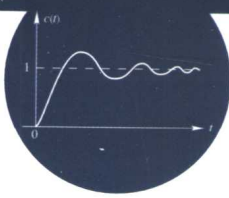


面向21世纪教材

自动控制原理

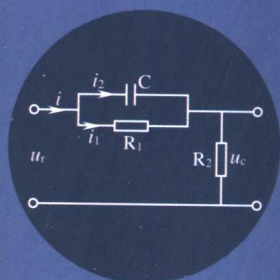
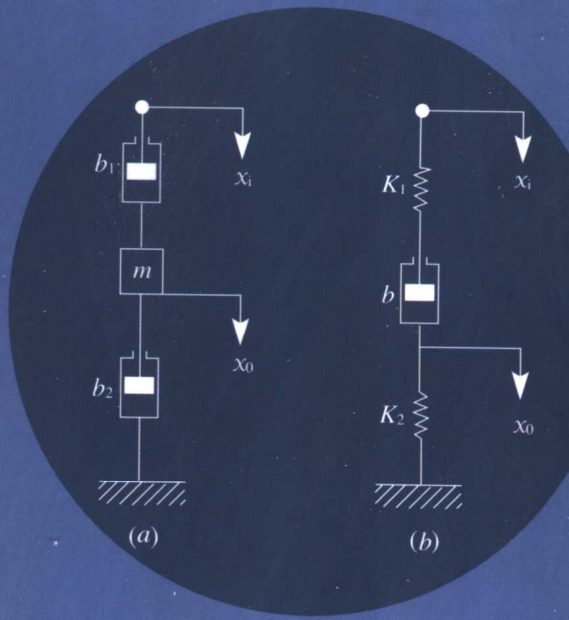
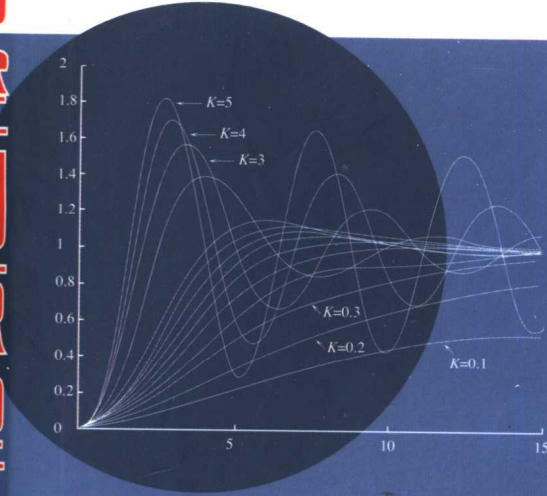
TP13/829



面向21世纪 **高职高专** 教材

自动控制原理

王划一 杨西侠 林家恒 编著



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

面向 21 世纪高职高专教材

自动控制原理

王划一 杨西侠 林家恒 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书内容包括自动控制系统的基本分析和设计方法。全书共分7章,前5章介绍连续控制系统的建模、时域分析、频域分析、系统校正等方法,第六章介绍离散系统建模及时域分析方法,第七章较详细地介绍了 MATLAB 仿真软件的基本知识和常用命令,并针对前6章内容,采用 MATLAB 方法进行了研究,即使是没有接触过 MATLAB 的读者,也能够轻松地学会 MATLAB 仿真方法。

本书的特点是突出实用性、技术性等方面的能力培养,书中配有的各章学习指导、小结、解题示范,以及最后的模拟实验方法,无不有效地训练了学生解决实际问题的能力和动手能力。通过理论与实际的有效结合,使学生能够打下较牢固的理论基础。

本书可作为高等职业技术学院本科、专科,高等工程专科学校本科、专科,成人高校电器工程自动化、通信、计算机、自动控制等专业,以及少学时或非自动化专业本科生教材。同时,还可作为自动化类岗位培训教材以及供从事自动化工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理 / 王划一等编著. —北京:国防工业出版社, 2004.1
面向 21 世纪高职高专教材
ISBN 7-118-03266-6

I. 自... II. 王... III. 自动控制理论 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 089062 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 434 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

本书是根据教育部最新制定的《高职高专自动控制原理教学基本要求》编写的面向 21 世纪规划教材。针对高等职业技术教育及高等工程专科教育培养技术应用型人才的特点,以基本知识、概念、理论“必需、够用”为原则,加强理论与实际的结合。在内容的选取上,基础理论以应用为目的,内容简明易懂,注重实例,突出技能的培养。

本书对自动控制原理的基本知识、基本理论进行阐述,加强基本分析方法的介绍,以工程的观点,删繁就简,内容精练,重点突出。在内容安排上将理论知识的讲授、课后练习及技能训练有机结合,融为一体。书中每章附有学习指导与小结,以指导学生掌握学习的重点。每章内容都配有精心编排的解题示范,以帮助学生拓宽思路,训练解决问题的能力,真正掌握各章的理论精华。

培养应用型专业人才,最重要的一点是实践性。本书增加了控制原理模拟实验与 MATLAB 仿真内容,结合本书的理论方法,精心设计了一系列实验项目,训练学生实际动手能力。通过模拟实验加深对理论知识的理解,并学会目前国际控制界流行的仿真软件 MATLAB 的使用,为今后参与工程分析和设计打下较好基础。

本书共分 7 章,主要内容有控制系统数学模型建立,时域分析方法,频率法分析,系统的校正方法,特别是对工程上常用的 PID 控制进行了详细介绍;另外对离散系统基本分析方法进行了阐述;最后,用 MATLAB 方法对各章内容进行了仿真研究,并介绍了模拟实验的基本方法。

本书可作为高等职业技术学院本科、专科,高等工程专科学校本科、专科,成人高校电器工程自动化、通信、计算机、自动控制等专业,以及少学时或非自动化专业本科生教材。同时,还可作为自动化类岗位培训教材以及供从事自动化工作的科技人员参考。

本书第一、二、四章由杨西侠编写,第三、七章及附录由王划一编写,第五、六章由林家恒编写。在编写过程中,研究生郭俊美、刘增晓等同学做了不少贡献,并调试了全部仿真程序,提出了不少宝贵意见,在此向他们表示感谢!

因编写时间仓促,水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 6 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 自动控制的基本概念	1
1.2 自动控制的基本方式	2
1.2.1 开环控制	2
1.2.2 闭环控制	2
1.2.3 闭环控制系统的基本组成	3
1.2.4 复合控制	4
1.3 自动控制系统的分类	5
1.3.1 按给定信号的特征划分	5
1.3.2 按系统的数学描述划分	6
1.3.3 按信号传递的连续性划分	7
1.3.4 按系统的输入与输出信号的数量划分	7
1.4 自动控制系统的要求	8
1.4.1 对系统的要求	8
1.4.2 控制系统的分析与设计	9
1.5 解题示范	9
学习指导与小结	11
习题	12
第二章 控制系统的数学模型	14
2.1 微分方程式	14
2.1.1 列写微分方程的一般方法	14
2.1.2 线性常系数微分方程的求解	18
2.2 传递函数	18
2.2.1 传递函数的定义	18
2.2.2 传递函数的性质	20
2.3 典型环节的传递函数	21
2.4 动态结构图	24
2.4.1 结构图的组成	25
2.4.2 结构图的绘制	25
2.4.3 结构图的等效变换和简化	27
2.5 自动控制系统的的重要传递函数	31
2.6 解题示范	32

学习指导与小结	37
习题	38
第三章 线性系统的时域分析法	42
3.1 典型输入信号和时域性能指标	42
3.1.1 典型输入信号	42
3.1.2 阶跃响应性能指标	44
3.2 典型二阶系统时域分析	45
3.2.1 典型二阶系统的单位阶跃响应	46
3.2.2 欠阻尼二阶系统暂态性能指标估算	50
3.3 高阶系统分析	55
3.3.1 高阶系统的单位阶跃响应	55
3.3.2 闭环零、极点对系统性能的影响	56
3.3.3 闭环主导极点	57
3.4 控制系统的稳定性分析	58
3.4.1 稳定性的概念及线性系统稳定的充要条件	58
3.4.2 劳斯稳定判据	59
3.4.3 两种特殊情况	60
3.4.4 劳斯稳定判据在系统分析中的应用	62
3.5 自动控制系统的稳态误差分析	62
3.5.1 稳态误差的定义及一般计算公式	62
3.5.2 控制系统的分类	63
3.5.3 给定信号作用下的稳态误差分析	64
3.5.4 扰动信号作用下的稳态误差分析	68
3.5.5 提高系统稳态精度的措施	69
3.6 时域分析的实用方法之一(根轨迹图及其应用)	71
3.6.1 根轨迹的基本概念	72
3.6.2 高阶系统根轨迹的应用举例	73
3.7 解题示范	75
学习指导与小结	82
习题	85
第四章 线性系统的频域分析法	90
4.1 频率特性	90
4.1.1 基本概念	90
4.1.2 频率特性的定义	92
4.1.3 频率特性的几何表示法	93
4.2 典型环节的频率特性	94
4.3 控制系统的开环频率特性	103
4.3.1 开环极坐标图	103
4.3.2 开环伯德图	108

4.3.3 最小相位系统与非最小相位系统	110
4.4 奈奎斯特稳定判据	112
4.4.1 辅助函数 $F(s)$	112
4.4.2 幅角原理	113
4.4.3 奈氏判据	114
4.4.4 伯德图上的稳定性判据	118
4.5 稳定裕度	121
4.6 闭环频率特性	123
4.7 频率法系统分析	124
4.7.1 用开环频率特性分析系统的性能	124
4.7.2 用闭环频率特性分析系统的动态性能	128
4.7.3 开环频域指标与闭环频域指标的关系	129
4.8 解题示范	130
学习指导与小结	137
习题	138
第五章 频域法串联校正	142
5.1 校正的基本概念	142
5.1.1 校正的定义	142
5.1.2 校正方式	143
5.1.3 设计方法	143
5.2 串联超前校正	143
5.2.1 典型超前校正网络	143
5.2.2 串联超前校正设计	145
5.3 串联滞后校正	148
5.3.1 典型滞后校正网络	148
5.3.2 串联滞后校正设计	149
5.4 调节器及其串联校正	153
5.4.1 3种常用调节器	153
5.4.2 串联校正分析	155
5.5 解题示范	158
学习指导与小结	164
习题	164
第六章 离散控制系统	167
6.1 离散系统的基本概念	167
6.1.1 离散系统的几个定义	167
6.1.2 离散系统的分类和典型结构	168
6.1.3 离散系统的优点	169
6.2 信号的采样与保持	169
6.2.1 采样过程的数学描述	169

6.2.2 采样定理——香农(Shannon)定理	172
6.2.3 信号保持	173
6.3 z 变换	174
6.3.1 z 变换的定义	175
6.3.2 z 变换的求法	175
6.3.3 z 变换的性质	177
6.3.4 z 反变换	179
6.4 离散系统的数学模型	181
6.4.1 差分方程	181
6.4.2 脉冲传递函数	185
6.4.3 由结构图求脉冲传递函数	187
6.4.4 两种数学模型之间的相互转换	194
6.5 离散系统的时域分析	195
6.5.1 稳定性分析	195
6.5.2 稳态误差计算	199
6.5.3 动态性能的定量计算与定性分析	203
6.6 解题示范	209
学习指导与小结	216
习题	219
第七章 控制系统的模拟实验与 MATLAB 仿真	222
7.1 MATLAB 简介	222
7.1.1 MATLAB 的安装	222
7.1.2 MATLAB 桌面系统	223
7.1.3 MATLAB 命令窗口	224
7.2 MATLAB 基本操作命令	225
7.2.1 简单矩阵的输入	225
7.2.2 复数矩阵输入	226
7.2.3 MATLAB 语句和变量	226
7.2.4 语句以“%”开始和以分号“;”结束的特殊效用	227
7.2.5 获取工作空间信息	227
7.2.6 常数与算术运算符	227
7.2.7 选择输出格式	228
7.2.8 MATLAB 图形窗口	228
7.2.9 剪切板的使用	228
7.2.10 MATLAB 编程指南	229
7.3 MATLAB 在控制系统中的应用	230
7.3.1 用 MATLAB 建立传递函数模型	230
7.3.2 利用 MATLAB 进行系统性能分析	237
7.4 频域法串联校正的 MATLAB 方法	260

7.5 自动控制理论模拟实验	262
实验一 典型环节及阶跃响应测试	264
实验二 系统频率特性测量	269
实验三 连续系统的频率法串联校正	275
附录 1 拉普拉斯变换	281
附录 2 MATLAB 常用命令	290
参考文献	293

第一章 绪 论

1.1 自动控制的基本概念

自动控制技术现在广泛应用于工农业生产、交通运输、国防建设和航天科技等各个领域。

所谓自动控制,是指在无人直接参与的情况下,利用自动控制装置使整个生产过程或工作机械自动地按预先规定的规律运行,或使它的某些参数(称为被控量)按预定要求变化。

图 1-1 所示的是一个简单的水箱自动控制系统。因生产和生活的需要,希望液面高度维持恒定(或在允许的偏差范围以内)。当水的流入量与流出量平衡时,水箱的液面高度维持在预定的(希望的)高度上。当水的流出量增大或流入量减小时(或流出量减小或流入量增大),平衡则被破坏,液面的高度降低(或升高),这时与希望的液面高度之间产生了偏差。这个偏差由浮子检测出来,送到控制器,控制器在偏差的作用下控制气动阀门,使阀门开大(或关小),使水的流入量增大(或减小),对偏差进行修正,从而保持液面高度不变。

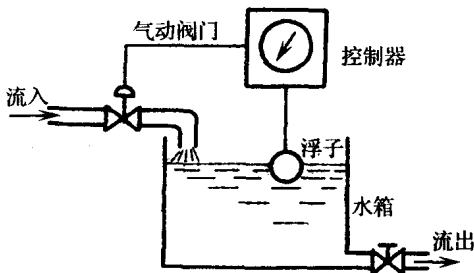


图 1-1 水箱自动控制系统

自动控制系统一般是由控制器和被控对象组成。自动控制系统的功用及组成是多种多样的,其结构也有简有繁。它可以是只控制一个物理量(如液面高度、温度、速度等)的简单系统,也可以是包括整个企业全部过程的大系统,也可以是抽象的社会系统、生态系统或经济系统等。

自动控制原理是研究自动控制技术的基础理论和自动控制规律的技术科学。它的发展初期,是以反馈理论为基础的自动调节原理,并主要用于工业控制。第二次世界大战期间,由于战争的需要,进一步促进并完善了自动控制理论的发展。到战后,已形成完整的自动控制理论体系,称为经典控制理论。它以传递函数为工具,主要研究单输入单输出系统的分析和设计问题,主要研究的方法是根轨迹法和频率法。这些理论成熟,并在工程实践中得到了广泛的应用。本教材主要介绍这部分内容。

20 世纪 60 年代初期,随着航天技术、微电子技术、计算技术等科学技术的发展和工程实践的需要,自动控制理论跨入了一个新阶段——现代控制理论。它的主要内容是,以状态空间法为基础,研究多输入多输出、变参数、非线性、高精度系统的分析和设计问题。最优控制、最佳滤波、系统辨识、自适应控制、模糊控制、人工智能等理论都是这一领域研究的主要课题。

现代控制理论的发展速度是惊人的,目前还在急速地向更纵深发展。它无论在数学工具、理论基础,还是在研究方法上都不是经典理论的简单延伸和推广,而是认识上的一次飞跃,在应用科学领域中将受到越来越多的重视。

1.2 自动控制的基本方式

自动控制系统根据有无反馈,分为开环控制和闭环控制两种控制方式。

1.2.1 开环控制

如果控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程,称这种控制方式为开环控制,相应的系统为开环控制系统。图 1-2 所示的直流电动机转速控制系统就是一个开环控制系统。图中电动机是电枢控制的直流电动机,要求带动负载以一定的转速转动。

输入量是给定电压 u_r , 输出量(被控制量)是电动机转速 ω 。调整给定电位器滑臂的位置,可得到不同的给定电压 u_r 和电枢电压 u_a ,从而控制了电动机的转速 ω 。上述的控制过程可用方框图简单直观地表示成图 1-3 的形式。当负载转矩不变时,给定电压 u_r 和电动机转速 ω 有一一对应的关系。因此,可由给定电压直接控制电动机转速。如果出现扰动如负载转矩增加(减少),电动机转速便随之降低(增高)而偏离给定值。若要维持给定转速不变,操作人员必须经过判断,相应地调整电位器滑臂的位置来提高(降低)给定电压 u_r ,使电动机转速恢复到原给定值。

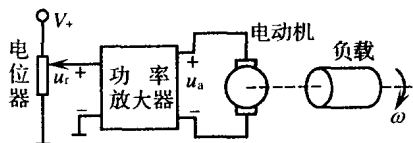


图 1-2 直流电动机转速控制系统

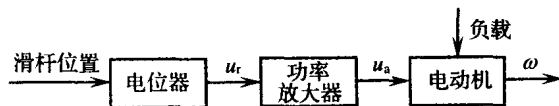


图 1-3 直流电动机转速控制方框图

这种控制方式的特点是控制作用的传递具有单向性,作用路径不是闭合的。由方框图可明显地看出控制信息的传递过程是由输入端沿箭头方向逐级传向输出端。控制作用直接由系统的输入量产生。给定一个输入量,就有一个输出量与之对应。控制精度取决于信息传递过程中所用元件性能的优劣及校准的精度。由于开环控制系统不具备自动修正被控量偏差的能力,故系统的精度低,即抗干扰能力差。但是开环控制结构简单、调整方便、成本低,在国民经济各部门均有采用。如自动售货机、自动洗衣机、产品自动生产线、数控机床及交通指挥红绿灯转换等。

1.2.2 闭环控制

闭环控制是指控制装置与被控对象之间既有顺向作用又有反向联系的控制过程。图 1-4 所示的是一种自动调整转速的闭环控制系统。该系统在原来的基础上,增加了一个由测速发电机构成的反馈回路,用来检测输出转速,并给出与电动机转速成正比的反馈电压。将这个代表实际输出转速的反馈电压与代表希望输出转速的给定电压进行比较,所得出的偏差信号作为产生控制作用的基础,通过功率放大器来控制电机的转速。这也常

称为按偏差控制。可以看出,只要偏差存在,控制作用总是存在的。控制的最终目的是减小偏差,提高控制精度。这种通过反馈构成系统闭环,按偏差产生控制作用,以减小或消除偏差的控制系统,称为闭环控制系统,或反馈控制系统。用方框图直观地把上述控制过程描述出来,更方便进行性能分析,方框图如图 1-5 所示。

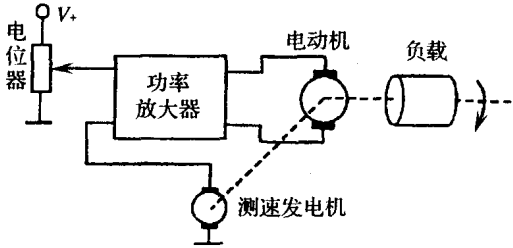


图 1-4 直流电动机转速闭环控制系统

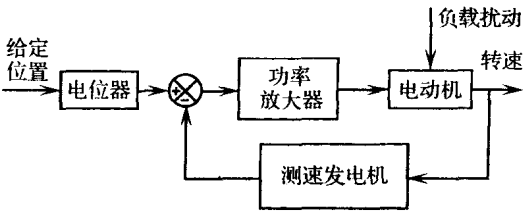


图 1-5 直流电动机转速闭环控制方框图

由方框图分析电动机转速自动调节的过程如下:当系统受到扰动影响时,例如负载增大,则电动机的转速降低,测速发电机的端电压减小。在给定电压不变时,偏差电压则会增加,电动机的电枢电压上升,使得电动机转速增加。如果负载减小,则电动机转速调节的过程与上述过程变化相反。这样,抑制了负载扰动对电动机转速的影响。同样,对其他扰动因素,只要影响到输出转速的变化,上述调节过程会自动进行,从而保证了系统的控制精度,提高了抗干扰能力。

这种控制方式的特点是控制作用不是直接来自给定输入,而是系统的偏差信号,由偏差产生对系统被控量的控制。系统被控量的反馈信息反过来又影响系统的偏差信号,即影响控制作用的大小。这种自成循环的控制作用,使信息的传递路径形成了一个闭合的环路,称为闭环。由于闭环控制能自动修复被控量偏差的能力,故控制精度高,抗干扰能力强。但是闭环控制系统不仅使用元件多、线路复杂,且因信号反馈的作用,如果未选好系统元件或系统参数配合不当时,调节过程可能变得很差,甚至出现发散或等幅振荡等不稳定情况。

1.2.3 闭环控制系统的基本组成

根据控制对象使用元件不同,闭环控制系统有各种不同的形式,但一般闭环控制系统由以下基本元件(或装置)组成。闭环控制系统的基本组成方框图如图 1-6 所示。

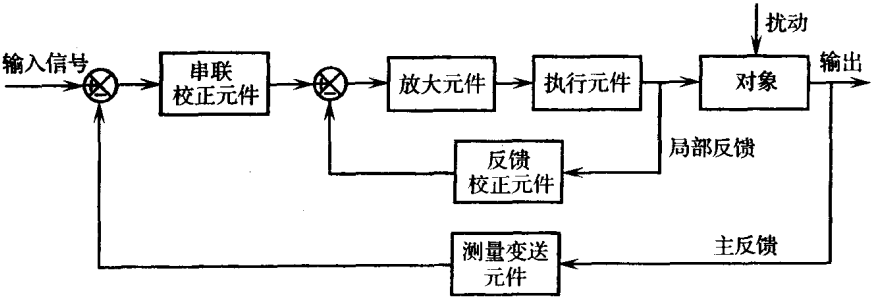


图 1-6 闭环控制系统的基本组成方框图

被控对象——自动控制系统需要进行控制的工作机械或生产过程。被控对象要求实现控制的物理量称为被控量或输出量。

执行元件——直接对被控对象进行操作,使被控量达到期望值的元件,如阀门、伺服电机等。

反馈测量元件——用来测量被控量并将其转换成与控制量同一物理量并反馈到输入端的元件,如测速发电机等。

比较元件——用来比较控制信号与反馈信号,并产生反映两者差值的偏差信号的装置,如电位器、电桥等。

放大元件——将过于微弱的偏差信号加以放大,以足够的功率来推动执行机构。放大倍数越大,系统的反应越敏感。一般情况下,只要系统稳定,放大倍数应适当大些。

校正元件——为改善或提高系统性能,便于调整系统参数或结构的一种装置,也称为调节器。

在图 1-6 中,系统基本元件和被控对象均用方框表示。信号的传递方向由箭头表示。该传递方向是单向不可逆的。信号从输入端沿箭头方向到达输出端的传输通路称为前向通路或前向通道;系统输出量由测量元件反馈到输入端的通路称为主反馈通路;前向通路与主反馈通路一起构成主回路。此外,尚有局部反馈通路以及由它组成的内回路。

1.2.4 复合控制

将开环控制与反馈控制适当地结合在一起,通常比较经济,并且能够获得满意的综合系统性能,此方式构成复合控制方式。

复合控制实质上是在闭环控制的基础上,附加一个输入信号(给定信号或扰动信号)的顺馈通路,对该信号实行加强或补偿,以达到精确的控制效果。常见的方式有以下两种。

1. 附加给定输入补偿

图 1-7 给出了该复合控制方框图。通常,附加的补偿装置可提供一个顺馈控制信号,与原输入信号一起对被控对象进行控制,以提高系统的跟踪能力。这是一种对控制能力的加强作用,往往提供的是输入信号的微分作用,起到超前控制。

2. 附加扰动输入补偿

图 1-8 给出了该复合控制方框图。附加的补偿装置所提供的控制作用,主要起到对扰动“防患未然”的效果。故应按照不变性原理来设计,即保证系统输出与作用在系统上的扰动完全无关,这一点与前一种补偿作用截然不同。

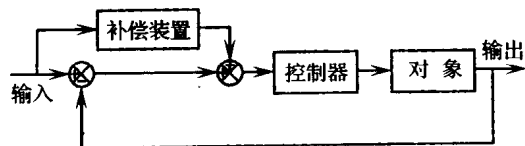


图 1-7 附加给定输入补偿

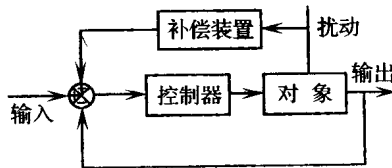


图 1-8 附加扰动输入补偿

应当强调的是,附加的顺馈控制相当于开环控制。因此,对其本身补偿装置参数稳定性要求较高。否则,会由于参数本身的漂移而减弱其补偿效果。此外,顺馈通道对闭环回

路性能影响不大,特别是对稳定性无影响,却能大大提高系统控制精度,因此获得了广泛应用。

1.3 自动控制系统的分类

随着科学技术的发展,自动控制系统的应用渗透到各个领域,其形式是多种多样的。对自动控制系统的分类可根据需要和应用方便,从各个不同的角度加以划分。例如,根据系统元件的属性可分为机电系统、液压系统、气动系统等;根据系统功率的大小可分为大功率系统和小功率系统。总之,大多都是根据系统较明显的结构特征来进行分类的,分类的目的主要是应用上的方便。从研究自动控制系统的动态性能、运动规律和设计方法的理论角度,我们常有以下几种能反映系统基本实质的划分方式。读者可能注意到,控制理论研究的重点主要是信息的传递与转换。因此,在分类方式上,也是以系统信息为出发点。前面介绍的开环控制与闭环控制,正是从控制信息的传递路径上来划分的。其他的几种主要类型分别介绍如下。

1.3.1 按给定信号的特征划分

给定信号是系统的指令信息,它代表了系统希望的输出值,反映了控制系统完成的基本任务和职能。

1. 恒值控制系统

恒值控制系统的特点是给定输入一经设定就维持不变,希望输出维持在某一特定值上。这种系统主要任务是当被控量受到某种干扰而偏离期望值时,通过自动调节的作用,使它尽可能快地恢复到期望值。系统的结构设计的好坏,直接影响到恢复的精度。如果由于结构的原因不能完全恢复到期望值时,则误差应不超过规定的允许范围。

前面提到的液位控制系统、直流电动机调速系统,以及其他恒定压力、恒定流量、恒定温度等都属于这一类系统。显然,要想使系统输出维持恒定,克服扰动的影响是系统设计中要解决的主要矛盾。

2. 随动控制系统

随动控制系统的主要特点是给定信号的变化规律是事先不知道的随机信号。这类系统的任务是使输出快速、准确地跟随给定值的变化而变化,故称作随动控制系统。显然,由于输入在不断变化,设计一个好的跟随性就成为这类系统中要解决的主要矛盾。当然,系统的抗干扰性也不能忽视,但与跟随性相比,应放在第二位来解决。

用于军事上的自动炮火系统、雷达跟踪系统,用于航天、航海中的自动导航系统、自动驾驶系统等都属于典型的随动系统,在工业生产中的自动测量仪器也属于这一类。

3. 程序控制系统

程序控制系统与随动系统不同之处就是它的给定输入不是随机不可知的,而是按事先预定的规律变化。这类系统往往适用于特定的生产工艺或工业过程,按所需要的控制规律给定输入,要求输出按预定的规律变化。设计这类系统比随动系统有针对性。由于变化规律已知,可根据要求事先选择方案,保证控制性能和精度。

在工业生产中广泛应用的程序控制有仿形控制系统、机床数控加工系统、加热炉温度

自动变化控制等。

1.3.2 按系统的数学描述划分

任何系统都是由各种元件组成的。从控制理论的角度,这些元件的性能可用其输入输出特性来进行分析。按照描述元件特征的方程式的不同,可将系统分为线性系统 and 非线性系统两大类。

1. 线性系统

当系统中各元件输入输出特性是线性特性,系统的状态和性能可以用线性微分(或差分)方程来描述时,则称这种系统为线性系统。

线性系统的一个突出特点就是满足叠加原理。叠加原理指出:当多个输入信号同时作用在系统上,产生的总输出等于每个输入信号单独作用时系统的输出之和,即叠加性;当系统输入增大或缩小某一倍数时,系统的输出也相应增大或缩小相同的倍数,即齐次性。也可以运用叠加原理的这两个性质作为鉴别系统是否为线性系统的依据。

当微分方程的系数均为常数时,则为线性定常系统。这类系统有一个明显的特征,即系统的响应曲线形状只取决于具体的输入,而与输入的时间起点无关。也就是说无论何时开始输入,只要输入信号一致,响应就是相同的,这称为定常特性。另一类是微分方程的系数是随时间变化的函数,则称为线性时变系统。它不具备定常特性,研究起来比定常系统复杂。线性定常系统理论比较成熟,所以若系统参数随时间变化不大,可用常值来对待时,为分析、设计方便,就常常视为定常系统。

2. 非线性系统

系统中只要存在一个含非线性特性的元件,系统就由非线性方程来描述,这种系统称为非线性系统。由于非线性特征的多样性,在数学上较难处理,叠加原理也不成立,研究起来不方便,至今尚没有通用的分析方法。只有一些在特定条件下近似分析的方法。

严格地说,任何物理系统总是不同程度地具有非线性,虽然许多物理系统常以线性方程来表示,但大多数情况下实际系统并非真正线性的。所谓线性系统,也只是在一定工作范围内,保持较好的线性关系。例如系统中应用的放大器,在较大的输入信号下,输出可能饱和。此外,某些元件还可能具有死区,影响小信号正常工作。对于这类系统,在某一工作区域,可以视为线性系统,但在大范围工作区域,则是非线性系统。这可称为非本质非线性。另外,有些控制系统,对于任意大小的输入信号而言,系统都是非线性的。例如,在继电控制系统中,控制作用不是接通就是关断。这类控制器的输入输出总是非线性的,称为本质非线性。

虽然含有非线性特性的系统可以用非线性方程描述,但它的求解是困难的。而对于各类非线性问题,尚无统一的方法来研究。对于非本质非线性系统,满足小偏差原理时,往往可以采用线性化的方法,用线性化数学模型来近似地表示非线性系统,就可以采用一些线性理论来分析和设计系统。对于本质非线性系统,必须用非线性理论来进行分析研究。

非线性特性明显时,会产生一些比线性系统复杂的现象,有些是不希望的,要通过分析加以控制。而有些非线性元件,通过正确地在系统中使用,会收到意想不到的控制效果。因此,近年来在系统中引入非线性特性以改善控制系统质量,已取得了很成功的经

验。非线性理论也在不断地发展着。

1.3.3 按信号传递的连续性划分

1. 连续系统

连续系统的特点是系统中各元件的输入信号和输出信号都是时间的连续函数。这类系统的运动规律是用微分方程来描述的。

连续系统中各元件传输的信息在工程上称为模拟量,多数实际物理系统都属于这一类。

2. 离散系统

控制系统中只要有一处的信号是脉冲序列或数码信号时,该系统为离散系统。这种系统的状态和性能一般用差分方程来描述。实际物理系统中,信息的表现形式为离散信号的并不多见,往往是控制上的需要,人为地将连续信号离散化,称其为采样。采样过程如图 1-9 所示。

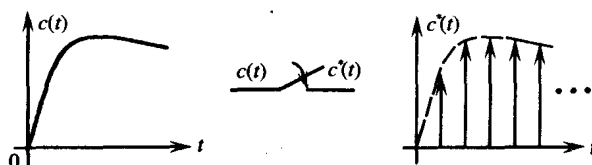


图 1-9 采样过程

采样过程是通过采样开关把连续的模拟量变为脉冲序列,具有这类信号的系统一般又称为脉冲控制系统。

当今时代,计算机作为控制器用于系统控制越来越普遍,计算机进行采样的过程,是把连续信号转换为数码信号来进行运算处理的,A/D 转换器承担了这一任务。具有数码信号的系统一般称为数字控制系统。计算机控制系统如图 1-10 所示。

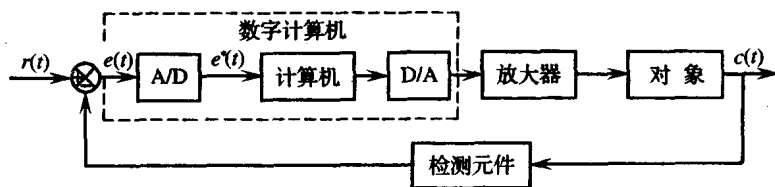


图 1-10 计算机控制系统的结构图

离散系统的数学描述形式与连续系统不同,分析研究方法也有不同的特点。随着计算机控制的广泛应用,离散系统理论方法也越显重要,有关的内容将在第六章介绍。

1.3.4 按系统的输入与输出信号的数量划分

1. 单变量系统(SISO)

单变量系统只有一个输入量和一个输出量,所谓单变量是从系统外部变量的描述来分类的,不考虑系统内部的通路与结构。也就是说给定输入是单一的,响应也是单一的。但系统内部的结构回路可以是多回路的,内部变量显然也是多种形式的。内部变量也称

为中间变量,输入与输出变量称为外部变量。对系统的性能分析,只研究外部变量之间的关系。

单变量系统是经典控制理论的主要研究对象。它以传递函数作为数学工具,讨论线性定常系统的分析和设计问题,也是本课程讲述的主要内容。

2. 多变量系统(MIMO)

多变量系统有多个输入量和多个输出量。其特点是变量多、回路多,而且相互之间呈现多路耦合,研究起来比单变量系统复杂得多,如图 1-11 所示。

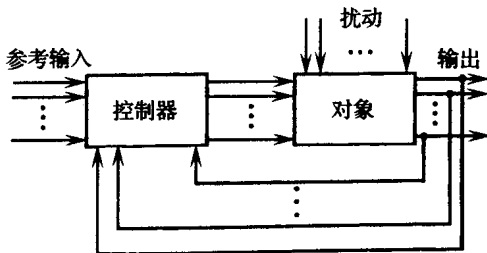


图 1-11 多变量系统

多变量系统是现代控制理论研究的主要对象。在数学上以状态空间法为基础,讨论多变量、多参数、非线性、高精度、高性能等控制系统的分析和设计。

1.4 自动控制系统的要求

1.4.1 对系统的要求

自动控制理论是研究自动控制共同规律的一门学科。尽管自动控制系统有不同的类型,对每个系统也都有不同的特殊要求,但对于各类系统来说,在已知系统的结构和参数时,我们感兴趣的都是系统在某种典型输入信号下,其被控量变化的全过程。例如,对恒值控制系统是研究扰动作用引起被控量变化的全过程;对随动系统是研究被控量如何克服扰动影响并跟随参考输入变化的过程。但是,对每一类系统被控量变化全过程提出的共同基本要求都是一样的,且可以归结为稳定性、快速性和准确性,即稳、快、准的要求。

(1) 稳定性。稳定性是保证控制系统正常工作的先决条件。不稳定的系统是无法工作的。线性自动控制系统的稳定性是由系统结构所决定,与外界因素无关。由于控制系统中一般都含有储能元件或惯性元件,如电路中的电感、电容,机械装置中的惯性、质量等,储能元件不可能突变。因此,当系统受到扰动或给定输入信号作用时,控制过程不会立即变化,而是经历一段时间,即系统运动必然有一个渐变的过程,称为过渡过程。如果系统是稳定的,则过渡过程会振荡收敛或平稳收敛到平衡状态。

(2) 快速性。为了很好地完成控制任务,控制系统仅仅满足稳定性要求是不够的,还必须对其过渡过程的形式和快慢提出要求,一般称为动态性能。快速性是指过渡过程时间长短,反映系统快速复现信号的能力。平稳性反映动态过程的振荡程度及偏离量大小,过大的波动可能性会使系统运动部件受损。