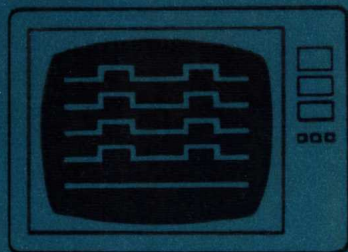
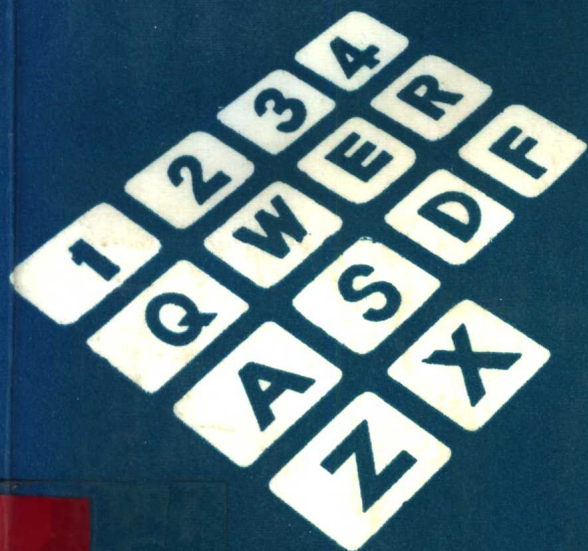


计算机控制系统 原理及设计

孙和平 编著



中国计量出版社

计算机控制系统 原理及设计

孙和平 编著

中国计量出版社

TP332

内 容 提 要

本书是微型计算机在自动控制系统中应用的一本教材。注重理论联系实际和工程应用,使具备了自动控制理论知识和微型计算机软件、硬件知识的读者,能够掌握自行研究和设计一个实用的计算机控制系统的思路、方法和具体步骤。

全书共七章,可分为三部分。第一部分论述了计算机控制系统的理论分析方法及设计与综合。第二部分着重讨论计算机控制系统的输入通道与输出通道组成及工作原理,同时介绍了模数接口板的使用方法。第三部分详细分析了用微型计算机实现转速、电流双闭环直流可逆调速系统控制回路及可控硅触发器全部功能的研究设计的全过程,重点讨论了系统双闭环及数字触发器软件程序设计思想和原理,最后给出了程序框图和相对应的Z80汇编语言程序清单。

本书可作为大专院校自动控制、工业电气自动化及相近专业高年级学生的参考教材。对于计算机应用专业和从事电气传动领域设计、研究的工程技术人员、科研人员也具有很好的参考和实用价值。

计算机控制系统原理及设计

孙和平 编著
责任编辑 倪伟清

—

中国计量出版社出版
北京和平里四区7号

中国计量出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—

开本 850×1168 1/32 印张 12.975

字数 323千字 印数 1—12 000

1987年7月第1版 1987年7月第1次印刷

统一书号 15210·726

定价 2.90元

前 言

70年代以来,由于大规模集成电路技术的发展,产生了一代新型电子计算机——微型计算机。它的出现以及在生产、科研领域中的广泛应用,正在深刻地影响着社会生产和生活的各个方面,尤其在自动控制系统及电气传动方面的应用有着广阔前景。广大工程技术人员和大专院校师生迫切需要微型计算机在自动控制系统应用的专著,但是在目前,这方面的一些教材大都侧重于理论分析。本书编著注重理论联系实际和工程应用,目的是使具备了控制系统理论和微型计算机软件、硬件知识的读者,能够掌握自行研究、设计一个在工程上实用的计算机控制系统的思路、方法和具体步骤。书中通过一个计算机实现“逻辑无环流直流可逆调速系统”控制回路及可控硅触发器全部功能的软件、硬件设计实例,使本书具备了计算机和控制系统相结合、软件和硬件相结合、理论和实际相结合的特点。

本书的初稿作为讲义,在吉林电气化专科学校教师进修班上讲授过。这次出版,作者对原来的讲义进行了修改与增减,力求在内容上深入浅出,通俗易懂。本书可作为大专院校自动控制、工业电气自动化及相近专业高年级学生的参考教材。对于计算机应用专业和从事电气传动领域设计、研究的工程技术人员、科研人员也具有很大的参考及实用价值。

全书共分七章。第一章是关于计算机控制系统的一般性介绍,对计算机控制系统的类型、组成原理和设计步骤作了说明,使读者对计算机控制系统有一个初步认识。第二章介绍了计算机控制系统的理论分析方法,主要解决数学工具问题,包括信息变换原理、Z变换、脉冲传递函数、差分方程、采样周期 T 的选择及计算机控制系统稳定性分析。第三章讨论了计算机控制系统的

7/31/83

设计与综合。前三章是计算机控制系统的理论基础。第四章是计算机控制系统的输入与输出通道，讲述了各种 D/A、A/D 转换原理，最后着重介绍了由集成电路 D/A、A/D 转换芯片组成的模数接口板的硬件连接及软件编程等使用方法，解决了计算机与被控制对象的“接口”问题。第五章讨论了用微型计算机控制双闭环直流可逆调速系统的组成原理，常用软件程序设计，中断系统的功能及计算机硬件接口电路的应用。第六章是可控硅数字触发器的设计原理，第七章是转速、电流双闭环数字化的设计原理，这两章是本书应用的重点，着重分析了用微型计算机控制的直流可逆调速系统的设计、研究，书中对这两部分内容的每一个环节都做了详细而又具体地分析和研究，软件部分给出的程序清单都是经过实验能够正常运行的。

本书作为教材，先修课程为《自动控制理论》、《半导体交流技术》、《电力拖动自动控制系统》、《微型计算机的硬件软件及其应用》。讲授本书全部内容需要约 60 学时。

借本书出版的机会，特别感谢在这个学科对作者有过很大帮助和指导的北京钢铁学院王顺晃老师。吉林电气化专科学校张世铭、孙德山和张连科等老师对本书初稿进行了认真细致的审阅，并提出了宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于作者学识水平有限，加之编写时间紧迫，错误或不当之处在所难免，希望读者批评指正。

作者 孙和平

1985 年 10 月于吉林电气化专科学校

目 录

前言	(i)
第一章 计算机控制系统概述	(1)
第一节 计算机控制系统的一般概念	(1)
一、在线系统	(1)
二、实时控制系统	(2)
三、直接数字控制系统	(2)
四、计算机监督控制系统	(4)
五、计算机控制系统的组成	(5)
第二节 设计计算机控制系统的一般方法	(6)
一、建立系统的数学模型	(6)
二、进行系统的动态和静态计算	(6)
三、计算机和接口电路的选择	(6)
四、编制程序算法的确定	(7)
五、系统软件和硬件连机调试	(8)
第三节 计算机开环和闭环控制系统	(8)
一、计算机开环控制系统	(8)
二、计算机闭环控制系统	(10)
第四节 计算机控制系统的可靠性和可维护性	(14)
一、可靠性	(14)
二、可利用率	(15)
三、可维护性	(16)
第二章 计算机控制系统的理论分析方法	(17)
第一节 信息变换原理	(17)
一、数字控制系统方框图	(18)
二、脉冲采样器和采样过程	(20)
三、采样定理和采样周期的选择	(22)
四、信号的恢复和保持器	(28)

第二节 线性离散系统的数学描述方法	(37)
一、线性常系数差分方程	(38)
二、 Z 变换	(42)
三、 Z 变换的基本定理	(51)
四、 Z 反变换	(58)
五、用 Z 变换解差分方程	(65)
第三节 脉冲传递函数	(70)
一、脉冲传递函数的定义	(70)
二、已知差分方程求脉冲传递函数	(75)
三、离散系统的方框图变换方法	(75)
四、脉冲传递函数的应用	(80)
第四节 扩展 Z 变换	(83)
一、扩展 Z 变换的定义	(84)
二、连续环节在非采样时刻的输出响应	(87)
第五节 线性离散控制系统的稳定性分析	(87)
一、稳定域	(88)
二、 W 平面的劳斯判据	(96)
三、采样周期 T 对闭环系统稳定性的影响	(99)
四、开环放大倍数 K 对闭环离散系统稳定性的影响	(101)
第三章 计算机控制系统的设计与综合	(104)
第一节 模拟控制器的数字化	(105)
一、积分(I)控制器	(106)
二、比例积分(PI)控制器	(108)
三、比例微分(PD)控制器	(110)
四、比例积分微分(PID)控制器	(111)
第二节 数字控制器的直接设计	(114)
一、最少拍随动系统的数字控制器设计	(114)
二、最少拍无纹波随动系统的设计	(128)
第三节 被控对象具有纯滞后的计算机控制系统的设计	(134)
一、大林算法数字控制器的基本形式	(135)
二、振铃现象及消除方法	(137)

三、模拟控制器的数字化条件	(141)
第四节 数字控制器 $D(z)$ 在计算机上实现的方法	(143)
一、直接程序设计法	(144)
二、迭代程序设计法	(145)
三、并行程序设计法	(148)
第四章 计算机控制系统的输入通道与输出通道	(151)
第一节 输入通道	(153)
一、量化和编码	(155)
二、采样保持电路	(157)
三、A/D 转换器的工作原理	(160)
四、单片集成电路 A/D 转换器及应用	(169)
第二节 模拟量输出通道	(179)
一、D/A 转换器的原理	(182)
二、单片集成电路 D/A 转换器及应用	(189)
第三节 输入输出通道应用举例	(204)
一、D+7A I/O 接口板	(205)
二、TP 801 AD-082 模数接口板	(208)
第四节 光电耦合器件的应用	(222)
一、输入、输出通道的数字光电隔离电路	(223)
二、模拟量光电隔离电路	(225)
第五章 数字化直流可逆调速系统的组成原理	(228)
第一节 Z 80 单板机控制的逻辑无环流系统	(230)
一、逻辑无环流系统简述	(230)
二、DDC 可控硅直流调速系统	(235)
第二节 控制系统常用软件程序设计举例	(238)
一、两个 8 位二进制无符号数乘法程序	(239)
二、两个 16 位二进制无符号数乘法程序	(242)
三、两个 8 位带符号二进制数乘法程序	(243)
四、两个 16 位带符号二进制数乘法程序	(245)
第三节 TP 801 B 单板机应用简介	(248)
一、TP 801 B-Z 80 单板机硬件介绍	(249)

二、Z 80-CPU 的中断功能	(251)
三、Z 80-PIO 接口电路	(266)
四、Z 80-CTC 计数器/定时器电路	(282)
第六章 数字锯齿波移相触发器的设计原理	(297)
第一节 数字触发器的组成和工作原理	(298)
一、模拟锯齿波移相触发器的组成	(298)
二、数字触发器的功能	(299)
第二节 可控硅同步信号的产生	(301)
一、六相同步脉冲的产生原理	(302)
二、同步脉冲软件程序设计	(305)
第三节 数字触发器的脉冲移相和输出程序设计	
原理	(311)
一、可控硅 α 角的计算	(311)
二、脉冲触发角 α 的输出定时	(314)
三、触发脉冲的分配原则	(315)
四、程序框图与程序清单	(320)
五、提高 α 角分辨率的改进方案	(326)
第四节 工作桥的选择和无环流逻辑切换程序	
设计	(327)
一、无环流逻辑切换程序设计原理	(328)
二、程序清单	(332)
三、电子开关和脉冲功率放大器	(335)
第七章 系统双闭环参数计算与程序设计	(338)
第一节 系统双闭环动态参数计算	(339)
一、电流环的动态参数计算	(342)
二、速度环的动态参数计算	(346)
第二节 电流环的程序设计原理	(349)
一、数字 PI 控制器的计算及输出限幅处理	(350)
二、电流反馈 D_{ti} 和 LT 输出 D_k 的符号处理	(352)
三、有准备切换推 β 环节的程序设计	(353)
四、控制器“锁零”程序设计	(355)
五、电流环程序清单	(357)

六、电流自适应控制程序设计.....	(363)
第三节 速度环的程序设计原理	(366)
一、数字PI控制器的计算及输出限幅处理	(367)
二、数字滤波器的程序设计	(367)
三、线性外推的原理	(369)
四、一阶微分反馈程序算法	(370)
五、速度环程序清单	(371)
第四节 主程序及乘法程序的设计	(374)
一、乘法子程序设计原理.....	(374)
二、乘法表子程序设计原理.....	(377)
三、系统主程序的设计.....	(380)
四、系统实验调整.....	(383)
参考文献	(384)

第一章 计算机控制系统概述

电子数字计算机的发明，是本世纪科学技术的卓越成就之一。它在生产、科研及国民经济领域中的广泛应用，正在深刻影响着社会生产和生活的各个方面。随着大规模集成电路技术的飞速发展，在70年代初诞生一代微型计算机 (Microcomputer)，以其高性能的技术性能指标和低廉的价格，真正进入了社会的领域。

科学计算、数据处理和实时控制是电子计算机应用的三大领域。本书主要讨论、研究电子计算机在实时控制领域中的问题，这是一种把计算机技术和自动化技术结合在一起的应用技术。

本章主要论述计算机控制系统的一些基本概念、计算机控制系统的设计步骤，组成原理和可靠性方面等问题，为后面研究设计具体系统奠定初步的基础。

第一节 计算机控制系统的一般概念

从计算机的中央控制器 CPU 与被控制设备之间的关系，可以分为在线控制和离线控制。从控制方式来看，有实时控制系统，直接数字控制系统等。在研究系统之前，先对有关的概念进行说明。

一、在线系统

所谓计算机在线控制系统是指计算机直接从信号源输入信息，并把计算结果直接送给被控制设备的系统。

说一个设备在线，就是指这个设备与计算机的 CPU 连接在一起，它的工作直接受 CPU 控制。也有人把这种控制称为“联机”控制。对上述的几个条件作如下说明：

(1) 如果信号源在远地，也要用某种通讯方式向计算机直

接输入信息和数据。

(2) 能始终保存在线的文件和数据。

(3) 具有面向人的服务功能，人们可以随时使用终端设备和计算机进行人机对话。

离线控制是指被控设备已经与计算机的中央控制器 CPU 断开，它的工作不受中央控制器的直接控制。也有人把这种情况称为“脱机”，指的都是一个含意。

二、实时控制系统

实时计算机控制系统是，计算机对接受到的数据和信息作及时处理，并把运算或判断结果迅速返回，作用于被控制对象。因此实时控制系统的主要指标是响应时间，因为从输入信息到输出控制作用至被控对象应在一定的时间范围内完成，若超过此时间范围，就会失去控制时机。

一个在线系统不一定是一个实时系统，但是一个实时控制系统则必定具有在线的功能和设备。例如一个只用于数据记录的计算机系统就是一个在线系统，但它不是一个实时控制系统，而过程控制系统采用自动控制，无需人参与，它是典型的实时控制系统。

通常对实时控制系统提出如下要求：

(1) 响应时间短。所谓响应时间是计算机从信息的输入开始，到生产机械接到计算机输出的控制作用为止。

(2) 随机处理。许多控制系统的输入信息是随机的，而且有突加的负载变化，需要系统有这种应变能力。为了满足这种要求，计算机要有足够的中断功能、优先权处理和多道程序等功能。

(3) 通道的可靠性。计算机和外界交换信息，是通过输入、输出设备，也就是系统的过程通道进行的，而通道是由大量的硬件设备组成，这些设备工作的可靠性往往决定整个实时控制系统是否能够正常运行。

三、直接数字控制系统

直接数字控制简称 DDC (Direct Digital Control)，计算

机作为一个控制器（相当于模拟调节器的作用）存在于闭环控制系统中，对被控制对象直接进行控制。DDC系统的示意图如图 1-1 所示。

由图 1-1 可见，根据被控制量的给定值和传感器测定得被控对象参数的实际值，经过输入通道进入计算机，计算机按照预定的控制规律（数学模型），算得控制作用，再经过输出通道来控制执行机构，使得被控对象的受控参数向目标值变化。控制量和被控制量不一定是同一种物理量，例如一个加热炉的被控制量可以是温度、煤气流量或煤气阀门的动作位置。

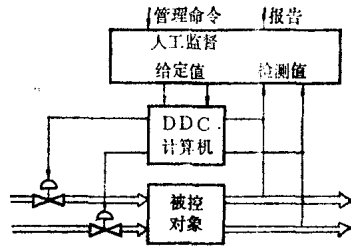


图 1-1 直接数字控制系统

直接数字控制系统的特点如下：

(1) 一般的 DDC 系统并不一定只含有一个闭环，而是有多个闭环，计算机对各个闭环进行分时控制。所谓多回路，即一台计算机可以“同时”控制几十个回路。这里所指的“同时”是对执行机构来说的，好象计算机在“同时”控制它们。因为计算机的运算速度和执行机构的动作时间相比要快的多，虽然计算机对各个回路是按照一定次序，一个一个地指挥，但在执行机构方面来看，确好象在“同时”指挥它们。由于计算机的运算速度非常快，可以把它的计算时间划分为很短的时间片，并按一定的次序把它分摊给各个回路。这种有两个或两个以上的设备随机地交叉使用计算机，称为分时控制方式。

(2) 进行采样控制方式。由于一台计算机可以对多个回路进行分时控制，必须进行具有一定采样周期的采样控制。所谓采样，是指计算机对每个闭环控制回路，在一定的时间间隔（采样周期 T ）内进行一次读入参数值，经过数据运算处理施加一次控制作用。

通常，快速系统（如直流调速系统）的采样周期为几个毫秒左右。慢速系统（如温度热工系统）的采样周期一般选为若干秒，甚至若干分钟。关于各类系统采样周期 T 的确定原则，请参看后面第二章第一节的内容。

(3) 能够引入先进的控制规律和复杂算法。如非线性控制，前馈控制，最优控制，自适应控制和各种数字滤波器。

(4) 系统的应用软件可扩展性和调整的灵活性。由于系统控制算法是由软件程序实现的，而修改程序对于掌握软件设计的人是比较容易的，同时在原有的基础上，增减些控制回路也是很方便的，所以具有很大的灵活性。

综上所述，DDC 控制系统适用于具有需要复杂计算和具有互相关联的控制过程，控制回路比较多和滞后时间大的过程。

由计算机控制的直流可逆调速系统是不需要人直接参加的反馈控制，它是一个典型的 DDC 控制系统，当然也是一个实时在线控制系统。

四、计算机监督控制系统

计算机监督控制系统简称 SCC (Supervisory Computer Control)，是指 DDC 的上一级计算机，它的作用是根据生产工艺的要求，担负着为 DDC 系统计算设定值，管理工作（如技术或生产表报的制作），进行生产线跟踪等功能，总之，带有全局性的决策或数据的处理，都可以由 SCC 担负。

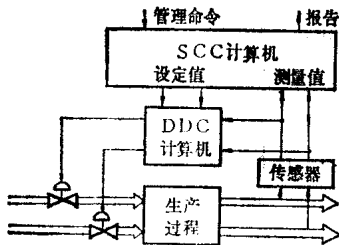


图 1-2 DDC 和 SCC 两级控制系统

两级控制都由计算机来实现的 DDC 和 SCC 系统如图 1-2 所示。在实际系统中，一个 SCC 系统可以同时控制数个 DDC 系统。显然 SCC 系统是面向 DDC 系统，而 DDC 系统是面向被控对象的。

五、计算机控制系统的组成

生产过程的被控对象、外围设备、计算机系统 etc 组合在一起，就构成了一个计算机控制系统，如图 1-3 所示。

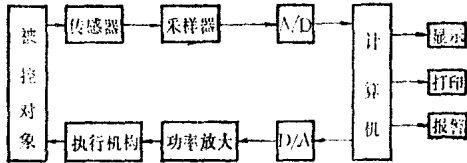


图 1-3 计算机控制系统简图

计算机控制系统在控制生产过程的被控对象时，首先由外围设备中的输入通道利用传感器对被控对象的有关参数，例如温度、压力、流量、转速、位置等进行检测，并转换成连续的电压量，通过采样器和 A/D 变换把模拟量转换成计算机能够识别的数字量，送入到计算机中。计算机根据输入通道提供的这些信息，按照人们预先编制好的描述系统运动规律的数学模型程序进行运算，得到了计算结果。这些结果由计算机通过输出通道中的 D/A 转换，将数字量转换成模拟量，经过功率放大装置，最后由执行机构去控制被控对象（或直接以数字量输出去控制被控对象），使被控制量达到预期的设定值。

无论是哪种类型的计算机控制系统，都是由面对计算机系统的软件与硬件和面对用户的软件和硬件所组成。

计算机的硬件部分包括中央处理机 CPU，内存单元 MU，输入输出设备 I/O，总起来称为“裸机”。系统软件是为计算机配备、方便用户的，它包括语言翻译程序，调试诊断程序和操作程序。

面对用户的硬件包括各种接口电路，隔离电路和功率放大装置等。应用软件是用户根据控制系统的需要，按照一定的规律和数学模型而编制的程序。显然，从应用计算机的角度来看，我们

应当把主要精力放在应用软件的编制上，而系统软件是否丰富，可以作为我们选择计算机的根据之一。

第二节 设计计算机控制系统的 一般方法

设计一个计算机控制系统，包括“硬件”和“软件”有关的两部分。硬件部分主要是计算机本身及接口电路，软件部分包括系统数学模型的建立，控制算法的选择，应用程序的编制。

一、建立系统的数学模型

数学模型是描述控制系统运动规律的数学表达式。有了数学模型，计算机才能按照预定的规律去调节和控制系统的运动。在设计系统时，要根据被控制对象的物理性质和控制系统的具体要求来建立数学模型，一般先用微分方程或状态方程表示，这是关键的一步。建立一个复杂的数学模型，要把主要精力集中在生产现场上，熟悉工艺流程，摸清生产规律，结合应用数学的一些计算方法，才能建立起精确地反映生产过程的数学模型来。反之，若我们只把注意力集中在计算机本身，对现场调查方面做的不够，这样即使把计算机控制系统设计出来，也往往由于数学模型脱离生产过程的实际情况而不能成功。

二、进行系统的动态和静态计算

根据被控制对象的数学模型，提出满足一定技术指标的目标函数，以此寻找出满足该目标函数的控制规律，导出控制器的方程式，作为计算机实现的基础。

三、计算机和接口电路的选择

(一) 计算机的选择

1. 字长选择

要选择能满足控制系统运算精度需要的字长，因为计算机的字长越长，精度越高，但计算机的价格也要提高，所以对计算机

的字长选择只要满足控制系统要求的运算精度就可以了。

2. 计算机运算速度

计算机运算速度的选择直接影响控制系统的快速性，若系统要求的采样周期短，控制算法复杂，计算量大，就应当选择运算速度较高的计算机。反之，就可以选择运算速度慢一些的计算机。

3. 内存容量选择

计算机内存容量用 k 来表示。内存容量的选择取决于需要计算机运算的数学模型复杂程度，若数学模型复杂，运算量大，处理的数据多，需要暂存的表格和中间结果较多，就要选择内存容量大的计算机。

4. 可靠性

过程控制系统一般都是长时间连续工作的，中间不允许间断。因此对参与控制的计算机系统连续可靠的工作提出了相当高的要求。一般要选择用于实时控制的计算机或专门的工业控制机。

5. 中断功能

要求计算机有比较完善的中断能力，以便在生产过程中发生紧急情况时，计算机能够适当处理，而且要解决主机和外部设备交换信息、多道程序的处理、多机联接在一起的通讯等，都需要用中断方式来解决。因此需要计算机具有比较完善的中断系统和功能。

(二) 外围接口电路的选择

外围接口选择主要取决于 A/D 和 D/A 转换器的转换精度问题，同时对于快速系统还要考虑转换所需要的时间长短。另外，A/D 和 D/A 转换器的位数越长，则精度越高，但价格也高。因此对转换器位数的选择只要满足控制系统要求的运算精度就可以了。

四、编制程序算法的确定

已经求出的控制方程，大都是微分方程的形式，需要先把微