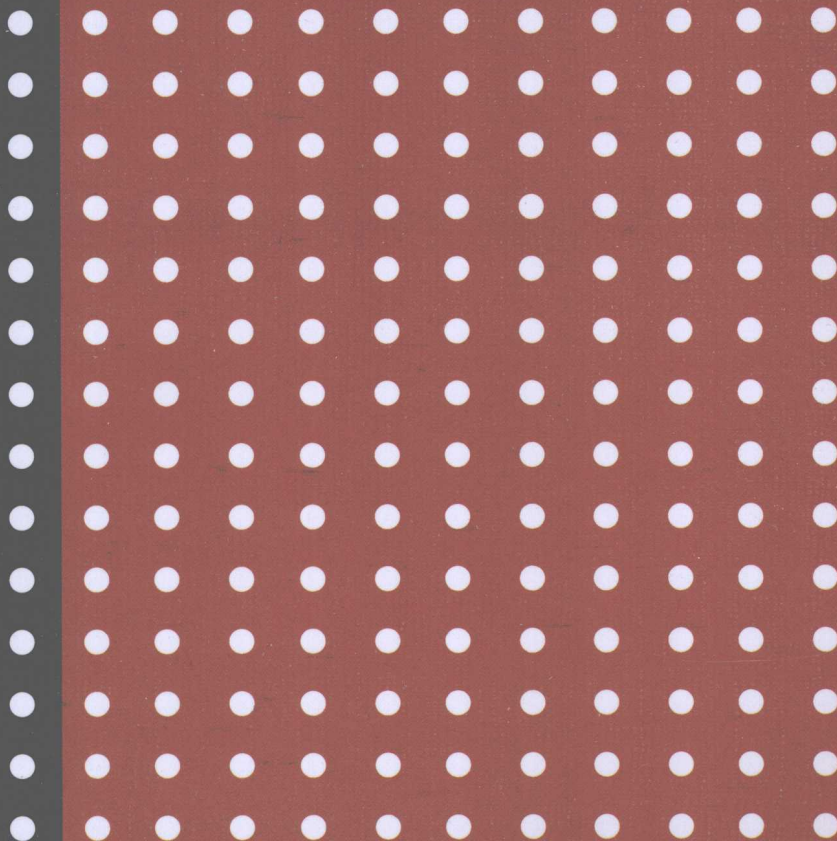


21世纪高等学校电子信息工程规划教材

自动控制原理

李玉惠 晋帆 主编
向凤红 主审

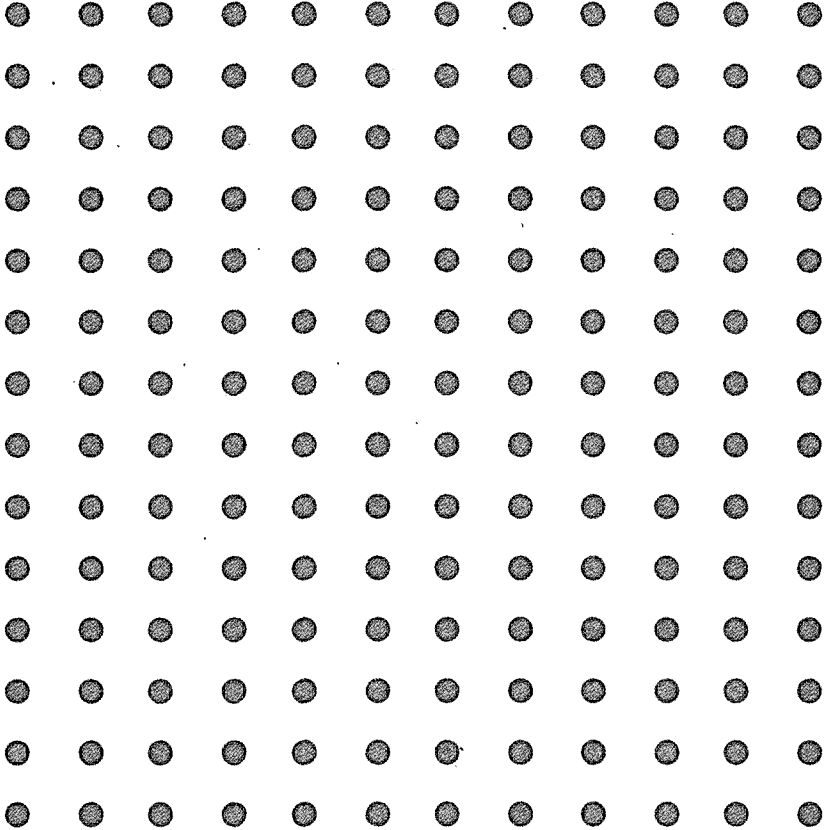


清华大学出版社

21世纪高等学校电子信息工程规划教材

自动控制原理

李玉惠 晋帆 主编
向凤红 主审



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了研究单变量控制系统的基本理论、基本方法和工程应用的基本计算要点。主要内容包括线性连续系统的稳定性、瞬态性能和稳态性能的时域、复域和频域理论,以及离散系统的理论基础和非线性系统的一般分析法。全书共分8章:第1章讲述自动控制系统的基本概念,第2章讲述自动控制系统的数学模型与建模方法,第3~5章讲述控制系统的时域分析法、根轨迹分析法和频域分析法,第6章讲述控制系统设计和校正的概念与方法,第7章讲述线性离散系统的理论基础,第8章讲述非线性系统的描述函数和相平面分析法。

本书在编写风格上,从贴近学习者的角度,尝试用较轻松活泼的语言讲述专业问题和引出解决思路。

本书适合作为高等院校电类和非电类相关专业本科生的教材,可供有关工程技术人员自学和参考。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/李玉惠,晋帆主编. —北京:清华大学出版社,2008.2

(21世纪高等学校电子信息工程规划教材)

ISBN 978-7-302-16798-3

I. 自… II. ①李… ②晋… III. 自动控制理论—高等学校—教材 IV. TP13

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第005444号

责任编辑:梁颖 顾冰

责任校对:时翠兰

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京市世界知识印刷厂

装订者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:14.75 字 数:356千字

版 次:2008年2月第1版 印 次:2008年2月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:24.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:027046-01

出版说明

随着我国高等教育规模的扩大和产业结构调整的进一步完善,社会对高层次应用型人才的需求将更加迫切。各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,合理调整和配置教育资源,在改革和改造传统学科专业的基础上,加强工程型和应用型学科专业建设,积极设置主要面向地方支柱产业、高新技术产业、服务业的工程型和应用型学科专业,积极为地方经济建设输送各类应用型人才。各高校加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的力度,从而实现传统学科专业向工程型和应用型学科专业的发展与转变。在发挥传统学科专业师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势的同时,不断更新其教学内容、改革课程体系,使工程型和应用型学科专业教育与经济建设相适应。

为了配合高校工程型和应用型学科专业的建设和发展,急需出版一批内容新、体系新、方法新、手段新的高水平电子信息类专业课程教材。目前,工程型和应用型学科专业电子信息类专业课程教材的建设工作仍滞后于教学改革的实践,如现有的电子信息类专业教材中有不少内容陈旧(依然用传统专业电子信息教材代替工程型和应用型学科专业教材),重理论、轻实践,不能满足新的教学计划、课程设置的需要;一些课程的教材可供选择的品种太少;一些基础课的教材虽然品种较多,但低水平重复严重;有些教材内容庞杂,书越编越厚;专业课教材、教学辅助教材及教学参考书短缺,等等,都不利于学生能力的提高和素质的培养。为此,在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社组织出版本系列教材,以满足工程型和应用型电子信息类专业课程教学的需要。本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点:

(1) 系列教材主要是电子信息学科基础课程教材,面向工程技术应用培养。本系列教材在内容上坚持基本理论适度,反映基本理论和原理的综合应用,强调工程实践和应用环节。电子信息学科历经了一个多世纪的发展,已经形成了一个完整、科学的理论体系,这些理论是这一领域技术发展的强大源泉,基于理论的技术创新、开发与应用显得更为重要。

(2) 系列教材体现了电子信息学科使用新的分析方法和手段解决工程实际问题。利用计算机强大功能和仿真设计软件,使得电子信息领域中大量复杂的理论计算、变换分析等变得快速简单。教材充分体现了利用计算机解决理论分析与解算实际工程电路的途径与方法。

(3) 系列教材体现了新技术、新器件的开发应用实践。电子信息产业中仪器、设备、产品都已使用高集成化的模块,且不仅仅由硬件来实现,而是大量使用软件和硬件相结合方法,使得产品性价比很高,如何使学生掌握这些先进的技术、创造性地开发应用新技术是本系列教材的一个重要特点。

(4) 以学生知识、能力、素质协调发展为宗旨,系列教材编写内容充分注意了学生创新

能力和实践能力的培养,加强了实验实践环节,各门课程均配有独立的实验课程和课程设计。

(5) 21 世纪是信息时代,学生获取知识可以是多种媒体形式和多种渠道的,而不再局限于课堂上,因而传授知识不再以教师为中心,以教材为唯一依托,而应该多为学生提供各种学习资料(如网络教材,CAI 课件,学习指导书等)。应创造一种新的学习环境(如讨论,自学,设计制作竞赛等),让学生成为学习主体。该系列教材以计算机、网络和实验室为载体,配有多种辅助学习资料,提高学生学习兴趣。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校电子信息工程规划教材编委会

联系人: 魏江江 weijj@tup. tsinghua. edu. cn

前 言

自动控制技术广泛应用于工农业生产、交通运输和国防建设的各个领域,并在科学技术现代化的发展与创新过程中发挥着越来越重要的作用。

“自动控制原理”不仅是自动化相关专业的一门专业基础课,而且在机械化工、农工等非电类工程专业的课程设置中也占有重要地位,计算机生物和经济类专业的学生中也有人选修这一课程。本书作为自动化专业本科教材,系统地讲述了关于自动控制系统建模、分析与设计的基本理论和方法。我们在编写中注意突出以下几个方面:

1. 注重基本理论与基本概念의 阐述。通过严谨的数学推导得出清晰的物理概念,并应用数学工具分析工程中的实际系统;力求深入浅出和突出重点,使学习者能够基于厚实的理论而非止步于复杂的数学过程,进一步学习有关专门文献和控制理论。

2. 注重适用性。教材中除有大量的电类系统实例外,同时考虑了一些机械、化工等非电类系统的内容。

3. 注重启发性。承上启下提出问题,引导学习者思考解决问题的思路,培养学习者主动学习与创新能力。

4. 便于自主学习。内容编排按照系统建模→分析→设计的路线,清晰地展示自动控制理论框架与内容,方便学习者自主学习与参考。

5. 注重综合运用能力。强调了综合运用知识对系统进行综合分析设计的训练。

本书的课程安排约为 80 学时,本书内容安排如下:

第 1、2 章讲述自动控制系统的基本概念和物理系统的数学模型。

第 3~5 章讲述控制系统的时域分析法、根轨迹分析法和频域分析法。

第 6 章讲述控制系统设计和校正的概念与方法。

第 7 章讲述线性离散系统的理论基础,重点是离散系统的数学描述。

第 8 章讲述非线性系统的描述函数和相平面分析法。

本书在内容编写风格上,从贴近学习者的角度,尝试用较轻松活泼的语言启发专业问题和引出解决思路,并对每章的主要内容给出了思考题,使学习者能够较容易接受和建立单变量控制系统的理论框架,进而较快地掌握单变量控制系统的分析与设计。

本书是在编者教学团队多年教学实践与经验积累基础上,参考多种相关教材集体编写的。配有《自动控制原理习题集》,以帮助学习者更好地学习和掌握书中有关自动控制系统的基本理论、基本方法和基本计算。本书由李玉惠、晋帆主编,向凤红主审。第 1、5、6 章由李玉惠执笔,第 2、3 章由晋帆执笔,第 4 章由薛洁执笔,第 7 章由张光辉执笔,第 8 章由周建华执笔。

编写中参考了很多优秀教材和习题集,编者向收录于参考文献中的各位作者表示诚挚的谢意。本书的编写和出版得到清华大学出版社和昆明理工大学精品课程项目的大力支持与资助。在此表以诚挚的谢意!

书中不当之处,敬请读者批评指正。

编者

2007年10月

目 录

第 1 章 自动控制系统的基本概念	1
1.1 引言	1
1.1.1 自动控制的自然系统和人造系统	1
1.1.2 自动控制理论发展简史	2
1.1.3 自动控制中的常用术语	4
1.2 开环控制系统和闭环控制系统	4
1.2.1 开环控制系统	4
1.2.2 闭环控制系统	5
1.2.3 复合控制系统	8
1.3 自动控制系统的基本构成	8
1.4 自动控制系统的分类和应用	9
1.5 对自动控制系统的基本要求	11
思考题与习题	13
第 2 章 自动控制系统的数学模型	14
2.1 建立动态微分方程的一般方法	14
2.2 非线性系统微分方程模型的线性化	16
2.3 传递函数	18
2.3.1 拉普拉斯变换	18
2.3.2 传递函数	21
2.3.3 典型环节的传递函数	22
2.4 系统动态结构图	26
2.4.1 结构图的基本概念	26
2.4.2 结构图的组成和建立	27
2.4.3 结构图的等效变换	28
2.5 自动控制系统的传递函数	33
2.5.1 系统的开环传递函数	33
2.5.2 闭环系统的传递函数	33
2.5.3 闭环系统的偏差传递函数	34
2.6 信号流图	35
2.6.1 信号流图采用的符号及术语	35

2.6.2	信号流图的等效变换法则	36
2.6.3	梅逊增益公式	38
	思考题与习题	40
第3章	线性系统的时域分析	43
3.1	自动控制系统时域响应的基本概念	43
3.2	自动控制系统的稳定性和代数稳定判据	44
3.2.1	自动控制系统稳定性	44
3.2.2	劳斯-胡维茨判据	45
3.3	一阶系统的阶跃响应	48
3.4	二阶系统的阶跃响应	49
3.5	二阶系统的时域指标	51
3.5.1	时域指标及其计算	51
3.5.2	具有零点的二阶系统	56
3.6	高阶系统	57
3.6.1	高阶系统的时域分析	57
3.6.2	主导极点和主导极点法	57
3.7	误差分析	58
3.7.1	稳态误差的概念	58
3.7.2	稳态误差的计算	58
3.7.3	动态误差系数	60
3.7.4	减小稳态误差的方法	63
	思考题与习题	65
第4章	根轨迹分析法	67
4.1	根轨迹的基本概念	67
4.2	绘制根轨迹的基本条件和规则	68
4.2.1	根轨迹方程	68
4.2.2	绘制根轨迹的基本规则	69
4.3	特殊根轨迹	77
4.3.1	参数根轨迹	77
4.3.2	正反馈系统根轨迹	78
4.3.3	具有纯滞后环节系统的根轨迹	80
4.4	用根轨迹法分析系统性能	83
4.4.1	闭环极点的位置与系统性能的关系	83
4.4.2	增加开环零、极点对系统性能的影响	85
	思考题与习题	86

第 5 章 频域分析法	88
5.1 频率特性及其表示法	88
5.1.1 频率特性的基本概念	88
5.1.2 频率特性的表示方法	90
5.2 典型环节的频率特性	93
5.2.1 比例环节的频率特性	93
5.2.2 惯性环节的频率特性	94
5.2.3 积分环节的频率特性	96
5.2.4 微分环节的频率特性	97
5.2.5 振荡环节的频率特性	99
5.2.6 时滞环节	101
5.2.7 最小相位与非最小相位环节	102
5.3 系统开环频率特性的绘制	102
5.3.1 系统的开环幅相频率特性	103
5.3.2 系统的开环对数频率特性	107
5.4 用频率特性分析控制系统的稳定性	110
5.4.1 控制系统的稳定判据	110
5.4.2 应用开环幅相频率特性判断闭环系统的稳定性	113
5.4.3 应用系统开环对数频率特性判断闭环系统的稳定性	117
5.4.4 奈氏稳定判据应用举例	118
5.4.5 频率域中描述系统的稳定裕量	121
5.5 系统瞬态特性和开环频率特性的关系	123
5.5.1 开环对数频率特性的基本性质	123
5.5.2 系统瞬态特性和开环频率特性的关系	128
5.6 闭环系统频率特性	130
5.6.1 闭环系统频率特性与开环系统频率特性的关系	130
5.6.2 闭环系统等 M 、等 θ 圆及尼氏图	131
5.6.3 非单位反馈系统的闭环频率特性	133
5.7 系统瞬态特性和闭环频率特性的关系	134
5.7.1 谐振峰值 M_p 和超调量 $\delta\%$ 之间的关系	134
5.7.2 谐振峰值 M_p 和调整时间 t_s 的关系	134
5.7.3 频带宽 BW 和 ξ 之间的关系	135
思考题与习题	136
第 6 章 控制系统的设计	139
6.1 引言	139
6.1.1 设计要求	139
6.1.2 性能指标	139

6.1.3	校正方式	140
6.2	系统校正的根轨迹法	140
6.2.1	超前校正	141
6.2.2	滞后校正	142
6.3	系统校正的频率响应法	144
6.3.1	串联超前校正	145
6.3.2	串联滞后校正	149
6.3.3	串联滞后-超前校正	154
6.4	反馈校正	156
	思考题与习题	159
第 7 章	线性离散系统的理论基础	160
7.1	采样控制系统的基本概念	160
7.2	信号的采样和保持	161
7.2.1	采样过程及采样函数的数学表达式	161
7.2.2	采样定理	162
7.2.3	信号的保持	163
7.3	Z 变换	164
7.3.1	Z 变换	164
7.3.2	Z 反变换	169
7.3.3	差分方程	171
7.4	脉冲传递函数	172
7.4.1	脉冲传递函数的定义	172
7.4.2	开环系统脉冲传递函数	173
7.4.3	闭环系统脉冲传递函数	176
7.5	采样控制系统的时域分析	178
7.5.1	采样控制系统的稳定性分析	178
7.5.2	采样控制系统的稳态误差分析	181
7.5.3	采样控制系统的瞬态特性分析	184
	思考题与习题	187
第 8 章	非线性系统	190
8.1	非线性系统的特点	190
8.2	典型非线性特性	191
8.2.1	饱和特性	191
8.2.2	间隙特性	192
8.2.3	死区特性	192
8.2.4	继电特性	193
8.2.5	变放大系数特性	193

8.3 描述函数法基础	194
8.3.1 典型非线性特性的描述函数	195
8.3.2 组合非线性特性的描述函数	199
8.4 非线性系统的描述函数法分析	201
8.4.1 描述函数法的应用条件	201
8.4.2 非线性系统结构图的简化	201
8.4.3 非线性系统的稳定性及自振分析	202
8.5 相平面法基础	207
8.5.1 相平面、相轨迹及相平面图	207
8.5.2 相轨迹和相平面图的性质	207
8.5.3 相平面图的绘制	208
8.6 二阶系统的相轨迹	210
8.6.1 奇点	210
8.6.2 极限环	212
8.6.3 渐近线	213
8.7 非线性系统的相平面法分析	214
思考题与习题	218
参考文献	221

第 1 章 自动控制系统的基本概念

1.1 引言

读者现在可能并不理解自动控制复杂的细节,但却从现代生活中的洗衣机、电冰箱、电饭煲等生活用品中可以感受到自动控制给人们带来的便利。在这个星球上,人们的生活在很大程度上都依赖于自动运行的系统。这些系统在不需要人工干预的情况下,自动执行某些功能的能力对人们的生活产生了巨大的影响,自动控制的成就令人类着迷和兴奋。

1.1.1 自动控制的自然系统和人造系统

先来认识一些我们周围存在的、能实现自动控制的自然系统和人造系统。

以人体自然系统为例,这个系统持续的自动控制是人们保持健康的基本条件。人体可以通过体温控制系统、心跳控制系统、眼球聚焦系统、新陈代谢系统、呼吸系统以及肾脏、肺和肝脏及其他许多人体内的系统完成许多功能,从而维持人的生命。这些系统是在人们非有意识干预的情况下自动运行的。

在日常生活中,人们接触到或使用着许多自动运行的人造系统,如在高层建筑中的电梯控制系统、炎热夏季和寒冷冬季的室内温度空调系统、水箱中热水的温度控制系统、水位控制装置以及刹车防抱死系统等,这些只是众多的自动运行系统的几个例子。除此之外,读者应该也能举出类似的例子。

自动控制的作用就是在人不直接参与的情况下,能够使某些被控制量(如工业加热炉的炉温、飞机的飞行速度与仰角)按指定的规律变化。因此,自动控制是一个非常具有吸引力的研究领域,在过去的几十年中发展起来的理论和实践解决了大量的自动化问题,使这个领域具有了通用的特点。在现代生活的所有方面,从宇宙飞船、导弹制导和飞机驾驶到机器制造、工业生产过程和日常生活中,自动控制系统都是极其重要且不可缺少的部分。例如,在工业过程中,对压力、温度、流量、液位和成分的控制;在机器制造业中,机器零件的加工、处理和装配的控制;此外,在机器人、城市交通、网络堵塞等问题中,自动控制也发挥着重要作用。

将自动控制技术用于生产,可以提高劳动生产率,改善劳动条件和加强企业管理。将自动控制技术用于国防领域,可以提高部队的战斗力,促进国防现代化。自动控制技术在探索新能源、发展空间技术、改善人民生活以及处理经济、社会问题等方面都起着日益重要的作用。自动控制系统有电子的、机械的、化学的、水力的、金融的和经济的。

自动控制理论是一门使用很多数学方法的边缘学科。它不仅吸取众多领域的研究成果和知识,它的不断发展和深入研究还有利于把很多分离研究的学科融合到一起,并应用于同

一问题之中。自动控制理论的概念正在不断地扩充和渗透到诸多其他研究领域。

1.1.2 自动控制理论发展简史

在学习自动控制之前,我们先满怀敬重简要地了解自动控制理论及发展史上的重要理论与贡献人物。

自动控制理论是关于自动控制系统及分析与设计的理论,其任务是研究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。

自动控制的某些思想可以追溯到久远的古代。古代罗马人发明了具有反馈原理的简单水位控制装置,我国和希腊古代出现了具有反馈原理控制水流速度的“铜壶滴漏”钟,两千年前我们祖先发明了指南车,1086—1089年我国的苏颂和韩公廉发明了水运仪象台,大约在1620年Derbbel设计了鸡蛋孵化器等。但是直到1787年James Watt设计的离心式调速器在蒸汽机速度控制上得到普遍应用并易于出现振荡现象时,才开始出现研究控制理论的需要。控制理论的形成远比控制技术的应用晚。

1868年,英国物理学家J C Maxwell在论文“论调节器”中首先解释了Watt速度控制系统中出现的稳定问题,通过线性常微分方程的建立和分析,指出了振荡现象的出现与从系统导出的一个代数方程根的分布有密切的关系,开辟了用数学方法研究控制系统运动特性的途径。此后,英国数学家E J Routh和德国数学家A Hurwitz分别在1877年和1895年独立地建立了直接根据代数方程的系数判别系统稳定性的准则。1892年,俄国数学家A M Lyapunov(李雅普诺夫)用严格的数学分析方法全面地论述了稳定性问题, Lyapunov稳定性理论至今仍然是分析系统稳定性的重要方法。

1927年,美国贝尔实验室的电气工程师H S Blsck在解决电子管放大器失真问题时首先引入反馈的概念。1925年,英国电气工程师O亥维赛把拉普拉斯变换应用到求解电路网络的问题上,创立了运算微积分,随后被应用到分析自动控制系统的问题上,并取得了显著的成就。传递函数是在拉普拉斯变换的基础上引入的描述线性定常系统或线性元件的输入输出关系的方法,是分析自动控制系统的重要工具。

1932年,美国物理学家H Nyquist(奈奎斯特)运用复变函数理论的方法建立了以频率特性为基础的稳定性判据。这种方法比当时流行的基于微分方程的分析方法有更大的实用性,也更便于设计反馈控制系统。Nyquist的工作奠定了频率响应法的基础。随后,H W Bode和N B Nichols等在20世纪30年代末和40年代初进一步发展了频率响应法。

在研究反馈放大器的同时,反馈控制在工业过程中也得到普遍应用。在这个领域中,受控过程的特性相当复杂,常常是非线性的,而且在执行器和传感器之间的信号传递有很大的时间滞后。由此在实践中提出了比例-积分-微分控制,即所谓的PID控制器,这种根据大量的实际经验和对系统动态的线性近似提出的方法,经过调试可获得满意的控制效果。在同一时期,随着测量飞机高度和速度的传感器的研制,飞机的导航和控制装置也有很大发展。

第二次世界大战期间,军事科学的需要,如飞机驾驶、火炮控制系统、雷达天线控制系统等都大大促进了反馈控制理论的发展。美国麻省理工学院雷达实验室的工程师和数学家把反馈放大器理论,PID控制以及N Wiener的随机过程理论等结合在一起,形成了一整套称

为随动系统的设计方法。

1948年,美国科学家 W R Evans 提出了有名的根轨迹的分析方法,并于1950年进一步应用于反馈控制系统的设计,形成了与频率响应方法相对应的另一核心方法——根轨迹法。20世纪40年代末和50年代初,频率响应法和根轨迹法被推广应用于研究采样控制系统和简单的非线性控制系统。在这一时期,理论上和应用上所获得的成就,促使人们试图把这些原理推广到像生物控制机理、神经系统、经济及社会过程等非常复杂的系统,美国数学家 N Wiener 在1948年出版的《控制论》具有重要的影响。

20世纪50年代中期,空间技术的发展迫切要求建立新的控制理论以解决一类更复杂的控制问题。1956年,前苏联科学家 L S Pontryagin 提出极大值原理;同年,美国数学家 R Bellman 创立动态规划。极大值原理和动态规划为最优控制提供了理论工具。1959年,美国数学家 R E Kalman(卡尔曼)提出了著名的卡尔曼滤波器,1960年又提出能控性和能观测性的概念。到20世纪60年代初,一套以状态空间法、极大值原理、动态规划、卡尔曼滤波为基础的分析 and 设计控制系统的新理论和方法已经基本确定。

“经典控制理论”和“现代控制理论”这两个名词是1960年在第一届全美联合自动控制会议上提出的。这次会议上把系统和控制领域中研究单变量控制问题的理论称为经典控制理论,研究多变量控制问题的理论称为现代控制理论。现在,一些学者对“经典”和“现代”的提法是否恰当提出了意见。

按经典控制理论和现代控制理论的提法,经典控制理论是自动控制理论中建立在频率响应法和根轨迹法基础上的一个分支。它的研究对象是单输入、单输出的自动控制系统(单变量控制系统),特别是线性非时变系统。经典控制理论是以输入输出特性(主要是传递函数)为系统的数学模型,采用频率响应法和根轨迹法这些图解的方法,分析系统的性能和设计控制装置。现代控制理论则是建立在状态空间法基础上的一种研究多变量控制系统的控制理论,对控制系统的分析和设计主要是通过对系统的状态变量描述进行的,基本方法是时域方法,是自动控制理论的一个主要组成部分。

20世纪60年代,时域法在空间技术上获得了很好的效果,但是在工业控制系统中却遇到一些困难,其主要原因是难以得到控制对象的精确数学模型,性能指标不能以确切的形式表达出来,而直接采用最优控制和最优滤波的综合方法所得到的控制器往往结构过于复杂,甚至无法实现,于是不少学者恢复了对频域法的兴趣。1969年,英国的 H H 罗森布洛克发表著名论文“用逆奈奎斯特阵列法设计多变量控制系统”。随后,不少学者也取得了许多成果。多变量频域法的共同特性是把一个多变量系统的问题转化为一组单变量系统的设计问题。现代频域法已成功地应用于石油、化工、造纸、原子反应堆、飞机发动机和自动驾驶设备中多变量系统的分析和设计上,取得了令人满意的成果。在控制系统计算机辅助设计中,现代频域法也占有重要地位。

20世纪70年代中期以来,自动控制理论不仅用于解决工程技术领域的各种控制问题,其概念和方法已应用于交通管理、生态控制、生物和生命现象的研究、经济科学以及社会系统等领域。自动控制理论的建立和发展,不仅推动了自动控制技术的发展,也推动了其他领域的学科和技术的发展。自动控制理论不仅是20世纪在科学上所取得的重大成就之一,而且在现在和将来,自动控制理论及其应用还将十分活跃,它的影响将扩大到人类活动的各个领域。

1.1.3 自动控制中的常用术语

在接触自动控制系统之前,先来认识一些自动控制中的常用术语。

控制 对于人-机系统,为使某一机器、设备或过程处于希望的状态而对其进行的操作,称为控制。

人工控制 在人直接参与下完成的控制,称为人工控制。

自动控制 如果使用某种物理装置代替人的作用,在没有人的直接参与下,利用物理装置对生产设备和工艺过程进行合理的控制,使被控制的物理量保持恒定,或者按照一定的规律运行并达到预期的状态或性能要求,称为自动控制,例如矿井提升机速度的控制、水泥回转窑湿度的控制、造纸厂纸浆浓度的控制、轧钢厂加热炉温度的控制、物料输送机速度的控制等。这种能代替人对生产设备和工艺过程施加控制作用的装置,称为自动控制装置。

受控对象 被控制的机器、设备或过程称为受控对象或对象,如提升机、回转窑、加热炉等。

被控量 被控制的物理量称为被控量或输出量。被控量是表征受控对象工作状态的物理量,即速度、湿度、浓度、炉温、电压等。

给定量 决定被控量的物理量称为给定量或参考输入。给定量表征了被控量的期望值或受控对象的期望状态。

扰动量 妨碍给定量对被控量进行正常控制的所有因素称为扰动量。如果扰动量产生在系统内部称为内扰;扰动量产生在系统外部称为外扰。给定量和扰动量都是自动控制系统的输入量。

系统 由一些相互联系和相互制约的环节组成并具有特定功能的整体称为系统。在工业生产中,一台机器、一套设备或任意工艺过程,如加热炉、轧钢机、化学反应釜、核反应堆等都称为系统。

自动控制系统 为实现某一控制目标所需要的所有物理部件的有效组合体。自动控制系统由自动控制装置与受控对象组成。控制系统一般按被控量命名,如速度控制系统、压力控制系统、温度控制系统等。

1.2 开环控制系统和闭环控制系统

自动控制系统种类繁多。按其结构分为开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。

1.2.1 开环控制系统

我们首先来认识开环控制系统的工作原理和结构特点。

图 1.1 给出了一个加热炉炉温开环控制系统原理图。控制任务要求炉温保持恒定。

根据控制要求,确定图 1.1 中给定炉温所要求的希望值(给定值或参考输入),对应于调压

器滑动端置于某一固定位置。接通电源,通过电阻丝给电炉加热,实现加热炉炉温保持恒定。

实际上,由于存在电压的波动(内部扰动),炉门的开闭(外部扰动),炉内实际温度与期望温度(给定值)会出现偏差,有时偏差可能较大。但因图 1.1 系统调压器滑动端的位置固定,不能改变电阻丝的电流来消除温度偏差。系统实际温度的高低不能影响系统的控制作用。

在图 1.1 所示炉温控制系统中,受控对象是加热炉,被控量是炉内温度,调压器、电阻丝构成控制装置。炉温的希望值(给定值)由调压器滑动端位置给出(电压值)。控制系统通常根据受控对象和被控量界定,所以称为加热炉炉温控制系统。以给定值为输入,被控量为输出,系统结构可用图 1.2 的方框图表示,图中方框表示系统各组成环节,箭头表示信号的作用方向。

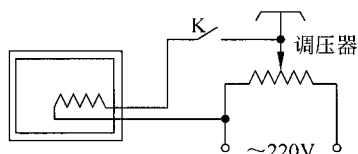


图 1.1 开环控制的电加热炉原理图

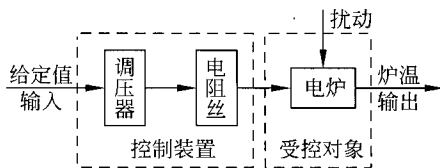


图 1.2 开环控制的电加热炉方框图

如果控制系统的输出量对系统本身没有控制作用,这种系统称为开环控制系统。在开环控制系统结构中,只有从输入端到输出端的信号前向通道,不存在由输出端到输入端的信号反馈通路。因此,开环控制系统是按给定控制方式,又称为无反馈控制系统,由控制器或控制装置与受控对象组成。

开环控制有两种形式:按给定值控制的开环控制,图 1.3(a)就是这种形式的开环控制;另一种形式是按扰动补偿的开环控制,如图 1.3(b)所示,该系统对扰动进行测量,利用测量得到的扰动值修正控制作用,补偿扰动对被控量的影响,从扰动作用端至输出端,也仅有顺向作用而无反向联系,因此,也是开环控制。按扰动补偿的开环控制方式的前提条件是扰动能够被测量。



图 1.3 两种开环控制形式方框图

目前国民经济各部门都广泛应用开环控制系统,如自动售货机、自动洗衣机、产品自动生产流水线及交通指挥的红绿灯转换等。

1.2.2 闭环控制系统

读者可能已经意识到,图 1.1 所示开环控制系统难以保持炉温恒定。如果无论是否出现扰动都要使炉温保持恒定,就需人工干预。闭环控制是在开环控制基础上引入人工干预过程演变而来的。

那么操作人员怎么保证炉温恒定,即人工干预过程是怎么进行的呢?