


1. 双十指标:

是指频率响应曲线上幅值衰减 10%，或者相位滞后 10° 时的频率；这个频率要包含指令输入信号的全部成分；

说明：闭环系统的带宽是指闭环 Bode 图下降到 0.707 时所对应的频率，而双十指标的频率 w_{A10} 是上升到 1.1 或者下降到 0.9 对应的频率，它显然在闭环系统带宽之前；另外它还要求

相角下降 10° 对应的频率 w_g ，显然，闭环系统的带宽越宽， w_{A10} 、 w_g 也会越大，包含的输入指令信号的频率也就可以越高，系统的性能也就越好，但是由于系统的对象存在谐振，高频的输入噪声因素等影响，带宽的设计又有所限制，因此需要进行折中设计。

2. 题目:



2020. 4. 20 课后作业

1 必选作业

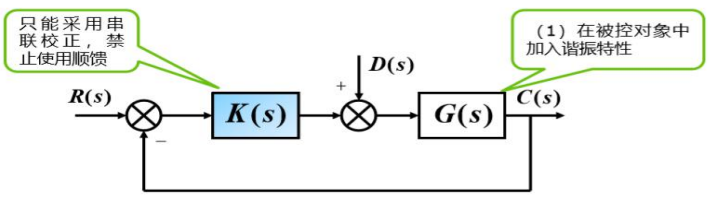
1 仿真题：对给定系统采用合适的带宽设计方法，剪切频率自行设定，相位裕度为40-60度之间，幅值裕度不小于2，尽可能提升系统的双十指标；

(1) $G(s) = \frac{s+2}{s+10}$

(2) $G(s) = \frac{1}{s(0.2s+1)(0.02s+1)}$

只能采用串联校正，禁止使用反馈

(1) 在被控对象中加入谐振特性



2020/4/22

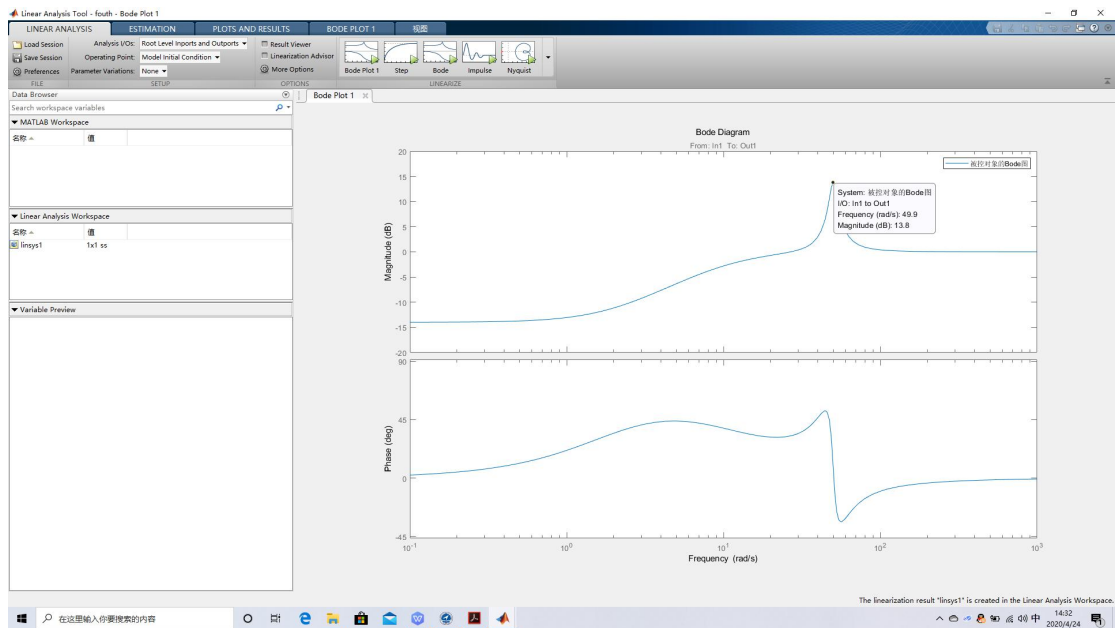
哈尔滨工业大学控制与仿真中心

57

3. 设计控制器:

加入谐振环节 $G_d(s) = \frac{s^2 + 25s + 2500}{s^2 + 5s + 2500}$

观察被控对象的谐振特性:



发现被控对象的谐振点在 50rad/s 处；

所以把开环系统的剪切频率设置在 10rad/s 左右；

设置控制器：

采用 PI 控制器，其参数为：

$$G_c(s) = \frac{1000(0.1s + 1)}{s} = 100 + \frac{1000}{s}$$

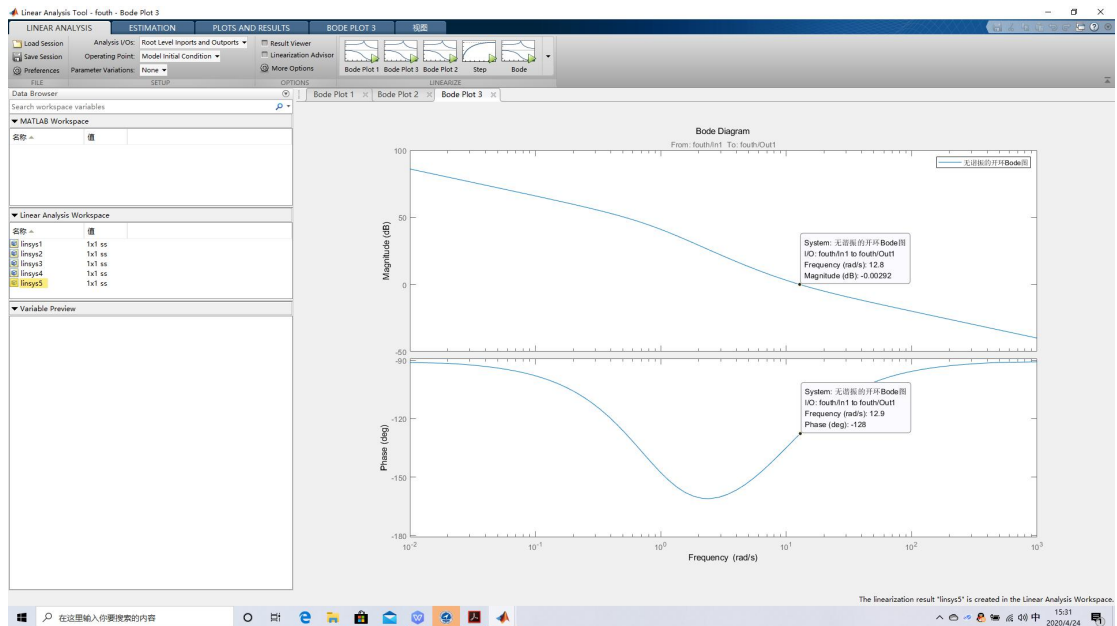
然后为了降低剪切频率，分别加入惯性环节：

$$G_1(s) = \frac{1}{s + 1}$$

滞后环节：

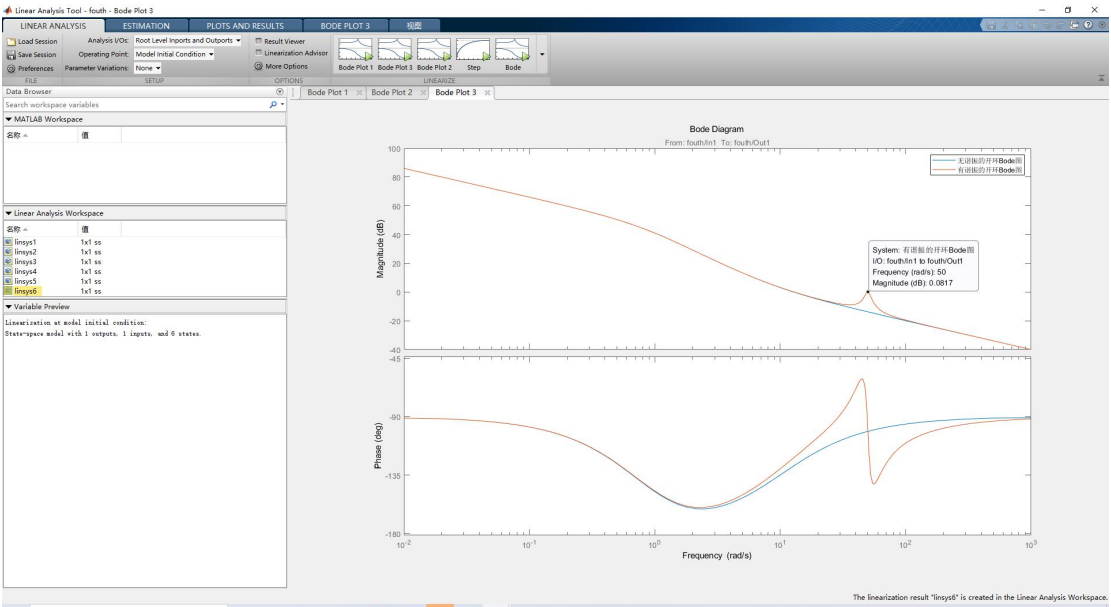
$$G_2(s) = \frac{0.1s + 1}{s + 1}$$

得到系统的开环 Bode 图如下：

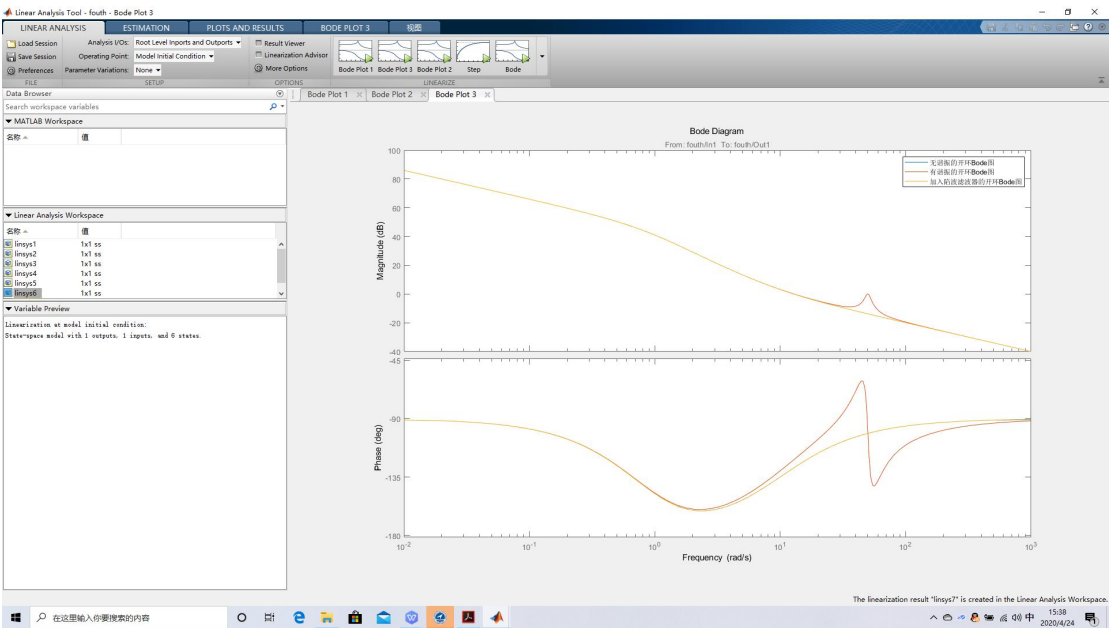


剪切频率在 12.8rad/s;相角裕度为 52° ；

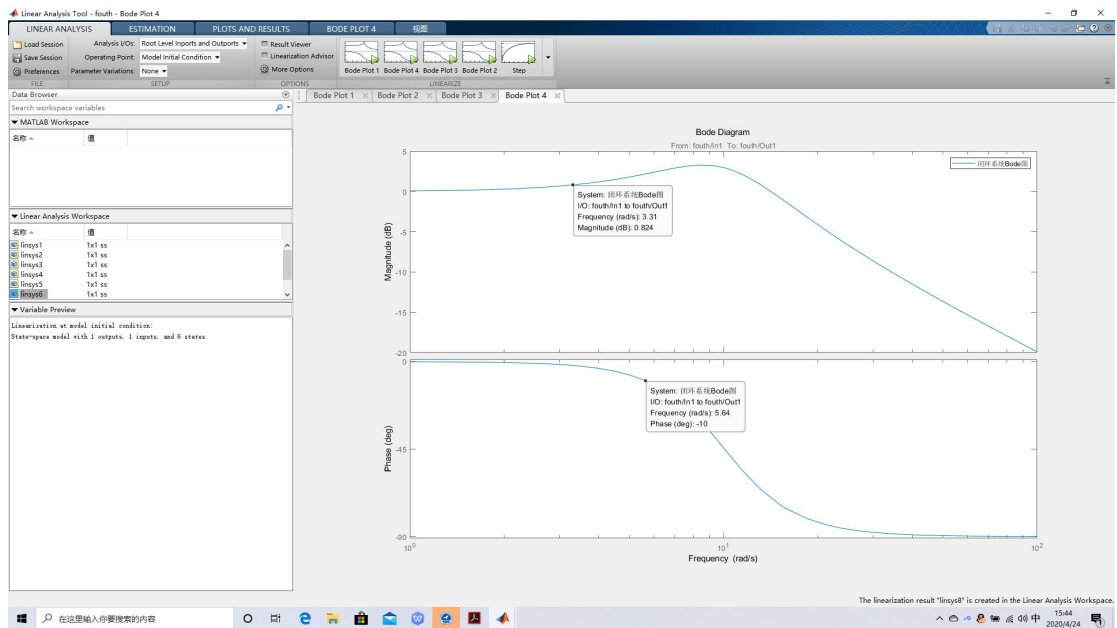
在被控对象中加入谐振环节：
系统的开环 Bode 图如下：



发现由于谐振存在，系统的出现了两个剪切频率，因此必须加以处理，消除谐振带来的影响；
在控制器中加入陷波滤波器：
系统的开环 Bode 图如下：



发现谐振带来的影响消失；
进一步绘制系统的闭环 Bode 图，找到双十频率；

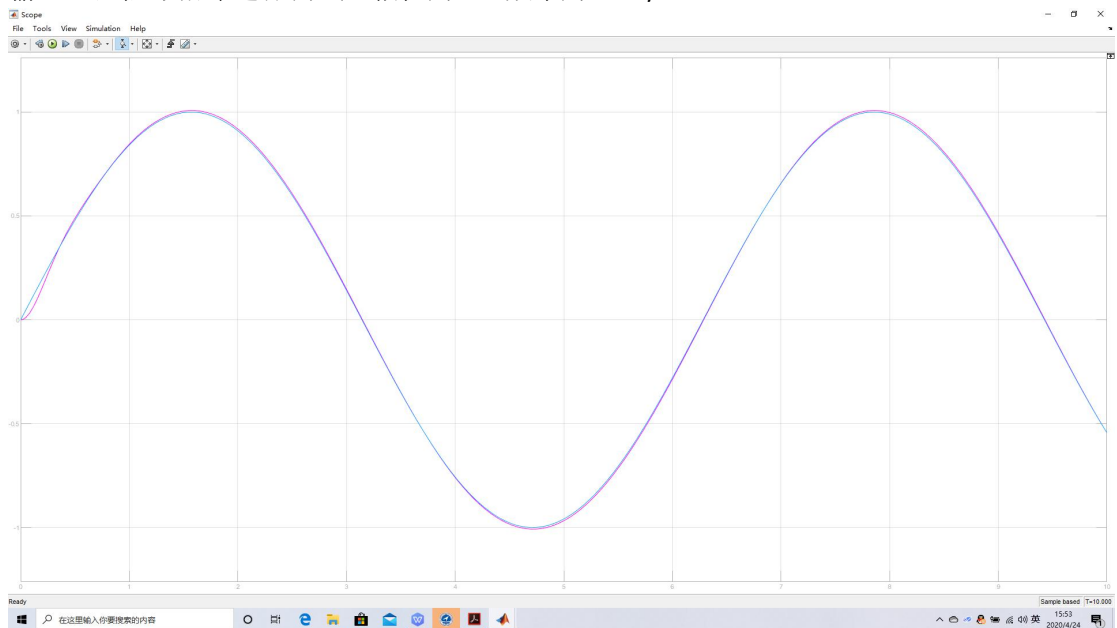


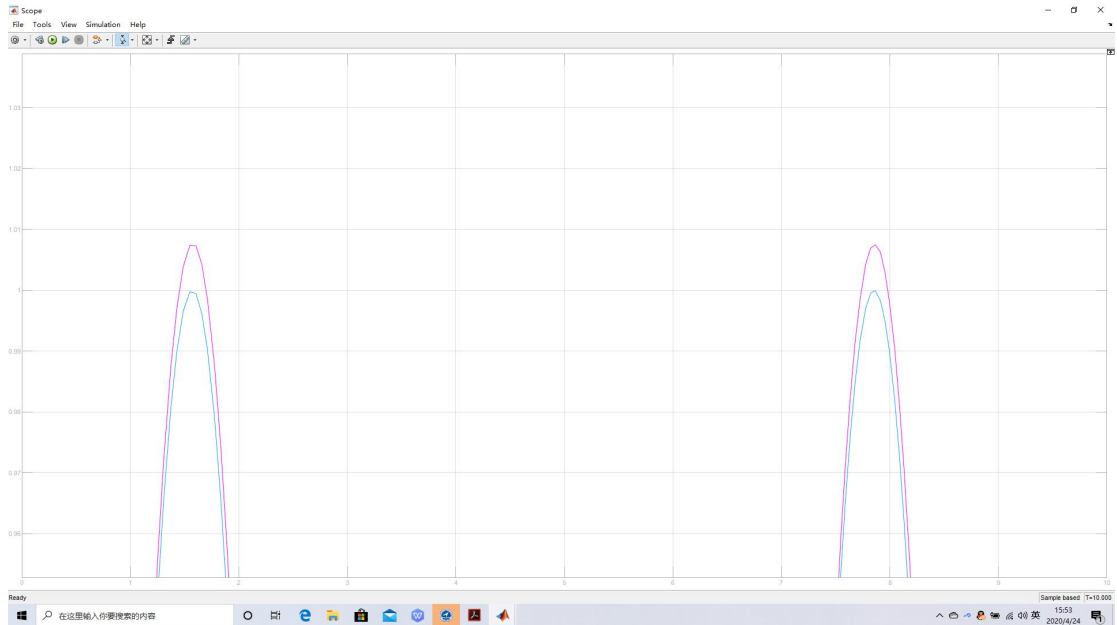
幅值为 $20\log_{10}(1.1) = 0.827\text{db}$ ，故频率只有 3.3rad/s ；而角度为 -10° 对应的频率为 5rad/s ；

因此，指令输入信号的频率只能在 3rad/s 附近，即 0.5Hz ；

这便是双十指标带来的限制，它比带宽更小，所以以它为标准设计时候，带宽应该更宽！

输入正弦信号指令进行测试：幅值为 1 ，频率为 1rad/s ：





跟踪的幅值误差不到 1%，角度不超过 10° ，满足双十指标要求；
当被控对象是高阶模型时：

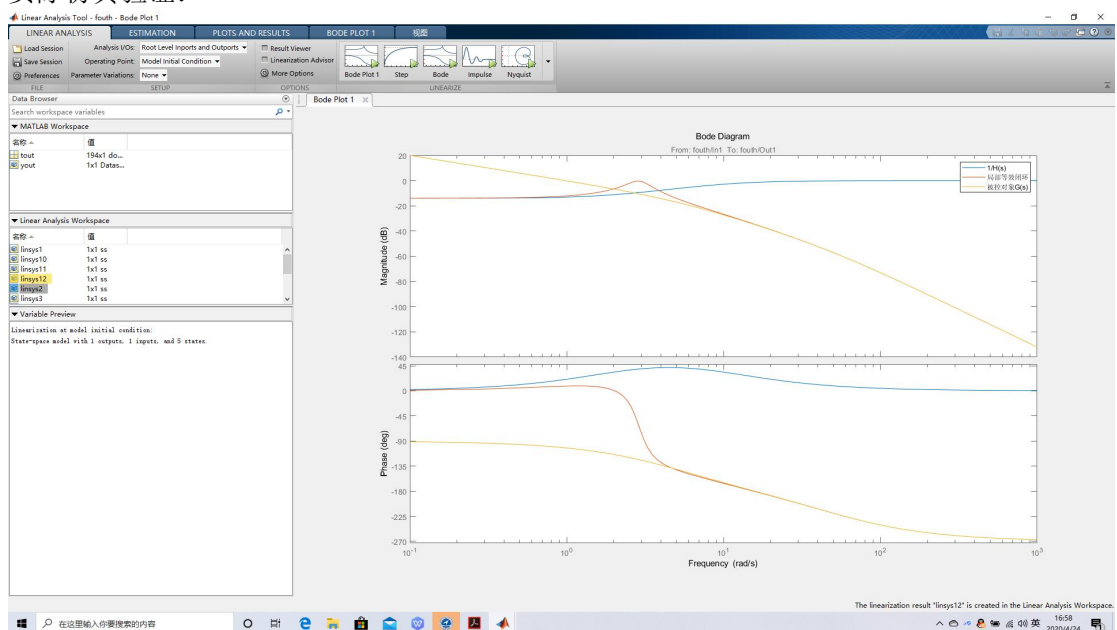
$$G(s) = \frac{1}{s(0.2s+1)(0.02s+1)}$$

这时采用反馈校正的思想，设 $\frac{1}{H(s)} = \frac{0.02s+1}{s}$ ，则 $H(s) = \frac{s}{0.02s+1}$

由反馈校正的思想：对开环 Bode 图而言，低阶的模型在低频段起主导作用，高阶的模型在高频段起主导作用；

低频 $\frac{1}{H(s)} = \frac{0.02s+1}{s}$ 起主导作用，高频 $G(s) = \frac{1}{s(0.2s+1)(0.02s+1)}$ 起主导作用；

实际仿真验证：

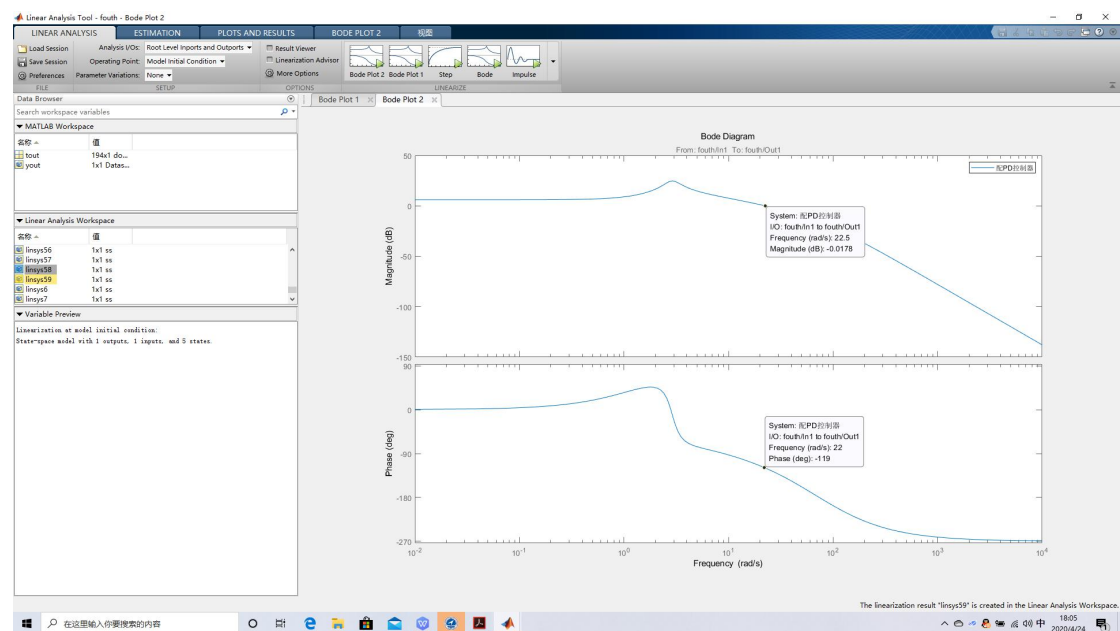
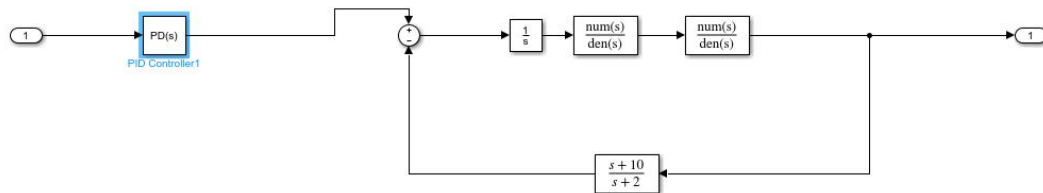
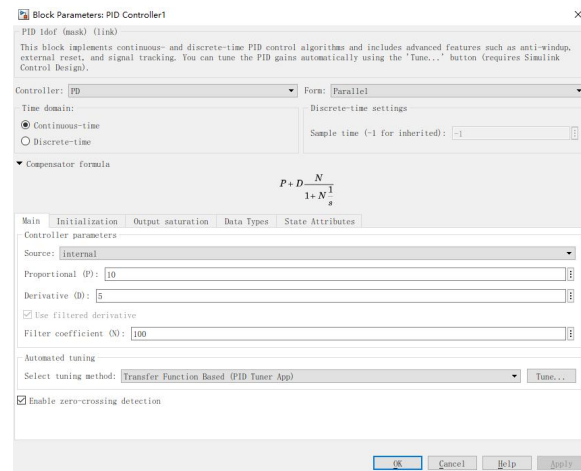


结论得以验证；

2. 设计控制器：

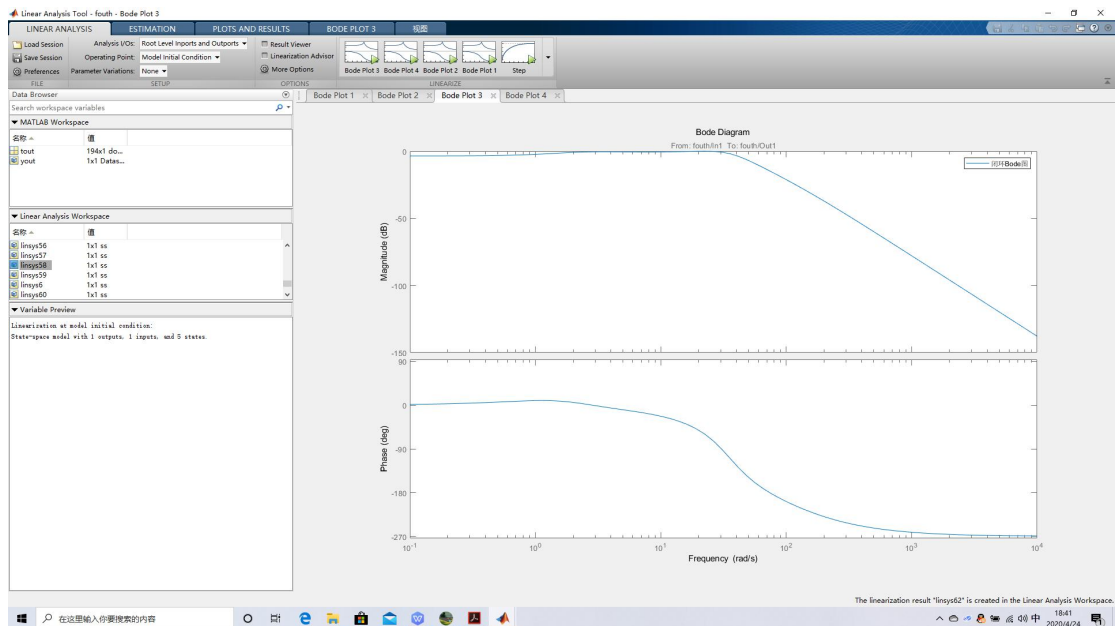
配置一个 PD 控制器：

发现参数不同，对应的性能会有很大变化，这组参数是试出来的：



相角裕度和幅值裕度均满足要求；

绘制闭环系统 Bode 图，求取双十频率：



发现这个系统闭环 Bode 图直接小于-3db!不太行。

原因分析：

假设控制器为 K ，被控对象为 $\frac{1}{s+1}$

$$\text{则 } T(s) = \frac{K * \frac{1}{s+1}}{1 + K \frac{1}{s+1}} = \frac{K}{1+K} (w=0)$$

当 K 没有远大于 1 时， $T(s)$ 就不会小于 1，自然闭环系统的 Bode 图在 $w=0$ 时就会小于 0db；

其实，我完全忘记了如何提高系统开环增益 K 的方法，知识掌握不牢固，这里用一个抬高低频增益+惯性环节的方法便可以抬高系统的 K 了.....

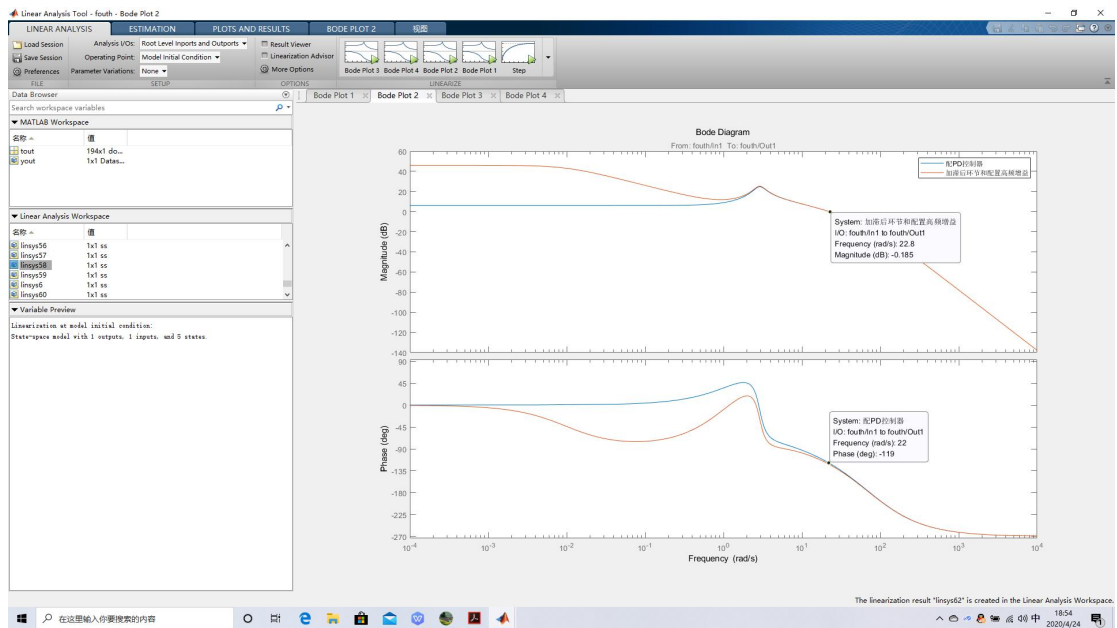
取滞后环节的中心频率 W_m 远离剪切频率，取 0.1rad/s

将原增益抬高 1000 倍

$$a = 100$$

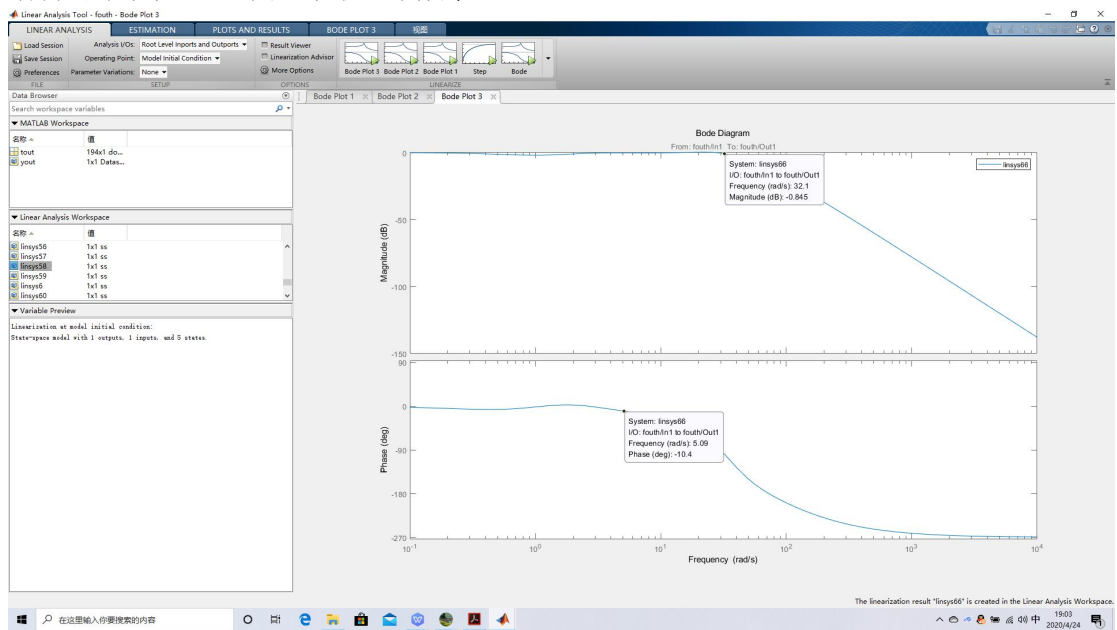
$$\text{求得 } G_c(s) = \frac{s+1}{100s+1}$$

再次绘制系统的开环 Bode 图：



幅值裕度和相角裕度没有变化，低频增益抬高！

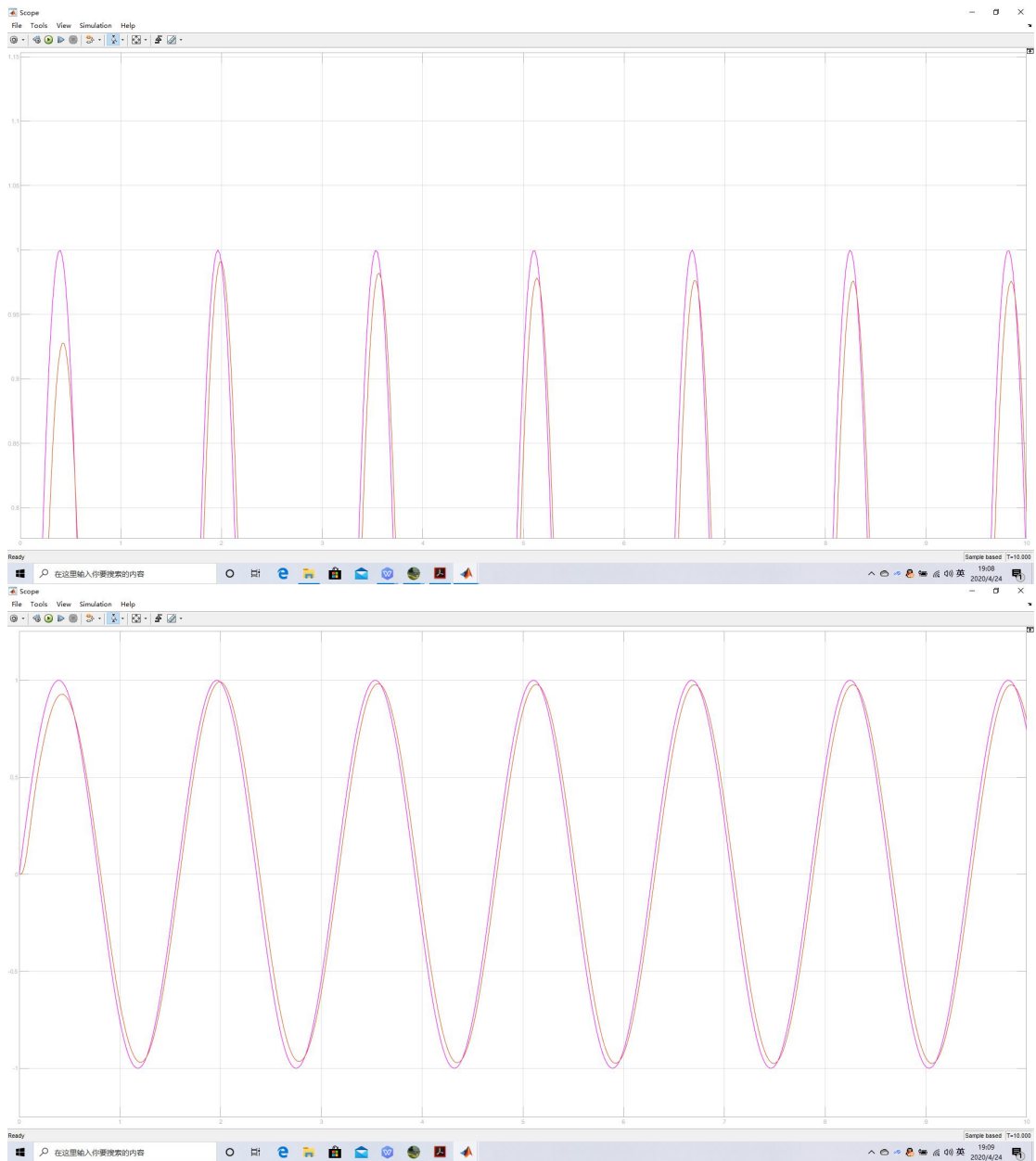
绘制闭环系统 Bode 图，求取双十频率：



取小得系统的输入指令频率不应该超过 5rad/s;

输出验证：

取正弦信号，幅值为 1，频率为 4rad/s;



除初始时刻外，后面均满足双十指标要求；

个人体会：双十指标看似限制的时幅值和相位，实则限制的是达到临界的频率，要求越苛刻，那个临界频率就会越小，这样允许输入的指令信号频率就会越低，而为了适应相对高频率信号的输入，这时就要尽可能地增大双十指标下对应的频率，相应的系统带宽也要增的更大，这就是严苛之处吧。

还有，系统整体设计思路还不行，能力不够。
故想请教学长设计系统的整体思路和一般步骤！