

中等专业学校教材

控制原理 及伺服机械系统

施泽波 主编

江苏科学技术出版社
电子工业出版社

中等专业学校教材

控制原理及伺服机械系统

施泽波 主编 劳建东 审

江苏科技出版社
电子工业出版社

内 容 简 介

本书着重阐述了经典控制系统中的基本理论和伺服机械系统的设计。前者主要介绍控制系统的基本概念、数学模型、时域响应分析和频率响应分析；后者主要介绍伺服系统主要元件、结构因素、传动装置设计和传动链精度分析与计算等。

本书可供中等专业学校电子设备结构专业作为教材，亦可供从事伺服机械系统设计或其他有关专业的技术人员参考。

中等专业学校教材 控制原理及伺服机械系统

施泽波 主编 劳建东 审

出版：江苏科学技术出版社
电子工业出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：淮阴新华印刷厂

开本787×1092 1/16 印张16.5 字数402,500

1989年5月第1版 1989年5月第1次印刷

印数1—600册

ISBN 7-5345-0433-3

TP·13

定价3.28元

责任编辑 华锡全

特约编辑 陈林根

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材按电子工业部的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由中专电子机械类教材编审委员会机械制造专业编审小组征稿,推荐出版,责任编委周光远。

本教材由南京无线电工业学校担任主编,南京七一四厂高级工程师劳建东担任主审。

本课程的参考学时数为70~80学时,其内容着重阐述了经典控制系统中的基本理论和伺服机械系统的设计。在经典控制系统的基本理论中,主要介绍了控制系统的基本概念、控制系统的数学模型、控制系统的时域响应分析和频率响应分析;在伺服机械系统的设计中,主要介绍了伺服系统的主要元件、结构因素对伺服系统的影响、传动系统设计以及传动链的精度分析和计算等内容。全书的编写考虑到中专校的特点,力求在阐明基本原理的基础上,紧密结合工程实际,深入浅出。在使用本教材时,各校可根据实际情况,删减有关内容。

本教材是在南京无线电工业学校龚维薰、韩满林、施泽波编写的《控制原理与伺服机械系统》讲义的基础上改写的。编者对原讲义的体系、内容作了不少变动和修改。本教材由施泽波统编全稿。在编写过程中得到许多教师的帮助,机械委十四研究所高级工程师陈林根同志为本书提出了宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1988.6.

目 录

第一章 控制系统的基本概念

§ 1-1 开环与闭环控制系统	1
§ 1-2 自动控制系统的类型	3
§ 1-3 控制系统的组成	5
§ 1-4 对控制系统的基本要求	7
小结	9
习题	9

第二章 控制系统的数学模型

§ 2-1 控制系统运动方程式的编写	11
§ 2-2 用拉普拉斯变换求解线性微分方程	15
§ 2-3 传递函数	27
§ 2-4 典型环节及其传递函数	30
§ 2-5 系统的方框图及其简化	32
小结	36
习题	36

第三章 时域分析法

§ 3-1 概述	41
§ 3-2 一阶系统的响应	47
§ 3-3 二阶系统的响应	50
§ 3-4 稳态误差分析	57
小结	62
习题	63

第四章 频率响应分析

§ 4-1 频率特性	66
§ 4-2 典型环节频率特性	69
§ 4-3 系统开环频率特性的绘制	75
§ 4-4 稳定判据	77
§ 4-5 用频率法评定系统调整质量	83
§ 4-6 控制系统传递函数的实验确定	87
小结	91
习题	91

第五章 伺服系统的主要元件

§ 5-1 概述	94
§ 5-2 比较和敏感元件	95
§ 5-3 执行元件	105
§ 5-4 放大元件	124
小结	132
习题	133

第六章 结构因素对伺服系统的影响

§ 6-1 摩擦对伺服系统的影响	134
§ 6-2 转动惯量对伺服系统的影响	142
§ 6-3 齿隙对伺服系统的影响	147
§ 6-4 传动误差对伺服系统的影响	150
§ 6-5 结构因素的测量	153
小结	164

第七章 传动装置系统设计

§ 7-1 概述	165
§ 7-2 电动机与总传动比的选择	169
§ 7-3 传动机构的选择	184
§ 7-4 传动链的级数和各级传动比的选择	186
小结	199
习题	199

第八章 传动链的精度分析和计算

§ 8-1 传动误差和空程误差的概念	200
§ 8-2 渐开线圆柱齿轮机构传动误差的分析和计算	201
§ 8-3 渐开线圆柱齿轮机构空程误差的分析和计算	207
§ 8-4 提高传动精度的结构措施	225
小结	241

附录

附录一 自整角机主要技术数据表	242
-----------------	-----

附录二	旋转变压器主要技术数据表·····	244
附录三	ZCF系列直流测速发电机的技术数据表·····	246
附录四	交流异步测速发电机主要技术数据表·····	247
附录五	S系列直流伺服电动机部分产品技术数据表·····	248
附录六	SZ系列直流伺服电动机技术数据·····	248

附录七	SL系列两相交流伺服电动机主要技术数据表·····	251
附录八	SYL系列直流力矩电动机技术指标·····	254
附录九	BF系列反应式步进电动机的主要技术数据表·····	255
附录十	交磁放大机技术数据表·····	255
附录十一	各种控制电机传递函数表·····	256
参考文献	·····	258

第一章 控制系统的基本概念

本章将从控制系统的开环和闭环的定义,控制系统的分类、组成、要求等方面介绍自动控制系统的一些基本概念,从而对自动控制系统提供一个较为明确的认识。

§ 1-1 开环与闭环控制系统

在现代化的工业生产和科学实验过程中,往往需要对设备和工艺过程进行控制,使被控制对象的物理参数保持恒定,或者按照一定的规律变化。例如,对压力、流量、温度、机器执行部件的位置与速度等物理量的控制;对电子设备的稳压部分保持输出电压稳定的控制;雷达天线的方位角与俯仰角的控制、程序机床控制,以及对电子设备的自动微调 and 自动跟踪等。所有这些都需要借助于自动控制系统来加以实现。因而,自动控制系统(简称控制系统)已成为现代化工业生产、科学实验中的重要而不可缺少的组成部分。

控制系统按其结构可分为开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。

1. 开环控制系统

如果控制系统的输出量对系统没有控制作用,这种系统称为开环控制系统。图 1-1 所示直流电动机速度控制系统就是开环控制系统的一个例子。其输入量是给定电压 U_g ,输出量是电动机转速 n 。当改变电位器滑动端位置时,就相应地改变了给定电压 U_g 和可控硅整流装置的输出电压 U_d 。这样,电动机的转速也就随着改变了。对应电位器滑动端的每一个位置,电动机就运行在一个相应的转速上,从而达到了控制的目的。当有外部扰动(例如电动机的负载变化,可控硅电源电压变化等),或内部扰动(例如可控硅的移相器特性变化等)时,电动机转速将偏离给定值。这时如要维持转速不变,必须人工重新调整电位器滑动端的位置。例如负载突然增加,电动机转速降低,偏离了给定值。操作人员检测并判断出转速低于给定值

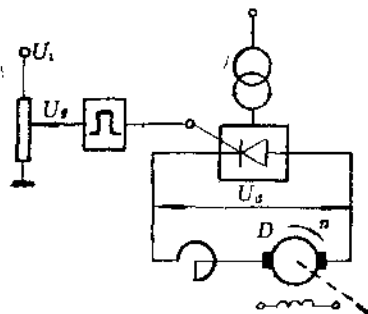


图 1-1 开环调速系统

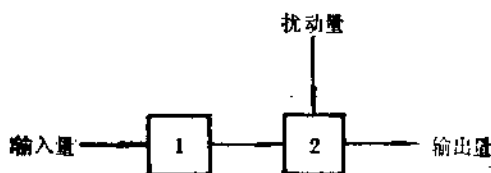


图 1-2 开环控制

1—控制器; 2—控制对象

时,可相应调整电位器增加给定电压 U_g ,使电动机转速上升到给定值。

图 1-2 所示方框图表示了这种系统的输入量与输出量之间的关系。这里,输入量直接经过控制器 1 作用于控制对象 2,没有将输出量反馈到输入端去与输入量进行比较,所以只有输入量对输出量的影响。当出现扰动时,没有人的干预,输出量将不能按照给定量所期望的状态去工作。在电子设备中很多人工调节系统都采用开环控制系统,例如手动调谐系统等。

开环控制系统具有以下特点:

- ①系统输出信号对控制作用没有影响;
- ②无反馈环节,系统必须人工地校准,控制精度低;
- ③当出现干扰时,系统不能完成既定的工作,需要人工调节才能恢复正常;
- ④开环控制系统不存在稳定性问题。

2. 闭环控制系统

随着生产的发展,如果系统中出现干扰都需要人工去进行调节的话,那将无法适应。这就要求设计一装置去代替人工调节,使系统能自动进行调节,这样的一种系统即为闭环控制系统。

控制系统输出的被控制量(输出量)和输入端之间存在着反馈回路(输出量的全部或部分信号返回到输入端称为反馈),这种系统称为闭环控制系统。闭环控制系统是把输出量检测出来,经过物理量的转换,再反馈到输入端去与输入量进行比较(相减),并利用比较后的偏差信号,经过控制器或调节器对控制对象进行控制,达到抑制内部或外部扰动对输出量的影响,减少输出量的误差。

图 1-3 所示闭环调速系统就是闭环控制系统的一个例子。这里用测速发电机 CF 将输出量检测出来,并转换成与给定电压物理量相同的电压 U_f ,然后反馈到输入端。与给定电压 U_g 相比较,其偏差电压经过放大器放大后,用来控制可控硅电压和电动机的转速。当电位器滑动端在某一位置时,电动机就以一个指定的转速运转。如果由于外部或内部扰动,例如由于负载突然增加,使电动机转速降低,那么,这一速度的变化,将由测速发电机检测出来。此时反馈电压 U_f 相应降低,与给定电压比较时,偏差电压增大,再经过放大器放大后,将使可控硅的移相角前移,整流电压升高,电动机转速升高从而减小或消除电动机的转速偏差。这样,不用人的干预,系统就可以自动保持给定转速近似不变。图 1-4 所示方框图表示了这种系统的输入量、输出量和反馈量之间的关系。

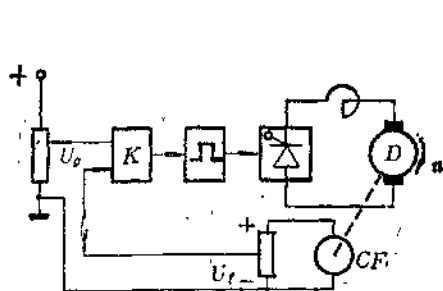


图 1-3 闭环调速系统

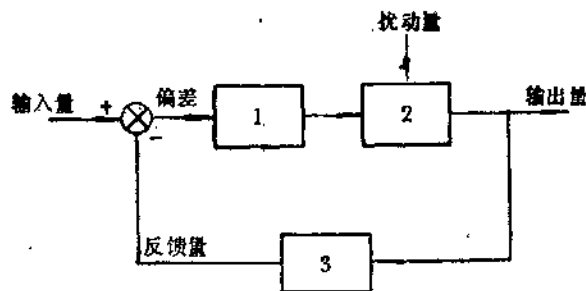


图 1-4 闭环控制

1—控制器; 2—控制对象; 3—检测环节

这种系统把输出量直接或间接地反馈到输入端形成闭环,参与系统的控制,所以称为闭

环控制系统。由于系统是根据负反馈原理按照偏差进行控制的，因此，也叫作反馈控制系统或偏差控制系统。

在电子设备中往往采用闭环控制系统，利用反馈信号与输入信号之间的偏差量作为控制信号来纠正输出信号的偏差。例如电子设备中的稳压电源、自动频率微调、雷达的自动跟踪系统和天线手控同步随动系统等。

闭环控制系统与开环控制系统的区别在于：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的信号传递通道（称为正向通道）。而闭环控制系统中除正向通道外，还必须有从输出端到输入端的信号传递通道（称为反馈通道），使输出信号也参与控制作用。闭环控制系统是由正向通道和反馈通道组成的。

闭环控制系统具有以下特点：

- ①系统输出信号对控制作用有直接影响；
- ②有反馈环节，并应用反馈作用来减小系统误差，以使系统的输出量趋于稳定值；
- ③当出现干扰时，系统无须人工调节，可自行减弱其影响；
- ④闭环控制系统可能工作不稳定，因此存在稳定性校核问题（稳定判据）。

3. 复合控制系统

在有些控制系统中，将开环和闭环控制系统结合在一起，构成开环——闭环控制系统，这种系统统称为复合控制系统，它能够取得很好的控制效果。

§ 1-2 自动控制系统的类型

自动控制系统广泛地应用于电子工业和其它工业部门。随着生产规模的扩大和生产能力的不断提高，以及自动化技术和控制理论的发展，自动控制系统也日益复杂和日趋完善。因而自动控制系统也各式各样，往往很难确切地对自动控制系统进行分类。这里仅就经常讨论的几种自动控制系统的基本类型概括如下：

自动控制系统按被控制量的变化规律可分为恒值控制系统、程序控制系统和伺服系统三类。

1. 恒值控制系统

被控制量基本保持恒定的系统称为恒值控制系统。如被控制量偏离给定值时，系统能自动地进行调节，使之恢复到给定值。例如图 1-5 所示为一个液面高度恒值控制系统，它可以

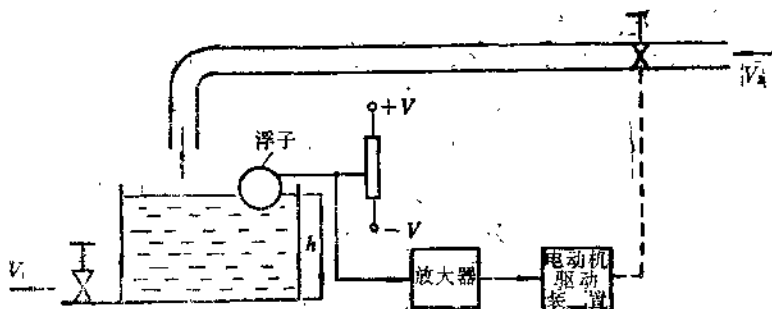


图 1-5 液面高度自动调节系统

精确地将液面高度保持在希望的高度 h 上。如果由于输出量的变化,液面高度偏离希望值 h , 则浮标位置变动,从而使电位计臂移动,产生误差电压 e , 经放大后,由控制电机调节 V_2 阀门,从而改变输入流量以恢复液面高度,使液面高度保持恒值。这个系统是一个反馈控制系统,其输出、输入流量的变化就是对系统的扰动。系统的任务就是在有扰动的情况下,保持液面高度为恒值。

在电子设备中也常采用恒值控制系统,例如电源设备的稳压系统(保持输出电压恒定),通讯电台的自动增益控制系统(保持增益最佳)和自动频率微调系统(保持频率稳定)等。

2. 程序控制系统

使被控制量按预定规律变化的控制系统称为程序控制系统。它的输入量(输入信号)是一个事先安排好的程序(它是时间函数),而控制对象则依据输入信号的规律循序地动作。例如程序控制机床,其控制对象切削刀具根据计算机送来的指令,按一定的操作程序自动地进刀、退刀和停止。

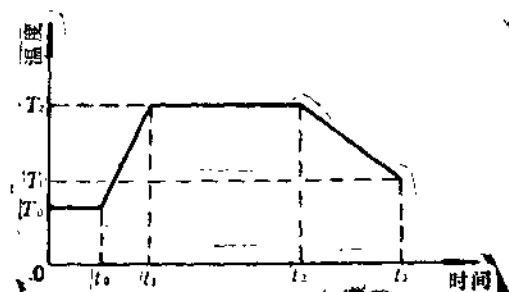


图 1-6 炉温程序控制

图 1-6 所示为某一热处理炉的炉内温度的程序控制,在 $t=t_0$ 到 $t=t_1$ 这段时间内,以一定的速率加热炉温到某一给定的温度值 T_2 ,在 $t=t_1$ 到 $t=t_2$ 这段时间内保持此温度值 T_2 ;而在 $t=t_2$ 到 $t=t_3$ 这段时间内以一定速率使炉温从 T_2 降至 T_1 。

程序控制系统是一个反馈控制系统。在系统工作过程中,应不断检测输出量,通过反馈作用使其与程序指令相比较,当实际输出量偏离程序指令时,则将比较的差值作用于系统,以修正出现的偏差,使输出量按预定的程序变化。

3. 伺服系统

被控制量跟随输入量的变化而变化,而输入量的变化规律是事先不能确定的,这种控制系统称为伺服系统(也称为随动系统)。伺服系统的输入量是随机变量。如雷达的自动跟踪系统,要求天线能迅速而准确地跟随目标运动,而目标(如敌机或舰船等)的运动规律是事先无法预料的。又如雷达的天线手控系统,要求天线能跟随控制手轮转动,而手轮的转速和转向则依据目标的运动而变化,这也无法预料。所有这些目标的运动都是随机变化的。

伺服系统也是一个反馈控制系统。现以图 1-7 所示的导弹发射架方位控制伺服系统为例来说明。通过转动手轮使电位计 R_1 送出指令信号控制导弹发射架转动。当发射架作方位运动时,它的实际方位由电位计 R_2 来检测,从 R_2 所引出的信号反馈到输入端并输至差动放大器。差动放大器是一个偏差检测与放大装置,当发射架实际方位与指令所确定的方位不一致时,差动放大器就输出偏差信号,经功率放大器放大后去控制执行电机,从而驱动发射架,直至发射架的实际方位角与指令信号所确定的方位角相一致,差动放大器即无信号输出,于是实

现手轮转角与导弹发射架方位角相一致。因此，这个系统是由反馈信号控制的伺服系统。

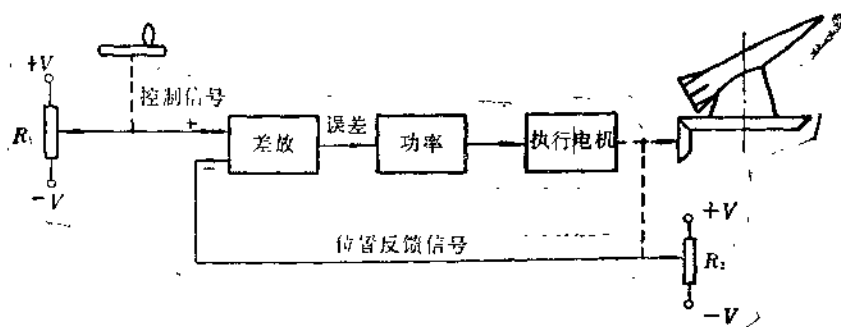


图 1-7 导弹发射架方位控制伺服系统

伺服系统是自动控制系统中应用较广泛地一种控制系统，在电子设备中也被广泛采用。例如雷达天线位置控制系统、卫星和导弹控制系统、各种自动跟踪系统等等。

由上可知，对恒值控制系统来说，它的被控制量是一个给定的恒值，是不随时间变化或作极缓慢变化的量。程序控制系统的被控制量是预先规定好的，它是随时间按预定规律变化的量，是时间的函数。而伺服系统，它的被控制量是随机变化的量，它无规律可循，最多不过是在某些系统中知道它的统计学特征。

上述三种类型控制系统，都是具有反馈回路的控制系统。因此，都属于闭环控制系统。

按组成控制系统主要元件的特性，自动控制系统可分为线性控制系统和非线性控制系统。

(1) 线性控制系统 由线性元件组成的自动控制系统称为线性控制系统。这是一种简单而主要的系统，对于这种系统目前已具有较成熟的理论。

(2) 非线性控制系统 在组成控制系统的各种元件中，只要有一个元件（或环节）是非线性的，这种系统就称为非线性控制系统。对于非线性控制系统的理论研究远不如线性控制系统那样完整和成熟，一般只能满足于定性的描述和计算。而在实际中更多的是把非线性控制系统进行线性化，按线性控制系统进行分析计算。

考虑到本课程的特点，本教材主要以伺服系统为例来阐明自动控制系统的基本原理和分析方法，并只限于线性系统范围内，而对非线性系统不作介绍。

§ 1-3 控制系统的组成

本书中控制系统的符号和术语(图1-8所示)如下：

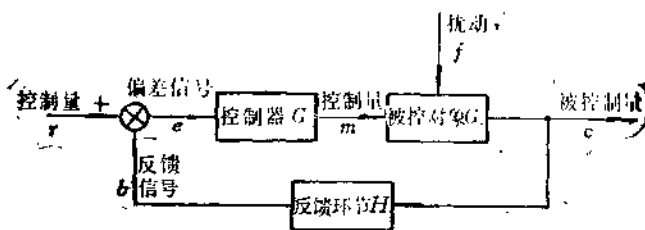


图 1-8 控制系统的符号和术语

控制量 $r(t)$ ——来自控制系统的外部的输入量，与控制系统本身无关，即输入信号；

反馈信号 $b(t)$ ——它是被控制量的函数信号，即与被控制量有函数关系；

偏差信号 $e(t)$ ——它等于输入信号与反馈信号之差；

控制器 G_1 ——它是接收执行信号并产生相应的控制量的环节；

控制量 m ——来自控制器并作用于被控制对象的量；

扰动信号 $f(t)$ ——代表非所要求的而又能影响被控制量的信号；

被控对象 G_2 ——即为所要控制的对象；

被控制量 $c(t)$ ——控制系统中被控制的一个量值，即系统的输出信号（或称响应）；

反馈环节 H ——将被控制量转换为反馈信号的装置；

比较元件 $\otimes$ ——即为输入信号与反馈信号的相加点，其中的正号表示两信号相加，负号表示相减。

图中的箭头表示信号的走向。

由 $r \rightarrow G_1 \rightarrow G_2 \rightarrow c$ 组成的通道称为系统的主通道，或称前向通道。由 $c \rightarrow H \rightarrow b$ 组成的通道称为系统的反馈通道。

以上所述的反馈环节和控制器通常由所谓的变换装置组成。它们能把其输入信号变换成另一种有用的信号形式。在工业中这类例子很多，如电位计、转速计、加速度计等。有时也称它们为各种传感器。此外，控制器还应能对执行信号进行放大、变换和修正，以保证系统的稳定性和其他性能指标。

被控对象要依据所要完成的任务而定，可以是雷达天线、火炮座架、飞机机身，也可以是化工过程、生物过程等。

扰动信号 $f(t)$ 可以是系统内部电源电压不稳定、线路不平衡或摩擦等因素所产生的干扰，也可以是系统外部风力矩、噪声或周围电磁场等因素所产生的干扰。总之，凡是系统非所要求的而又能影响被控制量的所有信号均可称为是扰动信号。

下面以雷达天线方位随动系统为例进一步说明反馈控制系统的组成。图 1-9 为雷达天线方位随动系统机电联接图和方框图。

系统中各组成元件、符号和参数意义如下：

主令信号 θ_i ——系统的输入信号，是手轮转动时的转角，是机械量；

控制器——它由放大器、直流伺服电动机（执行电机）及齿轮减速装置等组成。它接受来自比较环节的

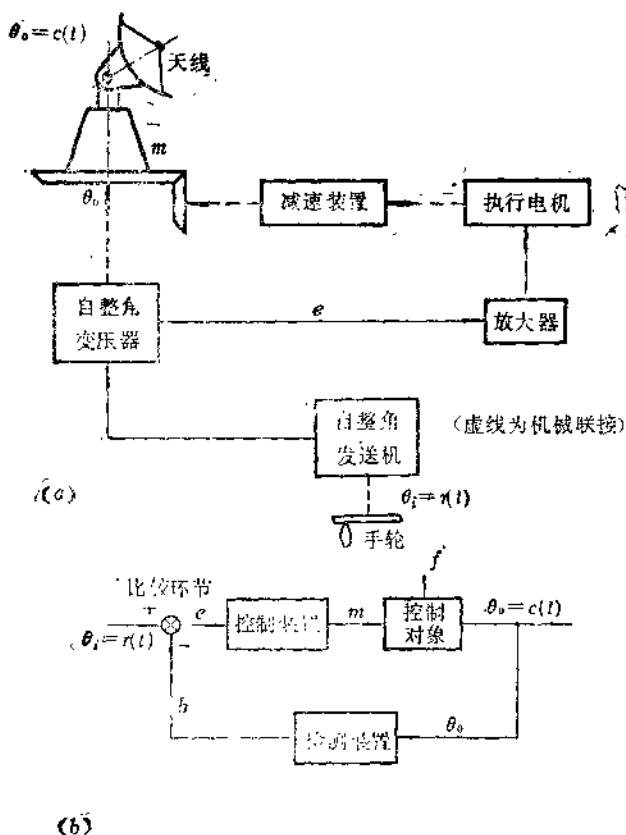


图 1-9 雷达天线方位随动系统机电联接图和方框图
(a) 机电联接图； (b) 方框图

信号 e (电压), 产生一个输出转矩 T , 使雷达天线转动,

被控对象——雷达天线。天线由伺服电动机、齿轮减速装置拖动、天线转动时其方位角 θ_0 变化, θ_0 即为被控制量。

反馈环节——自整角机变压器, 它与天线机械联接, 天线转动时, 方位角 θ_0 输入自整角机变压器, 产生反馈信号 b (电压);

比较环节——自整角机发送机与自整角机变压器(它既是检测装置也是比较环节), 它接受自整角机发送机的输出信号 r (电压) 与本身所产生的反馈信号 b (电压) 相比较, 得出偏差信号 e (电压), 送给控制装置。

可以看出, 系统中的自整角机变压器有二个作用: 一是将天线方位角 θ_0 转化为反馈信号 b (将机械量 θ_0 转变为电信号 b), 起反馈作用; 另一是将主令信号 r 与反馈信号 b 进行比较, 产生偏差信号 e , 起比较作用(作电压比较)。系统的输入量是 $r(t)$, 输出量是 $c(t)$ 。

这个控制系统的扰动信号 $f(t)$ 是一个影响天线方位角转动的量, 可以是天线所受的风力矩、放大器的噪声及齿轮装置的传动误差等。

上述雷达天线方位随动系统, 通过反馈作用, 可使天线与天线控制手轮同步转动, 其同步误差很小(即 $\theta_0 \approx \theta_1$)。读者了解这个反馈控制系统的组成元件和各参数的意义后, 也就不难掌握和理解其工作原理, 这里不再叙述。

§ 1-4 对控制系统的基本要求

对自动控制系统工作性能的要求主要概括为: 稳定性好、动作迅速和精确度高。

1. 稳定性

系统的稳定性包含着两个含义, 一是系统对输入的响应能在一个合理的时间间隔内达到并保持在一个有效值上, 即系统的响应具有收敛的性质。如系统对阶跃输入的响应, 尽管在短时间内可能出现超调或振荡, 但很快就会稳定于期望值上, 如图 1-10(a) 所示。另一是当系统受到扰动而离开稳态值时, 系统能自动恢复到原来的状态, 即系统能自动校正扰动的影响, 如图 1-10(b) 所示。

一个不稳定系统显然是不可能具有上述特性的, 不稳定系统对阶跃输入的响应是呈现等幅的持续振荡或发散的增幅振荡。因而系统的响应不可能保持在一个有效的期望值上, 也不

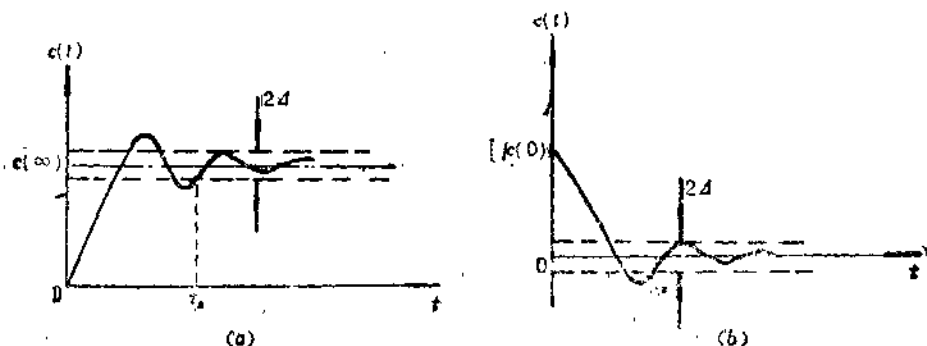


图 1-10 控制系统对单位阶跃输入的响应

能校正扰动的影响,这样的系统是不能完成预期任务的。在伺服系统中,激烈而持续的振荡不仅会使功率元件过载而烧坏,而且也会使伺服机械发生破坏。即使在一般的电子系统中,大振幅的振荡也会使部分元件过载甚至烧坏。因此,一个自动控制系统要正常工作,首先必须要求稳定性好。

各种控制元件或控制系统在响应中的时间延迟或滞后是造成系统不稳定的根源,因为延迟或滞后会阻止控制作用的及时停止。设一位置伺服系统,如图1-11所示,其对阶跃位置输入的响应如图1-10(a)所示。当负载已达到期望值时,则偏差信号 $e=0$,但由于信号传递中的延时或滞后,控制负载的控制量 m 不能同时达到零值,因而负载仍然继续原来的方向运动而产生超调,直至控制信号不能驱动负载为止。这时负载已偏离期望值的另一边而出现反向偏差,于是又出现反方向的运动过程。如此重复下去,再加上负载惯性的影响,在摩擦阻尼较小的情况下,负载将在期望值上来回振荡。如果设计得当,这种振荡会很快地收敛于期望值上,即系统是稳定的。反之,系统是不稳定的。必须指出,有时系统中的信号传递延迟或滞后可能大到使原来的负反馈系统变成正反馈系统,于是反馈的结果不是减弱偏差信号而是加强偏差信号,使输出加强,这当然会使系统响应的振荡愈来愈大,致使系统破坏。

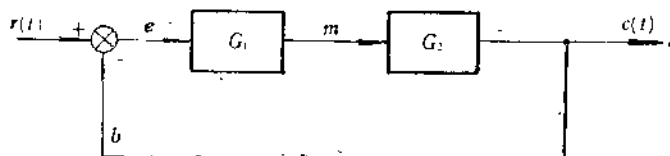


图 1-11 位置伺服系统

考虑到实际系统中各元件参数和特性的某些变化,所以系统除必须稳定外,还必须具备一定的稳定裕量,以保证系统中各元件的参数和特性略有变化时,系统仍能保持稳定。这就是系统的相对稳定性。

2. 快速性

在实际工作中,不仅要求系统稳定,而且还要求被控制量能迅速地按照输入信号所规定的方式变化,即要求系统有一定的响应速度。系统中不可避免总要包含一些惯性元件,因而在控制信号作用下,系统的响应不可能立即达到新的稳态值,而要经过一个短暂的暂态过渡过程。系统在这一暂态过程中的工作情况就反映了系统的响应速度。此外,快速性还表现为暂态过程结束的迅速程度,即振荡衰减的快慢。快速性是控制系统的动态性能指标,系统的快速性主要取决于系统的惯量及阻尼作用的强弱等因素。

由于系统的暂态过程随输入信号的不同而异,因而常用一些标准的输入形式来定义有关的质量指标。例如系统反应阶跃输入信号(见图1-10)时的过渡过程时间 t_s 就表示系统经过一个暂态过渡过程所需要的时间, t_s 越小表示暂态过程结束越迅速,反之,则越长。因此, t_s 是表征系统反应输入信号速度的一项性能指标。

3. 精确度

自动控制系统中采用负反馈构成闭环工作形式,其主要目的就是力图减小任何误差,使其达到所允许的范围之内。从上面讨论的控制系统对单位阶跃输入响应的曲线(图1-10(a))中,我们看到,在振荡完全衰减之前,输出量对输入量而言是存在偏差的,这种在暂态过程中所出现的偏差称为系统的动态误差;在振荡完全衰减之后,输出量对输入量的偏差可能会

继续存在,这种在瞬态过程完全结束后,在系统中存在的偏差就称为稳态误差。对于任何一个控制系统,要求没有任何误差是不可能的。控制系统的精确度就表示为输出响应相对于其理想值的精确程度,它是控制系统的一个基本性能指标。

控制系统产生误差的主要原因是:

①系统本身的结构型式。有些系统从组成原理上来说就是存在稳态误差的,即不论采用何种精确的元件,系统总是存在误差的,这种系统称为有差系统,反之,称为无差系统;

②系统的输入信号的形式。对同一个控制系统,当输入信号的形式不同时,系统的稳态误差是不同的,有的稳态误差为零,有的却存在稳态误差;

③系统组成元件的误差。系统中各种组成元件本身是存在误差的,比如传动机构中的齿隙和传动误差等,电磁元件中的饱和、死区和磁滞等因素,均会造成系统误差;

④系统内、外部各种干扰。如放大器中的噪声、温漂,电磁元件中的杂散耦合、机械振动以及风力矩等均会出现干扰误差。

至于控制系统的误差允许值则要依据设计要求来确定。如机床刀架伺服系统的精度,要依所要求的加工精度而定;跟踪雷达控制系统的精度要依雷达的跟踪精度而定。

由于被控对象的具体情况不同,各种系统对以上三方面的要求是有所侧重的。同一个系统,这三方面的要求也往往是相互制约的,提高过程的快速性,可能会引起系统强烈振荡,改善系统的稳定性,控制过程又可能很迟缓,甚至使最终精度也很差。因此为了获得最佳的系统性能,必须协调这三者的关系。

小 结

(1) 自动控制原理研究的对象是自动控制系统。开环控制系统的主要特点是,若输出量与输入量之间存在偏差,它不能自动调节消除;而闭环控制系统,它能将输出量反馈到比较元件中,与输入量进行比较,从而自动调节输出量,消除偏差,因此闭环控制系统又称为反馈控制系统和偏差控制系统。

(2) 自动控制系统按被控制量的变化规律可分为恒值控制系统、程序控制系统和伺服系统(随动系统),按组成控制系统主要元件的特性又可分为线性控制系统和非线性控制系统。本书主要讨论线性伺服系统。

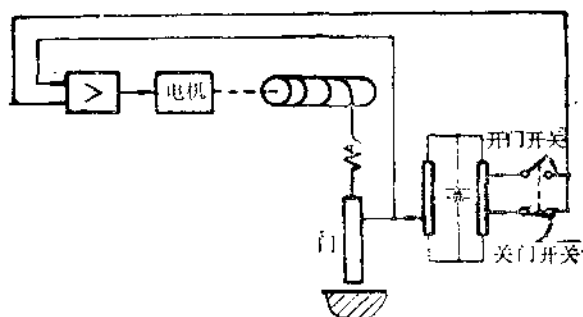
(3) 根据控制对象和使用的元件不同,反馈控制系统有各种不同的组成形式,但概括起来,一般均由以下几个基本环节组成:比较环节、控制器、被控对象和反馈环节。

(4) 对控制系统的基本要求主要有三个方面即:稳定性、快速性和精确度。

习 题

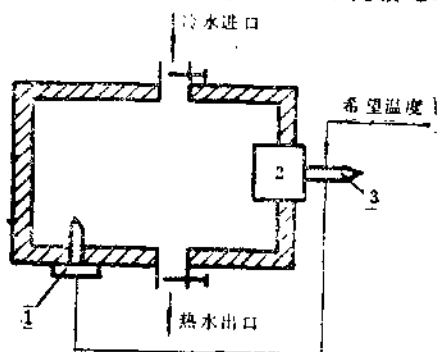
1-1 试列举几个日常生活中的开环控制系统和闭环控制系统的例子,并说明它们的工作原理。

1-2 仓库大门自动控制系统的原理如图所示。试说明自动控制大门开启和关闭的工作原理,并画出系统的方块图。



题 1-2图 大门自动开关控制系统

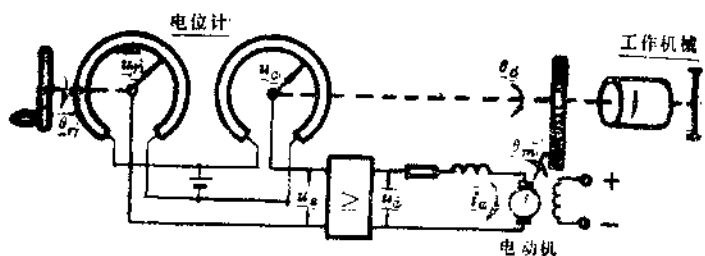
1-3 图示为一热水电加热器, 为了保持希望温度, 由温度开关接通或切断电加热器的电源, 使用热水时, 水箱中流出热水, 并补充冷水。试画出该系统的方块图。若要改变温度时, 说明应怎样改变和操作。



题 1-3图 热水电加热器

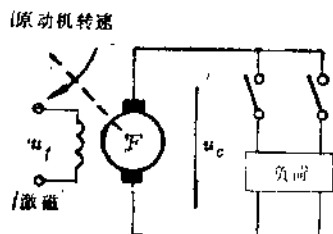
1—测温元件; 2—电加热器; 3—温度控制开关

1-4 图示为一伺服系统, 试说明其工作原理, 并指出该系统的控制量、被控对象、输出量是什么?



题 1-4图 伺服系统

1-5 图示为一直流发电机, 在用电负荷变动的情况下, 希望输出电压不变, 试将其改成闭环控制系统, 并画出方块图。



题 1-5图 直流发电机