

工程控制原理

6. 系统的综合与校正

6.3 反馈和顺馈校正

主讲：李敏



6. 系统的综合与校正

6.3 反馈和顺馈校正

除了串联校正方法外，还常常采用反馈和顺馈校正的方法来改善系统品质。所谓反馈校正，是从系统某一环节的输出中取出信号，经过校正网络加到该环节前面某一环节的输入端，并与那里的输入信号叠加，从而改变信号的变化规律，实现对系统校正的目的。应用比较多的是对系统的部分环节建立局部负反馈。

反馈校正中，若 $G_c(s)=K$ ，则称为位置(比例)反馈，若 $G_c(s)=Ks$ ，则称为速度(微分)反馈，若 $G_c(s)=Ks^2$ ，则称为加速度反馈。速度反馈和加速度反馈常用的元件有传感器、测速发电机、电流互感器等。



6.3 反馈和顺馈校正

从控制的观点看，反馈校正比串联校正有其突出的优势，利用反馈能有效地改变被包围环节的动态结构参数，甚至在一定条件下能用反馈校正完全取代被包围环节，从而可以大大减弱这部分环节由于特性参数变化及各种干扰给系统带来的不利影响。

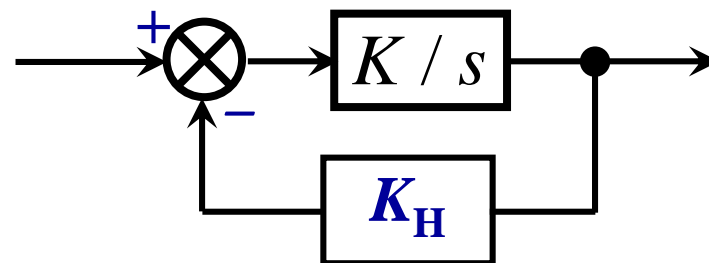


6.3 反馈和顺馈校正

6.3.1 利用反馈校正改变局部结构、参数

(1) 把积分环节变成惯性环节

用位置反馈包围积分环节，如右图所示。局部回路的传递函数



$$G(s) = \frac{K/s}{1 + KK_H/s} = \frac{1/K_H}{s/(KK_H) + 1}$$

结果由原来的积分作用转变成惯性环节，降低了原系统的型次，这意味着降低了大回路系统的稳态精度，但有可能提高系统的稳定性。

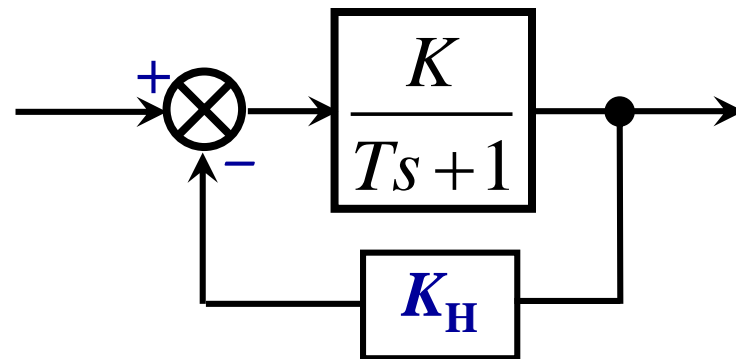


6.3.1 利用反馈校正改变局部结构、参数

(2) 用反馈改变时间常数

右图是比例反馈包围惯性环节，回路的传递函数为

$$G(s) = \frac{\frac{K}{Ts+1}}{1 + \frac{KK_H}{Ts+1}} = \frac{\frac{K}{1+KK_H}}{\frac{T}{1+KK_H}s + 1}$$



结果仍是惯性环节，但时间常数由原来的 T 变为 $T/(1+KK_H)$ ，相应减小了，反馈系数 K_H 越大，时间常数越小。

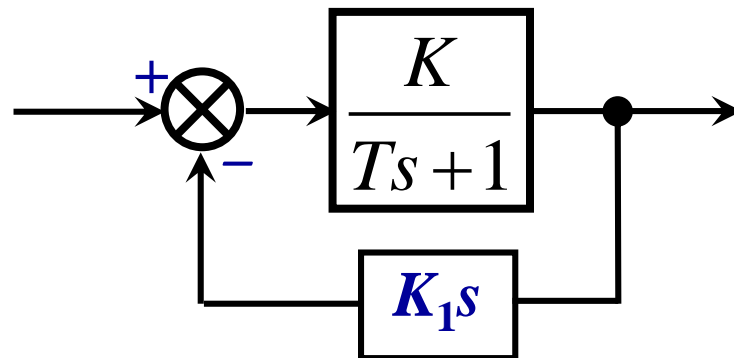


6.3.1 利用反馈校正改变局部结构、参数

(2) 用反馈改变时间常数

右图是惯性环节带速度负反馈，回路的传递函数为

$$G(s) = \frac{\frac{K}{Ts+1}}{1 + \frac{KK_1s}{Ts+1}} = \frac{K}{(T + KK_1)s + 1}$$



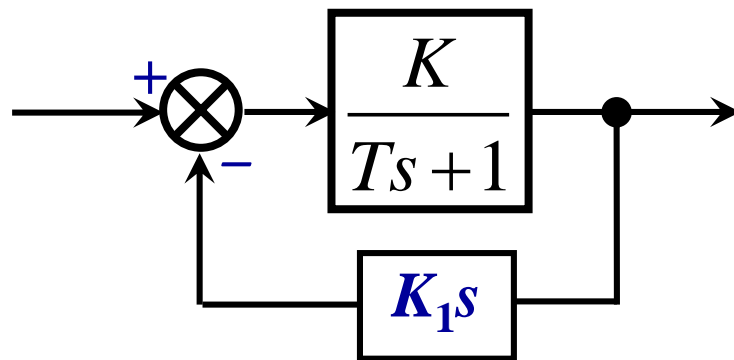
结果仍为惯性环节，时间常数增大。且 K_1 越大，时间常数越大。



6.3.1 利用反馈校正改变局部结构、参数

(2) 用反馈改变时间常数

右图中如果采用速度正反馈，那么结果是时间常数由 T 变为 $T - KK_1$ ，相应减小，但这时应保证 $T > KK_1$ ，否则就变成不稳定环节了。



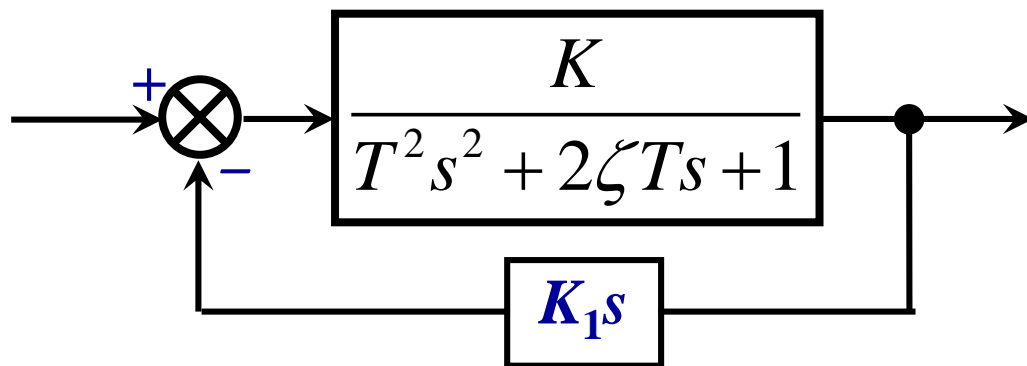
由于增加局部反馈，可使原系统中各环节的时间常数拉开，改变系统开环对数幅频特性韵转折频率，从而可以改善系统的动态平稳性。



6.3.1 利用反馈校正改变局部结构、参数

(3) 速度反馈包围振荡环节

右图所示的局部反馈回路，可以改变阻尼比。其回路传递函数经变换整理为



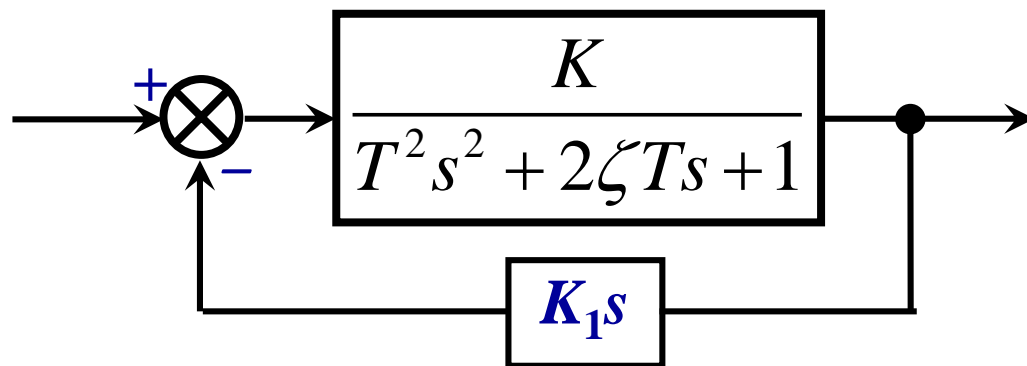
$$G(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + (2\zeta T + KK_1)s + 1}$$

结果仍为振荡环节，而阻尼比可显著增大，可以有效地减弱小阻尼环节的不利影响，用速度反馈增加阻尼比时，并不影响系统的无阻尼固有频率。



6.3.1 利用反馈校正改变局部结构、参数

(3) 速度反馈包围振荡环节



在随动系统中，希望系统具有较高的快速性，同时又具有良好的平稳性，广泛地使用了速度反馈。但工程实际中难以获得理想的微分环节，而常用近似微分环节 $TK_1s/(T_1s+1)$ 来实现微分作用，只要 $T_1s \ll 1$ （一般 T_1 为 $10^{-2} \sim 10^{-4}s$ ），并且 T_1 越小，微分作用越显著。

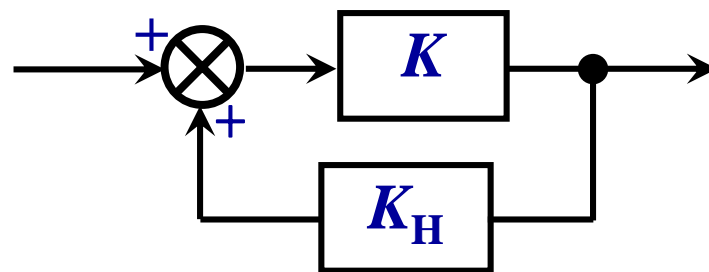


6.3.1 利用反馈校正改变局部结构、参数

(4) 利用正反馈增大回路的增益

右图所示的局部正反馈回路的
的传递函数为

$$G(s) = \frac{K}{1 - KK_H}$$



由上式看出，若取 $K_H \approx 1/K$ ，则回路增益可以远远大于反馈前的 K 。这是正反馈所独具的重要特性之一。



6.3 反馈和顺馈校正

6.3.2 利用反馈校正取代局部结构

右图所示局部反馈回路表示在环节 $G_1(s)$ 处引入局部反馈校正环节 $H_1(s)$ ，回路的频率特性为

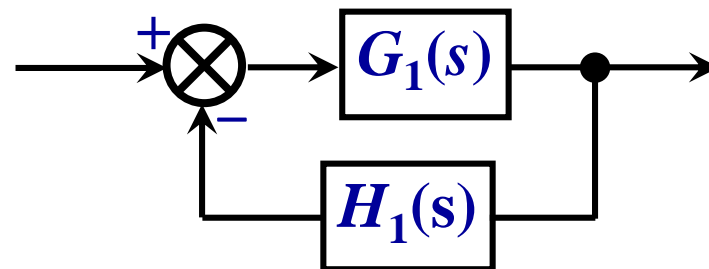
$$G(j\omega) = \frac{G_1(j\omega)}{1 + G_1(j\omega)H_1(j\omega)}$$

如果在需要的频率区间，能选择结构参数，使得

$$|G_1(j\omega)H_1(j\omega)| \gg 1$$

则

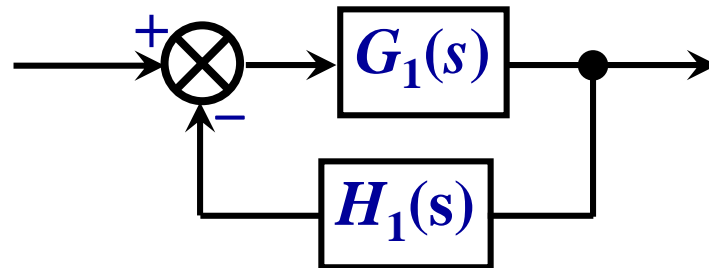
$$G(j\omega) \approx \frac{1}{H_1(j\omega)}$$



6.3.2 利用反馈校正取代局部结构

相当于回路的传递函数可近似表示为

$$G(s) \approx \frac{1}{H_1(s)}$$



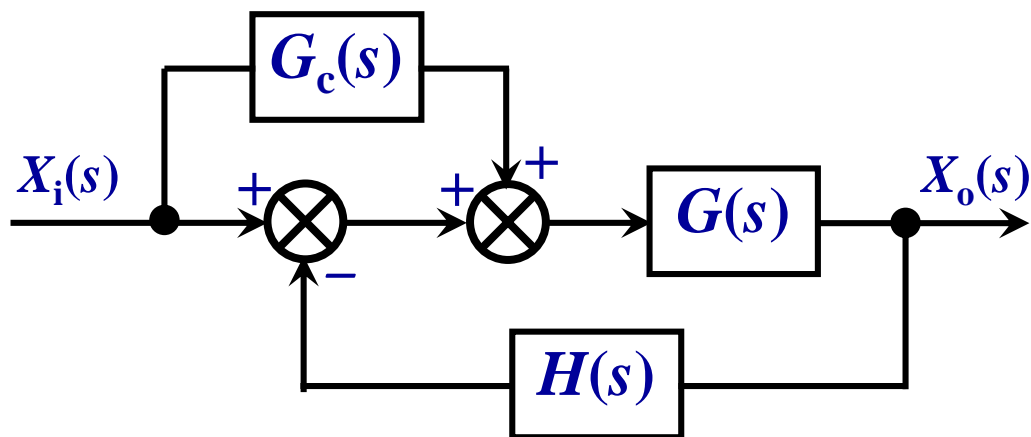
由上式看出，反馈校正的作用，可以达到用反馈环节 $1/H_1(s)$ 取代原环节 $G_1(s)$ 的目的。反馈校正的这种作用，在系统设计和调试中，常被用来改造不希望有的某些环节，以及消除非线性，改变参数的影响和抑制干扰。



6.3 反馈和顺馈校正

6.3.3 顺馈校正

下图所示的系统，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。



按误差定义写出的关系

$$E(s) = \frac{1}{H(s)} X_i(s) - X_o(s)$$



6.3.3 顺馈校正

系统的输出为

$$X_o(s) = [1 + G_c(s)] \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} X_i(s)$$

误差为

$$\begin{aligned} E(s) &= \left\{ \frac{1}{H(s)} - \frac{[1 + G_c(s)]G(s)}{1 + G(s)H(s)} \right\} X_i(s) \\ &= \frac{1 - G_c(s)G(s)H(s)}{H(s)[1 + G(s)H(s)]} X_i(s) \end{aligned}$$

为使 $E(s)=0$ ，应保证 $1 - G_c(s)G(s)H(s)=0$ ，即

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



6.3.3 顺馈校正

由上面分析看出，这种顺馈校正，实际上相当于将输入信号先经过一个环节，进行一下“整形”，然后再加给系统的回路，使系统既能满足动态性能的要求，又能保证稳态精度。



6. 系统的综合与校正

本章总结

本章主要介绍线性连续系统的校正方式、基本控制规律、校正装置的特性和设计方法。需重点掌握的内容如下：

(1) 按校正装置附加在系统中位置的不同，系统校正可分为串联校正、反馈校正和复合校正；按校正装置特性的不同可分为包括滞后校正、超前校正、滞后—超前校正。无论采用何种方法设计校正装置，实质上均表现为修改描述系统运动规律的数学模型。



本章总结

(2) 比例控制、积分控制和微分控制是线性系统的基本控制规律，由这三种控制作用构成的PD、PI、PID控制规律附加在系统中，可以达到校正系统特性的目的。PID校正是工程上使用最多的一种控制器，其参数意义明显，设计方法多，适合各种知识结构的设计人员，在工程应用方面，PID控制器具有独一无二的优势。

(3) 超前校正的作用在于提高系统的相对稳定性和响应快速性，但对稳态性能改善不大。滞后校正能改善稳态性能，但对动态性能的影响不大。采用滞后—超前校正则可同时改善系统的动态、静态性能。



本章总结

(4) 反馈校正能有效地改变被包围环节的动态结构和参数，在一定的条件下甚至能完全取代被包围环节。顺馈校正的特点是不依靠偏差而直接测量干扰，在干扰引起误差之前就对其进行近似补偿，及时消除干扰的影响。



作业： p.151

6-1

