



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114945834 B

(45) 授权公告日 2025. 06. 13

(21) 申请号 202180008136.5

(72) 发明人 李炫俊

(22) 申请日 2021.07.14

(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 114945834 A

专利代理师 穆森 戚传江

(43) 申请公布日 2022.08.26

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

G01R 31/3835 (2006.01)

10-2020-0087749 2020.07.15 KR

G01R 31/396 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

G01R 31/367 (2006.01)

2022.07.05

G01R 31/364 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

H01M 10/48 (2006.01)

PCT/KR2021/009065 2021.07.14

H01M 10/42 (2006.01)

(87) PCT国际申请的公布数据

(56) 对比文件

W02022/015062 KO 2022.01.20

WO 2019138286 A1, 2019.07.18

CN 1692524 A, 2005.11.02

(73) 专利权人 株式会社LG新能源

审查员 范雪兰

地址 韩国首尔

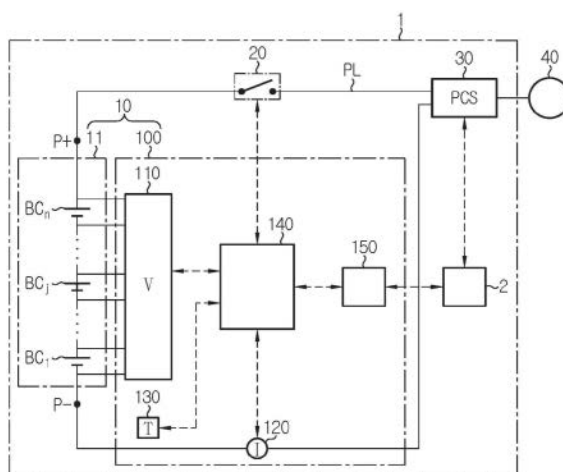
权利要求书2页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

电池管理系统、电池组、储能系统和电池管理方法

(57) 摘要

一种根据本公开的电池管理系统包括电压测量电路和控制单元,该电压测量电路被配置成生成指示串联连接的多个电池单体中的每一个的单体电压的电压信号。控制单元基于电压信号确定包括多个观察电压向量的观察矩阵,该多个观察电压向量指示多个电池单体中的每一个在具有预定大小的移动窗口中的电压历史。控制单元确定包括按一对一关系与多个观察电压向量相对应的多个恢复电压向量的恢复矩阵。控制单元基于指示多个观察电压向量与多个恢复电压向量之间的差的多个绝对误差向量来检测多个电池单体中的每一个的异常。



1. 一种用于检测串联连接的多个电池单体中的每一个的异常的电池管理系统,包括:电压测量电路,所述电压测量电路被配置成生成指示每个电池单体的单体电压的电压信号;以及

控制单元,所述控制单元被配置成基于所述电压信号确定包括多个观察电压向量的观察矩阵,所述多个观察电压向量指示在具有预定大小的移动窗口中按时间序列多次测量的所述多个电池单体中的每一个的电压历史,

其中,所述控制单元被配置成:

确定包括按一对一关系与所述多个观察电压向量相对应的多个恢复电压向量的恢复矩阵,

确定指示所述多个观察电压向量与所述多个恢复电压向量之间的差的多个绝对误差向量,并且

基于所述多个绝对误差向量来检测所述多个电池单体中的每一个的异常。

2. 根据权利要求1所述的电池管理系统,其中,所述控制单元被配置成:

使用矩阵分解算法从所述观察矩阵中提取第一子矩阵、第二子矩阵和第三子矩阵,

所述第一子矩阵是包括指示所述观察矩阵的方差信息的多个主分量向量的正交矩阵,

所述第二子矩阵是包括指示用于所述方差信息的所述多个主分量向量的描述因子信息的多个奇异值的对角线矩阵,

所述第三子矩阵是包括指示所述多个观察电压向量对所述多个主分量向量的依赖性信息的多个系数向量的正交矩阵,以及

所述控制单元被配置成:

使用预定恢复条件来选择所述多个奇异值中的至少一个,

基于至少一个选择的奇异值将所述第一子矩阵、所述第二子矩阵和所述第三子矩阵变换成第一近似矩阵、第二近似矩阵和第三近似矩阵,并且

通过将所述第一近似矩阵、所述第二近似矩阵和所述第三近似矩阵相乘来确定所述多个恢复电压向量。

3. 根据权利要求2所述的电池管理系统,其中,所述控制单元被配置成从按降序的所述多个奇异值中选择阈值数目的奇异值。

4. 根据权利要求2所述的电池管理系统,其中,所述控制单元被配置成:在第 k 奇异值与所述多个奇异值之和的比率等于或大于第一阈值比率并且第 u 奇异值与所述多个奇异值之和的比率小于所述第一阈值比率时,从所述多个奇异值中选择第一至第 k 奇异值,并且

k 是小于 n 的自然数, u 是 $k+1$, n 是所述多个电池单体的总数,并且所述第 k 奇异值是所述多个奇异值当中的第 k 最大奇异值。

5. 根据权利要求2所述的电池管理系统,其中,所述控制单元被配置成:在第一至第 q 奇异值之和与所述多个奇异值之和的比率等于或大于第二阈值比率并且第一至第 p 奇异值之和与所述多个奇异值之和的比率小于所述第二阈值比率时,从所述多个奇异值中选择第一至第 q 奇异值,并且

q 是2以上且小于 n 的自然数, p 是 $q-1$, n 是所述多个电池单体的总数,并且所述第 q 奇异值是所述多个奇异值当中的第 q 最大奇异值。

6. 根据权利要求1所述的电池管理系统,其中,所述控制单元被配置成:将与所述多个

绝对误差向量当中的、包括在预定绝对误差范围之外的至少一个分量的每个绝对误差向量相对应的每个电池单体检测为有缺陷。

7. 根据权利要求6所述的电池管理系统,其中,所述控制单元被配置成:

基于所述多个绝对误差向量确定相对误差范围,并且

将与所述多个绝对误差向量当中的、包括在所述相对误差范围之外的至少一个分量的每个绝对误差向量相对应的每个电池单体检测为有缺陷。

8. 根据权利要求2所述的电池管理系统,其中,所述控制单元被配置成在所述多个奇异值当中的最大值与最小值的比率小于预设比率时输出指示恢复不可能情形的错误消息。

9. 一种包括根据权利要求1至8中的任一项所述的电池管理系统的电池组。

10. 一种包括根据权利要求9所述的电池组的储能系统。

11. 一种用于检测串联连接的多个电池单体中的每一个的异常的电池管理方法,包括:

确定包括多个观察电压向量的观察矩阵,所述多个观察电压向量指示在具有预定大小的移动窗口中按时间序列多次测量的多个电池单体中的每一个的电压历史;

确定包括按一对一关系与所述多个观察电压向量相对应的多个恢复电压向量的恢复矩阵;

确定指示所述多个观察电压向量与所述多个恢复电压向量之间的差的多个绝对误差向量;以及

基于所述多个绝对误差向量检测所述多个电池单体中的每一个的异常。

电池管理系统、电池组、储能系统和电池管理方法

技术领域

[0001] 本申请要求于2020年7月15日向韩国知识产权局提交的韩国专利申请No.10-2020-0087749的权益,该申请的公开内容通过引用整体地并入本文。

[0002] 本公开涉及电池单体的异常检测。

背景技术

[0003] 近来,对诸如膝上型计算机、摄像机和移动电话的便携式电子产品的需求一直在快速增加,并且随着机动车辆、储能用蓄能器、机器人和卫星的广泛发展,正在对能够重复地充电和放电的高性能电池做出许多研究。

[0004] 当前,市售的电池包括镍镉电池、镍氢电池、镍锌电池、锂电池等,并且在它们当中,锂电池具有很少或没有记忆效应,因此由于其能够在方便时完成再充电、自放电率非常低并且能量密度高的优点,它们与镍基电池比正赢得更多关注。

[0005] 近来,随着需要高电压的应用的广泛普及,包括串联连接的多个电池单体的电池组被广泛地使用。随着包括在电池组中的电池单体的数目增加,电池单体发生异常的可能性增加。因此,对用于准确地检测电池单体的异常的诊断技术的需要增长。

[0006] 现有技术监测包括与电池单体的状态相关联的多个参数的单体信息(例如,电压、电流、温度),并且基于电池单体的操作状态(例如,充电、放电、休止)和被监测单体信息来检测电池单体的异常。

[0007] 然而,这种异常检测方法需要电池管理系统(BMS)以使用多个传感器来监测电池单体的单体信息,所以异常检测需要大量计算和长时间。特别地,在从电池单体供应BMS的电力的结构下,可能在BMS的操作期间始终消耗电池单体的电能以用于异常检测。

[0008] 此外,现有技术基于电池单体的单体信息在短时间内的快速变化来检测电池单体的异常。然而,有缺陷的电池单体的单体信息并不总是在短时间内快速地改变,并且可能往往在长时段内慢慢地改变,所以可能不能在适当的时间检测到电池单体的异常。

发明内容

[0009] 技术问题

[0010] 本公开被设计来解决上述问题,因此本公开旨在提供一种电池管理系统、电池管理方法、电池组以及储能系统,其使用包括在电池组中的多个电池单体中的每一个的单体电压作为用于异常检测的单个参数。

[0011] 本公开还致力于提供一种电池管理系统、电池管理方法、电池组和储能系统,其生成作为包括指示多个电池单体中的每一个的单体电压的变化的多个观察电压向量的数据集的观察矩阵,使用观察矩阵的多个主分量中的至少一个来恢复观察矩阵,并且根据恢复之前的数据集与恢复之后的数据集之间的差准确地检测每个电池单体的异常。

[0012] 本公开的这些及其他目的和优点可以通过以下描述来理解并且将从本公开的实施例中显而易见。另外,将容易地理解,可以通过所附权利要求中阐述的手段及其组合来实

现本公开的目的和优点。

[0013] 技术方案

[0014] 根据本公开的一个方面的电池管理系统用于检测串联连接的多个电池单体中的每一个的异常。该电池管理系统包括电压测量电路和控制单元,该电压测量电路被配置成生成指示每个电池单体的单体电压的电压信号。控制单元被配置成基于电压信号确定包括多个观察电压向量的观察矩阵,所述多个观察电压向量指示在具有预定大小的移动窗口中按时间序列多次测量的多个电池单体中的每一个的电压历史。控制单元被配置成确定包括按一对一关系与多个观察电压向量相对应的多个恢复电压向量的恢复矩阵。控制单元被配置成确定指示多个观察电压向量与多个恢复电压向量之间的差的多个绝对误差向量。控制单元被配置成基于多个绝对误差向量来检测多个电池单体中的每一个的异常。

[0015] 控制单元可以被配置成使用矩阵分解算法从观察矩阵中提取第一子矩阵、第二子矩阵和第三子矩阵。第一子矩阵是包括指示观察矩阵的方差信息的多个主分量向量的正交矩阵。第二子矩阵是包括指示用于方差信息的多个主分量向量的描述因子信息的多个奇异值的对角线矩阵。第三子矩阵是包括指示多个观察电压向量对多个主分量向量的依赖性信息的多个系数向量的正交矩阵。控制单元可以被配置成使用预定恢复条件来选择多个奇异值中的至少一个。控制单元可以被配置成基于至少一个选择的奇异值将第一子矩阵、第二子矩阵和第三子矩阵变换成第一近似矩阵、第二近似矩阵和第三近似矩阵。控制单元可以被配置成通过将第一近似矩阵、第二近似矩阵和第三近似矩阵相乘来确定多个恢复电压向量。

[0016] 控制单元可以被配置成从按降序的多个奇异值中选择阈值数目的奇异值中的每一个。

[0017] 控制单元可以被配置成:在第k奇异值与多个奇异值之和的比率等于或大于第一阈值比率并且第u奇异值与多个奇异值之和的比率小于第一阈值比率时从多个奇异值中选择第一至第k奇异值。k是小于n的自然数,u是k+1,n是多个电池单体的总数,并且第k奇异值是多个奇异值当中的第k最大奇异值。

[0018] 控制单元可以被配置成:在第一至第q奇异值之和与多个奇异值之和的比率等于或大于第二阈值比率并且第一至第p奇异值之和与多个奇异值之和的比率小于第二阈值比率时从多个奇异值中选择第一至第q奇异值。q是2以上且小于n的自然数,p是q-1,n是多个电池单体的总数,并且第q奇异值是多个奇异值当中的第q最大奇异值。

[0019] 控制单元可以被配置成:将与多个绝对误差向量当中的、包括在预定绝对误差范围之外的至少一个分量的每个绝对误差向量相对应的每个电池单体检测为有缺陷。

[0020] 控制单元可以被配置成:基于多个绝对误差向量确定相对误差范围。控制单元可以被配置成:将与多个绝对误差向量当中的、包括在相对误差范围之外的至少一个分量的每个绝对误差向量相对应的每个电池单体检测为有缺陷。

[0021] 控制单元可以被配置成在多个奇异值当中的最大值与最小值的比率小于预设比率时输出指示恢复不可能情形的错误消息。

[0022] 根据本公开的另一方面的电池组包括电池管理系统。

[0023] 根据本公开的再一方面的储能系统包括电池组。

[0024] 根据本公开的又一方面的电池管理方法用于检测串联连接的多个电池单体中的

每一个的异常。该电池管理方法包括：确定包括多个观察电压向量的观察矩阵，所述多个观察电压向量指示在具有预定大小的移动窗口中按时间序列多次测量的多个电池单体中的每一个的电压历史；确定包括按一对一关系与多个观察电压向量相对应的多个恢复电压向量的恢复矩阵；确定指示多个观察电压向量与多个恢复电压向量之间的差的多个绝对误差向量；以及基于多个绝对误差向量来检测多个电池单体中的每一个的异常。

[0025] 有益效果

[0026] 根据本公开的实施例中的至少一个，使用除电流或温度以外的仅单体电压来检测包括在电池组中的多个电池单体中的每一个的异常，从而减少异常检测所需要的计算量、时间和电力。

[0027] 根据本公开的实施例中的至少一个，在检测每个电池单体的异常时，在生成作为包括指示多个电池单体中的每一个的单体电压的时间相关变化的多个观察电压向量的数据集的观察矩阵，并且使用观察矩阵的多个主分量中的至少一个来恢复观察矩阵之后，可以使用恢复之前的数据集与恢复之后的数据集之间的差来准确地检测多个电池单体中的每一个的异常。

[0028] 本公开的效果不限于以上提及的效果，并且本领域的技术人员将根据所附权利要求清楚地理解这些和其他效果。

附图说明

[0029] 附图图示本公开的优选实施例，并且与下述本公开的详细描述一起，用来提供对本公开的技术方面的进一步理解，因此本公开不应该被解释为限于附图。

[0030] 图1是示例性地示出根据本公开的储能系统的配置的图。

[0031] 图2是示例性地示出电池单体的单体电压随着时间的变化的曲线图。

[0032] 图3是在描述作为指示图2所示的电池单体的电压历史的数据集的示例性观察矩阵时参考的图。

[0033] 图4是在描述作为恢复图3的观察矩阵的结果的示例性恢复矩阵时参考的图。

[0034] 图5是在描述由观察矩阵指示的电压变化和由恢复矩阵指示的电压变化时参考的图。

[0035] 图6是在描述图5所示的观察矩阵与恢复矩阵之间的误差时参考的图。

[0036] 图7是示例性地示出根据本公开的第一实施例的电池管理方法的流程图。

[0037] 图8是示例性地示出根据本公开的第二实施例的电池管理方法的流程图。

具体实施方式

[0038] 在下文中，将参考附图详细地描述本公开的优选实施例。在描述之前，应该理解，本说明书和所附权利要求中使用的术语或单词不应该被解释为限于一般和词典含义，而是在发明人被允许适当地定义术语以获得最好说明的原则基础上，基于与本公开的技术方面相对应的含义和构思来解释。

[0039] 因此，本文描述的实施例和附图所示的图示只是本公开的最优选实施例，而不旨在充分地描述本公开的技术方面，所以应该理解，在本申请被提交时可能已对其做出了各种其他等同物和修改。

[0040] 包括诸如“第一”、“第二”等的序数的术语用于在各种元件当中区分一个元件和另一元件,而不旨在通过这些术语来限制元件。

[0041] 除非上下文另外清楚地指示,否则应理解,术语“包括”当用在本说明书中时,指定存在陈述的元件,但是不排除存在或添加一个或多个其他元件。附加地,如本文所使用的术语“控制单元”是指至少一个功能或操作的处理单元,并且这可以通过硬件和软件单独或相结合地实现。

[0042] 另外,在整个说明书中,应进一步理解,当一个元件被称为“连接到”另一元件时,它能够直接连接到另一元件或者可以存在中间元件。

[0043] 图1是示例性地示出根据本公开的储能系统1的配置的图。

[0044] 参考图1,储能系统1包括电池组10、开关20和电力转换系统30。

[0045] 电池组10包括正端子P+、负端子P-、单体组11和电池管理系统100。单体组11包括在正端子P+与负端子P-之间串联电连接的多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 。附图标记‘n’是指示电池单体的总数的2以上的自然数。在下文中,在提供多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 所共有的描述时,使用附图标记“BC”来指示电池单体。

[0046] 每个电池单体BC的正端子和负端子通过诸如汇流条的导体电耦合到另一电池单体BC。电池单体BC可以是锂离子电池单体。电池单体BC不限于特定类型并且包括能够被重复地充电的任何类型的电池单体。

[0047] 开关20被安装在电池组10的电力线PL上。当开关20接通时,从电池组10和电力转换系统30中的任何一个到另一个的电力转移是可能的。可以将开关20实现为诸如继电器和场效应晶体管(FET)的公知开关器件中的至少一个。控制单元140可以根据单体组11的状况来控制开关20的接通/断开。

[0048] 电力转换系统30通过上级控制器2可操作地耦合到电池管理系统100。可操作地耦合是指直接/间接连接以在一个或两个方向上发送和接收信号。电力转换系统30可以从由电网40供应的交流电力产生用于对单体组11充电的直流电力。电力转换系统30可以从来自电池组10的直流电力产生交流电力。

[0049] 电池管理系统100包括电压测量电路110和控制单元140。电池管理系统100还可以包括电流传感器120、温度传感器130或接口单元150中的至少一个。

[0050] 电压测量电路110被设置为可电连接到每个电池单体BC的正端子和负端子。电压测量电路110被配置成测量跨每个电池单体BC的电压并且向控制单元140输出指示所测量的电压的信号。

[0051] 电流传感器120通过电力线PL串联电连接到单体组11。例如,可以将分流电阻器或霍尔效应器件用作电流传感器120。电流传感器120被配置成测量流过单体组11的电流,并且向控制单元140输出指示所测量的电流的信号。

[0052] 温度传感器130布置在距单体组11的预定距离范围内。例如,可以将热电偶用作温度传感器130。温度传感器130被配置成测量单体组11的温度,并且向控制单元140输出指示所测量的温度的信号。

[0053] 控制单元140可操作地耦合到开关20、电压测量电路110、电流传感器120、温度传感器130和/或接口单元150。

[0054] 控制单元140可以使用专用集成电路(ASIC)、数字信号处理器(DSP)、数字信号处

理器件 (DSPD)、可编程逻辑器件 (PLD)、现场可编程门阵列 (FPGA)、微处理器或用于执行其他功能的电气单元中的至少一个来在硬件中实现。

[0055] 控制单元140可以具有嵌入在其中的存储器。存储器可以预先存储执行如下所述的根据实施例的电池管理方法所必需的各种程序和数据。存储器可以包括例如以下各项的至少一种类型的存储介质:闪速存储器类型、硬盘类型、固态硬盘 (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)、电可擦除可编程只读存储器 (EEPROM) 或可编程只读存储器 (PROM)。

[0056] 接口单元150可以耦合到储能系统1的上级控制器2以实现通信。接口单元150可以发送从上级控制器2到控制单元140的消息和从控制单元140到上级控制器2的消息。来自控制单元140的消息可以包括用于通知每个电池单体BC的异常的信息。接口单元150与上级控制器2之间的通信可以使用例如诸如局域网 (LAN)、控制器区域网络 (CAN) 和菊花链的有线网络和/或诸如Bluetooth、Zigbee和Wi-Fi的近场无线网络。接口单元150可以包括输出设备 (例如,显示器、扬声器) 来以可识别格式提供从控制单元140和/或上级控制器2接收到的信息。上级控制器2可以基于通过与电池管理系统100通信收集的单体信息 (例如,每个电池单体的单体电压、电流、温度、SOC、异常) 来控制电力转换系统30。

[0057] 控制单元140可以执行用于检测多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 的异常的诊断模式。可以将控制单元140执行诊断模式期间的时段称为“诊断时段”。控制单元140可以在单体组11被保持在预定可诊断状态 (例如,休止状态、恒定电流充电状态、恒定电压充电状态) 下的同时执行诊断模式。

[0058] 图2是示例性地示出电池单体的单体电压随着时间的变化的曲线图,并且图3是在描述作为指示图2所示的电池单体的电压历史的数据集的示例性观察矩阵时参考的图。

[0059] 控制单元140基于来自电压测量电路110的电压信号以预设时间间隔确定多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 中的每一个的单体电压的电压值,并且将所确定的电压值记录在存储器中。如下所述,预设时间间隔可以等于异常检测时段 (定时) 的时间长度。

[0060] 控制单元140使用具有预定大小的移动窗口200确定观察矩阵X,该观察矩阵X包括多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$,该多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 指示在移动窗口200中以预设时间间隔测量的多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 中的每一个的单体电压的变化。移动窗口200的大小可以由控制单元140预设或可调整。

[0061] 在移动窗口200中,电池单体BC的单体电压可以由电压测量电路110按时间序列测量m次 (m是2以上的自然数),并且所测量的单体电压可以由控制单元140记录在存储器中。例如,当移动窗口200的大小=200秒并且时间间隔=1秒时,m=200,因此每个电池单体BC的单体电压在移动窗口200中被测量200次。

[0062] 参考图2,曲线210示例性地示出多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 当中的第j电池单体 BC_j 的单体电压随着时间的变化。在图2中, t_1 和 t_m 分别是移动窗口200的开始时间点和结束时间点。曲线210可以基于当第j电池单体 BC_j 处于有缺陷状态时测量的单体电压。有缺陷状态可以是例如触发诸如内部短路的单体电压的异常行为的状态。

[0063] 在下文中,将在第j电池单体 BC_j 的基础上描述根据本公开的异常检测操作。第j电池单体 BC_j 的描述可以共同适用于多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 的剩余电池单体BC。

[0064] 参考图3,观察矩阵X是包括m行和n列的 $m \times n$ 矩阵。在下文中,为了描述的方便,假

定 m 大于 n , i 是1以上且 m 以下的自然数, 并且 j 是1以上且 n 以下的自然数。

[0065] 观察矩阵 X 的 n 个列向量可以按一对一关系对应于多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 。也就是说, 多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 中的每一个是具有 m 个元素(所测量的单体电压)的观察矩阵 X 的列向量。第 j 观察电压向量 X_j 是在移动窗口200中测量 m 次的第 j 电池单体 BC_j 的单体电压的时间序列数组, 即, 第 j 电池单体 BC_j 的所测量的单体电压的时间序列。第 j 观察电压向量 X_j 可以是观察矩阵 X 的第 j 列向量。参考图2, 在观察矩阵 X 中, “ x_{ij} ”是指示在移动窗口200中的第 i 时间测量的第 j 电池单体 BC_j 的单体电压的元素(可以被称为“数据”或“分量”)。也就是说, x_{ij} 可以是索引到移动窗口200的第 i 测量时间的第 j 电池单体 BC_j 的所测量的单体电压。

[0066] 控制单元140可以使用矩阵分解从观察矩阵 X 中提取第一子矩阵 A 、第二子矩阵 B 和第三子矩阵 C^T 。矩阵分解算法可以包括例如奇异值分解(SVD)和主分量分析(PCA)。在本说明书中, 在矩阵右侧的上标“ T ”指示转置矩阵。如所示, 将第一子矩阵 A 、第二子矩阵 B 和第三子矩阵 C^T 相乘的乘积等于观察矩阵 X 。

[0067] 第一子矩阵 A 是 $m \times m$ 矩阵。第二子矩阵 B 是 $m \times n$ 矩阵。第三子矩阵 C^T 是 $n \times n$ 矩阵。

[0068] 第一子矩阵 A 是正交矩阵, 并且包括多个主分量向量 $A_1 \sim A_m$ 。多个主分量向量 $A_1 \sim A_m$ 中的每个主分量向量可以被称为“左奇异向量”, 并且可以是具有 m 个元素的第一子矩阵 A 的列向量。也就是说, 可以将第一子矩阵 A 表达如下。

[0069] $A = [A_1 \ A_2 \ \dots \ A_m], A_i = [a_{1i} \ a_{2i} \ \dots \ a_{mi}]^T$

[0070] 在多个主分量向量 $A_1 \sim A_m$ 当中, 主分量向量 $A_1 \sim A_n$ 指示观察矩阵 X 的方差信息。多个主分量向量 $A_1 \sim A_m$ 的剩余主分量向量 $A_{n+1} \sim A_m$ 在描述观察向量 X 的方差信息时可能是多余的。第 j 主分量向量 A_j 对应于观察矩阵 X 的元素的方差为第 j 最大方差的轴向方向。也就是说, 当观察矩阵 X 的元素被映射到多个主分量向量 $A_1 \sim A_m$ 中的每一个的轴线上一次时, 沿着第 j 主分量向量 A_j 的轴线的观察矩阵 X 的元素的方差可以是第 j 最大方差。

[0071] 随着第 j 主分量向量 A_j 的方差的幅度越大, 指示第 j 主分量向量 A_j 对于观察矩阵 X 的元素的分布具有更大的描述因子。随着第 j 主分量向量 A_j 的描述因子增加, 第 j 主分量向量 A_j 包含与多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 在移动窗口200中的公共电压行为特性(例如, 正常电压行为特性)相关联的更大量的信息。相反, 随着第 j 主分量向量 A_j 的方差的幅度越小, 描述因子越低, 也就是说, 第 j 主分量向量 A_j 包含与噪声特性(例如, 有缺陷状态)相关联的更大量的信息。

[0072] 第二子矩阵 B 是对角线矩阵, 并且包括多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 作为主对角线的元素。也就是说, 可以将第二子矩阵 B 表达如下。

[0073] $B = [B_1 \ B_2 \ \dots \ B_n], B_j = [b_{1j} \ b_{2j} \ \dots \ b_{mj}]^T$

[0074] 其中 $i \neq j, b_{ij}$ 是0。 b_{jj} 是第 j 奇异值。

[0075] 也就是说, 第二子矩阵 B 的总共 $m \times n$ 个元素当中的除了主对角线的 n 个元素之外的元素的值是0。第二子矩阵 B 的奇异值 b_{jj} 指示第 j 主分量向量 A_j 的描述因子。多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 可以满足以下关系: $b_{11} \geq b_{22} \geq \dots \geq b_{nn} \geq 0$ 。也就是说, 多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 可以被称为降序的第一奇异值至第 n 奇异值, 并且 b_{jj} 可以是多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 当中的第 j 最大奇异值。

[0076] 多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 指示多个主分量向量 $A_1 \sim A_n$ 的描述因子信息。

[0077] 第三子矩阵 C^T 是正交矩阵, 并且包括多个系数向量 $C_1^T \sim C_n^T$ 。多个系数向量 $C_1^T \sim C_n^T$

中的每一个可以被称为“右奇异向量”，并且可以是具有n个分量的第三子矩阵 C^T 的行向量。可以将第三子矩阵 C^T 表达如下。

$$[0078] \quad C^T = [C_1 \ C_2 \ \dots \ C_n]^T = [C_1^T; C_2^T; \dots; C_n^T]$$

[0079] 多个系数向量 $C_1^T \sim C_n^T$ 指示多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 对多个主分量向量 $A_1 \sim A_n$ 的依赖性信息。也就是说，第j电池单体 BC_j 的单体电压受多个主分量向量 $A_1 \sim A_n$ 当中的第j主分量向量 A_j 影响的程度由第j系数向量 C_j^T 设置。

[0080] 观察矩阵X可以等于将第一子矩阵A、第二子矩阵B和第三子矩阵 C^T 相乘的乘积，并且满足以下等式1的关系。

[0081] <等式1>

$$[0082] \quad X = [X_1 \ X_2 \ \dots \ X_n] = \sum_{j=1}^n (b_{jj} \times A_j \times C_j^T)$$

[0083] 在等式1中， A_j 被视为 $(m \times 1)$ 矩阵，并且 C_j^T 被视为 $(1 \times n)$ 矩阵。

[0084] 控制单元140基于多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 确定按一对一关系与多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 相对应的多个恢复电压向量 $X_1' \sim X_n'$ 。

[0085] 具体地，控制单元140从多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 中选择满足(一个或多个)预定恢复条件的1以上且小于n的奇异值的数目。恢复条件用于获到n个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 当中要用于近似(恢复)观察矩阵X的至少一个奇异值。恢复条件可以如下。

[0086] (1) 降序的多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 当中的奇异值的阈值数目

[0087] 例如，当阈值数目是作为小于n的自然数的r时，可以从多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 中选择奇异值 $b_{11} \sim b_{rr}$ 。

[0088] (2) 与多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 的总和的比率(描述因子)等于或大于第一阈值比率(例如，0.04)的奇异值

[0089] 例如，k是小于n的自然数，其中 $u = k + 1$ ， $b_{kk} / (b_{11} + b_{22} + \dots + b_{nn}) \geq$ 第一阈值比率 $> b_{uu} / (b_{11} + b_{22} + \dots + b_{nn})$ ，可以选择奇异值 $b_{11} \sim b_{kk}$ 。

[0090] (3) 降序的多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 的部分和与多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 的总和的比率等于或大于第二阈值比率(例如，0.997)

[0091] 例如，q是小于n且2以上的自然数，其中 $p = q - 1$ ， $(b_{11} + b_{22} + \dots + b_{pp} + b_{qq}) / (b_{11} + b_{22} + \dots + b_{nn}) \geq$ 第二阈值比率 $> (b_{11} + b_{22} + \dots + b_{pp}) / (b_{11} + b_{22} + \dots + b_{nn})$ ，可以选择奇异值 $b_{11} \sim b_{qq}$ 。

[0092] 当满足上述恢复条件(1)、(2)和(3)中的至少一个的至少一个奇异值被选择时，控制单元140可以通过使用所选择的奇异值的集合来近似多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ ，以确定多个恢复电压向量 $X_1' \sim X_n'$ 。

[0093] 在选择满足(一个或多个)恢复条件的奇异值之前，控制单元140可以计算多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 的最大值 b_{11} 与最小值 b_{nn} 的比率。当最大值 b_{11} 与最小值 b_{nn} 的比率小于预定比率(例如，200%)时，控制单元140可以输出指示恢复不可能情形的错误消息。恢复不可能情形是在多个主分量向量 $A_1 \sim A_n$ 之间的描述因子方面没有显式差异的情形。也就是说，在恢复不可能情形下，多个主分量向量 $A_1 \sim A_n$ 中没有一个足够地包括与多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 的公共电压行为特性相关联的信息。恢复不可能情形的原因可以是例如电压测量电路的故障以及在多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 当中超过预定比率的数目的电池单体BC的异常。

[0094] 当最大值 b_{11} 与最小值 b_{nn} 的比率小于预定比率时,控制单元140可以在下一个循环中将移动窗口200的大小增加预定时间。增加移动窗口200的大小的原因是为了在观察向量 X 中足够地反映多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 的公共电压行为特性。

[0095] 在下文中,当 w 是小于 n 的自然数时,假定通过(一个或多个)恢复条件从多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 中选择奇异值 $b_{11} \sim b_{ww}$ 。从多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 中选择的奇异值 $b_{11} \sim b_{ww}$ 中的每一个可以被称为感兴趣奇异值。多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 当中、除了感兴趣奇异值之外的剩余奇异值是多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 的公共电压行为特性不太相关的奇异值。

[0096] 图4是在描述作为恢复图3的观察矩阵的结果的示例性恢复矩阵时参考的图,图5是在描述由观察矩阵指示的电压变化和由恢复矩阵指示的电压变化时参考的图,并且图6是在描述图5所示的观察矩阵与恢复矩阵之间的误差时参考的图。

[0097] 参考图4,控制单元140可以基于感兴趣奇异值 $b_{11} \sim b_{ww}$ 将第一子矩阵 A 、第二子矩阵 B 和第三子矩阵 C^T 变换成第一近似矩阵 A' 、第二近似矩阵 B' 和第三近似矩阵 C'^T 。

[0098] 第一近似矩阵 A' 是包括第一子矩阵 A 的第一至第 w 主分量向量 $A_1 \sim A_w$ 中的每一个作为列向量的 $m \times w$ 矩阵。也就是说,第一近似矩阵 A' 是从第一子矩阵 A 中去除主分量向量 $A_{w+1} \sim A_n$ 的结果。

[0099] 第二近似矩阵 B' 是包括感兴趣奇异值 $b_{11} \sim b_{ww}$ 作为主对角线分量的 $w \times w$ 矩阵。也就是说,第二近似矩阵 B' 是将第二子矩阵 B 的除了感兴趣奇异值 $b_{11} \sim b_{ww}$ 之外的剩余主对角线分量改变为0的结果。

[0100] 第三近似矩阵 C'^T 是包括第三子矩阵 C^T 的第一至第 w 系数向量 $C_1^T \sim C_w^T$ 中的每一个作为行向量的 $w \times n$ 矩阵。也就是说,第三近似矩阵 C'^T 是从第三子矩阵 C^T 中去除行向量 $C_{w+1}^T \sim C_n^T$ 的结果。

[0101] 控制单元140可以基于第一近似矩阵 A' 、第二近似矩阵 B' 和第三近似矩阵 C'^T 确定多个恢复电压向量 $X_1' \sim X_n'$ 。具体地,控制单元140可以通过将第一近似矩阵 A' 、第二近似矩阵 B' 和第三近似矩阵 C'^T 相乘来确定恢复矩阵 X' 。恢复矩阵 X' 是使用仅第一至第 m 主分量向量 $A_1 \sim A_m$ 当中的与感兴趣奇异值 $b_{11} \sim b_{ww}$ 相对应的第一至第 w 主分量向量 $A_1 \sim A_w$ 来恢复观察矩阵 X 的结果。

[0102] 恢复矩阵 X' 是 $m \times n$ 矩阵,并且包括多个恢复电压向量 $X_1' \sim X_n'$ 作为列向量。恢复矩阵 X' 可以满足以下等式2的关系。

[0103] <等式2>

$$[0104] \quad X' = [X_1' \ X_2' \ \dots \ X_n'] = \sum_{j=1}^w (b_{jj} \times A_j \times C_j^T)$$

[0105] 在等式2中, A_j 被视为 $(m \times 1)$ 矩阵,并且 C_j^T 被视为 $(1 \times n)$ 矩阵。

[0106] 控制单元140基于彼此对应的观察电压向量 X_j 和恢复电压向量 X_j' 来检测第 j 电池单体 BC_j 的异常。

[0107] 参考图5,曲线510指示第 j 电池单体 BC_j 的单体电压随着时间的变化,并且等于图2的曲线210。曲线520指示由恢复电压向量 X_j' 指示的第 j 电池单体 BC_j 的单体电压随着时间的变化。

[0108] 控制单元140可以确定按一对一关系与第一至第 n 电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 相对应的第一

至第n绝对误差向量。第j绝对误差向量对应于第j观察电压向量 X_j 与第j恢复电压向量 X_j' 之间的差。图6的曲线610指示第j绝对误差向量。也就是说,曲线610指示曲线510与曲线520之间的差随着时间的变化。

[0109] 第j绝对误差向量610包括第一至第m电压差 $\Delta V_{1j} \sim \Delta V_{mj}$ 中的每一个作为分量。第i电压差 ΔV_{ij} 是 $x_{ij} - x_{ij}'$,即,观察电压向量 X_j 的第i元素 x_{ij} 与恢复电压向量 X_j' 的第i元素 x_{ij}' 之间的差。第i元素 x_{ij} 指示在移动窗口200中的第i时间测量的第j电池单体 BC_j 的单体电压。第i元素 x_{ij}' 指示第i元素 x_{ij} 的恢复结果。

[0110] 控制单元140可以基于第一至第n绝对误差向量确定移动窗口200中单体电压的每测量定时的相对误差范围 R_2 。

[0111] 在每个测量定时(例如,时间点 t_i)中,相对误差范围 R_2 的中值可以是索引到所对应的测量定时的第一至第n绝对误差向量的元素的平均值。相对误差范围 R_2 的上限可以通过将第一至第n绝对误差向量的元素的标准偏差乘以预定权重(例如,3)的乘积加到中值所获得的值。相对误差范围 R_2 的下限可以通过从中值减去将第一至第n绝对误差向量的分量的标准偏差乘以预定权重(例如,3)的乘积所获得的值。例如,假定权重=3,并且 σ_i 是被索引到时间点 t_i 的第一至第n绝对误差向量的分量的标准偏差。在时间点 t_i ,相对误差范围 R_2 的中值= $(\Delta V_{i1} + \Delta V_{i2} + \dots + \Delta V_{in})/n = \Delta V_i$,相对误差范围 R_2 的上限= $\Delta V_i + 3\sigma_i$,并且相对误差范围 R_2 的下限= $\Delta V_i - 3\sigma_i$ 。

[0112] 控制单元140可以通过将第j绝对误差向量的每个元素与预定绝对误差范围 R_1 或相对误差范围 R_2 中的至少一个进行比较来确定第j电池单体 BC_j 是否有缺陷。

[0113] 在示例中,当第j绝对误差向量的第一至第m元素 $\Delta V_{1j} \sim \Delta V_{mj}$ 中的至少一个在绝对误差范围 R_1 之外时,控制单元140可以检测到第j电池单体 BC_j 有缺陷。可以考虑电压测量电路110的电压分辨率将绝对误差范围 R_1 预设为 $-1.0 \sim 1.0\text{mV}$ 。

[0114] 在另一示例中,当第j绝对误差向量的第一至第m元素 $\Delta V_{1j} \sim \Delta V_{mj}$ 中的至少一个在相对误差范围 R_2 之外时,控制单元140检测到第j电池单体 BC_j 有缺陷。

[0115] 在再一示例中,当第j绝对误差向量的第一至第m元素 $\Delta V_{1j} \sim \Delta V_{mj}$ 中的至少一个同时在绝对误差范围 R_1 和相对误差范围 R_2 之外时,控制单元140可以检测到第j电池单体 BC_j 有缺陷。

[0116] 当检测到至少一个电池单体BC的异常时,控制单元140可以执行预定保护操作。例如,当确定第j电池单体 BC_j 有缺陷时,控制单元140可以断开开关20。

[0117] 图7是示例性地示出根据本公开第一实施例的电池管理方法的流程图。可以以预定时间间隔重复图7的方法。

[0118] 参考图1至图7,在步骤S710中,控制单元140确定包括多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 的观察矩阵X。多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 指示多个电池单体 $BC_1 \sim BC_n$ 中的每一个在具有预定大小的移动窗口200中的电压历史。

[0119] 在步骤S720中,控制单元140使用矩阵分解算法来从观察矩阵X中提取包括多个主分量向量 $A_1 \sim A_m$ 的第一子矩阵A、包括指示多个主分量向量 $A_1 \sim A_m$ 中的每个的描述因子的多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 的第二子矩阵B、以及包括多个系数向量 $C_1^T \sim C_n^T$ 的第三子矩阵 C^T 。也就是说,控制单元140通过将矩阵分解算法应用于观察矩阵X来以第一子矩阵A、第二子矩阵B和第三子矩阵 C^T 的乘法的形式分解观察矩阵X。

[0120] 在步骤S730中,控制单元140选择第二子矩阵B的多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 中的至少一个。奇异值的选择可以使用上述恢复条件中的至少一个。

[0121] 在步骤S740中,控制单元140基于至少一个选择的奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 分别将第一子矩阵A、第二子矩阵B和第三子矩阵 C^T 变换成第一近似矩阵A'、第二近似矩阵B'和第三近似矩阵 C'^T 。

[0122] 在步骤S750中,控制单元140通过将第一近似矩阵A'、第二近似矩阵B'和第三近似矩阵 C'^T 相乘来确定包括按一对一关系与多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 相对应的多个恢复电压向量 $X'_1 \sim X'_n$ 的恢复矩阵X'。

[0123] 在步骤S760中,控制单元140确定指示多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 与多个恢复电压向量 $X'_1 \sim X'_n$ 之间的差的多个绝对误差向量。多个绝对误差向量按一对一关系对应于多个观察电压向量 $X_1 \sim X_n$ 。

[0124] 在步骤S762中,控制单元140基于多个绝对误差向量确定相对误差范围 R_2 。由于每个绝对误差向量具有m个元素,所以控制单元140可以确定与每个绝对误差向量的m个元素相对应的m个相对误差范围 R_2 ,即,相对误差范围 R_2 的向量。可以从图7的方法中选择性地省略步骤S762。

[0125] 在步骤S770中,控制单元140确定每个绝对误差向量的至少一个元素是否在预定绝对误差范围 R_1 和/或相对误差范围 R_2 之外。步骤S770的值为“是”指示至少一个电池单体BC被检测为有缺陷。例如,由于如图6所示在移动窗口200中的时间点 t_{ij} 第j绝对误差向量610的元素 ΔV_{ij} 在绝对误差范围 R_1 和相对误差范围 R_2 两者之外,所以控制单元140可以确定第j电池单体BC_j有缺陷。

[0126] 在步骤S780中,控制单元140激活预定保护操作。在示例中,控制单元140断开开关20。在另一示例中,控制单元140输出指示被检测为有缺陷的每个电池单体BC的信息(例如,标识号)的诊断消息。接口单元150可以将诊断消息发送到上级控制器2或者输出与诊断消息相对应的视觉信息和/或听觉信息。

[0127] 图8是示例性地示出根据本公开的第二实施例的电池管理方法的流程图。

[0128] 在图8的方法中,步骤S810至S880与图7的步骤S710至S780相同,并且省略冗余描述。

[0129] 图8的方法与图7的方法不同是因为图8的方法还包括步骤S822和S824。

[0130] 在步骤S822中,控制单元140确定多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 的最大比率是否等于或大于预设比率。最大比率是多个奇异值 $b_{11} \sim b_{nn}$ 当中的最大值 b_{11} 与最小值 b_{nn} 的比率。步骤S822的值为“否”指示在多个主分量向量 $A_1 \sim A_n$ 当中不存在具有足够大以在从观察矩阵X到恢复矩阵X'的电压恢复中使用的描述因子的主分量向量。当步骤S822的值为“否”时,方法移动到步骤S824。当步骤S822的值为“是”时,方法移动到步骤S830。

[0131] 在步骤S824中,控制单元140输出错误消息。错误消息指示多个观察电压向量中的恢复不可能情形。接口单元150可以将错误消息发送到上级控制器2或者输出与错误消息相对应的视觉信息和/或听觉信息。

[0132] 在上文中描述的本公开的实施例不仅通过装置和方法来实现,而且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,并且本领域的技术人员可以根据先前描述的实施例的公开内容容易地实现此类实现方式。

[0133] 虽然已在上文中关于有限数目的实施例和附图描述了本公开,但是本公开不限于此,并且对本领域的技术人员而言明显的是,可以在本公开的技术方面和所附权利要求的等效范围内对其做出各种修改和改变。

[0134] 附加地,由于本领域的技术人员可以在不脱离本公开的技术方面的情况下对在上文中描述的本公开做出许多替换、修改和改变,所以本公开不受上述实施例和附图限制,并且可以选择性地组合一些或所有实施例以允许各种修改。

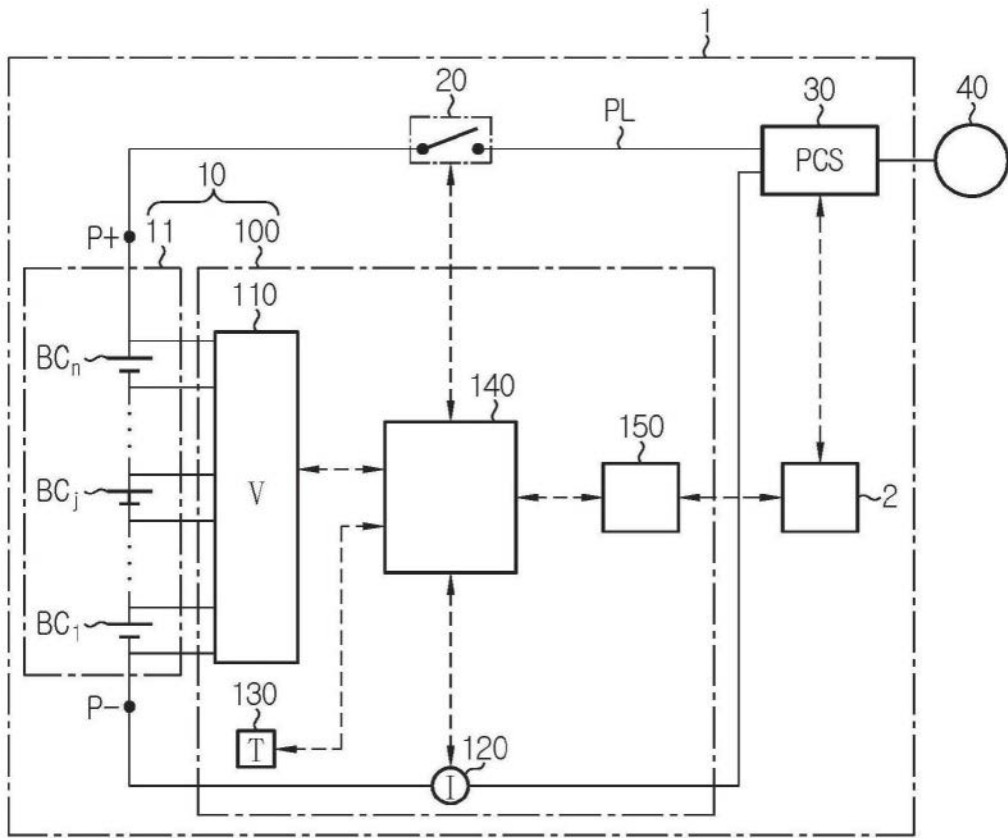


图1

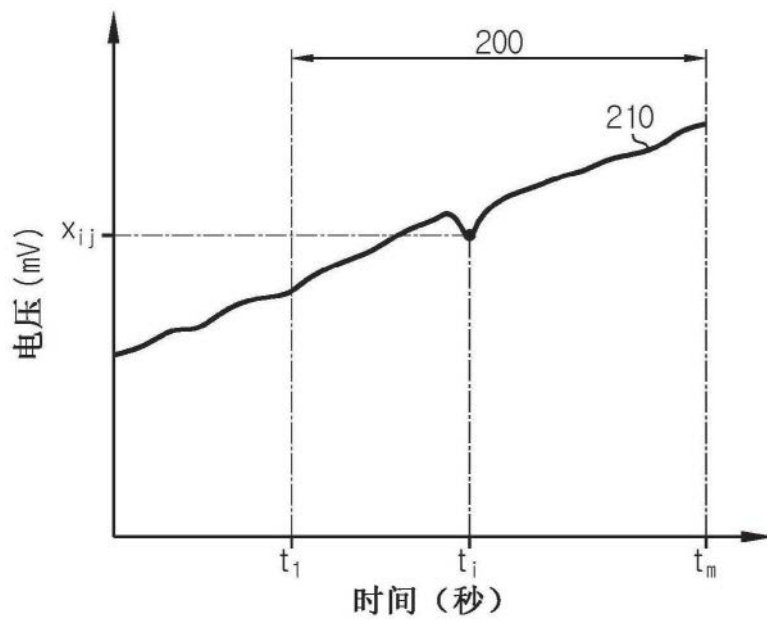


图2

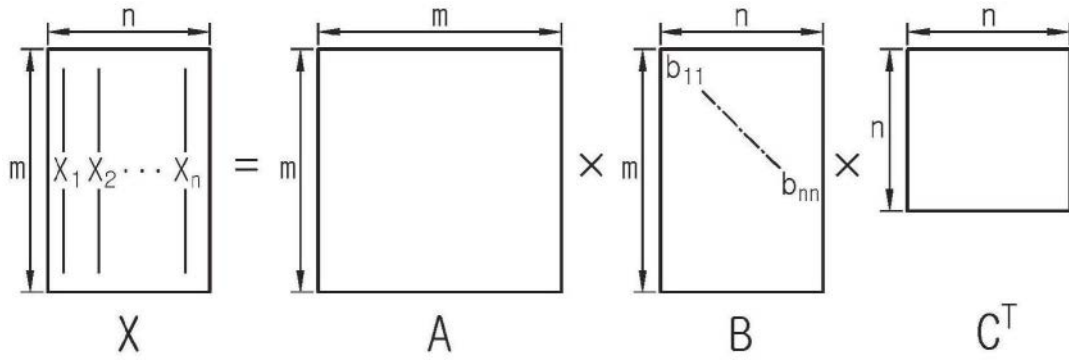


图3

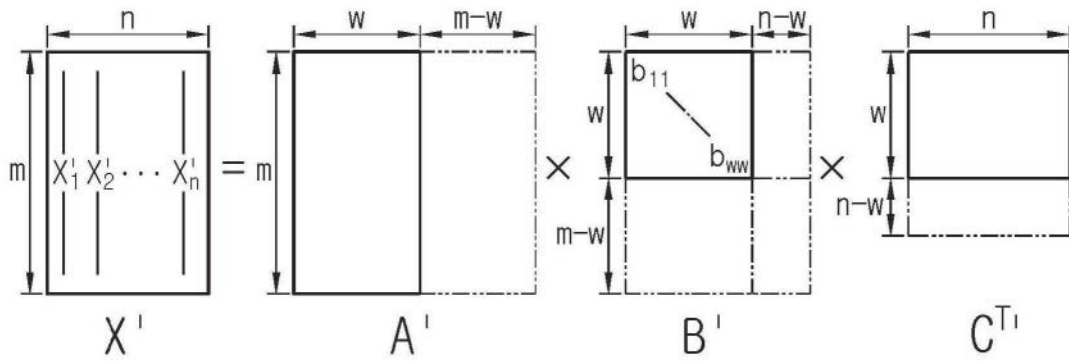


图4

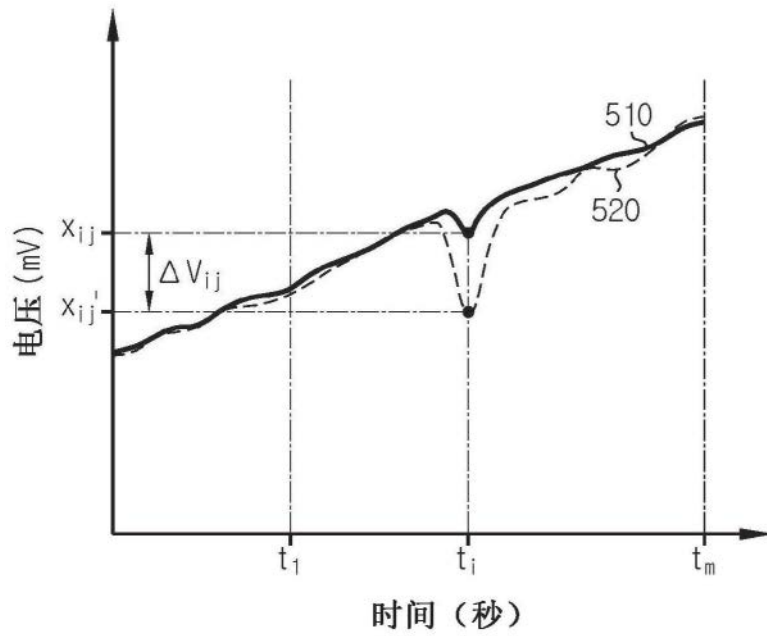


图5

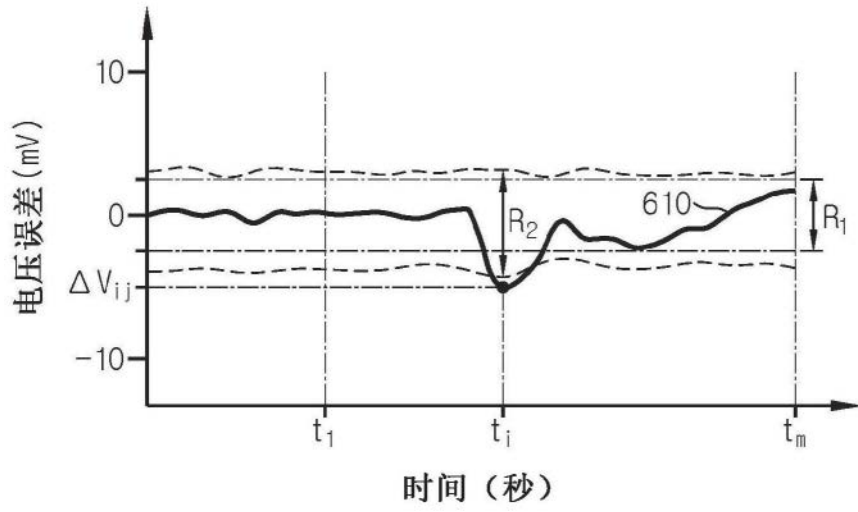


图6

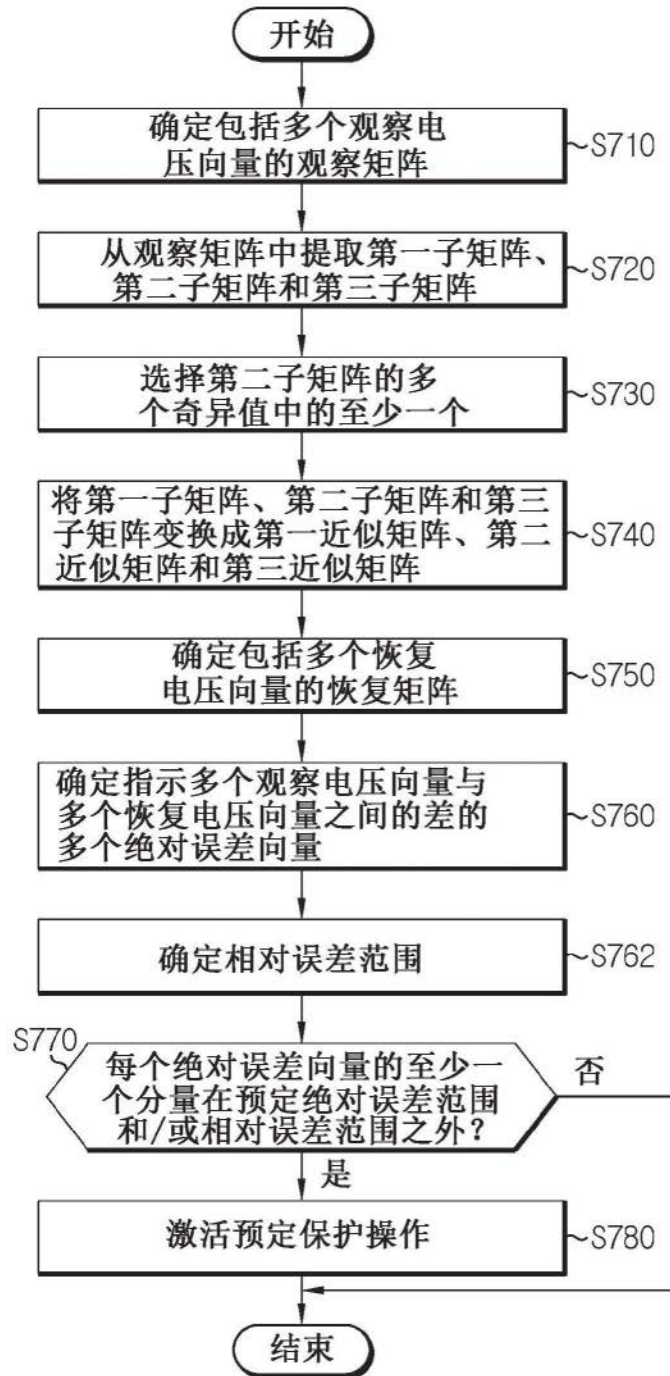


图7

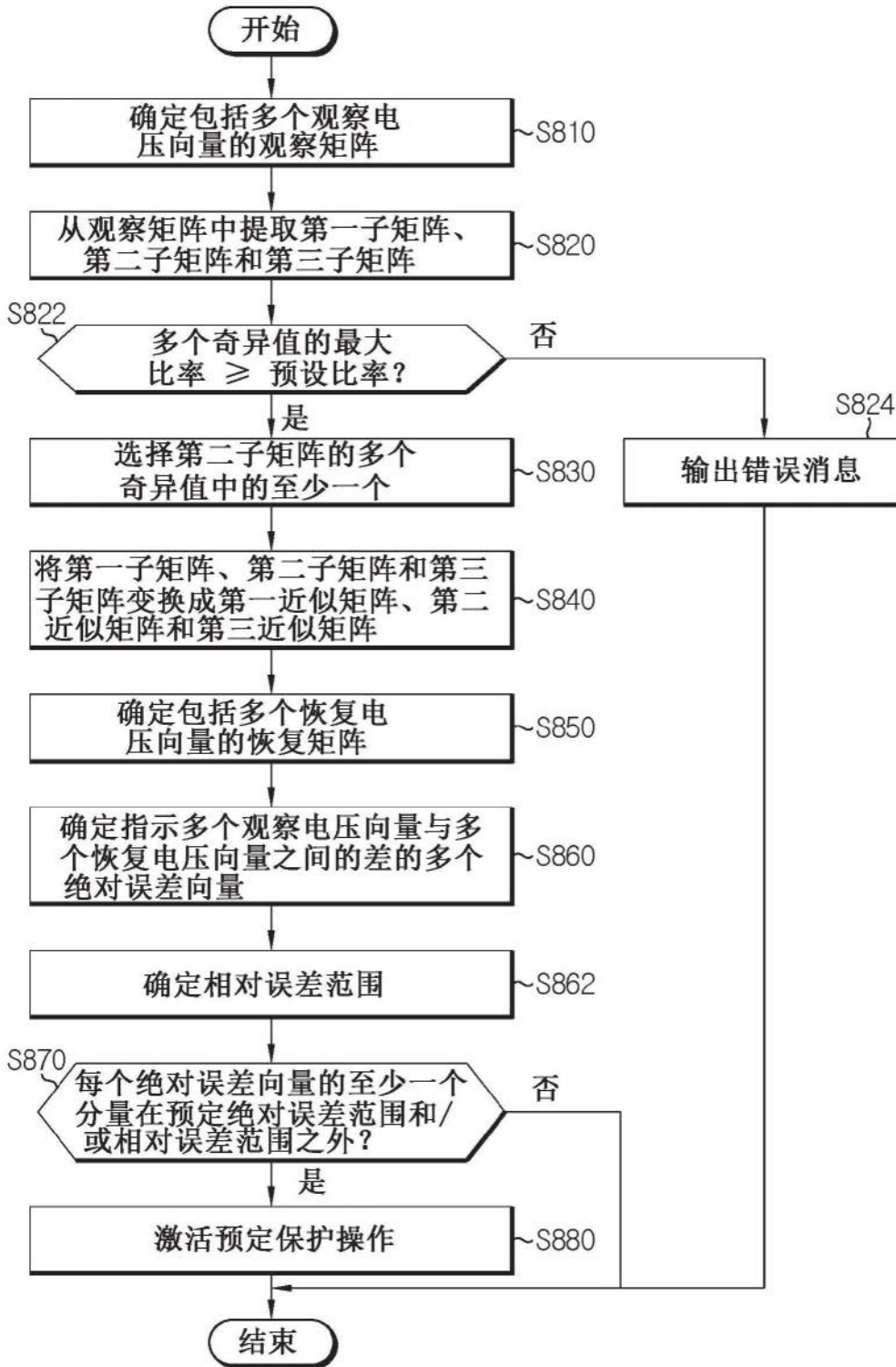


图8