

# 基于单片机的纯电动汽车电池管理系统设计

辛 喆<sup>1</sup>, 葛元月<sup>1</sup>, 薄 伟<sup>2</sup>, 张云龙<sup>3</sup>, 李亚平<sup>1</sup>, 杨建为<sup>4</sup>

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 北京全路通信信号研究设计院有限公司, 北京 100073;  
3. 清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084; 4. 西北机电工程研究所, 咸阳 712000)

**摘 要:** 动力锂电池组的电源管理系统是延长电池循环寿命、维护电动汽车安全运行的关键。为延长电池的使用寿命, 该文针对纯电动汽车, 设计了一种以飞思卡尔单片机和电池管理芯片为核心的锂电池管理系统。实现对锂离子单体电池电压、电流等的检测及显示, 对电池组充放电进行监控和保护, 实现电池组的均衡及总电压、总电流、温度的检测, 利用控制器局域网络 CAN (controller area network) 总线对其进行通讯设计。最后通过系统调试、精度试验和均衡试验等进行系统功能验证, 证明了电池管理系统的有效性。该研究可为纯电动汽车电池管理系统设计与应用提供参考。

**关键词:** 动力锂电池组; 汽车; 软件设计; 电池管理; 单片机

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.12.020

中图分类号: TM911.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-12-0163-08

辛 喆, 葛元月, 薄 伟, 等. 基于单片机的纯电动汽车电池管理系统设计[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 163—170.

Xin Zhe, Ge Yuanyue, Bo Wei, et al. Design of microcontroller-based battery management system for pure electric vehicle[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(12): 163—170. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

随着环境污染和能源危机的加剧, 节能环保的电动汽车成为汽车行业未来发展的趋势。锂电池在所有二次电池中具有最高的能量密度比和功率密度比, 因此成为应用最为广泛的电动汽车电池<sup>[1-3]</sup>。由于锂电池材料的固有特性, 使其在过充电、过放电及过温时, 电池组的性能会迅速衰减, 最终导致电池组无法使用<sup>[4]</sup>。因此, 根据锂电池特性, 对动力锂电池进行有效管理, 对于维护电池安全、保持电池性能、延长电池寿命具有重要的意义<sup>[5-8]</sup>。

目前国内外关于电池管理系统 BMS (battery management system) 研究的功能和结构差异不大, 主要功能有 3 块: 电池数据采集、状态估计、均衡管理及充放电保护<sup>[9-12]</sup>。张巍<sup>[13]</sup>针对的是铅酸蓄电池设计了电池管理系统; 南金瑞等<sup>[14]</sup>设计的电池管理系统, 实现了数据采集、故障报警和通讯功能; 罗森桥等<sup>[15]</sup>设计的电池管理系统能完成电池状态检测, 电池荷电状态 SOC (state of charge) 估计, 控制器局域网络 CAN (controller area network) 总

线通讯和安全管理。上述 3 种故障管理系统都缺少电池均衡系统。刘再飞等<sup>[16]</sup>、刘斐<sup>[17]</sup>设计的电池管理系统能完成数据采集并实现了电池均衡, 但其均衡功能采用被动均衡, 能量耗散较大。近年来电池管理系统研究有较大发展, 但仍有很多技术有待完善。尤其在数据采集的可靠性、安全管理以及均衡技术等方面有待进一步改进和提高。

本文针对纯电动汽车上的锂离子动力电池组, 基于飞思卡尔系列单片机的分布式结构<sup>[18-21]</sup>, 设计了具有均衡功能的电池管理系统。采用纯电动汽车电池管理专用芯片 bq76PL536<sup>[22]</sup>, 避免使用较多电子元器件, 实现电池温度、电流、电压数据的采集和绝缘检测等功能, 在此基础上实现电池管理系统和上位机软件通讯, 同时利用变压器的能量传递设计均衡系统, 实现集中式双向主动均衡功能, 提升电池使用效率。

## 1 电池管理系统组成与功能

电动汽车用动力源一般由上百节单体锂电池串联组成, 出于配重和体积的考虑, 电池组一般都分成几个串联的模块分散在车内<sup>[23-27]</sup>。

用分布式系统方案成本过高且系统过于庞大, 用集中式系统方案 BMS 中心处理单元负担过重, 因此现有电池管理系统一般采用折中方案。本文将 12 个单体电池组成一个电池包 (PACK), 每

收稿日期: 2013-12-12 修订日期: 2014-05-22

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划, 2011AA11A206) 资助项目

作者简介: 辛 喆 (1964—), 女, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事车辆动力节能及环保技术研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。  
Email: xinzhacau@163.com

个电池包配有一个电池模块监控单元 BMU (battery management unit), BMS 由多个 BMU 和一个主控单元 CMU (control monitor unit) 组成, 整个系统采用图 1 所示的结构。

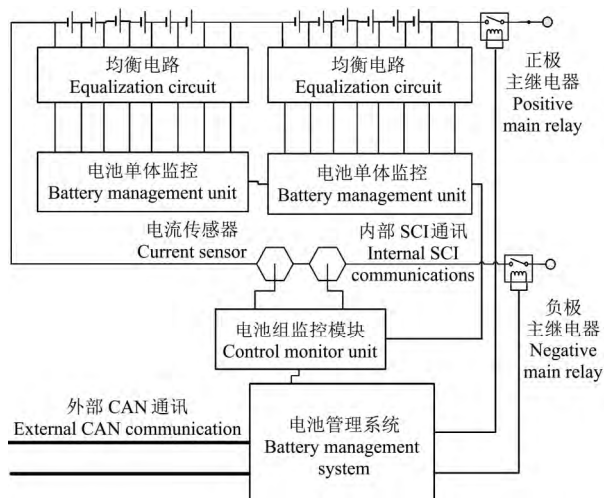


图 1 电池管理系统的分布式结构

Fig.1 Distributed architecture of battery management system

整个系统可分为上层的主控模块和下层的监控模块。监控模块又可分为电池单体监控和电池组监控。监控模块和主控模块通过 SCI (serial communication interface) 总线进行内部通讯, 主控模块通过 CAN 总线和外部进行通讯。图 2 表示了电池管理系统的功能结构分布。

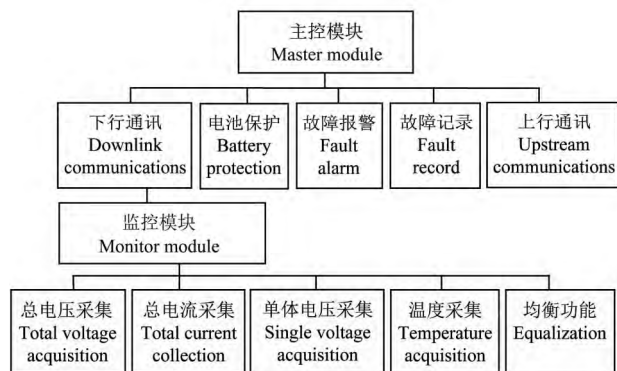


图 2 电池管理系统功能结构图

Fig.2 Function structure of battery management system

## 2 系统硬件与软件设计

本设计中, 监控单元 (BMU) 和主控单元 (CMU) 分别采用飞思卡尔 8 位 9S08DZ60<sup>[28]</sup> 和 16 位 9S12DG128<sup>[29]</sup> 单片机作为处理器。

BMU 监控单元可实现 2 种功能, 一种对电池模块 (PACK) 内电池单体的电压、温度进行检测, 经过处理后将数据传输给 CMU, 并对模块内的不平衡进行管理; 另一种对电池组 (BLOCK) 的总电压、总电流进行检测, 并负责绝缘度的监测, 经过

处理后将数据传输给 CMU。CMU 接收 BMU 传来的数据信息, 根据采集的电池数据估计电池组的荷电状态等, 对电池组的充放电进行保护, 并与电动汽车整车控制单元和充电机进行通信。

### 2.1 CAN 通讯

汽车内部的通讯, 主要采用 CAN 总线通讯。本系统的主控单元和电池模块监控单元都集成了 CAN 控制器。电池管理模块对外提供 CAN 总线接口, 上位机监控通过 CAN 总线接收测得的电压、电流、温度等数据并直接显示或曲线显示, 根据预先设置的阈值条件实现故障提示, 同时可以将所需的数据存入文件中。因为电脑一般没有 CAN 总线接口, 所以通过 CAN 卡扩展出 CAN 接口, 用于连接到 CAN 总线。在本设计中采用了双路智能 CAN 卡作为监控计算机端的接口, 可以方便地连接到 CAN 总线上。

数据链路层的规定主要参考 CAN2.0B 的相关规定。本设计采用 11 位标准帧格式, 报文分为数据帧 (data frame)、远程帧 (remote frame)、错误帧 (error frame) 和过载帧 (overload frame)。

### 2.2 BMS 主控单元 (CMU)

CMU 实时获取各 BMU 的数据, 对电池组进行保护, 保存历史数据并与外部设备进行通讯。因此, BMS 主控单元硬件结构包含: 电源管理模块, 单片机最小系统, CAN 总线接口, SPI (single program initiation) 总线接口, IIC (inter-integrated circuit) 总线接口, SCI 总线接口, Flash (存放历史数据), 继电器驱动接口单元。

本设计采用 16 位 9S12DG128 单片机作为主控芯片, 总线频率 25 MHz, 128 K 字节 Flash 内存, 2 路 MSCAN (motorola scalable controller area network) 总线, 2 路 SCI 串行通讯接口, 2 路 SPI 串行外设通讯接口, 1 路 IIC 串行总线接口, 2 个 8 通道 10 位 ADC。主芯片及外围电路包括供电电路, 总线通信电路和驱动电路, 如图 3 所示。

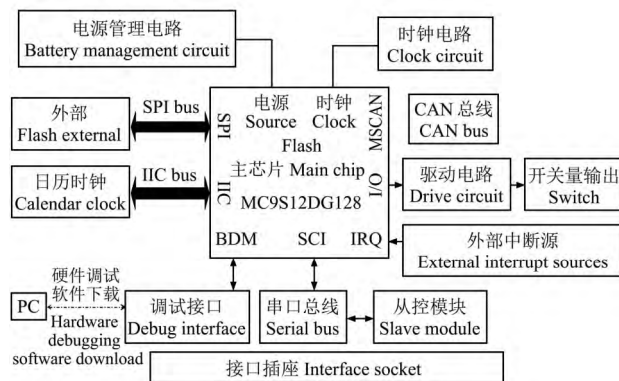


图 3 主控单元结构框图

Fig.3 Structure diagram of master unit

### 2.3 BMS 监控单元 (BMU)

BMU 采集电池模块的电压、温度等信息, 同时进行均衡管理。因此, 电池监控模块 BMU 具备以下特性: 多重电源隔离模块, CAN 总线接口, SCI (serial communications interface) 总线接口, 单体电压采集接口, 温度采集接口, 电池均衡管理接口, 绝缘检测单元, 总电压检测单元, 电流检测单元。

#### 2.3.1 电压检测

本设计采用可同时监控多节电池的监控芯片 bq76PL536。该器件的专有设计能够把多节电池串联起来, 无需使用光电耦合器隔离, 可实现串接电池组中每节电池的精准电压监视。模数转换器具有 9 个 ADC (analog to digital converter) 输入端口: 6 个用于电池单体电压输入, 1 个用于 6 个电池单体的总电压输入, 2 个用于温度输入, 1 个用于通用输入。本系统的电池组由 12 节锂离子电池单体串联组成, 一块电路板上采用 2 个 bq76PL536 芯片, 每块芯片的可测量 6 节电池的电压。

#### 2.3.2 温度采集

bq76PL536 芯片能够采用 ADC 来测量两路差分输入电压。差分输入由一个外部热敏电阻和普通电阻组成的分压网络来得到。这可产生一个比例式结果, 并可消除温漂对电路的影响。该器件拟与一个标称值为 10 k $\Omega$  (在 25 $^{\circ}\text{C}$  时) 的 NTC (negative temperature coefficient) 外部热敏电阻配合使用。应连接一个合适的外部阻容网络, 以把热敏电阻的响应置于所关心的范围之内。

#### 2.3.3 电流检测

电流参数是电池管理系统过流保护的重要依据, 同时也是充放电模式的判断条件。本设计采用霍尔电流传感器。该传感器不与高压系统接触, 不会带来共模干扰和高频噪声, 传感器输出的电流信号通过精密的测量电阻变为电压信号, 经过运放芯片 (OP07CS) 跟随后接入外扩的 A/D 芯片 (TLC7135CN)。

#### 2.3.4 均衡功能

均衡功能子模块的功能是当电池组中的各个电池单体之间出现不一致时, 将能量从较高的电池单体转移到较低的电池单体中, 从而实现延长电池组寿命的目的。

均衡功能子模块的执行器是变压器。作为储能元件, 它将能量在电池单体之间传递。基于反激式拓扑结构, 变压器的两边被称为初级线圈和次级线圈。初级线圈连接到整个电池组两边, 次级线圈连接到电池单体两边。

本设计的均衡变压器采用的是 EA0708101117 型变压器, 由一组初级线圈和 14 组次级线圈组成,

结合本设计, 只采用其中 12 组次级线圈。图 4 为执行主动均衡功能的硬件电路。一组次级线圈均衡电路如图 4a 所示, T1B 是一种 MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) 管, 起到控制该次级线圈开闭的作用。当 Sec0 端为高电平时, T1B 断开, 反之, 则 T1B 闭合, 通过不断开闭, 对该单体电池进行均衡。初级线圈电路如图 4b 所示, 初级线圈部分有 2 个开关 T8 和 T7。T8 是一个 100 V 的 MOSFET 管, T7 是一个 30 V 的 MOSFET 管。为了更好的对称耦合, 由 2 个相同的初级线圈并联连接。控制原理与次级线圈类似。初级线圈和次级线圈通过 a、b 端连接到变压器。

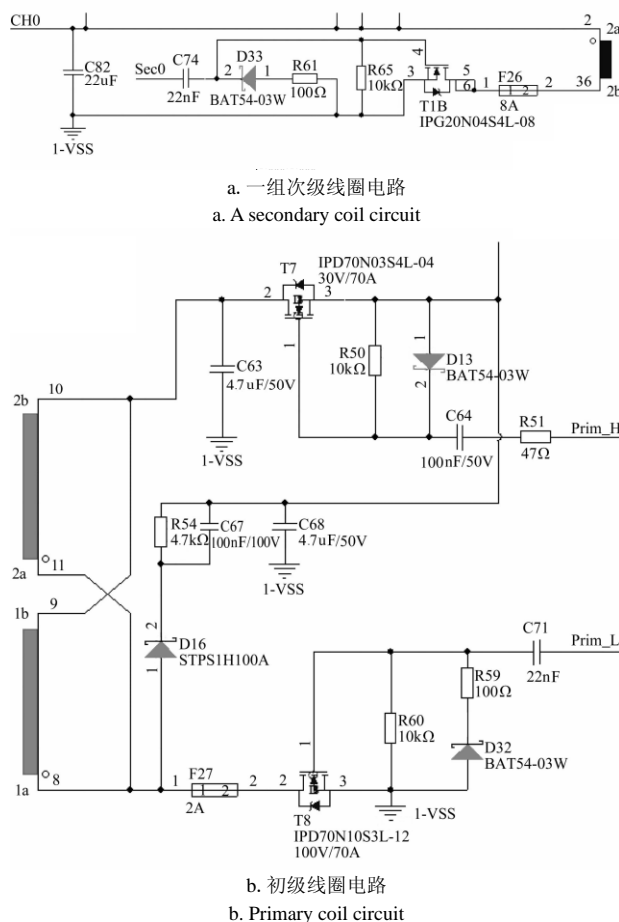


图 4 主动均衡执行模块硬件电路图

Fig.4 Hardware circuit of active equalization execution module

#### 2.3.5 绝缘检测

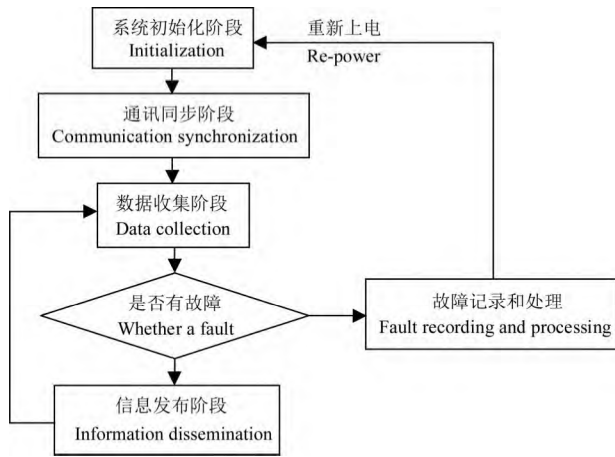
绝缘检测关系到整车的驾驶和乘坐的安全性。绝缘状况的好坏由电池组正负极相对于底盘的电阻值决定。本设计采用不平衡电桥的检测方法检测总的绝缘电阻。

### 2.4 软件设计

电池管理系统软件以 Code Warrior 为开发环境, 采用 C 语言编写, 包括了主控模块和监控模块 2 个部分的软件设计。主控模块的任务主要有: 通

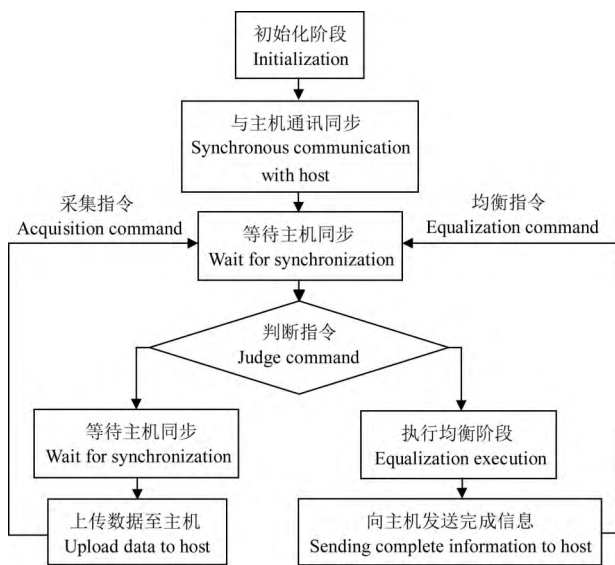
讯同步任务, 数据采集任务、故障检测任务, 故障记录任务、故障处理任务, 信息发布任务, 如图 5a 所示。

监控模块的任务主要有: 通讯同步任务、A/D 转换与数据处理任务、通讯接收任务、通讯发送任务、以及均衡执行任务, 如图 5b 所示。



a. 主控模块软件流程图

a. Software flowchart of master module



b. 监控模块软件流程图

b. Software flowchart of monitoring sub-module

图 5 控制模块软件流程图

Fig.5 Software flowchart of control module

其中, 均衡模块的程序流程图如图 6 所示。当需要均衡的电池单体接收到均衡执行的指令时, 通过指令内容判断均衡模式, 然后通过初级与次级线圈开关的相互配合完成一次均衡周期。

### 3 功能验证

#### 3.1 上位机监控测试

通过上位机监控测试可验证上位机软件 CAN 通讯功能和电压显示功能。计算机通过 CAN 总线与电池管理系统连接后, 上位机监控软件能够实

时显示电池管理系统中的变量并采集数据, 如图 7 所示, 验证了上位机软件的 CAN 通讯功能。

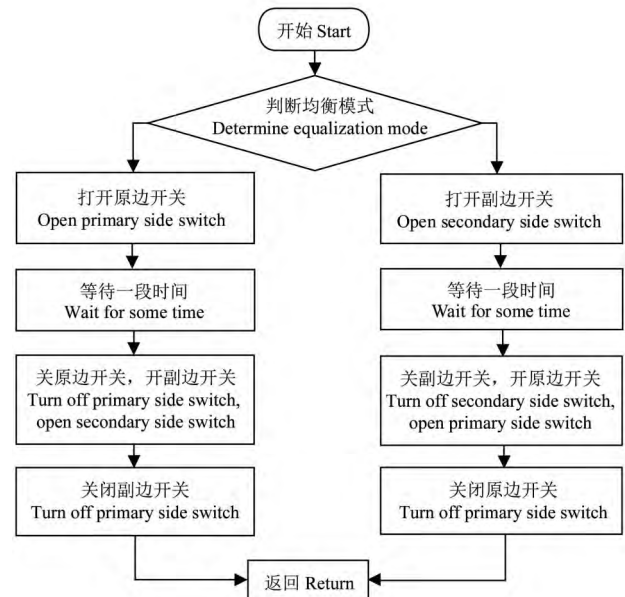


图 6 均衡模块软件流程图

Fig.6 Software flowchart of balanced module



图 7 电池管理系统与上位机的 CAN 通讯界面

Fig.7 Interface of battery management system CAN communication with host computer

通过 CAN 总线通讯显示在上位机监控软件上的数据可以看到, 各个电池的电压温度等模拟量的变化均在正常的范围内, 电池单体的电压变化



范围是 2.0~3.65 V，模块电压的变化范围是 24~43.8 V。

### 3.2 静态精度试验

静态精度试验是用上位机监控软件采集的电压对比万用表实际测量的电压，分析静态工况下电池管理系统的静态测量精度。

试验是用 12 个电池单体串联组成电池组模块，与电池管理系统连接。试验用电池为美国 A123 公司的汽车锂离子电池，额定电压为 3.3 V。电池管理系统将数据通过 CAN 通讯在上位机监控软件中显示并存储，同时用万用表实测并记录电池单体的电压值。表 1 是电池组在静态工况下电池管理系统采集的数据和用万用表实际测量的数据比较。

表 1 静态电压采集值与实测值比较

Table 1 Comparison of static voltage acquisition value with measured value

电池号 Battery number	实测值 Actual value/V	采集数据 Data collection/V	误差 Error/%
BT1	3.20	3.2100	0.31
BT2	3.19	3.1930	0.08
BT3	3.20	3.2062	0.05
BT4	3.20	3.2061	0.19
BT5	3.20	3.2043	0.13
BT6	3.20	3.2067	0.21
BT7	3.21	3.2145	0.14
BT8	3.21	3.2151	0.16
BT9	3.21	3.2159	0.18
BT10	3.21	3.2168	0.21
BT11	3.21	3.2157	0.18
BT12	3.24	3.2423	0.07
电池组 Battery Pack	38.4	38.545	0.38

从表 1 的数据可以看出，电池单体中 BT1 的误差最大为 0.31%，小于国标要求的 0.5%，符合国标要求；电池组的误差为 0.38%，小于国标要求的 0.5%，也符合国标的要求。因此，从静态精度的角度看，电池管理系统提供的电池单体电压和电池组电压是准确可靠的。

### 3.3 动态精度试验

动态精度试验是借助 Arbin 试验平台能够测量电池单体电压的条件，来对比分析充放电工况下电池管理系统的动态测量精度。

在电池放电过程中，用 Arbin 试验平台和电池管理系统同时对电池组采集各个电池单体的电压。以 Arbin 试验平台的测量值作为基准，通过作图分析，比较电池组中同一节电池 2 组数据之间的差异。试验数据对比如图 8 所示。

通过 MATLAB 软件计算 2 条曲线的最大误差为 0.15%，小于 0.5%，满足国标要求。

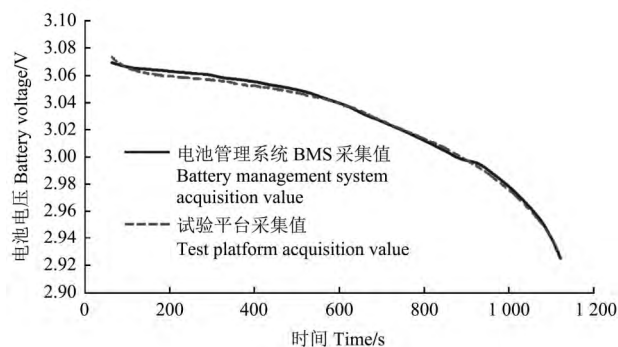


图 8 动态精度试验数据对比图

Fig.8 Comparison of static voltage measurement precision

### 3.4 均衡功能的验证

均衡功能的验证分为 2 个方面，一方面是微观上检测均衡电流是否存在及其大小，另一方面是宏观上电池单体电压是否收敛于平均电压。试验目的都是验证均衡功能的有效性。

#### 3.4.1 微观验证

让电池组处于静置状态，对电池组中电压最低的电池单体做均衡。在这个过程中，使用霍尔电流传感器检测相应的次级线圈是否有均衡电流，测量后在示波器中显示电流值对应的测量电压值，如图 9 所示，图中主要观察通道 2 中的电流对应的测量电压。

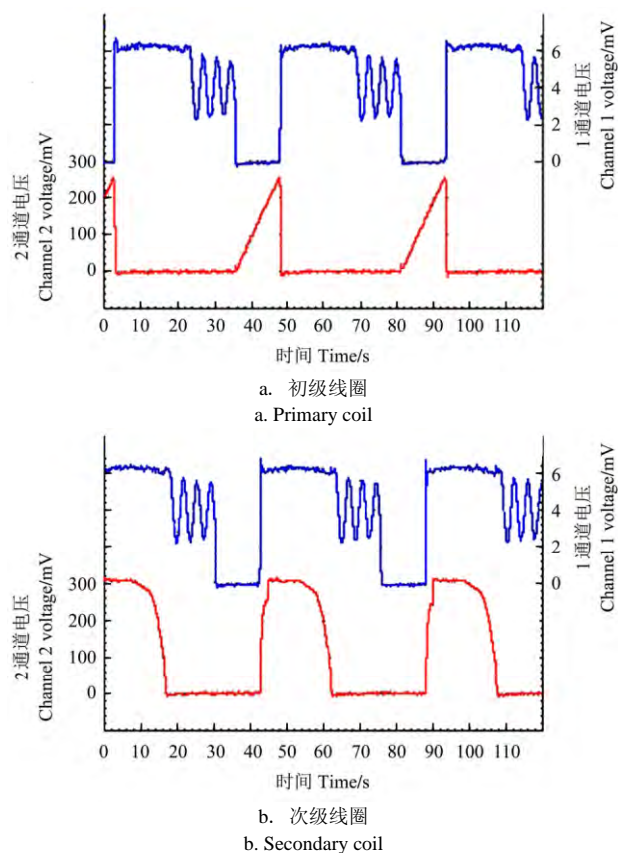


图 9 均衡电路的电压和电流测量图

Fig.9 Voltage and current measurement diagram of balanced circuit

图 9 中的示波器 1 通道显示初级线圈的电压状态 (示波器 $\times 10$  档位); 示波器 2 通道中, 图 9a 为均衡电路中初级线圈充电电流对应的测量电压, 图 9b 为次级线圈均衡电流对应的测量电压。通道 1 测量的是初级线圈 MOSFET 开关两端的电压, 当 MOSFET 开关闭合时, 相当于短路状态, 测得电压为 0, 并且此时变压器处于充电状态, 有充电电流; 当 MOSFET 开关断开时, 测得的是电池组加上变压器电路的总电压, 60 V 左右, 并且变压器开始给次级线圈上连接的最低电压的电池充电, 图 9b 中可以得出次级线圈有均衡电流。通过观察到均衡电流验证了均衡的有效性。

### 3.4.2 宏观验证

按照上面的均衡方法, 对电池组中电压最低的电池单体进行均衡, 直到其电压值与其他电池的一致, 在这段时间内, 对采集到的数据进行分析。

图 10 反映了被均衡电池的电压与电池组平均电压的关系, 从图上可以看到, 整体趋势是在下降, 表明该电池的电压在均衡的作用下趋近于电池组的平均电压, 电压差从开始的 160 mV 减小到 20 mV, 验证了均衡的有效性。

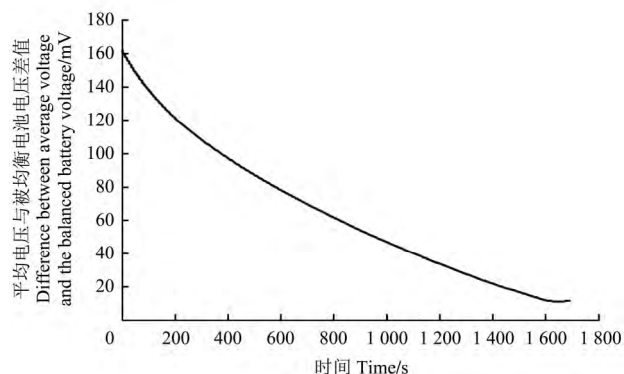


图 10 平均电压与被均衡电池的电压的差值图

Fig.10 Difference between average voltage and voltage of balanced battery

## 4 结 论

本文的电池管理系统以飞思卡尔单片机为控制核心, 设计了功能完善的电池管理系统。研究主要结论如下:

1) 通过硬件设计和软件设计, 实现了纯电动汽车锂离子电池组控制所必需的电压、电流、温度参数的采集, 电池主动均衡, 绝缘度的监测以及继电器控制和 CAN 通信等功能。

2) 通过上位机测试验证了系统的通讯功能以及电压、温度采集功能。同时, 在精度试验中, 静态试验电池单体电压测量的最大误差为 0.31%, 动态试验本系统与标准实验台的测量电压最大误差仅为

0.15%, 精度均满足要求, 从而验证了该设计数据收集的可靠性。

3) 进行了均衡功能试验验证。微观验证中通过检测到的均衡电流验证均衡有效性; 宏观验证中, 被均衡电池的电压与电池组电压均值的差值从 160 mV 减小到 20 mV, 验证了均衡的有效性。

### [参 考 文 献]

- [1] 尹政, 张鹏波, 杨永广, 等. 车用锂电池充电技术综述[J]. 山东内燃机, 2010(3): 1—6, 29.
- [2] 林成涛, 李腾, 田光宇, 等. 电动汽车用锂离子动力电池的寿命试验[J]. 电池, 2010, 40(1): 23—26.  
Lin Chengtao, Li Teng, Tian Guangyu, et al. The life test of Li-ion power battery for electric vehicle[J]. Battery Bimonthly, 2010, 40(1): 23—26. (in Chinese with English abstract)
- [3] 丁左武, 赵东标. 锂离子蓄电池相关特性试验研究[J]. 电源技术, 2011, 35(7): 772—774.  
Ding Zuowu, Zhao Dongbiao. Study of lithium battery's characteristics by tests[J]. Power Technology, 2011, 35(7): 772—774. (in Chinese with English abstract)
- [4] Singh P, Fennie Jr C, Reisner D. Fuzzy logic modeling of state-of-charge and available capacity of nickel/metal hydride batteries[J]. Journal of Power Sources, 2004, 136(2): 322—333.
- [5] Ahmad A P. Battery thermal models for hybrid vehicle simulations[J]. Journal of Power Sources, 2002, 110(2): 377—382.
- [6] 杜江. 电池管理系统的标定及匹配技术研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.  
Du Jiang. Battery Management System Calibration and Matching Technology Research[D]. Shanghai: Tongji University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [7] 邓仲卿, 阳林, 吴发亮. 基于 PIC 单片机的 FSE 电动方程式赛车电池管理系统设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2013, 51(6): 43—45.  
Deng Zhongqing, Yang Lin, Wu Faliang. Design of battery management system for FSE based on PIC18F6628[J]. Agricultural Equipment and Vehicle Engineering, 2013, 51(6): 43—45. (in Chinese with English abstract)
- [8] Alzieu J, Gagnol P, Smimite H. Development of an on-board charge and discharge management system for electric-vehicle batteries[J]. Journal of Power Sources, 1995, 53(2): 327—333.
- [9] Mills A, Al-Hallaj S. Simulation of passive thermal management system for lithium-ion battery packs[J]. Journal of Power Sources, 2005, 141(2): 307—315.
- [10] Thomas A S, Wei Zhu. Modularized battery management for large lithium ion cells[J]. Journal of Power Sources, 2011, 196(1): 458—464.
- [11] 冯勇, 王辉, 梁晓. 纯电动汽车电池管理系统研究与设计[J]. 测控技术, 2010, 29(9): 54—57.

- Feng Yong, Wang Hui, Liang Xiao. Research and design on battery management system for electric vehicle[J]. Measurement and Control Technology, 2010, 29(9): 54—57. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘保杰, 王艳, 殷天明. 电动汽车电池管理系统[J]. 电气自动化, 2010, 32(1): 60—62, 81.  
Liu Baojie, Wang Yan, Yin Tianming. EV battery management system[J]. Electric Automation, 2010, 32(1): 60—62, 81.(in Chinese with English abstract)
- [13] 张巍. 纯电动汽车电池管理系统的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.  
Zhang Wei. Research of Battery Management System for Pure Electric Vehicle[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [14] 南金瑞, 孙逢春, 王建群. 纯电动汽车电池管理系统的设计及应用[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(增刊 2): 1831—1834.  
Nan Jinrui, Sun Fengchun, Wang Jianqun. Electric vehicle battery management system[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technllogy, 2007, 47(Supp.2): 1831—1834.(in Chinese with English abstract)
- [15] 罗森侨, 彭忆强, 易威. 基于 PIC 单片机和 CAN 总线的纯电动汽车电池管理系统设计[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2013, 32(1): 56—59.  
Luo Senqiao, Peng Yiqiang, Yi Wei. Design of battery management system for electric vehicles based on PIC and CAN[J]. Journal of Xihua University: Natural Science, 2013, 32(1): 56—59. (in Chinese with English abstract)
- [16] 刘再飞, 李立伟, 张洪伟. 基于 LTC6803 电动汽车电池管理系统的设计[J]. 工业控制计算机, 2013, 26(3): 121—122.  
Liu Zaifei, Li Liwei, Zhang Hongwei. Design of battery management system based on LTC6803 for electric vehicle[J]. Industrial Control Computer, 2013, 26(3): 121—122. (in Chinese with English abstract)
- [17] 刘斐. 纯电动汽车电池管理系统的研究与设计[D]. 济南: 山东大学, 2012.  
Liu Fei. Research and Design of Battery Manage System for Pure Electric Vehicle[D]. Jinan: Shandong University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [18] 熊迎军, 沈明霞, 刘永华, 等. 混合架构智能温室信息管理系统的设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊 1): 181—185.  
Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Liu Yonghua, et al. Design of intelligent greenhouse information management system with hybrid architecture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(Supp.1): 181—185. (in Chinese with English abstract)
- [19] Brandl M, Gall H, Wenger M, et al. Batteries and battery management systems for electric vehicles[C]// IEEE Proceedings of the Conference on Design. Dresden: Automation and Test in Europe, 2012: 971—976.
- [20] 何莉萍, 赵曦, 丁舟波, 等. 基于 DSP 的电动汽车电池管理系统的设计[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2009, 36(5): 34—36.  
He Liping, Zhao Xi, Ding Zhoubo, et al. Electric vehicle battery management system based on DSP[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2009, 36(5): 34—36. (in Chinese with English abstract)
- [21] 魏新华, 但志敏, 孙宏伟, 等. 处方农作车载嵌入式信息处理系统的研制[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 142—149.  
Wei Xinhua, Dan Zhimin, Sun Hongwei, et al. Development of vehicular embedded information processing system for map-based precision farming[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(6): 142—149. (in Chinese with English abstract)
- [22] Texas Instrument Incorporated Incorporated. Bq76pl536 Data Sheet[Z]. 2011.
- [23] 崔张坤. 电动汽车锂电池组高精度电压电流检测系统研究与设计[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2012.  
Cui Zhangkun. High--precision Voltage and Current Detection System Research and Design of Lithium Batteries Module of Electric Vehicle[D]. Shenyang: Shenyang Ligong University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [24] 马斌强, 张宏伟, 冯朝岭, 等. 电动汽车动力电池管理系统的研究[J]. 河南农业大学学报, 2010, 44(4): 428—431.  
Ma Binqiang, Zhang Hongwei, Feng Chaoling, et al. Study of battery management system of electric vehicle[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2010, 44(4): 428—431. (in Chinese with English abstract)
- [25] 黄海宏, 赵哲源, 何晋. 具备主动维护功能的分布式电池管理系统的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(3): 283—288.  
Huang Haihong, Zhao Zheyuan, He Jin. Study of distributed battery management system with function of active maintenance[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24(3): 283—288. (in Chinese with English abstract)
- [26] Cheng K W E, Divakar B P, Wu H, et al. Battery-management system (BMS) and SOC development for electrical vehicles[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(1): 76—88.
- [27] Amjadi Z, Williamson S S. Power-electronics-based solutions for plug-in hybrid electric vehicle energy storage and management systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(2): 608—616.
- [28] Motorola. MC9S08DZ60 Series Data Sheet[Z]. 2008.
- [29] Motorola. MC9S12DG128 Device User Guide[Z]. 2003.

## Design of microcontroller-based battery management system for pure electric vehicle

Xin Zhe<sup>1</sup>, Ge Yuanyue<sup>1</sup>, Bo Wei<sup>2</sup>, Zhang Yunlong<sup>3</sup>, Li Yaping<sup>1</sup>, Yang Jianwei<sup>4</sup>

(1. College of Engineering of China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Beijing National Railway Research & Design Institute of Signal & Communication Co., Ltd., Beijing 100073, China;

3. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy of Tsinghua University, Beijing 100084, China;

4. Northwest Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Xianyang 712000, China)

**Abstract:** Energy conservation and environmental protection have become new targets of the development of the automobile industry. A new generation of electric vehicles have gotten a great development, which can diversify transport configuration with its zero-emission, low noise, etc., and attract extensive attentions worldwide. However, the battery problem of energy storage and application technology remains to restrict the development of electric vehicles. How to extend battery life and improve battery energy efficiency and operational reliability are problems that must be addressed for the electric vehicle energy management system. Battery management system is one of the key technologies related to electric vehicles and plays an important role in practice and commercialization, so the technology research of battery management system has a great significance. In all secondary batteries, the lithium batteries have the highest energy density and power density ratio, and became the most widely used electric vehicle batteries. Because of the inherent characteristics of lithium battery materials, overcharge, over-discharge, and over-temperature, battery pack performance will rapidly decay and eventually cause the battery pack failure. Therefore, the battery management system for lithium batteries plays an important role in extending the battery life cycle and maintaining safe operation of electric vehicles. This paper presents a kind of battery management system with a Freescale microcontroller core. It can provide accurate measurement of the battery cell voltage, total battery voltage, battery temperature, ambient temperature, current, and other information. The battery management system can also provide data to support the analysis of battery performance. In addition, the hardware circuit of the system has the functions of battery over-voltage/under-voltage protection and energy balance, etc., and the single cell can be monitored and implement the necessary protection. A PC monitoring system obtains data related to the battery via the CAN bus communication from the battery management system, and achieves the battery status real-time display, while all the data can be saved to a file. The PC monitor interface can achieve programming control of the working status of charging and discharging battery pack and is able to set the parameters of the battery failure, to ensure the security of the battery charging and discharging process. The experiments verified the physical parameters of the system on battery power detection with high accuracy and achieved a dynamic two-way balancing. In addition, the battery management system functions are verified on CAN communication and the voltage display. At last, a balanced experimental verification of effectiveness equalization was conducted. The equalization was divided into two functional verifications, one was the microscopic detection of the presence and size of the equilibrium current, the other was whether the macro cell voltage converged to the average voltage. The results showed that the battery management system could meet the requirements on measuring accuracy, reliability, and effectiveness equalization. The battery-powered, battery testing, and performance analysis applied technology research provides a reliable platform and data support.

**Key words:** lithium batteries; automobiles; software design; battery management; single chip microcomputer