

# 一种基于预测开路电压的 SOC 估算方法

徐欣歌, 杨松, 李艳芳, 陈文芾

(厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 估算锂离子动力电池荷电状态(SOC)是电池管理的一个难点,通过对电池放电曲线及恢复曲线分析,拟合出电池开路电压的计算公式,解决了动态情况下预测电池开路电压的问题,使开路电压估算 SOC 在电动车上使用成为可能。本文采用建立电池模型的方法,通过实验所得数据对模型进行曲线拟合,得到最优参数,并通过另外几组数据进行验证。实验结果表明,采用本方法预测精度为 0.02%。

关键词: 锂离子电池; 荷电状态; 电池模型; 开路电压

中图分类号: TM911.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2011)14-0127-03

## A method of SOC-estimate based on forecast of open-circuit voltage

XU Xin-ge, YANG Song, LI Yan-fang, CHEN Wen-xiang

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Estimate SOC of lithium ion battery is a difficult point of battery management. This paper gives the formula of open-circuit voltage through analysing discharge curve and recovery curve, resolve the problem of forecasting open-circuit voltage, make estimate of SOC through open-circuit voltage possible. This paper uses the method of establishing battery model, use the data to make curve-fitting, and get the optimal value, the prove it with other data. The results of experiment proved that forecast accuracy is 0.02% by using this method.

**Key words:** lithium ion battery; SOC; battery model; open-circuit voltage

大量锂离子电池的应用如果不对其进行高效的管理,就不能充分发挥其动力性能,从而造成能源的浪费。准确和可靠的获得电池的荷电状态(SOC)是电池管理系统中最基本和最首要的任务。但是,由于电池结构复杂,电池的荷电状态受放电电流、电池内部温度、自放电、老化等因素的影响,使得 SOC 的估算出现很大困难。本文根据锂电池在使用中的实际情况,提出一种新的方法进行 SOC 的估算,从而提高 SOC 估算精度。

## 1 SOC 测量方法

测量 SOC 的方法有很多,主要有放电实验法、安时法、开路电压法、负载电压法、内阻法、神经网络法、卡尔曼滤波法等,其中实验室中最常用的是开路电压法和安时法。

开路电压法是利用电池的开路电压与电池的荷电状态之间的对应关系(如图 1 所示),通过测量电池的开路电压来估计 SOC。开路电压法精度高、简单,但是需要静置较长时间后才能得到稳定的开路电压值,只适用于电动汽车驻车状态,而不适用于动态的电池 SOC 估计。

安时法是最常用的 SOC 估计方法,通过累积电池在充电或者放电期间的电量来估计电池的 SOC。如果电池充放电起始状态为  $SOC_0$ ,那么当前状态的 SOC 为

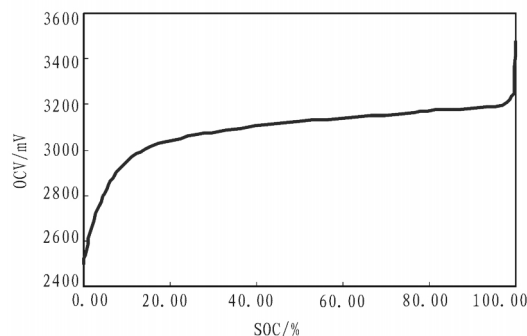


图 1 SOC-OCV 关系曲线

Fig. 1 Relation curve of SOC-OCV

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

其中  $C_N$  为额定容量,  $I$  为电池充放电电流,  $\eta$  为充放电效率。

但是安时法在应用中也存在问题,首先是车辆行进时,电流测量精度有限,电流测量误差将导致 SOC 计算误差,且该误差会因累积而越来越大。其次是电池充放电效率会随温度变化,这也导致安时法测量 SOC 的误差。

在此基础上提出一种新方法,即通过建立电池等效模型,用电池停止放电后的某时刻电压估计电池的开路电压,解决了开路电压法需要长时间静置的问题。

收稿日期: 2011-05-20

稿件编号: 201105091

作者简介: 徐欣歌(1986—),女,河北邯郸人,硕士研究生。研究方向:应用电子技术。

## 2 开路电压预测原理

要进行锂电池开路电压预测,就必须得到开路电压的时间函数,图2是实测40Ah磷酸铁锂电池端电压随时间变化的曲线,测试条件为在充满电之后充分静置。图中,A-C区间是在11.6A放电电流条件下的放电40min的曲线,D点以后是放电结束后电池端电压的自然恢复曲线,E点之后电压不再变化,可视为实际开路电压。

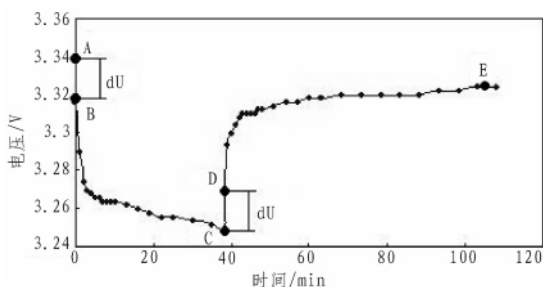


图2 锂电池恒流放电的电压响应曲线

Fig. 2 Voltage-responsive of LIB constant-current discharge

图2中A-B段和C-D段呈阶跃,且两阶跃高度相等、方向相反,呈欧姆电阻变化特征。B-C段与D-E段呈电容性阻抗电压变化的特征,这是由于电池极化效应所导致的。

在综合考虑了多种模型的优缺点后,采用如图3所示的锂离子电池等效电路模型, $U(t)$ 和 $I(t)$ 分别为电池端电压及输出电流,电阻 $R_0$ 用来描述电池欧姆内阻, $R_1, C_1$ 和 $R_2, C_2$ 用来描述电池的极化效应。时间常数较小的 $R_1 C_1$ 环节描述锂离子电极间传输时受到的阻抗,时间常数较大的 $R_2 C_2$ 环节来描述锂离子电极材料中扩散时受到的阻抗。 $C_0$ 用来描述电池的容量,对应为电池的SOC,它与电池开路电压之间的关系由图1曲线描述。

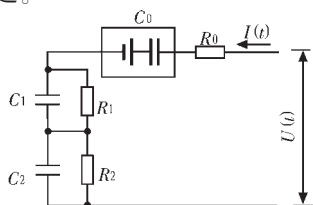


图3 电池等效电路模型

Fig. 3 Battery equivalent circuit model

通过分析图2曲线,再结合图3等效模型,就可拟合出电池输出电压的时间函数。

A-B、C-D段是一个与时间无关的阶跃,表达了电池的欧姆电阻 $R_0$ ,其值为:

$$R_0 = \frac{dU}{I} \quad (2)$$

B-C、D-E段对应阻容 $C_1 R_1, C_2 R_2$ 环节的响应,由于在放电前电池充分静置,可认为电容没有电荷,B-C段是零状态响应,D-E段是零输入响应,两个RC环节上的零状态、零输入电压响应分别为:

$$u_{p1} = u_{c1} + u_{c2} = I(t)R_1(1 - e^{-t/\tau_1}) + I(t)R_2(1 - e^{-t/\tau_2}) \quad (3)$$

$$u_{p2} = u_{c1} + u_{c2} = U_{01}e^{-t/\tau_1} + U_{02}e^{-t/\tau_2} \quad (4)$$

$U_{01}, U_{02}, \tau_1, \tau_2$ 为待定系数,根据实验测得的数据,利用MATLAB软件中的fminsearch函数,采用非线性最小二乘曲线拟合,就可以求出这些待定系数。

设电池开路电压为 $U_{OCV}$ ,DE段任意时刻的电压为 $U(t)$ ,则有

$$U_{p1} = U_{OCV} - U(t) \quad (5)$$

其中 $U_{p1}$ 为DE段两个电容两端的电压,曲线如图5所示。整理(3)式可得

$$U_{OCV} = U_{p1} + U(t) = U_{01}e^{-t/\tau_1} + U_{02}e^{-t/\tau_2} + U(t) \quad (6)$$

式中 $t$ 是电池静置时间,由(6)式可以看到,根据已知的 $U_{01}, U_{02}, \tau_1, \tau_2$ ,只要测得DE段内任一点的时间和电压值,就可以算出开路电压 $U_{OCV}$ 。

## 3 仿真结果及实验分析

通过MATLAB拟合出来的DE段电压曲线如图4所示。

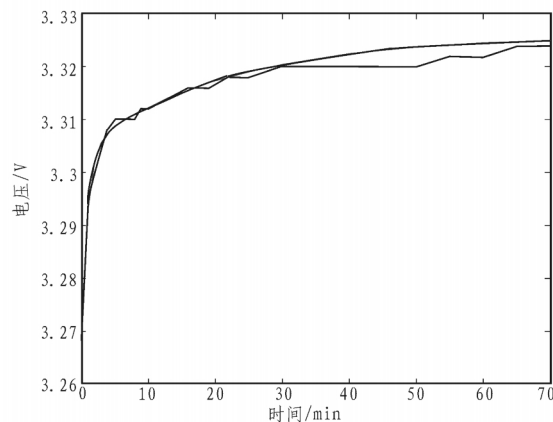


图4 DE段实验与仿真对比

Fig. 4 Experiment of DE section contrast with simulation

从图中可以看出,仿真曲线拟合的精度非常好,方差达到 $6.25 \times 10^{-5}$ 。

采用华锂40Ah磷酸铁锂电池,在充满电后充分静置的条件下,电池容量为100%。以11.6A的电流放电,40分钟后撤除电流,将部分得到的实验数据代入已经拟合出来的开路电压公式(6),得到的开路电压和误差如表1所示。其中实验测得开路电压为3.326V,对应的电池容量SOC为99.7%。

表1 计算与实验的开路电压对比

Tab.1 The OCV-voltage results from numeration contrast with experiment

静置时间/min	算得开路电压/V	对应SOC/%	误差
1	3.327	99.72	0.02%
5	3.327	99.72	0.02%
10	3.326	99.7	0
30	3.326	99.7	0
50	3.326	99.7	0

## 4 结 论

本文采用了二阶 RC 电路模拟电池极化效应的电池模型,对电池放电后静置的曲线进行多次实验,找出规律进行分析。并在开路电压的估算上采用了一种新思路,即通过寻找规律公式,短时间内计算出电池的开路电压,从而解决了SOC估算中开路电压法用时长久的困难。经实验表明估算出的开路电压值准确,能够达到动力汽车的要求。

参考文献:

- [1] 麻友良,陈全世,齐占宁.电动汽车用电池SOC定义与检测方法[J].清华大学学报,2001,41(11):95-97.  
MA You-liang, CHEN Quan-shi, QI Zhan-ning. Research on the SOC definition and measurement method of batteries used in EVs[J]. J Tsinghua University, 2001, 41(11):95-97.
- [2] 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.  
LIN Cheng-tao, WANG Jun-ping, CHEN Quan-shi. Methods for state of charge estimation of EV batteries and their application[J]. Battery Bimonthly, 2004, 34(5):376-378.

- [3] 姜久春,牛利勇,张欣.混合动力汽车电池管理系统的研究[J].高科技通讯,2004,14(6):75-77.  
JIANG Jiu-chun, NIU Li-yong, ZHANG Xin. Research on battery management system of HEV [J]. High-tech Communication, 2004, 14(6):75-77.
- [4] 李国洪,吴静臻,刘鲁源.基于RC等效电路的动力电池SOC估计算法[J].天津大学学报,2007,40(12):1453-1457.  
LI Guo-hong, WU Jing-zhen, LIU Lu-yuan. SOC estimation for traction battery based on RC circuit[J]. Journal of Tianjin University, 2007, 40(12):1453-1457.
- [5] 唐家德. MATLAB在非线形曲线拟合中的应用研究[J]. 电脑学习, 2008 (1):57-59.  
TANG Jia-de. Research on application of MATLAB in nonlinear curve fitting[J]. Computer Study, 2008 (1):57-59.
- [6] 田晓辉,刁海南,范波,等.车用锂离子动力电池SOC的预测研究[J].电源技术,2001(1):51-54.  
TIAN Xiao-hui, DIAO Hai-nan, FAN Bo, et al. Research on estimation of lithium-ion battery SOC for electric vehicle[J]. Battery Technique, 2001(1):51-54.

## Synopsys 推出可用于 180 nm CMOS 工艺技术的可重编程非易失性存储器 IP

Synopsys, Inc.宣布:即日起推出面向多种 180 nm 工艺技术的 DesignWare AEON 非易失性存储器(NVM)知识产权(IP)。这些产品包括数次可编程(FTP)IP、射频识别(RFID)IP 多次可编程(MTP)IP 和可擦可编程只读存储器(EEPROM)多次可编程(MTP)IP 等多种 IP 解决方案。Synopsys 提供的 DesignWare AEON NVM IP 可面向多种领先工艺技术并具有 100 多种不同的存储配置,并且这些 IP 都符合相应的业界规范。DesignWare AEON NVM IP 在标准 CMOS 工艺技术上实施时,无需额外的掩膜或工艺步骤要求。因此,它们成为了无线、RFID、模拟和混合信号 SoC 设计的理想之选。

Synopsys 丰富的 MTP 和 FTP NVM IP 解决方案组合可为多样化的终端应用提供优化的电气性能,这些应用包括精确模拟设计中的性能修调和校准、超低功耗无线应用中的数据存储、或者是实时数据记录应用的高耐用性等。这些解决方案帮助设计师降低了将 NVM IP 集成到各种 SoC 设计中的成本和风险。DesignWare AEON 嵌入式 NVM IP 的一个主要优点是它不需要高压生成电路——通过标准的 CMOS 技术就能完成所有的编程和再编程工作,从而无需额外的掩膜和工艺转换。这使得这些设计在一个单一核心电源上就能工作,并由此除去了为 NVM 编程而单独产生一个高电压信号和支持高电压 I/O 焊盘所引起的多种复杂情况。此外,DesignWare AEON NVM IP 支持的温度范围超越了行业标准,针对商用和工业产品可高达 125 °C,在汽车产品中可支持高达 150 °C,这可确保设计师开发出能够承受严苛工艺、电压和温度变化的、坚固耐用的 SoC 产品。这些 DesignWare AEON 产品可确保设计师选择最佳配置,从而帮助他们实现各种应用 SOC 的功耗、性能和面积优化。

咨询编号:2011141015

**欢迎投稿！ 欢迎订阅！ 欢迎刊登广告！**

国内刊号: CN61-1477/TN

国际刊号:ISSN 1674-6236

在线投稿系统: <http://mag.ieechina.com>

[ad@ieechina.com](mailto:ad@ieechina.com) (广告)

地 址: 西安市劳动南路 210 号 5-1-3 信箱

邮政编码:710082