

自动控制实践 II 课程实验三

频域控制器设计实验

一. 实验任务

1. 打开实验界面和仿真程序，登录界面，熟悉对实验程序的使用。
2. 设计频域控制器参数，模拟对直流电机和负载的位置伺服控制。
3. 本次实验指标要求为：
 - (1) 阶跃响应：在幅值为 60° 的阶跃信号输入下，系统在 $4s$ 内跟踪输入信号达到稳定，且上升时间不超过 $1.5s$ ，超调量不超过 10% ，稳态误差不超过 0.2° 。
 - (2) 正弦响应：在幅值为 20° 、频率为 $5Hz$ 的正弦信号输入下，系统在 $5s$ 内的正弦响应可以满足双十指标，即幅值比在 $0.9\sim 1.1$ 之间，相位差在 $-10^\circ \sim 0^\circ$ 以内。
4. 多次调整控制器参数，争取满足实验指标。
5. 实验 B 任务：自主编写超前迟后控制器，实现对模拟直流电机系统的控制。（实验 B 的具体要求和程序编写方法会在后文明确标注）

二. 实验流程

1. 打开 MATLAB，找到实验三频域法（学生版）文件夹，如下图所示：

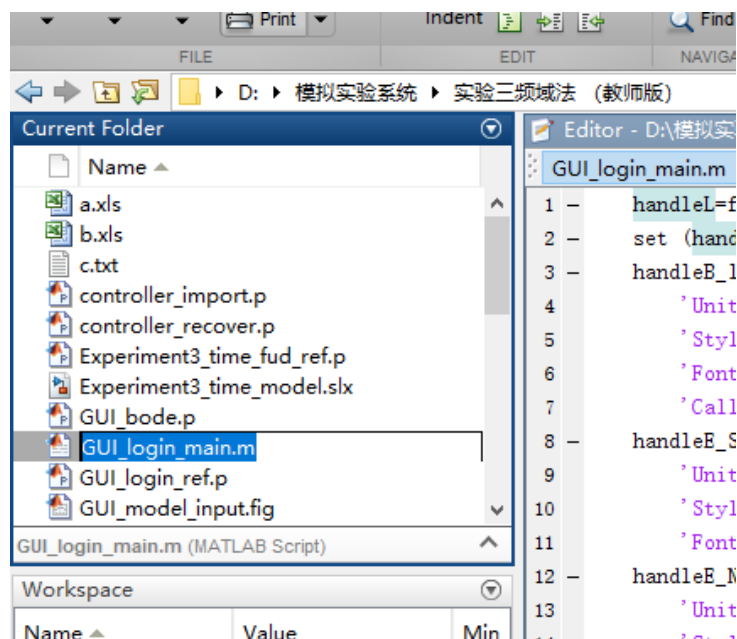


图 1：实验三文件路径

注意：实验文件名为“实验三频域法(学生版)”，在实验过程中保持 MATLAB 的文件路径不要改动，否则会导致部分功能无法正常运行。

2.打开实验仿真文件：

运行实验三频域法（学生版）文件夹下的 Experiment3_time_model.slx，即为实验的仿真文件中的模型如下图所示：

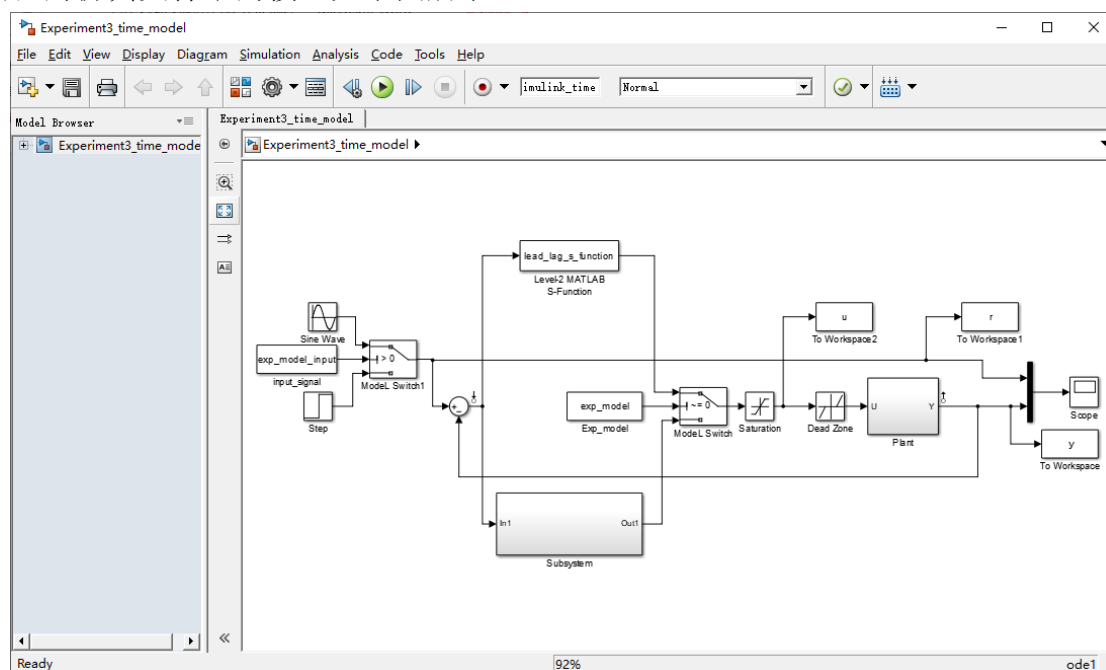


图 2：实验二仿真模型

注意：实验过程中最小化该窗口即可，不要对此文件中的模型进行任何操作，不要更改任何参数，实验完成后关闭 Simulink 即可。程序中含有对模型参数和模块类型的检测，一旦改变仿真模型会导致本次实验成绩无效。如果出现误操作，不要保存模型文件，关闭文件后重新打开即可。

3.学生登录：

运行实验三频域法（学生版）文件夹下的 GUI_login_main.m，如下图所示：



图 3：实验三学生登录界面

在弹出的界面下输入学号和姓名，电机 “学生登录” 即可，会自动切换至实验系统主界面。

4.实验系统主界面：

如下图所示：

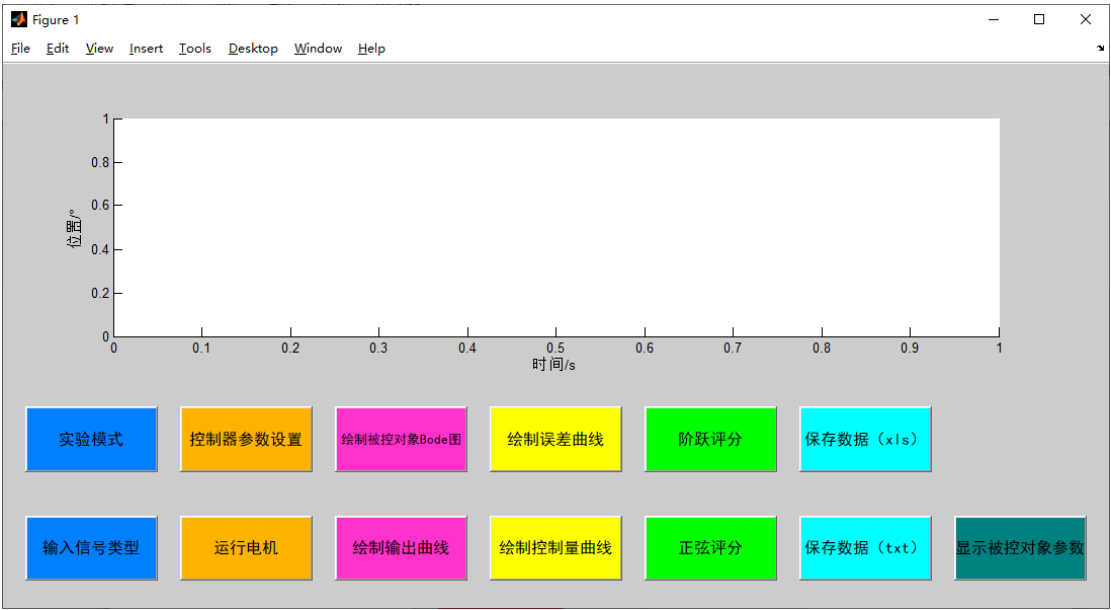


图 4：实验系统主界面

本实验所需要的全部操作都在此界面下，如果有自己对数据的处理可以使用 MATLAB 的命令行。

注意：实验过程中不要同时打开两个主界面，会导致部分功能不可用，如果误操作导致关闭界面，重新运行打开主界面即可。

5.选取实验模式和输入信号类型：

单击实验模式选取按钮，根据自己的需要选取实验 A 或实验 B。如下图所示：



图 5：实验模式选取界面

单击“确认实验模式”即可。单击后“实验模式”按键会变为红色。

单击输入信号类型选取按钮，根据自己的需要选取阶跃输入或正弦输入信号。
如下图所示：



图 6：输入信号选取界面

单击“确认输入信号”即可。单击后“输入信号类型”按键会变为红色。

6.输入控制器参数：

单击“控制器参数设置”按钮，在弹出的界面中配置频域控制器参数，本次实验的控制器参数界面改动较大，主要改动如下：

- (1) 本实验的控制器参数设置界面提供了 5 个超前环节和 2 个迟后环节供同学们使用，无论实验 A 或实验 B 都需要在此界面下进行参数设计。
- (2) 对于超前环节，可以通过输入补偿相角和补偿频率自动计算时间常数，超前环节的增益需手动输入；对于迟后环节，可以通过输入补偿频率和补偿增益自动计算时间常数。
- (3) 本次实验不可以使用近似微分环节、PD 控制器和 PI 控制器，如果参数出现错误，实验系统会给出重新设计参数的提示。
- (4) 本次的参数控制器界面加入了参数恢复功能，可以恢复上一组使用过的参数（注意是使用过的参数），但是只保存了时间常数和增益，不保存补偿频率。



图 7：控制器参数设置界面

7.运行仿真模型：

单击“运行电机”按键，稍等 5s 会弹出“电机运行成功”对话框。（本次实验模型较为复杂，可能需要等待较长时间才能运行结束，请务必等待“电机运行成功”提示出现后再继续后续实验操作）

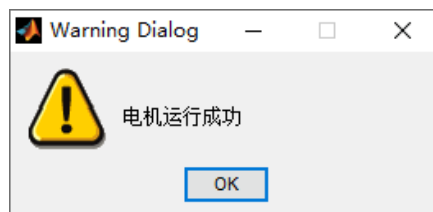


图 8：电机运行成功提示

8.观测实验数据波形：

单击绘制输出曲线、绘制误差曲线、绘制控制量曲线（控制量即为电压）都可以看到对应波形，这里只展示输出波形。

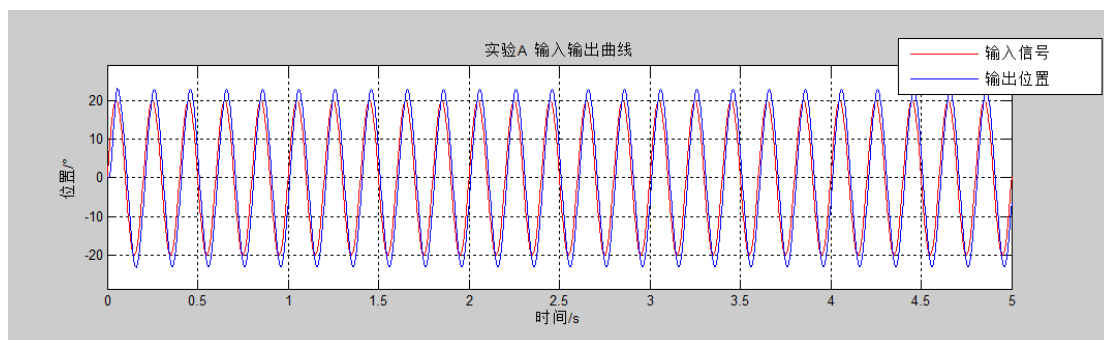


图 9：输入输出波形

9.被控对象的 bode 图绘制：

为辅助同学们的实验设计，本次实验加入了被控对象的 bode 图绘制功能，单击“绘制被控对象 bode 图”按键，即可获得被控对象开环 bode 图，若需要更改坐标轴的单位，右键后单击“Properties”即可。

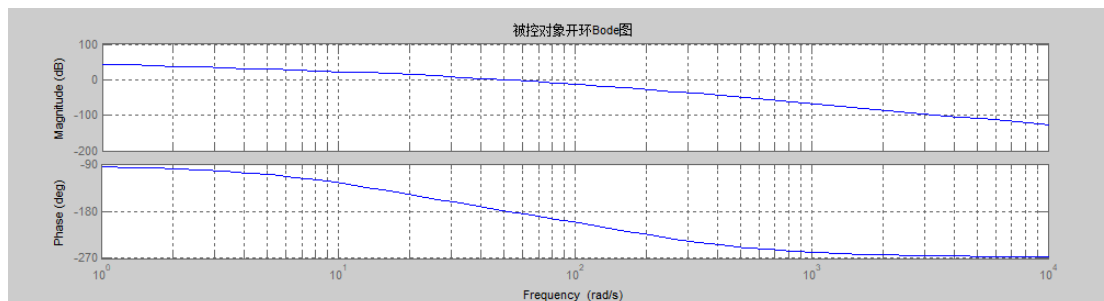


图 10：被控对象开环 bode 图

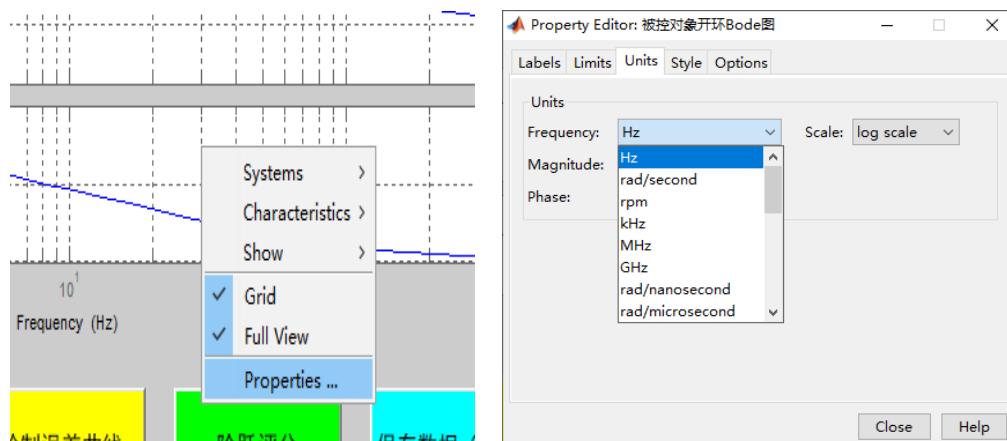


图 11：更改 bode 图显示设置

10.一键评分：

本次实验分为阶跃评分和正弦评分两部分内容，需分别进行实验完成。

注意：由于两个实验任务对系统的指标要求不同，可以使用不同的控制器参数完成两个实验任务。

本次实验对阶跃响应的指标要求为超调量不超过 10%，上升时间不超过 1.5s，稳态误差小于 0.2° ；对正弦响应的要求为：5Hz 下的双十指标，即幅值比在 0.9~1.1 之间，相位差在 $-10^\circ \sim 0^\circ$ 以内。

可以用“一键评分”查看自己的指标和分数(指标好一些之后再用这个功能，计算指标会耽误一点时间)，弹出如下对话框，根据每项指标的差距，自行调节 PID 控制器参数。



图 12：阶跃评分结果显示

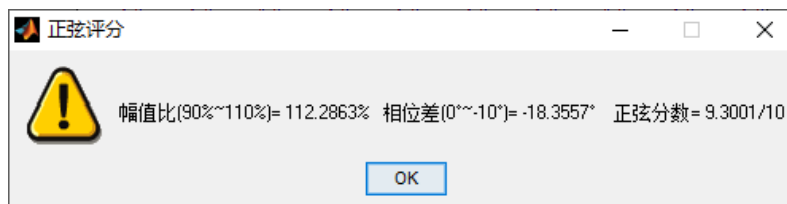


图 13：阶跃评分结果显示

11.实验数据保存：

实验任务全部完成后，单击“保存数据 xls”按键，实验的输入输出和控制量数据会被存入“a.xls”的 Excel 文件中，其余相关参数会被存入“b.xls”的文件中；a 文件用于后续的数据处理和报告撰写，b 文件用于实验结果提交。两个文件自动被存入实验三文件夹中。

本次实验加入了第二种保存数据方式，即“保存数据 txt”功能，实验相关参数会被存入“c.txt”文件中，没有对应的输入输出数据文件。C 文件中的内容不包括学生姓名，其余内容与 b 文件完全一致。

请无法使用 b 文件功能的同学，手动将 c 文件中的数据录入 b 文件中，最终提交的文件仍然是 b 文件。

注意：在只完成一个实验任务的情况下也可以保存数据，但是只具有一个实验任务的成绩，请同学们完成两个实验任务后再保存数据。



图 14：数据保存成功提示

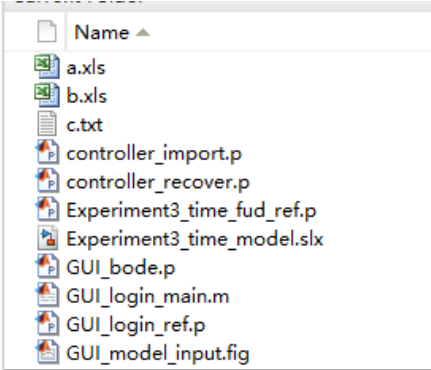


图 15：实验数据保存的文件路径

12.被控对象参数获取：

由于本次实验难度较大，实验系统给出被控对象的相关参数，单击“显示被控对象参数”按钮，即可获得参数数据，如下图所示：

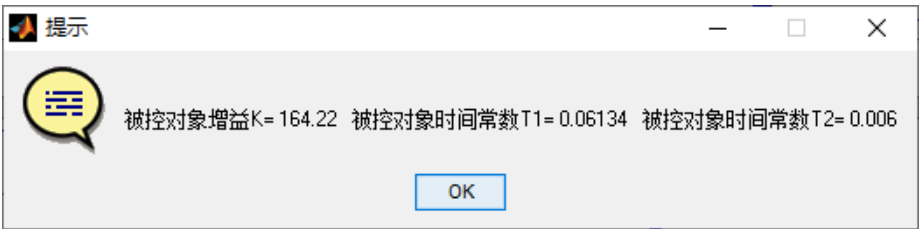


图 16：被控对象参数的显示

13.实验 B 的控制器代码编写：

本实验的实验 B 为学生自主编写控制器代码，本实验的控制器为超前迟后控制器，推荐使用双线性变换或后向积分等方法进行控制器离散化。只需要学生编写控制器部分，相关变量都已声明，无需改动。不论在参数设计过程中需要多少个环节，只需编写一个环节的程序即可。

学生通过 MATLAB 的 S 函数编写控制器代码。实验流程与 A 的区别如下：
在实验模式选取界面选择实验 B，单击确认实验模式（只需一次，之后不用更改，重新打开界面除外）



图 17：实验 B 的实验模式确认

打开 S 函数，lead_lag_s_function 文件

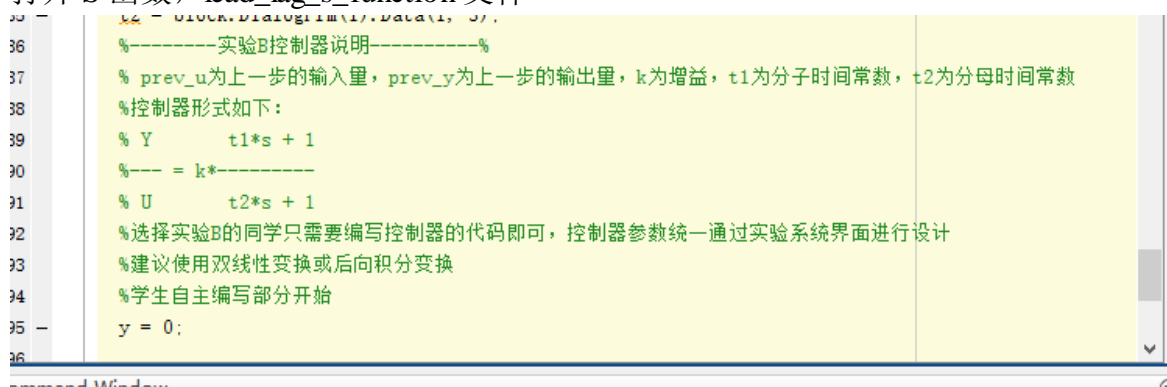


图 18：控制器代码对应的 S 函数

编写好 S 函数后点击保存，即可回到实验界面配置控制器参数运行电机。S 函数写好后关闭即可，无需更改。

三．实验结果提交

1.实验结果仅需要在实验平台提交 b 文件即可，a 文件供同学实验结束后的数据处理和撰写实验报告使用，不要提交 c 文件。（4 分）

2.实验报告中需提供：

- (1) 满足阶跃指标和双十指标的控制器参数（控制器参数设置界面截图）（1 分）
- (2) 阶跃输入和正弦输入的系统输出曲线（1 分）
- (3) 简述频域控制器的设计过程（1 分）
- (4)（实验 B）自行设计频域控制器的实现代码及代码说明（1 分）

四. 注意事项

1.实验主界面的使用:

(1) 主界面只需打开一次即可，不要多次打开，多次打开界面会导致绘图功能不可用。

(2) 打开主界面后不要更改 MATLAB 的文件路径，会导致全部功能不可用。

2.图形界面的使用:

本界面的使用与 MATLAB 的 figure 界面使用相同:

保存图像界面可以通过截图或另存为图片的方式(这里推荐大家使用另存为图片的方式)。

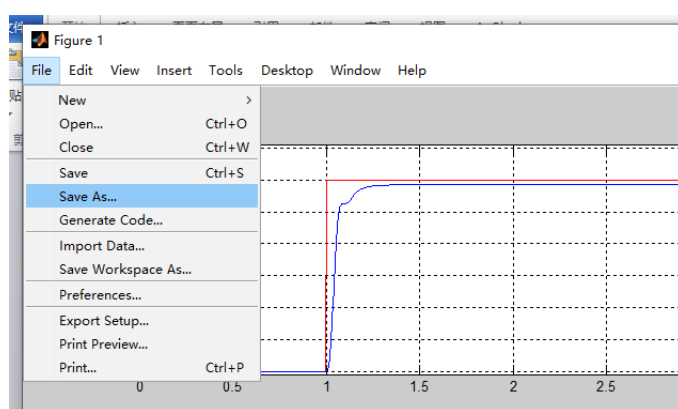


图 19: 保存输出曲线

示波器的放大，缩小，拖动，光标等功能都在 Tools 中，如下图所示:

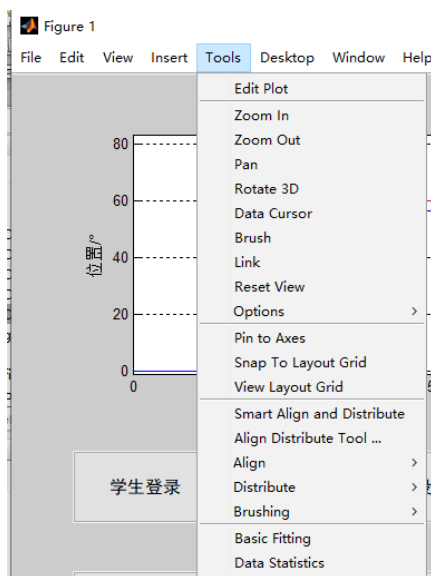


图 20: 示波器的辅助工具使用

Zoom in 为放大，Zoom out 为缩小，Pan 为移动，Data Cursor 为光标（可以精确测量单点数据）。

3.控制器参数设计：

实验系统对控制器的初始化参数全为 1，每次打开控制器参数设置界面都会初始化参数，

4.实验要求指标可行性问题：

本实验系统经理论验证和实际测试，对于给出的全部模型，5 个超前环节+2 个迟后环节可以满足实验指标要求，不提供额外的控制器。不存在无法满足实验要求性能的被控对象模型。若同学们在实验中设计参数没有达到实验要求，请耐心等待。实验前的答疑环节会有关于本次实验参数设计思路的简单介绍。

5.防作弊机制：

数据保存后加入了校验码，实验结果提交后会自动对实验参数进行校验，若发现有同学擅自更改实验参数，本次实验成绩作废。

实验所使用的 Simulink 模型参数不需要进行任何改动，实验程序中加入了检测函数，如果发现有同学擅自更改实验模型，本次成绩作废。实验过程中不需要对 Simulink 进行任何操作（包括运行 Simulink 文件），如有误操作导致实验模型被更改，在不保存的情况下关闭文件，重新打开即可。

本实验程序已对除主界面和 S 函数外的全部代码进行加密封装，如果擅自更改实验界面程序导致部分功能不可用，后果自负。

6.关于系统的 bode 图绘制

本次实验系统仅给出被控对象在开环状态下的 bode 图，若有同学需要系统的 bode 图可在 Simulink 中使用 Linear Analysis 工具包，或自己单独搭建一个 Simulink 模型进行 bode 图的绘制（被控对象参数已给出）。

也可以在 MATLAB 的命令行中使用 bode 函数进行控制器或系统 bode 图的绘制，以补偿频率 15Hz，补偿相角 20° 的超前环节为例，绘制出的 bode 图如下：

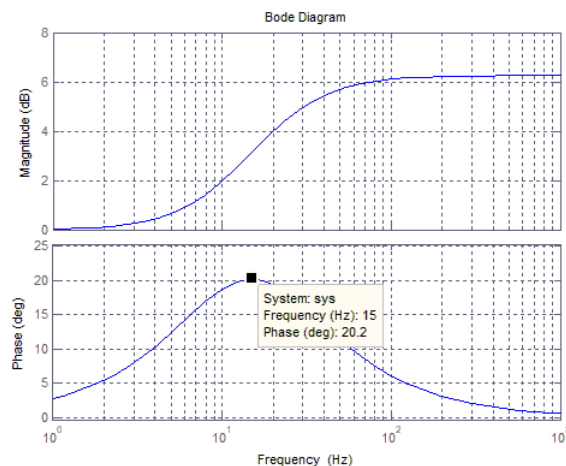


图 21： bode 函数绘制的超前环节 bode 图