

# PEM 燃料电池堆单片电压检测系统设计

阎群,李歆,张明波,余达太

(北京科技大学 信息工程学院,北京 100083)

**摘要:** 根据电池堆性能测试及其控制系统研发需要,设计了一种燃料电池堆单片电压检测系统。该系统精度高、实时性好、稳定性强,而且电路简单、成本低、体积小、易布局。实验证明该系统能够有效地完成燃料电池单片电压实时采集、显示和保存。已成功应用于 200 W 常温常压空冷质子交换膜燃料电池(PEMFC)电源控制系统。

**关键词:** 燃料电池;单片电压;电压检测;LabVIEW

中图分类号: TP274+.5

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2011)09-0116-03

## Single cell's voltage measurement system designed for PEM fuel cell stack

Yan Qun, Li Xin, Zhang Mingbo, Yu Datai

(School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** According to the demand of testing and developing control system of the whole stack, we designed a high precision and stable measurement system for single cell's voltage, which has low cost and small size. The experiment proves that this system can efficiently fulfill the function like data collection, display and save for single cell's voltage. The system has been successfully applied for the power control system of a 200 W normal air cooling PEM fuel cell stack which works under normal temperature and normal pressure.

**Key words:** fuel cell; single cell's voltage; voltage measurement; LabVIEW

当今时代,环境保护已成为人类社会可持续发展战略的核心,既有较高能源利用效率又不污染环境的新能源是能源发展的方向。氢是一种理想的能量载体,是完全符合人们期待的新能源之一。氢能利用的一个重要方面就是燃料电池,它将氢和空气中的氧反应转换为电能,其最大特点是反应产物为纯净水,而且噪声也很小,对环境没有污染。因此燃料电池及其电源系统的研究对减少环境污染和减小温室效应具有重要的意义<sup>[1,2]</sup>。

在标准条件下(25℃),质子交换膜燃料电池(PEMFC)的理论电动势为 1.229 V,但由于存在活化极化、欧姆极化和浓差极化等电压损失,电池工作过程中的实际输出电压远远低于按热力学方法计算出来的理论电动势。PEMFC 单片电池的开路电压一般为 0.9 V~1.0 V,额定工作电压在 0.6 V 左右。为了满足负载的电压要求,传统双极电堆常采用串联方式将许多单片电池连接在一起,一片电池的阴极与下一片电池的阳极相连<sup>[3]</sup>。显然,单片电池的性能影响着整个电池堆的性能。在不同测试

及工作状况下实时检测电堆单片电池电压,便于研究人员研究分析电堆的工况和性能、改进电堆结构,以确保电堆中各单片电池工作性能的一致性;便于控制系统及时做出正确决策,维持电堆安全、可靠、稳定运行。燃料电池堆单片电压检测系统不仅在电堆设计、研发阶段非常重要,在维护电堆正常运行中也是不可缺少的。基于此,针对自行研制的 200 W 常温常压空冷氢空 PEM 燃料电池堆,设计开发了 20 片燃料电池堆单片电压检测系统,可以实时检测、显示单片电压数据。单片电压通过 RS232 串行通信口上传给上位 PC 机显示、保存、分析、处理,便于科研人员进一步分析研究燃料电池堆的工况和性能。

### 1 系统组成

自行研制的 200 W 常温常压空冷氢空 PEM 燃料电池堆由 20 片单片电池串联组成,采用一体化散热和配气装置,使得散热、供氧更均匀。根据电堆具体结构形式和尺寸,设计专用单片电压检测系统,系统框图如图 1

所示。系统主要由下位单片电压检测系统和上位机监控系统组成。检测系统包括信号取样、信号调理、A/D 转换、CPU 控制等单元,完成单片电压实时精确检测、显示和报警。上位机监控系统通过 RS232 串口通信与上位 PC 机连接,完成数据显示、保存、分析处理等。

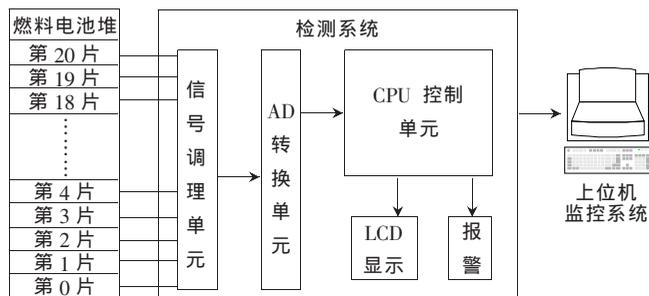


图1 单片电压检测系统框图

## 2 检测系统设计

该电堆为冷空电堆,每个单片电池都带有自身的散热流道,相邻两单片电池之间有一定间距。根据电堆结构尺寸,按照单片电池之间精确尺寸设计专用检测板,电堆中各单片电压信号通过探针与信号调理单元连接,可靠取样单片电压信号。如图1所示,选择第0片即燃料电池堆输出负极为信号调理单元的共地端,其主要原因是燃料电池堆第1片与其输出负极之间有一定的电位,测试时影响第1片电池电压测试精度,另外也是为了保证整个控制系统地信号的一致性。

燃料电池堆中各单片电压信号为差模小信号,并含有较大的共模部分,要求信号调理单元应具有较强的抑

制共模信号的能力。该检测系统采用差分电压测量方法,仅放大差模信号,抑制共模信号。各个串联单片电池电压信号经信号调理单元后得到差分电压,即单片电池电压放大信号,输出的各路差分电压信号共地。信号调理单元采用通用放大器,由6片MC3403实现20片单片电压信号检测,具体电路见图2。为了提高系统检测精度,弥补通用放大器不足,该系统采用软件分段线性拟合方法以减小误差,修正采样电压到真实电压。经过软件修正,系统精度达到5mV以内。

当燃料电池堆输出较大功率时,部分性能不佳的单片电池输出电压将降为0V左右,甚至出现负电压。在电池堆性能检测中,要求检测单元能够测量小的负电压。为此,设计时在信号调理单元采用地电平相对平移的方法,巧妙地解决了A/D转换器不能测量负电压的问题。具体方法是在差分放大电路输入端引入偏置电压(见图2中Vref)。该检测系统中偏置电压Vref为2.5V,单片电压信号放大2倍后再加偏置电压Vref输出给A/D转换单元。单片电压检测范围为-1.25V~+1.25V。

每片电池电压信号经信号调理单元输出后加限幅输出保护电路,由双二极管与限流电阻组成,它一方面限制运放的输出电流,另一方面也限制输出电压的幅值,使信号调理单元输出电压钳位于电源电压AVCC和-0.7V之间,保护检测单元后续器件的安全,以免电路故障输出电压过大而损坏其他电路。

为了提高检测精度,系统中A/D转换器选用德州仪器公司生产的12位多通道串行模数转换芯片

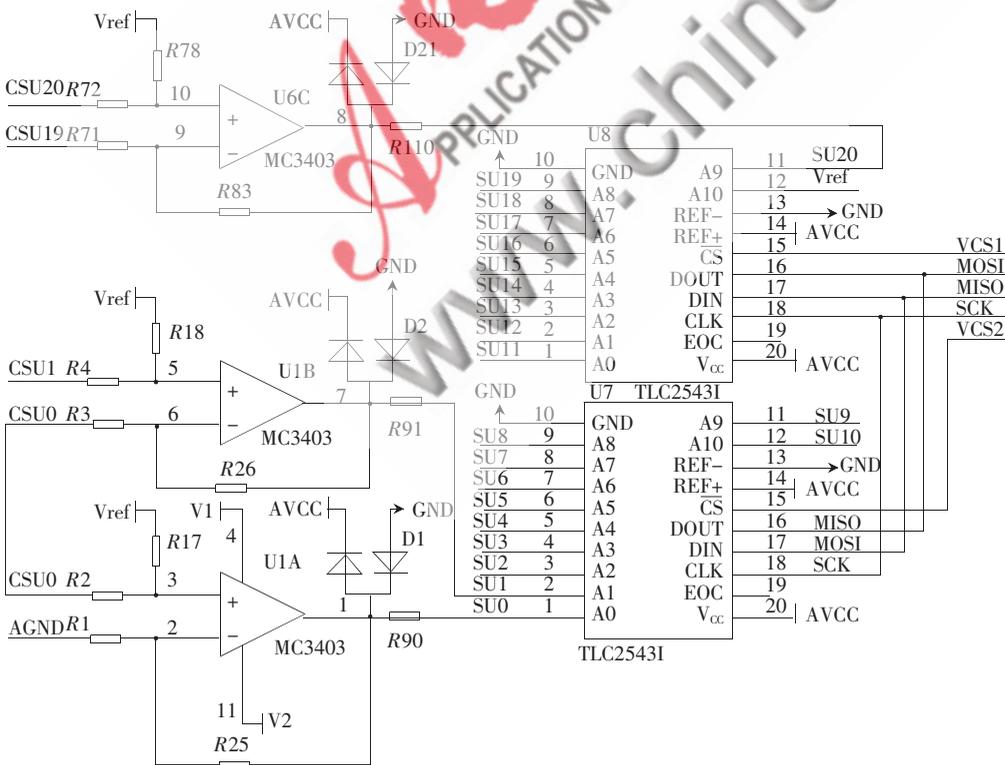


图2 检测系统原理图

TLC2543。该芯片有11个模拟输入通道,采用SPI数据接口传输A/D转换结果<sup>[4]</sup>。实际电路中采用两片TL2543I完成21路单片电压及偏置电压采样。CPU选用高性能的AVR系列单片机ATmega16<sup>[5]</sup>,TLC2543的通道号由CPU的I/O口控制,进行循环顺序选通,将20路电压信号分别送入CPU控制单元。LCD液晶显示器选用LCM12864ZK串行液晶显示器,分页显示单片电池的实时电压值,每隔5s自动更新一页。另外,当燃料电池堆中某片或某几片电池工作异常时,CPU输出报警信号,协助及时做出处理。

### 3 上位机界面设计

LabVIEW( Laboratory Virtual Instrument Engineering) 是一种基于图形语言(G 语言)的程序开发、调试和运行集成化环境,广泛用于工业界、学术界和研究实验室。该语言提供了大量的常用控件,如旋钮、开关、按钮、图形显示等,便于根据用户需要,设计各种简单、直观,且易于理解、调试和维护的专用测试程序。

本上位机界面以 LabVIEW8.2<sup>[6]</sup>为软件平台,采用 VISA 功能模块开发燃料电池单片电压检测系统上位机监控程序。上位机程序通过串口每 1 s 与检测系统进行 1 次交互,上位机发送读数据指令,检测系统返回 24 位数据,包括电堆电压、电堆电流、21 路单片电压和偏置电压数据,每片电池的电压为 1 位,每位数据 8 bit。上位机正确接收数据后,对接收数据进行处理。采用仪表显示电堆电压、电堆电流;采用波形图以柱形图形式实时显示 20 片单片电池电压;采用数组和数值控件精确显示 20 片单片电池电压值及其最大值、最小值、平均值。如图 3 所示。除了显示数据以外,上位机监控界面还能够存储燃料电池堆的电压、电流、20 片单片电压值。系统根据用户选择的存储路径,将这些值作为历史文件保存到相应 TXT 文本中,方便查询每片单体电池的历史及其电压变化趋势,方便分析与管理燃料电池堆单片电池。

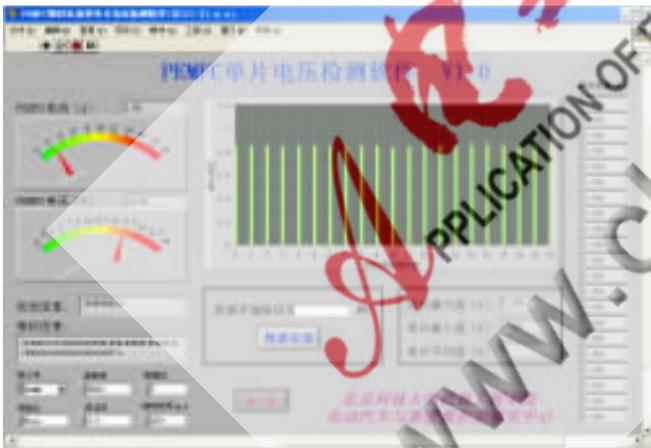


图3 上位机监控界面

### 4 实验测试

该燃料电池单片电压检测系统成功应用于自行研制的 200 W 常温常压空冷氢空 PEM 燃料电池堆单片电压检测。电堆由 20 片单片电池组成,检测系统完全贴附于整个电堆表面。图 4 为该系统实际检测结果。系统测量为该系实时测量的实际结果,实际测量为采用高精度万用表测得的值。测量结果表明,该检测系统测量的最大误差在 5 mV 以内,完全满足系统测量精度要求。另外,由测试结果可见整个电堆中单片电池的一致性也比较好。

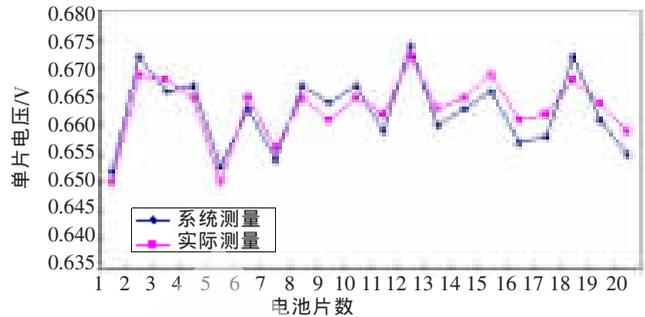


图4 燃料电池堆单片电压实际检测结果

采用差分放大电压检测电路,设计了以单片机为核心的单片电压检测系统及其上位机监测软件。该系统体积小、重量轻,可以直接贴附于燃料电池堆表面,易于与电堆控制系统集成,实现电堆单片电压实时检测。实践证明该检测系统结构简洁、可靠性高,能够实现电堆单片电压实时高精度检测。

#### 参考文献

- [1] TORI C, BALEZENA M, PERALTA C, et al. Advances in the development of a hydrogen/oxygen PEM fuel cell stack [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2008, 33 (13): 3588-3591.
- [2] Chen Jixin, Zhou Biao. Diagnosis of PEM fuel cell stack dynamic behaviors. Journal of Power Sources, 2008, 177(1): 83-95.
- [3] SPIEGEL C. 燃料电池设计与制造[M]. 马欣, 王胜开, 陈国顺等译. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [4] Texas Instrument. TLC2543 Data Book [S]. <http://www.ti.com>, 2001.
- [5] Atmel Corporation. ATmega16 产品手册. 2005.
- [6] 岂兴明, 周建兴, 矫津毅. LabVIEW8.2 中文版入门与典型实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

(收稿日期: 2010-12-09)

#### 作者简介:

阎群, 女, 1970 年生, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向: 电动汽车与新能源控制系统, 智能控制。