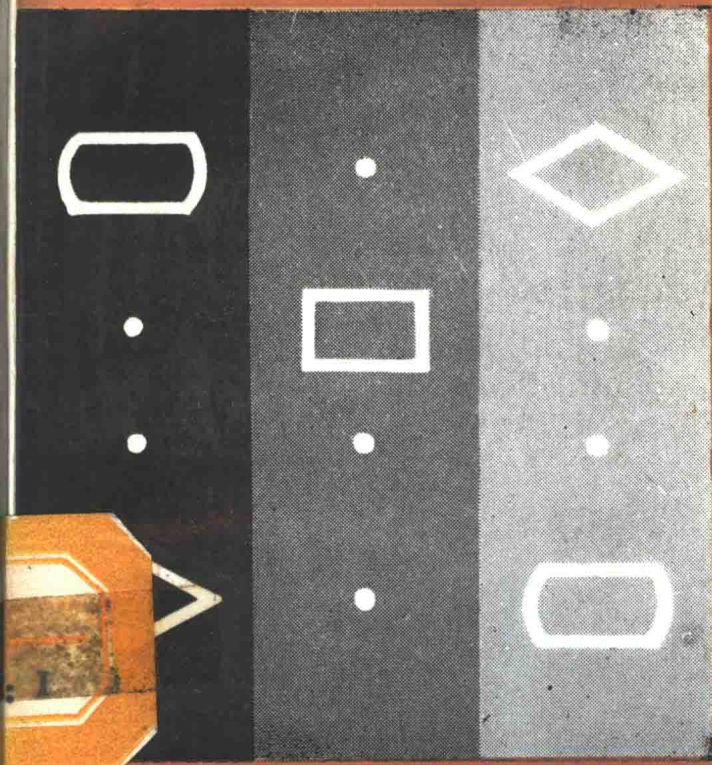


计算机基础自学丛书

计算机控制系统 及应用

李清泉 杜继宏 编著



机械工业出版社

计算机基础自学丛书

计算机控制系统及应用

李清泉 杜继宏 编著



机械工业出版社

本书是计算机基础自学丛书之七。主要讲述计算机控制系统的原理、设计方法(连续、离散)、通道接口及应用实例。

全书共八章:第一章概述,第二章基础知识,第三章通道及接口技术,第四章连续设计方法,第五章离散设计方法,第六章系统实现问题,第七章设计与调试,第八章应用实例。本书简明扼要,文字通顺,便于自学。

本书可作为中专以上机电类及计算机应用专业工程技术人员
的自学读物。也可作为高等院校相应专业的教学参考书。

计算机控制系统及应用

李清泉 杜继宏 编著

*

责任编辑:李 敬

封面设计:方 芬

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 · 印张 11⁵/₈ · 字数 304 千字

1988年12月重庆第一版 · 1988年12月重庆第一次印刷

印数0,001—5,000 · 定价: 6.20元

*

ISBN 7-111-00666-6/TP·45

出版说明

计算机的广泛应用极大地提高了人类认识和改造客观世界的能力,特别是微电子及大规模集成电路技术的发展,微型计算机的广泛应用为各国工业技术的改造提供了重要而有效的途径,一场以解放人类智力为标志的新技术革命开始了。其规模和深度都将是空前的,不仅涉及到科学、工业、经济、教育等各个领域,同时也将会引起社会结构和生活方式的改变。

预计90年代将出现以知识处理为基础的智能技术与智能系统,并得到广泛的应用。例如,智能机器人,智能信息处理系统,智能计算机辅助设计系统,智能办公室自动化系统等。它将开创新的计算机应用领域。传统的数据处理,计算机控制等应用更加向前推进。

为了适应新技术革命的需要,帮助各个领域的科技人员进一步普及和提高计算机基础科学知识,使计算机得到广泛的更有效的应用。我们特为全国机电专业及计算机应用专业中专以上文化水平的读者编写了这一套丛书。对广大读者只要具有基本的数字电路及逻辑设计基础知识,均可自学这套丛书。“丛书”着眼于计算机的应用,搜集归纳了国内外大量的资料,并在长期的教学和科研工作基础上进行编写的。丛书力求做到选材上的先进性、系统性和完整性。由浅入深全面系统地阐述了计算机科学的基础知识,同时对计算机的主要应用领域的先进技术也作了必要的介绍。

“丛书”编写者是清华大学计算机科学与技术系长期在第一线从事教学、科研工作的副教授、高级工程师、讲师。丛书由清华大学周远清主编,叶乃基为全套丛书的编写、定稿和出版作了大量的工作。

这套丛书共分九册。

第一册计算机概论。阐述计算机的体系结构及各部分工作原理。

第二册高级语言程序设计。介绍PASCAL语言及C语言的基本结构以及语言的使用。

第三册PDP-11机器语言与汇编语言程序设计。介绍PDP-11机的基本组成及编程技术。

第四册数据结构。阐述非数值程序中有关结构以及排序和查找等问题。

第五册操作系统。阐述操作系统的有关基本概念以及管理系统资源,提供用户应用环境。

第六册汉字微型计算机与汉字识别。介绍汉字微型计算机系统的组成、输入编码方案、汉字处理和识别技术以及汉字微型计算机系统的应用。

第七册计算机控制系统及应用。主要分析计算机控制系统的原理、设计方法(连续、离散)、通道接口及应用实例。

第八册计算机辅助图形设计。介绍计算机辅助设计基础——二维三维图形设计的基本算法以及交互式图形软件的设计。

第九册办公室自动化基础。阐述数据库的基本概念、办公室自动化基础知识及技术。

在编写这套丛书时,我们既注意到它的系统性和完整性,同时又使各册之间有相对的独立性。便于读者能够根据自己从事工作的领域以及自己的兴趣,阅读全套丛书或选读其中几册。

对于需要使用语言进行程序设计的初学者,可以首先阅读第一、二、三册。在有关领域中从事计算机应用的科技人员,可以分别选读第六、七、八、九册。如果需要系统深入了解和掌握计算机科学知识的读者,建议进一步阅读第四、五册。

书中所选实例经过上机验证,有的还附有习题,希望读者能完成练习,并上机进行实践。

这套丛书既可作广大读者的普及读物和科技参考书,又可作为大学教科书。我们希望,这套丛书能为我国计算机的普及与应

V
用起到一定的作用。

由于编者水平有限，书中定有不当之处和错误的地方，欢迎读者批评指正。

清华大学计算机科学与技术系
计算机基础自学丛书编写组

前 言

本书是计算机基础自学丛书之七，主要内容为计算机控制的理论、设计方法、实现和调试问题，以及各种应用。

近年来，随着集成电路技术的飞跃发展，微型计算机的普及，再加上数字控制理论和技术的进步，计算机参与生产过程的数据采集和处理，操作和控制，以及监督管理等任务已愈来愈广泛了。面对这种形势，不太熟悉而又需要了解计算机控制的大专院校学生、研究生以及工程技术人员，自然需要一本篇幅不大、着重介绍计算机控制与应用的教学参考书，本书就是针对这一要求而撰写的一本读物。

全书共八章。第一章介绍计算机控制系统的概貌。给出了计算机控制系统的基本概念、组成、类型，以及对计算机系统的主要要求。第二章论述计算机控制系统的基本理论，它是全书的共用基础知识。第三章介绍计算机控制系统的过程通道、接口硬件和相应的软件技术。对数/模和模/数转换器这两个数字控制系统的特殊部件作了详细的讨论。第四、第五章讲述计算机控制系统的设计方法。帮助熟悉连续控制系统设计方法的工程技术人员较快地掌握数字控制系统的设计方法，第四章专门讨论计算机控制系统的连续设计方法。不过，采用离散设计方法有可能得到更好的控制性能，这种设计方法安排在第五章中介绍。第六章讨论控制算法的实现，量化、舍入和截断误差的影响，采样周期的选择，滤波技术和PID参数的整定。这些问题在计算机控制系统实现中都是十分重要的。第七章从控制角度出发，讨论了微型机控制系统的设计和调试问题，内容有设计和调试的要求和步骤，生产过程的建模方法，整体设计，软、硬件的设计，以及微型机系统的分调和联调。这有助于工程技术人员具体实现一台微型机控

制装置。第八章给出了几个计算机控制系统的应用实例。为了帮助读者掌握书中的内容,全书还列举了大量的例题。

计算机控制涉及面很广,在一本篇幅有限的丛书中,规定一个起点是合理的。因此,阅读本书时需要具备一定的连续控制理论和矩阵代数知识。对于没有学过矩阵代数的中专以上的工程技术人员可以略去有关章节,这样做不会妨碍读者掌握本书的大部分主要内容。

本书的部分内容是笔者的最新研究成果。在撰写本书时还参考了大量的国内外专著和文献,也引用了与笔者一道工作的同事和学生共同研究的成果,全书还承蒙清华大学周远清同志进行了审阅,提了许多宝贵意见,在此向他们表示衷心的感谢。

本书虽然力图使内容新颖,取材精炼,论述准确,概念清楚,易于读者自学和运用,但由于笔者学识有限,不妥之处敬请读者批评指正。

笔 者

1986年4月3日于清华大学

目 录

前 言

第一章 计算机控制系统概述..... 1

§ 1-1 基本概念和术语 1

§ 1-2 计算机控制系统的组成 6

§ 1-3 计算机控制系统的类型 8

§ 1-4 计算机控制系统对计算机系统的要求 17

第二章 计算机控制系统的基础知识..... 19

§ 2-1 线性定常离散时间系统 19

§ 2-2 差分方程 20

§ 2-3 向量离散状态方程 22

§ 2-4 采样信号的频谱和采样定理 26

§ 2-5 z变换..... 32

§ 2-6 连续系统的离散化 44

§ 2-7 离散信号的连续化 55

§ 2-8 离散时间系统的结构分析 61

第三章 过程通道和接口技术..... 74

§ 3-1 引言 74

§ 3-2 数/模转换器..... 75

§ 3-3 模/数转换器..... 83

§ 3-4 采样、保持和滤波 89

§ 3-5 模/数及数/模转换器件的主要指标 93

§ 3-6 模拟量I/O部件 95

§ 3-7 数据传输的DMA通道..... 100

第四章 计算机控制系统的连续设计方法..... 113

§ 4-1 引言 113

§ 4-2	z变换近似法	118
§ 4-3	差分近似法	124
§ 4-4	极-零匹配法	129
§ 4-5	双线性变换法	133
§ 4-6	各种连续设计方法的比较	140
§ 4-7	数字PID控制器的连续设计	144
§ 4-8	数字伺服控制器的连续设计	160
第五章	计算机控制系统的离散设计方法	163
§ 5-1	引言	163
§ 5-2	解析法	167
§ 5-3	根迹法	187
§ 5-4	频率法	198
§ 5-5	数字PID控制器的离散设计	206
第六章	计算机控制系统实现中的几个问题	211
§ 6-1	控制算法的实现方法	211
§ 6-2	量化和误差影响	226
§ 6-3	采样周期的选择	244
§ 6-4	滤波技术	246
§ 6-5	PID控制器参数的整定	255
第七章	计算机控制系统的设计与调试	260
§ 7-1	设计与调试的要求和步骤	260
§ 7-2	数学模型的建立	264
§ 7-3	总体设计	268
§ 7-4	硬件设计	277
§ 7-5	应用软件的设计	282
§ 7-6	微型机控制系统的调试	292
第八章	计算机控制系统的应用	301
§ 8-1	电梯的集选控制	301
§ 8-2	巡回数据采集系统	307
§ 8-3	直流调速系统	309

§ 8-4 交流喷漆机器人的关节控制系统	319
§ 8-5 造纸机的计算机控制	329
§ 8-6 上臂假肢的微机控制	345
主要参考文献	361

第一章 计算机控制系统概述

§ 1-1 基本概念和术语

凡有电子数字计算机参与生产过程控制的系统都可以叫做计算机控制系统。计算机参与生产过程控制的方式有两类：开环控制和闭环控制。在开环控制中，完成控制作用无需知道当前的输出信息，即系统的输出量对系统的控制作用无影响，计算机的计算结果仅作为指导生产的参考，而生产过程本身的控制还必须经由现场操作人员去实施。因此，开环控制又叫做离线控制。在数控机床、高炉炼铁和转炉炼钢等生产实践中，开环控制得到广泛地应用。在闭环控制中，系统的输出量对控制作用有直接的影响，计算机的计算结果，直接用来改变调节器的设定值，或者直接用来控制调节阀等执行机构，生产过程的控制无需经过现场操作人员即可完成，操作人员最多仅参与设定值的决定。因此，闭环控制又叫做在线控制。在各种工业过程控制中，闭环控制的应用十分广泛。

图 1-1 是两种常见的单回路闭环控制系统框图。受控对象的输出 $y(t)$ (叫做被控量) 是连续信号，控制的目的是要使 $y(t)$ 尽可能精确、及时地跟踪某一参考输入信号 (设定值)。参考输入信号的形式可以是模拟的 (见图 1-1a)，也可以是数字的 (见图 1-1b)。与常规的单回路模拟控制系统不同，在图 1-1 的单变量计算机控制系统中，既含有模拟元件，也含有数字元件。计算机作为控制系统的一个环节，是一个数字元件，它的输入和输出当然都是数字信号，而受控对象往往是一个模拟元件，它的输入和输出必然是模拟信号。这就是说，信号在计算机控制系统环路中进行传递时，一部分是连续的模拟信号形式，一部分是离散的数字信号形

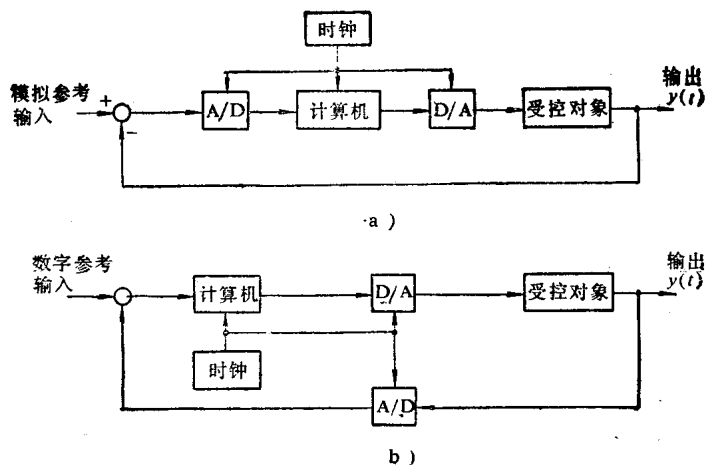


图 1-1 单变量计算机控制系统框图

式。十分明显, 数字信号和模拟信号要在同一环路中进行传递就必须经过信号变换, 这就需要在系统中配备把数字信号转换为模拟信号和把模拟信号转换成数字信号的装置。图1-1中的 D/A 转换器和 A/D 转换器就是这样的装置。D/A 转换器叫做数/模转换器, 它可将数字信号转换成模拟信号; A/D 转换器叫做模/数转换器, 它可将模拟信号转换为数字信号。由此可见, A/D 和 D/A 转换器是计算机控制系统所独有的特殊问题, 我们将在第三章对它们进行详细分析。

图1-1中的 A/D 转换器用来对连续信号进行采样, 并将其变换成相应的数字信号, 经由计算机计算处理后产生一种数字形式的控制作用, 再由 D/A 转换器变换成相应的模拟控制信号, 作为受控对象的输入, 驱使输出 $y(t)$ 跟踪参考输入信号。可见, 计算机在这里是作为一个控制器使用的。根据实际需要, 对连续时间信号的采样可以均匀进行, 也可以多速率进行。在实际中一般采用均匀采样, 即周期采样。这是因为周期采样不仅实现简单, 而且效果良好。D/A 转换器的输入是数字信号, 而输出应是连续时间信号, 因而在一个采样周期内就有一个如何保持信号的连续性问题。通常的

作法是在一个采样周期内保持信号恒定不变，这叫做零阶保持，当然还可以采用一阶或更高阶保持(参见第三章)。为了简化起见，这种保持功能在图 1-1 并未明显表示出来。计算和处理数字信号的计算机是按时间节拍顺序操作的，而受控对象的过程却是实时的，因此，上述采样变换过程要由计算机内部的时钟实现同步控制。必须指出，图 1-1 仅仅说明了计算机控制原理，并不表示一个真实的系统。实际上，在一个真正的计算机控制系统中，计算机除了起校正作用外，还可以承担比较、解算和记忆等一系列任务。

上述单变量计算机控制系统表明，在一个计算机控制系统中，既包含离散时间信号，也包含连续时间信号。因此，在分析和综合设计这种系统时，就必须充分考虑这一特点。如果离散时间间隔很短，以致它对系统性能的影响很小，这时就可按模拟系统来分析和综合这类计算机控制系统，即按连续处理信息的方式来处理这类控制系统。因此，有些书把这类系统叫做连续数字控制系统。关于这类系统的设计方法，我们将在第四章进行讨论。如果采样时间间隔较长，以致它的大小已对系统性能产生了明显的影响，即采样间隔已成为控制系统的重要参数，这时就只能用离散时间系统的方法来分析和综合这类系统了。由于这类系统按采样信号进行控制，并未考虑采样周期中的条件变化，因此有些书上把这类系统叫做采样数据控制系统或脉冲数据控制系统。我们将在第五章介绍这类系统的设计方法。

就计算机控制系统所承担的任务而论，可根据设定值的性质划分为恒值调节、伺服控制和程序控制三大类。在调节问题中，设定值等于零或保持恒定不变，控制作用主要是克服扰动的影响，以使系统输出保持不变，或者在因扰动影响而使输出偏离设定值之后，使其尽快地恢复到原有值。过程控制中采用的大量计算机控制系统都是恒值调节系统。在伺服问题中，设定值由外部确定，它往往是未知的函数，控制作用是使系统输出及时而准确地跟踪设定值的变化。工业和军事中的各种跟踪系统都是伺

服控制系统。在程序控制问题中，设定值虽然是变化的，但它的变化规律却是已知的，即设定值是一个已知的时间函数。程序控制系统多用于工业炉、干燥设备和周期性工作的加热设备中。但不论哪种控制任务，在分析和综合设计一个计算机控制系统时，关键的问题都是要找到一个由计算机实现的控制规律。这就意味着，计算机控制系统的设计过程实质上就是选择和获取控制算法的过程。在计算机控制系统中采用的控制策略有：

一、程序控制

在一些工业生产过程中，要求被控量按预先规定的时间函数进行变化。例如，罩式退火炉和单晶炉的炉温都要求按一定的时间曲线变化，图1-2是罩式退火炉的炉温控制曲线。为了使系统输出按规定的时间函数变化，被控量的设定值显然也必须按此时间函数进行设置，这就是程序控制，因为它的设定值是已知的时间函数。

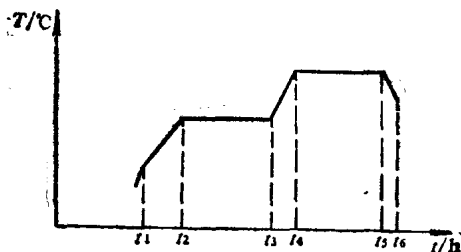


图1-2 罩式退火炉的温度控制曲线

二、顺序控制

在某些工业生产过程中，特别是在冲压、注塑、轻纺和制瓶等这样的断续生产过程中，其操作都是按一定顺序、有规律的进行。例如，注塑机要生产一个工件，其工艺流程的顺序大致为合模、注射、延时、开模、产伸和产退等等。对这类过程就可采用顺序控制。我们可以把顺序控制看成是程序控制的扩展，因为在顺序控制中，每一时刻给出的设定值不仅与时间有关，而且还取决于对此时刻之前的控制结果的逻辑判断。

三、比例-积分-微分控制

比例-积分-微分控制通常简记为PID控制。采用这种控制规律时,计算机要对来自A/D转换器的信号进行比例、积分和微分变换处理。这种控制规律既能消除静差,改善系统的静态特性,又能加快过渡过程或提高系统的稳定性,改善系统的动态特性。因此,PID控制在工业过程控制中得到了十分广泛的应用。如果计算机仅对信号进行比例和积分变换处理,则称为PI控制。

四、前馈控制

根据反馈控制原理可知,在一个反馈控制系统中,只当被控量偏离设定值后,反馈控制系统才会产生控制作用。这样,在干扰作用下,被控量必须偏离设定值才能产生抑制此干扰影响的控制作用。因此,在这种利用偏差来消除偏差的反馈控制系统中,控制作用总是落后于干扰作用。如果干扰不断地变化,则控制作用就无法完全消除干扰的影响。与反馈控制不同,前馈控制是直接按干扰来实施的一种控制,一旦干扰出现,在此干扰未影响被控量之前,控制器(计算机)就根据测得的干扰大小和方向,按一定规律直接施加一个控制作用,控制作用的大小刚好能够完全抵消此干扰对被控量的影响。因此,在抑制干扰方面,前馈控制要比反馈控制“及时”得多。从理论上讲,前馈控制能使被控量完全不受干扰的影响。在化工和热工的过程控制中,有许多成功地利用前馈控制的例子。

五、最优控制

所谓最优控制,是指在给定的约束条件下,寻求一个适当的控制律,使表征过程进程的某个性能指标达到最大或最小。约束条件可能是控制作用和工艺参数等的极限值,也可能是工艺参数之间的某种依从关系,在数学上表现为一些等式和不等式约束。性能指标也叫做目标函数,它可能是产量最高,控制质量最好,利润最大,能耗最小,以及达到设定值的时间最短等等。必须注意,“最优”是相对某个性能指标来说的,谈论绝对意义上的最优是没有意义的。

六、自适应控制

实现最优控制的前提条件是运转条件和约束条件不变,以及受控对象特性已知。一旦不能满足这些前提条件,最优控制系统就会丧失最优性能。在许多实际控制问题中,运转条件发生变化,以及受控对象特性未知或发生变化的情况是经常发生的,这就要求控制系统具有适应环境变化的能力。如果一个控制系统在对象结构参数和初始条件,以及运转条件发生变化时,仍能自动地保持最优或接近最优的工作状态,这就是一个自适应控制系统,这样的控制就是自适应控制。自适应控制技术最先用于军事和宇航技术,近年来也用于工业过程控制,并取得了明显的经济效益。目前比较成熟和应用最多的自适应控制是自校正控制、模型参考自适应控制和变结构控制。

上述各种控制律的分析和研究是控制理论的任务,而这些控制律的计算机实现则要靠计算机技术。因此,计算机控制系统实质上是自动控制技术和计算机技术相结合的产物,它的发展和完善有赖于控制理论和计算机技术的发展和完善。

§ 1-2 计算机控制系统的组成

计算机控制系统的组成方式和层次取决于生产过程对自动化程度的要求。本节考察位于直接控制层的、与生产过程发生直接联系的计算机控制系统的组成,其框图如图 1-3 所示。它由两部分组成,一是工业生产设备(受控对象),一是控制计算机。

控制计算机由硬件和软件这两部分组成。现分述如下:

一、硬件

硬件包括主机、外部设备和工业自动化仪表。硬件是对受控对象实现计算机控制的物质基础。

主机是计算机控制系统的主体,由运算器、控制器和内存贮器组成。它的主要功能是完成程序的存贮和执行。

外部设备包括人-机联系设备、过程输入输出设备和外存贮器。在计算机控制系统中,过程输入输出设备是必备的,而人-