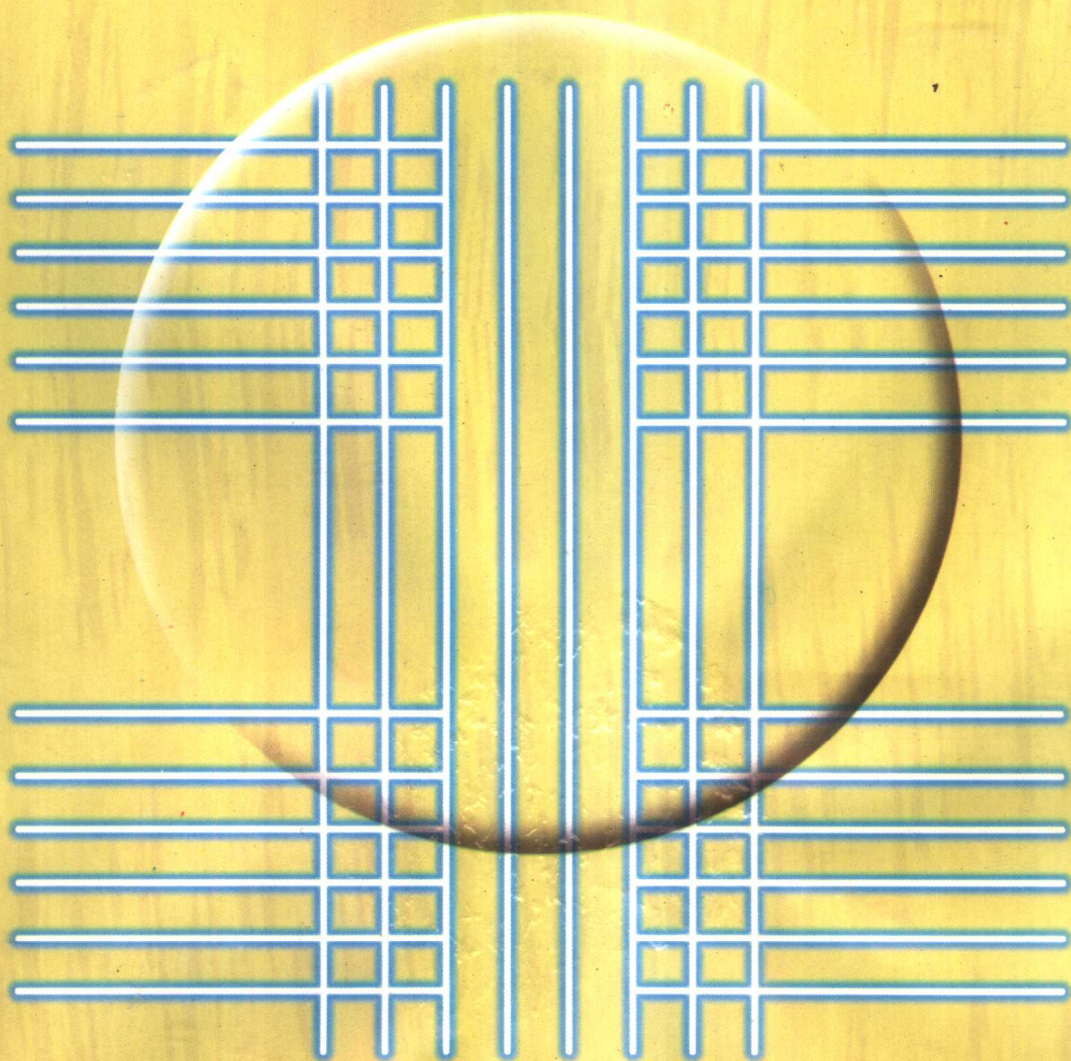


自动控制理论基础

吴韞章 主编



西安交通大学出版社

自动控制理论基础

吴韞章 主 编
廖培金 王喜云

西安交通大学出版社

内容提要

本书采用经典控制理论和现代控制理论相结合的方式,阐述了线性自动控制理论的基本内容。

全书共分七章。第1~5章阐述了自动控制的基本概念,讨论了控制系统的数学模型,用时域法和频域法对线性连续系统进行分析和校正;第6章对采样控制系统进行了简要的分析;第7章介绍了控制系统计算机辅助设计的基本概念。书中每一章均有小结,并有适当数量的例题和习题。

本书为少学时教材,可作为高等院校电类非自动化专业及机械类专业的本科生教材,也可作为自动化类专业学生及从事自动化工作的科技人员的参考书。

(陕)新登字 007 号

自动控制理论基础

主 编 吴玉章

责任编辑 尹凤云

责任校对 刘 琳

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)3268316)

陕西省轻工印刷厂印装

各地新华书店经销

*

开本:787mm×1 092mm 1/16 印张:13.375 字数:325 千字

1999 年 2 月第 1 版 1999 年 2 月第 1 次印刷

印数:1~3 000

ISBN 7-5605-0977-0/TP·177 定价:15.00 元

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)3268357,3267874

前 言

在现代科学技术高度发达的今天,自动控制技术不仅在工农业、国防、航空航天等事业中得到广泛应用,而且已渗透到非工程性领域,如生物学、社会经济学等领域中,并起着愈来愈重要的作用;因此,作为研究自动控制规律的一门科学——自动控制理论,也成为各类工程技术人员所必须掌握的技术基础知识。

目前,在高等院校非自动化类专业中已普遍开设了自动控制理论课程。由于学时有限,需要既适合于当前科技发展要求,又能适用于少学时教学的教材。现有的自动控制理论方面的教材虽然很多,但面向自动化类专业的教材,内容偏多,难以适应少学时教学需要。而面向非自动化类专业,又适合于初学者入门的教材,有的对现代控制理论概念阐述较少,并且将现代控制理论和经典控制理论分开介绍,有的仅限于讲述经典控制理论的内容。

为了满足非自动化类专业对少学时教材的需要,并使这些专业的教学内容更好地适应当前科技的发展,以及满足广大科技工作者学习和参考的需要,我们编写了本教材。

在编写教材时,力求做到以下几点:

(1) 将经典控制理论和现代控制理论结合起来编写,并适当介绍计算机辅助设计的内容。既重视基本理论和基本概念的建立,又注意了实际的应用。

(2) 精炼内容,突出重点。突出基本理论和基本概念,在不影响理论阐述的前提下,避免冗长的数学推导,力求在少而精的原则基础上作到内容充实。

(3) 理论联系实际。

(4) 注意深入浅出,循序渐进。注意启发性,便于自学,书中附有适当的例题和习题。注意了与其它课程(如电路、电子技术基础、信号与系统等)的衔接。

本书共分七章。第1~2章阐述了自动控制的基本概念,讨论了控制系统数学模型的建立、简化和变换。第3~4章分别用时域法和频域法,定性和定量地分析了自动控制系统的稳态、动态性能,引出了系统稳定性、能控性、能观性的概念。第5章简要阐述了控制系统校正综合的基本概念和方法。第6章为采样控制系统的分析。第7章介绍了计算机辅助设计的基本概念。

本书由吴韞章主编,并编写第1,2,4,7章。廖培金编写第3章、第6章,并参加了主编工作。王喜云编写第5章,并提供第6章初稿。

尤昌德教授详细审阅了本书书稿,并提出了许多宝贵意见,在此谨致以衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,恳望读者批评指正。

编者

1998.10

目 录

前 言

第 1 章 绪论

1.1 引言	1
1.2 开环控制与闭环控制	2
1.3 自动控制系统的基本类型	5
1.4 对自动控制系统的基本要求	7
1.5 自动控制理论的发展简史	8
1.6 小结	9
第 1 章习题	9

第 2 章 控制系统的数学模型

2.1 引言	12
2.2 建立系统的微分方程	13
2.3 非线性数学模型的线性化	15
2.4 传递函数	18
2.5 方块图及其变换	20
2.6 信号流图	25
2.7 状态空间模型	28
2.8 系统数学模型之间的关系	33
2.9 小结	42
第 2 章习题	43

第 3 章 控制系统的时域分析

3.1 控制系统的时间响应和典型试验信号	48
3.2 基于传递函数的输出响应求解	50
3.3 基于动态方程的时间响应求解	53
3.4 能控性与能观性	57
3.5 稳定性	61
3.6 劳斯(Routh)稳定判据	65
3.7 线性控制系统的稳态误差分析	68
3.8 控制系统动态性能分析	74
3.9 高阶系统的低阶近似分析	81
3.10 基本控制规律	85
3.11 小结	88

第3章习题	89
第4章 控制系统的频率法分析	
4.1 概述	94
4.2 典型环节的频率特性	96
4.3 系统开环频率特性的绘制	104
4.4 用频率法分析系统的稳定性	110
4.5 用频率法分析系统的品质	121
4.6 小结	128
第4章习题	128
第5章 控制系统的校正综合	
5.1 常用的串联校正方法和校正装置	131
5.2 基于频率法的串联校正	134
5.3 状态变量反馈和状态观测器的设计	143
5.4 小结	146
第5章习题	147
第6章 离散控制系统	
6.1 连续信号的采样和恢复	149
6.2 离散控制系统的时域模型	153
6.3 z 变换	158
6.4 脉冲传递函数	164
6.5 离散系统的稳定性	170
6.6 离散控制系统的性能分析	175
6.7 小结	183
第6章习题	184
第7章 控制系统的计算机辅助分析	
7.1 控制系统的计算机仿真	187
7.2 伯德图的绘制及开环频域指标的求取	191
7.3 控制系统的能控能观性判据	192
7.4 按极点配置法设计系统	194
7.5 小结	199
第7章习题	200
附录 A 拉普拉斯变换	
A.1 拉氏变换的定义	202
A.2 常用函数的拉氏变换	202
A.3 拉氏变换定理	203
A.4 拉氏反变换	206
参考文献	

第 1 章

绪 论

1.1 引言

人类在征服自然的过程中,自动控制技术起着极其重要的作用。自动控制技术的广泛应用,极大地提高了劳动生产率,提高了产品质量,改善了人们的生活水平和劳动条件。在工农业、国防、交通运输、企业管理、科学研究等各个领域,自动控制已成为重要的组成部分。

自动控制是指在没有人直接参与的情况下,利用控制装置,使生产机械或生产过程的某些物理量按照特定的(恒定的或变动的)规律变化。例如,我们希望维持冰箱内温度恒定不变,但由于冰箱内贮物量的增减,开启或关闭冰箱门或外界温度的变化等,都会影响冰箱内的温度,因此,要有控制装置对温度进行控制。在钢铁工业中,初轧机的轧辊来回转动,将钢锭轧至规定尺寸。为了保证轧制质量,要求实现低速咬钢、带钢升速、高速轧制等,这就要求拖动轧辊的电机的转速和转向按照一定的规律变化;然而,由于钢锭尺寸的不同,加热的温度不同,以及钢锭进入轧辊时对轧辊的冲击等,都会导致电机的负荷和转速发生巨大的波动,这就需要有控制装置对电机的转速进行控制。宇宙飞船在茫茫太空中,要严格按预定的轨道飞行,并保持一定的姿态;但太空中有千变万化的因素会对它产生影响,这更需要有高性能的自动控制装置对它进行控制。

从以上例子可以归纳以下几点;

(1) 不同的生产机械、生产过程虽然要实现的任务各不相同,但都有一个共同点,即要求其中的某些物理量(如上述的温度、速度、位置等)按照特定的规律变化。这些物理量称为**被控制量**,或**输出量**。

(2) 现实世界中存在着各种阻碍上述要求实现的因素,这些因素称为**扰动**。凡是由外部作用引起的扰动,如外界温度的变化、负载的波动、风向与风力的变化等称为**外扰**;由于内部元器件特性的变化引起的扰动称为**内扰**。

(3) 为解决上述矛盾,就要采用控制装置,对生产机械或生产过程的这些物理量进行控制。被控制的生产机械和生产过程称为**被控对象**。

研究自动控制系统的基本理论称为**自动控制理论**。目前,作为方法论,它已渗透到其它领域,社会的、经济的、生物的各种体系都可用自动控制的观念和方法来研究。

1.2 开环控制与闭环控制

1.2.1 开环控制系统

若系统的控制器与被控对象之间只有顺向作用,没有反向作用,即系统的输出量对控制作用没有影响,该系统称为开环控制系统。

图 1.1 所示的直流电机速度控制系统,是开环控制的一个实例。系统中,被控制量即输出量是电动机 M 的转速 n 。控制器是晶闸管整流装置,它输出的控制作用 u_m 仅由输入的电压 u_r 决定,而不受输出量转速 n 的影响;因此,确定了输入电压 u_r 的大小,就确定了对输出量期望值的要求,输入电压 u_r 称为**给定输入**或**参考输入**。在给定输入 u_r 已经确定的情况下,由于负载转矩的变化(例如负载增大),使电动机转速偏离了原来的设定值时,系统没有使转速恢复的能力。影响输出量转速 n 大小的负载转矩称为**扰动输入**。

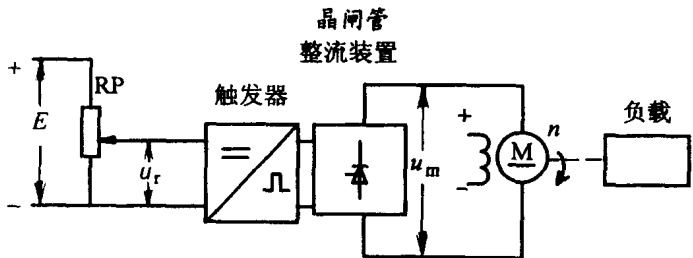


图 1.1 直流电机速度开环控制系统示意图

开环控制系统的方块图如图 1.2 所示。在开环控制系统中,只有从输入端到输出端的信号作用路径,而没有从输出端到输入端的信号作用路径。

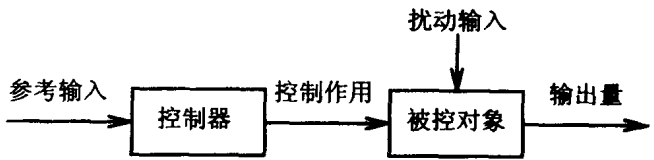


图 1.2 开环控制系统的方块图

开环控制系统的优点是结构比较简单,调整方便。但是,当因扰动作用(如晶闸管整流装置特性的变化或负载转矩变化等)引起电机转速偏离原来校准的数值时,系统没有对偏差修正的能力。它的精度取决于系统校准的精度和系统中元器件特性的稳定程度。因此,开环控制系统对所采用的元器件的精度和稳定性,提出了较高的要求。

1.2.2 闭环控制系统

系统的输出量或状态变量(有关状态变量的概念见第 2 章)对控制作用有直接影响的系统称为**闭环控制系统**。

在图 1.1 系统中,当负载增大,使电机转速下降后,为了恢复电动机原来的转速,可以通过人为地改变给定电位器滑动触头的位置,即调节给定电压 u_r 来实现。为此,首先由人测量电动机转速,经人脑分析比较后,调节给定电压,这样系统的输出量通过人反馈到输入端,形成了闭环的人工控制系统。若用器件代替人的作用就形成了闭环的自动控制系统。

图 1.3 所示为直流电动机速度闭环控制系统。图中 TG 为测速发电机,它将电动机 M 的转速 n 变换成与其成正比的反馈电压 u_f ,并与给定电压 u_r 相比较,得到偏差信号 $\Delta u = u_r - u_f$ 。 Δu 经过放大器放大后,送到晶闸管整流装置,晶闸管整流装置输出的控制信号 u_m 取决于偏差 Δu 的大小。在运行时,如果因负载增加使电动机转速下降,反馈电压 u_f 也随之下降,在给定电压 u_r 不变的情况下,偏差 Δu 将增大,控制信号 u_m 也增大,使电动机转速恢复或接近扰动作用前的数值。

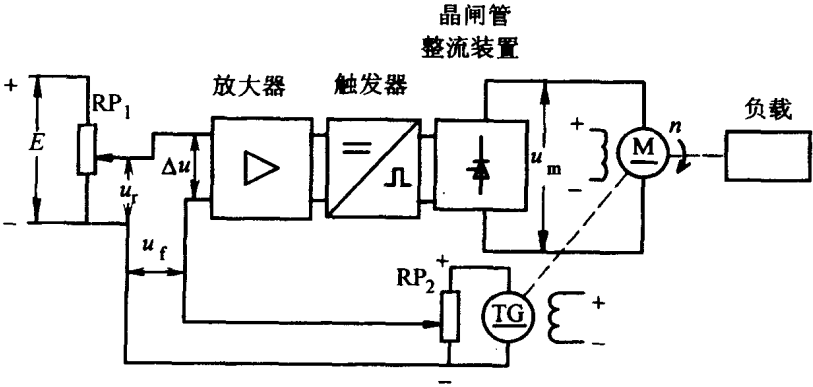


图 1.3 直流电动机速度闭环控制系统示意图

图 1.4 所示的导弹发射和制导系统是闭环控制系统的又一个实例。旋转的雷达天线捕获目标机后,对目标机进行同步跟踪。由雷达获取的目标机方位和速度数据送到计算机中,经过计算,确定出导弹所需的发射角,以此作为发射指令,通过功率放大器放大后控制发射架,使它转到相应的发射角位置。同时,发射架实际的角度信息又通过负反馈回路输入计算机。当发

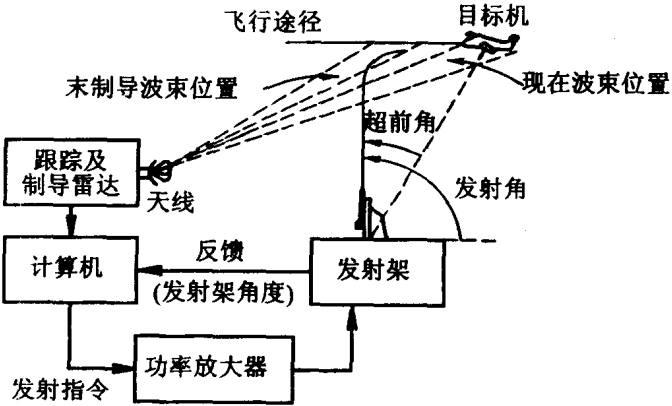


图 1.4 导弹发射和制导系统示意图

射架实际角度与发射指令一致时,导弹立即发射。随后,安装在导弹体内的控制系统接受雷达波束的引导,自动调整导弹的控制方位,实现末制导,直至最终命中目标。

这种使偏差减小或消除的反馈作用称为**负反馈**。负反馈控制系统的原理是根据所检测偏差进行控制,从而抑制或消除偏差,即**检测偏差,抑制或消除偏差**。反馈控制是自动控制的基本原理。

图 1.5 为闭环控制系统的方块图。在闭环控制系统中,不仅有从输入端到输出端的信号作用路径,还有从输出端到输入端的信号作用路径。前者称为**前向通道**,后者称为**反馈通道**。由于引入了反馈,系统的方块图形成了闭环,构成了**闭环控制系统**。闭环控制系统通常由以下几部分组成:

(1) **给定环节**:根据系统输出量的期望值,产生系统的给定输入信号的环节。如图 1.3 中的电源 E 及给定电位器 RP_1 。

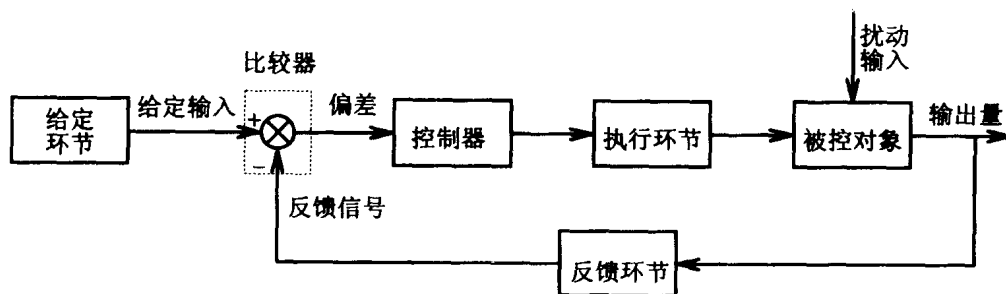


图 1.5 闭环控制系统的方块图

(2) **反馈环节**:该环节的功能是,对系统输出量的实际值进行测量,将它转换成反馈信号,并使反馈信号成为与给定输入信号同类型、同数量级的物理量,如图 1.3 所示系统中的测速发电机 TG 及电位器 RP_2 。

(3) **比较器**:将给定信号和反馈信号进行比较,产生偏差信号的环节,如图 1.3 所示系统中的电压比较电路。

(4) **控制器**:根据输入的偏差信号,按一定的控制规律,产生相应的控制信号的环节,如图 1.3 所示系统中的放大器和触发器。

(5) **执行环节**:将控制信号进行功率放大,直接推动被控对象,使被控制量发生变化的环节,如图 1.3 所示系统中的晶闸管整流装置。

(6) **被控对象** 控制系统所要控制的设备或生产过程,它的输出量就是被控制量,如图 1.3 所示系统中的电动机 M 。

采用反馈控制提高了系统的精度,这是闭环控制系统的优点。由扰动所引起的偏差,只要扰动作用点被反馈路径包围,都能被反馈作用所抑制或消除。因此,系统对这部分元器件内部参数的变化不敏感,所以这部分可以用精度不高而成本低的元器件组成。但是,对于作用点不被反馈路径包围的扰动所引起的偏差,反馈作用却无能为力。例如图 1.3 所示的系统,若有扰动作用在测速发电机上,使 u_f 增大了 Δu_f ,但实际转速并没有变化, Δu_f 并不反映实际转速的变化,然而经过反馈作用,将引起转速偏离原来的数值。显然,这种扰动引起的偏差,无法借助反馈作用予以消除。因此,应重视这部分元器件(如给定元件、反馈元件)的精度。此外,当闭

环控制系统结构或参数配合不当时,可能引起过调,造成系统振荡,甚至不能正常工作,因此,对闭环系统来说,稳定性是一个重要问题。

顺便指出,除反馈控制系统外,还有顺馈控制和复合控制系统,见第3章。

1.3 自动控制系统的基本类型

自动控制系统有多种分类方法,主要有以下几种。

1.3.1 按给定量变化规律分类

1. 恒值控制系统(恒值调节系统)

在这种系统中,系统的给定输入量是恒值,它要求在扰动存在的情况下,输出量保持恒定。因此分析设计的重点是要求具有良好的抗干扰性能。

图1.3所示的直流电动机速度闭环控制系统、图1.6所示的电炉温度控制系统都是恒值控制系统。在图1.6中, u_r 为给定信号, u_f 为由热电偶测得的反馈信号, $\Delta u = u_r - u_f$ 为偏差信号。当系统处于平衡状态时, $\Delta u = 0$,不产生调节作用。若由于扰动作用使温度下降,引起 u_f 减少, Δu 为正,经放大器放大后产生控制作用 u_m ,使电动机M正向转动,并带动调压器的滑动触点向增大加热电流的方向移动,直至偏差电压 $\Delta u = 0$,电动机不再转动,达到新的平衡状态为止。同理,若炉温比给定温度高时,将产生反向的调节过程。在这个系统中,到达稳态时偏差为零,称为无静差系统。

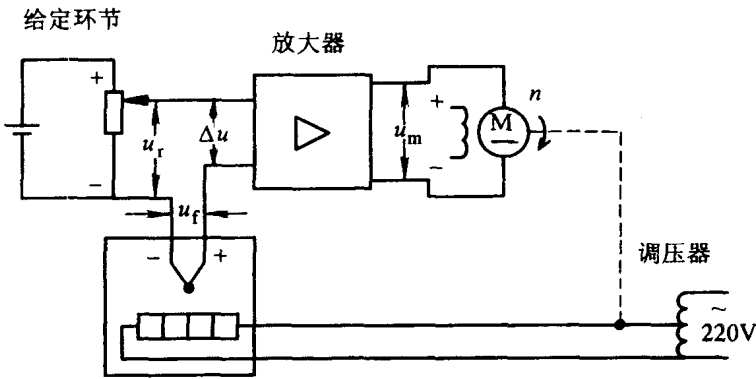


图 1.6 电炉温度控制系统示意图

2. 随动系统

在反馈控制系统中,若给定输入信号是预先未知的随时间变化的函数,这种系统称为随动系统。国防工业的火炮跟踪系统、雷达导引系统、机械加工设备的伺服机构、天文望远镜的跟踪系统等都属于随动系统。在导弹发射和制导系统中,给定信号是目标机的方位和速度,这些信号是随时间变化的未知函数。

图1.7所示是一个位置控制系统。控制的目的是要使输出轴的转角 θ_y 迅速准确地跟随输入轴的转角 θ_r 变化。当输入轴转过角度 θ_r 时, $\theta_y \neq \theta_r$,用一对旋转电位器 RP_1, RP_2 接成电桥形式来检测偏差 $\Delta\theta = \theta_r - \theta_y$,并转换成与 $\Delta\theta$ 成正比的电压 u_e ,经放大器A放大后,输出电

压 u_f , 作用于发电机 G 的励磁绕组。电压 u_e 的大小和极性, 决定了发电机端电压 u 的大小和极性, 相应地也确定了电动机 M 的转速和转向, 电动机 M 通过齿轮箱带动输出轴向偏差减小的方向转动。当 $\theta_y = \theta_r$ 时, 偏差为零, 电动机停止转动。

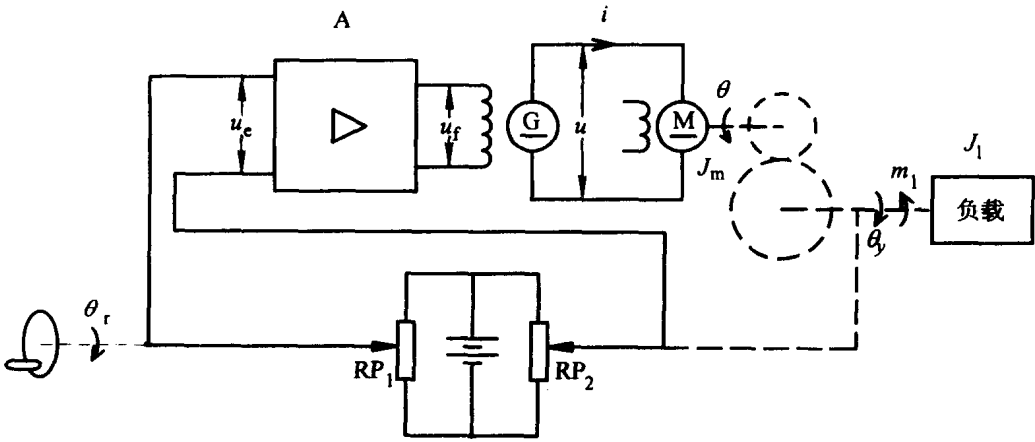


图 1.7 位置控制系统示意图

对随动系统来说, 输入信号是随机的, 要求输出能迅速而准确地复现输入信号的变化; 因此, 分析和设计的重点是研究系统的跟随性能。

3. 程序控制系统

当控制系统的输入信号是已知的时间函数时, 称这类系统为程序控制系统。程序控制系统可以是开环系统, 也可以是闭环系统。应用实例有仿型铣床、数控机床及机械手控制系统等。

图 1.8 为数控机床控制系统示意图。在纸带或磁盘中, 贮存了预先编好的程序, 通过输入

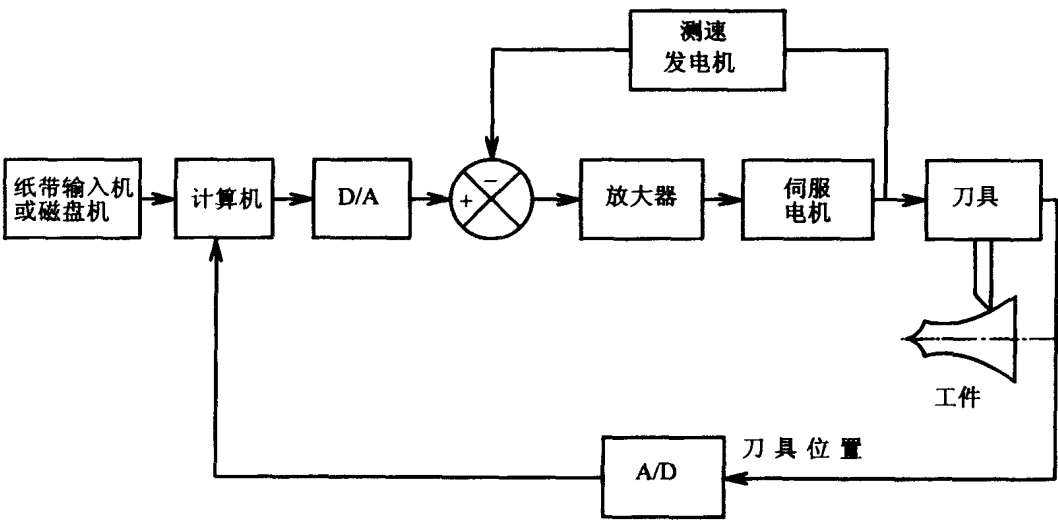


图 1.8 数控机床控制系统示意图

设备输入到计算机中。同时,与刀盘相连接的位置传感器将刀具的位置信号转换成电信号,经过 A/D(模-数转换器)转换成数字信号,作为反馈信号输入计算机。计算机根据输入-输出信号的偏差进行综合运算后输出数字信号,送到 D/A(数-模转换器)转换成模拟信号。该模拟信号经放大器放大后,控制伺服电机驱动刀具运动,实现精密加工。这类系统和随动系统相似,只是输入信号的变化规律是预先确定的。

1.3.2 线性系统和非线性系统

组成系统的各个环节,如果它们的输入输出特性都是线性的,系统的数学模型可以用线性微分方程描述时,这种系统称为**线性系统**。在线性微分方程中,只含输入量或输出量各阶导数的一次项。如果线性系统元件的参数是集成的且又不随时间变化,这种系统称为**线性定常系统**。如果系统元件的参数是随时间变化的(例如,宇宙飞船随着燃料的消耗其质量不断变化,带钢卷筒由于卷径变化其转动惯量也不是恒定的),则系统微分方程的系数将是时间的函数,这种系统称为**线性时变系统**。

凡是系统中有一个以上元件的特性是非线性的系统称为**非线性系统**。非线性系统的数学模型要用非线性微分方程描述。非线性微分方程的特点是某些项的系数和变量有关,即方程中含有变量及其导数的高次项或乘积项。如

$$y^{(2)}(t) + y^2(t) + y(t) = r(t) \quad (1.1a)$$

$$y(t) = r(t)\sin\omega t \quad (1.1b)$$

线性系统有两个重要的特性,即比例性和叠加性。所谓**比例性**是指当系统的输入量增大 K 倍时,输出量也相应地增大 K 倍。所谓**叠加性**是指当多个输入量作用于系统时,系统总响应等于各个输入量分别作用于系统的响应之和。

1.3.3 连续系统和离散系统

若系统的各个环节的输入信号和输出信号都是连续时间的函数,这种系统称为**连续系统**。当系统中有一处或数处的信号是以脉冲序列或数字编码形式出现的,这种系统就称为**离散系统**。

离散系统包括采样控制系统和数字控制系统。如果系统中的连续信号被采样成脉冲序列,这种系统称为**采样控制系统**。如果系统中的连续信号被采样后量化成数字信号,这种系统称为**数字控制系统**,如图 1.8 所示的数控机床控制系统就是数字控制系统。

1.4 对自动控制系统的基本要求

对自动控制系统的基本要求主要有以下几个方面。

1. 稳定性

稳定性是指系统处于平衡状态下,受到扰动作用后,系统恢复原有平衡状态的能力。稳定是系统正常工作的前提。为了使系统在环境或参数变化时还能保持稳定,在设计时还要留有一定的稳定裕量。

2. 稳态精度

稳定的系统在过渡过程(暂态)结束后所处的状态称为**稳态**。稳态精度常以稳态误差来衡量,**稳态误差**是指稳态时系统期望输出量和实际输出量之差。设计时希望稳态误差要小。例如:在恒值调速系统中,希望因负载扰动引起的稳态转速的变动要尽量小;在随动系统中,希望输出信号与输入信号尽量一致。

3. 动态品质

动态品质通常用动态响应指标来衡量。动态响应指标是系统在单位阶跃输入及零初始条件下的一些指标,如调节时间、超调量、振荡次数等,它们反映系统过渡过程性能的优劣。**调节时间**即过渡过程时间;**超调量**即动态响应最大值超出稳态值的部分相对于稳态值的百分数;**振荡次数**即过渡过程中系统振荡的次数。调节时间反映系统动态过程的快速性,超调量和振荡次数反映系统过渡过程的平稳性。

4. 鲁棒性(稳健性)

鲁棒性是指系统特性抵御各种摄动因素影响的能力,如对抗系统结构不确定性、参数不确定性以及外界干扰的能力。引起系统结构变异或参数摄动的原因是多方面的,如由于对象的建模误差、制造公差、元器件老化、零部件磨损和系统运行环境的变化等。系统性能受参数摄动影响的属性称为系统的灵敏度。如果一个控制系统的灵敏度低,抗干扰性好,则称该系统的鲁棒性好。

在多变量控制系统中,为实现最优控制,往往采用综合性的性能指标。根据不同系统的任务,选取的性能指标形式也不同。例如在宇航技术中,不仅要求快速而准确地将运载火箭送入新轨道,并且燃料消耗要最少,故在性能指标中就应包含对输出误差和对控制能量的要求。

自动控制理论主要研究两方面的问题:

(1) **分析**:在系统的结构和参数已经确定的条件下,对系统的性能进行分析,并提出改善性能的途径。

(2) **综合**:根据系统要实现的任务,给出稳态和动态性能指标,要求组成一个系统,并确定适当的参数,使系统满足给定的性能指标。

1.5 自动控制理论的发展简史

人类对反馈这一基本原理早有认识,并利用它创造了许多装置,如孵卵器、水轮及风力磨坊的速度调节器等。一般公认 1788 年(James Watt)所发明的蒸汽机离心调速器是最早的自动控制系统。随后 G. B. Airy 发现并首先讨论了控制系统的不稳定问题,1868 年,麦克斯威尔(James Clerk Maxwell)发表了《论调节器》一文,系统研究了反馈控制系统的稳定性问题。1877 年劳斯(E. J. Routh)及 1895 年胡尔维茨(A. Hurwitz)分别独立地提出了稳定性判据。1892 年,李雅普诺夫(A. M. Lyapunov)发表了《论运动稳定性的一般问题》,全面论述了稳定性问题,并为状态变量法控制理论打下了基础。那时主要解决的是系统的稳定性和精度问题。1877~1880 年俄国的一些科学家发明了火炮随动系统和飞行器驾驶系统。第二次世界大战前夕,1934 年海森(H. L. Hazen)发表了《伺服机构理论》的重要论文,第一次提出了自动控制系统的精确理论。随着武器的进化,要求控制系统能准确跟踪变化的目标,对自动控制系统的瞬态性能提出了要求。然而,设计具有高动态品质和稳态精度的控制系统所需的理论,却已经

在通信工程领域中得到发展。为解决远距离通信的失真问题,1927年布莱克(H. S. Black)发明了负反馈放大器,并发现了反馈系统的重要特性。1932年奈奎斯特(H. Nyquist)提出了奈奎斯特稳定判据,为频率法奠定了基础。随后伯德(H. W. Bode)完善了分析控制系统的图解法即频率法。1947年美国麻省理工学院辐射实验室的詹姆斯(James)、尼柯尔斯(Nichols)和菲利普斯(Philips)将反馈放大器理论、过程的PID控制和随机过程理论结合起来,形成一套伺服机构设计方法。1948年伊万斯(W. R. Evans)又提出了根轨迹法。至此,控制理论的第一发展阶段已经基本完成了。以频率法和根轨迹法为核心的控制理论称为**经典控制理论**。它特别适用于**单输入单输出(SISO)系统**(仅有一个输入量和一个输出量的系统),至今仍被广泛而成功地应用于控制领域中。

60年代前后,由于宇航、军工及过程控制方面的发展,出现了许多的**多输入多输出(MIMO)系统**,这些系统具有变量多、变量相互间有耦合的特点,还往往具有非线性、时变特性,并且往往要求系统能在一定的控制约束条件下达到性能指标最优。对此,经典控制理论却显得无能为力;然而现代数学和计算技术的发展,为控制理论的进一步发展准备了数学基础和计算工具,因而促成了**现代控制理论**的形成和发展。现代控制理论的基本内容有:美国贝尔曼(Bellman)等人提出的状态空间法,前苏联庞特里亚金(Pontryagin)的极大值原理,贝尔曼的动态规划法,卡而曼(Kallman)的最佳滤波器理论及能控能观性理论。它是以状态空间模型为基础,以状态空间法为主要方法,分析和设计系统的,其目的是寻找最优控制规律,使系统的性能指标达到最优化。

70年代以来,控制理论又向大系统理论和智能控制理论发展,有些学者称它为第三代控制理论。

应当指出,现代控制理论不能代替经典控制理论。当分析和设计简单系统时,常用经典控制理论;当分析和设计多输入多输出系统和复杂系统时,常用现代控制理论。

1.6 小结

本章介绍了自动控制的基本概念,着重介绍了反馈控制原理。负反馈控制的原理是检测偏差,抑制或消除偏差。本章还通过分析几种闭环控制系统的工作原理和方块图,介绍了分析控制系统的方法,指出了各组成环节的作用。介绍了自动控制理论的一些常用术语。此外,对自动控制系统的要求及分类方法,也作了简单介绍。

第1章习题

- 1.1 图E1.1为液位控制系统的示意图。控制器根据浮子所处的实际高度与校准的标准液位高度相比较,确定调节阀门的开度,使液位保持一定高度。试画出系统的方块图;指出什么是给定输入,什么是被控制量,什么是扰动输入。
- 1.2 图E1.2(a),(b),(c)均为发电机电压自动控制系统示意图,试。
 - (1) 标明系统(a),(b)中给定电压 u_r 的极性及系统(c)中 u_{ab} 的极性;
 - (2) 画出系统(a),(b),(c)的方块图;
 - (3) 指出什么是被控制量,什么是扰动量;
 - (4) 若三个系统发电机的空载电压相同,带负载以后,哪个系统能保持端电压不变?

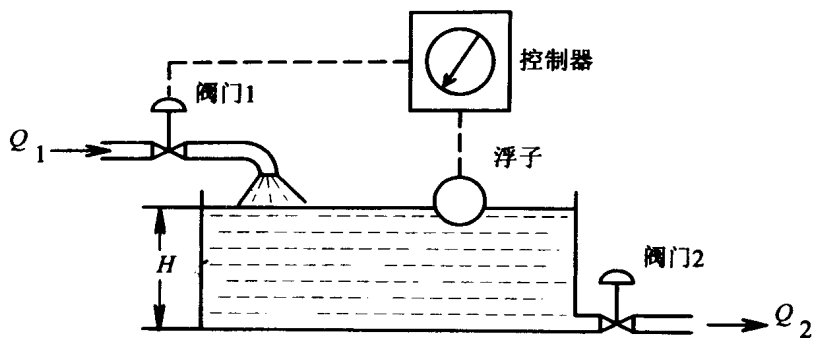


图 E1.1 液位控制系统示意图

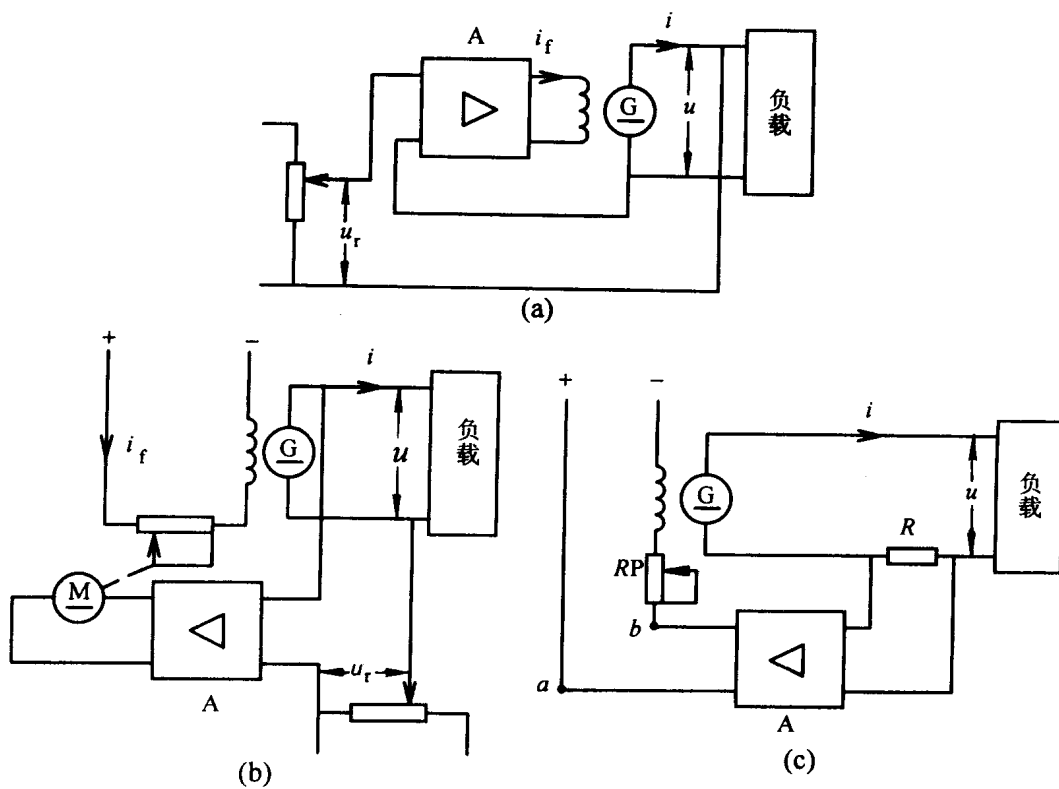


图 E1.2 发电机电压自动控制系统示意图

1.3 判断图 E1.3 中各系统的反馈极性, 图中 $K_1 > 0, K_2 > 0$

1.4 下列微分方程所描述的系统中, 哪些是线性定常系统, 哪些是时变系统, 哪些是非线性系统?

(1) $y(t) = r(t)\cos\omega t + 5;$

(2) $t \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = 2 \frac{dr(t)}{dt} + r(t);$

$$(3) y(t) = \begin{cases} 0 & t < 5 \\ r(t) & t \geq 5 \end{cases};$$

$$(4) \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2y(t) + y^2(t) = r(t)。$$

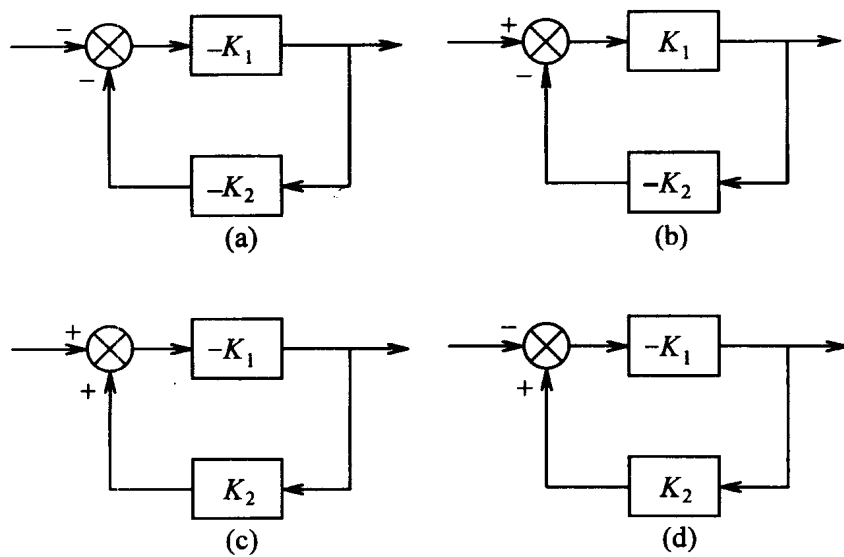


图 E1.3 几个系统的方块图