

# | 定点位置控制器分析

## 1. 实验目的

调节PID控制器的相关参数改善系统控制性能，并记录超调量和调节时间，得到一组满意的参数。在得到满意参数后，对系统进行扫频以绘制Bode图，观察系统幅频响应、相频响应曲线，分析其稳定裕度。

## 2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链<sup>[1]</sup>；MATLAB 2022b及以上。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台<sup>[2]</sup>；Pixhawk 6x飞控1台；数据线、杜邦线若干台。

## 3. 实验地址

例程目录：[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\6-PositionCtrl\6.2](#)

- icon文件夹：包含Init.m模型初始化参数文件，FlightGear.png、pixhawk.png硬件图片，SupportedVehicleTypes.pdf机架类型修改说明文件，F450.png飞机模型图片等
- PosCtrl\_tune.slx：Simulink仿真模型文件
- [Init\\_control.m](#)：控制器初始化参数文件

## 4. 实验内容或步骤

### 4.1 定点位置控制器分析

#### 模型初始设置

PID参数步骤与姿态控制的参数调试步骤相同。先调试内环速度环，再调试外环的位置环，先调高度再调水平位置。调试文件在” e6-PositionCtrl\PID-

Config\e6.2\PosCtrl\_tune.slx” 文件夹中。

调节参数的初始状态应是飞行器处于高空悬停状态，将初始高度设置为100m,电机的初始转速设置为557.1420rad/s，这个初始条件对应于飞行器在空中100m处悬停。修改"

Init\_control.m"文件中的对应参数如下。

```
1 ModelInit_PosE = [0, 0, -
2 ModelInit_VelB = [0, 0
3 ModelInit_AngEuler = [0, 0, 0
4 ModelInit_RateB = [0, 0, 0];
5 ModelInit_Rads = 557.142;
```

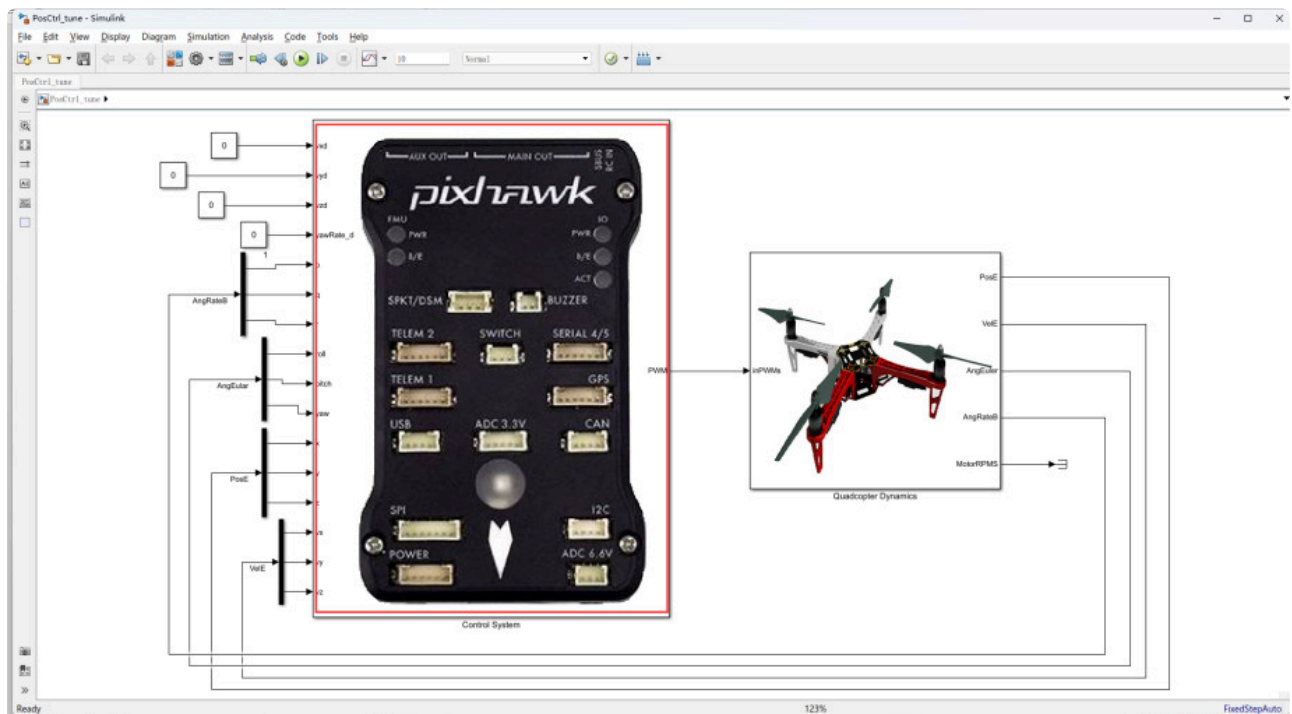
## 4.2 速度控制环参数调节

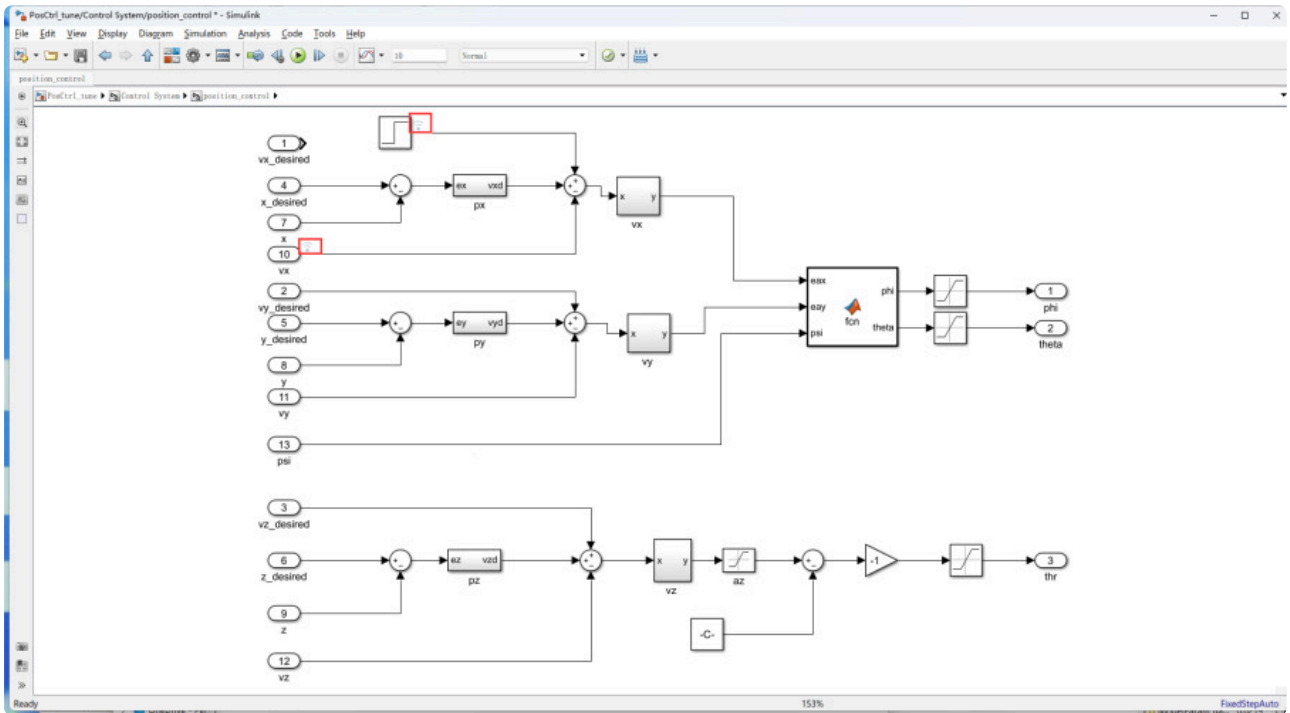
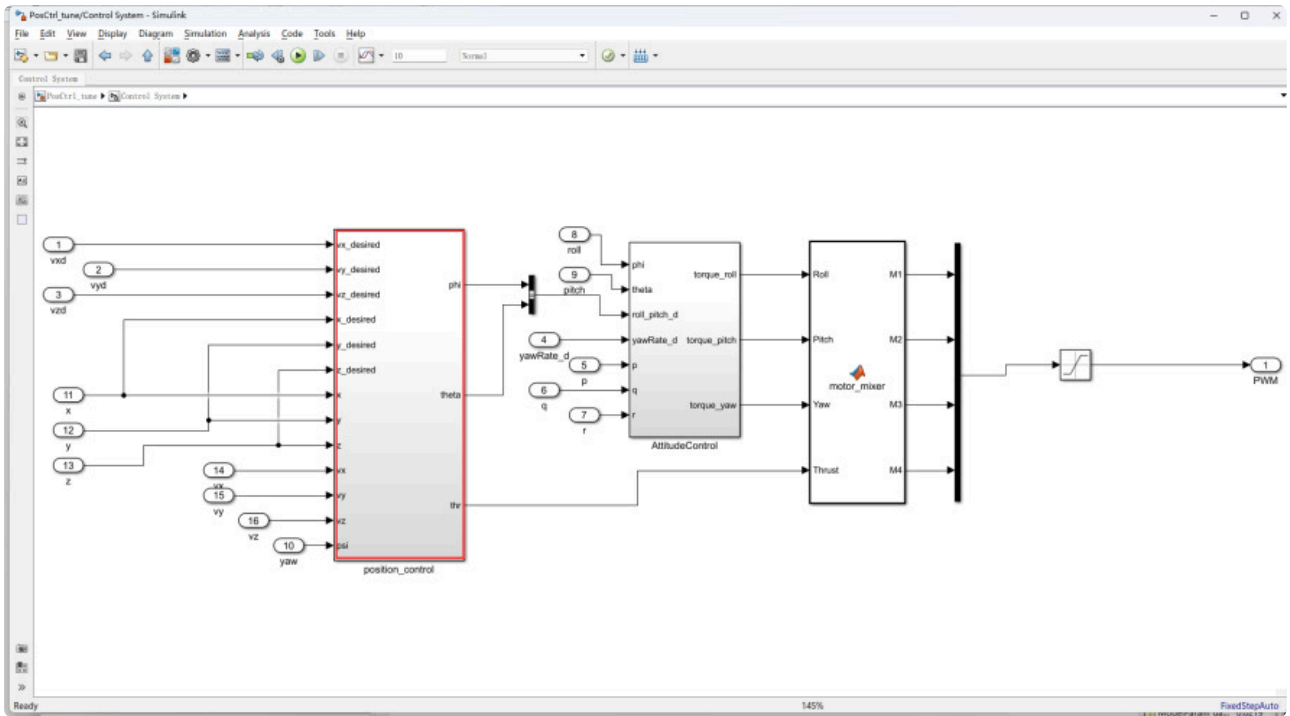
首先调节内环PID参数。

打开"e6-PositionCtrl\PID-Config\e6.2\PosControl\_tune.slx" 文件中的"Control System"子模块中的

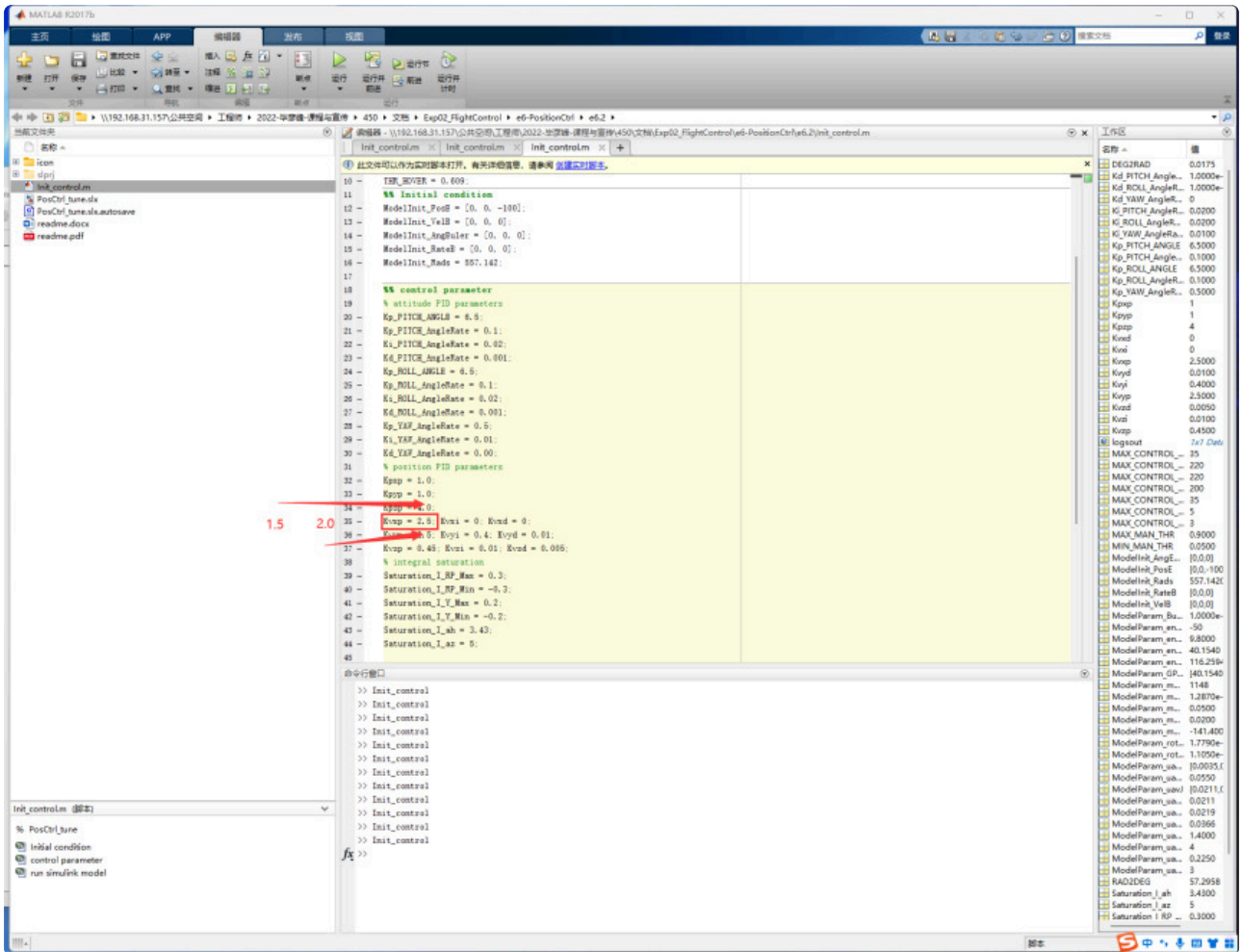
"position\_control"模块，即为位置控制系统模型。将其中x通道的速度期望部分换成阶跃输入，并将输入输出设置为"Enable

Data logging"。

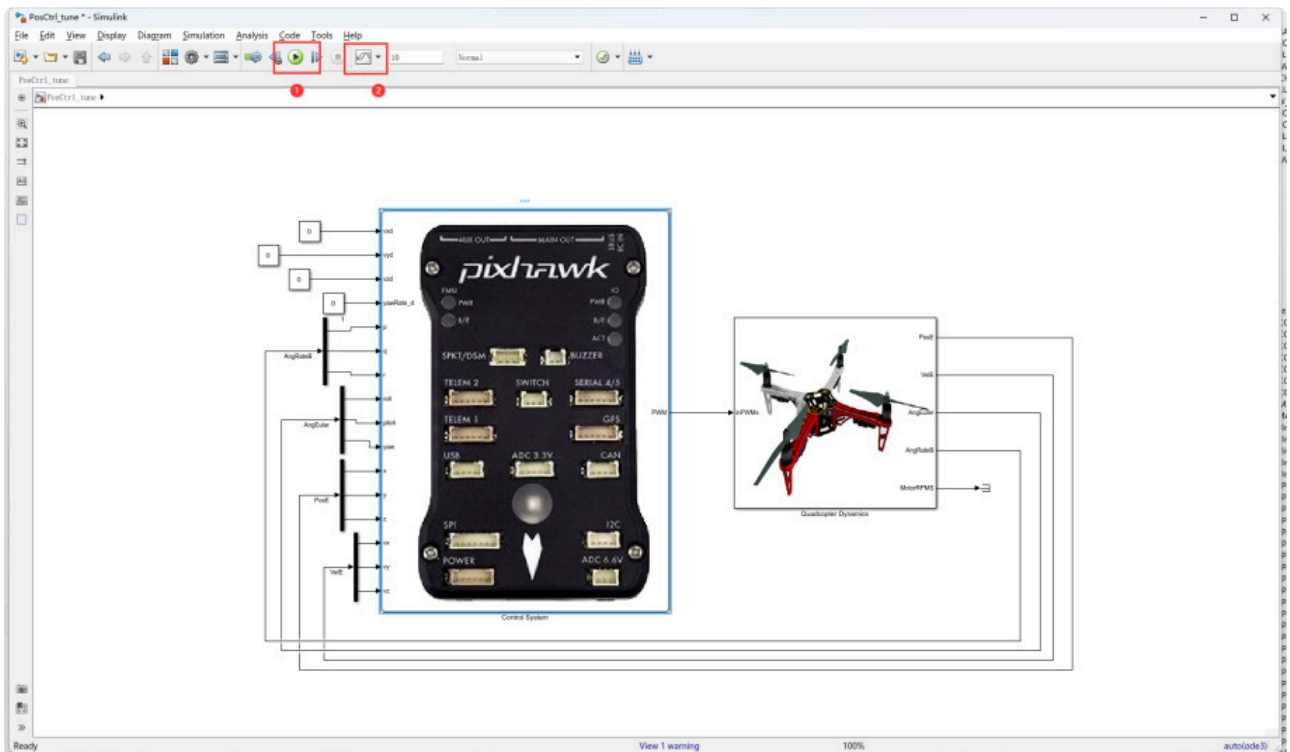




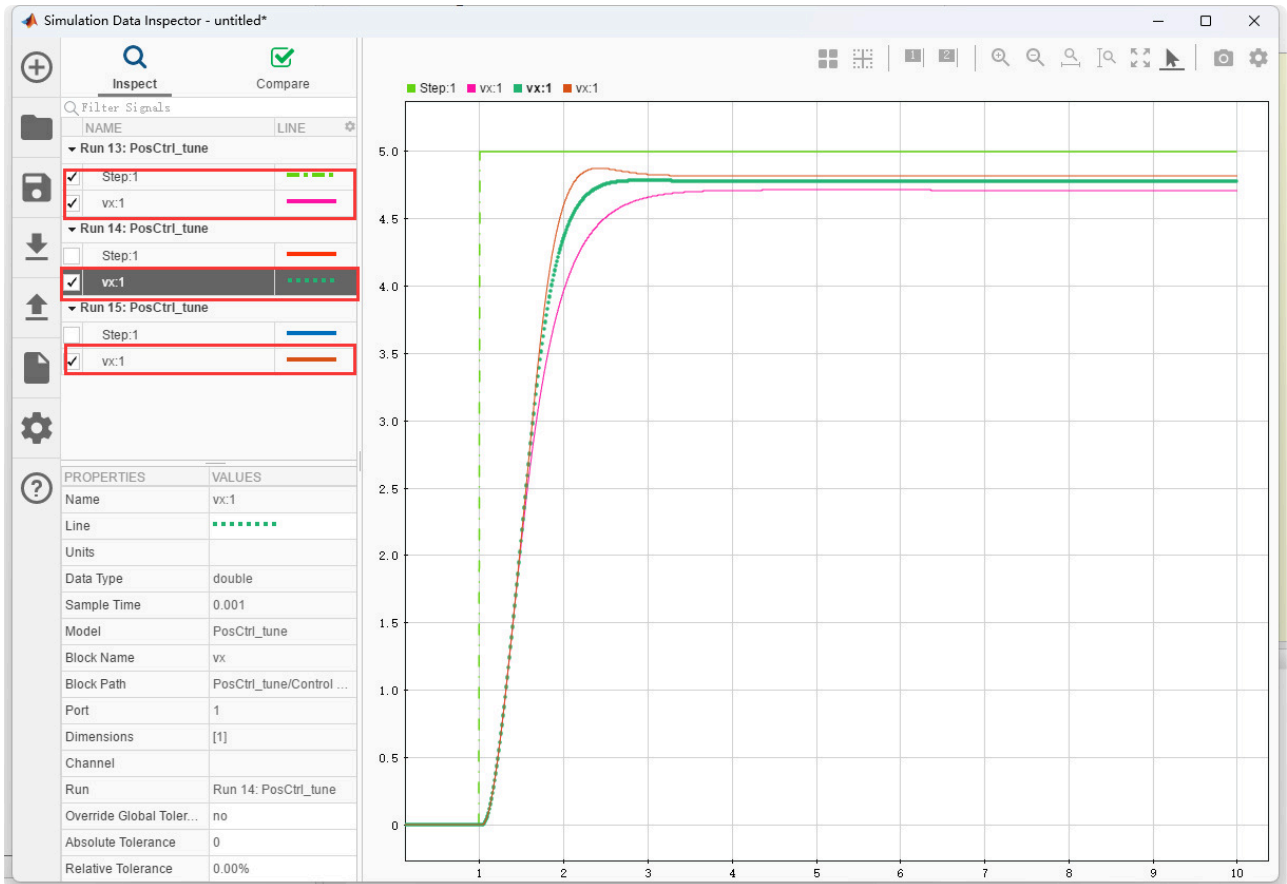
在"Init\_control.m"文件中修改内环PID参数的值。先设定比例项参数，积分和微分参数设为0，Kvxp参数设置分别为1.5、2.0和2.5，下图所示。



依次运行"Init\_control.m"文件。点击Simulink的"Run"按钮开始仿真，在"Simulation Data Inspector"中查看输入输出波形，如下图所示。

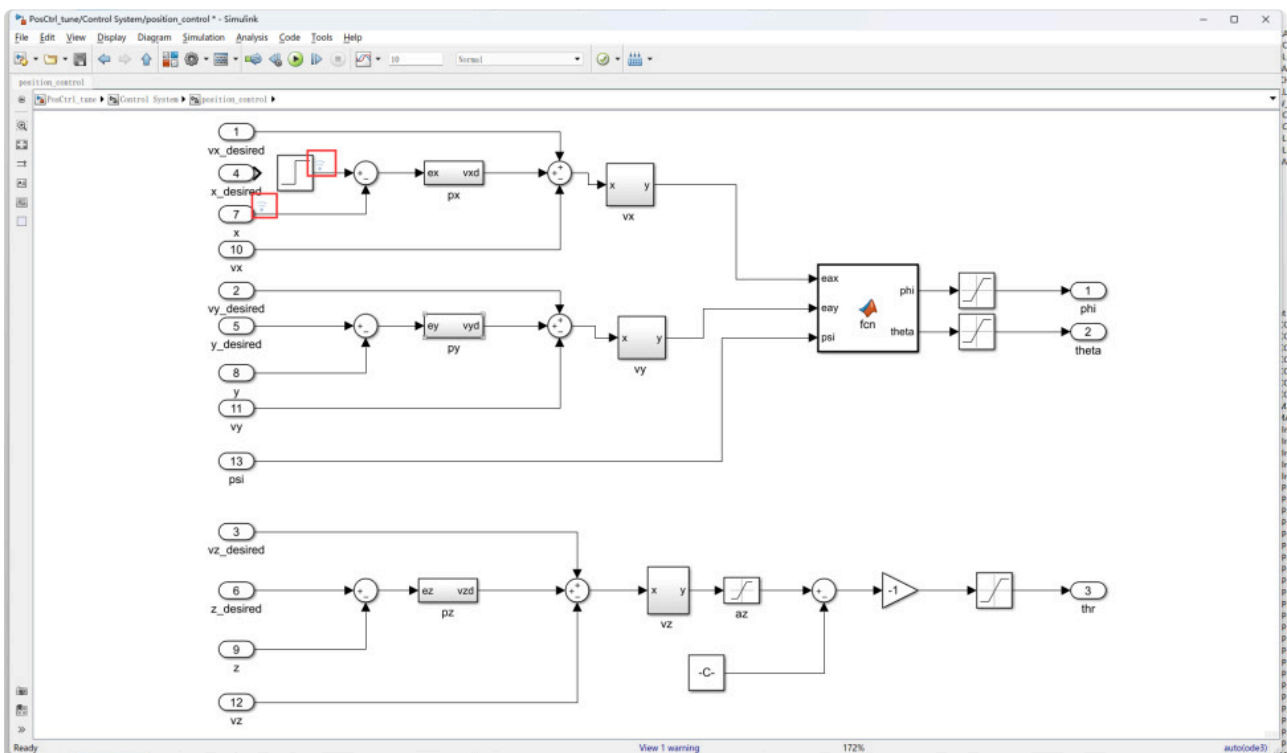


由小到大逐渐增大比例项系数值，得到阶跃响应曲线如图。

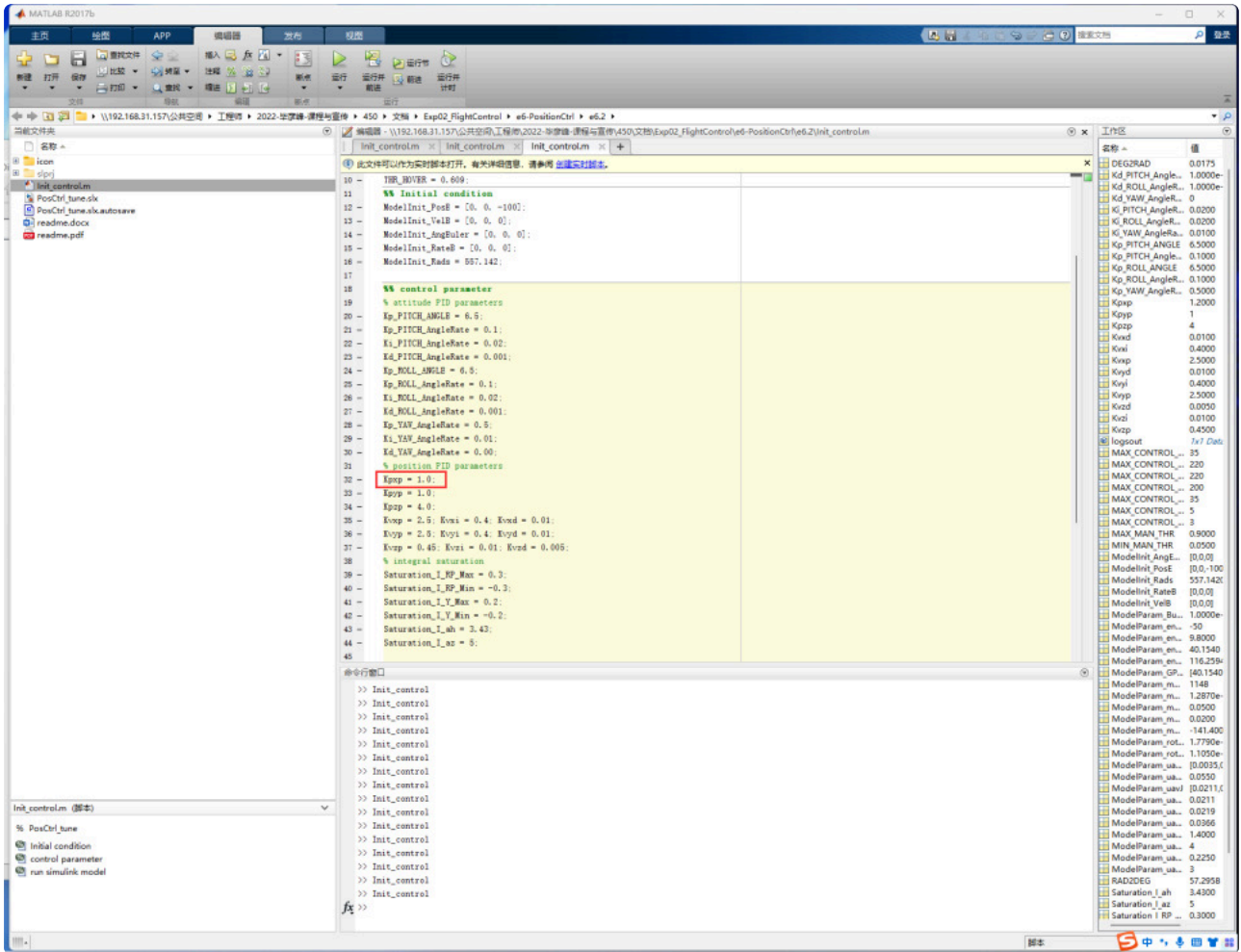


## 4.3 位置环参数调节

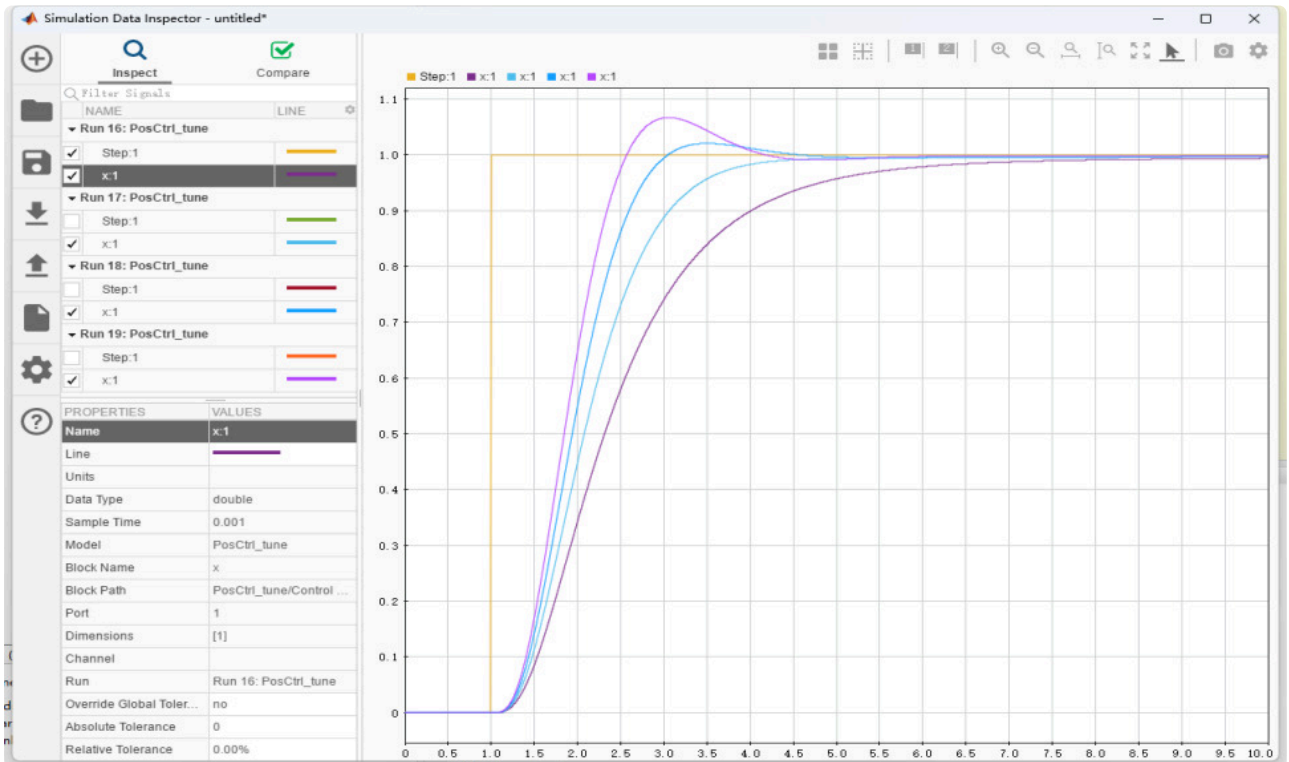
使用步骤二中得到的速度环参数，在"PosControl\_tune.slx"文件中，将"x\_desired"换为阶跃输入，并将阶跃输入和"x"信号线设置为"Enable Data Logging"，如下图所示。



如下图在 "Init\_control.m" 由小增大位置环比例项系数，即 "Kp<sub>xp</sub>" 的值，分别为 0.6、0.8、1.0 和 1.2。

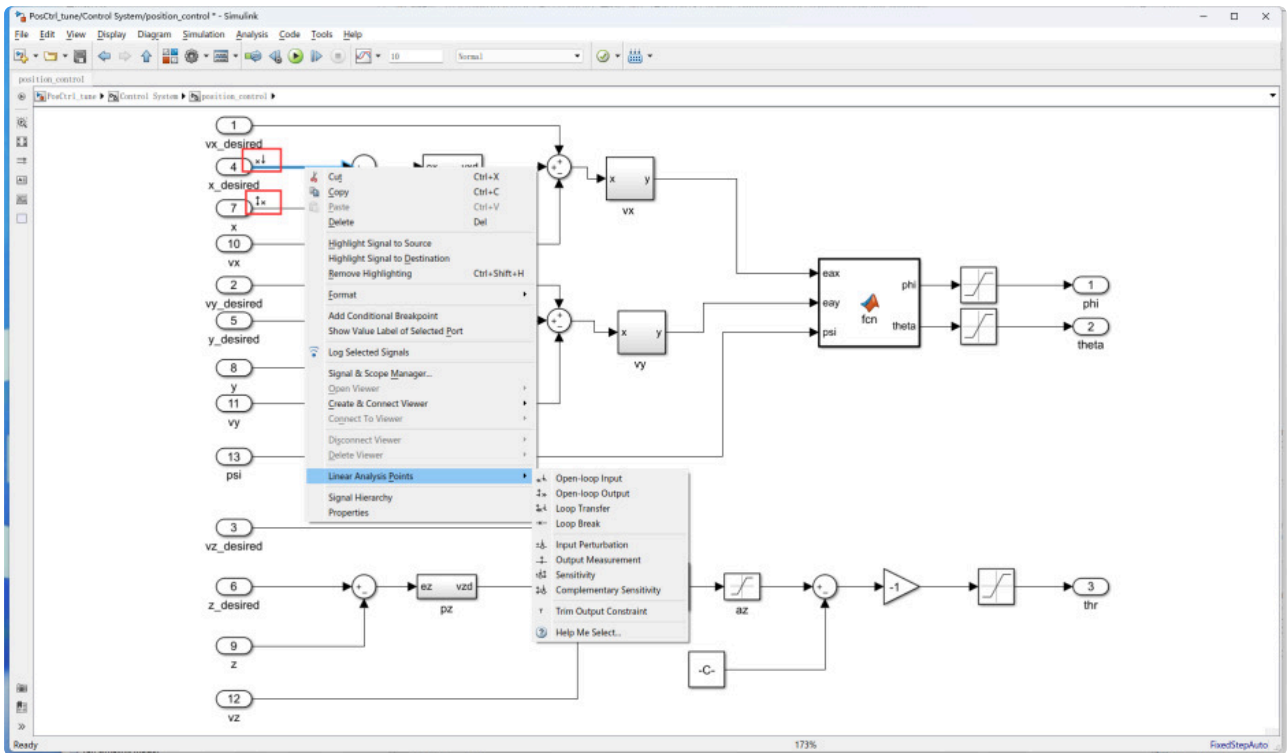


在 "Simulation Data Inspector" 观察阶跃响应。如下图

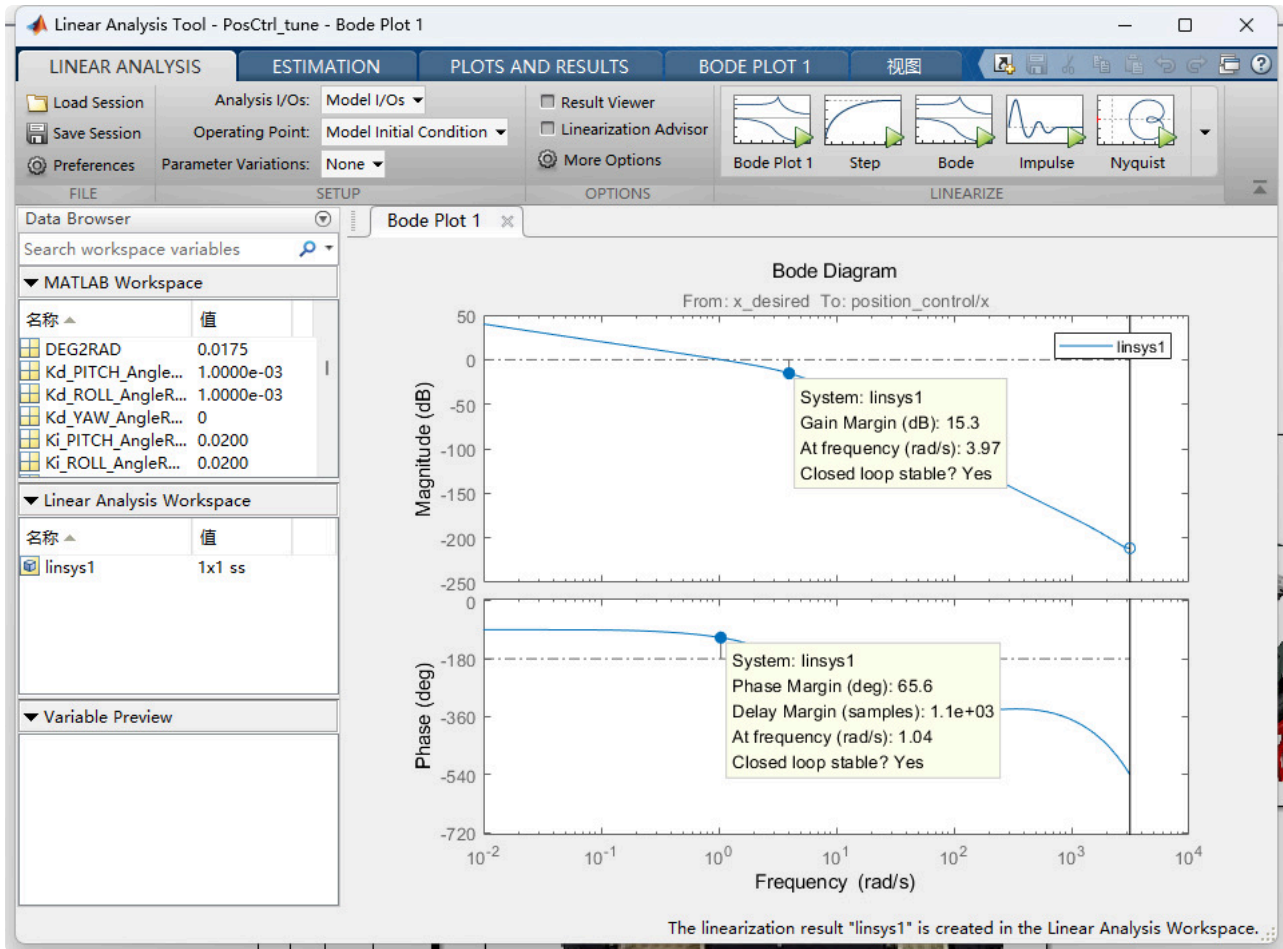


## 4.4 扫频得到Bode图

设定信号输入输出点。将"x\_desired"输入线设为"Open-loop Input"，"x"设置为"Open-loop Output"如下图所示。



得到Bode图如下图。



## 5. 关键知识点

- 多旋翼位置控制器PID控制器的工作原理
- 开环位置控制系统进行扫频以绘制Bode图，闭环位置控制系统的稳定裕度
- RflySim平台软件在环仿真

## 6. 参考资料

1. 全权,杜光勋,赵峙尧,戴训华,任锦瑞,邓恒译.多旋翼飞行器设计与控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2018.
2. 全权,戴训华,王帅.多旋翼飞行器设计与控制实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
3. [RflySim官方文档](#)

## 7. 常见问题

### Q1: 仿真运行时出现错误提示怎么办?

A1: 首先检查MATLAB和Simulink版本是否符合要求 (MATLAB 2022b及以上), 然后确认RflySim工具链安装正确。如果问题仍然存在, 请检查Simulink模型中的模块连接是否正确, 参数设置是否符合要求。

### Q2: 如何确定PID控制器的最优参数?

A2: 调节PID参数时, 先调试内环速度环, 再调试外环位置环, 先调高度再调水平位置。通过观察阶跃响应曲线, 逐步调整 $K_{vxp}$ 和 $K_{pxp}$ 参数值, 找到合适的超调量和调节时间。最优参数通常是在系统响应快速性和稳定性之间取得平衡的参数。

### Q3: Bode图分析中如何判断系统稳定性?

A3: 通过扫频得到Bode图后, 观察系统的相位裕度和幅值裕度。如果相位裕度和幅值裕度均为正值, 则系统稳定; 若裕度太小, 系统可能在某些条件下不稳定; 若裕度过大, 系统响应可能较慢。通常相位裕度在 $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$ 之间, 幅值裕度在6dB以上为宜。

---

1. <https://rflysim.com/> ↩

2. 推荐配置请见: <https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf> ↩