

# 1、实验名称及目的

设计实验：(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°，截至频率>10rad/s。姿态角度环截至频率>5rad/s,相位裕度>60°；

(2)使用自己设计的控制器进行硬件在环仿真实验；

# 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
HIL	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。
tune	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 平台免费版	卓翼 H7 飞控 <sup>②</sup>	1
3	MATLAB 2017B 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/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>

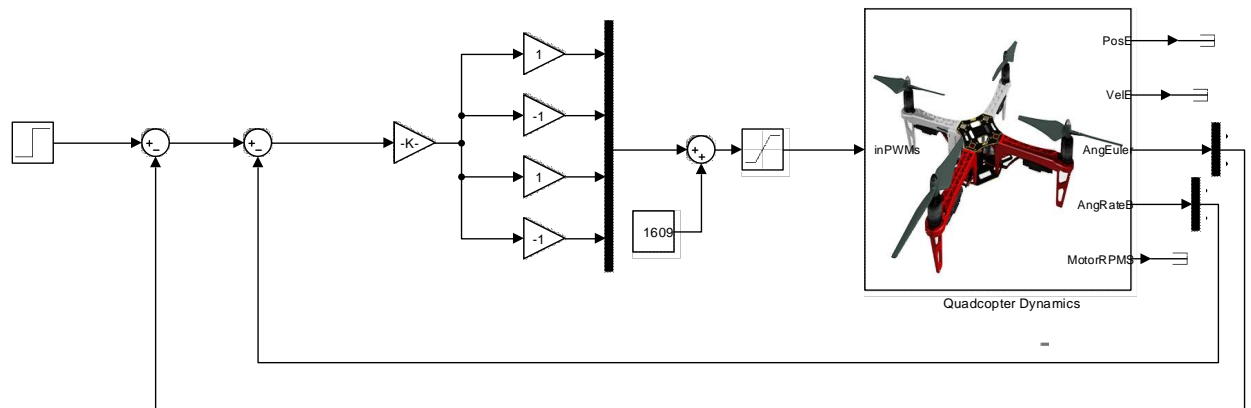
③：本实验演示所使用的遥控器为：福斯 FS-i6S、配套接收器为：FS-iA6B。遥控器相关配置见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

## 5、实验步骤

### Step 1:

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）。

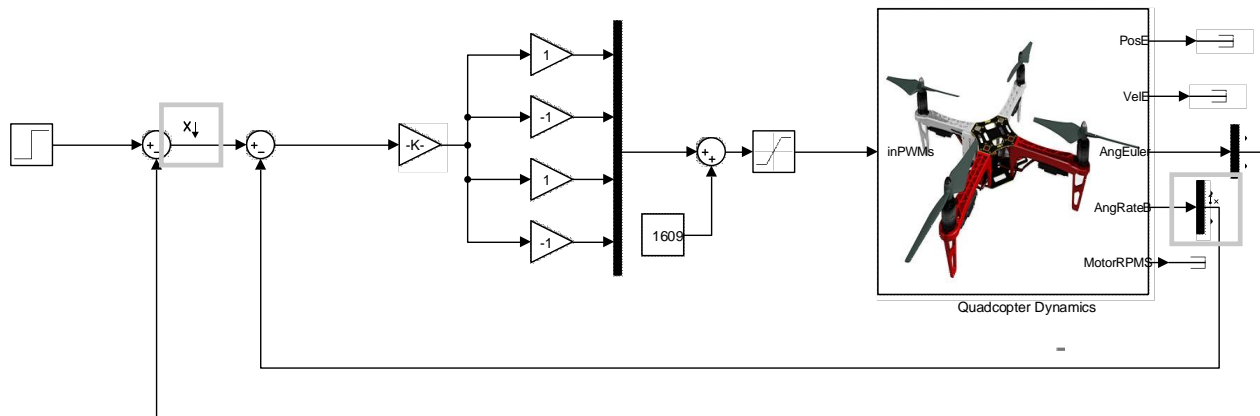


AttitudeControl\_tune.slx

### Step 2:

角速度环分析：

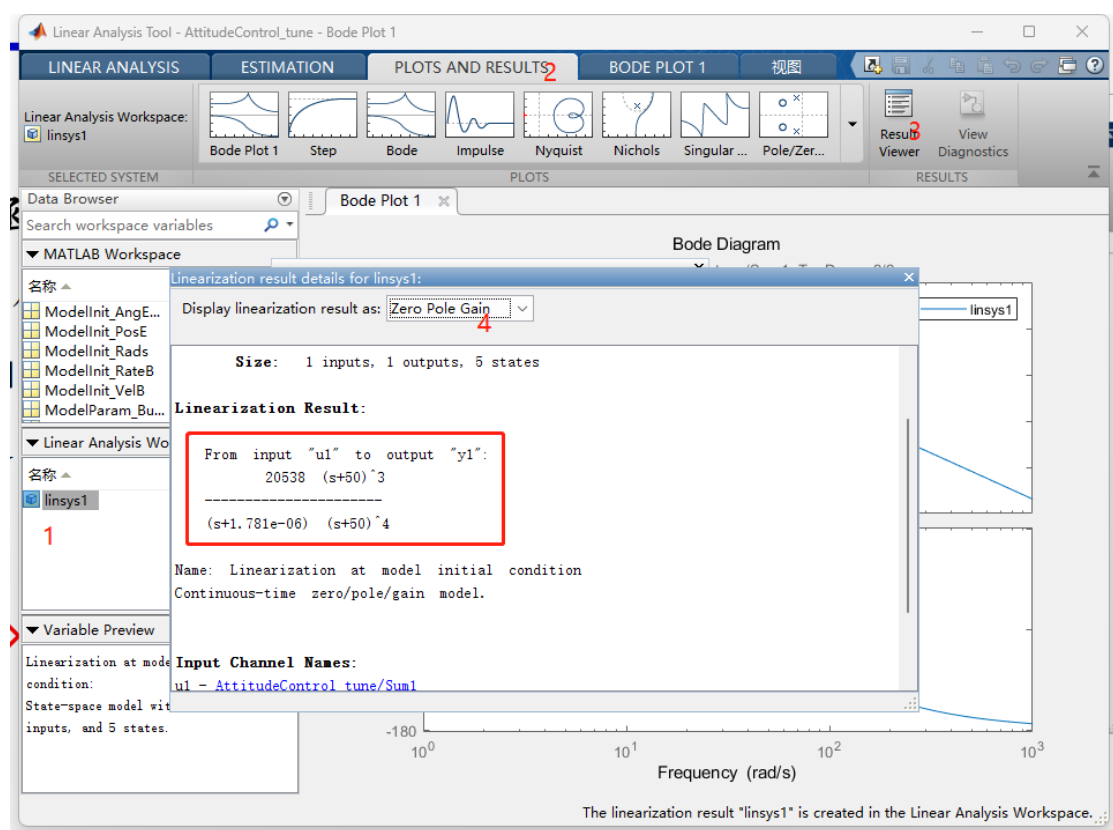
输入为期望角速度，输出为实际角速度。设置输入输出点如图所示。



### Step 3:

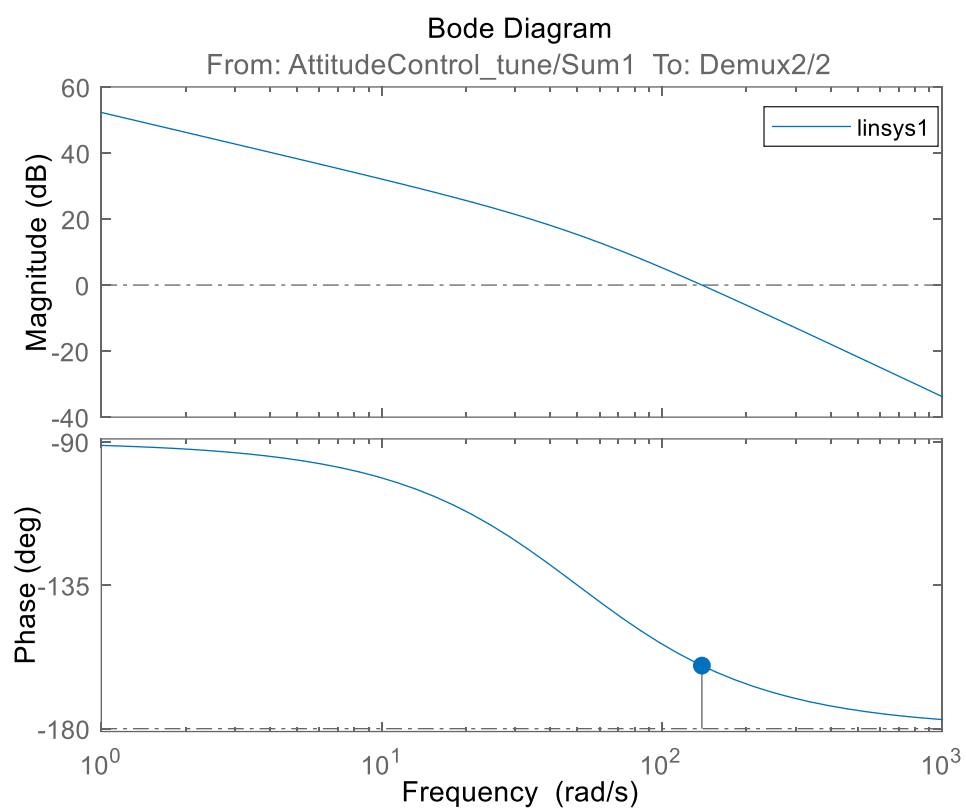
得到传递函数模型:

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。

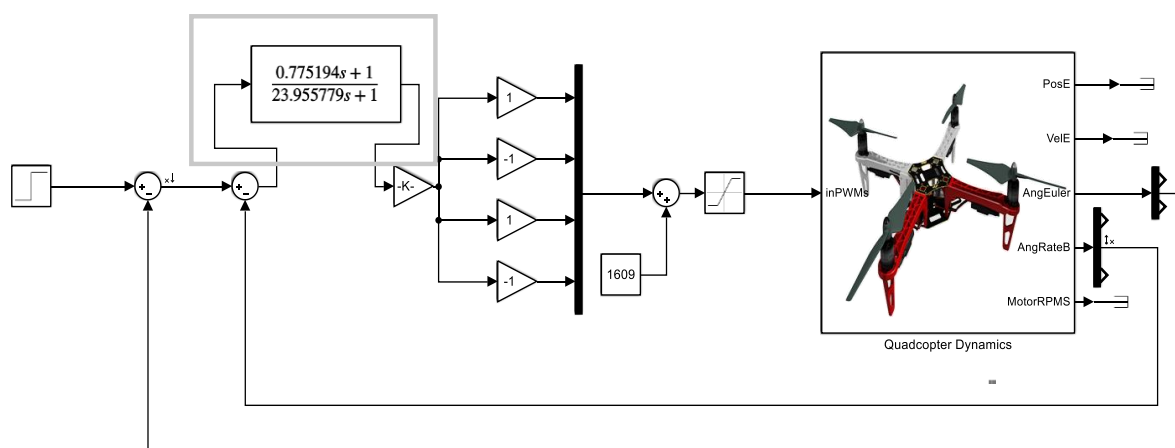


### Step 4:

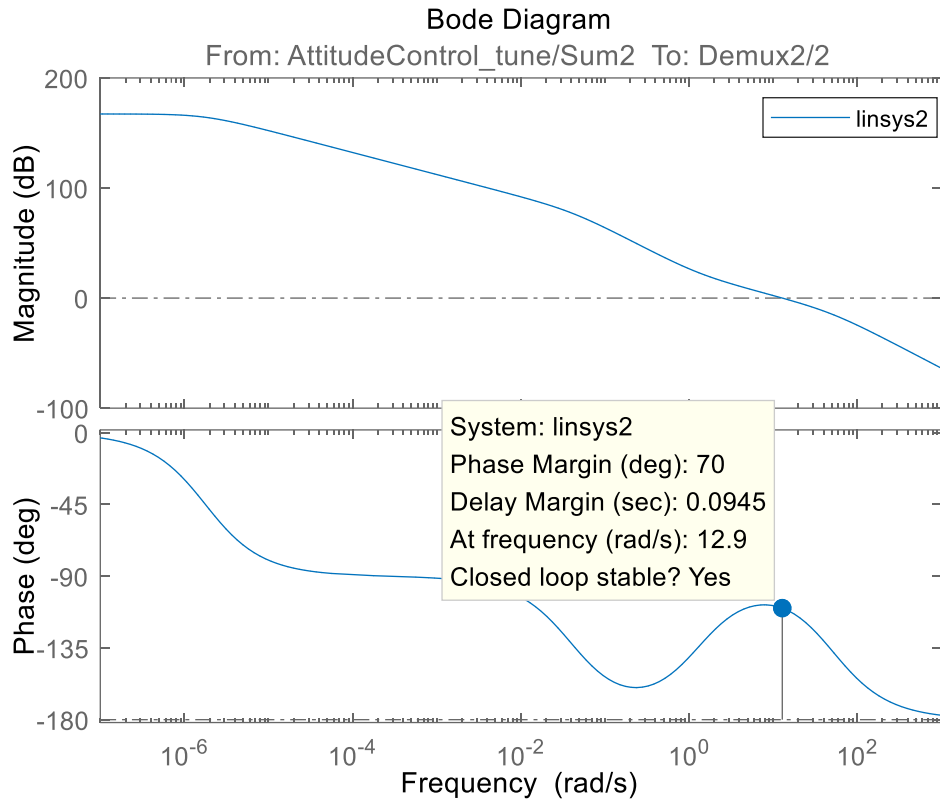
校正前 Bode 图



将校正器加入到角速度控制环。

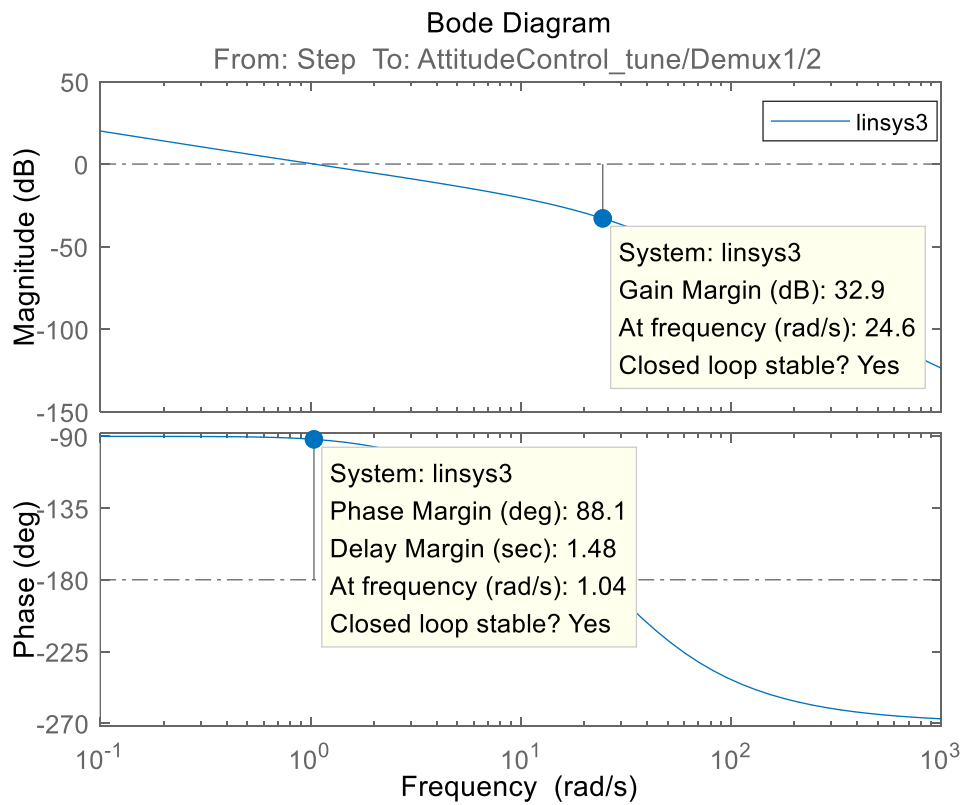


加入校正环节后的 **Bode** 图如图所示，相位裕度为  $70^\circ$ 。

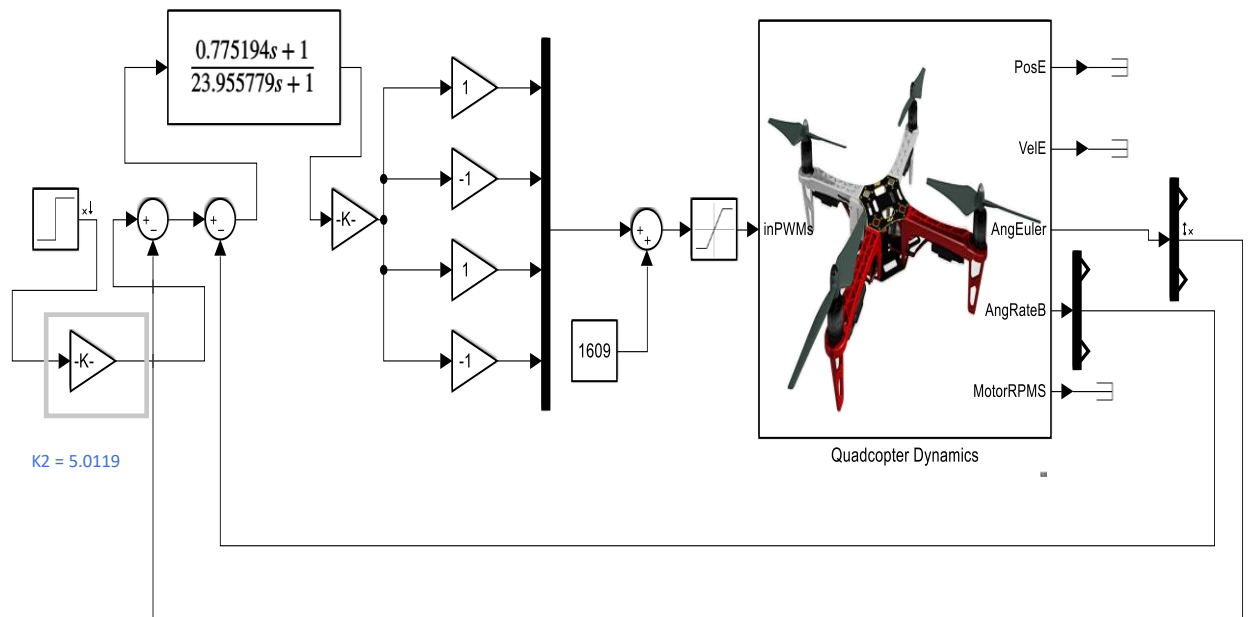


### Step 5:

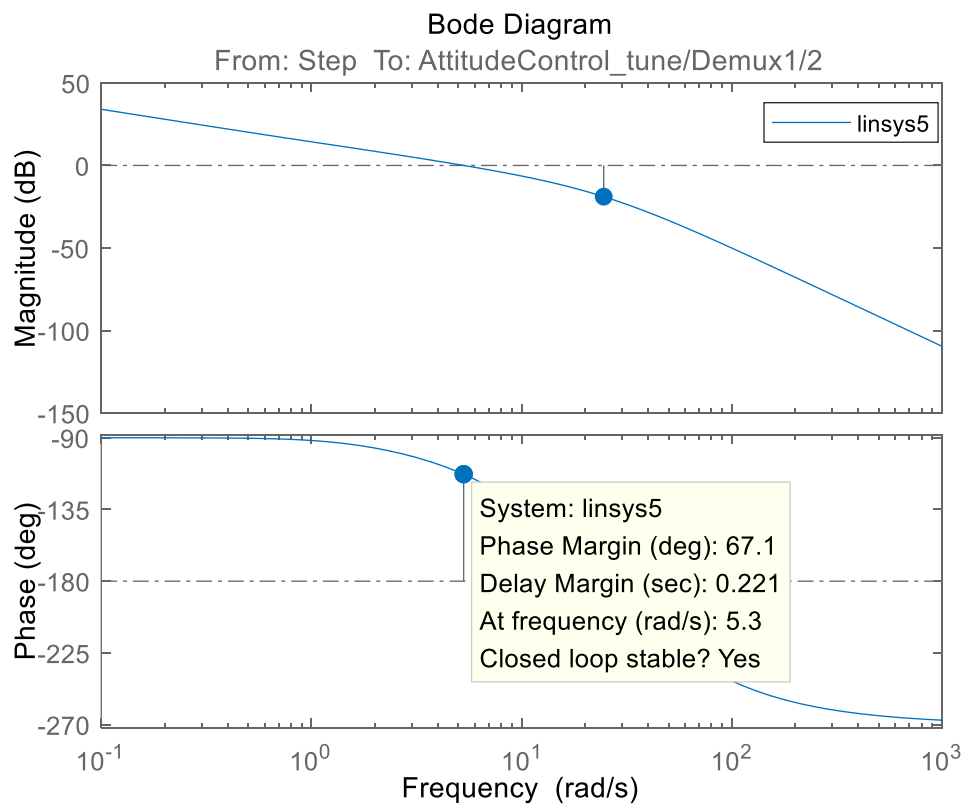
先得到角度环的开环校正前 Bode 图



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。



## Step 6:

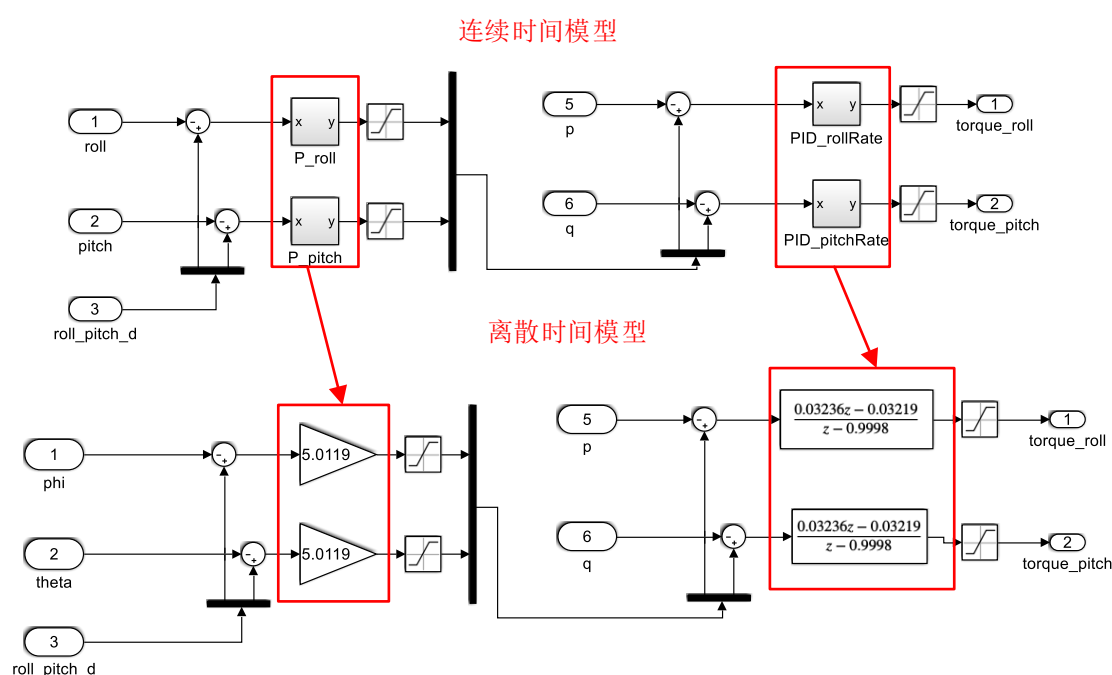
使用 `c2d` 函数将  $s$  域的传递函数（按下述提示输入，这里输入的是 step4 设计的校正器）变为  $z$  域

```
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  $0.004s$ 。

## Step 7:

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）



## Step 8:

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.