



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102680795 B

(45) 授权公告日 2014. 11. 05

(21) 申请号 201210171044. 1

(22) 申请日 2012. 05. 29

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

专利权人 国网电力科学研究院

(72) 发明人 朱春波 王天鹭 逯仁贵 裴磊  
徐石明 陈良亮 刘华锋

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109

代理人 杨立超

(51) Int. Cl.

G01R 27/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2010-19705 A, 2010. 01. 28, 全文.

CN 103185865 A, 2013. 07. 03, 全文.

戴海峰, 魏学哲, 孙泽昌. 基于扩展卡尔曼滤波算法的燃料电池车用锂离子动力电池荷电状态估计. 《机械工程学报》. 2007, 第 43 卷 (第 2

期), 92-95, 103.

Dinh Vinh Do, Christophe Forgez, Khadija El Kadri Benkara. Impedance Observer for a Li-Ion Battery Using Kalman Filter. 《IEEE Transactions on Vehicular Technology》. 2009, 第 58 卷 (第 8 期), 3930-3937.

Jonghoon Kim, B. H. Cho. State-of-Charge Estimation and State-of-Health Prediction of a Li-Ion Degraded Battery Based on an EKF Combined With a Per-Unit System. 《IEEE Transactions on Vehicular Technology》. 2011, 第 60 卷 (第 9 期), 4249-4260.

魏学哲, 陈金干, 李佳. 应用双卡尔曼滤波算法估计燃料电池欧姆内阻. 《电源技术》. 2009, 第 33 卷 (第 5 期), 359-362.

审查员 蒋师

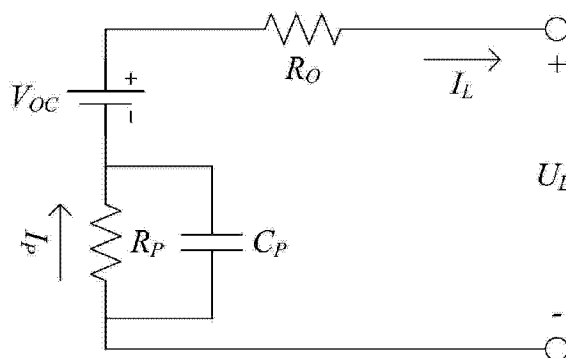
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种二次电池内阻的实时在线估计方法

(57) 摘要

一种二次电池内阻的实时在线估计方法, 属于二次电池储能系统控制技术领域。本发明的目的在于提供一种仅需能够提供电池的端电压与负载电流, 而无需另增加其它辅助硬件电路的二次电池内阻的实时在线估计方法。本发明基于标准电池等效电路模型, 利用扩展卡尔曼滤波器的工作原理, 构建算法所需的状态方程与观测方程, 将电池的开路电压 ( $V_{oc}$ ), 欧姆内阻 ( $R_0$ ), 极化内阻 ( $R_p$ ), 极化电流 ( $I_p$ ) 作为估计量, 将实时测得的端电压 ( $V_L$ )、负载电流 ( $I_L$ ) 以及两次采样的时间间隔  $\Delta t$  作为已知量; 并根据传感器精度选取过程激励噪声协方差与测量噪声协方差, 通过迭代更新, 进而实时地估计出所测二次电池的欧姆内阻与极化内阻。与现有的内阻测试方法相比, 本方法具有可实时在线估计, 稳定性好, 无需附加硬件测试电路的优点。



CN 102680795 B

1. 一种二次电池内阻的实时在线估计方法,其特征在于:所述方法是按照以下步骤实现的:

步骤一、根据标准电池模型的电路结构建立离散的电池状态空间模型;其中, $U_L$  和  $I_L$  分别表示电池的外部端电压与流经电池的总电流,且  $U_L$  和  $I_L$  为实时测量的已知量; $V_{OC}$  用来表示该电池模型内部的标准电压源,同时串联在回路中还有电池的欧姆内阻  $R_0$ 、以及由极化内阻  $R_p$  与极化电容  $C_p$  并联组成的极化电路网络, $I_p$  为流经  $R_p$  的极化电流;

步骤一(一)、根据等效电路模型,分别列出卡尔曼滤波器所需状态方程与观测方程:

状态方程为:

$$x_k = \begin{bmatrix} V_{OC,k} \\ R_{O,k} \\ R_{P,k} \\ I_{P,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & e^{-\Delta t/\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{OC,k-1} \\ R_{O,k-1} \\ R_{P,k-1} \\ I_{P,k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \left(1 - (1 - e^{-\Delta t/\tau}) / (\Delta t/\tau)\right) \times I_{L,k} + \left((1 - e^{-\Delta t/\tau}) / (\Delta t/\tau) - e^{-\Delta t/\tau}\right) \times I_{L,k-1} \end{bmatrix} + w_{k-1}$$

其中:

$x_k = [V_{OC,k} \ R_{O,k} \ R_{P,k} \ I_{P,k}]^T$  为状态向量; $w_{k-1}$  为过程激励噪声;

$\tau = R_p C_p$  为极化环节的时间常数, $\Delta t$  为两次采样的时间间隔, $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ,表示在第  $k$  个采样点;

观测方程为:

$$z_k = U_{L,k} = h(x_k, u_k) + v_k = V_{OC,k} + R_{O,k} I_{L,k} + R_{P,k} I_{P,k} + v_k$$

其中: $z_k = U_{L,k}$  为观测变量; $v_k$  为观测噪声;

步骤一(二)、根据上述状态方程与观测方程,分别计算、列写各方程所需空间矩阵;

状态方程增益矩阵  $A_k$ :

$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & e^{-\Delta t/\tau} \end{bmatrix}$$

状态方程控制变量矩阵  $B_k$ :

$$B_k = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \left(1 - (1 - e^{-\Delta t/\tau}) / (\Delta t/\tau)\right) \times I_{L,k} + \left((1 - e^{-\Delta t/\tau}) / (\Delta t/\tau) - e^{-\Delta t/\tau}\right) \times I_{L,k-1} \end{bmatrix}$$

过程激励噪声增益矩阵  $W_k$ :

$$W_k = \begin{bmatrix} 1 \\ & 1 \\ & & 1 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

观测方程增益矩阵  $H_k$ :

$$H_k = \frac{\partial h}{\partial x}(\tilde{x}_k, u_k, 0) = \begin{bmatrix} 1 & I_{L,k} & I_{P,k} & R_{P,k} \end{bmatrix}$$

观测噪声增益矩阵  $V_k$  :

$$V_k = \frac{\partial h}{\partial v}(\tilde{x}_k, u_k, 0) = 1$$

步骤二、利用扩展卡尔曼滤波器估算状态向量 :

首先,根据电池类型设定所要估计的状态向量的初始值  $x_0$  以及时间常数  $\tau$ ,令估计误差协方差的初始值  $P_0 = 1$ ,并根据传感器精度选取过程激励噪声协方差矩阵  $Q$  和观测噪声协方差矩阵  $R$  ;

然后,依次循环计算时间更新方程组与观测更新方程组 :

时间更新方程组的计算公式为 :

(1) 向前推算状态变量 :

$$\hat{x}_{k|k-1} = A_k \hat{x}_{k-1} + B_k$$

(2)、向前推算误差协方差 :

$$P_{k|k-1} = A_k P_{k-1} A_k^T + Q$$

观测更新方程组的计算公式为 :

(1) 计算扩展卡尔曼增益 :

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R)^{-1}$$

(2) 由观测变量更新估计 :

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= \hat{x}_{k|k-1} + K_k \left[ z_k - (V_{OC,k} + \hat{R}_{O,k|k-1} I_{L,k} + \hat{R}_{P,k|k-1} \hat{I}_{P,k|k-1}) \right] \\ &= \hat{x}_{k|k-1} + K_k \left[ z_k - (\hat{x}_{k|k-1} (1) + \hat{x}_{k|k-1} (2) I_{L,k} + \hat{x}_{k|k-1} (3) \hat{x}_{k|k-1} (4)) \right] \end{aligned}$$

最后,更新误差协方差 :

$$P_k = (I_4 - K_k H_k) P_{k|k-1}$$

式中,  $\hat{x}_{k|k-1}$  表示对  $x$  的先验估计,  $\hat{x}_k$  表示对  $x$  的后验估计 ;

步骤三、每次迭代后输出状态向量中的  $R_{0,k}$ 、 $R_{P,k}$  作为当前状态下的欧姆内阻与极化内阻的估计结果。

## 一种二次电池内阻的实时在线估计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种二次电池内阻的实时在线估计方法,属于二次电池储能系统控制技术领域。

### 背景技术

[0002] 二次电池的内阻作为电池的重要特性参数与其荷电状态,健康状态,温度等因素密切相关。目前二次电池的内阻检测主要有三种方法:

[0003] 1、直流法:在离线的情况下,对电池进行短时的大电流恒流放电,获得电池在此过程中的电压变化值和电流变化值数据,然后用电压变化量除以电流变化量,从而得到电池内阻。此种方法获得的结果比较稳定可靠,但由于其采用离线测量方式,很难应用在如电动汽车等移动设备中,同时也无法应用于工作状态下的各系统中,而且大电流放电对电池健康状态与使用寿命亦有不良影响。此外,虽然该方法旨在测量电池的欧姆内阻,但由于其测量与计算方式的选择,无法避免极化环节中的极化内阻对测试结果产生影响。

[0004] 2、模型参数识别法:利用二次电池测试平台,对电池进行一系列的复合功率脉冲特性试验。根据标准电池模型,利用 Matlab、Excel 或其他具有计算功能的应用软件,在普通计算机上对所获得的不同荷电状态(SOC)下的电池复合功率脉冲特性进行拟合,从而得到在相应荷电状态下的电池模型内部各元件参数。该方法的优点在于能够较为准确并且独立的得到电池的欧姆内阻与极化内阻,但由于严格的测试规程与对测试所用平台的要求较高,该方法同样仅限于离线状态下使用。

[0005] 3、交流阻抗法:交流阻抗法是一种比较常用的电化学方法,广泛应用于二次电池的在线内阻监测中。此方法通过外加测试装置对电池施加一个固定频率的交流小电流信号,通过测得电池两端的反馈电压,计算所得电压与施加电流之比,从而得到电池的交流阻抗。该方法克服了直流法的诸多缺点,可以实现在线测量,且由于测试电流小,对电池基本无伤害。但交流法的实施同样只能应用在电池的非工作条件下,即不能实现电池使用过程中实时内阻检测。且现有的电池管理的采集模块单元能够直接获取的物理量仅为:电池的电压,电流,温度等参数。如要使用交流阻抗法,还需外加硬件电路,这会增大管理系统的体积且制造成本也将随之大大增加。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种仅需提供电池的端电压与负载电流,而无需另增加其它辅助硬件电路的二次电池内阻(内阻包括欧姆内阻与极化内阻)的实时在线估计方法,以解决以上各方法存在的诸多不足。

[0007] 本发明为解决上述技术问题采取的技术方案是:

[0008] 本发明所述二次电池内阻的实时在线估计方法是按照以下步骤实现的:

[0009] 步骤一、根据标准电池模型的电路结构建立离散的电池状态空间模型;其中, $U_L$  和  $I_L$  分别表示电池的外部端电压(即负载端电压)与流经电池的总电流(即流经负载的电

流) ; $V_{oc}$  用来表示该电池模型内部的标准电压源 (即电池开路电压), 同时串联在回路中还有电池的欧姆内阻  $R_o$ 、以及由极化内阻  $R_p$  与极化电容  $C_p$  并联组成的极化电路网络,  $I_p$  为流经  $R_p$  的极化电流;

[0010] 步骤一 (一)、根据等效电路模型, 分别列出卡尔曼滤波器所需状态方程与观测方程:

[0011] 状态方程为:

[0012]

$$x_k = \begin{bmatrix} V_{oc,k} \\ R_{o,k} \\ R_{p,k} \\ I_{p,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & e^{-\Delta t/\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{oc,k-1} \\ R_{o,k-1} \\ R_{p,k-1} \\ I_{p,k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \left(1 - (1 - e^{-\Delta t/\tau}) / (\Delta t/\tau)\right) \times I_{L,k} + \left((1 - e^{-\Delta t/\tau}) / (\Delta t/\tau) - e^{-\Delta t/\tau}\right) \times I_{L,k-1} \end{bmatrix} + w_{k-1}$$

[0013] 其中:

[0014]  $x_k = [V_{oc,k} \ R_{o,k} \ R_{p,k} \ I_{p,k}]^T$  为状态向量;  $w_{k-1}$  为过程激励噪声;

[0015]  $\tau = R_p C_p$  为极化环节的时间常数,  $\Delta t$  为两次采样的时间间隔,  $k = 0, 1, 2, \dots, n$ , 表示在第  $k$  个采样点:

[0016] 观测方程为:

[0017]  $z_k = U_{L,k} = h(x_k, u_k) + v_k = V_{oc,k} + R_{o,k} I_{L,k} + R_{p,k} I_{p,k} + v_k$

[0018] 其中:  $z_k = U_{L,k}$  为观测变量;  $v_k$  为观测噪声;

[0019] 步骤一 (二)、根据上述状态方程与观测方程, 分别计算、列写各方程所需空间矩阵;

[0020] 状态方程增益矩阵  $A_k$ :

[0021] 
$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & e^{-\Delta t/\tau} \end{bmatrix}$$

[0022] 状态方程控制变量矩阵  $B_k$ :

[0023] 
$$B_k = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \left(1 - (1 - e^{-\Delta t/\tau}) / (\Delta t/\tau)\right) \times I_{L,k} + \left((1 - e^{-\Delta t/\tau}) / (\Delta t/\tau) - e^{-\Delta t/\tau}\right) \times I_{L,k-1} \end{bmatrix}$$

[0024] 过程激励噪声增益矩阵  $W_k$ :

[0025] 
$$W_k = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

[0026] 观测方程增益矩阵  $H_k$ :

[0027] 
$$H_k = \frac{\partial h}{\partial x}(\bar{x}_k, u_k, 0) = [1 \quad I_{L,k} \quad I_{p,k} \quad R_{p,k}]$$

[0028] 观测噪声增益矩阵  $V_k$  :

$$[0029] \quad V_k = \frac{\partial h}{\partial v}(\tilde{x}_k, u_k, \mathbf{0}) = \mathbf{I}$$

[0030] 步骤二、利用扩展卡尔曼滤波器估算状态向量 :

[0031] 首先,根据电池类型设定所要估计的状态向量的初始值  $x_0$  以及时间常数  $\tau$ ,令估计误差协方差的初始值  $P_0 = \mathbf{I}$ ,并根据传感器精度选取过程激励噪声协方差矩阵  $Q$  和观测噪声协方差矩阵  $R$  ;

[0032] 然后,依次循环计算时间更新方程组与观测更新方程组 :

[0033] 时间更新方程组的计算公式为 :

[0034] (1)、向前推算状态变量 :

$$[0035] \quad \hat{x}_{k|k-1} = A_k \hat{x}_{k-1} + B_k$$

[0036] (2)、向前推算误差协方差 :

$$[0037] \quad P_{k|k-1} = A_k P_{k-1} A_k^T + Q$$

[0038] 观测更新方程组的计算公式为 :

[0039] (1) 计算扩展卡尔曼增益 :

$$[0040] \quad K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R)^{-1}$$

[0041] (2) 由观测变量更新估计 :

$$[0042] \quad \hat{x}_k = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \left[ z_k - (V_{OC,k} + \hat{R}_{O,k|k-1} I_{L,k} + \hat{R}_{P,k|k-1} \hat{I}_{P,k|k-1}) \right]$$

$$[0043] \quad = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \left[ z_k - (\hat{x}_{k|k-1} (1) + \hat{x}_{k|k-1} (2) I_{L,k} + \hat{x}_{k|k-1} (3) \hat{x}_{k|k-1} (4)) \right]$$

[0044] 最后,更新误差协方差 :

$$[0045] \quad P_k = (I_4 - K_k H_k) P_{k|k-1}$$

[0046] 式中,  $\hat{x}_{k|k-1}$  表示对  $x$  的先验估计,  $\hat{x}_k$  表示对  $x$  的后验估计 ;

[0047] 步骤三、每次迭代后输出状态向量中的  $R_{0,k}$ 、 $R_{p,k}$  作为当前状态下的欧姆内阻与极化内阻的估计结果。

[0048] 本发明的有益效果是 :

[0049] 本发明实现了在储能系统的工作过程中,实时测得二次电池的端电压与工作电流,本发明基于标准电池等效电路模型,利用扩展卡尔曼滤波器的工作原理,构建算法所需的状态方程与观测方程,将电池的开路电压 ( $V_{OC}$ ),欧姆内阻 ( $R_0$ ),极化内阻 ( $R_p$ ),极化电流 ( $I_p$ ) 作为估计量,将实时测得的端电压 ( $V_L$ )、负载电流 ( $I_L$ ) 以及两次采样的时间间隔  $\Delta t$  作为已知量 ;并根据传感器精度选取过程激励噪声协方差与测量噪声协方差,通过迭代更新,进而实时地估计出所测二次电池的欧姆内阻与极化内阻。与现有的内阻测试方法相比,本方法具有可实时在线估计,稳定性好,无需附加硬件测试电路的优点。

[0050] 本方法不仅能够实现对工作状态下的电池进行实时在线的内阻检测,且在整个估算过程中,仅需提供电池的端电压与负载电流,而无需另增加其它辅助硬件电路。本方法具有使用方便且不增加系统体积与成本的显著优点。本发明可应用在可再生能源、大规模储能以及电动汽车等以二次电池作为储能装置的系统。

附图说明

[0051] 图 1 为本发明方法所使用的二次电池等效电路模型；

[0052] 图 2 为本发明所涉及的扩展卡尔曼滤波工作原理图；

[0053] 图 3 为电动汽车用二次电池的工况循环实验；图 3 中横坐标表示时间，单位是秒 (s)；左侧纵坐标表示电流，单位是安培 (A)；右侧纵坐标表示电压，单位是伏特 (V)。

[0054] 图 4 为在工况下，二次电池的欧姆内阻与极化内阻的实时在线估计结果，并与模型参数识别法在离线条件下所测得结果进行对比；图 4 横坐标表示电池的荷电状态 (SOC)；纵坐标表示阻值 (R)，单位是欧姆 ( $\Omega$ )；图中实线表示利用本发明方法得到的电池欧姆内阻值，虚线表示利用本发明方法得到的电池极化内阻值，圆圈符号表示利用模型参数识别法得到的电池欧姆内阻值，三角形符号表示利用模型参数识别法得到的电池极化内阻值。

### 具体实施方式

[0055] 具体实施方式一：如图 1~2 所示，本实施方式所述的一种二次电池内阻的实时在线估计方法是按照以下步骤实现的：

[0056] 步骤一、根据标准电池模型的电路结构建立离散的电池状态空间模型；其中， $U_L$  和  $I_L$  分别表示电池的外部端电压（即负载端电压）与流经电池的总电流（即流经负载的电流）； $V_{OC}$  用来表示该电池模型内部的标准电压源（即电池开路电压），同时串联在回路中还有电池的欧姆内阻  $R_0$ 、以及由极化内阻  $R_p$  与极化电容  $C_p$  并联组成的极化电路网络， $I_p$  为流经  $R_p$  的极化电流；

[0057] 步骤一（一）、根据等效电路模型，分别列出卡尔曼滤波器所需状态方程与观测方程：

[0058] 状态方程为：

[0059]

$$x_k = \begin{bmatrix} V_{OC,k} \\ R_{O,k} \\ R_{P,k} \\ I_{P,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & e^{-\Delta t/\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{OC,k-1} \\ R_{O,k-1} \\ R_{P,k-1} \\ I_{P,k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \left(1 - (1 - e^{-\Delta t/\tau})\right)/(\Delta t/\tau) \times I_{L,k} + \left((1 - e^{-\Delta t/\tau})/(\Delta t/\tau) - e^{-\Delta t/\tau}\right) \times I_{L,k-1} \end{bmatrix} + w_{k-1}$$

[0060] 其中：

[0061]  $x_k = [V_{OC,k} \ R_{O,k} \ R_{P,k} \ I_{P,k}]^T$  为状态向量； $w_{k-1}$  为过程激励噪声；

[0062]  $\tau = R_p C_p$  为极化环节的时间常数， $\Delta t$  为两次采样的时间间隔， $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ，表示在第  $k$  个采样点：

[0063] 观测方程为：

[0064]  $z_k = U_{L,k} = h(x_k, u_k) + v_k = V_{OC,k} + R_{O,k} I_{L,k} + R_{P,k} I_{P,k} + v_k$

[0065] 其中： $z_k = U_{L,k}$  为观测变量； $v_k$  为观测噪声；

[0066] 步骤一（二）、根据上述状态方程与观测方程，分别计算、列写各方程所需空间矩阵；

[0067] 状态方程增益矩阵  $A_k$ ：

$$[0068] \quad A_k = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & e^{-\Delta t/\tau} \end{bmatrix}$$

[0069] 状态方程控制变量矩阵  $B_k$  :

$$[0070] \quad B_k = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \left(1 - (1 - e^{-\Delta t/\tau}) / (\Delta t/\tau)\right) \times I_{L,k} + \left(\left(1 - e^{-\Delta t/\tau}\right) / (\Delta t/\tau) - e^{-\Delta t/\tau}\right) \times I_{L,k-1} \end{bmatrix}$$

[0071] 过程激励噪声增益矩阵  $W_k$  :

$$[0072] \quad W_k = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

[0073] 观测方程增益矩阵  $H_k$  :

$$[0074] \quad H_k = \frac{\partial h}{\partial x}(\tilde{x}_k, u_k, 0) = \begin{bmatrix} 1 & I_{L,k} & I_{P,k} & R_{P,k} \end{bmatrix}$$

[0075] 观测噪声增益矩阵  $V_k$  :

$$[0076] \quad V_k = \frac{\partial h}{\partial v}(\tilde{x}_k, u_k, 0) = 1$$

[0077] 步骤二、利用扩展卡尔曼滤波器估算状态向量 :

[0078] 首先,根据电池类型,设定所要估计的状态向量的初始值  $x_0$  以及时间常数  $\tau$  ;设定估计误差协方差的初始值  $P_0 = 1$  ;并根据电压、电流传感器的精度,选取过程激励噪声协方差矩阵  $Q$  和观测噪声协方差矩阵  $R$  ;

[0079] 然后,依次循环计算时间更新方程组与观测更新方程组 :

[0080] 时间更新方程组的计算公式为 :

[0081] (1)、向前推算状态变量 :

$$[0082] \quad \hat{x}_{k|k-1} = A_k \hat{x}_{k-1} + B_k$$

[0083] (2)、向前推算误差协方差 :

$$[0084] \quad P_{k|k-1} = A_k P_{k-1} A_k^T + Q$$

[0085] 观测更新方程组的计算公式为 :

[0086] (1) 计算扩展卡尔曼增益 :

$$[0087] \quad K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R)^{-1}$$

[0088] (2) 由观测变量更新估计 :

$$[0089] \quad \hat{x}_k = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \left[ z_k - (V_{OC,k} + \hat{R}_{O,k|k-1} I_{L,k} + \hat{R}_{P,k|k-1} \hat{I}_{P,k|k-1}) \right]$$

$$[0090] \quad = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \left[ z_k - (\hat{x}_{k|k-1} (1) + \hat{x}_{k|k-1} (2) I_{L,k} + \hat{x}_{k|k-1} (3) \hat{x}_{k|k-1} (4)) \right]$$

[0091] 最后,更新误差协方差 :

$$[0092] \quad P_k = (I_4 - K_k H_k) P_{k|k-1}$$



[0093] 式中,  $\hat{x}_{k|k-1}$  表示对  $x$  的先验估计,  $\hat{x}_{k|k}$  表示对  $x$  的后验估计;

[0094] 步骤三、每次迭代后输出状态向量中的  $R_{O, k}$ 、 $R_{P, k}$  作为当前状态下的欧姆内阻与极化内阻的估计结果。

[0095] 在实验平台上, 实时在线采集并记录电池的工作电压与电流来获得的离散采样点。在计算机上, 应用 matlab 软件编写如具体实施方式一中所述的算法流程, 将采集的数据代入程序中, 分别得到电池的欧姆内阻与极化内阻。

[0096] 本发明方法不仅适用于在实验平台上采集, 还适用于电池管理单元, 电压表, 电流表, 电压传感器, 电流传感器等可以在线地采集并记录负载电压、电流的硬件设备。

[0097] 本发明方法可以在计算机上, 用特定软件处理数据, 编写算法。也可在有同样功能的各类微处理器, 以及以各类微处理器作为控制中心的单元模块或管理系统中实时进行数据处理。

[0098] 实施例:

[0099] 第一步: 对于相同的实验数据, 在 Matlab 计算环境下运行本发明的具体方式与在实际车辆上依托电池管理单元进行二次电池欧姆内阻与极化内阻估计的具体方式, 所得的效果一致。本发明在计算机环境下, 应用 Matlab 软件, 将上述迭代算法编写为 Matlab 程序。

[0100] 第二步: 进行实验的二次电池为锂离子电池单体, 其容量为 5Ah, 充放电截止电压分别为 3.65V 与 2.5V。将该二次电池置于实验平台中, 运行模拟工况, 采集并记录二次电池负载端的电压和电流。利用安时累加, 计算出记录时间对应的电池的荷电状态。实验过程中的实测电压、电流如图 3 所示。

[0101] 第三步: 将第二步中实验所得的离散的电压、电流与采样间隔代入到已编写好的程序中, 从而得到整个工况实验过程中的二次电池的内阻值 (欧姆内阻  $R_{O, k}$ 、极化内阻  $R_{P, k}$ )。将所得内阻值与荷电状态值一一对应, 并与模型参数识别法 (背景技术中的传统方法 2) 在离线条件下所测得结果 (欧姆内阻  $R_{O, HPPC}$ 、极化内阻  $R_{P, HPPC}$ ) 进行对比, 如图 4 所示, 实验效果表明预测值稳定性高, 效果好。

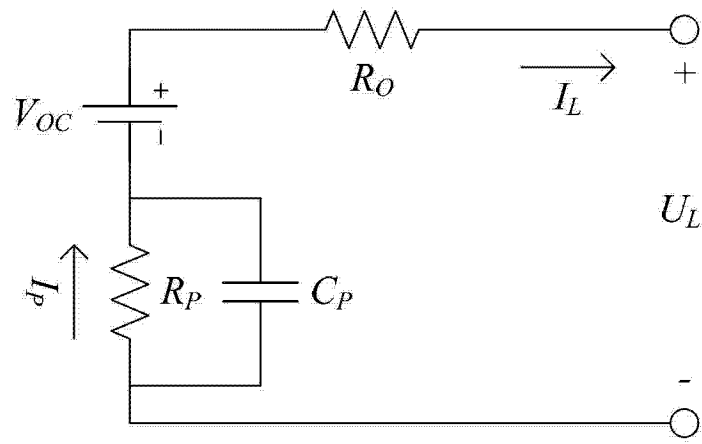


图 1

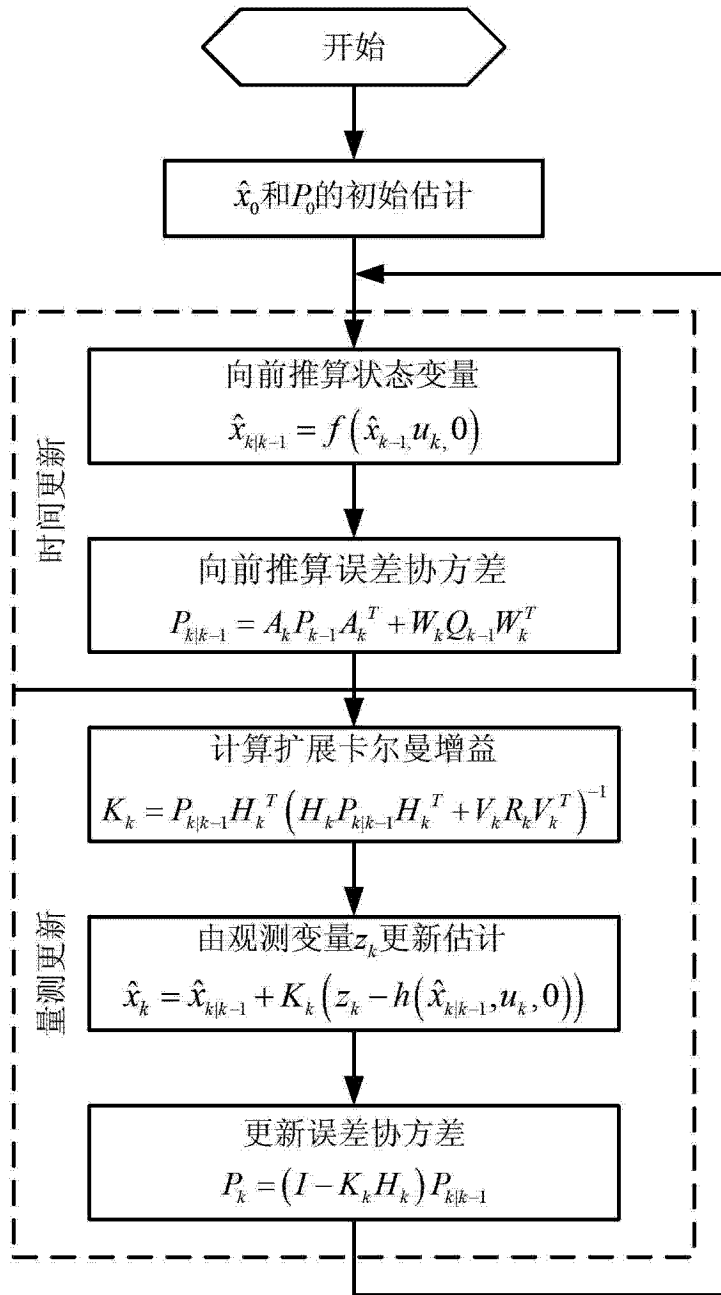


图 2

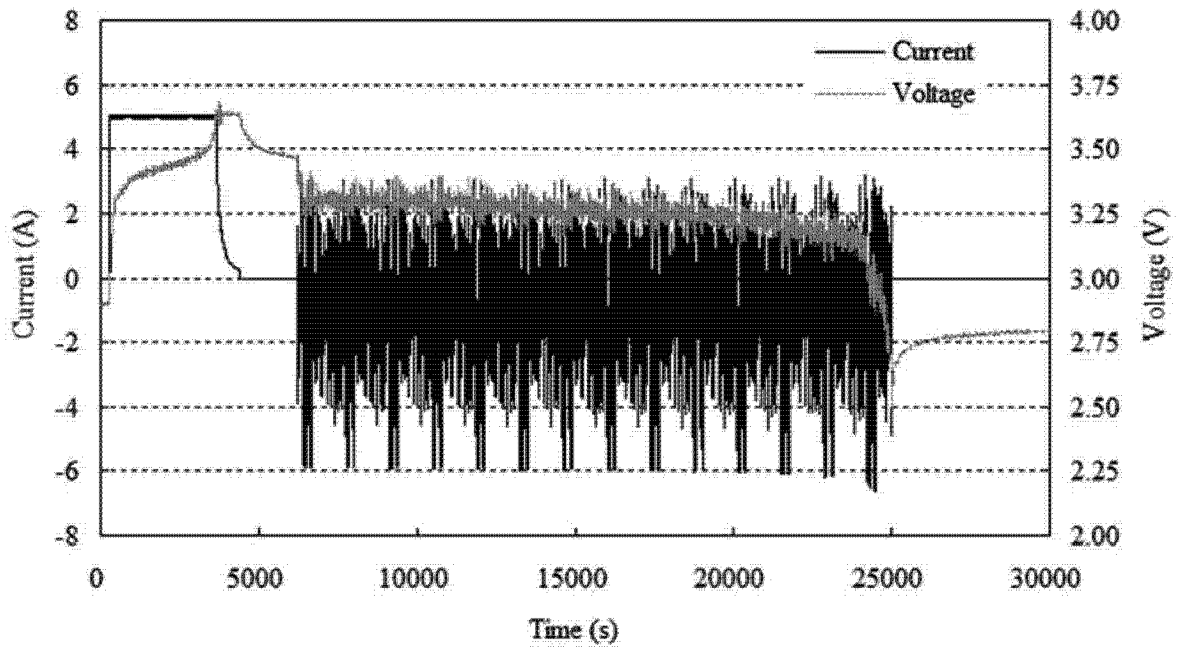


图 3

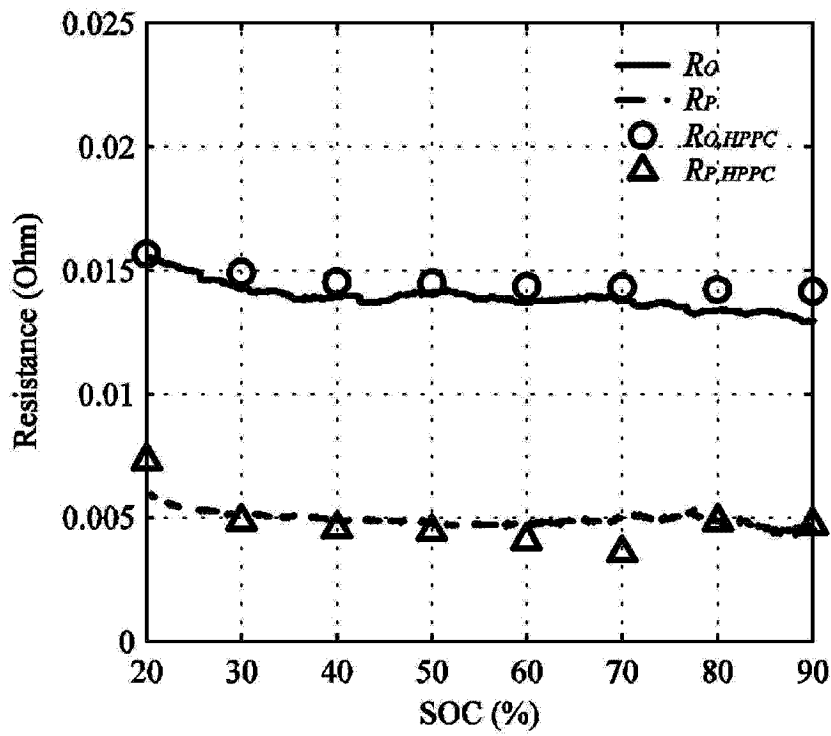


图 4