

基于过渡过程分析的锂电池内阻检测

侯磊, 洪剑锋, 陈文芾*
(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要: 以常用的锂电池模型为研究对象, 通过对电池放电过程瞬间电流阻断产生的过渡过程的分析, 提出了一种锂电池模型参数估算方法, 进而实现对锂电池内阻的在线实时辨识。通过实验, 获得了电池内阻在不同工况下的变化趋势。

关键词: 锂电池; 内阻识别; 过渡过程

中图分类号: TM 912

文献标识码: A

文章编号: 1002-087X(2014)11-2042-02

Lithium battery internal resistance detection based on transition process analysis

HOU Lei, HONG Jian-feng, CHEN Wen-xiang*

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

Abstract: Based on used lithium battery model, by the analysis of transition process produced by current blocking-up in the process of battery discharge, a lithium battery model parameter estimation method was put forward. Online real-time identification of lithium battery internal resistance was realized. Through experiments, the trend of the internal resistance of the battery in different operating conditions was obtained.

Key words: lithium battery; internal resistance identification; transition process

电池性能在很大程度上决定了电动汽车的性能, 因此, 对锂离子电池管理系统相关技术的研究一直是一个重要课题。电池管理系统正常工作十分依赖于对电池的各种工作参数检测采集, 在电动汽车实际工况条件下通常只能采集到电池的电、电压、温度等外特性。作为能够表明电池荷电状况(SOC)、寿命重要特征的电池内阻, 由于没有合适的检测方法, 无法在电动汽车实际运行中使用。以常用的锂电池模型为研究对象, 通过对电池放电过程瞬间电流阻断产生的过渡过程的分析, 提出了一种在线实时锂电池模型参数估算方法。

1 动力锂离子电池模型

锂电池内阻主要由物理接触电阻和电化学反应等效电阻构成, 文献[1-7]对电池模型做了深入的研究, 给出了一些结论性的东西。可见电池模型基本上是以阻容结构为主, 阻容结构可分为一阶阻容结构和高阶阻容结构^[4]。我们通过一些实际应用案例得知, 采用高阶阻容结构的电池模型虽然在理论分析中能体现出更优的特性, 但在实际应用中与一阶系统并没有太高的意义, 且高阶系统处理过程中相当麻烦, 不适应实车运行的计算环境, 综合考虑本文采用如图1所示的锂离子电池 Thevenin 等效电路模型^[2], $U(t)$ 和 $I(t)$ 分别为电池端电压及输出电流, 电阻 R_0 为电池欧姆内阻, R_1 、 C_1 为电池的极化效应。 C_0 为电池的容量, 对应为电池的 SOC。

收稿日期: 2014-04-02

基金项目: 厦门市科技计划项目(3502Z20123013)

作者简介: 侯磊(1987—), 男, 河南省人, 硕士生, 主要研究方向为电力电子技术方向。

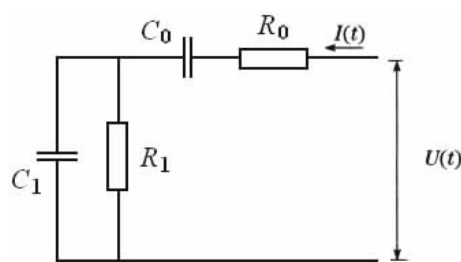


图1 电池等效电路模型

在一阶 RC 模型中, 有四个重要参数, 这些参数对电池的工作状态、荷电状态、输出电流关系十分密切, 直接关系到用于电动车电池使用性能。如何实时在线对这些参数进行识别, 以此作为衡量电池 SOC、寿命、输出电流等工作状态判别估计的依据。图2是实测 20 Ah 磷酸铁锂电池端电压随时间变化的曲线。该曲线是在充满电之后充分静置。A-C 区间是在 6 A 放电电流条件下放电 40 min 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中 A-B 段和 C-D 段呈阶跃, 且两阶跃高度相等、方向

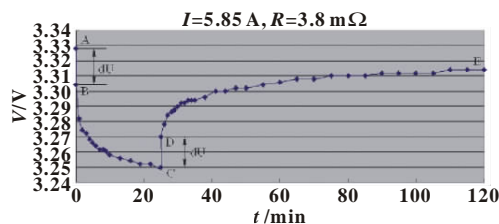


图2 实测锂电池端电压随时间变化曲线

相反,这是由于这时间段的开始点电流突然增加,结束点电流突然减少,由于电容 C_1 两端电压不能突变,相当于短路,电池端电压与电流满足: $U(t) = E_0 - R_0 \times I(t)$, 呈欧姆电阻变化特征。

B-C 段起始部分电容 C_1 两端电压 U_{C1} 由于充电开始增加,电池端电压与电流关系满足: $U(t) = E_0 - R_0 \times I(t) - U_{C1}$, 输出电压以指数形式下降,当电容 C_1 充满电,有 $U_{C1} = R_1 \times I(t)$, 电池端电压与电流关系满足: $U(t) = E_0 - (R_0 + R_1)I(t)$ 。

D-E 段由于电流 $I(t) = 0$, 电容 C_1 两端电压 U_{C1} 由于放电开始减小,输出电压以指数形式上升,当电容 C_1 放电结束后, $U_{C1} = 0$, 输出电压 $U(t) = E_0$ 。

2 利用过渡过程分析的模型参数估计及内阻测量原理

图 3 为测量系统框图,在 MOSFET 开关管 Q 的控制下,待测电池单体通过负载电阻 R_L 放电,调整负载电阻 R_L 可控制放电电流 I ,放电回路上串接有电流表 A。放电过程中,待测电池端电压 $U_0(t)$ 通过放大器放大后经模数转换后送入微处理器。微处理器同时输出控制信号经由驱动电路控制 MOSFET 开关管 Q 的通断。

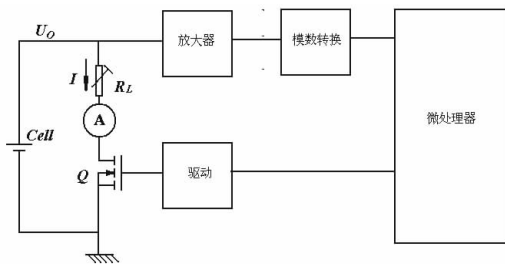


图 3 锂电池模型参数估计测量实验系统框图

实验中,待测电池是一个 50 Ah 锂离子电池,调节负载电阻 R_L 使放电电流 $I = 30$ A 条件下恒电流放电,放电过程中微处理器控制产生一个 10 ms 电流中断,电池端电压 $U_0(t)$ 变化时间历程如图 4 所示,为了显示方便,图 4 中 10 ms 中断电流时间没有按照比例表述。

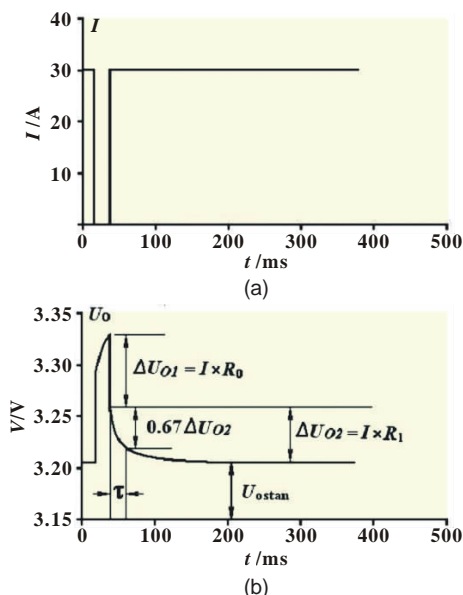


图 4 电池等效模型参数计算示意图

图 4 中输出端口电压跳变部分 $\Delta U_{O1} = I \times R_0$ 对应于图 1 中 R_0 引起的作用,指数规律变化部分对应于图 1 中极化内阻引起的作用,即 R_1, C_1 的作用,主要是反映了极化电容的充电过程,充电时间常数 $\tau = R_1 \times C_1$ 。可用下式表述时间 $t = T_0$ 时刻后电池输出端口电压 $U_0(t)$ 随时间变化过程:

$$U_0(t) = \begin{cases} U_0(T_0) - I \times R_0 & t = T_0 \\ U_0(T) - I \times R_0 - I \times R_1 e^{-\frac{t-T_0}{\tau}} & t \geq T_0 \end{cases} \quad (1)$$

通过(1)式,就可计算出图 1 等效模型参数,即可测试出电池内阻。具体做法:

(1) R_0 计算

因为 $\Delta U_{O1} = I \times R_0$, 有:

$$R_0 = \frac{\Delta U_{O1}}{I} \quad (2)$$

(2) 时间常数 τ 计算

时间 $t = T_0$ 时刻后任取两点 t_1, t_2 , 对应电池输出端口电压 $U_0(t_1), U_0(t_2)$, 有:

$$\tau = \frac{(t_2 - t_1) \times I}{\ln[U_0(T) - I \times R_0 - U_0(t_1)] - \ln[U_0(T) - I \times R_0 - U_0(t_2)]} \quad (3)$$

(3) R_1, C_1 计算

因 $t \gg T_0 + \tau$ 后 $\Delta U_{O2} = I \times R_1$, 可得 $R_1 = \frac{\Delta U_{O2}}{I}$, 算出 R_1 后, 有 $C_1 = \frac{\tau}{R_1}$ 。

在电池放电过程中,以一定间隔产生一个 10 ms 电流中断,就可根据以上方法进行一次内阻测量。充电过程的测量方法和放电过程原理一样,只是电流方向不同而已,因此计算方法也一样。

3 实验分析

3.1 实验 1

按照图 2 测试系统,在对某型号 50 Ah 锂离子单体电池充满电的情况下,以 0.4 C(20 A)恒电流放电电流进行实验,采用上述方法,每两分钟进行一次动态检测,实验结果如图 5 所示。

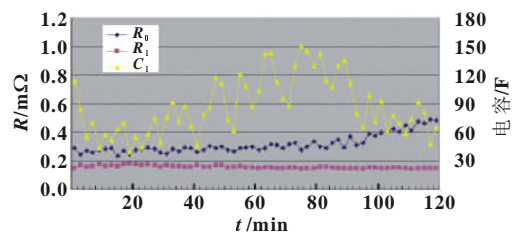


图 5 电池模型参数检测结果

分析检测结果可见,极化电容检测结果离散性较大,原因主要有两个:(1) 由于对电池端电压沿时间轴采样过程中采样间隔造成的时间离散效果会产生一定的测量误差,利用公式(3)进行计算时对应采样的时间段正处于指数变化部分,采样时间离散产生的误差影响最大;(2) 公式(3)必须进行一个对数计算,该计算采用查表法进行,查表法造成的数值离散效果也引进了一个计算误差。

欧姆电阻检测结果也有一定的离散现象,产生的原因也是由于采样时间离散效果导致 ΔU_{O1} 计算出现误差。由于 R_1 的计

(下转第 2058 页)

两排电池的散热效果更加均匀。从而使电池箱整体最高温度与最低温度差值控制在 5℃之内。

参考文献：

[1] 王峰,李茂德. 电池热效应分析[J]. 电源技术, 2010, 34(3): 288-291.
 [2] 张遥,白杨,刘兴江,等. 动力用锂离子电池热仿真分析[J]. 电源技术, 2008, 32(7): 461-463, 487.
 [3] 王晋鹏,胡欲立. 锂离子蓄电池温度场分析[J]. 电源技术, 2008, 32(2): 120-121.
 [4] 王晋鹏,李阳艳. 锂离子电池三维温度场分析[J]. 电源技术, 2011, 35(10): 1205-1207.

[5] 陈磊涛,许思传,常国峰. 混合动力汽车动力电池热管理系统流场特性研究[J]. 汽车工程, 2009, 31(3): 224-227.
 [6] 费朝辉,王学林,凌玲,等. 基于 CFD 的锂离子动力电池箱散热分析[J]. 机械与电子, 2012(7): 13-16.
 [7] 林成涛,李腾,陈全世. 锰酸锂动力蓄电池散热影响因素分析[J]. 兵工学报, 2010(1): 88-93.
 [8] 唐朋. 纯电动汽车锂离子电池组热管理系统研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2008.
 [9] BERNARDI D, PAWLIKOWSKI E, NEWMAN J. A general energy balance for battery system[J]. Journal of Electrochemical Society, 1985, 132(1): 5-12.



(上接第 2043 页)

算用到的数据是在电池端电压已经平稳的时间段,因此受到采用时间离散效果的影响最小,测量结果的离散现象也最小。

实验 1 的结果还显示,120 min 的放电周期内,欧姆内阻在 100 min 以后略有上升,这对应了随着锂电池放电时间长之后,温度变化以及剩余容量下降后,正负极板、隔膜、电解液之间的相对关系发生微变,导致接触电阻变化,极化内阻变化幅度不大,说明锂离子电池极化内阻与其剩余容量关系不大。

作为辅助验证测量结果,我们对上述实验电池在不同 SOC 条件下的内阻进行测量,具体做法是在充满电后以 0.4 C (20 A)恒电流放电,每隔 20 min 用 BTS-2000 电池内阻仪测量一次内阻,测量结果如表 1。

表 1 不同 SOC 条件下电池内阻

时间/min	20	40	60	80	100	120
内阻/mΩ	0.43	0.44	0.42	0.46	0.47	0.49

将表 1 与图 5 中 R_0 变化曲线相比较,在相同时间点上两种方法测量出来的内阻基本相同,这表明采用本文提出的内阻测量方法是可行的。

3.2 实验 2

同样按照图 2 测试系统,采用 20 Ah 锂离子单体电池在充满电的情况下,以程控恒电流放电电流进行实验。实验中,放电电流分别为 1 C(20 A)、2 C(40 A)、3 C(60 A),每一个电流阶段维持 10 min,每两分钟进行一次动态检测,实验结果如图 6 所示。

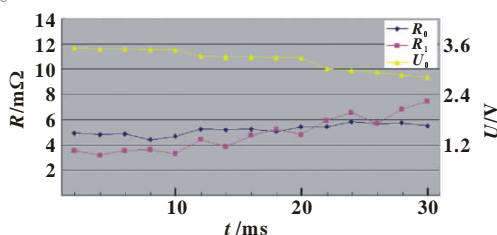


图 6 程控放电情况下锂电池内阻变化曲线

图 6 表明锂电池欧姆内阻在整个实验周期内变化不明显,这是由于锂电池欧姆内阻主要是由电池内部极耳、隔膜、电解液之间接触电阻组成,阻值与放电电流大小关系不大,因而欧姆电阻不会随放电电流的变化而产生明显的改变。此外,在实验中随着放电时间的增加电池的剩余容量越来越小,这也表明电池剩余容量的大小不会对电池的欧姆内阻有多大的影响。而在实验周期内,极化电阻随放电电流的增加有明显的增加,符合文献[1]极化内阻主要是由电化学反应中离子浓度造成的,其数值随着电流强度的不同而不同的叙述。

4 结论

在目前通用的电池模型上,利用瞬时关断充放电电流,对其过渡过程进行分析可较好地估计电池模型的各个参数,实现锂电池内阻测量,实验验证了该方法对锂电池内阻辨识的实用性。由于提出的算法只涉及到简单的运算,相对复杂的对数计算可通过查表解决,运算量很小,可用于实时辨识锂电池内阻的场合,具有较好的适应性。

参考文献：

[1] 徐晓东,刘洪文,杨权. 锂离子电池内阻测试方法研究[J]. 中国测试, 2010, 36(6): 24-26.
 [2] 林成涛,仇斌,陈全世. 电流输入电动汽车电池等效电路模型比较[J]. 机械工程学报, 2005, 41(12): 76-81.
 [3] 魏学哲,孙泽昌,田佳卿. 锂离子动力电池参数辨识与状态估计[J]. 同济大学学报, 2008, 36(2): 231-235.
 [4] 陈勇军. 磷酸铁锂电池建模及 SOC 算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
 [5] 陈小军,韩晓娟,梁亮,等. 基于小波复合模型的锂电池阻抗特性研究[J]. 电源技术, 2012, 36(1): 67-70.
 [6] 魏学哲,徐玮,沈丹. 锂离子电池内阻辨识及其在寿命估计中的应用[J]. 电源技术, 2009, 33(32): 217-220.
 [7] 马超,田书林. 自动校准技术在锂电池内阻测试中实现[J]. 中国测试技术, 2006, 32(5): 36-71.