

高等学校
教学用书

自动控制 原理

顾树生 主编
王建辉
杨自厚 主审

(第3版)

ZIDONG
KONGZHI
YUANLI

冶金工业出版社

高等学校教学用书

自动控制原理

(第3版)

东北大学	顾树生 王建辉	主编
	杨自厚	主审

北 京
冶金工业出版社
2004

内 容 简 介

本书阐述了经典控制理论的基本概念、原理和各种分析方法。主要内容包括线性连续系统与离散系统的时域和频域理论,如系统的动态性能、静态性能、稳定性和各种设计方法的分析等。

本书以讲述线性连续系统和离散系统为主,也利用描述函数法和相平面法对非线性系统做了一些介绍。

本书可供高等学校自动化、仪表、电气传动、计算机、机械、化工、航天航空等相关专业的师生阅读,也可供有关工程技术人员再学习时参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/顾树生,王建辉主编.—3版.
—北京:冶金工业出版社,2001.9(2004.1重印)

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-2825-9

I. 自… II. ①顾… ②王… 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(2001)第 044737 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 宋 良 美术编辑 王耀忠 责任校对 王永欣 责任印制 刘 静

北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1980 年 10 月第 1 版,1987 年 11 月第 2 版;2001 年 9 月第 3 版,2004 年 1 月第 14 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 19.25 印张; 464 千字; 298 页; 118501~123500 册

29.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前言

近年来,自动控制技术已经广泛应用于工农业生产、交通运输和国防建设的各个领域。自动控制技术以控制理论为基础,以计算机为手段,解决了一系列高科技难题,诸如宇宙航行、航空航天工程、导弹制导与导弹防御体系等领域的一些高精度控制问题等,在科学技术现代化的发展与创新过程中,正在发挥着越来越重要的作用。

在工业和军事领域中,控制技术的作用是:不需要人的直接参与,而控制某些物理量按照指定的规律变化,这在冶金、电力、化工、轻工及军事工业上均得到广泛应用。

本书是在杨自厚教授主编的《自动控制原理》(修订版,冶金工业出版社,1987)的基础上重构和重组的,而非重建。其主要特点是:主动适应教学改革的需要和市场经济对人才培养的要求;内容的编排更适合自主学习——这是今后大学生学习的主要方式;体现了自动化类教材要与国际接轨,要面向世界、面向未来、面向区域经济的办学指导思想。

自动控制原理是自动化及相关专业的一门技术基础课。由于自动控制技术在各个行业的广泛渗透,其控制理论已逐渐成为高等学校许多学科共同的专业基础课,且愈来愈占有重要的位置。

控制理论一般分为以讲述单输入单输出(SISO)系统理论为主的古典控制理论(自动控制原理)和以讲述多输入多输出(MIMO)系统理论为主的所谓“现代控制理论”。实质上,SISO理论既是MIMO理论的特例,又是MIMO理论的基础。这两种理论是互通的,有着极其密切的内在联系。研究所用的主要方法都是以时域和频域为主。在研究MIMO系统时经常采用解耦的方法,把多变量、强耦合的系统分解成若干个独立系统,再用单变量系统的理论进行分析与综合。

由于分析这两种理论的思路和方法还是有很多不同之处,把它们合写成一本书,硬把它们处处“结合”,有些地方就难免生硬、勉强,不利于讲授与学习。所以我们还是分成两本书来写,除此书外,还有由我校张嗣瀛院士主编的《现代控制理论》。

本书是原冶金部“九五”规划教材,按照加强基础,拓宽专业,培养学生的自学能力、知识更新能力的指导思想,加强了基本理论与基本概念의阐述。除用

数学工具分析工程中实际系统之外,还力求深入浅出和突出重点。这既给设计和调试目前工业中广泛应用的各种反馈控制系统提供了清楚的理论依据,又为进一步学习有关专门文献和现代控制理论打下良好基础。

本书共分八章:第一、第三、第四、第五章由王建辉执笔,第二章由徐建有执笔,第六章由王大志执笔,第七、第八章由顾树生执笔。全书由顾树生、王建辉主编,杨自厚主审。在编写过程中参考了其他版本的《自动控制原理》的有关内容,并邀请了清华大学李鹤轩教授、哈尔滨工业大学强文义教授、辽宁工学院王艳秋教授、沈阳工业学院石润波教授等对本书进行了详细的审阅,提出了很好的意见和建议。我们的八名博士研究生也参与了本书的多次审核与校对。尽管如此,由于我们水平有限,缺点仍会不少,望读者批评指正。

编者

2001年6月20日

冶金工业出版社相关书目

书 名	作 者
计算机控制系统	顾树生 等编
自动控制系统(第2版)	刘建昌 主编
自动检测技术	宋文绪 主编
过程检测控制技术与应用	朱晓青 主编
微型计算机控制系统	孙德辉 等编
电工与电子技术	荣西林 主编
电力电子变流技术	曲永印 主编
单片微机原理与接口技术	孙和平 主编
工业企业供电(第2版)	周 瀛 等编
工厂供电系统继电保护及自动装置	王建南 主编
工业企业供电课程设计及实验指导书	王建南 主编
工业企业电力网及变电设备	祝淑平 主编
电力系统微机保护	张明君 等编
智能控制原理及应用	张建民 等编
可编程序控制器及常用控制电器	何友华 主编
基于神经网络的智能诊断	虞和济 等著
智能管理系统研究开发及应用	郜焕平 著
工业企业电气调整手册	刘春华 主编
电气设备的故障监测与诊断	余道松 编著
工厂电气控制设备(高职教材)	赵秉衡 主编
工业企业供电(高职教材)	靳希才 主编
电机及电力拖动(高职教材)	吴裕隆 主编
数字电子技术基础(高职教材)	刘培宇 主编
实用模拟电子技术(高职教材)	欧伟民 主编
计算机辅助设计(高职教材)	王 茹 等编
电工与电子技术(高职教材)	李季渊 等编



录

第一章 自动控制系统的基本概念	1
第一节 开环控制系统与闭环控制系统.....	1
第二节 闭环控制系统的组成和基本环节.....	4
第三节 自动控制系统的类型.....	5
第四节 自动控制系统的性能指标.....	8
小 结	11
习 题	12
第二章 自动控制系统的数学模型	13
第一节 动态微分方程式的编写	13
第二节 非线性数学模型线性化	20
第三节 传递函数	22
第四节 系统动态结构图	32
第五节 系统传递函数和结构图的等效变换	36
第六节 信号流图	45
小 结	52
习 题	53
第三章 自动控制系统的时域分析	57
第一节 自动控制系统的时域指标	58
第二节 一阶系统的阶跃响应	60
第三节 二阶系统的阶跃响应	62
第四节 高阶系统的暂态响应	76
第五节 自动控制系统的代数稳定判据	78
第六节 稳态误差	85
小 结	96
习 题	96
第四章 根轨迹法	100
第一节 根轨迹法的基本概念.....	101
第二节 根轨迹的绘制法则.....	103
第三节 用根轨迹法分析系统的暂态特性.....	124

小 结	132
习 题	132
第五章 频率法	135
第一节 频率特性的基本概念	135
第二节 频率特性的表示方法	138
第三节 典型环节的频率特性	140
第四节 系统开环频率特性的绘制	151
第五节 用频率法分析控制系统的稳定性	158
第六节 系统暂态特性和开环频率特性的关系	171
第七节 闭环系统频率特性	178
第八节 系统暂态特性和闭环频率特性的关系	184
小 结	186
习 题	187
第六章 控制系统的校正及综合	190
第一节 控制系统校正的一般概念	190
第二节 串联校正	193
第三节 反馈校正	210
第四节 前馈校正	216
小 结	220
习 题	220
第七章 非线性系统分析	222
第一节 非线性系统动态过程的特点	222
第二节 非线性环节及其对系统结构的影响	224
第三节 非线性特性的描述函数	230
第四节 分析非线性系统的描述函数法	241
第五节 改善非线性系统性能的措施及非线性特性的利用	249
第六节 相平面法	255
小 结	265
习 题	266
第八章 线性离散系统的理论基础	269
第一节 概述	269
第二节 离散时间函数的数学表达式及采样定理	270
第三节 Z 变换	274
第四节 线性常系数差分方程	279
第五节 脉冲传递函数	281

第六节 采样控制系统的时域分析.....	285
第七节 采样控制系统的频域分析.....	291
小 结.....	294
习 题.....	295
参考文献	298

第一章 自动控制系统的基本概念

第一节 开环控制系统与闭环控制系统

自动控制是在没有人的直接干预下,利用物理装置对生产设备和工艺过程进行合理的控制,使被控制的物理量保持恒定,或者按照一定的规律变化,例如矿井提升机的速度控制、造纸厂纸浆浓度的控制、轧钢厂加热炉温度的控制、轧制过程中速度和张力的控制,等等。自动控制系统则是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。在自动控制系统中,被控制的设备或过程称为被控对象或对象;被控制的物理量称为被控量或输出量;决定被控量的物理量称为控制量或给定量;妨碍控制量对被控量进行正常控制的所有因素称为扰动量。给定量和扰动量都是自动控制系统的输入量。扰动量按其来源可分为内部扰动和外部扰动。自动控制的实际任务就是克服扰动量的影响,使系统按照给定量所设定的规律运行。

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。

为了说明自动控制系统的结构特点和工作原理,我们先来看一个简单的例子。图 1-1 是一个电加热系统。该系统的控制目标是,通过调整自耦变压器滑动端的位置,来改变电阻炉的温度,并使其恒定不变。因为被控制的设备是电阻炉,被控量是电阻炉的温度,所以该系统可称为温度控制系统。自耦变压器滑动端的位置(按工艺要求设置)对应了一个电压值 u_c ,也就对应了一个电阻炉的温度值 T_c ,改变 u_c 也就改变了 T_c 。当系统中出现外部扰动(如炉门开、关频率变化)或内部扰动(如电源电压波动)时, T_c 将偏离 u_c 所对应的数值。图 1-2 所示的结构图可以表示该系统输入量和输出量之间的作用关系。这种结构是典型的开环控制结构。

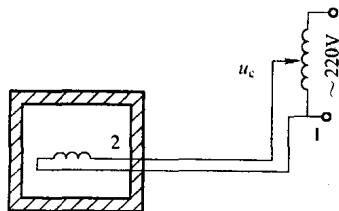


图 1-1 温度控制系统
1—自耦变压器;2—加热器

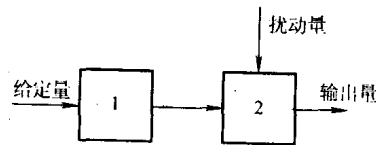


图 1-2 开环控制结构图
1—控制器(自耦变压器);2—被控对象(电阻炉)

从结构图上可以看出,在这种开环控制中,只有输入量对输出量产生控制作用,而没有输出量参与对系统的控制;当出现扰动时,如果没有人工干预,给定量与输出量之间的对应

关系将被改变,也即系统的输出量(实际输出)将偏离给定量所要求的数值(理想输出)。显然,图 1-1 所示系统实现不了保持温度恒定的控制目标。这是由于开环控制的结构特点,决定了它不具备抗干扰的能力。因此,这类开环控制系统只能用于控制精度要求不高的场合。

闭环控制则是由在开环控制基础上引入人工干预过程演变而来的。对于图 1-1 所示系统,如果要想实现无论是否出现扰动,都能使炉温保持恒定,就需人工干预。那么操作人员怎么保证炉温恒定,即人工干预过程是什么呢?首先,操作人员要测量炉子的温度,然后与生产工艺所要求的数值相比较,再根据二者之间的差值(又称偏差)适当地调整自耦变压器滑动端位置来减小乃至完全消除偏差。这里,操作人员的工作顺序是测量输出量、将其转换成与给定量相同的物理量(反馈量),反馈到系统的输入端与给定量进行比较,根据给定量与反馈量的差值调整自耦变压器滑动端的位置。操作人员的关键性作用是使得系统的输出量参与了系统的控制,系统一旦出现偏差,就调整控制量,从而保证了输出量的恒定。图 1-3 所示的系统,就是采用一系列的物理器件来取代操作人员上述功能,实现对炉温的闭环控制。在这里,炉温的给定量由电位器滑动端位置所对应的电压值 U_g 给出,炉温的实际值由热电偶检测出来,并转换成电压 U_f ,再把 U_f 反馈到系统的输入端与给定电压 U_g 相比较(通过二者极性反接实现)。由于扰动(例如电源电压波动或加热物件多少等)影响,炉温偏离了给定值,其偏差电压经过放大,控制可逆伺服电动机 M,带动自耦变压器的滑动端,改变电压 u_c ,使炉温保持在给定温度值上。图 1-4 描述了该系统的输入量、输出量和反馈量之间的作用关系。这种系统是把输出量直接(或间接)地反馈到输入端形成闭环,使得输出量参与系统的控制,所以称为闭环控制系统。系统的自动调节过程可用图 1-5 表示。闭环系统的结构特点决定了它对干扰具有抑制能力。

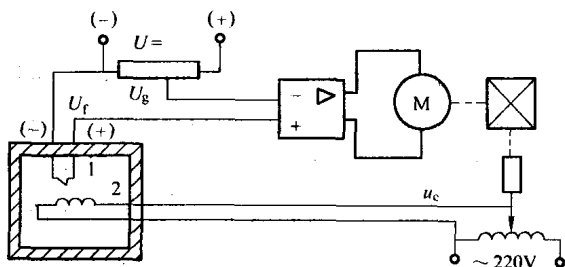


图 1-3 炉温闭环控制系统图

1—热电偶;2—加热器

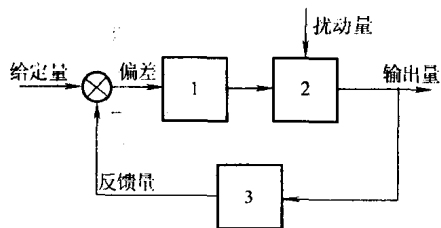


图 1-4 闭环控制结构图

1—控制器;2—控制对象;
3—检测装置

再举一个闭环控制的例子。图 1-6 所示是一个速度控制系统。这里用测速发电机 TG 将输出量检测出来,并转换成与给定电压物理量相同的反馈电压 U_f ,然后反馈到输入端,与给定电压 U_g 相比较。其偏差经过运算放大器放大后,用来控制功率放大器(图 1-6 中虚框)的输出电压 U_d 和电动机的转速 n 。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,将由测速机检测出来。此时反馈电压相应降低,与给定电压比较后,偏差电压增大,再经过放大器放大后,将使功率放大器输出电压 U_d 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,系统就可以近似保持给定速度不变。该系统的结构图如图 1-7 所示。

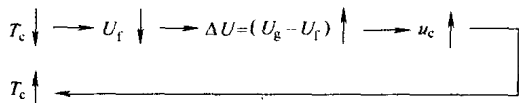


图 1-5 温度闭环控制的自动调节过程

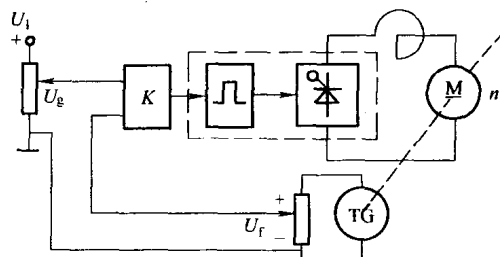


图 1-6 闭环调速系统

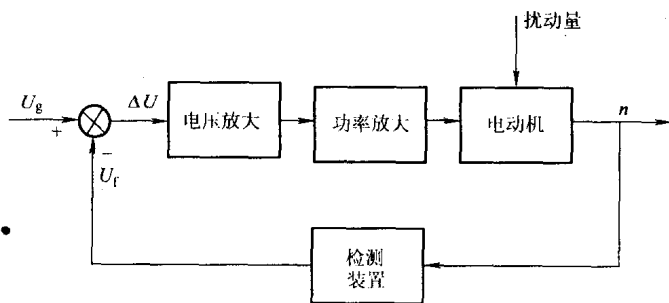


图 1-7 速度控制系统结构图

由于闭环系统是根据负反馈原理按偏差进行控制的,因此也叫做反馈控制系统或偏差控制系统。

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,具体结构可能不一样,但是从检测偏差、利用偏差信号对被控对象进行控制,以减小或纠正输出量的偏差这一控制过程却是相同的。通过这种反馈控制,可使控制系统的性能得到显著的改善。

至此,开环控制与闭环控制系统的特点可归纳如下。

(1) 在开环系统和闭环系统中,输入量和输出量都存在一一对应关系。

(2) 在开环系统中,只有输入量对输出量产生控制作用,输出量不参与系统的控制,因而开环系统没有抗干扰能力;从控制结构上看,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。在闭环控制系统中,除输入量对输出量产生控制作用外,输出量也参与系统的控制,因而闭环系统具有抗干扰能力;从控制结构上看,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,该通道称为反向通道;闭环控制系统就是由正向通道和反向通道组成的。

(3) 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,以便与给定量相比较,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。

(4) 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机构。闭环系统正是靠放大的偏差信号来推动执行机构,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。

反馈控制系统广泛地应用于各工业部门,例如加热炉和锅炉的温度控制、轧钢厂主传动和辅助传动的速度控制、位置控制等。

在有些系统中,将开环和闭环控制系统结合在一起,构成复合控制系统,能取得更好的控制效果。

闭环控制系统是本书研究的重点。

第二节 闭环控制系统的组成和基本环节

根据控制对象和使用元件的不同,自动控制系统有各种不同的形式,但是概括起来,一般均由以下基本环节组成(见图 1-8)。

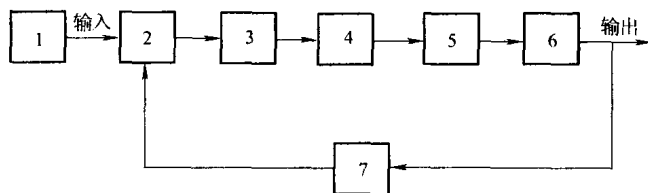


图 1-8 控制系统结构图

1—给定环节;2—比较环节;3—校正环节;4—放大环节;5—执行机构;6—被控对象;7—检测装置

(1) 控制对象或调节对象。是指要进行控制的设备或过程,如前面所举例子中的电动机、加热炉等。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,如电动机的转速、加热炉的温度等。闭环控制系统的任务就是控制这些系统输出量的变化规律,以满足生产工艺的要求。

(2) 执行机构。一般由传动装置和调节机构组成。执行机构直接作用于控制对象,使被控制量达到所要求的数值。

(3) 检测装置或传感器。该装置用来检测被控制量,如所举例中的热电偶、测速发电机等,并将其转换为与给定量相同的物理量。检测装置的精度和特性直接影响控制系统的控制品质,它是构成自动控制系统的关键性元件,所以一般应要求检测装置的测量精度高,反应灵敏,性能稳定等。

(4) 给定环节。是设定被控制量的给定值的装置,如电位器。给定环节的精度对被控制量的控制精度有较大影响,在控制精度要求高时,常采用数字给定装置。

(5) 比较环节。比较环节将所检测的被控制量与给定量进行比较,确定两者之间的偏差量。该偏差量由于功率较小或者由于物理性质不同,还不能直接作用于执行机构,所以在执行机构和比较环节之间还有中间环节。

(6) 中间环节。中间环节一般是放大元件,将偏差信号变换成适于控制执行机构工作的信号。根据控制的要求,中间环节可以是一个简单的环节,如放大器;或者是将偏差信号变换为适于执行机构工作的物理量,如功率放大器。除此之外,还希望中间环节能够按某种规律对偏差信号进行运算,用运算的结果控制执行机构,以改善被控制量的稳态和暂态性能,这种中间环节常称为校正环节。

在控制系统中,常把比较环节、放大装置、校正环节合在一起称为控制器。

在图 1-8 的控制系统结构图中,清楚地表明了各环节之间的关系和信号的传递方向。应注意,在结构图中,各环节的信号传递是有方向性的。在正向通道里,总是前一环节的输出量影响后一环节,而后面环节的输出量不影响前面的环节。如果在实际的环节中存在输出对输入的影响,那么这一影响可以用反馈的形式表示出来,这种反馈称为局部反馈,而系统输出量的反馈称为主反馈。为了改善系统中某些环节的特性,如改善环节非线性特性,减少环节的延迟等,有时在部分环节之间附加局部反馈。图 1-8 是按照偏差原则构成的控制系统的典型结构图,不管外部扰动或内部扰动何时发生,只要出现偏差量,系统就利用这一偏差去纠正输出量的偏差。

从系统的结构上看,也可以按照补偿扰动的原则构成系统,即当扰动量引起偏差的同时,利用扰动量来纠正偏差。这样的控制作用迅速,但是当有多种干扰时,检测干扰比较困难,系统结构也比较复杂。

按偏差原则和按扰动补偿原则结合起来构成的系统,称为复合控制系统。这种系统兼有两者的优点,并可构成精度很高的控制系统。

第三节 自动控制系统的类型

自动控制系统广泛应用于各类工业部门。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。例如,由单输入单输出的控制系统,发展为多输入多输出的系统;由具有常规控制仪表和控制器的连续控制系统,发展到由计算机作为控制器的直接数字控制系统,从而实现各种复杂的控制。从不同的角度出发,自动控制系统的类型可以有很多,如按照输入量的变化规律可将系统分为恒值系统和随动系统;按照系统传输信号对时间的关系可将系统分为连续系统和离散系统;按照系统的输出量和输入量之间的关系可将系统分为线性与非线性系统;按照系统参数对时间的变化情况可将系统分为定常和时变系统;按照系统的结构和参数是否确定可将系统分为确定和不确定性系统等等。现将经常讨论并且能够反映自动控制系统本质特征的几种类型概括如下。

一、线性和非线性系统

自动控制系统按其主要元件的特性方程式的输入输出特征,可以分为线性控制系统和非线性控制系统。

1. 线性系统

线性系统是由线性元件组成的系统,该系统的运动方程式可以用如下的线性微分方程描述。

$$\begin{aligned} & a_0(t) \frac{d^n x_c(t)}{dt^n} + a_1(t) \frac{d^{n-1} x_c(t)}{dt^{n-1}} + \cdots + a_{n-1}(t) \frac{dx_c(t)}{dt} + a_n(t) x_c(t) \\ & = b_0(t) \frac{d^m x_r(t)}{dt^m} + b_1(t) \frac{d^{m-1} x_r(t)}{dt^{m-1}} + \cdots + b_{n-1}(t) \frac{dx_r(t)}{dt} + b_m(t) x_r(t) \end{aligned}$$

式中 $x_r(t)$ ——系统的输入量;

$x_c(t)$ ——系统的输出量。

在该方程式中,输出量 $x_c(t)$ 及其各阶导数都是一次的,并且各系数与输入量(自变量)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。

线性系统的主要特点是具有叠加性和齐次性,即当输入量为 $x_{r1}(t)$ 和 $x_{r2}(t)$ 时,如果输出量分别为 $x_{c1}(t)$ 和 $x_{c2}(t)$;则当输入量为 $x_r(t) = ax_{r1}(t) + bx_{r2}(t)$ 时,输出量为 $x_c(t) = ax_{c1}(t) + bx_{c2}(t)$ 。

叠加性和齐次性是鉴别系统是否为线性系统的依据。

本书第二章至第六章讨论单输入单输出线性定常系统的自动控制基本原理。这种系统可以用拉普拉斯变换求解微分方程,并由此定义系统传递函数这一系统动态数学模型。根轨迹法和频率法就是在此基础上发展起来的分析和设计线性系统的有效方法。至于多输入多输出系统所采用的状态空间、传递矩阵等分析方法,将在相关课程中论述。

2. 非线性系统

如果系统微分方程式的系数与自变量 $x_r(t)$ 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。应指出,在自动控制系统中,即使只含有一个非线性环节,这一系统也是非线性的。典型的非线性环节有继电器特性环节(如图 1-9a)、饱和特性环节(如图 1-9b)和不灵敏区环节(如图 1-9c)等。

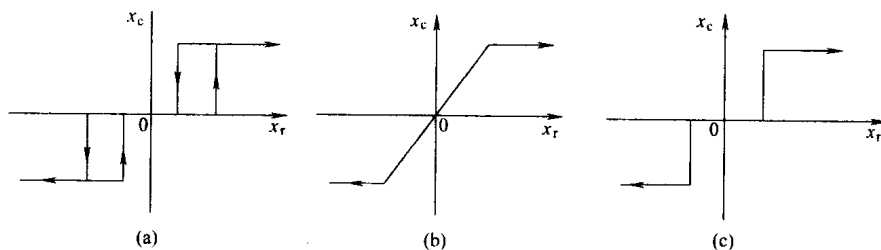


图 1-9 典型非线性环节特性

(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。

应指出的是,任何物理系统的特性,精确地说都是非线性的,但是在误差允许范围内,可以将非线性特性线性化,近似地用线性微分方程来描述,这样就可以按照线性系统来处理。

非线性系统的暂态特性与其初始条件有关。从这一点来看,它与线性系统有很大的区别。例如当偏差的初始值很小时,系统的暂态过程为稳定的,而当偏差量的初始值较大时,则可能变为不稳定的。线性系统的暂态过程则与初始条件无关。

二、连续数据系统和离散数据系统

按照自动控制系统中信号传递方式,也可将自动控制系统分为连续数据系统和离散数据系统。

连续数据系统,是指系统各部分的信号都是模拟的连续函数。目前大多数闭环系统都

是这种形式的。

离散数据系统,是指系统的一处或几处,信号是以脉冲序列或数码的形式传递。

离散系统的主要特点是,在系统中使用脉冲采样开关,将连续信号转变为离散信号。通常,对于离散信号取脉冲形式的系统,称为脉冲控制系统;而对于采用数字计算机或数字控制器,其离散信号以数码形式传递的系统,则称为采样数字控制系统。由于 20 世纪末期计算机产业的迅猛发展,采样数字控制系统的应用越来越广泛深入,并且大有取代模拟系统的趋势。

图 1-10 为脉冲控制系统的结构图。当连续信号 $x_r(t)$ 加于输入端时,采样开关对偏差信号 $e(t)$ 进行采样,采样开关的输出是偏差的脉冲序列 $e^*(t)$,用这一偏差信号序列 $e^*(t)$ 经过保持器对控制对象进行控制。

采样数字控制系统中包括数字控制器或数字计算机,因此系统中必须有相应的信号转换装置。图 1-11 为典型的采样数字控制系统的结构图。由于被控制对象的输入量和输出量都是模拟信号,而计算机的输入量和输出量是数码,所以要有将模拟量转换为数码的模数转换装置 A/D 和把数码转换为模拟量的数模转换装置 D/A。研究离散数据系统的方法和研究连续系统的方法相类似。如在连续系统中,以微分方程来描述系统运动状态,并用拉氏变换求解微分方程,而离散系统则以差分方程描述系统的运动状态,用 Z 变换求解差分方程;在连续系统中用传递函数和频率特性分析系统的暂态特性,而在离散系统中,则用脉冲传递函数和频率特性分析系统的暂态特性。有关离散系统将在第八章中介绍。

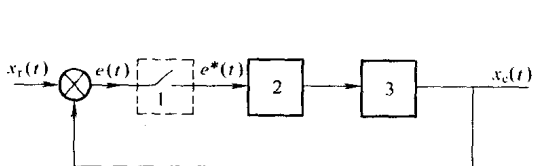


图 1-10 脉冲控制系统的结构图

1—采样开关;2—数据保持器;3—控制对象

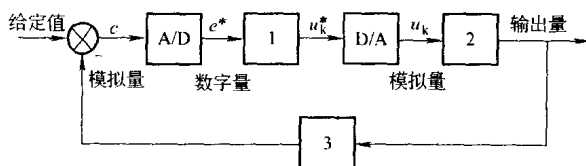


图 1-11 典型的采样数字控制系统的结构图

1—计算机;2—控制对象;3—检测装置;
A/D—模数转换;D/A—数模转换

三、恒值系统、随动系统和程序控制系统

在生产中应用最多的闭环自动控制系统,往往要求被控制量保持在恒定的数值上。但也有的系统要求输出量按一定规律变化。因此,按照给定量的特征,又可将系统分成如下三种类型。

(1) 恒值控制系统。恒值系统的给定量是恒定不变的,如恒速、恒温、恒压等自动控制系统,这种系统的输出量也应是恒定不变的。

(2) 程序控制系统。这种系统的给定量是按照一定的时间函数变化的,如程序控制机床的程序控制系统的输出量应与给定量的变化规律相同。

(3) 随动控制系统。随动系统中的给定量按照事先未知的时间函数变化,要求输出量跟随给定量的变化。所以也可以叫做同步随动系统。

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。

第四节 自动控制系统的性能指标

一个反馈控制系统,当扰动量或给定量(或给定量的变化规律)发生变化时,被控量偏离了给定量(或给定量的变化规律)而产生偏差,通过反馈控制作用,经过短暂的过渡过程,被控量又趋近于或恢复到原来的稳态值,或按照新的给定量(或给定量的变化规律)稳定下来,这时系统从原来的平衡状态过渡到新的平衡状态。我们把被控量处于变化状态的过程称为动态过程或暂态过程,而把被控量处于相对稳定的状态称为静态或稳态。自动控制系统的暂态品质和稳态性能可用相应的指标衡量。

自动控制系统的性能指标通常是指系统的稳定性、稳态性能和暂态性能。现分述如下。

一、稳定性

当扰动作用(或给定值发生变化)时,输出量将偏离原来的稳定值。这时由于反馈的作用,通过系统内部的自动调节,系统可能回到(或接近)原来的稳定值(或跟随给定值)稳定下来,如图 1-12a 所示。但也可能由于内部的相互作用,使系统出现发散而处于不稳定状态,如图 1-12b 所示。显然,不稳定的系统是无法工作的。因此,对任何自动控制系统,首要的条件便是系统能稳定正常运行。对系统的稳定性分析方法将在本书有关章节中介绍。

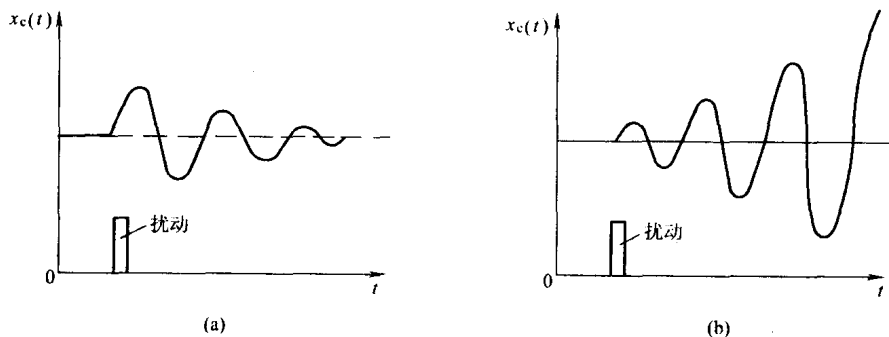


图 1-12 稳定系统和不稳定系统

(a) 稳定系统; (b) 不稳定系统

二、稳态性能指标

当系统从一个稳态过渡到新的稳态,或系统受扰动作用又重新平衡后,系统可能会出现偏差,这种偏差称为稳态误差。一个反馈控制系统的稳态性能用稳态误差来表示。系统稳态误差的大小反映了系统的稳态精度,它表明了系统控制的准确程度。稳态误差越小,则系统的稳态精度越高。若稳态误差为零,则系统称为无差系统,如图 1-13b 所示;若稳态误差不为零,则系统称为有差系统,如图 1-13a。对于一个恒值控制系统(如调速系统)来说,稳态误差是指扰动(例如负载变化)作用下,被控量(例如转速)在稳态下的变化量;对于一个随动系统来说,稳态误差则是指在稳定跟随过程中,输出量偏离给定量的大小。