

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802042

## 基于 IoT 的电池组云管理装置设计 \*

陈昂辉<sup>1</sup> 夏 鲲<sup>1</sup> 李 峥<sup>1</sup> 李洪恩<sup>1</sup> 徐敬俊<sup>2</sup> 陈扬飞<sup>2</sup>

(1.上海理工大学 电气工程系 上海 200093; 2.上海海拉电子有限公司 上海 200120)

**摘 要:** 为满足实时监控电池组状态、优化控制策略、延长电池组寿命和保证使用安全等要求,提出并实现了一种采用优化的剩余电量(SoC)估计的电池组云管理系统。在传统的 SoC 估计策略——电荷累计法和开路电压法的基础上,融合了扩展卡尔曼滤波算法,提高了电池组的剩余电量估计的精度,并建立了电池电压与 SoC 之间的数学模型。同时,在此基础上加入了云服务器系统,实现了电池组的实时检测。此外,设计并实现了一款容量为 22.2 V 的电池组管理装置。实验结果表明,该电池组云管理装置的 SoC 估计精度高、测量误差低于 1%、系统稳定性好,满足实时检测电池组状态的要求。

**关键词:** 电池管理;优化的 SoC 估计方法;扩展卡尔曼滤波;物联网

**中图分类号:** TM912;TP315;TN710 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8060

## Design of the cloud-management device about the battery group based on IoT

Chen Anghui<sup>1</sup> Xia Kun<sup>1</sup> Li Zheng<sup>1</sup> Li Hong'en<sup>1</sup> Xu Jingjun<sup>2</sup> Chen Yangfei<sup>2</sup>

(1.Department of Electrical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2.Hella Shanghai Electronics Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** In order to meet the requirements of real-time monitoring about states of battery group, optimizing control strategy, prolonging battery life and ensuring the safety of use, this paper proposed and implemented a battery pack cloud management system using optimized residual power (SoC) estimation. Based on the traditional SoC estimated strategy (charge accumulating method and open circuit voltage), the extended kalman filter algorithm was combined to improve the accuracy of battery pack's remaining power estimation, and the mathematical model between the battery voltage and the SoC was established. At the same time, the cloud-server system was added to realize the real-time detection of the battery group. In addition, a battery pack management device with a capacity of 22.2 V was designed and implemented. The experimental results show that the SoC estimation accuracy of the battery management device is high, the measurement error is less than 1%, the system stability is good, and the requirements for real-time detection of the battery state are met.

**Keywords:** battery management; optimized SoC estimated method; extended Kalman filtering; internet of things(IoT)

## 0 引 言

作为世界范围内的一个新兴产业,电动汽车已经进入了一个崭新的发展阶段<sup>[1-2]</sup>。动力锂电池作为电动汽车的能源核心,其生产成本、电池能量密度以及电池管理系统等也成为电动汽车快速发展的必要先决条件。电池管理系统(battery management system, BMS)作为电池系统的重要组成部分,引起了国内外众多学者的关注<sup>[3-7]</sup>。BMS 需要对电池的电压、工作电流以及温度等物理量进行实时检

测,特别是包含大量单体串联的电池组。为了避免木桶效应,需对每个电池的状态进行检测,确保每个电池都工作在安全工作区<sup>[8]</sup>。所以,BMS 对电池的安全运行、各种工况下系统的优化控制策略选择、充电模式选择以及运营成本都有很大影响。BMS 的应用场景除了电动汽车外,还有手机、电脑以及其他用电池做动力来源的系统。

目前,在 BMS 方面的研究国外相对成熟,其中包括美国特斯拉设计的纯电动 BMS,日本电装开发的纯电动及插电式混合动力 BMS,博世为宝马汽车配套的 BMS,以及伊

收稿日期:2018-08-23

\* 基金项目:上海市青年扬帆计划(18YF1418300)资助项目

诺特为沃尔沃提供的BMS等。国外许多公司专门设计出BMS专用芯片,包括美国凌力尔特公司(Linear Technology)生产的LTC、LTM系列电池管理芯片,美国德州仪器公司(Texas instrument, TI)设计的bq系列电池管理芯片及美国凹凸科技公司(O2Micro)开发的OZ890电池管理芯片等。BMS在我国的研究工作起步相对较晚,但也取得了一定的成果。如比亚迪推出的BMS应用于纯电动车“秦”及油电混动车“唐”,亿能电子为江淮汽车、广汽传祺设计的BMS,以及上汽集团研发的BMS应用于荣威550、EVCAR等汽车。国内各大高校、企业科研单位也对BMS进行了相应的研究工作,并取得了一定成果,但总体而言,目前BMS仍然存在一些问题。首先对于包含多节电池单体的电池组,BMS需采集的信号数据量大且精度要求高,导致电路设计较为复杂;其次,常见的BMS系统在不同的电池工作模式下,无法快速准确的估计出电池组的剩余电量(state of charge, SoC),导致电池管理系统无法及时的做出判断;同时,对于含有大量串联电池单体的BMS,为使电池组能量利用的最大化,对电池组中不均衡的电池单体进行高效均衡仍是一项必要的工作;此外,目前的BMS通用性不强,无法做到大数据下的数据共享,实现云端数据存储与处理。

本文设计了一种基于物联网(internet of things, IoT)的电池组云管理装置。该装置以德州仪器的电池管理芯片BQ76PL455为基础,在传统的电荷累计法和开路电压法的基础上,融合了扩展卡尔曼滤波算法,提高了电池组的剩余电量估计的精度,并建立了电池电压与SoC之间的数学模型,提高了BMS响应速度。同时,整个装置加入了云服务器系统,通过无线与云端交互,实现了电池组状态的实时监控。此外,整个装置体积较小、结构简单、适用于多种场合,具有较强的实用意义和价值。

## 1 电池管理系统原理

目前,由于BMS不同种类的功能之间存在互相依赖的关系,如SoC的估计精度依赖于电池电压、电流、温度等物理量的监测精度,而安全保护管理、能量管理控制都依赖SoC的准确估计,所以对BMS的所有功能给出定义是困难的,实际设计中需要根据不同的应用场合对BMS部分功能进行删减或增加。此外,电池组作为整个系统的能源核心,对其不同工作状态的建模与仿真,可以节约硬件成本,极大地缩短实验周期。同时,对电池组精确的建模可分析出电池电压、电池电流、温度等物理量与SoC的关系,提高SoC估计算法的精度。

### 1.1 动力锂电池模型建立

由于在电池实际工作过程中,电池内部的化学反应复杂,很难直接描述其特性,只能通过电池所体现的电气特性建立相应的等效模型来间接体现电池内部的反应机理。本文以电动汽车中常用的磷酸铁锂电池为例,建立动力锂电

池电路模型。

#### 1) 磷酸铁锂电动势特性

电池的平衡电势(electromotive force, EMF),即电池处于平衡状态时正负电极的电势差,它是电池中客观存在的一个物理量<sup>[9]</sup>。为了获取SoC与EMF之间的关系,通常的做法是将电池充电、放电一定时间,经过足够长时间的静置后测量电池的开路电压记为EMF。实验测得在充电、放电过程中SoC与EMF的关系如图1所示。

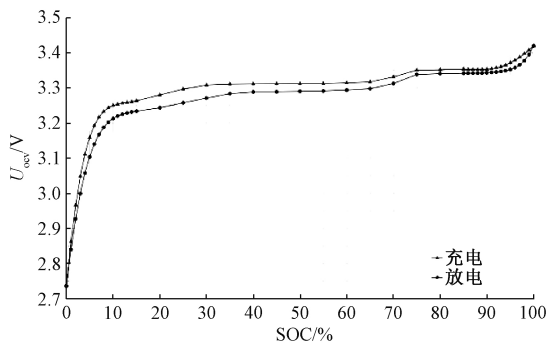


图1 磷酸铁锂充放电过程中SoC与EMF的关系

从图1可看出,磷酸铁锂电池存在滞回电压现象,这一现象的产生是由于电池自身电化学特性,即在充电、放电过程中, $\text{Li}^+$ 从 $\text{LiFePO}_4$ 中的脱出与嵌入、 $\text{Li}^+$ 在电解液中迁移和扩散等存在差异。在放电时, $\text{Li}^+$ 嵌入,电势会减小;而充电时 $\text{Li}^+$ 脱出,电势会增加。在充放电过程增加与减小的电势分别用 $\Delta E_{\text{充电}}$ 和 $\Delta E_{\text{放电}}$ 表示。

$$\Delta E_{\text{充电}} = E_{\text{充电}} - \text{EMF} = \frac{Q_{\text{充电}}^i + Q_{\text{充电}}^s}{nF} \quad (1)$$

$$\Delta E_{\text{放电}} = \text{EMF} - E_{\text{放电}} = \frac{Q_{\text{放电}}^i + Q_{\text{放电}}^s}{nF} \quad (2)$$

式中: $\Delta E_{\text{充电}}$ 、 $\Delta E_{\text{放电}}$ 分别表示电池充电与放电时的平衡电势; $Q_{\text{充电}}^i$ 、 $Q_{\text{充电}}^s$ 、 $Q_{\text{放电}}^i$ 、 $Q_{\text{放电}}^s$ 分别表示充放电时 $\text{Li}^+$ 脱嵌时的能量; $n$ 表示化学反应时的化学计量数; $F$ 为法拉第常数。通过对充放电平衡电势进行加权处理,来获得电池的EMF。

$$\text{充电: } V_h = k(E_{\text{充电}} - E_{\text{放电}})$$

$$\text{放电: } V_h = (1 - k)(E_{\text{充电}} - E_{\text{放电}})$$

$$\text{EMF} = (1 - k)E_{\text{充电}} + kE_{\text{放电}} \quad (3)$$

根据以上公式,可计算出SoC-EMF的关系曲线,如图2所示。

#### 2) 磷酸铁锂电池模型建立

对磷酸铁锂电池建模主要为了描述电池的外特性,有以下几种电路模型<sup>[10]</sup>。

##### (1) 电子运动理论的等效电路模型

基于电池内阻及双电层理论,可建立电池的等效模型,如图3所示。

图3中 $R_f$ 为电池的极化内阻; $R_o$ 为电池的欧姆电阻;

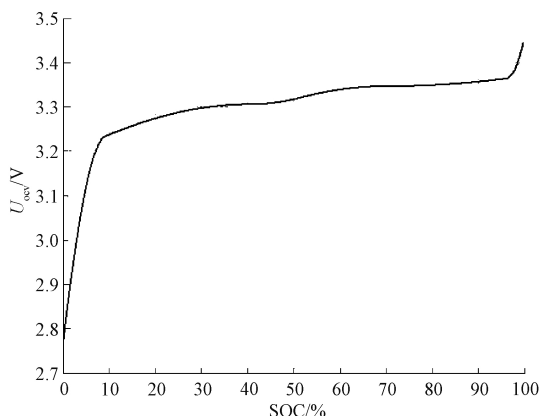


图 2 磷酸铁锂电池 SoC-EMF 曲线关系

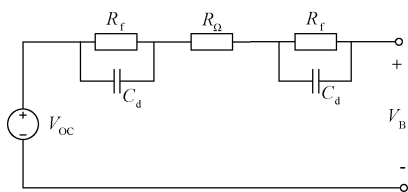


图 3 基于电子运动理论的电池模型

$C_d$  为双电层电容;  $R_f$  与  $C_d$  构成的两个 RC 回路代表电池的两个电极系统;  $R_n$  表示电池本身存在的欧姆电压压降。此等效电路模型描述了电池的特点,但忽略了电池在工作过程中两个电极所表现出的不同的电位差,以及未能很好的表现出电池的回弹电压特性。

## (2) 磷酸铁锂电池等效电路模型

图 4 所示为《FreedomCAR 电池实验手册》中规定的电池性能模型,  $C_o$  为开路电压随着负载电流的时间累计而产生的变化。

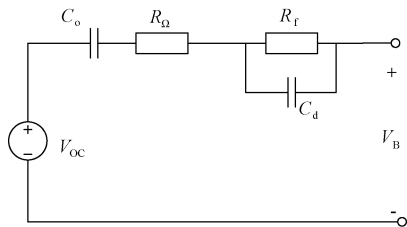


图 4 磷酸铁锂电池模型

图 4 所示的电路模型虽然包括了电极的变化、电池内阻等特性,但仍没能体现出电池电压的回弹特性。同时,模型中的每个参数都会随着电池的 SoC 和温度等变化而改变,模型参数的辨识较复杂、实用性不强,故不适合实时的 SoC 估算<sup>[11]</sup>。

## (3) 带有电池滞回特性的电路模型

如图 5 所示,虚线部分表示的是电池的平衡电势,  $Z_w$  为阻抗,用于表示电池中带点粒子的扩散行为,表现为容

性。该模型在之前的基础上考虑了电池平衡电势,但模型中阻抗的求解需要特定的电化学测量法,在实际工程应用中并不适用。

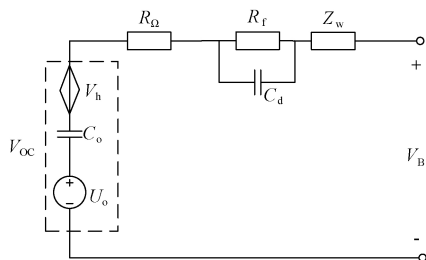


图 5 带有滞回特性的电池模型

## (4) 磷酸铁锂电池新模型的建立

经过以上分析可知,典型的模型一般由电压源与等效阻抗组成,如图 6 所示。

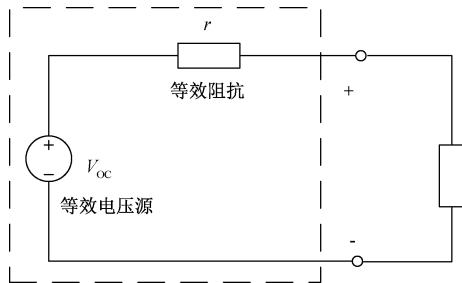


图 6 典型的电池模型

通过大量的理论及实验证明,得出的等效模型如图 7 所示,该模型不仅可以实时的得到电池的工作电压  $V_B$ 、开路电压,还可以实时的估算出电池的 SoC 值。由于模型所使用的都是简单的元器件,仿真、实际的数学模型关系相对简单。

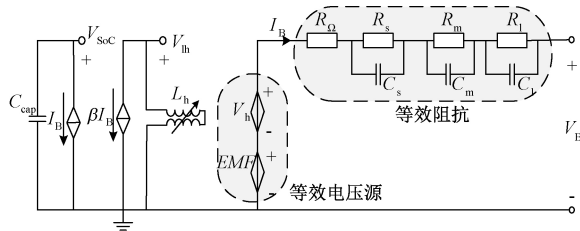


图 7 新型磷酸铁锂电池模型

图 7 中的等效电压源由 EMF 与  $V_h$  两种电源组成, EMF 的电压受电池 SoC 控制,滞回电压受 SoC 及  $V_{th}$  控制,图中的等效阻抗采用三阶 RC 网络,根据磷酸铁锂电池特性  $R_s$ 、 $R_m$ 、 $R_l$  的值为毫欧级,  $C_s$ 、 $C_m$ 、 $C_l$  的值在  $10^3 \sim 10^5$  数量级<sup>[12]</sup>。根据理论推导可得出如下数学关系:

$$EMF = f_1(V_{SoC}) \quad (4)$$

$$V_h = f_2(V_{\text{SoC}}, V_{\text{th}}) \quad (5)$$

$$E_B = EMF + V_h \quad (6)$$

其中:

$$V_{\text{SoC}} = \text{SoC}_{\text{初始}} + \frac{1}{C_{\text{容量}}} \int I_B dt \quad (7)$$

对电路分析后,得到以下关系:

$$\frac{1}{C_s} \times \frac{du_s}{dt} + \frac{u_s}{R_s} = I_B \quad (8)$$

$$\frac{1}{C_m} \times \frac{du_m}{dt} + \frac{u_m}{R_m} = I_B \quad (9)$$

$$\frac{1}{C_l} \times \frac{du_l}{dt} + \frac{u_l}{R_l} = I_B \quad (10)$$

$$u_{\Omega} = I_B \times R_{\Omega} \quad (11)$$

## 1.2 优化的 SoC 估计算法

### 1) SoC 的定义

电池的 SoC 指的是电池剩余电量与电池额定容量的比值,通常用百分比表示。

$$\text{SoC} = \frac{Q_{\text{剩余电量}}}{Q_{\text{额定电量}}} \times 100\% \quad (12)$$

式中:  $Q_{\text{剩余电量}}$  是电池剩余电荷量;  $Q_{\text{额定电量}}$  是电池额定容量。

### 2) 经典的 SoC 估计算法

在过去的几十年中,研究人员在电池 SoC 估计方面做出了很多研究,并提出了许多经典的估计方法,这些估计方法有其自己的优缺点及使用范围,以下介绍两种经典的估计算法。

#### (1) 电荷累积法

电荷累积法(coulomb counting method, CC)是指已知上一时刻电池的 SoC 状态,记为  $\text{SoC}_0$ , 实时监测从  $t_1$  到  $t_2$  时间内充入、放出的电荷量,最终得到当前电池的 SoC,记为  $\text{SoC}_{\text{now}}$ , 可用如下公式表示:

$$\text{SoC}_{\text{now}} = \text{SoC}_0 - \int_{t_1}^{t_2} f(i) dt \quad (13)$$

式中:  $f(i)$  是电流函数,对其积分结果大于 0 时,表示电池在放电;当其积分结果小于 0 时,表示电池在充电。利用 CC 进行 SoC 估计时计算方便、简单,但是也存在无法估计初试剩余电量、累积误差等问题。

#### (2) 开路电压法

开路电压法(open circuit voltage, OCV)是指电池处于静置状态时,通过测量开路电压对 SoC 进行估计。利用 OCV 进行 SoC 估计时,需要测量的物理量只有电池的开路电压,具有系统结构简单、容易实现的优点。但是,此方法存在显著的缺点。当考虑电池的电压回弹特性时,电池充放电之后需要长时间的静置以达到电池电压的稳定,这在实际的应用中是很难满足的条件<sup>[13]</sup>。

### 3) 基于扩展卡尔曼滤波的 SoC 估计算法

在实际应用中,通常将 CC 法与 OCV 法结合使用。当

电池长时间静置时利用 OCV 法估计 SoC 值,当对电池充放电时利用 CC 法估计 SoC 值。两种方法的结合解决了 CC 法不能估计初始 SoC 值、无法解决自放电等问题;但两种方法的结合又引入了新的问题,即用 CC 法与 OCV 法估计的 SoC 可能会数值不同,将导致利用 OCV 法在校准时 SoC 的数值会发生跳变,这也是在实际应用中必须考虑的问题。因此,本文提出了基于扩展卡尔曼滤波的 SoC 估计算法。

卡尔曼滤波算法的实现分时间更新与测量更新方程,如下所示<sup>[11-14]</sup>:

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}}_{k-1}^- \quad (13)$$

$$\mathbf{p}_k^- = \mathbf{A} \mathbf{p}_{k-1}^- \mathbf{A}^T + \mathbf{Q} \quad (14)$$

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{p}_k^- \mathbf{C}^T (\mathbf{C} \mathbf{p}_k^- \mathbf{C}^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (15)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}_k (\mathbf{y}_k - \hat{\mathbf{x}}_k^-) \quad (16)$$

$$\mathbf{p}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{C}) \mathbf{p}_k^- \quad (17)$$

式(13)、(14)是时间更新方程,式(15)~(17)是测量更新方程。

由以上的数学公式可看出在经典的卡尔曼滤波器中,状态向量、系统激励、观测变量之间的关系都是线性的,若它们之间的关系不是线性的,经典的卡尔曼滤波器不再适用。本文提到的电池组是高度非线性的,此时需要使用扩展卡尔曼滤波器(extended Kalman filter, EKF)进行滤波<sup>[14]</sup>。EKF 的状态方程和测量方程分别如下:

$$\mathbf{x}_k = f(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_{k-1}, \mathbf{w}_{k-1}) \quad (18)$$

$$\mathbf{y}_k = h(\mathbf{x}_k, \mathbf{v}_k) \quad (19)$$

其中,各变量含义与经典的卡尔曼滤波器的含义一致,但 EKF 中各变量的关系不再是线性的,而是非线性的。EKF 的计算过程与经典的卡尔曼滤波器类似,分为预测与校正等 5 个方程的计算。

在利用 EKF 对 BMS 的 SoC 估计时,常使用电池组的工作电流作为系统激励,以电池的工作电压作为系统的观测变量,将那些随着时间改变的变量作为状态参量,如电池的内阻和电池的 SoC 等。在选定系统的变量后,需要建立系统的状态方程与测量方程。结合之前建立的磷酸铁锂电池模型,分析存在以下关系<sup>[15]</sup>:

$$u_k^{\Omega} = i_{k-1} \times R_{\Omega} \quad (20)$$

$$u_k^s = i_{k-1} \times \frac{R_s}{1 + R_s \times C_s} + \frac{R_s \times C_s}{1 + R_s \times C_s} \times u_{k-1}^s \quad (21)$$

$$u_k^m = i_{k-1} \times \frac{R_m}{1 + R_m \times C_m} + \frac{R_m \times C_m}{1 + R_m \times C_m} \times u_{k-1}^m \quad (22)$$

$$u_k^l = i_{k-1} \times \frac{R_l}{1 + R_l \times C_l} + \frac{R_l \times C_l}{1 + R_l \times C_l} \times u_{k-1}^l \quad (23)$$

$$\text{SoC}_k = \text{SoC}_{k-1} - i_{k-1} \times \frac{1}{C_{\text{容量}}} \quad (24)$$

将上述关系式改写为矩阵的形式,则有:

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{A} \times \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B} \times \mathbf{i}_{k-1} \quad (25)$$

其中,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R_s \times C_s}{1 + R_s \times C_s} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R_m \times C_m}{1 + R_m \times C_m} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{R_l \times C_l}{1 + R_l \times C_l} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$$B = \left[ R_n \quad \frac{R_s}{1 + R_s \times C_s} \quad \frac{R_m}{1 + R_m \times C_m} \quad \frac{R_l}{1 + R_l \times C_l} \quad -\frac{1}{C_{容量}} \right]^T$$

式(25)为系统的状态方程,可看出状态方程式线性的。接下来需要确定系统的测量方程,由所建立的磷酸铁锂电池模型可知:

$$y_k = u_k^{EMF} - u_k^n - u_k^s - u_k^m - u_k^l \tag{26}$$

其中,  $u_k^{EMF}$  表示电池 EMF,由于磷酸铁锂电池的 SoC-EMF 关系为非线性,故用下列数学表达式表示:

$$u_k^{EMF} = g(SoC_k) \tag{27}$$

磷酸铁锂电池模型中  $C_{容量}$  表示电池的容量,其两端  $V_{SoC}$  表示电池的 SoC,至此 EKF 的状态方程、测量方程以及各个参量均已确定,可以使用 EKF 对电池 SoC 进行估计<sup>[16]</sup>。

4) SoC 估计算法的 MATLAB 仿真

利用 MATLAB 对第 1.1 节建立的电池模型进行仿真,模型如图 8 所示。

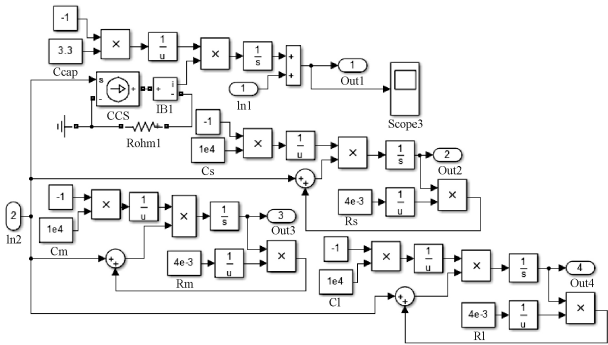


图 8 磷酸铁锂电池模型仿真

图 8 中的公式均根据之前理论推导的数学关系建立。在 MATLAB 中对电池模型中三阶 RC 网络封装成子模块,配合限幅模块搭建整个仿真回路,并根据电动汽车电机是阻感负载对电池的放电实验,整个仿真系统如图 9 所示。

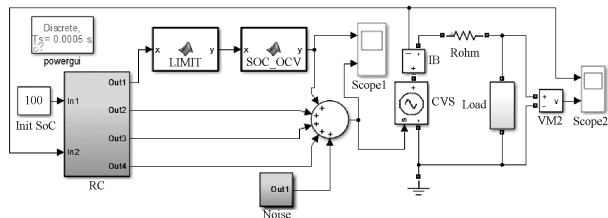


图 9 电池放电仿真

电池放电时,电池电压不存在干扰信号的放电曲线如图 10 所示,存在干扰信号的放电曲线如图 11 所示。

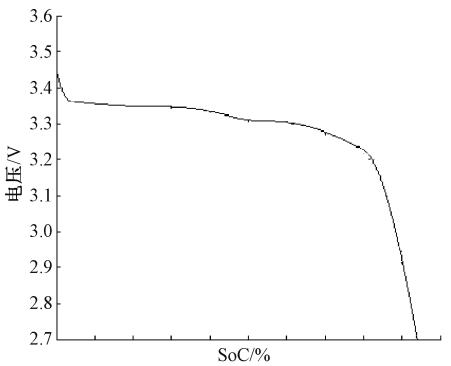


图 10 不存在干扰信号的放电曲线

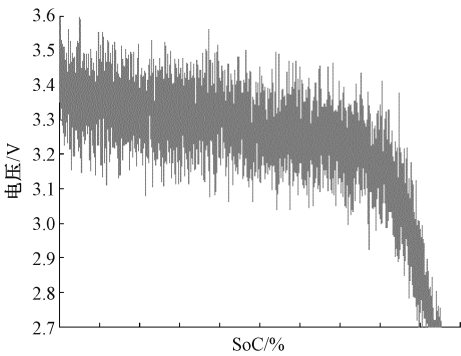


图 11 存在干扰信号的放电曲线

分别用 EKF、均值滤波算法对带有干扰信号的电池电压进行处理,得到如图 12 所示曲线,从图 12 可看出,数据经 EKF、均值滤波算法处理后,两种滤波算法均有趋近于真值的趋势,但 EKF 具有更好的真值跟随度,始终收敛在真值附近,总体滤波效果更准确、平滑,表明本文建立的模型是有效的。

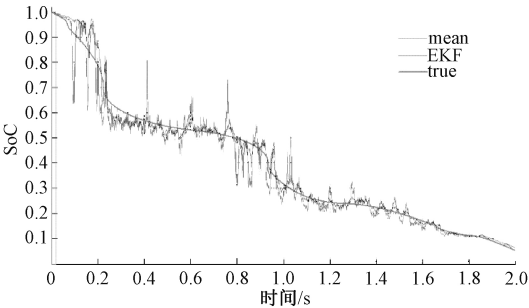


图 12 使用 EKF 进行电池 SoC 估计

2 锂电池云管理系统设计

锂电池云管理系统期望通过检测电池的电压、电流和

温度来估计电池的 SoC 值,为保证电池的安全运行、延长使用寿命提供实时检测。系统的设计原理如图 13 所示,主要包括数据采集、状态估计、数据显示、安全管理、能量管理和数据信息通信等功能。

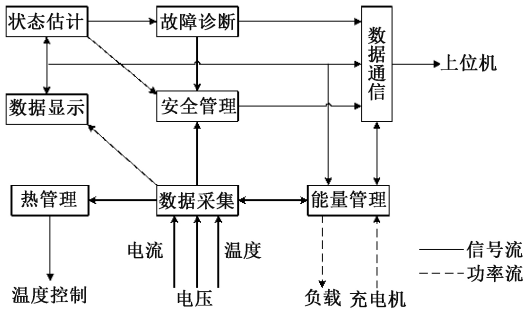


图 13 BMS 基本功能框图

2.1 系统硬件设计

为了提高整个系统的稳定性,设计中电源系统能够稳定输出 3.3、5、12 V 以及电池组所需电压,保证整个装置中各类传感器的正常工作。为保证电池组检测精度,本系统选用了 TI 公司的 BQ76PL455A 作为电池监测芯片。单个 BQ76PL455A 最多可管理 16 块单体电池。为了管理更多电池,可将 BQ76PL455A 芯片进行级联(最多可级联 16 块芯片),并通过主芯片经串口(UART)和主控芯片进行通信,设置参数或者获取芯片采集的电池状态信息。BQ76PL455A 芯片可监测和检测多种不同的状态,包括过压、欠压、过热和通信故障,ADC 14 位的分辨率、6  $\mu$ s 转换时间、高达  $\pm 1$  mV 转换精度。芯片工作电压由监测的电池提供,最大不超过 5.5 V。同时,为了保证电池组电流采集的准确性,本系统选用了 ACS758LCB 作为电流霍尔传感器。ACS758 由一个精确、低偏移的线性霍尔传感器电路组成,且该模块在输出端搭建了一个 RC 滤波器和电压跟随电路,使输出更加稳定,能更好的匹配单片机的 A/D 通道的阻抗。

此外,为了保证数据传输的快速性和稳定性,同时满足电池组云管理装置和云端之间的长距离数据传输,选用 GD32 作为控制数据采集和处理的主控单元。利用低功耗的 WF-HLK-RM04 模块作为数据接收和发送的控制单元,保证了数据传输的可靠性及低功耗需求,降低了整个系统的耗电量,提高了系统的续航能力。整个系统的实物图和测试展示如图 14 所示。

2.2 系统软件设计

1) 系统流程分析

系统设计中电池的信息来自 BQ76PL455 A 电池检测芯片,而对于电池信息的处理和数据融合主要在 GD32 中完成。系统的软件设计包括 PC 端的上位机设计、屏幕界面设计及下位机采集控制程序。下位机采集电池组的电



图 14 系统实物和测试图

压、电流、温度等数据,计算 SoC 值,同时传给屏幕及云服务器,屏幕将所有数据状态直观的展示出来,而云服务器可以记录动力系统的全部数据,这些数据对于改善提升系统性能都具备极高的价值,系统流程如图 15 所示。

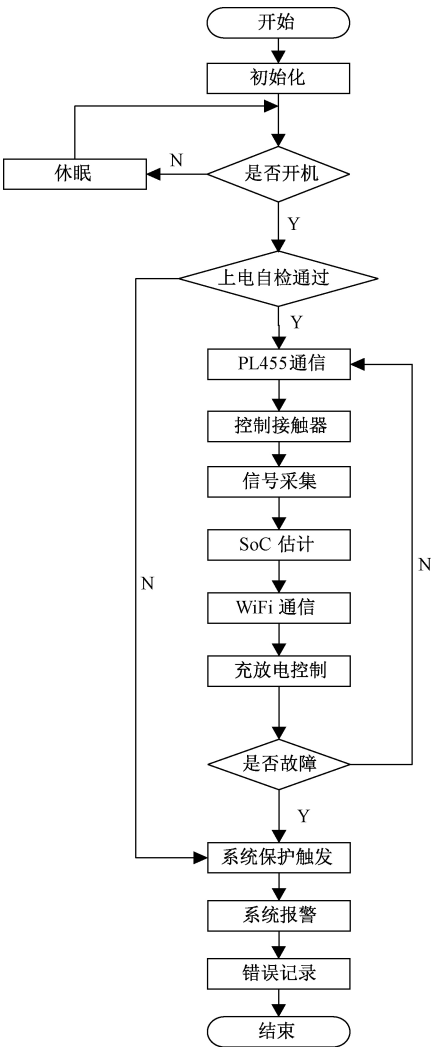


图 15 系统流程

2)上位机界面

服务器接收到数据请求报文时就会把接收到的最新的电池状态数据回传到上位机端,PC 端上位机实时刷新各状态数据并可将数据保存至本地便于记录、查看和分析。上位机界面如图 16 所示,图中黄色圆圈表示电池系统正在进行充电,当状态改变时相应的图标颜色会发生改变,另外点击“网络设置”按钮即可跳转至参数设置窗口。

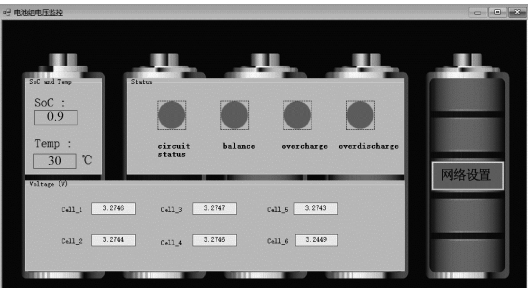


图 16 云管理系统 PC 端监控软件界面

3 实验结果与分析

实验系统以额定电压 22.2 V(6 节),额定容量 10 Ah 的锂电池组作为实验对象进行测试。

3.1 电池组电压测试实验

电池组云管理系统电压采集数据与实际电压对比如表 1 所示。根据表 1 数据可知,电池组云管理系统采集的电压值与实际输出电压值误差很小,说明电池组云管理系统的电压采样精度和准确性都比较高。

表 1 电池组云管理系统电压采集实验数据

实际电压/V	实验电压/V	误差/%
3.30	3.322	0.67
3.40	3.412	0.35
3.50	3.477	0.66
3.60	3.643	1.19
3.70	3.701	0.03
3.80	3.809	0.24
3.90	3.889	0.28
4.00	4.055	1.38
4.10	4.178	1.90
4.20	4.194	0.14

3.2 电池组放电电流测试实验

电池组云管理系统中电流的采集对电池 SoC 的计算准确度有很大影响。实验测试中采用功率电阻作为假负载,电池组电压除以电阻阻值得到电流作为检测电流的参考值,通过比较电池组云管理系统电流采样值和实际值可以判断电流采样电路的采样精度。实验结果如表 2 所示。

表 2 电池组云管理系统电流采集实验数据

实际电流/A	实验电流/A	相对误差/%
1.05	1.07	1.9
2.10	2.15	2.4
3.06	3.00	2.0
4.03	4.10	1.7
5.00	4.97	0.6
6.10	5.99	1.8
7.01	7.09	1.1
8.07	8.01	0.7
9.11	9.02	1.0
10.03	9.90	1.3

从表 2 可以看出,当电流比较小时误差较大,但是随着电流的增大,相对误差变小,并且当电流逐渐增大时相对误差稳定在 2%以内,满足设计要求。

3.3 数据实时同步测试

电池云管理系统要求数据中心数据的实时性和一致性较好,试验中通过对比 PC 端收到的数据和串口屏收到数据对数据传输的实时性和一致性进行判断,如图 17 所示。



图 17 串口屏和 PC 客户端数据对比

通过比较可知电池云管理系统能够将现场控制系统的实时数据实时地传输到数据中心,用户可以通过 UI 界面实时查看电池状态信息并可查看历史数据。

4 结 论

BMS 是电池系统的功力管控中心,是发挥电池组最佳性能的关键性因素。本文通过对已有的磷酸铁锂电池数学模型分析,建立了磷酸铁锂电池的新模型,为提高 SoC 估计算法的准确性奠定基础。同时,通过对已有的 SoC 估计算法的分析总结,提出了基于扩展卡尔曼滤波的 SoC 估计算法,仿真结果表明该算法可以大幅度提升估计的准确性。此外,设计了一款基于 IoT 的电池组云管理系统样机,实验结果表明,该电池组云管理装置电压测量误差约为 1%,电流测量误差低于 2%,系统稳定性好,满足实时电池组检测的需求。

## 参考文献

- [1] 邵汉桥,张维,陈鹏云.我国电动汽车发展状况分析[J]. 华中电力,2010,23(5):10-15.
- [2] 刘卓然,陈健,林凯,等.国内外电动汽车发展现状与趋势[J]. 电力建设,2015,36(7):25-32.
- [3] KUMAR B, KHARE N, CHATURVEDI P K. FPGA-based design of advanced BMS implementing SoC/SoH estimators[J]. Microelectronics Reliability, 2018(84): 66-74.
- [4] 朱超. 基于物联网的电动车蓄电池充电保护系统设计[D]. 安徽:安徽理工大学,2017.
- [5] 刘志英,郭晓澎,周晓旭,等. 嵌入式设备电源管理系统设计[J]. 电子测量技术,2016,39(5):105-109.
- [6] 张国安. 锂离子电池特性研究[J]. 电子测量技术,2014,37(10):41-45.
- [7] 雷晶晶,李秋红,陈立宝,等. 动力锂离子电池管理系统研究进展[J]. 电源技术,2010,11(10):1192-1195.
- [8] 符晓玲,商云龙,崔纳新. 电动汽车电池管理系统研究现状及发展趋势[J]. 电力电子技术,2011,45(12):27-30,89.
- [9] UNTERRIEDER C, LUNGLMAYR M, MARSILI S, et al. Battery state-of-charge estimation prototype using EMF voltage prediction[C]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 2014: 622-625.
- [10] GAO W G, JIANG M, HOU Y M. Research on PNGV model parameter identification of LiFePO<sub>4</sub> Li-ion battery based on FMRLS[C]. 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2011: 2294-2297.
- [11] ZHANG Y, CHENG X M, FANG Y Q, et al. On SOC estimation of lithium-ion battery packs based EKF[C]. 32nd Chinese Control Conference (CCC), IEEE, 2013: 7668-7673.
- [12] PASCHERO M, STORTI G L, RIZZI A, et al. A novel mechanical analogy-based battery model for SoC estimation using a multicell EKF [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2016, 7(4): 1695-1702.
- [13] SHI P, ZHAO Y. Application of unscented Kalman filter in the SOC estimation of Li-ion battery for autonomous mobile robot [C]. IEEE International Conference on Information Acquisition, 2006: 1279-1283.
- [14] CHARKHGARD M, FARROKHI M. State-of-charge estimation for lithium-ion batteries using neural networks and EKF[J]. IEEE transactions on industrial electronics, 2010, 57(12): 4178-4187.
- [15] 卢杰祥. 锂离子电池特性建模与 SOC 估算研究[D]. 广州:华南理工大学,2012.
- [16] 徐杰. 基于卡尔曼滤波的动力电池组 SOC 精确估计[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2009

## 作者简介

**陈昂辉**, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式开发和逆变器技术。

E-mail:506798484@qq.com

**夏鲲**(通信作者), 工学博士、副教授, 中国电工技术学会自动化及计算机应用专委会委员、小功率电机专委会委员, 主要研究方向为电机技术。

E-mail:new\_energy@usst.edu.cn

**李峥**, 硕士研究生, 主要研究方向为电机技术。

E-mail:lizhengtsy@126.com

**李洪恩**, 硕士研究生, 主要研究方向为物联网技术。

E-mail:1760509064@qq.com

**徐敬俊**, 高级工程师, 主要研究方向为嵌入式开发。

E-mail:921778485@qq.com

**陈扬飞**, 高级工程师, 主要研究方向为物联网技术。

E-mail:Yangfei.Chen@hella.com