比如 M 语言的解释器)。同时由于 Matlab 对矩阵和线性代数的支持使得工具箱本身也具有强大的数学计算能力。Matlab 产品体系的演化历程中最重要的一個体系变更是引入了 Simulink, 用来对动态系统建模仿真。其框图化的设计方式和良好的交互性, 对工程人员本身计算机操作与编程的熟练程度的要求降到了最低, 可以把更多的精力放到理论和技术的创新上去。针对控制逻辑的开发, 协议栈的仿真等要求, MathWorks 公司在 Simulink 平台上还提供了用于描述复杂事件驱动系统的逻辑行为的建模仿真工具——Stateflow, 通过 Stateflow, 用户可以用图形化的方式描述事件驱动系统的逻辑行为, 并无缝的结合到 Simulink 的动态系统仿真中。

在这样一个产品体系中, 可以看到, 由于 Matlab 及其丰富的 Toolbox 资源的支持, 使得用户可以方便地进行具有开创性的建模与算法开发工作, 并通过 Matlab 强大的图形和可视化能力反映算法的性能和指标。所得到的算法则可以在 Simulink 环境中以模块化的方式实现, 通过全系统建模, 进行全系统的动态仿真以得到算法在系统中的动态验证。

从 Matlab 的产品体系可以看到,应用 Matlab 作为统一的集成开发平台结合第三方硬件工具,可以实现从算法开发到系统仿真优化再到硬件实现的完整过程。这一平台在工业领域的典型应用有:

(1) 控制器及控制对象的设计开发——快速控制原型及硬件在回路仿真(比如结合 dSPACE 硬件仿真机系统)

(2) 信号处理系统的设计开发——全系统仿真及快速原型验证(比如结合 TIDSP)

(3) 通信系统设计开发——Bit True 和 Cycle True 的算法验证(比如结合 RadioLab3G 和 Candence)

(4) 机电液一体化设计开发——全系统联合仿真(比如结合 Easy5 和 Adams)

总之,MathWorks 致力于工程师,科研工作者提供最好的语言,最好的工具和环境,扩大工程师的视野,提高生产率,增进学习能力,进行开创性的研究工作。今天,Matlab 已经成为广大科研人员的最值得信赖的助手和朋友。

二、Simulink

Simulink 是一种用于实现计算机仿真的软件工具,它是 Matlab 的一个附加组件,用来提供一个系统级的建模与动态仿真工作平台。用模块组合的方法使用户能够快速、准确地创建动态系统的计算机模型。

Simulink 模型可以用来模拟几乎所有可遇到的动态系统,如模拟线性或非线性、连续或离散或者两者的混合系统。同时,Simulink 是开放式的,允许用户定制自己的模块和模块库,而且它比较翔实的帮助系统便于应用。

对于建模,Simulink 提供了一个图形化的用户界面(GUI),可以直接用鼠标点击和拖拉模块的图标建模。这是以前需要用编程语言明确地用公式表达微分方程的仿真软件包所无法比拟的。Simulink 包括一个由信号源、接收器、线性和非线性组件以及中间的连接器件组成的模块库,同时可以根据用户自己的需要创建相应的模块。

目前,随着软件的不断升级和计算机技术的飞速发展,Simulink 已经在学术和工业领域得到了广泛的应用,世界上很多知名的大公司已经使用 Simulink 作为产品设计和开发的工具。因此,在教学过程中加入 Simulink 的内容,不仅可以激励学生不断地提出新问题,并对问题进行建模分析,同时使他们的知识能够学有所用。

1.2 基于 Matlab 连续系统的仿真练习

练习: Matlab 基础训练

一、实验目的

在研究系统的结构和参数的变化对系统性能的影响时,采用解析和作图的方法比较麻烦,而且误差也大,用 Matlab 仿真实现则简单方便,精度高。本实验采用 Matlab 实现控制系统的数学描述、控制系统的时域分析及根轨迹和频率特性分析。通过该实验,加



深学生对系统阶次、型号、参数与系统性能的关系的理解。

二、实验环境

在计算机 Windows 环境下安装好 Matlab6.3 以上版本后,双击 Matlab 图标或成“开始”菜单打开 Matlab,即可进入 Matlab 集成环境。

三、Matlab 应用实例

1. 拉氏变换和反变换

例 求 $f(t) = t^2 + 2t + 2$ 的拉氏变换。

解

```
键入 syms s t;
      ft=t^2+2*t+2;
      st=laplace(ft,t,s)
```

运行结果为 st=

$$2/s^3 + 2/s^2 + 2/s$$

例 求 $F(s) = \frac{s+6}{(s^2+4s+3)(s+2)}$ 的拉氏反变换。

解

```
键入 syms s t;
      Fs=(s+6)/(s^2+4*s+3)/(s+2);
      ft=ilaplace(Fs,s,t)
```

运行结果为 ft=

$$3/2 * \exp(-3*t) + 5/2 * \exp(-t) - 4 * \exp(-2*t)$$

2. 求根运算

例 求多项式 $p(s) = s^3 + 3s^2 + 4$ 的根,再由根建多项式。

解

```
键入 p=[1 3 0 4];
      r=root(p)
```

运行结果为 r=

$$-3.3553$$

$$0.1777 + 1.0773i$$

$$1.7777 - 1.0773i$$

```
键入 p=poly(r)
```

运行结果为 p=

$$1.0000 \quad 3.0000 \quad 0.0000 \quad 4.0000$$

例 实现多项式相乘: $(3s^2 + 2s + 1)(s + 4)$, 并求 $s = -5$ 时的值。

解

键入 $p=[3 \ 2 \ 1]; q=[1 \ 4];$

$n=\text{conv}(p,q)$

运行结果为 $n=$

3 14 9 4

键入 $\text{vlaue}=\text{polyval}(n,-5)$

运行结果为 $\text{value}=-66$

3. 微分方程求解

例 解下列微分方程:

$$3 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 3 \frac{dy(t)}{dt} + 2y(t) = 1 \quad \text{初始条件 } y(0) = y'(0) = 0$$

解

键入 $y=\text{dsolve}('3*D2y+3*Dy+2*y=1','y(0)=0,Dy(0)=0')$

运行结果为 $y=$

$$1/2 - 1/2 * \exp(-1/2 * t) * \cos(1/6 * 15^{1/2} * t) - 1/10 * 15^{1/2} * \exp(-1/2 * t) * \sin(1/6 * 15^{1/2} * t)$$

4. 传递函数

例 求如图 1-1 所示系统的传递函数。

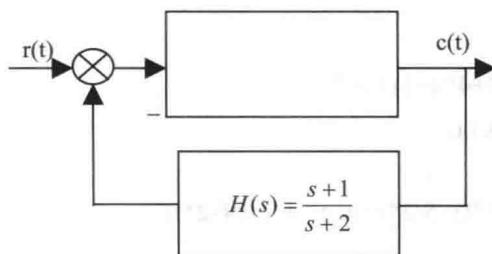


图 1-1 系统的传递函数

解

键入 $\text{numg}=[1]; \text{deg}=[500 \ 0 \ 0];$

$\text{numh}=[1 \ 1]; \text{denh}=[1 \ 2];$

$[\text{num}, \text{den}]=\text{feedback}(\text{numg}, \text{deg}, \text{numh}, \text{denh}, -1);$

$\text{printsys}(\text{num}, \text{den})$

运行结果为 $\text{num}/\text{den}=$

$$s+2$$

$$500s^3 + 1000s^2 + s + 1$$

其中, 由函数 $\text{printsys}(\text{num}, \text{den})$ 打印出传递函数。

5. 系统输出响应及性能分析