

计算机控制系统授课教案

目 录

第一章 概 述

第一节 计算机控制系统概论

- 一、计算机控制系统的一般概念
- 二、计算机控制系统的发展概况
- 三、计算机控制系统的发展趋势

第二节 微型计算机控制系统的组成及特点

- 一、微型计算机控制系统的硬件组成
- 二、微型机控制系统的软件组成
- 三、微型机控制系统的特点

第三节 微型机控制系统的分类

- 一、操作指导控制系统
- 二、直接数字控制系统(DDC系统)
- 三、计算机监督控制系统(SCC系统)
- 四、分布式控制系统(DCS系统)

第二章 输入输出过程通道

第一节 数字量过程通道

- 一、数字量输入通道
- 二、数字量输出通道

第二节 模拟量输入通道

- 一、模拟量输入通道的结构
- 二、模拟量输入通道的组成
- 三、模拟量输入通道的设计

第三节 模拟量输出通道

- 一、模拟量输出通道的作用
- 二、模拟量输出通道的组成
- 三、模拟量输出通道的设计

第三章 微机数控系统

第一节 数控的基本概念

- 一、顺序控制
- 二、数字程序控制

第二节 逐点比较法插补原理

- 一、逐点比较法直线插补运算
- 二、逐点比较法圆弧插补运算

第三节 步进电机控制技术

- 一、步进电机的工作原理
- 二、步进电机的工作方式
- 三、步进电机的控制系统
- 四、步进电机走步程序设计

第四章 控制系统的控制算法

第一节 数字控制器的模拟化设计技术

- 一、采样频率与模拟化设计的关系
- 二、模拟化设计步骤

第二节 数字PID控制算法

- 一、PID控制规律及其基本作用
- 二、标准数字PID控制算法
- 三、改进的数字PID控制器
- 四、数字PID调节器参数的整定方法
- 五、常用的数字PID控制系统

第三节 数字控制器的直接设计方法

- 一、数字控制器的直接设计步骤
- 二、大林算法

第五章 控制系统的应用软件设计

- 一、应用软件设计方法
- 二、查表法
- 三、线性化处理
- 四、测量值与工程值转换
- 五、越限报警处理

第六章 控制系统的抗干扰技术

第一节 工业现场的干扰及对系统的影响

- 一、干扰源与作用途径

第二节 硬件抗干扰技术

- 一、共模干扰的抑制
- 二、串模干扰的抑制
- 三、长线传输干扰的抑制

第三节 软件抗干扰技术

- 一、软件出错对系统的危害
- 二、数字滤波方法
- 三、输入/输出软件抗干扰措施

- [四、软件冗余技术](#)
- [五、程序运行失常的软件抗干扰](#)
- [第四节 接地技术](#)
 - [一、微机控制系统中的地线](#)
 - [二、常用的接地方法](#)
- [第五节 电源系统的抗干扰技术](#)
 - [一、抗干扰稳压电源的设计](#)
 - [二、电源系统的异常保护](#)
 - [三、微机系统的掉电保护](#)

[第七章 总线技术](#)

- [第一节 总线的概述](#)
 - [一、总线的定义](#)
 - [二、总线的产生](#)
 - [三、总线的分类](#)
- [第二节 现场总线](#)
 - [一、现场总线的定义](#)
 - [二、典型的现场总线](#)
- [第三节 现场总线控制系统](#)
 - [一、现场总线控制系统的产生](#)
 - [二、现场总线控制系统的组成](#)
 - [三、现场总线控制系统的特点](#)

[第八章 微型计算机控制系统设计](#)

- [第一节 系统设计的步骤](#)
 - [一、了解工艺要求，明确控制任务](#)
 - [二、确定系统总体设计方案](#)
 - [三、微机接口的选择](#)
 - [四、建立数学模型，确定控制算法](#)
 - [六、微机控制系统的调试](#)

- 1、课程性质：专业必修课，工程实用性强，强调课程的重要性。
- 2、先修课程及相关课程：
先修课程为微机原理、微机接口技术、自动控制原理。
相关课程有：过程控制、自动控制系统、毕业设计。
- 3、本门课学习方法：①抓住主要矛盾； ②理论联系实际；③善于运用对比的方法。

第一章 概述

第一节 计算机控制系统概论

一、计算机控制系统的一般概念

1. 自动控制系统的结构

生产中的自动控制系统随控制对象、控制规律和所采用的控制器结构不同而有很大的差别，但一般可归纳为两大类，即闭环控制系统和开环控制系统。由于开环控制系统控制性能较闭环控制系统差，因此在控制要求较高时均采用闭环控制。闭环控制系统的典型结构如图1.1所示。



图1.1 闭环控制系统的典型结构图

2. 计算机控制系统

计算机控制系统是在自动控制技术和计算机技术发展的基础上产生的。将自动控制系统中的控制器的功能用计算机来实现，就组成了典型的计算机控制系统。如果计算机是微型计算机，就是微型计算机控制系统。典型的计算机控制系统结构如图1.2所示。

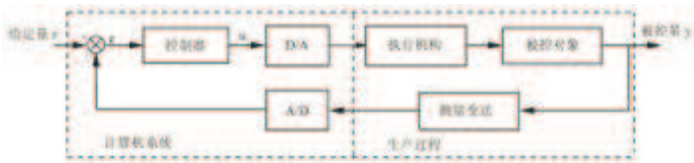


图1.2 计算机控制系统结构图

3. 计算机控制系统的工作步骤

计算机控制系统的控制过程可归纳为以下三个步骤：

- (1)实时数据采集：对被控量的瞬时值进行检测，并输入给计算机。
- (2)实时决策：对采集到的表征被控参数的状态量进行分析，并按已定的控制规律，决定下一步的控制过程。
- (3)实时控制：根据决策，适时地对执行机构发出控制信号，完成控制任务。

4. 几个术语

(1) 实时

所谓“实时”，是指信号的输入、计算和输出都是在一定时间范围内完成的，即计算机对输入信息以足够快的速度进行处理，并在一定的时间内作出反应并进行控制，超出了这个时间就会失去控制时机，控制也就失去了意义。

(2) “在线”方式

在计算机控制系统中，如果生产过程设备直接与计算机连接，生产过程直接受计算机的控制，就叫做“联机”方式或“在线”方式。

(3) “离线”方式

若生产过程设备不直接与计算机相连接，其工作不直接受计算机的控制，而是通过中间记录介质，靠人进行联系并作相应操作的方式，则叫做“脱机”方式或“离线”方式。

二、计算机控制系统的发展概况

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，因此计算机控制系统的发展是与自动控制理论与计算机的发展密不可分的。

1. 自动控制原理的发展

- (1)经典控制理论
- (2)现代控制理论
- (3)智能控制理论

2. 计算机技术的发展

1946年第一台计算机问世至今，计算机技术迅速发展。

3. 计算机控制技术的发展

(1) 开创阶段(1955年—1965年)

1952年,开始把计算机用于生产过程,实现了自动测量和数据处理,为操作人员提供了对管理有用的信息。1954年用计算机构成了开环控制系统,能够帮助操作人员对一部分被控参量进行正确调节。1957年采用计算机构成闭环控制系统,最初应用于石油蒸馏过程的调节;一年后,又在—个电站和—个炼油厂采用直接数字控制方式,实现了计算机闭环定值控制,这是计算机在线过程控制系统。1960年,在合成氨和丙烯腈生产过程中完成了计算机监督控制,计算机开始侧重于最优控制,并逐步向分级控制和网络控制方向发展。虽然每隔二、三年计算机应用于生产过程控制就有一些新发展,但在1965年以前基本上处于单项工程试验阶段。

(2) 小型计算机时期(1965年—1972年)

在试验阶段用于控制的计算机基本上还是模拟常规调节仪表所采用的调节规律,只在控制形式上由连续变为离散,因而调节效果得不到明显改善。直到60年代后期出现了小型机,才使计算机控制得以普及。由于小型机具有体积小、速度快、工作可靠、价格较便宜等特点,所以使得计算机控制系统不再只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了。这一时期主要是计算机集中控制,即用—台计算机控制尽可能多的调节回路。在高度集中控制时,若计算机出现故障,将对整个生产产生严重影响。提高可靠性的措施就是采用多机并用的方案,即增加小型机数目。因此由于小型机的出现,过程控制计算机的台数迅速增长。这一时期为实用及普及阶段。

(3) 微型计算机时期(1972—现在)

随着计算机技术的发展,出现了微型机,从而使计算机控制技术进入了崭新的阶段。这一时期以微型机为主体。在控制结构上,对于简单生产过程或装置,采用单台微型机独立控制,如以单片机、工业控制机、可编程控制器为核心的计算机控制系统;对复杂生产过程或装置则采用集散型控制系统,将计算机分散到生产装置中去,采用多级分布式结构,从下而上分为过程控制级、控制管理级、生产管理级和经营管理级,进行分散控制、集中操作、分级管理、统一协调的工作,既能使危险分散,又能实现整体的协调和优化,大大提高了系统的安全可靠性和通用灵活性。所以这一时期也是大量推广和分级控制阶段。

三、计算机控制系统的发展趋势

大规模及超大规模集成电路的发展,提高了计算机的可靠性和性能价格比,从而使计算机控制系统的应用也越来越广泛。为更好地适应生产力的发展,扩大生产规模,以满足对计算机控制系统提出的越来越高的要求,目前计算机控制系统的发展趋势有以下几个方面。

1. 普及应用可编程序控制器

可编程控制器(Programmable Controller),缩写为PC,也可称之为可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller),简称PLC,是一种专为工业环境应用而设计的微机系统。它用可编程序的存储器来存储用户的指令,通过数字或模拟的输入输出完成确定的逻辑、顺序、定时、计数和运算等功能。某些PLC还可进行I/O控制,多台PLC之间进行通讯与联网,因此PLC在工业控制中得到了广泛的应用。近年来PLC几乎都采用微处理器作为主控制器,且采用大规模集成电路作为存储器及I/O接口,因而其可靠性、功能、价格、体积等都比较成熟和完美。特别是具有智能的I/O模块的开发成功,使PLC除了具有逻辑运算、逻辑判断等功能外,还具有数据处理、故障自诊断、PID运算及网络等功能,从而大大地扩大了PLC的应用范围。目前从单机自动化到工厂自动化,从柔性制造系统、机器人到工业局部网络都可寻觅到PLC的踪影。

2. 采用集散控制系统

集散控制系统是以微机为核心,把微机、工业控制计算机、数据通信系统、显示操作装置、输入/输出通道、模拟仪表等有机地结合起来的一种计算机控制系统,它为生产的综合自动化创造了条件。目前出现了以位总线(Bitbus)、现场总线(Fieldbus)技术等先进的网络通信技术为基础的集散型控制结构。若采用先进的控制策略,会使自动化系统向低成本、综合化、高可靠性的方向发展,实现计算机集成制造系统CIMS(Computer Integrated Manufacture System)。

3. 研究和发展智能控制系统

经典控制理论主要研究的对象是单变量常系数线性系统,它只适用于单输入单输出控制系统。系统的数学模型采用传递函数表示,系统的分析和综合方法主要是基于根轨迹法和频率法。现代控制理论主要采用最优控制(二次型最优控制、 H_∞ 控制等)、系统辨识和最优估计、自适应控制等分析和设计方法。系统分析的对象为多输入多输出线性系统,系统分析的数学模型主要用状态空间描述。随着要研究的对象和系统越来越复杂,依赖于数学模型的传统控制理论难以解决复杂系统的控制问题,尤其是在具有如下特点的一类现代控制工程中:

(1)不确定性的模型:传统控制是基于模型的控制,模型包括控制对象和干扰模型。传统控制通常认为模型是已知的或经过辨识可以得到的,对于不确定性的模型,传统控制难以满足要求。

(2)高度非线性:在传统的控制理论中,对于具有高度非线性的控制对象,虽然也有一些非线性控制方法可供使用,但总的来说,目前非线性控制理论还很—不成熟,有些方法又过于复杂,无法广泛应用。

(3)复杂的任务要求:在传统的控制系统中,控制任务往往要求输出量为定值(调节系统)或者要求输出量跟随期望的运动轨迹(跟踪系统),因此控制任务比较—单一。但过于复杂的控制任务诸如智能机器人系统、复杂工业过程控制系统、计算机集成制造系统、航天航空控制系统、社会经济管理系统、环保及能源系统等传统的控制理论都无能为力。

在上述情形下智能控制便应运而生了。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,是用机器模拟人类智能的一个重要领域。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。

第二节 微型计算机控制系统的组成及特点

一、微型计算机控制系统的硬件组成

图1.3给出了微机控制系统的组成框图。微型机控制系统的硬件包括：

1. 主机

这是微型计算机控制系统的核心，通过接口它可以向系统的各个部分发出各种命令，同时对被控对象的被控参数进行实时检测及处理。主机的主要功能是控制整个生产过程，按控制规律进行各种控制运算(如调节规律运算、最优化计算等)和操作，根据运算结果作出控制决策；对生产过程进行监督，使之处于最优工作状态；对事故进行预测和报警；编制生产技术报告，打印制表等等。

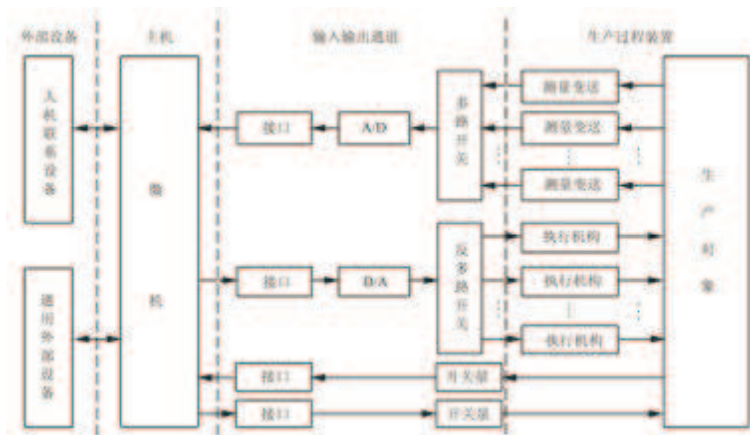


图1.3 微机控制系统组成框图

2. 输入输出通道

这是微机和生产对象之间进行信息交换的桥梁和纽带。过程输入通道把生产对象的被控参数转换成微机可以接收的数字代码。过程输出通道把微机输出的控制命令和数据，转换成可以对生产对象进行控制的信号。过程输入输出通道包括模拟量输入输出通道和数字量输入输出通道。

3. 外部设备

这是实现微机 and 外界进行信息交换的设备，简称外设，包括人机联系设备(操作台)、输入输出设备(磁盘驱动器、键盘、打印机、显示终端等)和外存贮器(磁盘)。其中操作台应具备显示功能，即根据操作人员的要求，能立即显示所要求的内容；还应有按钮，完成系统的启、停等功能；操作台还要保证即使操作错误也不会造成恶劣后果，即应有保护功能。

4. 检测与执行机构

(1) 测量变送单元

在微机控制系统中，为了收集和测量各种参数，采用了各种检测元件及变送器，其主要功能是将检测参数的非电量转换成电量，例如热电偶把温度转换成mV信号；压力变送器可以把压力转换为电信号，这些信号经变送器转换成统一的计算机标准电平信号(0~5V或4~20mA)后，再送入微机。

(2) 执行机构

要控制生产过程，必须有执行机构，它是微机控制系统中的重要部件，其功能是根据微机输出的控制信号，改变输出的角位移或直线位移，并通过调节机构改变被调介质的流量或能量，使生产过程符合预定的要求。例如，在温度控制系统中，微机根据温度的误差计算出相应的控制量，输出给执行机构(调节阀)来控制进入加热炉的煤气(或油)量以实现预期的温度值。常用的执行机构有电动、液动和气动等控制形式，也有的采用马达、步进电机及可控硅元件等进行控制。

二、微型机控制系统的软件组成

软件是指能够完成各种功能的计算机程序的总和。整个计算机系统的动作，都是在软件的指挥下协调进行的，因此说软件是微机系统的中枢神经。

1. 系统软件

它是由计算机设计者提供的专门用来使用和管理计算机的程序。对用户来说，系统软件只是作为开发应用软件的工具，是不需要自己设计的。

系统软件包括：

(1) 操作系统：即为管理程序、磁盘操作系统程序、监控程序等；

(2) 诊断系统：指的是调节程序及故障诊断程序；

(3) 开发系统：包括各种程序设计语言、语言处理程序(编译程序)、服务程序(装配程序和编辑程序)、模拟主系统(系统模拟、仿真、移植软件)、数据管理系统等；

(4) 信息处理：指文字翻译、企业管理等。

2. 应用软件

它是面向用户本身的程序，即指由用户根据要解决的实际问题而编写的各种程序。

应用软件包括：

(1) 过程监视程序：指巡回检测程序、数据处理程序、上下限检查及报警程序、操作面板服务程序、数字滤波及标度变换程序、判断程序、过程分析程序等；

(2) 过程控制计算程序：指的是控制算法程序、事故处理程序和信息管理程序，其中信息管理程序包括信息生成调度、文件管理及输出、打印、显示程序等；

(3) 公共服务程序：包括基本运算程序、函数运算程序、数码转换程序、格式编码程序。

三、微型机控制系统的特点

- 微机控制系统与常规的自动控制系统相比，具有如下特点：
- 1. 控制规律灵活多样，改动方便
 - 2. 控制精度高，抑制扰动能力强，能实现最优控制
 - 3. 能够实现数据统计和工况显示，控制效率高
 - 4. 控制与管理一体化，进一步提高自动化程度

第三节 微型机控制系统的分类

一、操作指导控制系统

在操作指导控制系统中，计算机的输出不直接作用于生产对象，属于开环控制结构。计算机根据数学模型、控制算法对检测到的生产过程参数进行处理，计算出各控制量应有的较合适或最优的数值，供操作员参考，这时计算机就起到了操作指导的作用，其原理框图如图1. 4所示。

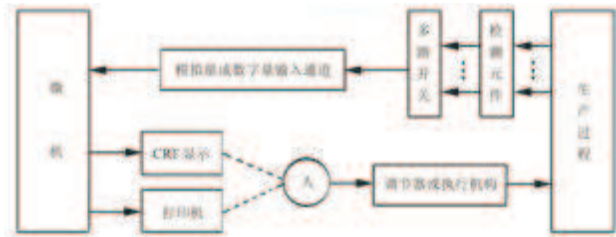


图1. 4操作指导控制系统原理框图

该系统的优点是结构简单，控制灵活和安全可靠。缺点是要由人工进行操作，操作速度受到了人为的限制，并且不能同时控制多个回路。该系统常用在计算机控制系统设计与调试阶段，进行数据检测、处理及试验新的数学模型，调试新的控制程序等。

二、直接数字控制系统(DDC系统)

DDC(Direct Digital Control)系统就是通过检测元件对一个或多个被控参数进行巡回检测，经输入通道送给微机，微机将检测结果与设定值进行比较，再进行控制运算，然后通过输出通道控制执行机构，使系统的被控参数达到预定的要求。DDC系统是闭环系统，是微机在工业生产过程中的最普遍的一种应用形式，其原理框图如图1. 5所示。

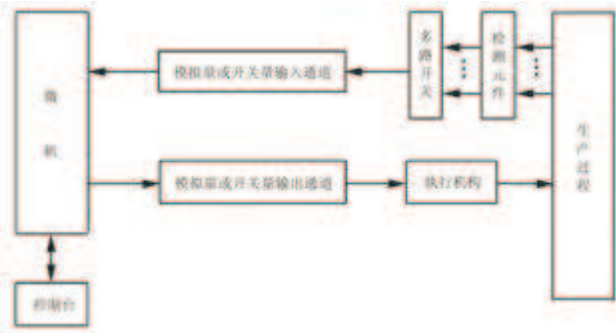


图1. 5 DDC系统原理框图

DDC系统的优点是灵活性大。在常规模拟调节器控制系统中，控制器一经选定，其控制方法也就确定了，要改变控制方法就必须改变硬件，这往往难度较大。而在DDC系统中，由于微机代替了常规模拟调节器，因此要改变控制方法，只要改变程序就可以实现了，无须对硬件线路作任何改动。另外，计算机计算能力强，可以有效地实现较复杂的控制，用来改善控制质量，提高经济效益。当控制回路较多时，采用DDC系统比采用常规控制器控制系统要经济合算，因为一台微机可代替多个模拟调节器。

三、计算机监督控制系统(SCC系统)

SCC(Supervisory Computer Control)系统比DDC系统更接近生产变化的实际情况，因为在DDC系统中计算机只是代替模拟调节器进行控制，系统不能运行在最佳状态，而SCC系统不仅可以进行给定值控制，并且还可以进行顺序控制、最优控制以及自适应控制等，它是操作指导控制系统和DDC系统的综合与发展。SCC系统的原理框图如图1. 6所示。

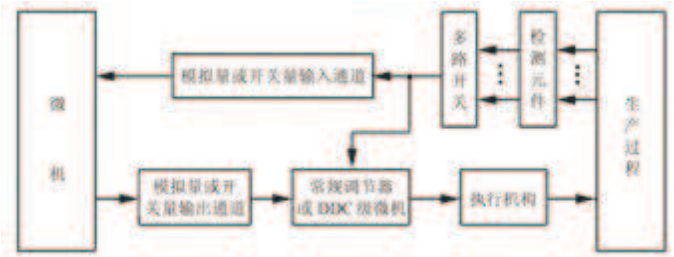


图1.6 SCC系统原理框图

从SCC系统的原理框图可以看出，就其结构来讲，SCC系统有两种形式：一种是SCC+模拟调节器控制系统，另一种是SCC+DDC控制系统。

四、分布式控制系统(DCS系统)

DCS(Distributed Control System)是采用积木式结构，以一台主计算机和两台或多台从计算机为基础的一种结构体系，所以也叫主从结构或树形结构，从机绝大部分时间都是并行工作的，只是必要时才与主机通信。其原理框图如图1.7所示。

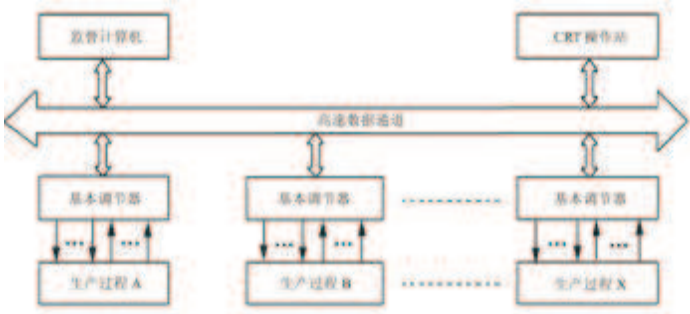


图1.7 分布式控制系统原理框图

该系统代替了原来的中小型计算机集中控制系统，它具有如下特点：

1. 可靠性高

分布式计算机控制系统能实现地理上和功能上分散的控制，使每台微机的任务相应减少，功能更明确，组成也更简单，因此可靠性提高了。

2. 速度快

分布式计算机控制系统各级并行工作，很多采集和控制功能都分散到各个子环节中，仅在必要时才通过高速数据通道与监督计算机进行信息交换，因此减少了数据集中串行处理的时间，也减少了信息传递的次数，所以速度提高了。

3. 结构灵活，易于扩展

分布式计算机控制系统采用的是模块化结构，即把任务相同的部分做成一个模块，系统结构灵活，可大可小，便于操作、组装和调度，容易扩展。

4. 设计、开发、维护简便

由于系统采用模块式结构，且具有自诊断和错误检测系统，所以设计、开发及维护都很方便，并能实现高级复杂规律控制。

第二章 输入输出过程通道

按信息传递的方向来分，过程通道可分为输入过程通道和输出过程通道；按所传递和交换的信息来分，过程通道又可分为数字量过程通道和模拟量过程通道。

第一节 数字量过程通道

数字量过程通道需处理的信息包括开关量、脉冲量和数码。其中开关量是指一位的状态信号：如阀门的闭合与开启、电机的起与停、触点的接通与断开、指示灯的亮与关等；脉冲量是指许多数字式传感器将被测物理量值转换为脉冲信号，如转速、位移、流量的数字传感器产生的数字脉冲信号；数码是指成组的二进制码，如用于设定系统参数的拨码开关等。它们的共同特征是幅值离散，可以用一位或多位二进制码表示。

一、数字量输入通道

1. 数字量输入通道的结构

典型的数字量输入通道结构如图2. 1所示。

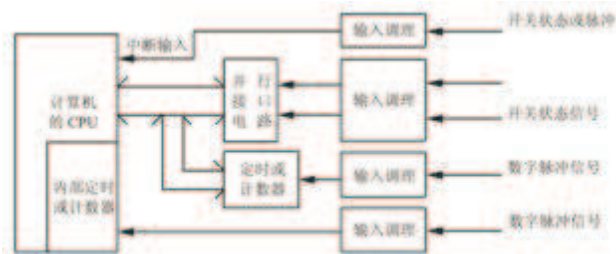


图2. 1 开关量输入通道的典型结构示意图

2. 数字量输入通道的信号调理

数字量输入通道的基本功能就是接收外部装置或生产过程的状态信号。这些状态信号的形式可能是电压、电流、开关的触点，因此容易引起瞬时高压、过电压、接触抖动等现象。为了将外部开关量信号输入到计算机，必须将现场输入的状态信号经转换、保护、滤波、隔离等措施转换成计算机能够接收的逻辑信号，完成这些功能的电路称为信号调理电路。

(1) 消除机械抖动影响

操作按钮、继电器触点、行程开关等机械装置在接通或断开时均要产生机械抖动，体现在计算机的输入上就是输入信号在变化瞬间在0和1之间多次振荡，对其如不进行适当处理就会导致计算机的误动作。图2. 2所示为消除由于接点的机械抖动而产生的振荡信号，并转换成TTL电平信号与计算机相连。图2. 5 (a)所示为一种简单的采用积分电路消除开关抖动的方法。图2. 2 (b)所示为R-S触发器消除开关两次反跳抖动的方法。

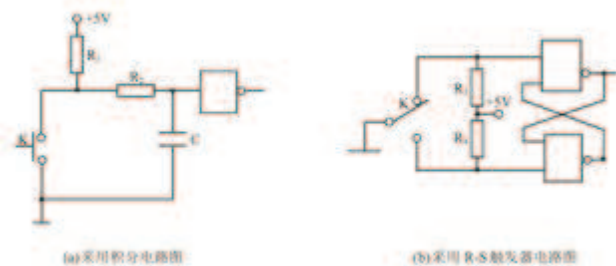


图2. 2 机械消抖电路图

(2) 隔离处理

在工业现场获取的开关量或数字量的信号电平往往高于计算机系统的逻辑电平，即使输入数字量电压本身不高，也可能从现场引入意外的高压信号，因此必须采取电隔离措施，以保障系统安全。光电耦合器就是一种常用且非常有效的电隔离手段，由于它价格低廉，可靠性好，被广泛地应用于现场输入设备与计算机系统之间的隔离保护。

光电耦合器由封装在一个管壳内的发光二极管和光敏三极管组成，如图2. 3所示。此外，利用光电耦合器还可以起到电平转换的作用，如图2. 4所示。

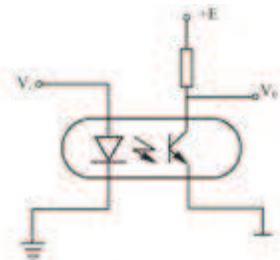


图2.3 光电耦合器电路图

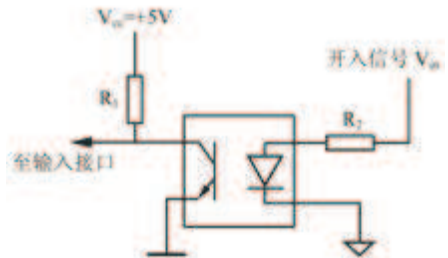


图2.4 适于非TTL电路输入的隔离电路图

二、数字量输出通道

在计算机控制系统中，经常需要控制执行机构的开/关或启/停，某些控制算法(如PWM脉宽调制方法)还要求控制执行机构在一定时间T内的全负荷工作时间 $t(0 \leq t \leq T)$ ，这些控制均是通过计算机控制系统的数字量输出通道实现的。

1. 数字量输出通道的结构

一般数字量输出通道都带有输出锁存器，所以在需要的时候直接输出至相应的并行输出接口就可以了。有时系统需要数字脉冲输出，如果脉冲定时精度要求不高，而且CPU时间允许，则可采用软件延时控制脉冲周期与占空比，再通过并行输出接口形成脉冲输出；反之，就需要采用硬件定时器实现。图2.5给出了典型的数字量输出通道的结构。



图2.5 典型的数字量输出通道结构示意图

2. 数字量输出的信号调理

数字量输出的信号调理主要是进行功率放大，使控制信号具有足够的功率去驱动执行机构或其它负载。

(1) 小功率直流驱动电路

对于低压小功率开关量输出，可采用晶体管、OC门或运算放大器等方式输出，如图2.6给出的几种电路一般仅能够提供几十毫安级的输出驱动电流，可以驱动低压电磁阀、指示灯等。

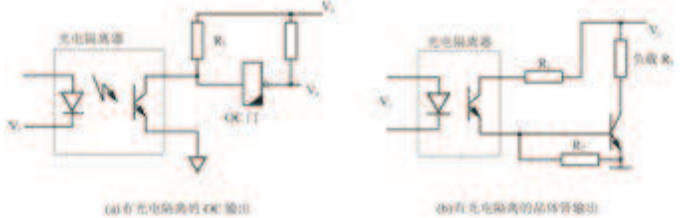


图2.6 低压小功率开关量输出电路图

(2) 继电器输出技术

继电器经常用于计算机控制系统中的开关量输出功率放大，即利用继电器作为计算机输出的第一级执行机构，通过继电器的触点控制大功率接触器的通断，从而完成从直流低压到交流高压，从小功率到大功率的转换。图2.7给出了两种继电器式开关量输出电路。

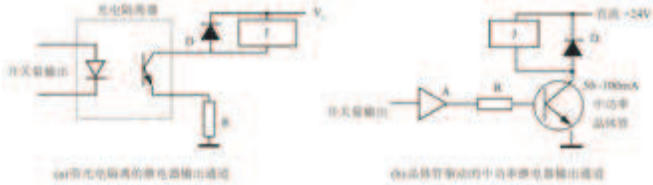


图2.7 继电器式开关量输出电路图

(3) 大功率交流驱动电路

对于交流供电的负载，其开关量的输出控制可用固态继电器来实现。固态继电器(Solid State Relay，简称SSR)，是一种无触点通断型功率电子开关，如图2.8所示。

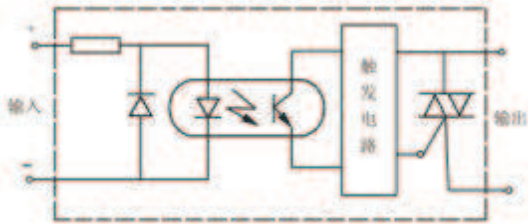


图2.8 固态继电器内部结构示意图

图2.9给出固态继电器的两种应用电路。其中图(a)为TTL驱动，图(b)为CMOS驱动。



图2.9 固态继电器的两种应用电路图

第二节 模拟量输入通道

一、模拟量输入通道的结构

模拟量输入通道的一般结构如图2.10所示。

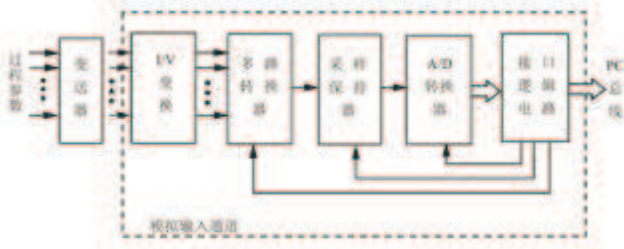


图2.10 模拟量输入通道的组成结构示意图

二、模拟量输入通道的组成

模拟量输入通道一般由I/V变换、多路转换器、采样保持器、A/D转换器、接口及控制逻辑电路组成。

1. I/V变换

图2.11所示的无源I/V变换主要是利用无源器件电阻来实现，并加滤波和输出限幅等保护措施。

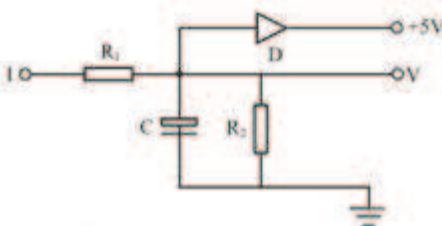


图2.11 无源I/V变换电路图

对于0~10mA输入信号，可取R1=100Ω，R2=500Ω，且R2为精密电阻，这样当输入的电流为0~10mA电流时，输出的电压为0~5V。

2. 多路开关

理想的多路开关其开路电阻为无穷大，其接通时的导通电阻为零。常用的多路开关有CD4051(或MC14051)，AD7501，LF13508等。CD4051有较宽的模拟信号电平，数字信号为3~15V，模拟信号峰峰值为15VP-P；当VDD-VEE=15V，输入幅值为15VP-P时，其导通电阻为80Ω；当VDD-VEE=10V时，其断开时的漏电流为±10pA；静态功耗为1μW。

由此可见，这种集成多路开关不是理想的开关。它在接通时的导通电阻并不是足够小，而且其阻值随所使用的电源电压不同而变化。为了减小多路开关导通电阻对信号传输精度的影响，就要求后面的负载阻抗足够大。

3. 采样保持器

A/D转换器完成一次A/D转换总需要一定的时间。在进行A/D转换时间内，希望输入信号不再变化，以免造成转换误差。这样，就需要在A/D转换器之前加入采样保持器。如果输入信号变化很慢，如温度信号；或者A/D转换时间较快，使得在A/D转换期间输入信号变化很小，在允许的A/D转换精度内，就不必再选用采样保持器。

采样保持器S/H(Sample and Hold)的结构原理如图2. 12所示。采样保持器的输入输出特性如图2. 13所示。

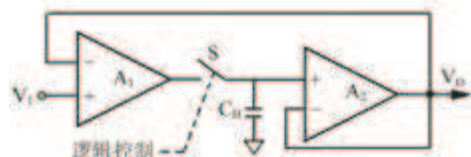


图2. 12 采样保持器的原理结构图



图2. 13 采样保持器的输入输出特性示意图

目前，大多数集成采样保持器都不包含保持电容CH，所以使用时常常是外接CH。由上述原理可知，CH的质量关系到采样保持器的精度。这就要求选用低介质损耗、漏电小的电容器，如聚苯乙烯、聚四氟乙烯、聚丙烯电容，其容量大小与采样频率成反比，一般在几百pF到0. 01 μ F之间。常用的集成采样保持器有LF198/298/398，AD582等。

3、A/D转换器

模拟量输入通道的任务是将模拟量转换成数字量，能够完成这一任务的器件，称之为模/数转换器(Analog/Digital Converter，简称A/D转换器或ADC)。常用的A/D转换的方法有逐次逼近式和双斜积分式，前者转换时间短(几微秒~几百个微秒)，但抗干扰能力较差；后者转换时间长(几十个毫秒~几百个毫秒)，抗干扰能力较强。在信号变化缓慢、现场干扰严重的场合，宜采用后者。

A/D转换器的工作原理见微机接口课。图2. 14给出了ADC0809与PC总线工业控制机的接口电路。下面过程是以图2. 14的接口方法为例完成采集ADC0809的8路模拟量程序。假定在主程序中已完成对8255A的初始化编程，并已装填了ES和DS，使它们有相同的段基值，系统分配给8255A的端口地址为2C0H~2C3H。

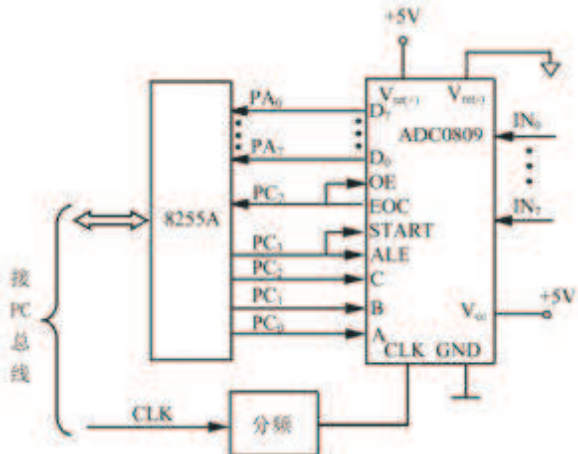


图2. 14 ADC0809与PC总线工业控制机接口电路图

```
ADC0809 PROC NEAR
MOV CX, 8
CLD
MOV BL, 00H ;模拟通道地址存BL
LEA DI, DATABUF
NEXTA: MOV DX, 02C2H
MOV AL, BL
OUT DX, AL
INC DX
MOV AL, 00000111B ;输出启动信号
OUT DX, AL
NOP
NOP
NOP
MOV AL, 00000111B
OUT DX, AL
DEC DX
NOSC: IN AL, DX
TEST AL, 80H ;EOC=1, 则等待
JNZ NOSC
NOEOC: IN AL, DX
TEST AL, 80H
```

```
JZ      NOEOC                      ;EOC=0, 则等待
MOV     DX, 02C0H                  ;读转换结果
IN      AL, DX
STOS    DATABUF
INC     BL                          ;修改模拟通道地址
LOOP    NEXT A
RET
ADC0809ENDP
```

图2. 15给出了AD574A与PC总线工业控制机的接口电路。

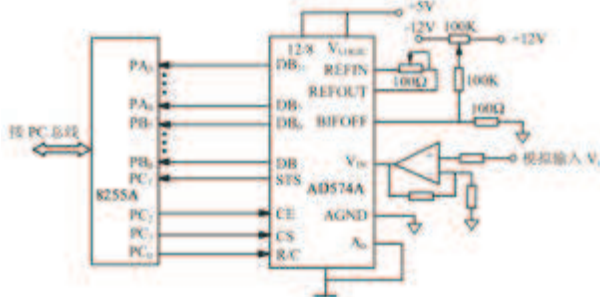


图2. 15 AD574A与PC总线工业控制机接口电路图

下面给出通过上述接口启动和读取AD574A数据的程序段，假定已完成对8255A的初始化编程，8255A的地址为2C0H~2C3H。

```
MOV     DX, 02C0H                  ;使CS, R/C有效
MOV     AL, 00H
OUT     DX, AL
NOP
NOP
MOV     AL, 04H                    ;启动转换
OUT     DX, AL
NOP
NOP
MOV     AL, 03H
OUT     DX, AL

POLLING: IN  AL, DX                 ;查询STS状态
TEST    AL, 80H
JNZ     POLLING
MOV     AL, 01H
OUT     DX, AL
NOP
MOV     AL, 05H                    ;允许读出
OUT     DX, AL
MOV     DX, 02C0H
IN      AL, DX
AND     AL, 0FH
MOV     BH, AL
INC     DX
IN      AL, DX
MOV     BL, AL
INC     DX
MOV     AL, 03H
OUT     DX, AL
```

三、模拟量输入通道的设计

1. 模拟量输入的光电隔离

为了抑制数字系统对模拟信号尤其是对小信号的干扰，同时避免模拟量输入串入高电压而破坏数字系统，应该对模拟量输入采取电隔离措施。常用的电隔离措施是光电隔离，一般在计算机接口与A/D转换电路之间实施，如图2. 16所示。

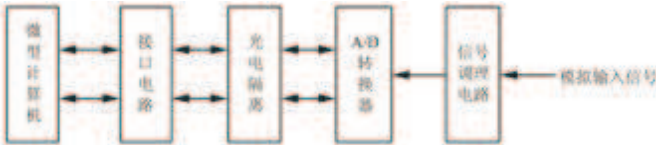


图2. 16 模拟量输入的光电隔离示意图

2. 设计A/D转换器接口要解决的几个问题

(1) 启动A/D转换

A/D转换器的起动方式分为自动转换和外部使能控制。大多数A/D芯片属于后者，这时要先给出A/D转换器的片选信号，再给出启动转换信号。信号形式有两种形式：电平启动信号和脉冲启动信号。电平启动信号要求在整个转换过程中都必须保证启动信号有效。如果中途撤走启动信号，那就会停止转换而得到错误结果。为此，CPU一般要通过并行接口来对A/D芯片发

启动信号，或者用D触发器使启动信号在A/D转换期间保持在有效电平。脉冲信号启动是其前沿用于复位ADC，后沿才用于启动转换，对脉冲的宽度也有不同的要求，通常用CPU执行输出指令时发生的片选信号和写信号即可产生启动脉冲。

(2) 输入模拟电压的连接

A/D转换器的输入模拟电压可以是单端的，也可以是差动的。差动输入的芯片，如ADC 0804，常用VIN(+)、VIN(-)或IN(+)、IN(-)一类标号注明输入端。如果用单端输入的是正向信号，则把VIN(-)接地，信号加到VIN(+)端；如果用单端输入的是负向信号，则把VIN(+)接地，信号加在VIN(-)端；如果用差动输入，则模拟信号加到VIN(-)端和VIN(+)端之间。

(3) 数据输出线和系统总线的连接

A/D转换器一般有两种输出方式。一种是具有可控的三态输出门，这种芯片的输出端可以直接和系统总线连接，由读信号控制三态门，在转换结束后，CPU通过执行一条指令，从而产生读信号，将数据从A/D转换器中取出，如ADC0809。另一种是内部有三态输出门，但其不受外部控制，而是由A/D转换电路在转换结束时自动选通。此外，还有某些A/D转换器甚至根本没有三态输出门电路。这种情况下，A/D转换器的数据输出线不能直接和系统的数据总线相连，而是必须通过I/O接口来实现A/D转换器和CPU之间的数据传输。

(4) ADC和CPU间的时间配合

在A/D转换器和CPU连接时，最重要的问题是时间配合问题。A/D转换器从接到启动命令到完成转换给出结果数据总是需要一定的转换时间，一般来说快者几微秒，慢者几十甚至几百毫秒，这与CPU的指令周期相比长得多。为了得到正确的转换结果，必须解决好启动转换和读取结果数据这两步操作间的时间配合问题。

常用的方法有四种。

- 延时等待法。
- 保持等待法。
- 查询法。
- 中断响应法。

3. 模拟量输入通道的精度

设计模拟量输入通道时，还应该考虑到其精度是否能够满足控制要求。即：

$$\text{检测元件的精度} + \text{放大器的精度} + \text{A/D的精度} < \text{控制精度}$$

这可以作为选择模拟量输入通道各元件的条件之一。这里主要介绍A/D转换器的字长选择。

(1) 输入信号的动态范围

设输入信号的最大值和最小值之差为

$$X_{\max} - X_{\min} = (2^{n_1} - 1)\lambda [\text{mv}]$$

式中 n_1 为A/D转换器的字长， λ 为转换当量 (mv/bit)。则动态范围为

$$2^{n_1} - 1 = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\lambda}$$

因此，A/D转换器字长

$$n_1 \geq \log_2 \left(1 + \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\lambda} \right)$$

(2) 分辨率

有时对A/D转换器的字长要求以分辨率形式给出。分辨率定义为：

$$D = \frac{1}{2^{n_1} - 1}$$

例如，8位的分辨率为

$$D = \frac{1}{2^8 - 1} \approx 0.0039215$$

如果所要求的分辨率为 D_0 ，则字长

$$n_1 \geq \log_2 \left(1 + \frac{1}{D_0} \right)$$

例如，某温度控制系统的温度范围为0至200℃，要求分辨率为0.005 (即相当于1℃)，可求出A/D转换器字长

$$n_1 \geq \log_2 \left(1 + \frac{1}{D_0} \right) = \log_2 \left(1 + \frac{1}{0.005} \right) \approx 7.65$$

因此，取A/D转换器字长为8位。

第三节 模拟量输出通道

一、模拟量输出通道的作用

模拟量输出通道是计算机控制系统实现控制输出的关键，它的任务是将CPU输出的数字信号转换成模拟信号去驱动相应的执行机构，以达到控制的目的。

二、模拟量输出通道的组成

模拟量输出通道一般由接口电路、D/A转换器、功率放大和V/I变换等信号调理电路组成。

1、D/A转换器

模拟量输出通道的核心是数/模转换器(Digital/Analog Converter, 简称D/A转换器或DAC)。它是指将数字量转换成模拟量的元件或装置。

D/A转换器原理及接口电路见微机接口课。

图2. 17是DAC0832与PC总线工业控制计算机的接口电路。

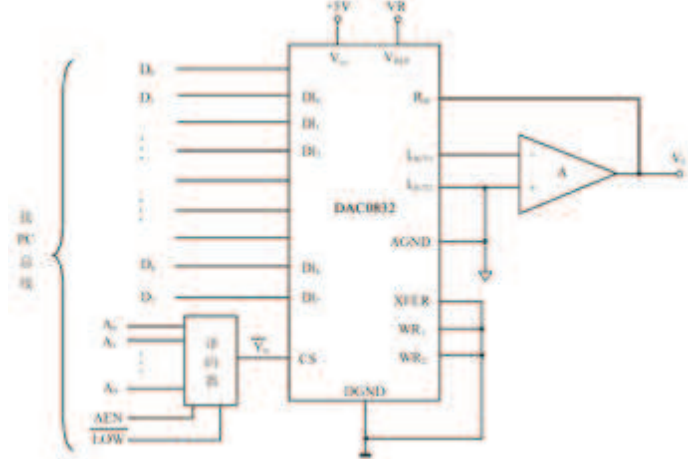


图2. 17 8位D/A转换器与PC总线工业控制机接口电路图

若DAC 0832的口地址为300H，则8位二进制数7FH转换为模拟电压的接口程序为

```
MOV    DX, 300H
MOV    AL, 7FH
OUT    DX, AL
```

2、V/I变换

一般情况下，D/A转换电路的输出是电压信号。在计算机控制系统中，当计算机远离现场，为了便于信号的远距离传输，减少由于传输带来的干扰和衰减，需要采用电流方式输出模拟信号。许多标准化的工业仪表或执行机构，一般是采用0~10mA或4~20mA的电流信号驱动的。因此，需要将模拟电压信号通过电压/电流(V/I)变换技术，转化为电流信号。

采用分立元件或运算放大器均可以构成V/I转换电路。随着集成电路技术的发展，目前已采用集成V/I转换电路来实现。

三、模拟量输出通道的设计

1. 模拟量输出通道的结构形式

一个实际的计算机控制系统中，往往需要多路的模拟量输出，其实现方法有两种。

(1) 每个通道设置一个独立的D/A转换器，如图2. 18所示。

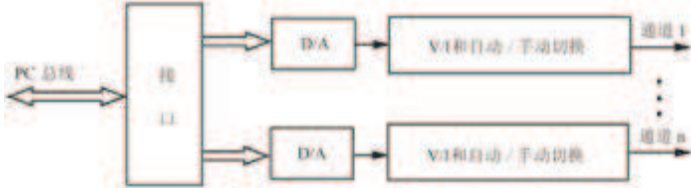


图2. 18 一个通路一个D/A转换器的结构示意图

(2) 多通道复用用一个D/A转换器，并辅以多路模拟开关和采样保持器来实现，如图2. 19所示。

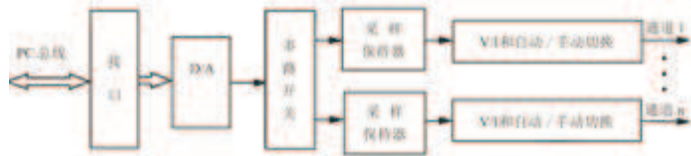


图2. 19 共用D/A转换器的结构示意图

2. 电压输出电路

对于电压输出，有时需要单极性输出，有时需要双极性输出。在实际应用中，通常采用D/A转换器外加运算放大器的方法，把D/A转换器的电流输出转换为电压输出。图2. 20给出了一个双极性输出的电路。

3. 模拟量输出的光电隔离

在工业现场应用中，为了消除公共地线带来的互相干扰，提高系统的安全性和可靠性，应该采用光电隔离措施将计算机控制系统与现场被控系统隔离开来。模拟量输出的光电隔离，一般在计算机与D/A转换器之间的数字接口部分进行，如图2. 21所示。

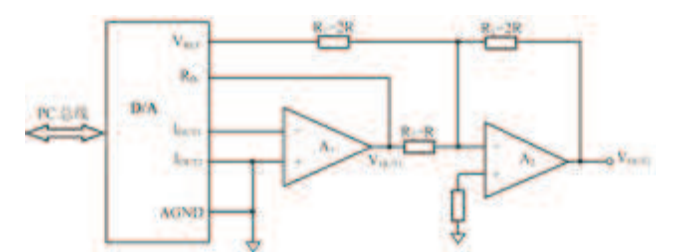


图2. 20 D/A转换器的单极性与双极性输出电路图

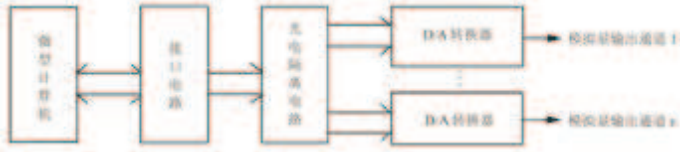


图2. 21 模拟量输出的光电隔离示意图

4. D/A转换器的字长选择

D/A转换器输出一般都通过功率放大器推动执行机构。设执行机构的最大输入值为 U_{\max} ，最小输入值为 U_{\min} ，灵敏度为 λ ，可得D/A转换器的字长

$$n_1 \geq \log_2 \left(\frac{U_{\max} - U_{\min}}{\lambda} \right)$$

即D/A转换器的输出应满足执行机构动态范围的要求。8位D/A转换器可以满足一般工程要求的精度，因而用的最多。

第三章 微机数控系统

第一节 数控的基本概念

数控是采用数字电子技术和计算机技术，对生产机械进行自动控制的系统，它包括顺序控制和数字程序控制两部分。

一、顺序控制

微机顺序控制方式是指以预先规定好的时间或条件为依据，按预先规定好的动作次序顺序地进行工作。一般地，把按时序或事序规定工作的自动控制称为顺序控制。

顺序控制的特点：

- (1)控制系统的输入和输出信号都是开关量信号。
- (2)顺序控制系统控制生产机械依次顺序动作，动作的转换是根据现场输入信号的逻辑判断或时序的判断来决定的。
- (3)为了保证系统可靠的工作，有的系统中，需对执行机构或控制对象的实际状态进行检测或测量，将结果及时地反馈给系统控制器，这就需要增加检测机构；为了调整方便，并实现工作时的监视以及故障时的报警，一般要有显示和报警电路。

因此，一个典型的顺序控制系统的组成结构框图如图3. 1所示。

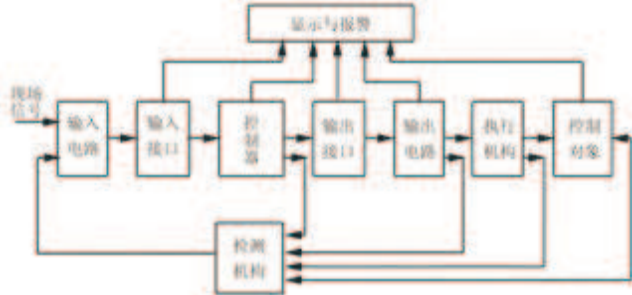


图3. 1 顺序控制系统组成结构框图

二、数字程序控制

数字程序控制主要用于机床的自动控制，如用于车床、铣床、线切割机、焊接机、气割机等自动控制系统中。采用数字程序控制的机床叫数控机床，它能对形状复杂的零件进行精密加工。

计算机数控系统(Computer Numerical Control)，简称CNC系统。它是通过软件实现控制，要想改变控制功能，只需改变相应的控制程序，硬件电路不作或只作极少改动，所以通用性和灵活性都很好。

1. 微机数控系统的组成

当CNC系统中的计算机采用微机时，就成为微机数控(MNC)系统了，其组成如图3. 2所示。

(1) 输入装置

一般指微机的输入设备，如键盘。其作用是输入数控系统对生产机械进行自动控制时所必需的各种外部控制信息和加工数据信息。



图3. 2 微机数控系统组成框图

(2) 微机

微机是MNC系统运算和控制的核心。在系统软件指挥下，微机根据输入信息，完成数控插补器和控制器运算，并输出相应的控制和进给信号。若为闭环数控系统，则由位置检测装置输出的反馈信息也送入微机进行处理。

(3) 输出装置

一般包括输出缓冲电路、隔离电路、输出信号功率放大器、各种显示设备等。在微机控制下，输出装置一方面显示加工过程中的各有关信息，另一方面向被控生产机械输出各种有关的开关量控制信号(冷却、启、停等)，还向伺服机构发出进给脉冲信号等。

(4) 伺服机构

一般包括各种伺服元件和功率驱动元件。其功能是将输出装置发出的进给脉冲转换成生产机械相应部件的机械位移(线位移、角位移)运动。

(5) 加工机械

即数控系统的控制对象，各种机床、织机等。目前已有专门为数控装置配套设计的各种机械，如各种数控机床，它们的

机械结构与普通机床有较大的区别。

2. 微机数控系统的分类

(1) 按用途分类

- ① 普通数控系统
- ② 多坐标数控系统

(2) 按控制对象的运动轨迹分类

- ① 点位控制系统
- ② 直线控制系统
- ③ 轮廓控制系统

(3) 按对伺服机构的控制方式分类

- ① 开环控制系统
- ② 闭环控制系统

第二节 逐点比较法插补原理

一、逐点比较法直线插补运算

1. 直线插补运算原理

(1) 偏差及其计算公式

设给定加工直线OE位于第一象限，如图3.3所示。直线的起点为坐标原点O(0, 0)，直线终点在E(x_e , y_e)点，直线的斜率为

$$K_e = \frac{y_e}{x_e}$$

当某一时刻加工点到达M(x_m , y_m)点时，则直线OM的斜率为

$$K_m = \frac{y_m}{x_m}$$

点M偏离给定直线OE的情况可用OM与OE的斜率之差来表示，即

$$F = \frac{y_m x_e - y_e x_m}{x_m x_e}$$

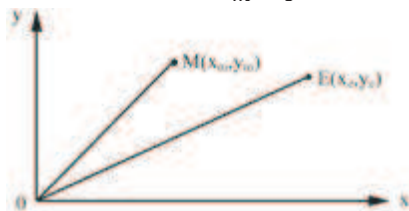


图3.3 第一象限直线示意图

当 $F=0$ 时，M点在直线OE上；

当 $F>0$ 时，M点在直线OE上方；

当 $F<0$ 时，M点在直线OE下方。

偏差可表示为

$$F_m = y_m x_e - y_e x_m$$

根据 F_m 的符号就可以判别M点的偏离方向。在采用逐点比较法的加工过程中，每一步的进给方向都是沿平行于坐标轴的方向逼近给定曲线的，再根据 F_m 的符号来决定下一步的进给方向。

对于第一象限的直线OE，起始点为坐标原点O(0, 0)，那么当 $F_m=0$ 时，M点在直线OE上，此时规定沿+x轴方向进给一步；当 $F_m>0$ 时，M点在直线OE的上方，沿+x轴方向进给一步；当 $F_m<0$ 时，M点在直线OE的下方，沿+y轴方向进给一步。

为了便于编程，我们将偏差计算式进一步简化，以得到偏差计算的递推公式。

对于第一象限的直线，若加工到M点时， $F_m \geq 0$ ，则向+x轴方向进给一步，新加工点的坐标为 (x_{m+1}, y_{m+1}) ，它与M点的坐标关系是

$$x_{m+1} = x_m + 1$$

$$y_{m+1} = y_m$$

则偏差为

$$F_{m+1} = y_m x_e - y_e x_m - y_e = F_m - y_e$$

若加工到M点时 $F_m < 0$ 时，则向+y轴方向进给一步，新加工点坐标 (x_{m+1}, y_{m+1}) 与M点的坐标关系是

$$\begin{aligned}x_{m+1} &= x_m \\y_{m+1} &= y_m + 1\end{aligned}$$

因而新加工点的偏差为

$$F_{m+1} = y_m x_e - y_e x_m + x_e = F_m + x_e$$

(2) 终点判别

终点判别有多种方法，下面介绍其中的两种方法。

• 设置两个计数器 N_x 和 N_y ，分别对 x 坐标方向和 y 坐标方向的总步数进行计数。

• 设一个总步数计数器 N_{xy} ，对 x 坐标方向和 y 坐标方向的总步数进行计数。**2. 直线插补计算举例**

例3.1 设加工第一象限直线OE，起点为(0, 0)，终点坐标为(6, 3)试进行插补计算，并作出走步轨迹图。(参考书中例题)

3. 四象限直线插补公式

根据第一象限的插补原理及偏差计算式的推导过程，可得出其他三个象限的进给方向及偏差计算式。(见书)

4. 直线插补程序设计

根据上述分析，可知直线插补的步骤如下：

- (1) 偏差判别：即判别上一次进给后的偏差值 F_m 是最大于等于零，还是小于零；
- (2) 坐标进给：即根据偏差判断的结果决定进给方向，并在该方向上进给一步；
- (3) 偏差计算：即计算进给后的新偏差值 F_{m+1} ，作为下一步偏差判别的依据；
- (4) 终点判别：即若已到达终点，则停止插补；若未到达终点，则重复上述步骤。

二、逐点比较法圆弧插补运算

在圆弧加工中，圆弧的圆心是坐标的原点。根据圆弧的形成方向和它在坐标中的位置，可将圆弧曲线分成顺向四个象限和逆向四个象限八种情况。SR1、SR2、SR3和SR4分别表示第1、2、3、4象限的顺圆弧；NR1、NR2、NR3和NR4分别表示第1、2、3、4象限的逆圆弧。下面以加工SR1为例，讨论其插补计算原理。

1. 圆弧插补计算原理

(1) 偏差及其计算公式

设加工如图3.4所示的第一象限顺向圆弧SR1。圆心是坐标的原点，圆弧起点为A(x_a, y_a)，终点为E(x_e, y_e)，半径为R，则有

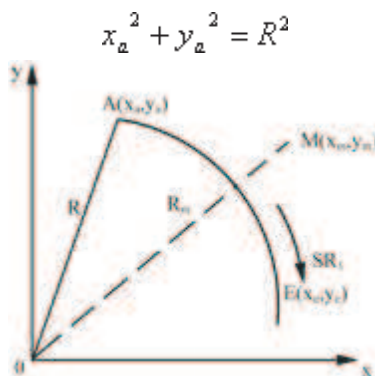


图3.4 第一象限顺圆弧示意图

偏差判别式为

$$F_m = x_m^2 + y_m^2 - R^2$$

若 $F_m=0$ ，则表明加工点M在圆弧上； $F_m>0$ ，表明加工点在圆弧外； $F_m<0$ ，表明加工点在圆弧内。

为了使新的加工点逼近给定圆弧，对于SR1，进给方向应为：当 $F_m \geq 0$ 时，应向 $-y$ 轴方向进给一步；当 $F_m < 0$ 时，应向 $+x$ 方向进给一步。

仿照直线插补的做法，导出圆弧偏差计算的递推公式。

若 $F_m \geq 0$ ，则应沿 $-y$ 轴方向走一步，新加工点的偏差为：

$$F_{m+1} = F_m - 2y_m + 1$$

若 $F_m < 0$ ，则应沿 $+x$ 轴走一步，新加工点的偏差为

$$F_{m+1} = F_m + 2x_m + 1$$

(2) 终点判别

圆弧加工时，终点判别的方法与直线加工时相同，可采用前面讲述过的两种方法之一。

2. 圆弧插补计算举例

例3.2 设加工第一象限的顺圆，圆弧起点为A(0, 4)，终点为E(4, 0)，试进行插补计算并作出走步轨迹图。

计算过程见书

3. 四象限圆弧插补计算公式

用与推导第一象限顺圆弧插补公式相同的方法很容易推导出其余七种类型的圆弧插补计算公式。(见书)

第三节 步进电机控制技术

一、步进电机的工作原理

以反应式步进电机为例介绍步进电机的工作原理。
三相反应式步进电机剖面示意图如图3. 5所示。

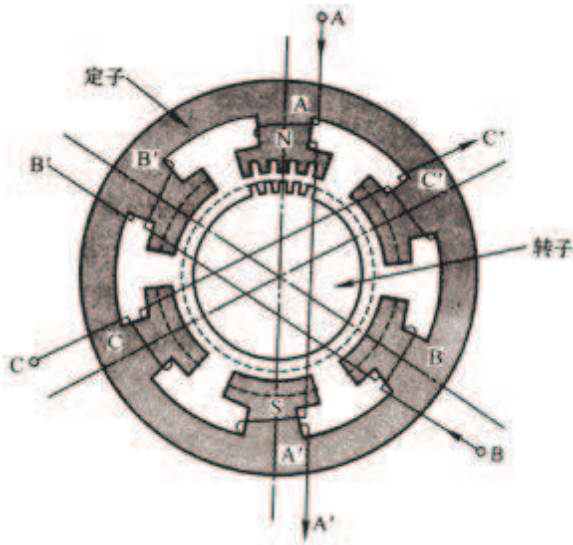


图3. 5 反应式步进电机剖面示意图

步进电机的转子上没有绕组，而是在转子圆周上均匀分布着40个矩形小齿，相邻两齿之间的夹角为 9° ，转子中的小齿和定子的齿形状相同，齿距也相同。当某相绕组通电时，相对应的磁极就会产生磁场，并与转子形成磁路，如果这时定子的小齿没有对齐，则在磁场作用下，转子转动一定的角度，使转子与定子齿对齐，可见通电相中定、转子齿的错位是促使步进电机旋转的条件。

假如按 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 顺序依次通电，初始状态A相通电，而B、C两相都不通电，在磁场作用下使转子齿和A相的定子齿对齐，并设与A相磁极中心对齐的转子齿为0#齿，由于B相磁极与A相磁极相差 120° ，有 $120^\circ / 9^\circ = 40/3$ 不为整数，说明此时的转子齿不可能与B相定子齿对齐，只是第13#小齿靠近B相磁极的中心线，且与中心线相差 3° 。如果此时突然变为B相通电，而A、C两相都不通电，则B相磁极迫使13号转子齿与之对齐，这样整个转子就转动了 3° ，此时，称电机走了一步。同理，变为C相通电，而A、B两相都不通电时，整个转子也转动了 3° ，如果按 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 顺序通电一周，则转子转动 9° 。由此可知，由一种通电状态变换到另一种通电状态，转子转动一步，我们称之为—“拍”。

二、步进电机的工作方式

1. 三相单三拍工作方式

各相的通电顺序为 $A \rightarrow B \rightarrow C$ ，各相通电的电压波形如图3. 6所示。

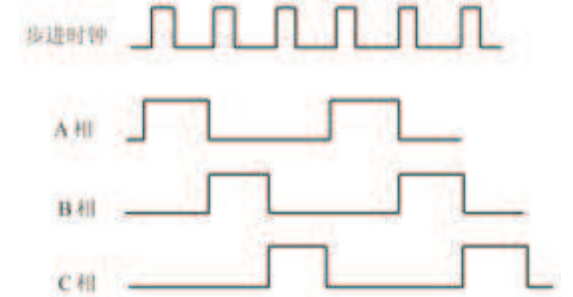


图3. 6 单三拍工作的电压波形图

2. 三相双三拍工作方式

双三拍工作方式各相的通电顺序为 $AB \rightarrow BC \rightarrow CA$ 。各相通电的电压波形如图3. 7所示。

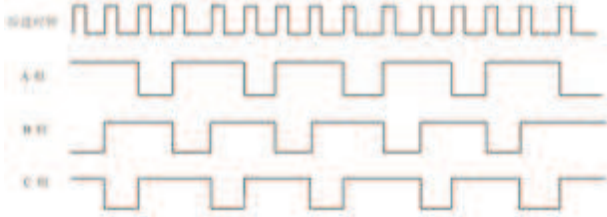


图3. 7 双三拍工作的电压波形图

3. 三相六拍工作方式

在反应式步进电机控制中，把单三拍和双三拍工作方式结合起来，就产生了六拍工作方式，其通电顺序为 $A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CA$ 。各相通电的电压波形如图3. 8所示。

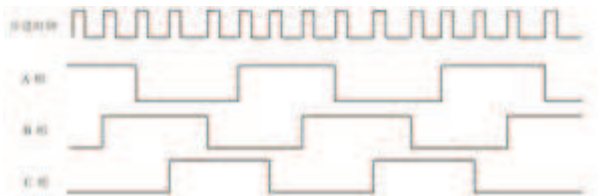


图3. 8三相六拍工作的电压波形图

三、步进电机的控制系统

典型的步进电机控制系统如图3. 9所示。微机步进电机控制系统的结构图如图3. 10所示。



图3. 9步进电机控制系统方框图

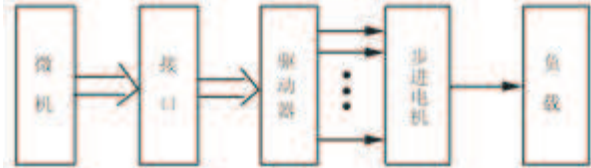


图3. 10微机控制步进电机系统结构图

1. 脉冲信号的形成

在步进电机控制软件中必须要解决的一个问题就是产生一个如图3. 11所示的周期性脉冲序列。



图3. 11脉冲序列示意图

2. 方向控制和脉冲分配

方向控制是通过改变电机绕组的通电顺序来实现的。在前面讲过的步进电机的三种工作方式中，按前述的三种通电方式和通电顺序进行通电，则步进电机正转；反之，如果通电方向和前述工作方式中的顺序相反，则步进电机反转。例如对三相单三拍工作方式，正转时的通电顺序为A→B→C→A，而反转时的通电顺序则为A→C→B→A，其他两种工作方式可依此类推。

方向控制和脉冲分配在微机数控系统中用软件来实现时是通过微机输出控制字完成的。

假定微机同时控制x轴和y轴两台三相步进电机，其输出接口的每一位控制一相绕组，此接口电路可以选用锁存器，也可以选用可编程并行接口芯片8255、8155等，在本例中用8255控制三相步进电机。8255PA口的PA0、PA1、PA2分别控制x轴三相步进电机的A、B、C三相绕组，8255PB口的PB0、PB1、PB2分别控制y轴三相步进电机的A、B、C三相绕组，则根据所选定的步进电机工作方式及转向，可写出相应的控制字，列于书中的表3. 5、表3. 6、表3. 7中。

3. 步进电机驱动电路

(1) 单电压功率放大电路

电路原理如图3. 12所示。电路的电压E一般选择在10~100V左右，有的高达200V，这要视应用场合、步进电机的功率和实际要求而定。这是步进电机控制中最简单的一种驱动电路。实质上它是一个简单的反相器。晶体管T用作开关；L是步进电机的一相绕组电感；RL是绕组电阻；RC是外接电阻，也是限流电阻；D是续流二极管。

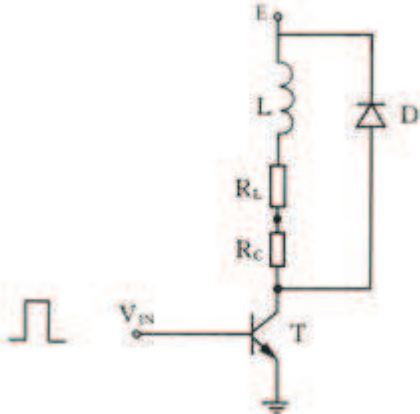


图3. 12 步进电机一相绕组的开关电路图

单电压功率放大器的最大特点是结构简单，缺点是工作效率低，高频时效率尤其低。电阻RC消耗相当大的一部分能量，

且RC的发热直接影响电路的稳定工作状态，所以单电压功率放大电路一般只用来驱动小功率步进电机。
图3. 13示出了一种改进的单电压功率放大电路。

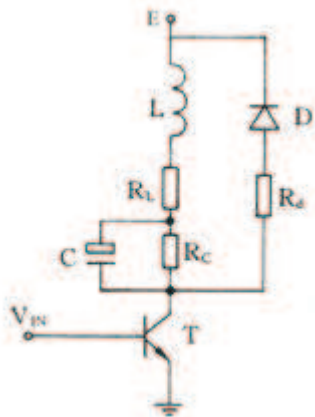


图3. 13改进的单电压功率放大器电路图

(2) 双电压功率放大电路
该电路就是采用两种电源电压的功放电路，其结构如图3. 14所示。

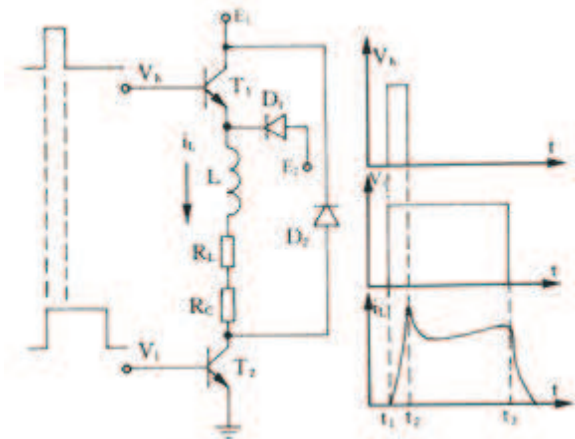


图3. 14双电压功率放大电路图

(3) 斩波型功率放大电路
斩波平滑功放电路和工作原理如图3. 15所示。

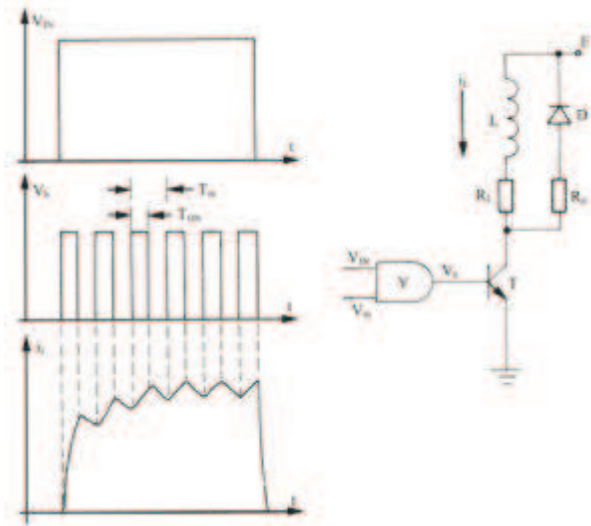


图3. 15 斩波平滑功放电路图

四、步进电机走步程序设计

参考书中的例子。

第四章 控制系统的控制算法

第一节 数字控制器的模拟化设计技术

一、采样频率与模拟化设计的关系

1. 模拟化设计思想

数字控制器的模拟化设计是将图4.1所示的计算机控制系统看作是一个连续系统，即忽略控制回路中所有的零阶保持器和采样器，然后采用连续系统设计方法设计出模拟控制器，在满足一定条件下，做出某种近似，从而将模拟控制器离散化成数字控制器。

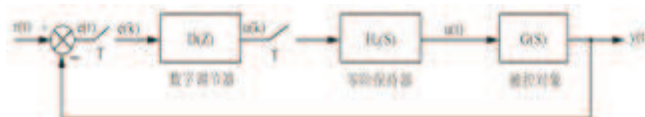


图4.1 微机控制系统的典型结构图

2. 香农采样定理

设连续信号 $x(t)$ 的频带宽度是有限的，所包含的最高频率为 ω_{\max} ，为了能使连续信号 $x(t)$ 采样后的离散频谱 $x^*(j\omega)$ 彼此不重叠，并能复现原信号 $x(t)$ 的全部信息，则要求采样频率 ω 满足下述关系：

$$\omega_s \geq 2\omega_{\max}$$

这便是著名的香农采样定理，是数字控制器进行模拟化设计的前提条件。

二、模拟化设计步骤

1. 设计假想的模拟控制器D(S)

将图4.1所示的微机控制系统假想为一个连续系统，如图4.2所示，即将实现数字控制器的微机 and 零阶保持器合在一起，作为一个模拟环节看待，其等效传递函数为 $D(S)$ 。

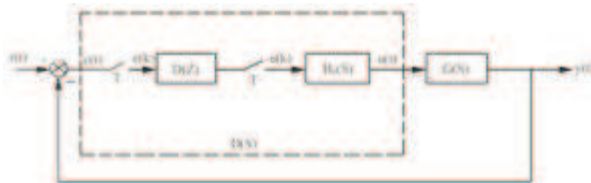


图4.2 假想的连续系统示意图

我们按照对数频率特性法、根轨迹法等连续系统的校正方法，可以设计校正环节 $D(S)$ ，即为连续系统的调节器。

2. 正确地选择采样周期T

(1) 从调节品质上看，希望采样周期短，以减小系统纯滞后的影响，提高控制精度。通常保证在95%的系统的过渡过程时间内，采样6次~15次即可。

(2) 从快速性和抗扰性方面考虑，希望采样周期尽量短，这样给定值的改变可以迅速地通过采样得到反映，而不致产生过大的延时。

(3) 从计算机的工作量和回路成本考虑，采样周期 T 应长些，尤其是多回路控制时，应使每个回路都有足够的计算时间；当被控对象的纯滞后时间 τ 较大时，常选 $T=\tau$ 。

(4) 从计算精度方面考虑，采样周期 T 不应过短，当主机字长较小时，若 T 过短，将使前后两次采样值差别小，调节作用因此会减弱。另外，若执行机构的速度较低，会出现这种情况，即新的控制量已输出，而前一次控制却还没完成，这样采样周期再短也将毫无意义，因此 T 必须大于执行机构的调节时间。

3. 将D(S)离散化为D(Z)

计算机控制系统是离散系统，因此要将连续控制系统的调节器传递函数 $D(s)$ 转换为离散系统的脉冲传递函数 $D(z)$ 。

(1) 双线性变换法

按Z变换的定义，利用泰勒级数展开，可得：

$$z \approx \frac{1 + \frac{sT}{2}}{1 - \frac{sT}{2}}$$

此式即为双线性变换式或图斯汀(Tustin)近似。由此式可解得

$$s = \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1}$$

(2) 前向差分法

按Z变换定义，将其直接展开成泰勒级数，有

$$z \approx 1 + sT$$

从而得到S与Z之间的变换关系

$$s = \frac{z - 1}{T}$$

(3) 后向差分法

Z变换定义，将其变形后展成泰勒级数，有

$$z \approx \frac{1}{1 - sT}$$

由此得到S与Z之间的变换关系

$$s = \frac{z - 1}{Tz}$$

4. 求出与D(S)对应的差分方程

要想用计算机实现数字调节器D(Z)，则必须求出相应的差分方程，此时有两条途径，一是由D(S)，写出系统的微分方程，并进行差分处理得到相应的差分方程，如数字PID控制算法即由此推导出；另一途径是根据数字调节器D(Z)，用直接程序设计法、串联实现法等将其变为差分方程，如大林算法。

5. 根据差分方程编制相应程序。

实现微机控制设计好的控制算法投入使用前，要进行数字仿真，若不合乎要求，应予以修改，直至满足要求为止。

第二节 数字PID控制算法

一、PID控制规律及其基本作用

PID调节器是一种线性调节器，其框图如图4.3所示。

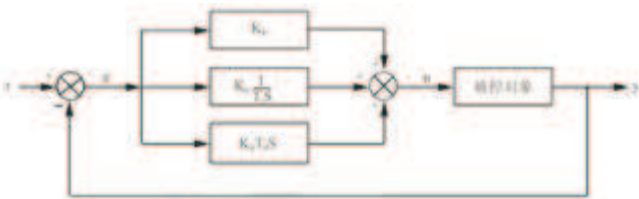


图4.3 PID控制器方框图

1. 比例调节器(P)

控制规律为

$$u = K_p e + u_0$$

式中，Kp为比例系数，u0为偏差为0时的控制作用(如原始阀门开度、基准电压等)。

2. 比例积分调节器(PI)

采用比例调节的系统存在静差，为了消除静差，在比例调节器的基础上加入积分调节器，组成比例积分调节器，其控制规律为

$$u = K_p (e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt) + u_0$$

式中Ti为积分常数，Ti越大积分作用越弱。

3. 比例积分微分调节器(PID)

比例积分调节消除系统误差需经过较长的时间，为进一步改进控制器，可以通过检测误差的变化率来预报误差，根据误差变化趋势，产生强烈的调节作用，使偏差尽快地消除在萌芽状态，数学上描述这个概念就是微分，因此在PI调节器的基础上加入微分调节，就构成了比例积分微分调节器，其控制规律为

$$u = K_p (e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt}) + u_0$$

式中Td为微分常数，Td越大微分作用越强。

PID调节器的传递函数为

$$D(s) = K_p + \frac{K_p}{T_i} \cdot \frac{1}{s} + K_p T_d s$$

二、标准数字PID控制算法

为了实现微机控制生产过程变量，必须将模拟PID算式离散化，变为数字PID算式，为此，在采样周期T远小于信号变化

周期时,作如下近似(T足够小时,如下逼近相当准确,被控过程与连续系统十分接近):

$$\int_0^t e dt \approx T \sum_{j=0}^k e(j)$$

$$\frac{de}{dt} \approx \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

于是有:

$$u(k) = K_p \{e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)]\}$$

$u(k)$ 是全量值输出,每次的输出值都与执行机构的位置(如控制阀门的开度)一一对应,所以称之为位置型PID算法。

当控制系统中的执行器为步进电机、电动调节阀、多圈电位器等具有保持历史位置的功能的这类装置时,一般均采用增量型PID控制算法。

$$\Delta u(k) = K_p \{[e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]\}$$

与位置算法相比,增量型PID算法有如下优点:

(1)位置型算式每次输出与整个过去状态有关,计算式中要用到过去偏差的累加值,容易产生较大的累积计算误差;而在增量型算式中由于消去了积分项,从而可消除调节器的积分饱和,在精度不足时,计算误差对控制量的影响较小,容易取得较好的控制效果。

(2)为实现手动——自动无扰切换,在切换瞬时,计算机的输出值应设置为原始阀门开度 u_0 ,若采用增量型算法,其输出对应于阀门位置的变化部分,即算式中不出现 u_0 项,所以易于实现从手动到自动的无扰动切换。

(3)采用增量型算法时所用的执行器本身都具有寄存作用,所以即使计算机发生故障,执行器仍能保持在原位,不会对生产造成恶劣影响。

利用增量型PID控制算法,可得到位置型PID控制算法的递推形式,即

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$$

三、改进的数字PID控制器

1. 积分分离PID控制算法

当系统有较大的扰动或给定值有较大变化时,由于系统的惯性,偏差 e 将随之增大,积分项中将有较大的积累值,以致使位置型PID运算结果超出上面所限定的范围,尽管PID运算所得控制量 u 还在继续增大或减小,但执行机构已无相应动作了,其结果将使调整时间加长,被控量超调增大,这种现象对大惯性对象(如温度、成份等变化缓慢的过程)更为严重。由于它主要是由位置型PID算式的积分项引起的,因此称之为“积分饱和”。

积分分离算法的思想是在 $e(k)$ 较大时,取消积分作用;而在 $e(k)$ 较小时将积分作用投入。为此要根据系统情况设置分离用的门限值(也称阈值),当 $|e(k)| \leq \beta$,即偏差值 $e(k)$ 比较小时,采用PID控制,可保证系统的控制精度;当 $|e(k)| > \beta$,即偏差 $e(k)$ 比较大时,采用PD控制,可大大地降低超调量。积分分离PID算法可表示为

$$u(k) = K_p \{e(k) + K_f \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)]\}$$

式中逻辑系数

$$K_f = \begin{cases} 1 & |e(k)| \leq \beta \\ 0 & |e(k)| > \beta \end{cases}$$

2. 不完全微分PID控制算法

在标准PID算式中,当瞬时偏差 $e(k)$ 较大,例如有阶跃信号输入时,微分项输出会急剧增加,产生微分饱和效应,容易引起控制过程振荡,导致调节品质下降。

数字PID中的微分作用为

$$u_d(k) = \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)]$$

对应的Z变换是

$$U_d(z) = \frac{T_d}{T} E(z)(1 - z^{-1})$$

当 $e(t)$ 为单位阶跃函数时,由Z变换有

$$E(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}}$$

$$U_d(z) = \frac{T_d}{T}$$

此时

微分部分的输出序列为

$$u_d(0) = \frac{T_d}{T}, u_d(1) = u_d(2) = \dots = 0$$

不完全微分PID调节器的框图见图4.4。图中 $G_f(s)$ 为低通滤波器传递函数，即

$$G_f(s) = \frac{1}{T_f s + 1}$$



图4.4 不完全微分PID调节器框图

像求得标准数字PID调节器一样，离散化可得差分方程

$$u(k) = \alpha u(k-1) + (1-\alpha)u'(k)$$

式中 $\alpha = \frac{T_f}{T+T_f}$ ， $u'(k)$ 为位置型标准PID算式。

不完全微分数字PID的微分项输出幅度小，作用时间长，能在各个采样周期里真正起到微分作用。不完全微分调节器输出为

$$U_d(s) = T_d s \bullet \frac{1}{T_f s + 1} E(s)$$

将其离散化，有

$$u_d(k) = \frac{T}{T+T_f} u_d(k-1) + \frac{T_d}{T+T_f} [e(k) - e(k-1)]$$

设当 $k \geq 0$ 时， $e(k) = b$ ，则由上式可得

$$u_d(0) = \frac{T_d}{T+T_f} e(0) = \frac{T_d}{T+T_f} b$$

$$u_d(1) = \frac{T_f}{T+T_f} u_d(0) + \frac{T_d}{T+T_f} [e(1) - e(0)] = \frac{T_f T_d}{(T+T_f)^2} b$$

$$u_d(2) = \frac{T_f}{T+T_f} u_d(1) = \frac{T_f T_d}{(T+T_f)^3} b$$

⋮

显然， $u(k) \neq 0, k=1, 2, 3, \dots$ ，且

$$u_d(0) = \frac{T_d}{T+T_f} b \leq \frac{T_d}{T} b$$

因此，不完全微分数字PID调节器的微分作用是逐渐减弱的，不易引起振荡，改善了控制效果。

3. 带死区的PID控制算法

所谓带死区的PID控制，就是在标准数字PID调节器前面增加一个非线性环节，其框图如图4.5所示。

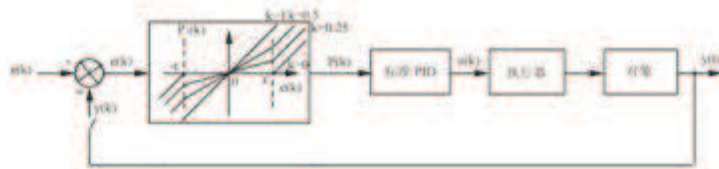


图4.5 带死区的PID控制框图

带死区的PID控制规律如下：

$$u(k) = K_p \left\{ p(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k p(j) + \frac{T_d}{T} [p(k) - p(k-1)] \right\} + u_0$$

$$p(k) = \begin{cases} e(k) & |r(k) - y(k)| > \varepsilon \\ ke(k) & |r(k) - y(k)| < \varepsilon \end{cases}$$

4. 消除积分不灵敏区的PID控制

在增量型PID算式中，当微机的运算字长较短时，如果采样周期 T 较短，而积分时间 T_i 又较长，则容易出现 $\Delta u_i(k)$ 小于微机字长精度的情况，此时 $\Delta u_i(k)$ 就要被丢掉，该次采样后的积分控制作用就会消失，这种情况称为积分不灵敏区，它将影响积分消除静差的作用。

（举例说明）

为了消除这种积分不灵敏区，除增加A/D转换器位数，以加长字长，提高运算精度外，还可以将小于输出精度 ε 的积分项 $\Delta u_i(k)$ 累加起来，而不将其丢掉。

四、数字PID调节器参数的整定方法

模拟PID调节器参数的整定是按照工艺对控制性能的要求，决定调节器的参数 K_p 、 T_i 、 T_d ；而数字PID调节器参数的整定，除了需要确定 K_p 、 T_i 、 T_d 外，还需要确定系统的采样周期 T 。

1. 扩充临界比例度法整定PID参数

扩充临界比例度法是以模拟PID调节器中使用的临界比例度为基础的一种数字PID调节器参数的整定方法。整定步骤如下：

(1) 选择一个足够短的采样周期 T ，例如被控过程有纯滞后时，采样周期 T 取滞后时间的1/10以下，此时调节器只作纯比例控制，给定值 r 作阶跃输入。

(2) 逐渐加大比例系数 K_p ，使控制系统出现临界振荡。由临界振荡过程求得相应的临界振荡周期 T_s ，并记下此时的比例系数 K_p ，将其记作临界振荡增益 K_s 。此时的比例度为临界比例度，记作

$$\delta_s = \frac{1}{k_s}$$

(3) 选择控制度，所谓控制度是数字调节器和模拟调节器所对应的过渡过程的误差平方的积分之比。

控制度是数字调节器和模拟调节器控制效果相比较的一种性能评价指标。通常不需要去计算。当控制度为1.05时，数字调节器与模拟调节器的控制效果相当；当控制度为2.0时，数字调节器的控制质量差一倍。

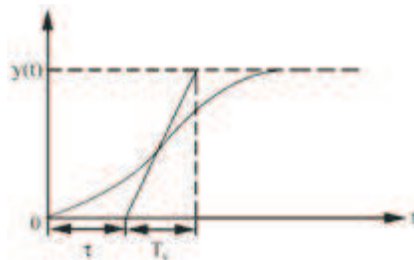
(4) 根据控制度，查表求出 T 、 K_p 、 T_i 和 T_d 值。

(5) 按照求得的整定参数，投入系统运行，观察控制效果，再适当调整参数，直到获得满意的控制效果为止。

2. 扩充响应曲线法整定PID参数

(1) 断开数字调节器，让系统处于手动操作状态。将被调量调节到给定值附近并稳定后，然后突然改变给定值，即给对象输入一个阶跃信号。

(2) 用仪表记录被控参数在阶跃输入下的整个变化过程曲线，如图所示。



(3) 在曲线最大斜率处作切线，求得滞后时间 τ 、被控对象的时间常数 T_c ，以及它们的比值 T_c/τ 。

(4) 由 τ 、 T_c 、 T_c/τ 值，查表，求出数字控制器的 T 、 K_p 、 T_i 和 T_d 。

3. 试凑法

(1) 只采用比例控制， K_p 由小变大，若响应时间、超调、静差已达到要求，只采用比例调节即可。

(2) 若静差不能满足，则加入积分控制，将 K_p 减小，例如取0.8 K_p 代替 K_p ， T_i 由大到小，反复测试多组的 K_p 和 T_i 值，从中确定合适的参数。

(3) 若动特性不满足，比如超调量过大，或调节时间过长，则加入微分控制， T_d 由小到大，逐步凑多组PID参数，从中找出一组最佳调节参数。

五、常用的数字PID控制系统

1. 单回路控制系统

系统中只有一个PID控制器，其控制量 u 是由给定值 R 与被调量 Y 构成的，如果给定值 R 一定，则控制量 u 只取决于被调量 Y 。这种单回路调节常常满足不了某些生产工艺的要求，此时如果在单回路的基础上引入某些可测量的辅助被调量或扰动量，则能改善调节性能。引入这些辅助量以后，需要增加相应的辅助调节回路，于是单回路调节系统就变成了多回路调节系统。常用的辅助调节回路有串级调节回路、前馈控制回路等。

2. 串级控制系统

举例说明串级控制系统的工作原理。串级控制系统至少要有两个调节回路，分为主回路和副回路。一般主回路只有一个，副回路可以有多个。主、副回路之间的关系是：主调节器输出作为副调节回路的给定值，两调节器之间以级联形式连接，因此称之为串级控制系统。

(1) 串级控制系统特点

- 提高了抑制副环内干扰的能力
- 提高了系统的工作频率
- 有一定的自适应能力

它适用于：

- 对象的控制通道纯滞后时间较长；
- 对象的时间常数较大；
- 负荷变化较大，而被控对象又有较大的非线性；
- 系统存在变化剧烈和幅值很大的干扰。

(2) 串级控制系统的设计原则

- 尽量选择系统中的质量指标为被控主对象、主变量。
- 系统中主要的扰动应该包含在副回路中，且副回路增益尽可能大。
- 副调节器尽量包含积分环节。
- 副回路的被控参数必须是一个可测的中间变量或通过可观测分析能够重新构造的中间变量。
- 当主回路的采样周期 T' 与副回路的采样周期 T'' 不等时，应选择 $T' \geq 3T''$ 或 $3T' \leq T''$ ，以免主、副回路之间发生相互干扰，形成“共振”。通常副回路的采样周期要比主回路的采样周期短得多，一般取 $T' \geq \gamma T''$ ，其中 $\gamma \geq 3$ 。
- 串级控制的计算顺序是先主回路，后副回路。

(3) 微机串级控制系统

计算机串级控制系统如图4.6所示。



图4.6 计算机串级控制系统结构图

串级控制系统的计算顺序为：

- (1) 计算主回路的偏差 $e_1(k)$
- (2) 计算主调节器 $D_1(z)$ 的输出 $u_1(k)$
- (3) 计算副回路的偏差 $e_2(k)$
- (4) 计算副回路控制器 $D_2(z)$ 的输出 $u_2(k)$

3. 纯滞后补偿控制系统

(1) 纯滞后对系统的影响

被控对象的传递函数为

$$G_{pc}(s) = G_p(s)e^{-\tau s}$$

其中 $G_p(s)$ 为不含纯滞后环节的过程模型。该过程的常规控制系统方框图如图4.7所示。

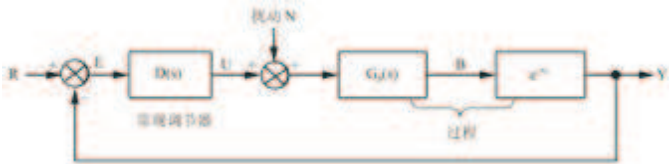


图4.7 有纯滞后的常规反馈控制回路图

图4.7所示系统的闭环传递函数(不考虑扰动N时)为

$$G_B(s) = \frac{D(s)G_p(s)e^{-\tau s}}{1 + D(s)G_p(s)e^{-\tau s}}$$

系统的特征方程中包含有 $e^{-\tau s}$ ，因此会使系统的稳定性下降，尤其当 τ 较大时，即使PID调节器参数整定得极好，系统的超调量仍会接近于没有控制时的数值，其调节时间也很长。

(2) Smith补偿原理

为了改善系统的性能，就要设法把纯滞后环节移到控制回路外边，因此如果我们能把图4.7中假想的变量B测量出来，那么就可以按照图4.8所示的那样，把B信号反馈到调节器。经过延迟时间 τ 后，被调量Y将重复B同样的变化。由于反馈信号B没有延迟，所以系统的响应将会大大地改善。



图4.8 反馈回路的理想结构示意图

现在，假设我们构造了一个过程的模型，并按图4.9所示那样把控制量U加到该模型上去。在图4.9中，如果模型是精确的，那么虽然假想的过程变量B是得不到的，但我们能够得到模型中的 B_m ，如果不存在建模误差和负荷扰动，那么 B_m 就会等于B， $E_m=Y-Y_m=0$ ，我们可将其作为反馈信号。但当有建模误差和负荷扰动时，则 $E_m=Y-Y_m \neq 0$ ，它是由负荷扰动或模型不够精确引起的，这样对过程的控制也就不够满意了。为此，在图4.9中又用 E_m 实现第二条反馈回路，以弥补上述缺点。这便是Smith预估器的控制策略。

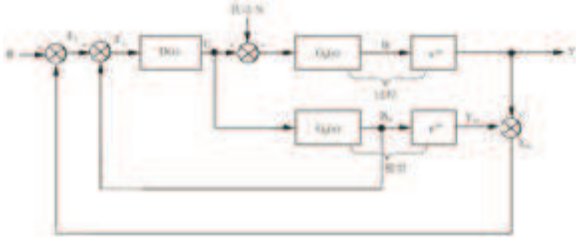


图4.9 Smith预估器控制系统电路图

我们对图4. 9作方框图等效变换，将其转变为图4. 10的形式，因为实际上实现Smith预估器时，是将其并联在调节器D(s)上的，而不是并联在过程控制对象上。图中虚线部分是带纯滞后补偿控制的调节器，其传递函数为

$$D_{\tau}(s)=\frac{D(s)}{1+D(s)G_p(s)(1-e^{-s})}$$

经过纯滞后补偿控制，有系统的闭环传递函数

$$G_B(s)=\frac{D(s)G_p(s)e^{-s}}{1+D(s)G_p(s)}$$

可见，带纯滞后补偿的闭环系统与图4. 8所示的理想结构是一致的，滞后环节e-τ s已经不出现在特征方程中，故不再影响闭环系统的稳定性。

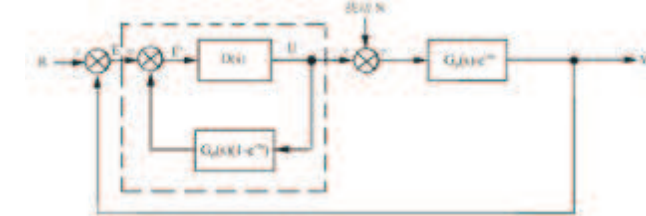


图4. 10 图4. 9的等效图

(3) Smith补偿器的计算机实现

带有纯滞后Smith补偿器的微机控制系统如图4. 11所示。



图4. 11 微机纯滞后补偿控制系统电路图

以一阶滞后对象为例，来分析相应的计算机纯滞后补偿器。

设过程对象传递函数为

$$G_{pc}(s)=\frac{Ke^{-s}}{T_1s+1}$$

Smith补偿器的结构如图4. 12所示。为了由计算机实现纯滞后补偿，我们对补偿器离散化，得到纯滞后补偿器的差分方程

$$\begin{aligned}P(k)&=a_1P(k-1)+b_1u(k-1)\\Y_r(k)&=P(k)-P(k-L)\end{aligned}$$

纯滞后补偿器的差分方程存在P(k-L)项。对于二阶滞后对象或其他滞后对象，相应补偿器的差分方程也都存在P(k-L)项，即滞后LT的环节。那么如何产生该纯滞后信号对纯滞后补偿控制至关重要。



图4. 12 一阶滞后对象的纯滞后补偿器电路图

下面介绍两种产生纯滞后信号的方法。

• 存储单元法

为了形成滞后L的信号，需在内存中开辟L+1个存储单元，以存储P(k)的历史数据。其结构如图4. 13所示。



图4. 13 存储单元法产生纯滞后信号示意图

• 多项式近似原理

计算e-τ s时，可将其按幂级数展开为

$$e^{-s} \approx \frac{1}{(1+\frac{T_s}{2})^2}$$

(4) 实现步骤

- 计算偏差e2(k)
- 计算控制器输出u(k)
- u(k)经D/A输出后直接作用到执行机构上，以实现对被调量的纯滞后补偿控制。

第三节 数字控制器的直接设计方法

数字控制器的直接设计方法也称离散化设计方法，是Z平面上的设计方法，它根据系统的性能要求，运用离散控制理论，直接设计控制系统的数字控制器。与模拟化设计方法相比更具有一般的意义，它完全是根据采样系统的特点进行分析与综合，并导出相应的控制规律的。

一、数字控制器的直接设计步骤

计算机控制系统框图如图4.14所示。



图4.14 计算机控制系统框图

由广义对象的脉冲传递函数可得闭环脉冲传递函数，可求得控制器的脉冲传递函数 $D(z)$ 。

数字控制器的直接设计步骤如下：

- (1) 根据控制系统的性质指标要求和其它约束条件，确定所需的闭环脉冲传递函数 $\Phi(z)$ 。
- (2) 求广义对象的脉冲传递函数 $G(z)$ 。
- (3) 求取数字控制器的脉冲传递函数 $D(z)$ 。
- (4) 根据 $D(z)$ 求取控制算法的递推计算公式。

二、大林算法

1. 大林算法 $D(z)$ 的基本形式

大林算法的设计目标是，设计一个合适的数字控制器 $D(z)$ ，使整个闭环系统的传递函数 $GB(s)$ 相当于一个带有纯滞后的二阶惯性环节，且要求期望的闭环系统的纯滞后时间与被控对象的纯滞后时间相同，即式中 τ 为被控对象的纯滞后时间，为简单起见，设 τ 为采样周期 T 的整数倍，即 L 为正整数； T_0 为期望闭环响应的的时间常数，其值由设计者用试凑法选择。离散闭环系统的结构图如图4.15所示。



图4.15 离散闭环系统结构图

利用数字控制器直接设计方法可得控制器 $D(z)$ 。

- (1) 被控对象为带纯滞后的二阶惯性环节的大林算法
传递函数为

$$G_{pc}(s) = \frac{Ke^{-\tau}}{T_1s + 1}$$

广义被控对象的脉冲传递函数为

$$HG_{pc}(z) = \frac{Kz^{-(L+1)}(1 - e^{-T/T_1})}{1 - z^{-1}e^{-T/T_1}}$$

大林控制器为

$$D(z) = \frac{(1 - e^{-T/T_0})(1 - e^{-T/T_1}z^{-1})}{K(1 - e^{-T/T_1})[1 - z^{-1}e^{-T/T_0} - (1 - e^{-T/T_0})z^{-(L+1)}]}$$

- (2) 被控对象为带纯滞后的二阶惯性环节的大林算法
传递函数为

$$G_{pc}(s) = \frac{Ke^{-\tau}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

推导过程同(1)。

2. 振铃现象及消除方法

所谓振铃现象是指数字控制器的输出 $u(k)$ 以接近二分之一的采样频率大幅度上下摆动。它对系统的输出几乎是没有影响的，但会使执行机构因磨损而造成损坏。

- (1) 产生振铃现象的根源

对于单位阶跃输入函数， $U(z)$ 含有 $z=1$ 的极点；如果 $ku(z)$ 在 z 平面的负实轴上有极点，即被控对象 $G_{pc}(z)$ 含有负实轴上的零点，且与 $z=-1$ 点相近，则数字控制器的输出序列 $u(k)$ 中将含有这两种幅值相近的瞬态项，而且这两个瞬态项的符号在不同时刻是不同的。当两瞬态项符号相同时，数字控制器的控制作用加强；符号相反时，控制作用减弱，从而造成数字控制器的输出序列 $u(k)$ 的幅值以 $2T$ 为周期大幅度波动，这便是振铃现象。

被控对象 $G_{pc}(z)$ 在单位圆内含有接近于 $z=-1$ 的零点是产生振铃现象的原因。

(2) 振铃幅度RA

用振铃幅度RA来衡量振铃强弱的程度，它的定义是， $U(z)$ 在单位阶跃输入作用下，第零次输出减去第一次输出所得的差值。

(3) 振铃现象的消除

• 参数选择法

对于一阶滞后对象，如果合理选择期望闭环传递函数的惯性时间常数 T_0 和采样周期 T ，使 $RA \leq 0$ ，就没有振铃现象。即使不能使 $RA \leq 0$ ，也可以把RA减到最小，最大程度地抑制振铃。

• 消除振铃因子法

找出数字控制器 $D(z)$ 中引起振铃现象的因子(即 $z=-1$ 附近的极点)，然后人为地令其中的 $z=1$ ，就消除了这个极点。根据终值定理，这样做不影响输出的稳态值，但却改变了数字控制器的动态特性，从而将影响闭环系统的动态响应。

3. 大林算法的设计步骤

(1) 根据系统性能要求，确定期望闭环系统的参数 T_0 ，给出振铃幅度RA的指标；

(2) 根据振铃幅度RA的要求，确定采样周期 T ，如果 T 有多解，则选择较大的 T ；

(3) 确定整数 $L = \tau / T$ ；

(4) 求广义对象的脉冲传递函数及期望闭环系统的脉冲传递函数；

(5) 求数字控制器的脉冲传递函数 $D(z)$ ；

(6) 将 $D(z)$ 转变为差分方程，以便于编制相应算法程序。

计算举例见书中例题。

第五章 控制系统的应用软件设计

一、应用软件设计方法

1、应用软件设计的基本步骤

图5.1给出了应用软件设计的流程图，它描述了应用软件设计的基本任务和设计过程。

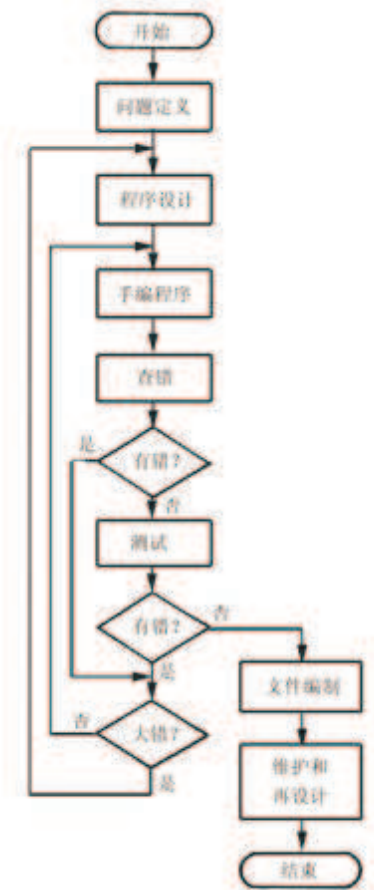


图5.1 应用软件设计流程图

2、程序设计方法

(1) 模块化程序设计

模块化程序设计的出发点是把一个复杂的程序，分解为若干个功能模块，每个模块执行单一的功能，并且具有单入口单出口结构，在分别进行独立设计、编程、测试和查错之后，最终装配在一起，连结成完整的大程序。

模块化程序设计的方法有两种，即自底向上模块化设计和自顶向下模块化设计。

(2) 结构化程序设计

结构化程序设计是一种程序设计方法，它采用自顶向下逐步求精的设计方法和单入口单出口的控制结构。在总体设计阶段采用自顶向下逐步求精的方法，可以把一个复杂问题的解法分解和细化成一个由许多模块组成的层次结构的软件系统。在详细设计或编码阶段采用自顶向下逐步求精的方法，可以把一个模块的功能逐步分解细化为一系列具体的处理步骤或某种高级语言的语句。

对于单入口单出口的程序可以用三种基本的控制结构来实现。这三种基本的控制结构是“顺序”、“选择”和“循环”，其流程图为图5.2中的(a)、(b)、(c)。

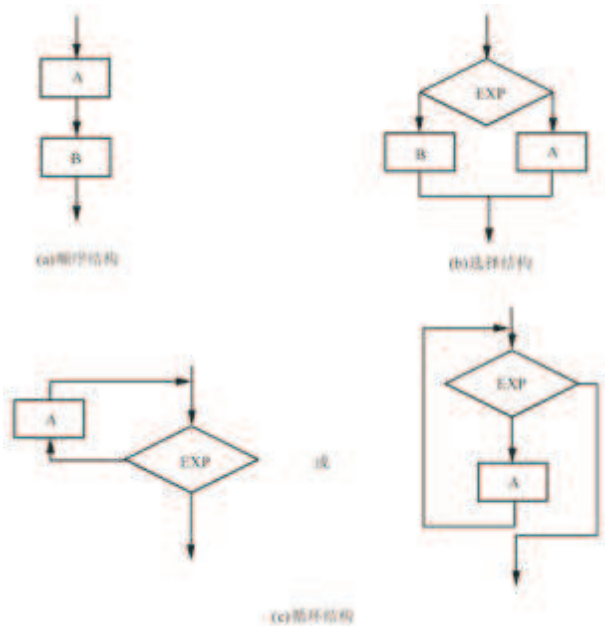


图5.2 程序的基本控制结构流程图

3、应用软件的设计

微机控制系统的应用软件是用户为解决实时控制问题而提出的，一般由用户自行设计和编制。根据应用程序的功能，可将应用程序分为：

- 控制程序。
- 数据采集及处理程序。
- 巡回检测程序。
- 数据管理程序。

(1) 控制软件的设计

对于微机控制系统来说，实时控制软件基本包括：实时管理软件和过程监视及控制算法计算软件两大部分。

- 实时管理软件

实时管理软件是对整个控制系统进行管理用的程序，包括对应用控制程序的调度、I/O管理、中断管理、实时管理等。实时管理软件相当于整个微机控制系统的主程序。

- 过程监视及控制算法计算软件

过程监视及控制算法计算软件主要是根据采集的信息、输入的指令以及所设计的控制算法，产生不同的控制指令的计算程序。主要包括：数据变换处理程序(如数字滤波、单位换算、数据合理性检查、数据补偿校正等)；控制指令生成程序(如控制器算法计算、系统状态控制、控制指令输出等)；事故处理程序(如对系统不同故障的处理指令生成等)；信息管理程序(如数据存储、输出、打印、显示以及文件管理等)。

典型微机控制系统的控制软件流程如图5.3所示。

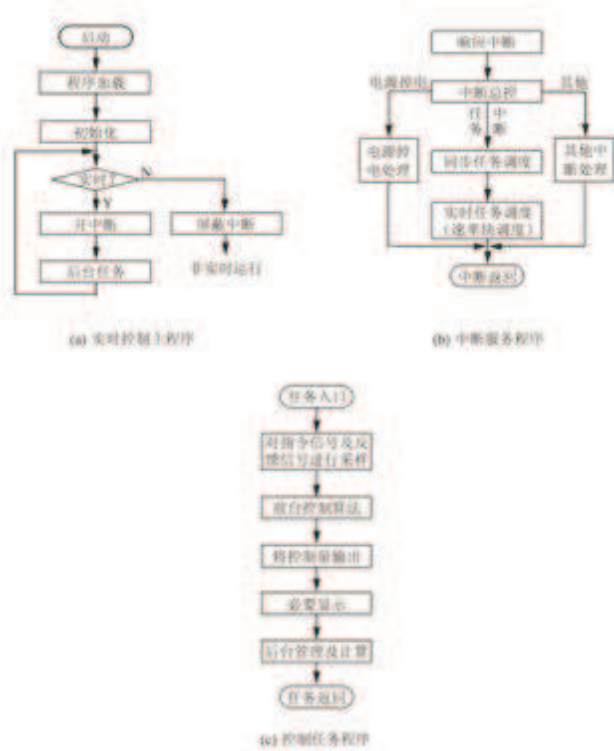


图5.3 典型微机控制系统的控制软件流程图

(2) 控制算法设计中减少计算延时的方法

通常控制算法实现时有三种输入输出方法。这三种控制算法的对应流程框图如图5.4所示。

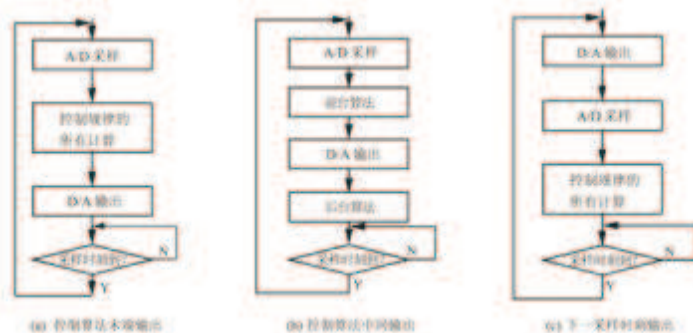


图5.4 3种控制算法的流程框图

4、工业控制组态软件

目前，越来越多的控制工程师已不再采用从芯片→电路设计→模块制作→系统组成调试→…的传统模式来研制计算机控制系统，而是采用组态模式。计算机控制系统的组态功能可分为两个主要方面，即硬件组态和软件组态。

硬件组态常以总线式工业控制机(PC总线或STD总线)为主进行选择和配置。总线式工业控制机具有小型化、模型化、标准化、组合化、结构开放的特点，因此在硬件上可以根据不同的控制对象，选择相应的功能模板，组成各种不同的应用系统，使硬件工作量几乎接近于零，只需按要求对各种功能模板安装与接线即可。

软件组态常以工业控制组态软件为主来实现。工业控制组态软件是标准化、规模化、商品化的通用过程控制软件。控制工程师在不了解计算机硬件和程序的情况下，在CRT屏幕上采用菜单方式，用填表的方法，对输入、输出信号用“仪表组态”方法进行软联接。这种通用树形填空语言有简单明了、使用方便等特点，十分适合控制工程师掌握应用，大大减少了重复性、低层次、低水平应用软件的开发，提高了软件的使用效率和价值，提高了控制的可靠性，缩短了应用软件的开发周期。因此，工业控制组态软件是性能优良的软件产品，如组态王组态软件，力控组态软件等。

二、查表法

所谓查表法，就是把事先计算或测得的数据按一定顺序编制成表格，查表程序的任务就是根据被测参数的值或者中间结果，查出最终所需要的结果。查表是一种非数值计算方法，利用这种方法可以完成数据补偿、计算、转换等各种工作，它具有程序简单、执行速度快等优点。

1. 顺序查表法

顺序查表法是针对无序排列表格的一种方法。即按照顺序从第一项开始逐项查找，直到找到所要查找的关键字为止。顺序查表法虽然比较“笨”，但对无序表格或较短表格而言，仍是一种比较常用的方法。

2. 计算查表法

计算查表法通常用于要搜索的内容与表格的排列有一定的关系的表格。对于这种表格，为了提高查表速度，可以丢掉从头至尾逐一进行比较的方法。只要根据所给的元素，通过一定的计算，求出元素所对应的数值的地址，然后将该地址单元的内容取出即可。

3. 对分查表法

对分查表法是一种在实际应用中最常使用的方法。对于那些表格比较长，满足从大到小或从小到大的排列顺序，且难以用计算查表法进行查找的表格，可以采用对分查表法，即先取数组的中间值进行查找，与要查找的元素值进行比较，若相等，则查到。对于从小到大顺序来说，若元素大于中间值，则下一次取中间值至最大值区间的中间值进行比较，否则，取最小值至中间值区间的中间值进行比较。如此下去，直到查找完为止。

三、线性化处理

微型计算机控制系统中从模拟量输入通道得到的有关现场信号与该信号所代表的物理量不一定成线性关系。因此需要计算机进行非线性补偿，将非线性关系转化为线性关系，即线性化处理。常用的线性化处理方法为线性插值算法。

线性插值法是代数插值法中最简单的形式，也是计算机处理非线性函数应用最多的一种方法。在实际应用中，为了提高精度，经常采用几条直线来代替曲线，此方法称为分段插值法。

分段插值法的基本思想是将被逼近的函数(或测量结果)根据其变化情况分成几段。各段采用线性插值法来进行处理。在这种情况下，分段插值的分段点的选取可按实际曲线的情况灵活决定。总的来说，分段插值法的光滑度不太高，但是对大多数工程要求而言能够基本满足需要。为了提高精度，还可以采用样条插值法。

四、测量值与工程值转换

微机控制系统在读入被测模拟信号并转换成数字量后，往往还要转换成操作人员所熟悉的工程值。这是因为生产现场的各种工艺参数量纲不同。例如，压力的单位为Pa，流量的单位为m³/h，温度的单位为℃。这些参数A/D转换后得到一系列的数码，这些数码的值并不一定等于原来带有量纲的参数值，它仅代表参数值的大小，故必须把它转换成带有量纲的数值后才能运算、显示或打印输出。这种转换称为工程量转换，也称为标度变换。标度变换有各种不同类型，它取决于被测参数测量传感器的类型，设计时应根据实际情况选择适当的标度变换方法，常用线性参数标度变换。

线性参数标度变换的前提是被测参数值与A/D转换结果之间呈线性关系。若输入信号为0，A/D转换输出值不为零，则变

换公式如下：

$$Y = \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})(x - N_{\min})}{(N_{\max} - N_{\min})} + Y_{\min}$$

其中：Y表示参数测量值；Ymax表示参数量程终点值；Ymin表示参数量程起始值；Nmax表示量程终点值对应的A/D转换后的结果；Nmin表示量程起始值对应的A/D转换后的值；x表示测量值对应的A/D输出采样值(数字滤波输出)。

五、越限报警处理

由采样读入的数据或经计算机处理后的数据是否超过工艺参数的范围，计算机要加以判别，如果超越了规定数值，就需要通知操作人员采取相应的措施，确保生产的安全。在控制系统中常用的报警方式是声、光及语言报警，常用的最简单的报警程序是越限报警。超限报警分为上限报警、下限报警及上下限报警。

1、上限报警

若 $X_n > X_{\max}$ ，则上限报警，否则继续执行原定操作。

2、下限报警

若 $X_n < X_{\min}$ ，则下限报警，否则继续执行原定操作。

3、上下限报警

若 $X_n > X_{\max}$ ，则上限报警，否则对下式作判别： $X_n < X_{\min}$ 否?若是，则下限报警，否则继续原定操作。

第六章 控制系统的抗干扰技术

第一节 工业现场的干扰及对系统的影响

一、干扰源与作用途径

1. 干扰的来源

微机控制系统所受到的干扰源分为外部干扰和内部干扰。

(1) 外部干扰

外部干扰的主要来源有：电源电网的波动、大型用电设备(如天车、电炉、大电机、电焊机等)的启停、高压设备和电磁开关的电磁辐射、传输电缆的共模干扰等。

(2) 内部干扰

内部干扰主要有：系统的软件干扰、分布电容或分布电感产生的干扰、多点接地造成的电位差给系统带来的影响等。

2. 干扰的作用途径

(1) 传导耦合

干扰由导线进入电路中称为传导耦合。电源线、输入输出信号线都是干扰经常窜入的途径。

(2) 静电耦合

干扰信号通过分布电容进行传递称为静电耦合。系统内部各导线之间，印刷线路板的各线条之间，变压器线匝之间的绕组之间以及元件之间、元件与导线之间都存在着分布电容。具有一定频率的干扰信号通过这些分布电容提供的电抗通道穿行，对系统形成干扰。

(3) 电磁耦合

电磁耦合是指在空间磁场中电路之间的互感耦合。因为任何载流导体都会在周围的空间产生磁场，而交变磁场又会在周围的闭合电路中产生感应电势，所以这种电磁耦合总是存在的，只是程度强弱不同而已。

(4) 公共阻抗耦合

公共阻抗耦合是指多个电路的电流流经同一公共阻抗时所产生的相互影响。例如系统中往往是多个电路共用一个电源，各电路的电流都流经电源内阻 R_n 和线路电阻 R_L ， R_n 和 R_L 就成为各电路的公共阻抗。每一个电路的电流在公共阻抗上造成的压降都将成为其它电路的干扰信号。

3. 干扰的作用形式

各种干扰信号通过不同的耦合方式进入系统后，按照对系统的作用形式又可分为共模干扰和串模干扰。

(1) 共模干扰

共模干扰是在电路输入端相对公共接地点同时出现的干扰，也称为共态干扰、对地干扰、纵向干扰、同向干扰等。共模干扰主要是由电源的地、放大器的地以及信号源的地之间的传输线上电压降造成的，如图6.1所示。

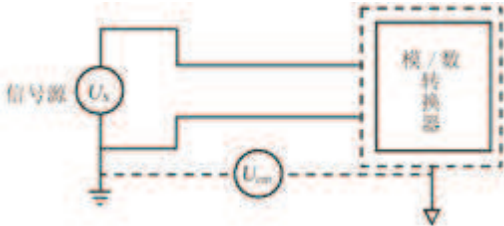


图6.1 共模干扰示意图

(2) 串模干扰

串模干扰就是指串联叠加在工作信号上的干扰，也称之为正态干扰、常态干扰、横向干扰等。图6.2描述了串模干扰的情况。共模干扰对系统的影响是转换成串模干扰的形式作用的。

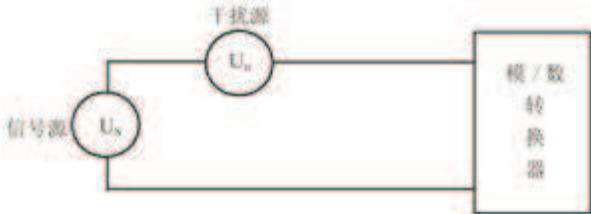


图6.2 串模干扰示意图

第二节 硬件抗干扰技术

一、共模干扰的抑制

抑制共模干扰的主要方法是设法消除不同接地点之间的电位差。

1. 变压器隔离

利用变压器把模拟信号电路与数字信号电路隔离开来，也就是把模拟地与数字地断开，以使共模干扰电压不成回路，从而抑制了共模干扰。注意，隔离前和隔离后应分别采用两组互相独立的电源，切断两部分的的地线联系，如图6.3所示。

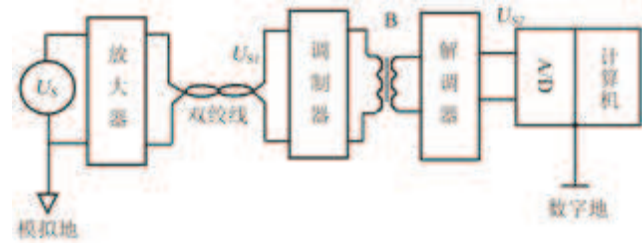


图6.3 变压器隔离图

2. 光电隔离

光电隔离是利用光电耦合器完成信号的传送，实现电路的隔离，如图6.4所示。根据所用的器件及电路不同，通过光电耦合器既可以实现模拟信号的隔离，更可以实现数字量的隔离。注意，光电隔离前后两部分电路应分别采用两组独立的电源。

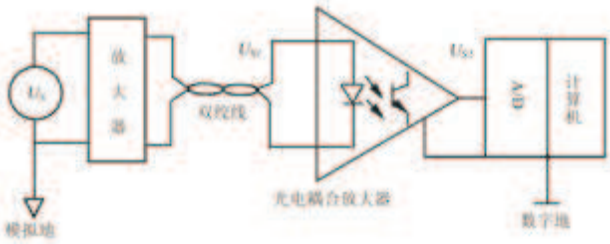


图6.4 光电隔离图

3. 浮地屏蔽

采用浮地输入双层屏蔽放大器来抑制共模干扰。所谓浮地，就是利用屏蔽方法使信号的“模拟地”浮空，从而达到抑制共模干扰的目的。

4. 采用具有高共模抑制比的仪表放大器作为输入放大器

仪表放大器具有共模抑制能力强、输入阻抗高、漂移低、增益可调等优点，是一种专门用来分离共模干扰与有用信号的器件。

二、串模干扰的抑制

抑制串模干扰主要从干扰信号与工作信号的不同特性入手，针对不同情况采取相应的措施。

1. 在输入回路中接入模拟滤波器

如果串模干扰频率比被测信号频率高，则采用输入低通滤波器来抑制高频串模干扰；如果串模干扰频率比被测信号频率低，则采用高通滤波器来抑制低频串模干扰；如果串模干扰频率落在被测信号频谱的两侧，应采用带通滤波器。一般情况下，串模干扰均比被测信号变化快，故常用二阶阻容低通滤波网络作为模/数转换器的输入滤波器。

2. 使用双积分式A/D转换器

当尖峰型串模干扰为主要干扰时，使用双积分式A/D转换器，或在软件上采用判断滤波的方法加以消除。

双积分式A/D转换器对输入信号的平均值而不是瞬时值进行转换，所以对尖峰干扰具有抑制能力。如果取积分周期等于主要串模干扰的周期或为主要串模干扰周期的整数倍，则通过积分比较变换后，对串模干扰有更好的抑制效果。

3. 采用双绞线作为信号线

若串模干扰和被测信号的频率相当，则很难用滤波的方法消除。此时，必须采用其它措施，消除干扰源。通常可在信号源到计算机之间选用带屏蔽层的双绞线或同轴电缆，并确保接地正确可靠。

采用双绞线作为信号引线的目的是减少电磁。双绞线能使各个小环路的感应电势相互抵消。一般双绞线的节距越小抗干扰能力越强。

4. 电流传送

当传感器信号距离主机很远时很容易引入干扰。如果在传感器出口处将被测信号由电压转换为电流，以电流形式传送信号，将大大提高信噪比，从而提高传输过程中的抗干扰能力。

三、长线传输干扰的抑制

在计算机控制系统中，由于数字信号的频率很高，很多情况下传输线要按长线对待。例如，对于10ns级的电路，几米长的连线应作为长线来考虑，而对于ns级的电路，1米长的连线就要当作长线处理。

1. 长线传输的干扰

信号在长线中传输时会遇到三个问题：一是长线传输易受到外界干扰；二是具有信号延时；三是高速度变化的信号在长线中传输时，还会出现波反射现象。

当信号在长线中传输时，由于传输线的分布电容和分布电感的影响，信号会在传输线内部产生向前的电压波和电流波，称为入射波；另外，如果传输线的终端阻抗与传输线的波阻抗不匹配，那么当入射波到达终端时，便会引起反射；同样，反射波到达传输线始端时，如果始端阻抗不匹配，还会引起新的反射。这种信号的多次反射现象，使信号波形失真和畸变，并且引起干扰脉冲。

2. 抗干扰措施

采用终端阻抗匹配或始端阻抗匹配，可以消除长线传输中的波反射或者把它抑制到最低限度。

(1) 波阻抗 R_P 的求解
为了进行阻抗匹配，必须事先知道传输线的波阻抗 R_P ，波阻抗的测量如图6.5所示。

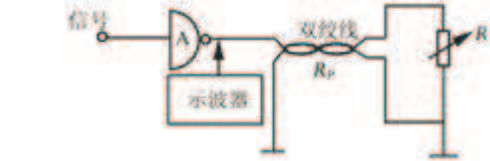


图6.5 测量传输线波阻抗图

(2) 终端匹配

最简单的终端匹配方法如图6.6(a)所示，如果传输线的波阻抗是 R_P ，那么当 $R=R_P$ 时，便实现了终端匹配，消除了波反射。此时终端波形和始端波形的形状相一致，只是时间上滞后。由于终端电阻变低，则加大负载，使波形的高电平下降，从而降低了高电平的抗干扰能力，但对波形的低电平没有影响。为了克服上述匹配方法的缺点，可采用图6.6(b)所示的终端匹配方法。

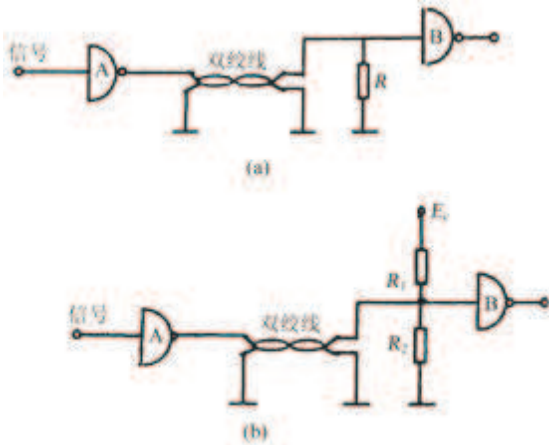


图6.6 终端匹配图

(3) 始端匹配

在传输线始端串入电阻 R ，如图6.7所示，也能基本上消除反射，达到改善波形的目的。

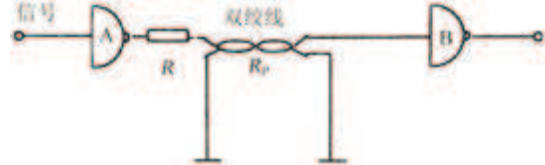


图6.7 始端匹配图

第三节 软件抗干扰技术

一、软件出错对系统的危害

1. 数据采集不可靠

在数据采集通道，尽管我们采取了一些必要的抗干扰措施，但在数据传输过程中仍然会有一些干扰侵入系统，造成采集的数据不准确形成误差。

2. 控制失灵

一般情况下，控制状态的输出是通过微机控制系统的输出通道实现的。由于控制信号输出功率较大，不易直接受到外界干扰。但是在微机控制系统中，控制状态的输出常常取决于某些条件状态的输入和条件状态的逻辑处理结果，而在这些环节中，由于干扰的侵入，可能造成条件状态偏差、失误，致使输出控制误差加大，甚至控制失灵。

3. 程序运行失常

微型计算机系统引入强干扰后，程序计数器PC的值可能被改变，因此会破坏程序的正常运行。被干扰后的PC值是随机的，这将引起程序执行一系列毫无意义的指令，最终可能导致程序“死循环”。

二、数字滤波方法

数字滤波是提高数据采集系统可靠性最有效的方法，因此在微机控制系统中一般都要进行数字滤波。所谓数字滤波，就是通过一定的计算或判断程序减少干扰在有用信号中的比重。故实质上它是一种程序滤波。

数字滤波克服了模拟滤波器的不足，它与模拟滤波器相比，有以下几个优点：

- (1) 数字滤波是用程序实现的，不需要增加硬设备，所以可靠性高，稳定性好；
- (2) 数字滤波可以对频率很低(如0.01Hz)的信号实现滤波，克服了模拟滤波器的缺陷；

(3) 数字滤波器可根据信号的不同, 采用不同的滤波方法或滤波参数, 具有灵活、方便、功能强的特点。

1. 程序判断滤波法

(1) 限幅滤波法

限幅滤波的做法是把两次相邻的采样值相减, 求出其增量(以绝对值表示), 然后与两次采样允许的最大差值(由被控对象的实际情况决定) ΔY 进行比较。若小于或等于 ΔY , 则取本次采样值; 若大于 ΔY , 则仍取上次采样值作为本次采样值, 即

$|Y(k) - Y(k-1)| \leq \Delta Y$, 则 $Y(k) = Y(k)$, 取本次采样值

$|Y(k) - Y(k-1)| > \Delta Y$, 则 $Y(k) = Y(k-1)$, 取上次采样值

其中, $Y(k)$ 是第 k 次采样值; $Y(k-1)$ 是第 $(k-1)$ 次采样值; ΔY 是相邻两次采样值所允许的最大偏差, 其大小取决于采样周期 T 及 Y 值的动态响应。

(2) 限速滤波法

限速滤波是用三次采样值来决定采样结果。其方法是, 当 $|Y(2) - Y(1)| > \Delta Y$ 时, 再采样一次, 取得 $Y(3)$, 然后根据 $|Y(3) - Y(2)|$ 与 ΔY 的大小关系来决定本次采样值。具体判别式如下:

设顺序采样时刻 t_1, t_2, t_3 所采集的参数分别为 $Y(1), Y(2), Y(3)$, 那么

当 $|Y(2) - Y(1)| \leq \Delta Y$ 时, 取 $Y(2)$ 输入计算机;

当 $|Y(2) - Y(1)| > \Delta Y$ 时, $Y(2)$ 不采用, 但仍保留, 继续采样取得 $Y(3)$;

当 $|Y(3) - Y(2)| \leq \Delta Y$ 时, 取 $Y(3)$ 输入计算机;

当 $|Y(3) - Y(2)| > \Delta Y$ 时, 取 $Y(2) = (Y(2) + Y(3)) / 2$ 输入计算机。

2. 中值滤波法

这种滤波法是将被测参数连续采样 N 次(一般 N 取奇数), 然后把采样值按大小顺序排列, 再取中间值作为本次的采样值。

3. 算术平均值滤波法

这种方法就是在一个采样期内, 对信号 x 的 N 次测量值进行算术平均, 作为时刻 k 的输出。

$$\bar{x}(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

4. 加权平均值滤波

算术平均值对于 N 次以内所有的采样值来说, 所占的比例是相同的, 亦即取每次采样值的 $1/N$ 。有时为了提高滤波效果, 将各采样值取不同的比例, 然后再相加, 此方法称为加权平均值法。

$$\bar{y}(k) = \sum_{i=0}^{n-1} C_i x_{k-i}$$

并且:

$$\sum_{i=0}^{n-1} C_i = 1$$

其中 C_0, C_1, \dots, C_{N-1} 为各次采样值的系数, 它体现了各次采样值在平均值中所占的比例。

5. 滑动平均值滤波法

不管是算术平均值滤波, 还是加权平均值滤波, 都需连续采样 N 个数据, 这种方法适合于有脉动干扰的场合。但是由于必须采样 N 次, 需要时间较长, 故检测速度慢。为了克服这一缺点, 可采用滑动平均值滤波法, 即依次存放 N 次采样值, 每采进一个新数据, 就将最早采集的那个数据丢掉, 然后求包含新值在内的 N 个数据的算术平均值或加权平均值。

6. 惯性滤波法

前面讲的几种滤波方法基本上属于静态滤波, 主要适用于变化过程比较快的参数, 如压力、流量等。但对于慢速随机变量采用短时间内连续采样求平均值的方法, 其滤波效果往往不够理想。为了提高滤波效果, 可以仿照模拟滤波器, 用数字形式实现低通滤波。

一阶 RC 滤波器的传递函数为

$$G(s) = \frac{1}{1 + T_f s}$$

其中滤波时间常数 $T_f = RC$
离散化为

$$T_f \frac{x(k) - x(k-1)}{T} + x(k) = u(k)$$

整理可得:

$$x(k) = (1 - \alpha)u(k) + \alpha x(k-1)$$

$$\alpha = \frac{T_f}{T_f + T}$$

其中 $u(k)$ 为采样值, $x(k)$ 为滤波器的计算输出值, α 为滤波系数, 显然 $0 < \alpha < 1$, T 为采样周期。

7. 复合数字滤波

复合滤波就是把两种以上的滤波方法结合起来使用。例如把中值滤波的思想与算术平均的方法结合起来, 就是一种常用的复合滤波法。具体方法是首先将采样值按大小排队, 去掉最大和最小的, 然后再把剩下的取平均值。这样显然比单纯的平均值滤波的效果要好。

三、输入/输出软件抗干扰措施

1. 开关量(数字量)信号输入抗干扰措施

对于开关量的输入，为了确保信息准确无误，在软件上可采取多次读取的方法(至少读两次)，认为无误后再行输入，如图6.8所示。

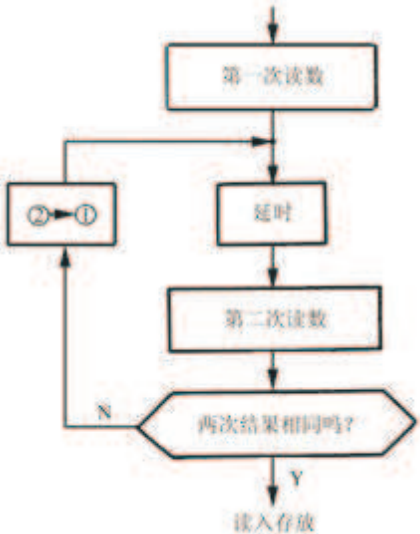


图6.8 多次读入流程图

2. 开关量(数字量)信号输出抗干扰措施

当计算机输出开关量控制闸门、料斗等执行机构动作时，为了防止这些执行机构由于外界干扰而误动作，比如已关的闸门、料斗可能中途打开；已开的闸门、料斗可能中途突然关闭。对于这些误动作，可以在应用程序中每隔一段时间(比如几个ms)发出一次输出命令，不断地关闭闸门或者开闸门。这样，就可以较好地消除由于扰动而引起的误动作(开或关)。

四、软件冗余技术

1. 数据冗余

RAM数据冗余就是将要保护的原始数据在另外两个区域同时存放，建立两个备份，当原始数据块被破坏时，用备份数据块去修复。备份数据的存放地址应远离原始的存放地址以免被同时破坏。数据区也不要靠近栈区，以防止万一一堆栈溢出而冲掉数据。

2. 程序冗余

当CPU受到干扰后，往往将一些操作数当作指令码来执行，引起程序混乱。当程序弹飞到某一单字节指令上时，便自动纳入正轨。当弹飞到某一双字节指令上时，有可能落到其操作数上，从而继续出错。当程序弹飞到三字节指令上时，因它有两个操作数，继续出错的机会更大。因此，我们应多采用单字节指令，并在关键的地方人为地插入一些单字节指令(NOP)或将有效单字节指令重复书写，这便是软件冗余。

五、程序运行失常的软件抗干扰

为了防止“死机”，一旦发现程序运行失常后能及时引导程序恢复原始状态，必须采取一些相应的软件抗干扰措施。

1. 设置软件陷阱

当干扰导致程序计数器PC值混乱时，可能造成CPU离开正确的指令顺序而跑到非程序区去执行一些无意义地址中的内容，或进入数据区，把数据当作操作码来执行，使整个工作紊乱，系统失控。针对这种情况，可以在非程序区设置陷阱，一旦程序飞到非程序区，很快进入陷阱，然后强迫程序由陷阱进入初始状态。

所谓软件陷阱，就是一条引导指令，强行将捕获的程序引向一个指定的地址，在那里有一段专门对程序出错处理的程序。软件陷阱安排在以下4种地方：(1)未使用的中断向量区；(2)未使用的大片ROM空间；(3)表格；(4)程序区。

2. 设置监视跟踪定时器

监视跟踪定时器，也称为看门狗定时器(Watchdog)，可以使陷入“死机”的系统产生复位，重新启动程序运行。这是目前用于监视跟踪程序运行是否正常的最有效的方法之一，近来得到了广泛的应用。

每一个微机控制系统都有自己的程序运行周期。在初始化时，将Watchdog定时器的时间常数定为略大于程序的运行周期，并且在程序运行的每个循环周期内，每次都对定时器重新初始化。如果程序运行失常，跑飞或进入局部死循环，不能按正常循环路线运行，则Watchdog定时器得不到及时的重新初始化而使定时时间到，引起定时中断，在中断服务程序中将系统复位，再次将程序的运行拉入正常的循环轨道。

第四节 接地技术

一、微机控制系统中的地线

- (1)数字地，也叫逻辑地。它是微机系统中各种TTL、CMOS芯片及其它数字电路的零电位。
- (2)模拟地。它是放大器，A/D，D/A转换器中的模拟电路零电位。
- (3)信号地。它是传感器和变送器的地。

- (4) 功率地。它是指功率放大器和执行部件的地。
- (5) 屏蔽地。它是为了防止静电感应和磁场感应而设置的, 同时也为了避免机壳带电而危及人身与设置的完全。
- (6) 交流地。交流50Hz电源的地线, 它是噪声地。
- (7) 直流地。直流电源的地线。

二、常用的接地方法

1. 一点接地和多点接地

对于信号频率小于1MHz的低频电路，其布线和元器件间的电感影响较小，地线阻抗不大，而接地电路形成的环路有较大的干扰作用，因而应采用一点接地，防止地环流的产生。当信号频率大于10MHz时，布线与元器件间的电感使得地线阻抗变得很大。为了降低地线阻抗，应采用就近多点接地。如果信号频率在1~10MHz之间，当地线长度不超过信号波长的1/20时，可以采用一点接地，否则就要多点接地。

由于在工业过程控制系统中，信号频率大都小于1MHz，故通常采用一点接地。

2. 模拟地和数字地的连接

数字地主要是指TTL或CMOS芯片、I/O接口芯片、CPU芯片等数字逻辑电路的地端,以及A/D、D/A转换器的数字地。而模拟地则是指放大器、采样/保持器和A/D、D/A中模拟信号的接地端。在微机控制系统中,数字地和模拟地必须分别接地,然后仅在一点处把两种地连接起来。否则,数字回路通过模拟电路的地线再返回到数字电源,将会对模拟信号产生影响。其连接线路如图6.9所示。

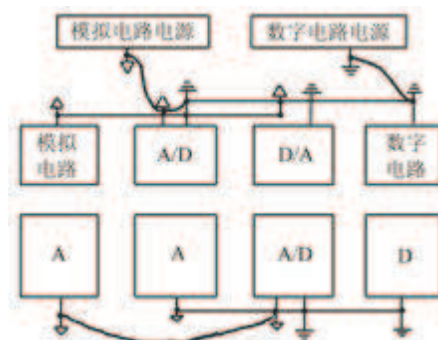


图6.9 模拟地与数字地的连接线路图

3. 主机外壳接地

为了提高计算机的抗干扰能力,将主机外壳作为屏蔽罩接地。而把机内器件架与外壳绝缘,绝缘电阻大于 $50\text{M}\Omega$,即机内信号地浮空。

4. 多机系统的接地

在计算机网络系统中,多台计算机之间相互通信,资源共享。如果接地不合理,将使整个网络无法正常运行。近距离的可以采用多机一点接地方法。

第五节 电源系统的抗干扰技术

一、抗干扰稳压电源的设计

微机常用的直流稳压电源如图6.10所示。该电源采用了双隔离、双滤波和双稳压措施,具有较强的抗干扰能力,可用于一般工业控制场合。

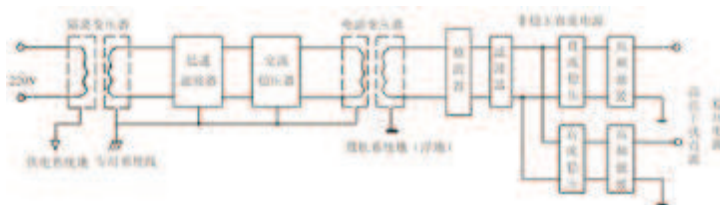


图6.10 抗干扰直流稳压电源示意图

1. 隔离变压器

隔离变压器的作用有两个：其一是防止浪涌电压和尖峰电压直接窜入而损坏系统；其二是利用其屏蔽层阻止高频干扰信号窜入。为了阻断高频干扰经耦合电容传播，隔离变压器设计为双屏蔽形式，原副边绕组分别用屏蔽层屏蔽起来，两个屏蔽层分别接地。这里的屏蔽为电场屏蔽，屏蔽层可用铜网、铜箔或铝网、铝箔等非导磁材料构成。

2. 低通滤波器

各种干扰信号一般都有很强的低频分量，低通滤波器是有效的抗干扰器件，它允许工频50Hz电源通过，而滤掉高次谐波，从而改善供电质量。低通滤波器一般由电感和电容组成，在市场上有各种低通滤波器产品供选用。一般来说，在低压大电流场合应选用小电感大电容滤波器，在高压小电流场合，应选大电感小电容滤波器。

3. 交流稳压器

交流稳压器的作用是保证供电的稳定性，防止电源电压波动对系统的影响。

4. 电源变压器

电源变压器是为直流稳压电源提供必要的电压而设置的。为了增加系统的抗干扰能力, 电源变压器做成双屏蔽形式。

5. 直流稳压系统

直流稳压系统包括整流器、滤波器、直流稳压器和高频滤波器等几部分，常用的直流稳压电路如图6. 11所示。

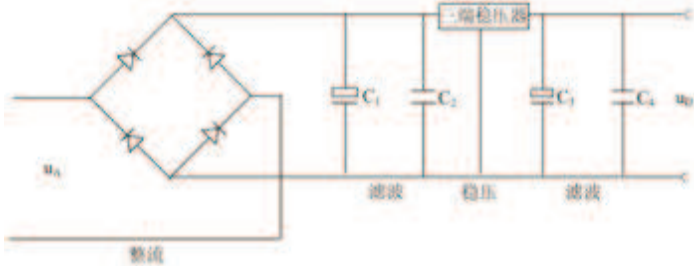


图6. 11 直流稳压系统电路图

一般直流稳压电源用的整流器多为单相桥式整流，直流侧常采用电容滤波。图中C1为平滑滤波电容，常选用几百~几千 μ F的电解电容，用以减轻整流桥输出电压的脉动。C2为高频滤波电容，常选用0.01~0.1 μ F的瓷片电容，用于抑制浪涌的尖峰。作为直流稳压器件，现在常用的就是三端稳压器78XX和79XX系列芯片，这类稳压器结构简单，使用方便，负载稳定度为15mV，具有过电流和输出短路保护，可用于一般微机系统。三端稳压电源的输出端常接两个电容C3和C4，C3主要起负载匹配作用，常选用几十~几百 μ F的电解电容；C4中抗高频干扰电容，常选取0.01~0.1 μ F的瓷片电容。

简易直流稳压电源结构如图6. 12所示。

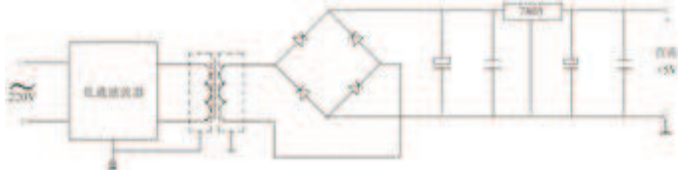


图6. 12 简易直流稳压电源示意图

二、电源系统的异常保护

1. 不间断电源UPS

在正常情况下，由交流电网向微机系统供电，并同时给UPS的电池组充电。一旦交流电网出现断电，则不间断电源UPS自动切换到逆变器供电，逆变器将电池组的直流电压逆变成为与工频电网同频的交流电压，此电压送给直流稳压器后继续保持对系统的供电。

2. 连续备用供电系统

连续备用供电系统是由柴油发电机供电，在两种供电系统转换期间，由电池完成平稳过渡，以避免电源更换对系统的冲击。

三、微机系统的掉电保护

对于允许暂时停运的微机系统，希望在电源掉电的瞬间，系统能自动保护RAM中的有用信息和系统的运行状态，以便当电源恢复时，能自动从掉电前的工作状态恢复。掉电保护工作包括电源监控和RAM的掉电保护两个任务。

1. 电源监控电路

电源监控电路用来监测电源电压的掉电，以便使CPU能够在电源下降到所设定的门限值之前完成必要的的数据转移和保护工作，并同时监控电源何时恢复正常。电源监控电路有很多种类和规格，如美国MAXM公司生产的 μ P监控电路具有下列功能：(1)上电复位；(2)监控电压变化，可从1.6V到5V；(3)看门狗Watchdog功能；(4)片使能；(5)备份电池切换开关等等。精度有 $\pm 1.5\%$ 和小于 $\pm 2.5\%$ 各档。复位方式有有有效和低有效两种。封装形式根据功能不同，有3pin，4pin，5pin，8pin和16pin多种。

2. 掉电保护

我们都知道微机使用的RAM一旦停电，其内部的信息将全部丢失，因而影响系统的正常工作。为此，在微机控制系统中，经常使用镍电池，对RAM数据进行掉电保护。有不少CMOS型RAM芯片在设计时就已考虑并赋予它具有微功耗保护数据的功能，如6116，6264，62256等芯片，当它们的片选端为高电平时，即进入微功耗状态，这时只需2V的电源电压，5~40 μ A的电流就可保持数据不变。

第七章 总线技术

第一节 总线的概述

一、总线的定义

总线是一组信号线的集合。这些线是系统的各插件间(或插件内部芯片间)、各系统之间传送规定信息的公共通道，有时也称数据公路，通过它们可以把各种数据和命令传送到各自要去的地方。

二、总线的产生

在微型计算机的硬件设计中，许多厂商设计和提供了许多具有不同功能的插件(亦称“模板”)。用户为了构成计算机应用系统，希望这些模板能互相兼容。这种兼容是指插件的尺寸、插座的针数及类型、插针的逻辑定义、控制插件工作的时序及电气特性等相同。也就是说为了使插件与插件间、系统与系统间能够正确连接，就必须对连接各插件或各系统的基础——总线，制定出严格的规约，即总线标准，为各厂商设计和生产插件模块提供统一的依据。因此，采用同一总线标准的不同厂家的插件模块，就可以组成可正常工作的系统。

三、总线的分类

1. 根据总线不同的结构和用途，总线有如下的几种类型：

(1) 专用总线

我们将只实现一对物理部件间连接的总线称为专用总线。专用总线的基本优点是它具有较高的流量，多个部件可以同时发送或接受信息，几乎不会出现总线争用的现象。在全互连或部分互连以及环形拓扑结构中使用的总线就是专用总线。

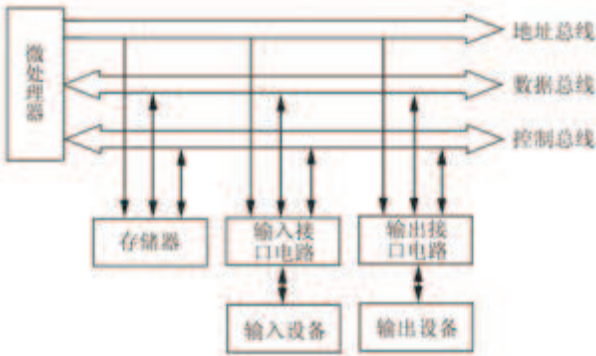
(2) 非专用总线

非专用总线可以被多种功能或多个部件所共享，所以也称之为共享总线。每个部件都能通过共享总线与接在总线上的其他部件相连，但在同一时刻，却只允许2个部件共享通信，其他部件间的通信要分时进行，因此准确地应称之为分时共享总线。

2. 根据总线的用途和应用环境，总线可以有如下几种类型：

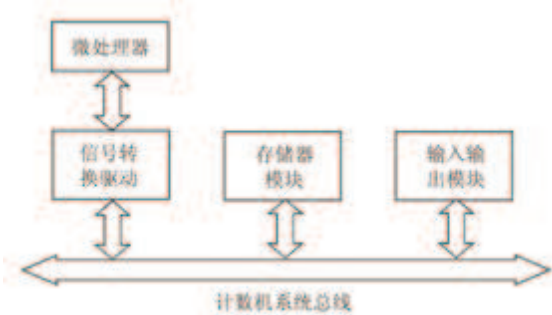
(1) 局部总线

局部总线又称为芯片总线。它是微处理器总线的延伸，是微处理器与外部硬件接口的通路，如图所示。它是构成中央处理机或子系统内所用的总线。局部总线通常包括地址总线、数据总线和控制总线三类。



(2) 系统总线

由于微处理器芯片总线驱动能力有限，所以大量的接口芯片不能直接挂在微处理器芯片上。同样，如果存储器芯片、I/O接口芯片太多，在一个印刷电路板上安排不下时，采用模块化设计又增加了总线的负载，所以微处理器芯片与总线之间必须加上驱动器。



系统总线又称内总线和板线总线，即微型计算机总线，用于各单片机微处理机之间、模块之间的通信，可用于构成分布式多机系统，如Multibus总线、STD总线、VME总线、PC总线等。一般微型机系统总线如图所示。

I STD总线

STD总线是目前工业控制及工业检测系统中使用最广泛的总线，它兼容性好，能够支持任何8位或16位微处理器，成为一种通用标准总线。

STD总线在工业控制中广泛采用，是因为它有以下特点：（1）小板结构，高度模块化：STD产品采用小板结构，所有模板的标准尺寸为165.1mm×114.3mm。这种小板结构在机械强度、抗断裂、抗震动、抗老化和抗干扰等方面具有很大的优越性。（2）严格的标准化，广泛的兼容性：STD总线模板设计有严格的标准化，这样有利于产品的广泛兼容。其具备的兼容式总线结构还支持8位、16位，甚至32位的微处理器，因此，可以很方便地将低位系统通过更换CPU板和相应的软件达到升级，而原来的I/O模却不必要更换。兼容性的另一方面是软件。STD产品与IBM-PC软件环境兼容，故可利用IBM-PC系列丰富的软件资源。（3）面向I/O的开放式设计，适合工业控制应用：STD总线面向I/O设计，一个STD底板可插8、15或20块模板。在众多功能模板的支持下，用户可以方便的组态。（4）高可靠性：STD产品平均无故障时间(MTBE)已超过60年。可靠性的保证靠小板结构、线路设计、印刷电路板的布线、元件老化筛选、电源质量、在线测试等一系列措施，以及固化软件Watchdog、掉电保护等技术来提供保障。

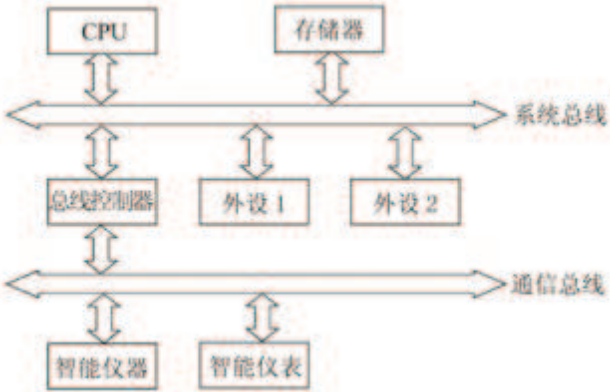
I PC总线

通常所说的PC总线，是指IBM公司创建的IBM PC或IBM PC/XT计算机的内部总线。由于IBM PC机有丰富的软、硬件支持，而且其价格低廉，目前已成为国际上广泛使用的微型机之一。

IBM PC机的主板设计了供输入输出的总线，这些总线引至系统板上的5个或8个62脚的插座上，这些插座称为扩展插槽。制造商提供的用作扩充PC机的选件板有百余种之多，如同步通讯控制卡、异步通讯控制卡、A/D及D/A转换板、数据采集板、各类存储器扩展板、打印机接口板、网络接口板等。用户可以根据需要进行选购，也可根据需要自行设计和开发新的功能板。IBM PC机箱插上基本配置后，一般只剩下3~5个槽。

(3) 外总线

外总线又称为通信总线，用于微处理机与其他智能仪器仪表间的通信。外总线通常通过总线控制器挂接在系统总线上，外总线如图所示。



常用的外总线有：连接智能仪器仪表的IEEE-488通用接口总线；RS-232C和RS-422串行通信总线等。

EIA RS-232C串行总线是国际电子工业学会正式公布的串行总线标准，也是在微机系统中最常用的串行接口标准，用于实现计算机与计算机之间、计算机与外设之间的同步或异步通讯。采用RS-232C作为串行通讯时，通讯距离可达15m，传输数据的速率可任意调整，最大可达20Kb/s。

RS-232C总线采用负逻辑。对于数据信号线，逻辑1为-3V到-15V；逻辑0为+3V到+15V。对于控制和定时信号，接通(ON)为+3V到+15V；断开(OFF)为-3V到-15V。如果来实现RS-232C电路与TTL电路的连接，必须经过信号电平转换，通常使用传输线驱动器1488和传输线接收器1489实现其转换。

RS-422、RS-485与RS-232不一样，数据信号采用差分传输方式，也称作平衡传输，它使用一对双绞线，将其中一线定义为A，另一线定义为B。



通常情况下，发送驱动器A、B之间的正电平在+2~+6V，是一个逻辑状态，负电平在-2~6V，是另一个逻辑状态。另有一个信号地C，在RS-485中还有一“使能”端，而在RS-422中这是可用可不用的。“使能”端是用于控制发送驱动器与传输线的切断与连接。当“使能”端起作用时，发送驱动器处于高阻状态，称作“第三态”，即它是有别于逻辑“1”与“0”的第三态。

接收器也作与发送端相对的规定，收、发端通过平衡双绞线将AA与BB对应相连，当在收端AB之间有大于+200mV的电平时，输出正逻辑电平，小于-200mV时，输出负逻辑电平。接收器接收平衡线上的电平范围通常在200mV至6V之间。



RS-485与RS-422一样，其最大传输距离约为1219米，最大传输速率为10Mb/s。

3. 根据总线传送信号的形式，总线又可分为两种。

(1) 并行总线

如果用若干根信号线同时传递信号，就构成了并行总线。并行总线的特点是可以以简单的硬件来运行高速的数据传输和处理。

(2) 串行总线

串行总线是按照信息逐位的顺序传送信号。其特点是可以用几根信号线在远距离范围内传递数据或信息，主要用于数据通信。

第二节 现场总线

变送器、控制器、执行器等现场装置往往采用4~20mA的信号进行通讯联系，无论它们的制造厂商是谁，它们一般都可以互换。从20世纪60年代发展起来的4~20mA信号是一种国际标准，目前仍在使用。进入20世纪80年代以来，用微处理器技术实现过程控制以及智能传感器的发展导致需要用数字信号取代4~20mA模拟信号，这就形成了现场总线。

一、现场总线的定义

现场总线是近年来迅速发展起来的一种工业数据总线，它主要解决工业现场的智能化仪器仪表、控制器、执行机构等现场设备间的数字通信以及这些现场控制设备和高级控制系统之间的信息传递问题。所以现场总线既是通信网络，又是自控网络。

二、典型的现场总线

现场总线是于20世纪80年代中期提出来的，由于技术以及商业利益的原因，目前统一标准很困难，故无国际标准可遵守。自20世纪90年代以来，现场总线技术已经成为工业测控领域的热门技术。现场总线一般采用点对点、一点对多点及广播方式收发数据，传输介质为双绞线、同轴电缆、光纤、电源线等。下面简单介绍目前较为流行的几种现场总线。

1. CAN(Control Area Network)控制器局域网

控制器局域网CAN是由德国Bosch公司的为汽车的监测和控制而设计的，逐步发展到用于其它工业领域的控制。CAN已成为国际标准化组织ISO 11898标准。CAN具有如下特性：

- (1)通信速率为5Kbps/10km, 1Mbps/40m, 节点数110个，传输介质为双绞线或光纤等。
- (2)采用点对点、一点对多点及全局广播几种方式发送接收数据。
- (3)可实现全分布式多机系统且无主、从机之分，每个节点均主动发送报文，用此特点可方便地构成多机备份系统。
- (4)采用非破坏性总线优先级仲裁技术，当两个节点同时向网络发送信号时，优先级低的节点主动停止发送数据，而优先级高的节点可不受影响地继续发送信息；按节点类型分成不同的优先级，可以满足不同的实时要求。
- (5)支持三类报文帧：数据帧、远程帧、超载帧。采用短帧结构，每帧有效字节数为8个。这样传输时间短，受干扰的概率低，且具有较好的检错效果。
- (6)采用循环冗余校验CRC(Cyclic Redundancy Check)及其它检错措施，保证了极低的信息出错率。
- (7)节点具有自动关闭功能，当节点错误严重时，则自动切断与总线的联系，这样不影响总线正常工作。
- (8)CAN单片机：Motorola公司生产带CAN模块的MC68HC05x4，Philips公司生产82C200，Intel公司生产带CAN模块的P8XC592。
- (9)CAN控制器：Philips公司生产的82C200，Intel公司生产的82527。
- (10)CAN I/O器件：Philips公司生产的82C150，具有数字和模拟I/O接口。

2. LONWORKS(Local Operating Network)局部操作网络

LONORKS是美国Echelon公司研制，主要有如下特性：

- (1)通信速率为78Kbps/2700m、1.5Mbps/130m, 节点数32000个，传输介质为双绞线、同轴电缆、光纤、电源线等。
- (2)采用 Lon Talk 通 储 备 协 议，该 协 议 遵 循 国 际 标 准 化 组 织 ISO 定 义 的 开 放 系 统 互 连 OSI(Open System Interconnection)全部7层模型。
- (3)其核心是Neuron(神经元)芯片，内含了3个8位的CPU；第1个CPU为介质访问控制处理器，实现Lon Talk协议的第1层

和第2层；第2个CPU为网络处理器，实现Lon Talk协议的第3层至第6层；第3个CPU为应用处理器，实现Lon Talk协议的第7层，执行用户编写的代码及用户代码所调用的操作系统服务。

(4)Neuron芯片的编程语言为Neuron C，它是从ANSI C派生出来的。LONWORKS提供了一套开发工具LonBuilder与NodeBuilder。

(5)Lon Talk协议提供了5种基本类型的报文服务：确认(Acknowledged)、非确认(Unacknowledged)、请求/响应(Request/Response)、重复(Repeated)、非确认重复(Unacknowledged Repeated)。

(6)Lon Talk协议的介质访问控制子层(MAC)对CSMA作了改进，采用一种新的称作Predictive P-Persistent CSMA，根据总线负载随机调整时间槽n(1~63)，从而在负载较轻时使介质访问延迟最小化，而在负载较重时使冲突的可能最小化。

3. PROFIBUS(Process Field Bus)过程现场总线

PROFIBUS是德国标准，1991年在DIN 19245中分布了标准，PROFIBUS有几种改进型，分别用于不同的场合，例如：

(1)PROFIBUS-PA(Process Automation)用于过程自动化，通过总线供电，提供本质安全型，可用于危险防爆区域。

(2)PROFIBUS-FMS(Field bus Message Specification)用于一般自动化，适用于纺织、楼宇自动化、可编程控制器、低压开关等。

(3)PROFIBUS-DP用于加工自动化领域，适用于分散的外围设备之间的高速数据传输。

传输速率为9.6Kbps~12Mbps，最大传输距离在12Mbps时为100m、1.5Mbps时为400m，可用中继器延长至10Km。其传输介质可以是双绞线，也可以是光缆。最多可挂接127个站点。

PROFIBUS引入功能模块的概念，不同的应用需要使用不同的模块。在一个确定的应用中，按照PROFIBUS规范来定义模块，写明其硬件和软件的性能，规范设备功能与PROFIBUS通信功能的一致性。

PROFIBUS为开放系统协议，为保证产品质量，在德国建立了FZI信息研究中心，对制造厂和用户开放，对其产品进行一致性检测和实验性检测。

4. HART(Highway Addressable Remote Transducer)可寻址远程传感器数据通路

HART是美国Rosemount研制，HART协议参照ISO/OSI模型的第1、2、7层，即物理层、数据全连路层和应用层，主要有如下特性：

(1)物理层：采用基于Bell 202通信标准的FSK技术，即在4~20mA(DC)模拟信号上叠加FSK数字信号，逻辑1为1200Hz、逻辑0为2200Hz，波特率为1200bps，调制信号为 $\pm 0.5\text{mA}$ 或 $0.25\text{VP-P}(250\Omega\text{ 负载})$ 。用屏蔽双绞线单台设备距离3000m，而多台设备互连距离1500m。

(2)数据链路层：数据帧长度不固定，最长25个字节。可寻址地为0~15，当地址为0时，处于4~20mA(DC)与数字通信兼容状态；当地址为1~15时，则处于全数字通信状态。通信模式为“问答式”或“广播式”。

(3)应用层：规定了三类命令，第1类是通用命令，适用于遵守HART协议的所有产品；第2类是普通命令，适用于遵守HART协议的大部分产品；第3类是特殊命令，适用于遵守HART协议的特殊产品。另外，为用户提供了设备描述语言DDL(Device Description Language)。

HART能利用总线供电，可满足本质安全防爆要求，并可组成由手持编程器与管理系统主机作为主设备的双主设备系统。

5. FF(Foundation Fieldbus 现场总线基金会)现场总线

FF现场总线是在过程自动化领域得到广泛支持和具有良好发展前景的技术。它以ISO/OSI开放系统互连模型为基础，取其物理层、数据全连路层、应用层为FF通信模型的相应层次，并在应用层上增加了用户层。用户层主要针对自动化测控应用的需要，定义了信息存取的统一规则，采用设备描述语言规定了通用的功能块集。

FF现场总线分低速H1和高速H2两种通信速率。H1的传输速率为31.25Kbps，通信距离可达1900m(可加中继器延长)，可支持总线供电，支持本质安全防爆环境。H2的传输速率可为1Mbps和2.5Mbps两种，其通信距离分别为750m和500m。物理传输介质可支持双绞线，光缆和无线发射，协议符合IEC1158-2标准。其物理媒介的传输信号采用曼彻斯特编码。

FF的主要技术内容，包括FF通信协议；用于完成开放互连模型中第2~7层通信协议的通信栈(Communication Stack)；用于描述设备特征、参数、属性及操作接口的DDL设备描述语言、设备描述字典；用于实现测量、控制、工程量转换等应用功能的功能块；实现系统组态、调度、管理等功能的系统软件技术以及构筑集成自动化系统、网络系统的系统集成技术。

第三节 现场总线控制系统

一、现场总线控制系统的产生

现场总线技术的出现同时导致了新一代控制系统——现场总线控制系统(FCS)的产生。现场总线控制系统将操作站、现场智能仪表以及其它信息资源作为工厂网络中的节点。由于非控制信息(管理信息)大大增加，从而从过程控制走向了过程信息资源共享，提高了生产效率和产品质量。因此，现场总线控制系统将成为21世纪自动化控制系统的主流。

随着计算机功能的不断增强，价格的急剧降低，使计算机集成制造的实施具备了良好的物质基础，形成了工厂底层现场设备之间以及生产现场与外界信息交换的工厂底层网络系统，在分散型控制系统DCS中，较早地在站间通信中采用了局域网LAN技术。随着电子技术的发展，许多站的功能已经能够在现场实现，因此通信已逐渐延伸到了现场。

在过程控制领域，曾经采用过许多通信协议。随着商用计算机领域的局域通信逐步被以太网垄断，过程控制领域中上层的通信也逐步统一到以太网和快速以太网。由于因特网的快速发展，人们通过因特网访问控制系统，进行远程诊断、维护和服务的愿望越来越强烈，因此TCP/IP协议也进入到了过程控制领域。在以上背景的推动下，促进了现场总线控制系统技术的产生，从而导致了新一代系统——FCS的诞生。

二、现场总线控制系统的组成

现场总线控制系统FCS通常由以下部分组成：(1)智能仪表、控制器；(2)现场总线线路；(3)监控、组态计算机。

这里的仪表、控制器、计算机都需要通过现场总线网卡、通信协议软件连接到网上。因此现场总线网卡、通信协议软件是现场总线控制系统的基础和神经中枢。

开放式现场总线控制系统应具有组态技术,包括数据库组态及控制算法组态,生成的参数及算法不仅可以运行(所谓Soft PLC),还可以在远程I/O或智能设备上运行,按照现场总线标准定义的功能块可以在智能仪表及执行机构中进行运算,以实现真正的分布式控制。

三、现场总线控制系统的特点

现场总线控制系统(FCS)具有以下特点:

- (1)采用双绞线、光缆或无线电方式传输数字信号,减少大量导线,提高可靠性和抗干扰能力。
- (2)采用统一的国际标准,不同厂家产品相互兼容,整个系统具有开放性,便于操作,维护和扩展。
- (3)控制功能下放在现场仪表中,控制室内仪表装置主要完成数据处理、监督控制、优化控制、协调控制和管理自动化等功能。
- (4)硬件相对简化,初期系统投资相对较低,同时,现场总线可提供来自现场仪表的设备管理数据作为维护的参考,将非正常停工损失降为最低。
- (5)采用功能块方式组态,现场总线已有大量可满足过程控制的功能模块,如输入、输出、PID调节等,一些模块还具有报警功能。
- (6)采用完全分散的数据库概念,只使用一个数据库,任何同现场总线接口的人机界面都可显示有关仪表与控制回路的信息。这样,便不会产生重复的、不一致的数据库。

第八章 微型计算机控制系统设计

第一节 系统设计的步骤

一、了解工艺要求，明确控制任务

在进行系统设计之前，必须充分了解控制对象的工作过程，熟悉其工艺流程，明确控制任务，包括系统信息来源和种类，被控对象和被控参数的特性，控制对象的工作环境，对人机通道的要求，各项技术经济指标等。任务明确后，用时间和控制流程图来描述控制过程和控制任务，撰写设计任务说明书，以作为整个控制系统设计的依据。

二、确定系统总体设计方案

总体方案的确定是进行微机控制系统设计时最重要、最关键的一步，因为总体方案直接关系到整个控制系统的投资、调节性能和实施细则。通常从以下几个方面着手设计。

1. 控制系统方案的确定

根据系统的要求，应确定出系统是采用开环控制还是闭环控制，或者是采用数据处理系统。如果采用闭环控制系统，则还要确定整个系统的类型，即是采用直接数字控制(DDC)方式，还是采用计算机监督控制(SCC)方式，或者是采用分布式控制系统结构形式。若采用分布式控制，近年来出现的位总线控制系统和现场总线控制系统是新一代的分布式控制结构，将为我们的控制系统带来质的飞跃。

2. 测量元件的选择

根据测量范围和要求的精度选择被控量的测量元件，即传感器与变送器，它是影响系统控制精度的一个重要因素。实际中被测量有温度、流量、压力、液位、成分、位移、重量、速度等，所以相应的传感器种类也很多，而且规格各异，因此，必须正确合理地选择测量元件。现在许多传感器生产厂家已经开发和研制出了专门用于微机控制系统的集成化传感器，为微机控制系统测量元件的选择带来了极大的方便。

3. 执行机构的选择

执行机构是构成微机控制系统不可缺少的重要组成部分，选择系统的执行机构不仅要根据被控对象的实际情况来定，而且也要考虑与控制算法相匹配的问题。常用的执行机构有电动执行机构、气动薄膜调节阀、伺服电机、步进电机、晶闸管等。通常电动执行机构用来控制一般的液体和气体，但不宜用于有爆炸危险的场合。气动薄膜调节阀一般由气动执行机构和调节阀两部分组成，其执行机构是薄膜式的，常用于易燃易爆的环境中。在数控机床、X-Y记录仪、旋转变压器、多圈电位器等控制场合，都用步进电机。

4. 选择输入输出通道及外设

确定过程输入输出通道是总体方案设计中的重要内容之一，通常应根据被控对象所要求的输入输出参数的多少来确定，并按系统的规模和要求配以适当的外围设备，如打印机、CRT显示器、磁盘驱动器、绘图仪、CD-ROM等。在估算和选择通道及外设时，应着重考虑以下几点：

- (1) 数据采集和传输所需的输入输出通道数；
- (2) 所有输入输出通道的数据传输率，各通道处理的数据流量是否相等；
- (3) 输入输出通道是串行操作还是并行操作；
- (4) 模拟量输入输出通道中数据位数的选择：由控制精度确定A/D和D/A转换的位数。
- (5) 输入输出通道连接方式的选择：是采用一个输入输出通道设置一片A/D或D/A的形式；还是采用多通道共用一片A/D或D/A的形式；
- (6) 对显示、打印有无要求：是否需要配备LED或CRT，是否配置打印机等。

5. 画出整个控制系统原理图

结合工业流程图画出一个完整的控制系统原理图，包括传感器、变送器、外围设备、输入输出通道及微型计算机。因为它是整个控制系统的总图，所以要简单、清晰、明了。

三、微机接口的选择

1. 主机方案的选择

确定了总体方案后，首要的任务就是要选择一台合适的微型机。微型机种类繁多，但在微机控制系统设计中通常采取下面两种方案：

- (1) 选用现成的微型机系统

这是一种比较方便的方案。采用该方案时，需要考虑的问题有：选用什么样的微型机系统？系统应有多大的内存容量？怎样配置过程输入输出通道？应配置多少外部设备？应该购买哪些现成的系统软件？怎样配置应用软件？

- (2) 利用单片机芯片自行设计

选用一种单片机芯片，针对具体控制任务，自行设计一个单片机系统，其优点是针对性强，灵活方便，所用元器件最少、投资少等，缺点是硬件和软件都由用户从头设计，工作量大，且周期长。通常在智能仪器、仪表及小型控制系统中采用这种方案。

2. 微机功能的选择

微机确定后,应根据控制任务和要求,对系统的硬件做出估计和选择,以明确微型机的主要功能。

四、建立数学模型,确定控制算法

数学模型是系统动态特性的数学表达式,表示了系统输入—输出及其内部状态之间的关系,因此在使用某些控制算法需要事先知道被控对象的数学模型时,就要用飞升曲线法、相关分析法、最小二乘法辨识等方法得到相应的控制对象模型。

一般情况下,采用模拟化设计的数字PID控制算法,可不需知道被控对象的数学模型,调节器参数采用现场整定。快速系统可采用最少拍控制。对于大滞后的被控过程,可采用Smith补偿器或大林算法。自适应控制算法适用于大滞后—慢时变、随机干扰严重的被控对象和环境。对于复杂问题的控制可采用智能控制系统。所以,选用系统的控制算法时,要根据控制对象的不同特性和要求恰当地选择。

五、系统硬件和软件的具体设计

硬件和软件设计过程要同时进行,相辅相成。

1. 硬件设计

包括接口电路设计、逻辑电路的选择、功放及报警电路设计、I/V与V/I转换电路、操作面板、电源电路设计等。其中接口电路设计包括选择可编程并行接口芯片、可编程串行接口芯片、定时器电路、A/D芯片、D/A芯片及键盘、显示接口等。逻辑电路有锁存器、译码器、EPROM、RAM、多路开关、驱动器、光电隔离器等。操作面板应能完成如下功能:输送源程序到内存,或通过面板操作来干预程序执行;打印、显示中间结果;可修改给定值及参数;设有声光报警指示;能选择工作方式,实现手动—自动无扰动切换;能进行现场手动操作,完成各种画面显示。

2. 软件设计

在进行软件具体设计时,应考虑如下几点:

(1)系统对应用软件的要求

①实时性:在对象允许的时间间隔内实现控制和处理,所以一般用汇编语言编程。

②针对性:应根据每个系统的具体要求单独编程。

③灵活性和通用性:尽量采用模块结构,将共用的程序编写成子程序。

④可靠性:应设计诊断程序,定期对硬件和软件进行检查,一旦发现错误,便立即处理。

(2)确定运算数据类型与长度

微机中的数据类型有定点数和浮点数,定点数运算编程容易,执行快,但精度低,对于小数的处理较麻烦;浮点数形式运算,编程麻烦,执行慢,但精度高,对小数和整数能够统一处理。

六、微机控制系统的调试

在完成了微机控制系统的设计之后,接下来就要进行硬件、软件调试,理想的调试是有一台开发及仿真系统,这样可以加快调试速度。

1. 硬件调试

根据硬件线路制作出实验样机,然后进入硬件调试阶段。首先是脱机检查,用万用表或逻辑测试笔按照设计图逐步检查印刷板中各器件的电源及各引脚的连接是否正确,检查数据总线、地址总线和控制总线是否有短路等故障。有时为了保护芯片,先检查各管座电位(或电源),确定其无误后再插入芯片检查。其次是联机调试,即暂时拔掉CPU(如8031)和EPROM,将样机接上仿真机的仿真插头进行调试,观察各部分接口电路是否满足设计要求。

2. 软件调试

通常用交叉汇编、汇编语言、手工汇编等方法得到目标程序后进行调试,也可以通过仿真软件进行调试。调试完成后,即可将目标代码固化于EPROM中,并将其插到样机的相应插座上,系统便可投入运行。

3. 硬件、软件联调

在硬件、软件分调的基础上,应进行硬件、软件联调,这是关键的一步。联调时要找出硬件、软件之间不匹配的地方,反复进行修改和调试,直至匹配为止。完成实验室调试工作后,即可组装成机器,进行现场调试,并根据实际控制效果,不断地对硬件及软件进行修改,直至符合要求为止。