



面向21世纪机电及电气类专业高职高专规划教材



自动控制原理与应用

■ 主 编 韩全立



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪机电及电气类专业高职高专规划教材

自动控制原理与应用

主 编 韩全立
参 编 方维奇 冯 凯
东 方 刘庆华

西安电子科技大学出版社

2006

内 容 提 要

本书运用经典控制理论的线性理论部分知识,以自动调速系统为主线,着重叙述了自动控制系统的工作原理、自动调节过程等。内容包括:自动控制系统概论、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、控制系统的频域分析法、自动控制系统的校正、直流调速系统、直流脉宽调速系统、位置随动系统、交流变频调速系统等。

本书可作为高职高专电气技术、电气自动化等电气类专业的主干课教材,也可供其它相近专业师生及有关工程技术人员参考。

★本书配有电子教案,有需要的老师可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理与应用/韩全立主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2006.8

面向 21 世纪机电及电气类专业高职高专规划教材

ISBN 7 - 5606 - 1688 - 7

I. 自… II. 韩… 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(2006)第 073948 号

策 划 马晓娟

责任编辑 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 15

字 数 347 千字

印 数 1~4000 册

定 价 19.00 元

ISBN 7 - 5606 - 1688 - 7/TM • 0031

XDUP 1980001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

面向 21 世纪

机电及电气类专业高职高专规划教材

编审专家委员会名单

主 任：李迈强

副主任：唐建生 李贵山

机 电 组

组 长：唐建生（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

王春林	王周让	王明哲	田 坤	宋文学
陈淑惠	张 勤	肖 珑	吴振亭	李 鲤
徐创文	殷 铖	傅维亚	魏公际	

电 气 组

组 长：李贵山（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

马应魁	卢庆林	冉 文	申凤琴	全卫强
张同怀	李益民	李 伟	杨柳春	汪宏武
柯志敏	赵虎利	戚新波	韩全立	解建军

项目策划：马乐惠

策 划：马武装 毛红兵 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

本书是作者在总结多年教学经验的基础上,根据高等职业技术教育的特点组织编写的。

本书运用经典控制理论的线性理论部分知识,以自动调速系统为主线,着重叙述了自动控制系统的工作原理、自动调节过程等。考虑到高职教育的特点,在编写时着重考虑了基本概念的叙述和系统的性能分析。自动控制理论比较抽象,学生不易接受,这主要是由于学生不知道自动控制理论用于何处和怎样去应用,因此,我们在编写时力求做到深入浅出、循序渐进,注重物理概念叙述的同时引入系统的实际应用,做到理论联系实际,培养学生分析问题的能力,力戒繁琐的数学推导。每章后面均有小结和习题,以供复习与练习。

参加本书编写的有河南工业职业技术学院的韩全立(第1、7、9章及第6.3、6.4两节),陕西工业职业技术学院的方维奇(第2、5章),陕西国防工业职业技术学院的东方(第3、8章),漯河职业技术学院的冯凯(第4章),西安理工大学高等技术学院的刘庆华(第6.1、6.2两节)。韩全立同志任主编。

本书可作为高职高专电气技术、电气自动化等电气类专业的主干课教材,也可供其它相近专业师生及有关工程技术人员参考。建议教学参考学时数为80学时。

限于编者的水平,加之时间仓促,错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年5月

目 录

第 1 章 自动控制系统概论	1
1.1 概述	1
1.2 自动控制系统的组成和术语	2
1.2.1 自动控制的基本概念与组成	2
1.2.2 系统术语	3
1.2.3 自动控制系统的方块图表示	3
1.3 自动控制系统的分类	4
1.3.1 开环控制系统和闭环控制系统	4
1.3.2 定值、随动和程序控制系统	6
1.3.3 线性和非线性控制系统	6
1.3.4 连续和离散控制系统	7
1.3.5 单变量和多变量控制系统	7
1.4 自动控制系统示例	7
1.4.1 温度控制系统	8
1.4.2 位置随动系统	9
1.4.3 自动调速系统	10
1.5 对自动控制系统的基本要求	11
本章小结	13
习题 1	13
第 2 章 控制系统的数学模型	15
2.1 控制系统的微分方程	15
2.1.1 控制系统微分方程的建立	15
2.1.2 控制系统微分方程的求解	17
2.2 传递函数	18
2.2.1 传递函数的定义	18
2.2.2 传递函数的求取	19
2.3 控制系统的动态结构图	21
2.3.1 动态结构图的组成与画法	21
2.3.2 动态结构图的等效变换及化简	23
2.3.3 用公式法求传递函数	29
2.4 典型环节的数学模型及阶跃响应	30
2.4.1 典型环节的数学模型	30
2.4.2 典型环节的传递函数及阶跃响应	34
2.5 自动控制系统的传递函数	38

本章小结	41
习题 2	42
第 3 章 控制系统的时域分析法	44
3.1 概述	44
3.1.1 典型输入信号及其时间响应	44
3.1.2 阶跃响应的性能指标	47
3.2 系统稳定性分析	48
3.2.1 系统稳定性概念	48
3.2.2 线性系统稳定的充分必要条件	50
3.2.3 系统稳定性的代数判据	50
3.3 一阶系统动态性能分析	53
3.3.1 一阶系统的数学模型	53
3.3.2 一阶系统动态性能的时域分析	54
3.4 二阶系统动态性能分析	56
3.4.1 二阶系统的数学模型	56
3.4.2 二阶系统的稳定性分析	57
3.4.3 二阶系统动态性能的时域分析	59
3.5 稳态性能的时域分析	61
3.5.1 系统误差与稳态误差	61
3.5.2 稳态误差的计算	62
本章小结	66
习题 3	66
第 4 章 控制系统的频域分析法	68
4.1 频率特性的概念	68
4.1.1 频率特性的基本概念	68
4.1.2 频率特性与传递函数的关系	69
4.1.3 频率特性的性质	70
4.1.4 频率特性的图形表示方法	70
4.2 典型环节的伯德图	71
4.2.1 比例环节	71
4.2.2 积分环节	72
4.2.3 微分环节	73
4.2.4 惯性环节	74
4.2.5 比例微分环节	75
4.2.6 振荡环节	76
4.2.7 一阶不稳定环节	78
4.2.8 最小相位系统的概念	79
4.3 系统开环对数频率特性曲线的绘制	81
4.3.1 系统开环对数频率特性曲线绘制的一般步骤	82
4.3.2 开环对数频率特性曲线绘制举例	82
4.4 系统稳定性的频域分析	87
4.4.1 对数频率稳定判据	87
4.4.2 稳定裕量	89

4.5 动态性能的频域分析	91
4.5.1 三频段的概念	91
4.5.2 典型系统	94
本章小结	96
习题4	97
第5章 自动控制系统的校正	100
5.1 常用校正装置	100
5.1.1 无源校正装置	100
5.1.2 有源校正装置	101
5.2 串联校正	102
5.2.1 串联比例校正	103
5.2.2 串联比例微分校正	104
5.2.3 串联比例积分校正	106
5.2.4 串联比例积分微分校正	108
5.3 反馈校正	109
5.4 前馈控制的概念	112
5.5 自动控制系统的一般设计方法	113
5.5.1 自动控制系统设计的基本步骤	113
5.5.2 系统固有部分频率特性的简化处理	113
5.5.3 系统预期开环对数频率特性的确定	115
本章小结	117
习题5	117
第6章 直流调速系统	118
6.1 直流调速系统概述	118
6.1.1 直流调速系统的基本概念	118
6.1.2 直流调速方式	118
6.1.3 晶闸管直流调速系统的开环机械特性	121
6.1.4 直流调速系统的主要性能指标	122
6.2 单闭环直流调速系统	125
6.2.1 单闭环转速有静差调速系统	125
6.2.2 单闭环转速无静差调速系统	132
6.2.3 单闭环直流调速系统的限流保护(电流截止负反馈)	138
6.2.4 其它单闭环调速系统	142
6.3 双闭环无静差直流调速系统	147
6.3.1 最佳过渡过程的基本概念	147
6.3.2 转速电流双闭环直流调速系统的组成	147
6.3.3 双闭环直流调速系统的静特性分析	148
6.3.4 双闭环调速系统的启动过程	150
6.3.5 双闭环直流调速系统的典型参数计算	153
6.4 可逆直流调速系统	153
6.4.1 可逆运行的基本知识	153
6.4.2 可逆系统的工作状态	156
6.4.3 可逆直流调速系统中的环流分析	157

6.4.4 逻辑控制的无环流可逆调速系统	157
本章小结	161
习题 6	162
第 7 章 直流脉宽调速系统	164
7.1 直流脉宽调制电路的工作原理	164
7.1.1 不可逆 PWM 变换器	164
7.1.2 可逆 PWM 变换器	165
7.2 脉宽调速系统的控制电路	168
7.2.1 直流脉宽调制器	169
7.2.2 逻辑延时电路	170
7.2.3 基极驱动器和保护电路	170
7.2.4 由 PWM 集成芯片组成的直流脉宽调速系统	172
7.2.5 由单片机控制的直流脉宽调速系统	174
本章小结	175
习题 7	176
第 8 章 位置随动系统	177
8.1 概述	177
8.2 位置随动系统的组成及工作原理	178
8.2.1 位置检测元件	178
8.2.2 执行元件	182
8.2.3 相敏整流与滤波电路	184
8.2.4 放大电路	185
8.3 位置随动系统的控制特点与实例分析	185
8.3.1 系统组成原理图	186
8.3.2 系统组成框图	187
8.3.3 系统自动调节过程	188
本章小结	188
习题 8	188
第 9 章 交流变频调速系统	189
9.1 交流变频调速的基本概念	189
9.1.1 交流调速系统简介	189
9.1.2 交流变频调速的基本控制方式	190
9.1.3 变频调速系统的控制方法	194
9.2 脉宽调制型变频调速系统	202
9.2.1 PWM 型变频器工作原理	203
9.2.2 PWM 型变频调速系统的主电路	205
9.2.3 PWM 型变频调速系统的控制电路	209
9.3 数字式通用变频器及其应用	213
9.3.1 通用变频器概况	213
9.3.2 通用变频器的选择	214
9.3.3 通用变频器的运行	220
9.3.4 通用变频器应用实例	224

本章小结	226
习题 9	227
参考文献	228

第1章 自动控制系统概论

1.1 概 述

自动控制技术已经广泛应用于工业、农业、国防、交通运输、空间技术、管理工程等各个领域。自动控制技术是科学技术现代化的重要标志之一，自动控制技术的应用水平，已成为衡量一个国家生产和科学技术先进与否的一项重要标志，其作为自动化的强有力的技术手段，对促进我国的社会主义现代化建设、科学技术的进步以及提高企业的素质等都将起着越来越重要的作用。

关于自动控制技术的应用，可以追溯到十八世纪。1769年，瓦特利用小球离心调速器使蒸汽机的转速保持恒定。图1-1所示为小球离心调速器的原理图，此调速器是利用飞锤、弹簧和杠杆系统来调节阀门的开度，从而达到控制蒸汽机转速的目的。其工作原理为：如果负载增加，则蒸汽机转速下降，飞锤(1)下降，滑套(2)将通过杠杆(3)使蒸汽阀门开大，蒸汽供给量增加，从而使蒸汽机转速上升。反之若负载减小，蒸汽机转速上升，则通过调节可使转速下降。这样，离心调速器可自动地抵制负载的变化，使蒸汽机转速保持稳定。

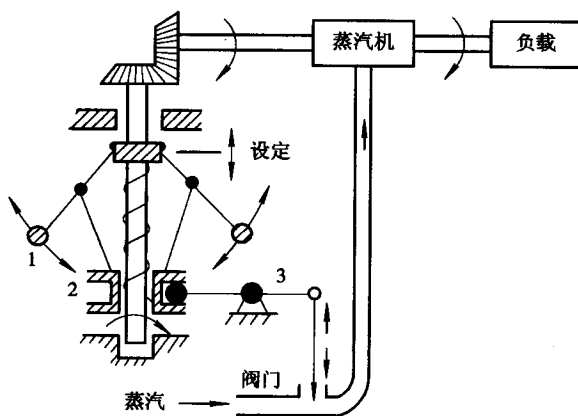


图 1-1 小球离心调速器原理图

但是在使用的过程中发现，有时小球离心调速器并不能使蒸汽机很好地调速和稳定转速，而且常常还会出现剧烈的振荡，也就是说，系统的转速不能够稳定下来，这就给我们提出了一个控制系统的稳定性问题。

1868年,麦克斯韦(Maxwell)解释了不稳定的现象,并对轮船摆动(稳定性)进行了研究,提出了一种低阶的稳定判据的代数方法。

数学家劳斯(Routh)和赫尔维兹(Hurwitz)分别于1877年和1895年各自独立地发现了两种代数稳定判据的方法,可以判定高阶系统的稳定性,从而开始了用数学的方法对控制系统的稳定性进行研究。

1920年,海维赛得(Heaviside)在控制技术研究首先引入了拉普拉斯变换和傅立叶变换,以及表征声强比的单位分贝;1932年,奈奎斯特(Nyquist)在对控制系统稳定性的研究中,提出了基于频率特性的奈奎斯特法,并提出了系统稳定判据的一整套理论,这些理论,在第二次世界大战期间被用于开发高射火炮位置控制、雷达天线跟踪、飞机自动驾驶仪及导弹制导系统等;1945年,伯德(Bode)提出用图解法来分析和综合反馈控制的方法,形成了控制理论的频域法;1948年,维纳(Weiner)在总结前人研究的基础上,出版了划时代的著作《控制论》,对控制理论进行了系统的阐述;随后,伊万斯(Evans)在1950年创立了根轨迹法,这种方法是另一种研究控制系统的简便而有效的方法,是对频率特性法的补充;1954年,我国科学家钱学森创立了工程控制论等。至此,自动控制理论的发展暂告一段落,可以说自动控制的古典控制理论已基本发展形成。

到了后来,特别是由于航天航空技术及计算机技术的发展,古典控制理论就暴露出了其局限性:古典控制理论只限于线性非时变系统;古典控制理论只限于单输入单输出系统;古典控制理论的本身是分析法,而非综合法,不能够对大系统进行综合的分析。因此,现代控制理论有了突飞猛进的发展,到目前为止,现代控制理论仍在发展应用阶段。可以说,现代控制理论已经综合了控制技术、通信技术和计算机技术等各方面的成就,达到或正在进行着以下几个方面的工作:

① 最优控制 对某种性能指标实现最佳控制,即目标函数法;

② 自适应控制 系统具有自适应能力,当环境发生变化时,系统本身可适应环境的变化,而使系统保持最优;

③ 自学习控制 这是一种较完善的自适应控制系统,具有系统辨识、判断、积累经验和学习的功能。

由美国阿波罗工程所发展起来的大系统理论,就是研究规模庞大、结构复杂、功能综合、因素众多的大系统分析和综合的理论,是现代控制理论研究与应用典范。

1.2 自动控制系统的组成和术语

1.2.1 自动控制的基本概念与组成

所谓自动控制,就是在没有人直接参与的情况下,利用控制装置操纵被控对象(被控量),使其按照预定的规律运动或变化。

被控对象是控制系统的主体,是在系统中要求对其参数进行控制的设备或过程。如温度控制系统中的加热炉,转速控制系统中的拖动电机,过程控制系统中的化学反应炉等。

控制装置一般由三部分组成:

① 自动检测装置 包括测量元件和变送元件,起自动检测被控对象的作用,如转速控

制系统中的测速发电机,温度控制系统中的热电偶等。

② 自动调节装置 起综合、分析、比较、判断和运算的作用,并能按一定的规律发出控制信号或指令。

③ 执行装置 起具体执行控制信号或指令的作用,给被控对象施加某种作用,使其改变输出量。

对控制系统的组成进行详细分类,其还可以由下列各部分组成:

测量变送元件 属于反馈元件,职能是把被控物理量测量出来;

设定元件 职能是给出被控量应取的数值信号,即是设定给定值的元件;

比较元件 职能是将测量信号与给定信号进行比较,并得到差值(偏差信号),起信号综合作用;

放大元件 职能是对差值信号进行放大,使其足以推动下一级工作;

执行元件 职能是直接推动被控对象,改变其被控物理量,使输出量与希望值趋于一致;

校正元件 职能是改变由于结构或参数的原因而引起的性能指标的不适应;

能源元件 职能是为系统提供必要的能源。

1.2.2 系统术语

为了便于研究自动控制系统,通过长期的实践,人们逐渐形成了一整套约定的名词和术语,下面我们就分别介绍之。

① 被控量(被控参数) 要求被控对象保持恒定或为按一定规律变化的物理量。通常它是决定被控对象工作状态或产品产量、质量的主要变量。如加热炉的温度,电动机的转速,流体的流量、压力等。被控量一般是输出量,是时间的函数。

② 给定信号(参考输入信号) 控制系统的输入信号,是时间的函数。

③ 偏差信号 是比较元件的输出信号,即给定信号与反馈(测量)信号之差。

④ 误差信号 系统被控量的希望值与实际值之差。在单位反馈系统中偏差信号等于误差信号,在非单位反馈系统中,两者虽然都反映了系统被控量的希望值与实际值之差,但它们的信号类型与量纲是不同的,这一点一定要引起重视。

⑤ 干扰信号 破坏系统平衡,导致系统的被控量偏离其给定值的因素,称为干扰信号。干扰信号是系统不希望的信号,它可能来自系统的内部或系统的外部,它们进入系统的作用点也可能不同,但都是影响系统控制质量的不利因素。

⑥ 反馈信号 从系统的输出端引出,经过变换(或直接)回送至输入端与给定信号进行比较的信号,称为反馈信号。此信号是为了达到控制目的而有意识地从输出端回送到输入端的信号。

1.2.3 自动控制系统的方块图表示

在研究自动控制系统的工作原理时,为了清楚地表示系统的结构和组成,说明各元件间信号传递的因果关系,我们在分析系统时常采用方块图(框图)的方式表示。方块图的绘制原则是:

组成系统的每一环节(或元件)用一方框表示,符号为“□”。

环节间用带箭头的线段“→”联接起来,此线段称为信号线(或作用线),箭头的方向表示信号的传递方向,即作用方向,信号只能单方向传递。一个环节的输入信号是环节发生运动的原因,而其输出信号是环节发生运动的结果。

信号的比较点用“⊗”表示,它有对几个信号进行求(代数)和的功能。一般在多个输入信号的信号线旁边标以“+”或“-”,表示各输入信号的极性。

如图 1-2 所示为一控制系统方框图的示例。

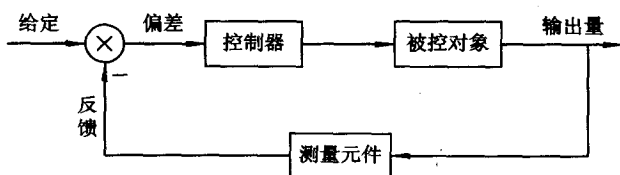


图 1-2 自动控制系统方框图的举例

1.3 自动控制系统的分类

由于自动控制系统应用的广泛性,以及控制理论本身发展的需要,使得自动控制系统具有各种各样的分类形式。为了便于学习和研究,我们重点讨论几种分类方法。

1.3.1 开环控制系统和闭环控制系统

1. 开环控制系统

若系统的输入量与输出量之间只有顺向作用,而没有反向联系,则该系统称为开环控制系统。在开环控制系统中,控制信息只能单方向传递,没有反向作用,输入信号通过控制装置作用于被控对象,而被控对象的输出对输入没有影响。

图 1-3 所示为一个由可控硅供电的直流电动机调速系统。该系统由给定电位器、信号放大器、可控硅触发及整流装置、直流电动机等组成。系统用电位器取出电压 U_g 作为系统的给定信号,电动机的转速 n 作为系统的被控量(输出量)。 U_g 通过放大器、触发装置和可控硅装置实现对电动机转速 n 的控制。触发装置和可控硅装置等组成控制器。输入信号通过控制器作用于受控对象以控制输出,而电动机的转速输出则对控制器不产生影响,这样的控制系统就属于开环控制系统。按控制的要求,一定的给定电压 U_g 对应于一定的转速 n 。但是由于电动机的转速 n 要受到轴上负载、电动机磁场、可控硅装置的交流电源电压等

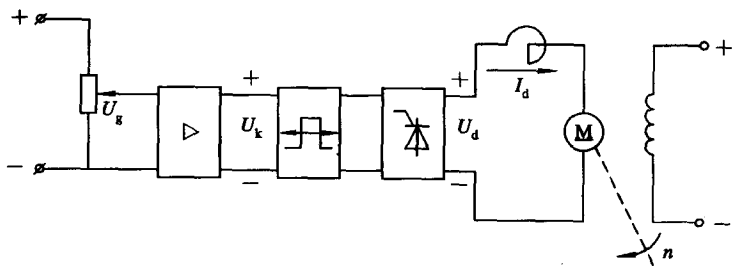


图 1-3 开环控制系统原理图

的影响,故不可能完全达到 U_g 的要求,而这些对转速产生影响的变化量就是系统的干扰量或扰动量。

开环系统特点:控制系统结构简单,设计维护方便,但是控制精度差,抗干扰性能差。如全自动洗衣机、计时器、自动机床、自动生产线等均是开环控制系统。

2. 闭环控制系统

如果改进开环控制系统,设法把输出信号受干扰影响而变化的信息传递到控制装置中去,使控制器根据这个信息进行控制以消除扰动的的影响,那么系统就能够更好地完成自动控制的任务。这种输入量与输出量之间不仅有顺向作用,而且有反向作用的控制系统,称为闭环控制系统。如图 1-4 所示就是将上述开环控制系统的例子加以改进而形成的闭环控制系统。

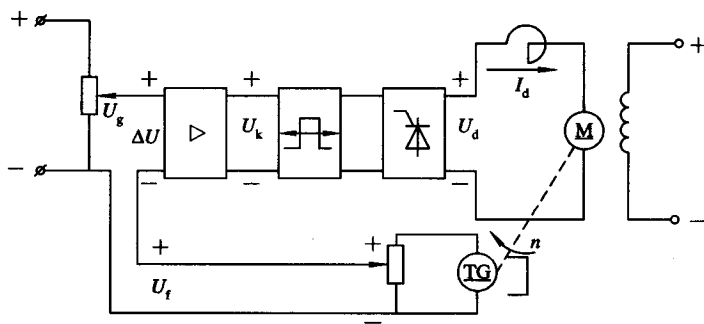


图 1-4 闭环控制系统原理图

由图 1-4 可以看出,该闭环控制系统是在开环控制系统的基础上加一个能够测量电动机转速的测速发电机组成的。测速发电机的作用就是将系统输出的转速信号转换成与给定信号同量纲的电信号,二者进行比较,这样就形成了一个闭环系统。系统的输入信号为给定电压 U_g ,输出信号为电动机的转速 n 。当负载变化或电压波动等扰动信号影响电动机的转速时,系统利用测速发电机将负反馈电压 U_f 输送到输入端,与给定电压 U_g 相比较,检测到偏差。偏差电压为 $\Delta U = U_g - U_f$,即为放大器的输入,然后利用放大器、触发装置、可控硅装置等控制器控制整流输出电压 U_d ,进而控制电动机的转速 n 。整个控制装置应当在偏差 ΔU 增大时使 U_d 增高,即控制 U_d 的变化使偏差 ΔU 减少,从而达到纠正、消除偏差的目的。当系统给定电压 U_g 一定时,经反馈而取出的电压 U_f 与给定电压 U_g 综合比较后得到一偏差电压 ΔU ,它经过放大器与可控硅触发整流装置后建立整流电压 U_d , U_d 使电动机维持某一转速而稳定运行。若负载发生变化,如负载增加,则必影响电动机转速而使 n 下降。随之 U_f 减少, $\Delta U = U_g - U_f$ 将增加,从而使可控硅的整流输出电压 U_d 上升,电动机的转速回升。同样,若负载减少,则电机转速上升,系统通过调节将使 U_d 下降,转速回降,这样反馈控制系统就大大减少了因扰动而引起的对转速的影响。

闭环系统特点:与开环控制系统最明显的不同之处在于系统有检测变送元件(此例中为测速发电机),它可以将系统的输出情况及时地反馈到系统的输入端进行比较,这样就使系统具有控制精度高,适应性强,抗干扰性好等优点;但由于系统存在检测变送元件,因此系统就比开环控制系统的结构复杂,价格高,设计维护困难。如自动火炮系统(雷达、

计算机、火炮群)、高级自动机床、自动恒温箱、随动系统等均是闭环控制系统。

1.3.2 定值、随动和程序控制系统

1. 定值控制系统

系统的给定值(参考输入)为恒定的常数,此种控制系统称为定值控制系统。这种系统可通过反馈控制使系统的被控参数(输出)保持恒定的、希望的数值。如在过程控制系统中,一般都要求将过程参数(如温度、压力、流量、液位和成份等)维持在工艺给定的状态,所以,多数过程控制系统都是定值控制系统。

2. 随动控制系统

系统的给定值(参考输入)随时间任意变化的控制系统称为随动控制系统。也就是说,此类系统输入量的变化规律是无法预先确定的时间函数。这种系统的任务是在各种情况下保证系统的输出以一定的精度跟随参考输入的变化而变化,所以这种系统又称为跟踪系统。如运动目标的自动跟踪瞄准和拦截系统,工业控制中的位置控制系统,过程控制中的串级控制系统的副回路等都属于此类系统。另外,工业自动化仪表中的位置控制系统、显示记录仪表等也是闭环随动控制系统。

3. 程序控制系统

若系统给定值(参考输入)是随时间变化并有一定的规律,且为事先给定了的时间函数,则称这种系统为程序控制系统。如热处理炉的温度调节,要求温度按一定的时间程序的规律变化(自动升温、保温及降温等);间隙生产的化学反应器温度控制以及机械加工中的程序控制机床等均属于此类系统。也可以说,程序控制系统是随动控制系统的一种特殊情况,其分析研究方法也和随动控制系统相同。

1.3.3 线性和非线性控制系统

1. 线性控制系统

系统中各组成环节或元件的状态或特性可以用线性微分方程(或差分方程)来描述时,这种系统就称为线性控制系统。线性控制系统的特点是可以使用叠加原理,当系统存在几个输入时,系统的总输出等于各个输入分别作用于系统时系统的输出之和,当系统输入增大或减小时,系统的输出也按比例增大或减小。

如果描述系统运动状态的微分(或差分)方程的系数是常数,不随时间变化,则这种线性系统称为线性定常(或时不变)系统。若微分(或差分)方程的系数是时间的函数,则这种线性系统称为线性时变系统。

2. 非线性控制系统

当系统中存在有非线性特性的组成环节或元件时,系统的特性就由非线性方程来描述,这样的系统就称为非线性控制系统。对于非线性控制系统,叠加原理是不适用的。

严格地讲,实际的控制系统都不是线性的,各种系统总是不同程度地具有非线性特性,例如系统中应用的放大器的饱和特性,运动部件的间隙、摩擦和死区,弹性元件的非线性关系等等。非线性特性根据其处理方法不同可以分为本质非线性和非本质非线性两

种。对于非本质的非线性特性,其输入、输出关系曲线没有间断点和折断点,且呈单值关系,因此当系统变量变化范围不大时,为便于研究,可简化为线性关系处理,这样可以应用相当成熟的线性控制理论进行分析和讨论。对于本质非线性特性,其输入、输出关系或具有间断点和折断点,或具有非单值关系,这类系统需要用非线性控制理论来分析研究。

1.3.4 连续和离散控制系统

1. 连续控制系统

当系统中各组成环节的输入、输出信号都是时间的连续函数时,称此类系统为连续控制系统,亦称模拟控制系统。连续控制系统的运动状态或特性一般是用微分方程来描述的。模拟式的工业自动化仪表以及用模拟式仪表来实现自动化过程控制的系统都属于连续控制系统。

2. 离散控制系统

当系统中某些组成环节或元件的输入、输出信号在时间上是离散的,即仅在离散的瞬时取值时,称此类系统为离散控制系统。离散系统与连续系统的区别仅在于信号只是特定的离散瞬时上的时间的函数。离散信号可由连续信号通过采样开关获得,具有采样功能的控制系统又称为采样控制系统。

离散控制系统的运动状态或特性一般用差分方程来描述,其分析研究方法也不同于连续控制系统。

1.3.5 单变量和多变量控制系统

1. 单变量控制系统

在一个控制系统中,如果只有一个被控制的参数和一个控制作用来控制对象,则此系统为单变量控制系统,又叫单输入单输出系统。

2. 多变量控制系统

如果一个控制系统中的被控参数多于一个,控制作用也多于一个,且各控制回路相互之间有耦合关系,则称这种系统为多变量控制系统,也叫多输入多输出系统。

自动控制系统的分类方法除上述几种外还有很多,且各种分类方法只是人们站在不同的角度来看问题的一种方法,对于一个自动控制系统,可以用不同的方法来分类,但是这并不影响控制系统本身。本书以研究单变量连续线性定值控制系统为主,对其它控制系统仅在相关章节作简单介绍。

1.4 自动控制系统示例

要分析一个实际的自动控制系统,首先要了解它的工作原理,明白系统的组成等,也就是要求我们明白如下一些问题:

① 系统的被控对象是什么?哪些状态参量要求控制(亦即被控量是什么)?作用在被控对象上的主要干扰有哪些?

② 操纵哪个机构可改变被控量?