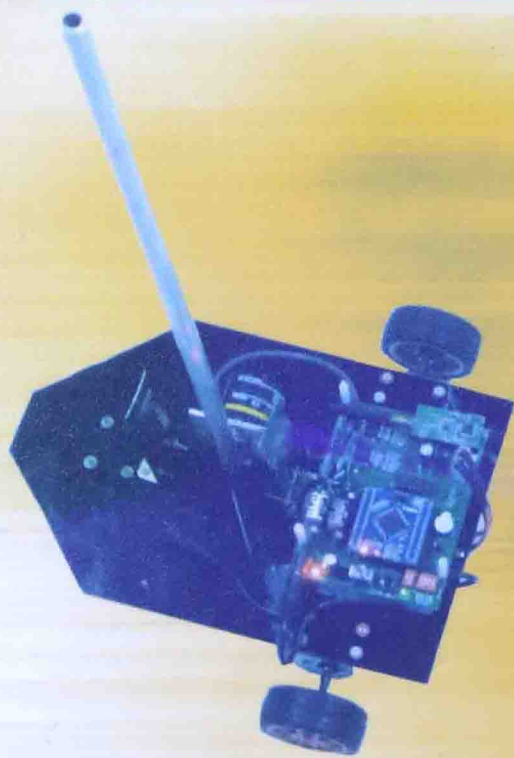




高等院校电子信息与电气学科特色教材

自动控制原理 (第2版)

杨 智 范正平 主编



清华大学出版社





高等院校电子信息与电气学科特色教材

自动控制原理

(第2版)

杨智 范正平 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

自动控制原理是高等院校理工科学生的核心课程之一,本书主要讲述自动控制系统理论及其应用,系统介绍自动控制的基本概念、基本理论、系统的分析与设计方法。

全书共10章。第1章主要讲述自动控制系统的一些基本概论;第2章为控制系统的数学模型;包括状态变量模型;第3章为控制系统时域分析;第4章为线性系统的根轨迹技术;第5章为线性定常系统的频域分析法;第6章为控制系统的校正设计;第7章为状态变量系统分析与设计;第8章为非线性系统,主要是相平面和描述函数法;第9章为数字控制系统;第10章为自动控制系统的设计实例,主要是以温度控制和倒立摆控制系统为例进行控制系统的设计实现。

本书始终以培养应用研究和创新性人才为主线,通过全书的一系列新颖且充满挑战性的问题,在问题答案的寻找过程中,使学生充分体会到发现的乐趣。体现以人为本的思想,每章第一页介绍一位与信息自动化学科有关的国际知名学者的简历,每章最后一页简单介绍信息学科某一个专业的主要概况、内容及职业方向,引导学生了解信息学科各专业的培养目标及相互联系。

本书可作为高等学校电类、信息自动化大类各专业,机械、化工、航空航天等非电类相关专业本科生的教材,亦可供有关工程技术人员再学习时参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/杨智,范正平主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2014

高等院校电子信息与电气学科特色教材

ISBN 978-7-302-35921-0

I. ①自… II. ①杨… ②范… 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(2014)第061978号

责任编辑:王一玲

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:32.5 字 数:812千字

版 次:2010年7月第1版 2014年8月第2版 印 次:2014年8月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:59.00元

出版说明

随着我国高等教育逐步实现大众化以及产业结构的进一步调整,社会对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这反映到高等学校的定位与教学要求中,必然带来教学内容的差异化和教学方式的多样性。而电子信息与电气学科作为当今发展最快的学科之一,突出办学特色,培养有竞争力、有适应性的人才是很多高等院校的迫切任务。高等教育如何不断适应现代电子信息与电气技术的发展,培养合格的电子信息与电气学科人才,已成为教育改革中的热点问题之一。

目前我国电类学科高等教育的教学中仍然存在很多问题,例如在课程设置和教学实践中,学科分立,缺乏和谐与连通;局部知识过深、过细、过难,缺乏整体性、前沿性和发展性;教学内容与学生的背景知识相比显得过于陈旧;教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息与电气学科人才还不能很好地满足社会的需求等。为了适应 21 世纪人才培养的需要,很多高校在电子信息与电气学科专业建设和课程建设方面都做了大量工作,包括国家级、省级、校级精品课的建设等,充分体现了各个高校重点专业的特色,也同时体现了地域差异对人才培养所产生的影响,从而形成各校自身的特色。许多一线教师在多年教学与科研方面已经积累了大量的经验,将他们的成果转化为教材的形式,向全国其他院校推广,对于深化我国高等学校的教学改革是一件非常有意义的事。

为了配合全国高校培育有特色的精品课程和教材,清华大学出版社在大量调查研究的基础之上,在教育部相关教学指导委员会的指导下,决定规划、出版一套“高等院校电子信息与电气学科特色教材”,系列教材将涵盖通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、自动化、电气工程、光电信息工程、微电子学、信息安全等电子信息与电气学科,包括基础课程、专业主干课程、专业课程、实验实践类课程等多个方面。本套教材注重立体化配套,除主教材之外,还将配套教师用 CAI 课件、习题及习题解答、实验指导等辅助教学资源。

由于各地区、各学校的办学特色、培养目标和教学要求均有不同,所以对特色教材的理解也不尽一致,我们恳切希望大家在使用本套教材的过程中,及时给我们提出批评和改进意见,以便我们做好教材的修订改

版工作,使其日趋完善。相信经过大家的共同努力,这套教材一定能成为特色鲜明、质量上乘的优秀教材,同时,我们也欢迎有丰富教学和创新实践经验的优秀教师能够加入到本丛书的编写工作中来!

清华大学出版社

高等院校电子信息与电气学科特色教材编委会

联系人:王一玲 wangyl@tup.tsinghua.edu.cn

前言

控制科学与工程是饶有兴趣、充满新奇且具有挑战性的学科。从本质上说,控制科学与工程是一门跨学科综合性的工程学科,自动控制原理是它的核心课程。由于自动控制技术在各个行业的广泛渗透,其控制理论已逐渐成为高等院校许多学科共同的专业基础,且越来越占有主要的位置。国内外已经出版了许多优秀的《自动控制原理》类教科书,尽管如此,学生们仍常常感到学习和应用“自动控制原理”比较困难。我们的学生从电力、石油化工、冶金、机械加工、水处理、地铁、啤酒厂、汽车制造等工厂参观实习回来后都惊奇地发现,他们在课堂上学到的知识如今确实应用到各个行业,我们建议学生在学习该门课程期间一定要去工厂参观实习,这对学习、认识和应用自动控制系统大有好处。可以采用不同的途径来学习和掌握控制科学与工程的基础知识和技能。一方面,该学科是奠定在坚实的数学基础之上的,可以将定理及其证明作为重点,从严格的理论角度来学习它;另一方面,由于其最终目标是实现对实际系统的自动控制,也可以在设计控制系统的实践中,主要凭直觉和实践经验来学习,不过这只是权宜之计。本书是在介绍信息控制学科的数学工具和方法论的基础上,着重以工程实例为背景,以物理模型为主线,介绍如何对自动控制系统进行分析和实现具有实用参数指标的实际控制系统的设计。

最重要和最有效的学习方法是对前人已得到的答案和方法重新发现和创新。传统的教学方法不够重视学生创新与实践能力的培养,不重视向学生提问题,而是只给出问题的研究方法、理论证明和完整的答案,使学生感受不到刺激和兴奋,与创造冲动无缘,有可能知难而退。因此,理想的教学方法是向学生提出一系列问题,并给出一些过去已经得到的答案。向学生提出一些将要面临的、重要而尚无答案的问题,由学生自己去寻求答案。这样他们可以自豪地说,他们所学到的知识都是自己所发现的。一本好的教科书和一位好的教授讲解是学好课程的有利条件,但是,只有学生自己才是学好课程的关键因素,大家都知道兴趣是最好的老师,相信本书的再版能给学生带来更大的学习和研究兴趣。

本书注重教学研究要更新观念、强调工程背景,理论紧密结合实际,从基本概念、基本分析方法入手,结合实例,以时域分析方法为主线,时域分析和频域分析并进,图文并茂,利用直观的物理概念以及一系列MATLAB仿真结果使学生充分理解控制系统参数与性能指标之间的内在联系,由浅入深地引导学生全面理解和掌握自动控制系统的分析与设计方法。

本书的编写是主编在从事自动控制原理课程教学和从事控制科学与工程科学研究 30 年经验的基础上完成的。本次修订的主要工作是保留原著基本内容与风貌,更加强调控制理论紧密与实际应用结合,删除第 1 版中当今自动控制系统分析与设计中几乎不用的内容。例如:第 2 章中方框图的复杂等效变换和简化部分;第 3 章的赫尔维茨稳定判据和动态误差系数部分;第 6 章中有源校正电路部分。部分例子做了删减,各章节所有模拟仿真图形均采用 MATLAB 实现。为了进一步突出自动控制原理课程的综合应用性,在第 2 版中增加了第 10 章自动控制系统设计实例,主要选取了两种典型控制系统:温度控制系统与倒立摆控制系统作为设计实例,以激发学生学习的积极性和创造新,达到学以致用目的。

本书第 1 章~第 6 章内容可以作为自动化专业、电子信息学科和非电工程各学科的基础内容,建议学时在 60 学时左右。其他内容可根据各院校各专业教学计划的安排和课时,自行组合加以取舍。

本书由杨智、范正平主编。第 1 章、第 2 章、第 5 章~第 7 章、第 9 章由杨智执笔,第 3 章、第 4 章和第 8 章由范正平执笔,第 10 章由陈曦、何树敏执笔。本书部分内容受国家自然科学基金项目(60704045)和(60874115)资助。研究生王明甲、许清媛等参与了本书的打字、MATLAB 编程与绘图工作。在此,谨向对我们的编写工作给予积极支持和大力帮助的人们表示诚挚的感谢!

由于我们的时间和水平有限,书中错误难免,殷切希望广大师生、专家学者、控制工程师提出批评和宝贵意见,以便再版时改正。

杨 智

2013 年 9 月于广州

联系邮件 issyz@mail.sysu.edu.cn

目 录

第 1 章 绪论	1
电子与电气学科世界著名学者——瓦特	1
1.1 引言	1
1.2 自动控制的定义和历史回顾	2
1.3 自动控制系统举例及术语定义	4
1.3.1 液位控制系统	4
1.3.2 温度控制系统	5
1.3.3 自动控制系统术语定义	5
1.4 自动控制系统的基本控制方式	6
1.4.1 开环控制	6
1.4.2 闭环控制	7
1.4.3 复合控制	7
1.5 自动控制系统分类	8
1.5.1 按系统特性方程分	8
1.5.2 按参考输入信号的变化规律分	9
1.5.3 按控制系统输入量和输出量的数量分	10
1.5.4 按控制原理分	10
1.6 自动控制系统的基本要求	10
1.7 自动控制原理课程的性质和内容	11
1.8 小结	11
关键术语和概念	12
拓展您的事业——电子学科	13
习题	13
第 2 章 控制系统的数学模型	15
电子与电气学科世界著名学者——麦克斯韦	15
2.1 引言	16
2.2 控制系统的时域数学模型	16
2.2.1 微分方程与状态变量数学模型	16
2.2.2 线性定常微分方程的解	22
2.2.3 非线性系统的线性化	23
2.2.4 运动的模态	26
2.3 控制系统的复数域数学模型	26

2.3.1	传递函数的定义和性质	26
2.3.2	传递函数的零点和极点	27
2.3.3	传递函数用于分析控制系统性能	28
2.3.4	传递函数数学模型建立举例	30
2.4	控制系统的方框图与信号流图	32
2.4.1	控制系统的方框图	32
2.4.2	方框图的等效变换和简化	34
2.4.3	信号流图	37
2.4.4	多输入系统的传递函数	39
2.5	输入输出模型与状态变量模型之间的关系	40
2.5.1	由输入输出模型转换为状态变量模型	40
2.5.2	由状态变量模型转换为输入输出模型	45
2.5.3	线性定常系统在坐标变换下的特性	45
2.6	数学模型的实验测定法	48
2.6.1	数学模型实验测定的主要方法	48
2.6.2	数学模型的工程辨识	49
2.7	MATLAB用于控制系统模型建立与仿真	49
2.8	小结	53
	关键术语和概念	54
	拓展您的事业——电气工程学科	54
	习题	55
第3章	控制系统时域分析	58
	电子与电气学科世界著名学者——维纳	58
3.1	引言	59
3.1.1	典型输入信号	59
3.1.2	时域性能指标	60
3.2	控制系统时域分析	61
3.2.1	一阶系统的时域分析	61
3.2.2	典型二阶系统的时域分析	63
3.2.3	高阶系统的时域分析	71
3.2.4	MATLAB分析控制系统时域响应	73
3.3	线性定常系统的稳定性分析	78
3.3.1	稳定性定义及线性定常系统稳定的充分必要条件	78
3.3.2	劳斯稳定判据	81
3.3.3	劳斯稳定判据的应用	84
3.4	控制系统的稳态误差分析	85
3.4.1	误差定义及稳态误差	85
3.4.2	稳态误差的计算	86

3.4.3	扰动作用下的稳态误差	90
3.4.4	减小或消除稳态误差的措施	92
3.5	小结	94
	关键术语和概念	95
	拓展您的事业——自动化学科	96
	习题	96
第 4 章	根轨迹技术	103
	电子与电气学科世界著名学者——伊文思	103
4.1	引言	104
4.1.1	根轨迹的基本概念	104
4.1.2	根轨迹方程	105
4.2	根轨迹绘制的基本法则	106
4.3	广义根轨迹	119
4.3.1	参数根轨迹	119
4.3.2	正反馈或非最小相位系统的根轨迹	123
4.4	时滞系统的根轨迹	125
4.5	根轨迹法在控制系统中的应用	128
4.6	小结	131
	关键术语和概念	132
	拓展您的事业——计算机学科	132
	习题	133
第 5 章	线性定常系统的频域分析法	137
	电子与电气学科世界著名学者——奈奎斯特	137
5.1	引言	137
5.1.1	频率特性的基本概念与定义	138
5.1.2	频率特性的几何表示法	140
5.2	典型环节频率特性曲线的绘制	142
5.3	系统的开环频率特性	147
5.3.1	开环幅相频率特性曲线的绘制	148
5.3.2	开环对数频率特性曲线	151
5.3.3	传递函数的频域实验确定	155
5.4	线性定常系统频率域稳定判据	157
5.4.1	奈奎斯特稳定判据的数学基础	157
5.4.2	奈奎斯特稳定判据	158
5.4.3	对数频率特性稳定判据	165
5.5	相对稳定性——稳定裕度	169
5.6	闭环系统的频域响应	173

5.6.1	闭环系统的频域性能指标	174
5.6.2	典型二阶系统的 M_r 、 ω_r 和带宽 BW	175
5.6.3	确定闭环频率特性的图解法——尼科尔斯图	176
5.6.4	频域指标和时域指标的转换	181
5.7	MATLAB 在系统频域分析中的应用	184
5.8	小结	186
	关键术语和概念	187
	拓展您的事业——通信系统学科	188
	习题	188
第 6 章 控制系统的校正设计		192
	电子与电气学科世界著名学者——伯德	192
6.1	引言	193
6.1.1	控制系统的分析与设计问题	193
6.1.2	不同校正方法的性能指标	194
6.1.3	基本校正方式	195
6.2	控制(校正)器的基本控制规律	196
6.2.1	比例(P)控制规律	196
6.2.2	积分(I)控制规律	197
6.2.3	比例-积分(PI)控制规律	198
6.2.4	比例-微分(PD)控制规律	199
6.2.5	比例-积分-微分(PID)控制规律	201
6.2.6	局部速度反馈控制规律	201
6.3	常用校正装置及特性	202
6.3.1	无源校正电路	203
6.3.2	自动化仪表中的 PID 控制器	206
6.4	根轨迹法在控制系统校正设计中的应用	206
6.4.1	串联超前校正	207
6.4.2	串联滞后校正	211
6.4.3	串联 PID 校正	213
6.4.4	局部反馈校正	214
6.5	伯德图频域法在控制系统校正设计中的应用	222
6.5.1	串联超前校正	222
6.5.2	串联滞后校正	226
6.5.3	滞后-超前校正	229
6.5.4	串联校正的预期开环频率特性设计	231
6.6	工业过程控制中 PID 调节器参数的工程整定	236
6.6.1	飞升曲线法	236
6.6.2	临界比例度法	237

6.7	复合校正控制系统设计	239
6.7.1	按扰动补偿的复合控制	239
6.7.2	按输入补偿的复合控制	240
6.8	实用的PID控制器结构与鲁棒控制问题	242
6.8.1	理想的PID控制器	242
6.8.2	一类实用的PID控制器	243
6.8.3	二自由度PID控制问题	244
6.8.4	鲁棒控制系统的设计	246
6.9	MATLAB在控制系统设计中的应用	256
6.9.1	MATLAB与频域法用于控制系统设计	256
6.9.2	MATLAB与根轨迹法用于控制系统设计	258
6.10	小结	263
	关键术语和概念	264
	拓展您的事业——电子仪器学科	264
	习题	265
第7章	状态变量系统分析与设计	269
	电子与电气学科世界著名学者——卡尔曼	269
7.1	引言	270
7.2	线性定常连续系统的时域响应	270
7.2.1	线性定常系统齐次状态方程的解与状态转移矩阵	270
7.2.2	状态转移矩阵的性质和意义	272
7.2.3	线性定常连续系统非齐次状态方程的解	273
7.3	连续系统的李雅普诺夫稳定性分析	277
7.3.1	李雅普诺夫稳定性概念	277
7.3.2	李雅普诺夫稳定性理论	279
7.3.3	线性定常系统的李雅普诺夫稳定性分析	285
7.3.4	非线性系统的李雅普诺夫稳定性分析-克拉索夫斯基法	287
7.3.5	李雅普诺夫第二法的其他应用	290
7.4	控制系统的能控性和能观测性	293
7.4.1	能控性和能观测性的定义	294
7.4.2	线性定常连续系统的能控性判据	295
7.4.3	线性定常连续系统的能观测性判据	300
7.4.4	线性系统能控性与能观测性的对偶关系	302
7.4.5	控制系统的结构分解	303
7.5	线性定常系统的极点配置设计	309
7.5.1	状态反馈和输出反馈的概念	309
7.5.2	状态变量闭环控制系统的极点配置设计	312
7.5.3	基于状态观测器的控制系统设计	327

7.6	最优控制系统	333
7.6.1	最优控制的数学描述与性能指标	333
7.6.2	基于线性二次型性能指标最优控制设计	336
7.7	小结	347
	关键术语和概念	348
	拓展您的事业——科学研究与工程教育事业	349
	习题	349
第8章	非线性系统	354
	电子与电气学科世界著名学者——李雅普诺夫	354
8.1	引言	355
8.1.1	非线性系统的特征	355
8.1.2	非线性系统的研究方法	359
8.2	典型非线性特征及对系统运动的影响	360
8.2.1	继电特性	360
8.2.2	死区特性	362
8.2.3	饱和特性	363
8.2.4	间隙特性	364
8.2.5	摩擦特性	364
8.3	相平面法	365
8.3.1	相平面和相轨迹的基本概念	365
8.3.2	相轨迹的性质	366
8.3.3	相轨迹图解法	367
8.3.4	线性系统的相轨迹	369
8.3.5	非线性系统的相轨迹	372
8.3.6	典型非线性控制系统相平面分析	376
8.4	描述函数法	384
8.4.1	描述函数法的基本概念	384
8.4.2	典型非线性特性的描述函数计算	386
8.4.3	非线性系统的简化	390
8.4.4	利用描述函数分析系统的稳定性	390
8.5	利用非线性特性进行控制系统设计	394
8.5.1	非线性阻尼校正	394
8.5.2	非线性滞后校正	395
8.5.3	基于继电器特性的 PID 参数自整定控制系统设计	397
8.6	MATLAB 在非线性系统分析中的应用	399
8.7	小结	404
	关键术语和概念	404
	拓展您的事业——电磁学科	405

习题	405
第 9 章 数字控制系统	409
电子与电气学科世界著名学者——香农	409
9.1 引言	410
9.1.1 采样控制过程	410
9.1.2 数字控制系统组成	412
9.2 信号的采样与保持	413
9.2.1 采样过程	413
9.2.2 采样过程的数学描述	414
9.2.3 香农定理	415
9.2.4 采样周期的选取	416
9.2.5 信号保持	416
9.3 z 变换理论	418
9.3.1 z 变换的定义	418
9.3.2 z 变换方法	419
9.3.3 z 变换的基本定理	421
9.3.4 z 反变换	423
9.4 离散系统的数学模型	426
9.4.1 线性定常离散系统差分方程及其解法	426
9.4.2 脉冲传递函数	427
9.4.3 开环系统脉冲传递函数	428
9.4.4 闭环系统脉冲传递函数	430
9.5 线性定常离散控制系统的稳定性	432
9.5.1 线性定常离散控制系统稳定的充要条件	432
9.5.2 线性定常离散系统的稳定判据	434
9.6 离散系统的稳态误差	435
9.7 离散系统的动态性能分析	436
9.8 数字控制器的设计	439
9.8.1 模拟化设计方法	439
9.8.2 数字化直接设计方法	440
9.9 MATLAB 在数字控制系统中的应用	442
9.9.1 z 变换和 z 反变换的 MATLAB 实现	442
9.9.2 连续系统模型与离散系统模型的转换	445
9.9.3 线性定常数字控制系统的 MATLAB 稳定性分析	446
9.9.4 数字控制系统的 MATLAB 时域分析	449
9.10 小结	455
关键术语和概念	455
拓展您的事业——软件工程学科	456

204	习题	456
第 10 章 自动控制系统的的设计实例		
001	信息技术创新创业先驱——乔布斯	459
011	10.1 引言	460
014	10.2 温度控制器的设计与实现	460
018	10.2.1 温度控制系统分析	460
021	10.2.2 温度控制系统硬件设计	464
024	10.2.3 温度控制系统性能测试	469
027	10.3 倒立摆控制系统设计与实现	470
031	10.3.1 倒立摆数学模型的建立	471
034	10.3.2 倒立摆控制系统硬件设计	474
037	10.3.3 倒立摆控制系统算法仿真	479
040	10.3.4 倒立摆控制系统实现	488
043	10.4 小结	489
046	关键术语和概念	489
049	拓展您的事业——航空航天学	490
附录 A 拉普拉斯变换		
051	A.1 拉普拉斯变换和反变换的定义	491
054	A.2 常用函数的拉普拉斯变换	491
057	A.3 拉普拉斯变换基本定理	494
060	A.4 拉普拉斯反变换	496
063	A.5 拉普拉斯变换表	498
附录 B 李亚普诺夫主稳定性定理的证明		
附录 C 常用 z 变换表		
参考文献		
068	1.1 非线性系统的描述	504
071	1.2 利用描述函数分析系统的稳定性	504
074	1.3 利用系统线性化分析非线性系统的稳定性	504
077	1.3.1 非线性系统平衡点稳定性分析	504
080	1.3.2 非线性系统平衡点稳定性分析	504
083	1.3.3 非线性系统平衡点稳定性分析	504
086	1.3.4 非线性系统平衡点稳定性分析	504
089	1.3.5 非线性系统平衡点稳定性分析	504
092	1.3.6 非线性系统平衡点稳定性分析	504
095	1.3.7 非线性系统平衡点稳定性分析	504
098	1.3.8 非线性系统平衡点稳定性分析	504
101	1.3.9 非线性系统平衡点稳定性分析	504
104	1.3.10 非线性系统平衡点稳定性分析	504
107	1.3.11 非线性系统平衡点稳定性分析	504
110	1.3.12 非线性系统平衡点稳定性分析	504
113	1.3.13 非线性系统平衡点稳定性分析	504
116	1.3.14 非线性系统平衡点稳定性分析	504
119	1.3.15 非线性系统平衡点稳定性分析	504
122	1.3.16 非线性系统平衡点稳定性分析	504
125	1.3.17 非线性系统平衡点稳定性分析	504
128	1.3.18 非线性系统平衡点稳定性分析	504
131	1.3.19 非线性系统平衡点稳定性分析	504
134	1.3.20 非线性系统平衡点稳定性分析	504
137	1.3.21 非线性系统平衡点稳定性分析	504
140	1.3.22 非线性系统平衡点稳定性分析	504
143	1.3.23 非线性系统平衡点稳定性分析	504
146	1.3.24 非线性系统平衡点稳定性分析	504
149	1.3.25 非线性系统平衡点稳定性分析	504
152	1.3.26 非线性系统平衡点稳定性分析	504
155	1.3.27 非线性系统平衡点稳定性分析	504
158	1.3.28 非线性系统平衡点稳定性分析	504
161	1.3.29 非线性系统平衡点稳定性分析	504
164	1.3.30 非线性系统平衡点稳定性分析	504
167	1.3.31 非线性系统平衡点稳定性分析	504
170	1.3.32 非线性系统平衡点稳定性分析	504
173	1.3.33 非线性系统平衡点稳定性分析	504
176	1.3.34 非线性系统平衡点稳定性分析	504
179	1.3.35 非线性系统平衡点稳定性分析	504
182	1.3.36 非线性系统平衡点稳定性分析	504
185	1.3.37 非线性系统平衡点稳定性分析	504
188	1.3.38 非线性系统平衡点稳定性分析	504
191	1.3.39 非线性系统平衡点稳定性分析	504
194	1.3.40 非线性系统平衡点稳定性分析	504
197	1.3.41 非线性系统平衡点稳定性分析	504
200	1.3.42 非线性系统平衡点稳定性分析	504
203	1.3.43 非线性系统平衡点稳定性分析	504
206	1.3.44 非线性系统平衡点稳定性分析	504
209	1.3.45 非线性系统平衡点稳定性分析	504
212	1.3.46 非线性系统平衡点稳定性分析	504
215	1.3.47 非线性系统平衡点稳定性分析	504
218	1.3.48 非线性系统平衡点稳定性分析	504
221	1.3.49 非线性系统平衡点稳定性分析	504
224	1.3.50 非线性系统平衡点稳定性分析	504
227	1.3.51 非线性系统平衡点稳定性分析	504
230	1.3.52 非线性系统平衡点稳定性分析	504
233	1.3.53 非线性系统平衡点稳定性分析	504
236	1.3.54 非线性系统平衡点稳定性分析	504
239	1.3.55 非线性系统平衡点稳定性分析	504
242	1.3.56 非线性系统平衡点稳定性分析	504
245	1.3.57 非线性系统平衡点稳定性分析	504
248	1.3.58 非线性系统平衡点稳定性分析	504
251	1.3.59 非线性系统平衡点稳定性分析	504
254	1.3.60 非线性系统平衡点稳定性分析	504
257	1.3.61 非线性系统平衡点稳定性分析	504
260	1.3.62 非线性系统平衡点稳定性分析	504
263	1.3.63 非线性系统平衡点稳定性分析	504
266	1.3.64 非线性系统平衡点稳定性分析	504
269	1.3.65 非线性系统平衡点稳定性分析	504
272	1.3.66 非线性系统平衡点稳定性分析	504
275	1.3.67 非线性系统平衡点稳定性分析	504
278	1.3.68 非线性系统平衡点稳定性分析	504
281	1.3.69 非线性系统平衡点稳定性分析	504
284	1.3.70 非线性系统平衡点稳定性分析	504
287	1.3.71 非线性系统平衡点稳定性分析	504
290	1.3.72 非线性系统平衡点稳定性分析	504
293	1.3.73 非线性系统平衡点稳定性分析	504
296	1.3.74 非线性系统平衡点稳定性分析	504
299	1.3.75 非线性系统平衡点稳定性分析	504
302	1.3.76 非线性系统平衡点稳定性分析	504
305	1.3.77 非线性系统平衡点稳定性分析	504
308	1.3.78 非线性系统平衡点稳定性分析	504
311	1.3.79 非线性系统平衡点稳定性分析	504
314	1.3.80 非线性系统平衡点稳定性分析	504
317	1.3.81 非线性系统平衡点稳定性分析	504
320	1.3.82 非线性系统平衡点稳定性分析	504
323	1.3.83 非线性系统平衡点稳定性分析	504
326	1.3.84 非线性系统平衡点稳定性分析	504
329	1.3.85 非线性系统平衡点稳定性分析	504
332	1.3.86 非线性系统平衡点稳定性分析	504
335	1.3.87 非线性系统平衡点稳定性分析	504
338	1.3.88 非线性系统平衡点稳定性分析	504
341	1.3.89 非线性系统平衡点稳定性分析	504
344	1.3.90 非线性系统平衡点稳定性分析	504
347	1.3.91 非线性系统平衡点稳定性分析	504
350	1.3.92 非线性系统平衡点稳定性分析	504
353	1.3.93 非线性系统平衡点稳定性分析	504
356	1.3.94 非线性系统平衡点稳定性分析	504
359	1.3.95 非线性系统平衡点稳定性分析	504
362	1.3.96 非线性系统平衡点稳定性分析	504
365	1.3.97 非线性系统平衡点稳定性分析	504
368	1.3.98 非线性系统平衡点稳定性分析	504
371	1.3.99 非线性系统平衡点稳定性分析	504
374	1.3.100 非线性系统平衡点稳定性分析	504

第1章

绪论

电子与电气学科世界著名学者——瓦特

詹姆斯·瓦特(James Watt, 1736—1819)

瓦特是英国著名的发明家,工业革命时期的重要人物。英国皇家学会会员和法兰西科学院外籍院士。1760—1800年,瓦特对蒸汽机进行了彻底的改造,终于使其得到广泛的应用。在瓦特的改良工作中,1788年,他给蒸汽机添加了一个“节流”控制器,即节流阀,它由一个离心“调节器”操纵,类似于磨房机工早已用来控制风力面粉机磨石松紧的装置。“调节器”或“飞球调节器”用于调节蒸汽流,以便确保引擎工作时速度大致均匀,这是当时反馈调节器最成功的应用。后人为了纪念他,将功率的单位称为瓦特,瓦特是国际单位制中功率和辐射通量的计量单位,常用符号“W”表示。



瓦特1736年1月19日生于英国格拉斯哥。童年时代的瓦特曾在文法学校念过书,却没有受过系统教育。瓦特在父亲做工的工厂里学到许多机械制造知识,后来他到伦敦的一家钟表店当学徒。1763年瓦特到格拉斯哥大学工作,修理教学仪器,在大学里他经常和教授讨论理论和技术问题。1781年瓦特制造了从两边推动活塞的双动蒸汽机,1785年,他也因蒸汽机改进的重大贡献,被选为皇家学会会员。1819年8月25日瓦特在靠近伯明翰的希斯菲德逝世。

在瓦特的讣告中,对他发明的蒸汽机有这样的赞颂:“它武装了人类,使虚弱无力的双手变得力大无穷,健全了人类的大脑以处理一切难题。它为机械动力在未来创造奇迹打下了坚实的基础,将有助并报偿后代的劳动”。

1.1 引言

时至今日,随着信息技术的飞速发展,自动控制在现代文明和技术的发展与进步中扮演着越来越重要的角色。现在自动控制技术已广泛应用于石油化工、冶金、机械制造、汽车、造

纸、航空航天、军事、电力系统、交通、市政(供水调度、污水处理)等领域,它极大地提高了劳动生产率,使人们从繁重的体力劳动和大量重复性的手工操作中解放出来。在今天的社会生活中,自动化技术无处不在。自动控制除在各工程领域广泛应用外,还被用于社会、经济和人文管理系统等各个领域,它为人类文明进步做出了重要贡献。因此,大多数工程技术人员和科学工作者现在都应该具备一定的自动控制知识。

本章主要介绍自动控制的基本概念及发展历史,随后举例讲述自动控制系统的几种典型控制方式及分类,对控制系统设计的基本要求和自动控制原理课程性质、学习内容等方面进行了说明。最后,对信息自动化学科专业的学生在学习本学科专业知识时应注意的问题给予了阐述。

1.2 自动控制的定义和历史回顾

1. 自动控制的定义

所谓的自动控制技术是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置(称控制器 controller),使机器、设备或生产过程(统称被控对象 plant 或被控过程 process)的某个工作状态或参数(即被控量)自动地按照预定的规律运行。

2. 自动控制的发展历史

(1) 1788年瓦特(James Watt)的蒸汽机及他的离心式飞锤调速器(fly-ball governor)的发明建立了蒸汽机转速自动控制系统,出现了反馈的概念,“调节器”或“飞球调节器”用于调节蒸汽流,以便确保引擎工作时速度大致均匀,这是当时反馈调节器最成功的应用,它的出现标志着英国工业革命的开始,但也发现了闭环系统可能出现振荡的现象。瓦特是一位实干家,他没有对调节器进行理论分析。

(2) 大约80年后即1868年著名物理学家、电磁场理论发明人麦克斯韦(Maxwell J.C)建立了蒸汽机飞球控制的微分方程数学模型,从微分方程角度讨论了调节器系统可能产生的不稳定现象,从而开始了对反馈控制动力学问题的理论研究,提出了稳定的概念。他是第一个对反馈控制系统的稳定性进行系统分析并发表“论调节器”论文的人,并将系统在平衡点附近进行线性化处理,指出线性定常系统的稳定性取决于特征方程的根是否具有负的实部,麦克斯韦的工作开创了控制理论研究的先河。

(3) 1884年英国数学家劳斯(Routh E.J)、1895年瑞士数学家赫尔维茨(Hurwitz A)提出了不解微分方程或无须计算系统特征方程的根,只需考察线性定常系统特征方程的系数,就能确定动态系统的稳定性,得出了相应的稳定性判据。

(4) 1892年俄罗斯伟大的数学家李雅普诺夫(Liapunov)发表了具有深远历史意义的博士论文“运动稳定性的一般问题”(The general problem of the stability of motion, 1892)。用严格的数学分析方法,全面论述了稳定性问题,为控制理论打下坚实的基础,提出了为当今学术界广为应用且影响巨大的李雅普诺夫方法,也即李雅普诺夫第二方法或李雅普诺夫直接方法。这一方法不仅可用于线性系统而且可用于非线性时变系统的分析与设计,已成为当今自动控制理论课程讲授的主要内容之一。