



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高等院校自动化新编系列教材

自动控制系统

ZIDONG KONGZHI XITONG

任彦硕 赵一丁 主编

罗云林 主审

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校自动化新编系列教材

自动控制系统

(第2版)

主编 任彦硕 赵一丁

主审 罗云林

北京邮电大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是高等学校“自动控制系统”课程的教科书。全书分为控制系统基础、运动控制及过程控制3篇,全面介绍了传动控制系统和过程控制系统的内容。全书共14章,其中1、2章为第一篇控制系统基础篇;3~7章为第二篇运动控制篇;8~14章为第三篇过程控制篇。各章的内容安排为:第1章绪论;第2章自动控制系统基础;第3章单闭环直流电机调速控制系统;第4章转速和电流双闭环直流调速系统;第5章交流调速系统概述;第6章异步电动机变压变频调速系统;第7章随动控制系统;第8章过程控制系统的组成与特点;第9章生产过程的动态特性;第10章简单过程控制系统;第11章提高控制品质的控制系统;第12章实现特定要求的过程控制系统;第13章计算机过程控制系统;第14章过程控制系统应用。各章结尾均附有习题。

本书可作为高等院校自动化专业、测控专业、电气工程专业、机电一体化专业及相关专业的本科生教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制系统/任彦硕,赵一丁主编. —2版. —北京:北京邮电大学出版社,2007
ISBN 978-7-5635-1126-6

I. 自… II. ①任…②赵… III. 自动控制系统—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 074116 号

书 名: 自动控制系统(第2版)

作 者: 任彦硕 赵一丁

责任编辑: 张佳音

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

北方营销中心: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

南方营销中心: 电话: 010-62282902 传真: 010-62282735

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京忠诚诚胶印厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 20.75

字 数: 487千字

印 数: 1—5 000册

版 次: 2006年3月第1版 2007年8月第2版 2007年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-1126-6/TP·210

定 价: 29.00元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系 •

高等院校自动化新编系列教材

编委会

主 任 汪晋宽

副主任 金海明 罗云林 张美金 崔光照

委 员 (排名不分先后)

于丁文 王凤文 王建国 马淑华 石云霞

齐世清 任彦硕 张家生 张 健 杨建忠

柳明丽 罗长杰 金 伟 赵宏才 赵一丁

顾德英 舒冬梅 藏小杰 郑安平

秘 书 顾德英(兼) 马淑华(兼)

编写说明

一本好的教材和一本好的书不同,一本好的书在于其内容的吸引力和情节的魅力,而一本好的教材不仅要对所介绍的科学知识表达清楚、准确,更重要的是在写作手法上能站在读者的立场上,帮助读者理解教材,形成知识链条,进而学会举一反三。基于这种考虑,在充分理解自动化专业培养目标和人才需求的前提下,我们规划了这套《高等院校自动化新编系列教材》。

本套系列教材共包括 21 册,在内容取舍划分上,认真分析了各门课程内容的相互关系和衔接,避免了不必要的重复,增加了一些新的内容。在知识结构设计上,在保证专业知识完整性的同时,考虑了学生综合能力的培养,并为学生继续学习留有空间。在课程体系规划上,注意了前后知识的贯通,尽可能做到先开的课程为后续的课程提供基础和帮助,后续的课程为先开的课程提供应用的案例,以便于学生对自动化专业的理解。

《高等院校自动化新编系列教材》编委会

2005 年 8 月

再版前言

本书在 2006 年被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。为了贯彻教育部制定普通高等教育“十一五”国家级教材规划的精神,全面落实科学发展观、切实提高高等教育的质量,特再版此书。

现代工业及国民经济其他各行业的自动化水平日益提高,自动化系统已网络化。针对被控对象的自动控制系统,包括传动控制系统和过程控制系统,均可能是自动化网络中的一个点。有的控制系统中,既有传动控制又有过程控制。例如,过程控制目标的实现有时需要由调速系统来完成,这里的调速控制是过程控制实现的一个手段。然而在传统的课程设置中,传动控制和过程控制被分设在两个不同的专业中。例如,自动化专业的学生只学习传动控制而不学习过程控制,测控专业的学生只学习过程控制而不学习传动控制,在解决实际问题时就会因专业面狭窄而无法满足要求。事实上,传动控制和过程控制均是基于“自动控制理论”下的控制系统,只是控制对象不相同。将相同控制理论下的传动控制系统和过程控制系统合编为一本教材,使控制类专业的学生既学习传动控制又学习过程控制,能够适应自动化快速发展的实际需要。

本教材按传动控制系统和过程控制系统的内容系统编写。全书共 14 章,其中 1、2 章为第一篇控制系统基础篇;3~7 章为第二篇运动控制篇;8~14 章为第三篇过程控制篇。各章的内容安排为:第 1 章绪论;第 2 章自动控制系统基础;第 3 章单闭环直流电机调速控制系统;第 4 章转速和电流双闭环直流调速系统;第 5 章交流调速系统概述;第 6 章异步电动机变压变频调速系统;第 7 章随动控制系统;第 8 章过程控制系统的组成与特点;第 9 章生产过程的动态特性;第 10 章简单过程控制系统;第 11 章提高控制品质的控制系统;第 12 章实现特定要求的过程控制系统;第 13 章计算机过程控制系统;第 14 章过程控制系统应用。各章结尾均附有习题。

本教材内容结构按系统构成及工作原理分步安排,分析与论述均在“系统”的框架下展开,涉及到系统构成的各部分均有论述,使学生能够清楚地掌握自动控制系统的理论分析和理论设计。

本教材力求将先进的控制技术编入,例如,直流部分建立控制系统的分析与设计方法,交流部分侧重介绍先进的变频调速理论和技术,包括 DSP 实现的矢量控制和单片机实现的直接转矩控制;过程控制除了介绍常规的单回路和多回路过程控制技术外,还介绍

了分布式、现场总线式计算机网络控制技术,并在最后一章介绍了过程控制系统的应用。

全书理论详实,密切联系工程实际,分析透彻、叙述精练、通俗易懂,适于教学和自学。本书由任彦硕、赵一丁主编,第1~4、7章由任彦硕编写,第5、8章由张家生编写,第6章由高原编写,第9~12章由赵一丁编写,第13章由范立娜编写,第14章由齐世清编写。

本书由中国民航大学罗云林教授主审。罗云林教授对书稿提出了许多宝贵意见和建议,在此谨表示衷心的感谢!

本教材参考学时为 90 学时,其中理论授课 78 学时,实验 12 学时。

目 录

第一篇 控制系统基础篇

第 1 章 绪论

1.1 自动控制系统的组成	3
1.1.1 物理量	3
1.1.2 系统结构	3
1.2 自动控制系统的分类	4
1.2.1 按输入信号的特征分类	5
1.2.2 按信号传输过程是否连续分类	5
1.2.3 按系统构成元件是否线性分类	6
1.2.4 按系统参数是否随时间变化分类	6
1.3 自动控制系统举例	6
1.3.1 速度给定控制系统	6
1.3.2 导弹发射架方位随动控制系统	8
1.3.3 玻璃窑炉的温度控制系统	8
1.4 自动控制系统的发展历史	9
思考题	10

第 2 章 自动控制系统基础

2.1 工程常用的检测元件	11
2.1.1 控制式自整角机	11
2.1.2 直流测速发电机	12
2.1.3 光电编码器	13
2.1.4 电流检测	15
2.1.5 温度检测与变送	17
2.1.6 压力检测与变送	20
2.1.7 流量检测	22
2.1.8 物位检测	23
2.1.9 氧量计	23
2.2 功率驱动装置	25
2.2.1 晶闸管相控整流器	25

2.2.2 PWM 变换器	27
2.3 常用执行机构	31
2.3.1 调节阀	32
2.3.2 电动机的机械特性	36
2.4 调节器	39
2.4.1 比例控制作用对控制品质的影响	39
2.4.2 积分控制作用对控制品质的影响	41
2.4.3 微分控制作用对控制品质的影响	42
思考题	43

第二篇 运动控制篇

第3章 单闭环直流电机调速控制系统

3.1 晶闸管相控整流器驱动的调速系统	47
3.2 直流脉宽调制变换器驱动的调速系统	52
3.3 单闭环直流调速系统的稳态分析和设计	57
3.3.1 系统稳态分析	57
3.3.2 稳态性能指标	59
3.3.3 稳态参数设计	60
3.3.4 单闭环系统的电流截止负反馈	62
3.4 单闭环直流调速系统的动态数学模型	63
3.4.1 额定励磁下的直流电动机动态数学模型	63
3.4.2 功率驱动装置的动态数学模型	65
3.4.3 单闭环直流调速系统固有部分的动态数学模型	66
3.5 比例积分控制规律及调节器的设计	66
3.5.1 比例控制规律	66
3.5.2 积分控制规律	67
3.5.3 比例积分控制规律	68
3.5.4 比例积分控制器的设计	68
思考题	72

第4章 转速和电流双闭环直流调速系统

4.1 双闭环系统的组成原理	73
4.2 双闭环系统的数学模型和性能分析	73
4.3 双闭环系统的稳态设计	75
4.3.1 电流环的稳态参数设计	75

4.3.2	电流环以外各环节的稳态参数设计	76
4.4	按工程设计方法校正双闭环控制系统	76
4.5	直流调速系统的仿真	81
4.5.1	建立仿真模型	81
4.5.2	电流环仿真	84
4.5.3	转速环仿真	86
	思考题	88
第5章 交流调速系统概述		
5.1	交流调速的技术难点和突破	90
5.1.1	变频调速的技术难点	90
5.1.2	变频调速的技术突破	91
5.2	交流调速的方法	91
5.2.1	异步电动机调速的方法	91
5.2.2	同步电动机调速的方法	98
5.3	交流调速的主要应用领域	98
	思考题	99
第6章 异步电动机变压变频调速系统		
6.1	变频调速的基本控制方式	100
6.2	变频调速中的 PWM 控制技术	101
6.2.1	电压 SPWM 控制	101
6.2.2	电流 SPWM 控制	106
6.2.3	电压空间矢量 PWM 控制	107
6.3	恒压频比控制变频调速系统	115
6.3.1	电压频率协调控制时的机械特性	115
6.3.2	恒压频比控制变频调速系统	120
6.4	转差频率控制变频调速系统	128
6.5	异步电动机的数学模型	131
6.5.1	三相异步电动机在三相静止坐标系上的数学模型	132
6.5.2	坐标变换	136
6.5.3	三相异步电动机在两相坐标系上的数学模型	140
6.6	矢量控制变频调速系统	147
6.6.1	矢量控制的基本思想	147
6.6.2	矢量控制的基本方程式	148
6.6.3	矢量控制变频调速系统	148
6.6.4	转子磁链观测模型	150

6.6.5	基于 DSP 实现的矢量控制调速系统	152
6.7	直接转矩控制变频调速系统	156
6.7.1	电压空间矢量对电磁转矩的影响	157
6.7.2	直接转矩控制的基本结构	158
6.7.3	圆形磁链轨迹直接转矩控制变频调速系统	160
6.7.4	定子磁链观测模型	162
6.7.5	基于单片机实现的直接转矩控制系统	165
	思考题	169

第 7 章 随动控制系统

7.1	位置随动系统的构成及工作原理	170
7.2	自整角机位置随动系统的数学模型	173
7.3	位置随动系统的稳态分析	174
7.4	位置随动控制系统的动态校正	175
7.4.1	随动系统的并联校正	176
7.4.2	随动系统的串联校正	177
	思考题	178

第三篇 过程控制篇

第 8 章 过程控制系统的组成与特点

8.1	过程控制的特点	181
8.2	过程控制系统的组成	182
8.3	过程控制系统的性能指标	184
	思考题	186

第 9 章 生产过程的动态特性

9.1	单容过程的动态特性	187
9.1.1	无纯延迟单容过程	187
9.1.2	容量、阻力与纯延迟	189
9.2	多容过程的动态特性	193
9.3	过程数学模型的辨识	195
9.3.1	由阶跃响应确定传递函数	195
9.3.2	由脉冲响应计算阶跃响应	200
9.3.3	相关统计法获得脉冲响应	202
	思考题	202

第 10 章 简单过程控制系统	206
10.1 被控量与调节量的选择	206
10.1.1 被控量的选择	206
10.1.2 调节量的选择	207
10.2 检测变送器	213
10.3 调节阀的流量特性	214
10.3.1 调节阀的流量系数	214
10.3.2 调节阀的流量特性	219
10.4 调节器的选型与参数整定	224
10.4.1 调节器的选型	224
10.4.2 调节器正、反作用的选择	224
10.4.3 积分饱和与防止	225
10.5 调节器的参数整定	226
10.5.1 调节器参数整定的基本要求	226
10.5.2 参数整定的理论方法——衰减频率特性法	228
10.5.3 参数整定的工程整定法	232
思考题	236
第 11 章 提高控制品质的控制系统	238
11.1 串级控制系统	238
11.1.1 串级控制系统的组成	238
11.1.2 串级控制系统的特性分析	240
11.1.3 串级控制系统的设计	245
11.1.4 调节器的选型和整定方法	248
11.2 前馈控制系统	249
11.2.1 前馈控制的原理	249
11.2.2 静态前馈控制器	251
11.2.3 动态前馈控制器	252
11.2.4 前馈-反馈控制	254
11.3 大延迟系统的补偿控制	256
11.3.1 常规 PID 控制	256
11.3.2 史密斯预估补偿器	257
思考题	258
第 12 章 实现特定要求的过程控制系统	260
12.1 比值控制系统	260

12.1.1	比值系统的基本概念	260
12.1.2	比值系数的计算	261
12.1.3	比值系统的参数整定	262
12.1.4	常见比值控制系统	263
12.2	选择性控制系统	264
12.2.1	选择性控制系统的基本概念	264
12.2.2	选择性控制系统的类型	265
12.3	分程控制系统	267
12.3.1	概述	267
12.3.2	分程控制系统的设计	267
12.4	多变量解耦控制系统	268
12.4.1	多变量过程及其耦合	268
12.4.2	相对增益	269
12.4.3	耦合系统的变量匹配	273
12.4.4	解耦控制系统的设计	275
思考题		279

第13章 计算机过程控制系统

13.1	分布式计算机控制系统	281
13.1.1	DCS的组成及特点	281
13.1.2	DCS的分层体系结构	285
13.1.3	DCS的系统组态	285
13.1.4	DCS的数据通信网络	286
13.1.5	DCS的数据通信	288
13.2	可编程控制器在过程控制中的应用	289
13.2.1	PLC的特点	289
13.2.2	PLC在过程控制中的应用实例	290
13.3	现场总线控制系统	294
13.3.1	现场总线的概念	294
13.3.2	现场总线的通信模型	296
13.3.3	几种典型现场总线协议标准	298
13.3.4	现场总线控制系统的结构与特点	303
思考题		304

第14章 过程控制系统应用

14.1	制冷与加热温度控制系统	305
14.1.1	制冷与加热原理	305

14.1.2 温度控制系统组成.....	306
14.1.3 温度控制方案.....	306
14.2 火力发电厂单元机组锅炉水位控制系统.....	307
14.2.1 单元机组的生产过程.....	307
14.2.2 锅炉汽包水位的控制要求.....	308
14.2.3 锅炉汽包的动态特性.....	309
14.2.4 给水串级三冲量控制系统.....	310
14.3 泵和压缩机的自动控制.....	311
14.3.1 泵的控制.....	311
14.3.2 压缩机的控制.....	313
思考题.....	314

第一篇

控制系统基础篇

1.1.1 物理量

2. 输出量

常常将系统中完成不同功能的部分用所谓的“环节”来描述。例如，图 1-1-1 所示的控制系统中有如下的环节。

1. 给定环节

美代阳能系歸登版目 2.1

此等区其定成将给产最良后结是

系统下,为了得到好的响应性能,有时将乘数解面,将乘数解面数式将乘数解面数式