



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114966408 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 30

(21) 申请号 202210467065.1

(22) 申请日 2022.04.29

(71) 申请人 广东汇天航空航天科技有限公司
地址 511400 广东省广州市小谷围街大学
城外环西路318号

(72) 发明人 万应兵 侯聪 张小川

(74) 专利代理机构 北京汇鑫君达知识产权代理
有限公司 11769
专利代理师 黄启法

(51) Int. Cl.

G01R 31/367 (2019.01)

G01R 31/385 (2019.01)

G01R 31/392 (2019.01)

B64D 31/00 (2006.01)

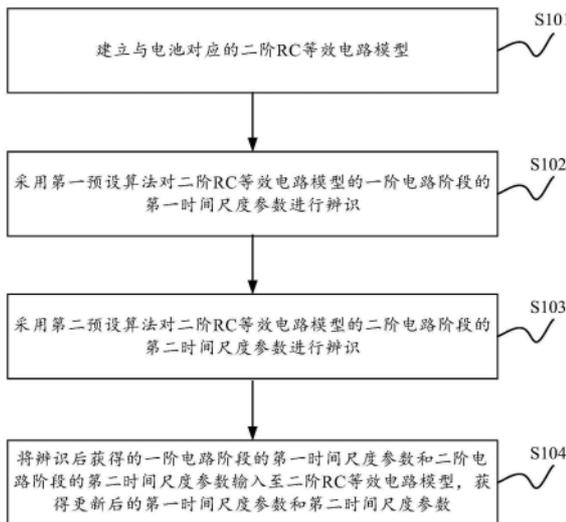
权利要求书2页 说明书12页 附图4页

(54) 发明名称

动力电池在线参数辨识方法、装置、设备及
载人飞行器

(57) 摘要

本申请涉及一种动力电池在线参数辨识方法、装置、设备及载人飞行器。该动力电池在线参数辨识方法包括：建立与电池对应的二阶RC等效电路模型；采用第一预设算法对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识；采用第二预设算法对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识；将辨识后获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数和二阶电路阶段的第二时间尺度参数输入至所述二阶RC等效电路模型，获得更新后的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数。本申请提供的方案，能够提高动力电池在线参数辨识的辨识精度和提高计算效率。



1. 一种动力电池在线参数辨识方法,其特征在于,包括:
 - 建立与电池对应的二阶RC等效电路模型;
 - 采用第一预设算法对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识;
 - 采用第二预设算法对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识;
 - 将辨识后获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数和二阶电路阶段的第二时间尺度参数输入至所述二阶RC等效电路模型,获得更新后的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述采用第一预设算法对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识包括:
 - 采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法,对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识。
3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法,对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识,包括:
 - 对二阶RC等效电路模型进行参数初始化;
 - 自适应估算可变遗忘因子;
 - 利用所述可变遗忘因子和递推最小二乘法估算设定参数;
 - 通过估算出的所述设定参数反推确定所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的的第一时间尺度参数。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述采用第一预设算法对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识之前,还包括:
 - 对输入至所述二阶RC等效电路模型的数据进行归一化处理。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述采用第二预设算法对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识包括:
 - 采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识。
6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识包括:
 - 建立二阶RC等效电路模型中极化电阻的状态空间方程;
 - 估算测量电压和预测电压的误差;
 - 估算所述状态空间方程的状态协方差和卡尔曼增益;
 - 基于滑动窗口更新所述状态空间方程的状态噪音和测量噪音;
 - 根据所述卡尔曼增益,更新所述状态协方差和状态变量;
 - 根据预设参数约束条件,确定所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数。
7. 一种动力电池在线参数辨识装置,其特征在于,包括:
 - 模型等效模块,用于建立与电池对应的二阶RC等效电路模型;
 - 第一参数辨识模块,用于采用第一预设算法对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶

段的第一时间尺度参数进行辨识,并输入至所述二阶RC等效电路模型进行更新;

第二参数辨识模块,用于采用第二预设算法对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识,输入至所述二阶RC等效电路模型进行更新;

参数确定模块,用于将所述第一参数辨识模块辨识后获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数和第二参数辨识模块辨识后获得二阶电路阶段的第一时间尺度参数输入至所述模型等效模块的二阶RC等效电路模型,获得更新后的第一时间尺度参数和第一时间尺度参数。

8. 根据权利要求7所述的装置,其特征在于:

所述第一参数辨识模块采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法,对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识;或,

所述第二参数辨识模块采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识。

9. 一种载人飞行器,其特征在于,包括如权利要求7或8所述的动力电池在线参数辨识装置。

10. 一种计算设备,其特征在于,包括:

处理器;以及

存储器,其上存储有可执行代码,当所述可执行代码被所述处理器执行时,使所述处理器执行如权利要求1-6中任一项所述的方法。

11. 一种计算机可读存储介质,其上存储有可执行代码,当所述可执行代码被处理器执行时,使所述处理器执行如权利要求1-6中任一项所述的方法。

动力电池在线参数辨识方法、装置、设备及载人飞行器

技术领域

[0001] 本申请涉及动力电池系统管理技术领域,尤其涉及一种动力电池在线参数辨识方法、装置、设备及载人飞行器。

背景技术

[0002] 动力电池作为一种新型动力源,已被广泛应用于电动汽车、无人机以及其他采用绿色动力能源的制造行业中。动力电池一般由多个电池单体串联起来组成,上述结构使得动力电池组电压高、结构复杂,并且在使用过程中,由于多种因素的影响,还会对动力电池的性能造成影响。

[0003] 在动力电池使用过程中,需要对动力电池进行实时监控,从而防止动力电池在使用时出现过充、过放、过温等现象,进而导致电池的性能下降,影响电池的使用寿命以及使用安全。

[0004] 相关技术中,通常采用对动力电池进行荷电状态(State of Charge,简称SOC)、健康状态(State of Health,简称SOH)以及功率状态(State of Power,简称SOP)等方面的估算,实现对动力电池的状态进行实时监控。参数辨识对动力电池状态估算有至关重要的作用,精准的动力电池参数辨识对电池状态估算、整机续航、整机性能体验、电池梯度使用、电池主动安全预警等方面有着重要意义。

[0005] 但是,动力电池在使用过程中,一般存在复杂的工况,从而导致电池的参数会随时间发生变化,使得电池的特性存在时变性,而传统的参数识别无法满足电池的时变性需求,在出现复杂工况时,容易产生数值发散的现象,影响辨识精度,并且计算量大,计算效率低,不利于工程化应用。

发明内容

[0006] 为解决或部分解决相关技术中存在的问题,本申请提供一种动力电池在线参数辨识方法、装置、设备及载人飞行器,能够提高动力电池在线参数辨识的辨识精度和提高计算效率。

[0007] 本申请第一方面提供一种动力电池在线参数辨识方法,包括:

[0008] 建立与电池对应的二阶RC等效电路模型;

[0009] 采用第一预设算法对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识;

[0010] 采用第二预设算法对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识;

[0011] 将辨识后获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数和二阶电路阶段的第二时间尺度参数输入至所述二阶RC等效电路模型,获得更新后的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数。

[0012] 在一实施方式中,所述采用第一预设算法对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路

阶段的第一时间尺度参数进行辨识包括：

[0013] 采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法,对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识。

[0014] 在一实施方式中,所述采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法,对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识,包括：

[0015] 对二阶RC等效电路模型进行参数初始化；

[0016] 自适应估算可变遗忘因子；

[0017] 利用所述可变遗忘因子和递推最小二乘法估算设定参数；

[0018] 通过估算出的所述设定参数反推确定所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的的第一时间尺度参数。

[0019] 在一实施方式中,所述采用第一预设算法对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识之前,还包括：

[0020] 对输入至所述二阶RC等效电路模型的数据进行归一化处理。

[0021] 在一实施方式中,所述采用第二预设算法对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识包括：

[0022] 采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识。

[0023] 在一实施方式中,所述采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识包括：

[0024] 建立二阶RC等效电路模型中极化电阻的状态空间方程；

[0025] 估算测量电压和预测电压的误差；

[0026] 估算所述状态空间方程的状态协方差和卡尔曼增益；

[0027] 基于滑动窗口更新所述状态空间方程的状态噪音和测量噪音；

[0028] 根据所述卡尔曼增益,更新所述状态协方差和状态变量；

[0029] 根据预设参数约束条件,确定所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数。

[0030] 本申请第二方面提供一种动力电池在线参数辨识装置,包括：

[0031] 模型等效模块,用于建立与电池对应的二阶RC等效电路模型；

[0032] 第一参数辨识模块,用于采用第一预设算法对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识,并输入至所述二阶RC等效电路模型进行更新；

[0033] 第二参数辨识模块,用于采用第二预设算法对所述二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识,输入至所述二阶RC等效电路模型进行更新；

[0034] 参数确定模块,用于将所述第一参数辨识模块辨识后获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数和第二参数辨识模块辨识后获得二阶电路阶段的第二时间尺度参数输入至所述模型等效模块的二阶RC等效电路模型,获得更新后的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数。

[0035] 在一实施方式中,所述第一参数辨识模块采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法,对所述二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识;或,

[0036] 所述第二参数辨识模块采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,对所述二阶RC等

效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识。

[0037] 本申请第三方面提供一种载人飞行器,包括上述的动力电池在线参数辨识装置。

[0038] 本申请第四方面提供一种计算设备,包括:

[0039] 处理器;以及

[0040] 存储器,其上存储有可执行代码,当所述可执行代码被所述处理器执行时,使所述处理器执行如上所述的方法。

[0041] 本申请第五方面提供一种计算机可读存储介质,其上存储有可执行代码,当所述可执行代码被处理器执行时,使所述处理器执行如上所述的方法。

[0042] 本申请提供的技术方案可以包括以下有益效果:

[0043] 本申请建立了与电池对应的二阶RC等效电路模型,通过对二阶RC等效电路模型中的一阶电路阶段和二阶电路阶段分别采用不同时间尺度的参数辨识方式,将不同时间尺度的参数分离,进行分布式计算,可以降低计算量,提升计算效率,有效提高参数辨识过程的辨识精度和稳定性,更加利于工程化应用。

[0044] 应当理解的是,以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性和解释性的,并不能限制本申请。

附图说明

[0045] 通过结合附图对本申请示例性实施方式进行更详细地描述,本申请的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显,其中,在本申请示例性实施方式中,相同的参考标号通常代表相同部件。

[0046] 图1是本申请实施例示出的动力电池在线参数辨识方法的流程示意图;

[0047] 图2是本申请实施例示出的二阶RC等效模型的模型示意图;

[0048] 图3是本申请实施例示出的动力电池在线参数辨识方法的另一流程示意图;

[0049] 图4是本申请实施例示出的采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法对一阶电路阶段的参数进行辨识的应用框架示意图;

[0050] 图5是本申请实施例示出的动力电池在线参数辨识方法的应用框架示意图;

[0051] 图6是本申请实施例示出的动力电池在线参数辨识装置的结构示意图;

[0052] 图7是本申请实施例示出的计算设备的结构示意图。

具体实施方式

[0053] 下面将参照附图更详细地描述本申请的实施方式。虽然附图中显示了本申请的实施方式,然而应该理解,可以以各种形式实现本申请而不应被这里阐述的实施方式所限制。相反,提供这些实施方式是为了使本申请更加透彻和完整,并且能够将本申请的范围完整地传达给本领域的技术人员。

[0054] 在本申请使用的术语是仅仅出于描述特定实施例的目的,而非旨在限制本申请。在本申请和所附权利要求书中所使用的单数形式的“一种”、“所述”和“该”也旨在包括多数形式,除非上下文清楚地表示其他含义。还应当理解,本文中使用的术语“和/或”是指并包含一个或多个相关联的列出项目的任何或所有可能组合。

[0055] 应当理解,尽管在本申请可能采用术语“第一”、“第二”、“第三”等来描述各种信

息,但这些信息不应限于这些术语。这些术语仅用来将同一类型的信息彼此区分开。例如,在不脱离本申请范围的情况下,第一信息也可以被称为第二信息,类似地,第二信息也可以被称为第一信息。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本申请的描述中,“多个”的含义是两个或两个以上,除非另有明确具体的限定。

[0056] 相关技术关于动力电池的参数辨识技术方案中,参数识别无法满足电池辨识精度,不稳定,计算量大,计算效率低,不利于工程化应用。本申请提供一种动力电池在线参数辨识方法,能够提高动力电池在线参数辨识的辨识精度和提高计算效率。

[0057] 以下结合附图详细描述本申请实施例的技术方案。

[0058] 图1是本申请实施例示出的动力电池在线参数辨识方法的流程示意图。

[0059] 参见图1,该方法包括:

[0060] S101,建立与电池对应的二阶RC等效电路模型。

[0061] 其中,本申请的电池可以是动力电池。动力电池主要用于为工具提供动力来源的电源,其中工具包括交通工具、生产机械设备等,例如交通工具是动车组列车、电动汽车、电动摩托车、电动载人飞行器等,但不局限于此。

[0062] 其中与电池对应的二阶RC等效电路模型可以简称为二阶RC等效模型。一阶RC等效模型一般具有一个RC回路,而二阶RC等效模型具有两个串联的RC回路,其中二阶RC等效模型具有一阶电路阶段以及二阶电路阶段。相对于一阶RC等效模型,采用二阶RC等效模型可以更好的兼顾电池的稳态特性和暂态特性,并且具备更高的模型精度模拟电池在不同温度、充放电倍率下的充放电行为。因此,本申请实施例方案中,建立与电池对应的二阶RC等效电路模型。

[0063] S102,采用第一预设算法对二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识。

[0064] 该步骤可以采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法,对二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识。

[0065] 其中,对二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识例如可以是对一阶电路阶段的 R_0 、 R_1 、 τ_{01} 等第一时间尺度参数进行辨识。

[0066] S103,采用第二预设算法对二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识。

[0067] 该步骤可以采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,对二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识。

[0068] 其中对二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识例如可以是对二阶电路阶段的 R_2 、 τ_{02} 等第二时间尺度参数进行辨识。

[0069] S104,将辨识后获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数和二阶电路阶段的第二时间尺度参数输入至二阶RC等效电路模型,获得更新后的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数。

[0070] 其中,对第一时间尺度参数和第二时间尺度参数进行辨识后,将辨识后获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数和二阶电路阶段的第二时间尺度参数重新输入二阶RC等效电路模型,可以获得更新后的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数,从而对二阶RC等

效电路模型中的相关参数进行自适应调节,使得二阶RC等效电路模型的辨识精度不断提升。

[0071] 需说明的是,本申请中,将获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数输入至二阶RC等效电路模型与将获得的二阶电路阶段的第二时间尺度参数输入至二阶RC等效电路模型之间可以不存在先后顺序。例如,可以在完成第一时间尺度参数的辨识后即时输入至二阶RC等效电路模型,以及在完成第二时间尺度参数的辨识后即时输入至二阶RC等效电路模型。通过上述处理,也可以有效保证二阶RC等效电路模型更新的及时性。

[0072] 从上述实施例可以看出,本申请建立了与电池对应的二阶RC等效电路模型,通过对二阶RC等效电路模型中的一阶电路阶段和二阶电路阶段分别采用不同时间尺度的参数辨识方式,将不同时间尺度的参数分离,进行分布式计算,可以降低计算量,提升计算效率,有效提高参数辨识过程的辨识精度和稳定性,更加利于工程化应用。

[0073] 图3是本申请实施例示出的动力电池在线参数辨识方法的另一流程示意图。图3的流程与图1相比,更详细描述对二阶RC等效电路模型进行不同时间尺度的参数辨识过程,进一步提高本申请方法对不同工况的适应能力及稳定性。

[0074] 参加图3,该方法包括:

[0075] S301,建立与电池对应的二阶RC等效电路模型,并对二阶RC等效电路模型进行离散化处理。

[0076] 一阶的RC等效模型能描述电池动态特性,但无法准确模拟电池在不同温度、充放电倍率下的充放电行为。本申请实施例采用二阶RC等效模型,用相对较少的参数最大化提升等效模型精度,二阶RC等效模型可参见图2。本申请参数辨识的原理如图4所示,通过输入参数根据电池模型不断预估端电压,计算模型的端电压 $\hat{U}(k)$ 和电池的测量电压 $U(k)$ 的误差实时修正电池模型参数,不断重复以上操作,以对误差进行无偏的方差最小化的优化。电池内部反应过程包括时间常数较小的传荷过程和时间常数较大的扩散过程,二阶RC等效电路模型中的一阶电路阶段是电池内部的传荷环节,二阶电路阶段是电池内部的扩散环节。

[0077] 本本请实施例将对 R_0 、 R_1 、 τ_{01} 、 R_2 、 τ_{02} 等参数进行在线参数辨识。

[0078] 1) 数学建模:

[0079] 本申请通过数学建模,依据二阶RC等效模型的拓扑结构,建立二阶RC等效模型的数学模型,其中二阶RC等效模型的数学模型表征如下:

$$[0080] \quad U_L(k) = U_{ocv}(k) + I(k) \cdot R_0 + U_1(k) + U_2(k)$$

$$[0081] \quad U_1(k) = -\frac{1}{\tau_{01}} U_1(k) + \frac{1}{C_1} I(k)$$

$$[0082] \quad U_2(k) = -\frac{1}{\tau_{02}} a U_1(k) + \frac{1}{C_2} I(k)$$

$$[0083] \quad \tau_{0i} = R_i \cdot C_i$$

[0084] 其中, U_L 为端电压, U_{ocv} 为开路电压, U_1 为一阶特征电压, U_2 为二阶特征电压, I 为开路电流, R_0 为欧姆内阻, R_1 、 R_2 为极化内阻, τ_{0i} 为时间常数, a 为系数, τ_{01} 为一阶时间常数, τ_{02} 为二阶时间常数, C_1 为一阶电容, C_2 为二阶电容,其中 τ_{01} 、 τ_{02} 可分别通过 $R_1 \cdot C_1$ 和 $R_2 \cdot C_2$ 计算得出。

[0085] 2) 基于最小递推二乘法的离散化表达:

[0086] 为了便于后续计算,将二阶RC等效电路模型进行离散化处理。其中离散化处理是指将连续的数据进行分段,使其变为一段段离散化的区间,同时离散化后的特征对异常数据具有较强的鲁棒性,从而有效降低异常数据对模型造成干扰,并且加强模型的稳定性,更加便于对二阶RC等效电路模型的快速迭代。

[0087] 其中对数据进行离散化处理可采用等距离散法、等频率离散法、K-means模型离散法、二值化离散法、基于卡方分裂的离散法等方式,但不局限此。通过离散化处理可有效提高模型的稳定性,防止异常数据对模芯带来的干扰。

[0088] 例如,本申请可以采用对二阶RC等效电路模型进行基于递推最小二乘法的离散化表达,从而使得离散化处理与本申请后续参数辨识过程更加匹配,具体的,二阶RC等效电路模型进行基于递推最小二乘法的离散化表达如下:

$$[0089] \quad y(k) = \varphi(k) \cdot \theta(k)$$

$$[0090] \quad \varphi(k) = [1, E(k-1), E(k-2), I_L(k), I_L(k-1), I_L(k-2)]$$

$$[0091] \quad \theta(k) = [U_{OCV}(k), b_1, b_2, b_3, b_4, b_5]^T$$

$$[0092] \quad E(k) = U_{OCV}(k) - U_L(k)$$

[0093] 其中, $y(k)$ 为系统输出量即预估量, $\varphi(k)$ 为系统的输入参数(主要包含测量端电压 U_L 、当前及历史时刻的总线电流 I_L), $\theta(k)$ 为待辨识的参数量, $E(k)$ 为电池开路电压 U_{OCV} 与测量端电压 U_L 之差, T 表示转置。

[0094] 其中, b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 是指多项式的系数,与待辨识的参数(欧姆内阻 R_0 , 极化内阻 R_1 、 R_2 , 第一时间常数 τ_{o1} , 第二时间常数 τ_{o2}) 强相关,上述多项式的系数可利用拟合法对多项式方程进行计算得到。

[0095] 通过上述离散化表达式,求解 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 后,即可实现反推出参数 R_0 、 R_1 、 R_2 。

[0096] 其中,反推参数 R_0 、 R_1 、 R_2 的反推计算公式如下:

$$[0097] \quad b_1 = \frac{2T^2 - 8R_1C_1R_2C_2}{T^2 + 2T(R_1C_1 + R_2C_2) + 4R_1C_1R_2C_2}$$

$$[0098] \quad b_2 = \frac{T^2 - 2T(R_1C_1 + R_2C_2) + 4R_1C_1R_2C_2}{T^2 + 2T(R_1C_1 + R_2C_2) + 4R_1C_1R_2C_2}$$

$$[0099] \quad b_3 = \frac{T^2(R_0 + R_1 + R_2) + 4R_0R_1C_1R_2C_2 + 2T(R_0R_1C_1 + R_0R_2C_2 + R_1R_2C_2 + R_2R_1C_1)}{T^2 + 2T(R_1C_1 + R_2C_2) + 4R_1C_1R_2C_2}$$

$$[0100] \quad b_4 = \frac{2T^2(R_0 + R_1 + R_2) - 8R_0R_1C_1R_2C_2}{T^2 + 2T(R_1C_1 + R_2C_2) + 4R_1C_1R_2C_2}$$

$$[0101] \quad b_5 = \frac{T^2(R_0 + R_1 + R_2) + 4R_0R_1C_1R_2C_2 - 2T(R_0R_1C_1 + R_0R_2C_2 + R_1R_2C_2 + R_2R_1C_1)}{T^2 + 2T(R_1C_1 + R_2C_2) + 4R_1C_1R_2C_2}$$

[0102] 其中 T 指的是采样的时间间隔。利用上述公式,当代入 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 的值后,即可推算得到参数 R_0 、 R_1 、 R_2 的值。

[0103] S302,对输入至二阶RC等效电路模型的数据进行归一化处理。

[0104] 该步骤对输入参数例如电流、电压等参数进行归一化处理,可以避免辨识过程中

特征差异过大造成矩阵奇异。

[0105] 也就是说,为避免辨识过程中特征差异过大造成矩阵奇异从而对模型运行造成影响,在本申请还可对输入参数例如电流、电压进行归一化处理,其中归一化处理可以采用最值归一化处理或均值方差归一化处理,剔除异常数据,保证计算效率,从而保证模型运行的稳态。

[0106] S303,采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法对一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识。

[0107] 其中递推最小二乘法,又称RLS(Recursive Least Square)算法或最小二乘法,是将测量误差的平方和最小作为最优估计准则的估计方法,但是在实际应用中,RLS算法会出现数据饱和的现象,从而导致算法失效,因此,相关技术中常采用带遗忘因子的递推最小二乘法,又称FRLS(Recursive Least Squares with Forgetting Factor)算法进行参数辨识。但是,由于FRLS算法中的遗忘因子选取值的大小,直接关系到参数辨识的稳定性并影响模型精度,而且固定遗忘因子的FRLS算法无法适应工况因随机性产生的数值特征矩阵奇异现象,缺乏工况自适应性。

[0108] 本申请采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法,通过设置自适应可变遗忘因子,利用可变遗忘因子和递推最小二乘法估算设定参数,从而使得参数辨识过程更加精准,使得算法的计算速度更快,跟踪能力更强,并且具有更好的抗噪声能力。

[0109] 图4是本申请实施例示出的采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法对一阶电路阶段的参数进行辨识的应用框架示意图。

[0110] 本申请采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法对一阶电路阶段的参数进行辨识,可以包括:

[0111] 1) 对二阶RC等效电路模型进行参数初始化。

[0112] 其中,本申请对离散化后的二阶RC等效电路模型进行参数初始化。其中初始化的参数包括系统值 $\theta(0)$ 、协方差 $P(0)$ 。另外,预先设置可变遗忘因子最小值 λ_{\min} 、最大值 λ_{\max} 、滑动窗口大小 M 以及增益系数 η 。

[0113] 其中可变遗忘因子越小,算法跟踪能力越强,但对噪声越敏感,稳态误差较大,可变遗忘因子越大跟踪能力减弱,但对噪声不敏感,收敛误时参数的估计误差也越小。因此,本申请设置自适应估算可变遗忘因子使得递推最小二乘法具有较强的跟踪能力,同时保持具有较佳的噪声敏感度,从而提升对一阶电路阶段的参数进行辨识的辨识精度。

[0114] 对二阶RC等效电路模型进行参数初始化过程中,同时预设可变遗忘因子估算初始值。预先设置可变遗忘因子最小值 λ_{\min} 、最大值 λ_{\max} ,在实际应用过程中,可根据多次模型仿真进行对可变遗忘因子的最小值和最大值进行取值,例如通过500次模型仿真,取使得算法可兼顾跟踪能力和对噪声敏感度的可变遗忘因子的最大值以及最小值。

[0115] 其中,预设滑动窗口大小 M ,其中 M 值可采用多次模型仿真进行设置,当然的,亦可根据实际生产需求进行设置,利用带滑动窗口的误差分析实现对不同误差数据进行快速有效分析。

[0116] 2) 自适应估算可变遗忘因子。

[0117] 其中,本申请中自适应估算可变遗忘因子的算法,请参考如下所示公式:

$$[0118] \quad err(k) = U_L(k) - \varphi(k) \hat{\theta}(k-1)$$

$$[0119] \quad Lk(k) = -\eta \cdot \frac{\sum_{i=k-M+1}^k err_i \cdot err_i^T}{M}$$

$$[0120] \quad \lambda(k) = \lambda_{\min} + (\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) \cdot 2^{Lk(k)}$$

[0121] 其中err(k)为第k时刻的最小递推二乘算法的估算误差,Lk(k)为估计误差的均方误差, $\lambda(k)$ 为自适应的可变遗忘因子。

[0122] 本申请在进行估算可变遗忘因子大小中,可以将前面误差分析带入估算过程中,从而实现对可变遗忘因子进行自适应更新。

[0123] 3) 利用可变遗忘因子和递推最小二乘法估算设定参数。

[0124] 在递推最小二乘法中使用可变遗忘因子,可以使得对一阶电路阶段的参数的辨识过程更加精准,估算参数公式如下所示:

$$[0125] \quad K(k) = \frac{P(k-1)\varphi^T(k)}{\lambda(k) + \varphi^T(k)P(k-1)\varphi(k)}$$

$$[0126] \quad P(k) = \frac{P(k-1) - K(k)\varphi^T(k)P(k-1)}{\lambda(k)}$$

$$[0127] \quad \hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + K(k)err(k)$$

[0128] 其中K(k)为算法的增益矩阵,P(k)为待辨识参数的协方差矩阵, $\hat{\theta}(k)$ 为待辨识的最优化参数矩阵。

[0129] 通过上述过程,实现对一阶电路阶段进行参数的辨识。

[0130] 4) 约束辨识的参数。

[0131] 由于电池传荷过程和扩散过程时间常数不同,相差很大,因此对其进行范围约束:

$$[0132] \quad R_0 \leq R_{0,\max}$$

$$[0133] \quad R_1 \leq R_{1,\max}$$

$$[0134] \quad \tau_{o1} \leq \tau_{o1,\max}$$

[0135] 5) 通过估算的参数反推一阶电路阶段辨识的参数。

[0136] 利用前面采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法对一阶电路阶段的参数进行辨识的步骤获取的相关估算的参数,并通过前面的反推计算公式进行反推,从而获得一阶电路阶段的第一时间尺度参数R0、R1、 τ_{o1} 。

[0137] S304,采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法对二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识。

[0138] 其中扩展卡尔曼滤波(Extended Kalman Filter)算法,又称EKF算法,扩展卡尔曼滤波算法就是将非线性状态方程和量测方程通过一阶泰勒多项式展开,实现局部线性化,再利用卡尔曼滤波来实现。

[0139] 采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,使得对二阶电路阶段的参数进行辨识的过程中,可实现不断对扩展卡尔曼滤波算法中的噪音参数进行更新,从而使得参数辨识过程中可对噪音参数进行自适应更新,例如对状态噪音、测量噪音进行适应性更新,进而实现

调整参数辨识过程中的电压噪声和过程噪声对参数辨识过程的影响。

[0140] 其中本申请采用基于滑动窗口分析预估误差,再利用预估误差对参数辨识过程中的状态噪声和测量噪声进行自适应更新,从而使得整体辨识过程可进行实时更新噪声参数,进而调整误差对整体辨识过程的影响。

[0141] 基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法对二阶电路阶段的参数进行辨识的解算过程如下所示:

[0142] 1) 建立状态空间方程

[0143] 在对二阶电路阶段的参数进行辨识的过程,可以认为极化内阻 R_2 缓慢变化,建立对应极化内阻的状态空间方程如下所示:

$$[0144] \quad \begin{cases} R_{2,k} = R_{2,k-1} + \alpha_k \\ V_k = E + U_{1,k-1} + U_{2,k-1} + R_{0,k} \cdot I_k + \beta_k \\ U_{1,k} = U_{1,k-1} \cdot e^{-(dt/tao1)} + R_{1,k-1} I_{k-1} (1 - e^{-(dt/tao1)}) \\ U_{2,k} = U_{2,k-1} \cdot e^{-(dt/tao2)} + R_{2,k-1} I_{k-1} (1 - e^{-(dt/tao2)}) \end{cases}$$

[0145] 其中 α_k 为状态噪声, β_k 为测量噪声, V_k 为预测端电压, $R_{2,k}$ 为极化内阻, $U_{1,k}$ 为一阶特征电压, $U_{2,k}$ 为二阶特征电压, E 为电路模型的极化电压。

[0146] 2) 估算测量电压和预测电压的误差:

$$[0147] \quad err(k) = V_{mes} - V_k$$

[0148] 其中, V_{mes} 为外端的测量电压。

[0149] 3) 估算状态协方差和卡尔曼增益:

$$[0150] \quad P_k^- = AP_{k-1}A^T + \alpha_k$$

$$[0151] \quad L_k = P_k^- C_k^T (C_k P_k^- C_k^T + \beta_k)^{-1}$$

[0152] 其中 P_k^- 为k时刻的最优估算协方差, L_k 为卡尔曼增益, A 为状态矩阵, A^T 为 A 的转置, C_k 为k时刻的系数矩阵, C_k^T 为 C_k 的转置。

[0153] 4) 通过前面获得的估算值,基于滑动窗口自适应更新状态噪声和测量噪声:

$$[0154] \quad \beta_k = err(k) - C_k P_k^- C_k^T$$

$$[0155] \quad \alpha_k = L_k err(k) L_k^T$$

[0156] 5) 根据卡尔曼增益,更新状态协方差和状态变量:

$$[0157] \quad P_k = (I - L_k C_k) P_k^-$$

$$[0158] \quad R_{2,k} = R_{2,k-1} + L_k err(k)$$

[0159] 6) 参数约束

[0160] 由于动力电池实际应用工况复杂,为避免异常数据造成不良影响,在本申请中还可以对二阶电路阶段的参数进行范围约束。

$$[0161] \quad R_{2,min} \leq R_2 \leq R_{2,max}$$

$$[0162] \quad tao_{2,min} \leq tao_2 \leq tao_{2,max}$$

[0163] 上述解算过程中,通过不断对状态噪声和测量噪声进行自适应性更新,从而使得对二阶电路阶段的辨识参数更加稳定以及具备更强的噪声敏感度。

[0164] S305,将获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数 R_0 、 R_1 、 $tao1$ 输入至二阶RC等效电路模型,将获得的二阶电路阶段的第二时间尺度参数 R_2 、 $tao2$ 输入至二阶RC等效电路模

型,获得更新后的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数。

[0165] 在该步骤中,将获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数输入至二阶RC等效电路模型和将获得的二阶电路阶段的第二时间尺度参数输入至二阶RC等效电路模型之间可以是不分先后顺序。

[0166] 该步骤将获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数 R_0 、 R_1 、 τ_{o1} 及二阶电路阶段的第二时间尺度参数 R_2 、 τ_{o2} 输入至二阶RC等效电路模型后,根据二阶RC等效电路模型运算,可以获得更新后的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数。

[0167] 另外,虽然第一时间尺度参数和第二时间尺度参数可以分别独立执行辨识,但是本申请在进行第二时间尺度参数的辨识之前,如果需要使用到一阶电路阶段的参数,也可根据需求获取一阶电路阶段的参数,例如进行第二时间尺度参数辨识之前,获取一阶电路阶段的最新参数 U_0 、 U_1 。

[0168] 需要说明的是,以上所得的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数,可以应用于SOC估算。将应用上述方法得到的第一时间尺度参数和第二时间尺度参数应用于SOC估算,可以提高SOC估算精度,例如能将SOC估算精度提升至0.1%以内。其中SOC估算可以采用相关函数关系或数学模型进行估算,本申请并不加以限定。

[0169] 需说明的是,本申请实施例方法除了可以应用于SOC的参数辨识,也可以应用SOH或SOP的参数辨识,其原理是类似的。

[0170] 综上,本申请提出了采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法和采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法分别对二阶RC等效电路模型的两种电路阶段进行不同时间尺度的参数辨识,使得两种参数辨识过程都具备自适应性,使得整体算法的参数辨识方法具有较强的工况适应能力,有效保证参数辨识过程的稳定性,也使得本申请适用范围广,例如可适用于EV(纯电动)和HEV(混合动力)的工具或设备,实现多平台化快速移植,能保证工程化高精度,大大降低开发成本、周期,提升开发效率。

[0171] 与前述应用功能实现方法实施例相对应,本申请还提供了一种动力电池在线参数辨识装置、载人飞行器、计算设备及相应的实施例。

[0172] 图6是本申请实施例示出的动力电池在线参数辨识装置的结构示意图。

[0173] 参见图6,动力电池在线参数辨识装置70包括:模型等效模块71、第一参数辨识模块72、第二参数辨识模块73、参数确定模块74。

[0174] 模型等效模块71,用于建立与电池对应的二阶RC等效电路模型。相对于一阶RC等效模型,采用二阶RC等效模型可以更好的兼顾电池的稳态特性和暂态特性,并且具备更高的模型精度进行模拟电池在不同温度、充放电倍率下的充放电行为。因此,本申请建立与电池对应的二阶RC等效电路模型。

[0175] 第一参数辨识模块72,用于采用第一预设算法对二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识,并输入至二阶RC等效电路模型进行更新。

[0176] 第二参数辨识模块73,用于采用第二预设算法对二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识,输入至二阶RC等效电路模型进行更新。

[0177] 参数确定模块74,用于将第一参数辨识模块72辨识后获得的一阶电路阶段的第一时间尺度参数和第二参数辨识模块73辨识后获得二阶电路阶段的第二时间尺度参数输入至模型等效模块的二阶RC等效电路模型,获得更新后的第一时间尺度参数和第二时间尺度

参数。

[0178] 第一参数辨识模块72采用基于可变遗忘因子的递推最小二乘法,对二阶RC等效电路模型的一阶电路阶段的第一时间尺度参数进行辨识。例如对一阶电路阶段的R0、R1、 τ_0 1参数进行辨识。通过设置自适应可变遗忘因子,将自适应遗忘因子带入至递推最小二乘法估算参数,从而使得参数辨识过程更加精准,使得算法的计算速度更快,跟踪能力更强,并且具有更好的抗噪声能力。

[0179] 第二参数辨识模块73采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,对二阶RC等效电路模型的二阶电路阶段的第二时间尺度参数进行辨识。例如对二阶电路阶段的R2、 τ_0 2参数进行辨识。采用基于自适应的扩展卡尔曼滤波算法,使得对二阶电路阶段进行参数辨识过程中,可实现不断对扩展卡尔曼滤波算法中的噪音参数进行更新,从而使得参数辨识过程中可对噪音参数进行自适应更新,例如对状态噪音、测量噪音进行适应性更新,进而实现调整参数辨识过程中的电压噪音和过程噪音对参数辨识过程的影响。

[0180] 从该实施例可以看出,本申请的动力电池在线参数辨识装置建立了与电池对应的二阶RC等效电路模型,通过对二阶RC等效电路模型中的一阶电路阶段和二阶电路阶段分别采用不同时间尺度的参数辨识方式,将不同时间尺度的参数分离,进行分布式计算,可以降低计算量,提升计算效率,有效提高参数辨识过程的辨识精度和稳定性,更加利于工程化应用。

[0181] 本申请实施例还可以提供一种载人飞行器,包括如图6所示的动力电池在线参数辨识装置。

[0182] 关于上述实施例中的装置,其中各个模块执行操作的具体方式已经在有关该方法的实施例中进行了详细描述,此处将不再做详细阐述说明。

[0183] 图7是本申请实施例示出的计算设备的结构示意图。

[0184] 参见图7,计算设备80包括存储器81和处理器82。

[0185] 处理器82可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0186] 存储器81可以包括各种类型的存储单元,例如系统内存、只读存储器(ROM)和永久存储装置。其中,ROM可以存储处理器82或者计算机的其他模块需要的静态数据或者指令。永久存储装置可以是可读写的存储装置。永久存储装置可以是即使计算机断电后也不会失去存储的指令和数据非易失性存储设备。在一些实施方式中,永久性存储装置采用大容量存储装置(例如磁或光盘、闪存)作为永久存储装置。另外一些实施方式中,永久性存储装置可以是可移除的存储设备(例如软盘、光驱)。系统内存可以是可读写存储设备或者易失性可读写存储设备,例如动态随机访问内存。系统内存可以存储一些或者所有处理器在运行时需要的指令和数据。此外,存储器81可以包括任意计算机可读存储媒介的组合,包括各种类型的半导体存储芯片(例如DRAM,SRAM,SDRAM,闪存,可编程只读存储器),磁盘和/或光盘也可以采用。在一些实施方式中,存储器81可以包括可读和/或写的可移除的存储设备,

例如激光唱片(CD)、只读数字多功能光盘(例如DVD-ROM, 双层DVD-ROM)、只读蓝光光盘、超密度光盘、闪存卡(例如SD卡、min SD卡、Micro-SD卡等)、磁性软盘等。计算机可读存储媒介不包含载波和通过无线或有线传输的瞬间电子信号。

[0187] 存储器81上存储有可执行代码,当可执行代码被处理器82处理时,可以使处理器82执行上文述及的方法中的部分或全部。

[0188] 此外,根据本申请的方法还可以实现为一种计算机程序或计算机程序产品,该计算机程序或计算机程序产品包括用于执行本申请的上述方法中部分或全部步骤的计算机程序代码指令。

[0189] 或者,本申请还可以实施为一种计算机可读存储介质(或非暂时性机器可读存储介质或机器可读存储介质),其上存储有可执行代码(或计算机程序或计算机指令代码),当可执行代码(或计算机程序或计算机指令代码)被电子设备(或服务器等)的处理器执行时,使处理器执行根据本申请的上述方法的各个步骤的部分或全部。

[0190] 以上已经描述了本申请的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择,旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术的改进,或者使本技术领域的其他普通技术人员能理解本文披露的各实施例。

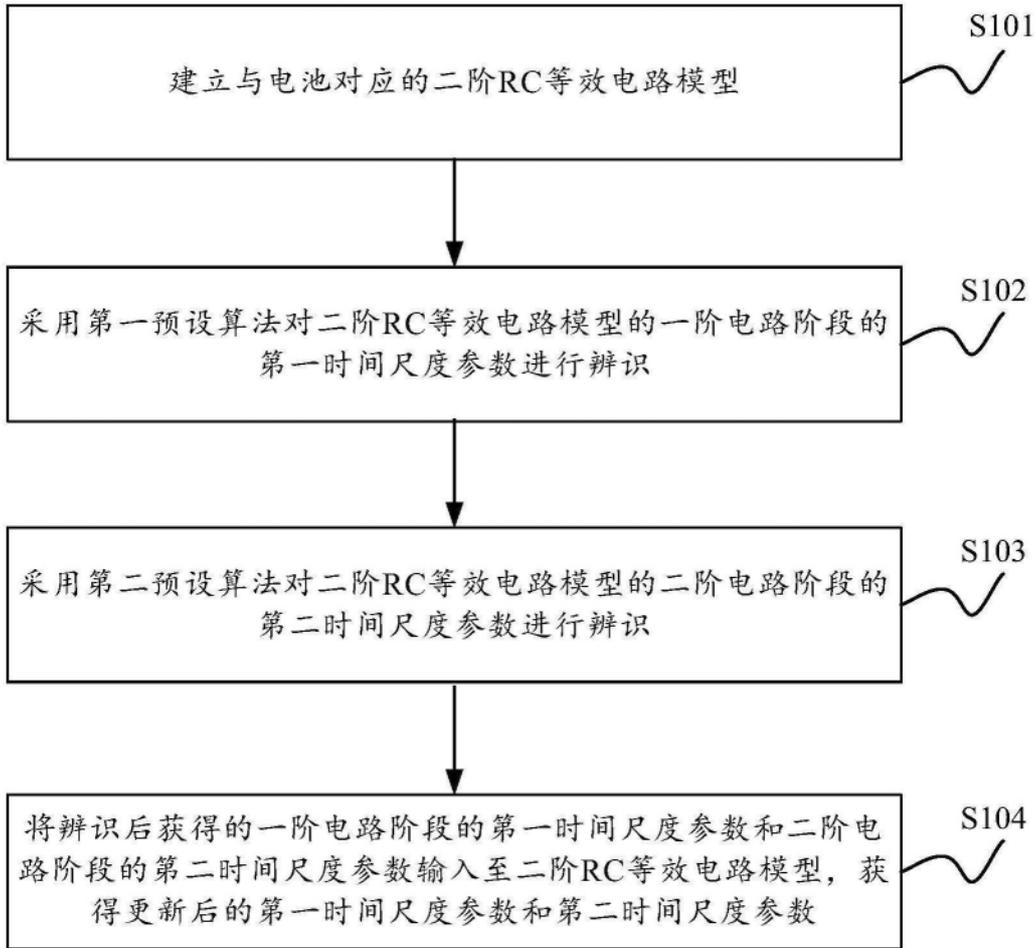


图1

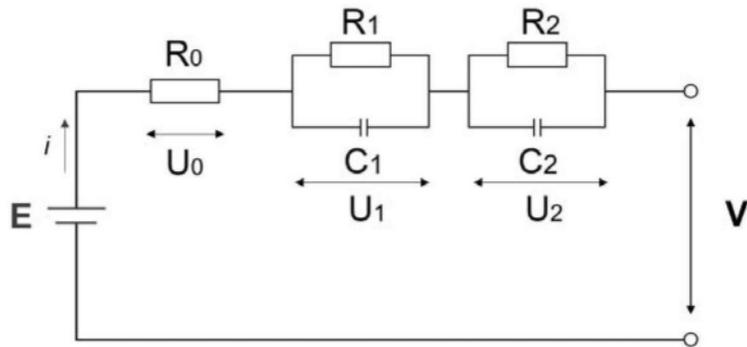


图2

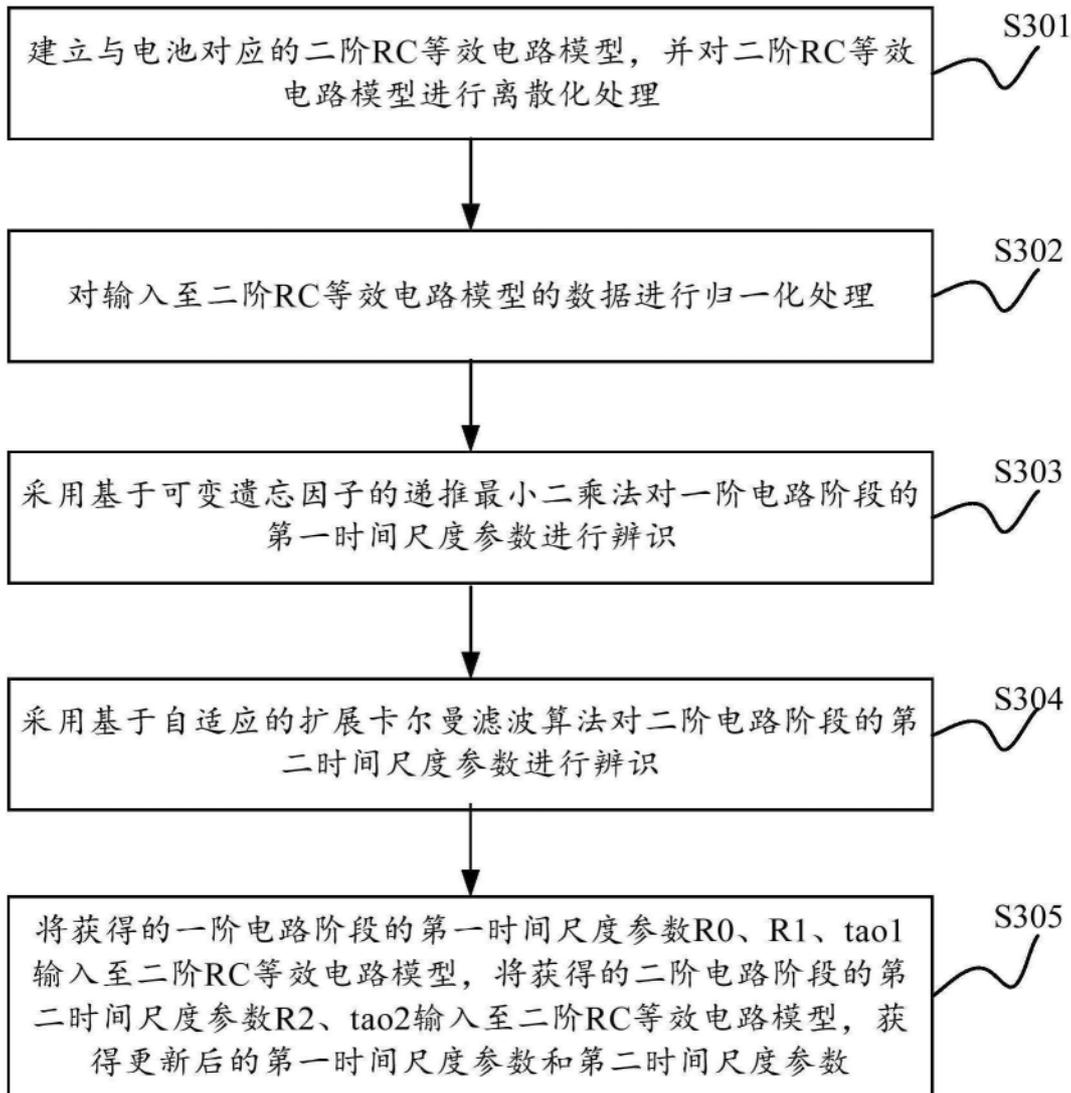


图3

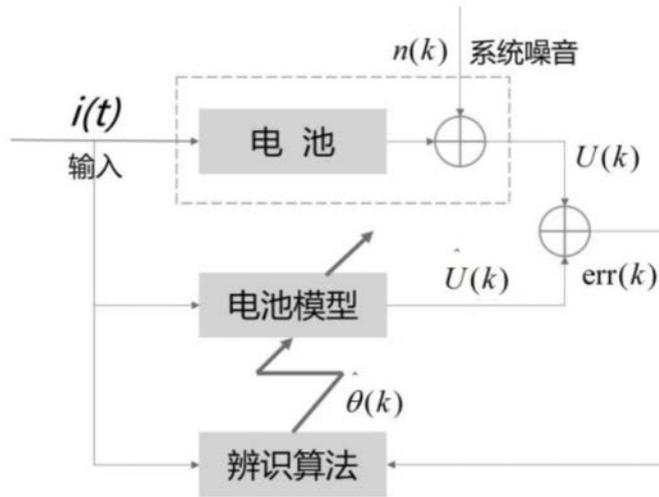


图4

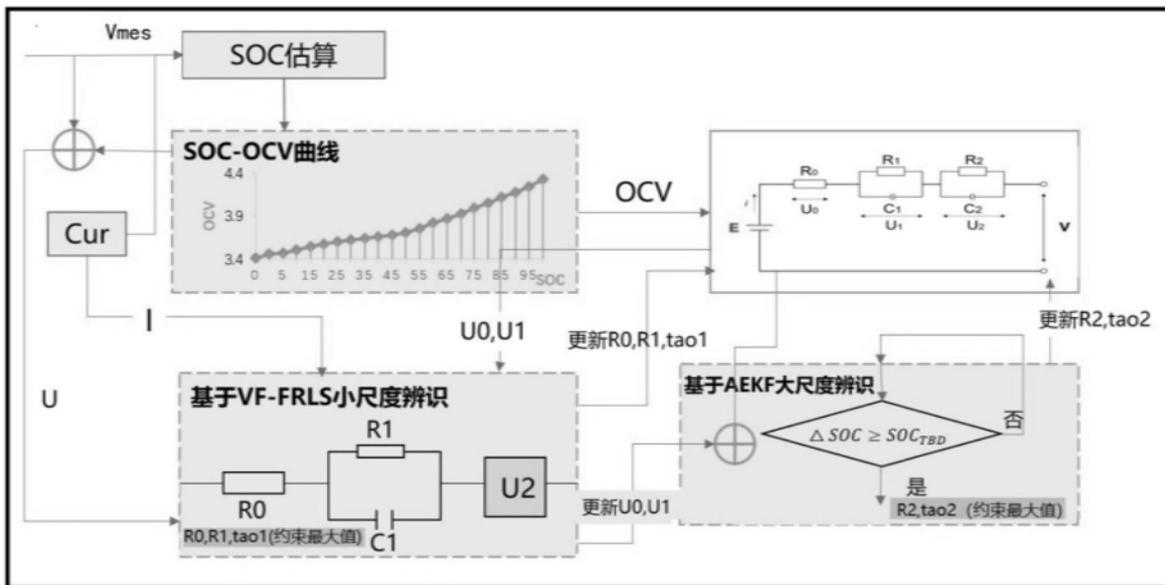


图5

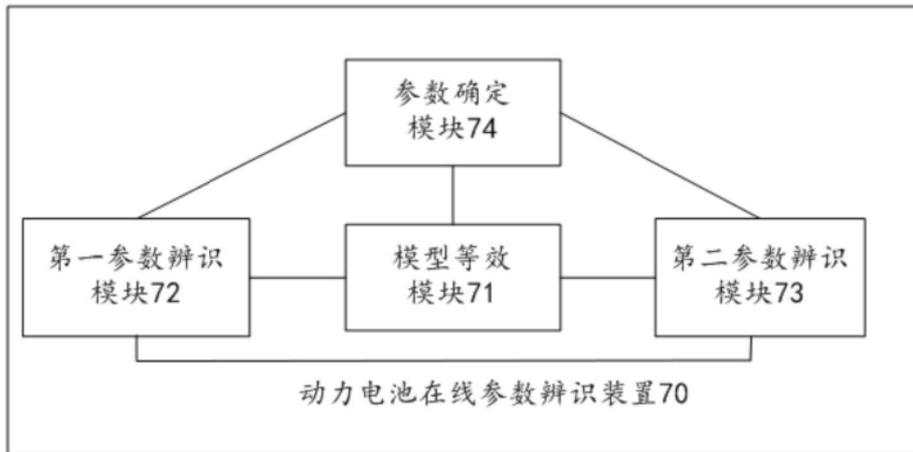


图6

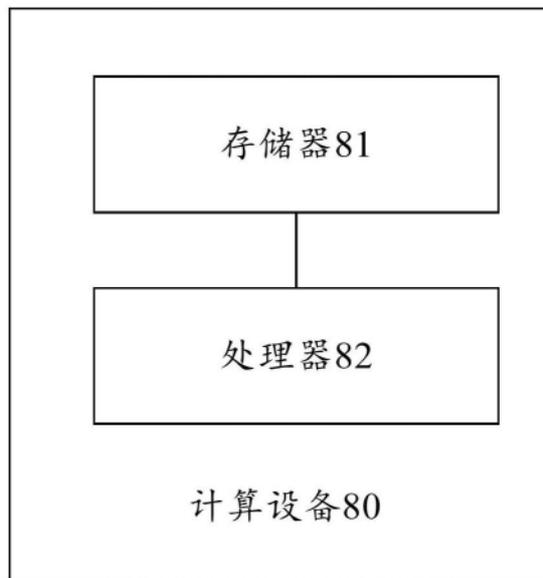


图7