



三导丛书

自动控制原理

(第四版)

导教 · 导学 · 导考

DAOJIAO DAOXUE DAOKAO

刘慧英 主编

- 重点内容提要
- 知识结构图
- 考点及典型题选解
- 课后习题全解

西北工业大学出版社

三导丛书

自动控制原理

(第四版)

身教 · 身学 · 身考

刘慧英 主编

刘慧英 卢京潮 袁冬莉
程咏梅 赵忠 贾秋玲 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书共 10 章。1~8 章介绍经典控制理论的内容;9,10 章介绍现代控制理论的有关内容。全书由重点内容提要、知识结构图、考点及典型题选解,以及与胡寿松主编的《自动控制原理》(第四版)配套的各章课后习题与解答等组成。

本书可作为工科自动化、信息技术、机电一体化、仪表及测试技术等专业的本科生以及自学者学习自动控制原理课程的参考书和考研与课程考试指导书。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理 导教·导学·导考/刘慧英主编. —西安:西北工业大学出版社,2003.9

(三导丛书)

ISBN 7 - 5612 - 1660 - 2

I. 自… II. 刘… III. 自动控制理论—高等学校—教学参考资料 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 045165 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:029-8493844

网 址:www.nwpu.com

印刷者:陕西天元印务有限公司

开 本:850 mm×1 168 mm 1/32

印 张:13.125

字 数:446 千字

版 次:2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~8 000 册

定 价:18.00 元

前 言

为了适应自动控制理论课程的教学需要，应西北工业大学出版社的约请，特编写了本书，供学习自动控制理论课程的读者和教师参考。

本书主要内容是全解了胡寿松主编的《自动控制原理》（第四版）中的各章课后习题，并系统全面地总结了自动控制理论的主要内容。全书共 10 章，经典控制理论，由 1~8 章组成。其中 1~6 章介绍以传递函数为基础的线性系统的分析和设计方法，给出了经典控制理论中的三种基本分析方法（时域法、根轨迹法和频域法）以及线性系统的频率设计方法；第 7 章介绍离散系统的分析与设计方法；第 8 章主要介绍描述函数法和相平面法两种常用的非线性系统分析方法。第 9 章介绍线性系统的状态空间分析与综合，给出了系统可控性与可观测性判据、李亚普诺夫稳定性分析及反馈结构和状态观测器的设计等问题。第 10 章介绍最优控制的基本原理、方法以及应用。每章包括重点内容提要、知识结构图、考点及典型题选解和课后习题全解等。在书后的考研真题中还附有近三年的西北工业大学研究生入学试题及参考答案。本书对

于使用原教材以及学习该课程的读者来说是一部知识内容全面、实用性强的教学与学习指导书。它有利于帮助读者了解课程的知识结构，掌握课程学习的主要内容，对培养读者的思维能力和创新能力，树立理论联系实际的科学观点，提高综合分析问题和解决问题的能力等，都有着较好的帮助作用。

参加本书编写的作者都是西北工业大学自动控制系的教师，他们多年来一直工作在教学和科研第一线，从事自动控制原理课程的教学工作，具有丰富的教学和实践经验。各章的编写者是卢京潮（1，3章）、袁冬莉（4，6章）、程咏梅（7章）、赵忠（9章）、贾秋玲（10章）、刘慧英（2，5，8章以及全书的统稿）。此外，在本书的编写过程中，戴春蕾、李丽锦、徐晓东等参加了第8章和第9章习题的解答、绘图和书稿的整理等工作。

在本书的编写和出版过程中得到了西北工业大学自动化学院教学督导组的老教师们和负责教学管理工作的栾云风副院长的支持和帮助，在此深致谢忱。

由于作者水平所限，书中难免会有错误和不妥之处，恳请读者指正。

编 者

2003年6月

目 录

前言	1
第 1 章 自动控制的一般概念	1
1.1 重点内容提要	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 基本控制方式	1
1.1.3 反馈控制系统的组成	2
1.1.4 控制系统的分类	2
1.1.5 对控制系统的基本要求	2
1.2 知识结构图	3
1.3 考点及典型题选解	3
1.3.1 典型题	3
1.3.2 典型题解析	7
1.4 课后习题全解	10
第 2 章 控制系统的数学模型	20
2.1 重点内容提要	20
2.1.1 微分方程	20
2.1.2 传递函数	21
2.1.3 结构图	23
2.1.4 信号流图	25
2.1.5 梅森增益公式	25

2.1.6	控制系统的传递函数	25
2.2	知识结构图	26
2.3	考点及典型题选解	27
2.3.1	典型题	27
2.3.2	典型题解析	30
2.4	课后习题全解	33
第3章	线性系统的时域分析法	68
3.1	重点内容提要	68
3.1.1	稳定性	68
3.1.2	稳态误差计算	68
3.1.3	系统动态性能指标计算	70
3.2	知识结构图	71
3.3	考点及典型题选解	71
3.3.1	典型题	72
3.3.2	典型题解析	74
3.4	课后习题全解	79
第4章	线性系统的根轨迹法	97
4.1	重点内容提要	97
4.1.1	绘制根轨迹的基本条件	97
4.1.2	绘制根轨迹的基本法则	98
4.1.3	根轨迹与系统性能的关系	100
4.2	知识结构图	101
4.3	考点及典型题选解	101
4.3.1	典型题	102
4.3.2	典型题解析	103
4.4	课后习题全解	105
第5章	线性系统的频域分析法	134
5.1	重点内容提要	134
5.1.1	频率特性	134

5.1.2	频率特性的几何表示	134
5.1.3	频率特性的绘制	134
5.1.4	稳定判据与稳定裕度	136
5.1.5	频域性能指标与时域动态性能指标的关系	138
5.1.6	三频段与系统性能的关系	139
5.2	知识结构图	141
5.3	考点及典型题选解	141
5.3.1	典型题	141
5.3.2	典型题解析	145
5.4	课后习题全解	148
第 6 章	线性系统的校正方法	168
6.1	重点内容提要	168
6.1.1	校正方式	168
6.1.2	常用校正装置及特性	169
6.1.3	串联校正装置的设计步骤	171
6.1.4	控制系统的性能指标	172
6.1.5	三频段理论在系统校正中的应用	173
6.2	知识结构图	173
6.3	考点及典型题选解	174
6.3.1	典型题	174
6.3.2	典型题解析	176
6.4	课后习题全解	178
第 7 章	线性离散系统的分析与校正	217
7.1	重点内容提要	217
7.1.1	离散系统的基本概念	217
7.1.2	信号采样与保持的数学描述	217
7.1.3	z 变换理论	218
7.1.4	离散系统的数学模型	220
7.1.5	离散系统的稳定性与稳态误差	223

7.1.6	离散系统的动态性能分析	227
7.1.7	离散系统设计——最少拍系统设计	229
7.2	知识结构图	230
7.3	考点及典型题选解	231
7.3.1	典型题	231
7.3.2	典型题解析	233
7.4	课后习题全解	237
第8章	非线性控制系统分析	259
8.1	重点内容提要	259
8.1.1	非线性控制系统概述	259
8.1.2	描述函数法	260
8.1.3	相平面法	263
8.2	知识结构图	266
8.3	考点及典型题选解	266
8.3.1	典型题	267
8.3.2	典型题解析	270
8.4	课后习题全解	276
第9章	线性系统的状态空间分析与综合	313
9.1	重点内容提要	313
9.1.1	线性系统的状态空间描述	313
9.1.2	线性系统的可控性与可观测性	315
9.1.3	线性定常系统的线性变换	317
9.1.4	线性定常系统的反馈结构及状态观测器	317
9.1.5	李亚普诺夫稳定性分析	318
9.2	知识结构图	320
9.3	考点及典型题选解	321
9.3.1	典型题	322
9.3.2	典型题解析	324
9.4	课后习题全解	327

第 10 章 动态系统的最优控制方法	359
10.1 重点内容提要	359
10.1.1 基本概念	359
10.1.2 基本原理	361
10.2 知识结构图	365
10.3 考点及典型题选解	365
10.3.1 典型题	365
10.3.2 典型题解析	367
10.4 课后习题全解	372
附录 I 考研真题	397
一、2001 年西北工业大学硕士研究生入学考试自动控制原理 试题	397
二、2002 年西北工业大学硕士研究生入学考试自动控制原理 试题	400
三、2003 年西北工业大学硕士研究生入学考试自动控制原理 试题	403
附录 II 考研真题简要解答	406
一、2001 年西北工业大学硕士研究生入学考试自动控制原理 试题简要解答	406
二、2002 年西北工业大学硕士研究生入学考试自动控制原理 试题简要解答	407
三、2003 年西北工业大学硕士研究生入学考试自动控制原理 试题简要解答	408
参考文献	410

第 1 章 自动控制的一般概念

1.1 重点内容提要

1.1.1 基本概念

1. 常用术语

(1) 自动控制 在没有人直接参与的情况下,利用控制装置,使被控对象的被控量自动按指定规律变化。

(2) 自动控制系统 能自动对被控对象的被控量(或工作状态)进行控制的系统。

(3) 被控对象 指工作状态需要给以控制的机械、装置或过程。

(4) 被控量 描述被控对象工作状态的物理量,也是系统的输出量。

(5) 给定量 也称输入量,表征被控量的希望运行规律。

(6) 扰动量 也称干扰量,是引起被控量偏离预定运行规律的量。

2. 控制系统的任务

减小或消除扰动量的影响,使被控对象的被控量始终按给定量确定的运行规律去变化。

3. 负反馈控制原理

将系统的输出信号引回输入端,与给定输入信号相比较,利用所得的偏差信号产生控制作用调节被控对象,达到减小偏差或消除偏差的目的。

负反馈控制原理是闭环控制(负反馈控制)系统的本质机理。

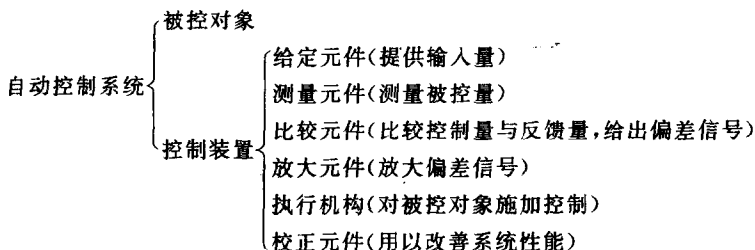
1.1.2 基本控制方式

开环控制 输出量对系统控制作用不产生影响的系统。

闭环控制 输出量对系统控制作用产生直接影响的系统。

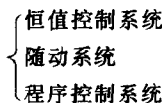
复合控制 既有顺馈控制又有反馈联系的系统。

1.1.3 反馈控制系统的组成

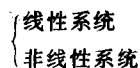


1.1.4 控制系统的分类

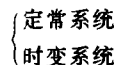
1. 按给定输入的形式



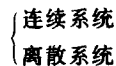
2. 按系统是否满足叠加原理



3. 按系统参数是否随时间变化



4. 按信号传递是否连续



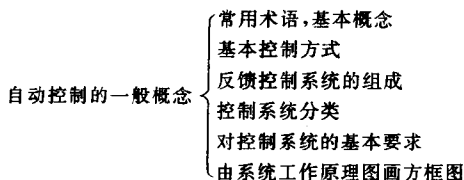
1.1.5 对控制系统的基本要求

稳:基本要求。系统稳定是系统正常工作的必要条件。

准:稳态要求。要求系统稳态控制精度高, 稳态误差要小。

快:动态要求。要求系统快速平稳地完成过渡过程, 超调量要小, 调节时间要短。

1.2 知识结构图



1.3 考点及典型题选解

本章所涉及的自动控制方面的基本概念,是以后课程学习的基础,有关内容在诸如问答、填空和选择类型的考题中常会涉及。在掌握基本概念的基础上,还应熟悉线性定常系统微分方程的特点,并通过练习,掌握由系统工作原理图画出方框图的方法。

1.3.1 典型题

1. 根据图 1.3.1 所示的电动机速度控制系统工作原理图

- (1) 将 a, b 与 c, d 用线连接成负反馈系统;
- (2) 画出系统方框图。

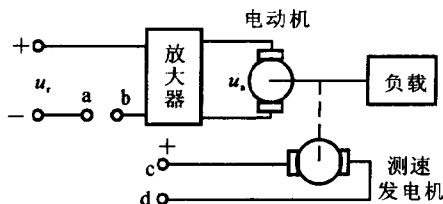


图 1.3.1 速度控制系统原理图

2. 图 1.3.2 是控制导弹发射架方位的电位器式随动系统原理图。图中电位器 P_1, P_2 并联后跨接到同一电源 E_0 的两端,其滑臂分别与输入轴和输出轴相连接,以组成方位角的给定装置和反馈装置。输入轴由手轮操纵;输出轴则由直流电动机经减速器后带动,电动机采用电枢控制方式工作。

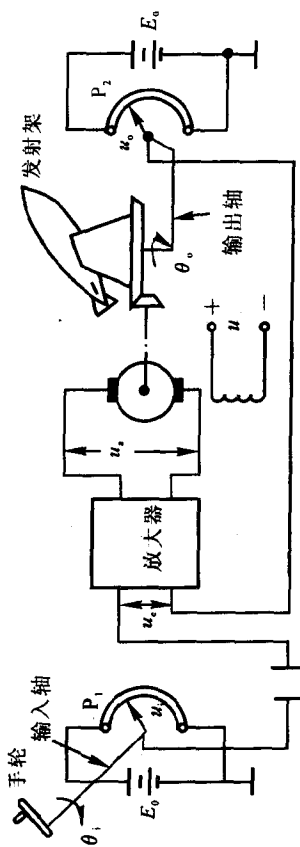


图 1.3.2 导弹发射架方位角控制系统原理图

试分析系统的工作原理,指出系统的被控对象、被控量和给定量,画出系统的方框图。

3. 工作台位置液压控制系统如图 1.3.3 所示。系统可以使工作台按照控制电位器给定的规律变化。要求:

- (1) 指出系统的被控对象,被控量和给定量,画出系统方框图。
- (2) 说明控制系统中控制装置各组成部分。

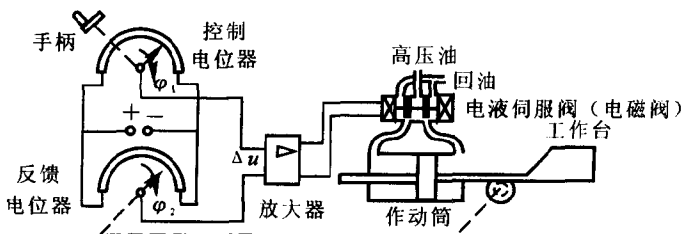


图 1.3.3 工作台液压伺服系统工作原理图

4. 摄像机角位置自动跟踪系统如图 1.3.4 所示。当光点显示器对准某个方向时,摄像机会自动跟踪并对准这个方向。试分析系统的工作原理,指出被控对象、被控量和给定量,画出系统方框图。

5. 图 1.3.5(a), (b) 均为调速系统。

(1) 分别画出图(a), 图(b) 对应系统的方框图。给出图(a) 正确的反馈连线方式。

(2) 在恒值输入条件下, 图(a), 图(b) 中哪个是有差系统, 哪个是无差系统, 说明其道理。

6. 试判别以下方程描述系统的类型(线性或非线性, 定常或时变, 动态或静态)。

$$(1) \dot{c}(t) + \cos \omega t c(t) = r(t)$$

$$(2) \ddot{c}(t) + e^{-t} \dot{c}(t) + 2\dot{c}(t) \cdot c(t) = t\dot{r}(t) + r(t)$$

$$(3) \ddot{c}(t) + 2\dot{c}(t) + 4c(t) = 2\dot{r}(t)$$

$$(4) \ddot{c}(t) + \dot{c}(t) + 5c(t) + \int_0^t c(t) dt = 8r(t), \quad c(t) = 0 \quad (t \leq 0)$$

$$(5) c(t) = r^2(t)$$

$$(6) \ddot{c}(t) + 4c(t) = \begin{cases} 4r(t), & 0 \leq t < 1 \\ r(t), & t \geq 1 \end{cases}$$

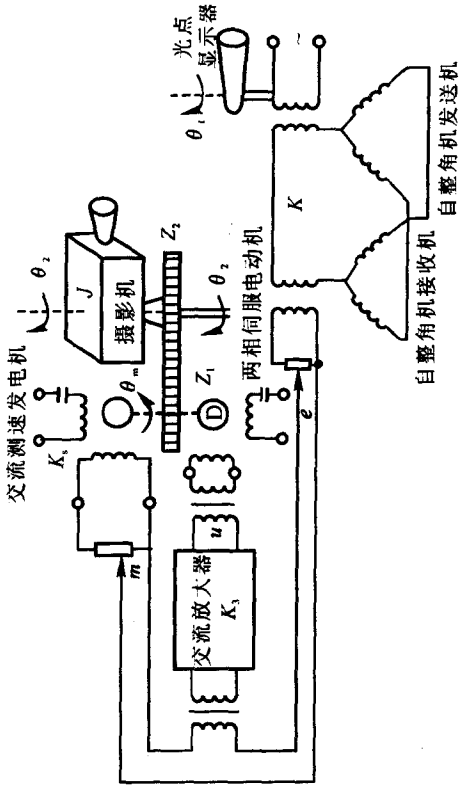
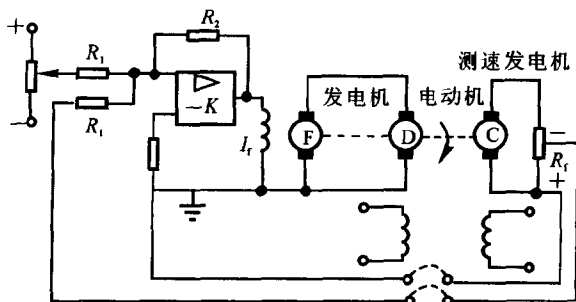
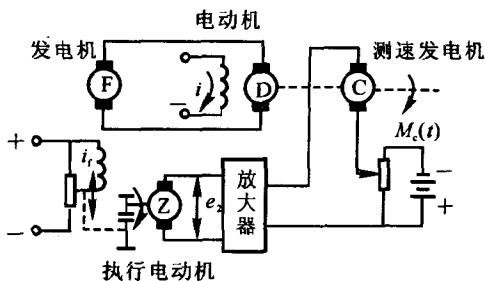


图 1.3.4 摄像机角位置随动系统原理图



(a)



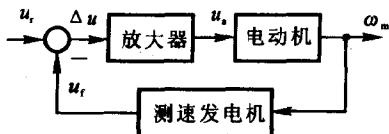
(b)

图 1.3.5 调速系统工作原理图

1.3.2 典型题解析

1. (1) 负反馈连接方式为: $a \leftrightarrow d, b \leftrightarrow c$;

(2) 系统方框图如图解 1.3.1 所示。



图解 1.3.1 速度控制系统方框图