



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110770593 B

(45) 授权公告日 2022.01.07

(21) 申请号 201980002965.5

(72) 发明人 安炯俊

(22) 申请日 2019.01.17

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110770593 A

代理人 穆森 戚传江

(43) 申请公布日 2020.02.07

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

G01R 31/367 (2019.01)

10-2018-0015140 2018.02.07 KR

G01R 31/3842 (2019.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.12.13

(56) 对比文件

(86) PCT国际申请的申请数据

CN 103187773 A, 2013.07.03

PCT/KR2019/000720 2019.01.17

CN 104898063 A, 2015.09.09

(87) PCT国际申请的公布数据

CN 102089956 A, 2011.06.08

W02019/156385 KO 2019.08.15

CN 101443978 A, 2009.05.27

JP 5492493 B2, 2014.05.14

KR 20170062326 A, 2017.06.07

(73) 专利权人 株式会社LG化学

审查员 张博

地址 韩国首尔

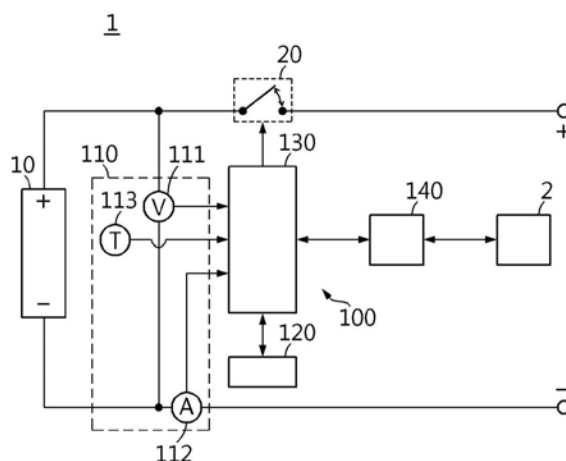
权利要求书3页 说明书17页 附图11页

(54) 发明名称

使电池的功率极限平滑化的方法和电池管理系统

(57) 摘要

提供了一种用于在对电池充电或放电时使功率极限平滑化的方法和电池管理系统。根据本公开的实施例的方法包括基于电池的最大充电电压和端子电压来确定第一加权因子；基于上一平滑化充电功率极限、当前充电功率极限和当时瞬时功率来确定第二加权因子；将第一加权因子和第二加权因子中的更小一个设置为第一参考加权因子，并且基于上一平滑化充电功率极限和第一参考加权因子来使当前充电功率极限平滑化。



1. 一种用于在每个时间步长处周期性地使电池的充电功率极限平滑化的方法, 包括:
 测量所述电池的端子电压和电流;
 基于所测量的端子电压和所测量的电流, 确定所述电池的瞬时功率;
 确定所述电池的充电电流极限和充电电压极限;
 基于所述充电电流极限和所述充电电压极限, 确定所述电池的充电功率极限;
 基于给定的最大充电电压和所测量的端子电压, 确定第一加权因子;
 基于上一平滑化充电功率极限、所述充电功率极限和所述瞬时功率, 确定第二加权因子, 其中所述上一平滑化充电功率极限是存储在存储器中并且是等于在当前时间步长前最晚平滑化的充电功率极限的值;

将所述第一加权因子和所述第二加权因子中的更小一个设置为第一参考加权因子;

通过使用所述第一参考加权因子计算在所述当前时间步长处确定的充电功率极限和所述上一平滑化充电功率极限的加权平均值, 使所述充电功率极限平滑化; 以及
 向外部设备发送指示所平滑化的充电功率极限的通知信号。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 确定所述第一加权因子包括:

通过从所述最大充电电压中减去所测量的端子电压来确定第一电压差;

根据给定的第一查找表确定与所述第一电压差相关联的第一延迟时间, 所述给定的第一查找表定义充电方向上的电压差与延迟时间之间的相关性; 以及

基于所述第一延迟时间来确定所述第一加权因子。

3. 根据权利要求2所述的方法, 其中, 使用下述等式1确定所述第一加权因子,

<等式1>

$$W_{v_c} = \frac{T_{v_c_s}}{T_{v_c_s} + T_{v_c_r}}$$

其中, $T_{v_c_s}$ 是所述第一延迟时间, $T_{v_c_r}$ 是给定的第一参考时间, 以及 W_{v_c} 是所述第一加权因子。

4. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 确定所述第二加权因子包括:

通过从所述上一平滑化充电功率极限中减去所述瞬时功率来确定第一功率差;

确定指示所述第一功率差与所述上一平滑化充电功率极限的相对大小的第一功率比;

根据给定的第二查找表确定与所述第一功率比相关联的第二延迟时间, 所述给定的第二查找表定义功率差和延迟时间之间的相关性; 以及

基于所述第二延迟时间来确定所述第二加权因子。

5. 根据权利要求4所述的方法, 其中, 使用下述等式2确定所述第二加权因子,

<等式2>

$$W_{p_c} = \frac{T_{p_c_s}}{T_{p_c_s} + T_{p_c_r}}$$

其中, $T_{p_c_s}$ 是所述第二延迟时间, $T_{p_c_r}$ 是给定的第二参考时间, 以及 W_{p_c} 是所述第二加权因子。

6. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 使用下述等式3来使所述充电功率极限平滑化,

<等式3>

$$P_{s_c} = W_{LPF_c} P_{s_c_pre} + \{1 - W_{LPF_c}\} P_{raw_c}$$

其中, W_{LPF_c} 是所述第一参考加权因子, $P_{s_c_pr}$ 是所述上一平滑化充电功率极限, P_{raw_c} 是所述充电功率极限, 并且 P_{s_c} 是所平滑化的充电功率极限。

7. 一种用于在每个时间步长处周期性地使电池的放电功率极限平滑化的方法, 包括:

测量所述电池的端子电压和电流;

基于所测量的端子电压和所测量的电流, 确定所述电池的瞬时功率;

确定所述电池的放电电流极限和放电电压极限;

基于所述放电电流极限和所述放电电压极限, 确定所述电池的放电功率极限;

基于给定的最小放电电压和所测量的端子电压, 确定第三加权因子;

基于上一平滑化放电功率极限、所述放电功率极限和所述瞬时功率, 确定第四加权因子, 其中所述上一平滑化放电功率极限是存储在存储器中并且是等于在当前时间步长前最晚平滑化的放电功率极限的值;

将所述第三加权因子和所述第四加权因子中的更小一个设置为第二参考加权因子;

通过使用所述第二参考加权因子计算在所述当前时间步长处确定的放电功率极限和所述上一平滑化放电功率极限的加权平均值, 使所述放电功率极限平滑化; 以及

向外部设备发送指示所平滑化的放电功率极限的通知信号。

8. 根据权利要求7所述的方法, 其中, 确定所述第三加权因子包括:

通过从所述最小放电电压中减去所测量的端子电压来确定第二电压差;

根据给定的第三查找表确定与所述第二电压差相关联的第三延迟时间, 所述给定的第三查找表定义放电方向上的电压差与延迟时间之间的相关性; 以及

基于所述第三延迟时间来确定所述第三加权因子。

9. 根据权利要求7所述的方法, 其中, 确定所述第四加权因子包括:

通过从所述上一平滑化放电功率极限中减去所述瞬时功率来确定第二功率差;

确定指示所述第二功率差与所述上一平滑化放电功率极限的相对大小的第二功率比;

根据给定的第四查找表确定与所述第二功率比相关联的第四延迟时间, 所述给定的第四查找表定义功率差和延迟时间之间的相关性; 以及

基于所述第四延迟时间来确定所述第四加权因子。

10. 根据权利要求7所述的方法, 其中, 使用下述等式4来使所述放电功率极限平滑化,

<等式4>

$$P_{s_d} = W_{LPF_d} P_{s_d_pre} + \{1 - W_{LPF_d}\} P_{raw_d}$$

其中, W_{LPF_d} 是所述第二参考加权因子, $P_{s_d_pre}$ 是所述上一平滑化放电功率极限, P_{raw_d} 是所述放电功率极限, 并且 P_{s_d} 是所平滑化的放电功率极限。

11. 一种用于在每个时间步长处周期性地使电池的充电功率极限平滑化的电池管理系统, 包括:

测量所述电池的端子电压和电流的感测单元;

可操作地耦合到所述感测单元的控制单元;

其中, 所述控制单元被配置为:

基于所测量的端子电压和所测量的电流, 确定所述电池的瞬时功率;

确定所述电池的充电电流极限和充电电压极限;

基于所述充电电流极限和所述充电电压极限, 确定所述电池的充电功率极限;

基于给定的最大充电电压和所测量的端子电压,确定第一加权因子;

基于上一平滑化充电功率极限、所述充电功率极限和所述瞬时功率,确定第二加权因子,其中所述上一平滑化充电功率极限是存储在存储器中并且是等于在当前时间步长前最晚平滑化的充电功率极限的值;

将所述第一加权因子和所述第二加权因子中的更小一个设置为第一参考加权因子;

通过使用所述第一参考加权因子计算在所述当前时间步长处确定的充电功率极限和所述上一平滑化充电功率极限的加权平均值,使所述充电功率极限平滑化;以及

向外部设备发送指示所平滑化的充电功率极限的通知信号。

12. 一种用于在每个时间步长处周期性地使电池的放电功率极限平滑化的电池管理系统,包括:

测量所述电池的端子电压和电流的感测单元;

可操作地耦合到所述感测单元的控制单元;

其中,所述控制单元被配置为:

基于所测量的端子电压和所测量的电流,确定所述电池的瞬时功率;

确定所述电池的放电电流极限和放电电压极限;

基于所述放电电流极限和所述放电电压极限,确定所述电池的放电功率极限;

基于给定的最小放电电压和所测量的端子电压,确定第三加权因子;

基于上一平滑化放电功率极限、所述放电功率极限和所述瞬时功率,确定第四加权因子,其中所述上一平滑化放电功率极限是存储在存储器中并且是等于在当前时间步长前最晚平滑化的放电功率极限的值;

将所述第三加权因子和所述第四加权因子中的更小一个设置为第二参考加权因子;

通过使用所述第二参考加权因子计算在所述当前时间步长处确定的放电功率极限和所述上一平滑化放电功率极限的加权平均值,使所述放电功率极限平滑化;以及

向外部设备发送指示所平滑化的放电功率极限的通知信号。

使电池的功率极限平滑化的方法和电池管理系统

技术领域

[0001] 本公开涉及一种用于在对电池进行充电或放电时使功率极限平滑化的方法和电池管理系统。

[0002] 本申请要求于2018年2月7日在大韩民国提交的韩国专利申请No.10-2018-0015140的优先权,其公开内容通过引用合并于此。

背景技术

[0003] 近年来,对诸如笔记本电脑、摄像机和移动电话的便携式电子产品的需求急剧增长,并且随着电动汽车、用于储能的蓄电池、机器人和卫星的广泛发展,正在对可以重复地充电的高性能电池进行许多研究。

[0004] 目前,市售电池包括镍镉电池、镍氢电池、镍锌电池、锂电池等,其中,锂电池几乎没有或没有记忆效应,因为它们具有可自由充电和放电、极低的自放电率和高能量密度的优点,因此与镍基电池相比受到更多关注。

[0005] 为了安全地使用电池,有必要针对充电过程和放电过程分别确定电池的功率极限,并且基于所确定的功率极限执行控制。为了确定电池的功率极限,需要预先预测电池的端子电压。

[0006] 但是,由于在一些情况下,电池会在端子电压和电流波动很大的环境中工作,因此,不易于预测在从当前时间的预定时间中电池的端子电压将是多少。另外,即使可以非常准确地预测电池的端子电压,如果电池的电流继续急剧变化,则根据电池的端子电压和电流周期性更新的电池的功率极限也会显示显著变化。当周期性更新的功率极限急剧变化时,电池管理系统将无法正确地控制电池的充电/放电。

发明内容

[0007] 技术问题

[0008] 本公开被设计为解决上述问题,因此,本公开旨在提供一种用于使周期性更新的电池的充电功率极限平滑化的方法和电池管理系统。

[0009] 本公开进一步旨在提供一种用于使周期性更新的电池的放电功率极限平滑化的方法和电池管理系统。

[0010] 本公开的这些和其他目的及优点可以通过下述描述来理解,并且从本公开的实施例将变得显而易见。此外,将容易理解到,本公开的目的和优点可以通过所附权利要求书及其组合中阐述的手段来实现。

[0011] 技术方案

[0012] 根据本发明的方面的一种用于使电池的充电功率极限平滑化的方法,包括:测量电池的端子电压和电流;基于所测量的端子电压和所测量的电流,确定电池的瞬时功率;确定电池的充电电流极限和充电电压极限;基于充电电流极限和充电电压极限,确定电池的充电功率极限;基于给定的最大充电电压和所测量的端子电压,确定第一加权因子;基于上

一平滑化充电功率极限、充电功率极限和瞬时功率,确定第二加权因子;将第一加权因子和第二加权因子中的更小一个设置为第一参考加权因子;基于上一平滑化充电功率极限和第一参考加权因子,使充电功率极限平滑化;以及向外部设备发送指示所平滑化的充电功率极限的通知信号。

[0013] 确定第一加权因子包括的步骤可以包括通过从最大充电电压中减去所测量的端子电压来确定第一电压差;根据给定的第一查找表确定与第一电压差相关联的第一延迟时间,给定的第一查找表定义充电方向上的电压差与延迟时间之间的相关性;以及基于第一延迟时间来确定第一加权因子。

[0014] 可以使用下述等式1确定第一加权因子的步骤,

[0015] <等式1>

$$[0016] \quad W_{v_c} = \frac{T_{v_c_s}}{T_{v_c_s} + T_{v_c_r}}$$

[0017] 其中, $T_{v_c_s}$ 是第一延迟时间, $T_{v_c_r}$ 是给定的第一参考时间,以及 W_{v_c} 是第一加权因子。

[0018] 确定第二加权因子的步骤可以包括通过从上一平滑化充电功率极限中减去瞬时功率来确定第一功率差;确定指示第一功率差与上一平滑化充电功率极限的相对大小的第一功率比;根据给定的第二查找表确定与第一功率比相关联的第二延迟时间,该给定的第二查找表定义功率差和延迟时间之间的相关性;以及基于第二延迟时间来确定第二加权因子。

[0019] 可以使用下述等式2确定第二加权因子的步骤,

[0020] <等式2>

$$[0021] \quad W_{p_c} = \frac{T_{p_c_s}}{T_{p_c_s} + T_{p_c_r}}$$

[0022] 其中, $T_{p_c_s}$ 是第二延迟时间, $T_{p_c_r}$ 是给定的第二参考时间,以及 W_{p_c} 是第二加权因子。

[0023] 使充电功率极限平滑化的步骤可以使用下述等式3,

[0024] <等式3>

$$[0025] \quad P_{s_c} = W_{LPF_c} P_{s_c_pre} + \{1 - W_{LPF_c}\} P_{raw_c}$$

[0026] 其中, W_{LPF_c} 是第一参考加权因子, $P_{s_c_pre}$ 是上一平滑化充电功率极限, P_{raw_c} 是充电功率极限,以及 P_{s_c} 是所平滑化的充电功率极限。

[0027] 根据本发明的另一方面的一种用于使电池的放电功率极限平滑化的方法包括测量电池的端子电压和电流;基于所测量的端子电压和所测量的电流来确定电池的瞬时功率;确定电池的放电电流极限和放电电压极限;基于放电电流极限和放电电压极限,确定电池的放电功率极限;基于给定的最小放电电压和所测量的端子电压,确定第三加权因子;基于上一平滑化放电功率极限、放电功率极限和瞬时功率,确定第四加权因子;将第三加权因子和第四加权因子中的更小一个设置为第二参考加权因子;基于上一平滑化放电功率极限和第二参考加权因子,使放电功率极限平滑化;以及向外部设备发送指示所平滑化的放电功率极限的通知信号。

[0028] 确定第三加权因子的步骤可以包括通过从最小放电电压中减去所测量的端子电

压来确定第二电压差;根据给定的第三查找表确定与第二电压差相关联的第三延迟时间,该给定的第三查找表定义放电方向上的电压差与延迟时间之间的相关性;以及基于第三延迟时间来确定第三加权因子。

[0029] 确定第四加权因子的步骤可以包括:通过从上一平滑化放电功率极限中减去瞬时功率来确定第二功率差;确定指示第二功率差与上一平滑化放电功率极限的相对大小的第二功率比;根据给定的第四查找表确定与第二功率比相关联的第四延迟时间,该给定的第四查找表定义功率差和延迟时间之间的相关性;以及基于第四延迟时间来确定第四加权因子。

[0030] 使放电功率极限平滑化的步骤可以使用下述等式4,

[0031] <等式4>

$$P_{s_d} = W_{LPF_d} P_{s_d_pre} + \{1 - W_{LPF_d}\} P_{raw_d}$$

[0033] 其中, W_{LPF_d} 是第二参考加权因子, $P_{s_d_pre}$ 是上一平滑化放电功率极限, P_{raw_d} 是放电功率极限,以及 P_{s_d} 是所平滑化的放电功率极限。

[0034] 根据本发明的又一方面的一种用于使电池的充电功率极限平滑化的电池管理系统,包括测量电池的端子电压和电流的感测单元;以及可操作地耦合到感测单元的控制单元。控制单元被配置为基于所测量的端子电压和所测量的电流,确定电池的瞬时功率。控制单元被配置为确定电池的充电电流极限和充电电压极限。控制单元被配置为基于充电电流极限和充电电压极限,确定电池的充电功率极限。控制单元被配置为基于给定的最大充电电压和所测量的端子电压,确定第一加权因子。控制单元被配置为基于上一平滑化充电功率极限、充电功率极限和瞬时功率,确定第二加权因子。控制单元被配置为将第一加权因子和第二加权因子中的更小一个设置为第一参考加权因子、控制单元被配置为基于上一平滑化充电功率极限和第一参考加权因子,使充电功率极限平滑化。控制单元被配置为向外部设备发送指示所平滑化的充电功率极限的通知信号。

[0035] 根据本发明的又一方面的一种用于使电池的放电功率极限平滑化的电池管理系统,包括测量电池的端子电压和电流的感测单元;以及可操作地耦合到感测单元的控制单元。控制单元被配置为基于所测量的端子电压和所测量的电流,确定电池的瞬时功率。控制单元被配置为确定电池的放电电流极限和放电电压极限。控制单元被配置为基于放电电流极限和放电电压极限,确定电池的放电功率极限。控制单元被配置为基于给定的最小放电电压和所测量的端子电压,确定第三加权因子。控制单元被配置为基于上一平滑化放电功率极限、放电功率极限和瞬时功率,确定第四加权因子。控制单元被配置为将第三加权因子和第四加权因子中的更小一个设置为第二参考加权因子。控制单元被配置为基于上一平滑化放电功率极限和第二参考加权因子,使放电功率极限平滑化。控制单元被配置为向外部设备发送指示所平滑化的放电功率极限的通知信号。

[0036] 有益效果

[0037] 根据本公开的实施例中的至少一个,可以使周期性更新的电池的充电功率极限平滑化。

[0038] 另外,根据本公开的实施例中的至少一个,可以使周期性更新的电池的放电功率极限平滑化。

[0039] 本公开的效果不限于上述效果,并且本领域技术人员将从所附权利要求中清楚地

理解这些和其他效果。

附图说明

[0040] 附图示出了本公开的优选实施例,并且与以下描述的本公开的详细描述一起用于提供对本公开的技术方面的进一步理解,因此本公开不应当被理解为限于附图。

[0041] 图1是示出根据本公开的实施例的电池组的功能配置的图。

[0042] 图2是示出电池的示例性等效电路模型的图。

[0043] 图3是示出根据本公开的实施例的用于估计作为等效电路模型的参数中的一个的第一电阻器的电阻的方法的流程图。

[0044] 图4示出了在描述图3的方法时参考的图。

[0045] 图5和图6是示出根据本公开的实施例的用于估计作为等效电路模型的参数中的一个的第二电阻器的电阻的方法的流程图。

[0046] 图7示出了在描述图5的方法时参考的图。

[0047] 图8是示出根据本公开的另一实施例的用于确定电池的充电功率极限和放电功率极限的方法的流程图。

[0048] 图9和图10示出了在描述图8的方法时参考的不同的示例性曲线图。

[0049] 图11是示出根据本公开的另一实施例的用于使电池的充电功率极限平滑化的方法的流程图。

[0050] 图12和13示出了用于在描述图11的方法时参考的不同示例性曲线图。

[0051] 图14是示出根据本公开的另一实施例的用于使电池的放电功率极限平滑化的方法的流程图。

[0052] 图15示出了在描述图14的方法时参考的示例性曲线图。

具体实施方式

[0053] 在下文中,将参照附图,详细地描述本公开的优选实施例。在描述之前,应当理解到,说明书和所附权利要求书中使用的术语或单词不应当被解释为限于一般和词典含义,而是在允许发明人为最佳说明而适当地定义术语的原则的基础上,基于与本发明的技术方面相对应的含义和概念来解释。

[0054] 因此,本文所述的实施例和图中示出的图示仅是本公开的最优选实施例,而不旨在完全地描述本公开的技术方面,因此应当理解到,在提交申请时,可以对其进行各种其他等效和改进。

[0055] 另外,在描述本公开时,当认为相关的已知元件或功能的某些详细描述使本公开的关键主题不明确时,本文省略详细描述。

[0056] 包括诸如“第一”、“第二”等的序数的术语被用来在各种元件中将一个元件与另一元件区分开,但并不旨在通过这些术语来限制这些元件。

[0057] 除非上下文另外明确指出,否则将理解到,术语“包括”或“包含”在本说明书中使用,指定存在所述元件,但不排除存在或添加一个或多个其他元件。另外,如本文使用的术语<控制单元>是指至少一个功能或操作的处理单元,并且这可以单独地或组合地通过硬件或软件来实现。

[0058] 此外,在整个说明书中,将进一步理解到,当元件被称为“连接到”另一个元件时,该元件可以直接连接到另一元件,或者可以存在中间元件。

[0059] 图1是示出根据本公开的实施例的电池组1的功能配置的图。

[0060] 参考图1,电池组1包括电池10、开关20和电池管理系统100。开关20被配置为响应于来自电池管理系统100的开关信号(例如,脉宽调制信号)来调节电池10的充电电流和/或放电电流的大小。

[0061] 电池管理系统100电耦合至电池10,并且被配置为监测和控制电池10的状态。电池管理系统100包括感测单元110、存储器120、控制单元130和通信接口140。

[0062] 感测单元110包括电流测量单元111。电流测量单元111在由预定义时间长度限定的每个时间步长处测量电池10的电流,并且将指示所测量的电流的电流信号发送至控制单元130。对电池10进行放电时的电流可以被称为“放电电流”,以及对电池10进行充电时的电流可以被称为“充电电流”。控制单元130可以将将从电流测量单元111发送的模拟形式的电流信号转换为数字形式的电流数据。在下文中,假定将充电时的电流测量为正值,并且将放电时的电流测量为负值。

[0063] 感测单元110可以进一步包括电压测量单元112。电压测量单元112在每个时间步长处测量电池10的端子电压,并且将指示所测量的端子电压的电压信号发送到控制单元130。控制单元130可以将将从电压测量单元112发送的模拟形式的电压信号转换为数字形式的电压数据。

[0064] 感测单元110可以进一步包括温度测量单元113。温度测量单元113在每个时间步长处测量电池10的温度,并且将指示所测量的温度的温度信号发送到控制单元130。控制单元130可以将将从温度测量单元113发送的模拟形式的温度信号转换成数字形式的温度数据。电流测量单元111、电压测量单元112和温度测量单元113可以彼此时间同步地操作。在下文中,将第k时间步长表示为“时间步长k”。另外,在时间步长k处由感测单元110测量的端子电压和电流分别表示为 $V(k)$ 和 $I(k)$ 。

[0065] 存储器120可以另外存储用于电池管理系统100的整体操作所需的数据、指令和软件。存储器120可以存储指示由控制单元130执行的操作的结果的数据。可以将感测单元110在每个时间步长处测量的电池10的端子电压、电流和/或温度按序列顺序记录在存储器120中。存储器120可以包括闪存类型、硬盘类型、固态磁盘(SSD)类型、硅盘驱动器(SDD)类型、多媒体卡微型类型、随机存取存储器(RAM)、静态随机存取存储器(SRAM)、只读存储器(ROM)、电可擦可编程只读存储器(EEPROM)和可编程只读存储器(PROM)中的至少一种存储介质。

[0066] 控制单元130可操作地耦合到感测单元110、存储器120和通信接口140。控制单元130将在每个时间步长处由感测单元110测量的电池10的端子电压、电流和/或温度按序列顺序记录在存储器120中。控制单元130可以在每个时间步长处与时间步长的时间间隔 Δt 一样大地移动具有预定义大小的滑动时间窗,并且从存储器120读取在存储器120中记录的所有端子电压和电流当中的、在该滑动时间窗中测量的多个端子电压和多个电流。例如,当时间步长的时间间隔是0.01秒,并且滑动时间窗的大小是10秒时,可以在每个时间步长从存储器120读取1000个端子电压和1000个电流。

[0067] 可以使用专用集成电路(ASIC)、数字信号处理器(DSP)、数字信号处理设备

(DSPD)、可编程逻辑器件(PLD)、现场可编程门阵列(FPGA)、微处理器和用于执行其他功能的电气单元中的至少一种物理地实现控制单元130。

[0068] 通信接口140可以耦合到诸如电动车辆的电子控制单元(ECU)的外部设备2,以实现它们之间的通信。通信接口140可以从外部设备2接收命令消息,并且将所接收的命令消息提供给控制单元130。命令消息可以是请求激活装置的特定功能的消息。通信接口140可以将通知消息从控制单元130发送到外部设备2。该通知消息可以是用于向外部设备2告知由控制单元130执行的功能的结果(例如,电池的充电状态)的消息。

[0069] 图2是示出用于电池的示例性等效电路模型200的图。

[0070] 参考图2,等效电路模型200可以包括电压源205、第一电阻器210、第二电阻器220和电容器230。等效电路模型200的参数可以包括第一电阻器210的电阻、第二电阻器220的电阻和电容器230的电容。

[0071] 电压源205表示根据电池的充电状态(SOC)和温度确定的电池的开路电压(OCV) V_{OCV} 。即,当确定SOC和温度时,可以唯一地确定OCV V_{OCV} 。可以针对每个SOC和每个温度预定义OCV V_{OCV} 。即,可以将定义电池的SOC、温度和OCV之间的相关性的OCV-SOC映射预存储在存储器110中。在第k时间步长的OCV可以被表示为 $V_{OCV}(k)$ 。

[0072] 第一电阻器210通过流过电池的电流来对短期电压波动进行建模。由于电池10的内阻,在对电池进行充电时测量的端子电压高于OCV。相反,在对电池进行放电时测量的端子电压低于OCV。

[0073] 第二电阻器220和电容器230彼此并联地连接。如所示,第二电阻器220可以串联连接到第一电阻器210。第二电阻器220和电容器230的并联连接电路可以被称为“RC对”。与第一电阻器210相反,第二电阻器220并联连接到电容器230。因此,RC对可以对在电池的充电或放电期间产生的极化电压进行建模。即,第二电阻器220和电容器230的并联组合用于对电池的瞬态响应历史进行建模。

[0074] 假定第一电阻器210的电阻和第二电阻器220的电阻分别恒定为 R_1 和 R_2 。如果 Δt 非常小,则在任意时间步长处测量的电池10的端子电压和电流中的每一个直到下一时间步长之前可以是恒定的,因此,在两个相邻的时间步长之间,电压源205的OCV也可以被视为是恒定的。

[0075] 假设在时间步长k开始的任意时间点RC对的极化电压为 V_{pola} ,并且从时间步长k到时间步长q第一电阻器210的电阻和第二电阻器220的电阻分别恒定为 R_1 和 R_2 。然后,在时间步长q处的等效电路模型200的电压 $V_{model}(q)$ 可以被表示为下述等式1。

[0076] <等式1>

$$V_{model}(q) = V_{ocv}(q) + R_1 I(q) + V_{pola} \exp \frac{-(q-k)\Delta t}{\tau}$$

[0077]

$$+ \sum_{i=1}^{q-k} R_2 I(i+k) \left\{ \exp \frac{-((q-k)-i)\Delta t}{\tau} - \exp \frac{-((q-k)-i+1)\Delta t}{\tau} \right\}$$

[0078] τ 是RC对的预设时间常数。

[0079] 图3是示出根据本公开的实施例的用于估计作为等效电路模型200的参数中的一个的第一电阻器210的电阻的方法的流程图;以及图4示出了用于在描述图3的方法时参考

的图。

[0080] 在步骤S310中,控制单元130从存储器120读取指示在具有预定义大小的滑动时间窗中在每个时间步长处按序列顺序由感测单元110测量的第一数目的端子电压和第一数目的电流的测量数据。即,控制单元130从存储器120读取使用结束时间点已经移动到当前时间步长的滑动时间窗在从当前时间步长的过去预定义时间期间的在存储器120中记录的第一数目的端子电压和第一数目的电流。预定义时间等于滑动时间窗的大小。通过预定义时间和每个时间步长之间的时间间隔 Δt , 设置第一数目。例如,当预定义时间=10秒且 $\Delta t=0.01$ 秒时,第一数目=10秒/0.01秒=1000。每次滑动时间窗移动 Δt 时,丢弃第一数目的端子电压中最旧的一个,并且添加新测量的端子电压。同样地,每次滑动时间窗移动 Δt 时,丢弃第一数目的电流中最旧的一个,并且添加新测量的电流。

[0081] 第一数目的端子电压包括在当前时间步长测量的端子电压 $V(n)$ 和在上一时间步长测量的端子电压 $V(n-1)$ 。第一数目的电流包括在当前时间步长测量的电流 $I(n)$ 和在上一时间步长测量的电流 $I(n-1)$ 。

[0082] 在步骤S320中,控制单元130基于在当前时间步长测量的端子电压 $V(n)$ 和在上一时间步长测量的端子电压 $V(n-1)$ 来计算当前时间步长的电压变化 $\Delta V(n)$ 。在此实例中,控制单元130可以通过从在当前时间步长测量的端子电压 $V(n)$ 减去在上一时间步长测量的端子电压 $V(n-1)$ 来计算电压变化 $\Delta V(n)$ 。即, $\Delta V(n) = V(n) - V(n-1)$ 。

[0083] 在步骤S330中,控制单元130基于在当前时间步长测量的电流 $I(n)$ 和在上一时间步长测量的电流 $I(n-1)$ 来计算当前时间步长的电流变化 $\Delta I(n)$ 。在此实例中,控制单元130可以通过从当前时间步长测量的 $I(n)$ 中减去上一时间步长测量的 $I(n-1)$ 来计算电流变化 $\Delta I(n)$ 。即, $\Delta I(n) = I(n) - I(n-1)$ 。

[0084] 与图3不同,步骤S330可以早于步骤S320执行,或者与步骤S320同时执行。

[0085] 在步骤S340中,控制单元130确定电压变化 $\Delta V(n)$ 和电流变化 $\Delta I(n)$ 是否满足第一数据过滤条件。第一数据过滤条件是用于确定 $\Delta V(n)$ 和 $\Delta I(n)$ 是否适合作为用于估计第一电阻器210的电阻的学习数据的标准。

[0086] 当(i)电流变化 $\Delta I(n)$ 的绝对值大于第一阈值,并且(ii)电压变化 $\Delta V(n)$ 与电流变化 $\Delta I(n)$ 的乘积大于0时,控制单元130可以确定满足第一数据过滤条件。

[0087] 第一阈值是大于0的实数,并且是基于电流测量单元111的测量误差而预设的。第一电阻器210用于对由于电池10的内部电阻而形成的瞬时电压波动进行建模,因此, $\Delta I(n)$ 的绝对值大于第一阈值时,适合使用 $\Delta I(n)$ 来在当前时间步长估计第一电阻器210的电阻。相反,当 $\Delta I(n)$ 的绝对值等于或小于第一阈值时,很可能 $\Delta I(n)$ 由电流测量单元111的测量误差产生,因此不适合使用 $\Delta I(n)$ 来在当前时间步长估计第一电阻器210的电阻。

[0088] 另外,根据欧姆定律,第一电阻器210的电压与流过第一电阻器210的电流成比例。因此,仅当 $\Delta V(n)$ 和 $\Delta I(n)$ 具有相同的符号时,才适合使用 $\Delta V(n)$ 和 $\Delta I(n)$ 来在当前时间步长估计第一电阻器210的电阻。相反,具有正值的 $\Delta V(n)$ 和具有负值的 $\Delta I(n)$ 或具有负值的 $V(n)$ 和具有正值的 $\Delta I(n)$ 表示第一电阻器210的电压变化违背欧姆定律,因此不适合使用 $\Delta I(n)$ 来在当前时间步长估计第一电阻器210的电阻。图4中所示的两个曲线图的每一个都示出了相同时间范围内的电池10的电压和电流的变化。在图4中,满足第一数据过滤条件的电压和电流均由粗体点标记。

[0089] 当步骤S340的值为“是”时,该方法移至步骤S350。相反,当步骤S340的值为“否”时,该方法移至步骤S360。

[0090] 在步骤S350中,控制单元130基于在上一时间步长估计的第一电阻器210的电阻 $R_{1_est}(n-1)$ 、电压变化 $\Delta V(n)$ 和电流变化 $\Delta I(n)$ 来在当前时间步长估计第一电阻器210的电阻。

[0091] 控制单元130可以使用递归最小二乘(RLS)算法来在当前时间步长估计第一电阻器210的电阻,在下文中,提供详细描述。

[0092] 首先,可以将与第一电阻器210的电阻估计有关的加权误差平方和S1表示为下述等式2。

[0093] <等式2>

$$[0094] \quad S1 = \sum_{k=1}^n \lambda^{n-k} \{ \Delta V(k) - R_{1_est}(n) \Delta I(k) \}^2$$

[0095] 在等式2中, $R_{1_est}(n)$ 是要估计的第一电阻器210的电阻。另外,在等式2中, λ 是被预设大于0且小于1的第一遗忘因子。因为在从当前时间步长的过去的更早时间测量端子电压和电流时, λ 将对第一电阻器210的电阻估计产生更小的影响。

[0096] 可以通过下述等式3和4计算加权误差平方和S1的解,即使S1最小化的 $R_{1_est}(n)$ 。

[0097] <等式3>

$$[0098] \quad P_1(n) = \frac{1}{\lambda} \left\{ P_1(n-1) - \frac{P_1(n-1)^2 \Delta I(n)^2}{\lambda + P_1(n-1) \Delta I(n)^2} \right\}$$

[0099] <等式4>

$$[0100] \quad R_{1_est}(n) = R_{1_est}(n-1) + P_1(n) \Delta I(n) \{ \Delta V(n) - R_{1_est}(n-1) \Delta I(n) \}$$

[0101] $P_1(n)$ 和 $P_1(n-1)$ 分别是当前时间步长的校正因子和上一时间步长的校正因子。即,通过等式4将 $P_1(n-1)$ 更新为 $P_1(n)$ 。

[0102] 在等式4中, $R_{1_est}(n-1)$ 是在上一时间步长的第一电阻器210的预估计电阻。控制单元130可以使用等式3和等式4来计算当前时间步长的第一电阻器210的估计电阻 $R_{1_est}(n)$ 。

[0103] 对于由于电池管理系统100的初始化而使得指示当前时间步长的符号 n 的值变为1的情况,可以将 $P_1(0)$ 和 $R_{1_est}(0)$ 作为不同的初始值预存储在存储器120中。例如, $P_1(0) = (1-\lambda) / (TH_1)^2$, 并且 TH_1 可以等于第一阈值。另外, $R_{1_est}(0)$ 可以是与在初始时间步长处测量的电池10的温度相对应的预设值。控制单元130将当前时间步长的第一电阻器210的估计电阻 $R_{1_est}(n)$ 存储在存储器120中。

[0104] 在步骤S360中,控制单元130将在上一时间步长估计的第一电阻器210的电阻 $R_{1_est}(n-1)$ 设置为在当前时间步长估计的第一电阻器210的电阻 $R_{1_est}(n)$ 。即,将当前时间步长的第一电阻器的电阻处理为等于上一时间步长估计的第一电阻器210的电阻 $R_{1_est}(n-1)$ 。因此,与S350不同, $R_{1_est}(n) = R_{1_est}(n-1)$ 。

[0105] 图5和图6是示出根据本公开的实施例用于估计作为等效电路模型200的参数的另一个的第二电阻器220的电阻的方法的流程图,以及图7示出了在描述图5的方法时参考的图。

[0106] 在步骤S510中,控制单元130确定第一数目的电流是否满足第二数据过滤条件。第

二数据过滤条件是用于确定关于第一数目的端子电压和第一数目的电流是否适合作为用于估计第二电阻器220的电阻的学习数据的标准。

[0107] 当第一数目的电流中的最大值和最小值之间的差大于第二阈值时,控制单元130可以确定满足第二数据过滤条件。图7所示的图示出了在比滑动时间窗的大小更长的时间内所测量的电池10的电流的变化。假设滑动时间窗的大小为10秒,并且第二阈值为10A。参见图7,从330秒到340秒所测量的电流的最大值和最小值之差为100A或更大。因此,从330秒到340秒所测量的电流满足第二数据过滤条件。相反,从390秒到400秒所测量的电流是恒定的,并且不满足第二数据过滤条件。

[0108] 由于电容器230,第二电阻器220的电压比第一电阻器210的电压变化更慢。因此,优选第二阈值大于第一阈值。

[0109] 当步骤S510的值为“是”时,执行步骤S520。当步骤S510的值为“否”时,执行步骤S630。

[0110] 在步骤S520中,控制单元130生成基于第一数目的端子电压的测量电压矢量,并且生成基于第一数目的电流的测量电流矢量。在下文中,假定第一数目是2或更大的m。本领域技术人员将理解到,指示当前时间步长的阶数的n大于m。

[0111] 测量电压矢量可以如下表示为 $m \times 1$ 矩阵。

$$[0112] \quad V_{\text{vec}} = [V(n-m+1) V(n-m+2) V(n-m+3) \dots V(n)]^T$$

[0113] 测量电流矢量可以如下表示为 $m \times 1$ 矩阵。

$$[0114] \quad I_{\text{vec}} = [I(n-m+1) I(n-m+2) I(n-m+3) \dots I(n)]^T$$

[0115] 在上文中,符号T表示转置矩阵。

[0116] 在步骤S530中,控制单元130基于测量电压矢量、测量电流矢量和在当前时间步长估计的第一电阻器210的电阻 $R_{1_est}(n)$,生成参考电压矢量。 $R_{1_est}(n)$ 表示电池10的内阻,并且假定 $R_{1_est}(n)$ 在滑动时间窗中是恒定的。然后,参考电压矢量可以如下表示。

$$[0117] \quad Y_{w_vec} = V_{\text{vec}} - R_{1_est}(n) I_{\text{vec}}$$

[0118] 参考电压矢量 Y_{w_vec} 表示从第一数目的端子电压中的每一个减去第一数目的电流中的每一个乘以内阻的电压的结果。

[0119] 在步骤S540中,控制单元130可以基于等效电路模型200和测量电流矢量来产生第一特征矢量、第一参数矢量和第一模型电压矢量。第一模型电压矢量是第一特征矢量和第一参数矢量的乘积。

[0120] 使 r 、 K_{vec} 、 $H_{\text{ind_vec}}$ 和 1_{vec} 定义如下。

$$[0121] \quad r = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right)$$

$$[0122] \quad K_{\text{vec}} = [r \ r^2 \ r^3 \dots \ r^m]^T$$

$$[0123] \quad H_{\text{ind_vec}} = (1-r) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ r & 1 & 0 & \dots & 0 \\ r^2 & r & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r^{m-1} & r^{m-2} & r^{m-3} & \dots & 1 \end{bmatrix} I_{\text{vec}}$$

$$[0124] \quad 1_{\text{vec}} = [1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1]^T$$

[0125] 在电压源205的OCV在滑动时间窗中恒定为 V_{ocv} 的情况下,当将上述定义应用于等式1时,可以推导出表示为下述等式5的第一模型电压矢量。

[0126] <等式5>

$$V_{\text{modell_vec}} = V_{\text{ocv_vec}} + R_2 H_{\text{ind_vec}} + V_{\text{pola_vec}} K_{\text{vec}} = [1_{\text{vec}} \ H_{\text{ind_vec}} \ K_{\text{vec}}] [V_{\text{ocv}} \ R_2 \ V_{\text{pola}}]^T$$

[0128] 在等式5中,当 $X_{1_vec} = [1_{\text{vec}} \ H_{\text{ind_vec}} \ K_{\text{vec}}]$, $\beta_{1_vec} = [V_{\text{ocv}} \ R_2 \ V_{\text{pola}}]^T$ 时,等式5可以简化为下述等式6。第一模型电压矢量可以是对参考电压矢量进行建模的结果。

[0129] <等式6>

$$V_{\text{modell_vec}} = X_{1_vec} \beta_{1_vec}$$

[0131] X_{1_vec} 是表示为 $m \times 3$ 矩阵的第一特征矢量。 β_{1_vec} 是表示为 3×1 矩阵的第一参数矢量,并且将第一特征矢量转换为第一模型电压矢量。第一参数矢量中包含的三个分量都是未知的。

[0132] 在步骤S550中,控制单元130基于参考电压矢量和第一特征矢量来估计第二电阻器220的电阻,该电阻指示滑动时间窗中的电池的瞬态响应历史。

[0133] 参考电压矢量和第一模型电压矢量之间的误差平方和S2可以表示为下述等式7。

[0134] <等式7>

$$S2 = ||Y_{w_vec} - V_{\text{modell_vec}}||^2 = ||Y_{w_vec} - X_{1_vec} \beta_{1_vec}||^2$$

[0136] 控制单元130可以使用下述等式8来估计最小化误差平方和S2的第一参数矢量。

[0137] <等式8>

$$\beta_{1_win} = [V_{\text{ocv_win}} \ R_{2_win} \ V_{\text{pola_win}}]^T = (X_{1_vec}^T X_{1_vec})^{-1} X_{1_vec}^T Y_{w_vec}$$

[0139] 在滑动时间窗中产生的电池的瞬态响应历史由第一数目的端子电压和第一数目的电流定义。因此,使用上述等式8估计的第一参数矢量的分量 R_{2_win} 是第二电阻器220的估计电阻,其指示滑动时间窗中的电池的瞬态响应历史。

[0140] 在步骤S560中,控制单元130可以基于参考电压矢量和第一特征矢量来计算与参考电压矢量和第一模型电压矢量之间的最小误差平方和S3相对应的第一误差值。

[0141] 控制单元130可以使用与最小二乘法有关的下述等式9来计算最小误差平方和S3。

[0142] <等式9>

$$S3 = Y_{w_vec}^T \{E - X_{1_vec} (X_{1_vec}^T X_{1_vec})^{-1} X_{1_vec}^T\} Y_{w_vec}$$

[0144] 在等式9中,E是单位矩阵。

[0145] 第一误差值可以是(i) S3、(ii) S3的平均值,即 $S3/m$,和(iii) $S3/m$ 的平方根中的任何一个。

[0146] 在步骤S570中,基于作为从等效电路模型200中去除第二电阻器220的结果的替代电路模型和测量电流矢量,控制单元130可以生成第二特征矢量、第二参数矢量和第二模型电压矢量。第二模型电压矢量是第二特征矢量和第二参数矢量的乘积。

[0147] 由于替代电路模型没有等效电路模型200的第二电阻器220,因此,作为从第一参数矢量中去除 R_2 的结果,第二参数矢量被表示为 $\beta_{2_v} = [V_{\text{ocv}} \ V_{\text{pola}}]^T$,并且作为从第一特征矢量中去除 $H_{\text{ind_v}}$ 的结果,第二特征矢量被表示为 $X_{2_vec} = [1_v \ k_v]$ 。因此,第二模型电压矢量可以被表示为下述等式10。

[0148] <等式10>

$$V_{\text{model2_vec}} = X_{2_vec} \beta_{2_vec}$$

[0150] 在步骤S580中,控制单元130可以基于参考电压矢量和第二特征矢量来计算与参考电压矢量和第二模型电压矢量之间的最小误差平方和S4相对应的第二误差值。

[0151] 控制单元130可以使用与最小二乘法有关的下述等式11来计算最小误差平方和S4。

[0152] <等式11>

$$[0153] \quad S4 = Y_{w_vec}^T \{ E - X_{2_vec} (X_{2_vec}^T X_{2_vec})^{-1} X_{2_vec}^T \} Y_{w_vec}$$

[0154] 第二误差值可以是 (i) S4、(ii) S4的平均值, 即S4/m, 和 (iii) S4/m的平方根中的任何一个。

[0155] 在步骤S610中, 控制单元130基于指示滑动时间窗中的电池的瞬态响应历史的第二电阻器220的估计电阻 R_{2_win} 、第一误差值和第二误差值, 确定是否满足第三数据过滤条件。

[0156] 详细地, 在步骤S610中, 控制单元130确定下述中的每一个: (i) R_{2_win} 是否大于0欧姆, 以及 (ii) 第二误差值是否大于通过将第一误差值乘以预设大于1的比例因子 (例如1.1) 而获得的值。即, 当 R_{2_win} 大于0欧姆并且第二误差值大于通过将第一误差值乘以比例因子而获得的值时, 可以满足第三数据过滤条件。

[0157] 实际上, 在物理方面, 第二电阻器220的电阻不能为0欧姆或更小。因此, R_{2_win} 为0欧姆或更小表示第一数目的端子电压和第一数目的电流不适合用于第二电阻器220的电阻估计。另外, 如上所述, 第二误差值表示不考虑由RC引起的极化电压。因此, 通过将第一误差值乘以比例因子而获得的值比第二误差值大表示第一数目的端子电压和第一数目的电流不能适当地反映由第二电阻器220生成的电压的动态特性。

[0158] 当满足第三数据过滤条件时, 执行S620, 否则, 执行S630。

[0159] 在步骤S620中, 控制单元130基于测量电压矢量、测量电流矢量、在当前时间步长估计的第一电阻器210的电阻 $R_{1_est}(n)$ 以及指示上一观察时段中的电池10的瞬态响应历史的第二电阻器220的估计电阻 $R_{2_est}(n-1)$, 估计指示当前观察时段中的电池的瞬态响应历史的第二电阻器220的电阻。上一观察时段是从初始时间步长到上一时间步长的时段。当前观察时段是从初始时间步长到当前时间步长的时段。

[0160] 控制单元130可以使用表示基于RLS算法的函数的下述等式12来在当前时间步长估计第二电阻器220的电阻。

[0161] <等式12>

$$[0162] \quad R_{2_est}(n) = f(R_{1_est}(n), R_{2_est}(n-1), V_{vec}, I_{vec})$$

[0163] 在等式12中, 当输入 $R_{1_est}(n)$ 、 $R_{2_est}(n-1)$ 、 V_{vec} 和 I_{vec} 时, 函数 $f()$ 输出 $R_{2_est}(n)$ 。 $R_{2_est}(n-1)$ 是第二电阻器220的估计电阻, 其指示上一观察时段中的电池的瞬态响应历史。同样地, $R_{2_est}(n)$ 是第二电阻器220的估计电阻, 其指示当前观察时段中的电池的瞬态响应历史。

[0164] 在步骤S630中, 控制单元130将指示上一观察时段中的电池10的瞬态响应历史的第二电阻器220的估计电阻 $R_{2_est}(n-1)$ 设置为指示当前观察时段中的电池10的瞬态响应历史的第二电阻器220的估计电阻 $R_{2_est}(n)$ 。即, 将上一观察时段中的电池10的瞬态响应历史处理为等于当前观察时段中的电池10的瞬态响应历史。因此, 与S620不同, $R_{2_est}(n) = R_{2_est}(n-1)$ 。

[0165] 控制单元130可以使用第一电阻器210的估计电阻 $R_{1_est}(n)$ 和第二电阻器220的估计电阻 $R_{2_est}(n)$ 来预测电池10的端子电压, 并且基于所预测的端子电压来调节输出到开关

20的开关信号的占空比。

[0166] 控制单元130可以使用第一电阻器210的估计电阻 $R_{1_est}(n)$ 和第二电阻器220的估计电阻 $R_{2_est}(n)$ 来在当前时间步长估计电池10的SOC,并且基于所估计的SOC来调节输出到开关20的开关信号的占空比。

[0167] 图8是示出根据本公开的另一实施例的用于确定电池10的充电功率极限和放电功率极限的方法的流程图,以及图9和图10示出了在描述图8的方法时参考的不同的示例性曲线图。在通过图3、5和6的方法估计第一电阻器210的电阻和第二电阻器220的电阻之后,图8的方法开始。

[0168] 参考图8,在步骤S800中,控制单元130可以估计电池10的极化电压 $V_{pola}(n)$ 。可以通过各种已知方法来估计极化电压 $V_{pola}(n)$ 。控制单元130可以将使用图5的步骤S550中的等式8估计的 V_{pola_win} 用作极化电压 $V_{pola}(n)$,并且在这种情况下,可以省略步骤S800。

[0169] 在步骤S810中,控制单元130基于第二电阻器220的电阻 $R_{2_est}(n)$ 、测量端子电压 $V(n)$ 、测量电流 $I(n)$ 和电池10的极化电压 $V_{pola}(n)$,预测在预定义时间 T_{hard} 之后的电池10的端子电压。

[0170] 假设在从当前时间步长的预定义时间 T_{hard} 内电池10的电流恒定为 I_{hard} 。 I_{hard} 可以等于或大于或小于 $I(n)$ 。当假定在从当前时间步长的预定义时间 T_{hard} 内电池10的OCV恒定时,在直到从当前时间步长经过预定义时间 T_{hard} 为止的时段的任意时间点 t ,电池10的端子电压 V_t 可以被表示为下述等式13。

[0171] <等式13>

$$V_t = V(n) + \left\{1 - \exp^{-\frac{t-t_n}{\tau}}\right\} \{R_{2_est}(n)I(n) - V_{pola}(n)\} + \left\{R_{1_est}(n) + \left\{1 - \exp^{-\frac{t-t_n}{\tau}}\right\} R_{2_est}(n)\right\} \{I_{hard} - I(n)\}$$

[0173] t_n 是指示当前时间步长的时间点。

[0174] 控制单元130可以使用下述等式14来计算预测端子电压。可以通过将 $I(n)$ 代入等式13的 I_{hard} 并且将 $t_n + T_{hard}$ 代入 t 来得出等式14。

[0175] <等式14>

$$V_{pred}(n) = V(n) + \left\{1 - \exp^{-\frac{T_{hard}}{\tau}}\right\} \{R_{2_est}(n)I(n) - V_{pola}(n)\}$$

[0177] $V_{pred}(n)$ 是预测端子电压。

[0178] 在步骤S820中,控制单元130基于第一电阻器210的电阻 $R_{1_est}(n)$ 和第二电阻器220的电阻 $R_{2_est}(n)$,预测在预定义时间 T_{hard} 之后的电池10的纯电阻(net resistance)。控制单元130可以使用下述等式15来计算预测纯电阻。

[0179] <等式15>

$$R_{net}(n) = R_{1_est}(n) + \left\{1 - \exp^{-\frac{T_{hard}}{\tau}}\right\} R_{2_est}(n)$$

[0181] $R_{net}(n)$ 是预测纯电阻。如上所述, $R_{2_est}(n)$ 大于0欧姆,因此, $R_{net}(n)$ 大于 $R_{1_est}(n)$ 。

[0182] 在步骤S840中,控制单元130确定充电电流极限 $I_{limit_c}(n)$ 。详细地,控制单元130基于测量电流 $I(n)$ 、预测端子电压 $V_{pred}(n)$ 、预测纯电阻 $R_{net}(n)$ 和给定的最大充电电压 V_{max}

来确定充电电流极限 $I_{limit_c}(n)$ 。控制单元130可以使用下述等式16来确定充电电流极限 $I_{limit_c}(n)$ 。

[0183] <等式16>

$$[0184] \quad I_{limit_c}(n) = I(n) + \frac{V_{max} - V_{pred}(n)}{R_{net}(n)}$$

[0185] 当 $I_{limit_c}(n)$ 大于给定的最大充电电流 I_{max} 时,控制单元130可以将充电电流极限 $I_{limit_c}(n)$ 确定为与给定的最大充电电流 I_{max} 相同的值。

[0186] 在步骤S850中,控制单元130确定充电电压极限 $V_{limit_c}(n)$ 。详细地,控制单元130基于测量端子电压 $V(n)$ 、测量电流 $I(n)$ 、充电电流极限 $I_{limit_c}(n)$ 和第一电阻器210的电阻 $R_{l_est}(n)$ 来确定充电电压极限 $V_{limit_c}(n)$ 。控制单元130可以使用下述等式17来确定充电电压极限 $V_{limit_c}(n)$ 。

[0187] <等式17>

$$[0188] \quad V_{limit_c}(n) = V(n) + \{I_{limit_c}(n) - I(n)\} R_{l_est}(n)$$

[0189] 在等式17中, $V_{limit_c}(n)$ 等于等式13的 $t = t_n$ 和 $I_{hard} = I_{limit_c}(n)$ 。

[0190] 图9示出了当从 t_n 到 $t_n + T_{hard}$ 电池10的电流恒定为 $I_{limit_c}(n)$ 时电池10的端子电压的变化的电压图。即,通过将 $I_{limit_c}(n)$ 代入等式13的 I_{hard} ,获得图9的电压图。参考图9,在等式17中,使用 $V(n)$ 和 $R_{l_est}(n)$ 代替 $V_{pred}(n)$ 和 $R_{net}(n)$ 来将在从当前时间步长的预定义时间 T_{hard} 内的时段中的最低电压确定为充电电压极限 $V_{limit_c}(n)$ 。

[0191] 在步骤S860中,控制单元130基于充电电流极限 $I_{limit_c}(n)$ 和充电电压极限 $V_{limit_c}(n)$ 来确定指示电池10的充电功率极限的功率状态(SOP)。充电功率极限是在从当前时间的预定义时间 T_{hard} 内能够利用充电电流极限 $I_{limit_c}(n)$ 和充电电压极限 $V_{limit_c}(n)$ 向电池10提供的功率,并且等于充电电流极限 $I_{limit_c}(n)$ 和充电电压极限 $V_{limit_c}(n)$ 的乘积。

[0192] 在步骤S870中,控制单元130确定放电电流极限 $I_{limit_d}(n)$ 。详细地,控制单元130基于测量电流 $I(n)$ 、预测端子电压 $V_{pred}(n)$ 、预测纯电阻 $R_{net}(n)$ 和给定的最小放电电压 V_{min} 来确定放电电流极限 $I_{limit_d}(n)$ 。控制单元130可以使用下述等式18来确定放电电流极限 $I_{limit_d}(n)$ 。

[0193] <等式18>

$$[0194] \quad I_{limit_d}(n) = I(n) + \frac{V_{min} - V_{pred}(n)}{R_{net}(n)}$$

[0195] 当 $I_{limit_d}(n)$ 小于给定的最小放电电流 I_{min} 时,控制单元130可以将放电电流极限 $I_{limit_d}(n)$ 确定为与给定的最小放电电流 I_{min} 相同的值。

[0196] 在步骤S880中,控制单元130确定放电电压极限 $V_{limit_d}(n)$ 。详细地,控制单元130基于测量端子电压 $V(n)$ 、测量电流 $I(n)$ 、放电电流极限 $I_{limit_d}(n)$ 和第一电阻器210的电阻 $R_{l_est}(n)$ 来确定放电电压极限 $V_{limit_d}(n)$ 。控制单元130可以使用下述等式19来确定放电电压极限 $V_{limit_d}(n)$ 。

[0197] <等式19>

$$[0198] \quad V_{limit_d}(n) = V_{pred}(n) + \{I_{limit_d}(n) - I(n)\} R_{net}(n)$$

[0199] 在等式19中, $V_{limit_d}(n)$ 等于等式13的 $t = t_n + T_{hard}$ 和 $I_{hard} = I_{limit_d}(n)$ 。

[0200] 图10示出了当电池10的电流从指示当前时间步长的时间点 t_n 到 $t_n + T_{hard}$ 电池10的

电流恒定为 $I_{\text{limit_d}}(n)$ 时电池10的端子电压的变化。即,通过将 $I_{\text{limit_d}}(n)$ 代入等式13的 I_{hard} 获得图10的电压图。参考图10,与等式17相反,在等式19中,使用 $V_{\text{pred}}(n)$ 和 $R_{\text{net}}(n)$ 代替 $V(n)$ 和 $R_{\text{est}}(n)$ 用于将在从当前时间步长的预定义时间 T_{hard} 的时段中的最低电压确定为放电电压极限 $V_{\text{limit_d}}(n)$ 。

[0201] 在步骤S890中,控制单元130基于放电电流极限 $I_{\text{limit_d}}(n)$ 和放电电压极限 $V_{\text{limit_d}}(n)$ 来确定表示电池10的放电功率极限的SOP。放电功率极限是在从当前时间的预定义时间 T_{hard} 内能够利用放电电流极限 $I_{\text{limit_d}}(n)$ 和放电电压极限 $V_{\text{limit_d}}(n)$ 向电池10供应的功率,并且等于放电电流极限 $I_{\text{limit_d}}(n)$ 和放电电压极限 $V_{\text{limit_d}}(n)$ 的乘积。

[0202] 控制单元130可以将指示充电电压极限 $V_{\text{limit_c}}(n)$ 和/或放电电压极限 $V_{\text{limit_d}}(n)$ 的通知信号发送到外部设备2。在步骤S890之后,可以执行如下文所述的图14的方法的步骤S1410。

[0203] 在下文的图11或图14的方法开始之前,控制单元130基于测量端子电压 $V(n)$ 和测量电流 $I(n)$ 来确定电池10的瞬时功率 P_{inst} 。 $P_{\text{inst}} = V(n) I(n)$ 。

[0204] 图11是示出根据本公开的另一实施例的用于使电池10的充电功率极限平滑化的方法的流程图,以及图12和13示出了在描述图11的方法时参考的不同示例性曲线图。在通过图8的方法确定当前时间步长的充电功率极限之后,图11的方法开始。

[0205] 参考图11,在步骤S1110中,控制单元130基于最大充电电压 V_{max} 和测量端子电压 $V(n)$ 来确定第一加权因子 $W_{\text{v_c}}$ 。详细地,控制单元130通过从最大充电电压 V_{max} 中减去测量端子电压 $V(n)$ 来确定第一电压差 $V_{\text{max}} - V(n)$,并且根据存储在存储器120中的给定的第一查找表,确定与第一电压差相关联的第一延迟时间。图12是示出在第一查找表中定义的、充电方向上的电压差与延迟时间之间的相关性的图。如从图12的曲线图可以看出,随着充电方向上的第一电压差的增加,与其相关联的第一延迟时间可以增加。例如,当第一电压差=0.2V时,第一延迟时间=6秒,而当第一电压差=0.3V时,第一延迟时间=16秒。当第一电压差等于或大于预定值(例如0.4V)时,控制单元130可以将给定的最大延迟时间(例如20秒)确定为第一延迟时间。控制单元130基于第一延迟时间来确定第一加权因子 $W_{\text{v_c}}$ 。控制单元130可以使用下述等式20来确定第一加权因子 $W_{\text{v_c}}$ 。

[0206] <等式20>

$$[0207] \quad W_{\text{v_c}} = \frac{T_{\text{v_c_s}}}{T_{\text{v_c_s}} + T_{\text{v_c_r}}}$$

[0208] $T_{\text{v_c_s}}$ 是第一延迟时间,以及 $T_{\text{v_c_r}}$ 是给定的第一参考时间。在等式20中,可以看出 $W_{\text{v_c}}$ 可以等于或大于0且小于1。

[0209] 在步骤S1120中,控制单元130基于上一平滑化充电功率极限 $P_{\text{s_c_pre}}$ 、充电功率极限 $P_{\text{raw_c}}$ 和瞬时功率 P_{inst} 来确定第二加权因子 $W_{\text{p_c}}$ 。 $P_{\text{s_c_pre}}$ 是当前时间步长之前最晚平滑化的充电功率极限,并且可以是存储在存储器120中的值。为了与 $P_{\text{s_c_pre}}$ 区分开, $P_{\text{raw_c}}$ 可以被称为“充电功率的当前状态”。详细地,控制单元130通过从上一平滑化充电功率极限 $P_{\text{s_c_pre}}$ 中减去瞬时功率 P_{inst} 来确定第一功率差 $P_{\text{s_c_pre}} - P_{\text{inst}}$,并且确定指示第一功率差 $P_{\text{s_c_pre}} - P_{\text{inst}}$ 与上一平滑化充电功率极限 $P_{\text{s_c_pre}}$ 的相对大小的第一功率比。例如,当 $P_{\text{s_c_pre}} = 10\text{kW}$ (千瓦)且 $P_{\text{inst}} = 8\text{kW}$ 时,第一功率比 $= (10 - 8) / 10 = 0.20$ 。

[0210] 控制单元130根据存储在存储器120中的给定的第二查找表确定与第一功率比相

关联的第二延迟时间。图13是示出在第二查找表中定义的、功率比与延迟时间之间的相关性的图。如从图13的曲线可以看出,随着充电方向上的第一功率比的增加,与其相关联的第二延迟时间可以增加。控制单元130基于第二延迟时间来确定第二加权因子。控制单元130可以使用下述等式21来确定第二加权因子 W_{p_c} 。

[0211] <等式21>

$$[0212] \quad W_{p_c} = \frac{T_{p_c_s}}{T_{p_c_s} + T_{p_c_r}}$$

[0213] $T_{p_c_s}$ 是第二延迟时间,以及 $T_{p_c_r}$ 是给定的第二参考时间。第二参考时间可以等于或不同于第一参考时间。在等式21中,可以看出 W_{p_c} 等于或大于0且小于1。

[0214] 在步骤S1130中,控制单元130将第一加权因子 W_{v_c} 和第二加权因子 W_{p_c} 中的更小的一个设置为第一参考加权因子 W_{LPF_c} 。

[0215] 在步骤S1140中,控制单元130基于上一平滑化充电功率极限 $P_{s_c_pre}$ 和第一参考加权因子 W_{LPF_c} 来使充电功率极限 P_{raw_c} 平滑化。使充电功率极限 P_{raw_c} 平滑化表示使用第一参考加权因子 W_{LPF_c} 计算上一平滑化充电功率极限 $P_{s_c_pre}$ 和充电功率极限 P_{raw_c} 的加权平均值。控制单元130可以使用下述等式22来使充电功率极限 P_{raw_c} 平滑化。

[0216] <等式22>

$$[0217] \quad P_{s_c} = W_{LPF_c} P_{s_c_pre} + \{1 - W_{LPF_c}\} P_{raw_c}$$

[0218] P_{s_c} 是平滑化充电功率极限,并且对应于通过等式22校正充电功率极限 P_{raw_c} 的结果。

[0219] 在步骤S1150中,控制单元130将表示平滑化充电功率极限 P_{s_c} 的通知信号发送到外部设备2。

[0220] 图14是示出根据本公开的另一实施例的用于使电池10的放电功率极限平滑化的方法的流程图,并且图15示出了在描述图14的方法时参考的示例性曲线图。图14的方法在通过图8的方法确定当前时间步长的放电功率极限之后开始。

[0221] 参考图14,在步骤S1410中,控制单元130基于最小放电电压 V_{min} 和测量端子电压 $V(n)$ 来确定第三加权因子 W_{v_d} 。详细地,控制单元130通过从测量端子电压 $V(n)$ 中减去最小放电电压 V_{min} 来确定第二电压差 $V(n) - V_{min}$,并且根据存储在存储器120中的给定的第三查找表来确定与第二电压差相关联的第三延迟时间。图15是示出在第三查找表中定义的、在放电方向上的电压差与延迟时间之间的相关性的图。如从图15的曲线图可以看出,随着放电方向上的第二电压差的增加,与其相关联的第三延迟时间也会增加。例如,当第二电压差=0.2V时,第三延迟时间=10秒,并且当第二电压差=0.3V时,第三延迟时间=60秒。当第二电压差是预定值(例如,0.3V)或更大时,控制单元130可以将给定的最大延迟时间(例如,60秒)确定为第三延迟时间。控制单元130基于第三延迟时间来确定第三加权因子 W_{v_d} 。控制单元130可以使用下述等式23来确定第三加权因子 W_{v_d} 。

[0222] <等式23>

$$[0223] \quad W_{v_d} = \frac{T_{v_d_s}}{T_{v_d_s} + T_{v_d_r}}$$

[0224] $T_{v_d_s}$ 是第三延迟时间,而 $T_{v_d_r}$ 是给定的第三参考时间。在等式23中,可以看出 W_{v_d} 等于或大于0且小于1。

[0225] 在步骤S1420中,控制单元130基于上一平滑化放电功率极限 $P_{s_d_pre}$ 、放电功率极限 P_{raw_d} 和瞬时功率 P_{inst} 来确定第四加权因子 W_{p_d} 。 $P_{s_d_pre}$ 是当前时间步长之前最晚平滑化的放电功率极限,并且可以是存储在存储器120中的值。详细地,控制单元130通过从上一平滑化放电功率极限 $P_{s_d_pre}$ 中减去瞬时功率 P_{inst} 来确定第二功率差 $P_{s_d_pre} - P_{inst}$,并且确定指示第二功率差 $P_{s_d_pre} - P_{inst}$ 与上一平滑化放电功率极限 $P_{s_d_pre}$ 的相对大小的第二功率比。

[0226] 控制单元130根据存储在存储器120中的给定的第四查找表,确定与第二功率比相关联的第四延迟时间。第四查找表可以与第二查找表相同,因此本文省略其冗余描述。控制单元130基于第四延迟时间来确定第四加权因子。控制单元130可以使用下述等式24来确定第四加权因子 W_{p_d} 。

[0227] <等式24>

$$[0228] \quad W_{p_d} = \frac{T_{p_d_s}}{T_{p_d_s} + T_{p_d_r}}$$

[0229] $T_{p_d_s}$ 是第四延迟时间,而 $T_{p_d_r}$ 是给定的第四参考时间。第四参考时间可以等于或不同于第三参考时间。在等式24中,可以看出 W_{p_d} 等于或大于0且小于1。

[0230] 在步骤S1430中,控制单元130将第三加权因子 W_{v_d} 和第四加权因子 W_{p_d} 中的更小的一个设置为第二参考加权因子 W_{LPF_d} 。

[0231] 在步骤S1440中,控制单元130基于上一平滑化放电功率极限 $P_{s_d_pre}$ 和第二参考加权因子 W_{LPF_d} 来使放电功率极限 P_{raw_d} 平滑化。使放电功率极限 P_{raw_d} 平滑化表示使用第二参考加权因子 W_{LPF_d} 来计算上一平滑化放电功率极限 $P_{s_d_pre}$ 和放电功率极限 P_{raw_d} 的加权平均值。控制单元130可以使用下述等式25来使放电功率极限 P_{raw_d} 平滑化。

[0232] <等式25>

$$[0233] \quad P_{s_d} = W_{LPF_d} P_{s_d_pre} + \{1 - W_{LPF_d}\} P_{raw_d}$$

[0234] P_{s_d} 是平滑化放电功率极限,并且对应于通过等式25校正放电功率极限 P_{raw_d} 的结果。

[0235] 在步骤S1450中,控制单元130将表示平滑化放电功率极限 P_{s_d} 的通知信号发送到外部设备2。

[0236] 只要完成每个步骤,则可以通过控制单元130将指示执行图3、5、6、8、11和14中所示的每个步骤的结果的数据存储在存储器120中。

[0237] 上文所述的本公开的实施例不仅仅通过装置和方法来实现,还可以通过执行与本公开的实施例的配置相对应的功能的程序或在其上记录有程序的记录介质来实现,本领域技术人员从前述实施例的公开内容很容易实现该实施方式。

[0238] 虽然上文已经参考有限多个实施例和附图描述了本公开,但是本公开不限于此,并且对于本领域技术人员而言,在本公开的技术方面和所附权利要求的等效范围内,对其进行各种改进和改变是显而易见的。

[0239] 另外,由于在不背离本公开的技术方面,本领域技术人员可以对上文所述的本公开做出许多替换、改进和变化,因此本公开不受上述实施例和附图限制,并且可以有选择地组合一些或全部实施例以允许各种改进。

[0240] <参考数字的描述>

[0241] 1:电池组

- [0242] 10: 电池
- [0243] 20: 开关
- [0244] 100: 电池管理系统
- [0245] 110: 感测单元
- [0246] 120: 存储器
- [0247] 130: 控制单元
- [0248] 140: 通信接口
- [0249] 200: 等效电路模型
- [0250] 210: 第一电阻器
- [0251] 220: 第二电阻器
- [0252] 230: 电容器

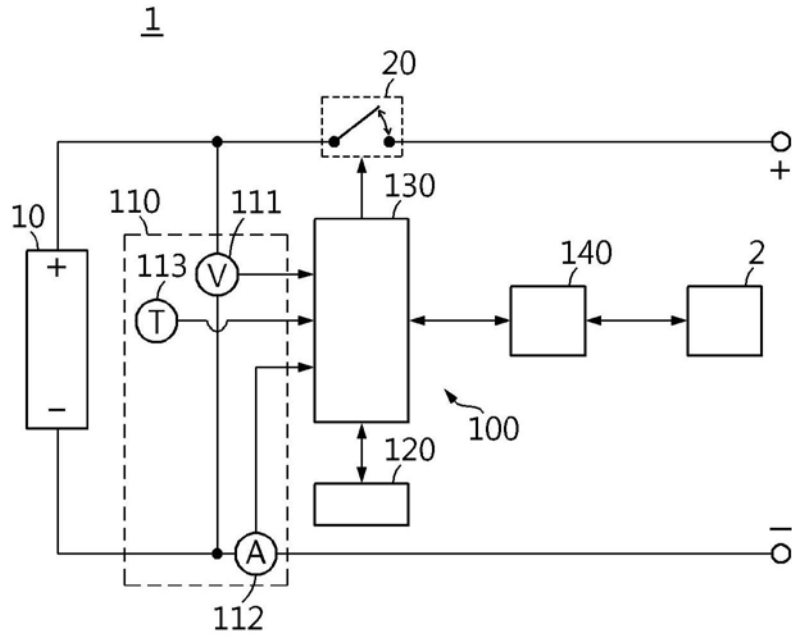


图1

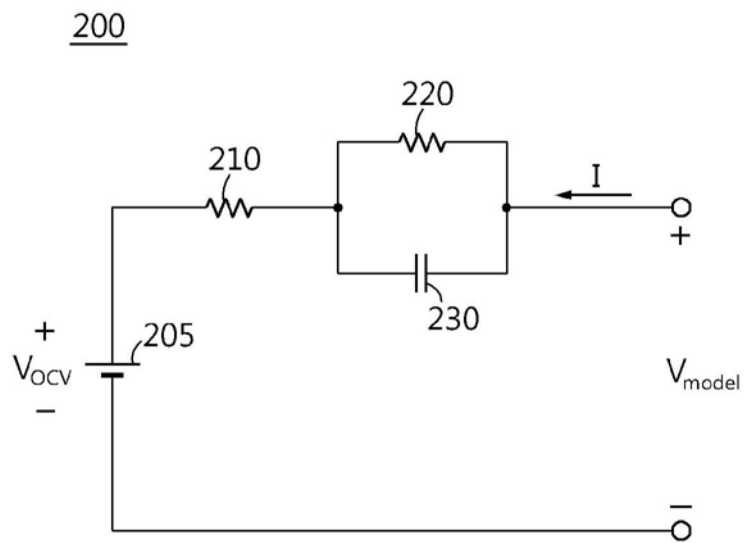


图2

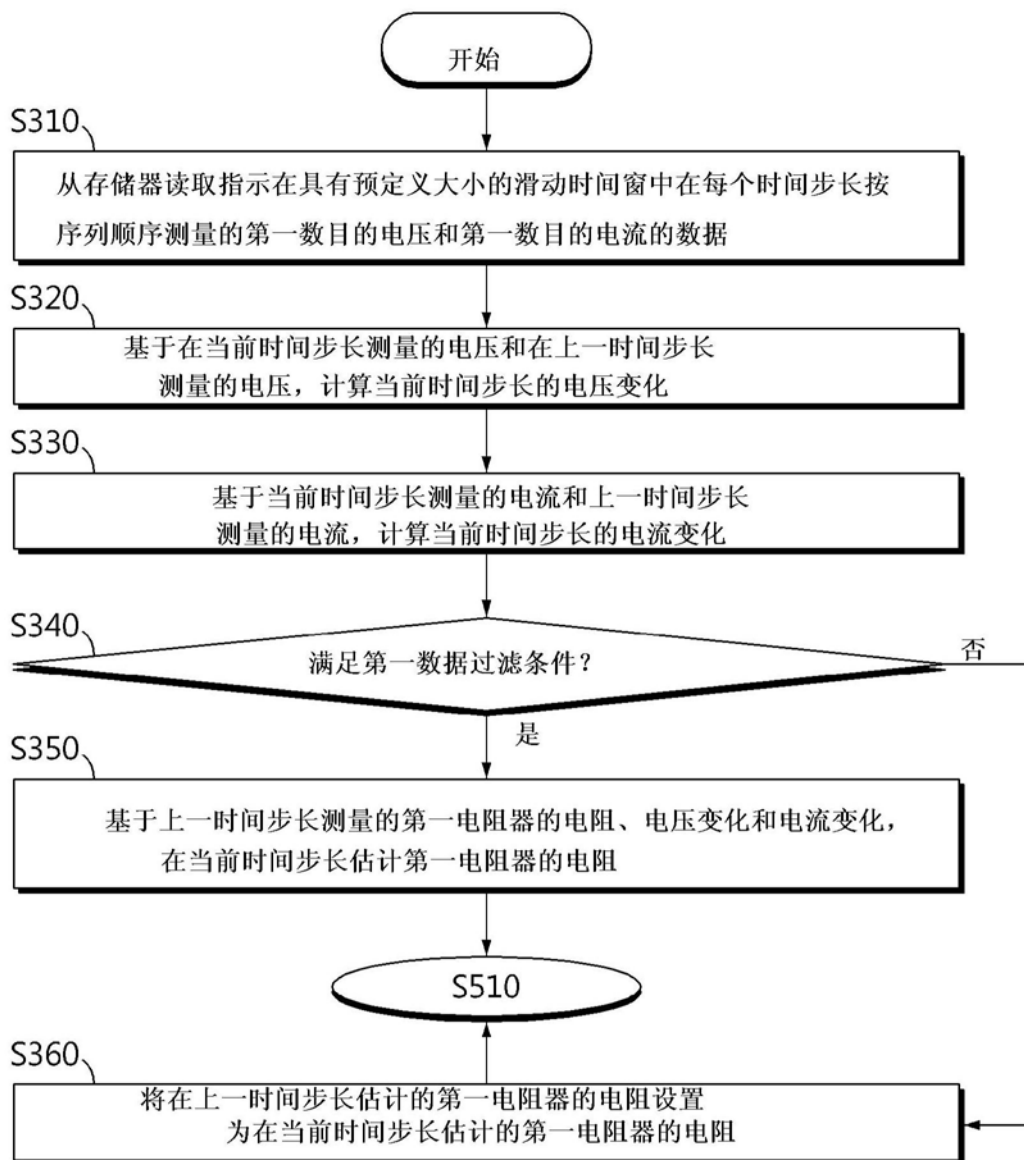


图3

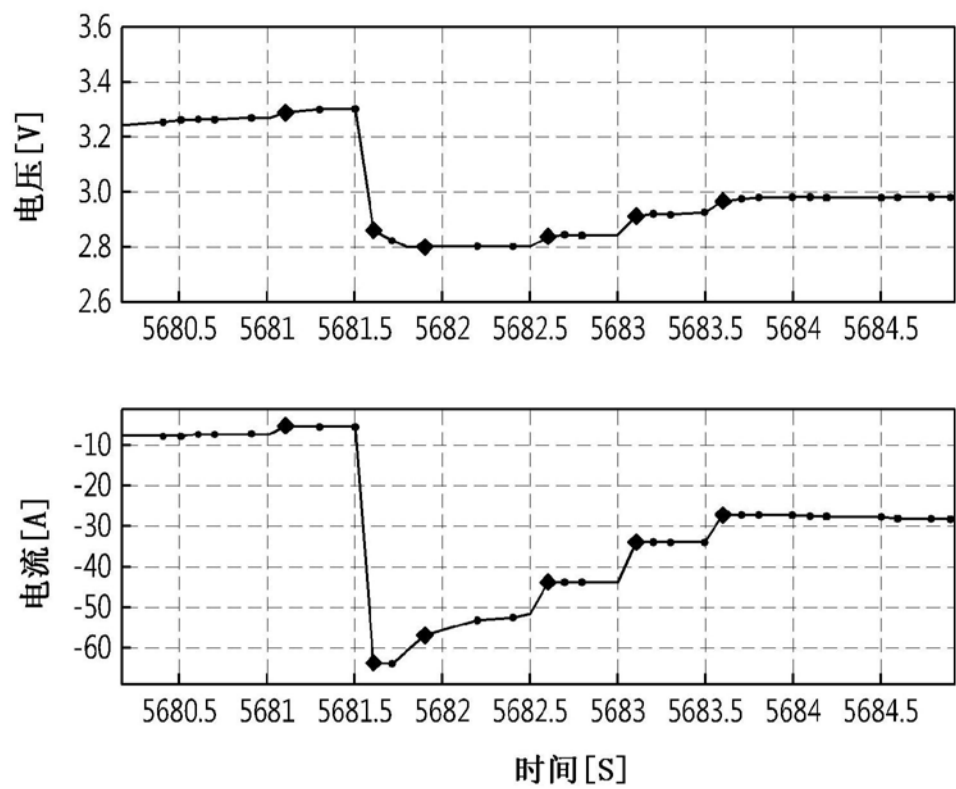


图4

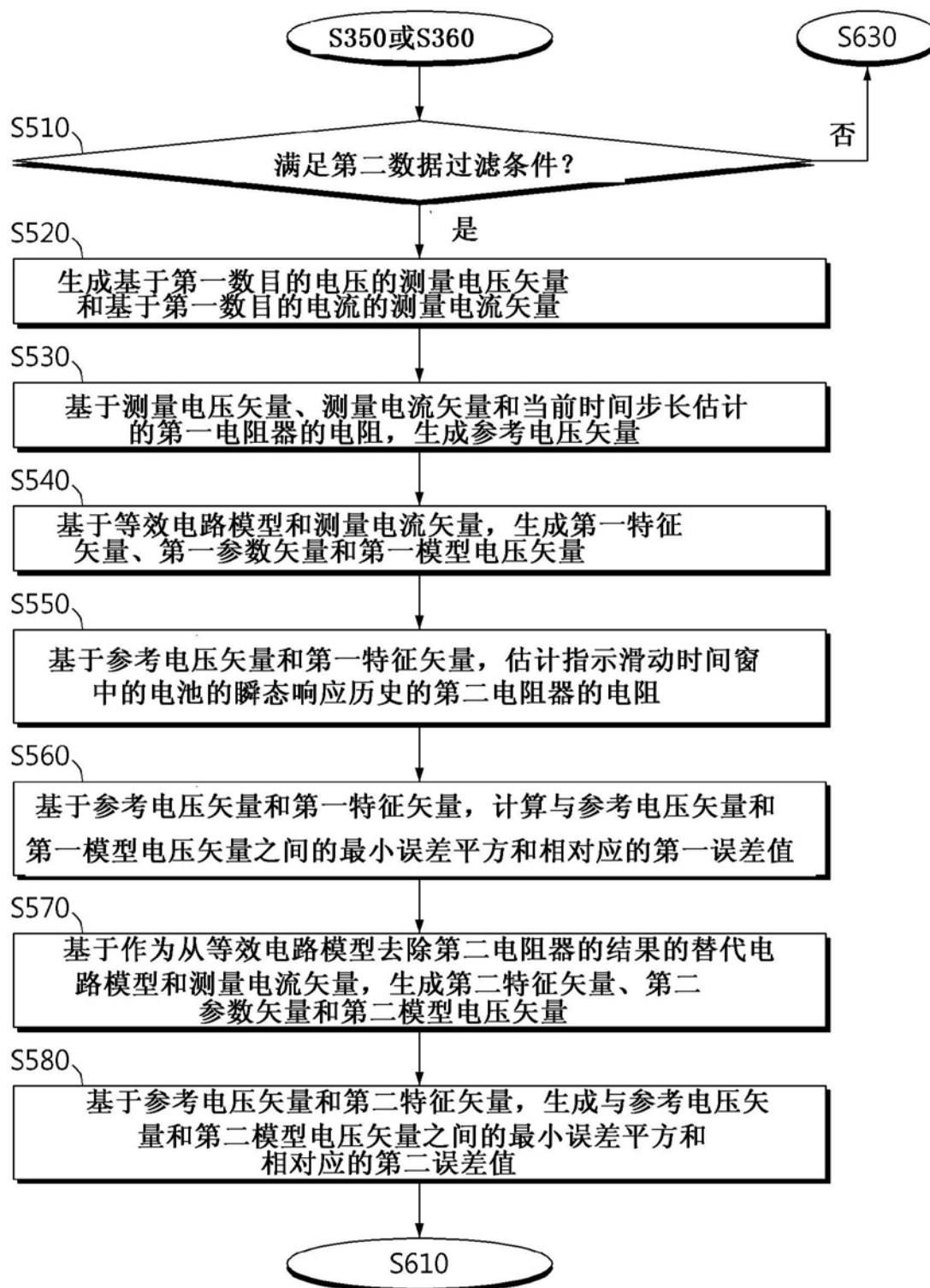


图5

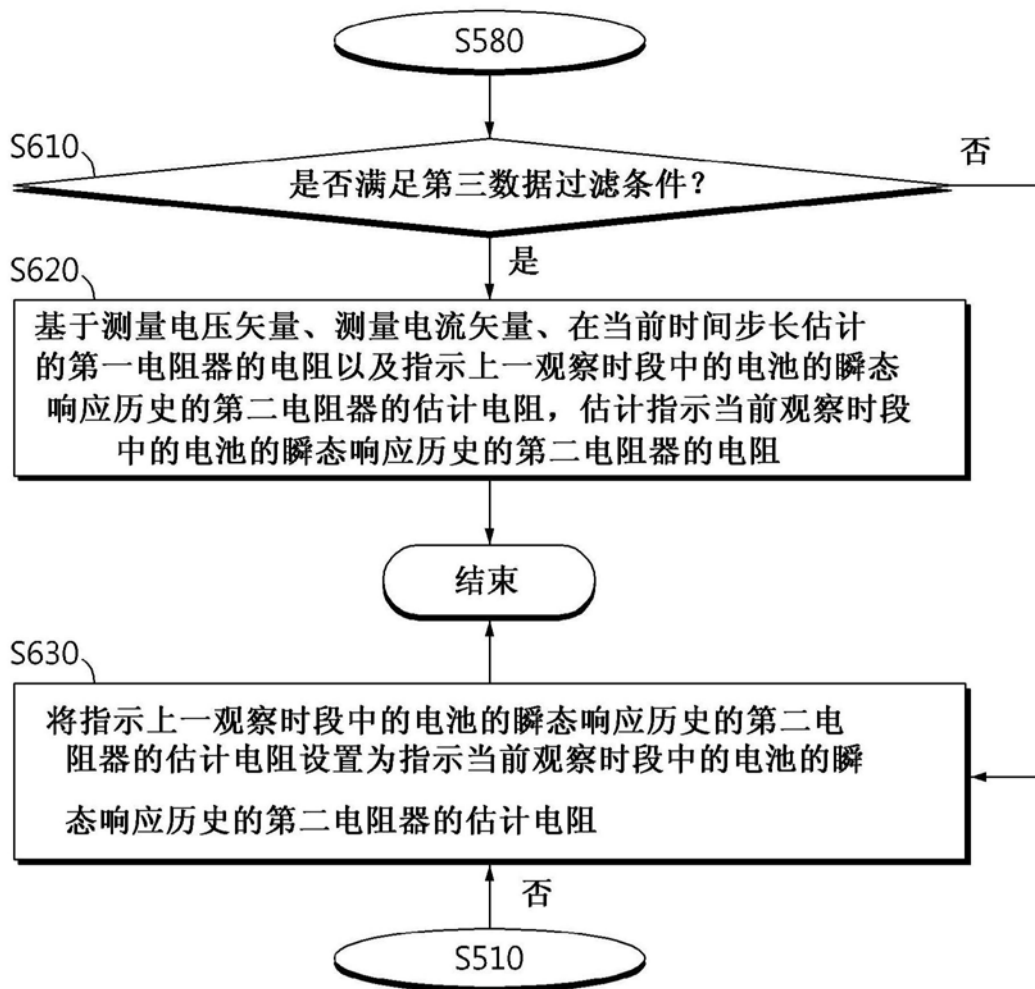


图6

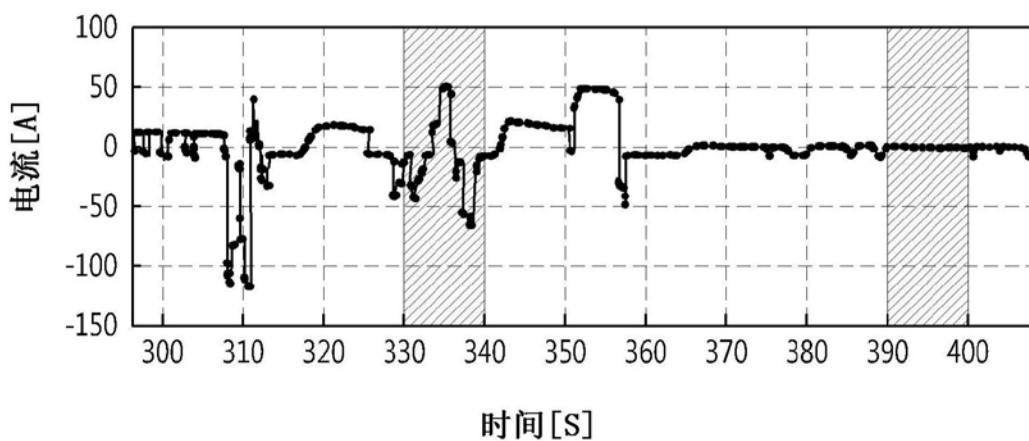


图7

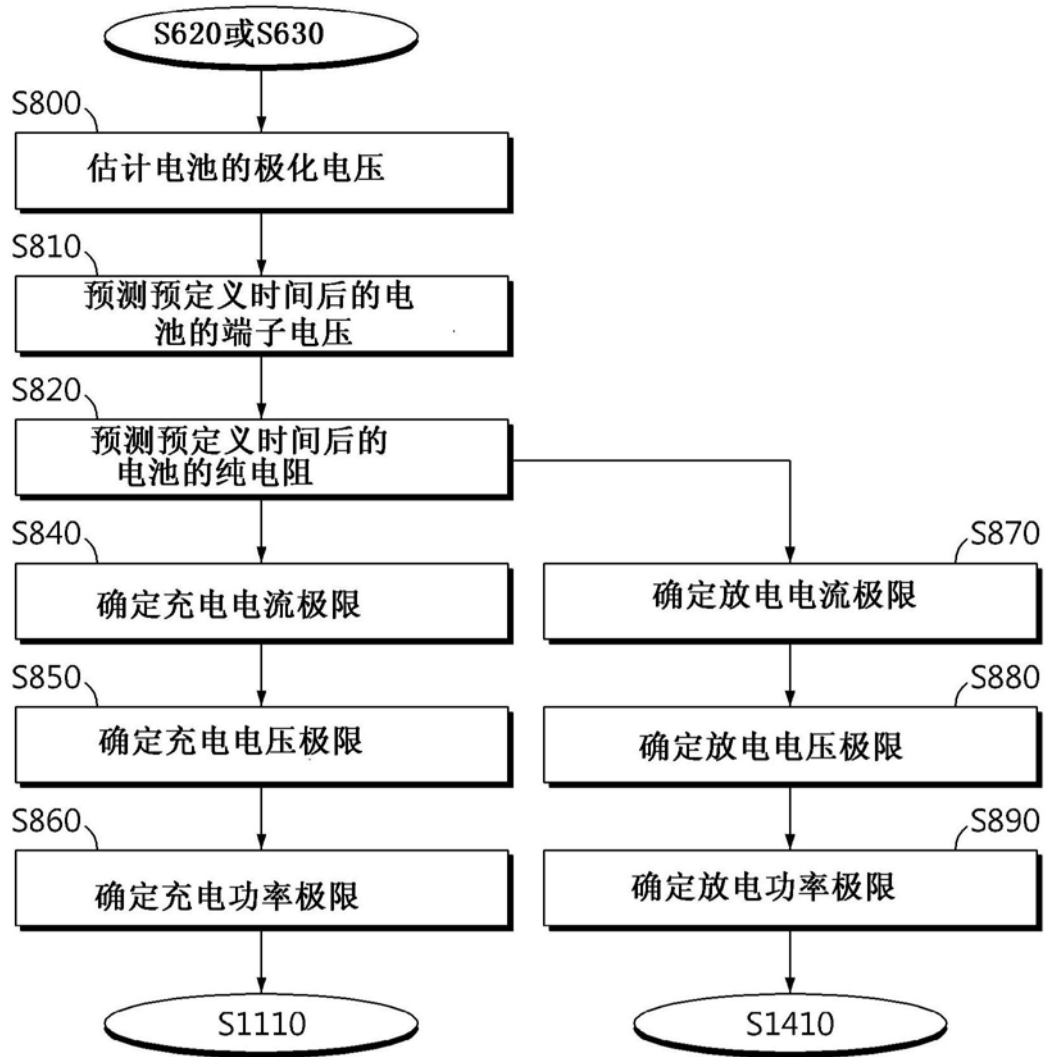


图8

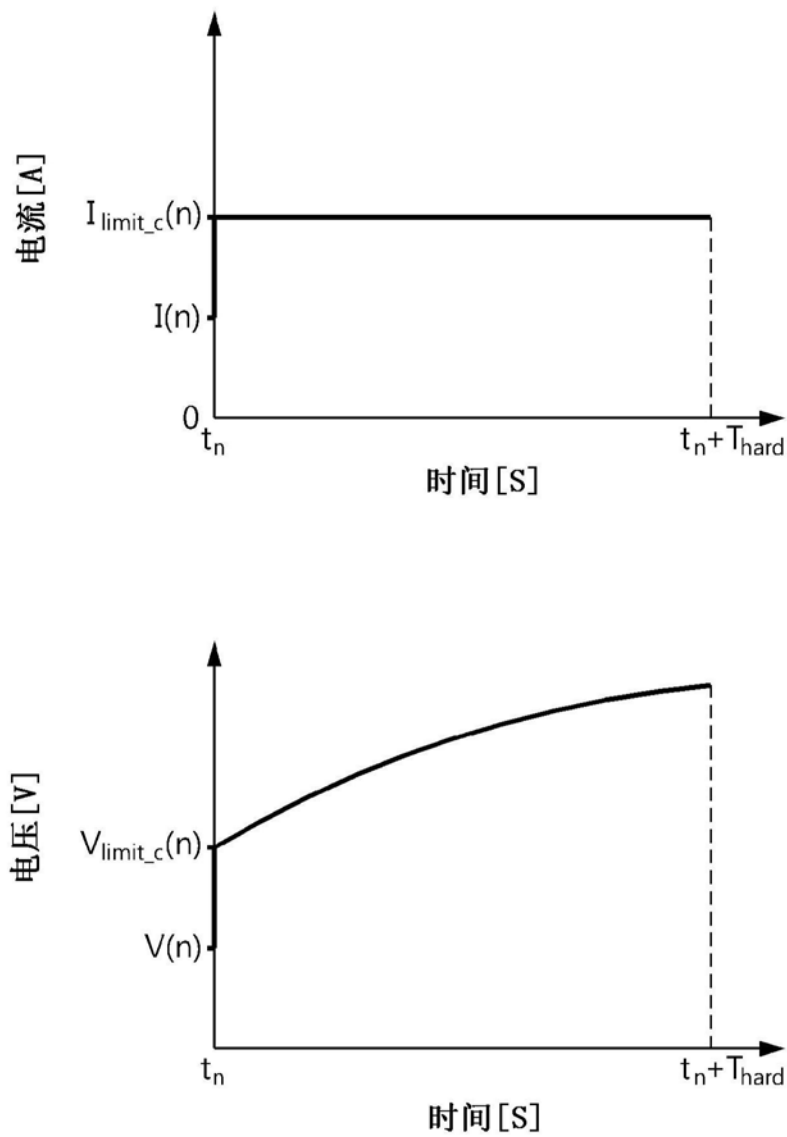


图9

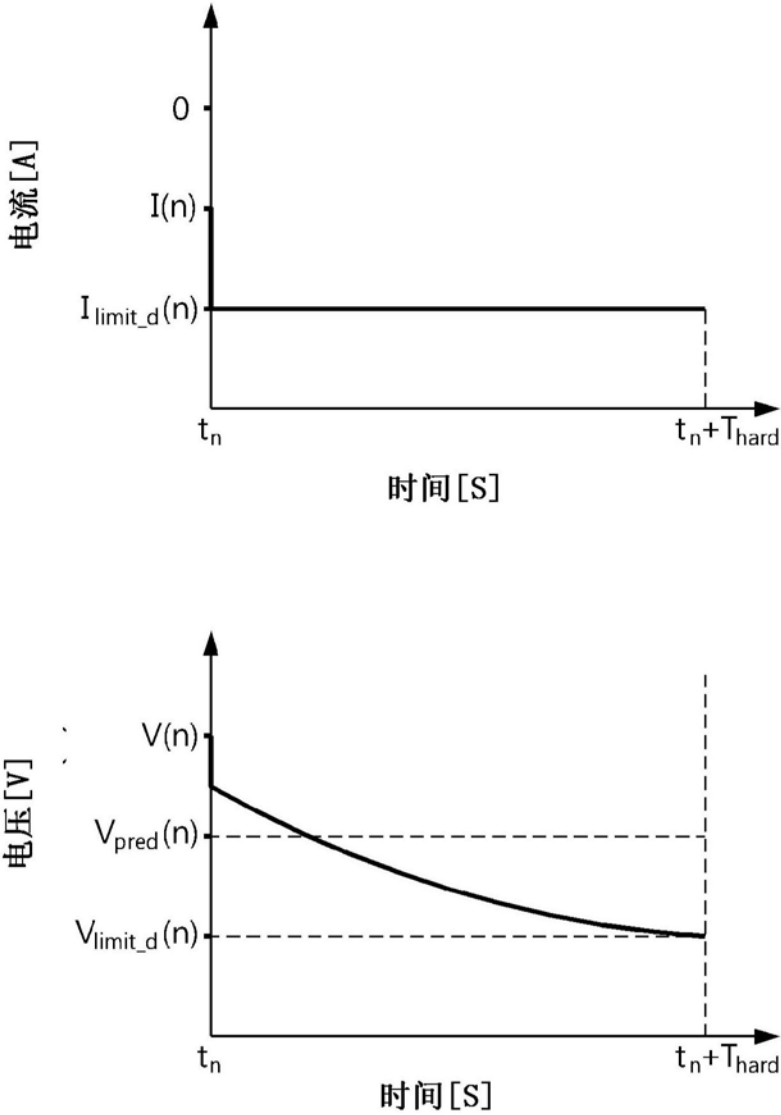


图10

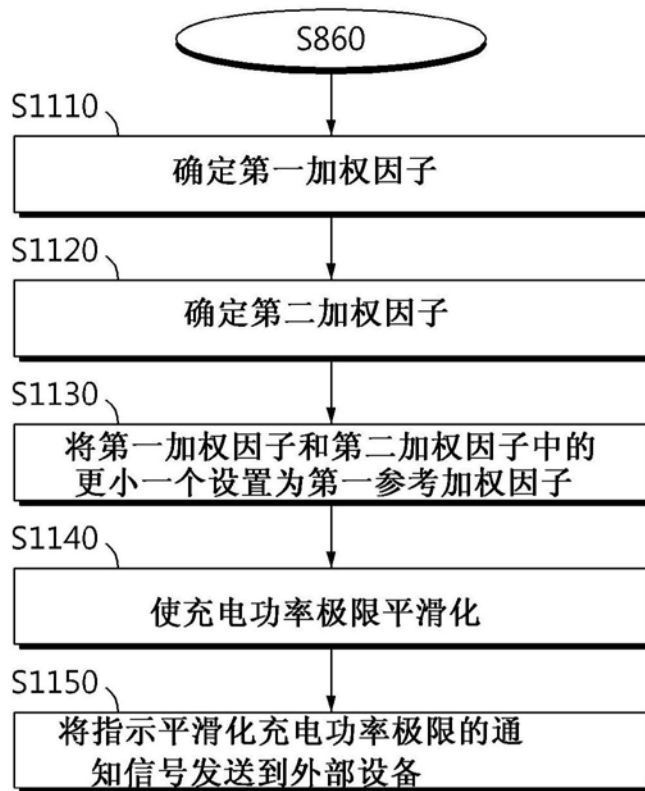


图11

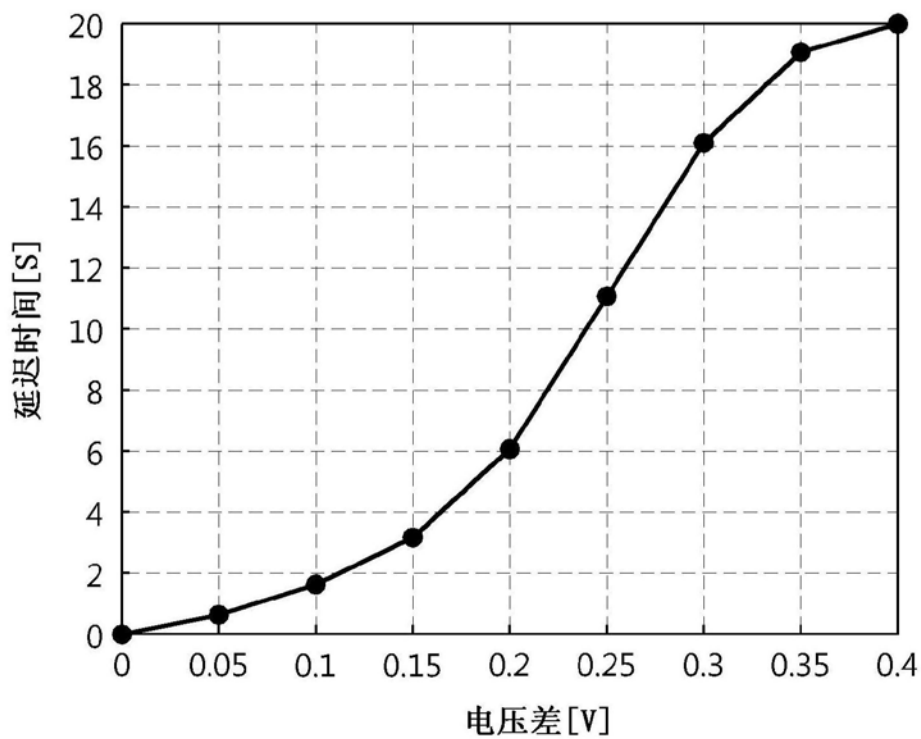


图12

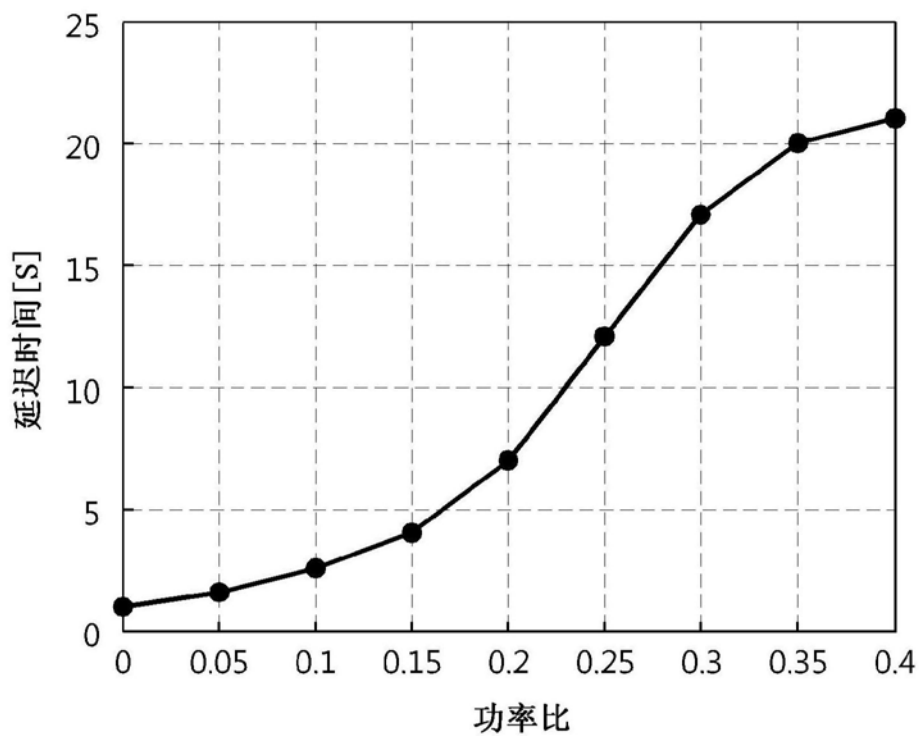


图13

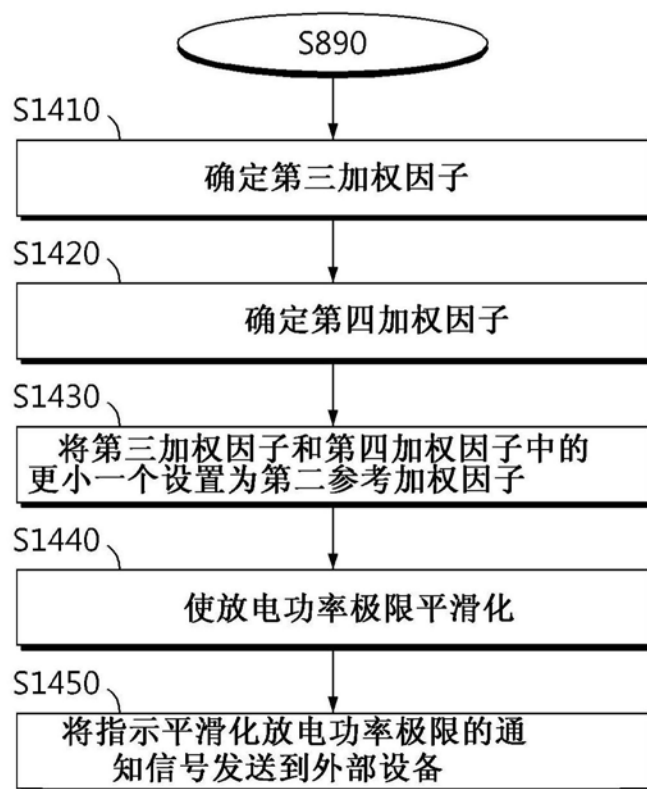


图14

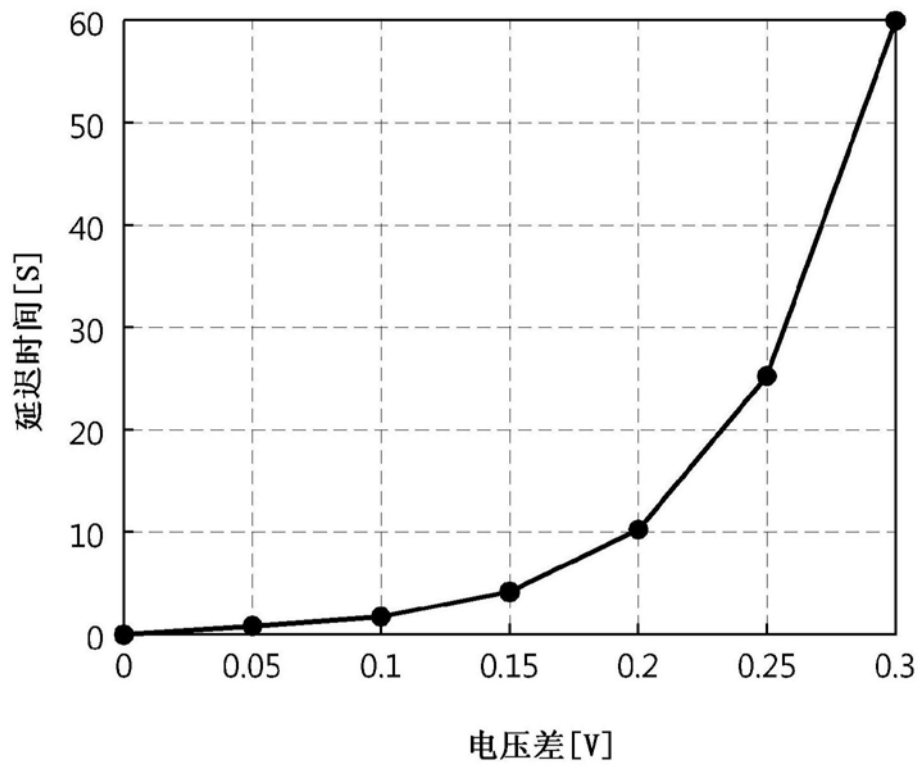


图15