



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111505504 B

(45) 授权公告日 2022. 07. 19

(21) 申请号 202010364716.5

G06F 30/20 (2020.01)

(22) 申请日 2020.04.30

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 103675703 A, 2014.03.26

申请公布号 CN 111505504 A

WO 2016059126 A1, 2016.04.21

US 2020018797 A1, 2020.01.16

(43) 申请公布日 2020.08.07

US 2007029973 A1, 2007.02.08

(73) 专利权人 中国科学院深圳先进技术研究院

US 2018017628 A1, 2018.01.18

地址 518055 广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号

刘树林 等.《基于分数阶理论的车用锂离子  
电池建模及荷电状态估计》.《电工技术学报》  
.2017,第32卷(第4期),第189-195页.

(72) 发明人 刘凯龙 郭媛君 唐晓鹏 彭琦奥  
杨之乐

审查员 李海榕

(74) 专利代理机构 深圳市科进知识产权代理事  
务所(普通合伙) 44316

专利代理师 曹卫良

(51) Int. Cl.

G01R 31/367 (2019.01)

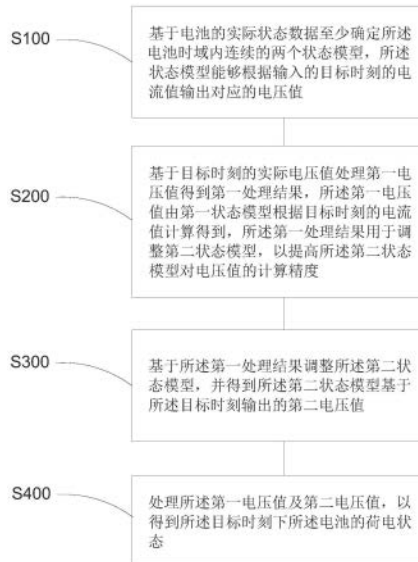
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

一种电池荷电状态估计方法及估计器

(57) 摘要

本申请提供了一种电池荷电状态估计方法及估计器,该方法包括:基于电池的实际状态数据至少确定两个所述电池时域内连续的状态模型,所述状态模型能够根据输入的目标时刻的电流值对应输出电压值;基于目标时刻的实际电压值处理第一电压值得到第一处理结果,所述第一电压值得由第一状态模型根据目标时刻的电流值计算得到,所述第一处理结果用于调整第二状态模型,以提高所述第二状态模型对电压值的计算精度;基于所述第一处理结果调整所述第二状态模型,并得到所述第二状态模型对所述目标时刻输出的第二电压值;处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态。本申请能够实时、高效、准确地对电池进行荷电状态估计。



1. 一种电池荷电状态估计方法,其特征在于,包括:

基于电池的实际状态数据至少确定所述电池时域内连续的两个状态模型,所述状态模型能够根据输入的目标时刻的电流值输出对应的电压值;

基于目标时刻的实际电压值处理第一电压值得到第一处理结果,所述第一电压值由第一状态模型根据目标时刻的电流值计算得到,所述第一处理结果用于调整第二状态模型,以提高所述第二状态模型对电压值的计算精度;

基于所述第一处理结果调整所述第二状态模型,并得到所述第二状态模型基于所述目标时刻的电流值输出的第二电压值;

处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态;

所述处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态包括:

确定所述第一电压值及第二电压值之间的第二差值;

根据所述目标时刻下的当前第二差值,和,上一时刻下所述第一电压值与第二电压值之间的上一时刻第二差值,计算得到的第二累加值;

当所述第二累加值满足特定条件时,基于所述第二累加值及特定条件计算得到所述电池在目标时刻下的荷电状态。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述基于电池的实际状态数据至少确定所述电池时域内连续的两个状态模型包括:

采集所述电池在不同环境下进行测试时的实际状态数据;

确定状态模型架构;

基于所述实际状态数据对所述状态模型架构进行参数辨识,得到所述第一状态模型和第二状态模型。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述采集所述电池在不同环境下进行测试时的实际状态数据包括:

至少采集所述电池在不同温度和/或湿度下进行混合动力脉冲测试时连续的时域电流数据、电压数据、环境温度数据、环境湿度数据;和

至少采集所述电池在不同温度和/或湿度下进行驾驶循环工况测试时连续的时域电流数据、电压数据、环境温度数据、环境湿度数据。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述基于目标时刻的实际电压值处理第一电压值得到第一处理结果包括:

确定所述第一电压值与实际电压值之间的第一差值;

根据所述目标时刻下的当前第一差值,和,上一时刻下所述第一状态模型对应输出的电压值与所述上一时刻的实际电压值之间的上一时刻第一差值,计算得到第一累加值;

当所述第一累加值满足特定条件时,基于所述第一累加值及特定条件计算得到作为所述第一处理结果的第一纠正值,所述第一纠正值用于调整、更新所述第二状态模型。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述基于所述第一处理结果调整所述第二状态模型,并得到所述第二状态模型基于所述目标时刻的电流值输出的第二电压值包括:

将所述第一处理结果输入所述第二状态模型,得到调整后的第二状态模型;

将目标时刻的电流值输入所述调整后的第二状态模型得到所述第二电压值。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,还包括:

基于所述第二累加值及特定条件计算得到目标时刻下的第二纠正值;

将计算得到的所述第二纠正值输入至所述第一状态模型中,以调整所述第一状态模型,提高其对电压值的计算精度。

7. 一种电池荷电状态估计器,其特征在于,包括:

处理器,用于基于电池的实际状态数据至少确定所述电池时域内连续的两个状态模型,所述状态模型能够根据输入的目标时刻的电流值输出对应的电压值;

含有非线性模型的二阶sigma-delta调制器,用于基于目标时刻的实际电压值处理第一电压值得到第一处理结果,所述第一电压值由第一状态模型根据目标时刻的电流值计算得到,所述第一处理结果用于调整第二状态模型,以提高所述第二状态模型对电压值的计算精度;

基于所述第一处理结果调整所述第二状态模型,并得到所述第二状态模型基于所述目标时刻的电流值输出的第二电压值;

处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态;

所述处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态包括:

确定所述第一电压值及第二电压值之间的第二差值;

根据所述目标时刻下的当前第二差值,和,上一时刻下所述第一电压值与第二电压值之间的上一时刻第二差值,计算得到的第二累加值;

当所述第二累加值满足特定条件时,基于所述第二累加值及特定条件计算得到所述电池在目标时刻下的荷电状态。

8. 根据权利要求7所述的电池荷电状态估计器,其特征在于,所述处理器还用于:

采集所述电池在不同环境下进行测试时的实际状态数据;

确定状态模型架构;

基于所述实际状态数据对所述状态模型架构进行参数辨识,得到所述第一状态模型和第二状态模型。

9. 根据权利要求8所述的电池荷电状态估计器,其特征在于,所述含有非线性模型的二阶sigma-delta调制器包括两个闭环反馈通路,所述闭环反馈通路均包括依次连接的积分器、比较器、内部滤波器、外部滤波器及状态模型,其中一个所述闭环反馈通路中的状态模型输出的数据经处理后通过另一个所述闭环反馈通路中的积分器进入该闭环反馈通路中。

## 一种电池荷电状态估计方法及估计器

### 技术领域

[0001] 本申请实施例涉及电池管理领域,特别涉及一种电池荷电状态估计方法及电池荷电状态估计器。

### 背景技术

[0002] 在电池管理领域,电池状态估计器是初步但非常关键的功能模块,对保证电池安全运行和提高能量管理效率至关重要。在需要估计的电池状态中,电荷状态(SOC)能反映电池使用过程中的剩余能量/容量,进而减轻用户的焦虑并保证电池工作在可靠条件下。因此荷电状态的在线有效估计有着非常重要的意义。

[0003] 目前对动力电池荷电状态的估计方法主要有以下几类:1)利用诸如库伦计数法或开路电压法从已知的初始SOC状态或开路电压(Open circuit voltage,OCV)-SOC曲线直接计算SOC,该方法高度依赖于初始值的设定且易受噪声干扰,无法在复杂的工作条件下获得可靠且一致的结果。2)利用机器学习技术如支持向量机、高斯过程回归等建立数据驱动模型来进行SOC估计,该方法需要大量的实验数据来训练且在新工况条件下性能欠佳。3)基于诸如等效电路模型(Equivalent circuit model,ECM)、电化学模型(Electrochemical model,EM)或数据驱动模型等电池状态模型,设计观测器和估计器来实现电池SOC的在线估计。由于该方法能够有效结合电池状态模型的先验信息以及估计器的自适应修正能力,在实时电池荷电状态估计领域内被大量使用。

[0004] 然而状态估计器需要消耗一定的计算工作量和设备内存,市面上许多通用的微控制器单元(Micro-controller unit,MCU)并不具备复杂的、高计算量的工作能力。诸如无迹卡尔曼滤波(Unscented Kalman filter,UKF)和粒子滤波(Particle filter,PF)等高级估计器难以在这些MCU中获得满意的电池荷电状态估计结果。

[0005] 基于上述方法的缺陷,亟需在不用大幅度更换MCU的情况下,开发一种代价小、复杂度低且性能满意的电池荷电状态估计方法来实时估计电池的荷电状态。

### 发明内容

[0006] 本申请实施例提供了一种方法步骤简单,易于设备处理以能够实时、高效、准确地对电池进行荷电状态估计的方法,以及应用该电池荷电估计方法的估计器。

[0007] 为了解决上述技术问题,本申请实施例提供了一种电池荷电状态估计方法,包括:

[0008] 基于电池的实际状态数据至少确定两个所述电池时域内连续的状态模型,所述状态模型能够根据输入的目标时刻的电流值而对应输出电压值;

[0009] 基于目标时刻的实际电压值处理第一电压值得到第一处理结果,所述第一电压值由第一状态模型根据目标时刻的电流值计算得到,所述第一处理结果用于调整第二状态模型,以提高所述第二状态模型对电压值的计算精度;

[0010] 基于所述第一处理结果调整所述第二状态模型,并得到所述第二状态模型基于所述目标时刻输出的第二电压值;

[0011] 处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态。

[0012] 作为优选,所述基于电池的实际状态数据至少确定两个所述电池时域内连续的状态模型包括:

[0013] 采集所述电池在不同环境下进行测试时的实际状态数据;

[0014] 确定状态模型架构;

[0015] 基于所述实际状态数据对所述状态模型架构进行参数辨识,以得到所述第一状态模型和第二状态模型。

[0016] 作为优选,所述采集所述电池在不同环境下进行测试时的实际状态数据包括:

[0017] 至少采集所述电池在不同温度和/或湿度下进行的混合动力脉冲特定测试时连续的时域电流数据、电压数据、环境温度数据、环境湿度数据;和

[0018] 至少采集所述电池在不同温度和/或湿度下进行的驾驶循环工况测试时连续的时域电流数据、电压数据、环境温度数据、环境湿度数据。

[0019] 作为优选,所述基于目标时刻的实际电压值处理第一状态模型对目标时刻输出的第一电压值得到第一处理结果包括:

[0020] 确定所述第一电压值与实际电压值之间的第一差值;

[0021] 至少确定所述目标时刻下的第一差值与上一时刻下所述第一状态模型对应输出的电压值与所述上一时刻的实际电压值之间的第一差值的第一累加值;

[0022] 确定所述第一累加值满足特定条件时,基于所述第一累加值及特定条件计算得到作为所述第一处理结果的第一纠正值,用于调整、更新所述第二状态模型。

[0023] 作为优选,所述基于所述第一处理结果调整第二状态模型,并得到所述第二状态模型对所述目标时刻输出的第二电压值包括:

[0024] 作为优选,所述处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态包括:

[0025] 确定所述第一电压值及第二电压值之间的第二差值;

[0026] 至少确定所述目标时刻下的第二差值与上一时刻下的所述第一电压值与第二电压值之间第二差值的第二累加值;

[0027] 确定所述第二累加值满足特定条件时,基于所述第二累加值及特定条件计算得到所述电池在目标时刻下的荷电状态。

[0028] 作为优选,还包括:

[0029] 基于所述第二累加值及特定条件计算得到目标时刻下的第二纠正值;

[0030] 将计算得到的所述第二纠正值输入至所述第一状态模型,以调整所述第一状态模型,提高其对电压值的计算精度。

[0031] 本发明实施例同时提供一种电池荷电状态估计器,包括:

[0032] 处理器,其用于基于电池的实际状态数据至少确定两个所述电池时域内连续的状态模型,所述状态模型能够根据输入的目标时刻的电流值而对应输出电压值;

[0033] 含有非线性模型的二阶sigma-delta调制器,其用于基于目标时刻的实际电压值处理第一状态模型对目标时刻输出的第一电压值得到第一处理结果,所述第一电压值由第一状态模型根据目标时刻的电流值计算得到,所述第一处理结果用于调整第二状态模型,

以提高所述第二状态模型对电压值的计算精度；

[0034] 基于所述第一处理结果调整第二状态模型，并得到所述第二状态模型对所述目标时刻输出的第二电压值；

[0035] 处理所述第一电压值及第二电压值，以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态。

[0036] 作为优选，

[0037] 所述处理器还用于：

[0038] 采集所述电池在不同环境下进行测试时的实际状态数据；

[0039] 确定状态模型架构；

[0040] 基于所述实际状态数据对所述状态模型架构进行参数辨识，得到所述第一状态模型和第二状态模型。

[0041] 作为优选，所述含有非线性模型的二阶sigma-delta调制器包括两个闭环反馈通路，所述闭环反馈通路均包括依次连接的积分器、比较器、内部滤波器、外部滤波器及状态模型，其中一所述闭环反馈通路中的状态模型输出的数据经处理后通过另一所述闭环反馈通路中的积分器而进入该闭环反馈通路中。

[0042] 基于上述实施例的公开可以获知，本申请实施例具备的有益效果包括：

[0043] (1) 本申请的电池荷电状态的轻量级估计方法，能够在不同的电池老化情况下实现有效且精确的荷电状态估计，足以满足一般商业电池管理系统要求。

[0044] (2) 本申请的电池荷电状态估计方法能大幅降低计算时间且呈现出良好的鲁棒性，在电动汽车或混合动力汽车领域内更具备实用性。

[0045] (3) 本申请的电池荷电状态估计方法采用过采样技术，适用于非高斯情况。

[0046] (4) 本申请的电池荷电状态估计器通过建立一种基于二阶sigma-delta框架的闭环结构，即使在使用简单的理想状态模型情况下也能够自适应地纠正估计偏差。

[0047] 本发明的其他优点、目标和特征在某种程度上将在随后的说明书中进行阐述，并且在某种程度上，基于对下文的考察研究对本领域技术人员而言将是显而易见的，或者可以从本发明的实践中得到教导。本发明的目标和其他优点可以通过下面的说明书来实现和获得。

## 附图说明

[0048] 图1为本发明实施例荷电状态估计方法的流程图。

[0049] 图2为本发明另一实施例荷电状态估计方法的实物流程图(图中ILF1和ILF2分别代表两个内部低通滤波器，ELF代表外部低通滤波器，BSM1和BSM2分别代表第一状态模型和第二状态模型， $V_{BSM2}(K)$ 代表第一电压值， $D_1(K)$ 代表第一差值， $S_1(K)$ 代表第一累加值， $CM_1$ 代表比较器输出信号， $Z_1(K)$ 代表第一纠正值， $I_{test}(k)$ 代表K时刻点的实时电流值， $D_2(K)$ 代表第二差值， $S_2(K)$ 代表第二累加值， $Z_2(K)$ 代表第二纠正值， $V_{BSM1}(K)$ 代表第二电压值，SOC(k)代表电池荷电状态值)。

[0050] 图3为本发明另一实施例荷电状态估计方法的流程图。

[0051] 图4为本发明实施例估计器的结构框图。

## 具体实施方式

[0052] 下面,结合附图对本申请的具体实施例进行详细的描述,但不作为本申请的限定。

[0053] 应理解的是,可以对此处公开的实施例做出各种修改。因此,下述说明书不应该视为限制,而仅是作为实施例的范例。本领域的技术人员将想到在本公开的范围和精神内的其他修改。

[0054] 包含在说明书中并构成说明书的一部分的附图示出了本公开的实施例,并且与上面给出的对本公开的大致描述以及下面给出的对实施例的详细描述一起用于解释本公开的原理。

[0055] 通过下面参照附图对给定为非限制性实例的实施例的优选形式的描述,本申请的这些和其它特性将会变得显而易见。

[0056] 还应当理解,尽管已经参照一些具体实例对本申请进行了描述,但本领域技术人员能够确定地实现本申请的很多其它等效形式,它们具有如权利要求所述的特征并因此都位于借此所限定的保护范围内。

[0057] 当结合附图时,鉴于以下详细说明,本公开的上述和其他方面、特征和优势将变得更为显而易见。

[0058] 此后参照附图描述本公开的具体实施例;然而,应当理解,所公开的实施例仅仅是本公开的实例,其可采用多种方式实施。熟知和/或重复的功能和结构并未详细描述以避免不必要或多余的细节使得本公开模糊不清。因此,本文所公开的具体的结构性和功能性细节并非意在限定,而是仅仅作为权利要求的基础和代表性基础用于教导本领域技术人员以实质上任意合适的详细结构多样地使用本公开。

[0059] 本说明书可使用词组“在一种实施例中”、“在另一个实施例中”、“在又一实施例中”或“在其他实施例中”,其均可指代根据本公开的相同或不同实施例中的一个或多个。

[0060] 下面,结合附图详细的说明本申请实施例。

[0061] 如图1所示,本申请实施例提供一种电池荷电状态估计方法,包括:

[0062] S100:基于电池的实际状态数据至少确定两个所述电池时域内连续的状态模型,所述状态模型能够根据输入的目标时刻的电流值而对应输出电压值;

[0063] S200:基于目标时刻的实际电压值处理第一电压值得到第一处理结果,该第一电压值由第一状态模型根据目标时刻的电流值计算得到,所述第一处理结果用于调整第二状态模型,以提高所述第二状态模型对电压值的计算精度;

[0064] S300:基于所述第一处理结果调整第二状态模型,并得到所述第二状态模型对所述目标时刻输出的第二电压值;

[0065] S400:处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态。

[0066] 具体地,基于上述实施例的公开可以获知,其有益效果包括本申请的电池荷电状态的轻量级估计方法,能够在不同的电池老化情况下实现有效且精确的荷电状态估计,以满足一般商业电池管理系统要求,且能大幅降低计算时间且呈现出良好的鲁棒性,在电动汽车或混合动力汽车领域内更具备实用性。另外,本申请的电池荷电状态估计方法采用过采样技术,适用于非高斯情况。

[0067] 具体地,如图2和图3所示,本申请实施例中基于电池的实际状态数据至少确定两

个所述电池时域内连续的状态模型包括：

[0068] S110:采集所述电池在不同环境下进行测试时的实际状态数据；

[0069] S120:确定状态模型架构；

[0070] S130:基于所述实际状态数据对所述状态模型架构进行参数辨识,以至少得到具有相同辨识参数的第一状态模型和第二状态模型。

[0071] 例如,首先选定待测试的动力电池,然后设计在不同环境下的电池测试实验,采集电池的实际状态数据,根据采集到的电池状态数据建立该电池时域内连续的状态模型。具体包括以下步骤：

[0072] 至少采集所述电池在不同温度和/或湿度下进行的混合动力脉冲特定测试时连续的时域电流数据、电压数据、环境温度数据、环境湿度数据；或

[0073] 至少采集所述电池在不同温度和/或湿度下进行的、驾驶循环工况测试时连续的时域电流数据、电压数据、环境温度数据、环境湿度数据。

[0074] 例如,在不同温度下对选定的动力电池进行混合动力脉冲特性测试(Hybrid pulse power characteristic,HPPC),驾驶循环工况测试,采集电池的实际状态数据 $B_{test}$ ；获得包括但不限于该电池电流 $I$ 与电压 $V$ 一一对应的关系图、开路电压(Open circuit voltage,OCV)与荷电状态(State of Charge,SOC)一一对应的关系图、电池内阻(Resistance, $R$ )与环境温度(Temperature, $T$ )一一对应的关系图；采集电池在不同驾驶工况下连续的时域电流数据 $I_{test}$ 、电压数据 $V_{test}$ 和环境温度数据 $T_{test}$ ；

[0075] 接着选取电池状态模型种类为 $R_{int}$ 等效电路模型(理想电路模型),根据采集到的 $I$ - $V$ 关系图、OCV-SOC关系图、 $R$ - $T$ 关系图获得的数据,利用最小二乘法对选取的 $R_{int}$ 等效电路模型进行参数辨识,最终获得该电池时域内连续的状态模型BSM;本实施例中的状态模型包括第一状态模型和第二状态模型,两个状态模型具有相同的辨识参数。当然,也可设置多个状态模型,具体不限。

[0076] 进一步地,在建立好状态模型后,可基于状态模型根据输入的电流值而对应输出电压值而对其进行调整、处理,以得到最终的电池荷电状态估计值。应用时,可根据二阶sigma-delta技术设计一用于对电池的荷电状态进行估计的估计器,以利用所设计的荷电状态估计器对该电池进行实时的荷电状态估计。具体地,如图3中S21所示,设置二阶sigma-delta电池荷电状态估计器,本申请实施例中的估计器具有双闭环反馈通路,该双闭环反馈通路均由两个积分器Integrator1和Integrator2、两个比较器Comparator1和Comparator2、两个内部低通滤波器(Internal low-pass filter 1,2ILF1和ILF2)、一个外部低通滤波器(External low-pass filter,ELF)以及两个具有相同辨识参数的状态模型BSM1和BSM2构成,具体结构可参考图2所示。其中,上述的低通滤波器也可由高阶低通滤波器、滑动平均滤波器代替。

[0077] 具体地,本实施例中基于目标时刻的实际电压值处理第一状态模型对目标时刻输出的第一电压值得到第一处理结果包括：

[0078] S210:确定所述第一电压值与实际电压值之间的第一差值；

[0079] S220:至少确定所述目标时刻下的第一差值与上一时刻下所述第一状态模型对应输出的电压值与所述上一时刻的实际电压值之间的第一差值的第一累加值；

[0080] S230:确定所述第一累加值满足特定条件时,基于所述第一累加值及特定条件计



算得到作为所述第一处理结果的第一纠正值,用于调整、更新所述第二状态模型。

[0081] 例如,如图3中S22-S24所示,针对在上述步骤采集到的电池实际状态数据 $B_{test}$ ,在每一时刻点 $k$ 输入采集到的实时电流 $I_{test}(k)$ ,通过状态模型BSM2获得输出电压 $V_{BSM2}(K)$ ,即第一电压值,计算 $k$ 时刻点实际测试电压 $V_{test}(k)$ 与状态模型BSM2输出电压 $V_{BSM2}(K)$ 的第一差值 $D_1(K) = V_{test}(k) - V_{BSM2}(K)$ ,用积分器Integrator1对该第一差值 $D_1(K)$ 进行累加,计算公式为:

$$[0082] \quad S_1(K) = S_1(K-1) + D_1(K)$$

[0083] 其中 $S_1(K)$ 为第 $k$ 时刻点的 $D_1$ 差值累加值,即第一累加值, $S_1(K-1)$ 为第 $K-1$ 时刻点的 $D_1$ 的差值累加值。

[0084] 用比较器Comparator1对得到的第一累加值 $S_1(k)$ 进行判断,若 $S_1(k)$ 大于0,则比较器Comparator1输出信号 $CM_1=1$ ,若 $S_1(k)$ 小于等于0,则比较器输出信号 $CM_1=0$ ;

[0085] 基于比较器Comparator1输出的信号 $CM_1$ ,用内部低通滤波器ILF1计算当前 $k$ 时刻的第一纠正值 $Z_1(k)$ ;当采用简单低通滤波器的时候, $Z_1(k)$ 的计算公式如下:

$$[0086] \quad Z_1(K) = Z_1(K-1) * (1 - \alpha_1) + CM_1 * \alpha_1$$

[0087] 其中 $Z_1(k-1)$ 为第 $k-1$ 时刻点ILF1的输出值, $\alpha_1$ 设置为0.03。

[0088] 进一步地,本实施例中基于所述第一处理结果调整第二状态模型,并得到所述第二状态模型对所述目标时刻输出的第二电压值包括:

[0089] S310:将所述第一处理结果及目标时刻的电流值输入所述第二状态模型以得到所述第二电压值。

[0090] 也就是,延续上一实施例,在确定出第一纠正值后将第一纠正值及 $k$ 时刻的电流值 $I_{test}(k)$ 输入至状态模型BSM1中,以得到第二电压值 $V_{BSM1}(K)$ 。

[0091] 进一步地,本实施例中处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态包括:

[0092] S401:确定所述第一电压值及第二电压值之间的第二差值;

[0093] S402:至少确定所述目标时刻下的第二差值与上一时刻下的所述第一电压值与第二电压值之间第二差值的第二累加值;

[0094] S403:确定所述第二累加值满足特定条件时,基于所述第二累加值及特定条件计算得到所述电池在目标时刻下的荷电状态。

[0095] 例如,如图3中S25-26所示,计算BSM1和BSM2在时刻点 $k$ 的输出电压差值 $D_2(k) = V_{BSM1}(k) - V_{BSM2}(k)$ ,用积分器Integrator2对该差值 $D_2(k)$ 进行累加,计算公式为:

$$[0096] \quad S_2(K) = S_2(K-1) + D_2(K)$$

[0097] 其中 $S_2(k)$ 为第 $k$ 时刻点的 $D_2$ 差值累加值, $S_2(k-1)$ 为第 $k-1$ 时刻点的 $D_2$ 差值累加值;

[0098] 基于步骤S25比较器Comparator2输出的信号 $CM_2$ ,用内部低通滤波器ILF2计算当前 $k$ 时刻的纠正值 $Z_2(k)$ ,同时用外部低通滤波器ELF估计当前 $k$ 时刻的电池荷电状态SOC( $k$ ),所述的ILF2和ELF均为包括但不限于简单低通滤波器、高阶低通滤波器和滑动平均滤波器;本实施例中采用的是简单低通滤波器, $Z_2(k)$ 和SOC( $k$ )的计算公式如下:

$$[0099] \quad Z_2(K) = Z_2(K-1) * (1 - \alpha_2) + CM_2 * \alpha_2$$

$$[0100] \quad SOC(k) = SOC(k) * (1 - \beta) + CM_2 * \beta$$

[0101] 其中 $Z_2(k-1)$ 为第 $k-1$ 时刻点ILF2的输出值,SOC( $k-1$ )为第 $k-1$ 时刻点的电池荷电

状态估计值,  $\alpha_2$  设置为 0.3,  $\beta$  设置为 0.005;

[0102] 进一步地, 本实施例中的方法还包括:

[0103] S500: 当所述第二累加值满足特定条件时, 基于所述第二累加值及特定条件计算得到所述电池在目标时刻下的荷电状态, 将所述电池在目标时刻下的荷电状态输入至所述第一状态模型中, 以得到所述目标时刻的下一时刻的电压值的第二纠正值。

[0104] 也就是如图 3 中 S27 所示, 将第二纠正值  $Z_2(K)$  输入状态模型 BSM2 中, 为计算第  $k+1$  时刻点时状态模型 BSM2 输出的电压值做准备。

[0105] 针对电池的每个驾驶循环工况, 可以如图 3 中 S28 所示, 在每个时刻点  $k$  采集电池的实际电流  $I_{\text{test}}(k)$  和电压  $V_{\text{test}}(k)$ , 利用上述步骤依次对该工况时域内的当前时刻点  $k$  进行荷电状态 SOC( $k$ ) 估计, 即可得到选定动力电池在该驾驶循环工况下实时的荷电状态估计值。

[0106] 如图 4 所示, 本申请实施例同时提供一种电池荷电状态估计器, 包括:

[0107] 处理器 410, 其用于基于电池的实际状态数据至少确定两个所述电池时域内连续的状态模型, 所述状态模型用于根据输入的目标时刻的电流值而对应输出电压值;

[0108] 含有非线性模型的二阶 sigma-delta 调制器 420, 用于基于目标时刻的实际电压值处理第一电压值得到第一处理结果, 第一电压值由第一状态模型根据目标时刻的电流值计算得到, 第一处理结果用于调整第二状态模型, 以提高第二状态模型对电压值的计算精度;

[0109] 基于所述第一处理结果调整第二状态模型, 并得到所述第二状态模型对所述目标时刻输出的第二电压值;

[0110] 处理所述第一电压值及第二电压值, 以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态。

[0111] 具体地, 基于上述实施例的公开可以获知, 其有益效果包括本申请的建立了一种基于二阶 sigma-delta 框架的闭环结构, 即使在使用简单的 Rint 状态模型情况下也能够自适应地纠正估计偏差, 能够在不同的电池老化情况下实现有效且精确的荷电状态估计, 足以满足一般商业电池管理系统要求, 且能大幅降低计算时间且呈现出良好的鲁棒性, 在电动汽车或混合动力汽车领域内更具备实用性。另外, 本申请的电池荷电状态估计方法采用过采样技术, 适用于非高斯情况。

[0112] 具体地, 本申请实施例中处理器 410 基于电池的实际状态数据至少确定两个所述电池时域内连续的状态模型包括:

[0113] 采集所述电池在不同环境下进行测试时的实际状态数据;

[0114] 确定状态模型架构;

[0115] 基于所述实际状态数据对所述状态模型架构进行参数辨识, 以至少得到具有相同辨识参数的第一状态模型和第二状态模型。

[0116] 例如, 首先选定待测试的动力电池, 然后设计在不同环境下的电池测试实验, 采集电池的实际状态数据, 根据采集到的电池状态数据建立该电池时域内连续的状态模型。具体包括以下步骤:

[0117] 至少采集所述电池在不同温度和/或湿度下进行的混合动力脉冲特定测试时连续的时域电流数据、电压数据、环境温度数据、环境湿度数据; 或

[0118] 至少采集所述电池在不同温度和/或湿度下进行的驾驶循环工况测试时连续的时

域电流数据、电压数据、环境温度数据、环境湿度数据。

[0119] 例如,在不同温度下对选定的动力电池进行混合动力脉冲特性测试 (Hybrid pulse power characteristic, HPPC), 驾驶循环工况测试, 采集电池的实际状态数据  $B_{test}$ ; 获得包括但不限于该电池电流  $I$  与电压  $V$  一一对应的关系图、开路电压 (Open circuit voltage, OCV) 与荷电状态 (State of Charge, SOC) 一一对应的关系图、电池内阻 (Resistance,  $R$ ) 与环境温度 (Temperature,  $T$ ) 一一对应的关系图; 采集电池在不同驾驶工况下连续的时域电流数据  $I_{test}$ 、电压数据  $V_{test}$  和环境温度数据  $T_{test}$ ;

[0120] 接着选取电池状态模型种类为  $R_{int}$  等效电路模型 (理想电路模型), 根据采集到的  $I$ - $V$  关系图、OCV-SOC 关系图、 $R$ - $T$  关系图获得的数据, 利用最小二乘法对选取的  $R_{int}$  等效电路模型进行参数辨识, 最终获得该电池时域内连续的状态模型 BSM; 本实施例中的状态模型包括第一状态模型和第二状态模型, 两个状态模型具有相同的辨识参数。当然, 也可设置更多个状态模型, 具体不限。

[0121] 进一步地, 如图2所示, 在建立好状态模型后, 可基于状态模型根据输入的电流值而对应输出电压值而对其进行调整、处理, 以得到最终的电池荷电状态估计值。应用时, 可根据二阶 sigma-delta 技术设计一用于辅助对电池的荷电状态进行估计的估计器, 以利用所设计的荷电状态估计器对该电池进行实时的荷电状态估计。具体地, 本申请实施例中的估计器具有双闭环反馈通路, 该双闭环反馈通路由本实施例中的含有非线性模型的二阶 sigma-delta 调制器和两个状态模型构成, 该闭环反馈通路均包括依次连接的积分器、比较器、内部滤波器、外部滤波器及状态模型, 其中一闭环反馈通路中的状态模型输出的数据经处理后通过另一闭环反馈通路中的积分器而进入该闭环反馈通路中, 具体如图2所示, 其由两个积分器 Integrator1 和 Integrator2、两个比较器 Comparator1 和 Comparator2、两个内部低通滤波器 (Internal low-pass filter 1, 2ILF1 和 ILF2)、一个外部低通滤波器 (External low-pass filter, ELF) 以及二个具有相同辨识参数的状态模型 BSM1 和 BSM2 构成, 具体结构可参考图2所示。其中, 上述的低通滤波器也可由高阶低通滤波器、滑动平均滤波器代替。

[0122] 具体地, 本实施例中调制器 420 基于目标时刻的实际电压值处理第一状态模型对目标时刻输出的第一电压值得到第一处理结果包括:

[0123] 确定所述第一电压值与实际电压值之间的第一差值;

[0124] 至少确定所述目标时刻下的第一差值与上一时刻下所述第一状态模型对应输出的电压值与所述上一时刻的实际电压值之间的第一差值的第一累加值;

[0125] 确定所述第一累加值满足特定条件时, 基于所述第一累加值及特定条件计算得到作为所述第一处理结果的第一纠正值, 用于调整、更新所述第二状态模型。

[0126] 例如, 针对在步骤 S11 中采集到的电池实际状态数据  $B_{test}$ , 在每一时刻点  $k$  输入采集到的实时电流  $I_{test}(k)$ , 通过状态模型 BSM2 获得输出电压  $V_{BSM2}(K)$ , 即第一电压值, 计算  $k$  时刻点实际测试电压  $V_{test}(k)$  与状态模型 BSM2 输出电压  $V_{BSM2}(K)$  的第一差值  $D_1(K) = V_{test}(k) - V_{BSM2}(K)$ , 用积分器 Integrator1 对该第一差值  $D_1(K)$  进行累加, 计算公式为:

$$[0127] \quad S_1(K) = S_1(K-1) + D_1(K)$$

[0128] 其中  $S_1(K)$  为第  $k$  时刻点的  $D_1$  差值累加值, 即第一累加值,  $S_1(K-1)$  为第  $K-1$  时刻点的  $D_1$  的差值累加值。

[0129] 用比较器Comparator1对得到的第一累加值 $S_1(k)$ 进行判断,若 $S_1(k)$ 大于0,则比较器Comparator1输出信号 $CM_1=1$ ,若 $S_1(k)$ 小于等于0,则比较器输出信号 $CM_1=0$ ;

[0130] 基于比较器Comparator1输出的信号 $CM_1$ ,用内部低通滤波器ILF1计算当前k时刻的第一纠正值 $Z_1(k)$ ;当采用简单低通滤波器的时候, $Z_1(k)$ 的计算公式如下:

$$[0131] \quad Z_1(K) = Z_1(K-1) * (1 - \alpha_1) + CM_1 * \alpha_1$$

[0132] 其中 $Z_1(k-1)$ 为第k-1时刻点ILF1的输出值, $\alpha_1$ 设置为0.03。

[0133] 进一步地,本实施例中基于所述第一处理结果调整第二状态模型,并得到所述第二状态模型对所述目标时刻输出的第二电压值包括:

[0134] 将所述第一处理结果及目标时刻的电流值输入所述第二状态模型以得到所述第二电压值。

[0135] 也就是,延续上一实施例,在确定出第一纠正值后将第一纠正值及k时刻的电流值 $I_{test}(k)$ 输入至状态模型BSM1中,以得到第二电压值 $V_{BSM1}(K)$ 。

[0136] 进一步地,本实施例中处理所述第一电压值及第二电压值,以得到所述目标时刻下所述电池的荷电状态包括:

[0137] 确定所述第一电压值及第二电压值之间的第二差值;

[0138] 至少确定所述目标时刻下的第二差值与上一时刻下的所述第一电压值与第二电压值之间第二差值的第二累加值;

[0139] 确定所述第二累加值满足特定条件时,基于所述第二累加值及特定条件计算得到所述电池在目标时刻下的荷电状态。

[0140] 例如,计算BSM1和BSM2在时刻点k的输出电压差值 $D_2(k) = V_{BSM1}(k) - V_{BSM2}(k)$ ,用积分器Integrator2对该差值 $D_2(k)$ 进行累加,计算公式为:

$$[0141] \quad S_2(K) = S_2(K-1) + D_2(K)$$

[0142] 其中 $S_2(k)$ 为第k时刻点的 $D_2$ 差值累加值, $S_2(k-1)$ 为第k-1时刻点的 $D_2$ 差值累加值;

[0143] 基于步骤S25比较器Comparator2输出的信号 $CM_2$ ,用内部低通滤波器ILF2计算当前k时刻的纠正值 $Z_2(k)$ ,同时用外部低通滤波器ELF估计当前k时刻的电池荷电状态SOC(k),所述的ILF2和ELF均为包括但不限于简单低通滤波器、高阶低通滤波器和滑动平均滤波器;本实施例中采用的是简单低通滤波器, $Z_2(k)$ 和SOC(k)的计算公式如下:

$$[0144] \quad Z_2(K) = Z_2(K-1) * (1 - \alpha_2) + CM_2 * \alpha_2$$

$$[0145] \quad SOC(k) = SOC(k) * (1 - \beta) + CM_2 * \beta$$

[0146] 其中 $Z_2(k-1)$ 为第k-1时刻点ILF2的输出值,SOC(k-1)为第k-1时刻点的电池荷电状态估计值, $\alpha_2$ 设置为0.3, $\beta$ 设置为0.005;

[0147] 进一步地,本实施例中的调制器还用于:

[0148] 确定所述第二累加值满足特定条件时,基于所述第二累加值及特定条件计算得到用于输入至所述第一状态模型中,以得到所述目标时刻的下一时刻的电压值的第二纠正值。

[0149] 也就是将第二纠正值 $Z_2(K)$ 输入状态模型BSM2中,为计算第k+1时刻点时状态模型BSM2输出的电压值做准备。

[0150] 针对电池的每个驾驶循环工况,在每个时刻点k采集电池的实际电流 $I_{test}(k)$ 和电压 $V_{test}(k)$ ,利用上述步骤依次对该工况时域内的当前时刻点k进行荷电状态SOC(k)估

计,即可得到选定动力电池在该驾驶循环工况下实时的荷电状态估计值。

[0151] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

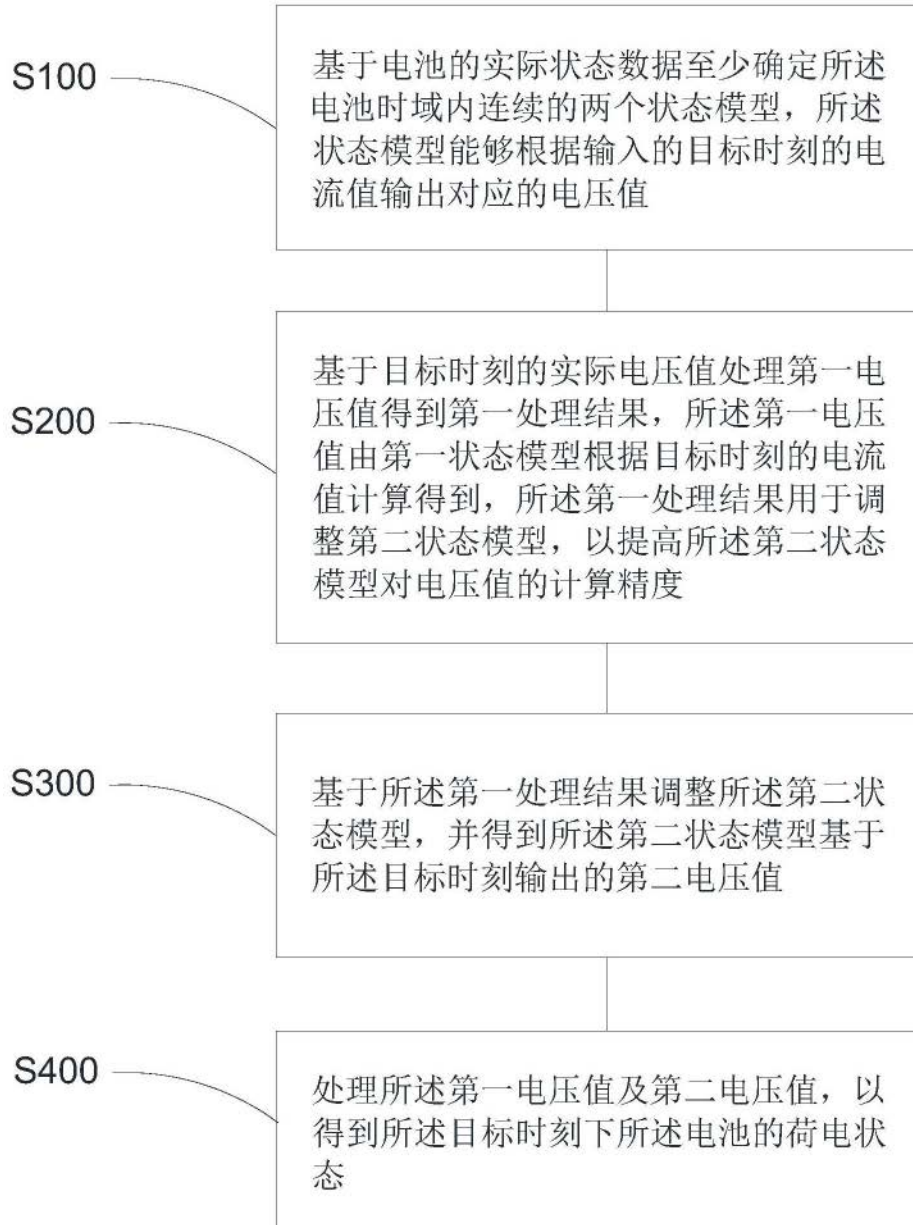


图1

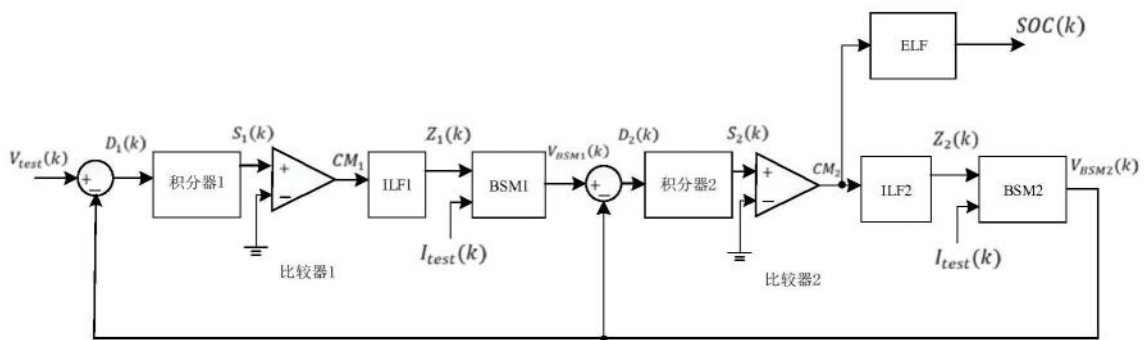


图2

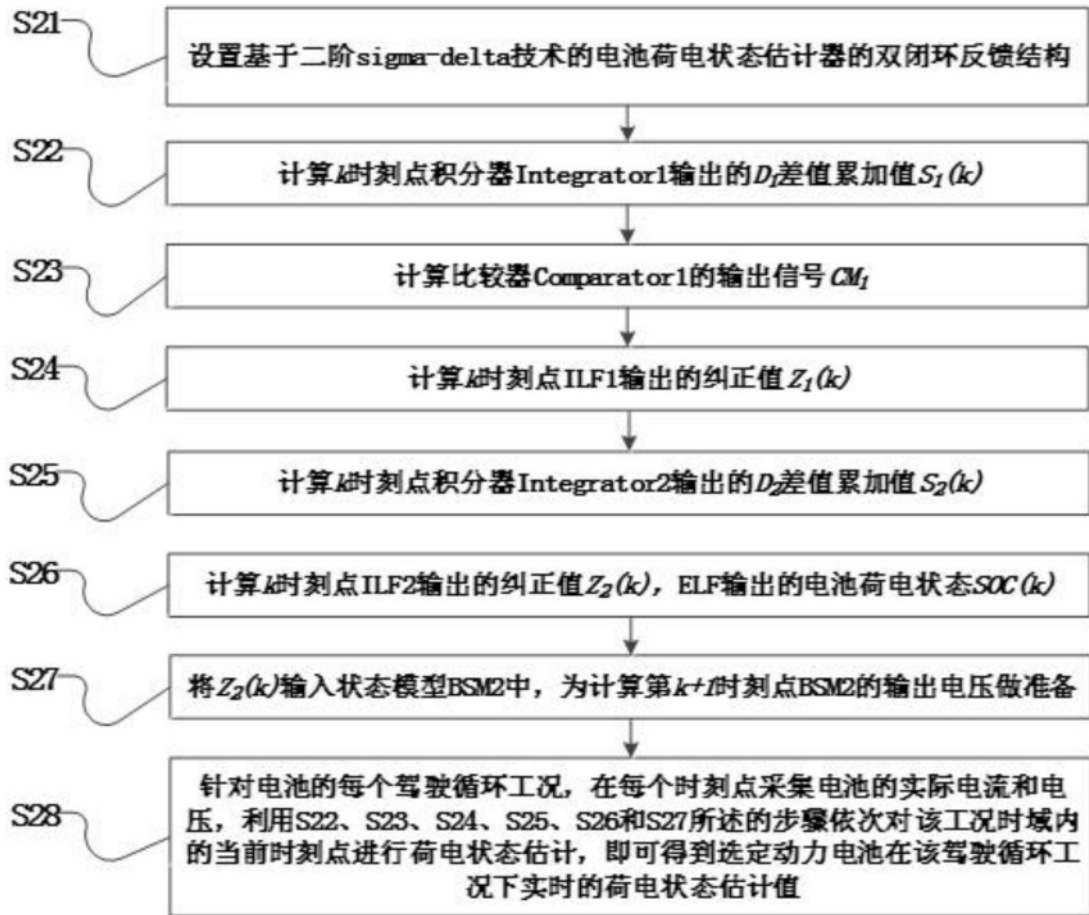


图3

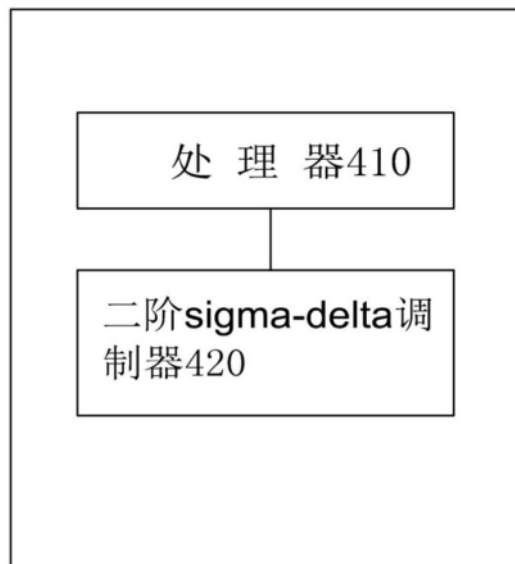


图4