

第6章 计算机控制系统离散域现代控制设计

学习重点说明

教学大纲

离散系统的可控性与可达性；可观性与可重构性；采样系统的可控可观性与采样周期的关系；状态反馈设计；状态观测器设计；调节器设计。在讲述状态空间方法中侧重离散域系统设计与状态观测器的分析与设计方法，以适应当前航空航天飞控系统中的应用与需求。

学习重点

计算机控制系统现代域设计主要包括传统的基于状态空间方法描述的各种现代域设计方法以及人工智能技术的智能控制设计方法。传统的基于状态空间方法描述的一种比较成熟和简单的方法就是极点配置状态反馈方法。由于学时所限，课程不涉及智能控制设计方法。

本章学习的基本要求和知识要求点如下：

1、本章学习要求与重点

(1) 离散系统可控性与可观性

系统的可控性与可观性是系统状态空间描述的基本特性和系统的内部属性，对离散系统来说，这些概念虽然与连续系统类似，但也有些特殊问题需要讨论。

(1) 掌握离散系统状态空间模型的可控性和可达性、可观性和可重构性的基本概念及相互之间的关系.特别应注意可控性和可达性、可观性和可重构性的区别以及和连续系统的区别.

(2) 掌握离散系统可控性、可达性和可观性的判别方法.特别应注意离散系统可控及可达和可控不可达的条件，另外应记住,由连续系统采样形成的离散系统，可控性与可达性是一致的,本书讨论的计算机控制系统都是这种系统，以后就不再区分可控性与可达性，并一律采用可控性名称.

(3) 由于采样周期是采样系统状态空间模型的重要参数，采样周期的不同选择对采样系统可控性和可观性有重要影响,应记住单输入单输出系统,连续系统的可控可观与采样系统可控可观的关系,如果采样周期选取不当,原连续系统是可控和可观的,采样后系统可能变为不可控和不可观的.

(4) 要注意掌握可控性、可观性与传递函数之间的关系.与连续系统类似,通常依可控及可观性系统可分为四个部分,传递函数只反映了即可控又可观部分,不能反映系统全面状态. 要记住系统脉冲传递函数不能全面反映系统特性的原因是，系统传递函数中发生了零点和极点相对消

的现象.

(2) 状态反馈极点配置设计方法

采用状态反馈设计是状态空间设计的基本方法,与适用于单输入单输出(SISO)系统的经典控制理论相比,取全状态反馈,可以更多地获得和利用系统的信息,因而容易获得更好的控制效果。确定状态反馈的参数有多种方法,基于极点配置的设计是最简单的方法。

(1) 首先应注意掌握状态反馈的基本结构和基本特性。要清楚地记住通过全状态反馈可以任意配置闭环系统极点和所应满足的充要条件,但全状态反馈可能改变闭环系统的可观性,并且不能配置系统零点。

(2) 掌握单输入单输出系统全状态反馈的极点配置设计方法。极点配置法的基本思想是,由系统性能要求确定闭环系统的期望极点位置,然后依据期望的极点位置确定反馈增益矩阵 K 。

对于单输入 n 阶系统可以唯一地确定 n 个反馈增益.对于低阶系统利用特征方程系数匹配方法通过求解,对于一般系统可以使用 Ackermann 公式求解, Ackermann 公式是建立在可控标准型基础上的一种计算反馈阵 K 的方法,对于高阶系统,便于用计算机求解。

在使用极点配置法时应注意工程应用时的一些问题。原理上是可以任意配置极点,使系统有极好的响应,但这必然要有较大的反馈增益,从而带来工程上难于实现的困难。

(3) 状态观测器的设计

采用全状态反馈在实际中是困难的、不必要的、也是不经济的,通常要利用可测输出,利用状态观测器估计系统状态。本节应注意掌握如下几点:

(1) 要了解利用状态观测器估计系统状态的基本出发点是建立被观测系统的状态方程的数学模型,利用与被观测系统相同的输入激励该数学模型产生相应的状态作为被观测系统的状态,这就是开环观测的基本思想。由于观测器是被观测系统的数学模型,其初始状态及所受扰动难于与真实系统一致,会带来很大的误差,因此,实际可用观测器只能采用带修正的闭环观测的数学模型。

(2) 掌握开环观测器和闭环观测器的主要区别和特点,注意掌握全阶预测观测器、现今值观测器和降阶观测器等不同类型的离散系统状态观测器的区别和设计方法。与连续系统不同,离散系统的全阶观测器分为预测与现今值观测器,要了解两者的差别,此外,特别应注意降维观测器的设计和应用,工程上降维观测器比全阶观测器应用得更为普遍。

(3) 观测器系统中由于各种原因总会产生观测误差,因此要清楚了解产生观测误差的原因.并合理地选择观测增益以减少观测误差和加快观测误差的收敛速度。

(4) 控制律与观测器组合系统的调节器设计

通过状态反馈设计获得了反馈增益,可保证有期望的特性,通过观测器设计可获得反馈所需要的状态,两者组合起来构成一个完全的控制器(或调节器),因此必须研究两者组合后的主要特征,注意掌握如下问题:

(1) 掌握全状态反馈控制律与状态观测器组合以后,构成控制系统数学模型的方法。

(2) 掌握组合以后构成的控制系统主要特征,即组合系统的特征方程是由原状态反馈控制所形成的闭环系统的特征方程与状态观测器特征方程的乘积组成,因此形成了调节器设计的分离原理,即控制规律与观测器可以分开单独设计,组合后各自的极点不变。但系统加入状态观测器后,组合系统的特性将有变化,受观测器特性影响。

(3) 观测器与控制规律组合起来,构成控制器,掌握系统的控制器设计方法,特别是为了减少观测器动态对系统的影响,要了解和掌握设计时状态反馈控制律及观测器极点的选择原则。

(5) 控制器设计

本教材中没有这方面的设计,但是第六章的例 6-12,又是进行了控制器的设计应用。对于控制器的设计,实际系统中广泛应用(特别是闭环实验系统中必不可少)。要求大家理解及掌握其中的至少一种设计方法,但是控制器设计方面的内容,大纲上没有强调,因此不参与最终的考核。

2、重点与难点问题说明

(1) 在状态反馈极点配置设计时常常可以选取期望极点位于 z 平面原点,从而使系统调节时间最短。如例 6-8 所示系统,若期望极点为 $z^2 = 0$,即式(6-16)中 $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$,由此可得反馈增益 $K_1 = \frac{1}{T^2}$; $K_2 = \frac{1}{2T}$ 。可见系统反馈增益仅与采样周期有关,且采样周期越小增益越大,系统响应越快。众所周知,此时要求系统控制能量增大,因此受系统能量限制,采样周期不能过小,必须要考虑控制幅值的限制。

(2) 采用状态反馈(或加入有观测器)所形成的系统,可以实现所要求的期望动态响应,但并不能保证控制输入的静态比例关系。为了实现所要求的静态比例关系,一种简单方法是在状态反馈(或加入有观测器)所形成的系统之外,串接一个常数增益,并依据给定的稳态值要求和终值定理求得。

例如,例 6-12 所示由状态反馈控制律及降维观测器组成的系统,可以简化为如图 6-1(a)

所示。若以 $r(t)$ 为输入, $c(t)$ 为输出, 则闭环传递函数为:

$$\phi(z) = \frac{C(z)}{R(z)} = \frac{0.0736(z+0.7174)(z+0.21218)}{(z-1)(z-0.3679)(z+0.21218)+0.4115(z+0.7174)(z-0.2928)}$$

其稳态值为: $\phi(z)|_{z=1} = \frac{0.153}{0.498} = 0.305$

系统仿真如图 6-2 所示, 其单位响应的稳态值为 0.305 值。

为使单位阶跃响应的稳态值为 1, 可以在输入端引入常数增益 $k = \frac{1}{0.3.5} = 3.26$, 如图 6-1 (b) 所示。此时单位阶跃响应仿真曲线如图 6-3 所示。教材 6.5 节的图 6-15(a) 的阶跃响应值即为加入上述增益所得。

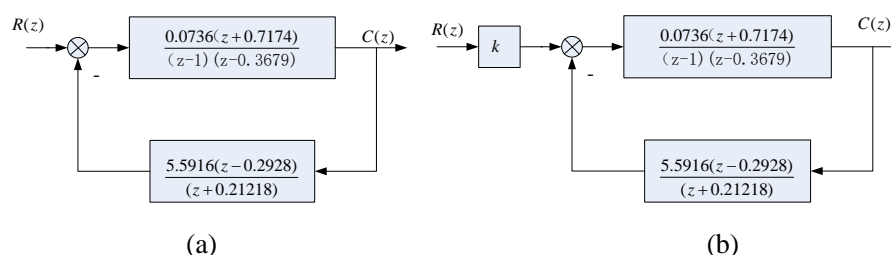


图 6-1 例 6-13 系统结构图

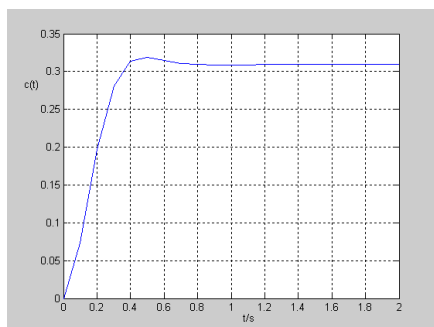


图 6-2 输入端未加入增益时仿真曲线

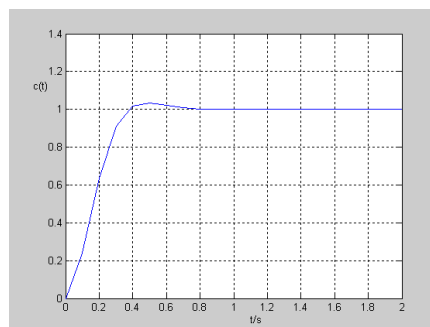


图 6-3 输入端加入增益 时仿真曲线

(3) 本教材在 6.5 节讨论调节器设计, 它只解决了系统消除扰动以及驱动系统从初始状态回零的动态响应问题, 不能满足指令输入与系统输出的稳态及动态要求。所以, 还必须解决控制系统设计的另一个问题——伺服跟踪问题。它要求解决系统状态或输出如何跟踪输入信号问题。目前解决这个问题采用方法是, 首先利用极点配置法解决调节器设计, 然后适当引入系统增益及零点解决伺服器设计。

此外, 在利用状态反馈设计时, 如何保证系统要求的无静差或如何消除外干扰的影响也是需要考虑的问题。