

一个基于 MATLAB 的模糊 PID 控制器被用于控制电热 锅炉的温度

组员 : LOW REN HONG

任务分配 :

LOW REN HONG 负责论文查找, 程序编写, 文档编写, 文档整理

Table of Contents

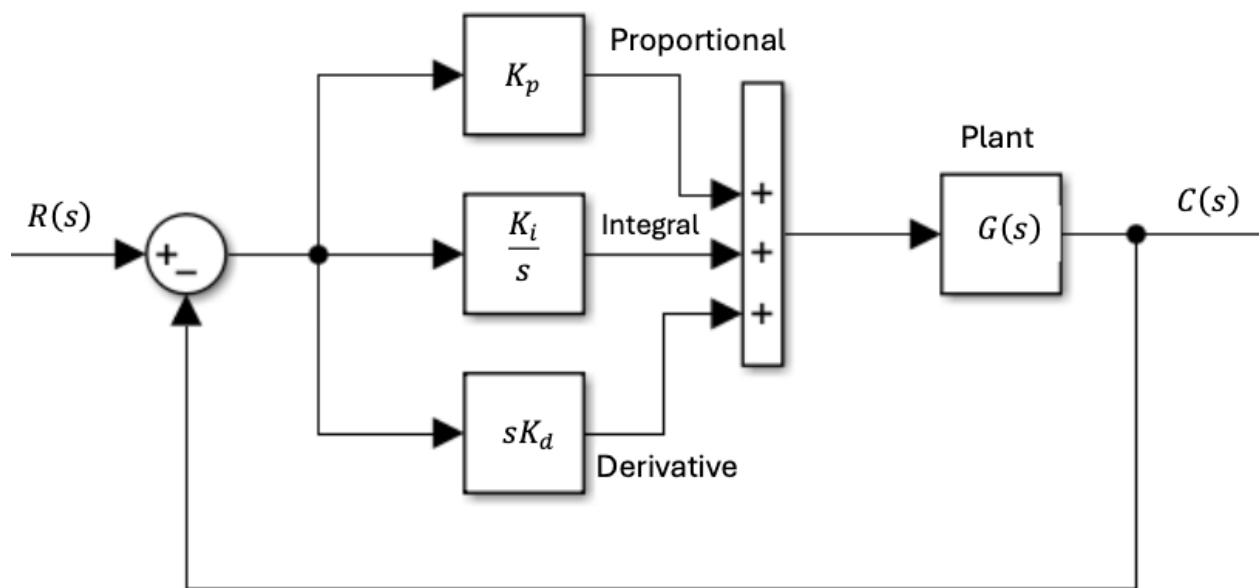
一个基于 MATLAB 的模糊 PID 控制器被用于控制电热锅炉的温度.....	1
1. 实验目的:.....	3
2. 方案设计:	3
2.1. 常规 PID 控制设计	3
2.2. 模糊控制 PID.....	4
3. 模糊 PID 控制规则表.....	9
3.1. K_p	9
3.2. K_i	9
3.3. K_d	10
4. 仿真	10
4.1. 传统的 PID 参数设置.....	10
4.2. 模糊控制.....	11
4.3. 模糊控制 PID.....	11
5. 控制效果	12
5.1. 控制仿真效果如:.....	12
5.2. 仿真结果:.....	12
6. 总结	13

1. **实验目的:** 将《一个基于 MATLAB 的模糊 PID 控制器被用于控制电热锅炉的温度》这篇论文进行复现并对论文进行详细的讲解如何实现的.本文的控制目标是使水温稳定在 85° C.本文采用的对比的方法是用来 PID 控制,模糊控制,模糊 PID 控制.

仿真工具:MATLAB R2023b

2. 方案设计:

2.1. 常规 PID 控制设计



理想 PID 控制器基于给定值 $r(t)$ 与实际输出值 $c(t)$ 形成的控制偏差 $e(t)$. P 负责快, I 负责准, D 负责稳.

PID 控制的结构有比列 P,积分 I,微分 D 这三部分.输入信号是系统误差 $e(t)$ 进行处理后输出的控制信号是 $u(t)$

$$e(t) = r(t) - c(t)$$

- $r(t)$: 给定值 (参考输入 / Setpoint)
- $c(t)$: 实际输出值 (受控变量 / Process Variable)
- $e(t)$: 偏差 (Error)

核心思想：根据误差的当前值,过去的累积值,和变化趋势来决定控制量.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(r) dr + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

其中：

- $u(t)$: 控制器的输出；
- $e(t)$: 控制器的输入，即误差信号；
- $K_p e(t)$: 比例项， K_p 称为比例增益；
- $K_i \int_0^t e(r) dr$: 积分项， K_i 称为积分增益；
- $K_d \frac{de(t)}{dt}$: 微分项， K_d 称为微分增益。

通过调节 PID 控制器中的三个参数 (K_p 、 K_i 、 K_d)，可以针对不同的过程需求实现理想的控制效果。

2.2. 模糊控制 PID

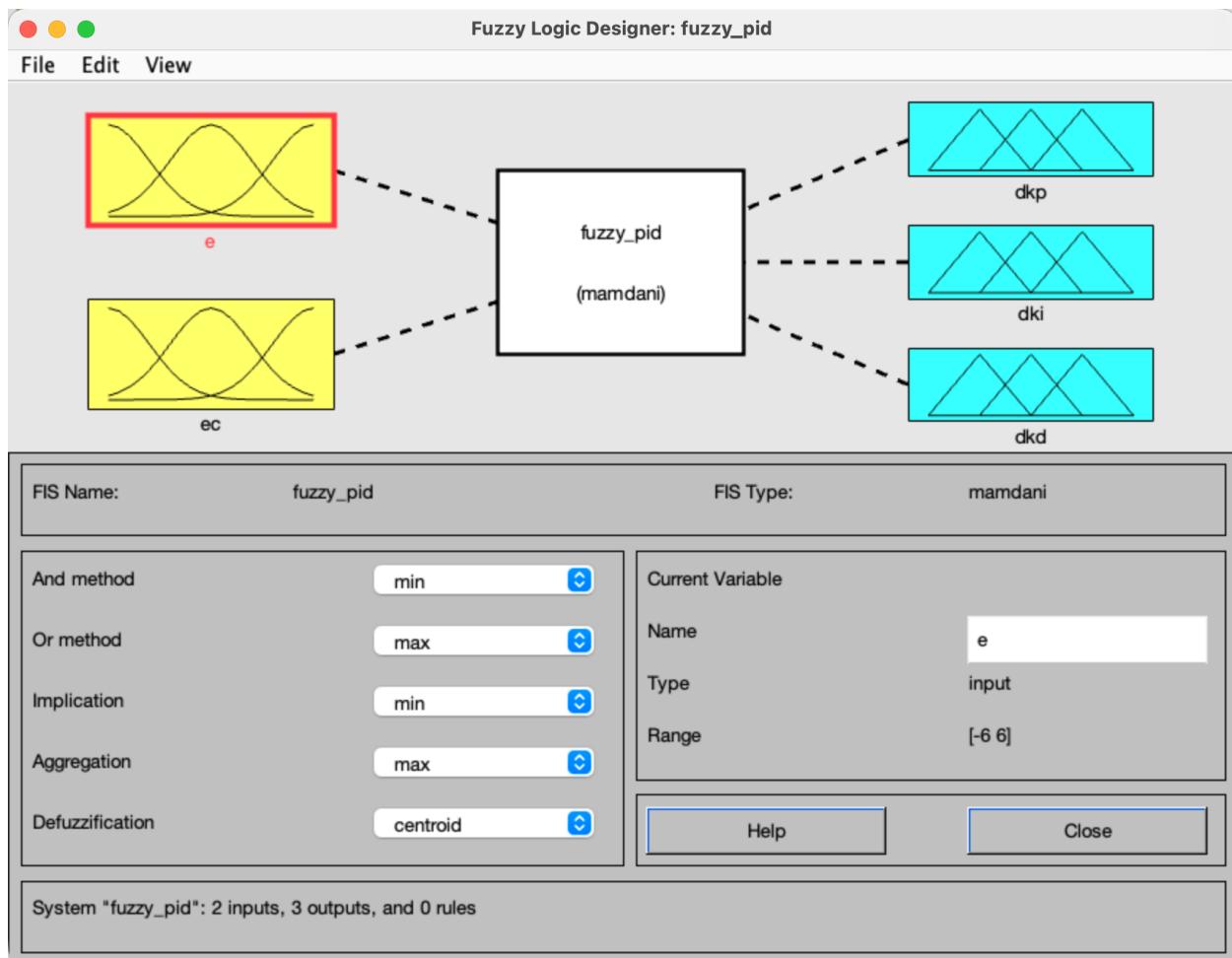
模糊控制 PID 参数修改如下，

$$K_p = K'_p + \{e, ec\} K_p = K'_p + \Delta K_p$$

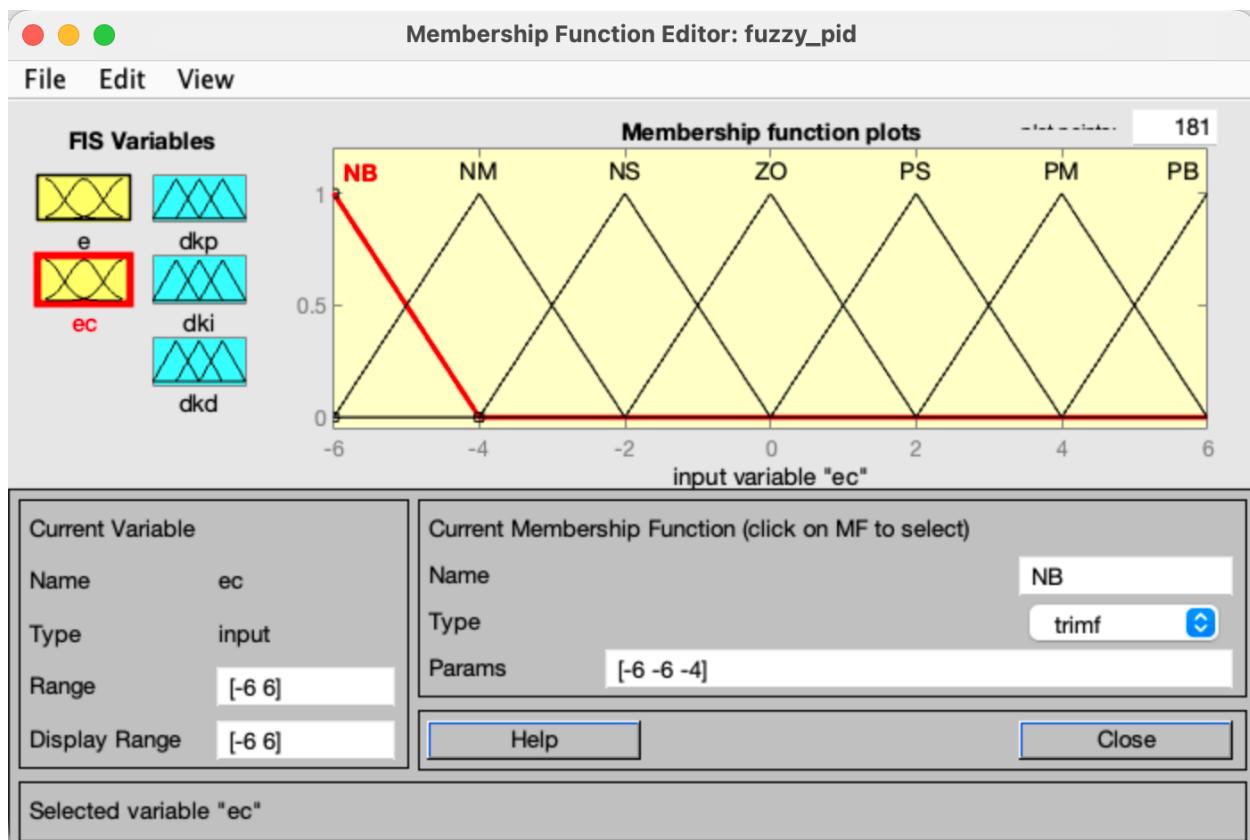
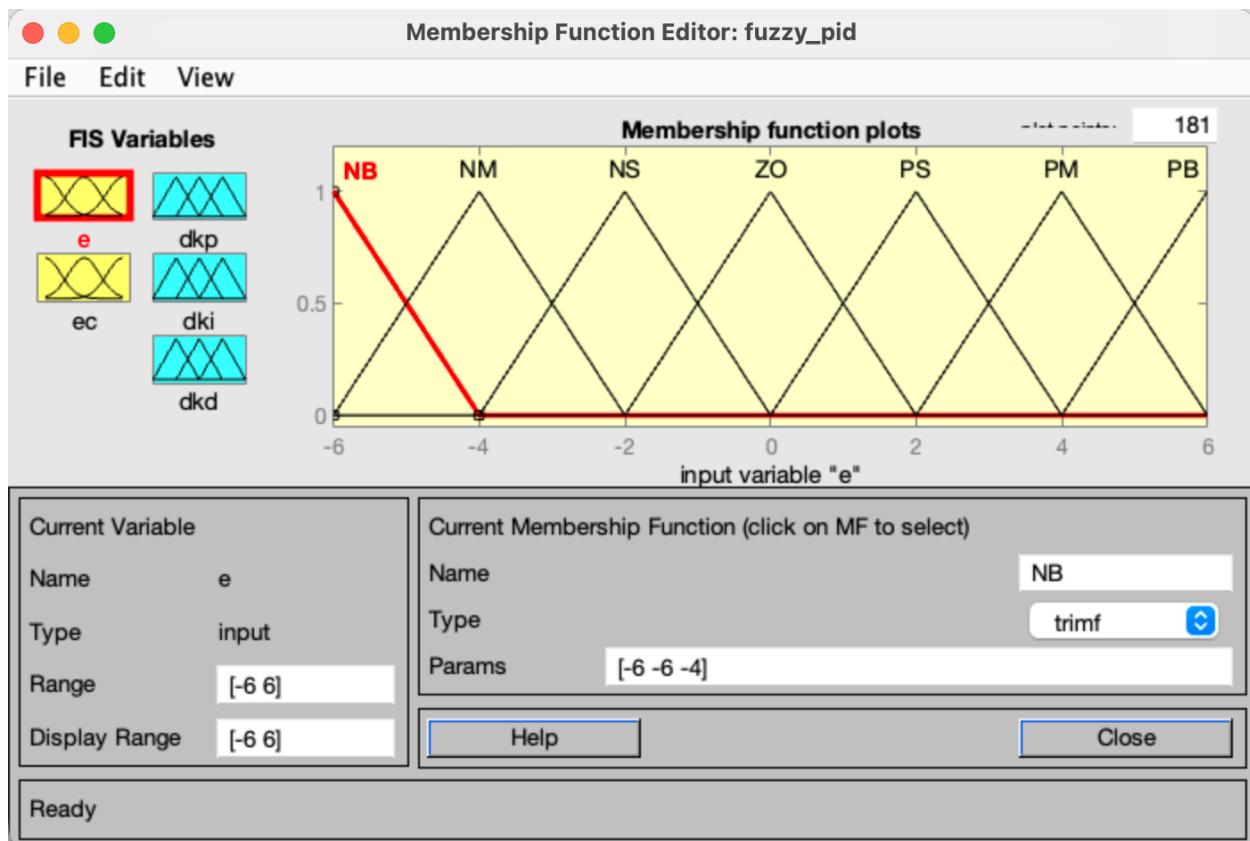
$$K_i = K'_i + \{e, ec\} K_i = K'_i + \Delta K_i$$

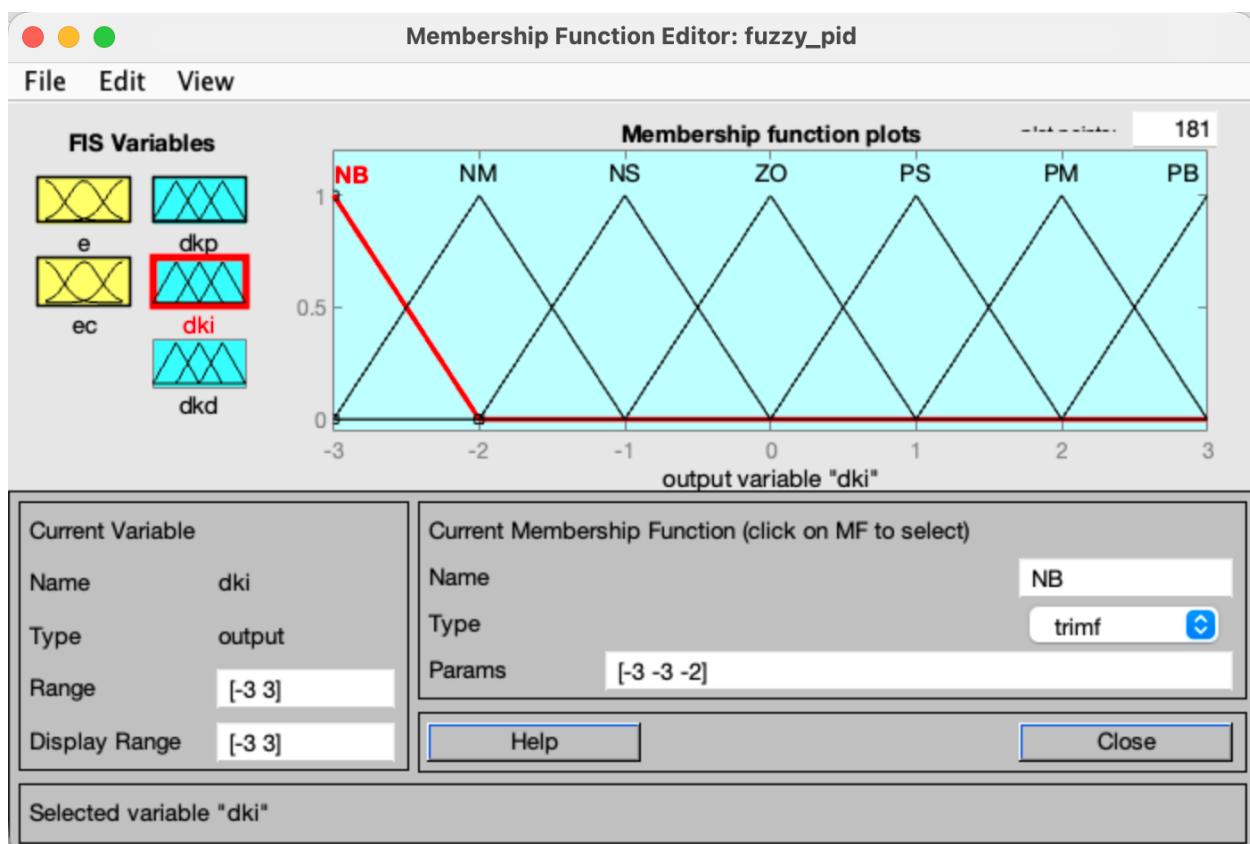
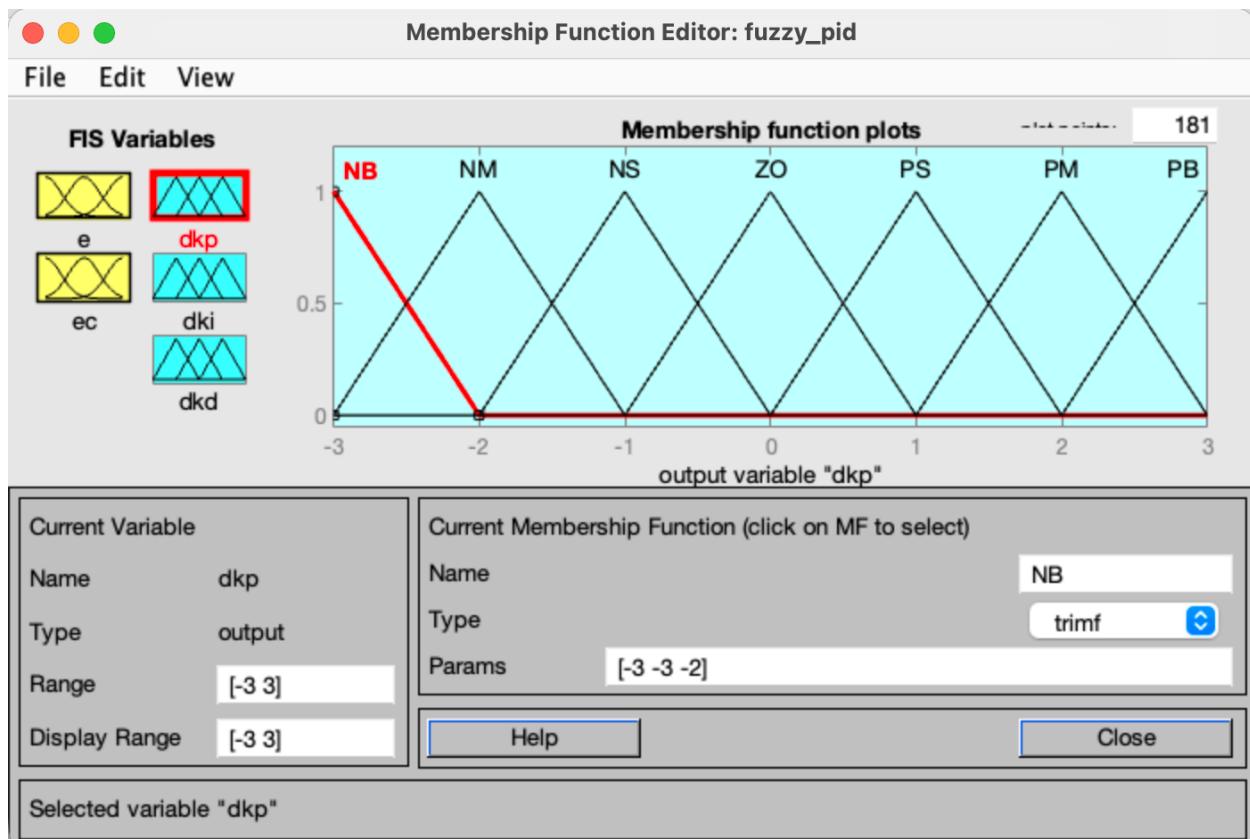
$$K_d = K'_d + \{e, ec\} K_d = K'_d + \Delta K_d$$

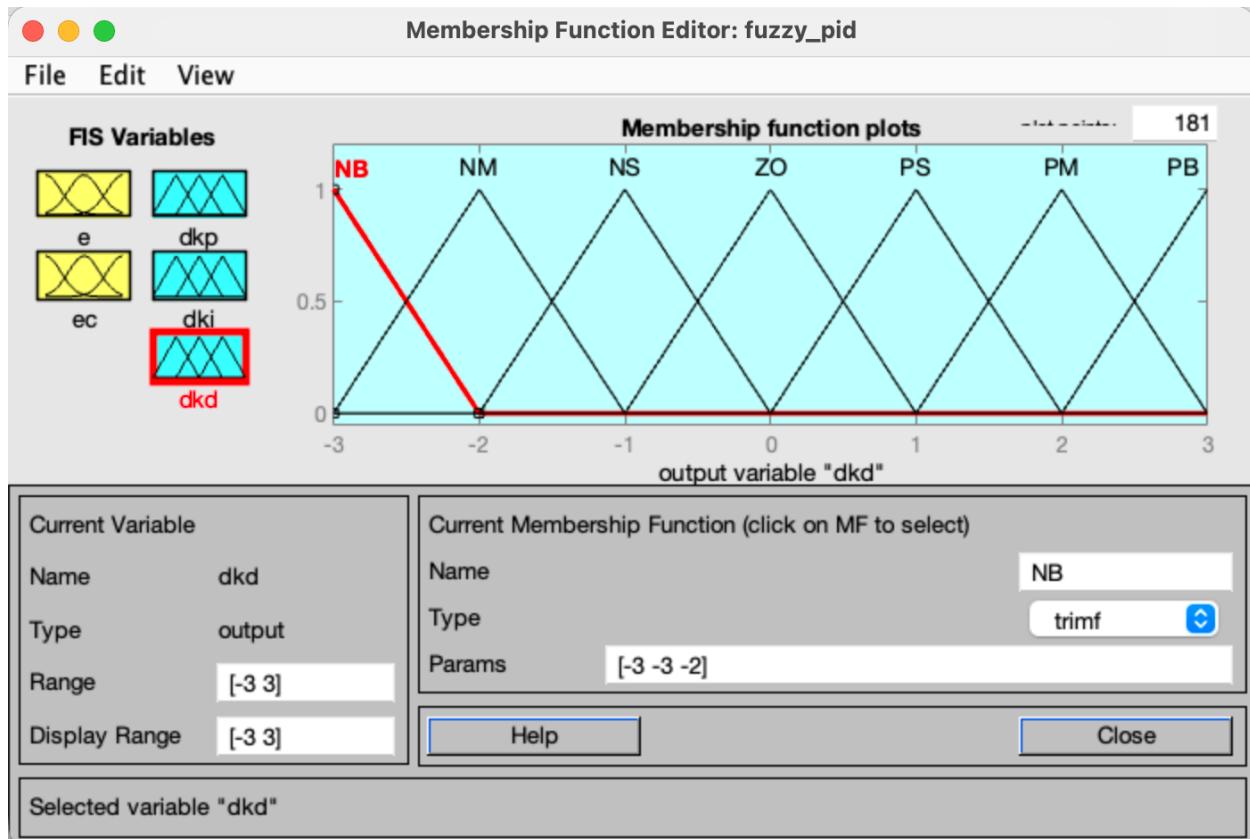
K_{p0} 表示 PID 在控制器中的比例初始时的值, K_{i0} 表示积分控制器的初始值的值, K_{d0} 表示微分控制器的初始时刻的值.



采用模糊控制的输入为 2,3 输出.模糊控制的 2 个输入变脸为 e, ec ,3 个输出变量为 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$. 输入变量的阈值为 $[-6, 6]$,输出变量的阈值为 $[-3, 3]$.输出的语法采用了 7 项分为 NB(负大),NM(负中),NS(负小),ZO(零),PS(正小),PM(正中),PB(正大).







3. 模糊 PID 控制规则表

3.1. K_p

EC E	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	NB	NB	NM	NM	NM	ZO	ZO
PM	NB	NM	NM	NM	PS	ZO	PS
PS	NM	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
NS	NS	NS	ZO	PS	PM	PM	PN
NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
NB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

3.2. K_i

EC E	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
PM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	ZO
PS	PB	PM	PS	PS	ZO	NS	NM
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
NS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NB
NM	ZO	ZO	NS	NS	NM	NB	NB
NB	ZO	ZO	NS	NM	NM	NB	NB

3.3. K_d

EC E	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	PB	PS	PS	PM	PM	PM	PB
PM	PB	PS	PS	PS	PS	ZO	PB
PS	ZO						
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
NS	ZO	NS	NS	NM	NM	NS	ZO
NM	ZO	NS	NM	NM	NB	NS	PS
NB	PS	NM	NB	NB	NB	NS	PS

这里写入了 49 个模糊控制的规则, 在运行过程中, 电锅炉温度控制系统利用上述模糊控制规则完成 PID 参数的在线自整定, 持续检测 e 和 ec , 并以最快速度找出三个 PID 参数与 e 和 ec 之间的模糊关系。

4. 仿真

4.1. 传统的 PID 参数设置

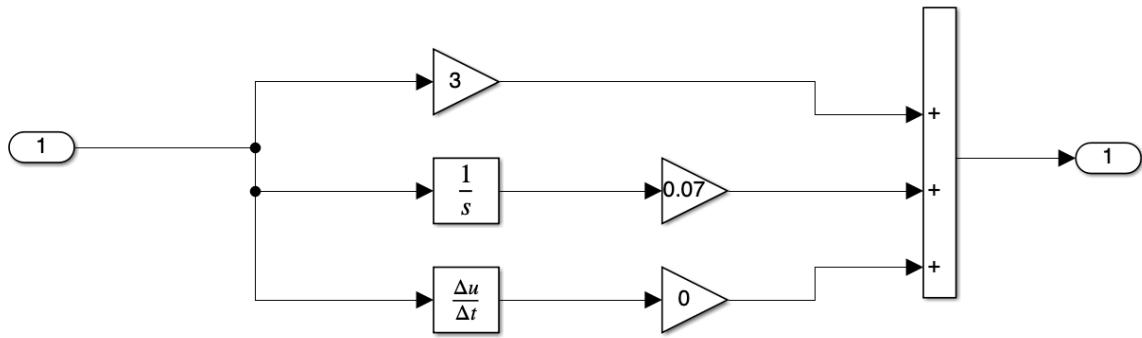
PID 控制的结构有比例 P, 积分 I, 微分 D 这三部分. 输入信号是系统误差 $e(t)$ 进行处理后输出的控制信号是 $u(t)$

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

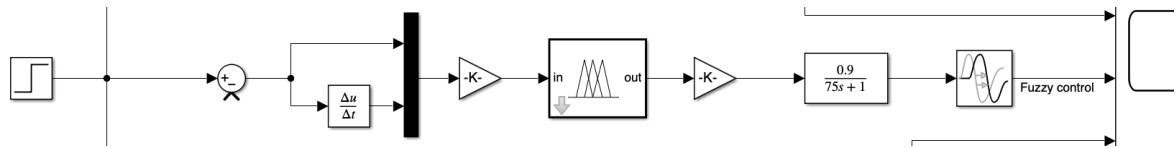
比例 P 的比例系数是 $K_p = 3$ 直接将输入信号放大 3 倍的输出 它作用是快速响应. 积分 I 里的 $\frac{1}{s}$ 是积分运算, 积分增益 $K_i = 0.07$ 它的作用是消除稳态误差. 微分项 D 里的 $\frac{\Delta u}{\Delta t}$ 是输入信号的微分, 微分增益为 $K_d = 10$ 作用是抑制超调, 预测误差变化趋势. 最后再使用一个求和器来进行三路的汇总

$$u(t) = u_p(t) + u_I(t) + u_D(t)$$

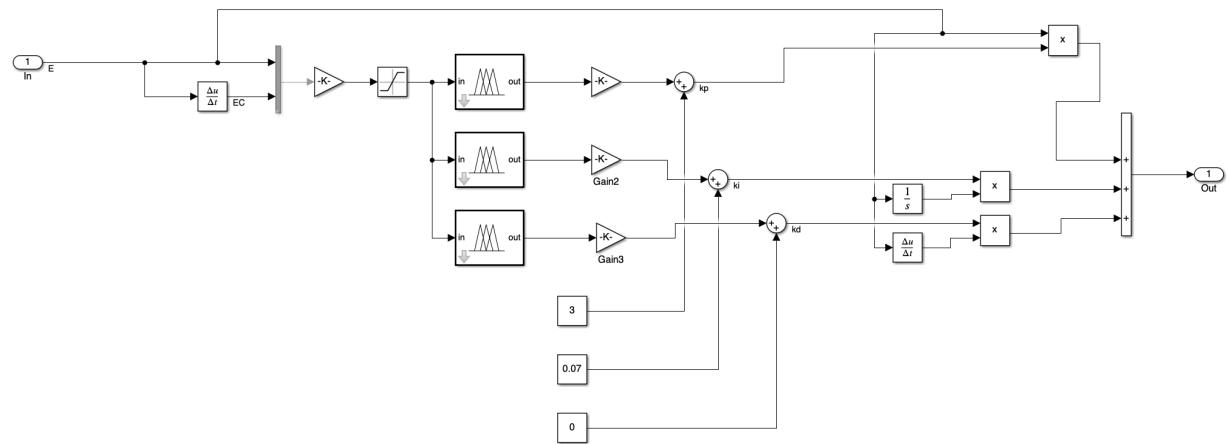
$$u(t) = 3e(t) + 0.07 \int e(t)dt + 10 \frac{de(t)}{dt}$$



4.2. 模糊控制

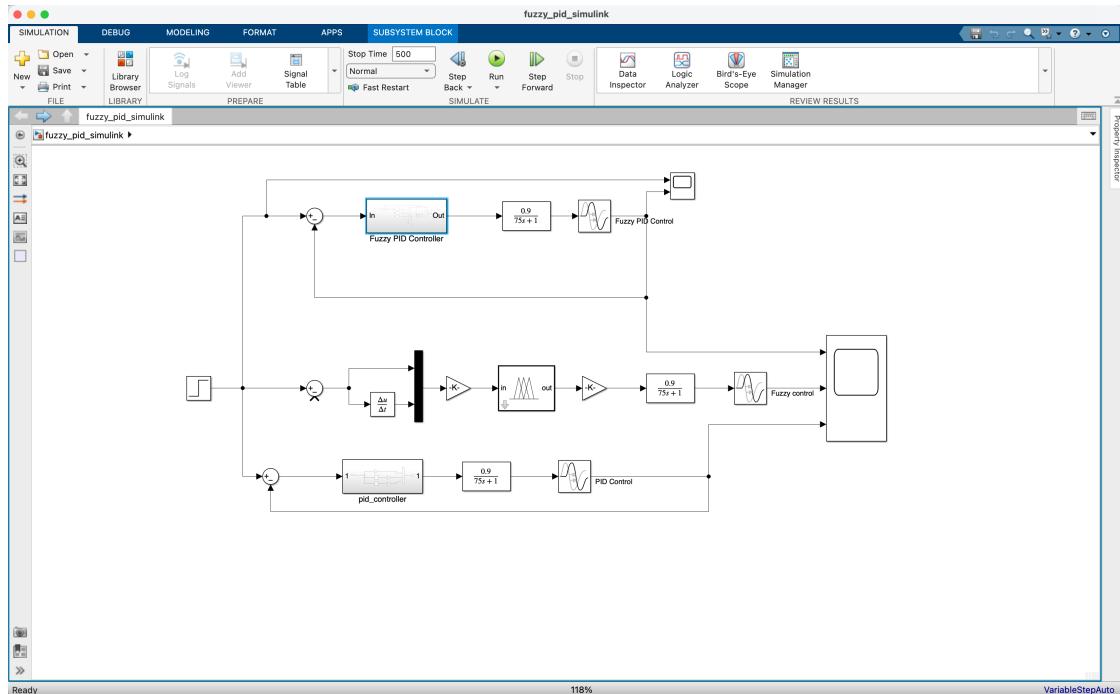


4.3. 模糊控制 PID

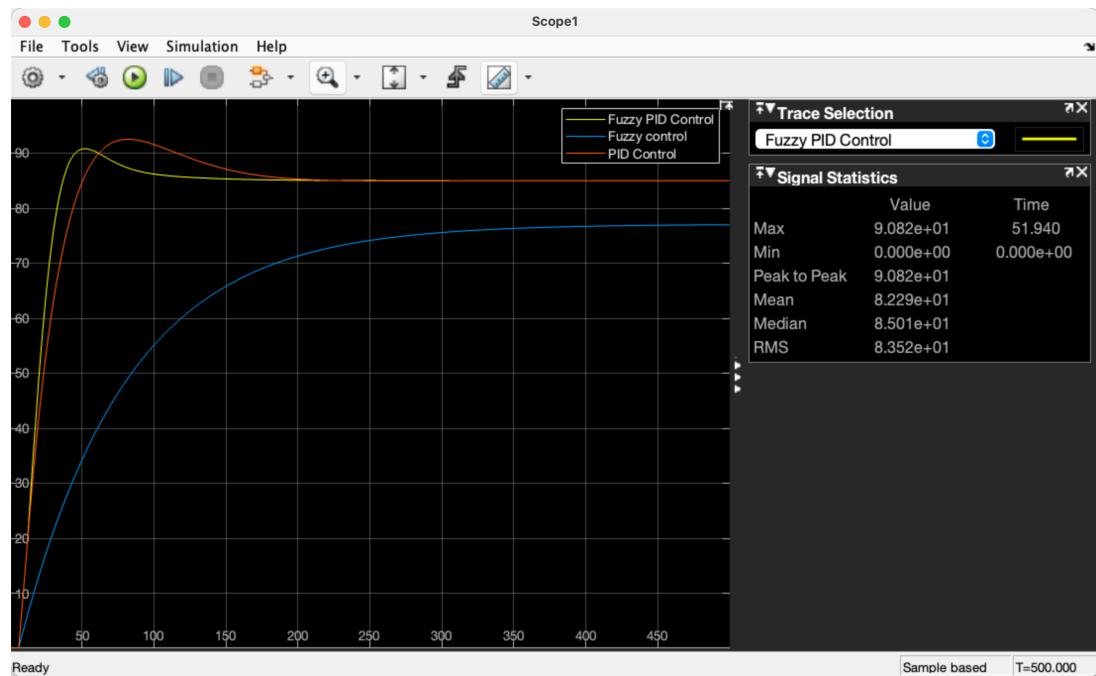


5. 控制效果

5.1. 控制仿真效果如:



5.2. 仿真结果:



6. 总结

在本研究所设定的对象与工况下，模糊-PID 优于常规 PID 与纯模糊控制，能够在保证稳态精度的同时显著改善动态性能与鲁棒性，适合作为电热锅炉温度控制的首选方案。