

第7章 计算机控制系统的构建

第8章 计算机控制系统工程设计的某些问题

教学大纲

第7章大纲

计算机控制系统的硬件组成与输入输出接口；测试信号处理与实时软件设计；控制器算法的结构编排；比例因子配置；计算时延的处理方法；控制器算法的程序实现。掌握如何初步组成和实现一个计算机控制系统，并设计程序实现控制算法。

第8章大纲

控制器系数量化分析；量化误差分析及其传播；量化的非线性效应；采样频率对计算机控制系统的影响；根据系统动态特性选择采样频率；采样频率选取的经验规则。实现一个控制系统时如何对系统动态范围、采样频率等进行选择。如何理解算法实现所引起的系统闭环特性变化。

学习重点

1、第7-8章学习要求与重点

第7、8章主要是在前几章讨论 CCS 设计的基础上，进一步讨论 CCS 构建中的有关具体问题。第7章主要说明 CCS 构建中具体硬件和软件设计中的主要问题。为了在工程上构成一个可靠的实用 CCS，除了要完成控制规律设计，进行相应的硬件及软件设计外，还应注意解决许多工程实现方面的问题。第8章将就其中几个问题加以说明。

第7、8章重点应掌握如下几个问题：

(1) 应在第1章的基础上，深入了解 CCS 中计算机系统的最小配置组成及各组成部件功能，同时要从控制角度来观察，对计算机系统的软硬件各方面的主要要求。

(2) 计算机系统硬件主要是由计算机主机、过程通道(主要包括 A/D、D/A 变换器及采样/保持器等) 及总线等部件组成，主要硬件的工作原理在先修课中已经学过，因此本书将不再讨论。本教材主要的要求是，从控制系统角度出发，要

掌握这些部件的主要技术指标的含义，以及针对控制系统要求怎样选用这些部件，同时还要注意了解和掌握在构成 CCS 时，这些部件应用中的一些问题，如构成方式、二进制码制的转换、调理电路选用等问题。

(2) CCS 实现中的另一个主要问题是实时应用软件设计。CCS 中的软件分系统软件与应用软件，本书主要讨论与计算机控制系统设计有关的应用软件设计，其中最主要研究控制算法的实时软件设计问题。主要要求是：

① 了解实时软件的基本组成、要求以及实时控制软件的编程语言的选用。

② 熟练掌握控制算法的结构编排方法，具体要求是：

- 掌握常用的直接编排(包括零-极和极-零型)、串联编排及并联编排三种编排的具体实现方法及每种编排差分方程描述，能画出每种编排的结构图。另外要注意，每种编排算法还有减少延迟环节的编排形式。
- 了解算法几种不同编排的优缺点。要记住，如仅从数值计算角度来讲，各种编排方法是等价的，如若考虑实现的要求，不同方法各有优缺点。从对计算机控制性能要求，及由于字长有限产生的量化误差等方面比较，并联编排优于串联编排，串联编排优于直接编制，但对一个复杂算法来讲，直接编法实现起来较简单。

③ 减少控制算法输入与输出之间的时间滞后，是控制算法编排时需要考虑的另一个重要问题。减少时间滞后可以采取许多具体措施。在算法软件编排时，经常采用的一种方法是控制算法分成算法 I 及算法 II。算法 I 是为获得当前的输出必须要完成的计算，算法 II 是与当前输出不直接相关的或为后续计算做准备的计算等。要求要能根据具体算法编排方式写出算法 I 及算法 II。

④ 了解比例因子配置的概念，以及软件配置比例因子的一般原则和具体做法。应记住，在定点计算机中，如果对控制算法各变量不能配置合适的比例因子将会影响算法的计算精度。

⑤ 通过本章最后控制算法软件编程应用举例小节学习，应掌握对一个多支路复杂算法进行软件编程的过程和方法。

(4) 如第 1 章所述，在计算机控制系统中采样、量化和信号恢复最为重要，但在前几章分析中，认为计算机控制系统字长很长，所产生的量化很小，在最初的设计时可以忽略不计，仅考虑采样及零阶保持器(即信号恢复)的效应。但毕竟

字长是有限的，特别是输入/出通道的字长，与计算机相比字长更短，量化误差更大，因此有必要研究量化对系统的影响。严格说，量化特性是一种非线性现象，分析起来较为困难，所以有关量化现象的分析这部分内容，主要的要求是掌握基本概念和基本结论，对数学推导不做严格要求。要求掌握的主要概念及结论如下：

① 了解二进制量化特性、溢出特性，两种量化方法及其特性以及在计算机控制系统中可产生量化的运算及部件；

② 在学习量化分析中，要求掌握控制算法中参数量化的影响，要记住和掌握参数量化将会偏移算法零极点的位置，并且要清楚了解这种偏移与哪些因素有关，如与采样周期、控制算法编排以及控制算法的特性有关。

③ 对变量的量化误差，应清楚了解，可以将变量量化误差看作一种确定性干扰作用于环节的某点，利用终值定理来研究对环节输出的影响。由于变量的量化可以看作量化环节的一种非线性变换，所以应通过非线性分析，了解量化如何引起环节输出的非线性效应，如极限环振荡、死区等。

不管是采用确定性计算分析还是采用非线性分析，重要的是要了解和掌握变量量化的效应与哪些因素有关。特别要注意，过小的采样周期将会增大变量量化效应。所以，在字长一定时，过小的采样周期对减少量化的影响是不利的。

④ 系统中各位置处数字量的量化误差综合起来，会对闭环系统特性将产生影响，但全面分析起来较为困难。在系统设计时，应通过考虑与量化效应有关的因素，设法来减少量化对闭环系统特性的影响。

⑤ 为减少量化效应，可以采取不同方法。目前采用 δ 变换方法进行控制算法设计也是一种有效途径。大纲对 δ 变换不做要求，有兴趣的可以自己看看。

(5) 采样周期是计算机控制系统重要参数。通过前述各章的学习，应总结、了解和掌握采样周期对系统性能的影响，了解及选取采样周期应考虑的因素。

① 了解和掌握采样周期与系统主要特性的关系，如系统稳定性、系统抑制干扰的能力、系统响应的平滑性、以及系统中zoh的影响等方面与采样周期的关系。同时也要了解采样周期与系统构成的经济性的关系。

② 从提高系统性能角度来说，希望采样周期取得小些为好。从提高系统的经济性和降低成本角度来说，又希望采样周期不要取得过小。总之，要合理地选择。在满足性能要求的条件下，采样周期要尽量取得大些。

③ 从理论上讲，应依据采样定理来选取采样周期。但是在实际中，由于多方面原因，无法直接利用采样定理来选取采样周期。实际应用中，采样周期的选用有一些相对成熟的经验结果，所以应当了解和掌握这些经验结果，以帮助自己在构成 CCS 时选取合适的采样周期。

(6) CCS 的工作环境是复杂的，内部及外部的各种噪声和干扰严重影响系统工作的可靠性。因此，提高 CCS 抗干扰能力和保证系统可靠工作，是 CCS 设计时必须要注意解决的问题。对该问题应注意掌握如下几点：

① 首先应了解，CCS 工作时可能存在的内部及外部各种干扰源。

② 在 CCS 中抑制噪声干扰的重要措施是采用滤波技术。应注意：

- CCS 中有两种滤波器即模拟及数字滤波器。要清楚了解为什么要有两种滤波器，各有什么应用。
- 了解模拟滤波器的主要形式及实现的困难，施加时可能会对系统的影响。
- 对数字滤波器要了解和掌握常用几种数字滤波器的主要算法及不同算法的应用场合。

2、某些问题的说明

(1) 高阶控制器编排实现的方法除本书介绍的几种方法外，实际上还有一些其它方法，如梯形编排方法等。在数字滤波器实现时往往为了实现某些特定目标而研究出一些特定的编排结构，如实现系数低灵敏度结构等。

(2) 在使用模拟滤波器时除书上介绍的 n 阶惯性环节的形式外，常常还使用一些特殊形式的滤波器，如巴塞尔(Bessel)滤波器、布特沃尔夫(Butterworth) 滤波器、契比雪夫(Tscheqscheff) 滤波器等。这些滤波器形状均较为复杂，但特性较好，其频率特性在一定频带内幅值较为平坦，在一定频率后幅值陡峭衰减。这些滤波器的详细特性可查阅相关资料。但要特别注意，引入这类滤波器会对控制系统的相位的影响。

(3) 采样周期与前置滤波器的设计有关。如前所述，当采样信号混有噪声干扰时，为防止频率混迭需加入模拟式抗混迭前置滤波器，这样在不产生信号失真的条件下，可以降低采样频率。但由于前置滤波器是一个动态环节，会影响系统特性，所以设计控制律时应把其作为被控对象一部分来对待。但由于采样信号

中高频无用信号（包括干扰信号及对象中的高频分量）状况不同，在滤波处理方面还可以进一步讨论如下：

① 无用信号的频率远离系统要求频带

此时可以前置滤波器的转折频率选得足够高，此时可不必将其作为被控对象一部分来对待，而仅依系统动态特性选取采样频率。

② 无用信号的频率较固定且又接近系统要求频带

此情况下，常常可加入模拟式或数字式陷波滤波器。此时采样频率完全可依系统要求的频带来选取。

③ 无用信号的频率接近系统要求频带，且不是固定的。

此时，通常应采用模拟式抗混迭前置滤波器，且取较大时间常数，同时将其看成是被控对象一部分进行系统设计，采样频率可以依系统频带要求选取。由于前置滤波器频带较低，在系统频带内引入了一定相移，所以应设计较复杂的数字算法来抵消它的影响。

（4）在计算机控制系统里，对采样信号除了要进行适当滤波外，还要注意通过软件，实现信号变量的标度变换，以及测试信号的线性处理。

所谓变量的标度变换是指不同的过程参数有不同的工程量纲，但经过采样输入后均为无量纲的数字量，无法记录显示，所以应根据具体的变量及其测量装置特性将无量纲的数字量转换为该变量具有实际量纲的数值。

测试信号的线性处理是指通过输入通道采集的数据与该数据所代表的被测参数不一定呈线性关系，常常需要对其进行非线性补偿，将非线性关系转化为线性关系，才能用于控制与显示。通常采用分段线性化方法，即用多段折线代替曲线进行计算。