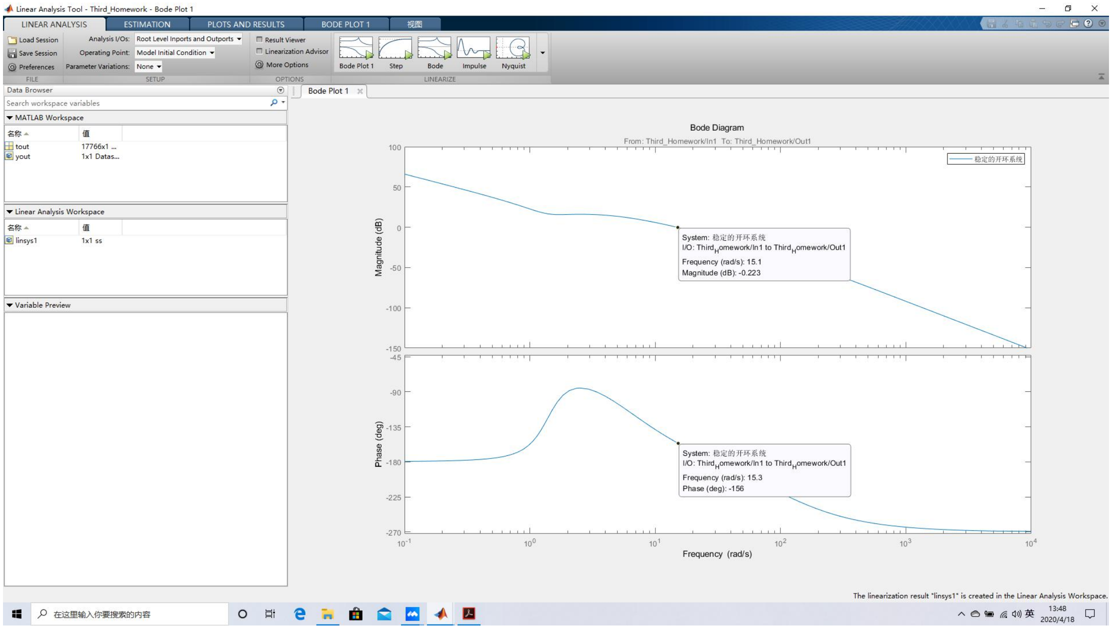
1. 首先构建一个稳定的开环系统

由于更改了 PID 控制器，所以又重新调节了一下系统，保证其开环稳定。

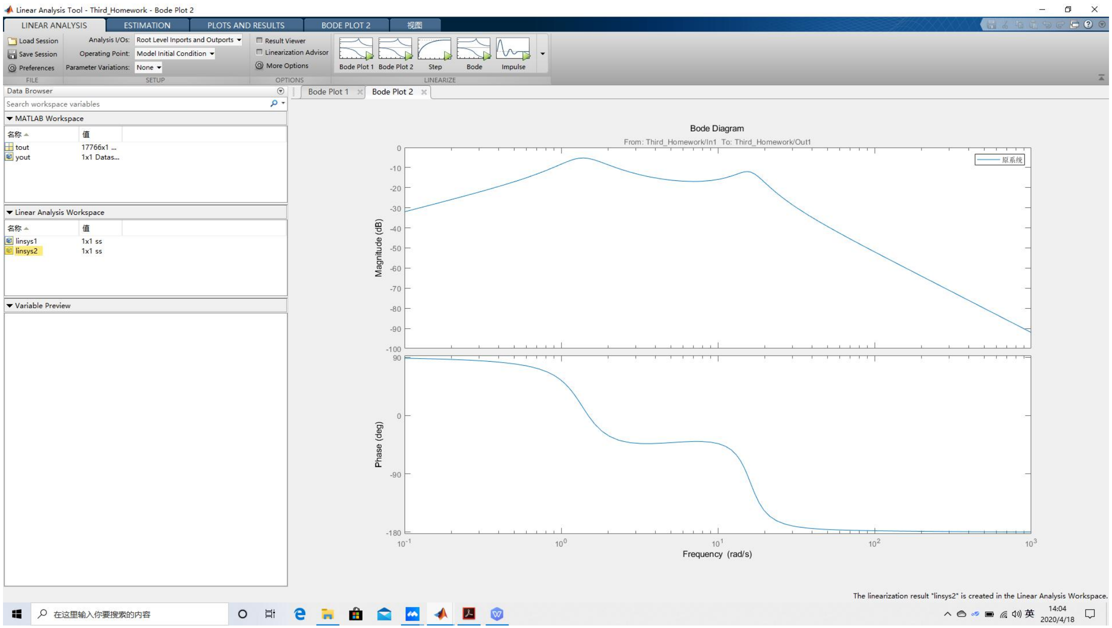
取 Kp=0.2，Ki =2，Kd=1；

滞后环节 $G_c(s)=\dfrac{0.02s+1}{0.2s+1}$



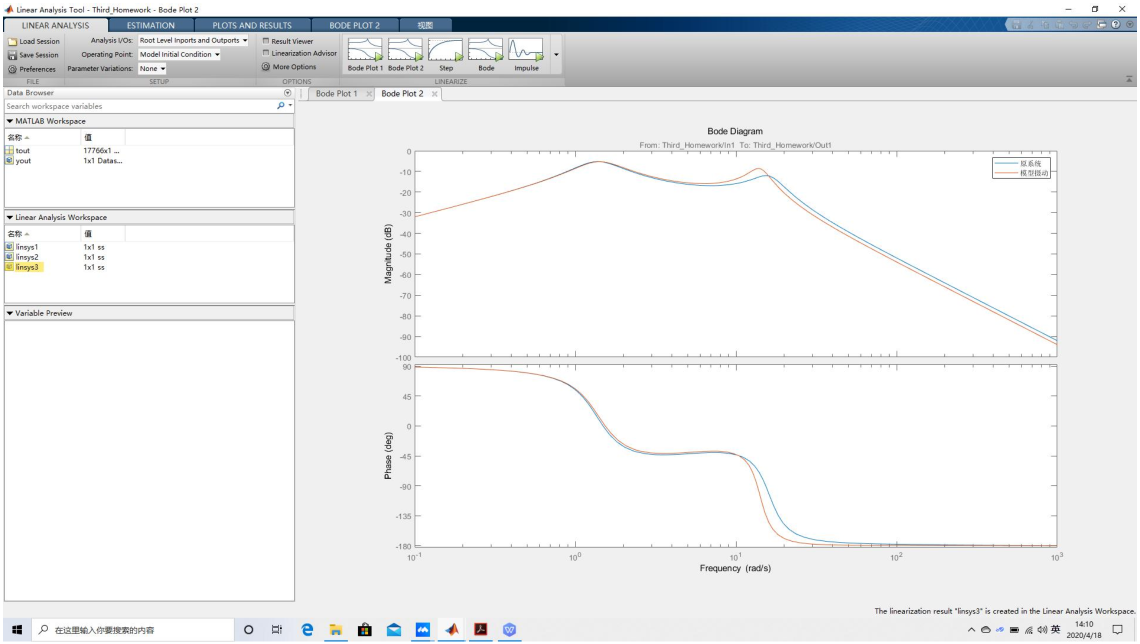
2. 绘制扰动到输出的闭环 Bode 图（不含干扰观测器）

被控对象传函为 $G(s)=\dfrac{5}{0.2s+1}$



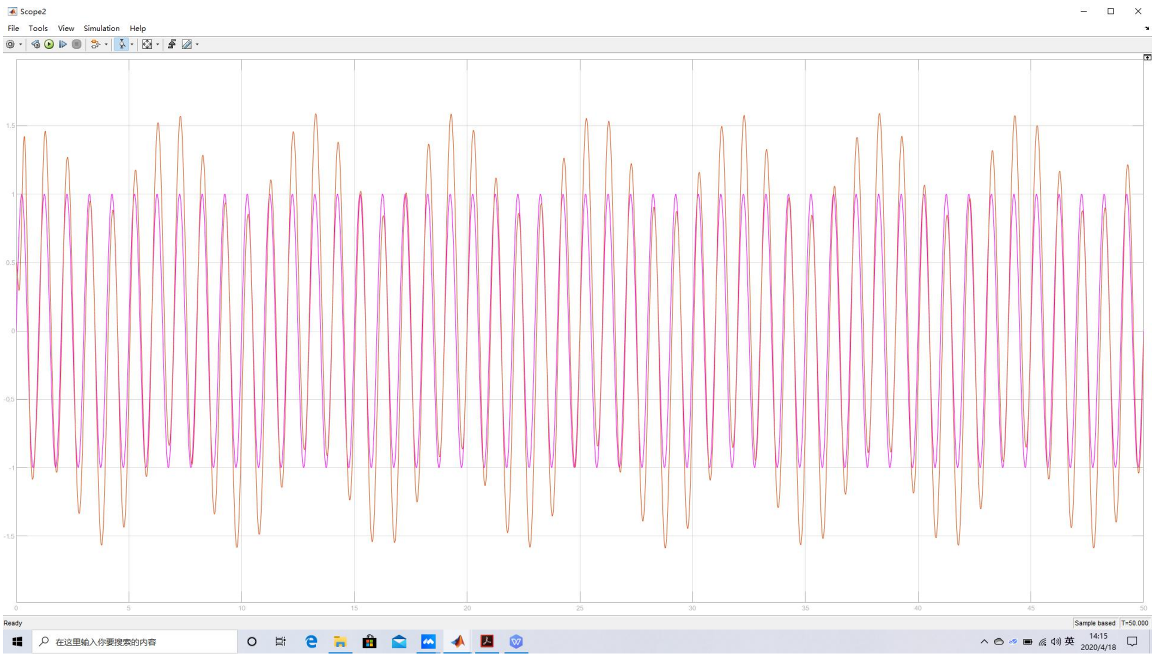
当模型发生摄动的时候，被控对象的传函为 $G(s)=\dfrac{10}{0.5s+1}$

再次绘制系统闭环 Bode 图：

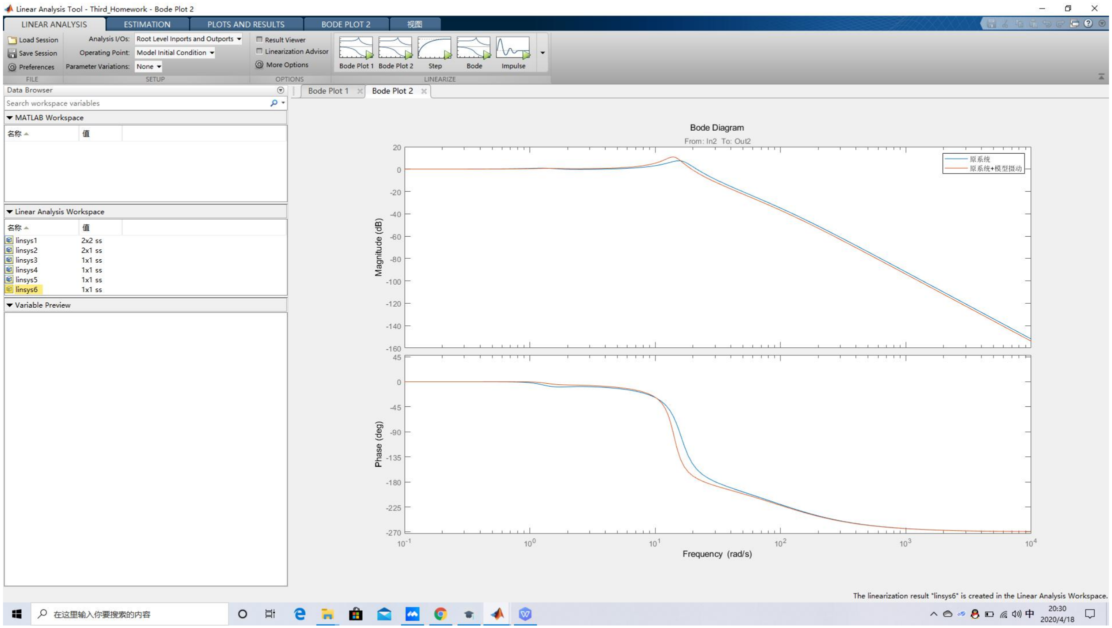


加入正弦指令信号后，进行响应的分析：

粉色为指令信号，黄色为响应信号，可见扰动非常大！



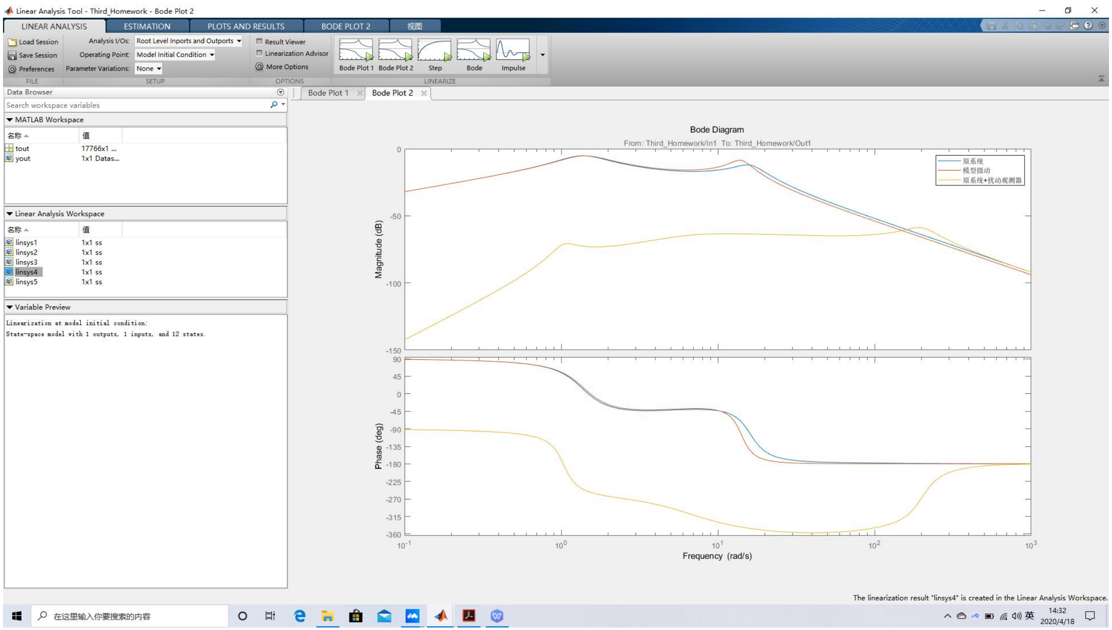
分别画出从输入到输出的闭环 Bode 图：



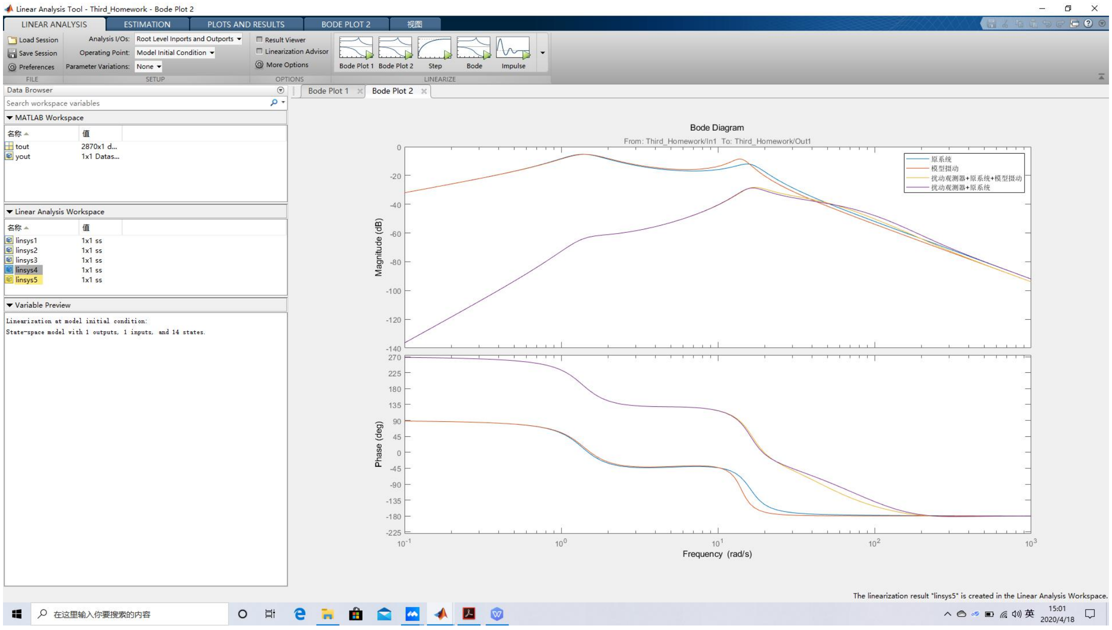
3. 加入扰动观测器：

$$Q(s)=\frac{4\tau s+1}{(\tau s+1)^4}$$

绘制无模型摄动时的系统闭环 Bode 图

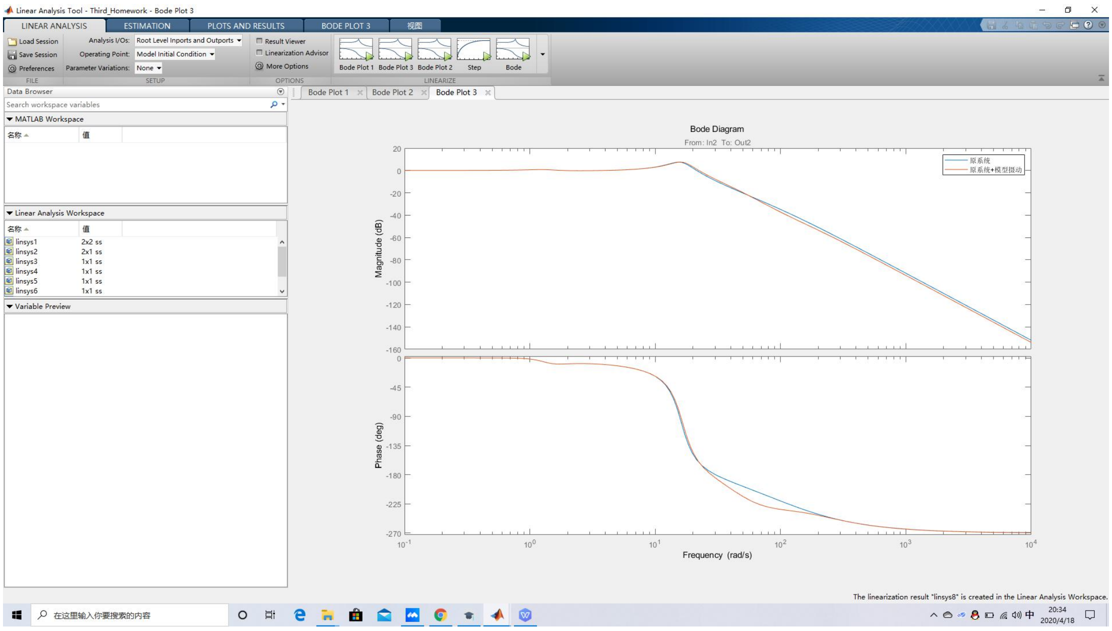


绘制模型摄动时的系统闭环 Bode 图



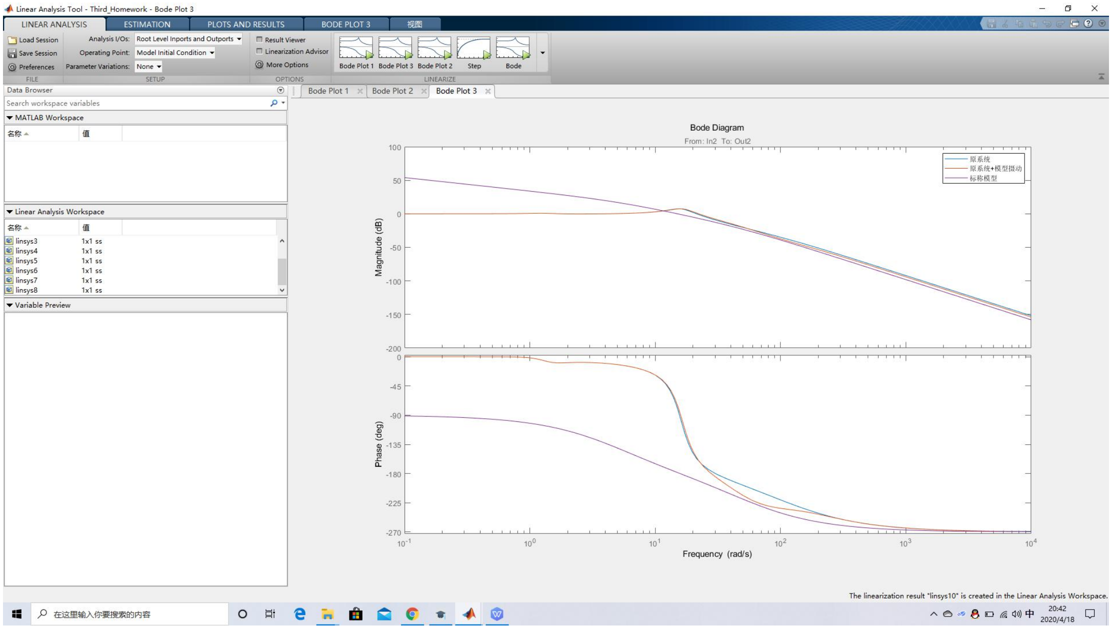
发现加入干扰观测器可以明显降低从扰动到输出的闭环 Bode 图，这显然对扰动的抑制有好处。

再观察一下系统从输入到输出的闭环 Bode 图：



发现在低频段，扰动前后的闭环 Bode 图几乎没有变化

再绘制标称模型 $G_0(s)=\dfrac{50}{(0.02s+1)(0.2s+1)s}$



发现实际闭环系统和标称模型还是有差距的，因为 Q 滤波器在低频段也不是严格为 1.

最后加入正弦指令信号后，进行响应的分析：

红色为指令信号，粉色为响应信号，可见扰动相对减小！