



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高 飞 袁运能 杨晨阳 编著

自动控制原理



北京航空航天大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动控制原理

高 飞 袁运能 杨晨阳 编著

北京航空航天大学出版社

内容简介

这是一本为工科高年级学生编写的教材,可以作为控制系统领域的入门教科书。本书涵盖了控制系统分析和设计中的基本知识,内容涉及:控制系统的基本概念和分类、控制系统的时间响应分析及性能指标、根轨迹的概念及系统的根轨迹分析、频域特性基本概念及系统的频率响应分析法、采样控制系统的概念及其分析方法,以及现代控制理论中的状态空间模型、可控性和可观测性概念和状态空间分析与设计。除第1章外,每章后都附有习题。本书基本概念清楚,层次安排合理,条理清晰,系统性强。

本书可作为电子与信息工程、计算机、仪器科学、光电工程、机械工程和电磁测量等学科本科生的自动控制原理教材,也适合相关专业高年级学生、研究生和教师阅读。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/高飞,袁运能,杨晨阳编著. —北京:
北京航空航天大学出版社,2009.5

ISBN 978-7-81124-618-6

I. 自… II. ①高…②袁…③杨… 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(2009)第 048890 号

自动控制原理

高 飞 袁运能 杨晨阳 编著
责任编辑 张冀青

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http: www.buaapress.com.cn E-mail: bhpress@263.net

北京市媛明印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:15.5 字数:347 千字

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-81124-618-6 定价:24.00 元

前 言

自从经典控制理论在 20 世纪 30—40 年代逐步形成,自动控制理论的发展已经历了半个多世纪的历程。自动控制极大地推动了现代工业、农业、军事和航空航天的发展,不少经典控制和现代控制理论都已经被广泛地应用到不同的领域中,控制理论也进入了很多工程学科的本科教学体系中。

近几十年来,我国出版了不少关于自动控制原理的教科书,分别适用于不同的工程学科,大多都质量很高、各有特色。电子与信息工程是工程领域发展最快的学科之一,所涉及的基础理论和各种实际应用发展迅速,日新月异。为了便于电子与信息工程专业本科学生对控制理论知识的掌握和理解,需要重新编写适合本学科发展需要的教材。

本教材是在北京航空航天大学出版社 1993 年 8 月出版的《线性控制系统》教材的基础上,根据电子与信息工程专业的教学大纲修改编写而成的,内容涉及经典控制理论中的时域分析法、复域分析法(即根轨迹法)和频域分析法,并面向采样控制系统介绍了相应的分析与设计方法;本书还涉及现代控制理论中的状态空间分析与设计。

本书第 1 章简要回顾了自动控制系统和理论的发展历史,介绍了控制系统的一般概念和控制系统的性能要求和分类。第 2 章介绍了控制系统的数学模型,讨论了典型一阶、二阶和高阶系统的瞬态响应与瞬态性能指标分析方法、稳定性的基本概念和稳定性分析代数判据,以及稳态误差分析方法。第 3 章介绍了根轨迹及根轨迹方程的概念、绘制根轨迹图的基本规则以及控制系统的根轨迹分析。第 4 章介绍了频率特性的基本概念、表示方法和基本环节的频率特性,叙述了得到开环系统频率特性的方法、奈奎斯特稳定判据和稳定裕量、闭环系统频率特性,以及控制系统的校正方法。第 5 章采样控制系统回顾了带限信号的采样和恢复与 z 变换,而后给出了脉冲传递函数的定义和典型开环、闭环采样控制系统脉冲传递函数的推导方法,讨论了稳定性分析、稳态误差分析和瞬态特性分析,以及采样系统的校正方法。第 6 章介绍了状态空间模型,论述了状态方程求解方法、可控性和可观测性的概念和判断方法、线性变换与标准型、极点配置与状态观测器,以及采

样系统的状态空间分析与连续状态方程的离散化。

编写过程中,我们根据多年来在电子信息类专业的本科教学实践中积累的经验,吸取了原书和国内有关资料中的精华,在强调数学表达和推导的同时,力图清楚地阐述自动控制系统与理论的基本概念和物理意义,以便于学生更加深刻地理解数学表达式后面的工程背景,从而满足教学工作的需要。

本教材由北京航空航天大学电子信息工程学院高飞、袁运能 and 杨晨阳编写,其中高飞编写了第3章根轨迹法、第5章采样控制系统、第6章状态空间分析和设计以及相应章节的习题部分,袁运能编写了第2章时域分析、第4章频域分析以及相应章节的习题部分,杨晨阳编写了第1章绪论,并审阅了全书。

本书在编写过程中得到了北京航空航天大学教务处教材科相关老师的大力支持。卢伯英教授等评审专家为本书提供了很多宝贵的修改意见,对提高本书的质量起到了重要的作用,在此对本书的编审专家一并表示衷心的感谢。

尽管编者经过了反复校对,错误依然难免,不妥之处恳请广大师生批评指正。

编 者

2009年2月18日

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 控制系统的一般概念	3
1.1.1 人工控制系统与自动控制系统	3
1.1.2 开环控制与闭环控制	4
1.1.3 自动控制系统举例	5
1.1.4 对控制系统的性能要求	6
1.2 控制系统的分类	8
第 2 章 时域分析	9
2.1 控制系统的数学模型	9
2.1.1 引 言	9
2.1.2 微分方程与传递函数	9
2.1.3 传递函数与瞬态响应的关系	11
2.1.4 方框图	12
2.2 瞬态响应与瞬态性能指标	15
2.2.1 一阶系统的时域分析	17
2.2.2 二阶系统的时域分析	18
2.2.3 三阶系统的时域分析	28
2.2.4 附加闭环零点对系统性能的影响	29
2.2.5 高阶系统的分析	34
2.3 稳定性分析	36
2.3.1 稳定性的基本概念	36
2.3.2 劳斯稳定判据	37
2.4 稳态误差分析	41
2.4.1 稳态误差的计算	43
2.4.2 减小稳态误差的方法	44
习 题	45

第 3 章 根轨迹法	48
3.1 根轨迹及根轨迹方程	48
3.1.1 根轨迹	48
3.1.2 根轨迹的解析求法	49
3.1.3 根轨迹方程及其辐角条件和幅值条件	50
3.2 绘制根轨迹图的基本规则	55
3.2.1 根轨迹的对称性	55
3.2.2 根轨迹的起始点和终止点	56
3.2.3 根轨迹的条数	56
3.2.4 根轨迹在实轴上的分布规律	56
3.2.5 根轨迹的渐近线	57
3.2.6 实轴上根轨迹的分离点与会合点	58
3.2.7 根轨迹的起始角和终止角	61
3.2.8 根轨迹的分离角和会合角	64
3.2.9 根轨迹与虚轴的交点	64
3.2.10 闭环特征方程根之和与根之积	65
3.2.11 绘制根轨迹举例	65
3.3 控制系统的根轨迹分析	69
3.3.1 闭环零极点分布对系统性能的影响	69
3.3.2 根据闭环零极点分布求动态响应	71
3.3.3 开环零极点分布对根轨迹图的影响	73
习 题	75
第 4 章 频域分析	79
4.1 基本环节的频率特性	79
4.1.1 频率特性及其表示方法	79
4.1.2 典型环节的频率特性	82
4.2 开环系统的频率特性	89
4.2.1 奈奎斯特图	89
4.2.2 波德图	91
4.2.3 由实验确定系统频率特性的传递函数	93
4.3 奈奎斯特稳定判据	95
4.4 稳定裕量	102

4.5 闭环系统的频率特性	106
4.5.1 闭环频率特性的特征	106
4.5.2 闭环与开环频域指标的关系	109
4.5.3 开环频率特性对闭环性能的影响	110
4.5.4 频率特性与稳态误差	110
4.6 控制系统的校正方法	111
4.6.1 校正的基本概念	111
4.6.2 串联校正	113
4.6.3 反馈(并联)校正	124
习 题	125
第5章 采样控制系统	131
5.1 信号的采样和恢复	132
5.1.1 采样过程	132
5.1.2 采样定理	133
5.1.3 信号的恢复	135
5.2 z 变换	138
5.2.1 z 变换的定义	139
5.2.2 z 变换的重要性质	141
5.2.3 z 反变换	143
5.3 脉冲传递函数	146
5.3.1 脉冲传递函数的定义	146
5.3.2 开环采样系统(或环节)的脉冲传递函数	148
5.3.3 闭环采样系统的脉冲传递函数	150
5.4 稳定性分析	153
5.4.1 s 平面轨迹在 z 平面的映像	153
5.4.2 稳定的充分必要条件	154
5.4.3 w 平面的劳斯稳定判据	155
5.5 稳态误差分析	157
5.5.1 稳态误差的概念	157
5.5.2 稳态误差的计算	158
5.6 瞬态特性分析	160
5.6.1 采样系统的时域解	160
5.6.2 闭环极点位置与瞬态响应的关系	162

5.7 采样系统的校正	164
习 题	169
第 6 章 状态空间分析和设计	172
6.1 状态空间模型	173
6.1.1 基本概念	173
6.1.2 状态方程和输出方程	175
6.1.3 传递函数矩阵	180
6.1.4 状态方程与传递函数的关系	182
6.2 状态方程求解	185
6.2.1 频域解法	185
6.2.2 时域解法	188
6.2.3 状态转移矩阵	190
6.2.4 输出方程求解	192
6.3 系统的可控性与可观测性	195
6.3.1 稳定性	195
6.3.2 可控性	198
6.3.3 可观测性	202
6.4 线性变换与标准型	205
6.4.1 线性变换	205
6.4.2 特征值的不变性	207
6.4.3 标准型	208
6.5 极点配置与状态观测器	215
6.5.1 状态反馈	215
6.5.2 极点配置	216
6.5.3 状态观测器	222
6.6 采样系统的状态空间与连续状态方程的离散化	228
6.6.1 采样系统的状态空间表达式	228
6.6.2 采样系统状态方程求解	230
6.6.3 可控性与可观测性	232
6.6.4 连续状态方程的离散化	233
习 题	235
参考文献	240

第 1 章 绪 论

自 20 世纪初,特别是第二次世界大战以来,自动控制科学与技术得到了迅速的发展。自动控制极大地提高了劳动生产率和产品质量,推动了现代工农业的巨大进步。在军事上,控制技术有效提高了武器的精确度和威力;在航空航天方面,无人驾驶飞机按照预定航迹自动升降和飞行,神舟飞船准确地进入预定轨道运行并回收,都用到了高水平的自动控制技术。

自古以来,人类就有创造自动装置以减轻或代替人劳动的想法,自动化技术的产生和发展经历了漫长的历史过程。古代中国的铜壶滴漏、指南车以及 17 世纪欧洲出现的钟表控制装置,虽然是彼此毫无联系的发明,但对自动化技术的形成起到了先导的作用。

社会的需要是科学技术发展的动力,自动化技术也是紧密围绕着工业、农业、军事和航空航天发展的需要而形成和发展起来的。1788 年,英国工程师 J·瓦特为了解决蒸汽机的速度控制问题,把离心式调速器与蒸汽机的阀门连接起来,构成了蒸汽机转速调节系统,见图 1-1。瓦特的这项发明开创了近代自动调节装置的新纪元,对第一次工业革命以及后来控制理论的发展产生了重要影响。

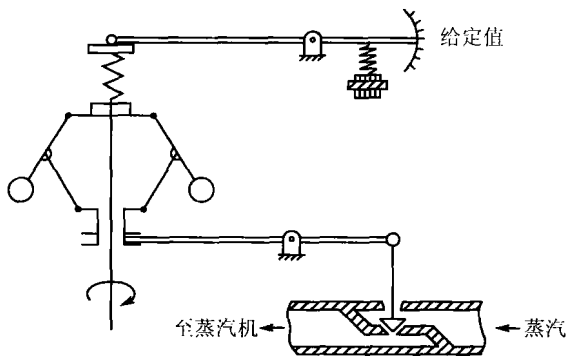


图 1-1 瓦特离心式调速器对蒸汽机转速的控制

瓦特发明的调速器有时会造成系统的不稳定,使蒸汽机产生剧烈振荡。到了 19 世纪,人们又发现船舶上的自动操舵机存在稳定性问题,这就迫使科学家通过建立数学模型来描述和分析系统的稳定性问题。1868 年,英国物理学家 J·C·麦克斯韦发表了《论调速器》一文,首先解释了瓦特速度控制系统中出现的不稳定现象,指出振荡现象与描述系统特性的代数方程根的分布有关,开辟了用数学方法研究控制系统中运动现象的途径,成为自动控制领域中的第一篇学术论文。1877 年和 1895 年,英国数学家 E·J·劳斯和德国数学家霍尔维茨推进了麦

克斯韦的工作,分别独立地建立了直接根据代数方程系数判断系统稳定性的两种不同形式的准则,即著名的劳斯稳定判据和霍尔维茨稳定判据。

进入 20 世纪后,在工业生产中广泛应用的各种自动控制装置促进了对控制系统的分析和设计工作。尽管这一时期在自动调节器中已经广泛应用反馈控制的结构,但是从理论上研究反馈控制原理则是从 20 世纪 20 年代开始的。1927 年,美国贝尔实验室的电子工程师 H·S·布莱克在解决电子管放大器失真问题时首先引入了“反馈”的概念。

1925 年,英国电子工程师 O·亥维赛把拉普拉斯变换应用于求解电网络的问题上。不久,拉普拉斯变换就被应用于分析自动控制系统的问题中,并取得了显著的成效。传递函数是在拉普拉斯变换的基础上引入的、描述线性定常系统输入输出关系的函数,在传递函数基础上发展起来的频率响应分析方法已经成为经典控制理论中分析和设计系统的重要方法。

1932 年,美国电信工程师 N·奈奎斯特发现了负反馈放大器的稳定性条件,运用复变函数理论建立了根据频率响应判断反馈系统稳定性的准则(即著名的奈奎斯特稳定判据),比当时流行的基于微分方程的分析方法更加实用,更便于设计反馈控制系统。奈奎斯特的的工作奠定了频率响应法的基础。随后,H·W·波德和 N·B·尼柯尔斯等人在 20 世纪 30 年代末和 40 年代进一步发展了频率分析法,使之更加成熟。

20 世纪 40 年代是自动控制技术和理论形成的关键时期。在第二次世界大战期间德国的空中优势和英国的防御地位,迫使美国、英国和西欧各国科学家集中精力解决了防空控制和飞机自动导航等军事技术问题,在此过程中逐步形成了分析和设计单变量控制系统的经典控制理论。

1948 年,美国科学家 W·R·埃文斯提出了名为根轨迹的分析方法,研究系统参数对反馈控制系统稳定性和运动特性的影响,并于 1950 年进一步应用于反馈控制系统的设计,构成了经典控制理论的另一个核心方法——根轨迹法。

20 世纪 50 年代以后,经典控制理论有了更多新的发展。1951 年,苏联科学家齐普金提出了脉冲系统的分析设计;1952 年,美国哥伦比亚大学 J·R·拉加齐尼教授领导的一个小组研究了采样系统的分析和设计。频率响应法和根轨迹法被推广用于研究采样控制系统和简单的非线性控制系统,标志着经典控制理论已经成熟。

经典控制理论是自动控制理论的一个分支,研究对象是单输入、单输出自动控制系统,特别是线性定常系统。经典控制理论的特点是以输入输出特性为系统模型,采用频率响应法和根轨迹法这些图解方法,分析系统性能,研究设计控制系统的原理。

经典控制理论在理论和应用上所取得的广泛成就,促使人们试图把这些原理推广到生物控制原理、神经系统、经济及社会等非常复杂的系统,其中美国数学家,控制论的奠基人 N·维纳在 1948 年出版的《控制论》最为重要。

维纳与很多数学家、物理学家、逻辑学家、电信工程师、控制工程师、计算机设计师、神经解剖学家、神经生理学家、医学家、心理学家、人类学家和社会学家进行了长达 10 年的研究,吸收

了来自火力控制系统、远程通信网络和数字计算机的设计经验,对预测和滤波等数学统计理论进行研究,终于找到了控制论的核心问题。维纳指出:一切控制和通信系统的共同特点都包括信息传输和信息处理的过程。他为控制论下的定义是:“研究动物和机器中控制和通信的科学”。控制论的建立是20世纪最伟大的科学成就之一。

经典控制理论在分析和设计比较简单的控制系统方面很有效,至今仍然有广泛的实用价值。但是,其局限性在于只适于单变量定常系统。

20世纪50年代末到60年代初,空间技术迅速发展,迫切需要解决多变量系统的最优控制问题。很多学者试图把经典控制理论推广到解决多变量系统控制问题,但都遭到了失败,因此迫切要求建立新的控制原理,以解决诸如把宇宙火箭和人造卫星用最少的燃料或最短时间准确发射到预定轨道等问题。这类控制问题非常复杂,采用经典控制理论难以解决,于是诞生了现代控制理论。

现代控制理论是自动控制理论的重要组成部分。在现代控制理论中,对控制系统的分析和设计以状态空间法为基础,主要通过对系统状态变量的描述来进行,其基本的方法是时域法。现代控制理论比经典控制理论所能处理的控制问题要广泛得多,包括线性性和非线性系统、定常和时变系统、单变量和多变量系统,所采用的方法更适合于在数字计算机上进行。

现代控制理论所包含的学科内容十分广泛,主要包括线性系统理论、非线性系统理论、最优控制理论、随机控制理论等。

1.1 控制系统的一般概念

1.1.1 人工控制系统与自动控制系统

图1-2表示一台发电机向负载供电,通过人工控制保证电压稳定于某个预先设定的值。由于负载变化或者其他原因,发电机的端电压随时都在波动。为了把这种波动控制在尽可能小的范围内,一名工人经常监视着电压表,当他发现端电压偏离规定的数值时,就调节变阻器以改变励磁电流,使端电压恢复到给定值。

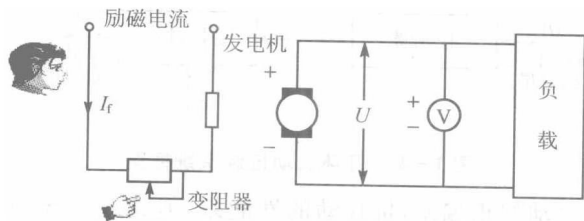


图1-2 人工控制系统

为了把这个人工控制系统改为自动控制系统,需要完成以下几件事。首先,要把人手调节

变阻器的操作改为由机器完成。为此,可以采用执行电动机和一个减速传动机构与变阻器相联。其次,要把人眼观察电压表、人脑把实际电压值与给定值比较求偏差的工作也改为由机器完成。为此,可以采用一个简单的求偏差电压的电路。由于偏差电压可能很小,不能驱动执行电动机,为此,我们可以加入一个放大器。这样构成的一个自动控制装置就完全代替了前面的人工控制系统,如图 1-3 所示。

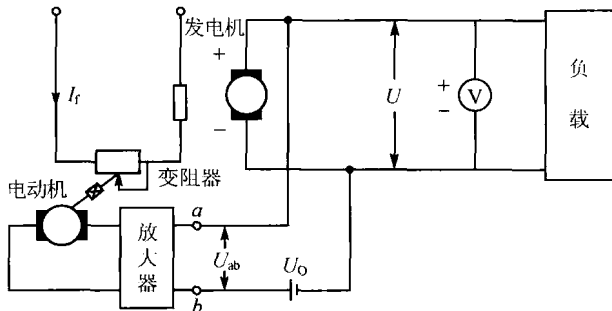


图 1-3 自动控制系统

从上面的例子可见,仅使某些物理量变化并不难,困难在于要求这些量的变化符合指定的规律。对于图 1-2 所示的人工控制系统,控制质量的优劣与操作工人的经验、技巧有关。而对于图 1-3 所示的自动控制系统,控制质量的优劣取决于控制系统的设计水平。设计不好的控制器与缺乏经验的操作工人一样,对于被控量偏差的反应过于敏感或过于迟钝,导致控制结果的偏差大、调节时间长,甚至可能使被控量持续振荡而根本达不到控制的目的。

1.1.2 开环控制与闭环控制

1. 开环控制

开环控制是指控制器与受控对象之间没有反向联系的系统,其控制作用直接由系统的输入量给定,系统的输出不会对系统的控制作用发生影响,如图 1-4 所示。

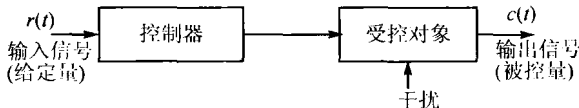


图 1-4 开环自动控制系统框图

开环控制方式不能自动纠正偏差,抗扰动的性能差,但其成本低、调整方便,适于扰动小、系统参数恒定、控制精度要求不高的场合,如自动售货机、自动洗衣机以及指挥交通的红绿灯系统等。

2. 闭环控制

反馈具有能够用过去的行为来调节未来行为的能力。反馈控制是应用最广泛的一种控制系统,其特点是无论什么原因使受控量偏离期望值出现偏差,都会产生一个相应的控制作用去减小或者消除这个偏差,所以又称为偏差控制系统。

反馈控制系统由受控对象和控制器这两大部分组成。其中控制器又由一些基本的元部件构成,在典型情况下,包括测量被控制物理量的测量元件、把实际被控量(即控制系统的输出)和给定值(即控制系统的输入)进行比较并计算偏差的比较和计算元件,以及直接驱动受控对象以改变被控量的执行元件,如图1-5所示。

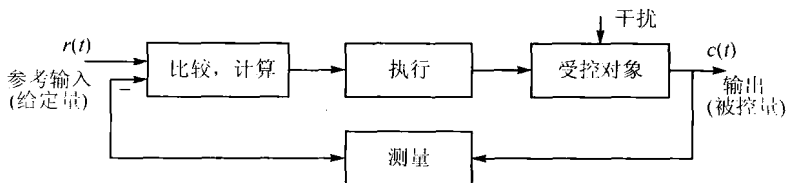


图 1-5 闭环自动控制系统框图

在实际的控制系统中,同一个元部件可以兼备几种功能。在大多数情况下,上述元部件是电元件,整个系统是电系统。在不能或者不便使用电装置的情况下,也常使用气动或液动控制系统,但是在控制原理上,它们并没有多少差别。

反馈控制系统能够自动纠正偏差,减小扰动或系统参数变化对被控量产生的影响,具有较高的控制精度。不过,这种系统的性能分析和设计比较复杂,在干扰很强时,被控量可能产生较大波动。尽管如此,它仍然是一种重要的控制方式,是自动控制理论的主要研究对象。

1.1.3 自动控制系统举例

各种分析和设计自动控制系统的方法都基于一定的数学模型。为了建立系统的数学模型,首先需要通过回答以下问题建立系统的框图:

- ① 系统的受控对象是什么?
- ② 被控量什么?
- ③ 作用在受控对象上的干扰有哪些?
- ④ 依靠操纵哪个部件来改变被控量?
- ⑤ 有哪些测量元件?
- ⑥ 给定值由哪些装置提供?
- ⑦ 如何实现各信号的综合计算及判断偏差?

图1-6是一个烘烤炉温度控制系统的原理图。该系统的控制任务是保持炉温恒定,而炉温会受到工件数量、环境温度和煤气流量的影响。

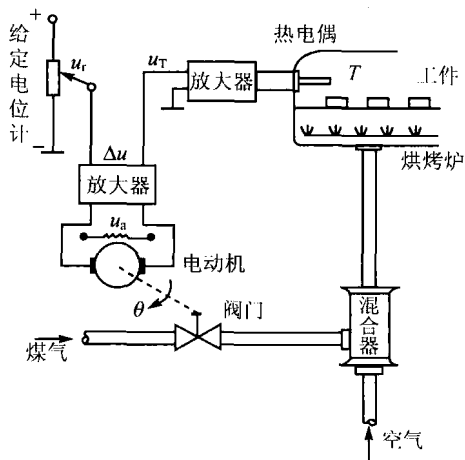


图 1-6 烘烤炉温度控制系统的原理图

在这个系统中,受控对象是烘烤炉,被控量是炉温 T ,干扰为工件和环境温度,依靠调节煤气管道上的阀门改变炉温,测量元件为热电偶,把温度 T 转换为电压 u_T ;系统的给定值是给定电位计的输出电压 u_r ,即希望达到的炉温经热电偶转化后的电压;通过把 u_r 与 u_T 两个电压反接,完成减法运算来计算偏差 $\Delta u = u_r - u_T$,相当于炉温与给定温度的偏差量;执行机构是电动机及传动装置。

通过上述定性分析,可以得到如图 1-7 所示的烘烤炉温度控制系统方框图。

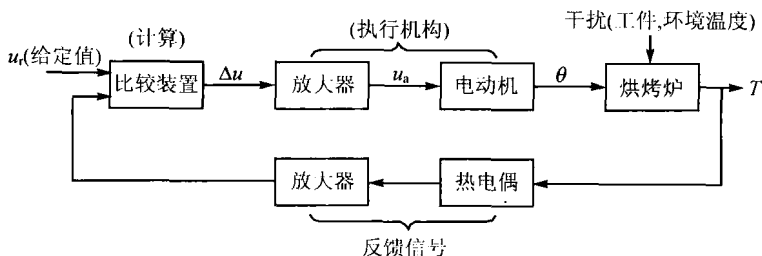


图 1-7 烘烤炉温度控制系统的框图

这个系统的总输入包括给定值和外部干扰,输出为被控温度;除烘烤炉与供气装置以外,统称为温度控制装置或温度调节器。控制装置与受控对象即构成了自动控制系统。

1.1.4 对控制系统的性能要求

控制系统的设计目标是使被控物理量按指定的规律变化,实现这一目标的困难是系统内外的扰动和控制系统本身的惰性。



自动控制理论是研究自动控制共同规律的一门学科。在给定系统的结构和参数时,我们感兴趣的是在某种典型输入信号作用下其被控量变化的全部过程。系统受到外加信号(给定值或干扰)作用之后,被控量随时间变化并趋于一定规律的全过程被称为控制系统的动态特性。

尽管自动控制系统有不同的类型,各种系统都有不同的要求,但是无论对于哪类系统,对被控量变化过程的基本要求是相同的,可以归结为对“稳”“快”“准”的要求。

“稳”包括稳定性和平稳性,指系统重新恢复平衡工作状态的能力或被控量偏离期望值的初始偏差随时间增长趋于零或逐渐减小的能力。图1-8(a)、(b)、(c)和(d)给出了闭环控制系统不稳定、临界稳定和稳定的几个例子。图1-8(a)表示当给定值发生变化或受到干扰影响时系统的被控量为增幅振荡,对应不稳定情况;图1-8(b)表示另一种不稳定系统的被控量随时间变化的规律;在图1-8(c)中,当输入信号在零时刻发生突变时,输出信号在输入值周围作等幅振荡,为临界稳定;图1-8(d)则反映了一个稳定系统的动态特性。平稳性指被控量在期望值附近振荡的幅值和频率。如图1-9中曲线①和③的平稳性比曲线②所示系统的平稳性好。

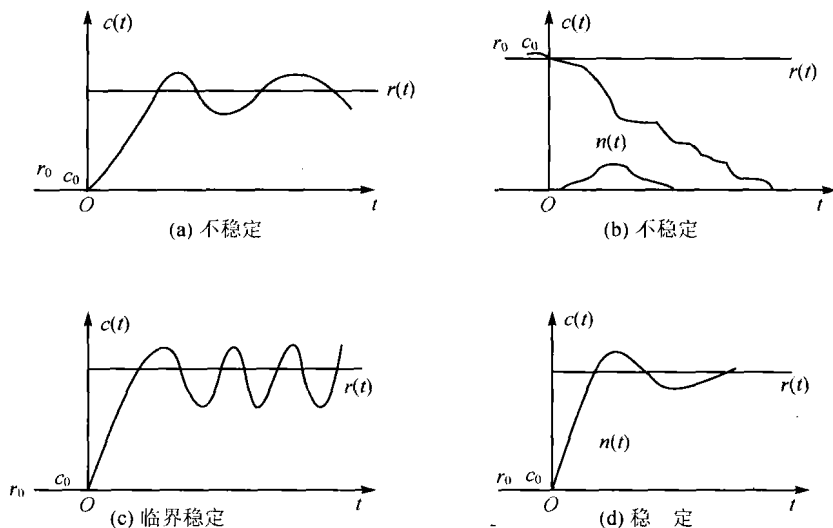


图1-8 自动控制系统的动态特性

“快”即快速性,指动态过程持续时间的长短。过程持续时间长,将使系统长久地出现大偏差,系统的响应迟钝,难以复现快速变化的参考信号,如图1-9中的曲线②和③所示。

“准”即准确性,指系统过渡到新的平衡状态后最终保持的精度,反映了动态过程后期的性能。系统输出稳态值与期望值之间的差别越小,精度就越高;理想

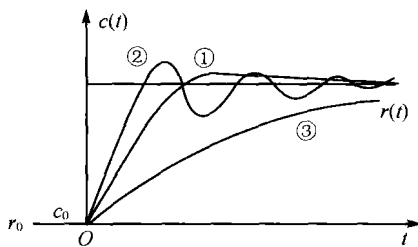


图1-9 稳定的自动控制系统

情况下,当过渡过程结束后,被控量达到的稳态值应该与期望值保持一致。

“稳”与“快”反映了系统在控制过程中的瞬态性能,“准”则反映了系统的稳态性能。

根据不同受控对象的具体情况,各种系统对“稳”“快”“准”有不同的要求。对同一个系统,“稳”“快”“准”是相互制约的,稳定是控制系统能够正常工作的前提。

1.2 控制系统的分类

我们可以按照给定量的运动规律对控制系统进行分类,也可以按系统中信号的特性分类。

控制系统的输入信号(即给定量)可以是常量,也可以不是常量,不是常量时又包括未知和已知两种情况。

若输入信号为恒值,要求被控信号也保持恒值,则这类反馈控制系统为自动稳定系统或恒值控制系统,例如前面的电压控制系统和烤炉温度控制系统。若输入信号为变化规律事先无法确定的任意时间函数,要求输出信号能准确、迅速地复现输入信号的变化,则这类反馈控制为随动系统,例如雷达高射炮的角度控制系统必须使炮身时刻跟踪敌方飞行器的飞行。如果输入信号为已知的时间函数,则这类系统为程序控制系统,例如数控机床。

系统中的信号可以分为时间和幅值都连续连续信号、时间离散但幅值连续的离散信号,以及时间和幅值都离散的数字信号。为此,控制系统可以分为只有连续信号的连续系统、只有离散信号的离散系统、只有数字信号的数字系统,以及既有连续信号,又有离散信号的采样控制系统。

自第二次世界大战以来,随着计算机的迅速发展和广泛应用,一些新的控制系统开始出现。例如,最优控制系统根据每一时刻系统中各有关变量自动形成复杂的反馈信号和控制作用,使控制过程的某种指标达到最优;如误差平方对时间的积分取极小值等。极值控制系统可以自动搜索系统最合理的工作状态,使被控量常保持在其极大值或极小值附近。自适应系统能够自动改变系统的某一部分参数甚至结构,使系统在受控对象的特性或环境条件大幅度变化时仍能保持良好的性能。