



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106985684 B

(45) 授权公告日 2022. 03. 18

(21) 申请号 201710049048.5

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2017.01.20

B60L 58/10 (2019.01)

B60L 58/12 (2019.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106985684 A

审查员 张艳芬

(43) 申请公布日 2017.07.28

(30) 优先权数据

15/001,562 2016.01.20 US

(73) 专利权人 福特全球技术公司

地址 美国密歇根州迪尔伯恩市

(72) 发明人 何川 王旭 陈海岩

(74) 专利代理机构 北京铭硕知识产权代理有限公司

公司 11286

代理人 王秀君 鲁恭诚

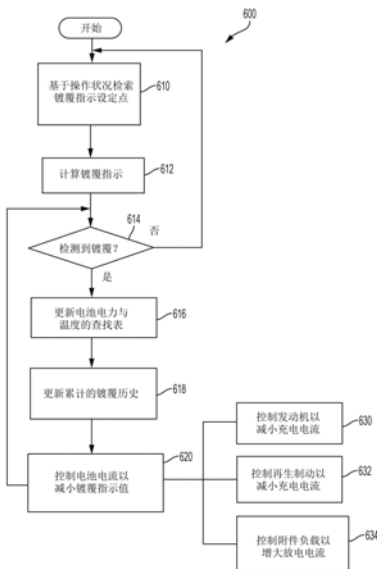
权利要求书1页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

用于减轻电气化车辆电池中的锂镀覆的闭环反馈控制

(57) 摘要

本公开涉及一种用于减轻电气化车辆电池中的锂镀覆的闭环反馈控制。一种包括具有至少一个电池单元的牵引电池的车辆包括控制器,所述控制器连接到所述牵引电池并且被配置为:响应于锂镀覆参数的目标值与锂镀覆参数的实际值之间的差,修改所述牵引电池的电流以使所述差减少。所述锂镀覆参数或指示可以是基于电池单元的差分开路电压或所述至少一个电池单元的差分电压与所述至少一个电池单元的电池单元充电速率的作为时间的函数的比值的。



1. 一种车辆,包括:

牵引电池,具有多个电池单元;

控制器,与所述牵引电池通信,并且被配置为:基于锂电镀指示的目标值与当前值之间的差,控制所述牵引电池或车辆;响应于所述锂电镀指示的目标值与当前值之间的差超过对应的阈值,修改先前存储的电池充电电力相对于温度的查找表。

2. 如权利要求1所述的车辆,其中,所述控制器还被配置为:控制所述牵引电池以使所述锂电镀指示的目标值与当前值之间的差朝向零减小。

3. 如权利要求1所述的车辆,其中,所述锂电镀指示是基于至少一个电池单元的测量的开路电压与先前存储的开路电压值之间的差的。

4. 如权利要求3所述的车辆,其中,所述测量的开路电压是基于测量的电池单元电压、测量的电池单元电流和先前存储的电池单元内电阻的。

5. 如权利要求1所述的车辆,其中,所述锂电镀指示是基于所述牵引电池的充电期间的微分电池单元电压与电池单元电流的比值的。

6. 如权利要求1所述的车辆,其中,所述控制器还被配置为:响应于所述锂电镀指示的目标值与当前值之间的差超过对应的阈值,修改先前存储的累计的锂电镀计数。

7. 如权利要求1所述的车辆,还包括内燃发动机,其中,所述控制器还被配置为:修改所述内燃发动机的操作点以使所述锂电镀指示的目标值与当前值之间的差减小。

8. 如权利要求1所述的车辆,其中,所述控制器还被配置为:控制再生制动电流以使所述锂电镀指示的目标值与当前值之间的差减小。

9. 如权利要求1所述的车辆,其中,所述控制器还被配置为:操作至少一个电力附件以使所述牵引电池的电流增大。

10. 如权利要求1所述的车辆,其中,所述控制器还被配置为:操作牵引电池加热器以使所述锂电镀指示的目标值与当前值之间的差减小。

11. 一种包括具有至少一个电池单元的牵引电池的车辆,包括:

控制器,连接到所述牵引电池,并且被配置为:基于锂电镀参数的目标值与锂电镀参数的实际值之间的差,修改所述牵引电池的电流以使所述差减小,所述锂电镀参数是基于所述至少一个电池单元的微分电压与所述至少一个电池单元的电池单元充电速率的作为时间的函数的比值的;响应于所述差超过对应的阈值,修改先前存储的电池充电电力相对于温度的查找表。

12. 一种由具有牵引电池的车辆中的车辆控制器实现的方法,包括:

由所述控制器基于锂电镀指示的目标值与当前值之间的差来控制所述牵引电池的电流,以使所述差朝向零减小;响应于所述差超过对应的阈值,修改先前存储的电池充电电力相对于温度的查找表。

用于减轻电气化车辆电池中的锂镀覆的闭环反馈控制

技术领域

[0001] 本公开涉及响应于车辆电池中的锂镀覆 (lithium plating) 的检测的电气化车辆的闭环反馈控制。

背景技术

[0002] 电气化车辆 (诸如混合动力车辆、插电式混合动力车辆和电池电动车辆) 使用由牵引电池供电的电机来驱动车辆动力传动系统。电池的充电和放电导致电化学反应, 该电化学反应影响可用于给车辆供电的电荷并且可随着环境状况和操作状况 (诸如电池荷电状态 (SOC)、温度、电池单元平衡以及充电/放电速率或电流) 的变化而变化。在锂离子 (Li-ion) 电池中, 在一些操作状况下, 金属锂可沉积在电池单元的阳极上, 这可能降低电池性能。尽管可能在其它环境和操作状况下发生锂镀覆, 但是电池在低操作温度和高充电电流下特别容易受到该过程 (被称为锂镀覆) 的影响。

发明内容

[0003] 在各个实施例中, 一种包括具有至少一个电池单元的牵引电池的车辆包括控制器, 所述控制器连接到所述牵引电池并且被配置为: 提供针对所述车辆或牵引电池的闭环反馈控制, 以使锂镀覆指示的测量值与锂镀覆指示的目标值或期望值之间的差减小, 其中, 所述锂镀覆指示的目标值或期望值表示最小锂镀覆或没有锂镀覆。实施例包括: 控制电池充电速率、供应至电池的再生制动电流、影响电池放电电流的附件负载和发动机动力。在一个或多个实施例中, 电池电力相对于温度的表响应于检测锂镀覆的检测而被更新。实施例还可包括: 在检测到镀覆时, 基于充电期间的电池电力来更新累计的镀覆历史。

[0004] 根据本发明的一个实施例, 所述车辆还包括内燃发动机, 所述控制器修改所述内燃发动机的操作点以使锂镀覆参数的目标值与锂镀覆参数的实际值之间的差减小。

[0005] 根据本发明的一个实施例, 所述控制器修改所述操作点以使电池充电电流减小。

[0006] 根据本发明的一个实施例, 所述控制器减小再生制动电流以修改所述牵引电池的电流。

[0007] 根据本发明的一个实施例, 所述控制器响应于所述锂镀覆参数的目标值与锂镀覆参数的实际值之间的差超过阈值而修改与当前电池温度相关联的存储的电池电力限制。

[0008] 根据本发明的一个实施例, 当所述锂镀覆参数的目标值与锂镀覆参数的实际值之间的差超过对应的阈值时, 所述控制器在电池充电期间追踪累积的牵引电池电力。

[0009] 根据本发明的一个实施例, 所述控制器还被配置为: 针对在所述牵引电池放电预定时间之后的低于阈值的荷电状态 (SOC) 值, 基于开路电压与牵引电池荷电状态之间的关系来识别锂镀覆的电池单元, 以允许完成锂剥离。

[0010] 根据本发明的一个实施例, 控制牵引电池的电流的步骤包括: 控制车辆的内燃发动机。

[0011] 根据本公开的实施例可提供一个或多个优点。例如, 使用一个或多个车辆系

统或组件的锂镀覆指示的闭环反馈控制可减少或消除镀覆以提高电池性能、增大容量和增长寿命。各种实施例采用程序逻辑使用现有的电池传感器和车辆传感器来执行闭环反馈控制,使得无需额外的硬件。

[0012] 通过下面在结合附图时进行的详细描述,与各个实施例相关联的上述优点和其它优点及特征对于本领域普通技术人员将变得显而易见。

附图说明

[0013] 图1是示出根据代表性实施例的具有锂镀覆的闭环控制的电气化车辆的框图;

[0014] 图2是示出根据代表性实施例的用于闭环控制的锂镀覆参数或指示的未镀覆的电池单元和镀覆的电池单元的电池单元电压(作为SOC的函数)的曲线图;

[0015] 图3是示出根据代表性实施例的用作锂镀覆指示的未镀覆的电池单元和镀覆的电池单元的电池单元电压变化速率与电池单元充电速率的比值(作为时间的函数)的曲线图;

[0016] 图4是示出根据代表性实施例的计算用于锂镀覆的闭环反馈控制的一个或更多个锂镀覆指示或参数的流程图;

[0017] 图5是示出根据代表性实施例的基于锂镀覆指示值控制车辆操作和/或电池操作的闭环反馈控制器的操作的示意图;

[0018] 图6是示出用于受到车辆操作状况和/或牵引电池操作状况影响的镀覆指示的闭环反馈控制的车辆或方法的操作的流程图。

具体实施方式

[0019] 根据需要,在此公开了详细的实施例。然而,应该理解的是,所公开的实施例仅代表所要求保护的主体可以以各种替代形式来实施。附图无需按比例绘制;一些特征可被夸大或最小化以示出特定组件的细节。因此,在此公开的具体结构和功能细节不应被解释为具有限制性,而仅作为用于教导本领域技术人员以多种形式利用本发明的代表性基础。如本领域普通技术人员将理解的,参考任一附图示出和描述的各种特征可以与在一个或更多个其它附图中示出的特征组合,以产生未被明确示出或描述的实施例。示出的特征的组合提供用于典型应用的代表性实施例。然而,可期望将与本公开的教导一致的特征的各种组合和变型用于特定的应用或实施方式。

[0020] 本公开的实施例可包括各种内部电路和外部电路或其它电气装置。所有针对所述电路和其它电气装置以及由它们中的每个所提供的功能的引用并不意在限于仅包含在此示出和描述的内容。尽管特定的标签可被分配给所公开的各种电路或其它电气装置,但是这种标签并不意在限制所述电路和其它电气装置的操作范围。这种电路和其它电气装置可基于期望的特定类型的电气实施方式以任何方式彼此组合和/或分离。应认识到,在此公开的任何电路或其它电气装置可包括任何数量的分立的无源组件和有源组件(诸如电阻器、电容器、晶体管、放大器、模/数转换器(ADC或A/D转换器)、微处理器、集成电路、非暂时性存储器装置(例如,闪存、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、电可编程只读存储器(EPROM)、电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)或上述项的其它合适的变型))和软件,它们彼此协作以执行在此公开的操作。另外,所述电气装置中的任何一个或多个可被配置为执行包含在非暂时性计算机可读存储介质中的计算机程序,该介质包括将计算机或控制器配

置为执行所公开的任何数量的功能的指令。

[0021] 图1是具有至少一个控制器的代表性电气化车辆实施例的框图,所述至少一个控制器被配置为响应于相对于与最小锂镀覆或者无锂镀覆相关联的目标值的锂镀覆指示值来提供车辆或牵引电池的闭环反馈控制。尽管在该代表性实施例中示出了具有内燃发动机的插电式混合动力车辆,但是本领域普通技术人员将认识到,所公开的示出基于锂镀覆指示的闭环反馈控制的实施例也可用于其它类型的电气化车辆中。代表性实施例中的用于闭环反馈控制的系统和方法独立于特定车辆动力传动系统,这种例外对于本领域普通技术人员来说是明显的。例如,控制发动机以减小供应到牵引电池的电流将不适用于电池电动车辆。代表性车辆应用可包括混合动力车辆、电动车辆或具有受与锂镀覆相关联的性能下降影响的电池的任何其它类型的车辆。

[0022] 在图1示出的代表性实施方式中,插电式混合动力电动车辆112可包括机械地连接到传动装置116的一个或更多个电机114。电机114能够作为马达或发电机运转。对于混合动力车辆,传动装置116机械地连接到内燃发动机118。传动装置116还机械地连接到驱动轴120,驱动轴120机械地连接到车轮122。在此的描述同样适用于电池电动车辆(BEV),其中,混合动力传动装置116可以是连接到电机114的齿轮箱,并且如前所述可省略发动机118。无论发动机118是否正在运转,电机114都可提供推进能力和减速能力。电机114还用作发电机,并且可在再生制动期间通过回收在摩擦制动系统中通常作为热损失掉的能量来提供燃料经济性效益。如下面更详细地描述的,可由闭环反馈控制器来控制发动机118以减少供应至电机114的动力,从而使锂镀覆指示的目标值和测量值之间的差减小。类似地,可控制再生制动以改变锂镀覆指示值和关联的锂镀覆过程。

[0023] 对于混合动力车辆应用或电动车辆应用,牵引电池或牵引电池组124将能量储存在连接在一起的多个单独的电池单元中,以为电机114提供期望的电压和充电容量。在一个实施例中,电池组124包括锂离子电池单元的阵列。锂镀覆(在此也被称作“镀覆”)是指金属锂沉积在电池单元的负电极或阳极上的过程,并且可例如取决于沉积的锂的特定结构特性而导致诸如容量损失、增大阻抗、降低效率以及在一些情况下的内部短路的长期效应。在被称为剥离(stripping)的过程期间,一定程度的镀覆可逆向进行。不可逆的镀覆可导致对电池单元阳极的永久性损坏。因此,根据本公开的各个实施例利用被配置为实现基于锂镀覆指示值的闭环反馈控制策略的车辆控制器或电池控制器响应于目标指示值与测量的或计算的指示值之间的差来减少或消除锂镀覆。电池充电和放电的控制可被用于对可逆镀覆的阳极进行剥离以及减少或消除额外的镀覆。在低温、高荷电状态(SOC)和高充电速率(高电流)下进行充电期间,电池单元特别容易受到镀覆。因此,电池和/或车辆的控制可包括控制牵引电池电流以减少锂镀覆或使锂镀覆反向(剥离)。可使用各种策略来计算锂镀覆指示值以供闭环反馈控制器使用,参照图2至图4示出和描述了代表性策略。

[0024] 虽然车辆电池组124通常向高电压总线150提供高电压DC输出,但是电压和电流可根据特定的操作状况和负载而变化。牵引电池组124电连接到一个或更多个外部电路152,一个或更多个外部电路152可包括例如电力电子器件或逆变器电路126、DC/DC转换器电路128和/或电力转换模块或电路132。一个或更多个接触器可在断开时将牵引电池组124与其它组件隔离,并且可在闭合时将牵引电池组124连接到其它组件。牵引电池组124可包括用于测量和监测各种操作参数(包括电池单元电流和单独的电池单元电压)的各种内部电路。

诸如电池单元或电池单元的组(有时被称作区或块)的电压、电流和电阻的参数可由BECM 146来监测和/或控制。

[0025] 牵引电池组124除了提供用于推进的能量之外,还可为连接到高电压总线150的其它外部电路152提供能量。车辆112的配电系统还可包括DC/DC转换器模块或电路128,DC/DC转换器模块或电路128将牵引电池124的高电压DC输出转换为与可直接连接的其它车辆负载相兼容的低电压DC供电。其它外部高电压电路或负载(诸如用于车厢加热器或组件加热器的外部高电压电路或负载)可直接连接到高电压总线50而不使用DC/DC转换器模块128。

[0026] 车辆112还可包括辅助电池130,辅助电池130具有相对较低的标称电压(例如,诸如24V或48V)并且可使用与牵引电池组124不同的电池化学反应来实现。辅助电池130也可被称为作低电压电池、起动机电池或可仅被称作用于各种应用的车辆电池。辅助电池130可被用于向通常由电力负载160表示的各种低电压组件、控制器、模块、马达、致动器、传感器等提供电力。一个或更多个继电器/电压转换器168可被用于向车辆电力负载160提供电力。在该实施例中,继电器/电压转换器168包括由车辆控制模块(VCM) 172提供的继电器输入信号170控制的继电器,车辆控制模块172也可被用于使用电池能量控制模块(BECM) 146来直接或间接控制车辆和/或牵引电池124。如下面更详细地描述的,一个或更多个电气组件或附件可由VCM 172和/或BECM 146来控制,以通过控制电池电流来控制锂镀覆。

[0027] 牵引电池组124可通过外部电源136进行再充电。外部电源136可包括连接到电网的电插座。外部电源136可电连接到电动车辆供电设备(EVSE) 138。EVSE 138可提供电路和控制件以调节和管理电源136和车辆112之间的能量传输。外部电源136可向EVSE 138提供DC或AC电力。EVSE 138可具有用于插入到车辆112的充电端口134中的充电连接器140。充电端口134可电连接到充电器或车载电力转换模块132。可选地,被描述为电连接的各种组件可使用无线感应耦合来传输电力。如下面更详细地描述的,电力转换模块132是可被直接或间接地控制以通过控制电池电流来限制锂镀覆或者使锂镀覆反向的另一代表性电气装置。在一些应用中,可在充电期间减小或停止电池电流或者可使电池电流反向以向外部电源136提供电流,从而减少锂镀覆或者使锂镀覆反向。

[0028] 图1中示出的各种组件可具有一个或更多个关联的控制器、控制模块和/或处理器(诸如VCM 172)以基于锂镀覆指示值来控制车辆和牵引电池的操作。控制器可经由串行外设接口(SPI)总线(例如,控制器局域网(CAN))或离散导体进行通信。例如,各种操作参数或变量可使用CAN或其它导体进行广播或发布,以供车辆控制模块或子模块用于控制车辆或车辆组件(诸如牵引电池组124或电力负载160)。一个或更多个控制器可以以独立方式操作,而不与一个或更多个其它控制器通信。控制器可包括电池能量控制模块(BECM) 146以控制各种充电和放电功能、电池单元电荷平衡、电池组电压测量、单独的电池单元电压测量、电池过充电保护、电池过放电保护、电池寿命终止确定、锂镀覆的闭环反馈控制、电池电流极性或电池电流方向(充电和放电)。

[0029] 控制器可包括各种类型的非暂时性计算机可读存储介质和/或与各种类型的非暂时性计算机可读存储介质通信,所述非暂时性计算机可读存储介质包括用于存储控制逻辑、算法、程序、操作变量等的持久性存储装置和临时性存储装置。在一个实施例中,BECM 146可与用于存储与电池单元的期望的开路电压、阈值或图案(pattern)相关联的值的存储器通信。类似地,BECM 146可与具有存储在与电池单元内电阻相关联的查找表或数组中的值

的存储器通信,其中,所述电池单元内电阻是基于电池参数(诸如温度、SOC、寿命等)的。在一个实施例中,BECM 146与具有电池电力对温度的查找表的存储器进行通信,并且响应于检测到锂镀覆而修改查找表中的一个或更多个值。BECM 146还可与存储与在锂镀覆状况下供应的电池充电电力相对应的累计的镀覆历史的存储器进行通信,以用于确定电池寿命估计。

[0030] 图2是示出根据代表性实施例的用于计算锂镀覆指示值以及用于指示值的闭环反馈控制的未镀覆的电池单元和镀覆的电池单元的电池单元电压(作为SOC的函数)的曲线图。图2的曲线图使用可用于电气化车辆(诸如在图1中示出的插电式混合动力电动车辆)中的电池组中的代表性锂离子电池单元的经验数据来产生。由线210表示的数据与具有很少镀覆或没有镀覆的正常锂离子电池单元在放电期间随时间变化的电池单元电压相对应。由线212、214表示的数据与具有镀覆(通过对镀覆的电池单元的明显受损阳极进行检查和分解来确认)的锂镀覆的电池单元在放电期间随时间变化的电池单元电压相对应。由于锂的化学特性,所以如前所述当电池单元被镀覆时,电池单元开路电压(OCV)将高于具有较少镀覆或没有镀覆的电池单元的电池单元开路电压。

[0031] 在放电期间,可逆镀覆的锂可被剥离,使得OCV相对于SOC的放电曲线对于镀覆的电池单元和未镀覆的电池单元将是相同的。在剥离过程结束之后通常由标号216指示的曲线的低SOC部分可被用于识别镀覆的电池单元的SOC值。

[0032] 在各个实施例中,预期的或正常的电池OCV和/或针对特定电池操作参数(诸如温度、电流、SOC、寿命等)的预期的电池单元内电阻可被存储在与BECM 146通信的存储器中。锂镀覆指示值可与至少一个电池单元的测量的OCV与在类似操作状况下的先前存储的预期的OCV之间的差相对应。可根据以下公式基于测量的电池单元电压、通过电池单元的电流以及计算的或先前存储在与电池控制系统相关联的存储器中的电池单元的内电阻来计算测量的OCV:

$$[0033] \quad OCV = V_{\text{battery}} - I * R_{\text{cell}}$$

[0034] 其中,OCV表示电池单元开路电压(V), V_{battery} 表示测量的电池单元电压(V), I 表示通过电池单元的电流(A), R_{cell} 表示电池单元内电阻(欧姆)。与差分OCV相对应的锂镀覆指示值随后被锂镀覆的闭环反馈控制所使用。可根据以下公式来确定镀覆指示值:

$$[0035] \quad \text{镀覆指示} = OCV_{\text{测量}} - OCV_{\text{预期}}$$

[0036] 与牵引电池通信的一个或更多个控制器可被配置为提供闭环反馈控制以基于差分OCV电压来减小或消除镀覆指示的目标值与测量值之间的差,从而控制牵引电池和/或车辆(例如,减小充电电流或利用外部加热器或电池内电阻来使电池升温)。

[0037] 图3是示出根据代表性实施例的用作锂镀覆的闭环反馈控制的锂镀覆指示值的未镀覆的电池单元和镀覆的电池单元的电池单元电压变化速率与电池单元充电速率的比值(作为时间的函数)的曲线图。由线310表示的数据与具有很少锂镀覆或没有锂镀覆的电池单元的比值相对应,而由线312、314表示的数据与呈现锂镀覆的电池单元的比值相对应。线320与代表性阈值相对应,该代表性阈值可被用于与用于锂镀覆的检测的比值进行比较,响应于计算的比值越过阈值(例如,针对线312在330处指示的以及针对线314在340处指示的)而检测到锂镀覆。还可通过用于识别与锂镀覆有关的关联的图案的系统识别技术来检测锂镀覆。

[0038] 本领域普通技术人员将认识到,特定阈值可基于电池和/或环境操作参数或状况而改变,可被在线估计,并且可被存储在被配置为查找表的存储器中或者可基于公式或方程来计算,该公式或方程使用经验数据来生成阈值的数学表达式。类似地,可利用用于检测镀覆的数学参数或统计参数(诸如相关性)将由一个或多个电池单元的数据随时间形成的图案与相应的未镀覆的电池单元的预期的图案或期望的图案进行比较。类似地,其它比值可被计算并且被用于基于与镀覆的电池单元相关联的经验数据来检测镀覆。因为闭环反馈控制器将试图使镀覆指示值低于与镀覆相关联的阈值,所以在闭环反馈控制器中使用的镀覆指示的目标值可能低于指示镀覆的阈值以试图防止镀覆发生。

[0039] 如图3中总体上示出的,对于锂镀覆的电池单元,电池单元电压变化速率或微分电压对电池单元充电速率(例如,其可由电池单元电流来指示)的比值将在镀覆的锂在该过程期间已停止参与反应时具有明显的转变。由于由线310、312和314表示的电池单元电压变化速率与电池单元变化速率的比值与基于时间的比值相比是稳健的(robust),所以其对于各种电池操作状况来说也是稳健的。因此,可使用电池单元电压变化速率与电池单元充电速率的比值来控制锂镀覆,以最小化锂镀覆或防止比值越过指示锂镀覆的关联的阈值。还可通过更新电池电力与温度的查找表来控制锂镀覆,以减少在镀覆温度下的电池电力,从而防止在后续电池操作期间的锂镀覆。

[0040] 如先前参照图2描述的,由于每个电池单元的锂和碳阳极的化学特性,所以当电池被镀覆时电池单元OCV将高于没有镀覆情况下的正常或标称的电池开路电压。如在350总体指示的,当锂停止参与反应时,电池单元OCV将回到正常的OCV。在各种应用中,在电池组内部针对单独的电池单元或电池单元的组或块来测量电池单元电压,使得特定的电池单元或电池单元的组的微分电压 dV/dt 可被计算。电池单元充电速率或电池单元电荷的变化速率可由实际电池单元电流(I)来表示,如下表示:

$$[0041] \quad \frac{dQ}{dt} = I$$

[0042] 电池单元电压变化速率与电池单元充电速率的比值可被车辆控制器或电池控制器根据以下公式计算为镀覆指示值:

$$[0043] \quad \text{比值(镀覆指示值)} = \frac{dV_{\text{battery}}}{dQ} = \left(\frac{dV_{\text{battery}}}{dt} \right) / \left(\frac{dQ}{dt} \right) = \left(\frac{dV}{dt} \right) / I$$

[0044] 其中,Q表示电池单元累积电荷(库仑), V_{battery} 表示测量的电池单元电压(V),I表示通过电池单元的电流(A)。可在微分运算或计算之前和/或在微分运算或计算之后应用滤波器来减少或消除信号噪声。

[0045] 图4是示出根据代表性实施例的计算用于锂镀覆的闭环反馈控制的一个或多个锂镀覆指示或参数的流程图。尽管在此描述的处理、系统、方法、启示等可被描述为以有序的顺序发生,但是这样的处理可利用以与描述或示出的顺序不同的顺序完成的所描述的步骤来执行。应理解的是,在与本公开的教导保持一致并且被所要求保护的主题涵盖的同时,可同时执行特定步骤,可添加其它步骤或者可省略在此描述的特定步骤。对方法或处理的描述针对示出特定实施例的目的而被提供,并且应被理解为代表许多变型中的一个而不仅仅限于示出或描述的实施例。

[0046] 如本领域普通技术人员通常理解的,系统或方法可通过计算机算法、机器可执行

代码或被编程到与车辆相关联的一个或更多个合适的可编程装置(诸如VCM172、BECM 146、其它控制器或它们的组合)中的软件指令来实现。

[0047] 系统或方法400的操作包括:如在410表示的将针对各种电池操作参数的预期值或期望值存储在非暂时性计算机可读介质或存储器中以便随后用于控制锂电镀。如前所述,电池参数值可包括与当前的电池操作状况和/或环境操作状况相对应的代表性电池单元或电池单元的组的开路电压的预期值或期望值。还可存储电池单元内电阻,以便随后用于基于测量的电池单元电压来计算电池单元的OCV。所存储的值还可包括电池电力与温度的查找表以及累计的电镀历史计数。如由框412表示的,针对当前操作状况测量或以其它方式确定各种电池参数。如在414表示的,代表性参数可包括电池单元电压、电池单元电流、SOC和温度。

[0048] 如由框416表示的,确定一个或更多个锂电镀参数或指示。如前所述,锂电镀参数或指示可以是基于电池单元差分电压418的,例如,电池单元差分电压418可包括差分OCV。可选地,如前描述的以及在420表示的,可使用测量的电池单元电流、电池单元电压和电池单元内电阻来计算测量的OCV。如在422表示的微分电压的比值可被计算,并且可包括如在424表示的微分电压或变化电压与电池单元充电速率的比值。如在430表示的,可将一个或更多个锂电镀指示值或图案提供至闭环反馈控制器。

[0049] 图5是示出根据代表性实施例的基于锂电镀指示值来控制车辆操作和/或电池操作的闭环反馈控制器的操作的示意图。控制系统500总体上表示简化的比例积分(P-I)闭环反馈控制器。与本公开的教导一致的其它闭环反馈控制策略也可被用于控制锂电镀状况,包括使用比例、积分和微分的控制函数或项的任何组合的反馈控制器、前馈控制器和混合型控制器。如在510表示的,控制系统500确定电镀指示设定点或目标值。该设定点或目标值可基于当前的车辆操作状况、电池操作状况和/或环境操作状况而变化,并且将基于特定电镀指示而变化。所选择的电镀指示可基于当前操作模式或随着应用和实施方式而变化。例如,在一个实施例中,仅提供单个电镀指示。其它实施例可包括具有仲裁策略的多个电镀指示,所述仲裁策略用于选择特定电镀指示以供闭环反馈控制器使用。

[0050] 由加法器520基于指示设定点或目标值与反馈信号之间的差来计算差值或误差值,所述反馈信号与由框530表示的计算的电镀指示值和通过时间延迟532偏移的时间相对应。将相应的差值536应用到比例项540和积分项542,并且所得到的值在加法器550处合并。如在560表示的,所得到的值可被用于修改电池状况,以使差值536朝向零减小。可调整比例项540和积分项542以提供期望的系统性能。

[0051] 框560总体上表示:通过控制一个或更多个电池或车辆的参数或组件来直接或间接修改电池状况,以减少电池中的锂电镀或者使电池中的锂电镀反向。例如,在具有内燃发动机的混合动力电动车辆和插电式混合动力电动车辆中,使用外部加热器或者使电池利用电池内电阻来提高电池温度,修改电池状况可包括使电池充电速率或电流减小到允许的最小充电水平,允许的最小充电水平可基于当前操作状况而变化。在车辆操作期间,减小电池电流可包括:减小或停止由再生制动提供的电流或者将发动机操作点或模式从最大效率修改到最小电池充电电力。

[0052] 在各种实施例中,由框560表示的修改电池状况可包括:例如,通过控制一个或更多个电力附件以从电池提供电力而不是使电机操作在发电机模式下,从而使电池组124升

温。这还可包括：减少由发动机提供的附件电力，使得电池的电力负载以及对应的电流增大以产生更多的热。增大电力附件负载可包括：操作电池组加热器或者将加热器负载增大到最大负载以使电池组快速地升温。

[0053] 图6是示出用于受车辆操作状况和/或牵引电池操作状况影响的镀覆指示的闭环反馈控制的车辆或方法的代表性实施例的操作的流程图。在图6所示的代表性实施例中，如在610表示的，控制策略600包括基于当前操作状况检索镀覆指示设定点。当前操作状况可包括：例如车辆操作状况、电池操作状况和/或环境操作状况（诸如温度、电池电流、电池组电压、电池单元电压、SOC、电池寿命、累计的电池镀覆历史）。在使用多于一个的镀覆指示的应用中，可从先前存储在存储器中的值中检索每个镀覆指示的设定点或目标值。

[0054] 如在612表示的，计算每个镀覆指示的当前值。如前所述，例如，代表性镀覆指示可包括差分电压或微分电压与充电速率的比值。如在614表示的，使用一个或更多个指示值来检测镀覆。在一个实施例中，可通过将指示与对应的阈值进行比较来检测镀覆。在另一实施例中，当目标指示值和当前指示值之间的差或误差超过阈值时，闭环反馈控制可确定锂镀覆。如果未检测到镀覆，则控制器通过返回到框610来继续更新目标值和当前值。

[0055] 如在框614指示的，如果检测到镀覆，则可使用当前操作状况来更新作为温度的函数的电池电力的查找表，以减小在后续操作过程中发生镀覆状况的可能性。例如，基于查找表中的值，提供到电池用于给电池充电的电力可受到作为温度的函数的电流限制的限制。如果检测到镀覆，则可修改这些值以降低针对先前检测到镀覆的特定温度的电力限制。

[0056] 如在618表示的，可响应于检测到镀覆状况而更新累计的镀覆历史计数。例如，可更新计数或其它历史值以记录电池经受锂镀覆的电力或安培小时(Ah)的总量。累计的锂镀覆Ah可被用于调整电池寿命估计。可选地或组合地，当累计的镀覆计数增大或越过一个或更多个关联的阈值时，可采用更积极的减轻策略。

[0057] 框620表示：控制电池电流以减小用于提供闭环反馈控制的锂镀覆指示的差值或误差值。如前所述，这可包括：如在630表示的，控制发动机操作点以减小供应到电池的充电电流，如在632表示的，控制再生制动以减小供应到电池的充电电流，或者如在634表示的，控制附件负载以增大放电电流和提高电池温度。例如，可直接通过控制附件以增大电力负载和由电池供应的电流和/或直接通过控制电池加热器来提高电池温度。

[0058] 如本领域普通技术人员可认识到的，描述的代表性实施例可提供一个或更多个优点，诸如，基于锂镀覆指示的闭环反馈控制来控制牵引电池，以减少锂镀覆或使锂镀覆反向。提供在线非破坏性锂镀覆指示以减轻不可逆的锂镀覆和相关联的性能退化，从而延长电池寿命和扩展电池容量。

[0059] 虽然以上描述了示例性实施例，但是并不意在这些实施例描述了所要求保护的主题的所有可能的形式。更确切地，在说明书中所使用的词语是描述性词语而非限制性词语，并且应理解的是，可在不脱离本公开的精神和范围的情况下做出各种改变。此外，可将各种实现的实施例的特征进行组合以形成未被明确描述或示出的进一步的实施例。尽管针对一个或更多个期望的特性，各种实施例可能已经被描述为提供优点或优于其它实施例或现有技术的实施方式，但是如本领域的普通技术人员所知，根据特定的应用和实施方式，一个或更多个特征或特性可被折衷以实现期望的整体系统属性。这些属性包括但不限于成本、强度、耐用性、生命周期成本、市场性、外观、包装、尺寸、可维护性、重量、可制造性、装配的容

易性等。被描述为在一个或多个特性方面不如其它实施例或现有技术实施方式合意的实施例不一定在本公开的范围之外,并可被期望用于特定应用。

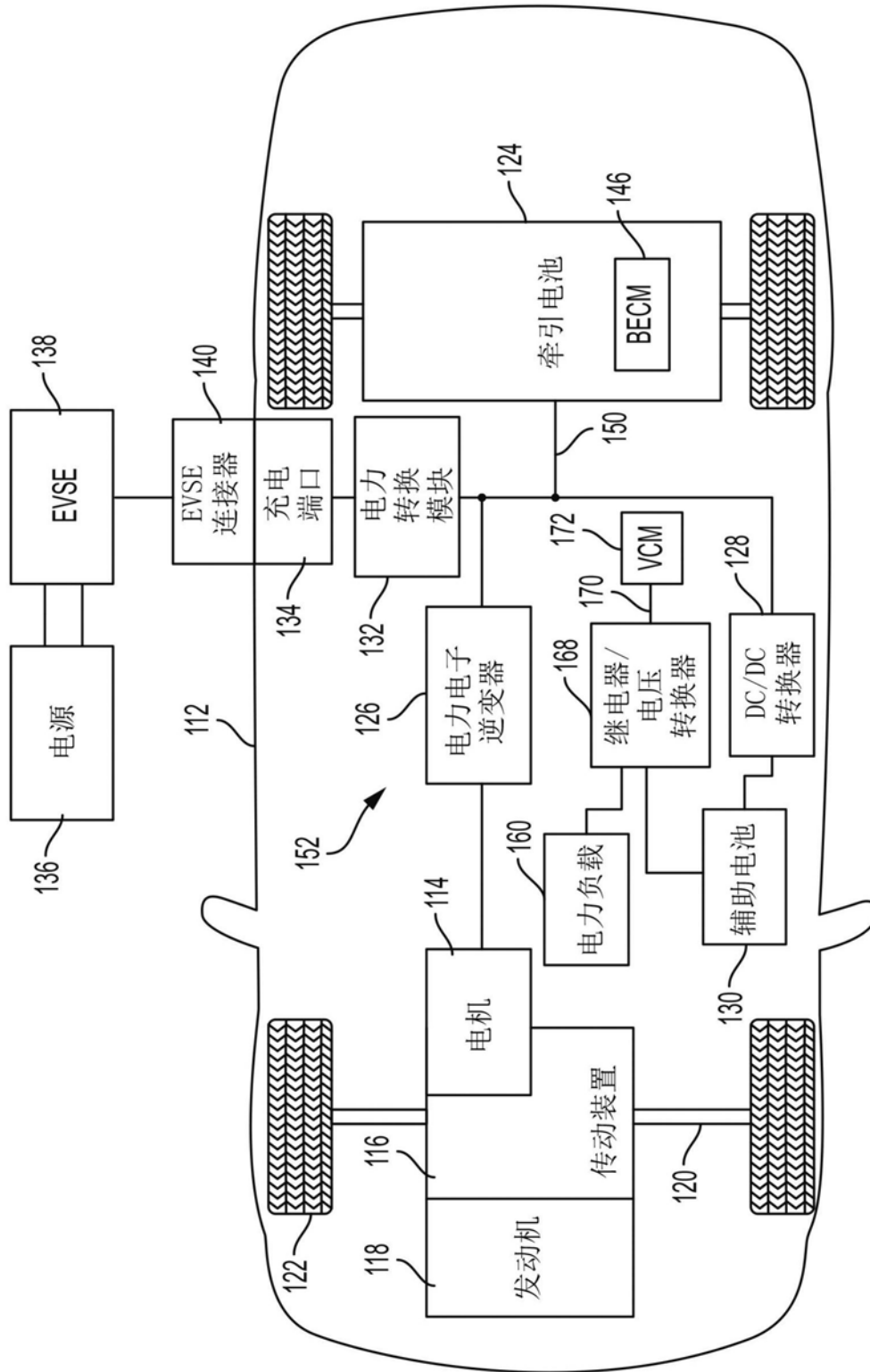


图1

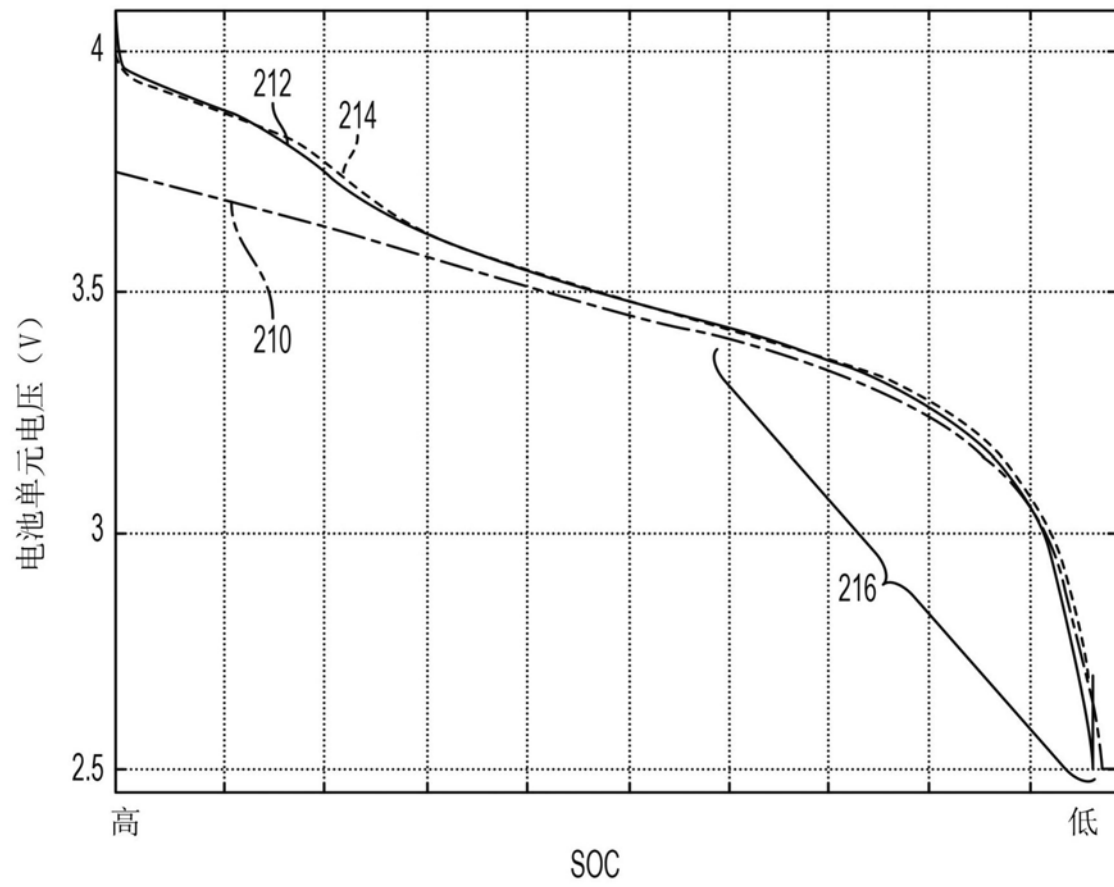


图2

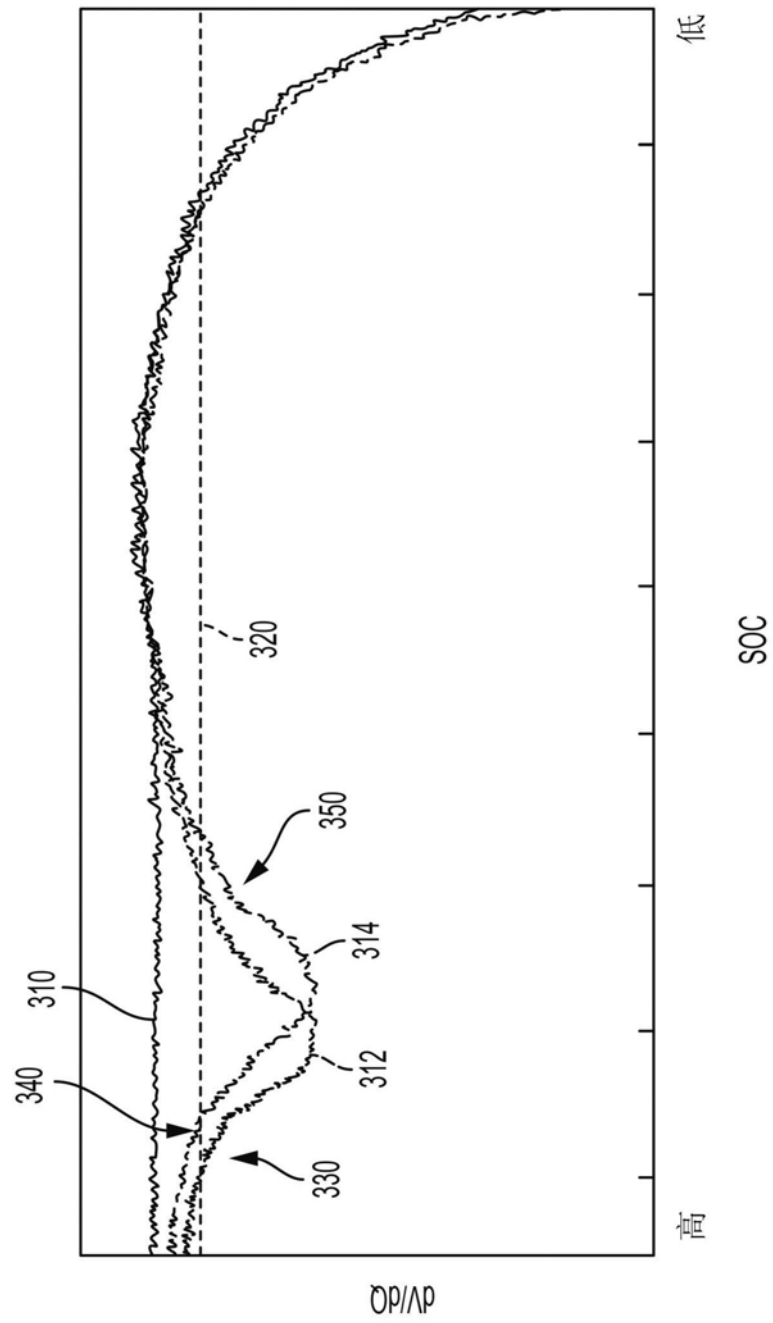


图3

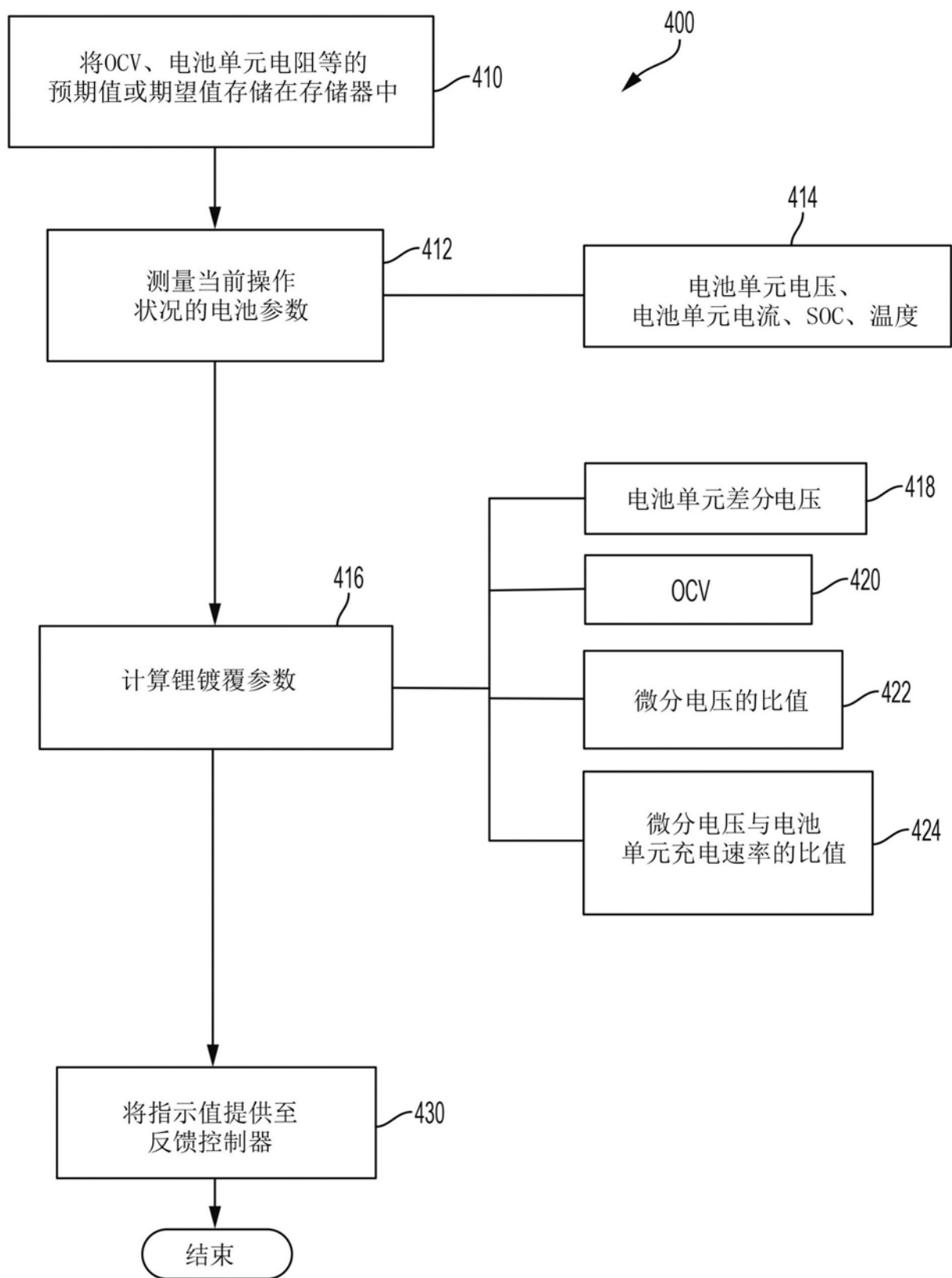


图4

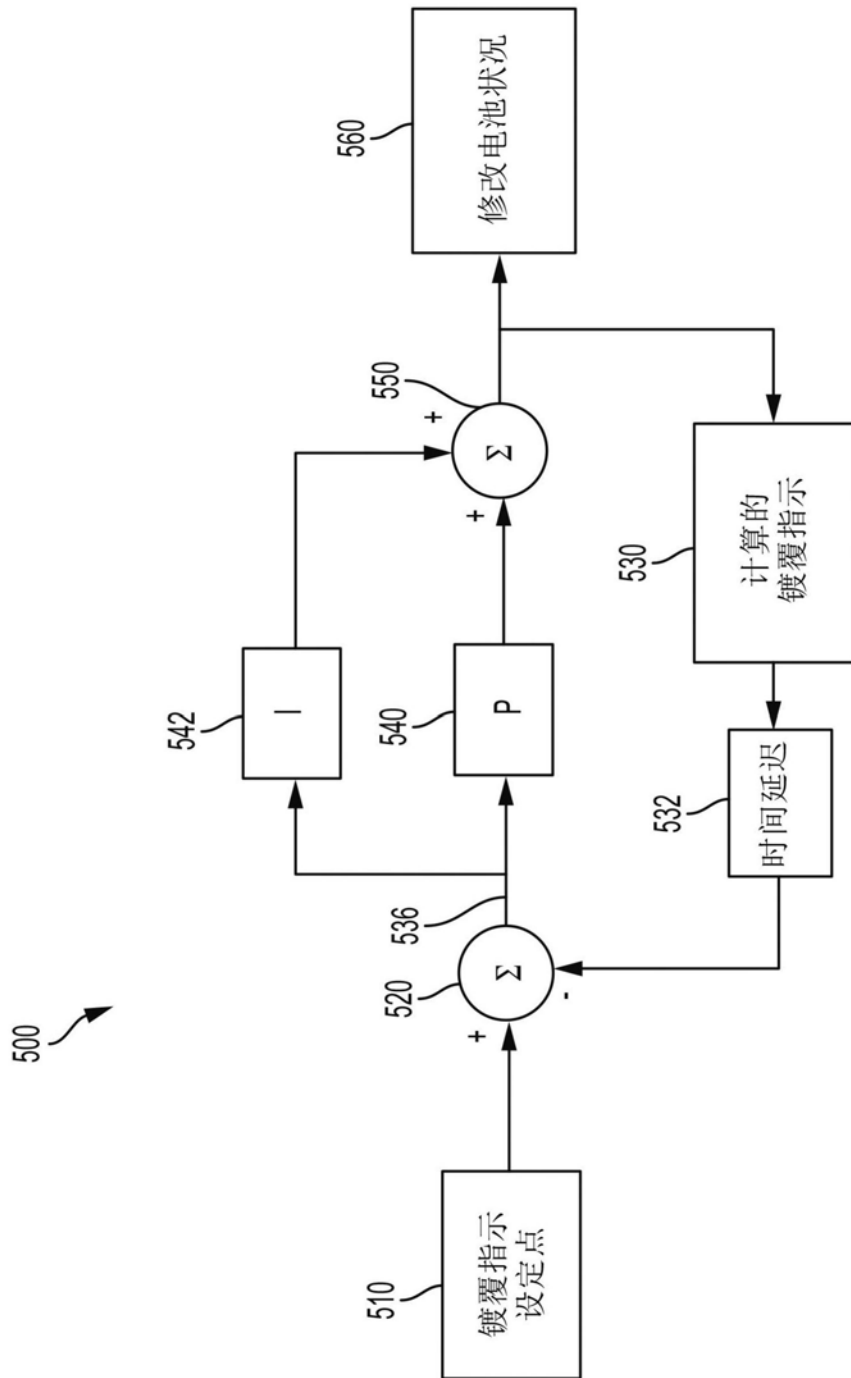


图5

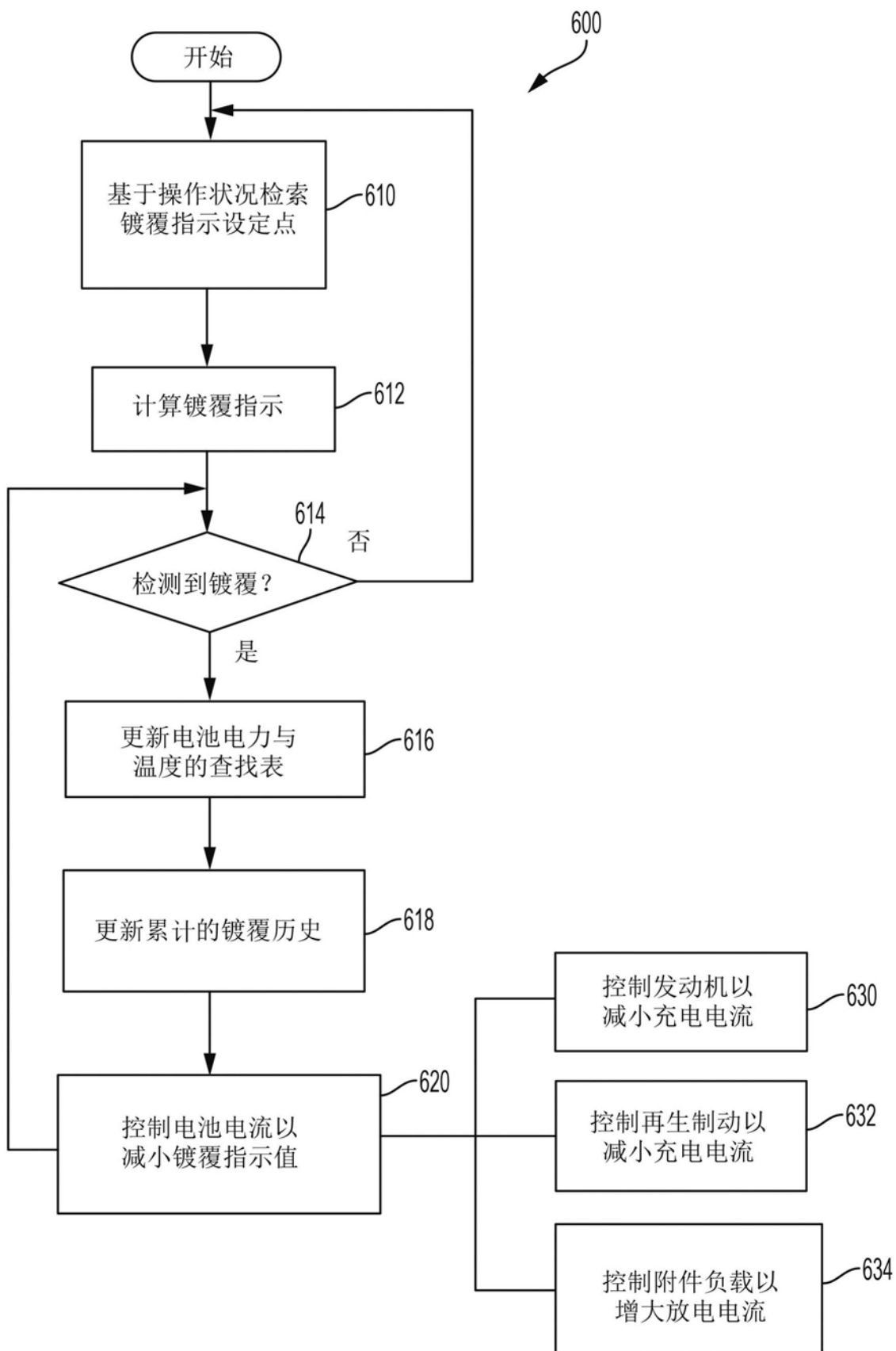


图6