

基于生物质锅炉的模糊自适应PID控制系统仿真研究

孙君曼¹，谢泽会¹，李莉萍²，冯广军¹

(1.郑州轻工业学院电气信息工程学院，河南郑州450002；2.开封空分设备集团公司，河南开封475000)

摘要：在MATLAB/SIMULINK平台上，通过实验的方法建立了模糊自适应PID系统的仿真模型，给出了模糊自适应PID仿真的具体实现方法，并进行生物质锅炉控制子系统仿真应用研究，通过常规PID控制算法与模糊自适应PID控制算法对于干扰信号的反应过程仿真结果对比，表明了模糊PID控制策略使系统具有强抗干扰性、灵活性和适应性强的优点，又具有控制精度高的优势。

0前言

生物质能是指通过光合作用把太阳能转化为化学能后固定和储存在生物体内的能量，生物质能源是一种理想的可再生清洁能源，来源广泛每年都有大量的工业农业及森林废弃物产出，工业锅炉是煤炭消费大户是环境的重要污染源，发展生物质锅炉技术提高绿色可再生能源利用对促进我国节约型社会主义建设具有重要意义。

使用

废弃生物质压

缩成型的颗粒燃料的锅炉，

替代燃煤燃油锅炉，因其使用清洁能源，具有节约能源

、CO₂

温室气体零排放、环保性好符合国家能源发展战略而得到迅速发展，但因其生物质燃料的特点给锅炉的控制系统带来新问题。

在生物质锅炉控制系统中，由于生物质燃料湿度、密度、种类及锅炉负荷变化等干扰因素不确定性，以及时变性、非线性等因素，考虑将先进控制策略和传统PID控制相结合的方案，进行生物质锅炉控制系统研究。模糊控制器不要求确定受控对象的精确数学模型，而根据控制规则组织控制决策表，由控制决策表决定控制量的大小。这种将模糊控制器和传统PID控制相结合的控制策略，使系统具有模糊控制的灵活性和适应性强的优点，又具有PID控制精度高的优势。尤其适合于在具有干扰因素不确定性的生物质锅炉的控制系统中进行应用。

1模糊自适应PID控制器的构成

控制系统的核心部分是模糊控制器，包括模糊化、知识库、模糊推理、解模糊化和输入输出量化等部分。模糊化环节把输入的精确量转化为模糊量，输入信号映射到相应论域上的一个点后，将其转化为该论域上的一个模糊子集；知识库中包含了生物质锅炉应用领域中的经验知识和要求的目标，通常由数据库和模糊规则库两部分组成，数据库主要包括各语言变量的隶属度函数，尺度变换因子和模糊空间的分级数等，规则库包括了用模糊语言变量表示的一系列控制规则，它们反映了控制专家的经验知识；模糊推理是模糊控制器的核心，是基于模糊逻辑中的蕴含关系及推理规则来进行的；解模糊化是将模糊推理得到的控制量(模糊量)变换为实际可用于控制的精确量，它包括两部分内容：(1)是将模糊的控制量经解模糊变换变成表示在论域范围的精确量；(2)是将表示在论域范围的精确量经量程转换变成实际的控制量。

模糊自适应PID控制器是由可调整PID控制器和模糊控制器构成，在常规PID控制的基础上，以误差E和误差变化率E_c作为输入，通过模糊推理输出K_p，K_i，K_d的调整值，以实现在线整定，满足不同的E和E_c对PID参数K_p、K_i和K_d的要求，而使被控对象具有良好的动、静态性能。

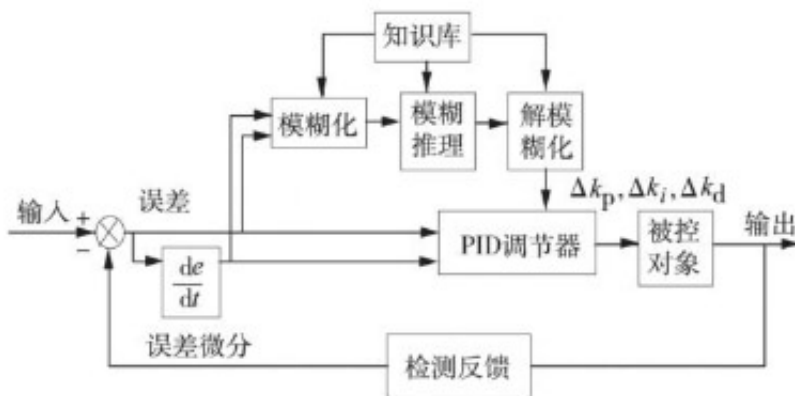


图 1 模糊自适应 PID 控制器的结构框图

2 模糊自适应PID控制器的实现

2.1 模糊自适应控制算法研究

首先确定模糊控制器的维数，根据实际需要确定各个输入、输出变量的变化范围，然后确定它们的量化等级、量化因子、比例因子；在每个变量的量化论域内定义模糊子集；确定模糊子集个数及每个模糊子集的语言变量，为各语言变量选择隶属度函数；确定模糊控制规则的原则是保证控制器的输出能够使系统输出响应的动静态性能达到最佳；编制模糊控制表，根据模糊控制规则和确定的输入、输出变量求出模糊控制器的输出。这些输出值是PID参数的调整量，把它们与输入量在1个表中按一定关系列出就构成了模糊控制表。PID3个参数一般是独立调整，所以有3个模糊控制表；把采样得到的偏差、偏差变化率经过整理后，代入模糊控制规则表，得出新的PID参数，再经过PID算法的计算就得出了最后的输出量，也就是系统的控制量；根据仿真效果或实验结果分析模糊PID的控制性能，再对量化因子和比例因子进行调整以达到理想的控制效果。

2.2 各参数隶属函数的确定

设模糊控制器各语言变量的论域为:

$$E: \{-3, 3\} \quad E_c: \{-3, 3\}$$

$$K_p: \{-0.3, 0.3\} \quad K_i: \{-0.06, 0.06\}$$

$$K_d: \{-3, 3\}$$

输入输出语言变量的论域语言值为“大”(PB)“中”(PM)“小”(PS)“零”(ZO)“负小”(NS)“负中”(NM)“负大”(NB)各语言值的定义由隶属函数表示如下。

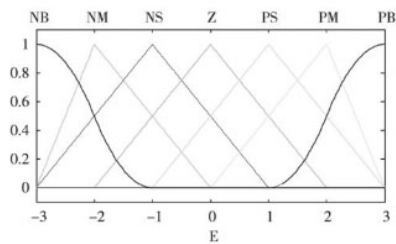


图2 输入变量 E 的隶属函数

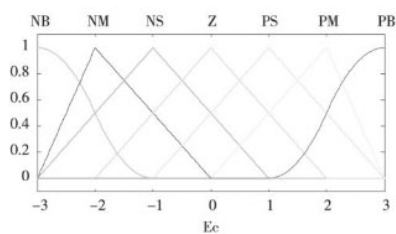


图3 输入变量 E_c 的隶属函数

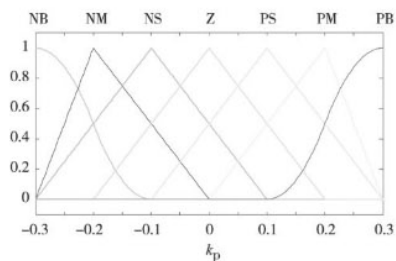


图4 输出变量 K_p 的隶属函数

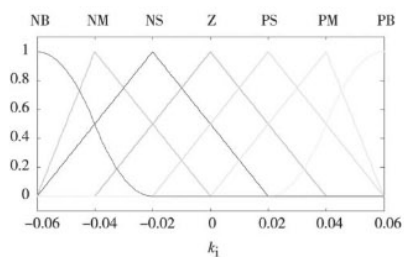


图5 输出变量 K_i 的隶属函数

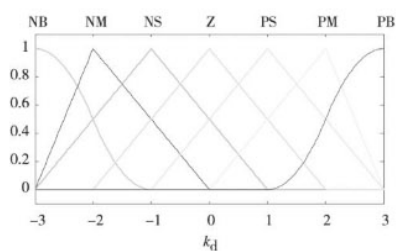


图6 输出变量 K_d 的隶属函数

2.3建立模糊控制规则表

参数的整定规则是模糊控制的核心，依据专家的经验建立模糊控制规则，本设计采用49条模糊语言规则。

表1 K_p 的模糊控制规则

KP \ EC	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表2 K_i 的模糊控制规则

KI \ EC	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表3 K_d 的模糊控制规则

KD \ EC	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

2.4 PID 参数的整定

设计 PID 控制器,采用 Ziegler 与 Nichols 的 PID 调节器设计方法。先置 $K_d = K_i = 0$,然后增加比例系数直至系统开始震荡(即闭环系统极点在 $j\omega$ 轴上)。再将该比例系数乘以 0.6,而其他参数按下式计算得

$$K_p = 0.6 K_m \quad K_d = \frac{K_m T}{4\omega_h} \quad K_i = \frac{K_m \omega_h}{\pi}$$

式中： K_m ——系统开始振荡时的 K 值；
 ω_h ——振荡频率。

该设计方法在设计过程中没有考虑任何特性要求。Ziegler 与 Nichols 发现这种设计方法给予过程控制器提供了好的工作性能。工程师们的多年经验证明,这种设计方法的确是一种好的方法。

设计 PID 控制器的程序如下：

```
nc = 0.0529;dc = [8.5,1,0];ts = 0.25;
[nz1,dz1] = c2dm(nc,dc,ts);
axis('square'),zgrid('new'),
rlocus(nz1,dz1) / 设计跟轨迹图/
[km,pole] = rlocfind(nz1,dz1) ;/ 获取系统全部极点信息/
wm = angle(pole(1))/ts;
kp = km *0.6,kd = kp *pi/(4 *wm),ki = kp *wm/pi
end
```

设计最终采用的 PID 参数为 $K_p = 500$,

$K_i = 0.5$, $K_d = 400$ 取量化因子 $ke = 0.3$, $kec = 0.1$ 取 K_p, K_i, K_d 的比例因子为 $K_1 = 2, K_2 = 0.005, K_3 = 25$ 。

3 仿真研究

在Matlab/simulink环境下构建模型，整个模块图由模糊控制器、PID控制模块、控制对象及输入输出等组成。使用的模块主要有Simu-link(基本库)、Simulink Extras(扩展库)和Fuzzy logic toolbox(模糊逻辑库)。

3.1 模糊控制器的编辑

在MATLAB命令窗口输入fuzzy命令打开模糊编辑窗口，建立模糊控制器。在matlab命令窗口输入plotfis(a)观察模糊控制系统的构成，如图7所示。

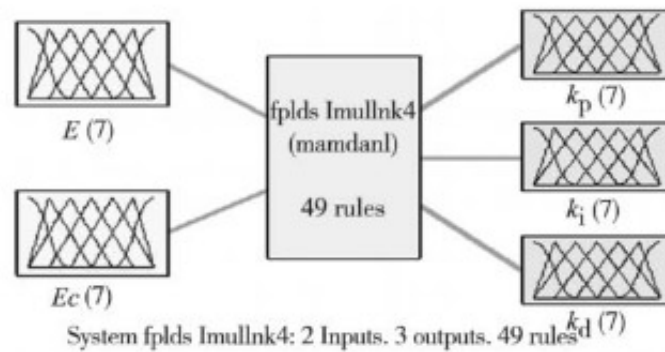


图7 模糊PID控制系统构成图

分别输入E, Ec, Kp, Ki, Kd的隶属函数及模糊规则，取and method为min, or method为max, implication(推理)为min, aggregation(合成)为max, 取defuzzification(去模糊化方法)为centroid(加权平均法)。建好模糊控制系统后，以“fpid simulink.fis”存盘。在仿真的时候将其加载到工作空间中，即可在simulink环境中对模糊控制器进行仿真。

3.2 模糊自适应PID控制的仿真

目前，中型生物质蒸汽锅炉控制回路包括汽包水位控制、炉排控制、鼓风控制、引风控制、用于发电锅炉还需要主

²+s。

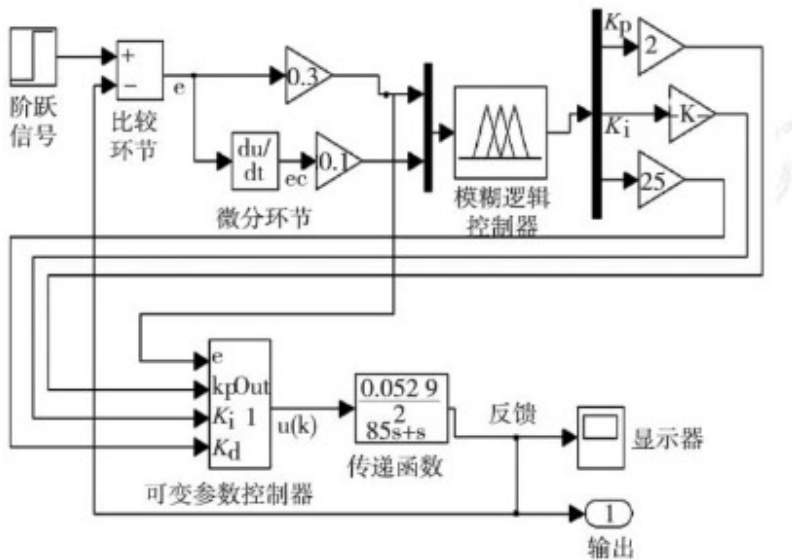


图 8 模糊自适应 PID 控制仿真模型图

增量式 PID 控制算式为

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$$

$$\Delta u(k) = K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + k_d \times [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)] \quad (1)$$

式中： $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$

K_p 、 K_i 和 K_d 的整定方法如下，式中 Δk_x 为模糊控制器的输出。

$$k_x = k_x(0) + \Delta k_x \quad (2)$$

可变参数 PID 控制器模型如图 9 所示

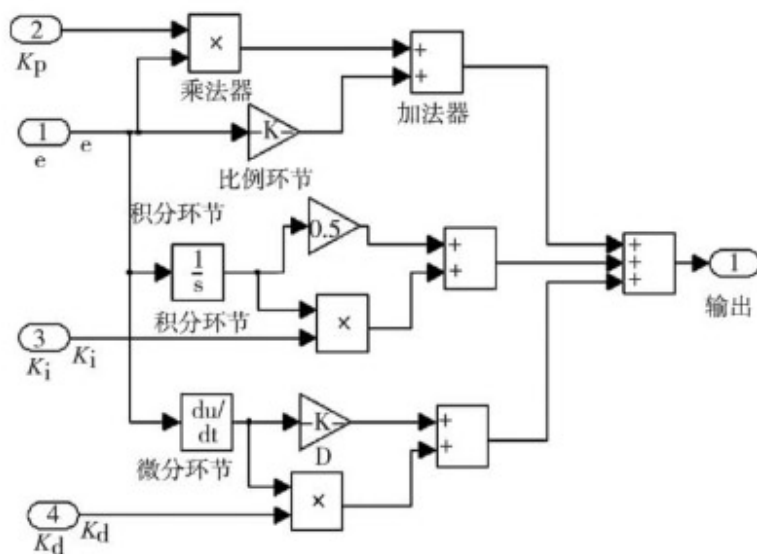


图 9 PID 控制器模块图

4仿真结果分析

分别对模糊PID控制进行阶跃响应仿真，并将仿真结果与PID仿真进行对比。仿真时间为20s，在15s处加周期为15s，占空比为5%，幅度为10的脉冲信号，研究模糊PID对干扰的抑制能力。其仿真结果分别如下图所示。

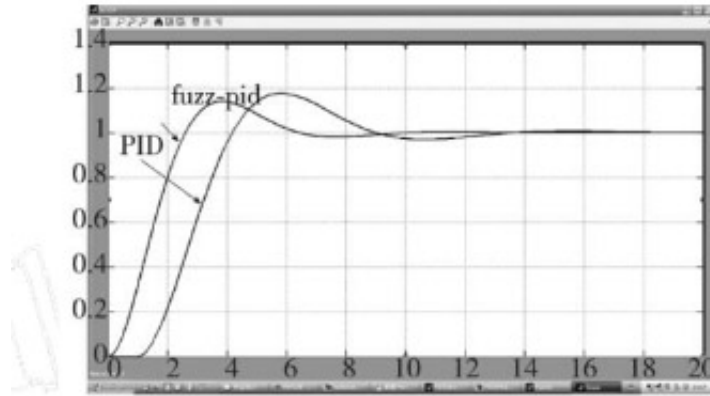


图 10 模糊 PID 与 PID 阶跃响应对比

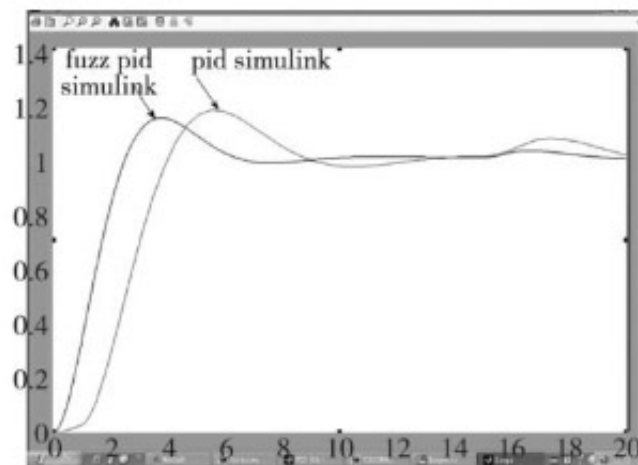


图 11 克服干扰的阶跃响应对比

可以看出，模糊自适应PID控制器的响应速度更快，超调量比PID控制器要小，振荡时间更短，很快的趋于稳定状态，显示出良好的动态性能和稳定精度。同时从加干扰后的仿真图中可以看出模糊PID控制器对干扰有很好的抑制能力。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/98879.html>