

# 浙江大学



## 本科作业报告

姓名：潘谷雨

学院：电气工程学院

系：电气工程

专业：电气工程及其自动化

学号：3220102382

指导教师：王云冲

2025 年 6 月 1 日

课程名称： 电机控制  
作业名称： MATLAB 水箱液位控制模型分析  
学生姓名： 潘谷雨      专业： 电气工程及其自动化  
学号： 3220102382  
指导老师： 王云冲  
实验地点： 仿真作业      实验日期： 2025 年 05 月 01 日

## 一、作业内容及要求

- 1、针对水箱水位控制例题，运行 simulink/sltank 模型，说明模型中各模块的作用。
- 2、对模糊控制器进行改进，提高控制效果，实现模糊控制器对水位的控制。

## 二、作业仿真平台及软件

- 1、PC 机一台
- 2、MATLAB/Simulink 仿真软件
- 3、水箱水位控制例题参考

## 三、作业仿真模型及模块功能描述

### 1、模型概述

由于流出率取决于输出管直径(恒定)和水箱压力(随水位变化)，系统表现出非线性特性，适用于模糊控制。基于模糊理论的水箱液位控制 Simulink 样例如图 1 所示，支持模糊逻辑控制和 PID 控制两种方式。

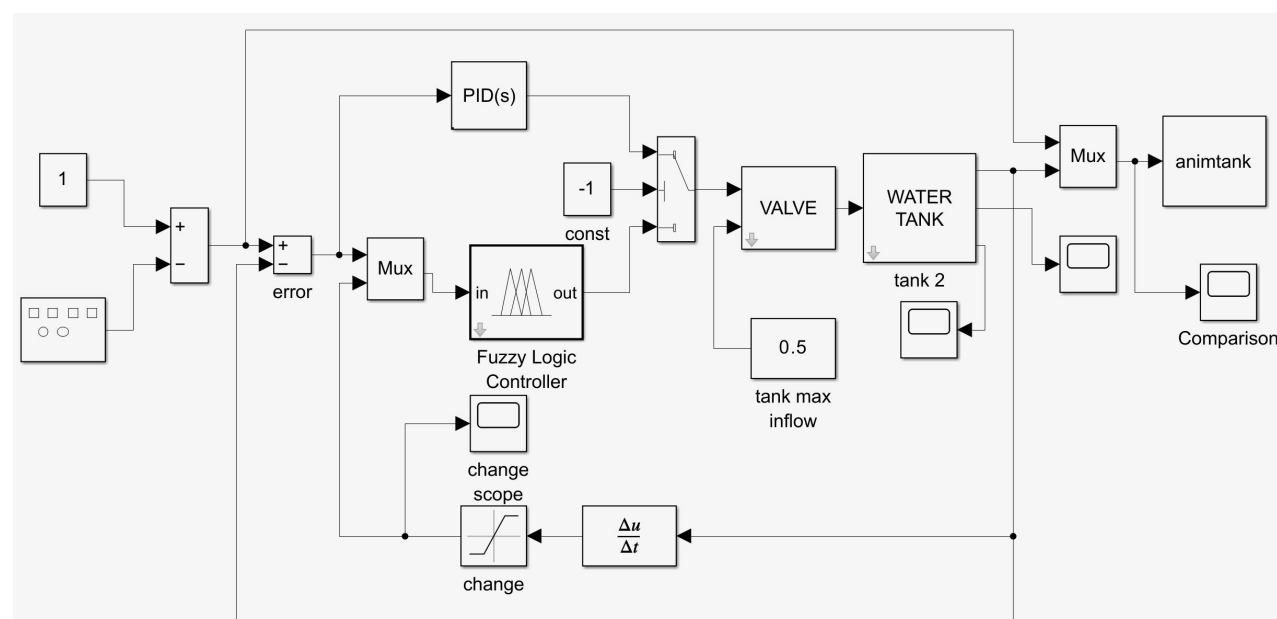


图 1 水箱液位控制 Simulink 样例

## 2、输入模块

输入模块如图 2 所示。输入的水位设定值周期变化，平均值为 1，振幅为 0.5，频率为 0.1rad/s。

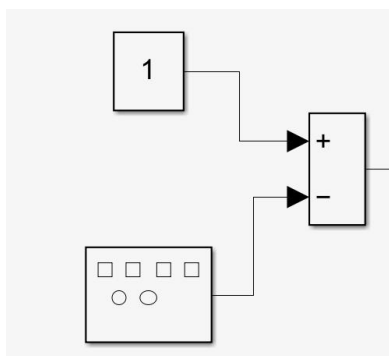


图 2 输入模块

## 3、控制模块

控制模块如图 3 所示，分为反馈与调节两部分。

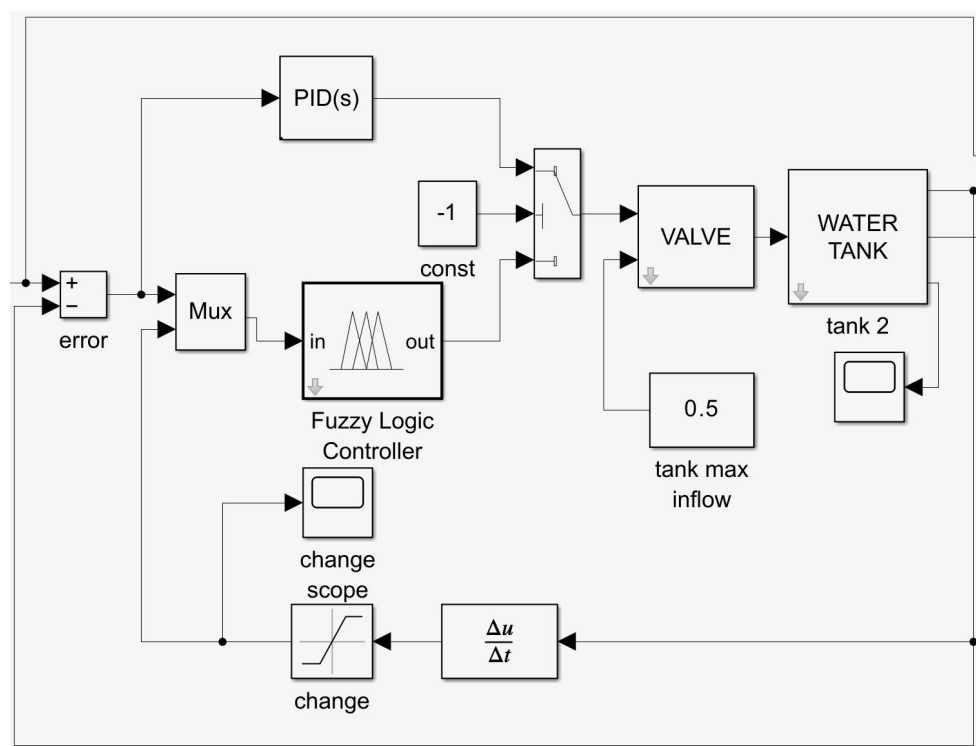


图 3 控制模块

反馈部分部分从 WATER TANK 中获取水位数据，从输入模块中获取水位设定值，计算得到水位误差与水位变化率。

调节部分可通过 PID 控制或模糊控制实现。要切换到 PID 控制，只需将 const 块设置为  $\geq 0$  的值。PID 调节部分基于水位误差控制，比例系数  $K_p = 2$ ，微分系数  $K_d = 1$ ，不采用积分控制。

模糊控制器则基于水位误差与水位变化率控制阀门开/关的速率。每个输入有三个隶属度函数，水位误差的隶属度函数如图 4 所示，当水位误差为较大的正值，被认为当前水位较低；当水位误差为较大的负值，被认为当前水位较高。

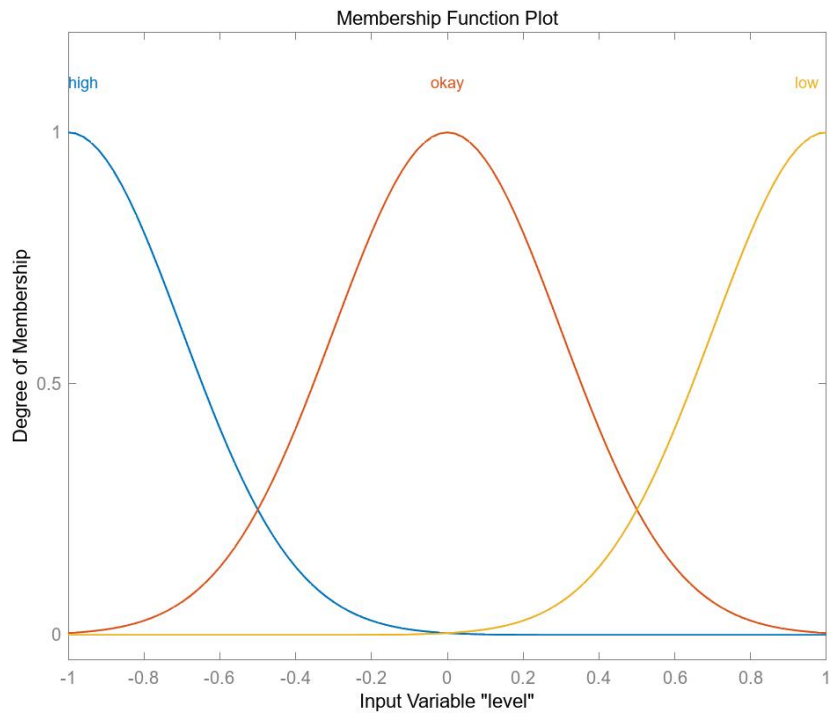


图 4 水位误差隶属度函数

水位变化率的隶属度函数如图 5 所示，当水位变化率为较大的正值，被认为当前水位有较大的上升趋势；当水位误差为较大的负值，被认为当前水位有较大的下降趋势。

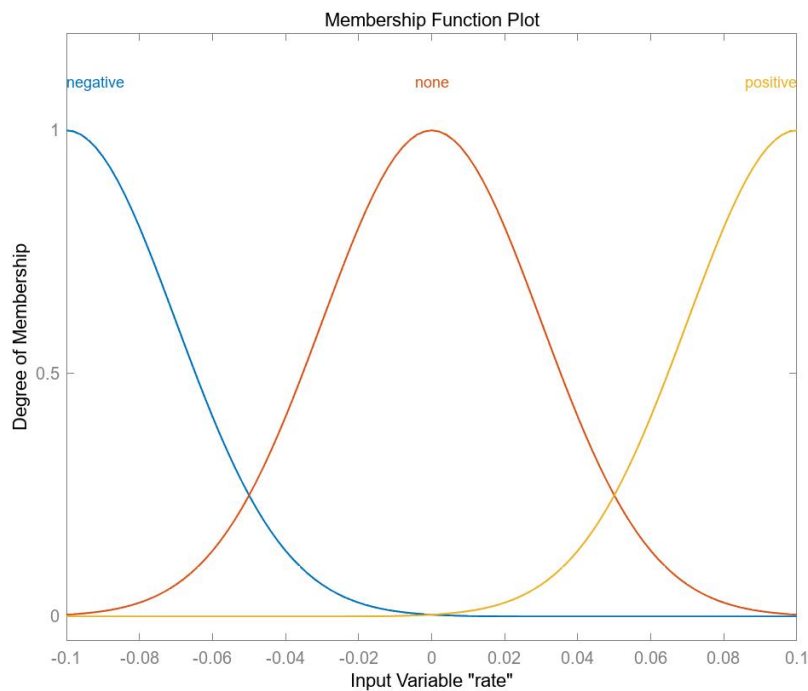


图 5 水位变化率隶属度函数

输出阀门开/关的速率有五个隶属度函数，如图 6 所示。考虑到出水管直径导致排空速度慢于注满速度，关闭和打开阀门的隶属函数设计为不对称形式：当水位过高时，需要快速关闭阀门；而当水位过低时，需要更温和地打开阀门，以避免过度调节。

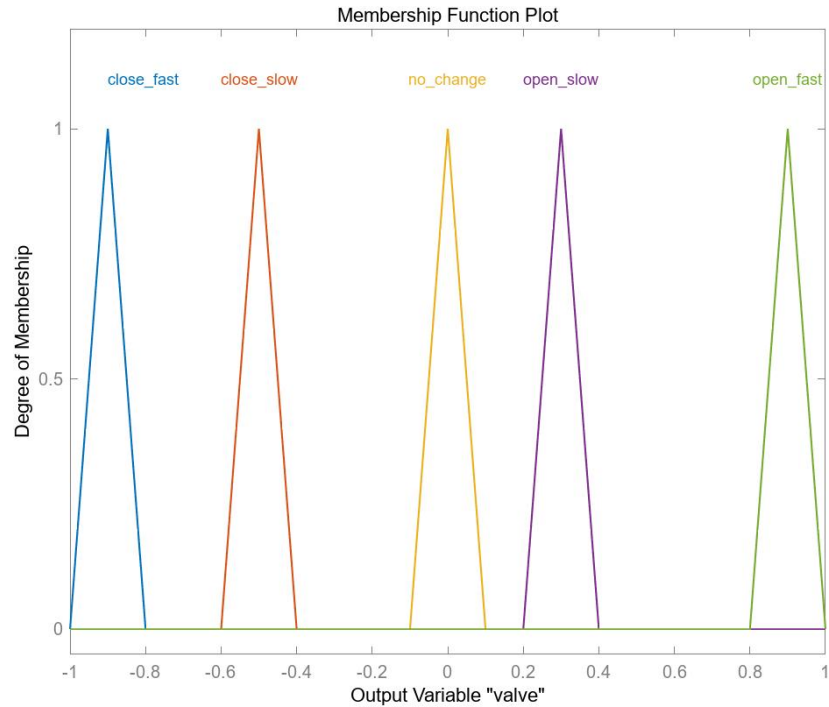


图 6 阀门开/关隶属度函数

基于输入输出隶属度函数，模糊控制系统包含的五条规则如图 7 所示。

	Rule	Weight	Name
1	If level is okay then valve is no_change	1	rule1
2	If level is low then valve is open_fast	1	rule2
3	If level is high then valve is close_fast	1	rule3
4	If level is okay and rate is positive then valve is close_slow	1	rule4
5	If level is okay and rate is negative then valve is open_slow	1	rule5

图 7 模糊规则

前三条规则基于水位误差，主要用于对水位进行粗调，确保水位能够快速接近期望范围。规则①指出，当水位在误差范围内时，不需要对阀门进行调整。规则②和③是针对水位明显偏离期望值的情况制定的。当水位低时，需要快速打开阀门以增加进水量；而当水位高时，则需要快速关闭阀门以减少进水量。

规则④和⑤则基于水位变化率，在水位处于误差范围内时，根据水位的变化趋势进行细调。当水位在误差范围内且呈上升趋势时，需要缓慢关闭阀门，以防止水位继续上升超出误差范围；而当水位在误差范围内且呈下降趋势时，需要缓慢打开阀门，以防止水位下降过低。

结合上述隶属度函数与模糊规则，得到如图 8 所示三维表面图。

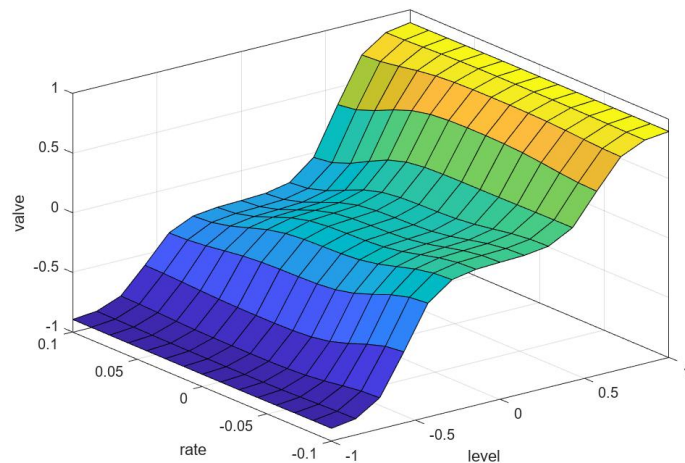


图 8 三维表面图

4、执行模块

执行模块如图 8 所示，分为阀门和水箱两部分。

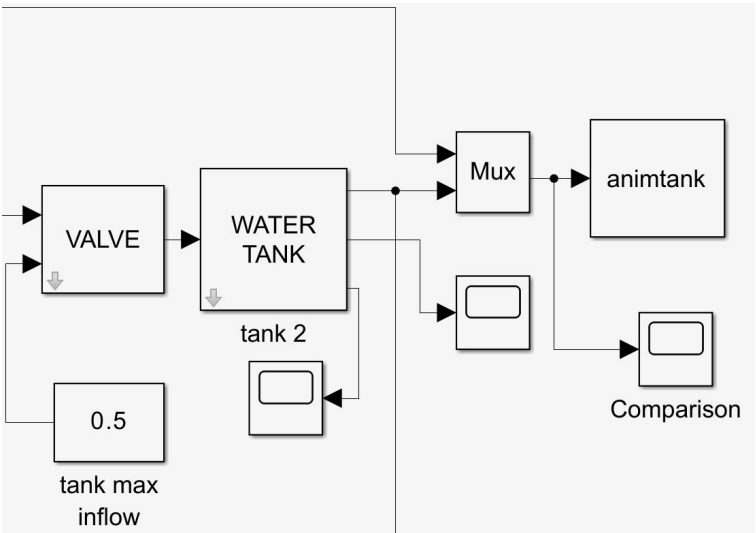


图 8 执行模块

阀门模块通过调节开度限制流入水箱的水量，内部程序如图 9 所示。从控制模块获取范围-1~1 的阀门开关指令，积分后与设定的水箱最大允许流量 0.5 相乘，得到水箱所需水流的进入量，输入水箱模块。

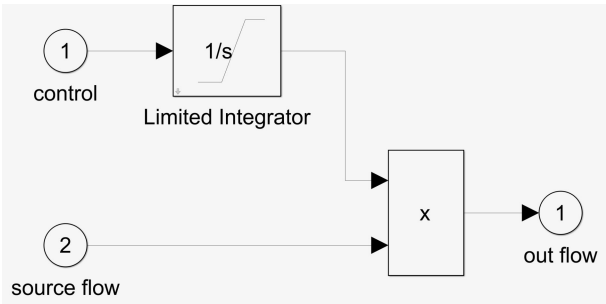


图 9 阀门模块

水箱模块储存由阀门控制后流入的水量，内部程序如图 10 所示。

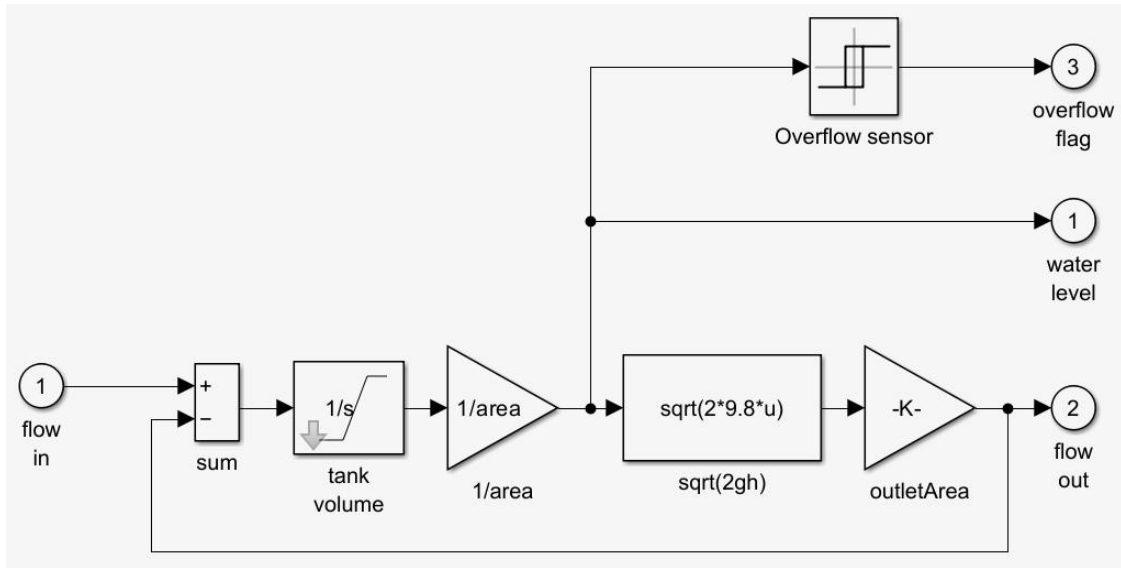


图 10 水箱模块

输入流入水箱的水量，反馈流出水箱的水量，相减得到净流入量，积分运算模拟水箱内水量随时间的累积变化。将水量除以水箱底面积  $area$ ，计算出水箱内的水位高度  $h$ 。基于托里拆利定律  $v = \sqrt{2gh}$ ，根据水位高度  $h$  计算出口流速。将流速乘以出口面积  $outletArea$ ，计算实际流出流量  $Q$ 。

溢流传感器 **Overflow sensor** 用于监测水位高度，水箱高度设定为 2，当水位达到设定阈值时触发溢流标志信号。

#### 四、控制效果

PID 与模糊控制器都能够使水位跟踪设定点，均未溢流，流出水量周期性上下波动。图 11 显示了模糊控制器水位跟踪过程。

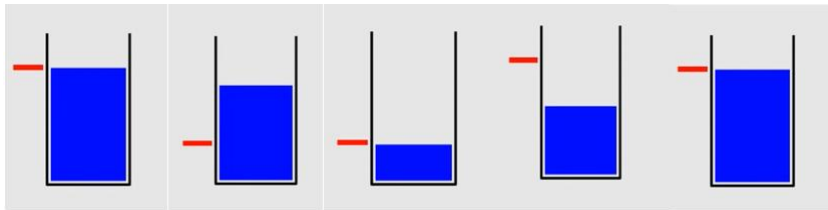


图 11 模糊控制器水位控制效果

水位设定值与水位实际值波形如图 12 所示。输入的水位设定值以方波形式周期变化，由图可见实际水位超调较小，波形平稳无振荡，控制效果较好。

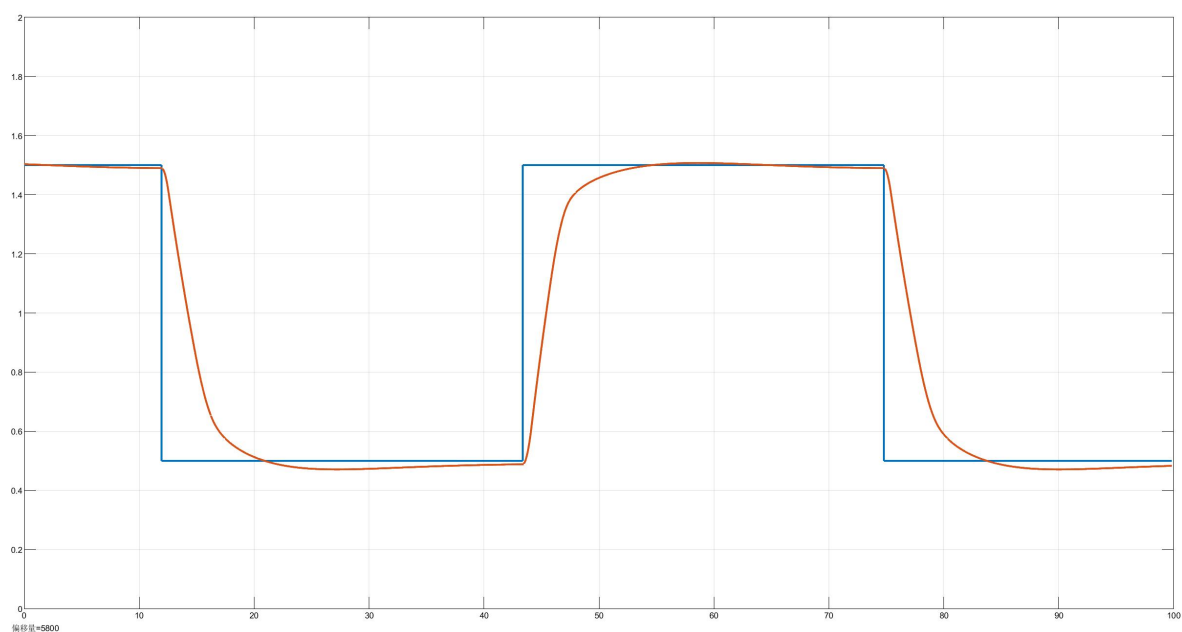


图 12 模糊控制器设定水位与实际水位波形

图 13 显示了 PID 控制器的水位跟踪过程。

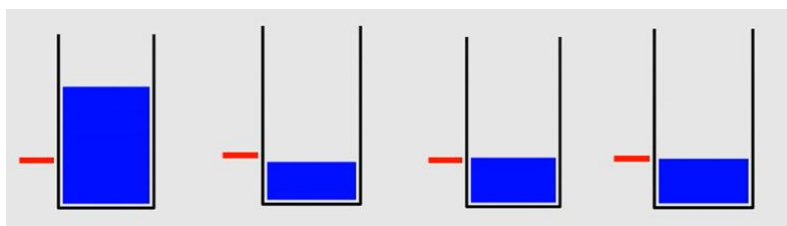


图 13 PID 水位控制效果

水位设定值与水位实际值波形如图 14 所示。输入的水位设定值仍以方波形式周期变化，由图可见实际水位有较大超调，波形出现多次上下振荡，控制效果较差。

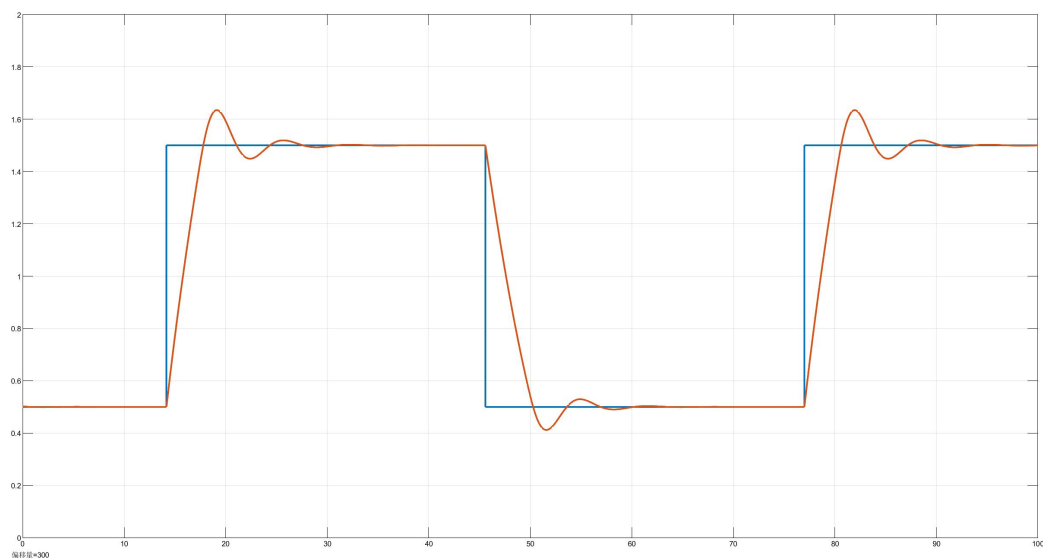


图 14 PID 设定水位与实际水位波形



PID 控制器不支持模糊系统中设计的不对称补偿特性，通过合理的隶属度函数与模糊规则设置，模糊控制器能更好地处理系统非线性特性。

## 五、改进 sltank 模型

改进后的 sltank 模型如图 15 所示。

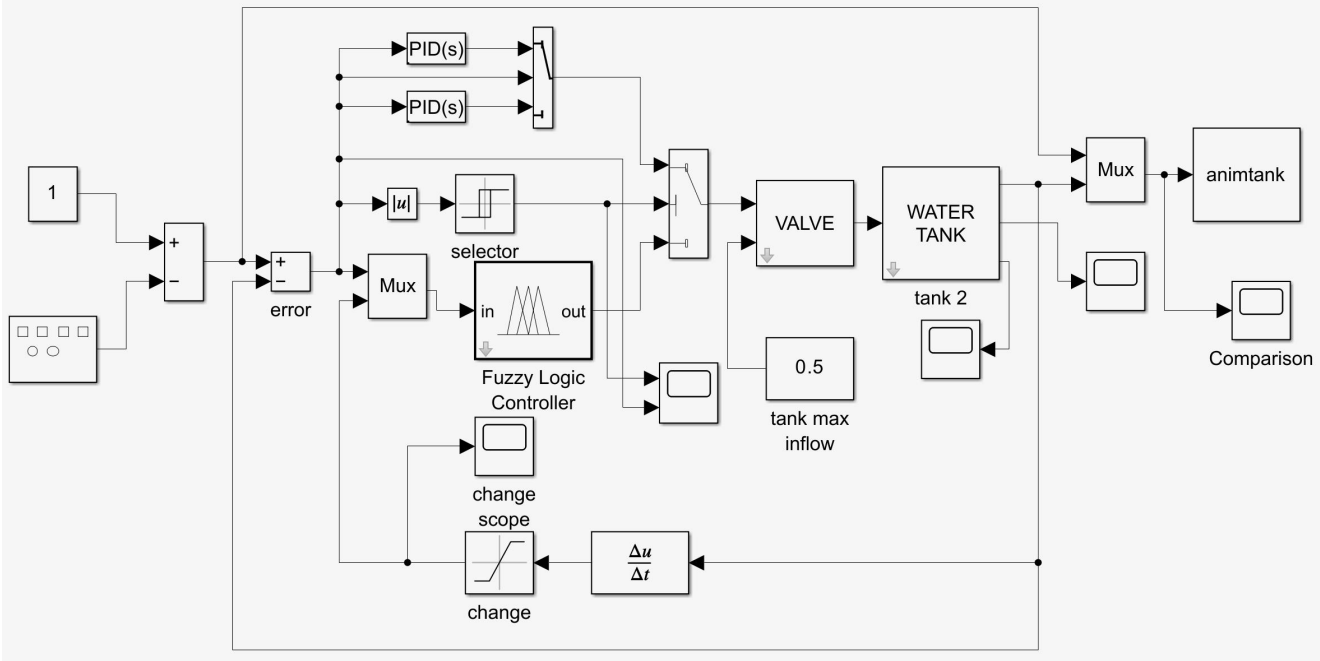
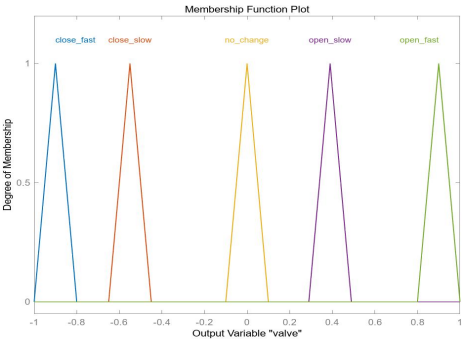


图 15 改进的水箱液位控制模型

改进 sltank 模型调整了切换逻辑模块，根据误差大小判断使用 PID 控制还是模糊控制，实现两种控制策略的平滑过渡。当误差绝对值大于 0.33，采用 PID 控制，否则使用模糊控制。

模糊控制器用于小误差情况，利用模糊逻辑处理非线性问题，根据当前误差和误差变化率选择合适的控制动作，使系统稳定在设定值附近。其中，为了优化拐角处的控制效果，调整了模糊控制器输出的隶属度函数，增大 open\_slow 与 close\_slow 的对应水量变化速度，数值如图 16 (b) 所示。



(a)

Name	Type	Parameters
close_fast	Triangular	[-1 -0.9 -0.8]
close_slow	Triangular	[-0.65 -0.55 -0.45]
no_change	Triangular	[-0.1 0 0.1]
open_slow	Triangular	[0.29 0.39 0.49]
open_fast	Triangular	[0.8 0.9 1]

(b)

图 16 改进后的输出隶属度函数

利用 PID 控制器模块的快速响应特点，在大误差情况下控制，通过比例、积分和微分作用调整输入量以减少系统误差。由于水量流入流出的不对称，在 PID 环节也加入了切换逻辑模块，当水位误差大于 0 即水位较低时，采用的 PID 参数为比例系数 $K_p = 8$ ，积分系数 $K_i = 0.5$ ，微分系数 $K_d = 1$ ；当水位误差小于 0 即水位较高时，采用的 PID 参数为比例系数 $K_p = 5$ ，积分系数 $K_i = 0.5$ ，微分系数 $K_d = 1$ 。

图 17（a）为原样例的模糊控制效果，改进后的控制效果如图 17（b）所示。

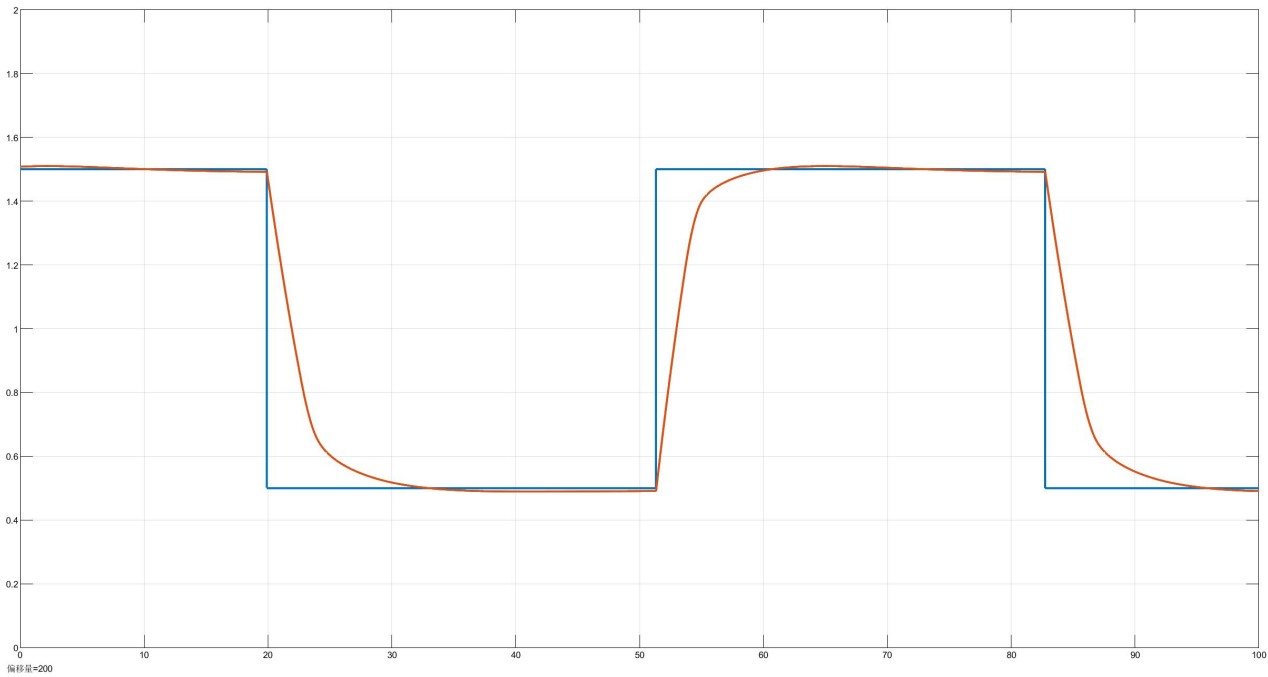
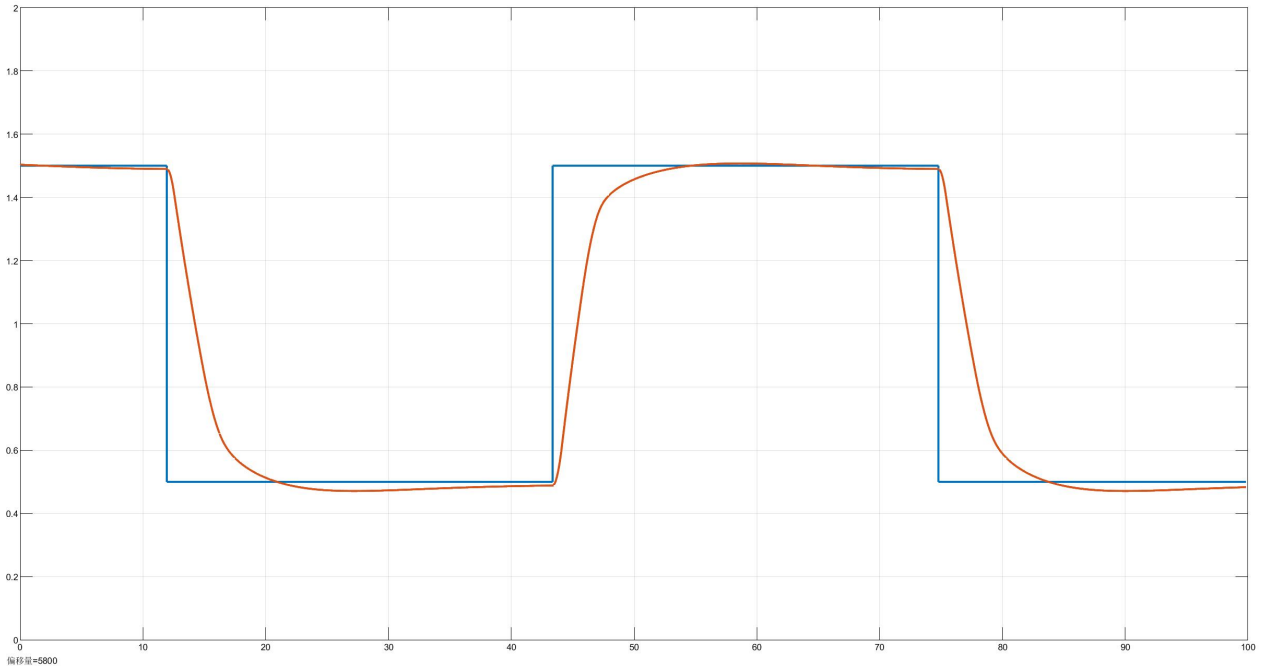


图 17

对比可见，改进后的 sltank 模型展现出更优的控制性能。在设定值发生变化时，系统具有更快的响应速度和更强的动态调节能力，能够迅速达到稳态；同时，在水位下降工况下，系统的超调量更小、稳态误差更小，控制精度更高。

## 六、总结

原 sltank 样例在水位控制任务中能实现基本的跟踪功能。模糊控制器能够处理系统的非线性特性，表现出较好的稳定性，但其响应速度相对较慢；而 PID 控制器虽然响应较快，但易产生超调和振荡，控制效果不够平稳。

改进后的 sltank 模型结合了 PID 与模糊控制策略，优化后的模糊控制器通过调整输出隶属度函数，增强了对非线性特性的适应能力，而引入切换逻辑的 PID 控制则在大误差阶段加快了调节速度，二者实现优势互补，提升了系统的控制性能。

本实验利用模糊控制在小误差范围内具有较好收敛性和稳定性的特点，选择在误差较小时启用模糊控制，以实现水位的精细调节。然而，模糊控制也存在一定的局限性，在小误差的“拐角”区域，由于控制输出的变化速度受限，且模糊控制本身具有较强的连续性，导致该范围难以满足更高的动态响应要求。若要进一步优化，需要改变控制策略，采用滑模控制或模型预测控制等。