纯电动汽车电池管理系统研究与设计

冯　勇，王　辉，梁　骁
（湖南大学 电气与信息工程学院，湖南 长沙　410082）

摘要：在研究大量锂电池动态性能的基础上，研发了纯电动汽车电池管理系统（BMS，battery management system）。该系统以 PIC18F4585 为核心处理器，可以实时监测母线电压、母线电流、电池单体电压、温度、漏电流等参数。利用双线性 Z 变换来实现二阶巴特沃斯低通滤波器的设计，消除了高频扰动，降低了系统的成本。系统在线测试和硬件在环仿真结果表明，温度控制的精度为 ±0.5 ℃，电压和电流的测量精度为 0.5%。系统具有较高的可靠性和稳定性，具有良好的应用价值。

关键词：电动汽车；电池管理系统；巴特沃斯低通滤波器；dSPACE
中图分类号：TP274⁺.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000 - 8829(2010)09 - 0054 - 04

Research and Design on Battery Management System for Electric Vehicle

FENG Yong, WANG Hui, LIANG Xiao
(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A battery management system (BMS) for electric vehicle is presented, which is based on dynamic capability of Li-ion battery. The core of the system is the MCU PIC16F4585, and the generatrix voltage, generatrix current, single battery voltage, temperature, leakage current can be measured by this system. A bilinear Z-transform is used to design a second-order Butterworth low-pass filter, which can eliminate high-frequency disturbance and reduce the cost of the system. System online testing and hardware-in-the-loop simulation test results show that the precision of temperature control is ±0.5 ℃, and the precision of measurement of voltage current is 0.5%. The system is with good reliability and stability, and has a good value for practical application.

Key words: electric vehicle; battery management system; Butterworth low-pass filter; dSPACE

能源问题日益成为制约国际社会经济发展的瓶颈。传统内燃机汽车尾气含有大量的废气，危害城市环境，引发呼吸系统疾病，造成地表空气臭氧含量过高，使城市环境转向恶化[1]。越来越多的国家开始实行“绿色新能源计划”，寻求经济发展的新动力，力求解决环境问题。作为无污染的交通工具，电动汽车越来越受到人们的关注，有着很好的发展前景[2]。

在电动汽车的研究开发与产业化的过程中，蓄电池及其管理系统作为主要的动力源部件是其中最为重要的一个环节[3]。电池管理系统能够实现实时监测电池参数并估计其荷电状态（SOC），为驾驶员提供剩余电量、续驶里程等信息；能防止电池过充、过放、过压、过流、过高温[4]，其优劣直接决定着动力电池组的使用寿命，一个合适的电池管理系统能够在充分发挥电池优越性能的同时，给予电池最佳的保护，保证电池性能，延长电池寿命，降低电动汽车运行成本[5]。本文设计了一种电池管理系统，实现了对锂电池进行实时监测和控制的功能。

1　电池管理系统硬件设计

电池管理系统主要功能包括数据采集、通信、安全控制、热管理、SOC 估计等[4]。参考典型的 BMS 结构框图[6]，设计出电池管理系统结构框图，如图 1 所示。

该电池管理系统以 PIC18F4585 单片机为核心处理器，其具有 10 位 A/D、内部 E^2PROM、CAN 控制器、UART 等功能模块，有利于简化系统设计，提高系统可

收稿日期：2010 - 03 - 26
作者简介：冯勇（1984—），男，湖南岳阳人，硕士研究生，主要研究方向为电池管理系统和电力电子技术；王辉（1960—），男，湖南阮江人，教授，博士，主要研究领域为电力电子变流技术，风力发电技术和控制工程；梁骁（1985—），男，湖北嘉鱼人，硕士研究生，主要研究领域为控制理论与控制工程、电力电子控制技术。

靠性,降低成本。系统硬件主要包括数据采集、通信、安全控制、热管理等模块。

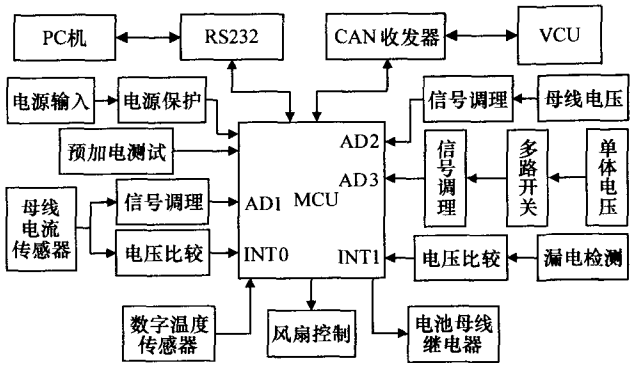

图1 电池管理系统结构框图

1.1 数据采集电路设计

电压、电流测量准确度将直接影响到SOC估计的精度[7]。图2为电压采样电路图。母线正负极电压由L_1、L_2组成的初级滤波电路滤波后,经过R_1、R_2、R_3、R_P采样电路进行采样,之后通过基于LM258的放大电阻转化成0~5 V电压,送往单片机的A/D端口。由于母线电压很高,系统中加入了由D1、D2组成的保护电路,以保证单片机安全工作[8]。

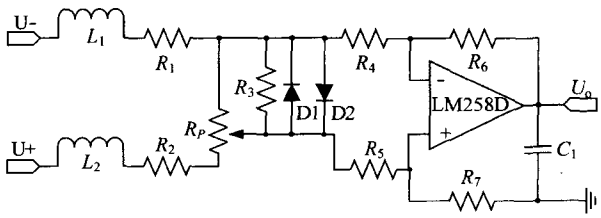

图2 电压采样电路图

对电池单体电压进行采样时,必须对地进行隔离[7]。本设计中,使用AQW214EH光控MOS管开关实现对电池单体进行循环采样,在任意时刻,都只采集一个单体电压。不但提高了系统的可靠性,而且降低了成本。电流的采样通过霍尔电流传感器实现。输出的信号经分压、比较、放大后进入MCU进行处理。

1.2 通信模块设计

与一般的通信总线相比,CAN总线的数据通信具有突出的可靠性、实时性和灵活性,因而在汽车电子中得到了广泛的应用。

系统的微处理器PIC18F4585带有CAN控制器,同时以PAC82C250芯片为CAN总线收发器,电池管理系统通过CAN与整车控制器(VCU)等其他控制模块进行通信。为保证通信质量,在CAN收发器与微控制器之间加入了6N137芯片进行光耦隔离,同时CAN专用电源对信号地和模拟地进行了隔离。此外,为了方便对系统进行参数调试,预留了UART端口与计算机进行通信。

1.3 安全控制模块设计

电动汽车动力电池总电压一般在300 V以上,因此必须设计安全控制模块。本设计的安全控制模块如图3所示。

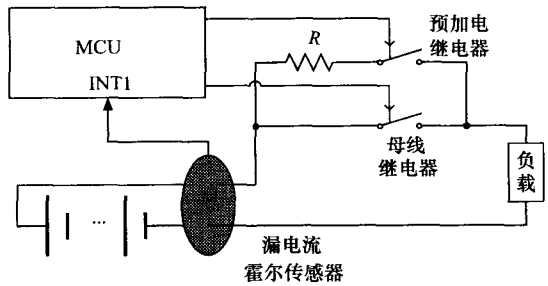

图3 安全控制模块

在电池接入车辆前,系统使预加电传感器闭合,将一个大电阻R通过预加电继电器接入电池母线,并检测其他参数,确保车辆运行正常后再断开预加电继电器,闭合母线继电器,将电池直接接入车辆。

漏电流霍尔传感器用来检测系统漏电故障。将正负母线同时穿过霍尔传感器,若系统发生漏电故障,则通过正负母线的电流代数和不为0,霍尔传感器输出电流信号。本系统中,设定当电流信号大于25 mA时,漏电检测电路向CPU发送中断请求。CPU响应中断,切断母线继电器,并将故障信息发送给整车控制器(VCU)。

1.4 热管理模块设计

电池包的位置及外部条件都可能导致不均匀的温度分布。温度分布不均会引起电池单体之间的电压不均衡,从而影响电池及整车的性能[9]。

电池温度平衡的主要方法是通风处理和使用散热板,采用有限元方法对并行通风和串行通风进行分析,结果表明并行通风的效果要明显高于串行通风[9]。本设计中,热管理模块如图4所示。

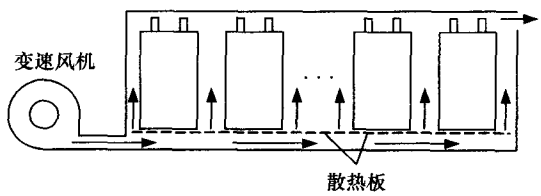

图4 热管理模块

在电池包的不同位置共安置了6个数字温度传感器DS18B20。每隔1 s,系统就通过总线对DS18B20进行采样,当检测到任一点的温度或者温度变化率高于设定值时,启动变速风机。仅当所有点的温度及其变化率都低于设定值时,停止变速风机。

1.5 硬件抗干扰设计

汽车其他设备和充电时的强电磁干扰,会使电池

管理系统出现大量数据误采集情况。因此采取以下防干扰措施:① 在电池包和汽车之间以及电池管理系统电源接口电路中接入高频滤波旁路电容,消除共模干扰[10];② 子板和模板之间加入高速数字隔离器 ISO721,防止子板的过电压对母板的冲击。

2　电池管理系统软件设计

2.1　电池管理系统软件流程

本设计采用模块化的设计方法,以实现对动力电池的有效管理。从功能上将系统软件设计分为初始化、数据采集、温度控制、SOC 估计、CAN 通信和中断服务几部分。软件流程如图 5 所示。

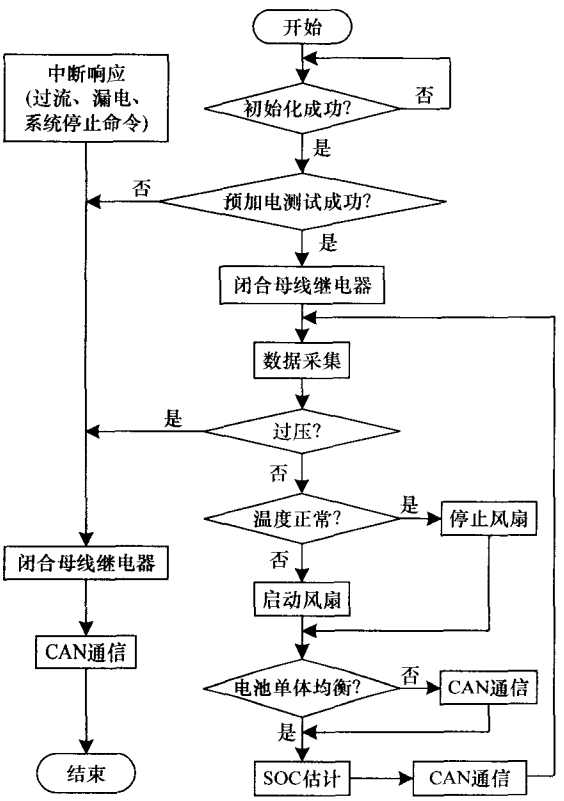

图 5　系统软件流程

系统中断响应服务程序包括过流、漏电等外部中断服务,当预加电测试失败或者电池电压过高时,系统也会进入中断响应,以保障车辆及乘员的安全。

考虑到电动汽车车内电磁环境较恶劣,本设计完全避免了使用多分支语句,以减少电磁干扰对系统的影响。通过 RS232 与上位机相连,以方便对系统参数进行标定,并观测电压、电流、温度及 SOC 估计值等。

2.2　软件抗干扰设计

电池管理系统电磁环境恶劣,极易受到各种电磁信号,如 IGBT 和功率二极管频繁导通截止的干扰,直接影响数据采集的精度,降低系统的可靠性和稳定性。对于该类干扰信号在硬件抗干扰外加以软件滤波,不但能提高滤波效果,还能降低系统成本[10]。

考虑到 IGBT 和功率二极管导通截止等干扰的频率都在 100 Hz 以上,本系统采用双线性 Z 变换实现了一个二阶巴特沃斯低通滤波器,以消除高频干扰。巴特沃斯低通滤波器转移函数[10]如下

$$|G(jw)|^2 = 1/[1+(\frac{w}{w_\sigma})^2] = \frac{1}{1+(-1)^n s^{2n}}/S = jw/w_\sigma \tag{1}$$

式中,w_σ 为截止频率;n 为滤波器阶数;S 为复频率变量。

本设计为二阶滤波器,即 $n=2$,系统的采样周期 $T=5$ ms,数字滤波器的截止频率 $f_{od}=50$ Hz,故二阶巴特沃斯低通滤波器原型连续滤波器为

$$G(s) = 1/(1+\sqrt{2}s+s^2) = 2/T\tan(w_{od}T/2) = 400 \text{ rad/s} \tag{2}$$

式中,$w_{od}=\frac{1}{f_{od}}=0.02$ s。

预弯曲变换的函数为

$$G(s) = 1/[1+\frac{\sqrt{2}s}{400}+(\frac{s}{400})]^2 \tag{3}$$

整理得

$$G(s) = 160000/(160000+565.6s+s^2) \tag{4}$$

对其进行双线性 Z 变换得

$$S = \frac{2}{T}\frac{z-1}{z+1} - 1250\frac{z-1}{z+1} \tag{5}$$

将式(5)代入式(4)中,得

$$G(z) = \frac{1+2z+z^2}{8.52-7.04z+2.52z^2} = \frac{0.397+0.794z^{-1}+0.397z^{-2}}{1-2.794z^{-1}+3.381z^{-2}} \tag{6}$$

式(6)的差分方程为

$$Y(nT) = 0.397X(nT)+0.794X[(n-1)T] + 0.397X[(n-2)T]-2.794Y[(n-1)T] + 3.381Y[(n-2)T] \tag{7}$$

根据式(7),可以使用软件滤波代替硬件滤波来消除时间序列中的高频干扰,并降低系统成本。

3　系统测试试验

系统设计完成后,采用 10 节额定电压为 3.2 V、标称容量为 50 A·h 的锂电池封装包进行周期性放电试验。由于电压、电流、温度的真值难以确定,为了验证本设计电池管理系统的有效性和准确性,在周期性放电试验的同时进行了基于 dSPACE 的硬件在环仿真测试试验。

dSPACE 是德国 dSPACE 公司开发的建立在 Matlab/Silmulink 环境下的开发、测试工作平台,该平台可实现与 Matlab/Simulink 的无缝连接,测量精度高,可

以作为真值参考。本试验中,将电池管理系统测量的结果通过 UART 输送到 PC 机与真值进行比较。

表 1 给出了 7 组随机采样的电压、电流、温度的测试值、真值以及测量误差。

表 1 周期性放电试验结果

采样点	测量值/V	电压真值/V	误差/%	测量值/A	电流真值/A	误差/%	测量值/℃	温度真值/℃	误差/℃
1	33.90	34.06	-0.47	5.27	5.25	0.38	32.7	33.1	-0.4
2	33.44	33.57	-0.39	6.10	6.13	-0.49	38.5	38.9	-0.2
3	33.17	33.10	0.21	5.66	5.68	0.35	35.6	35.3	0.3
4	32.79	32.94	-0.46	5.15	5.16	-0.20	35.3	34.9	0.4
5	32.17	32.04	0.41	4.83	4.84	-0.21	37.8	37.7	0.1
6	31.31	31.20	0.35	5.85	5.84	0.17	34.9	35.3	-0.4
7	30.65	30.74	-0.29	4.97	4.99	-0.40	39.5	39.3	0.2

由表 1 可知,该电池管理系统电压测量精度小于 0.5%,电流测量精度小于 0.5%,温度误差小于 ±0.5 ℃。测试表明,该电池管理系统测量精度较高,功能完善,运行稳定,能够有效地提高锂电池性能。

4 结束语

本文设计了基于 PIC18F4585 电动汽车电池管理系统,实现了数据采集、通信、安全控制、热管理、SOC 估计等功能。与传统电池管理系统相比,该系统具有预加电测试和防漏电功能,更能有效保证乘员的安全,并且系统精度高、可靠性强,有较强的应用价值,对纯电动汽车的发展有良好的促进作用。

在进一步的研究中,将深入探讨电动汽车电池荷电状态的估算算法,以实现对电池电量的准确估计。

参考文献:

[1] (日)电气学会 电动汽车驱动系统调查专门委员会. 电动汽车最新技术[M]. 康龙云,译. 北京:机械工业出版社,2008:1-6.

[2] 祝占元. 电动汽车[M]. 郑州:黄河水利出版社,2007:1-5.

[3] Ehsani M, Gao Y M, Gay S E, et al. Modern electric, hybird electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design[M]. CRC Press, 2005:1-17.

[4] 陈清泉,孙逢春,祝嘉光. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002: 238-248.

[5] Qiang J X, Yang L, Ao G Q, et al. Battery management system for electric vehicle application[A]. IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety[C]. 2006: 134-13.

[6] Wang X P. A modular battery management system for HEVS [D]. The University of Toledo, 2002.

[7] Chatzakis J, Kalaitzakis K, Voulgaris N C, et. al. Designing a new generalized battery manangement system [J]. IEEE Transactions on Industrical Electronics, 2003, 50(5): 990-999.

[8] Pesaran A A. Battery thermal models for hybrid vehicle simulations[J]. Journal of Power Sources, 2002, 110(2): 377-382.

[9] 曹莹瑜,齐铂金,郑敏信. 电动汽车电池管理系统抗干扰设计[J]. 工业控制计算机,2005,18(12).

□

(上接第 50 页)

了基于 TMSF240DSP 的软件控制系统,充分利用了 DSP 的高速运算能力和丰富的片内外设资源,提高了软件系统的实时性、准确性,最后还详细分析了试验结果,对无轴承永磁同步电机控制系统的设计具有实用的参考价值。

参考文献:

[1] 章云,谢莉莲,熊红艳. DSP 控制器及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

[2] 刘和平,严利平,张学峰,等. TMS320LF240x DSP 结构、原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002-04.

[3] 清源科技. TMS320LF240x DSP 应用程序设计教程[M]. 北京:机械工业出版社,2003-07.

[4] 李朝青. 单片机 & DSP 外围数字 IC 技术手册[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.

[5] 陆玉军. 无轴承异步电动机系统仿真及轴向磁轴控制研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2002.

[6] Texas Instruments. TMS320C1x/C2x/C2xx/C5x Assembly Language Tools User's Guide[Z]. 1995.

□

(上接第 53 页)

5 结束语

本文针对该油田的实际生产状况设计了油井监测系统,基本满足了油田对于抽油机监控的需要。和市场上现成的 RTU[5] 组态方案相比,具有系统资源利用率高、价格低廉、便于维修等特点,具有一定的应用价值和市场前景。

参考文献:

[1] 李正军. 计算机测控系统设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004-01.

[2] ATMEL 公司. ATmega16/ATmega16L 中文数据手册[Z].

[3] 潘峥嵘,滕尚伟,尹晓霈,等. 基于 GPRS 的油田抽油机远程在线监控系统的设计与实现[J]. 工业仪表与自动化装置,2008,(2):28-30.

[4] [美]Travis J, Kring J. LabVIEW 大学实用教程(第 3 版)[M]. 乔瑞萍,等 译. 北京:电子工业出版社,2008-06.

[5] 苏善伟. 一种具有四遥功能 RTU 的设计与实现[J]. 仪表技术,2007,(9):3-5.

□