

基于 MC9S12 与 LTC6811 的储能电站电池管理系统设计

查晓锐¹, 晋成凤¹, 赵 谦¹, 张明艳²

(1. 南京国电南自电网自动化有限公司, 江苏 南京 210000;

2. 国网马鞍山供电公司, 安徽 马鞍山 243000)

摘 要: 设计了一种用于储能电站的电池管理系统(BMS)。基于储能电站 BMS 拓扑结构及锂电池的特性,设计了一种以 Freescale 单片机和 ADI 电池管理芯片(MC9S12 与 LTC6811)为核心的 BMS。该 BMS 可实现对多路电池电压、温度采集及均衡控制;同时,可根据采样数据利用改进型安-时积分法进行电池荷电状态(SOC)计算。根据现场实际数据,将电池电压、温度的采样值与实际值比较,同时对电池均衡效果及 SOC 进行分析。试验结果证明,设计的 BMS 具有较高的采样精度和采样速度,均衡控制合理,SOC 估算值误差较小,验证了所设计 BMS 的实用性。

关键词: 储能电站; 电池管理系统; 电池电压采集; 电池温度采集; 均衡控制; 电池荷电状态

中图分类号: TM 912 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2020)07-0058-04

doi: 10.12177/emca.2020.048

Design of Battery Management System for Energy Storage Power Station Based on MC9S12 and LTC6811

ZHA Xiaorui¹, JIN Chengfeng¹, ZHAO Qian¹, ZHANG Mingyan²

(1. Nanjing Guodian Nanzi Automation Co., Ltd., Nanjing 210000, China;

2. State Grid Ma' anshan Power Supply Company, Ma' anshan 243000, China)

Abstract: A battery management system (BMS) for energy storage power station is designed. Based on the topology of the BMS of energy storage power station and the characteristics of lithium batteries, a BMS with Freescale microcontroller unit (MCU) and ADI battery management chip(MC9S12 and LTC6811) as core devices is designed. BMS can realize the voltage and temperature collection and balanced control of the batteries of multiple circuits. Meanwhile, based on the sample data, the state of charge (SOC) of the battery can be calculated by utilizing the designed improved ampere-hour integration method. Based on the real data, the sampled values of battery voltage and temperature are compared with the real values, meanwhile the balanced effects and SOC are analyzed. Experimental results prove that the designed BMS has high sampling accuracy and sampling speed, and the balanced control is reasonable. The error of the estimated SOC value is small, indicating the practicability of the designed BMS.

Key words: energy storage power station; battery management system; battery voltage collection; battery temperature collection; balanced control; state of charge (SOC)

0 引 言

风电、光伏等新能源在能源结构中的占比不

断提升,但由于风力和太阳能发电的随机性、间歇性和波动性等特点,导致与用户相对固定的用电需求难以匹配。为了保持电网平衡,锂电池储能

收稿日期: 2020-03-19; 收到修改稿日期: 2020-04-29

作者简介: 查晓锐(1989—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为储能电站电池管理系统关键技术。

技术在电网调峰调频、分布式发电以及微电网领域的应用场景正不断被开发并推广^[1]。然而,实际应用中锂电池需要经过多次串并联才能达到储能系统的要求,在使用过程中可能出现过充、过放等现象,且由于生产工艺、使用情况等原因单体电池电压之间会出现不一致性,电池使用时间越长,不一致性会越大^[2]。针对此情况,可以通过电池管理系统(BMS)实现单体电池及电池组的数据采集、信息交互、均衡控制、电池荷电状态(SOC)估算及告警等功能,进而维持储能系统安全可靠运行^[3]。目前,BMS的研究多集中在电动汽车领域,针对储能电站应用场景的较少。文献[4]以STM32F407为核心控制器,以TI的BQ76PL536为电池管理芯片设计了一种电动汽车用BMS。

本文采用 Freescale 的单片机作为微控制单元(MCU),同时采用专业的电池管理芯片,设计了一种应用于储能电站的BMS。该BMS可实现对单体电池电压、温度信息的采样,并根据采样数据进行逻辑运算及SOC计算,进而下发相应指令进行告警信号输出、风扇起停等动作。同时,根据采样的电池信息及设计的均衡算法进行电池均衡管理,提高了电池的一致性,增加了电池的使用寿命。本文对BMS的整体设计方案进行阐述;对BMS的各个模块的硬件设计回路进行说明;采用一种改进型安时积分法对BMS的SOC进行估算。对所设计的BMS进行试验测试,验证了该BMS的功能合理性及可靠性。

1 BMS 整体设计

储能电站BMS采用一主多从拓扑结构^[5],一个电池接口管理单元(BIMU)下挂有若干个电池簇管理单元(BCMU),一个BCMU下挂有若干个电池管理单元(BMU)。其中,BMU作为整个系统的最基础部分,主要功能包括电池电压、电池温度采集及均衡控制等,并将采样数据处理以后通过CAN总线上送至BCMU。BCMU根据BMU上送数据进行SOC计算和告警逻辑判断,进而下发指令至BMU执行相应的动作,如控制风扇起停、开出回路输出告警信号等。BIMU可对BMS基本信息进行显示,并可在界面人工修改定值。

本文所设计的BMS框图如图1所示。BMU

通过MCU、电池管理芯片与多路开关配合最多扩至12路电池电压采样回路与16路温度采样回路,并可通过SPI总线将采集的电池电压与温度数据传至MCU。BMU设有2路CAN通信回路,可通过CAN总线与BCMU进行通信。

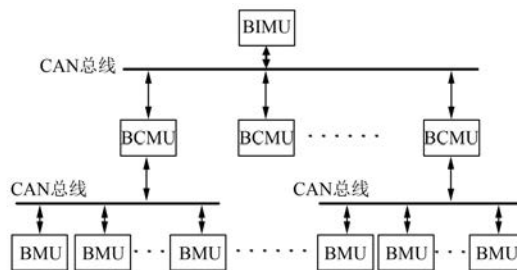


图1 BMS整体结构设计框图

其中,电池管理芯片采用LTC6811,多路开关采用ADG1606,MCU采用Freescale的MC9S12XEP100MAL芯片,采样芯片采用TI的ADS8588。

BCMU根据BMU上送数据结合采样芯片采集的母线电压、母线电流、绝缘电阻进行SOC计算和告警逻辑判断,进而下发指令至BMU执行相应的动作,并将采集数据及逻辑判断结果通过CAN总线上送BIMU进行界面显示^[6]。

2 系统硬件电路设计

2.1 电池电压采集及均衡控制电路

电池电压采集及均衡电路如图2所示。LTC6811芯片内置2个16位ADC采样模块,单个ADC采样模块最多可采6路电池电压,采样结果按字节存放在电池电压寄存器内^[7]。

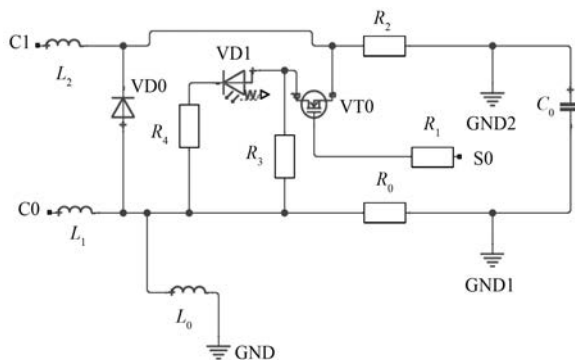


图2 电池电压采集及均衡电路

LTC6811芯片内置了放电回路,其中C0~

C12 为电池的输入引脚, S0~S12 管脚用于电池均衡, 文中电池均衡采用被动均衡方案, 利用外部 MOSFET 进行电池均衡放电, 避免芯片上的发热过大造成热停机, 降低芯片损坏风险, 从而延长芯片使用寿命^[8]。如果在电池组中存在过充电现象 (即单体电池电压过大), 在 MCU 中通过指令用 S 引脚输出电压导通外部的 MOSFET 开关, S 引脚充当驱动 MOSFET 栅极的数字输出, 对电压较高的电池进行放电。图 2 中, R_3 为 $33\ \Omega$ 的放电电阻, 用于消耗多余电能, 为了增加电阻散热面积采用 2512 封装。在各个放电回路中并联 LED 指示灯, 当均衡开启时, 放电电池所对应回路的 LED 灯会亮起, 说明该回路所对应电池处于均衡放电状态^[6]。电池管理芯片 LTC6811 通过 SPI 总线与 MCU 通信, SPI 总线 4 个引脚通过上拉电阻连接到 LTC6811 内置稳压源, LTC6811 通过电池组供电。

2.2 电池温度采集电路

电池管理芯片 LTC6811 自带 5 路 GPIO 回路, 可通过与多路开关 ADG1606 配合, 完成对电池温度的采样。ADG1606 有 16 路采样回路, 4 路通道选择回路^[9], 将 MCU 的 4 路 GPIO 管脚与 ADG1606 的通道选择管脚 A0~A3 相连, 用于选择采样通道, LTC6811 的 GPIO1 与 ADG1606 的 DOUT 管脚相连, 接收温度采样数据。ADG1606 最多可外扩 16 路温度采样回路, 采用 NTC 可采集 12 节电池温度、电池周围环境温度、控制板温度等, 温度采样点丰富。

3 电池剩余电量估算算法

SOC 直接关系到电池的使用寿命及充放电效率, 常用 SOC 估算方法有安-时积分法、开路电压法、卡尔曼滤波法等^[10]。其中, 安-时积分法是最常用的 SOC 估算方法, 短时内的预测较为准确, 但 SOC 的初始值及电流测量的不准确会导致 SOC 误差随时间累积越来越大。开路电压法利用电池开路电压与 SOC 的对应关系估算 SOC, 无法动态计算 SOC 值。卡尔曼滤波法通过递推计算 SOC 的最小方差估算, 需要依赖高精度的电池模型^[11]。本文在综合考虑计算难度和精度的基础上, 设计了一种结合安-时积分法和查表法的改进型安-时积分法。

基于改进型安-时积分法估算 SOC 的步骤如下:

(1) 估算 $SOC(t_0)$ 。当 BMS 第一次上电运行时, 电池组处于空载状态, 采用开路电压法估算 $SOC(t_0)$ ^[12]。通过查找 SOC-OCV 数据表的方式获取 SOC, 该数据表为 SOC 和开路电压的对应关系, 与电池特性相关。

(2) 估算 $SOC(t)$ 。如果电流为零时间超过设定的时间阈值, 则认为电池恢复到平衡状态, 端电压与开路电压相等, 采用开路电压法查表估算 $SOC(t)$ 。

若电流为零时间未超过时间阈值, 则认为电池处于充放电状态, 根据 $SOC(t_0)$ 的值, 采用安-时积分法估算 $SOC(t)$ 。安-时积分法的计算式如下^[13]:

$$SOC(t) = SOC(t_0) + \frac{1}{Q_{rate}} \int_{t_0}^t k_T k_I k_L i dt \quad (1)$$

式中: $SOC(t)$ 、 $SOC(t_0)$ 分别为 t 、 t_0 时刻的 SOC; Q_{rate} 为电池额定容量, 仅与电池特性有关; k_T 、 k_I 、 k_L 分别为温度、电流、循环次数相关的系数, 可通过处理试验数据获得^[14]。

2 种方法的切换逻辑如图 3 所示。

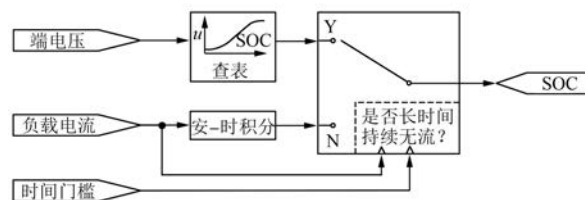


图 3 SOC 切换逻辑

4 试验验证

根据河北秦皇岛储能电站提供的电池数据, 在电池均衡放电过程中, 将采集的电压值与电池电压实际值比较, 结果如表 1 所示。由表 1 可知, 电池电压的采样值和实际值的误差在 0.002 V 以内, 采样精度高。

在电池均衡放电过程中, 将采集的电池温度值与使用 Aglient 34980A 测得的实际值比较, 结果如表 2 所示。由表 2 可知, 电池温度的采样值与实际值的误差约为 $1\ ^\circ\text{C}$, 满足实际应用的精度要求。

表 1 单体电池电压测量值与实际值比较

电池序号	电池电压实际值/V	电池电压测量值/V	误差/V	电池序号	电池电压实际值/V	电池电压测量值/V	误差/V
1	3.571	3.571	0	7	3.563	3.561	0.002
2	3.577	3.575	-0.002	8	3.570	3.571	0.001
3	3.585	3.586	0.001	9	3.569	3.570	0.001
4	3.567	3.568	0.001	10	3.571	3.571	0
5	3.570	3.571	0.001	11	3.584	3.584	0
6	4.040	4.041	0.001	12	3.580	3.581	0.001

表 2 单体电池温度测量值与实际值比较

电池序号	电池温度实际值/℃	电池温度测量值/℃	误差/℃	电池序号	电池温度实际值/℃	电池温度测量值/℃	误差/℃
1	31.578	31.721	1.143	7	35.145	35.653	0.418
2	29.762	28.965	-0.797	8	30.652	30.879	0.227
3	34.351	34.965	0.624	9	35.672	35.821	0.149
4	29.874	29.164	0.710	10	30.472	30.862	0.390
5	35.254	35.672	0.418	11	35.314	35.982	0.668
6	36.762	36.985	0.223	12	30.761	31.192	0.431

由表 1 可知,6 号电池电压为 4.040 V,其余电池回路的平均电压为 3.573 V,6 号电池触发被动均衡。每隔 10 s 记录 6 号电池电压,记录的测量数据如图 4 所示。由图 4 可知,6 号电池电压在向 3.573 V 逼近,直到被均衡电池与 3.573 V 的压差小于设定的压差阈值,放电停止,各个电池的电压基本达到一致,均衡用时约 200 s。

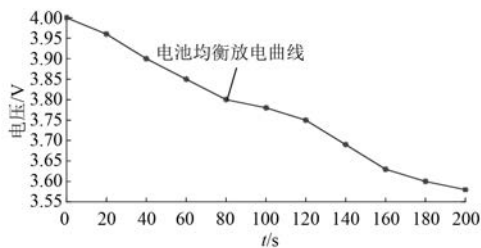


图 4 均衡控制测量结果

通过充放电历史数据求得 k_T 、 k_I 及 k_L , 对 SOC 估算结果进行验证。 k_T 、 k_L 计算结果如下:

$$k_T = 1 + 0.007 \times (T_{mid} - 25) \tag{2}$$

$$\begin{cases} k_L = 1, SOC_Cycle < 500 \\ k_L = 0.98, 500 \leq SOC_Cycle < 1\,000 \\ k_L = 0.95, SOC_Cycle \geq 1\,000 \end{cases} \tag{3}$$

式中: T_{mid} 是电池平均温度;SOC_Cycle 是电池循环次数; k_I 的计算根据电池厂家的数据结合 Peukert 公式进行计算^[15]。

将开路电压法根据理想情况下电池模型计算的各种时刻电池 SOC 作为实际值,对试验数据进行仿真,得到改进型安-时积分法和实际值的变化曲线,如图 5 所示。结果表明,改进型安-时积分法的 SOC 估算误差约为±10%,满足系统的精度要求。

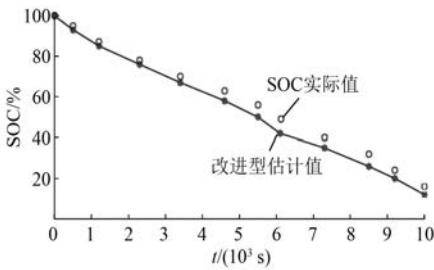


图 5 SOC 估算值

5 结 语

采用 MC9S12XEP100MAL 和 LTC6811 设计了一种储能电站的 BMS,通过合理的软硬件设计,可实现对电池组的有效管理,具备实时监测、通信、均衡等功能。同时,设计了一种改进型安-时积分法,能较准确地估算出电池组的剩余电量。通过试验验证,该系统电池电压测量误差在 0.002 V 以内,电池温度测量误差约为 1 ℃,SOC 的估算误差约为±10%,设计方案切实可行。

(下转第 86 页)