

计 算 机 控 制 系 统

理 论 与 应 用

疏 松 桂 主 编

科 学 出 版 社

1988

内 容 简 介

1984年夏,中国自动化学会控制理论专业委员会举办了“控制理论在计算机控制系统中的应用”学习班,本书是在学习班讲义的基础上改写而成的。

全书共分两篇十四章,每篇各有七章。第一篇为理论篇,其中包括计算机控制系统概论、计算机控制系统总体设计、直接数字控制系统设计方法、离散线性系统分析、系统辨识与参数估计、最优线性滤波与最优线性调节器、自校正控制系统等。第二篇为应用篇,其中包括工业锅炉的经济燃烧控制与水位PI自适应控制、电渣重熔系统的LQG控制、多变量自校正调节群控电热炉、化工过程的自校正控制系统、惯性导航系统的计算机控制、天文卫星姿态控制系统等。

本书可供从事计算机控制系统分析与设计的广大科技工作者、工程技术人员以及高等院校的教师和学生阅读参考。

计 算 机 控 制 系 统

理 论 与 应 用

疏松桂 主编

责任编辑 李淑兰 杨 艳

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街147号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1988年5月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:0001—5,440 字数:468,000

ISBN 7-03-000244-X/TP·14

定 价: 5.20 元

序 言

自五十年代末、六十年代初现代控制理论诞生以来,已经取得了辉煌的成就。随着数字电子计算机特别是微型数字电子计算机的蓬勃发展和广泛应用,为控制理论的应用开辟了广阔的领域。

在我国,老一辈的科学家为推动控制理论的发展和应用做出了杰出的贡献。他们不仅在学科的发展上起了学术带头人的作用,而且为我国培养了一支宏大的控制理论及其应用的教学和科研队伍,造就了一批具有国际影响的骨干力量。

1984年夏,中国自动化学会控制理论专业委员会在青岛举办了“控制理论在计算机控制系统中的应用”学习班。在学习班上,由十几位从事控制理论及其应用的专家,向来自全国各地150多位同行介绍了他们多年来的科研成果,特别介绍了有关单位应用控制理论的若干实例。虽然这仅仅是我国学者的部分成果,但是从一个侧面也反映了我国控制论界在四化建设中做出的贡献。它对促进更多的同志去从事理论与实际的结合无疑是有益的。根据参加学习班同志们的建议,我们编写了这本书——《计算机控制系统:理论与应用》。

全书共分两篇十四章。第一篇为理论篇,共有七章,其中包括计算机控制系统概论、计算机控制系统总体设计、直接数字控制系统设计方法、离散线性系统分析、系统辨识与参数估计、最优线性滤波与最优线性调节器和自校正控制系统。第二篇为应用篇,共有七章,其中包括工业锅炉的经济燃烧控制与水位PI自适应控制、电渣重熔系统的LQG控制、多变量自校正调节器群控电热炉、化工过程的自校正调节器、人造真空环境温度自校正控制系统、惯性导航系统的计算机控制和天文卫星姿态控制系统。除第四章、第十三章和第十四章外,其他各章均在学习班上做过介绍。出版之前,作者们在广泛听取意见的基础上又对学习班上的讲稿做了认真修改,进行了仔细的系统化加工,我们力图使本书做到自成体系,使读者阅读这本书时不需要再查阅更多的参考书。

本书主编疏松桂,副主编秦化淑、袁著祉、王恩平、郑应平。全书的编辑和终审由袁著祉和王恩平同志完成。

在我们出版这本书的时候,特别感谢青岛化工学院自动化系的领导和全体教师,他们为1984年夏的学习班提供了极大的方便,给予了全力的支持。感谢昆明工学院自动化系缪尔康同志、徐州空军后勤学校李春阳同志,他们对本书的未定稿提出了宝贵意见。感谢清华大学自动化系诸家晋同志在本书的形成过程中给予的支持和帮助。

由于我们缺乏合写一本专著的经验,书中无论从内容的衔接还是在选题的代表性上都难免有缺点和错误,欢迎读者给予批评指正。

1986年12月于北京

目 录

理 论 篇

第一章 计算机控制系统概论.....	1
1.1 计算机控制系统的特点及其组成.....	1
1.2 计算机控制系统的分类.....	3
1.3 计算机控制系统的硬件与软件.....	4
1.4 控制算法.....	16
参考文献.....	18
第二章 计算机控制系统设计.....	19
2.1 计算机控制系统的设计步骤.....	19
2.2 几个特殊问题.....	20
2.3 玻璃窑炉微型计算机过程控制总体设计.....	25
2.4 一个通用的数字控制器.....	30
参考文献.....	35
第三章 直接数字控制系统设计方法.....	36
3.1 直接数字控制 (DDC) 系统.....	36
3.2 设计举例.....	38
3.3 PID 算法程序化的基本方法.....	51
第四章 离散线性系统分析.....	61
4.1 引言.....	61
4.2 z 变换.....	62
4.3 离散线性系统的数学描述.....	70
4.4 能控性和能达性.....	76
4.5 能观测性.....	80
4.6 稳定性.....	81
4.7 连续线性系统的离散化.....	84
4.8 标准形和最小实现.....	88
4.9 状态反馈和极点配置.....	90
4.10 观测器和动态补偿器.....	92
第五章 系统辨识与参数估计.....	97
5.1 引言.....	97
5.2 离散线性动态模型的最小二乘估计.....	99
5.3 最小二乘估计的递推算法.....	100
5.4 对时变系统的实时算法.....	104
5.5 变遗忘因子的实时算法.....	105
5.6 递推平方根算法.....	106
5.7 辅助变量法.....	109
5.8 增广最小二乘法.....	111
5.9 参数估计的卡尔曼滤波方法.....	112

5.10 闭环操作下的系统辨识	113
5.11 模型阶的辨识	115
5.12 仿真研究	118
5.13 结束语	120
附录 5.A	120
附录 5.B	121
参考文献	122
第六章 最优线性滤波器与最优线性调节器	124
6.1 线性动态系统最优滤波的数学提法	124
6.2 卡尔曼滤波器算法	126
6.3 举例	128
6.4 最优线性调节器的数学提法	131
6.5 线性调节器设计的计算方法	133
6.6 对偶原理及分离定理	135
附录 6.A	137
第七章 自校正控制系统	140
7.1 引言	140
7.2 预测模型	142
7.3 控制律	145
7.4 递推参数估计	149
7.5 自校正控制器	152
7.6 自校正控制系统的计算机实现及仿真	164
参考文献	171

应 用 篇

第八章 工业锅炉的经济性燃烧控制与水位 PI 自适应控制	173
8.1 引言	173
8.2 燃烧系统控制与计算机仿真	174
8.3 经济性燃烧问题	179
8.4 JRC-1 型工业锅炉计算机控制器	180
8.5 用智能仪表实现锅炉水位 PI 自适应控制	185
第九章 电渣重熔系统的 LQG 控制	190
9.1 引言	190
9.2 电渣重熔炼钢控制系统的工作原理	192
9.3 电渣重熔系统数学模型的建立	196
9.4 熔化率的最优反馈控制系统设计	200
9.5 实时闭环控制的计算框图	207
9.6 控制效果分析	208
参考文献	210
第十章 多变量自校正调节器群控电加热炉	211
10.1 引言	211
10.2 电加热炉的结构和计算机控制系统的构成	211

10.3 电加热炉数学模型的建立	212
10.4 多变量系统最小方差控制律的计算	219
10.5 多变量自校正调节器的设计	222
10.6 系统的仿真研究	225
10.7 实时控制框图与控制结果	227
10.8 结论	229
参考文献	336
第十一章 化工过程的自校正调节器	237
11.1 引言	237
11.2 醋酸乙烯合成反应器温度控制	237
11.3 污水 pH 值控制	240
11.4 蒸馏塔的多变量自校正调节器	244
参考文献	249
第十二章 人造热真空环境温度自校正控制系统	250
12.1 引言和任务描述	250
12.2 为什么要采用自校正控制方案	252
12.3 对象数学模型的建立和温度补偿器的设计	252
12.4 自校正控制算法的介绍和实现	257
12.5 控制系统的硬件与软件实现	263
12.6 调试结果、经验和一些实际问题	268
12.7 结论	273
参考文献	273
第十三章 惯性导航系统的计算机控制	274
13.1 工作原理	274
13.2 解算方程	275
13.3 误差分析	277
13.4 计算机控制系统设计	278
第十四章 天文卫星姿态控制系统	284
14.1 引言	284
14.2 姿态控制系统原理及其结构和主要元部件	284
14.3 姿态运动方程	291
14.4 姿态控制系统的总体设计及控制规律综合	295
14.5 姿态控制系统的仿真试验及其他地面试验	309
14.6 结束语	315
参考文献	316

第一章 计算机控制系统概论

吴 捷

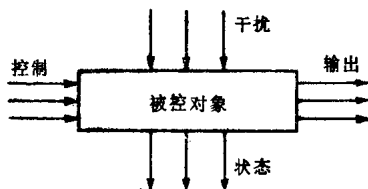
华南工学院

1.1 计算机控制系统的特点及其组成

数字计算机在自动控制中的应用,为控制系统在结构上和功能上带来了根本性的变革。1959年第一次用过程控制计算机来记录数据和监视过程。1962年首先在化工过程和电力系统中使用了在线的闭环直接数字过程计算机。目前已迅速成为自动控制的重要工具。由于数字计算机具有存贮大量数据,进行处理,并根据所得结果作出合理判断的能力,因而能与生产发展对自动化技术日益提高的要求相适应,从而构成种类繁多的计算机控制系统。

在控制系统中,计算机可以用来完成数据收集与处理、顺序控制与数值控制、直接数字控制(反馈和/或前馈控制)、监督控制,最优或适应控制,自动管理与调度等项任务。

在一个控制系统中,作用和产生于被控对象中的变量如图 1.1 那样被分成四类:



(1) 干扰变量。他们作用于被控对象上,并影响到过程的操作,但不受控制系统的调节。

(2) 控制变量。其值由控制装置(模拟或数字的)来调节。

(3) 输出变量。它的值实际上被用来测量被控对象的性能。通常的控制问题就是调节控制变量,使得输出变量在干扰作用下保持它的目标值或者按照某种规律变化。

(4) 状态变量。这些量出现于过程内部,他们表述过程的动态特性,常常被有效地加以利用来确定必须采取的控制作用。

很明显,对一个对象进行控制并非是一件简单的工作,以图 1.2 的常规控制系统为例,输出变量的值是从一个传感器获取的,由这个值与给定值相比较而产生出一个偏差。它作用于控制器使控制变量按某种方式变化来消除这个偏差,由一个执行机构将控制作

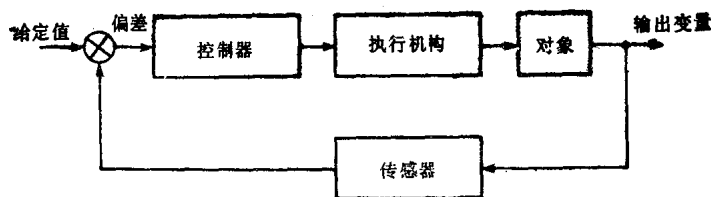


图 1.2 常规控制系统

用施于被控对象。

由模拟硬件构成的控制系统，其主要缺陷是缺乏灵活性。因为控制方案必须由模拟硬件去完成，而且控制功能必须与硬件一一对应，改变控制方案就要更换模拟硬件。

计算机控制系统把计算技术与自动控制相结合，这种系统与由模拟硬件构成的系统相比较，具有下列几个显著的特点：

(1) 程序控制。任何一种控制规律的实现，都可以程序化，而控制规律的改变，只不过是程序的改变而已。

(2) 数字控制。出入于数字计算机的信息，都是离散的数字信息，这种信息在时间上和数值上都是离散的。但是，由于过程的控制变量与状态变量以及输出变量往往是连续的，因而在计算机控制系统中将出现信号的采样、量化、保持等变换过程。

(3) 实时控制。计算机的计算过程要与控制过程相适应，即计算过程要与外部世界的时间相协调，因此计算机一般都配有实时时钟。计算机必须在一个采样周期内完成一个控制步的计算量，而下一个控制步的计算必须在下一个采样周期内去完成。表现在控制程序上是递推的差分方程。

(4) 综合控制。计算机是控制系统的中心，可以充分发挥它的软件功能与分时本领，以实现多变量、多回路、多对象、多工况、变参数和自适应的综合控制。

图 1.3 为一个典型的闭环实时计算机控制系统的原理图。

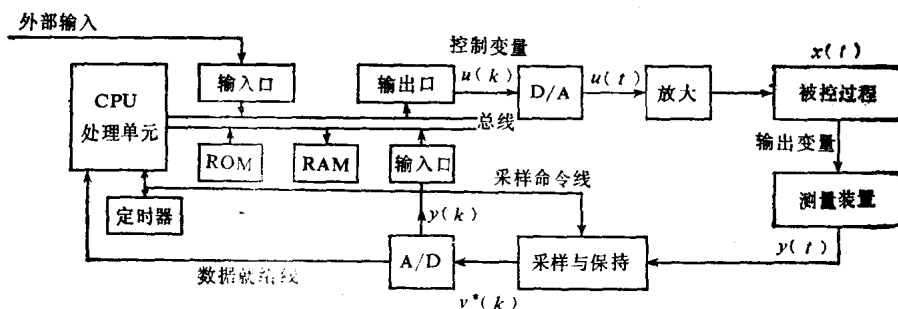


图 1.3 计算机控制系统

表征过程的状态变量 $x(t)$ 经过测量装置测出其可直接获取的部分——输出变量 $y(t)$ 。它通常是连续的模拟量，经过一个多路采样器，变为离散的模拟量 $y^*(k)$ ，再由模数转换器 A/D，进行编码，于是信号又变为离散的数字量 $y(k)$ (量化)。该信息进入数字计算机，并按照某种控制算法进行计算，得出所需要的控制变量 $u(k)$ 。再经数模转换器 D/A 和执行机构，最后又变成连续的模拟信号(保持)施于被控过程。这样就构成了

一个闭环的计算机控制系统。

图 1.4 表示一个过程控制计算机的典型配置。它由主机、人机联系设备、过程输入输出设备组成。人机联系设备、过程输入输出设备与外存贮器统称外围设备,它们通过接口连入 I/O 总线。

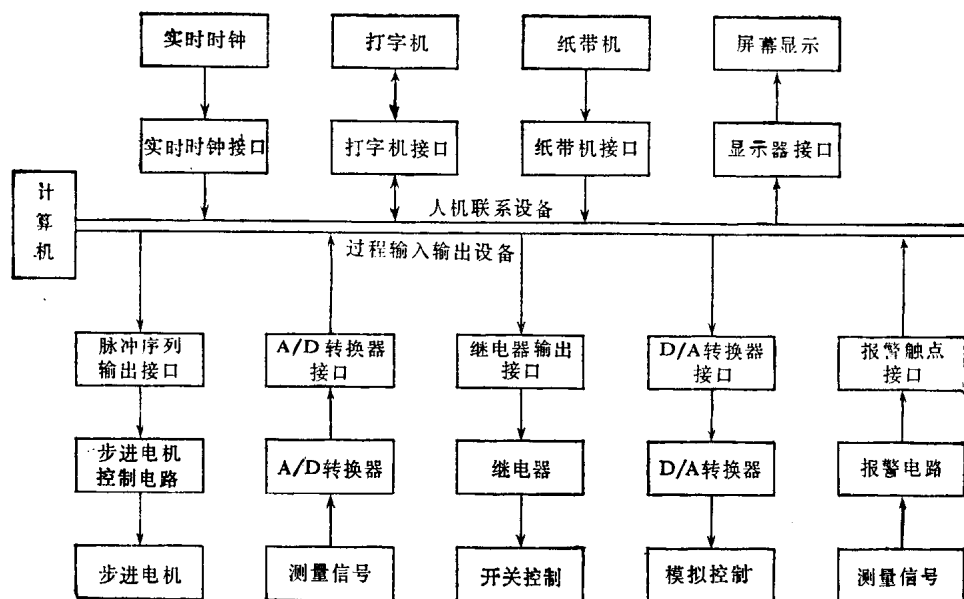


图 1.4 过程控制计算机的典型配置

1.2 计算机控制系统的分类

计算机控制系统大致可分为如下几类：

1. 数据采集

计算机只起数据采集与处理的作用,它不参加对过程的控制。例如,数据记录仪只是在规定的的时间间隔去记录过程的变量,并进行数据处理。

2. 直接数字控制 (DDC)

在直接数字控制中,计算机根据设定值、输出变量和过程中其他变量去计算控制变量的值。计算机的判断直接应用于过程,故名为直接数字控制。

一个典型的控制算法就是将连续比例-积分-微分控制器的方程变为等效的离散方程

$$u(k) = K_c e(k) + \frac{K_c T}{T_i} \sum_{i=1}^k e(i) + \frac{T_d K_c}{T} (e(k) - e(k-1)) + u_R \quad (1.1)$$

式中, $u(k)$ 为第 k 个采样时刻的控制变量值; $e(k)$ 为第 k 个采样时刻的偏差值; T 为采样周期; K_c , T_i , T_d 分别为控制器的增益,积分时间常数,微分时间常数。

需要指出的是,用等效的离散控制算法简单地代替一个常规的模拟控制器是不可能

明显地提高系统的控制质量的, 计算机的潜力并没有得到充分地发挥。随着自动控制理论与计算机科学的发展, 在直接数字控制的基础上又出现了一些改进的计算机控制系统, 引入了一些新的控制算法及其辅助算法。例如前馈控制、串级控制、解耦控制、自校正控制、最优控制、模型参考适应控制以及附加的最优线性递推滤波。系统在线辨识算法等等。从控制系统的体系上也出现了监督控制、多级控制、分散控制等计算机控制系统。

3. 监督计算机控制 (SCC)

监督控制的概念, 通常是指对象的直接控制系统(模拟的或数字的)担负第一级的控制职能, 而监督计算机只是对它规定适当的操作命令, 使之能在最优的程度上达到所要求的目标。监督计算机根据生产过程的现状, 外部条件的变化, 计算出过程的最优操作条件, 并自动地对下一级进行工作点的整定。

4. 多级控制

将监督控制推广到更高一级, 这就给出了分层控制的概念。这时最低一级是控制单一设备或几个设备的 DDC 计算机, 较高一级就是监督计算机, 它可以管理几个 DDC 系统组成的一个复杂生产过程, 例如由温度、压力、流量、液位等控制系统组成的一个蒸馏塔控制; 更高一级就是同时管理几个工艺流程的计算机, 它负责使整个流程取得最大的收益; 最高一级是多信息处理机, 它可对整个企业的运行状况进行分析, 并作出最优决策。它也经常从管理人员方面接受其他决策, 并将其传递下去。

5. 分散式计算机控制系统

由于微型计算机的出现, 使控制系统的结构布局发生了深刻的变化, 过去用常规过程控制计算机总是力求使它处理尽可能多的程序, 以充分利用计算机的容量, 实现集中控制, 形成高度的集中化。其结果是复杂程度和价格随着任务的增加而日趋提高, 布线费用增大, 发生故障时影响也大。分散式计算机控制, 是把各项任务指定给不同的微型计算机。例如, 用一台微型计算机控制一个或几个回路, 由几台分散的微型计算机分别控制不同的过程。对于更高级的任务, 例如系统最优化, 可用一台上位计算机来完成。例如, 有一种 TDC-2000 集散型计算机控制系统。它的基本调节器能处理八个回路, 采用 1~5V 直流输入, 4~20mA 直流输出的标准信号制。在调节器内, 有 28 种标准控制算法和适用各种用途的 8 种附加算法。为满足用户的非标准要求, 可装有 4K 的 EPROM。数字调节器备有插卡与数据高速通道连接。带有智能的 CRT 控制台与上位计算机相结合, 构成中央操作系统, 数据高速通道采用同轴电缆, 其传输速度为 250 千位/s, 最远传输距离为 3km。

1.3 计算机控制系统的硬件与软件

这里所说的硬件与软件是指控制计算机的硬件与软件。

由主机、外围设备构成了控制机的硬件, 而作为软件的程序则分为系统软件与应用软件两类。下面, 简要地论述一下那些在过程控制中配置在控制计算机的硬件与软件, 指出

他们的特点与功能的关系,并为设计计算机控制系统提供一定的依据。需要指出,尽管在结构分类上看,有些部分是属于局部的问题,但由于它的重要性,我们还是把重点放在与过程控制密切相关的部分,并将其专门列出,与那些包含着它的部分并列起来加以讨论。

1. 中央处理机 (CPU)

中央处理机是计算机的心脏,如图 1.5 所示。
它的主要功能是:

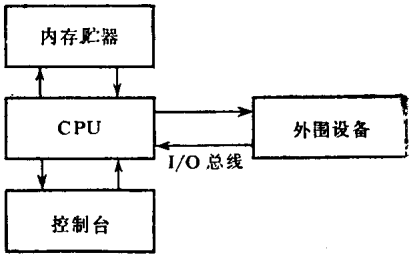


图 1.5 中央处理机

- (1) 通过指令地址寄存器,跟踪指示指令序列的当前位置。
- (2) 由内存贮器取出指令,加以执行,并按执行结果决定接着执行哪一条指令。
- (3) 负责内存贮器与外围设备之间的数据传输。在一些较复杂的计算机中,可由“数据通道”把输入输出设备与内存贮器连接起来,CPU 只对这些传输发出指令。

自 1971 年以来,出现了一代崭新的计算机——微型计算机,它以由大规模集成电路制成的中央处理机——微处理器为核心,配以半导体存储器和各种小型外部设备,用于数据处理和过程控制。从原理上讲,微型计算机当然不是什么新东西,但它却有着与一般的过程控制计算机不同的特点。最主要的区别是:价格相当便宜;处理范围小,可将微型计算机用于小范围控制,亦可将多台微型机组成多处理机系统;标准组件结构,可对不同用户组成专用硬件;字长短,在需要多字处理时,计算时间一般比常规过程控制机要长。目前,适用于过程控制的微处理器有以下几种:

- (1) 8 位并行微处理器。其基本指令执行时间约 $1.3 \sim 2 \mu s$ 。为了提高运算精度,往往采用多字节运算。它主要用于工业过程自动控制、智能数据终端、数据通信和可编程仪表中,其典型产品有: INTEL-8080, M-6800, PPS-8, Z-80 等。
- (2) 16 位并行微处理器。其基本指令执行时间约 $0.5 \sim 5 \mu s$,且软件能力强,其功能已达到小型机的水平。典型产品有: INTEL-8086, M-68000, Z-8000 等。
- (3) 位片式微处理器。目前有 2 位和 4 位的处理器位片,基本指令执行时间仅为 $0.11 \sim 0.53 \mu s$ 。可由多块位片并联起来构成不同字长的微处理器,灵活性很大而且速度很高。

此外,还有在一片芯片上既包括了计算机的中央处理器,也包括一定容量的存储器和

表 1.1

算术操作	执 行 时 间 (μs)					
	8 位 NMOS		16 位 NMOS		16 位 CMOS/SOS	16 位双极型
	8048	Z-80	9900	LSI-11	ATMAC	ATAC
加法	2.5	1.0	4.66	3.5	0.28	0.25
乘法	190	91	17.3	44	11.5	5.5
除法	360	113	36	78	18.6	11.2
延时	5	2	9.33	7	0.7	0.5

输入输出接口的单片式微型计算机。

控制机的计算速度，要与整个计算机控制系统的动态性能要求相适应。由于实时控制的特点，应满足在一个计算循环中执行所有指令所用的时间总和小于采样周期。关于采样周期的选择，将在下一章中讨论。

表 1.1 给出了几种微型计算机算术操作的执行时间。

表中所列的执行时间是指在最大 CPU 时钟频率下，采用定点寄存器操作和基本字长的执行时间。其中乘、除运算是子程序的平均执行时间。

计算机的字长取决于系统动态和静态精度的要求，一般为 8~32 位。在计算中往往只有少部分运算要求较高的精度，大部分运算只要求一般的精度。对字长为 8 位的微型计算机在高精度运算时需要双字长甚至四倍字长的运算。

为了完成各种操作，中央处理机内设有若干个寄存器，目前趋向于采用通用寄存器，这有助于程序设计人员编制出更有效的程序，并缩短机器的执行时间。例如：NOVA 计算机有 4 个通用寄存器，PDP-11 有 8~16 个，Z-80 有两组通用寄存器：6 个主寄存器及 6 个辅助寄存器，可交换寄存器组的内容

$$\text{EXX}; \quad \begin{bmatrix} B, C \\ D, E \\ H, L \end{bmatrix} \leftrightarrow \begin{bmatrix} B', C' \\ D', E' \\ H', L' \end{bmatrix}$$

使一些操作在 CPU 内快速完成，从而减少了 CPU 与内存打交道的次数。以处理中断为例，8080 响应中断时，需将 CPU 寄存器的内容逐个字的推入堆栈，中断结束后，又要把堆栈中的有关数据一个个地弹到 CPU 中，而 Z-80 在处理单级中断时，只要交换两组寄存器的内容就行了，它的辅助寄存器能暂存 2~8 个字节数据，因此有人把它看作 CPU 内部的堆栈。

在中央处理机的控制线路设计中，已由组合逻辑控制发展到微程序控制。使用微程序控制，不但使机器的设计与修改容易，而且便于机器性能的扩充，甚至能模仿其他机器的性能。在软、硬件结合实现机器的宏指令以及故障检测与诊断等方面，更有其独到之处。它利用普通程序设计思想，把每一条机器指令执行的过程分解成一些基本的微操作，而指示执行这些操作的命令称作微指令，每条微指令均以二进制代码形式存放在只读存储器内，该只读存储器称为控制存储器。把微指令按一定的次序设计成微程序，则机器执行一条指令的过程，实际上就是执行相应的微程序过程。

2. 存贮

存贮可采用磁芯型存贮器和半导体存贮器。微型计算机所用的半导体存贮器主要有两种：随机存取存贮器 (RAM) 和只读存贮器 (ROM)。RAM 分为静态和动态两种。静态 RAM 是靠双稳态电路来存贮信息，多用于小容量存贮器中，动态 RAM，其信息是靠 MOS 管的栅极电容上的电荷保存的。电容上的电荷大约只能保持若干 ms。因此，为了维持存贮的信息，每隔 1 或 2ms 就必须对动态 RAM 刷新一次，动态 RAM 要比静态 RAM 的存贮密度高，价格也比较便宜，故适用于中等容量和大容量的存贮器。

半导体 RAM 和磁芯 RAM 相比较，有一个很大的问题是信息的挥发性，即当外部电源停电时，半导体 RAM 的信息在几个毫秒以后就消失了，这在某些场合下是不允许

的。在磁芯存储器中, 存储信息依赖于剩磁极性, 只要没有驱动电流, 剩磁是不会消失的。因此在停电以后, 信息仍然能够保持。

在控制机中, 广泛使用只读存储器 (ROM), 在该器件内信息是以永久的形式存入的。一些标准算法, 通用子程序都可以通过只读存储器来提供。在微型计算机中, 由于 EPROM (可擦可编程只读存储器) 的出现, 可使用户自行编制程序, 并用编程设备存入 EPROM 内。

3. 外围设备

属于外围设备的有键盘、数码显示器、屏幕显示器、纸带输入机、电传打字机、行式打印机、控制台(统称人-机联系设备); 磁带、磁鼓、磁盘(统称外存储器)、过程输入输出通道等。下面, 将对与过程控制紧密相关的过程输入输出通道单独加以讨论, 并介绍过程通道的接口。

4. 过程通道

过程通道是控制机与被控对象交换信息的重要部分, 它可分为输入与输出两大部件。这里主要是指模拟量输入输出通道, 如图 1.6 所示。现将输入通道中每一器件的功能简

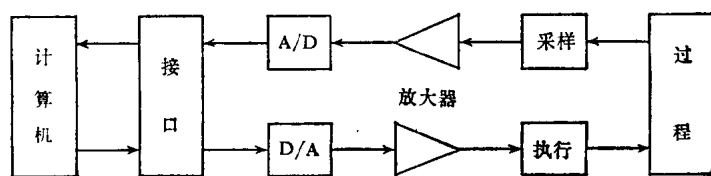


图 1.6 过程通道

述如下:

(1) 多路采样器。它实际上是一个多点开关, 利用它把已变成统一电压信号的输出变量按程序的要求(顺序扫描或任意扫描)接入放大器的输入端。开关电路可以采用场效应晶体管, 其转换速度可达 10000 点/秒。对于低电平信号, 可采用干簧或湿簧继电器, 转换速度约为 200 点/秒。

(2) 放大器。放大器的功能是将信号加以放大, 使之与 A/D 转换器的电平相一致。对放大器的要求是很高的, 如高共模抑制比、宽频带、高精度及高稳定度、高输入阻抗及低输出阻抗、低噪声等等。

(3) A/D 转换器。用它将模拟信号转换为数字信号, 它一般分为逐次逼近式及积分式两种。前者的转换速度较高, 但抗干扰能力较差, 而后者则刚好相反。A/D 转换器的分辨能力与位数 n 的关系由下式给出

$$\text{分辨率} = \frac{1}{2^n - 1} \quad (1.2)$$

例如, 当 $n = 11$ 时, 可以得到 0.05% 的分辨率。

除了模拟输入通道外, 对于来自过程的数字代码、脉冲量、开关量等, 可通过专门的数字通道送入主机。

输出通道为被控过程输出数据,通常采用下列三种方法:

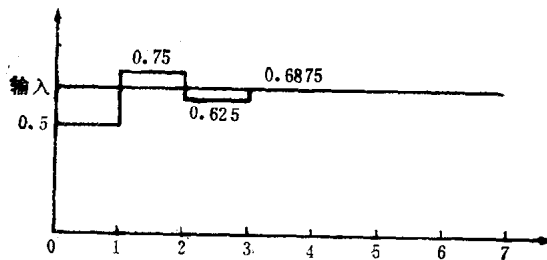
(1) 用 D/A 转换器把一个数字量转换为一个模拟量。

(2) 用脉冲发生器产生由计算机规定数目的脉冲,脉冲发生器的输出通常用来驱动步进电机。

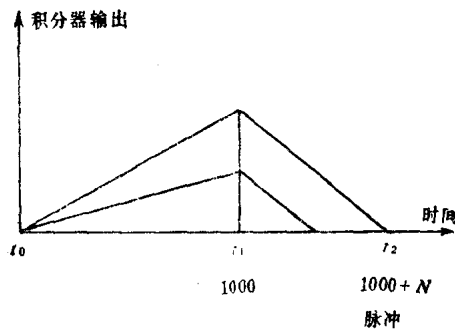
(3) 输出开关量,用以作为对外电路接通或断开的控制信号。

在使用微型计算机的系统中, A/D 与 D/A 通常由大规模集成电路制成。

图 1.7(a) 及 1.7(b) 分别表示对一个输入电压的逐次逼近过程和积分过程。



(a) 逐次逼近过程



(b) 积分过程

图 1.7

对于逐次逼近过程,可用 D/A 转换器的输出与模拟输入信号从最高位开始进行比较,如果输入信号电压大于 D/A 的输出,就将该位保留;反之,即去掉该位,并转入下一位的比较,直至最末位为止。

对于积分过程,在 t_0 时刻(转换开始)发出启动脉冲,将输入信号接入积分器,作正向积分;在 t_1 时刻发出复位脉冲,将一恒定参考电压接入积分器,作反向积分。当积分器输出电压为零时,发出检零脉冲,并将 $t_1 \sim t_2$ 时刻的计数脉冲数目读出。由于积分器正向积分的速率与输入电压成正比,而反向积分速率为一常数,故时间间隔 $t_2 \sim t_1$ 将与输入电压的大小成比例,即这段时间间隔的脉冲数目与输入电压的大小成比例。

控制机除备有过程通道外,还常备有直接数据通道(DMA)。过程通道的转换都是 CPU 以指令控制的,所以很慢,并占用 CPU 机时,DMA 使外部设备不通过 CPU 而对内存之间直接交换数据,速度很快,可达 50~200 万字/s。

5. D/A 与 A/D 转换器的接口

I/O 接口是计算机与外部设备进行信息交换的桥梁。接口电路一般包括地址译码、读/写信号、数据寄存、中断产生等。下面介绍由大规模集成电路制成的一种 AD7533 实

现 A/D 转换的方法，以便从中掌握其接口电路及编程技术，从而对过程通道的接口有更具体的了解。这里使用了 Z-80 汇编语言，并采用了可编程并行输入输出接口芯片 PIO，关于这方面的更详尽的介绍，读者可阅读有关微型计算机的书和厂家的技术手册。

图 1.8 是使用 AD7533 实现 A/D 转换的电路。流程图见图 1.9。

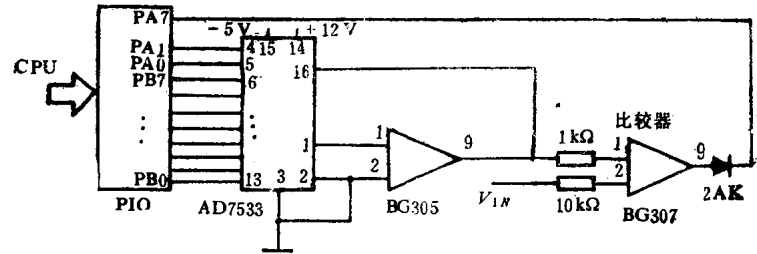


图 1.8 A/D 转换器

入口：输入 0~5 V 模拟电压 V_{IN}

出口：对应输入模拟电压的数字量，

高位存入 2381H 单元，低位存入

2380H 单元

使用寄存器：A, B, C, D, E, H, L

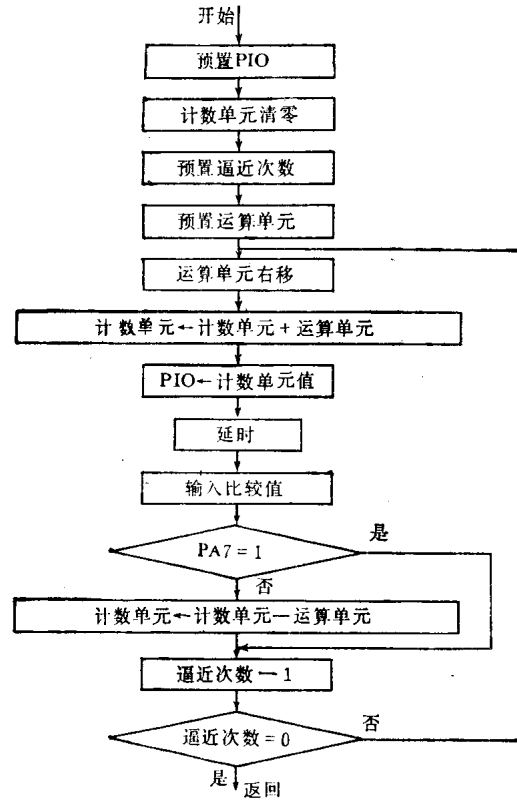


图 1.9 A/D 转换流程图

程序

```
NUMB1:    EQU    2380H           ; 计算单元首址
NUMB2:    EQU    2384H           ; 运算单元首址
```

```

LENG1:    EQU    10                ; D/A 位数
LENG2:    EQU    0400H            ; 运算单元初值
LENG3:    EQU    2                ; 计数单元字节数
PIOCRA:    EQU    82H             ; PIOA 控制地址
PIOCRB:    EQU    83H             ; PIOB 控制地址
PIODRA:    EQU    80H             ; PIOA 数据地址
PIODRB:    EQU    81H             ; PIOB 数据地址

        ORG    2300H

SUCADC:    LD      A, 0FH          ; PIOB 为输出
        OUT    (PIOCRB), A
        LD      A, 0CFH          ; PIOA 为位控
        OUT    (PIOCRA), A
        LD      A, 80H           ; PA7 为输入,余为输出
        OUT    (PIOCRA), A
        LD      B, LENG3         ; 计数单元清零
        LD      HL, NUMB1
LOOP1:     LD      (HL), 0
        INC     HL                ;
        DJNZ    LOOP1
        LD      A, LENG1         ; 置逼近次数
        LD      HL, LENG2       ; 置运算单元
        LD      (NUMB2), HL
LOOP6:     EX      AF, AF'
        LD      HL, NUMB2 + 1    ; 运算单元右移
        SRL     (HL)
        DEC     HL
        RR      (HL)
        LD      B, LENG3        ; 计算单元 = 计算单元
                                   + 运算单元
        LD      HL, NUMB2
        LD      DE, NUMB1
LOOP2:     LD      A, (DE)
        ADD     A, (HL)
        LD      (DE), A
        INC     DE
        INC     HL
        DJNZ    LOOP2
        LD      C, PIODRB + 1    ; 输出计数单元值
        LD      HL, NUMB1        ;

```

```

LD      B, LENG3
LOOP3:  DEC      C
        OUTI
        JR      NZ, LOOP3
        NOP
        NOP      ; 延时 10 $\mu$ s
        NOP
        IN      A, (PIODRA) ; 检测比较值
        BIT     7, A
        JR      NZ, LOOP4 ; 判断
        LD      B, LENG3 ; 计数单元 = 计数单元
                                - 运算单元
        LD      HL, NUMB2
        LD      DE, NUMB1
LOOP5:  LD      A, (DE)
        SUB     (HL)
        LD      (DE), A
        INC     DE
        INC     HL
        DJNZ    LOOP5
LOOP4:  EX      AF, AF' ;
        DEC     A ; 逼近次数减 1
        JR      NZ, LOOP6
        RET
        END     SUCADC

```

程序中用 NOP 指令组成一段延时程序,该延时时间应等于 D/A 转换器输出电流稳定时间与比较器的响应时间之和。

6. I/O 控制方式

输入输出设备与计算机交换数据时,可以采用三种方式:

(1) 程序查询式。这种控制方式可用图 1.10 表示。

程序首先去检查 I/O 设备的状态,看它是否准备就绪。如果未准备好,就进入等待循环;如果已准备好,就执行数据交换。当有多个 I/O 设备时,可采用逐个查询的方法。对于这种方式,虽然从硬件上来看比较简单,但当程序进入等待循环时,将浪费掉 CPU 的很多机时。

(2) 中断控制方式。为了克服程序查询的缺点,可采用中断控制方式,即 I/O 准备就绪时才请求 CPU 暂停现行工作,来为自己服务。服务完毕返回主程序继续原来的工

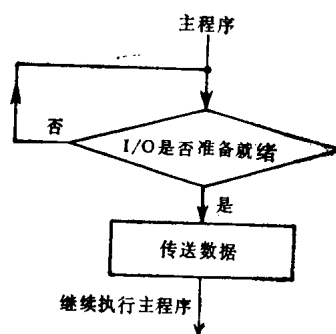


图 1.10 程序查询流程图