

引用格式: 邓长征, 赵 侠, 张晓燕. 基于 STM32 的电池管理系统的研究与设计[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(21): 219—224

Deng Changzheng, Zhao Xia, Zhang Xiaoyan. Research and design of battery management system based on STM32[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(21): 219—224

电工技术

基于 STM32 的电池管理系统的研究与设计

邓长征^{1 2} 赵 侠^{1 2} 张晓燕³

(三峡大学电气与新能源学院¹ 新能源微电网湖北省协同创新中心(三峡大学)² 宜昌 443002;

国网山东省电力公司嘉祥县供电公司³ 嘉祥 272400)

摘 要 为加强电池组的管理与保护以及减少电池组各单体参数之间的差异,设计了一套基于 STM32F103VET6 的电池管理系统;并提出在电阻耗能法的基础上结合能量转移思想对电池组进行均衡管理。运用 MATLAB/Simulink 工具建立了锂电池模型,并对电池所采用的均衡方案进行了仿真分析。仿真结果表明:采用改进的均衡方案电压偏差明显减小,单体之间的电压逐渐趋近到一个固定的值。此外通过 18650 型锂电池对电池管理系统进行了均衡实验测试,求出了均衡前后电压的期望值和方差值。经过对比分析,进一步验证了电池管理系统电压均衡的有效性。

关键词 电池管理系统 STM32 锂电池 均衡管理

中图分类号 TM912;

文献标志码 A

传统的铅蓄电池因其体积大、污染严重,许多地区限制了对此类电池的应用。而锂电池凭借其高能量密度、无污染等优点,逐渐成为能量存储载体的首选,是电动汽车的理想动力电源^[1-2]。但由于锂电池存在时变性,成组使用时会出现单体电压不一致等现象^[3]。因此,需要对电池组进行系统管理,提高电池组使用效率,延长其使用寿命。

电池管理系统(BMS)作为电池的管理者,在一定程度上可以弥补动力电池自身的不足,延长动力电池的使用寿命^[4-5]。电池管理的主要任务是采集动力电池组的电压、电流、温度等参数,并对采集到的参数进行分析处理,从而实现对电池组出现的各种异常状态进行管理^[6]。目前国内外的研究机构对电池的静态特性研究的较多,对电池的动态特性研究关注较少^[7]。为了加强对电池组的管理保护以及减少电池组各单体电池参数之间的差异,本文研究设计了一套基于 STM32F103VET6 的电池管理系统,并提出在电阻耗能法的基础上结合能量转移思想对单体电池间进行均衡管理,使电池在使用的过程中能够发挥其最大性能,减少不必要的浪费。

1 电池管理系统组成

在动力电池的实际应用中,电动汽车用电机的工作电压一般在 300~700 V 之间,为了提供较高的直流电压,一般将多节单体电池串联形成电池包,电动汽车上使用的动力电池组都是以电池包为单位^[8-10]。本文所设计的电池管理系统的结构如图 1 所示。

该系统由一个主控制器和 n 个子控制器组成,主控制器是电池管理的核心,负责整个系统的管理运行,每一个电池包配备一个子控制器,子控制

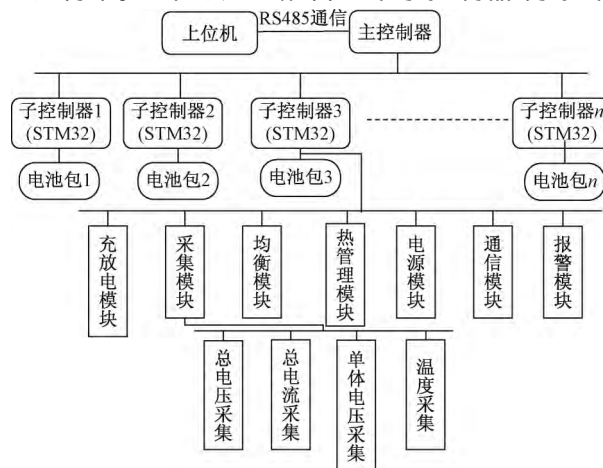


图1 锂电池管理系统结构

Fig. 1 Structure of lithium battery management system

2018年02月07日收到

国家自然科学基金(51407104)资助

第一作者简介: 邓长征(1980—),男,湖北人,博士,副教授。研究方向: 高电压技术、电动汽车的电池管理。E-mail: 15571767586@163.com。

器实时采集电池包的总电压、电流、温度、单体电池电压等参数,并对采集的数据实时处理,进而对锂电池进行充放电管理、热管理、均衡管理、故障处理及显示等。RS485 总线将这 n 个子控制器和主控制器相连,主控制器实时采集子控制器的数据信息,主控制器和子控制器构成一个完整的智能电池管理系统。

上位机的作用是设置锂电池管理系统的参数,并通过管理程序实时查询当前电池组的状态,如电池组的电压、充放电电流、温度、电池组剩余容量、电池故障与报警信息等,方便用户实时地监测电池组的使用状况。

2 系统主要硬件和软件设计

2.1 总电压采集电路

采用电阻分压实现对电压的采集,为保证检测精度及抗干扰能力,采用隔离放大器 A7840 实现对电压信号的隔离采样。光耦隔离 A7840 输入输出侧供电都是 +5 V,芯片内部输入电路有放大作用,能传输毫伏级的直流电压,具有 1 000 倍左右的电压放大倍数。输出信号作为后级运算放大器 AD820 差分输入,总电压采集电路如图 2 所示。

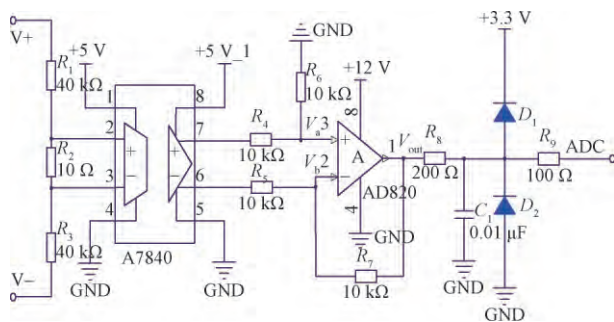


图 2 总电压采集电路

Fig. 2 Total voltage acquisition circuit

2.2 总电流采集电路

设计中霍尔电流传感器的型号采用 HBC20SY/C 型,原副边电流电气隔离,可用于测量直流、交流和脉冲电流。供电电压为 $\pm 12 \sim \pm 15$ V,电流测量范围是 $0 \sim \pm 30$ A。霍尔电流传感器输出的是电流信号,输出电流为 ± 40 mA,经过测量电阻 R_{10} 把电流信号变为电压信号,经过 LM258 将电压信号转换为适合单片机 AD 采样的电压,总电流采样电路如图 3 所示。

2.3 电源电路的设计

电源电路主要是为主控芯片、隔离芯片、霍尔电流传感器、采样信号调理电路等供电,保证整个电池管理系统正常工作。主控板的电源由 24 V 电源提

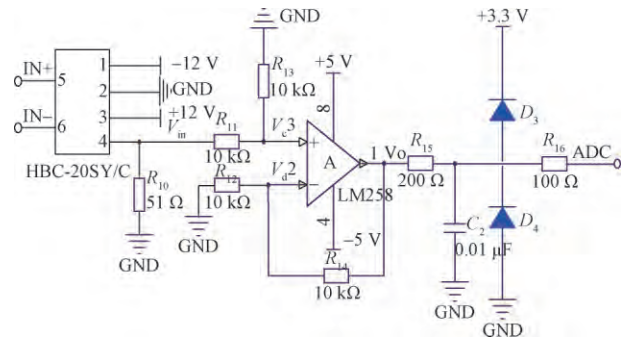


图 3 电流采集电路

Fig. 3 Current acquisition circuit

供,电源电路设计如图 4 所示。

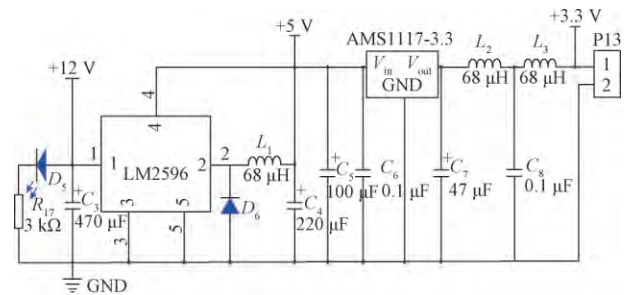


图 4 电源电路设计

Fig. 4 Power circuit design

2.4 均衡电路的设计

系统采用电阻耗能法的基础上结合能量转移的均衡策略,均衡电路如图 5 所示。均衡原理是:当电动汽车电池容量较大时或各单体电压差距较大时进行能量转移,差距较小时进行能量消耗。电池之间的容量或者电压差异较大时,大容量电池一般差异在 1% 以上,小容量电池根据情况差异可有所提高,用电阻消耗浪费比较严重,则使用电容转移的方式进行电池间的均衡;电池间差异较小,一般在 1% 以内,用电容转移效果很不明显,此时可以用所在电路电阻进行消耗,以此来提高电池的一致性,延长电池寿命。

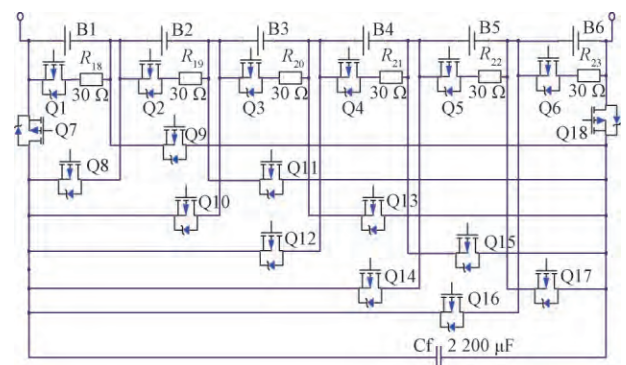


图 5 均衡电路设计

Fig. 5 Equalization circuit design

根据图 5 以 2 个单体电池为例,具体均衡过程如下:控制系统检测到有容量差很大的两个单体,假设单体 B1 为容量高的那个,单体 B2 为容量低的那个,那么此时就会及时关闭 Q7 和 Q9,使得 B1 给 Cf 充电,把多余的容量转移给 Cf,当 B1 剩余容量达到设定的平均值时,就会及时断开 Q7 和 Q9,闭合 Q8 和 Q11, Cf 给单体电池 B2 充电,把多余的能量转移给 B2,完成一次均衡。如果遇到各单体间能量相差不大,应用能量转移的方式,则会显得效率太低,此时,就可以采用耗能型的方式,用阻性元件将能量高一些的单体电池消耗掉一部分,使之能够达到所设定的正常范围。经过均衡之后,可使得各单体电池电压趋于一致,进而延长电池的使用寿命。

2.5 系统主程序设计

系统软件包括系统主程序、信息采集子程序、充电控制子程序、数据处理及 SOC 估算子程序、电池均衡模块子程序、热管理子程序,本文主要介绍系统主程序和电池均衡模块子程序,系统主程序如图 6 所示。

(1) 开始时,先初始化各功能模块。

(2) 信息的采集,读取各模块的参数。

(3) 判断电池组各参数的状态是否正常,若出现过压、过温、过流等不正常现象则进行故障的处理。

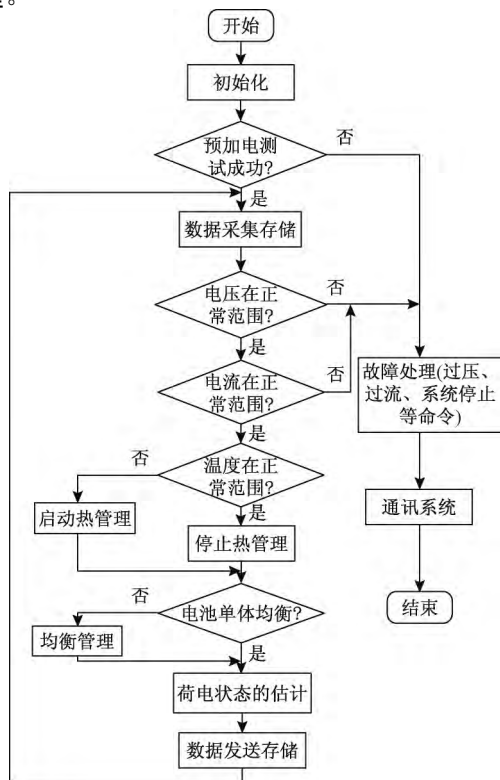


图 6 系统主程序流程图

Fig. 6 Flow chart of main program system

(4) 判断各单体电压的状态,是否需要均衡管理,若需要则启动均衡管理。

(5) 若不需要均衡管理,则进行荷电状态的估算。

2.6 电池均衡模块子程序设计

均衡管理是以单体电池电压间的压差与安全电压值压差做评判标准,防止因个别的单体压差过高或过低导致整个电池组性能下降。当检测到电池组中有单体的压差超过了设定安全电压值,则启动电池均衡管理电路,对高的单体进行放电,对低的单体进行充电,当各单体差距值在允许范围内时,则结束均衡管理,具体过程如图 7 所示。

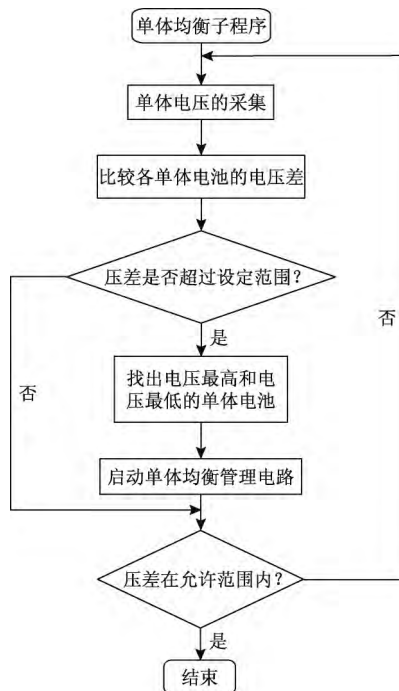


图 7 均衡管理流程图

Fig. 7 Flow chart of balanced management

3 均衡仿真分析

为了验证所设计的均衡电路及采用的改进均衡方案的有效性,在 MATLAB/Simulink 中搭建了由 6 节锂电池组成的均衡仿真模型,电池参数按照某厂生产的 2 200 mA·h 的 18650 锂电池参数来设置,将 6 节锂电池的初始 SOC 分别设置为 0.65、0.7、0.75、0.8、0.85、0.9,以体现各单体之间的一致性,用 24 V 直流电源给此电池组进行充电,搭建电池仿真模型进行仿真,仿真结果如图 8 所示。

从图 8(a) 的仿真曲线可以看出,在充电的过程中 6 节电池的电压都上升,把 6 节电池的最终充电电压加起来,大约就是 24 V,此时电路处于平衡状态。但是随着充电时间的增加,6 节电池电压慢慢

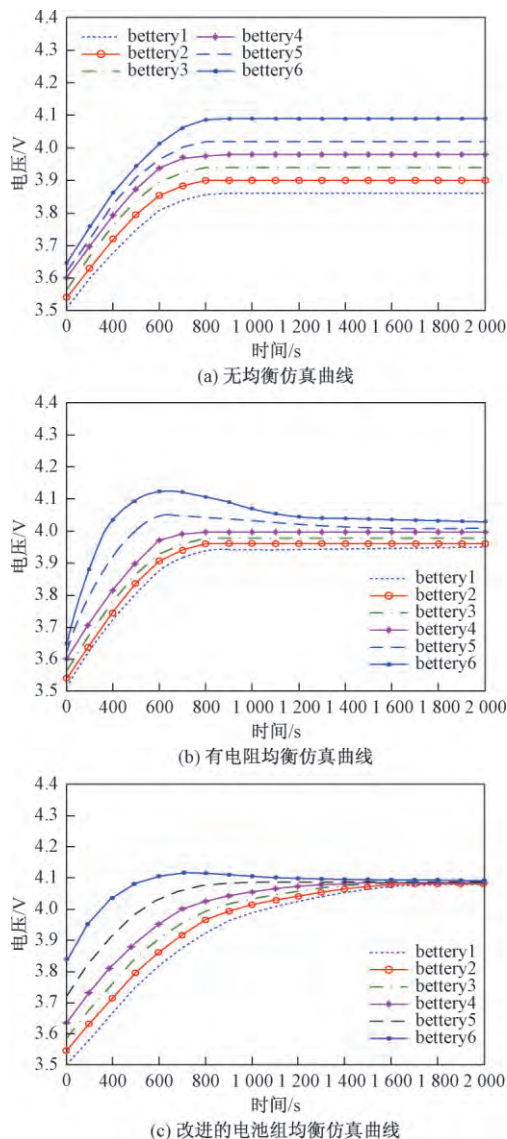


图8 均衡仿真图

Fig. 8 Balance simulation chart

增加,压差也随之增加,各单体电压不一致性加大。图8(b)中6节单体电池的电压首先是上升的,其中6号单体电池因初始容量大,所以电压上升的最快,但是当电压继续上升到一定值时,达到均衡的条件使MOS管导通,均衡电阻接入电路,电池电压出现了下降,电压的不一致性有所改善。但从图8(c)可以看出,采用改进后的均衡方案,各单体之间的差距进一步缩小,单体之间的电压逐渐趋近到一个固定的值,进一步验证了所改进的均衡方法的均衡效果。

4 系统测试分析

以某厂生产的18650型锂电池为研究对象,最高充电电压4.2V,最低放电电压2.75V,额定电压3.7V,额定容量2200mA·h,内阻50mΩ。在现有条件的基础上,搭建了一个实验测试平台(图9)。

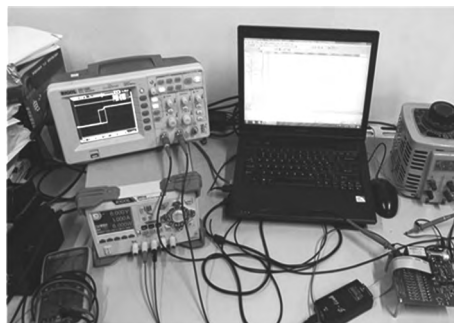


图9 实验平台实物图

Fig. 9 Experimental platform physical map

实验一共分两组同时进行测试,两组测试实验采用的是同种型号的电池,两组电池组的初始值对应相等,在相同的外界条件下进行测试,并且两组充电的时间也是严格相同。第一组测试,是在电池组没均衡条件下进行的充电测试,第二组测试,是在加了均衡管理系统之后进行的测试,两次实验都是每10min采集一次数据,记录下每节电池的电压变化,共采集6次,用标准偏差来说明实验的均衡效果。

首先,要求的是电压的期望值:

$$E(u) = \bar{u} = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 u_k \quad (1)$$

其次,求电压的标准偏差:

$$\sigma(u_k) = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 v_k^2} \quad (2)$$

式(2)中 $v_k = u_k - \bar{u}$,记录两组测试的实验数据,如表1所示。

由表1可知,最大初始压差为 $\Delta V = 3.55 - 2.90 = 0.65(V)$,不加均衡情况下,充电最大终止压差是0.58V。加了均衡系统之后,最大终止压差是0.27V。

均衡前 β 节电池的电压期望为

$$E_1(u) = \frac{3.55 + 3.70 + 3.81 + 3.95 + 4.06 + 4.13}{6} = 3.87 \quad (3)$$

均衡前 β 节电池的标准偏差为

$$\sigma_1(u_k) = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 v_k^2} = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 (u_k - \bar{u})^2} = \sqrt{\frac{1}{6} [(3.55 - 3.12)^2 + \dots + (4.13 - 3.12)^2]} = 0.202 \quad (4)$$

均衡后 β 节电池的电压期望为

$$E_2(u) = \frac{3.93 + 4.01 + 4.05 + 4.10 + 4.15 + 4.20}{6} = 4.07 \quad (5)$$

表 1 两组实验数据测验结果

Table 1 Test results of the experimental data of the two groups

时间/min	无均衡情况下的电压变化/V						加均衡系统后的电压变化/V					
	1 号电池	2 号电池	3 号电池	4 号电池	5 号电池	6 号电池	1 号电池	2 号电池	3 号电池	4 号电池	5 号电池	6 号电池
0	2.90	3.02	3.06	3.15	3.23	3.35	2.90	3.02	3.06	3.15	3.23	3.35
10	3.07	3.12	3.25	3.35	3.40	3.55	3.19	3.22	3.28	3.32	3.41	3.50
20	3.17	3.17	3.41	3.54	3.67	3.73	3.36	3.45	3.50	3.59	3.64	3.78
30	3.31	3.49	3.60	3.72	3.81	3.90	3.58	3.65	3.74	3.81	3.90	4.00
40	3.45	3.61	3.72	3.85	3.95	4.06	3.75	3.82	3.89	3.96	4.03	4.12
50	3.51	3.65	3.79	3.92	4.05	4.10	3.85	3.91	3.99	4.05	4.12	4.20
60	3.55	3.70	3.81	3.95	4.06	4.13	3.93	4.01	4.05	4.10	4.15	4.20

均衡后 6 节电池的标准偏差为

$$\sigma_2(u_k) = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 v_k^2} = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 (u_k - \bar{u})^2} =$$
$$\sqrt{\frac{1}{6} [(3.93 - 4.07)^2 + \cdots + (4.20 - 4.07)^2]} =$$

0.089 (6)

均衡前后 6 节锂电池的电压性能指标如表 2 所示。

表 2 均衡前后各电压性能指标

Table 2 Voltage indicators before and after equalization

时间/min	无均衡情况下各电压性能指标		加均衡系统后各电压性能指标	
	期望/V	标准偏差/V	期望/V	标准偏差/V
0	3.12	0.146	3.12	0.146
10	3.29	0.164 4	3.32	0.107 2
20	3.47	0.196 5	3.55	0.136 1
30	3.64	0.198 3	3.78	0.142 7
40	3.77	0.205 5	3.93	0.124 6
50	3.84	0.210 4	4.02	0.119 2
60	3.87	0.202	4.07	0.089 2

由实验的分析结果可知, $E_1(u) < E_2(u)$, $\sigma_2(u_k) \ll \sigma_1(u_k)$ 6 节电池在均衡过程中电压趋于一致, 期望变高, 标准偏差变小, 两组电压的标准偏差如图 10 所示。

从图 10 中可以看出, 星号代表的曲线是在无均衡条件充电的情况下绘制的标准偏差, 电压的标准偏差会随着时间的增加而增大, 变化不稳定。小黑

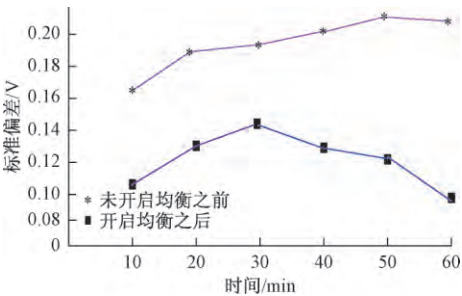


图 10 标准偏差对比曲线

Fig. 10 Standard deviation comparison curve

方形代表的曲线是在有均衡条件的情况下绘制的电压的标准偏差, 均衡开启后, 当系统检测到电压高于设定的电压时, 便启动均衡系统对电池进行均衡管理。标准偏差明显的减小, 相比不加均衡稳定很多, 电池组的电压一致性明显的好于未开启均衡的情况。

5 结论

本文完成了对电池管理系统的软硬件设计, 包括电压检测、电流检测、电源电路、均衡电路等的设计, 软件方面也给出了主程序和均衡模块的流程图。并运用 MATLAB 中的 Simulink 工具, 搭建了电池的仿真模型, 对传统的电阻耗能均衡及改进的均衡方案进行了仿真分析, 仿真结果表明: 采用改进的均衡方案电压偏差明显减小, 单体之间的电压逐渐趋近到一个固定的值, 电池组的电压一致性明显的好于传统的均衡方案。此外选取 6 节 18 650 型电池对电池管理系统进行了均衡实验测试, 对所得的结果进行了数学分析, 求出了均衡前后电压的期望值和方差值, 经过对比分析, 验证了电池管理系统的有效性。

参 考 文 献

- 1 黄剑龙, 潘庭龙, 吴定会. 基于 SOC 的串联电池组新型均衡策略研究. 系统仿真学报, 2017; 29(4): 832—839
Huang Jianlong, Pan Tinglong, Wu Dinghui. Research on new equalization strategy for series-connected battery strings based on SOC. Journal of System Simulation, 2017; 29(4): 832—839
- 2 梁嘉羿, 王友仁, 黄 薛. 串联蓄电池组均衡控制策略研究. 电力电子技术, 2016; 50(11): 63—65
Liang Jiayi, Wang Youren, Huang Xue. Research on the strategy of balancing control for series battery. Power Electronics, 2016; 50(11): 63—65
- 3 鲁文凡, 吕帅帅, 倪红军, 等. 动力电池组均衡控制系统的研究进展. 电源技术, 2017; 41(1): 161—164
Lu Wenfan, Lü Shuaishuai, Ni Hongjun, et al. Research progress of equalization strategy system for power batteries. Power Technology, 2017; 41(1): 161—164
- 4 尹忠东, 王 帅, 张元星, 等. 充电设施对电池管理系统保护需

- 求响应评估. 电力系统自动化, 2017; 41(22): 133—137
Yin Zhongdong, Wang Shuai, Zhang Yuanxing, *et al.* Response assessment of charging facilities to protection demands of battery management systems. Automation of Electric Power Systems, 2017; 41(22): 133—137
- 5 吴永乐, 吴钦木. 电动汽车蓄电池管理技术. 电源技术, 2017; 41(8): 1225—1228
Wu Yongle, Wu Qinmu. Management technology of electric vehicle battery. Power Technology, 2017; 41(8): 1225—1228
- 6 李起伟. 防爆电动车锂电池管理系统设计. 工矿自动化, 2017; 43(4): 5—9
Li Qiwei. Design of lithium battery management system for explosion-proof electric vehicle. Industry and Mine Automation, 2017; 43(4): 5—9
- 7 何志超, 杨 耕, 卢兰光, 等. 一种动力电池动态特性建模. 电工技术学报, 2016; 31(11): 194—203
He Zhichao, Yang Geng, Lu Languang, *et al.* A modeling method for power battery dynamics. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016; 31(11): 194—203
- 8 乔旭彤, 耿海洲, 董 峰. 集中式电动汽车电池管理系统设计. 电子测量与仪器学报, 2015; 29(7): 1019—1027
Qiao Xutong, Geng Haizhou, Dong Feng. Design of centralized battery management system for electrical vehicle. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015; 29(7): 1019—1027
- 9 刘彦甲. 电动汽车电池的多段式智能自动化充电机设计. 科学技术与工程, 2017; 17(28): 80—84
Liu Yanjia. The design of electric vehicle multi segment type intelligent automatic charger. Science Technology and Engineering, 2017; 17(28): 80—84
- 10 黄学杰. 电动汽车动力电池技术研究进展. 科技导报, 2016; 34(6): 28—31
Huang Xuejie. An overview of xEVs battery technologies. Science & Technology Review, 2016; 34(6): 28—31

Research and Design of Battery Management System Based on STM32

DENG Chang-zheng^{1,2}, ZHAO Xia^{1,2}, ZHANG Xiao-yan³

(College of Electrical Engineering & New Energy, Three Gorges University¹,

Hubei Provincial Collaborative Innovation Center for New Energy Microgrid, CTGU², Yichang 443002, China;

State Grid Shandong Province Electric Power Company Jiaxiang Country Power Supply Company³, Jiaxiang 272400, China)

[Abstract] In order to strengthen the management and protection of the battery pack and to reduce the difference between the parameters of the battery pack, a set of battery management system based was designed and proposed on STM32F103VET6. Based on the resistance energy dissipation method and combining with the idea of energy transfer, how to balance management for group was also proposed. The model of lithium battery was established by using MATLAB/Simulink tool and there's a simulation analysis on equilibrium scheme of the battery. The simulation results show that the voltage deviation is obviously reduced with the improved equalization scheme and the voltage between the cells gradually approaches a fixed value. Besides, by using 18650 lithium battery, an equilibrium experiment was conducted for battery management system and obtained the value of expectation and the variance of voltage before and after the equilibrium experiment. After comparative analysis, the validity of the battery management system in voltage balance was found further evidence to verify.

[Key words] battery management system STM32 lithium battery balance management