



普通高等教育规划教材

自动控制原理

宋丽蓉 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

自动控制原理

主 编 宋丽蓉
副主编 李晓秀 曹 卫
参 编 陈 桂 赵秀芬
主 审 杨成梧



机械工业出版社

本书从实际应用出发,介绍了经典控制理论的基本概念、基本分析方法及其应用。书中包括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、控制系统校正、离散系统分析、非线性系统分析等内容,强调的是物理概念和实际运用。

本书强调理论的工程应用。全书力求突出物理概念,尽量减少繁琐的数学推导,叙述深入浅出,通俗易懂,具有一定的特色。书中紧密结合 MATLAB 系统仿真软件在自动控制方面的应用,对各种分析和设计方法作了介绍。

本书力图以简明、实用为特色,以符合工程需要为要旨。

本书适用于应用型本科自动化、机电一体化及相关专业,也可作为各类职业技术学院、专科学校、成人高校相关专业的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

自动控制原理/宋丽蓉主编. —北京:机械工业出版社, 2004.5

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-14417-1

I. 自… II. 宋… 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 (2004) 第 040356 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王保家 苏颖杰

责任编辑:苏颖杰 版式设计:冉晓华 责任校对:姚培新

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 7 月第 1 版·第 2 次印刷

787mm × 1092mm $1/16$ ·17 印张·417 千字

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材 编 审 委 员 会

主 任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
陈力华 上海工程技术大学
鲍 泓 北京联合大学
王文斌 机械工业出版社

委 员：(按姓氏笔画排序)

刘向东 北华航天工业学院
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学 (威海)
童幸生 江汉大学

自动化专业分委员会

主任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：汤天浩 上海海事大学
梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）

委员：（按姓氏笔画排序）

刘启中 上海工程技术大学
刘国繁 湖南工程学院
陈虹 扬州大学
宋丽蓉 南京工程学院
钱同惠 江汉大学
黄家善 福建工程学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色，强化应用

围绕培养目标，以工程应用为背景，通过理论与工程实际相结合，构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针：知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为：“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用；“新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容，以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容，并将这些按新的教学系统重新组织；“广”指在保持本学科基本体系下，处理好与相邻以及交叉学科的关系；“用”指注重理论与实际融会贯通，特别是注入工程意识，包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点，合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课（专业基础课、专业课）教材的建设，并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设，力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者，确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验，又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务，以确保教材质量。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国工程应用型人才培养质量的提高，必将产生积极作用，会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光，高瞻远瞩，及时提出并组织编写这套系列教材，他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作，并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件，在此深表衷心感谢！

编委会主任

湖南工程学院院长

刘国荣教授

前 言

随着科学技术的进步，自动控制技术各个领域中的应用已日趋广泛，不但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，还在人类征服大自然，改善居住、生活条件等方面也发挥了非常重要的作用。

自动控制原理是研究自动控制基本规律的科学，是分析和设计自动控制系统的理论基础。本书是为适应应用型本科电气自动化及机电类专业教学需要而编写的。一般将自动控制原理分为经典控制理论和现代控制理论。考虑到实际工程中大量应用的仍是经典控制理论，以及一部分院校另外开设有“现代控制理论”课程的情况，本书以经典控制理论及其应用为主要内容，全书分为九章，包括自动控制的一般概念、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、根轨迹分析法、频率特性法、控制系统的综合校正、非线性系统、采样控制系统分析和 MATLAB 在控制系统分析与设计中的应用。

编者根据多年讲授本课程的经验，力求突出重点，精简篇幅，强调物理概念，减少繁琐的数学推导；加强理论与实际的结合，在应用上下功夫，以突出应用型本科的特色。本书的主要特点是：以简明的语言介绍概念，简化教学推导，增加实例说明，方便自学。结合书本内容介绍了运用 MATLAB 分析和设计自动控制系统的基本方法，可使读者较易理解和掌握 MATLAB 在控制工程方面的应用。

本书由南京工程学院宋丽蓉任主编，编写了第一、四、八章，并负责全书的统稿；李晓秀任副主编，编写了第二、三章，并参加了全书的统稿工作；曹卫任副主编，编写了第五、六章；陈桂编写了第九章；赵秀芬编写了第七章。本书由南京理工大学杨成梧教授担任主审，杨教授仔细审阅了全书并提出了宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。并向所有为本书出版给予支持和帮助的同志致以诚挚的谢意。

由于编者的水平有限，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。

编 者

目 录

序

前言

第一章 自动控制的一般概念	1
第一节 自动控制的基本原理与方式	1
第二节 自动控制系统的分类	5
第三节 对控制系统性能的要求	5
第四节 自动控制理论发展简述	7
小结	7
习题	8
第二章 控制系统的数学模型	10
第一节 控制系统的微分方程	10
第二节 传递函数	15
第三节 框图及其等效变换	22
第四节 信号流图及梅逊公式	32
小结	36
习题	36
第三章 控制系统的时域分析法	42
第一节 典型输入信号和阶跃响应性能指标	42
第二节 一阶系统分析	45
第三节 二阶系统分析	47
第四节 高阶系统分析	55
第五节 控制系统的稳定性分析	56
第六节 控制系统的稳态误差分析	61
小结	69
习题	70
第四章 根轨迹分析法	75
第一节 根轨迹的基本概念	75
第二节 绘制根轨迹的基本方法	77
第三节 广义根轨迹	87
第四节 用根轨迹法分析系统性能	91
小结	98
习题	98
第五章 频率特性法	101
第一节 频率特性的基本概念	101
第二节 典型环节的频率特性	103
第三节 系统开环频率特性的绘制	114

第四节 频率特性法分析系统稳定性	119
第五节 开环频率特性与系统性能指标的关系	129
小结	132
习题	133
第六章 控制系统的综合校正	136
第一节 系统校正基础	136
第二节 串联超前校正	138
第三节 串联滞后校正	141
第四节 串联滞后-超前校正	144
第五节 串联校正的希望特性设计法	147
第六节 PID 控制器及串联工程设计法	150
第七节 反馈校正	154
小结	158
习题	159
第七章 非线性系统	163
第一节 非线性系统概述	163
第二节 非线性系统的描述函数分析法	166
第三节 非线性系统的相平面分析法	175
第四节 改善非线性系统性能的措施	184
小结	187
习题	187
第八章 采样控制系统分析	191
第一节 采样控制系统的基本概念	191
第二节 采样控制系统的数学基础	195
第三节 采样控制系统的脉冲传递函数	203
第四节 采样控制系统的动态性能分析	208
第五节 采样控制系统的稳定性分析	212
第六节 采样控制系统的稳态误差分析	215
小结	218
习题	218
第九章 MATLAB 在控制系统分析与设计中的应用	221
第一节 MATLAB 语言简介	221
第二节 MATLAB 的数学工具功能	226
第三节 用 MATLAB 处理系统数学	

模型.....	228	第九节 Simulink 建模及动态仿真	250
第四节 MATLAB 用于时域分析	231	小结.....	256
第五节 MATLAB 用于根轨迹分析	237	习题.....	256
第六节 MATLAB 用于频域分析	238	附录	258
第七节 MATLAB 用于系统校正与设计	244	参考文献	260
第八节 MATLAB 用于采样控制系统	246		

第一章 自动控制的一般概念

本章将简要介绍有关自动控制的一般概念、自动控制系统的组成和分类、对控制系统的基本要求以及有关自动控制原理的基本情况。

第一节 自动控制的基本原理与方式

一、自动控制的基本概念

工程技术是通过控制自然而造福人类的。在现代科学技术的许多领域中，自动控制技术得到了广泛的应用。自动控制技术最显著的特征就是通过自动控制系统对各类机器、各种物理参量、工业生产过程等的控制直接造福于社会。

在工业生产中，为了提高产品的质量和效率，需要对机器、设备或生产过程的某个工作状态或参数进行自动控制。所谓自动控制是指在没有人直接参与下，利用控制装置操纵受控对象，使受控对象的被控量自动地按预定的规律运行。

下面举例说明自动控制的概念。

例 1-1 水位人工控制装置如图 1-1 所示。控制任务是使水位的高度 $h(t)$ 按一定的要求变化。水位的高低受到进水量 $q_i(t)$ 和出水量 $q_o(t)$ 的影响，调节进水阀门的开度，可以控制水位的高低。采用人工操纵，靠人眼观察实际水位和要求水位的差，用手不断调节阀门，以保持水箱内水位的高度满足要求。显然，这种控制方式是人工控制，控制的实时性和精度都难以满足要求。

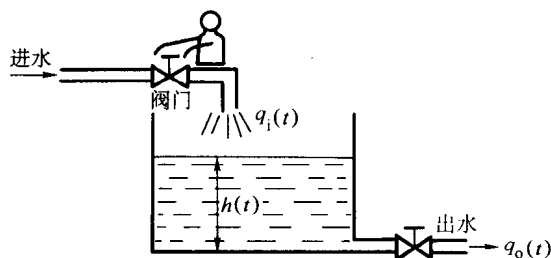


图 1-1 水位人工控制装置

例 1-2 水位自动控制系统如图 1-2 所示。水位高度的参考电压为 $u_r(t)$ ，水箱中的水位检测装置将水位高度 $h(t)$ 转换成电压 $u_h(t)$ ，控制器输出控制信号 $\Delta u(t) = u_r(t) - u_h(t)$ ，经执行机构调节电磁阀控制进水量，从而控制水位的高度。只要 $\Delta u(t) = 0$ ，系统就进行自动调节，直到水位的高度与给定高度相等为止，这就实现了水位的自动控制。采用控制系统来控制水位的高度能达到一定速度和精度。

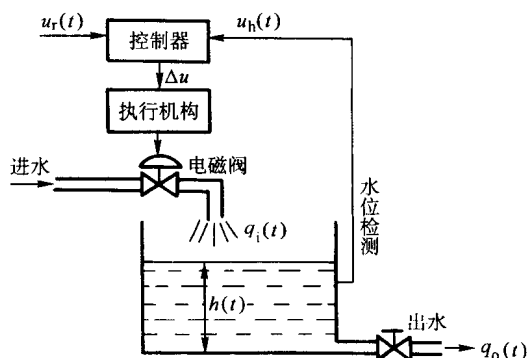


图 1-2 水位自动控制系统

由上例可知，一个控制系统包括以下几个部分：

- 1) 被控对象；
- 2) 被控制量；

- 3) 控制器;
- 4) 执行机构;
- 5) 给定量;
- 6) 检测装置。

水位控制系统中被控对象为水箱，水箱中水位的高度 $h(t)$ 是被控制量，给定量为电压 $u_r(t)$ 。为了方便地分析系统，我们往往用结构框图来表示系统各个部件之间的结构关系。如图 1-3 所示为水位自动控制系统的结构框图。

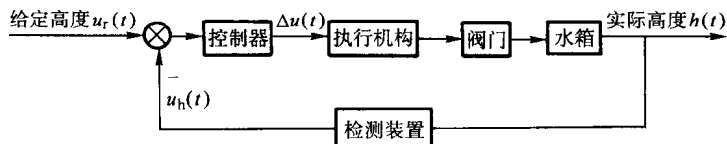


图 1-3 水位自动控制系统结构框图

为了使自动控制系统能满足工程实际的需要，必须研究自动控制系统的结构和参数与系统性能之间的关系，这就是自动控制原理的主要任务。

二、自动控制系统的基本构成及控制方式

不同的被控对象与不同的控制装置构成了不同的自动控制系统，所以自动控制系统的种类是很多的。自动控制系统一般有两种基本结构，对应着两种基本控制方式——开环控制和闭环控制。

1. 开环控制

控制装置与受控对象之间只有顺向作用而无反向联系时，称为开环控制。如图 1-4 所示。

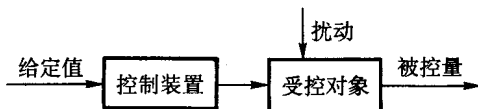


图 1-4 开环控制系统

例 1-3 图 1-5 所示为一驱动盘片匀速旋转的

转台，这种转台在 CD 机、计算机磁盘驱动器、留声机等许多现代装置中广泛应用。该系统利用电池提供与预期速度成比例的电压，直流放大器将给定电压功率放大后提供给直流电动机，直流电动机作为执行机构提供与电压成比例的转速，其结构框图如图 1-6 所示。此系统没有信号的反馈，是开环控制系统。这种转台需要在电动机和其他部件发生变化的情况下，仍然保持盘片恒定的旋转速度，否则会影响使用的效果。这种要求在开环控制下是达不到的，电动机和直流放大器的任何变化都会引起速度的改变，这种变化称之为扰动。由于扰动的影响使得转速 n 发生变化，而这种变化未能被反馈至控制装置并影响控制过程，则系统无法克服由此产生的偏差。

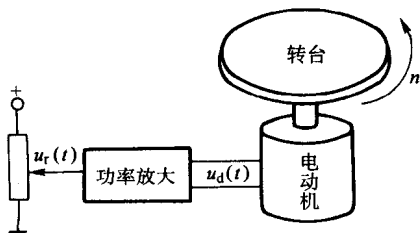


图 1-5 转台速度开环控制系统

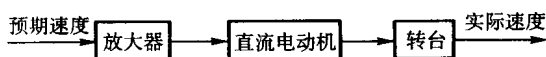


图 1-6 转台速度开环控制系统结构框图

开环控制的特点是系统结构和控制过程均很简单，但由于这类系统无抗扰能力，因而其控制精度较低，大大限制了它的应用范围。开环控制一般只能用于对控制性能要求不高的场合。

如果扰动能被测出来，则可以采用按扰动补偿的控制方式，如图 1-7 所示。其基本原理是，将扰动测量出来，送入控制器，以形成与扰动作用相反的控制量，该控制量与扰动共同作用的结果，使被控量基本不受扰动的影响。由图 1-7 可知，在这种控制方式中，由于被控量对控制过程不产生任何影响，故它也属于开环控制。

2. 闭环控制

控制装置与受控对象之间，不但有顺向作用，还有反向联系，即有被控量对控制过程的影响，这种控制称为闭环控制，相应的控制系统称为闭环控制系统。闭环控制又常称为反馈控制，如图 1-8 所示。

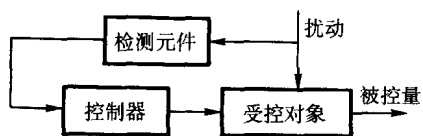


图 1-7 按扰动补偿的控制方式

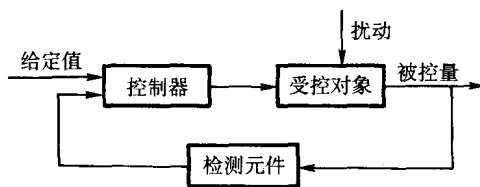


图 1-8 闭环控制系统

例 1-4 图 1-9 所示为转台速度闭环控制系统，对应的系统结构框图如图 1-10 所示。

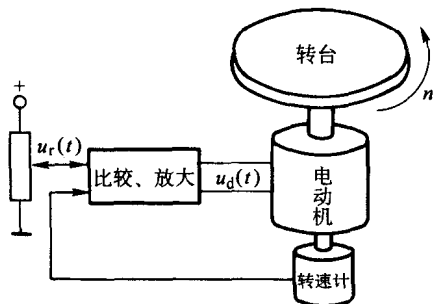


图 1-9 转台速度闭环控制系统

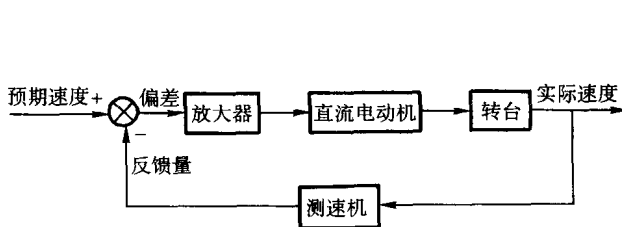


图 1-10 转台速度闭环控制系统结构框图

系统中转速计是一种传感器，它能提供与转速成比例的电压信号。偏差电压信号是由输入电压与转速计输出电压比较相减后得到的。当预期速度电压没有变化而实际速度受扰动的影响发生变化时，偏差电压也会随之变化，在运行中通过系统的调节不断地减小偏差，从而消除扰动对速度的影响，提高系统的精度。

例 1-5 图 1-11 所示是一个位置随动系统，其结构框图如图 1-12 所示。该系统用一对电位器作为位置检测元件，并形成比较电路。两个电位器分别将系统的输入和输出位置信号转换成与之成比例的电压信号，并作出比较。当发送电位器的转角 θ_r 和接受电位器的转角 θ_c 相等时，对应的电压亦相等，即 $U_r = U_c$ ，故 $U_e = U_r - U_c = 0$ ，因而 $U_d = 0$ ，电动机处于静止状态。若使发送电位器的转角逆时针方向增加一个角度 $\Delta\theta_r$ ，则由于 U_r 大于 U_c 而产生

一个相应极性的偏差电压 U_e ，经放大器放大后得到 U_d ，供给直流电动机，使其带动负载和接收电位器的动臂一起逆时针旋转，直至 $\theta_r = \theta_c$ 为止。

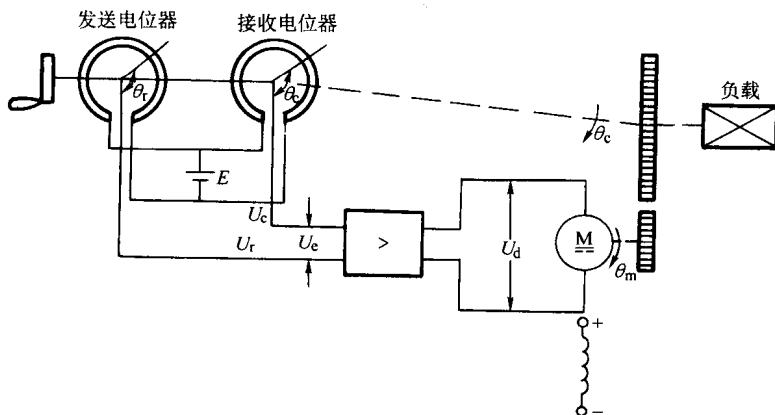


图 1-11 直流随动系统

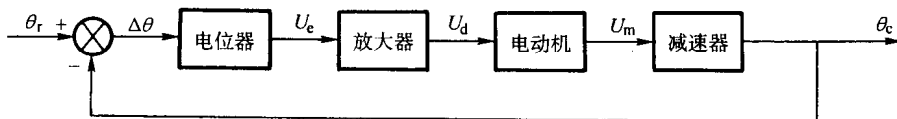


图 1-12 直流随动系统结构框图

例 1-6 采用转速负反馈的直流电动机调速系统，如图 1-13 所示。此系统测量装置为测速发电机以及分压电位器。电动机的转速 n 被其转换成反馈电压 U_f ，并反馈至输入端，形成闭合回路。加在放大器输入端的电压 U_e 为给定电压 U_n 与 U_f 的差值，即

$$U_e = U_n - U_f$$

此闭环控制系统中，输出转速 n 取决于给定电压 U_n 。而对于由电网电压波动、负载变化以及除测量装置之外的其他部分的参数变化所引起的转速变化，都可以通过自动调整加以抑制。例如，如果由于以上原因使得转速下降 ($n \downarrow$)，将通过以下的调节过程使 n 基本维持恒定：

$$n \downarrow \rightarrow U_f \downarrow \rightarrow U_e \uparrow \rightarrow U_d \uparrow \rightarrow n \uparrow$$

由上述例子可知，闭环控制系统具有如下的特点：

- 1) 由于系统的控制作用是通过给定值与反馈量的差值进行的，故这种控制常称为按偏差控制，又称反馈控制。
- 2) 这类系统具有两种传输信号的通道：由给定值至被控量的通道称为前向通道；由被控量至系统输入端的通道叫反馈通道。
- 3) 不论取什么物理量进行反馈，作用在反馈环内前向通道上的扰动所引起的被控量的偏差值，都会得到减小或消除，使得系统的被控量基本不受该扰动的影响。正是由于这种特

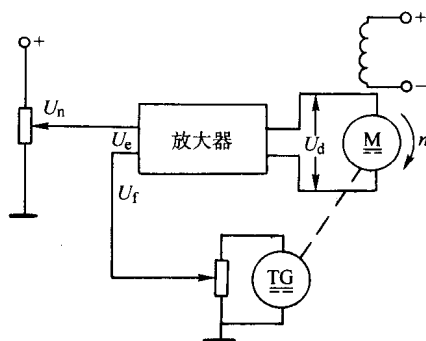


图 1-13 闭环控制的调速系统

性,使得闭环控制系统在控制工程中得到了广泛的应用。

自动控制原理中所讨论的系统主要是闭环控制系统。另外,也可将闭环控制与补偿控制相结合,形成复合控制。

第二节 自动控制系统的分类

自动控制系统的分类方法较多,常见的有以下几种。

一、线性系统和非线性系统

若一个元件的输入与输出特性是线性的,则称该元件为线性元件,否则称为非线性元件。若一个系统中所有的元器件均为线性元器件,则该系统称为线性系统;若系统中有一个非线性元器件,则该系统称为非线性系统。线性系统的数学模型为线性微分方程或差分方程,即其各项系数均不随变量的改变而变化。

二、定常系统和时变系统

从系统的数学模型来看,若微分方程的系数不是时间变量的函数则称此类系统为定常系统,否则称为时变系统。

若系统微分方程的系数为常数,则称之为线性定常系统。此类系统为本书主要讨论对象。

三、连续系统和离散系统

从系统中的信号来看,若系统各部分的信号都是时间 t 的连续函数即模拟量,则称此系统为连续系统。若系统中有一处或多处信号为时间 t 的离散函数,如脉冲或数码信号,则称之为离散系统。若离散系统中既有离散信号又有模拟量,亦称之为采样系统。

四、恒值系统、随动系统和程序控制系统

若系统的给定值为一定值,而控制任务就是克服扰动,使被控量保持恒值,此类系统称为恒值系统。例如,电动机速度控制、恒温、恒压、水位控制等。若系统给定值按照事先不知道的时间函数变化,并要求被控量跟随给定值变化,则此类系统称为随动系统,如火炮自动跟踪系统、轮舵位置控制系统等。

若系统的给定值按照一定的时间函数变化,并要求被控量随之变化,则此类系统称为程序控制系统,例如数控伺服系统以及一些自动化生产线等。

此外,根据系统元件的类型,还可分为机电控制系统、液压控制系统、气动系统以及生物系统等。根据系统的被控物理量,可分为位置控制系统、速度控制系统、温度控制系统等。

第三节 对控制系统性能的要求

在控制过程中,一个理想的控制系统,始终应使其被控量(输出)等于给定值(输入)。但是,由于机械部分质量、惯量的存在,电路中储能元件的存在以及能源功率的限制,使得运动部件的加速度受到限制,其速度和位置难以瞬时变化。所以,当给定变化时,被控量不可能立即等于给定值,而需要经过一个过度过程,即动态过程。所谓动态过程就是指系统受到外加信号(给定值或扰动)作用后,被控量随时间变化的全过程。

动态过程可以反映系统内在性能的好坏,而常见的评价系统优劣的性能指标也是从动态过程中定义出来的。对系统性能的基本要求有三个方面。

一、稳定性

稳定性是这样来表述的:系统受到外作用后,其动态过程的振荡倾向和系统恢复平衡的能力。如果系统受外作用力后,经过一段时间,其被控量可以达到某一稳定状态,则称系统是稳定的,如图 1-14 所示;否则称为不稳定的,如图 1-15 所示。

图 1-15a 所示为在给定信号作用下,被控量振荡发散的情况;图 1-15b 所示为受扰动 $d(t)$ 作用后,被控量不能恢复平衡的情况。另外,若系统出现等幅振荡,即处于临界稳定的状态,也属于不稳定。

显然,不稳定的系统是无法正常工作的。一个能在生产实际中应用的系统,不仅应具有稳定性,而且在动态过程中的振荡也不能太大,否则不能满足生产实际的要求,甚至会导致系统部件的松动和被破坏。

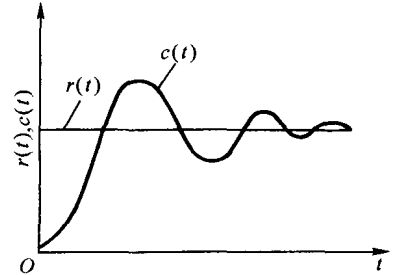


图 1-14 稳定系统的动态过程

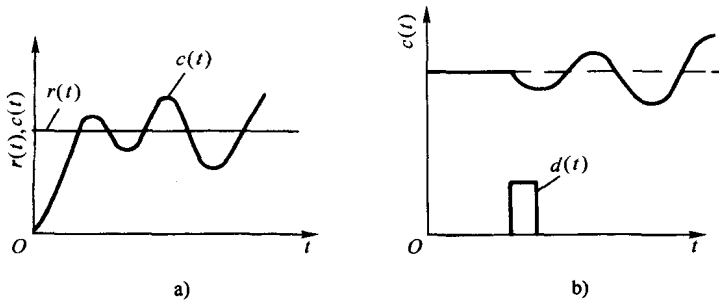


图 1-15 不稳定系统的动态过程

a) 给定信号作用下发散振荡 b) 扰动 $d(t)$ 作用下发散振荡

二、快速性

快速性是通过动态过程时间长短来表征的,如图 1-16 所示。过渡过程时间越短,表明快速性越好,反之亦然。快速性表明了系统输出 $c(t)$ 对输入 $r(t)$ 的响应的快慢程度。系统响应越快,说明系统的输出复现输入信号的能力越强。

三、准确性

准确性是由输入给定值与输出响应的终值之间的差值 e_{ss} 来表征的,如图 1-17 所示。它反映了系统的稳态精度。若系统的最终误差为零,则称为无差系统,否则称为有差系统。

稳定性、快速性和准确性往往是互相制约的。在设计与调试过程中,若过分强调系统的稳定性,则可能会造成系统响应迟缓和精度较低后果;反之,若过分强调系统响应的快速性,则又会使系统的振荡加剧,甚至引起不稳定。

怎样根据工作任务的不同,分析和设计自动控制系统,使其对三方面的性能有所侧重,并兼顾其他,以全面满足要求,这正是本课程所要研究的内容。

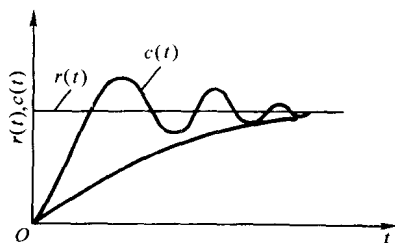


图 1-16 控制系统的快速性

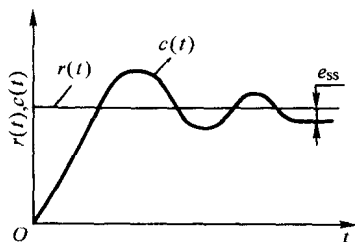


图 1-17 控制系统的稳态精度

第四节 自动控制理论发展简述

自动控制理论研究的是如何按受控对象和环境特征，通过能动地采集和运用信息，施加控制作用，使系统在变化或不确定的条件下正常运行并具有预定功能。它是研究自动控制共同规律的技术科学，其主要内容涉及受控对象、环境特征、控制目标和控制手段以及它们之间的相互作用。

具有“自动”功能的装置自古有之，瓦特发明的蒸汽机上的离心调速器是比较自觉地运用反馈原理进行设计并取得成功的首例。麦克斯韦对它的稳定性进行分析，于 1868 年发表的论文当属最早的理论工作。从 20 世纪 20 年代到 40 年代形成了以时域法、频率法和根轨迹法为主要内容的“古典”控制理论。20 世纪 60 年代以来，随着计算机技术的发展和航天等高科技的推动，又产生了基于状态空间模型的所谓“现代”控制理论。

随着自动化技术的发展，人们力求使设计的控制系统达到最优的性能指标，为了使系统在一定的约束条件下，其某项性能指标达到最优而实行的控制称为最优控制。

当对象或环境特性变化时，为了使系统能自行调节，以跟踪这种变化并保持良好的品质，又出现了自适应控制。

虽然现代控制理论的内容很丰富，与古典控制理论相比较，它能解决更多更复杂的控制问题，但对于单输入、单输出线性定常系统而言，用古典控制理论来分析和设计，仍是最实用最方便的。

真正优良的设计必须允许模型的结构和参数不精确并可能在一定范围内变化，即具有鲁棒性，这是当前的重要前沿课题之一。另外，使理论实用化的一个重要途径就是数学模拟（仿真）和计算机辅助设计（CAD）。

前面谈到的主要是针对线性系统的线性理论。近年来，在非线性系统理论、离散事件系统、大系统和复杂系统理论等方面均有不同程度的发展。智能控制在实用方面也得到了很快的发展，它主要包括专家系统、模糊控制和人工神经网络等内容。

总之，自动控制理论正随着技术和生产的发展而不断发展，而它反过来又成为高新技术发展的重要理论根据。本书所介绍的内容是该理论中最基本的也是最重要的内容，即古典控制理论部分。它在工程实践中用得最多，也是进一步学习自动控制理论的基础。

小 结

自动控制就是在没有人直接参与的情况下，利用控制装置操纵受控对象，使被控量等于