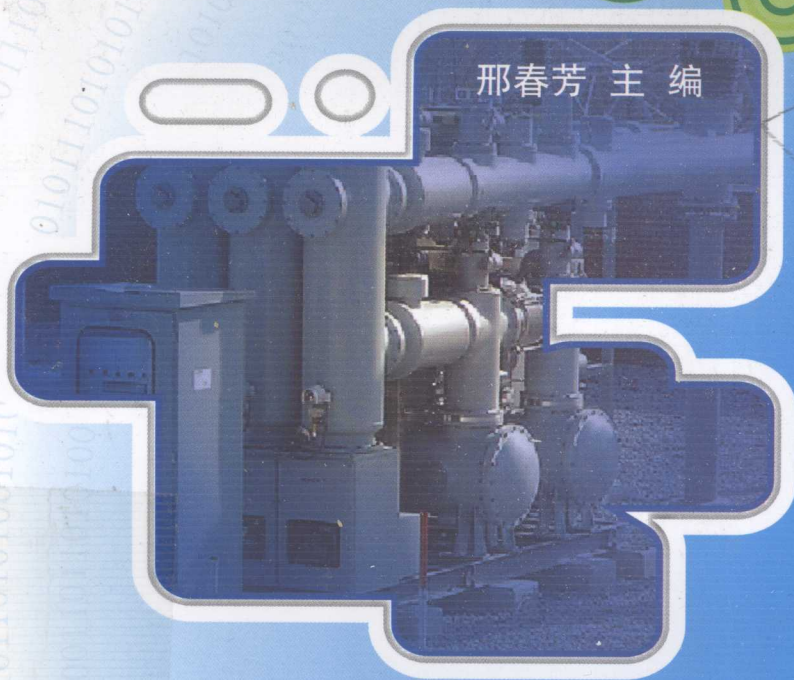




21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

自动控制原理

邢春芳 主 编



以简明的语言介绍概念，简化数学推导，增加实例说明，方便自学自用
从原理的角度对工程实例进行分析和设计，控制理论与工程实例相结合
增加综合性例题分析，加深对控制理论的理解并提高分析综合能力



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TP13/320

2013

内容简介

本书共分8章，主要介绍自动控制原理的基本概念、自动控制系统的组成、自动控制系统的数学模型、自动控制系统的稳定性、自动控制系统的校正、自动控制系统的综合设计、自动控制系统的仿真等。本书可作为高等院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材，也可供从事自动控制工作的工程技术人员参考。

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

自动控制原理

主 编 邢春芳
副主编 李正斌 张天鹏 尹 萍
主 审 赵书俊

北方工业大学图书馆



C00348123



北京大學出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书从实际应用出发,简明扼要地介绍了自动控制的基本理论及其工程应用。全书共分8章,内容包括自动控制系统概述、控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹分析法、频率特性法、控制系统的设计与校正、线性离散控制系统的分析和非线性系统分析等传统内容,但强调物理概念和实际应用。为强化工程应用背景,本书还系统介绍了现代MATLAB应用技术。

本书在数学基础、控制理论、工程应用及MATLAB仿真方面,具有系统性和统一性,并对例题和习题进行了精选,难易结合。本书可供工科高等院校使用,适合于作为应用型本科自动化专业、电气工程及自动化专业、机电一体化及各相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/邢春芳主编. —北京:北京大学出版社,2013.8
(21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)
ISBN 978-7-301-22936-1

I. ①自… II. ①邢… III. ①自动控制理论—高等学校—教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第176131号

书 名: 自动控制原理

著作责任者: 邢春芳 主编

策 划 编 辑: 郑 双

责 任 编 辑: 郑 双

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-22936-1/TP · 1297

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博:@北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 20.5印张 474千字

2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

定 价: 39.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

众所周知,自动控制作为技术改造和技术发展的重要手段,已大量应用于空间科技、军事装备自动化、冶金、化工及交通管理、环境保护等领域。这不仅使得生产设备或生产过程实现自动化,大大提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,而且在人类征服自然、改善生活条件等方面也发挥了非常重要的作用。

本书共分8章,主要内容分为3大部分:第1部分包括基本概念、线性系统的数学模型、时域响应分析、根轨迹分析、频域特性分析、控制系统设计与校正,这些内容属于线性定常连续控制系统问题,主要阐明自动控制的3个基本问题,即模型、分析和控制;第2部分是对作为数字控制理论基础的采样控制系统进行的讨论,重点介绍采样系统的数学模型、稳定性分析与响应分析;第3部分阐述非线性系统的基本理论和分析方法,包括相平面法和描述函数法,目的是为学生进一步学习后续课程打下一定的基础。在各章节的最后,都结合各章内容介绍了MATLAB分析和设计自动控制系统的基本方法。

本书是为适应自动化学科的发展,优化整体教学体系的教学改革形势,按照“理论讲透,重在应用”的原则,总结了课题组成员多年的教学经验和课程教学改革成果,参考了国内外控制理论及应用发展的方向,并吸取了兄弟院校教材的部分内容,经反复讨论编写而成的。可供自动化专业及其他电气信息类专业本科生使用。

本书的主要特点是:以简明的语言介绍概念,简化数学推导,增加实例说明,方便自学;从自动控制原理的角度对工程实例进行分析和设计,以解决理论如何用于工业实际的问题,使得理论与实际的紧密结合。为了在较少的学时内能使系统较系统地掌握控制理论中最基本的理论和分析方法,并对一些新的理论和方法有初步了解,本书在内容的组织上,力求做到突出重点,删去传统控制理论中一些不常用的内容。在内容叙述上,侧重于基本概念和实际应用。为了加深学生对控制理论基本概念的理解和分析综合问题能力的提高,除第1章外,在其余各章均附有一定数量的综合性例题分析。

本书由安阳工学院邢春芳担任主编并负责全书统稿,安阳工学院李正斌、张天鹏和北京佰能电气技术有限公司尹萍担任副主编,协助主编完成统稿工作。参加本书编写工作的还有安阳工学院翟亚芳、雷慧杰、范秋凤、陈彦涛、卢春华。本书由郑州大学的赵书俊教授担任主审,并提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中,得到了安阳工学院张继军教授、马金元副教授、赵艳春高级实验师的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢。借此机会向所有关心、支持和帮助本书编写、出版、发行工作的同志们表示诚挚的谢意。

由于编者的水平有限,时间仓促,书中不妥与错误之处在所难免,恳请广大读者和专家批评指正。

2013年1月

北京大学出版社本科计算机系列实用规划教材

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
1	7-301-10511-5	离散数学	段禅伦	28	38	7-301-13684-3	单片机原理及应用	王新颖	25
2	7-301-10457-X	线性代数	陈付贵	20	39	7-301-14505-0	Visual C++程序设计案例教程	张荣梅	30
3	7-301-10510-X	概率论与数理统计	陈荣江	26	40	7-301-14259-2	多媒体技术应用案例教程	李 建	30
4	7-301-10503-0	Visual Basic 程序设计	闵联营	22	41	7-301-14503-6	ASP .NET 动态网页设计案例教程(Visual Basic .NET 版)	江 红	35
5	7-301-21752-8	多媒体技术及其应用(第2版)	张 明	39	42	7-301-14504-3	C++面向对象与 Visual C++程序设计案例教程	黄贤英	35
6	7-301-10466-8	C++程序设计	刘天印	33	43	7-301-14506-7	Photoshop CS3 案例教程	李建芳	34
7	7-301-10467-5	C++程序设计实验指导与习题解答	李 兰	20	44	7-301-14510-4	C++程序设计基础案例教程	于永彦	33
8	7-301-10505-4	Visual C++程序设计教程与上机指导	高志伟	25	45	7-301-14942-3	ASP .NET 网络应用案例教程(C#.NET 版)	张登辉	33
9	7-301-10462-0	XML 实用教程	丁跃潮	26	46	7-301-12377-5	计算机硬件技术基础	石 磊	26
10	7-301-10463-7	计算机网络系统集成	斯桃枝	22	47	7-301-15208-9	计算机组成原理	娄国焕	24
11	7-301-22437-3	单片机原理及应用教程(第2版)	范立南	43	48	7-301-15463-2	网页设计与制作案例教程	房爱莲	36
12	7-5038-4421-3	ASP.NET 网络编程实用教程(C#版)	崔良海	31	49	7-301-04852-8	线性代数	姚喜妍	22
13	7-5038-4427-2	C 语言程序设计	赵建锋	25	50	7-301-15461-8	计算机网络技术	陈代武	33
14	7-5038-4420-5	Delphi 程序设计基础教程	张世明	37	51	7-301-15697-1	计算机辅助设计二次开发案例教程	谢安俊	26
15	7-5038-4417-5	SQL Server 数据库设计与应用	姜 力	31	52	7-301-15740-4	Visual C# 程序开发案例教程	韩朝阳	30
16	7-5038-4424-9	大学计算机基础	贾丽娟	34	53	7-301-16597-3	Visual C++程序设计实用案例教程	于永彦	32
17	7-5038-4430-0	计算机科学与技术导论	王昆仑	30	54	7-301-16850-9	Java 程序设计案例教程	胡巧多	32
18	7-5038-4418-3	计算机网络应用实例教程	魏 峥	25	55	7-301-16842-4	数据库原理与应用(SQL Server 版)	毛一梅	36
19	7-5038-4415-9	面向对象程序设计	冷英男	28	56	7-301-16910-0	计算机网络技术基础与应用	马秀峰	33
20	7-5038-4429-4	软件工程	赵春刚	22	57	7-301-15063-4	计算机网络基础与应用	刘远生	32
21	7-5038-4431-0	数据结构(C++版)	秦 锋	28	58	7-301-15250-8	汇编语言程序设计	张光长	28
22	7-5038-4423-2	微机应用基础	吕晓燕	33	59	7-301-15064-1	网络安全技术	骆耀祖	30
23	7-5038-4426-4	微型计算机原理与接口技术	刘彦文	26	60	7-301-15584-4	数据结构与算法	佟伟光	32
24	7-5038-4425-6	办公自动化教程	钱 俊	30	61	7-301-17087-8	操作系统实用教程	范立南	36
25	7-5038-4419-1	Java 语言程序设计实用教程	董迎红	33	62	7-301-16631-4	Visual Basic 2008 程序设计教程	隋晓红	34
26	7-5038-4428-0	计算机图形技术	龚声蓉	28	63	7-301-17537-8	C 语言基础案例教程	汪新民	31
27	7-301-11501-5	计算机软件技术基础	高 巍	25	64	7-301-17397-8	C++程序设计基础教程	郝亚辉	30
28	7-301-11500-8	计算机组装与维护实用教程	崔明远	33	65	7-301-17578-1	图论算法理论、实现及应用	王桂平	54
29	7-301-12174-0	Visual FoxPro 实用教程	马秀峰	29	66	7-301-17964-2	PHP 动态网页设计与制作案例教程	房爱莲	42
30	7-301-11500-8	管理信息系统实用教程	杨月江	27	67	7-301-18514-8	多媒体开发与编程	于永彦	35
31	7-301-11445-2	Photoshop CS 实用教程	张 瑾	28	68	7-301-18538-4	实用计算方法	徐亚平	24
32	7-301-12378-2	ASP.NET 课程设计指导	潘志红	35	69	7-301-18539-1	Visual FoxPro 数据库设计案例教程	谭红杨	35
33	7-301-12394-2	C#.NET 课程设计指导	龚自霞	32	70	7-301-19313-6	Java 程序设计案例教程与实训	董迎红	45
34	7-301-13259-3	Visual Basic .NET 课程设计指导	潘志红	30	71	7-301-19389-1	Visual FoxPro 实用教程与上机指导(第2版)	马秀峰	40
35	7-301-12371-3	网络工程实用教程	汪新民	34	72	7-301-19435-5	计算方法	尹景本	28
36	7-301-14132-8	J2EE 课程设计指导	王立丰	32	73	7-301-19388-4	Java 程序设计教程	张剑飞	35
37	7-301-21088-8	计算机专业英语(第2版)	张 勇	42	74	7-301-19386-0	计算机图形技术(第2版)	许承东	44

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
75	7-301-15689-6	Photoshop CS5 案例教程 (第2版)	李建芳	39	84	7-301-16824-0	软件测试案例教程	丁宋涛	28
76	7-301-18395-3	概率论与数理统计	姚喜妍	29	85	7-301-20328-6	ASP.NET 动态网页案例教程 (C#.NET 版)	江 红	45
77	7-301-19980-0	3ds Max 2011 案例教程	李建芳	44	86	7-301-16528-7	C#程序设计	胡艳菊	40
78	7-301-20052-0	数据结构与算法应用实践教程	李文书	36	87	7-301-21271-4	C#面向对象程序设计及 实践教程	唐 燕	45
79	7-301-12375-1	汇编语言程序设计	张宝剑	36	88	7-301-21295-0	计算机专业英语	吴丽君	34
80	7-301-20523-5	Visual C++程序设计教程与上 机指导(第2版)	牛江川	40	89	7-301-21341-4	计算机组成与结构教程	姚玉霞	42
81	7-301-20630-0	C#程序开发案例教程	李挥剑	39	90	7-301-21367-4	计算机组成与结构实验实训 教程	姚玉霞	22
82	7-301-20898-4	SQL Server 2008 数据库应 用案例教程	钱 哨	38	91	7-301-22119-8	UML 实用基础教程	赵春刚	36
83	7-301-21052-9	ASP.NET 程序设计与开发	张绍兵	39	92	7-301-22965-1	数据结构(C 语言版)	陈超祥	32

北京大学出版社电气信息类教材书目(已出版)

欢迎选订

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
1	7-301-10759-1	DSP 技术及应用	吴冬梅	26	38	7-5038-4400-3	工厂供配电	王玉华	34
2	7-301-10760-7	单片机原理与应用技术	魏立峰	25	39	7-5038-4410-2	控制系统仿真	郑恩让	26
3	7-301-10765-2	电工学	蒋 中	29	40	7-5038-4398-3	数字电子技术	李 元	27
4	7-301-19183-5	电工与电子技术(上册)(第2版)	吴舒辞	30	41	7-5038-4412-6	现代控制理论	刘永信	22
5	7-301-19229-0	电工与电子技术(下册)(第2版)	徐卓农	32	42	7-5038-4401-0	自动化仪表	齐志才	27
6	7-301-10699-0	电子工艺实习	周春阳	19	43	7-5038-4408-9	自动化专业英语	李国厚	32
7	7-301-10744-7	电子工艺学教程	张立毅	32	44	7-5038-4406-5	集散控制系统	刘翠玲	25
8	7-301-10915-6	电子线路 CAD	吕建平	34	45	7-301-19174-3	传感器基础(第2版)	赵玉刚	32
9	7-301-10764-1	数据通信技术教程	吴延海	29	46	7-5038-4396-9	自动控制原理	潘 丰	32
10	7-301-18784-5	数字信号处理(第2版)	阎 毅	32	47	7-301-10512-2	现代控制理论基础(国家级十一五规划教材)	侯媛彬	20
11	7-301-18889-7	现代交换技术(第2版)	姚 军	36	48	7-301-11151-2	电路基础学习指导与典型题解	公茂法	32
12	7-301-10761-4	信号与系统	华 容	33	49	7-301-12326-3	过程控制与自动化仪表	张井岗	36
13	7-301-19318-1	信息与通信工程专业英语(第2版)	韩定定	32	50	7-301-12327-0	计算机控制系统	徐文尚	28
14	7-301-10757-7	自动控制原理	袁德成	29	51	7-5038-4414-0	微机原理及接口技术	赵志诚	38
15	7-301-16520-1	高频电子线路(第2版)	宋树祥	35	52	7-301-10465-1	单片机原理及应用教程	范立南	30
16	7-301-11507-7	微机原理与接口技术	陈光罩	34	53	7-5038-4426-4	微型计算机原理与接口技术	刘彦文	26
17	7-301-11442-1	MATLAB 基础及其应用教程	周开利	24	54	7-301-12562-5	嵌入式基础实践教程	杨 刚	30
18	7-301-11508-4	计算机网络	郭银景	31	55	7-301-12530-4	嵌入式 ARM 系统原理与实例开发	杨宗德	25
19	7-301-12178-8	通信原理	隋晓红	32	56	7-301-13676-8	单片机原理与应用及 C51 程序设计	唐 颖	30
20	7-301-12175-7	电子系统综合设计	郭 勇	25	57	7-301-13577-8	电力电子技术及应用	张润和	38
21	7-301-11503-9	EDA 技术基础	赵明富	22	58	7-301-20508-2	电磁场与电磁波(第2版)	郭春明	30
22	7-301-12176-4	数字图像处理	曹茂永	23	59	7-301-12179-5	电路分析	王艳红	38
23	7-301-12177-1	现代通信系统	李白萍	27	60	7-301-12380-5	电子测量与传感技术	杨 雷	35
24	7-301-12340-9	模拟电子技术	陆秀令	28	61	7-301-14461-9	高电压技术	马永翔	28
25	7-301-13121-3	模拟电子技术实验教程	谭海曙	24	62	7-301-14472-5	生物医学数据分析及其 MATLAB 实现	尚志刚	25
26	7-301-11502-2	移动通信	郭俊强	22	63	7-301-14460-2	电力系统分析	曹 娜	35
27	7-301-11504-6	数字电子技术	梅开乡	30	64	7-301-14459-6	DSP 技术与应用基础	俞一彪	34
28	7-301-18860-6	运筹学(第2版)	吴亚丽	28	65	7-301-14994-2	综合布线系统基础教程	吴达金	24
29	7-5038-4407-2	传感器与检测技术	祝诗平	30	66	7-301-15168-6	信号处理 MATLAB 实验教程	李 杰	20
30	7-5038-4413-3	单片机原理及应用	刘 刚	24	67	7-301-15440-3	电工电子实验教程	魏 伟	26
31	7-5038-4409-6	电机与拖动	杨天明	27	68	7-301-15445-8	检测与控制实验教程	魏 伟	24
32	7-5038-4411-9	电力电子技术	樊立萍	25	69	7-301-04595-4	电路与模拟电子技术	张绪光	35
33	7-5038-4399-0	电力市场原理与实践	邹 斌	24	70	7-301-15458-8	信号、系统与控制理论(上、下册)	邱德润	70
34	7-5038-4405-8	电力系统继电保护	马永翔	27	71	7-301-15786-2	通信网的信令系统	张云麟	24
35	7-5038-4397-6	电力系统自动化	孟祥忠	25	72	7-301-16493-8	发电厂变电所电气部分	马永翔	35
36	7-5038-4404-1	电气控制技术	韩顺杰	22	73	7-301-16076-3	数字信号处理	王震宇	32
37	7-5038-4403-4	电器与 PLC 控制技术	陈志新	38	74	7-301-16931-5	微机原理及接口技术	肖洪兵	32

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
75	7-301-16932-2	数字电子技术	刘金华	30	110	7-301-20845-8	单片机原理与接口技术实验与课程设计	徐懂理	26
76	7-301-16933-9	自动控制原理	丁 红	32	111	301-20725-3	模拟电子线路	宋树祥	38
77	7-301-17540-8	单片机原理及应用教程	周广兴	40	112	7-301-21058-1	单片机原理与应用及其实验指导书	邵发森	44
78	7-301-17614-6	微机原理及接口技术实验指导书	李于林	22	113	7-301-20918-9	Mathcad 在信号与系统中的应用	郭仁春	30
79	7-301-12379-9	光纤通信	卢志茂	28	114	7-301-20327-9	电工学实验教程	王士军	34
80	7-301-17382-4	离散信息论基础	范九伦	25	115	7-301-16367-2	供电电子技术	王玉华	49
81	7-301-17677-1	新能源与分布式发电技术	朱永强	32	116	7-301-20351-4	电路与模拟电子技术实验指导书	唐 颖	26
82	7-301-17683-2	光纤通信	李丽君	26	117	7-301-21247-9	MATLAB 基础与应用教程	王月明	32
83	7-301-17700-6	模拟电子技术	张绪光	36	118	7-301-21235-6	集成电路版图设计	陆学斌	36
84	7-301-17318-3	ARM 嵌入式系统基础与开发教程	丁文龙	36	119	7-301-21304-9	数字电子技术	秦长海	49
85	7-301-17797-6	PLC 原理及应用	缪志农	26	120	7-301-21366-7	电力系统继电保护(第2版)	马永翔	42
86	7-301-17986-4	数字信号处理	王玉德	32	121	7-301-21450-3	模拟电子与数字逻辑	郭春明	39
87	7-301-18131-7	集散控制系统	周荣富	36	122	7-301-21439-8	物联网概论	王金甫	42
88	7-301-18285-7	电子线路 CAD	周荣富	41	123	7-301-21849-5	微波技术基础及其应用	李泽民	49
89	7-301-16739-7	MATLAB 基础及应用	李国朝	39	124	7-301-21688-0	电子信息与通信工程专业英语	孙桂芝	36
90	7-301-18352-6	信息论与编码	隋晓红	24	125	7-301-22110-5	传感器技术及应用电路项目化教程	钱裕禄	30
91	7-301-18260-4	控制电机与特种电机及其控制系统	孙冠群	42	126	7-301-21672-9	单片机系统设计与实例开发(MSP430)	顾 涛	44
92	7-301-18493-6	电工技术	张 莉	26	127	7-301-22112-9	自动控制原理	许丽佳	30
93	7-301-18496-7	现代电子系统设计教程	宋晓梅	36	128	7-301-22109-9	DSP 技术及应用	董 胜	39
94	7-301-18672-5	太阳能电池原理与应用	靳瑞敏	25	129	7-301-21607-1	数字图像处理算法及应用	李文书	48
95	7-301-18314-4	通信电子线路及仿真设计	王鲜芳	29	130	7-301-22111-2	平板显示技术基础	王丽娟	52
96	7-301-19175-0	单片机原理与接口技术	李 升	46	131	7-301-22448-9	自动控制原理	谭功全	44
97	7-301-19320-4	移动通信	刘维超	39	132	7-301-22474-8	电子电路基础实验与课程设计	武 林	36
98	7-301-19447-8	电气信息类专业英语	缪志农	40	133	7-301-22484-7	电文化——电气信息学科概论	高 心	30
99	7-301-19451-5	嵌入式系统设计及应用	邢吉生	44	134	7-301-22436-6	物联网技术案例教程	崔逊学	40
100	7-301-19452-2	电子信息类专业 MATLAB 实验教程	李明明	42	135	7-301-22598-1	实用数字电子技术	钱裕禄	30
101	7-301-16914-8	物理光学理论与应用	宋贵才	32	136	7-301-22529-5	PLC 技术与应用(西门子版)	丁金婷	32
102	7-301-16598-0	综合布线系统管理教程	吴达金	39	137	7-301-22386-4	自动控制原理	佟 威	30
103	7-301-20394-1	物联网基础与应用	李蔚田	44	138	7-301-22528-8	通信原理实验与课程设计	郭春明	34
104	7-301-20339-2	数字图像处理	李云红	36	139	7-301-22582-0	信号与系统	许丽佳	38
105	7-301-20340-8	信号与系统	李云红	29	140	7-301-22447-2	嵌入式系统基础实践教程	韩 磊	35
106	7-301-20505-1	电路分析基础	吴舒辞	38	141	7-301-22776-3	信号与线性系统	朱明早	33
107	7-301-22447-2	嵌入式系统基础实践教程	韩 磊	35	142	7-301-22872-2	电机、拖动与控制	万芳瑛	34
108	7-301-20506-8	编码调制技术	黄 平	26	143	7-301-22882-1	MCS-51 单片机原理及应用	黄翠琴	34
109	7-301-20763-5	网络工程与管理	谢 慧	39	144	7-301-22936-1	自动控制原理	邢春芳	39

相关教学资源如电子课件、电子教材、习题答案等可以登录 www.pup6.com 下载或在线阅读。

扑六知识网(www.pup6.com)有海量的相关教学资源和电子教材供阅读及下载(包括北京大学出版社第六事业部的相关资源),同时欢迎您将教学课件、视频、教案、素材、习题、试卷、辅导材料、课改成果、设计作品、论文等教学资源上传到 pup6.com, 与全国高校师生分享您的教学成就与经验, 并可自由设定价格, 知识也能创造财富。具体情况请登录网站查询。

如您需要免费纸质样书用于教学, 欢迎登陆第六事业部门户网(www.pup6.com)填表申请, 并欢迎在线登记选题以到北京大学出版社来出版您的大作, 也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱, 我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

扑六知识网将打造成全国最大的教育资源共享平台, 欢迎您的加入——让知识有价值, 让教学无界限, 让学习更轻松。

联系方式: 010-62750667, pup6_czq@163.com, szheng_pup6@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来电咨询。

目 录

第1章 自动控制系统概述 1

1.1 自动控制与自动控制系统 2

1.1.1 自动控制及其任务 2

1.1.2 自动控制系统的基本组成 4

1.1.3 自动控制系统的结构形式 5

1.2 自动控制系统示例 8

1.3 自动控制系统的分类 10

1.4 控制系统的性能要求 11

1.5 自动控制理论概要 13

1.5.1 自动控制理论的发展 13

1.5.2 本书内容及实际应用问题 15

小结 16

习题 16

第2章 控制系统的数学模型 18

2.1 控制系统的微分方程 19

2.1.1 列写微分方程的一般方法 19

2.1.2 系统微分方程的建立 22

2.1.3 线性微分方程的解 23

2.2 非线性方程的线性化 24

2.3 控制系统的传递函数 26

2.3.1 传递函数的概念及性质 26

2.3.2 典型环节的传递函数及其动态响应 28

2.4 控制系统动态结构图 36

2.4.1 动态结构图的概念及建立方法 36

2.4.2 结构图的等效变换与化简 40

2.4.3 梅森增益公式 47

2.5 闭环系统的传递函数 49

2.5.1 系统的开环传递函数 50

2.5.2 系统的闭环传递函数 50

2.5.3 系统的误差传递函数 51

2.6 控制系统数学模型建立举例 52

2.7 用 MATLAB 处理系统数学模型 55

小结 59

习题 59

第3章 时域分析法 64

3.1 典型响应及性能指标 65

3.1.1 典型输入信号 65

3.1.2 阶跃响应的性能指标 67

3.2 一阶系统分析 68

3.2.1 一阶系统数学模型及单位阶跃响应 68

3.2.2 一阶系统的性能指标 70

3.3 二阶系统分析 71

3.3.1 二阶系统数学模型及单位阶跃响应 71

3.3.2 二阶系统的性能指标 73

3.3.3 带零点的二阶系统的单位阶跃响应 76

3.3.4 改善二阶系统性能的措施 78

3.4 高阶系统性能分析 79

3.5 系统稳定性分析 81

3.5.1 稳定的数学条件及定义 81



3.5.2 劳斯稳定判据	82	小结	146
3.5.3 结构不稳定问题	84	习题	146
3.6 系统稳态误差分析	86	第5章 频率特性法	149
3.6.1 误差与稳态误差	86	5.1 频率特性的基本概念	150
3.6.2 给定信号作用下系统稳态误差的计算	87	5.1.1 频率特性的定义	150
3.6.3 扰动输入作用下系统稳态误差的计算	91	5.1.2 频率特性的几何表示法	152
3.6.4 稳态误差的抑制	93	5.2 典型环节的频率特性	154
3.7 用时域法分析系统性能示例	94	5.2.1 比例环节	154
3.8 MATLAB用于时域分析	98	5.2.2 积分环节	155
小结	106	5.2.3 微分环节	155
习题	107	5.2.4 惯性环节	156
第4章 根轨迹分析法	109	5.2.5 一阶微分环节	158
4.1 根轨迹	110	5.2.6 振荡环节	159
4.1.1 根轨迹的基本概念	110	5.2.7 时滞环节	160
4.1.2 根轨迹方程	112	5.3 控制系统开环频率特性	162
4.2 根轨迹的绘制	113	5.3.1 系统开环幅相频率特性曲线	162
4.2.1 绘制根轨迹的基本法则	113	5.3.2 开环对数频率特性曲线	165
4.2.2 根轨迹绘制举例	123	5.4 实验法确定系统传递函数	168
4.3 广义根轨迹	127	5.5 频率特性法分析系统稳定性	171
4.3.1 非最小相位根轨迹	127	5.5.1 开环频率特性和闭环特征方程的关系	172
4.3.2 参数根轨迹	128	5.5.2 相角变化量和系统稳定性的关系	172
4.3.3 根轨迹簇的绘制	130	5.5.3 奈奎斯特稳定判据	174
4.3.4 零度根轨迹	132	5.5.4 对数频率稳定判据	178
4.4 开环零、极点对系统性能的影响	134	5.5.5 系统的相对稳定性及稳定裕度	180
4.4.1 增加开环零点对根轨迹的影响	134	5.6 频率特性与系统性能的关系	183
4.4.2 增加开环极点对根轨迹的影响	136	5.6.1 开环频率特性与闭环系统性能的关系	183
4.4.3 增加开环偶极子对根轨迹的影响	136	5.6.2 开环频率特性与动态性能的关系	186
4.5 用根轨迹分析控制系统	137	5.7 利用MATLAB进行频域分析	189
4.6 MATLAB绘制根轨迹	141	5.7.1 频率特性图的绘制	189

5.7.2 求相角裕度和幅值裕度	193	7.2.1 采样过程与采样定理	243
小结	195	7.2.2 采样信号的保持	245
习题	196	7.3 离散控制系统的数学基础	247
第6章 控制系统的设计与校正	199	7.3.1 Z 变换的定义	247
6.1 系统设计及校正问题	200	7.3.2 Z 变换方法	248
6.2 常用校正装置及其特性	203	7.3.3 Z 变换的基本定理	248
6.2.1 超前校正	203	7.3.4 Z 反变换	249
6.2.2 滞后校正	207	7.4 离散控制系统的数学模型	250
6.2.3 滞后-超前校正	209	7.4.1 差分方程及其求解	251
6.2.4 PID 控制器	210	7.4.2 脉冲传递函数的定义	252
6.3 用频率法设计校正网络	215	7.4.3 开环系统的脉冲传递函数	253
6.3.1 用伯德图设计超前校正网络	216	7.4.4 闭环系统的脉冲传递函数	255
6.3.2 用伯德图设计滞后校正网络	221	7.5 离散控制系统的动态性能分析	256
6.3.3 用伯德图设计滞后-超前校正	223	7.5.1 离散系统的动态响应分析	257
6.4 控制系统的工程设计	225	7.5.2 闭环极点位置与动态响应的关系	258
6.4.1 自动控制系统设计的一般过程	225	7.6 离散控制系统的稳定性与稳态误差	261
6.4.2 系统固有部分的简化	226	7.6.1 S 平面与 Z 平面的关系	261
6.4.3 预期频率特性及参考模型	227	7.6.2 Z 平面内的稳定条件	262
6.4.4 校正装置的设计举例	230	7.6.3 离散系统的稳定性判据	263
6.5 MATLAB 用于系统校正与设计	233	7.6.4 离散系统的稳态误差	265
小结	235	7.7 MATLAB 用于离散控制系统分析	268
习题	236	7.7.1 数学模型处理	268
第7章 线性离散控制系统的分析	240	7.7.2 动态响应分析	270
7.1 离散系统的基本概念	241	7.7.3 稳定性分析	271
7.1.1 采样控制系统的特点	242	小结	271
7.1.2 数字控制系统的特点	242	习题	272
7.1.3 离散控制系统的研究方法	243	第8章 非线性系统分析	274
7.2 信号的采样与保持	243	8.1 非线性系统动态过程的特点	275



8.2 典型的非线性特性	276	8.4.5 非线性系统结构图的 简化	292
8.2.1 饱和非线性特性	276	8.5 相平面法及系统分析	294
8.2.2 死区非线性特性	277	8.5.1 相平面图的绘制	294
8.2.3 间隙非线性特性	277	8.5.2 奇点与极限环	297
8.2.4 继电器非线性特性	278	8.5.3 用相平面法分析非线性 系统	300
8.3 描述函数	279	8.6 MATLAB 用于非线性系统 分析	302
8.3.1 谐波线性化	279	小结	307
8.3.2 非线性特性的描述 函数	280	习题	308
8.4 描述函数法及系统分析	287	附录 A 常用函数拉氏变换对照表 ..	312
8.4.1 非线性系统的典型 结构	287	附录 B 常用函数 Z 变换对照表	313
8.4.2 非线性系统的稳定性 分析	288	参考文献	314
8.4.3 自振分析	289		
8.4.4 用描述函数法分析非线性 系统	290		

第1章

自动控制系统概述

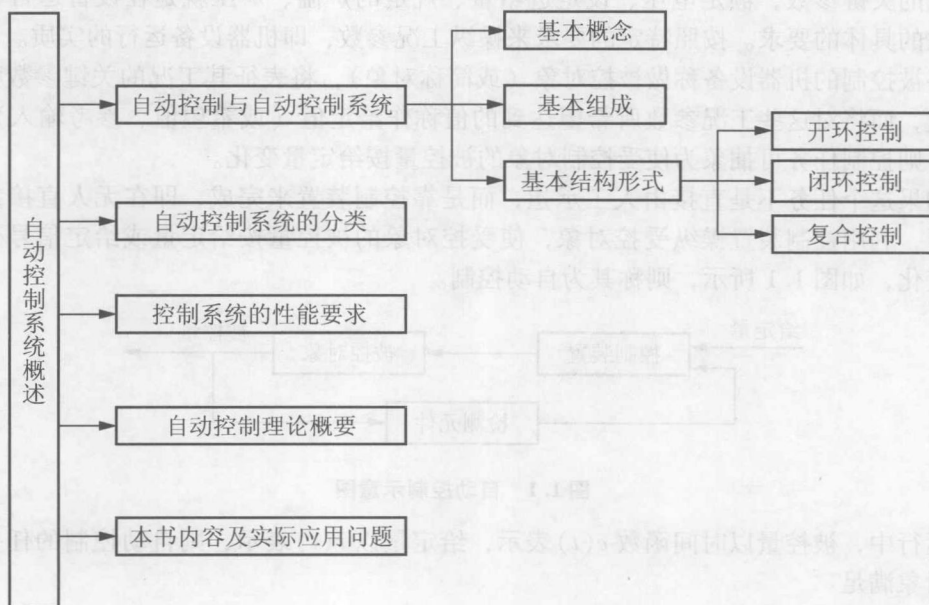


教学目的与要求

1. 理解自动控制的概念。
2. 了解自动控制的任务。
3. 掌握自动控制系统的基本组成。
4. 牢记控制系统的性能要求。
5. 了解自动控制理论的发展历程。



知识结构



在科学技术飞速发展的今天,自动控制理论和技术已经成为现代社会不可缺少的组成部分,并在机械、冶金、石油、化工、电子、电力、航空、航海、航天、核反应堆等各个学科领域得到了广泛应用。近年来,控制学科的应用范围还扩展到了交通管理、生物医学、生态环境、经济管理、社会科学和其他许多社会生活领域,并为各学科之间的相互渗透起到了促进作用。

自动控制理论是研究关于自动控制系统组成、分析和设计的一般性理论,是研究自动控制共同规律的技术科学。学习和研究自动控制理论是为了探索自动控制系统中变量的运动规律和改变这种运动规律的可能性和途径;为建立高性能的自动控制系统提供必要的理论依据。作为现代的工程技术人员和科学工作者,具备一定的自动控制理论知识是很有必要的。

1.1 自动控制与自动控制系统

1.1.1 自动控制及其任务

在现代科学技术的众多领域中,自动控制作为重要的技术手段,能够解决哪类性质的工程问题,承担什么样的技术任务?

在工业生产中,任何技术设备、机器和生产过程都必须按要求运行。例如,若要化学反应达到预期的要求,化学反应炉的温度和压力就必须维持恒定;要使发电机正常供电,其输出电压就必须保持恒定,尽量不受负荷变动的干扰;若要数控机床加工出高精度的零件,其刀架的进给量必须准确地按照程序指令的设定值变化,等等。其中化学反应炉、发电机、机床是工作的主体设备,而炉温、炉压、电压、进给量则是表征这些设备工况的关键参数,额定电压、设定进给量、规定的炉温、炉压就是在设备运行中对工况参数的具体的要求。按照特定的要求来操纵工况参数,即机器设备运行的实质。

将被控制的机器设备称做被控对象(或简称对象),将表征其工况的关键参数称做被控制量,而将对这些工况参数所希望达到的值称作给定值(或希望值、参考输入)即给定量,则控制任务可抽象为使受控制对象的被控量按给定量变化。

如果这个任务不是直接由人工承担,而是靠控制装置来完成,即在无人直接参与的情况下,利用控制装置操纵受控对象,使受控对象的被控量按给定量或给定信号变化规律去变化,如图 1.1 所示,则称其为自动控制。



图 1.1 自动控制示意图

运行中,被控量以时间函数 $c(t)$ 表示,给定量以 $r(t)$ 表示,则自动控制的任务是使受控对象满足

$$c(t) \approx r(t)$$



由受控对象和控制器按一定方式连接起来的、完成一定自动控制任务的总体称为自动控制系统。对自动控制系统性能进行分析和设计则是自动控制原理的主要任务。下面进一步举例说明。

【例1-1】 图1.2(a)所示是人工控制水位保持恒定的供水系统,图1.2(b)是人工控制的水位系统原理图。当流入量、流出量相等时,水池水位处于平衡状态,稳定在某个要求的水位上。当流出量发生变化或要求的水位发生变化时,就需要对流入量进行必要的控制。在人工控制方式下,工人用眼观看水位情况,用脑根据经验比较实际水位与期望水位的差异并做出决策,确定开大还是关小进水阀门及开关量是多少,然后用手操作进水阀门进行调节,最终使实际水位等于要求的水位。只要水位偏离了期望值,工人便要重复上述调节过程。

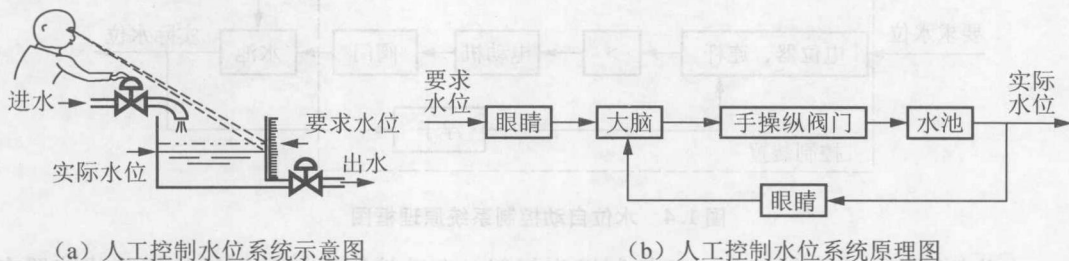


图1.2 人工水位控制系统

这里有一个自动控制里的重要概念:反馈。反馈是一个过程:

- (1) 设定目标:希望的水位高度。
- (2) 测量状态:用眼睛观察水位。
- (3) 将测量到的状态与设定目标比较,判断二者的差距以及向哪个方向操纵阀门。
- (4) 调整行动:根据经验由偏差的大小决定阀门的开关方向。
- (5) 实际执行:用手调整阀门的开度。

在人工水位控制过程中,这个反馈过程是周而复始,不断进行的。

同样是水池液位控制,若用浮子测量实际水位的高低,并与要求的水位比较,得出偏差;再由调节元件根据偏差的大小和正负产生控制信号;最后由执行元件根据控制信号产生控制作用,就构成了如图1.3所示的水位自动控制系统。连杆的一端由浮子带动,另一端则通过放大器、电动机等装置与进水阀门相连。当用水量增大时,水位开始下降,

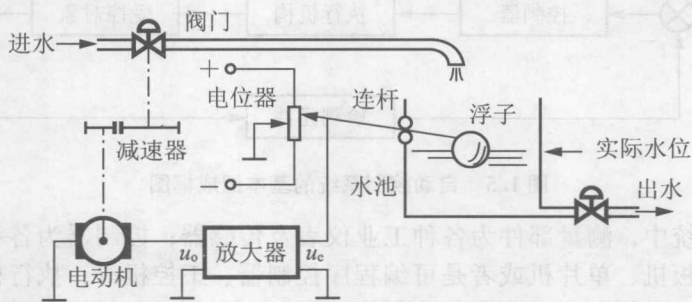


图1.3 水位自动控制系统

浮子也随之降低，通过连杆的作用将进水阀门开大，使水位回到期望值附近。反之，若用水量变小，水位及浮子上升，进水阀门关小，水位自动下降到期望值附近。

在该系统中，水池中的水位是被控量，水池是控制对象，浮子是测量元件，代替人的眼睛，用来测量水位高低。浮子测出实际水位，由连杆和电位器进行比较：浮子低则电位器上得到正电压，经放大后使电动机向进水阀门开大的方向旋转；反之，当浮子高时，电位器上得到负电压，电动机向阀门关小的方向旋转；若水位正好，则电位器上电压为零，电动机不转，阀门不动。连杆和电位器相当于人的大脑，起调节作用。电动机和减速器具有手的功能，称之为执行机构。整个过程中无需人工直接参与，控制过程是自动进行的。系统的原理框图如图 1.4 所示。

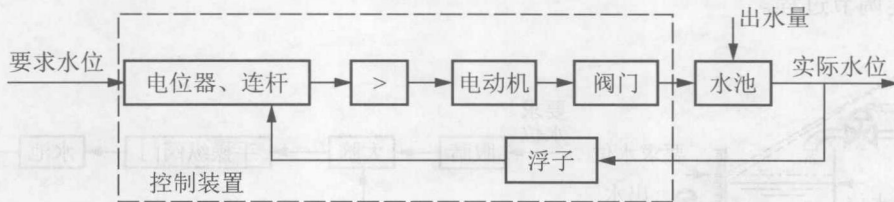


图 1.4 水位自动控制系统原理框图

由此例可知，自动控制和人工控制极为相似，自动控制系统只不过是把某些装置有机地组合在一起，以代替人的职能而已。

1.1.2 自动控制系统的基本组成

任何一个自动控制系统都是由被控对象和控制装置构成的。自动控制系统根据被控对象和具体用途不同，可以有各种不同的结构形式。图 1.5 是自动控制系统的基本组成框图，图 1.5 中用方框代表系统中具有相应职能的元部件，用箭头表示元部件之间的信号及其传递方向。通常，把从系统输入量到输出量之间的通道称为前向通道（即前向通路）；从输出量到反馈信号之间的通道称为反馈通道（即反馈通路）。方框图中用符号“⊗”表示比较环节，其输出量等于各个输入量的代数和。因此，各个输入量均须用正、负号表明其极性，但一般输入量为正时可以省略。控制器、测量元件和执行机构这些功能元件分别承担相应的职能，共同完成控制任务。



图 1.5 自动控制系统的基本组成框图

实际控制系统中，测量部件为各种工业仪表及传感器；控制器为各种比较线路、模拟运算仪表、单板机、单片机或者是可程序控制器、工控机等；执行机构则为交、直流伺服电动机、电磁阀、液压马达、可控硅调压器、电（气）动调节阀等。

从图 1.5 中还可以看出，参与控制的原始信号有两个，即给定量和被控量，整个系统



根据其差值进行控制,因此自动控制又称为按偏差控制,即偏差是自动控制系统的依据。

控制系统中的常用术语:

(1) 控制器——外加的设备或装置,主要用于将给定信号与测量信号比较,并经过某种运算产生控制信号。

(2) 测量元件——用于检测被控量,产生反馈信号,如测速机、热电偶、自整角机、电位器、旋转变压器、浮子等。

(3) 执行机构——接收控制器的输出信号,根据该信号直接对被控对象进行操作,以调节被控量,如阀门、伺服电动机等。

(4) 受控对象——一般是指生产过程中需要进行控制的工作机械、装置或生产过程。

(5) 被控量——表征被控对象工作状态的、需要进行控制的物理参量,也称输出量。

(6) 给定量——要求被控量所应保持的数值,也称输入量或参考输入。

(7) 干扰量——系统不希望的外作用,也称扰动输入。

(8) 反馈量——由系统输出端取出并反向送回系统输入端的信号。反馈有主反馈和局部反馈之分,也有正反馈和负反馈之分。

(9) 偏差——给定量与反馈信号之差。

1.1.3 自动控制系统的结构形式

最常见的自动控制系统结构形式有开环控制和闭环控制两种。某些情况下还可将开环和闭环控制相结合构成复合控制。对于某一个具体的系统,采取什么样的控制手段,应根据具体的用途和目的而定。

1. 开环控制系统

系统的控制输入不受输出影响的控制系统称为开环控制系统。在开环控制系统中,输入端与输出端之间,只有信号的前向通路而不存在由输出端到输入端的反馈通路。

图 1.6(a)所示的他激直流电动机转速控制系统就是一个开环控制系统。它的任务是控制直流电动机以恒定的转速带动负载工作。系统的工作原理是:调节电位器 R 的滑臂,使其输出给定参考电压 u_r 。 u_r 经电压放大和功率放大后成为 u_a ,送到电动机的电枢端,用来控制电动机转速。在负载恒定的条件下,他激直流电动机的转速 ω 与电枢电压 u_a 成正比,只要改变给定电压 u_r ,便可得到相应的电动机转速 ω 。但是,电动机负载转矩 M 的任何变动,都会使输出量 ω 偏离希望值,这种作用称之为干扰或扰动。所以 u_a 与 ω 的关系不精确,抗扰动能力差,系统控制精度难以保证,应用少。

在本系统中,直流电动机是被控对象,电动机的转速 ω 是被控量,也称为系统的输出量或输出信号。把参考电压 u_r 通常称为系统的给定量或输入量。直流电动机转速开环控制系统可用图 1.6(b)所示的方框图表示。

就图 1.6(a)而言,只有输入量 u_r 对输出量 ω 的单向控制作用,而输出量 ω 对输入量 u_r 却没有任何影响和联系,因此称这种系统为开环控制系统。

开环控制系统的优点是结构比较简单,成本较低。缺点是控制精度不高,抑制干扰能力差,而且对系统参数变化比较敏感。当然,如果系统的部件特性相当稳定,基本不受干扰影响,或对系统的精度要求不高的场合,也还是可用的。例如,一些自动化生产线、数控机床、自动切割机、洗衣机、步进电机控制及水位调节等常用这种控制方式。