

自动控制工程基础

高金源 主编



Z I DONG KONG ZHI
GONG CHENG JI CHU

中央广播电视大学出版社

自动控制工程基础

高金源 主编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字163号

自动控制工程基础

高金源 主编

中央广播电视大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

北京师范学院 印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张24.25 千字554

1992年2月第1版 1992年2月第1次印刷

印数1—8000

定价：9.20元

ISBN 7-304-00669-2/TP·34

前 言

自动控制作为技术发展的重要手段，在国民经济和国防事业的各个部门得到了广泛的应用。近年来，自动控制技术也开始广泛地用于机电一体化各项工程中，以实现各种机构和机械的良好控制。因此，“自动控制工程基础”课程必然成为机电工程专业学生应学习的必修课程。

本书是根据中央广播电视大学1989年12月制定的机电专业自动控制工程基础课程的73学时教学大纲编写的。全书重点介绍了自动控制工程中常用的经典线性控制原理中的基本内容。计算机控制是今后的发展方向，因此，书中对计算机控制系统的基本理论也作了概要的介绍。考虑到机电专业本课的教学目的，本书比较强调从物理概念上进行讲述，简化了数学推导，并给出了较多的例题。为了加强与控制工程实践的联系，全书各章的主要例题均以机电工程中的控制系统为例进行讨论，并在第五、六章分别结合机电工程中的调速系统及位置伺服系统的分析设计作了概要的讨论。书中各章附有较多的习题，以帮助巩固基础知识和训练解决问题的能力。

本书由北京航空航天大学高金源主编，第一章、第五章§5-8、第六章由高金源编写，第二章由中央广播电视大学牛振冬编写，第三、四、五章由天津广播电视大学夏国平编写。书中附录Ⅰ所述教学用的计算机辅助设计程序由北京航空航天大学王醒华提供。中央广播电视大学陈忠信、天津大学吕家元、田树苞、北京轻工建材学院孙虎章、湖南广播电视大学张学孚、四川广播电视大学简德华等对书稿进行了详细的审阅，并提出了许多宝贵的意见，在此，对他们的帮助表示衷心的感谢。

在编写过程中学习和汲取了国内部分教材的内容。

由于编者水平所限，书中难免存在错误和不妥之处，殷切期望读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 自动控制的一般概念	(1)
§ 1-1 自动控制实例	(1)
§ 1-2 自动控制系统的基本概念	(3)
§ 1-3 “自动控制工程基础课程”的基本任务	(9)
习题	(10)
第二章 控制系统的数学模型	(11)
§ 2-1 系统的微分方程描述	(11)
§ 2-2 拉氏变换及其应用	(21)
§ 2-3 传递函数	(35)
§ 2-4 动态结构图	(49)
§ 2-5 控制系统传递函数的求取	(60)
习题	(77)
第三章 控制系统的时域分析与根轨迹	(82)
§ 3-1 系统的时域性能描述	(82)
§ 3-2 系统稳定性分析	(87)
§ 3-3 一阶系统的动态分析	(94)
§ 3-4 二阶系统的动态分析	(99)
§ 3-5 稳态误差分析	(110)
§ 3-6 系统零、极点分布与阶跃响应的关系	(121)
§ 3-7 根轨迹	(126)
习题	(136)
第四章 控制系统的频域分析	(142)
§ 4-1 频率特性	(142)
§ 4-2 典型环节的频率特性	(147)
§ 4-3 系统开环对数频率特性曲线的绘制	(161)
§ 4-4 频域稳定判据与稳定性分析	(166)
§ 4-5 对数频率特性曲线与稳态误差	(177)
§ 4-6 对数频率特性与阶跃响应的关系	(183)
习题	(190)
第五章 控制系统的校正	(197)
§ 5-1 控制系统校正的概念	(197)

§ 5-2	串联校正的基本控制规律	(200)
§ 5-3	串联校正装置及其特性	(206)
§ 5-4	串联校正的理论设计	(213)
§ 5-5	反馈校正	(221)
§ 5-6	复合校正	(226)
§ 5-7	控制系统中的非线性效应	(231)
§ 5-8	控制系统设计举例——单回路直流调速系统设计	(237)
习题		(252)
第六章	计算机控制的基本知识	(261)
§ 6-1	计算机控制系统的基本特性	(261)
§ 6-2	z 变换	(272)
§ 6-3	离散系统的数学描述	(286)
§ 6-4	离散系统的时域分析及根轨迹	(303)
§ 6-5	离散系统的频域分析	(321)
§ 6-6	离散系统校正概述	(326)
§ 6-7	计算机控制系统的采样周期	(331)
§ 6-8	计算机控制系统设计举例	(336)
习题		(347)
附录 I	拉普拉斯变换和z变换表	(353)
附录 II	“自动控制工程基础”CAD软件说明书	(356)
附录 III	部分习题答案	(373)

第一章 自动控制的一般概念

§ 1-1 自动控制实例

什么是控制？什么是自动控制？为了说明这两个经常遇到的概念，首先让我们看看下面控制与自动控制的实例。

一、铣床的人工控制

在“机械零件”的加工生产过程中，常常需要利用铣床来铣削一定形状的模板。这时，工人就需要操纵或控制铣床，按画好的模线来铣削零件的毛胚。图 1-1 是工人操纵铣床的示意图。在加工过程中，工人不断地用眼睛观察铣刀的运动轨迹和模线之间的差距，并反映到大脑中，然后，大脑根据这个差异的大小及方向，产生一系列命令，通过手臂肌肉的运动，分别操纵X方向及Y方向的手柄，移动工作台及滑鞍，进行铣削，以减少这个差异。工人通过连续不断的操作，最终按模线把模板加工完成。这就是人工控制铣床

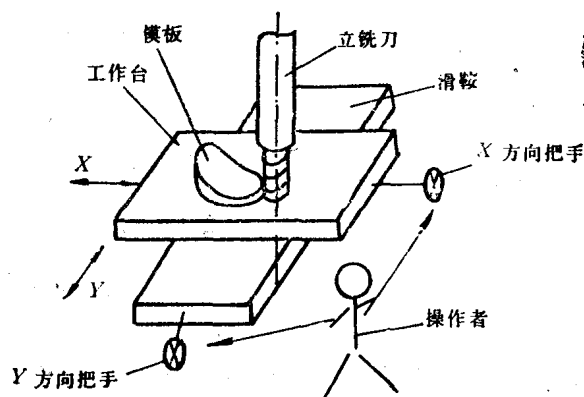


图1-1 操纵铣床铣削模板的示意图

床按要求加工机械零件的过程。仔细分析上述控制过程，可以看到，工人操纵或控制铣床的目的，就是控制铣床的工作台及滑鞍，以使它们按模线运动，保证加工出合格的产品。在这里，铣床的工作台及滑鞍是“被控对象”，操纵者的手臂是执行控制的机构，人的大脑接收由操纵者的眼睛所感觉的输入指令（即毛坯上的模线）以及毛坯实际的运动轨迹（体现在毛坯的形状上），大脑通过对这两个信号的分析、比较（实际上就是求得它们之间的差异）和判断，从而产生一定的控制指令，并命令手臂肌肉按规定的方向操纵手把运动，从而使毛坯的实际运动轨迹更接近画好的模线，最终完成零件的加工。在整个控制过程中，信号的流动如图1-2所示（为了简单，图中仅画出了X方向工作台控制过程中信号的流动）。

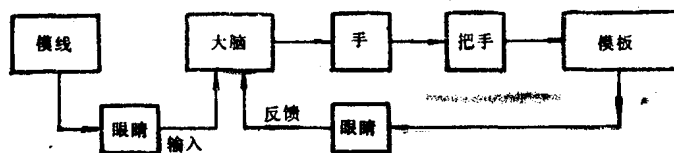


图1-2 控制铣床运动的信号流动过程

通过研究上述人工控制铣床切削的过程，我们可以进一步看到，所谓控制就是指“某个主体使其它对象按照一定的目的来动作”。在上例中，主体是铣床的操作者，对象则是铣床的工作台及滑鞍，“一定的目的”就是事先画好的模板。从上述控制过程中，我们还可以看到，控制的基本过程就是“测量偏差，纠正偏差”的过程，并且通过人的眼睛、大脑、手臂及机床构成了一个人-机闭合的控制系统。

二、机床进给系统的自动控制

在上述机械零件的加工中，如果要求加工的精度高，速度快，那么由人控制铣床的运动就很难实现了。这时就需要用一套“控制装置”来代替人工操纵，形成了机床进给系统的自动控制。图1-3表示的就是机床进给系统自动控制的示意图(这相当于上述铣床工作台进给运

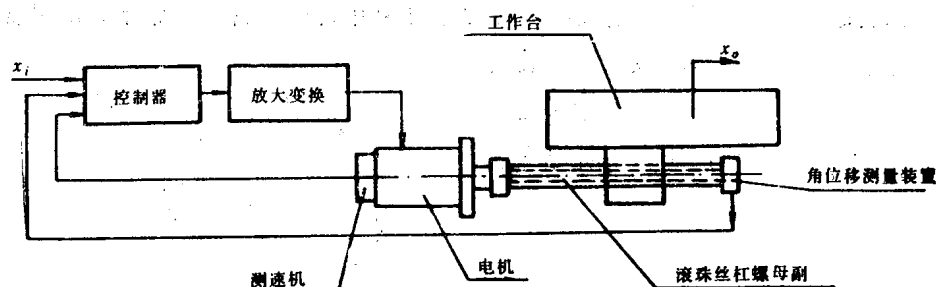


图1-3 机床台架的自动控制

动)。该系统是由工作台架、滚珠丝杠、螺母副及直流电机，角位移测量装置及控制器和信号的放大变换装置、测速电机等构成的。其中，直流电机是执行机构，它的作用类似于人工控制时的手臂。角位移测量装置类似于人的眼睛，将工作台的实际位置测量出来（这里用丝杠的转角代替工作台架的位移），并将其传送给控制器，控制器类似于人的大脑，它接收输入信号及工作台的实际位置信号，并根据两者的差异信号的大小及方向，产生控制指令去控制直流电机，驱动工作台架，以减少差异。直流电机上的测速电机是为了改善自动控制的性能而安装的。整个系统的工作情况是这样的：根据设计者的要求，确定工作台的运动规律，作为系统的输入信号 $x_i(t)$ ，控制器接收该信号后，与当时工作台的实际位置比较，求得其差值，控制器为了实现控制的目的，对该差值信号做些变换与处理（如放大等），并产生控制信号 $u(t)$ ，作用于直流电机上，使电机通过传动机构拖动工作台架向希望的方向运动。工作台架的实际位置 $x_o(t)$ 随时由角位置测量装置测得，并传送到控制器，与期望的位置 $x_i(t)$ 比较。在工作台架的运动过程中，装在直流电机上的测速机及时测出工作台架的运动速度，并将它反号送到控制器，修正控制指令，其目的是阻尼工作台架的运动，使其运动较为平稳。依上述分析，可以看到，在该机床工作台架的自动控制过程中，信号的流动及相互关系如图1-4所示。

比较上述两个系统，可以看到，自动控制与人工控制的基本原理是相同的，它们都是建立在“测量偏差，纠正偏差”的基础上，并且为了测量偏差，必须把系统的实际输出反馈送

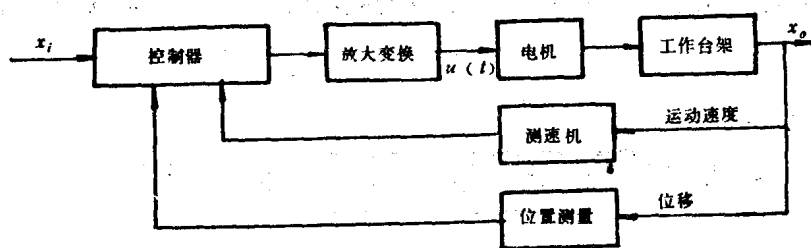


图1-4 机床台架的自动控制过程中信号流动

给控制器，并以反号形式与输入信号相加（故这种反馈称为负反馈），从而形成一种闭环控制模式。这两种控制的不同在于，自动控制时，上述控制过程是在没有人直接参与下，由控制装置完成的。这里，控制器代替了人脑，直流电机代替了人的手臂，角位移测量装置代替了人的眼睛。总之，用控制装置代替了人（实际上，控制装置包括了除工作台架外的其它部件），完成了对工作台架的控制。所以，**自动控制就是在没有人直接参与的情况下，利用控制装置使被控制对象自动地按预定规律运动的一种控制。**由被控对象及控制装置所构成的，能自动地按预定要求运行的整体，称为**自动控制系统**。此外，我们还可以看到，无论有人参与的控制系统还是无人参与的控制系统，控制系统的基本特征是，控制系统中各个组成部件之间存在着控制和信息联系，控制的目的是使被控对象的输出能按预定的规律运行，并达到预期的目标。

§ 1-2 自动控制系统的基本概念

一、自动控制系统的基本工作原理

由上面的实例可知，不论是人工控制还是自动控制，它们都具有以下的共同点：一是要检测出输出量；二是要把输出量与输入给定量进行比较，得出偏差；三是要用偏差产生控制指令，进而消除或减少偏差。在通常的自动控制系统里，该偏差是通过将输出量反馈到输入端，与输入给定值比较产生的，从而形成了信息的闭合回路。这种控制系统被称为**闭环反馈控制系统**。“**检测偏差，用以纠正偏差**”的原理，称为**反馈控制原理**。如果反馈信号的极性与输入信号的极性相反，这种反馈控制被称为**负反馈控制**；反之，如果反馈信号的极性与输入信号的极性相同，称为**正反馈**。显然，在自动控制系统里，一般应采用负反馈控制。因为只有这样，当系统输出量向某个方向偏离了给定值（例如，与给定值比较，输出量增大了）时，反馈后，与给定值比较才能产生负偏差，从而去控制输出量向减少偏差的方向移动，使输出量恢复到原给定值。如果在控制系统里简单地采用正反馈，那么，由于某种原因当输出与给定值比较增大了，由于它的极性与给定值是相同的，这时偏差不但不会减小，反而要增大，结果使输出量继续向增大的方向移动，最终使输出量超出了安全工作范围，破坏了系统的正常运行，使系统无法工作。所以，控制系统绝不能简单地采用正反馈。

通常，可以用图1-5所示框图来表示一个闭环控制系统，它反映了系统中信息传递的基本关系。

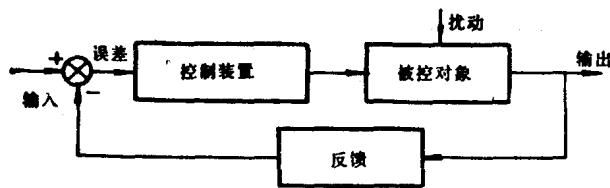


图1-5 闭环控制系统示意图

人们也许会问，控制一个被控对象运动是否都要采用闭环的控制方式？事实上，有很多控制采用的并不是闭环控制而是开环控制，也就是说，在这种控制方式中，并不把被控对象的输出量反馈到输入端与输入信号进行比较产生偏差去控制被控对象。应用开环控制的实例也很多，例如，图 1-6 所表示的程控线切割机进给系统就是一个典型的开环控制系统。在这里，输入信号 $x_i(t)$ 按事先计算好的规律变化，输入到系统后经过 控制器控制步进电机的转角，再经过一套传动机构驱动工作合作直线运动。系统中对工作台的实际位置 $x_o(t)$ 没有测量，更没有把它反馈到输入端与给定输入进行比较。这种系统只是单方向的按一定的规律实现控制，对每一个输入值便有一个相应的预定输出值。系统的实际输出值能否达到预定的数值，该系统并不予以理会。即或是由于各种原因（如齿轮磨损，传动关系变化）使实际的输出值没有达到预期值，系统也无法加以纠正。

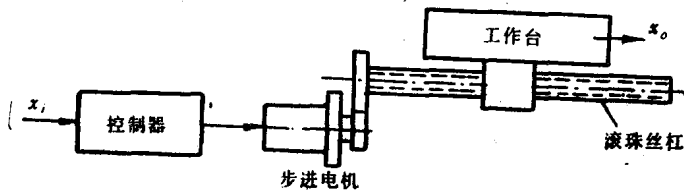


图1-6 程控机床进给系统的开环控制

图1-7表示了一个电机转速开环控制。在该系统里，一台直流电机（或交流电机）拖动一个需要恒速转动的负载（如车床上夹持工件的夹头）。电机两端的电压 U 由放大器提供，放大器的输入信号是电位计 R_w 的给定电压 u_r 。当负载的转速给定后，人们可以根据传动比

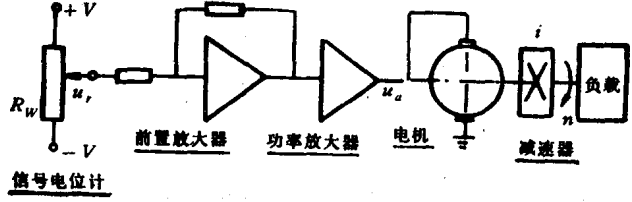


图1-7 电机转速开环控制系统

及电机特性, 确定需要加在电机两端的电压值, 然后再根据放大器的放大倍数确定需要加在放大器输入端的电压 u_r , 进而就可以决定电位计电刷所在的位置。

在该系统里, 放大器和电机构成了控制装置, 电机的负载是被控对象, 转速是系统的被控量, 由电位计上取得的电压 u_r 是控制量。负载的大小(如车床切削时切削量的大小), 在电机两端电压不变时, 将影响转速, 成为系统的干扰量。在该系统里, 对被控量——转速没有进行测量, 也没有反馈回来对控制量产生任何影响, 所以该系统是一个开环控制系统。

显然, 由于负载的变化, 负载转速不能保持恒定, 但系统无法自动提供一种修正作用。

开环控制系统通常可以用图 1-8 所示的方块图表示。

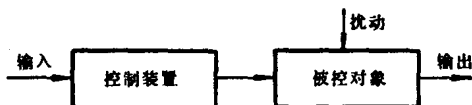


图1-8 开环控制系统示意图

纵观以上两种控制方式, 人们会问, 在实际工程中应采用哪种控制方式呢? 这两种控制方式各有优缺点, 应根据实际情况决定。

闭环控制系统突出的优点是, 采用反馈并靠偏差来控制, 因此, 当系统受到外界或内部变化的影响, 使被控量偏离给定值时, 系统能及时发现并自动纠正偏差, 使系统达到较高的控制精度。开环系统却相反, 由于没有反馈, 故不能及时发现并自动纠正偏差, 系统的精度难于保证, 系统受外界及内部参数变化的影响将使精度降低。

但是, 闭环系统也有缺点。与开环系统比较, 闭环系统的结构比较复杂, 建造较为困难。特别是, 由于它存在反馈信号, 偏差控制, 如果设计得不好, 将会使系统无法正常和稳定地工作。此外, 当系统的静态精度要求较高时, 精度与系统的稳定工作之间也常常存在矛盾。为什么会这样呢? 在以后各章节的学习中将会进行详细的分析。但为了使大家有一个初步的概念, 我们可以通过人驾驶汽车的过程做简要的说明。如果驾驶员不参与控制, 为了保持汽车在公路上按一定方向行驶, 只要使驾驶盘保持一定的位置就可以了。如果驾驶员参与控制的话, 当驾驶员发现汽车偏离了给定方向后, 他就要按偏离的大小及方向转动驾驶盘。在这里, 驾驶员就相当于闭环控制系统中的控制器。如果驾驶员的驾驶技术不高明(这相当于控制器的性能不好), 它根据观测到的偏差给出的驾驶盘的操纵量太大, 使汽车方向偏转过猛, 可能很快就冲过了原来的行驶方向, 如果此时驾驶员又很迟钝, 待他发现时, 汽车早已偏离了原来的方向, 结果他又会给驾驶盘一个很大的反方向偏转, 使汽车向另一个方向产生很大的转动, 如此循环下去, 其结果就造成了汽车在公路上来回摆动, 以至发生交通事故。造成这种现象的原因是, 驾驶员依偏差进行控制, 但又没有优质地按偏差进行控制的结果。

如果人们能预先知道输入量的规律, 又不存在外部及内部参数的变化, 则采用开环控制较好。但是, 如果对系统外部干扰无法预测, 系统内部参数也经常变化, 那么为了保持被控量的控制精度, 采用闭环控制的优点就显得特别突出了。如果对整个系统的性能要求比较高, 为了解决闭环控制精度与稳定工作之间的矛盾, 往往可以将开环控制与闭环控制结合起来, 即采用复合控制系统。复合控制系统的框图如图1-9所示。在开环控制器作用下, 被控量将依输入量作随从运动, 与此同时, 输出量反馈回来, 在闭环控制器中与输入量进行比

较。闭环控制的主要作用是提高输入量的随动精度。

本书主要研究闭环控制系统，即研究实现反馈控制的理论与方法。

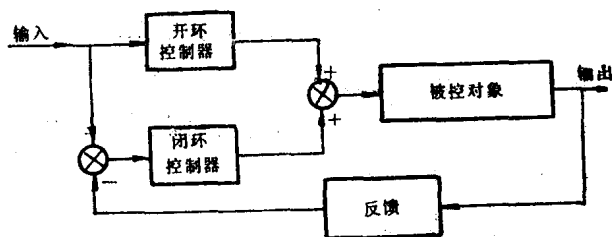


图1-9 复合控制系统示意图

二、自动控制系统的基本组成及术语

一个反馈控制系统，不管其实际结构如何复杂，系统的功能如何不同，系统的结构和组成，大体上都可以表示成如图1-10所示那样。

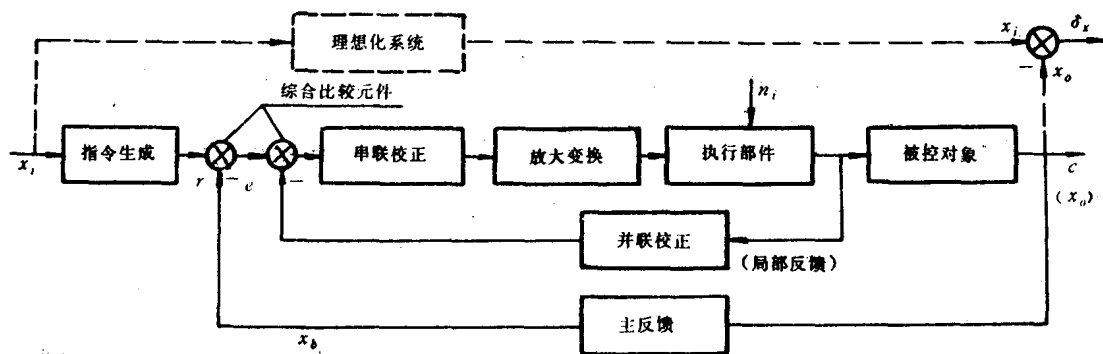


图1-10 反馈控制系统的典型功能方块图

被控对象 它是控制系统所控制和操纵的对象，例如图1-3中的机床工作台架。它的输出量即为系统的被控量。

执行部件 它根据输入信号的量值和方向对被控对象进行直接的操作，如上例中的直流电机。

放大变换部件 它将控制器输出信号放大并进行能量形式变换，使其在形式及幅值、功率上能满足执行元件的要求，如上例中的放大器等。

校正装置（控制器） 它是为了改善系统的控制性能而加入的。通常，它对误差信号或系统的输出信号进行一定形式的变换与处理，并产生必要的控制输出信号。校正部件又可分为串联校正装置及并联校正装置。如果校正装置接到系统信号的前向通道，则称其为串联校正装置；如果校正装置接成反馈形式，则称其为并联校正装置，又称为局部反馈校正。该例中的测速电机就是一种并联校正装置。

反馈部件 它用来测量被控量（输出量）的实际值，并经过信号处理，转换为与被控制量

有一定函数关系,且与控制输入信号具有同一种能量形式的信号。该例中的角位移测量装置(如电位计)就是一种典型的反馈部件。

比较部件 它用于对控制输入信号和反馈信号进行比较,得出偏差信号,即它是一个信号综合环节(可以进行信号相加与相减)。如上例中的综合运算放大器。

控制指令生成部件 它是根据控制指令产生控制输入信号的装置。如该例中的电位计。

最后应说明一点,上述有些部件,在具体实现时,可能是由一种具体的物理部件实现的,也就是说,在系统中的一个物理部件可能实现多种功能,例如,系统中常用的运算放大器,经常可能实现比较元件,放大元件及校正装置的作用。

下面,进一步介绍一下控制系统中常用的名词和术语(见图1-10)。

输入量 是指对系统输出量(被控量)有直接影响的外界输入量,包括控制输入量 x (给定值)及扰动输入量 n 两种。前者是指对系统输出量的预定要求(期望值),后者是指那些能使输出量偏离预定要求的干扰因素。

控制输入信号 r (给定信号,输入信号)它是指直接作用于系统比较元件上的输入信号。如系统没有指令生成部件时, $r = x$ 。

输出量(被控制量) x 是指由系统加以控制的被控对象的运动参数或状态的物理量。

输出信号 c 是指由反馈元件进行直接测量的输出量。但常将它与输出量混用。

反馈信号 x_0 是输出信号经过变换处理后再送到比较元件中的反馈量。在主反馈回路中,该量称为主反馈信号。如在局部反馈中,则称局部反馈信号。

误差信号(误差) e 它是控制输入信号与主反馈信号之差 $e = r - x_0$ 。

控制偏差 δx 它是系统被控制量与系统的理想值(即控制输入量)之差, $\delta x = x_1 - x_0$ 。系统理想值是理想化系统的输出,实际上并不存在,它只能以控制输入信号表示,并与其有一定的比例关系。应注意,误差与偏差是两个不同的概念,且用不同的物理量表示。

三、自动控制系统的分类

自动控制系统的种类很多,它们的结构性能和完成的任务也不同,因此分类方法很多。下面,仅从本课程研究方便出发,介绍两种分类方法。

1. 按系统输入信号的特征,通常可分为:

- **自动调节系统(又称恒值控制系统)**:这种系统的控制输入量为一恒值。控制系统的任务就是排除各种内外干扰因素的影响,维持被控量恒定不变。工业生产中的温度、压力、流量、液位等参数的控制以及各种调速系统都属此类。

- **伺服跟踪系统(又称随动系统)**:这种系统的控制输入量不是一个常值,而是一个事先难于确定的任意变化的量,要求系统能排除各种干扰因素,控制被控量迅速平稳地复现和跟随输入信号的变化。雷达天线的自动跟踪系统,高炮自动瞄准系统就是典型的随动系统。

- **程序控制系统**:这种系统的控制输入信号不是常值,也不是难以确定的任意值,而是事先可以确定的。这个确定的控制量变化规律可以预先编成程序并记录在程序的载体上(如磁带,凸轮,靠模等),并将其装在输入装置中。控制过程就是由程序载体按一定的时间顺序,发出指令,输入装置将其变成控制输入信号,通过控制系统的作用,使被控对象按照指定的

要求动作。工业生产中很多自动机床的控制系统就属此类系统。

2. 按控制器实现方式分类

目前,从控制器的实现方式上来看,控制系统基本可以分为两种:连续模拟式控制系统及计算机控制系统。

• **连续模拟式控制系统:**如本章 § 1-1 里所列举的车床进给控制系统就是这种系统。在这种系统里,控制器是由模拟部件(如模拟电子部件)实现的。此外,系统中的被控对象及其它控制部件(如执行部件等)的行为都是随时间连续变化的,所以,在这种系统里,所有部件的信号都是随时间连续变化的,信号的大小也都是可以任意取值的模拟量(如电压、电流、温度、位移等)。

• **计算机控制系统:**在上述车床进给控制系统里,如将控制器用计算机来实现,那么,这种系统就是计算机控制系统。在这种系统里,一般说被控对象的行为是随时间连续变化的。控制装置中的执行部件也常常是模拟式的,但控制器是由计算机来实现的,也就是说,系统中对信号的处理及控制指令的产生等都是在计算机中通过数值计算来完成的。由于计算机只能接收二进制的数字量以及它是串行分时工作的,所以,为了把输入量及被控对象的连续变化的模拟量送入计算机,在系统中就必须加入必要的信号变换器 A/D (模/数变换器)。同时,为了把计算机计算所求得的数字信号输出,控制执行部件,在系统里还要加入 D/A 变换器(数/模变换器)。典型的计算机控制系统结构框图如图 1-11 所示。众所周知,数字计算机具有很多的特点,它直接参与控制,使计算机控制系统比连续模拟控制系统具有许多可贵的优点(如性能/价格比较高,灵活性及适应性强,能快速完成复杂控制规律的计算,容易实现智能控制等),因此,计算机控制系统将是今后控制系统的主要发展方向。

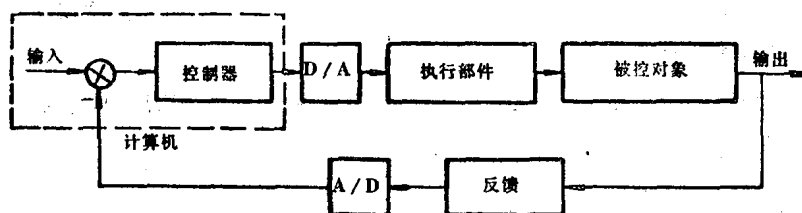


图1-11 计算机控制系统的典型结构图

本书在后续各章中,将重点讨论连续模拟式控制系统的有关问题,在第六章将简要地介绍有关计算机控制系统的基本问题。

自动控制系统还可以按系统的其它特征分类,分类方法较多。对其它分类方法,本书将不予讨论介绍。

§ 1-3 自动控制工程基础课程的基本任务

本课程的主要内容是阐述构成、分析和设计自动控制系统的基本理论。但是,这门课程研究问题的基本方法不是针对某一个或某一种具体的控制系统,而是从物理模型出发,从信息的观点,抽象出控制系统的共性,建立研究问题的数学模型,进而利用所建立的数学模型来讨论构成、分析、综合自动控制系统的基本理论和方法。

如果控制系统是已知的,研究该系统是否能满足工程上所提出的各种性能要求,这类问题称为系统分析。本门课程将要详细介绍分析系统性能的一些常用的基本方法。

如果已知工程上对控制系统性能的某些要求,寻求合理的设计方案,这类问题一般称为系统综合。通常,自动控制工程基础课程也要详细讨论控制系统的各种基本综合方法。限于学时,本书只能简要概述有关系统综合的问题。

“自动控制工程基础”是一门技术基础学科,它是以数学分析、物理学及电工学、电子学为基础的学科,同时,它又是与工程实际应用紧密结合的。尽管它是以数学模型为出发点进行研究的,但这些数学模型都是有真实的工程背景并和工程实践紧密相连的。通过本课程的学习将为今后专业课程的学习奠定良好的基础。作为机电一体化专业的学生,学习本课程的基本目的是,把它作为一种工具和手段,解决机电一体化工程中有关控制的实际问题。特别要强调的,在现今机电一体化工程中,有关机械方面的基础是较好的,但有关自动控制方面的基础相对是薄弱的,因此,就应更加注意和强调自动控制的应用问题。

小 结

1. 自动控制是在没有人直接参与的情况下,利用控制装置使被控对象自动地按预定规律运动的一种控制。由被控对象及控制装置构成的整体称为自动控制系统。

2. 自动控制可以采用开环控制、闭环控制及复合控制。目前,基本的控制方式是闭环控制。闭环控制的基本原理是“测量偏差,纠正偏差”。为了测量偏差,就必须将输出量(被控量)反馈,并与输入量进行比较,从而形成闭环负反馈控制系统。开环控制简单,稳定性好,但无法补偿各种扰动;闭环控制可以依反馈自动补偿各种扰动的影响,提高系统的精度,但系统复杂,且不易保证系统稳定。复合控制兼有两者的优点。

3. 通常,自动控制系统按功能分类,可分为调节系统,伺服系统及程序控制系统。如按构成方式分类,又可分为连续模拟控制系统及计算机控制系统。计算机控制系统是今后的发展方向。

4. 一个自动控制系统,通常是由下述各部件组成的,被控对象、执行部件、放大变换部件、控制器、反馈部件及综合比较部件等。

5. 自动控制工程基础课程主要是阐述构成、分析和设计自动控制系统的基本理论。它是以系统的数学模型为基础进行研究的。

习 题

1-1 试列举 2 ~ 3 个日常生活中的开环控制及闭环控制系统，画出其示意图，说明其工作原理。

1-2 液体水位高度控制系统如图 1-12 所示。

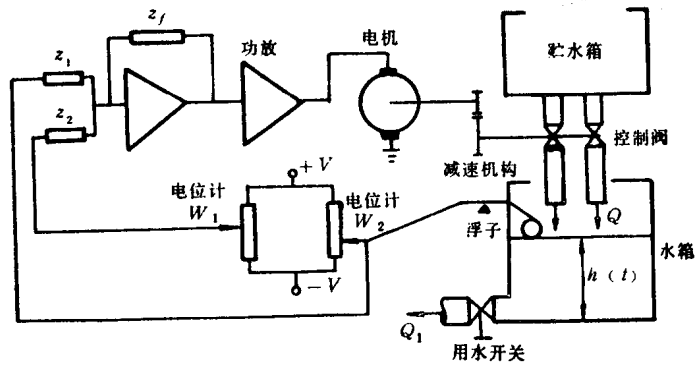


图 1-12 题 1-2 自动控制系统

- (1) 试说明系统的工作原理；
- (2) 画出系统的结构图，并标明各变量及部件的名称。

1-3 什么是负反馈控制原理？习题 1-2 中的系统是如何实现负反馈的？负反馈有何优缺点？

第二章 控制系统的数学模型

数学模型在本学科既是重要的基本概念,也体现学科的研究方法,因而是重要内容。

本课程的研究对象是控制系统,而控制系统的类型是多种多样的。生产设备、交通运输工具、武器及宇航体,乃至生态、环境等,都包含有形形色色的控制系统。控制的具体对象可以是机床、加热炉、反应釜,也可以是车辆、船舶、飞行器等。被控制的变量可以是机器的运转速度,生产过程中物质的温度、湿度、成份,也可以是飞机、导弹、船舶的航向、速度和加速度等。总之,控制系统存在于各个不同的领域,被控制的变量可以具有不同的物理属性,例如有机械的、电气的、热力的、化工的和生物的等等。不同物理系统的变量变化规律在数学上有惊人的相似性,就是说,如果列出许多不同物理属性系统的数学表达式(例如微分方程式),这些数学表达式中会存在对应相似的情况。例如充电电容经闭合回路放电与热物体的自然冷却都遵从衰减规律,可以用相同形式的微分方程描述。因此,在研究工作的一定阶段,人们可以抛开系统的物理属性,只对数学表达式进行研究,研究所得结论适用于具有不同物理属性的各类系统。所以,本课程对系统进行理论研究时,是首先研究由具体系统抽象出的系统数学表达式,这种数学表达式就是数学模型。

数学模型的定义

描述系统输出、输入变量及内部各变量之间相互关系的数学表达式,称为系统的数学模型。

描述系统各变量动态关系的数学模型称为动态模型,常用的动态数学模型有微分方程、差分方程、传递函数、脉冲传递函数和动态结构图等。

在具体控制系统的分析和设计中,建立系统数学模型是一件至关重要的工作。通常的建模方法有两种,即解析法和实验法。解析法建模是根据实际系统各环节变量的物理变化规律,列出描写这些变化规律的数学表达式,经过整理,建立起相应的数学模型。在许多情况下,实际的系统和部件结构比较复杂,加上变量之间存在非线性关系,难于用解析法建立数学模型,因而多用实验法建模。这里只讨论建立数学模型的解析法。

§ 2-1 系统的微分方程描述

一、连续系统微分方程的列写

前面已谈到,微分方程可以作为数学模型用于控制系统的研究。而要利用微分方程分析研究控制系统,首先要会列写被研究系统的微分方程。一个完整的控制系统通常由若干元、部件组成,难于直接列出系统的输出与输入之间微分方程,但对每个具体的元、部件,按照其运动规律,可以比较容易地列出其微分方程,然后将这些方程联立起来,经过处理,可