

计算机 控制系统

——设计与实现（第二版）

郭锁凤 主编



航空工业出版社

计 算 机 控 制 系 统

——设计与实现

(第二版)

南京航空航天大学 郭锁凤 陈传德
北京航空航天大学 高金源 编著
西北工业大学 周雪琴
郭锁凤 主编

航空工业出版社

1996

内 容 提 要

本书是1987年出版的《计算机控制系统——设计与实现》的第2版。

本书较为系统地讲述计算机控制系统，即微机参与控制的动态系统的设计与实现问题。全书共9章，分三个部分：
(1) 理论基础：计算机控制系统概述，系统信号特性，系统数学描述。(2) 系统设计：计算机控制系统连续域-离散化设计，离散域设计，状态空间设计，多速率系统的分析与设计。(3) 系统实现——控制算法结构编排与有限字长效应，系统的实现。

本书是一本内容丰富，理论与实际结合、设计与实现结合的教学用书。既考虑到航空上的应用，也照顾到一般工业的应用，有一定的通用性。在第2版中，对内容作了重要增补和删节。

本书适用于自动控制类专业本科生、研究生的教材，亦可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机控制系统：设计与实现/郭锁凤主编. —2版. —
北京：航空工业出版社，1996. 1

ISBN 7-80046-832-1

I. 计… I. 郭… II. 计算机控制系统 N. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第11093 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经售

1996年1月第2版 1996年1月第2次印刷

开本：787×1092 1/16 印张：12.75 字数：317千字

印数：6101—8100

定价：16.50元

前 言

计算机控制系统, 又称数字控制系统, 是指计算机参与控制的闭环动态系统。它的基本理论属于离散控制范畴。但本书不是专门讲述离散控制理论, 而是着眼于动态系统的计算机控制, 重点讲述这类系统的设计与实现问题。

本书包括三部分内容: (1) 计算机控制系统的理论基础。包括系统概述, 信号特性和数学描述。是为系统设计提供必要的理论基础, 是控制原理的衔接和引申。重点是基本概念和基础理论的概括和系统化。(2) 计算机控制系统的设计。包括连续域-离散化设计, 离散域设计, 状态空间设计, 多速率系统的分析与设计。兼顾了经典设计与近代设计两个方面。重点是讲述设计原理和方法, 辅以设计算例, 介绍其应用场合。(3) 计算机控制系统的实现。包括控制算法的结构编排与有限字长效应, 系统的实现问题。侧重讲述系统微机实现中的主要技术问题、处理方法、程序结构和流程框图, 使理论与实际、设计与实现结合, 而不过多地涉及系统的具体硬件和软件。

本书是在参考国内外最新材料、文献和高等院校教材的基础上, 结合多年来教学与科研实践成果而编著的, 有一定的特色。内容的组织是从学科出发, 适当侧重航空方面的应用, 并重视一般工业上的应用, 有一定的通用性。

1987年第1版问世以来, 承蒙各方面的厚爱和鼓励, 经过多年的使用, 也有了不小积累, 亟待进一步更新。在第2版的编写中, 我们在内容上作了重要的增补和删节, 使内容更加精练和丰富, 更富有特色, 总的篇幅比第1版还少。

本书大部分内容是自动控制类本科生的必修内容, 部分内容可作为硕士研究生的选修内容, 一书两用。当然, 本书也可选择部分内容作为非自控类专业本科生、研究生的教材和参考, 供有关工程技术人员参考。

本书是在具备自动控制原理和微机原理知识的基础上使用的。各章(除第1章外)均附有必要的习题。

本书由南京航空航天大学、北京航空航天大学和西北工业大学联合编著, 由南航郭锁凤任主编。其中第1、2、3、5章由西工大周雪琴(翁湘英)副教授撰写, 第4章由南航陈传德(耿文明)副教授撰写, 第6章及第5.3节、第7.1节由北航高金源教授撰写, 第7、8、9章由南航郭锁凤教授撰写。

本书第二版在绘图、出版过程中得到了很多同志的帮助, 在此谨致以衷心的感谢。

限于时间和作者的水平, 不妥和错误之处望读者指正。

编著者

1995. 4

目 录

第 1 章 计算机控制系统概述	(1)
1.1 系统的组成与工作原理	(1)
1.2 系统的主要特点和优点	(2)
1.3 系统应用举例	(3)
1.4 系统的设计与实现问题	(7)
第 2 章 计算机控制系统的信号特性	(9)
2.1 控制系统中信号的形式	(9)
2.2 采样信号的特性	(11)
2.3 采样信号的恢复	(17)
2.4 信号的数字化过程	(21)
习 题	(23)
第 3 章 计算机控制系统的数学描述	(24)
3.1 z 变换及其性质	(24)
3.2 脉冲传递函数	(29)
3.3 频率特性	(35)
3.4 状态空间描述	(40)
习 题	(47)
第 4 章 计算机控制系统连续域-离散化设计	(50)
4.1 连续域-离散化设计的基本原理	(50)
4.2 脉冲响应不变法	(52)
4.3 阶跃响应不变法	(53)
4.4 一阶差分近似法	(53)
4.5 突斯汀 (Tustin) 变换法	(55)
4.6 其他变换方法	(58)
4.7 设计举例	(59)
4.8 数字式 PID 控制器设计	(60)
习 题	(63)
第 5 章 计算机控制系统离散域设计	(66)
5.1 z 平面根轨迹设计	(66)
5.2 频率域设计	(73)
5.3 δ 域设计	(81)
习 题	(88)
第 6 章 计算机控制系统状态空间设计	(90)
6.1 离散系统的可控、可达及可观性	(90)
6.2 状态反馈的极点配置设计	(97)

6.3	状态观测器设计	(102)
6.4	调节器设计(控制律与观测器的组合)	(108)
6.5	计算机控制系统最优二次型设计	(111)
	习 题	(120)
第7章	多采样速率系统的分析与设计	(122)
7.1	采样频率的选取	(122)
7.2	多采样速率的配置	(126)
7.3	多采样速率系统的等效变换	(128)
7.4	多采样速率系统的性能分析	(135)
7.5	多速率数字滤波器的应用	(137)
7.6	多速率系统的设计方法	(139)
	习 题	(141)
第8章	控制器算法的结构编排与有限字长效应	(142)
8.1	控制算法的结构编排	(142)
8.2	量化特性和溢出特性	(144)
8.3	控制器系数的量化及其对系统的影响	(146)
8.4	控制器信号量化误差的分析及其影响	(148)
8.5	量化非线性对控制器和系统的影响	(152)
8.6	控制器的动态范围和量化误差的补偿	(159)
	习 题	(160)
第9章	计算机控制系统的实现	(162)
9.1	比例因子配置和溢出保护	(162)
9.2	时延的处理与减小时延的方法	(167)
9.3	控制算法的实现	(170)
9.4	多模态控制系统的实现	(181)
9.5	多速率控制系统的实现	(186)
	习 题	(195)
	附 录	(197)
	参考文献	(198)

第 1 章 计算机控制系统概述

数字计算机从诞生到现在仅有 40 多年的历史,但它已渗透到各个科技领域,成为一个国家工业发展水平的标志之一。

计算机控制系统是数字计算机和自动控制相结合的产物。计算机在控制系统中主要承担控制器的任务。它的渗入对控制系统的性能、部件结构以及控制理论等各方面都产生了极为深刻的影响。

1.1 系统的组成与工作原理

计算机控制系统和连续控制系统一样,都是按误差进行控制的闭环负反馈控制系统。

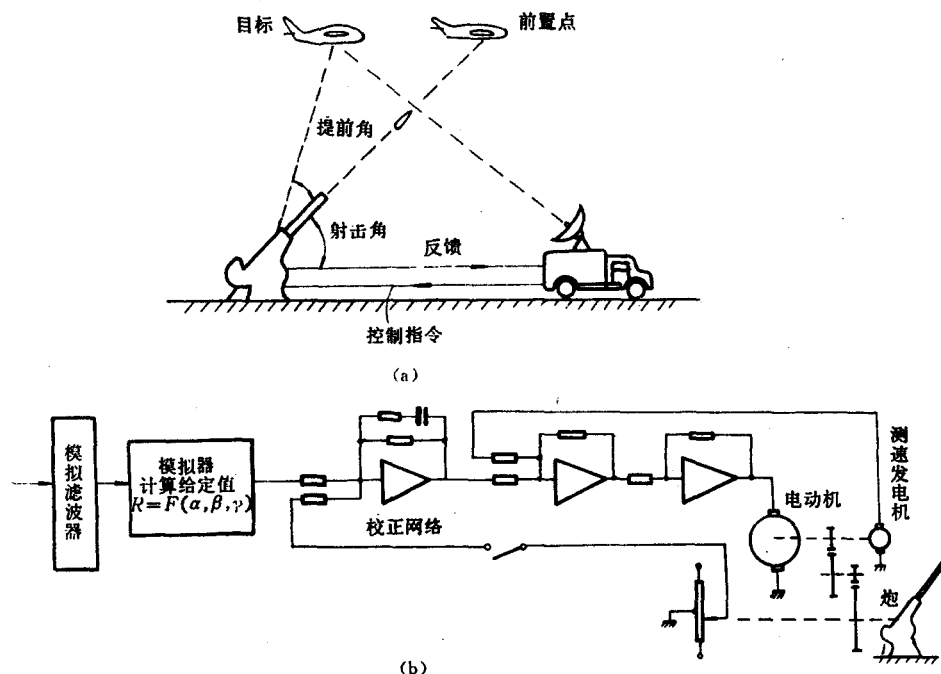


图 1-1 火炮连续控制系统

图 1-1 所示的火炮位置伺服系统属连续控制系统。由雷达测出目标的高低角、方位角和斜距,经电子网络滤除原始信号中夹杂的各种干扰,然后利用模拟计算机计算出给定值。被控对象炮筒的实际位置由测量电位计测出,把所测得的信号作为位置反馈信号与给定值进行比较,得出两者的偏差信号。为了改善系统性能,本系统采取了三个措施:引入由有源网络组成的串联校正,用测速发电机提供并联校正信号;用电子开关实现系统工作状态转换的逻辑控制(当偏差信号大于某限制值时,断开主反馈,使电机以最大速度向减小偏差方向运动,若小于某一限制值时再接通主反馈)。从图 1-1 可见,连续控制系统中的主要装置均是模拟元件,

系统中传递的信号都是连续模拟信号。

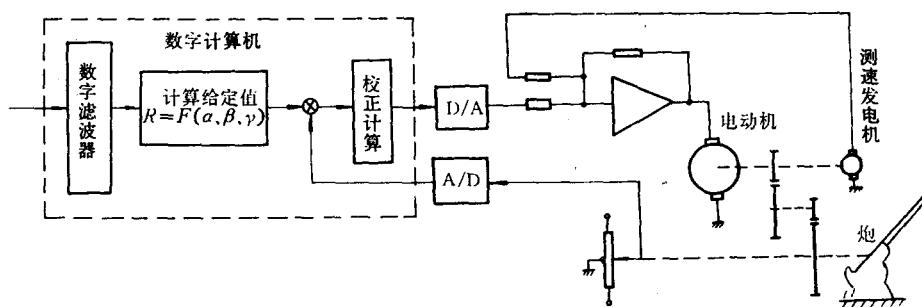


图 1-2 火炮位置计算机控制系统

图 1-2 所示的火炮位置伺服系统属计算机控制系统。它和图 1-1 所示系统的任务相同。它们之间的差别仅在于火炮计算机控制系统中引入了数字计算机和模-数、数-模转换器，替代了原连续控制系统中的某些电子网络、模拟计算机、串联校正装置、电子开关等控制设备。这种替代对系统的性能、成本、运用范围等都有极大的改善，这点将在下一节介绍。

由上述实例可见，计算机控制系统主要由下述各部件组成：

1. 被控对象，如本例的火炮炮筒。
2. 执行机构，如本例的直流电机。
3. 测量装置，本例中采用的是测量电位计和测速发电机。
4. 模-数转换器 (A/D) 和数-模转换器 (D/A)。
5. 多路传输器 (多路开关)：当几个信号要由同一台计算机或同一个通信通道处理时，需用多路传输器按预定的顺序把信号接到计算机或通信通道上，实现分时处理。

6. 数字计算机系统 (包括硬件和软件)：在控制系统中主要起控制器的作用，对信号进行加工，形成所要求的控制信号；其次，它还能承担数据处理、监督、管理等任务。计算机硬件除主机以外，还有输入、输出通道，人-机通信设备和存储器等外部设备。其软件包含有系统软件和应用软件等。本例中数字计算机的作用是：对采集来的原始信号进行滤波，计算给定值，计算偏差量，对误差信号进行加工处理，形成并输出控制信号，利用软件对系统进行逻辑控制，等等。

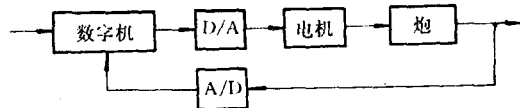


图 1-3 火炮位置计算机控制系统框图

若各装置用方框表示，可画出如图 1-3 所示的火炮位置计算机控制系统的框图。

1.2 系统的主要特点和优点

计算机控制系统相对连续控制系统而言，其主要特点有：

1. 结构上的特点：连续系统中的主要装置均为模拟部件，而计算机控制系统必须包含有数字部件——计算机。目前，测量装置和执行机构多数为模拟部件，所以计算机控制系统通常是模拟和数字部件的混合系统。若系统中全是数字部件，则称为全数字控制系统。本教材主要针对混合控制系统。

2. 信号形式上的特点：连续系统中各点信号均为连续模拟信号，而计算机控制系统中有

多种信号形式，它除有连续模拟信号以外，还有离散模拟、离散数字等信号形式。

3. 工作方式上的特点：在连续控制系统中，一个控制回路配有一个控制器，而计算机控制系统中一个控制器（数字计算机）经常可以同时为多个控制回路服务。它利用依次巡回的方

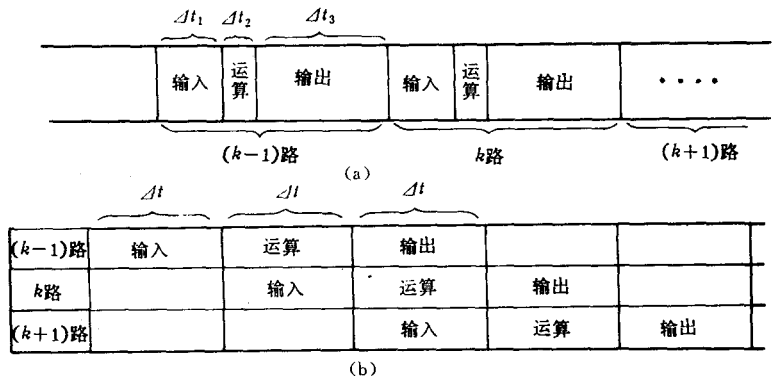


图 1-4 分时控制

(a) 串行 (b) 并行

法实现多路串行控制。如图 1-4 (a) 所示。为了节省巡回时间，充分发挥硬件作用，常采用分时并行控制，即在同一时间内，计算机、A/D、D/A 三个部件针对三个不同回路均在工作，如图 1-4 (b) 所示。随着微型计算机的迅猛发展，大型计算机控制系统纷纷问世，它们采取分散和集中相结合的多层次控制。在分层控制中，基层控制回路常采用控制器和被控对象一一对应的关系，而在高层都采用一对多的方式，这时就需要考虑分时控制问题。

计算机控制系统的控制规律是由数字计算机的软件实现的，因此随着计算机的不断发展，它的优点已越来越突出。目前看来，以下一些优点是较明显的。

计算机控制系统的功能很强。由于数字计算机具有丰富易变的逻辑判断能力和大容量的信息存储单元等特性，使它有能够实现极复杂的控制规律。如对于多输入、多输出系统实现多重决策、多种工作状态的转换等任务，都不是太困难的。而这些任务若要用模拟控制器来实现就很困难了。

计算机控制系统的功能/价格比值高，而且灵活性和适应性强。对连续控制系统来说，控制规律越复杂，所需要的硬件也往往越多越复杂。模拟硬件的成本几乎和控制规律复杂程度成正比。若要修改控制规律，一般非改变硬件结构、参数不可。而在计算机控制系统中，修改一个控制规律，一般只需修改软件，而硬件结构几乎无需作根本的变化。

1.3 系统应用举例

一、计算机在过程控制中的应用

图 1-5 所示的系统是连续控制系统，其控制器是 PID 调节器一类的模拟控制器。其中计算机用于数据处理和系统监视等方面，它使操作人员从单调的记录和制表等工作中解脱出来，把精力集中到如何根据计算机的指示信息，改善系统运行质量等方面。

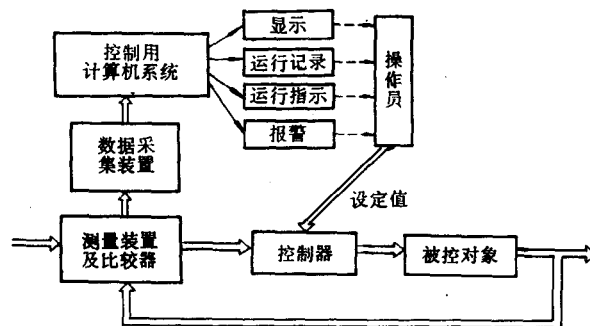


图 1-5 数据处理与系统监视

图 1-6 所示系统是直接用数字计算机作为过程变量控制回路的控制器，这种方式叫直接数字控制，DDC (Direct Digital Control)。早期 DDC 的控制规律是模拟 PID 控制规律的数字化的。目前已发展到某一控制回路的设定值由另一控制回路提供的级联控制，用计算机确定使目标函数为最优的最优控制，适当改变目标函数使之适应环境变化的自适应控制等。本教材所研究的仅是图 1-6 所示的计算机在控制回路内的控制系统。

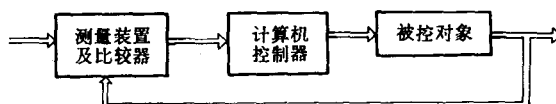


图 1-6 直接数字控制系统

计算机控制系统有简单的局部性的系统，也有复杂的、综合性的多级系统。多级计算机控制系统把各个设备看成是一个大系统的局部，它从大系统的全局出发，对系统进行决策，使大系统全局综合最佳。在微型计算机大发展以前，多级控制系统采用的是集中型，它不仅把各层次控制任务都集中起来，而且把并行的各控制回路（几十个，甚至几百个）也集中起来，对上千个过程参数进行集中显示和控制。这种集中型多级控制的缺点是，信号通信量过大，系统过于复杂，可靠性降低，一旦计算机失灵，必将导致整个系统瘫痪。70 年代以来，随着微型计算机的迅速发展，出现了以多台微型计算机为基础的集散型综合控制系统。它以分布式控制来适应分散的被控对象（或过程），同时对各分散过程的状态进行集中的监视和管理。结合了分散控制和集中管理的综合性控制系统，也称为分布式计算机控制系统。这种系统既发挥了多级控制的长处，又提高了可靠性。目前，世界上已有不少国家生产多种不同规格的集散型综合控制系统，以满足不同企业的要求。

目前世界上许多钢厂，用连铸替代了模铸。连铸是将钢水连续浇铸成钢坯的设备，它与传统的模铸比较，简化了工艺过程，提高了经济效益。其工艺流程如图 1-7 所示。我国宝钢就采用这种先进技术。目前，世界上有些国家又进一步发展了炼钢-连铸-热轧一体化系统。

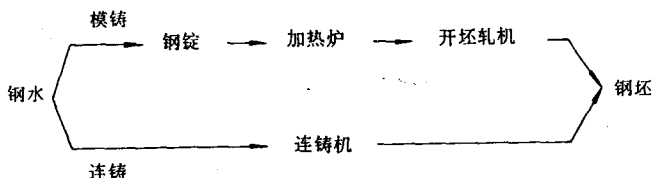


图 1-7 模铸与连铸工艺流程

连铸机计算机控制系统属分布式控制系统。主要分三级控制，如图 1-8 所示。最高级采用一台计算机集中管理。第二级是过程计算机，它是连铸计算机控制系统的核心部分，它既有本身所特定的多项功能（如结晶器振动控制，引锭杆插入、收回控制等），还担负着承上（管理机）启下（设备控制机）的作用。根据连铸设备的工艺特点，特别是现代化的大型板坯连铸机，一般都设置多台过程计算机。为适应连铸与前（炼钢）后（轧钢）工序的协调（尤其是在实现铸坯热送或直接轧制时），连铸过程计算机必须及时地、准确地与炼钢、热轧过程进行信息交换。连铸过程控制采用的是 DDC 系统，实现各种最佳控制规律。第三级是设备控制级，

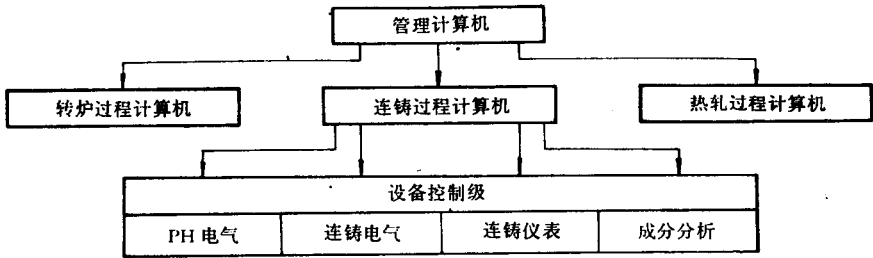


图 1-8 连铸机计算机控制系统示意图

对不同的控制任务都有各自的计算机，形成独立回路，接受上级指示，反映基层情况，如电气控制就采用了多台可编程序逻辑控制 PLC (Programmable Logical Control)。

二、计算机在飞行控制中的应用

(一) 飞行器的飞行控制：主要控制飞行器的姿态、轨迹等。如数字式电传操纵系统、数字式自适应自动驾驶仪、仪表盲目着陆最佳控制系统、数字式惯性导航系统以及天文、卫星导航系统。

(二) 火力控制系统：目前空对空、地对空攻击的火力控制系统已广泛采用数字计算机。

(三) 发动机控制系统：如发动机最佳工作状况的计算和控制等。

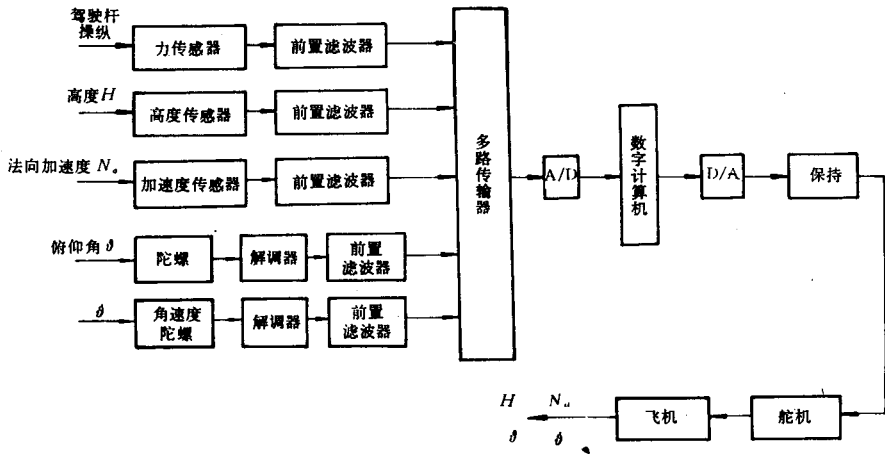


图 1-9 数字式飞行控制系统

图 1-9 是飞机单轴数字式飞行控制系统的一般框图。图中传感器分别测量飞机姿态参数，如俯仰角 θ 、俯仰角速度 $\dot{\theta}$ 、法向加速度 N_u 等。解调器用来将交流信号转换为直流信号。前

置滤波器是一种低通滤波器，它将抑制传感器信号中夹杂的高频噪声，以免经采样后在计算机内混入低频干扰信号（这个问题以后要详细讨论）。由于 A/D 是周期地分时工作，故需多路传输器。

该系统工作过程为：驾驶员操纵驾驶杆时，控制指令通过力传感器、前置滤波器、分时采样、A/D 变换进入计算机。在计算机内，与通过其他传感器测得的飞行姿态信息一起，按预定算法计算，产生输出指令，并经过 D/A、采样保持等输给执行机构，操纵舵面偏转，使飞机按规定的姿态和轨迹运动。

三、计算机在伺服系统中的应用

图 1-10 (a) 是能量转换系统框图，它是利用太阳能收集器吸收来的太阳能加热周围循环的液体，使液体转化为蒸汽，由蒸汽驱动汽轮机，使发电机发电。太阳能收集器伺服系统是能量转换系统中的一个部分，它的任务是控制太阳能收集器时刻对准太阳。该伺服系统包含有方位跟踪回路和俯仰跟踪回路，图 1-10 (b) 是其中一个回路的示意图。两个回路的敏感元件是由两组位置相互垂直的光电二极管组成（如图 1-10 (c) 所示），都安装在太阳能收集器上，

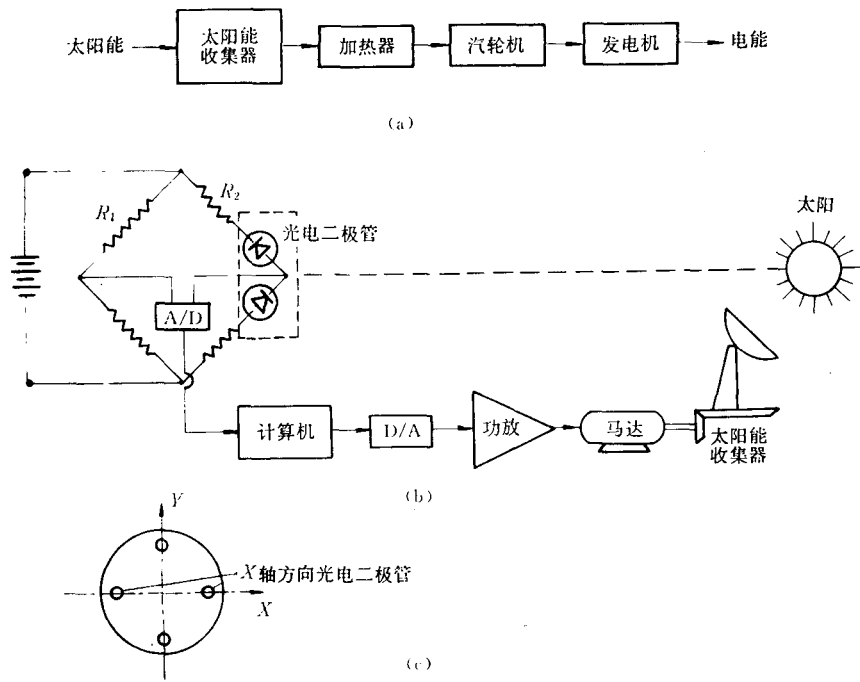


图1-10 太阳能收集器控制系统

(a) 能量转换系统框图 (b) 太阳能收集器伺服系统 (c) 敏感元件

其中 X 轴上的两个光电管属于方位跟踪回路，俯仰回路的敏感元件是处于 Y 轴上的两个光电管。光电管接在测量桥路的相邻的两个臂上。当两个光电管接受到的太阳光强弱不同时，电桥失去平衡，输出信号，通过 A/D、计算机、D/A 产生控制信号，经过功放，驱动马达，带动太阳能收集器朝着减小电桥不平衡方向运动，使两个光电二极管对称于太阳垂直射线，从而保证收集器正对太阳。因为太阳是在不断运动的，太阳能收集器也应不断地随太阳运动，可以近似认为该系统的输入是一个等速信号，系统的跟踪精度将直接影响太阳能的利用率。

1.4 系统的设计与实现问题

一、计算机控制系统的设计

目前通常采取分两步进行的方法。

第一步假设计算机、A/D、D/A 等的字长是无限的，即不考虑数字部件有限字长的幅值量化作用，把计算机控制系统视为采样控制系统（脉冲控制系统），利用采样理论进行分析和设计。

第二步是利用误差理论研究数字部件的有限字长对系统性能的影响。这将涉及到计算机、A/D 和 D/A 等字长的确定、程序的编排、运算方法的选择等问题。

下面对第一步工作再作一些介绍。利用采样理论设计控制系统有两条途径：

（一）连续域-离散化设计法（间接法）。这种方法的实质是把计算机控制系统假想为连续控制系统，如图 1-11 所示。系统中的非连续信号均隐藏在虚线框内，对外呈现的仅是 A、B、C、

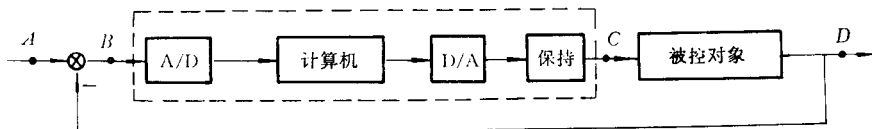


图 1-11 计算机控制系统连续域等效结构图

D 各点连续信号。这样就可以利用成熟的连续控制系统设计方法（经典的和现代的）进行综合设计，求得连续控制器的数学模型。为了由计算机来完成控制器的任务，则必须把连续控制器的数学模型变换到离散域（即进行离散化）。变换的方法很多，但它们都是近似逼近法，逼近的精度与被变换的连续数学模型以及采样周期大小有关，尤其是采样周期的影响甚大，只有在采样周期相对较小时，逼近程度才较好，因此在离散化以后，应该再次检查系统性能，如果不满足要求，则应该重新选择采样周期或修改连续域内的设计。设计步骤如图 1-12 所示。按此法设计出来的计算机控制系统的性能，可以与原连续控制系统性能接近，但不会超过。虽然这种方法没有充分发挥计算机作用，但目前在工程上仍用得较广。这主要有两方面的原因：一是不少工程技术人员对连续系统设计方法较为熟悉，同时离散化方法也比较简单，二是现在有很多连续控制系统，希望能改造成为计算机控制系统。采用这种方法设计系统的关键是正确选择采样周期及变换方法。

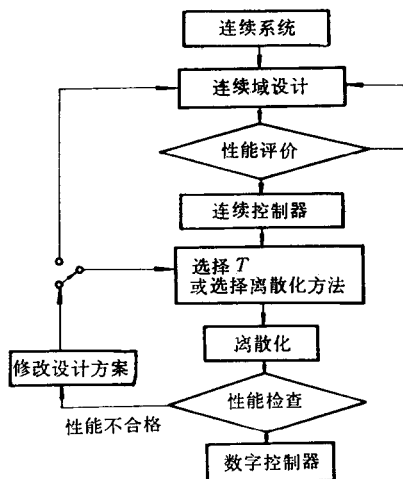


图 1-12 连续域-离散化设计

（二）离散域设计法（直接法）。这种方法的实质是把计算机控制系统看作全离散系统，如图 1-13 所示。它把所有连续信号均隐藏在虚线框内，对外呈现的各点（A、B、C）信号都是离散信号。离散域的设计步骤如图 1-14 所示。这种方法与前一种方法相比，有两个特点：

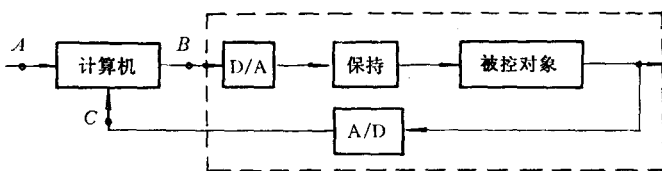


图 1-13 计算机控制系统离散域等效结构图

一是先选择合适的采样周期，然后进行设计。因此，从原理上说这种方法适用于任意选择的采样周期（实际上，采样周期还受很多其他因素的影响，不可能是任意的）。二是综合设计直接得到的是离散域控制器数学模型，它不需要任何近似转换，这是一种准确的设计方法，已日益受到人们重视。

不管上述哪条途径，其设计方法均可分为经典的常规设计方法与现代的状态空间设计方法。本教材对这两方面都给予充分的重视。

在计算机控制系统中，采样频率的大小对系统性能影响很大。无论哪种设计方法，正确选择采样频率，都是极为重要的。

以上介绍的设计方法是针对单采样频率控制系统，如何分析和设计多采样频率控制系统，近来有不少人在研究，本教材所介绍的多采样频率系统设计方法，其关键在于如何对环节和系统进行变换。

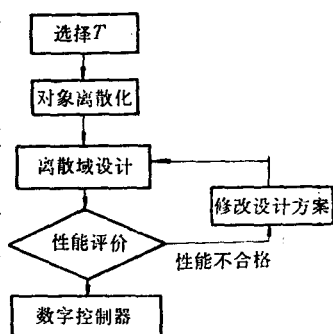


图 1-14 离散域设计

二、计算机控制系统的实现

实现计算机控制将要涉及到许多其他学科的理论 and 实践经验。在实现过程中会遇到很多实际问题，如控制器的控制算法一般都采用小数定点运算，很容易出现溢出，应该如何避免运算溢出和如何设置溢出保护措施；如何克服由于计算延迟而引起的各点信号的不同步现象；如何解决计算机和传感器、执行机构等硬件之间匹配和联接问题；计算机控制系统中如何抑制各种干扰等。这方面内容不仅涉及面广，而且也很重要，本教材专列一章给予介绍。

第2章 计算机控制系统的信号特性

计算机控制系统的工作过程,可以认为是信号的获取、传输、变换的过程。要深入理解系统本质,必须对系统各点信号加以研究。本章重点从频域角度研究时间离散而幅值连续的离散模拟信号的特性。

2.1 控制系统中信号的形式

连续控制系统的简单结构如图 2-1 所示,其各点信号都是连续模拟信号。计算机控制系统的简单结构图如图 2-2 所示,其控制器是数字计算机,而被控对象通常是模拟装置,因此该系统的信号形式是多种多样的。为了加深对计算机控制系统中各点信号的了解,有必要先对系统中信号变换装置的功能略加讨论。

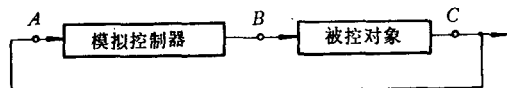


图 2-1 连续控制系统结构图

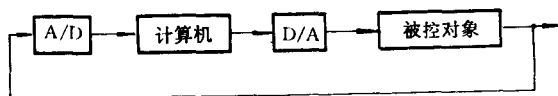


图 2-2 计算机控制系统结构图

数-模转换器 (D/A): 它将一个数字编码信号转换为连续模拟信号(用电流或电压表示)。从功能角度来看,通常可以将它看作是解码器与采样-保持器的组合。解码器的功能是把一个数字信号转换为幅值调制脉冲信号,而保持器的作用是把计算机输出的数字信号或解码后的模拟信号保持到下一个信号到来时刻,使离散信号变成连续信号。图 2-3 是 D/A 转换器的框图。

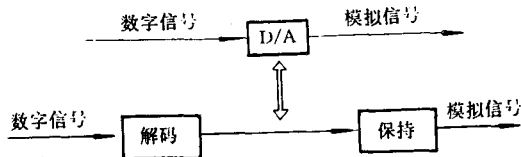


图 2-3 D/A 转换器框图

模-数转换器 (A/D): 它将一个模拟信号变换为一个数字编码信号。分解来看,它包含了三个过程,即采样-保持、量化及编码,可以用图 2-4 表示。

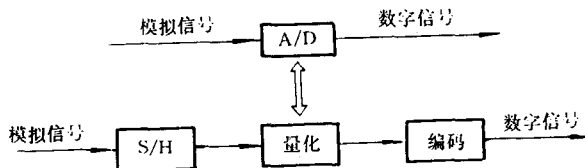


图 2-4 A/D 转换器框图

采样-保持任务由采样保持器 (Sampler and Holder) 完成, 其中采样器是把时间连续信号转换为时间离散信号, 或把原时间离散信号改变为另一个序列的采样信号; 保持器则是在给定的时间间隔内保持或“冻结”一个脉冲值或数字信号。实际上, 采样和保持常在一个部件内完成, 用 S/H 符号表示 (见图2-5), 它们通常与 A/D 及 D/A 变换器结合在一起使用。

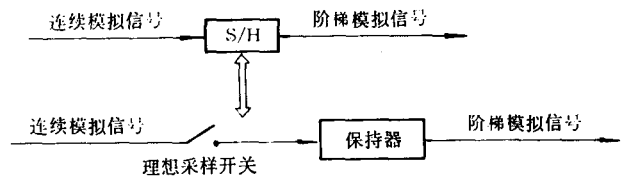


图 2-5 S/H 框图

根据以上分析, 图 2-2 可以改画成图 2-6, 并能看出系统中共有五类信号, 有关各类信号定义、波形以及图 2-1 和图 2-6 系统中各点信号的归属均见表 2-1。

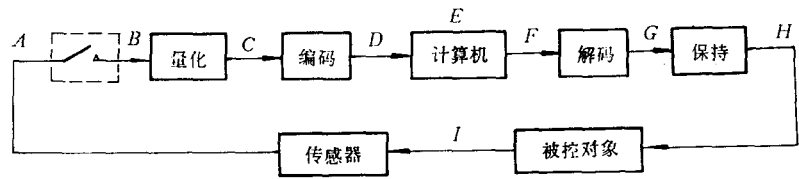
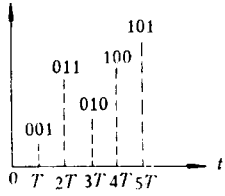
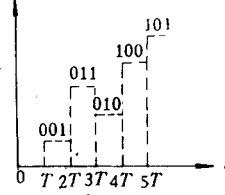


图 2-6 计算机控制系统结构图

表 2-1 信号形式分类

信 号 形 式	图. 形 表 示	图 2-1, 图 2-6 中各点信号归属
连续模拟信号: 时间连续, 幅值为模拟量		图 2-1 中 A、B、C 各点 图 2-6 中 A 点
阶梯形连续模拟信号: 离散模拟信号通过保持器作用 (或连续数字信号经过解码) 以后, 转变为时间连续、幅值为阶梯形信号		图 2-6 中 H 点
离散模拟信号: 时间离散, 幅值是调制后的模拟脉冲信号		图 2-6 中 C、G 点

续表 2-1

信 号 形 式	图 形 表 示	图 2-1, 图 2-6 中各点信号归属
离散数字信号: 时间离散, 信号幅值以数字码形式表示		图 2-6 中 D、F 点
连续数字信号: 数字信号保持到新的数字信号到来时刻		图 2-6 中 E 点

计算机控制系统中除各点信号形式和连续系统不同以外, 还有一个重要差别是信号传递的时间关系的差异。连续系统中(除纯延迟环节外), 模拟信号的计算速度和传递速度都极快, 可以认为是瞬时完成的, 即该时刻的系统输出反映同一时刻输入情况, 各点信号都是同时刻的值。而计算机控制系统中, 由于 A/D 转换、主机运算、D/A 转换等都需花一定的时间, 因此某时刻系统的输出, 实际上是上时刻输入的响应, 我们常把这段时间称为计算时延。它的大小, 在硬件选定情况下, 主要取决于控制算法、程序结构以及计算机输入输出控制方式等。计算时延对系统的性能有一定的影响, 相当于在系统中另加了一个纯延迟环节。有关这一问题将在以后章节中作进一步的介绍。

由图 2-6 可见, 系统中信号变换共有五个过程: 采样、量化、编码、解码、保持, 其中三个过程(采样、量化、保持)会影响信号的信息量和信号特性, 而“编码”和“解码”只改变信号的表示形式, 因此图 2-6 可以进一步简化为图 2-7, 图 2-7 是我们今后常用的典型结构图。

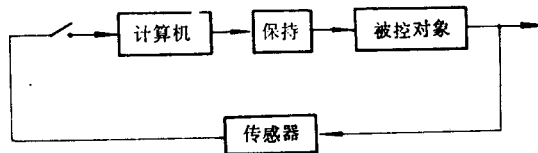


图 2-7 计算机控制系统简化结构图

2.2 采样信号的特性

一、采样过程

一般说, 采样器可以看成是按一定要求而工作的“开关”, 它使输入信号 $f(t)$ 变成时间离散而幅值与输入信号相等的脉冲序列。由于时延和惯性, 在发出采样命令后不能立即瞬时采样, 实际采样信号波形如图 2-8 所示。由于从“命令”到“执行”之间时间极短, 可以忽略, 图 2-8 可以简化为图 2-9 所示的近似采样信号波形。