



高等学校电气信息类规划教材

总主编 王耀南

微机控制技术

戴 永 主编

湖南大学出版社

TP273
D142:1

高等学校电气信息类规划教材

总主编 王耀南

微机控制技术

主 编 戴 永

副主编 陈日新 袁松贵 康 江 杨恢先

编 著 王 辉 王建君 吴 晔 胡洪波

湖南大学出版社

2004·长沙

内 容 简 介

本书以控制系统基础为引述,系统地介绍基本的微机控制技术、微机智能控制技术基础和微机控制系统设计。全书共分九章,包括微机控制系统概述,微型机控制系统接口技术,通道配置技术,数据采集与处理技术,数字PID控制技术,顺序控制技术,数字程序控制技术,微机智能控制技术基础,微机控制系统设计及IC卡技术基础。书中各章附有习题。

本书可作为本科电类、计算机类、机械类、化工化学类、建筑类及其他理工科专业的微机控制技术教材,也可供从事微型机控制工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微机控制技术/戴永主编. —长沙:湖南大学出版社,2004.7

(高等院校电气信息类规划教材)

ISBN 7-81053-783-0

I. 微... II. 戴... III. 微型计算机—计算机控制系统

—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第063303号

微机控制技术

Weiji Kongzhi Jishu

主 编:戴 永

责任编辑:李继盛

封面设计:张 毅

出版发行:湖南大学出版社

社 址:湖南·长沙·岳麓山

邮 编:410082

电 话:0731-8821691(发行部),8821315(编辑室),8821006(出版部)

传 真:0731-8649312(发行部),8822264(总编室)

电子邮箱:press@hnu.net.cn

网 址: <http://press.hnu.net.cn>

印 装:湖南新华印刷集团有限责任公司(邵阳)

总 经 销:湖南省新华书店

开本:787×1092 16开

印张:16.75

字数:387千

版次:2004年8月第1版

印次:2004年8月第1次印刷

印数:1~4 000册

书号:ISBN 7-81053-783-0/TP·45

定价:24.00元

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

高等学校电气信息类规划教材

编辑委员会

主 任:章 兢

(湖南大学副校长,教授,博士生导师)

总 主 编:王耀南

(湖南大学电气与信息工程学院院长,教授,博士生导师)

常务副主任:彭楚武 罗 安 何怡刚 黄辉先 黎福海 黄守道 王英健

副 主 任:(按姓氏笔画为序)

王新辉 邓曙光 朱荣辉 刘志壮 陈日新 杨家红 张万奎

张忠贤 周少武 贺达江 黄绍平 彭解华 瞿遂春

委 员:(按姓氏笔画为序)

丁跃浇 方厚辉 王 辉 王 群 王建君 田学军 包 艳

刘祖润 肖强晖 李益华 李正光 李茂军 李春树 李欣然

余建坤 汪鲁才 张学军 金可音 孟凡斌 欧青立 唐勇奇

康 江 黄智伟 揭 屿 曾喆昭 熊芝耀 戴瑜兴

参 编 院 校

(排名不分先后)

湖南大学

国防科学技术大学

湘潭大学

湖南师范大学

长沙理工大学

湖南科技大学

湖南农业大学

南华大学

株洲工学院

湖南工程学院

吉首大学

湖南商学院

湖南理工学院

湖南文理学院

湖南城市学院

邵阳学院

怀化学院

零陵学院

长沙学院

湖南工学院(筹)

序

我国高等教育已经发展到大众化教育的新阶段。随着国家工业化建设迅猛发展,电气信息类专业技术人才的需求也日益增大。为了适应人才培养的这种新形势,跟踪科学技术的前沿进展,我们根据教育部面向 21 世纪电气信息类课程改革的要求,结合湖南大学和兄弟院校长期教学教改的经验,为大学电气信息类本科生编写了这套教材。

电气信息类课程是培养电类专业人才的基础课程,大量概念、理论、方法和工程案例构成了一个完整的技术知识体系。学生要开启心智、培育形成电类专业思维、打下电类专业人才的技术知识基础,必须系统地扎实地学好这些课程。为此,我们在组织编写这套教材时,特别注意了以下几个方面:

一是保证基础。作为大学基础课程,应确保基本概念、基本原理和基本方法的学习。只有透彻地理解和掌握了基础知识,才能顺利地进入电气信息技术领域的大门,才有可能进一步深造。

二是跟踪新技术。电气信息技术发展日新月异,大学教材必须及时吸纳最新技术,使学生了解学科发展动态。本套教材一方面注意反映学科各方面的最新进展,安排了扩充阅读的相关文献题录,指引学生直接接触学科前沿;另一方面还根据学科与技术的发展趋势,对经典知识进行重新组织编排。本套教材还将及时再版,及时更新内容,确保与时俱进,始终处于技术发展的最前沿。

三是注重应用。电气与信息理论源于工程实践,源于科学发现和技术发明,就像艺术源于生活一样。本套教材在讲述基本理论的同时,注重联系工程实际,并把作者的研究成果应用到其中。在正文、例题和习题中,特意安排了大量工程实用问题,通过理论和工程实际的结合,使学生学到知识并掌握方法。

四是文理渗透、启发诱导。为了提升素质,开阔视野,培养科学创新意识,理工科学生应适当了解与学科相关的课程外知识。为此,在许多教材中精心安排了“扩展与思考”的内容,使学生从中体会科学思想、科学方法以及科技与人文、科学与艺术相互交融的精神和境界。

五是部分教材以多媒体 CAI 课件配合。这样可以将重要的知识点以生动形象的画面表现出来,深化认识,提高学习效果,也便于课堂教学。

本套教材经过充分研讨和论证,聘请各院校教学经验丰富、科研基础深厚的教授和副教授担任主编和编写者,是湖南所有电气信息类院校团结协作的成果,是全省最优秀的电气信息工程学科专家学者集体智慧的结晶。

本套教材的编写和出版,得到了湖南大学、国防科学技术大学、湘潭大学、湖南师范大学、长沙理工大学、湖南农业大学、湖南科技大学、南华大学、株洲工学院、湖南工程学院、吉首大学、湖南商学院、湖南理工学院、湖南城市学院、湖南文理学院、邵阳学院、怀化学院、零陵学院、长沙学院、湖南工学院(筹)等高校的通力合作,得到了湖南大学出版社的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

王耀南

2004 年 6 月于岳麓山

前 言

微机控制技术是集控制工程、微型计算机技术、电子技术、传感技术、通信技术等多门学科于一体的综合型学科。随着微机应用技术的广泛普及,微机控制技术成为高等院校自动化、计算机科学与技术、控制工程、机电一体化、自动检测、电子工程、通信工程等诸多专业的本科生、研究生必修课,各行各业的工程技术人员也希望能掌握这一既可开发新型智能产品、又能履行和提升旧产业的新技术。根据高等学校电气信息类规划教材编委会2003年12月会议的决定,由湘潭大学牵头,组织湖南大学、湖南文理学院、长沙理工大学、湖南农业大学、湖南科技大学等院校联合编写这本教材。

本教材总结编者多年的教学和科研成果,吸收微机控制技术领域的新成就。选材方面考虑到了内容的基础性、系统性、实用性和先进性。材料组织上注意通俗易懂,由浅入深,由易到难,由一般到重点。每章后附有习题。

全书分为九章。第1章概述控制系统基础和微机控制系统的特征、组成与发展;第2章从微机控制系统的角度介绍接口数据传送方式、扩展及实例;第3章给出微机控制系统的输入输出通道一般结构和环节电路;第4章介绍数据采集与处理方法,叙述数据采集系统的基本结构、功能及模拟、开关数据的处理技术;第5章讨论连续量的离散方法及各种PID控制器工作原理、参数整定;第6章介绍顺序控制概念、特点,顺序控制系统的设计和应用举例;第7章讨论数字程序控制基础、常用插补方法及插补的电气控制实现;第8章介绍模糊控制技术基础、遗传算法控制技术基础和神经网络控制技术基础;第9章阐述微机控制系统设计的一般方法、设计步骤、可靠性技术,并详述两个设计实例;附录介绍IC卡技术基础。

本书由戴永主编,陈日新、袁松贵、康江、杨恢先任副主编。各章的编写分别是:戴永:第1章,杨恢先:第2章,王辉:第3章,陈日新、王建君:第4章,袁松贵:第5章,康江:第6章,陈日新、王建君:第7章,戴永:第8章,吴晔、周少武:第9章,附录:胡洪波。

本书的编写原则、体例结构和编写方法,经过编写组多次研究讨论。此外,湖南大学戴瑜兴教授、黎福海副教授、湖南师范大学林俊老师等多次参与讨论。

本书可作为电类、计算机类、机械类、化工化学类、建筑类及其他理工科专业的微机控制技术课程的本科生、研究生教材,也可供从事微型机控制工作的工程技术人员参考。全书教学时数为48或64学时。对于自动化和控制工程专业第1章第1节可以跳过去。按48学时授课时可酌情放弃第8章或有关内容。

在编写和审稿过程中,湘潭大学材料与光电物理学院杨恢先副院长、湖南科技大学信息与电气工程学院周少武院长等专家学者提出了指导性意见,得到了各参编院校老师所在部门的领导大力支持,同时参考了许多学者的论著,谨此表示衷心感谢。

编 者

2004年7月于湘潭大学

目 次

第 1 章 微机控制系统概述

1.1 控制系统基础	1
1.1.1 定义	2
1.1.2 控制系统的一般结构及其工作特性	3
1.1.3 控制系统典型工作状态特性	5
1.1.4 拉普拉斯变换	6
1.1.5 传递函数与方块图	8
1.2 微机控制系统特征及组成	13
1.2.1 微机控制系统特征	13
1.2.2 微机控制系统硬件组成	16
1.2.3 微机控制系统软件	18
1.3 微机控制典型应用系统	19
1.3.1 数据采集与处理系统	19
1.3.2 直接式数字控制系统	19
1.3.3 监督式计算机控制系统	20
1.3.4 集散式计算机控制系统	21
1.3.5 基于智能控制算法的微机控制系统	22
1.4 微机控制系统的发展	22
习 题	24

第 2 章 微型机控制系统接口技术

2.1 微型机控制系统接口概述	25
2.1.1 接口的基本结构和功能	25
2.1.2 端口及其编址方法	27
2.2 接口数据传送方式	28
2.2.1 直接传送方式	29
2.2.2 查询传送方式	29
2.2.3 中断传送方式	31
2.2.4 DMA 传送方式	31
2.3 接口扩展	32
2.3.1 端口地址译码扩展	32
2.3.2 微机总线	33
2.3.3 接口负载能力扩展	38

2.4 微机控制系统接口实例.....	40
2.4.1 并行接口应用实例.....	40
2.4.2 串行接口应用实例.....	42
2.4.3 多组数据输入输出接口实例.....	48
习 题	50
第3章 过程通道配置技术	
3.1 过程输入输出通道概述.....	51
3.1.1 过程输入输出通道的类型及功能.....	51
3.1.2 过程输入输出通道与 CPU 交换的信息类型	51
3.1.3 过程通道的编址方式.....	52
3.2 模拟量输入通道.....	52
3.2.1 模拟量输入通道的结构.....	52
3.2.2 模拟量输入通道逻辑设计的一般问题.....	53
3.2.3 模拟信号放大处理技术.....	54
3.2.4 可编程模拟多路转换电路.....	58
3.2.5 采样保持电路.....	61
3.2.6 模/数转换器原理	63
3.2.7 A/D 转换器件及接口设计	68
3.3 模拟量输出逻辑.....	78
3.3.1 模拟量输出逻辑的结构.....	78
3.3.2 D/A 转换器	79
3.3.3 D/A 转换接口设计的一般性问题	81
3.3.4 D/A 转换器及其接口设计	84
3.4 开关量输入逻辑.....	89
3.4.1 开关量输入逻辑的结构.....	89
3.4.2 过程开关量形式及变换.....	90
3.4.3 开关量输入逻辑接口技术.....	93
3.5 开关量输出通道.....	94
3.5.1 开关量输出逻辑的结构.....	94
3.5.2 开关量输出逻辑的接口技术.....	94
3.5.3 典型功率驱动电路.....	95
习 题	96
第4章 数据采集与处理技术	
4.1 数据采集系统概述.....	97
4.1.1 数据采集系统概念.....	97
4.1.2 数据采集系统的功能.....	97
4.1.3 设计数据采集系统应考虑的一些问题.....	98

4.2 模拟数据采集技术	98
4.2.1 模拟数据采集电路	99
4.2.2 模拟数据采集软件的流程图	99
4.2.3 模拟量数据采集的预处理方法	103
4.3 开关数据采集技术	107
4.3.1 开关数据采集电路	107
4.3.2 开关数据采集软件的一般结构	108
4.3.3 开关采集数据的处理方法	109
4.4 模拟数据后处理技术	109
4.4.1 工程量标度变换	109
4.4.2 线性化处理	111
4.4.3 上下限检查	113
习 题	113
第5章 数字PID控制技术	
5.1 PID三量的控制作用	115
5.1.1 比例(P)控制器	115
5.1.2 比例、积分(PI)控制器	116
5.1.3 比例、积分、微分(PID)控制器	117
5.2 PID控制规律的数字化实现算法	118
5.2.1 模拟PID控制规律的离散化处理	118
5.2.2 增量式PID控制算法	119
5.2.3 积分分离PID控制算法	121
5.2.4 不完全微分PID控制算法	123
5.2.5 微分先行PID控制算法	124
5.2.6 带有死区的PID控制算法	124
5.3 数字PID控制器参数整定	125
5.3.1 PID调节器参数对控制性能的影响	126
5.3.2 采样周期 T 的选择	127
5.3.3 PID参数的简易工程法整定	129
5.3.4 PID参数的试凑法整定	131
习 题	132
第6章 顺序控制技术	
6.1 顺序控制概述	133
6.2 顺序控制工作原理及设计步骤	134
6.2.1 顺序控制的特点	134
6.2.2 微机顺序控制系统的设计步骤	135
6.2.3 典型顺序控制系统原理分析及设计过程	136

6.2.4 微机顺序控制系统接口电路设计	139
6.3 顺序控制系统实例	142
6.3.1 顺序注塑控制系统的概述	142
6.3.2 微机注塑控制系统的电路设计	143
6.3.3 微机注塑控制系统软件设计	143
习 题.....	148
第7章 数字程序控制技术	
7.1 概述	149
7.1.1 数字程序控制原理	149
7.1.2 数字程序控制方式	150
7.2 插补原理	151
7.2.1 逐点比较插补法	151
7.2.2 数字积分法	158
7.3 步进电机控制技术	161
7.3.1 步进电机的工作原理	162
7.3.2 步进电机的控制原理	163
7.3.3 步进电机控制程序设计	164
习 题.....	166
第8章 微机智能控制技术基础	
8.1 模糊控制技术基础	167
8.1.1 模糊控制的数学基础	167
8.1.2 模糊控制的理论基础	176
8.1.3 模糊控制系统概述	183
8.2 基于遗传算法的控制技术基础	188
8.2.1 遗传算法的基本原理	188
8.2.2 遗传算法的模式理论	195
8.2.3 遗传算法应用中的一些基本问题	200
8.2.4 基于遗传算法的模糊控制	203
8.3 神经网络控制技术基础	205
8.3.1 神经网络基础	206
8.3.2 神经网络的结构和学习规则	209
8.3.3 神经网络控制原理	211
习 题.....	212
第9章 微机控制系统设计	
9.1 微机控制系统设计的一般步骤	214
9.1.1 系统总体方案设计	214
9.1.2 微型计算机的选择	216

9.1.3 控制算法设计	217
9.1.4 硬件设计	218
9.1.5 软件设计	219
9.2 微机温度控制系统设计	221
9.2.1 方案确定	221
9.2.2 电路设计	221
9.2.3 数字控制器的设计	225
9.2.4 程序设计	226
9.3 模糊电冰箱系统设计	227
9.3.1 电冰箱的控制要求	228
9.3.2 模糊电冰箱系统结构	228
9.3.3 模糊控制规则	228
9.3.4 TMP86C846N 单片机介绍	232
9.3.5 控制系统的电路结构	233
9.3.6 软件流程	236
习 题	241
附录 IC 卡技术基础	243
参考文献	252

第 1 章 微机控制系统概述

微机控制系统是以微机作为控制器的过程自动控制系统。微机控制系统不但实现了被控参数的数字采集、数字显示和数字记录等功能,而且信息的分析、控制量的计算以及系统的管理等均实现了软件化。微机控制技术是一门集控制理论与技术、计算机科学与技术、电子科学与技术和网络通信技术等于一体的综合型应用学科,已普及于工业生产过程、智能家电、智能仪器仪表、机器人、航空航天、智能医疗设备等诸多领域。

计算机一问世就与控制学科结下了不解之缘。1946 年在美国宾夕法尼亚大学诞生的人类第一台电子计算机主要用于军事领域的科学计算,由人根据计算结果对相应的军事装备和技术等进行干预。这种工作方式在某种程度上和现代计算机离线控制工作方式相似。计算机技术的发展,为控制系统的发展开辟了新的途径,控制理论与计算机结合,出现了计算机控制系统。在国外,20 世纪 50 年代初期化工领域出现了计算机自动测量与数据处理方法,中期出现了计算机开环控制系统,后期美国一个炼油厂建起了第一台生产过程闭环计算机控制装置。60 年代初期美国的一个氨厂用 RW-300 计算机实现了计算机监控功能,英国的一个碱厂建成了一个直接数字控制系统(DDC)系统。60 年代中后期,计算机控制进入普及阶段。小型计算机的出现,使可靠性不断提高,成本逐年下降,计算机在生产控制中的应用得到很大的发展,但这个阶段仍然主要是集中式的计算机控制系统。在高度集中控制的情况下,如果计算机出现故障将给整个生产过程带来严重影响。70 年代以来,针对一些工业的高度连续化、大型化的特点,加上高可靠性、高性能、可远程通信、价格便宜、使用方便灵活的微型计算机的出现,集散式微机控制系统得以发展,从而可使用系统工程的方法实现最优控制和综合管理。70 年代后期掀起的单片微型计算机热为微机控制技术的应用注入了新的活力。单片机体积小、功能多、性能稳定可靠、环境适用性好、价格低廉。20 多年的实践表明,以单片机为主机的微机控制系统,在实现面向生产过程的控制功能方面可以取得和其它类型计算机作主机时的同等控制效果,而以软件代替硬件方面则有更强的优势和功效,由此,计算机控制系统产生了新的设计思想和方法。

1.1 控制系统基础

自动控制是一门充满活力的学科,随着计算机技术的深层介入,其理论得到了丰富和发展,实现方法也发生了重大变化,即由原来的模拟电路实现调节原理改为由计算机软件实现控制算法。尽管如此,被控对象的属性并不会因此而改变,计算机控制程序只不过是一种控制量产生方法,因此,基本的控制系统理论仍是微机控制技术的重要基础内容。

1.1.1 定义

1. 系统

用以完成一定任务的一些部件(或元件)的组合。

2. 对象

由一些机械、电气元件、部件有机组成的设备,其作用是完成一个特定的动作。

3. 过程

被控制的运行状态。也可按以下两种情况说明

(1) 自然过程指一种自然的逐渐进行的运转或发展,其特征是在运转和发展状态中以相对固定的方法相继发生一系列的渐进变化,并最后导致一个特定的结果或状态。

(2) 人为或随意连续进行的运行状态,这种运行状态由一系列被控制的动作和一直进行到某一特定结果或状态的有规则的运动构成。

过程特征表现为以相对固定的方式导致一个特定结果或状态。

4. 控制过程

通过消除扰动因素影响保持被控制量按预期要求变化的过程。

5. 扰动

对系统输出量产生相反作用的信号。扰动分为内扰和外扰两大类。

(1) 内扰:扰动产生在系统内部;

(2) 外扰:来自系统外部,和输入量叠加在一起而进入系统。

6. 自动控制

不需要人直接参与,而使被控量自动地按预定的规律变化的控制过程。

7. 被控量

被控系统的输出量,如被控电机的转速,温控系统的温度等。

8. 控制量

被控系统的输入量或给定量,用 $r(t)$ 表示。

9. 反馈量

与被控制量成比例的反馈信号,用 $y_{cf}(t)$ 表示。

10. 偏差量

$r(t)$ 与 $y_{cf}(t)$ 差值,用 $e(t)$ 表示, $e(t) = r(t) - y_{cf}(t)$ 。

11. 开环控制系统

被控制量只能受控于控制量,而不反影响控制量的系统。

12. 闭环控制系统

利用负反馈,将被控制量影响控制量作用的系统,又叫反馈控制系统。

13. 随动系统

这是一种反馈系统,随着 $r(t)$ 的变化,被控制量在前一 $r(t)$ 对应的位置进行变化,其特性如图 1-1 所示。

随动系统多出现于机械位移、速度、加速度等对象的控制,所以常称之为位置控制系统。

14. 稳定系统(自动调整系统)

这是一种反馈系统,当 $r(\infty)$ 为常量时,也要求被控量保持在常量上,如图1-2所示。

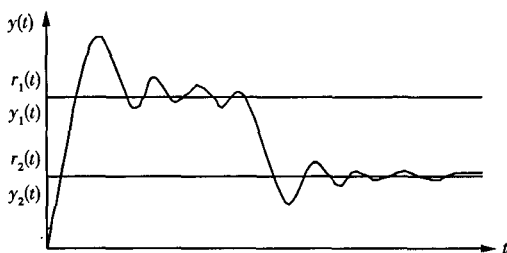


图1-1 随动系统特性示意图

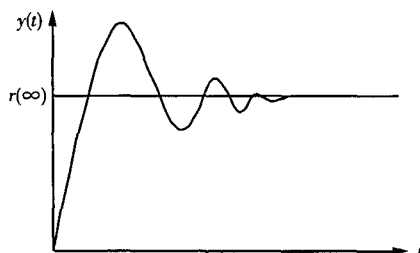


图1-2 稳定系统特性示意图

常见的稳定系统有恒温、电压、电流、频率、压力等控制系统。

15. 过程控制系统

以变化过程作为控制对象的控制系统,在控制过程中,给定量按照预先制定的规律,在程序运行中变化,所以又叫程序控制。

这类系统多见于温度、压力、流量等控制系统。

1.1.2 控制系统的一般结构及其工作特性

自动控制系统包含测量、比较、放大及执行等基本环节。但实际系统仅有这些环节是不够的,因为系统内部既有控制作用的因素,同时也存在反控制作用的因素。例如,在系统中由于有死区和惯性等因素的存在,当输入信号作用到系统之后,在系统的输出端并不能马上得到反应,而只有当偏差信号大到一定程度时,系统方才有输出。由于惯性的作用,系统在反应控制信号过程中还有可能产生振荡,严重时甚至会使系统的正常工作遭到破坏。因此为了使系统正常工作,还需在系统中加进能消除或减弱振荡,提高系统性能的一些环节,这些环节称为校正环节。

用上述各环节构成的自动控制系统方块图(在1.1.5节介绍)如图1-3所示。

过渡过程是指闭环系统的被控制量 $y(t)$,在受到控制量或扰动量作用下,由原来的平衡状态(或叫稳态)变化到新的平衡状态时的过程。对任何一个闭环控制系统的要求是工作必须稳定。此外,它还需要在阻尼程度、反应输入信号的速度及控制精度等方面满足一定的要求。衡量一个系统是否满足这些要求的测试办法,是通过系统响应特定输入信号(或叫试验信号)的过渡过程及稳态的一些特征值来表征。

以下讨论闭环系统输入单位阶跃信号时的过渡过程曲线及相关参数。给闭环控制系统加如图1-4所示的阶跃输入信号,其过渡过程特性的一般形式可用图1-5描述。

$y(t)$ 是系统的输出(被控制)信号; $y(\infty)$ 是系统输出达到新的平衡状态时的稳态值; t_r 是启动时间; t_p 是超调时间; t_s 是系统的过渡过程时间。

当系统经过 t_r 后,一般是不会直接稳定在稳态值,而是要经历若干次上下穿越稳态值,直至变化幅值降到一个允许范围,则认为系统过渡到了稳定工作状态。系统在稳定工作状态有 $|y(t) - y(\infty)| \leq \Delta y(\infty)$, Δ 为给定微量,一般取 $\Delta = 0.02$ 或 0.05 。在过渡过程

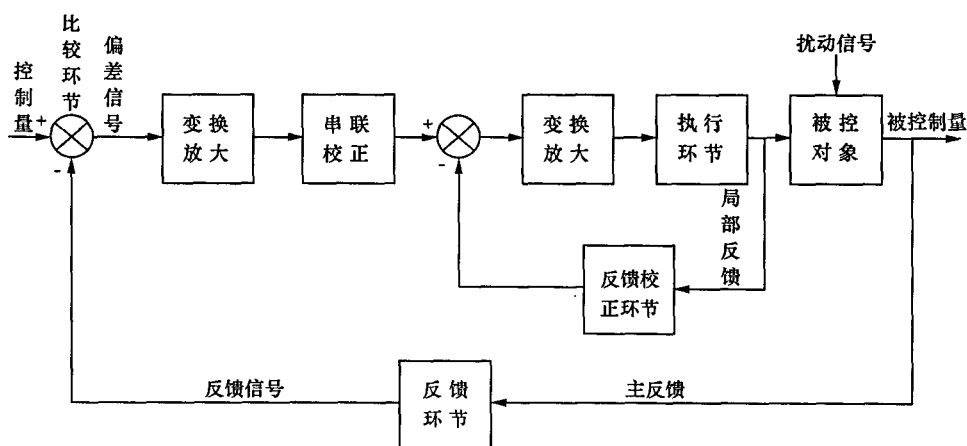


图 1-3 闭环控制系统一般结构的方块图

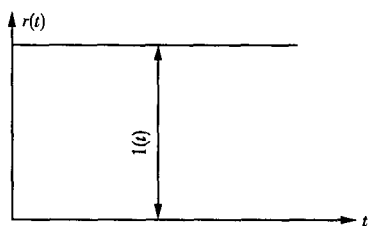


图 1-4 单位阶跃输入信号

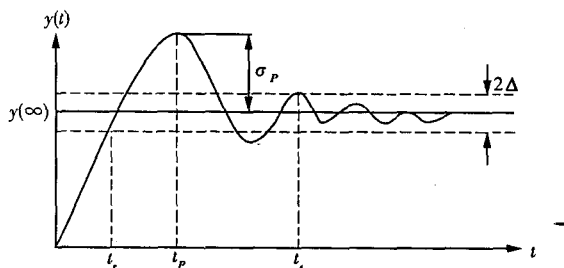


图 1-5 单位阶跃信号作用下闭环控制系统的过渡过程

中 $y(t)$ 穿过 $y(\infty)$, 出现 $y(t) > |y(\infty)|$, 表示系统出现了超调现象。在 $0 \sim t_r$ 不算超调。用 σ_p 表示超调的严重程度

$$\sigma_p = \frac{|y_{\max}(t) - y(\infty)|}{y(\infty)}$$

式中: $y_{\max}(t) = \sup |y(t)|, 0 \leq t < \infty$ 。有时也直接用

$$\sigma_p = |y_{\max}(t) - y(\infty)|$$

$y_{\max}(t)$ 通常处于第一个峰值。 σ_p 越小, 过渡过程越平稳。 t_p 是从 $t=0$ 到 $y_{\max}(t)$ 的时间, 表征闭环控制系统反应输入信号的快速性能或控制灵敏度, 越小灵敏度越高。超调现象严重的系统, 不仅使组成系统的各个相关元件处于恶劣的工作条件下, 而且过渡过程在长时间内不能结束, 致使系统的误差不能很快地减小到允许范围之内。

t_r 是描述系统过渡过程的一个重要性能指标, 表征系统反应输入信号的速度。 t_r 越小, 说明系统从一个稳定状态过渡到另一个稳定状态所需的时间越短, 反之则越长。

评价闭环控制系统过渡过程的另一个指标是振荡次数, 用 N 表示。振荡次数定义为 $y(t)$ 穿越 $y(\infty)$ 水平线且幅度大于 $2\Delta y(\infty)$ 的次数的一半。 N 越小, 说明闭环控制系统的阻尼性能越好, 过渡过程越短。

当系统完成过渡过程后, $|y(t) - y(\infty)|$ 为稳态误差。稳态误差是表征系统控制精度

的一项性能指标。

t_s 、 t_p 、 σ_p 及 N 是描述闭环控制系统的四个重要动态参数, t_s 、 t_p 表征系统的快速性能, σ_p 、 N 表征系统的阻尼性能。稳态性能由稳态误差的大小表征。

1.1.3 控制系统典型工作状态特性

本小节以输入信号为单位阶跃信号, 简介控制系统典型工作状态特性。

1. 单调逐渐逼近

系统处于此工作状态, 过渡过程单调上升, 逐渐逼近被控制信号的稳态值 $y(\infty)$, 如图 1-6 所示。从特性曲线可以看出, 这类系统 $\sigma_p=0$, $N=0$, $y(t)=y(\infty)$ 。要实现这种特性, 必须对系统的结构形式和元件参数进行严格要求。从某种意义上讲这是一种理想的系统特性。

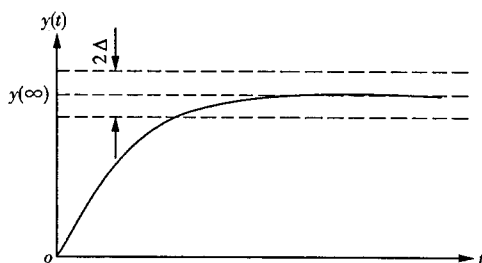


图 1-6 单调逐渐逼近工作特性

2. 单调发散

控制系统的过渡过程 $y(t)$ 随着时间的推移而发散, 特性曲线如图 1-7 所示。发散轨迹有多种多样, 图中画出的是按直线和指数单调发散的两种情况。系统处于单调发散时, 无稳定状态, $\sigma_p \rightarrow \infty$, $N=0$, 无确定 $y(t)$ 值。这种系统是无法使用的故障系统。

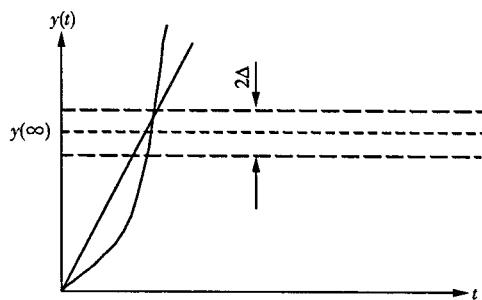


图 1-7 单调发散工作特性

3. 振荡发散

振荡发散工作状态的规律不同于单调发散工作状态规律, 其过渡过程仍可多次穿越稳态值, 但随着穿越次数的增加, 振荡幅值越来越大, 如图 1-8 所示。过渡过程无收敛点, 动态参数表现为 $N \rightarrow \infty$, $\sigma_p \rightarrow \infty$ 。在此种工作状态下控制系统无平衡状态, 显然这类系统在实际中是不能使用的, 因为它不满足闭环控制系统工作时必须稳定的基本条件。

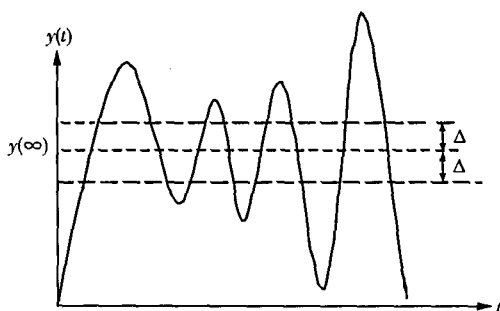


图 1-8 振荡发散系统工作特性

4. 等幅振荡

在非线性控制系统(包含具有非线性特性的元件的控制系统)中,当系统输入信号为非振荡信号时,由于系统自身的固有特性,导致系统自振荡,这种自振荡表现出来的特性为等幅振荡波形,如图 1-9 所示。这类系统的动态参数特点是 $N \rightarrow \infty$, 振荡幅值虽然大于 2Δ , 但收敛于某值。如果自振荡的幅值能限制在某一允许的范围,那么这类系统在工程实际中还是可用的。

5. 欠阻尼振荡

工作正常的二阶闭环控制系统(运动方程可用二阶微分方程描述的系统)的过渡过程特性一般呈现欠阻尼振荡规律,工作特性如图 1-10 所示。动态参数的特点为振荡波形的峰值按指数规律下降, $y_{\max}(t)$ 出现在第一个峰值, N 值很小, t_s 过后 $|y(t) - y(\infty)| \leq \Delta y(\infty)$ 。

阻尼系统的过渡过程分为三种工作状态,即欠阻尼、临界阻尼和过阻尼。过阻尼工作状态相似于单调逐渐逼近或一阶系统工作状态,启动速度变慢。临界阻尼工作状态使系统特性处于等幅振荡特性。关于二阶系统的阻尼特性讨论请读者参阅相关论著。

1.1.4 拉普拉斯变换

控制系统最常用的数学基础之一是拉普拉斯变换,本小节介绍拉普拉斯变换的定义,讨论在控制系统中用得较多的几个性质。

$$\text{定义: } L[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} df(t) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$

其中 s 是复变量, $L[\cdot]$ 表示对方括符中的时域函数进行拉普拉斯变换,变换结果是以 s

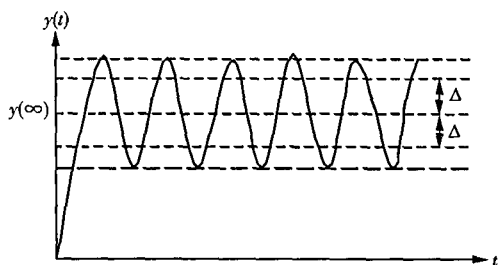


图 1-9 等幅振荡系统工作特性

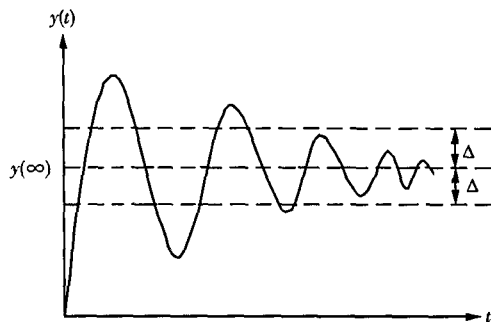


图 1-10 欠阻尼振荡系统工作特性