第一章　　自动控制理论的基础知识

第一节　自动控制技术及其应用

一、概述

“控制”是一个具有广泛意义的概念。它可以指人与人的关系，也可以指其它方面的关系。当指人与机关系时，指的是人对于机器或设备的控制。为使某种机器或设备处于希望的状态而对其进行的操作，称为控制。例如，驾驶汽车，使之沿着预定的路线达到目的地所进行操作,就是控制。

当这个概念仅仅涉及机器或设备时，控制由机器或设备自动完成，这就是自动控制。自动控制技术广泛地应用于工农业生产、交通运输、国防和宇航等各个领域。

在现代生活的所有方面，自动控制发挥着重要的作用。而且，随着生产和科学技术的发展，自动控制技术所起的作用愈来愈重要，自动化的水平也越来越高。

从宇宙飞船、导弹制导和飞机驾驶，到机器制造或工业生产过程，自动控制系统是极其重要而不可缺少的组成部分。例如在化工生产过程中,对压力、温度、流量、液位和成分的控制;在机器制造工业中,机器零件的加工、处理和装配的自动控制;跟踪雷达和指挥仪组成的系统使火炮自动地瞄准目标；无人驾驶飞机按预定航速自动飞行和降落；人造卫星在预定轨道上运行并准确回收等等。而且，自动控制还将日益渗透到我们日常生活之中。

自动控制系统中,使用着各种类型的元件,如机械的、电的、电子的、液动的和气动的元件等。从事自动控制工作的人员必须熟悉这些器件的原理和特性。特别是，必须熟悉控制对象的特性。

自动控制是一个使用很多数学方法的边缘学科。它从很多领域吸取知识。它的研究有利于把很多已经分别进行研究的学科联系到一起，并把它们应用于同一问题之中。现代所有技术发达国家，在生产技术发展过程中都非常重视自动控制理论的教育，使工程技术人员和技术工人掌握判别系统是否稳定和变更某些参数以改善系统性能的分析和综合方法。同样，自动控制理论和自动控制技术对我国科学技术和生产发展正愈来愈显示出其重要性和巨大潜力。

二、自动控制理论

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学。它的发展初期是以反馈理论为基础的自动调节原理，随着生产和科学的进步，现已发展为一门独立的学科——控制论。它包括工程控制论、生物控制论和经济控制论。工程控制论主要研究自动控制系统的信息变换和传递的一般理论及其在工程设计中的应用。而自动控制原理仅仅是工程控制论的一个分支，它只研究控制系统分析和设计的一般理论。根据自控技术发展的不同阶段，自控原理又

需要全本请访问 www.ertongbook.com

相应分为‘经典控制理论’和‘现代控制理论’两大部分。经典控制理论主要是研究单输入－单输出线性定常系统的分析和设计问题，在工程实践中得到了成功的应用。而现代控制理论则主要是研究高性能、高精度的多输入一多输出变参数系统的分析和设计问题。如：最优控制、自适应控制、最优滤波等等。

三、自动控制的发展

我们中华民族的祖先发明的指南针，就是自动控制的萌芽和应用。

一般认为，第一个工业上应用的自动控制系统，是瓦特 1788 年发明的用在蒸汽机上的调速器。人们曾经试图改善调速器的准确性，然而准确性改善的副产物却是不稳定。其特征是系统在规定的工作状态上下振荡。对于反馈系统稳定性的研究，代表了自动控制理论的早期发展。

随着自动控制理论和实践的不断发展，给人们提供了获得动态系统最佳性能的方法。自动控制的采用，可以提高产品质量，降低生产成本，提高劳动生产率，保护工人的身体健康（在一些危险的或者有毒的工作环境代替人工操作）。同时，它还能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。

第二节　自动控制和自动控制系统的基本概念

什么是自动控制？为了说明这个概念，首先让我们举例分析一个人工控制过程，因为很多自动控制方法的实现，都是受人工控制启发而得到的。

一、电炉炉温的人工控制

机电工业中常用的原材料——硅钢片在热处理过程中需要 10 小时连续保持恒温 680 ±5℃ 后，才能达到预期的性能。这就需要对电炉的温度进行控制。设有一个电炉（见图 1－1），用调压器对电炉供电，使其温度升高到 680℃，并保持不变。人工控制过程：①用眼睛观察温度计，测出炉温指示值；②用大脑将指示值与规定的温度 680℃ 比较，是高了还是低了，并算出两者的差值；③最后用手执行大脑的命令：若炉温指示值偏高，就朝着减小加热电流的方向转动调压器手柄，使炉温降低；若炉温指示值偏低，就朝着加大加热电流

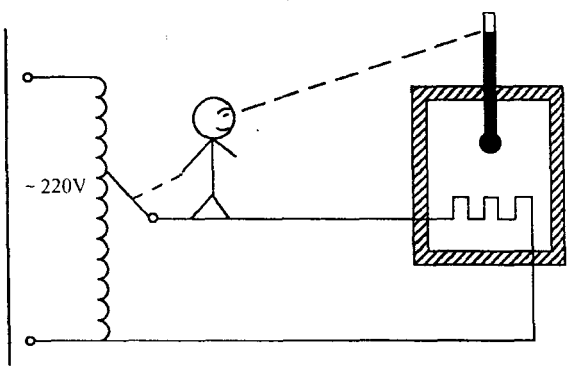


图 1－1　电炉炉温人工控制系统

的方向转动调压器手柄，使炉温上升。直到炉温回到 680 ± 5℃范围为止。人工控制过程就是通过眼、脑、手三个器官，分别担负检测、比较判断和执行三个作用来完成的。如图 1－2 所示。

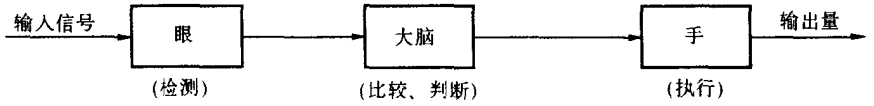


图 1－2　电炉炉温人工控制方块图

二、电炉炉温的自动控制

图 1－3 是一个炉温自动控制系统，电炉称为被控对象，其余部分统称为控制装置，控制装置包括三个部分。第一部分热电偶完成测量炉温，并把炉温转换为相应电压 u_2 的任务，称为测量元件。测量元件相当于人的眼睛。第二部分控制器是由比较线路和放大器构成。比较线路中给定电压信号 u_1 与炉温的希望值 680℃相对应，并接受测量元件的电压信号 u_2，将 u_2 与 u_1 相比较得到电压差 $\Delta u=u_1-u_2$，Δu 叫做偏差信号，只要 $\Delta u\neq0$ 就意味着炉温偏离了希望值。Δu 经过放大器放大后可驱动执行电机。控制器的作用相当于人的大脑。第三部分执行电机称为执行元件，它相当于人的手。

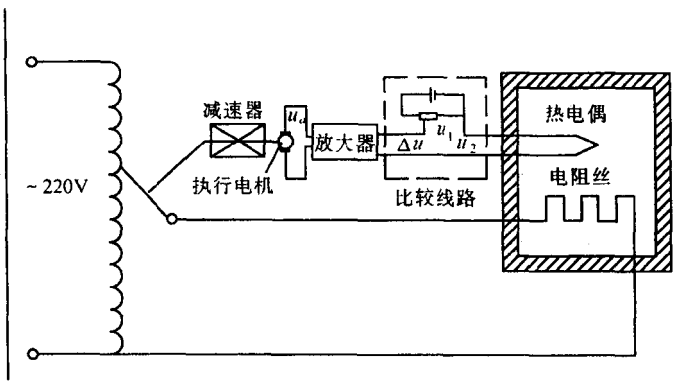


图 1－3　电炉炉温自动控制系统

现在分析一下具体的控制过程。若炉温 T 高于要求的炉温 $T_0=680$℃，即 $T>T_0$，则有 $u_1<u_2$，得偏差信号 $\Delta u=u_1-u_2<0$，偏差信号 Δu 经放大后将控制直流电动机产生角位移，并通过减速器带动调压器手柄向减小加热电流的方向转动，使炉温 T 及电压信号 u_2 下降，进而使偏差信号 Δu 及放大器输送信号 u_a 下降。直到 $u_1=u_2$，偏差信号 $\Delta u=0$，$u_a=0$ 时，电动机停止转动，电炉的温度恢复到要求的数值，从而完成一个控制过程。

炉温自动控制系统的控制过程可用图 1－4 所示方块图表示。图 1－3 中的比较线路由比较元件符号⊗表示，负号表示两信号相减，一般地说，比较元件的输出信号等于各输入信号的代数和。要求的炉温值 T 称为希望值。炉温 T 称为被控量。图 1－4 中测量元件、

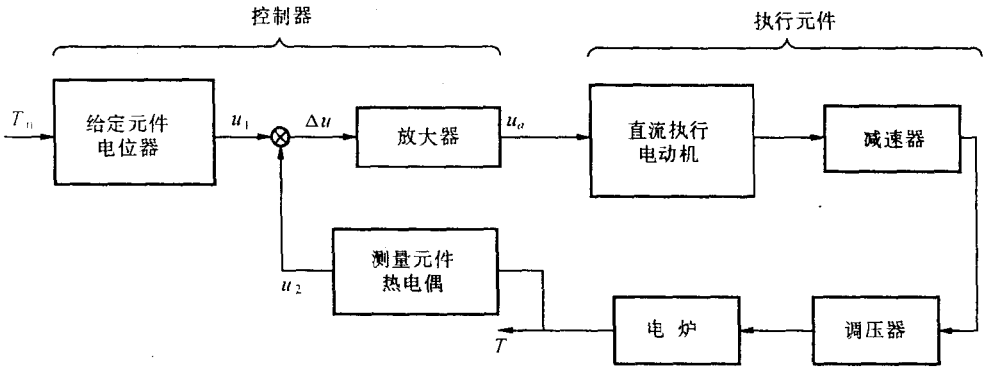


图 1－4　炉温自动控制系统方框图

控制器、执行元件统称为控制装置。电炉称为控制对象。这样就可表示为图 1－5 系统。

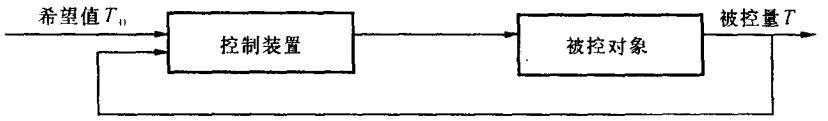


图 1－5

从上看出，测量元件代替了人的眼睛，控制器代替了人的大脑，执行元件代替人手。总之,用控制装置代替了人,完成了被控对象——电炉的控制。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对象(如机器、设备的生产过程)的某种被控量(如：工作状态）自动地按预先规定的规律运行或变化。自动控制系统就是指能够对被控制对象的工作状态进行自动控制的系统。它是由控制装置和被控制对象所组成。控制装置是指对被控制对象起控制作用的设备总体。例如：对位移、速度、压力等物理量进行变换和放大的设备；操纵飞机舵面偏转的舵机等等。

第三节　开环控制与闭环控制

自动控制系统有各种各样具体形式和分类，若根据有无反馈信号作用的原则分类，可分为开环控制与闭环控制两类。关于反馈信号的作用在图 1－4 炉温自动控制系统中就存在，其情况是 电压 u_2 是反馈信号,它与电压 u_1 进行比较后，产生电压偏差信号 Δu ,从而产生一系列控制作用。所以图 1－4 是闭环控制。

一、开环控制系统

如果系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路，输出量对系统的控制作用没有影响，这样的系统称为开环控制系统。图 1－1 不考虑人的控制作用,其方块图如图 1－6,该系统显然没有反馈信号,不存在反馈回路,所以该系统为开环控制系统。也就是说,开环控制是

指控制装置与被控对象之间只有顺向作用，而没有反向联系的控制过程。开环控制系统的抗干扰性能很差,例如炉门的开闭次数变化、外界环境温度变化、电源电压的波动都能使被控量(或称输出量)偏离希望值。使被控量偏离希望值的因素统称为干扰。

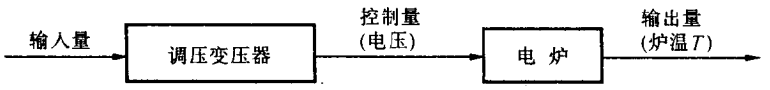


图 1－6　开环控制系统

图 1－7 所示电机转速控制系统也是开环控制系统。当给定电压改变时，电机转速也跟着变化，但这个控制经受不住负载力矩改变时对转速的影响。

开环控制系统的控制方式如图 1－7(c）所示。其特点是信号流通是单方向的，输出端对输入端无反馈作用。优点是系统装置简单、成本低廉、工作稳定。因此，当系统的输入信号及扰动作用能预先知道时，应采用开环控制并可取得满意的效果。缺点是抗干扰性能差，控制精度低，不能自动修正被控制量的偏离。为了说明以上问题，现详细分析负载力矩改变等干扰对转速的影响，根据 u_g 和 n 的对应关系，$u_g = u_{g1}$ 时，$n = n_1$。如果出现干扰(例如负载力矩改变），将引起转速变化，出现误差。但该开环系统由于无测量转速的设备，即无测量元件，也就是没有测量元件输出的反馈信号，当然也就不能产生按偏差的控制作用来调节转速。这时实际转速不等于 n_1,即 u_{g1} 和 n_1 的对应关系在有干扰情况下是不精确的。

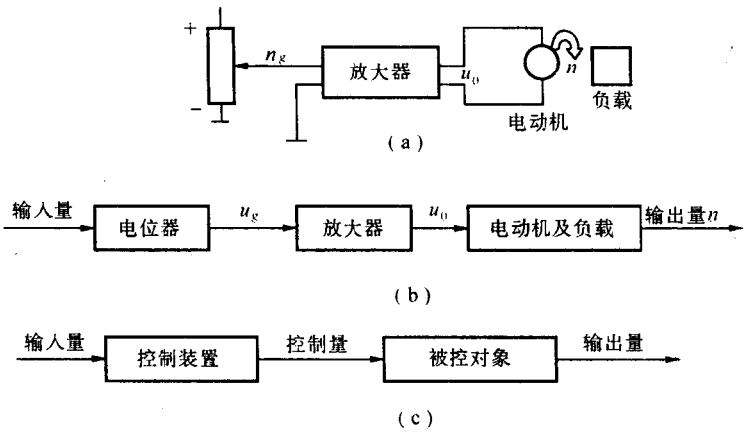


图 1－7

综上所述，开环控制的特点是控制装置只按照给定的输入信号对被控对象进行单向的控制,而不对被控制量进行测量并反向影响作用,所以,开环控制系统是不会修正由于干扰而引起的偏差。通常,在开环控制中,对于系统的每一个输入信号,必须有一个固定的工作状态和一个系统输出量与之相对应。例如前面讲的炉温控制，在一定时间间隔就对应于电阻丝的一个通电和断电状态以及相应的炉温值。这种对应关系调整越准确，元件的参数及性能变动越小,开环系统的工作精度就越高。但是,由于开环控制抗干扰能力差,它的使用仍具有一定的局限性。

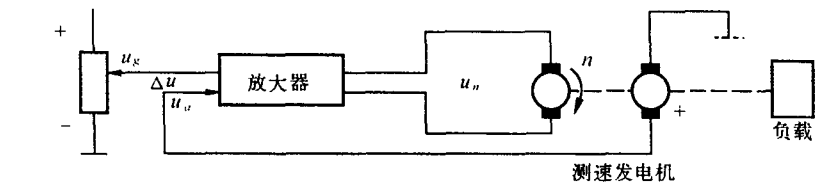
需要全本请访问 www.ertongbook.com

二、闭环控制系统

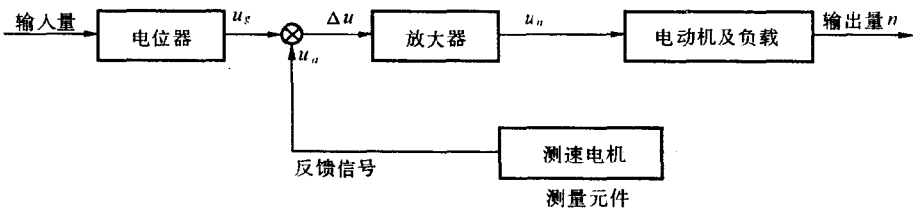
闭环控制是指控制装置与被控对象之间既有顺向作用又有反向联系的控制过程，也是工程自动控制的基本原理。现在，先介绍反馈和偏差这个术语的含义。把系统的输出量送回到输入端,以增强或减弱输入信号的效应称为反馈。凡使输入信号增强者称为正反馈,使输入信号减弱者称为负反馈。闭环控制系统则是和负反馈紧紧地联系在一起的。

在闭环控制系统中必须对输出量进行测量并反馈到输入端。这个负反馈信号与输入信号进行比较,产生输入信号与反馈信号的差值,叫做偏差信号。偏差信号通过控制器产生控制作用,应能减小系统的偏差,使系统的输出量趋于所希望的值。

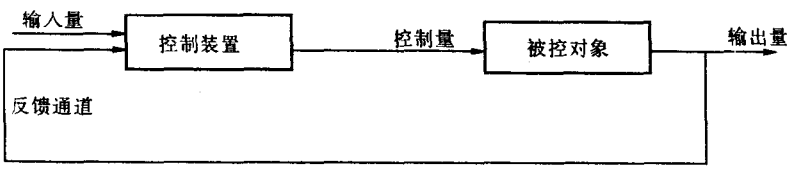
在图 1－7 开环系统基础上组成直流电动机转速的闭环控制系统如图 1－8 所示。图 1－8 系统中,输出量是转速 n,输入信号是电压 u_g，转速和电压是不同的物理量。作为测量元件的测速发电机，能将转速变换成电压($u_n = R_n$, R 是常数),并反馈到输人端和输人信号电压 u_g 相减后得到偏差 Δu,即 $\Delta u = u_g - u_n$。偏差电压 Δu 经放大器放大为控制电压 u_a 去调节电动机转速。系统的工作过程如下：假设系统已调整好，当 $u_g = u_{g1}$时，$n = n_1$。一旦扰动作用引起转速变化,例如转速小于 n_1,测速发电机输出电压 u_n 降低,偏差电压 $\Delta u = u_g - u_n$ 相应增大,使 u_a 增大,转速上升。反之,当转速大于 n_1,Δu 减小，u_a 也相应减小，转速下降。这种由反馈构成闭环,按偏差产生控制作用的系统,任何因素引起转速的变化都



(a)



(b)



(c)

图 1－8

将引起自动调节转速的过程，以减小或消除偏差，获得较高控制精度。

闭环控制系统的控制方式如图 1－8(c)所示。其特点是信号流通是闭环形的，输出端对输入端存在反馈通道，从而使闭环具有以下三个重要机能：①测量输出量；②将测量输出量所得反馈信号与输入信号进行比较，得到偏差；③根据偏差对输出量进行调节，使输出量趋于所希望的值，偏差随之减小或消除。以上闭环控制过程可概括为“检测偏差，纠正偏差”的过程。所以闭环控制的实质是按偏差控制。因为有反馈才有偏差和控制，闭环控制又叫反馈控制。

下面将说明只有负反馈才能使闭环系统正常工作的问题。如果反馈信号的极性与输入信号的极性相反，称为负反馈 反之，如果反馈信号的极性与输入信号的极性相同，则称为正反馈。只有负反馈才能使闭环系统正常工作。若系统采用了负反馈，当系统输出量偏离了希望值时，反馈后与输入信号比较(两者相减)产生偏差，从而去控制输出量向减小偏差方向移动，使输出量恢复到希望值。如果系统采用了正反馈，例如某种原因使输出量比希望值增大了，由于正反馈信号的极性与输入信号的极性是相同的，正反馈后与输入信号不能比较(两者不能相减)，而是叠加(两者相加)后使偏差增大，输出量继续向增大的方向移动，最终使输出量超出安全工作范围，破坏了系统的正常工作。

闭环控制系统的优点是具有自动修正输出量偏差的能力，抗干扰性能好，控制精度较高。缺点是结构较复杂，更主要的是由于组成闭环系统的各环节存在惯性，传动链有间隙等因素，如果系统结构和参数选配不当，反馈将引起系统振荡，造成系统不能稳定工作。因此闭环控制系统存在稳定性问题，增加了系统分析的复杂性。

三、复合控制系统

复合控制是指开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式。它就是在开环控制回路的基础上，附加一个输入信号或扰动作用的顺馈通路，来提高系统的控制精度。目前，在许多平台随动系统、火炮随动系统、雷达站随动系统以及飞机自动驾驶仪系统中，都广泛使用复合控制线路。

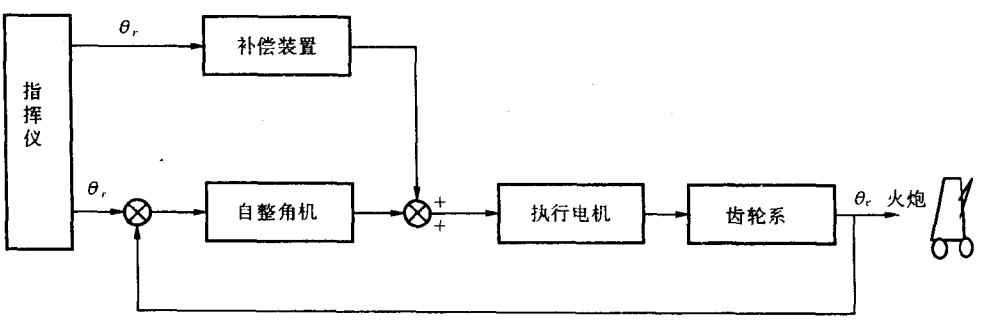
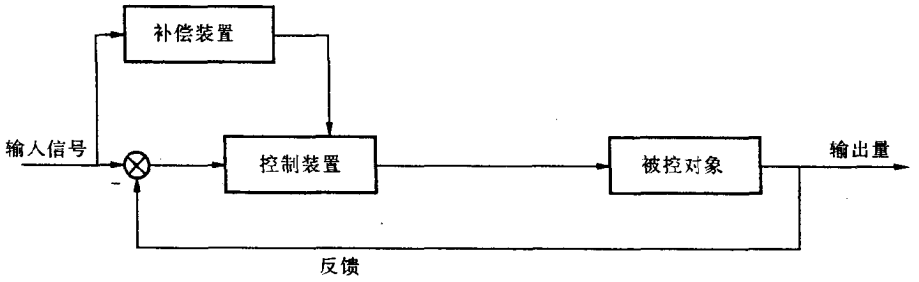


图 1－9　火炮控制系统原理方块图

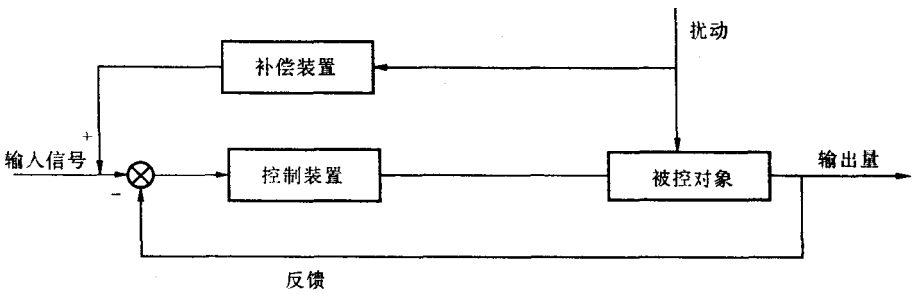
图 1－9 是按输入信号补偿的复合控制系统。当火炮射击时，要求炮身方位角 θ_c 与指挥仪给定的方位角 θ_r 一致，为了保证炮身能准确跟随高速飞行的目标，提高跟踪精度，就将指挥仪引出的方位角信号 θ_r 通过补偿装置形成顺馈控制信号，这就能使炮身按照指挥仪的方位角信号以及要求的角速度准确跟踪目标。

复合控制系统的顺馈通路通常由对输入信号的补偿装置或对扰动作用的补偿装置组成，它们分别称为按输入信号补偿以及按扰动作用补偿的复合控制系统。

按输入信号补偿就是提供一个输入信号的微分作用，作为顺馈控制信号，与原输入信号一起对被控对象进行控制，以提高系统的跟踪精度。按扰动作用补偿就是在扰动对系统影响之前，提供一个控制作用，以抵消扰动对系统输出的影响。由于顺馈通路的引入，大大地提高了系统的控制精度。因此，复合控制系统得到了广泛的应用。



（a）按输入信号补偿



（b）按扰动作用补偿

图 1－10　复合控制系统方块图

第四节　自动控制系统的基本类型

一、自动控制系统的基本类型

1.恒值控制系统

恒值控制系统又称为自动调节系统。例如恒速、恒温、恒压、恒流等自动控制系统。它们的输入信号为恒定的常量。系统的基本任务是在存在扰动的情况下，使输出量保持在给定的希望值上。其主要特征是给定量不变。

图 1－3 炉温控制系统和图 1－8 转速控制系统均为定值调节系统。但两者还有如下差别：图 1－3 炉温控制系统处于平衡状态时偏差电压 $\Delta u_0=0$，而图 1－8 转速控制系统处于平衡状态时偏差电压 $\Delta u_0\neq 0$，这时 $n=n_0$、$u_a=u_{a0}$、$u_g=u_{g0}$、$u_n=u_{n0}$、$\Delta u_0=u_{g0}-u_{n0}$。

前者称为无差系统，后者称为有差系统。下面介绍的图 1－11 系统是有差恒值调节系统的例子。

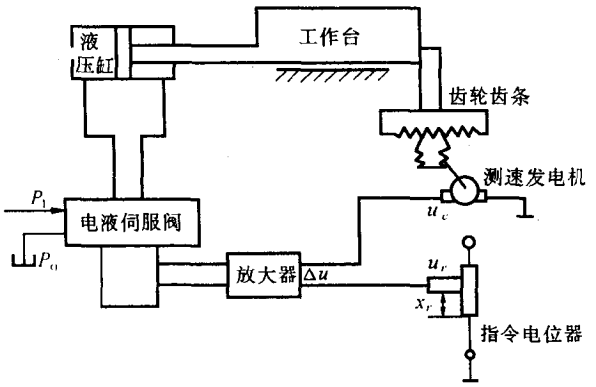


图 1－11　工作台速度控制系统图

图 1－11所示工作台速度控制系统。该系统由指令电位器、放大器、电液伺服阀、液压缸、工作台、齿轮齿条、测速发电机组成，其功能是控制工作台速度为某一恒值。

图 1－11 所示系统中，电液伺服阀输出油液流量的大小和液流方向分别由电液伺服阀的输入电流的大小和方向决定。改变电液伺服阀输入电流的大小和方向，便可改变工作台运动速度和方向。工作台运动速度由测速装置(该装置由齿条、齿轮和测速发电机组成，测速发电机的输出电压与输入转速成正比)，检测并转换为电压 u_c，u_c 与给定电压 u_r 比较，其偏差电压为 $\Delta u = u_r - u_c$。

当工作台运动速度为给定转速 V_0 时，测速发电机输出电压为 u_{c0}，此时偏差电压为 $\Delta u_0 = u_r - u_{c0}$，放大器输出电流为 i_0，电一液伺服阀输出流量为 Q_0，该流量是保持工作台运动速度 V_0 所必需的。此时系统的工作状态为平衡工作状态。在系统工作过程中，如果由于负载、油温或其它因素变化引起速度波动，则 $u_c \neq u_{c0}$。若工作台运动速度 V 大于给定速度 V_0，则 $u_c > u_{c0}$，因而 $\Delta u = u_r - u_c < \Delta u_0$，于是放大器输出电流 i 减小，从而使电一液伺服阀输出油液流量减小，工作台运动速度 V 下降，当工作台运动速度 V 等于给定速度 V_0 时，系统恢复平衡工作状态，反之，如果某因素使工作台速度下降小于给定速度 V_0 时，则 $u_c < u_{c0}$，因而 $\Delta u = u_r - u_c > \Delta u_0$，于是放大器输出电流加大，工作台运动速度上升，直至达到 V_0，系统恢复平衡状态。该系统方块图如图 1－12 所示。

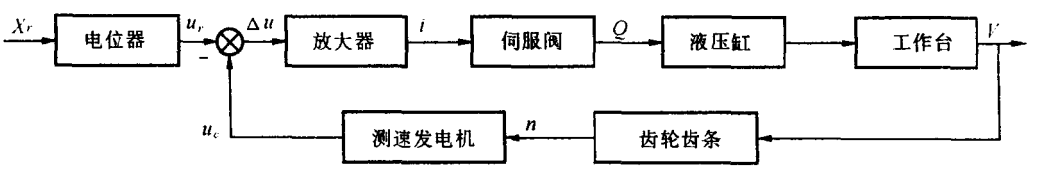


图 1－12　工作台速度控制方块图

2. 随动系统（也称自动跟踪系统）

随动系统的输入信号是一个随时间任意变化的函数(事先无法预测其变化规律),系统的任务是在存在扰动的情况下，保证输出量以一定的精度跟随输入信号的变化而变化。在这种系统中,输出量通常是机械位移、速度或加速度。随动系统中,给定量变化是任意的,则称为自动跟踪系统,或伺服系统 若给定量按一定的时间函数变化,则常称为程序控制系统,如 程控机床等等。

随动系统在工业、交通和国防等部门有着极为广泛的应用,如机床的自动控制、舰船的操舵系统、火炮控制系统及雷达导航系统等。下面首先介绍机床工作台随动系统的例子。

图 1－13 所示为工作台位置控制系统。该系统由指令电位器、反馈电位器、放大器、伺服电机、齿轮减速器、滚珠丝杆及工作台组成，其功用是控制工作台位置按指令电位器给出的规律变化。

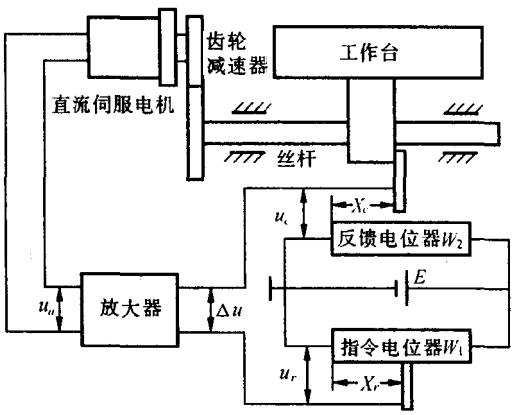


图 1－13　工作台位置控制系统图

通过指令电位器的滑动触点给出工作台的位置指令 X_r，并转换为控制电压 u_r。被控制工作台的位移 X_c 由反馈电位器检测，并转换为反馈电压 u_c。两电位器接成桥式电路。当工作台位置 X_c 与给定位置 X_r 有偏差时,桥式电路的输出电压为 $\Delta u = u_r - u_c$ 设开始时指令电位器和反馈电位器滑动触点都处于左端，即 $X_r = X_c = 0$,则 $\Delta u = u_r - u_c = 0$,此时,放大器无输出,直流伺服电机不转,工作台静止不动,系统处于平衡状 态。

当给出位置指令 X_r 时,在工作台改变位置之前的瞬间，$X_c = 0, u_c = 0$,则电桥输出为 $\Delta u = u_r - u_c = u_r - 0 = u_r$ ，该偏差电压经放大器放大后控制直流伺服电机转动，直流伺服电机通过齿轮减速器和滚珠丝杆驱动工作台右移。随着工作台的移动，工作台实际位置与给定位置之间的偏差逐渐减小,即偏差电压 Δu 逐渐减小。当反馈电位器滑动触点的位置与给定位置一致,即输出完全复现输入时,电桥平衡,偏差电压 $\Delta u = 0$,伺服电机停转,工作台停止在由指令电位器给定的位置上,系统进入新的平衡状态。当给出反向指令时,偏差电压极性相反,伺服电机反转,工作台左移,当工作台移至给定位置时,系统再次进入平衡状态。如果指令电位器滑动触点的位置不断改变，则工作台位置也跟着不断变化。该系统的控制过程可用图 1－14 所示方块图表示。

由该系统上述工作过程可知，为了使输出量复现输入量，系统通过反馈电位器不断地对输出量进行检测并返回到输入端,与输入量进行比较得出偏差信号,再利用所得偏差信号控制系统运动，以便随时消除偏差。从而实现了工作台位置按指令电位器给定规律变化的目的。

利用上例的动作原理，可实现导弹、火炮自动定位系统，船用随动舵等一系列随动系统,如图 1－15 所示。

导弹和火炮随动系统除上述方位角控制，须再加一套高低角控制就可对准任何目标。

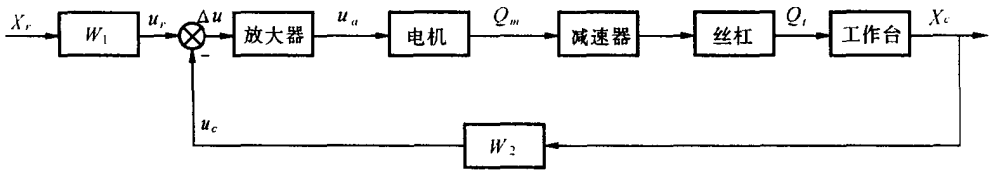


图 1－14　工作台位置控制方块图

除此外，雷达天线跟踪、记录仪、水闸自动升降、卡车前轮等需要工作机械的位置快速精确地跟随指令信号动作者均适用。系统的方块图如图 1－16 所示。

图 1－16(a)和(b)跟踪接收器的两种表示法是等效的。K_0 放大器有两个作用：①变换信号的作用，将角度偏差信号变换成电压偏差信号。②比例放大作用，反映了偏差电压 Δu 与偏差角度 e 的比例放大 R_0 倍的关系，即 $\Delta u = K_0 e$。以上介绍的跟踪接收器是由电位计测量线路组成，也可由自整角机测角线路组成，其方块图与图 1－16(b)的跟踪接收器表示方法一样。

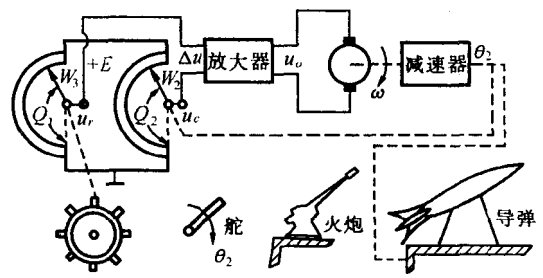


图 1－15

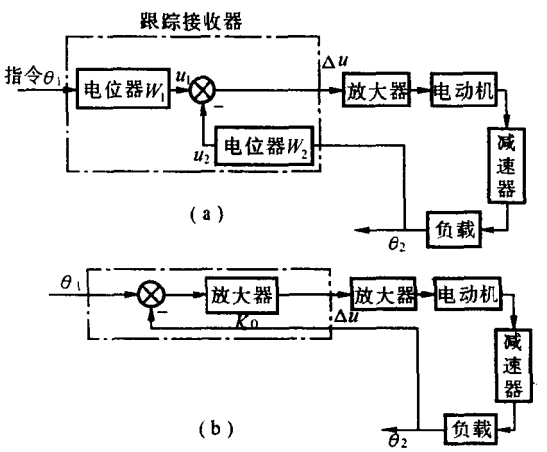


图 1－16

下面介绍随动系统的例子是卫星跟踪天线系统(图 1－17)。通讯卫星被送入轨道后，最后将固定在地面上方的某点，并与地球保持相对静止，这种卫星称为同步卫星。但是事实上卫星的位置还是在不断稍有变动，因而必须使通讯天线跟踪卫星的位置。技术条件要求天线的仰角和方位角的误差在 ±3 角分(1 角分 $=9\times10^{-4}$ 弧角)以内。

通讯天线上装有四个分立的信号检测器，当天线对准卫星时，每个信号检测器接收到的信号强度相同。如果天线与卫星没有对准，四个检测器接收到的信号强度就不一样，这时跟踪接收器就会把四个信号的差别转换成卫星与天线之间不对准度的电信号，即偏差信号。偏差信号经放大后送往校正元件，校正元件按预定的控制规律对放大了的偏差信号进行运算，送出一个控制量 u_i。u_i 与测速发电机测得的速度信号 u_b 相减后(注意，这是一个局部负反馈)得到 u_{c2}。u_{c2} 经过功率放大后驱动直流电动机，并经过减速器减速后带动天线旋转，从而使天线对准通讯卫星。需要指出的是天线的实际位置 θ_0 和卫星的实际位置 θ_i 之间的偏差 e 是由跟踪接收器根据四个分立的信号检测器接收到的信号经过计算以后得到

需要全本请访问 www.ertongbook.com

的,而不是预先分别测量 θ_0 和 θ_i 相减所得到的。这又是另一种跟踪接收器，其表示方法同前面图 1－16(b)的跟踪接收器。

从图 1－17(b)可清楚看到局部反馈构成了一个内环，主反馈 Q_0 又构成了一个外环，这是一个多环系统。系统增加局部反馈校正元件是为了进一步改善系统性能。

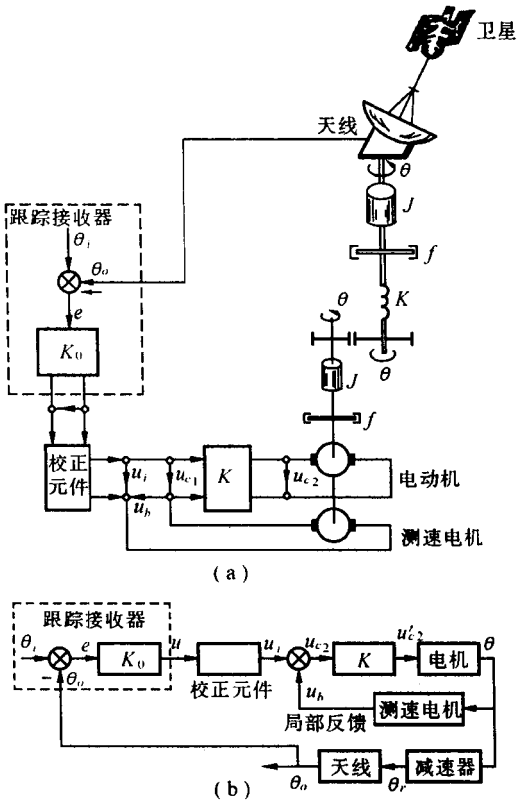


图 1－17　卫星跟踪天线系统

二、控制系统的分类

自动控制系统的分类方法有很多种,下面介绍几种分类的方法：

1 按信号传递路径分类：可分为开环控制系统与闭环控制系统。

在第三节我们已作了介绍。

2.按输入信号特征分类：可分为恒值控制系统和随动控制系统。

我们在前面已作了介绍。

3. 按照系统的功能分类 有温度控制系统、位置控制系统等。

在第二节和第四节已作了介绍。

4.按系统元件类型分类 可分为机电系统、液压系统、气动系统、生物系统等。

5. 按照描述系统的数字模型不同，可分为线性系统和非线性系统（或称定常系统和时变系统)。

(1)线性系统

组成系统的元件的特性均为线性的,其输出输入关系都能用线性微分方程描述,即该系统的运动方程式可以用线性微分方程描述。

线性系统最重要特点是满足叠加原理。叠加原理包含叠加性和齐次性（或叫均匀性）。

叠加性和齐次性是鉴别系统是否为线性的根据。显然，由线性系统的齐次性和叠加性可知 作用于线性系统的多个输入(可以作用在不同的输入端)信号的总响应等于各个输入信号单独作用时产生的响应的代数和。

如果线性微分方程中的所有系数是不随时间而变化的常数，则称此系统是线性定常系统或线性时不变系统。若系统有随时间变化的函数，则称系统是线性时变系统。

(2 非线性系统

若系统中存在非线性元件,它的输入输出关系要用非线性微分方程来描述的,就称为非线性系统。显然,只要系统中有一个元件是非线性的,整个系统就是非线性的。它具有非齐次性和非叠加性，且系统的响应与初始状态有极大的关系。

6 按控制系统中的信号性质分类：可分为连续控制系统和离散控制系统。

(1)连续控制系统：系统各部分的信号都是连续函数形式的模拟量。大多数闭环控制系统都是这种形式。

(2)离散控制系统 系统的某处或数处的信号是以脉冲序列或数码形式传递的系统。系统的特点是将连续时间函数 $e(t)$通过脉冲开关(或采样开关)变成离散的脉冲序列 $e^*_{(t)}$。如图1－18。

通常对于离散信号取脉冲形式的系统称为离散脉冲控制系统，其方块图见图 1－19。

如果采用数字计算机或数字控制器,将连续形式信号转变为数码形式传递的系统,称为离散数字控制系统或简称数字控制系统。计算机控制系统就是离散控制系统。

为了全面反映自动控制系统的特点，上述各种方法常常组合应用。

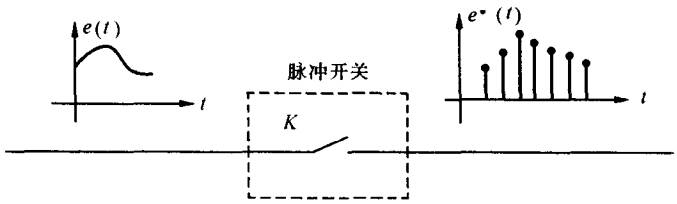


图 1－18

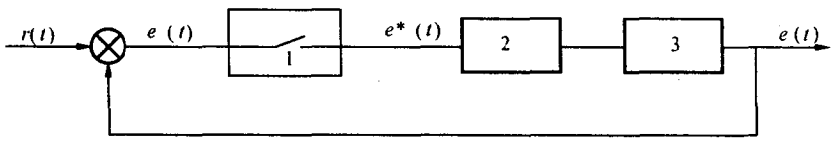


图 1－19

第五节　闭环控制系统的基本组成

一、闭环控制系统的基本组成

从以上各节的分析可以知道，为了组成一个闭环控制系统，一般应包括图 1－20所示基本元件。

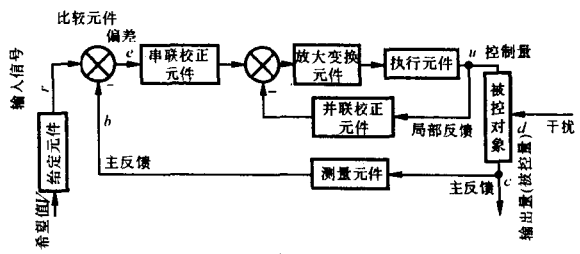


图 1－20　典型闭环控制系统方框图

①测量元件 对被控量进行测量,并转换成能和输入信号进行比较的物理量。通常为一比例元件,也称为敏感元件。

②给定元件 将希望值转换成能和主反馈信号比较的输入信号(若希望值直接能和主反馈信号比较,则给定元件就省去了)。

③比较元件 将主反馈信号与输入信号比较,产生偏差信号,起信号的综合作用。比较元件往往不是一个专门的物理元件,多数情况是和测量元件或线路结合在一起的,这时统称误差检测器。

④放大元件：对微弱的偏差信号进行变换和放大，以满足输出足够功率和要求的物理量 。

⑤执行元件 接受偏差信号,控制被控对象,使被控量趋向希望值。

⑥校正元件 或称校正装置,用以稳定控制系统、改善或提高系统性能。有反馈校正和串联校正两种形式。

一般说来,尽管闭环控制系统的控制任务各不相同,使用元件的结构和能源形式亦有所不同,但就其信号的传递、变换的职能来说,都可抽象成图 1－20 所示的方块图。它表示了控制系统的基本组成。

二、自动控制系统方块图

从图 1－20 方块图中可以知道控制系统的基本组成，并且，从图中可以看出，前向通路和主反馈通路一起构成了主回路，还有局部反馈通路及由它组成的内回路。只有一个反馈通路的系统称为单回路系统，有两个以上反馈通路的系统称为多回路系统。

在自动控制系统中，信号的传递、变换及控制等都可用方块图来表示，现简单说明绘制方块图的基本内容如下：

1.系统的基本元件和被控对象都用方块来表示。

2.信号的传输方向用箭头表示（该传输方向是单向不可逆的）。

3.“－”号表示输入信号与反馈信号相减，即负反馈。

“＋”号表示输入信号与反馈信号相加，即正反馈。

4.信号从输入端沿箭头方向到达输出端的传输通路称为前向通路。

5.系统输出量经由测量装置反馈到输入端的传输通路称为主反馈通路。

三、控制系统中常用的名词

①输出量（被控量）c：被控对象中要求控制的量。控制的目的就在于使它维持在希望值给定的数值上。

②希望值(指令、给定值) V：由控制者确定的对系统预定的指令性量值，控制的目的就是使被控制量与希望值相等。

③输入信号（参考输入）r：直接输入到闭环系统比较元件上的信号，一般正比于希望值。

④主反馈信号 b：是被控量经测量元件变换处理后再送到比较元件中的反馈量。主反馈信号 b 与输入信号 r 比较后产生偏差 e。因为只有量纲相同的物理量才能进行比较，所以，b 与 r 有相同的量纲。

⑤偏差信号 e 它是输入信号与主反馈信号之差,即 $e=r-b$。是使闭环系统动作的最原始控制信号,通常很微弱,但却是闭环系统产生控制动作的基础。

⑥控制量 u 执行元件作用于被控对象的控制信号,通常具有一定的功率,并且是能够

为被控对象接受的一种物理量。

⑦干扰(扰动)d：是系统不需要而又难于避免的输入，它影响被控量的控制精度，使被控量偏离希望值。干扰可能来自系统之外,称为外扰。也可能来自系统内部,称为内扰。这种输入在分析系统时必须认真考虑。

⑧输入量：是指对系统输出量有直接影响的输入，包括希望值 u 及干扰 d 两种。通常所说的系统输入信号,一般指有用的信号。

第六节　自动控制系统的基本要求及性能指标

一、对控制系统的基本要求

控制系统在没有受到外作用时,总是处于一个稳定的平衡状态,系统的输出亦保持原来的状态不变。所以，各种自动控制系统，为了完成一定任务，要求被控量必须迅速而准确地随给定量变化而变化，并且尽量不受任何扰动的影响。然而，实际系统中，系统会受到外作用，其输出必将发生相应的变化。因控制对象和控制装置以及各功能部件的特征参数匹配不同，系统在控制过程中性能差异很大，甚至因匹配不当而不能正常工作。因此，工程上对自动控制系统性能提出了一些要求，主要有以下三个方面。

1. 稳定性

所谓系统稳定指受扰动作用前系统处于平衡状态，受扰动作用后系统偏离了原来的平衡状态，如果扰动消失以后系统能够回到受扰以前的平衡状态，则称系统是稳定的。如果扰动消失后，不能够回到受扰以前的平衡状态，甚至随时间的推移对原来平衡状态的偏离越来越大，这样的系统就是不稳定的系统。稳定是系统正常工作的前提，不稳定的系统是根本无法应用的。

一般没有外作用时,系统处于平衡状态,系统输出量也是确定的。当系统受到外作用时，其输出量必将发生相应变化，但由于系统含有具有惯性或贮能特性的元件，输出量不可能立即达到与输入相应的值，而需有一个过渡过程。如图 1－13 所示工作台位置控制系统,给出图 1－21(a)所示位置指令 $r(t)$后，工作台不会立即达到指令位置，而要经历一定的过渡过程,如图1－21(b) 和(c) 所示。稳定的系统其过渡过程曲线 $c(t)$。如图 1－21(c)所示,其输出量 $c(t)$随时间的增长逐渐趋于希望值。其中曲线①为单调增长过程，曲线②、③均为衰减振荡过程,它们最终都趋于希望值,所以系统是稳定的。不稳定的系统,其输出量 $c(t)$的过渡过程随时间的增长而发散(如图 1－21(b)所示) 或呈现为持续的等幅振荡。显然,系统若能正常工作,则必须是稳定的。

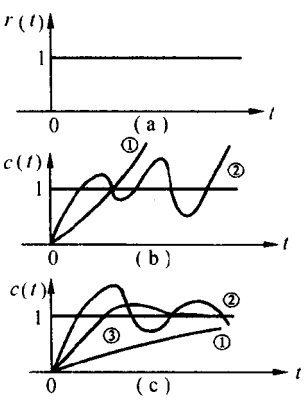


图 1－21

2. 准确性

它是对稳定系统稳态性能的要求。稳态性能用稳态误差来表示，所谓稳态误差是指系统达到稳态时被控量的实际值和希望值之间的误差,误差越小,表示系统控制精度越高越准

确。一个暂态性能好的系统既要过渡过程时间短(快速性,简称‘快’),又要过渡过程平稳、振荡幅度小(平稳性,简称‘稳”)。如图 1－21(c)中曲线②的平稳性不好，但快速性还可以；曲线①的平稳性好，但快速性差；曲线③平稳性和快速性都好。

3. 快速性

这是对稳定系统暂态性能的要求。因为工程上的控制系统总是存在惯性，如电动机的电磁惯性、机械惯性等等,致使系统在扰动量给定量发生变化时,被控量不能突变,需要有一个过渡过程，即暂态过程。这个暂态过程的过渡时间可能很短，也可能经过一个漫长的过渡达到稳态值，或经过一个振荡过程达到稳态值，这反应了系统的暂态性能。

在工程上暂态性能是非常重要的。一般来说，为了提高生产效率，系统应有足够的快速性,但是如果过渡时间太短,系统机械冲击会很大,容易影响机械寿命,甚至损坏设备 反之过渡时间太长,会影响生产效率等。所以,对暂态过程应有一定的要求,通常是用超调量、调整时间、振荡次数等指标来表示。

综上所述,对控制系统的基本要求是 响应动作要快,动态过程平稳,跟踪值要准确。也就是,在稳定的前提下,系统要稳、快、准。这个基本要求,通常称为系统的动态品质。

同一个系统稳、快、准是相互制约的。提高了快速性,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，甚至精度也差。

习　　题

1. 什么是控制？什么是控制系统？什么是控制理论？
2. 开环控制系统是怎样控制的？试举例说明。
3. 闭环控制系统是怎样实现控制作用的？试举例说明。
4. 自动控制系统主要由哪几大部分组成？它们有些什么功能？
5. 对自动控制系统的基本要求是什么？试举例说明。

第二章　程序控制器的基础知识

第一节　可编程序控制器的产生、发展及应用

一、可编程序控制器的产生及定义

可编程序控制器(Programmable Controller 简称 PC)是 20 世纪 60 年代末期美国数字设备公司(DEC)率先研制出来的。美国的汽车制造工业非常发达，汽车更新换代快，相应的汽车生产线亦随之而变,整个生产线的继电器控制系统就必须重新设计、重新配置。这样不但造成设备的极大浪费，而且接线费时繁琐。它就是在传统的顺序控制器的基础上引入了微电子技术和计算机技术而形成的一代新型工业控制装置。目的是用来取代继电器，执行逻辑、计时、计数等顺序控制功能,建立柔性的程控系统。为了尽可能减少重新设计继电控制系统和接线所需的成本和时间,1968 年美国通用汽车公司（GM),提出了研制开发'新型工业控制器'的 10条指标，即：

①编程方便，可在现场修改程序；

②维护方便,最好是插件式；

③可靠性高于继电控制盘；

④体积小于继电控制盘；

⑤可将数据直接送入管理计算机；

⑥在成本上可与继电控制盘竞争；

⑦输入为交流 11.5V;

⑧输出为交流 11.5V/2A 以上,能直接驱动电磁阀、接触器等；

⑨在扩展时,原有系统变更最少；

⑩用户程序存储器至少要可扩展到 4K。

这 10 条指标几乎成了今天设计生产 PC 的基本规范。概括地说就是：用半导体元器件，将有接点之继电控制装置改为无接点控制。用软件代替有接点继电器的接线、配线、达到各种控制的目的。输入直接接入 110/220V AC 信号,输出可驱动 110/220V AC.2A 的用户设备。根据控制规模，可方便构成与之相适当的系统，且便于扩展。

1969 年美国数字设备公司(DEC)根据这 10条指标，把计算机技术和半导体程序存储技术引入顺序控制器,研制出世界上第一台 PDP－14 型 PLC(可编程序逻辑控制 Programmable Logic Controller)；并在 GM 公司汽车生产线上应用,获得成功。

由于半导体存储技术与计算机技术的引入，顺序控制器发生了质的变化。以往鼓式的机械式的顺序控制器以及继电器式程控器都是硬件或硬接线组成的。半导体存储技术与计算机技术的引入,使程序控制器由不可编程变成可编程,这样在产品改型时,不改变系统硬件或者少许改动，只改变程序就可达到不同控制目的。

需要全本请访问 www.ertongbook.com