

应用型人才培养

21世纪高等学校应用型人才培养规划教材

自动控制原理简明教程

李俊华 张国强 王敏 编

西北工业大学出版社

21 世纪高等学校应用型人才培养规划教材

ZIDONG KONGZHI YUANLI JIANMING JIAOCHENG

自动控制原理简明教程

李俊华 张国强 王敏 编



西北工业大学出版社

西安

【内容简介】 本书比较系统地阐述了自动控制系统的基本概念、原理、方法和应用。全书共 8 章, 主要内容包括自动控制导论、自动控制系统的数学模型、线性系统的时域分析、线性系统的根轨迹分析、线性系统的频域分析、线性系统的串联校正、线性离散系统和非线性控制系统分析。每章均附有小结和习题。

本书内容丰富, 阐述简明扼要, 应用性较强, 适应面较广, 可作为高等学校自动化、电气等相关专业的本科生教材, 也可供相关科技工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理简明教程/李俊华, 张国强, 王敏编.

—西安: 西北工业大学出版社, 2018. 7 —

ISBN 978 - 7 - 5612 - 5863 - 7

I. ①自… II. ①李… ②张… ③王… III. ①自动控制理论—高等学校—教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 026856 号

策划编辑: 何格夫

责任编辑: 李阿盟

出版发行: 西北工业大学出版社

通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072

电 话: (029)88493844 88491757

网 址: www.nwpup.com

印 刷 者: 陕西金德佳印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 13.25

字 数: 320 千字

版 次: 2018 年 7 月第 1 版

2018 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

前 言

自动控制技术主要研究如何让人们脱离复杂、危险、烦琐的工作环境,在没有人直接参与的情况下,通过使用特殊的控制装置使得被控制对象或者被控过程自行按照预定的规律运行,从而极大地降低生产成本和提高生产效率。因此,自动控制技术已在制造业、农业、交通、航空、航天和航海等领域得到广泛的应用。

随着现代科学技术的飞速发展,“自动控制原理”已成为高等学校许多专业培养应用型创新人才的核心课程,也是应用性极强的一门基础理论课程,尤其是正在实现中华民族伟大复兴的中国梦的今天,越来越凸显该课程的重要性。

本书编写的指导思想是,在内容上力求贯彻少而精的原则,既覆盖教学基本要求所规定的主要内容,又适当增添部分拓宽内容。在阐述上由浅入深,简明扼要,使之符合人们认知客观事物的规律,以便于自学。同时反映现代科技发展的新成就。在体系上注重各章节的有机联系,根据笔者多年从事教学的实践和体会,对传统体系结构进行适当调整,并加强主要内容的逻辑性,以便于读者的应用和科技创新能力的培养。

本书的第1,2,5,8章由李俊华编写,第3,4章由王敏编写,第6,7章由张国强编写。全书由李俊华统稿。

西北工业大学史仪凯教授和西安交通大学阎治安教授审阅了本书,并提出宝贵的意见和修改建议。在本书编写过程中,先后得到了西北工业大学明德学院自动化系和教务科研部同志们的关心和支持,同时,借鉴了国内外同行的相关文献资料,在此一并致以诚挚的谢意。

由于水平有限,书中难免有不妥之处,恳请各位读者、同行批评指正。

编 者

2017年12月

目 录

第 1 章 自动控制系统导论	1
1.1 自动控制的定义	1
1.2 自动控制的基本原理	2
1.3 自动控制系统的控制方式	3
1.4 自动控制系统的组成	6
1.5 自动控制系统示例	7
1.6 自动控制系统的分类及基本要求	8
本章小结	9
习题	9
第 2 章 自动控制系统的数学模型	14
2.1 控制系统的时域数学模型	14
2.2 控制系统的复域数学模型	17
2.3 系统结构图及其等效变换	21
2.4 系统传递函数	32
2.5 信号流图与梅逊公式	33
2.6 应用 MATLAB 处理系统数学模型	37
本章小结	39
习题	39
第 3 章 线性系统的时域分析	44
3.1 概述	44
3.2 一阶系统的时域分析	47
3.3 二阶系统的时域分析	51
3.4 高阶系统的时域分析	61
3.5 线性系统的稳定性分析	63
3.6 线性系统的稳态误差	67
3.7 MATLAB 在时域分析中的应用	73
本章小结	79
习题	79
第 4 章 线性系统的根轨迹分析	83
4.1 根轨迹法的基本概念	83
4.2 绘制根轨迹的基本法则	87

4.3	广义根轨迹	97
4.4	利用根轨迹分析系统性能	102
	本章小结	107
	习题	107
第5章	线性系统的频域分析	110
5.1	频率特性的基本概念	110
5.2	幅相频率特性(Nyquist图)	115
5.3	对数频率特性(Bode图)	125
5.4	最小相角系统和非最小相角系统	132
5.5	频域稳定判据	133
5.6	稳定裕度	140
	本章小结	143
	习题	144
第6章	线性系统的串联校正	150
6.1	串联超前校正	150
6.2	串联滞后校正	154
6.3	串联滞后-超前校正	158
6.4	串联PID校正	162
	本章小结	165
	习题	165
第7章	线性离散系统	168
7.1	离散系统	168
7.2	信号采样与保持	171
7.3	z 变换理论	175
7.4	离散系统的数学模型	182
	本章小结	189
	习题	190
第8章	非线性控制系统分析	192
8.1	非线性控制系统概述	192
8.2	相平面法	193
8.3	描述函数法	197
	本章小结	202
	习题	202
	参考文献	205

第 1 章 自动控制系统导论

1.1 自动控制的定义

在许多工业生产过程或生产设备运行中,为了保证正常的工作条件,往往需要对某些物理量(如温度、压力、流量、液位、电压、位移和转速等)进行控制,使其尽量维持在某个数值附近,或使其按一定规律变化。要满足这种需要,就应该对生产机械或设备进行及时的操作,以抵消外界干扰的影响。这种操作通常称为控制,用人工操作称为人工控制,用自动装置来完成称为自动控制。

人工控制水位保持恒定的供水系统如图 1-1(a)所示。水池中的水位是被控制的物理量,简称被控量。水池这个设备是被控制的对象,简称被控对象。当水位在给定位置且流入、流出量相等时,它处于平衡状态。当流出量发生变化或水位给定值发生变化时,就需要对流入量进行必要的控制。在人工控制方式下,工人先用眼观看水位情况,再用脑比较实际水位与期望水位的差异并根据经验做出决策,确定进水阀门的调节方向与幅度,然后用手操作进水阀门,最终使水位等于给定值。只要水位偏离了期望值,工人便要重复上述调节过程。

水池水位自动控制系统的一种简单形式如图 1-1(b)所示。图中,用浮子代替人的眼睛,用来测量水位高低;另用一套杠杆机构代替人的大脑和手的功能,用来进行比较、计算误差并实施控制。杠杆的一端由浮子带动,另一端则连向进水阀门。当用水量增大时,水位开始下降,浮子也随之降低,通过杠杆的作用将进水阀门开大,使水位回到期望值附近。反之,若用水量变小,则水位及浮子上升,进水阀门关小,水位自动下降到期望值附近。整个过程中无须人工直接参与,控制过程是自动进行的。

图 1-1(b)所示的系统虽然可以实现自动控制,但由于结构简陋而存在缺陷,主要表现在被控制的水位高度将随着出水量的变化而变化。出水量越多,水位就越低,偏离期望值就越远,误差就越大。控制的结果总存在着一定范围的误差值。这是因为当出水量增加时,为了使水位基本保持恒定不变,就得开大阀门,增加进水量。要开大进水阀门,唯一的途径是浮子要下降得更多,这意味着实际水位要偏离期望值更多。这样,整个系统就会在较低的水位上建立起新的平衡状态。

为克服上述缺点,可在原系统中增加一些设备而组成较完善的自动控制系统,如图 1-2 所示。这里,浮子仍是测量元件,连杆起着比较作用,它将期望水位与实际水位两者进行比较,得出误差,同时推动电位器的滑臂上下移动。电位器输出电压反映了误差的性质(大小和方向)。电位器输出的微弱电压经放大器放大后驱动直流伺服电动机,其转轴经减速器后拖动进水阀门,对系统起控制作用。

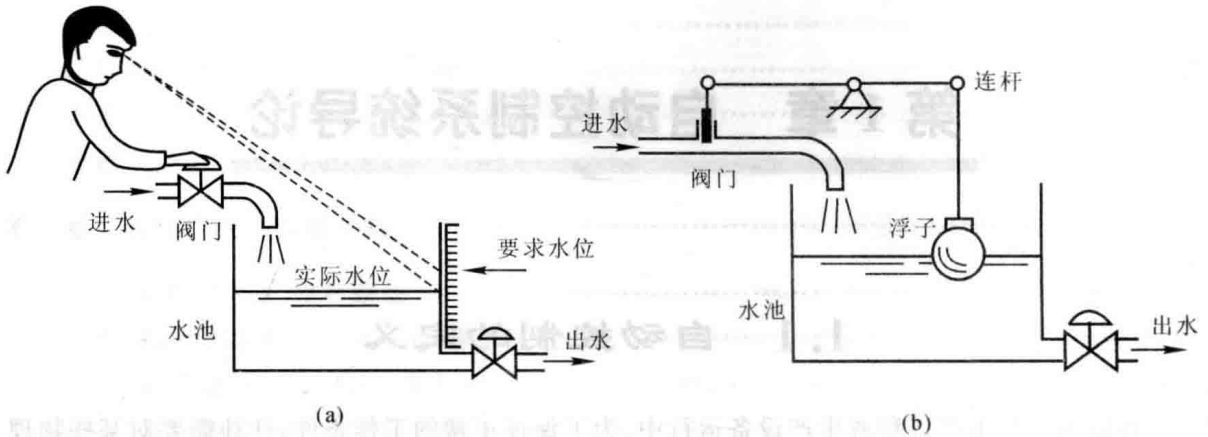


图 1-1 水位控制系统

(a)人工控制的水位系统； (b)简单的水位自动控制系统

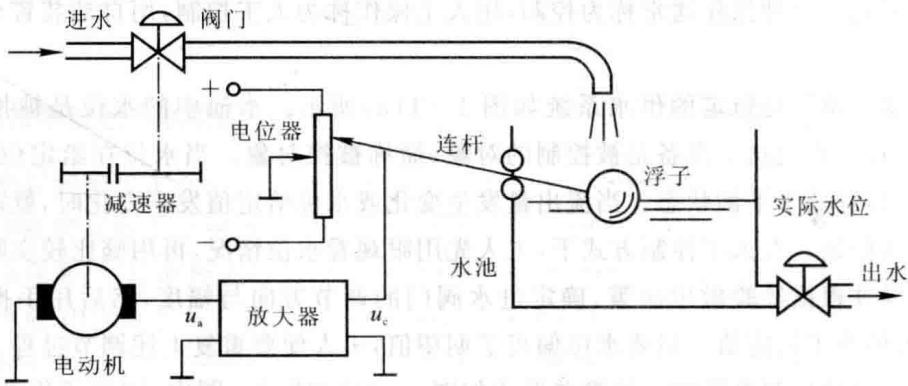


图 1-2 水位自动控制系统

在正常情况下,实际水位等于期望值,此时,电位器的滑臂居中, $u_c=0$ 。当出水量增大时,浮子下降,带动电位器滑臂向上移动, $u_c>0$,经放大后成为 u_a ,控制电动机正向旋转,以增大进水阀门开度,促使水位回升。当实际水位恢复到期望值时, $u_c=0$,系统达到新的平衡状态。

可见,该系统在运行时,无论何种干扰引起水位出现偏差,系统都要进行调节,最终总是使实际水位等于期望值,大大提高了控制精度。由此例可知,自动控制和人工控制极为相似,自动控制系统只不过是把某些装置有机地组合在一起,以代替人的职能而已。图 1-2 中的浮子相当于人的眼睛,对实际水位进行测量;连杆和电位器类似于人的大脑,完成比较运算,给出偏差的大小和极性;电动机相当于人手,调节阀门开度,对水位实施控制。这些装置相互配合,承担着控制的职能,通常称之为控制器(或控制装置)。任何一个控制系统,都是由被控对象和控制器两部分所组成的。

1.2 自动控制的基本原理

自动控制原理是关于自动控制系统的构成、分析和设计的理论。自动控制原理的任务是研究自动控制共同规律的技术科学,为建造高性能的自动控制系统提供必要的理论基础。自动控制技术广泛应用于各种工程学科领域,并扩展到生物、医学、环境、经济管理和其他许多社

会生活领域。自动控制原理作为独立的学科,与其他学科相互渗透,是一门理论性较强的工程学科。

自动控制的基本原理则是通过控制器使被控对象或过程按照预定的规律运行。自动控制结构图如图 1-3 所示。



图 1-3 自动控制结构图

自动控制理论是研究自动控制技术的基础理论,以传递函数作为描述系统的数学模型,以时域分析法、根轨迹法和频域分析法为主要分析设计工具,构成了经典控制理论的基本框架。自动控制理论研究的对象基本上是以线性定常系统为主的单输入、单输出系统。现代控制理论主要利用计算机作为系统建模、分析、设计乃至控制手段,适用于非线性和时变系统。以物理概念研究背景为基础,经典控制理论与现代控制理论的区别见表 1-1。

表 1-1 经典控制理论与现代控制理论的区别

	经典控制理论	现代控制理论
时间分界	20 世纪 60 年代,达到完善	20 世纪 60 年代,开始发展
数学工具	常微分方程,传递函数	一阶微分方程组,状态空间方程(传递函数矩阵)
研究对象	单输入、单输出系统,定常系统	多输入、多输出系统,定常和时变系统
系统变量	注重系统的输入、输出关系	研究系统输入、输出及内部变量的运动关系

1.3 自动控制系统的控制方式

最常见的控制方式有三种:开环控制、闭环控制和复合控制。对于某一个具体的系统,采取什么样的控制手段,应该根据具体的用途和目的而定。系统的控制作用不受输出影响的控制系统称开环控制系统。在开环控制系统中,输入端与输出端之间只有信号的前向通道,不存在由输出端到输入端的反馈通路。

1.3.1 开环控制系统

他激直流电动机转速控制系统就是一个开环控制系统,其结构图如图 1-4(a) 所示。它的任务是控制直流电动机以恒定的转速带动负载工作。系统的工作原理是,调节电位器 R_w 的滑臂,使其输出给定参考电压 u_r 。 u_r 经电压放大和功率放大后成为 u_a ,送到电动机的电枢端,用来控制电动机转速。在负载恒定的条件下,他激直流电动机的转速 ω 与电枢电压 u_a 成正比,只要改变给定电压 u_r ,便可得到相应的电动机转速 ω 。

在本系统中,直流电动机是被控对象,电动机的转速 ω 是被控量,也称为系统的输出量或输出信号。通常把参考电压 u_r 称为系统的给定量或输入量。

就图 1-4(a) 而言,只有输入量 u_r 对输出量 ω 的单向控制作用,而输出量 ω 对输入量 u_r 却

没有任何影响和联系,称这种系统为开环控制系统。

直流电动机转速开环控制系统可用图 1-4(b) 所示的方框图表示。图中用方框代表系统中具有相应职能的元部件,用箭头表示元部件之间的信号及其传递方向。电动机负载转矩 M_c 的任何变动,都会使输出量 ω 偏离希望值,这种作用称之为干扰或扰动。

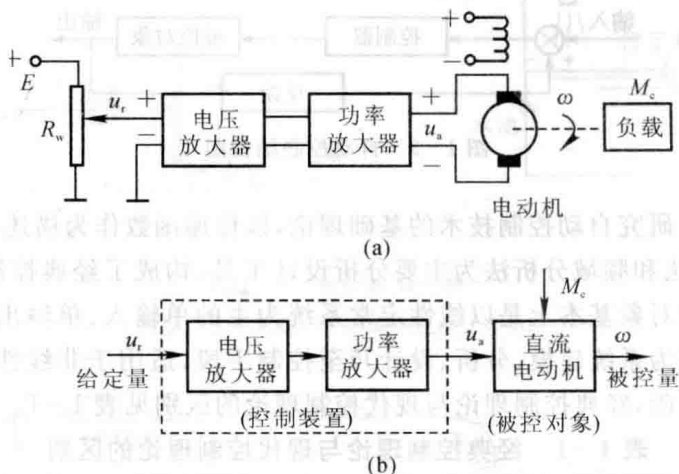


图 1-4 直流电动机转速开环控制系统

(a) 直流电动机转速开环控制系统结构图; (b) 直流电动机转速开环控制系统方框图

1.3.2 闭环控制系统

开环控制系统精度不高和适应性不强的主要原因是缺少从系统输出到输入的反馈回路。若要提高控制精度,将被控量的值与期望值进行比较,通过控制器对被控对象施加作用,使被控对象尽可能达到期望值。反馈控制系统的典型方框图如图 1-5 所示。

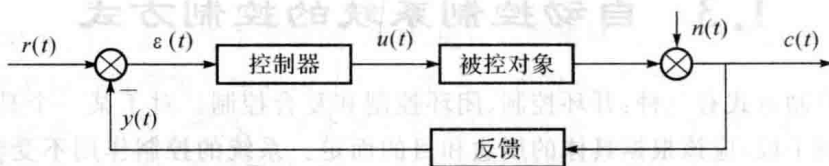


图 1-5 反馈控制系统的典型方框图

$r(t)$: 输入信号,控制指令,参考输入;

$\epsilon(t)$: 偏差信号, $\epsilon(t) = r(t) - y(t)$;

$c(t)$: 输出信号,被控量;

$u(t)$: 控制信号,被控对象的输入;

$n(t)$: 扰动信号,干扰信号。

直流电动机转速开环控制系统结构图如图 1-6(a) 所示。加入一台测速发电机,并对电路稍作改变,便构成了如图 1-6(b) 所示的直流电动机转速闭环控制系统。

在图 1-6(a) 中,测速发电机由电动机同轴带动,它将电动机的实际转速 ω (系统输出量) 测量出来,并转换成电压 u_f ,再反馈到系统的输入端,与给定值电压 u_r (系统输入量) 进行比较,从而得出电压 $u_c = u_r - u_f$ 。由于该电压能间接地反映出误差的性质(即大小和正负方向),

通常称之为偏差信号,简称偏差。偏差 u_c 经放大器放大后成为 u_a ,用以控制电动机转速 ω 。

直流电动机转速闭环控制系统可用图 1-6(b) 所示的方框图来表示。通常,把从系统输入量到输出量之间的通道称为前向通道;从输出量到反馈信号之间的通道称为反馈通道。方框图中用符号“ \otimes ”表示比较环节,其输出量等于各个输入量的代数和。因此,各个输入量均须用正、负号表明其极性。图中清楚地表明,由于采用了反馈回路,致使信号的传输路径形成闭合回路,使输出量反过来直接影响控制作用。这种通过反馈回路使系统构成闭环,并按偏差产生控制作用,用以减小或消除偏差的控制系统,称为闭环控制系统,或称反馈控制系统。

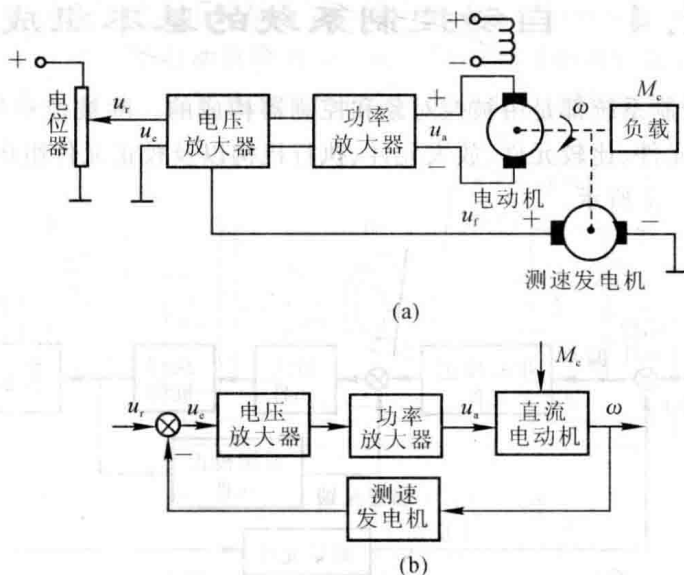


图 1-6 直流电动机转速闭环控制系统

(a) 直流电动机转速闭环控制系统结构图; (b) 直流电动机转速闭环控制系统方框图

必须指出,在系统主反馈通道中,只有采用负反馈才能达到控制的目的。若采用正反馈,将使偏差越来越大,导致系统发散而无法工作。

闭环系统工作的本质机理是,将系统的输出信号引回到输入端,与输入信号相比较,利用所得的偏差信号对系统进行调节,达到减小偏差或消除偏差的目的。这就是负反馈控制原理,它是构成闭环控制系统的核心。

一般来说,开环控制系统结构比较简单,成本较低。开环控制系统的缺点是控制精度不高,抑制干扰能力差,而且对系统参数变化比较敏感。一般用于可以不考虑外界影响或精度要求不高的场合,如洗衣机、步进电机控制及水位调节等。

在闭环控制系统中,不论是输入信号的变化,或者干扰的影响,或者系统内部的变化,只要是被控量偏离了给定值,都会产生相应的作用去消除偏差。因此,闭环控制抑制干扰能力强,与开环控制相比,系统对参数变化不敏感,可以选用不太精密的元件构成较为精密的控制系统,获得满意的动态特性和控制精度。但是采用反馈装置需要添加元部件,增加了系统的复杂性。如果系统的结构参数选取不适当,控制过程可能变得很差,甚至出现振荡或发散等不稳定的情况。因此,合理选择系统的结构参数,是自动控制理论必须研究解决的问题。

1.3.3 复合控制系统

反馈控制只有在外作用(输入信号或干扰)对控制对象产生影响之后才能做出相应的控制。尤其当控制对象具有较大延迟时间时,反馈控制不能及时地影响输出的变化,会影响系统输出的平稳性。前馈控制能使系统及时感受输入信号,使系统在偏差即将产生之前就注意纠正偏差。将前馈控制和反馈控制结合起来,就构成复合控制,它可以有效提高系统的控制精度。

1.4 自动控制系统的基本组成

任何一个自动控制系统都是由被控对象和控制器构成的。除被控对象外,控制装置通常是由给定元件、测量元件、比较元件、放大元件、执行机构以及校正元件组成的。典型的反馈控制系统方框图如图 1-7 所示。

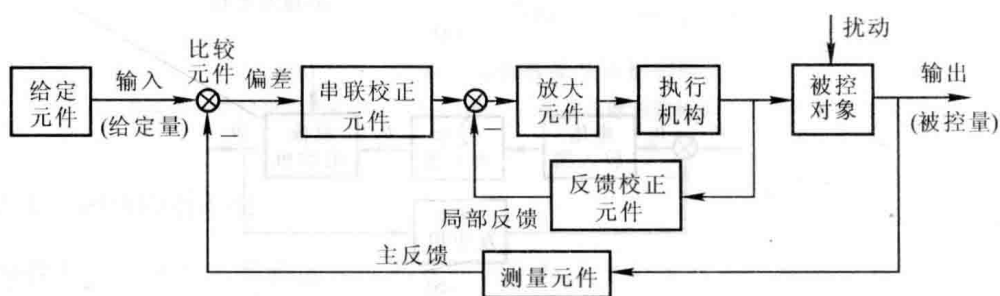


图 1-7 典型的反馈控制系统方框图

给定元件:给出系统的控制指令或参考输入信号。

比较元件:将测量到的输出信号对应值与参考输入值比较,得出偏差信号,作为控制器的输入信号。

校正元件:用来改善或提高系统的性能,常用串联的方式连接在系统中。

放大元件:用来放大偏差信号的幅值和功率,使之能够推动执行机构调节被控对象。

执行机构:用于直接对被控对象进行操作,调节被控量。

控制器:包括放大元件(将弱信号放大)和校正元件(改善系统性能),有时也包括执行元件(功率驱动)。

测量元件:监测系统中的变量,主要检测被控的物理量。

被控对象:一般是指生产过程中需要进行控制的工作机械、装置或生产过程。描述被控对象工作状态的、需要进行控制的物理量就是被控量。

控制系统的组成部分还应考虑到作用在系统上的扰动因素(负载扰动、环境因素变化等),自动控制系统的主要作用就是克服扰动对系统的影响。

1.5 自动控制系统示例

1.5.1 电压调节系统

电压调节系统工作原理如图1-8所示。在负载恒定,发电机输出规定电压的情况下,偏差电压 $\Delta u = u_r - u = 0$,放大器输出为零,电动机不动,励磁电位器的滑臂保持在原来的位置上,发电机的励磁电流不变,发电机在电动机带动下维持恒定的输出电压。当负载增加使发电机输出电压低于规定电压时,输出电压经反馈后与给定电压比较后所得的偏差电压 $\Delta u = u_r - u > 0$,放大器输出电压 u_1 便驱动电动机带动励磁电位器的滑臂顺时针旋转,使励磁电流增加,发电机输出电压 u 上升。直到 u 达到规定电压 u_r 时,电动机停止转动,输出满足要求的电压。

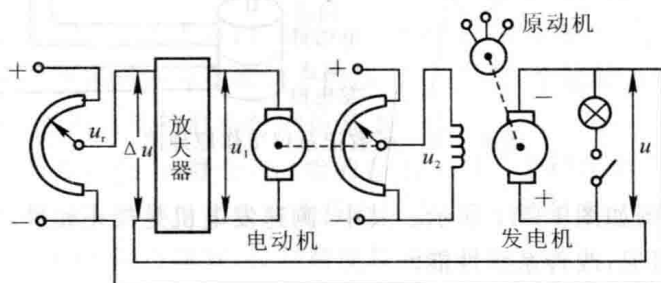


图 1-8 电压调节系统工作原理图

电压调节系统中,发电机是被控对象,发电机的输出电压是被控量,给定量是给定电位器设定的电压 u_r 。电压调节系统如图1-9所示。



图 1-9 电压调节系统方框图

1.5.2 函数记录仪

函数记录仪是一种通用记录仪,它可以在直角坐标系上自动描绘两个电量的函数关系。同时,记录仪还带有走纸机构,用以描绘一个电量对时间的函数关系。

函数记录仪通常由衰减器、测量元件、放大元件、伺服电动机、测速机组、齿轮系及绳轮等组成,其工作原理如图1-10所示。系统的输入(给定量)是待记录电压,被控对象是记录笔,笔的位移是被控量。系统的任务是控制记录笔位移,在纸上描绘出待记录的电压曲线。在图1-10中,测量元件是由电位器 R_Q 和 R_M 组成的桥式测量电路,记录笔就固定在电位器 R_M 的滑臂上,因此,测量电路的输出电压 u_p 与记录笔位移 L 成正比。当有慢变的输入电压 u_r 时,在放大元件输入口得到偏差电压 $\Delta u = u_r - u_p$,经放大后驱动伺服电动机,并通过齿轮减速器及

绳轮带动记录笔移动,同时使偏差电压减小。当偏差电压 $\Delta u = 0$ 时,电动机停止转动,记录笔也静止不动。此时 $u_p = u_r$,表明记录笔位移 L 与输入电压相对应。如果输入电压随时间连续变化,记录笔便描绘出相应的电压曲线。

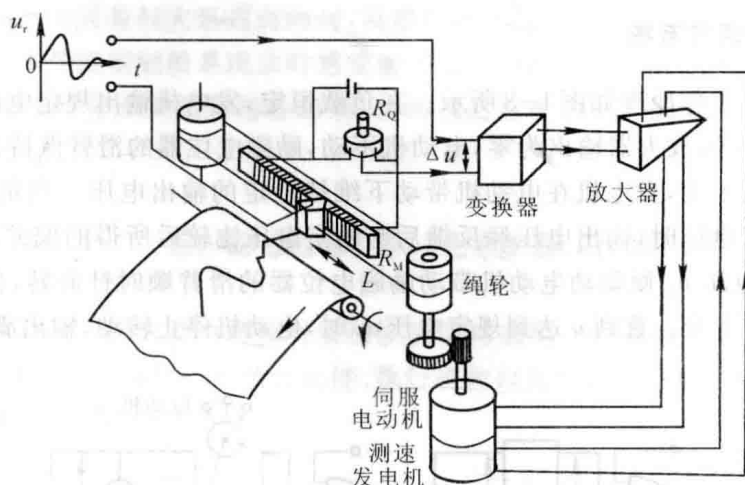


图 1-10 函数记录仪工作原理图

函数记录仪方框图如图 1-11 所示。其中,测速发电机是校正元件,它测量电动机转速并进行反馈,用以增加阻尼,改善系统性能。

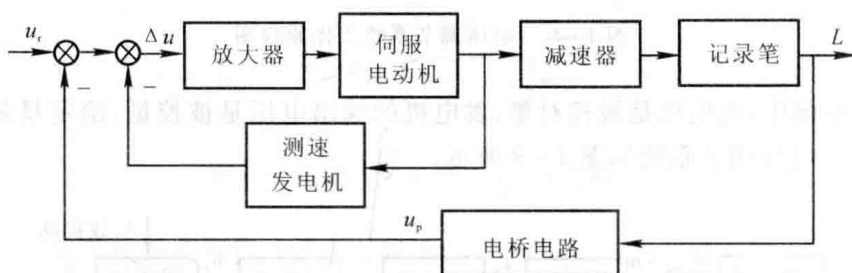


图 1-11 函数记录仪控制系统方框图

1.6 自动控制系统的分类及基本要求

1. 依据信号的连续性分类

- (1) 连续系统,系统中的信号均是时间连续函数;
- (2) 离散系统,系统中含有离散信号(在时间上不连续)。

2. 依据系统的线性性质分类

- (1) 线性系统,系统的动态特性可用线性微分或差分方程描述;
- (2) 非线性系统,不能用线性方程描述的系统。

3. 依据系统参数特征分类

- (1) 定常系统,也称为时不变系统,系统的参数都是常数;
- (2) 时变系统,系统中有的参数是时间函数。

4. 依据控制目标分类

(1) 恒值控制系统,系统的参考输入信号是恒值,控制目标是保持系统输出不变。

(2) 随动控制系统,系统的参考输入信号是已知或未知的时间函数,控制目标是保证系统输出及时准确地跟随参考输入变化。

(3) 程序控制系统,系统的参考输入信号是事先已知的时间信号。

(4) 最优控制系统,使控制系统的指定目标函数最优(通常是取值最小)。

实际物理系统一般都含有储能元件或惯性元件,因而系统的输出量和反馈量总是滞后于输入量的变化。因此,当输入量发生变化时,输出量从原平衡状态变化到新的平衡状态总是要经历一定的时间。在输入量的作用下,系统的输出变量由初始状态达到最终稳态的中间变化过程称过渡过程,又称瞬态过程。过渡过程结束后的输出响应称为稳态过程。系统的输出响应由过渡过程和稳态过程组成。

不同的控制对象、不同的工作方式和控制任务,对系统的品质指标要求也往往不相同。一般来说,对系统品质指标的基本要求可以归纳为三个字:稳、准、快。

稳定性:稳定性是系统重新恢复平衡状态的能力。任何一个能够正常工作的控制系统,首先必须是稳定的。稳定是对自动控制系统的最低要求。

准确性:准确性是对系统稳态(静态)性能的要求。对一个稳定的系统而言,过渡过程结束后,系统输出量的实际值与期望值之差称为稳态误差,它是衡量系统控制精度的重要指标。稳态误差越小,表示系统的准确性越好,控制精度越高。

快速性:快速性是对系统动态性能(过渡过程性能)的要求。描述系统动态性能可以用平稳性和快速性加以衡量。平稳指系统由初始状态运动到新的平衡状态时,具有较小的过调和振荡性;快速指系统运动到新的平衡状态所需要的调节时间较短。动态性能是衡量系统质量高低的重要指标。

本章小结

自动控制理论中常用的术语:被控对象,参考输入信号(给定值信号),扰动信号、偏差信号,被控量,控制量和自动控制系统。

自动控制系统的组成及其方框图,自动控制系统的分类方法。

开环控制系统和闭环控制系统概念(实际生产过程的自动控制系统,绝大多数是闭环控制系统,即负反馈控制系统)。

对自动控制系统的性能要求,即稳定性、快速性和准确性。自动控制系统的最低要求首先是稳,然后进一步的要求是快和准,当两者存在矛盾时,设计自动控制系统要兼顾两方面的要求。

习 题

1-1 根据图 1-12 所示的电动机速度控制系统工作原理图完成:

(1) 将 a, b 与 c, d 用线连接成负反馈状态;

(2) 画出系统方框图。

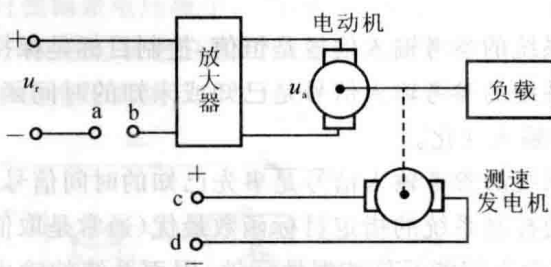


图 1-12 电动机速度控制原理图

1-2 图 1-13 所示是仓库大门自动控制系统原理示意图。试说明系统自动控制大门开、闭的工作原理,并画出系统方框图。

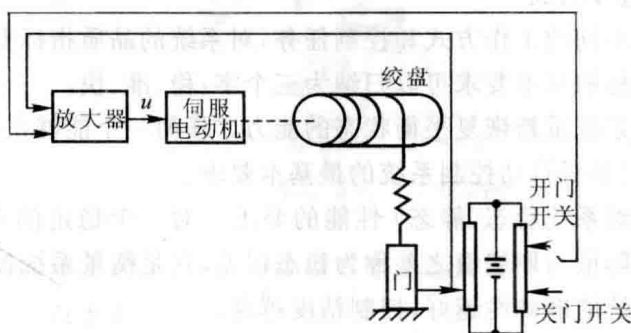


图 1-13 仓库大门自动控制系统原理图

1-3 恒温箱的温度自动控制系统原理如图 1-14 所示。

- (1) 画出系统的方框图；
- (2) 简述保持恒温箱温度恒定的工作原理；
- (3) 指出该控制系统的被控对象和被控变量分别是什么。

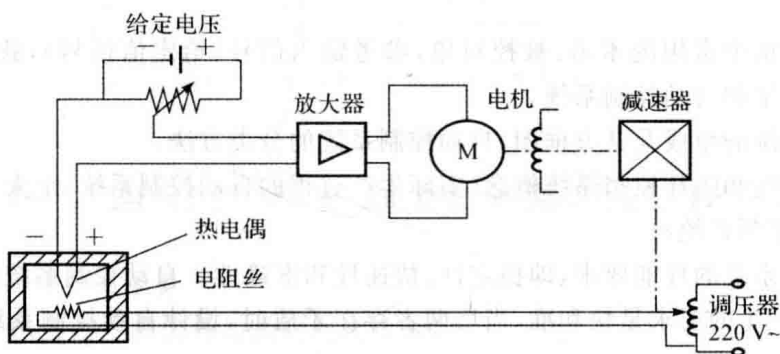


图 1-14 恒温箱的温度自动控制系统原理图

1-4 图 1-15 所示是控制导弹发射架方位的电位器式随动系统原理图。图中电位器 P_1, P_2 并联后跨接到同一电源 E 的两端,其滑臂分别与输入轴和输出轴相连接,组成方位角的给定元件和测量反馈元件。输入轴由手轮操纵;输出轴则由直流电动机经减速后带动,电动机采用电枢控制的方式工作。

试分析系统的工作原理,指出系统的被控对象、被控量和给定量,画出系统的方框图。

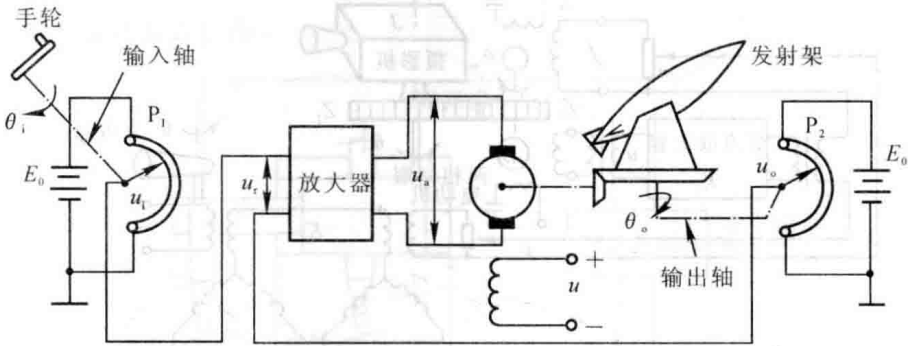


图 1-15 导弹发射架方位角控制系统原理图

1-5 图 1-16 所示是采用离心调速器的蒸汽机转速自动控制系统原理图。其工作原理是,当蒸汽机带动负载转动时,通过圆锥齿轮带动一对飞锤作水平旋转。飞锤通过铰链可带动套筒上、下滑动,套筒内装有平衡弹簧,套筒上、下滑动时可拨动杠杆,杠杆另一端通过连杆调节供汽阀门的开度。当蒸汽机正常运行时,飞锤旋转所产生的离心力与弹簧的反弹力相平衡,套筒保持某个高度,使阀门处于一个平衡位置。如果由于负载增大使蒸汽机转速 ω 下降,则飞锤因离心力减小而使套筒向下滑动,并通过杠杆增大供汽阀门的开度,从而使蒸汽机的转速回升。同理,如果由于负载减小使蒸汽机的转速 ω 增加,则飞锤因离心力增加而使套筒上滑,并通过杠杆减小供汽阀门的开度,迫使蒸汽机转速回落。这样,离心调速器就能自动地抵制负载变化对转速的影响,使蒸汽机的转速 ω 保持在某个期望值附近。

指出系统中的被控对象、被控量和给定量,画出系统的方框图。

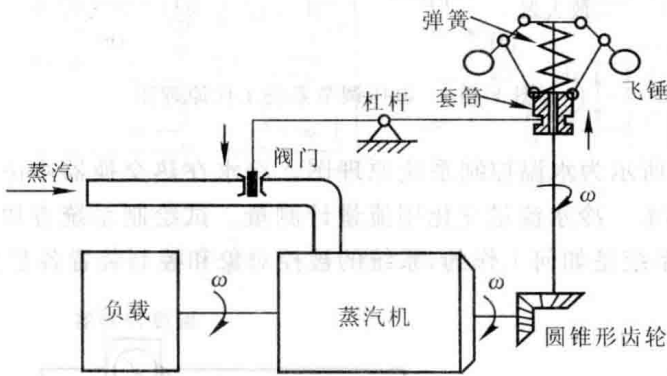


图 1-16 蒸汽机转速自动控制系统原理图

1-6 摄像机角位置自动跟踪系统如图 1-17 所示。当光点显示器对准某个方向时,摄像机会自动跟踪并对准这个方向。试分析系统的工作原理,指出被控对象、被控量及给定量,画出系统的方框图。