

工科课程提高与应试丛书

- 涵盖课程重点及难点
- 精设典型题详解及评注
- 选配课程考试模拟及全真试卷

卢京潮 刘慧英 编

自动控制原理

典型题解析及自测试题



西北工业大学出版社

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书是根据高等工科院校自动控制原理教学大纲的基本要求编写的,书中归纳了经典控制理论和线性系统状态空间分析的基本内容。全书共分两部分。第一部分由 9 章组成,为知识要点及典型题解析,通过丰富的典型例题和必要的评注帮助读者理解概念,掌握解题方法和技巧;第二部分给出 6 套自测试题,便于读者测试自己的学习水平。附录中给出了各章习题及自测试题的参考答案。

本书可作为工科院校本、专科学生或自学者学习自动控制原理的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理典型题解析及自测试题/卢京潮,刘慧英编. —西安:西北工业大学出版社,2000. 11

(工科课程提高与应试丛书)

ISBN 7-5612-1289-5

I. 自... II. ①卢... ②刘... III. 自动控制理论-高等学校-习题 N. TP13-44

中国版本图书 CIP 数据核字(2000)第 52127 号

西北工业大学出版社出版发行

(邮编: 710072 西安市友谊西路 127 号 电话: 8493844)

全国各地新华书店经销

西安市向阳印刷厂印装

*

开本: 850 毫米×1 168 毫米 1/32 印张: 12. 625 插页 1 字数: 312 千字

2001 年 1 月第 1 版

2001 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1~8 000 册 定价: 16. 00 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前 言

“自动控制原理”是工科院校控制专业本科生的重要技术基础课。随着自动控制技术在社会生产、生活各个领域的广泛应用,越来越多的非控制类专业也将该课程列入必修课。为帮助学生和自学者学习掌握自动控制原理课程内容,测试自己的学习水平,特编写此书,希望对读者有所帮助。

本书参考了许多院校的“自动控制原理”教材,根据高等工科院校自动控制原理教学大纲及对非控制类专业学生的教学要求,针对经典控制理论及线性系统理论的有关内容,涵盖课程要点和难点,通过丰富的典型例题,以题释理,强调解题的思路、方法和步骤;在例题后附有必要的评注,辨析课程学习中容易混淆的概念,解难释疑,拓展思路,灵活掌握解题方法和技巧。

本书第一部分共分9章。第1章介绍自动控制原理中的常用术语和概念,讲解系统方框图的建立方法。第2章介绍了系统教学模型的概念,围绕系统传递函数的建立和应用,讨论了结构图等简化简、梅逊增益公式和系统方程求解等问题。第3章介绍线性系统的时域分析法,分析系统的稳定性,计算系统的动态性能和稳态性能。第4章介绍线性系统的根轨迹法,讨论根轨迹的概念、绘制法则和利用根轨迹分析系统性能的方法。第5章介绍线性系统的频域分析法,讨论频率特性的定义、绘制方法、频域稳定判据、稳定裕度以及相应的性能估算方法。第6章介绍线性系统的校正方法,重点放在串联法频域校正上。第7章介绍线性离散系统分析的基本方法。第8章介绍非线性系统的描述函数法及相平面分析法的基本知识。第9章介绍线性系统状态空间分析法的有关内容。

为了便于读者检验自己的学习水平,第二部分给出了 6 套自测试题。在附录中给出了各章习题及自测试题的参考答案。

本书由西北工业大学自动控制系教师卢京潮、刘慧英编写。刘慧英编写第一部分的第 2,4,5,6 章及相应的参考答案,其余部分由卢京潮编写。

由于作者水平有限,书中难免会有错误和不妥之处,恳请各位读者不吝指正。

编 者

2000 年 9 月

目 录

第一部分 典型题解析

第 1 章 控制系统的一般概念	1
一、内容提要	1
二、典型题解析	3
习题	9
第 2 章 控制系统的数学模型	12
一、内容提要	12
二、典型题解析	17
习题	42
第 3 章 线性系统的时域分析法	47
一、内容提要	47
二、典型题解析	53
习题	81
第 4 章 线性系统的根轨迹法	86
一、内容提要	86
二、典型题解析	90
习题	110
第 5 章 线性系统的频域分析法	113
一、内容提要	113
二、典型题解析	123
习题	147

第 6 章 线性系统的校正方法	153
一、内容提要	153
二、典型题解析	162
习题	190
第 7 章 线性离散系统的分析与校正	196
一、内容提要	196
二、典型题解析	203
习题	233
第 8 章 非线性控制系统分析	236
一、内容提要	236
二、典型题解析	243
习题	272
第 9 章 线性系统的状态空间分析与综合	276
一、内容提要	276
二、典型题解析	284
习题	343

第二部分 自测试题

自测试题一	353
自测试题二	355
自测试题三	358
自测试题四	361
自测试题五	363
自测试题六	366

附录 习题及自测试题答案

附录一 习题答案·····	370
附录二 自测试题答案·····	389
参考文献·····	395

第一部分 典型题解析

第 1 章 控制系统的一般概念

一、内容提要

1. 基本概念

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的按预定规律变化。

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。

被控对象 指工作状态需要给以控制的机械、装置或过程。

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。

给定量 也称控制量,表征被控量的希望运行规律。

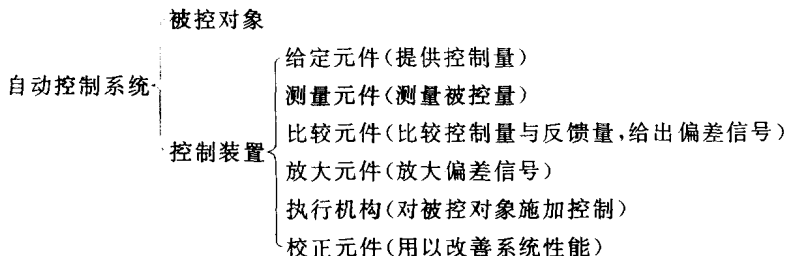
扰动量 也称干扰量,是引起被控量偏离预定运行规律的量。

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。

基本控制方式 开环控制,闭环控制,复合控制。

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。负反馈控制原理是构成闭环控制(负反馈控制)系统的核心。

反馈控制系统的组成(见图 1.1)



控制系统的分类

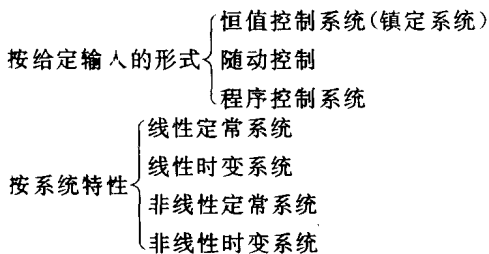


图 1.1

对控制系统的基本要求

稳 要求系统稳定,这是系统正常工作所必须具备的基本条件。

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。

2. 难点

本章的难点在于根据不同自动控制系统的工作原理图,正确

分析其工作原理,并画出系统的方框图(方块图)。

3. 基本要求

掌握有关自动控制的基本概念,明确控制系统的任务、组成及控制装置各部分的作用。

了解系统的基本控制方式及特点,正确理解负反馈控制原理。
正确理解对控制系统稳、准、快的要求。

通过练习,掌握由系统工作原理图画出系统方框图的方法。

掌握线性定常系统微分方程的特点。

二、典型题解析

例 1.1 炉温控制系统如图 1.2 所示。要求:

(1) 指出系统的被控对象、被控量和给定量。指出控制装置的各组成部分,画出系统方框图。

(2) 说明该系统是怎样得到偏差,怎样减小或消除偏差的。

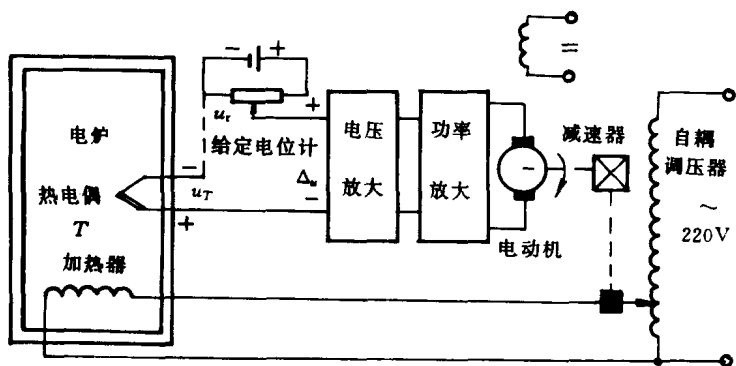


图 1.2 炉温控制系统工作原理图

解 分析 依题意,系统控制的目的是保持电炉内温度恒

定,故可确定被控对象是电炉。

(1) 被控对象为电炉,被控量为电炉内温度 T ,给定量为给定电位计输出电压 u_r 。

控制装置的各组成部分如下:

给定电位计为给定元件,输出代表炉内希望温度的电压信号 u_r 。热电偶为测量元件,感受炉内实际温度 T ,给出相应的电信号 u_T 。比较元件的功能由联接给定电位计和热电偶的串联电路实现,提供偏差信号 Δu 。电压放大器和功率放大器共同承担了放大元件的功能。电动机、减速器、自耦调压器和加热器一起组成了执行机构,对电炉温度进行调节(因加热器在电炉内,也可将其归到被控对象中)。

系统方框图如图 1.3 所示。

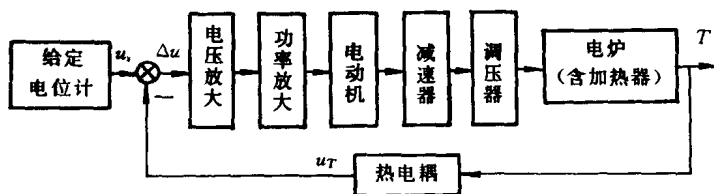


图 1.3 炉温控制系统方框图

(2) 当炉内实际温度与给定电位计电压 u_r 表征的希望温度一致时,热电偶输出电压 u_T 与 u_r 相等,偏差电压 $\Delta u = u_r - u_T = 0$ 。此时电动机电枢电压为 0,电动机不转动,系统相对平衡,炉温保持在希望值上。当炉温因扰动出现偏差,比如炉温低于希望值时, $u_T < u_r, \Delta u = u_r - u_T > 0$,偏差电压 Δu 经电压、功率放大器放大后驱动电动机正向旋转,带动减速器将调压器电刷向上移动,加热器两端电压增大,使炉内温度升高,趋于希望值。当炉温高于希望值时,调节作用相反。该系统是由偏差产生控制作用而消除偏差的闭环恒值控制系统。

【评注】 被控对象的确定取决于系统控制的目的和任务。本系统控制的目的是使电炉温度(被控量)保持在希望值。电炉温度是表征电炉工作状态的物理量,故被控对象是电炉,而不是加热器或加热器中的电流,等等。

方框图中的方框均表示系统中某一看得见、摸得着的物理实体,不能与物理量相混淆。方框两端带箭头的短线分别表示该物理实体的输入、输出信号(物理量),箭头表示信号的传递方向。比较点处的信号一定是相同性质的物理量,否则不可比较。引出点处信号的强度与引出支路数的多少无关,认为是理想的。反馈口处的“-”号表示系统处于负反馈状态。由于实际系统在主回路处于正反馈状态时一般都不稳定,所以主反馈口的“-”号不可缺省。

例 1.2 图 1.4 为一工作台位置液压控制系统。该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。

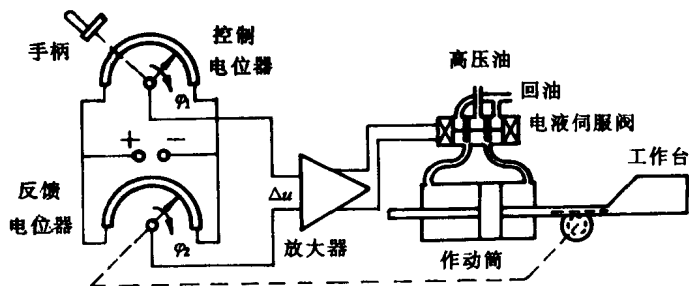


图 1.4 工作台液压伺服系统工作原理图

解 (1) 控制系统的功能是使工作台随控制电位器给定规律移动,所以被控对象是工作台,被控量是工作台的位移,给定量是控制电位器滑臂的转角(表征工作台的希望位置)。系统方框图如图 1.5 所示。

(2) 控制装置各组成部分如下:

手柄是给定元件,给出表征工作台希望位置的转角信号 φ_1 。齿条齿轮传动机构,完成测量元件的功能。由控制电位器、反馈电位器组成的电桥电路完成 φ_1 和 φ_2 (表征工作台实际位置) 的比较,给出偏差电压 Δu 。放大器是放大元件。电磁阀、作动筒组成执行机构,推动工作台移动。

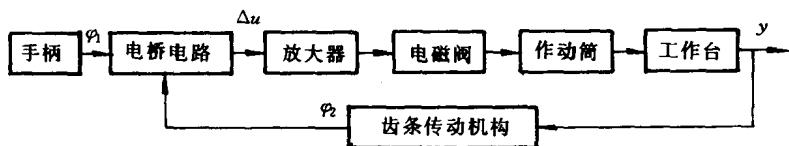


图 1.5 工作台液压伺服系统方框图

当工作台处于希望位置时,反馈电位计滑臂偏角 φ_2 与给定电位器滑臂偏角一致,电桥输出电压 Δu 为 0。此时电磁阀位于零位,工作台保持在希望位置上。当操纵手柄转动(如顺时针转动)时, $\varphi_2 \neq \varphi_1$, $\Delta u \neq 0$,放大器输出电压驱动电液伺服阀左移,高压油从作动筒左侧压入,推动工作台右移,带动齿轮顺时针转动。当 $\varphi_2 = \varphi_1$ 时,系统又在新的条件下达到平衡,工作台又处于新的希望位置上。操作手柄逆时针转动时的调节过程则正好相反。从而实现了工作台位置跟随手柄转角 φ_1 的规律而变化的控制目的。该系统属于闭环随动控制系统。

【评注】(1) 方框图的形式不一定是惟一的。根据分析问题的需要可将元部件分解得细一些,也可画得概括简洁一些,但各个方框所代表的具体元部件及各方框间的联系必须与实际情况一致。

(2) 要使系统稳定工作,系统必须处于负反馈状态。在负反馈状态下,任意改变系统主回路上某一处信号的极性(如控制电位器或反馈电位器的电源极性反接、放大器前端信号线对调、伺服阀前端信号线对调等),都会改变系统的反馈极性,成为正反馈状态。请读者自行分析系统在正反馈下的行为及可能出现的后果。

例 1.3 图 1.6(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。

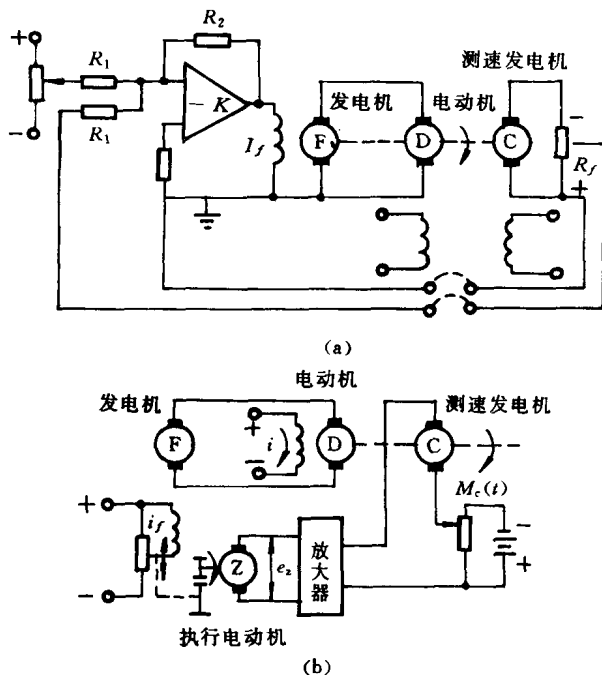


图 1.6 调速系统工作原理图

解 (1) 系统方框图如图 1.7 所示。

图 1.6(a) 正确的反馈连接方式如图 1.6(a) 中虚线所示。

(2) 图 1.6(a) 的系统是有差系统,图 1.6(b) 的系统是无差系统。

图 1.6(a) 中,当给定恒值电压信号,系统运行达到稳态时,电动机转速的恒定是以发电机提供恒定电压为条件,对应发电机激

磁绕组中电流一定是恒定值。这意味着放大器前端电压是非零的常值。因此,常值偏差电压存在是系统稳定工作的前提,故系统有偏。

图 1.6(b) 中,给定恒定电压,电动机恒定转动时,对应发电机励磁绕组中的励磁电流恒定,这意味着执行电动机处于停转状态,放大器前端电压必然为 0,故系统无差。

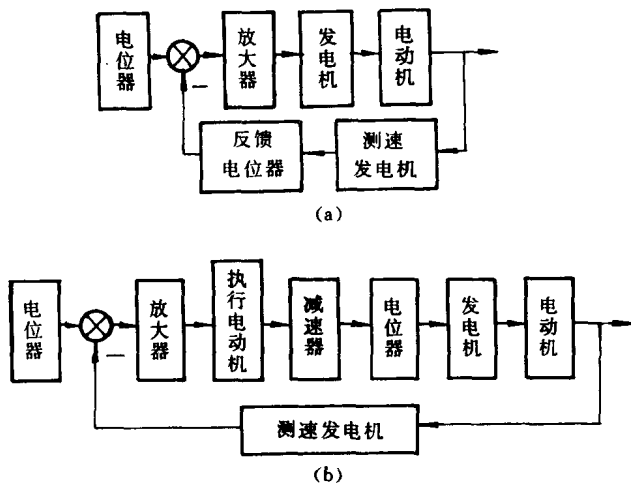


图 1.7 系统方框图

例 1.4 下列方程中, $r(t)$, $c(t)$ 分别表示系统的输入和输出,判断各方程所描述的系统的类型(线性或非线性、定常或时变、动态或静态)。

$$(1) 2t\ddot{c}(t) + 5\dot{c}(t) + e^{-t}c(t) = r(t)$$

$$(2) c(t) = r^2(t) + \sqrt{t}\ddot{r}(t)$$

$$(3) \ddot{c}(t) + 3\dot{c}(t) + 6c(t) + 10 = r(t)$$

$$(4) c(t) = e^{-r(t)}$$

$$(5) \ddot{c}(t) + 3\dot{c}(t)c^2(t) + 2c(t)\dot{r}(t) - r^2(t) = 0$$

$$(6) c(t) = \begin{cases} 0, & c(t) < 2 \\ 2r(t), & c(t) \geq 2 \end{cases}$$

解 将答案列表如下:

题号	非线性因素	时变因素	系统类型
(1)		t, e^{-t}	线性时变动态系统
(2)	$r^2(t)$	$\sqrt{t}$	非线性时变动态系统
(3)	10		非线性定常动态系统
(4)	$e^{-r(t)}$		非线性定常静态系统
(5)	$\dot{c}(t)c^2(t), c(t)\dot{r}(t), r^2(t)$		非线性定常动态系统
(6)	分段		非线性定常静态系统

【评注】 线性定常系统是自动控制原理研究的主要对象。掌握线性定常系统微分方程的特点,正确理解有关的概念是本课程的基本要求。

线性系统微分方程的一般形式是

$$c^{(n)}(t) + a_1 c^{(n-1)}(t) + a_2 c^{(n-2)}(t) + \cdots + a_{n-1} \dot{c}(t) + a_n c(t) = b_0 r^{(m)}(t) + b_1 r^{(m-1)}(t) + \cdots + b_{m-1} \dot{r}(t) + b_m r(t)$$

方程中的每一项均与 $c(t), r(t)$ 或其各阶导数有关,但不包含它们的高次项和交叉乘积项,也不包含常数项,否则对应非线性系统。当方程中的各项系数 $a_i (i=1, 2, \cdots, n), b_j (j=0, 1, \cdots, m)$ 均为常数(与时间无关)时,对应为定常(时不变)系统,否则为时变系统。当方程中只含有 $c(t)$ 和 $r(t)$ 而不包含其导数项时,方程成为代数方程,描述的是静态系统。

线性系统的本质特征是满足叠加性。当方程中含有常数项时,叠加性不满足,描述的系统是非线性的。在课程中,讨论实际系统的动态特性一般以 $t=0$ 为起点,在输入、输出的全部取值范围内而言的,因此分段特性系统不属于线性系统。

习 题

1.1 电压调节系统工作原理如图 1.8 所示。

- (1) 试确定系统的被控对象,被控量和给定量,画出系统方框图。
- (2) 说明控制装置各组成部分及其作用。
- (3) 分析系统工作原理。在给定恒值控制信号条件下,系统是否存在静差?
- (4) 按输入形式分类,系统属于哪一类?

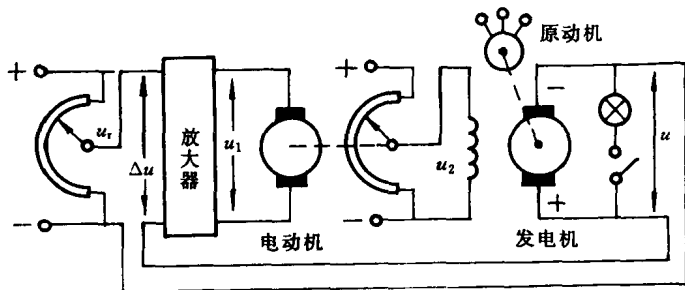


图 1.8 电压调节系统原理图

1.2 某具有速度反馈的随动系统工作原理如图 1.9 所示。

- (1) 确定系统的被控对象,被控量和给定量,画出系统方框图。
- (2) 说明控制装置各组成部分及其作用。
- (3) 分析系统工作原理,判断系统分别在恒值输入和等速输入条件下是否存在静差?

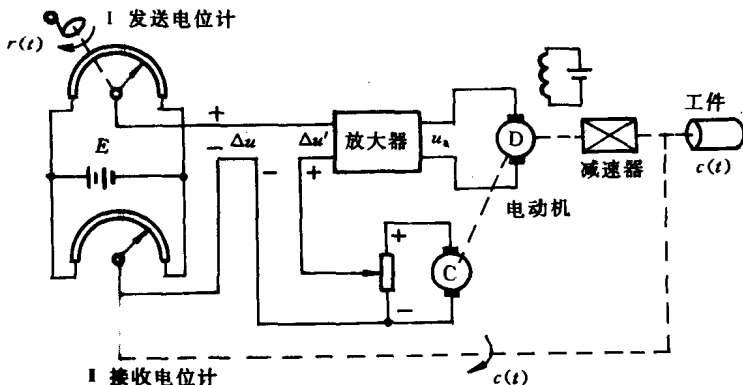


图 1.9 具有速度反馈的随动系统原理图