

计算机控制技术

杨善林 郭 骏 于士忠

中国科学技术大学出版社

1993·合肥

(皖)新登字 08 号

计算机控制技术

杨善林 郭 骏 于士忠
责任编辑:于文良 戴 杰

※

中国科学技术大学出版社出版·发行
(安徽省合肥市金寨路 96 号 邮政编码:230026)

中国计算机函授学院激光照排

合肥丰航彩印厂印刷

全国各地新华书店经销

※

开本:787×1092/16 印张:12.25 字数:293 千
1993 年 7 月第 1 版 1993 年 7 月第 1 次印刷

印数:1-36,000 册

ISBN7-312-00455-5/TP·62 定价:9.00 元

目 次

第一章 概 述	(1)
§ 1.1 引 言	(1)
§ 1.2 自动控制系统的基本概念	(3)
§ 1.3 计算机控制系统的一般概念.....	(12)
第二章 工业自动化仪表	(17)
§ 2.1 概 述.....	(17)
§ 2.2 检测仪表.....	(19)
§ 2.3 执行器.....	(25)
§ 2.4 防爆栅.....	(28)
第三章 过程通道	(30)
§ 3.1 概 述.....	(30)
§ 3.2 模拟量输入通道.....	(33)
§ 3.3 模拟量输出通道.....	(43)
§ 3.4 过程通道设计.....	(47)
第四章 数据采集系统	(55)
§ 4.1 概 述.....	(55)
§ 4.2 数据采集的三种工作方式.....	(56)
§ 4.3 数据预处理.....	(58)
§ 4.4 越限报警.....	(71)
§ 4.5 显 示.....	(74)
§ 4.6 操作面板的设计.....	(80)
§ 4.7 数据采集系统设计举例.....	(88)
第五章 顺序控制和数字程序控制	(92)
§ 5.1 概 述.....	(92)
§ 5.2 顺序控制.....	(92)
§ 5.3 数字程序控制.....	(98)
§ 5.4 步进电机的控制	(109)
§ 5.5 数字程序控制系统举例	(116)
第六章 直接数字控制系统的控制规律	(123)
§ 6.1 概 述	(123)
§ 6.2 数字 PID 控制算法	(131)
§ 6.3 PID 控制算法的改进	(135)
§ 6.4 PID 调节器参数选择	(138)
§ 6.5 复杂控制规律	(142)
第七章 微型计算机控制系统设计	(147)
§ 7.1 微型计算机控制系统设计的基本要求	(147)
§ 7.2 微型计算机控制系统设计的一般步骤	(148)
§ 7.3 设计举例之一——程序升温控制系统	(151)
§ 7.4 设计举例之二——双闭环直流数字调速系统	(159)
第八章 微型计算机控制系统的可靠性	(169)
§ 8.1 概 述	(169)
§ 8.2 干扰的来源及其传播	(170)
§ 8.3 电源与供电系统的抗干扰措施	(171)
§ 8.4 接口与过程通道的抗干扰措施	(174)
§ 8.5 接地问题	(180)
§ 8.6 冗余技术	(181)
§ 8.7 故障诊断技术	(185)
§ 8.8 软件可靠性技术	(190)

第一章 概 述

电子计算机的出现,在科学技术上引起了一场深刻的革命。随着计算机自身的发展和应用领域的扩大,这一伟大的科学技术成就已经并且正在形成强大的生产力,极大地推动着工农业生产,国防建设和科学技术的进步。

计算机不仅在数据处理、科学计算等方面得到了广泛应用,而且在工业生产过程自动化方面也显示出了强大威力。

计算机控制技术是涉及到计算机技术和自动化技术等综合性技术。本章的主要任务就是介绍自动控制系统和计算机控制系统方面的一些基本概念,为后续各章的学习建立一个良好的基础。

§ 1.1 引 言

从本世纪以来,特别是从第二次世界大战以来,自动控制技术和自动化科学获得了迅速发展。在工农业生产中,自动控制极大地提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,从而推动了近代工农业的发展;在军事上,自动控制技术大大提高了武器的威力和精确度;在航天技术、原子能利用等方面,自动化技术更是必不可少的。

以轧钢机为例,在被轧钢材往返两次通过轧辊的时间间隔里,不但要使钢材停下、反向,并把钢材拨正送入轧辊,而且必须准确地调整轧轴的轴矩和转向、转速,这许多操作必须互相配合迅速完成。在人工操作时,难免由于配合得不准确而造成钢材等待。如果每一个轧程等待 1 秒钟,一台轧机一年就要少轧几万吨钢。

再以雷达高射炮为例。敌方飞机在飞行时,雷达天线必需时刻运转,随时自动保持指向敌机。雷达天线的方位和仰角数据经过加工并计入提前量后,又用来控制高射炮炮身的转动,使高射炮时刻保持瞄准敌机,准备随时开火。瞄准的角度误差只有几分。如果不用自动控制,这当然是达不到的。尤其是在战争条件下,飞机的速度很快,炮身又很沉重,如果用人力直接转动炮身,这样的精度就不可想象了。

再以宇宙飞船为例,要把重达数吨的宇宙飞船准确地送入预先计算好的轨道,并一直保持它的姿态正确,要保持它的太阳能电池一直指向太阳,要保持它的无线电天线一直指向地球,要保持飞船内的温度和气压不变,要使它所携带的大量的测量仪器自动准确工作……。所有这一切都是以高度的自动化技术为前提的。

那么究竟什么是自动控制呢?所谓自动控制是指在没有人直接参与的情况下,能够控制某些物理量按照指定的运动规律变化。

例如,使轧钢机的轧辊下降一个准确的距离,使工业炉的炉温保持为一个准确的数值不变,使雷达天线准确地跟踪一架飞机而旋转,等等,都是控制物理量(轧辊位置,炉温,天线角度等)按指定的运动规律变化的例子。

应当说,要使某个物理量发生变化,这并不是什么难事。问题在于要求这些物理量按

照指定的规律变化。比如说,要转动雷达天线并不难,但是要使雷达天线不停的旋转,始终保持指向运动着的飞机,这就不容易了。

显然,这里所说的物理量都是与一个运动过程相联系的。所以也称物理量的变化为过程的运动或过程所表征的系统的运动。

在70年代以前建造的自动控制系统基本上都是用自动化仪表来组合实现的。通常称这种自动控制系统为常规控制系统。

计算机技术的发展为自动控制技术的实现开辟了新的途径。如果用计算机为工具,来控制系统的运动过程,则称这样的自动控制系统为计算机控制系统。通常称用于生产过程控制的计算机为工业控制机。

与由模拟仪表组成的常规控制系统相比较,计算机控制系统有许多优点,例如:

它能够综合生产的各方面情况,在环境或生产参数变化时及时作出判断,选择最合理、最有利的方案和对策;

因为在计算机控制系统中,其控制规律是由软件实现的,所以在不改变系统硬件结构的情况下,也能方便地改变控制规律;

能够实现较复杂的高级控制规律。对于参数密切相关的过程,它可以进行解耦控制,对于被控制参数是经过计算才能得到的间接指标的过程,它的控制效果比常规控制系统要好得多;

它易于实现对系统中的非线性补偿,从而提高控制质量;

由于计算机之间易于通讯,所以采用计算机作为控制装置,易于组成大系统,实现分级控制,提高自动化程度。

计算机控制系统大体上经历了三个发展阶段。1965年以前是实验阶段。五十年代初,首先在化工生产中实现了自动测量的数据处理。1954年开始用计算机构成开环系统。1959年工业上第一台闭环计算机控制系统在美国建成。1960年美国孟山都公司的氨厂用RW-300实现了计算机监督控制。1962年孟山都公司的乙烯工厂实现了第一个直接数字控制系统。

1965年到1969年是计算机控制系统进入实用和逐步普及的阶段。在这个期间,由于小型计算机的出现,且其可靠性不断提高,价格逐年下降,计算机在过程控制中的应用得到了很大的发展。但在这个阶段仍然是以集中型的计算机控制系统为主。这种计算机控制系统的主要缺点是可靠性差,若控制计算机出现故障,将对整个生产过程带来严重影响。

1970年以后进入了大量推广和分级控制阶段。70年代以来,由于大规模集成电路技术的发展,微型计算机大量涌入市场,且其性能价格比以惊人的速度迅速提高。这样以微型计算机为核心的集散型系统应运而生。例如美国 Honeywell 公司研制的 TDC-2000 系统就是监控和直接数字控制相结合的集散控制系统。集散控制系统具有组织灵活,可靠性高等优点。

可以肯定,随着超大规模集成电路技术的进一步发展,计算机控制系统的水平将会越来越高。

§ 1.2 自动控制系统的基本概念

我们已经知道,计算机控制系统就是以计算机为控制设备的自动控制系统。为了掌握计算机控制系统的设计和调试方法,有必要先了解一些有关自动控制系统方面的基本概念。

1.2.1 自动控制系统的一般组成

为了了解自动控制系统组成的一般概念,我们以锅炉汽鼓水位人工调节为例来分析完成一个控制任务需要哪些功能以及这些功能在自动控制系统中是如何实现的。

图 1-1 是锅炉汽鼓水位人工控制示意图。汽鼓锅炉的工作原理是,给水母管中的水经过调节阀门流入汽鼓,由于锅炉燃烧系统的加热,汽鼓中的水变为蒸汽并通过蒸汽母管送给用汽设备(例如蒸汽轮机)。

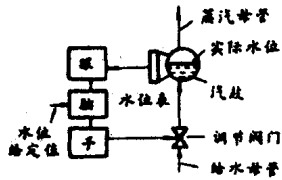


图 1-1 锅炉汽鼓水位人工控制系统示意图

为了保证锅炉的安全运行,操作人员应设法使汽鼓中的水位稳定在一定的范围内。一般说来,当锅炉的供水量小于流出的蒸汽量时,水位将不断下降;当锅炉的供水量大于流出的蒸汽量时,水位将不断上升。流出蒸汽量的大小是由用汽设备,即锅炉的负荷决定的。因此,要保持水位一定,操作人员就应该操作给水阀门,改变阀门开度,从而改变给水量,以适应负荷变化引起的水位变化,使汽鼓水位维持在给定的范围内。另一方面,即使用汽设备对蒸汽的需求量不发生变化,由于给水母管中的水压在不断变化,操作人员也要不断地操作给水阀门,改变阀门开度,稳定给水量,进而保证汽鼓中的水位在允许的范围内。

因为用汽设备对蒸汽需求量的变化和给水母管中的水压力的变化最终都反映为汽鼓水位的变化,所以操作人员的任务就是观察汽鼓实际水位,并同所要求的水位值进行比较,当它们之间存在偏差时,就按照一定的规律去操作给水阀门,改变阀门开度,使给水量和蒸汽量相适应,进而使实际水位恢复到所要求的水位。这里所谓“按照一定的规律去操作给水阀门”,就是指操作人员根据自己的实际经验来选择控制阀门的动作规律——是大开大关还是缓慢操作,或是先过头再回头等。操作规律不同,就会有不同的控制效果。对于这个实际例子,评价控制效果的主要指标是:在操作过程中实际水位与所要求的水位之间的偏差的大小,实际水位趋向所要求的水位的快慢,实际水位的波动程度等。一个没有经验的操作人员,如果操作不当,就会使实际水位来回波动,忽高忽低,经过较长的时间才能恢复到给定值,甚至有可能使实际水位的波动幅度越来越大,最后因水满或干锅而停炉。一个有经验的操作人员,首先应对他所控制的生产设备的性能有一个比较全面的了解,并由此总结出一套能使实际水位又快又准地恢复到所要求的水位的操作规律。

综上所述,可以把操作人员的控制工作内容归纳如下:

1. 用眼观察水位指示仪表,以了解实际水位是否正常或发生了变化。
2. 用脑思考(运算)所观察到的结果,即将所观察到的实际水位与所要求的水位进行比较,看是否有偏差,以及偏差的大小与方向;并作出判断,是否要对给水阀门进行操作,

往哪个方向操作,应按什么操作规律去操作等。

3. 根据脑的指挥命令,用手去操作给水阀门。对于小型阀门,可以用手直接操作,对于较大的阀门,可以通过遥控开关和执行器(例如,电动机)间接操作。

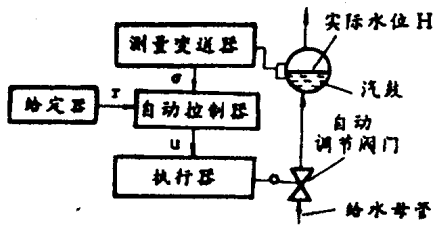


图 1-2 锅炉汽鼓水位自动控制系统示意图

由上述可见,在控制锅炉水位的过程中,操作人员的眼、脑、手三个器官分别起着观察、运算和执行三个作用,从而完成水位控制任务。

如果用自动化装置代替人工操作,我们就得到了相应的自动控制系统。图 1-2 是锅炉水位自动控制系统的示意图。

由图 1-2 可知,自动控制装置包括三个组成部分。第一部分是测量元件和变送器。它的作用是测量汽鼓水位,并将水位的高低用一种特定的信号 σ (如电流、电压、气压或机械位移等)表示出来,它代替人工控制系统中的操作员的眼睛的作用。第二部分是控制器(或称调节器),它把变送器送来的测量信号 σ 与所要求的水位信号 r 进行比较,控制器将比较后的偏差值 $e=r-\sigma$ 按预定的规律进行运算,然后将计算结果 u 送给执行器,信号 u 就是控制命令。可见,控制器代替了人脑的功能。第三部分是执行器。它根据控制器发出的控制命令去操作给水阀门,所以执行器代替了人手的作用。

由以上的分析可以知道,一个自动控制系统是由两方面的设备组成的:一是自动控制装置,它包括测量元件、变送器、控制器和执行器等;二是在自动控制装置控制下的生产设备,在上例中就是锅炉汽鼓水位的调节区域,通常称为被控对象。

1.2.2 方框图

为了便于对自动控制系统进行分析和综合,常用图 1-3 所示的方框图来描述自动控制系统中各设备或元件之间的相互作用关系。

在图 1-3 中,每个方框代表系统中的一个装置,或者一个元件,也可能代表几个装置或元件的组合,称为一个“环节”。在方框图中,用符号 \otimes 表示汇入到这一点的各信号之间的加减关系,称为比较环节或加法环节。方框图中的有向线段表示信号的流向。

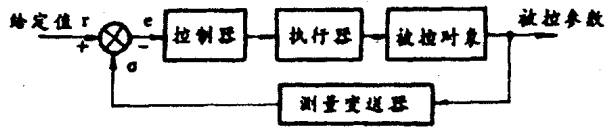


图 1-3 自动控制系统的方框图

在自动控制系统的方框图中,常见的典型环节有比较环节、执行环节、被控对象、反馈环节,校正环节和放大变换环节等,下面分别对它们加以说明。

比较环节:用来比较二个信号或多个信号的大小,这个环节的输出来就是它的所有的输入量的比较结果。例如,图 1-4 所示的比较环节的输出来量 x 与它的两个量 x_1 和

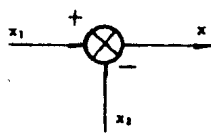


图 1-4 比较环节

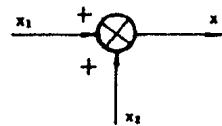


图 1-5 加法环节

x_2 的关系为 $x = x_1 - x_2$

加法环节:用来表示二个信号或多个信号的求和运算,这个环节的输出量就是它的所有输入量的代数和。例如图 1-5 所示的加法环节的输出量 x 与它的两个输入量 x_1 和 x_2 的关系为: $x = x_1 + x_2$

显然比较环节和加法环节所表示的代数运算没有差别,不同的只是这一代数运算的意义。对于比较环节,我们主要是关心参与运算(即进行比较)的物理量相对大小关系;而对于加法环节,我们则主要关心运算的结果。当然,流入比较环节或加法环节的所有的物理量要具有相同的量纲,否则不能进行代数运算。

校正环节:用来表示控制系统中的控制器。如果抛开控制器的物理性能,只从流入和流出控制器的信号之间的关系来看,这个环节表示某种运算规律,即它的输出量是它的输入序列的某种函数。如果这个运算规律比较简单,可由电阻电容网络来实现,对于复杂的运算规律可以用计算机实现。运算规律的设计,是自动控制理论研究的重要问题,它与被控对象的固有特性和对控制系统的性能要求有关,在自动控制理论中称这一运算规律为控制规律。

放大变换环节:根据控制要求,在控制系统中有时需要对某一信号加以放大,用来放大信号的物理元件可以是晶体管放大器或可控硅整流装置等。有时还需要进行不同量纲的物理量之间转换。例如,若在某控制系统中使用的执行器是以压缩空气为动力的气动执行器,为了使它能够接受并执行控制器的命令,必须把控制器输出的电信号转换为气压信号,即在控制器和执行器之间必须配置一个电—气转换器。方框图中的放大变换环节就是用来表示控制系统中的这些信号放大和变换装置的。

反馈环节:在自动控制系统中,一般要把被控对象的输出量,即被控制量引回到系统的输入端,与给定值进行比较,控制器根据比较的结果按照给定的控制规律进行运算,从而产生控制命令。这就是所谓的反馈控制(关于反馈在后面还要作进一步的讨论)。因此在控制系统中需要配置一个反馈装置,用来实现输出量的反馈。方框图中的反馈环节就是系统中的反馈装置的代表。显然反馈环节也有变换信号量纲的能力。

需要强调的是,这个环节的精度和特性直接影响控制系统的质量,它是构成自动控制系统的关键环节之一,通常要求它精度高、特性稳定、反应灵敏。

执行环节:它是控制系统中的执行器,如电动机,液压马达等与调节阀门在方框图中的反映。

被控对象:就是控制系统所要操纵的对象,有时也称它为受控对象。

下面再对控制系统中的一些信号作简要说明。

输入信号:又称输入量或给定值。操作者可以通过改变输入信号的大小来改变自动控制系统的工作状态。

输出信号:又称输出量或被控制量。它是被控对象的输出,它与输入信号应保持一定的函数关系。

反馈信号:它是反馈装置的输出信号。

偏差信号:有时也简称偏差。它是输入信号与反馈信号之差,即它们的比较结果。

误差信号:或称误差。它是输出信号的实际值与希望值之差。

扰动信号:又称扰动或干扰。在控制系统中,除给定信号之外,凡是能对系统的输出量

施加影响的因素都称为扰动。在设计控制系统时,要尽可能地降低扰动信号对输出量的影响。根据扰动信号在系统中的位置,又分为给定值干扰、送料干扰和负载干扰。应该注意的是,某些扰动信号是可以由仪表测量的,但是大量存在的随机扰动信号却是不可测量的。

作为例子,我们把图 1-2 所示的锅炉汽鼓水位自动控制系统的方框图绘制出来,如图 1-6 所示。在这个系统中,给水压力的随机波动可以用一个送料干扰来等效,而用汽设备对蒸汽需求量的变化可以用一个负载干扰来等效。其中的道理请读者自行理解。

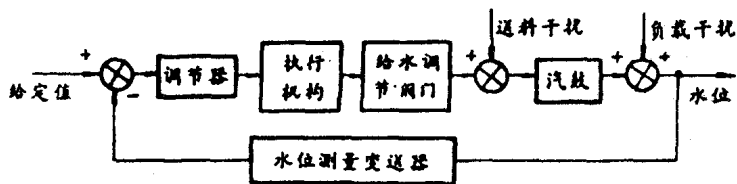


图 1-6 锅炉汽鼓水位控制系统的方框图

最后强调指出,自动控制系统的方框图和生产流程图在形式上有某些相同之处,但是它们所表达的内容却有本质的差别。在方框图中,箭头的方向表示信号的传递方向,或者说表示信号变化的因果关系,而不是生产过程中的物质或能量的流动方向。例如在图 1-2 所示的系统中,蒸汽是该系统的物质和能量输出,而蒸汽流量的变化对汽鼓水位有影响,即蒸汽流量的变化是产生水位变化的原因之一,所以在图 1-6 所示的该系统的等效

负载干扰信号的箭头方向应该指向系统,而不是背离系统。另外,根据分析和研究问题的需要,可以将方框图中的几个方框根据一定的规则合并成一个方框,也可以将一个方框细分成几个环节。例如,在研究整个控制系统自身的特性时,可以将图 1-6 所示的方框图中的执行器,给水调节阀门和汽鼓等三个方框合并为一框,并称它为广义被控对象,这样就得到了图 1-7 所示的简化方框图,就整个系统自身的特性而言,图 1-6 和图 1-7 是等效的。

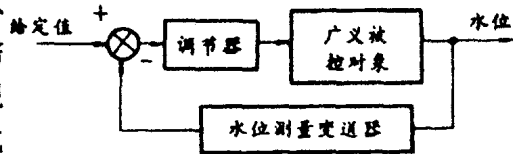


图 1-7 水位控制系统的简化方框图

1.2.3 自动控制系统的分类

在实际生产过程中自动控制系统的类型很多,为了研究的方便,必须对它们进行分类。

一. 开环控制系统和闭环控制系统

按照控制系统中有无反馈信号可以把控制系统分为开环控制系统和闭环控制系统。

(1) 开环控制系统

开环控制系统是指控制系统的输出量对控制作用没有任何影响的系统。换言之,就是在系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路的系统。这种系统的工作原理很简单,现在举例说明。

图 1-8 是开环控制的直流电动机转速控制系统的示意图。这个控制系统的被控对象就是直流电动机 D ,被控制量就是电动机的转速。在恒定的磁场电流作用下,直流电动机的转速随着电枢电压的变化而变化。这个系统的给定电压 U_g ,即系统的输入量,是从接在电压为 E 的电压源两端的电位器的滑动触头上取下的,并且送到了可控硅触发装置的输

入端。当给定值 U_g 发生变化时,就会改变可控硅的导通角,这样,由可控硅整流装置供给的直流电动机电枢两端的电压也就发生变化,因而电动机的转速就随之而变。如果要求电动机以某一速度运转,只要通过改变电位器滑动触头的位置,给予相应的控制电压 U_g 即可。

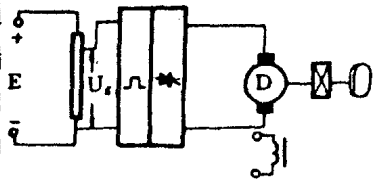


图 1-8 开环控制的直流电动机速度控制系统

在这种控制系统中,如果由于扰动作用,例如电压源的电压 E 发生变化(给定值干扰)或因电动机的负载发生变化而影响电动机的转速(负载干扰),使电动机的转速偏离了希望值,为了维持希望的转速,就必须人为地改变电位器上滑动触头的位置,才能使电动机的转速恢复到扰动前的数值,即希望值。可见,开环自动控制系统在扰动作用之下,如果没有人的干预,输出量将不能维持在给定量所确定的期望状态上。开环控制系统可用图 1-9 所示的方框图来表示。

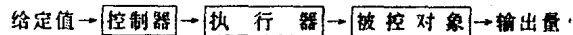


图 1-9 开环控制系统的方框图

(2) 闭环控制系统

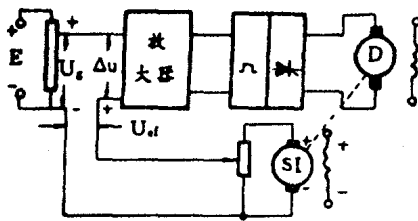


图 1-10 直流他激电动机速度反馈控制系统图

闭环控制系统是指通过反馈回路,系统的输出量能对系统的控制作用产生影响的系统。图 1-2 所示的锅炉汽鼓水位自动控制系统就是一个闭环控制系统,因为控制器发出的控制命令不仅与给定值 r 有关,还与实际水位输出值 h 有关,即系统的输出量对系统的控制作用施加了影响。

我们再以图 1-10 所示的直流他激电动机速度反馈控制系统为例说明闭环控制系统的工作原理。

这个系统的工作原理如下:在给定电位器上的滑动触头处取下控制电压 U_g ,并把它同由直流测速发电机送来的反馈电压 U_{if} (电压 U_{if} 与直流测速发电机的输入转速,即电动机 D 的输出转速成正比)进行

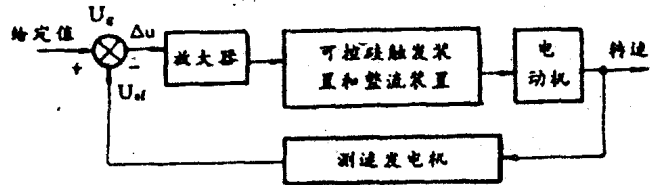


图 1-11 直流他激电动机速度反馈控制系统的方框图

比较,得到偏差电压 $\Delta u = U_g - U_{if}$,这个信号被送入放大器,被放大以后进入可控硅的触发装置,确定可控硅的控制角,相应地决定了直流电动机电枢两端的电压和直流电动机的转速。图 1-11 是这个系统的方框图。

在给定值不变的情况下,如果由于扰动作用,使电动机的转速下降,这样反馈电压 U_{if} 也要随着减小,因此比较结果 Δu 就会增大,相应地就会增大可控硅触发装置的导通角和电动机两端的电压,从而提高电动机的转速;如果由于扰动作用,使电动机的转速上升,这样反馈电压 U_{if} 也会增大,比较结果 Δu 就会减小,相应地就会减小可控硅触发装置的导通角和电动机两端的电压,进而降低电动机的转速。可见,闭环控制系统能够自动地消除或减小扰动信号对系统输出量的影响。

由上面讨论的闭环系统的工作原理可以得到闭环控制系统的工作过程和特征：

(1)对被控制量不断地进行检测,并反馈到输入端,与给定值进行比较,得到偏差信号;

(2)将偏差信号按适当的运算规律进行处理后,产生控制作用;

(3)这个控制作用力图消除或减小偏差,使被控制量尽量地与给定值相对应。

正因为闭环控制系统具有上述特征,所以也称它为反馈控制系统或按偏差控制的控制系统。

不难理解,闭环控制系统的精度主要取决于反馈环节。

顺便指出,反馈有“正反馈”和“负反馈”之分。如果输出量反馈到输入端后,与给定值相加,则称为正反馈;如果与给定值相减,则称为负反馈。显然正反馈系统不可能使系统的输出量在扰动发生后恢复到希望值(请读者自行分析),所以在自动控制理论中,只研究负反馈系统,因而也就简称为反馈系统。

二、定值控制系统、程序控制系统和随动控制系统

按照给定值的变化规律可以把自动控制系统分为定值控制系统、程序控制系统和随动控制系统。

定值控制系统的给定值保持不变,因而被控制量的希望值也保持不变。例如锅炉汽鼓水位控制系统就是一个定值控制系统。

程序控制系统的给定值是按已知的时间函数变化的。例如在热处理时,要求工作的温度随时间按一定的规律变化,而这个变化规律是预先根据工艺要求规定的,因而用于热处理的温度自动控制系统就是一个程序控制系统。

随动控制系统的给定值是事先不能确定的,即它是时间的未知函数,而其输出量要随着给定值的变化而变化。例如,雷达跟踪系统的给定值就是运动着的被跟踪物体(例如飞机)的位置,由于这个不断变化着的位置,对于跟踪控制系统来说是事先未知的,所以它是一个随动控制系统。

对于定值控制系统,一般分析和设计的重点是考虑当扰动发生时如何将系统的被控制量维持在希望值的问题,即重点是研究扰动对被控制量的影响以及如何克服的问题。对于程序控制系统,分析和设计的重点是如何使系统的输出量能够较准确地按事先给定的规律变化。在设计随动控制系统时,应着重考虑系统的输出量怎样才能迅速、准确地跟踪输入量的变化,即研究系统的快速性和准确性问题。为了使设计的系统更为合理,需要对输入信号的变化作一个大概的分析,如果输入信号变化较快,系统应具有较小的惯性,执行器应有足够的功率,以保证不丢目标。如果输入信号变化较慢,那么应重点考虑跟踪的平稳性。

三、线性系统和非线性系统

所谓线性系统是指具有齐次性和叠加性的系统。

所谓齐次性,是指对于任何输入量,当输入量增大 K 倍时,输出量也增大 K 倍。就是说,如果 $f(t)$ 是某系统的输入量,其对应的输出量为 $y(t)$,那么当输入量为 $k \cdot f(t)$ 时,其对应的输出量一定是 $k \cdot y(t)$,则称该系统具有齐次性。

所谓叠加性,是指当几个输入量同时作用于系统上时,系统的输出量则为这几个输入量分别单独作用于系统时所对应的输出量之和。对于某具有叠加性的系统,如果当输入量

为 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 时,其对应的输出量分别为 $y_1(t)$ 和 $y_2(t)$,则当输入量为 $f_1(t)+f_2(t)$ 时,所对应的输出量一定是 $y_1(t)+y_2(t)$ 。

凡是不具有齐次性或叠加性的系统,都称为非线性系统。

对于线性系统有比较多的一般的分析和设计方法,而对于非线性系统还没有可供采用的一般方法,但是很多非线性系统在较小的工作范围内可以用线性系统来近似。

四、时变系统与定常系统

按照系统中的参数是否随时间而变化来分,自动控制系统可以分为定常系统和时变系统。

如果系统中的参数不随时间而变化,则称它为定常系统。否则,就称为时变系统。

对于定常系统,只要输入信号的形式不变,不管它是在什么时间作用到系统上,得到的输出响应都是相同的。而时变系统的输出响应,不仅与输入信号的形式有关,而且还与输入信号的作用时间有关。

在工业过程控制中遇到的系统大都是定常系统,或可以合理地近似为定常系统。

五、连续系统和离散系统

按照系统中的信号的连续或离散性质,可以把自动控制系统分为连续系统和离散系统。

在连续系统中,所有的信号都是时间的连续函数,即模拟量。在离散系统中,至少有一个信号在时间上是断续的。因为计算机只能按照一定的周期处理一些离散的时间点上的信号,所以计算机控制系统都是离散系统。

根据研究的需要,还可以对自动控制系统进行其它分类,在此不再赘述。

1.2.4 对自动控制系统的性能要求

对于自动控制系统,当它的输入量发生变化时,我们总是希望它的输出量能够既快又准地跟随输入量的变化;当有扰动信号作用时,总是希望系统能够尽快作出反应,改变控制量,即控制器的输出控制命令,尽可能地削弱或抵消扰动信号对输出量的影响。具体地说,我们对自动控制系统的性能有以下三个方面的基本要求:

一、稳定性

线性系统的稳定性是这样定义的:如果系统原来处于平衡状态(例如,输入量 $r=0$, 输出量 $c=0$),由于扰动信号的作用使系统偏离了平衡状态,即系统输出量产生了偏差,当扰动消除后,经过一段时间,如果系统能够回到原来的平衡状态,则称这个系统是稳定的。否则,系统是不稳定的。

对于非线性系统,稳定性只是局部的概念,即只有状态稳定性定义,而没有系统稳定性定义。

稳定性是系统本身的性质,与输入信号或扰动信号的形式无关。控制系统的稳定性问题,是由反馈引起的。没有反馈的开环系统不存在稳定性问题。

那么反馈控制系统为什么会有稳定性问题呢?下面再以图 1-2 所示的锅炉汽鼓水位自动控制系统为例,来定性地回答这个问题。

图 1-12 是这个系统的一种简化方框图。假定原来系统处于平衡状态(设 $r=0, c=0$),偏差信号: $e=r-c=0$

所以控制器的输出信号维持不变,相应地给水调节阀的开度也维持不变,经过阀门流入汽鼓的给水量正好与从汽鼓中流出的蒸汽量相等。如果由于供水压力突然增大(相当于有一个送料干扰加在系统上),尽管这时给水调节阀的开度没有变,但实际流入汽鼓的给水量也随着增大,这样在流入汽鼓的给水量和流出汽鼓的蒸汽量之间就失去了平衡,汽鼓水位就要上升(准确地说,因为流入的给水量突然增大,汽鼓内温度下降,汽鼓中汽泡的体



图 1-12 汽鼓水位自动控制系统方框图

积收缩,汽鼓水位在短时间内不但不上升,反而下降,当然最终还是使水位上升。在这里我们可以不考虑这个变化过程。),即使供水压力后来又恢复正常,即扰动信号已经消除,但偏差信号 $e=r-c<0$

这时,控制器就会输出新的控制信号,执行器在这个信号的作用下就要减小给水阀门的开度,以达到减小给水量进而降低汽鼓水位的目的。如果控制器的运算规律设计不当(例如,放大系数过大),那么就会使给水阀门的开度减小过多,进而使汽鼓水位较多地低于希望值($c=0$),接下来控制器又要指挥执行器来较大幅度地增大阀门开度,汽鼓水位就会更多地高于希望值……如此循环下去,不难想象,汽鼓水位的实际值就会在希望值上下来回波动,而且波动幅度越来越大,永远不会回到平衡状态。也就是说,这个系统是不稳定的。

显然,在设计自动控制系统时,稳定性是要考虑的首要问题,因为不稳定的系统无法正常工作。

二、稳态精度

稳态精度不仅与系统本身的特性有关,而且还与输入信号的类型有关。因此我们先介绍研究自动控制系统时常用的几种典型的输入信号。

(1)阶跃函数

阶跃函数通常定义为:

$$R(t) = \begin{cases} 0 & \text{当 } t < 0 \text{ 时;} \\ A & \text{当 } t > 0 \text{ 时} \end{cases}$$

式中, A 为常数, t 为时间变量。当 $A=1$ 时,称为单位阶跃函数。

图 1-13 是阶跃函数的图形表示。

(2)斜坡函数

斜坡函数定义为:

$$R(t) = \begin{cases} 0 & \text{当 } t < 0 \text{ 时;} \\ At & \text{当 } t \geq 0 \text{ 时} \end{cases}$$

式中, A 为常数, t 为时间变量。当 $A=1$ 时,称为单位斜坡函数。有时也称斜坡函数为速度函数。

图 1-14 是斜坡函数的图形描述。

(3)抛物线函数

这种函数的数学表达式为:

$$R(t) = \begin{cases} 0 & \text{当 } t < 0 \text{ 时;} \\ \frac{1}{2}At^2 & \text{当 } t \geq 0 \text{ 时} \end{cases}$$

式中, A 为常数, t 为时间变量。当 $A=1$ 时, 称为单位抛物线函数。有时也称抛物线函数为加速度函数。

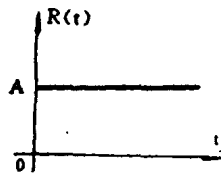


图 1-13 阶跃函数

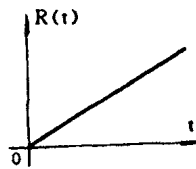


图 1-14 斜坡函数

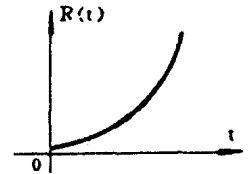


图 1-15 抛物线函数

图 1-15 是它的图形描述。

下面再讨论在典型输入信号作用下, 控制系统的输出, 即系统响应的大致情况。

在物理系统中, 由于惯性的存在, 使系统从一种平衡状态变化到另一种平衡状态, 不可能瞬时完成, 而是需要一个渐变过程。称这个渐变过程为动态过程或过渡过程。例如, 在图 1-10 所示的电动机调速控制系统中, 所包含的电感电容元件具有电气惯性——电感有阻止电流变化的惯性, 电容有阻止电压变化的惯性。对于电动机来说, 除了电枢电感存在的电气惯性之外, 还有由于转动惯量所产生的机械惯性。这些惯性就导致了这个控制系统是一个具有动态过程的系统。当改变电位器滑动触头位置, 提高或降低给定电压值 U_g 时, 电动机的输出转速不会立即上升或下降。就是说, 从与原来的给定值 U_g 相对应的转速变化为与改变后的给定值 U_g 相对应的转速需要一个渐变过程, 即过渡过程。

综上所述, 不难理解, 自动控制系统在受到阶跃函数作用后, 系统的输出, 即过渡过程曲线大致为图 1-16 所示。

如果系统在阶跃函数作用下的过渡过程曲线象图 1-16 (c) 或 (d) 那样, 则这个系统是不稳定的。因为该系统在扰动作用后, 被控制量将作等幅振荡或振幅值越来越大, 直到发生破坏作用或受到系统中的限幅保护装置的干涉为止。对于不稳定的系统, 没有稳态精度可言。若系统在阶跃函数作用

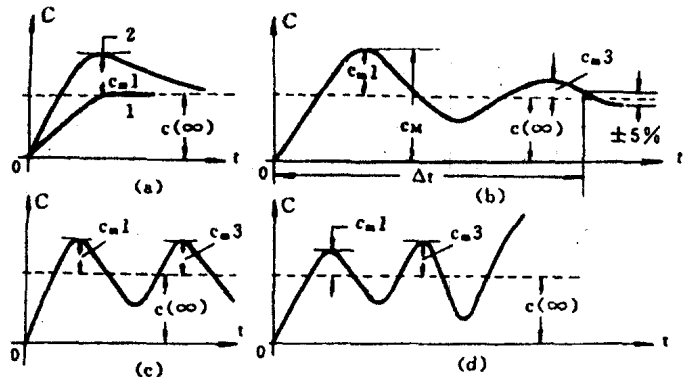


图 1-16 几种典型的过渡过程形式

下的响应曲线象图 1-16 (a) 或 (b) 所示的那样, 则系统是稳定的, 因为经过一段时间系统能够恢复平衡。

系统的稳态精度是指过渡过程结束后, 被控制量与给定值之间的偏差。这是评价控制系统的一个重要指标。

再次强调, 系统的稳态精度除了与系统的结构及其参数有关外, 还与输入信号有关。例如, 一个系统在阶跃函数作用下, 被控制量与给定值之间的偏差为零; 而当输入函数为

斜坡函数时,这个偏差可能是一个不为零的有限常数;当抛物线函数作用于其上时,偏差则可能变成 ∞ 。

三、动态品质

为了评价控制系统过渡过程的好坏,通常用反映单位阶跃输入函数的过渡过程中的超调量 M_p 、调整时间 t_s 和振荡次数 N 三项指标去衡量。这些指标统称为系统的动态品质,它们的定义如下:

图 1-17 是某系统的单位阶跃响应曲线。

①超调量 M_p 为:

$$M_p = \frac{C(t_p) - C(\infty)}{C(\infty)} \times 100\%$$

其中: $C(t_p)$ 是输出量 $C(t)$ 在过渡过程中的最大值,

$C(\infty)$ 是 $C(t)$ 最终的稳态值。

M_p 的大小说明了系统过渡过程的平稳程度, M_p 越小,系统的过渡过程就越平稳。 M_p 过大,将使系统中各元件处于恶劣的环境中工作。

②调整时间 t_s 为:

调整时间是指从干扰发生或输入信号变化起至被控制量又重新建立新的平衡状态为止的过渡过程时间。在实际生产中,一般认为被控制量进入偏离稳态值 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 的范围内就算稳定了,即达到了新的平衡。

调整时间越短,则过程进行得就越快,抗干扰的能力就越强。

③振荡次数 N

在调整时间 t_s 内,输出量 $C(t)$ 在稳态值 $C(\infty)$ 上下波动的周期数,即为过渡过程的振荡次数 N 。例如,图 1-17 所示的过渡过程的振荡次数 $N=2$ 。

对控制系统的上述要求往往是互相矛盾的,例如,减小超调量 M_p ,可能会使调整时间 t_s 变长;反之,若缩短调整时间 t_s ,可能会使超调量 M_p 增大。在设计控制系统时,应根据对系统的总体要求,综合考虑。当然,稳定性要求是必须保证的。

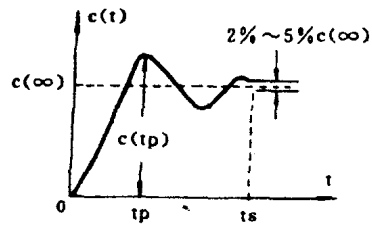


图 1-17 单位阶跃输入下,系统输出量的响应曲线

§ 1.3 计算机控制系统的一般概念

1.3.1 计算机控制系统的组成和工业控制机的特点

如前所述,如果用计算机来实现自动控制系统中的控制器,就构成了计算机控制系统,在实际工程中所用的计算机大多是微型计算机,我们称其为微型机控制系统。以下主要讨论微型机控制系统中的问题。图 1-18 是微型机控制系统的基本方框图。

与常规自动控制系统比较,在图 1-18 所示的微型机控制系统中多出了将模拟信号转换为数字信号的 A/D 转换器和将数字信号转换为模拟信号的 D/A 转换器这两个方框。这是因为被控参数,即被控对象的输出量一般都是模拟量,执行器的输入信号也大都

是模拟量,而微型计算机只能输入、加工和输出数字量。这样,就要用 A/D 转换器将需要输入微型机的信号转换为数字量再送给微型机,经微型机加工处理过的输出信号需要用 D/A 转换器转换为模拟信号后再送给执行器。

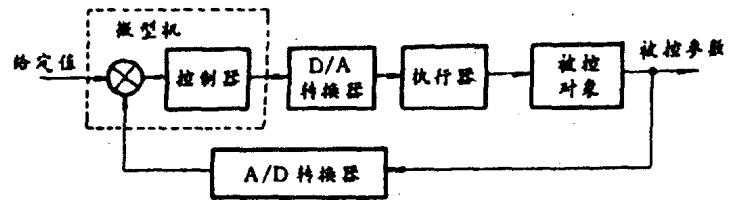


图 1-18 微型机控制系统基本框图

与常规控制系统类似,微型机控制系统的控制过程也可以归结为以下三个步骤:

1. 实时数据采集,即对被控制参数的瞬时值进行检测并输入。
2. 实时决策,对采集到的表征被控参数的量进行分析,并按已定的控制规律计算出控制量。
3. 实时控制,适时地向执行器发出控制信号。

上述过程不断地循环,使整个系统能够按照一定的动态品质指标进行工作,并且对被控参数和设备本身出现的异常状态及时监督并迅速地加以处理。对于微型计算机来讲,控制过程的三个步骤实际上只是执行输入操作、算术逻辑操作和输出操作。

上面所说的“实时”是指信号的输入、计算和输出都在一定的时间范围内完成,能够不失时机地控制被控制对象的行为。实时的概念不能脱离具体过程来讨论。例如,对于锅炉汽鼓水位,延迟一秒仍然认为是实时的;而对于一个火炮系统,当目标状态发生变化时,一般必须在几毫秒之内就要及时地发出控制命令,否则就不能击中目标。

工业生产过程是连续进行的,应用于工业控制的微型机系统应该是一个实时系统,它由硬件和软件两大部分组成。

一、硬件组成

用于自动控制的微型机系统的硬件一般包括:微处理器(CPU)、内存存储器(RAM 和 ROM)、模拟量输入/输出通道、开关量输入/输出通道、常规外部设备和运行操作台等。它们通过微处理器的系统总线(地址总线、数据总线和控制总线)和有关的接口电路构成一个完整的系统,图 1-19 是它的示意图。

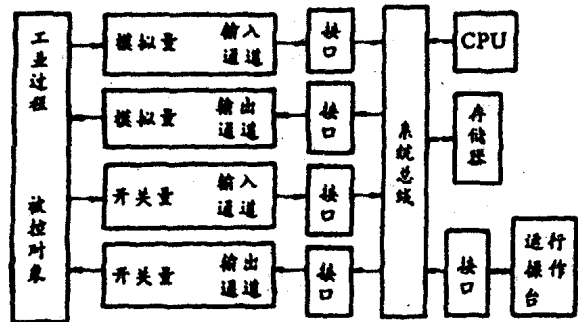


图 1-19 微型机控制系统硬件一般组成

由微处理器和内存存储器组成的主机是控制系统的核心。它根据过程输入通道送来的被控对象的有关参数,按照人们预先设计并已程序化了的算法,自动地进行分析计算,再作出相应的控制决策,最后通过输出通道及时地发出控制信号。常规外部设备,主要是输入设备、输出设备和外存储器。配备多少外部设备合适,要视具体情况而定。主机和常规外部设备的组织与一般的微型机系统没有质的差别,只是量的不同。

过程通道,包括模拟量输入/输出通道和开关量输入/输出通道,是用于过程控制的微型机系统的特殊要求。它的任务是实现被控对象(生产过程)与控制计算机之间的信息传

递。

微型机控制系统还要有一套专供操作人员使用的运行操作台,用来实现操作人员和微型机控制系统之间的“对话”,以了解生产过程状态,有时还要修改控制系统的某些参数,在发生事故时或自动控制系统工作不正常时,操作人员可以在运行操作台上对系统进行人工干预。

二、软件组成

微型机控制系统的软件通常分为两大类:一类是系统软件,另一类是应用软件。

系统软件包括操作系统、监控程序、编译程序和故障诊断程序等。这类程序带有一定的通用性,一般由计算机生产厂家提供。

应用软件主要是用户根据要解决的问题而编写的各种程序。对于不同的被控对象和不同的控制任务,应用软件有很大的差别。在微型机控制系统中,应用程序和有关的硬件及系统软件相互配合,完成信息的获取、加工和传递任务。因此它直接影响整个控制系统的性能。

与一般的微型机相比,用于过程控制的微型机具有以下特点:

1. 高可靠性

因为生产过程的连续性,要求工业控制机的可靠性很高。国际上提出运转率为 99.95%,年平均停机时间为 4 小时。

2. 环境的适应性

多数工业控制机的工作条件比较恶劣,由于被控参数必须引入计算机,增加了抗干扰的困难。腐蚀性气体、灰尘、温度的变化等都会影响控制机的可靠性和使用寿命,在系统设计时必须考虑这些问题。

3. 控制的实时性

为了满足实时性要求,工业控制机必须配有实时时钟和完善的中断系统。

4. 适当的计算精度和运算速度

一般工业对象,对于精度和运算速度要求并不苛刻。但随着自动化程度的提高,对于精度和运算速度的要求也在不断提高。应根据具体的应用对象及应用方式,选取合适的机型。

5. 有较完善的过程通道

为了对生产过程进行控制,计算机必须经常不断地与工业对象交换信息,所以需要配置较完善的输入输出通道。

6. 有比较丰富的软件

为了使机器的操作简单、使用合理、控制性能高,工业控制机应配有实时操作系统和适合生产过程控制的应用程序等。

1.3.2 微型计算机在控制中的典型应用方式

工业用微型机控制系统,与它所控制的生产过程的复杂程序密切相关,不同的控制对象和不同的控制要求,应该有不同的控制方案。现从应用特点和控制目的出发,简述几种典型的应用方式。