

小型微型 计算机 过程通道 子系统

贺健华 编著

上海交通大学出版社

TP37
4

小型/微型计算机 过程通道子系统

贺健华 编著

上海交通大学出版社

内 容 简 介

小型/微型计算机过程通道子系统,是工业控制计算机的主要组成部分,是连接计算机与控制对象的必不可少的纽带。本书从工业控制的角度介绍了与其相关的应用技术。内容包括:工业控制机的组成及其硬、软件的技术特征与要求;过程通道子系统中的放大器、传感器的设计;采样、数/模、模/数转换技术;过程通道子系统的原理、结构设计类型与特点,系统的总线接口与控制逻辑;应用系统举例等。

本书可作大专院校计算机应用、自动控制、数据检测、智能仪表等专业师生的教学用书,亦可供有关技术人员阅读参考。

7976/10

小型/微型计算机 过程通道子系统

出版:上海交通大学出版社

(淮海中路1984弄19号)

发行:新华书店上海发行所

印刷:江苏常熟文化印刷厂

开本:787×1092(毫米)1/16

印张:17.5

字数:433000

版次:1989年4月 第1版

印次:1989年5月 第1次

印数:1—2100

科目:188-244

ISBN 7-313-00378-1/TP·39

定价:3.45元

前 言

在工程技术领域中,控制和测量技术的应用,对于节省能源、提高产品质量和改善生产环境均有着重要的作用。前些年,早期工业控制机及其外围通道价格昂贵,加上技术上存在的问题,因此在实际应用领域没有取得重大的进展。微电子技术的迅速发展,从根本上改变了这种局面。各种高性能的模拟与数字集成器件的商品化、系列化,促使微型机普遍应用于数据采集与过程控制,提高了经济效益,预计这种趋势将持续下去。这一应用过程,使得模拟 $\longleftrightarrow$ 数字转换接口子系统成为计算机-控制对象间的纽带,是工业控制机系统的主要组成部分。因此它已引起计算机应用者和设计者的重视。

本书从工业控制系统的角度专门讨论计算机信号变换与模拟过程通道有关应用技术问题。在数字控制系统中,数字与模拟电路之间的分界线是A/D、D/A转换器。然而目前存在着这种情况,计算机专业人员有较好的数字电路及软件基础,但对实现生产控制及检测对象的物理过程所产生的模拟信号却不熟悉。而控制、仪表等专业的技术人员,虽然比较熟悉模拟电路和工艺流程系统以及模拟前端信号处理技术,却又缺乏模拟-数字所涉及的计算机硬、软件接口技术。作者希望本书的内容能弥补可能存在于上述两类技术人员中的上述知识不足的情况。

本书章节是根据实际系统数据处理流程的顺序加以编排的,并尽量做到在讨论工程应用的同时,提供分析问题的理论依据。本书的主要内容可归纳为四大部分:

(一) 首先阐明工业控制机的组成及其硬、软件的技术特征与要求。通过整机介绍,使读者了解它与通用计算机的区别,认识到过程通道子系统所起的纽带作用。

(二) 其次从提高系统控制与检测精度的观点出发,论述了改善一次信号质量的最佳传感器——计算机前端接口设计的考虑。这一部分似乎与本书题目关联不大,但从系统工程观点看,它是计算机控制的原始输入信息,其质量的优劣将影响整个系统的信息处理质量。

(三) 较详细地介绍组成过程通道各单元电路的原理,工程设计有关的技术考虑,以及影响精度、速度的潜在因素。它们是构成模拟I/O过程通道的核心部件。如采样输入MUX、S/H电路,A/D、D/A转换器等电路。这部分与常规的同类专著论述有所不同,作者是从系统观点和实际应用设计角度来进行分析的。因此,对各单元电路在与主机的逻辑接口处理、软件约定、时序控制和前后电路的级联、信号传输的有机匹配等方面都进行了分析。其中有些电路实例,是作者的科研成果或实验结果,已在实际中得到应用。作者希望它对实际设计和应用人员能有所帮助。这些单元电路的性能,对模拟I/O子系统的精度、速度的影响是至关重要的。必须明确指出,模拟接口的精度几乎决定了整个系统的精度,即使采用的是高性能的计算机,也无法补偿通道中造成的信号精度损失。这是每个专业人员必须了解的事实,也是数字控制系统存在的特有矛盾。

(四) 最后介绍本书的核心——小型/微型计算机过程通道子系统的原理、结构设计类型及特点,以及总线接口与控制逻辑。在子系统的动态运行中,时序控制对于获得最佳转

换效果极为重要。遗憾的是它常常被粗心的设计人员所忽略。在这一部分内容中,编者介绍了近年来科研教学的心得体会,文中参阅了大量的国内外系统设计与应用论文资料,并对国外享有声望的模拟子系统的生产公司(如 BURB-BROW, DEC, Analog Device, Data Translation 等公司)的各类系统设计结构进行了剖析、比较。为了便于读者了解一个完整的具体系统,最后用一章的篇幅介绍较典型的工业控制机PDP-11系统通道,作为总结归纳本书各部分电路原理的系统综合实例。

本书的部分内容,编者曾用作计算机应用专业研究生、本科生的教材。考虑到微机应用的普及,为了及时反映当前迅速发展的技术水平,以满足从事应用专业人员的实际需要,本书补充了较多的已经商品化的新技术,目的是为从事应用的读者提供解决实际问题的线索与理论依据,使读者掌握正确设计、选购和评价一个子系统所必须的知识,并了解当前子系统产品标准化、系列化的发展方向。同时还希望读者注意这样一个事实:本书的分析、论述,最终目的都是为保证整机系统的精度和速度两大特性指标,因此,在系统设计中,不仅要顾及主要指标,而且要兼顾另一个指标。

本书是专为从事计算机应用、自动控制、数据检测、智能仪表等领域的应用人员及大学生撰写的,也可供其他领域工作的专业人员参考。

在整个撰写过程中,得到了我的同事们的支持与帮助,在此表示感谢。特别还要感谢我的学生,他们在解剖 PDP11 系统中给予我不少帮助。本书还承蒙上海交通大学的朱仲英、张华宋副教授审阅,提出不少宝贵的意见,特此致谢。

编 者

1988年10月于合肥

目 录

第一章 工业控制计算机系统

§1.1 现代数字控制系统发展概况	1
§1.2 控制计算机系统硬件的特点	6
§1.3 控制用计算机的软件系统	14
§1.4 控制用计算机的数据通信	22

第二章 过程通道中的放大器

§2.1 概况	25
§2.2 仪用放大器及其特性指标	28
§2.3 增益可编程的数据放大器	34
§2.4 隔离放大器	39
§2.5 传感器-计算机最佳接口设计	44

第三章 采样定理与采样技术

§3.1 采样系统的基本概念	55
§3.2 采样定理与采样过程	56
§3.3 量化与量化效应	61
§3.4 采样开关及特性参数	65
§3.5 采样装置的接入方式	72
§3.6 采样装置电路结构设计	75
§3.7 采样装置的逻辑控制电路	80
§3.8 采样子通道的扩展设计及实例分析	83
§3.9 采样保持装置	89
§3.10 采样/保持电路的特征参数与误差源分析	93
§3.11 采样/保持电路在工程应用中的考虑	96

第四章 数字/模拟转换技术

§4.1 数据转换的基础知识	98
§4.2 数/模转换电路的工作原理	104
§4.3 双极性编码D/A转换器	110
§4.4 D/A转换器的接口技术	115
§4.5 D/A转换器的特性参数	120

第五章 模拟/数字转换技术

§5.1	概述	123
§5.2	跟踪型 A/D 转换器	127
§5.3	逐次比较型 A/D 转换技术	129
§5.4	联机系统中最佳转换的逻辑设计	137
§5.5	双斜积分型 A/D 转换器	141
§5.6	新颖的三斜积分型 A/D 转换技术	145
§5.7	高速度 A/D 转换实例简介	148
§5.8	A/D 转换器在实际应用中的接口	150
§5.9	A/D 转换器的精度和误差补偿技术	157

第六章 模拟输入过程通道子系统

§6.1	概述	163
§6.2	数据采集单元的基本结构类型	164
§6.3	模拟输入子系统设计的基本考虑	167
§6.4	数据转换的定时控制	172
§6.5	模入子系统的逻辑控制与总线接口	174
§6.6	模拟子系统软件技术	183
§6.7	通用混合技术数据采集组件介绍	185
§6.8	微机模拟输入子系统实例分析	195
§6.9	小型机模入子系统实例分析	206

第七章 模拟输出过程通道子系统

§7.1	模拟信号输出的恢复	212
§7.2	模拟输出子系统原理结构类型	213
§7.3	模拟输出子系统的控制逻辑与接口	220
§7.4	标准过程信号转换接口电路	222
§7.5	模拟输出子系统实例分析	224
§7.6	模拟输出系统的误差补偿	228

第八章 PDP-11 系列机过程通道子系统

§8.1	PDP-11 控制系列机综述	231
§8.2	ADV11-A 模入子系统输入电路分析	232
§8.3	ADV11-A 数据转换电路设计	238
§8.4	ADV11-A 的总线接口与控制逻辑	245
§8.5	AAV11-A 模出子系统	251

§8.6 数据转换的 DMA 传输.....	254
§8.7 PDP-11 系统模拟信号的软件处理.....	255
§8.8 LSI11-23 实时软件与编程实例	261

第一章 工业控制计算机系统

§1.1 现代数字控制系统发展概况

随着计算机硬、软件的发展,数字计算机以多种方式应用于工业过程的各个领域。高性能微机的出现,由于它特有的性能/价格比,比小型机具有更大的优势,从而为新型的数字控制系统的研制、开发和应用开拓了新的领域。使用微机控制系统代替小型机,已成为发展方向。微机在各类应用中的地位及发展趋势如图 1-1。

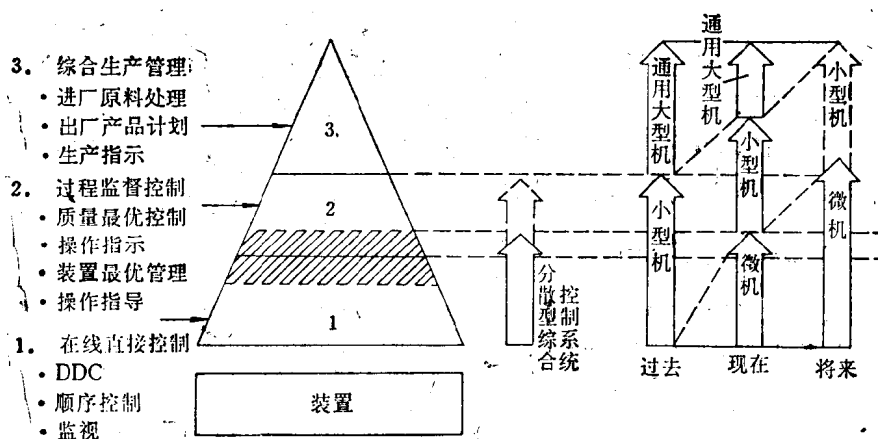


图 1-1 微型计算机系统在应用中的发展趋势

一、数字控制系统概述

计算机用于生产过程的控制、监视,是属于实时控制范畴,根据计算机输出结果对生产过程的影响,常分为如下两种类型的控制系统:

1. 开环检测、监视系统

这是一个只从环境中实时采集数据,而不需实时输出数据的系统。由于系统不直接参与生产过程控制,因此对计算机没有特别的技术要求,常用于监测、预防事故的发生,并指导生产。系统结构的框图如图 1-2。

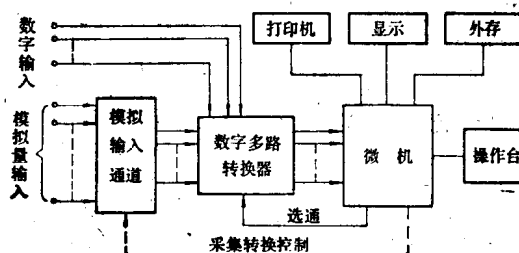


图 1-2 数据检测系统

在电力、化工等大型连续生产过程中,开环检测、监视系统常用于监视、检查系统运行异常情况,预防恶性事故的发生。操作人员在系统运行过程中可以利用计算机处理数据,获得各种有用的信息。最典型的系统实例是电力系统运行中“可靠度控制”(security control)。由于电力系统规模大,系统复杂,仅用人的判断很难做到迅速恰当地控制恶性事故的发生,目前国内外已广泛借助计算机进行电力系统可靠度的控制,它通过检查输入的过程变量是否超过上、下限值来进行报警。通过分析过程的动态特性,将预测到的危险趋势通过 ORT 提醒操作人员作出必要的校正操作。当然,效果将取决于算法判断的智能性。编制软件要了解监控对象特性,建立各种相关参数组,对异常现象进行判断、跟踪、确认,然后以最快的速度诊断出故障,记录发生的时间、物理位置。显然,这并非是容易实现的。

2. 闭环控制系统

在这类系统中,计算机除实时采集数据外,还要将决策的信息反馈到过程,进行过程对象参数的控制。这时,计算机是大系统中的一个环节,机器的硬、软件直接影响过程。考虑到现场环境的影响,用来描述过程特性的数学模型以及实现优化控制的各种算法,应符合工业控制计算机系统的技术要求。直接数字控制系统 DDC(Direct Digital Control) 是这类系统的典型应用实例。由于计算机输出的结果直接驱动执行机构改变过程参数,所以计算机系统的实时性、可靠性、耐环境等特性,应该予以保证。

二 数字控制系统的发展

过程控制系统经历了机械式的 PI 调节、气动调节仪表、电动单元组合仪表等发展过程,由于它们稳定可靠,故使模拟仪表控制系统至今仍在过程控制领域中占据重要的地位。

随着现代生产过程的大规模化、复杂化、分散化,因而要求处理和交换大量的数据并使用新型的控制方法。以前由于经济上的原因,计算机控制大多采用集中型控制系统,因此对主机可靠性要求很高,一旦主机发生故障,影响范围较大。微机的发展为危险分散创造了经济上的条件,随着计算机数据通讯和显示技术的发展,以及现代控制理论的不完善,各自动化仪表生产公司及计算机公司着手研制出以计算机(Computer)、控制(Control)、显示(ORT)、通信(Communication)为主体的 4C 技术,开发了以微机为基础的新型数字仪表控制系统,经过多年的实际应用,早期开发的系统不断完善,使新型的系统更适应于现场操作与控制。无论是从技术的先进性,还是从取得的经济效益,均显示出它的生命力。近年来各公司不仅开发了适用于中、大规模生产过程的分散型综合控制系统,还开发了多种普及型数字仪表,适用于较小规模生产过程及操作人员所熟悉的仪表盘式数字调节器。以微机为基础的数字控制系统,从结构上可归纳为两类:一种是以计算机形式出现的由少数回路(16-32 路)构成的微处理器小系统或以多级分散型综合控制的大型系统;另一种则是由外表为仪表盘形式的多个数字单回路调节器构成的系统。不同形式的数字控制系统的出现,促进了自动化控制仪表的更新换代,提高了功能和灵活性。

1. 以计算机形式应用的数字控制系统

(1) 分散型综合控制系统

这种新型的微机仪表控制系统,将 4C 技术和模拟技术融合在一起,以弥补迄今为止的模拟仪表控制和集中型计算机控制的不足。集中控制所带来的问题,是系统的复杂性使可靠性降低,系统异常的影响范围大,可扩性差。分散控制解决了这些问题。其特点是数据/资

表 1-1 日本各制造厂应用微型计算机的仪表系统的情况

项 目	制造厂	东 芝	日 立*	富 士	北 辰	横 河	山 武
产品名称		TOSDIC	UNITROL SERIES ΣLINE	MICREX	900/TX	CENTUM	TDCS-2000
发表日期		1975. 5	1975. 6	1975. 10	1976. 11	1975. 6	1975. 11
微处理机型号 (位数)		TLS-12A (12 位)	DSC-21 (16 位)	PFL-16 (16 位)	DEC, LSI, 11 (16 位)	NEC, μ-COM16	CD-1600
回 路 调 节 器	分散化的单位	8 回路	32 回路	16 回路	64 回路	32 回路	8 回路
	输入点数	模拟量 8 数字量 16	32	16	256	64	模拟量 16 数字量 8
	输出点数	模拟量 8 数字量 24	32	16	64	32	模拟量 8 数字量 16
	基本采样周期	1 秒	1 秒	1 秒	1 秒	1 秒	0.3 秒
	标准算法	24	20	16	4	20	28
主存储器		PROM 5.5 千字 RAM 5.5 千字	线存贮器 16 千字	PROM/磁芯 16 千字	磁芯 16 千字	磁芯 16 千字	掩膜 ROM 12 千字 RAM 0.5 千字 备用磁芯 2 千字
应用程序处理方法		追加 PROM (2 千字)	软件程序寄存	PROM 交换	软件程序寄存	软件程序寄存	外加 PROM (4 千字)
系统通讯		数据高速通道	数据高速通道	数据高速通道	AD/POOL 经由数 据高速通道	数据高速通道	数据高速通道
人 机 接 口	单回路指示/操作仪表	标准操作(SP, PV, VP) 兼有 I/O 信号 处理	标准操作 (SP, PV, VP)	标准操作(PV, VP)	标准操作(SP, VP, VP)	作为 CRT 控制台 故障时备用	标准操作(SP, VP, PV)
	简易控制台	有	有	有	有	有	有
	CRT 控制台	有	有	有	有	有	有

* 日立公司于 1977 年 11 月又发表了采用 LISC-18 微处理机的仪表系统

源共享, 实时性好, 通信现代化, 危险分散。目前常应用于较大型的工业系统中。表 1-1 是日本主要仪表公司研制的分散控制系统概况介绍。其中美国的 Honeywell 公司的 TDOS-2000 是最早研制成功的以微机为基础的分散综合控制系统。

图 1-3 为这类系统的原理框图。

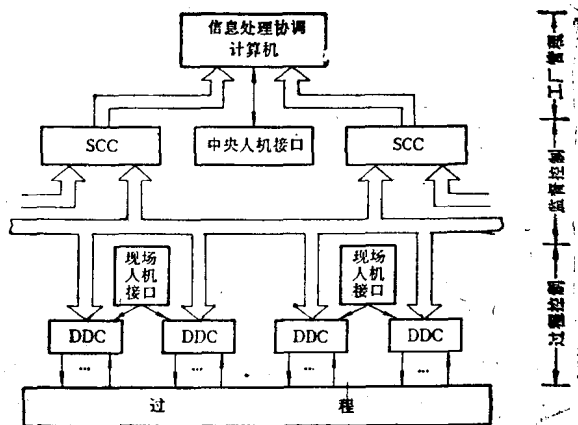


图 1-3 分散综合控制系统框图

这种系统结构的原理是将人类社会管理生产的各级组织形式应用到计算机多级系统中, 使各级计算机具有不同的职责。上级计算机赋以管理上的职能; 下级计算机则处理生产过程信息, 根据上级计算机的指示按从属方式工作。作为面对现场控制的这类系统大多采用两级以上结构, 如工厂监督控制级和过程级。

工厂监督控制级采用 24 位以上的小型机或微机。它具有完善的外部设备, 并配有实时操作系统(见表 1-5)及实时过程语言 FORTRAN、BASIC 等, 其功能是完成过程级的协调控制和工厂级的技术管理。

过程级由多个基本控制器(DDO)组成, 控制器以 16 位微机为主机, 控制 8-16 个单回路, 并考虑了后备冗余。控制功能分散化, 出现问题也只影响 8 个回路, 还可自动切换至备用回路, 实现了“危险分散”。

过程级的软件配有多种由汇编语言编制的通用 PID 算法与四则运算。还可以灵活地组合串级、前馈、比值等控制方案。考虑到可靠、安全等因素, 程序固化在 PROM 中。考虑到掉电事故的问题, 过程级的内存通常设计有 0.5K 的磁芯存储器, 用来永久性地保存当前的重要过程参数及自启动程序。

监督计算机控制 SCC(Superrisory Computer Control) 的概念是用 DDC 回路或常规的模拟仪表控制回路担负过程级的控制, 监督计算机根据数学模型向过程级提供优化的操作指示(给定值), 以尽可能好的程度接近预定的目标, 改善系统的运行效率。实现这类控制的前提是建立控制对象的数学模型, 使操作条件优化。但是过程数学模型事先是很难得到的, 这是一项非常耗时费力的工作, 也是实现这类控制的主要障碍。由于 SCC 要进行数学模型的优化数值运算, 因此对计算机的字长和运算功能有一定的要求。SCC 级的配备解决了 DDC 回路的后备冗余问题。SCC 级往上递阶, 属于工厂管理级, 它可以是一种面向通信的生产管理信息系统, 包括生产调度管理、库存控制管理、质量管理、工厂计划管理等, 也可

直接监督下位机的参数指标等等。

(2) 工业标准模板构成的系统

这是一种普及灵活的系统,由于良好的性能/价格比,在小型工业过程中得到普遍的应用。这种功能模板已商品化,用户可以方便地构成自己需要的系统。模拟输入由 8-16 通道组成,原理框图如图1-4。

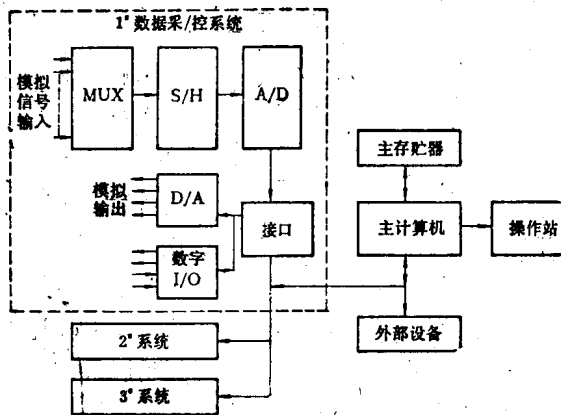


图 1-4 集中型单板计算机工业控制系统

进口较多的 8、16 位机有 Motorola 公司 M68MM 系列工业标准模板系统, 它可与 M 6800、M6809、M68000 微处理机配用, 采用 Eorciset 86 总线。Intel 公司的 SBC86/12、SBC80/10(8086、8080、8085 CPU) 系列模板, 采用 Multibus 总线。这类系统适用于造纸、玻璃、水泥及各种工业窑炉热工参数的控制。

2. 仪表盘形式的数字调节器

分散综合控制系统由于一次投资高, 所以常用于电力、化工等大型生产过程控制。考虑到系统构成的灵活性和操作工人的习惯, 在保留数字控制系统特点的同时, 日本山武、横河等公司, 开发出外表如同组合仪表盘式的数字仪表, 主要是以 8 位微处理器为基础的单回路数字调节器。图 1-5 为日本山武的 Digitronik 系列仪表盘式单回路数字调节器原理框图。具有模拟输入 5 路/模拟输出 4 路、数字输入 4 点/输出 3 点的功能, 45 种算法固化在 ROM 中。

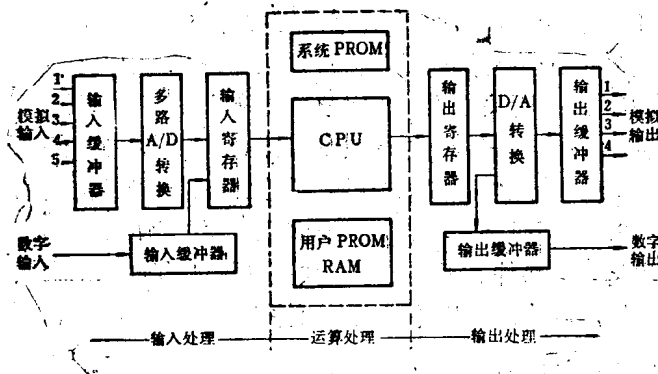


图 1-5 Digitronik 单回路数字调节器

信号的输入处理功能包括:线性化、温度补偿、压力补偿、开方、数字滤波等功能算法。具

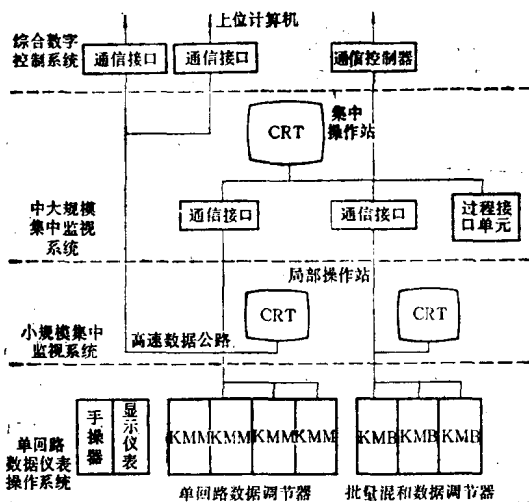


图 1-6 Digitronik 系列分级控制系统

回路调节器(CPU 为 8080)外加一台中央操作站进行协调控制。其功能包括在线修改、组态控制方案、过程数据的监视、设置给定值等,小型操作键盘就地安装在仪表盘上。操作站采用 16 位微处理器 8086。这样只要少量的投资就可以实现小规模的分散综合控制,目前国内冶金部门引进较多,这类数字仪表系统用于工业窑炉最佳燃烧控制。

以上是目前国内外应用较多的微工业数字控制系统两大类形式,估计它们对未来的过程控制系统结构会产生较大的影响。

§1.2 控制计算机系统硬件的特点

微机应用于不同领域,它们的体系结构也各不相同。

在科学计算领域中,计算机主要用于数值计算,这方面输入、输出信息量小,计算量大,计算时间长。这就要求计算机具有高速度的运算器、大容量的存贮器和多种浮点运算能力。

用于事务管理和信息处理的计算机,主要特点是输入、输出信息大,计算量相对较小,存贮数据所需要的空间远大于控制这些数据程序所需要的空间。因此系统内存容量要求大,并具有灵活的成批字符处理和小进制运算能力,以及高速度、强功能的输入、输出设备。

因此,上述两类应用系统所关心的主要问题是系统的吞吐率和资源的利用率。

在用于实时控制时,计算机在某一过程发生事件的同时,要收集有关信息,及时进行处理和决策,控制这一事件。因此“实时”和“控制”是这类应用主要关心的问题,运算速度和资源利用相对来说是次要的;同时要求计算机具有多级中断处理能力和高可靠性,以便实时处理来自生产过程发生的紧急事件。工业控制机典型系统结构如图 1-7,系统由 CPU、外部设备、外围设备、接口组成。控制用的计算机在硬件上应具有如下功能特性:

一、中央处理器字长的确定

目前国外设计的系统过程级计算机为 16 位字长(如 FOX3, 900/TX 等),但也有 12

体应用时,可以根据控制对象的需要,通过键盘组态来选取各回路的算法。

输出处理是将 CPU 输出的数字控制信号转换为标准的 4-20mA 过程接口信号,提供给执行机构。

由于这类控制器既考虑了模拟仪表的习惯操作方式,又考虑到计算机分散控制结构形式的优越性,所以在系统设计中,通过通讯网络也可以实现多级递阶控制功能,进行综合控制。其原理框图见图 1-6。

日本生产的这类单回路调节器,大多采用 8080、8085、8086 系列微处理器。如北辰-700 数字仪表系统,采用 8 台单

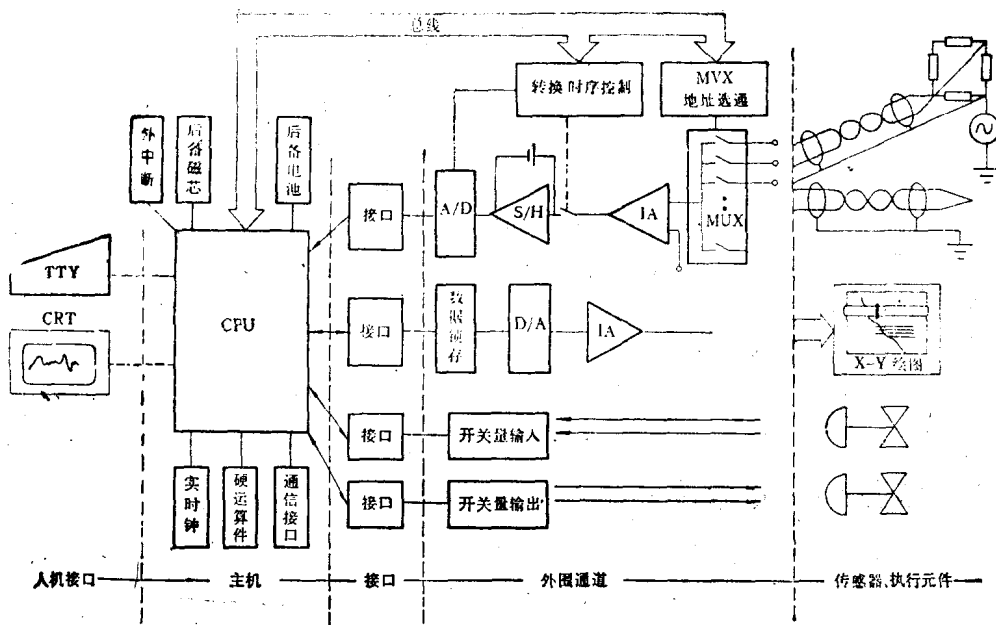


图 1-7 工业控制计算机系统基本结构

位(如东芝 TOSDIO)、18 位的。上位机则采用 24 位(FOX1 等)、32 位字长。字长的选取根据系统动、静态特性的要求来确定,也就是根据数据有限字长截尾所产生的最大容许噪声来决定(如乘积的舍入引起的问题)。控制用的计算机的 I/O 数据处理过程与一般计算机不同,采集的模拟信号数据,将在三个处理环节中遇到数值整量化的问题(即 $A/D \rightarrow CPU \rightarrow D/A$),这样在闭环系统中,可能会由于数字极限环问题而引起振荡,影响系统的动态特性。

此外,考虑到运算时间,大多数采集数据是由过程通道以自然数(定点)形式取得数据的,字长的选取应考虑一次测量仪表和 A/D 转换器实际可能达到的精度。对于精度为 0.1%~0.5% 的测量元件来说,采用 10~12 位(符号位在内)的 A/D 转换器精度已经足够,分辨率可

达 $\frac{1}{2^9} - \frac{1}{2^{11}}$ (0.5%~0.19%), 这时 12 位字长机器可以存贮定点形式的大多数过程检测数据。对于只要求 1%~5% 精度的控制系统, 在乘积舍入误差允许忽略的情况下, 8 位字长的微机也是可行的。

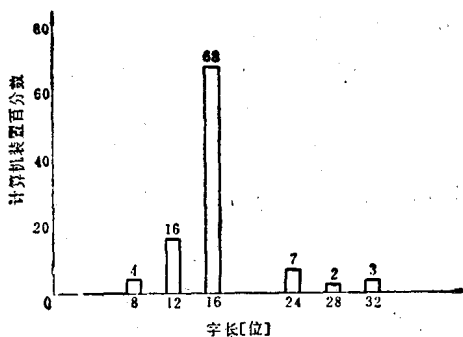


图 1-8 工业控制计算机所用字长典型分布

图 1-8 为 K.J.Kompas 对石油、化工、冶金等部门 113 台联机控制系统应用的计算机字长所做的调查情况图示说明。采用 16 位字长的机器占 68%，这是精度与经济原因折中的结果，也与数据表达的方便性密切相关，显然 12 位机器用子浮点运算是不方便的。

二、数据类型与表达

大多数商业数据以“字节”为处理单元，控制计算机不论是指令还是数据都以“字长”为

处理单元。带符号位的整数在过程计算机中采用补码表示。对负数的补码求法,是由同样数值的正数,先将各位求反码再加1。

数值的表达可以用定点(自然数)或浮点(实数表示法)。如果要考虑算法运算中的舍入误差,数值的实数表达方法可以具有很大的数值变化范围,上述误差也就可以忽略不计。通常实数型运算是利用软件浮点程序进行,需要 $200\mu\text{s}$ — $2000\mu\text{s}$ 时间,是定点计算时间的100倍,这时需要验证软件是否满足系统实时性要求。而专用的控制计算机的设计是采用微程序控制来实现浮点运算的,运算时间可减少到软件运算的 $1/10$,又可节省存放浮点软件的内存空间。目前新型控制计算机大多数配有硬件数字数据处理器,如 Intel 公司的 8087、8088、8231 等。它提供高速定点、浮点函数运算,并与 IEEE 浮点标准相符,运算时间只需 $2\text{--}20\mu\text{s}$,进一步提高了数字处理能力。上述三种运算时间之比,大致为软件:固件:硬件 = $100:10:1$ 。硬件数据处理器,大大提高了工业控制机的实时运算能力。

三、中央处理器应具有监视功能

由于过程计算机用于控制多个工艺流程,它是通过多个伪同时运行的任务(多任务)来实现的。如果由于某个程序的错误而影响其他程序,或改写了存贮单元,将直接引起可靠性降低,所以控制计算机为达到可靠性指标,应考虑具有如下几方面的监视功能:

1. 指令的使用权力

控制用计算机 CPU 的指令系统,使用权利应予以区别,以防止因非法使用而产生的问题。

有些指令(如中断指令、启停外部设备指令、停机指令等)不允许用户程序处理,通常规定由操作系统来承担,被称为“特权指令”。其余的指令称为“非特权指令”。用户只允许使用后一类指令,否则将发出出错显示。这种情况使控制机的 CPU 有两种运行状态:一种是用用户状态(或算态),这时特权指令禁止使用,也不能访问除本程序所使用的逻辑空间之外的内存;另一种是管理状态(或称管态),这时可以使用所有指令,并可访问机内全都存贮空间。上述运行状态的变换由操作系统控制。目前,大型的过程计算机,都具有用于这两类运行状态的两套寄存器,以完成运行状态的监督工作。

2. 存贮器的保护

为了防止由于一个任务出错而对其他任务的存贮区写入,工业控制机应考虑存贮保护(memory protect)。

主存中的“系统区”是操作系统所使用的信息区,机器管理的许多重要表格均在其中,所以必须严加保护,绝不允许用户程序“侵入”系统区。主存中的“用户区”被多个作业所分享,在某一时刻,也不允许被别的作业所破坏。在大型软件系统中,层次之间也不可相互干扰。所以主存信息的保护是关系到计算机系统软件可靠工作的重要问题。

主存信息保护方案很多,如状态保护、层保护、块保护、页保护、段保护、界保护等6种。TDC-2000 集散控制系统的上位计算机 TDC-4500 采用块保护的形式,它将主存区分成 128 字节/块相同大小的块,在给某个作业分配若干块主存空间后,软件对这些块赋予相同的“存贮键”号,对该作业也赋予相同的“保护键”,当该作业对主存进行访问时,由硬件将存贮键号与保护键号进行比较,符号则为合法访问,否则为非法访问,这时由硬件发出保护中断信号。

此外,软件对存储键号附加“访问权力”级别,指出该主存块是允许写入,还是读/写均可。这时只有在符合上述三个条件时才是合法的。TDC-4500 计算机,划分为4类访问权力的保护形式,如:

00——禁止存取;

01——禁止存入,程序可对这类字块进行读、取指令、转移;

10——禁止取指令,程序可对这类字块进行读出,存入数据;

11——无限制。

当上述存储器保护不正常时,将导致“陷阱”。

在停电时,过程级 (DDO)RAM 中信息的保护,是采用后备电池及磁芯存储器的方法。由于过程级的 RAM 中存有大量当前的过程参数、设定值,运算等中间数据,停电后能自动切换到电池供电,或由磁芯存储器保存。

3 实时钟及自动校正功能

实时系统必须有一个实时钟来实现计算机与现场控制环境时间的协调。尤其在一个联网分布式控制系统中,计算机更需有与实时时间相一致的时钟,以对所示的时间偏差进行修正。此外,在计算机重新启动后或每隔一定周期,实时系统应向计算机提供标准时间、日期的功能。这对了解现场事故发生的时间顺序,分析事故原因是非常重要的。如果每个计算机的时钟误差很大,将无法分辨事故发生的先后。

4. 中断处理

中断在控制计算机系统中具有极为重要的作用。计算机得以用于实时控制,中断技术是个关键。专用的控制计算机常具有快速多级中断处理能力,以保证实时响应过程引起的主机中断。

系统是根据任务重要程度来确定中断源的优先响应级别的。如日立公司生产的控制机 HIDIC-350 规定异常中断(如电网停电)为最高优先级,生产过程中断为最低优先级。

5. 掉电保护与自动起动功能

对于连续运行的生产过程来说,为防止电网发生故障时使 RAM 中数据丢失,重要系统常配备 UPS 电源,在发生这种情况时,电源故障中断起作用,将产生最高优先级的警报信号,于是将现行的过程状态和 CPU 中寄存器内容,存入磁芯 RAM 中或带后备电池的 RAM,这一过程需要的时间为 1~10 ms。

掉电保护的原理主要是按照一定的顺序,保证计算机当前运行的数据不丢失,在电源恢复后可以实现自动重新启动,执行再投入的程序。在掉电时刻,UPS 电源通常将有几十分钟的允许停机延时,用来完成保护性操作。图 1-9 是一种保护状态式的掉电保护电路。

当电网停电时, P 信号使不可屏蔽的中断响应,中断服务子程序将 CPU 工作寄存器内容存入不失电的 RAM 中,于是发出停机有效信号 $\overline{ES}=0$ 。当电源恢复时, S-on 信号

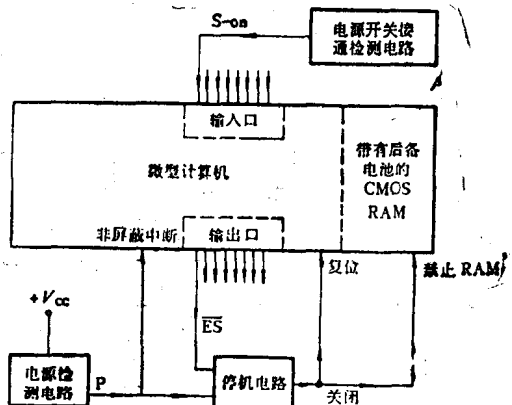


图 1-9 保护状态式掉电保护电路