



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机控制系统

(第二版)

刘建昌 关守平 周 玮 等 编著

顾树生 主审



科学出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机控制系统

(第二版)

刘建昌 关守平 周 玮 等 编著
顾树生 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从计算机控制系统的信号转换开始,详细阐述了计算机控制系统的建模、性能分析、控制器设计及控制系统仿真与实现的理论、方法和实用技术。全书共 10 章,具体内容包括:信号转换与 z 变换,计算机控制系统的数学描述与性能分析,基于传递函数模型的数字控制器两类设计方法——模拟化设计方法和直接设计方法,基于状态空间模型的极点配置设计方法,先进控制规律的设计方法,基于网络的控制系统分析和控制器设计方法,以及计算机控制系统的仿真、设计与实现技术。全书理论联系实际,注重理论的详尽和控制方法的工程化改进,便于读者理解、掌握和实际应用。

本书可作为高等院校自动化及其相关专业本科生的教材或参考书,也可供有关教师、科研人员以及工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统/刘建昌等编著. —2 版. 北京:科学出版社, 2016.8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-03-049467-2

I. ①计… II. ①刘… III. ①计算机控制系统—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 179854 号

责任编辑:余 江/责任校对:郭瑞芝

责任印制:霍 兵/封面设计:速底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 8 月第 二 版 印张:22

2016 年 8 月第八次印刷 字数:540 000

定价:55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

计算机控制系统是一门理论与实际相结合的课程,采用计算机控制是工业现代化的重要标志。为了适应国家对高等学校人才培养的需要,创建符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型教材,同时涵盖计算机控制领域新的理论和技术成果,我们于2009年8月出版了《计算机控制系统》教材,突出了理论与技术工程化应用的特色,使之与时俱进,适应国家经济和社会发展的要求。

2012年,本书列入“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。编写团队所承担的本科生课程“计算机控制系统”,在国家级精品课程的基础上又建设成国家级精品资源共享课程,全部课程资源已经上网(http://www.icourses.cn/coursestatic/course_4391.html)。使用本书可以更多更有效地分享共享课程的网上资源,给授课教师和学生带来更多的便利。

本书第一版出版后,得到了使用者的广泛好评。第二版对第一版中的部分内容进行了修改,并增加了“计算机控制系统仿真分析”一章内容,使本书更好地从计算机控制系统理论、控制器设计、控制系统仿真、控制系统实现与应用等方面满足使用者的要求。同时,为了便于使用者更好地理解书中的内容,增加本书的可读性和趣味性,书中部分关键知识点增加了多媒体视频演示和讲解(用手机微信“扫一扫”功能扫描书中相应的二维码,即可在线观看),这部分工作将在未来重印过程中逐步加以完善。

本书共10章。第1章介绍计算机控制系统的基本概念、组成与结构、计算机控制系统理论,以及计算机控制系统分类。第2章介绍计算机控制系统的信号变换问题,以香农采样定理为基础,用 z 变换和 z 反变换的数学方法来描述变换过程,用频谱分析的方法讨论信号变换的可行性和可靠性。第3章介绍计算机控制系统的数学描述问题,并根据系统的数学描述对系统进行性能分析,包括时域的差分方程、复数域脉冲传递函数、频域的频率特性,以及从时域特性和频域特性两方面对计算机控制系统稳定性、稳态性能和暂态性能的详细分析。第4章介绍数字控制器的模拟化设计方法,具体包括模拟控制器的离散化方法、数字PID控制算法及其工程化改进、Smith预估控制算法及其工程化改进。第5章介绍数字控制器的直接设计方法,包括最小拍控制设计方法和大林(Dahlin)算法,以及两种方法在工程应用过程中面临的问题和解决方法。第6章介绍基于状态空间模型的极点配置设计方法,包括状态空间的基本概念、状态空间模型的建立与求解、按极点配置设计控制规律和观测器等。第7章简要介绍4种先进的控制规律,即线性二次型最优控制、自校正控制、预测控制和模糊控制。第8章介绍新兴的网络控制系统的建模与控制方法。第9章介绍计算机控制系统仿真技术,包括信号特性仿真分析、模型描述与性能仿真分析,以及数字控制器性能仿真分析。第10章介绍计算机控制系统工程设计与实现中的若干实用技术。

本书作为本科生教材使用时,建议将教学内容分为基本教学模块(第1~6章内容)、扩展教学模块(第7、8章内容)和仿真与设计教学模块(第9、10章内容),其中基本教学模块建议学时为64(包括课程实验学时),扩展教学模块建议学时为12,仿真与设计教学模块建议学时为14。不同学校可以根据各自的教学要求和计划学时数对教学内容进行取舍。

本书第1、2章由周玮编写;第3、5、8章由关守平编写;第4章由刘建昌编写;第6、

7、9 章由尤富强编写；第 10 章由陈宏志编写。全书由刘建昌和关守平统稿，顾树生教授主审。东北大学信息科学与工程学院王洪海、谭树彬为本书第二版的修订做了很多工作，在此一并表示感谢。本书在编写过程中参考并引用了有关文献内容，这些文献均列入本书的参考文献目录中，在此对文献作者表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，诚请读者批评指正。

作 者

2016 年 5 月于东北大学

目 录

前言

第 1 章 计算机控制系统概述	1
1.1 引言	1
1.2 计算机控制系统的基本概念	1
1.2.1 计算机控制系统的组成	1
1.2.2 计算机控制系统的应用要求	3
1.2.3 计算机控制系统的性能指标	4
1.3 计算机控制系统的过程通道和总线接口技术	4
1.3.1 过程通道	5
1.3.2 总线接口技术	7
1.4 模拟与数字信号之间的相互转换	9
1.4.1 D/A 转换及其误差	9
1.4.2 A/D 转换及其误差	11
1.5 计算机控制系统的基本内容	13
1.5.1 信号变换问题	13
1.5.2 对象建模与性能分析	13
1.5.3 控制算法设计	13
1.5.4 控制系统仿真分析	13
1.5.5 控制系统实现技术	14
1.6 计算机控制系统的基本类型	14
本章小结	17
习题与思考题	17
第 2 章 信号转换与 z 变换	19
2.1 引言	19
2.2 信号变换原理	19
2.2.1 计算机控制系统信号转换分析	19
2.2.2 采样过程及采样函数的数学表示	20
2.2.3 采样函数的频谱分析及采样定理	22
2.2.4 采用周期 T 的讨论	24
2.3 采样信号恢复与保持器	25
2.3.1 零阶保持器	27
2.3.2 一阶保持器	29
2.4 信号转换的工程化技术	30
2.4.1 A/D 转换的基本工程化技术	30
2.4.2 D/A 转换的基本工程化技术	34

2.5	z 变换	37
2.5.1	z 变换的定义	37
2.5.2	z 变换方法	39
2.5.3	z 变换的基本定理	43
2.6	z 反变换	49
2.6.1	长除法	49
2.6.2	部分分式法	50
2.6.3	留数法	53
2.7	扩展 z 变换	55
2.7.1	扩展 z 变换定义	55
2.7.2	几种典型函数的扩展 z 变换	57
	本章小结	59
	习题与思考题	60
第 3 章	计算机控制系统数学描述与性能分析	62
3.1	引言	62
3.2	线性常系数差分方程	62
3.2.1	离散系统与差分方程	62
3.2.2	差分方程求解	63
3.3	脉冲传递函数	67
3.3.1	脉冲传递函数的定义	68
3.3.2	脉冲传递函数的推导	68
3.3.3	离散系统的框图分析	70
3.3.4	计算机控制系统的脉冲传递函数	74
3.4	计算机控制系统稳定性分析	77
3.4.1	离散系统的稳定性条件	77
3.4.2	s 平面与 z 平面的映射分析	78
3.4.3	采样周期与系统稳定性关系	81
3.5	计算机控制系统的代数稳定性判据	82
3.5.1	劳斯稳定性判据	82
3.5.2	朱利稳定性判据	84
3.6	计算机控制系统稳态过程分析	88
3.6.1	稳态误差与误差系数	88
3.6.2	系统类型与稳态误差	90
3.6.3	采样周期对稳态误差的影响	91
3.7	计算机控制系统暂态过程分析	93
3.7.1	z 平面极点分布与暂态响应的关系	93
3.7.2	采样周期对暂态响应的影响	95
3.8	计算机控制系统的频域特性分析	98
3.8.1	离散系统的频域描述	98
3.8.2	离散系统频域稳定性分析	98

3.8.3 离散系统伯德图分析	100
本章小结	103
习题与思考题	103
第4章 数字控制器的模拟化设计方法	106
4.1 引言	106
4.2 模拟化设计方法基本原理	106
4.3 连续控制器的离散化方法	108
4.3.1 z 变换法	108
4.3.2 差分变换法	109
4.3.3 双线性变换法	112
4.3.4 零极点匹配法	114
4.4 数字 PID 控制器	115
4.4.1 基本数字 PID 控制算法	115
4.4.2 数字 PID 控制算法的工程化改进	117
4.4.3 数字 PID 控制器的参数整定	121
4.5 Smith 预估控制	124
4.5.1 纯滞后问题的提出	124
4.5.2 Smith 预估控制设计原理	125
4.5.3 Smith 预估控制算法的工程化改进	128
本章小结	131
习题与思考题	131
第5章 数字控制器的直接设计方法	133
5.1 引言	133
5.2 直接设计方法基本原理	133
5.3 最小拍控制器的设计方法	135
5.3.1 简单对象最小拍控制器设计	135
5.3.2 复杂对象最小拍控制器设计	140
5.4 最小拍控制器的工程化改进	145
5.4.1 最小拍控制系统存在的问题	145
5.4.2 最小拍无纹波控制器的设计	146
5.4.3 针对输入信号类型敏感问题的改进	150
5.4.4 针对模型参数变化敏感问题的改进	154
5.5 大林算法	157
5.5.1 大林算法设计原理	157
5.5.2 振铃现象及其消除方法	160
5.6 大林算法工程应用中关键参数的选择	163
5.6.1 解决振铃现象中关键参数的选择	163
5.6.2 解决分数时滞问题中关键参数的选择	165
5.7 数字控制器的程序实现	169
5.7.1 直接程序设计法	169

5.7.2 串联程序设计法	170
5.7.3 并序程序设计法	171
本章小结	173
习题与思考题	173
第 6 章 基于状态空间模型的极点配置设计方法	175
6.1 引言	175
6.2 状态空间描述的基本概念	175
6.2.1 系统动态过程的两类描述	175
6.2.2 有关状态空间描述的基本定义	176
6.3 离散系统的状态空间模型	177
6.3.1 离散状态空间模型的建立	177
6.3.2 离散状态方程的求解	183
6.3.3 离散状态空间模型与 z 传递函数之间的关系	184
6.4 系统的能控性与能观性	185
6.4.1 能控性与能观性的概念	185
6.4.2 能控性判据与能观性判据	186
6.4.3 能控标准型与能观标准型	187
6.5 状态可测时按极点配置设计控制规律	189
6.6 按极点配置设计观测器	195
6.6.1 预报观测器	195
6.6.2 现时观测器	198
6.6.3 降阶观测器	200
6.7 状态不可测时控制器的设计	201
6.7.1 分离性原理	201
6.7.2 控制器设计	203
6.8 随动系统的设计	205
本章小结	206
习题与思考题	206
第 7 章 先进控制规律的设计方法	208
7.1 引言	208
7.2 线性二次型最优控制器的设计	208
7.2.1 概述	208
7.2.2 LQR 最优控制器设计	209
7.2.3 跟踪系统设计	213
7.3 自校正控制器的设计	214
7.3.1 概述	214
7.3.2 最小二乘参数辨识算法	215
7.3.3 自校正控制器设计	219
7.4 模型预测控制器的设计	222
7.4.1 概述	222

7.4.2	预测模型	224
7.4.3	预测控制算法	227
7.5	模糊控制器的设计	232
7.5.1	概述	232
7.5.2	模糊控制原理	235
7.5.3	模糊 PID 控制器设计	239
本章小结		243
习题与思考题		243
第 8 章	基于网络的控制技术	244
8.1	引言	244
8.2	网络控制概述	244
8.2.1	网络控制系统基本概念	244
8.2.2	网络控制系统研究内容	247
8.3	实时控制网络	249
8.3.1	控制网络的基本概念	249
8.3.2	EtherNet 网络	253
8.3.3	CAN 网络	256
8.3.4	ControlNet 网络	258
8.3.5	CC-Link 网络	259
8.4	网络控制系统特性分析	261
8.4.1	网络控制系统时延特性	262
8.4.2	网络控制系统的稳定性分析	264
8.5	网络控制系统控制器的设计	266
8.5.1	PID 网络控制器的设计	266
8.5.2	极点配置网络控制器的设计	269
本章小结		274
习题与思考题		275
第 9 章	计算机控制系统仿真分析	276
9.1	引言	276
9.2	系统仿真的概念及分类	276
9.2.1	系统仿真的基本概念	276
9.2.2	系统仿真的分类	276
9.2.3	计算机仿真的基本过程	277
9.2.4	MATLAB 仿真软件简介	279
9.3	计算机控制系统信号仿真分析	281
9.3.1	信号的种类	281
9.3.2	脉冲采样与 MATLAB 仿真	283
9.3.3	保持器与 MATLAB 仿真	284
9.4	计算机控制系统模型描述与性能仿真分析	287
9.4.1	离散传递函数模型	287

9.4.2	离散状态空间模型	288
9.4.3	离散系统的模型辨识	289
9.4.4	神经网络建模	295
9.4.5	计算机控制系统频域性能的仿真分析	297
9.5	数字控制器设计及其仿真	300
9.5.1	比例控制器设计	300
9.5.2	比例积分控制器设计	303
9.5.3	比例积分微分控制器设计	307
	本章小结	309
	习题与思考题	310
第 10 章	计算机控制系统的设计与实现	311
10.1	引言	311
10.2	计算机控制系统的基本设计原则与方法	311
10.2.1	设计原则	311
10.2.2	设计方法	312
10.3	计算机控制系统的硬件设计	313
10.3.1	执行机构与驱动技术	313
10.3.2	检测机构与传感器技术	313
10.4	计算机控制系统的软件设计	314
10.4.1	控制对象分析	314
10.4.2	数字控制器的实现问题	315
10.4.3	信号的数字滤波技术	316
10.5	数字控制器程序实现的性能分析	317
10.5.1	计算机控制系统的数值误差来源	317
10.5.2	数字控制器的精度确定原则及保证措施	319
10.5.3	微分环节的处理措施与工程实现方法	323
10.5.4	数字控制器误差及执行时间的检验方法	327
10.5.5	控制算法不同编排结构的优缺点分析	328
10.6	量化效应与采样周期误差分析	329
10.6.1	A/D 转换的量化误差与孔径误差	329
10.6.2	采样周期造成的误差	329
10.7	计算机控制系统的可靠性与抗干扰技术	333
10.7.1	提高可靠性的措施	333
10.7.2	干扰的来源及传播途径	334
10.7.3	消除或抑制干扰影响的方法	335
	本章小结	338
	习题与思考题	339
	参考文献	340

第 1 章 计算机控制系统概述

1.1 引言

计算机控制是以控制理论与计算机技术为基础的一门新的工程科学技术,广泛应用于工业、交通、农业、军事等领域。随着控制理论和计算机技术的发展,以及工程技术人员对计算机应用技术的不断总结和创新,计算机控制系统的分析设计理论和方法不断得以完善和发展,并成为从事自动化技术工作的科技人员必须掌握的一门专业技术。

1946 年世界第一台数字计算机诞生,从此引起了一场深刻的科学技术革命。20 世纪 50 年代初产生了将数字计算机用于控制的思想,1955 年美国 TRW 航空公司与美国一个炼油厂合作,开始进行计算机控制的研究,这一开创性工作为计算机控制奠定了基础;1962 年英国的帝国化学工业公司应用计算机直接控制(DDC)被控过程的变量;1972 年开始,微型计算机的出现和发展,推动计算机控制进入了崭新的发展阶段,并逐步取代模拟系统而成为主流控制系统。80 年代以后,微型处理器件的迅速发展对计算机控制产生了深远的影响,相互关联的微计算机组合、共同负担工作负荷的系统应运而生,计算机控制得到更为普及地应用,并快速向集散型、网络化的方向发展。

另外,控制理论也从 20 世纪 40 年代以传递函数模型为基础的古典控制理论,逐渐发展到 60 年代以状态空间模型为基础的现代控制理论,进而从 80 年代开始出现了以人工智能为基础的智能控制理论;与此同时,以最优控制、多变量控制、系统辨识及自适应控制、鲁棒控制、预测控制为代表的一系列先进控制理论和方法也得到了迅速发展,为计算机控制理论的发展创造了有利的条件。

与常规模拟控制相比,计算机参与的控制系统,也称数字控制系统,在性能上得到大幅提高的同时,也产生了一系列新的基本理论和分析、设计方法。本书将从信号变换、对象建模与性能分析、控制算法设计、控制系统仿真、控制系统实现等 5 个方面系统讲述计算机控制系统分析和设计的基本理论和方法,其中在信号变换的工程化、控制算法的工程化,以及控制系统实现的工程化部分进行了重点阐述。

本章概要 1.1 节介绍计算机控制系统的发展进程和本书所要解决的基本问题;1.2 节介绍计算机控制系统的基本概念,包括计算机控制系统的组成、特点、工业要求和常用的性能指标;1.3 节介绍计算机控制系统的通道和总线接口技术;1.4 节介绍信号变换中的 A/D 与 D/A 转换原理;1.5 节介绍本书涉及的计算机控制系统的理论问题;最后在 1.6 节介绍计算机控制系统的基本类型。

1.2 计算机控制系统的基本概念

1.2.1 计算机控制系统的组成

由计算机参与并作为核心环节的自动控制系统,称为计算机控制系统。一个典型的电阻

炉温计算机控制系统如图 1.1 所示。

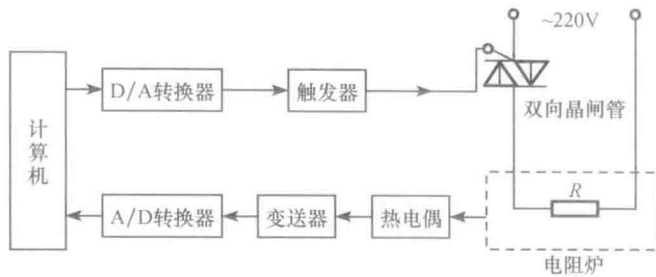


图 1.1 炉温计算机控制系统



炉温计算机控制系统工作过程如下：电阻炉温度这一物理量经过热电偶检测后，变成电信号（毫伏级），再经变送器变成标准信号（1~5V 或 4~20mA）从现场进入控制室；经 A/D 转换器采样后变成数字信号进入计算机，与计算机内部的给定温度比较，得到偏差信号，该信号经过计算机内部的应用软件，即控制算法运算后得到一个控制信号的数字量，再经由 D/A 转换器将该数字量控制信号转换成模拟量；控制信号模拟量作用于执行机构触发器，进而控制双向晶闸管对交流电压（220V）进行 PWM 调制，达到控制加热电阻两端电压的目的；电阻两端电压的高低决定了电阻加热能力的大小，从而调节炉温变化，最终达到计算机内部的给定温度。

将类似上述炉温计算机控制系统的各类计算机控制系统抽象化，得到图 1.2 所示的计算机控制系统典型结构，其中图 1.1 中的 A/D 转换器包括图 1.2 中的 A/D 环节和采样开关，D/A 转换器包括图 1.2 中的 D/A 环节和保持器。数字控制器、D/A 转换器、执行机构和被控对象组成控制的前向通道；而测量变送环节、A/D 转换器组成控制的反馈通道。

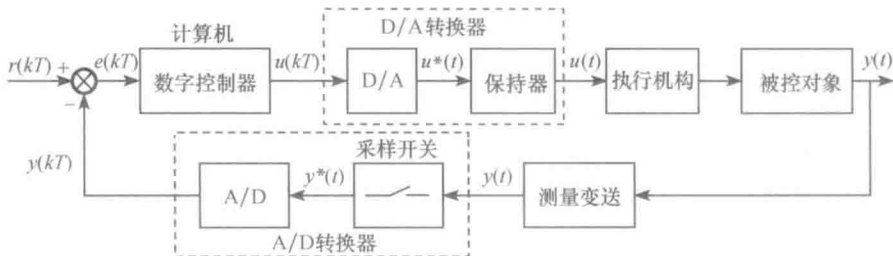


图 1.2 计算机控制系统典型结构

图 1.2 中包括三种信号，数字信号（时间上离散，幅值上量化）： $r(kT)$ ——给定输入， $y(kT)$ ——经 A/D 转换后的系统输出， $u(kT)$ ——由控制器计算的控制信号， $e(kT) = r(kT) - y(kT)$ ——偏差信号；模拟信号（时间上连续，幅值上也连续）： $y(t)$ ——系统输出（被控量）， $u(t)$ ——D/A 转换后经保持器输出的控制量；离散模拟信号（时间上离散，幅值上连续）： $y^*(t)$ ——经过采样开关的被控量信号， $u^*(t)$ ——经 D/A 转换后的控制量信号。从图 1.2 可以看出，典型的计算机控制系统是连续-离散混合系统，其特点是：模拟、数字和离散模拟信号同在；输入输出均为模拟量的连续环节（被控对象、传感器）、输入和输出均为数字量的数字环节（数字控制器、偏差计算）、输入输出为两类不同量的离散模拟环节（A/D 和 D/A）共存。

如果忽略量化效应等因素,常将数字信号和离散模拟信号统称为离散信号(或采样信号),而模拟信号也可称为连续信号。模拟控制系统可称为连续控制系统,而计算机控制系统常称为数字控制系统,有时也简称为离散控制系统。

计算机控制系统与常规的连续(模拟)控制系统相比,通常具有如下优点。

(1) 设计和控制灵活。在计算机控制系统中,数字控制器的控制算法是通过编程的方法来实现的,所以很容易实现多种控制算法,修改控制算法的参数也比较方便。还可以通过软件的标准化和模块化,反复、多次调用这些控制软件。

(2) 能实现集中监视和操作。由于计算机具有分时操作功能,采用计算机控制时,可以监视几个、几十个甚至上百个控制量,把生产过程的各个被控对象都管理起来,组成一个统一的控制系统,便于集中监视、集中操作管理。

(3) 能实现综合控制。计算机控制不仅能实现常规的控制规律,而且由于计算机的存储、逻辑功能和判断功能,它可以综合生产的各方面情况,在环境与参数变化时,能及时进行判断、选择最合适的方案进行控制,必要时可以通过人机对话等方式进行人工干预,这些都是传统模拟控制无法胜任的。

(4) 可靠性高,抗干扰能力强。在计算机控制系统中,可以利用程序实现故障的自诊断、自修复功能,使计算机控制系统具有很强的可维护性。另外,计算机控制系统的控制算法是通过软件的方式来实现的,程序代码存储于计算机中,一般情况下不会因外部干扰而改变,因此计算机控制系统的抗干扰能力较强。

1.2.2 计算机控制系统的应用要求

计算机控制系统大多应用于工业现场环境中,因此计算机控制系统应满足如下基本要求。

(1) 可靠性高。计算机控制系统通常用于控制不间断的生产过程,在运行期间不允许停机检测,一旦发生故障将会导致质量事故,甚至生产事故。因此要求计算机控制系统具有很高的可靠性。

(2) 实时性好。计算机控制系统对生产过程进行实时控制与监测,因此要求它必须实时地响应控制对象各种参数的变化。当过程的状态参数出现偏差或故障时,系统要能及时响应,并能实时地进行报警和处理。

(3) 环境适应性强。有的工业现场环境复杂,存在电磁干扰,因此要求计算机控制系统具有很强的环境适应能力,如对温度/湿度变化范围要求高;要具有防尘、防腐蚀、防振动冲击的能力等。

(4) 过程输入和输出配套较好。计算机系统要具有丰富的多种功能的过程输入和输出配套模板,如模拟量、开关量、脉冲量、频率量等输入输出模板;具有多种类型的信号调理功能,如隔离型和非隔离型信号调理等。

(5) 系统扩充性好。随着工厂自动化水平的提高,控制规模也在不断扩大,因此要求计算机系统具有灵活的扩充性。

(6) 系统开放性。要求计算机控制系统具有开放性体系结构,也就是说在主系统接口、网络通信、软件兼容及升级等方面遵守开放性原则,以便于系统扩充、异机种连接、软件的可移植和互换。

(7) 控制软件包功能强。计算机控制系统应用软件包应具备丰富的控制算法,同时还应具有人机交互方便、画面丰富、实时性好等性能。

1.2.3 计算机控制系统的性能指标

计算机控制系统的性能与连续控制系统类似,可以用稳定性、稳态特性和动态特性来表征,相应地用稳定性、稳态指标、动态指标和综合指标来衡量一个系统的好坏或优劣。这些基本性能指标以及性能指标与系统的固有参数和设计参数的关系,为分析和设计计算机控制系统提供了依据。

1. 稳定性

任何系统在扰动作用下都会偏离原来的平衡工作状态。稳定性是指当扰动作用消失以后,系统恢复原平衡状态的能力。稳定性是系统的固有特性,它与扰动的形式无关,只取决于系统本身的结构及参数。不稳定的系统是无法进行工作的。连续系统稳定的充分必要条件是闭环系统的特征根位于 s 左半平面,而离散系统稳定的充分必要条件是闭环系统的特征根位于 z 平面的单位圆内。

2. 稳态指标

稳态指标是衡量控制系统精度的指标,用稳态误差来表征。稳态误差是输出量 $y(t)$ 的稳态值 $y(\infty)$ 与给定值 y_0 的差值,定义为

$$e(\infty) = y_0 - y(\infty) \quad (1.1)$$

$e(\infty)$ 表示控制精度,因此希望 $e(\infty)$ 越小越好。稳态误差 $e(\infty)$ 与控制系统本身的特性(如系统的开环传递函数)有关,也与系统的输入信号(如阶跃、速度或加速度输入信号)以及反馈通道的干扰(测量干扰或检测回路中的干扰)有关。

3. 动态指标

动态指标能够比较直观地反映控制系统的过渡过程特性。动态指标包括超调量 $\sigma\%$ 、调节时间 t_s 、峰值时间 t_p 、衰减比 η 和振荡次数 N ,以上 5 项动态指标也称为时域指标,用得最多的是超调量 $\sigma\%$ 、调节时间 t_s 和衰减比 η 。

4. 综合指标

设计最优控制系统时,既要考虑到能对系统的性能做出正确地评价,又要考虑到数学上容易处理或工程上便于实现,因此经常使用综合性能指标来评价一个控制系统。常用的综合性能指标为积分型指标,如

$$J = \int_0^t e^2(t) dt \quad (1.2)$$

这种“先误差平方后积分”形式的性能指标用来权衡系统总体误差的大小,数学上容易处理,可以得到解析解,因此经常使用,如在宇宙飞船控制系统中按 J 最小设计,可使动力消耗最少。

1.3 计算机控制系统的过程通道和总线接口技术

图 1.2 所示的计算机控制系统典型结构,若从硬件实现的角度进一步细化,就得到图 1.3 所示的一个计算控制系统的典型硬件组成结构图。

从图 1.3 可以看出,计算机控制系统的硬件构成包括三部分。

(1) 过程装置。包括被控对象、执行机构和测量变送装置。

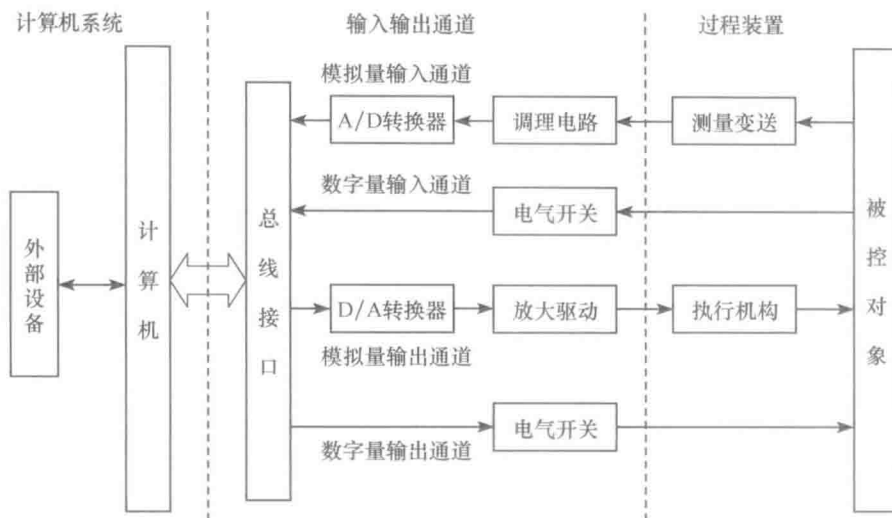


图 1.3 计算机控制系统硬件组成示意图

(2) 输入输出通道。包括过程通道和总线接口。

(3) 计算机系统。包括计算机和外部设备。外部设备包括人机联系设备(如鼠标、键盘等)和通用外部设备(如显示器、打印机等)。

计算机内部包含完成各种功能的计算机程序，统称为计算机软件系统，具体包括系统软件、应用软件和数据库。系统软件是指为提高计算机使用效率和扩大功能、为用户使用和维护计算机提供方便的程序的总称，一般包括操作系统、程序设计系统和公共程序与诊断系统；应用软件是用户为解决实时控制问题、完成特定功能而设计和编写的各种程序的总称，一般包括过程监控程序、过程控制程序和信息管理程序；数据库系统是用于支持数据管理、存取的软件，它包括数据库和数据库管理系统等。

下面主要对输入输出通道中的过程通道和总线接口技术进行详细介绍。

1.3.1 过程通道

过程通道分为模拟量输入通道、模拟量输出通道、数字量输入通道和数字量输出通道。过程输入通道把生产对象的被控参数变换成计算机可以接收的数字代码；而过程输出通道把计算机输出的控制命令和数据，变换成可以对工业对象进行控制的信号。

1. 模拟量输入通道

图 1.4 是模拟量输入通道的组成与结构框图，可以看出模拟量输入通道通常由信号变换器、滤波器、多路模拟开关、前置放大器、采样保持器、A/D 转换器、接口和控制电路等部分组成。

2. 模拟量输出通道

模拟量输出通道通常由接口控制电路、D/A 转换器(零阶保持器)、滤波器等部分组成。模拟量输出通道有两种结构形式：一是每个通道配置一个 D/A 转换器，如图 1.5(a)所示；二是通过多路模拟开关共用一个 D/A 转换器，如图 1.5(b)所示。

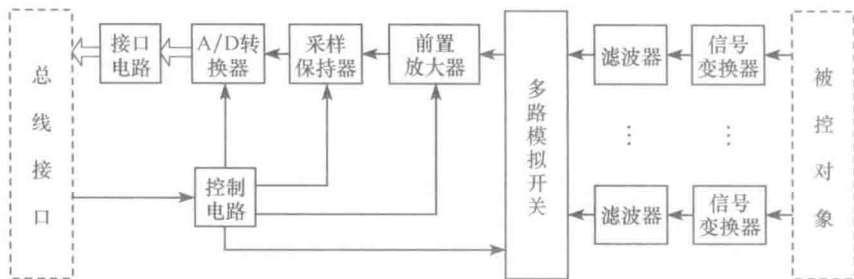


图 1.4 模拟量输入通道组成与结构图

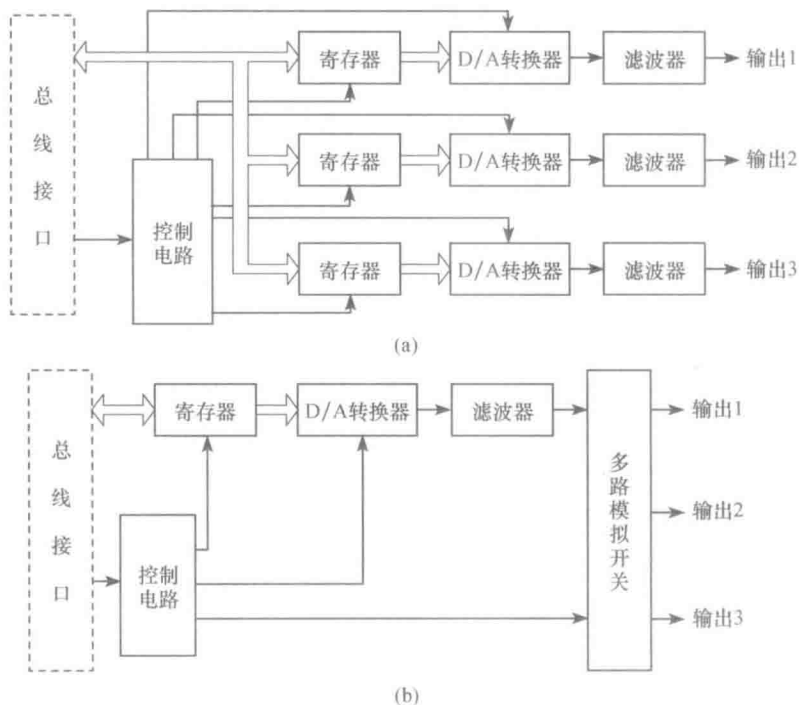


图 1.5 模拟量输出通道组成与结构图

3. 数字量输入通道

数字量输入通道的基本功能是把来自现场的数字信号或开关信号、脉冲信号，按照一定的时序要求送入数字控制器。图 1.6 是某数字量输入通道的原理示意图，图中开关触点 ($S_7 \sim S_0$) 直接驱动光电耦合器发光二极管的亮或灭，CPU 通过执行输入指令来读取开关状态，当开关闭合时，发光二极管亮，光敏三极管导通，对应数字量“0”输入；反之，开关断开，发光二极管灭，光敏三极管截止，对应数字量“1”输入。因数字量需经由 PC 的内部总线输入，输入缓冲器应选用带有三态门的芯片，如 74LS244。

4. 数字量输出通道

数字量输出通道的基本功能是把控制器输出的数字控制信号，按照一定的时序要求，送入输出通道中的数字执行机构，如继电器、可编程器件、步进电动机等，通过数字执行机构的动作实现对被控对象的控制作用。图 1.7 是某数字量输出通道的原理示意图，CPU 执行输出指令后，把一组数字量 ($D_7 \sim D_0$) 存入锁存器 74LS273 中，经过光电耦合器 TLP-521-4 驱