

再版再研 自动控制原理

傅成华 摇勤 晃
陈摇华 摇军 任 摇编著

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书以经典控制理论为主,同时也介绍了现代控制理论基础部分内容。内容编排上先对控制系统的基本概念做必要的叙述,继而讨论实际系统在时域和复域中数学模型建立方法及其结构图和信号流图的表示方法,再给出线性控制系统的时域分析法、根轨迹法、频域分析法以及设计校正方法,同时用适当篇幅介绍线性离散控制系统的理论及其应用和非线性控制系统的分析方法,最后阐述线性控制系统的状态空间分析与综合设计方法,并增加 MATLAB 月在自动控制原理中的应用方面的内容,使学员能用 MATLAB 月软件快速分析和解决问题,进一步加深对基本概念的理解。

本书是高等院校电气类专业本科教材,也可作为其他电类专业的本科教材,并可供从事电气自动化工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理 / 魏勤等编著. —重庆:重庆大学出版社, 2004

世纪电气工程及其自动化专业本科系列教材

魏勤等编著

I. ①自... II. 魏... III. ①自动控制理论—高等学校—教材 IV. ①U16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 0424 号

自动控制原理

魏勤 傅成华 任军 陈华 编著

责任编辑 曾令维 周摇立

*

重庆大学出版社出版发行

新重庆书店经销

重庆印刷厂印刷

*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 10.5 插页 2 字数 240千字

2004年 月第 1 版 2004年 月第 1 次印刷

印数:

0000—0000 定价: 18.00元

前 言

摇摇本书是根据高等学校电气工程及其自动化专业《自动控制原理》教材编写大纲的要求编写的,可作为高等学校电气工程及其自动化专业及其他电类专业的本科教材。

本书的内容以经典控制理论为主,削减不实用的内容,同时增加现代控制理论基础部分内容。本书着重物理概念的阐述,力求深入浅出,层次分明,知识清楚。贯彻“少而精”的原则,尽量避免繁琐的数学推导及证明。为了便于组织教学,经典控制理论和现代控制理论分开叙述。内容编排以对控制系统进行分析与综合的体系为线索,首先对控制系统的基本概念作必要的叙述,继而讨论实际系统在时域和复域中数学模型建立方法及其结构图和信号流图的表示方法,在此基础上给出线性控制系统的时域分析法、根轨迹法、频域分析法以及设计校正方法。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,用适当篇幅介绍线性离散控制系统的理论及应用和非线性控制系统的分析方法。为使学员具有一定的现代控制理论的知识,最后阐述线性控制系统的状态空间分析与综合设计方法。在每章后增加一节“应用”,在自动控制原理中的应用使学生学会用“MATLAB”软件快速分析和解决问题,同时可进一步加深对基本概念的理解。每章结束后进行重点内容的小结并附一定数量的习题。各节都有相应的例题,有助于学生对本章基本概念的理解和分析与综合能力的提高。各章的作业分一般和较难两部分。各部分内容所占全书比例为:经典控制理论的线性部分和离散部分为 $1/3$,非线性部分为 $1/3$,现代控制理论部分为 $1/3$ 。本书讲授总学时为 72 学时左右。其中理论部分为 54 学时,实验课为 18 学时。

全书共分 10 章。由新疆大学的晁勤教授主编,四川轻化工学院的陈玉宏教授主审。其中的第 1 章和第 2 章由四川轻化工学院的傅成华副教授编写,第 3 章和第 4 章由四川工业学院的王军副教授编写,第 5 章和第 6 章由新疆大学的陈华

副教授编写,第员缘远章由主编完成。此外,主审及许多同行在教材的编写内容上都提出过不少宝贵的修改意见,许多同事对教材的录入及出版给予了热情的支持和帮助,也付出了辛勤的劳动。在此,一并表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,编写时间较为仓促,书中一定还存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

圆园园年 缘月 员日

第 1 章

绪论

遥遥自 20 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、温度、湿度、流量、频率、物位、成分等方面的控制,都是自动控制技术的重要组成部分。

《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,自动控制理论一般可分为“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问题。由于发展较早,现已成熟。在工程上,相当成功地解决了大量实际问题,因此它是研究自动控制系统的重要理论基础。

现代控制理论的内容主要以状态空间法为基础,研究多输入、多输出、定常数或变参数、线性或非线性一类自动控制系统的分析和设计问题。随着现代科学技术的发展,已出现最优控制、最佳滤波、模糊控制、系统辨识、自适应控制等一些新的控制方式。因此它也是研究庞大的系统工程和模仿人类的智能控制等方面必不可少的理论基础。

本书对两大部分都给予了介绍,主要内容以经典控制理论为主,对现代控制理论介绍了基础部分内容。同时由于 MATLAB 软件的诞生,使控制系统的分析与设计由相当繁琐变得简单,它为控制系统的设计与仿真提供了一个强有力的工具。为此,在大部分章节中都简单介绍了 MATLAB 软件在自动控制系统中的应用。

遥遥自动控制系统的基本概念

所谓自动控制,是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置,使机器、设备或生产过程的某个工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。例如,无人驾驶飞机按照预定的飞行航线自动升降和飞行,这是典型的自动控制技术应用的结果。

何谓自动控制系统?现以无人驾驶飞机为例:

无人驾驶飞机按预先给定的飞行航线参数(高度、方向等)飞行,则预先给定的飞行航线

参数称为参考输入或给定输入。在飞行过程中受到大气气流的影响使飞机偏离预定的航线，大气气流使飞行参数改变称为扰动。飞机的测量比较装置测出实际飞行参数与预定飞行参数存在偏差，就会使飞机的某些设备装置进行控制调节，能起控制作用的设备装置称为控制器。控制器发出的控制输出信号称为控制量。飞机称为被控对象。飞机实际飞行参数称为被控制量。在控制器作用下使飞机回到预定的航线或偏差在允许范围内，这就形成了无人驾驶飞机的自动控制系统。

开环控制与闭环控制

自动控制系统有两种最基本的形式，即开环控制和闭环控制。其中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。

开环控制系统

开环控制是一种最简单的控制方式，其特点是，在控制器与被控对象之间只有正向控制作用而没有反馈控制作用，即系统的输出量对控制量没有影响。开环控制系统的示意框图如图 1-1 所示。即系统中控制信号的流动未形成闭合回路。常见的开环控制系统有以下两种：

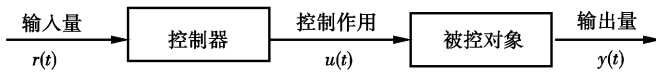


图 1-1 开环控制系统方框图

(1) 按给定值操作的开环控制系统

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。在加热炉温度控制系统中，要求炉内的温度应保持在一定的数值上。为控制炉温通常通过阀门向炉内加入燃油，即燃油流量是控制量。而被加热工件的数量和环境温度影响炉温就是干扰量了。这样，所谓对炉温的控制就是用某种方式操作燃油流量以抵消干扰因素对炉温的影响。如果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管它了，那么这种系统就是所谓的按给定值操作的开环控制系统，如图 1-2 所示。

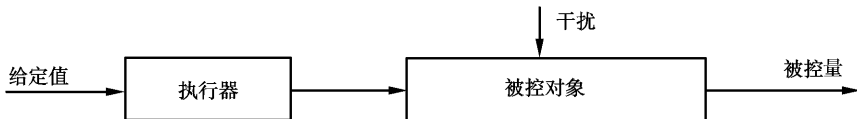


图 1-2 按给定值操作的开环控制系统方框图

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。当系统的结构参数稳定，干扰极弱或控制精度要求不高时，可采用这种开环控制方式。

(2) 按干扰补偿的前馈控制系统

通过前面对炉温控制的分析可知，要想稳定被控制量（炉温），就要在干扰信号出现时，操作控制量（燃油流量）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 4-5。

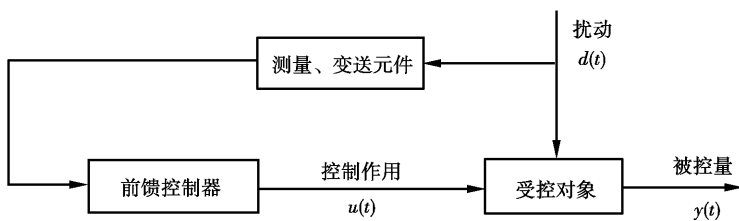


图 4-5 按干扰补偿的前馈控制系统方框图

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。对不可测干扰,系统自身无法控制,因此,控制精度受到原理上的限制。

4.2 闭环控制系统

闭环控制的特点是:在控制器与被控对象之间,不仅存在着正向作用,而且存在着反馈作用,即系统的输出量对控制量有直接影响。闭环控制系统的示意框图如图 4-6 所示。

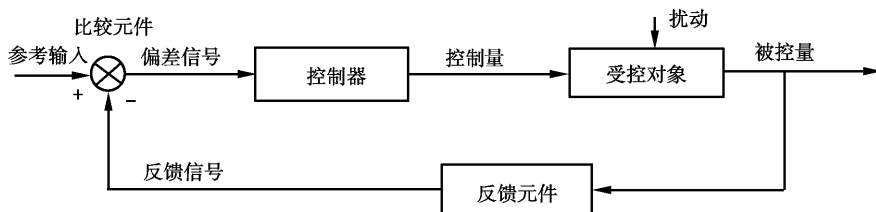


图 4-6 闭环控制系统方框图

图 4-6 中“ \otimes ”为比较元件(又称比较器),在比较元件中,参考输入信号(给定值信号)与反馈信号进行比较,其差值输出即为偏差信号,偏差信号就是控制器的输入。即系统中控制信号的流动形成了闭合回路,故称之为闭环控制系统。

在加热炉温度控制系统中,当干扰量影响炉温使其偏离希望温度时,通过检测装置测出实际炉温,送到比较器与希望温度比较,得出偏差信号控制阀门开度,由此增加或减小燃油流量,进而使炉温升高或降低回到希望温度。将检测出来的输出量送回到系统的输入端,并调节流量,进而使炉温升高或降低回到希望温度。将检测出来的输出量送回到系统的输入端,并与输入量比较的过程称为反馈。若反馈信号与输入信号相减,则称为负反馈,反之,若相加,则称为正反馈。输入信号与反馈信号之差,称为偏差信号。偏差信号作用于控制器上,使系统的输出量趋向于给定的数值。闭环控制的实质,就是利用负反馈的作用来减小系统的误差,因此闭环控制又称为反馈控制。

在工业生产中,按照偏差控制的闭环系统种类繁多,尽管它们完成的控制任务不同,具体结构不一样,但是,从检出偏差、利用偏差信号对控制对象进行控制,以减小或纠正输出量的偏差这一控制过程却是相同的。归纳起来,这种系统的特点如下:

①在开环系统中,只有输入量对输出量产生控制作用;从控制结构上来看,只有从输入端到输出端从左向右的信号传递通道(该通道称为正向通道)。闭环控制系统中除正向通道外,还必须有从右向左、从输出端到输入端的信号传递通道,使输出信号也参与控制作用,该通道

称为反馈通道。闭环控制系统就是由正向通道和反馈通道组成的。

②为了检测偏差,必须直接或间接地检测出输出量,并将其变换为与输入量相同的物理量,以便与给定量比较,得出偏差信号。所以闭环系统必须有检测环节、给定环节和比较环节。

③闭环控制系统是利用偏差量作为控制信号来纠正偏差的,因此系统中必须具有执行纠正偏差这一任务的执行结构。闭环系统正是靠放大的偏差信号来推动执行结构,进一步对控制对象进行控制。只要输出量与给定量之间存在偏差,就有控制作用存在,力图纠正这一偏差。由于反馈控制系统是利用偏差信号作为控制信号,自动纠正输出量与其期望值之间的误差,因此可以构成精确的控制系统。

在本书中,我们重点研究闭环控制系统。下面再举几个控制系统的例子,说明开环和闭环控制系统的工作原理及应用。

[例] 调速直流电动机速度控制系统

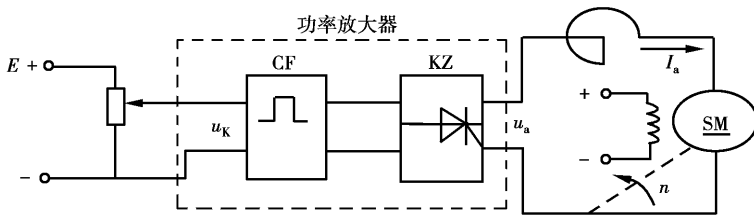


图 1-5-1 直流速度控制系统原理结构图

在直流电动机速度控制系统中,被控量是直流电动机的速度,如图 1-5-1 所示。图中受控对象是电枢控制的直流电动机,其电枢电压由功率放大器(晶闸管整流器和触发器)提供,通过调节触发器的控制电压 u_k ,可改变电动机的电枢电压 u_a ,从而改变电动机的速度。电动机的期望速度值由事先调节触发器的控制电压 u_k 确定,在工作过程中,负载电流 I_a 变化使电动机的速度偏离期望值,但它不会反过来影响控制电压 u_k ,这可视为按给定量控制的开环控制系统。它没有自动修正偏差的能力,抗干扰性较差。实际上,电动机的转速常常随负载电流 I_a 的增加而下降,其转速的下降是由于电枢回路的电压下降引起的。如果设法将负载引起的电流变化测量出来,并按其大小产生一个附加的控制作用,用以补偿由它引起的转速下降,这就构成按扰动控制的开环控制系统,如图 1-5-2 所示。

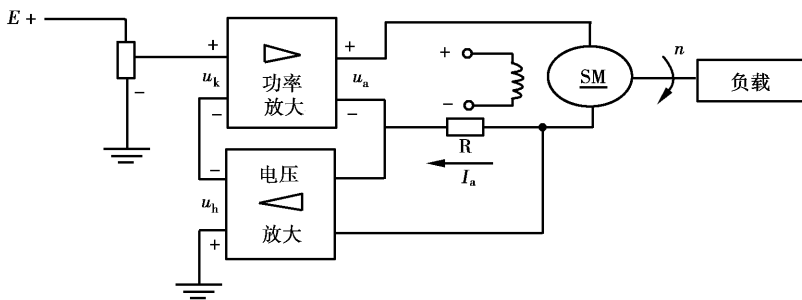


图 1-5-2 按扰动控制的开环控制系统结构图

可见这种按扰动控制的开环控制系统是直接由扰动取得信息并据以改变被控量,因此它只适用于扰动量是可测量的场合。而且一个补偿装置只能补偿一个扰动因素,对其余扰动均不起补偿作用。因此,再增加一种按偏差控制的反馈控制系统,如图 1-5-3 所示。

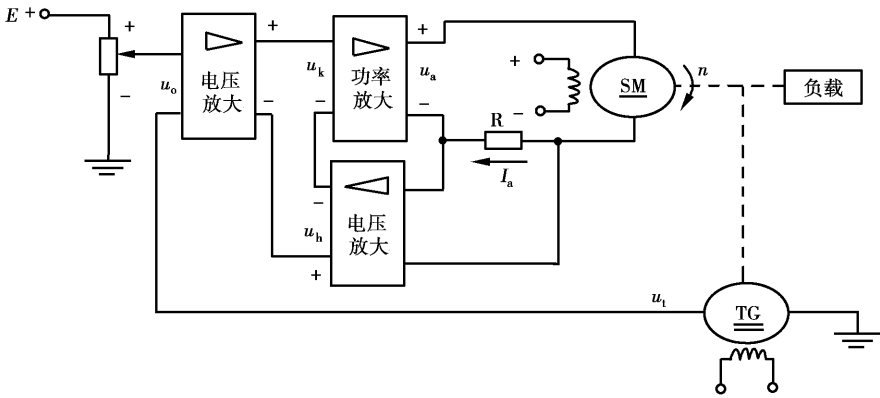


图 4-17 按偏差控制的反馈控制系统结构图

测速发电机是测量元件，用来测量电动机速度并给出与速度成正比的电压 u_i ，然后将 u_i 反馈到输入端并与给定电压 E 比较得到偏差电压 Δu 。由于偏差电压一般比较微弱，故需经电压放大器放大后才能作为触发器的控制电压 u_k 。如果电动机所带负载增加使电动机速度降低而偏离给定值，则测速发电机电压 u_i 减小，偏差电压 Δu 将因此增大，触发器控制电压 u_k 也随之增大，从而使晶闸管输出整流电压 u_a 升高，逐步使速度回升到给定值附近。这种按偏差控制和按扰动控制相结合的控制方式称为复合控制方式。其原理方框图如图 4-18 所示。

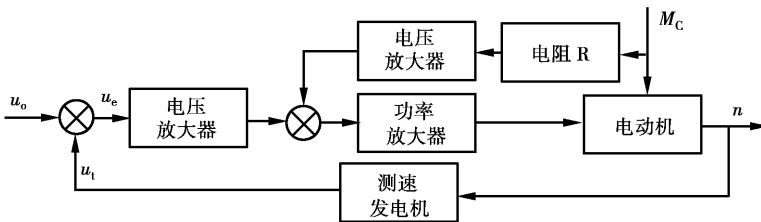


图 4-18 复合控制方式原理方框图

[例 4-1] 交流发电机电压控制系统

在交流发电机电压控制系统中，被控量是交流发电机的电压，如图 4-19 所示。图中受控对象是励磁控制的三相交流同步发电机，其励磁电压由自动电压调节器 AVR 提供，通过调节电压调节器 AVR 的参考输入电压 u_r ，可改变供给发电机励磁绕组的励磁电压 u_f ，从而改变发电机机端电压 u_e 。控制器是自动电压调节器 AVR，它的输出变量（即控制量）对其输入变量的因果关系，称为控制器的控制规律。这里的控制规律可以表示为

$$u_f \propto u_e \quad (4-1)$$

在图 4-19 中，发电机机端电压 u_e 受负荷电流 i_a 影响，则应将 i_a 视为外界负荷变动影响的一个扰动输入，因此，受控对象（发电机）有两个输入——励磁电压 u_f 和负荷电流 i_a 。即被控量 u_e 可由两个量来确定：

$$u_e \propto (u_f, i_a) \quad (4-2)$$

发电机由原动机带动旋转，并向所接负载供应电力。控制的目的是在随机变化着的负载电流 i_a 干扰之下，保持机端电压 u_e 为要求的给定值 u_e^* （ $u_e^* = k u_r$ ， k 为常数）。这种控制又可称为调

节,而相应的系统,则可称之为自动励磁调节系统。系统的参考输入信号 u_r 是与 u_{GN} 对应(成比例)的直流电压,通常 u_r 从恒压直流电源的一个可调分压器上取得所需电压。

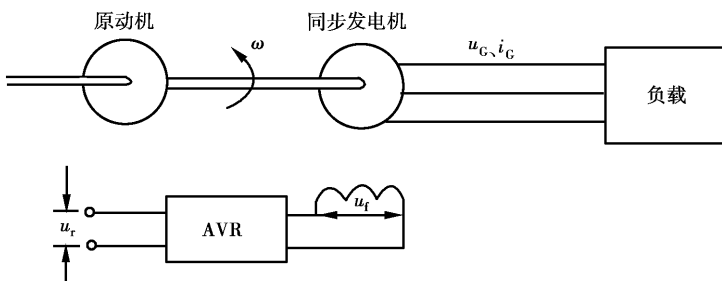


图 15-2 发电机开环励磁控制系统原理结构图

从图 15-2 可以看出,由于控制器 AVR 的输出 u_f 只由参考输入信号 u_r 确定而与扰动输入 i_G 无关,所以要在随机变化(即无规律可循的变化)的 i_G 的干扰下保持发电机机端电压 u_G 为给定值 u_{GN} 是不可能的。因此,这种开环控制系统很少能当做实用的控制系统来使用。若如图 15-3 所示将被控量(发电机的机端电压 u_G)通过电压互感器和整流器输出(电压为 u_b),再反馈到电压控制器 AVR 的输入端与参考输入电压 u_r 进行比较得偏差信号 u_e ,则:

$$u_e = u_r - u_b \quad (15-2)$$

反馈电压 u_b 极性与 u_r 相反为负反馈信号,即可构成按偏差控制的反馈控制系统。

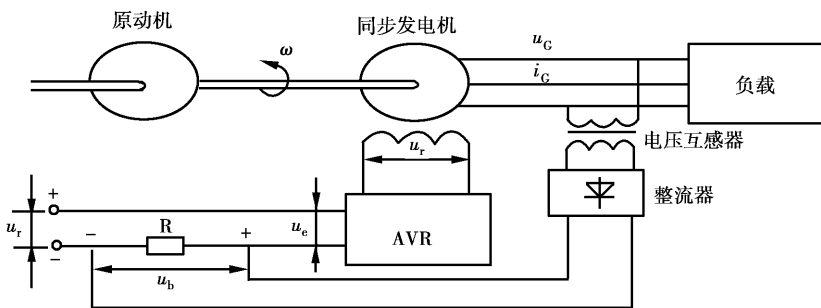


图 15-3 发电机自动励磁控制电压闭环控制系统原理结构图

发电机闭环励磁控制系统方框图如图 15-4 所示。当发电机机端电压(被控量) u_G 偏离了

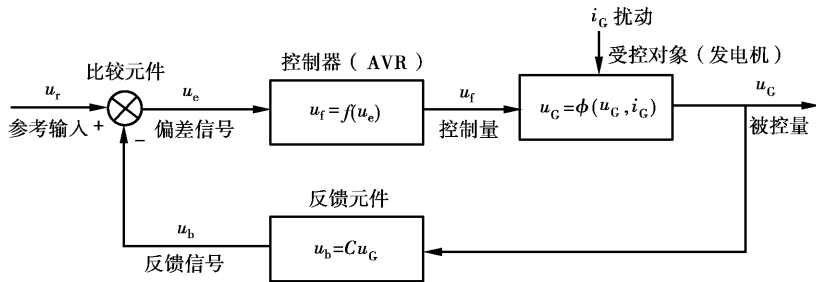


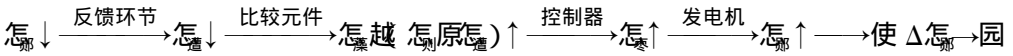
图 15-4 发电机闭环励磁控制系统方框图

要求的给定值 u_{GN} 时,它们的差值(误差)为

$$\Delta u_G = u_{GN} - u_G \quad (15-3)$$

对于任意一个控制系统,当受控对象的被控量受外界扰动的影响而发生变化时,都希望通过控制器的自动控制作用,尽量使被控量恢复到给定值或者使误差在很小的可允许的范围内。

现假设发电机负荷发生变化,使发电机机端电压 U_e 下降,则反馈电压 U_f 也下降,偏差信号 $U_c = U_e - U_f$ 增大,使控制器动作,于是发生以下的自动调节过程:

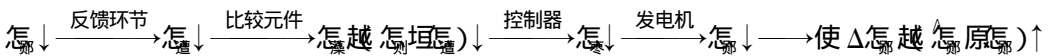


实际的调节过程往往不能一次完成,在几次波动以后,偏差逐渐减少,最后使 U_e 恢复到

$$U_e = U_e + \Delta U_e \rightarrow 0$$

通过上述发电机机端电压 U_e 的自动调节过程可以看出,闭环控制系统(也即反馈控制系统)属于按偏差信号的大小进行调节的系统,并且调节的过程是尽量减少产生的偏差。加到比较元件的反馈信号的正负符号,起着重要的作用。图 1-1 所示的符号下的反馈称为负反馈,对于以减少误差为目的的闭环控制系统,都应采取负反馈的方式。

如果将图 1-1 中比较元件上的反馈信号变成“正”信号,则将构成一个具有正反馈的闭环控制系统,在这种情况下,如果还是以发电机负荷发生变化,使发电机机端电压 U_e 下降的调节过程为例,则调节过程将发生以下情况:



即调节过程使误差 ΔU_e 越来越大,因此这样的励磁控制系统是不能工作的。

[例] 水箱水位控制系统

在水位控制系统中,被控量是水池的水位高度,进水量 Q_1 为干扰量,如图 1-2 所示,图 1-2(a) 为开环控制系统,事先固定进水阀和出水阀的位置,使水位在希望高度上,只要进水量 Q_1 等于出水量 Q_2 ,就可保持希望水位高度。一旦出水量 Q_2 变化,就不能保持希望水位高度了。图 1-2(b) 为负反馈闭环控制系统,水位高度由浮子测出,通过杠杆控制进水阀位置,水位越高,进水量 Q_1 越小,使水位下降回到希望高度。图 1-2(c) 为正反馈闭环控制系统,水位越高,进水量 Q_1 越大,使水位继续升高,可见正反馈闭环控制系统将无法保证水池的水位高度恒定。

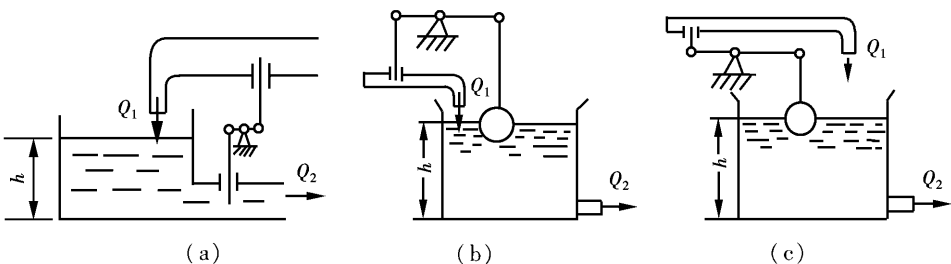


图 1-2 水位控制系统图

自动控制系统的分类

随着自动控制理论和自动控制技术的不断发展,生产过程的自动化水平不断提高,生产过

程的自动控制系统也在日益发展和完善,目前已出现了各种各样的新型的自动控制系统。因此,很难确切地列举它们的全部分类,下面仅介绍几种常用的分类方法。

员源员 按自动控制系统是否形成闭合回路分类

(员)开环控制系统

如前所述,一个控制系统,如果在其控制器的输入信号中不包含受控对象输出端的被控量的反馈信号,则为开环控制系统。

开环控制系统易受各种干扰的影响,其控制精度较低,但结构简单,成本低,也容易实现,所以可用在对控制要求不高的小型机器设备。而对控制要求较高的大型装置和设备,则需要采用闭环控制系统。

(圆)闭环控制系统

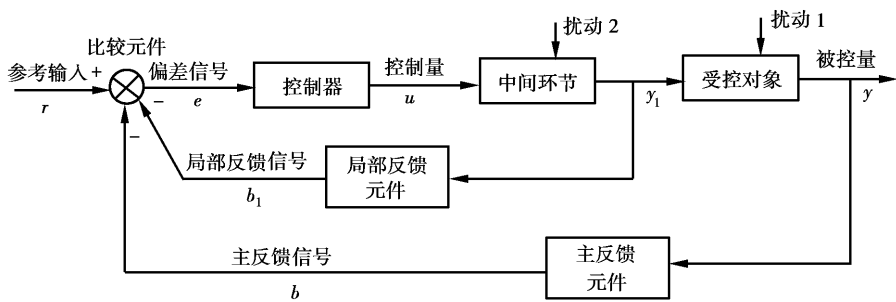
如前所述,一个控制系统,如果在其控制器的输入信号中包含来自受控对象输出端的被控量的反馈信号,则为闭环控制系统,或为反馈控制系统。

闭环控制系统,较之开环控制方式可以使被控量有更高的控制品质。因为在闭环控制系统中,当受控对象受到各种扰动影响时,可以通过被控量变化后的反馈作用使控制器动作,进行控制和调节,使被控量恢复到给定值。

员源圆 按信号的结构特点分类

(员)反馈控制系统

反馈控制系统是根据被控量和给定值的偏差进行调节的,最后使系统消除偏差,达到被控量等于给定值的目的。因为反馈控制系统是将被控量变化的信号反馈到控制器的输入端,形成一个闭合回路,所以反馈控制系统也一定是闭环控制系统。它是生产过程控制系统中最基本的一种。一个复杂的控制系统(实际生产过程往往是很复杂的,因而构成的控制系统也往往是复杂的)也可能有多个反馈信号(除被控量的反馈信号外,还有其他的反馈信号)组成多个闭合回路,如图员源圆所示,称为多回路反馈控制系统。



图员源圆 多回路反馈控制系统方框图

在图员源圆中,除了被控量赠的主反馈信号遭外,还有由中间环节(可认为是受控对象的一部分)输出信号赠形成的局部反馈信号遭,遭和遭与参考输入则一起在比较元件中进行比较,形成偏差信号藻,所以实际上控制器的输入端有了三个输入信号,而当受控对象(和中间环节)受到扰动后,中间环节的输出赠的变化往往比被控量赠的变化要提前,也即局部反馈信号遭比主反馈信号遭将更早的作用到控制器,使控制器动作,进行调节。因此,可以改善被控量赠愿

的控制质量,使被控量 的波动减小。

此外,系统的输入变量 有时也不只一个,可能有 个输入变量 u_1, u_2, \dots, u_n 。具有多个输入变量的系统,称为多输入系统;反之,只有一个输入变量的系统,称为单输入系统。

(圆)前馈控制系统

前馈控制系统直接根据扰动信号进行调节,扰动量是控制的依据,由于它没有被控制量的反馈信号,故不形成闭合回路,所以它是一种开环控制系统,如图 1-15 所示。扰动 将使被控量 发生变化,扰动量 经测量变送元件测量,变送后送入前馈控制器,前馈控制器根据扰动量 的大小发出控制作用 到被控对象,及时抵消扰动量 对被控对象的影响,从而使被控量 保持不变。但是由于前馈控制是一种开环控制系统,没有被控制量的反馈作用,不能保持被控量控制的精度(例如当有其他不可测量的扰动影响被控对象时,被控量的变化无法被抵消),所以在实际生产过程自动控制中是不能单独使用的。但是,针对图 1-15 的可测量扰动,前馈控制将十分有效地控制被控量的变化,这个特点是很有用的。因而一般在反馈控制系统中加入前馈控制作用,构成前馈反馈复合控制系统,达到兼取两者优点的目的。

(猿)前馈反馈复合控制系统

图 1-16 是前馈反馈复合控制系统的方框图。它是在反馈控制系统的基础上增加了对主要扰动 的前馈补偿作用。图 1-16 中的补偿环节可以是一个较简单的环节,对于控制要求较高的被控对象,补偿环节也就是一个控制器,即前馈控制器。当扰动 发生后,补偿信号作用到控制器后,能及时消除扰动对被控量的影响,而反馈回路的作用将保证被控量能较精确地等于给定值,改善了被控量 的控制精度。

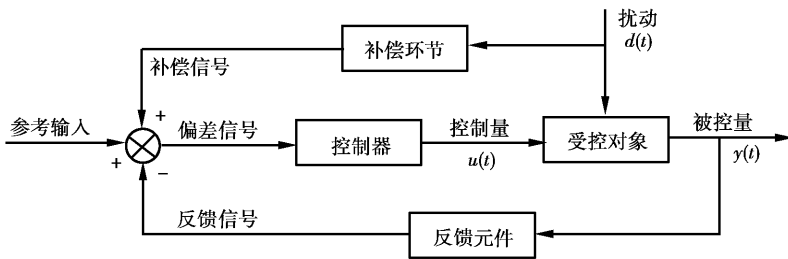


图 1-16 前馈反馈复合控制系统方框图

1.2 按给定值信号的特点分类

(员)恒值控制系统

若自动控制系统的任务是保持被控量恒定不变,即使被控量在控制过程结束时,被控量等于给定值。这是生产过程中用得最多的一种控制系统,例如发电机电压控制,电动机转速控制,电力网的频率(周波)控制,各种恒温、恒压、恒液位等控制都是属于恒值控制系统。

(圆)随动控制系统

随动控制系统又简称随动系统,它是给定信号随时间的变化规律事先不能确定的控制系统。随动控制系统的任务是在各种情况下快速、准确地使被控量跟踪给定值的变化。例如:自动跟踪卫星的雷达天线控制系统,工业控制中的位置控制系统,工业自动化仪表中的显示记录等均属于随动控制系统。

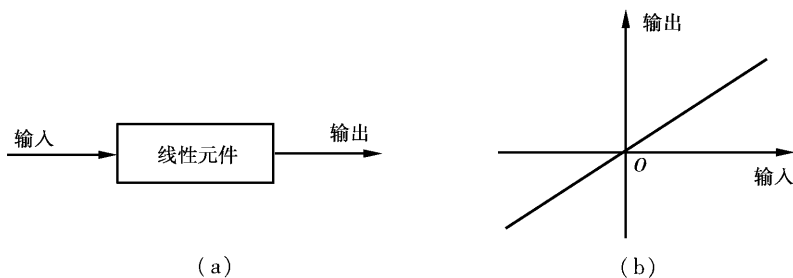
猿)程序控制系统

在程序控制系统中,它的给定值按事先预定的规律变化,是一个已知的函数,控制的目的是要求被控量按确定的给定值的时间函数来改变,例如机械加工中的数控机床,加热炉自动温度控制系统等均属于程序控制系统的范畴。

猿)按控制系统元件的特性分类

(员)线性控制系统

当控制系统的各元件的输入输出特性是线性特性,如图猿猿缘所示,控制系统的动态过程可以用线性微分方程(或线性差分方程)来描述。则称这种控制系统为线性控制系统。



图猿猿缘 线性元件的特性
(员)方框图 (圆)特性图

线性控制系统的特点是可以应用叠加原理,当系统存在几个输入信号时,系统的输出信号等于各个输入信号分别作用于系统时系统输出信号之和。

如果描述系统的线性微分方程的系数是不随时间而变化的常数,则这种线性控制系统称为线性定常系统,这种系统的响应曲线只取决于输入信号的形状和系统的特性,而与输入信号施加的时间无关。若线性微分方程的系数是时间的函数,则这种线性系统称为线性时变系统,这种系统的响应曲线不仅取决于输入信号的形状和系统的特性,而且和输入信号施加的时刻有关。本书主要讨论线性定常系统。

(圆)非线性控制系统

当控制系统中有一个或一个以上的非线性元件时,系统的特性就要用非线性方程来描述,由非线性方程描述的系统称为非线性控制系统,在控制系统中常见的非线性元件有饱和非线性、死区非线性、磁滞非线性、继电器特性非线性等,如图猿猿远所示。

非线性控制系统不能应用叠加原理。严格地讲,实际的控制系统都存在着不同程度的非线性特性,但大部分的非线性特性当系统变量变化范围不大时,可对非线性特性进行“线性化”处理,这样就可应用线性控制理论进行分析和讨论。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。

猿)按控制系统信号的形式分类

(员)连续控制系统

当控制系统的传递信号都是时间的连续函数,这种系统称之为连续控制系统。连续控制

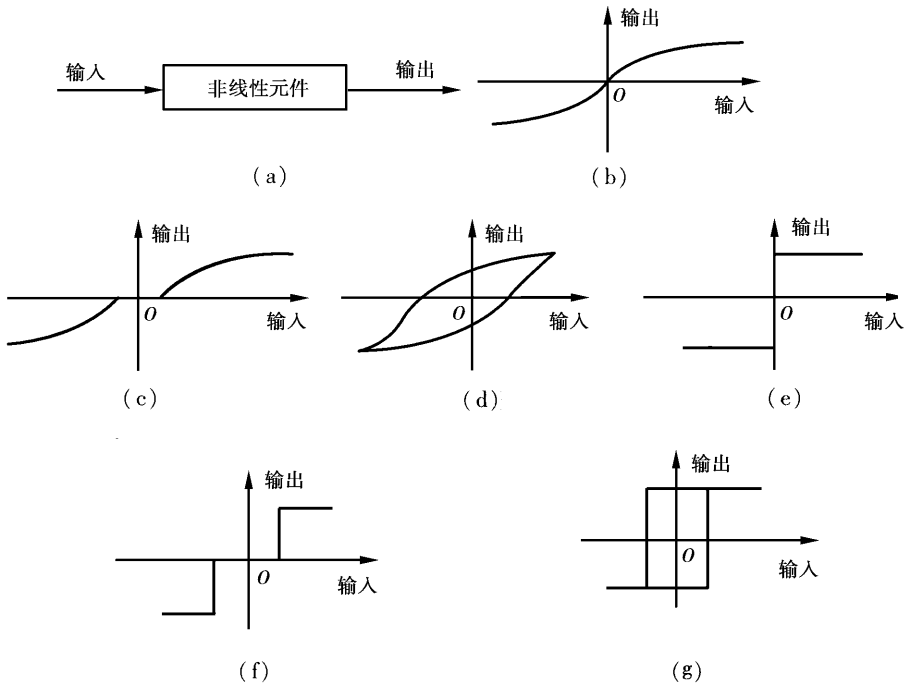


图 1-1 非线性元件静态特性举例

(a) 饱和非线性 (b) 死区非线性 (c) 磁滞非线性 (d) 继电型非线性;
 (e) 带有死区的继电型非线性 (f) 具有磁滞的继电型非线性

系统又常称为模拟量控制系统(相对于数字量信号控制系统而言)。目前大部分控制系统都是连续控制系统。

1.2 离散控制系统

控制系统在某处或几处传递的信号是脉冲序列或数字形式的,在时间上是离散的,称为离散控制系统。离散控制系统的主要特点是:在系统中采用采样开关,将连续信号转变成离散信号,如图 1-2 所示。图 1-2(a)中采样开关将连续信号转变成离散信号。连续信号的时间响应曲线如图 1-2(b)所示。经采样后的离散信号与时间轴的关系如图 1-2(c)所示。本书将在第 4 章对其作一简要阐述。

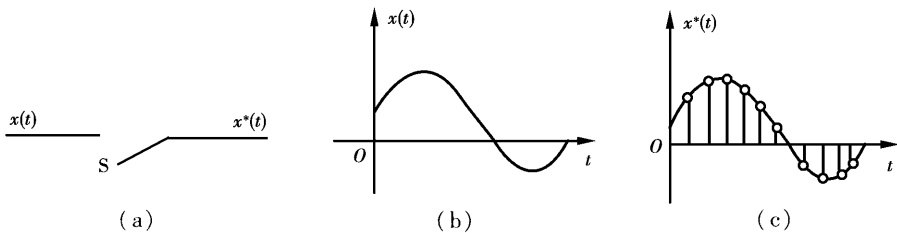


图 1-2 采样开关将连续信号转变为离散信号

(a) 采样开关 (b) 连续信号 (c) 离散信号

员源 其他的分类方法

自动控制系统的分类方法还有很多,例如按控制系统的输入和输出信号的数量来分,有单输入单输出系统和多输入多输出系统;按控制器采用常规的模拟量控制器还是采用计算机控制,则可分为常规控制系统和计算机控制系统;按照不同的控制理论分支设计的新型控制系统,则可分为最优控制系统、自适应控制系统、预测控制系统、模糊控制系统、神经网络控制系统等等,这里就不一一介绍了。

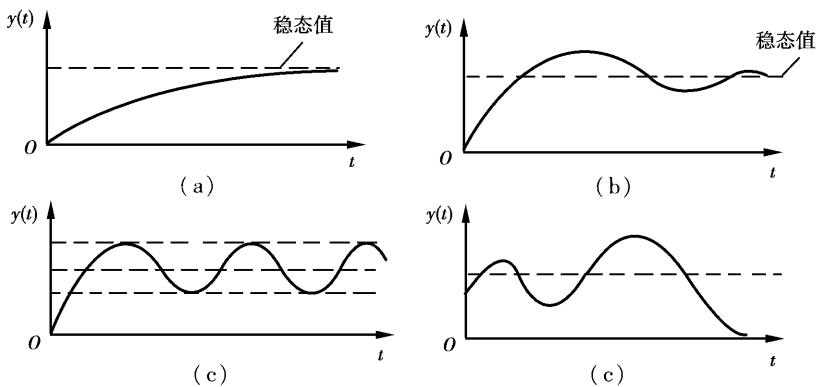
员源 对自动控制系统的基本性能要求

当自动控制系统受到各种干扰(扰动)或人为要求给定值(参考输入)改变时,被控量就会发生变化,偏离给定值。通过系统的自动控制作用,经过一定的过渡过程,被控量又恢复到原来的稳态值或稳定到一个新的给定值。这时系统从原来的平衡状态过渡到一个新的平衡状态,把被控量在变化中的过渡过程称为动态过程(即随时间而变的过程),而把被控量处于平衡状态时称为静态或稳态。

对自动控制系统最基本的要求是必须稳定,也就是要求控制系统被控量的稳态误差(偏差)为零或在允许的范围之内(具体稳态误差可以多大,要根据具体的生产过程的要求而定)。对于一个好的自动控制系统来说,一般要求稳态误差越小越好,最好稳态误差为零。但在实际生产过程中往往做不到完全使稳态误差为零,只能要求稳态误差越小越好。一般要求稳态误差在被控量额定值的圆象~缘之内。

自动控制系统除了要求满足稳态性能之外,还应满足动态过程的性能要求,在具体介绍自动控制系统动态过程要求之前,先看看控制系统的动态过程(动态特性)有哪几种类型,一般的自动控制系统被控量变化的动态特性有以下几种:

①单调过程。被控量赠赋单调变化(即没有“正”、“负”的变化),缓慢地到达新的平衡状态(新的稳态值),如图员源葬所示,一般这种动态过程具有较长的动态过程时间(即到达新的平衡状态所需的时间)。



图员源 自动控制系统被控量的动态特性

(葬)单调过程 (遭)衰减振荡过程 (糟)等幅振荡过程 (凿)渐扩振荡过程

② 衰减振荡过程。被控量 赠 赠 的动态过程是一个振荡过程 ,但是振荡的幅度不断在衰减 ,到过渡过程结束时 ,被控量会达到新的稳态值。这种过程的最大幅度称为超调量 ,如图 员 员 员 所示。

③ 等幅振荡过程。被控量 赠 赠 的动态过程是一个持续等幅振荡过程 ,始终不能达到新的稳态值 ,如图 员 员 员 所示。这种过程如果振荡的幅度较大 ,生产过程不允许 ,则认为是一种不稳定的系统 ,如果振荡的幅度较小 ,生产过程可以允许 ,则认为是稳定的系统。

④ 渐扩振荡过程。被控量 赠 赠 的动态过程不但是一个振荡的过程 ,而且振荡的幅度越来越大 ,以致会大大超过被控量允许的误差范围 ,如图 员 员 员 所示 ,这是一种典型的不稳定过程 ,设计自动控制系统要绝对避免产生这种情况。

一般说来 ,自动控制系统如果设计合理 ,其动态过程多属于图 员 员 员 的情况。为了满足生产过程的要求 ,我们希望控制系统的动态过程不仅是稳定的 ,并且希望过渡过程时间(又称调整时间)越短越好 ,振荡幅度越小越好 ,衰减得越快越好。

综上所述 ,对于一个自动控制系统的性能要求可以概括为 猿 个方面 :稳定性、快速性和准确性。

员 稳定性(稳)

一个自动控制系统的最基本的要求是系统必须是稳定的 ,不稳定的控制系统是不能工作的。如何判断系统是稳定的 ,有很多科学家发明的稳定判据(如劳斯稳定判据、赫尔维茨稳定判据、奈奎斯特稳定判据、李雅普诺夫稳定判据和伯德定理等)将在本书后续章节中详细介绍。

圆 快速性(快)

在系统稳定的前提下 ,希望控制过程(过渡过程)进行得越快越好 ,但是有矛盾 ,如果要求过渡过程时间很短 ,可能使动态误差(偏差)过大。合理的设计应该兼顾这两方面的要求。

猿 准确性(准)

即要求动态误差(偏差)和稳态误差(偏差)都越小越好。当与快速性有矛盾时 ,应兼顾两方面的要求。

关于稳态性能和动态性能的性能指标定量分析计算 ,将在第 猿 章中详细说明。如何能够对自动控制系统进行综合分析、设计与校正 ,经典控制理论对单输入 辮 输出系统采用其精髓“ 一数二法 ”(传递函数、频率响应法、根轨迹法)进行代数与作图分析计算。现代控制理论对多输入 辮 输出系统采用状态空间法应用计算机进行复杂的矩阵分析计算。

小 结

本章首先介绍了什么叫自动控制 ,然后以无人驾驶飞机作为实例 ,介绍了自动控制理论中经常用到的术语 :被控对象、参考输入信号(给定值信号)、扰动、偏差信号、被控量、控制量和自动控制系统等。

本章以电动机转速控制系统和发电机电压控制系统等为例重点说明什么是开环控制系统和闭环控制系统 ,并指出实际生产过程的自动控制系统 ,绝大部分都是闭环控制系统 ,也就是负反馈控制系统。自动控制系统还有其他各种分类的方法 ,但自动控制理论主要是研究按偏