

ZIDONGKONGZHIYUANLI

自动控制原理

主编 / 邓利红



西北大学出版社
NORTHWEST UNIVERSITY PRESS

自动控制原理

主 编 邓利红

副主编 康雪娟 孟 洁 薛荣辉

西北大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍经典控制理论的基本内容。从线性控制系统的数学模型——微分方程、传递函数和动态结构图出发,重点介绍了时域分析法、根轨迹分析法、频域分析法三种分析系统的方法。同时也介绍了系统的校正及采样控制系统的分析方法。

本书可作为高职高专类院校电类、控制类、机电类相关专业自动控制原理或控制工程基础课程的教材,也适用于广大读者自学使用或作为参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/邓利红主编. —西安:西北大学出版社,2006.8

ISBN 7-5604-2213-6

I. 自… II. 邓… 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(2006)第 104315 号

自动控制原理

主编 邓利红

西北大学出版社出版发行

(西北大学校内 邮编 710069 电话 88303059 88302590)

新华书店经销 西安信达雅有限公司印刷

787 毫米×1092 毫米 1/16 开本 9.75 印张 240 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-5604-2213-6/TP·52

定价:17.00 元

前 言

本书适用于高职高专电气、电子及机电一体化等相关专业自动控制原理课程的教材。根据讲述内容的不同,参考学时为 48~68 学时。本书主要讲述的是经典控制理论的线性定常系统和线性离散系统的基本理论。第一章介绍自动控制的一般概念;第二章介绍系统的数学模型;第三章到第五章分别讲述的是分析系统的三种方法:时域分析法、根轨迹法和频域法;第六章讲述系统的校正;第七章介绍了线性离散系统的基本理论和系统分析。

编者在编写本书过程中,充分注重课程内容的精炼、深入浅出、循序渐进和联系实际。注意保持了本门课程的系统性和连续性。本书各章节适当增加了一些例题,便于读者更好地掌握基本概念、基本理论及分析与综合的基本方法。

本书由陕西省高职高专教育学会自动化技术类专业委员会委员邓利红(西安航空技术高等专科学校)担任主编。其中第一、五章由邓利红编写,第二、三章由孟洁编写,第四、六章由薛荣辉编写,第七章由康雪娟编写。全书由邓利红、康雪娟审稿。

在编写过程中,参考了很多兄弟院校教材的部分内容,特此说明并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,错误和不当之处在所难免,敬希广大读者批评指正。

编 者

2006 年 3 月

目 录

第一章 概述	(1)
§ 1.1 引言	(1)
§ 1.2 自动控制理论发展概述	(2)
§ 1.3 自动控制系统的基本组成	(2)
§ 1.4 自动控制和自动控制系统的基本概念	(4)
§ 1.5 自动控制系统的分类	(7)
§ 1.6 对控制系统性能的基本要求	(8)
小结	(10)
习题	(10)
第二章 控制系统的数学模型	(12)
§ 2.1 微分方程	(12)
§ 2.2 传递函数	(15)
§ 2.3 动态结构图	(19)
小结	(26)
习题	(27)
第三章 时域分析法	(29)
§ 3.1 系统的典型输入信号和性能指标	(29)
§ 3.2 系统的性能分析	(31)
§ 3.3 系统的稳定性分析	(38)
§ 3.4 系统的稳态误差分析	(41)
小结	(46)
习题	(47)
第四章 线性系统的根轨迹法	(49)
§ 4.1 根轨迹法的基本概念	(49)
§ 4.2 绘制根轨迹的基本法则	(53)
§ 4.3 参量根轨迹	(58)
小结	(61)
习题	(61)
第五章 频域分析法	(64)
§ 5.1 频率特性的基本概念	(64)
§ 5.2 频率特性的表示方法	(66)
§ 5.3 典型环节的频率特性曲线	(68)

§ 5.4 系统开环频率特性	(74)
§ 5.5 奈奎斯特稳定判据	(76)
§ 5.6 稳定裕度	(79)
§ 5.7 利用开环频率特性分析系统的性能	(82)
小结	(83)
习题	(83)
第六章 线性系统的校正	(86)
§ 6.1 系统的校正问题	(86)
§ 6.2 串联校正装置及其特性	(88)
§ 6.3 校正实例	(92)
§ 6.4 PID 校正	(100)
小结	(101)
习题	(102)
第七章 线性离散控制系统的分析	(104)
§ 7.1 线性离散控制系统的基本概念	(104)
§ 7.2 采样过程和采样定理	(107)
§ 7.3 z 变换	(111)
§ 7.4 离散控制系统的数学模型	(120)
§ 7.5 离散控制系统的性能分析	(130)
小结	(141)
习题	(141)
附 录	(144)
参考文献	(148)

第一章 概 述

§ 1.1 引 言

在科学技术飞速发展的今天,自动控制技术和理论已经成为现代化社会不可缺少的组成部分。自动控制技术及理论已经广泛地应用于机械、冶金、石油、化工、电子、电力、航空、航海、航天、核反应堆等各个学科领域。近年来,控制学科的应用范围还扩展到交通管理、生物医学、生态环境、经济管理、社会科学和其他许多社会生活领域,并为各学科之间的相互渗透起了促进作用。自动控制技术的应用不仅使生产过程实现了自动化,从而提高了劳动生产率和产品质量,降低了生产成本,提高了经济效益,改善了劳动条件,使人们从繁重的体力劳动和单调重复的脑力劳动中解放出来,而且在人类征服大自然、探索新能源、发展空间技术和创造人类社会文明等方面都具有十分重要的意义。

所谓自动控制,是指在无人直接参与的情况下,利用控制器操纵被控对象,使被控量自动地按预先规定的规律运行。

自动控制系统一般由控制器和被控对象组成。自动控制系统的功能及组成是多种多样的,其结构有简有繁。它可以简单到只是控制一个物理量(如温度、速度、电平),也可以是包括整个企业全部过程的大系统,还可以是抽象的社会、生态、经济系统等。

自动控制原理是一门研究自动控制技术共同规律的工程技术科学,是研究自动控制技术的基础理论。自动控制系统虽然种类繁多,形式不同,但所研究的内容和方法却是类似的。本课程研究的内容主要分为系统分析和系统设计两个方面。

一、系统分析

系统分析是指在控制系统结构参数已知、系统数学模型建立的条件下,判定系统的稳定性,计算系统的动、静态性能指标,研究系统性能与系统结构、参数之间的关系。

二、系统设计

系统设计是在给出被控对象及其技术指标要求的情况下,寻求一个能完成控制任务、满足技术指标要求的控制系统。在控制系统的主要元件和结构形式确定的前提下,设计任务往往是需要改变系统的某些参数,有时还要改变系统的结构,选择合适的校正装置,计算、确定其参数,加入系统之中,使其满足预定的性能指标要求。这个过程称为系统的校正。

设计问题要比分析问题更为复杂。首先,设计问题的答案往往并不唯一,对系统提出的同样一组要求,往往可以采用不同的方案来满足。其次,在选择系统结构和参数时,往往会出现相互矛盾的情况,需要进行折中,同时必须考虑控制方案的可实现性和实现方法。此外,设计时还要通盘考虑经济性、可靠性、安装工艺、使用环境等各个方面的问题。

分析和设计是两个完全相反的命题。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而言,更重要的工作是设计系统,改造那些性能指标未达到要求的系统,使其能够完成确定的工作。

§ 1.2 自动控制理论发展概述

自动控制理论是在人类征服自然的生产实践活动中孕育、产生,并随着社会生产和科学技术的进步而不断发展完善起来的。

实践中出现的问题,促使科学家们从理论上进行探索研究。英国数学家劳斯(E. J. Routh)和德国数学家古尔维茨(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。奠定了经典控制理论中时域分析法的基础。

1932 年,美国物理学家奈奎斯特(H. Nyquist)运用复变函数理论建立了以频率特性为基础的稳定性判据,奠定了频率响应法的基础。随后,伯德(H. W. Bode)和尼柯尔斯(N. B. Nichols)在 20 世纪 30 年代末和 40 年代初进一步将频率响应法加以发展,形成了经典控制理论的频域分析法。为工程技术人员提供了一个设计反馈控制系统的有效工具。

1948 年,美国科学家伊万斯(W. R. Evans)创立了根轨迹分析方法,为分析系统性能随系统参数变化的规律性提供了有力工具,被广泛应用于反馈控制系统的分析设计中。

以传递函数作为描述系统的数学模型,以时域分析法、根轨迹法和频域分析法为主要分析设计工具,构成了经典控制理论的基本框架。到 20 世纪 50 年代,经典控制理论发展到相当成熟的地步,形成了相对完整的理论体系,为指导当时的控制工程实践发挥了极大的作用。

经典控制理论研究的对象基本上是以线性定常系统为主的单输入—单输出系统,还不能解决如时变参数问题,多变量、强耦合等复杂的控制问题。

20 世纪 60 年代初,一套以状态方程作为描述系统的数学模型,以最优控制和卡尔曼滤波为核心的控制系统分析设计的新原理和方法基本确定,现代控制理论应运而生。

现代控制理论主要利用计算机作为系统建模分析、设计乃至控制的手段,适用于多变量、非线性、时变系统。现代控制理论在航空、航天、制导与控制中创造了辉煌的成就,使人类迈向宇宙的梦想变为现实。

为了解决现代控制理论在工业生产过程应用中所遇到的被控对象精确状态空间模型不易建立、合适的最优性能指标难以构造、所得最优控制器往往过于复杂等问题,科学家们近几十年中不断提出一些新的控制方法和理论,例如自适应控制,模糊控制,预测控制,容错控制,鲁棒控制,非线性控制和大系统、复杂系统控制等,大大地扩展了控制理论的研究范围。

§ 1.3 自动控制系统的基本组成

任何一个自动控制系统都是由被控对象和控制器有机构成的。自动控制系统根据被控对象和具体用途不同,可以有各种不同的结构形式。图 1-1 是一个典型自动控制系统的功能框图。图中的每一个方框代表一个具有特定功能的元件。除被控对象外,控制装置通常是由测量元件、比较元件、放大元件、执行机构、校正元件以及给定元件组成。这些功能元件

分别承担相应的职能,共同完成控制任务。

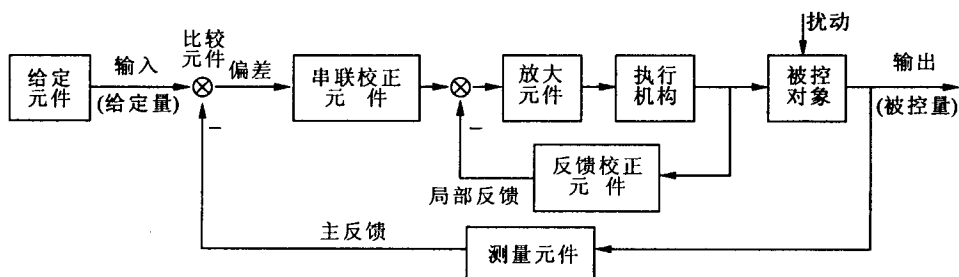


图 1-1 典型的反馈控制系统方框图

被控对象:一般是指生产过程中需要进行控制的工作机械物理量及装置或生产过程。描述被控对象工作状态的物理量及需要进行控制的物理量就是被控量。

给定元件:主要用于产生给定信号或控制输入信号。例如图 1-4(a)中直流电动机转速控制系统中的电位器。

测量元件:用于检测被控量或输出量,产生反馈信号。如果测出的物理量属于非电量,一般要转换成电量以便处理。例如图 1-4(a)中直流电动机转速控制系统中的测速发电机。

比较元件:用来比较输入信号和反馈信号之间的偏差。可以是一个差动电路,也可以是一个物理元件(如电桥电路、差动放大器、自整角机等)。

放大元件:用来放大偏差信号的幅值和功率,使之能够推动执行机构调节被控对象。例如功率放大器、电液伺服阀等。

执行机构:用于直接对被控对象进行操作,调节被控量。例如阀门、伺服电动机等。

校正元件:用来改善或提高系统的性能,常用串联或反馈的方式连接在系统中。例如 RC 网络、测速发电机等。

水位控制系统如图 1-2 所示。浮子是测量元件,连杆起着比较作用,它将期望水位与实际水位两者进行比较,得出误差,同时推动电位器的滑臂上下移动。电位器输出电压反映了误差的性质(大小和方向)。电位器输出的微弱电压经放大器放大后驱动直流伺服电动机,其转轴经减速器后拖动进水阀门,对系统施加控制作用。

在正常情况下,实际水位等于期望值,此时,电位器的滑臂居中, $u_e=0$ 。当出水量增大时,浮子下降,带动电位器滑臂向上移动,输出电压 $u_e>0$,经放大后成为 u_a ,控制电动机正向旋转,以增大进水阀门开度,促使水位回升。当实际水位回复到期望值时, $u_e=0$,系统达到新的平衡状态。

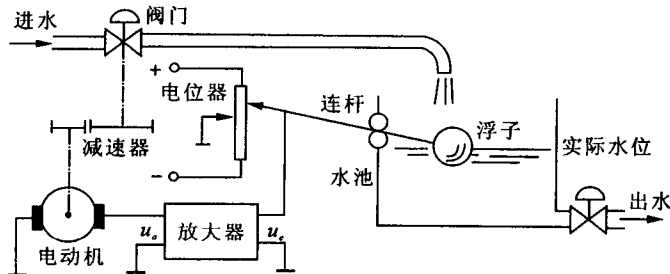


图 1-2 水位控制系统

可见,该系统在运行时,无论何种干扰引起水位出现偏差,系统都要进行调节,最终总是使实际水位等于期望值,大大提高了控制精度。

§ 1.4 自动控制和自动控制系统的基本概念

一、开环控制系统

最常见的控制方式有两种:开环控制、闭环控制。对于某一个具体的系统,采取什么样的控制手段,应该根据具体的用途和目的而定。

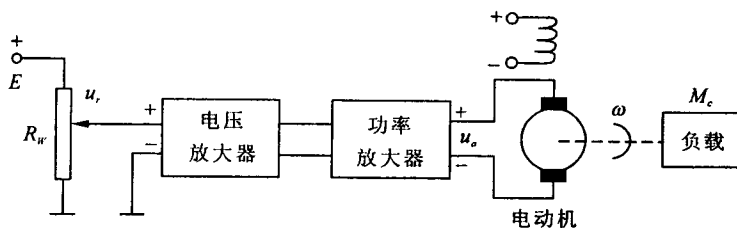
系统的输入不受输出影响的控制系统称开环控制系统。在开环控制系统中,输入端与输出端之间,只有信号的前向通道而不存在由输出端到输入端的反馈通路。

图 1-3(a)所示的直流电动机转速控制系统就是一个开环控制系统。它的任务是控制直流电动机以恒定的转速带动负载工作。系统的工作原理是:调节电位器 R_w 的滑臂,使其输入给定参考电压为 u_r 。 u_r 经电压放大和功率放大后成为 u_a ,送到电动机的电枢端,用来控制电动机转速。在负载恒定的条件下,直流电动机的转速 ω 与电枢电压 u_a 成正比,只要改变给定电压 u_r ,便可得到相应的电动机转速 ω 。

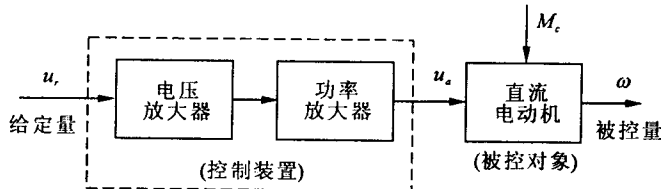
在本系统中,直流电动机是被控对象,电动机的转速 ω 是被控量,也称为系统的输出量或输出信号。参考电压 u_r 通常称为系统的给定量或输入量。

就图 1-3(a)而言,只有输入量 u_r 对输出量 ω 的单向控制作用,而输出量 ω 对输入量 u_r 却没有任何影响和联系,称这种系统为开环控制系统。

开环直流电动机转速控制系统可用图 1-3(b)所示的方框图表示。图中用方框代表系统中具有相应职能的元部件;用箭头表示元部件之间的信号及其传递方向。电动机负载转矩 M_c 的任何变动,都会使输出量 ω 偏离期望值,这种作用称之为干扰或扰动,在图 1-3(b)中用一个作用在电动机上的箭头来表示。



(a) 直流电动机转速开环控制系统



(b) 直流电动机转速开环控制系统方框图

图 1-3

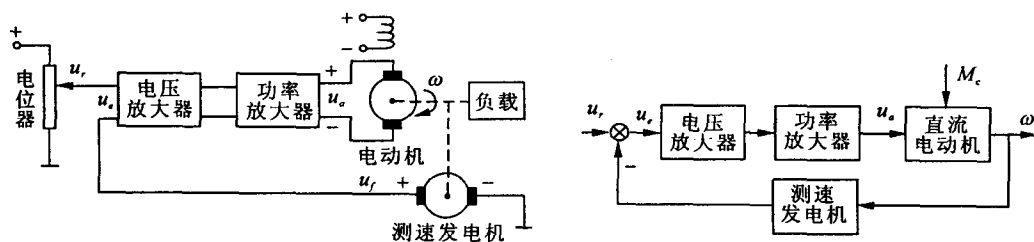
二、闭环控制系统

开环控制系统精度不高和适应性不强的主要原因是缺少从系统输出到输入的反馈回路。要提高控制精度,必须把输出量的信息反馈到输入端,通过比较输入值与输出值,产生偏差信号,该偏差信号以一定的控制规律产生控制作用,逐步减小以至消除这一偏差,从而实现所要求的控制性能。

在图 1-3(a)所示的直流电动机转速开环控制系统中,加入一台测速发电机,并对电路稍作改变,便构成了如图 1-4(a)所示的直流电动机转速闭环控制系统。

图 1-4(a)中,测速发电机由电动机同轴带动,它将电动机的实际转速 ω (系统输出量) 测量出来,并转换成电压 u_f ,再反馈到系统的输入端,与给定值电压 u_r (系统输入量) 进行比较,从而得出电压 $u_e = u_r - u_f$ 。由于该电压能间接地反映出误差的性质(即大小和正负方向),通常称之为偏差信号,简称偏差。偏差 u_e 经放大器放大后成为 u_a ,用以控制电动机转速 ω 。

直流电动机转速闭环控制系统可用图 1-4(b)的方框图来表示。通常,把从系统输入量到输出量之间的通道称为前向通道;从输出量到反馈信号之间的通道称为反馈通道。方框图中用符号“ $\otimes$ ”表示比较环节,其输出量等于各个输入量的代数和。因此,各个输入量均须用正负号表明其极性。图中清楚地表明:由于采用了反馈回路,致使信号的传输路径形成闭合回路,使输出量反过来直接影响控制作用。这种通过反馈回路使系统构成闭环,并按偏差产生控制作用,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。



(a) 直流电动机转速闭环控制系统

(b) 直流电动机转速闭环控制系统方框图

图 1-4

必须指出,在系统主反馈通道中,只有采用负反馈才能达到控制的目的。若采用正反馈,将使偏差越来越大,导致系统发散而无法工作。

闭环系统工作的本质机理是:将系统的输出信号引回到输入端,与输入信号相比较,利用所得的偏差信号对系统进行调节,达到减小偏差或消除偏差的目的。这就是负反馈控制原理,它是构成闭环控制系统的核心。

闭环控制是最常用的控制方式,我们所说的控制系统,一般都是指闭环控制系统。闭环控制系统是本课程讨论的重点。

三、开环控制系统与闭环控制系统的比较

一般来说,开环控制系统结构比较简单,成本较低。开环控制系统的缺点是控制精度不高,抑制干扰能力差,一般用于精度要求不高的场合,如洗衣机、步进电机控制及水位调

节等。

在闭环控制系统中,不论是输入信号的变化,还是干扰的影响,或者是系统内部的变化,只要是被控量偏离了规定值,都会产生相应的作用去消除偏差。因此,闭环控制抑制干扰能力强,与开环控制相比,系统对参数变化不敏感,可以选用不太精密的元件构成较为精密的控制系统,获得满意的动态特性和控制精度。但是采用反馈装置需要添加元部件,造价较高,同时也增加了系统的复杂性,如果系统的结构参数选取不适当,控制过程可能变得很差,甚至出现振荡或发散等不稳定的情况,因此,如何分析系统,合理选择系统的结构参数,从而获得满意的系统性能,是自动控制理论必须研究解决的问题。

例 1—1 电压调节系统。

工作原理如图 1—5 所示。系统在运行过程中,不论负载如何变化,要求发电机能够提供由给定电位器设定的规定电压值。在负载恒定,发电机输出规定电压的情况下,偏差电压 $\Delta u = u_r - u = 0$,放大器输出为零,电动机不动,励磁电位器的滑臂保持在原来的位置上,发电机的励磁电流不变,发电机在电动机带动下维持恒定的输出电压。当负载增加使发电机输出电压低于规定电压时,输出电压在反馈口与给定电压经比较后所得的偏差电压 $\Delta u = u_r - u \neq 0$,放大器输出电压 u_1 便驱动电动机带动励磁电位器的滑臂顺时针旋转,使励磁电流增加,发电机输出电压 u 上升。直到 u 达到规定电压 u_r 时,电动机停止转动,发电机在新的平衡状态下运行,输出满足要求的电压。

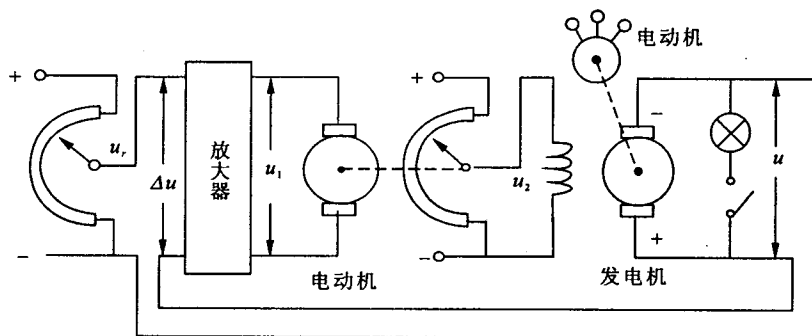


图 1—5 电压调节系统原理图

系统中,发电机是被控对象,发电机的输出电压是被控量,给定量是给定电位器设定的电压 u_r 。系统方框图如图 1—6 所示。

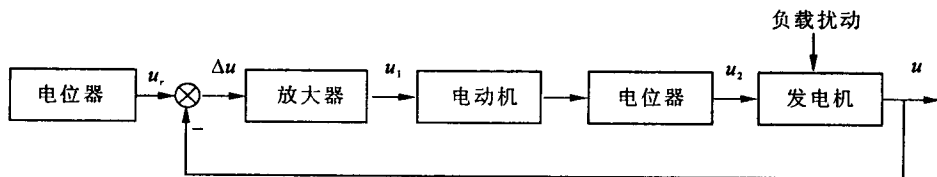


图 1—6 电压调节系统方框图

例 1—2 火炮方位角控制系统。

采用自整角机作为角度测量元件的火炮方位角控制系统如图 1—7 所示。图中的自整角机工作在变压器状态,自整角发送机 BD 的转子与输入轴联结,转子绕组通入单相交流

电；自整角接收机 BS 的转子则与输出轴(炮架的方位角轴)相联结。

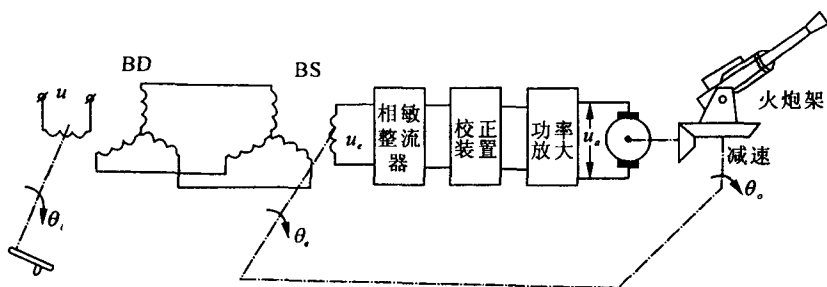


图 1-7 火炮方位角控制系统示意图

当转动瞄准具输入一个角度 θ_i 的瞬间,由于火炮方位角 $\theta_o \neq \theta_i$,会出现角位置偏差 θ_e 。这时,自整角接收机 BS 的转子输出一个相应的交流调制信号电压 u_e ,其幅值与 θ_e 的大小成正比,相位则取决于 θ_e 的极性。当偏差角 $\theta_e > 0$ 时,交流调制信号呈正相位; $\theta_e < 0$ 时,交流调制信号呈反相位。该调制信号经相敏整流器解调后,变成一个与 u_e 的大小和极性对应的直流电压,经校正装置、放大器处理后成为 u_a ,驱动电动机带动炮架转动,同时带动自整角接收机的转子将火炮方位角反馈到输入端。显然,电动机的旋转方向必须是朝着减小或消除偏差角 θ_e 的方向转动,直到 $\theta_o = \theta_i$ 为止。这样,火炮就指向了手柄给定的方位角上。

系统中,火炮是被控对象,火炮方位角 θ_o 是被控量,给定量是由手柄给定的方位角 θ_i 。系统方框图如图 1-8 所示。

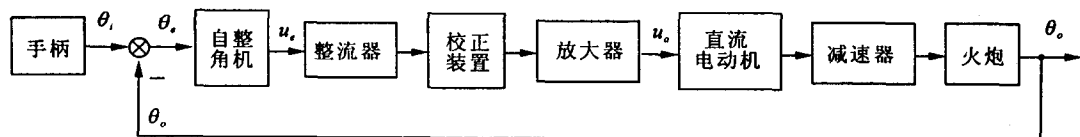


图 1-8 火炮方位角控制系统方框图

§ 1.5 自动控制系统的分类

自动控制系统的形式是多种多样的,用不同的标准划分,就有不同的分类方法。常见的有如下几种:

一、恒值控制系统和随动系统

按给定信号的形式不同,可将系统划分为恒值控制系统和随动控制系统。

1. 恒值控制系统

恒值控制系统(也称为镇定系统或调节系统)的特点是给定输入一经设定就维持不变,希望输出量维持在某一特定值上。例如前面提到的液位控制系统、直流电动机调速系统等。

2. 随动控制系统

随动控制系统中,若给定信号的变化规律是事先不能确定的随时间变化的信号(例如自动火炮系统),称之为自动跟踪系统;若给定输入是预先设定的、按预定规律变化的信号(例

如数控机床的输入信号),则称相应系统为程序控制系统。上述两种系统统称为随动控制系统。

二、定常系统和时变系统

按系统参数是否随时间变化,可以将系统分为定常系统和时变系统。

如果控制系统的参数在系统运行过程中不随时间变化,则称之为定常系统或者时不变系统,否则,称为时变系统。实际系统中的零漂、温度变化、元件老化等影响均属时变因素。严格的定常系统是不存在的,在所考察的时间间隔内,若系统参数的变化相对于系统的运动缓慢得多,则可将其近似作为定常系统来处理。

三、线性系统和非线性系统

按系统是否满足叠加原理,可将系统分成线性系统和非线性系统。

如果一个系统在输入 $r_1(t)$ 作用下产生输出 $c_1(t)$,在输入 $r_2(t)$ 作用下产生输出 $c_2(t)$;若在输入 $a_1 r_1(t) + a_2 r_2(t)$ 作用下系统输出为 $a_1 c_1(t) + a_2 c_2(t)$ [$r_1(t), r_2(t)$ 是任意的输入信号; a_1, a_2 是任意的常数],则该系统满足叠加原理,是线性系统,否则是非线性系统。

本课程重点研究线性定常系统。因为对这一类系统已经形成了成熟、完整的分析设计方法,并且在实践中获得了广泛的应用。而非线性控制系统很难用数学方法处理,目前尚无解决各种非线性系统分析设计的通用方法。

严格地说,实际物理系统在某种程度上都是非线性的,线性系统只是在一定条件下的理想化模型,实际上不存在。然而在很多情况下通过近似处理和合理简化,大量的物理系统都可以在一定范围内足够准确地化作线性系统来处理。

四、连续系统与离散系统

若系统中所有信号都是连续信号,则称为连续系统。如果系统中有一处或几处的信号是离散信号(脉冲序列或数字编码),则称为离散系统(包括采样系统和数字系统)。

随着计算机应用技术的迅猛发展,大量自动控制系统都采用数字计算机作为控制手段。在计算机引入控制系统之后,控制系统就成为离散系统了。

五、单变量系统和多变量系统

按照输入信号和输出信号的数目,可将系统分为单输入—单输出(SISO)系统和多输入—多输出(MIMO)系统。

单输入—单输出系统通常称为单变量系统,这种系统只有一个输入(不包括扰动输入)和一个输出。多输入—多输出系统通常称为多变量系统,有多个输入和多个输出。单变量系统可以视为多变量系统的特例。

§ 1.6 对控制系统性能的基本要求

实际物理系统一般都含有储能元件或惯性元件,因而系统的输出量和反馈量总是迟后

于输入量的变化。因此,当输入量发生变化时,输出量从原平衡状态变化到新的平衡状态总是要经历一定时间。在输入量的作用下,系统的输出变量由初始状态达到最终稳态的中间变化过程称过渡过程,又称瞬态过程。过渡过程结束后的输出响应称为稳态过程。系统的输出响应由过渡过程和稳态过程组成。

不同的控制对象、不同的工作方式和控制任务,对系统的品质指标要求也往往不相同。一般说来,对系统品质指标的基本要求可以归纳为三个字:稳、准、快。

一、稳

稳是指系统的稳定性。稳定性是系统重新恢复平衡状态的能力。任何一个能够正常工作的控制系统,首先必须是稳定的。稳定是对自动控制系统的最低基本要求。

稳定的控制系统在阶跃信号或干扰信号的作用下,其响应的暂态过程应该是收敛的。

系统的稳定性包括两方面含义。一是系统稳定,也叫作绝对稳定,即通常所说的稳定性。另一方面的含义是输出响应振荡的强烈程度,称为相对稳定性。例如系统是绝对稳定的,但是在阶跃信号作用下,响应振荡很强烈,而且振荡的衰减很慢,我们就说此系统虽属稳定系统,但相对稳定性很差。

考虑到实际系统中元件的参数和特性都会产生一些变化,因此,要求系统不但是稳定的,而且还应有一定的稳定裕度,以保证在元件参数略有变化时,系统仍能保持稳定。

不稳定的系统是无法使用的,系统激烈而持久的振荡会导致功率元件过载,甚至使设备损坏而发生事故,这是绝不允许的。

二、准

准是对系统稳态(静态)性能的要求。对一个稳定的系统而言,当过渡过程结束后,系统输出量的实际值与期望值之差称为稳态误差,它是衡量系统控制精度的重要指标。稳态误差越小,表示系统的准确性越好,控制精度越高。

三、快

快是对系统动态性能(过渡过程性能)的要求。描述系统动态性能可以用平稳性和快速性加以衡量。平稳指系统由初始状态运动到新的平衡状态时,具有较小的超调和振荡性;快速指系统运动到新的平衡状态所需要的调节时间较短。动态性能也是衡量系统质量高低的重要指标。

由于被控对象的具体情况不同,各种系统对三项性能指标的要求应有所侧重。例如恒值系统一般对稳态性能限制比较严格,随动系统一般对动态性能要求较高。

同一个系统,上述三项性能指标之间往往是相互制约的。提高过程的快速性,可能会引起系统强烈振荡;改善了平稳性,控制过程又可能很迟缓,甚至使最终精度也很差。分析和解决这些矛盾,将是本课程讨论的重要内容。

小 结

本章介绍了控制系统的组成和工作原理,从而使读者熟悉和了解了自动控制的基本概念和有关的名词、术语。

控制系统按其是否存在反馈可分为开环控制系统和闭环控制系统。闭环控制系统又称为反馈控制系统,其主要特点是将系统输出量经测量后反馈到系统输入端,与输入信号进行比较得到偏差,由偏差产生控制作用,控制的结果是使被控量朝着减少偏差或消除偏差的方向运动。

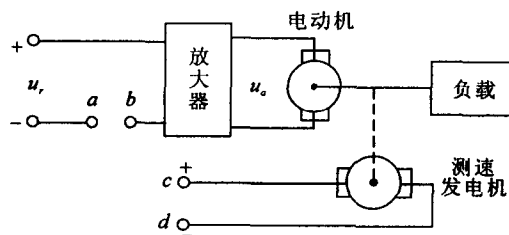
在分析系统的工作原理时,应注意控制装置各组成部分的功能,以及在系统中如何完成其相应的工作,并能用方框图对系统进行分析。

自动控制系统的分类方法很多,其中最常见的是按系统输入信号的时间特性进行分类,可分为恒值控制系统和随动系统。

对自动控制系统的基本要求是:稳、准、快。即系统必须是稳定的;系统的稳态控制精度要高(稳态误差要小);系统的响应过程要平稳快速。

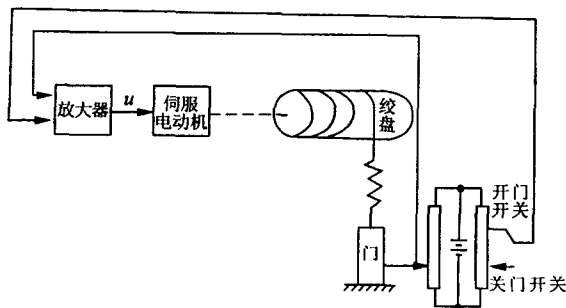
【习 题】

1-1 题 1-1 图所示的是电动机速度控制系统工作原理图。(1)将 a, b 与 c, d 用线连接成负反馈状态;(2)画出系统方框图。



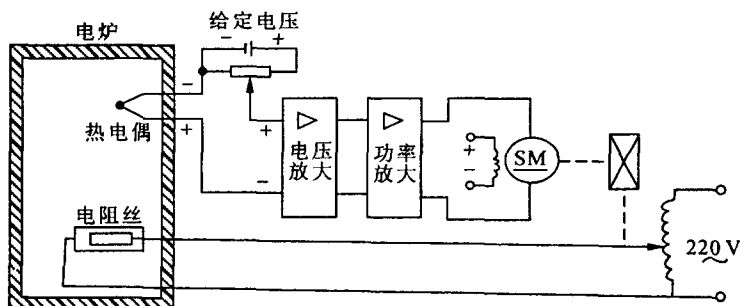
题 1-1 图 速度控制系统原理图

1-2 题 1-2 图是仓库大门自动控制系统原理示意图。试说明系统自动控制大门开闭的工作原理,并画出系统方框图。



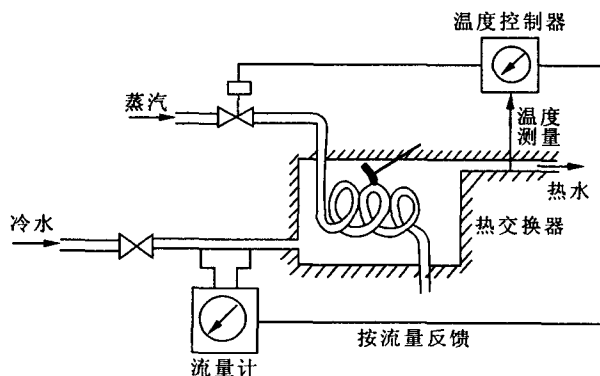
题 1-2 图 仓库大门自动开闭控制系统

1-3 题 1-3 图为工业炉温自动控制系统的工作原理图。分析系统的工作原理,指出被控对象、被控量和给定量,画出系统方框图。



题 1-3 图 炉温自动控制系统原理图

1-4 题 1-4 图为水温控制系统示意图。冷水在热交换器中由通入的蒸汽加热,从而得到一定温度的热水。冷水流量变化用流量计测量。试绘制系统方框图,并说明为了保持热水温度为期望值,系统是如何工作的? 系统的被控对象和控制装置各是什么?



题 1-4 图 水温控制系统原理图

1-5 简述自动控制系统从哪几个方面来判别系统性能的优劣。