

油电混合动力系统 蓄电池SOC监测系统设计

李海熔* 邹自明 李海侠

(桂林理工大学 机械与控制工程学院, 广西 桂林 541006)

摘要 论文以业内前景看好的车载磷酸铁锂动力电池作为研究对象,基于卡尔曼滤波法并结合开路电压法和安时积分法的复合算法对电池SOC进行估算;基于等效电路的Thevenin模型,用Matlab/Simulink建立仿真模型。通过复合算法仿真验证表明,SOC的估算精度和实时性有显著的提高。设计了电池组SOC监测系统以完成电池电压、充放电电流、温度的监测、电池状态诊断及保护等功能,实现混合动力汽车动力电池剩余电量的实时在线精确估计。

关键词 混合动力汽车;磷酸铁锂电池;荷电状态;SOC监测系统

中图分类号: TM912.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-4859(2014)04-0353-05

现今节能环保已经成为时代主题之一,汽车行业如何才能节能减排实现可持续发展是汽车工业的研究方向,混合动力汽车应运而生,被认为汽车工业的新革命^[1]。近年来,有很多学者研究了电池荷电状态的算法,并在这个领域取得了很多喜人的成果。在SOC估算的研究中,开路电压法在早期就得到了广泛的应用,安时积分法是目前应用最广泛的,放电试验法和内阻法常在实验室中使用。后来,SOC估算的精度要求更高时,一些学者就把几种算法结合起来估计电池的SOC,比如说把安时积分法和开路电压法结合估算,SOC估计的精度得到提高。近几年,随着智能世界的发展,在SOC估算中也出现了一些智能算法的估计,比如说神经网络法、卡尔曼滤波法、模糊控制算法等。

通常所说的混合动力一般指油电混合动力,即燃料(汽油、柴油)和电能的混合。混合动力汽车(Hybrid Electrical Vehicle,简称HEV)是指同时装备两种动力源——热动力源(由传统的汽油机或柴油机产生)与动力源(电池与电动机产生)的汽车^[2]。混合动力系统由于具有两种动力源,其结构形式按两种动力装置输出功率的相互关系分为串联式(SHEV)、并联式(PHEV)和混联式(SPHEV)混合动力系统。

动力电池技术一直是混合动力汽车的核心关键技术。电池性能在比能量、比功率、安全性、可靠性、循环寿命、成本等方面,近十几年取得了很大的进步。目前,混合动力汽车采用的动力电池主要是铅酸、镍氢以及锂离子电池。

1 SOC估算方法

1.1 SOC定义

以磷酸铁锂 LiFePO_4 作为正极材料的锂离子电池,具有能量密度高、价格便宜、安全性能好的特点,最受汽车动力电池的青睐。近几年来,成功开发应用磷酸铁锂电池是全球电池产业的一项重大突破,从根本上解决了电动汽车在电池方面长期面临的难题。电池的荷电状态 State of Charge (SOC)用来反映电池的剩余电量的状态,从电量和能量两个角度来定义电池的SOC。从电量的角度出发将其定义为:电池在一定放电倍率下,剩余电量与相同条件下额定容量的比值^[3]。用数学式表示为:

$$SOC = \frac{Q_R}{C} \quad (1-1)$$

式中: Q_R 表示电池用剩下的电量;

C 表示了电池标称容量。

* 作者简介:李海熔,女,广西玉林市人。硕士研究生。研究方向:智能控制与决策技术。

如果用已经用掉的电量 Q 来计算得荷电状态 SOC, 则定义为:

$$SOC = 1 - \frac{Q}{C} \quad (1-2)$$

通常把指定的温度下, 把电池充电到不吸收任何电量时的状态(SOC)的定义为 $SOC=100\%$, 而把电池不再能再放出电量时的荷电状态定义为 $SOC=0\%$ 。

从能量角度出发的定义式为:

$$SOC = \frac{W_{Re}}{W_{In}} \quad (1-3)$$

式中: W_{Re} —电池的剩余电能;

W_{In} —电池的初始电能。

同样地, 若把电池充满电能的状态定义为 $SOC=1$, 定义式可以表示为:

$$SOC = 1 - \frac{W_{Di}}{W_{In}} \quad (1-4)$$

式中: W_{Di} —电池已经释放的电能。

1.2 SOC 估计方法的比较

动力电池在电动汽车中的放电是一个非常复杂的电化学反应过程, 放电倍率、环境温度、电池内阻、自放电率等因素都会对电池 SOC 值的估计判断产生影响, 同时这些因素又会随着循环使用次数的增加而发生改变, 从而相应地增加了电池建模和 SOC 算法估计的难度。目前比较常用的 SOC 估计方法有基于电流积分的安时计量法, 基于电池端电压测量的开路电压法和电动势法, 基于大量样本数据和神经网络模型的神经网络法, 以及基于电池状态空间模型和递推方程的卡尔曼滤波方法等。

表 1 常用 SOC 估算方法优缺点的比较

SOC 估算方法	优势	缺点	适用场合
安时积分法	可在线测量, 通过电流积分准确估算 SOC, 应用范围广	不能估算初值状态数据, 存在累积误差	实验室、普遍适用于电动车
开路电压法	精度较高, 计算简单	需要电池在非工作状态下获得, 不能满足在线监测要求	电动车不在工作状态下使用
内阻法	电池放电后期电阻增大, 适用于此时电池 SOC 的估算	电池的内阻变化复杂容易受到外界因素影响, 难测量	适合实验场合以及铅酸电池
神经网络法	根据电动汽车工作过程中不同的工况估算 SOC	需求训练大量的样本数据, 需采用更高性能的控制芯片	适用于成熟批量生产的电池
卡尔曼滤波法	可准确估算 SOC, 对噪声干扰有很好处理效果	估算的准确性依赖于电池模型的准确性, 且对系统要求高, 运算量大。	常用于电流变化比较大的电动汽车中

从表 1 中可以看出, 蓄电池会有许多因素影响真实的 SOC, 如: 电池的温度、电池的充电和放电时间、老化等, 只用单种 SOC 估算算法很难达到动力电池组 SOC 的在线实时测量的精确估计。目前, 普遍的研究采用多种算法结合以获得精确的 SOC 值。本设计利用开路电压法获得电池的 SOC 初值, 然后用卡尔曼滤波法的进行 SOC 初值校正, 后用电流积分法进行 SOC 估算。这种复合算法使用了卡尔曼滤波法和 Ah 计量法, 最大程度上减小了 SOC 精度外界干扰的影响。

2 磷酸铁锂电池等效电路模型和 SOC 算法仿真验证

2.1 电池等效电路模型

建立模型就是根据测试出的外部变量来估算出电池的内阻、荷电状态等电池内部的状态变量^[4]。等效电路模型是根据电池的工作原理, 用端电压、电容和电阻等电子元件来构成模拟电池的动态特性。典型的等效电路模型主要有: 线性模型、阻容模型、以及 Thevenin 模型和 PNGV 模型等。

Thevenin 模型能较好地体现电池的动态特性, 考虑到电池温度、电流以及充放电差异的情况

下可以较准确地模拟电池的充放电行为,并且其结构相对比较简单,在动力电池建模中得到了广泛应用。基于上述考虑设计中选择 Thevenin 模型并在此基础上建立磷酸铁锂动力电池的数学模型。

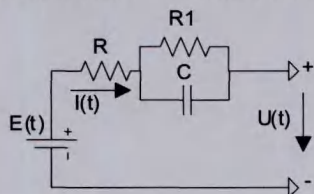


图 1 Thevenin 模型

如图 1 所示 Thevenin 模型,得到如下的数学模型:

$$(2-1) \begin{cases} E(t) = U(t) + RI(t) + U_c(t) \\ I(t) = \frac{U_c(t)}{R_1} + C \frac{dU_c(t)}{dt} \end{cases}$$

由式(3-1)可知,Thevenin 模型需要辨识的参数主要有:开路电压 $E(t)$, 电池内阻 R , 极化电阻 R_1 , 极化电容 C 。

2.2 Thevenin 模型建立

电池模型的参数可通过电池的静置特性实验得到的,这些参数值会随着电池内部状态和环境等参数的改变而改变,不是一个不变的值。电池模型的参数值参与了 SOC 估算编写的软件程序的整个过程。Thevenin 模型可以通过离线可以测定电池模型参数与 SOC 之间关系。本文将在 Matlab/Simulink 里面根据 Thevenin 模型建立电池仿真模型。根据式(2-1)建立的仿真模型如图 2 所示。

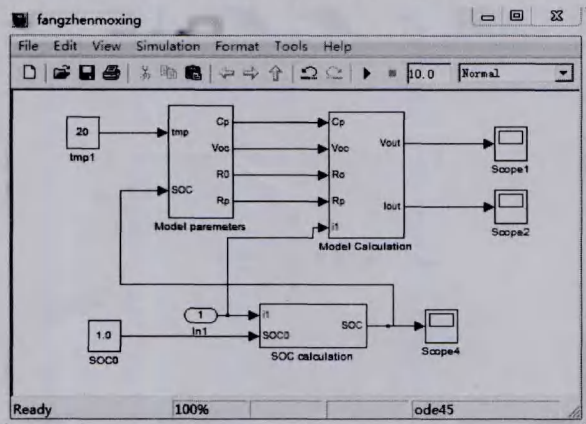


图 2 Thevenin 仿真模型

2.3 SOC 算法仿真研究

磷酸铁锂电池工作电压是一个比较平坦的平台,开路电压与荷电状态的 OCV-SOC 曲线只是在头尾比较小的区域内,开路电压的变化率比较大^[5]。当电池处于运行状态时,利用安时积分法来估计电池的 SOC。当电池经过工作一段时间后,处于静置状态时,可利用 OCV 法结合 EKF 算法估计电池 SOC 初始值,其中开路电压法为 EKF 算法提供电池 SOC 估计的初始值,用 EKF 算法校正 SOC 初值,后继续用安时积分法对电池进行估算。

在仿真软件 Matlab/Simulink 中搭建的开路电压法、电流积分法和卡尔曼滤波算法结合的复合算法的仿真图如 3 表示。该仿真图是有电流生成模块、温度补偿模块、安时积分模块和 EKF 扩展修正卡尔曼滤波法构成的。

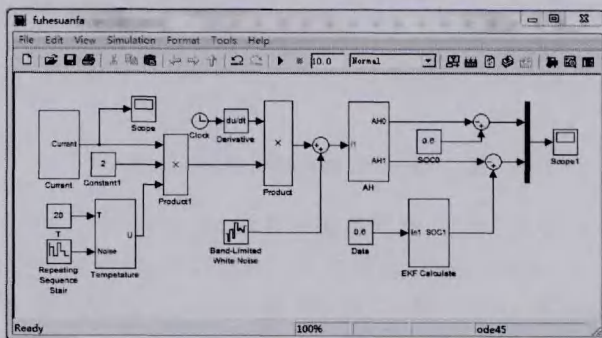


图 3 复合算法

经过延时间 T 的安时积分法与 EKF 算法模块结合在一起进行复合算法的仿真的电池 SOC 估计仿真如图 4 所示。由图中可以看出,EKF 结合安时积分算法在初始一段时间能对初值进行校正。

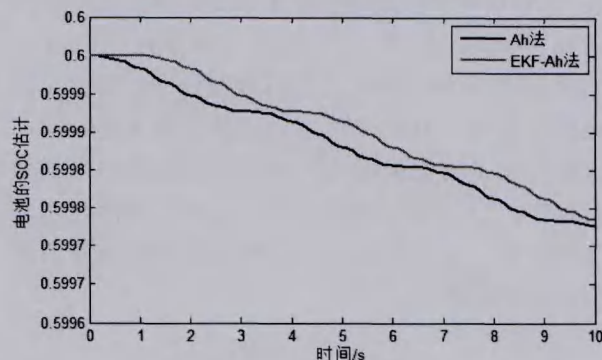


图 4 电池 SOC 估计

3 SOC 监测系统设计

混合动力汽车中使用多个电池单体的串/并联起来的电池组。对 SOC 监测系统的电池组的电流、电压、温度进行采集并将这些采样数据经过模数转换后送入到单片机,经过 SOC 估算后用显示屏显示出来。单片机采集输入信号,记录电池使用参数,判断电池安全性,当电池(包括系统整体和各个模块)发生过流、过压、温度超标时,有保护电路控制开关迅速切断电源,从而整个系统的安全性能得到了保证^[6]。本文采用模块化的设计思想,整个 SOC 监测系统的总体结构图如图 5。

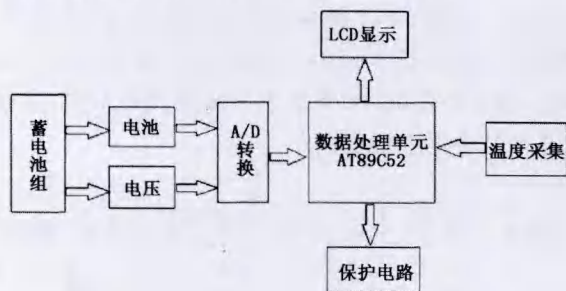


图5 SOC监测系统的总体结构图

3.1 SOC 监测系统硬件设计

本设计选用了单片机 AT89C52 作为整个系统的核心控制部件,系统采集模块采用成本不高且容易实现的精密电阻分压法进行电压采集,把电池组最末端的电池的负极设置为零电位,然后按顺序从各节单体电池正端引出电压信号,经过精度为千分之一的金属膜精密电阻分压得到最终电压输出信号^[7]。电流采样电路用康铜丝采集的模拟信号要经过 2 个运算放大器 LM358 转换成合适的信号输入 A/D 转换器 TLC549 中经过转换为数字信号后经 TLC549 的 D—OUT 输入单片机 AT89C52 的 P0.5 脚后输入单片机进行数据处理。温度采集电路里使用了 DS18B20 多点温度采集电路。保护电路应用了场效应管 MOSFET 的特性对电路进行保护。LCD 显示电路采用了 12864 液晶显示屏实时地显示蓄电池的 SOC。SOC 监测系统硬件原理图如图 6 所示。

3.2 SOC 监测系统软件设计

首先系统程序对采样模块、控制模块、保护模块和显示模块进行初始化,包括初始化控制器单片

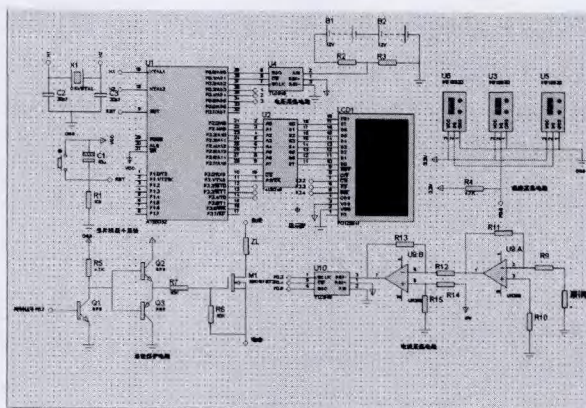


图6 SOC监测系统硬件原理图

机的 I/O 口,初始化模数转换(A/D)器 TLC549,初始化液晶显示屏,初始化定时器。电池的温度、电压、电流的数据进行采集受主要控制单元单片机控制,以此来判断电池的运行状态是否异常:存在异常,那么将对系统的保护模块进行驱动,即是对主回路进行关闭;没有异常,那么进行下一个步骤。通过收集到的数据来判断电流的充电和放电过程完成与否,如果没有完成,那么对 SOC 实行程序估算,对电池的 SOC 进行估算并能表示出来;如果完成,那么电池则处在一个闲置的状态,将此次的估算值保留,然后作为对 SOC 进行再次估算程序的初值,并返回数据采集和 SOC 估算模块而进入循环过程。图 7 是 SOC 监测系统的具体程序流程图。

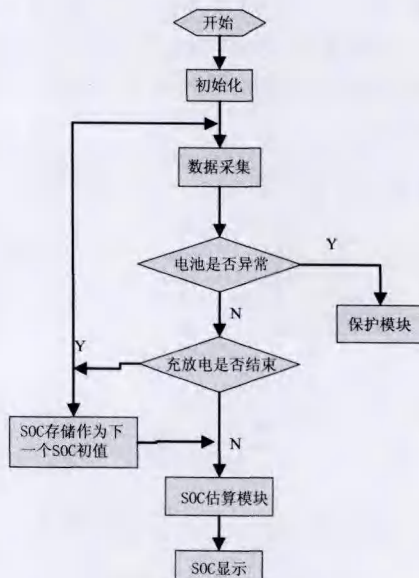


图7 程序的流程图

4 结论

论文选用的磷酸铁锂电池为研究对象,针对磷酸铁锂电池工作的电压变化不大的特点,基于等效电路的戴维南模型,在 Matlab/Simulink 建立基于卡尔曼滤波法并结合开路电压法和安时积分法的复合算法的复合算法的仿真模型,通过仿真可以看

出,基于 Thevenin 模型应用 EKF 算法估计 SOC 其结果比较理想,采用的复合算法提高了电池的 SOC 估算的精度。论文设计了 SOC 监测系统,具有电压采样、电流采样和温度采集,过流、过放和过温的保护电路以及 LCD 实时显示电池 SOC 的功能。

参考文献

- [1] 中国汽车 T10 电动汽车工作组.我国节能与新能源汽车发展研究报告[M].北京:中国社会科学出版社,2010.
- [2] 汪苗,薛伶俐.混合动力汽车技术概论[J].安徽电子信息职业技术学院学报,2014,13(1):35—40.
- [3] 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.
- [4] 陈勇军.磷酸铁锂电池建模及 SOC 算法研究[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2011.
- [5] 刘彦忠.车用动力电池充放电特性与智能管理技术[D].北京:北京交通大学,2012.
- [6] 徐杰.基于卡尔曼滤波的动力电池组 SOC 精确估计[D].浙江:杭州电子科技大学,2009.
- [7] Pesaran A A. Battery Thermal Models for Hybrid Vehicle Simulation[J]. Journal of Power Sources, 2002,110(2):337-382.

(责任编辑 骆桂峰)