工程控制原理

6. 系统的综合与校正

主讲:李敏

6. 系统的综合与校正

本章主要介绍校正控制器的设计。

涉及的校正装置包括相位滞后、超前、滞后-超前、PD、PI、PID校正器,介绍的设计方法包括频域设计法和时域设计法。

简单介绍反馈和顺馈校正装置。

6. 系统的综合与校正

6.1 概 述

所有有关控制系统的基础知识,以及控制系统的分析技术一比如时域、频域、复数域分析技术,都是在为控制系统的设计奠定基础。

控制系统的设计通常要包括下面几个步骤:

- (1) 确定系统的目标指标;
- (2) 确定控制器或校正环节的结构,该结构与被控制系统的结构密切相关;
 - (3) 确定控制器或校正环节的参数值,达到设计目的。

6.1 概 述

6.1.1 系统校正的实质

控制系统的设计中,可以通过调整结构参数或加入辅助装置来改善原有系统的性能。

在很多情况下,仅仅调整参数并不能使系统完全达到性能指标的要求。例如:增大开环增益能减小稳态误差,但会影响系统的瞬态响应,甚至破坏系统的稳定性。

因此,常采用引入辅助装置的方法来改善系统的性能。 这种对系统性能的改善,就是对系统的校正(或补偿),所 采用的辅助装置就称为校正装置。

6.1.1 系统校正的实质

引入校正装置将使系统的传递函数发生改变,导致零点和极点重新分布。适当地增加零点和极点,可使系统满足规定的要求,以实现对系统品质进行校正的目的。

引入校正装置的实质就在于改变系统的零、极点分布, 改变频率特性或根轨迹的形状。

6.1 概 述

6.1.2 控制系统的性能指标

通常用性能指标来描述一个控制系统应该做什么以及应该如何去做,对于一个给定的系统,这些指标是固定的。性能指标通常包括相对稳定性、稳态精度(误差)、瞬态响应、频率响应指标。在某些实际系统中还有一些其它的指标,如系统对环境参数变化的敏感性,即鲁棒性。

系统的性能指标可以从不同的几个方面给出。

(1) 时域性能指标

瞬态性能指标:系统的瞬态性能指标一般是在单位阶跃输入下,由输出的过渡过程给出的,实质上是由瞬态响应所决定的,它主要包括五个方面:

- ① 延迟时间 t_d ;
- ② 上升时间 $t_{\rm r}$;
- ③ 峰值时间 t_p ;
- ④ 最大超调量 σ ;
- ⑤ 调整时间(或过渡过程时间) t_s 。

此外,根据具体情况有时还对过渡过程提出其它要求,如在 t_s 间隔内的振荡次数,或还要求时间响应为单调无超调等。

稳态性能指标:对控制系统的基本要求之一是准确性,它指过渡过程结束后,实际的输出量与希望的输出量之间的偏差一稳态误差,这是稳态性能的测度。

(2) 频域性能指标

频域性能指标包括:

- ① 相位(稳定)裕量 γ;
- ② 幅值(稳定)裕量 K_g ;
- ③ 复现频率 $\omega_{\rm m}$ 及复现带宽 $0\sim\omega_{\rm m}$;
- ④ 谐振频率 $\omega_{\rm r}$, 及谐振峰值 $M_{\rm r}$, $M_{\rm r}=A_{\rm max}$;
- ⑤ 截止频率 $\omega_{\rm b}$ 及截止带宽(简称带宽) $0 \sim \omega_{\rm b}$ 。

线性系统的设计可以在时域完成也可以在频域完成。

比如,**稳态精度**通常针对系统的阶跃输入、斜坡输入以及加速度输入提出,因而更适合在时域完成设计。还有一些指标诸如最大超调、上升时间以及调整时间是针对单位阶跃输人提出,更是需要在时域完成设计。

相对稳定性采用稳定裕量、相角裕量和谐振峰值等指标来描述,这些都是典型的频域指标,而且通常还和Bode图、幅相频图等同时出现。

(3) 综合性能指标(误差准则)

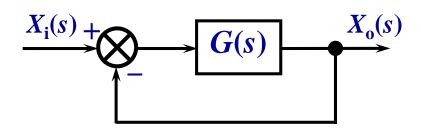
综合性能指标是系统(特别是自动控制系统)性能的综合测度。它们是系统的希望输出与其实际输出之差的某个函数的积分。因为这些积分是系统参数的函数,因此,当系统的参数(特别是某些重要参数)取最优值时,综合性能指标将取极值,从而可以通过选择适当参数得到综合性能指标为最优的系统。

目前使用的综合性能指标有多种,如误差积分性能指标、误差平方性能指标、广义误差平方积分性能指标,且对应每一种指标通常都有一些专门的设计方法,也涉及比较深一些的知识。

6.1 概 述

6.1.3 控制系统的校正

一般情况下,一个线性单输入单输出 (Single Input and Single Output, SISO) 系统的动态模型可以由下图描述,设计目标就是让输出 $x_o(t)$ 按希望的方式变化。该问题主要包括通过在整个时间段上确定控制信号 $x_i(t)$,以达到设计目标。



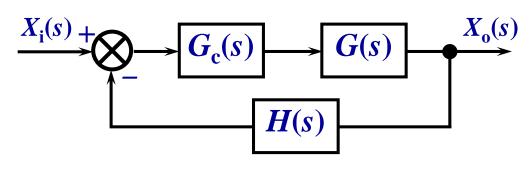
按照校正装置在系统中的接法不同,可以把校正分为串联校正和并联校正。

(1) 串联校正

校正装置 $G_{c}(s)$ 串联在前向通道中称为串联校正。

校正前系统的闭 环传递函数为

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



校正后系统的闭环传递函数改为

$$\Phi'(s) = \frac{G_{c}(s)G(s)}{1 + G_{c}(s)G(s)H(s)}$$

系统的零、极点都发生了变化。为了减小功率消耗, 串 联校正装置一般都放在前向通道的前端, 即低功率部分。

串联校正按校正环节 $G_{c}(s)$ 的性质可分为:

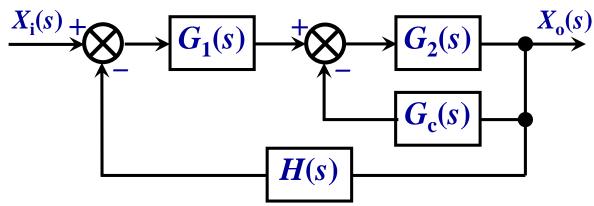
- ① 增益调整;
- ②相位超前校正;
- ③相位滞后校正;
- ④ 相位滞后一超前校正。

其中,增益调整的实现比较简单。增益的调整可以改变闭环极点的位置,但不能改变根轨迹的形状。从Bode图上看,增益的调整只能使对数幅频特性曲线上下平移,也不能改变曲线的形状。因此,单凭调整增益,往往不能很好地解决各指标间互相制约的矛盾,还须附加其它校正装置。

(2) 并联校正

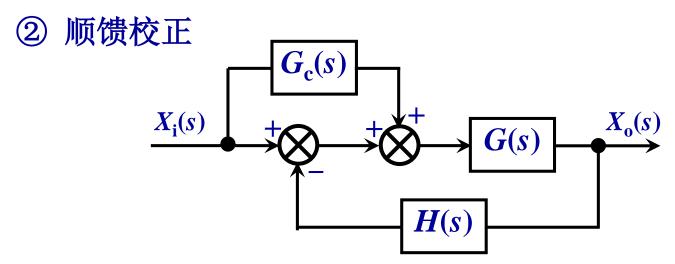
按校正环节 $G_c(s)$ 的并联方式又可分为:

① 局部反馈校正



为保证局部回环的稳定,校正装置 $G_c(s)$ 所包围的环节不宜过多(2个或3个)。因为通过反馈校正装置 $G_c(s)$ 的信号是从高功率部分流向低功率部分,所以反馈校正时 $G_c(s)$ 一般不再附加放大器,所用器件较少。

(2) 并联校正



校正装置 $G_{c}(s)$ 设在系统回路之外,因此可以先设计系统的回路,保证具有较好的动态性能,然后再设计校正装置 $G_{c}(s)$,以提高对典型输入信号的稳态精度。

除了上述串、并联校正方式外,还可以采用混合校正的方式。