



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106405431 A
(43)申请公布日 2017.02.15

(21)申请号 201610938715.0

(22)申请日 2016.10.25

(71)申请人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路
122号

(72)发明人 石英 杨振 熊秋芬 谢长君
全书海 张立炎 黄亮 陈启宏

(74)专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限
公司 42102

代理人 王守仁

(51)Int. Cl.

G01R 31/36(2006.01)

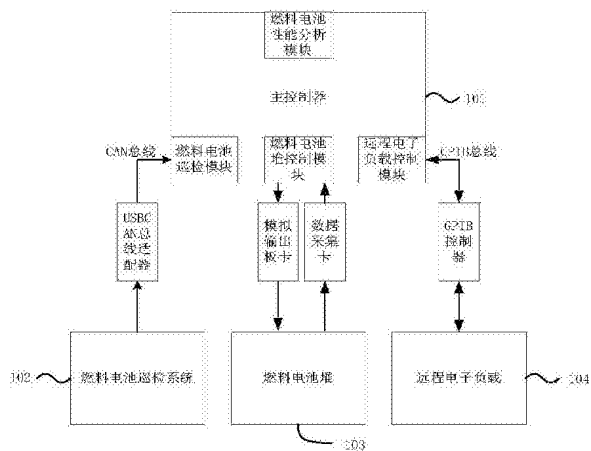
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

一种燃料电池自动化测试系统

(57)摘要

本发明公开了一种燃料电池自动化测试系统,其主要由燃料电池测试主控制器、电池巡检子系统、电池堆发电子系统和远程电子负载组成,所述燃料电池测试主控制器采用现场总线接收电池巡检子系统发送电池堆发电子系统的电压数据,通过数据采集/模拟量发送板卡来调节、监控电池堆发电子系统的电池堆状态和电池堆参数,使用通用接口总线控制器与远程电子负载通信。本发明通过对燃料电池堆的控制,测试和分析,实现燃料电池测试和分析自动化,对减小燃料电池测试工作量和提高测试精度有重要意义。



1. 一种燃料电池自动化测试系统,其特征是主要由燃料电池测试主控制器、电池巡检子系统、电池堆发电子系统和远程电子负载组成,所述燃料电池测试主控制器采用现场总线接收电池巡检子系统发送电池堆发电子系统的电压数据,通过数据采集/模拟量发送板卡来调节、监控电池堆发电子系统的电池堆状态和电池堆参数,使用通用接口总线控制器与远程电子负载通信。

2. 根据权利要求1所述的燃料电池自动化测试系统,其特征在于所述的燃料电池测试主控制器,用于实现燃料电池堆状态控制和检测、远程电子负载控制、接收电池巡检数据和进行燃料电池性能分析,其硬件由工业控制计算机和通过数据线与该工业控制计算机相连的数据采集板卡、数据模拟量发送板卡、现场总线适配器和通用接口总线控制器组成。

3. 根据权利要求2所述的燃料电池自动化测试系统,其特征在于所述的数据采集板卡,其用于接收多路氢气、空气、热水端和冷水端流量信号、多路氢气进堆、空气进堆、冷数端、热水端、进堆水和出堆氢气压力信号、多路冷数端、进堆水和出堆水温度信号,以及1路氢气泄漏报警信号。

4. 根据权利要求2所述的燃料电池自动化测试系统,其特征在于所述的数据模拟量发送板卡,其用于输出包括氢气、氮气、冷却水和热水端电磁阀开度信号、减压阀压力信号、水泵频率信号、空压机空气开度信号和尾气阀开度信号。

5. 根据权利要求2所述的燃料电池自动化测试系统,其特征在于所述的燃料电池测试主控制器,其软件是由数据流信号相连的数据分析及管理模块、数据记录模块、通信模块、数据显示模块、控制模块和故障处理模块组成。其中,数据分析及管理模块负责分析电池堆测试数据,绘制极化特性参数曲线,生成报表;通信模块接收电池巡检子系统和远程电子负载数据,通过控制模块的数据采集卡获取电池堆工作参数;通信模块和控制模块将接收到的数据发送至数据显示模块,经过数据解析后显示在交互界面上,同时接收到的数据也传递至数据记录模块,由数据库保存;故障处理模块始终监视总线及采集卡采集到的数据,当发现燃料电池测试主控子系统故障时,发出停止命令到通信模块和控制模块,停止燃料电池工作,关闭各子系统;控制模块主要负责借助模拟量输出板卡控制电堆进气量、温度和压力,从而调节电池堆输出状态,凭借GPIB总线完成电堆与电子负载相配合,测试电堆输出性能。

6. 根据权利要求1所述的燃料电池自动化测试系统,其特征在于所述的电池巡检子系统,用于燃料电池电压巡检,其采用高精度高共模电压差积分输入电压测量模块KPJ01,以及一只主机和五只扩展从机,主机和从机结构相同、编号不同。

7. 根据权利要求1所述的燃料电池自动化测试系统,其特征在于所述的电池堆发电子系统,主要由氢气供气装置、空气供气装置、水热管理装置和电池堆组成。其中,氢气、空气和水热管理装置由燃料电池自动化测试系统执行机构调节;所述氢气供气装置设有氢气储气罐和输气管道,氢气储气罐经过输气管道和管道上的电磁阀、减压阀和稳压阀向电池堆负极提供恒压氢气;所述空气供气装置设有空气压缩机、加湿器和输气管道,空气压缩机将经过净化的低压空气提升为高压空气,通过输气管道流经加湿器之后通入电池堆正极;水热管理装置由氮气储气罐、冷水机组、散热板、水泵、加热水箱、电池堆内部循环回路以及若干电磁阀组成,构成内/外循环回路,以保持电池堆工作在合适温度下;氮气储气罐用于在电池启停时清洗电池堆。

8. 根据权利要求7所述的燃料电池自动化测试系统,其特征在于所述的燃料电池测试系统的执行机构,设有电磁阀、稳压阀、流量控制器、加湿器、循环水泵、传感器和加热器,用于控制燃料电池供气系统的进气量、压力、湿度和燃料电池堆的温度,其响应速度和调节精度决定了电池堆的稳定性和负载响应速度的性能;所述的传感器,包括压力传感器、温度传感器和流量传感器,分别用于测量燃料电池系统各部分的压力、温度和流量等数据,其中:压力传感器采用MIK-P300扩散硅压力变动器,温度传感器采用FST600-100,流量传感器采用LWGY涡轮流量计。

9. 根据权利要求1所述的燃料电池自动化测试系统,其特征在于所述的远程电子负载,由多台串联方式的负载WCL488Series Water Cooled Electronic Loads组成,设置为恒电流工作模式:远程电子负载与燃料电池测试主控制器之间使用通用接口总线GPIB进行通信,或者采用基于IEEE488的并行总线接口标准和可编程仪器标准命令SCPI进行通信。

10. 权利要求1至9中任一所述燃料电池自动化测试系统的应用,其特征是:

首先,设置燃料电池自动化测试系统工作的必要参数,包括输出电流密度范围、电子负载负荷范围、负载初始值、测试负荷间隔、电堆有效膜面积、单个测试点测试时长和故障保护值,将燃料电池加热至工作温度;

然后,开启阴/阳极供气系统和温度控制系统;

接着,按照设置的初始负荷及电流密度-进气量函数关系,自动设置对应的氢气、空气气体流量和电子负载负荷大小,按照设置的燃料电池工作点进行电池堆自动化测试,记录完整燃料电池工作极化特性曲线;

最后,测试完毕,关闭各子系统。

一种燃料电池自动化测试系统

技术领域

[0001] 本发明涉及燃料电池测试自动化技术领域,特别是一种涵盖燃料电池堆控制、电池堆状态巡检和电池堆性能分析3个方面的自动化测试分析及方法。

背景技术

[0002] 燃料电池(Fuel Cell)是一种以氢气或净化重整气为燃料,空气或纯氧气为氧化剂,带有气体流动通道的双极板发电装置,具有高效率、无污染的特点,可以应用于便携式设备、固定式燃料电池发电设备和车辆用燃料电池等领域。

[0003] 燃料电池系统通常由以下6个部分组成:(1)电池组,其功能是将燃料的化学能转换为电能向外输送给负载;(2)氢气与氧气供给装置,其功能是向电池提供燃料和氧化剂,保持电池阴/阳极压力平衡,循环回收未完全反应的气体;(3) 水热管理系统,其功能是保证电池内部的水/热平衡状态,控制燃料电池温度与湿度在一个合适的范围内,使电池具有较高的电能转换效率;(4) 电能转换装置包括DC/DC变换器或DC/AC变换器,在本燃料电池系统中电池堆输出连接到远程电子负载上;(5) 燃料电池巡检系统,其功能是实时监控燃料电池的工作状态,向控制系统传送电池状态数据;(6) 自动控制系统,其功能是对燃料电池系统进行调控,确保燃料电池系统运行稳定可靠。

[0004] 燃料电池系统是一个涉及电化学,电工学、热力学和流体力学的非线性强耦合系统。传统测试方式是燃料电池堆控制、巡检和负载调节分开,分别由操作者控制电堆燃料输入、功率输出和负载大小,根据电池巡检数据来判断电池当前工作状态,这样的测试方式低效且控制精度低,因此有必要设计一种能够克服此种问题的燃料电池自动化测试系统。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是:提供一种将燃料电池控制、巡检和负载调节相结合的燃料电池自动化测试系统,由计算机自动完成燃料电池的测试和数据分析,减少测试工作量和提高测试精度。

[0006] 本发明解决其技术问题采用以下的技术方案:

[0007] 本发明提供的燃料电池自动化测试系统,主要由燃料电池测试主控制器、电池巡检子系统、电池堆发电电子系统和远程电子负载组成。其中,所述燃料电池测试主控制器采用现场总线接收电池巡检子系统发送电池堆发电电子系统的电压数据,通过数据采集/模拟量发送板卡来调节、监控电池堆发电电子系统的电池堆状态和电池堆参数,使用通用接口总线控制器与远程电子负载通信。

[0008] 所述的燃料电池测试主控制器,用于实现燃料电池堆状态控制和检测、远程电子负载控制、接收电池巡检数据和进行燃料电池性能分析,其硬件由工业控制计算机和通过数据线与该工业控制计算机相连的数据采集板卡、数据模拟量发送板卡、现场总线适配器和通用接口总线控制器组成。

[0009] 所述的数据采集板卡,其用于接收多路氢气、空气、热水端和冷水端流量信号、多

路氢气进堆、空气进堆、冷数端、热水端、进堆水和出堆氢气压力信号、多路冷数端、进堆水和出堆水温度信号、以及1路氢气泄漏报警信号。

[0010] 所述的数据模拟量发送板卡,其用于输出包括氢气、氮气、冷却水、热水端电磁阀开度信号,减压阀压力信号,水泵频率信号,空压机空气开度信号,尾气阀开度信号。

[0011] 所述的燃料电池测试主控制器,其软件是由数据流信号相连的数据分析及管理模块、数据记录模块、通信模块、数据显示模块、控制模块和故障处理模块组成。其中,数据分析及管理模块负责分析电池堆测试数据,绘制极化特性参数曲线,生成报表;通信模块接收电池巡检子系统和远程电子负载数据,通过控制模块的数据采集卡获取电池堆工作参数;通信模块和控制模块将接收到的数据发送至数据显示模块,经过数据解析后显示在交互界面上,同时接收到的数据也传递至数据记录模块,由数据库保存;故障处理模块始终监视总线及采集卡采集到的数据,当发现燃料电池测试主控子系统故障时,发出停止命令到通信模块和控制模块,停止燃料电池工作,关闭各子系统;控制模块主要负责借助模拟量输出板卡控制电堆进气量、温度和压力,从而调节电池堆输出状态,凭借GPIB总线完成电堆与电子负载相配合,测试电堆输出性能。

[0012] 所述的电池巡检子系统,用于燃料电池电压巡检,其采用高精度高共模电压差分输入电压测量模块KPJ01,以及一只主机和五只扩展从机,主机和从机结构相同、编号不同。

[0013] 所述的电池堆发电子系统,主要由氢气供气装置、空气供气装置、水热管理装置、电池堆组成,其中,氢气、空气、水热管理装置由燃料电池自动化测试系统执行机构调节;所述氢气供气装置设有氢气储气罐和输气管道,氢气储气罐经过输气管道和管道上的电磁阀、减压阀和稳压阀向电池堆负极提供恒压氢气;所述空气供气装置设有空气压缩机、加湿器和输气管道,空气压缩机将经过净化的低压空气提升为高压空气,通过输气管道流经加湿器之后通入电池堆正极;水热管理装置由氮气储气罐、冷水机组、散热板、水泵、加热水箱、电池堆内部循环回路以及若干电磁阀组成,构成内/外循环回路,以此保持电池堆工作在合适温度下;氮气储气罐用来在电池启停时清洗电池堆。

[0014] 所述的燃料电池测试系统的执行机构,设有电磁阀、稳压阀、流量控制器、加湿器、循环水泵、传感器和加热器,用于控制燃料电池供气系统的进气量、压力、湿度和燃料电池堆的温度,其响应速度和调节精度决定了电池堆的稳定性和负载响应速度的性能。

[0015] 所述的传感器,包括压力传感器、温度传感器和流量传感器,分别用于测量燃料电池系统各部分的压力、温度和流量等数据,其中:压力传感器采用MIK-P300扩散硅压力变送器,温度传感器采用FST600-100,流量传感器采用LWGY涡轮流量计。

[0016] 所述的远程电子负载,由多台串联方式的负载WCL488Series Water Cooled Electronic Loads组成,设置为恒电流工作模式:远程电子负载与燃料电池测试主控制器之间使用通用接口总线GPIB进行通信,或者采用基于IEEE488的并行总线接口标准和可编程仪器标准命令SCPI进行通信。

[0017] 本发明提供的上述的燃料电池自动化测试系统,其应用是:

[0018] 首先,设置燃料电池自动化测试系统工作的必要参数,包括输出电流密度范围、电子负载负荷范围、负载初始值、测试负荷间隔、电堆有效膜面积、单个测试点测试时长和故障保护值,将燃料电池加热至工作温度;

[0019] 然后,开启阴/阳极供气系统和温度控制系统;

[0020] 接着,按照设置的初始负荷及电流密度-进气量函数关系,自动设置对应的氢气、空气气体流量和电子负载负荷大小,按照设置的燃料电池工作点进行电池堆自动化测试,记录完整燃料电池工作极化特性曲线;

[0021] 最后,测试完毕,关闭各子系统。

[0022] 本发明与现有的燃料电池测试系统相比有如下主要的优点:

[0023] (1) 实现燃料电池测试自动化,自动进行燃料电池堆控制、远程电子负载控制、数据分析、故障处理及报表生成一系列步骤,提高了测试效率和精度,系统运行不受操作人员经验影响,安全可靠。

[0024] (2) 燃料电池堆温度控制系统采用模糊控制策略,相比传统的PID控制具有更高的智能,可以修正参数使输出值无限接近设定值。而相比于其他高维模糊温度控制策略,本系统使用一维模糊控制策略,简单可靠,响应速度快。

[0025] (3) 通过拟合燃料电池电流密度-氢气空气流量关系多项式来确定需求电流密度下的氢气/空气流量,多项式采用三阶多项式,在保证精度的情况下使计算速度尽量快,从而实现电流密度控制自动化。

[0026] (4) 燃料电池自动化测试系统软件设计采用面向组件软件设计方式,模块化设计软件,从而方便程序修改和增添新功能。

[0027] (5) 燃料电池测试数据量庞大,传统人工寻找有效数据并且记录的方式效率低,制表简陋。本系统使用专用数据处理和管理软件DIAdem来完成测试系统的数据分析和制作报表功能,提高了效率。

[0028] 相比于传统的燃料电池测试系统,本发明有以下优点:(1) 燃料电池温度控制所使用的模糊控制器维度为一维,模糊控制器维数越高控制越精确,但是维数过高控制器结构复杂,数据运算量大,实时性差。本发明采用一维模糊控制器,在满足运算精度的条件下,运算快速。(2) 传统测试采用人工控制的测试方法,人员需要较为熟悉燃料电池以及测试设备,24小时轮班测试,人员记录收集数据量大,效率低下,采用关系数据拟合自动化测试系统,可以极大减小人工和错误率,保证系统稳定和安全。(3) 传统测试设备编程控制使用文本编程语言,开发周期长,模块化设计困难,采用NI LabVIEW提高了开发速度,配合NI硬件设备可以实现较高的可靠性和模块化程度,便于后续修改添加模块。(4) 使用NI DIAdem分析数据、生成报表,可以方便提取有效数据和生成标准报表。

[0029] 本发明的创新点:

[0030] 1. 设计一种新的燃料电池测试自动化方法,从燃料电池堆、远程电子负载控制和燃料电池巡检三方面的自动化入手,以虚拟仪器软硬件平台作为开发环境,实现了一种燃料电池控制分析自动化系统。

[0031] 2. 燃料电池堆温度控制使用一维模糊逻辑控制策略,实现简单,工作可靠。

[0032] 3. 传统的燃料电池数据分析由人工完成,由于数据量庞大,效率低错误多,因此使用专门数据分析管理软件NI DIAdem进行数据分析处理,极大提升效率。

[0033] 4. 通过已有典型的燃料电池电流密度-进气量关系数据拟合得到关系多项式,作为自动测试的控制依据。

[0034] 5. 自动化测试系统软件采用面向组件的设计方式,软件结构模块化,从而得到易

用、高效、可读、可维护、健壮、简单的高性能应用程序。

[0035] 6. 使用阶跃法测试燃料电池欧姆内阻,传统的断电流法测试需要停止电池输出,频繁启停燃料电池减少了电池寿命,这里使用电子负载电流改变时瞬间产生的电流变化,以阶跃法实现欧姆内阻测试。

附图说明

[0036] 图1为本发明燃料电池自动化测试系统总体结构示意图。

[0037] 图2为燃料电池自动化测试系统的燃料电池测试主控制器的软件结构图。

[0038] 图3为燃料电池自动化测试系统的电池堆发电子系统的结构示意图。

[0039] 图4为燃料电池自动化测试流程。

具体实施方式

[0040] 下面结合实施例及附图对本发明作进一步阐述,但不限定本发明。

[0041] 本发明提供的燃料电池自动化测试系统,其结构如图1所示,主要由燃料电池测试主控制器101、电池巡检子系统102、电池堆发电子系统103和远程电子负载104组成,其中:燃料电池测试主控制器101采用现场总线接收电池巡检子系统102发送的电池堆发电子系统的电压数据;通过数据采集/模拟量发送板卡,调节和监控电池堆发电子系统103的电池堆状态和电池堆参数;使用通用接口总线控制器与远程电子负载104通信。

[0042] 所述的燃料电池测试主控制器101,用于实现燃料电池堆状态控制和检测、远程电子负载控制、接收电池巡检数据和进行燃料电池性能分析,其硬件由工业控制计算机和通过数据线与该工业控制计算机相连的数据采集板卡、数据模拟量发送板卡、现场总线适配器和通用接口总线控制器组成。

[0043] 所述的数据采集板卡,采用NI M系列PCI-6221,其具有2路16位模拟输出、16路模拟输入、24路数字I/O线以及32位计数器,分辨率为16bits,采样率为250kS/k,拥有NI DAQmx测试软件和硬件配置程序支持;其接线关系参见表1。该数据采集板卡接收4路氢气、空气、热水端、冷水端流量信号,6路氢气进堆、空气进堆、冷数端、热水端、进堆水、出堆氢气压力信号,3路冷数端、进堆水、出堆水温度信号,1路氢气泄漏报警信号。

[0044] 所述的数据模拟量发送板卡,采用NI PCI-6704,其是一款16位静态更新模拟输出模块,可以分别提供16路模拟电压和电流输出,具有8条数字I/O线,根据实际需要可以分开使用,每路输出通道可以在 $\pm 10V$ 或 $0-20mA$ 范围内分别设定;其接线关系参见表2。该模拟量发送板卡可以输出氢气、氮气、冷却水、热水端电磁阀开度信号,减压阀压力信号,水泵频率信号,空压机空气开度信号,尾气阀开度信号。使用NI USB-6211进行电池堆电压快速采样,记录电池堆在输出电流变化10ns内的输出电压变化。

[0045] 所述的通用接口总线控制器,采用的是一种使用USB接口的即插即用IEEE488.2控制器NI GPIB-USB-HS,其,最多可以控制14台可编程GPIB仪器,数据传输速度1.8MB/s。

[0046] 所述的现场总线适配器,采用ZLG USBCAN 2A,该适配器集成2路独立CAN接口,通过USB接口实现PC与CAN网络的数据交换。

[0047] 所述的燃料电池测试主控制器101,其软件构成采用面向组件的设计方案,具体如图2所示,由数据流信号相连的数据分析及管理模块201、数据记录模块202、通信模块203、

数据显示模块204、控制模块205和故障处理模块206组成。其中,数据分析及管理模块201负责分析电池堆测试数据,绘制极化特性参数曲线,生成报表等功能。通信模块203接收电池巡检子系统102和远程电子负载104数据,通过控制模块205的数据采集卡获取电池堆工作参数;通信模块203和控制模块205将接收到的数据发送至数据显示模块204,经过数据解析后显示在交互界面上,同时接收到的数据也传递至数据记录模块202,由数据库保存;故障处理模块206始终监视总线及采集卡采集到的数据,当发现燃料电池测试主控子系统故障时,发出停止命令到通信模块203和控制模块205,停止燃料电池工作,关闭各子系统;控制模块205主要负责借助模拟量输出板卡控制电堆进气量、温度和压力,从而调节电池堆输出状态,凭借GPIB总线完成电堆与电子负载相配合,测试电堆输出性能。

[0048] 上述燃料电池测试主控制器101的软件构成中,所述数据分析及管理模块201,其中数据分析包括极化特性曲线绘制和欧姆极化内阻计算,数据管理使用NI DIAdem数据管理软件绘制燃料电池参数曲线,制作报表。数据记录模块202调用Microsoft Access数据库进行数据记录。通信模块203包括CAN和GPIB通信部分。数据显示模块204将电池巡检系统接收到的电池电压、电流、电流密度、功率以及各传感器采集数据等显示在工业控制计算机的界面上。控制模块205主要由温度、压力、流量控制、自动化测试以及阶跃法电流测试组成;故障处理模块206包括氢气泄漏处理、电池电压异常处理、电池过温处理、负荷过载处理和气体供给压力异常处理。

[0049] 所述的电池巡检子系统102,用于燃料电池电压巡检,其可以采用高精度高共模电压差积分输入电压测量模块KPJ01,以及一只主机M1和五只扩展从机S1、S2、S3、S4、S5;按照实际测试单电池数量,可以使用少于6只巡检装置组成一个系统。KPJ01适用于高压、电势累计系统的差分电压测量,尤其适合于燃料电池单片电压巡检电压测量,并且采用了高性能车用微处理器进行运算,包含72路高压隔离通道,能够提供准确的电压测量数据,可级联使用。主机和从机结构相同、编号不同。在对燃料电池巡检数据进行解析时,需要从中获取最大电压值 V_{max} 、最小电压值 V_{min} 、电压平均值 V_{averg} 。主机编号M1,从机编号S1-S3,前12帧数据表示单节电池电压,最后一帧表示电池组信息。解析CAN总线数据需要使用LabVIEW MGI工具包,求单节电池电压最值使用MGI Running Maximum、MGI Running Minimum、MGI Running Average。

[0050] 所述的电池堆发电子系统103,如图3所示,由氢气供气装置、空气供气装置、水热管理装置、电池堆(发电系统无负载,负载位于测试装置中)组成,其中氢气、空气和水热管理装置由测试系统执行机构调节。所述氢气供气装置设有氢气储气罐和输气管道,氢气储气罐经过输气管道和管道上的电磁阀、减压阀和稳压阀向电池堆负极提供恒压氢气。所述空气供气装置设有空气压缩机、加湿器和输气管道,空气压缩机将经过净化的低压空气提升为高压空气,通过输气管道流经加湿器之后通入电池堆正极。水热管理装置由氮气储气罐、冷水机组、散热板、水泵、加热水箱、电池堆内部循环回路以及若干电磁阀组成,构成内/外循环回路,以此保持电池堆工作在合适温度下;氮气储气罐用于在电池启停时清洗电池堆。

[0051] 图3中数字标号代表装置名称为:尾气阀1.1,电磁阀1.2~1.5,减压阀1.6,压力计2.1~2.6,流量计3.1~3.5,温度计4.1~4.3,加湿器5,加热器6,水箱7,水泵8,空压机9。

[0052] 所述燃料电池测试系统的执行机构有电磁阀、稳压阀、流量控制器、加湿器、循环

水泵和加热器等,这些控制器负责控制燃料电池供气系统的进气量、压力、湿度和燃料电池堆的温度,其响应速度和调节精度决定了电池堆的稳定性和负载响应速度等性能。

[0053] 所述的传感器,包括压力传感器、温度传感器和流量传感器,分别用于测量燃料电池系统各部分的压力、温度和流量等数据,其中:压力传感器可以采用MIK-P300扩散硅压力变送器,24V供电,压力量程 $0.1\sim 100\text{Mpa}$,输出信号 $4\sim 20\text{Ma}$ 或 $0\sim 5\text{V}$;温度传感器可以采用FST600-100,测量范围 $0\sim 200\text{ }^\circ\text{C}$;流量传感器可以采用LWGY涡轮流量计,输出信号 $4\sim 20\text{mA}$,测量范围 $0.04\sim 800\text{m}^3/\text{h}$ 。

[0054] 所述的远程电子负载104,由9台串联方式的负载WCL488Series Water Cooled Electronic Loads组成,总功率达108KW,设置为恒电流工作模式:远程电子负载使用通用接口总线GPIB与燃料电池测试主控制器101进行通信,远程电子负载作为被控对象,承担“听者”角色;燃料电池测试主控子系统作为主控制器,承担“控制者”角色;而当主控制器需要获取远程电子负载工作状态时,远程电子负载变为“讲者”角色,主控制器变为“听者”角色。

[0055] 所述的远程电子负载104和燃料电池测试主控制器101之间采用基于IEEE488的并行总线接口标准和可编程仪器标准命令SCPI进行通信,其中:SCPI定义了仪器的程控消息、响应消息、状态报告结构和数据格式。

[0056] 本发明提供的燃料电池自动化测试系统,参见图4,其测试过程如下:

[0057] 首先,设置燃料电池自动化测试系统工作的必要参数S101:输出电流密度范围、电子负载负荷范围、负载初始值、测试负荷间隔、电堆有效膜面积、单个测试点测试时长和故障保护值等;将燃料电池加热至工作温度S102;然后开启阴/阳极供气系统和温度控制系统S103;接着按照设置的初始负荷及电流密度-进气量函数关系,自动设置对应的氢气、空气气体流量和电子负载负荷大小,按照设置的燃料电池工作点进行电池堆自动化测试,记录完整燃料电池工作极化特性曲线S104;最后测试完毕,关闭各子系统S105。

[0058] 例如:设置电流密度测试范围 $0\sim 1000\text{mA}/\text{cm}^2$,电子负载负荷范围 $1\sim 100\text{KW}$,负荷初始值为 100W ,测试负荷间隔 50W ,电堆有效膜面积 300cm^2 ,单点测试时长 120s ,过温设置 $85\text{ }^\circ\text{C}$,过压设置 50KPa 等。第一步,打开内循环加热器和电磁阀,设置循环水泵转速为最大值,迅速加热内循环回路,充分与电池堆热交换,使电堆温度快速上升,直至到达设置温度值;第二步,开启阴/阳极供气系统,主控制器流量控制程序拟合指定路径下电池进气量-电流密度关系数据库如表3所示。

[0059] 采用多项式拟合,设置多项式阶数为3,得到各阶系数,若设氢气进气量为 x ,空气进气量为 y ,电流密度为 z ,任意测试工作点电流密度 z_i ,氢气进气量 x_i ,空气进气量 y_i ,电池堆输出功率为 p_i ,电压为 v_i ,电堆有效膜面积为 A_E ,则该工作点为:

$$[0060] \quad z_i = p_i / (v_i * A_E)$$

$$[0061] \quad x_i = -0.0079 + 0.0233z_i$$

$$[0062] \quad y_i = 0.0099 + 0.0973z_i$$

[0063] 实际拟合过程中发现二阶和三阶系数均为0,因此简化为一阶多项式。

[0064] 初始负荷 100W 下,初始电流密度值为(开路电压 v_0 为 8V , A_E 为 300cm^2):

$$[0065] \quad z_1 = 100 \div 8 \times 1000 \div 300 = 41.7\text{mA}/\text{cm}^2$$

[0066] 相应的,初始氢气进气量 x_1 为:

[0067] $x_1 = -0.0079 + 0.0233z_1 = 0.96371\text{m}^3/\text{h}$

[0068] 初始空气进气量 y_1 为:

[0069] $y_1 = 0.0099 + 0.0973z_1 = 4.06731\text{m}^3/\text{h}$

[0070] 氢气进气量(X)范围:0-34 m^3/h ;空气进气量(Y)范围:0-140 m^3/h ;

[0071] 对应模拟量输出(Q) 0-20mA转换系数分别为 m_1 和 m_2 。对应公式计算如下:

[0072] $m_1 = \Delta X / \Delta Q = 1.7\text{m}^3/\text{mA} \cdot \text{h}$

[0073] $m_2 = \Delta Y / \Delta Q = 7\text{m}^3/\text{mA} \cdot \text{h}$

[0074] 以此根据测试负荷间隔类推下一工作点电流密度和进气量值。每一工作点进气量稳定后,发送SCPI命令设置电子负载参数。

[0075] 同时开启温度控制程序控制电池堆温度。燃料电池堆测试系统开启后,首先设置电池堆工作温度S101,系统自检完成后,电池堆开始加热,到达工作温度S102后,先按照初始负荷电流对应的电流密度,给定氢气、空气电磁阀开度S103,活化极化完成,开始测试,在测试过程中需要始终以模糊控制策略保持电池堆温度稳定在目标值。模糊控制策略是以电池堆设置工作温度为目标值,测试电池堆实际工作温度,设主控制器监控单元设定温度为T,电池堆温度为t使用的模糊控制器的控制规则按照操作人员经验转变为模糊语言描述,建立温度偏差精确值e和模糊值E论域,e的论域为 $[-10^\circ\text{C}, +10^\circ\text{C}]$,E的论域为 $[-5, -4, \dots, 0, \dots, +4, +5]$,因此量化因子 k_e 为1/2,为语言变量E选取7个语言值:NB、NM、NS、Z、PS、PM和PB,分别表示相较于设定值负大、负中、负小、零、正小、正中和正大,分别对应操作 $O_{p1} \sim O_{p7}$,其模糊逻辑关系见表4,其中:

[0076] O_{p1} 对应操作为关闭外循环,加热水箱处于加热状态,循环泵频率 $K=255$;

[0077] O_{p2} 对应操作为关闭外循环,加热水箱处于加热状态,循环泵频率 $K=200$;

[0078] O_{p3} 对应操作为关闭外循环,加热水箱不加热,循环泵频率 $K=150$;

[0079] O_{p4} 对应操作为关闭内、外循环,加热水箱不加热,循环泵频率 $K=0$;

[0080] O_{p5} 对应操作为打开内、外循环,加热水箱不加热,循环泵频率 $K=150$;

[0081] O_{p6} 对应操作为打开内、外循环,加热水箱不加热,循环泵频率 $K=200$;

[0082] O_{p7} 对应操作为打开内、外循环,加热水箱不加热,循环泵频率 $K=255$ 。

[0083] 压力控制程序始终以阴极压力为基准,阳极压力侧压力使用数字PID算法快速跟踪阴极压力。

[0084] 通信模块203完成实时监控电池堆和电子负载状态以及向电子负载发送控制命令的功能。LabVIEW开发环境通过调用ZLG USBCANLabVIEW子vi库,完成打开设备、初始化总线、读取设备信息、读取总线状态、读取出错信息、清空接收缓冲区、启动CAN总线、读取接收缓冲区帧数、读取CAN帧和关闭设备等功能,实现与电池巡检系统通信功能。

[0085] 电池巡检子系统102使用KPJ01单片电压巡检系统,单块巡检系统可以巡检72节单节燃料电池,KPJ01单片电压巡检系统与燃料电池测试主控制101之间通讯使用ZLG USB-CAN2ACAN转USB通信卡。

[0086] 按照协议,数据显示模块204将接收到的数据解析为每节电池的电压数据,显示在工业控制计算机的主界面上。一个典型的数据帧为:

[0087]

第 1 节电池电压		第 2 节电池电压		第 3 节电池电压		第 4 节电池电压	
Data0	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5	Data6	Data7
M1001 (highbyte)	M1001 (lowbyte)	M1002 (highbyte)	M1002 (lowbyte)	M1003 (highbyte)	M1003 (lowbyte)	M1004 (highbyte)	M1004 (lowbyte)

[0088] 则M1任意单节电池电压为:

$$[0089] \quad V_i = [(M100i_{(highbyte)}) * 256 + (M100i_{(lowbyte)})] * 0.001$$

[0090] GPIB总线使用LabVIEW GPIB VI进行编程,本系统中使用USB接口,首先配置控制器,建立相应的控件资源,进行GPIB初始化、读取状态、GPIB发送和读取,实现与远程电子负载通行功能。

[0091] 在测试过程中,设置负荷电流时需要使用GPIB总线向远程电子负载104发送SCPI控制命令,其流程是:

[0092] 本发明燃料电池自动化测试系统开启后,先向远程电子负载104发送测试命令,测试远程电子负载是否能够接受指令,通信线路是否正常;若一切正常,主控制器设置远程电子负载工作模式以及初始参数,首先设置远程电子负载工作在恒流模式,工作电流值为用户设置的初始值;当电池完成活化极化后,主控制器发送命令,开启电子负载;随着测试进行,按照测试极化特性曲线要求,每隔指定测试时长,发送一个新的电流命令给远程电子负载,同时发送请求命令,回传电子负载工作电流、电压、功率值;测试完成,设置电子负载电流值减小至初始值,停止工作,关闭电子负载。概括为:

(1)验证通信是否正常: :ID?:VER?

(2)设置电子负载: :TEXT?:LOCK ON:CI<NR2>:LOAD ON

[0093]

(3)读取远程电子负载工作状态: :I?:P?:V?

(4)关闭电子负载: :LOAD OFF

[0094] 其中参数NR2为设置的负荷电流值。

[0095] 按照上述流程继续测试直至设置值边界,完成计划特性曲线测试。

[0096] 测试过程中,故障处理模块206始终检测系统工作状态,一旦检测到系统故障,发送命令给通信模块203和控制模块205,开启扫气系统,停止燃料电池系统工作,并发送故障状态数据到数据显示模块204告知用户故障类型。

[0097] 测试过程中,数据记录模块202使用LabSQL工具包来进行数据记录,首先使用自动化引用句柄创建数据库引用,使用ADO Connection Create创建数据库,使用ADO Connection Execute向数据库中写入数据。使用ADO Connection Destroy关闭数据库操作。

[0098] 测试过程中,数据分析及管理模块201(NI DIAdem)读取存储的电池测试数据,由于处理的数据量大,采用交互式数据分析和报告生成软件NI DIAdem,从中获取有效数据,进行曲线拟合、高级代数和数字滤波等功能,分别使用NAVIGATOR选项、ANALYSIS选项、VIEW

选项和REPORT选项依次选中存储的数据库、读取数据库并将数据、筛选电池测试数据、使用数字滤波工具剔除干扰数据和以曲线形式显示,最终选择报表中需要显示的曲线、文字、坐标和表格,生成报表保存在用户指定路径下。

[0099] 表1 数据采集板卡接线关系

[0100]

输入信号量名称	板卡引脚
氢气流量信号	AI 0
空气流量信号	AI 1
热水端流量信号	AI 2
冷水端流量信号	AI 3
氢气进堆压力信号	AI 4
空气进堆压力信号	AI 5
冷水端压力信号	AI 6
热水端压力信号	AI 7
进堆水压力信号	AI 8
出堆氢气压力信号	AI 9
冷水端温度信号	AI 10
进堆水温度信号	AI 11
出堆水温度信号	AI 12
氢气泄漏报警信号	PO.0

[0101] 表2 模拟量输出板卡接线关系

[0102]

输出信号量名称	板卡引脚
氢气电磁阀开度信号	A0 0
氮气电磁阀开度信号	A0 1
冷却水电磁阀开度信号	A0 2
热水端电磁阀开度信号	A0 3
减压阀压力信号	A0 4
水泵频率信号	A0 5
空压机空气开度信号	A0 6
尾气阀开度信号	A0 7

[0103] 表3 燃料电池进气量-电流密度关系表

[0104]

电流密度 (mA/cm ²)	电流 (A)	空气气体流量 (m ³ /h)	氢气气体流量 (m ³ /h)
36.2	10	3.5	0.8
72.5	20	7.1	1.7
108.7	30	10.6	2.5
144.9	40	14.1	3.4
181.2	50	17.6	4.2
217.4	60	21.2	5.1
253.6	70	24.7	5.9
289.9	80	28.2	6.8
326.1	90	31.7	7.6
362.3	100	35.3	8.5

[0105] 表4 模糊逻辑关系表

[0106]

语言值	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
操作	O _{p1}	O _{p2}	O _{p3}	O _{p4}	O _{p5}	O _{p6}	O _{p7}

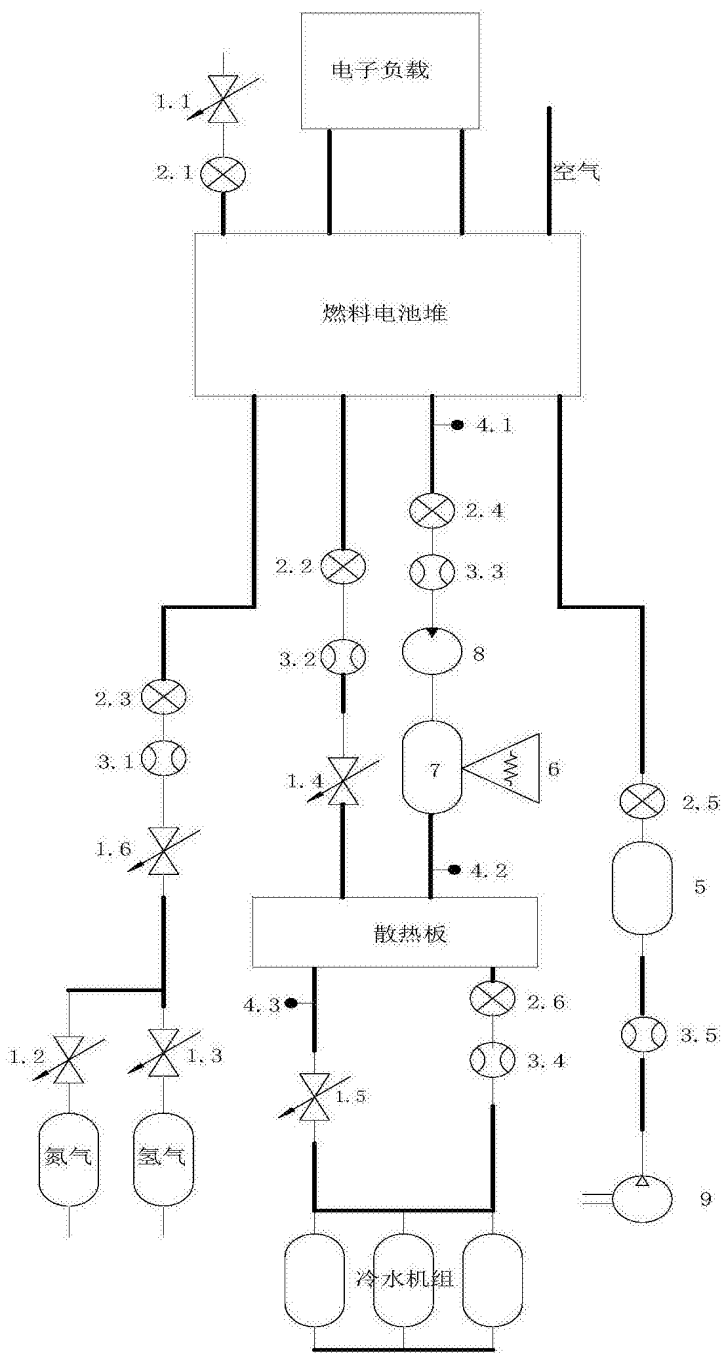


图3

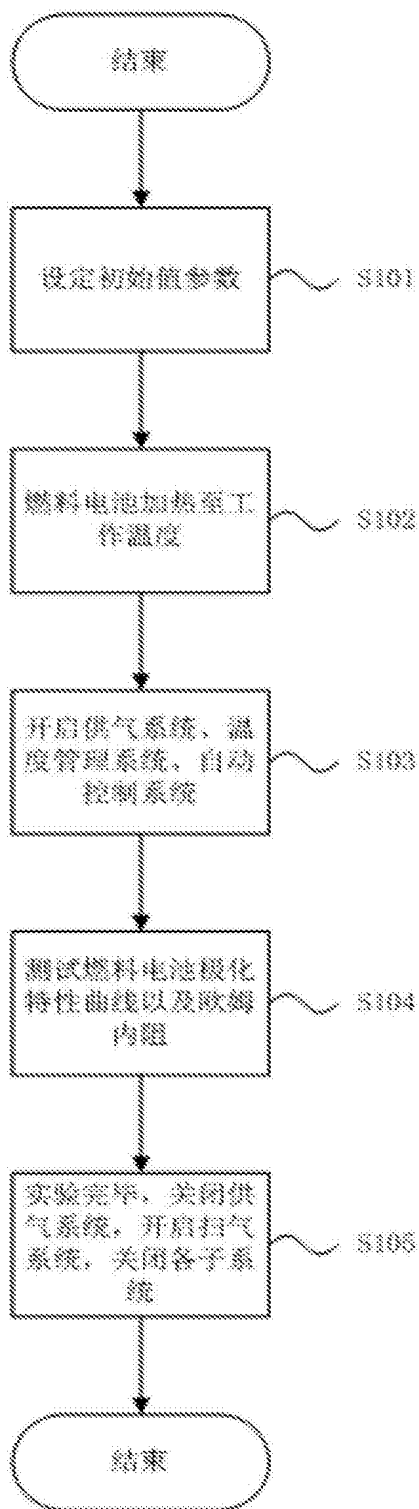


图4