

# 自动控制实践 II 课程实验四

## PID 控制器+干扰观测器设计

### 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 PID 控制器和干扰观测器，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) 无扰动状态下，设计 PID 控制器，在幅值为  $20^\circ$ 、频率为  $1\text{Hz}$  的正弦信号输入下，系统在 5s 内的正弦响应可以满足双五指标，即幅值比在  $0.95\sim 1.05$  之间，相位差在  $-5^\circ \sim 0^\circ$  以内。（任务一不进行评分）
  - (2) 有扰动状态下，设计干扰观测器，在幅值为  $20^\circ$ 、频率为  $1\text{Hz}$  的正弦信号输入下，系统在 5s 内的正弦响应可以满足双五指标，即幅值比在  $0.95\sim 1.05$  之间，相位差在  $-5^\circ \sim 0^\circ$  以内。（任务二进行评分）
4. 多次调整控制器参数，争取满足实验指标。
5. 实验 B 任务：自主编写干扰观测器（不需要编写 PID 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，本次的实验 B 任务对应 2 分）

### 二. 实验流程

1. 打开 MATLAB，找到实验四干扰观测器（学生版）文件夹，如图 1 所示：

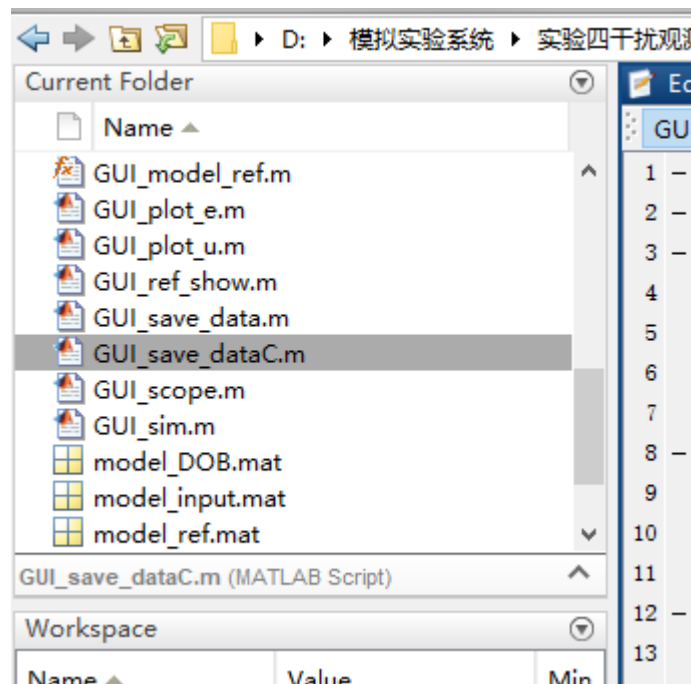


图 1：实验四文件路径

注意：实验文件名为“实验四干扰观测器（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：

运行实验四干扰观测器(学生版)文件夹下的 Experiment4\_DOB\_model2.slx，即为实验的仿真文件中的模型，如图 2 所示：

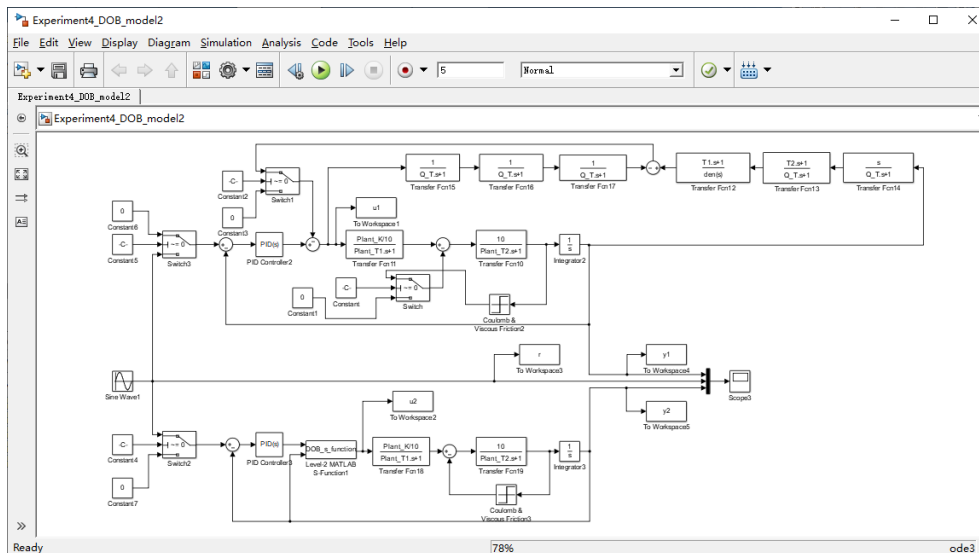


图 2：实验二仿真模型

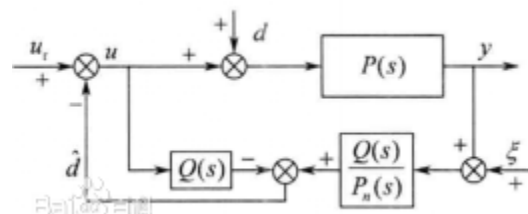


图 3：干扰观测器方框图

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：

运行实验四干扰观测器（学生版）文件夹下的 GUI\_login\_main.m，如图 4 所示：



图 4：实验四学生登录界面

在弹出的界面下输入学号和姓名，单击“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：

如图 5 所示：



图 5：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.扰动信号与干扰观测器的配置：

实验模型与之前的实验相同，这里只展示扰动信号与干扰观测器的配置界面，

如图 6 和图 7 所示：

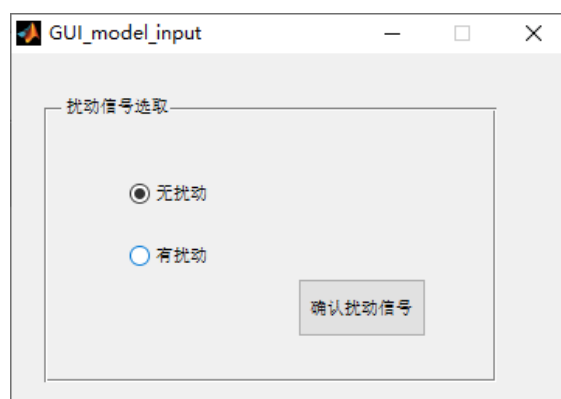


图 6：扰动信号选取界面



图 7：实验模式选取界面

#### 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 PID 控制器和干扰观测器，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 PID 控制器和干扰观测器，干扰观测器的低通滤波器为三阶低通，其余具体问题在控制界面有详细的说明，无论实验 A 或实验 B 都需要在此界面下进行参数设计。

（2）低通滤波器的时间常数不要太小，在仿真模型中无法实现。

（3）在不接入干扰观测器时可以不设计干扰观测器参数，对电机模型的正常运行没有任何影响。

控制器参数设置界面如图 8 所示：



图 8：控制器参数设置界面

7.运行仿真模型，观察数据曲线等步骤与之前一样。

8.一键评分和正弦响应功能：

本次实验无扰动响应和有扰动响应两部分内容，需分别进行实验完成。

**正弦响应功能：**在任何一种输入情况下，都可以使用正弦响应功能获取输入的频域指标，包括幅值比和相位差参数，但不提供评分。

**干扰观测器评分功能：**提供频域指标参数和评分，但是只能在有扰动且接入干扰观测器的情况下才能进行评分。

本次实验对正弦响应的要求为：1Hz 下的双五指标，即幅值比在 0.95~1.05 之间，相位差在  $-5^\circ \sim 0^\circ$  以内。

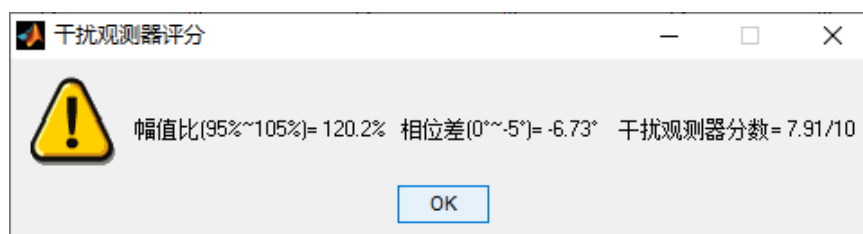


图 9：干扰观测器结果显示

9.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四文件夹中。

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。

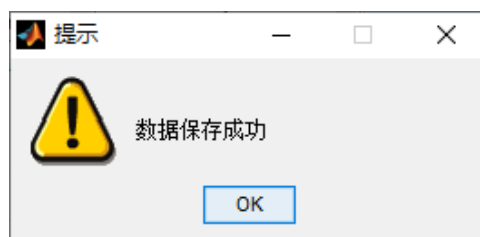


图 10: 数据保存成功提示

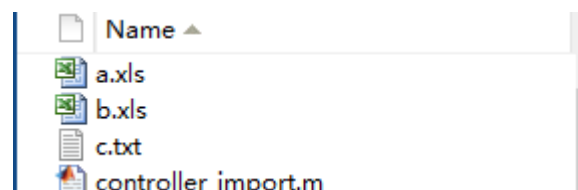


图 11: 实验数据保存的文件路径

### 12.被控对象参数获取:

干扰观测器的设计需要知道被控对象模型参数，单击“显示被控对象参数”按键，即可获得参数数据，如图 12 所示：

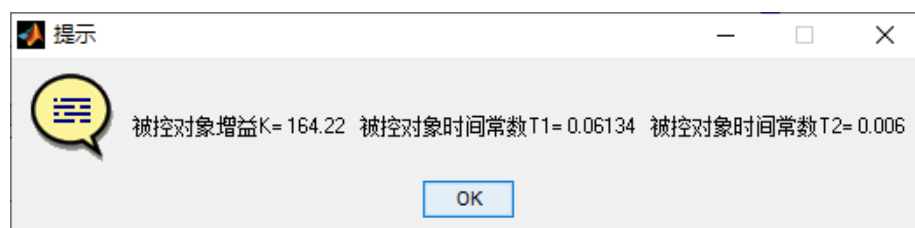


图 12: 被控对象参数的显示

### 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，本实验的控制器为干扰观测器，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。只需要学生编写干扰观测器的低通滤波器、模型近似逆、相加点，相关变量都已声明，无需改动。

每个环节单独编写，同学们可以根据助教的编程提示进行控制器设计，关于程序编写的具体内容不予解答，请不要询问助教。实验 B 与实验 A 在参数一致的情况下输出稍有偏差是正常现象，不会对成绩造成影响；若出现较大偏差则是学生编程的问题。

实验 B 已经接入扰动信号和干扰观测器，选择实验 B 的同学最好先完成实验 A 的设计再进行实验 B 的程序编写。

具体实验流程为：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 13: 实验 B 的实验模式确认

打开 S 函数，DOB\_s\_function 文件

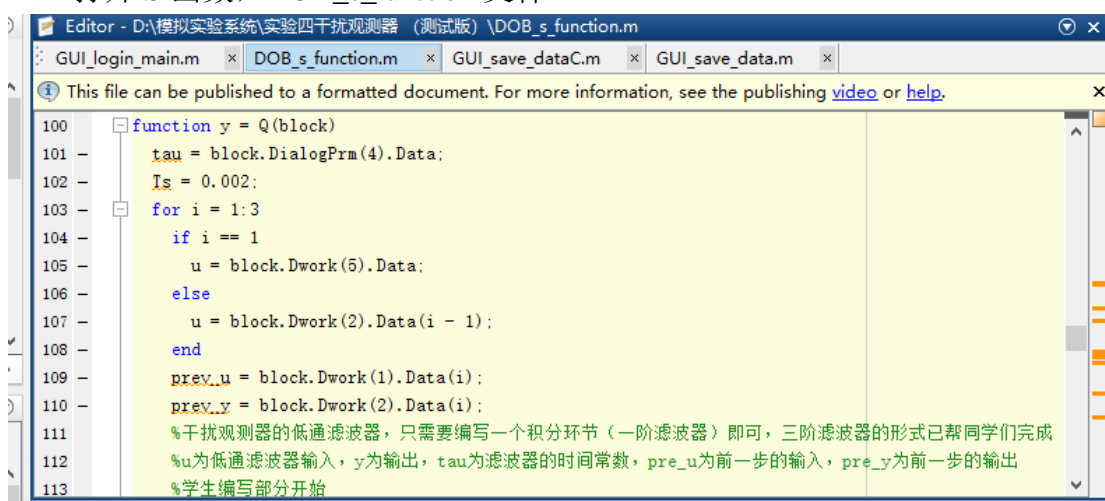


图 14: 控制器代码对应的 S 函数

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) 满足双五指标的控制器参数（控制器参数设置界面截图 2 个：不加干扰观测器和加入干扰观测器）（1 分）

2) 未加干扰观测器和加入干扰观测器的输出曲线（1 分）

3) 简述干扰观测器设计过程（1）

4) （实验 B）干扰观测器的实现代码及代码说明（2 分）

未加干扰观测器的输出曲线，指的是：在（任务一）的基础上，只加入干扰后，得到的输出曲线

## 四. 注意事项

### 1. PID 控制器和干扰观测器的参数设计:

PID 控制器的参数不要过大, 系统自身增益足够实验要求, 且输入信号的频谱仅为 1Hz, PID 参数设计满足指标要求即可。

干扰观测器的低通滤波器为三阶滤波器, 分母为 3 阶, 分子为 0 阶, 其本质为三个相同的一阶低通进行串联, 故设计一个时间常数即可, 时间常数不要太小。

### 2. 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, 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。

### 3. 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。

### 4. 评分函数的使用

正弦响应功能只提供实验指标参数, 任何输入状态下都可以使用。干扰观测器评分功能提供指标参数和评分, 仅在扰动且接入干扰观测器状态下才能使用, 其余状态下均为无效测试。