



普通高等教育“十二五”规划教材



计算机控制系统

秦 刚 陈中孝 陈超波 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013068155

TP273
697



普通高等教育“十二五”规划教材

要 容 内

计算机控制系统

秦 刚 陈中孝 陈超波 编
刘 皓 谭宝成 主审



北航

C1675687



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TP273
697

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书是编者多年教学和科研的总结,系统地论述了计算机控制系统的结构、原理、设计和应用,既有理论分析也有应用实例。本书共分8章,分别论述了计算机控制系统软、硬件设计技术,数字程序控制系统,常规及复杂控制技术,计算机现代控制技术,计算机控制系统可靠性及抗干扰技术,计算机控制系统的设计与实现,集散控制系统。本书章节层次分明,条理清晰,既自成体系又相互联系,具有系统性、先进性、理论性和实用性。

本书可作为高等院校自动化类、电气工程类、机械电子类、仪器仪表类等相关专业本科生或研究生的教材,也可作为从事计算机控制研究及应用相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统 / 秦刚, 陈中孝, 陈超波编. —北京: 中国电力出版社, 2013.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-4336-8

I. ①计… II. ①秦… ②陈… ③陈… 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(2013)第077104号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年7月第一版 2013年7月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 26印张 639千字

定价46.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

随着控制类专业的飞速发展,计算机控制系统在工业控制领域得到了广泛的应用。工业控制计算机(含单片机)可靠性高、实用性好,且具有标准化、模块化、组合化的开放式结构,能适应千差万别的工业控制对象,因而成为现代工业自动化中不可或缺的工具。

本书是在编者多年来授课和从事计算机控制系统应用开发基础上,并参考大量国内外文献和教材精心编写而成。

本书共分为8章。首先为绪论,主要从控制理论的基本概念出发,总体阐明了计算机控制系统的组成、结构及其分类和发展趋势。第1章介绍了计算机控制系统硬件设计技术,包括计算机内部硬件组成形式,模拟量输入/输出通道的一般结构和设计方式,常用A/D、D/A接口技术,还简要介绍了通信设计技术。第2章主要介绍了软件的编程方法与思路,从软件编程的大方向出发,深入剖析了一般功能软件的组成和编程思路。第3章讨论了数字程序控制系统,从实际应用出发介绍了步进电机、交直流电机的典型控制方式。第4章主要介绍了计算机系统的常规及复杂控制技术,重点介绍了数字控制器的各种控制算法。第5章主要介绍了现代控制理论在计算机控制中的控制算法。第6章简述了计算机控制系统可靠性及抗干扰技术,包括硬件抗干扰技术、软件抗干扰技术等。第7章简述了计算机控制系统设计的基本原则、方法和步骤。第8章简述了集散控制系统及现场总线控制系统,包括集散控制系统的结构、工控组态软件和现场总线控制等。

本书在阐述计算机控制系统时,着重从实际应用出发,集合软件和硬件设计,帮助读者建立计算机控制系统的整体概念及学习方法。

本书由西安工业大学秦刚、陈中孝、陈超波编写,其中第3章由陈中孝编写,第5章由陈超波编写,其余由秦刚编写。西安工业大学陈凯、吴丹怡、杜超、崔德权、李韩、陆华颖、蒋军胜、王新茹、宋乐、胡铃、马燕妮、张文、刘盼盼、孙世明参与了稿件校对工作。

本书由电子科技大学刘皓教授与西安工业大学谭宝成教授担任主审。本书的编写得到西安工业大学雷志勇教授和尚宇副教授的大力支持,西安工业大学齐华教授、高高教授和中国兵器首席专家祁志明对于本书的编写提出了宝贵意见,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2013年2月于西安工业大学未央校区

qingang@xatu.edu.cn

目 录

前言	
绪论	1
1 计算机控制系统硬件设计技术	12
1.1 计算机硬件组成结构	12
1.2 计算机硬件设计规范	16
1.3 数字量输入/输出通道	28
1.4 人机接口技术	47
1.5 模拟量输入/输出接口与过程通道	64
1.6 通信量设计	110
习题 1	132
2 计算机控制系统软件设计技术	133
2.1 程序设计技术	133
2.2 数据结构及其应用技术	147
2.3 数字滤波技术	156
2.4 标度变换	161
2.5 测量数据预处理技术	164
2.6 数字控制器的工程实现	168
习题 2	173
3 数字程序控制系统	174
3.1 数字程序控制系统基础	174
3.2 程序控制算法	176
3.3 开环数字程序控制系统	181
3.4 直流电动机控制	195
3.5 交流异步电动机控制	205
习题 3	215
4 常规及复杂控制技术	216
4.1 数字控制器的连续化设计技术	216
4.2 常规数字 PID 算法	231
4.3 常用的数字 PID 控制系统	244
4.4 模糊 PID 控制	264
4.5 自适应 PID 控制	281
4.6 自校正 PID 控制技术的应用实例	297
习题 4	307

5	计算机现代控制技术	308
5.1	基于状态空间模型的极点配置设计法	308
5.2	基于状态空间模型的最优化设计法	323
5.3	预测控制技术	330
	习题 5	335
6	计算机控制系统可靠性及抗干扰技术	336
6.1	计算机控制系统可靠性	336
6.2	电磁兼容性基础理论	340
6.3	滤波技术	353
6.4	屏蔽技术	354
6.5	接地技术	356
6.6	电源系统的抗干扰技术	360
6.7	软件抗干扰技术	367
6.8	电磁兼容性设计案例	371
	习题 6	375
7	计算机控制系统的设计与实现	376
7.1	计算机控制系统设计的原则与步骤	376
7.2	计算机控制系统的工程设计与实现	380
7.3	计算机控制系统的设计实例	388
	习题 7	393
8	集散控制系统	394
8.1	什么是 DCS 和 FCS	394
8.2	DCS 的体系结构	394
8.3	DCS 功能特点	399
8.4	DCS 产品简介	400
8.5	FCS 体系结构	403
8.6	FCS 功能特点	405
8.7	FCS 产品简介	406
	习题 8	408
	参考文献	409

绪 论

计算机控制系统是一种复杂的控制系统,其包含的内容非常繁杂,应用也越来越广泛。计算机控制系统不仅在宇宙航行、导弹制导、核技术以及火控系统 etc 新兴学科领域中是必不可缺少的,而且在金属冶炼、仪器制造等工业生产过程中也具有重要意义。计算机控制系统是人和其他系统无法替代的控制系统。

在计算机控制系统的学习中,不能像盲人摸象那样,只看到事物的一部分,而应该看到事物的整体。对于盲人而言,角度不一样,大象的样子也是不一样的,但盲人认知的大象总是片面的。计算机控制系统的学习不能从单一的某一方面来认识它,而应先从总的方向把握整个系统,然后从系统的各个方面去理解。在计算机控制系统认知过程中,如果作为一个“盲人”,如何能够全面和深入地了解计算机控制系统。

本章主要介绍计算机控制系统的整体结构原理、分类、组成及发展。

0.1 控制系统的基本概念

0.1.1 系统、要素

贝特朗菲认为:系统是由元素和元素的关系组成,元素和元素的关系同等重要;系统是相互联系、相互作用着的诸元素的集或统一体;系统是开放的系统,是某个环境中的系统。

整体性是系统最突出、最基本的特征之一。系统指的是“整体”,即“有组织的统一体”,系统之所以为系统就是因为系统是作为一个有机整体而不是各部分的简单相加而存在的。是否具有整体性,即是否具有“有组织的统一性”是区分系统与非系统的判据。

要素是组成系统最小的即不需再细分的单元或成分,它是系统存在的基础。它与经典科学中机械的组成部分的重要区别,就在于要素之间具有不可忽略的确定的相互联系和相互作用。要素只是构成系统的必要条件,而不是充分条件。要素必须按一定方式相互联系、相互作用才可能构成系统。系统论认为不存在完全脱离系统的独立要素。

系统论的方法就是一个很好的认识、学习计算机控制系统的方法。

0.1.2 控制系统的基本形式

计算机控制系统是在自动控制系统中发展起来的一门学科。

被控量(输出)不影响系统控制的控制方式称为开环控制。在开环控制中,不对被控量进行任何检测,在输出端和输入端之间不存在反馈联系。

开环控制的原理结构如图 0-1 所示。这种控制方式的特点是,从给定输入端到输出端之间的信号传递是单向进行的。

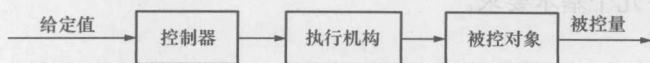


图 0-1 用给定值操作的开环控制系统原理结构

开环控制方式的缺点是,当被控对象或控制装置受到干扰,或者在工作过程中元件特性发生变化而影响被控量时,系统不能进行自动补偿,控制精度难以保证。但是由于其结构比较简单,因此在控制精度要求不高或者元件工作特性比较稳定而干扰又很小的场合应用比较广泛。

开环控制系统由控制器、执行机构和被控对象三个要素组成。常用的设计方法是根据被控对象和执行机构的特点设计出控制器,要设计控制器必然要了解被控对象的特性,首先要对其精确建模,再根据不同环境中的应用要求,就可以设计出特定的控制器。利用给定值操作的开环控制系统框图,就可以看出各个要素之间的关系,任何一个要素都不是独立存在的。

输出端回馈到输入端并参与对输出端再控制的方式称为闭环控制。闭环控制系统原理结构如图 0-2 所示。闭环控制中,在给定值和被控量之间,除了有一条从给定值到被控量方向传递信号的前向通道外,还有一条从被控量到比较元件传递信号的反馈通道,故闭环控制又称反馈控制。



图 0-2 闭环控制系统原理结构图

在闭环控制中,被控量时时刻刻被检测,再经过信号变换,并通过反馈通道回送到比较元件和给定值进行比较。比较后得到的偏差信号经放大元件放大后送入执行元件。执行机构根据所接受的信号的大小和极性,直接对受控对象进行调节,以进一步减小偏差。可见,只要闭环控制系统出现偏差,而不论该偏差是干扰造成的,还是由于系统元件或受控对象工作特性变化所引起的,系统都能自行调节以减小偏差。故闭环控制系统又称按照偏差调节的控制系统。

与开环控制系统相比,闭环控制能够实现高精度的控制,它对控制元件的要求比开环控制低。但是,闭环控制系统设计比较复杂,结构也比较复杂,因而成本较高。闭环控制是自动控制中广泛采用的一种形式。当控制精度要求较高,干扰影响较大时,一般采用闭环控制。

闭环控制系统框图说明了系统的构成要素和结构。当然这个系统设计也必须根据特定环境进行设计,不同应用环境控制器的设计是不同的。

0.1.3 控制系统的基本要求

控制系统根据工作场合不同,对系统的性能要求就不同。控制系统的任务是将被控量按参考输入保持常值或跟随参考输入而变化。但由于执行机构、被控对象的延迟、干扰等的影响,被控量不可能随时随刻跟随参考输入,而且不是所有系统都能正常工作。系统要能正常工作,必须满足以下几个基本要求。

1. 稳定性

稳定性是指系统被控量偏离给定值而致振荡时,系统抑制振荡的能力。对于稳定的系统,随着时间的增长,被控量将趋近于期望值。可见,稳定性是保证系统正常工作的先决条件。

2. 快速性

快速性是指被控量趋于期望值的快慢程度。快速性好的系统，它的过渡过程时间短，能复现快速变化的控制信号，因而具有较高的动态精度。

3. 精确性

精确性是指过渡过程结束后，被控量与期望值接近的程度。也就是当系统过渡到新的平衡工作状态后，被控量与期望值的偏差大小。系统的这一性能指标称为稳态精度。

0.2 计算机控制系统

0.2.1 计算机控制系统的基本结构

计算机控制系统可以是开环控制系统也可以是闭环控制系统。系统框图等同于控制系统框图，区别在于控制器是由计算机系统实现，并且计算机控制系统一定是数字控制系统，而执行机构和被控对象是千变万化的，当执行机构和被控对象是连续系统时，控制器与执行机构之间需要数/模(D/A)转换，同样当检测装置输出是模拟信号时，它与控制器之间也需要模/数(A/D)转换。计算机控制系统框图如图 0-3 所示。

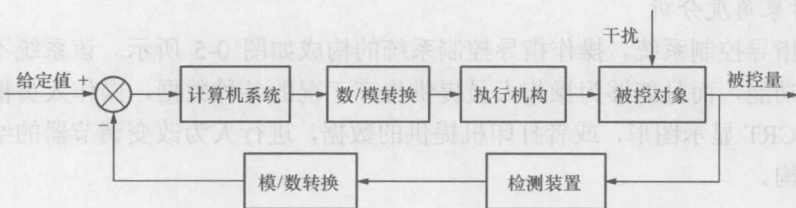


图 0-3 计算机控制系统框图 1

随着计算机控制技术的发展，执行机构和检测装置也趋近于用计算机系统来实现，计算机系统控制器输出的数字信号分为开关信号、模拟信号和通信信号，信息输入也可以是开关信号、模拟信号或通信信号。图 0-3 所示计算机控制系统框图也可以描述为图 0-4 所示形式。



图 0-4 计算机控制系统框图 2

根据计算机系统框图，通过不同角度去认识，可以分成不同的系统。在认识计算机控制系统时，既要认识要素更要认清要素之间的关系以及系统在环境中的应用。同时根据认知角度的不同可以把计算机控制系统分成不同的种类。

1. 被控对象角度分析

(1) 运动控制对象：通过对电动机电压、电流、频率等输入电量的控制，来改变工作机械的转矩、速度、位移等机械量，使各种工作机械按人们期望的要求运行，以满足生产工艺

及其他应用需要的系统称为运动控制系统。运动控制系统的对象称为运动控制对象。

(2) 过程控制对象：以表征生产过程的参量为被控制量使之接近给定值或保持在给定范围内的自动控制系统称为过程控制系统。这里“过程”是指在生产装置或设备中进行的物质和能量的相互作用和转换过程。表征过程的主要参量有温度、压力、流量、液位、成分、浓度等。通过对过程参量的控制，可使生产过程中产品的产量增加、质量提高和能耗减少。一般的过程控制系统通常采用反馈控制的形式，这是过程控制的主要方式。过程控制系统的对象称为过程控制对象。

2. 给定值角度分析

(1) 恒值系统：给定值都是恒定值的系统称为恒值系统，例如速度控制。

(2) 随动系统：给定值（控制指令）是事先未知的时间函数的系统称为随动系统。在随动系统中，当指令信号变化时，工作机械便精确地复现指令信号的变化规律。

(3) 程序控制系统：控制指令已预先知道的系统，称为程序控制系统。

(4) 自动调节系统或镇定系统：带偏差控制作用的速度控制系统是根据偏差产生控制作用，对系统进行自动调节，使被控量保持恒定。故这类系统又常称为自动调节系统或镇定系统。

3. 应用对象角度分析

(1) 操作指导控制系统。操作指导控制系统的构成如图 0-5 所示。该系统不仅具有数据采集和处理的功能，而且能够为操作人员提供生产工况的各种数据，操作人员根据计算机的输出消息，如 CRT 显示图形，或者打印机提供的数

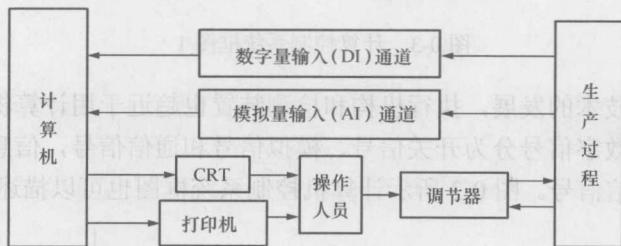


图 0-5 操作指导控制系统

该控制系统属于开环控制结构，计算机根据一定的控制算法（数学模型），依赖测量元件测得的信号数据，计算出可供操作人员选择的最优操作条件及操作方案。

操作指导控制系统的优点是结构简单，控制灵活和安全；缺点是要由人工操作，速度受到限制，不能控制多个对象。

(2) 直接数字控制系统。直接数字控制（Direct Digital Control, DDC）系统的结构如图 0-6 所示。计算机首先通过模拟量输入通道（AI）和数字量输入通道（DI）实时采集数据，然后按照一定的控制规律进行计算，最后发出控制信息，并通过模拟量输出通道（AO）和数字量输出通道（DO）直接控制生产过程。DDC 系统属于计算机闭环控制系统，是计算机在工业生产过程中最普通的一种应用方式。由于 DDC 系统中的计算机直接承担控制任务，所以要求实时性好、可靠性高和适应性强。为了充分发挥计算机的利用率，一台计算机通常要

控制几个或几十个回路，那就要合理地设计应用软件，使之不失时机地完成所有功能。

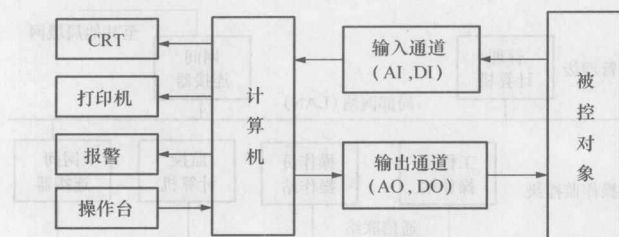


图 0-6 直接数字控制系统结构框图

(3) 计算机监督系统。监督控制 SCC (Supervisory Computer Control) 中，计算机根据原始工艺数据和其他参数，按照描述生产过程的数据模型或其他方法，自动地改变模拟调节器或以直接数字控制方式调节工作中的微机的给定值，从而使生产过程始终处于最优工况（如保持高质量、高效率、低功耗以及低成本等）。从这个角度上说，它的作用是改变给定值，所以又称设定值控制 (Set Point Control, SPC)。监督控制系统有两种不同的结构形式，如图 0-7 所示。

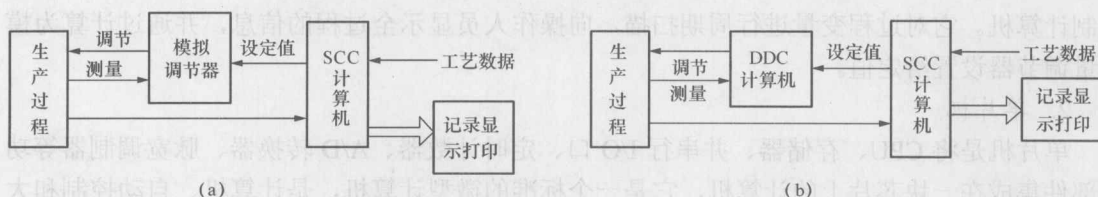


图 0-7 监督控制系统的两种结构形式

(a) SCC+模拟调节器控制系统；(b) SCC+DDC 分级控制系统

1) SCC+模拟调节器控制系统。该系统是由微型机系统对各物理量进行巡回检测，并按一定的数学模型对生产工况进行分析、计算后得出控制对象各参数最优给定值送给调节器，使工况保持在最优状态。当 SCC 微型机出现故障时，可由模拟调节器独立完成操作。

2) SCC+DDC 的分级控制系统。这实际上是一个二级控制系统，SCC 可采用高档微型机，它与 DDC 之间通过接口进行信息联系。SCC 微型机根据生产过程反馈回来的信息，通过最优化分析和计算，并给出最优给定值，送给 DDC 级执行过程控制。当 DDC 级微型机出现故障时，可由 SCC 微型机完成 DDC 的控制功能，这种系统提高了可靠性。

(4) 分布式控制系统。分布式控制系统 (Distributed Control System, DCS)，采用分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调的设计原则，把系统从下到上分为分散过程控制级、集中操作监控级、综合信息管理级，形成分级分布式控制，其结构如图 0-8 所示。

(5) 现场总线控制系统。现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, FCS) 是新一代分布式控制结构。20 世纪 80 年代发展起来的 DCS，其结构模式为：“操作站—控制站—现场仪表”三层结构，系统成本较高，而且各厂商的 DCS 有各自的标准，不能互联。FCS 与 DCS 不同，它的结构模式为：“工作站—现场总线智能仪表”两层结构，FCS 用两层结构完成了 DCS 中的三层结构功能，降低了成本，提高了可靠性，国际标准统一后，可实现真正的开放

式互联系统结构。



图 0-8 DCS 结构示意图

0.2.2 计算机控制系统控制器

1. 工业控制计算机

具有采集来自工业生产过程的模拟式和（或）数字式数据的能力，并能向工业过程发出模拟式和（或）数字式控制信号，以实现工业过程控制和（或）监视的数字计算机称为工业控制计算机。它对过程变量进行周期扫描，向操作人员显示全过程的信息，并通过计算为模拟量调节器设置给定值。

2. 单片机

单片机是将 CPU、存储器、并串行 I/O 口、定时计数器、A/D 转换器、脉宽调制器等功能部件集成在一块芯片上的计算机，它是一个标准的微型计算机，是计算机、自动控制和大规模集成电路技术相结合的产物。

3. 嵌入式系统

嵌入式系统（Embedded System）一般指非 PC 系统，有计算机功能但又不称之为计算机的设备或器材。它包括硬件和软件两部分，嵌入式系统的硬件部分，包括处理器/微处理器、存储器及外设器件和 I/O 端口、图形控制器等。嵌入式系统有别于一般的计算机处理系统，它不具备像硬盘那样大容量的存储介质，而大多数使用 EPROM、EEPROM 或闪存（Flash Memory）作为存储介质；嵌入式系统的软件部分包括操作系统软件（具备实时和多任务操作）和应用程序。应用程序控制着系统的运作和行为，而操作系统控制着应用程序编程与硬件的交互作用。简单地说，嵌入式系统集系统的应用软件与硬件于一体，类似于 PC 中 BIOS 的工作方式，具有软件代码少、高度自动化和响应速度快等特点，特别适合要求实时和多任务的体系。它是可独立工作的“器件”。

4. 数字信号处理器

数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）是一种独特的微处理器，是以数字信号来处理大量信息的器件。其工作原理是接收模拟信号，转换为 0 或 1 的数字信号。再对数字信号进行修改、删除、强化，并在其他系统芯片中把数字数据解译回模拟数据或实际环境格式。它不仅具有可编程性，而且其实时运行速度可达每秒数以千万条复杂指令程序，远远超过通用微处理器，是数字化电子世界中日益重要的计算机芯片。它强大的数据处理能力和高运行速度，是最值得称道的两大特色。

5. 现场可编程门阵列 FPGA

FPGA (Filed Programmable Gate Array), 即现场可编程门阵列, 它是在 PAL、GAL、CPLD 等可编程器件的基础上进一步发展的产物。它采用 CMOS, SRAM 工艺制作, 内部由许多独立的可编程逻辑单元构成, 各逻辑单元之间可以灵活地相互连接, 具有密度高、速度快、编程灵活及可重新配置等优点。

FPGA 产品的应用领域已经从原来的通信扩展到消费电子、汽车电子、工业控制及测试测量等广泛的领域。而应用的变化也使 FPGA 产品近几年的演进趋势越来越明显: 一方面, FPGA 供应商致力于采用当前最先进的工艺来提升产品的性能, 降低产品的成本; 另一方面, 越来越多的通用 IP (知识产权) 或客户定制 IP 被引入 FPGA 中, 以满足客户产品快速上市的要求。此外, FPGA 企业都在大力降低产品的功耗, 满足业界越来越苛刻的低功耗需求。

6. 可编程逻辑控制器

可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 是一种数字运算操作的电子系统, 专为工业环境下应用而设计。它采用可程序的存储器, 用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术操作的指令, 并通过数字式、模拟式的输入和输出, 控制各种类型的机械或生产过程, 是微型计算机技术和常规继电逻辑控制概念相结合的产物, 其低端为常规继电逻辑控制的替代装置, 而高端成为一种高性能的工业控制机。

0.2.3 计算机控制系统控制算法的实现

1. 连续离散设计方法

在已知对象特性 $G(s)$ 后, 按连续系统设计方法确定模拟控制器 $D(s)$; 再由 $D(s)$ 按相应规则设计数字控制器 $D(z)$, 即将 $D(s)$ 离散化。这便是连续离散设计方法。连续离散设计方法是一种近似的设计方法。

2. 直接数字设计方法

将控制对象直接转换成数字模型, 以采样理论为基础, 以 Z 变换为工具, 在 Z 域直接设计出控制器 $D(z)$ 的设计方法即直接数字设计方法。

3. PID 控制算法

根据偏差的比例 (P)、积分 (I)、微分 (D) 进行控制的算法称为 PID 控制算法。PID 控制算法是控制系统中应用最为广泛的一种控制算法。实际运行的经验和理论分析都表明, 运用这种控制算法对许多控制过程进行控制时, 都能得到满意的效果。

4. 现代控制算法

现代控制算法是基于系统内部描述的状态方程进行时域分析的状态空间法、最优控制、最优滤波、系统辨识和自适应控制等的算法。

5. 复杂控制算法

复杂控制算法主要包括纯滞后控制、串级控制、前馈—反馈控制、解耦控制、模糊控制等算法。

6. 专家控制系统

专家控制系统所研究的问题一般具有不确定性, 是以模仿人类智能为基础的。工程控制论与专家系统的结合, 形成了专家控制系统。专家控制系统和模糊控制系统至少有一点是共同的, 即两者都要建立人类经验和人类决策行为的模型。此外, 两者都有知识库和推理机, 而且其中大部分至今仍为基于规则的系统。因此, 模糊逻辑控制器通常又称为模糊

专家控制器。

0.3 计算机控制系统发展趋势

1946 年世界上第一台电子计算机 ENIAC 正式使用以来, 电子计算机在世界各国得到了极大的重视和迅速的发展。计算机控制技术是自动控制理论与计算机技术相结合的产物, 它的发展同样离不开自动控制理论和计算机技术的发展。随着通信技术的发展, 当今计算机控制系统以计算机技术、通信技术和自动控制技术作为理论支持。

0.3.1 计算机技术的发展

在生产过程控制中采用数字计算机的思想出现在 20 世纪 50 年代中期。最重要的工作开始于 1956 年 3 月, 当时美国德克萨斯州的一个炼油厂与美国的 TRW 航空工业公司合作进行计算机控制研究, 经过 3 年的努力, 设计出了一个采用 RW-300 计算机控制的聚合装置的系统, 该系统控制 26 个流量、72 个温度、3 个压力和 3 个成分, 控制的目的是使反应器的压力最小, 确定对 5 个反应器供料的最佳分配, 根据催化剂活性量来控制热水的流量以及确定最优循环。

TRW 公司的这项开创性工作, 为计算机控制技术的发展奠定了基础, 从此, 计算机控制技术获得了迅速的发展。

计算机控制技术的发展过程经历了以下几个阶段。

1. 开创期 (1955~1962 年)

早期的计算机使用电子管, 体积庞大, 价格昂贵, 可靠性差, 所以它只能从事一些操作和设定值控制。过程控制向计算机提出了许多特殊的要求, 需要它对各种过程命令做出迅速响应, 从而导致中断技术的发明, 使计算机能够对更紧迫的过程任务及时地做出反映。

2. 直接数字控制时期 (1962~1967 年)

早期的计算机控制按照监督方式运行, 属于操作指导或设定值控制, 仍需要常规的模拟控制装置。1962 年, 英国的帝国化学工业公司利用计算机完全代替了原来的模拟控制。该计算机控制 224 个变量和 129 个阀门。由于计算机直接控制过程变量, 完全取代了原来的模拟控制, 因而称这样的控制为直接数字控制, 简称 DDC (Direct Digital Control)。

采用 DDC 系统一次投资较大, 而增加一个控制回路并不需要增加很多费用。灵活性是 DDC 系统的又一个优点, 改变模拟控制系统需要改变线路, 而改变计算机控制系统只需要改变程序即可。DDC 是计算机控制技术发展方向上的重大变革, 为以后的发展奠定了基础。

3. 小型计算机时期 (1967~1972 年)

整个 20 世纪 60 年代计算机技术有了很大的发展, 主要特点是它的体积更小, 速度更快, 工作可靠, 价格便宜。到了 20 世纪 60 年代后半期, 出现了各种类型的适合工业控制的小型计算机, 从而使得计算机控制系统不再是大型企业的工程项目, 对于较小的工程问题也能利用计算机来控制。由于小型机的出现, 过程控制计算机的台数迅速增长。

4. 微型计算机时期 (1972 年至今)

在 1972 年之后, 由于微型计算机的出现和发展, 计算机控制技术进入了崭新的阶段。20 世纪 80 年代, 微电子学由于出现了超大规模集成电路技术而获得急剧发展, 出现了各种类型的计算机和计算机控制系统。现在微型计算机的发展朝着网络化、智能化、集成化、标准化

的方向发展。

0.3.2 计算机控制理论的发展

虽然采样系统理论目前主要用在计算机控制方面, 并已取得重要成果, 但仍然在发展之中, 为了获得这个领域的全面知识, 有必要回顾一下其发展过程。

1. 采样定理

既然所有的计算机控制系统, 都只根据离散的过程变量值来工作, 那么就要弄清楚在什么条件下, 信号才能只根据它在离散点上的值重现出来。此关键性的问题是由奈奎斯特解决的, 他证明, 要把正弦信号从它的采样值复现出来, 每个周期至少必须采样两次。香农 (Shannon) 于 1949 年在他的重要论文中完全解决了这个问题。

2. 差分方程

采样系统理论最初起源于某些特殊控制系统的分析。奥尔登伯格 (Oldenburg) 和萨托里厄斯 (Sartorius) 于 1948 年对落弓式检流计的特性做了研究, 这项研究对采样系统理论做出了最早的贡献。并已证明, 许多特征都可以通过分析一个线性时不变的差分方程来理解, 即用差分方程代替了微分方程。例如, 稳定性研究可以采用舒尔—科恩 (Schur-Cohn) 法, 它相当于连续时间系统的劳斯—霍尔维兹判据 (Routh-Hurwitz criterion)。

3. Z 变换法

由于当时的拉氏变换理论已经成功地应用于连续时间系统中, 人们很自然地试图为采样系统建立一种类似的变换理论。霍尔维兹于 1947 年对序 $\{f(kT)\}$ 引进了一个变换, 变换定义为

$$\mathcal{Z}\{f(kT)\} = \sum_{k=0}^{\infty} z^{-k} f(kT) \quad (0-1)$$

后来, 这种变换由拉格兹尼 (Ragazzini) 和扎德 (Zadeh) 于 1952 年定义为 Z 变换。

建立采样理论的许多工作都是由美国哥伦比亚大学的拉格兹尼领导的研究小组来完成的, 即朱里 (Jury)、卡尔曼 (Kalman)、比特伦 (Bertram)、扎德 (Zadeh)、富兰克林 (Franklin)、弗里德兰德 (Friedland)、克兰克 (Kranz)、弗里曼 (Freeman)、萨拉奇克 (Sarachik) 和斯克兰斯基 (Sklansky) 等人在拉格兹尼指导下做博士论文时完成的。

4. 状态空间理论

状态空间理论的建立, 来自于许多数学家的共同努力, 例如, 莱夫谢兹 (Lefschetz)、庞特里亚金 (Pontryagin)、贝尔曼 (Bellman)。卡尔曼把状态空间法应用于控制理论, 享有较高的声誉, 他建立了许多概念并解决了许多重要的问题。

5. 最优控制与随机控制

在 20 世纪 50 年代后期, 贝尔曼 (1958 年) 与庞特里亚金等人 (1962 年) 证明了许多设计问题都可以形式化为最优化问题。20 世纪 60 年代初, 随着控制理论的发展, 引出所谓线性二次型高斯 (LQG) 理论。

6. 代数系统理论

代数系统理论对线性系统理论有了更好的理解, 并应用多项式方法解决特殊问题。

7. 系统辨识与自适应控制

奥斯特隆姆 (Astrom) 和威顿马克 (Wittenmark) 等人在系统辨识与自适应控制方面做出了重要贡献。应当承认, 在理论联系实际方面, 奥斯特隆姆教授处于领先地位, 他提出的自校正调节器便是一个突出的例子。

0.3.3 计算机通信和网络技术的发展

1. 以单计算机为中心的联机终端系统

计算机网络主要是计算机技术和信息技术相结合的产物, 它从 20 世纪 50 年代起步至今已经有六十多年的发展历程, 在 20 世纪 50 年代以前, 因为计算机主机相当昂贵, 而通信线路和通信设备相对便宜, 为了共享计算机主机资源和进行信息的综合处理, 形成了第一代的以单主机为中心的联机终端系统。

在第一代计算机网络中, 由于所有的终端共享主机资源, 因此终端到主机都单独占一条线路, 所以使得线路利用率低, 而且由于主机既要负责通信又要负责数据处理, 因此主机的效率低, 而且这种网络组织形式是集中控制形式, 所以可靠性较低, 如果主机出问题, 所有终端都被迫停止工作。面对这样的情况, 当时人们提出这样的改进方法, 就是在远程终端聚集的地方设置一个终端集中器, 把所有的终端聚集到终端集中器, 而且终端到集中器之间是低速线路, 而终端到主机是高速线路, 这样使得主机只要负责数据处理而不要负责通信工作, 大大提高了主机的利用率。

2. 以通信子网为中心的主机互联

随着计算机网络技术的发展, 到 20 世纪 60 年代中期, 计算机网络不再局限于单计算机网络, 许多单计算机网络相互连接形成了有多个单主机系统相连接的计算机网络, 这样连接起来的计算机网络体系有两个特点。

(1) 多个终端联机系统互联, 形成了多主机互连网络。

(2) 网络结构体系由主机到终端变为主机到主机。

后来这样的计算机网络体系慢慢向两种形式演变, 第一种就是把主机的通信任务从主机中分离出来, 由专门的 CCP (通信控制处理机) 来完成, CCP 组成了一个单独的网络体系, 称之为通信子网, 而在通信子网基础上连接起来的计算机主机和终端则形成了资源子网, 导致两层结构体系出现。第二种就是通信子网规模逐渐扩大成为社会公用的计算机网络, 原来的 CCP 成为了公共数据通用网。

3. 计算机网络体系结构标准化

随着计算机网络技术的飞速发展, 计算机网络的逐渐普及, 各种计算机网络怎么连接起来就显得相当的复杂, 因此需要把计算机网络形成一个统一的标准, 使之更好的连接, 因此网络体系结构标准化就显得相当重要, 在这样的背景下形成了体系结构标准化的计算机网络。

0.3.4 计算机控制系统的发展

根据目前计算机控制技术的发展情况, 应用领域越来越广泛。要深入发展计算机控制技术, 必须对生产过程知识、测量技术、计算机技术和控制理论等领域进行更广泛深入的研究。

(1) DCS 和工业控制计算机技术正在相互渗透发展, 并扩大各自的应用领域。原来一般流程工业的控制多选用集散型控制系统 (DCS), 离散型制造业的控制多采用可编程控制器 (PLC)。随着 DCS 和 PLC 相互渗透发展继而扩大自己的应用领域, 将出现 DCS 和 PLC 融合于一体的集成过程控制系统。

(2) 控制系统的网络。随着计算机技术和网络技术的迅猛发展, 各种层次的计算机网络在控制系统中的应用越来越广泛, 规模也越来越大, 从而使传统意义上的回路控制系统所具有的特点在系统网络化过程中发生了根本变化, 并最终逐步实现了控制系统的网络化。

工业控制网络向着有线和无线相结合的方向发展。计算机网络技术、无线技术以及智能

传感器技术的结合,产生了基于无线技术的网络化智能传感器。这种基于无线技术的网络化智能传感器使得工业现场的数据能够通过无线链路直接在网络上传输、发布和共享。

(3) 控制系统的系统扁平化。在传统的集散和分布式计算机控制系统中,根据完成的不同功能和实际的网络结构,系统以网络为界限被分成了多个层次,各层网络之间通过计算机相连。这种复杂多层的结构会造成多种障碍,具有很多缺点。新一代计算机控制系统的结构发生了明显变化,逐步形成了两层网络的系统结构。上层负责完成高层管理功能,包括各种控制功能之间的协调、系统优化调度、信息综合管理和组织以及总体任务的规划等。底层负责完成所有具体的控制任务,如参数调节的回路控制、过程数据的采集和显示、现场控制的监视以及故障诊断和处理等等。

(4) 控制系统的智能化。随着科学技术的发展,对工业过程不仅要求控制的精确性,更加注重控制的鲁棒性、实时性、容错性以及控制参数的自适应和自学习能力。另外,被控工业过程日趋复杂,过程严重的非线性和不确定性,使许多系统无法用精确数学模型描述。这样建立在数学模型基础上的传统方法将面临空前的挑战,也给智能控制方法的发展创造了良好的机遇。传统的控制方法在很大程度上依赖于过程的数学模型,但是,至今获取过程的精确数学模型仍然是一件十分困难的工作。没有精确的数学模型作前提,传统的控制系统的性能将大打折扣。而智能控制器的设计却不依赖过程的数学模型,因而对于复杂的工业过程往往可以取得很好的控制效果。

智能控制是一类无需人的干预就能够自主地驱动智能机器实现其目标的过程,是机器模拟人类智能的一个重要领域。智能控制方法通过模拟人类思维判断的各种方法继而实现智能控制。智能控制包括学习控制系统、分级递阶智能控制系统、专家系统、模糊控制系统和神经网络控制系统等。应用智能控制技术和自动控制理论来实现的先进的计算机控制系统,将有力地推动科学技术进步,并提高工业生产系统的自动化水平。计算机技术的发展加快了智能控制方法的研究。

(5) 工业控制软件的组态化。如今工业控制软件已向组态化的方向发展。工业控制软件主要包括人机界面软件、控制软件以及生产管理软件等。目前,我国已开发出一批具有自主知识产权的实时监控软件平台、先进控制软件和过程优化控制软件等成套应用软件。

习 题 0

- 0-1 什么是计算机控制系统?其工作原理是怎样的?
- 0-2 计算机控制系统由哪几部分组成?请画出计算机控制系统的组成框图。
- 0-3 计算机控制系统的典型形式有哪些?各有什么优缺点?
- 0-4 简述计算机控制系统的发展概况。
- 0-5 讨论计算机控制系统的发展趋势。