



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108134113 A

(43)申请公布日 2018.06.08

(21)申请号 201711430474.X

H01M 8/04701(2016.01)

(22)申请日 2017.12.26

H01M 8/04007(2016.01)

(71)申请人 南京晓庄学院

H01M 8/04029(2016.01)

地址 211171 江苏省南京市江宁区弘景大道3601号

H01M 8/04089(2016.01)

H01M 8/0606(2016.01)

H01M 8/2425(2016.01)

(72)发明人 陆玉正 颜森林

H01M 8/2457(2016.01)

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204

代理人 李倩

(51) Int. Cl.

H01M 8/04298(2016.01)

H01M 8/04992(2016.01)

H01M 8/04537(2016.01)

H01M 8/0432(2016.01)

H01M 8/04858(2016.01)

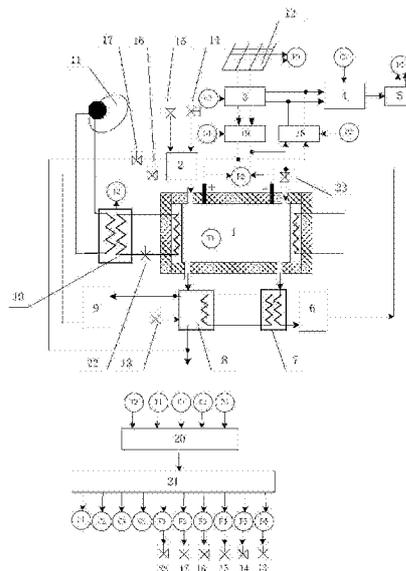
权利要求书5页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统及方法,该系统包括燃料电池堆、供电系统、能量循环系统、供水系统、太阳能系统、氧化剂循环系统及控制系统;供电系统为整个系统提供电能,能量循环系统输送燃料给燃料电池堆并在控制系统的控制下进行发电,并控制SOFC的可逆过程实现剩余电能的能量转换;供水系统为系统提供水源;太阳能系统与燃料电池堆连接;氧化剂循环系统为系统提供氧化剂。该方法主要通过模糊控制方法控制SOFC工作状态以及输出的功率。本发明不仅使SOFC与太阳能光伏联合发电,实现连续、稳定、可靠的供电系统,且控制SOFC的可逆过程实现剩余电能的高效制氢,实现新能源储能的目的。



1. 一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,其特征在于,该系统包括:燃料电池堆(1)、供电系统、能量循环系统、供水系统、太阳能系统、氧化剂循环系统及控制系统;

所述供电系统为整个系统提供电能;

所述能量循环系统实现输送燃料给燃料电池堆并在控制系统的控制下进行发电,并控制SOFC的可逆过程实现剩余电能的能量转换;

所述供水系统一路给系统提供冷却水来冷却高温的燃料,另一路和燃料一起进入燃料电池堆;

所述太阳能系统包括太阳能储热器和太阳能采集器,所述太阳能储热器的一端口与太阳能采集器连接,另一端于燃料电池堆连接;

所述氧化剂循环系统为系统提供氧化剂;

所述控制系统用于控制整个系统的运行状态。

2. 根据权利要求1所述的一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,其特征在于:所述燃料电池堆包括电池堆本体(1-1)、保温层(1-2)和电池堆储热工质(1-5);

所述燃料电池堆本体和电池堆储热工质设置于保温层内,所述电池堆储热工质位于燃料电池本体的两端,且分别与太阳能储热器连接;

所述保温层上设置有燃料电池负极(1-3)、氧化剂进口(1-4)、氧化剂出口(1-6)、燃料出口(1-7)、燃料进口(1-8)和燃料电池正极(1-9);

所述燃料电池负极(1-3)和燃料电池正极(1-9)与供电系统连接,所述能量循环系统通过所述燃料出口(1-7)和燃料进口(1-8)与燃料电池堆连接,所述氧化剂循环系统通过氧化剂进口(1-4)和氧化剂出口与燃料电池堆连接。

3. 根据权利要求1所述的一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,其特征在于:所述供电系统包括光伏电池直流斩波器(3)、逆变器(4)、交流负载(5)、光伏阵列(12)、燃料电池直流斩波器(18)和电解直流斩波器(19);

所述燃料电池堆(1)的正极、负极分别与燃料电池直流斩波器(18)的输入连接,燃料电池直流斩波器(18)的输出与逆变器(4)的输入连接,逆变器(4)的输出与交流负载(5)的输入连接,构成第一供电回路;

所述光伏阵列(12)的输出与光伏电池直流斩波器(3)的输入连接,光伏电池直流斩波器(3)输出与逆变器(4)的输入连接,逆变器(4)的输出与交流负载(5)的输入连接,构成第二供电回路;

所述光伏阵列(12)的输出与光伏电池直流斩波器(3)的输入连接,光伏电池直流斩波器(3)输出与电解直流斩波器(19)的输入连接,电解直流斩波器(19)的输出与燃料电池堆(1)的正极、负极连接,构成第三供电回路。

4. 根据权利要求1所述的一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,其特征在于:所述能量循环系统包括氢气出口换热器(8)、储氢罐(9)和联通阀(2);

所述氢气出口换热器的第一输入口与燃料电池堆连接,第二输入口与供水系统连接,第一输出口与储氢罐连接,第二输出口通过循环水进口电控阀门(17)与联通阀的第一输入口连接,氢气出口换热器(8)与氧气出口换热器(7)利用换热管道连接;

所述储氢罐的输出口通过循环氢进口电控阀门(16)与联通阀的第二输入口连接;

所述联通阀的第三输入口通过氢气进口电控阀门(15)与氢气补给连接,第三输入口通

过水蒸气进口电控阀门与供水系统连接;所述联通阀的输出与燃料电池堆连接。

5. 根据权利要求1所述的一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,其特征在于:所述氧化剂循环系统包括储氧罐(6)和氧气出口换热器(7);所述氧气出口换热器(7)进口与燃料电池堆连接,其出口与储氧罐的输入口连接,储氧罐的输出口通过氧化剂进口电控阀门与燃料电池堆连接。

6. 根据权利要求1所述的一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,其特征在于:所述控制系统包括采集模块(20)和控制器(21),所述采集模块(20)采集交流负载(5)的需求功率 P_1 、燃料电池堆(1)的输出功率 P_2 、光伏阵列(12)的输出功率 P_3 和燃料电池堆(1)的温度 T_1 、太阳能储热器(10)的温度 T_2 ,将采集的信号送至控制器(21),控制器(21)输出分别与冷却水进口电控阀门(13)的控制端口 F_6 、水蒸气进口电控阀门(14)的控制端口 F_5 、氢气进口电控阀门(15)的控制端口 F_4 、循环氢进口电控阀门(16)的控制端口 F_3 、循环水进口电控阀门(17)的控制端口 F_2 、换热器电控阀门(22)的控制端口 F_1 、光伏电池直流斩波器(3)的控制端口 C_1 、逆变器(4)的控制端口 C_2 、燃料电池直流斩波器(18)的控制端口 C_3 、电解直流斩波器(19)的控制端口 C_4 连接。

7. 一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,其特征在于,该系统包括:燃料电池堆(1)、联通阀(2)、光伏电池直流斩波器(3)、逆变器(4)、交流负载(5)、储氧罐(6)、氧气出口换热器(7)、氢气出口换热器(8)、储氢罐(9)、太阳能储热器(10)、碟式太阳能集热器(11)、光伏阵列(12)、冷却水进口电控阀门(13)、水蒸气进口电控阀门(14)、氢气进口电控阀门(15)、循环氢进口电控阀门(16)、循环水进口电控阀门(17)、燃料电池直流斩波器(18)、电解直流斩波器(19)、采集模块(20)、控制器(21)、换热器电控阀门(22)和氧化剂进口电控阀门(23);

所述燃料电池堆(1)的正极、负极分别与燃料电池直流斩波器(18)的输入连接,燃料电池直流斩波器(18)的输出与逆变器(4)的输入连接,逆变器(4)的输出与交流负载(5)的输入连接,构成第一供电回路;

所述光伏阵列(12)的输出与光伏电池直流斩波器(3)的输入连接,光伏电池直流斩波器(3)输出与逆变器(4)的输入连接,逆变器(4)的输出与交流负载(5)的输入连接,构成第二供电回路;

所述光伏阵列(12)的输出与光伏电池直流斩波器(3)的输入连接,光伏电池直流斩波器(3)输出与电解直流斩波器(19)的输入连接,电解直流斩波器(19)的输出与燃料电池堆(1)的正极、负极连接,构成第三供电回路;

所述第一供电回路、第二供电回路、第三供电回路由控制电路控制三个供电回路的工作状态。

8. 根据权利要求7所述的一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,其特征在于,所述控制电路连接方式为:

采集模块(20)采集交流负载(5)的需求功率 P_1 、燃料电池堆(1)的输出功率 P_2 、光伏阵列(12)的输出功率 P_3 和燃料电池堆(1)的温度 T_1 、太阳能储热器(10)的温度 T_2 ,将采集的信号送至控制器(21),控制器(21)输出分别与冷却水进口电控阀门(13)的控制端口 F_6 、水蒸气进口电控阀门(14)的控制端口 F_5 、氢气进口电控阀门(15)的控制端口 F_4 、循环氢进口电控阀门(16)的控制端口 F_3 、循环水进口电控阀门(17)的控制端口 F_2 、换热器电控阀门(22)

的控制端口F1、光伏电池直流斩波器(3)的控制端口C1、逆变器(4)的控制端口C2、燃料电池直流斩波器(18)的控制端口C3、电解直流斩波器(19)的控制端口C4连接。

9. 根据权利要求7所述的一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,其特征就在于,所述燃料电池堆(1)包括:电池堆本体(1-1)、保温层(1-2)、燃料电池负极(1-3)、氧化剂进口(1-4)、电池堆储热工质(1-5)、氧化剂出口(1-6)、燃料出口(1-7)、燃料进口(1-8)和燃料电池正极(1-9);

所述碟式太阳能集热器(11)与太阳能储热器(10)利用换热管道连接,太阳能储热器(10)另一侧利用换热管道与燃料电池堆(1)的电池堆储热工质(1-5)连接;

所述氧气出口换热器(7)进口与燃料电池堆(1)的氧化剂出口(1-6)连接,氧气出口换热器(7)的出口与储氧罐(6)的进口连接,储氧罐(6)的出口与氧化剂进口电控阀门(23)的进口连接,氧化剂进口电控阀门(23)的出口燃料电池堆(1)氧化剂进口(1-4)连接,氧化剂进口电控阀门(23)进口还并联有氧化剂进口;

所述氢气出口换热器(8)的进口与燃料电池堆(1)的燃料出口(1-7)连接,氢气出口换热器(8)的氢气出口与储氢罐(9)的进口连接,储氢罐(9)的出口与联通阀(2)的第一进口连接;氢气出口换热器(8)的水出口与联通阀(2)的第二进口连接,氢气出口换热器(8)与氧气出口换热器(7)利用换热管道连接;

所述联通阀(2)的第三进口与氢气补给连接,联通阀(2)的第四进口与供水系统连接。

10. 一种可逆高温SOFC热电能量智能控制方法,其特征就在于,所述燃料电池堆工作在SOEC模式和SOFC模式,两种模式的切换基于模糊控制,具体控制方法为:

(1) 确定输入输出变量

模糊控制器的输入一为燃料电池堆(1)实际输出功率与目标功率的误差 e ;

模糊控制器的输入二为误差 e 的变化率 de/dt ,所述燃料电池堆(1)实际输出功率为 P_{F-ce11} ,目标功率为 P , $P=P_{load}-P_{pv}$, P_{load} 为负载所需要的功率, P_{pv} 为光伏阵列(12)的输出功率;

输出为 u ,当 $u>0$ 时,燃料电池堆(1)工作在SOFC状态, u 的值大小控制氢气进口电控阀门(15)、循环氢进口电控阀门(16)、氧化剂进口电控阀门(23)的开度,当 $u<0$ 时,燃料电池堆(1)工作在SOEC状态, u 的值大小控制水蒸气进口电控阀门(14)、循环水进口电控阀门(17)、氧化剂进口电控阀门(23)的开度和电解直流斩波器(19)的控制相位角;

(2) 输入输出变量论域和量化因子

误差 e 的基本论域设计为 $(-20kW,+20kW)$,经过归一化处理:

$$x'_e = \frac{12}{b_e - a_e} \left(x_e - \frac{a_e + b_e}{2} \right) \quad (1);$$

其中, a_e 为误差 e 的基本论域的左边, b_e 为误差 e 的基本论域的右边, x_e 为误差 e 的基本论域中的变量, x'_e 是误差 e 的基本论域归一化后的标准论域;

将 $(-20Kw,+20kW)$ 的连续变量转化为 $(-6,+6)$ 之间的连续变化量,然后将这个变化量分为7个语言变量E,即正大、正中、正小、零、负小、负中、负大;

进一步选定语言变量E的论域为:

$$X = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \quad (2);$$

则得到误差 e 的量化因子 $K_e = 6/20 = 0.3$;

设计再论域X上用以描述模糊子集的隶属函数为正态函数,即:

$$\mu_1(x) = \exp\left[-\left(\frac{x'_e - c_1}{\sigma_1}\right)^2\right] \quad (3);$$

其中, σ_1 为论域X的隶属度函数的宽度, c_1 为论域X的隶属度函数的中心, $\mu_1(x)$ 表示论域X的隶属度函数;

进一步建立语言变量E的赋值表;

误差e的变化率de/dt的基本论域为(-5kW/s,+5Kw/s);

经过归一化处理:

$$x'_{ec} = \frac{12}{b_{ec} - a_{ec}} \left(x_{ec} - \frac{a_{ec} + b_{ec}}{2}\right) \quad (4);$$

其中, a_{ec} 为误差e的变化率de/dt的基本论域的左边, b_{ec} 为误差e的变化率de/dt的基本论域的右边, x_{ec} 为误差e的变化率de/dt的基本论域中的变量, x'_{ec} 是误差e的变化率de/dt的基本论域归一化后的标准论域;

将(-5kW/s,+5Kw/s)的连续变量转化为(-6,+6)之间的连续变化量,然后将这个变化量分为7个语言变量EC,即正大、正中、正小、零、负小、负中、负大;

进一步选定语言变量EC的论域为:

$$Y = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \quad (5);$$

则得到误差e的量化因子 $K_{ec} = 6/5 = 1.2$;

设计再论域Y上用以描述模糊子集的隶属函数为正态函数,即:

$$\mu_2(x) = \exp\left[-\left(\frac{x'_e - c_2}{\sigma_2}\right)^2\right] \quad (6);$$

其中, σ_2 为论域Y的隶属度函数的宽度, c_2 为论域Y的隶属度函数的中心, $\mu_2(x)$ 表示论域Y的隶属度函数;

进一步建立语言变量EC的赋值表;

输出变量u基本论域为(-60kW,+60kW);

经过归一化处理:

$$x'_u = \frac{12}{b_u - a_u} \left(x_u - \frac{a_u + b_u}{2}\right) \quad (7);$$

其中, a_u 为误差u的基本论域的左边, b_u 为误差u的基本论域的右边, x_u 为误差u的基本论域中的变量, x'_u 是误差u的基本论域归一化后的标准论域;

将(-60kW,+60kW)的连续变量转化为(-6,+6)之间的连续变化量,然后将这个变化量分为7个语言变量U,即正大、正中、正小、零、负小、负中、负大;

进一步选定语言变量U的论域为:

$$Z = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \quad (8);$$

则得到输出变量U的量化因子 $K_u = 6/60 = 0.1$;

设计在论域Z上用以描述模糊子集的隶属函数为正态函数,即:

$$\mu_3(x) = \exp\left[-\left(\frac{x'_u - c_3}{\sigma_3}\right)^2\right] \quad (9);$$

其中, σ_3 为论域Z的隶属度函数的宽度, c_3 为论域Z的隶属度函数的中心, $\mu_3(x)$ 表示论域

Z的隶属度函数；

进一步建立语言变量U的赋值表；

(3) 模糊控制规则的设计

设计模糊控制规则的原则是当误差大或者较大时,选择控制量以尽快消除误差为主,而当误差小或者较小时,选择控制量要控制超调量；

(4) 解模糊

解模糊采用最大隶属度方法进行解模糊。

一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种控制装置及方法,特别是涉及一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统及方法。

背景技术

[0002] 燃料电池是将燃料中的化学能转为电能,其转换过程不受卡诺循环的限制,转换效率达到80%以上。其中固体氧化物燃料电池(solid oxide fuel cell,SOFC)具有固态结构,无需贵金属催化剂等优点广泛得到关注。如果SOFC一般运行温度较高,电解质的材料不同,其运行温度也不同,一般高温SOFC运行温度为800-1000℃,中低温SOFC的运行温度一般在500-800℃。若将热能利用,形成热电联供,其综合效率达到90%以上。

[0003] 但是,燃料电池目前受到技术与成本等因素一直没有得到广泛应用,若能够制作低成本的SOFC或者构建新的系统,实现一机多能与其他新能源技术相结合从而间接地降低成本。

发明内容

[0004] 发明目的:针对上述现有技术存在的成本高的问题和不足,本发明提供了一种与太阳能进行有机结合,实现能量的高效转换和储存的可逆高温SOFC热电能量智能控制系统及方法。

[0005] 技术方案:本发明的一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,该系统包括:燃料电池堆、供电系统、能量循环系统、供水系统、太阳能系统、氧化剂循环系统及控制系统;

[0006] 所述供电系统为整个系统提供电能;

[0007] 所述能量循环系统实现输送燃料给燃料电池堆并在控制系统的控制下进行发电,并控制SOFC的可逆过程实现剩余电能的能量转换;

[0008] 所述供水系统一路给系统提供冷却水来冷却高温的燃料,另一路和燃料一起进入燃料电池堆;

[0009] 所述太阳能系统包括太阳能储热器和太阳能采集器,所述太阳能储热器的一端口与太阳能采集器连接,另一端于燃料电池堆连接;

[0010] 所述氧化剂循环系统为系统提供氧化剂;

[0011] 所述控制系统用于控制整个系统的运行状态。

[0012] 进一步的,所述燃料电池堆包括电池堆本体、保温层和电池堆储热工质;

[0013] 所述燃料电池堆本体和电池堆储热工质设置于保温层内,所述电池堆储热工质位于燃料电池本体的两端,且分别与太阳能储热器连接;

[0014] 所述保温层上设置有燃料电池负极、氧化剂进口、氧化剂出口、燃料出口、燃料进口和燃料电池正极;

[0015] 所述燃料电池负极和燃料电池正极与供电系统连接,所述能量循环系统通过所述燃料出口和燃料进口与燃料电池堆连接,所述氧化剂循环系统通过氧化剂进口和氧化剂出

口与燃料电池堆连接。

[0016] 进一步的,所述供电系统包括光伏电池直流斩波器、逆变器、交流负载、光伏阵列、燃料电池直流斩波器和电解直流斩波器;

[0017] 所述燃料电池堆的正极、负极分别与燃料电池直流斩波器的输入连接,燃料电池直流斩波器的输出与逆变器的输入连接,逆变器的输出与交流负载的输入连接,构成第一供电回路;

[0018] 所述光伏阵列的输出与光伏电池直流斩波器的输入连接,光伏电池直流斩波器输出与逆变器的输入连接,逆变器的输出与交流负载的输入连接,构成第二供电回路;

[0019] 所述光伏阵列的输出与光伏电池直流斩波器的输入连接,光伏电池直流斩波器输出与电解直流斩波器的输入连接,电解直流斩波器的输出与燃料电池堆的正极、负极连接,构成第三供电回路。

[0020] 进一步的,所述能量循环系统包括氢气出口换热器、储氢罐和联通阀;

[0021] 所述氢气出口换热器的第一输入口与燃料电池堆连接,第二输入口与供水系统连接,第一输出口与储氢罐连接,第二输出口通过循环水进口电控阀门与联通阀的第一输入口连接,氢气出口换热器与氧气出口换热器利用换热管道连接;

[0022] 所述储氢罐的输出口通过循环氢进口电控阀门与联通阀的第二输入口连接;

[0023] 所述联通阀的第三输入口通过氢气进口电控阀门与氢气补给连接,第三输入口通过水蒸气进口电控阀门与供水系统连接;所述联通阀的输出与燃料电池堆连接。

[0024] 进一步的,所述氧化剂循环系统包括储氧罐和氧气出口换热器;所述氧气出口换热器进口与燃料电池堆连接,其出口与储氧罐的输入口连接,储氧罐的输出口通过氧化剂进口电控阀门与燃料电池堆连接。

[0025] 进一步的,所述控制系统包括采集模块和控制器,所述采集模块采集交流负载的需求功率 P_1 、燃料电池堆的输出功率 P_2 、光伏阵列的输出功率 P_3 和燃料电池堆的温度 T_1 、太阳能储热器的温度 T_2 ,将采集的信号送至控制器,控制器输出分别与冷却水进口电控阀门的控制端口 F_6 、水蒸气进口电控阀门的控制端口 F_5 、氢气进口电控阀门的控制端口 F_4 、循环氢进口电控阀门的控制端口 F_3 、循环水进口电控阀门的控制端口 F_2 、换热器电控阀门的控制端口 F_1 、光伏电池直流斩波器的控制端口 C_1 、逆变器的控制端口 C_2 、燃料电池直流斩波器的控制端口 C_3 、电解直流斩波器的控制端口 C_4 连接。

[0026] 另一实施例中,一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,该系统包括:燃料电池堆、联通阀、光伏电池直流斩波器、逆变器、交流负载、储氧罐、氧气出口换热器、氢气出口换热器、储氢罐、太阳能储热器、碟式太阳能集热器、光伏阵列、冷却水进口电控阀门、水蒸气进口电控阀门、氢气进口电控阀门、循环氢进口电控阀门、循环水进口电控阀门、燃料电池直流斩波器、电解直流斩波器、采集模块、控制器、换热器电控阀门和氧化剂进口电控阀门;

[0027] 所述燃料电池堆的正极、负极分别与燃料电池直流斩波器的输入连接,燃料电池直流斩波器的输出与逆变器的输入连接,逆变器的输出与交流负载的输入连接,构成第一供电回路;

[0028] 所述光伏阵列的输出与光伏电池直流斩波器的输入连接,光伏电池直流斩波器输出与逆变器的输入连接,逆变器的输出与交流负载的输入连接,构成第二供电回路;

[0029] 所述光伏阵列的输出与光伏电池直流斩波器的输入连接,光伏电池直流斩波器输

出与电解直流斩波器的输入连接,电解直流斩波器的输出与燃料电池堆的正极、负极连接,构成第三供电回路;

[0030] 所述第一供电回路、第二供电回路、第三供电回路由控制电路控制三个供电回路的工作状态。

[0031] 进一步的,所述控制电路连接方式为:

[0032] 采集模块采集交流负载的需求功率P1、燃料电池堆的输出功率P2、光伏阵列的输出功率P3和燃料电池堆的温度T1、太阳能储热器的温度T2,将采集的信号送至控制器,控制器输出分别与冷却水进口电控阀门的控制端口F6、水蒸气进口电控阀门的控制端口F5、氢气进口电控阀门的控制端口F4、循环氢进口电控阀门的控制端口F3、循环水进口电控阀门的控制端口F2、换热器电控阀门的控制端口F1、光伏电池直流斩波器的控制端口C1、逆变器的控制端口C2、燃料电池直流斩波器的控制端口C3、电解直流斩波器的控制端口C4连接。

[0033] 进一步的,所述燃料电池堆包括:电池堆本体、保温层、燃料电池负极、氧化剂进口、电池堆储热工质、氧化剂出口、燃料出口、燃料进口和燃料电池正极;

[0034] 所述碟式太阳能集热器与太阳能储热器利用换热管道连接,太阳能储热器另一侧利用换热管道与燃料电池堆的电池堆储热工质连接;

[0035] 所述氧气出口换热器进口与燃料电池堆的氧化剂出口连接,氧气出口换热器的出口与储氧罐的进口连接,储氧罐的出口与氧化剂进口电控阀门的进口连接,氧化剂进口电控阀门的出口燃料电池堆氧化剂进口连接,氧化剂进口电控阀门进口还并联有氧化剂进口;

[0036] 所述氢气出口换热器的进口与燃料电池堆的燃料出口连接,氢气出口换热器的氢气出口与储氢罐的进口连接,储氢罐的出口与联通阀的第一进口连接;氢气出口换热器的水出口与联通阀的第二进口连接,氢气出口换热器与氧气出口换热器利用换热管道连接;

[0037] 所述联通阀的第三进口与氢气补给连接,联通阀的第四进口与供水系统连接。

[0038] 又一实施例中,一种可逆高温SOFC热能智能控制方法,所述燃料电池堆工作在SOEC模式和SOFC模式,两种模式的切换基于模糊控制,具体控制方法为:

[0039] (1) 确定输入输出变量

[0040] 模糊控制器的输入一为燃料电池堆实际输出功率与目标功率的误差e;

[0041] 模糊控制器的输入二为误差e的变化率 de/dt ,所述燃料电池堆实际输出功率为 P_{F-cell} ,目标功率为P, $P=P_{load}-P_{pv}$, P_{load} 为负载所需要的功率, P_{pv} 为光伏阵列的输出功率;

[0042] 输出为u,当 $u>0$ 时,燃料电池堆工作在SOFC状态,u的值大小控制氢气进口电控阀门、循环氢进口电控阀门、氧化剂进口电控阀门的开度,当 $u<0$ 时,燃料电池堆工作在SOEC状态,u的值大小控制水蒸气进口电控阀门、循环水进口电控阀门、氧化剂进口电控阀门的开度和电解直流斩波器的控制相位角;

[0043] (2) 输入输出变量论域和量化因子

[0044] 误差e的基本论域设计为 $(-20kW,+20kW)$,经过归一化处理:

$$[0045] \quad x'_e = \frac{12}{b_e - a_e} \left(x_e - \frac{a_e + b_e}{2} \right) \quad (1);$$

[0046] 其中, a_e 为误差e的基本论域的左边, b_e 为误差e的基本论域的右边, x_e 为误差e的基本论域中的变量, x'_e 是误差e的基本论域归一化后的标准论域;

[0047] 将(-20Kw,+20kw)的连续变量转化为(-6,+6)之间的连续变化量,然后将这个变化量分为7个语言变量E,即正大(PB)、正中(PM)、正小(PS)、零(ZR)、负小(NS)、负中(NM)、负大(NB);

[0048] 进一步选定语言变量E的论域为:

$$[0049] \quad X = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \quad (2);$$

[0050] 则得到误差e的量化因子 $K_e = 6/20 = 0.3$;

[0051] 设计再论域X上用以描述模糊子集的隶属函数为正态函数,即:

$$[0052] \quad \mu_1(x) = \exp\left[-\left(\frac{x'_e - c_1}{\sigma_1}\right)^2\right] \quad (3);$$

[0053] 其中, σ_1 为论域X的隶属度函数的宽度, c_1 为论域X的隶属度函数的中心, $\mu_1(x)$ 表示论域X的隶属度函数;

[0054] 进一步建立语言变量E的赋值表;

[0055] 误差e的变化率 de/dt 的基本论域为(-5kW/s,+5Kw/s);

[0056] 经过归一化处理:

$$[0057] \quad x'_{ec} = \frac{12}{b_{ec} - a_{ec}} \left(x_{ec} - \frac{a_{ec} + b_{ec}}{2}\right) \quad (4);$$

[0058] 其中, a_{ec} 为误差e的变化率 de/dt 的基本论域的左边, b_{ec} 为误差e的变化率 de/dt 的基本论域的右边, x_{ec} 为误差e的变化率 de/dt 的基本论域中的变量, x'_{ec} 是误差e的变化率 de/dt 的基本论域归一化后的标准论域;

[0059] 将(-5kW/s,+5Kw/s)的连续变量转化为(-6,+6)之间的连续变化量,然后将这个变化量分为7个语言变量EC,即正大(PB)、正中(PM)、正小(PS)、零(ZR)、负小(NS)、负中(NM)、负大(NB);

[0060] 进一步选定语言变量EC的论域为:

$$[0061] \quad Y = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \quad (5);$$

[0062] 则得到误差e的量化因子 $K_{ec} = 6/5 = 1.2$;

[0063] 设计再论域Y上用以描述模糊子集的隶属函数为正态函数,即:

$$[0064] \quad \mu_2(x) = \exp\left[-\left(\frac{x'_{ec} - c_2}{\sigma_2}\right)^2\right] \quad (6);$$

[0065] 其中, σ_2 为论域Y的隶属度函数的宽度, c_2 为论域Y的隶属度函数的中心, $\mu_2(x)$ 表示论域Y的隶属度函数;

[0066] 进一步建立语言变量EC的赋值表;

[0067] 输出变量u基本论域为(-60kW,+60kW);

[0068] 经过归一化处理:

$$[0069] \quad x'_u = \frac{12}{b_u - a_u} \left(x_u - \frac{a_u + b_u}{2}\right) \quad (7);$$

[0070] 其中, a_u 为误差u的基本论域的左边, b_u 为误差u的基本论域的右边, x_u 为误差u的基本论域中的变量, x'_u 是误差u的基本论域归一化后的标准论域;

[0071] 将(-60kW,+60kW)的连续变量转化为(-6,+6)之间的连续变化量,然后将这个变化量分为7个语言变量U,即正大(PB)、正中(PM)、正小(PS)、零(ZR)、负小(NS)、负中(NM)、负大(NB);

(NB) ;

[0072] 进一步选定语言变量U的论域为:

[0073] $Z = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$ (8);

[0074] 则得到输出变量U的量化因子 $K_u = 6/60 = 0.1$;

[0075] 设计在论域Z上用以描述模糊子集的隶属函数为正态函数,即:

[0076] $\mu_3(x) = \exp[-(\frac{x_u - c_3}{\sigma_3})^2]$ (9);

[0077] 其中, σ_3 为论域Z的隶属度函数的宽度, c_3 为论域Z的隶属度函数的中心, $\mu_3(x)$ 表示论域Z的隶属度函数;

[0078] 进一步建立语言变量U的赋值表;

[0079] (3) 模糊控制规则的设计

[0080] 设计模糊控制规则的原则是当误差大或者较大时,选择控制量以尽快消除误差为主,而当误差小或者较小时,选择控制量要控制超调量;

[0081] (4) 解模糊

[0082] 解模糊采用最大隶属度方法进行解模糊。

[0083] 有益效果:与现有技术相比,本发明主要通过模糊控制方法控制SOFC工作状态以及输出的功率。本发明不仅使得SOFC与太阳能光伏发电联合发电,实现连续、稳定、可靠的供电系统,而且,控制SOFC的可逆过程实现剩余电能的高效制氢,实现新能源储能的目的。本发明实现了高效发电与高效制氢的技术为一体化。

附图说明

[0084] 图1是本发明系统结构示意图;

[0085] 图2是燃料电池堆结构框图;

[0086] 图3是燃料电池堆模糊控制器示意图。

具体实施方式

[0087] 下面结合附图和具体实施例,进一步阐明本发明,应理解这些实施例仅用于说明本发明而不用于限制本发明的范围。

[0088] 如图1所示,一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,包括:燃料电池堆1、联通阀2、光伏电池直流斩波器3、逆变器4、交流负载5、储氧罐6、氧气出口换热器7、氢气出口换热器8、储氢罐9、太阳能储热器10、碟式太阳能集热器11、光伏阵列12、冷却水进口电控阀门13、水蒸气进口电控阀门14、氢气进口电控阀门15、循环氢进口电控阀门16、循环水进口电控阀门17、燃料电池直流斩波器18、电解直流斩波器19、采集模块20、控制器21、换热器电控阀门22和氧化剂进口电控阀门23。

[0089] 所述燃料电池堆1的正极、负极分别与燃料电池直流斩波器18的输入连接,燃料电池直流斩波器18的输出与逆变器4的输入连接,逆变器4的输出与交流负载5的输入连接,构成第一供电回路。

[0090] 所述光伏阵列12的输出与光伏电池直流斩波器3的输入连接,光伏电池直流斩波器3输出与逆变器4的输入连接,逆变器4的输出与交流负载5的输入连接,构成第二供电回

路。

[0091] 所述光伏阵列12的输出与光伏电池直流斩波器3的输入连接,光伏电池直流斩波器3输出与电解直流斩波器19的输入连接,电解直流斩波器19的输出与燃料电池堆1的正极、负极连接,构成第三供电回路。

[0092] 所述第一供电回路、第二供电回路、第三供电回路由控制电路控制三个供电回路的工作状态。

[0093] 所述控制电路连接方式为:

[0094] 采集模块20采集交流负载5的需求功率 P_1 、燃料电池堆1的输出功率 P_2 、光伏阵列12的输出功率 P_3 和燃料电池堆1的温度 T_1 、太阳能储热器10的温度 T_2 ,将采集的信号送至控制器21,控制器21输出分别与冷却水进口电控阀门13的控制端口F6、水蒸气进口电控阀门14的控制端口F5、氢气进口电控阀门15的控制端口F4、循环氢进口电控阀门16的控制端口F3、循环水进口电控阀门17的控制端口F2、换热器电控阀门22的控制端口F1、光伏电池直流斩波器3的控制端口C1、逆变器4的控制端口C2、燃料电池直流斩波器18的控制端口C3、电解直流斩波器19的控制端口C4连接。

[0095] 如图2所示,所述燃料电池堆1由电池堆本体1-1、保温层1-2、燃料电池负极1-3、氧化剂进口1-4、电池堆储热工质1-5、氧化剂出口1-6、燃料出口1-7、燃料进口口1-8、燃料电池正极1-9。

[0096] 所述碟式太阳能集热器11与太阳能储热器10利用换热管道连接,太阳能储热器10另一侧利用换热管道与燃料电池堆1的电池堆储热工质1-5连接。

[0097] 所述氧气出口换热器7进口与燃料电池堆1的氧化剂出口1-6连接,氧气出口换热器7的出口与储氧罐6的进口连接,储氧罐6的出口与氧化剂进口电控阀门23的进口连接,氧化剂进口电控阀门23的出口燃料电池堆1氧化剂进口1-4连接,氧化剂进口电控阀门23进口还并联有氧化剂进口。

[0098] 氢气出口换热器8的进口与燃料电池堆1的燃料出口1-7连接,氢气出口换热器8的氢气出口与储氢罐9的进口连接,储氢罐9的出口与联通阀2的第一进口连接。

[0099] 氢气出口换热器8的水出口与联通阀2的第二进口连接,氢气出口换热器8与氧气出口换热器7利用换热管道连接。

[0100] 联通阀2的第三进口与氢气补给连接,联通阀2的第四进口与水补给连接。

[0101] 一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,燃料电池堆1可工作在SOEC模式和SOFC模式,两种模式的切换基于模糊控制,如图3所示,模糊控制的具体控制方法为:

[0102] 第一步:确定输入输出变量

[0103] 模糊控制器的第一输入为燃料电池堆1实际输出功率与目标功率的误差 e ,模糊控制器的第二输入为误差 e 的变化率 de/dt ;所述燃料电池堆1实际输出功率为 P_{F-ce11} ,目标功率为 P , $P=P_{load}-P_{pv}$, P_{load} 为负载所需要的功率, P_{pv} 为光伏阵列12的输出功率;

[0104] 模糊控制器的输出为 u ,当 $u>0$ 时,燃料电池堆1工作在SOFC状态, u 的值大小控制氢气进口电控阀门15、循环氢进口电控阀门16、氧化剂进口电控阀门23的开度,当 $u<0$ 时,燃料电池堆1工作在SOEC状态, u 的值大小控制水蒸气进口电控阀门14、循环水进口电控阀门17、氧化剂进口电控阀门23的开度和电解直流斩波器19的控制相位角。

[0105] 第二步:输入输出变量论域和量化因子

[0106] 误差e的基本论域设计为(-20kW,+20kW),经过归一化处理:

$$[0107] \quad x'_e = \frac{12}{b_e - a_e} (x_e - \frac{a_e + b_e}{2}) \quad (1);$$

[0108] 其中, a_e为误差e的基本论域的左边,即-20, b_e为误差e的基本论域的右边,即+20, x_e为误差e的基本论域中的变量, x_e ∈ (-20,+20), x'_e是误差e的基本论域归一化后的标准论域;即将误差e的基本论域(-20,+20)变化到标准论域(-6,+6)之间,即x'_e ∈ (-6,+6)。

[0109] 将(-20Kw,+20kW)的连续变量转化为(-6,+6)之间的连续变化量,然后将这个变化量分为7个语言变量E,即正大(PB)、正中(PM)、正小(PS)、零(ZR)、负小(NS)、负中(NM)、负大(NB);

[0110] 进一步选定语言变量E的论域为:

$$[0111] \quad X = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\} \quad (2);$$

[0112] 则得到误差e的量化因子K_e=6/20=0.3,

[0113] 设计再论域X上用以描述模糊子集的隶属函数为正态函数,即:

$$[0114] \quad \mu_1(x) = \exp[-\frac{(x'_e - c_1)^2}{\sigma_1}] \quad (3);$$

[0115] 其中, σ₁为论域X的隶属度函数的宽度, c₁为论域X的隶属度函数的中心, μ₁(x)表示论域X的隶属度函数; x'_e是误差e的基本论域归一化后的标准论域。

[0116] 进一步建立语言变量E的赋值表为:

[0117] 表1

[0118]

$\mu(x)$ E 语言值	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0.1	0.7	1.0	0.7	0.1	0	0
ZO	0	0	0	0	0.1	0.7	1.0	0.7	0.1	0	0	0	0
NS	0	0	0.1	0.7	1.0	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[0119] 误差e的变化率de/dt的基本论域为(-5kW/s,+5Kw/s)。

[0120] 经过归一化处理:

$$[0121] \quad x'_{ec} = \frac{12}{b_{ec} - a_{ec}} (x_{ec} - \frac{a_{ec} + b_{ec}}{2}) \quad (4);$$

[0122] 其中, a_{ec}为误差e的变化率de/dt的基本论域的左边, b_{ec}为误差e的变化率de/dt的基本论域的右边, x_{ec}为误差e的变化率de/dt的基本论域中的变量, x'_{ec}是误差e的变化率de/dt的基本论域归一化后的标准论域。

[0123] 将(-5kW/s,+5Kw/s)的连续变量转化为(-6,+6)之间的连续变化量,然后将这个变化量分为7个语言变量EC,即正大(PB)、正中(PM)、正小(PS)、零(ZR)、负小(NS)、负中(NM)、负大(NB)。

[0124] 进一步选定语言变量EC的论域为:

[0125] $Y = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$ (5);

[0126] 则得到误差e的量化因子 $K_{ec} = 6/5 = 1.2$ 。

[0127] 设计再论域Y上用以描述模糊子集的隶属函数为正态函数,即:

[0128] $\mu_2(x) = \exp[-(\frac{x'_{ec} - c_2}{\sigma_2})^2]$ (6);

[0129] 其中, σ_2 为论域Y的隶属度函数的宽度, c_2 为论域Y的隶属度函数的中心, $\mu_2(x)$ 表示论域Y的隶属度函数。

[0130] 进一步建立语言变量EC的赋值表为:

[0131] 表2

[0132]

$\mu(x)$ \ EC 语言值	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1.0	0.7	0.2	0	0
ZO	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0
NS	0	0	0.2	0.7	1.0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[0133] 输出变量u基本论域为(-60kW,+60kW)。

[0134] 经过归一化处理:

[0135] $x'_u = \frac{12}{b_u - a_u} (x_u - \frac{a_u + b_u}{2})$ (7);

[0136] 其中, a_u 为误差u的基本论域的左边, b_u 为误差u的基本论域的右边, x_u 为误差u的基本论域中的变量, x'_u 是误差u的基本论域归一化后的标准论域。

[0137] 将(-60kW,+60kW)的连续变量转化为(-6,+6)之间的连续变化量,然后将这个变化量分为7个语言变量U,即正大(PB)、正中(PM)、正小(PS)、零(ZR)、负小(NS)、负中(NM)、负大(NB)。

[0138] 进一步选定语言变量U的论域为:

[0139] $Z = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$ (8);

[0140] 则得到输出变量U的量化因子 $K_u = 6/60 = 0.1$ 。

[0141] 设计在论域Z上用以描述模糊子集的隶属函数为正态函数,即:

[0142]
$$\mu_3(x) = \exp\left[-\left(\frac{x'_u - c_3}{\sigma_3}\right)^2\right] \quad (9);$$

[0143] 其中, σ_3 为论域Z的隶属度函数的宽度, c_3 为论域Z的隶属度函数的中心, $\mu_3(x)$ 表示论域Z的隶属度函数。

[0144] 进一步建立语言变量U的赋值表为:

[0145] 表3

[0146]

$\mu(x)$ U 语言值	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.7	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0.1	0.8	1.0	0.8	0.3	0	0
ZO	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0
NS	0	0	0.3	0.8	1.0	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	1.0	0.7	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[0147] 第三步,模糊控制规则的设计

[0148] 设计模糊控制规则的原则是当误差大或者较大时,选择控制量以尽快消除误差为主,而当误差小或者较小时,选择控制量要控制超调量;

[0149] 模糊控制规则表如下:

[0150] 表4

[0151]

u e de/dt	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZR	ZR
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZR	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZR	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZR	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZR	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZR	NS	NM	NM	NM	NB

[0152]

PB	ZR	ZR	NM	NM	NM	NB	NB
----	----	----	----	----	----	----	----

[0153] 根据表4用以下四个模糊控制语句来进一步说明模糊控制规则：

[0154] (1) :IF e is PS and de/dt is PS then u is NS(即,如果误差e是正小,且误差e的变化率de/dt是正小,则输出变量u是负小)；

[0155] (2) :IF e is Z0 and de/dt is PS then u is NS(即,如果误差e是零,且误差e的变化率de/dt是正小,则输出变量u是负小)；

[0156] (3) :IF e is Z0 and de/dt is PM then u is NM(即,如果误差e是零,且误差e的变化率de/dt是正中,则输出变量u是负小)；

[0157] (4) :IF e is PS and de/dt is PM then u is NM(即,如果误差e是正小,且误差e的变化率de/dt是正小,则输出变量u是负中)。

[0158] 第四步,解模糊

[0159] 解模糊采用最大隶属度方法进行解模糊。

[0160] 一种可逆高温SOFC热电能量智能控制系统,热能600℃恒温控制,其控制过程为:SOFC模式与SOFC模式热能恒温控制方案相同,具体控制方案为:

[0161] 温度传感器T1安装在燃料电池堆1内部,燃料电池堆1的温度低于运行温度,换热器电控阀门22的阀门开度加大,换热管道内的工质流速加大,燃料电池堆1的温度上升,反之,则减小换热器电控阀门22的阀门开度,降低燃料电池堆1的运行温度;热能来源与碟式太阳能集热器11,碟式太阳能集热器11将太阳能转化为热能,太阳能储热器10与碟式太阳能集热器11使用管道连接,工质可以在太阳能储热器10与碟式太阳能集热器11之间流动,将太阳能储存在太阳能储热器10,太阳能储热器10的热能通过换热管道和工质,可以加热燃料电池堆1。

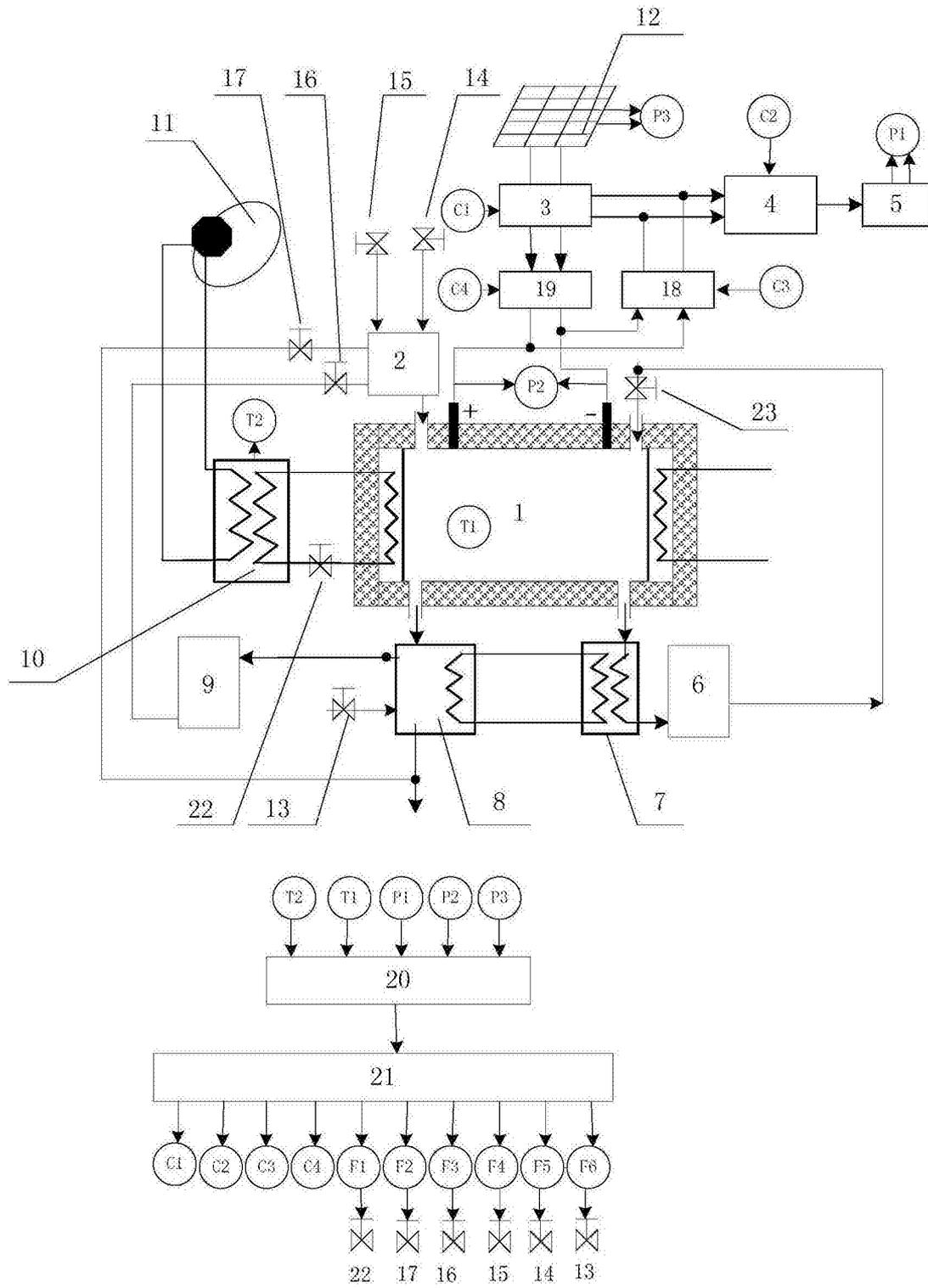


图1

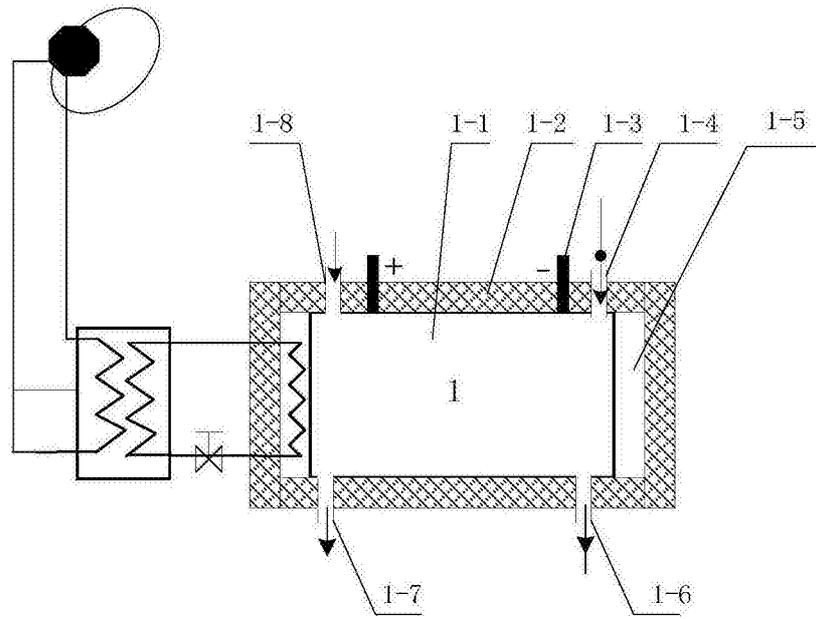


图2

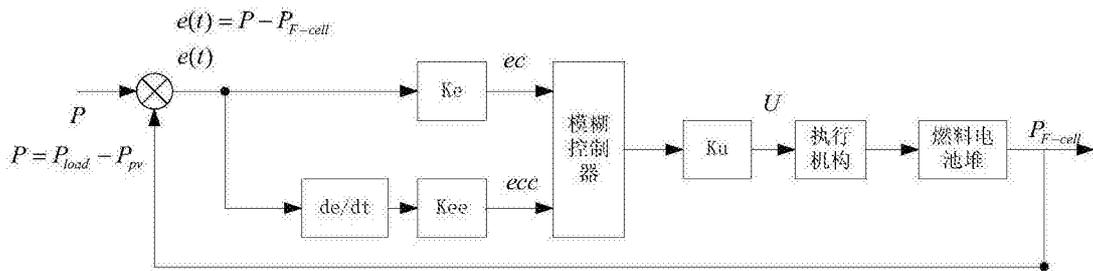


图3