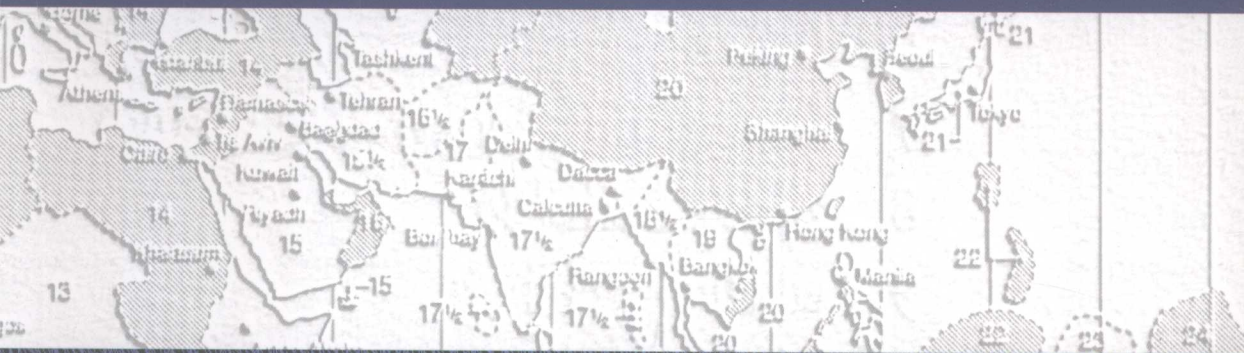




卓越系列 · 21 世纪高职高专精品规划教材



自动控制原理

AUTOCONTROL THEORY

主 编 霍淑珍

自动控制原理

主 编 霍淑珍
副主编 徐学锋
参 编 李 珍 张金环
张永飞 张悦旺

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/霍淑珍主编. —天津:天津大学出版社,
2008.7

ISBN 978 - 7 - 5618 - 2692 - 8

I. 自… II. 霍… III. 自动控制理论 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 086551 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022 - 27403647 邮购部:022 - 27402742
印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 169mm × 239mm
印 张 13.25
字 数 283 千
版 次 2008 年 7 月第 1 版
印 次 2008 年 7 月第 1 次
印 数 1—3 000
定 价 20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

自动控制广泛地应用于机电一体化各项工程中,实现了工业生产设备的自动化,从而改善了劳动条件,提高了产品质量,显著地提高了企业的经济效益。自动控制原理是专门研究有关自动控制系统之中的基本概念、基本原理和基本方法的一门课程,是工科院校电气、机电一体化、自动化仪表等专业必修课程之一。

Matlab 软件是目前国际上公认的最优秀的数值计算和仿真软件,其计算结果和编程实现可视化,可实现基于 Matlab/Simulink 的自动控制系统仿真实验,系统结构及参数改变灵活,建模及模型转换方便,具有较强的绘图功能,图像显示直观、快速、准确。

本书结合高职高专教育教学的特点与要求,深入浅出地介绍了自动控制的一般概念、系统的数学模型、自动控制系统的微分方程、线性系统的时域、频域分析等内容。在每一章节后,使用 Matlab 仿真软件验证每章中所介绍的内容,来加深对自动控制理论的理解,使得学生能够自己生成课程中的图形,从而使控制理论的学习变得生动有趣,调动学生学习控制理论的积极性。

由于作者水平有限,对于书中存在的错误和不妥之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者
2008 年 1 月

目 录

第 1 章 自动控制系统概述	1
1.1 自动控制系统的一般概念	1
1.2 开环系统与闭环系统	3
1.3 自动控制系统的要求	6
1.4 自动控制系统的分类	7
第 2 章 控制系统的数学模型	11
2.1 微分方程	11
2.2 拉氏变换及其应用	14
2.2.1 拉普拉斯变换	15
2.2.2 应用拉氏变换求解微分方程	18
2.3 传递函数	23
2.3.1 传递函数定义	23
2.3.2 典型环节的传递函数	25
2.4 结构图	28
2.5 利用梅逊公式求取系统传递函数	38
2.6 Matlab 和 Simulink 中传递函数的建立	41
2.6.1 在 Matlab 中建立系统传递函数	41
2.6.2 在 Simulink 中建立系统结构图	48
第 3 章 时域分析法	55
3.1 典型输入信号与时域性能指标	55
3.1.1 典型输入信号	55
3.1.2 时间域的性能指标	56
3.2 一阶系统时域分析	58
3.3 二阶系统时域分析	59
3.3.1 典型二阶系统	59
3.3.2 典型二阶系统的性能指标	63
3.4 高阶系统分析	68
3.5 控制系统的稳定性	71
3.5.1 稳定的基本概念	72
3.5.2 劳斯判据	72
3.6 控制系统的稳态误差分析	75
3.6.1 稳态误差的基本定义	75

3.6.2	输入信号作用下的稳态误差	76
3.6.3	扰动输入信号作用下的稳态误差	79
3.7	Matlab 和 Simulink 中控制系统时域分析	80
3.7.1	Matlab 中控制系统时域分析	80
3.7.2	Simulink 中控制系统时域分析	85
第 4 章	根轨迹法	91
4.1	根轨迹的基本概念	91
4.2	根轨迹的绘制法则	92
4.2.1	根轨迹方程	92
4.2.2	根轨迹的一般绘制规则	93
4.3	控制系统根轨迹分析	98
4.3.1	系统的稳定性分析	98
4.3.2	瞬态性能分析	101
4.4	Matlab 中绘制系统根轨迹	103
第 5 章	频域分析法	111
5.1	频域特性	111
5.1.1	频率特性的基本概念	111
5.1.2	频率特性的图示方法	113
5.2	典型环节频域特性	115
5.3	控制系统开环频率特性曲线绘制	124
5.3.1	系统开环极坐标图的绘制	124
5.3.2	系统开环对数频率特性的绘制	126
5.3.3	最小相位系统	130
5.4	频域稳定性判据	131
5.4.1	奈奎斯特稳定判据	131
5.4.2	对数频率稳定判据	136
5.4.3	稳定裕度	138
5.5	开环频域特性分析	140
5.5.1	频率特性与系统性能的关系	141
5.5.2	频域性能指标与时域指标之间的关系	143
5.6	闭环频域特性分析	146
5.6.1	等 M 圆图和等 N 圆图	146
5.6.2	尼科尔斯图	148
5.6.3	闭环系统频域性能指标	151
5.7	Matlab 和 Simulink 中频率特性分析	155
5.7.1	Matlab 中绘制系统频率特性曲线和稳定性	155

5.7.2 Simulink 中系统分析频率特性	159
第 6 章 控制系统的校正与综合	165
6.1 控制系统校正基础	165
6.2 串联校正	173
6.2.1 串联超前校正	173
6.2.2 串联滞后校正	176
6.2.3 串联滞后 - 超前校正	178
6.2.4 期望特性法校正	180
6.3 反馈校正	184
6.4 复合校正	186
6.4.1 按扰动补偿的复合控制	186
6.4.2 按输入补偿的复合校正	188
6.5 应用 Matlab 校正控制系统	189
6.5.1 Matlab 中二阶系统分析	189
6.5.2 Matlab 串联超前校正分析	193
6.5.3 Matlab 串联滞后校正分析	195
6.5.4 Matlab 串联滞后 - 超前校正分析	198
参考文献	204

第 1 章 自动控制系统概述

在现实生活生产过程中,可以看到很多自动控制的例子。例如在工业控制中,对压力、温度、流量、湿度、配料比等的控制,都采用了自动控制技术;对高温、高压、剧毒等对人体健康危害很大的场合,自动控制更是必不可少;在军事和空间技术方面,宇宙飞船准确地飞行和返回地面、卫星按预定轨道飞行、导弹准确地击中目标等,自动控制都起到了重要的作用。可以说自动控制涉及到了人类活动的方方面面。

自动控制原理是自动控制技术的基础理论,是一门理论性较强的工程学科。本课程的主要任务是研究与讨论控制系统的一般规律,从而设计出合理的自动控制系统以满足工、农业生产和各种工程需要。自动控制理论的发展与应用不仅改善了劳动条件,把人类从繁重的劳动中解放出来,而且自动控制系统能以某种最佳方式运行,因此可以提高生产效率,节约能源,降低成本。自动控制理论经过几十年的发展,主要经历了两个阶段,即经典控制理论阶段和现代控制理论阶段。本书只讲解经典控制理论部分。

1.1 自动控制系统的一般概念

在生产过程中,有些过程要求有恒定的温度,有些要求有恒定的速度,有些要求有恒定的压力,这都要求有自动控制装置来使各个被控量保持恒定。例如图 1-1 所示的炉温控制系统,当温度上升时,控制系统降低温度;当温度下降时,控制系统加热。

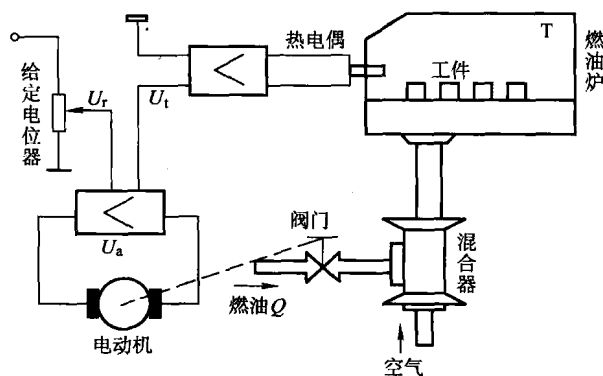


图 1-1 炉温控制系统的工作原理图

如果炉温控制系统由人工来完成,可以简述为如下过程:首先通过温度计测量炉

内的温度,如果温度较高则将阀门的开度调小,使得进入的燃料和空气减少,则炉温降低;反之调大阀门的开度,使得炉温升高。

在自动控制中,经过热电偶转换得到与炉温相应的电压 U_t ,该电压与设定电压 U_r 产生电压差 ΔU , ΔU 驱动功率放大器产生电动机的控制电压 U_a 。 ΔU 大于零, U_a 大于零,电动机正转; ΔU 小于零, U_a 小于零,电动机反转。电动机的轴与阀门相连,驱动阀门的开度增大或减小,使得燃料增加或减少来控制炉内温度。

假设系统在开始工作时,经过事先整定,炉温正好等于给定温度,即 $U_t = U_r$,故 $\Delta U = 0$,电动机、阀门都静止不动,燃油流量保持不变,燃油炉处于恒温状态,保持设定温度。如果这时工件数目增多,炉温开始下降,经过热电偶转换得到的与炉温相应的电压 U_t 会减小,故 $U_a > 0$,电动机正转,使阀门开度增大,从而增加燃油流量,炉温渐渐回升,直至重新等于设定温度,经热电偶转换后的电压与设定的电压相等,即 $U_t = U_r$,从而 $\Delta U = 0$, $U_a = 0$,电动机停止转动。可见该系统在负载增大的情况下仍能保持希望温度。反之亦然。

通过以上炉温控制过程,可以看出自动控制通常由被控对象和控制装置两大部分组成。在工业控制中,控制装置包括检测元件、变送器、控制器、执行机构等,分别完成检测、运算和执行等职能。为了便于分析并直观地表示系统各组成部分的相互影响和信号传递关系,一般习惯上采用原理性方框图表示,如以上炉温控制系统可以用图 1-2 表示。

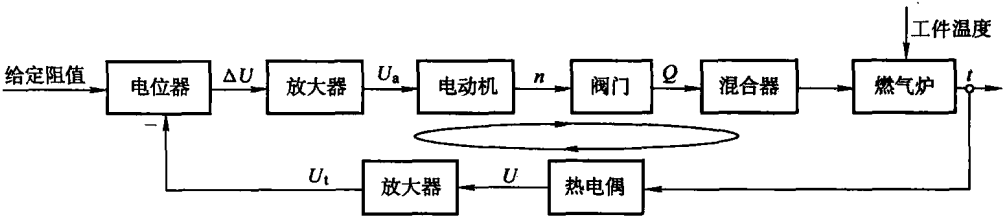


图 1-2 炉温控制系统的原理方框图

在方框图中,系统的每一具有一定功能的组成部分称为“环节”。环节在图中用一个方框表示。各环节之间的信号传递用箭头表示。注意箭头表示的是信号传递的方向,并不是实际过程中物料的传递方向,两者不要混淆。通常控制系统中进入环节的信号称为输入,离开环节的信号称为输出。一般控制系统具有图 1-3 方框图所示形式。

为了便于研究控制问题,下面介绍几个常用术语。

(1) 设定装置。设定装置的功能是设定与被控量相对应的给定量,并要求给定量与测量变送装置输出的信号在种类和量纲上一致。

(2) 比较、放大装置。比较、放大装置的功能是首先将给定量与测量值进行运算,得到偏差量,然后再将其放大到足以推动下一级工作的信号。

(3) 执行装置。执行装置的功能是根据前面环节的输出信号,直接对被控对象作

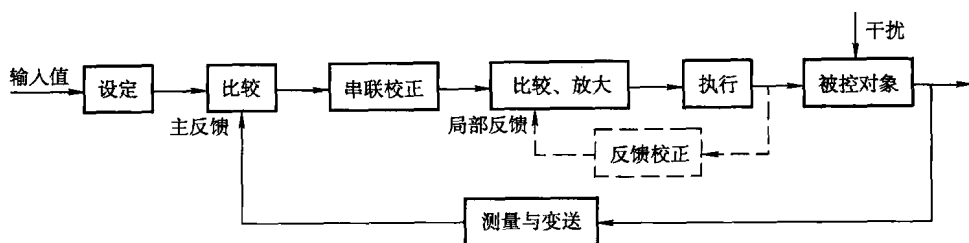


图 1-3 自动控制系统的组成

用,以改变被控量的值,从而减小并最好能消除偏差。

(4)测量变送装置。测量变送装置的功能是检测被控量,并将检测值转换为便于处理的信号(常见的如电压、电流等),然后将该信号输入到比较装置。

(5)校正装置。当自控系统由于自身结构及参数问题而导致控制结果不符合工艺要求时,必须在系统中添加一些装置以改善系统的控制性能,这些装置就称为校正装置。

(6)被控对象。被控对象是指控制系统中所要控制的对象,一般指工作机构或生产设备。

1.2 开环系统与闭环系统

在控制系统中分为开环控制系统和闭环控制系统。开环控制系统直接将控制量施加于控制对象,控制对象是否按照控制目的动作没有被反馈回来给控制器用以调节控制量,使得控制对象满足要求。而闭环控制系统,又称反馈控制系统,则将输入信号与反馈信号进行比较,通过控制器调节控制对象使之满足要求。

这里仍以炉温控制系统来理解开环系统和闭环系统。在炉温控制系统中,将热电偶去掉,直接用设定电压控制电动机的电枢电压,则系统变为开环控制系统。当炉温达到一定温度时,将设定电压设为零,电动机停止转动,阀门开度一定,供给燃料一定,炉温一定。当箱内物件由多到少变化时,箱内温度由低向高变化。反之,炉温由高向低变化。当系统开环时,将电压设定好后,如果不考虑其他因素,箱内物件数量没有变化时,温度保持一定。当物件数量变化时,箱内的温度就会发生变化。

当存在热电偶反馈控制环节时,系统的变化过程如前所述,可见这时该系统不但有一条从设定到被控对象的前馈通路,还存在一条从被控对象到设定的反馈通路,输出量通过测量变送元件反馈到输入端,与输入信号比较后使用偏差信号来作为控制器的输入,反馈的作用使得输出值与希望值之间的偏差减小,达到满意的效果。

下面,通过分析直流它励电动机控制系统,来加深对开环控制和闭环控制的认识。

1. 直流电动机转速开环控制系统

直流电动机转速开环控制系统原理图如图 1-4 所示,系统中电机吊起重物匀速

上升, U_r 为开环调速系统的给定电压, 经过放大器 A 驱动触发器 GT 产生触发脉冲, 该脉冲序列驱动晶闸管 V 导通。晶闸管导通角的大小决定了供给直流电机的电压 U_a 大小。当电压 U_a 升高时, 电机转速变快; 当电压 U_a 降低时, 转速降低。转速 n 随电压 U_a 变化规律如图 1-5 所示。当 U_a 不变时, 作用在电机输出轴上的负载扭矩 T 增大则电机转速降低, T 减小则电机转速增加。负载扭矩 T 与电机转速 n 的关系如图 1-6 所示。

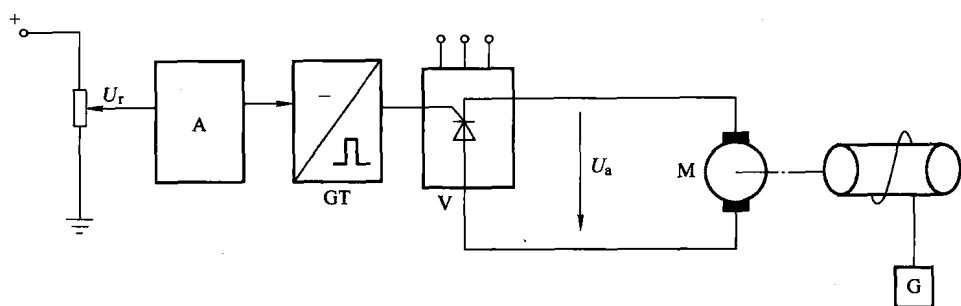


图 1-4 直流电动机转速开环控制系统原理图

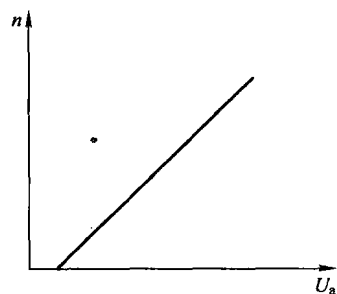


图 1-5 直流电机转速与电压关系图

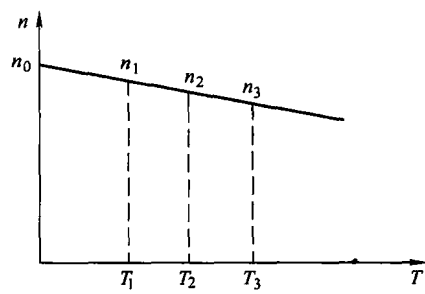


图 1-6 它励直流电机机械特性图

对于开环电机控制系统, 当给定 U_r 一定时, 晶闸管的导通角一定, 加在电机两端的电压一定, 如果负载扭矩保持 T_2 不变, 重物匀速上升(不考虑加速阶段)。电动机稳定工作在图 1-6 的 n_2 点。当卸下部分重物时, 由于负载扭矩减小到 T_1 , 转速上升到 n_1 ; 当装载部分重物, 负载扭矩增加到 T_3 , 转速下降到 n_3 。

可见, 开环控制系统无法克服负载变化对转速的影响, 因而控制精度较差。

2. 电动机闭环控制系统

电动机闭环控制系统原理图如图 1-7 所示。该系统与开环系统相比较, 主要区别是将输出信号反馈到运算放大器, 即反馈输出到输入端。反馈电压由测速发电机 TG 产生, 与电机的转速成正比, 以检测转速的变化。例如测速发电机输出电压的量

程为 $0 \sim 5 \text{ V}$, 当电机转速为 0 时, 测速发电机输出 0 V , 当电机转速为 $1\,000 \text{ n/min}$ 时, 测速发电机输出为 5 V , 所以 $\Delta U = 0.1 \text{ V}$ 的电压变化代表转速变化了 $\Delta n = 1\,000/50 = 20 \text{ n/min}$ 。当测得的电压为 2 V 时, 电机的转速为 400 n/min 。给定电压与反馈电压的差值经过运算放大器 A 产生触发器的给定信号。

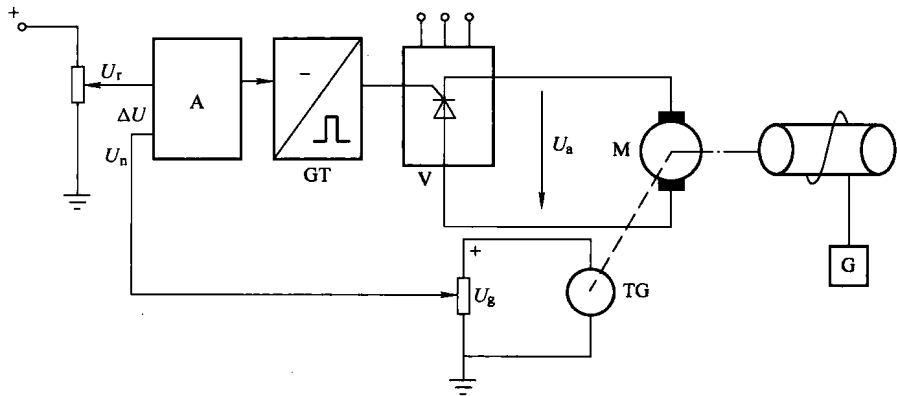


图 1-7 直流电机转速闭环控制系统原理图

如图 1-8 所示, 当负载转矩为 T_2 时, 电机稳定工作在电枢电压为 U_{a2} 的机械特性曲线上的 n_2 点。当负载转矩增大到 T_3 时, 转速下降, 测速发电机的反馈电压 U_n 变小, 与给定电压的差值 ΔU 增大, 则放大器 A 的输出电压增大, 电机工作在电枢电压为 U_{a3} 的机械特性曲线上, 当电动机转速为 n_3 时, 电动机转矩与负载转矩相等, 电动机稳定工作在 n_3 点。可见反馈控制使得电机两端的电压 U_a 增大, 补偿负载转矩增大造成的转速下降。如果负载转矩减小到 T_1 , 则电动机工作在电枢电压为 U_{a1} 的机械特性曲线上, 调节的过程相反。通过以上分析, 可以看到反馈系统可以实现转速的自动调节。

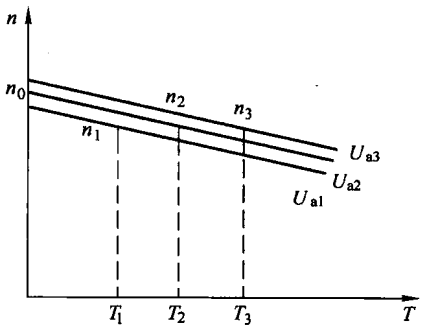


图 1-8 电压不同时电机机械特性图

可见开环传递系统具有如下特点: 没有反馈通路, 系统输出量的变化不能对控制量产生影响; 系统抗扰性能比较差, 控制精度取决于元件的精度。所以, 开环系统经常应用于控制精度要求不高, 扰动作用不大的场合。而闭环控制系统, 将输出量与给定量比较产生控制作用, 能够自动调节, 抑制扰动作用的影响。除此之外, 闭环系统对于前向通道的元器件的参数变化不敏感, 对于前向通道的元件精度要求不高。经典控制理论研究的主要内容就是研究负反馈系统, 研究如何设计控制器从而设计出符合实际需要的性能优良的控制系统。

1.3 自动控制系统的要求

自动控制系统在实际应用中,由于服务的对象千差万别,对系统性能的具体要求也不尽相同。但是所有自动控制系统要达到的控制目标是一致的,即在理想情况下,希望自动控制系统的被控量和给定量在任何时候都相等或保持一个固定的比例关系,没有任何偏差,而且不受干扰的影响。其表达式如下所示:

$$c(t) \equiv r(t) \text{ 或 } c(t) \equiv Kr(t) \quad (1-1)$$

其中, $c(t)$ 表示被控量, $r(t)$ 表示给定量, K 为比例常数。

然而,实际的自动控制系统难免会受到干扰的影响。比如机械部分存在质量、惯量,加之电路中存在电感、电容,以及能源功率的限制,使得生产机构运动部件的加速度不可能很大,所以其速度和位移不会瞬间达到希望值,而要经历一段时间,即存在一个变化过程。在理论上,通常把系统受到外加信号(给定值或干扰)作用后,被控量随时间变化的全过程称为系统的动态过程或过渡过程。系统控制性能的优劣,可以从动态过程中 $c(t)$ 的变化充分地显示出来。图 1-9 所示为被控量 $c(t)$ 的几种变化情况。

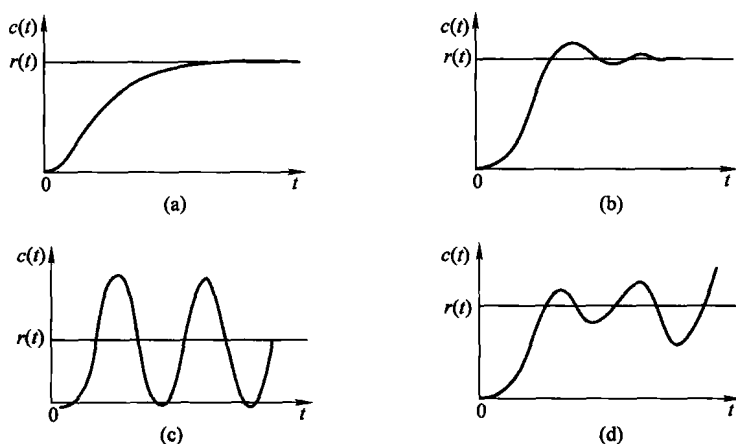


图 1-9 系统的阶跃响应

由图 1-9 可以看出, (a) 和 (b) 的曲线是振荡收敛的, 系统最后可以达到控制要求, 它们是实际控制系统常见的过渡过程; 而 (c) 和 (d) 的曲线是等幅振荡的、发散的, 处于这两种情况下的系统是无法工作的, 在实际应用中是不允许的。

综上所述, 一个高质量的自动控制系统, 在其整个控制过程中, 被控量与给定量之间的偏差应该越小越好。考虑到动态过程被控量在不同阶段中的特点, 工程上常常从稳定性、快速性、准确性 3 个方面来评价自控系统的总体控制性能。

1) 稳定性

稳定性是指控制系统动态过程的振荡倾向和重新恢复平衡工作能力,是评价系统能否正常工作的重要性能指标。

如果系统受到干扰偏离了原来的稳定工作状态,而控制装置却不能使系统恢复到希望的稳定状态,如图 1-9(c)中过程所示,或当指令变化以后,控制装置再也无法使受控对象跟随指令运行,并且越差越大,如图 1-9(d)中过程所示,则称这样的系统为不稳定系统。显然这样的系统是根本完不成控制任务的,甚至会造成设备的损坏。

反之,如果系统受到干扰或指令变化后,经过一段过渡过程,控制装置能使系统恢复到希望的稳定状态或受控对象能够跟随变化的指令运行,如图 1-9(a)和(b)中的过程所示,则称这样的系统为稳定系统。在系统稳定的前提下,要求其动态过程的振荡越小越好,且振幅和频率应有所限制,否则过大的波动将使系统中的运动部件由于超载而松动或被破坏。

2) 快速性

快速性是指控制系统过渡过程的时间长短,是评价稳定系统暂态性能的指标。过渡过程的时间太长,则系统长时间地处在大大偏差状态中,这就说明系统响应迟钝,也就很难复现、跟踪快速变化的输入信号。因此,在实际控制系统中,总是希望在满足稳定性的要求下,系统的过渡时间越短越好。

3) 准确性

准确性是指控制系统过渡过程结束后,或系统受干扰重新恢复平衡状态后,最终保持的精度,是反映稳态性能的指标。我们希望此时被控量与给定量之间的偏差越小越好。

上面所提到的 3 个性能指标是自控系统基本控制性能的要求,具有普遍性。但在实际应用中,由于被控对象的具体情况不同,因而对最终控制结果的稳、快、准各性能的要求也各不相同。例如随动系统对快速性要求最高,而调速系统最为关心的则是系统的稳定性。

同一个系统的稳定性、快速性、准确性是相互制约的。若要提高系统的快速性,就可能引起系统强烈地振动,从而降低了稳定性;若要改善系统的稳定性,又会减慢系统的控制过程,影响了系统的快速性。分析和解决这些矛盾、优化系统的控制性能,将是本书讨论的重要内容。

1.4 自动控制系统的分类

随着自动化技术的飞速发展和控制理论的日趋完善,自动控制系统在广泛应用的同时也日趋复杂,出现了各式各样的系统。为了研究方便,我们从不同的角度对系统进行分类。而分类的目的是为了在对系统分析、设计之前,从不同的角度来认识系统,以便于选择恰当的分析方法和设计手段。

1. 按给定量的特征分类

按给定量的特征不同,自动控制系统可分为恒值给定控制系统、随动控制系统、程序控制系统。

恒值给定控制系统的特征是给定量一经设定就维持不变。该系统的主要任务是,当被控量在扰动作用下偏离给定量时,通过系统的控制作用使之尽快地恢复到给定量。即使由于系统本身的原因不能完全恢复,误差也应该控制在规定的允许范围内。注意,若生产工艺要求被控量改变,可通过改变给定量来实现,但这种改变是控制系统根据工艺要求重新设定的过程,而且一经设定,长时间不再变化,即生产工艺要求不会频繁改变。因此,对被控量能否快速而准确地跟踪给定量的变化可不作重点研究。分析和研究该类系统的重点应放在系统能否有效、快速地克服各类干扰量对被控量的影响使被控制量维持在给定量上。这类系统有恒速(如直流电动机调速系统)、恒温(如炉温自动控制系统)、恒压、恒流、恒定液位等控制系统。

随动控制系统,也常称作伺服系统,它的特征是给定量是变化的,而且其变化规律是未知的。该系统的主要任务是使被控量快速、准确地随给定量的变化而变化。因此,分析和研究这类系统的重点应放在系统的被控量跟踪输入信号的能力上,例如雷达跟踪目标调整自己的方位、导弹制导等。

程序控制系统的特征是给定量按事先设定的规律而变化。该系统的主要任务是使被控量随给定量的变化规律而变化。因此,在设计该类控制系统时需要先设计一个给定器,用来产生按一定规律变化的信号,作为系统的给定量。这类系统有仿形机床、程序控制机床等。

2. 按系统中元件的特性分类

按自动控制系统中元件的特性不同,可分为线性控制系统和非线性控制系统。

线性控制系统特点是系统中所有元件都是线性元件,分析这类系统时可以应用叠加原理,即当有多个信号同时作用于系统时,系统总输出为每个输入信号单独作用于系统的输出之和。同时,该类系统的状态和性能可以用线性微分方程来描述。

非线性控制系统的特点是系统中含有一个或多个非线性元件,分析这类系统不能应用叠加原理,该类系统的动态特性用非线性微分方程来描述。实际应用的自动控制系统都不同程度地存在非线性,但是有些非线性系统在允许的误差范围里,将非线性化元件进行线性化处理后,就可以使用线性控制理论来研究。

3. 按系统中信号的形式分类

按自动控制系统中信号在时间上是连续还是离散的形式,可分为连续控制系统和离散控制系统。

连续控制系统的特点是系统中所有的信号都是连续时间变量的函数。这类系统的运动状态是用微分方程来描述的。目前大多数闭环控制系统都属这类形式,这类系统也是本书讨论的重点。

离散控制系统的特点是系统中各种参数及信号在时间上是以离散的数码形式或

脉冲序列传递的,所以可以采用数字计算机来参与生产过程的控制。这种系统的运动状态是用差分方程来描述的,因此分析这类系统的方法与连续系统的不同。图 1-10所示为数字控制系统的一种组成结构。

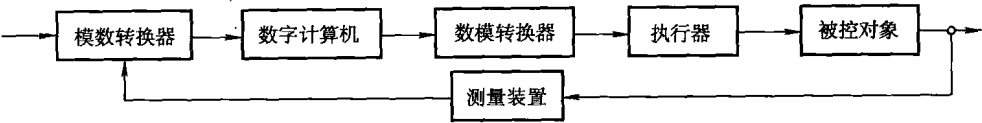


图 1-10 数字控制系统原理方框图

习 题

- 1-1 日常生活中有许多开环和闭环控制系统,试各举一例并说明它们的工作原理。
- 1-2 请说明开环系统和闭环系统的主要特点,并比较两者的优缺点。
- 1-3 闭环控制系统由哪些主要环节构成? 各环节在系统中的职能是什么?
- 1-4 仓库大门自动控制系统的的工作原理如图 1-11 所示。请分析自动门开启和关闭的控制原理并画出原理方框图。

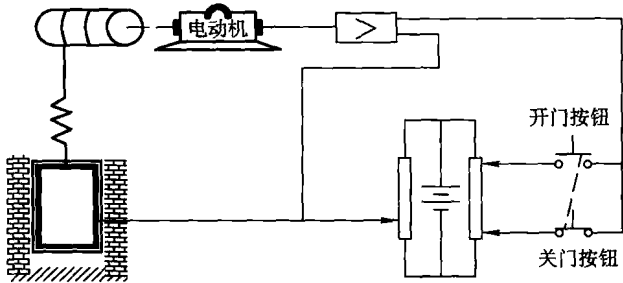


图 1-11 仓库大门自动控制系统

- 1-5 温度自动记录仪的工作原理如图 1-12 所示,记录笔所记录的是被测温度的变化,该温度由热电偶采自工作现场。试说明其控制原理并画出原理方框图,并分析此系统是恒值给定系统还是随动系统。

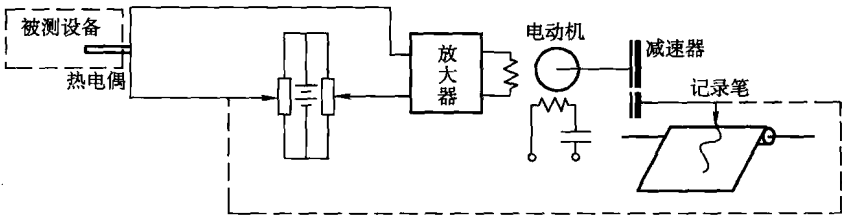


图 1-12 温度自动记录仪

- 1-6 图 1-13 所示为两种液位控制系统。试说明其控制过程,并指出它们是开环控制还是闭环控制。

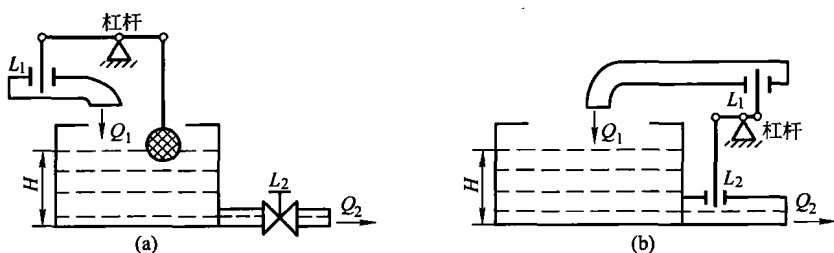


图 1-13 液位控制系统

1-7 有一晶体管稳压电路如图 1-14 所示,试分析该电路,并说出系统的给定量、被控量和干扰信号是什么? 哪些元件起着测量、放大、执行的作用? 最后请根据你的分析画出其原理方框图。

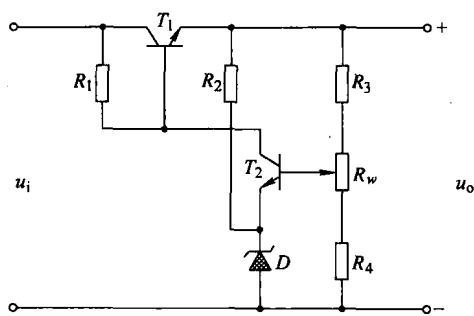


图 1-14 晶体管稳压电路