

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

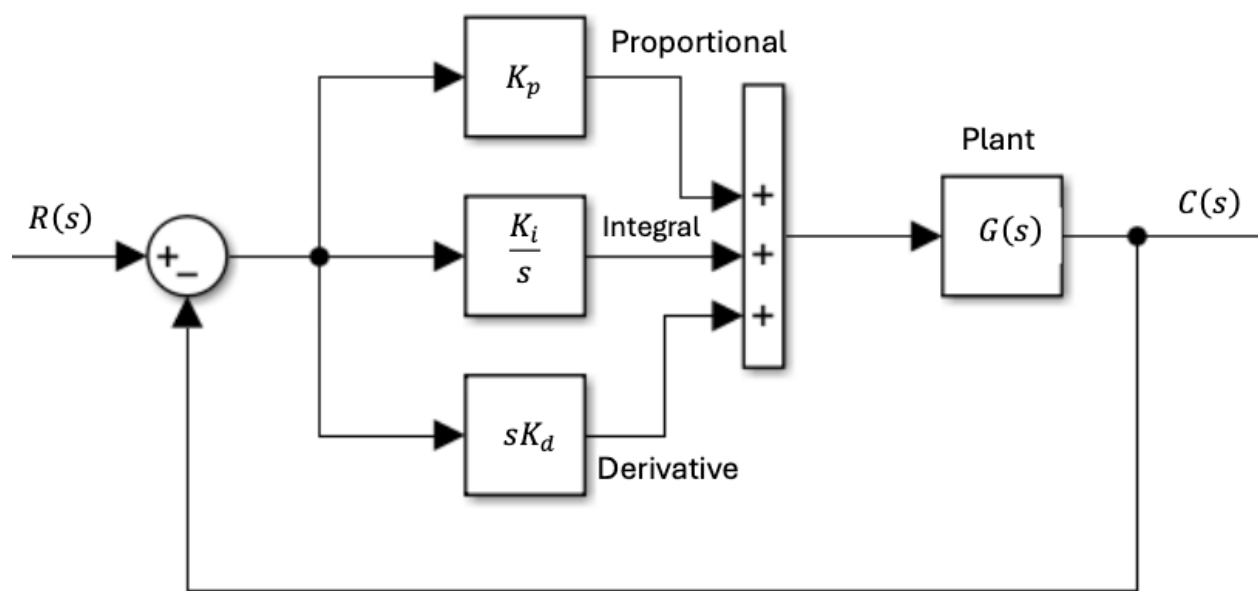
| | |
|--|----|
| 一个基于MATLAB 的模糊PID 控制器被用于控制电热锅炉的温度..... | 1 |
| 1. 实验目的:..... | 3 |
| 2. 方案设计: | 3 |
| 2.1. 常规 PID 控制设计 | 3 |
| 2.2. 模糊控制 PID..... | 4 |
| 3. 模糊 PID 控制规则表..... | 9 |
| 3.1. K_p | 9 |
| 3.2. K_i | 9 |
| 3.3. K_d | 10 |
| 4. 仿真 | 10 |
| 4.1. 传统的 PID 参数设置..... | 10 |
| 4.2. 模糊控制 | 11 |
| 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 $u(t)$

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

- $r(t)$: 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)

核心理念：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.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^1 e(r) dr + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

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；
- $K_i \int_0^1 e(r) dr$: 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

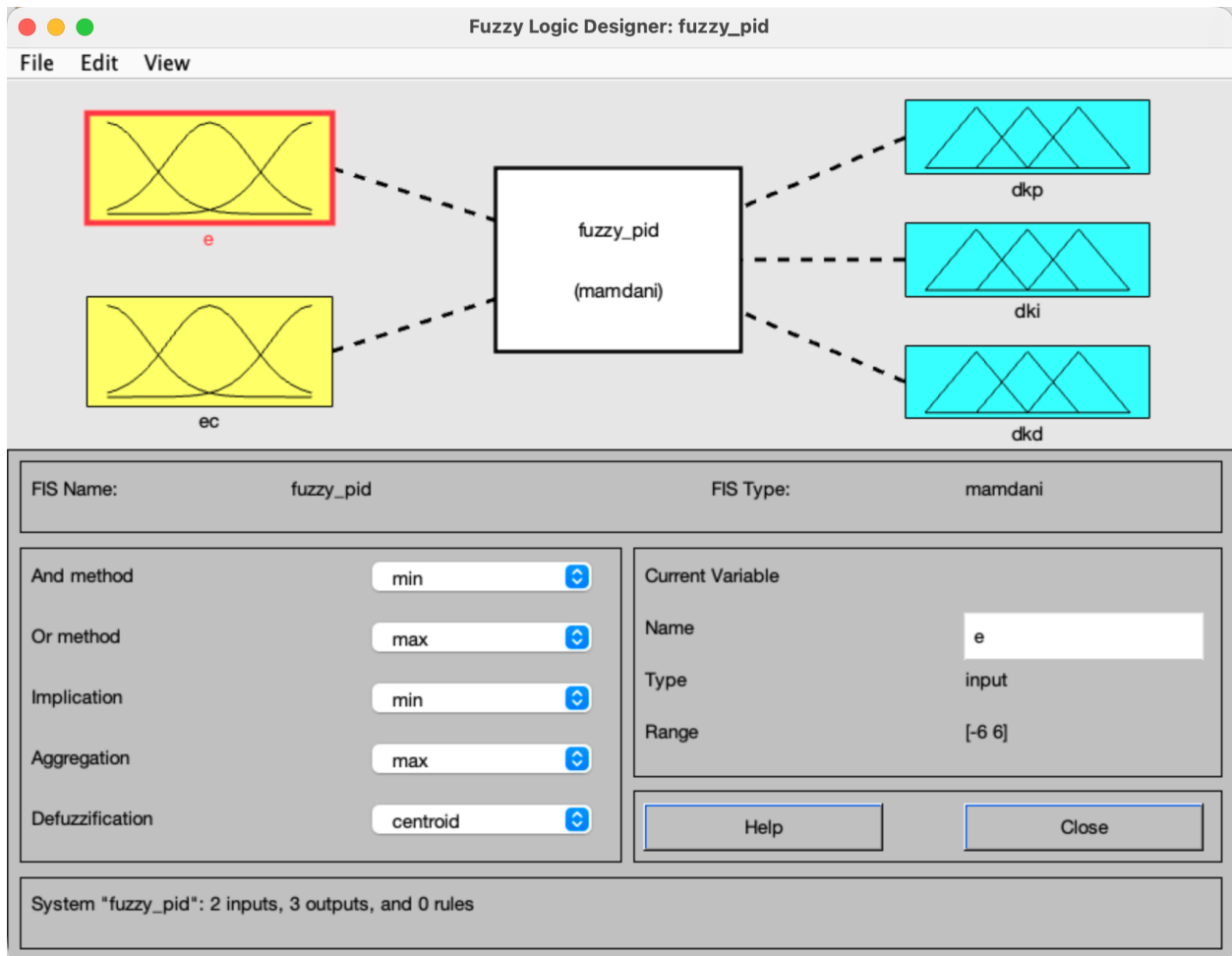
模糊控制 PID 参数修改如下，

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

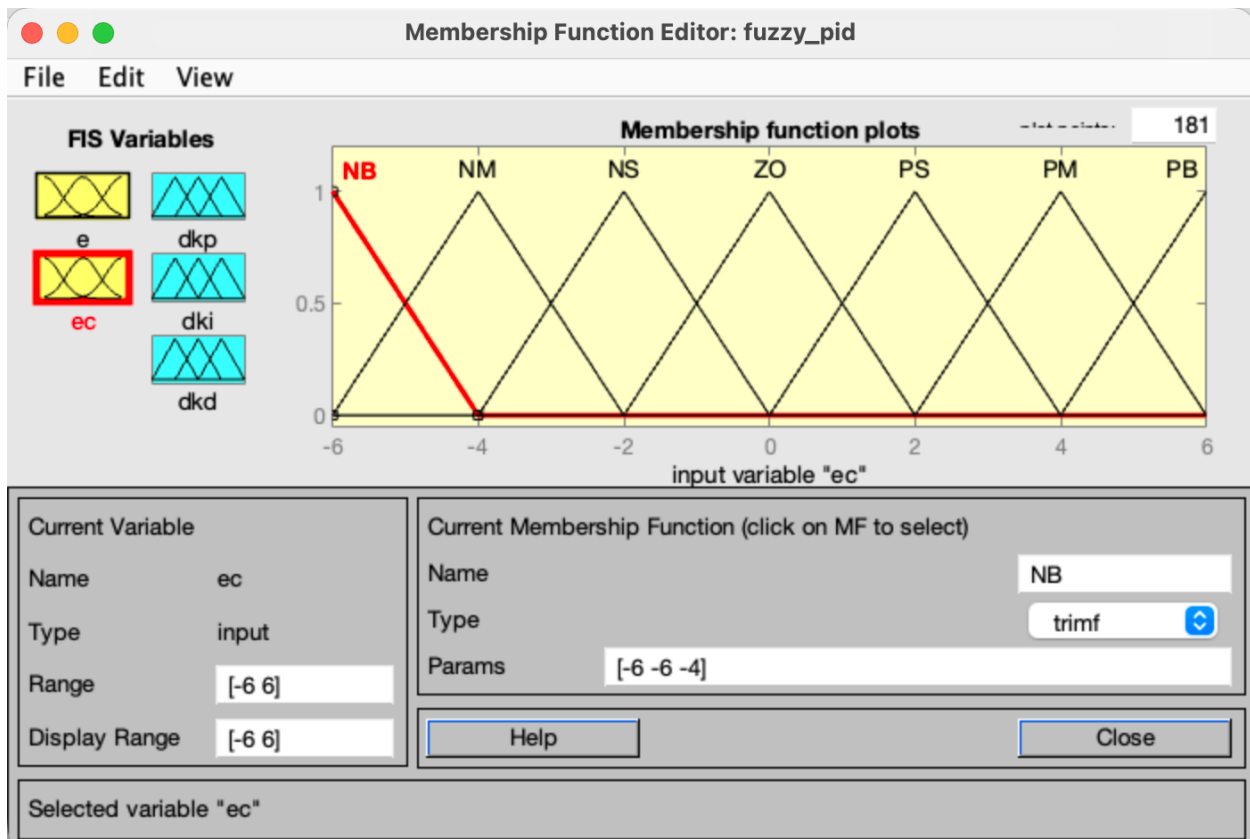
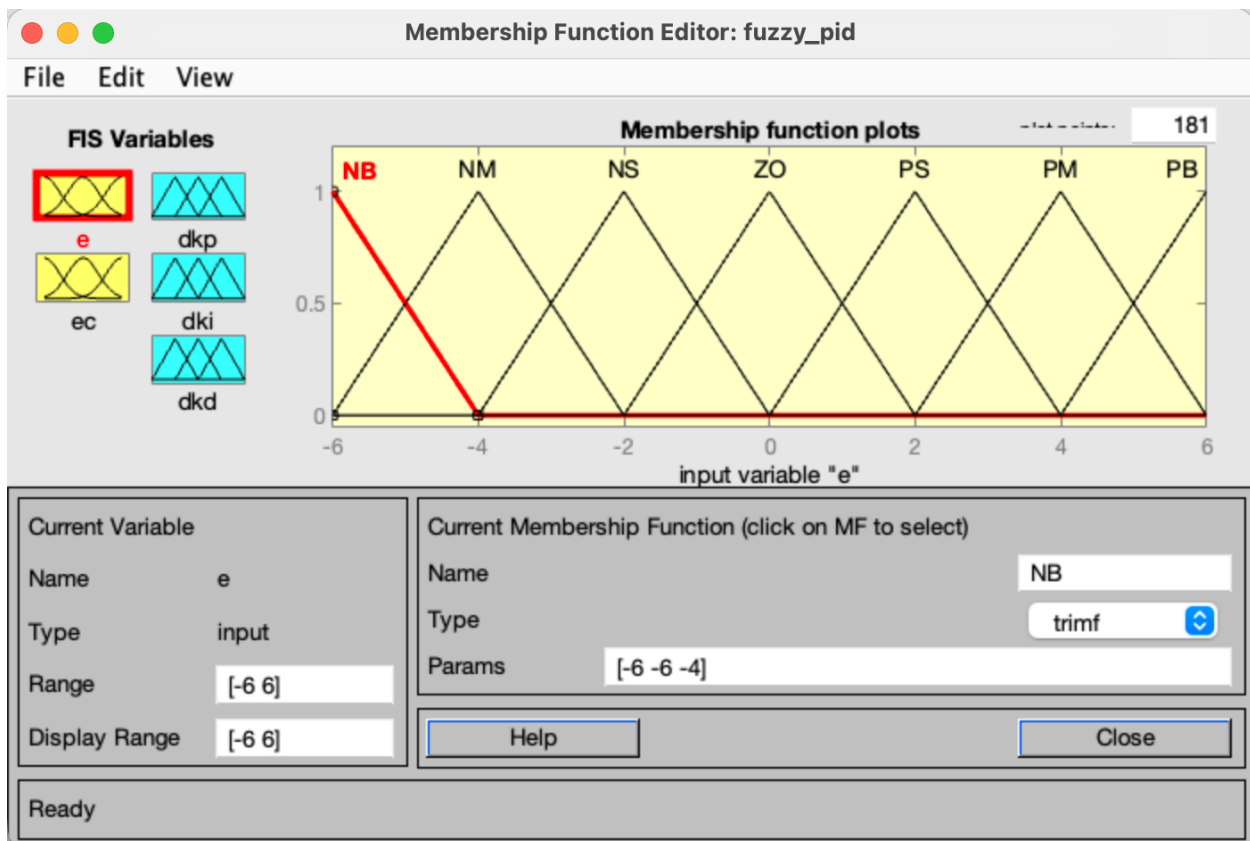
$$K_i = K'_i + \{e, ec\} K_i = K'_i + \Delta K_i$$

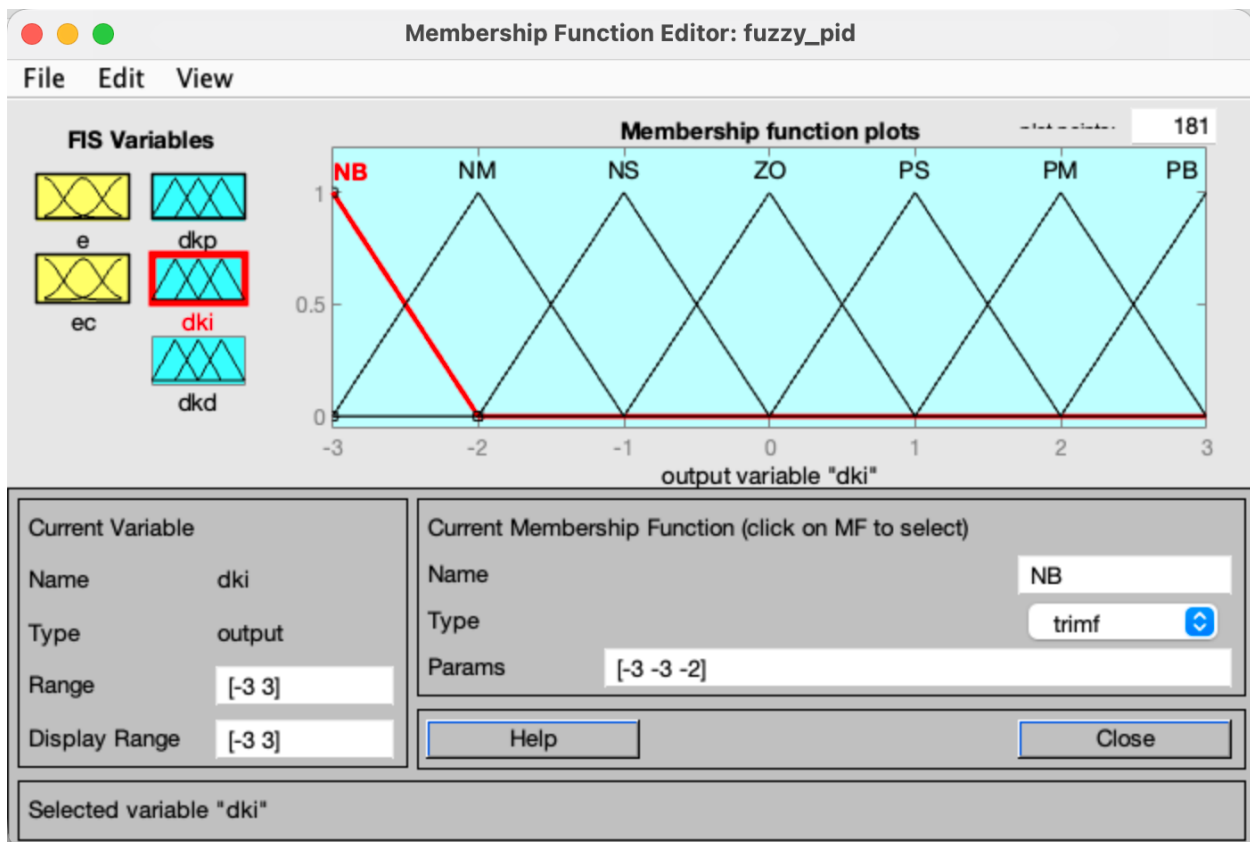
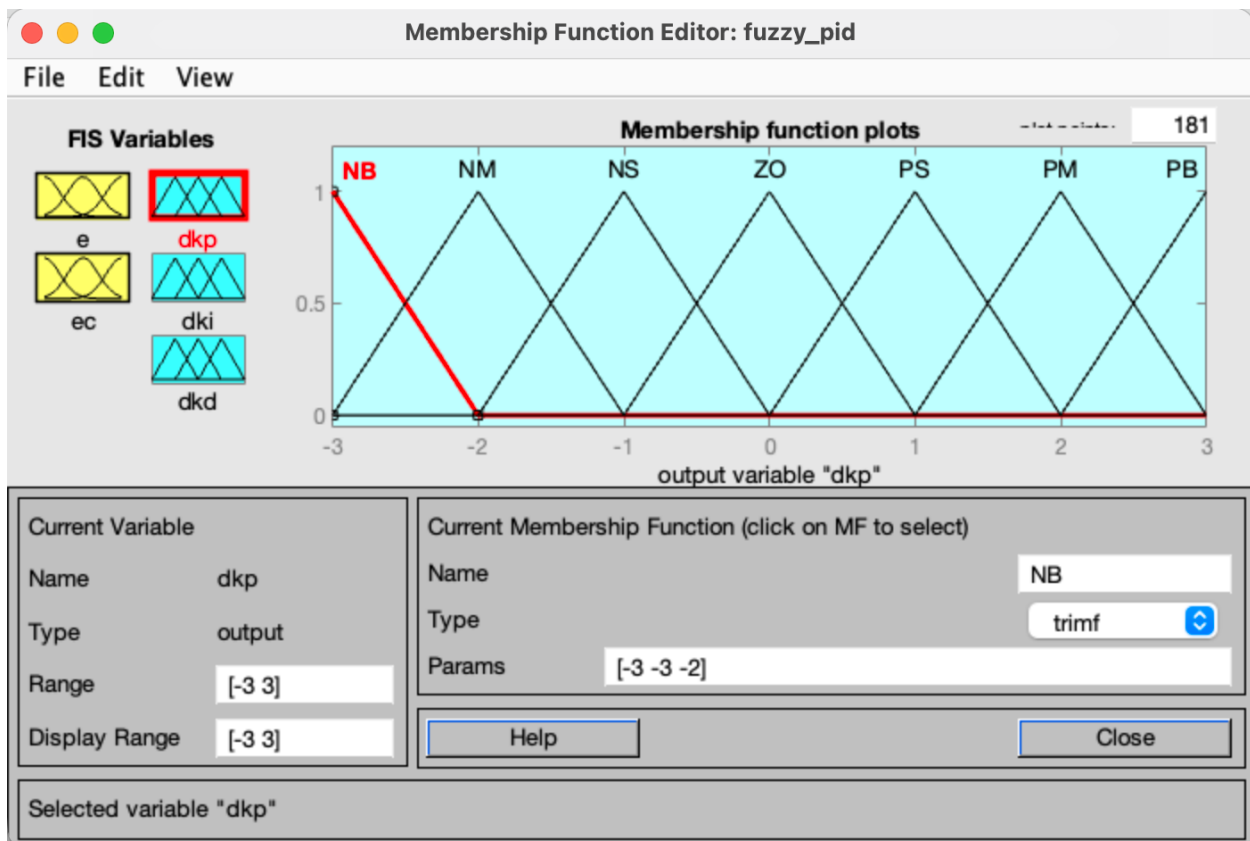
$$K_d = K'_d + \{e, ec\} K_d = K'_d + \Delta K_d$$

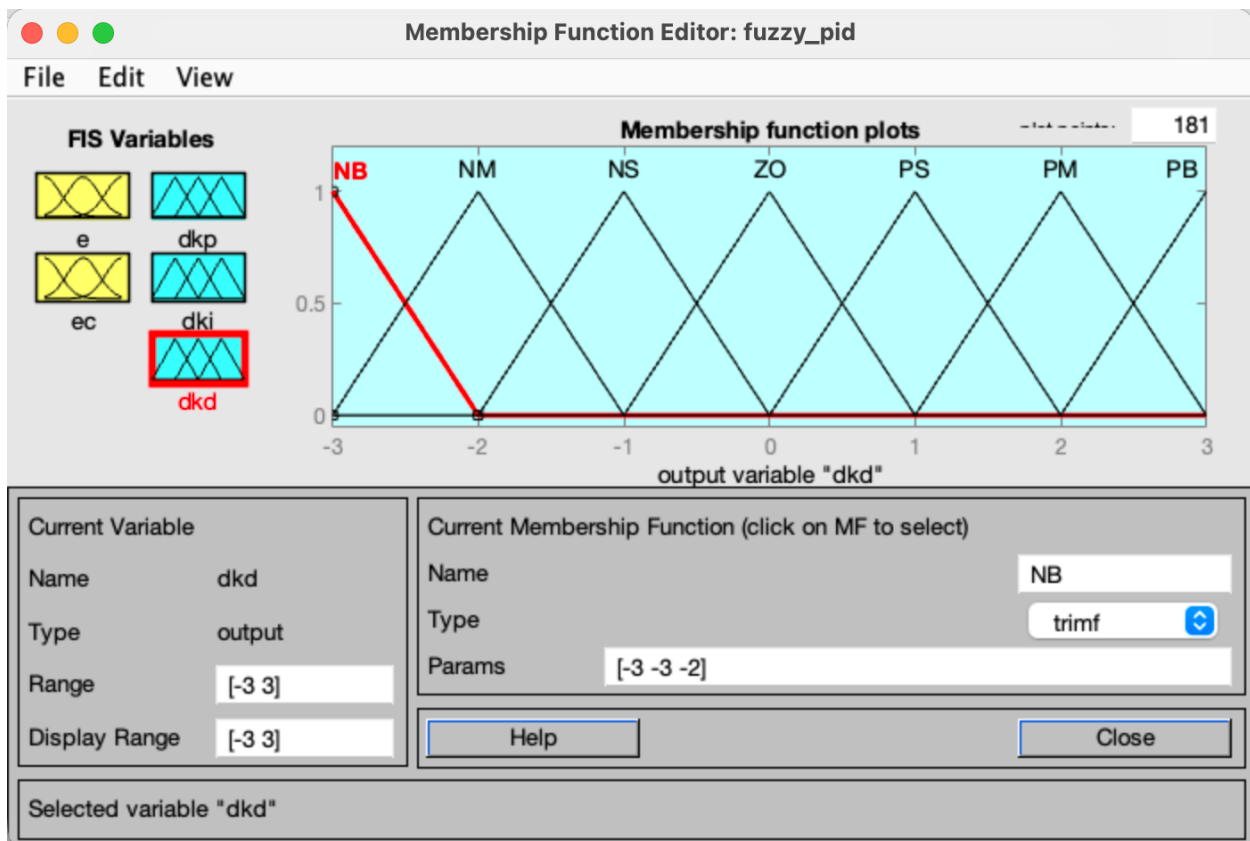
K_{p0} 表示 PID 在控制器中的比例初始时的值, K_{i0} 表示积分控制器的初始值的值, K_{d0} 表示微分控制器的初始时刻的值.



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

| <div>EC \ E</div> | 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

| <div>EC \ E</div> | 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 | ZO | ZO | ZO | 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汇总

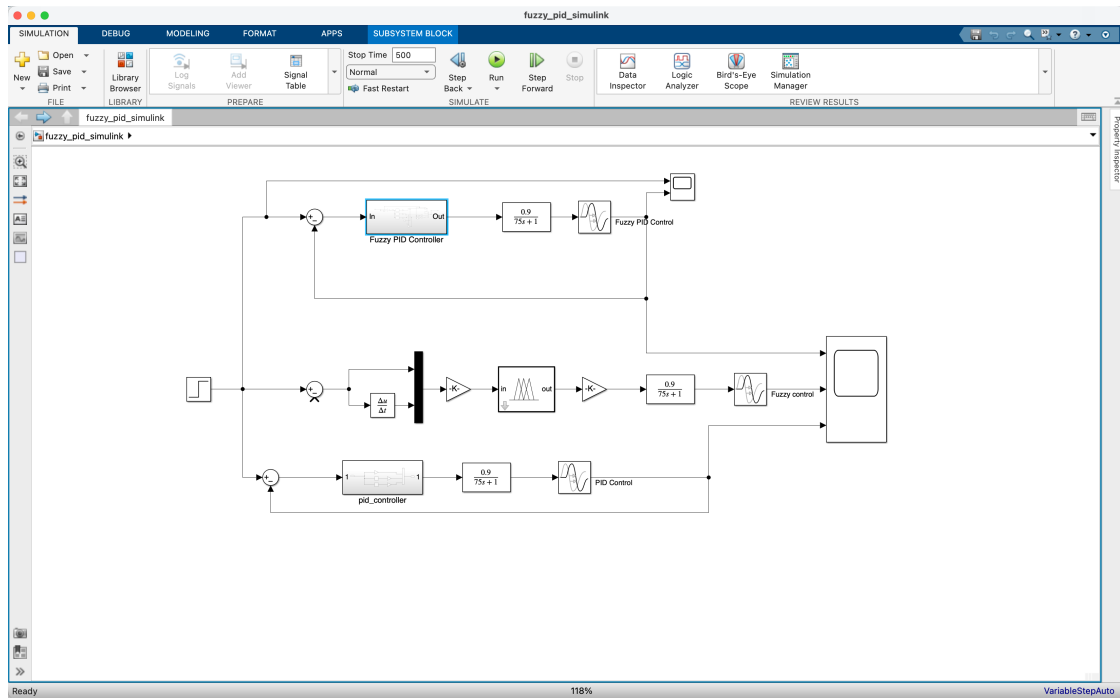
$$u(t) = u_p(t) + u_i(t) + u_d(t)$$

```

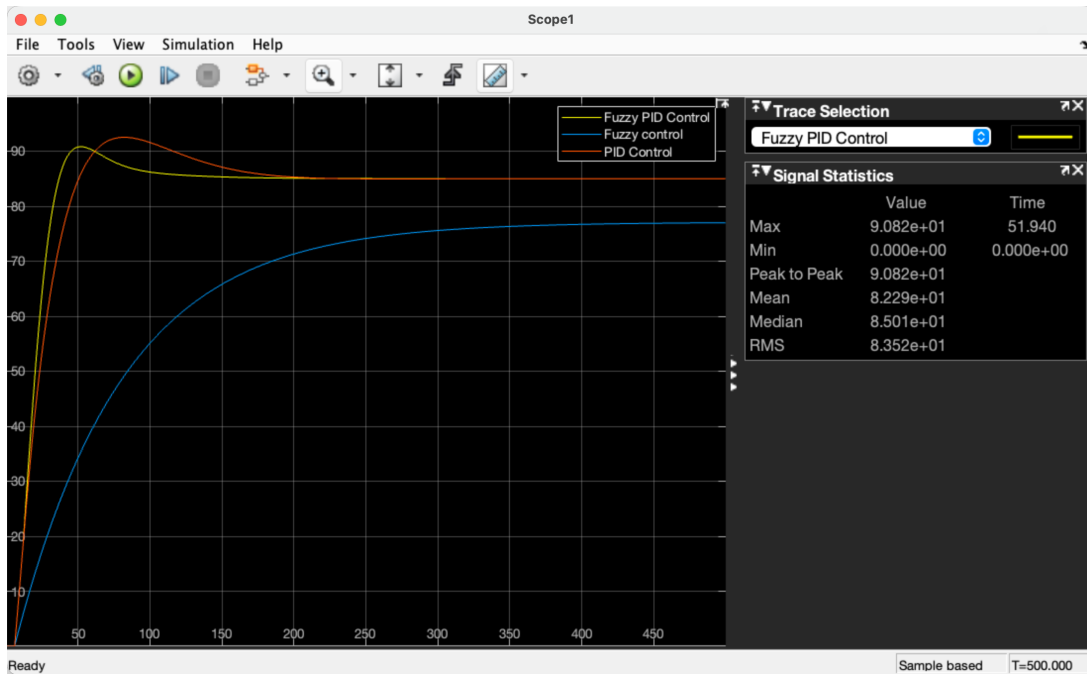
graph LR
    Input1([1]) --> Junction(( ))
    Junction --> Gain3[3]
    Junction --> Integrator[1/s]
    Integrator --> Gain007[0.07]
    Junction --> Derivative[Δu/Δt]
    Derivative --> Gain0[0]
    Gain3 --> Sum[+]
    Gain007 --> Sum
    Gain0 --> Sum
    Sum --> Output1([1])
  
```

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。