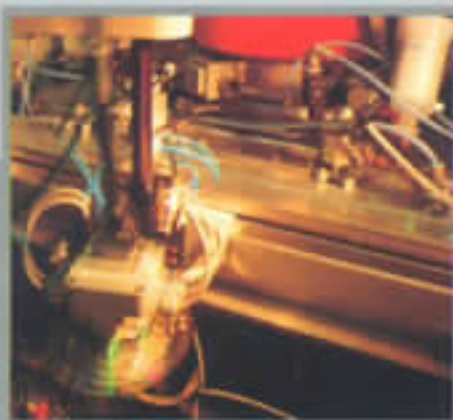


ZIDONG KONGZHI YUANLI ZIDONG KONGZHI YUANLI

自动控制 原理

第二版

□ 主编 涂植英 陈今润



Automatic control principle

重庆大学出版社

自动控制原理

第二版

主编 涂植英 陈今润

重庆大学出版社

○ 内 容 提 要 ○

摇摇本书是根据高等学校自动化类专业对“自动控制原理”课程的要求编写的。本书共分 8 章,内容有自动控制原理的基本概念、控制系统的数学模型、系统的时域分析、根轨迹法、频率特性法、控制系统的校正、非线性控制系统、线性离散系统以及配器器器在控制中的应用,每章都有适当的例题和习题。本书力求结合专业特点,并兼顾相近专业的要求。配有电子课件,供教师参考。

本书可作为高等学校自动化专业的教材,也可作为电气工程及其自动化、检测技术与自动化装置等自动控制类专业的教学用书,还可供从事自动控制等专业领域的工程技术人员参考。

摇摇图书在版编目(CIP)数据

摇摇自动控制原理 涂植英 陈今润主编 第2版 第1次印刷

—重庆:重庆大学出版社,2008.12(2008.12重印)

摇摇ISBN 7-5624-5444-4

摇摇I. ①自... ②涂... ③陈... ④自动... ⑤理论—

高等学校—教材 Ⅳ. ①... ②...

摇摇中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 145224 号

自动控制原理

第二版

主 编 涂植英 陈今润

责任编辑 肖顺杰 摇何建云 摇版式设计 肖顺杰

责任校对 邹瑶忌 摇摇摇摇摇摇摇 摇责任印制 赵摇晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人 张鹤盛

社址 重庆市沙坪坝正街 5 号重庆大学(南区)内

邮编 401331

电话 (023) 23204401 摇23204402 摇23204403

传真 (023) 23204401 摇23204402 摇23204403

网址 <http://www.cqup.com.cn>

邮箱 zhaohu@vip.sina.com (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美印务有限公司印刷

*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14.5 插页 2 字数 360千字

版次 2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷 2008 年 12 月第 1 次印刷

印数 10000 册—15000 册

定价 28.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

第二版前言

《自动控制原理》教材第一版编写于 1983 年, 10 多年来经过许多高等学校选用, 现编者吸收了各方面多年教学实践的经验和意见, 以及有关科学技术的发展, 进行全面修订, 重新编写了第二版, 使它成为一本面向 21 世纪的教材。

本书第二版仍然遵循第一版前言中明确的编写指导思想和原则, 进一步突出原书的主要特点。与第一版相比, 第二版在内容上主要进行了以下删改和补充:

1. 精简或删除了较为烦琐、陈旧的内容, 如常见元部件的传递函数、尼柯尔斯图线、数字计算机在根轨迹法中的应用等。

2. 根据计算机应用软件的发展, 为进一步培养学生的实践能力, 在有关章节中增加了 MATLAB 和 C 语言在控制技术中应用的内容。并配套了相应实验教材《自动控制原理及系统实验》。

3. 为弥补本书第一版对工业控制介绍不足的弱点, 在第二版的有关章节中适当增加了工业控制器的分类、控制作用, 以及校正等内容。

4. 过程控制系统经历了源代(气动、电动、集中式、集散式)之后, 发展至今的第 3 代过程控制系统(现场总线控制系统), 被誉为自控技术的新纪元。其中现场总线均属于控制网络(即用于完成自动化任务的网络系统), 现场总线大多为模拟数字混合系统, 为非完整网络系统, 而现场总线是全数字通信网络, 它代表了控制网络发展的趋势。而且它还可以与企业信息网络集成, 实现企业的综合自动化。为顺应这一发展需要, 在第二版的适当章节中, 引入了“控制网络”的概念。

5. 经修订后的第二版教材, 其系统性、逻辑性更好, 重点更加突出, 其可读性更好, 便于自学。

本书第二版由涂植英教授主编, 并编写第 1 章和附录 1 和 2, 陈今润副教授为第二主编, 并编写第 3 章, 李良筑副教授编写第 4 章, 黄建明副研究员编写第 5 章。

在本书第二版即将出版之际, 我们对参与编写有关章节的老师和我们参阅过的文献的作者表示衷心的感谢。

编者诚恳希望读者对本书第二版提出意见、批评和指正。

编 者

2003 年 9 月于重庆大学

目 录

| | | | |
|--------------------------|---|----------------------------------|---|
| 员 绪 论 | 员 | 摇 圆 源 摇 结构图的等效变换法则 | 猿 |
| 员 控制理论的发展 | 员 | 摇 圆 源 摇 结构图等效变换举例 | 猿 |
| 员 自动控制和自动控制系统 | 圆 | 圆 缘 摇 工业控制系统及工业控制器分类 | 源 |
| 员 自动控制系统的方框图 | 猿 | 摇 圆 缘 摇 工业控制系统 | 源 |
| 员 自动控制系统的分类 | 源 | 摇 圆 缘 摇 双位或开歇控制作用 | 猿 |
| 员 源 摇 按系统的开环和闭环分类 | 源 | 摇 圆 缘 摇 比例(孕)控制作用 | 猿 |
| 员 源 摇 按给定值分类 | 缘 | 摇 圆 缘 摇 积分(阴)控制作用 | 猿 |
| 员 源 摇 按系统的特性分类 | 远 | 摇 圆 缘 摇 比例积分(孕阴)控制作用 | 猿 |
| 员 源 摇 按系统信号的形式分类 | 远 | 摇 圆 缘 摇 比例积分(孕阴)控制作用 | 猿 |
| 员 源 摇 按系统变量的多少分类 | 苑 | 摇 圆 缘 摇 比例积分(孕阴)控制作用 | 猿 |
| 员 缘 摇 自动控制系统的性能指标 | 怨 | 摇 圆 缘 摇 比例积分(孕阴)控制作用 | 猿 |
| 小 结 | 员 | 摇 圆 缘 摇 比例积分(孕阴)控制作用 | 猿 |
| 习 题 | 员 | 摇 圆 缘 摇 比例积分(孕阴)控制作用 | 猿 |
| 圆 控制系统的数学模型 | 员 | 控制作用 | 猿 |
| 圆 员 摇 传递函数 | 员 | 圆 缘 摇 反馈控制系统的传递函数 | 源 |
| 摇 圆 员 摇 传递函数的概念和定义 | 员 | 摇 圆 缘 摇 闭环控制系统的开环传递函数 | 源 |
| 摇 圆 员 摇 传递函数的特点 | 员 | 摇 圆 缘 摇 给定输入信号作用下系统的闭环传递函数 | 源 |
| 摇 圆 员 摇 传递函数的求法 | 员 | 摇 圆 缘 摇 扰动信号作用下系统的闭环传递函数 | 源 |
| 圆 圆 摇 典型环节的传递函数 | 圆 | 摇 圆 缘 摇 系统的总输出 | 源 |
| 圆 缘 摇 闭环控制系统的动态结构图 | 圆 | 摇 圆 缘 摇 闭环控制系统的误差传递函数 | 源 |
| 摇 圆 缘 摇 动态结构图的概念 | 圆 | 摇 圆 缘 摇 多输入多输出系统的传递矩阵 | 源 |
| 摇 圆 缘 摇 动态结构图的建立 | 圆 | | |
| 圆 缘 摇 动态结构图的等效变换 | 猿 | | |

| | |
|--------------------------|---|
| 圆 摇信号流图与梅逊公式 | 缘 |
| 摇摇圆 摇信号流图的组成 | 缘 |
| 摇摇圆 摇信号流图的绘制 | 缘 |
| 摇摇圆 摇信号流图的等效变换 | 缘 |
| 摇摇圆 摇梅逊(杂援播云葬)增益公式 | 缘 |
| 小摇结 | 缘 |
| 习摇题 | 缘 |

猿 摇时域分析法

| | |
|---------------------------------|---|
| 猿 摇系统典型化和性能指标 | 缘 |
| 猿 摇一阶系统的时域分析 | 远 |
| 摇摇猿 摇一阶系统的单位阶跃响应 | 远 |
| 摇摇猿 摇一阶系统的单位斜坡响应 | 远 |
| 摇摇猿 摇一阶系统的单位脉冲响应 | 远 |
| 摇摇猿 摇一阶系统的时间常数 | 远 |
| 猿 摇二阶系统的时域分析 | 远 |
| 摇摇猿 摇二阶系统的数学模型 | 远 |
| 摇摇猿 摇二阶系统的单位阶跃响应 | 远 |
| 摇摇猿 摇欠阻尼二阶系统单位阶跃响应性能指标的估算 | 苑 |
| 摇摇猿 摇欠阻尼二阶系统的单位斜坡响应 | 苑 |
| 摇摇猿 摇改善欠阻尼二阶系统性能的措施 | 苑 |
| 猿 摇高阶系统分析 | 苑 |
| 猿 摇线性定常系统的稳定性及稳定判据 | 苑 |
| 摇摇猿 摇稳定的概念和定义 | 苑 |
| 摇摇猿 摇线性系统稳定的充分必要条件 | 苑 |

| | |
|------------------------------------|---|
| 摇摇猿 摇劳斯稳定判据 | 愿 |
| 摇摇猿 摇结构不稳定系统 | 愿 |
| 猿 摇控制系统的稳态误差 | 愿 |
| 摇摇猿 摇误差和稳态误差 | 愿 |
| 摇摇猿 摇给定输入下的稳态误差 | 愿 |
| 摇摇猿 摇干扰 灶贼作用下的稳态误差与系统结构参数的关系 | 愿 |
| 摇摇猿 摇改善系统稳态精度的方法 | 愿 |

猿 摇孕阂控制作用对控制质量的影响

| | |
|-----------------------------|---|
| 摇摇猿 摇系统的比例控制与比例积分控制 | 愿 |
| 摇摇猿 摇系统的比例 戮分控制 | 愿 |
| 摇摇猿 摇孕阂控制器 | 愿 |
| 猿 摇用 配粤葬粤和 杂 进行瞬态响应分析 | 愿 |
| 小摇结 | 愿 |
| 习摇题 | 愿 |

源 摇根轨迹分析法

| | |
|---------------------------------|---|
| 源 摇根轨迹的概念 | 员 |
| 摇摇源 摇根轨迹法 | 员 |
| 摇摇源 摇根轨迹的特点 | 员 |
| 源 摇绘制根轨迹的依据 | 员 |
| 摇摇源 摇系统闭环零点、极点与开环零点、极点的关系 | 员 |
| 摇摇源 摇根轨迹方程 | 员 |
| 源 摇绘制根轨迹的基本法则 | 员 |
| 摇摇源 摇根轨迹的起始点、终止点及分支数 | 员 |
| 摇摇源 摇根轨迹的对称性 | 员 |
| 摇摇源 摇实轴上的根轨迹 | 员 |
| 摇摇源 摇根轨迹的渐近线 | 员 |
| 摇摇源 摇决定根轨迹的分离点 | 员 |

| | | | |
|------------------|----|--------------------|----|
| 的法则..... | 猿愿 | 最小相位系统与非最小 | 猿缘 |
| 根轨迹的起始角与终止角 | 猿怨 | 相位系统..... | 猿缘 |
| | 猿怨 | 由频率特性确定相应的 | |
| 重极点的相角——分离 | 猿员 | 传递函数..... | 猿苑 |
| 角(会合角)..... | 猿员 | 对数幅频图..... | 猿怨 |
| 根轨迹与虚轴的交点 | 猿圆 | 奈奎斯特稳定判据..... | 猿园 |
| | 猿圆 | 特征函数 云 净 越 垣 | |
| 决定闭环特征根和的法则 | 猿圆 | | 猿员 |
| | 猿圆 | 幅角原理(几何解释) | |
| 参数根轨迹和多回路系统根轨迹 | 猿原 | | 猿圆 |
| | 猿原 | 奈奎斯特稳定判据..... | 猿猿 |
| 参数根轨迹定义..... | 猿原 | 对数频率特性上的奈奎 | |
| 参数根轨迹的绘制..... | 猿缘 | 斯特判据..... | 猿苑 |
| 多回路反馈系统的根轨迹 | 猿苑 | 用奈奎斯特判据判断延 | |
| | 猿苑 | 迟系统稳定性..... | 猿怨 |
| 正反馈回路的根轨迹..... | 猿愿 | 控制系统的相对稳定性..... | 猿园 |
| 迟后系统的根轨迹..... | 猿园 | 相角裕量..... | 猿园 |
| 根轨迹法在工程中的应用..... | 猿源 | 幅值裕量(增益裕量) | |
| | 猿源 | | 猿员 |
| | 猿苑 | 开环频率特性与系统时域指标 | |
| | 猿苑 | 的关系..... | 猿源 |
| | 猿苑 | 低频段——伯德图与系 | |
| | 猿苑 | 统稳态误差的关系..... | 猿源 |
| | 猿苑 | 中频段——系统瞬态性 | |
| | 猿苑 | 能的集中反映..... | 猿缘 |
| | 猿苑 | 高频段——抗高频干扰 | |
| | 猿苑 | 能力的体现..... | 猿愿 |
| | 猿苑 | 闭环频率特性分析..... | 猿怨 |
| | 猿苑 | 闭环频率特性与系统时 | |
| | 猿苑 | 域响应的关系..... | 猿怨 |
| | 猿苑 | 闭环频率特性的求取 | |
| | 猿苑 | | 猿园 |
| | 猿苑 | 用 云 净 越 垣 进行系统频域分析 | |
| | 猿苑 | | 猿缘 |
| | 猿苑 | 小 结..... | 猿园 |
| | 猿苑 | 习 题..... | 猿员 |
| | 猿苑 | | 猿远 |
| | 猿苑 | 控制系统的综合与校正..... | 猿远 |
| | 猿苑 | 概述..... | 猿远 |

| | |
|--|--|
| <p>猿 典型非线性特性的描述函数 猿苑</p> <p>猿 饱和特性..... 猿苑</p> <p>猿 死区特性..... 猿愿</p> <p>猿 继电特性..... 猿园</p> <p>猿 采用描述函数法分析非线性系统 猿猿</p> <p>猿 非线性系统的校正及非线性特 性的利用..... 猿园</p> <p>猿 非线性系统的校正..... 猿园</p> <p>猿 非线性特性的利用..... 猿园</p> <p>猿 非线性系统的仿真分析..... 猿猿</p> <p>小 结 猿苑</p> <p>习 题 猿苑</p> | <p>猿 在变换法解差分方程 猿园</p> <p>猿 脉冲传递函数..... 猿园</p> <p>猿 脉冲传递函数定义..... 猿园</p> <p>猿 开环系统(或环节)的 脉冲传递函数..... 猿猿</p> <p>猿 闭环系统脉冲传递函数 猿园</p> <p>猿 应用 在变换法分析系统 的条件..... 猿猿</p> <p>猿 线性离散系统的性能分析..... 猿猿</p> <p>猿 离散系统的稳定性..... 猿猿</p> <p>猿 线性离散系统的稳态 误差..... 猿怨</p> <p>猿 离散系统的动态性能 猿园</p> <p>猿 离散控制系统的数字校正..... 猿远</p> <p>猿 用根轨迹法综合数字校 正装置..... 猿远</p> <p>猿 最少拍离散控制系统的 设计..... 猿怨</p> <p>猿 数字 孕 控制..... 猿怨</p> <p>猿 在离散控制系统分析 中的应用..... 猿员</p> <p>小 结 猿源</p> <p>习 题 猿缘</p> |
| <p>猿 线性离散系统 猿员</p> <p>猿 概述..... 猿员</p> <p>猿 离散控制系统的特点 猿员</p> <p>猿 采样开关的工作方式 猿猿</p> <p>猿 离散控制系统的优点 猿猿</p> <p>猿 信号采样与恢复..... 猿源</p> <p>猿 采样过程及离散信号的 数学描述..... 猿源</p> <p>猿 采样定理..... 猿缘</p> <p>猿 采样周期的选择..... 猿苑</p> <p>猿 信号恢复与零阶保持器 猿愿</p> <p>猿 在变换与 在反变换..... 猿园</p> <p>猿 在变换的定义..... 猿园</p> <p>猿 在变换求法..... 猿猿</p> <p>猿 在变换的基本定理..... 猿远</p> <p>猿 在反变换..... 猿愿</p> | <p>附 录 猿愿</p> <p>附录 猿 常用函数拉普拉斯变换和 在变换对照表 猿愿</p> <p>附录 猿 常用拉普拉斯变换的性质和 定理表 猿怨</p> <p>参 考 文 献 猿园</p> |

绪论

本章从控制理论的发展、自动控制和自动控制系统、自动控制系统的方框图和性能指标,以及自动控制系统的分类等方面介绍自动控制系统的发展、任务和基本特点,从而对本学科所研究的对象和所要解决的问题有一个初步的认识。

1.1 控制理论的发展

自动控制科学和工程是 20 世纪最重要的科学理论和成就之一,其各阶段理论的发展及技术进步都与生产和社会实践密切相关。一般认为,自动化技术学科,萌芽于 18 世纪俄国波尔佐诺夫发明蒸汽锅炉水位调节器和 18 世纪英国人瓦特(1733—1819)发明蒸汽机离心飞锤式调速器。从那时起的百多年来,随着社会生产力的发展和需要,自动控制技术和理论也得到不断的发展和提高。到 19 世纪 30 年代至 50 年代,奈奎斯特(1889—1973)于 1933 年提出稳定性的频率判据,伯德(1899—1981)于 1957 年在频率法中引入对数坐标系并于 1959 年出版了《网络分析和反馈放大器设计》一书,哈里斯(1915—1997)于 1962 年引入传递函数概念,伊万思(1900—1992)于 1955 年提出根轨迹法,维纳(1894—1970)于 1948 年出版了《控制——关于在动物和机器中控制和通讯的科学》一书。他们的研究工作和著作以及前人的工作,奠定了经典控制理论的基础,到 20 世纪 50 年代趋于成熟。经典控制理论的特点是以传递函数为数学工具,采用频率域方法,研究“单输入—单输出”线性定常控制系统的分析和设计,但存在一定的局限性,即对复杂多变量系统、时变和非线性系统显得无能为力。

20 世纪 50 年代末至 60 年代初,由于空间技术发展的需要,对自动控制的精密性和经济指标,提出了极其严格的要求,同时,由于数字计算机,特别是微型机的迅速发展,为控制理论的发展提供了有力的工具。在它们的推动下,控制理论有了重大发展,如庞特里亚金(1907—1982)的极大值原理,贝尔曼(1911—1996)的动态规划理论,卡尔曼(1921—2017)的能控性能观测性和最优滤波理论等,这些都标志着控制理论已从经典控制理论发展到现代控制理论阶段。现代控制理论的特点,是采用状态空间法(时域方法),研究“多输入—多输出”控制系统、时变和非线性控制系统的分析与设计。现在,随着技术革命和大规模复杂系统的发展,已促使控制理论开始向第 3 个发展阶段即第 3 代控制理论——大系统理论和智能控制理论发展。

虽然控制理论已经历了第 1 代经典控制理论和第 2 代现代控制理论两个发展阶段,并

已开始进入第猿代,但经典控制理论仍不失其价值和实用意义,仍是进一步学习现代控制理论和其他高等控制理论的基础。

本书对经典控制理论的基本内容做了系统、详细的介绍。

圆摇自动控制和自动控制系统

自动控制作为技术改造和技术发展的重要手段,在我国的现代化建设中得到广泛应用。所谓自动控制,就是应用自动化仪表或控制装置代替人工自动地对机器设备或生产过程进行控制,使之达到预期的状态或性能要求。自动控制技术的应用可实现生产过程自动化,从而可以改善劳动条件,增加产量,提高质量,提高企业的经济效益。对那些人们无法接近的场合,自动控制更是惟一的技术手段。

自动控制是在人工控制的基础上发展起来的。图 圆为锅炉汽鼓液位控制的原理图。图中宰阅分别为给水流量和蒸汽流量(负荷),控制的任务就是以一定精度保持汽鼓中液位为某一期望(给定)的数值。

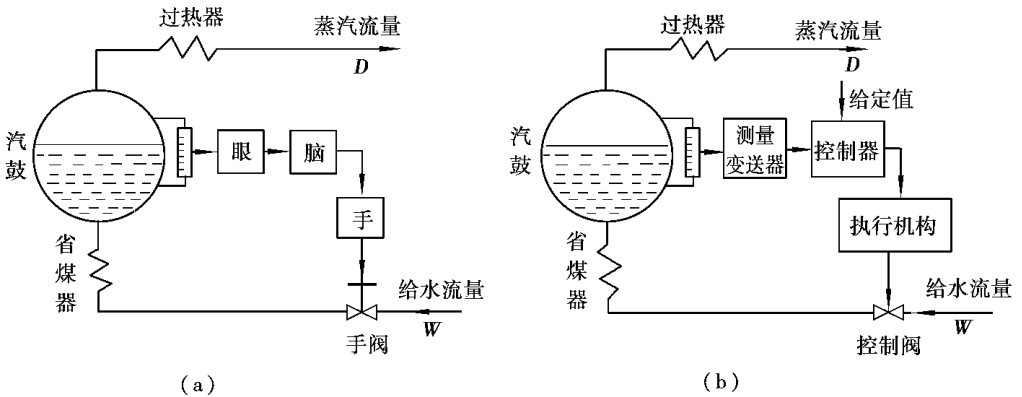


图 圆摇锅炉汽鼓液位控制原理图

(葬人工控制摇(遭自动控制)

在人工控制中,人是用眼、脑、手这三个器官来进行液位控制的。首先用眼睛观察液位的高低变化,然后用大脑分析比较实际液位是否偏离其期望值,若偏离了,则按操作经验,经过思考(运算)发出控制命令,指挥手去执行这一命令,调节给水调节阀的开度,从而把液位控制在所期望的数值上。

在自动控制中,用检测元件、变送器来代替人的眼睛,自动地检测液位的高低变化,并把它转换成与之成比例的统一信号:电动单元组合仪表为园~园皂粤,阅院院或源~园皂粤,阅院院,气动单元组合仪表为园院伊园~怨愿伊园皂粤,此信号称为“测量信号”。控制器则代替人的大脑,把接收到的测量信号与期望保持的液位值即“给定信号”进行比较,得出两者之差即“偏差”(也称“误差”),然后根据偏差信号的大小,按某种控制规律进行运算,运算的结果作为“控制信号”送到执行机构(或称执行器)中。执行机构代替人的手去关小或开大阀门,使液位保持在期望值上,从而实现自动控制。

此为一 如果将被控制的设备或过程称作受控对象(或称被控对象,简称对象),将表征设备或

节的性能为原则。例如图 1-1 所示的过程控制系统,在工程上实际测试出的对象特性,往往包含了检测元件、变送器和执行机构的特性,这时对象的特性常称为“广义对象特性”。这样,图 1-1 所示的系统,就可视为由对象(广义对象)和控制器两个环节组成,如图 1-2 所示。

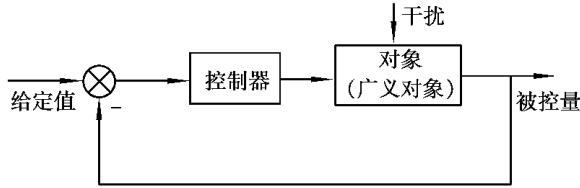


图 1-2 自动控制系统简化方框图

源 摇自动控制系统的分类

随着控制理论和控制技术的日益发展,工业自动控制系统也日趋复杂和完善,出现了各式各样的控制系统,可从不同角度加以分类。本节着重讨论以下几种分类方法:

源 摇按系统的开环和闭环分类

源 摇开环控制系统

开环控制系统的特点是系统的被控量对系统的控制作用没有影响,如图 1-3 所示。在这种控制系统中,不将被控量反馈回来,没有任何闭合回路。

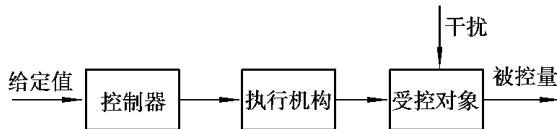


图 1-3 开环控制系统

这种控制系统结构较简单,对应于每一个给定值,其被控量便有一个对应的固定工作状态,其控制精度取决于系统各组成环节的精度。当系统存在干扰时,会直接影响被控量,而无法自动补偿,因而控制精度难以保证。所以这种系统只适用于输入与输出关系已知,且系统不存在干扰(或干扰很弱)的场合,如某些自动化流水线,多属这类系统。

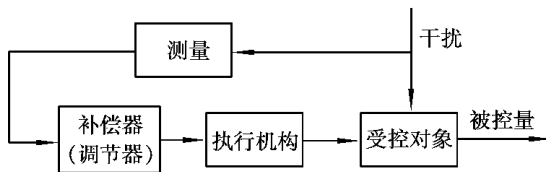


图 1-4 开环补偿系统

如果系统存在破坏系统正常运行的干扰,而干扰又能被测量,则可利用干扰信号产生控制作用,以补偿干扰对被控量的影响,如图 1-4 所示。这种按开环补偿原理建立起来的系统称为开环补偿系统。这种控制方式,亦称为“前馈控制”。前馈控制是一种主动控制方式,

业控制中的位置控制系统、过程控制中串级控制系统的副回路、工业自动化仪表中的显示记录仪等均属这类系统。

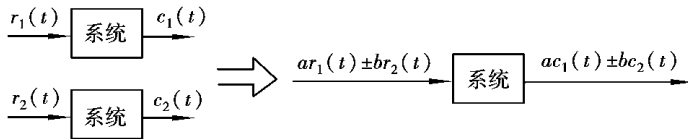
猿程序控制系统

若控制的任务是使式(圆园)糟越则,其中则为一已知时间函数,则这种控制系统称为程序控制系统。如耐火材料生产中的炉温程序升温、机械加工中的程序控制机床等均属此类系统。

圆园按系统的特性分类

员线性控制系统

当系统中各组成环节或元件的状态或特性可以用线性微分方程(或线性差分方程)来描述时,称这种系统为线性控制系统。线性控制系统的特点是具有叠加性和均匀性(或齐次性),即当系统存在几个输入时,系统的输出就等于各个输入分别作用于系统时系统输出之和;当系统输入增加或缩小时,系统的输出也按同样比例增大或缩小,如图圆园所示。



图圆园线性控制系统的叠加性和均匀性

如果描述系统运动状态的微分(或差分)方程的系数是常数且不随时间变化,则这种线性系统称为线性定常(或时不变)系统。这种系统的响应形状只取决于输入信号的形状和系统的特性,而与输入信号施加的时刻无关。若微分(或差分)方程的系数是时间的函数,则这种线性系统称为线性时变系统,这种系统的响应不仅取决于输入信号的形状和系统的特性,而且与输入信号施加的时刻有关。本书主要讨论线性定常系统。

圆非线性控制系统

当系统中存在非线性特性的组成环节或元件时(即使只存在员个),系统的特性就由非线性方程来描述,这种控制系统称为非线性控制系统。非线性控制系统不具有叠加性和均匀性,因此叠加原理是不适用的。

严格地讲,实际的控制系统都存在着不同程度的非线性特性,如放大器的饱和特性,运动部件的间隙、摩擦和死区,等等。非线性特性根据其处理方法不同,可分为本质非线性和非本质非线性两种。对于非本质的非线性特性,其输入、输出关系曲线没有间断点和折断点,且呈单值关系。因此当系统变量变化范围不大时,可对非线性特性进行“线性化”处理,这样就可应用相当成熟的线性控制理论进行分析和讨论。对于本质非线性特性,其输入、输出关系或具有间断点和折断点,或具有非单值关系。这类系统需要用非线性控制理论来分析研究。

圆园按系统信号的形式分类

员连续控制系统

当系统中各部分的信号均是时间变量的连续函数时,称此类系统为连续控制系统。连

续系统的运动状态或特性一般用微分方程来描述。模拟式工业自动化仪表和用模拟式仪表来实现自动化的过程控制系统均属此类系统。

圆离散控制系统

当系统中某处或多处的信号为在时间上离散的脉冲序列或数码形式时,这种系统称为离散控制系统或离散时间控制系统。离散系统和连续系统的区别仅在于信号只在特定的离散瞬时是时间的函数。离散时间信号可由连续信号通过采样开关获得,具有采样的控制系统又称为采样控制系统。如用数字计算机或数字控制器,其离散信号是以数码形式在系统中进行传递,则称为采样数字控制系统或简称数字控制系统。由于这种系统中的被控量是模拟量,所以要用模数(模数)和数模(数模)转换器,如图 1-1 所示。

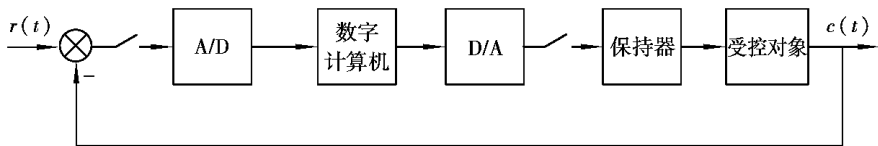


图 1-1 数字计算机采样控制系统

离散系统的运动状态或特性一般用差分方程来描述,它与连续系统类似,也有线性和非线性、定常与时变系统之分,但其分析研究方法则不同于连续系统。

1.2 按系统变量的多少分类

圆单变量系统

单变量系统亦称单输入单输出系统,其输入量和输出量各为 1 个,系统结构较为简单。本书主要研究单变量系统。

圆多变量系统

多变量系统亦称多输入多输出系统,其输入量和输出量多于 1 个,系统结构较为复杂,回路多。一个输入量对多个输出量都有控制作用,而一个输出量往往受多个输入量控制,即就是说,它们相互之间有耦合作用。对多变量系统的分析与设计远较单变量系统复杂。

自动控制系统的分类还可列举很多,这里不一一赘述。本书只讨论闭环随动控制系统和闭环定值控制系统的分析、综合校正方法,且重点放在单变量线性定常连续系统上。对于线性离散控制系统和非线性控制系统,只用一定篇幅进行分析和讨论。

例 1-1 图 1-2 是烘烤炉温度控制系统的示意图,控制的任务是保持炉温恒定,试说明其工作原理,并画出该系统的方框图。

分析 在分析一个自动控制系统的工作原理时,如果明确了下面一些问题,就比较容易理解了:

(1) 哪个是受控对象?被控量是什么?作用在对象上的干扰有哪些?对本例来讲,受控对象是烘炉,被控量是炉温,干扰有工件、环境温度、煤气压力波动等。

(2) 依靠操纵哪个机构来改变被控量?本例中,是依靠调节煤气管上的阀门来改变炉温。

(3) 有哪些测量元件?测量的是被控量还是干扰?本例中,是用热电偶来测量被控量炉温,它将炉温转变为相应的电压(经放大后)。

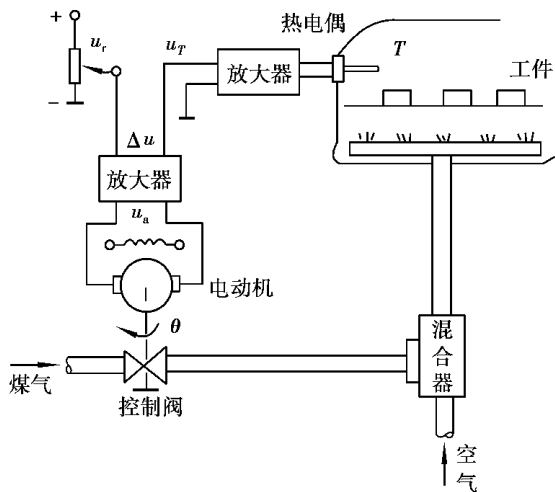


图 5-1-1 电炉烘烤炉温度控制系统示意图

(源)给定值或参考输入或指令由哪个装置提供?本例中,是由给定电位计提供,其给定值电压为 u_r 。

(缘)如何判断偏差和实现对偏差的计算?本例中, u_r 和 u_a 反接,即 $\Delta u = u_r - u_a$,它相当于炉温的偏差量。再对偏差量进行放大(或者说对偏差量按控制器的比例运算规律进行运算)。然后输出控制作用。

(远)控制作用通过什么部件去执行?本例中,执行控制作用的机构即执行机构是电动机和传动装置。

解摇系统的工作原理:假定炉温恰好等于给定值(经事先整定),这时 $u_r = u_a$,即 $\Delta u = 0$,放大器输出也为零,即无控制作用输出,于是电动机和控制阀静止不动,煤气流量不变,烘烤炉处于规定的恒温状态。如果烘烤炉加大负荷即增加工件,由于煤气流量一时未变,则炉温下降。裁减小导致 u_r 也减小,于是 Δu 跃园,经放大器放大后,控制作用增大,故电动机将阀门开大,增加煤气供给量,使炉温回升,直至等于给定值即 $u_r = u_a$ 时为止。反之,如果负荷减小或煤气压力干扰突然增大,则炉温升高。裁增高,使 u_r 随之加大,于是 Δu 跃园,故电动机反转,关小阀门,减小供气量,使炉温回降,直至 $u_r = u_a$ 时为止。

由此看出:系统通过测量炉温,取得对给定值的偏差来控制炉温,所以这个系统是一个按偏差进行控制的闭环控制系统。

系统各功能元部件(环节)相互联系的方框图,如图 5-1-2 所示。

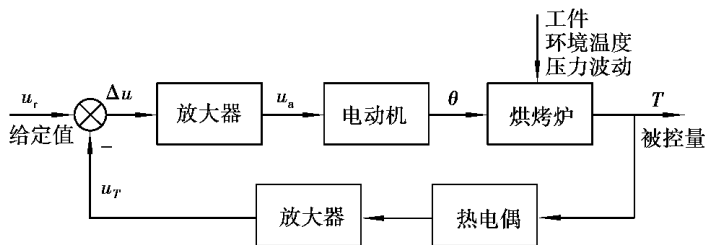


图 5-1-2 电炉烘烤炉温度控制系统方框图

画方框图时,应按照各个功能部件(环节)在系统中工作的顺序,将之用一个方框表示,