

高等专科学校
教学用书

任 哲 主编

自动控制

原理

ZIDONG
KONGZHI
YUANLI

冶金工业出版社

高等专科学校教学用书

自动控制原理

主 编 任 哲

副主编 逢万梁 孙和平

主 审 戴逸松 杨世儒

北 京

冶金工业出版社

2003

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/任哲主编. —北京:冶金工业出版社,
1997. 8(2003. 2 重印)
高等专科学校教学用书
ISBN 7-5024-2050-9

I. 自… II. 任… 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(97)第 09070 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 宋 良

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1997 年 8 月第 1 版, 2003 年 2 月第 3 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15.25 印张; 571 千字; 235 页; 6001-8000 册

23.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

根据高等工程专科教育的培养目标——贴近工程实际和培养应用型工程技术人才的要求,冶金(有色金属冶金)系统有关高等专科学校于1996年1月在吉林电气化高等专科学校召开了电类教材编审会议,对当前高等专科学校的教育和教材进行了研究和讨论,并取得了一定的共识。

本书系根据1996年冶金系统部分高等专科学校工业电气自动化技术和自动化仪表及应用专业教材编审会议上制定的编写大纲编写的。它适合高等专科学校教学使用,也适用于高等职业教育和自学考试使用。

本书按照高等专科学校教学改革的方向,按如下思路安排章节次序:首先对自动控制系统的基本概念作了必要的叙述,继而讨论实际系统的数学模型的建立方法,在此基础上,用时域法引出系统稳定性、快速性、准确性的基本概念,并分析了低阶系统的各项性能指标。为了突出重点,在编写中舍去了根轨迹法而着重介绍了工程上常用的频率特性法,并结合工程实际介绍了自动控制系统的频率特性校正方法。由于计算机控制技术的发展以及非线性控制在工程中的大量应用,本书也用适当的篇幅介绍了数字控制系统及非线性控制系统的分析方法。考虑到计算机仿真技术在自动控制系统分析中应用得越来越广泛,已成为分析自动控制系统尤其是非线性系统的有力工具,在附录I中简要地介绍了自动控制系统的计算机仿真方法,以供初学者入门之用。

本书在编写过程中,注意了高等工程专科教育的特点,适当地降低了理论深度,力求深入浅出,循序渐进,注意物理概念的阐述,尽量避免繁琐的数学推导,结合具体的自动控制系统介绍经典控制理论的最基本的内容,使抽象的控制理论与系统分析、设计相结合,理论和实践相结合,为读者学习后续专业课程奠定基础。

参加本书编写工作的有任哲(第一、七章及附录部分)、张运波(第二章)、佟云峰(第三章)、逢万梁(第四章)、金峰(第五章)、孙和平(第六章)等同志。任哲任主编,逢万梁和孙和平任副主编。全书由戴逸松和杨世儒同志主审。

由于编者水平有限,教学经验不足,书中一定存在错误和不妥之处,殷切期望使用本书的教师和读者提出批评指正。

本书在编写过程中,大量参考了同行们的论著,在此,编者对他们表示由衷的谢意。

编 者

1997年3月

目 录

第一章 自动控制系统的基本概念	1
第一节 引言.....	1
第二节 闭环及开环自动控制系统.....	2
第三节 自动控制系统的类型.....	7
第四节 对自动控制系统的基本要求和自动控制系统的组成	10
习题	13
第二章 控制系统的数学模型	15
第一节 概述	15
第二节 典型装置的数学模型	15
第三节 自动控制系统的数学模型	21
第四节 传递函数	24
第五节 典型环节的传递函数及阶跃响应	27
第六节 动态结构图及其等效变换	37
第七节 自动控制系统的传递函数	52
习题	58
第三章 自动控制系统的时域分析法	61
第一节 概述	61
第二节 典型二阶系统的时域分析	64
第三节 高阶系统的分析	70
第四节 自动控制系统稳定性的分析	72
第五节 自动控制系统稳态误差的分析	74
第六节 减小自动控制系统稳态误差的方法	81
习题	82
第四章 控制系统的频域分析法	85
第一节 频率特性的基本概念	85
第二节 典型环节的频率特性	88
第三节 系统开环频率特性	94
第四节 用开环频率特性分析系统稳定性.....	100
第五节 用开环频率特性分析系统的性能.....	108
第六节 用闭环频率特性分析系统的性能.....	113
习题	116
第五章 自动控制系统的校正	119
第一节 概述.....	119
第二节 典型校正装置——电子调节器.....	122
第三节 校正方法.....	129
第四节 多环控制系统的校正方法.....	139

习题	142
第六章 数字控制系统的设计基础	144
第一节 概述	144
第二节 采样过程和采样定理	146
第三节 信号的恢复与保持器	153
第四节 连续模拟数学模型的离散化	160
第五节 线性数字控制系统的理论基础	167
习题	189
第七章 非线性自动控制系统	190
第一节 非线性微分方程在小信号条件下的线性化	191
第二节 用描述函数法分析非线性特性对自动控制系统性能的影响	194
第三节 利用非线性特性改善系统的控制性能	204
第四节 改善非线性系统性能的措施	207
第五节 用描述函数法分析非线性系统的稳定性	209
习题	216
附录 I 自动控制系统的计算机仿真分析方法简介	218
附录 II 拉普拉斯变换表	233
附录 III 符号说明	234

第一章 自动控制系统的基本概念

第一节 引言

自二十世纪中叶以来,在工程和科学发展中,自动控制技术的应用起着极为重要的作用。导弹能够准确地命中目标,人造卫星能按预定的轨道运行并返回地面,宇宙飞船能准确地月球着陆,并重返地球,都是由于自动控制技术迅速发展的结果。

在工业生产过程中,诸如对压力、流量、温度、湿度、物位、成分等方面的控制,也都是自动控制技术的重要组成部分。

正是由于自动控制技术在各个领域中的广泛应用,不仅提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,而且在保护环境、发展空间技术和改善人们物质生活等方面都起着极为重要的作用。

《自动控制原理》是自动控制技术的理论基础,是一门理论性较强的工程科学。根据自动控制技术发展的不同阶段,自动控制理论一般分为古典控制理论和现代控制理论两大部分。

古典控制理论的内容主要以传递函数为基础,研究单输入、单输出一类自动控制系统的分析和设计的问题。其中主要内容为时域分析法、根轨迹法、频率特性法等。这些理论由于其发展较早,现已臻成熟。在工程上,也相当成功地解决了大量的实际问题,因此它是研究自动控制系统的重要理论基础。

古典控制理论的局限性在于它只适合于用单输入、单输出的线性定常系统。对于时变系统、复杂的非线性系统和多输入、多输出系统则是无能为力的。

目前,控制系统的发展趋势是朝着控制任务更加复杂和控制精度要求越来越高的方向发展。这样一些复杂系统大多是多输入、多输出的、时变的和非线性的。由于对控制系统的性能指标提出了越来越严格的要求,从而系统的复杂程度也因之越来越高;又因为近年来大型电子数字计算机及性能良好的微型计算机的迅猛发展,也需要一种适合应用数字计算机分析与设计复杂系统的理论和方法,因此以矩阵理论为数学工具,建立在状态概念之上的“现代控制理论”便发展起来了。

现代控制理论适合应用于多输入、多输出系统,这些系统可以是线性的,也可以是非线性的;可以是定常的,也可以是时变的。应用现代控制理论,一方面能使设计者针对给定的技术性能指标设计出最优控制系统,另一方面还可使用更一般的输入函数代替特殊的所谓“典型输入函数”来实现最优控制系统的设计。

近年来,为了提高自动控制系统的品质,又出现了一些诸如模糊控制、自适应控制、预见性控制等一些新的控制方式,它们的出现给自动控制理论带来了勃勃生机。总之,自动控制理论作为一门工程学科正迅猛地向前发展着。

本书作为一门基础理论课教材,主要介绍古典控制理论部分。

第二节 闭环及开环自动控制系统

一、自动控制系统及其任务

在现代工业生产中,为了提高产品质量,保证安全生产,降低成本,提高效益,减少环境污染,就必须使技术装备、机器设备和生产过程按照预定的要求去运行。例如在轧钢生产过程中,为保证产品(钢材)的质量,则要求将原料(钢坯)放到加热炉中加热,并要加热到合格的温度,这样就必须采取一定的措施来保证加热炉内的温度满足生产工艺的要求,使之不受其他因素的影响;在发电厂的生产过程中,要想使发电机能正常供电,就必须采取一定的措施保持发电机的输出电压恒定而不受其他因素的影响;在机械加工的生产过程中,要使机床加工出高精度的工件,就必须采取一定措施使工作台和刀架的位置准确地按预期的规律运动而不受其他因素影响;在飞机的飞行中,为保证飞机能按预定的航线和高度飞行,就必须采取一定的措施去操纵飞机使其飞行轨迹满足要求而不受其他因素影响,等等。

在上述各个例子中,技术装备或生产设备(加热炉、发电机、机床、飞机)在控制技术中常被称为被控对象或受控对象;被控对象中需要采取一定措施去满足一定要求的参数(炉温、发电机的输出电压、工作台及刀架的位置、飞机的飞行轨迹)被称作被控制量或被控参数;这些被控制量的期望值被称作给定值;为使被控制量与给定值相一致而采取的措施就称为控制。

如果用时间函数 $r(t)$ 表示给定值,用 $c(t)$ 表示被控制量,则控制的目的是要使下式成立:

$$c(t) = r(t) \quad (1-1)$$

或

$$c(t) = Kr(t) \quad (1-2)$$

上面的表达式描述了控制的任務。

上述控制任务如果是直接由人工来完成的话,那么这种控制就称为人工控制;如果完成该控制没有人的直接参与,而是由一些自动控制装置来完成的话,那么这种控制就称为自动控制。自动控制装置与被控对象所构成的总体被称作自动控制系统,见图 1-1 所示。

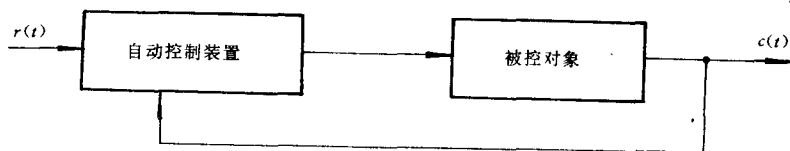


图 1-1 自动控制系统图

二、闭环自动控制系统及其组成

闭环自动控制系统是工业生产用得最为广泛的系统,也是本书讨论的主要内容。下面分别以直流电动机转速自动控制系统和加热炉温度自动控制系统为例来说明闭环自动控制系统的基本工作方式和组成。

1. 直流电动机转速自动控制系统

在工业生产过程中,很多生产机械都是由直流电动机来拖动的。对拖动系统的一个主要技术要求就是电动机应以工艺所希望的转速运行,不受其他干扰因素(电网电压的波动、负荷的变化等)的影响。

为满足上述要求,必须对电动机的转速加以控制。

在《电机及拖动》课程中我们知道,在恒定励磁的条件下,直流电动机的转速 n 为电枢两端的电压 u_a 及电机轴上负载转矩 M_L 的函数,即

$$n = f(u_a, M_L) \quad (1-3)$$

由此可见,改变 u_a 或 M_L 都可以改变转速 n 。通常是用改变 u_a 的方法来控制转速。这样,另一个影响转速的因素 M_L 就是对转速 n 的干扰量,而 u_a 则称为控制量。于是,就可以构成一个图 1-2 所示的人工控制系统。

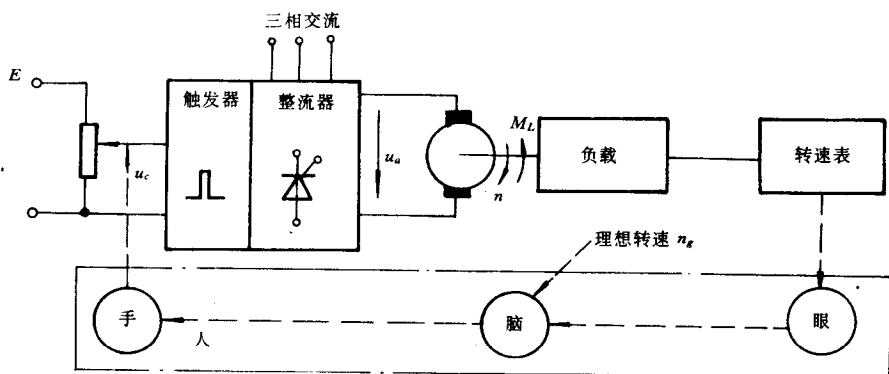


图 1-2 人工电机转速控制系统

由图 1-2 可见,操作人员根据生产工艺要求在脑中记忆(存储)了电动机转速的给定值 n_g (即期望转速),并用眼睛观察转速表以观测电机轴的实际转速 n 。如果 $n \neq n_g$,则用手操作电位器改变 u_c (操作量),以改变电枢电压 u_a 来改变电机转速 n 。当 $n = n_g$ 时,就停止操作。如果由于负载的变化或交流电网电压的变化等原因(例如负载转矩 M_L 增大;电网电压降低),导致电动机转速偏离 n_g (例如下降),则操作人员根据转速表的显示值,将此信息(反馈信号)传递给大脑,后者经过思考、分析(运算)实际转速与希望转速的偏差,发出调节电枢电压的命令,手按此命令转动电位器改变 u_c 来改变 u_a (增大),以克服外来干扰因素对电动机转速的影响;使电动机的转速保持在工艺希望的范围內。

显然,上述人工控制方式在干扰频繁出现的场合是很难保证生产工艺要求的。但剖析一下人工的控制过程对于理解自动控制过程无疑是有帮助的。

仔细观察人工控制过程就会发现,操作人员的控制过程不外乎是用眼观察转速表(测量电动机实际转速 n),然后用脑将实际转速 n 与希望转速 n_g 相比较(求出 $n_g - n$),依据比较结果(偏差)经脑分析后(运算),发出操作命令,接着依据命令用手转动电位器(改变操作量 u_c 以改变 u_a 最终改变 n),并且不断重复上述动作,直至 $n_g - n$ 为零。也就是说,上述过程的全部目的是使 $n = n_g$ (这里 n 相当于 $c(t)$; n_g 相当于 $r(t)$)。

如果将人的工作用自动化装置的工作来替代,那么就构成了图 1-3 所示的自动控制系统。

图 1-3 中测速发电机 SF 将电动机的转速 n 转换成电压 u_f (反馈信号)代替了人眼的功能。并将 u_r (给定值)与 u_f 相比较得出 $\Delta u = u_r - u_f$ (偏差),并根据此偏差的大小和符号由调节器按某种预定的规律(控制规律)分析运算从而发出按一定规律变化的电压 u_c (操作量)通

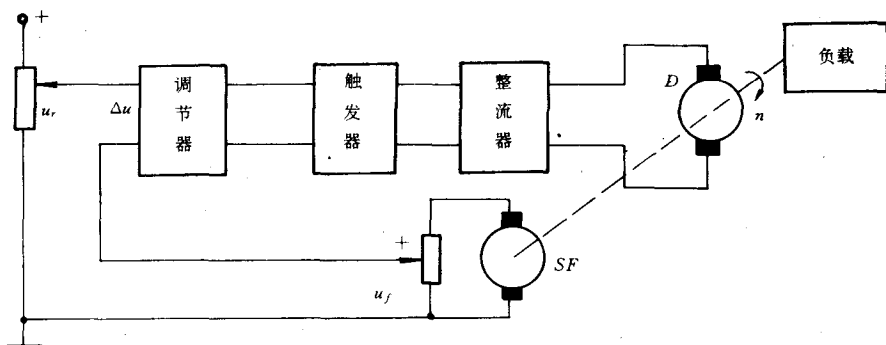


图 1-3 直流电动机转速自动控制系统

过可控硅整流电路去改变 u_a (控制量) 从而克服干扰的影响, 减小或消除转速偏差, 使电动机的转速保持在希望的范围内。理想的情况是 $\Delta u = 0$, 亦即 $u_r = u_f$, 若测速发电机的输出电压与轴转速之间的关系为 $u_f = K_f n$, 则上述控制系统的目的就是使 $u_r = K_f n$ 或 $n = \frac{1}{K_f} u_r$, 也可以写成 $n = K u_r$ (这里的 u_r 相当于 $r(t)$; n 相当于 $c(t)$)。

如果将上述系统中的被控对象及控制装置用方框来表示, 将信息的传递用带箭头的直线来表示, 则可得出图 1-4 所示的方框图。

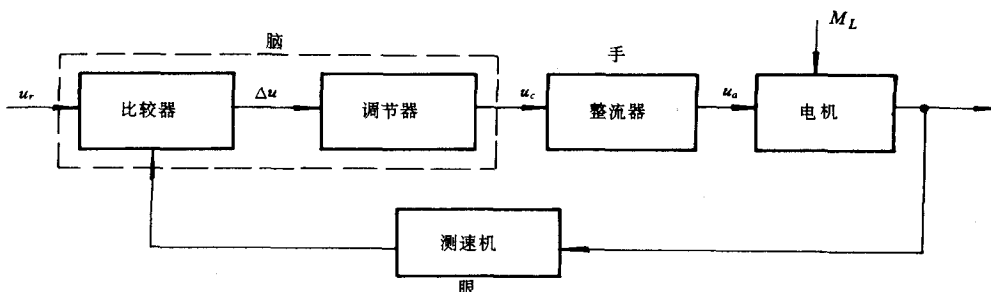


图 1-4 电机转速系统方框图

2. 加热炉温度自动控制系统

加热炉是工业生产中常见的工艺设备。其加热能源通常是燃油、煤气和电力等。根据工艺要求, 炉内的温度应保持在一定的数值上。现有一燃油加热炉。经分析可知该炉的炉内温度是燃油流量 Q 、被加热工件的数量 n 、环境温度 T_0 等的函数, 即炉温 T 为:

$$T = f(Q, n, T_0)$$

为控制炉温通常选用燃油流量 Q 作为控制量, 而被加热工件的数量 n 和环境温度 T_0 及其他一些影响炉温的因素就统统都是干扰量了。这样, 所谓对炉温的控制就是用某种方式操作燃油流量 Q 以抵消干扰因素对炉温的影响。

现将图 1-5 所示的人工控制过程简述如下:

操作人员用眼睛观察温度显示仪表的炉温示值, 将此信息传递到大脑与期望炉温相比较, 得出期望炉温与炉温示值的差值(偏差), 并根据其大小、符号发出动作命令, 手则按此命令旋转阀门的手柄, 改变燃油流量以克服外来干扰因素对炉温的影响, 使炉温保持在工艺要

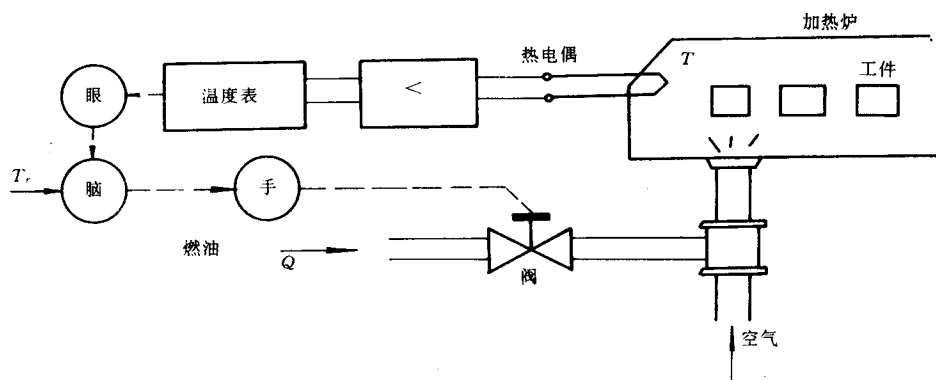


图 1-5 温度人工控制系统

求的范围内,即 $T=T_r$ 。

如果用图 1-6 所示的自动控制装置来取代人的操作,就构成了所谓的自动控制系统。

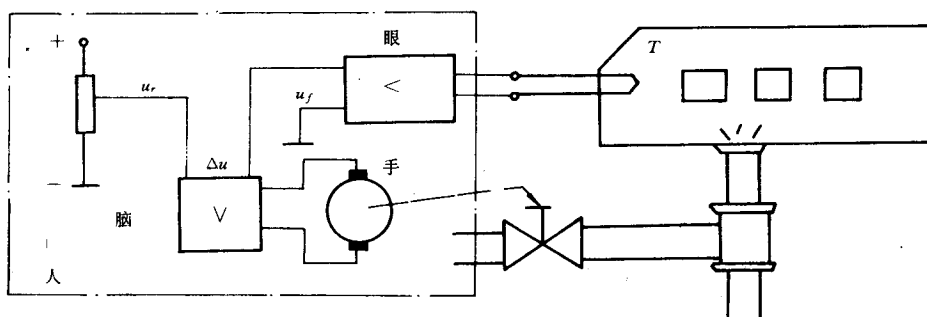


图 1-6 炉温自动控制系统

由图中可见;如果炉温 T 恰好等于炉温的期望值 T_r ,则 $u_r=u_f, \Delta u=0$ 。电机连同阀门不动,燃油流量不变,炉温恒定。

如果被加热工件增加,则炉温 T 势必下降, T 减小导致 u_f 减小,故而 $\Delta u=u_r-u_f>0$,电机转动,将阀门开大增加燃油流量 Q ,从而使炉温回升,直至 $u_r=u_f$ 即 $\Delta u=0$ 为止。

由此可以看出,系统控制动作结束后 $u_r=u_f$,若 u_f 与 T 之间关系为 $u_f=K_f T$,则自动控制系统的任务就是使 $u_r=K_f T$ 或 $T=\frac{1}{K_f} u_r$,也可写成 $T=K u_r$ (这里 T 为 $c(t)$; u_r 为 $r(t)$)。

将上述系统画成方框图,如图 1-7 所示。

抛开实际系统的物理属性,仔细分析上述两例可以看出,控制信息的流动形成了一个如图 1-8 所示的闭合框图。因此,这种系统称之为闭环控制系统。如果是自动控制方式,就称为闭环自动控制系统或称为反馈控制系统。

这种控制方式的原理是,用测量装置来测量被控制量 $c(t)$,然后将与 $c(t)$ 成一定关系的反馈量 $b(t)$ 反馈到输入端,在比较环节中计算 $e(t)=r(t)-b(t)$,控制器则根据 $e(t)$ 计算出操作量去操作执行器以改变控制量去控制被控制量 $c(t)$,最终使被控制量满足希望值,即使得 $b(t)=r(t)$ 或 $e(t)=0$,或者说,是利用偏差 $e(t)$ 去消除偏差 $e(t)$,而不管该偏差是由什么原因造成的。

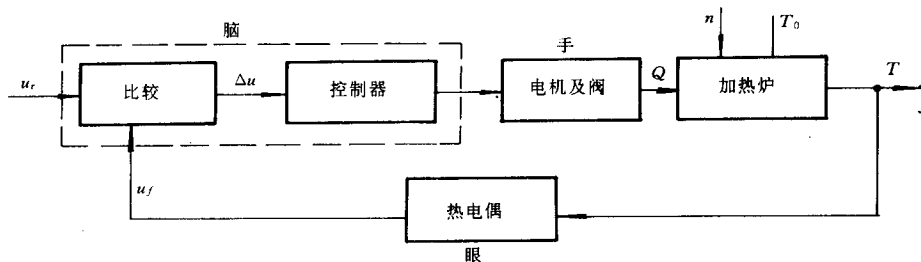


图 1-7 系统方框图

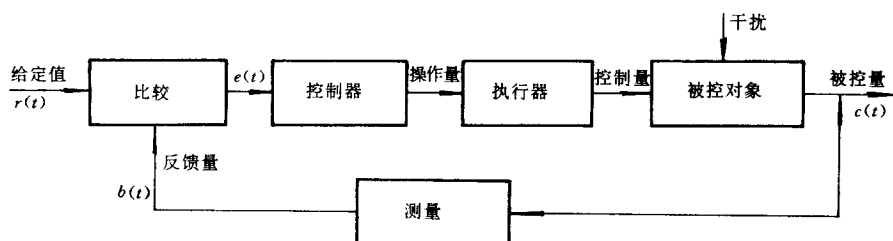


图 1-8 闭环控制系统的组成

三、开环控制系统及其组成

开环控制系统是与闭环控制系统相对而言的。如果在系统中控制信息的流动未形成闭合回路,那么该系统就称之为开环控制系统。常见的开环控制系统有以下两种。

1. 按干扰补偿的前馈控制系统

通过前面对控制的分析可知,稳定被控制量实质上就是在干扰信号出现时,操作控制量使之对被控量的影响与干扰量对被控量的影响互相抵消以保持被控量不变,这样就产生了利用干扰去克服干扰的控制思路。其原理方框图见图 1-9。

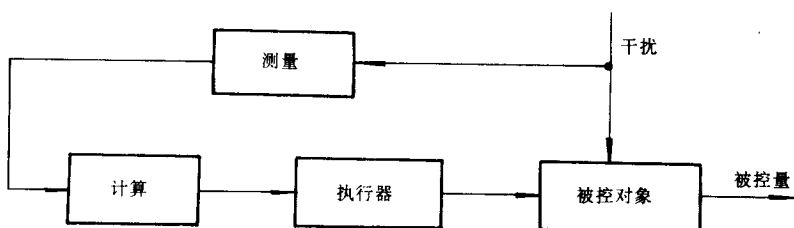


图 1-9 前馈系统示意图

在这种系统中,由于测量的是干扰量,故只能对可测干扰进行补偿。不可测干扰以及对象、各部件内部参数变化给被控量造成的干扰,系统自身无法控制。因此,控制精度受到了原理上的限制。

2. 按给定值操作的开环控制系统

在图 1-5 所示的系统中,事先计算出希望炉温所需的燃油流量,然后操作阀门向加热炉内提供该流量后就不再管它了,那么这种系统就是所谓的按给定值操作的开环系统。见

图 1-10。

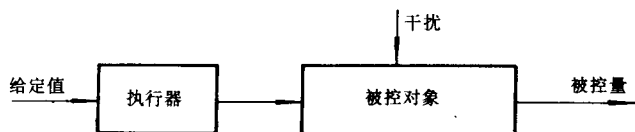


图 1-10 按给定值操作的开环系统

显然,这种系统当被控对象受到某种干扰而使被控参数偏离预期值时无法实现自动补偿。因此,系统的控制精度难于保证。当然,系统的结构参数稳定,干扰极弱或对被控参数要求不高,这种系统还是可以应用的。比如家用电风扇的转速控制、空调机以及某些自动化流水线等。

第三节 自动控制系统的类型

当前,由于技术的飞速发展,自动控制系统得到了广泛的应用。自动控制系统由于结构的不同,完成任务的不同,所以类型很多。为了研究方便,可以从不同的角度对系统进行分类。例如,根据系统组成元件的不同属性,可分为机电系统、液动系统、气动系统等;根据系统的特性可分为线性系统和非线性系统;根据系统所处理的信号可分为连续系统、离散系统和数字系统;根据给定信号的特征可分为恒值系统、随动系统和程序控制系统等。

对自动控制系统进行分类的目的是在对系统进行分析 and 设计之前,从不同的角度对系统有一定的认识,以便选择合适的分析和设计方法。

一、按给定信号的特征分类

按给定值的特征分类,自动控制系统可分为恒值给定系统、随动系统、程序给定系统。

1. 恒值给定系统

恒值给定系统的特点是给定值 $r(t)$ 一经设定就维持不变。这种系统的主要任务是当被控量 $c(t)$ 由于某种干扰的影响偏离希望值时,通过自动控制的作用使它尽可能快地恢复到希望值。如果由于系统结构的原因不能完全恢复到希望值时,则误差应不超过规定的允许值。

前面提到的直流电动机调速系统,炉温自动控制系统以及其他恒定压力、恒定流量、恒定液位等控制系统都属于恒值控制系统。在分析和研究这类系统时,主要关心的是系统能否有效、快速地克服各类干扰量对被控制量的影响,从而使被控制量维持在希望值上。

需要说明的是,在恒值控制系统中,若生产工艺要求被控量改变,可以通过改变给定值来实现,但给定值的这种改变是对自动控制系统根据工艺要求重新整定的过程,并不频繁发生。因此,被控量是否能快速准确地跟踪给定值变化可不作重点研究。

2. 随动自动控制系统

随动自动控制系统的主要特点是,给定信号的变化规律是事先不能确定的。这类系统的主要任务是使被控量快速、准确地随给定值的变化而变化,故此称作随动控制系统。因此,这种系统在分析和研究时主要关心的是跟随性能。

图 1-11 所示的舰船的电动舵机系统就是一个位置随动系统。

由图 1-11 中可见,在航行时,当舰船尾舵转角 θ_c 与给定转角 θ_r 相等时, $\Delta u = 0$, 电机不

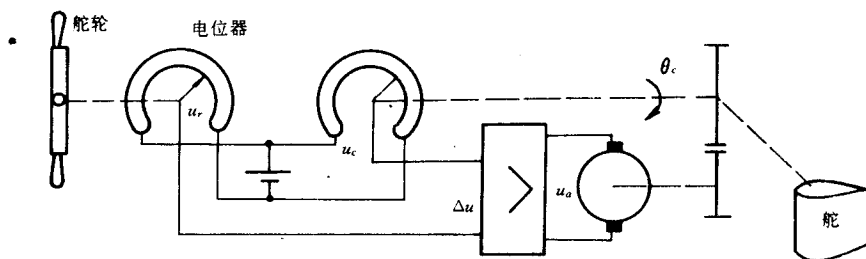


图 1-11 舵机随动系统

动,系统处于平衡状态。

如果给定转角 θ_r 变化了,而尾舵仍处于原位,则 $\theta_c \neq \theta_r$, $u_r \neq u_c$, $\Delta u \neq 0$,从而使电机拖带尾舵朝 θ_r 所要求的方向旋转,直至 $\theta_c = \theta_r$,电机停转。系统在新的位置上重新平衡,也就是说这种系统是使 θ_c 一直随 θ_r 变化而变化,而 θ_r 的变化规律又是事先无法确定的,因此是一个随动系统。

这种能够任意操纵和跟踪的系统也常常称作伺服系统。

3. 程序控制系统

程序控制系统是它的给定值按事先预定的规律变化而变化的自动控制系统,目的是使被控量随给定的变化而变化。因此,这种控制系统需要一个给定器以发生按所需要的规律而变化的信号,作为该系统的给定值。图 1-12 是一个钢卷热处理炉的程序控制系统,该处理炉的炉温应按钢卷热处理要求的温度而分段变化。

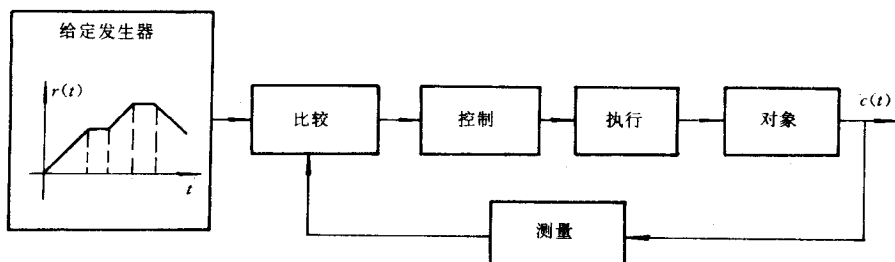


图 1-12 程序控制系统

二、按系统中元件的特性分类

任何自动控制系统都是由各种元部件组成的,按自动控制系统中元部件的特性可将系统分成线性系统 and 非线性系统。

1. 线性控制系统

这类系统的特点是系统中所有元部件输入输出关系都呈线性关系,如图 1-13 所示。

分析这类系统时可以应用叠加原理,当几个信号同时作用于系统时,系统的总输出为单个输入信号作用于系统的输出之和。因此,这种系统分析起来极为方便。

2. 非线性控制系统

非线性控制系统的特点是系统中至少有一个元件的输入输出关系呈非线性关系。由于非线性特性的多样性,这类系统分析起来极为困难,至今尚没有通用的分析方法,只有一些近似分析方法在某些特殊条件下可以应用。

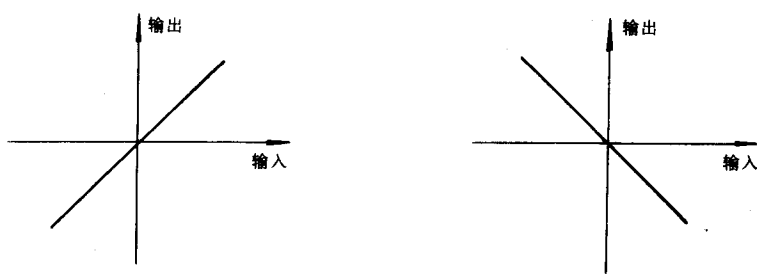


图 1-13 线性元件的特性

但是,如果在系统中能正确地使用非线性元件,有时可以收到意想不到的控制效果。因此,近年来在实际应用系统中引入非线性特性以改善控制系统的质量,已取得了很成功的经验。

必须说明,实际应用的自动控制系统都不同程度地存在非线性特性。因此,严格地说,实际上是不存在线性系统的,因为构成系统的实际元件,都不同程度地存在非线性特性。例如,在系统中常用的放大器,在超过一定范围时会出现饱和特性;在机械传动中会有摩擦及间隙等等。但是,在工程上为了简化系统的分析和设计,常常在一定的条件下,对非线性元件作简化和近似处理后当作线性元件来对待,从而使系统成为工程意义上的线性系统。本书将主要研究线性系统。对不能简化及近似处理的非线性系统,本书将在第七章对其控制系统性能的影响作一简要阐述。

三、以控制系统中信号的形式分类

1. 连续控制系统

连续控制系统的特点是系统中各处的信号都是时间 t 的连续函数。这类系统的运动状态是用微分方程来描述的。在前面所举的自动控制系统实例都属这类系统。这类系统是本书讨论和研究的重点。

2. 数字控制系统

由于数字微处理机技术的飞速发展,利用数字计算机强大的运算能力及高速的运算速度来完成控制运算,直接参与生产过程的控制已成为现实。因此,数字控制系统已是现代工业生产中一种主要的控制系统了。图 1-14 就是数字控制系统的一种组成形式。

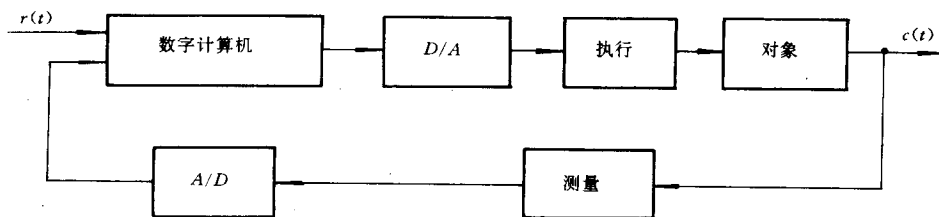


图 1-14 数字控制系统方框图

这类系统的特点是各种参数及信号在计算机中是以数码的形式运算和传递的,而数码形式的信号在时间上是离散的。这种系统的运动状态是用差分方程来描述的,因此,在分析这类系统时,有与连续系统的分析方法不同的特点。

鉴于数字控制系统在工业控制系统的应用愈来愈多,本书将在第六章对数字控制系统的分析和设计方法作一简单介绍。

第四节 对自动控制系统的基本要求和自动控制系统的组成

一、对自动控制系统的基本要求

自动控制系统是为生产服务的,不同被控对象根据其生产工艺的不同,对系统性能的具体要求可能不同。但作为所有自动控制系统的共同要求就是希望:

$$c(t) \equiv \dot{r}(t)$$

$$\text{或 } c(t) \equiv Kr(t)$$

即是在理想的情况下,自动控制系统的被控制量与给定值在任何时候都成一个固定的比例关系,完全没有偏差。而且不受干扰的任何影响。即系统在阶跃给定信号作用下,其被控量的变化应如图 1-15 所示。

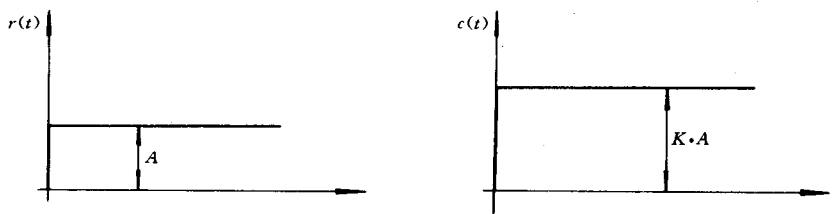


图 1-15 控制系统的理想阶跃响应

然而,在实际的自动控制系统中,由于机械部分质量、惯量的存在,电路中电感、电容的存在,加之能源功率的限制,使得系统中运动部件的加速度不会很大。因而运动速度和位移不可能瞬间发生变化,而需要一段时间,或者说需要一段过程。通常,把系统受到扰动(给定值或干扰量的变化)作用后,其被控量由原来的平衡状态(稳态)达到新的平衡状态,这段过程称作过渡过程或动态过程。以给定值作阶跃变化的线性系统为例,在这段动态过程中,被控量的变化常有图 1-16 所示的几种情况。

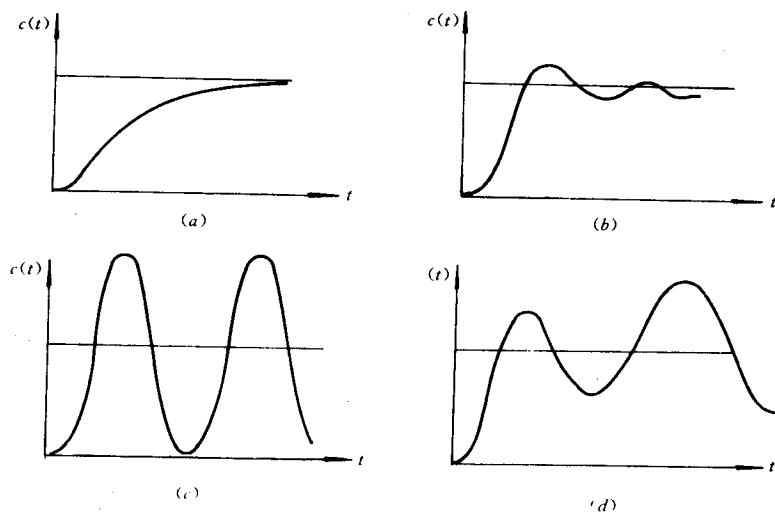


图 1-16 系统的阶跃响应

显然图 1-16 中,对于(c)与(d)的情况,系统的被控量的变化不收敛,系统根本无法工作,这是实际系统所不允许的。而(a)和(b)的情况都能达到新的平衡状态。它们是实际应用系统的过渡过程常见的情况。

综上所述,控制系统性能的优劣,可以从动态过程中充分显示出来。

另外,控制系统在外加信号作用下达到新的平衡状态之后,被控量与希望值之间的误差也是衡量自动控制系统技术水平的重要尺度。

一个高质量的自动控制系统,在整个运动过程中,被控量与希望值之间的误差应该愈小愈好。考虑到动态过程在不同阶段中的特点,工程上常从系统的稳定性、快速性、准确性三个方面来评价自动控制系统的总体性能。

1. 稳定性(稳)

稳定性是评价自动控制系统能否正常工作的首要指标。这个指标是评价系统在过渡过程中振荡倾向和系统重新恢复平衡能力的。

如果自控系统受到外加信号的扰动后,偏离了原来的平衡状态,控制装置不能使系统达到希望的平衡状态,而是愈偏愈远,或者出现等幅或增幅的振荡过程,则称这种系统是不稳定的系统。显然这种系统不能完成正常的控制功能,甚至会损坏设备,造成事故。

反之,如果系统受到外加信号的扰动之后,最后随着时间的推移,能达到新的平衡状态,即动态过程是收敛的,则称该系统是稳定的系统。在系统是稳定的条件下,要求系统动态过程的振荡要小,对被控量在过渡过程期间的振幅和频率要有所限制。过大的波动将使系统中的运动部件超载,而导致松动和损坏。

2. 快速性(快)

快速性是用来评价自动控制系统过渡过程时间长短的性能指标。过渡过程时间持续很长,将使系统长时间出现大偏差,并说明系统的控制动作反映迟钝,难以复现快速变化的指令信号。因此,对实用系统来说,总是希望过渡过程时间愈短愈好。

系统的快速性一般是以调节时间 t_s 及上升时间 t_r 来衡量的。 t_s 是指从系统接受阶跃信号的瞬时起,到被控量与其稳态值之差不再超过 $2\% \sim 5\%$ 所需用的时间; t_r 是指被控量第一次达到稳值所使用的时间。见图 1-17。

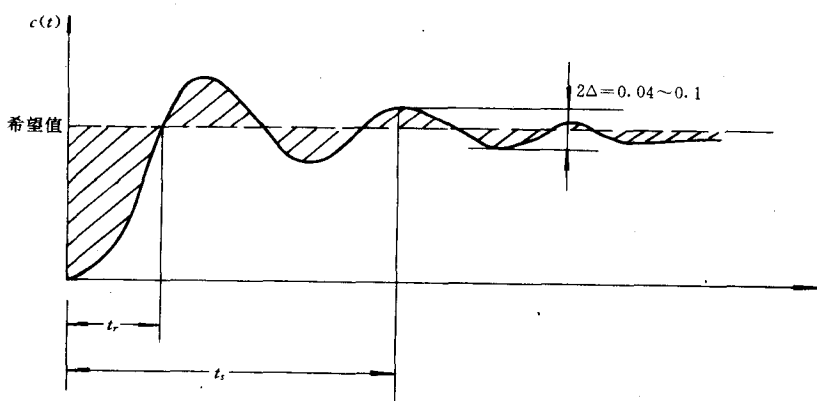


图 1-17 系统的阶跃响应曲线

3. 准确性(准)