



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108388121 B

(45) 授权公告日 2020.11.10

(21) 申请号 201810182950.9

CN 1763677 A, 2006.04.26

(22) 申请日 2018.03.06

CN 104020711 A, 2014.09.03

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 1889776 A, 2007.01.03

申请公布号 CN 108388121 A

CN 204320463 U, 2015.05.13

(43) 申请公布日 2018.08.10

CN 1152964 A, 1997.06.25

(73) 专利权人 辽宁天安科技有限公司

CN 103324196 A, 2013.09.25

地址 113122 辽宁省抚顺市经济开发区滨河路15号

CN 2832303 Y, 2006.11.01

EP 0505671 A2, 1992.09.30

CN 103121011 A, 2013.05.29

(72) 发明人 曹伟 项庆欢 陈慧丹

廉文利等.基于模糊PID控制的跳汰机自动排料系统设计.《选煤技术》.2008,(第2期),

(74) 专利代理机构 沈阳亚泰专利商标代理有限公司 21107

Wang Xinmin, et al.. Paste-like self-flowing transportation backfilling technology based on coal gangue.《Mining Science and Technology》.2009,第19卷(第2期),

代理人 王荣亮

审查员 仲莉

(51) Int. Cl.

G05B 13/04 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105045090 A, 2015.11.11

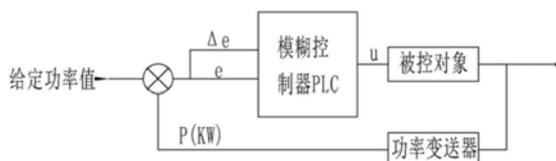
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法

(57) 摘要

一种机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法,解决现有技术存在的参数整定难度大,不适合非线性和滞后性系统控制,实际排矸效果不理想的问题。该方法根据设备空载功率设定矸石层功率值,通过功率变送器实时采集机械动筛跳汰机主驱动电机功率;将动筛功率偏差、偏差变化率和排矸曲线修正率进行模糊化处理后,结合机械跳汰机排矸控制工艺要求及实际经验、制作模糊规则表;通过加权平均法解模糊化,得出排矸曲线修正率;再利用模糊控制得出的排矸曲线修正率对排矸控制曲线公式进行曲率调整,自动调整输出值。该方法能够根据原煤来量变化进行模糊判断,实现智能控制排矸轮速度变化,可提高原煤分选效果,适应性强。



1. 一种机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法,其特征在于:包括如下步骤:

步骤一、根据机械动筛跳汰机的空载功率设定矸石层功率值;

步骤二、通过功率变送器实时采集机械动筛跳汰机主驱动电机功率P,将机械动筛跳汰机主驱动电机功率P的功率值以模拟量的形式传输到PLC;

步骤三、把PLC作为模糊控制器,对机械动筛跳汰机主驱动电机功率偏差e、偏差变化率 $\Delta e$ 和排矸曲线修正率u进行模糊化处理;

步骤四、根据机械动筛跳汰机排矸控制工艺要求,结合实际经验制作模糊规则表,再通过加权平均法解模糊化,然后得出排矸曲线修正率u;

步骤五、根据机械动筛跳汰机主驱动电机额定功率以及空载功率设定的上下限值,来确定排矸控制曲线公式Ft;

结合机械动筛跳汰机对排矸轮电机的要求,当矸石层厚度低于排矸口高度时,排矸轮电机转速为0;当矸石层厚度超过矸石出口高度时,启动排矸轮电机;并且,随着矸石层厚度的增大,排矸轮电机的转速不断加快,且当矸石层厚度达到挡板上沿时,排矸轮的转速最快;排矸控制曲线公式为:

$$F_t = \frac{45}{P_h - P_1} P_t + \frac{5P_h - 50P_1}{P_h - P_1}$$

式中:P<sub>t</sub>—机械动筛跳汰机主驱动电机的实时功率;

P<sub>h</sub>—机械动筛跳汰机主驱动电机实时功率的上限值;

P<sub>1</sub>—机械动筛跳汰机主驱动电机实时功率的下限值;

F<sub>t</sub>—排矸轮电机正常运行时的实时频率;

步骤六、用模糊控制得出的排矸曲线修正率u,对排矸控制曲线公式进行曲率调整,使排矸控制曲线能够根据不同工况进行模糊判断,从而自动调整排矸变频器的频率值;

根据模糊算法进行模糊推理,得到控制量U,通过加权平均法对控制量U解模糊,进而得到排矸曲线修正率u;

得到排矸频率变化规则为: $a = u * \frac{b-a}{2n} + \frac{a+b}{2}$ ;式中:a、b为变量e、 $\Delta e$ 、u的基本论域最大值和最小值,n为变量e、 $\Delta e$ 、u的离散度;

$$\text{根据模糊逻辑公式: } F_t' = a * P_t * \frac{45}{P_h - P_1} + \frac{5P_h - 50P_1}{P_h - P_1};$$

得到的输出量经D/A转换4~20mA直流信号至变频器;从而自动调整排矸变频器的频率值。

2. 根据权利要求1所述的机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法,其特征在于:将所述步骤三中的机械动筛跳汰机主驱动电机功率偏差e、偏差变化率 $\Delta e$ 和排矸曲线修正率u三个信号,划分为7个模糊状态,即:NB、NM、NS、ZO、PS、PM、PB;且隶属度函数取三角形函数,然后根据模糊算法进行模糊推理。

3. 根据权利要求1所述的机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法,其特征在于:由所述步骤四中的模糊规则表得到N×N条规则,每条规则对应不同的功率偏差e、偏差变化率 $\Delta e$ 和控制量的语言值;再根据隶属度函数得到各语言值相应的模糊子集。

## 一种机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于煤炭洗选技术领域,涉及一种煤矸分离方法,特别涉及一种能够根据原煤来量变化进行模糊判断,实现智能控制排矸轮速度变化,可提高原煤分选效果,适应性强的机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法。

### 背景技术

[0002] 原煤在进入选煤厂准备车间、或煤矿井下原煤分离系统中机械动筛跳汰机的动筛体后,由于煤的比重相对较小,矸石的比重相对较大,所以悬浮在水中的矸石下落速度相对较快;经过筛体的重复振动,矸石存于筛面上边缘,而煤层则悬浮在水中的上半部。在动筛筛体出口处有一组挡板和—个排矸轮,煤从排矸轮上面排出,矸石则在挡板下侧形成矸石层。

[0003] 当机械动筛跳汰机工作时,如果排矸轮转速较低,矸石层会越积越厚,致使矸石进入排煤通道,出现煤中夹矸的现象。而如果排矸轮转速较快,矸石层变薄,块煤则可能从矸石通道排出,产生矸中带煤的现象。因此,需要适当调节排矸轮转速,合理控制矸石层厚度,才能使煤和矸石按照各自的通道稳定排出,进而达到良好的煤炭洗选效果。

[0004] 现有控制排矸的方式包括:

[0005] 1、PID控制。程序结构简单,可靠性高,稳态精度好;但是,由于各工艺参数存在许多非线性和时变性,且PID控制器的参数整定难度大,很难找到—组合适的PID参数适用于整个系统的宽范围调控,控制效果不好。

[0006] 2、模糊PID控制。该方法具有自适应能力强,可自动整定控制参数等优点;但其主要控制目的是力求快速稳定矸石床层厚度,一旦原煤输入量产生变化时,变频器频率会快速升降,出现大排大放,进而导致筛体内矸石与煤的层间结构发生变化,适应性差、实际排矸效果不理想。

[0007] 3、逻辑线性控制。其数学模型简单,在线参数可调性高,适应能力较强;但稳态精度不高、推理速度慢,不适合非线性和滞后性系统的控制。

[0008] 特别是在煤矿井下原煤分离系统中,由于井下采煤过断层而造成的原煤量大小不同、给料不均匀、煤矸比例不同等多方面因素的影响,井下的机械动筛跳汰机洗煤系统具有高度非线性、时变不确定性和滞后等特点,所以现有的控制方式已经无法满足实际应用需求,故有必要对现有机械动筛跳汰机的控制方法予以改进。

### 发明内容

[0009] 本发明就是针对上述问题,提供一种能够根据原煤来量变化进行模糊判断,实现智能控制排矸轮速度变化,可提高原煤分选效果,适应性强的机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法。

[0010] 针对现有技术存在的问题,本发明提供一种模糊控制与逻辑曲线控制相结合的控制方法,模糊逻辑控制虽然稳定床层厚度精度上不如模糊PID控制,但是会兼顾频率升降变

化,综合考虑床层厚度和排矸频率,达到理想的排矸效果。

[0011] 本发明所采用的技术方案是:该机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法包括如下步骤:

[0012] 步骤一、根据机械动筛跳汰机的空载功率设定矸石层功率值;

[0013] 步骤二、通过功率变送器实时采集机械动筛跳汰机主驱动电机功率P,将机械动筛跳汰机主驱动电机功率P的功率值以模拟量的形式传输到PLC;

[0014] 步骤三、把PLC作为模糊控制器,对机械动筛跳汰机主驱动电机功率偏差e、偏差变化率 $\Delta e$ 和排矸曲线修正率u进行模糊化处理;

[0015] 步骤四、根据机械动筛跳汰机排矸控制工艺要求,结合实际经验制作模糊规则表,再通过加权平均法解模糊化,然后得出排矸曲线修正率u;

[0016] 步骤五、根据机械动筛跳汰机主驱动电机额定功率以及空载功率设定的上下限值,来确定排矸控制曲线公式 $F_t$ ;

[0017] 步骤六、用模糊控制得出的排矸曲线修正率u,对排矸控制曲线公式进行曲率调整,使排矸控制曲线能够根据不同工况进行模糊判断,从而自动调整排矸变频器的频率值。

[0018] 所述步骤三,将机械动筛跳汰机主驱动电机功率偏差e、偏差变化率 $\Delta e$ 和排矸曲线修正率u三个信号,划分为7个模糊状态,即:NB、NM、NS、ZO、PS、PM、PB;且隶属度函数取三角形函数,然后根据模糊算法进行模糊推理。

[0019] 所述步骤四,由模糊规则表得到 $N \times N$ 条规则,每条规则对应不同的功率偏差e、偏差变化率 $\Delta e$ 和控制量的语言值;再根据隶属度函数得到各语言值相应的模糊子集。

[0020] 所述步骤五,结合机械动筛跳汰机对排矸轮电机的要求,当矸石层厚度低于排矸口高度时,排矸轮电机转速为0;当矸石层厚度超过矸石出口高度时,启动排矸轮电机;并且,随着矸石层厚度的增大,排矸轮电机的转速不断加快,且当矸石层厚度达到挡板上沿时,排矸轮的转速最快;排矸控制曲线公式为:

$$[0021] \quad F_t = \frac{45}{P_h - P_1} P_t + \frac{5P_h - 50P_1}{P_h - P_1}$$

[0022] 式中: $P_t$ —机械动筛跳汰机主驱动电机的实时功率;

[0023]  $P_h$ —机械动筛跳汰机主驱动电机实时功率的上限值;

[0024]  $P_1$ —机械动筛跳汰机主驱动电机实时功率的下限值;

[0025]  $F_t$ —排矸轮电机正常运行时的实时频率。

[0026] 所述步骤六,系统检测装置实时检测现场数据,与给定值进行比较,经A/D转换、量化为基本论域变量后,查表输出模糊语言值U,进而模糊判断得一清晰量:排矸曲线修正率u。

[0027] 本发明的有益效果:该机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法,根据设备空载功率设定矸石层功率值,通过功率变送器实时采集机械动筛跳汰机主驱动电机功率,并将功率值传输到PLC;将动筛功率偏差、偏差变化率和排矸曲线修正率进行模糊化处理后,结合机械跳汰机排矸控制工艺要求及实际经验、制作模糊规则表;通过加权平均法解模糊化,得出排矸曲线修正率;再利用模糊控制得出的排矸曲线修正率对排矸控制曲线公式进行曲率调整,使排矸控制曲线可根据不同工况进行模糊判断,自动调整输出值。由于本发明采用了模糊控制与逻辑曲线控制相结合的控制方法,所以可根据原煤来量的大小变化进行模糊判

断,自动调整排矸控制输出曲线修正率,实现对排矸轮速度变化的智能控制。当原煤输入量波动较大时,模糊逻辑控制的机械动筛跳汰机内矸石层厚度的变化,要比传统逻辑控制的变化小,且能够较快地恢复稳定,进而提高整个机械动筛跳汰机的原煤分选效果,增强设备对不同煤质情况和粒度范围的适应性。

### 附图说明

- [0028] 图1是本发明中各变量的隶属度函数图。  
 [0029] 图2是本发明中的排矸轮电机设计工作特性曲线图。  
 [0030] 图3是本发明的控制程序原理框图。  
 [0031] 图4是本发明模糊逻辑控制方法的流程图。  
 [0032] 图5是入料量小范围波动时,动筛内矸石量和排矸频率的曲线图。  
 [0033] 图6是40秒内无入料时,动筛内矸石量和排矸频率的曲线图。  
 [0034] 图7是40秒内入料量持续为50单位时,动筛内矸石量和排矸频率的曲线图。  
 [0035] 图5~图7中的曲线说明:P1为模糊逻辑控制下的动筛内矸石量曲线,F1为模糊逻辑控制下的排矸频率曲线;P2为逻辑线性控制下的动筛内矸石量曲线,F2为逻辑线性控制下的排矸频率曲线。

### 具体实施方式

- [0036] 详细说明本发明的具体步骤。该机械动筛跳汰机的模糊逻辑控制方法包括:  
 [0037] 步骤一、根据机械动筛跳汰机的空载功率设定矸石层功率值;矸石层功率值需根据现场煤质进行调节设定,一般为空载功率加10KW左右。  
 [0038] 步骤二、通过功率变送器实时采集机械动筛跳汰机主驱动电机功率P,将机械动筛跳汰机主驱动电机功率P的功率值以模拟量(0~10V)的形式传输到PLC,进行计算。  
 [0039] 步骤三、把PLC作为模糊控制器,对机械动筛跳汰机主驱动电机功率偏差e、偏差变化率 $\Delta e$ 和排矸曲线修正率u进行模糊化处理;并将机械动筛跳汰机主驱动电机功率偏差e、偏差变化率 $\Delta e$ 和排矸曲线修正率u三个信号,划分为7个模糊状态,即:NB、NM、NS、ZO、PS、PM、PB。三个信号变量的语言变量、基本论域、模糊子集、模糊论域如表1所示。  
 [0040] 表1变量数据表

变量	e	$\Delta e$	u
语言变量	E	$\Delta E$	U
[0041] 基本论域	{-20, 20}	{-3, 3}	{0.5, 1.5}
模糊子集	NB、NM、NS、ZO、PS、PM、PB		
模糊论域	A={-3, 3}	B={-3, 3}	C={-3, 3}

- [0042] 之后,再将三个变量按照下面的公式进行离散化:

[0043]  $y = \left[ \frac{2n}{b-a} \left( x - \frac{a+b}{2} \right) \right]$

[0044] 式中： $x \in [a, b]$ ,  $n$ 为变量 $e$ 、 $\Delta e$ 、 $u$ 的离散度。

[0045] 选择各变量的隶属度函数为三角形,则根据表1做出各个变量的隶属度函数图(如图1所示)。

[0046] 步骤四、根据机械跳汰机排矸控制工艺要求,结合实际经验制作模糊规则表(如表2所示)。控制规则皆为“if E is Ei and  $\Delta E$  is  $\Delta Ei$  then U is Ui,  $i=1,2,\dots,7$ ”;例如:如果E等于NB,  $\Delta E$ 等于PS,那么U就等于NM。

[0047] 表2模糊规则表

[0048]

	$\Delta E$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	U							
	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS
	NM	NB	NB	NM	NM	NS	NS	ZO
	NS	NM	NM	NS	NS	ZO	ZO	ZO
	ZO	NS	NS	ZO	ZO	ZO	PS	PS
	PS	ZO	ZO	ZO	PS	PS	PM	PM
	PM	ZO	PS	PS	PM	PM	PB	PB
	PB	PS	PM	PM	PB	PB	PB	PB

[0049] 表中:NB-负大;NM-负中;NS-负小;ZO-零;PS-正小;PM-正中;PB-正大

[0050] 然后,根据模糊算法进行模糊推理。由表2的模糊规则表得到49 ( $7 \times 7 = 49$ ) 条规则;每条规则对应不同的功率偏差、偏差变化率和控制量的语言值。再根据隶属度函数得到功率偏差E、偏差变化率  $\Delta E$  和控制量U的模糊集合赋值表(如表3所示)。

[0051] 表3模糊集合A、B、C赋值表

[0052]

		-3	-2	1	0	1	2	3
	NB A1、B1、C1	1	0.5	0	0	0	0	0
	NM A2、B2、C2	0	1	0.5	0	0	0	0

[0053]

NS	A3、B3、C3	0	0.5	1	0.5	0	0	0
ZO	A4、B4、C4	0	0	0.5	1	0.5	0	0
PS	A5、B5、C5	0	0	0	0.5	1	0.5	0
PM	A6、B6、C6	0	0	0	0	0.5	1	0
PB	A7、B7、C7	0	0	0	0	0	0.5	1

[0054] 各语言值相应的模糊子集A1~A7、B1~B7和C1~C7。

[0055] 模糊子集A1、B1、C1=[1 0.5 0 0 0 0 0]；

[0056] 模糊子集A2、B2、C2=[0 1 0.5 0 0 0 0]；

[0057] 模糊子集A3、B3、C3=[0 0.5 1 0.5 0 0 0]；

[0058] 模糊子集A4、B4、C4=[0 0 0.5 1 0.5 0 0]；

[0059] 模糊子集A5、B5、C5=[0 0 0 0.5 1 0.5 0]；

[0060] 模糊子集A6、B6、C6=[0 0 0 0 0.5 1 0]；

[0061] 模糊子集A7、B7、C7=[0 0 0 0 0 0.5 1]。

[0062] 模糊集合A的模糊关系子矩阵RAi=Ai×Cij；

[0063] 模糊集合B的模糊关系子矩阵RBj=Bj×Cij (i=1、2、...23, j=1、2、...41), 按此法可分别求得23和41个关系子矩阵, 对所有子矩阵取并集得到模糊关系矩阵RA=∪RAi和RB=∪RBj。可以得到模拟量输出为:  $U=e \circ RA \cap \Delta e \circ RB$ 。

[0064] 上面得到的模拟量输出为1×7的模糊向量, 每一行的行元素(u(zij))对应相应的离散变量zj, 则可通过加权平均法公式解模糊, 得出排矸曲线修正率u:

[0065] 
$$u = \frac{\sum_{j=1}^{49} u(z_{ij}) * z_j}{\sum_{j=1}^{49} u(z_{ij})} \quad (i=j=1、2 \dots 49)$$

[0066] 步骤五、结合机械动筛跳汰机对排矸轮电机的要求, 当矸石层厚度低于排矸口高度时, 排矸轮电机转速为0; 当矸石层厚度超过矸石出口高度时, 启动排矸轮电机; 并且, 随着矸石层厚度的增大, 排矸轮电机的转速不断加快, 且当矸石层厚度达到挡板上沿时, 排矸轮的转速最快。根据机械动筛跳汰机主驱动电机额定功率以及功率设定的上下限值, 来确定排矸控制曲线公式:

[0067] 
$$F_t = \frac{45}{P_h - P_1} P_t + \frac{5P_h - 50P_1}{P_h - P_1}$$

[0068] 式中:Pt—机械动筛跳汰机主驱动电机的实时功率;

[0069] Ph—机械动筛跳汰机主驱动电机实时功率的上限值(可现场设定);

[0070] P1—机械动筛跳汰机主驱动电机实时功率的下限值(可现场设定);

[0071] Ft—排矸轮电机正常运行时的实时频率。

[0072] 排矸轮电机设计工作特性曲线如图2所示。

[0073] 步骤六、用模糊控制得出的排矸曲线修正率 $u$ ,对排矸控制曲线公式进行曲率调整,使排矸控制曲线能够根据不同工况进行模糊判断。系统检测装置实时检测现场数据,与给定值进行比较,再经A/D转换、量化为基本论域变量后,查表输出模糊语言值 $U$ ,进而模糊判断得一清晰量:排矸曲线修正率 $u$ 。

[0074] 得到排矸频率变化规则为: $a = u * \frac{b-a}{2n} + \frac{a+b}{2}$ ;式中: $a$ 、 $b$ 为变量 $e$ 、 $\Delta e$ 、 $u$ 的基本论域最大值和最小值, $n$ 为变量 $e$ 、 $\Delta e$ 、 $u$ 的离散度;

[0075] 根据模糊逻辑公式: $Ft' = a * Pt * \frac{45}{Ph-P1} + \frac{5Ph-50P1}{Ph-P1}$ ;

[0076] 得到的输出量经D/A转换4~20mA直流信号至变频器;从而自动调整排矸变频器的频率值。

[0077] 具体实施例:

[0078] 设定机械动筛跳汰机主驱动电机的下限值为35KW,机械动筛跳汰机主驱动电机的上限值为75KW。硬件系统采用工控机和松下FPX-C60R可编程控制器作为模糊控制器,计算机主要完成的任务是数据保存、实时监测、功率信号模拟。PLC作为执行器,接受计算机传来的功率信号,把它与PLC采集的功率床层信号作比较,误差、误差变化送给PLC内部模糊处理。然后得到变频器控制频率,再将频率信号通过一个函数转换成动筛的实际功率信号;其流程图如图4所示。

[0079] 当入料量为28单位时系统稳定。机械动筛跳汰机实际入料的不稳定性,是影响排矸效果的主要因素。通过对系统入料量的调节,用“组态王”上位机软件实时监控动筛内矸石量(矸石层)及排矸频率输出曲线的变化,进而对模糊逻辑控制与逻辑线性控制的效果进行比较。

[0080] ①当入料量在±5KW范围内波动时,得出如图5所示的曲线图。

[0081] 对图5的曲线进行结果分析:当入料量小范围波动时,两种控制中的动筛内矸石量 $P1$ 和 $P2$ 上下波动的幅度相同,排矸频率 $F1$ 和 $F2$ 上下波动的幅度也相同,故控制效果无差别。

[0082] ②当40秒内暂时无入料时,得出如图6所示的曲线图。

[0083] 对图6的曲线进行结果分析:排矸频率 $F1$ 有一段缓冲下降频率,然后快速下降,减少矸石排量;而 $F2$ 一直缓慢下降。同时,动筛内矸石量 $P1$ 下降量比 $P2$ 少,故矸石层更稳定,避免了对已有矸石层结构的破坏。并且,40秒后入料量恢复时,模糊逻辑控制恢复稳定的速度,也要比逻辑线性控制恢复稳定的速度要快。

[0084] ③当40秒内入料量持续为50单位时,得出如图7所示的曲线图。

[0085] 对图7的曲线进行结果分析:排矸频率 $F1$ 有一段缓冲上升频率,然后快速上升,增加矸石排量;而 $F2$ 一直缓慢上升。同时,动筛内矸石量 $P1$ 上升量比 $P2$ 要少,矸石层更稳定,避免破坏矸石层结构。另外,40秒后入料量恢复时,模糊逻辑控制恢复稳定的速度,比逻辑线性控制恢复稳定的速度快。

[0086] 由实施例的试验结果可以得出:模糊逻辑控制系统可以很好地解决机械动筛跳汰机洗煤过程非线性、时变性、滞后性数学模型难以确立的问题;控制效果良好,稳定性强,能够满足使用需求。

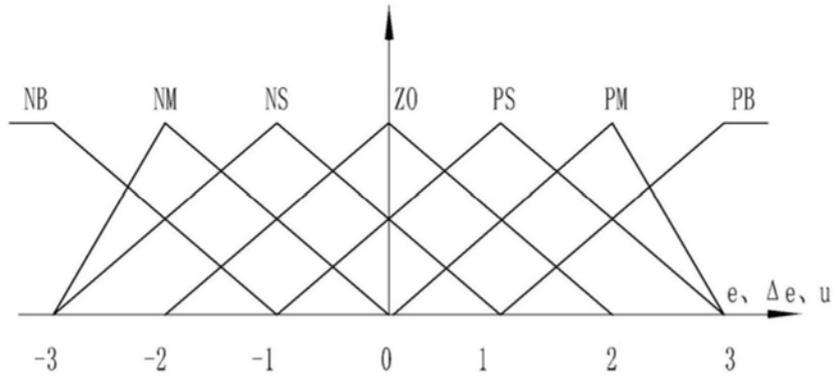


图1

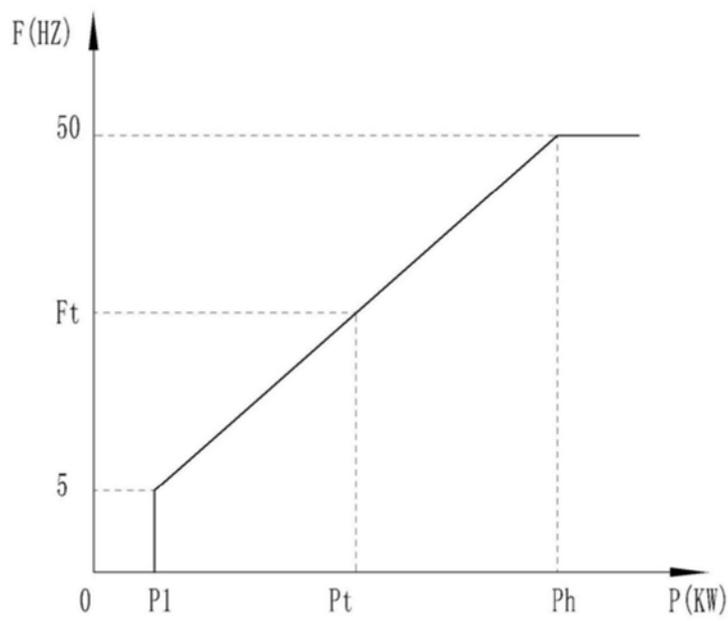


图2

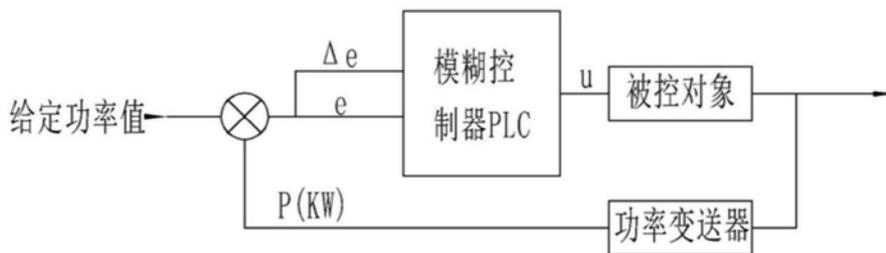


图3

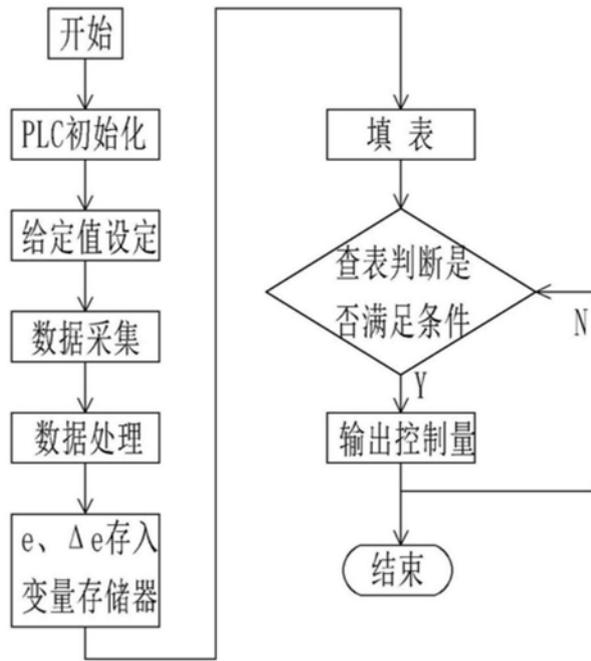


图4

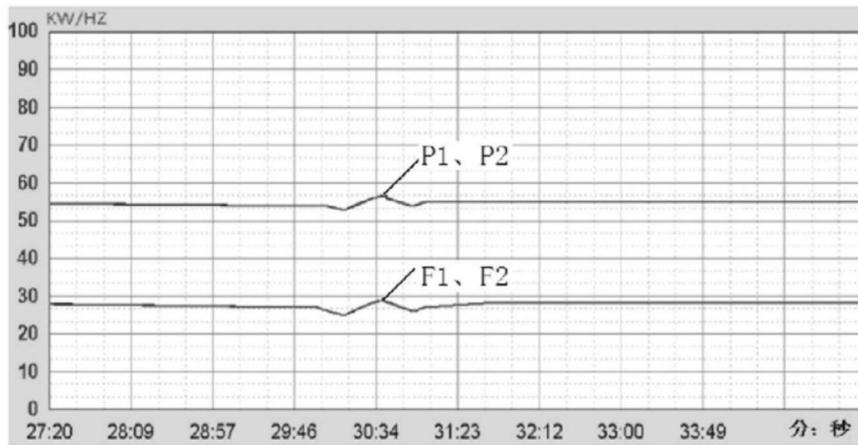


图5

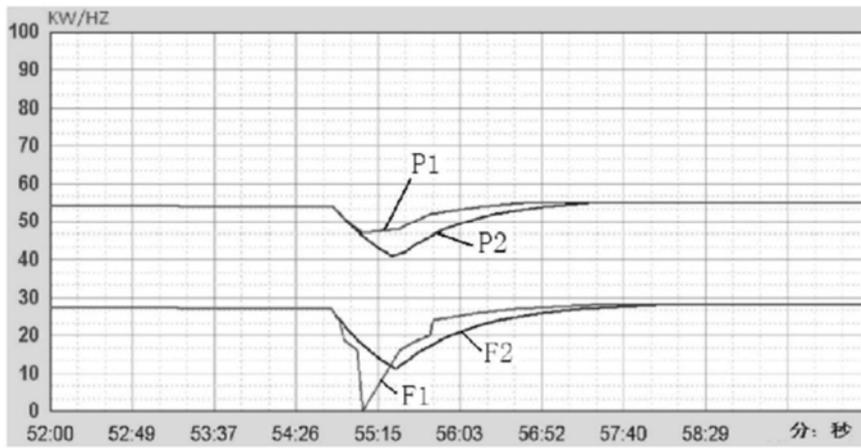


图6

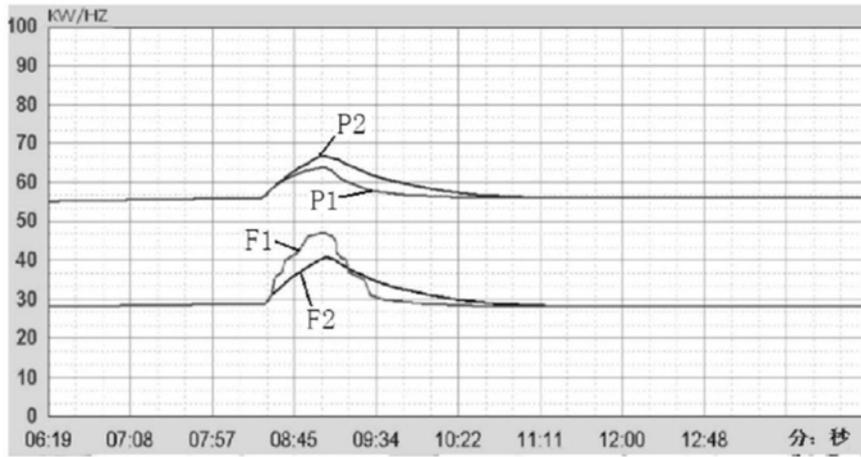


图7