



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111900435 A

(43) 申请公布日 2020. 11. 06

(21) 申请号 202010929193.4

(22) 申请日 2020.09.07

(71) 申请人 福州大学

地址 350108 福建省福州市闽侯县福州大学城乌龙江北大道2号福州大学

(72) 发明人 王亚雄 陈铨 林飞 张晨阳

(74) 专利代理机构 福州元创专利商标代理有限公司 35100

代理人 陈明鑫 蔡学俊

(51) Int. Cl.

H01M 8/04007 (2016.01)

H01M 8/04298 (2016.01)

H01M 8/0432 (2016.01)

H01M 8/04537 (2016.01)

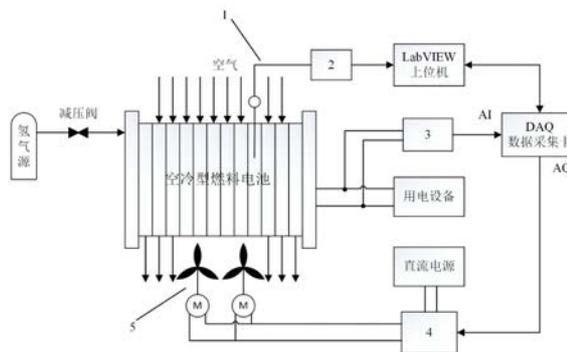
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统及方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统,包括空冷燃料电池、直流风机、LabVIEW上位机、DAQ数据采集卡、温度采集模块、电压电流采集模块,用电设备、直流电机驱动模块和直流电源;所述空冷燃料电池、温度采集模块、LabVIEW上位机、DAQ数据采集卡依次连接;所述用电设备连接空冷燃料电池;所述DAQ数据采集卡还通过电压电流采集模块与空冷燃料电池连接;所述直流电机驱动模块与直流电源、直流风机和DAQ数据采集卡分别连接。本发明能有效提高空冷燃料电池输出功率。



1. 一种基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统,其特征在于,包括空冷燃料电池、直流风机、LabVIEW上位机、DAQ数据采集卡、温度采集模块、电压电流采集模块,用电设备、直流电机驱动模块和直流电源;所述空冷燃料电池、温度采集模块、LabVIEW上位机、DAQ数据采集卡依次连接;所述用电设备连接空冷燃料电池;所述DAQ数据采集卡还通过电压电流采集模块与空冷燃料电池连接;所述直流电机驱动模块与直流电源、直流风机和DAQ数据采集卡分别连接。

2. 根据权利要求1所述的基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统,其特征在于所述空冷燃料电池通过减压阀连接氢气源。

3. 根据权利要求1所述的基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统,其特征在于:所述直流电机驱动模块采用L298N。

4. 根据权利要求1所述的基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统,其特征在于:所述DAQ数据采集卡通过PCI总线与计算机相连并与LabVIEW上位机进行信号传输。

5. 根据权利要求1所述的基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统,其特征在于:所述温度采集模块由K型热电偶与STM32微控制器组成,通过USB与计算机相连并与LabVIEW上位机进行信号传输。

6. 一种基于功率优化的空冷燃料电池热管理方法,其特征在于,包括两个部分:

第一部分:基于功率最大化的空冷燃料电池最佳工作温度寻优策略,通过控制空冷燃料电池风机开度扰动电堆温度变化,观察燃料电池恒定电流下输出功率的变化进而确定恒定电流下燃料电池最佳工作温度值;

第二部分:根据确定的最佳工作温度值作为参考值设计热管理控制器形成闭环回路以追踪最佳工作温度值。

7. 根据权利要求6所述的基于功率优化的空冷燃料电池热管理方法,其特征在于,所述当空冷燃料电池电堆温度追踪在最佳工作温度,此时若工况电流发生变化时,新的最佳工作温度值需重新确定并追踪,具体为:判断空冷燃料电池工况电流是否变化,如工况变化,则执行第一部分确定最佳工作温度,如工况没有改变,则判断此时最佳工作温度是否确定,如最佳工作温度已确定,则执行第二部分进行最佳工作温度追踪,如最佳工作温度未确定,则执行第一部分以确定最佳工作温度。

8. 根据权利要求6所述的基于功率优化的空冷燃料电池热管理方法,其特征在于所述功率最大化的空冷燃料电池最佳工作温度寻优策略,包括以下步骤:

步骤S1:设定初始风机占空比 $u(0) = u_0$,初始平均功率 $P_{ave}(0) = 0$;

步骤S2:设定参数周期时间 Δt ,恒定风机占空比值变化值 Δu ,风机最小占空比 u_{min} ,程序执行阈值 θ ;

步骤S3:实时检测燃料电池电堆温度 $T_{st}(t)$,电压 $V_{st}(t)$,电流 $I_{st}(t)$,并计算空冷燃料电池实时功率、平均功率 P_{ave} 及平均功率差值 ΔP_{ave} ;

步骤S4:判断 ΔP_{ave} 是否大于所设定的阈值 θ ,当 $\Delta P_{ave} \geq \theta$ 时,即燃料电池功率沿上升趋势变化,此时当前电堆温度往最佳工作温度值接近,则执行命令: $u_{t+1} = u_t - \Delta u$,使电堆温度继续上升以更接近最佳工作温度值并重新赋值 $P_{ave,t} = P_{ave,t+1}$, $u_t = u_{t+1}$,返回步骤S3;

步骤S5:当 $\Delta P_{ave} < \theta$ 时,则燃料电池功率变化有下降趋势,此时电堆温度即将接近过热反应温度值,执行输出当前电堆温度值为最佳工作温度 T_{ref} 。

9. 根据权利要求8所述的基于功率优化的空冷燃料电池热管理方法,其特征在于所述有燃料电池实时功率:

$$P_{st}(t) = V_{st}(t) * I_{st}(t)$$

等待一个周期时间 Δt 并计算平均功率:

$$P_{ave} = \frac{\sum_t^{t+\Delta t} P_{st}(t)}{\Delta t}$$

作当前平均功率与上一周期平均功率之差,计算平均功率差值:

$$\Delta P_{ave} = P_{ave,t+1} - P_{ave,t}$$

10. 根据权利要求8所述的基于功率优化的空冷燃料电池热管理方法,其特征在于所述步骤S4执行命令中输出的风机占空比需大于等于所设的最小占空比 u_{min} ,且当执行命令:

$u_{t+1} = u_t - \Delta u$ 后,如 $u_{t+1} < u_{min}$,则 $u_{t+1} = u_{min}$ 。

基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及空冷燃料电池控制领域,具体涉及一种基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统及方法。

背景技术

[0002] 质子交换膜燃料电池由于其高效率,高能量密度,无噪声及污染等优点已经成为清洁能源重点发展方向,且逐渐应用于汽车,叉车,船舶,可再生能源系统,甚至涉及航空等领域。燃料电池的应用在我国也逐渐向移动装置,军事,运输,空间等多领域多方向发展。我国在燃料电池汽车技术的研发力度上也不断加强,在发展目标中也不断追求大规模,高电堆比功率,长耐久性等特点。空冷质子交换膜燃料电池作为质子交换膜燃料电池的一种,由于其便携,结构简单,发电成本低等特点受到燃料电池市场的广泛青睐。

[0003] 影响质子交换膜燃料电池输出性能的因素有阴极氧气压强、阳极氢气压强、电堆温度,环境温度,膜内水含量等。其中燃料电池电堆温度对输出功率的影响很大,且电堆温度直接影响膜内水含量。由于空冷燃料电池阴极压强与环境压强一致,且阳极压强变化范围不大可以忽略,膜内水含量作为内部隐含状态量不可直接测得,电堆温度是优化空冷燃料电池输出功率的首要因素。目前研究人员在通过调节电堆温度以提高空冷燃料电池输出功率的研究上鲜有涉及,且在基于功率最大化的空冷燃料电池最佳工作温度寻优策略上也少有涉猎。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统及方法,能有效提高空冷燃料电池输出功率。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统,包括空冷燃料电池、直流风机、LabVIEW上位机、DAQ数据采集卡、温度采集模块、电压电流采集模块,用电设备、直流电机驱动模块和直流电源;所述空冷燃料电池、温度采集模块、LabVIEW上位机、DAQ数据采集卡依次连接;所述用电设备连接空冷燃料电池;所述DAQ数据采集卡还通过电压电流采集模块与空冷燃料电池连接;所述直流电机驱动模块与直流电源、直流风机和DAQ数据采集卡分别连接。

[0007] 进一步的,所述空冷燃料电池通过减压阀连接氢气源。

[0008] 进一步的,所述直流电机驱动模块采用L298N。

[0009] 进一步的,所述DAQ数据采集卡通过PCI总线与计算机相连并与LabVIEW上位机进行信号传输。

[0010] 进一步的,所述温度采集模块由K型热电偶与STM32微控制器组成,通过USB与计算机相连并与LabVIEW上位机进行信号传输。

[0011] 一种基于功率优化的空冷燃料电池热管理方法,包括两个部分:

[0012] 第一部分:基于功率最大化的空冷燃料电池最佳工作温度寻优策略,通过控制空冷燃料电池风机开度扰动电堆温度变化,观察燃料电池恒定电流下输出功率的变化进而确定恒定电流下燃料电池最佳工作温度值;

[0013] 第二部分:根据确定的最佳工作温度值作为参考值设计热管理控制器形成闭环回路以追踪最佳工作温度值。

[0014] 进一步的,所述当空冷燃料电池电堆温度追踪在最佳工作温度,此时若工况电流发生变化时,新的最佳工作温度值需重新确定并追踪,具体为:判断空冷燃料电池工况电流是否变化,如工况变化,则执行第一部分确定最佳工作温度,如工况没有改变,则判断此时最佳工作温度是否确定,如最佳工作温度已确定,则执行第二部分进行最佳工作温度追踪,如最佳工作温度未确定,则执行第一部分以确定最佳工作温度。

[0015] 进一步的,所述功率最大化的空冷燃料电池最佳工作温度寻优策略,包括以下步骤:

[0016] 步骤S1:设定初始风机占空比 $u(0) = u_0$,初始平均功率 $P_{ave}(0) = 0$;

[0017] 步骤S2:设定参数周期时间 Δt ,恒定风机占空比值变化值 Δu ,风机最小占空比 u_{min} ,程序执行门槛值 θ ;

[0018] 步骤S3:实时检测燃料电池电堆温度 $T_{st}(t)$,电压 $V_{st}(t)$,电流 $I_{st}(t)$,并计算空冷燃料电池实时功率、平均功率 P_{ave} 及平均功率差值 ΔP_{ave} ;

[0019] 步骤S4:判断 ΔP_{ave} 是否大于所设定的门槛值 θ ,当 $\Delta P_{ave} \geq \theta$ 时,即燃料电池功率沿上升趋势变化,此时当前电堆温度往最佳工作温度值接近,则执行命令: $u_{t+1} = u_t - \Delta u$,使电堆温度继续上升以更接近最佳工作温度值并重新赋值 $P_{ave,t} = P_{ave,t+1}$, $u_t = u_{t+1}$,返回步骤S3;

[0020] 步骤S5:当 $\Delta P_{ave} < \theta$ 时,则燃料电池功率变化有下降趋势,此时电堆温度即将接近过热反应温度值,执行输出当前电堆温度值为最佳工作温度 T_{ref} 。

[0021] 进一步的,所述有燃料电池实时功率:

[0022] $P_{st}(t) = V_{st}(t) * I_{st}(t)$

[0023] 等待一个周期时间 Δt 并计算平均功率:

$$[0024] \quad P_{ave} = \frac{\sum_{t}^{t+\Delta t} P_{st}(t)}{\Delta t}$$

[0025] 作当前平均功率与上一周期平均功率之差,计算平均功率差值:

[0026] $\Delta P_{ave} = P_{ave,t+1} - P_{ave,t}$

[0027] 进一步的,所述步骤S4执行命令中输出的风机占空比需大于等于所设的最小占空比 u_{min} ,且当执行命令: $u_{t+1} = u_t - \Delta u$ 后,如 $u_{t+1} < u_{min}$,则 $u_{t+1} = u_{min}$ 。

[0028] 本发明与现有技术相比具有以下有益效果:

[0029] 1、本发明从燃料电池内部反应机理出发,通过控制风机开度确定并追踪恒定电流工作下使燃料电池功率最大化的最佳工作温度,进而优化空冷燃料电池输出功率。

[0030] 2、本发明结合空冷燃料电池自身结构特点考虑了不同环境条件下燃料电池最佳工作温度值是可变的,提出了针对可变环境条件下的最佳工作温度确定及追踪方法,在燃料电池不同工作环境条件下有效提高空冷燃料电池输出功率。

附图说明

[0031] 图1是本发明一实施例中系统构造示意图；

[0032] 图2是本发明一实施例中方法示意图

[0033] 图3是本发明一实施例中寻优策略流程图；

[0034] 图4是本发明一实施例中最佳工作温度追踪曲线

[0035] 图5是本发明一实施例中功率变化曲线；

[0036] 图中,1-K型热电偶,2-STM32微控制器,3-电压电流采集模块,4-直流电机驱动模块,5-燃料电池12V直流风机。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步说明。

[0038] 请参照图1,本发明提供一种基于功率优化的空冷燃料电池热管理系统,包括空冷燃料电池、直流风机、LabVIEW上位机、DAQ数据采集卡、温度采集模块、电压电流采集模块,用电设备、直流电机驱动模块和直流电源;所述空冷燃料电池、温度采集模块、LabVIEW上位机、DAQ数据采集卡依次连接;所述用电设备连接空冷燃料电池;所述DAQ数据采集卡还通过电压电流采集模块与空冷燃料电池连接;所述直流电机驱动模块与直流电源、直流风机和DAQ数据采集卡分别连接。

[0039] 在本实施例中,以一款额定功率1KW,额定电流35A的H-1000空冷燃料电池为例,为控制空冷燃料电池风机开度,在H-1000空冷燃料电池系统中加入直流电机驱动模块,通过改变风机占空比大小进而调节进入空冷燃料电池进气量大小,所述的直流电机驱动模块为L298N。

[0040] 在本实施例中,所述的K型热电偶与STM32微控制器组成温度采集模块。热电偶探测头布置于空冷燃料电池电堆内部并将实时检测到的温度信号通过STM32微控制器与LabVIEW上位机进行交互。

[0041] 在本实施例中,DAQ数据采集卡通过PCI总线与计算机相连并与LabVIEW上位机进行信号传输。所述的H-1000空冷燃料电池输出端经过分压后与DAQ数据采集卡输入端AI口相连以实时检测空冷燃料电池输出电压,电流采集采用HCS-LSP-50A电流传感器将实时检测到的空冷燃料电池工况电流变化以电压信号通过DAQ数据采集卡输入端AI口传输,且DAQ数据采集卡输出端AO口与直流电机驱动模块L298N占空比输入端相连以调节12V直流风机开度大小,L298N直流电机驱动模块输出端与12V直流风机两端相连且由12V直流电源供电。本实施例中所述的用电设备采用额定功率为2400W的M9716可编程电子负载,其输入端与H-1000空冷燃料电池输出端相连。

[0042] 参考图2,本实施例还提供一种基于功率优化的空冷燃料电池热管理方法,对H-1000空冷燃料电池功率优化包含两部分:

[0043] 第一部分:在不增设空冷燃料电池其他辅助系统下仅从燃料电池内部反应机理出发采用一种基于功率最大化的空冷燃料电池最佳工作温度寻优策略通过控制空冷燃料电池风机开度扰动电堆温度变化,观察燃料电池恒定电流下输出功率的变化进而确定恒定电流下燃料电池最佳工作温度值。

[0044] 第二部分:针对第一部分确定的最佳工作温度值作为参考值设计热管理控制器形

成闭环回路以追踪该最佳工作温度值。

[0045] 在本实施例中,所述的第一部分一种基于功率最大化的空冷燃料电池最佳工作温度寻优策略具体流程如图3所示:

[0046] S1:设定初始风机占空比 $u(0)$,初始平均功率 $P_{ave}(0)$,为使空冷燃料电池初始电堆温度相对较低同时保证足够进气量需将初始风机占空比设为较大值: $u(0) = u_0$,为使最佳工作温度搜寻程序顺利进行需设置初始平均功率: $P_{ave}(0) = 0$ 。

[0047] S2:设定参数周期时间 Δt ,恒定风机占空比值变化值 Δu ,风机最小占空比 u_{min} ,程序执行门槛值 θ 。

[0048] S3:实时检测燃料电池电堆温度 $T_{st}(t)$,电压 $V_{st}(t)$,电流 $I_{st}(t)$ 。有燃料电池实时

功率: $P_{st}(t) = V_{st}(t) * I_{st}(t)$ 。等待一个周期时间 Δt 并计算平均功率 $P_{ave} = \frac{\sum_{t}^{t+\Delta t} P_{st}(t)}{\Delta t}$,作当

前平均功率与上一周期平均功率之差 $\Delta P_{ave} = P_{ave,t+1} - P_{ave,t}$,所述的平均功率差值 ΔP_{ave} 代表燃料电池功率变化趋势。

[0049] S4:判断 ΔP_{ave} 是否大于所设定的门槛值 θ ,当 $\Delta P_{ave} \geq \theta$ 时,即燃料电池功率沿上升趋势变化,此时当前电堆温度往最佳工作温度值接近,则执行命令: $u_{t+1} = u_t - \Delta u$,使电堆温度继续上升以更接近最佳工作温度值并重新赋值 $P_{ave,t} = P_{ave,t+1}$, $u_t = u_{t+1}$,返回步骤S3。

[0050] S5:当 $\Delta P_{ave} < \theta$ 时,则燃料电池功率变化有下降趋势,此时电堆温度即将接近过热反应温度值,为防止燃料电池功率衰退保持当前堆内热平衡,执行输出当前电堆温度值为最佳工作温度 T_{ref} 。

[0051] 优选的,在本实施例中,步骤S4执行命令中输出的风机占空比需大于等于所设的最小占空比 u_{min} ,且当执行命令: $u_{t+1} = u_t - \Delta u$ 后,如 $u_{t+1} < u_{min}$,则 $u_{t+1} = u_{min}$ 。

[0052] 在本实施例中,考虑到不同功率等级燃料电池对温度扰动的敏感度不同,在一种基于功率最大化的空冷燃料电池最佳工作温度寻优策略中,本实施例针1KW空冷燃料电池在燃料电池正常工作温度范围内选取工作电流20A并按如下原则进行参数整定:燃料电池输出功率在电堆温度扰动下需要一定响应时间 Δt_{min} ,过长的周期时间 Δt_{max} 又会使最佳工作温度搜寻工作过早结束,因此参数 Δt 应满足: $\Delta t_{min} > \Delta t > \Delta t_{max}$ 。恒定风机占空比值变化值 Δu 决定了温度扰动的快慢,越大的 Δu 值会使温度扰动越快,过小的 Δu 值可能不能引起温度扰动显著变化,因此 Δu 的选取应满足燃料电池对温度扰动具有一定的敏感度。不同功率等级的燃料电池在温度扰动后的功率变化范围也不同,门槛值 θ 需参考温度扰动后的平均功率差值 ΔP_{ave} 而设定,需注意的 θ 应设为正数而不能为零,原因为当 $\theta = 0$ 时,如执行步骤S5时,此时过热反应已经发生,即所确定的最佳工作温度 T_{ref} 过大。优选地,本实施例在一种基于功率最大化的空冷燃料电池最佳工作温度寻优策略中参数整定如下: $\Delta t = 20s$, $\Delta u = 20\%$, $\theta = 1$ 。

[0053] 本实施例所述的第二部分针对第一部分空冷燃料电池恒定电流工作下所确定的最佳工作温度值作为参考值进行热管理控制器设计,通过最佳工作温度值追踪以使空冷燃料电池输出最大功率。

[0054] 优选地,本实施例设计的热管理控制器采用PI控制,将第一部分所确定的最佳工作温度值 $T_{ref}(t)$ 与实际电堆温度值 $T_{st}(t)$ 构成的偏差: $e(t) = T_{ref}(t) - T_{st}(t)$ 作为输入,将

控制量风机占空比： $u(t) = K_P e(t) + \int K_I e(t) dt$ 作为输出构成闭环控制系统。进一步的，本实施例采用的PI控制器比例参数为： $K_P=1$ ，积分参数为： $K_I=0.001$ 。

[0055] 本实施例中，当空冷燃料电池电堆温度追踪在最佳工作温度，此时若工况电流发生变化时，新的最佳工作温度值需重新确定并追踪，具体描述为：判断空冷燃料电池工况电流是否变化，如工况变化，则执行第一部分确定最佳工作温度，如工况没有改变，则判断此时最佳工作温度是否确定，如最佳工作温度已确定，则执行第二部分进行最佳工作温度追踪，如最佳工作温度未确定，则执行第一部分以确定最佳工作温度。

[0056] 采用上述方法本实施例对H-1000空冷燃料电池在环境温度25℃下工作时进行功率优化，如图4所示为本实施例在变工况电流10A-25A-20A下工作时温度追踪曲线及电流变化曲线，本实施例在工况电流10A-25A-20A下所追踪的最佳工作温度值分别为：41.75℃，55.75℃，51℃。图5为空冷燃料电池追踪最佳工作温度时的功率变化曲线，经计算采用本发明的系统及方法可以使空冷燃料电池在相对高负荷（ $\geq 25A$ ）工作时有效提高输出功率超过4%。

[0057] 以上所述仅为本发明的较佳实施例，凡依本发明申请专利范围所做的均等变化与修饰，皆应属本发明的涵盖范围。

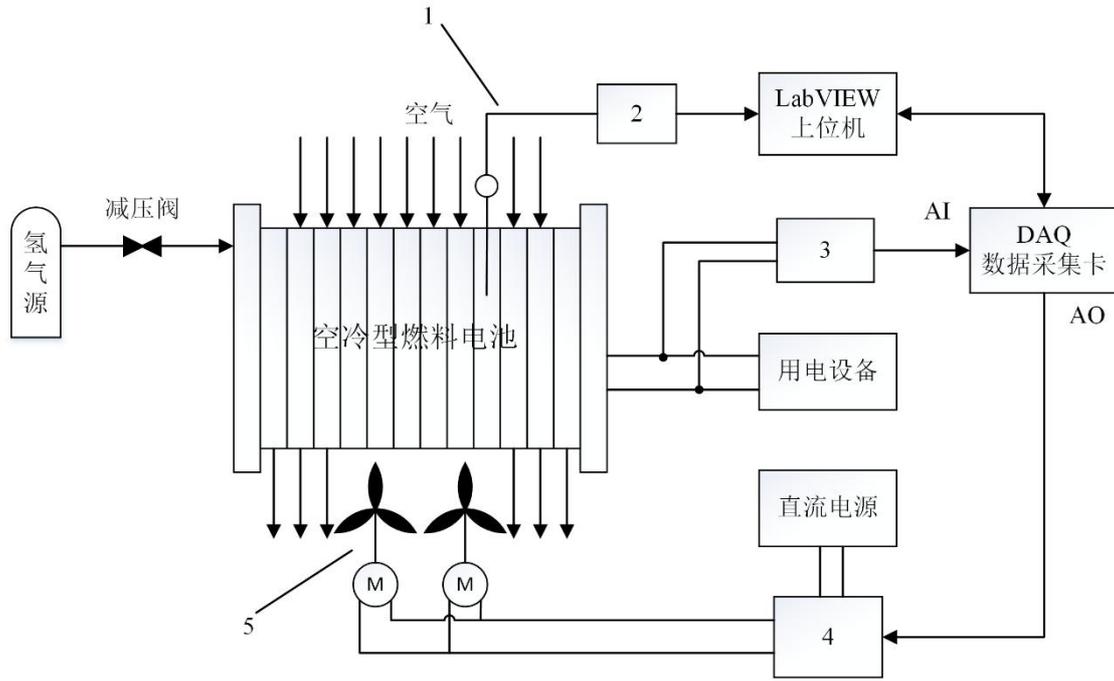


图1

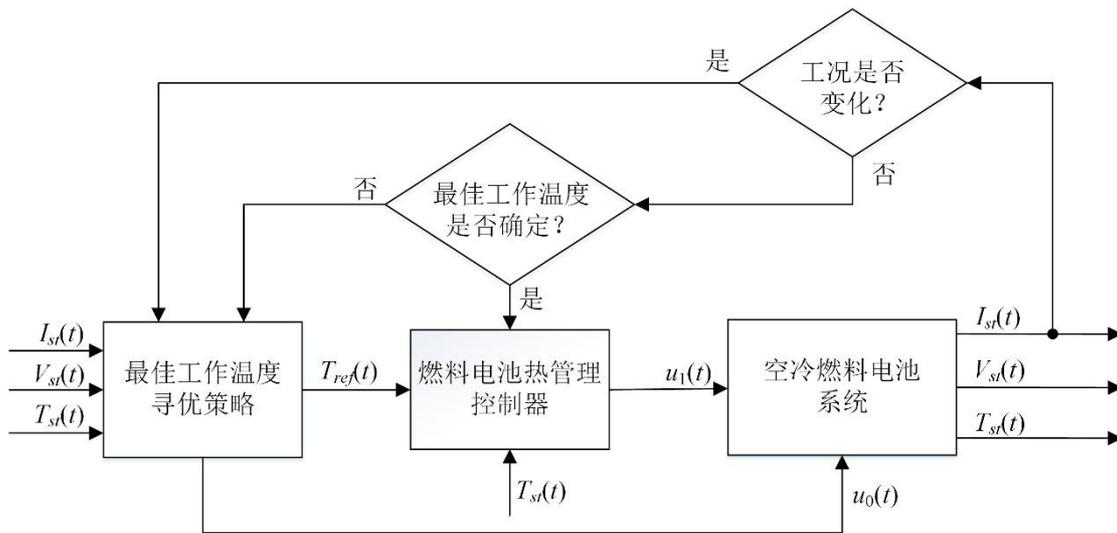


图2

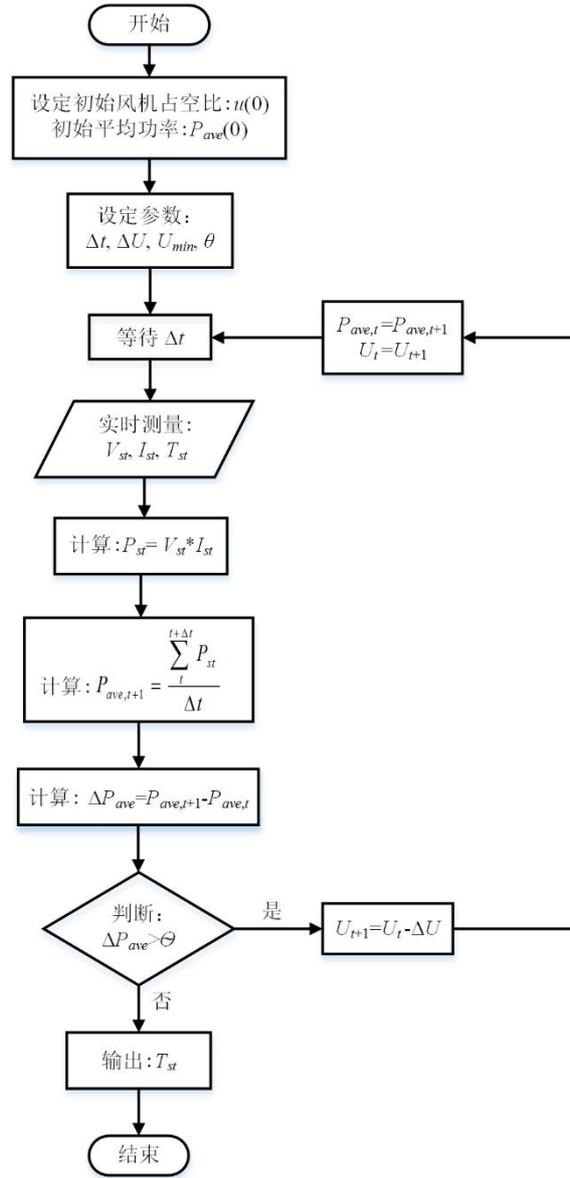


图3

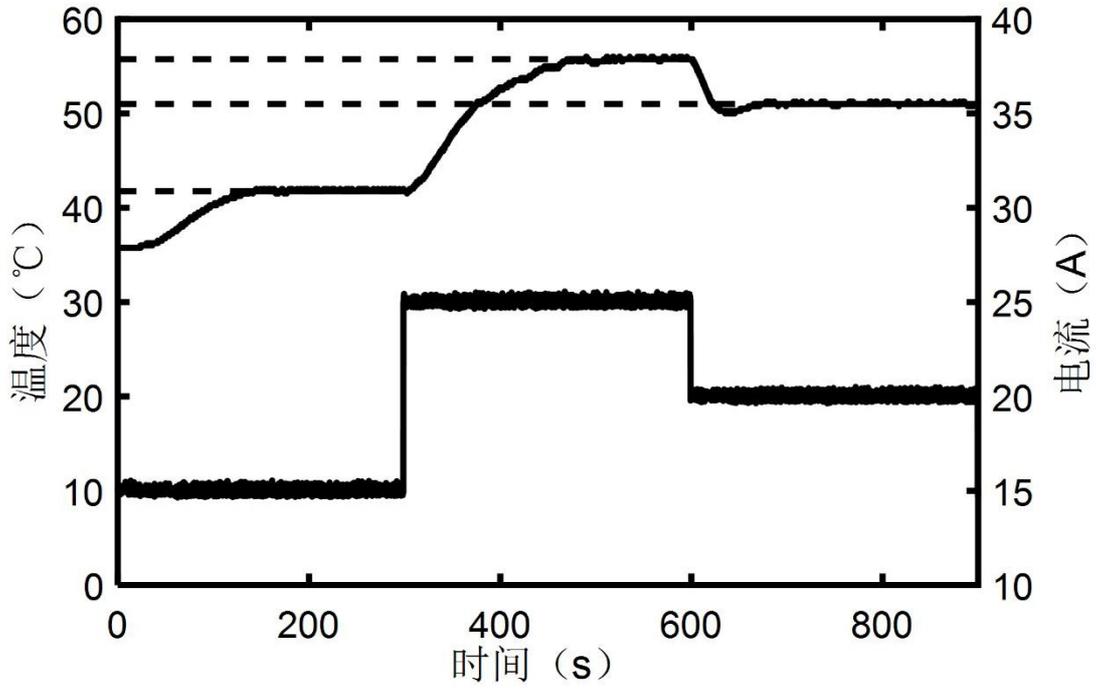


图4

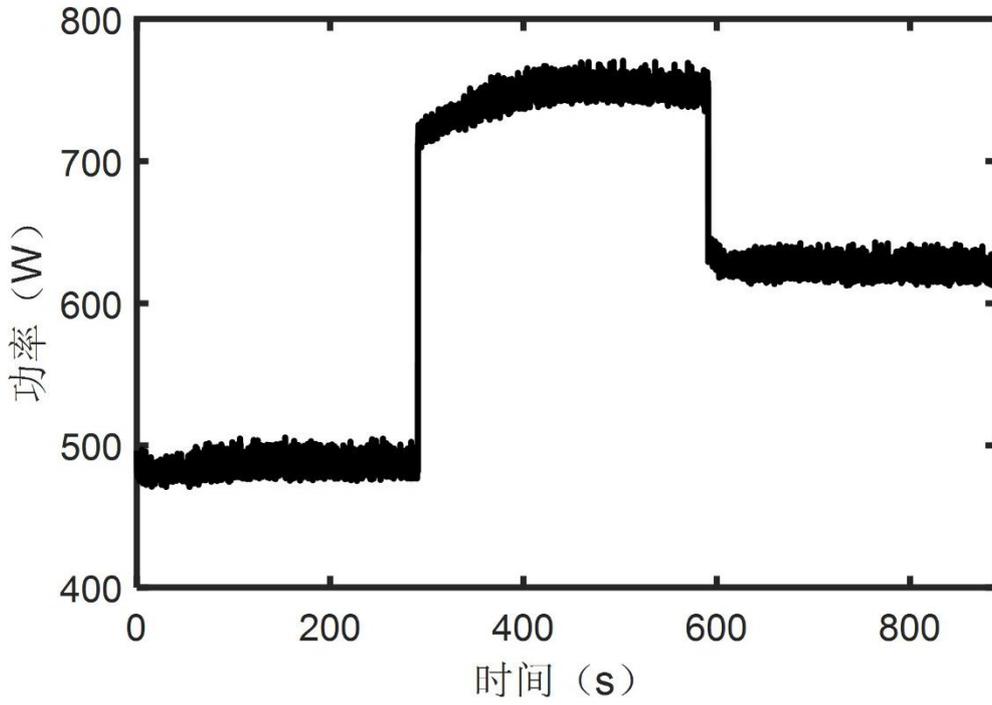


图5