



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105607010 A

(43) 申请公布日 2016. 05. 25

(21) 申请号 201610071641. 5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2016. 02. 02

G01R 31/36(2006. 01)

(71) 申请人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街 5 号

(72) 发明人 熊瑞 穆浩 曹家怡

(74) 专利代理机构 北京市邦道律师事务所

11437

代理人 薛艳 王丽影

权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

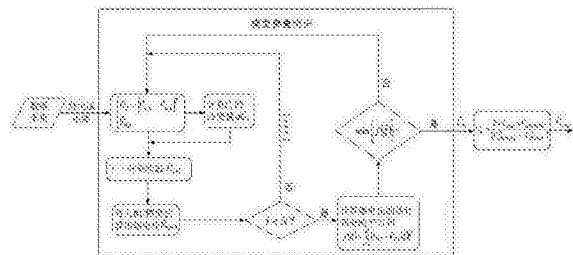
一种估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法

(57) 摘要

本发明涉及电动车辆车载动力电池状态估计领域,尤其涉及一种对电动车辆的动力电池的健康状态进行估计的方法。为解决现有技术中对动力电池的健康状态进行估计时,估计精度低且不稳定,耗时长且工作量大,估计成本高且估计结果对动力电池的荷电状态-开路电压的对应关系及等效电路模型的准确性依赖过强的问题,本发明提出一种估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法,采集动力电池的实测端电压 V₀ 和充放电电流 I,及动力电池在电量充满电状态下的开路电压 V_{100% SoC} 和电量放光电状态下的开路电压 V_{0% SoC};建立动力电池的等效电路模型,辨识出动力电池的储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b ;根据

$$C_b = \frac{2 \times C_{cap} \times V_{100\% SoC}}{(V_{100\% SoC}^2 - V_{0\% SoC}^2)}$$

估计得出动力电池的最大可用容量 C_{cap} 的估计值 \hat{C}_{cap} 。该方法计算简单,计算量小,精度高,适用性强。



1. 一种估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:

步骤1、在所述动力电池充放电过程中,对所述动力电池的实测端电压 V_0 和充放电电流 I 进行采样,且采样时间间隔为 Δt ,并采集所述动力电池在电量充满电状态下的开路电压 $V_{100\%SoC}$ 和电量放光电状态下的开路电压 $V_{0\%SoC}$;

步骤2、选用RC模型作为所述动力电池的等效电路模型,且采集到的充放电电流 I 输入到所述RC模型中时,采集到的实测端电压 V_0 为所述RC模型的输出,辨识得出所述动力电池的等效电路模型中储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b ;

步骤3、利用所述动力电池的等效电路中储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b 根据

$$C_b = \frac{2 \times C_{cap} \times V_{100\%SoC}}{(V_{100\%SoC}^2 - V_{0\%SoC}^2)}$$

估计得出所述动力电池的最大可用容量 C_{cap} 的估计值 \hat{C}_{cap} 。

2. 根据权利要求1所述的估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法,其特征在于,在所述步骤1中,采样时间间隔 Δt 为定值。

3. 根据权利要求2所述的估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法,其特征在于,所述采样时间间隔 Δt 为1s。

4. 根据权利要求1-3中任意一项所述的估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法,其特征在于,所述动力电池的RC模型的系统方程为:

$$\begin{cases} V_0 = \frac{R_e}{(R_s + R_e)} V_b + \frac{R_s}{(R_s + R_e)} V_s + \frac{(R_t R_s + R_t R_e + R_e R_s)}{(R_s + R_e)} I \\ \dot{V}_b = \frac{V_s}{C_b (R_s + R_e)} - \frac{V_b}{C_b (R_s + R_e)} + \frac{R_s}{C_b (R_s + R_e)} I \\ \dot{V}_s = \frac{V_b}{C_s (R_s + R_e)} - \frac{V_s}{C_s (R_s + R_e)} + \frac{R_e}{C_b (R_s + R_e)} I \end{cases},$$

其中,

R_e 表示所述动力电池的终止电阻,

R_t 表示所述动力电池的欧姆电阻,

V_b 表示所述动力电池的储电电容 C_b 两端的电压,

R_s 表示所述动力电池的极化电阻,

V_s 表示所述动力电池的极化电压,

C_s 表示所述动力电池的极化电容。

5. 根据权利要求4所述的估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法,其特征在于,采用遗传算法对所述动力电池的等效电路模型的模型参量进行辨识,且待辨识的模型参量 $\xi = [R_t \ R_s \ C_s \ R_e \ C_b]^T$,其中, T 表示矩阵转置。

6. 根据权利要求5所述的估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法,其特征在于,在对所述动力电池的等效电路模型的模型参量进行辨识时,设定目标函数

$$F = \min \left\{ \sum_{i=1}^N (V_{0,i} - \hat{V}_{0,i}(\hat{\xi}))^2 \right\},$$

其中，

N表示采样数据的长度，

$V_{0,i}$ 表示所述动力电池充放电过程中i时刻的实测端电压，

$\hat{V}_{0,i}$ 表示所述动力电池充放电过程中i时刻的估计端电压，

$\hat{\xi}$ 表示所述待辨识的模型参量 ξ 的估计值。

7.一种采用权利要求1-6中任意一项所述的估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法对电动车辆的动力电池的健康状态进行估计的装置。

一种估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电动车辆车载动力电池状态估计领域,尤其涉及一种对电动车辆的动力电池的健康状态进行估计的方法。

背景技术

[0002] 电动车辆车载动力电池的健康状态(State of Health,简称SOH)是评价该动力电池的当前性能的重要指标。在动力电池的老化过程中,动力电池的健康状态主要体现为动力电池的最大可用容量的衰减和内阻的增加。而动力电池的老化受诸多因素的影响,比如温度、充放电倍率和放电深度等因素,导致动力电池的最大可用容量和内阻的变化存在极大的不确定性和非线性,进而给动力电池管理系统(battery management system,简称BMS)在管理过程中对动力电池的最大可用容量和内阻进行检测带来巨大的挑战。

[0003] 另外,动力电池成组使用时,无法通过实验手段直接获取动力电池的容量信息和内阻信息,而动力电池的最大可用容量又直接影响动力电池的荷电状态(State of Charge,简称SOC)的估计值,且动力电池的荷电状态的估计精度直接关系到动力电池的使用是否安全,因此,为保证动力电池的安全使用,动力电池管理系统必须对动力电池的最大可用容量进行准确估计,即对动力电池的健康状态进行准确估计。

[0004] 动力电池的最大可用容量指的是在某一特定温度和老化程度下,动力电池按照标称倍率进行充(放)电至该动力电池的截止电压时所充入(放出)的电量。由于动力电池在充电时的最大可用容量和在放电时的最大可用容量之间的差异小于1%,因此,通常取二者的平均值作为动力电池在当前状态下的最大可用容量。

[0005] 目前,对动力电池的最大可用容量进行估计的方法大体可分为如下四种:

[0006] 1、基于动力电池的开路电压对动力电池的最大可用容量进行估计的方法,根据动力电池的荷电状态与其开路电压之间存在的唯一的单调变化关系利用动力电池的开路电压估计出该动力电池的荷电状态,而在考虑动力电池老化的前提下,动力电池的荷电状态指的是动力电池的剩余电量与其在当前状态下的最大可用容量的百分比,进而通过测得的动力电池的剩余电量和荷电状态估计出动力电池在当前状态下的最大可用容量。

[0007] 2、基于动力电池的等效电路模型对动力电池的最大可用容量进行估计的方法,通过动力电池的等效电路模型构造出该动力电池的动态方程,并将该动力电池的最大可用容量作为未知状态进行估计。

[0008] 3、基于容量增益分析和电源微分分析对动力电池的最大可用容量进行估计的方法,侧重于在实验室环境下对动力电池内部的化学反应程度进行描述。

[0009] 4、基于动力电池的老化对其最大可用容量进行估计的方法,主要是通过实验数据分析不同的老化因素对动力电池的最大可用容量的衰退的影响,从而建立动力电池的容量衰退模型或者剩余使用寿命模型对动力电池的最大可用容量进行估计。

[0010] 上述四种估计方法可分为离线估计和在线估计两类,其中,采用离线估计方法对动力电池的最大可用容量进行估计时,若采用较少的统计数据进行分析,又可能导致估计

偏差较大,估计精度低且不稳定,若采用大量的统计数据进行分析,虽然能够满足估计精度要求,但是,数据积累耗时长且数据分析工作量大。采用在线估计方法对动力电池的最大可用容量进行估计时,可以进行实时估计并保证估计精度,但是,在线估计对动力电池管理系统的计算能力要求很高,导致估计成本较高,且估计结果对动力电池的荷电状态和开路电压之间的对应关系以及动力电池的等效电路模型的准确性具有很强的依赖。

发明内容

[0011] 为解决现有技术中对动力电池的健康状态即最大可用容量进行估计时,要么估计精度低且不稳定,要么耗时长且工作量大,要么因对动力电池管理系统的计算能力要求过高导致估计成本高且估计结果对动力电池的荷电状态—开路电压之间的对应关系及等效电路模型的准确性依赖过强的问题,本发明提出一种估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法,该方法包括如下步骤:

[0012] 步骤1、在所述动力电池充放电过程中,对所述动力电池的实测端电压 V_0 和充放电电流 I 进行采样,且采样时间间隔为 Δt ,并采集所述动力电池在电量充满电状态下的开路电压 $V_{100\%SoC}$ 和电量放光电状态下的开路电压 $V_{0\%SoC}$;

[0013] 步骤2、选用RC模型作为所述动力电池的等效电路模型,且采集到的充放电电流 I 输入到所述RC模型中时,采集到的实测端电压 V_0 为所述RC模型的输出,辨识得出所述动力电池的等效电路模型中储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b ;

[0014] 步骤3、利用所述动力电池的等效电路中储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b 根据

$$C_b = \frac{2 \times C_{cap} \times V_{100\%SoC}}{(V_{100\%SoC}^2 - V_{0\%SoC}^2)} \text{ 估计得出所述动力电池的最大可用容量 } C_{cap} \text{ 的估计值 } \hat{C}_{cap}。$$

[0015] 本发明方法对动力电池的最大可用容量进行离线估计时,通过采样得出动力电池的实测端电压和充放电电流,并将采样数据中的充放电电流输入到动力电池的RC模型的系统方程中,利用优化算法辨识出动力电池的RC模型的模型参量,进而估计辨识得出的动力电池的储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b ,并动力电池的储电电容与最大可用容量之间的一一对应关系估算出动力电池的最大可用容量 C_{cap} 的估计值 \hat{C}_{cap} ,计算简单,计算量小,且估计精度较高;可对不同老化程度下的动力电池的最大可用容量进行估计,并保证估计精度,适用性强。

[0016] 优选地,在所述步骤1中,采样时间间隔 Δt 为定值,以便于采集数据。进一步地,所述所述采样时间间隔 Δt 为1s。

[0017] 优选地,所述动力电池的RC模型的系统方程为:

$$[0018] \quad \begin{cases} V_0 = \frac{R_e}{(R_s + R_e)} V_b + \frac{R_s}{(R_s + R_e)} V_s + \frac{(R_t R_s + R_t R_e + R_e R_s)}{(R_s + R_e)} I \\ \dot{V}_b = \frac{V_s}{C_b (R_s + R_e)} - \frac{V_b}{C_b (R_s + R_e)} + \frac{R_s}{C_b (R_s + R_e)} I \\ \dot{V}_s = \frac{V_b}{C_s (R_s + R_e)} - \frac{V_s}{C_s (R_s + R_e)} + \frac{R_e}{C_b (R_s + R_e)} I \end{cases},$$

[0019] 其中,

[0020] R_e 表示所述动力电池的终止电阻,

[0021] R_t 表示所述动力电池的欧姆电阻,

[0022] V_b 表示所述动力电池的储电电容 C_b 两端的电压,

[0023] R_s 表示所述动力电池的极化电阻,

[0024] V_s 表示所述动力电池的极化电压,

[0025] C_s 表示所述动力电池的极化电容。

[0026] 优选地,采用遗传算法对所述动力电池的等效电路模型的模型参量进行辨识,且待辨识的模型参量 $\xi = [R_t \ R_s \ C_s \ R_e \ C_b]^T$,其中, T 表示矩阵转置。

[0027] 优选地,在对所述动力电池的等效电路模型的模型参量进行辨识时,设定目标函

$$\text{数 } F = \min \left\{ \sum_{i=1}^N (V_{0,i} - \hat{V}_{0,i}(\hat{\xi}))^2 \right\},$$

[0028] 其中,

[0029] N 表示采样数据的长度,

[0030] $V_{0,i}$ 表示所述动力电池充放电过程中 i 时刻的实测端电压,

[0031] $\hat{V}_{0,i}$ 表示所述动力电池充放电过程中 i 时刻的估计端电压,

[0032] $\hat{\xi}$ 表示所述待辨识的模型参量 ξ 的估计值。

[0033] 本发明方法对动力电池的最大可用容量进行离线估计时,通过采样得出动力电池的实测端电压和充放电电流,并将采样数据中的充放电电流输入到动力电池的RC模型的系统方程中,利用优化算法辨识出动力电池的RC模型的模型参量,进而估计辨识得出的动力电池的储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b ,并动力电池的储电电容与最大可用容量之间的一一对应关系估算出动力电池的最大可用容量 C_{cap} 的估计值 \hat{C}_{cap} ,计算简单、计算量小且估计精度较高。采用RC模型对动力电池的可用容量进行刻画,相较于并联RC等效电路模型具有独特的优势。在对不同的老化程度的动力电池的最大可用容量进行估计时,均能够对动力电池的最大可用容量进行准确估计,适用性强。

[0034] 本发明还提出一种采用上述任意一种估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法对电动车辆的动力电池的健康状态进行估计的装置。

附图说明

- [0035] 图1为本发明估计电动车辆的动力电池的健康状态的流程图；
- [0036] 图2为动力电池的RC模型的等效电路图；
- [0037] 图3为动力电池的并联RC等效电路模型的等效电路图；
- [0038] 图4为循环0次的动力电池在DST工况下的充放电电流的分布图；
- [0039] 图5为图4所示的动力电池的实测端电压随时间变化的曲线图；
- [0040] 图6为图4所示的动力电池的估计端电压随时间变化的曲线图；
- [0041] 图7为图4所示的动力电池的端电压的估计误差的变化曲线图；
- [0042] 图8为循环200次的动力电池在DST工况下的充放电电流的分布图；
- [0043] 图9为图8所示的动力电池的实测端电压随时间变化的曲线图；
- [0044] 图10为图8所示的动力电池的端电压的估计值随时间变化的曲线图；
- [0045] 图11为图8所示的动力电池的端电压的估计误差的变化曲线图。

具体实施方式

[0046] 下面,结合图1-11对本发明估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法进行详细说明。

[0047] 由于动力电池的健康状态主要表现为动力电池的最大可用容量的衰减和内阻的增加,且当内阻增加时,动力电池的最大可用容量相应降低,故本发明仅通过对动力电池的最大可用容量进行估计来对动力电池的健康状态进行估计。

[0048] 如图1所示,对动力电池进行充放电试验,并在试验过程中采集动力电池的实测端电压(端电压的测量值)和充放电电流,以及动力电池在电量充满电状态下的开路电压 $V_{100\%SoC}$ 和电量放光电状态下的开路电压 $V_{0\%SoC}$;建立该动力电池的等效电路模型,并根据所建立的等效电路模型建立动力电池的系统方程,将采集到的充放电电流输入到动力电池的系统方程中,并根据目标函数的要求辨识出动力电池的等效电路模型的模型参量,进而估算出动力电池在当前状态下的最大可用容量,从而估计出动力电池的健康状态。

[0049] 具体步骤如下:

[0050] 步骤1、采集动力电池在充放电过程中的实测端电压 V_0 和充放电电流 I 以及动力电池的开路电压

[0051] 在相同温度下,对动力电池进行充放电试验,并在充放电过程中对动力电池的实测端电压 V_0 和充放电电流 I 进行采样,采样时间间隔即相邻的两个采样时刻之间的时间间隔为 Δt ,比如,在 i 时刻与 $i+1$ 时刻之间的时间间隔即为一个采样时间间隔 Δt ,并采集动力电池在电量充满电状态下的开路电压 $V_{100\%SoC}$ 和电量放光电状态下的开路电压 $V_{0\%SoC}$ 。优选地,采样时间间隔 Δt 为定值,比如1秒(s)。

[0052] 步骤2、建立动力电池的等效电路模型,并辨识出该等效电路模型的模型参量

[0053] 在刻画动力电池的可用容量方面,由于等效电路图如图2所示的RC模型相对于如图3所示的并联RC等效电路模型具有独特的优势,故选用RC模型作为动力电池的等效电路模型。其中,等效电路中的储电电容 C_b 用来表示动力电池存储电量的能力,且该储电电容 C_b 可以与动力电池的最大可用容量 C_{cap} 建立一一对应关系;欧姆内阻 R_t 表示动力电池中电极

材料、电解液、隔膜电阻及其他零件的接触电阻； R_e 表示动力电池的终止电阻； R_s 表示动力电池的极化电阻； V_s 表示动力电池的极化电压， C_s 表示动力电池的极化效应。根据基尔霍夫定律可得：

$$[0054] \quad \begin{cases} V_0 = IR_t + I_b R_e + V_b \\ V_0 = IR_t + I_s R_s + V_s \\ I_b = C_b \dot{V}_b \\ I_s = C_s \dot{V}_s \end{cases}$$

[0055] 其中，

[0056] I_b 表示在充放电过程中动力电池中由终止电阻 R_e 和储电电容 C_b 串联形成的储电支路上的电流，

[0057] V_b 表示动力电池的储电电容 C_b 两端的电压，即动力电池的储电电压，

[0058] I_s 表示在充放电过程中动力电池中由极化电阻 R_s 和极化电容 C_s 串联形成的极化支路上的电流。

[0059] 进而可得出动力电池的系统方程，该系统方程包括动力电池的测量方程：

$$[0060] \quad V_0 = \frac{R_e}{(R_s + R_e)} V_b + \frac{R_s}{(R_s + R_e)} V_s + \frac{(R_t R_s + R_t R_e + R_e R_s)}{(R_s + R_e)} I$$

[0061] 动态方程：

$$[0062] \quad \begin{cases} \dot{V}_b = \frac{V_s}{C_b(R_s + R_e)} - \frac{V_b}{C_b(R_s + R_e)} + \frac{R_s}{C_b(R_s + R_e)} I \\ \dot{V}_s = \frac{V_b}{C_s(R_s + R_e)} - \frac{V_s}{C_s(R_s + R_e)} + \frac{R_e}{C_b(R_s + R_e)} I \end{cases}。$$

[0063] 将采样得到的动力电池的充放电电流 I 和实测端电压 V_0 作为动力电池的等效电路模型的系统输入和系统输出，并通过优化算法比如遗传算法辨识出动力电池的等效电路模型的模型参量 $\xi = [R_t \ R_s \ C_s \ R_e \ C_b]^T$ 。在采用遗传算法对动力电池的等效电路模型的模型参量 $\xi = [R_t \ R_s \ C_s \ R_e \ C_b]^T$ 进行辨识时，首先，将采样得到的动力电池在 i 时刻的充放电电流 I_i 输入到动力电池的动态方程中，得出该动力电池在 i 时刻的极化电压估计值 $\hat{V}_{s,i}$ 和储电电压估计值 $\hat{V}_{b,i}$ ，进而得出动力电池在 i 时刻的估计端电压 $\hat{V}_{0,i}$ 和电压估计向量 $\hat{U}_i = [\hat{V}_{s,i} \ \hat{V}_{b,i}]^T$ ，其中， T 表示矩阵转置；接着，动力电池的动态方程得出电压估计向量 \hat{U}_i 的改变量 $d\hat{U}_i$ ，进而得出下一时刻即 $i+1$ 时刻电压估计向量 \hat{U}_{i+1} ；然后，将 $i+1$ 时刻的电压估计向量 \hat{U}_{i+1} 带入到动力电池的RC模型中，估计出该动力电池的端电压在 $i+1$ 时刻的估计值 $\hat{V}_{0,i+1}$ ，并判断 $i \geq N$ 是否成立，当 $i \geq N$ 不成立时，继续利用采样得到的动力电池的实测

端电压和充放电电流对动力电池的端电压进行估计并得到估计值,直至 $i \geq N$ 成立;接着,根据采用得到的动力电池在 i 时刻的实测端电压 $V_{0,i}$ 和估计端电压 $\hat{V}_{0,i}$ 计算出动力电池的端

电压的估计误差的平方和 $f(\hat{\xi})$,且 $f(\hat{\xi}) = \sum_{i=1}^N (V_{0,i} - \hat{V}_{0,i}(\hat{\xi}))^2$;最后,设定目标函数 F 使动

电池的端电压的估计误差的平方和最小,即 $F = \min \left\{ \sum_{i=1}^N (V_{0,i} - \hat{V}_{0,i}(\hat{\xi}))^2 \right\}$ 或者

$F = \min \{ f(\hat{\xi}) \}$,从而辨识出动力电池的RC模型的模型参量的估计值 $\hat{\xi}$,进而得出动力电

池的储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b 。

[0064] 步骤3、由于动力电池的储电电容 C_b 与该动力电池的最大可用容量 C_{cap} 之间存在一

一对应关系,即 $C_b = \frac{2 \times C_{cap} \times V_{100\%SoC}}{(V_{100\%SoC}^2 - V_{0\%SoC}^2)}$ 。

[0065] 故,在辨识出动力电池的储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b 后,可通过动力电池的储电电容 C_b 与最大可用容量 C_{cap} 之间的一一对应关系估算得出动力电池的最大可用容量 C_{cap} 的估计值 \hat{C}_{cap} 。

[0066] 下面,以标称容量为25Ah,标称电压为3.7伏特(V)的锂离子电池作为试验对象,验证本发明在估计电动车辆上的动力电池的最大可用容量即动力电池的健康状态时存在的优势。分别以老化程度为循环0次和循环200次的动力电池为例,说明采用本发明方法对动力电池的最大可用容量进行估计时的估计效果。

[0067] Eg1、老化程度为循环0次的动力电池

[0068] 首先,对该动力电池进行动态应力测试(Dynamic Stress Test,简称DST),且环境温度为10℃,并在测试过程中对该动力电池的实测端电压 V_0 和充放电电流 I 进行采样,且采样时间间隔 Δt 为1s,采集动力电池在电量充满电状态下的开路电压 $V_{100\%SoC}$ 和电量放光电状态下的开路电压 $V_{0\%SoC}$ 。通过实验测得该动力电池的最大可用容量为25.75Ah。该动力电池在循环0次时的基本信息如表1所示;采样得出的该动力电池的充放电电流 I 随时间变化的曲线如图4所示,实测端电压 V_0 随时间变化的曲线如图5所示。

[0069] 表1

[0070]

	最大可用容量(Ah)	$V_{100\%SoC}$ (V)	$V_{0\%SoC}$ (V)
循环0次	25.75	4.1298	3.3678

[0071] 利用遗传算法辨识得出动力电池的RC模型的模型参量 $\xi = [R_t \ R_s \ C_s \ R_e \ C_b]^T$ 如表2所示,估计得出的动力电池的估计端电压 \hat{V}_0 随时间变化的曲线如图6所示,且估计得出的动力电池的端电压的估计误差随时间变化的曲线如图7所示,进而得出动力电池的储电电

容 C_b 的估计值 \hat{C}_b ，从而根据该动力电池的储电电容 C_b 与最大可用容量 C_{cap} 之间的一一对应关系估算得出该动力电池最大可用容量 C_{cap} 的估计值 \hat{C}_{cap} 为25.7620Ah。

[0072] 表2

[0073]

参数	R_t (m Ω)	R_s (m Ω)	R_e (m Ω)	C_s (F)	C_b (F)	\hat{C}_{cap} (Ah)
循环 0 次	2.2	6.8	5.3	2.4307e3	1.3408e5	25.7620

[0074] 由此可见，采用本发明提出的电池电动车辆的动力电池的健康状态的方法对循环0次的动力电池的最大可用容量进行估计时，估计误差仅为0.0466%，估计精度高。

[0075] Eg2、老化程度为循环200次的动力电池

[0076] 首先，在环境温度为10℃下，对该动力电池进行动态应力测试，并对该动力电池的实测端电压 V_0 和充放电电流 I 进行采样，且采样时间间隔 Δt 为定值，采集动力电池在电量充满电状态下的开路电压 $V_{100\%SoC}$ 和电量放光电状态下的开路电压 $V_{0\%SoC}$ 。通过实验测得该动力电池的最大可用容量为24.58Ah。该动力电池在循环200次时的基本信息如表3所示；采样得出的该动力电池的充放电电流 I 随时间变化的曲线如图8所示，实测端电压 V_0 随时间变化的曲线如图9所示。

[0077] 表3

[0078]

	最大可用容量(Ah)	$V_{100\%SoC}$ (V)	$V_{0\%SoC}$ (V)
循环200次	24.58	4.1298	3.3678

[0079] 利用遗传算法辨识得出动力电池的RC模型的模型参量 $\xi = [R_t \ R_s \ C_s \ R_e \ C_b]^T$ 如表4所示，估计得出的动力电池的估计端电压 \hat{V}_0 随时间变化的曲线如图10所示，且估计得出的动力电池的端电压的估计误差随时间变化的曲线如图11所示，进而得出动力电池的储电电容 C_b 的估计值 \hat{C}_b ，从而根据储电电容 C_b 与最大可用容量 C_{cap} 之间的一一对应关系估算得出动力电池最大可用容量 C_{cap} 的估计值 \hat{C}_{cap} 为24.3584Ah。

[0080] 表4

[0081]

参数	R_t (m Ω)	R_s (m Ω)	R_e (m Ω)	C_s (F)	C_b (F)	\hat{C}_{cap} (Ah)
循环 200 次	4.7	1.0	19.0	2.0528e4	8.9812e4	24.3584

[0082] 由此可见，采用本发明提出的电池电动车辆的动力电池的健康状态的方法对循环200次的动力电池的最大可用容量进行估计时，估计误差为-0.9014%，估计精度高。

[0083] 综上所述，采用本发明提出的估计电动车辆的动力电池的健康状态的方法对动力电池的最大可用容量进行估计时，估计准确，且在对处于不同老化程度下的动力电池的最

大可用容量进行估计时,均能够对动力电池的最大可用容量进行准确估计,适用性强。

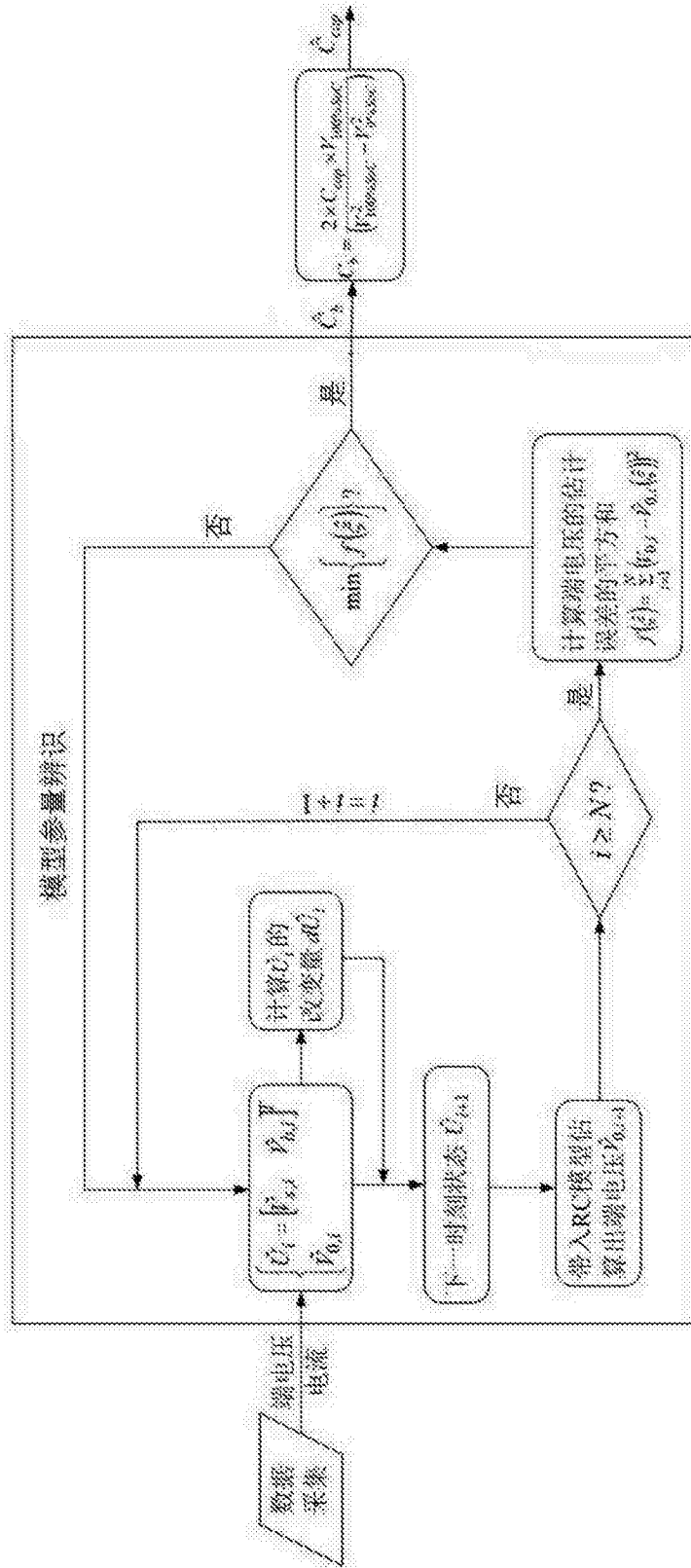


图1

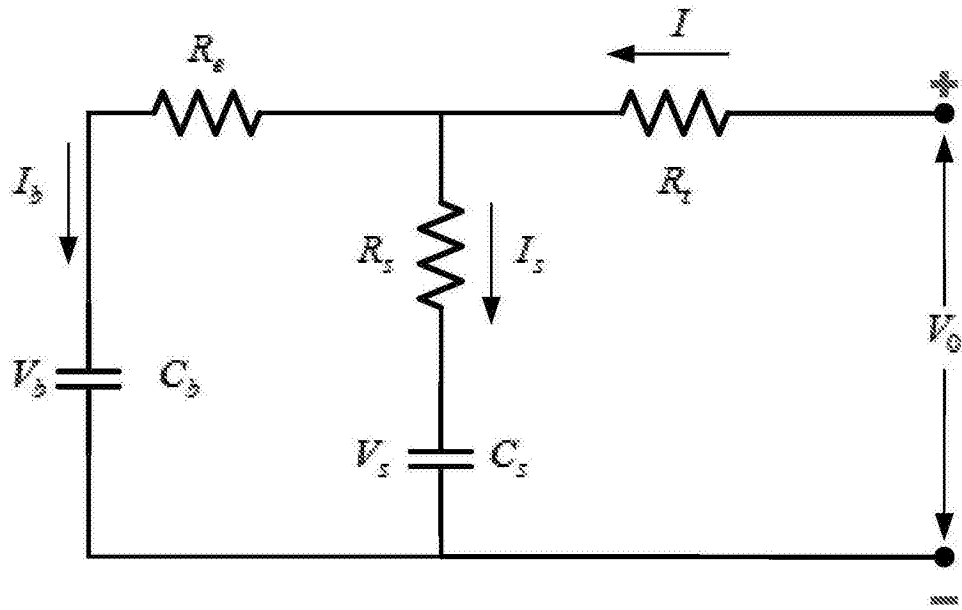


图2

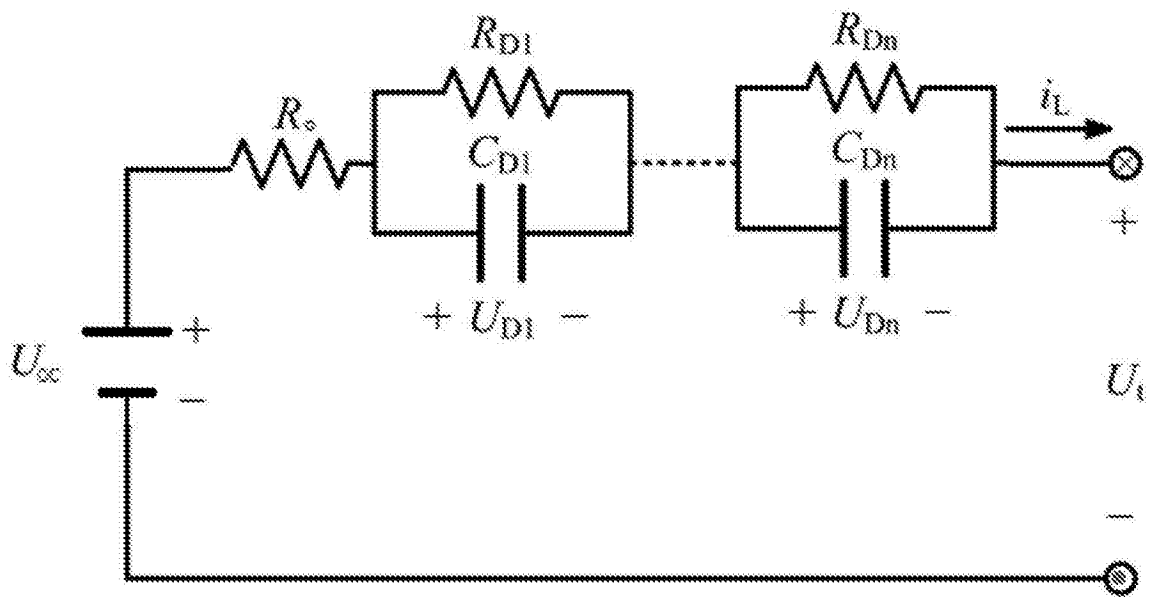


图3

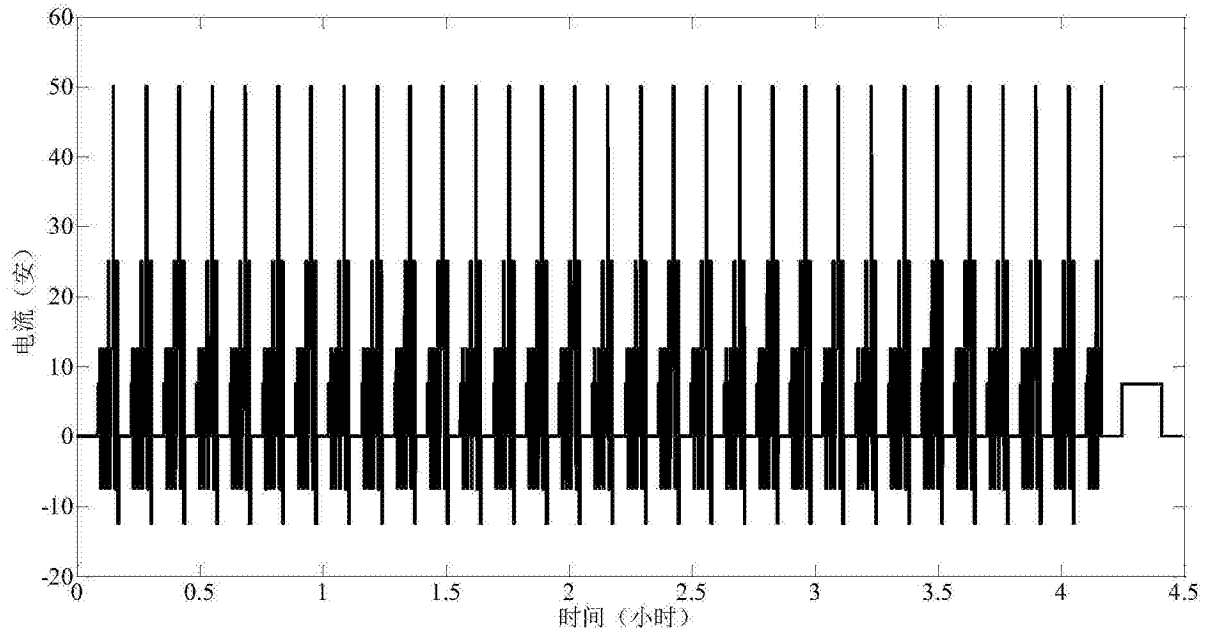


图4

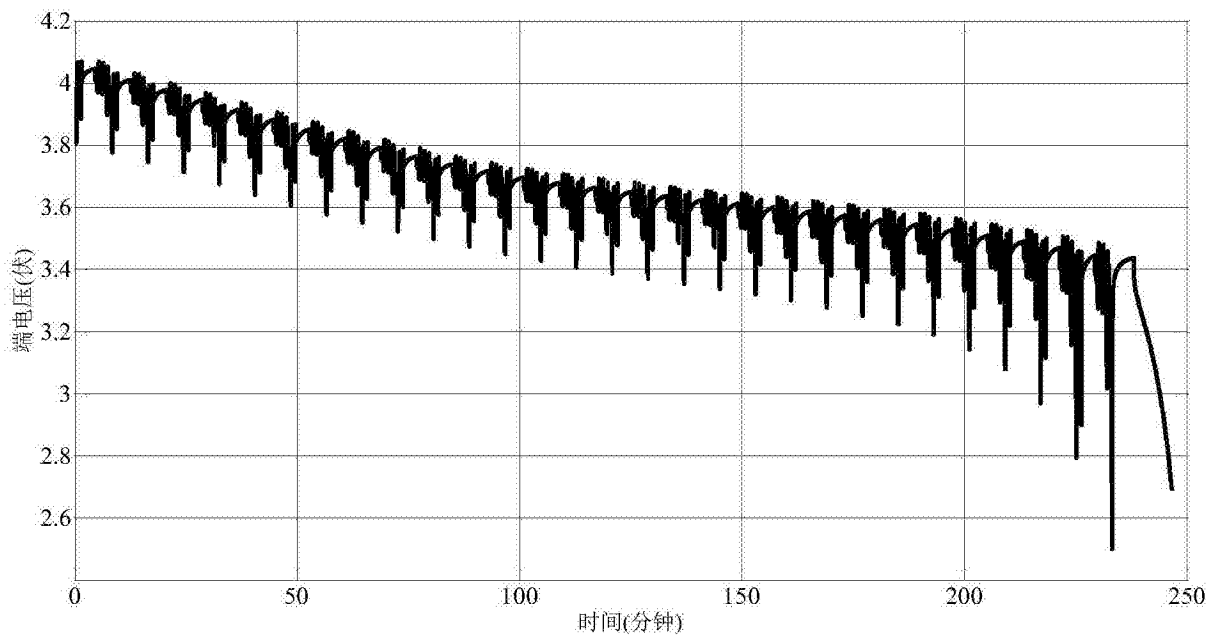


图5

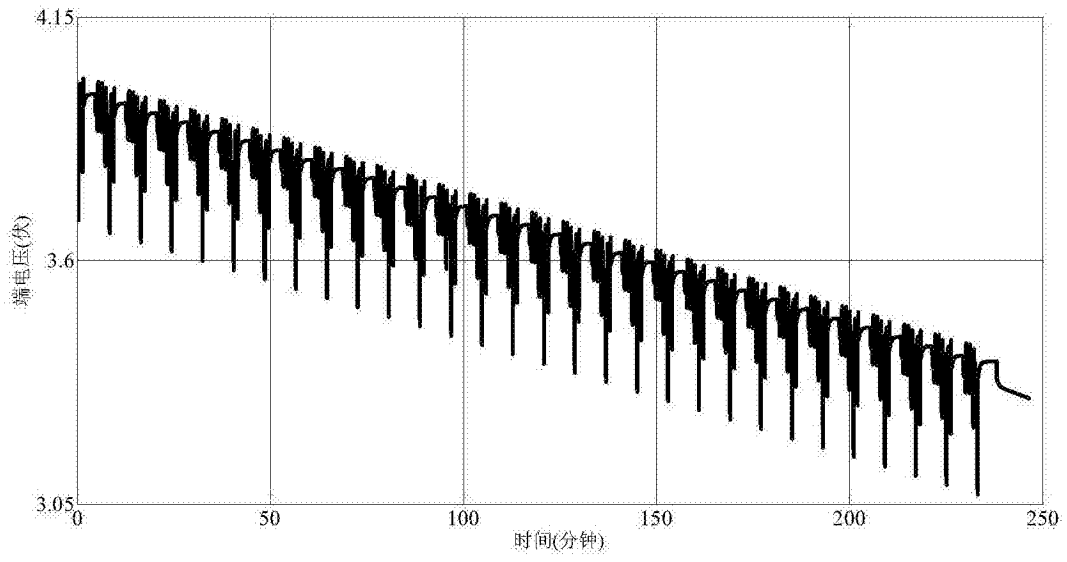


图6

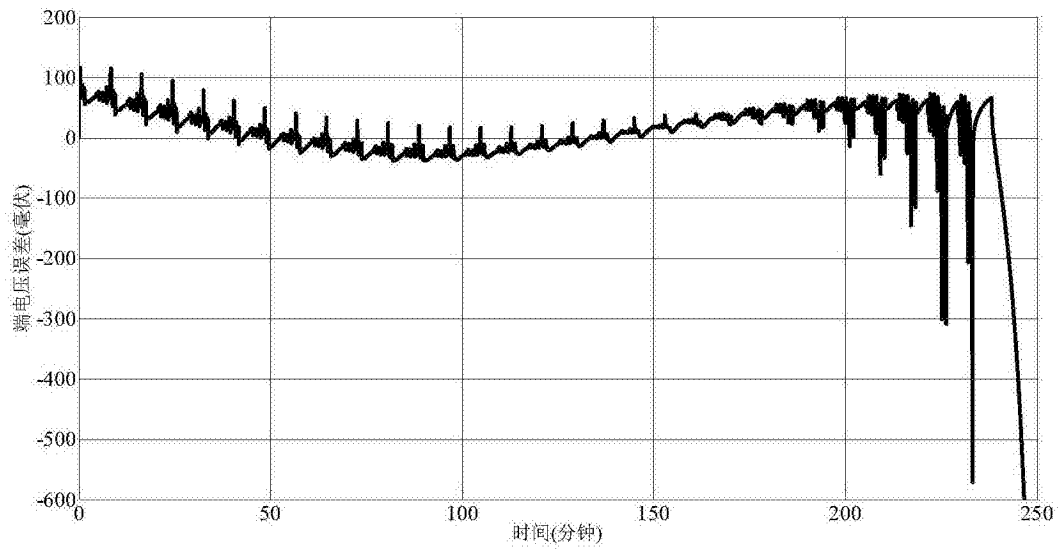


图7

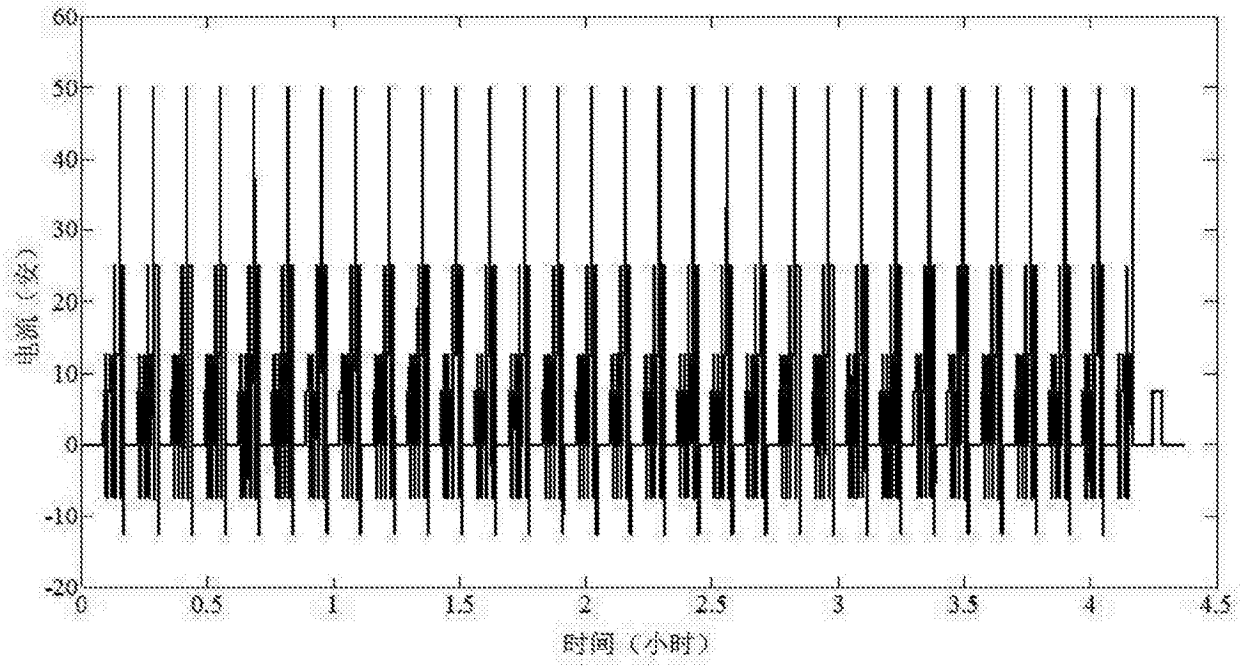


图8

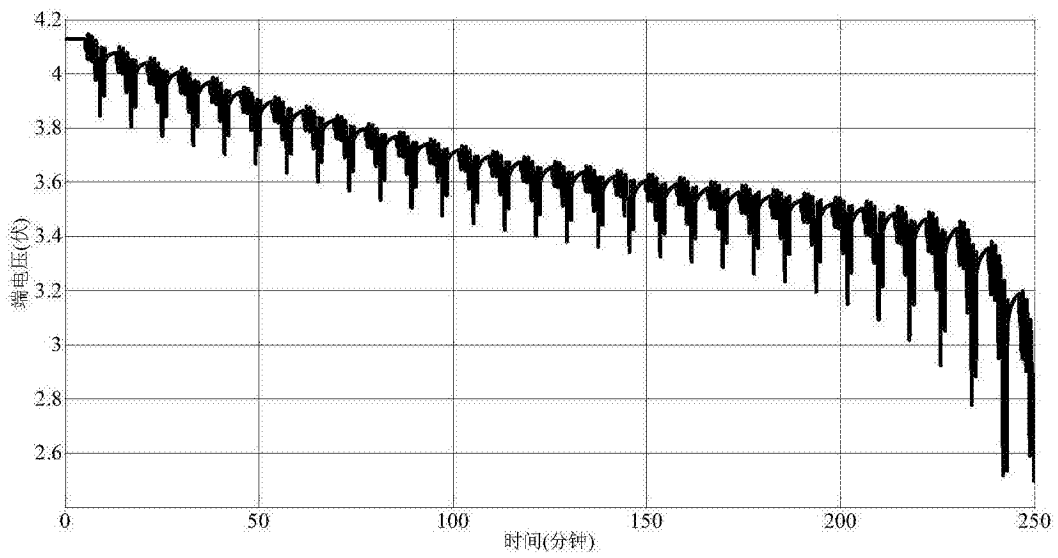


图9

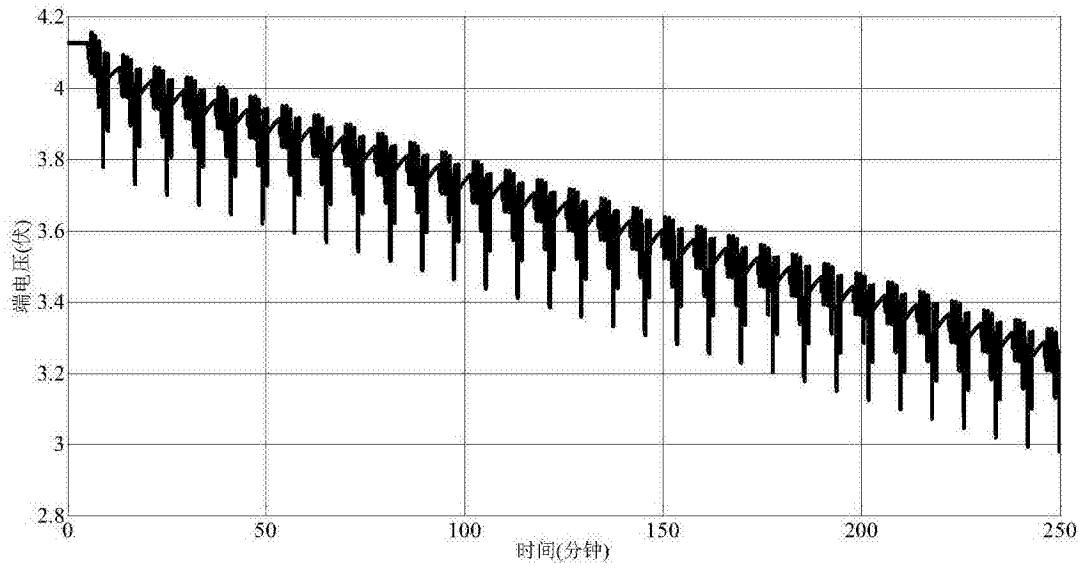


图10

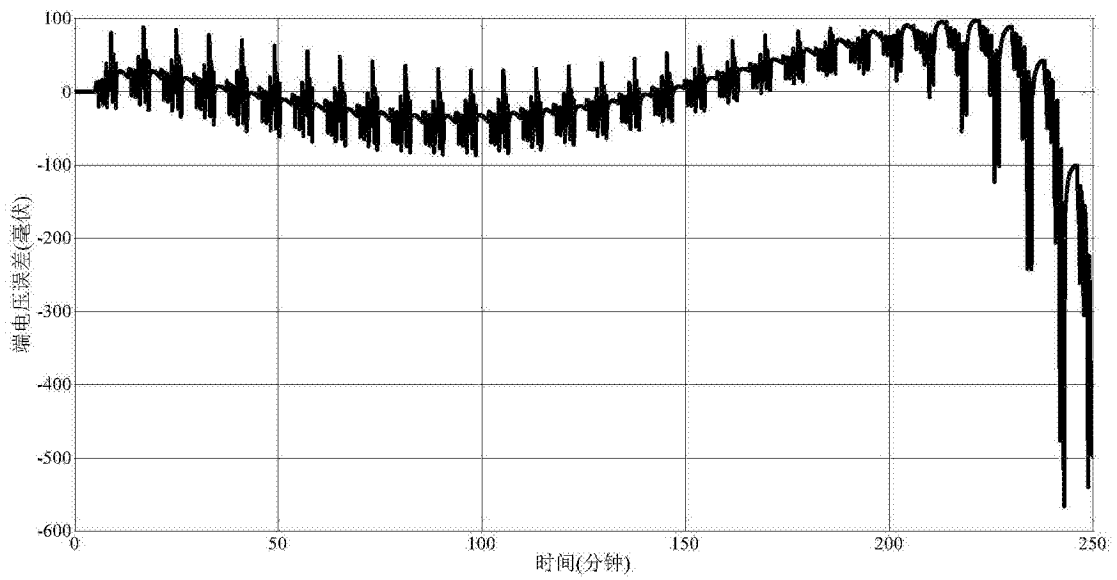


图11