

ISG 型中混合动力汽车镍氢电池管理系统的研制^①

杜晓伟^{②*} 任 勇^{**} 齐铂金^{③*} 吴红杰^{*} 廖瑾瑜^{*} 刘 波^{**} 朴昌浩^{**}

(* 北京航空航天大学机械工程及自动化学院 北京 100191)

(** 重庆长安汽车股份有限公司 重庆 401120)

摘 要 以 ISG 型中混合动力汽车(HEV)用镍氢动力电池组为控制对象,设计了以数字信号处理器(DSP)为控制核心的电池管理系统(BMS)。该系统应用复杂逻辑控制器件和光耦开关阵列,实现了各路模块电压和总电压的分时、周期性采集。在电流和温度的采样方面,以简便、实用的硬件电路对传感器信号进行转换,并进行软件滤波处理,得到准确的采样值。在采样准确的基础上,实现了基于查表-线性插值算法的电池组最大充放电功率的估算,并应用卡尔曼滤波方法对电池荷电状态(SOC)进行了预估,从而准确地反映出电池的能量状态,使整车能更好地分配能量的使用。

关键词 ISG 型混合动力汽车(HEV),镍氢动力电池组,电池管理系统(BMS),电池荷电状态(SOC)

0 引 言

电池管理系统(battery management system, BMS)是混合动力汽车(hybrid electric vehicle, HEV)的关键控制单元,近年来,国内外对其进行了大量的研究,取得了一定的成果。日本丰田、美国通用等国外著名汽车公司研制的电动汽车上配备的电池管理系统都达到了产品化水平。在我国,一些汽车企业联合高校等研究机构投入了大量的人力、物力进行研究,达到了一定的技术和应用水平^[1,2]。电池管理系统负责对电池组的工作参数进行实时监测,并对电池组的能量状态进行准确估计,同时根据得到的状态信息来进行相关的故障诊断,确保电池组的安全使用^[3]。电池组能量状态的估计被认为是电池管理系统的关键技术,电池组能量状态一般通过电池组的荷电状态(state of charge, SOC)来反映^[4]。本文所研究的电池管理系统是以 ISG 型中混合动力汽车为应用平台,该车型所采用的镍氢动力电池组由 120 个单体串联组成,其中每 10 个单体串联组成为一个模块,电池组标称电压 144V,容量为 6A·h。所研制的电池管理系统可以实现对电池组状态参数的精确监测,在此基础上提出以电池组的荷电状态和充放电功率作为电池组能量状态的定义,分别采取卡尔曼

滤波修正方法及查表-线性插值算法对其进行估算。同时,所研制的电池管理系统具有故障诊断、继电器控制及通讯功能。

1 电池管理系统硬件设计

本电池管理系统以型号为 TMS320LF2407A 的数字信号处理器(digital signal processor, DSP)器件作为控制核心,利用其丰富的片上外设功能,包括 A/D 模块、控制器局域网(CAN)通讯接口、串行通信接口(SCI)和 I/O 口等^[5],辅之以电源模块和相应功能模块的电路扩展来实现系统的控制要求。系统的硬件结构如图 1 所示。

车载电瓶为 BMS 提供的电源电压为 12V,经滤波和 DC/DC 模块变换为 $\pm 15V$ 和 5V 电平。 $\pm 15V$ 用于模拟电路供电,5V 电平作为不同数字模块的电源,包括通讯模块和 DSP 主控模块。在 DSP 主控模块中,5V 电源通过 TPS7333Q 芯片转换为 3.3V 电平,为 DSP 供电。同时,该芯片可在上电时产生复位脉冲,使 DSP 完成复位过程。

电池管理系统将电池组的状态信息,包括模块电压、总电压、温度和电流信号等,通过硬件处理电路转化为 A/D 转换模块可识别的模拟电压信号,实现数据的采集。同时,DSP 的 CAN 通讯模块经隔离

① 863 计划(2007AA11A103)和长安汽车混合动力资助项目。

② 男,1984 年生,博士;研究方向:电池管理系统;E-mail: duxiaowei333@163.com

③ 通讯作者, E-mail: qbj@buaa.edu.cn
(收稿日期:2009-04-09)

和接口变换后接入 CAN 局域通讯网络,实现与整车控制器的信息交换。SCI 通讯模块经抗干扰隔离和电平转换后,最终采用 RS232 电平实现与上位机的信息交换。DSP 的数字 I/O 口具有双向的电平传输能力,本系统通过电路上的扩展,输入方向的 I/O 口用来实现绝缘检测,输出方向的 I/O 信号一部分实

现对继电器的控制,一部分作为电压采集通道的选择信号。此外,利用 DSP 的片外存储扩展功能,对非易失性存储器(non-volatile random access memory, NVRAM)进行寻址和读写,实现运行过程中历史数据的掉电保存。

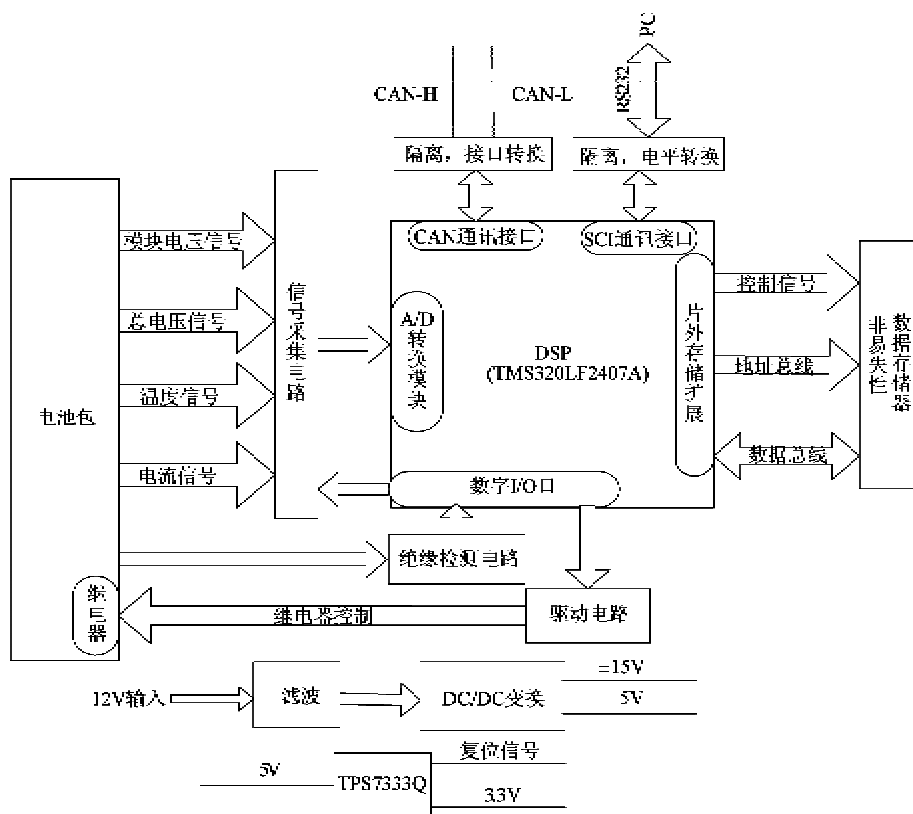


图 1 电池管理系统硬件结构

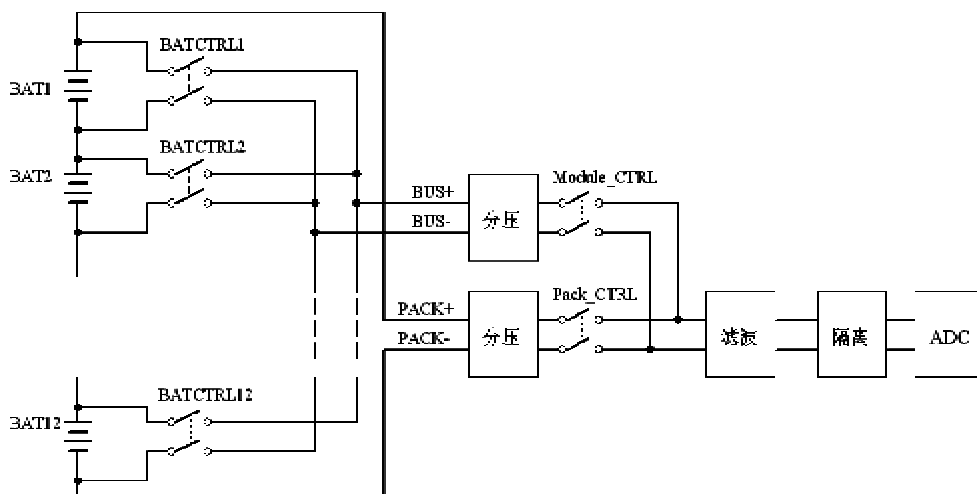


图 2 电压采集方案

采样模块是电池管理系统的基本功能,负责电池电压、温度、电流进行采集,为电池能量状态的计算和故障诊断提供数据。

1.1 电压采集

在系统中,模块电压和总电压通过光耦开关的选择实现独立、分时采集。模块电压的采集采取“巡检”的方式。即按照一定的间隔周期,通过光耦开关依次将各个电池模块的正、负极同时接入模块电压的正极总线和负极总线,在总线上经分压后,为避免和总电压采集信号冲突,再通过一次开关选择进入后续的处理,包括滤波、隔离和 A/D 转换等。而总电压则是通过单独分压后经光耦开关选择进入滤波等处理电路。电压采集方案如图 2 所示。BATCTRL1—BATCTRL12 为模块电压采集通道选择信号。Module_CTRL 为模块电压选择信号,PACK_CTRL 为总电压选择信号。以上控制信号通过复杂逻辑控制器件对 DSP 的控制信号进行译码后得出。

1.2 温度采集

采用热敏电阻作为温度传感器,由于热敏电阻的阻值随温度的变化呈现非线性,在本设计中通过串并联电阻对其进行了近似的线性化处理。处理电路如图 3 所示。

经线性化处理后,采样电压与温度呈分段的线性关系。根据电压采样值,采取分段线性插值的方式得到温度值。采集温度范围 -40 ~ 100℃。

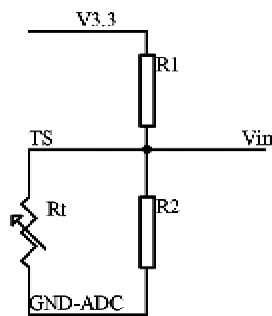


图 3 温度采集电路

1.3 电流采集

BMS 采集的电流信号包括电池组充、放电电流和电池组对车载 DC/DC 变换器的输入电流,分别采用两种不同量程的霍尔电流传感器,其输出的小电流信号经电阻转化为电压信号,其中放电电流电压信号为正电位,经跟随器进入 A/D 转换模块,而充电电流的电压信号为负电位,需经反向器进入 A/D 转换模块。对电池组来说,DC/DC 的工作电流只有

一个方向,其电压信号被设置为正电位,经跟随器进入 A/D 转换模块。BMS 中规定充电电流为正,放电电流为负,可采集范围为 -200A ~ 200A,规定 DC/DC 工作电流为正,可采集范围为 0A ~ 20A。

2 电池管理系统软件设计

根据控制要求,系统的软件部分由 8 个任务组成,包括系统的初始化,采集处理任务,CAN 发送任务,SOC 的计算,温度和电压数据处理,功率估算,电池状态监控功能和串口发送(图 4)。除初始化任务外,每个任务的执行周期为 10ms。其中,采集处理任务是最基本的任务,其优先权最高。系统采用定时器中断触发方式实现任务执行的周期性。

定时器产生的中断有下溢中断和周期中断两种。周期中断被用来触发任务的执行,中断周期为 10ms。在下溢中断的服务程序中,包含有电压采集通道的选择和查询方式的 CAN 接收过程,中断周期为 10ms。除了定时器中断外,软件中还设置了串口接收中断,用来接收上位机发送的信息。

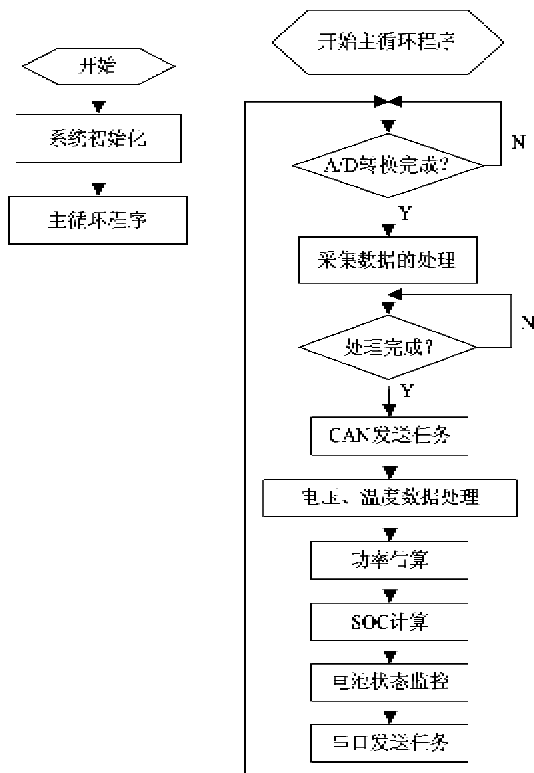


图 4 系统软件流程图

在软件实现的任务中,初始化任务主要是对 DSP 中各个模块的寄存器参数进行配置,包括时钟倍频设置、定时器设置、CAN 通讯各个参数设置以

及串口通讯设置等。采集处理任务是对 A/D 转换结果进行处理,包括电压、电流和温度采样结果的处理。CAN 发送任务是向整车报告电池的状态信息,根据整车要求,各信息帧的发送周期不同。温度和电压数据处理任务中,根据采集值查表计算其对应温度,并计算出模块电压的最大最小值。SOC 计算和电池组充放电功率的计算构成对电池能量状态的估算。串口发送任务则是向上位机的显示界面发送信息,实现电池信息的实时显示。电池状态监控功能包含有故障诊断和继电器的控制功能。

3 电池能量状态的估算

3.1 SOC 估算方法

使用 Kalman 滤波的方法对电池的 SOC 进行估计是近年来发展起来的一种新方法^[6]。本文在分析了镍氢动力电池组的工作特性的基础上,采用“预测-修正”原理,应用 Kalman 滤波估算方法对 SOC 进行估算。即在安时积分法的基础上,采用卡尔曼滤波方法进行逐步修正。

具体估算步骤如下:

(1) 上电读取上次运行过程中电池组的剩余电量,计算 SOC 初始值 SOC_0 。

(2) 以当前时刻 k 下 SOC 估算值为初始计算值,结合安时积分法,得到 $k+1$ 时刻 SOC 预估值

$$\hat{S}_{oc}(k+1|k) = \hat{S}_{oc}(k|k) + \left(\frac{i_k \cdot \Delta t}{Q_{full}} \right) \quad (1)$$

其中, i_k 为充放电电流,充电时 i_k 为正,放电时 i_k 为负; Δt 为采样周期; Q_{full} 为电池的静态满荷电量,即额定荷电状态。 $\hat{S}_{oc}(k+1|k)$ 表示在当前时刻 k 下,对 $k+1$ 时刻 SOC 的估计值; $\hat{S}_{oc}(k|k)$ 表示当前时刻 k 下的 SOC 估计值。

(3) 由下一时刻 SOC 的预估值得到下一时刻电池组的输出电压的估计值

$$\begin{aligned} \hat{V}_{bat}(k+1|k) = & b(1) \cdot \hat{S}_{oc}^3(k+1|k) \\ & + b(2) \cdot \hat{S}_{oc}^2(k+1|k) + b(3) \\ & \cdot \hat{S}_{oc}^1(k+1|k) + b(4) + i_k \cdot R_n \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $\hat{V}_{bat}(k+1|k)$ 为电池组电压的估计值; $b(1), b(2), b(3), b(4)$ 为电池模型系数,根据电压与 SOC 的对应关系曲线,以数据拟合的方式得到; R_n 为电池组内阻。

(4) 计算电压估计误差

$$\tilde{V}_{bat}(k+1) = V_{bat}(k+1) - \hat{V}_{bat}(k+1|k) \quad (3)$$

(5) 根据卡尔曼滤波方法确定修正增益 K ,并得

到最终滤波结果:

$$\begin{aligned} K(k+1) = & P(k+1|k) H^T(k+1) \cdot [H(k+1) \\ & \cdot P(k+1|k) \cdot H^T(k+1) + R_{k+1}]^{-1} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \hat{S}_{oc}(k+1|k+1) = & \hat{S}_{oc}(k+1|k) + K(k+1) \\ & \cdot \tilde{V}_{bat}(k+1) \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $P(k+1|k)$ 为估计误差方差阵,一般根据计算误差要求,取为定值。 H 为系数矩阵; R 为正定对称矩阵。

(6) 估计结果可以作为 $k+2$ 时刻估计的输入,循环步骤(2) - (5)。

综上所述,在 SOC 计算中,安时积分法中不考虑充放电效率等其他因素的影响,使用卡尔曼滤波方法产生的修正值对其进行补偿,缩小估计误差,使滤波结果逼近模型值。

3.2 电池组最大充放电功率的计算

动力电池组为混合动力汽车提供加速助力时,其可提供的最大放电功率成为整车对电池组助力能力的重要参考,而最大充电功率则是电池组回收能量能力的重要参考。

最大充放电功率的计算以电池组的开路电压为参考,同时在温度较高时,严格限制电池组的充放电功率,防止温度持续升高对电池组性能造成的破坏。程序中采用查表及线性插值算法,即建立电池组特征开路电压与最大充放电功率的对应关系表,根据采集得到的开路电压值,查表并线性插值得到其对应的最大充放电功率值。温度较高时,根据温度对功率进行限制,此时的最大充放电功率取两种限制条件下的较小值。

4 实验及分析

ISG 型中混合动力轿车在设计完成后,已经进行了多项试验,包括高、低温试验,山路试验,高原试验等。图 5 为车辆在启动、加速和制动过程中电池管理系统向整车控制器发送的电池 SOC、电压和电流数据,图中充电电流符号为正,放电电流符号为负。从图中可以看出,车辆在运行规程中,电流方向及大小变化频繁,充放电电流倍率高,充电电流达到 10C(C 为充电倍率,1C 为 6A),放电电流达到 15C 左右。电压随电流变化波动也比较大,而 SOC 通常保持在 40% ~ 70% 的范围,电池组处于浅充浅放状态,能够达到充分助力和能量回收的效果。同时在运行过程中 SOC 未出现突变情况,符合整车的控制要求。

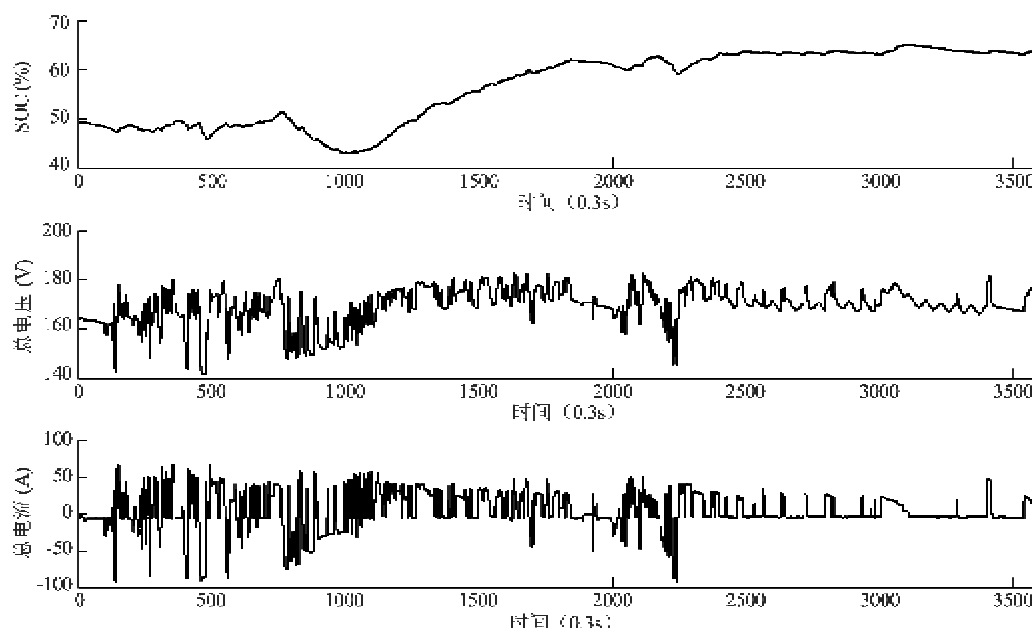


图 5 车辆运行时 SOC、电压和电流变化曲线

5 结论

本文设计的集中式镍氢动力电池管理系统成功应用于长安 ISG 型中混合动力轿车,实现了对电池组性能参数的监测和估计,满足了整车的控制要求,实现了对电池组 SOC 和最大充放电功率两种能量状态的估算,保证了电池组对整车加速时的助力作用以及制动时对能量的充分回收,整车达到了节能、减排的目的。

参考文献

- [1] 张忠义, 姜嘉曦, 杨林等. 混合动力汽车电池管理系统. 机电工程技术, 2006, 35(1): 61-64
- [2] 陈清泉, 孙逢春, 祝嘉光. 现代电动汽车技术. 北京: 北京理工大学出版社, 2002. 238-239
- [3] 吴东兴, 关道净, 齐国光. 高精度预测 SOC 的混合动力车电池管理系统的研究. 高技术通讯, 2006, 16(4): 391-394
- [4] 郑敏信, 齐铂金, 吴红杰等. 混合动力客车锂离子动力电池管理系统. 高技术通讯, 2008, 18(2): 173-178
- [5] 吴红杰. 混合动力电动车镍氢动力电池管理技术: [博士学位论文]. 北京: 北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 2006
- [6] Plett Gregory L. LiPB dynamic cell models for Kalman filter SOC estimation. In: Proceedings of the 19th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition (EVS19), Busan, South Korea, 2002. 1860-1871

Development of a Ni-MH battery management system for ISG medium HEV

Du Xiaowei*, Ren Yong**, Qi Bojin*, Wu Hongjie*, Liao Jinyu*, Liu Bo**, Piao Changhao**

(* School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191)

(** Chongqing Changan Automobile Company Limited, Chongqing 401120)

Abstract

A battery management system (BMS) based on a digital signal processor (DSP) was designed for the nickel-metal hydride (Ni-MH) battery pack used in ISG medium hybrid electric vehicles (HEV). The BMS samples every module's voltage and the total voltage of the battery pack in a time-sharing, periodic way, with the application of complex programmable logic device and the array of photo couplers. As for the data acquisition of current and temperature, the sensor signals are converted and modified by effective hardware circuits. In the software design, these signals are filtered to acquire accurate results. On the basis of accurate data acquisition, the maximum charge power and discharge power of the battery pack are calculated by the query table-linear interpolation method. Meanwhile, the state of charge (SOC) is estimated with the application of a Kalman filter. The power state and SOC can reflect the energy state of the battery pack precisely. It is benefit for ISG HEV to distribute its energy properly.

Key words: ISG hybrid electric vehicles (HEV), Ni-MH power battery pack, battery management system (BMS), state of charge (SOC)