

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **044214**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.07.31**

(51) Int. Cl. **H01M 8/18 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**202390770**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.08.17**

---

(54) **СПОСОБ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПРОТОЧНОЙ БАТАРЕИ**

---

(31) **10 2020 123 170.9**

(56) EP-A1-3790148  
DE-A1-102016125720  
JP-A-2001292532

(32) **2020.09.04**

(33) **DE**

(43) **2023.05.02**

(86) **PCT/EP2021/072826**

(87) **WO 2022/048904 2022.03.10**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ФОЙТ ПАТЕНТ ГМБХ (DE)**

(72) Изобретатель:  
**Лют Томас (DE)**

(74) Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

---

(57) Предложен способ мониторинга состояния системы окислительно-восстановительной проточной батареи, при этом система батареи содержит по меньшей мере два последовательно включенных батарейных модуля (1), и при этом способ включает в себя следующие этапы: S1: исключение по меньшей мере одного батарейного модуля (1) из последовательной цепи; S2: разряд, по меньшей мере, частичного объема электролита исключенного из последовательной цепи на этапе S1 батарейного модуля (1), при этом многократно регистрируется разность потенциалов, и причем эта разность потенциалов образуется между первым потенциалом отрицательного электролита и вторым потенциалом положительного электролита упомянутого по меньшей мере одного исключенного батарейного модуля (1); S3: определение SoH исключенного из последовательной цепи на этапе S1 по меньшей мере одного батарейного модуля (1) по зарегистрированным на этапе S3 значениям разности потенциалов.

**B1**

**044214**

**044214**  
**B1**

Изобретение относится к способу эксплуатации системы окислительно-восстановительной проточной батареи, в частности на основе ванадия. Изобретение относится, в частности, к системе окислительно-восстановительной проточной батареи с высоким выходным напряжением. Способ эксплуатации касается мониторинга состояния системы батареи в отношении степени работоспособности (англ. State of Health - SoH).

Чтобы получить высокое выходное напряжение у систем окислительно-восстановительных проточных батарей, обычно несколько ячеек включают электрически последовательно. Эта компоновка называется пакетом. Но это не может продолжаться сколь угодно, так как иначе обусловленный электролитом шунтирующий ток становился бы неприемлемо высоким. Однако выходное напряжение можно повысить еще больше, когда несколько пакетов включаются последовательно, при этом каждый пакет располагает отдельным резервуарным устройством. Такой узел из пакета и относящегося к нему отдельного резервуарного устройства называется батарейным модулем. Последовательная цепь из нескольких батарейных модулей традиционно называется цепью. Итак, изобретение относится к системе батареи, которая включает в себя несколько батарейных модулей, причем эта система батареи выполнена так, что во время заряда и разряда системы батарейные модули включены последовательно, т.е. образуют цепь.

На SoH системы окислительно-восстановительной проточной батареи могут оказывать негативное влияние разные эффекты. Неравновесие электролита, которое заключается в неравной концентрации ионов в отрицательном и положительном электролитах, может негативно влиять на SoH. Такое неравновесие описывается, как правило, так называемой средней степенью окисления (англ. average oxidation state - AOS). AOS, которая отличается от +3,5, обладает таким неравновесием. Такое неравновесие может существовать уже с начала эксплуатации или увеличиваться в ходе эксплуатации. Последнее может быть вызвано окислением ванадия, другими химическими побочными реакциями, а также переходом (англ. "crossover") на мембранах пакета. Такое неравновесие электролита также часто называется смещением электролита. Другая возможность неравновесия электролита заключается в том, что объем отрицательного электролита может отличаться от объема положительного электролита. При этом такое отличие может иметь весь объем электролита батарейного модуля и/или находящийся в ячейках объем электролита. В последнем случае причиной может быть, например, воздушный пузырь в одной или нескольких ячейках. Обусловленное различным объемом электролита неравновесие также может со временем увеличиваться.

Из уровня техники известно, что смещение электролита может обнаруживаться с помощью НХХ-ячейки и сравнительной ячейки (или, соответственно, трех полуячеек).

При этом НХХ означает так называемое напряжение холостого хода (англ. "open circuit voltage", OCV) (см. ниже). Однако при этом возникают проблемы, которые вызваны возможно ограниченной долговременной стабильностью сравнительной ячейки (см. WO 2018/237181 A1). Кроме того, обусловленное различным объемом электролита неравновесие не может обнаруживаться с помощью сравнительных ячеек.

Кроме того, был описан способ, при котором определялось неравновесие электролита при первоначальном заряде окислительно-восстановительной проточной батареи ("Electrolyte Imbalance Determination of a Vanadium Redox Flow Battery by Potential-Step Analysis of the Initial Charging", Kirstin Beyer, Jan grosse Austing, Barbara Satola, Timo Di Nardo, Marco Zobel, Carsten Agert in European Chemical Societies Publishing ChemSusChem 2020, 13, 2066-2071). При этом у смещенного электролита во время первого заряда могут обнаруживаться две отделенные друг от друга ступени потенциала, в то время как идеальный электролит имеет при этом только одну ступень потенциала. При этом временной промежуток между этими двумя ступенями потенциала является мерой SoH (см. прежде всего фиг. с 1 по 3).

Изобретатель поставил перед собой задачу предложить способ мониторинга состояния системы окислительно-восстановительной проточной батареи, который способен мониторить степень работоспособности системы батареи во время нормальной эксплуатации и при этом способен обнаруживать все описанные виды неравновесия электролита.

Задача решается согласно изобретению с помощью варианта осуществления, соответствующего независимому пункту формулы изобретения. Другие предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения содержатся в зависимых пунктах формулы изобретения.

Предлагаемые изобретением решения поясняются далее с помощью фигур. На фигурах, в частности, показано:

- фиг. 1 - батарейный модуль;
- фиг. 2 - система батареи в первом варианте осуществления;
- фиг. 3 - система батареи в другом варианте осуществления;
- фиг. 4 - система батареи в другом варианте осуществления;
- фиг. 5 - изменение во времени значений разности потенциалов;
- фиг. 6 - изменение во времени значений разности потенциалов;
- фиг. 7 - изменение во времени значений разности потенциалов.

На фиг. 1 с левой стороны показан в схематичном изображении батарейный модуль. Этот батарейный модуль обозначен позицией 1. Батарейный модуль включает в себя комплект ячеек, который обозначен позицией 2, и резервуарное устройство, которое обозначено позицией 3. Комплект 2 ячеек пред-

ставляет собой комплект из множества окислительно-восстановительных проточных ячеек, которые могут быть расположены любым образом. Например, речь могла бы идти об одном отдельном пакете ячеек, последовательной цепи из нескольких пакетов, параллельной цепи из нескольких пакетов или о комбинации последовательной и параллельной цепей из нескольких пакетов. Резервуарное устройство 3 служит для хранения электролита и для снабжения комплекта 2 ячеек электролитом. Для этого резервуарное устройство 3 включает в себя по меньшей мере два резервуара для отрицательного и положительного электролитов, систему труб для соединения резервуаров с комплектом 2 ячеек и насосы для нагнетания электролита. При этом на фигуре 1 показаны два отдельных насоса. С тем же успехом электролит мог бы нагнетаться насосом с двумя головками, т.е. двумя насосами, которые приводятся в движение одним общим двигателем. При этом резервуарное устройство 3 выполнено так, что оно может снабжать электролитом все ячейки комплекта 2 ячеек. То есть когда насосы нагнетают электролит, то он протекает через все ячейки комплекта 2 ячеек.

Изображенный на фиг. 1 батарейный модуль 1 включает в себя два измерительных устройства, которые обозначены позициями 4 и 5. При этом измерительное устройство, которое обозначено позицией 4, представляет собой измерительное устройство для определения так называемого напряжения холостого хода (англ. open circuit voltage - OCV). Значение НХХ является мерой состояния заряда батарейного модуля (англ. State of Charge, SoC). Измерительное устройство, которое обозначено позицией 5, является измерительным устройством для определения клеммного напряжения комплекта 2 ячеек и, вместе с тем, также батарейного модуля 1. При заряде или разряде батарейного модуля 1 клеммное напряжение отличается от напряжения холостого хода на напряжение, которое падает на внутреннем сопротивлении комплекта 2 ячеек. С помощью двух измерительных устройств 4 и 5 измеряется разность потенциалов, которая всегда образуется между первым потенциалом отрицательного электролита и вторым потенциалом положительного электролита. У НХХ-измерительного устройства 4 электроды, которые снимают названные потенциалы, находятся в измерительной ячейке, при этом соответствующие камеры, в которых находятся отрицательный и положительный электролиты, разделяются мембраной или сепаратором. У измерительного устройства 5 для определения клеммного напряжения электроды для снятия названных потенциалов находятся в соответствующих ячейках комплекта 2 ячеек. При этом образующаяся разность потенциалов зависит, конечно, от числа ячеек, которые включены последовательно между электродами для снятия потенциалов. Когда ток заряда или разряда не течет, клеммное напряжение во много раз больше потенциала, который снимается на НХХ-измерительном устройстве, при этом соответствующий коэффициент задается числом ячеек, включенных последовательно в комплекте 2 ячеек.

На правой стороне фиг. 1 показан символический способ изображения батарейного модуля 1. Этот символический способ изображения будет применяться далее.

На фиг. 2 в схематичном изображении показана система батареи в первом варианте осуществления. Эта система батареи включает в себя по меньшей мере два батарейных модуля, один из которых обозначен позицией 1, двунаправленный преобразователь (англ. bidirectional power conversion system - PCS), который обозначен позицией 6, и устройство управления, которое обозначено позицией 8. Батарейные модули 1 включены последовательно и соединены с преобразователем 6. На фиг. 2 изображены четыре батарейных модуля, при этом штриховые линии в последовательной цепи должны указывать на любое число дополнительных модулей. Преобразователь 6 отвечает за привязку системы батареи к сети или к вышестоящей электрической системе. Система батареи включает в себя также для каждого батарейного модуля 1 первый выключатель, один из которых обозначен позицией 9, и второй выключатель, один из которых обозначен позицией 10. Первые выключатели 9 расположены каждый последовательно с батарейными модулями 1, при этом, конечно, не существенно, с какой стороны от каждого батарейного модуля расположен соответствующий выключатель 9. Вторые выключатели 10 расположены каждый в обходной линии (байпасе) вокруг каждого батарейного модуля 1 и относящегося к нему первого выключателя 9. На фиг. 2 все выключатели 9 и 10 изображены в разомкнутом состоянии. Однако выключатели настраиваются устройством 8 управления так, что из каждой пары выключателей из первого и второго выключателя ровно один выключатель замкнут, а один выключатель разомкнут (попеременно разомкнут и замкнут). Т.е. пара выключателей имеет при этом ровно два состояния выключателей, причем в первом состоянии выключателей (первый выключатель 9 замкнут, а второй выключатель 10 разомкнут) соответствующий батарейный модуль 1 находится в последовательной цепи системы батареи, а во втором состоянии выключателей (первый выключатель 9 разомкнут, а второй выключатель 10 замкнут) соответствующий батарейный модуль 1 отделен от последовательной цепи системы батареи посредством обходной линии. При этом размыкание первого выключателя 9 при замкнутом выключателе 10 препятствует разряду модуля через обходную линию. Устройство 8 управления соединено с каждым батарейным модулем так, что оно может регистрировать результаты измерений измерительных устройств 4 и 5. Кроме того, устройство 8 управления соединено с каждым из выключателей 9 и 10 так, что оно может определять каждое состояние выключателей, чтобы включать в последовательную цепь или исключать из нее батарейные модули 1. Эти соединения могут также осуществляться беспроводным путем.

Показанная на фиг. 2 система представляет собой минимальную конфигурацию для осуществления предлагаемого изобретением способа эксплуатации. При этом следует упомянуть, что в большинстве

вариантов осуществления предлагаемого изобретением способа эксплуатации измеряется только клеммное напряжение батарейных модулей 1. Т.е. в этих вариантах осуществления не требуется, чтобы батарейные модули 1 включали в себя также измерительное устройство для регистрации НХХ.

На фиг. 3 показана предлагаемая изобретением система батареи в другом варианте осуществления. Эта система батареи включает в себя для каждого батарейного модуля 1 дополнительно другой, т.е. третий выключатель, один из которых обозначен позицией 11. Далее, система батареи включает в себя для каждого батарейного модуля 1 резистор, один из которых обозначен позицией 14. При этом третий выключатель 11 и резистор 14 расположены каждый в другой байпасной линии вокруг каждого батарейного модуля 1 так, что каждый батарейный модуль 1 замыкается накоротко через резистор 14, когда соответствующий третий выключатель 11 замыкается. Третьи выключатели 11 также приводятся в действие устройством 8 управления. С помощью компоновки по фиг. 3 каждый батарейный модуль может путем замыкания соответствующего третьего выключателя 11 селективно разряжаться через соответствующий резистор 14.

На фиг. 4 показана предлагаемая изобретением система батареи в другом варианте осуществления. Эта система батареи включает в себя дополнительный преобразователь, который обозначен позицией 7. Кроме того, система батареи включает в себя для каждого батарейного модуля дополнительно четвертый и пятый выключатели, которые обозначены позициями 12 и 13, и линии, причем эти дополнительные выключатели и линии соединены друг с другом и батарейными модулями так, что каждый батарейный модуль 1 отдельно может соединяться с дополнительным преобразователем 7. Причем и эти дополнительные выключатели 12 и 13 приводятся в действие устройством управления, которое на фиг. 4 в связи с недостатком площади не изображено. На фиг. 4 показаны также и другие выключатели, с помощью которых преобразователи 6 и 7 могут электрически отсоединяться каждый от остальной системы. Это может быть предпочтительно. При необходимости для каждого преобразователя может также применяться только один разъединитель. Такие выключатели могут находить применение и во всех других вариантах осуществления. Следует также упомянуть, что обозначения "четвертый" и "пятый" выключатель употреблены только для ясности и не подразумевают, что в одном из вариантов осуществления вместе с этими выключателями должны также обязательно иметься "третьи" выключатели. Вариант осуществления согласно фиг. 4 делает возможным разряд отдельных батарейных модулей 1 через дополнительный преобразователь 7. Для этого достаточно, чтобы дополнительный преобразователь 7 был выполнен однонаправленным. Однако он может быть также выполнен двунаправленным, так чтобы он мог применяться также для заряда отдельных батарейных модулей 1, что, например, может быть полезно для балансировки SoC цепи или для предварительного заряда (англ. "pre-charging") батарейных модулей 1.

Изобретатель руководствовался той мыслью, что SoH системы батареи зависит от SoH отдельных батарейных модулей. Далее, изобретатель обнаружил, что можно мониторить SoH батарейного модуля даже во время разряда с помощью описанных в уже процитированной публикации ступеней потенциала. Предлагаемый изобретением способ включает в себя следующие этапы:

S1: настраивание первых и вторых выключателей 9, 10 так, чтобы по меньшей мере один батарейный модуль 1 был исключен из последовательной цепи;

S2: разряд по меньшей мере частичного объема электролита исключенного из последовательной цепи на этапе S1 по меньшей мере одного батарейного модуля 1, при этом многократно регистрируется разность потенциалов, и причем эта разность потенциалов образуется между первым потенциалом отрицательного электролита и вторым потенциалом положительного электролита упомянутого по меньшей мере одного исключенного батарейного модуля 1;

S3: определение SoH исключенного из последовательной цепи на этапе S1 по меньшей мере одного батарейного модуля 1 по зарегистрированным на этапе S2 значениям разности потенциалов.

При этом касательно этапа S2 следует заметить, что знак перед числом полученной разности потенциалов не имеет значения, т.е. разность потенциалов может с одинаковым успехом получаться между первым потенциалом положительного электролита и вторым потенциалом отрицательного электролита упомянутого по меньшей мере одного исключенного батарейного модуля 1. Или, иначе выражаясь: важна только величина разности потенциалов.

При этом, в зависимости от исполнения системы батареи, этап S2 может протекать по-разному. Если система батареи выполнена согласно фиг. 2, то процесс разряда осуществляется в виде саморазряда исключенного на этапе S1 по меньшей мере одного батарейного модуля 1. Так как такой саморазряд протекает относительно медленно, предпочтительно, если упомянутый или упомянутые батарейные модули 1 при исключении на этапе 1 находятся уже близко к состоянию заряда, в котором возникают обнаруживаемые ступени потенциала. Это происходит тогда, когда значение НХХ упомянутого батарейного модуля составляет 1,4 В или меньше. Соответствующий критерий может выводиться из клеммного напряжения.

Если система батареи выполнена согласно фиг. 3, то процесс разряда исключенного на этапе S1 по меньшей мере одного батарейного модуля 1 осуществляется таким образом, что соответствующий третий выключатель 11 замыкается, так что упомянутый батарейный модуль разряжается через соответствующий резистор 14. Благодаря этому процесс разряда может протекать соответственно быстрее, так что определение SoH занимает меньше времени.

В случаях, названных в двух предыдущих абзацах, затраченная при разряде энергия в итоге превращается в тепло, то есть теряется. Поэтому также из-за этого предпочтительно, если упомянутый или упомянутые батарейные модули 1 при исключении на этапе 1 находятся уже близко к состоянию заряда, в котором возникают обнаруживаемые ступени потенциала. Другая особенность названных случаев заключается в том, что на этапе S1 из последовательной цепи системы батареи может, в принципе, исключаться больше одного батарейного модуля 1, так что на этапах S2-S4 SoH этих модулей может определяться одновременно. Число так одновременно мониторируемых модулей ограничено сверху тем, что система батареи должна быть способна обеспечивать нормальную эксплуатацию в необходимое для определения SoH время. Распространенные системы батареи высокого напряжения могут в каждом эксплуатационном состоянии компенсировать исключение одного батарейного модуля. В некоторых эксплуатационных состояниях, например, когда можно предвидеть, что в то время, которое необходимо для определения SoH, не должно осуществляться потребление мощности или отдача мощности системы батареи, для определения SoH из последовательной цепи могут также без затруднений исключаться больше одного батарейного модуля.

Если система батареи выполнена согласно фиг. 4, то процесс разряда исключенного на этапе S1 по меньшей мере одного батарейного модуля 1 осуществляется таким образом, что соответствующие четвертые и пятые выключатели 12 и 13 замыкаются, и разряд производится через дополнительный преобразователь 7. В этой конфигурации исключаться и соединяться с дополнительным преобразователем может всегда только ровно один батарейный модуль для того, чтобы таким образом определить соответствующую его SoH. Преимущество этой конфигурации заключается в том, что затраченная при разряде энергия не теряется, так как она через дополнительный преобразователь 7 подается в вышестоящую сеть. Поэтому определение SoH может запускаться практически независимо от соответственно имеющегося SoC упомянутого батарейного модуля. Если SoC лежит еще намного выше интересной для определения SoH области, то разряд упомянутого батарейного модуля через дополнительный преобразователь 7 может осуществляться при высоком токе разряда, пока значение HXX не достигнет вышеупомянутой отметки в 1,4 В. После этого разряд может осуществляться при более низком токе, так что обеспечивается достаточно высокое разрешение ступеней потенциала. Благодаря этому определение SoH может протекать быстрее и с меньшими побочными реакциями.

В принципе, мыслима любая комбинация вариантов осуществления согласно фиг. 2-4. Так, например, один модуль мог бы разряжаться через дополнительный преобразователь 7, а другой модуль - одновременно через соответствующий резистор 14, при этом определяют SoH упомянутых модулей.

Другие варианты предлагаемого изобретением способа получаются в зависимости от того, какой частичный объем электролита упомянутого батарейного модуля разряжается на этапе S2. Эти варианты тесно взаимосвязаны с соответствующей постановкой цели определения SoH.

Если должно определяться отличие объема всего электролита, т.е. отличие между объемом отрицательного электролита и объемом положительного электролита, то и на этапе S2 должен разряжаться весь электролит упомянутого батарейного модуля. Это достигается тем, что во время осуществления этапа S2 течение электролита через комплект 2 ячеек настраивается посредством производительности насосов так, что получается сверхстехиометрическое течение. В этом варианте регистрация разности потенциалов на этапе S2 может осуществляться, на выбор, с помощью HXX-ячейки 4 или с помощью измерительного устройства 5 для регистрации клеммного напряжения. Ясно, что этот вариант требует большого количества времени, так как при разряде должно затрачиваться соответственно много энергии. Поэтому в комбинации с вариантами согласно фиг. 2 и 3 также теряется много энергии, так что эти комбинации гораздо меньше предпочтительны, чем комбинация с вариантом согласно фиг. 4.

Если должно обнаруживаться смещение электролита, то достаточно на этапе S2 разряжать содержащийся в комплекте 2 ячеек частичный объем электролита и тем самым использовать его для определения SoH. Это достигается тем, что во время осуществления этапа S2 течение электролита через комплект 2 ячеек либо полностью останавливается (путем выключения насосов), либо посредством производительности насосов настраивается так, что получается сверхстехиометрическое течение. В этом варианте регистрация разности потенциалов на этапе S2 должна осуществляться с помощью измерительного устройства 5 для регистрации клеммного напряжения. Этот вариант также подходит для того, чтобы обнаруживать в комплекте 2 ячеек воздушный пузырь. Преимущественно возможна комбинация с вариантами согласно фиг. 2-4.

Принципиально возможно также разряжать на этапе S2 только тот частичный объем, который содержится в HXX-ячейке 4, и тем самым использовать его для определения SoH. В этом варианте регистрация разности потенциалов на этапе S2 осуществляется с помощью самой HXX-ячейки 4. Однако возникает тот недостаток, что определение SoH таким образом длится долго, так как разряд вследствие очень малых токов короткого замыкания очень медленный.

Касательно определения SoH на этапе S3 можно сказать следующее: при этом SoH может определяться абсолютно или относительно.

Абсолютное определение SoH осуществляется путем определения ступеней потенциала в соответствии с уже упомянутой публикацией "Electrolyte Imbalance Determination of a Vanadium Redox Flow Bat-

tery by Potential-Step Analysis of the Initial Charging". Эти ступени потенциала возникают, когда зарегистрированные на этапе S2 значения разности потенциалов рассматриваются как функция времени. При этом для определения точного положения ступени во времени кривая может дифференцироваться. Для абсолютного определения SoH, кроме того, необходимо количественно определять энергию, которая затрачивается при разряде между двумя ступенями потенциала. Для этого необходимо измерять величину тока разряда. В результате интегрирования кривой тока разряда по времени получается перенесенный заряд. При постоянном токе разряда этот заряд пропорционален времени, прошедшему между ступенями потенциала. Затраченная энергия, в свою очередь, получается в результате интегрирования разностей потенциалов как функции перенесенного заряда. Поэтому для абсолютного определения SoH система батареи включает в себя измерительное устройство для определения имеющейся на этапе S2 силы тока разряда. В зависимости от исполнения системы батареи, это измерительное устройство может быть расположено по-иному. На фиг. 4 показано в качестве примера измерительное устройство для определения силы тока разряда, которое обозначено позицией 15. В других вариантах осуществления, таких как, например вариант осуществления согласно фиг. 3, система батареи для каждого батарейного модуля может включать в себя отдельное измерительное устройство для определения силы тока разряда. В варианте осуществления согласно фиг. 3 они были бы расположены последовательно с резисторами 14.

Для относительного определения SoH фактически снятая кривая разности потенциалов может сравниваться с ранее снятой референтной кривой (см. ниже). Другая возможность состоит в том, чтобы у кривых разности потенциалов рассматривать в качестве параметра SoH только прошедшее время между двумя ступенями. Этот случай можно было также назвать качественным определением SoH, так как определяется только один параметр, который находится в соотношении с реальной (т.е. количественно определенной) SoH. Определенный таким образом параметр SoH также позволяет проводить относительное определение SoH.

На фиг. 5-7 в качестве примера показано изменение во времени зарегистрированных на этапе S2 значений разности потенциалов для пояснения определения SoH. Т.е. по оси x этого графика отложено время, а по оси y -зарегистрированные значения разности потенциалов. На изображенной на фигуре 5 кривой можно наблюдать по существу только одну ступень потенциала. Поэтому соответствующий электролит хорошо уравновешен ( $AOS=3,5$ ). На фиг. 6 кривая демонстрирует две ступени потенциала, при этом первая во времени является более крутой, чем следующая за ней во времени ступень потенциала. Соответствующий электролит не является хорошо уравновешенным, и  $AOS$  меньше 3,5. Также изображенная на фиг. 7 кривая имеет две ступени потенциала, при этом временная последовательность по сравнению с фиг. 6 обратна. Соответствующий электролит не является хорошо уравновешенным, и  $AOS$  больше 3,5. При знании силы тока разряда из временного промежутка между двумя ступенями потенциала можно рассчитать соответствующее значение  $AOS$ , так что SoH может определяться абсолютно. Часто достаточно также относительного определения SoH, например, чтобы решить, когда у какого-либо батарейного модуля должен быть регенерирован электролит. Для этого могут применяться многие подходящие метрики. Например, зарегистрированные кривые разности потенциалов могут сравниваться с соответствующей референтной кривой, которая была снята при вводе в эксплуатацию или после предыдущей регенерации электролита. Подходящей мерой отличия двух кривых друг от друга была бы тогда, например, сумма квадратов разностей. Для этой цели специалист может без проблем найти другие подходящие метрики.

При описанном выше способе по изобретению всегда разряжается по меньшей мере частичный объем электролита какого-либо батарейного модуля. Вследствие этого, конечно, изменяется (т.е. снижается) также состояние заряда упомянутого батарейного модуля. В случае, если бы хотелось препятствовать этому, то до или после осуществления описанного способа можно подводить к упомянутому батарейному модулю соответствующее количество энергии, так чтобы состояние заряда батарейного модуля вследствие осуществления способа в итоге не изменялось. При этом подвод энергии в конфигурации по фиг. 4 может преимущественно осуществляться с помощью дополнительного преобразователя 7.

В заключение следует упомянуть, что разряд на этапе S2 может прекращаться тогда, когда было снято достаточно много значений разности потенциалов, чтобы можно было определить SoH на этапе S3. Поэтому для установления критерия прекращения разряда на этапе S2 предпочтительно, если этапы S2 и S3 протекают по меньшей мере частично параллельно, т.е. если оценка снятых значений разности потенциалов начинается уже в то время, пока еще снимаются дополнительные значения разности потенциалов. Этап S2 может прекращаться, если этап S3 дает один из следующих результатов:

обнаружение ступени потенциала, высота которой превышает предварительно заданное пороговое значение;

обнаружение двух ступеней потенциала.

При этом в качестве пороговых значений для первого критерия подходят все значения, которые лежат в эквивалентном диапазоне NXX между 0,7 и 1,2 В. Особенно предпочтительны пороговые значения из эквивалентного диапазона NXX от 0,8 до 1,1 В. Применение критерия прекращения для этапа S2 имеет то преимущество, что способ по изобретению может осуществляться быстрее. Применение современных вычислительных систем делает возможным определение SoH на этапе S3 за пренебрежимо малое время.

При этом ясно, что названные в предыдущем абзаце пороговые значения относятся к системам батареи на основе ванадия. Для других систем батареи, как правило, применимы другие пороговые значения. То же самое относится к вышеупомянутым значениям AOS.

Список ссылочных обозначений:

- 1 - батарейный модуль;
- 2 - комплект ячеек;
- 3 - резервуарное устройство;
- 4 - измерительное устройство для определения НХХ (НХХ-ячейка);
- 5 - измерительное устройство для определения клеммного напряжения;
- 6 - двунаправленный преобразователь (PCS);
- 7 - дополнительный преобразователь;
- 8 - устройство управления;
- 9 - первый выключатель;
- 10 - второй выключатель;
- 11 - третий выключатель;
- 12 - четвертый выключатель;
- 13 - пятый выключатель;
- 14 - резистор;
- 15 - измерительное устройство для определения силы тока разряда.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ мониторинга состояния системы окислительно-восстановительной проточной батареи, причем система батареи содержит по меньшей мере два батарейных модуля (1), двунаправленный преобразователь (6) и устройство (8) управления, при этом батарейные модули (1) включены последовательно и соединены с двунаправленным преобразователем (6), и при этом каждый батарейный модуль (1) содержит комплект (2) ячеек с множеством окислительно-восстановительных проточных ячеек и резервуарное устройство (3) для хранения отрицательного и положительного электролитов и для снабжения комплекта (2) ячеек электролитом, и при этом система батареи содержит для каждого батарейного модуля (1) первый выключатель (9) и второй выключатель (10), при этом первый выключатель (9) расположен последовательно с соответствующим батарейным модулем (1), а второй выключатель (10) расположен в обходной линии вокруг соответствующего батарейного модуля (1) и соответствующего первого выключателя (9), и при этом устройство (8) управления соединено с каждым из выключателей (9, 10) так, что оно может определять соответствующее состояние выключателей, чтобы включать в последовательную цепь или исключать из нее батарейные модули (1), отличающийся тем, что способ включает в себя следующие этапы:

S1: настраивание первых и вторых выключателей (9, 10) так, чтобы по меньшей мере один батарейный модуль (1) был исключен из последовательной цепи;

S2: разряд по меньшей мере частичного объема электролита исключенного из последовательной цепи на этапе S1 по меньшей мере одного батарейного модуля (1), при этом многократно регистрируется разность потенциалов, и причем эта разность потенциалов образуется между первым потенциалом отрицательного электролита и вторым потенциалом положительного электролита упомянутого по меньшей мере одного исключенного батарейного модуля (1);

S3: определение SoH исключенного из последовательной цепи на этапе S1 по меньшей мере одного батарейного модуля (1) по зарегистрированным на этапе S2 значениям разности потенциалов;

и при этом этапы S2 и S3 осуществляют, по меньшей мере, частично параллельно, и при этом этап S2 прекращают тогда, когда этап S3 дает один из следующих результатов:

обнаружение ступени потенциала, высота которой превышает предварительно заданное пороговое значение;

обнаружение двух ступеней потенциала;

при этом предварительно заданное пороговое значение лежит в эквивалентном диапазоне НХХ от 0,7 до 1,2 В.

2. Способ по п.1, при этом система батареи содержит для каждого батарейного модуля (1) третий выключатель (11) и резистор (14), при этом третий выключатель (11) и резистор (14) расположены каждый в байпасной линии вокруг каждого батарейного модуля (1) так, что по одному батарейному модулю (1) замыкают накоротко через резистор (14), когда замыкается соответствующий третий выключатель (11), и при этом разряд на этапе S2 осуществляется через резистор (14).

3. Способ по п.1, при этом система батареи содержит дополнительный преобразователь (7) и для каждого батарейного модуля (1) четвертый и пятый выключатели (12, 13) и линии, при этом четвертый и пятый выключатели (12, 13) и линии соединены друг с другом и батарейными модулями (1) так, что каждый батарейный модуль (1) может быть отдельно соединен с дополнительным преобразователем (7), и при этом разряд на этапе S2 осуществляется через дополнительный преобразователь (7).

4. Способ по любому из предыдущих пунктов, при этом каждый из батарейных модулей (1) содержит измерительное устройство (4) для определения НХХ, и при этом регистрация разности потенциалов на этапе S2 осуществляется с помощью этого измерительного устройства (4) для определения НХХ.

5. Способ по любому из пп.1-3, при этом каждый из батарейных модулей (1) содержит измерительное устройство (5) для определения клеммного напряжения, и при этом регистрация разности потенциалов на этапе S2 осуществляется с помощью этого измерительного устройства (5) для определения клеммного напряжения.

6. Способ по любому из пп.4 или 5, при этом на этапе S2 разряжают весь объем электролита исключенного на этапе S1 из последовательной цепи по меньшей мере одного батарейного модуля (1).

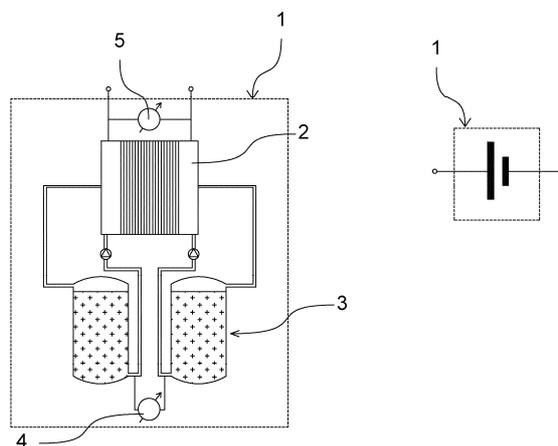
7. Способ по п.5, при этом на этапе S2 разряжают содержащийся в комплекте (2) ячеек объем электролита исключенного на этапе S1 из последовательной цепи по меньшей мере одного батарейного модуля (1).

8. Способ по любому из предыдущих пунктов, при этом система батареи содержит измерительное устройство (15) для регистрации силы тока имеющегося на этапе S2 тока разряда.

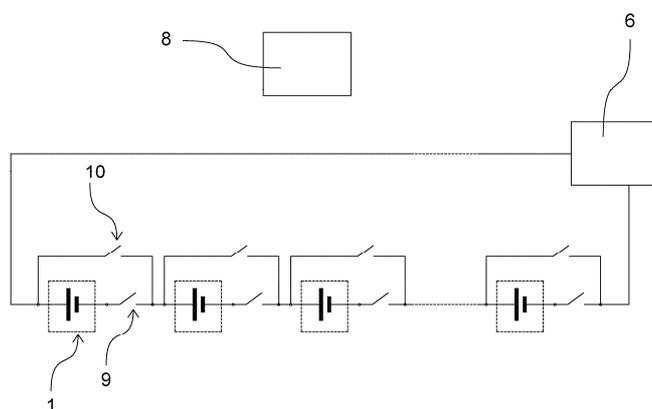
9. Способ по п.1, при этом предварительно заданное пороговое значение лежит в эквивалентном диапазоне НХХ от 0,8 до 1,1 В.

10. Способ по любому из предыдущих пунктов, при этом на этапе S3 SoH определяют относительно путем сравнения с референтной кривой разности потенциалов.

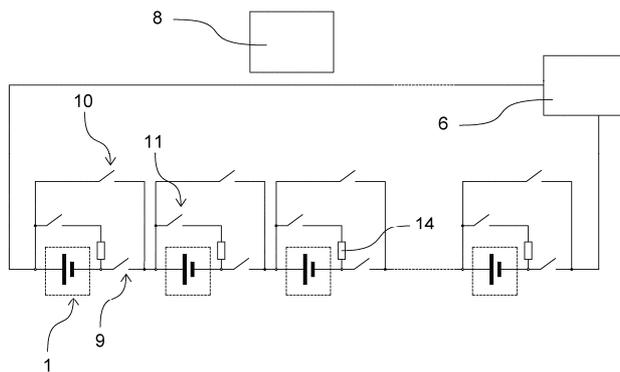
11. Способ по любому из предыдущих пунктов, при этом на этапе S3 SoH определяют путем нахождения времени, прошедшего между двумя ступенями на зарегистрированной кривой разности потенциалов.



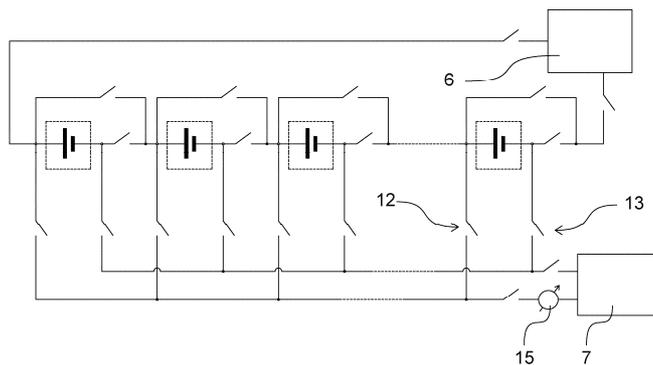
Фиг. 1



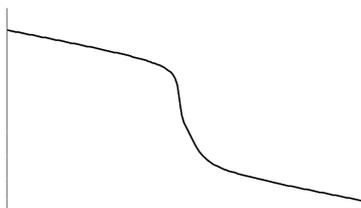
Фиг. 2



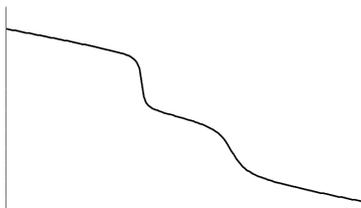
Фиг. 3



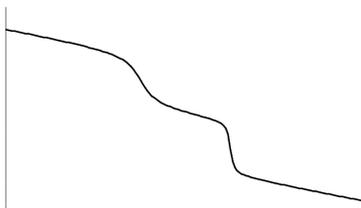
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7