

基于改进安时积分法的电动汽车电池SOC估计与仿真研究

为解决安时积分法不能确定电池SOC初始值的问题,采用开路电压法与安时积分法结合的方法(OCV-AH法)估计电池SOC值,并对电池SOC估计系统的控制策略进行研究。控制策略采用开路电压法估计电池SOC的初始值,基于安时积分法实时估计电池SOC。通过Advisor软件获得工况仿真数据,并在Matlab/Simulink中建立OCV-AH法SOC估计仿真模型。仿真分析表明开路电压法能有效消除电池自放电对SOC的影响,为安时积分法提供较高准确度的SOC初始值;OCV-AH法在短时间内估计准确度较高,能够满足电池SOC估计的实际需要,但随时间延长,其估计误差有不断增大的趋势。

范兴明 曾求勇 张 鑫/桂林电子科技大学电气工程及其自动化系



范兴明/教授

关键词/Keywords

电动汽车·
电池·
SOC估计·
安时积分法·
开路电压法·

在电动汽车运行中,动力电池荷电状态(State Of Charge, SOC)是电池状态的重要参数。动力电池SOC被用来直接反映电池的剩余电量状况,估计电动汽车的续驶里程。同时,动力电池SOC值也是用来诊断电池健康状况、判断电池是否过充放电等的重要依据之一^[1]。在混合动力系统中,电池SOC是整车控制系统制定最优能量管理策略的重要依据^[2]。因此,准确估计动力电池SOC值,对于延长电池寿命、提高电池的安全可靠性和提高电动汽车整车性能具有重要意义^[3]。

电池SOC受多种因素影响,无法通过传感器直接测量,而是必须通过测量电池电压、工作电流、电池内阻和温度等其他物理量并采用一定的数学模型和

国家自然科学基金(51067002),广西科技攻关重大专项(桂科重1348003-8),广西制造系统与先进制造技术重点实验室主任课题(13-051-09-002Z)。

算法估计得到。目前,国内外常用的电动汽车电池SOC估计方法主要有:①开路电压法^[4],要求电池长时间静置以达到电压稳定,在电池充放电初、末期估计效果好;②内阻法^[5],电池的直流内阻和交流内阻测量都比较困难,且当电池大电流放电时,内阻与电池SOC的关系不稳定;③电化学阻抗谱法^[6],电化学阻抗谱测量比较困难,仅适合在实验室中使用,不适用于电动汽车实车在线估计;④神经网络法^[7],具有自学习能力,能较好地反映电池的动态特性,但需要大量数据进行训练,其估计准确度受训练数据和训练方法影响大;⑤卡尔曼滤波法^[8],误差纠正能力强,但对电池模型准确度和系统处理能力要求高。

安时积分法是在工程实践中最常用的方法。该方法将电池看作一个密闭系统,只关注进出这一密闭系统的电量,而不考虑电池内部复杂的电化学反应。通过负载电流的积分估计电池SOC,简单易行,算法稳定,应用广泛。本文主要针对安时积分法估计电池SOC不能确定初始值的问题,利用开路电压法在电池充放电初期估计效果好的优点,采用安时积分法与开路电压法结合的方法估计电池SOC(本文称为改进的安时积分法,简称为“OCV-AH法”),并设计了电池SOC估计系统的整体结构。在Matlab/Simulink中建立仿真模型,通过电池在美国城市道路循环工况(CYC-UDDS)和欧洲传统城市道路行驶工况(CYC_ECE)等工况下放电时的SOC估

计,验证了该方法的可行性,发现该方法具有较高的估计准确度。

OCV-AH法具体算法

1. 安时积分法

安时积分法是在工程实践中最常用的电池SOC估计方法。其工作原理描述如下^[9]:

假设电池充放电起始状态为SOC₀,那么当前状态的SOC为

$$SOC = SOC_0 - \frac{1}{C_N} \int_0^{\tau} \eta I dt \quad (1)$$

式中, C_N 为额定容量; I 为电池充放电电流, $I > 0$ 对应电池放电状态, $I < 0$ 则对应电池充电状态; η 为充放电效率,不是常数; τ 为充放电时间。

由式(1)可知,安时积分法估计电池SOC值,除了需要测量得到电池充放电电流外,还需要获得准确的电池SOC初始值。该方法自身不能确定电池SOC初始值。

2. 开路电压法

由于电池的开路电压在数值上近似等于电池的电动势,开路电压与电池SOC值具有近似的线性关系,所以可通过测量电池开路电压来估计电池的SOC值^[10]。图1为某电池开路电压与电池SOC值的关系曲线。图中每一个开路电压均有相应的SOC值与之对应,二者具有近似的线性关系。

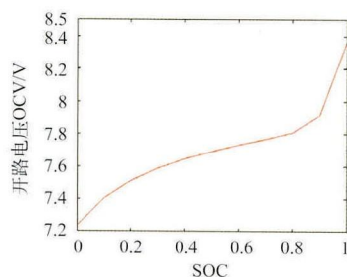


图1 开路电压OCV-SOC关系曲线

开路电压法比较显著的特点是电池需要长时间静置来达到电压稳定,耗时较长,但其在电池充放电初期和末期对电池SOC值的估计效果较好,常与其他方法结合使用。

3. OCV-AH法

相比于安时积分法估计电池SOC值,OCV-AH

法估计电池SOC值的具体算法为:第一步,在电池充放电状态的初始时刻,采用开路电压法估算电池的SOC初始值SOC₀;第二步,以SOC₀为初值使用安时积分法实时估计充放电过程中的电池SOC值。

电池在停止工作进入静置状态后,其电压逐渐稳定,电流为零且没有极化现象,电池SOC值与开路电压有很好的对应关系,因此可用开路电压法直接估算电池的SOC值。当电池再次充电或放电时,电池直接由静置状态转入充电或放电状态。静置状态下的SOC估计值可作为充放电状态下电池SOC估算的初始值。在静置状态下,受自放电因素影响,电池容量会随着静置时间的增加而逐渐减少,其对SOC有一定影响。

因此,在电池进入充放电状态的初始时刻,根据电池开路电压与SOC值的对应关系,采用开路电压法估算电池SOC值,不仅解决了安时积分法不能确定初值的问题,而且可以有效消除自放电对电池SOC的影响,更加准确地反映电池的实际电量状态。

电池SOC估计系统的整体结构设计

为了实现对电动汽车动力电池组SOC的准确估计,电池SOC估计系统需要主控制器、数据采集模块、通信模块、存储模块、显示模块、报警模块和电源模块等功能模块,其整体结构如图2所示。

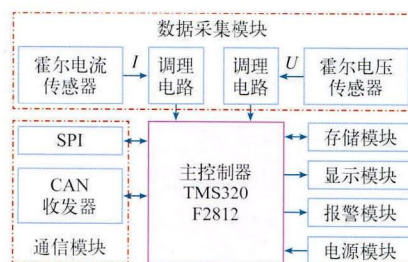


图2 电池SOC估计系统整体结构框图

该系统的主控制器采用TI公司的TMS320F2812数据处理芯片。该芯片数据处理能力强、运算速度快,可有效保证电池SOC在线估计的准确性和实时性。系统利用TMS320F2812的ADC完成对动力电池组母线电压和电流的实时采样,采集的数据

经调理电路处理后即用于电池SOC的计算。为了保证采集数据的准确性，电压和电流的采集分别选用检测准确度较高的霍尔电压传感器和霍尔电流传感器。通信模块中，主控制器通过CAN总线与整车控制单元进行通信，同时通过SPI总线与各单体电池数据采集子板通信。存储模块和显示模块则分别用于电池电压、电流、SOC及相关故障信息的存储与显示。当电池SOC值超过预设阈值时，则通过报警模块进行报警，防止电池过充、过放，有效避免电池受损。

电池SOC估计的建模与仿真

1. 仿真数据获取

Advisor仿真软件是美国可再生能源实验室（Renewable Energy Laboratory, NREL）基于Matlab环境研发的车辆仿真工具，该软件正逐步成为整车测试模拟仿真的首选平台^[11]。在Advisor仿真软件中，选择存储的INSIGHT_default_in车型，仿真的行驶工况选用ECE and UDDS两种工况。电池在ECE工况下，进行了4次循环放电，历时共计780 s。整个放电过程中电池的SOC、电流和电压数据如图3所示，电池SOC值的初始值假设为1。图4为电池在UDDS工况下，放电1 369 s所得的电池SOC、电流和电压数据，其SOC初始值为0.93。

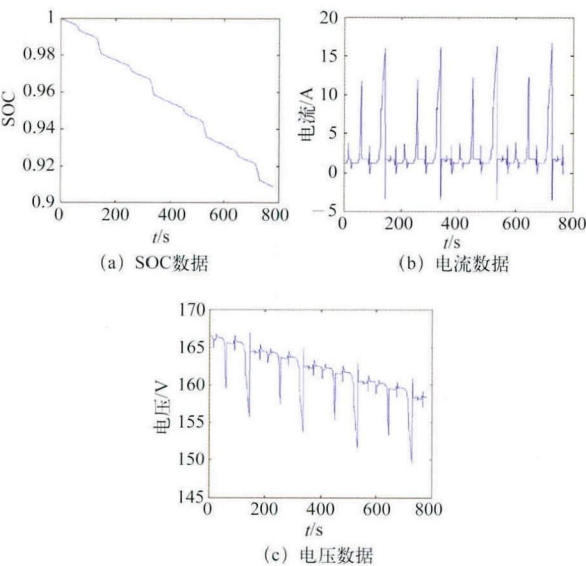


图3 ECE工况下电池的SOC、电流和电压数据

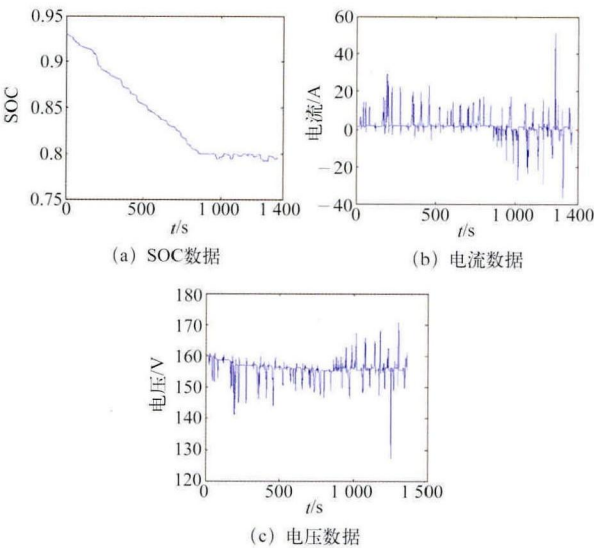


图4 UDDS工况下电池的SOC、电流和电压数据

2. OCV-AH法仿真模型

本文基于Advisor软件仿真中的电池组数据，依据电池组SOC与开路电压OCV的对应关系，如下表所示，建立开路电压法估计模型，通过查表估算电池的SOC初始值。根据OCV-AH估算电池SOC值的仿真模型如图5所示。通过导入在Advisor软件中仿真得到的电流数据作为输入，同时增加一个信号发生器，用于模拟实际工况中的干扰信

表 电池组SOC与开路电压OCV对应关系

SOC	OCV/V	SOC	OCV/V	SOC	OCV/V	SOC	OCV/V
0	144.74	0.3	151.004 3	0.6	153.888 8	0.9	157.529 3
0.1	147.175 4	0.4	152.195 2	0.7	154.625 8	1.0	166.540 6
0.2	149.408 8	0.5	153.117 9	0.8	155.427 7		

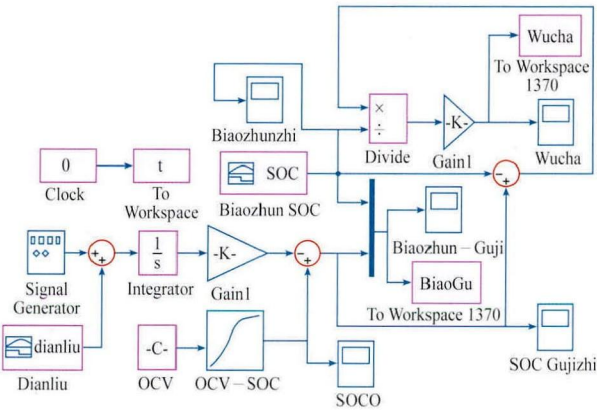


图5 OCV-AH法估计SOC仿真模型

号,利用积分器来实现电流的积分,从而获得电池的电量。导入Advisor软件中仿真得到的SOC数据作为SOC标准值,与OCV-AH法估计值进行对比,从而得到OCV-AH法的估计误差。

3. 仿真实验结果

(1) ECE工况仿真

根据图3中仿真得到的电池放电电流、电压及SOC值,将其导入图5所示的OCV-AH法估计SOC仿真模型中,应用本文的OCV-AH法进行电动汽车电池的SOC估计,其估计结果及误差曲线如图6所示。

从图6a中可以看出,采用OCV-AH法估计模型估计得到的电池SOC值输出曲线与Advisor软件仿真的标准值曲线吻合情况较好。从图6b可以看出,其估计误差整体呈现随时间增加而逐渐增大的趋势,但整个过程中一直保持在8%以内,表明OCV-AH法具有较高的估计准确度,基本满足SOC估计的实际需求。

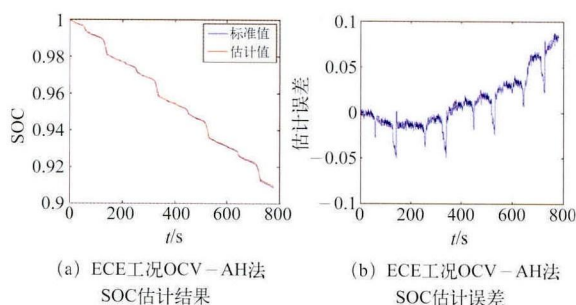


图6 ECE工况OCV-AH法SOC估计曲线

(2) UDDS工况仿真

在图5所示的OCV-AH法估算SOC仿真模型中导入图4中UDDS工况的电池电流、电压和SOC等仿真数据,将本文中的OCV-AH法应用于UDDS工况下电动汽车电池的SOC估计。图7为其估计结果及误差曲线。

在图7a中,OCV-AH法估计曲线和标准值曲线在1 000 s以前吻合情况良好,特别是在放电初始时刻。但随着时间的延长,OCV-AH法SOC估计曲线逐渐偏离标准值曲线。从图7b的OCV-AH法估计误差曲线也可看出,在1 000 s以前,其估计误差较小,特别是在放电初始时刻,估计误差几乎

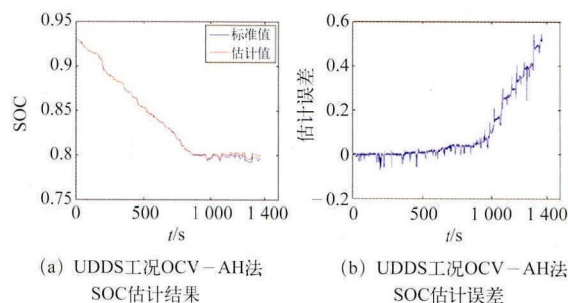


图7 UDDS工况OCV-AH法SOC估计曲线

为零,这表明开路电压法能有效克服自放电现象对电池SOC的影响,估计得到了较高准确度的SOC初始值。但随着时间延长,由于干扰误差在安时积分法估算SOC中的累积,导致估计误差逐渐增大。

通过仿真实验发现,使用开路电压法估计电池SOC初始值,能有效消除自放电对电池SOC的影响,为安时积分法提供较高准确度的SOC初始值;OCV-AH法在短时间内估计准确度较高,能基本满足电池SOC估计的实际需要,但随着时间延长,由于电流测量误差等逐渐累积,其估计误差有不断增大的趋势。

结束语

本文详细介绍了OCV-AH法进行动力电池SOC估计的原理及过程,并设计了电池SOC估计系统的整体结构。通过在Advisor软件中获得工况仿真数据,并在Matlab/Simulink中建立OCV-AH法SOC估计仿真模型,同时对该方法进行了仿真验证。实验结果表明:

1) 开路电压法估计电池SOC在充放电初期具有较好的估计效果,能有效消除电池自放电对SOC的影响,为安时积分法提供较高准确度的SOC初始值,可用于解决安时积分法不能确定SOC初始值的问题。

2) OCV-AH法在短时间内估计准确度较高,能基本满足电池SOC估计的实际需要,但随着时间延长,由于电流测量误差等逐渐累积,其估计误差有不断增大的趋势。

文中利用开路电压法对安时积分法进行改进,有效减小了安时积分法估计电池SOC值的初始

误差。然而,本文也存在一定的局限性,对于安时积分法的累积误差未进行相关处理,导致结果中估计误差不断增大。在今后的研究中,将通过减小电流测量误差或采用其他方法对该累积误差进行修正等举措克服该局限。

参考文献

- [1] 陈虹,宫洵,胡云峰,等.汽车控制的研究现状与展望[J].自动化学报,2013,39(4):322-346.
- [2] 吴红杰,齐铂金,郑敏信,等.混合动力电动车电池荷电状态描述方法[J].北京航空航天大学学报,2005,31(2):223-226.
- [3] Jossen A, Spath V, Doring H, et al. Reliable battery operation-a challenge for the battery management system[J]. Journal of Power Sources, 1999, 84(2):283-286.
- [4] Aylor J H, Thieme A, Johnso B W. A battery state of charge indicator for electric wheelchairs[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1992, 39(5):398-409.
- [5] 裴峰,黄向东,罗玉涛,等.电动汽车动力电池

变流放电特性与荷电状态估计[J].中国电机工程学报,2005,25(9):164-168.

- [6] Karden E, Buller S, Doncker R W D. A method for measurement and interpretation of impedance for industrial batteries[J]. Journal of Power Sources, 2000, 85(1):72-78.
- [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] 魏克新,陈峭岩.基于多模型自适应卡尔曼滤波器的电动汽车电池荷电状态估计[J].中国电机工程学报,2012,32(31):19-26.
- [9] 于海芳,逯仁贵,朱春波,等.基于安时法的镍氢电池SOC估计误差校正[J].电工技术学报,2012,27(6):12-18.
- [10] 林成涛,王军平,陈全世.电动汽车SOC估计方法原理与应用[J].电池,2004,34(5):376-378.
- [11] 张翔,钱立军,张炳力,等.电动汽车仿真软件进展[J].系统仿真学报,2004,16(8):1621-1623.

(收稿日期:2014-05-07) **EA**

(上接第82页)

$165^{\circ}(n=0,1,2,\cdots)$,B相的瞬时电动力 F 达到最大值。

代入 a 和 L 后, $F_{\max}=145\text{ N}$,远小于升降装置的总重力(控制系统、伺服控制器、双丝杆顶伸机构及交流三相铜排组的重力和)。因此,铜排组相间产生的电动力也基本对系统不造成影响。

结束语

本文基于断路器EMC电流特性测试系统采用一套升降装置,实现对EMC测试中电流的准确测量,被测样品与测试电源的有效隔离解决了丝杆的同步、电气连接方式及其特殊处理和电动力与负重等多种问题,满足了检测系统的设计要求,

具有很高的性价比和实用性。

参考文献

- [1] GB 14048.2—2008 低压开关设备和控制设备第2部分:断路器 2006, IDT:附录B、附录F、附录J [S].
- [2] GB 5585.2—1985 电工用铜、铝及其合金线第2部分:铜母线:1-3 [S].
- [3] 李晓艳,班书昊.基于运动稳定性的一种新型升降装置[J].机械设计与制造,2005,12(7):14-16.
- [4] 穆家华. EMC标准与低压电器 [J]. 低压电器, 1995, 6(3):57-58.

(收稿日期:2014-12-23) **EA**