

## 实验五：基于 MPC 的双容水箱液位预测控制实验

### 实验目的

- (1) 了解预测控制 MPC 基本原理
- (2) 基于 Matlab 的 MPC 控制器实现二阶系统——双容水箱的液位定值控制

### 实验原理

模型预测控制算法是一类以数学模型为基础的计算机控制算法，采用在线滚动优化策略和反馈自校正方法，能有效地克服被控对象的时变性、非线性、时滞性及耦合性等因素的影响，从而达到预期的控制目标。模型预测控制在实现过程中有 3 个关键步骤，分别是预测模型、滚动优化和反馈校正。

① **预测模型**：预测模型是模型预测控制的基础，其主要功能是根据对象的历史信息和未来输入，预测系统未来的输出，状态方程、传递函数都可以作为预测模型。对于线性时不变系统，阶跃响应、脉冲响应这类非参数模型，可以直接作为预测模型使用。

② **滚动优化**：模型预测控制通过某一性能指标的最优来确定控制作用，但优化不是一次离线进行，而是反复在线进行的。

③ **反馈校正**：为了防止模型失配或者环境干扰引起控制对理想状态的偏离，在新的采样时刻，首先检测对象的实际输出，并利用这一实时信息对基于模型的预测结果进行修正，然后再进行新的优化。

动态矩阵控制 DMC 算法是一种基于被控对象单位阶跃响应的模型预测控制算法。通过反馈校正和滚动优化计算当前和未来时刻的控制量，使输出响应符合预先设定的参考轨迹运行。当 DMC 在线实施时，只涉及模型参数  $a_i$ 、控制参数  $d_i$  和校正参数  $h_i$ ，除了校正参数  $h_i$  可由设计者自由选取，模型参数  $a_i$  取决于对象阶跃响应特性及采样周期的选择，控制参数  $d_i$  取决于模型参数  $a_i$  及优化性能指标，它们都是设计的结果而非直接可调参数。所以对于一般的被控对象，DMC 通常使用试凑法结合仿真，对设计参数进行整定。

## 实验内容

- (1) 建立双容水箱液位控制二阶系统，用阶跃响应测试法得到以系统 TANK3 液位高度为受控对象的数学模型，具体方法参见实验一。

$$G(s) = \frac{5e^{-10s}}{300s+1}$$

- (2) 设计用于该模型控制的模型预测控制器，并在 Simulink 环境下启用该控制器控制水箱设备。

Simulink 模型预测工具箱有 MPC 控制器，直接可以调用。

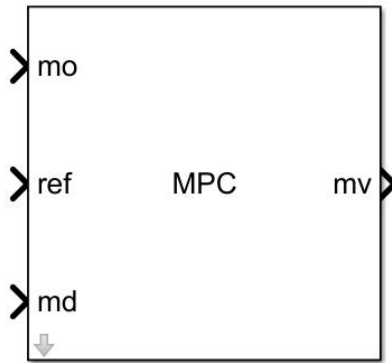


图 5-1 Matlab 工具箱 MPC 控制器

MPC 控制器说明如下：

**Mo**(measured output): 当前可测量的输出信号，实验中为水箱 3 的液位高度实测值；

**Ref**(Reference signa): 参考信号，实验中为水箱 3 的液位高度设定值；

**Md**(optional measured disturbance signa): 可选的测量干扰信号，本次实验不施加干扰；

**Mv** (optimal manipulated variables )：最优操纵变量，实验中为控制器输出给执行机构的控制信号；

## 实验步骤

- ① 搭建双容水箱液位控制系统，开连通阀 1、泄露阀 3，关其他各阀。运行 Matlab，打开桌面 TTS20\model\_prediction.slx。

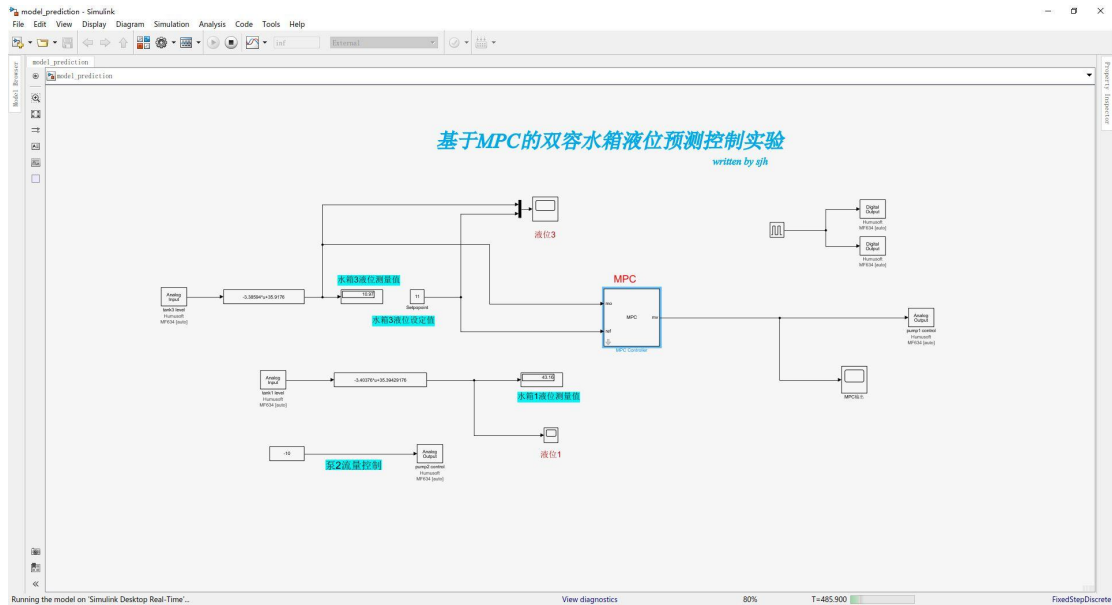


图 5-2 控制程序界面

② 直接使用由实验一测得的二阶系统动态特性曲线, 可以用广义一阶惯性环节加纯滞后近似得到其开环传递函数:

$$G(s) = \frac{5e^{-10s}}{300s + 1}$$

③ 在 Matlab 命令窗口输入: `G=tf(5,[300 1],'iodelay',10)`, 回车。然后输入 `mpcDesigner`, 回车, 弹出 MPC 控制器设计界面。如图 5-3。

```
>> G=tf(5,[300 1],'iodelay',10)

G =

          5
exp(-10*s) * -----
          300 s + 1

Continuous-time transfer function.
```

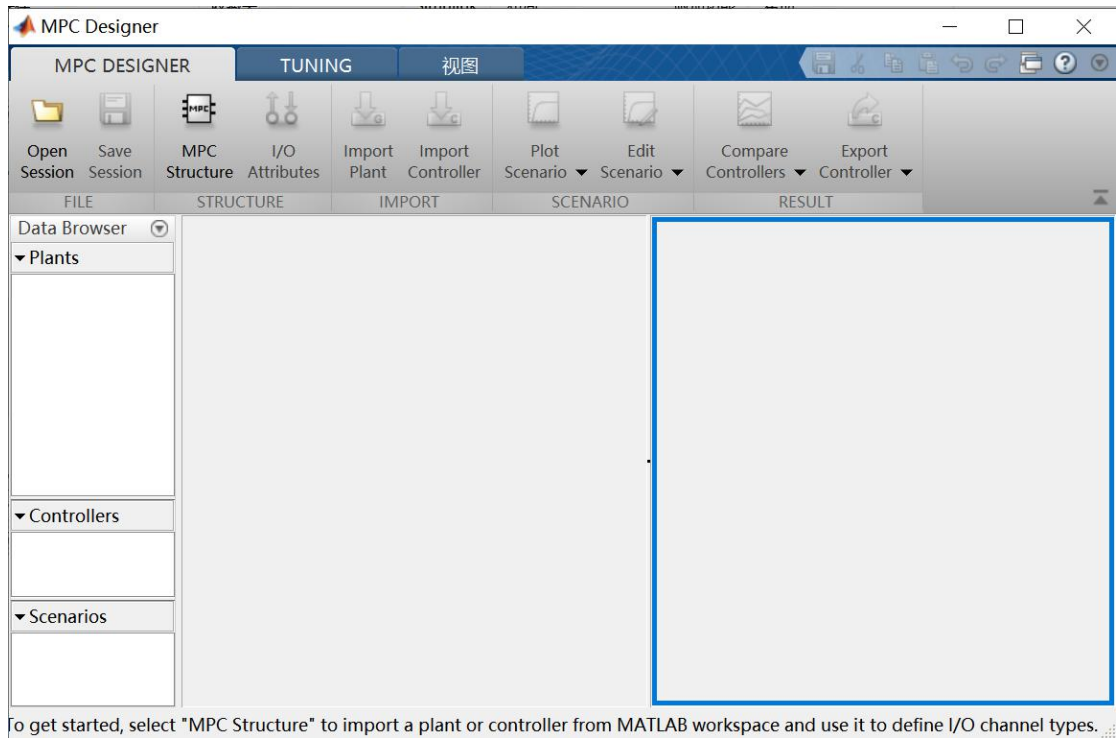


图 5-3 MPC 控制器设计界面

④ 在弹出的界面选择“MPC Structure”，选择受控对象模型（G），采样时间建议设置为 5s，如下图 5-4 所示。点击“Define and Import”。

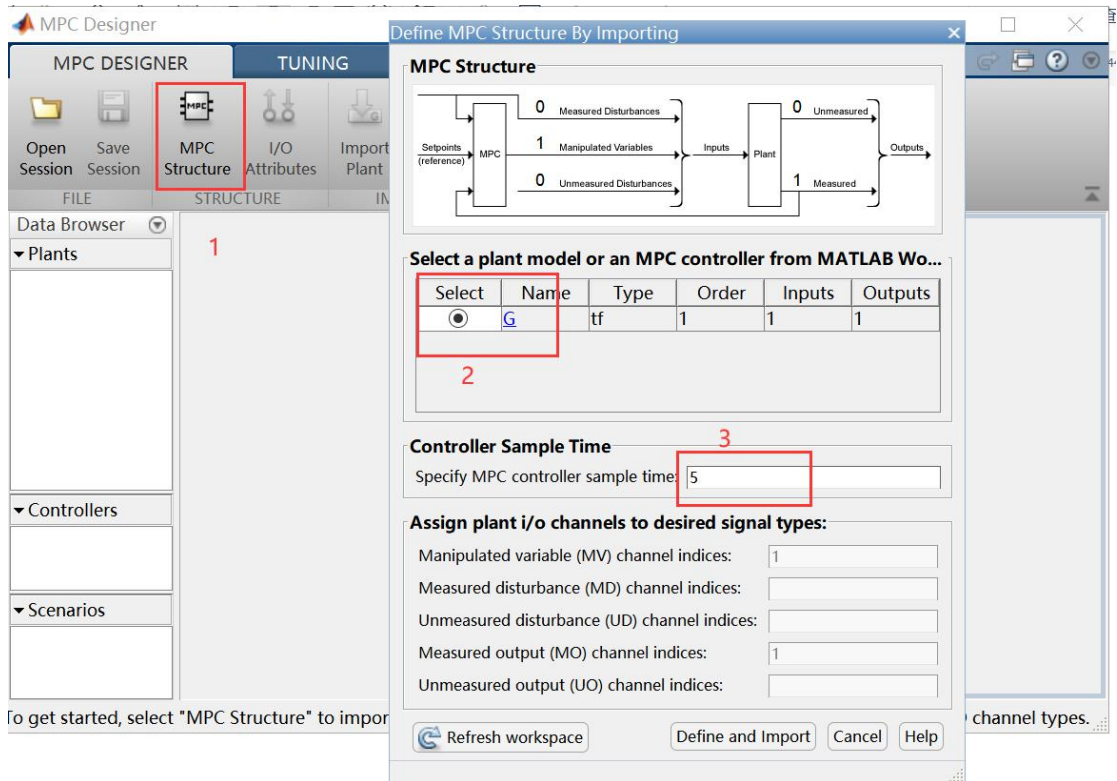


图 5-4 MPC 结构设计

⑤ 切换到“TUNING”页，预测时域输入 300，控制时域输入 10，回车。视

图区出现输入量仿真结果和输出量仿真结果。

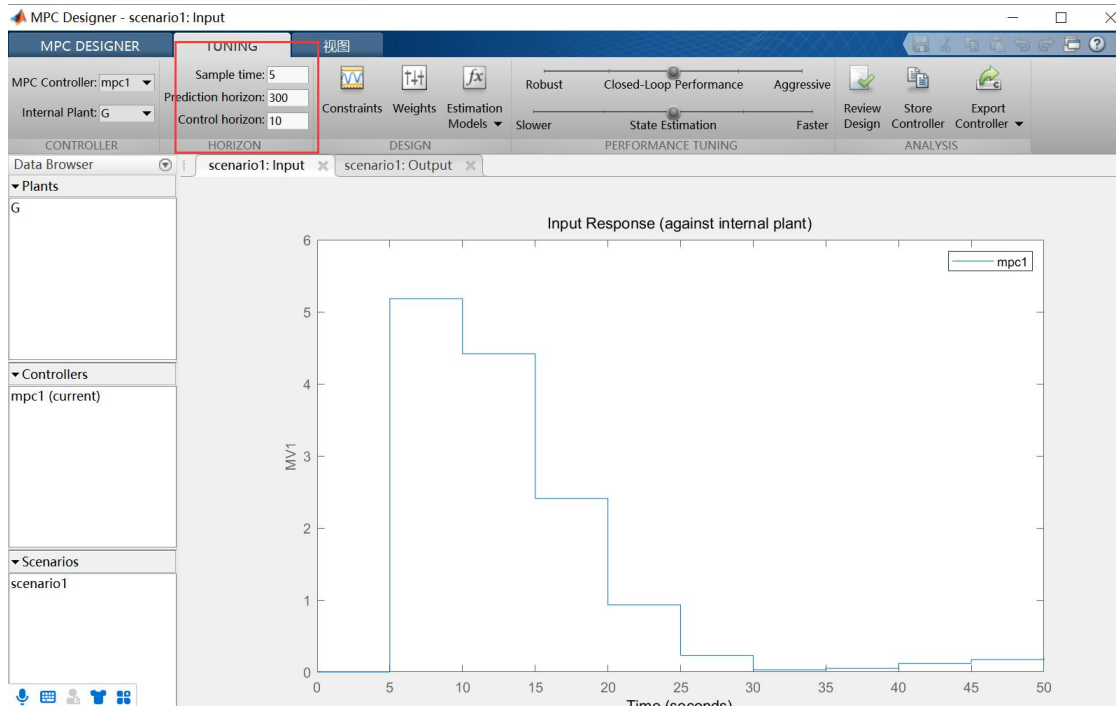


图 5-5 输入量模拟结果

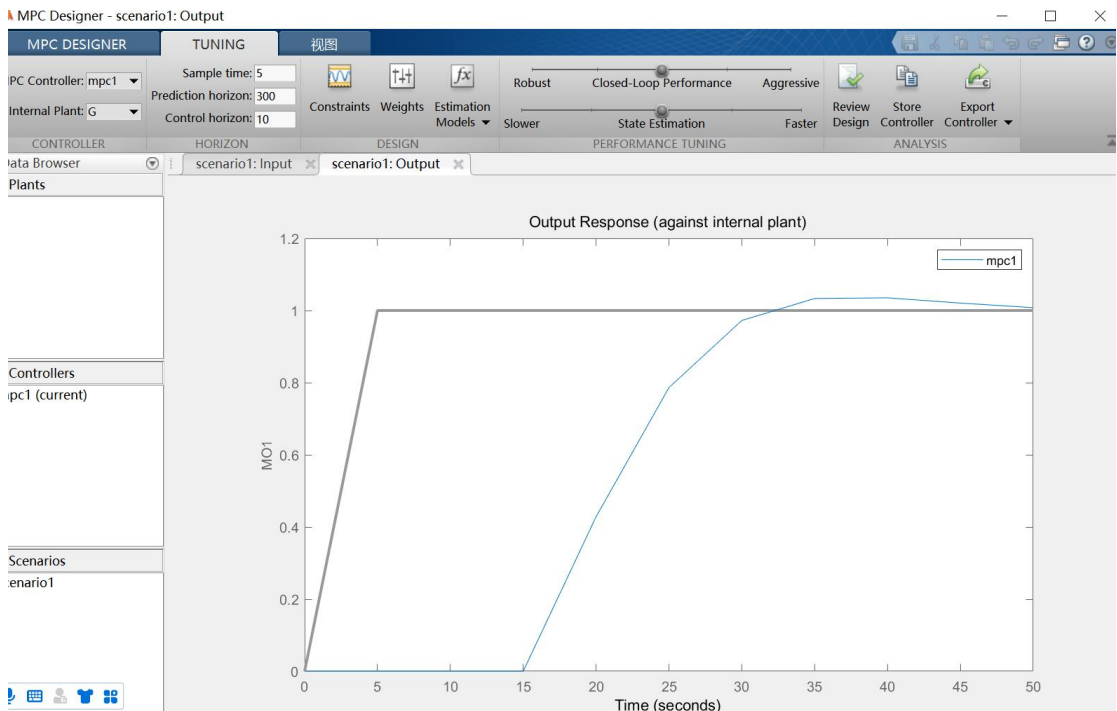


图 5-6 输出量模拟结果

⑥ 点击“Weight”，设置输入权值为 0.1，Rate Weight 为 0，输出权值默认为 1，如下图 5-7 所示。

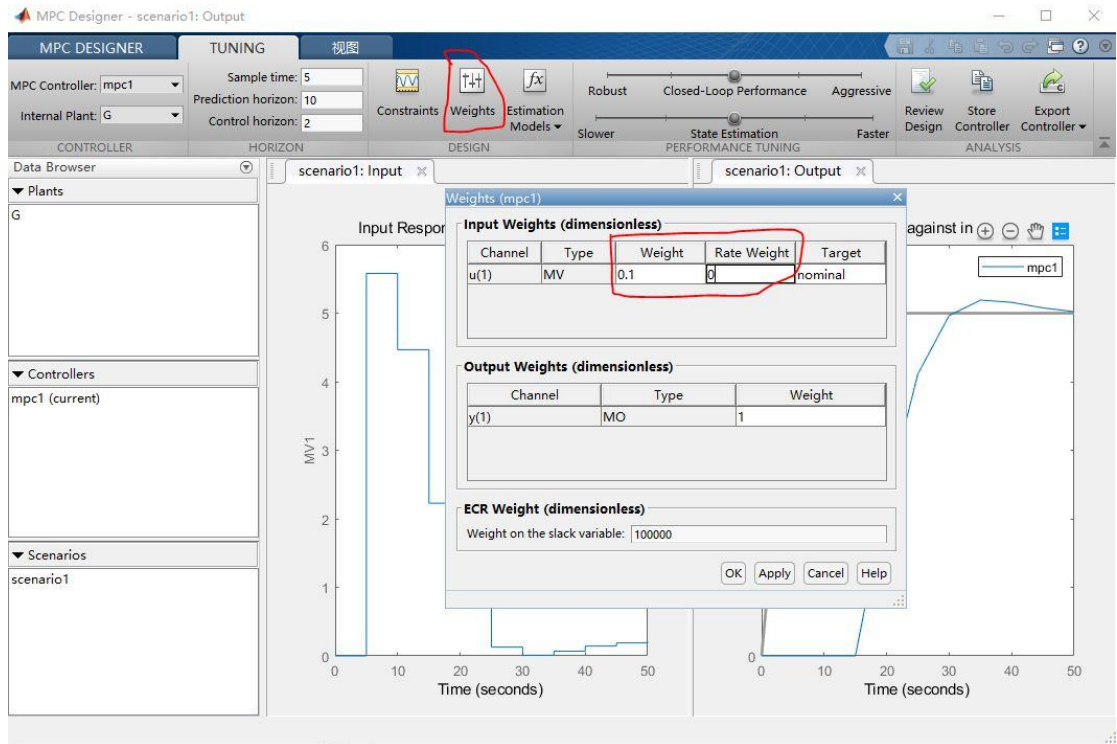


图 5-7 权值设置

⑦ 点击“MPC DESIGNER”——“Edit Scenario”——“Simulation duration”设置为 500，其他保持默认值。点击“OK”。

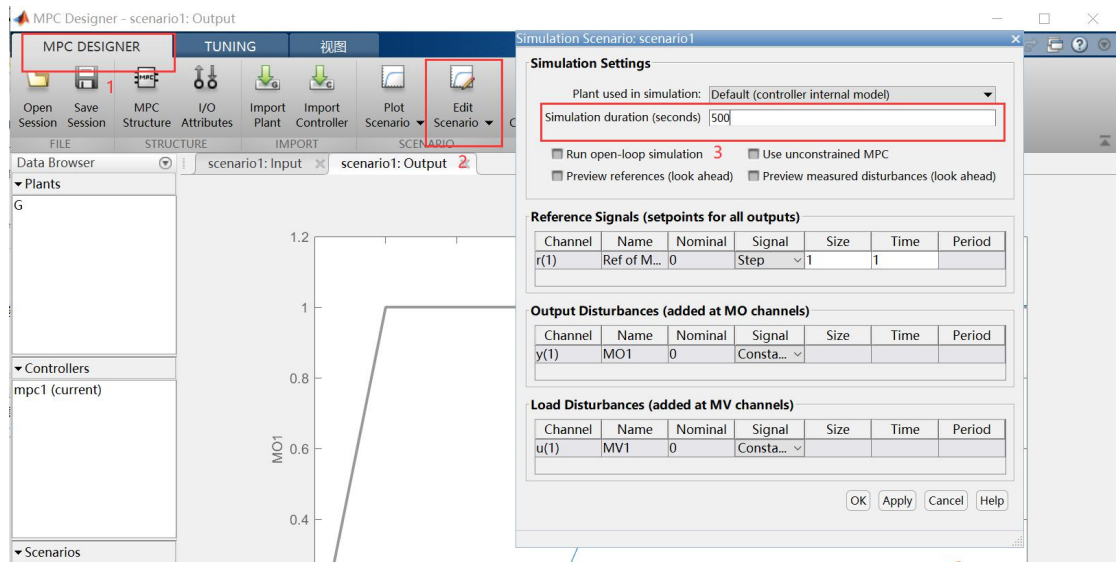


图 5-8 仿真时域设置

⑧ 若仿真结果满意，则保存控制器设置。如下图 5-9 所示，点击“Save Session”，保存至默认路径，名字选择默认即可。点击“Export Controller”，选择第一项“Export Controller”。

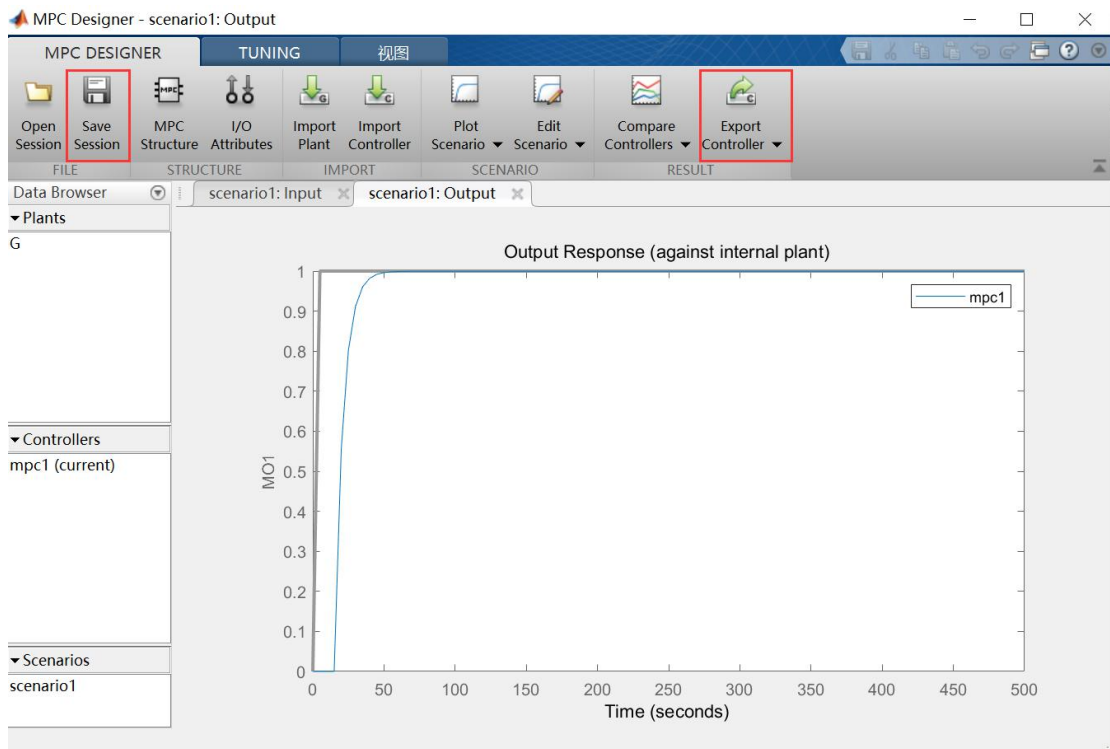


图 5-9 保存 MPC 控制器设置

⑨ 双击 simulink 控制程序“model\_prediction”界面内的 MPC 控制器，按如下设置采样时间和预测时域，点击“OK”。

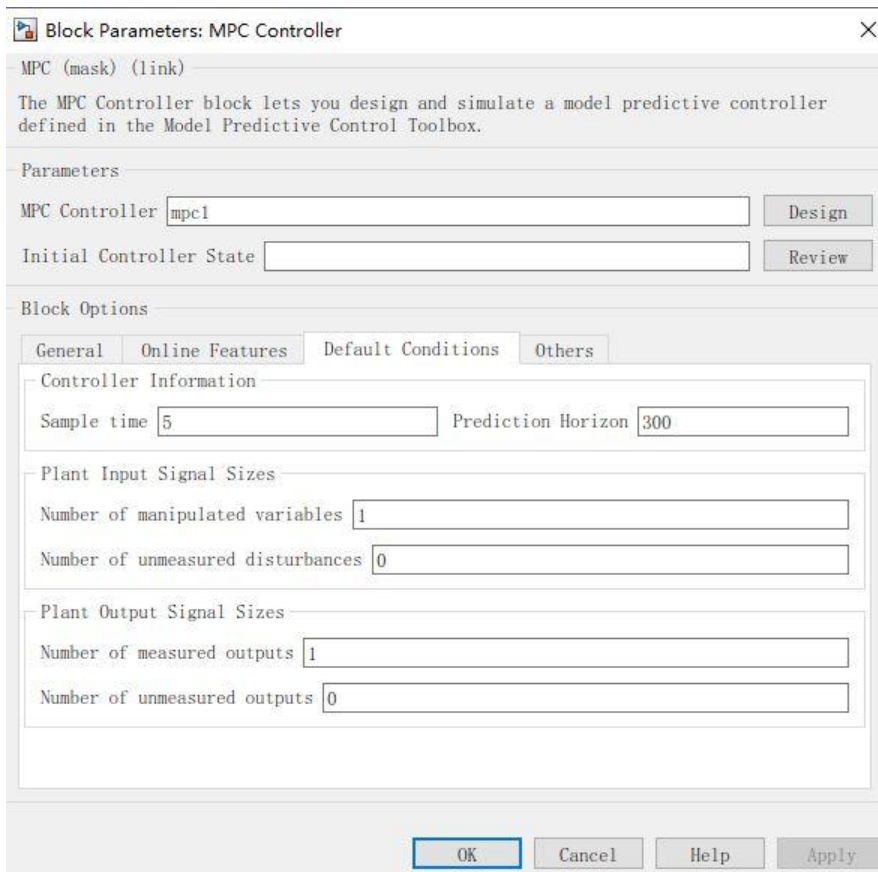


图 5-10 程序中 MPC 控制器设置

⑩ TANK3 液位设定值为 9，编译程序并运行，建立初稳态后，设定值由 9 阶跃为 10，待系统重新进入稳态后，双击 TANK3 液位示波器观察系统输出曲线。参考曲线如下图 5-11 所示。

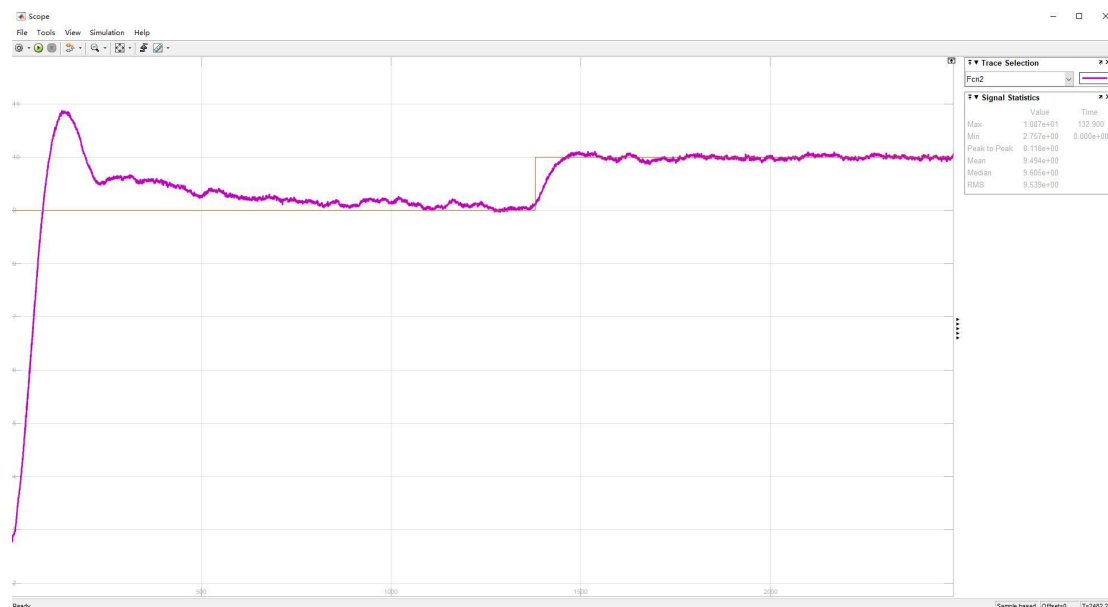


图 5-11 TANK3 液位输出变化曲线

⑪ 模型预测控制在线计算由初始化模块与实时模块组成，初始化模块是在投入运行的第一步检测对象的实际输出  $y(k)$ ，并把它设定为预测初值  $\hat{y}_0(k+i|k), i=1,2,\dots,N$ ，从这里可以看出，过程在系统投入运行前必须处于相对稳定的状态，否则在投入运行时会引起波动。

### 注意：

- 预测时域  $P$  设置须大于等于控制时域  $M$  ( $P \geq M$ )；
- $M$  增大不利于系统稳定性， $M$  减小使灵活性变弱；
- 采样时间越小，控制越及时，但会增加控制的计算量和存储量；
- 实际被控过程存在大量非线性、时变性等不确定原因，基于模型的预测不可能完全准确地与实际被控过程相符；
- “Rate Weight”越大，系统柔性越好，鲁棒性变好，但快速性变差；
- 综上所述，MPC 控制器的参数整定可综合试凑与仿真，观察对已确定数学模型的系统输出量变化，并且最佳参数不是唯一的。

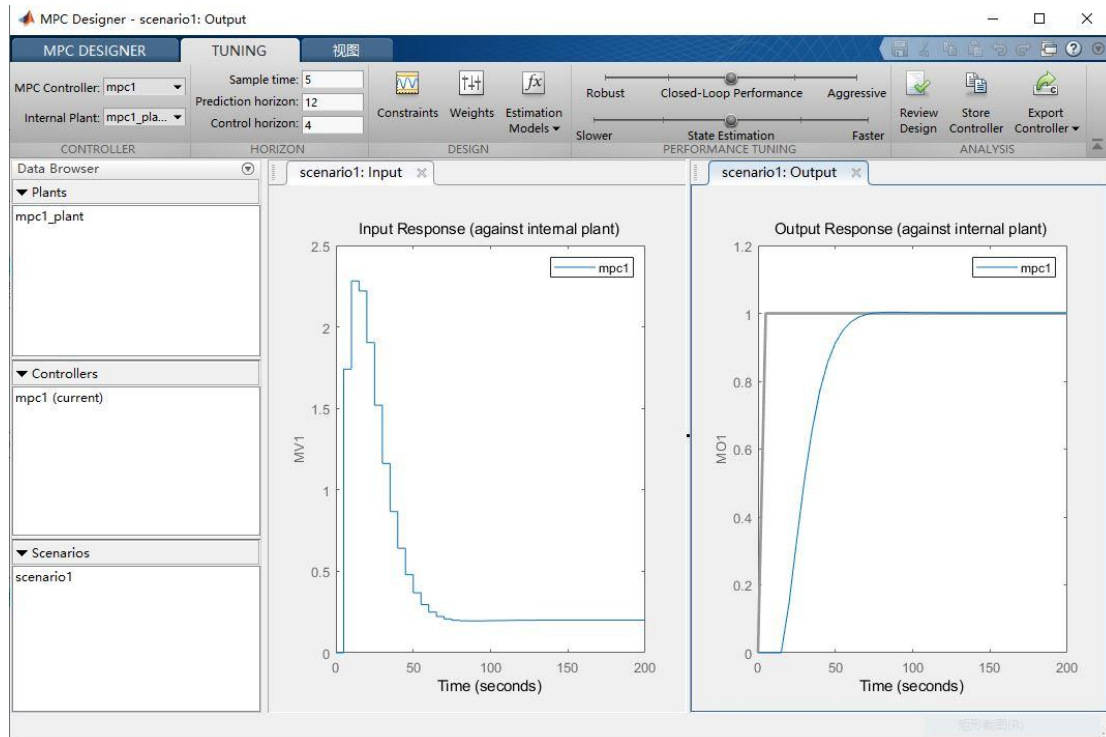


## 实验报告

- (1) 附实验中采集曲线，并记录此时响应曲线对应的 MPC 参数设置，分析实际中使用 MPC 控制器的控制效果受哪些因素影响？可查阅资料给出说明。
- (2) 与 PID 控制比较，MPC 控制有什么优缺点？可查阅资料给出说明。

## 附录 实验参考结果曲线

例 1 ——MPC 参数设置及 TANK3 液位变化曲线



**Weights (mpc1)**

**Input Weights (dimensionless)**

Channel	Type	Weight	Rate Weight	Target
u(1)	MV	0.2	0.4	nominal

控制权      参考轨迹参数

**Output Weights (dimensionless)**

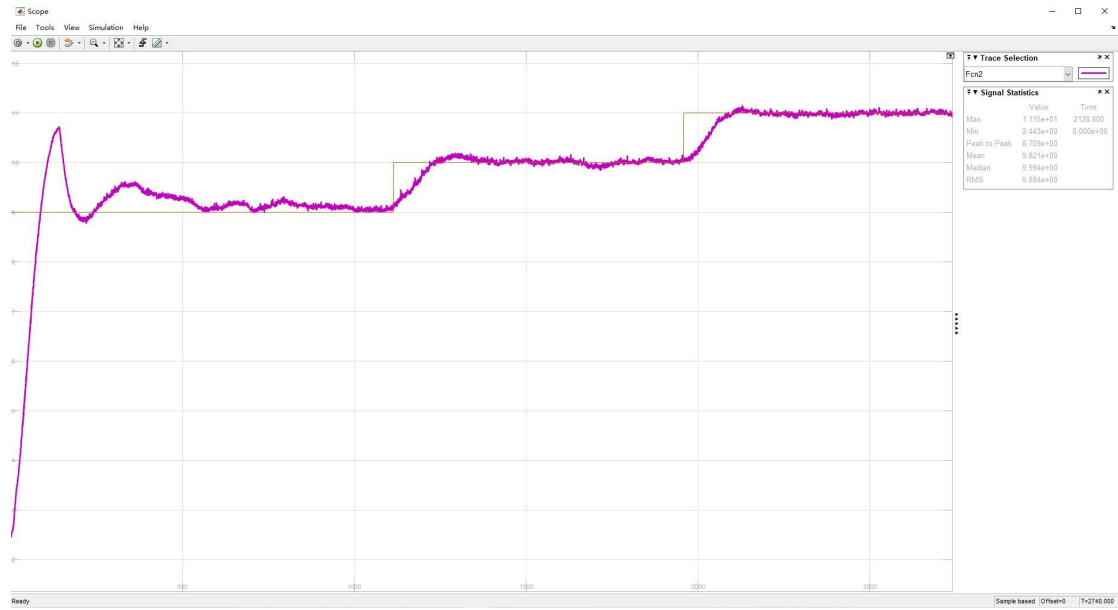
Channel	Type	Weight
y(1)	MO	1

误差权

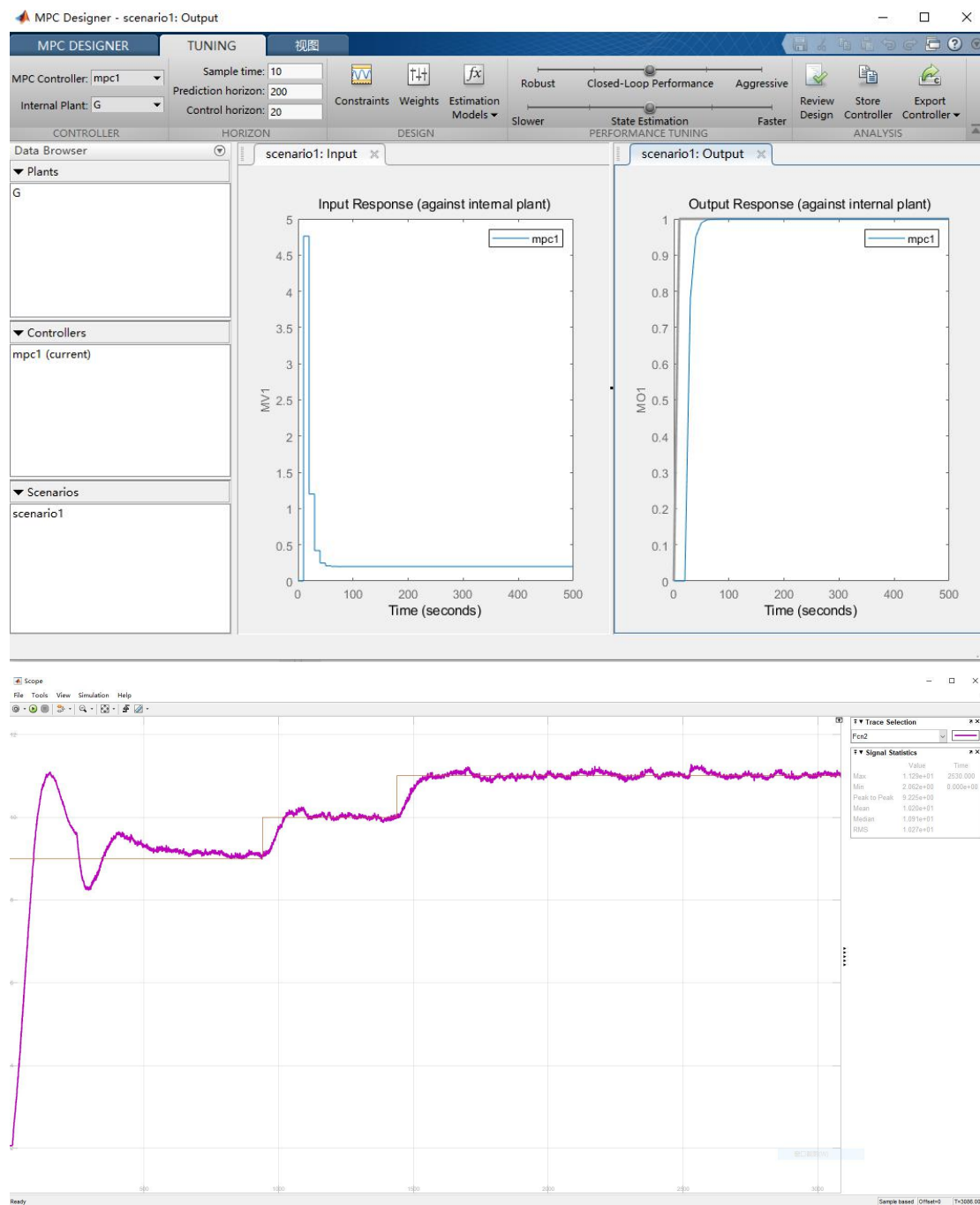
**ECR Weight (dimensionless)**

Weight on the slack variable: 100000

OK    Apply    Cancel    Help



## 例 2 ——MPC 参数设置及 TANK3 液位变化曲线（权值设置如图 5-7）



### 例3 ——MPC 参数设置及 TANK3 液位变化曲线（权值设置如图 5-7）

