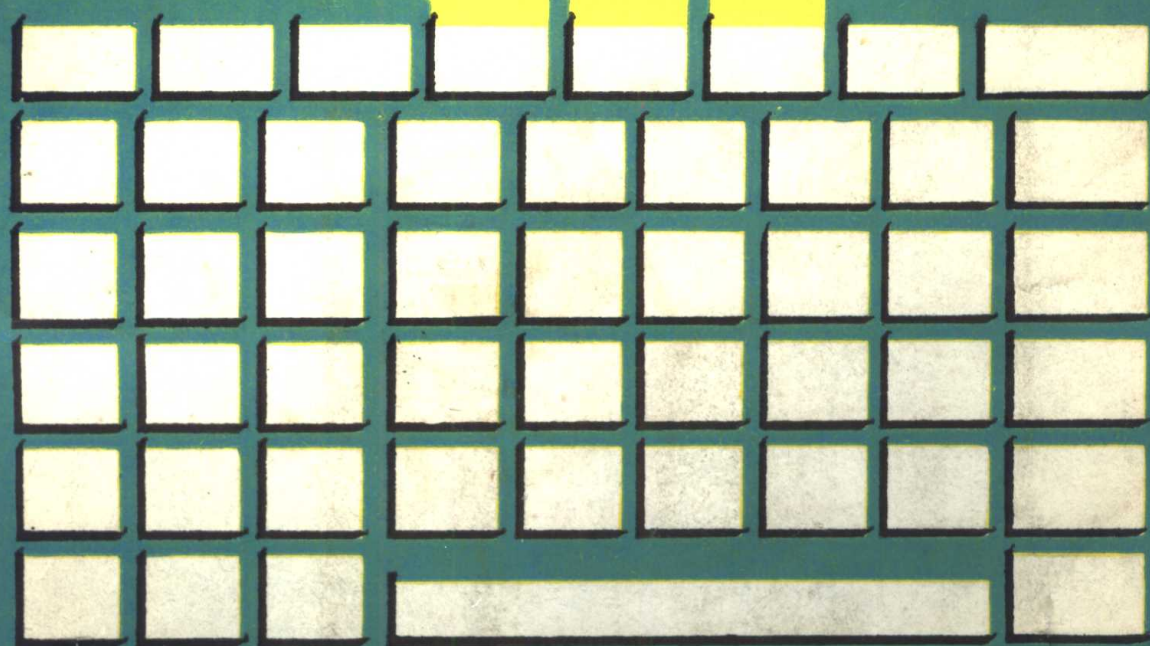


微处理器与微计算机在通信中的应用丛书

2

微处理器与微计算机 在通信控制中的应用

刘元干 主编



国防工业出版社

微处理器与微计算机在通信中的应用丛书 2

微处理器与微计算机 在通信控制中的应用

刘元幹 主编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是“微处理器与微计算机在通信中的应用丛书”第二册,即微处理器与微计算机在通信控制中的应用。全书共分六章,主要内容为:计算机监测与控制系统的结构及监控方式;监测与控制系统中的计算机——硬件与软件;监测与控制系统中常用的外部设备——键盘与LED显示器、打印机及CRT显示器;数字-模拟与模拟-数字转换器、模拟量与开关量的输入、输出通道;监测与控制的基本原理以及计算机在通信控制中的应用实例。

本书可供从事通信、自动控制、无线电技术等专业的科技人员以及有关高等学校的教师和学生参考。

丛 书 顾 问

刘元幹 黄文辉 李振邦

刘 诚 徐星宁 李昌立

责 任 编 辑

王细李

微处理器与微计算机在通信中的应用丛书 2

微处理器与微计算机在通信控制中的应用

刘元幹 主编

国防工业出版社出版发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

新时代出版社印刷厂排版 国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092^{1/16} 印张15^{3/4} 365千字

1989年5月第一版 1989年5月第一次印刷 印数:0001—2 480 册

ISBN 7-118-00102-3/TN20 定价:8.00元

前 言

本丛书的第一册是《微处理器与微计算机应用基础》，在其中介绍了微处理器与微计算机的基本知识，为其在通信中的应用奠定了基础。本书是本丛书的第二册，即《微处理器与微计算机在通信控制中的应用》。微处理器与微计算机在通信控制中的应用是简单而有效的应用，同时也是在通信其它方面应用的基础。

通信在我国四个现代化建设中起着重要的作用。为了有效地发挥这个作用，必须首先实现其本身的现代化。通信现代化的重要标志之一就是其维护和管理自动化，而计算机监测与控制系统正是进行维护与管理自动化的技术手段。本书的目的即介绍计算机监测与控制系统的结构及其监测、控制原理。

全书共分六章，第一章主要介绍了计算机监测与控制系统系统结构及监控方式；在第二章中讨论了计算机的控制方式、多机系统结构及系统软件；第三章介绍了监测与控制系统中常用的外部设备及有关的系统管理芯片；第四章介绍了数字与模拟的转换技术以及模拟量、开关量输入、输出通道；第五章主要讨论了采样系统的基本原理及DDC系统的设计方法；最后一章介绍了在通信控制中的一些应用实例。

本书第一至四章由刘元幹同志编写，第五章由金惠幼同志编写，第六章第一节由刘北延同志编写，第二节由侯汉屏同志编写，第三节由忻元康同志编写，第四节由李伟同志编写。全书由刘元幹同志统编。

由于编者水平有限，书中一定存在缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

目 录

第一章 计算机监测与控制系统	1
§ 1-1 概述	1
§ 1-2 计算机监测与控制系统的发展	2
§ 1-3 计算机监测与控制系统的组成及其工作过程	4
§ 1-4 计算机监测与控制系统的监控方式	5
§ 1-5 计算机监测与控制系统的可靠性和可维护性	9
第二章 监测与控制系统中的计算机	15
§ 2-1 计算机的功能及对计算机的要求	15
§ 2-2 计算机的控制方式	16
§ 2-3 多计算机系统结构	19
§ 2-4 计算机系统的软件	22
第三章 监测与控制系统中的外部设备	30
§ 3-1 可编程中断控制器——8259	30
§ 3-2 可编程键盘/显示控制器——8279	39
§ 3-3 可编程DMA控制器——8257	46
§ 3-4 可编程CRT控制器——8275	55
§ 3-5 键盘与LED显示器	70
§ 3-6 打印机	80
§ 3-7 CRT显示器	85
第四章 监测与控制系统中的通道	93
§ 4-1 概述	93
§ 4-2 数字—模拟转换(D/A)	95
§ 4-3 模拟—数字转换(A/D)	104
§ 4-4 模拟量输入通道	112
§ 4-5 模拟量输出通道	128
§ 4-6 开关量输入通道	137
§ 4-7 开关量输出通道	138
第五章 监测与控制的基本原理	142
§ 5-1 采样信号的分析及采样定理	142
§ 5-2 零阶保持器	145

§ 5-3	Z 变换	148
§ 5-4	脉冲传递函数	157
§ 5-5	采样系统的稳定性分析	162
§ 5-6	采样系统的瞬态特性及稳态特性	168
§ 5-7	DDC 系统的设计	172
§ 5-8	DDC 系统设计举例	183
第六章	微处理器与微计算机在通信控制中的应用实例	186
§ 6-1	微机控制的码分多址卫星通信系统	186
§ 6-2	微机控制短波伸缩天线	193
§ 6-3	应用微机计算及显示电台方位	208
§ 6-4	微计算机控制的突发通信系统	225
参考资料		246

第一章 计算机监测与控制系统

§ 1-1 概 述

电子计算机自从四十年代诞生以来,至今还不到四十年的历史,但其产品已经历了四代,其发展是迅速的、应用是广泛的。尤其是七十年代初微型计算机问世以后,使计算机的应用已渗入到工业、农业、国防、科学技术、文化教育等各个领域。在这些领域中,计算机最多用于科学计算及数据处理,但随后很快就应用于过程控制。因此,计算机技术及自动控制技术的结合就产生了计算机控制技术,而在五十年代初终于出现了计算机控制系统。计算机监测与控制系统正是实现计算机控制的技术手段。

计算机监测与控制系统最初用于工业生产过程的控制,以实现这些生产过程的自动化。例如,我国一些大型冶金、石油、化工等工业的生产,已基本上实现了自动化。现在将开始大量用于通信设备及通信系统的控制与维护、管理的自动化。

考虑到下述原因,通信、广播及电视系统应该实现自动化的维护与管理:

(1)实现了自动化可以保证通信、广播及电视能正常、安全地工作。例如,当主机设备发生故障时,能自动投入备用设备;当传输信道发生故障时,能自动进行信道倒换;当供电电源发生故障时,能自动进行电源故障处理,等等。

(2)实现了自动化可以提高通信、广播及电视的传送质量。例如,可以控制通信设备或广播、电视设备工作在最佳工作状态;而当系统发生传输衰弱、噪声干扰和多路失真干扰时,可以对设备或系统加以适当地调节,以消除或减小衰弱或干扰对信号传输的影响。

(3)实现了自动化可以减少大量维护费用。

(4)实现了自动化可以改善工作人员的工作条件。例如绝大多数的中短波通信台、卫星地面站、微波中继站等远离城镇、有些地处高山地带。维护和管理人员的工作和生活条件十分艰苦。努力改善工作人员的工作和生活条件,使绝大部分维护和管理人员下山是刻不容缓的事。

(5)实现了自动化可以提高通信、广播及电视企业的经营与管理水平。

计算机监测与控制系统是实现通信、广播及电视系统自动化维护与管理的技术手段。利用这种监测与控制系统可以监测与控制下列内容:

(1)对设备或系统的工作过程的监测与控制。例如,设备的启动与停机,主机与备机的倒换,主信道与备用信道的倒换,设备在运行中选择工作方式、选择工作频率的控制,等等。

(2)对设备或系统的工作状态进行定值或定规律的监测与控制。例如,对发射机的发射功率及发射频率的控制,对接收机接收信号的自动搜索、自动调节增益及自动频率跟踪。对供电电压的控制,对工作环境温度及湿度的控制,等等。

(3)对设备或系统的运行最优控制。例如,在信息的传输中,可控制信道特性处于最优状态。我们知道,影响信道特性的主要因素是噪声干扰和多路失真。通过控制技术

使信道得到补偿或均衡，以达到最优状态。

(4) 对设备或系统的工作特性进行自动测试。例如，对设备的信噪比进行测试，对频率特性进行测试，对微分增益和微分相位进行测试，等等。

以微型计算机为核心组成的监测与控制系统，技术先进、工作可靠、经济实用。其优点分述如下：

(1) 由于计算机的运算能力强，可进行大量的数据处理工作。

(2) 由于计算机具有记忆能力及逻辑判断能力，控制能力强，可进行最优控制。

(3) 由于计算机的工作速度高，对要求控制事件的响应快，适合于实时控制。

(4) 由于计算机具有分时操作能力，可进行多种参数的控制。

(5) 由于计算机软件的灵活性，容易实现各种控制算法，可以获得不同的控制效果。

(6) 采用微型计算机组成的监测与控制系统，其它系统部件多采用大规模集成电路，所以工作可靠性高。

(7) 用微型计算机及大规模集成电路组成的控制系统体积小、重量轻、价格低，经济实用。

§ 1-2 计算机监测与控制系统的发展

自从五十年代初电子计算机进入控制领域以后，便出现了计算机监测与控制系统。三十年来，由于计算机技术及控制技术的迅速发展，使计算机控制的应用日益广泛，控制范围不断扩大、控制功能不断提高。

早期的计算机控制主要用于工业生产过程的控制。五十年代初期的计算机监测系统，主要用于生产过程的自动监测及数据处理。计算机最后把监测到的过程参数及处理结果打印出来，供操作人员参考。到了五十年代中期，才开始出现用计算机组成的开环控制系统及闭环控制系统。六十年代初开始应用直接数字控制系统，在这些系统中使用了不同的控制技术。例如程序控制、顺序控制等。在这个时期，控制系统中的计算机多采用小型计算机，编制软件使用机器指令。从控制功能上看，多属于将模拟控制器数字化，而在控制方式上则无多大变化。从控制方式上看，属于集中监视和集中控制。

进入七十年代以后，由于大规模集成电路及微型计算机的发展、软件技术的提高，使得计算机控制系统得到更大的发展。由微处理器组成的单机及多机系统，加上微型化的外围设备，借助于数据传输系统或其它通信系统，构成了多级分散控制系统。这种多级分散控制系统，往往是分布在很大地区范围的大规模计算机控制网。由于现代控制理论的发展，使控制方式智能化，因此产生了具有智能作用的控制系统。例如，生产过程的最优控制以及自适应控制等。被控制的对象，也从生产过程的控制发展到生产和组织管理的控制。

在我国，把计算机监测与控制系统应用于通信还处于非常落后的研制和试验阶段。无论是遍布全国的无线通信、微波通信还是有线载波通信，至今还没有实现有效地监测与控制。下面以微波通信为例，简要说明通信系统自动化发展情况。

我国的微波通信系统是从六十年代末开始建立的，而且通信自动化的工作是随着通信线路的建立就开始着手进行的。但是，自动化的范围只是限于微波站内设备工作状态的检测及设备的自动倒换等。后来研制了一些对站内设备进行自动监测及控制的设备，

但也都是处于局部试验阶段，至今也没有正式投入使用。

早期的站内自动控制设备是采用分立元件组装成的，多以单音频或单音组合作为控制信号。这种监测控制设备的功能比较简单，一般只能对被测点的状态正常与否进行测试或做简单的通断操作。监测和控制的内容比较少，整个控制设备的规模也比较小。

随着脉冲数字技术及集成电路技术的发展，在七十年代初期及中期，开始利用小规模集成电路组装监测和控制设备。这种设备的功能比较强，利用它一般可以实现主站对几个中间站的监测与控制任务。但是，这种利用随机逻辑电路组成的监测与控制设备存在下述两个方面的问题。第一，控制能力仍然有限。为了增加控制能力或提高控制的可靠性，往往伴随着逻辑电路的复杂化，并导致控制设备体积庞大、价格昂贵。第二，设备只能适应一定的技术条件和技术要求，使用的灵活性差，设备一旦制成后不便于改进和扩充功能。

随着电子计算机的迅速发展及其应用的普及，在国外微波通信系统上已基本实现了电子计算机的监测与控制。一般是利用单机或多机系统对整个或局部微波通信系统采用集中控制方式。七十年代后期，我国也试图采用电子计算机代替用随机逻辑电路组成监测与控制设备以实现对各微波站的自动控制。但是，由于各种条件的限制，使这种实验工作还没有取得成功。

使用电子计算机的监测与控制系统，如前所述，其功能强、响应快，可以进行数据处理以及实现最优控制等。因此可以大大提高通信质量及通信系统的可靠性。但是，采用集中控制方式要求计算机的功能强、容量大、并且要编制相当庞大的操作系统。针对我国微波通信网的特点，以及微型计算机获得迅速发展的今天，采用电子计算机实行集中控制看来已经不再是最佳的控制方式了。因此，在八十年代初开始研制分散控制的微型计算机监测与控制系统。

最后，从以下几个方面简要介绍计算机监测与控制系统未来发展的趋势。

(1) 从系统中所采用的主机方面来看，在相当多的控制领域内，将用微型计算机代替小型计算机，用通用计算机代替专用的控制计算机。因为微型机的功能已接近小型计算机，但微型机的体积小、价格低，维护使用方便。因此用微型机代替小型机是必然的趋势。另外，由于控制系统的设计人员对计算机的结构及工作原理已相当了解，在系统中已无必要再设计专用控制计算机，而是用通用计算机来代替专用的控制计算机，这样可以大大节省研制费用。

(2) 从简化系统设计方面来看，开始着手计算机监测与控制系统的标准化与系列化。首先是主机的标准化与系列化，从低档机到高档机向上兼容，这样便于系统的扩展及标准接口的设计。其次是外围通道及一次仪表的标准化及系列化。

(3) 从减小设备的体积以及提高设备的可靠性方面考虑，系统部件（其中包括主机及通道）的微型化是发展的趋势。微型化以集成化为手段，因此将大力发展集成电路技术，研制专用的通信控制芯片。

(4) 从计算机监测与控制系统的功能上来看，趋向于生产过程的控制与生产组织管理相结合，以适应综合自动化的要求。因此要发展地理上分散，多台计算机交互作用的多计算机控制系统。

§ 1-3 计算机监测与控制系统的组成及其工作过程

计算机监测与控制系统由硬件及软件两大部分组成。系统硬件组成的方框图如图1-1所示。

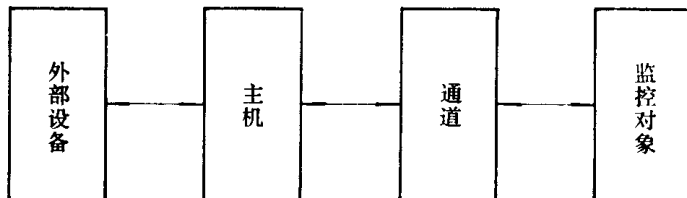


图1-1 系统硬件组成的方框图

由图1-1 看出，系统硬件一般由主机、外部设备、通道及监控对象等部分组成，分述如下。

主机是系统的核心，是执行监测与控制功能的主体部分。它主要完成系统软件的存储、程序的执行、逻辑判断、数值计算及数据处理，以及监测状态信息的输入、控制命令的输出等。它由CPU、存储器以及I/O接口等组成。

外部设备是主机的辅助设备，它主要完成操作人员与主机的通信。操作人员通过外部设备控制计算机进行各种操作，计算机通过外部设备将执行结果通知操作人员。它主要包括键盘、打印机、显示器以及安装上述设备的操作台，等等。

通道是主机与监控对象之间交换信息以执行监测与控制任务的部件。通道组成的方框图如图1-2所示。被监测的状态信息由检测设备进行采集，经由状态输入部分送入计算机中。检测设备及状态输入部分共同组成检测信息输入通道。计算机根据检测到的状态信息，进行逻辑判断或数据处理，并做出决策。然后由命令输出部分发出控制命令，由执行设备执行命令，以控制被控对象。命令输出部分及执行设备共同组成控制信息输出通道。

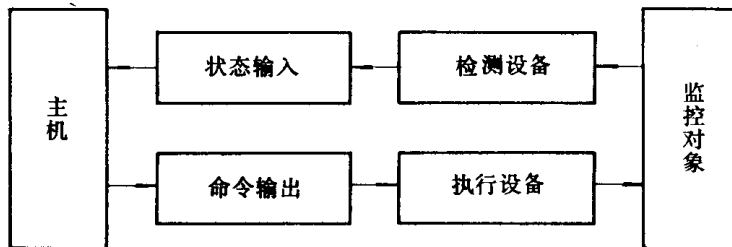


图1-2 通道组成的方框图

监控对象是指被监测与控制的通信设备或通信系统。

软件是指完成监测与控制任务的全部程序，是计算机监测与控制系统的重要组成部分。软件又包括系统软件及应用软件两部分。系统软件包括程序设计系统及操作系统等。系统软件具有一定的通用性，一般由计算机生产厂家提供。应用软件是指实现监测与控制操作的程序。应用软件涉及到被监控的对象，一般是根据用户的要求由监控系统设计

人员提供。

以上介绍的是计算机监测与控制系统的组成,根据系统的组成下面说明其工作过程。

一般计算机监测与控制系统可按照下述三个步骤进行工作,以构成闭环控制。

(1)系统对被监测的状态信息进行检测,并将检测的结果送入计算机,这称为数据采集。从计算机的工作过程来看,又称为数据输入。

(2)计算机对采集到的表征状态的数据进行分析计算,并按照预定的控制算法或控制规律决定进一步的控制操作,这称为决策。从计算机的工作过程来看,决策就是按照描述物理过程的数学模型进行一系列算术及逻辑运算的过程,也称为数据处理。

(3)根据决策,对被控对象的控制机构发出控制命令,以便进行控制,这称为控制操作。从计算机的工作过程来看,又称为数据输出。

上述过程不断重复,即可按照预定的要求对被监控的对象进行监督与控制处理。

由上述工作过程可以看出,整个监测与控制的工作过程都是在计算机的管理下进行的。计算机首先输入状态信息,然后对信息进行处理,最后输出控制信息。这种工作过程可适用于不同的监控对象,例如通信、广播或电视系统。监测与控制系统可以具有相同的硬件,只要通过编制不同的程序就可实现不同的决策,即可监控不同的对象。

§ 1-4 计算机监测与控制系统的监控方式

随着计算机监测与控制系统的形成和发展,提出了不同的监控方式。下面讨论四种监控方式。

一、直接检测方式(D D D)

直接检测方式是指计算机通过输入通道直接检测监控对象的状态参数,并把采集到的状态参数输出到显示器或打印制表,以帮助操作人员了解被控对象的实际工作状态。或为人工控制提供资料。

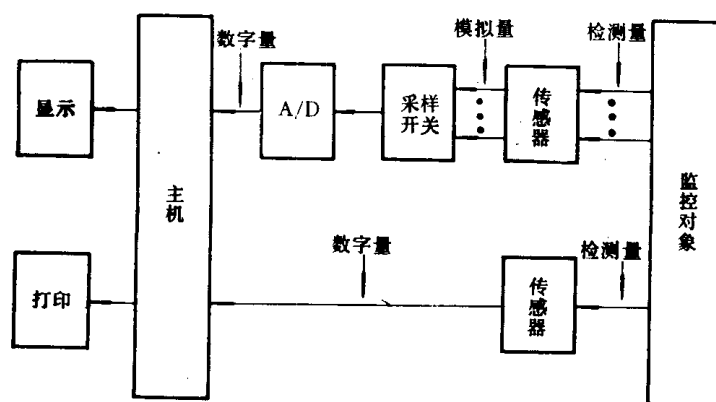


图1-3 直接检测方式的方框图

直接检测方式的方框图如图1-3所示,它包括主机、显示及打印设备、检测信息输入通道及监控对象等几个部分。

在直接检测方式的监测系统中，主机首先采集数据。被监控对象的工作状态参数通过各种传感量向输入通道提供模拟量或数字量。假若传感器向输入通道提供数字量，则数字量可以直接送入计算机中。假若传感器向输入通道提供模拟量，则模拟量通过采样开关送入A/D变换器，把模拟量变换为数字量以后，再送入计算机中。然后计算机把采集到的数据进行加工处理，例如数字滤波、标度变换、量纲变换、误差修正、越限比较、计算处理等。最后，主机把处理结果送到显示器显示或打印制表。

因此，当计算机监测与控制系统用于直接检测方式时，可以自动测量状态参数（静态参数或动态参数）、越限告警、数据处理以及数据显示和打印记录。

直接检测方式是计算机监测与控制系统早期的应用。由于这种方式主要用于采集监控对象正常运行时的状态参数，以监督运行状态的变化，故也称为数据采集方式。

二、直接控制方式（DDC）

直接控制方式是指计算机通过输入通道直接检测监控对象的状态参数，并由计算机进行决策，然后通过输出通道直接控制被控参数的方式。很明显，它是在直接检测方式的基础上发展起来的一种控制方式。

在计算机控制中，欲对一个被控量进行控制，需要进行两项工作。首先应根据对被控量的要求给出一个设定值。这个设定值就是被控量在控制过程中应该达到的数值。这个设定值可以是一个恒定值，也可以是一个按一定规律变化的值。这个设定值可以由人工给出，也可以由计算机给出。由人工给出设定值称为人工监督，由计算机给出设定值称为计算机监督。第二项工作就是把被控量与给出的设定值进行比较，以决定控制量的大小，从而使被控量的实际值达到设定值，以达到控制的目的。直接控制方式的功能就在于在人工监督或计算机监督下，使被控量达到并维持在设定值。

直接控制方式的方框图如图1-4所示，它包括主机、控制台、检测信息输入通道、控制信息输出通道以及监控对象等几个部分。其中除增加了控制信息输出通道以外，其它部分与直接检测方式相同。控制信息输出通道包括D/A变换器、输出控制电路以及执行器几个部分。

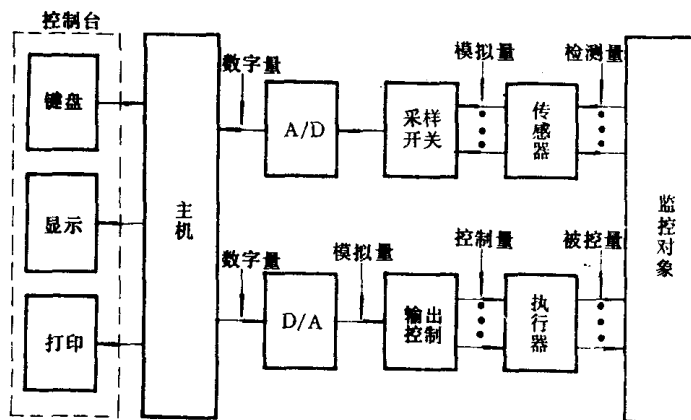


图1-4 直接控制方式的方框图

直接控制方式的工作过程如下：

(1) 首先将被检测的量通过输入通道送入计算机中。这个过程与直接检测方式相同。假若有多个被检测的量，则可利用采样开关按一定顺序进行巡回检测。

(2) 在计算机中对送入的检测值先进行量纲转换处理，然后与给出的设定值进行比较，并根据规定的控制算法进行运算，最后算出控制量。

(3) 计算机输出控制量，经过D/A变换，把输出的数字量变换为模拟量，再经由输出控制电路选中对应的执行器，最后由执行器执行控制操作，使被控量保持在给定的设定值。

在计算机监测与控制系统中，采用这种工作方式的最为普遍。在这种工作方式中，计算机兼顾了数据采集、数据处理以及执行直接控制的功能，计算机的工作相当繁忙。因此要求计算机工作可靠。此外，在直接控制方式中，一般要求设置控制台。操作人员可通过控制台上的键盘给出或修改设定值，调整告警极限值，改变控制算法等。操作人员可通过显示器和打印记录了解控制结果和监控对象的工作状态。

直接控制方式易于实现各种的控制算法，只要根据人们的要求改变控制算法、修改程序就可得到不同的控制效果。

三、监督控制方式 (S C C)

监督控制方式是指由计算机给调节器设定值，而由调节器进行直接控制的方式。在这种控制方式中，计算机并不进行直接控制，而只给调节器设定值，因此又称为设定值控制。这是一种高一级的控制方式，即计算机监督。

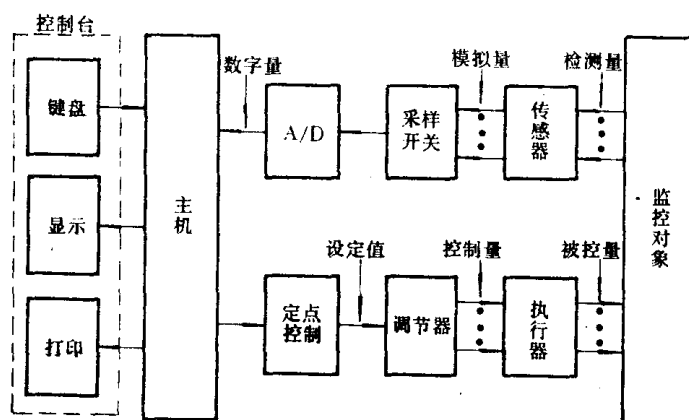


图1-5 监督控制方式的方框图

监督控制方式的方框图如图1-5所示。对于主机来说，除了控制信息输出通道以外，其它部分与直接控制方式相同。但这时主机只起监督作用，它输出的控制信息不是去直接控制监控对象，而是通过定点控制电路选定一个调节器，给该调节器设定值。然后由调节器输出控制量通过执行器执行控制操作。

监督控制方式的工作过程如下：

(1) 计算机通过检测信息输入通道进行巡回检测，以采集监控对象的状态数据。

(2) 计算机按照预定的数学模型进行计算, 计算出调节器的最优设定值。

(3) 计算机输出设定值给调节器, 由调节器产生控制量, 通过执行器实现最优控制。例如, 步进电机可以作调节器, 计算机给步进电机设定值即确定电机的调节方向及调节步数。

当监督控制方式中的调节器数量众多时, 可用一个计算机来代替各调节器, 这个计算机称为辅助计算机。这时主计算机用于给辅助计算机设定值, 而辅助计算机输出控制信号直接控制被控量。因此, 这时主机起监督作用, 辅助机起直接控制作用。这种方式实际上已成为两级计算机的串级控制方式。

四、分级控制方式 (HCC)

分级控制方式是指把总的控制与管理任务分割为若干级, 由各级的计算机执行各级的控制任务。各级之间的计算机以及同级之间的计算机可以相互通信, 以管理和协调各级的控制任务。这种控制方式可以把通信控制与通信管理结合起来, 实现整个通信系统的自动化维护与管理。

分级控制方式的方框图如图1-6所示, 图中所示系统分为四级。实际的级数应根据实际控制需要而定。最简单的可为两级, 多的可达四级、五级。

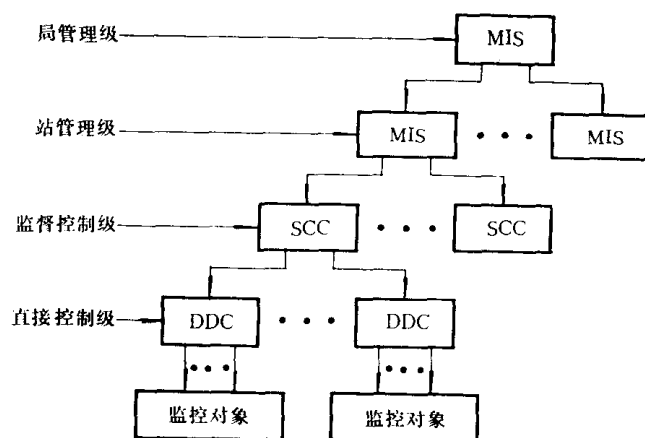


图1-6 分级控制方式

第一级为直接控制级 (DDC), 它是基础级, 对监控对象进行直接控制。

第二级为监督控制级 (SCC), 它监督直接控制级 (DDC) 的工作, 并向上一级汇报监督情况。

其它级为管理级 (MIS), 它用于计划管理和业务调度, 并指挥监督级的工作。管理级又可分为若干级, 例如站管理级和局管理级。站管理级设置在各种综合传输站中, 例如终端和枢纽站。它主要执行站内的作业调度及站管辖范围内各SCC级的协调。它还接受上级的指挥, 并向上级汇报执行情况。局管理级设置在管理局中, 它主要进行生产计划的管理。对局内通信经营管理的总决策、总调度。它指挥下一级的管理并接受下一级的汇报。

§ 1-5 计算机监测与控制系统的可靠性和可维护性

可靠性和可维护性是衡量计算机监测与控制系统能否正常运行的两个方面，两者决定了系统的可利用率。

一、可 靠 性

可靠性是指计算机监测与控制系统在规定的条件下，完成规定任务时能够无故障运行的概率。为了保证系统能不间断地正常地执行监测与控制任务，系统的可靠性是非常重要的，而且要求系统具有很高的可靠性。

影响系统可靠性的因素主要有下述几个方面：

- (1) 电路元件 如电路元件参数的变化、电气性能的变化以及元件的损坏等。
- (2) 安装工艺 如元件的焊接与组装，电路板的安装、插接件的连接等。
- (3) 设计技术 如系统各模块的设计、故障诊断系统的设计、元件及部件的选择、抗干扰的措施等。
- (4) 冗余技术 冗余系统的设计。

针对上述情况，为了提高系统的可靠性可从下述几个方面着手：

- (1) 选用可靠的元件、部件，元件与部件要经过严格的老化处理、测试及筛选。
- (2) 选用先进的工艺。电路板及插接件要经过严格的处理，注意焊接技术。
- (3) 选用合理的电路设计，采用故障自动检测及部件自动倒换的技术，系统中的部件尽量采用大规模集成电路芯片，注意设备的屏蔽及部件间的隔离。
- (4) 采用必要的冗余技术。

为了提高系统的可靠性，就要研究系统中可能发生的故障。系统中常发生的故障现象可归纳如下：

(1) 影响全局工作的设备，如系统中的主机发生故障，将导致系统工作完全中断，这种故障称为全局故障；而影响局部工作的设备，如打印机发生故障，这只影响打印工作的正常进行，但不会使整个系统工作中断，这种故障称为局部故障。在进行系统设计时，重点要解决全局故障，对主机要采用冗余设备。

(2) 有些故障是稳定出现的，如元件的损坏所造成的故障，这称为稳定故障；而有些故障却时有时无，如元件性能不稳定或焊接不良造成的故障，这称为间歇故障。诊断间歇故障要比诊断稳定故障更难。在进行故障诊断系统设计时，要格外注意间歇故障。

(3) 有些故障是突然出现的，如元件损坏所造成的故障，这称为突然故障；而有些故障是逐渐形成的，如元件电气性能变化所造成的故障，这称为退化故障。在进行电路设计时，要合理选择元件的工作状态，并对元件进行处理及筛选，以防止这些故障的发生。

如何衡量一个系统的可靠性呢？下面介绍衡量系统可靠性的指标。

假定系统的可靠性函数为 $R(t)$ ，它表明时间大于 t 时系统无故障的概率；系统的故障函数为 $\bar{R}(t)$ ，它表明时间大于 t 时系统出现故障的概率；设备的平稳故障率为 λ ，它表明单位时间（小时）稳定出现故障的次数，则可得

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

及

$$R(t) + \bar{R}(t) = 1$$

系统的平均故障间隔时间MTBF为

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda}$$

系统的可靠性常用MTBF来衡量。系统的故障率越低,则平均故障间隔时间越长,说明可靠性越高。例如,计算机的平均故障间隔时间可达3000~8000小时。

二、可维护性

任何实际的系统或设备,故障总是会发生的问题。问题在于一旦发生故障后能及时维修,以恢复正常工作。可维护性是指系统在发生任何故障后能够进行维护以恢复正常工作的能力。衡量系统可维护性的指标是平均维修时间(MTBM)。

对于计算机监测与控制系统来说,故障主要是指计算机故障,或一部分输入通道、输出通道故障,这种故障将引起系统不能正常工作。个别传感器、执行器甚至外部设备的失效,不影响系统的全面工作时,不算系统故障。系统发生故障后要立即进行维修。维修时间是指从系统故障开始出现到恢复正常工作之间的时间间隔。它包括诊断故障时间及进行修理的时间。当然也应包括离线进行维护检查和采取预防性措施的时间。

为了减少维护时间,提高系统的可维护性,可采取下述措施:

1. 采用可维护性设计

首先,设计的系统结构能确保不出现操作错误;其次,采用故障诊断技术及自动切换技术,系统出现了故障能查明故障的部位,并通过自动切换加以隔离,以维持系统工作的连续性。系统应用程序中的诊断程序,在主机监控程序的管理下,可在计算机空闲的时间内执行。这样,就能够在不间断对监控对象进行控制的情况下,判断故障的部位、进行修理和修复试验。

2. 采用容错技术

为了使系统出现故障时仍能继续监控工作,可以在系统的模块级间引入保护性冗余措施来实现。假若系统能容忍故障,则它必须包含保护性冗余措施。保护性冗余措施在系统正常执行监控任务时并不需要,而仅当故障出现时才需要它来继续执行系统的特定任务。保护性冗余包括硬件、软件及时间的冗余。

3. 采用故障减弱技术

当系统出现故障时,使系统只完成其基本的任务,以减弱故障对系统的影响。

4. 采用先进的工艺技术

如机器的硬件结构采用插件式。当个别插件发生故障时,可更换备用的插件。这样修复替换下来的故障插件时,就不影响系统的工作。

三、可利用率

从保证计算机监测与控制系统不间断地正常工作出发,首先要求系统的可靠性高,尽量使设备不出故障。其次,万一出了故障,则要求系统的维修时间短,使设备尽快修复。把两种要求合并起来就可以使系统的可利用率提高。

可利用率由下式定义

$$\text{可利用率} = \frac{\text{平均故障间隔时间}}{\text{平均故障间隔时间} + \text{平均维修时间}}$$

式中的平均故障间隔时间取决于系统的可靠性,而平均维修时间取决于系统的可维护性。

计算机监测与控制系统的可利用率理论上的最高值为100%,但实际上是达不到的。对一般的DDC系统来说,可利用率达到99.95%就可以了。这样,平均每年故障四小时。

由上式看出,提高系统可利用率的方法是提高系统的可靠性和可维护性。

四、系统可靠性计算

计算机监测与控制系统是由许多部件(模块)组成的,只有各基本模块工作正常时,整个系统才能工作正常。所以,系统的可靠性决定于各基本模块的可靠性。模块的可靠性提高了,整个系统的可靠性也得到提高。但是,系统中基本模块的数量增加了,出现故障的概率将增加,这将导致整个系统的可靠性下降。下面分几种情况来讨论系统可靠性的计算。

1. 串联系统结构

一个系统,只有当所有模块都正常时,系统才能正常工作;其中任一模块发生故障,都使系统不能正常工作。这种系统从可靠性方面来看,称为串联系统结构。

设由 n 个模块 $M_1 \sim M_n$ 组成的串联系统如图1-7所示。很明显,其中任一模块的故障,将引起系统故障。

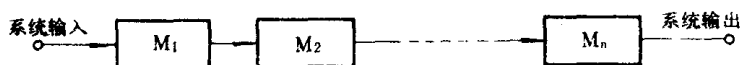


图1-7 串联系统

假设各模块的故障率为 λ_i 、可靠性函数为 $R_i(t)$ 、故障函数为 $\bar{R}_i(t)$,其中 $i=1 \sim n$;并假设各模块的故障是相互独立的。根据概率乘法定律,系统的可靠性函数等于各串联模块可靠性函数的乘积,即

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t\right) \quad (1-1)$$

上式指明,当串联系统的模块数 n 增加时,系统的可靠性下降。

系统的故障率为

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1-2)$$

系统的平均故障间隔时间为

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (1-3)$$

当 $\lambda t < 0.1$ 时, $e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t$,则系统的故障函数为

$$\bar{R}(t) = 1 - R(t) \approx \lambda t = \sum_{i=1}^n \bar{R}_i(t) \quad (1-4)$$

上式指明,串联系统的故障函数近似等于各模块故障函数之和。在系统设计中,