

# 自动控制实践 II 课程实验五

## 双闭环 PID 控制器设计

### 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. 设计双闭环 PID 控制器，模拟对直流电机和负载的位置伺服控制和速度伺服控制。
3. 本次实验指标要求为：
  - (1) 对模拟电机系统内回路（即速度回路），设计 PID 控制器，在幅值分别为  $20^{\circ}/s$  和  $200^{\circ}/s$  两种阶跃输入下，内回路都有较好的输出响应。（此部分内容不参与评分）
  - (2) 在设计好内回路的 PID 控制器后，设计外回路的 PID 控制器（即位置回路），要求在幅值为  $60^{\circ}$  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 1.0s，超调量不超过 5%，稳态误差不超过  $0.2^{\circ}$ 。
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 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）

### 二. 实验流程

1. 打开 MATLAB，找到实验五多回路（学生版）文件夹，如图 1 所示：

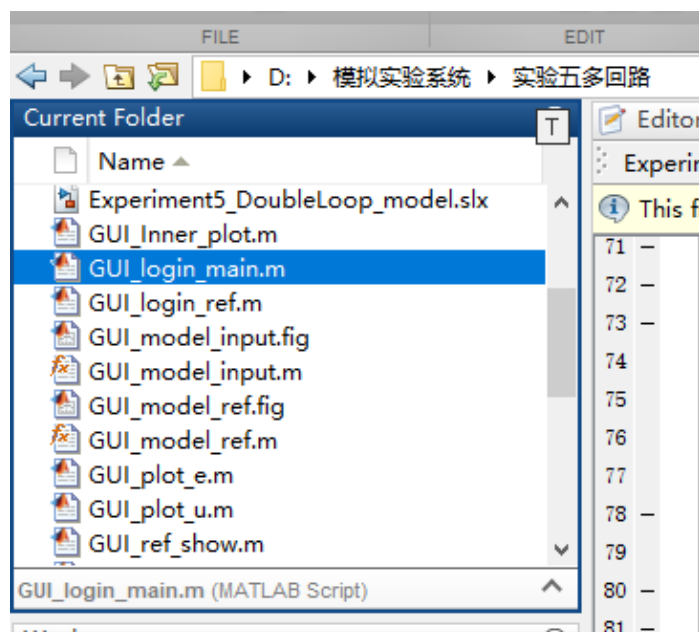


图 1：实验五文件路径

注意：实验文件名为“实验五多回路(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：

运行实验五多回路(学生版)文件夹下的 Experiment5\_DoubleLoop\_model.slx，即为实验的仿真文件中的模型，如图 2 所示：

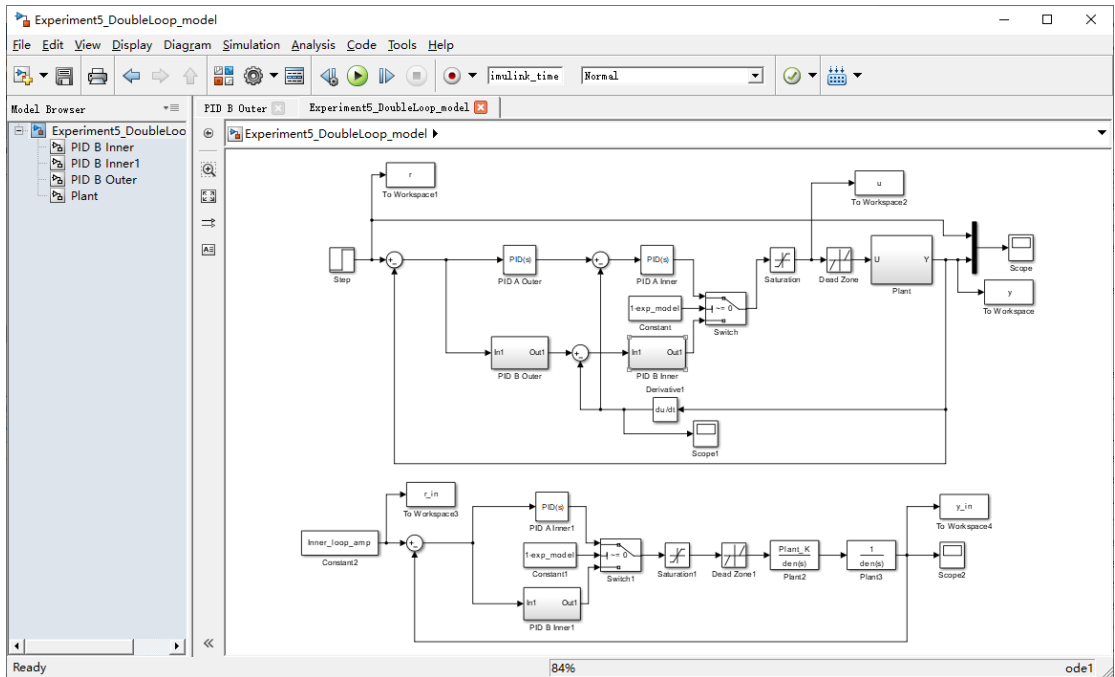


图 2：实验二仿真模型

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：

运行实验五多回路(学生版)文件夹下的 GUI\_login\_main.m，如图 3 所示：



图 3：实验五学生登录界面

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 4 所示：

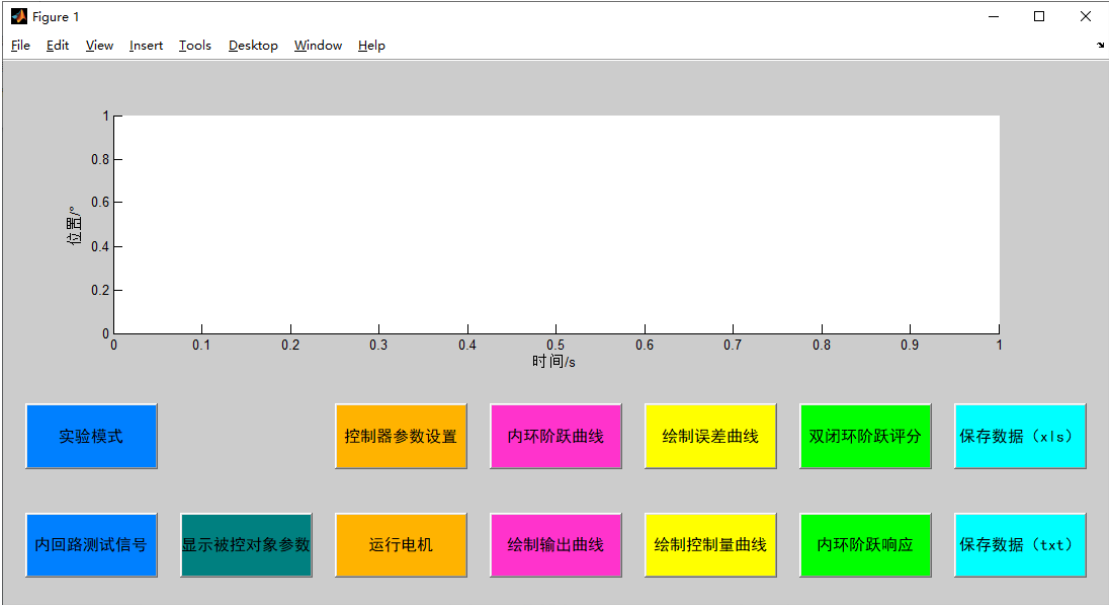


图 4：实验系统主界面

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。

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.内回路测试信号的配置：

实验模式设置与之前相同，这里只展示对内回路测试信号的配置界面，如图 5 所示：

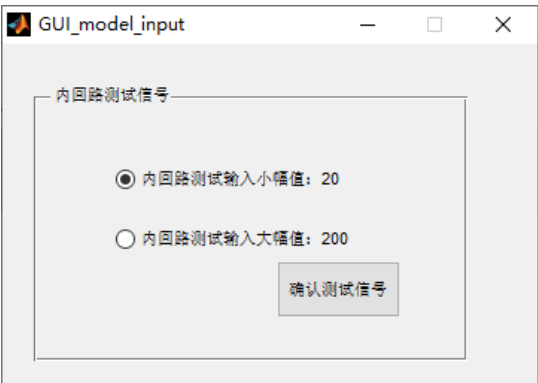


图 5：内回路测试信号选取界面

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内回路和外回路 PID

控制器，在实验中建议先设计内回路控制器再设计外回路控制器。

控制器参数设置界面如图 6 所示：



图 6：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。

8.一键评分和内环阶跃响应功能：

本次实验内回路设计和外回路设计两部分内容，两部分全部完成后才可以进行评分。

**内环阶跃响应：**在内回路测试状态下，可以给出内回路输出曲线的超调量、上升时间和稳态误差三项指标，没有具体的参数要求，符合自己的设计思路即可，不提供评分。

**双闭环阶跃评分功能：**提供阶跃指标参数和评分，在完成内回路和外回路的设计之后再进行评分。

本次实验对双闭环阶跃响应的要求为：在幅值为  $60^\circ$  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 1.0s，超调量不超过 5%，稳态误差不超过  $0.2^\circ$ 。

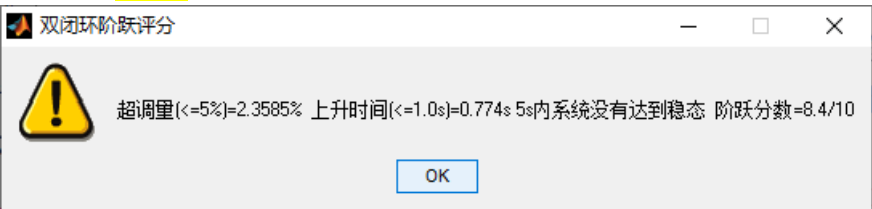


图 7：双闭环阶跃评分结果显示

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五文件夹中。

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。**

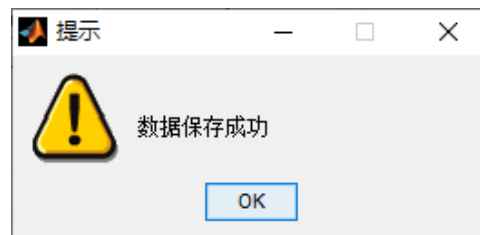


图 8：数据保存成功提示

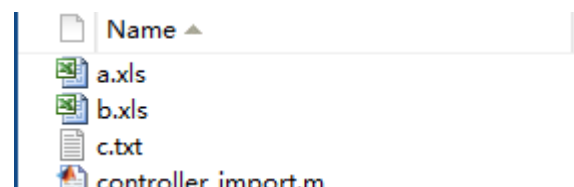


图 9：实验数据保存的文件路径

#### 10.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 **PID 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。**只需要学生编写一次 PID 控制器即可，无需因为两个回路而重复编写**，相关变量都已声明，无需改动。

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 10：实验 B 的实验模式确认

打开 S 函数，pid\_controller.m 文件

```
This file can be published to a formatted document. For more information, see the publishing video or help.
71 - Ki = block.DialogPrm(2).Data;
72 - Kd = block.DialogPrm(3).Data;
73 - e = block.InputPort(1).Data;
74 - %实验B只需要编写一次PID控制器即可，相关变量都已声明好，只需编写控制器结构即可
75 - %e为误差，u为PID计算出的控制量
76 - %学生编写部分开始
77 -
78 - u=0;
79 - %学生编写部分结束
80 - block.OutputPort(1).Data = u;
81 - block.Dwork(1).Data = integral;
82 - block.Dwork(2).Data = e;
83 -
84 - %endfunction
```

图 11：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。（3 分）

2.实验报告中需提供：

- 1) 满足性能指标的控制器参数设置界面（0.5 分）
- 2) 内环阶跃响应曲线和系统输出曲线（1 分）
- 3) 简述双闭环 PID 控制器设计过程（0.5 分）

**4) （实验 B）双闭环 PID 控制器的实现代码及代码说明（1 分）**

### 四．注意事项

1.PID 控制器的参数设计：

PID 控制器的参数不要过大，先设计内回路，后设计外回路，本次实验与课程内容稍有不同，无需考虑内外回路的带宽要求，满足实验指标即可。简单的多回路 PID 控制器设计流程会在实验答疑中给出。

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，请耐心调试。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

内环阶跃响应功能只提供内回路（速度回路）的实验指标参数，任何输入状态下都可以使用。最终进行实验评分需要使用双闭环解决评分功能，才能获取最终评分。