



第23讲课后作业

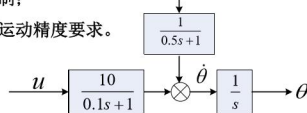
1 必选作业

考虑两轴雷达跟踪系统，试设计方位轴控制系统，已知执行电机的传递函数和风速的传递函数分别为 $G(s) = \frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{10}{0.1s+1} \cdot \frac{1}{s}$ 和 $D(s) = \frac{\dot{\theta}(s)}{d(s)} = \frac{1}{0.5s+1}$

要求在 d 是幅值为 10Nm 的正弦扰动下，方位轴跟踪 1° 阶跃响应的跟踪误差不大于 0.002° ，方位轴跟踪 2Hz ， 5° 正弦信号的误差不超过 0.05°

试采用位置和速度双回路控制完成如下设计任务：

- ① 确定内外两个回路的输入和输出量，绘制多回路控制结构框图；
- ② 设计内回路控制器，实现扰动抑制；
- ③ 设计外回路控制器，满足方位轴运动精度要求。
- ④ 进行仿真验证



可以尝试单回路设计，并对比性能

2020/5/16

哈尔滨工业大学控制与仿真中心

54

设计思路：

扰动传递函数 $G(s) = \frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{10}{0.1s+1} \cdot \frac{1}{s}$

风速传递函数 $D(s) = \frac{\dot{\theta}(s)}{d(s)} = \frac{1}{0.5s+1}$

要求 d 是幅值为 10Nm 的正弦扰动，方位轴跟踪 1° 阶跃响应的跟踪误差不大于 0.002°

方位轴跟踪 2Hz ， 5° 正弦信号的误差不超过 0.05°

$\ddot{\theta} = -5^\circ \times 4\pi \times 4\pi \times \sin(\omega t)$

$\ddot{\theta}_{\max} = 789.6^\circ (0.03)$

$\theta = 5^\circ \sin(\omega t)$ $\omega = 2\pi f = 4\pi$

$\frac{\dot{\theta}}{d} = \frac{1}{1+K_n G(s)} = \frac{1}{1+\frac{10K}{0.1s+1}} = \frac{0.1s+1}{0.1s+1+10K} \times \frac{1}{(0.1s+1)}$

$\dot{\theta} = \frac{1}{1+K_n G(s)} \cdot \frac{1}{0.5s+1} \cdot d$

$C_{ssd} = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{0.1s+1}{0.1s+1+10K} \cdot \frac{1}{0.5s+1} \cdot \frac{10}{s}$

$= \frac{10}{10K} \approx 0.001$ 分配 (不稳定性)

取 $K=100$ ，则 $C_{ssd} = 0.01^\circ$

$20 \lg 10K = 20(\lg \omega - \lg 10)$

$\lg 10K = \lg \frac{\omega}{10}$

$10K = \frac{\omega}{10}$ $\omega = 100K$ (增益与带宽的关系)

$\omega_n = \sqrt{1000} \text{ rad/s}$

外回路

$\theta \rightarrow \sum \rightarrow K_1 \rightarrow K_2(1+\frac{1}{T_2 s}) \rightarrow K_3 \rightarrow \frac{1}{s} \rightarrow \theta_0$

$G(s) = \frac{K_1 K_2 K_3 (1+T_2 s)}{T_2 s^2}$ ($K_3=1$)

$C_{\max} = \frac{\theta_{\max}}{K_a}$

$e(t) = C_0 \ln(t) + C_1 \frac{d \ln(t)}{dt} + \frac{C_2}{2!} \frac{d^2 \ln(t)}{dt^2}$

校正网络

$\omega_n^2 = \frac{K_1 K_2 K_3}{T_2} = \frac{K_1 K_2}{T_2}$

$\frac{1}{T_2} \cdot \omega_n^2 = \omega_n^2 = \frac{K_1 K_2}{T_2}$

$\omega_c = K_1 K_2$

$\omega_c \leq \frac{1}{2} \omega_n^2$

$\omega_c = 1000$ $\omega_n = 2000 \text{ rad/s}$

$K_a = \frac{K_1 K_2 K_3}{T_2}$

取 $K_a = 197.39$

$T_2 = 0.0137$

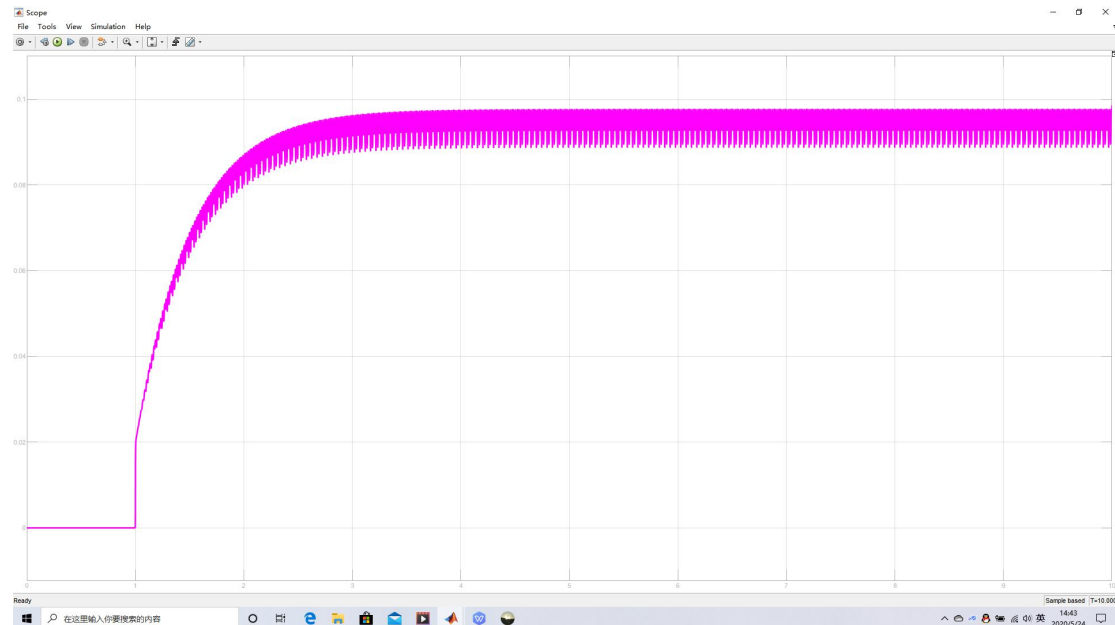
发现一些问题：

内回路抑制扰动不需要看精度，即误差不需要分配，但是单回路需要考虑误差的分配问题：

验证：

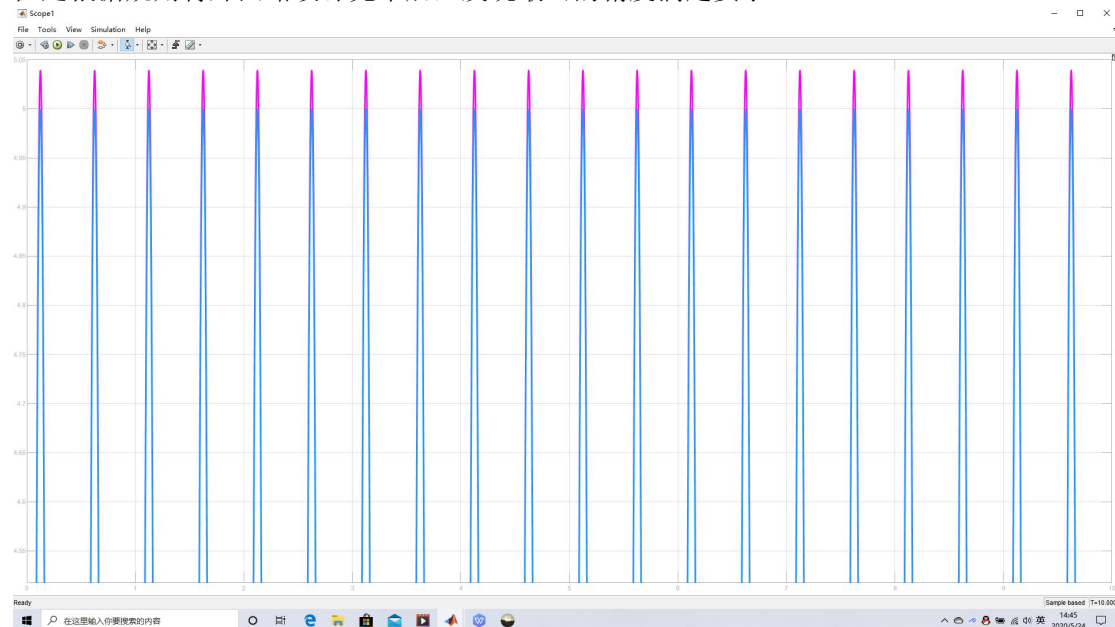
若内回路的 K 取 10，则根据静态误差系数法，由扰动带来的误差是 0.1，而要求跟踪正弦信号时的误差为 0.05° ，显然不合适

单纯扰动作用下内回路系统的输出为：



可见误差将近 0.1°

但是根据规则将外回路设计完毕后，发现最终的精度满足要求！

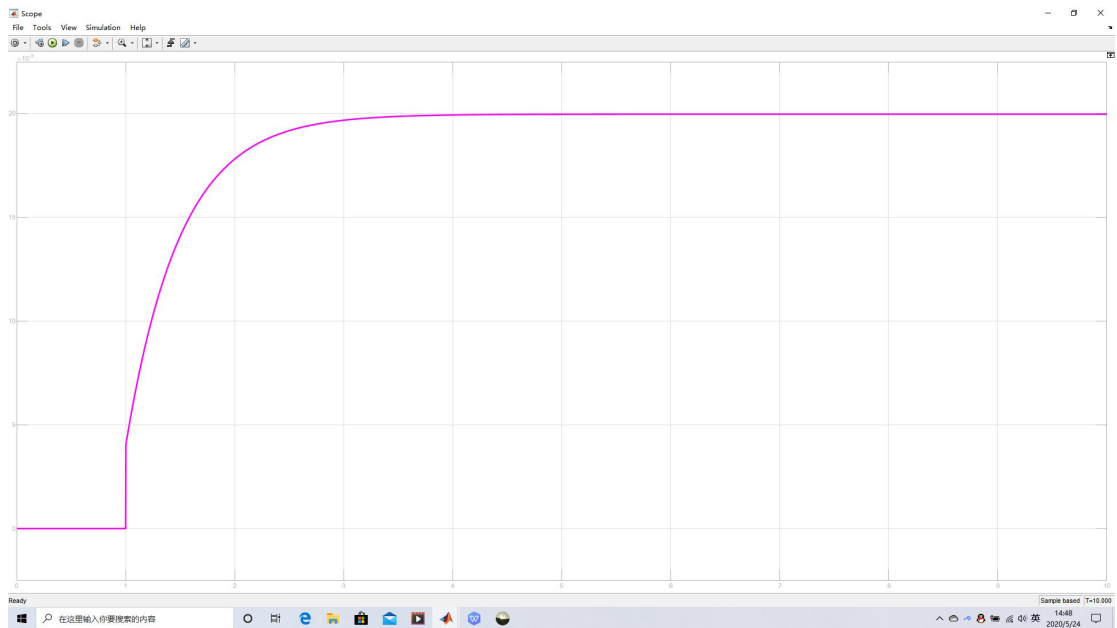


而如果按照误差分配来设计，则取内回路的 $K = 50$ ，误差分配 0.02° ，外回路分配 $^\circ$

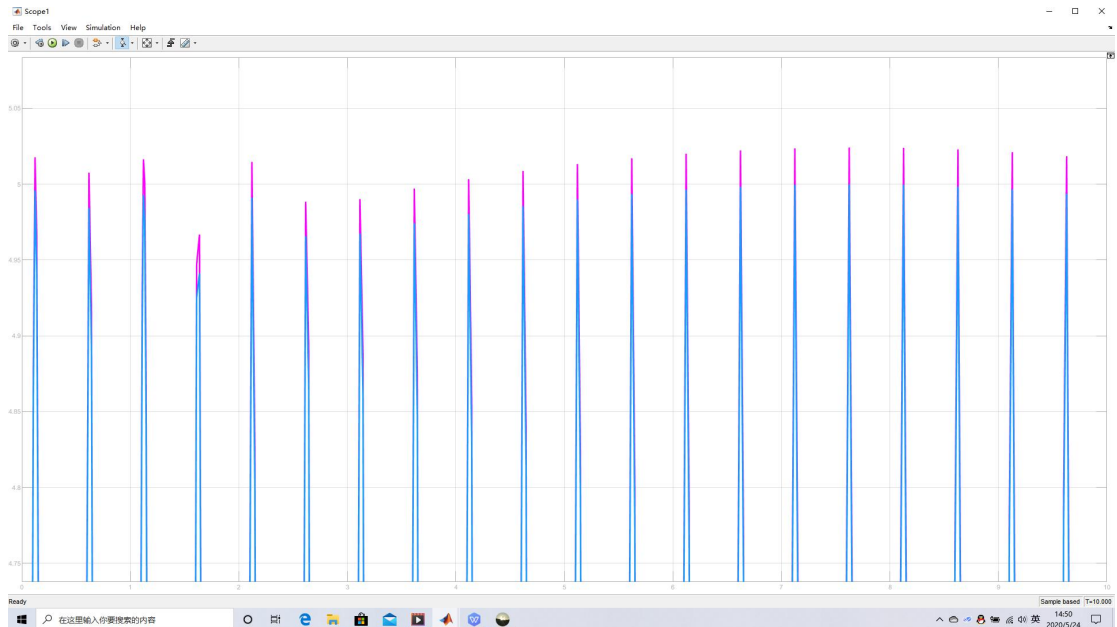
重复上述步骤可得：

单纯扰动作用下内回路系统的输出为：

0.02°



最终输出为:



误差进一步减小，但是这种方法实际不可能实现。

所以,设计多回路的时候,只要保证内回路在扰动信号的全部频段都能做到有效的抑制即可,因为 K 越大,内回路带宽越大,这样外回路的带宽就越大,这是不好的,所以, K 不能设计太大,依旧不能一味地追求内回路的跟踪误差特别小,只要满足能够抑制扰动即可!