

1、实验名称及目的

基础实验：复现四旋翼 Simulink 仿真，分析控制作用在 $o_b x_b$ 轴和 $o_b y_b$ 轴的解耦；对系统进行扫频以绘制 bode 图，分析闭环位置控制系统稳定裕度；完成硬件在环仿真。

2、实验效果

以多旋翼的位置模型为依据，建立了常见的 PID 控制方法，并在 MATLAB/Simulink 中完成位置控制器的设计，并在 RflySim3D 中显示仿真效果。使用 Simulink 中的 PSP 工具箱生成的代码并将其下载到 Pixhawk 自驾仪中进行硬件在环仿真实验。

3、文件目录

文件夹/文件名称	说明
HIL	硬件在环仿真
Sim	Simulink 仿真——通道解耦
tune	Simulink 仿真——稳定裕度
Init_control.m	HIL、Sim 和 tune 的 matlab 文件
PosControl_HIL.slx	硬件在环 Simulink 文件
PosControl_Sim.slx	软件在环 Simulink 文件
PosCtrl_tune.slx	稳定裕度 Simulink 文件

4、运行环境

序号	软件要求	硬件要求	
		名称	数量
1	Windows 10 及以上版本	笔记本/台式电脑 ^①	1
2	RflySim 平台免费版	卓翼 H7 飞控 ^②	1
3	MATLAB 2017B 及以上	遥控器 ^③	1
		遥控器接收器	1
		数据线、杜邦线等	若干

①：推荐配置请见：<https://doc.rflysim.com/1.1InstallMethod.html>

②：须保证平台安装时的编译命令为：droneyee_zyfc-h7_default，固件版本为：1.12.1。其他配套飞控请见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

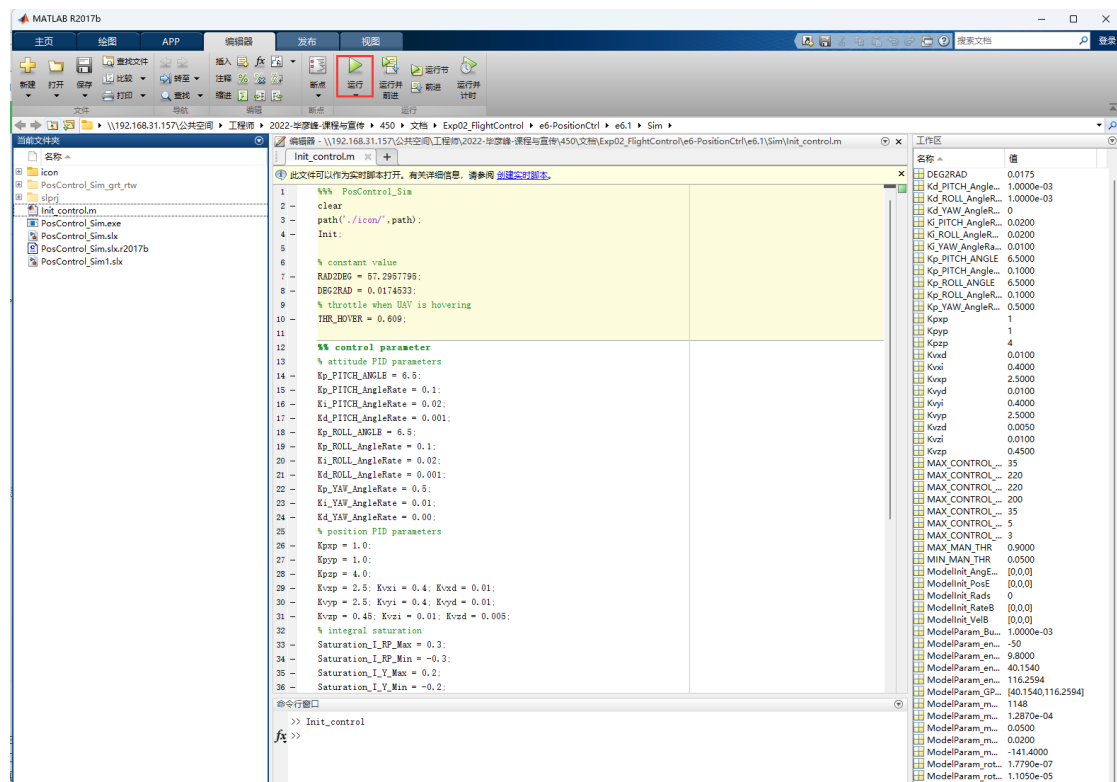
③：本实验演示所使用的遥控器为：福斯 FS-i6S、配套接收器为：FS-IA6B。遥控器相关配置见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

5、实验步骤

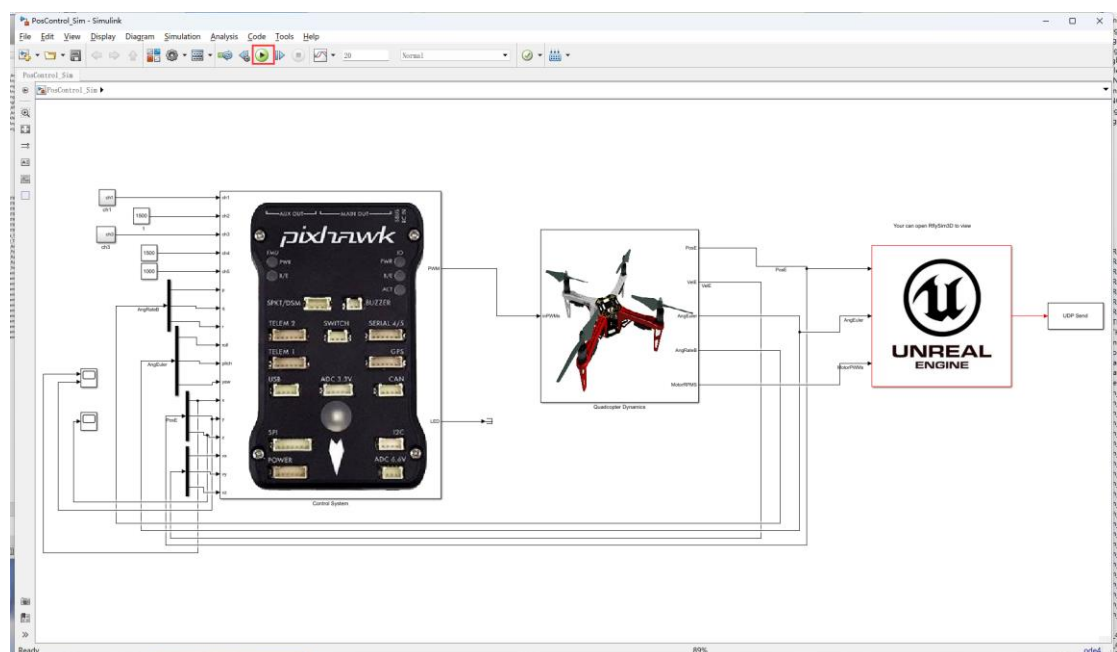
Step 1:

Simulink 仿真——通道解耦

打开” e6-PositionCtrl\PID-Config\6.1\Sim\Init_control.m 文件。如图，点击运行，进行参数初始化。



此时，PosControl_Sim.slx 将会自动打开，如下图。

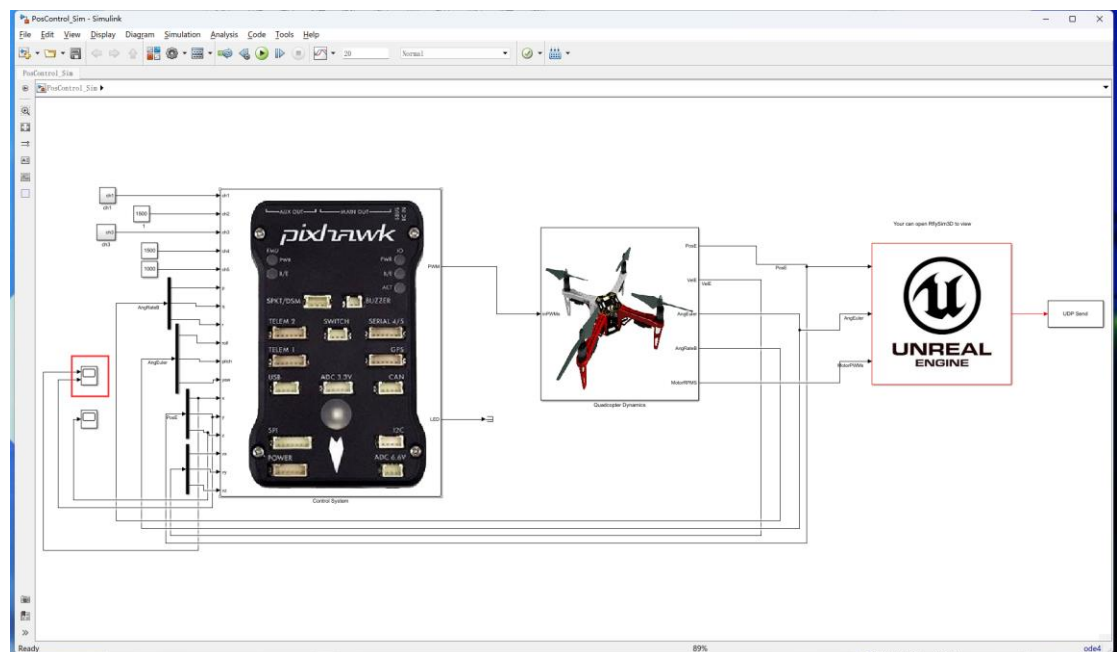


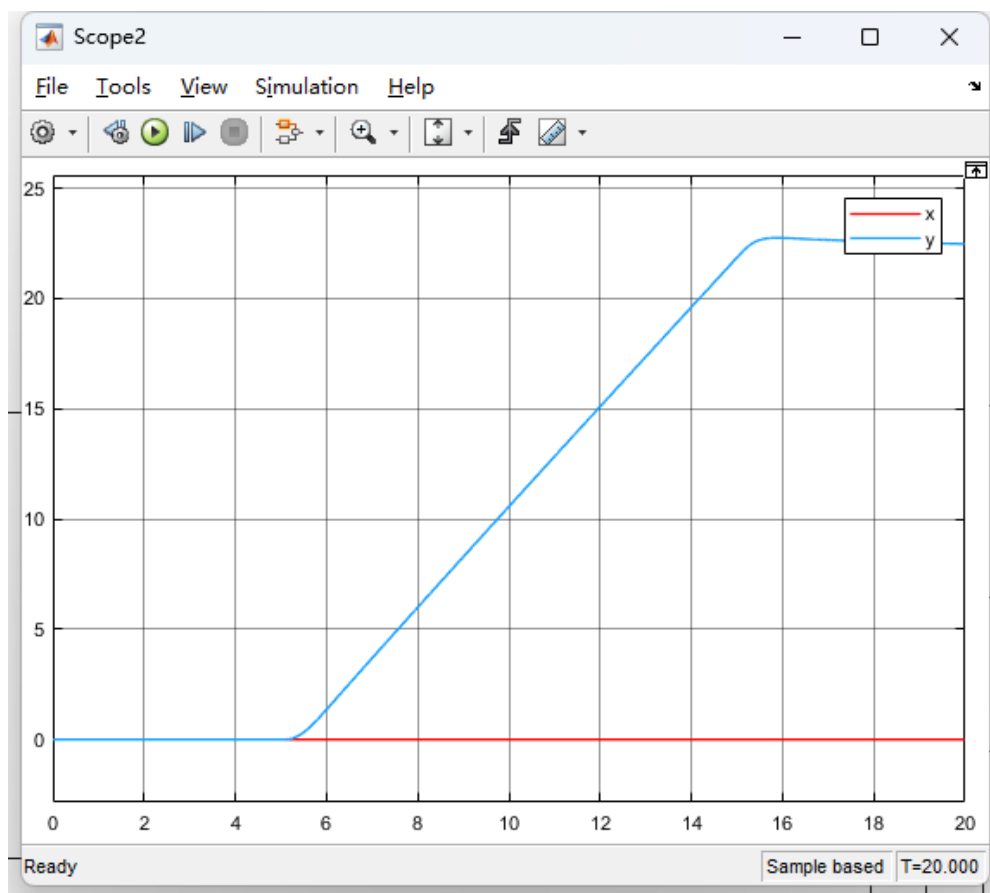
打开 Rflysim3D.exe，然后点击 Simulink “Run” 按钮开始仿真。此时可以在 UE5 中观察多旋翼的状态，如下图可以看到多旋翼先上升到空中，然后向 $OeOy$ 轴方向飞行，最后悬停。



通道解耦分析:

在 PosControl_Sim.slx 文件中双击 Scope2 可以观测四旋翼的位置信息，如下图所示。



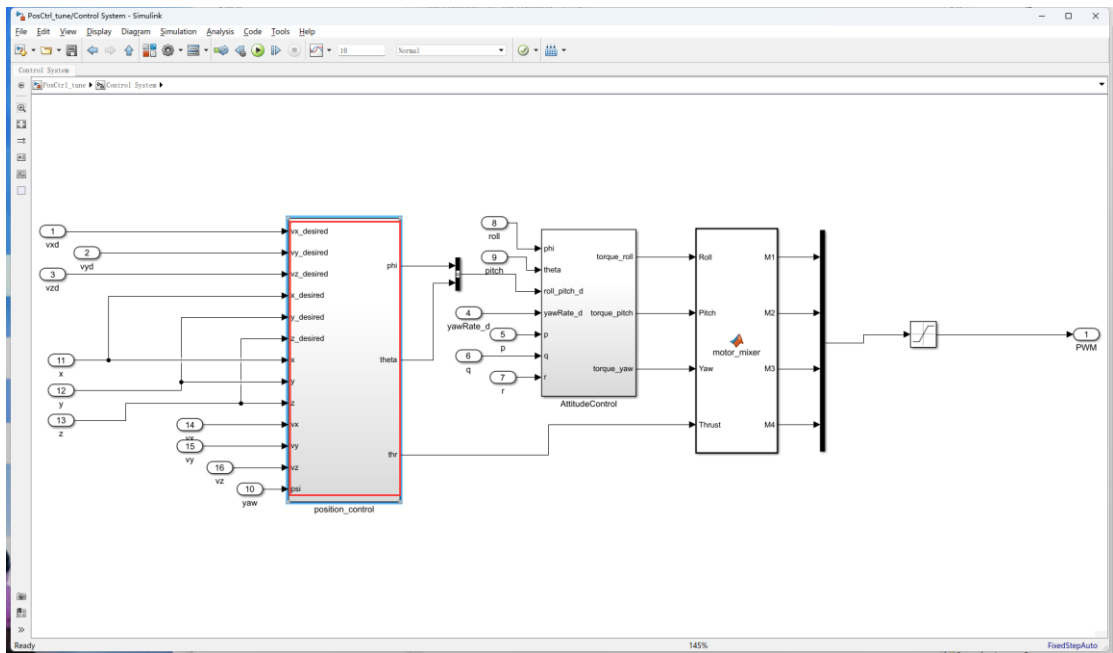
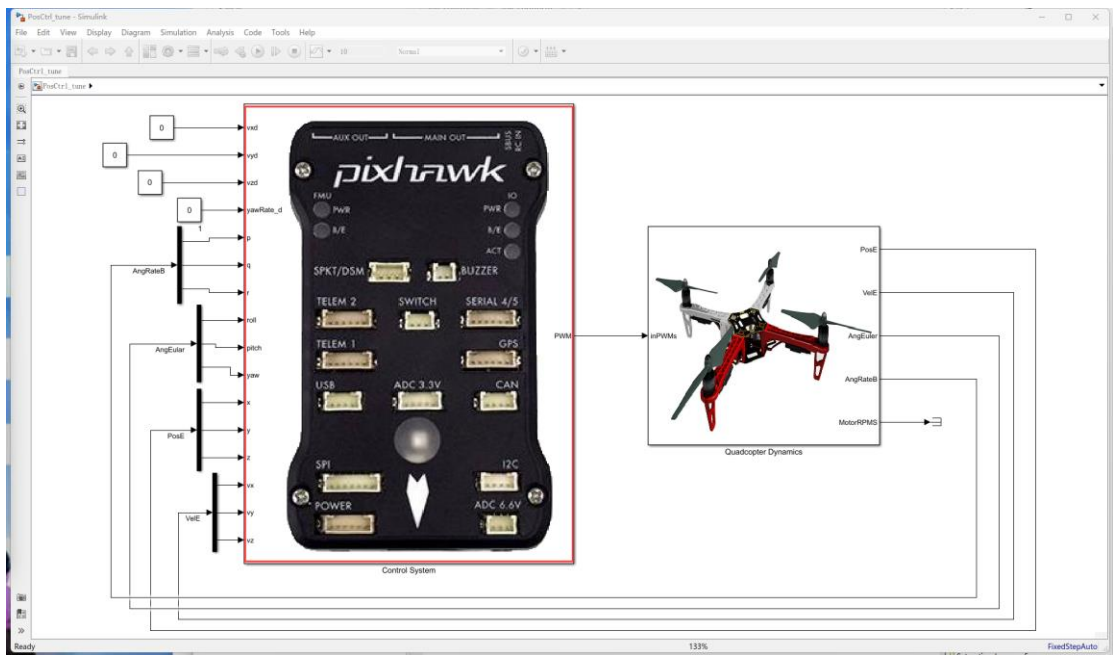


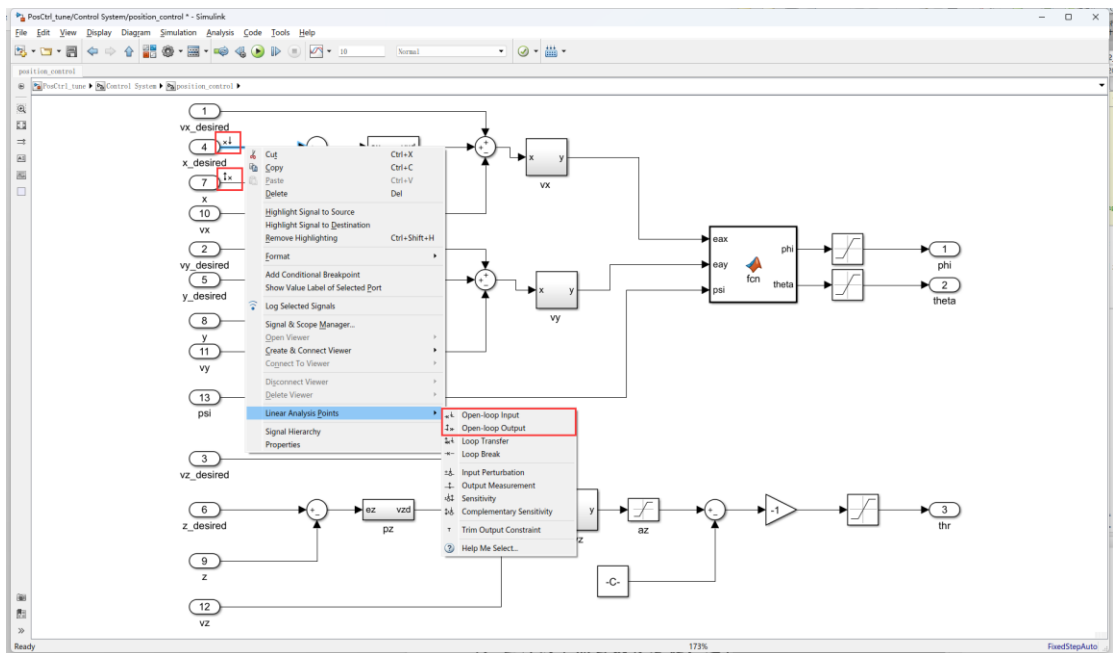
Step 2:

Simulink 仿真——稳定裕度

打开文件“e6-PositionCtrl\PID-Config\6.1\tune\Init_control.m”文件初始化参数,” PosC
ontrol_tune.slx”将会自动打开。

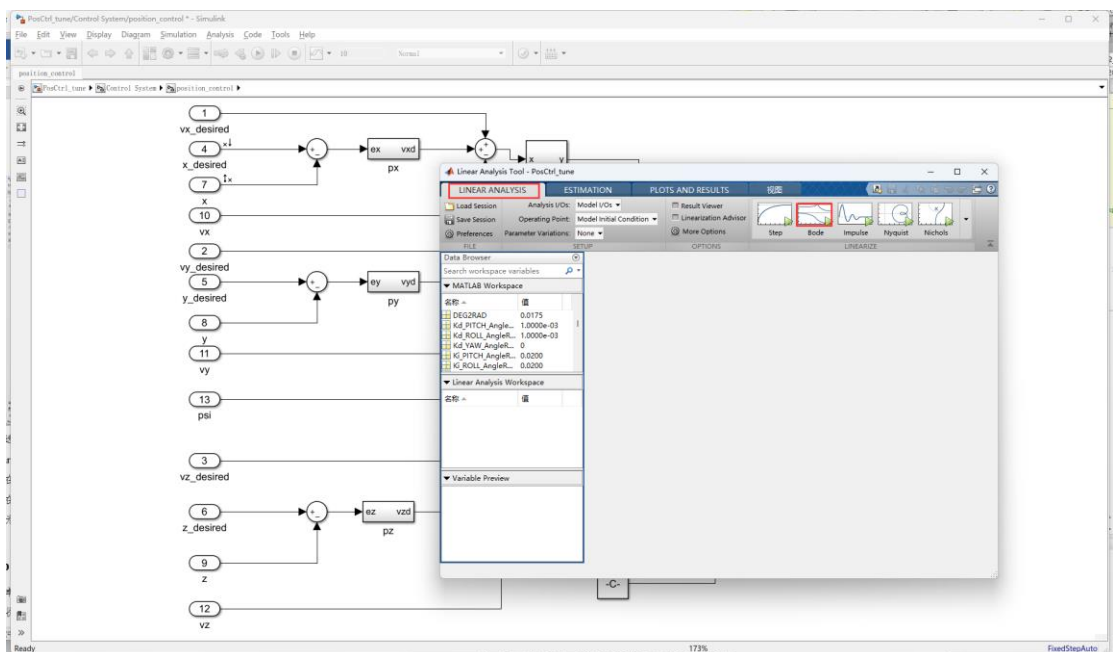
如下图，双击打开上述文件的” Control System”，进入子模块，双击子模块中的” posi
tion_control”模块，进入目标模块，将期望 x 通道输入线设为” Open-loop Input”，x 通道的
实际输出设置为” Open-loop Output”。



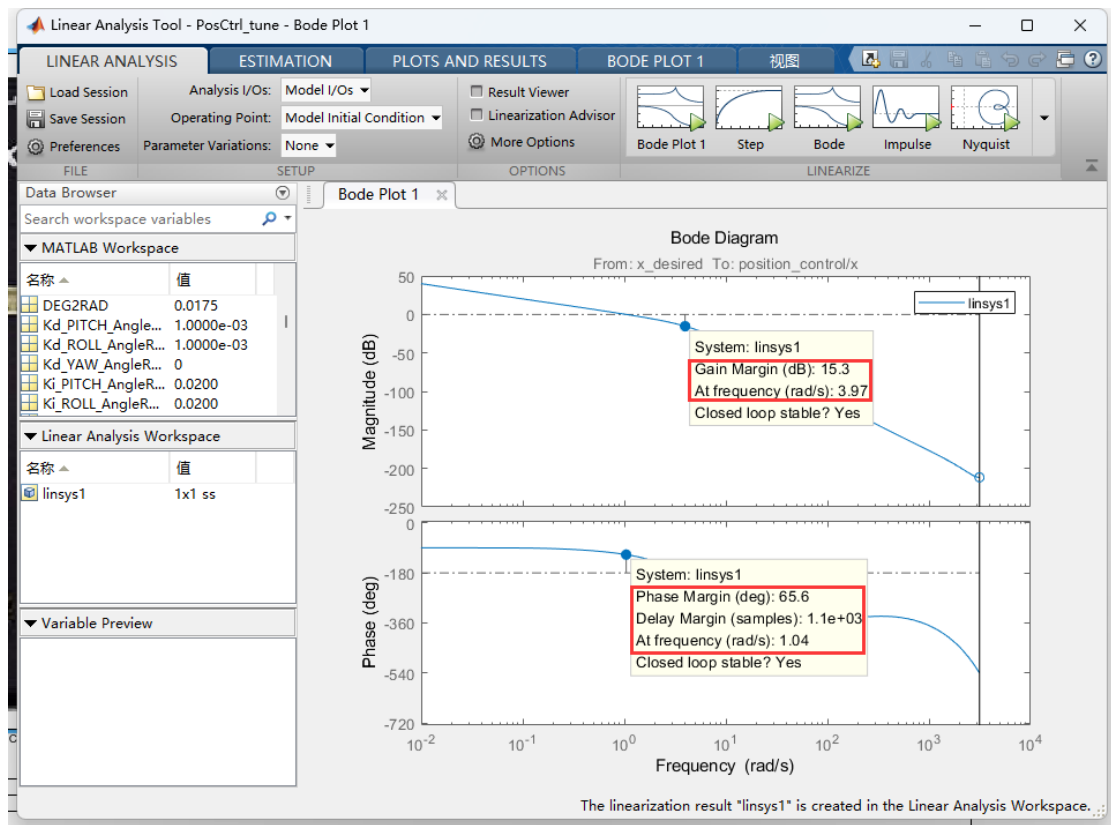


选择 Simulink 上面菜单中的” Analysis”，在下拉菜单中选择” Control Design”，选择” Linear Analysis”。

在弹出的窗口选择” LINEAR ANALYSIS”，点击 Bode 得到 Bode 图。



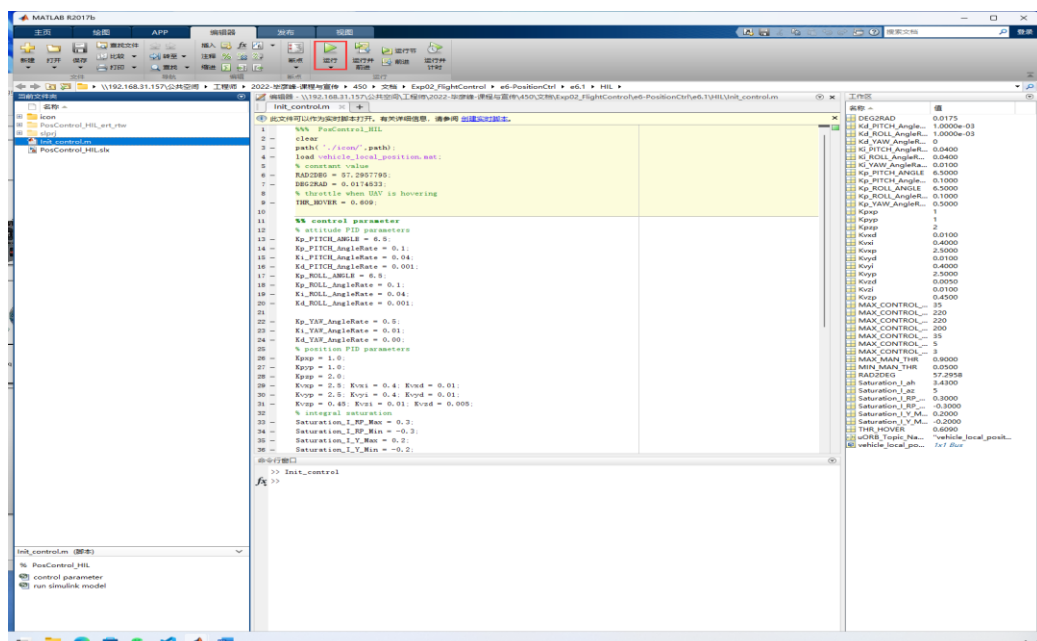
在曲线中点击鼠标右键，选择” Characteristics” - ”All Stability Margins”，可得到幅值裕度为 15.3dB，此时的频率为 3.97rad/s；相位裕度为 65.5，频率为 1.04 rad/s。

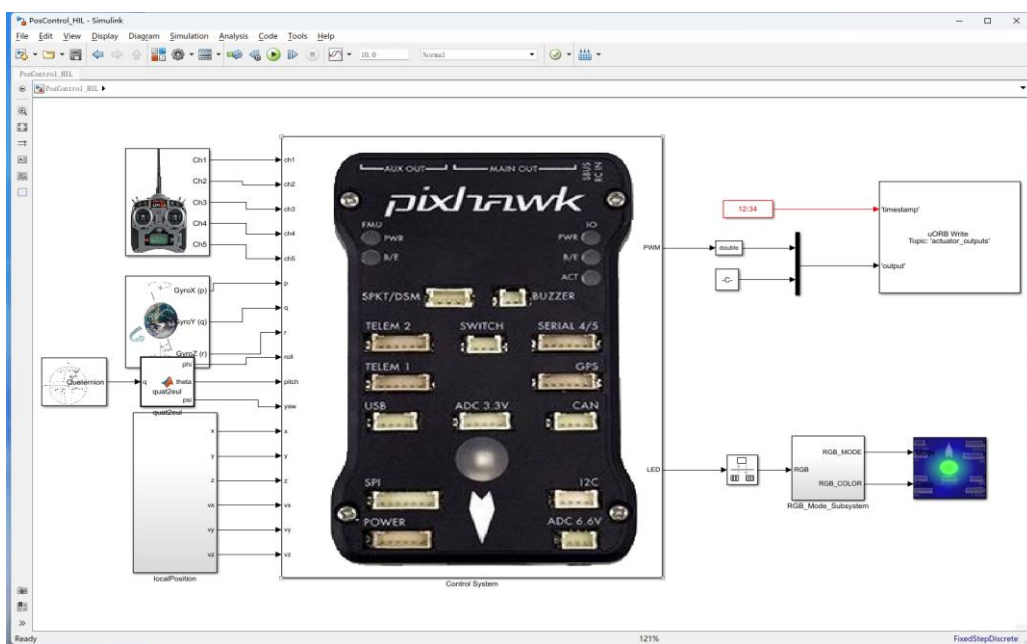


Step 3:

硬件在环仿真:

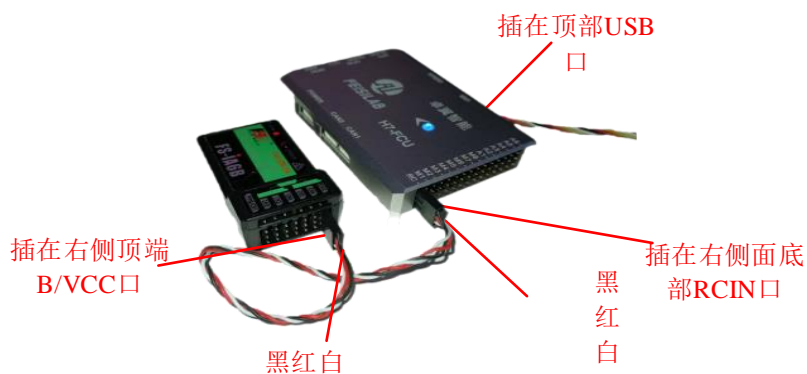
运行文件” e6-PositionCtrl\PID-Config\e6.1\HIL\Init_control.m” 进行参数初始化,” PosControl_HIL.slx” 将会自动打开, 如下图所示。





硬件连接：

将遥控器与遥控器接收器对码完成并在卓翼 H7 飞控中插入 SD 卡后，如图将遥控器接收机和卓翼 H7 飞控连接好。

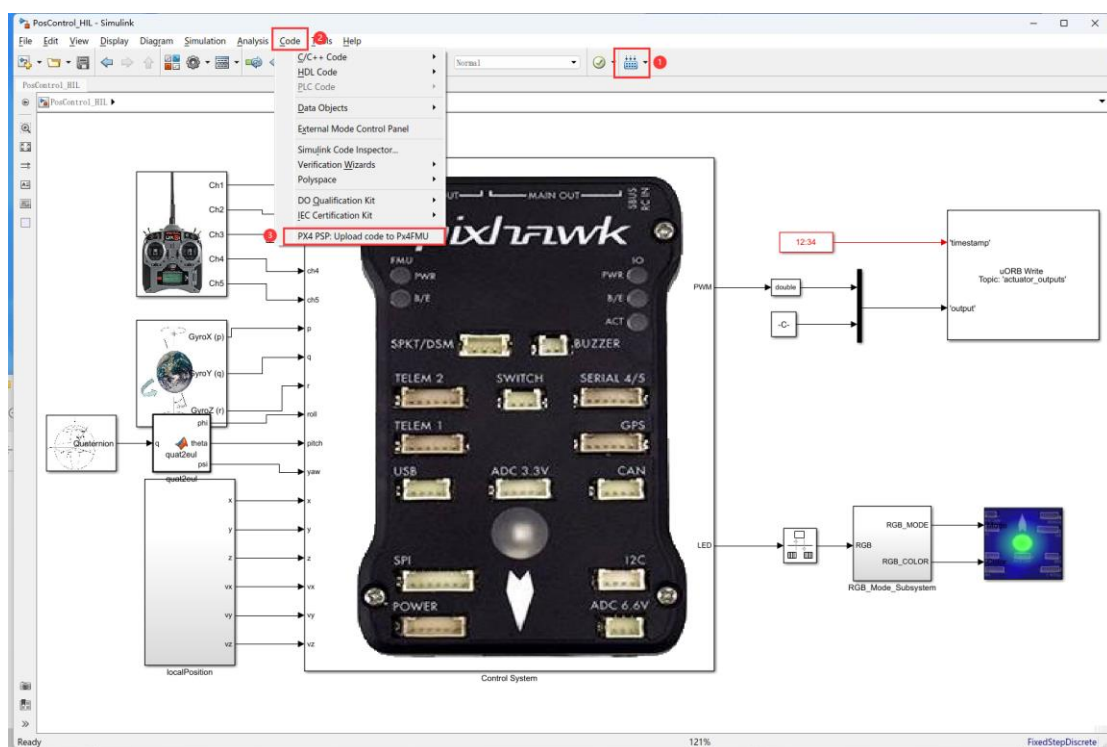


注意：电源线接线顺序从上到下依次为黑红白

代码编译及下载：

将硬件在环仿真模型编译并下载文件到 Pixhawk 自驾仪中。这样就可以在 Pixhawk 自驾仪中运行我们自己设计的位置控制程序。

将卓翼 H7 飞控连接好后，通过数据线连接到 PC。然后进入” PosControl_HIL.slx” 界面，进行如下图操作。



烧录成功显示如下图所示：

```

C:\Windows\SYSTEM32\cmd.exe
Loaded firmware for board id: 1010,0 size: 1799688 bytes (98.08%), waiting for the bootloader...
Attempting reboot on COM3 with baudrate=57600...
If the board does not respond, unplug and re-plug the USB connector.

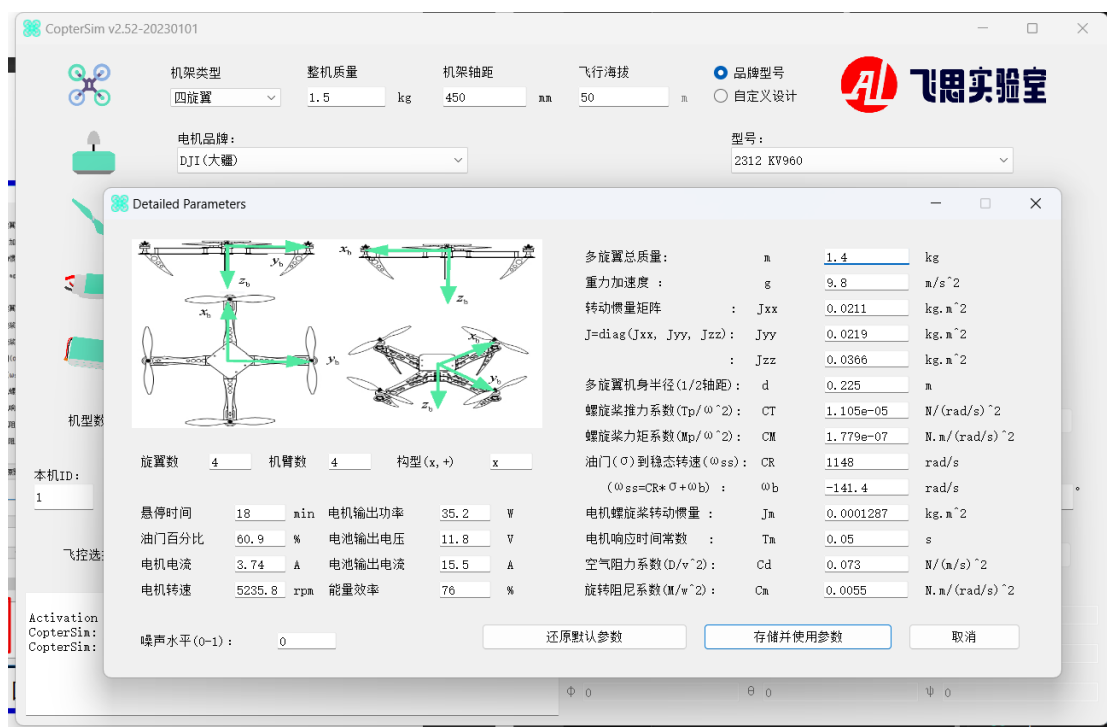
Found board id: 1010,0 bootloader version: 5 on COM3
Psn: 0044004b3232511537343834
chip: 20036450
family: b' STM32H7[4|5]x'
revision: b'V'
flash: 1966080 bytes
Windowed mode: True

Erase : [=====] 100.0%
Program: [=====] 100.0%
Verify : [=====] 100.0%
Rebooting. Elapsed Time 238.322

C:\Users\admin\Desktop\ae6.1\HIL>
  
```

模型仿真器软件配置：

双击 CopterSim 桌面快捷方式即可打开 CopterSim。读者可以选择不同的动力系统模型，步骤如下：单击“模型 参数”自定义参数，然后单击“存储并使用参数”存储并使用参数。软件会自动匹配串口号，单击“开始仿真”按钮就可以进入硬件在环仿真模式。此时可以看到如下图所示的界面左下角收到自驾仪返回的相关消息。



3D 仿真：

打开 Rflysim3D.exe，使用遥控器控制多旋翼进行硬件在环仿真。

6、参考文献

- [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],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],电子工业出版社, 2020.