

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202390988** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2023.07.14**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.09.27**

(51) Int. Cl. **H02J 7/02** (2016.01)  
**H02J 7/04** (2006.01)  
**H02J 7/06** (2006.01)  
**H02J 7/10** (2006.01)  
**H02J 7/34** (2006.01)

(54) **МЕТОДЫ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАРЯДКИ И НАГРЕВА ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

(31) **63/084,352; 63/119,504**

(32) **2020.09.28; 2020.11.30**

(33) **US**

(86) **PCT/US2021/052221**

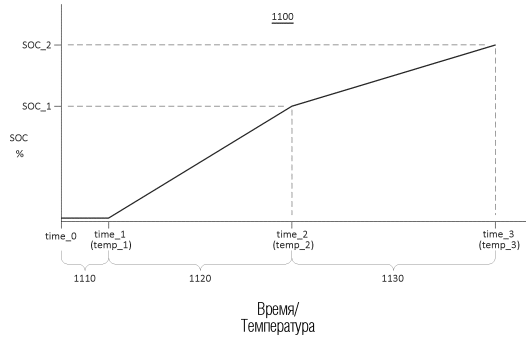
(87) **WO 2022/067192 2022.03.31**

(71) Заявитель:  
**ТАЭ ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:  
**Фашинг Рейнер, Лавлесс Грин,  
Слепченков Михаил, Надери Рузбех  
(US)**

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

(57) Раскрыты варианты осуществления, которые обеспечивают усовершенствованную зарядку устройств источников энергии для применений аккумулирования энергии. Варианты осуществления могут быть использованы в системах аккумулирования энергии, имеющих каскадную компоновку модулей преобразователей. Варианты осуществления могут включать в себя приложение импульсов к источнику энергии каждого модуля системы. Импульсы могут прикладываться для зарядки и предварительного нагрева. Также раскрыты варианты осуществления импульсного управления на основе обратной связи.



**202390988**

**A1**

**A1**

**202390988**

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-577778EA/23

### МЕТОДЫ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАРЯДКИ И НАГРЕВА ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

#### ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Данная заявка испрашивает преимущества и приоритет в соответствии с предварительной патентной заявкой США № 63/084,352, поданной 28 сентября 2020, и предварительной патентной заявкой США № 63/119,504, поданной 30 ноября 2020, обе из которых включены в настоящий документ посредством ссылки во всей своей полноте и для всех целей.

#### ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Предмет изобретения, описанный в настоящем документе, в целом относится к импульсной зарядке источников энергии в системах аккумулирования энергии, используемых как в мобильных, так и в стационарных применениях.

#### ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0003] Системы аккумулирования электрической энергии являются важным аспектом в глобальном переходе к более чистым формам энергии. Системы аккумулирования электрической энергии встречаются во множестве стационарных и мобильных приложений. Система аккумулирования электрической энергии в форме батарейного блока или стойки может быть использована для питания гибридных и полностью электрических транспортных средств и может быть использована для хранения энергии, вырабатываемой транспортным средством (например, за счет использования рекуперативного торможения).

[0004] Системы аккумулирования электрической энергии требуют периодической зарядки для пополнения разряженной мощности. Были выявлены ряд недостатков и проблем, ассоциированных с существующими способами зарядки, таких как тепловые потери, деградация и низкая скорость зарядки. Например, хорошо известно, что продолжительные времена зарядки для электрических транспортных средств (EV) являются основным фактором, ограничивающим их широкое применение. Использование обычного способа зарядки постоянным током может занять несколько часов для полной зарядки батарейного блока. Такое длительное время ожидания создает существенное неудобство и неэффективность при использовании EV для передвижения за пределы дальности одной зарядки для EV. По существу, традиционные EV, как правило, используются для локальных пригородных маршрутов или поездок, которые могут выполняться без подзарядки батарейного блока. В случае, когда существуют зарядные станции, способные выполнять зарядку при более высоком напряжении за меньшее время, повторное использование таких станций может привести к резкому сокращению срока службы батарейного блока. По этим и другим причинам, существует потребность в усовершенствованных системах, устройствах и способах для быстрой или ускоренной зарядки систем аккумулирования электрической энергии.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0005] Примеры вариантов осуществления систем, устройств и способов описаны здесь для быстрой зарядки источников энергии изолированно или как часть системы аккумулирования энергии (например, батарейного блока электрического транспортного средства, стационарной системы для приведения в действие микро-сети и других). Варианты осуществления, описанные в настоящем документе, могут включать нагревание источника энергии посредством приложения сигнала предварительного нагрева, который повышает температуру источника и снижает общий импеданс источника энергии, так что возможны ускоренные электрохимические реакции путем последующей зарядки. Варианты осуществления могут включать в себя зарядку источника энергии импульсами заряда на частоте, которая проходит емкость двойного листа источника энергии и уменьшает импеданс активации источника, обеспечивая зарядку источника с более высокими C скоростями (C-rate, мера заряда или разряда аккумуляторной батареи относительно её полной электрической ёмкости) без реакций деградации. Варианты осуществления также могут включать в себя комбинацию фазы импульсного предварительного нагрева или фазы импульсной зарядки с фазой зарядки постоянным током (или не-импульсной зарядки) при более высоких температурах, и некоторые варианты осуществления могут включать в себя по меньшей мере одну реализацию всех трех фаз. Варианты осуществления, описанные в данном документе, особенно подходят для применения в каскадных модульных системах аккумулирования энергии, где каждый модуль включает в себя источник энергии и переключающую схему, способную прикладывать ток импульсным образом для предварительного нагрева и/или зарядки. Варианты осуществления для мониторинга источника энергии для обнаружения условий потенциальной деградации, таких как неравномерное литирование и плакирование (электроосаждение) лития, также раскрыты.

[0006] Другие системы, устройства, способы, признаки и преимущества предмета изобретения, описанные в настоящем документе, станут очевидными для специалиста в данной области техники при изучении следующих чертежей и подробного описания. Предполагается, что все такие дополнительные системы, способы, признаки и преимущества включены в данное описание, находятся в пределах объема предмета изобретения, описанного в настоящем документе, и защищены прилагаемой формулой изобретения. Ни в коей мере, признаки примеров вариантов осуществления не должны толковаться как ограничивающие прилагаемую формулу изобретения, в отсутствие явного перечисления этих признаков в формуле изобретения.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0007] Детали предмета изобретения, изложенные в данном документе, что касается как его структуры, так и операции, могут быть очевидны из изучения прилагаемых чертежей, на которых одинаковые ссылочные позиции относятся к аналогичным частям. Компоненты на чертежах не обязательно изображены в масштабе, вместо этого особое внимание уделяется иллюстрации принципов предмета изобретения.

Кроме того, все иллюстрации предназначены для передачи концепций, где относительные размеры, формы и другие подробные атрибуты могут быть показаны схематично, а не буквально или точно.

[0008] Фиг. 1A-1C представляют собой блок-схемы, изображающие примерные варианты осуществления модульной энергетической системы.

[0009] Фиг. 1D-1E представляют собой блок-схемы, изображающие примерные варианты осуществления устройств управления для энергетической системы.

[0010] Фиг. 1F-1G представляют собой блок-схемы, изображающие примерные варианты осуществления модульных энергетических систем, связанных с нагрузкой и источником заряда.

[0011] Фиг. 2A-2B представляют собой блок-схемы, изображающие примерные варианты осуществления модуля и системы управления в энергетической системе.

[0012] Фиг. 2C представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления физической конфигурации модуля.

[0013] Фиг. 2D представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления физической конфигурации модульной энергетической системы.

[0014] Фиг. 3A-3C представляют собой блок-схемы, изображающие примерные варианты осуществления модулей, имеющих различные электрические конфигурации.

[0015] Фиг. 4A-4F представляют собой схематичные виды, изображающие примерные варианты осуществления источников энергии.

[0016] Фиг. 5A-5C представляют собой схематичные виды, изображающие примерные варианты осуществления буферов энергии.

[0017] Фиг. 6A-6C представляют собой схематичные виды, изображающие примерные варианты осуществления преобразователей.

[0018] Фиг. 7A-7E представляют собой блок-схемы, изображающие примерные варианты осуществления модульных энергетических систем, имеющих различные топологии.

[0019] Фиг. 8A представляет собой график, изображающий примерное выходное напряжение модуля;

[0020] Фиг. 8B представляет собой график, изображающий примерное многоуровневое выходное напряжение группы (решетки) модулей;

[0021] Фиг. 8C представляет собой график, изображающий примерный опорный сигнал и сигналы несущей, используемые в методе управления с широтно-импульсной модуляцией.

[0022] Фиг. 8D представляет собой график, изображающий примерные опорные сигналы и сигналы несущей, используемые в методе управления с широтно-импульсной модуляцией.

[0023] Фиг. 8E представляет собой график, изображающий примерные сигналы переключения, генерируемые в соответствии с методом управления с широтно-импульсной модуляцией.

[0024] Фиг. 8F представляет собой график, изображающий примерное многоуровневое выходное напряжение, генерируемое суперпозицией выходных напряжений из группы модулей в методе управления с широтно-импульсной модуляцией.

[0025] Фиг. 9А-9В представляют собой блок-схемы, изображающие примерные варианты осуществления контроллеров для модульной энергетической системы.

[0026] Фиг. 10А представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления многофазной модульной энергетической системы, имеющей модуль межсоединений.

[0027] Фиг. 10В представляет собой схематичный вид, изображающий примерный вариант осуществления модуля межсоединений в многофазном варианте осуществления согласно фиг. 10А.

[0028] Фиг. 10С представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления модульной энергетической системы, имеющей две подсистемы, соединенные между собой модулями межсоединений.

[0029] Фиг. 10D представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления трехфазной модульной энергетической системы, имеющей модули межсоединений, питающие вспомогательные нагрузки.

[0030] Фиг. 10Е представляет собой схематичный вид, изображающий примерный вариант осуществления модулей межсоединений в многофазном варианте осуществления согласно фиг. 10D.

[0031] Фиг. 10F представляет собой блок-схему, изображающую другой примерный вариант осуществления трехфазной модульной энергетической системы, имеющей модули межсоединений, питающие вспомогательные нагрузки.

[0032] Фиг. 11А-11В представляют собой графики, изображающие основу для описания нескольких примерных вариантов осуществления протоколов быстрой зарядки.

[0033] Фиг. 11С-11D представляют собой графики зависимости тока от времени, изображающие примерные варианты осуществления последовательностей импульсов предварительного нагрева с промежутком времени и без него, соответственно.

[0034] Фиг. 11Е представляет собой график зависимости тока от времени, изображающий примерный вариант осуществления сигнала предварительного нагрева, приложенного во время множества подфаз.

[0035] Фиг. 11F представляет собой график зависимости тока от времени, изображающий примерный вариант осуществления сигнала импульсного заряда для использования в фазе импульсной зарядки.

[0036] Фиг. 12А представляет собой вид в разрезе обобщенного литий-ионного батарейного элемента.

[0037] Фиг. 12В представляет собой пояснительную диаграмму, изображающую иллюстрацию увеличенного анода и катода, и перечисление примеров режимов деградации, которые могут происходить в типичном литий-ионном батарейном элементе.

[0038] Фиг. 12С представляет собой электрическую схематичную модель

батареяного элемента;

[0039] Фиг. 12D представляет собой график, изображающий примерный отклик напряжения на импульс заряда, прикладываемый к литий-ионному элементу.

[0040] Фиг. 12E представляет собой график, изображающий примерное напряжение на литий-ионном элементе в диапазоне состояний заряда.

[0041] Фиг. 12F представляет собой график, изображающий примерный отклик импеданса литий-ионного элемента.

[0042] Фиг. 13A представляет собой график, изображающий примерные уровни для сигнала заряда постоянного тока в фазе зарядки постоянным током.

[0043] Фиг. 13B представляет собой график, изображающий другой примерный вариант осуществления протокола быстрого заряда с сигналами постоянного тока при постепенно уменьшающихся величинах.

[0044] Фиг. 14 представляет собой серию графиков, изображающих примерный вариант осуществления мониторинга для индикации того, что произошло электроосаждение лития.

[0045] Фиг. 15A-15B представляют собой графики удержания абсолютной емкости и удержания нормализованной емкости, соответственно, сравнивающие экспериментальные данные зарядки постоянным током и примерного варианта осуществления импульсной зарядки, выполняемой на парах ионно-литиевых батарейных элементов, рассчитанных для использования в энергетических применениях.

[0046] Фиг. 16A-16B представляют собой графики удержания абсолютной емкости и удержания нормализованной емкости, соответственно, сравнивающие экспериментальные данные зарядки постоянным током и примерного варианта осуществления протокола быстрой зарядки, выполняемых на парах ионно-литиевых батарейных элементов, рассчитанных для использования в энергетических применениях.

[0047] Фиг. 16C представляет собой график зависимости емкости от времени, и фиг. 16D представляет собой график зависимости напряжения от времени, на обоих из которых показаны данные, собранные из выполнения одного примерного цикла протокола быстрой зарядки на батарейном элементе.

[0048] Фиг. 17A-17B представляют собой графики зависимости напряжения от емкости, сравнивающие экспериментальные данные зарядки постоянным током и примерного варианта осуществления импульсной зарядки, соответственно, выполняемых на парах литий-ионных батарейных элементов, рассчитанных для использования в энергетических применениях.

[0049] Фиг. 18A представляет собой график мнимого и действительного компонентов импеданса для элементов, заряжаемых постоянным током, и элементов, заряжаемых импульсами, в конце срока службы;

[0050] Фиг. 18B представляет собой график напряжения элемента в зависимости от времени, изображающий экспериментальные данные, собранные для литий-ионных элементов, подвергающихся зарядке постоянным током и импульсной зарядке с

различными длительностями импульсов.

[0051] Фиг. 19А-19G представляют собой блочные диаграммы, изображающие примерные варианты осуществления протоколов быстрого заряда для различных типов батарей.

[0052] Фиг. 20 представляет собой блок-схему, изображающую примерные варианты осуществления применений, которые могут быть сконфигурированы для применения протоколов быстрой зарядки, описанных в настоящем документе.

#### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[0053] Перед подробным описанием заявленного предмета следует понимать, что настоящее раскрытие не ограничено конкретными описанными вариантами осуществления, так как это может, конечно, варьироваться. Также следует понимать, что терминология, используемая в настоящем документе, предназначена только для целей описания конкретных вариантов осуществления и не предназначена для ограничения, поскольку объем настоящего раскрытия будет ограничен только прилагаемой формулой изобретения.

[0054] Перед описанием примерных вариантов осуществления, относящихся к зарядке и разрядке модульных энергетических систем, сначала полезно описать эти основополагающие системы. Со ссылкой на фиг. 1А-10F, следующие разделы описывают различные применения, в которых могут быть реализованы варианты осуществления модульных энергетических систем, варианты осуществления систем или устройств управления для модульных энергетических систем, конфигурации вариантов осуществления модульных энергетических систем в отношении источников зарядки и нагрузок, варианты осуществления отдельных модулей, варианты осуществления топологий для размещения модулей внутри систем, варианты осуществления методологий управления, варианты осуществления балансировки рабочих характеристик модулей в системах и варианты осуществления использования модулей межсоединений.

#### Примеры применений

[0055] Стационарные приложения являются теми, в которых модульная энергетическая система расположена в фиксированном местоположении во время использования, хотя ее можно транспортировать в альтернативные местоположения, когда она не используется. Модульная энергетическая система находится в статическом местоположении при обеспечении электрической энергии для потребления одним или более другими объектами или хранения или буферизации энергии для последующего потребления. Примеры стационарных применений, в которых могут быть использованы варианты осуществления, раскрытые в данном документе, включают в себя, но без ограничения, энергетические системы для использования посредством или в пределах одной или более жилых структур или мест, энергетические системы для использования посредством или в пределах одной или более промышленных структур или мест, энергетические системы для использования посредством или в пределах одной или более коммерческих структур или мест, энергетические системы для использования в одной или

более государственных структур или мест (включая как военные, так и невоенные применения), энергетические системы для зарядки мобильных применений, описанных ниже (например, источник заряда или зарядная станция), и системы, преобразующие солнечную энергию, ветер, геотермальную энергию, ископаемые топлива или ядерные реакции в электричество для аккумулярования. Стационарные применения часто питают нагрузки, такие как сети и микро-сети, двигатели и центры обработки данных (дата-центры). Стационарная энергетическая система может быть использована либо в роли накопителя, либо не для накопления.

[0056] Мобильные применения, иногда называемые тяговыми применениями, являются в общем случае такими, когда модульная энергетическая система расположена на объекте или внутри него и аккумулирует и предоставляет электрическую энергию для преобразования в движущую силу двигателем, чтобы перемещать или поддерживать перемещение этого объекта. Примеры подвижных объектов, с которыми могут быть использованы варианты осуществления, раскрытые в данном документе, включают в себя, но без ограничения, электрические и/или гибридные объекты, которые перемещаются по суше или под землей, по воде или под водой, выше и вне контакта с сушей или морем (например, летая или зависая в воздухе) или в космосе. Примеры подвижных объектов, с которыми могут быть использованы варианты осуществления, раскрытые в данном документе, включают в себя, но без ограничения, транспортные средства, поезда, трамваи, корабли, суда, летательные аппараты и космические аппараты. Примеры подвижных транспортных средств, с которыми могут быть использованы варианты осуществления, раскрытые в данном документе, включают в себя, но без ограничения, имеющие только одно колесо или гусеницу, имеющие только два колеса или гусеницы, имеющие только три колеса или гусеницы, имеющие только четыре колеса или гусеницы и имеющие пять или более колес или гусениц. Примеры подвижных объектов, с которыми могут быть использованы варианты осуществления, раскрытые в данном документе, включают в себя, но без ограничения, автомобиль, автобус, грузовой автомобиль, мотоцикл, самокат, промышленное транспортное средство, горнодобывающее транспортное средство, летательный аппарат (например, самолет, вертолет, дрон и т.д.), морское судно (например, коммерческие транспортные суда, корабли, яхты, лодки или другие плавсредства), подводную лодку, локомотив или рельсовое транспортное средство (например, поезд, трамвай и т.д.), военное транспортное средство, космический аппарат и спутник.

[0057] В описываемых здесь вариантах осуществления, ссылка может быть сделана на конкретное стационарное применение (например, сеть, микро-сеть, дата-центры, облачные вычислительные среды) или мобильное применение (например, электромобиль). Такие ссылки сделаны для простоты объяснения и не означают, что конкретный вариант осуществления ограничен для использования только того конкретного мобильного или стационарного применения. Варианты осуществления систем, обеспечивающих питание двигателя, могут быть использованы как в мобильных, так и в стационарных применениях. Хотя некоторые конфигурации могут быть более подходящими для



некоторых применений по сравнению с другими, все примерные варианты осуществления, раскрытые в данном документе, могут использоваться как в мобильных, так и в стационарных применениях, если не указано иное.

#### Примеры модульных энергетических систем

[0058] На фиг. 1А показана блок-схема, изображающая примерный вариант осуществления модульной энергетической системы 100. Здесь система 100 содержит систему 102 управления, коммуникативно соединенную с N модулями 108-1 по 108-N преобразователя-источника по каналам или линиям связи 106-1 по 106-N, соответственно. Модули 108 выполнены с возможностью запасать энергию и выводить энергию по мере необходимости в нагрузку 101 (или другие модули 108). В этих вариантах осуществления может быть использовано любое количество двух или более модулей 108 (например, N больше или равно двум). Модули 108 могут быть соединены друг с другом различными способами, как будет более подробно описано со ссылкой на фиг. 7А-7Е. Для простоты иллюстрации, на фиг. 1А-1С модули 108 показаны соединенными последовательно, или в виде одномерной решетки, где N-ый модуль соединен с нагрузкой 101.

[0059] Система 100 выполнена с возможностью подавать питание на нагрузку 101. Нагрузка 101 может быть нагрузкой любого типа, такой как двигатель или сеть. Система 100 также выполнена с возможностью аккумулировать мощность, полученную от источника заряда. На фиг. 1F представлена блок-схема, изображающая примерный вариант осуществления системы 100 с интерфейсом 151 ввода мощности для приема мощности от источника 150 заряда (например, коммунальной электросети, микро-сети, локального возобновляемого источника энергии и т.д.) и интерфейсом вывода мощности для вывода мощности на нагрузку 101. В этом варианте осуществления, система 100 может принимать и аккумулировать мощность через интерфейс 151 одновременно с выводом мощности через интерфейс 152. Фиг. 1G является блок-схемой, изображающей другой примерный вариант осуществления системы 100 с коммутируемым интерфейсом 154. В этом варианте осуществления, система 100 может выбирать или получать инструкцию для выбора между приемом мощности от источника 150 заряда и выводом мощности в нагрузку 101. Система 100 может быть выполнена с возможностью питать множество нагрузок 101, включая как первичные, так и вспомогательные нагрузки, и/или получать питание от множества источников 150 заряда (например, коммунальной электросети и локального возобновляемого источника энергии (например, солнечной)).

[0060] Фиг. 1В изображает другой примерный вариант осуществления системы 100. Здесь система 102 управления выполнена в виде ведущего устройства управления (MCD) 112, коммуникативно связанного с N различными локальными устройствами управления (LCD) 114-1 - 114-N по каналам или линиям связи 115-1 - 115-N, соответственно. Каждый LCD 114-1 - 114-N коммуникативно связан с одним модулем 108-1 по 108-N по каналам или линиям связи 116-1 - 116-N соответственно, так что существует взаимосвязь 1:1 между LCD 114 и модулями 108.

[0061] Фиг. 1С показывает другой примерный вариант осуществления системы 100.

Здесь MCD 112 коммуникативно связан с M разными LCD 114-1 - 114-M по каналам или линиям связи 115-1 - 115-M, соответственно. Каждый LCD 114 может быть связан с двумя или более модулями 108. В примере, показанном здесь, каждый LCD 114 коммуникативно связан с двумя модулями 108, так что M LCD 114-1 - 114-M связаны с 2M модулями 108-1 - 108-2M по каналам или линиям связи 116-1 - 116-2M соответственно.

[0062] Система 102 управления может быть сконфигурирована как одно устройство (например, фиг. 1A) для всей системы 100 или может быть распределена между или реализована как несколько устройств (например, фиг. 1B-1C). В некоторых вариантах осуществления, система 102 управления может быть распределена между LCD 114, ассоциированными с модулями 108, так что MCD 112 не требуется и может быть исключен из системы 100.

[0063] Система 102 управления может быть выполнена с возможностью исполнять управление с использованием программного обеспечения (инструкций, хранящихся в памяти, исполняемых схемой обработки), аппаратных средств или их комбинацией. Одно или более устройств системы 102 управления могут включать в себя, каждое, схему 120 обработки и память 122, как показано здесь. Примерные реализации схем обработки и памяти описаны ниже.

[0064] Система 102 управления может иметь интерфейс связи для связи с устройствами 104, внешними по отношению к системе 100, по каналу или линии связи 105. Например, система 102 управления (например, MCD 112) может выводить данные или информацию о системе 100 на другое устройство 104 управления (например, электронный блок управления (ECU) или блок управления двигателем (MCU) транспортного средства в мобильном применении, контроллер сети в стационарном применении и т.д.)

[0065] Каналы или линии связи 105, 106, 115, 116 и 118 (фиг. 2B) могут быть проводными (например, электрическими, оптическими) или беспроводными каналами связи, которые передают данные или информацию двунаправленно, параллельно или последовательно. Данные могут передаваться в стандартизованном (например, IEEE, ANSI) или заказном (например, проприетарном) формате. В автомобильных применениях, каналы связи 115 могут быть выполнены с возможностью осуществлять связь в соответствии с протоколами FlexRay или CAN. Каналы связи 106, 115, 116 и 118 также могут предоставлять проводную мощность для прямой подачи рабочей мощности для системы 102 из одного или более модулей 108. Например, рабочая мощность для каждого LCD 114 может быть подана только одним или несколькими модулями 108, с которыми соединен данный LCD 114, и рабочая мощность для MCD 112 может быть подана опосредованно от одного или нескольких модулей 108 (например, так, как через сеть питания автомобиля).

[0066] Система 102 управления выполнена с возможностью управлять одним или более модулями 108 на основе информации статуса, полученной от того же или другого одного или более модулей 108. Управление также может быть основано на одном или

более других факторах, таких как требования нагрузки 101. Управляемые аспекты включают в себя, но без ограничения, одно или более из напряжения, тока, фазы и/или выходной мощности каждого модуля 108.

[0067] Информация статуса каждого модуля 108 в системе 100 может быть передана в систему 102 управления, из которой система 102 может независимо управлять каждым модулем 108-1 ... 108-N. Возможны другие варианты. Например, конкретный модуль 108 (или поднабор модулей 108) может управляться на основе информации статуса этого конкретного модуля 108 (или поднабора), на основе информации статуса другого модуля 108, который не является этим конкретным модулем 108 (или поднабором), на основе информации статуса всех модулей 108, отличных от этого конкретного модуля 108 (или поднабора), на основе информации статуса этого конкретного модуля 108 (или поднабора) и информации статуса по меньшей мере одного другого модуля 108, который не является этим конкретным модулем 108 (или поднабором), или на основе информации статуса всех модулей 108 в системе 100.

[0068] Информация статуса может представлять собой информацию об одном или более аспектах, характеристиках или параметрах каждого модуля 108. Типы информации статуса включают в себя, но без ограничения, следующие аспекты модуля 108 или одного или более его компонентов (например, источника энергии, буфера энергии, преобразователя, схемы мониторинга): состояние заряда (SOC) (например, уровень заряда источника энергии относительно его емкости, такой как доля или процент) одного или более источников энергии модуля, состояние работоспособности (SOH) (например, показатель качества состояния источника энергии по сравнению с его идеальными условиями) одного или более источников энергии модуля, температура одного или более источников энергии или других компонентов модуля, емкость одного или более источников энергии модуля, напряжение одного или более источников энергии и/или других компонентов модуля, ток одного или более источников энергии и/или других компонентов модуля, и/или отсутствие неисправности в любом одном или более компонентах модуля.

[0069] LCD 114 могут быть выполнены с возможностью принимать информацию статуса из каждого модуля 108 или определять информацию статуса из контролируемых сигналов или данных, принятых от каждого модуля 108 или внутри каждого модуля 108, и передавать эту информацию на MCD 112. В некоторых вариантах осуществления, каждый LCD 114 может передавать исходные собранные данные на MCD 112, который затем алгоритмически определяет информацию статуса на основе этих исходных данных. MCD 112 затем может использовать информацию статуса модулей 108 для формирования соответствующих определений управления. Определения могут принимать форму инструкций, команд или другой информации (например, индекс модуляции, описанный здесь), которые могут быть использованы посредством LCD 114 для поддержания или регулирования работы каждого модуля 108.

[0070] Например, MCD 112 может принимать информацию статуса и оценивать эту

информацию для определения разницы между по меньшей мере одним модулем 108 (например, его компонентом) и по меньшей мере одним или несколькими другими модулями 108 (например, сопоставимыми их компонентами). Например, MDC 112 может определять, что конкретный модуль 108 работает с одним из следующих условий по сравнению с одним или более другими модулями 108: с относительно более низким или более высоким SOC, с относительно более низким или более высоким SOH, с относительно более низкой или более высокой емкостью, с относительно более низким или более высоким напряжением, с относительно более низким или более высоким током, с относительно более низкой или более высокой температурой, или с неисправностью или без нее. В таких примерах, MCD 112 может выдавать управляющую информацию, которая приводит к тому, что релевантный аспект (например, выходное напряжение, ток, мощность, температура) этого конкретного модуля 108 должен быть уменьшен или увеличен (в зависимости от состояния). Таким образом, использование аномального модуля 108 (например, работающего с относительно более низким SOC или более высокой температурой) может быть снижено, чтобы вызвать сходимость релевантного параметра этого модуля 108 (например, SOC или температуры) в направлении такого параметра одного или более других модулей 108.

[0071] Определение, следует ли регулировать работу конкретного модуля 108, может быть выполнено сравнением информации статуса с predetermined порогами, пределами или условиями и не обязательно сравнением со статусами других модулей 108. Предetermined пороги, пределы или условия могут представлять собой статические пороги, пределы или условия, такие как те, которые устанавливаются производителем, которые не изменяются во время использования. Предetermined пороги, пределы или условия могут представлять собой динамические пороги, пределы или условия, которые разрешается изменять или которые изменяются во время использования. Например, MCD 112 может регулировать работу модуля 108, если информация статуса для этого модуля 108 указывает, что он будет работать с нарушением (например, выше или ниже) predetermined порога или предела, или за пределами predetermined диапазона приемлемых условий эксплуатации. Аналогичным образом, MCD 112 может регулировать работу модуля 108, если информация статуса для этого модуля 108 указывает на наличие фактической или потенциальной неисправности (например, сигнала тревоги или предупреждения) или указывает на отсутствие или устранение фактической или потенциальной неисправности. Примеры неисправности включают в себя, но без ограничения, фактический отказ компонента, потенциальный отказ компонента, короткое замыкание или другое состояние избыточного тока, разомкнутую цепь, состояние избыточного напряжения, сбой в приеме передачи, прием искаженных данных и тому подобное. В зависимости от типа и степени серьезности неисправности, использование неисправного модуля может быть снижено, чтобы избежать повреждения модуля, или использование модуля может быть полностью прекращено.

[0072] MCD 112 может управлять модулями 108 в системе 100 для достижения или

сведения к желаемой цели. Целью может быть, например, работа всех модулей 108 на одинаковых или аналогичных уровнях по отношению друг к другу или в рамках predetermined порогов, пределов или условий. Этот процесс также упоминается как балансировка или поиск достижения баланса в работе или рабочих характеристиках модулей 108. Термин "баланс", используемый в данном документе, не требует абсолютного равенства между модулями 108 или их компонентами, а используется в широком смысле для описания того, что работа системы 100 может быть использована для активного снижения расхождений в работе между модулями 108, которые иначе имели бы место.

[0073] MCD 112 может передавать управляющую информацию на LCD 114 с целью управления модулями 108, ассоциированными с LCD 114. Управляющей информацией может быть, например, индекс модуляции и опорный сигнал, как описано здесь, модулированный опорный сигнал или иное. Каждый LCD 114 может использовать (например, принимать и обрабатывать) управляющую информацию для генерирования переключающих сигналов, которые управляют работой одного или более компонентов (например, преобразователя) в ассоциированном модуле(ях) 108. В некоторых вариантах осуществления, MCD 112 генерирует переключающие сигналы непосредственно и выводит их на LCD 114, который ретранслирует переключающие сигналы на предназначенный модульный компонент.

[0074] Вся система 102 управления или ее часть может быть объединена с внешним для системы управляющим устройством 104, которое управляет одним или более другими аспектами мобильного или стационарного применения. При интегрировании в этом совместно используемом или общем управляющем устройстве (системе или подсистеме), управление системой 100 может быть реализовано любым желаемым образом, как одно или более программных приложений, исполняемых схемой обработки совместно используемого устройства, с аппаратными средствами совместно используемого устройства или их комбинацией. Неисчерпывающие примеры внешних управляющих устройств 104 включают в себя: автомобильный ECU или MCU, имеющий возможность управления для одной или более других функций транспортного средства (например, управление двигателем, управление интерфейсом водителя, управление тягой и т.д.); контроллер сети или микро-сети, отвечающий за одну или более других функций управления мощностью (например, сопряжения с нагрузкой, прогнозирования потребности в мощности нагрузки, передачи и переключения, сопряжения с источниками заряда (например, дизельное топливо, солнечное излучение, ветер), прогнозирования мощности источника заряда, контроль резервного источника, диспетчеризацию ресурса и т.д.); и подсистему управления дата-центра (например, контроль окружающей среды, сетевое управление, резервное управление и т.д.).

[0075] Фиг. 1D и 1E представляют собой блок-схемы, изображающие примерные варианты осуществления совместно используемого или общего управляющего устройства (или системы) 132, в которых может быть реализована система 102 управления. На фиг.

1D, общее управляющее устройство 132 включает в себя ведущее управляющее устройство 112 и внешнее управляющее устройство 104. Ведущее управляющее устройство 112 содержит интерфейс 141 для связи с LCD 114 по каналу 115, а также интерфейс 142 для связи с внешним управляющим устройством 104 по внутренней коммуникационной шине 136. Внешнее управляющее устройство 104 включает в себя интерфейс 143 для связи с ведущим управляющим устройством 112 по шине 136 и интерфейс 144 для связи с другими объектами (например, компонентами транспортного средства или сети) всего применения по каналу 136 связи. В некоторых вариантах осуществления, общее управляющее устройство 132 может быть интегрировано как общий контейнер или корпус с устройствами 112 и 104, реализованными как дискретные чипы или блоки интегральных схем (ИС).

[0076] На фиг. 1E, внешнее управляющее устройство 104 действует как общее управляющее устройство 132, при этом функциональность ведущего управления реализована как компонент в устройстве 104. Этот компонент 112 может представлять собой или включать в себя программное обеспечение или другие программные инструкции, сохраненные и/или жестко закодированные в памяти устройства 104 и исполняемые их схемой обработки. Компонент может также содержать специализированные аппаратные средства. Компонент может быть автономным модулем или ядром, с одним или более внутренними аппаратными и/или программными интерфейсами (например, интерфейсом прикладных программ (API)) для связи с операционным программным обеспечением внешнего управляющего устройства 104. Внешнее управляющее устройство 104 может управлять связью с LCD 114 через интерфейс 141 и другими устройствами через интерфейс 144. В различных вариантах осуществления, устройство 104/132 может быть интегрировано как один ИС чип, может быть интегрировано во множество ИС чипов в одном корпусе или интегрировано как множество полупроводниковых компоновок внутри общего корпуса.

[0077] В вариантах осуществления фиг. 1D и 1E, функциональность ведущего управления системы 102 управления совместно используется в общем устройстве 132, однако допускаются другие разделения совместно используемого управления. Например, часть функциональности ведущего управления может быть распределена между общим устройством 132 и выделенным MCD 112. В другом примере как функциональность ведущего управления, так и по меньшей мере часть функциональности локального управления могут быть реализованы в общем устройстве 132 (например, с остальной функциональностью локального управления, реализованной в LCD 114). В некоторых вариантах осуществления, вся система 102 управления реализована в общем устройстве (или подсистеме) 132. В некоторых вариантах осуществления, функциональность локального управления реализована в устройстве, совместно используемом с другим компонентом каждого модуля 108, таким как система управления батареей (BMS).

#### Примеры модулей в каскадных энергетических системах

[0078] Модуль 108 может включать в себя один или более источников энергии и

силовой электронный преобразователь и, если желательно, буфер энергии. Фиг. 2А-2В представляют собой блок-схемы, изображающие дополнительные примерные варианты осуществления системы 100 с модулем 108, имеющим преобразователь 202 мощности, буфер 204 энергии и источник 206 энергии. Преобразователь 202 может быть преобразователем напряжения или преобразователем тока. Варианты осуществления описаны здесь со ссылкой на преобразователи напряжения, хотя варианты осуществления не ограничиваются этим. Преобразователь 202 может быть выполнен с возможностью преобразовывать сигнал постоянного тока (DC) от источника 204 энергии в сигнал переменного тока (AC) и выводить через силовое соединение 110 (например, инвертор). Преобразователь 202 также может принимать сигнал AC или DC по соединению 110 и подавать его на источник 204 энергии с любой полярностью в непрерывной или импульсной форме. Преобразователь 202 может представлять собой или включать в себя компоновку переключателей (например, силовых транзисторов), такую как полумост полного моста (H-мост). В некоторых вариантах осуществления, преобразователь 202 включает в себя только переключатели, и преобразователь (и модуль в целом) не включает в себя трансформатор.

[0079] Преобразователь 202 может быть также (или альтернативно) выполнен с возможностью выполнять преобразование AC в DC (например, выпрямитель), например, для зарядки источника энергии DC от источника AC, преобразование DC в DC и/или преобразование AC в AC переменного тока (например, в комбинации с преобразователем AC-DC). В некоторых вариантах осуществления, например, для выполнения преобразования AC-AC, преобразователь 202 может включать в себя трансформатор, по отдельности или в комбинации с одним или более силовыми полупроводниками (например, переключателями, диодами, тиристорами и т.п.). В других вариантах осуществления, таких как те, где вес и стоимость является существенным фактором, преобразователь 202 может быть выполнен с возможностью выполнять преобразования только с силовыми переключателями, силовыми диодами или другими полупроводниковыми приборами и без трансформатора.

[0080] Источник 206 энергии предпочтительно представляет собой надежное устройство аккумуляции энергии, способное выводить постоянный ток и имеющее плотность энергии, подходящую для применений аккумуляции энергии для устройств с электропитанием. Топливный элемент может представлять собой один топливный элемент, множество топливных элементов, соединенных последовательно или параллельно, или модуль топливных элементов. В каждом модуле могут быть включены два или более источников энергии, и два или более источников могут включать в себя две батареи того же самого или разного типа, два конденсатора того же самого или разного типа, два топливных элемента того же самого или разного типа, одну или более батарей, объединенных с одним или более конденсаторами и/или топливными элементами, и один или более конденсаторов, объединенных с одним или более топливных элементов.

[0081] Источник 206 энергии может быть электрохимической батареей, такой как

одиночный элемент батареи (аккумуляторный элемент) или множество аккумуляторных элементов, соединенных вместе в батарейном модуле или блоке, или любая их комбинация. Фиг. 4А-4D представляют собой принципиальные схемы, изображающие примерные варианты осуществления источника 206 энергии, сконфигурированного как одиночный аккумуляторный элемент 402 (фиг. 4А), батарейный модуль с последовательным соединением четырех элементов 402 (фиг. 4В), батарейный модуль с параллельным соединением одиночных элементов 402 (фиг. 4С) и батарейный модуль с параллельным соединением с ветвями, имеющими два элемента 402 каждая (фиг. 4D). Примеры типов батарей описаны здесь в другом месте.

[0082] Источник 206 энергии может также представлять собой конденсатор с высокой плотностью энергии (НED), такой как ультраконденсатор или суперконденсатор. Конденсатор НED может быть сконфигурирован как конденсатор с двойным электрическим слоем (электростатический накопитель заряда), псевдоконденсатор (электрохимический накопитель заряда), гибридный конденсатор (электростатический и электрохимический) или иным образом в отличие от типа твердого диэлектрика типичного электролитического конденсатора. Конденсатор НED может иметь плотность энергии в 10-100 раз (или более) выше плотности энергии электролитического конденсатора, в дополнение к более высокой емкости. Например, конденсаторы НED могут иметь удельную энергию выше, чем 1,0 ватт-часов на килограмм (Вт·ч/кг), и емкость выше, чем 10-100 фарад (Ф). Как и в случае батарей, описанных со ссылкой на фиг. 4А-4D, источник 206 энергии может быть сконфигурирован как одиночный конденсатор НED или множество конденсаторов НED, соединенных вместе в группе (например, последовательно, параллельно или в их комбинации).

[0083] Источник 206 энергии также может быть топливным элементом. Примеры топливных элементов включают протон-обменные мембранные топливные элементы (PEMFC), фосфорнокислотные топливные элементы (PAFC), твердокислотные топливные элементы, щелочные топливные элементы, высокотемпературные топливные элементы, твердооксидные топливные элементы, топливные элементы с расплавленным электролитом и другие. Как и в случае батарей, описанных со ссылкой на фиг. 4А-4D, источник 206 энергии может быть сконфигурирован как одиночный топливный элемент или множество топливных элементов, соединенных вместе в группе (например, последовательно, параллельно или в их комбинации). Вышеупомянутые примеры батарей, конденсаторов и топливных элементов не предназначены для формирования исчерпывающего списка, и специалистам в данной области техники будут понятны другие варианты, которые входят в объем настоящего изобретения.

[0084] Буфер 204 энергии может демпфировать или фильтровать флуктуации тока в линии DC или соединительной линии (например,  $+V_{DCL}$  и  $-V_{DCL}$ , как описано ниже), чтобы способствовать поддержанию стабильности в напряжении в соединительной линии DC. Эти флуктуации могут быть флуктуациями или гармониками относительно низкой (например, килогерцы) или высокой (например, мегагерцы) частоты, вызванными



переключением преобразователя 202, или другими переходными процессами. Эти флуктуации могут поглощаться буфером 204 вместо пропуска их на источник 206 или порты Ю3 и Ю4 преобразователя 202.

[0085] Силовое соединение 110 является соединением для передачи энергии или мощности на, от и через модуль 108. Модуль 108 может выводить энергию из источника 206 энергии в силовое соединение 110, где она может передаваться на другие модули системы или в нагрузку. Модуль 108 может также получать энергию от других модулей 108 или источника заряда (зарядника DC, однофазного зарядника, многофазного зарядника). Сигналы также могут пропускаться через модуль 108, минуя источник 206 энергии. Маршрутизация энергии или мощности в модуль 108 и из него выполняется преобразователем 202 под управлением LCD 114 (или другого объекта системы 102).

[0086] В варианте осуществления согласно фиг. 2А, LCD 114 выполнен как компонент, отдельный от модуля 108 (например, не в пределах корпуса совместно используемого модуля), и коммуникативно соединен с преобразователем 202 с преобразователем 202 по каналу связи 116. В варианте осуществления фиг. 2В, LCD 114 включен в качестве компонента модуля 108 и коммуникативно соединен с преобразователем 202 по внутреннему каналу связи 118 (например, совместно используемой шине или дискретному соединению). LCD 114 также может принимать сигналы и передавать сигналы в буфер 204 энергии и/или источник 206 энергии по каналам 116 или 118.

[0087] Модуль 108 может также включать в себя схему 208 мониторинга, выполненную с возможностью контроля (например, сбора, восприятия, измерения и/или определения) одного или более аспектов модуля 108 и/или его компонентов, таких как напряжение, ток, температура или другие рабочие параметры, которые составляют информацию статуса (или могут использоваться для определения информации статуса посредством, например, LCD 114). Главной функцией информации статуса является описание состояния одного или более источников 206 энергии модуля 108 для обеспечения возможности определения, в какой мере использовать источник энергии по сравнению с другими источниками в системе 100, хотя информация статуса, описывающая состояние других компонентов (например, напряжение, температура и/или наличие неисправности в буфере 204, температура и/или наличие неисправности в преобразователе 202, наличие отказа где-либо еще в модуле 108 и т.д.), также может быть использована при определении использования. Схема 208 мониторинга может включать в себя один или более датчиков, шунтов, делителей, детекторов неисправностей, кулоновских счетчиков, контроллеров или других аппаратных средств и/или программного обеспечения, выполненных с возможностью мониторинга таких аспектов. Схема 208 мониторинга может быть отделена от различных компонентов 202, 204 и 206 или может быть интегрирована с каждым компонентом 202, 204 и 206 (как показано на фиг. 2А-2В) или быть их комбинацией. В некоторых вариантах осуществления, схема 208 мониторинга может быть частью или совместно использоваться с системой управления

батареей (BMS) для батарейного источника 204 энергии. Дискретная схема не требуется для мониторинга каждого типа информации статуса, так как более чем один тип информации статуса может контролироваться с помощью одной схемы или устройства или иначе алгоритмически определяться, не требуя дополнительных схем.

[0088] LCD 114 может принимать информацию статуса (или необработанные данные) о компонентах модуля по каналам связи 116, 118. LCD 114 может также передавать информацию в компоненты модуля по каналам связи 116, 118. Каналы 116 и 118 могут включать в себя линии диагностических, измерительных, защитных и управляющих сигналов. Передаваемая информация может представлять собой управляющие сигналы для одного или более компонентов модуля. Управляющие сигналы могут представлять собой переключающие сигналы для преобразователя 202 и/или один или более сигналов, которые запрашивают информацию статуса из компонентов модуля. Например, LCD 114 может вызывать передачу информации статуса по каналам 116, 118 путем прямого запроса информации статуса или путем применения стимула (например, напряжения), чтобы вызвать генерацию информации статуса, в некоторых случаях в комбинации с переключающими сигналами, которые переводят преобразователь 202 в конкретное состояние.

[0089] Физическая конфигурация или компоновка модуля 108 может принимать различные формы. В некоторых вариантах осуществления, модуль 108 может включать в себя общий корпус, в котором все компоненты модуля, например преобразователь 202, буфер 204 и источник 206, размещены вместе с другими опциональными компонентами, такими как интегрированный LCD 114. В других вариантах осуществления, различные компоненты могут быть разделены в дискретных корпусах, которые скреплены вместе. Фиг. 2С представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления модуля 108, имеющего первый корпус 220, который содержит источник 206 энергии модуля и сопутствующую электронику, такую как схема мониторинга, второй корпус 222, который содержит электронику модуля, такую как преобразователь 202, буфер 204 энергии и другую сопутствующую электронику, такую как схема мониторинга, и третий корпус 224, который содержит LCD 114 для модуля 108. Электрические соединения между различными компонентами модуля могут проходить через корпуса 220, 222, 224 и могут быть открыты на любом из внешних элементов корпуса для соединения с другими устройствами, такими как другие модули 108 или MCD 112.

[0090] Модули 108 системы 100 могут быть физически расположены относительно друг друга в различных конфигурациях, которые зависят от потребностей применения и количества нагрузок. Например, в стационарном применении, где система 100 обеспечивает мощность для микро-сети, модули 108 могут быть размещены в одной или нескольких стойках или других каркасах. Такие конфигурации могут быть пригодны для более крупных мобильных применений, таких как морские суда. Альтернативно, модули 108 могут быть скреплены вместе и расположены внутри общего корпуса, называемого пакетом. Стойка или пакет могут иметь свою собственную систему охлаждения, общую

для всех модулей. Конфигурации пакета полезны для меньших мобильных применений, таких как электромобили. Система 100 может быть реализована с одной или более стойками (например, для параллельной подачи в микро-сеть) или одним или более пакетами (например, обслуживающими разные двигатели транспортного средства) или их комбинацией. Фиг. 2D представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления системы 100, сконфигурированный как пакет с девятью модулями 108, электрически и физически связанными вместе в общем корпусе 230.

[0091] Примеры этих и других конфигураций описаны в международной заявке PCT/US20/25366, поданной 27 марта 2020 и озаглавленной “Module-Based Energy Systems Capable of Cascaded and Interconnected Configurations, and Methods Related Thereto”, которая включена в настоящий документ посредством ссылки во всей своей полноте для всех целей.

[0092] Фиг. 3A-3C представляют собой блок-схемы, изображающие примерные варианты осуществления модулей 108, имеющих различные электрические конфигурации. Эти варианты осуществления описаны как имеющие один LCD 114 на модуль 108, при этом LCD 114 размещен в ассоциированном модуле, но может быть сконфигурирован иным образом, как описано здесь. Фиг. 3A изображает первую примерную конфигурацию модуля 108A в системе 100. Модуль 108A включает в себя источник 206 энергии, буфер 204 энергии и преобразователь 202A. Каждый компонент имеет порты силовых соединений (например, терминалы, разъемы), в которые и из которых может вводиться и/или выводиться мощность, упоминаемые здесь как IO порты. Такие порты могут также называться входными портами или выходными портами в зависимости от контекста.

[0093] Источник 206 энергии может быть сконфигурирован как любого из типов источников энергии, описанных в данном документе (например, батарея, как описано со ссылкой на фиг. 4A-4D, конденсатор HED, топливный элемент или иное). Порты IO1 и IO2 источника 206 энергии могут быть соединены с портами IO1 и IO2, соответственно, буфера 204 энергии. Буфер 204 энергии может быть сконфигурирован для буферизации или фильтрации пульсаций энергии высокой и низкой частоты, поступающих в буфер 204 через преобразователь 202, которые в противном случае могли бы ухудшить рабочие характеристики модуля 108. Топология и компоненты для буфера 204 выбираются с учетом максимально допустимой амплитуды этих высокочастотных пульсаций напряжения. Некоторые (не исчерпывающие) примеры вариантов осуществления буфера 204 энергии изображены на схематичных диаграммах фиг. 5A-5C. На фиг. 5A буфер 204 является электролитическим и/или пленочным конденсатором  $C_{EB}$ , на фиг. 5B буфер 204 является цепью 710 Z-источника, образованной двумя индукторами  $L_{EB1}$  и  $L_{EB2}$  и двумя электролитическими и/или пленочными конденсаторами  $C_{EB1}$  и  $C_{EB2}$ , и на фиг. 5C буфер 204 является цепью 720 квази-Z-источника, образованной двумя индукторами  $L_{EB1}$  и  $L_{EB2}$ , двумя электролитическими и/или пленочными конденсаторами  $C_{EB1}$  и  $C_{EB2}$  и диодом  $D_{EB}$ .

[0094] Порты IO3 и IO4 буфера 204 энергии могут быть соединены с портами IO1 и IO2, соответственно, преобразователя 202A, который может быть сконфигурирован как

любой из описанных здесь типов преобразователя мощности. На фиг. 6А представлена принципиальная схема, изображающая примерный вариант осуществления преобразователя 202А, сконфигурированного как преобразователь DC-AC, который может принимать напряжение DC на портах IO1 и IO2 и переключаться для генерации импульсов на портах IO3 и IO4. Преобразователь 202А может включать в себя множество переключателей, и здесь преобразователь 202А включает в себя четыре переключателя S3, S4, S5, S6, расположенных в полной конфигурации моста. Система 102 управления или LCD 114 может независимо управлять каждым переключателем посредством управляющих входных линий 118-3 к каждому затвору.

[0095] Переключатели могут представлять собой любой подходящий тип переключателя, такой как силовые полупроводники, такие как полевые транзисторы со структурой типа металл-оксид-полупроводник (MOSFET), показанные здесь, биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) или транзисторы на нитриде галлия (GaN). Полупроводниковые переключатели могут работать на относительно высоких частотах переключения, таким образом, позволяя преобразователю 202 работать в режиме широтно-импульсной модуляции (PWM), если требуется, и реагировать на команды управления в течение относительно короткого интервала времени. Это может обеспечить высокую устойчивость регулирования выходного напряжения и быстрое динамическое поведение в переходных режимах.

[0096] В этом варианте осуществления, напряжение  $V_{DCL}$  в линии DC может прикладываться к преобразователю 202 между портами IO1 и IO2. Путем соединения  $V_{DCL}$  с портами IO3 и IO4 различными комбинациями переключателей S3, S4, S5, S6 преобразователь 202 может генерировать три различных выхода напряжения в портах IO3 и IO4:  $+V_{DCL}$ , 0 и  $-V_{DCL}$ . Сигнал переключения, подаваемый на каждый переключатель, управляет тем, является ли переключатель включенным (замкнутым) или выключенным (разомкнутым). Для получения  $+V_{DCL}$ , переключатели S3 и S6 включаются, в то время как S4 и S5 выключены, тогда как  $-V_{DCL}$  может быть получено посредством включения переключателей S4 и S5 и выключения S3 и S6. Выходное напряжение может быть установлено в нуль (в том числе около нуля) или опорное напряжение путем включения S3 и S5 при выключении S4 и S6 или путем включения S4 и S6 при выключении S3 и S5. Эти напряжения могут выводиться из модуля 108 по силовому соединению 110. Порты IO3 и IO4 преобразователя 202 могут соединяться с (или формировать) IO портами 1 и 2 модуля силового соединения 110, чтобы генерировать выходное напряжение для использования с выходными напряжениями из других модулей 108.

[0097] Управляющие или переключающие сигналы для вариантов осуществления преобразователя 202, описанного в настоящем документе, могут генерироваться различными способами в зависимости от метода управления, используемого системой 100, для генерации выходного напряжения преобразователя 202. В некоторых вариантах осуществления, способ управления представляет собой метод PWM, такой как пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция (SVPWM) или

синусоидальная широтно-импульсная модуляция (SPWM) или ее вариации. Фиг. 8А является графиком зависимости напряжения от времени, изображающим пример волновой формы 802 выходного напряжения преобразователя 202. Для простоты описания, варианты осуществления в данном документе будут описаны в контексте метода управления PWM, хотя варианты осуществления не ограничиваются таковыми. Могут быть использованы другие классы методов. Один альтернативный класс основан на гистерезисе, примеры которого описаны в международных публикациях WO 2018/231810A1, WO 2018/232403 A1 и WO 2019/183553 A1, которые включены в настоящий документ посредством ссылки для всех целей.

[0098] Каждый модуль 108 может быть сконфигурирован с несколькими источниками 206 энергии (например, двумя, тремя, четырьмя или более). Каждый источник 206 энергии модуля 108 может быть управляемым (переключаемым) для подачи мощности в соединение 110 (или принимать мощность от источника заряда) независимо от других источников 206 модуля. Например, все источники 206 могут выдавать мощность в соединение 110 (или заряжаться) в одно и то же время, или только один (или поднабор) источников 206 может подавать мощность (или заряжаться) в любое время. В некоторых вариантах осуществления, источники 206 модуля могут обмениваться энергией между собой, например, один источник 206 может заряжать другой источник 206. Каждый из источников 206 может быть сконфигурирован как любой источник энергии, описанный здесь (например, батарея, конденсатор HED, топливный элемент). Каждый из источников 206 может быть того же самого типа (например, каждый может представлять собой батарею) или различного типа (например, первый источник может представлять собой батарею, а второй источник может представлять собой конденсатор HED, или первый источник может представлять собой батарею, имеющую первый тип (например NMC), а второй источник может представлять собой батарею второго типа (например, LFP).

[0099] Фиг. 3В представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления модуля 108В в конфигурации двойного источника энергии с первичным источником 206А энергии и вторичным источником 206В энергии. Порты IO1 и IO2 первичного источника 202А могут быть соединены с портами IO1 и IO2 буфера 204 энергии. Модуль 108В включает в себя преобразователь 202В, имеющий дополнительный порт Ю. Порты IO3 и IO4 буфера 204 могут быть соединены портами IO1 и IO2, соответственно, преобразователя 202В. Порты IO1 и IO2 вторичного источника 206В могут быть соединены с портами IO5 и IO2, соответственно, преобразователя 202В (также соединенного с портом IO4 буфера 204).

[00100] В этом примерном варианте осуществления модуля 108В, первичный источник 202А энергии вместе с другими модулями 108 системы 100 подает среднюю мощность, требуемую нагрузкой. Вторичный источник 202В может служить в качестве вспомогательного источника 202 энергии путем обеспечения дополнительной мощности в пиках мощности нагрузки или поглощения избыточной мощности или иным образом.

[00101] Как упоминалось выше, как первичный источник 206А, так и вторичный

источник 206В могут быть использованы одновременно или в отдельные моменты времени в зависимости от состояния переключения преобразователя 202В. В то же самое время, электролитический и/или пленочный конденсатор (СЕС) может быть расположен параллельно с источником 206В, как показано на фиг. 4Е, чтобы действовать как буфер энергии для источника 206В, или источник 206В энергии может быть выполнен с возможностью использовать конденсатор НЕД параллельно другому источнику энергии (например, батарее или топливному элементу), как показано на фиг. 4F.

[00102] Фиг. 6В и 6С представляют собой схематичные виды, изображающие примерные варианты осуществления преобразователей 202В и 202С, соответственно. Преобразователь 202В включает в себя части 601 и 602А схемы переключения. Часть 601 содержит переключатели S3-S6, сконфигурированные как полный мост аналогично преобразователю 202А, и выполнена с возможностью выборочно связывать IO1 и IO2 с IO3 и IO4, тем самым изменяя выходные напряжения модуля 108В. Часть 602А включает в себя переключатели S1 и S2, сконфигурированные как полумост и подсоединенные между портами IO1 и IO2. Индуктивность  $L_C$  связи подсоединен между портом IO5 и узлом между переключателями S1 и S2, так что переключающая часть 602А является двунаправленным преобразователем, который может регулировать (повышать или снижать) напряжение (или инверсно, ток). Переключающая часть 602А может генерировать два различных напряжения в узле 1, которые представляют собой  $+V_{DC12}$  и 0, с привязкой к порту IO2, который может быть на виртуальном нулевом потенциале. Ток, извлекаемый из источника 202В энергии или вводимый в источник 202В энергии, можно регулировать путем регулирования напряжения на индуктивности  $L_C$  связи, используя, например, метод широтно-импульсной модуляции или гистерезисный способ управления для коммутации переключателей S1 и S2. Другие методы также могут использоваться.

[00103] Преобразователь 202С отличается от 202В тем, что переключающая часть 602В включает в себя переключатели S1 и S2, сконфигурированные как полумост и подсоединенные между портами IO5 и IO2. Индуктивность  $L_C$  связи подсоединена между портом IO1 и узлом 1 между переключателями S1 и S2, так что переключающая часть 602В сконфигурирована для регулирования напряжения.

[00104] Система 102 управления или LCD 114 может независимо управлять каждым переключателем преобразователей 202В и 202С с помощью входных линий 118-3 управления к каждому затвору. В этих вариантах осуществления и таковых согласно фиг. 6А, LCD 114 (не MCD 112) генерирует переключающие сигналы для переключателей преобразователя. Альтернативно, MCD 112 может генерировать переключающие сигналы, которые могут передаваться непосредственно на переключатели или ретранслироваться посредством LCD 114.

[00105] В вариантах осуществления, в которых модуль 108 включает в себя три или более источников 206 энергии, преобразователи 202В и 202С могут масштабироваться таким образом, что каждый дополнительный источник 206В энергии связан с дополнительным IO портом, ведущим к дополнительной части 602А или 602В

переключающей схемы, в зависимости от потребностей конкретного источника. Например, двойной преобразователь 202 источника может включать в себя обе части 202А и 202В переключателя.

[00106] Модули 108 с множеством источников 206 энергии способны выполнять дополнительные функции, такие как совместное использование энергии между источниками 206, захват энергии изнутри применения (например, рекуперативное торможение), зарядка первичного источника вторичным источником даже в то время, когда вся система находится в состоянии разряда, и активная фильтрация выхода модуля. Функция активной фильтрации также может выполняться модулями, имеющими типичный электролитический конденсатор, вместо вторичного источника энергии. Примеры этих функций более подробно описаны в международной заявке РСТ/US20/25366, поданной 27 марта 2020 и озаглавленной “Module-Based Energy Systems Capable of Cascaded and Interconnected Configurations, and Methods Related Thereto”, и международной публикации WO 2019/183553, поданной 22 марта 2019 и озаглавленной “Systems and Methods for Power Management and Control”, обе из которых включены в настоящий документ посредством ссылки во всей своей полноте для всех целей.

[00107] Каждый модуль 108 может быть сконфигурирован для питания одной или более вспомогательных нагрузок своим одним или более источниками 206 энергии. Вспомогательные нагрузки представляют собой нагрузки, требующие более низких напряжений, чем первичная нагрузка 101. Примеры вспомогательных нагрузок могут представлять собой, например, бортовую электрическую сеть электрического транспортного средства или систему HVAC электрического транспортного средства. Нагрузка системы 100 может быть, например, одной из фаз электродвигателя транспортного средства или электрической сети. Этот вариант осуществления может обеспечить полную развязку между электрическими характеристиками (напряжение и ток на выводах) источника энергии и нагрузок.

[00108] Фиг. 3С представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления модуля 108С, выполненного с возможностью подачи питания на первую вспомогательную нагрузку 301 и вторую вспомогательную нагрузку 302, где модуль 108С включает в себя источник 206 энергии, буфер 204 энергии и преобразователь 202В, связанные подобно тому, как на фиг. 3В. Для первой вспомогательной нагрузки 301 требуется напряжение, эквивалентное напряжению, подаваемому от источника 206. Нагрузка 301 связана с Ю портами 3 и 4 модуля 108С, которые, в свою очередь, связаны с портами Ю1 и Ю2 источника 206. Источник 206 может выводить питание как в силовое соединение 110, так и в нагрузку 301. Вторая вспомогательная нагрузка 302 требует постоянного напряжения ниже, чем у источника 206. Нагрузка 302 связана с Ю портами 5 и 6 модуля 108С, которые соединены с портами Ю5 и Ю2, соответственно, преобразователя 202В. Преобразователь 202В может включать в себя переключающую часть 602, имеющую индуктивность  $L_c$  связи, соединенную с портом Ю5 (фиг. 6В). Энергия, подаваемая источником 206, может подаваться в нагрузку 302 через

переключающую часть 602 преобразователя 202В. Предполагается, что нагрузка 302 имеет входной конденсатор (конденсатор может быть добавлен к модулю 108С, в противном случае), так что переключатели S1 и S2 могут коммутироваться, чтобы регулировать напряжение на индуктивности  $L_C$  связи и ток через нее, и, таким образом, получать стабильное постоянное напряжение для нагрузки 302. Это регулирование может снижать напряжение источника 206 до напряжения меньшей величины, требуемого нагрузкой 302.

[00109] Таким образом, модуль 108С может быть сконфигурирован для питания одной или более первых вспомогательных нагрузок способом, описанным относительно нагрузки 301, при этом одна или более первых нагрузок соединены с IO портами 3 и 4. Модуль 108С также может конфигурироваться для питания одной или более вторых вспомогательных нагрузок способом, описанным относительно нагрузки 302. Если присутствуют несколько вторых вспомогательных нагрузок 302, то для каждой дополнительной нагрузки 302 модуль 108С может быть масштабирован с дополнительными выделенными выходными портами (например, 5 и 6) модуля, дополнительной выделенной частью 602 переключателя и дополнительным IO портом преобразователя, соединенным с дополнительной частью 602.

[00110] Таким образом, источник 206 энергии может подавать мощность для любого количества вспомогательных нагрузок (например, 301 и 302), а также соответствующую часть выходной мощности системы, требуемую для первичной нагрузки 101. Поток мощности от источника 206 на различные нагрузки может регулироваться желательным образом.

[00111] Модуль 108 может быть выполнен по необходимости с двумя или более источниками 206 энергии (фиг. 3В) и для питания первой и/или второй вспомогательных нагрузок (фиг. 3С) посредством добавления переключающей части 602 и порта IO5 преобразователя для каждого дополнительного источника 206В или второй вспомогательной нагрузки 302. Дополнительные IO порты модуля (например, 3, 4, 5, 6) могут быть добавлены по мере необходимости. Модуль 108 также может быть сконфигурирован как модуль межсоединений для обмена энергией (например, для балансировки) между двумя или более группами, двумя или более пакетами или двумя или более системами 100, как описано далее в настоящем документе. Такая функциональность межсоединений также может быть объединена с функциональными возможностями питания множества источников и/или множества вспомогательных нагрузок.

[00112] Система 102 управления может выполнять различные функции по отношению к компонентам модулей 108А, 108В и 108С. Эти функции могут включать в себя управление использованием (объемом использования) каждого источника 206 энергии, защитой буфера 204 энергии от избыточного тока, избыточного напряжения и высокотемпературных условий и управление и защиту преобразователя 202.

[00113] Например, для управления (например, регулирования путем увеличения,



уменьшения или поддержания) использованием каждого источника 206 энергии, LCD 114 может принимать одно или более контролируемых напряжений, температур и токов от каждого источника 206 энергии (или схемы мониторинга). Контролируемые напряжения могут быть по меньшей мере одним, предпочтительно всеми напряжениями каждого элементарного компонента независимо от других компонентов (например, каждого отдельного батарейного элемента, конденсатора HED и/или топливного элемента) источника 206 или напряжениями групп элементарных компонентов в целом (например, напряжения батарейного блока, блока конденсаторов HED и/или группы топливных элементов). Аналогичным образом, контролируемые температуры и токи могут быть по меньшей мере одним, предпочтительно всеми, из температур и токов каждого элементарного компонента независимо от других компонентов источника 206 или температур и токов групп элементарных компонентов в целом или любой их комбинации. Контролируемые сигналы могут представлять собой информацию статуса, с которой LCD 114 может выполнять одно или более из следующего: вычисление или определение реальной емкости, фактического состояния заряда (SOC) и/или состояния работоспособности (SOH) элементарных компонентов или групп элементарных компонентов; установку или вывод указания предупреждения или тревожной сигнализации на основе контролируемой и/или вычисленной информации статуса и/или передачу информации статуса в MCD 112. LCD 114 может принимать управляющую информацию (например, индекс модуляции, сигнал синхронизации) из MCD 112 и использовать эту информацию управления для генерирования переключающих сигналов для преобразователя 202, которые управляют использованием источника 206.

[00114] Для защиты буфера 204 энергии, LCD 114 может принимать одно или более из контролируемых напряжений, температур и токов от буфера 204 энергии (или схемы мониторинга). Контролируемые напряжения могут представлять собой по меньшей мере одно, предпочтительно все, из напряжений каждого элементарного компонента буфера 204 (например,  $C_{EB}$ ,  $C_{EB1}$ ,  $C_{EB2}$ ,  $L_{EB1}$ ,  $L_{EB2}$ ,  $D_{EB}$ ) независимо от других компонентов или напряжений групп элементарных компонентов или буфера 204 в целом (например, между IO1 и IO2 или между IO3 и IO4). Аналогичным образом контролируемые температуры и токи могут быть по меньшей мере одним, предпочтительно всеми, из температур и токов каждого элементарного компонента буфера 204, независимых от других компонентов или температур и токов групп элементарных компонентов или буфера 204 в целом или любой их комбинации. Контролируемые сигналы могут представлять собой информацию статуса, с которой LCD 114 может выполнять одно или более из следующего: установка или вывод указания предупреждения или тревожной сигнализации; передача информации статуса в MCD 112; или управление преобразователем 202 для регулирования (увеличения или уменьшения) использования источника 206 и модуля 108 в целом для защиты буфера.

[00115] Для управления и защиты преобразователя 202, LCD 114 может принимать управляющую информацию от MCD 112 (например, модулированный опорный сигнал

или опорный сигнал и индекс модуляции), которые могут использоваться с методом PWM в LCD 114 для генерации управляющих сигналов для каждого переключателя (например, S1-S6). LCD 114 может принимать сигнал обратной связи по току от датчика 202 тока преобразователя 202, который может использоваться для защиты от перегрузки по току, вместе с одним или более сигналами состояния неисправности из схем управления (не показаны) переключателей преобразователя, которые могут переносить информацию статусов отказа (например, режимы неисправностей короткого замыкания или разомкнутой цепи) всех переключателей преобразователя 202. На основе этих данных, LCD 114 может принять решение о том, какая комбинация переключающих сигналов должна быть применена для управления использованием модуля 108, и, при необходимости, шунтировать или отсоединять преобразователь 202 (и весь модуль 108) от системы 100.

[00116] При управлении модулем 108С, который питает вторую вспомогательную нагрузку 302, LCD 114 может принимать одно или более контролируемых напряжений (например, напряжение между Ю портами 5 и 6) и один или более контролируемых токов (например, ток в индуктивности  $L_C$  связи, который является током нагрузки 302) в модуле 108С. На основе этих сигналов, LCD 114 может регулировать циклы переключения (например, посредством регулирования индекса модуляции или опорной волновой формы сигнала) S1 и S2 для управления (и стабилизации) напряжением для нагрузки 302.

#### Примеры топологий каскадной энергетической системы

[00117] Два или более модулей 108 могут быть связаны вместе в каскадной решетке (группе), которая выводит сигнал напряжения, сформированный суперпозицией дискретных напряжений, генерируемых каждым модулем 108 в группе. На фиг. 7А представлена блок-схема, изображающая примерный вариант осуществления топологии для системы 100, где N модулей 108-1, 108-2, ..., 108-N соединены вместе последовательно для формирования последовательной группы 700. В этом и всех вариантах осуществления, описанных в настоящем документе, N может быть любым целым числом, большим единицы. Группа 700 включает в себя первый системный Ю порт SIO1 и второй системный Ю порт SIO2, на котором формируется выходное напряжение группы. Группа 700 может быть использована в качестве источника энергии DC или однофазного AC для DC- или однофазных AC-нагрузок, который может быть соединен с SIO1 и SIO2 группы 700. Фиг. 8А представляет собой график зависимости напряжения от времени, изображающий примерный выходной сигнал 801, созданный одним модулем 108, имеющим источник энергии 48 В. Фиг. 8В представляет собой график напряжения в зависимости от времени, изображающий примерный однофазный выходной AC-сигнал 802, генерируемый группой 700, имеющей шесть модулей 108 48 В, соединенных последовательно.

[00118] Система 100 может быть скомпонована в широком разнообразии различных топологий, чтобы удовлетворить различные потребности в применениях. Система 100 может обеспечивать многофазную мощность (например, двухфазную,

трехфазную, четырехфазную, пятифазную, шестифазную и т.д.) в нагрузку путем использования множества групп 700, где каждая группа может генерировать выходной АС-сигнал, имеющий другой фазовый угол.

[00119] На фиг. 7В представлена блок-схема, изображающая систему 100 с двумя группами 700-РА и 700-РВ, соединенными вместе. Каждая группа 700 является одномерной, образованной последовательным соединением N модулей 108. Две группы 700-РА и 700-РВ могут, каждая, генерировать однофазный АС-сигнал, при этом два АС-сигнала имеют разные фазовые углы РА и РВ (например, со сдвигом  $180^\circ$ ). IO порт 1 модуля 108-1 каждой группы 700-РА и 700-РВ может формировать или быть соединен с системными IO портами SIO1 и SIO2, соответственно, которые, в свою очередь, могут служить в качестве первого выхода каждой группы, которая может обеспечивать двухфазную мощность на нагрузку (не показана). Или, альтернативно, порты SIO1 и SIO2 могут быть соединены для обеспечения однофазной мощности из двух параллельных групп. IO порт 2 модуля 108-N каждой группы 700-РА и 700-РВ может служить вторым выводом для каждой группы 700-РА и 700-РВ на противоположном конце группы от системных IO портов SIO1 и SIO2 и может быть соединен вместе в общем узле и опционально используется для дополнительного системного IO порта SIO3, если желательно, который может служить в качестве нейтрали. Этот общий узел может упоминаться как направляющая (шина), и IO порт 2 модулей 108-N каждой группы 700 может упоминаться как находящийся на стороне шины группы.

[00120] На фиг. 7С представлена блок-схема, изображающая систему 100 с тремя группами 700-РА, 700-РВ и 700-РС, соединенными вместе. Каждая группа 700 является одномерной, образованной последовательным соединением N модулей 108. Три группы 700-1 и 700-2 могут, каждая, генерировать однофазный АС-сигнал, где три АС-сигнала имеют разные фазовые углы РА, РВ, РС (например, со сдвигом 120 градусов). IO порт 1 модуля 108-1 каждой группы 700-РА, 700-РВ и 700-РС может формировать или соединяться с системными портами SIO1, SIO2 и SIO3, соответственно, которые, в свою очередь, могут обеспечивать трехфазную мощность на нагрузку (не показана). IO порт 2 модуля 108-N каждой группы 700-РА, 700-РВ и 700-РС может быть соединен вместе в общем узле и опционально используется для дополнительного системного IO порта SIO4, если желательно, который может служить в качестве нейтрали.

[00121] Концепции, описанные в отношении двухфазных и трехфазных вариантов осуществления согласно фиг. 7В и 7С, могут быть расширены на системы 100, генерирующие еще больше фаз мощности. Например, неисчерпывающий список дополнительных примеров включает в себя: систему 100, имеющую четыре группы 700, каждая из которых выполнена с возможностью генерировать однофазный АС-сигнал, имеющий отличающийся фазовый угол (например, со сдвигом на 90 градусов); систему 100, имеющую пять групп 700, каждая из которых выполнена с возможностью генерировать однофазный АС-сигнал, имеющий отличающийся фазовый угол (например, со сдвигом на 72 градусов); и систему 100, имеющую шесть групп 700, причем каждая

группа выполнен с возможностью генерировать однофазный АС-сигнала, имеющий отличающийся фазовый угол (например, со сдвигом на 60 градусов).

[00122] Система 100 может быть сконфигурирована так, что группы 700 соединяются между собой в электрических узлах между модулями 108 в каждой группе. На фиг. 7D представлена блок-схема, изображающая систему 100 с тремя группами 700-РА, 700-РВ и 700-РС, соединенными вместе в объединенной последовательной и дельта-компоновке. Каждая группа 700 включает в себя первое последовательное соединение из  $M$  модулей 108, где  $M$  равно двум или более, соединенное со вторым последовательным соединением из  $N$  модулей 108, где  $N$  равно двум или более. Дельта-конфигурация формируется межсоединениями между группами, которые могут быть размещены в любом желательном местоположении. В этом варианте осуществления, IO порт 2 модуля 108-( $M+N$ ) группы 700-РС связан с IO портом 2 модуля 108- $M$  и IO портом 1 модуля 108-( $M+1$ ) группы 700-РА, IO порт 2 IO модуля 108-( $M+N$ ) группы 700-РВ связан с IO портом 2 модуля 108- $M$  и IO портом 1 модуля 108-( $M+1$ ) группы 700-РС, и IO порт 2 IO модуля 108-( $M+N$ ) группы 700-РА связан с IO портом 2 модуля 108- $M$  и IO портом 1 модуля 108-( $M+1$ ) группы 700-РВ.

[00123] На фиг. 7E представлена блок-схема, изображающая систему 100 с тремя группами 700-РА, 700-РВ и 700-РС, соединенными вместе в объединенной последовательной и дельта-компоновке. Этот вариант осуществления аналогичен фиг. 7D, за исключением различных поперечных соединений. В этом варианте осуществления, IO порт 2 модуля 108- $M$  группы 700-РС соединен с IO портом 1 модуля 108-1 группы 700-РА, IO порт 2 модуля 108- $M$  группы 700-РВ связан с IO портом 1 модуля 108-1 группы 700-РС, и IO порт 2 модуля 108- $M$  группы 700-РА связан с IO портом 1 модуля 108-1 группы 700-РВ. Компоновки согласно фиг. 7D и 7E могут быть реализованы с небольшим количеством модулей в каждой группе 700. Объединенные дельта и последовательные конфигурации обеспечивают эффективный обмен энергией между всеми модулями 108 системы (межфазная балансировка) и фазами энергосети или нагрузки, а также позволяют уменьшить общее количество модулей 108 в группе 700 для получения требуемых выходных напряжений.

[00124] В вариантах осуществления, описанных в данном документе, хотя предпочтительно, чтобы количество модулей 108 было одинаковым в каждой группе 700 в системе 100, это не является обязательным, и различные группы 700 могут иметь различные количества модулей 108. Кроме того, каждая группа 700 может иметь модули 108, которые все имеют одинаковую конфигурацию (например, все модули представляют собой 108А, все модули представляют собой 108В, все модули представляют собой 108С или другие) или различные конфигурации (например, один или более модулей представляют собой 108А, один или более 108В и один или более 108С или иное). Таким образом, спектр топологий раскрытой системы 100 является широким.

#### Примеры вариантов осуществления методологий управления

[00125] Как упоминалось, управление системой 100 может выполняться согласно

различным методологиям, таким как гистерезис или PWM. Несколько примеров PWM включают в себя пространственно-векторную модуляцию и синусоидальную широтно-импульсную модуляцию, где переключающие сигналы для преобразователя 202 генерируются методом смещенной по фазе несущей, который непрерывно чередует использование каждого модуля 108 для равномерного распределения мощности между ними.

[00126] На фиг. 8С-8F показаны графики, изображающие примерный вариант осуществления метода управления с помощью смещенной по фазе PWM, который может генерировать волновую форму многоуровневой выходной PWM с использованием пошагово сдвинутых двухуровневых волновых форм. Волновая форма X-уровневой PWM может быть создана путем суммирования  $(X-1)/2$  волновых форм двухуровневой PWM. Эти двухуровневые волновые формы могут генерироваться путем сравнения опорной волновой формы  $V_{ref}$  с несущими, пошагово сдвинутыми на  $360^\circ/(X-1)$ . Несущие имеют треугольную форму, но варианты осуществления не ограничиваются таковыми. Девятиуровневый пример показан на фиг. 8С (с использованием четырех модулей 108). Несущие пошагово сдвигаются на  $360^\circ/(9-1)=45^\circ$  и сравниваются с  $V_{ref}$ . Полученные волновые формы двухуровневой PWM показаны на фиг. 8Е. Эти двухуровневые волновые формы могут использоваться в качестве переключающих сигналов для полупроводниковых переключателей (например, S1-S6) преобразователей 202. В качестве примера со ссылкой на фиг. 8Е, для одномерной группы 700, включающей в себя четыре модуля 108, каждый с преобразователем 202, сигнал  $0^\circ$  предназначен для управления S3 и сигнал  $180^\circ$  для S6 первого модуля 108-1, сигнал  $45^\circ$  предназначен для S3 и сигнал  $225^\circ$  для S6 второго модуля 108-2, сигнал  $90^\circ$  предназначен для S3 и сигнал  $270^\circ$  для S6 третьего модуля 108-3, и сигнал  $135^\circ$  предназначен для S3 и сигнал  $315^\circ$  для S6 четвертого модуля 108-4. Сигнал для S3 комплементарен S4, и сигнал для S5 комплементарен S6 с достаточным временем нечувствительности для исключения передачи через каждый полумост. На фиг. 8F показана примерная волновая форма однофазного АС, полученная суперпозицией (суммированием) выходных напряжений из четырех модулей 108.

[00127] Альтернативой является использование как положительного, так и отрицательного опорного сигнала с первыми  $(N-1)/2$  несущими. Девятиуровневый пример показан на фиг. 8D. В этом примере, переключающие сигналы от  $0^\circ$  до  $135^\circ$  (фиг. 8Е) генерируются путем сравнения  $+V_{ref}$  с несущими от  $0^\circ$  до  $135^\circ$  на фиг. 8D, и переключающие сигналы от  $180^\circ$  до  $315^\circ$  генерируются путем сравнения  $-V_{ref}$  с несущими от  $0^\circ$  до  $135^\circ$  на фиг. 8D. Однако логика сравнения в последнем случае реверсируется. Другие методы, такие как декодер конечного автомата, также могут быть использованы для формирования сигналов затвора для переключателей преобразователя 202.

[00128] В вариантах осуществления многофазной системы, те же самые несущие могут быть использованы для каждой фазы, или набор несущих может быть смещен в целом для каждой фазы. Например, в трехфазной системе с одним опорным напряжением

(Vref) каждая группа 700 может использовать то же самое число несущих с одинаковыми относительными смещениями, как показано на фиг. 8C и 8D, но несущие второй фазы смещены на 120 градусов по сравнению с несущими первой фазы, и несущие третьей фазы смещены на 240 градусов по сравнению с несущими первой фазы. Если для каждой фазы имеется другое опорное напряжение, то фазовая информация может переноситься в опорном напряжении, и для каждой фазы могут быть использованы те же самые несущие. Во многих случаях, несущие частоты будут фиксированы, но в некоторых примерных вариантах осуществления несущие частоты могут настраиваться, что может способствовать уменьшению потерь в двигателях EV в условиях высокого тока.

[00129] Соответствующие переключающие сигналы могут предоставляться на каждый модуль системой 102 управления. Например, MCD 112 может предоставлять Vref и соответствующие сигналы несущей на каждый LCD 114 в зависимости от модуля или модулей 108, которыми управляет LCD 114, и LCD 114 затем может генерировать переключающие сигналы. Или все LCD 114 в группе могут быть обеспечены всеми несущими сигналами, и LCD может выбирать подходящие сигналы несущей.

[00130] Относительные использования каждого модуля 108 могут регулироваться на основе информации статуса для выполнения балансировки одного или более параметров, как описано здесь. Балансировка параметров может включать в себя регулировку использования для минимизации расхождения параметров во времени по сравнению с системой, в которой не выполняется регулировка использования отдельного модуля. Использование может представлять собой относительное количество времени, когда модуль 108 разряжается, когда система 100 находится в состоянии разряда, или относительное количество времени, когда модуль 108 заряжается, когда система 100 находится в состоянии заряда.

[00131] Как описано в данном документе, модули 108 могут быть сбалансированы по отношению к другим модулям в группе 700, что может упоминаться как внутригрупповая балансировка или внутрифазная балансировка, и различные группы 700 могут быть сбалансированы по отношению друг к другу, что может упоминаться как межгрупповая балансировка или межфазная балансировка. Группы 700 различных подсистем также могут быть сбалансированы относительно друг друга. Система 102 управления может одновременно выполнять любую комбинацию внутрифазной балансировки, межфазной балансировки, использования нескольких источников энергии в модуле, активной фильтрации и питания вспомогательной нагрузки.

[00132] На фиг. 9A представлена блок-схема, изображающая примерный вариант осуществления группового контроллера 900 системы 102 управления для однофазной AC- или DC-группы. Групповой контроллер 900 может включать в себя пиковый детектор 902, делитель 904 и контроллер 906 внутрифазной (или внутригрупповой) балансировки. Групповой контроллер 900 может принимать волновую форму опорного напряжения (Vr) и информацию статуса каждого из N модулей 108 в группе (например, состояние заряда (SOC<sub>i</sub>), температуру (T<sub>i</sub>), емкость (Q<sub>i</sub>) и напряжение (V<sub>i</sub>)) в качестве входов и

генерировать волновую форму нормализованного опорного напряжения ( $V_{gn}$ ) и индексы модуляции ( $M_i$ ) в качестве выходов. Пиковый детектор 902 детектирует пик ( $V_{pk}$ )  $V_g$ , который может быть специфичным для фазы, с которой работает и/или которую балансирует контроллер 900. Делитель 904 генерирует  $V_{gn}$  путем деления  $V_g$  на его детектированное  $V_{pk}$ . Контроллер 906 внутрифазной балансировки использует  $V_{pk}$  вместе с информацией статуса (например,  $SOC_i$ ,  $T_i$ ,  $Q_i$ ,  $V_i$  и т.д.) для генерации индексов модуляции  $M_i$  для каждого модуля 108 в управляемой группе 700.

[00133] Индексы модуляции и  $V_{gn}$  могут быть использованы для генерирования переключающих сигналов для каждого преобразователя 202. Индекс модуляции может быть числом между нулем и единицей (включая нуль и единицу). Для конкретного модуля 108, нормализованное опорное  $V_{gn}$  может модулироваться или масштабироваться посредством  $M_i$ , и этот модулированный опорный сигнал ( $V_{gnm}$ ) может использоваться в качестве  $V_{ref}$  (или  $-V_{ref}$ ) согласно методу PWM, описанному со ссылкой на фиг. 8C-8F, или согласно другим способам. Таким образом, индекс модуляции может быть использован для управления переключающими сигналами PWM, предоставляемыми в переключающую схему преобразователя (например, S3-S6 или S1-S6), и, таким образом, регулирования работы каждого модуля 108. Например, модуль 108, управляемый для поддержания нормального или полного рабочего режима, может принимать  $M_i$ , равный единице, в то время как модуль 108, управляемый для меньшего, чем нормальной или полный рабочий режим, может принимать  $M_i$  меньше единицы, и модуль 108, управляемый для прекращения вывода энергии, может принимать  $M_i$ , равный нулю. Эта операция может выполняться различными способами посредством системы 102 управления, например, посредством MCD 112, выдающего  $V_{gn}$  и  $M_i$  на соответствующие LCD 114 для генерации сигнала модуляции и переключения, посредством MCD 112, выполняющего модуляцию и вывод модулированного  $V_{gnm}$  на соответствующие LCD 114 для генерации переключающего сигнала, или посредством MCD 112, выполняющего генерацию сигнала модуляции и переключения и вывод переключающих сигналов на LCD или преобразователи 202 каждого модуля 108 напрямую.  $V_{gn}$  может посылаться непрерывно с  $M_i$ , посылаемым с регулярными интервалами, например, один раз на каждый период  $V_{gn}$  или один раз в минуту и т.д.

[00134] Контроллер 906 может генерировать  $M_i$  для каждого модуля 108 с использованием любого типа или комбинации типов информации статуса (например, SOC, температуры (T), Q, SOH, напряжения, тока), описанных здесь. Например, при использовании SOC и T, модуль 108 может иметь относительно высокий  $M_i$ , если SOC является относительно высоким, и температура является относительно низкой по сравнению с другими модулями 108 в группе 700. Если либо SOC является относительно низким, либо T является относительно высокой, то этот модуль 108 может иметь относительно низкий  $M_i$ , что приводит к меньшему использованию, чем для других модулей 108 в группе 700. Контроллер 906 может определять  $M_i$  таким образом, что сумма напряжений модуля не превышает  $V_{pk}$ . Например,  $V_{pk}$  может представлять собой

сумму произведений напряжения каждого источника 206 модуля и  $M_i$  для этого модуля (например,  $V_{pk} = M_1 V_1 + M_2 V_2 + M_3 V_3 \dots + M_N V_N$  и т.д.). Может быть использовано различное сочетание индексов модуляции и, таким образом, соответствующих вкладов напряжения модулями, но общее генерируемое напряжение должно оставаться одинаковым.

[00135] Контроллер 900 может управлять работой до такой степени, что он не препятствует достижению требований к выходной мощности системы в любой момент времени (например, во время максимального ускорения EV), так что SOC источника(ов) энергии в каждом модуле 108 остается сбалансированным или сходится к сбалансированному состоянию, если они не сбалансированы, и/или таким образом, что температура источника(ов) энергии или другого компонента (например, буфера энергии) в каждом модуле остается сбалансированной или сходится к сбалансированному состоянию, если они не сбалансированы. Поток мощности в модулях и из модулей может быть отрегулирован таким образом, что разница емкости между источниками не вызывает отклонения SOC. Балансировка SOC и температуры может косвенно вызвать некоторую балансировку SOH. Напряжение и ток могут быть непосредственно сбалансированы, если требуется, но во многих вариантах осуществления основная цель системы состоит в балансировке SOC и температуры, и балансировка SOC может привести к балансу напряжения и тока в высоко-симметричных системах, где модули имеют одинаковую емкость и импеданс.

[00136] Поскольку балансировка всех параметров может быть невозможна в одно и то же время (например, балансировка одного параметра может дополнительно разбалансировать другой параметр), комбинация балансировки любых двух или более параметров (SOC, T, Q, SOH, V, I) может быть применена с приоритетом, отдаваемым любому одному из них, в зависимости от требований применения. Приоритет в балансировке может отдаваться SOC по сравнению с другими параметрам (T, Q, SOH, V, I), с исключениями, сделанными в случаях, когда один из других параметров (T, Q, SOH, V, I) достигает сильно несбалансированного состояния за пределами порога.

[00137] Балансировка между группами 700 различных фаз (или группами одной и той же фазы, например, если используются параллельные группы), может выполняться одновременно с внутрифазной балансировкой. На фиг. 9B показан примерный вариант осуществления контроллера 950  $\Omega$ -фазы (или  $\Omega$ -группы), выполненного с возможностью работы в  $\Omega$ -фазной системе 100, имеющей по меньшей мере  $\Omega$  групп 700, где  $\Omega$  представляет собой любое целое число, большее единицы. Контроллер 950 может включать в себя один межфазный (или межгрупповой) контроллер 910 и  $\Omega$  контроллеров 906-PA ... 906-P $\Omega$  внутрифазной балансировки для фаз PA-P $\Omega$ , а также пиковый детектор 902 и делитель 904 (фиг. 9A) для генерации нормализованных опорных  $V_{rnPA} - V_{rnP\Omega}$  из каждого специфичного для фазы опорного  $V_{rPA} - V_{rP\Omega}$ . Внутрифазные контроллеры 906 могут генерировать  $M_i$  для каждого модуля 108 каждой группы 700, как описано со ссылкой на фиг. 9A. Контроллер 910 межфазной балансировки сконфигурирован или



запрограммирован, чтобы балансировать аспекты модулей 108 по всей многомерной системе, например, между группами различных фаз. Это может быть достигнуто посредством введения общего режима в фазы (например, смещения нейтральной точки) и/или посредством использования модулей межсоединений (описанных здесь). Введение общего режима включает введение фазового и амплитудного сдвига в опорные сигналы  $V_{rPA}-V_{rP\Omega}$  для генерации нормализованных волновых форм  $V_{rnPA}-V_{rnP\Omega}$  для компенсации разбалансировки в одной или более группах и дополнительно описано в международной заявке № PCT/US20/25366, включенной в настоящий документ.

[00138] Контроллеры 900 и 950 (а также контроллеры 906 и 910 балансировки) могут быть реализованы в аппаратных средствах, программном обеспечении или их комбинации в системе 102 управления. Контроллеры 900 и 950 могут быть реализованы в MCD 112, распределены частично или полностью между LCD 114 или могут быть реализованы в виде дискретных контроллеров, независимых от MCD 112 и LCD 114.

#### Примеры вариантов осуществления модулей межсоединений (IC)

[00139] Модули 108 могут быть подсоединены между модулями различных групп 700 в целях обмена энергией между группами, действия в качестве источника для вспомогательной нагрузки или и того и другого. Такие модули упоминаются здесь как модули 108 межсоединений (IC) 108IC. IC-модуль 108IC может быть реализован в любой из уже описанных конфигураций модуля (108A, 108B, 108C) и других, которые будут описаны в настоящем документе. IC-модули 108IC могут включать в себя любое число из одного или более источников энергии, опционального буфера энергии, переключающей схемы для подачи энергии на одну или более групп и/или для подачи питания на одну или более вспомогательных нагрузок, схемы управления (например, локальное устройство управления) и схемы мониторинга для сбора информации статуса о самом IC-модуле или его различных нагрузках (например, SOC источника энергии, температура источника энергии или буфера энергии, мощность источника энергии, SOH источника энергии, измерения напряжения и/или тока, относящиеся к IC-модулю, измерения напряжения и/или тока, относящиеся к вспомогательной нагрузке(ам) и т.д.).

[00140] На фиг. 10A представлена блок-схема, изображающая примерный вариант осуществления системы 100, способной создавать  $\Omega$ -фазную мощность с  $\Omega$  группами 700-PA - 700-P $\Omega$ , где  $\Omega$  может быть любым целым числом, большим единицы. В этом и других вариантах осуществления, IC-модуль 108IC может быть расположен на направляющей стороне групп 700, так что группы 700, с которыми соединен модуль 108IC (группы 700-PA - 700-P $\Omega$  в этом варианте осуществления), электрически подсоединены между модулем 108IC и выходами (например, SIO1 - SIO $\Omega$ ) к нагрузке. Здесь модуль 108IC имеет  $\Omega$  IO-портов для соединения с IO-портом 2 каждого модуля 108-N групп 700-PA - 700-P $\Omega$ . В показанной здесь конфигурации, модуль 108IC может выполнять межфазную балансировку посредством выборочного соединения одного или более источников энергии модуля 108IC с одной или более из групп 700-PA - 700-P $\Omega$  (или ни к какому выходу, или равно ко всем выходам, если межфазная балансировка не требуется). Система

100 может управляться системой 102 управления (не показана, см. фиг. 1А).

[00141] На фиг. 10В представлена принципиальная схема, изображающая примерный вариант осуществления модуля 108IC. В этом варианте осуществления изобретения, модуль 108IC включает в себя источник 206 энергии, соединенный с буфером 204 энергии, который, в свою очередь, соединен с переключающей схемой 603. Переключающая схема 603 может включать в себя блоки 604-РА до 604-РΩ переключающей схемы для независимого соединения источника 206 энергии с каждой из групп 700-РА - 700-РQ, соответственно. Для каждого блока 604 могут использоваться различные конфигурации переключателя, которые в этом варианте осуществления сконфигурированы как полумост с двумя полупроводниковыми переключателями S7 и S8. Каждый полумост управляется линиями 118-3 управления от LCD 114. Эта конфигурация подобна модулю 108А, описанному со ссылкой на фиг. 3А. Как описано в отношении преобразователя 202, переключающая схема 603 может быть сконфигурирована в любой компоновке и с любыми типами переключателей (например, MOSFET, IGBT, кремний, GaN и т.д.), подходящими для требований применения.

[00142] Блоки 604 переключающей схемы подсоединены между положительным и отрицательным выводами источника 206 энергии и имеют выход, который соединен с Ю-портом модуля 108IC. Блоки 604-РА - 604-РΩ могут управляться системой 102 управления для выборочной подачи напряжения  $+V_{IC}$  или  $-V_{IC}$  на соответствующие I/O-порты 1-Ω модуля. Система 102 управления может управлять переключающей схемой 603 в соответствии с любым желательным методом управления, включая упомянутые методы PWM и гистерезиса. Здесь схема 102 управления реализована как LCD 114 и MCD 112 (не показаны). LCD 114 может принимать данные мониторинга или информацию статуса из схемы мониторинга модуля 108IC. Эти данные мониторинга и/или другая информация статуса, выведенная из этих данных мониторинга, могут выводиться в MCD 112 для использования в управлении системой, как описано здесь. LCD 114 также может принимать информацию тайминга (не показана) в целях синхронизации модулей 108 системы 100 и одного или более сигналов несущей (не показаны), таких как пилообразные сигналы, используемые в PWM (фиг. 8С-8D).

[00143] Для межфазной балансировки, пропорционально больше энергии от источника 206 может быть подано на любую одну или более из групп 700-РА - 700-РQ, которая относительно низко заряжена по сравнению с другими группами 700. Подача этой дополнительной энергии на конкретную группу 700 позволяет снизить вывод энергии таких каскадно расположенных модулей 108-1 - 108-N в такой группе 700 относительно фазной группы (групп) без подачи энергии.

[00144] Например, в некоторых примерных вариантах осуществления, применяющих PWM, LCD 114 может быть выполнен с возможностью принимать нормализованный опорный сигнал ( $V_m$ ) напряжения (от MCD 112) для каждой из одной или более групп 700, с которыми связан модуль 108IC, например,  $V_{rnPA}$  -  $V_{rnPQ}$ . LCD 114 также может получать индексы модуляции  $M_iPA$  -  $M_iPQ$  для переключающих блоков

604-PA - 604-PQ для каждой группы 700, соответственно, из MCD 112. LCD 114 может модулировать (например, многократно) каждое соответствующее  $V_{gn}$  с индексом модуляции для переключающей секции, соединенной непосредственно с этой группой (например,  $V_{gnA}$ , умноженное на  $M_iA$ ), и затем использовать сигнал несущей для генерации управляющего сигнала(ов) для каждого переключающего блока 604. В других вариантах осуществления, MCD 112 может выполнять модуляцию и вывод волновых форм модулированного опорного сигнала для каждого блока 604 непосредственно на LCD 114 модуля 108IC. В других вариантах осуществления, вся обработка и модуляция могут происходить одним объектом управления, который может выдавать управляющие сигналы непосредственно на каждый блок 604.

[00145] Это переключение может модулироваться таким образом, что мощность от источника 206 энергии подается на группу(ы) 700 с соответствующими интервалами и длительностями. Такая методология может быть реализована различными способами.

[00146] На основе собранной информации статуса для системы 100, такой как текущая емкость (Q) и SOC каждого источника энергии в каждой группе, MCD 112 может определять совокупный заряд для каждой группы 700 (например, совокупный заряд для группы может быть определен как сумма емкости, умноженной на SOC для каждого модуля этой группы). MCD 112 может определить, существует ли сбалансированное или несбалансированное состояние (например, посредством использования порогов относительной разности и других метрик, описанных здесь), и генерировать индексы модуляции  $M_iPA$  -  $M_iPQ$  соответственно для каждого переключающего блока 604-PA - 604-PQ.

[00147] Во время сбалансированной работы,  $M_i$  для каждого переключающего блока 604 может быть установлен на значение, которое вызывает подачу того же или аналогичного количества чистой энергии во времени источником 206 энергии и/или буфером 204 энергии на каждую группу 700. Например,  $M_i$  для каждого переключающего блока 604 может быть тем же или аналогичным и может быть установлен на уровне или на значение, которое заставляет модуль 108IC выполнять разряд чистой или усредненной по времени энергии на одну или более групп 700-PA - 700-PQ во время сбалансированной работы, чтобы истощать модуль 108IC с той же скоростью, что и другие модули 108 в системе 100. В некоторых вариантах осуществления,  $M_i$  для каждого блока 604 может быть установлен на уровне или на значение, которое не вызывает разряд чистой или усредненной по времени энергии во время сбалансированной работы (приводит к нулевому разряду чистой энергии). Это может быть полезным, если модуль 108IC имеет более низкий совокупный заряд, чем другие модули в системе.

[00148] Когда между группами 700 возникает несбалансированное состояние, то индексы модуляции системы 100 могут регулироваться, чтобы вызвать сходимость в направлении сбалансированного состояния или минимизировать дальнейшую расходимость. Например, система 102 управления может заставлять модуль 108IC разряжаться больше на группу 700 с низким зарядом, чем другие, и может также заставить

модули 108-1 - 108-N этой низкой группы 700 разряжаться относительно меньше (например, на основе среднего по времени). Относительная чистая энергия, вносимая модулем 108IC, увеличивается по сравнению с поддерживаемыми модулями 108-1 - 108-N группы 700, а также по сравнению с количеством чистой энергии, которую модуль 108IC вносит в другие группы. Это может быть достигнуто путем увеличения  $M_i$  для переключающего блока 604, питающего эту низкую группу 700 и путем уменьшения индексов модуляции модулей 108-1 - 108-N низкой группы 700 таким образом, чтобы поддерживать  $V_{out}$  для этой низкой группы на соответствующих или требуемых уровнях, и поддерживать индексы модуляции для других переключающих блоков 604, питающих другие более высокие группы, относительно неизменными (или уменьшая их).

[00149] Конфигурация модуля 108IC на фиг. 10А-10В может использоваться отдельно для обеспечения межфазной или межгрупповой балансировки для одной системы или может использоваться в комбинации с одним или более другими модулями 108IC, каждый из которых имеет источник энергии и один или более переключающих блоков 604, соединенных с одной или более группами. Например, модуль 108IC с  $\Omega$  переключающими блоками 604, соединенными с  $\Omega$  различными группами 700, может быть объединен со вторым модулем 108IC, имеющим один переключающий блок 604, соединенный с одной группой 700, так что два модуля объединяются для обслуживания системы 100, имеющей  $\Omega+1$  групп 700. Любое количество модулей 108IC может быть объединено таким образом, каждый из которых соединен с одной или более группами 700 системы 100.

[00150] Кроме того, IC-модули могут быть выполнены с возможностью обмениваться энергией между двумя или более подсистемами системы 100. Фиг. 10С представляет собой блок-схему, изображающую примерный вариант осуществления системы 100 с первой подсистемой 1000-1 и второй подсистемой 1000-2, соединенными между собой IC-модулями. В частности, подсистема 1000-1 сконфигурирована для подачи трехфазной мощности PA, PB и PC в первую нагрузку (не показана) через системные I/O-порты SIO1, SIO2 и SIO3, при этом подсистема 1000-2 сконфигурирована для подачи трехфазной мощности PD, PE и PF во вторую нагрузку (не показана) через системные I/O-порты SIO4, SIO5 и SIO6, соответственно. Например, подсистемы 1000-1 и 1000-2 могут быть сконфигурированы как различные пакеты, подающие мощность для разных двигателей EV, либо как различные стойки, подающие мощность для различных микросетей.

[00151] В этом варианте осуществления, каждый модуль 108IC связан с первой группой подсистемы 1000-1 (через I/O-порт 1) и первой группой подсистемы 1000-2 (через I/O-порт 2), и каждый модуль 108IC может быть электрически соединен с каждым другим модулем 108IC посредством I/O-портов 3 и 4, которые соединены с источником 206 энергии каждого модуля 108IC, как описано в отношении модуля 108C на фиг. 3С. Это соединение устанавливает источники 206 модулей 108IC-1, 108IC-2 и 108IC-3 параллельно, и, таким образом, энергия, сохраненная и подаваемая модулями 108IC,

объединяется вместе посредством этой параллельной компоновки. Также могут быть использованы и другие компоновки, такие как последовательные соединения. Модули 108IC размещаются в общем корпусе подсистемы 1000-1, однако модули межсоединений могут быть внешними по отношению к общему корпусу и физически расположены как независимые объекты между общими корпусами обеих подсистем 1000.

[00152] Каждый модуль 108IC имеет переключающий блок 604-1, соединенный с I/O-портом 1, и переключающий блок 604-2, соединенный с I/O-портом 2, как описано со ссылкой на фиг. 10B. Таким образом, для балансировки между подсистемами 1000 (например, межпакетной или межстоечной балансировки) конкретный модуль 108IC может подавать относительно больше энергии на любую или обе из двух групп, к которым он подключен (например, модуль 108IC-1 может подавать энергию на группу 700-PA и/или группу 700-PD). Схема управления может контролировать относительные параметры (например, SOC и температуру) групп различных подсистем и регулировать вывод энергии IC-модулей для компенсации дисбалансов между группами или фазами разных подсистем таким же образом, как описано здесь для компенсации дисбалансов между двумя группами одной и той же стойки или пакета. Поскольку все три модуля 108IC параллельны, энергия может эффективно обмениваться между любыми и всеми группами системы 100. В этом варианте осуществления, каждый модуль 108IC питает две группы 700, но могут использоваться и другие конфигурации, включая одиночный IC-модуль для всех групп системы 100 и конфигурацию с одним выделенным IC-модулем для каждой группы 700 (например, шесть IC-модулей для шести групп, где каждый IC-модуль имеет один переключающий блок 604). Во всех случаях с множеством IC-модулей, источники энергии могут быть соединены вместе параллельно, чтобы совместно использовать энергию, как описано в настоящем документе.

[00153] В системах с IC-модулями между фазами, межфазная балансировка также может быть выполнена путем смещения нейтральной точки (или введения группового типа), как описано выше. Такая комбинация позволяет повысить надежность и гибкость балансировки при расширении диапазона рабочих условий. Система 100 может определять соответствующие обстоятельства, в которых следует выполнять только межфазную балансировку при смещении нейтральной точки, только межфазное введение энергии или комбинацию обоих одновременно.

[00154] IC-модули также могут быть выполнены с возможностью подавать мощность на одну или более вспомогательных нагрузок 301 (при том же напряжении, что и источник 206) и/или одну или более вспомогательных нагрузок 302 (при ступенчато понижающихся напряжениях от источника 302). На фиг. 10D показана блок-схема, изображающая примерный вариант осуществления трехфазной системы 100A с двумя модулями 108IC, соединенными для выполнения межфазной балансировки и для питания вспомогательных нагрузок 301 и 302. Фиг. 10E является схематичной диаграммой, изображающей этот примерный вариант осуществления системы 100 с акцентом на модули 108IC-1 и 108IC-2. Здесь схема 102 управления снова реализована как LCD 114 и

MCD 112 (не показано). LCD 114 могут принимать данные мониторинга от модулей 108IC (например, SOC ESI, температуру ESI, Q ESI, напряжение вспомогательных нагрузок 301 и 302 и т.д.) и может выводить эти и/или другие данные мониторинга в MCD 112 для использования в управлении системой, как описано здесь. Каждый модуль 108IC может включать в себя переключающую часть 602A (или 602B, описанную со ссылкой на фиг. 6C) для каждой нагрузки 302, питаемой этим модулем, и каждая переключающая часть 602 может управляться для поддержания требуемого уровня напряжения для нагрузки 302 посредством LCD 114 либо независимо, либо на основе управляющего входа от MCD 112. В этом варианте осуществления, каждый модуль 108IC включает в себя переключающую часть 602A, соединенную вместе для питания одной нагрузки 302, хотя это не является обязательным.

[00155] Фиг. 10F является блок-схемой, изображающей другой примерный вариант осуществления трехфазной системы, выполненной с возможностью подачи питания на одну или более вспомогательных нагрузок 301 и 302 с модулями 108IC-1, 108IC-2 и 108IC-3. В этом варианте осуществления, модули 108IC-1 и 108IC-2 сконфигурированы таким же образом, как описано со ссылкой на фиг. 10D-10E. Модуль 108IC-3 сконфигурирован в чисто вспомогательной роли и не вводит активно напряжение или ток в какую-либо группу 700 системы 100. В этом варианте осуществления, модуль 108IC-3 может быть выполнен так же, как модуль 108C на фиг. 3B, имеющий преобразователь 202B, C (фиг. 6B-6C) с одной или несколькими вспомогательными переключающими частями 602A, но опуская переключающую часть 601. При этом один или более источников 206 энергии модуля 108IC-3 взаимосвязаны параллельно с таковыми для модулей 108IC-1 и 108IC-2, и, таким образом, этот вариант осуществления системы 100 сконфигурирован с дополнительной энергией для питания вспомогательных нагрузок 301 и 302 и для поддержания заряда на источниках 206A модулей 108IC-1 и 108IC-2 посредством параллельного соединения с источником 206 модуля 108IC-3.

[00156] Источник 206 энергии каждого IC-модуля может быть на том же напряжении и емкости, что и источники 206 других модулей 108-1 - 108-N системы, хотя это не требуется. Например, относительно более высокая емкость может быть желательной в варианте осуществления, в котором один модуль 108IC подает энергию на множество групп 700 (фиг. 10A), чтобы позволить модулю IC разряжаться с той же скоростью, что и модули самих фазных групп. Если модуль 108IC также питает вспомогательную нагрузку, то может потребоваться даже большая емкость, чтобы позволить модулю IC питать вспомогательную нагрузку и разряжаться при относительно той же скорости, что и другие модули.

#### Быстрая зарядка

[00157] Теперь будут описаны примеры вариантов осуществления, относящиеся к методам быстрой зарядки источников энергии с использованием способов импульсного предварительного нагрева и/или импульсной зарядки. Варианты осуществления будут описаны, главным образом, в контексте источников 206 энергии, которые представляют

собой аккумуляторные батареи, хотя варианты осуществления применимы к другим типам источников энергии (например, конденсаторам с высокой плотностью энергии и топливным элементам). Варианты осуществления могут быть применены для зарядки батареи, имеющей один элемент, батареи, имеющей множество элементов (например, соединенных последовательно, параллельно или их комбинации, иногда называемой батарейным модулем), и систем, содержащих множество батарейных модулей (например, соединенных последовательно, параллельно или их комбинации, иногда называемой батарейным блоком).

[00158] Примеры типов батарей, подходящих для использования с настоящим изобретением, включают в себя твердотельные аккумуляторные батареи, батареи на основе жидких электролитов, жидкофазные батареи, а также проточные батареи, такие как литий (Li)-металлические батареи, Li-ионные батареи, Li-воздушные аккумуляторы, натрий-ионные батареи, калий-ионные батареи, магний-ионные батареи, щелочные батареи, никель-металлогидридные батареи, никель-сульфатные батареи, свинцово-кислотные батареи, цинк-воздушные батареи и другие. Некоторые примеры типов Li-ионных батарей включают в себя Li-кобальт-оксид (LCO), Li-марганец-оксид (LMO), Li-никель-марганец-кобальт-оксид (NMC), Li-железо-фосфат (LFP), Li-никель-кобальт-алюминий-оксид (NCA) и Li-титанат (LTO).

[00159] Хотя это не требуется для использования с любой конкретной конфигурацией системы аккумулирования энергии, варианты осуществления системы 100, описанные в настоящем документе, могут, в частности, извлечь выгоду от использования с настоящими вариантами осуществления быстрой зарядки. При использовании в вариантах осуществления системы 100 для зарядки источников 206 энергии, преобразователь 202 каждого модуля 108 независимо управляется для приложения положительного, нулевого или отрицательного импульса от силового соединения 110 к источнику 206. AC- или DC-сигнал, приложенный к силовому соединению 110, может быть подан обратно в источники 206 реверсивным образом относительно описанного здесь процесса для генерирования суперпозиции всех выходных импульсов из всех модулей 108. Каждый преобразователь 202 может переключаться на частотах, превышающих 100 Гц, для подачи импульсов, например, пяти миллисекунд (мс) или менее при скважности 50%. Могут быть также использованы более длинные или более короткие длительности импульсов с разными скважностями. Этот импульсный режим позволяет заряжать и/или нагревать источник энергии, как будет описано.

[00160] Преобразователи 202 могут управляться с использованием системы управления, применяющей метод широтно-импульсной модуляции, метод гистерезиса или другой метод, который стремится использовать все модули в равной степени по времени. Каждый модуль 108 может контролировать статус источника(ов) 206 энергии этого модуля 108 (например, состояние заряда (SOC), температуру, напряжение, ток и т.д.) и возвращать эту контролируемую информацию в систему 102 управления, которая может регулировать использование заряда каждого модуля 108 индивидуально для поддержания

баланса или сходить к сбалансированному состоянию выбранного параметра или параметров, подлежащих балансировке (например, SOC и/или температура).

[00161] Каскадная топология системы 100 обеспечивает возможность разделения зарядного напряжения или зарядного тока от источника заряда среди источников энергии, как требуется для реализации схем зарядки различной сложности. Например, напряжение (или ток) может прикладываться импульсным образом, когда некоторые источники 206 заряжаются в определенные моменты времени, а другие нет, в целом при условии, что полное напряжение, приложенное к источникам 206 (и другим приемникам заряда системы), равно DC- или AC-напряжению, подаваемому в систему 100 источником заряда в этот момент времени. Напряжение и длительность приложенного импульса (а также длительность времени покоя между импульсами) могут изменяться и синхронизироваться на основе состояния этих источников 206, как контролируется каждым модулем 108 (например, схемой 208 мониторинга и LCD 114). Таким образом, разделение напряжений между модулями 108 позволяет источникам 206 модулей 108 как заряжаться, так и находиться в состоянии покоя, по мере необходимости.

[00162] Варианты осуществления могут быть использованы для зарядки источников 206 с различной степенью гранулярности. Например, батарейный модуль может работать в импульсном режиме в целом, например, один импульс может быть приложен ко всем элементам, составляющим этот батарейный модуль. Альтернативно, дополнительные переключающие схемы (например, в дополнение к конфигурациям, показанным для преобразователя 202), могут быть включены для каждого отдельного элемента, так что каждый элемент батарейного модуля может работать в импульсном режиме независимо. Например, система 100, имеющая  $N$  батарейных модулей, каждый из которых содержит  $M$  элементов, может быть сконфигурирована с  $NM$  ( $N$  умноженным на  $M$ ) преобразователей или переключающих схем. Возможны другие уровни гранулярности, такие как возможность импульсной зарядки групп элементов в каждом батарейном модуле (например, элементы разделены на две группы, каждая из которых может заряжаться независимо, так что система имеет  $2N$  преобразователей или переключающих схем). Управление переключающей схемой для различных батарейных модулей и/или элементов может выполняться системой 102 управления, коммуникативно связанной с системными модулями 108 (например, MCD 112, коммуникативно связанным с LCD 114).

#### Примеры вариантов осуществления методов быстрой зарядки

[00163] В настоящем документе предлагаются примерные варианты осуществления, связанные с быстрой или ускоренной зарядкой источников энергии на улучшенных скоростях. Примерные варианты осуществления относятся к приложению импульсов напряжения или тока к батарее, чтобы повысить температуру этой батареи посредством локализованного нагрева, к приложению импульсов напряжения или тока к батарее для зарядки батареи, приложению постоянного (не импульсного) напряжения или постоянного тока к батарее, чтобы заряжать батарею при более высоких температурах, мониторинг батареи на условия деградации при зарядке и любой их комбинации.



Варианты осуществления, описанные в данном документе, могут позволить заряжать стационарные и мобильные системы аккумулирования энергии в широком диапазоне С скоростей, при условии, что некоторые ограничения напряжения и температуры не превышаются для батарейных элементов. Например, варианты осуществления могут позволить заряжать EV с емкостью накопления 100 киловатт-час (кВт·ч) от нуля до 80% емкости за 10 минут (или менее) без существенной деградации емкости на протяжении номинального срока службы батарейного блока.

[00164] Фиг. 11А является графиком, представляющим основу для описания множества примерных вариантов осуществления протоколов 1100 быстрой зарядки для зарядки источника 206 аккумулятора от относительно низкого состояния заряда (SOC) до существенного SOC за короткий промежуток времени менее 15 минут. Фиг. 11В является графиком варианта осуществления протокола 1100 с примененными примерными значениями. Протоколы 1100 быстрой зарядки, описанные со ссылкой на фиг. 11А-11В (и где-либо еще здесь), могут применяться к батарее, имеющей только один элемент, или батарейному модулю, имеющему два или более элементов (например, от 2 до 100 элементов), и могут быть реализованы с помощью схемы зарядки и переключения, локальной к внешнему источнику заряда. Например, зарядник может воспринимать температуру (например, поверхность) и отклик напряжения батарейного устройства в целом и регулировать приложение сигналов предварительного нагрева и зарядки, соответственно. Хотя такой подход обеспечивает возможность зарядки одного элемента, батарейного модуля с множеством элементов или даже системы (например, батарейного блока) в целом, данный подход не позволяет осуществлять гранулярное управление процессом предварительного нагрева и зарядки, применительно к отдельным элементам в батарейном модуле и/или отдельных батарейных модулей в системе.

[00165] Для обеспечения более гранулярного управления, протоколы 1100 также могут применяться в каскадной модульной системе 100 аккумулирования энергии, как описано здесь, где каждый модуль 108 включает в себя батарею 206, которая может представлять собой только один элемент или включать в себя два или более элементов (например, от 2 до 100 элементов), и число модулей 108 может составлять два или более (например, от 2 до 1000 модулей 108). Преобразователь 202 каждого модуля 108 может независимо управляться, как описано здесь, так что протоколы 1100 могут независимо выполняться каждым модулем 108 системы 100. Например, рассматривая батарейный блок, имеющий 12 модулей 108, каждый из которых имеет батарею 206, которая включает в себя 12 элементов, протоколы 1100 могут применяться независимо каждым модулем 108 для зарядки каждой батареи 206, имеющей 12 элементов, за 15 минут или менее, и, таким образом, заряжать весь батарейный блок за одно и то же или аналогичное время. Поскольку состояния батарей 206 в системе 100 будут варьироваться, и поскольку варианты осуществления могут регулировать скорость заряда на основе обратной связи от каждой батареи 206, время заряда для каждой батареи 206 может изменяться. Некоторые батареи 206 могут находиться на 2-3% SOC, в то время как другие находятся на или

вблизи 0% SOC или на некотором проценте между ними в начале цикла заряда. Некоторые батареи 206 могут иметь большие емкости, чем другие, и будут требовать более длительного времени для достижения желательного SOC. Некоторые батареи 206 могут, при зарядке, проявлять признаки деградации или другие характеристики, требующие замедления процесса заряда.

[00166] Для более подробного обсуждения протокола 1100, будут обсуждаться фиг. 12A-12F для обеспечения контекста характеристик и структуры батарейных элементов. Фиг. 12A представляет вид в сечении обобщенного литий-ионного батарейного элемента 1200. Элемент 1200 включает в себя повторяющуюся слоистую структуру, где каждый слой включает анод 1201 и катод 1202 с сепаратором 1203 между ними. Каждый анод 1201 содержит анодный материал 1204, перемежаемый с электролитом 1208 и имеющий токосъемник 1205, расположенный в нем. Аналогично, каждый катод 1202 содержит катодный материал 1206, перемежаемый с электролитом 1209 и имеющий токосъемник 1207, расположенный в нем.

[00167] Фиг. 12B является поясняющей схемой, изображающей иллюстрацию увеличенного анода 1201 и катода 1202 и перечисление примеров режимов деградации, которые могут происходить в типичном элементе литий-ионной батареи. Каждый из перечисленных здесь режимов деградации может быть обусловлен прямо или косвенно приложением перенапряжений к аноду и катоду и зарядкой при избыточных температурах. Примерные варианты осуществления, описанные в настоящем документе, стремятся ограничить приложение перенапряжений и работу при избыточных температурах и, таким образом, ограничивать эти режимы деградации.

[00168] Фиг. 12C является электрической схематичной моделью батарейного элемента 1200. Анод показывает падение напряжения, включающее омический компонент ( $V_{ohmic}$ ) и компонент электрохимического интерфейса ( $V_{EC\ INTERFACE}$ ).  $V_{ohmic}$  определяется величиной омического сопротивления анода ( $R_{ohmic}$ ).  $V_{EC\ INTERFACE}$  определяется импедансом активации ( $R_{CT}$ ) и импедансом на основе диффузии ( $R_{Warburg}$ ), смоделированными как последовательно соединенные компоненты параллельно с анодной емкостью двойного слоя анода ( $C_{DL}$ ).  $V_A$  представляет собой падение напряжения на основе активации на  $R_{CT}$ , в то время как  $V_{Nernst}$  представляет собой падение напряжения на основе диффузии на  $R_{Warburg}$ . Полный импеданс анода представляет собой сумму  $R_{ohmic}$ ,  $R_{CT}$  и  $R_{Warburg}$ . Катод моделируется аналогично, но со своими собственными характеристическими значениями. Электролит также проявляет падение напряжения ( $V_{ohmic\ electrolyte}$ ), определяемое омическим сопротивлением ( $R_{ohmic\ electrolyte}$ ).

[00169] На фиг. 12D показан график, изображающий примерный отклик 1212 напряжения на импульс 1214 заряда, приложенный к литий-ионному элементу. Компоненты резистивного ( $V_{ohmic}$ ), на основе активации ( $V_A$ ) и на основе диффузии ( $V_{Nernst}$ ) напряжения для анода и катода могут быть определены анализом отклика после окончания импульса 1214 зарядки. Фиг. 12E является графиком, изображающим примерное напряжение на литий-ионном элементе в диапазоне SOC, и указывает

компоненты напряжения, относящиеся к катоду, аноду и самому элементу. Анализ отклика напряжения может быть использован для определения величины перенапряжения на аноде и катоде, и величина и частота импульсов заряда могут поддерживаться, увеличиваться или уменьшаться соответственно, чтобы оставаться в допустимых пределах. Доступный диапазон перенапряжения для анода и катода уменьшается по мере увеличения состояния заряда на элементе. Раскрытые варианты осуществления могут применяться так, что ток уменьшается по мере зарядки элемента в любой фазе 1110, 1120, 1130.

[00170] На фиг. 12F показан график, изображающий примерный импедансный отклик 1210 литий-ионного элемента. Когда частота зарядного импульса возрастает, импедансный отклик смещается к чисто  $R_{ohmic}$  части реального импеданса с низким мнимым компонентом. Работа в импульсном режиме при более высокой частоте может уменьшить компонент активации отклика напряжения.

[00171] Вновь со ссылкой на фиг. 11А-11В, протокол 1100 может иметь три фазы: фазу 1110 предварительного нагрева, первую фазу 1120 заряда и вторую фазу 1130 заряда. Энергия для сигналов предварительного нагрева и заряда, подаваемых на батарею 206, может быть получена от источника заряда (например, от сети или зарядной станции), внешнего по отношению к системе, и в некоторых случаях может быть получена внутренним образом, например, через второй источник 206В. Здесь фаза 1110 импульсного предварительного нагрева может длиться в течение установленного времени (от  $time_0$  до  $time_1$ ) или до тех пор, пока не будет достигнут первый порог температуры ( $temp_1$ ). На фиг. 11В, фаза 1110 предварительного нагрева применяется до тех пор, пока батарея не достигнет 30 градусов С, что возникает спустя приблизительно одну минуту.

[00172] Фаза 1110 предварительного нагрева включает в себя приложение импульсного сигнала 1112 предварительного нагрева в виде серии или последовательности импульсов, где каждый импульс чередуется от импульса заряда (отрицательного тока) к импульсу разряда (положительного тока) равной или по существу равной длительности, опционально с временным промежутком между приложением пары импульсов заряда и разряда. На фиг. 11С-11D показаны графики зависимости тока от времени, изображающие примерные варианты осуществления серий 1112 импульсов предварительного нагрева с временным промежутком и без него, соответственно, и колеблющиеся между положительным током предварительного нагрева ( $+I_{ph}$ ) и равным, но противоположным отрицательным током предварительного нагрева ( $-I_{ph}$ ).

[00173] Фаза 1110 предварительного нагрева может достигать локального нагрева путем повышения температуры анодного токоъемника 1205, катодного токоъемника 1207 и электролита 1209 (фиг. 12А) без активации электрохимических реакций. Во многих вариантах осуществления частота ( $F_{preheat}$ ) сигнала 1112 предварительного нагрева соответствует уравнению (1):

$$(1) F_{preheat} \gg 1/(R_{CT} * C_{DL}).$$

[00174] Сигнал 1112 предварительного нагрева может быть на одной частоте, при

этом каждый импульс имеет прямоугольную или по существу прямоугольную форму (как видно во временной области). В других вариантах осуществления, сигналы 1112 предварительного нагрева могут быть реализованы более сложным способом, имея несколько частотных компонентов, таких как первичная серия импульсов и вторичные импульсы, в частотной области от 1 герца (Гц) до 1 мегагерца (МГц). В различных вариантах осуществления, сигнал 1112 предварительного нагрева имеет диапазон частот от 100 Гц до 100 килогерц (кГц). Частота сигнала 1112 предварительного нагрева вызывает падение напряжения преимущественно под действием импеданса электролита и импеданса токоотвода, и, таким образом, напряжение сигнала 1112 предварительного нагрева может приводить к катодным и анодным напряжениям, которые превышают их относительные перенапряжения отсечки как при относительно низких, так и относительно высоких состояниях заряда.

[00175] Фаза 1110 предварительного нагрева вызывает увеличение температуры на локальных участках в батарейных элементах путем настройки омических импедансов для нагрева активного материала, в то же время шунтируя активацию электрохимических реакций, таких как побочные реакции (например, разложение электролита, разложение активного, литиевого покрытия) или основные электрохимические реакции (например, литирование). Эти реакции предпочтительно шунтируются, так что они по существу не возникают (в пределах разумных допусков, выявленных специалистами в данной области техники, что позволяет продолжить функционирование в соответствующих коммерческих, исследовательских или промышленных применениях). Фаза 1110 нагревает элемент, пока импеданс активации и полный импеданс достаточно малы, так что перенапряжение на аноде возбуждает электрохимическую реакцию, и не литиевое электроосаждение. Таким образом, фаза 1110 обеспечивает быстрый нагрев электрохимического интерфейса и управление температурой объемного материала для обеспечения последующей зарядки, не вызывая повреждения из-за побочных реакций или напряжения в материале из-за быстрой деградации (например, литирования или делитирования) анодного и катодного материала.

[00176] Фаза 1110 предварительного нагрева может применяться до тех пор, пока все элементы источника 206 не достигнут минимального порога температуры, при условии, что ни один элемент не превышает максимальный порог температуры. Если элемент достигает максимального порога, то фаза 1110 предварительного нагрева может замедляться или прекращаться, или протокол 1100 может переходить в следующую фазу (первую или вторую фазы 1120, 1130) зарядки, как описано здесь. Температуры элементов могут измеряться непосредственно датчиком температуры (например, инфракрасным) или опосредованно (например, температура в подгруппе элементов или вблизи элементов). В качестве альтернативы или в комбинации с прямым измерением, температура для одного или более элементов, включая все элементы, может измеряться одним датчиком (например, инфракрасное изображение множества элементов). Температура также может быть выведена с использованием модели или справочной таблицы со ссылкой на другие

косвенные метрики (например, напряжение, ток, импеданс), опционально на основе данных, собранных из ранее охарактеризованных элементов. Пороги температуры для этой и других фаз предпочтительно коррелированы с внутренней температурой элемента, где находятся электролит и активный материал. Таким образом, если измеряется температура поверхности батарейного элемента (например, терморезистором или оптическим устройством), то порог устанавливается для температуры поверхности, которая коррелирует с требуемой внутренней температурой элемента, на основе оценки, справочной таблицы или модели.

[00177] Фаза 1110 предварительного нагрева повышает температуру батареи 206 до первого порога температуры, который в примере на фиг. 11В составляет 30 градусов Цельсия (C), измеренного на поверхности элемента. Порог температуры может зависеть от типа батареи и для литий-ионных батарей может составлять, например, от 25 до 70°C (включительно). В других вариантах осуществления, фаза 1110 предварительного нагрева может длиться в течение predetermined длительности (от  $time\_0$  до  $time\_1$ ), например, менее одной минуты, одной минуты, двух минут, трех минут, пяти минут или иного. Длительность фазы 1110 может варьироваться в зависимости от начальной температуры с более низкими начальными температурами, требующими относительно больше времени. Когда сигнал 1112 предварительного нагрева включает в себя импульс заряда и импульс разряда равной или по существу равной длительности, полный заряд батареи 206 не изменяется, по существу, во время этой фазы и остается на начальном SOC или вблизи него. Кроме того, применяемый частотный режим последовательности импульсов предпочтительно выбирается так, чтобы не инициировать ни электрохимические реакции аккумулярования, ни побочные реакции. Предпочтительный диапазон частот составляет от 100 Гц до 100 кГц для импульсных сигналов 1112 предварительного нагрева.

[00178] С-скорость (C rate) импульсов, применяемых во время фазы 1110 предварительного нагрева, может изменяться в широких пределах и в первую очередь зависит от омических характеристик, применяемых напряжений и теплового поведения элементов во время этой фазы. С-скорости до 30C и выше могут применяться в фазе 1110. Кроме того, в то время как фаза 1110 может применяться так, что не происходит чистой зарядки или разрядки, в других вариантах осуществления длина импульса заряда может быть несколько длиннее (например, 1-15%), чем длина импульса разряда, чтобы начать зарядку элементов при относительно низкой скорости по сравнению с последующими фазами. Это может происходить, например, в направлении перехода из фазы 1110 предварительного нагрева в первую фазу 1120 заряда, когда батарея 206 нагревается в направлении пороговой температуры или времени перехода. Таким образом, фаза 1110 может быть разделена на первую подфазу 1114, где не происходит зарядки, и вторую последующую подфазу 1116 после достижения более высокой температуры, где длина импульса заряда выбрана более длинной, чем длина импульса разряда, чтобы начать зарядку, но с меньшей скоростью, чем вторая фаза импульсной зарядки, описанная ниже. Примерный вариант осуществления сигнала 1112 предварительного нагрева,

прикладываемого во время обеих подфаз 1114 и 1116, показан на фиг. 11Е. Вторая подфаза 1116 может вводить зарядку с фиксированной скоростью (например, на 5% более длинный импульс зарядки) или может постепенно начинать зарядку приращениями временных длительностей (например, на 1% более длинный импульс заряда в течение 30 секунд, затем на 2% более длинный импульс заряда в течение 30 секунд и т.д.) до перехода к первой фазе 1120 заряда.

[00179] Переход фазы 1110 к первой фазе 1120 заряда или, альтернативно, переход первой подфазы 1114 во вторую подфазу 1116 может происходить при условии, когда импульсная зарядка может происходить при высокой С-скорости для быстрой зарядки, не вызывая значительной побочной реакции, такой как литиевое электроосаждение. В некоторых вариантах осуществления, это условие может быть таким, что средний ток предполагаемой скорости импульсной зарядки, умноженный на импеданс Варбурга ( $R_{\text{Warburg}}$ ), не приводит к напряжению, которое превышает диапазон перенапряжения для любого электрода. В других вариантах осуществления, это условие, которое может управлять переходом к импульсной зарядке, может быть, когда  $R_{\text{Warburg}}$  снижается до 50% или менее, 40% или менее, 30% или менее, 20% или менее или 10% или менее от полного импеданса для каждого электрода. Для вариантов осуществления, в которых фаза 1110 предварительного нагрева переходит непосредственно в фазу 1130 зарядки постоянным током (без фазы 1120 импульсной зарядки), состояние перехода может, в некоторых примерах, быть, когда импеданс активации падает до 50% или менее, 40% или менее, 30% или менее, 20% или менее или 10% или менее от полного импеданса для каждого электрода.

[00180] Первая фаза 1120 заряда является фазой импульсной зарядки, в которой сигнал импульсного заряда прикладывается к батарее 206. Фаза 1120 позволяет быстро заряжать при высоких С-скоростях при уменьшенном перенапряжении активации и с возникновением уменьшенных побочных реакций, как объяснено здесь более подробно. На фиг. 11F представлен график зависимости тока от времени, изображающий примерный вариант осуществления сигнала 1122 импульсного заряда для использования в фазе 1120. Сигнал 1122 колеблется между нулем и  $+I_{\text{рс}}$ , и в этом варианте осуществления имеет форму прямоугольной волны, где импульс  $+I_{\text{рс}}$  имеет длительность 1124 и скважность 50%. Во время фазы 1120, величина сигнала 1122 может регулироваться для поддержания постоянной температуры батареи 206 или может быть дополнительно увеличена для ускорения кинетики реакции аккумуляирования, чтобы уменьшить дальнейшее перенапряжение на электрохимических интерфейсах. Управляемые по току импульсы описаны в отношении сигнала 1112 предварительного нагрева и сигнала 1122 импульсной зарядки, но импульсы, управляемые напряжением, могут также использоваться.

[00181] Импульсы, применяемые в фазе 1110, могут иметь напряжение, превышающее напряжения отсечки (верхнее и нижнее) источника 206 энергии. В некоторых вариантах осуществления, величина, на которую импульсы фазы 1110 могут превышать напряжение отсечки, ограничено напряжением пробоя электролита.

Импульсы, применяемые в фазе 1120, также могут иметь напряжение, превышающее напряжение отсечки (верхнее и нижнее) источника 206 энергии. В некоторых вариантах осуществления, величина, на которую импульсы фазы 1120 могут превышать напряжение отсечки, равна или меньше, чем ток импульсной зарядки, умноженный на импеданс активации электрода.

[00182] Оптимальная частота и длительность 1124 применяемого импульса зависят от типа батареи. Во многих вариантах осуществления, частота ( $F_{\text{pulse}}$ ) сигнала 1122 импульсной зарядки соответствует уравнению (2):

$$(2) F_{\text{pulse}} > 1/(R_{\text{CT}} * C_{\text{DL}}).$$

[00183] Значения  $F_{\text{pulse}}$ , превышающие удвоенное значение уравнения (2), по существу, устраняют импеданс активации и перенапряжение активации (например, устраняют компоненты  $V_A$  и  $R_{\text{CT}}$  на фиг. 12C), что обеспечивает возможность более быстрой зарядки без превышения максимального перенапряжения на интерфейсе ЕС. Было обнаружено, что, для определенных вариантов осуществления литий-ионных батарей с химическим составом графитового анода и никель-кобальтового катода, длительность 1124 импульса заряда, равная двум миллисекундам (мс) (например, 250 Гц при скважности 50%), может использоваться в протоколе 1100 для зарядки батареи 206 на быстрых скоростях (например, заряд 0-75% за менее чем 15 минут) без существенной деградации емкости во времени (например, в течение многочисленных циклов зарядки, где батарея 206 циклируется от состояния низкого заряда или отсутствия заряда до номинального уровня SOC) по сравнению с сигналом зарядки постоянным током при аналогичной силе тока. Длительность импульса 1124 зарядки 5 мс или менее может заряжать батарею 206 на быстрых скоростях со значительными улучшениями в удержании емкости во времени по сравнению с сигналом зарядки постоянным током при аналогичной силе тока. Примерные варианты осуществления, описанные здесь, могут применяться при любой длительности 1124 импульса зарядки, которая работает для данного типа батареи. Варианты осуществления включают в себя длительности импульсов зарядки для литий-ионных батарей, которые составляют 5 мс или менее, 4 мс или менее, 3 мс или менее, 2 мс или менее и 1 мс или менее. Длительности могут быть настолько короткими, как 0,05 мс или 0,1 мс. Данные были собраны при скважности 50%, но импульсы могут применяться при различных скважностях, таких как 25-75%, 40-60% и 45-55%. В варианте осуществления, импульсы прикладываются с C-скоростью подачи импульсов 10,67C для зарядки на 80% за девять минут, что приводит к средней по времени C-скорости 5,33C для второй фазы при скважности 50% (10,67C/2).

[00184] В зависимости от скважности, средняя во времени C-скорость может быть больше или меньше для удовлетворения желательной цели (например, 80% SOC в течение приблизительно девяти минут). Величина C-скорости сама не является ограничением, если применяемая C-скорость не превышает ни описанных здесь ограничений по напряжению и температуре, ни химических и физических ограничений батарейного элемента и электрических и физических ограничений системы, подлежащей зарядке, и

зарядника. Таким образом, средние по времени C-скорости для второй фазы могут значительно варьироваться в различных вариантах осуществления. В одном примере, средняя по времени C-скорость для фазы 1120 импульсной зарядки составляет 4C-8C, хотя настоящий предмет изобретения не ограничен таковыми. Для протокола 1100, средние по времени C-скорости 30C и выше находятся в пределах объема настоящего предмета изобретения.

[00185] Импульсный сигнал 1122 может прикладываться при величине тока такой, что каждый батарейный элемент демонстрирует отклик напряжения, который больше, чем напряжение разомкнутой цепи, но меньше, чем верхнее напряжение отсечки для напряжения электрохимического интерфейса на анодном и катодном электродах (исключая омические перенапряжения). В различных вариантах осуществления, импульсы прикладываются так, что каждый элемент не превышает диапазон перенапряжения только анода, диапазон перенапряжения только катода или диапазон перенапряжения анода и катода вместе. Импульсная зарядка может доводить напряжение элемента до более высокого напряжения, чем зарядка постоянным током в том же (нижнем) температурном диапазоне в результате уменьшенных перенапряжений активации.

[00186] Оптимальная длительность фазы 1120 зависит от типа батареи, и более длинные фазы импульсной зарядки могут быть использованы для химических составов, которые имеют большую активацию или активацию, которая сохраняется при более высоких температурах. Фаза 1120 импульсной зарядки может продолжаться до тех пор, пока импеданс активации не снизится до 50% или менее от полного начального импеданса (например, как в начале фазы 1120). В других вариантах осуществления, фаза 1120 может продолжаться до тех пор, пока импеданс активации не снизится до 40% или ниже, 30% или ниже, 20% или ниже или 10% или ниже от полного импеданса. Другие ограничения также могут быть определены для того, когда заканчивается фаза 1120, например, температура элемента и напряжение отсечки.

[00187] Вновь со ссылкой на фиг. 11A и 11B, первая фаза 1120 заряда может продолжаться в течение заранее заданной длительности времени (например, от  $time\_1$  до  $time\_2$ ), пока не будет достигнут порог SOC или емкости (например,  $SOC\_1$ ), до тех пор, пока не будет достигнут порог температуры (например,  $temp\_2$ ), или любой их комбинации (например, заканчивая, когда достигается порог либо времени, SOC, либо температуры). Фаза 1120 предназначена для зарядки при относительно более низких температурах, где преимущества импульсного режима преобладают, но не ограничивается таковыми. Например, фаза 1120 также может быть выполнена с возможностью дополнительно повышать температуру до такой, которая пригодна для перехода во вторую фазу 1130 зарядки для применения зарядки постоянным током, чтобы производить зарядку до более высоких состояний заряда.

[00188] В варианте осуществления, показанном на фиг. 11B, фаза 1120 заканчивается, когда температура батареи 206 составляет приблизительно 50°C. В других вариантах осуществления, например, порог температуры ( $temp\_2$ ) может быть больше,



чем 30°C, например, от 30 до 60 градусов С, или от 40 до 55 градусов С. Пороговые значения за пределами этих диапазонов возможны на основе химического состава батареи. В варианте осуществления согласно фиг. 11В, порог температуры для завершения фазы 1120 достигается, когда SOC батареи достигает приблизительно 55%. В вариантах осуществления, использующих порог SOC, этот порог может составлять от 30% до 80%, от 40% до 70% или от 50% до 60%. В варианте осуществления, показанном на фиг. 11В, вторая фаза заканчивается спустя длительность приблизительно пять минут. В других вариантах осуществления, например, длительность может быть больше одной минуты, например, от 1 минуты до 9 минут, от 2 минут до 8 минут, от 3 минут до 7 минут или от 5 минут до 7 минут.

[00189] Вторая фаза 1130 зарядки является фазой зарядки постоянным током, где сигнал постоянного тока подается на батарею 206 без пульсаций. Фаза 1130 предназначена для относительно более высоких температур на электрохимическом интерфейсе, где указанные импедансы активации и диффузии снижаются (например, компоненты  $V_A$ ,  $R_{CT}$ ,  $V_{Nernst}$  и  $R_{Warburg}$  на фиг. 12С), и, таким образом, преимущества импульсной зарядки уменьшаются. Уменьшенные импедансы активации и диффузии обеспечивают зарядку постоянным током с более высокими частотами и при более высоком SOC без превышения максимальных перенапряжений. Фаза 1130 может начинаться после завершения первой фазы 1120 зарядки и может продолжаться до тех пор, пока батарея 206 не будет полностью заряжена или значительно заряжена (>50%). По мере того как напряжение разомкнутой цепи каждого элемента возрастает, величина импульса зарядки предпочтительно регулируется так, чтобы не превышать верхнее напряжение отсечки каждого элемента.

[00190] Постоянный ток может прикладываться с относительно высокой средней С-скоростью, такой как 4С-8С (или выше). При постоянном токе, как правило, нет разницы между усредненной по времени С-скоростью и фактической С-скоростью, когда прикладывается ток, но в некоторых случаях незначительное изменение тока может сделать усредненную по времени С-скорость более релевантной метрикой.

[00191] В некоторых вариантах осуществления, во время второй фазы 1130 заряда, величина сигнала заряда постоянным током может варьироваться по мере протекания процесса заряда. Например, в некоторых вариантах осуществления, величина сигнала 1132 заряда постоянным током может начинать фазу 1130 при относительно высокой С-скорости, затем постепенно переходить к более низким значениям С-скорости по мере того, как процесс заряда продолжается, чтобы избежать превышения диапазона перенапряжения по мере увеличения SOC (см. фиг. 12Е). Относительно короткая пауза или период покоя может возникать между зарядами постоянным током для обеспечения стабилизации напряжения батареи. Фиг. 13А представляет собой график, изображающий примерные уровни для сигнала 1132 заряда постоянным током в фазе 1130, где во время первой подфазы 1133 сигнал 1132 прикладывается с первой С-скоростью (например, 6С-8С) в течение первой длительности  $T_1$  (например, 60-120 секунд) с последующим

относительно более коротким периодом паузы (например, 5-15 секунд), где сигнал не прикладывается, затем, во время второй подфазы 1134, сигнал 1132 прикладывается с второй, относительно более низкой С-скоростью (например, 4С-6С) в течение второй длительности Т2 (например 90-150 секунд), вновь с последующим относительно более коротким периодом паузы (например, 5-15 секунд), где сигнал не прикладывается, затем, во время третьей подфазы 1135, сигнал 1132 прикладывается с третьей, еще меньшей С-скоростью (например, 2С-4С) в течение третьей длительности Т3 (например, 90-150 секунд), вновь с последующим относительно более коротким периодом паузы (например, 5-15 секунд), где сигнал не прикладывается, затем, во время четвертой подфазы 1136, сигнал 1132 прикладывается с четвертой еще меньшей С-скоростью (например, 1С-2С) в течение четвертой длительности Т4 (например, 4-8 минут) для завершения варианта осуществления протокола 1100 заряда. Длительность Т1-Т4, когда сигнал 1132 прикладывается в течение каждой подфазы 1133-1136, может быть постоянным или может варьироваться, причем сигнал 1132 прекращается после того, как напряжение батареи (или элемента) достигает порога, выбранного, чтобы избежать входа в состояние перенапряжения. Примерные С-скорости и длительности, показанные здесь, являются лишь примерами и не являются ограничивающими, поскольку варианты осуществления являются практически реализуемыми вне этих диапазонов. Фаза 1130 может выполняться с одной частотой повторения (скоростью) постоянного тока или любым числом двух или более подфаз (например, 1133-1136), где частота повторения постоянного тока итерационно уменьшается.

[00192] На фиг. 13В представлен график другого примерного варианта осуществления протокола 1100, где вторая фаза 1130 заряда применяется с сигналами постоянного тока с постепенно уменьшающимися величинами, как описано со ссылкой на фиг. 13А. Каждая из подфаз 1133-1136 может завершаться и переходить в следующую подфазу при возникновении временного порога, порога температуры, порога SOC, порога напряжения и/или любой их комбинации.

[00193] Не требуется, чтобы протокол 1100 выполнялся для всех трех фаз 1110, 1120 и 1130. В некоторых вариантах осуществления, первая фаза 1120 заряда может быть опущена, и протокол 1100 может переходить непосредственно из фазы 1110 предварительного импульсного нагрева в фазу 1130 заряда постоянным током. В других вариантах осуществления, вторая фаза 1130 заряда может быть опущена, и протокол 1100 может переходить непосредственно от фазы 1110 импульсного предварительного нагрева к первой фазе 1120 заряда и затем завершается. В других вариантах осуществления, фаза 1110 импульсного предварительного нагрева может быть опущена, например, в случаях, когда батарея 206 уже достаточно нагрета. Примерные варианты осуществления с этими и другими изменениями в протоколе 1100 описаны со ссылкой на фиг. 19В-19G.

[00194] Протокол 1100 также включает в себя мониторинг каждой батареи 206 для индикации потенциально ухудшающихся состояний. Этот мониторинг, который может выполняться во время любой и всех фаз 1110, 1120 и 1130, может включать в себя анализ

отклика напряжения и/или импеданса и/или мониторинг для индикации того, что произошло литиевое электроосаждение. Например, напряжение и импеданс каждой батареи 206 можно контролировать с помощью анализа отклика напряжения и импеданса для обнаружения индикации ускоренных или замедленных побочных реакций (например, см. фиг. 12F). Обнаружение побочных реакций может быть использовано для модификации характеристики сигнала зарядки, например, напряжение сигнала зарядки может быть уменьшено для замедления побочных реакций, длительность импульса зарядки может быть уменьшена для замедления побочных реакций, и частота приложения импульсов заряда может быть уменьшена для замедления побочных реакций, или может быть выполнено обратное, если определено, что скорость протекания побочных реакций является достаточно низкой для обеспечения более быстрой зарядки. Анализ напряжения и импеданса может выполняться в течение всех трех фаз (1110, 1120, 1130), в течение только фазы 1110 предварительного нагрева, в течение только первой фазы 1120 заряда, в течение только второй фазы 1130 заряда или любой их комбинации.

[00195] На фиг. 14 представлена серия графиков, изображающих примерный вариант осуществления 1400 мониторинга для индикации, что произошло литиевое электроосаждение. В этом варианте осуществления, сигнал 1402 прикладывается к батарее 206, где сигнал 1402 включает в себя импульс заряда, сразу за которым следует импульс разряда равной или по существу равной длительности, как показано на графике 1401 в верхней части. Между приложением импульсов может иметься малый промежуток времени. Здесь, первый импульс 1404 заряда и последующий импульс 1405 разряда показаны для примера 1408, в котором не произошло литиевое электроосаждение, а второй импульс 1406 заряда и второй импульс 1407 разряда показаны в примере 1409, где произошло литиевое электроосаждение.

[00196] Отклик напряжения батареи 206 на сигнал 1402 может контролироваться, как показано на среднем графике 1410. Нормальный отклик 1412 напряжения показан слева для примера, когда не произошло литиевое электроосаждение, и отклик 1414 напряжения, указывающий, что произошло литиевое электроосаждение, показан справа, а именно, индикация, что произошло отслоение осажденного лития. Если событие литиевого электроосаждения произошло, то это становится очевидным в части отклика 1414 напряжения на импульс 1406 разряда, обычно относительно быстрый переход в отклике 1414 от одного напряжения к другому напряжению, хотя прикладывается импульс разряда по существу постоянной величины. Этот быстрый переход в отклике 1414 напряжения указывает на последующее отслаивание осажденного лития. Таким образом, отклик генерируется отслаиванием лития и, таким образом, указывает на литиевое электроосаждение, возникшее перед приложением импульса 1407 разряда.

[00197] Электроосаждение может обнаруживаться непосредственно из отклика напряжения или из производной 1422 отклика напряжения, как показано на графике 1420 в нижней части. Производная отклика напряжения создает переход (например, пик или выброс, положительный или отрицательный) в моменты времени, когда отклик

напряжения подвергается относительно значимому нелинейному переходу, например, где импульсы тока начинаются и заканчиваются 1424, а также где происходит событие отслаивания лития, как показано 1426. В некоторых вариантах осуществления, контролируется только отклик напряжения или его производная по отношению к импульсу разряда. Если литиевое электроосаждение обнаружено, то характеристика сигнала заряда может быть модифицирована, как описано в отношении мониторинга импеданса выше. Обнаружение 1400 литиевого электроосаждения может выполняться периодически в течение всех трех фаз, в течение только фазы 1110 предварительного нагрева, в течение только первой фазы 1120 заряда, в течение только второй фазы 1130 заряда или любой их комбинации. Например, программа 1400 мониторинга может выполняться один раз каждые 5 секунд, 10 секунд, 20 секунд или любой другой желательный интервал. Программа 1400 может включать в себя приложение одной пары импульсов (например, 1404 и 1405) или множества пар. Длительность импульса может составлять от 0,1 мс до 10 секунд, предпочтительно порядка 100 мс или менее, чтобы минимально воздействовать на время заряда программы 1400.

[00198] На фиг. 15А представлен график экспериментальных данных, сравнивающих влияние импульсной зарядки и зарядки постоянным током на пару литий-ионных батарейных элементов, рассчитанных для использования в энергетических приложениях, таких как обычный автомобильный батарейный блок для EV. Данные 1502 указывают результаты для элементов, которые заряжались постоянным током с частотой 1С, и данные 1504 указывают результаты для элементов, которые заряжались импульсами, как описано для фазы 1120 импульсной зарядки. Фиг. 15А сравнивает емкость в миллиампер-часах (мА·ч) с временем цикла, которое является мерой совокупного времени тестирования элементов с повторяющимися циклами. Цикл зарядки постоянным током был сформирован путем приложения постоянного тока 1С для заряда примерно до 2,5 А·ч от полной расчетной емкости 2,95 А·ч с последующим разрядом до нуля с 1С-скоростью, а затем цикл повторялся. Импульсный цикл формировался приложением 1С-импульсов с длительностями 2 мс при скважности 50% в течение одного часа с последующим разрядом в течение одного часа с 1С-скоростью, а затем цикл повторялся. Экспериментальные данные были собраны при 25°C и циклы выполнялись в течение приблизительно 280 часов. Фиг. 15А показывает, что элементы, заряженные импульсами, достигали в среднем на 10% большей емкости, чем элементы, заряженные постоянным током в каждом цикле, и срок службы в циклах в обоих случаях деградировал с приблизительно одинаковой скоростью.

[00199] Фиг. 15В показывает те же данные, что и на фиг. 15А, но в нормализованной форме, где емкость показана как процент достигнутой исходной емкости. Это вновь показывает почти идентичное уменьшение срока службы в циклах для данных 1514 элементов, заряженных импульсами, по сравнению с данными 1512 постоянного тока. Таким образом, данные на фиг. 15А-15В указывают, что импульсная зарядка не вызывает увеличенного ухудшения срока службы в циклах по сравнению с

элементами, заряжаемыми постоянным током. Импульсная зарядка снижает импеданс активации и может привести к улучшенной емкости. Если условия отрегулированы, чтобы заряжать элементы импульсами до той же низкой емкости, что и достигаемая в элементах, заряжаемых постоянным током, то срок службы в циклах для заряженных импульсами элементов будет улучшен по сравнению с элементами, заряженными постоянным током.

[00200] На фиг. 16А показан график экспериментальных данных, сравнивающих эффекты протокола 1100 быстрой зарядки с зарядкой постоянным током на паре элементов литий-ионной батареи, рассчитанных для использования в энергетических приложениях, таких как традиционный автомобильный батарейный блок EV. Протокол 1100 выполнялся с фазой 1110 предварительного нагрева, первой фазой 1120 заряда и второй фазой 1130 заряда, с последующим охлаждением и разрядом для формирования одного цикла. Этот цикл повторялся непрерывно и независимо на двух батарейных элементах. На фиг. 16С показан график зависимости емкости от времени, и на фиг. 16D показан график зависимости напряжения от времени, на обоих показаны данные, собранные из выполнения одного примерного цикла протокола 1100 на батарейном элементе. Этот примерный вариант осуществления протокола 1100 включал фазу 1110 предварительного импульсного нагрева нулевого заряда, которая подняла температуру элемента от приблизительно 20°C до приблизительно 35°C. Затем следовала фаза 1120 импульсного заряда в течение 3 минут, в которой применялись 2 мс импульсы при 5С и скважности 50%. За этим следовала фаза 1130 заряда постоянным током, имеющая первую подфазу 1133 с 7С-скоростью в течение 90 секунд, с последующим периодом покоя 10 секунд, вторая подфаза 1134 с 5С-скоростью в течение 120 секунд с последующим периодом покоя 10 секунд, третья подфаза 1135 с 3,3С-скоростью в течение 120 секунд с последующим периодом покоя 10 секунд, и четвертая подфаза 1136 с 1,8С-скоростью в течение 6 минут. Фаза 1120 импульсного заряда и подфазы 1133-1136 также подвержены ограничениям напряжения в элементе (4,25 В для фазы 1120, 40,2 В для подфаз 1133-1136). Этот пример протокола 1100 позволил достичь более чем 75% номинальной емкости за менее чем 13 минут. После зарядки, имелся относительно длинный период покоя приблизительно 60 секунд, чтобы позволить элементу батареи охлаждаться, после чего элемент разряжался со скоростью, которая достигала нулевой емкости по истечении одного часа от начала протокола 1100.

[00201] Со ссылкой вновь на фиг. 16А, данные 1602 показывают результаты для элементов, которые заряжались постоянным током с 3,2С-скоростью, и данные 1604 показывают результаты для элементов, которые заряжались по протоколу 1100, как описано со ссылкой на фиг. 16В-16С. Фиг. 16А сравнивает емкость (мА·ч) с временем цикла, которое является мерой совокупного времени тестирования элементов в повторяющихся циклах. Цикл зарядки постоянным током для данных 1602 формировался путем приложения постоянного тока 3,2С в течение 13 минут с последующим разрядом с частотой для достижения полного разряда спустя один час от начала, так что полный цикл постоянного тока длился один час, затем цикл непрерывно повторялся. Циклы

выполнялись приблизительно в течение 200 часов. Фиг. 16В показывает те же данные, что и на фиг. 16А, но в нормализованной форме, где емкость показана как процент достигнутой исходной емкости.

[00202] Фиг. 16А-16В показывает, что быстрое ослабление емкости происходит с данными 1602 быстрой зарядки со стандартным постоянным током. Это быстрое ослабление емкости обусловлено высоким ростом импеданса, индуцированным в элементах путем зарядки постоянным током. И наоборот, протокол 1100 быстрой зарядки избегает этого роста импеданса и позволяет существенно улучшить удержание емкости (подобно случаю базовой 1С-скорости на фиг. 15А-15В) при достижении 75% номинальной емкости за менее чем 13 минут. Дальнейшее уточнение параметров протокола 1100 может привести к еще более ускоренному времени зарядки, равному 10 минут или менее, для достижения той же или подобной емкости.

[00203] Батарейные элементы, используемые для сбора данных фиг. 15А-15В, подвергали анализу характеристик цикла медленной зарядки и результаты представлены на графиках зависимости напряжения от емкости на фиг. 17А-17В. Фиг. 17А показывает данные для элементов, заряжаемых 1С постоянным током, где характеристическая кривая 1702 была взята в начале срока службы (BOL) перед тестированием, описанным со ссылкой на фиг. 15А-15А, и характеристическая кривая 1704 была взята в конце срока службы (EOL) после завершения тестирования. Сравнение кривых 1702 и 1704 указывает на то, что элементы постоянного тока имели необратимую потерю емкости приблизительно 15%. Фиг. 17В показывает данные для элементов, заряжаемых 1С-импульсами, где характеристическая кривая 1712 была взята в начале срока службы (BOL) перед тестированием, описанным со ссылкой на фиг. 15А-15В, и характеристическая кривая 1714 была взята в конце срока службы (EOL) после завершения тестирования. Сравнение кривых 1712 и 1714 указывает, что заряженные импульсами элементы также подвергались необратимой потере емкости приблизительно 15%. Таким образом, в EOL, заряженные импульсами элементы имели сходные необратимые потери емкости с элементами постоянного тока по сравнению с BOL. Также был сопоставим срок службы в циклах. Таким образом, импульсная зарядка не вызывает существенной деградации элементов и не приводит к быстрому росту импеданса.

[00204] Фиг. 18А представляет собой график мнимых и реальных компонентов импеданса для элементов, заряжаемых постоянным током, и элементов, заряжаемых импульсами, в EOL. Данные 1802 соответствуют элементам, заряжаемым постоянным током, а данные 1804 соответствуют элементам, заряжаемым импульсами. Обе пары элементов имеют, по существу, одинаковые импедансные характеристики, при этом элементы, заряжаемые импульсами, имеют лишь немного более высокие омические и активационные компоненты их импеданса. Это, вероятно, обусловлено нарастанием слоя SEI и результирующим ростом импеданса из-за более высоких, чем оптимальные, температур, что можно ослабить дополнительным уточнением параметров протокола 1100, обеспечивающих контроль температуры в большей степени.

[00205] Фиг. 18В показывает график напряжения элементов в зависимости от времени, изображающий экспериментальные данные, собранные для литий-ионных элементов, заряжаемых постоянным током (1812), заряжаемых импульсами с длительностью 10 мс (1814) и заряжаемых импульсами с длительностью 2 мс (1816). Зарядка при постоянном токе или зарядка импульсами с последующим состоянием покоя обеспечивает быстрое измерение вклада омического импеданса/импеданса активации по отношению к диффузии. Измерения обобщены в таблице 1 ниже. Эти данные показывают, что импульсная зарядка 1816 уменьшает импеданс активации и перенапряжение активации при сохранении аналогичных перенапряжений диффузии.

Таблица 1

| Зарядка        | Частота | Омический импеданс | Импеданс активации | Омическое перенапряжение | Перенапряжение активации |
|----------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| Постоянный ток | 0 Гц    | 20,7 мОм           | 7,8 мОм            | 36 мВ @ 1,75 А           | 14 мВ @ 1,75 А           |
| Импульс 10 мс  | 50 Гц   | 20,7 мОм           | 7,2 мОм            | 72 мВ @ 3,5 А            | 26 мВ @ 3,5 А            |
| Импульс 2 мс   | 250 Гц  | 20,7 мОм           | 1,2 мОм            | 72 мВ @ 3,5 А            | 5,6 мВ @ 3,5 А           |

[00206] Фиг. 19А-Г представляют собой блочные диаграммы, изображающие примерные варианты осуществления реализаций протокола 1100 быстрой зарядки для различных типов батареи. На этих чертежах, температура элементов обычно увеличивается во времени. На фиг. 19А показан протокол 1100-1, реализованный в соответствии с вариантами осуществления на фиг. 11А-11В, где первая фаза 1110 импульсного предварительного нагрева выполняется сначала, за которой следует фаза 1120 импульсной зарядки, и оканчивается относительно более высокотемпературной фазой 1130 зарядки постоянным током (СС). Протокол 1100-1 может быть использован, например, с NMC или NCA батарейными элементами.

[00207] Фиг. 19В показывает протокол 1100-2, имеющий фазу 1110 импульсного предварительного нагрева, выполняемую первой, за которой следует фаза 1120 импульсной зарядки, опускающая фазу 1130 зарядки постоянным током. В качестве примера, этот вариант осуществления может быть пригодным для типов батарей, которые, по сравнению с NMC или NCA батарейными элементами, имеют химические составы с относительно более высокой активацией, но относительно более низкой диффузией при приемлемых температурах зарядки.

[00208] Фиг. 19С показывает протокол 1100-3, имеющий только фазу 1120 импульсной зарядки, опускающая фазу 1110 предварительного нагрева и фазу 1130 зарядки постоянным током. В качестве примера, этот вариант осуществления может быть пригодным для типов батарей, которые по сравнению с NMC или NCA батарейными элементами имеют химический состав с относительно более высокой активацией при

приемлемых температурах зарядки.

[00209] Фиг. 19D показан протокол 1100-4, имеющий фазу 1120 импульсной зарядки, за которой следует фаза 1130 зарядки постоянным током, опуская фазу 1110 предварительного нагрева. В качестве примера, этот вариант осуществления может быть пригодным для типов батарей, которые по сравнению с NMC или NCA батарейными элементами имеют химический состав с относительно более низкой активацией при высоких состояниях заряда, что обеспечивает возможность зарядки постоянным током при этих высоких состояниях заряда.

[00210] Фиг. 19E показывает протокол 1100-5, имеющий фазу 1110 импульсного предварительного нагрева, за которой следует фаза 113010 зарядки постоянным током. Фаза 1120 импульсной зарядки опущена. В качестве примера, этот вариант осуществления может быть пригодным для типов батарей, которые по сравнению с NMC или NCA батарейными элементами имеют химический состав с относительно более низкой активацией при приемлемых температурах зарядки.

[00211] Фиг. 19F показывает протокол 1100-6, который аналогичен 1100-5 с первой фазой 1110-1 предварительного нагрева и фазой 1130-1 постоянного тока, но протокол 1100-6 повторяет этот режим со второй фазой 1110-2 импульсного предварительного нагрева и второй фазой 1130-2 зарядки постоянным током. В качестве примера, этот вариант осуществления может быть пригодным для типов батарей, которые по сравнению с NMC или NCA батарейными элементами имеют химический состав с относительно более низкой активацией при приемлемых температурах зарядки и выполняется в двух отдельных температурных режимах.

[00212] Фиг. 19G показывает протокол 1100-7, имеющий фазу 1110 импульсного предварительного нагрева, за которой следует первая фаза 1130-1 зарядки постоянным током, затем за ней следует фаза 1120 импульсной зарядки и вторая фаза 1130-220 зарядки постоянным током. В качестве примера, этот вариант осуществления может быть пригодным для типов батарей, которые по сравнению с NMC или NCA батарейными элементами имеют химический состав с относительно более высокой активацией при состояниях среднего диапазона заряда.

[00213] Варианты осуществления протокола, описанные со ссылкой на фиг. 19A-19G и в других частях настоящего документа, могут выполняться независимо для каждого источника энергии в системе, подлежащей зарядке. Информация об условиях каждого источника (например, SOC, температура, отклик напряжения, реакция импеданса, индикация литиевого электроосаждения и т.д.) может быть собрана для каждого источника и передана в систему управления (например, 102) для обеспечения координированного системного администрирования применением протокола 1100 и распределения мощности в силовых соединениях (например, 110) к каждому модулю или источнику. Например, модульная энергетическая система 100, имеющая группу из N различных модулей 108, каждый из которых имеет источник 206 энергии, может выполнять протокол 1100-1 по фиг. 19A независимо в каждом из N модулей 108.



Определение того, когда каждый источник 206 достиг переходного состояния (например, от фазы 1110, 1120 к фазе 1120, 1130 или между подфазами 1114, 1116, 1133-1136), может быть осуществлено системой 102 управления (например, MCD 112), и могут быть выданы соответствующие инструкции, так что данный модуль 108 переходит в следующую фазу для каждого источника 206 (например, посредством MCD 112, инструктирующего LCD 114, модифицировать переключающие сигналы для преобразователя 202, чтобы генерировать импульсы зарядки (или постоянный ток) в отличие от последовательности импульсов предварительного нагрева). Первая группа из одного или более модулей 108 может удовлетворять условию перехода от фазы 1110 импульсного предварительного нагрева к фазе 1120 импульсной зарядки (например, при минимальной температуре и т.д.), в то время как вторая группа из одного или более различных модулей 108 может еще не удовлетворять условию. Таким образом, система 100 может управлять и разделять приложение мощности системой 102 управления (например, в направлении MCD 112), так что первая группа из одного или более модулей 108 находится в фазе 1120 импульсной зарядки, в то время как вторая группа из одного или более различных модулей 108 остается в фазе 1110 импульсного предварительного нагрева. Когда каждый модуль 108 второй группы независимо достигает состояния перехода, этот модуль 108 может переходить в фазу импульсного предварительного нагрева с первой группой модулей 108. Аналогично, когда каждый модуль 108 в фазе 1120 импульсной зарядки независимо достигает состояния для перехода в фазу 1130 зарядки постоянным током, этот модуль 108 может переходить из фазы 1120 в фазу 1130. В некоторых примерах, все из различных фаз 1110, 1120 и 1130 могут выполняться на различных источниках энергии в той же самой системе одновременно. То же самое применимо к выполнению подфаз протокола (например, 1114, 1116 и 1133-1136) на источниках в системе, так что различные подфазы могут выполняться на различных источниках одновременно.

[00214] На фиг. 20 представлена блок-схема, изображающая примерные варианты осуществления применений, которые могут быть выполнены с возможностью применять протокол 1100, описанный в настоящем документе. Здесь источники 150 заряда показаны в нижнем ряду, и конфигурации источников энергии, подлежащие зарядке, показаны в верхнем ряду. В примерной конфигурации 2010, источник 150-1 заряда сконфигурирован как DC-зарядник с переключающей схемой для предоставления импульсного напряжения DC-зарядки для выполнения импульсного предварительного нагрева. Источник 150-1 заряда используется для зарядки обычной электрической силовой цепи 2012, такой как последовательно соединенный батарейный блок обычного электрического транспортного средства. В примерной конфигурации 2020, источник 150-2 заряда сконфигурирован как DC-зарядник и используется для зарядки обычной силовой цепи 2014, сконфигурированной с переключающей схемой для обеспечения того, чтобы принятое DC-напряжение зарядки стало импульсным для предварительного нагрева и/или зарядки перед вводом в накопитель энергии батареи. В примерной конфигурации 2030, источник 150-3 заряда сконфигурирован в соответствии с вариантами осуществления системы 100,

описанными со ссылкой на фиг. 11A-10F, и подает импульсное DC- или AC-напряжение в обычную силовую цепь 2012. В примерной конфигурации 2040, источник 150-4 заряда сконфигурирован как DC-зарядник, используемый для подачи DC-напряжения зарядки в энергетическую систему 100, сконфигурированную в соответствии с вариантами осуществления, описанными со ссылкой на фиг. 1A-10F. В примерной конфигурации 2050, источник 150-5 заряда сконфигурирован как AC-зарядник, используемый для подачи AC-напряжения заряда в энергетическую систему 100, сконфигурированную в соответствии с вариантами осуществления, описанными со ссылкой на фиг. 1A-10F. В примерной конфигурации 2060, источник 150-3 заряда (такой как конфигурация 2030) используется для подачи DC- или AC-напряжения в энергетическую систему 100, сконфигурированную в соответствии с вариантами осуществления, описанными со ссылками на фиг. 1A-10F, в этом случае либо источник заряда, либо система 100 могут обеспечивать импульсный режим работы.

[00215] Хотя это и не ограничивается таковыми, конфигурации 2010, 2020 и 2030 могут быть особенно подходящими для применений относительно с более низким напряжением (например, от 10 Вт·ч до 20 киловатт-часов (кВт·ч)), тогда как конфигурации 2040 и 2050 могут быть особенно подходящими для применений с относительно более высоким (умеренным) напряжением (например, от 20 кВт·ч до 100 кВт·ч), и конфигурация 2060 может быть особенно подходящей для применений с относительно более высоким напряжением (например, 100 кВт·ч и выше).

[00216] Все вышеупомянутые варианты осуществления, относящиеся к импульсной зарядке, могут быть реализованы согласно схеме управления с широтно-импульсной модуляцией или схеме управления на основе гистерезиса, как описано в данном документе, с дополнительными ограничениями по длительности импульса, реализованной, где это применимо, чтобы не нарушать условия длительности импульса определенных вариантов осуществления, описанных в данном документе.

[00217] Все вышеупомянутые варианты осуществления, относящиеся к быстрой зарядке, также могут быть использованы для быстрой разрядки системы.

[00218] Во всех вариантах осуществления, описанных в данном документе, первичный источник энергии каждого модуля конкретной системы может иметь одинаковое напряжение (либо стандартное рабочее напряжение, либо номинальное напряжение). Такая конфигурация упрощает управление и построение системы. Первичный и вторичный источники энергии могут также иметь одинаковое напряжение (стандартное или номинальное). Могут быть реализованы и другие конфигурации, как те, в которых первичные источники энергии различных модулей одной и той же системы имеют разные напряжения (стандартное или номинальное), и те, в которых первичный и вторичный источники энергии модуля имеют разные напряжения (стандартное или номинальное). Могут быть реализованы и другие конфигурации, в которых первичные источники энергии модулей системы имеют батареи первичных источников энергии, которые имеют различные химические составы, или модули системы имеют батарею

первичного источника энергии с первым химическим составом, и батарею вторичного источника энергии со вторым химическим составом. Модули, которые отличаются друг от друга, могут быть основаны на размещении в системе (например, модули в фазированной решетке отличаются от IC модуля(ей)).

[00219] Различные аспекты настоящего предмета изобретения изложены ниже, в обзоре и/или в дополнение к вариантам осуществления, описанным выше, с акцентом на взаимосвязи и взаимозаменяемости следующих вариантов осуществления. Другими словами, акцент делается на том факте, что каждый признак вариантов осуществления может быть объединен с каждым и любым другим признаком, если явно не указано или не предписано иное.

[00220] Во многих вариантах осуществления, предложен способ для зарядки источника энергии, причем способ включает в себя: приложение сигнала предварительного нагрева, включающего в себя последовательность чередующихся импульсов энергии заряда и разряда, к источнику энергии, так что температура источника энергии увеличивается; и затем приложение сигнала зарядки к источнику энергии, так что заряд источника энергии увеличивается.

[00221] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева прикладывается, пока источник энергии не достигнет первой температуры, и сигнал зарядки прикладывается после того, как источник энергии достигнет первой температуры.

[00222] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева прикладывается в течение первой временной длительности, и сигнал зарядки прикладывается после первой временной длительности.

[00223] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева имеет такую частоту, что в источнике энергии не происходит ни электрохимическая реакция аккумулярования, ни побочная реакция.

[00224] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой литий-ионную батарею, и сигнал предварительного нагрева имеет частоту выше, чем один килогерц.

[00225] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева имеет такую частоту, что электрохимический перенос заряда основной реакции аккумулярования и побочных реакций источника энергии шунтируется. Способ, в котором электрохимический перенос заряда может быть шунтирован способностями на границе раздела сред (интерфейсе) электродов источника энергии к электролиту источника энергии.

[00226] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки включает в себя множество импульсов зарядки. Способ, где множество импульсов заряда могут иметь длительность импульса, меньшую или равную десяти миллисекундам, меньше или равную пяти миллисекундам, или меньше или равную двум миллисекундам. Способ, где источник энергии может иметь напряжение разомкнутой цепи и верхнее напряжение отсечки, и где множество импульсов зарядки могут находиться под напряжением между напряжением

разомкнутой цепи и верхним напряжением отсечки.

[00227] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки представляет собой первый сигнал зарядки, включающий в себя множество импульсов, способ может дополнительно включать в себя: приложение второго сигнала зарядки к источнику энергии после приложения первого сигнала зарядки, где второй сигнал зарядки может быть сигналом зарядки постоянным током. Способ, где сигнал предварительного нагрева может прикладываться, пока источник энергии не достигнет первой температуры, первый сигнал зарядки может прикладываться, пока источник энергии не достигнет второй температуры, и второй сигнал зарядки может прикладываться после того, как источник энергии достигнет второй температуры. Способ, где первая температура может составлять 25 градусов Цельсия или выше или от 25 до 40 градусов Цельсия. Способ, где вторая температура может составлять 45 градусов Цельсия или выше или от 45 до 55 градусов Цельсия. Способ, где первый сигнал зарядки может прикладываться, пока источник энергии не достигает первого состояния заряда, и второй сигнал зарядки может прикладываться после того, как источник энергии достигнет первого состояния заряда. Способ, где второй сигнал зарядки может прикладываться, пока источник энергии не достигнет состояния зарядки 95% или выше. Способ, где источник энергии может иметь состояние зарядки, составляющее 5% или менее, в первый момент времени, в который прикладывается первый сигнал зарядки, источник энергии может иметь состояние заряда 75% или более во второй момент времени после того, как прикладывается второй сигнал зарядки, и где разница между первым временем и вторым временем может составлять десять минут или менее. Способ, где сигнал предварительного нагрева может прикладываться в течение двух минут или менее перед приложением первого сигнала зарядки.

[00228] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой батарею, содержащую литий, способ может дополнительно включать в себя мониторинг источника энергии на электроосаждение лития. Способ, где мониторинг источника энергии на электроосаждение лития может включать в себя определение, является ли отклик напряжения источника энергии на приложение импульса заряда, за которым следует импульс разряда, включающий сигнатуру отслаивания лития. Способ, где мониторинг источника энергии на электроосаждение лития может включать в себя: приложение импульса заряда, непосредственно за которым следует импульс разряда, к источнику энергии; получение производной отклика напряжения по меньшей мере на импульс разряда; и определение, включает ли производная сигнатуру отслаивания лития. Способ, где мониторинг источника энергии на электроосаждение лития может выполняться периодически во время фазы зарядки источника энергии, где прикладывается сигнал зарядки.

[00229] В некоторых вариантах осуществления, способ может дополнительно включать в себя мониторинг импеданса источника энергии для индикации деградации. Способ может дополнительно включать в себя регулирование приложения сигнала

зарядки в ответ на контролируемый импеданс. Способ, где мониторинг импеданса источника энергии может выполняться периодически в течение фазы зарядки источника энергии, где прикладывается сигнал зарядки.

[00230] В некоторых вариантах осуществления, источником энергии является батарейный элемент.

[00231] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой батарейный модуль, включающий в себя множество батарейных элементов.

[00232] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки включает в себя множество импульсов заряда, и приложение сигнала предварительного нагрева прекращается, и приложение сигнала зарядки начинается, когда импеданс Варбурга электрода источника энергии составляет 20% или менее от полного импеданса электрода.

[00233] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки включает в себя множество импульсов заряда, и приложение сигнала предварительного нагрева прекращается, и приложение сигнала зарядки начинается, когда импеданс Варбурга электрода источника энергии составляет 10% или менее от полного импеданса электрода.

[00234] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки включает в себя множество импульсов заряда, и приложение сигнала предварительного нагрева прекращается, и приложение сигнала зарядки начинается, когда импеданс Варбурга электрода, умноженный на усредненный ток сигнала зарядки, меньше, чем имеющееся перенапряжение электрода.

[00235] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки представляет собой сигнал зарядки постоянным током, и приложение сигнала предварительного нагрева прекращается, и приложение сигнала зарядки начинается, когда импеданс активации электрода источника энергии составляет 20% или менее от полного импеданса электрода.

[00236] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки представляет собой сигнал постоянного тока зарядки, и приложение сигнала предварительного нагрева прекращается, и приложение сигнала зарядки начинается, когда импеданс активации электрода источника энергии составляет 10% или менее от полного импеданса электрода.

[00237] В некоторых вариантах осуществления, приложение первого сигнала зарядки прекращается, и приложение второго сигнала зарядки начинается, когда импеданс активации электрода источника энергии составляет 50% или менее от полного импеданса электрода.

[00238] В некоторых вариантах осуществления, приложение первого сигнала зарядки прекращается, и приложение второго сигнала зарядки начинается, когда импеданс активации электрода источника энергии составляет 20% или менее от полного импеданса электрода.

[00239] В некоторых вариантах осуществления, приложение первого сигнала зарядки прекращается, и приложение второго сигнала зарядки начинается, когда импеданс активации электрода источника энергии составляет 10% или менее от полного импеданса электрода.

[00240] В некоторых вариантах осуществления, импульсный сигнал предварительного нагрева прикладывается при напряжении, большем, чем верхнее напряжение отсечки и нижнее напряжение отсечки источника энергии.

[00241] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки включает в себя множество импульсов зарядки при пиковых напряжениях, превышающих напряжение отсечки источника энергии.

[00242] Во многих вариантах осуществления, обеспечена система, выполненная с возможностью зарядки источника энергии, причем система включает в себя: систему управления, выполненную с возможностью: (а) управлять переключающей схемой для приложения сигнала предварительного нагрева к источнику энергии, так что температура источника энергии увеличивается, пока источник энергии удовлетворяет условию, где сигнал предварительного нагрева включает в себя последовательность чередующихся импульсов энергии заряда и разряда, и (b) управлять переключающей схемой для приложения сигнала зарядки к источнику энергии после того, как источник энергии удовлетворяет условию.

[00243] В некоторых вариантах осуществления, система управления включает в себя схему обработки, коммуникативно связанную с памятью, где память хранит инструкции, которые, при исполнении схемой обработки, побуждают систему управления выполнять этапы (а) и (b).

[00244] В некоторых вариантах осуществления, система управления дополнительно выполнена с возможностью обнаруживать, когда источник энергии удовлетворяет условию, или принимать указание, что источник энергии удовлетворил условию.

[00245] В некоторых вариантах осуществления, условие представляет собой температурное условие, при этом система управления выполнена с возможностью управлять переключающей схемой для приложения сигнала предварительного нагрева, пока источник энергии не достигнет первой температуры, и прикладывать сигнал зарядки после того, как источник энергии достигнет первой температуры.

[00246] В некоторых вариантах осуществления, система управления выполнена с возможностью управлять переключающей схемой для приложения сигнала предварительного нагрева в течение первой длительности времени и для приложения сигнала зарядки после первой длительности времени.

[00247] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева имеет частоту, выполненную с возможностью предотвращать возникновение реакции электрохимического накопления и побочной реакции в источнике энергии.

[00248] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой литий-ионную батарею, и сигнал предварительного нагрева имеет частоту больше, чем один килогерц.

[00249] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева имеет частоту, выполненную с возможностью шунтировать электрохимический перенос

заряда основной реакции накопления и побочных реакций источника энергии.

[00250] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки включает в себя множество импульсов заряда.

[00251] В некоторых вариантах осуществления, множество импульсов заряда имеют длительности импульсов, меньшую или равную десяти миллисекундам. Система, где множество импульсов заряда могут иметь длительности импульса, меньшие или равные пяти миллисекундам или меньшие или равные двум миллисекундам. В системе, источник энергии может иметь напряжение разомкнутой цепи и верхнее напряжение отсечки, и множество импульсов заряда находятся под напряжением между напряжением разомкнутой цепи и верхним напряжением отсечки.

[00252] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки представляет собой первый сигнал зарядки, включающий в себя множество импульсов, и система управления выполнена с возможностью управлять переключающей схемой для приложения второго сигнала зарядки к источнику энергии после приложения первого сигнала зарядки, где второй сигнал зарядки представляет собой сигнал зарядки постоянным током. Система, где система управления может быть сконфигурирована для управления переключающей схемой, чтобы прикладывать сигнал предварительного нагрева, пока источник энергии не достигнет первой температуры, прикладывать первый сигнал зарядки, пока источник энергии не достигнет второй температуры, и прикладывать второй сигнал зарядки после того, как источник энергии достигнет второй температуры. Система, где первая температура может составлять 25 градусов Цельсия или выше или от 25 градусов до 40 градусов Цельсия. Система, где вторая температура может составлять 45 градусов Цельсия или выше или от 45 до 55 градусов Цельсия. Система, где система управления сконфигурирована для управления переключающей схемой, чтобы прикладывать первый сигнал зарядки, пока источник энергии не достигнет первого состояния заряда, и прикладывать второй сигнал зарядки после того, как источник энергии достигнет первого состояния заряда. Система, где система управления может быть сконфигурирована для управления переключающей схемой, чтобы прикладывать второй сигнал зарядки, пока источник энергии не достигнет состояния заряда 95% или выше.

[00253] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой батарею, содержащую литий, и система управления сконфигурирована для мониторинга источника энергии на электроосаждение лития. Система, где система управления может быть выполнена с возможностью определять, следует ли за откликом напряжения источника энергии на приложение импульса заряда импульс разряда, который включает в себя сигнатуру отслаивания лития.

[00254] В некоторых вариантах осуществления, система управления выполнена с возможностью: управлять переключающей схемой для приложения импульса заряда к источнику энергии с последующим импульсом разряда; получать производную отклика напряжения по меньшей мере на импульс разряда; и определять, включает ли в себя производная сигнатуру отслаивания лития. Система, где система управления может быть

выполнена с возможностью периодически контролировать источник энергии на электроосаждение лития в течение фазы зарядки источника энергии, где прикладывается сигнал зарядки.

[00255] В некоторых вариантах осуществления, система управления выполнена с возможностью контролировать импеданс источника энергии на указание деградации. Система управления может быть выполнена с возможностью управлять переключающей схемой для регулирования приложения сигнала зарядки в ответ на контролируемый импеданс. Система, где система управления может быть выполнена с возможностью периодически контролировать импеданс источника энергии в течение фазы зарядки источника энергии, где прикладывается сигнал зарядки.

[00256] В некоторых вариантах осуществления, источником энергии является батарейный элемент.

[00257] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой батарейный модуль, включающий в себя множество батарейных элементов.

[00258] Во многих вариантах осуществления, предложен способ зарядки множества источников энергии в системе аккумулирования энергии, где система аккумулирования энергии включает в себя множество модулей, каскадно соединенных друг с другом, причем каждый из множества модулей включает в себя источник энергии и переключающую схему, где система аккумулирования энергии выполнена с возможностью генерировать АС-мощность с суперпозицией выходных сигналов, генерируемых множеством модулей, причем способ включает в себя: приложение, посредством переключающей схемы каждого модуля, сигнала предварительного нагрева, включающего в себя последовательность чередующихся импульсов энергии заряда и разряда к источнику энергии каждого модуля, так что температура источника энергии каждого модуля увеличивается; и затем приложение, посредством переключающей схемы каждого модуля, сигнала зарядки к источнику энергии каждого модуля.

[00259] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева прикладывается, пока источник энергии не достигнет первой температуры, и сигнал зарядки прикладывается после того, как источник энергии достигнет первой температуры.

[00260] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии включает в себя множество элементов, и сигнал предварительного нагрева прикладывается, пока все элементы не достигнут первой минимальной температуры, или пока по меньшей мере один элемент не достигнет максимальной температуры.

[00261] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева прикладывается в течение первой длительности времени, и сигнал зарядки прикладывается после первой длительности времени.

[00262] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки включает в себя множество импульсов заряда. Способ, где множество импульсов заряда может иметь длительность импульса, меньшую или равную десяти миллисекундам, меньшую или равную пяти миллисекундам или меньшую или равную двум миллисекундам. Способ, где



источник энергии каждого модуля может иметь напряжение разомкнутой цепи и верхнее напряжение отсечки, и множество импульсов заряда находятся при напряжении между напряжением разомкнутой цепи и верхним напряжением отсечки.

[00263] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки представляет собой первый сигнал зарядки, включающий в себя множество импульсов заряда, способ может дополнительно включать в себя: приложение, посредством переключающей схемы каждого модуля, второго сигнала зарядки к источнику энергии каждого модуля после приложения первого сигнала зарядки, где второй сигнал зарядки представляет собой сигнал зарядки постоянным током. Способ, где сигнал предварительного нагрева может прикладываться, пока источник энергии не достигнет первой температуры, первый сигнал зарядки может прикладываться, пока источник энергии не достигнет второй температуры, и второй сигнал зарядки может прикладываться после того, как источник энергии достигнет второй температуры. Способ, где первая температура может составлять 25 градусов Цельсия или выше, или от 25 до 40 градусов Цельсия. Способ, где вторая температура может составлять 41 градус Цельсия или выше или от 41 до 60 градусов Цельсия. Способ, где первый сигнал зарядки может прикладываться, пока источник энергии не достигнет первого состояния заряда, и второй сигнал зарядки может прикладываться после того, как источник энергии достигнет первого состояния заряда. Способ, где второй сигнал зарядки может прикладываться, пока источник энергии не достигнет состояния заряда 95% или выше. Способ, где источник энергии может иметь состояние заряда, составляющее 5% или менее в первый момент времени, в который прикладывается первый сигнал зарядки, источник энергии может иметь состояние заряда 75% или более во второй момент времени после того, как прикладывается второй сигнал зарядки, и разница между первым временем и вторым временем может составлять десять минут или менее. Способ, где сигнал предварительного нагрева может прикладываться в течение двух минут или менее перед приложением первого сигнала зарядки.

[00264] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии каждого модуля представляет собой батарею, содержащую литий, способ может дополнительно включать в себя мониторинг источника энергии каждого модуля на электроосаждение лития. Способ, где мониторинг источника энергии каждого модуля на электроосаждение лития может включать в себя определение, является ли отклик напряжения источника энергии на приложение импульса заряда, за которым следует импульс разряда, включает сигнатуру отслаивания лития. Способ, где мониторинг источника энергии каждого модуля на электроосаждение лития может включать в себя: приложение импульса заряда сразу после приложения импульса разряда к источнику энергии; получение производной отклика напряжения по меньшей мере на импульс разряда; и определение, включает ли производная сигнатуру отслаивания лития. Способ, где мониторинг источника энергии каждого модуля для электроосаждения лития может выполняться периодически в течение фазы зарядки источника энергии каждого модуля, где прикладывается сигнал зарядки. Способ может дополнительно включать в себя мониторинг импеданса источника энергии

в каждом модуле для индикации ухудшения деградации. Способ может дополнительно включать в себя регулирование приложения сигнала зарядки в ответ на контролируемый импеданс. Способ, где мониторинг импеданса источника энергии в каждом модуле можно осуществлять периодически в течение фазы зарядки источника энергии, где прикладывается сигнал зарядки.

[00265] В некоторых вариантах осуществления, источником энергии является батарейный элемент.

[00266] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой батарейный модуль, включающий в себя множество батарейных элементов.

[00267] Во многих вариантах осуществления предусмотрена система аккумулирования энергии, включающая в себя: множество модулей, каскадно соединенных друг с другом, причем каждый из множества модулей включает в себя источник энергии и переключающую схему, где система аккумулирования энергии выполнена с возможностью генерировать АС-мощность с суперпозицией выходных сигналов, генерируемых множеством модулей, где система аккумулирования энергии выполнена с возможностью, для каждого модуля (а) управлять переключающей схемой для приложения сигнала предварительного нагрева к источнику энергии таким образом, что температура источника энергии увеличивается, пока источник энергии не достигнет первой температуры, где сигнал предварительного нагрева включает в себя последовательность чередующихся импульсов энергии заряда и разряда; и (b) управлять переключающей схемой для приложения сигнала зарядки к источнику энергии, когда источник энергии находится при первой температуре или выше.

[00268] В некоторых вариантах осуществления, система может дополнительно включать в себя систему управления, выполненную с возможностью выполнять (а) и (b). Система, в которой система управления может включать в себя ведущее устройство управления и множество локальных устройств управления, ассоциированных с множеством модулей, где ведущее управляющее устройство коммуникативно связано с множеством локальных устройств управления, и где множество локальных устройств управления выполнено с возможностью выводить сигналы управления переключением на переключающую схему множества модулей.

[00269] В некоторых вариантах осуществления, система может дополнительно включать в себя схему обработки, коммуникативно связанную с памятью, где память хранит инструкции, которые, при исполнении схемой обработки, побуждают систему выполнять (а) и (b).

[00270] В некоторых вариантах осуществления, система может быть выполнена с возможностью управлять переключающей схемой для приложения сигнала предварительного нагрева, пока источник энергии не достигнет первой температуры, и приложения сигнала зарядки после того, как источник энергии достигнет первой температуры.

[00271] В некоторых вариантах осуществления, система может быть выполнена с

возможностью управлять переключающей схемой для приложения сигнала предварительного нагрева в течение первой временной длительности и для приложения сигнала зарядки после первой временной длительности.

[00272] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева имеет частоту, выполненную с возможностью препятствовать возникновению реакции электрохимического накопления и побочной реакции в источнике энергии.

[00273] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой литий-ионную батарею, и сигнал предварительного нагрева имеет частоту больше, чем один килогерц.

[00274] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева имеет частоту, выполненную с возможностью шунтировать электрохимический перенос заряда основной реакции накопления и побочных реакций источника энергии.

[00275] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки включает в себя множество импульсов зарядки. Система, где источник энергии имеет напряжение разомкнутой цепи и верхнее напряжение отсечки, и где множество импульсов зарядки находятся при напряжении между напряжением разомкнутой цепи и верхним напряжением отсечки.

[00276] В некоторых вариантах осуществления, сигнал зарядки представляет собой первый сигнал зарядки, включающий в себя множество импульсов, и где система управления сконфигурирована для управления переключающей схемой, чтобы прикладывать второй сигнал зарядки к источнику энергии после приложения первого сигнала зарядки, где второй сигнал зарядки представляет собой сигнал зарядки постоянным током. Система, где система управления может быть сконфигурирована для управления переключающей схемой, чтобы прикладывать сигнал предварительного нагрева, пока источник энергии не достигнет первой температуры, прикладывать первый сигнал зарядки, пока источник энергии не достигнет второй температуры, и прикладывать второй сигнал зарядки после того, как источник энергии достигнет второй температуры. Система, где система управления может быть сконфигурирована для управления переключающей схемой, чтобы прикладывать первый сигнал зарядки, пока источник энергии не достигнет первого состояния заряда, и прикладывать второй сигнал зарядки после того, как источник энергии достигнет первого состояния заряда. Система, где система управления может быть сконфигурирована для управления переключающей схемой, чтобы прикладывать второй сигнал зарядки, пока источник энергии не достигнет состояния заряда 95% или выше.

[00277] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой батарею, содержащую литий, и где система управления сконфигурирована для мониторинга источника энергии на электроосаждение лития. В системе, система управления может быть выполнена с возможностью определять, включает ли отклик напряжения источника энергии на приложение импульса заряда, за которым следует импульс разряда, сигнатуру отслаивания лития.

[00278] В некоторых вариантах осуществления, система управления сконфигурирована для управления переключающей схемой, чтобы прикладывать импульс заряда к источнику энергии непосредственно с последующим импульсом разряда; получать производную отклика напряжения по меньшей мере на импульс разряда; и определять, включает ли в себя производная сигнатуру отслаивания лития. Система, где система управления может быть сконфигурирована для периодического мониторинга источника энергии на электроосаждение лития во время фазы зарядки источника энергии, где прикладывается сигнал зарядки.

[00279] В некоторых вариантах осуществления, система управления сконфигурирована для мониторинга импеданса источника энергии на индикацию деградации. Система управления может быть выполнена с возможностью управлять переключающей схемой для регулирования приложения сигнала зарядки в ответ на отслеживаемый импеданс. Система, где система управления сконфигурирована для периодического мониторинга импеданса источника энергии во время фазы зарядки источника энергии, где прикладывается сигнал зарядки.

[00280] В некоторых вариантах осуществления, каждый источник энергии представляет собой батарейный элемент.

[00281] В некоторых вариантах осуществления, каждый источник энергии представляет собой батарейный модуль, включающий в себя множество батарейных элементов.

[00282] В некоторых вариантах осуществления, множество модулей является первым множеством модулей, и система дополнительно включает в себя: второе множество модулей, каскадно соединенных друг с другом, причем каждый из второго множества модулей включает в себя источник энергии и переключающую схему, где система аккумуляирования энергии выполнена с возможностью генерировать АС-мощность с суперпозицией выходных сигналов, генерируемых вторым множеством модулей; и третье множество модулей, каскадно соединенных друг с другом, причем каждый из третьего множества модулей включает в себя источник энергии и переключающую схему, где система аккумуляирования энергии выполнена с возможностью генерировать АС-мощность с суперпозицией выходных сигналов, генерируемых третьим множеством модулей, где АС-мощность включает в себя трехфазную АС-мощность. Система, где система может быть сконфигурирована для питания двигателя автомобильного электрического транспортного средства.

[00283] Во многих вариантах осуществления, предложен способ зарядки источника энергии, включающий в себя: приложение сигнала предварительного нагрева, включающего в себя последовательность чередующихся импульсов заряда и разряда, к источнику энергии, так что температура источника энергии увеличивается, где сигнал предварительного нагрева находится на частоте, которая проходит через емкость двойного слоя источника энергии.

[00284] В некоторых вариантах осуществления, емкость двойного слоя включает в

себя емкость двойного слоя анода источника энергии и емкость двойного слоя катода источника энергии.

[00285] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева, по существу, не заряжает источник энергии.

[00286] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева прикладывается в течение первой временной длительности, так что источник энергии нагревается без существенной зарядки, и затем сигнал предварительного нагрева прикладывается в течение второй временной длительности, так что источник энергии нагревается и заряжается. Длительности импульсов энергии заряда могут постепенно увеличиваться в течение второй временной длительности относительно импульсов энергии разряда.

[00287] В некоторых вариантах осуществления, источником энергии является батарейный элемент.

[00288] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой батарейный модуль, включающий в себя множество батарейных элементов.

[00289] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева прикладывается, пока источник энергии не достигнет первой температуры, и сигнал зарядки прикладывается после того, как источник энергии достигнет первой температуры.

[00290] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева прикладывается в течение первой временной длительности, и сигнал зарядки прикладывается после первой временной длительности.

[00291] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева имеет такую частоту, что в источнике энергии не происходит ни электрохимическая реакция накопления, ни побочная реакция.

[00292] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой литий-ионную батарею, и сигнал предварительного нагрева имеет частоту больше, чем один килогерц.

[00293] В некоторых вариантах осуществления, сигнал предварительного нагрева имеет такую частоту, что электрохимический перенос заряда основной реакции накопления и побочных реакций источника энергии шунтируется. Способ, где электрохимический перенос заряда может быть шунтирован способностями интерфейса электродов источника энергии к электролиту источника энергии.

[00294] Во многих вариантах осуществления, предложен способ мониторинга батареи, включающей литий, на возникновение электроосаждения лития, при этом способ включает в себя: приложение импульса заряда, за которым следует импульс разряда, к батарее; и определение, включает ли отклик напряжения батареи на приложение импульса заряда, за которым следует импульс разряда, сигнатуру отслаивания лития.

[00295] В некоторых вариантах осуществления, где определение, включает ли отклик напряжения сигнатуру отслаивания лития, включает в себя: получение производной отклика напряжения батареи по меньшей мере на импульс разряда; и

определение, включает ли производная сигнатуру отслаивания лития. Способ, где сигнатура отслаивания лития может представлять собой переход в производной при приложении импульса разряда.

[00296] В некоторых вариантах осуществления, определение, включает ли отклик напряжения сигнатуру отслаивания лития, включает в себя определение, является ли изменение в отклике напряжения во время приложения импульса разряда большим, чем порог.

[00297] В некоторых вариантах осуществления, способ выполняется периодически во время фазы зарядки батареи.

[00298] В некоторых вариантах осуществления, батарея включает в себя один батарейный элемент.

[00299] В некоторых вариантах осуществления, батарея включает в себя множество батарейных элементов.

[00300] Во многих вариантах осуществления, предложен способ зарядки источника энергии, при этом способ включает в себя: приложение первого сигнала зарядки, содержащего импульсы заряда, к источнику энергии, причем длительность каждого импульса заряда меньше, чем десять миллисекунд; определение, когда источник энергии удовлетворяет условию перехода; и приложение второго сигнала заряда к источнику энергии после определения удовлетворения состоянию перехода, причем второй сигнал зарядки представляет собой сигнал зарядки постоянным током.

[00301] В некоторых вариантах осуществления, длительность каждого импульса заряда меньше или равна пяти миллисекундам.

[00302] В некоторых вариантах осуществления, длительность каждого импульса заряда меньше или равна двум миллисекундам.

[00303] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии имеет напряжение разомкнутой цепи и верхнее напряжение отсечки, и импульсы заряда находятся при напряжении между напряжением разомкнутой цепи и верхним напряжением отсечки.

[00304] В некоторых вариантах осуществления, условие перехода представляет собой состояние порога заряда.

[00305] В некоторых вариантах осуществления, источник энергии представляет собой батарею, содержащую литий, способ дополнительно включает в себя мониторинг источника энергии на электроосаждение лития.

[00306] В некоторых вариантах осуществления, мониторинг источника энергии на электроосаждение лития включает в себя определение, содержит ли отклик напряжения источника энергии на приложение импульса заряда, за которым следует импульс разряда, сигнатуру отслаивания лития.

[00307] В некоторых вариантах осуществления, мониторинг источника энергии на электроосаждение лития включает в себя: приложение импульса заряда, за которым непосредственно следует импульс разряда, к источнику энергии; получение производной

отклика напряжения по меньшей мере на импульс разряда; и определение, содержит ли производная сигнатуру отслаивания лития.

[00308] В некоторых вариантах осуществления, мониторинг источника энергии на электроосаждение лития выполняется периодически во время фазы зарядки источника энергии, на который подается сигнал зарядки.

[00309] В некоторых вариантах осуществления, способ дополнительно включает в себя мониторинг импеданса источника энергии на индикацию деградации.

[00310] В некоторых вариантах осуществления, способ дополнительно включает в себя регулировку приложения сигнала зарядки в ответ на контролируемый импеданс.

[00311] В некоторых вариантах осуществления, мониторинг импеданса источника энергии выполняется периодически во время фазы зарядки источника энергии, на который подается сигнал зарядки.

[00312] В некоторых вариантах осуществления, переходное состояние представляет собой состояние, когда импеданс активации электрода источника энергии составляет 50% или менее от полного импеданса электрода.

[00313] В некоторых вариантах осуществления, переходное состояние представляет собой состояние, когда импеданс активации электрода источника энергии составляет 20% или менее от полного импеданса электрода.

[00314] В некоторых вариантах осуществления, переходное состояние представляет собой состояние, когда импеданс активации электрода источника энергии составляет 10% или менее от полного импеданса электрода.

[00315] В некоторых вариантах осуществления, импульсы зарядки при пиковых напряжениях больше, чем напряжение отсечки источника энергии.

[00316] Различные аспекты настоящего предмета изобретения изложены ниже, в обзоре и/или в дополнение к вариантам осуществления, описанным выше, с акцентом на взаимосвязи и взаимозаменяемости следующих вариантов осуществления. Другими словами, акцент делается на том, что каждый признак вариантов осуществления может быть объединен с каждым и любым другим признаком, если явно не указано иное или логически неправдоподобно.

[00317] Схема обработки может включать в себя один или более процессоров, микропроцессоров, контроллеров и/или микроконтроллеров, каждый из которых может быть дискретным чипом или распределен среди (и части) нескольких различных чипов. Схема обработки может включать в себя цифровой сигнальный процессор, который может быть реализован в аппаратных средствах и/или программном обеспечении. Схема обработки может исполнять программные инструкции, сохраненные в памяти, которые побуждают схему обработки хостировать различные действия и управлять другими компонентами.

[00318] Схема обработки также может быть адаптирована, чтобы исполнять операционную систему и любые программные приложения, и выполнять эти другие функции, не связанные с обработкой передаваемых и принимаемых передач.

[00319] Память может совместно использоваться одним или более различными функциональными блоками или может распределяться между двумя или более из них (например, как отдельные памяти в различных чипах). Память также может быть отдельным чипом. Память является не-временной и может быть энергозависимой (например, RAM и т.д.) и/или энергонезависимой памятью (например, ROM, флэш-память, F-RAM и т.д.)

[00320] Инструкции компьютерной программы для выполнения операций в соответствии с описанным предметом изобретения могут быть написаны на любой комбинации из одного или более языков программирования, включая язык объектно-ориентированного программирования, такой как Java, JavaScript, Smalltalk, C++, C#, Transact-SQL, XML, PHP и т.п., и обычные процедурные языки программирования, такие как языки программирования "C" или подобные языки программирования. Программные инструкции могут выполняться полностью на пользовательском вычислительном устройстве (например, считывателе) или частично на пользовательском вычислительном устройстве. Программные команды могут находиться частично на пользовательском вычислительном устройстве и частично на удаленном вычислительном устройстве или полностью на удаленном вычислительном устройстве или сервере, например, в случаях, где идентифицированная частота выгружается в удаленное местоположение для обработки. В последнем сценарии, удаленное вычислительное устройство может соединяться с пользовательским вычислительным устройством через какой-либо тип сети, или соединение может быть выполнено с внешним компьютером.

[00321] Следует отметить, что все признаки, элементы, компоненты, функции и этапы, описанные для любого варианта осуществления в настоящем документе, предназначены для свободного комбинирования и замещения таковыми из любого другого варианта осуществления. Если определенный признак, элемент, компонент, функция или этап описаны относительно только одного варианта осуществления, следует понимать, что этот признак, элемент, компонент, функция или этап может быть использован с каждым другим вариантом осуществления, описанным в данном документе, если явно не указано иное. Таким образом, данный абзац служит в качестве основной базисной и письменной поддержки для введения в любое время пунктов формулы изобретения, которые комбинируют признаки, элементы, компоненты, функции и этапы из различных вариантов осуществления или заменяют признаки, элементы, компоненты, функции и этапы из одного варианта осуществления другими, даже если последующее описание явно не выражает, в конкретном случае, что такие комбинации или замены возможны. Явно подтверждается, что выраженное перечисление каждой возможной комбинации и замены является чрезмерно обременительным, особенно с учетом того, что допустимость каждой и любой такой комбинации и замены будет легко распознаваться специалистами в данной области техники.

[00322] В той степени, в которой варианты осуществления, раскрытые в данном документе, включают в себя или работают в ассоциации с памятью, хранилищем и/или



считываемыми компьютером носителями, такие память, хранилище и/или считываемые компьютером носители являются не-временными. Соответственно, в той степени, в которой память, хранилище и/или считываемый компьютером носитель охватываются по меньшей мере одним пунктом формулы изобретения, такая память, хранилище и/или считываемый компьютером носитель являются только не-временными. Термины "не-временный" и "материальный", используемые в настоящем документе, предназначены для описания памяти, хранилища и/или считываемых компьютером носителей, исключая распространение электромагнитных сигналов, но не предназначены для ограничения типа памяти, хранилища и/или считываемых компьютером носителей с точки зрения персистентности хранения или иным образом. Например, "не-временные" и/или "материальные" памяти, хранилища и/или считываемые компьютером носители включают в себя энергозависимые и энергонезависимые носители, такие как носители с произвольным доступом (например, RAM, SRAM, DRAM, FAM и т.д.), носители только для чтения (например, ROM, PROM, EPROM, EEPROM, флэш и т.д.) и их комбинации (например, гибридная RAM и ROM, NVRAM и т.д.) и позже разработанные их варианты.

[00323] Используемые здесь и в прилагаемой формуле изобретения формы единственного числа включают в себя ссылки на множественное число, если из контекста явно не следует иное.

[00324] Хотя варианты осуществления восприимчивы к различным модификациям и альтернативным формам, их конкретные примеры здесь показаны на чертежах и подробно описаны. Однако понятно, что эти варианты осуществления не должны ограничиваться конкретной раскрытой формой, а напротив, эти варианты осуществления должны охватывать все модификации, эквиваленты и альтернативы в пределах сущности раскрытия. Кроме того, любые признаки, функции, этапы или элементы вариантов осуществления могут быть перечислены в формуле изобретения или добавлены к формуле изобретения, как и отрицательные ограничения, которые определяют объем формулы изобретения признаками, функциями, этапами или элементами, которые не входят в этом объеме.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ зарядки источника энергии, содержащий этапы, на которых:

прикладывают сигнал предварительного нагрева, содержащий последовательность чередующихся импульсов энергии зарядки и разрядки равной длительности, к литий-ионному батарейному модулю, содержащему множество элементов, для индуцирования локального нагрева так, что температура литий-ионного батарейного модуля увеличивается, при этом частота сигнала предварительного нагрева больше, чем один килогерц, и при этом приложение сигнала предварительного нагрева происходит для шунтирования электрохимического переноса заряда основной реакции накопления и побочных реакций литий-ионного батарейного модуля; и

затем прикладывают сигнал зарядки к литий-ионной батарее так, что заряд литий-ионной батареи увеличивается, причем сигнал предварительного нагрева прикладывается, пока литий-ионная батарея не достигнет первой температуры, и сигнал зарядки прикладывается после того, как литий-ионная батарея достигнет первой температуры.

2. Способ по п. 1, причем электрохимический перенос заряда шунтируется интерфейсными способностями электродов литий-ионного батарейного модуля к электролиту источника энергии.

3. Способ по п. 1, причем сигнал зарядки содержит множество импульсов заряда, имеющих длительности импульсов, меньшие или равные десяти миллисекундам.

4. Способ по п. 3, причем литий-ионный батарейный модуль имеет напряжение разомкнутой цепи и верхнее напряжение отсечки, и при этом множество импульсов заряда находятся при напряжении между напряжением разомкнутой цепи и верхним напряжением отсечки.

5. Способ по п. 1, причем сигнал зарядки представляет собой первый сигнал зарядки, содержащий множество импульсов, причем способ дополнительно содержит этап, на котором:

прикладывают второй сигнал зарядки к литий-ионному батарейному модулю после приложения первого сигнала зарядки, причем второй сигнал зарядки представляет собой сигнал зарядки постоянным током.

6. Способ по п. 5, причем сигнал предварительного нагрева прикладывается, пока литий-ионный батарейный модуль не достигнет первой температуры, первый сигнал зарядки прикладывается, пока литий-ионный батарейный модуль не достигнет второй температуры, и второй сигнал зарядки прикладывается после того, как литий-ионный батарейный модуль достигнет второй температуры.

7. Способ по п. 6, причем первая температура составляет 25°C или выше, а вторая температура составляет 45°C или выше.

8. Способ по п. 5, причем первый сигнал зарядки прикладывается, пока литий-ионный батарейный модуль не достигнет первого состояния заряда, и второй сигнал зарядки прикладывается после того, как литий-ионный батарейный модуль достигнет первого состояния заряда.

9. Способ по п. 8, причем второй сигнал зарядки прикладывается, пока литий-ионный батарейный модуль не достигнет состояния заряда 95% или выше.

10. Способ по п. 5, причем приложение первого сигнала зарядки прекращается и начинается приложение второго сигнала зарядки, когда импеданс активации электрода литий-ионного батарейного модуля составляет 50% или менее от полного импеданса электрода.

11. Способ по п. 1, дополнительно содержащий этап, на котором осуществляют контроль литий-ионного батарейного модуля на электроосаждение лития.

12. Способ по п. 1, дополнительно содержащий этап, на котором осуществляют контроль импеданса литий-ионного батарейного модуля на индикацию деградации.

13. Способ по п. 12, дополнительно содержащий этап, на котором регулируют приложение сигнала зарядки в ответ на контролируемый импеданс.

14. Способ по п. 13, причем контроль импеданса литий-ионного батарейного модуля выполняется периодически во время фазы зарядки литий-ионного батарейного модуля, когда прикладывается сигнал зарядки.

15. Способ по п. 1, причем сигнал зарядки содержит множество импульсов зарядки, и при этом приложение сигнала предварительного нагрева прекращается и начинается приложение сигнала зарядки, когда импеданс Варбурга электрода литий-ионного батарейного модуля составляет 20% или менее от полного импеданса электрода.

16. Способ по п. 1, причем импульсный сигнал предварительного нагрева прикладывается при напряжении, большем, чем верхнее напряжение отсечки и нижнее напряжение отсечки литий-ионного батарейного модуля.

17. Способ по п. 1, причем сигнал зарядки содержит множество импульсов заряда при пиковых напряжениях больше, чем напряжение отсечки литий-ионного батарейного модуля.

18. Система, выполненная с возможностью зарядки источника энергии, содержащая:

систему управления, выполненную с возможностью:

(a) управлять переключающей схемой для приложения сигнала предварительного нагрева к источнику энергии, так что температура источника энергии увеличивается, пока источник энергии не удовлетворит условию, при этом сигнал предварительного нагрева содержит последовательность чередующихся импульсов энергии заряда и разряда; и

(b) управлять переключающей схемой для приложения сигнала зарядки к источнику энергии после того, как источник энергии удовлетворит условию.

19. Способ зарядки множества источников энергии в системе аккумулирования энергии, причем система аккумулирования энергии содержит множество модулей преобразователя, каскадно соединенных друг с другом, причем каждый из множества модулей преобразователя содержит источник энергии и переключающую схему, причем каждый из множества модулей преобразователя независимо управляется системой управления для вывода напряжения модуля, и при этом система аккумулирования энергии

выполнена с возможностью генерировать АС-мощность с суперпозицией выходных напряжений модуля, генерируемых множеством модулей преобразователя, при этом способ содержит этапы, на которых:

прикладывают, посредством переключающей схемы каждого модуля, сигнал предварительного нагрева, содержащий последовательность чередующихся импульсов энергии заряда и разряда равной длительности к источнику энергии каждого модуля, чтобы вызвать омический нагрев, так что температура источника энергии каждого модуля увеличивается, при этом частота сигнала предварительного нагрева больше, чем один килогерц, и при этом приложение сигнала предварительного нагрева происходит для шунтирования электрохимического переноса заряда основной реакции накопления и побочных реакций источника энергии; и

затем прикладывают, посредством переключающей схемы каждого модуля, сигнал зарядки к источнику энергии каждого модуля.

20. Способ по п. 19, причем модули переходят от приложения сигнала предварительного нагрева к приложению сигнала зарядки в различные моменты времени на основе того, когда каждый модуль достигает порога температуры.

21. Способ по п. 19, причем сигнал зарядки содержит множество импульсов заряда, имеющих длительности импульсов, меньшие или равные десяти миллисекундам.

22. Способ по п. 21, причем источник энергии имеет напряжение разомкнутой цепи и верхнее напряжение отсечки, и при этом множество импульсов заряда находятся при напряжении между напряжением разомкнутой цепи и верхним напряжением отсечки.

23. Способ по п. 19, причем сигнал зарядки представляет собой первый сигнал зарядки, содержащий множество импульсов, причем способ дополнительно содержит этап, на котором:

прикладывают второй сигнал зарядки к источнику энергии после приложения первого сигнала зарядки, причем второй сигнал зарядки представляет собой сигнал зарядки постоянным током.

24. Способ по п. 23, причем сигнал предварительного нагрева прикладывается, пока источник энергии не достигнет первой температуры, первый сигнал зарядки прикладывается, пока источник энергии не достигнет второй температуры, и второй сигнал зарядки прикладывается после того, как источник энергии достигнет второй температуры.

25. Способ по п. 24, причем первая температура составляет 25°C или выше, и вторая температура составляет 45°C или выше.

26. Способ по п. 24, причем первый сигнал зарядки прикладывается, пока источник энергии не достигнет первого состояния заряда, и второй сигнал зарядки прикладывается после того, как источник энергии достигнет первого состояния заряда.

27. Способ по п. 26, причем второй сигнал зарядки прикладывается, пока источник энергии не достигнет состояния заряда 95% или выше.

28. Способ по п. 24, причем приложение первого сигнала зарядки прекращается и

начинается приложение второго сигнала зарядки, когда импеданс активации электрода источника энергии составляет 50% или менее от полного импеданса электрода.

29. Способ по п. 19, дополнительно содержащий этап, на котором осуществляют контроль источника энергии на электроосаждение лития.

30. Способ по п. 19, дополнительно содержащий этап, на котором осуществляют контроль импеданса источника энергии на индикацию деградации.

31. Способ по п. 30, дополнительно содержащий этап, на котором регулируют приложение сигнала зарядки в ответ на контролируемый импеданс.

32. Способ по п. 31, причем контроль импеданса источника энергии выполняется периодически во время фазы зарядки источника энергии, к которому прикладывается сигнал зарядки.

33. Способ по п. 19, причем сигнал зарядки содержит множество импульсов заряда, и при этом приложение сигнала предварительного нагрева прекращается и начинается приложение сигнала зарядки, когда импеданс Варбурга электрода источника энергии составляет 20% или менее от полного импеданса электрода.

34. Способ по п. 19, причем импульсный сигнал предварительного нагрева прикладывается при напряжении больше, чем верхнее напряжение отсечки и нижнее напряжение отсечки источника энергии.

35. Способ по п. 19, причем сигнал зарядки содержит множество импульсов заряда при пиковых напряжениях больше, чем напряжение отсечки источника энергии.

36. Система аккумулирования энергии, содержащая:

множество модулей, каскадно соединенных друг с другом, причем каждый из множества модулей содержит источник энергии и переключающую схему, при этом система аккумулирования энергии выполнена с возможностью генерировать АС-мощность с суперпозицией выходных сигналов, генерируемых множеством модулей, при этом система аккумулирования энергии выполнена с возможностью, для каждого модуля:

(а) управлять переключающей схемой для приложения сигнала предварительного нагрева к источнику энергии, так что температура источника энергии увеличивается, пока источник энергии не достигнет первой температуры, причем сигнал предварительного нагрева содержит последовательность чередующихся импульсов энергии заряда и разряда; и

(б) управлять переключающей схемой для приложения сигнала зарядки к источнику энергии, когда источник энергии находится при первой температуре или выше.

37. Способ зарядки источника энергии, содержащий этап, на котором:

прикладывают сигнал предварительного нагрева, содержащий последовательность чередующихся импульсов энергии заряда и разряда, к источнику энергии, так что температура источника энергии увеличивается,

при этом сигнал предварительного нагрева находится на частоте, которая проходит через емкость двойного слоя источника энергии.

38. Способ по п. 37, причем емкость двойного слоя содержит емкость двойного

слоя анода источника энергии и емкость двойного слоя катода источника энергии.

39. Способ по п. 37, причем сигнал предварительного нагрева по существу не заряжает источник энергии.

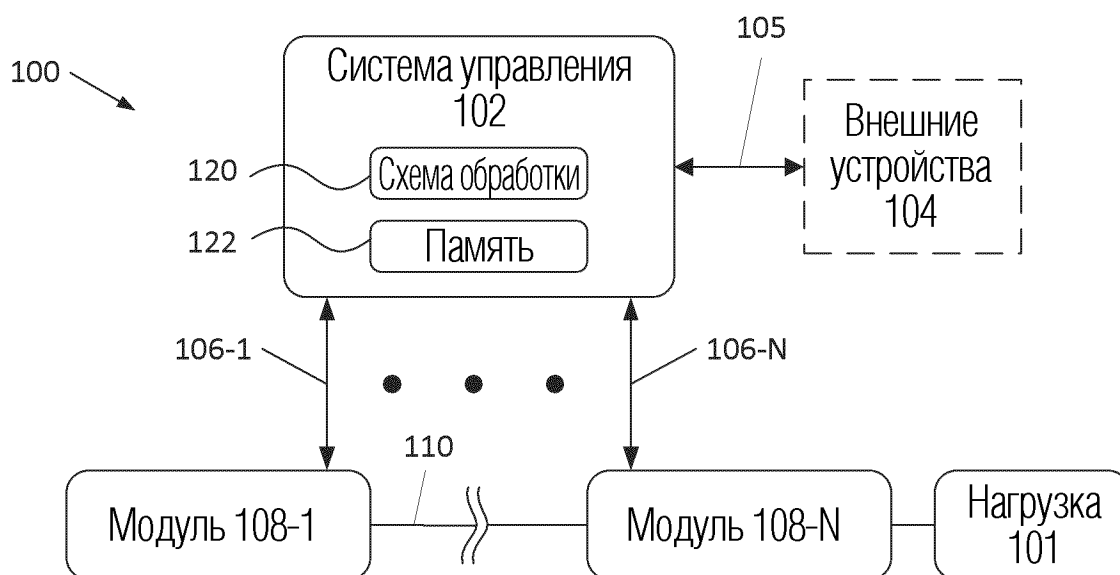
40. Способ по п. 37, причем сигнал предварительного нагрева прикладывают в течение первой временной длительности, так что источник энергии нагревается без существенной зарядки, и затем сигнал предварительного нагрева прикладывается в течение второй временной длительности, так что источник энергии нагревается и заряжается.

41. Способ по п. 40, причем длительности импульсов энергии заряда постепенно увеличиваются в течение второй временной длительности относительно импульсов энергии разряда.

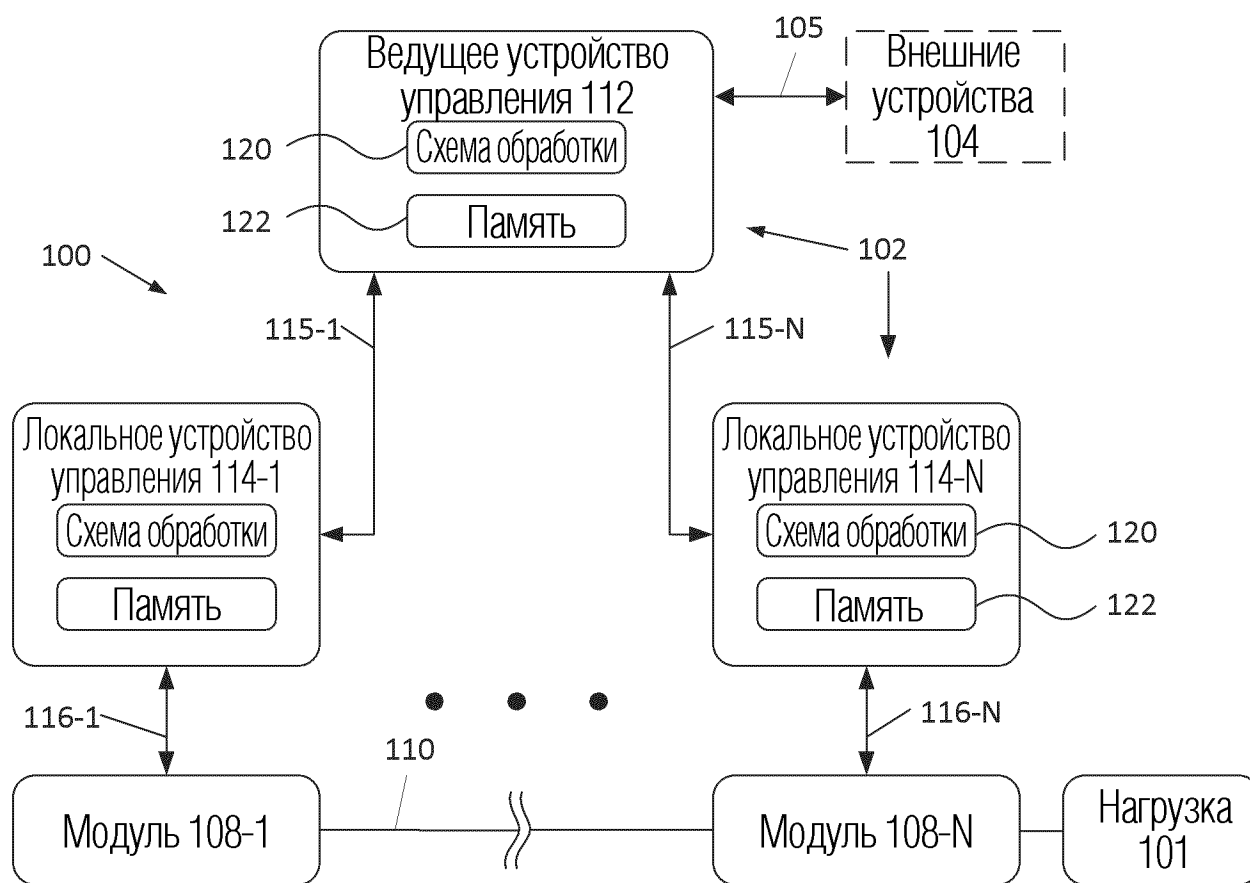
42. Способ по п. 37, причем сигнал предварительного нагрева прикладывается, пока источник энергии не достигнет первой температуры, и сигнал зарядки прикладывается после того, как источник энергии достигнет первой температуры.

43. Способ по п. 37, причем сигнал предварительного нагрева прикладывается в течение первой временной длительности, и сигнал зарядки прикладывается после первой временной длительности.

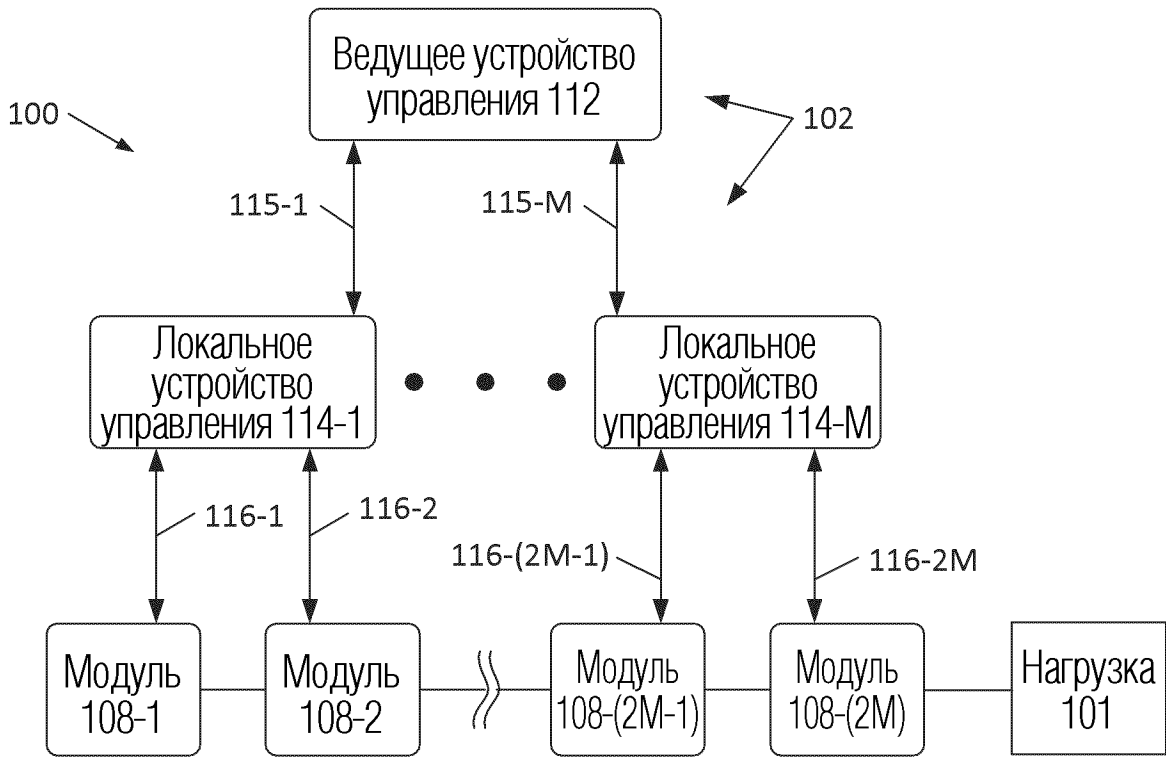
44. Способ по п. 37, причем сигнал предварительного нагрева имеет такую частоту, что в источнике энергии не происходит ни электрохимическая реакция накопления, ни побочная реакция.



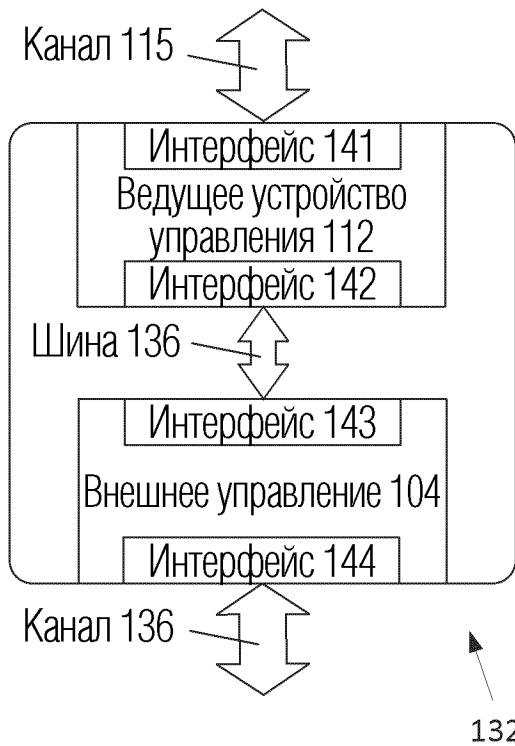
ФИГ. 1А



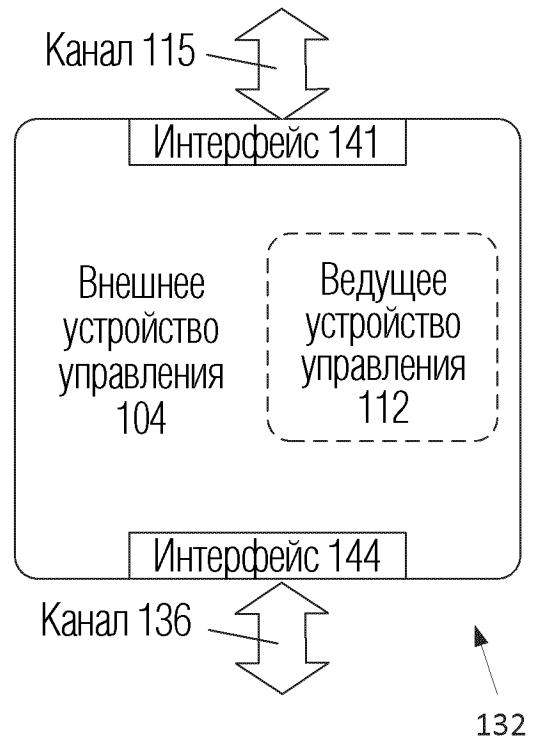
ФИГ. 1В



ФИГ. 1С



ФИГ. 1D

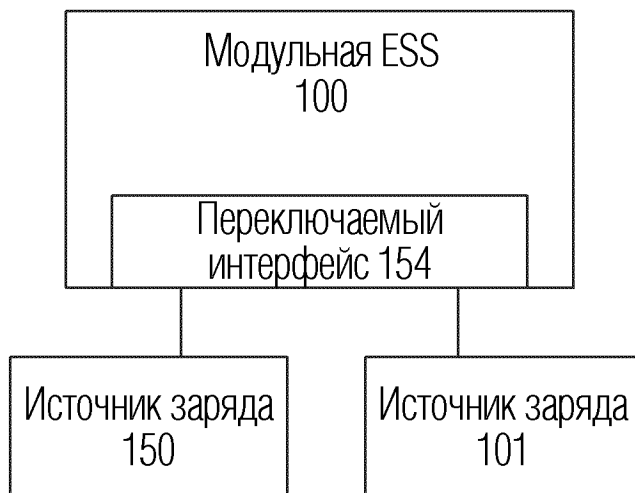


ФИГ. 1Е

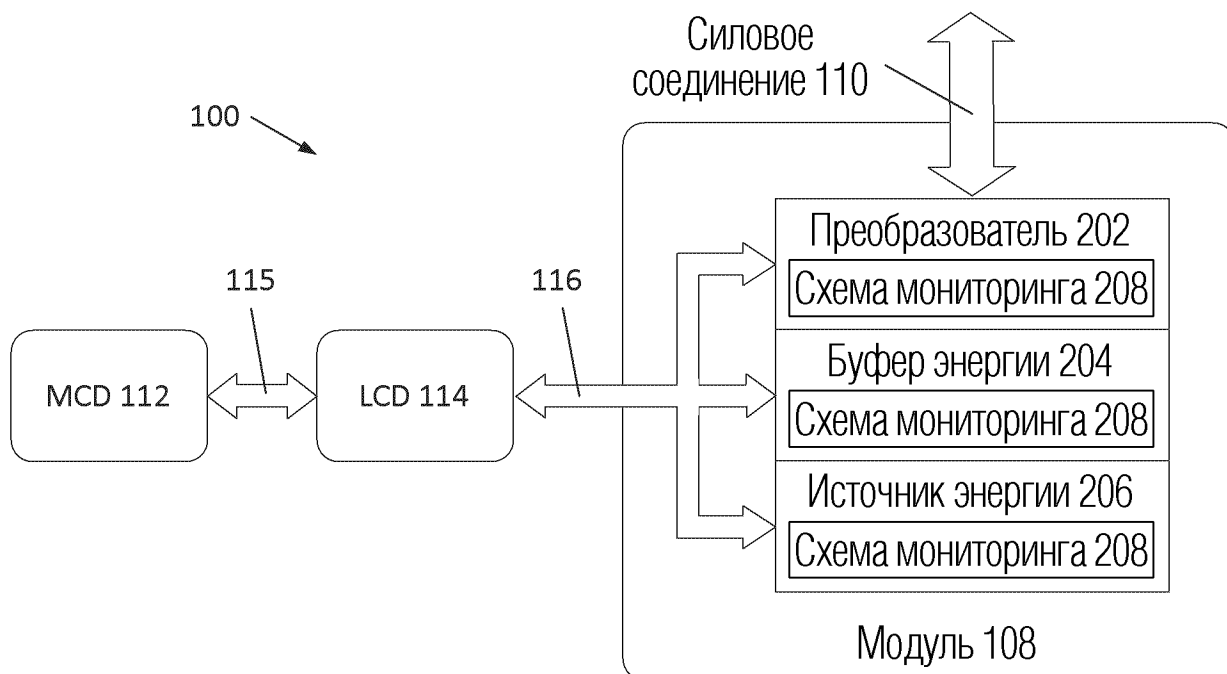




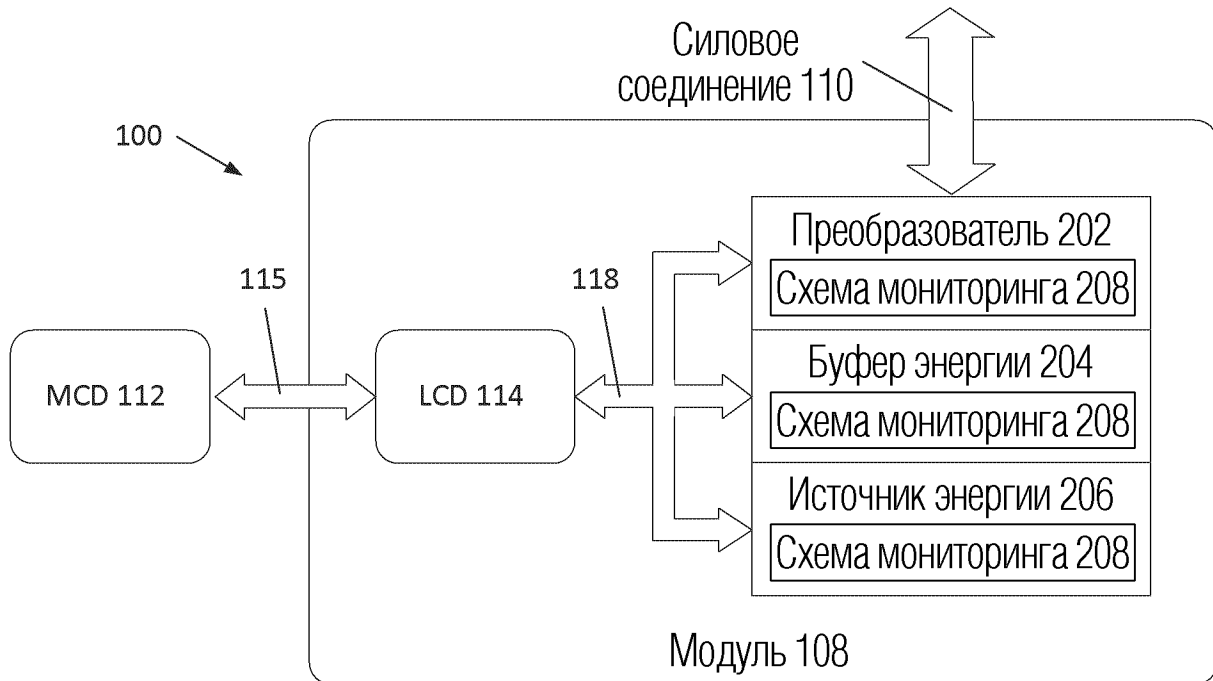
ФИГ. 1F



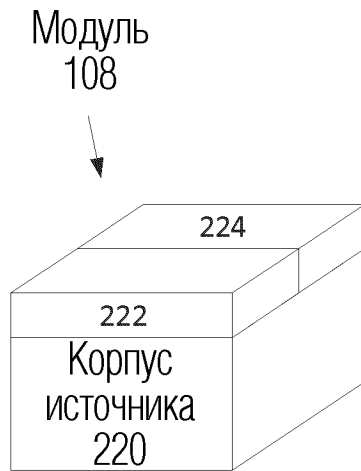
ФИГ. 1G



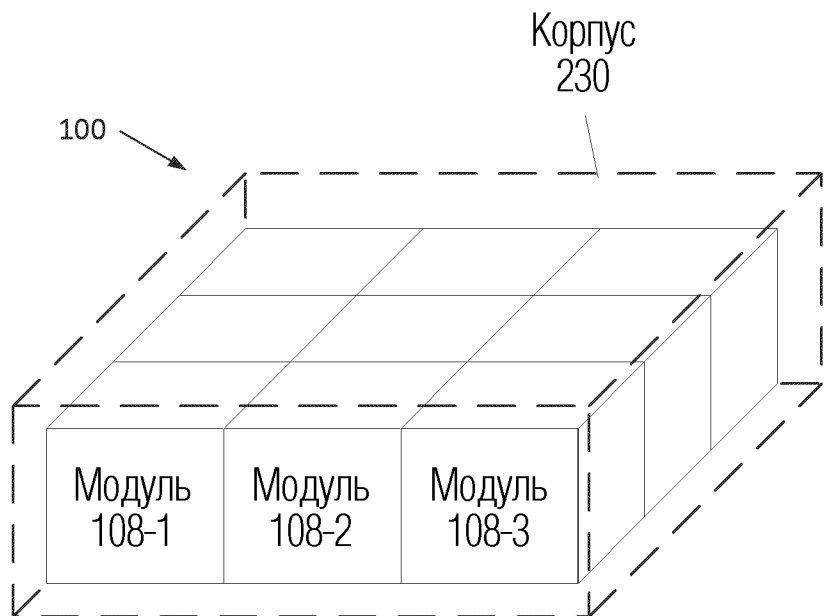
ФИГ. 2A



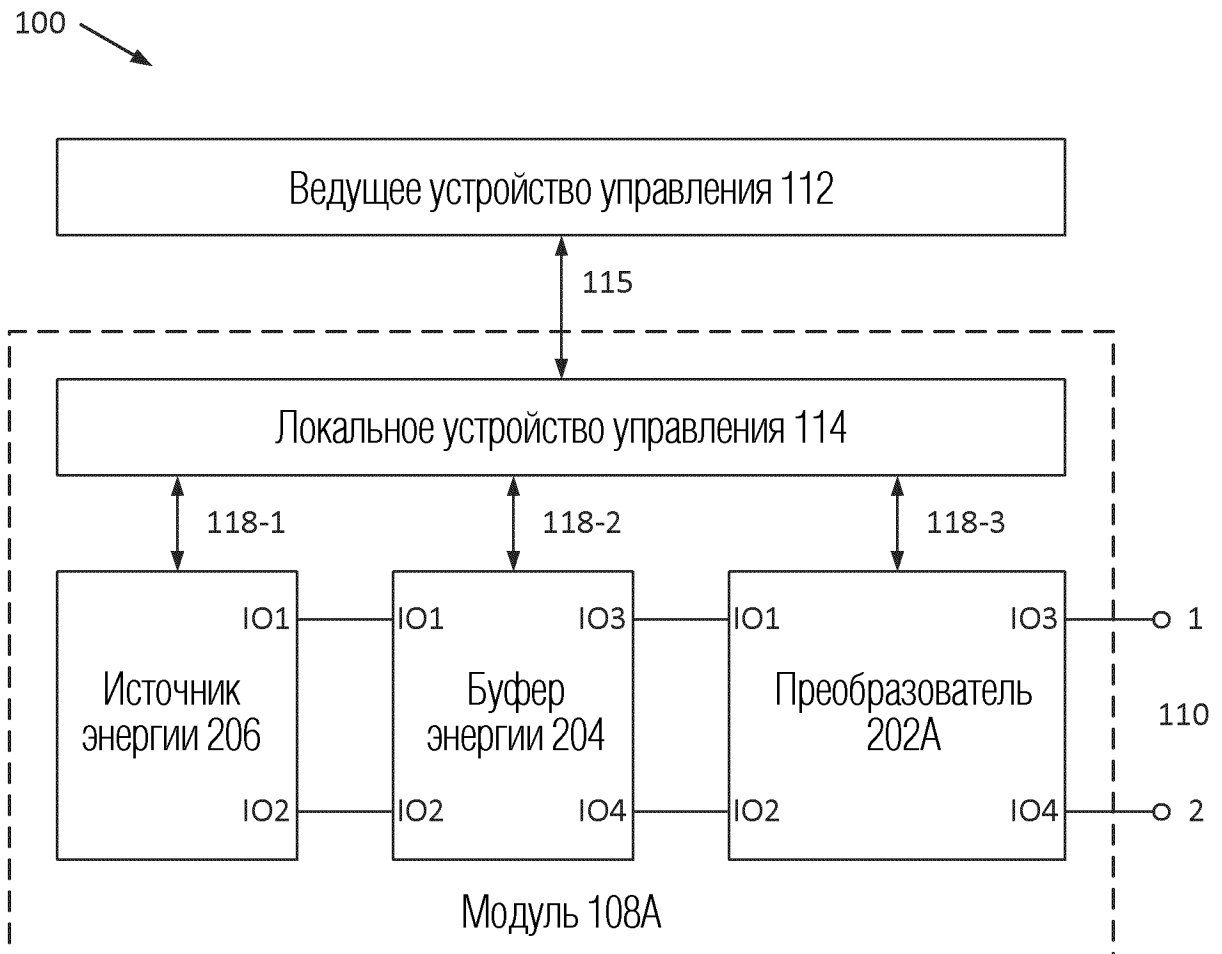
ФИГ. 2В



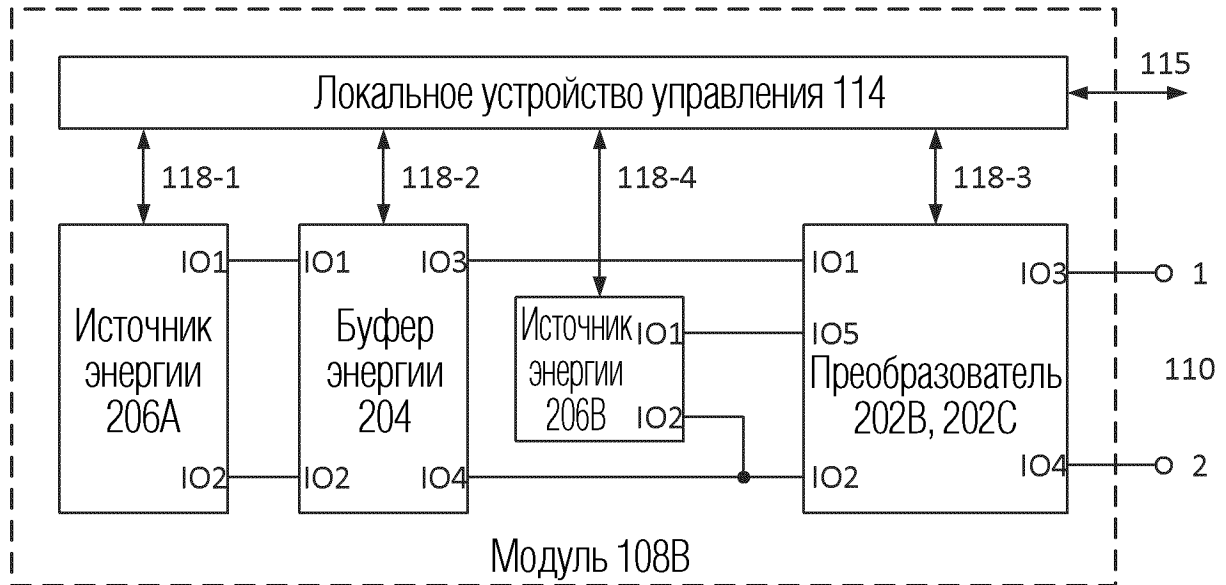
ФИГ. 2С



ФИГ. 2D



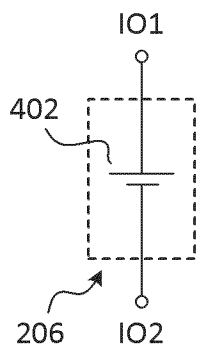
ФИГ. 3А



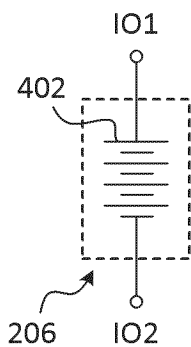
ФИГ. 3В



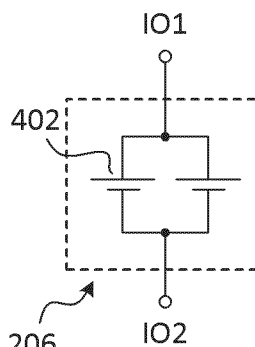
ФИГ. 3С



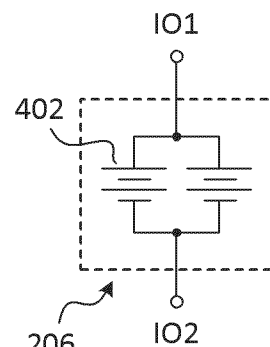
ФИГ. 4А



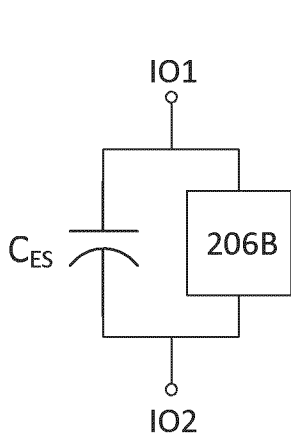
ФИГ. 4В



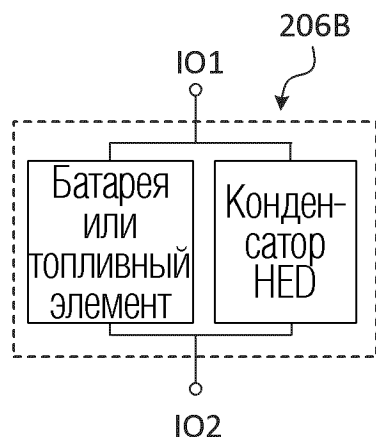
ФИГ. 4С



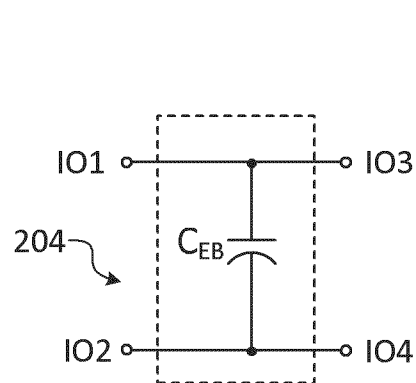
ФИГ. 4D



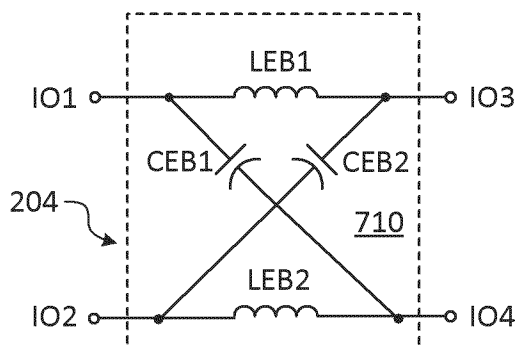
ФИГ. 4Е



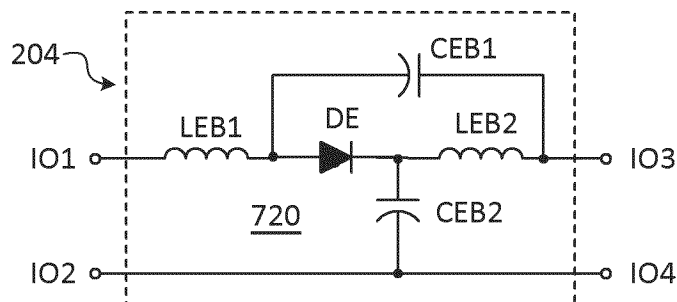
ФИГ. 4F



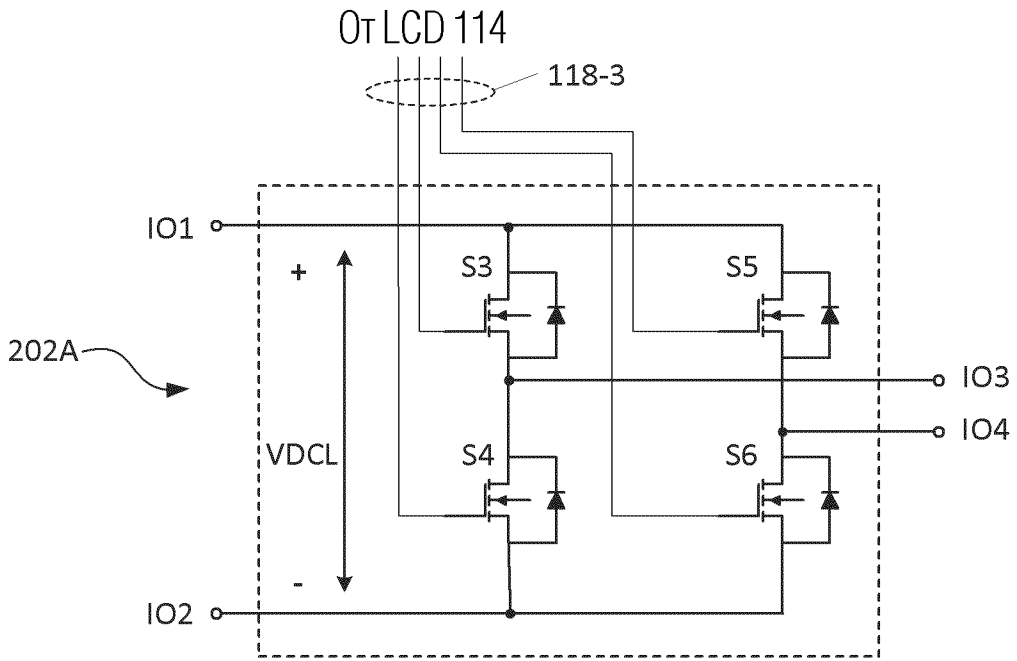
ФИГ. 5А



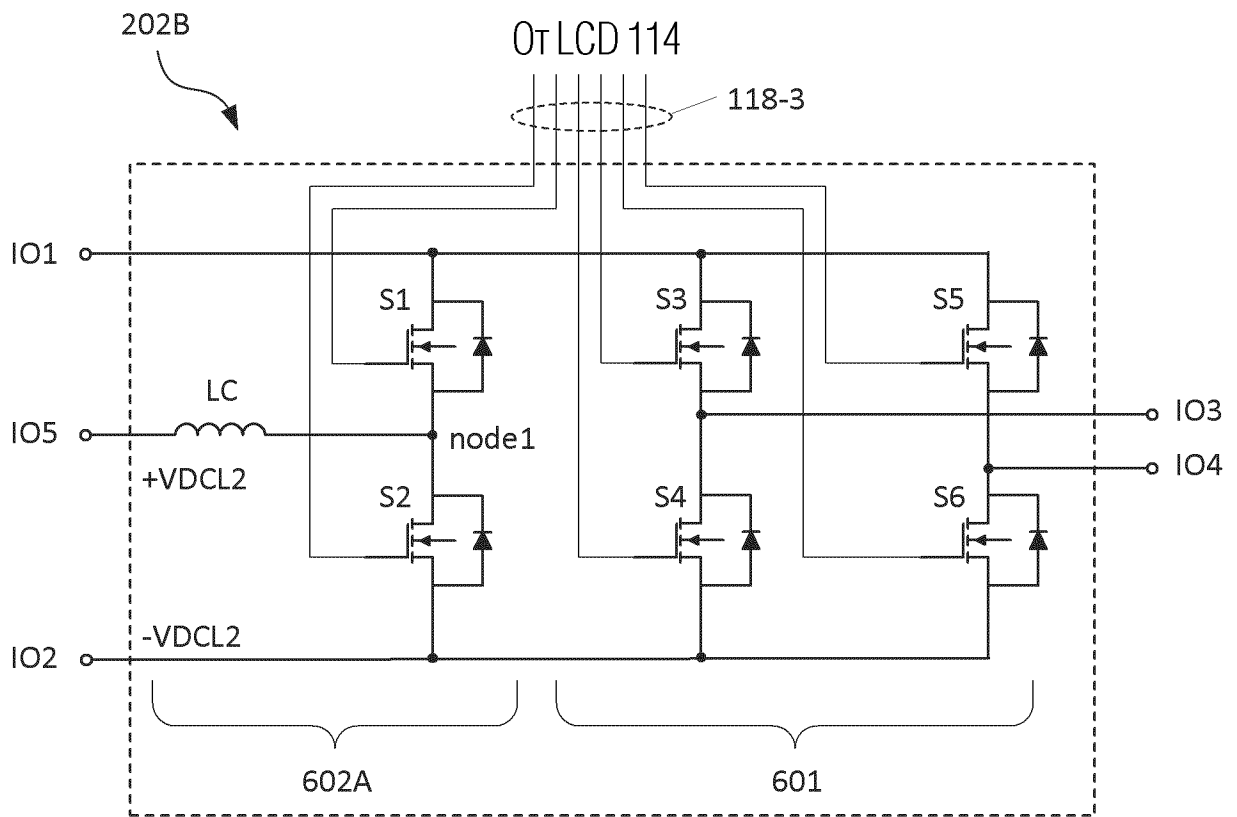
ФИГ. 5В



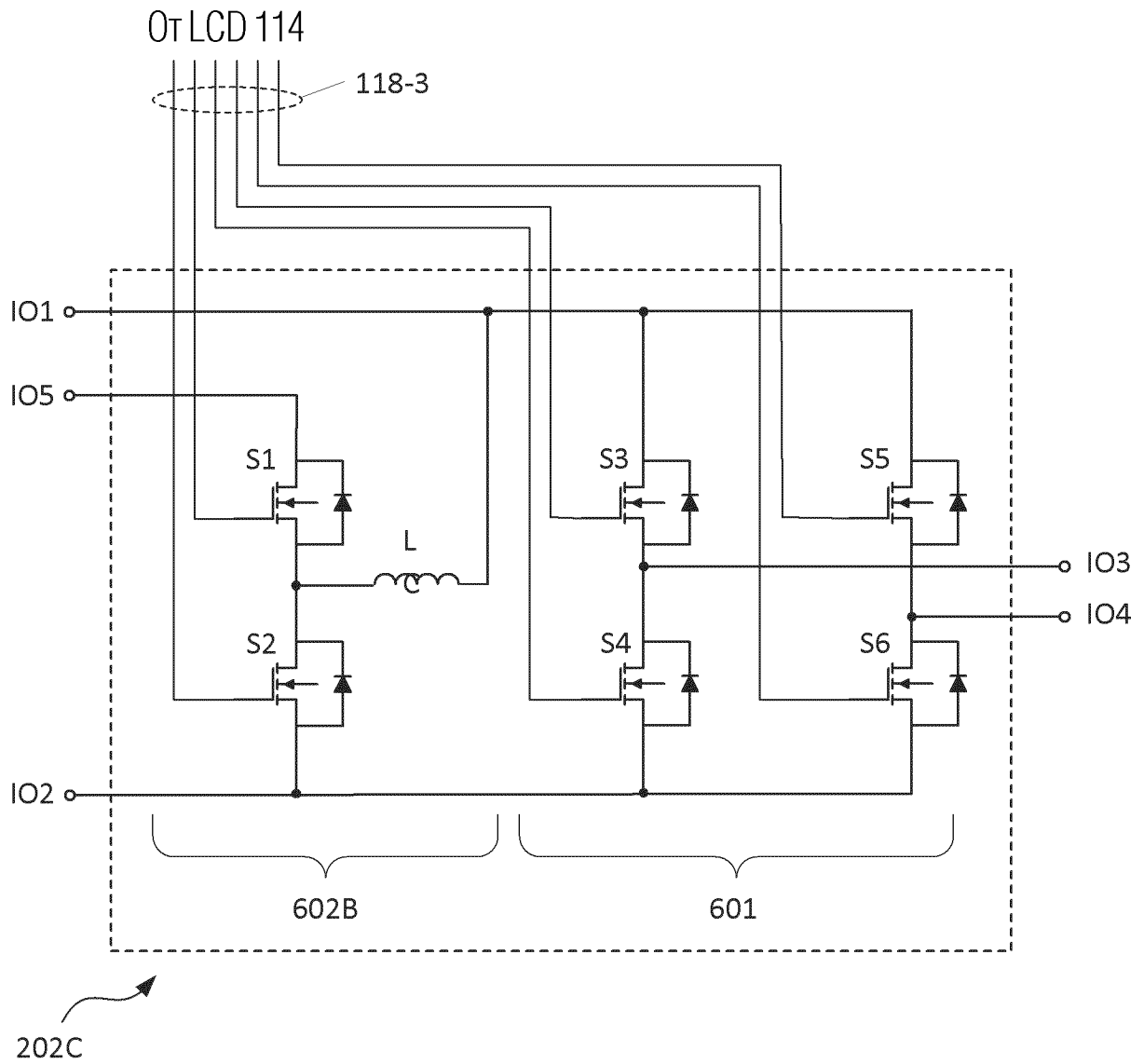
ФИГ. 5С



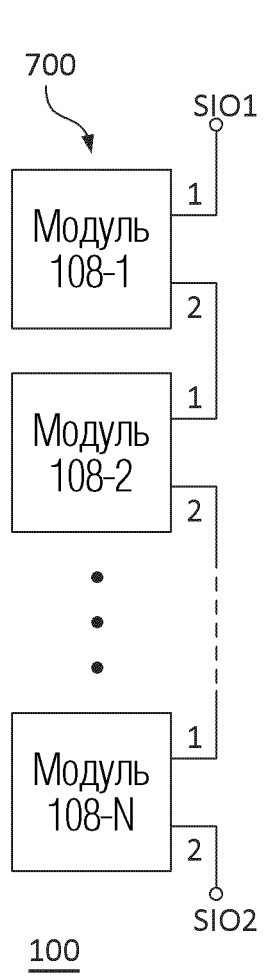
ФИГ. 6А



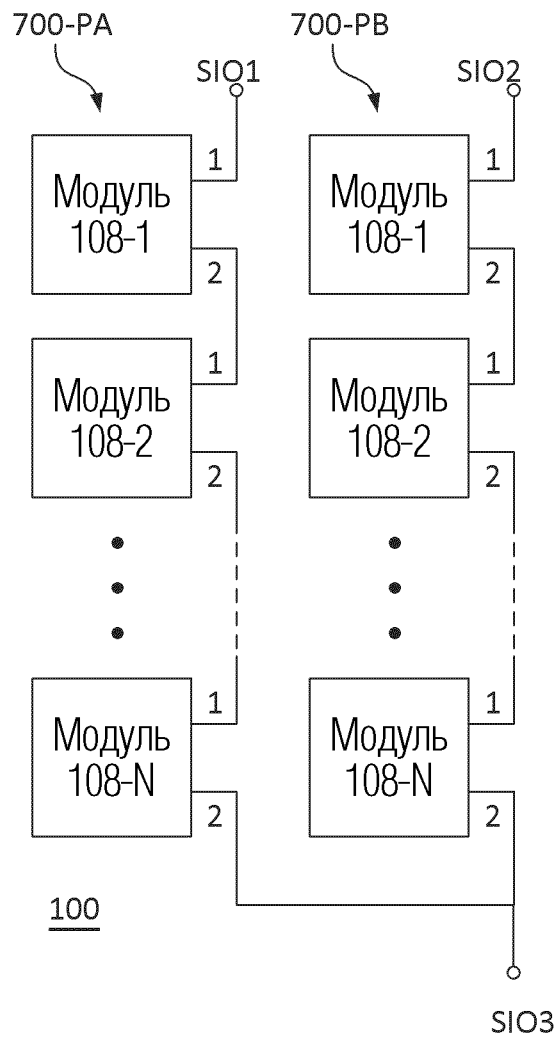
ФИГ. 6В



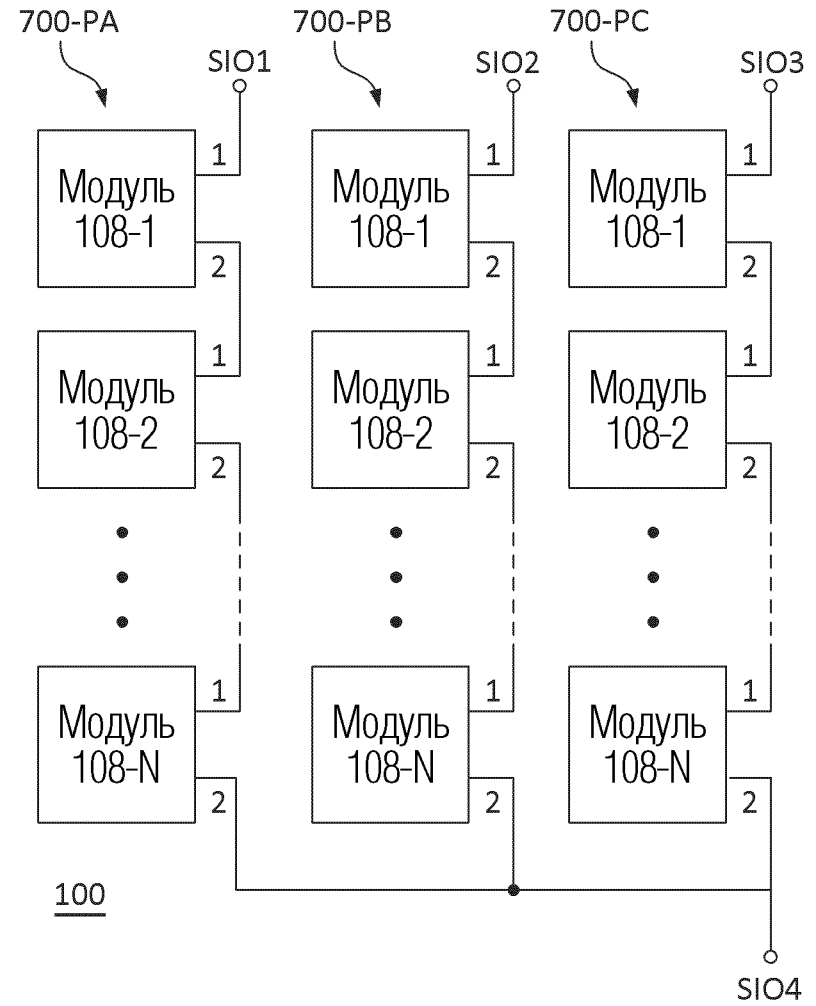
ФИГ. 6С



ФИГ. 7А

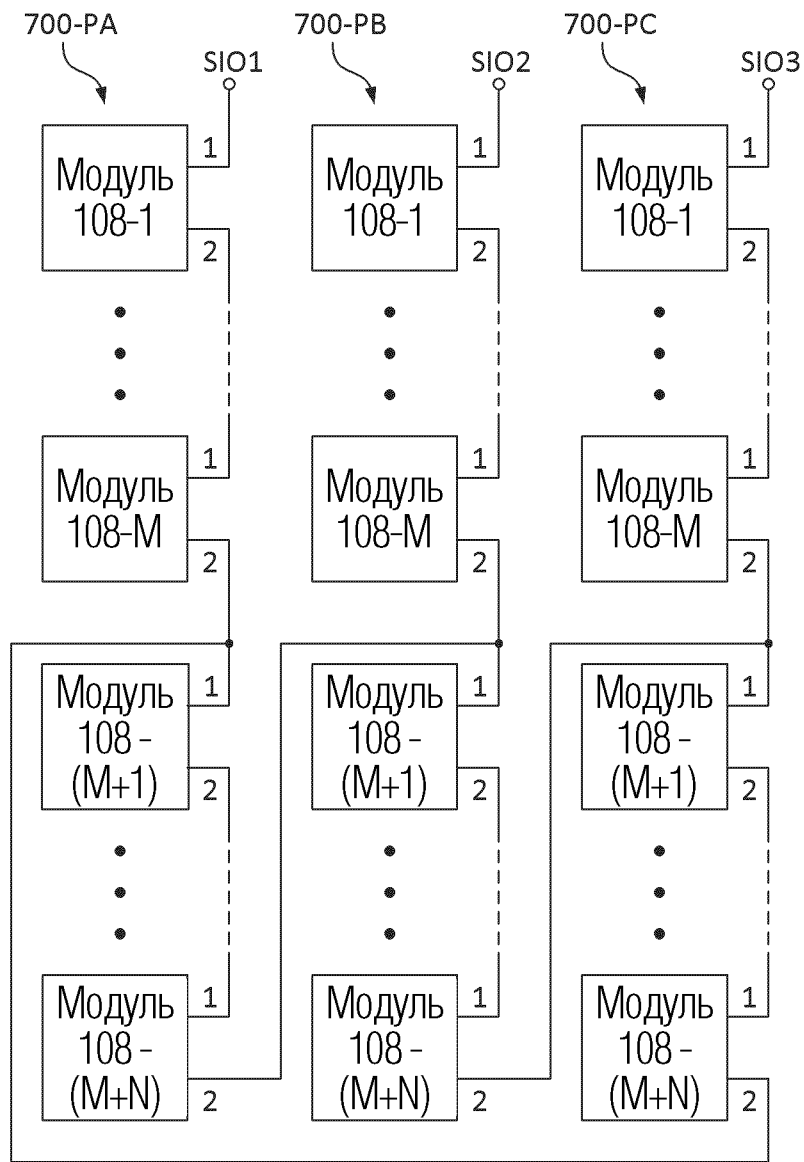


ФИГ. 7В



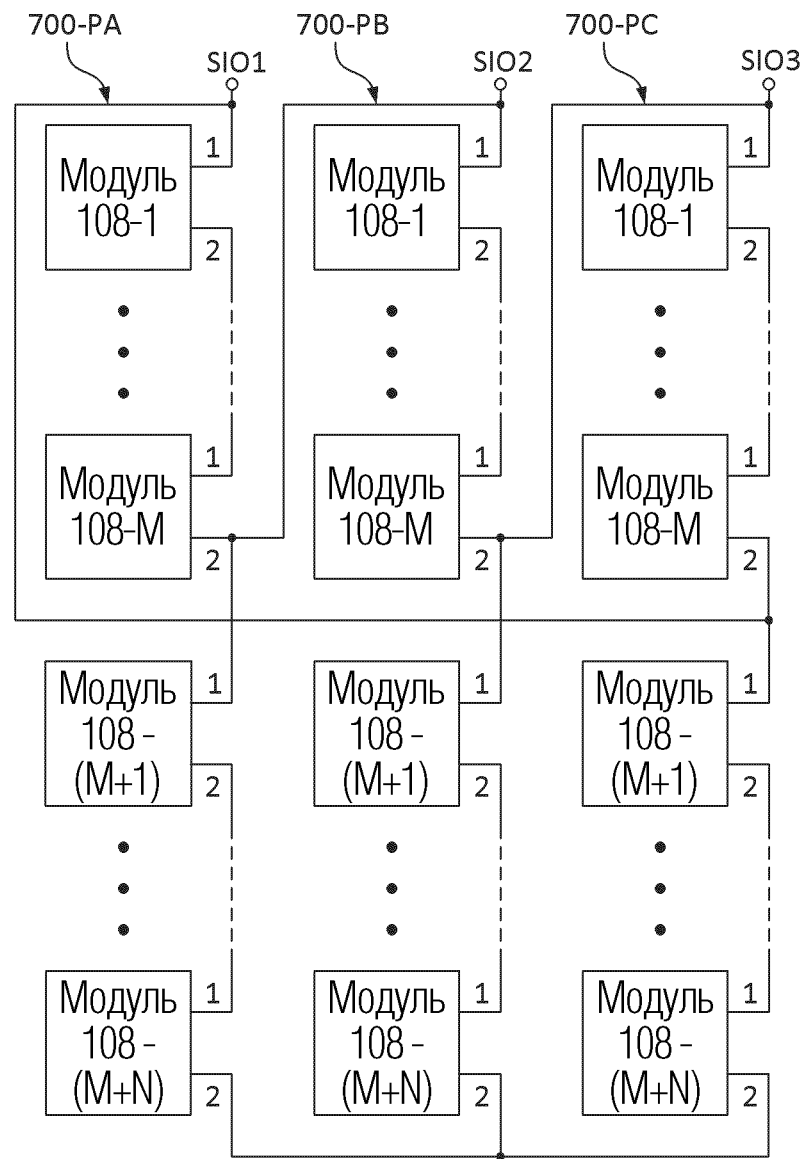
ФИГ. 7С





100

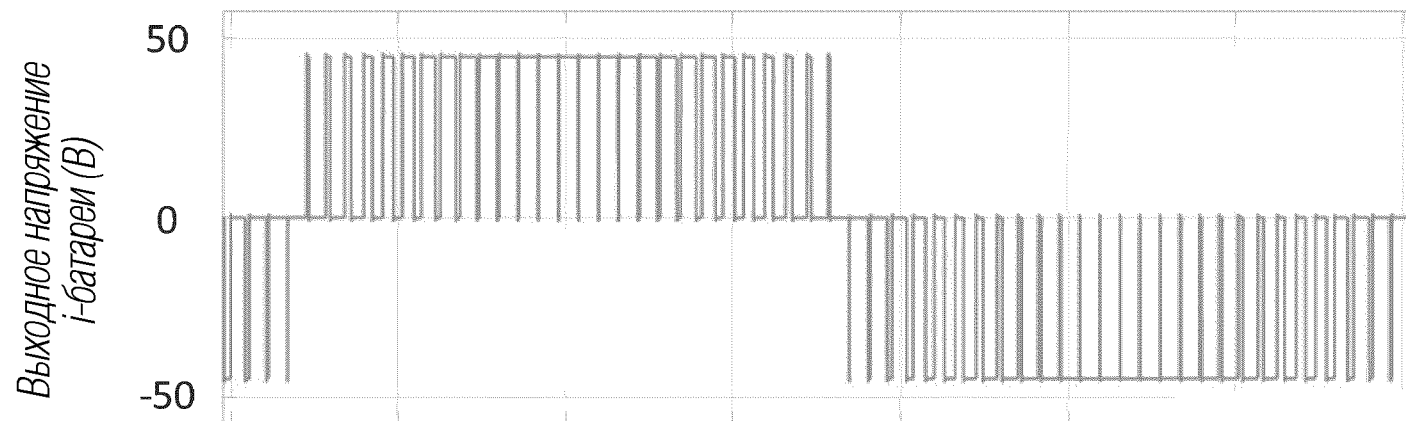
ФИГ. 7D



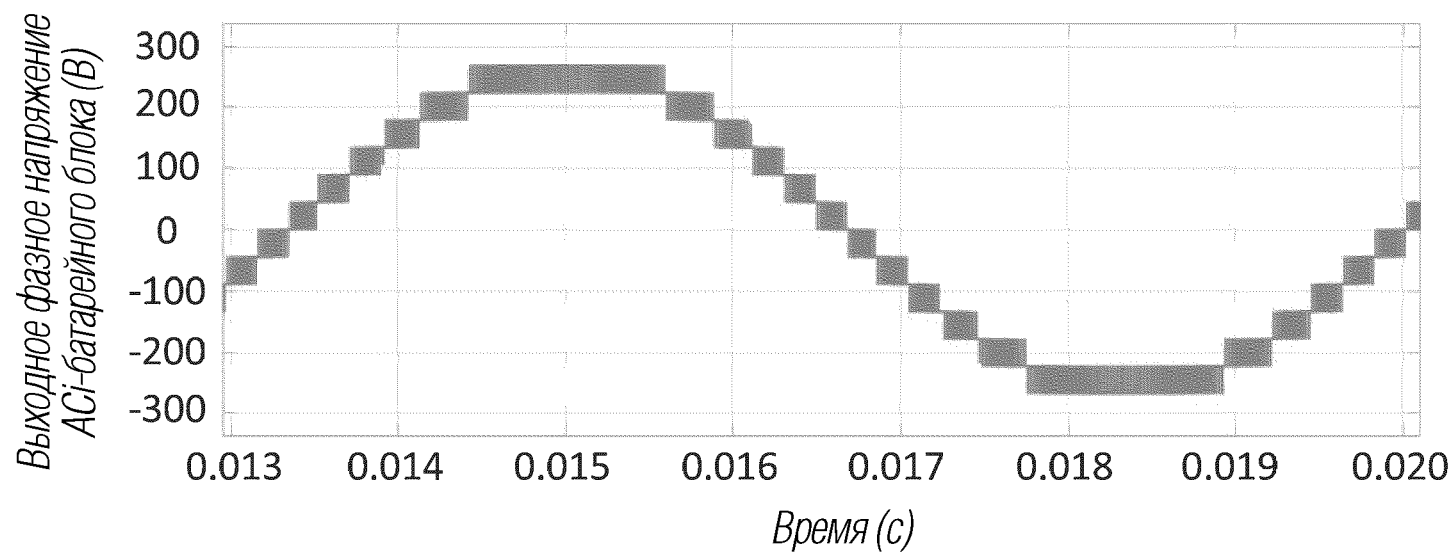
100

ФИГ. 7E

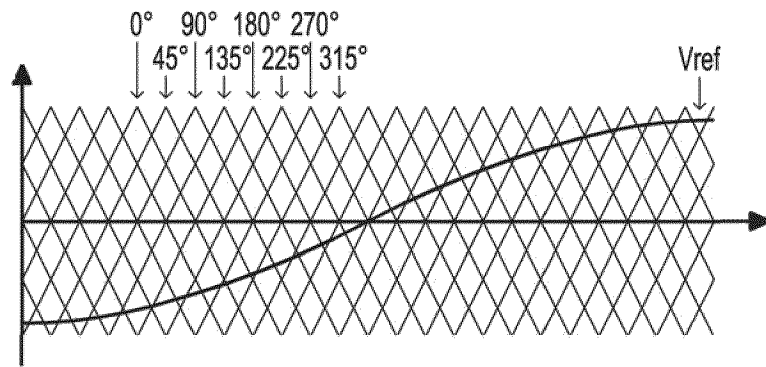
ФИГ. 8А



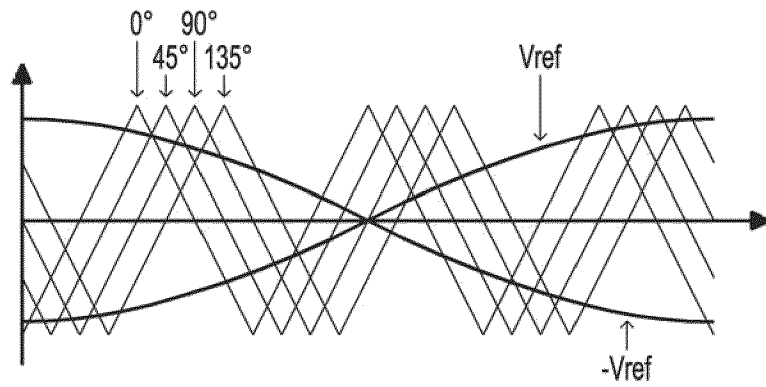
ФИГ. 8В



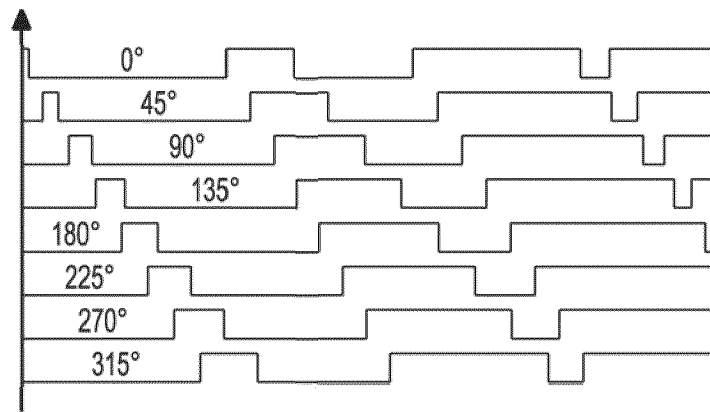
ФИГ. 8С



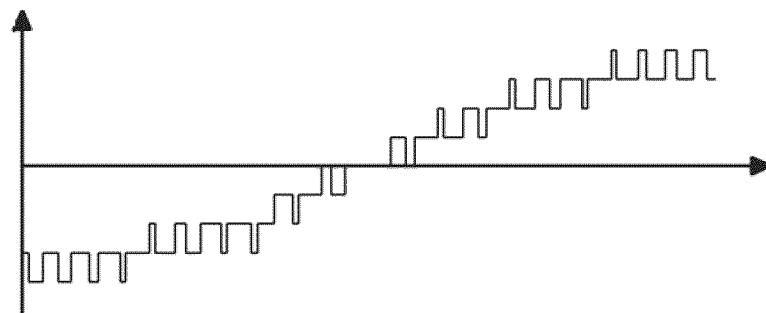
ФИГ. 8D

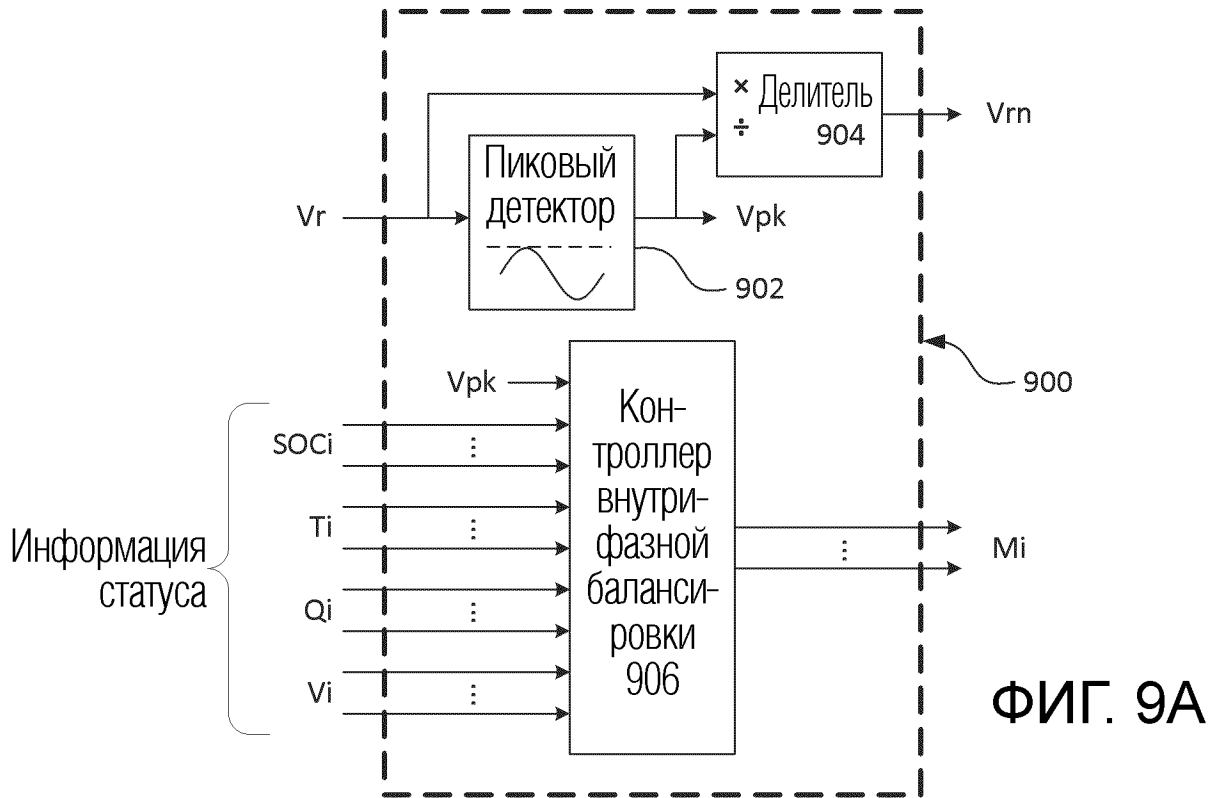


ФИГ. 8E

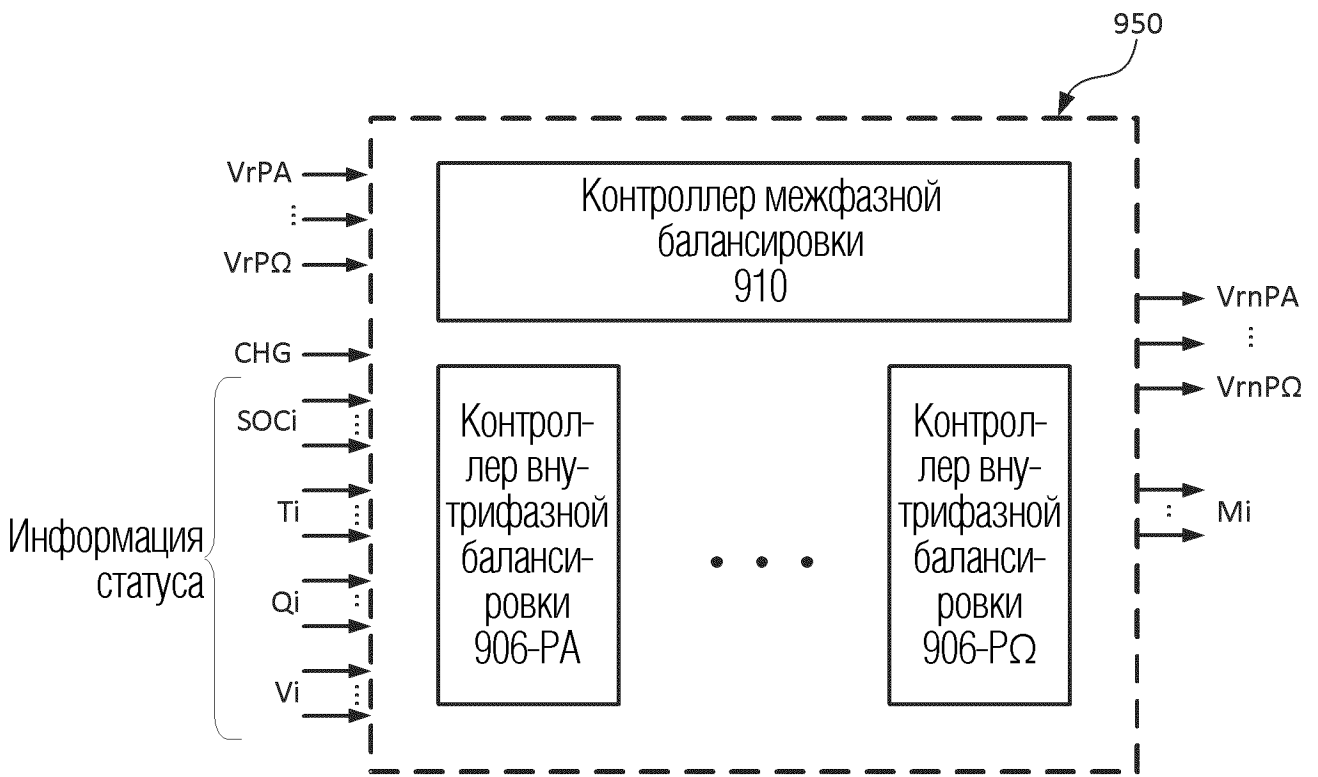


ФИГ. 8F

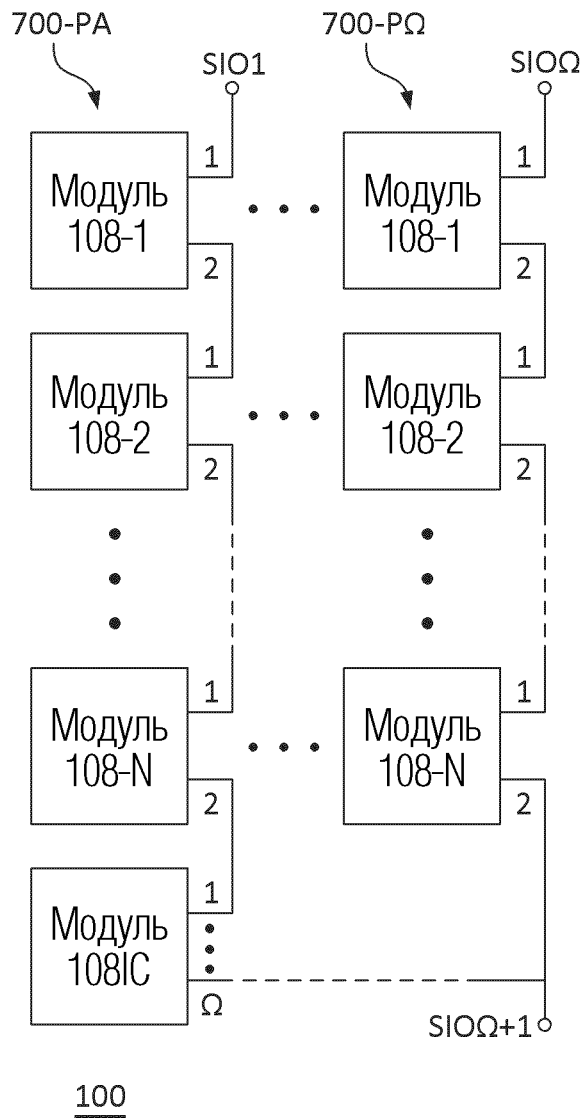




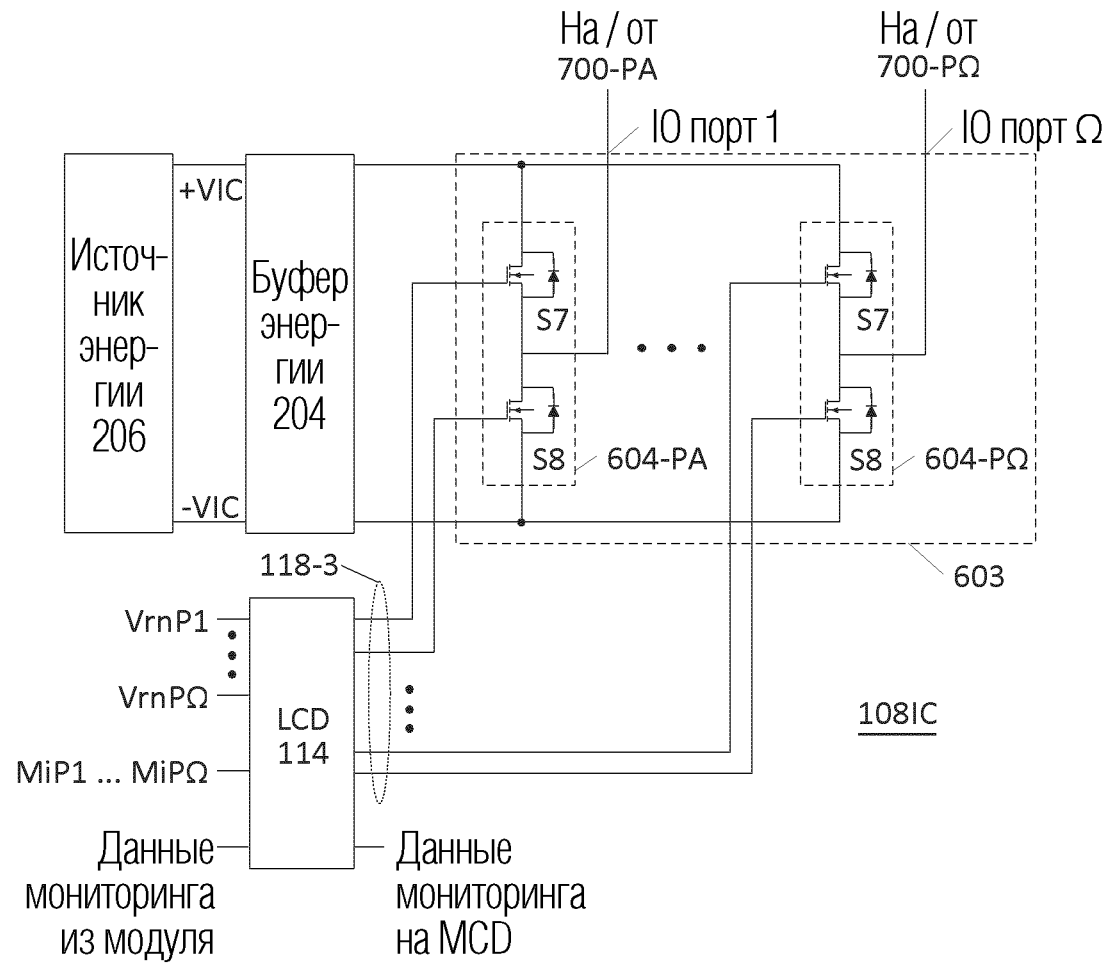
ФИГ. 9А



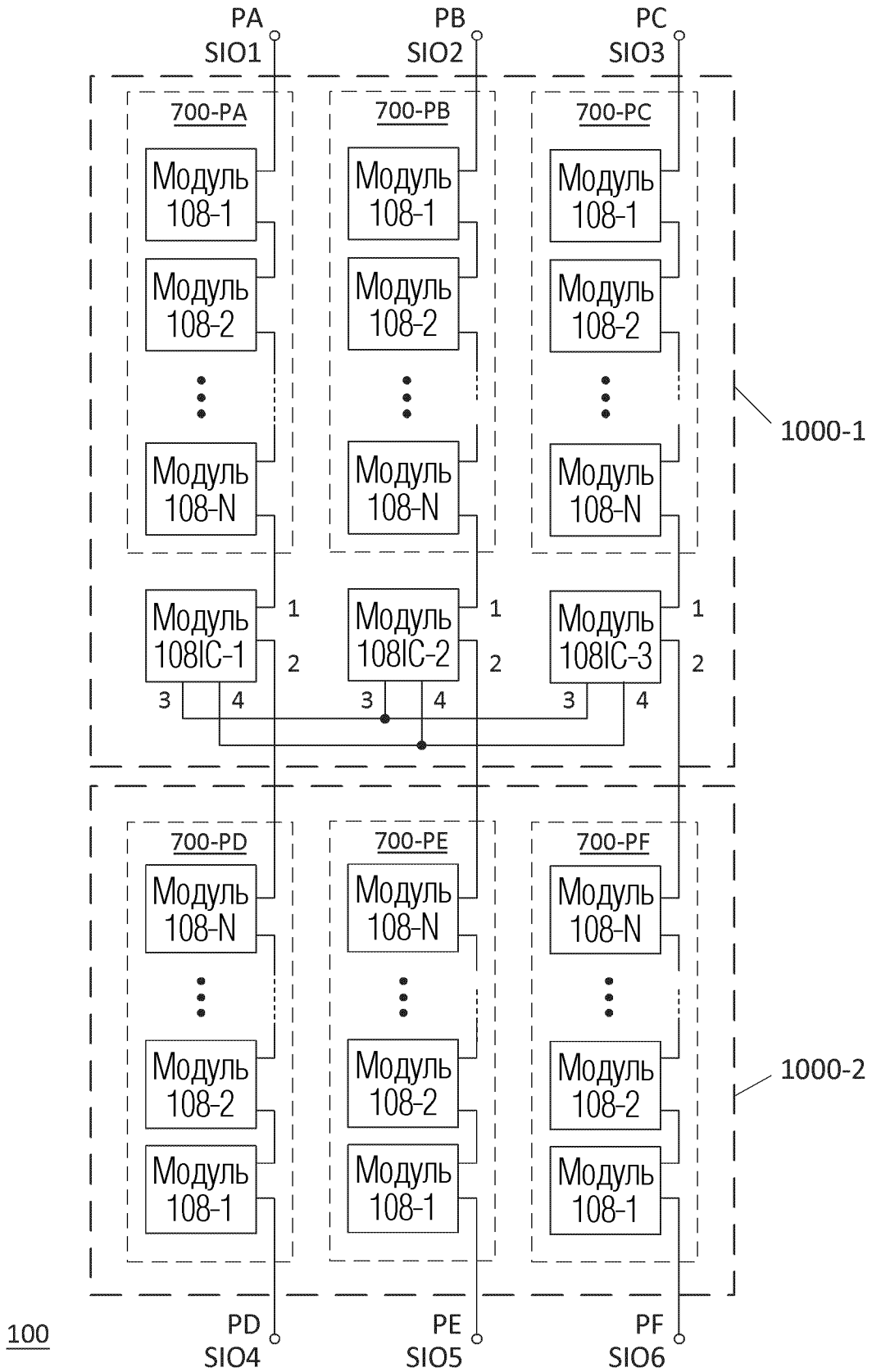
ФИГ. 9В



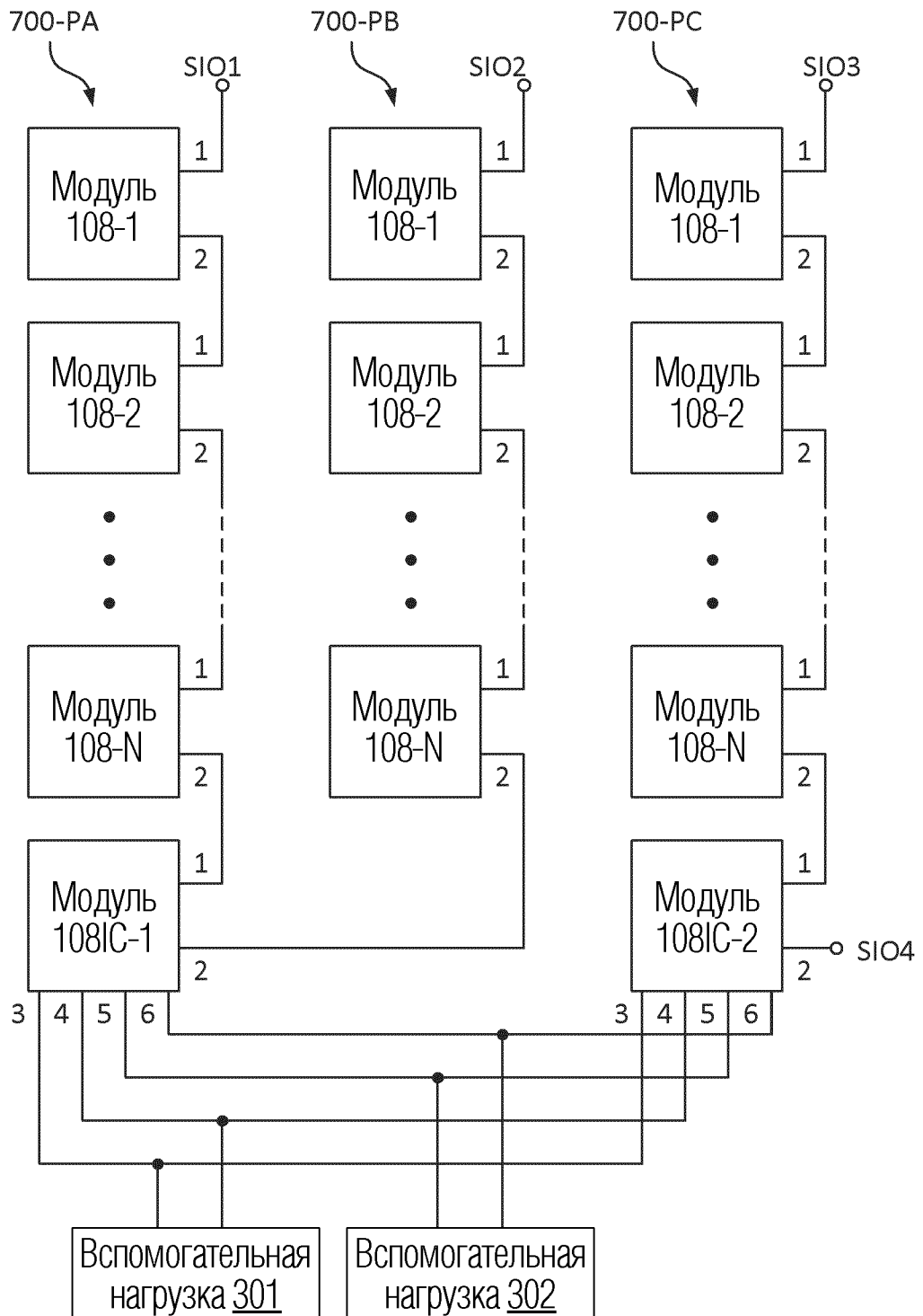
ФИГ. 10А

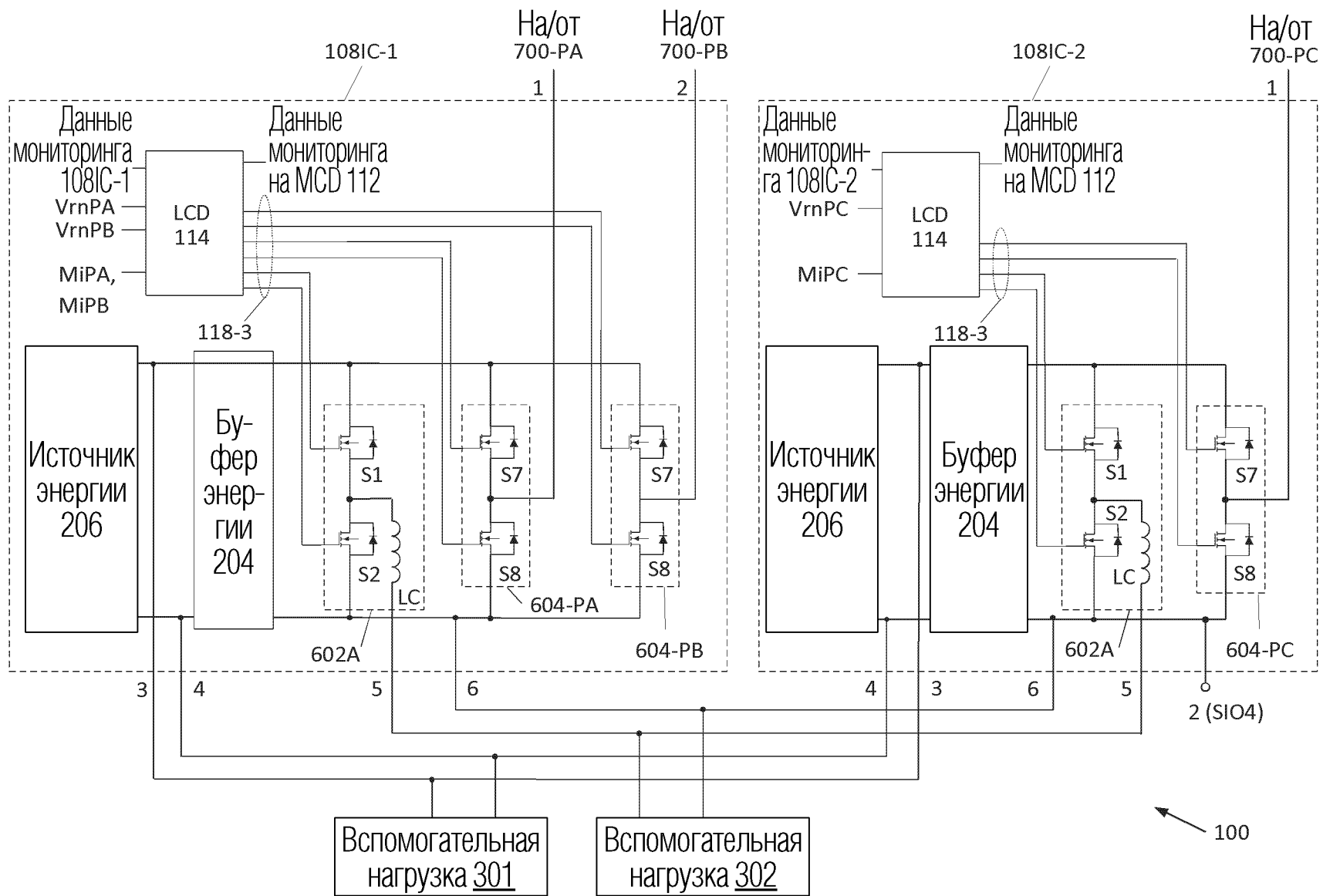


ФИГ. 10В



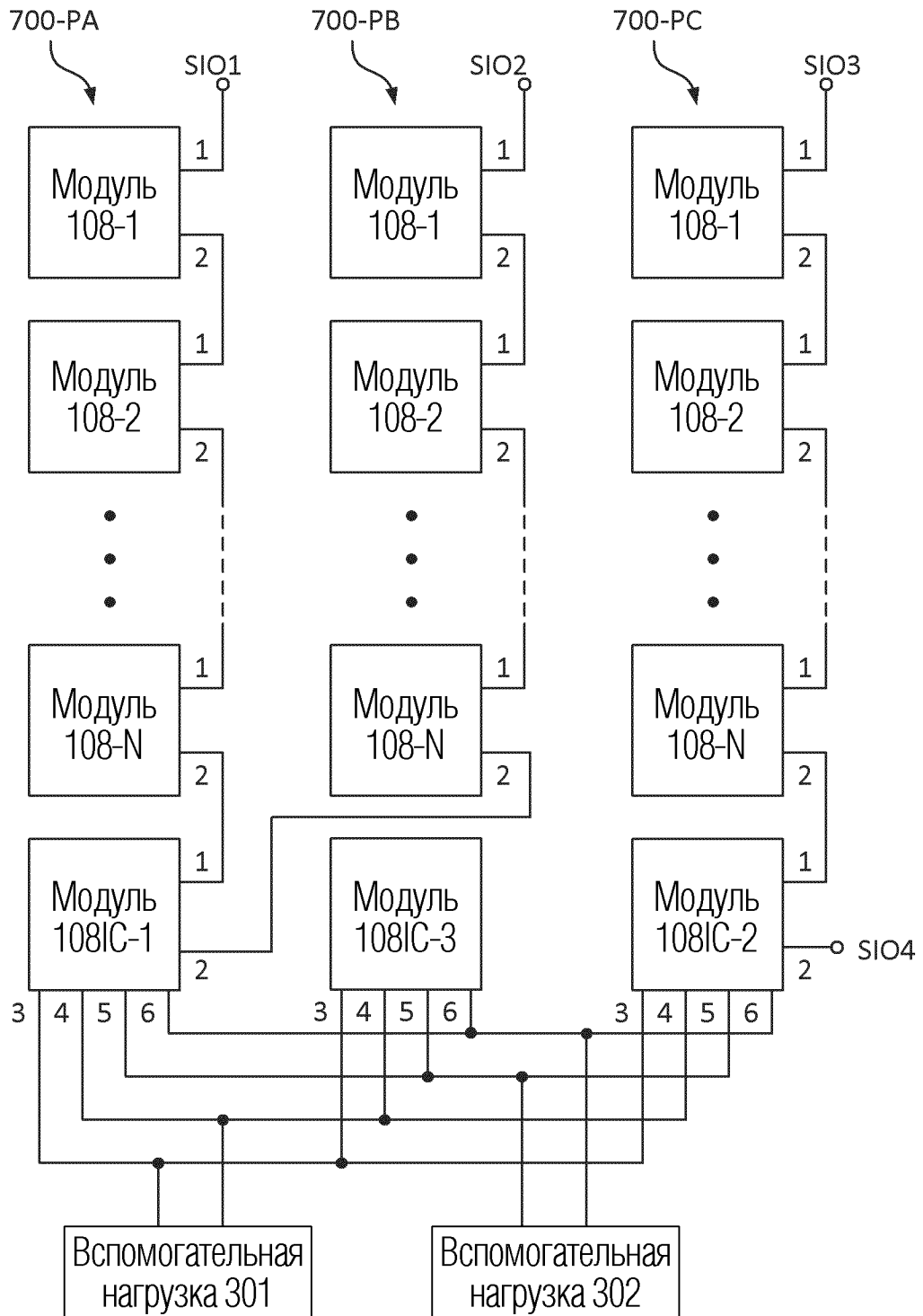
ФИГ. 10С

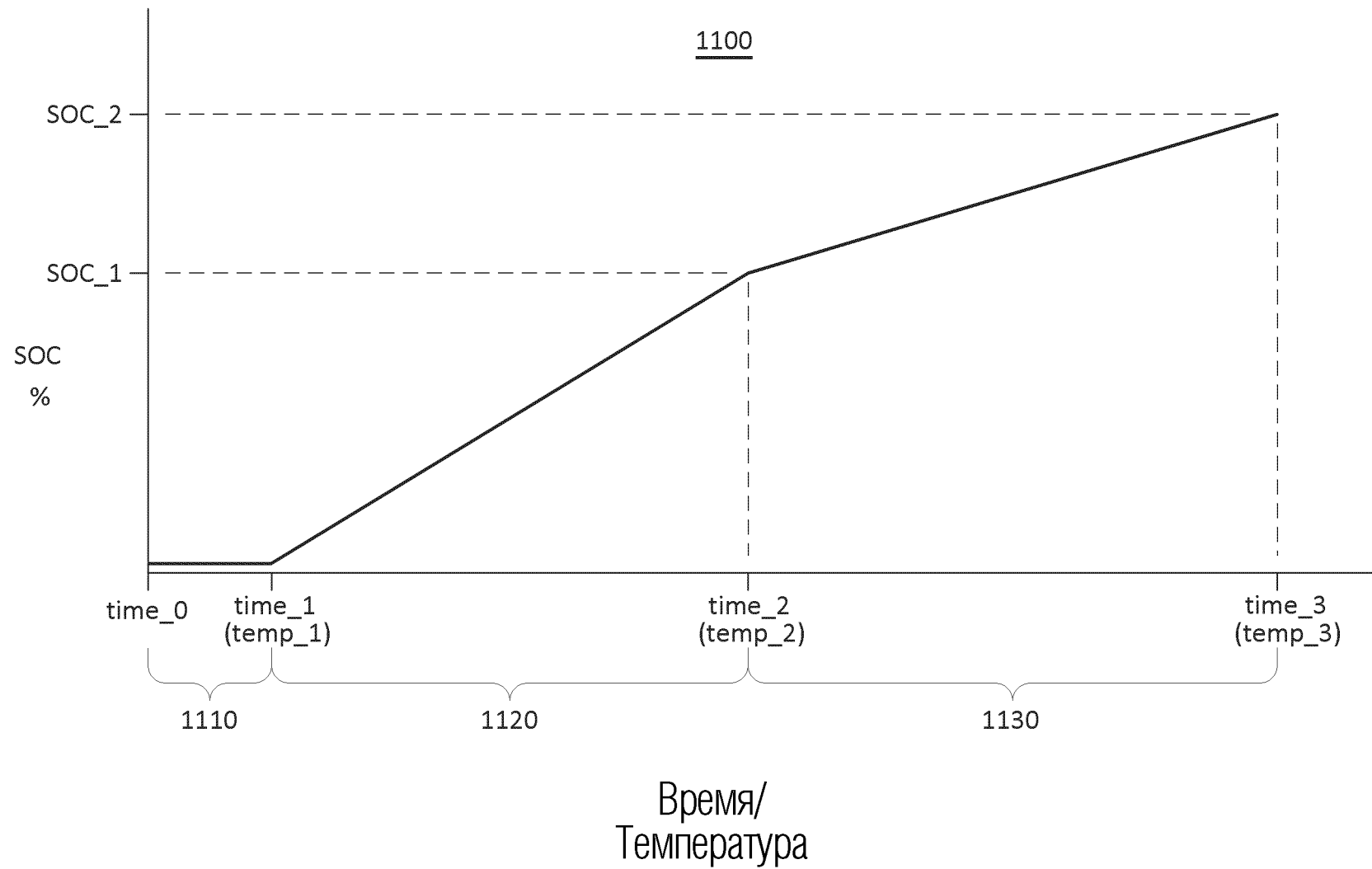




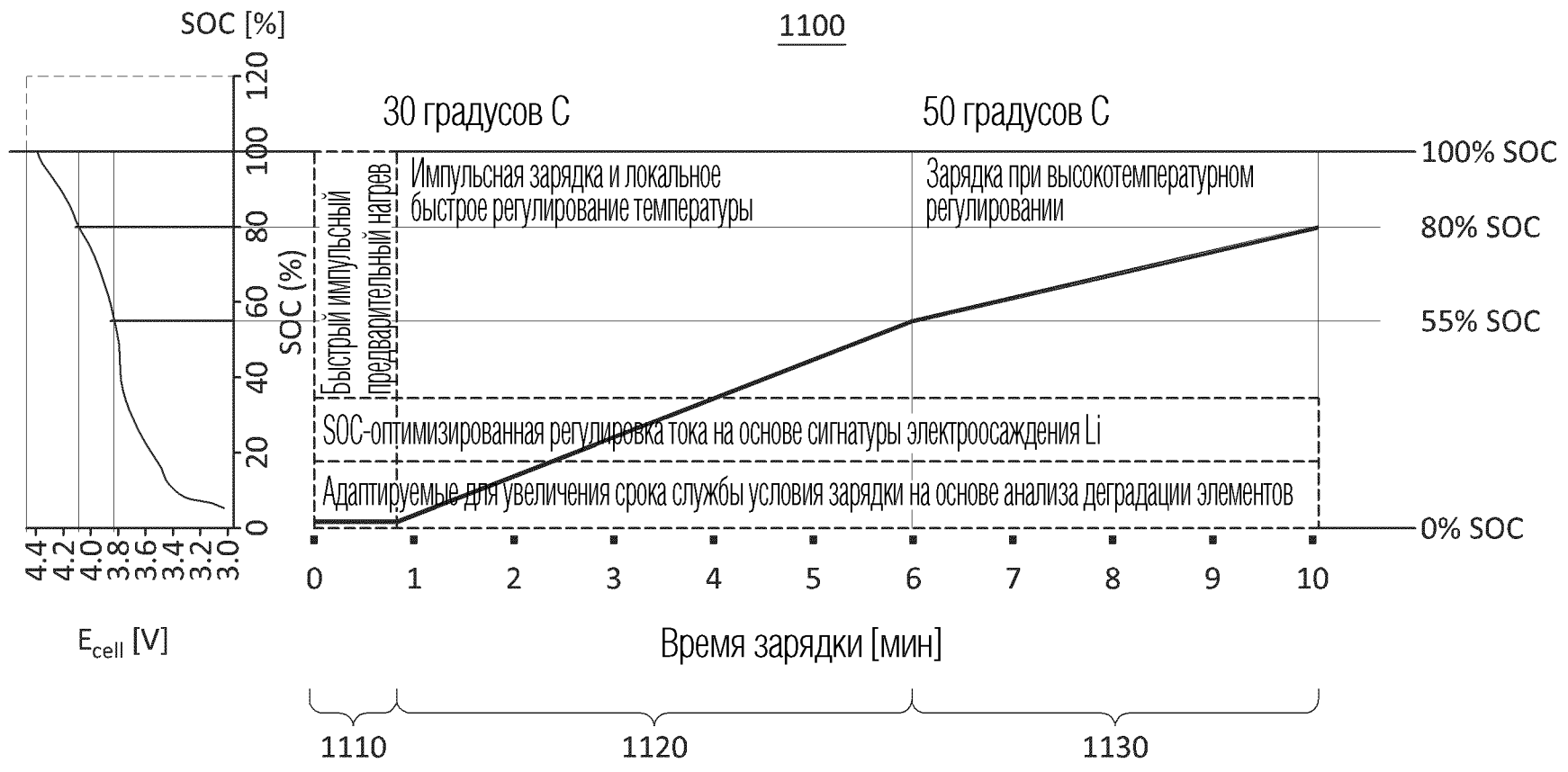
ФИГ. 10Е



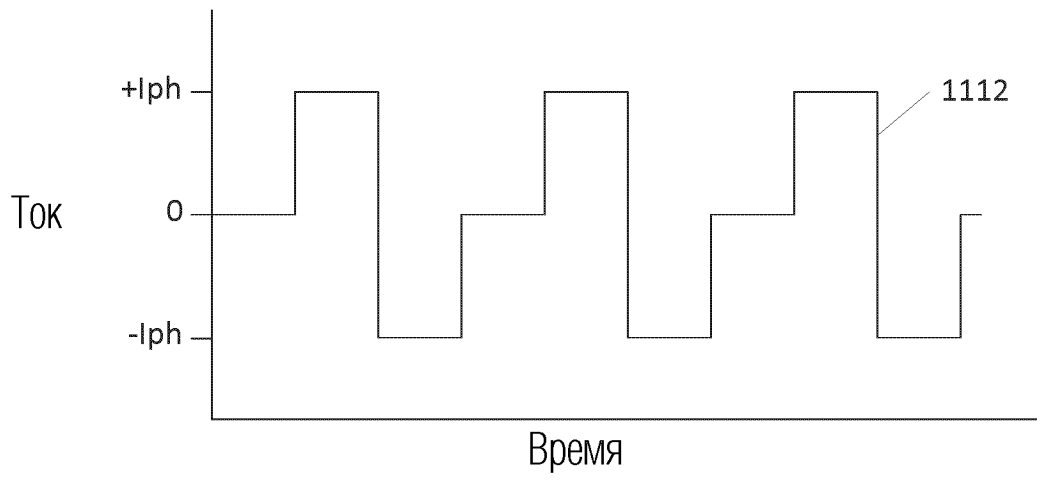




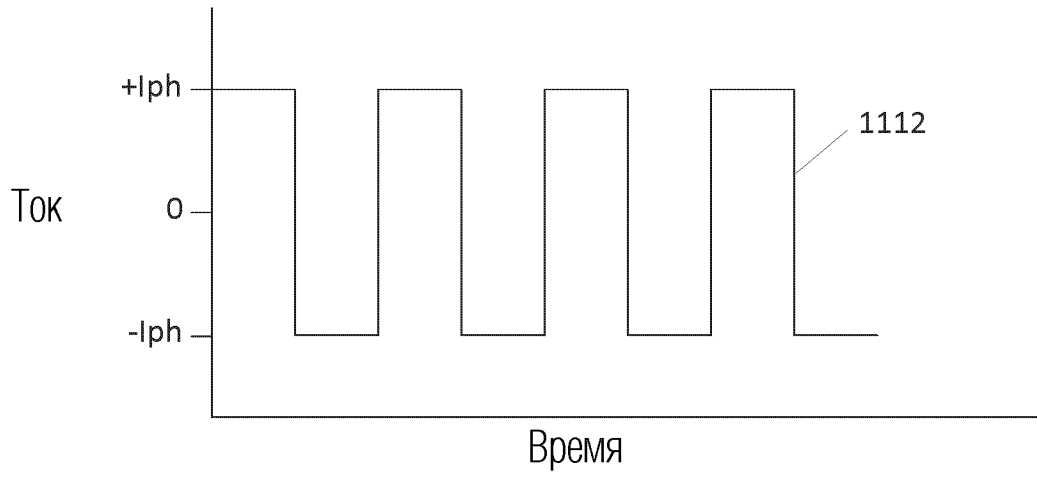
ФИГ. 11А



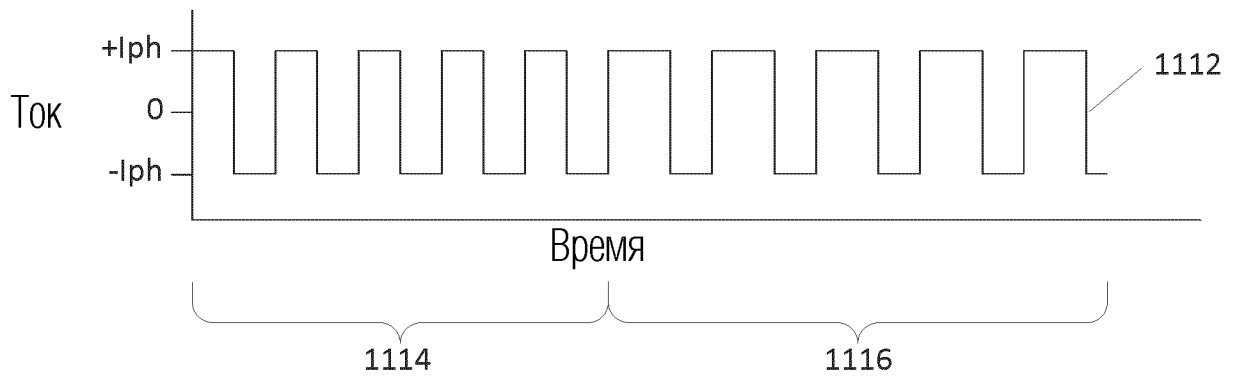
ФИГ. 11В



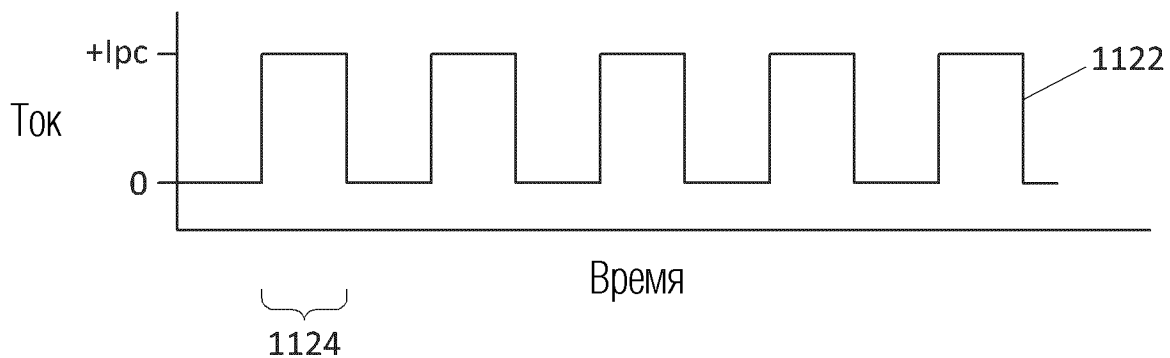
**ФИГ. 11С**



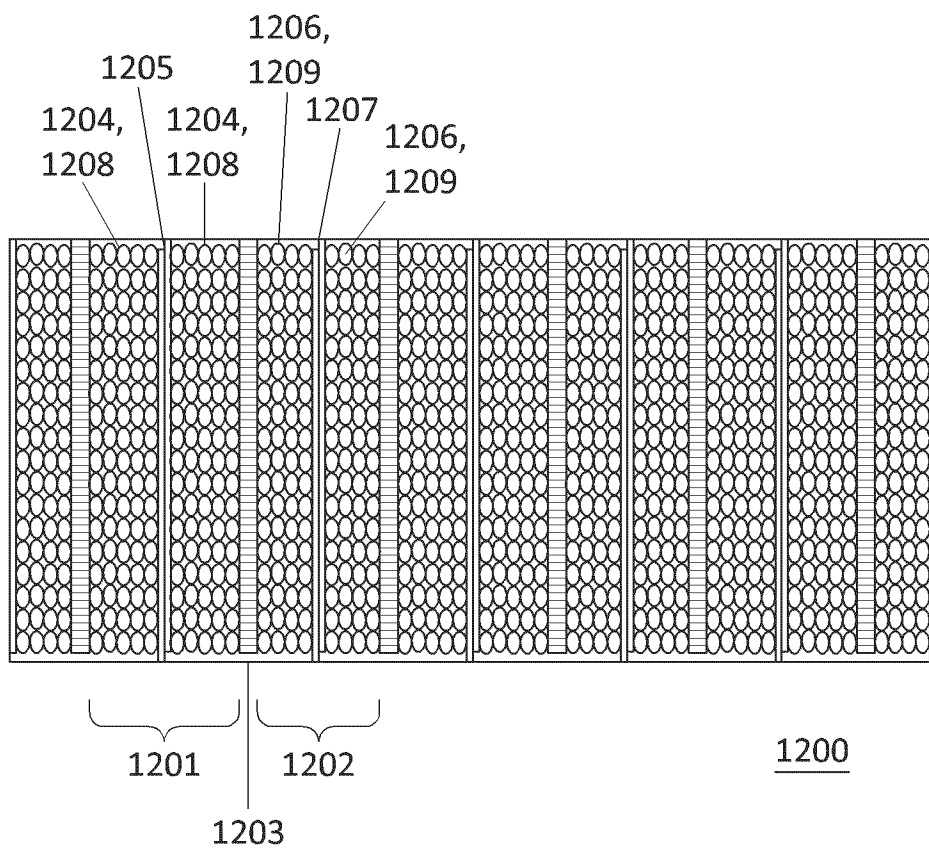
**ФИГ. 11D**



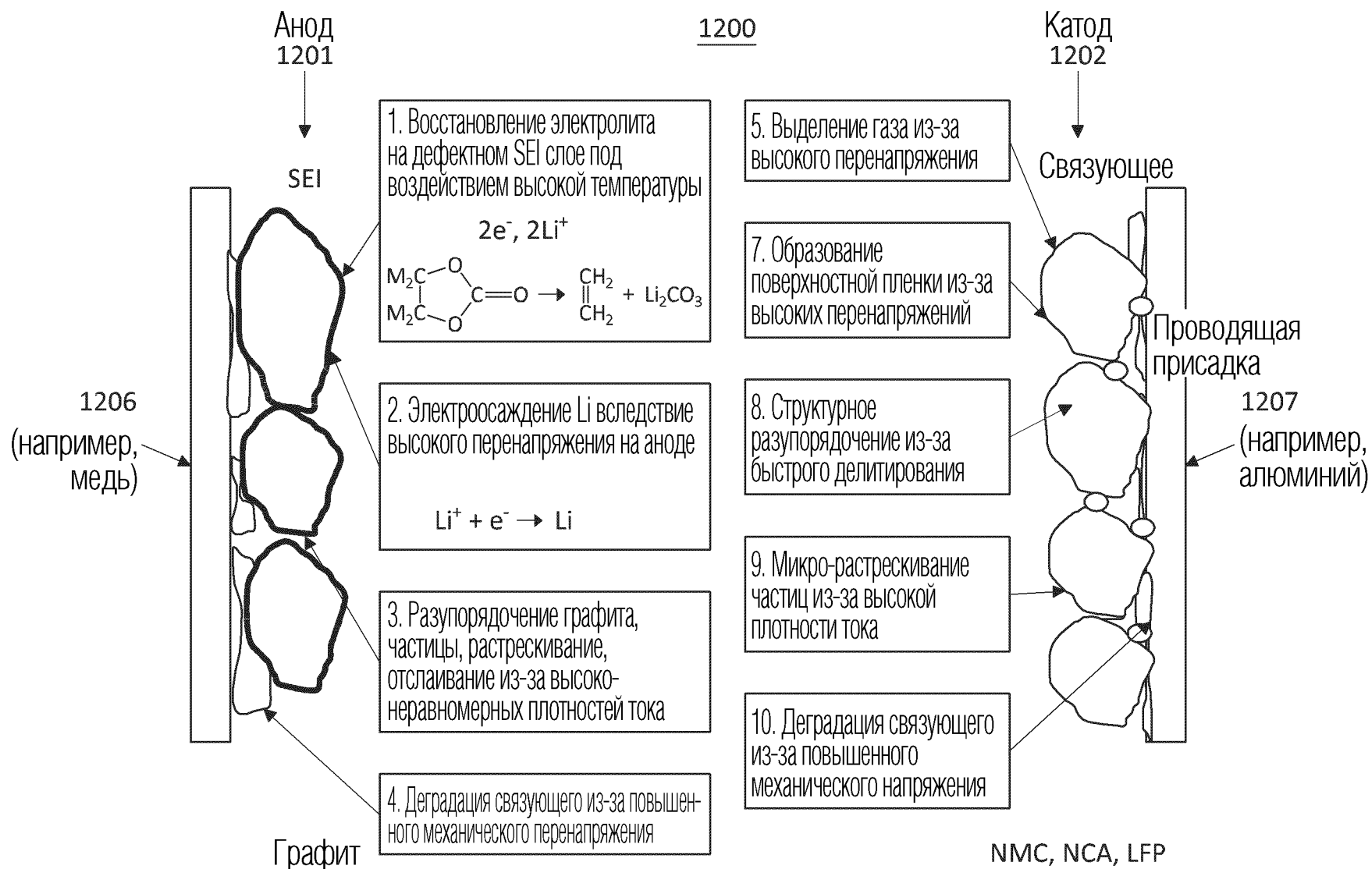
**ФИГ. 11E**



ФИГ. 11F

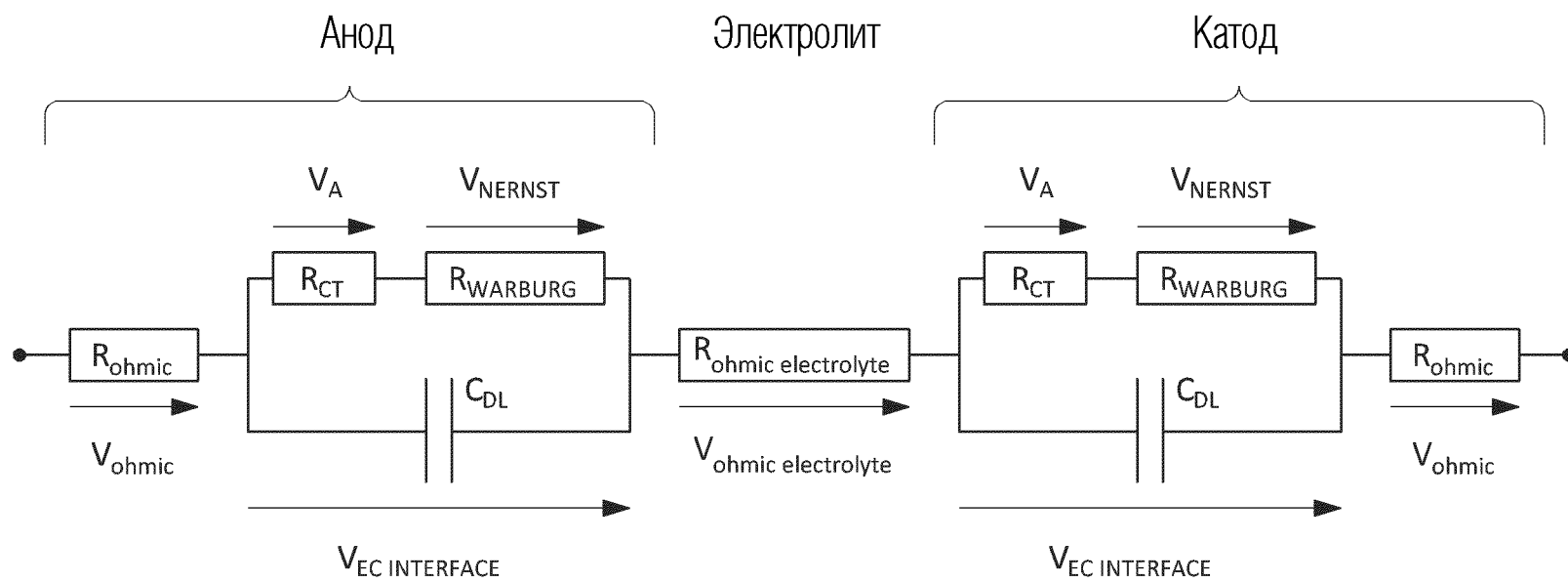


ФИГ. 12А

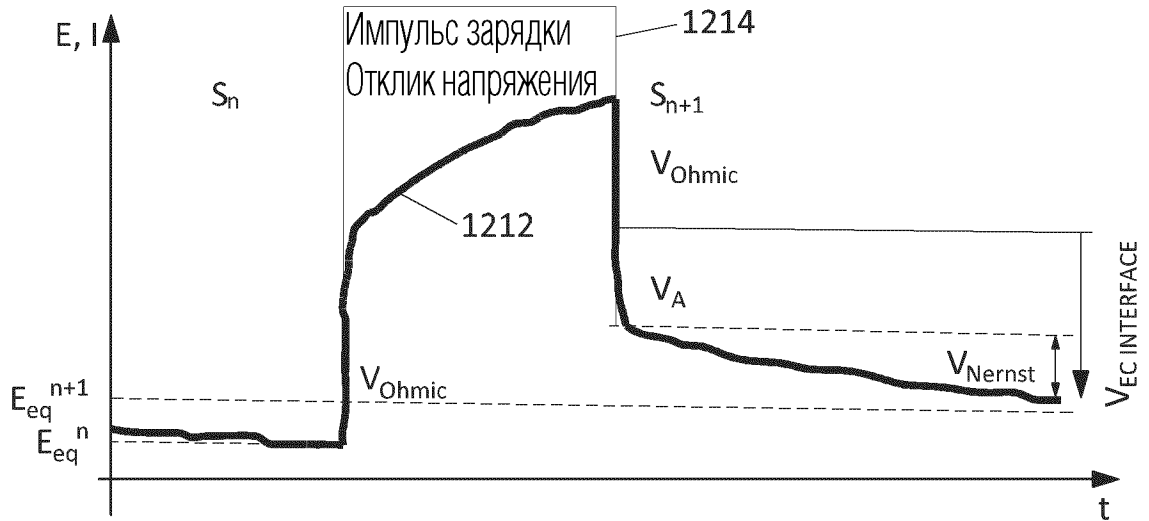


ФИГ. 12В

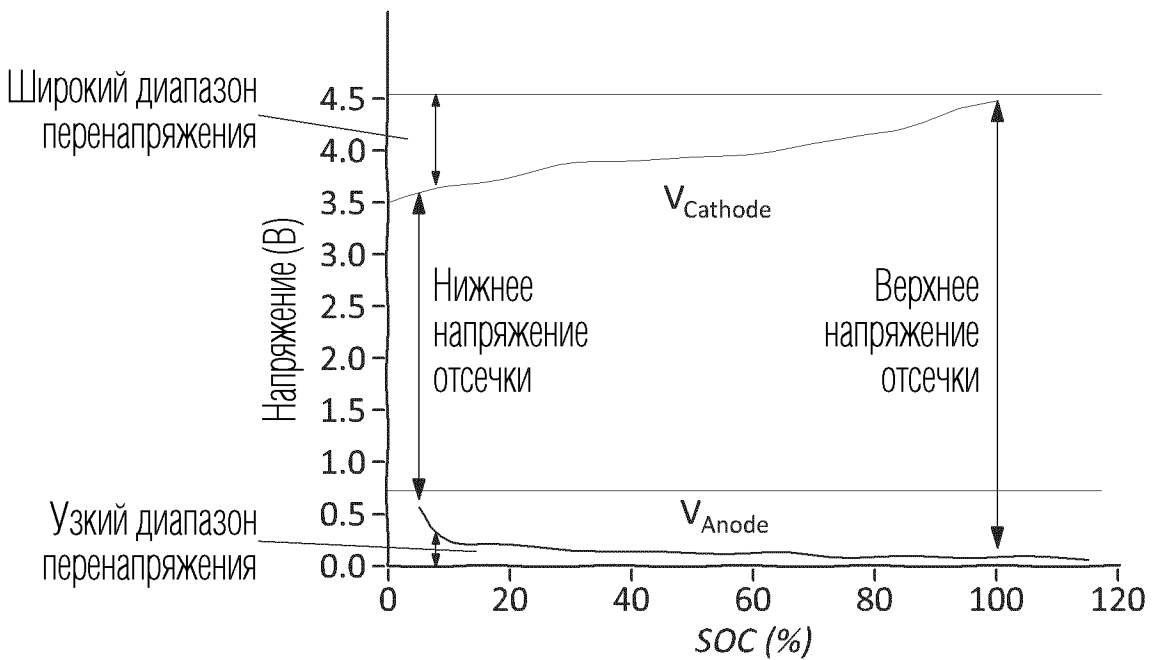
1200



ФИГ. 12С

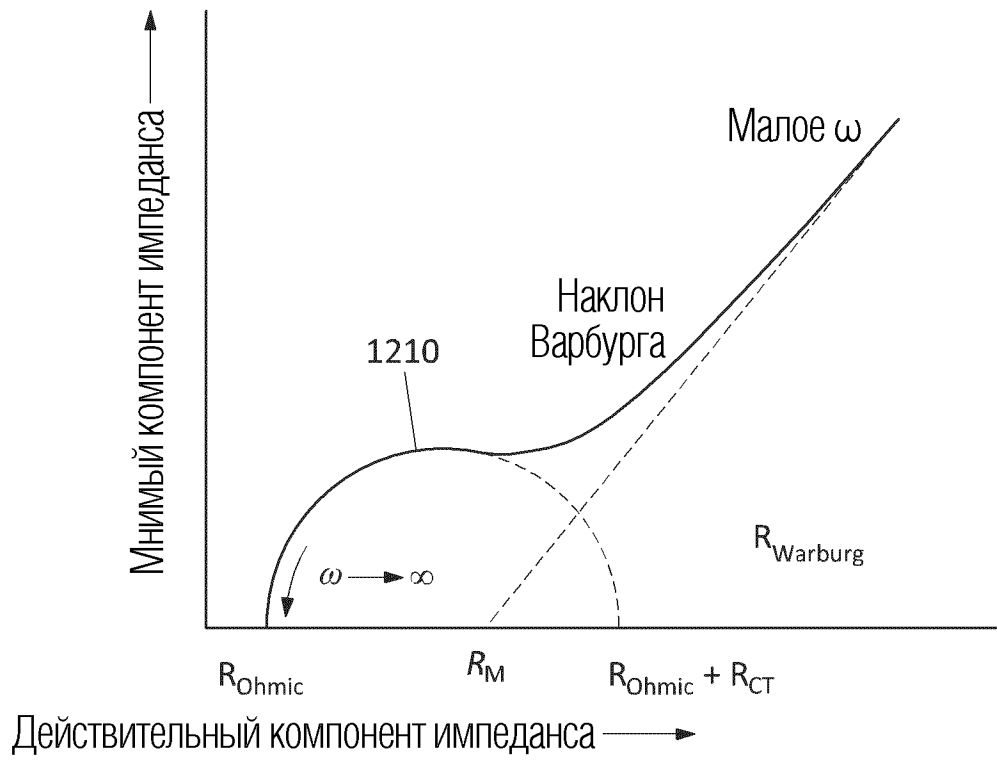


ФИГ. 12D

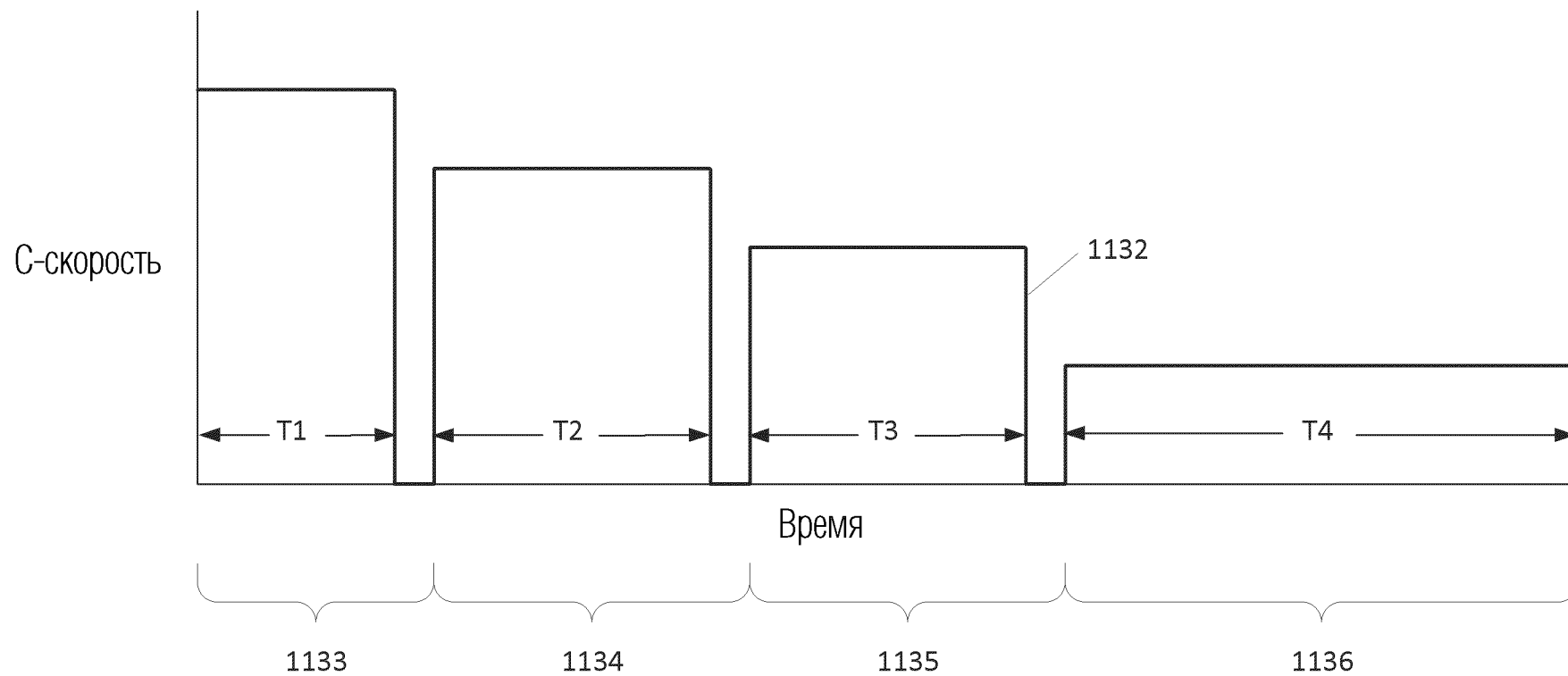


ФИГ. 12E



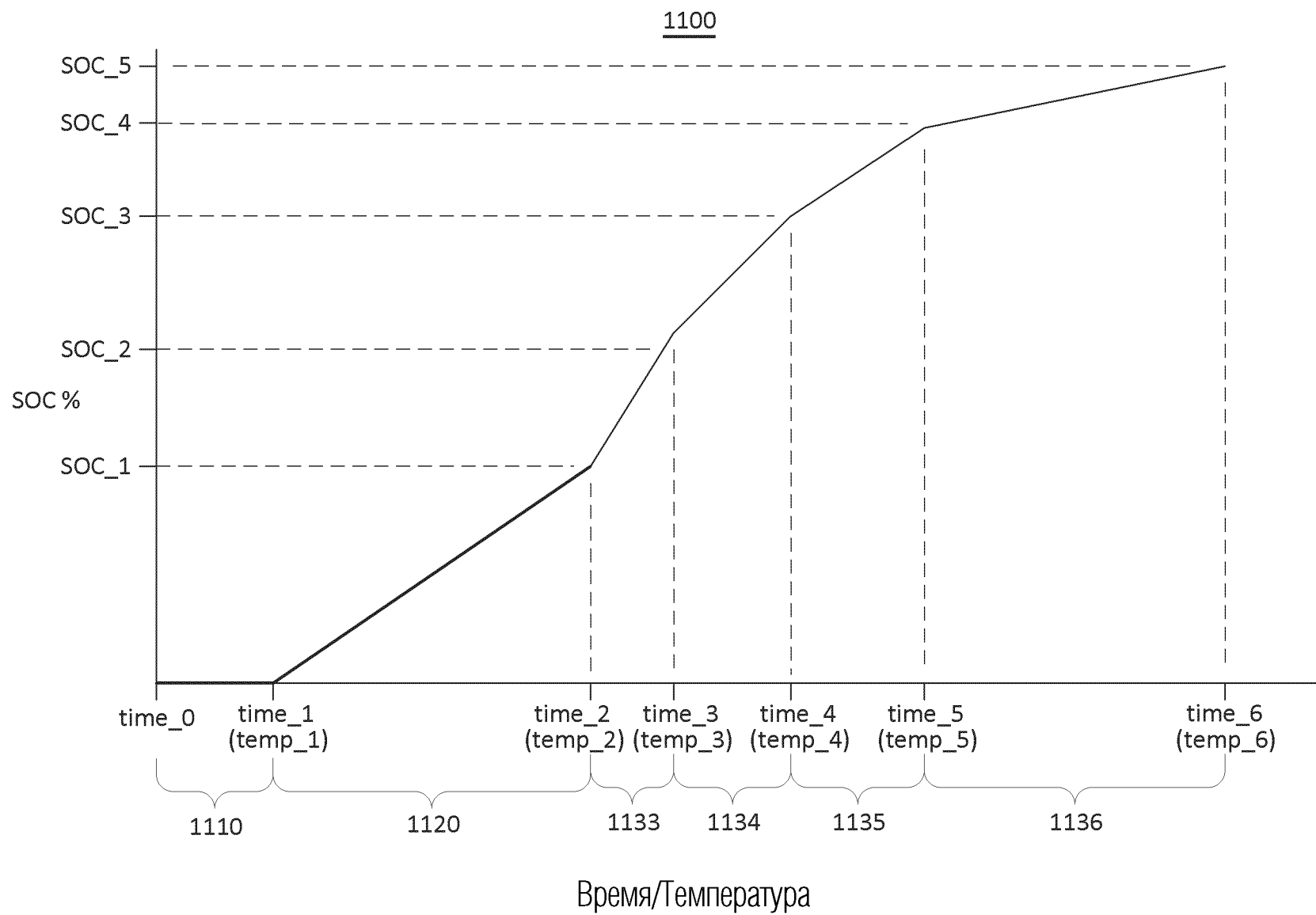


ФИГ. 12F

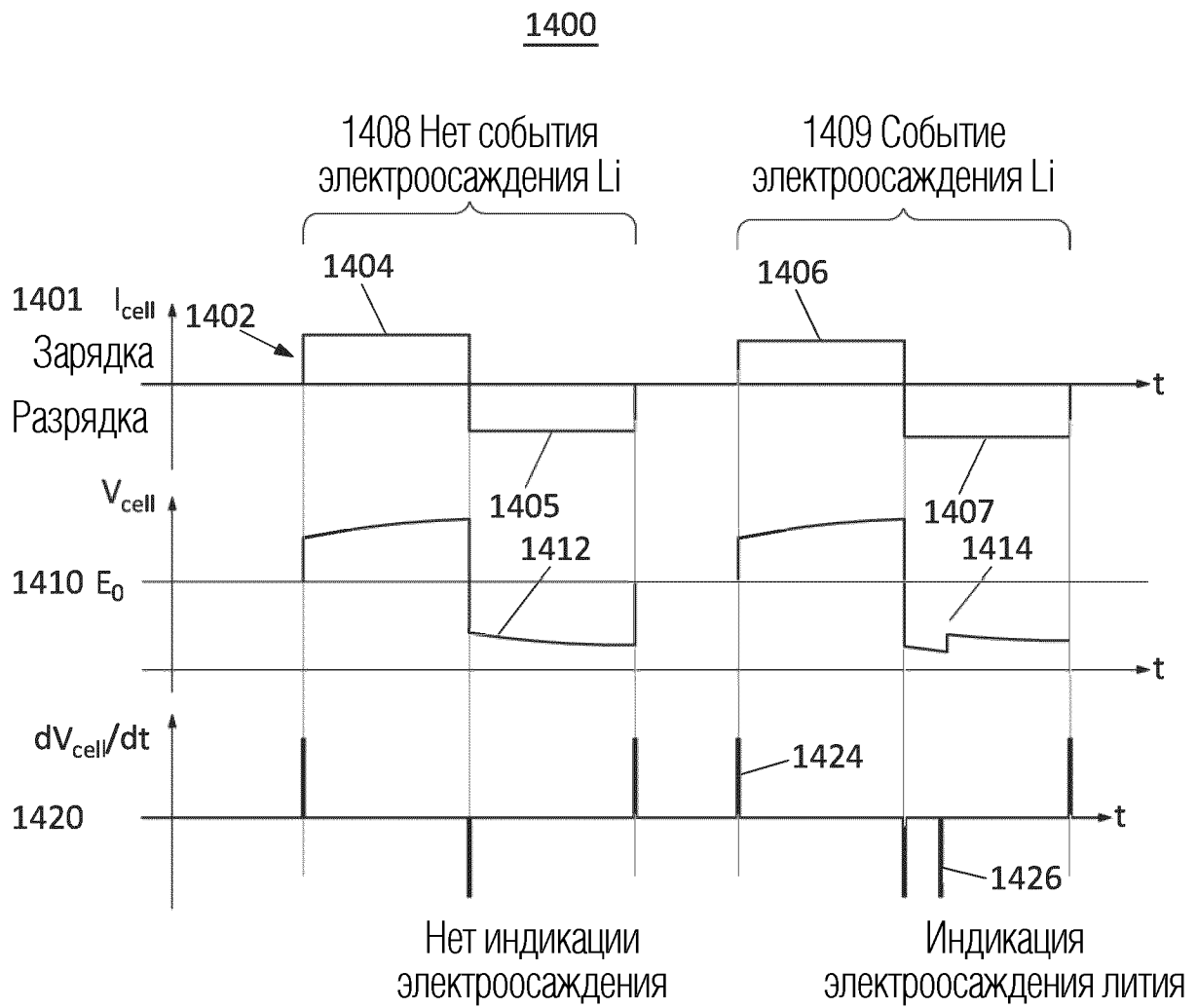


28/39

ФИГ. 13А

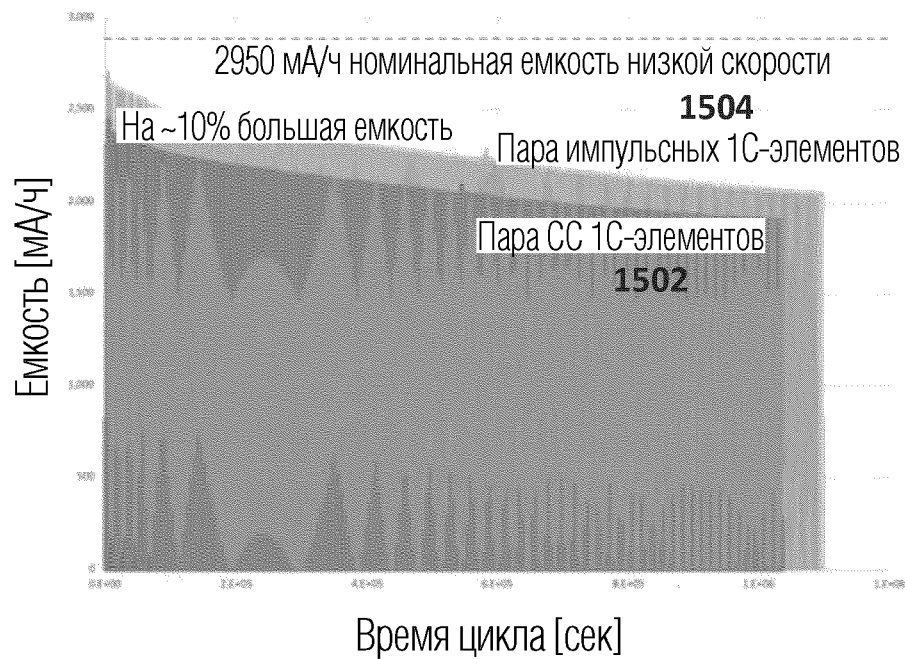


ФИГ. 13В



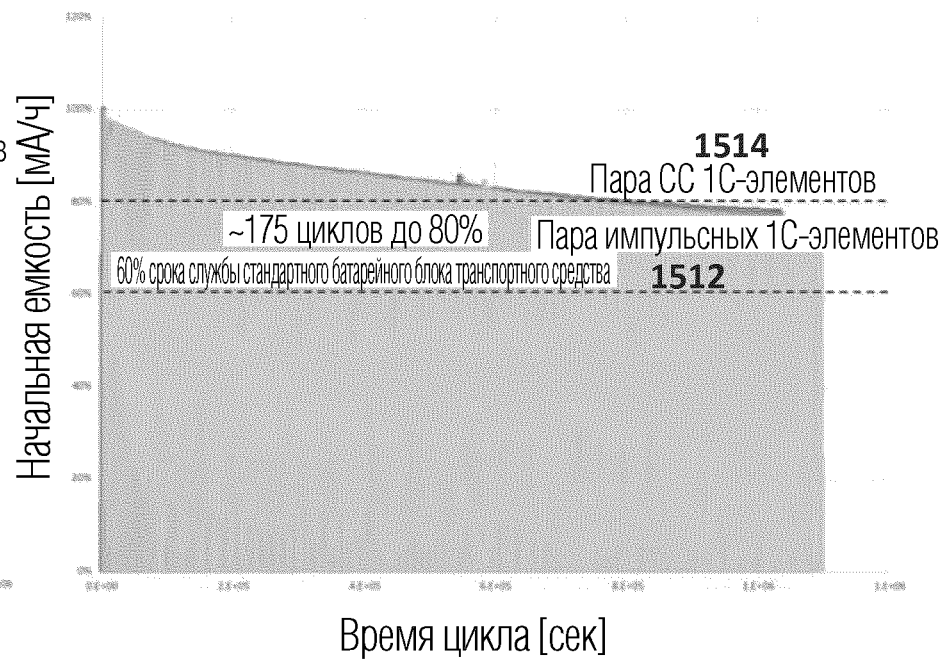
ФИГ. 14

### Удержание абсолютной емкости

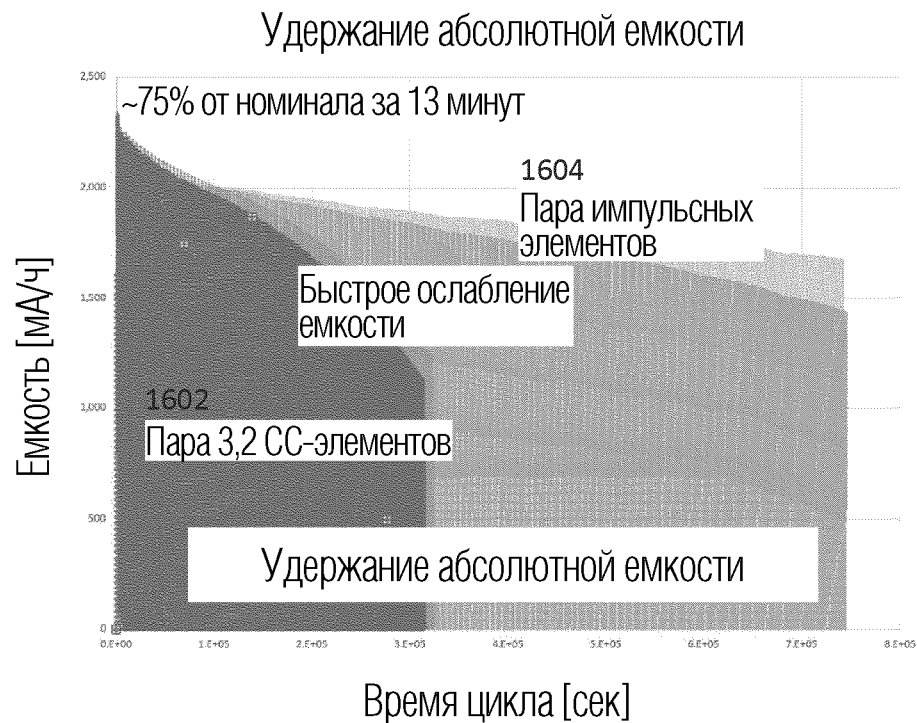


ФИГ. 15А

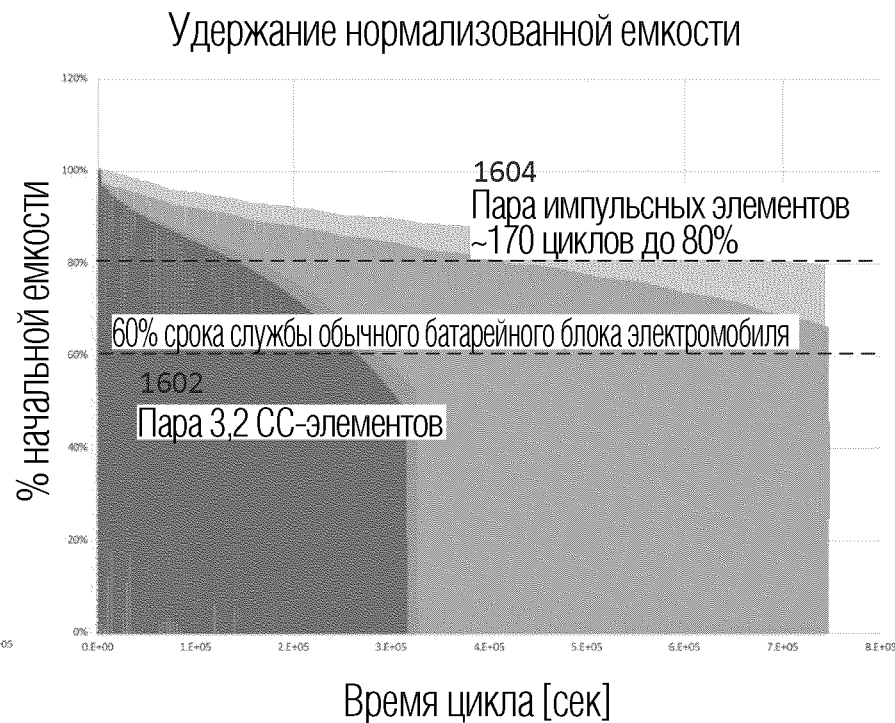
### Удержание нормализованной емкости



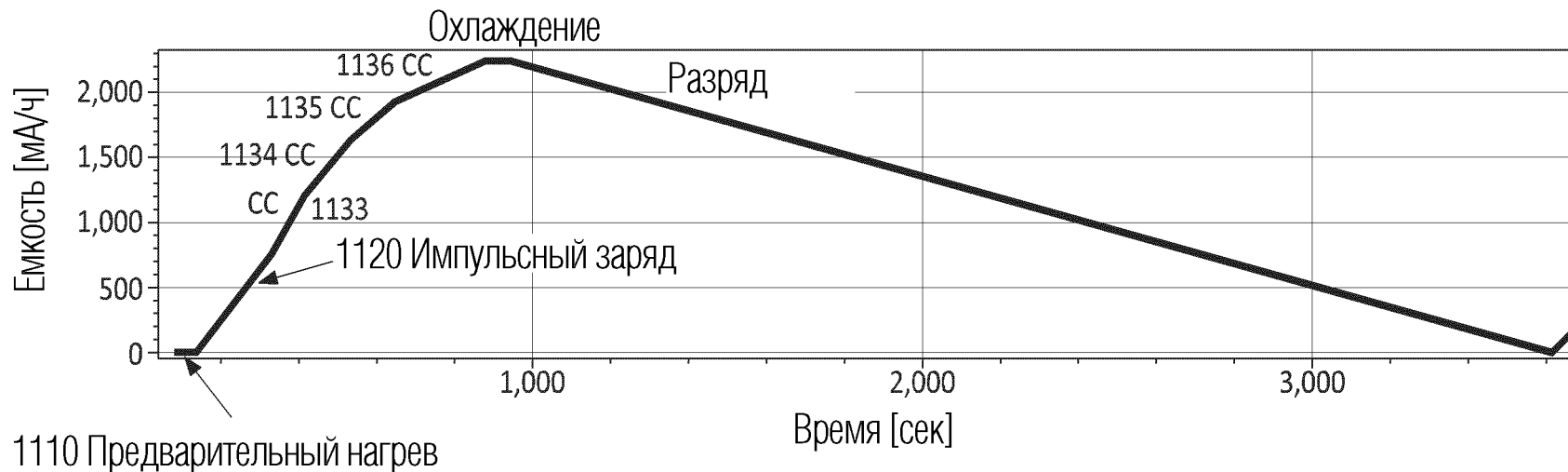
ФИГ. 15В



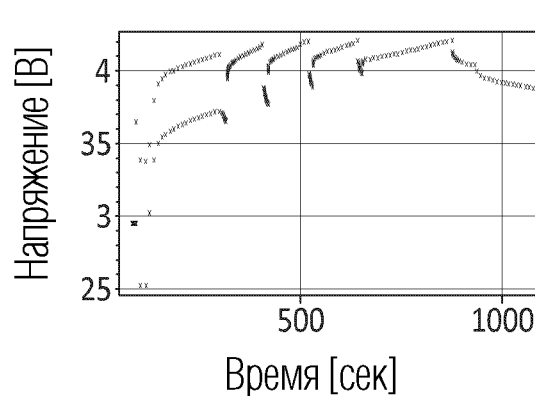
ФИГ. 16А



ФИГ. 16В



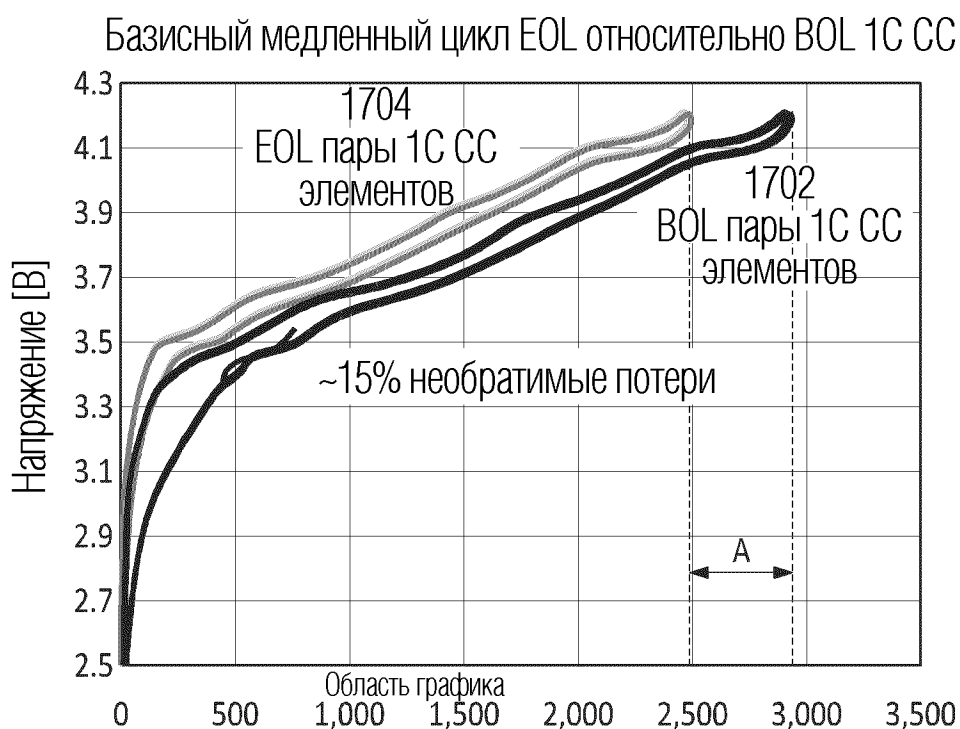
ФИГ. 16С



Импульсный предварительный нагрев 30 сек  
 Импульсный заряд 5С 3 мин  
 СС заряд 7С 90 сек  
 СС заряд 5С 2 мин  
 СС заряд 3,3С 2 мин  
 СС заряд 1,8С 6 мин  
 СС разряд 1С

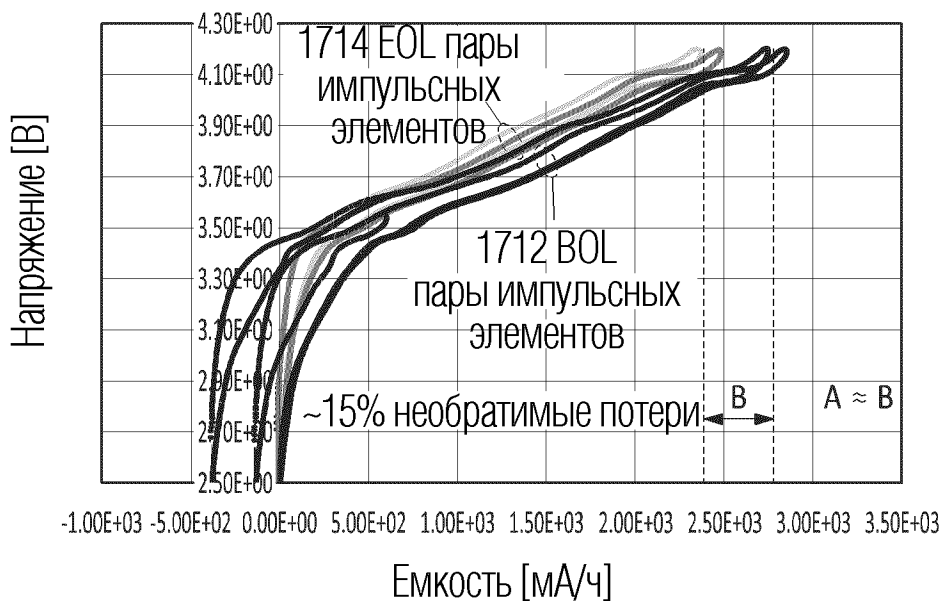
10 сек покоя между каждым пределом  
 4,25 В во время импульсной зарядки,  
 иначе предел 4,2 В

ФИГ. 16D



ФИГ. 17А

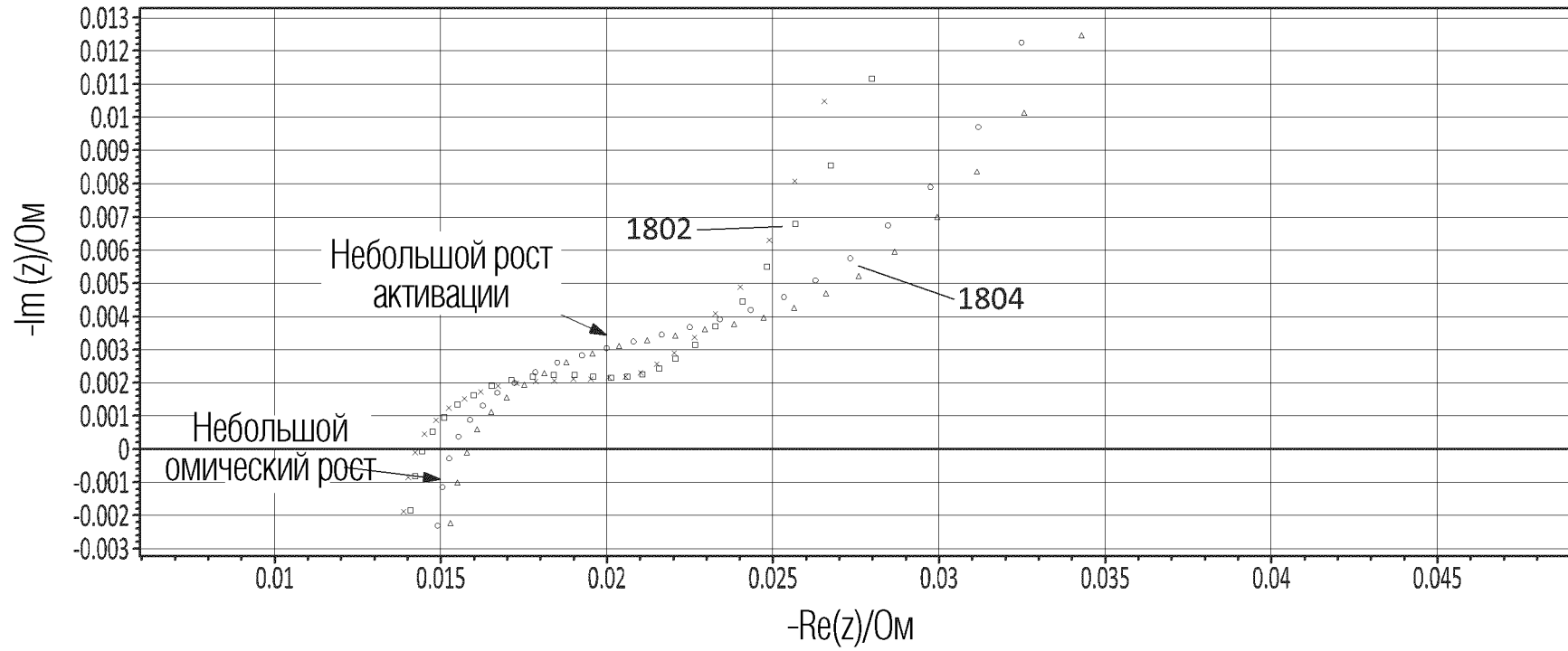
Медленный цикл EOL относительно BOL импульсного элемента



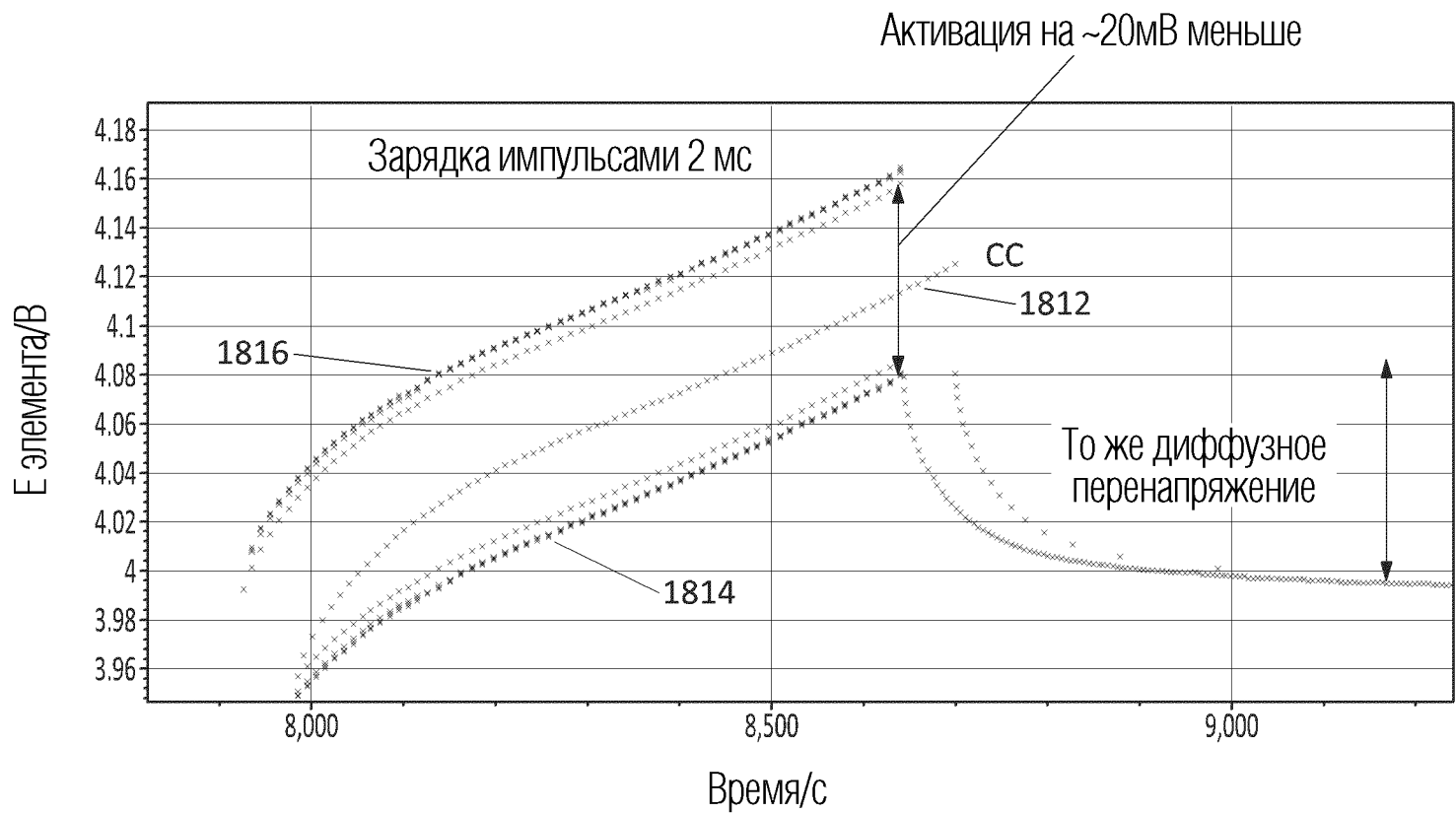
ФИГ. 17В



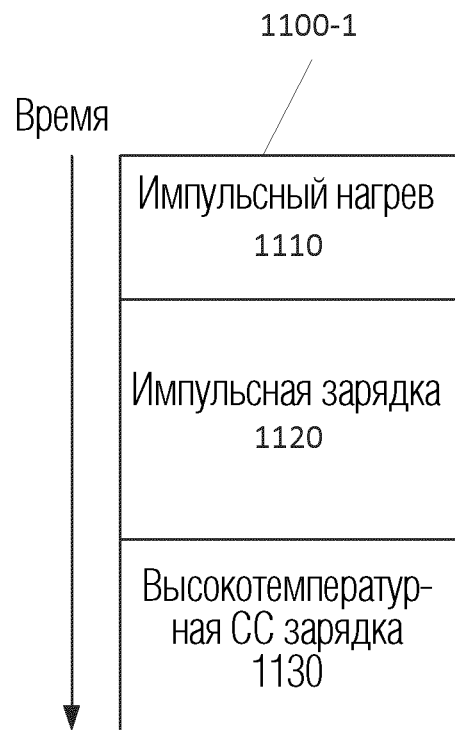
-Im(Z) vs. Re(Z)



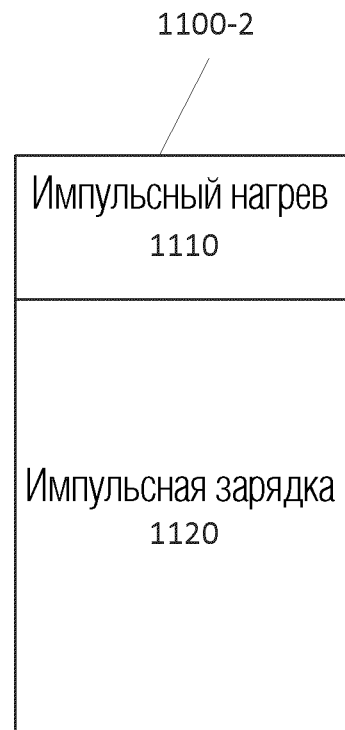
ФИГ. 18А



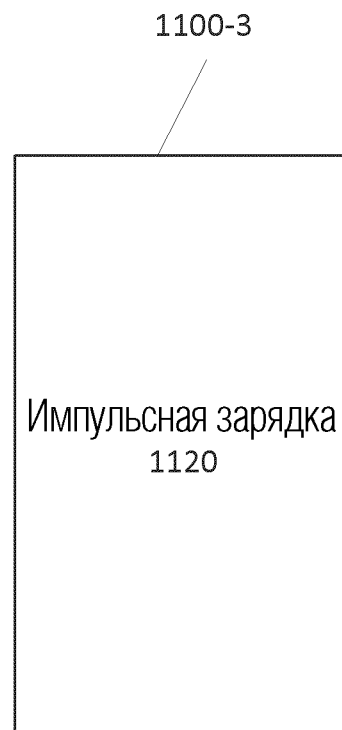
ФИГ. 18В



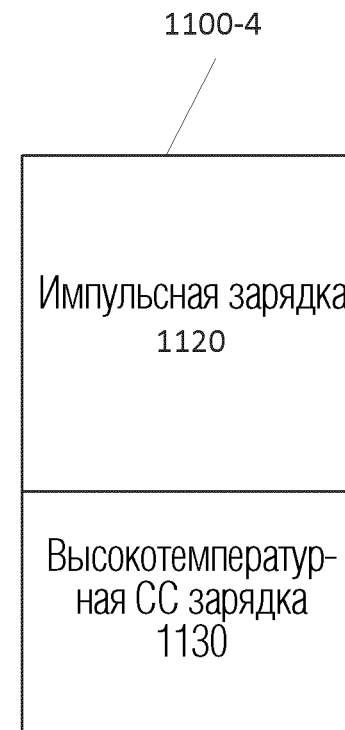
ФИГ. 19А



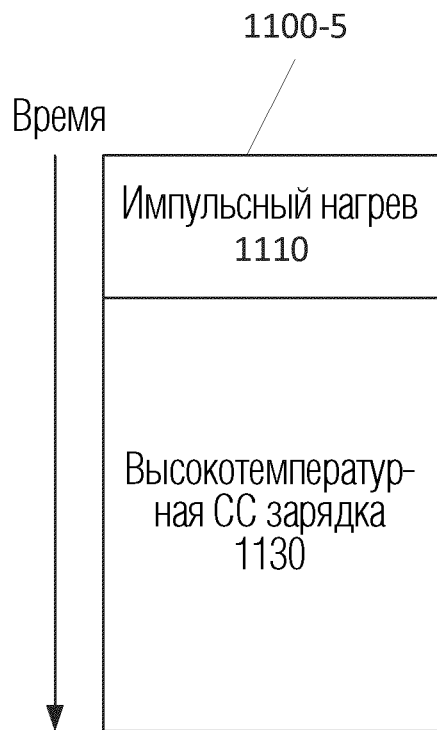
ФИГ. 19В



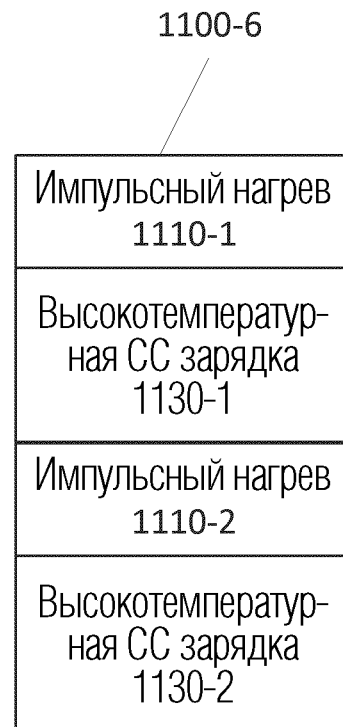
ФИГ. 19С



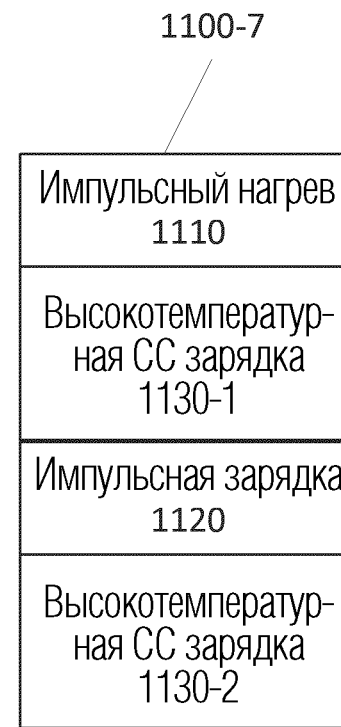
ФИГ. 19D



ФИГ. 19Е



ФИГ. 19F



ФИГ. 19G



ФИГ. 20