

自动控制工程基础

余文杰 高国燊 陈来好 编



华 南 理 工 大 学 出 版 社

7113
Y86

412259

自动控制工程基础

余文杰 高国燊 陈来好 编
金韶宁 审

华南理工大学出版社
· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

自动控制工程基础/余文杰等编. —广州:
华南理工大学出版社, 1995. 9
ISBN 7-5623-0838-1/TP·41

- I. 自…
- II. 余…
- III. 自动控制理论
- IV. TP13

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山· 邮码: 510641)

责任编辑: 黄 敏

广州伟盛电脑公司激光照排

封开县人民印刷厂印装 广东省新华书店经销

1995年9月第1版 1995年9月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 26.25 字数 636千

印数: 1—3000

定价: 22.50元

前 言

本书参照高等工科院校《自动控制原理》教学大纲编写而成。内容包括经典控制理论中线性定常系统的时域分析法、根轨迹分析法和频率特性分析法,非线性系统的描述函数分析法以及线性离散(时间)系统的分析法,并编入数学基础和自动控制系统的元、部件简介以及自动控制系统的设计、应用等。因此,本书形成了比较完备的体系。

编者根据多年来讲授《自动控制原理》课程的教学经验,在编写本书时力求做到重点突出、概念清晰、由浅入深、通俗易懂,既讲透基本原理和基本方法,又保持了课程内容的系统性和连贯性。为了便于自学、开拓思路和掌握重点,在每章末均有小结,并编入较多的例题与习题,书末附有各章部分习题的答案,以供读者参考。

全书共分十一章。第三、八、九章由余文杰执笔;第四、十、十一章由高国荣执笔;第一、二、五、六、七章由陈来好执笔。全书由金韶宁主审。审者对本书稿进行了细致的审阅,提出了许多宝贵的修改意见,对此我们致以诚挚的谢意。

本书适合于80~90学时的《自动控制原理》课程教学之用,可作为高等院校专科《自动控制原理》课程的教材,也可作为本科少学时《自动控制原理》课程的教材,还可供从事实际工作的自动化工程技术人员作参考。

由于编者水平所限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

1995年1月
于华南理工大学

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 自动控制技术的发展与展望.....	(1)
第二节 自动控制的基本概念及定义.....	(2)
第三节 自动控制系统的分类.....	(5)
第四节 对自动控制系统的基本要求及本课程的研究内容.....	(7)
第二章 数学基础	(12)
第一节 微分方程	(12)
第二节 拉普拉斯变换	(15)
第三节 用拉普拉斯变换方法求解线性微分方程	(20)
第三章 自动控制系统的应用	(24)
第一节 自动控制系统在工业过程中的应用	(24)
第二节 自动控制系统在仪器仪表中的应用	(30)
第三节 自动控制系统在军事设施中的应用	(34)
第四节 自动控制系统在轧钢车间中的应用	(37)
第五节 自动控制系统在机械加工车间中的应用	(41)
第四章 自动控制系统中的元、部件	(47)
第一节 控制系统的传感器	(47)
第二节 直流伺服电动机	(72)
第三节 交流伺服电动机	(77)
第五章 自动控制系统的数学模型	(84)
第一节 引言	(84)
第二节 传递函数	(85)
第三节 结构图及其等效变换	(88)
第四节 自动控制系统的传递函数.....	(101)
第五节 脉冲响应函数.....	(104)
第六节 信号流图.....	(105)
第六章 时域分析法	(113)
第一节 典型输入信号和时域性能指标.....	(113)
第二节 稳定性和代数稳定判据.....	(116)
第三节 一阶系统的瞬态响应.....	(123)
第四节 二阶系统的瞬态响应.....	(125)
第五节 高阶系统的瞬态响应.....	(135)
第六节 稳态误差分析.....	(137)
第七章 根轨迹法	(155)

第一节	根轨迹的基本概念	(155)
第二节	绘制根轨迹的基本法则	(159)
第三节	控制系统根轨迹的绘制	(170)
第四节	控制系统的根轨迹法分析	(184)
第八章	频率特性分析法	(196)
第一节	频率特性的基本概念	(196)
第二节	频率特性的几种图示方法	(200)
第三节	典型环节的幅相频率特性	(204)
第四节	典型环节的对数频率特性	(210)
第五节	开环系统的频率特性	(218)
第六节	奈奎斯特稳定判据	(228)
第七节	稳定裕度	(238)
第八节	闭环系统频率特性的绘制	(243)
第九节	利用开环频率特性分析系统的性能	(250)
第十节	利用闭环频率特性分析系统的性能	(260)
第九章	控制系统的设计	(269)
第一节	引言	(269)
第二节	基本控制规律的分析	(271)
第三节	校正装置的频率特性	(281)
第四节	校正装置的设计	(291)
第五节	串联校正装置的期望对数频率特性设计方法	(303)
第六节	并联校正装置的设计	(308)
第十章	非线性控制系统的分析方法	(315)
第一节	引言	(315)
第二节	描述函数法	(319)
第三节	用描述函数法研究非线性系统的自振	(331)
第四节	用描述函数法分析非线性控制系统的自振示例	(337)
第十一章	线性离散(时间)控制系统分析	(344)
第一节	引言	(344)
第二节	采样过程和采样定理	(349)
第三节	Z变换	(353)
第四节	离散(时间)控制系统的数学模型	(366)
第五节	离散(时间)控制系统稳定性分析	(378)
第六节	离散(时间)控制系统的稳态误差分析	(383)
第七节	离散(时间)控制系统的动态性能分析	(386)
第八节	计算机控制系统的控制算法	(392)

第一章 绪 论

本章将简要介绍自动控制技术的发展与展望、自动控制的基本概念及定义、自动控制系统的构成及分类,以及工程上对自动控制系统的基本要求,从而给本课程的研究对象和研究问题,提出了一个比较清晰的轮廓。

第一节 自动控制技术的发展与展望

二十世纪中叶以来,在工程和科学发展过程中,自动控制技术起着重要的作用,它已经广泛地应用于工农业生产、交通运输、国防建设和航天事业等各个领域。

所谓自动控制,是指在没有人直接参与的情况下,利用自动控制装置(简称控制器),使整个生产过程或工作机械(简称被控对象或对象)自动地按预定的规律运行,或使它的某些参数(或称被控量)按预定的要求变化。

例如,要想使发电机正常供电,就必须保持其输出电压恒定,尽量不受负荷变化和原动机转速波动的影响;要想使数字控制机床加工出高精度的零件,就必须保证其工作台或刀架的位置,准确地跟随控制指令进给;要想使烘烤炉提供优质的产品,必须严格地控制炉温等等。在这里,发电机、机床、烘烤炉称为被控对象,而输出电压、刀架位置、炉温称为被控量。将这些被控量(物理参量)所应保持的数值称为给定值,则控制的任务就是使被控对象的被控量等于给定值。如果这个任务是靠自动装置来承担,利用自动装置操纵被控对象(没有人的直接参与),使其被控量等于给定值,则称为自动控制。

自动控制原理是研究自动控制技术的基础理论和探讨控制规律的技术科学。按其发展过程大体可分成经典控制理论和现代控制理论两大部分。经典控制理论在本世纪五十年代已形成比较完整的体系,它以传递函数为数学工具,研究单输入——单输出的自动控制系统的分析与设计问题。主要研究方法有时域分析法、根轨迹法和频率特性法。这些理论已经比较成熟,并且在工程实践中得到广泛的应用。现代控制理论则是六十年代以来,为了适应现代控制工程复杂化和性能指标的高精度、最优化的要求而逐步发展起来。它是状态空间法为基础,研究多输入、多输出、变参数、非线性、高精度等控制系统的分析和设计问题。最优控制、系统辨识、最佳滤波、自适应控制等理论都是这一领域研究的主要课题。近年来,由于电子计算机技术和现代应用数学研究的迅速发展,使现代控制理论又在大系统工程、人工智能控制等方面继续向前发展。

由于自动控制技术在国民经济建设和国防、航天等各个领域中得到更广泛的应用。它不

仅使生产过程实现自动化,从而提高了劳动生产率和产品质量、降低了生产成本、改善了劳动条件,而且在人类征服大自然,探索新能源、发展空间技术和改善人们物质生活等方面都具有十分重要的作用。可以说,自动控制技术已经渗透到国民经济的很多部门和科学技术的很多领域去了。因此,现在大多数工程技术人员和科学工作者都必须具备一定的自动控制原理这方面的知识。

本教材作为学习、应用自动控制理论的基础,只介绍经典控制理论的一般问题。

第二节 自动控制的基本概念及定义

在许多工业生产过程或生产设备中,为了维持正常的工作条件,往往需要对某些物理量(如温度、压力、流量、频率、位移、转速等)进行控制,使其维持某一数值或按一定规律变化。如何实现自动控制呢?下面,我们以直流电动机转速控制系统为例,介绍其工作原理及自动控制的基本概念。

一、开环控制系统

有一台直流电动机,它要带动一个需要以恒定速度转动的负载。为了完成这一任务,我们可以用整流电源 E 、电位器 R_w 和两个放大器,组成一个转速控制系统,其电气原理如图

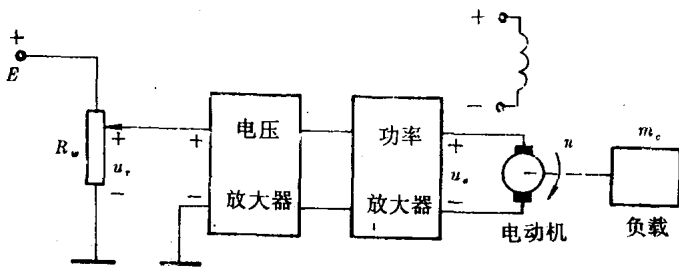


图 1-1 直流电动机转速开环控制系统

1-1 所示。工作原理如下:由电位器 R_w 给定一电压 u_r ,经电压放大器、功率放大器放大为电压 u_a ,加到电动机的电枢上,电动机便带动负载以一定的转速 n 转动。当负载转矩 m_c 不变时,只要改变给定电压 u_r ,便可得到不同的转速 n 。即是说, u_r 与 n 具有一一对应的关系。系统的职能方块图如图 1-2 所示。

在图 1-2 中, u_r 称为系统的给定输入量, n 为系统的输出量。因为该系统的输出量 n 对由给定输入量 u_r 所引起的控制作用没有发生影响(即系统的输出端和输入端之间不存在反

反馈回路),所以称这种系统为开环控制系统。

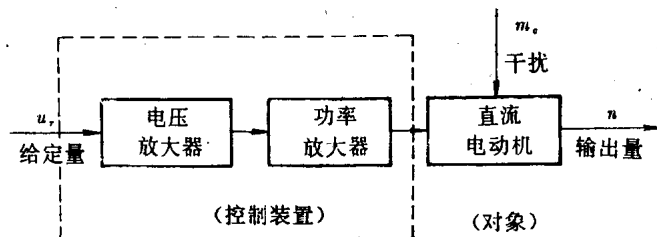


图 1-2 转速开环控制系统方块图

开环控制系统结构简单、成本较低。因此,在系统结构参数稳定、没有干扰作用或所受干扰很小的场合下,还是可以选用的。但是工程上,在多数情况下,系统会遇到各种干扰(例如负载转矩的变化或控制装置某些参数的变化等),将引起被控量偏离给定值。因此,为了提高系统的控制精度,应该采用其它控制方式。

二、闭环控制系统

在图 1-1 所示直流电动机转速开环控制系统中,加入一测速发电机(测速发电机的作用是将电动机的实际转速 n 测得并转换成对应的电压 u_f),便构成了如图 1-3 所示的直流电动机转速闭环控制系统。而图 1-4 是该系统对应的方块图。

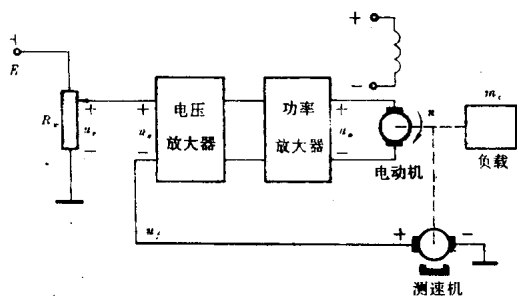


图 1-3 直流电动机转速闭环控制系统

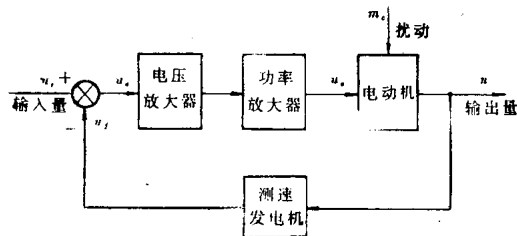
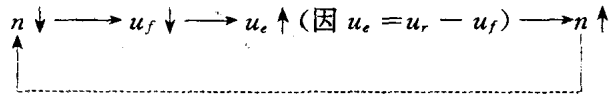


图 1-4 转速闭环控制系统方块图

在图 1-4 中,测速发电机将电动机的实际转速 n (即系统的输出量)测量并转换成电压 u_f ,再返送到系统输入端与给定值电压 u_r (即系统的输入量)进行比较后,得到其偏差值 u_c ($u_c = u_r - u_f$), u_c 经放大器放大后,对被控对象电动机的转速进行控制,使电动机保持在给定的转速上运行。由于系统的输出端与输入端存在反馈回路,使信号的传送出现闭合环路,系统的输出量直接影响给定值并产生偏差信号。这种通过负反馈构成闭环,按偏差产生控制作

用以减小或消除偏差的控制系统,称为闭环控制系统,或称反馈控制系统。

闭环控制系统是一种能够自动调整系统的输出量等于(或接近于)给定值的自动控制系统,它具有良好的适应性和很强的抗干扰能力。如图 1-4 所示的转速闭环控制系统,若已处在给定电压 u_r 相对应转速 n 的状态下运转。如果由于某些干扰(如负载转矩增大)引起转速下降时,系统便发生了如下的转速调整过程:



结果,电动机转速降落得到自动补偿,使系统基本恒速运行。

由以上分析可知,闭环控制系统具有两个重要特点,即:1. 由负反馈构成闭环是闭环系统结构上的显著特点;2. 由偏差产生控制作用使系统沿着减小或消除偏差的方向运动,是闭环控制系统的另一特点。因此,不管什么原因引起被控量偏离其给定值而产生偏差时,就一定有相应的控制作用产生并纠正偏差,使被控量趋近或回复到原来的要求值。必须指出,只有按负反馈原理构成的闭环控制系统才能自动纠偏而实现自动控制。正反馈不仅不能纠正偏差,往往使系统无法工作。

尽管闭环控制系统使用的元件多些、结构也复杂些,但由于它具有自动纠偏的能力,使系统的控制精度可以做得比较高。因此在工程实际中得到广泛的应用。通常所说的自动控制系统就是指闭环控制系统。

三、自动控制系统的基本组成部分

对于一个自动控制系统来说,不管其结构多么复杂,但它都是由一些具有不同职能的基本元件所组成。图 1-5 便是一个典型自动控制系统的职能方框图(也称方块图)。图中,用方块表示基本元件及其职能,用有向线段表示信号及其作用方向,用相加点表示几个信号进行代数和运算。一个典型的自动控制系统由测量元件、比较元件、放大元件、校正元件、执行元件和被控对象等所组成。其中:

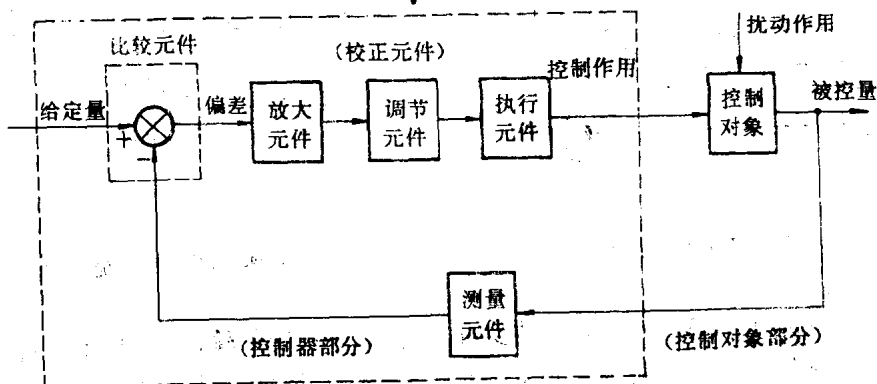


图 1-5 自动控制系统的基本组成方块图

测量元件——用来测量被控量并转换成与系统给定输入量同一物理量的元件。

比较元件——用来比较给定信号与反馈信号并产生偏差信号的装置。

放大元件——将信号按比例放大的元件。

校正元件——按一定函数规律变换信号以便调整系统参数,从而达到改善系统控制性能的装置。

执行元件——执行偏差信号所产生的控制作用,使被控量按期望值要求变化的装置。

被控对象——简称对象,即需要进行控制的工作机械或生产过程。被控对象中需要控制的物理量称为被控量或系统输出量,简称输出量。

在自动控制系统中,除被控对象外的其余部分统称控制装置或控制器。所谓自动控制系统就是被控对象和控制装置按一定方式连接起来,并能完成一定控制任务的一个组合体总称。

在实际自动控制系统中,使被控量偏离给定值的因素称为扰动或干扰。如果扰动产生于系统内部,称为内扰动;若产生于系统外部称为外扰动。扰动信号也是控制系统的一种输入信号。

第三节 自动控制系统的分类

自动控制系统的种类很多,它们的结构、性能和控制任务也各不相同。工程上,为了研究自动控制系统的共性规律,一般可以按一定原则对它们进行分类。

例如,若按系统给定输入信号随时间变化情况来分类,可将自动控制系统分为恒值系统、随动系统和程序控制系统。

1. 恒值系统(又称自镇定系统或自动调整系统)

这类系统的特点是给定输入量是一个常数(故称为恒值),而控制系统的任务是设法消除系统中内、外扰动的影响,使被控量以一定的精确度保持在期望的数值上。生产过程中象压力、流量、温度、湿度以及速度等一类参数的控制多采用恒值控制系统。如前面介绍过的直流电动机转速控制系统。

2. 随动系统(又称伺服系统)

这类系统的特点是给定输入量是预先未知的随时间任意变化的函数。而控制系统的任务是在各种情况下能够使被控量以尽可能小的误差跟随给定输入量的变化。随动系统也能克服扰动的影响,但一般说来,扰动的影响是次要的。

图 1-6 和图 1-7 是某角位移随动系统的电气原理图和方块图。该系统是控制工作机械(负载)轴的角位移,使其按给定输入电位器轴(接控制手柄)角位移的变化。工作原理是这样的:输入指令电位器滑动臂的角位移 θ_i 对应的电压为 u_i ,接收电位器(与工作机械同轴联接)滑动臂的角位移 θ_o 对应的电压为 u_o 。当输入指令电位器有角位移为 θ_i 时,若工作机械角位移 θ_o 与之不同,则电位器组产生偏差电压 $u_e(u_e = u_i - u_o)$,经放大后,使执行电动机旋

转,并通过减速器带动工作机械轴跟随输入电位器滑动臂偏转,直至 $\theta_c = \theta_r$,这时, $u_e = 0$,执行电动机停止转动,跟随过程即告结束。

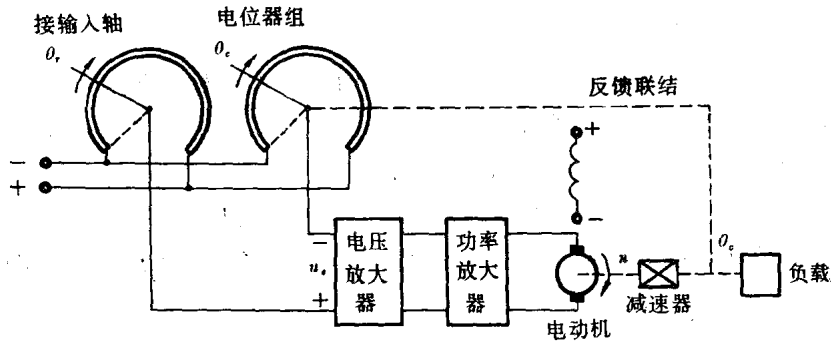


图 1-6 角位移随动系统

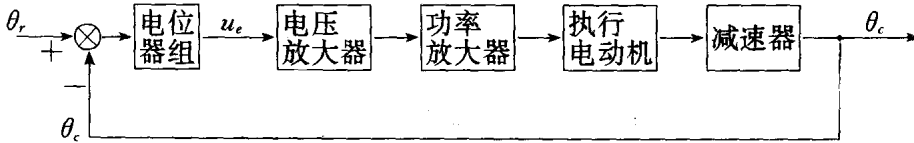


图 1-7 角位移随动系统方块图

随动系统输出量直接反馈到输入端与输入量进行比较,因此又称它为单位反馈系统。火炮自动瞄准系统、雷达跟踪系统、船舵的操作系统以及各种电信号自动记录仪都属于随动系统。

3. 程序控制系统

这类系统的特点是给定输入量是按预先编制好的程序(顺序)变化。例如机械加工业中的数字控制机床,金属电镀程序控制生产流水线以及食品工业的过程控制等,都广泛地应用程序控制系统。

若按控制系统中是否包含有非线性元件来分类,则可分为线性系统和非线性系统。

1. 线性系统

线性系统的特点在于组成系统的各个元件都是线性元件(却元件的输入、输出静特性是线性特性的)。系统的运动过程可用线性微分方程(或差分方程)来描述。

2. 非线性系统

非线性系统的特点在于系统中含有一个或多个非线性元件。系统的运动过程需用非线性微分方程(或差分方程)来描述。例如,含有饱和限幅特性、死区特性、继电特性或间隙特性的系统,就是常见的非线性系统。

此外,若按系统中各处的信号是否是时间的连续函数来分类,则可分为连续控制系统和离散控制系统(系统中有一处或多处的信号是脉冲序列或数码)。离散系统又称为采样控制系统,例如数字计算机控制系统就是典型的离散控制系统。

还有其它一些分类方法对自动控制系统进行分类,这里就不一一列举了。

第四节 对自动控制系统的基本要求 及本课程的研究内容

一、对自动控制系统的基本要求

工程上对一个自动控制系统的性能有一定的具体要求。但由于控制对象不同,工作方式不同,完成任务的情况也不同,因此对各种系统的要求也有很大差异。不过就其共性来说,一般可将对自动控制系统的基本要求归纳为:稳定性、动态性能和准确性(稳态精度)这三方面必须满足一定的要求。即要稳、好、准。

1. 稳定性方面,要稳

首先,控制系统必须是稳定的。因为不稳定的系统是无法进行工作的,它既无法跟随给定输入信号的变化,也无法抵御任何干扰的影响。

2. 动态性能方面,要好

要求动态过程的进行要快(即时间要短)、要平稳(即振荡不激烈)。一般用调节时间 t_s 和最大超调量 σ_P 两个主要性能指标来评价系统的动态性能。 t_s 和 σ_P 越小,表示动态过程进行得越快、越平稳。

3. 准确性方面,要准

要求系统的稳态控制精度要高。一般用稳态误差 e_{ss} 来评价。稳态误差即为稳定的系统的输出响应过程在时间趋于无穷大时被控量与要求值之差。稳态误差 e_{ss} 越小,表示系统的稳态控制精度越高。

以随动系统为例,研究随动系统在给定单位阶跃输入信号作用下被控量跟踪过程。由于系统结构、参数的不同,被控量的跟踪过程曲线形状也不同,如图 1-8 所示。图 1-8(a)的曲线①和②分别表示稳定系统的跟踪过程;而图 1-8(b)的曲线③、④、⑤分别表示不稳定系统的跟踪过程。

对于稳定的控制系统,通常是以系统对单位阶跃输入信号作用下的输出响应曲线的一些特征值,作为衡量系统动态性能(品质)优劣的标志,称为动态性能指标。如图 1-9 所示:

(1)最大超调量 σ_P 。是指响应曲线偏离(超出)稳态值的最大值 σ_P 。通常用百分比来表示,定义式为

$$\sigma\% = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\%$$

(2)上升时间 t_r 。是指响应曲线由零上升到第一次到达稳态值所经历的时间。

(3)峰值时间 t_p 。是指响应曲线由零到达第一个峰值所经历的时间。

(4)调节时间 t_s (又称过渡过程时间)。是指响应曲线进入稳态值 $y(\infty)$ 附近划出的允许误差带内,并且以后再不超出所需的最小时间。允许误差一般取为 $0.05y(\infty)$ 或 $0.02 \cdot y(\infty)$,并分别记为 $\Delta=0.05$ 或 $\Delta=0.02$ 。

(5)振荡次数 N 。是指在调节时间 t_s 内,响应曲线偏离稳态值 $y(\infty)$ 的振荡次数。

在以上几个动态性能指标中,上升时间、峰值时间和调节时间反映了系统动态过程的快慢,是快速性指标。超调量和振荡次数则反映了系统动态过程的振荡激烈程度,因而是平稳性指标。其中,超调量 $\sigma\%$ 和调节时间 t_s 是两个最常用、最有代表性的动态性能指标。

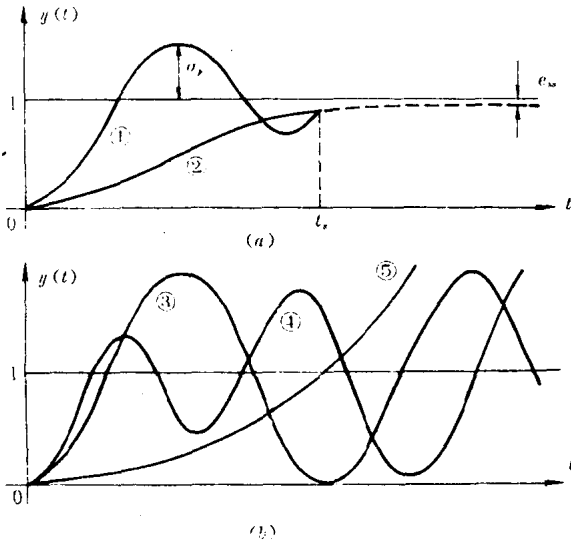


图 1-8 阶跃响应曲线

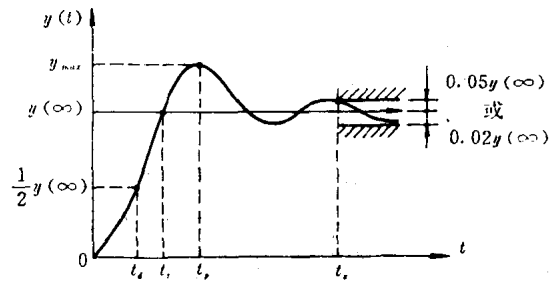


图 1-9 单位阶跃响应性能指标

二、本课程的研究内容

自动控制原理是一门研究自动控制技术的基础理论和自动控制共同规律的工程技术科学。它是自动控制系统为主要研究对象的,是对自动控制系统进行分析和设计的基本理论。

1. 当已知系统的结构和参数的情况下,要研究系统在某种典型输入信号(如单位阶跃信号)作用下被控量变化的全过程,并从这个变化过程中得出评价系统性能的指标;以及讨论系统的性能指标与系统结构、参数的关系。这类问题称为对系统的分析。从分析中寻找对系统的控制规律。例如,对恒值系统来说,主要是研究干扰信号所引起的被控量的变化过程;而对随动系统来说,主要是研究给定输入信号作用下被控量跟随给定输入量变化的过程。

2. 对已给出了被控对象及其技术指标要求的设计任务,工程技术人员必须寻求一个能够完成一定的控制任务、满足一定控制性能要求的系统。这类问题称为自动控制系统的设计。设计一个自动控制系统,需要进行大量的分析计算,考虑的问题是多方面的。既要保证使系统具有良好的控制性能,又要照顾到工艺性、经济性以及体积、寿命等各个方面。设计工作既要以为理论为指导,也要重视实践经验。而当控制系统的主要元件和结构形式确定以后,为了满足预定的性能指标的要求,往往需要改变系统的某些参数或附加某种装置(有时还要改变系统的结构)。这种方法叫做对系统进行校正。附加的装置叫校正装置。在理论指导下寻求改变系统某些参数或附加校正装置的过程叫做系统的综合。系统的综合是系统设计的

重要一部分。

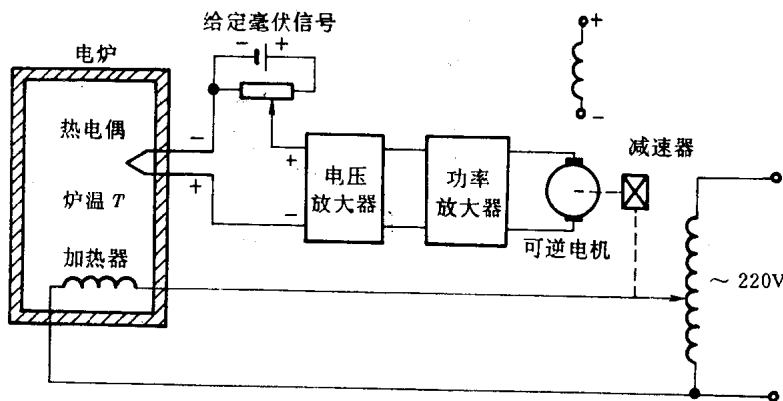
分析系统的目的在于了解和认识已有的系统。对于从事自动控制的工程技术人员来说,更重要的工作是设计新系统和改造那些控制性能未达到要求的系统。为此,必须很好地掌握自动控制理论、控制元件和控制系统等各方面的知识。本课程着重研究线性连续系统、非线性系统以及线性离散系统的分析和综合方面的一般问题。

本章小结

1. 通过一些自动控制系统的实例了解自动控制的定义,并了解控制对象、系统输入量、被控量、控制装置以及控制系统等概念。
2. 控制系统按是否存在反馈可分为开环控制系统和闭环控制系统。闭环控制系统也即反馈控制系统,其主要特点是系统输出量经测量后返送到系统输入端构成闭环,并且由偏差产生控制作用使被控量朝着减少偏差、消除偏差的方向运动。因而具有较高的控制精度。
3. 根据控制系统的工作原理以及各元件信号的传送方向,可画出控制系统的职能方块图(简称方块图)。方块图是分析控制系统的基础。
4. 自动控制系统有各种分类方法。若按系统给定输入信号的时间特性进行分类,可分为恒值系统、随动系统和程序控制系统。
5. 对自动控制系统的基本要求是:系统必须是稳定的;系统的稳态控制精度要高,即稳态误差要小;系统的动态性能要好,即系统的单位阶跃响应的过程要平稳(超调量要小),响应过程要快(调节时间要短)。

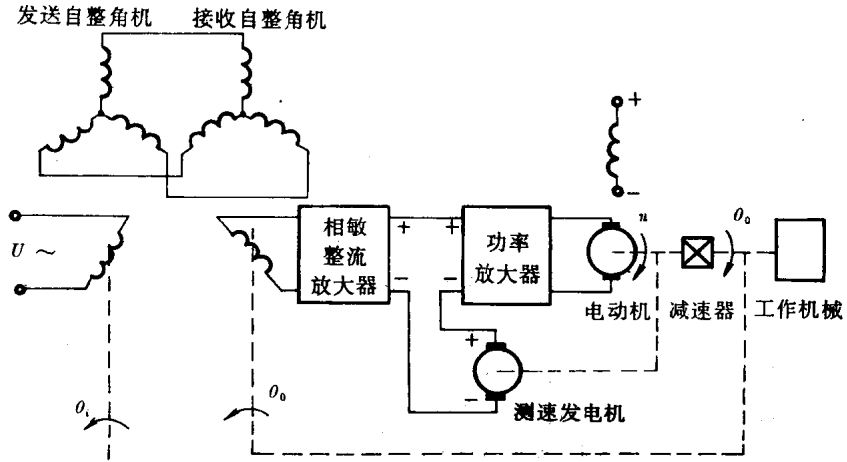
习 题

- 1-1. 试举出几个开环控制系统和闭环控制系统的实例,说明它们的工作原理并画出系统的方块图。
- 1-2. 如题 1-2 图所示的温度控制系统,指出系统的输入量和被控量,区分被控对象和控制器,说明控制器各组成部分的作用,画出系统的方块图。



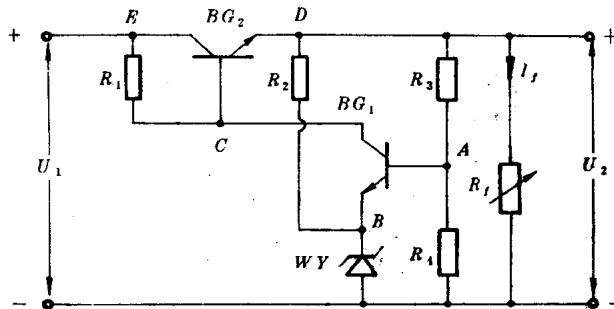
题 1-2 图 炉温控制系统

1-3. 自整角机随动系统如题 1-3 所示。画出系统的方块图并说明该系统是怎样出现偏差、检测偏差和消除偏差的。

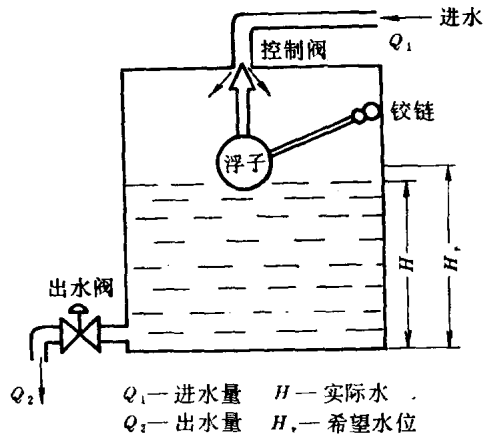


题 1-3 图 自整角机随动系统

1-4. 某晶体管直流稳压源如题 1-4 图所示。说明该电源中哪些元件起测量、放大、执行的作用以及系统的给定量、干扰量和被控量是什么？画出系统的方块图。



题 1-4 图 晶体管稳压电源



题 1-5 图 水位控制系统

Q_1 —进水量, H —实际水位,

Q_2 —出水量, H_r —希望水位.

1-5. 有一水位控制装置如题 1-5 图所示。试说明它的工作原理,指出它是开环控制系统还是闭环控制系统,它的被控量、给定输入量、干扰输入量是什么。绘出系统的方块图。

1-6. 试说明反馈控制系统的主反馈必须采用负反馈联接的方式。指出反馈控制系统在结构上和控制作用产生方面具有哪些重要特点。