

# 1. 实验名称及目的

## 1.1. 实验名称

姿态控制器设计

## 1.2. 实验目的

1. 建立姿态控制通道的传递函数模型，设计校正控制器,使得姿态角速度环稳态误差，相位裕度 $>65^\circ$ ，截至频率 $>10\text{rad/s}$ 。姿态角度环截至频率 $>5\text{rad/s}$ ,相位裕度 $>60^\circ$
2. 使用自己设计的控制器进行硬件在环仿真实验；

## 1.3. 关键知识点

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

# 2. 实验效果

使用自动控制原理中的系统校正方法对多旋翼系统进行校正，设计了超前和滞后超前环节 分别对位置环和速度环实施控制，并达到设计指标。完成设计后，连接硬件进行在环仿真验证了设计的效果。

# 3. 文件目录

文件夹/文件名称		说明	
HIT	icon	FlightGear.png	FlightGear 硬件图片。
		pixhawk.png	Pixhawk 硬件图片。
		F450.png	F450 飞机模型图片。
	AttitudeControl_HIL.slx	Simulink 仿真模型文件。	
	Init_control.m	控制器初始化参数文件。	
	importPX4log.m		
Sim	icon	UE_Logo.jpg	UE 软件的 Logo
		Init.m	模型初始化参数文件。
		FlightGear.png	FlightGear 硬件图片。
		pixhawk.png	Pixhawk 硬件图片。
		SupportedVehicleTypes.pdf	机架类型修改说明文件。
		F450.png	F450 飞机模型图片。
	AttitudeControl_Sim.slx	Simulink 仿真模型文件。	
	Init_control.m	控制器初始化参数文件。	
Ture	icon	SupportedVehicleTypes.pdf	Pixhawk 硬件图片。

	Init.m	模型初始化参数文件。
	F450.png	F450 飞机模型图片。
	AttitudeControl_tune.slx	Simulink 仿真模型文件。
	Init_control.m	控制器初始化参数文件。

## 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 <sup>①</sup>	1
2	RflySim 工具链	Pixhawk 6X 飞控 <sup>②</sup>	1
3	MATLAB 2022b 及以上	遥控器 <sup>③</sup>	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>

②：须保证平台安装时的编译命令为：`px4_fmuv6_default`，固件版本为：1.12.3。其他配套飞控请见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

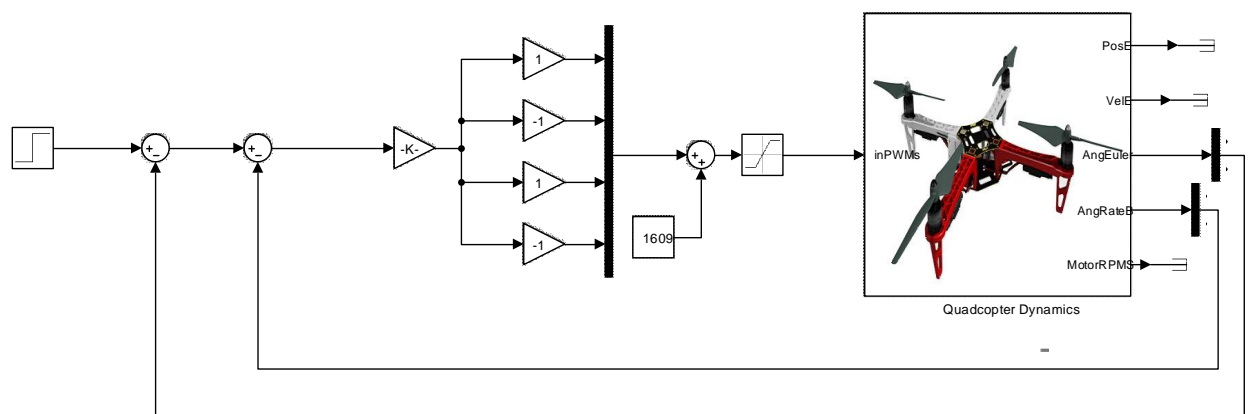
③：本实验演示所使用的遥控器为：天地飞 WFLY-ET10、配套接收器为：WFLY-RF20 9S。遥控器相关配置见：<https://rflysim.com/doc/zh/B/3.1ET10.html>

## 5. 实验步骤

### 5.1. 姿态控制器-设计实验

对整体结构进行简化：

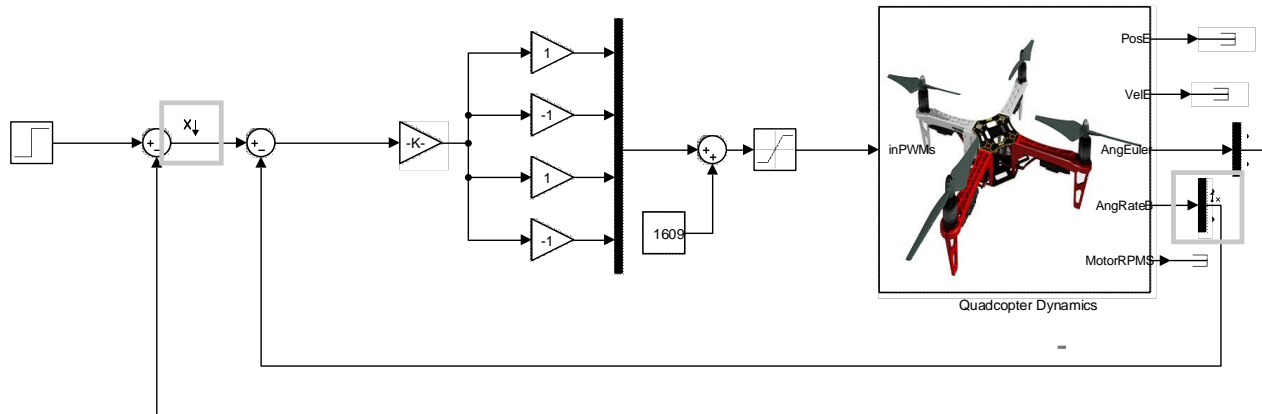
首先只对一个通道进行分析，这里选择俯仰角通道，简化后的模型如下图所示（运行"`e5-AttitudeCtrl\PID-Config\5.3\tune\Init_control.m`"打开）。



AttitudeControl\_tune.slx

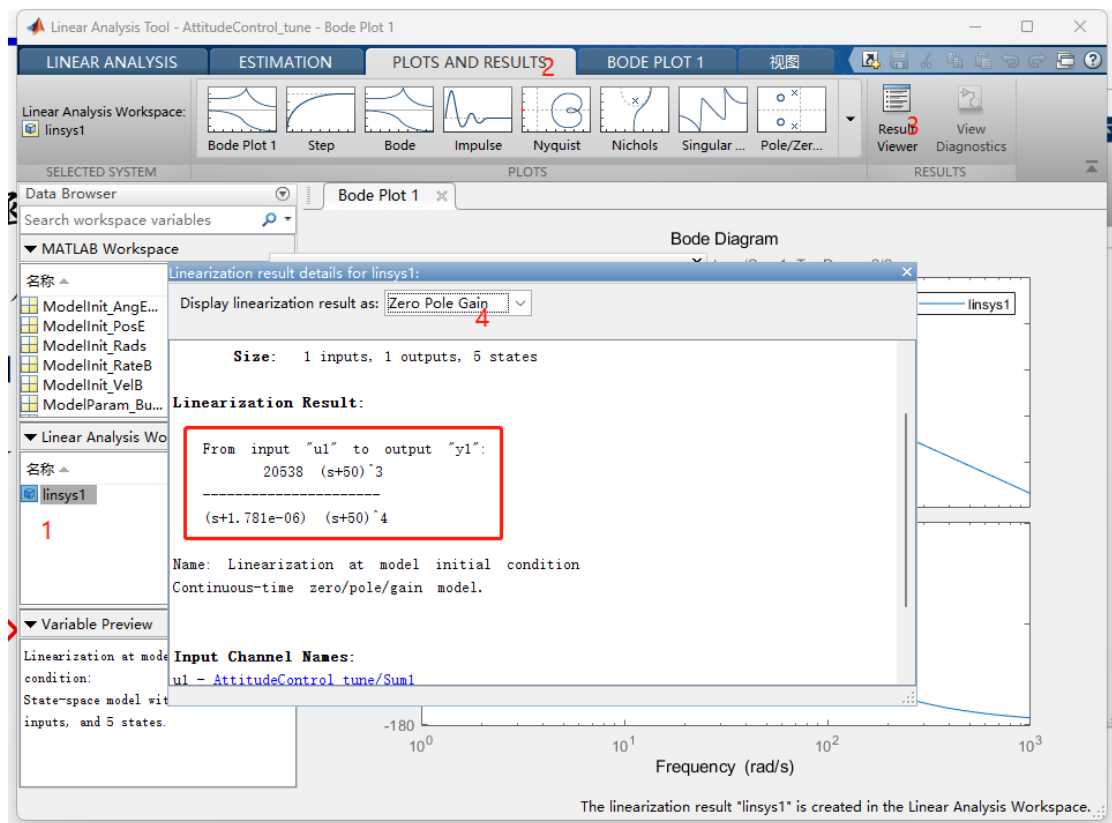
角速度环分析：

输入为期望角速度，输出为实际角速度。设置输入输出点如图所示。

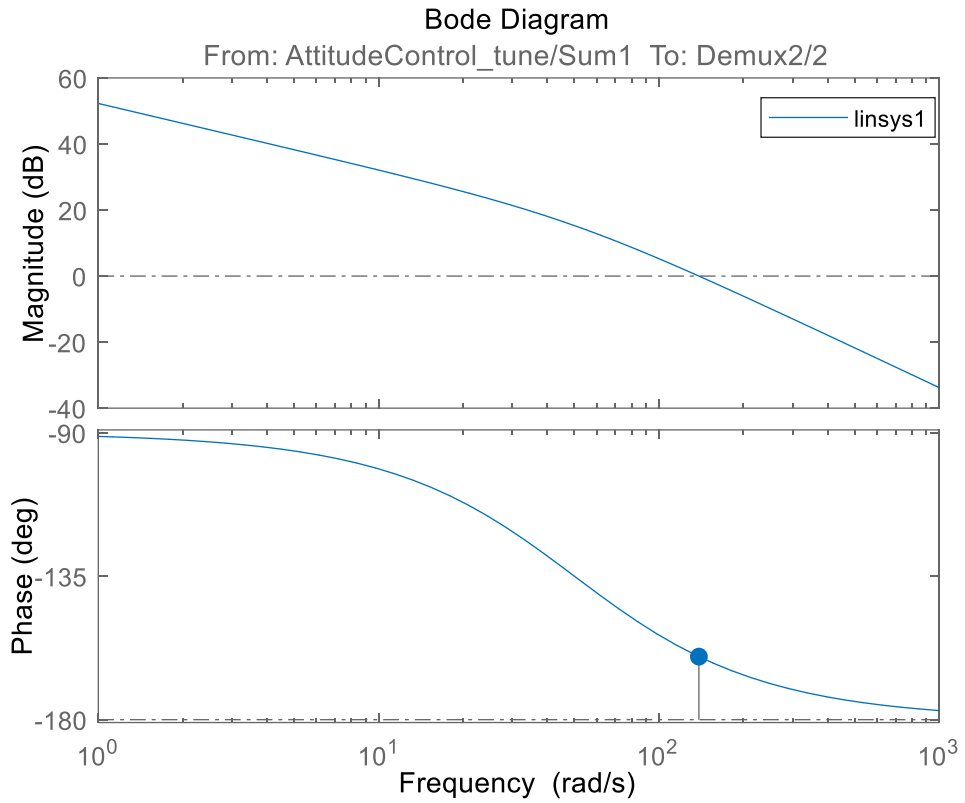


得到传递函数模型：

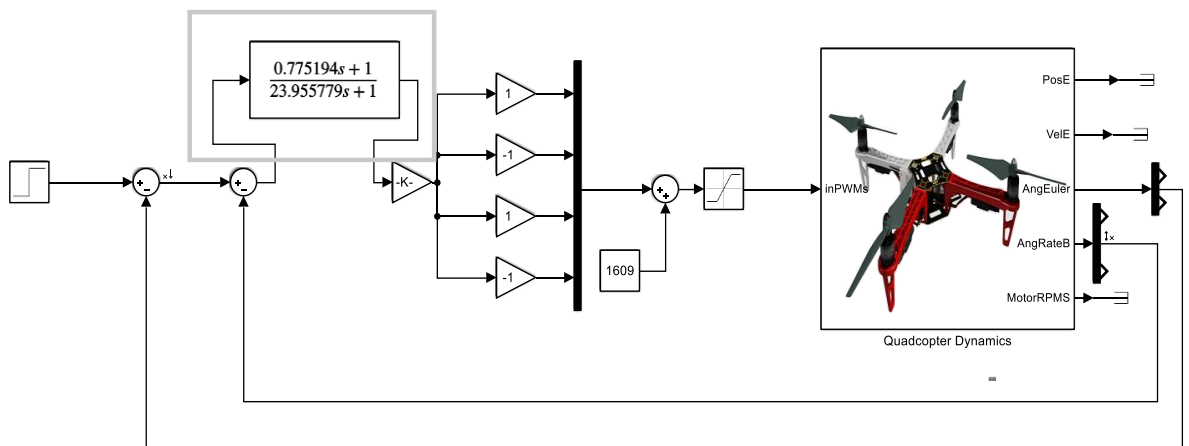
生成 Bode 图后，在左侧 Linear Analysis Workspace 中会出现 linsys1 变量，按图示操作即可得到传递函数模型。



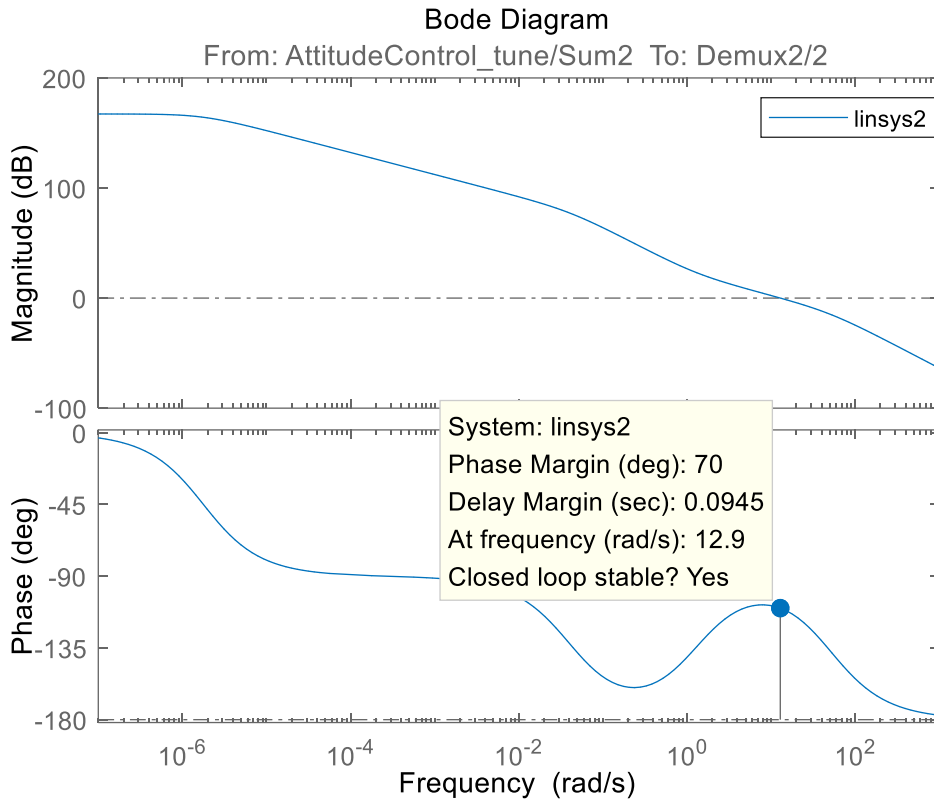
正前 Bode 图



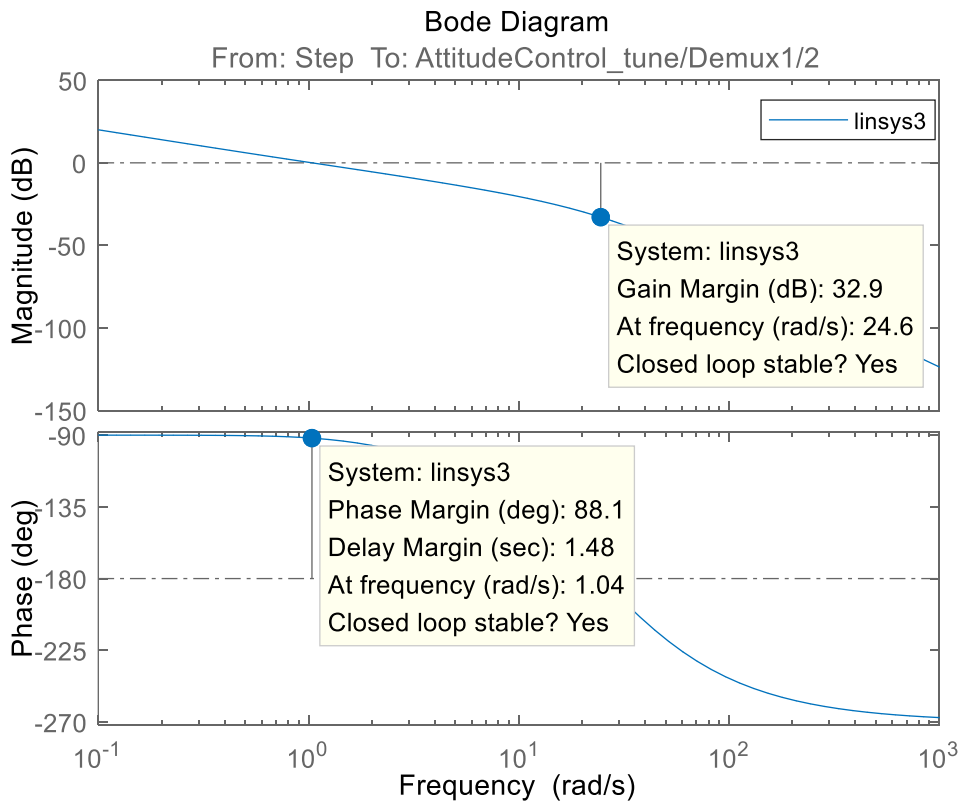
将校正器加入到角速度控制环。



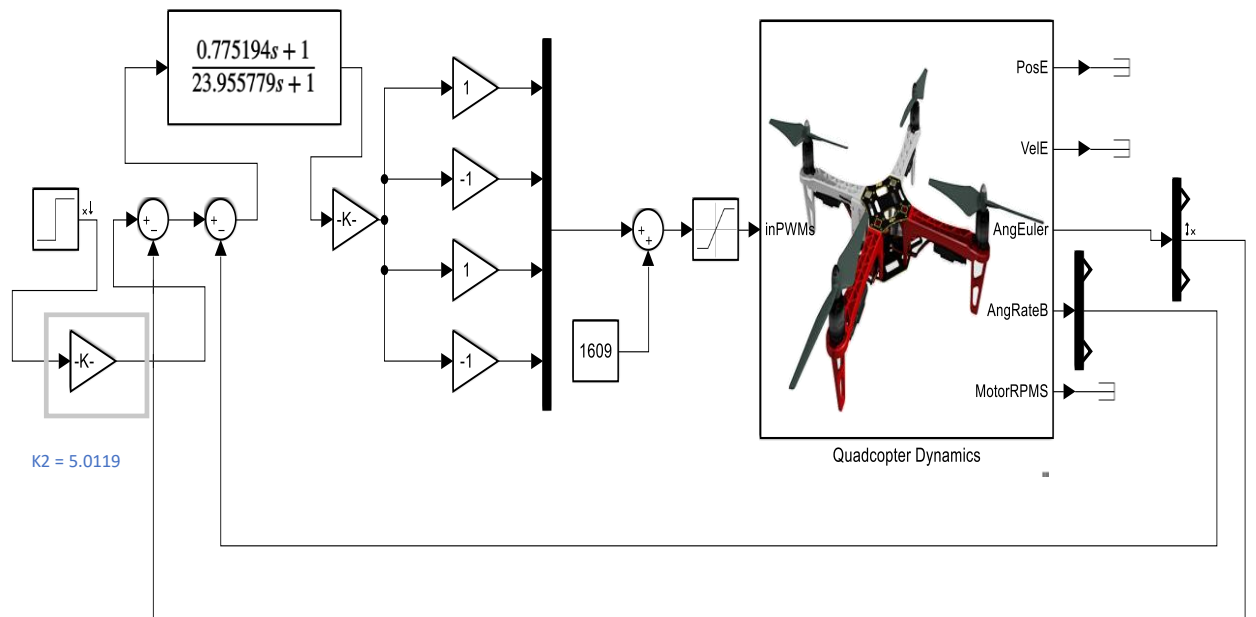
加入校正环节后的 Bode 图如图所示，相位裕度为  $70^\circ$ 。



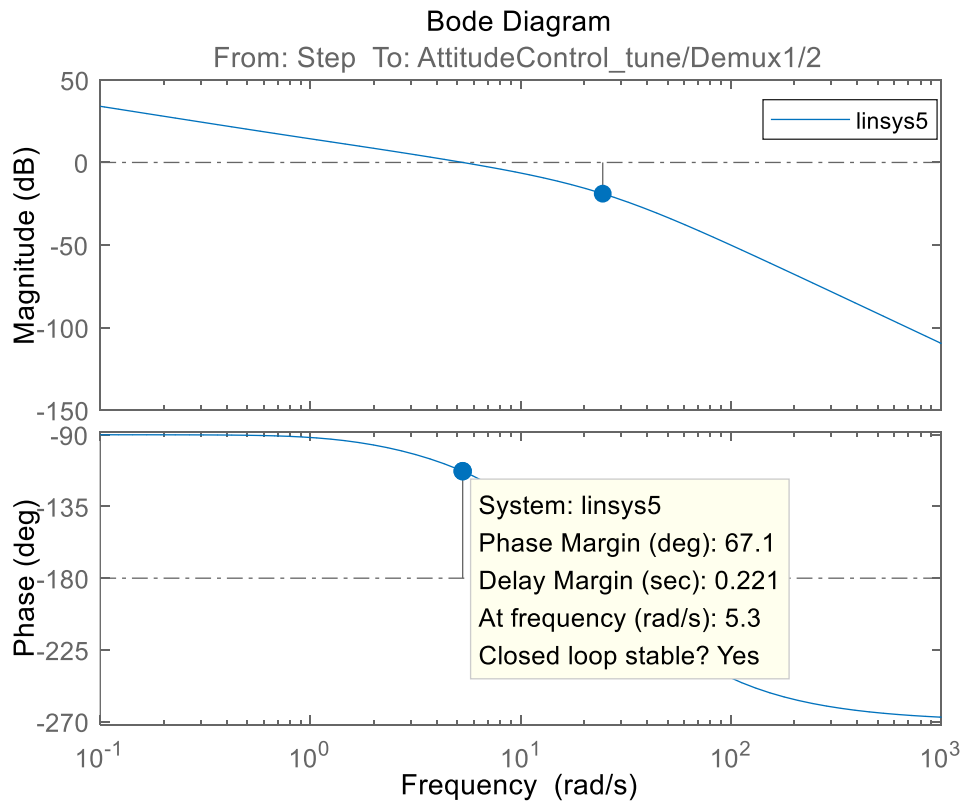
先得到角度环的开环校正前 Bode 图



设计校正器对其进行校正。输入输出点设置如图所示。



加入校正环节后的 Bode 图如图，截止频率为 5.3rad/s，相位裕度为 67.1。

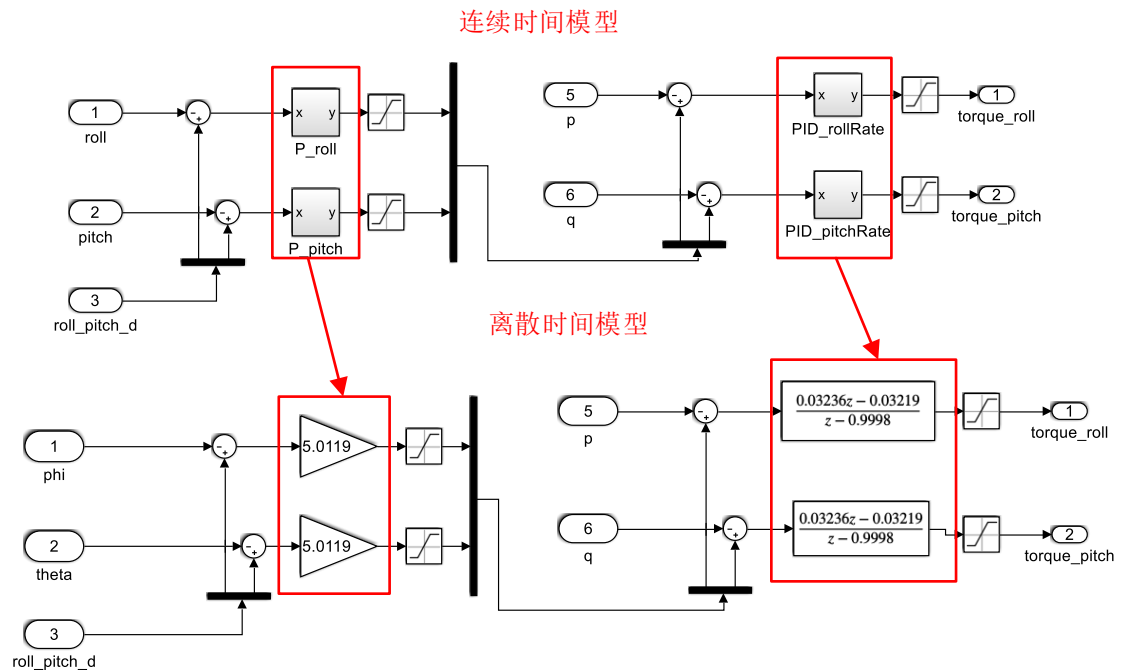


使用 `c2d` 函数将  $s$  域的传递函数（按下述提示输入，这里输入的是 `step4` 设计的校正器）变为  $z$  域

```
H = tf([num], [den])
Hd = c2d(H, Ts, 'foh')
```

其中“num”为传递函数分子系数向量，“den”为传递函数分母系数向量，“Ts”为仿真步长，本例 中为 0.004s。

将设计的时域连续的校正器换为时域离散的校正器（在“e5-AttitudeCtrl\PID-Config\5.3 \HIL\AttitudeControl\_HIL.slx”中找到 AttitudeControl\_HIL/Control System/AttitudeControl 子模块）



将“e5-AttitudeCtrl\PID-Config\5.3\HIL\AttitudeControl\_HIL.slx”模型编译完成后烧入飞控，进行硬件在环仿真：观察发现，随着被拨动摇杆的放开，多旋翼能很快的返回到之前平稳的状态，并无明显振荡。

## 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],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.
- [3]. 第 09 讲\_实验五\_姿态控制器设计实验.pptx.
- [4]. 第 11 讲\_底层飞行控制 V2.pptx.

## 7. 常见问题

Q1: \*\*\*

A1: \*\*\*