

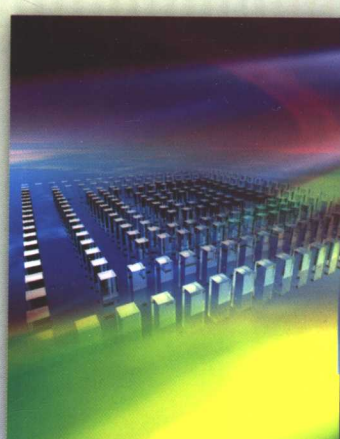
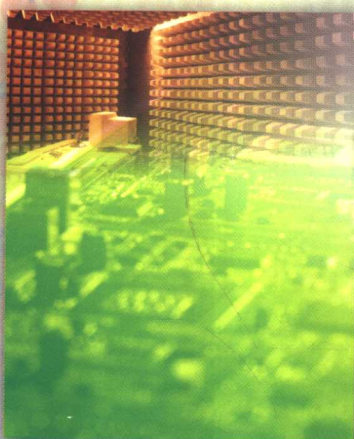
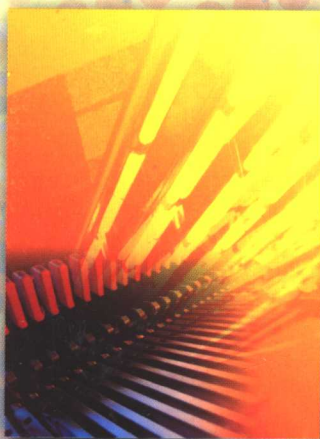


高等学校“十一·五”精品规划教材

自动控制原理

主编 田思庆 王鹞 玄子玉

主审 杨康



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等学校“十一·五”精品规划教材

自动控制原理

主 编	田思庆	王 鹏	玄子玉
副主编	张连军	武俊丽	常 江
参 编	李建辉	潘 飞	纪佳欣
主 审	杨 康		



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了自动控制原理的基本内容,着重于基本概念、基本理论和基本分析方法。全书共分九章,内容包括:自动控制概论、系统的数学模型、自动控制系统的时域分析、根轨迹法、频率特性法、控制系统的综合与校正、非线性控制系统分析、采样系统、MATLAB语言与自动控制系统设计。本书叙述深入浅出,内容详实。

本书可以作为高等院校“自动控制原理”的教材,适用于自动化、电气工程及自动化、电子信息工程、计算机科学与技术、通信工程及机械工程等专业,还可供从事控制工程的科技人员自学与参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/田思庆,王鹏,玄子玉主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2006

高等学校“十一五”精品规划教材

ISBN 7-5084-3883-3

I. 自... II. ①田... ②王... ③玄... III. 自动控
制理论—高等学校—教材 IV. TP13

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第074642号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 自动控制原理
作 者	主编 田思庆 王 鹏 玄子玉 主审 杨 康
出版发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 18印张 427千字
版 次	2006年7月第1版 2006年7月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	27.50元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

《自动控制原理》不仅是电类学科的一门专业基础课，而且在机械、化工等非电类工程专业的课程设置中也占有重要地位。近年来，甚至是生物和经济类专业的学生中也多有选修这一课程的。为了适应不同专业和不同层次教学的需要，特编写此书。本书是高等学校“十一五”精品规划教材之一。

全书共九章，其中前六章是线性定常连续系统的分析与综合；第七、八章讲述了非线性系统及采样系统的基本理论；第九章是关于 MATLAB 控制软件的应用简介和实例。

本书在讲述方法上注意了简明扼要、通俗易懂，加强概念性；在内容安排上注意了各专业的通用性和便于不同教学时数的取舍。为了帮助读者掌握和运用所学理论，每章均备有足够的例题，并附有相当数量的习题可供练习。

参加本书编写的单位有：佳木斯大学、沈阳农业大学、东北农业大学、哈尔滨工程大学等。

本书第一、六、七章由田思庆编写，第二章由常江编写，第三章由张连军编写，第四、九章由玄子玉编写，第五章由王鹏编写，第八章由武俊丽编写。参加本书编写的还有李建辉、潘飞、纪佳欣。全书由杨康主审。

本书在编写过程中参考了很多优秀教材和著作，编者向收录于参考文献中的各位作者表示真诚的谢意。在此还要感谢沈阳农业大学周启龙教授，哈尔滨工业大学曲延滨教授、冉树成教授，佳木斯大学周经国副教授对本书和作者的支持、关心和帮助。

由于编者水平有限和时间仓促，书中定有不当之处，恳请广大读者和同行专家批评和指正。

作 者

2006 年 7 月

目 录

前言

第一章 自动控制概论	1
1.1 自动控制系统	1
1.2 开环控制和闭环控制	3
1.2.1 开环控制	3
1.2.2 闭环控制	3
1.3 控制系统的分类	5
1.3.1 按描述系统运动方程分类	5
1.3.2 按系统中信号的性质分类	6
1.3.3 按参考输入分类	6
1.4 控制系统的组成及对控制系统性能的要求	7
1.4.1 控制系统的组成	7
1.4.2 对控制系统的性能要求	8
1.5 控制理论发展简史	8
1.6 本课程的特点与学习方法	10
小结	10
习题	11
第二章 系统的数学模型	13
2.1 控制系统微分方程的建立	13
2.1.1 建立数学模型的基本步骤	13
2.1.2 非线性微分方程的线性化	17
2.2 拉普拉斯变换	19
2.2.1 拉氏变换的定义	19
2.2.2 典型函数的拉氏变换	20
2.2.3 拉氏变换的基本定理	23
2.2.4 应用拉氏变换解线性微分方程	24
2.3 传递函数	27
2.3.1 传递函数的定义	27
2.3.2 典型环节的传递函数	29
2.3.3 电气网络的运算阻抗与传递函数	32

2.4 控制系统的方框图和传递函数	33
2.4.1 框图的概念	33
2.4.2 框图的变换规则	35
2.4.3 反馈系统的传递函数	38
2.4.4 框图的化简	41
2.5 信号流图与梅逊公式	42
2.5.1 信号流图	42
2.5.2 梅逊公式	43
2.6 相似原理	45
2.7 控制系统的计算机辅助分析	47
小结	48
习题	48
第三章 自动控制系统的时域分析	52
3.1 典型信号的控制过程	52
3.1.1 典型输入信号	52
3.1.2 典型时间响应	54
3.2 一阶系统的时域分析	55
3.2.1 一阶系统的数学模型	55
3.2.2 一阶系统的单位阶跃响应	55
3.2.3 一阶系统的单位脉冲响应	57
3.2.4 一阶系统的单位斜坡响应	58
3.2.5 三种响应之间的关系	59
3.3 二阶系统的时域分析	59
3.3.1 二阶系统的数学模型	59
3.3.2 单位阶跃函数作用下二阶系统的响应 (简称阶跃响应)	61
3.3.3 二阶系统的性能指标	64
3.3.4 二阶系统计算举例	68
3.3.5 二阶系统的脉冲响应函数 (过渡函数)	71
3.3.6 单位斜坡函数作用下二阶系统的响应	72
3.3.7 初始条件不为零时二阶系统的响应	74
3.4 高阶系统的时域分析	75
3.4.1 三阶系统的单位阶跃响应	75
3.4.2 高阶系统的单位阶跃响应	76
3.4.3 闭环主导极点	78
3.5 控制系统的稳定性	78
3.5.1 稳定的概念	78
3.5.2 线性系统稳定的充要条件	79
3.5.3 劳思稳定判据	80

3.5.4 古尔维茨稳定判据	83
3.6 控制系统的稳态误差	84
3.6.1 稳态误差的基本概念	84
3.6.2 利用终值定理求稳态误差	85
3.6.3 系统的型别与参考输入的稳态误差	86
3.6.4 振荡信号的稳态误差	89
3.6.5 动态误差系数法	90
3.7 改善稳态误差精度的方法	91
3.7.1 按输入补偿的复合控制	92
3.7.2 按扰动补偿的复合控制	93
小结	94
习题	94
第四章 根轨迹法	98
4.1 控制系统的根轨迹	98
4.2 绘制根轨迹的基本规则	100
4.3 根轨迹对系统稳定性分析	110
4.4 特殊根轨迹	110
4.4.1 参数根轨迹(广义根轨迹)	110
4.4.2 零度根轨迹	112
4.5 系统闭环零点分布与阶跃响应的关系	114
4.5.1 用闭环零点表示的阶跃响应解析式	114
4.5.2 闭环零点分布与阶跃响应的定性关系	115
4.5.3 主导极点与偶极子	116
4.5.4 利用主导极点估算系统的性能指标	116
4.6 开环零极点变化对根轨迹的影响	118
4.6.1 开环零点的变化对根轨迹的影响	118
4.6.2 开环极点的变化对根轨迹的影响	119
小结	120
习题	121
第五章 频率特性法	123
5.1 频率特性的基本概念	123
5.2 频率特性的数学表示及几种图示方法	125
5.2.1 实频、虚频特性	126
5.2.2 幅频特性、相频特性	126
5.2.3 幅相频率特性	126
5.2.4 对数频率特性	127
5.2.5 Nichols 图	128

5.3 幅相频率特性图(极坐标图)的绘制	128
5.3.1 典型环节	128
5.3.2 最小相位环节幅相频率特性图的绘制	129
5.3.3 开环幅相频率特性图的绘制	132
5.4 对数频率特性图绘制	135
5.4.1 典型环节的对数频率特性图	135
5.4.2 开环对数频率特性的绘制	140
5.4.3 系统的类型与对数幅频特性曲线低频渐近线斜率的对应关系	142
5.5 最小相位系统	144
5.6 传递函数的频域实验确定	145
5.7 乃奎斯特稳定判据	147
5.7.1 幅角定理	147
5.7.2 乃奎斯特稳定性判据	150
5.7.3 开环系统含有积分环节时判据的应用	152
5.7.4 乃奎斯特稳定判据在伯德图中的表示形式	155
5.8 控制系统的相对稳定性	157
5.8.1 相角裕度	157
5.8.2 幅值裕度	157
5.9 频率特性与控制系统性能的关系	158
5.9.1 闭环频率特性与控制系统性能的关系	159
5.9.2 二阶系统性能指标间的关系	160
5.9.3 高阶系统性能指标之间的关系	161
5.9.4 开环对数幅频特性与性能指标间的关系	161
小结	162
习题	162
第六章 控制系统的综合与校正	167
6.1 概述	167
6.1.1 综合、校正的一般概念	167
6.1.2 校正方式	167
6.1.3 校正方法	168
6.2 基本控制规律分析	168
6.2.1 比例(P)控制规律	168
6.2.2 积分(I)控制规律	169
6.2.3 比例—微分(PD)控制规律	169
6.2.4 比例—积分(PI)控制规律	170
6.2.5 比例—积分—微分(PID)控制规律	171
6.3 串联校正	172
6.3.1 串联超前校正(PD)	172

6.3.2 串联滞后校正 (PI)	176
6.3.3 串联滞后—超前校正 (PID)	179
6.3.4 串联校正方式比较	182
6.4 串联校正综合法	183
6.4.1 期望频率特性法	183
6.4.2 按最佳典型系统校正方法	186
6.5 反馈校正	189
6.5.1 反馈校正功能	189
6.5.2 用频率法分析反馈校正系统	192
小结	194
习题	194
第七章 非线性控制系统分析	197
7.1 非线性系统概述	197
7.1.1 典型的非线性特性	197
7.1.2 非线性系统的特点	199
7.1.3 非线性系统的研究方法	200
7.2 描述函数法	200
7.2.1 描述函数法的基本概念	200
7.2.2 典型非线性特性的描述函数	201
7.2.3 组合非线性特性的描述函数	205
7.2.4 非线性系统的描述函数分析	207
7.3 相平面分析法	210
7.3.1 相平面和相轨迹	211
7.3.2 相轨迹绘制	211
7.3.3 相平面的特性	214
7.3.4 相平面分析	217
小结	219
习题	219
第八章 采样系统	221
8.1 概述	221
8.2 采样过程和采样定理	222
8.2.1 采样过程	222
8.2.2 采样定理	224
8.2.3 采样周期的选取	225
8.3 信号的复现	225
8.4 差分方程	227
8.4.1 差分方程的定义	227

8.4.2 差分方程的解法	228
8.5 Z变换	228
8.5.1 Z变换的定义	228
8.5.2 Z变换的方法	229
8.5.3 Z变换的性质	231
8.5.4 Z反变换	234
8.5.5 用Z变换法求解差分方程	235
8.6 脉冲传递函数	236
8.6.1 脉冲传递函数的定义	236
8.6.2 开环系统脉冲传递函数	237
8.6.3 闭环系统脉冲传递函数	239
8.7 采样系统的性能分析	242
8.7.1 稳定性分析	242
8.7.2 稳态误差分析	249
8.7.3 动态性能分析	252
8.7.4 离散系统极点分布与动态响应的关系	253
8.7.5 采样系统的频域分析	255
小结	257
习题	257
第九章 MATLAB语言与自动控制系统设计	260
9.1 MATLAB语言简介	260
9.1.1 MATLAB的数值运算基础	260
9.1.2 矩阵及矩阵函数	261
9.1.3 MATLAB的绘图功能	263
9.2 自动控制系统设计	265
9.2.1 时域分析命令	265
9.2.2 频率域命令	267
9.2.3 根轨迹法命令	271
9.2.4 传递函数的常用命令	272
9.2.5 控制系统分析举例	274
小结	276
参考文献	277

第一章 自动控制概论

在现代科学技术的众多领域中,自动控制技术起着越来越重要的作用,目前,自动控制技术已广泛应用于工业、农业、国防和科学技术等领域。可以这样说,一个国家在自动控制方面水平的高低是衡量它的生产技术和科学技术先进与否的一项重要标志。

自动控制通常被称为“控制工程”,属于高新技术学科,是一门理论性和工程实践性较强的技术学科,学科的理论为“自动控制理论”。随着自动控制技术的广泛应用,不仅使生产过程实现了自动化,极大地提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,并且在人类征服自然、探索新能源、发展空间技术和改善人民物质生活方面等都起着极为重要的作用。尽管从历史的发展上看,还是初步的,但从发展的现状与前途上看,却是极活跃、极富生命力的。控制理论不仅是一门重要的学科,而且也是科学方法论之一。因此,本课程是一门非常重要的技术基础课。本课程主要讲述自动控制的基本理论和分析、设计控制系统的基本方法。根据自动控制理论发展的不同阶段,可分为经典控制理论和现代控制理论。而随着控制理论在内容上的不断扩展和更新,经典控制理论和现代控制理论越来越趋于融合。

本章从工程实例出发,介绍自动控制的基本概念、基本方式和自动控制系统的分类,重点是自动控制系统的基本组成原理,核心是反馈控制,同时简单介绍了控制理论的发展历史。

1.1 自动控制系统

所谓自动控制,就是指在没有人直接操作的情况下,通过控制器使一个装置或过程(统称为控制对象)自动地按照给定的规律运行,使被控物理量或保持恒定或按一定的规律变化,其本质在于无人干预。系统是指按照某些规律结合在一起的物体(元部件)的组合,它们互相作用、互相依存,并能完成一定的任务。为实现某一控制目标所需要的所有物理部件的有机组合体称为自动控制系统。例如,机械行业的热处理炉温度控制系统、数控车床按照预定程序自动切削工件的控制系统、火电厂锅炉蒸汽温度和压力的自动控制系统等。

反馈是控制理论中一个极其重要的概念,它是控制论的基础。一个系统的输出信号直接地或经过中间变换后全部或部分地返回输入系统的过程,称为反馈。根据反馈信号对输入信号的加强和减弱,可分为正反馈和负反馈。正反馈使得由输出端返回来的物理量加强输入量,系统不会稳定,可能产生自激振荡。负反馈使得由输出端返回来的物理量减弱输入量,可以改善系统的动态特性,控制和减少干扰信号的影响。只有负反馈系统才具有自动调节能力。自动控制理论主要的研究对象一般都是闭环负反馈控制系统。

自动控制系统的种类较多,被控制的物理量各种各样,例如,温度、压力、液位、电压、转速、位移和力等。组成控制系统的元部件虽然有较大的差异,但是组成系统的结构

却基本相同。下面，通过两个自动控制系统的实例，来讲述自动控制系统的工作过程。

锅炉是电厂和一些企业常见的生产蒸汽的设备。为了保证锅炉正常运行，需要维持锅炉汽包液位为正常恒定值。锅炉液位过低，易烧干锅而发生严重事故；锅炉液位过高，则易使蒸汽带水并有溢出危险。因此，必须通过调节器严格控制锅炉液位的高低，以保证锅炉正常地运行。图 1-1 为锅炉汽包液位控制系统示意图。

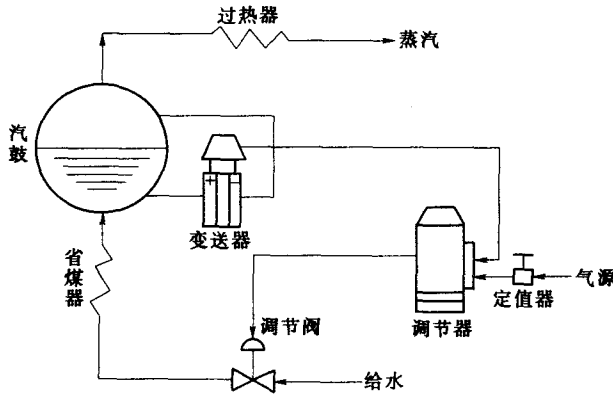


图 1-1 锅炉汽包液位控制系统示意图

当蒸汽的蒸发量与锅炉进水量相等时，液位保持为正常给定值。当锅炉的给水量不变，而蒸汽负荷突然增加或减少时，液位就会下降或上升；或者，当蒸汽负荷不变，而给水管道的压力发生变化时，也会引起锅炉汽包液位发生变化。不论出现哪种情况，只要实际液位高度与正常给定液位之间出现偏差，调节器就应立即进行控制，去开大或关小给水阀门，以使锅炉汽包液位保持在给定值上。

图 1-2 是锅炉汽包液位控制系统方框图。锅炉为被控对象，其输出量为被控参数汽包液位；作用于锅炉上的扰动量是指给水压力或蒸汽负荷的变化；差压变送器用来测量锅炉液位，并转换为一定的信号输至调节器；调节器根据测量的实际液位与给定液位进行比较，得出偏差值，根据偏差值按一定的控制规律发出相应的输出信号去推动调节阀动作，以保证锅炉汽包液位控制在恒定给定值上。

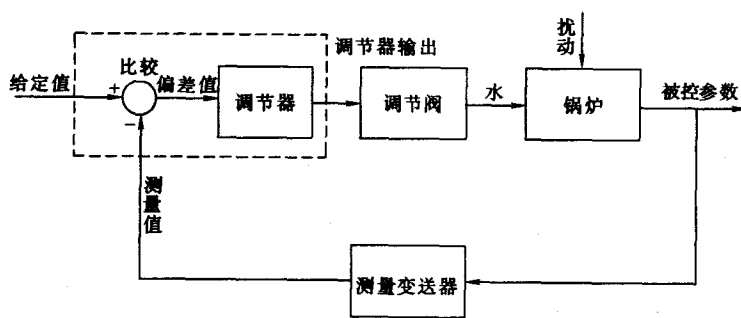


图 1-2 锅炉液位控制系统方框图

我们再举一个电阻炉温度控制系统的例子，其系统如图 1-3 所示。在这里，炉温的

图 1-3 电阻炉温度控制系统

1—热电偶；2—加热器

$$T_c \downarrow \rightarrow U_f \downarrow \rightarrow \Delta U = (U_g - U_f) \uparrow \rightarrow u_c \uparrow \rightarrow T_c \uparrow$$

1.2 开环控制和闭环控制

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。

1.2.1 开环控制

如果系统的输出量与输入量间不存在反馈通道,这种控制方式称为开环控制。在开环控制系统中,不需要对输出量进行测量,也不需要将输出量反馈到系统输入端与输入量进行比较。图 1-4 为开环控制系统方框图,这种控制系统的特点是结构简单、所用的元器



图 1-4 开环控制系统

件少、成本低，系统一般也容易稳定。然而，由于开环控制系统没有对它的被控制量进行检测，所以当系统受到干扰作用后，被控制量一旦偏离了原有的平衡状

态，系统就无法消除或减少误差，无法使被控制量稳定在给定值上，这是开环控制系统的最大缺点，大大限制了这种系统的应用范围。开环系统广泛应用于控制精度不高的一些简单控制。洗衣机就是开环控制系统的例子。浸湿、洗涤和漂清过程，在洗衣机中是依次进行的，在洗涤过程中，无需对其输出信号，即无需对衣服清洁程度进行测量。

图 1-5 (a) 为一个开环直流调速系统, 图 1-5 (b) 为它的方框图。图中 U_g 为给定的参考输入, 它经触发器和晶闸管整流装置转变为相应直流电压 U_d , 并供电给直流电动机, 使产生一个 U_g 所期望的转速 n 。但是, 当电动机的负载、交流电网的电压及电动机的励磁稍有变化时, 电动机的转速就会随之而变化, 不能再维持 U_g 所期望的转速。

图 1-6 为数控机床中广泛应用的定位系统框图。这也是一个开环控制系统，工作台的位移是该系统的被控制量，它是跟随着控制信号（控制脉冲）而变化的。显然这个系统没有抗扰动的功能。

如果系统的给定输入与被控制量之间的关系固定，且内部参数或外来扰动の変化都较小，或这些扰动因数可以事先确定并能给予补偿，则采用开环控制也能得到较为满意的控制效果。

1.2.2 闭环控制

若把系统的被控制量反馈到它的输入端，并与参考输入相比较，这种控制方式叫做闭

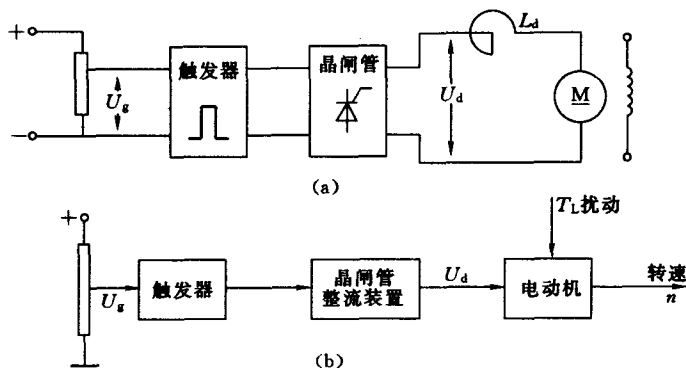


图 1-5 开环直流调速系统

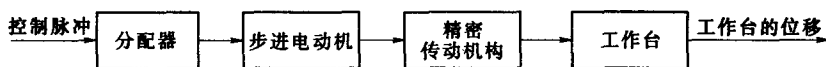


图 1-6 开环定位控制系统框图

环控制。由于这种控制系统中存在着将被控制量经反馈环节到比较点的反馈通道，故闭环控制又称反馈控制，它是按偏差进行控制的。如图 1-1 和图 1-3 所示的系统，都是闭环控制系统。这些系统的特点是：连续不断地对被控制量进行检测，把所测得的值与参考输入作减法运算，求得的偏差信号经控制器的变换运算和放大器的放大后，驱动执行元件，以使被控制量能完全按照参考输入的要求去变化。这种系统如果受到来自系统内部和外部干扰信号的作用时，通过闭环控制的作用，能自动地消除或削弱干扰信号对被控制量的影

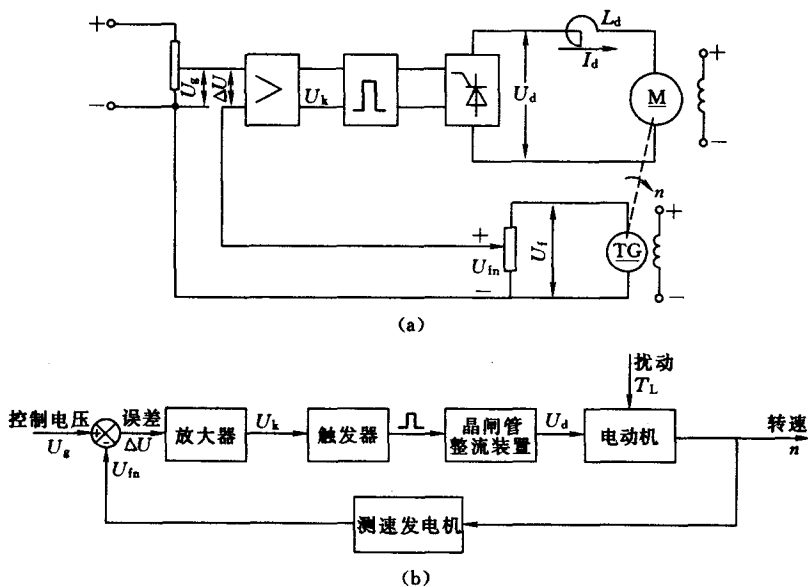


图 1-7 闭环直流调速系统

(a) 原理图；(b) 方框图

响。由于闭环控制系统具有良好的抗扰动功能，因而它在控制工程中得到了广泛的应用。

闭环控制是在开环控制基础上演变而来的。如果把图 1-5 所示的开环直流调速系统改接为图 1-7 所示的闭环系统，则它就具有自动抗扰动的功能。例如，当电动机的负载转矩 T_L 增大时，流经电动机电枢中的电流便相应地增大，电枢电阻上的压降也变大，从而导致电动机转速的降低；而转速的降低使测速发电机的输出电压 U_{fn} 减小，误差电压 Δu 便相应地增大，经放大器放大后，使触发脉冲前移，晶闸管整流装置的输出电压 U_d 增大，从而补偿了由于负载转矩 T_L 的增大或电网电压 $u_{\sim}$ 的减小而造成的电动机转速的下降，使电动机的转速近似地保持不变。上述的调节过程，也表示为

$$\left. \begin{array}{l} T_L \uparrow \\ u_{\sim} \downarrow \end{array} \right\} \rightarrow n \downarrow \rightarrow u_{fn} \downarrow \rightarrow \Delta u = (U_g - u_{fn}) \uparrow \rightarrow u_k \uparrow \rightarrow u_d \uparrow \rightarrow n \uparrow$$

复合控制是由开环和闭环传递路径组成的混合控制系统，它兼有开环控制和闭环控制的特点。

1.3 控制系统的分类

自动控制系统有许多分类方法。根据系统元件特性是否为线性而分为线性系统和非线性系统；根据系统参数是否随时间变化而分为时变系统和定常系统；根据系统内信号传递方式的不同而分为连续系统和离散系统；根据系统所使用的元件的不同而分为机电控制系统、液压控制系统、气动控制系统和生物控制系统等；根据参考输入信号即被控制量所遵循的运动规律不同，自动控制系统又可分为恒值控制系统、随动控制系统和程序控制系统等。此外，根据被控制量是否存在稳态误差，还可以分为有差系统 and 无差系统。为了更好地了解自动控制系统的特性，下面介绍其中比较重要的几种分类。

1.3.1 按描述系统运动方程分类

1. 线性系统

线性系统是由线性元件组成的系统，其性能和状态可以用线性微分方程来描述，线性系统的特点是具有叠加性和齐次性，在数学上比较容易实现和处理。

叠加性：若干个输入信号同时作用于系统所产生的响应等于各个输入信号单独作用于系统所产生的响应的代数和。

齐次性：当输入信号同时倍乘一常数时，响应也倍乘同一常数。

$$\begin{aligned} & a_0(t) \frac{d^n c(t)}{dt^n} + a_1(t) \frac{d^{n-1} c(t)}{dt^{n-1}} + \cdots + a_{n-1}(t) \frac{dc(t)}{dt} + a_n(t) c(t) \\ &= b_0(t) \frac{d^m r(t)}{dt^m} + b_1(t) \frac{d^{m-1} r(t)}{dt^{m-1}} + \cdots + b_{m-1}(t) \frac{dr(t)}{dt} + b_m(t) r(t) \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中： $r(t)$ 为系统的输入量； $c(t)$ 为系统的输出量。

方程式 (1-1) 中，输出量 $c(t)$ 及其各阶导数都是一次的，并且各系数与输入量无关。线性微分方程的各项系数为常数时，称为线性定常系统。这是一种简单而重要的系统，关于这种系统已有较为成熟的研究成果和分析设计的方法。

2. 非线性系统

如果系统微分方程式的系数与自变量 $r(t)$ 有关，则为非线性微分方程。由非线性微

分方程描述的系统称为非线性系统。典型的非线性特性有继电器特性，如图 1-8 (a) 所示；饱和特性，如图 1-8 (b) 所示；不灵敏区特性，如图 1-8 (c) 所示等。

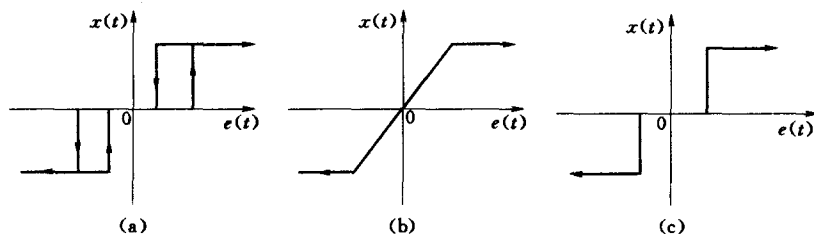


图 1-8 典型非线性环节特性

(a) 继电器特性；(b) 饱和特性；(c) 不灵敏区特性

对于非线性控制系统的理论研究远不如线性系统那样完整，一般只能满足于近似的定性描述和数值计算。本书第七章将介绍有关非线性理论的描述函数法和相平面法等基本内容。

1.3.2 按系统中信号的性质分类

1. 连续系统

如果系统中传递的信号都是时间的连续函数，则该系统称为连续系统。

2. 离散系统

系统中只要有一个传递的信号是时间上断续的信号，则该系统称为断续系统，或采样系统，或离散系统。图 1-1 和图 1-3 所示的系统可以认为是连续系统，而计算机控制系统一定是离散系统。离散系统将在第八章中介绍。

1.3.3 按参考输入分类

1. 恒值系统

恒值系统的给定值是恒定不变的，这种系统的输出量也应是恒定不变的。在生产过程中这类系统非常多。例如，在冶金部门，要保持退火炉温度为某一个恒值；在石油化学工业部门，为保证工艺和安全运行，反应器要保持压力恒定等。一般像温度、压力、流量、液位等热工参数量的控制多属于恒值控制。

2. 程序系统

自动控制系统的被控制量如果是根据预先编好的程序进行控制的，则该系统称为程序控制系统。在对化工、军事、冶金、造纸等生产过程进行控制时，常用到程序控制系统。例如，加热炉的温度控制就是在微机中按加热曲线编好程序而进行的；洲际弹道导弹也靠程序控制系统按事先给定轨道飞行。在这类程序控制系统中，给定值是按预先的规律变化的，而程序控制系统则一直保持使被控制量和给定值的变化相适应。

3. 随动系统

输出量能以一定精度跟随给定值变化的系统称为随动系统，又称为跟踪系统。这类系统的特点是系统的给定值的变化规律完全取决于事先不能确定的时间函数。这类系统在航天、军工、机械、造船、冶金等部门得到广泛应用。

当然，这三种系统都可以是连续的或离散的，线性的或非线性的，单变量的或多变量

的。本书着重以恒值系统和随动系统为例，来阐明自动控制系统的基本原理。

1.4 控制系统的组成及对控制系统性能的要求

1.4.1 控制系统的组成

尽管控制系统复杂程度各异，但基本组成是相同的，一个简单的闭环自动控制系统由四个基本部分组成：被控对象、检测装置或传感器、控制器、执行器（执行机构），如图 1-9 所示。

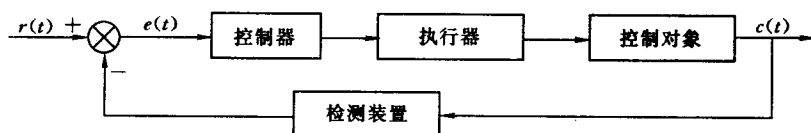


图 1-9 控制系统方框图

1. 被控对象或调节对象

被控对象或调节对象是指控制系统的工作对象，即进行控制的设备或过程。控制就是控制器对被控对象施加一种控制作用，以达到人们所期望的目标。例如，前面所举例子中的电阻炉、电动机等。相应地，控制系统所控制的某个物理量，就是系统的被控制量或输出量，例如，电阻炉的温度和电动机的转速等。被控制的对象五花八门，从简单的温度、湿度到复杂工业过程控制；从民用过程的控制到导弹、卫星和飞船的发射及运行控制等。被控制对象的数学模型是控制系统设计的主要依据。被控制对象的动态行为可以用数学模型加以描述。

2. 检测装置或传感器

检测装置或传感器能将一种物理量检测处理并转换成另一种容易处理和使用物理量的装置。例如，压力传感器、热电偶、测速发电机等。如果把人看成一个被控制对象，那么人的眼睛、耳朵、鼻子、皮肤也是传感器。

3. 控制器

控制器接受传感器来的测量信号，并与被控制量的设定值进行比较，得到实际测量值与设定值的偏差，然后根据偏差信号的大小和被控对象的动态特性，经过思维和推理，决定采用什么样的控制规律，以使被控制量快速、平稳、准确地达到所预定的给定值。控制规律是自动化系统功能的主要体现，一般采用比例—积分—微分控制规律。控制器是自动化系统的大脑和神经中枢。控制器可以是电子—机械装置。

4. 执行器

执行器也称执行机构其直接作用于控制对象，使被控制量达到所要求的数值，它是自动化系统的手和脚。执行器（执行机构）可以是电动机、阀门或由它们所组成的复杂的电子—机械装置。

另外还有一些常用术语，随着控制理论的进一步学习，我们会对这些概念有更深入的理解。

输入信号：由外部加到系统中的变量称为输入信号。