

作业10

作者：Costannt

完成时间：2025年12月17日

- 与伺服系统相比，调节系统的特点有哪些？

答：调节系统是将被调量保持在设定值上的控制系统，其特点有：输出量保持某个设定值；无跟踪误差的动态要求；主要考虑稳定性和抑制扰动。而伺服系统是用来精确地跟随或复现某个过程的控制系统，在设计时要满足跟踪精度的要求。

2. 调节系统的两种基本模型，是否是对象的真实模型？针对两种基本模型，设计中考虑的重点是什么？基于对上述问题的回答，试分析：调节系统中，为什么对如下对象

$$G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, \quad T_1 \gg T_2$$

简化成

$$G_1(s) = \frac{K/T_1}{s(T_2 s + 1)}$$

而不是按照通常做法，省略小时间常数 T_2 而简化为

$$G_2(s) = \frac{K}{T_1 s + 1}$$

答：调节系统的两种基本模型通常都不是对象的真实模型，反应的是两类模型的设计特点，特别是中、低频的特点。

对积分加一阶模型，即形如：

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

应重点关注其相位特性。

而对一阶加时间滞后模型，即形如：

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s}$$

则应重点关注其幅值特性。

对形如：

$$G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad T_1 \gg T_2$$

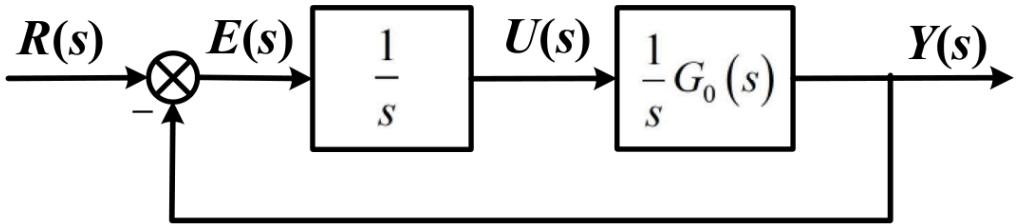
的调节系统而言，对其进行简化，应充分反映出其在中低频的相位特性，因此将其简化为：

$$G_1(s) = \frac{K/T_1}{s(T_2 s + 1)}$$

3. 过程控制系统中对象的特点是什么？针对对象的特点，设计中主要考虑的因素有哪些？

答：过程控制系统通常指对温度、压力、流量、液位等工艺参数进行控制的控制系统。其对象往往存在传输滞后和容积滞后等滞后特性。针对过程控制系统而言，由于其滞后特性，控制规律引入的微分项增加阻尼效果不显著，甚至可能带来相反的效果；同时，滞后环节导致系统的增益和带宽都比较小，为减少或消除静差需要在控制规律中加入积分环节以提高低频增益。

4. 考虑下图所示系统。



假设图中的系统是闭环稳定的，其中 $G_0(s)$ 满足 $G_0(0)=1$ 。针对阶跃输入信号 $R(s)=\frac{1}{s}$ ，系统的输出能否实现对输入信号的无超调响应？说明理由。

答：由于 $G_0(0)=1$ 显然 G_0 中没有纯微、积分环节。观察系统结构，其开环传递函数为II型系统。考虑闭环稳定性和物理可实现性，应该认为：

$$G_0(s) = \tau s + 1, \tau > 0$$

这样， G_0 引入的开环零点也是闭环零点，因此系统一定有超调。下面给出其证明。

写出系统的闭环传递函数：

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s} G_0(s)}{1 + \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s} G_0(s)} = \frac{G_0(s)}{s^2 + G_0(s)}$$

我们断言：

$$G_0(s) = \tau s + 1 \quad \tau > 0$$

有：

$$T(s) = \frac{\tau s + 1}{s^2 + \tau s + 1}$$

显然：

$$Y(s) = T(s)R(s) = \frac{1}{s} \frac{\tau s + 1}{s^2 + \tau s + 1}$$

做拉普拉斯逆变换立刻有：

$$y(t) = 1 - e^{-\frac{t\tau}{2}} \left(\cosh \left(t \sqrt{\frac{\tau^2}{4} - 1} \right) - \frac{\tau \sinh \left(t \sqrt{\frac{\tau^2}{4} - 1} \right)}{2 \sqrt{\frac{\tau^2}{4} - 1}} \right)$$

取出瞬态分量进行分析：

$$e^{-\frac{t\tau}{2}} \left(\cosh \left(t \sqrt{\frac{\tau^2}{4} - 1} \right) - \frac{\tau \sinh \left(t \sqrt{\frac{\tau^2}{4} - 1} \right)}{2 \sqrt{\frac{\tau^2}{4} - 1}} \right)$$

为了方便，记 $\lambda = \sqrt{\frac{\tau^2}{4} - 1}$ ，简化瞬态分量为：

$$e^{-\frac{t\tau}{2}} \left(\cosh(t\lambda) - \frac{\tau \sinh(t\lambda)}{\lambda} \right)$$

要研究是否存在超调，只需研究

$$\cosh(t\lambda) - \frac{\tau \sinh(t\lambda)}{\lambda}$$

的符号。要使系统无超调，上式的符号应非负，即：

$$\cosh(t\lambda) - \frac{\tau \sinh(t\lambda)}{\lambda} \geq 0$$

给出一些约束：

$$\begin{aligned} t &\geq 0; \\ \tau &> 0; \\ \lambda &= \sqrt{\frac{\tau^2}{4} - 1} \end{aligned}$$

显然需要分类进行讨论。

- $2 > \tau > 0$ 时， λ 是纯虚数，记作 $j\omega$ ，选取 $\omega > 0$ 的分支。

此时有：

$$\cosh(t\lambda) - \frac{\tau \sinh(t\lambda)}{\lambda} = \cos(\omega t) - \frac{\tau}{\omega} \sin \omega t$$

根据辅助角公式有：

$$\cos(\omega t) - \frac{\tau}{\omega} \sin \omega t = \sqrt{1 + \left(\frac{\tau}{\omega}\right)^2} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\text{其中 } \sin \varphi = \frac{\tau/\omega}{\sqrt{1+(\tau/\omega)^2}}, \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1+(\tau/\omega)^2}}$$

要让其恒大于0是不可能的。因此这种情况下，系统一定存在超调。

- $\tau = 2$ 时， $\lambda = 0$ 。对原不等式取极限：

$$\lim_{\tau \rightarrow 2} \cosh(t\lambda) - \frac{\tau \sinh(t\lambda)}{\lambda} \geq 0$$

有：

$$1 - t \geq 0$$

显然，仅在1s内满足此条件，故系统1s后存在超调。

- $\tau > 2$ 时， λ 是大于0的实数。原不等式可化作：

$$\begin{aligned} \cosh(t\lambda) &\geq \frac{\tau \sinh(t\lambda)}{\lambda} \\ \Leftrightarrow \frac{\lambda}{\tau} &\geq \tanh(\lambda t) \end{aligned}$$

易知 $\tanh(x) \in (-1, 1)$ 且单调递增。故当且仅当 $\lambda \geq \tau$ ，可保证无超调，而这是不可能的。

综上， $\tau > 0$ 时，不可能有无超调的阶跃响应。

5. 对比伺服系统和过程控制系统多回路控制的异同。

答：

相同点：设计时都希望回路之间带宽差异足够大，便于分开设计和调试；都希望提高内回路的带宽、收窄外回路的带宽以抑制扰动和噪声；内外回路都可以独立地按照单回路进行设计；设计时都应该先调试内回路，再调试外回路。

不同点：串级调节系统存在滞后；串级调节系统设计时对系统结构有一定要求，需要有能够保证比较快地反映扰动和控制作用的辅助变量；伺服系统多回路控制要求内回路带宽达到外回路的五倍及以上，串级调节系统受滞后限制，降低要求到三倍及以上。

6. 伺服系统一般对跟踪误差的动态特性有明确的指标要求，因此设计中强调带宽的拓展；调节系统对动态特性没有要求，设计中一般不考虑带宽的设计。对于伺服系统的两种对象模型：即电压源驱动的电机和电流源驱动的电机，可以认为在系统中分别包含了电压调节回路和电流调节回路，即实际上的伺服系统回路中分别包含了这两类调节系统。电压调节器或电流调节器作为外环伺服系统的内回路，为什么可以按照调节系统进行设计？与前面所说对跟踪误差的不同动态指标要求是否矛盾？

答：不矛盾。电气元件的带宽远大于机械结构，可以充分满足伺服系统多回路设计中对内回路带宽的要求。而电流环/电压环的任务是复现设定值、抑制扰动，这正是调节系统的任务。