

基于DSP的电动汽车蓄电池电量计量 及荷电状态估计

左适够¹, 周 亚^{1,2}, 张 达³

(1. 上海交通职业技术学院, 上海 200431; 2. 上海市交通学校, 上海 200431;
3. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 荷电状态是反映蓄电池能量的重要参数, 是电动汽车整车控制器制定能量控制策略的重要依据。为了解决电动汽车蓄电池电量计量及荷电状态估计问题, 设计了基于数字信号处理器(DSP)的蓄电池电量快速计量系统, 采用安时法对蓄电池充放电容量进行了估计, 通过放电率、温度、自放电及容量老化等补偿措施来提高计量精度, 并分析了温度与充放电倍率对蓄电池容量的影响。试验结果表明, 补偿后的安时法可准确地估计蓄电池荷电状态, 最大充放电倍率随温度升高而增大。

关键词: 电动汽车; 蓄电池; 荷电状态; 数字信号处理器

中图分类号: TM912; U469.72; TH71

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)04-0461-04

Electricity quantity measurement and SOC estimation of storage battery in electric vehicle based on DSP

ZUO Shi-gou¹, ZHOU Ya^{1,2}, ZHANG Da³

(1. Shanghai Communications Polytechnic, Shanghai 200431, China;

2. Shanghai Communications School, Shanghai 200431, China;

3. School of Electronics and Information, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: State of charge (SOC) is a critical parameter which reflects the energy state of storage battery. SOC is an important basis of energy control strategy in electric vehicle controller. In order to solve the problem of electricity quantity measurement and SOC estimation of storage battery in electric vehicle, a rapid electric energy measuring system based on digital signal processor (DSP) was designed. Ampere-hour method was adopted to estimate the charge and discharge capacity of storage battery. Compensation measures such as discharge rate, temperature, self-discharge and capacity ageing were used to improve the precision of computation. Meanwhile, influences of temperature and charge-discharge rate on battery capacity were analyzed. Experiments results show that SOC can be accurately estimated by compensated Ampere-hour method and the maximum charge-discharge rate increased with the temperature increment.

Key words: electric vehicles; storage battery; state of charge (SOC); digital signal processor (DSP)

0 引 言

电动汽车技术的进步是人们解决环境和能源问题的重要举措之一。蓄电池及其管理系统对电动汽车的性能具有重要影响。荷电状态(SOC)是蓄电池剩余容量与完全充电状态容量的比值, 是反映蓄电池能量的重要参数^[1]。由于蓄电池在不同工作状态下动态特性

十分复杂, 如何精确地判定电池的荷电状态成为较大难题, 而蓄电池管理系统不仅影响动力电池工作的效率和续驶里程, 而且影响电池的使用寿命^[2], 为此蓄电池荷电状态检测及蓄电池管理系统的优化成为电动汽车开发的关键技术之一^[3-4]。

本研究提出基于DSP芯片控制的实用而高效的蓄电池快速计量系统, 并对蓄电池充放电容量的预测和

估算方法进行研究。

1 蓄电池电量计量系统

由于蓄电池在不同工作状态下动态特性十分复杂,如何精确地计量蓄电池的电量成为电动汽车关键技术之一。以DSP芯片为控制核心的蓄电池计量系统如图1所示,该系统拟采用分布式结构。传感器采集到电压、电流和温度等信号,通过多路转换开关控制,经滤波器和模数转换后输入主控CPU单元。各电池组模块与DSP主控制器之间采用CAN总线进行通信,CAN总线的测控系统在可靠性、适应性、扩展性、可维护性、容错性、故障判别和管理等方面具有明显的优势。

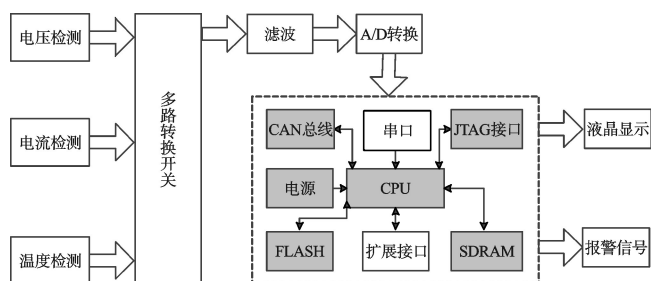


图1 蓄电池计量系统结构

1.1 主控CPU单元设计

主控CPU单元采集回路中的电压和电流,结合来自各传感器的信息,进行SOC估算并显示相关信息,当某个电池组发生问题时,给出警报,同时还为分析电池组数据提供必要的接口,以及和汽车内其他部件进行通信。

TMS320C2812是一款面向工业控制设计的32位定点DSP芯片,具有嵌入式控制功能,以及运算速度快、数字信号处理能力和事件管理能力等优点,从而可以实现复杂的算法及准确地估算SOC,有效解决基于传统单片机的电池管理系统资源有限、算法简单的问题^[5]。主控CPU原理简图如图2所示,主控CPU包括了电源模块,内、外CAN网模块,存储模块,USB模块和时钟电路模块等。

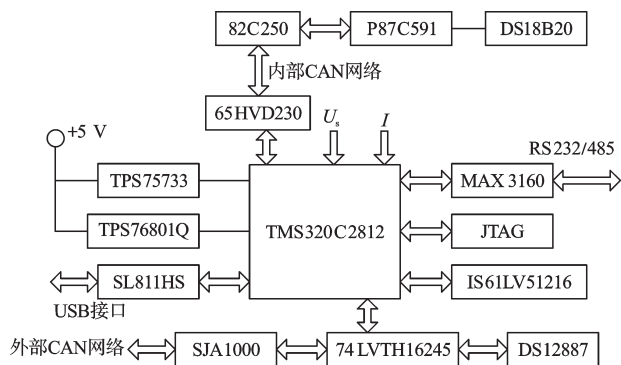


图2 主控CPU原理简图

1.2 电压信号采集

电动汽车上存有强电磁干扰,因此必须进行抗干扰设计。具体措施为:对单组电池电压检测电路采用光隔继电器,消除共模干扰;PCB接入电源与汽车电源地线分离,消除地线窜扰;PCB制板时合理布局布线,减低电磁干扰;对各电路板均外加金属屏蔽罩。

电池组的电压信号采集通过浮地电压测量方式,循环采样各模块的正、负端。由于各模块串联,此时采集到的电压信号正负交替变换,由地址译码器控制的高速光耦阵列,通过控制光耦开关交替开闭,将负电压信号转换为正信号送入隔离放大器,滤波处理后送入A/D处理单元。

1.3 电流信号采样

电流信号的采集由高精度的霍尔电流传感器完成。电流信号经电流传感器转换后的输出为正、负电压信号,但模数转换A/D处理单元只接受单向正电压输入,因此,本研究在后端采用一个加法器,将 $\pm 2.5\text{ V}$ 的双向输入电压信号转换成以 2.5 V 为中心的正电压,随后再通过一个反相比例放大器,将功率放大后送入A/D处理芯片进行处理。

1.4 温度信号采样

温度信号采用热敏电阻进行采样,其反应时间为 $1\text{ s}\sim 2\text{ s}$, $\delta=1.1\text{ mW}/^\circ\text{C}\sim 1.6\text{ mW}/^\circ\text{C}$,测量温度范围为 $-50\text{ }^\circ\text{C}\sim +300\text{ }^\circ\text{C}$,能够满足蓄电池运行要求。

2 荷电状态评估

本研究将蓄电池视为一个密闭的对象系统,采用积分实时测量充入电池和从电池放出的能量,对电池的电量进行长时间的记录和监测,从而能够给出蓄电池任意时刻的剩余电量。该方法虽不受蓄电池的限制,有益于发挥微机监测的优点,但因蓄电池温升、老化等因素而影响其精度,为此本研究建立了相应的电量检测补偿关系。

2.1 安时(Ah)法

蓄电池自身特性及电动车运行环境决定了影响SOC值的因素很多,并且具有动态关系,因此无法直接获得SOC值,只能根据蓄电池的外部特性模型来预测SOC值。蓄电池的电流、电压、内阻以及温度等几个外部参数在一定条件下、一定范围内能够反映出电池的SOC。人们曾提出过许多种估计SOC值的方法,如神经网络法、卡尔曼滤波法、密度法等,实现起来复杂且成本较高,不能有效地解决实用问题;又如开路电压法等误差偏大,难以实用化。本研究采用Ah法并辅以各种补偿的SOC计算模型,具有简单而精确的优点。

SOC计算模型如图3所示,Ah法基于“黑盒”原理^[6],

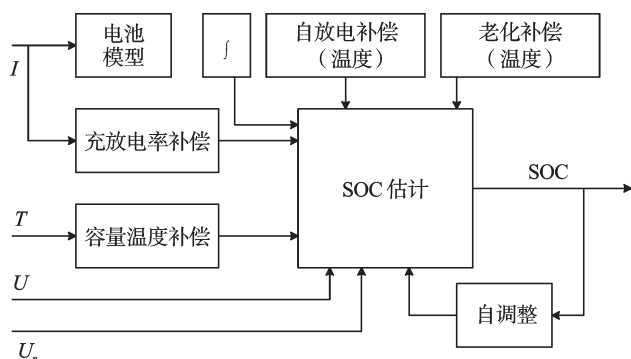


图3 SOC计算模型

它不去考虑电池的内部影响,只考虑进出电池的电量。如果充放电起始状态为 SOC_0 ,那么当前状态下的 SOC_T 值为:

$$SOC_T = SOC_0 - \frac{1}{C_N} \int_0^t \eta I d\tau \quad (1)$$

式中: C_N —额定容量; I —电池充放电电流; η —充放电效率因子,非常数,可由实验获得; SOC_0 —车辆运行时蓄电池初始SOC,可以人为设定,也可以读取系统记录的上次SOC值,或者由增量内阻、负载电压算法来计算获得。当 SOC_T 接近1时,表示蓄电池已经充满电,当 SOC_T 接近0时表明电池中的电量已放光。

由于本研究没考虑蓄电池的其他参数,这样估计的结果偏差较大。实验表明,Ah法估计的SOC值受放电率、电池温度、电池容量老化、电池自放电等几方面影响较大,只要准确地进行补偿,这种方法获得的SOC以达到很高的精度。

2.2 放电率补偿

不同的放电电流下,充、放电效率相差较大。根据电池厂家给出的试验统计结果,本研究可获得蓄电池荷电状态与放电时间的关系^[7]。测试路程采样值和采用Ah模型并进行相应补偿的数值拟合如图4所示,本研究采用了标么制,蓄电池电压12V,标称容量40Ah,进行了4000s放电。实际试验中没有考虑回馈制动产生的能量,即蓄电池一直处于放电状态。

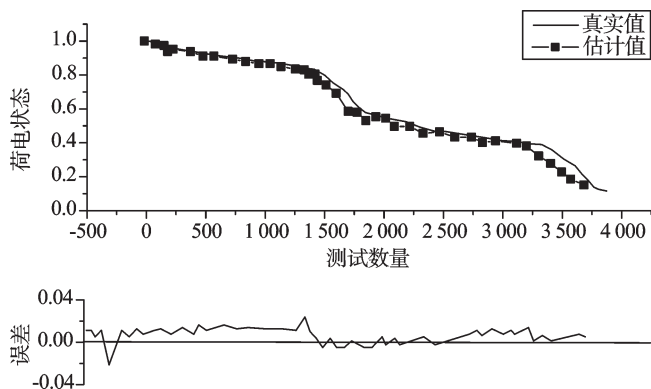


图4 安时(Ah)模型估计曲线

2.3 温度补偿

温度对蓄电池容量的影响很大,温度高时蓄电池可用容量高,温度低时可用容量低。在不同环境温度下,本研究进行恒流充、放电,结果表明:在低于0℃时,蓄电池的放电容量急剧下降;在30℃时,放电容量达到最大值,此时温度继续升高对放电容量的影响并不大。不同放电倍率下,蓄电池有着非常相似的容量变化趋势。温度对蓄电池容量的影响,可用 η_r 表示^[8]:

$$\eta_r = A_0 + A_1 \cdot T - A_2 \cdot T^2 - A_3 \cdot T^3 + A_4 \cdot T^4 \quad (2)$$

式中: T —环境温度;系数 A_0 、 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_4 分别可通过拟合计算得到。充电容量和环境温度的关系,也可通过测量及拟合的方法获得。

2.4 自放电补偿

蓄电池的自放电也是一个不容忽视的因素。按照蓄电池厂商提供的自放电与静置天数、温度拟合的关系曲线,可进行分段补偿。车辆停车期间也要估计电池自放电的大小,本研究在系统中装有芯片PCF8583电池供电,由时钟芯片PCF8583计算上次关机与这次开机时间的差值,计算自放电电量,修改已存的上次SOC值。由于自放电补偿比较复杂,停机时的补偿是个近似值。

2.5 老化补偿

实际应用中,由于电动汽车工况复杂,充、放电过程经常是交替进行的,无法获得电池循环次数的实际数据。可采用近似的方法,用蓄电池所有流进流出的安时数累加总和折算成电池循环次数,参考蓄电池厂商给出的参数曲线进行SOC的老化补偿。

3 温度与充、放电倍率

电池的充、放电倍率是电动汽车能源控制系统的重要参数,它可对电动汽车任意时刻电机输出的最大功率和最大回馈电流做出限定,相当于电池的外特性。本研究用充、放电倍率计算电池的充放电能力,不同容量的电池之间有了相互比较的平台。在电池放电电流大于180A时,只用180A的电流进行验证。本研究分别调整电池的SOC到30%、50%和70%,改变环境温度,测量电池的最大充放电倍率,结果如图5所示。

图5中,最大充、放电倍率随温度升高而增大,最大充电倍率在低于10℃时,随温度下降而急剧下降,而最大放电倍率相对下降得比较平稳。在环境温度很低时,电池只能接受很小的充电电流。考虑到电池的不一致性及温度和SOC的影响,本研究用90%的最大充、放电倍率作为蓄电池的外特性,既起到保护电池的作用,又能使电池的性能充分发挥。

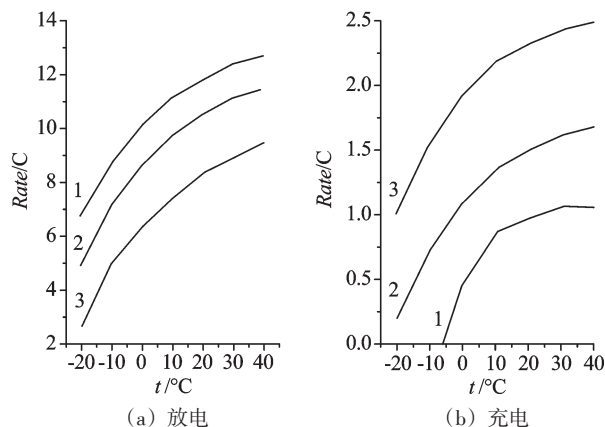


图5 温度与最大充、放电倍率

4 结束语

本研究采用DSP为主控CPU的蓄电池电量计量系统,具有运算速度快、信号处理能力和事件管理能力等优点,可实现数据采集、SOC估计、数据显示、CAN通信、USB存储和安全报警等功能。通过补偿后的安时法估计蓄电池荷电状态,具有结构简单、成本低且适合工程应用的特点;且温度变化对电池容量的影响比充放电倍率大,最大充、放电倍率随温度升高而增大。

参考文献(References):

[1] KIM H. CHA S, PENGH. Optimal control of hybrid electric

vehicles based on pontryagin's minimum principle[J]. **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, 2011, 19(5):1279-1286.

[2] KIM S. Nonlinear state of charge estimator for hybrid electric vehicle battery [J]. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 2008, 23(4):2027-2033.

[3] NIKZAD M R, RADAN A. Accurate loss modelling of fuel cell boost converter and traction inverter for efficiency calculation in fuel cell-battery hybrid vehicles[J]. **IEEE Power Electronic & Drive Systems & Technologies Conference**, 2010(1):218-223.

[4] COLEHAN M, LEE C K, ZHU W G, et al. State-of- Charge determination from EMF voltage [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2007, 54(5): 2555-2557.

[5] 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):33-36.

[6] 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[J]. 高技术通讯, 2006, 16(4): 391-394.

[7] 雷 肖,陈清泉,刘开培,等. 电动车电池SOC估计的径向基函数神经网络方法[J]. 电工技术学报, 2008, 23(5): 81-87.

[8] 刘晓康,詹琼华,吴杰余,等. HEV用卷式铅酸电池的性能研究[J]. 电池, 2006, 36(6): 459-461.

[编辑:李 辉]

(上接第460页)

[2] 米春亭,陆鹤庆. 稀土永磁同步电动机磁路计算方法[J]. 微电机, 1992, 25(3):13-17.

[3] KIM K C, LIM S B. The shape design of permanent magnet for permanent magnet synchronous motor considering partial demagnetization [J]. **Magnetics, IEEE Transactions**, 2006, 42(10):3485-3487.

[4] HIPPOLYTE J L, ESPANET C, CHAMAGNE D, et al. Permanent Magnet Motor Multiobjective Optimization Using Multiple Runs of an Evolutionary Algorithm [C]//Vehicle Power and Propulsion Conference 2008. Belfort: [s.n.], 2008:1-5.

[5] SOORIYAKUMAR G, PERRMAN R, DODDS S J, et al. Design Optimisation for Permanent Magnet Synchronous Motors using Genetic Aalgorithm[C]//Universities Power Engineering Conference (UPEC) 2010. Cardiff, Wales: [s.n.], 2010:1-6.

[6] BINNS K J, SHIMMIN D W. The relationship between Performance Characteristics and Size of Permanent Magnet Motors [C]//Seventh International Conference on (Conf. Publ. No. 412), 1995. Liverpool: [s.n.], 1995:423-427.

[7] 贡亚丽,王文明,张好明. 起动/ 助力/ 发电一体化新型永磁电机计算机辅助设计[J]. 微电机, 2009, 42(12):13-16.

[8] 唐任远. 现代永磁电机理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2010.

[9] 王秀和. 永磁电机[M]. 北京:中国电力出版社, 2007.

[10] 任金波,张 翔. 车用空调永磁直流无刷风机的降噪研究[J]. 机电技术, 2011(2):54-57.

[11] 韩 力,辛 懋,罗辞勇. 基于粒子群优化算法的永磁直流电动机设计[J]. 重庆大学学报, 2009, 32(5):535-538.

[12] 尚 静,邹继斌,赵 猛. 异步起动的永磁同步电动机发展现状与研究方法[J]. 微电机, 2001, 34(5):45-50.

[编辑:张 翔]