

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202091204 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2020.09.07

(51) Int. Cl. *H02M 7/5395* (2006.01)  
*H02J 3/38* (2006.01)  
*H02M 7/42* (2006.01)  
*H02M 7/493* (2007.01)

(22) Дата подачи заявки  
2018.12.07

(54) ИНВЕРТОР УСТРОЙСТВА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

(31) 15/838,044; 16/197,139

(72) Изобретатель:  
Шуи Джеффри Вэнь-Тай (TW)

(32) 2017.12.11; 2018.11.20

(33) US

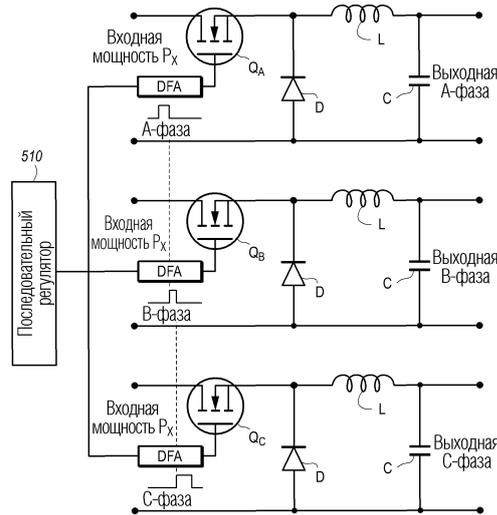
(74) Представитель:  
Медведев В.Н. (RU)

(86) PCT/US2018/064495

(87) WO 2019/118297 2019.06.20

(71) Заявитель:  
ЭлТи ЛАЙТИНГ (ТАЙВАНЬ)  
КОРПОРЕЙШН (TW)

(57) Устройство управления последовательным извлечением для использования в 3-фазном DC/AC-преобразователе, причем 3-фазный преобразователь имеет три однофазных DC/AC-преобразователя, причем каждый управляется посредством соответствующего PWM-устройства извлечения. Регулировки коэффициента рабочего режима выполняются в зависимости от текущего фрагмента цикла AC-мощности. Последовательный регулятор инструктирует PWM-устройствам извлечения иметь неперекрывающиеся рабочие циклы, так что извлечения каждого из однофазных DC/AC-преобразователей выполняются последовательно, а не одновременно. Это улучшает эффективность извлечения мощности из DC-мощности.



202091204 A1

202091204

A1

**ИНВЕРТОР УСТРОЙСТВА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТОЧКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ЭНЕРГИИ**

Уровень техники

[0001] Однофазный DC/AC-преобразователь преобразует электрическую энергию постоянного тока (DC) от источника DC-энергии в мощность переменного тока (AC), которая соответствует условиям электросети. Условия электросети диктуют, чтобы колеблющаяся AC-мощность, передаваемая по электросети, имела синусоидальную форму волны с конкретным фиксированным пиковым напряжением и с конкретной фиксированной частотой.

[0002] Традиционный 3-фазный DC/AC-преобразователь предоставляет AC-мощность в 3 силовые линии со сдвигом фаз  $120^\circ$  (называемых "А-фазой, В-фазой и С-фазой") между каждой силовой линией. По своей сути, 3-фазный DC/AC-преобразователь состоит из трех однофазных DC/AC-преобразователей, каждый выполняет извлечение и преобразование для доставки одинаковой усредненной по времени AC-мощности в соответствующую силовую линию. Один из однофазных DC/AC-преобразователей, таким образом, предоставляет AC-мощность по первой силовой линии с А-фазой. Второй из однофазных DC/AC-преобразователей, таким образом, предоставляет AC-мощность по второй силовой линии с В-фазой. Третий из однофазных DC/AC-преобразователей, таким образом, предоставляет AC-мощность по третьей силовой линии с С-фазой. Другими словами, каждый набор из трех однофазных DC/AC-преобразователей извлекает примерно одинаковое количество DC-мощности; преобразует эту извлеченную мощность в AC-мощность со сдвигом фаз  $120^\circ$  по сравнению с AC-мощностью, предоставляемой другими однофазными DC/AC-преобразователями; и отправляет AC-мощность в электросеть из 3 или 4 силовых линий. Следовательно, каждая силовая линия несет одну однофазную AC-мощность такой же частоты и такой же величины усредненной по времени мощности, что и AC-мощность других силовых линий; но со сдвигом фаз  $120^\circ$  по сравнению с другими силовыми линиями.

[0003] Предмет изучения, заявленный в данном документе, не ограничивается вариантами осуществления, которые решают какие-либо недостатки или которые работают только в таких окружениях, которые описаны выше. Скорее, этот уровень техники предоставлен, только чтобы иллюстрировать одну примерную область технологии, где некоторые варианты осуществления, описанные в данном документе, могут быть применены на практике.

**КРАТКАЯ СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

[0004] Варианты осуществления, описанные в данном документе, относятся к устройству управления последовательным извлечением для использования в 3-фазном DC/AC-преобразователе. 3-фазный преобразователь имеет первый однофазный DC/AC-преобразователь, содержащий первое PWM-устройство извлечения для извлечения из DC-

мощности первой АС-мощности, которая имеет первую фазу, и которая соответствует условиям электросети, второй однофазный DC/AC-преобразователь, содержащий второе PWM-устройство извлечения для извлечения из DC-мощности второй АС-мощности, которая имеет вторую фазу, и которая соответствует условиям электросети, и третий однофазный DC/AC-преобразователь, содержащий третье PWM-устройство извлечения для извлечения из DC-мощности третьей АС-мощности, которая имеет третью фазу, и которая соответствует условиям электросети. Регулировки коэффициента режима работы выполняются в зависимости от текущего фрагмента цикла АС-мощности.

[0005] Однако, последовательный регулятор инструктирует первому PWM-устройству извлечения иметь первый рабочий цикл, в течение которого первое PWM-устройство извлечения выполняет извлечение, инструктирует второму PWM-устройству извлечения иметь второй рабочий цикл, в течение которого второе PWM-устройство извлечения выполняет извлечение, и инструктирует третьему PWM-устройству извлечения иметь третий рабочий цикл, в течение которого третье PWM-устройство извлечения выполняет извлечение. Соответственно, в отличие от традиционных 3-фазных DC/AC-преобразователей, последовательный регулятор инструктирует, чтобы первый, второй и третий рабочие циклы не перекрывались, так что первое, второе и третье PWM-устройства извлечения выполняют извлечение последовательно, а не одновременно. Это улучшает эффективность извлечения мощности из DC-мощности. Последовательный регулятор дополнительно управляет регулировками коэффициента рабочего режима для первого, второго и третьего коэффициентов рабочего режима в соответствии с текущим временем, по меньшей мере, одного цикла АС-мощности, чтобы, тем самым, регулировать одну или более из первой АС-мощности, второй АС-мощности и третьей АС-мощности. Варианты осуществления, описанные в данном документе, также направлены на 3-фазный DC/AC-преобразователь, который содержит такой последовательный регулятор.

[0006] Данная сущность предусмотрена для того, чтобы в упрощенной форме представить выбор концепций, которые дополнительно описываются ниже в подробном описании. Эта сущность не предназначена для того, чтобы идентифицировать ключевые признаки или важнейшие признаки заявляемого предмета изобретения, а также не предназначена для того, чтобы быть использованной в качестве помощи при определении объема заявляемого предмета изобретения.

#### Краткое описание чертежей

[0007] Для того, чтобы описать способ, которым вышеупомянутые и другие преимущества и отличительные признаки могут быть получены, более конкретное описание различных вариантов осуществления будет воспроизведено посредством ссылки на сопровождающие чертежи. При условии того, что эти чертежи изображают только типичные варианты осуществления изобретения и поэтому не должны рассматриваться как ограничивающие объем изобретения, варианты осуществления будут описаны и объяснены с помощью дополнительной спецификации и подробностей посредством использования прилагаемых чертежей, на которых:

[0008] Фиг. 1А изображает модули для последовательности генерации солнечной энергии, чтобы иллюстрировать и разъяснить упоминаемые термины "извлечение энергии", "подготовка", "согласование", "DC/AC-преобразование" и "поставка AC-мощности";

[0009] Фиг. 1В символически показывает синусоидально изменяющуюся по времени (колеблющуюся) последовательность AC-напряжения, представляющую AC-сигнал (выходной сигнал DC/AC-преобразователя), который посылается по конкретным силовым линиям электроэнергетической системы;

[0010] Фиг. 2А показывает типовую схему повышающего DC/DC-преобразователя, который является примером упоминаемого однофазного устройства извлечения/подготовки (согласования) энергии;

[0011] Фиг. 2В показывает типовую схему понижающего DC/DC-преобразователя, который является примером упоминаемого однофазного устройства извлечения/преобразования энергии;

[0012] Фиг. 2С показывает мостовую структуру переключателей, которые управляют полярностью выходного сигнала понижающего DC/DC-преобразователя; таким образом, создавая результирующую выходную последовательность AC-напряжения, которая изображена на фиг. 1В;

[0013] Фиг. 2D символически изображает пульсирующую синусоидальную последовательность AC-мощности для выходной мощности DC/AC-инвертора, которая посылается в мостовую схему переключателей;

[0014] Фиг. 2Е символически изображает импульс DC-энергии, который должен быть согласован посредством понижающего преобразователя в одном PWM-цикле; который описывается как 3 области: область-I, представляющая извлеченную энергию, и область-II и область-III, представляющие область излишней энергии;

[0015] Фиг. 3А показывает схемы соответствующих устройств извлечения энергии для традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя;

[0016] Фиг. 3В символически изображает входную DC-мощность в одном PWM-периоде;

[0017] Фиг. 3С символически представляет энергию, одновременно извлеченную в одном PWM-цикле посредством 3 устройств извлечения энергии на фиг. 3;

[0018] Фиг. 4 символически изображает конфигурацию, в которой источник питания подает DC-мощность  $P_{max}$ , которая поддерживает два идентичных 3-фазных DC/AC-преобразователя с заявленной номинальной мощностью  $P_{max}$ , но без MEURT-устройства;

[0019] Фиг. 5А показывает 3 схемы для извлечения энергии А-фазы, извлечения энергии В-фазы и извлечения энергии С-фазы MEURT-инвертора;

[0020] Фиг. 5В символически изображает временную последовательность в извлечениях энергии А-фазы, В-фазы и С-фазы, отрегулированных посредством последовательного регулятора на фиг. 5А;

[0021] Фиг. 6А иллюстрирует блок-схему электростанции в эксперименте, в котором существуют два блока производства АС-мощности, настроенных традиционно с измерителями мощности и энергии, чтобы измерять АС-выходную мощность каждого блока; и

[0022] Фиг. 6В иллюстрирует блок-схему электростанции на фиг. 6А после модификации, чтобы включать в нее развязывающие устройства и энергетический резервуар, и которая была использована, чтобы подтвердить улучшенный вывод энергии в сеть.

Подробное описание изобретения

[0023] По сути, 3-фазный DC/AC-преобразователь состоит из 3 наборов однофазных DC/AC-преобразователей, выполняющих функции извлечения и преобразования, поставки аналогичной усредненной по времени АС-мощности в 3 пары силовых линий; со сдвигом фаз  $120^\circ$ . Следовательно, для понимания 3-фазного DC/AC-преобразователя следует иметь хорошее понимание однофазного DC/AC-преобразователя; особенно в рассматриваемом предмете изучения, извлечении энергии. Термины "силовые линии" и "силовой кабель" являются взаимозаменяемыми в области техники и взаимозаменяемыми в данном документе, пока не указывается иное.

[0024] Патентные публикации US2016/0036232 и US2017/0149250 A1 описывают открытие, что традиционные однофазные преобразователи могут лишь извлекать и преобразовывать менее половины входной мощности постоянного тока (DC). Эти патентные публикации учат, что для того, чтобы эффективно извлекать произведенное DC-электричество для использования энергии, характеристики устройства извлечения энергии должны соответствовать эффективному и продуктивному извлечению произведенной DC-электроэнергии.

[0025] Кроме того, эти патентные публикации учат, что связанные устройства также должны соответствовать условию и/или доставке извлеченного электричества для эффективного использования энергии. Вместо использования устройства отслеживания точки максимальной мощности (MPPT) в качестве оптимизатора для солнечных электростанций, упомянутые публикации предложили использовать "устройство отслеживания точки максимального использования энергии" ("maximum energy utilization point tracker") в качестве оптимизатора для электростанций; особенно PV-электростанций. Такой оптимизатор будет называться "MEURT-оптимизатором" в данном документе.

[0026] В соответствии со справочными патентными публикациями, MEURT-оптимизатор предназначен для захвата того, что они называют "излишней энергией" или "излишней мощностью", которую они определяют как электроэнергию (или мощность, соответственно), которая производится, но не извлекается и/или не доставляется в электросеть для использования. Это определение излишней энергии (или излишней мощности) также используется в данном документе. Эта излишняя мощность имеет сдвиг фазы примерно  $90^\circ$  от электросети, так что излишняя мощность не может быть непосредственно отправлена в электросеть. MEURT-оптимизатор также

предназначается, чтобы временно хранить всю захваченную излишнюю энергию в резервуаре энергии; и затем подготавливать и доставлять эту электроэнергию в электросеть для использования. Таким образом, доход от сбыта электричества для PV-электростанции может быть улучшен, когда в нее включен MEURT-оптимизатор.

[0027] Некоторые специальные знания могут быть применены в извлечении DC-энергии, в подготовке энергии, в согласовании энергии и в доставке энергии. Принципы, описанные в данном документе, могут быть использованы независимо от источника DC-энергии. Тем не менее, это изобретение использует последовательность элементов для генерации солнечной энергии в качестве примера источника DC-энергии, чтобы иллюстрировать и разъяснить термины "извлечение энергии", "подготовка", "согласование" и "доставка", упоминаемые в данном документе. Т.е., принципы, описанные в данном документе, не ограничиваются извлечением, подготовкой, согласованием и доставкой в контексте солнечной энергии. Хотя они имеют различное физическое значение, термины "энергия" и "мощность" являются взаимозаменяемыми в области техники и взаимозаменяемыми в данном документе, пока не указано иное. Также, хотя они имеют различное физическое значение, термины "последовательность AC-мощности" и "последовательность AC-напряжения" являются взаимозаменяемыми в данном документе, пока не указано иное.

[0028] Фиг. 1А показывает компоненты последовательности 10 для генерации солнечной энергии. Последовательность начинается в устройстве 101 фотоэлектрического преобразования энергии (последовательности PV-солнечных панелей), которое генерирует электроэнергию из световой энергии (например, солнечной энергии) в качестве первичного источника энергии. Эта электрическая энергия имеет изменяющееся по времени напряжение, которое зависит от облачности, угла солнца, эффективности PV-элементов и множества других факторов. Электрическая энергия затем подготавливается и согласуется посредством повышающего DC/DC-преобразователя 201 в источник DC-энергии с фиксированным напряжением. При добавлении контроллера 224 переключения полярности модуль 223 DC/AC-преобразования преобразует подготовленную DC-мощность фиксированного напряжения в синусоидальную изменяющуюся по времени (колеблющуюся) последовательность AC-напряжения, изображенную на фиг. 1В.

[0029] В качестве примера, модуль 223 DC/AC-преобразования может быть понижающим модулем, который управляется посредством широтно-импульсного модулятора (PWM). Понижающий модуль, работающий таким образом, будет также называться DC/AC-преобразователем. Фиг. 2С иллюстрирует пример мостовой структуры 224, которая называется транзистором с интегральным мостовым затвором (IGBT) в области техники, а также в данном документе. Как показано, мостовая структура 224 состоит из набора из 4 переключателей (S1, S2, S3 и S4), которые управляют синхронностью и полярностью последовательности выходного AC-напряжения этого DC/AC-преобразователя. Здесь, "НАГРУЗКА" представляет нагрузку, обращенную к трансформатору 225 от мостовой структуры 224. Сочетание устройств 201 и 223 может

называться "PWM-устройством извлечения" в данном документе.

[0030] Последовательность мощности АС-напряжения, создаваемая посредством мостовой структуры 224, соответствует условиям электросети. Последовательность АС-мощности затем подается через трансформатор 225, чтобы доставлять мощность в сеть 300, которая соединяется с нагрузкой сети. Фиг. 2А показывает пример типичного проекта схемы повышающего DC/DC-преобразователя 201, который может регулировать источник DC-энергии изменяющегося напряжения в DC-источник фиксированного напряжения. Фиг. 2В показывает пример схемного решения типичного, управляемого с помощью PWM понижающего модуля для однофазного DC/АС-инвертора 223, чтобы преобразовывать DC-источник фиксированного напряжения в синусоидальную последовательность АС-мощности. Мостовая структура 224 переключателей (показана на фиг. 2С) управляет полярностью и синхронностью выходного сигнала этого однофазного DC/АС-преобразователя 223. Однофазный DC/АС-преобразователь 223 (или PWM-устройство извлечения при объединении повышающего DC/DC-преобразователя 201 и однофазного DC/АС-преобразователя 223) может также действовать в качестве модуля извлечения/преобразования энергии в традиционном однофазном модуле инвертирования традиционного 3-фазного DC/АС-преобразователя, который состоит из 3 однофазных инверторов.

[0031] Раздел 1: Обзор традиционного DC/АС-преобразования

[0032] В целом, напряжение в точке производства максимальной мощности (MPPPV) в практической последовательности солнечных панелей является переменным по времени и меньшим по сравнению с проектным пиковым напряжением электросети АС. Повышающее напряжение устройство извлечения энергии является необходимым в PV-станциях для извлечения и подготовки энергии. Повышающее напряжение устройство извлечения энергии регулирует изменяющийся по времени DC-источник низкого напряжения в источник DC-энергии фиксированного высокого напряжения.

[0033] Фиг. 2А изображает схему устройства повышения напряжения повышающего DC/DC-модуля 201, который состоит из дросселя L; управляемого переключателя Q, регулируемого посредством регулятора FCDFR коэффициента режима работы с управлением по обратной связи (не показан); диода D; и конденсатора C. Переключатель Q переключается с высокой частотой (типично около 18 кГц в коммерческих изделиях) с регулируемым коэффициентом режима работы. Регулятор коэффициента режима работы с управлением по обратной связи (FCDFR) регулирует регулируемый коэффициент режима работы так, что этот повышающий DC/DC-модуль 201 производит практически постоянное выходное DC-напряжение ( $v_0$ ). Другими словами, этот повышающий DC/DC-модуль 201 модифицирует источник DC-энергии с изменяющимся по времени напряжением в источник энергии, имеющий фиксированное DC-напряжение  $v_0$  (типично,  $v_0=v_{pk}$ , где  $v_{pk}$  является пиковым напряжением АС-сети), которое подходит для следующего устройства в последовательности (а именно, модуля 223 DC/АС-преобразования в случае на фиг. 1А). Этот следующий модуль DC/АС-

преобразования преобразует DC-мощность с указанным пиковым напряжением в AC-мощность в форме синусоидальной последовательности мощности, которая соответствует условиям электросети.

[0034] В течение периода, в котором переключатель Q является включенным, предназначенный дроссель L извлекает энергию от входного блока (в случае на фиг. 1А, последовательностей 101 PV-солнечных панелей). В частности, дроссель L заряжается входной мощностью в течение периода времени, указанного посредством управляемого по обратной связи коэффициента режима работы PWM-переключателя. Эта зарядка происходит, подгоняя напряжение  $v_{sw}$  на клеммах переключателя Q вверх по направлению к входному напряжению  $v_{in}$  до тех пор, пока напряжение  $v_{sw}$  на клеммах переключателя не достигнет правильного значения. В течение периода, в котором переключатель Q является выключенным, ток протекает от дросселя L через диод D, чтобы заряжать предназначенный конденсатор C, таким образом, создавая установившееся напряжение, равное желаемому выходному напряжению (в случае соединения с сетью,  $v=v_0=v_{pk}$ ). С помощью управления по обратной связи для регулировки коэффициента режима работы для периода включения-выключения переключателя Q правильно рассчитанной фиксированной PWM-частоты можно повышать выходное напряжение от  $v_{in}$  до проектного пикового напряжения электросети AC,  $v_0=v_{pk}$ . Таким образом, эта повышающая напряжение схема может создавать пиковое напряжение, подходящее для вывода в следующий модуль DC/AC-преобразования. Изображенная выше схема называется "повышающим DC/DC-преобразователем" или "повышающим преобразователем" в области техники.

[0035] Как описано выше, повышающий преобразователь предназначается, чтобы модифицировать DC-источник с изменяющимся по времени напряжением (например, PV-последовательности) в DC-источник, имеющий практически постоянное напряжение, которое может быть равно пиковому напряжению электросети AC. Отметим, что для того, чтобы предотвращать ослабление пикового напряжения питания в одном AC-цикле при обычной работе, достаточная емкость проектируется для конденсатора C повышающей схемы, изображенной на фиг. 2А. Т.е., этот конденсатор C существует для поддержания напряжения практически постоянным в течение одного AC-цикла. Конденсатор, который выполняет эту описанную функцию, часто называется конденсатором "DC-звена" в области техники. Условия электросети допускают очень небольшое изменение напряжения на концах DC-звена. Следовательно, конденсатор DC-звена не предназначается для хранения большой излишней энергии, так как это потребует огромного (и, таким образом, дорогостоящего) конденсатора для того, чтобы оставаться в пределах максимального допустимого изменения напряжения электросети AC.

[0036] Фиг. 2В изображает типичный модуль 223 DC/AC-преобразования, который состоит из дросселя LL, управляемого переключателя QQ, регулируемого посредством регулятора DFA коэффициента режима работы, диода DD и конденсатора CC DC-звена. Переключатель QQ переключается с высокой частотой (типично около 18 кГц в

коммерческих изделиях) с регулируемым коэффициентом режима работы. Переключатель QQ (который часто называется "PWM-переключателем") регулируется по сигналу широтно-импульсного модулятора (PWM). Коэффициент режима работы этого PWM-переключателя регулируется посредством регулятора DFA коэффициента режима работы, так что произведенная последовательность AC-мощности этого модуля 223 преобразования соответствует условиям электросети. Изображенный модуль 223 DC/AC-преобразования называется "понижающим преобразователем" в области техники. Понижающий преобразователь 223, ассоциированный с DFA, может преобразовывать источник DC-энергии с точно указанным пиковым напряжением в синусоидальную последовательность AC-мощности. Эта пульсирующая последовательность AC-мощности посылается через мостовую структуру переключателей, изображенную на фиг. 2C (которая является примером контроллера 224 полярности/синхронности на фиг. 1A); и затем через трансформатор (например, трансформатор 225 на фиг. 1A) и в сеть (например, сеть 300 на фиг. 1A). Как описано, мостовая структура переключателей действует в качестве контроллера полярности и синхронности.

[0037] Как изображено на фиг. 2C, когда переключатели S1 и S2, оба являются включенными, а переключатели S3 и S4 являются выключенными, положительное напряжение прикладывается на концах нагрузки. Наоборот, когда переключатели S3 и S4 являются включенными, а переключатели S1 и S2 являются выключенными, отрицательное напряжение прикладывается на концах нагрузки. Когда это переключение управляется посредством синхронизирующего регулятора (не показан на фиг. 2C), это определяет положительные/отрицательные переходы напряжения (или пересечение нулевого напряжения) в электросети, эта мостовая структура 224 (объединенная с регулятором DFA коэффициента режима работы) может эффективно управлять выходной полярностью и синхронностью однофазного DC/AC-преобразователя.

[0038] Синхронный регулятор может своевременно регулировать изменяющуюся по времени корректировку коэффициента режима работы PWM; так что чистая синусоидальная форма волны мощности создается, которая представляется как  $\cos^2(\omega t + \theta)$ , с требуемой угловой AC-частотой  $\omega$ , с требуемым пиковым AC-напряжением  $v_{pk}$  и с ее фазой  $\theta$ , синхронной с соответствующей силовой линией сети. При объединении с DC-входным сигналом с фиксированным напряжением и с паразитной индуктивностью и паразитной емкостью в сети, дроссель LL и конденсатор CC могут быть уменьшены или даже опущены на практике. В области техники термины "преобразователь" и "инвертор" (и для этого предмета изучения "преобразование" и "инверсия") являются взаимозаменяемыми и, таким образом, являются взаимозаменяемыми в данном документе.

[0039] Регулятор DFA коэффициента режима работы регулирует коэффициент режима работы как функцию времени в соответствии с проектом, чтобы включать/выключать переключатель QQ понижающего преобразователя. Таким образом, с правильно спроектированной схемой и подготовленным пиковым напряжением, этот

модуль преобразования может создавать желаемое значение выходного напряжения, форму мощности, частоту и фазу, которая соответствует требованию проекта, включающему в себя требование условий электросети AC, и фазу соответствующей силовой линии сети. В случае соединенного с сетью блока, AC-синхронный регулятор (типично встроенный в DC/AC-преобразователь) применяется, чтобы выполнять дрейф выходной величины подготовленной AC-мощности вместе с электросетью в случае, когда пиковое напряжение электросети дрейфует, и/или в случае, когда частота электросети дрейфует. Такой созданный сигнал AC-мощности (не напряжения) изображается на фиг. 2E. Другими словами, с помощью PWM-устройства извлечения энергии, описанного выше, однофазный DC/AC-преобразователь может извлекать и преобразовывать DC-электроэнергию от источника DC-энергии фиксированного напряжения в AC-мощность, которая соответствует условиям электросети.

[0040] Очень важно отметить, что выходная мощность,  $P(t)$  вышеупомянутого однофазного инвертора изменяется со временем в форме  $\cos^2(\omega t + \theta)$ . Таким образом, в течение конкретного периода времени, энергия, доставляемая по силовой линии электросети, равна сумме ее изменяющейся по времени последовательности выходной мощности в течение этого периода. Результирующее интегральное значение равно только половине интегрирования постоянной DC-мощности источника энергии в течение того же периода времени. Другими словами, вышеописанный традиционный однофазный инвертор может лишь извлекать и преобразовывать самое большее лишь половину энергии, предоставляемой посредством источника DC-энергии. Оставшаяся и неиспользованная энергия, таким образом, равна более половины доступной входной энергии. Это оставшееся количество способствует большей части излишней энергии, описанной в вышеупомянутых патентных публикациях.

[0041] В целях последующего анализа, предположим, что источник DC-энергии имеет постоянную мощность  $P_{\text{max}}$  в периоде из нескольких циклов AC-мощности. Фиг. 2E изображает извлеченный импульс DC-энергии в одном PWM-цикле (имеющем период D). Как будет продемонстрировано, извлеченная DC-мощность  $P_x$  меньше или равна DC-мощности  $P_{\text{max}}$ . Коэффициент режима работы  $d(t)/D$  в этом PWM-цикле регулируется до значения, равного  $d(t)/D = \cos^2(\omega t + \theta)$ , так что произведенная мощность практически равна  $P_x * \cos^2(\omega t + \theta)$ , что соответствует условиям электросети, и где  $\theta$  является фазой соответствующей силовой линии сети. Фиг. 2E (в частности, нижняя половина на фиг. 2E) также изображает пространство мощность-время (называемое пространством энергии) с временным интервалом D в качестве одного PWM-периода; с входной DC-мощностью, равной  $P_{\text{max}}$ ; и с извлеченной мощностью, равной  $P_x$ .

[0042] Как изображено на фиг. 2E, это пространство энергии делится на 3 области. Область-I представляет извлеченный импульс DC-энергии с извлеченной мощностью  $P_x$ ; и с продолжительностью времени  $D * \cos^2(\omega t + \theta)$ , которая преобразуется в однофазную AC-мощность  $P(t) = P_x * \cos^2(\omega t + \theta)$  в произвольное время  $t$ , которое соответствует времени PWM-извлечения. Область-I также называется "зоной извлеченной энергии" или

"областью извлеченной энергии". Зона между мощностью  $P_{\text{мх}}$  источника энергии и мощностью  $P_x$  является областью-III. Область-II является зоной после зоны извлеченной энергии в PWM-периоде D. Объединенная зона областей-II и -III представляет зону излишней энергии в этом пространстве энергии. Энергия в зоне (области) излишней энергии не извлекается, не преобразуется в AC-мощность и, таким образом, не используется обычным способом. Вместо этого, эта излишняя энергия в конечном счете поглощается как тепло.

[0043] Напомним, традиционный однофазный DC/AC-преобразователь применяет модуль повышения напряжения, чтобы модифицировать источник DC-мощности с изменяющимся по времени напряжением в источник DC-мощности практически с постоянным и точно определенным напряжением, таким как пиковое напряжение сети. Этот DC-источник служит в качестве входного DC-источника для PWM-устройства извлечения, чтобы извлекать и преобразовывать входную DC-энергию с постоянным напряжением в пульсирующий сигнал DC-мощности. Когда коэффициент режима работы в одном PWM-цикле регулируется посредством  $\cos^2(\omega t + \theta)$  во время  $t$  (где фаза  $\theta$  является фазой соответствующей силовой линии электросети), форма выходной мощности соответствует условию AC-мощности. На высоком уровне пространство энергии каждого PWM-цикла состоит из двух областей - области извлеченной энергии (например, область-I на фиг. 2E) и области излишней энергии (например, сочетание области-II и области-III на фиг. 2E). Извлеченная энергия, таким образом, преобразуется в AC-мощность и предоставляется в соответствующую силовую линию электросети; в то время как излишняя энергия превращается в тепло, если не захватывается и не сохраняется в устройстве, таком как MEURT-оптимизатор.

[0044] Как описано выше, справочные патентные публикации учат, что величина излишней энергии является, по меньшей мере, такой же большой, что и извлеченная энергия, когда интегрируется по нескольким AC-периодам времени. Другими словами, традиционный однофазный DC/AC-преобразователь может извлекать и преобразовывать самое большее лишь половину входной DC-энергии. Т.е., когда используется традиционный однофазный DC/AC-преобразователь, по меньшей мере, половина входной DC-энергии станет излишней энергией; которая не извлекается, не преобразуется, не доставляется в электросеть, не используется нагрузкой; и, в конечном счете, превратится в тепло.

[0045] Справочные патентные публикации также подчеркивают, что коренная причина неэффективного извлечения энергии однофазных DC/AC-преобразователей сохраняется в традиционных 3-фазных DC/AC-преобразователях. Причина состоит в том, что, по сути, 3-фазный DC/AC-преобразователь состоит из набора из 3 однофазных DC/AC-преобразователей, выполняющих функцию извлечения и преобразования, доставки одинаковой усредненной по времени AC-мощности в 3 пары силовых линий; со сдвигами фаз  $120^\circ$ .

[0046] Раздел 2: Извлечение энергии в традиционных 3-фазных инверторах

[0047] Существуют три однофазных DC/AC-преобразователя, встроенных в традиционный 3-фазный DC/AC-преобразователь. Каждый из трех однофазных DC/AC-преобразователей оборудуется одним PWM-устройством извлечения энергии. Три устройства извлечения энергии регулируются посредством одновременного регулятора, так что они работают с одинаковой частотой (которая называется "PWM-частотой"). Фиг. 3А изображает три схемы 301, 302 и 303 соответствующих PWM-устройств извлечения энергии. Каждая схема 301, 302 и 303 является такой же, что и однофазное устройство извлечения энергии, и использует такие же принципы работы, что и описанные выше. Однофазное устройство 301 извлечения энергии выводит AC-мощность А-фазы и имеет переключатель  $Q_A$ ; однофазное устройство 302 извлечения энергии выводит AC-мощность В-фазы и имеет переключатель  $Q_B$ ; и однофазное устройство 303 извлечения энергии выводит AC-мощность С-фазы и имеет переключатель  $Q_C$ . Одновременный регулятор 310 применяется, чтобы одновременно включать 3 переключателя  $Q_A$ ,  $Q_B$ ,  $Q_C$  в 3 устройствах извлечения энергии, чтобы начинать извлечение энергии в одно и то же время, с одинаковой частотой, но с различными коэффициентами режима работы.

[0048] Предположим, что источник DC-энергии имеет постоянную входную DC-мощность  $P_{in}$  в одном AC-цикле. Также, предположим, что является верным, что один PWM-период является небольшой долей всего AC-цикла. Фиг. 3В изображает входную DC-мощность в одном PWM-периоде. В одном PWM-цикле энергия, извлеченная посредством 3 устройств извлечения энергии, символически представлена на фиг. 3С. Уровень извлеченной мощности указывается как  $P_x$  на фиг. 3С, который ниже  $1/3$  входной DC-мощности  $P_{in}$  на фиг. 3В. Коэффициент режима работы в этом PWM-цикле для устройства извлечения энергии А-фазы регулируется до равного  $\cos^2(\omega t)$  (или  $\sin^2(\omega t)$ ), так что извлеченная мощность равна  $P_x * \cos^2(\omega t)$  (или  $P_x * \sin^2(\omega t)$ ), которая соответствует условию однофазной AC-мощности. Аналогично, коэффициент режима работы в этом PWM-цикле для устройства извлечения энергии В-фазы регулируется до равного  $\cos^2(\omega t + 120^\circ)$  (или  $\sin^2(\omega t + 120^\circ)$ ), так что извлеченная мощность равна  $P_x * \cos^2(\omega t + 120^\circ)$  (или  $P_x * \sin^2(\omega t + 120^\circ)$ ). Также, коэффициент режима работы в этом PWM-цикле для устройства извлечения энергии С-фазы регулируется до равного  $\cos^2(\omega t - 120^\circ)$  (или  $\sin^2(\omega t - 120^\circ)$ ), так что извлеченная мощность равна  $P_x * \cos^2(\omega t - 120^\circ)$  (или  $P_x * \sin^2(\omega t - 120^\circ)$ ). Также, сдвиг фаз 3-фазных выходных AC-мощностей сохраняется равным  $120^\circ$  в соответствии с условиями 3-фазной электросети.

[0049] Отметим, что извлечения энергии типичного традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя (символически изображенного на фиг. 3С) перекрываются во временной области. Извлечение энергии, которое перекрывается во временной области, называется "одновременным извлечением энергии" в данном документе; и регулятор (показанный на фиг. 3А), который управляет одновременным извлечением энергии, называется "одновременным регулятором" в данном документе.

[0050] Закон преобразования энергии (в сочетании с тем фактом, что характеристики источника электрической энергии могут динамически изменяться), будет

диктовать, что сумма уровней трех извлечений мощности при одновременном извлечении мощности должна быть не более входного источника DC-мощности  $P_{\text{max}}$ ; или  $P_{\text{max}} > P_x + P_x + P_x$ ; или  $P_x < (1/3) P_{\text{max}}$ . Итоговая сумма традиционной 3-фазной выходной AC-мощности равна  $P(t) = P_x (\sin^2(\omega t) + \sin^2(\omega t + 120^\circ) + \sin^2(\omega t - 120^\circ))$ ; или  $P(t) = P_x (\cos^2(\omega t) + \cos^2(\omega t + 120^\circ) + \cos^2(\omega t - 120^\circ))$ . Может быть показано, что  $(\sin^2(\omega t) + \sin^2(\omega t + 120^\circ) + \sin^2(\omega t - 120^\circ)) = (\cos^2(\omega t) + \cos^2(\omega t + 120^\circ) + \cos^2(\omega t - 120^\circ)) = 3/2$ . Таким образом,  $P(t) = (3/2) P_x < (3/2) * (1/3) P_{\text{max}} = 1/2 P_{\text{max}}$ . Или вследствие практического применения одновременного извлечения энергии итоговая сумма традиционного DC/AC-преобразователя не может быть более  $(1/2) P_{\text{max}}$ , половины входной DC-мощности.

[0051] Другими словами, суммарная выходная AC-мощность традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя (применяющего одновременное извлечение энергии) не может быть более половины входной DC-мощности. Или, традиционный 3-фазный DC/AC-преобразователь может извлекать и преобразовывать лишь менее половины мощности, производимой в последовательностях фотоэлектрических (PV) солнечных панелей, когда преобразователь содержится в PV-электростанциях. И, по меньшей мере, половина произведенной с помощью PV DC-мощности становится излишней энергией, которая превращается в тепло в некоторый момент; если эта излишняя энергия не захватывается и не сохраняется в устройстве, таком как MEURT-устройство.

[0052] Напомним, по сути, традиционный 3-фазный DC/AC-преобразователь задействует три однофазных DC/AC-преобразователя, чтобы выполнять функции извлечения и преобразования в качестве однофазного DC/AC-преобразователя, доставки аналогично усредненной по времени AC-мощности в 3 или 4 пары силовых линий; со сдвигами фаз  $120^\circ$ . Другими словами, традиционный 3-фазный DC/AC-преобразователь является DC/AC-преобразователем, который задействует три однофазных DC/AC-преобразователя. Каждый однофазный DC/AC-преобразователь извлекает половину своей входной DC-мощности (которая равна  $1/3$  входной DC-мощности); преобразует величину извлеченной DC-мощности в AC-мощность со сдвигом фаз  $120^\circ$ ; и посылает три однофазных выходных сигнала AC-мощности в электросеть из 3 или 4 силовых проводов. Каждая силовая линия несет одну однофазную AC-мощность с одинаковой частотой (частотой AC-мощности), с одинаковой величиной усредненной по времени мощности; но со сдвигами фаз  $120^\circ$ . Термины "силовые провода" и "силовые кабели" являются взаимозаменяемыми в области техники и в данном документе.

[0053] В соответствии с полученным результатом, описанным в справочных патентных публикациях и снова подтвержденным в теоретических выводах выше, каждый однофазный преобразователь (в 3-фазном DC/AC-преобразователе) извлекает и преобразует менее половины входной DC-мощности (которая меньше или равна  $1/3$  сгенерированной DC-мощности) в каждом однофазном выходном сигнале AC-мощности. Следовательно, суммарный максимум (извлеченной и преобразованной) 3-фазной AC-мощности, выводимой из любого традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя в какое-либо время, может быть равен самое большее лишь половине произведенной DC-

мощности; т.е.,  $P(t) = 3 \cdot (1/2) \cdot (1/3) P_{\text{max}} = (1/2) P_{\text{max}}$ .

[0054] Подчеркнем, вышеупомянутые теоретические выводы обнаруживают серьезное последствие, которое привносится посредством общепринятой практики проектирования для использования одновременного извлечения энергии в традиционной отрасли 3-фазных DC/AC-преобразователей. Эта общепринятая практика проектирования соблюдалась в отрасли 3-фазных DC/AC-преобразователей в течение долгого времени; даже без знания отрасли о существовании серьезного последствия. Эта практика одновременного извлечения энергии приводит в результате к серьезному последствию, которое обнаруживается в вышеприведенных теоретических выводах впервые. Это серьезное последствие является тем, что итоговая сумма 3 выходных AC-мощностей от традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя меньше половины входной DC-мощности. Эта обнаруженная общепринятая практика проектирования подтверждена как долговременная практика в отрасли природосберегающей возобновляемой электроэнергии; в частности, в отрасли PV-солнечной энергии.

[0055] Перефразируя иначе, традиционная отрасль PV-солнечной энергии применяет на практике одновременное извлечение энергии. В свою очередь, закон преобразования энергии (в сочетании с тем фактом, что характеристики источника электроэнергии могут динамически изменяться) будет диктовать, что итоговая сумма трех уровней извлеченной мощности  $P_x$  должна быть меньше трети источника PV-сгенерированной DC-мощности  $P_{\text{max}}$  (т.е.,  $P_x < (1/3) P_{\text{max}}$ ). Тогда может быть показано, что итоговая сумма традиционных 3-фазных выходных AC-мощностей равна  $P(t) = (3/2) P_x$ ; что равно  $(3/2) \cdot (1/3) \cdot P_{\text{max}} < (1/2) P_{\text{max}}$  или меньше половины PV-произведенной DC-мощности. Следовательно, по меньшей мере, половина PV-произведенной DC-мощности становится излишней мощностью при использовании традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя. Эта величина излишней энергии превращается в тепло в конечном счете; если эта излишняя энергия не захватывается и не сохраняется в устройстве, таком как MEURT-оптимизатор.

[0056] Как описано выше, по меньшей мере половина входной DC-мощности может становиться излишней мощностью при использовании традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя. При наличии этой информации, раскрытой в данном документе, может быть следующий вопрос: "Можно ли применять более одного дополнительного 3-фазного DC/AC-преобразователя для извлечения, преобразования излишней DC-энергии, чтобы предоставлять AC-мощность"? Ответ является отрицательным по причинам, описанным далее в данном документе.

[0057] Как изображено на фиг. 4, два идентичных набора 3-фазных DC/AC-преобразователей 4210 и 4220 (каждый заявленной номинальной мощностью  $P_{\text{max}}$ ) соединяются с PV-генератором 4110, предоставляющим источник  $P_{\text{max}}$  DC-мощности без устройства (такого как MEURT-оптимизатор) для захвата и сохранения излишней энергии. Закон преобразования энергии позволит каждому из двух параллельно соединенных DC/AC-преобразователей 4210 и 4220 потреблять лишь половину суммарной входной DC-

мощности с уровнем мощности  $P_{\text{мх}}$  (т.е., потреблять только  $1/2 P_{\text{мх}}$  для каждого преобразователя в качестве входной мощности). Другими словами, каждый из двух идентичных 3-фазных DC/AC-преобразователей имеет входную DC-мощность, равную  $1/2 P_{\text{мх}}$ .

[0058] Напомним, что 3 устройства извлечения энергии (в традиционном 3-фазном DC/AC-преобразователе) применяют на практике одновременное извлечение энергии. Как описано выше, каждый из 3-фазных DC/AC-преобразователей может преобразовывать лишь половину входной DC-мощности, чтобы производить выходную AC-мощность; которая равна  $(1/2) \cdot (1/2) \cdot P_{\text{мх}}$ , или  $1/4 P_{\text{мх}}$ . Суммарные выходные AC-мощности двух преобразователей равны  $2 \cdot (1/4) P_{\text{мх}}$ ; что все еще равно  $(1/2) P_{\text{мх}}$ . Аналогичный анализ может быть выполнен, чтобы делать то же заключение для случаев, которые либо обеспечиваются большей номинальной мощностью, либо снабжаются большим количеством DC/AC-инверторов. Снова подчеркнем, одновременное извлечение энергии является коренной причиной, которая приводит в результате к тому, что более половины произведенной DC-мощности становится излишней энергией.

[0059] Может быть следующий вопрос: "можем ли мы выполнить эксперимент, чтобы определенно доказать, что половина произведенной солнцем мощности становится излишней энергией, когда извлекается посредством традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя?" Следующий раздел описывает эксперимент, чтобы доказать, что по меньшей мере половина произведенной солнцем мощности становится излишней энергией, когда извлекается посредством традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя.

[0060] Раздел 3: Экспериментальное исчерпывающее доказательство

[0061] MEURT-оптимизатор предназначен, чтобы захватывать/использовать эту оставшуюся электроэнергию, излишнюю энергию. Включая в себя MEURT-оптимизатор, последующее описывает экспериментальные настройки и пошаговые исполнения эксперимента, который предназначается, чтобы исчерпывающим образом доказывать, что по меньшей мере половина произведенной солнцем мощности становится излишней энергией, когда извлекается посредством традиционного 3-фазного DC/AC-преобразователя.

[0062] Фиг. 6А изображает начальную настройку PV-электростанции 6000А, содержащей 2 блока 6100А и 6200А производства AC-мощности. Каждый из блоков 6100А и 6200А производства AC-мощности применяет на практике слепое MPPT-согласование; и предоставляет 3-фазную AC-мощность в электросеть 6600А. Блок 6100А производства AC-мощности состоит из генератора 6110А DC-мощности (30 кВт) и 3-фазного DC/AC преобразователя 6130А (30 кВт). Блок 6200А производства AC-мощности состоит из генератора 6220А DC-мощности (30 кВт) и 3-фазного DC/AC преобразователя 6230А (30 кВт). Генератор 6110А мощности использует 2 параллельно-соединенные PV-последовательности 6111А и 6112А, чтобы генерировать DC-электричество. Генератор 6220А мощности использует другие 2 параллельно-соединенные последовательности

6221А и 6222А солнечных панелей, чтобы генерировать DC-электричество. Каждая из 4 PV-последовательностей состоит из 25 последовательно соединенных солнечных панелей; каждая панель приспособлена для производства 300 Вт мощности ровно в полдень и при ясном небе.

[0063] Генератор 6110А DC-мощности подает DC-мощность к 3-фазному DC/AC-преобразователю 6130А; а генератор 6220А DC-мощности подает DC-мощность к 3-фазному DC/AC-преобразователю 6230А. Эти два преобразователя 6130А и 6230А затем преобразуют поданную DC-мощность в 3-фазную AC-мощность. В эксперименте AC-выходная мощность блоков 6100А и 6200А производства мощности была измерена посредством двух 3-фазных AC-ваттметров (в кВт) 6351А и 6352А, соответственно. Производство AC-энергии (в кВт·ч) этих двух блоков 6100А и 6200А производства мощности также было измерено посредством двух кВт·ч-измерителей 6361А и 6362А, соответственно. Произведенная 3-фазная AC-мощность была затем предоставлена в сеть 6600А через трансформатор 6500А. PV-электростанция работала; и производство энергии двух блоков 6100А и 6200А для производства AC-мощности измерялось в течение 7 дней.

[0064] Показания двух кВт·ч-измерителей показывали равные значения каждый день в течение этого периода времени. Это обеспечивает высокую достоверность того, что все элементы этих двух блоков 6100А и 6200А производства мощности (включающих в себя два комплекта инструментов для измерения) являются практически идентичными. После этого этапа один из двух блоков 6200А производства AC-мощности был сохранен неизменным, в то время как другой блок 6100А производства AC-мощности был модифицирован с другой конфигурацией 6100В, которая изображена с левой стороны на фиг. 6В.

[0065] Блок 6200В производства мощности на фиг. 6В является немодифицированным блоком 6200А производства мощности на фиг. 6А. Также, элементы 6351В, 6361В, 6352В, 6362В, 6500В, 6600В на фиг. 6В являются такими же, что и элементы 6351А, 6361А, 6352А, 6362А, 6500А, 6600А, соответственно, на фиг. 6А. Кроме того, хотя конфигурация блока 6100В производства мощности отличается на фиг. 6В по сравнению с блоком 6100А производства мощности на фиг. 6А, некоторые из элементов блока 6100В производства мощности на фиг. 6В являются такими же, что и элементы, которые включены в блок 6100А производства мощности на фиг. 6А. Например, PV-последовательности 6111В и 6112В на фиг. 6В являются такими же, что и PV-последовательности 6111А и 6112А, соответственно, на фиг. 6А. Аналогично, DC/AC-преобразователь 6130В на фиг. 6В является таким же, что и DC/AC-преобразователь 6130А на фиг. 6А.

[0066] Следующие шесть (6) этапов описывают, как блок 6100А производства мощности был модифицирован в конфигурацию 6100В, и описывается относительно левой стороны на фиг. 6В. Этапом 1 было добавление набора развязывающих диодов 6311В между последовательностями 6111В и 6112В солнечных панелей и 3-фазным DC/AC-преобразователем 6130В, который применяет на практике слепое MPPT-

согласование. Этапом 2 было добавление энергетического резервуара 6410В в конфигурацию. Этапом 3 было соединение энергетического резервуара 6410В с DC-клеммами DC/AC-преобразователя 6130В через другой набор развязывающих диодов 6312В и через переключатель SW1. Этапом 4 было добавление другого 3-фазного DC/AC-преобразователя 6130S (20 кВт) в конфигурацию, причем этот преобразователь 6130S работал в соответствии с управлением предназначенного MEUPT-контроллера 6420В. Этапом 5 было соединение DC/AC-преобразователя 6130S с энергетическим резервуаром 6410В через другой набор развязывающих диодов 6313В и через переключатель SW2. Этапом 6 было соединение выходных клемм преобразователя 6130S с набором 6351В и 6361В инструментальных средств для измерения мощности и энергии через переключатель SW3. Отметим, что упомянутый "набор развязывающих диодов" может быть такими диодами, которые называются "блокирующими диодами" в области техники. Отметим также, что переключатели SW1, SW2 и SW3 добавляются, как изображено на фиг. 6В, так что соответствующие устройства могут быть введены (или удалены) в эксперименты в правильное время на предназначенных этапах выполнения эксперимента, описанных ниже.

[0067] Первой ночью, после того как вышеупомянутая модификация была выполнена; SW1 был включен, в то время как переключатели SW2 и SW3 были выключены. Преобразователи 6130В и 6230В начали работать следующим ранним утром. Измерители 6351В и 6352В мощности, измеряющие два выхода блоков 6100В и 6200В производства мощности, показали одинаковое показание. Резервуар 6410В также начал заряжаться, как указано посредством измерения высокого напряжения на клеммах резервуара 6410В. Система работала, как описано, весь первый день. Измеренная энергия, предоставленная от двух блоков 6100В и 6200В производства мощности, была одинаковой; как показано в показаниях кВт·ч-измерителей 6361В и 6362В. Этот экспериментальный этап продемонстрировал, что добавленные наборы 6311В развязывающих диодов и резервуар 6410В не изменили производства мощности и энергии блока 6100В производства мощности.

[0068] Переключатели SW1, SW2 и SW3 были включены ночью после первого дня работы (второй ночью). Преобразователи 6130В и 6230В начали работать рано ранним утром (второй день), в то время как преобразователь 6130S начал работать при более низком уровне преобразования мощности приблизительно через 15 минут после того, как преобразователи 6130В и 6230S начали работать. После этого преобразователь 6130S повышал свой уровень мощности преобразования примерно каждые 2 минуты; что согласуется с проектом контроллера и увеличением уровня энергии резервуара. Показание измерителя 6351В мощности (для блока 6100В) достигло почти двойного показания измерителя 6352В мощности (для блока 6200В) за весь день - почти до заката. Энергия, предоставленная от двух блоков 6100В и 6200В производства мощности в конце второго дня, была получена из показаний двух кВт·ч-измерителей. Результат показал, что энергия, предоставленная от модифицированного блока 6100В производства мощности, была

больше вдвое по сравнению с энергией, предоставленной от немодифицированного блока 6200В производства мощности. В течение следующих шести последовательных дней переключатели SW1, SW2 и SW3 оставались включенными, и энергия, предоставленная от модифицированного блока 6100В производства мощности, была постоянно вдвое больше энергии блока 6200В производства мощности каждый день.

[0069] Следующей ночью переключатели SW2 и SW3 были выключены. Измеренная энергия, предоставленная от блоков 6100В и 6200В производства мощности, вернулась к одинаковому уровню в течение последующих 5 последовательных дней, во время которых переключатели SW2 и SW3 оставались выключенными. Следующей ночью переключатели SW2 и SW3 снова были включены. Измеренное производство энергии блока 6100В производства мощности стало снова больше вдвое по сравнению с производством энергии блока 6200В производства мощности каждый день в течение последующих 5 последовательных дней с переключателями SW2 и SW3, остающимися включенными.

[0070] Как описано выше, пошаговое выполнение этого эксперимента определенно доказывает существование излишней энергии в PV-электростанции, как спрогнозировано в разделе 2. В частности, в PV-электростанции, когда произведенная DC-энергия извлекается посредством 3-фазного DC/AC-преобразователя, около половины PV-произведенной энергии все еще существует в качестве оставшейся излишней энергии.

[0071] Существуют два способа смягчения нежелательного последствия, описанного выше. Первым способом является следование принципам, описанным в справочных патентных публикациях, чтобы включать MEUPТ-оптимизатор в энергетическую систему. Другим способом является следование принципам, описанным в данном документе, которые предлагают применять на практике последовательное извлечение энергии, ассоциированное с предложенными регулировками коэффициента режима работы для А-фазы, В-фазы и С-фазы.

[0072] Раздел 4: Предложенное последовательное извлечение энергии

[0073] Принципы, описанные в данном документе, предлагают применять на практике последовательное извлечение энергии для А-фазы, В-фазы и С-фазы, что может предотвращать возникновение перекрывающегося по времени извлечения энергии. При применении на практике последовательного извлечения энергии во всех до единого PWM-периодах А-фаза своевременно извлекает DC-энергию первой; В-фаза затем своевременно извлекает DC-энергию сразу после извлечения А-фазы; и, наконец, С-фаза своевременно извлекает оставшуюся DC-энергию. Таким образом, уровень извлечения энергии,  $P_x$  в каждой фазе может достигать своего максимального значения, которое равно  $P_{mx}$ . Это последствие отличается от применения на практике одновременного извлечения энергии, в котором уровень извлечения энергии может равняться только одной трети  $(1/3) P_{mx}$ .

[0074] Чтобы сделать последующий анализ интуитивным и без потери общности, предположим, что AC-частота равна 50 Гц, а PWM-частота равна 18 кГц. Это предположение делает опережение фазного угла AC-мощности точно равным  $1^\circ$  на

протяжении времени каждого PWM-периода. Фиг. 5А изображает предложенные схемы для этого нового устройства извлечения энергии. Схемы извлечения энергии являются аналогичными схемам традиционного устройства извлечения энергии, изображенного на фиг. 3А. Отметим, что одновременный регулятор 310 традиционного устройства извлечения энергии, изображенный на фиг. 3А, теперь заменяется последовательным регулятором 510, который изображен на фиг. 5А.

[0075] Подчеркнем, устройство извлечения энергии, регулируемое посредством одновременного регулятора, является устройством одновременного извлечения энергии, а извлечение энергии, выполняемое посредством устройства одновременного извлечения энергии, является определенной практикой одновременного извлечения энергии. С другой стороны, устройство извлечения энергии, регулируемое посредством последовательного регулятора, является устройством последовательного извлечения энергии; и извлечение энергии, выполняемое посредством устройства последовательного извлечения энергии, является практическим применением предложенного последовательного извлечения энергии.

[0076] В качестве варианта осуществления, фиг. 5В изображает 3-фазный DC/AC-преобразователь, применяющий последовательный регулятор для регулирования извлечений энергии 3 фаз. В этом практическом применении извлечения энергии извлечение энергии А-фазы выполняется с возможностью начинаться в начале PWM-цикла с продолжительностью времени  $d_A(t)$ ; извлечение энергии В-фазы выполняется с возможностью начинаться при окончании извлечения А-фазы с продолжительностью времени  $d_B(t)$ ; и извлечение энергии С-фазы выполняется с возможностью следовать за окончанием извлечения энергии В-фазы с продолжительностью времени  $d_C(t)$ . Эти 3 извлечения энергии выполняются с возможностью исполняться последовательно и без останова. Может быть видно, что не возникает перекрывающееся во временной области извлечение энергии, как изображено на фиг. 5В. В реальности, может быть некоторый временной промежуток между окончанием одного извлечения энергии и началом другого извлечения энергии. Однако, этот временной промежуток в каждом PWM-цикле может сохраняться довольно небольшим, и предпочтительно ниже 33%, 20%, 10% или даже 1% PWM-цикла. Следовательно, уровень извлечения мощности  $P_x$  в каждой фазе может быть спроектирован равным своему максимальному значению, входной DC-мощности  $P_{\text{in}}$ ; в отличие от доли (1/3) входной мощности, которая используется в одновременном извлечении энергии.

[0077] Зададим продолжительность времени одного PWM-периода как  $D$ . Коэффициент режима работы для извлечения А-фазы определяется как  $d_A(t)/D$ ; коэффициент режима работы для извлечения В-фазы равен  $d_B(t)/D$ ; и коэффициент режима работы для извлечения С-фазы тогда равен  $d_C(t)/D$ . Кроме того, принципы, описанные в данном документе, предлагают назначать значения этих трех коэффициентов режима работы как:  $d_A(t)/D = 2/3 \cos^2(\omega t)$ ,  $d_B(t)/D = 2/3 \cos^2(\omega t + 120^\circ)$ , и  $d_C(t)/D = 2/3 \cos^2(\omega t - 120^\circ)$ . Соответствующий временной интервал для 3 извлечений энергии может тогда быть

назначен в соответствии с соответствующими значениями коэффициентов режима работы. Отметим, что суммарные временные продолжительности этих трех извлечений энергии,  $d_A(t) + d_B(t) + d_C(t)$  точно равны  $D$ , временному интервалу одного PWM-периода.

[0078] Как упомянуто выше, временной интервал одного PWM-периода равен временному интервалу опережения по фазе на  $1^\circ$  в цикле AC-мощности; таким образом, 3 сдвига фаз будут с интервалом  $120^\circ$  плюс-минус  $1^\circ$ , что является хорошим в пределах допуска существующей электросети. Итоговая сумма мощности, передаваемой по трем парам силовых линий, тогда равна  $P(t) = P_A(t) + P_B(t) + P_C(t) = P_{\text{mx}} (2/3) (\cos^2(\omega t) + \cos^2(\omega t + 120^\circ) + \cos^2(\omega t - 120^\circ)) = P_{\text{mx}} (2/3) (3/2) = P_{\text{mx}}$ . Другими словами, суммарная мощность, передаваемая по 3-фазным силовым линиям в какое-либо время, практически равна величине производимой DC-мощности. Другими словами, при применении на практике последовательного извлечения энергии, не существует (или существует незначительная) оставшейся излишней энергии. Иначе говоря, когда содержится устройство последовательного извлечения энергии, 3-фазный DC/AC-преобразователь может извлекать всю или практически всю производимую DC-мощность с нулевой или практически нулевой излишней энергией.

[0079] Повторимся, принципы, описанные в данном документе, предлагают начинать каждое извлечение энергии 3 фаз последовательно и без останова. Когда извлечения энергии 3 фаз становятся последовательными событиями, уровень извлеченной мощности может быть задан равным входной DC-мощности  $P_{\text{mx}}$ . Принципы, описанные в данном документе, дополнительно предлагают иметь 3 коэффициента режима работы, равных  $2/3 \cos^2(\omega t)$  для А-фазы,  $2/3 \cos^2(\omega t + 120^\circ)$  для В-фазы, и  $2/3 \cos^2(\omega t - 120^\circ)$  для С-фазы. Таким образом, эти события 3-фазного извлечения энергии могут иметь место последовательно; и 3 события извлечений энергии могут без проблем заканчиваться точно в одном PWM-периоде; и все сдвиги фаз AC-мощности между А-фазой, В-фазой и С-фазой равны  $120^\circ$  в пределах приемлемого допуска  $1^\circ$ .

[0080] Следовательно, когда 3-фазный DC/AC-преобразователь содержит предложенное устройство последовательного извлечения энергии, спроектированный DC/AC-преобразователь тогда может извлекать и преобразовывать всю производимую солнцем мощность,  $P_{\text{mx}}$  без оставшейся излишней энергии; и произведенная выходная AC-мощность может соответствовать условиям 3-фазной AC-электросети.

[0081] Раздел 5: Конструктивные соображения для последовательного регулятора

[0082] В одном варианте осуществления можно применить начало PWM для начала извлечения А-фазы с продолжительностью времени  $(2/3)D \cdot \cos(\omega t)$ ; затем применить изменение сигнала извлечения А-фазы (с периода включения на период выключения), чтобы инициировать начало извлечения В-фазы с продолжительностью времени  $(2/3)D \cdot \cos(\omega t + 120^\circ)$ ; и затем применить переключение сигнала извлечения В-фазы (с периода включения на период выключения), чтобы инициировать начало извлечения С-фазы.

[0083] В другом варианте осуществления, так как один PWM-период создает точно

определенное опережение АС-фазы (скажем,  $1^\circ$ ), можно построить таблицу с точно определенным конечным временем извлечения А-фазы в качестве первого значения и точно определенным конечным временем извлечения В-фазы в качестве второго значения. Эта таблица может содержать ряд столбцов, чтобы использовать весь цикл мощности (скажем, 180 столбцов для  $180^\circ$ ). Отметим, что цикл напряжения  $360^\circ$  создает цикл мощности каждые  $180^\circ$ , так как мощность является пропорциональной квадрату напряжения, и квадратурное изменение формы синусоидальной волны напряжения создает волну мощности с двойной частотой.

[0084] С помощью двух последовательных линий времени в каждом столбце этой таблицы времени проект может периодически назначать две линии времени в одном PWM-периоде времени в качестве начального времени (начало PWM) и конечного времени (первое значение времени в столбце) для извлечения энергии А-фазы; для начального времени (первое значение времени в столбце) и конечного времени (второе значение времени в столбце) для извлечения энергии В-фазы; и для начального времени (второе значение времени в столбце) и конечного времени (конец PWM) для извлечения энергии С-фазы. Окончание 180 столбцов означает окончание DC/AC-преобразования для одного цикла АС-мощности. Процесс может затем быть повторен для следующего раунда DC/AC-инверсии, и т.д. Тактовый генератор с временным разрешением более чем  $1/180000$  секунды (или 5 микросекунд) должен быть использован в этом варианте осуществления.

[0085] Модуль синхронизации в традиционном 3-фазном DC/AC-преобразователе может быть использован для синхронизации начала PWM при максимуме и минимуме циклов АС-мощности; так что фаза произведенной АС-мощности может дрейфовать вместе с дрейфом фазы/частоты, возникающим в электросети время от времени. Принципы, описанные в данном документе, также могут применять устройство для приспособления к дрейфу фазы/частоты.

[0086] Раздел 6: Итоги

[0087] Как описано в разделе 1, традиционный однофазный АС-преобразователь применяет PWM-устройство извлечения для извлечения входной DC-мощности. Когда коэффициент режима работы в одном PWM-цикле регулируется посредством  $\cos^2(\omega t)$  (или  $\sin^2(\omega t)$ ) во время  $t$ , выходная АС-мощность соответствует условиям электросети. Отметим, что существуют две области в пространстве энергии каждого PWM-цикла; одна является областью извлеченной энергии, в то время как другая является областью излишней энергии. Справочные патентные публикации учат, что величина излишней энергии является, по меньшей мере, такой же большой, что и извлеченная энергия, когда интегрируется по нескольким АС-периодам времени. Другими словами, однофазный DC/AC-преобразователь может извлекать и преобразовывать самое большее лишь половину входной DC-мощности. Извлеченная энергия преобразуется в АС-мощность и предоставляется в электросеть; в то время как излишняя энергия превращается в тепло, если не захватывается и не сохраняется в устройстве, таком как MEURT-устройство.

[0088] Как описано в разделе 2, традиционный 3-фазный DC/AC-преобразователь задействует три идентичных однофазных DC/AC-преобразователя. Каждый однофазный DC/AC-преобразователь извлекает и преобразует половину своей входной DC-мощности в AC-мощность. Отметим, что вследствие практического применения одновременного извлечения энергии эта входная DC-мощность может быть равна максимум лишь одной трети сгенерированной DC-мощности. Следовательно, 3-фазный DC/AC-преобразователь преобразует и извлекает самое большее половину произведенной DC-мощности. Выходные AC-мощности этих трех однофазных преобразователей имеют сдвиг фаз  $120^\circ$  относительно друг друга. Также эти 3 однофазные выходные AC-мощности посылаются в электросеть по 3 или 4 силовым проводам.

[0089] Перефразируя иначе, традиционная отрасль PV-солнечной энергии использует традиционный DC/AC-преобразователь, который применяет на практике одновременное извлечение энергии, так что закон сохранения энергии диктует, что итоговая сумма трех извлеченных уровней мощности  $P_x$  должна быть меньше трети PV-сгенерированного источника  $P_{\text{max}}$  DC-мощности (т.е.,  $P_x < (1/3) P_{\text{max}}$ ). Может затем быть показано, что итоговая сумма традиционных 3-фазных выходных AC-мощностей равна  $P(t) = (3/2)P_x$  в лучшем случае, что меньше  $(1/2)P_{\text{max}}$ , или половины PV-сгенерированной DC-мощности. Следовательно, по меньшей мере, половина PV-произведенной DC-мощности становится излишней мощностью при использовании традиционных 3-фазных DC/AC-преобразователей. Эта величина излишней энергии превратится в тепло в конечном счете, если не захватывается и не сохраняется в устройстве, таком как MEURT-оптимизатор.

[0090] Теоретические выводы, описанные в разделе 2, обнаруживают серьезное последствие, которое приносится посредством общепринятой практики проектирования в традиционной отрасли 3-фазных DC/AC-преобразователей. Эта общепринятая практика проектирования применялась в отрасли 3-фазных DC/AC-преобразователей в течение долгого времени; даже без знания отрасли о существовании серьезного последствия. Этой общепринятой практикой является то, что традиционные 3-фазные DC/AC-преобразователи применяют на практике одновременное извлечение энергии. Эта практика может определенно приводить в результате к серьезному последствию, которое обнаружилось впервые в отрасли в вышеприведенных теоретических выводах. Это серьезное последствие является тем, что итоговая сумма 3 выходных AC-мощностей от 3-фазного DC/AC-преобразователя меньше половины входной DC-мощности. Эта обнаруженная общепринятая практика проектирования была утверждена как долговременная практика в отрасли природосберегающей возобновляемой электроэнергии; в частности, в отрасли PV-солнечной энергии.

[0091] Двумя способами, чтобы смягчить вышеописанное нежелательное последствие, являются 1) следование принципам, описанным в справочных патентных публикациях, чтобы включать MEURT-оптимизатор в энергетическую систему, или 2) следовать принципам, описанным в данном документе, которые предлагают применять на

практике последовательное извлечение энергии, ассоциированное с предложенными регулировками коэффициента режима работы для А-фазы, В-фазы и С-фазы.

[0092] Раздел 4 описывает предложенное последовательное извлечение энергии с предложенными регулировками коэффициента режима работы. При применении на практике описанного последовательного извлечения энергии во всех без исключения PWM-периодах А-фаза своевременно извлекает должным образом DC-энергию первой; В-фаза своевременно извлекает надлежащим образом DC-энергию сразу после извлечения А-фазы; и С-фаза своевременно извлекает надлежащим образом DC-энергию в конечном счете. Таким образом, уровень извлечения энергии,  $P_x$  в каждой фазе может достигать своего максимального значения, которое равно произведенной мощности,  $P_{mx}$ . Это отличается от последствия, получающегося в результате применения на практике традиционного одновременного извлечения энергии; которое вынуждает уровень извлечения энергии,  $P_x$  в каждой фазе достигать лишь 1/3 для  $P_{mx}$  в лучшем случае.

[0093] Принципы, описанные в данном документе, предполагают, что время начало извлечения энергии для каждой фазы регулируется посредством последовательного регулятора. Извлечения энергии 3 фаз становятся последовательными событиями; так что уровень извлечения мощности может равняться входной DC-мощности  $P_{mx}$ . Принципы, описанные в данном документе, дополнительно предлагают иметь 3 коэффициента режима работы, равных  $2/3 \cos^2(\omega t)$  для А-фазы,  $2/3 \cos^2(\omega t + 120^\circ)$  для В-фазы, и  $2/3 \cos^2(\omega t - 120^\circ)$  для С-фазы. Эти события 3-фазного извлечения энергии могут тогда последовательно иметь место без останова; и 3 события извлечения энергии могут также заканчиваться точно в одном PWM-периоде. Кроме того, сдвиги фаз AC-мощности между А-фазой, В-фазой и С-фазой могут быть спроектированы равными  $120^\circ$  плюс-минус  $1^\circ$ . Следовательно, когда 3-фазный DC/AC-преобразователь содержит предложенное устройство последовательного извлечения энергии, новый спроектированный DC/AC-преобразователь может извлекать и преобразовывать всю (или практически всю) произведенную мощность,  $P_{mx}$  без (или с небольшой) оставшейся излишней энергии. Кроме того, произведенные выходные AC-мощности могут легко соответствовать условиям 3-фазной AC-электросети.

[0094] Настоящее изобретение может быть осуществлено в других характерных формах без отступления от своего духа или неотъемлемых характеристик. Описанные варианты осуществления должны рассматриваться во всех отношениях только как иллюстративные, а не ограничивающие. Рамки изобретения, следовательно, указаны скорее приложенной формулой изобретения, чем предшествующим описанием. Все изменения, которые появляются внутри смысла и рамок равнозначности формулы изобретения должны быть охвачены ее рамками.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство управления последовательным извлечением энергии, которое выполнено с возможностью управлять последовательностью извлечения DC-энергии и продолжительностью времени извлечения энергии трех однофазных DC/AC-преобразователей, которые встроены в 3-фазный DC/AC-преобразователь:

первый однофазный преобразователь в 3-фазном DC/AC-преобразователе содержит первое PWM-устройство извлечения, выполненное с возможностью извлекать первую AC-мощность из источника DC-мощности, так что первая AC-мощность имеет частоту и первую фазу, которые соответствуют условиям электросети для AC-мощности, которая существует в первой паре подающих мощность кабелей 3-фазной AC-электросети;

второй однофазный преобразователь в 3-фазном DC/AC-преобразователе содержит второе PWM-устройство извлечения, выполненное с возможностью извлекать вторую AC-мощность из источника DC-мощности, так что вторая AC-мощность имеет ту же частоту, что и первая AC-мощность, но со второй фазой, которая соответствует условиям электросети для AC-мощности, которая существует во второй паре доставляющих мощность кабелей 3-фазной AC-электросети; и

третий однофазный преобразователь в 3-фазном DC/AC-преобразователе содержит третье PWM-устройство извлечения, выполненное с возможностью извлекать третью AC-мощность из источника DC-мощности, так что третья AC-мощность имеет ту же частоту, что и первая AC-мощность, но с третьей фазой, которая соответствует условиям электросети для AC-мощности, которая существует в третьей паре доставляющих мощность кабелей 3-фазной AC-электросети;

причем устройство управления последовательным извлечением энергии содержит:

последовательный регулятор, выполненный с возможностью инструктировать первому PWM-устройству извлечения иметь первый рабочий цикл, во время которого первое PWM-устройство извлечения выполняет извлечение мощности от источника DC-мощности, инструктирует второму PWM-устройству извлечения иметь второй рабочий цикл, в течение которого второе PWM-устройство извлечения выполняет извлечение мощности от источника DC-мощности, и инструктирует третьему PWM-устройству извлечения иметь третий рабочий режим, в течение которого третье PWM-устройство извлечения выполняет извлечение мощности от источника DC-мощности; так что первый, второй и третий рабочие циклы не перекрываются во временной области, и так что первое, второе и третье PWM-устройства извлечения выполняют извлечение последовательно;

причем последовательный регулятор дополнительно выполнен с возможностью управлять регулировками коэффициента рабочего режима для первого, второго и третьего коэффициентов рабочего режима в соответствии с текущим временем, по меньшей мере, одного цикла AC-мощности, чтобы, тем самым, регулировать одну или более из первой AC-мощности, второй AC-мощности и третьей AC-мощности.

2. Устройство управления последовательным извлечением энергии по п. 1, причем регулировки коэффициента рабочего режима выполняются так, что первый коэффициент рабочего режима равен  $2/3 \cos^2(\omega t)$ , второй коэффициент рабочего режима равен  $2/3 \cos^2(\omega t + 120^\circ)$ , и третий коэффициент рабочего режима равен  $2/3 \cos^2(\omega t - 120^\circ)$  как функция времени  $t$  в цикле АС-мощности.

3. Устройство управления последовательным извлечением энергии по п. 1, причем последовательный регулятор содержит:

тактовый генератор;

таблицу времени с множеством столбцов, каждый столбец соответствует соответствующему фрагменту цикла АС-мощности и представляет достаточную информацию, чтобы определять первый, второй и третий рабочие циклы для соответствующего фрагмента цикла АС-мощности; и

устройство активации, выполненное с возможностью использовать достаточную информацию, чтобы последовательно активировать первое, второе и третье PWM-устройства извлечения.

4. Устройство управления последовательным извлечением энергии по п. 3, причем достаточная информация является начальным временем и конечным временем для первого рабочего цикла.

5. Устройство управления последовательным извлечением энергии по п. 3, причем таблица времени содержит по меньшей мере два значения в каждом из множества столбцов; первое значение равно  $D \cdot (2/3) \cdot \cos^2(\omega t)$ , и второе значение равно  $D \cdot (2/3) \cdot \cos^2(\omega t + 120^\circ)$ , где  $D$  является PWM-периодом, а  $t$  является временем в цикле АС-мощности.

6. Устройство управления последовательным извлечением энергии по п. 1, причем последовательный регулятор выполнен с возможностью управлять регулировками коэффициента рабочего режима в ответ на сигналы от управляющего устройства.

7. Устройство управления последовательным извлечением энергии по п. 1, причем интервал между первым рабочим циклом и вторым рабочим циклом равен не более одной трети PWM-цикла.

8. Устройство управления последовательным извлечением энергии по п. 1, причем интервал между первым рабочим циклом и вторым рабочим циклом равен не более одной пятой PWM-цикла.

9. Устройство управления последовательным извлечением энергии по п. 1, причем интервал между первым рабочим циклом и вторым рабочим циклом равен не более одной двенадцатой PWM-цикла.

10. Устройство управления последовательным извлечением энергии по п. 1, причем интервал между первым рабочим циклом и вторым рабочим циклом равен не более одной сотой PWM-цикла.

11. Устройство управления последовательным извлечением для использования в 3-фазном DC/AC-преобразователе, который содержит первый однофазный DC/AC-

преобразователь, содержащий первое PWM-устройство извлечения, чтобы извлекать из DC-мощности первую AC-мощность, которая имеет первую фазу и которая соответствует условиям электросети, второй однофазный DC/AC-преобразователь, содержащий второе PWM-устройство извлечения, чтобы извлекать из DC-мощности вторую AC-мощность, которая имеет вторую фазу и которая соответствует условиям электросети, и третий однофазный DC/AC-преобразователь, содержащий третье PWM-устройство извлечения, чтобы извлекать из DC-мощности третью AC-мощность, которая имеет третью фазу и которая соответствует условиям электросети, причем устройство управления последовательным извлечением содержит:

последовательный регулятор, который инструктирует первому PWM-устройству извлечения иметь первый рабочий цикл, в течение которого первое PWM-устройство извлечения выполняет извлечение, инструктирует второму PWM-устройству извлечения иметь второй рабочий цикл, в течение которого второе PWM-устройство извлечения выполняет извлечение, и инструктирует третьему PWM-устройству извлечения иметь третий рабочий цикл, в течение которого третье PWM-устройство извлечения выполняет извлечение; и так что первый, второй и третий рабочие циклы не перекрываются, так что первое, второе и третье PWM-устройства извлечения выполняют извлечение последовательно, причем последовательный регулятор выполнен с возможностью управлять регулировками коэффициента рабочего режима для первого, второго и третьего рабочих циклов в зависимости от текущего фрагмента цикла AC-мощности по меньшей мере одной из первой AC-мощности, второй AC-мощности и третьей AC-мощности, регулировки коэффициента рабочего режима являются такими, что первый рабочий цикл равен  $\frac{2}{3} \cos^2(\omega t)$ , второй рабочий цикл равен  $\frac{2}{3} \cos^2(\omega t + 120^\circ)$ , и третий рабочий цикл равен  $\frac{2}{3} \cos^2(\omega t - 120^\circ)$  как функция времени  $t$  в цикле AC-мощности.

#### 12. Система 3-фазного DC/AC-преобразователя, содержащая:

3-фазный DC/AC-преобразователь, который содержит: первый однофазный DC/AC-преобразователь, содержащий первое PWM-устройство извлечения для извлечения из DC-мощности первой AC-мощности, которая имеет первую фазу и которая соответствует условиям электросети, второй однофазный DC/AC-преобразователь, содержащий второе PWM-устройство извлечения для извлечения из DC-мощности второй AC-мощности, которая имеет вторую фазу и которая соответствует условиям электросети, и третий однофазный DC/AC-преобразователь, содержащий третье PWM-устройство извлечения для извлечения из DC-мощности третьей AC-мощности, которая имеет третью фазу, и которая соответствует условиям электросети; и

последовательный регулятор, который инструктирует первому PWM-устройству извлечения иметь первый рабочий цикл, в течение которого первое PWM-устройство извлечения выполняет извлечение, инструктирует второму PWM-устройству извлечения иметь второй рабочий цикл, в течение которого второе PWM-устройство извлечения выполняет извлечение, и инструктирует третьему PWM-устройству извлечения иметь третий рабочий цикл, в течение которого третье PWM-устройство извлечения выполняет

извлечение; и так что первый, второй и третий рабочие циклы не перекрываются, так что первое, второе и третье PWM-устройства извлечения выполняют извлечение последовательно, причем последовательный регулятор выполнен с возможностью управлять регулировками коэффициента рабочего режима для первого, второго и третьего рабочих циклов в зависимости от текущего фрагмента цикла AC-мощности по меньшей мере одной из первой AC-мощности, второй AC-мощности и третьей AC-мощности, причем последовательный регулятор содержит:

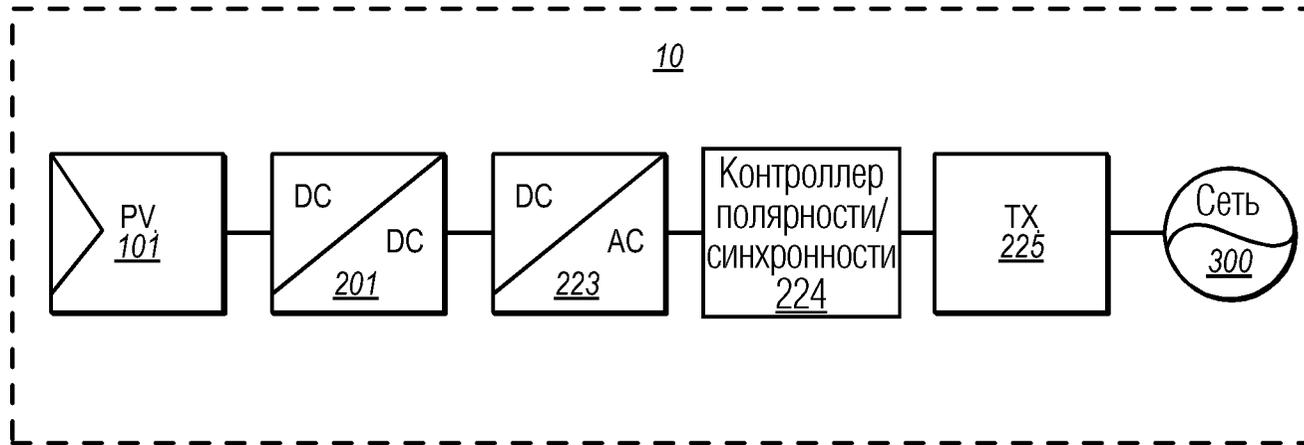
тактовый генератор;

таблицу времени с множеством столбцов, каждый столбец соответствует соответствующему фрагменту цикла AC-мощности и представляет достаточную информацию, чтобы определять первый, второй и третий рабочие циклы для соответствующего фрагмента цикла AC-мощности; и

устройство активации, выполненное с возможностью использовать достаточную информацию, чтобы последовательно активировать первое, второе и третье PWM-устройства извлечения.

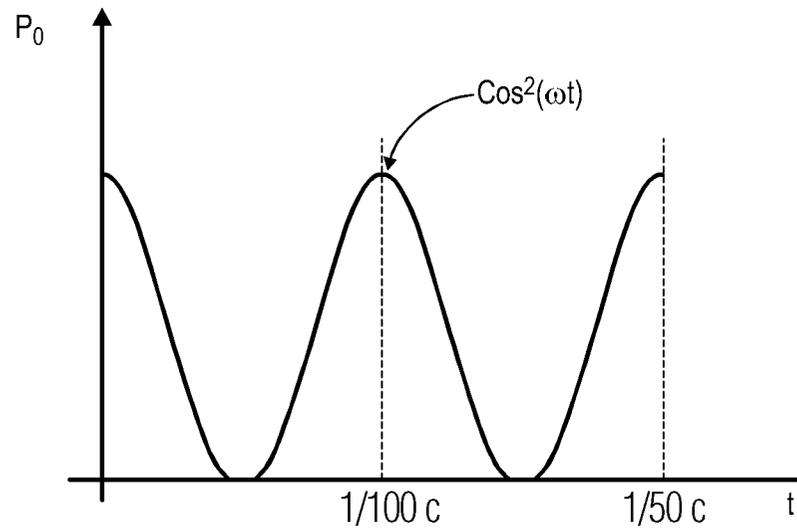
13. Система 3-фазного DC/AC-преобразователя по п. 12, причем достаточная информация является временем начала и временем окончания для первого рабочего цикла.

14. Система 3-фазного DC/AC-преобразователя по п. 12, причем таблица времени содержит по меньшей мере два значения в каждом из множества столбцов; первое значение равно  $D \cdot (2/3) \cdot \cos^2(\omega t)$ , и второе значение равно  $D \cdot (2/3) \cdot \cos^2(\omega t + 120^\circ)$ , где  $D$  является PWM-периодом, а  $t$  является временем в цикле AC-мощности.



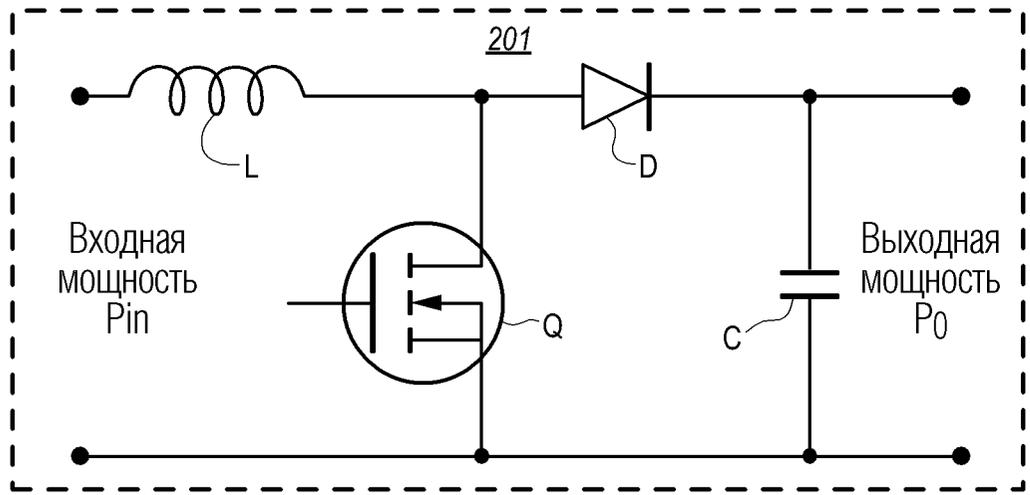
ФИГ. 1А

(предшествующий уровень техники)

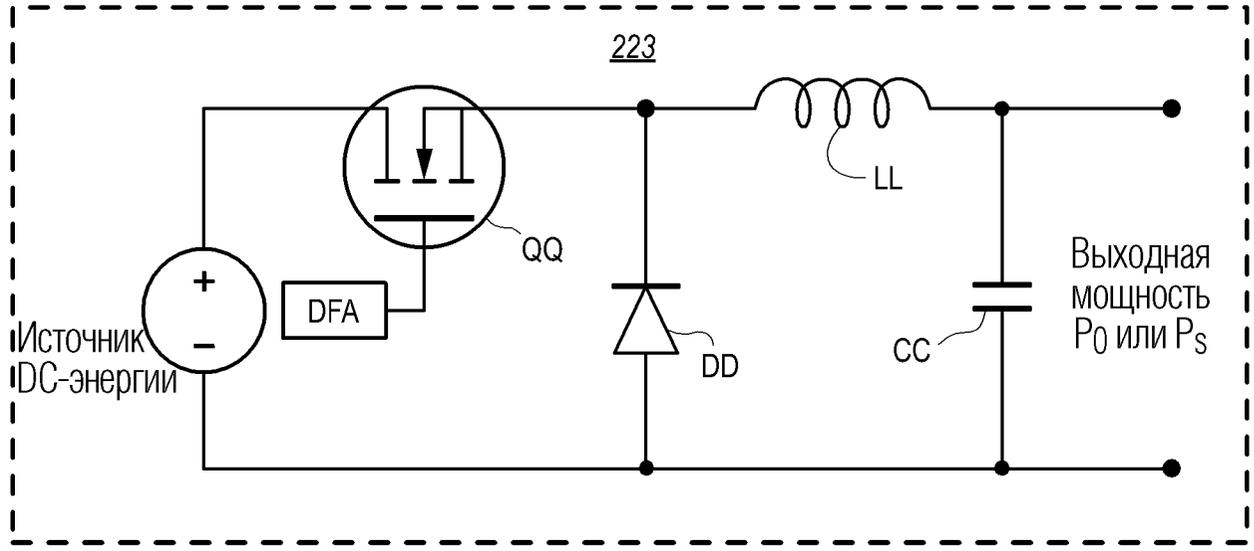


ФИГ. 1В

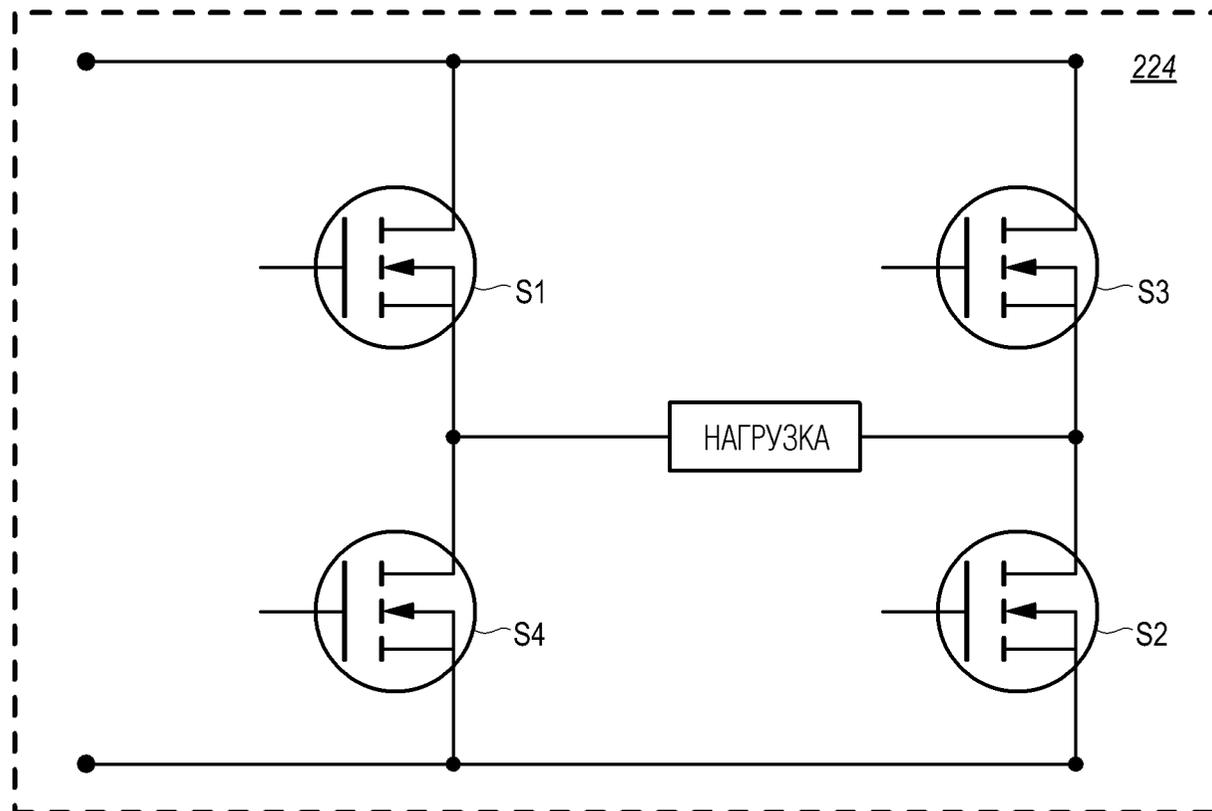
(предшествующий уровень техники)



**ФИГ. 2А**  
(предшествующий уровень техники)

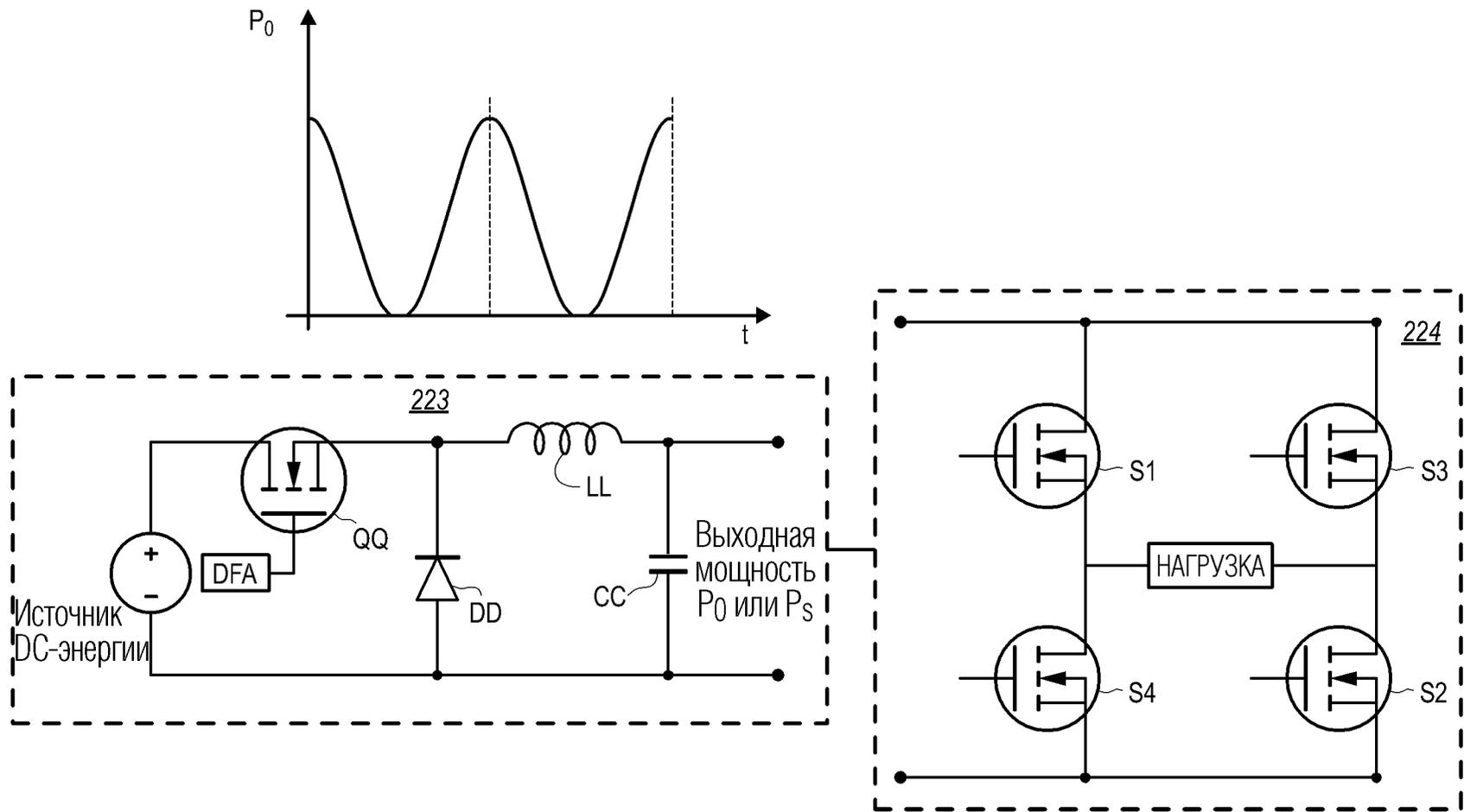


**ФИГ. 2В**  
(предшествующий уровень техники)



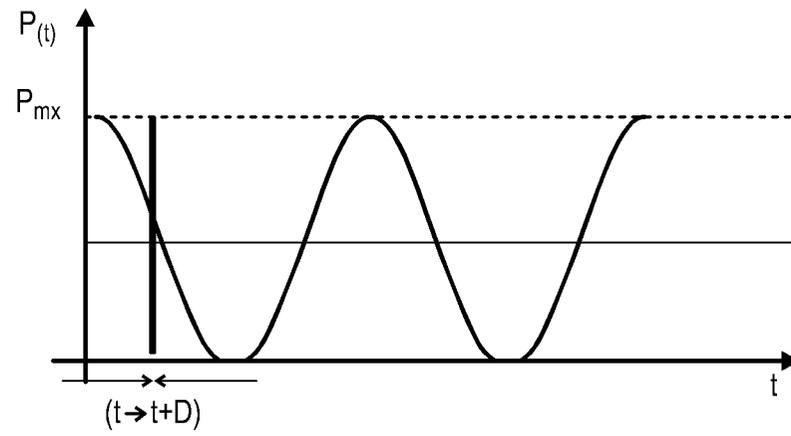
ФИГ. 2С

(предшествующий  
уровень техники)

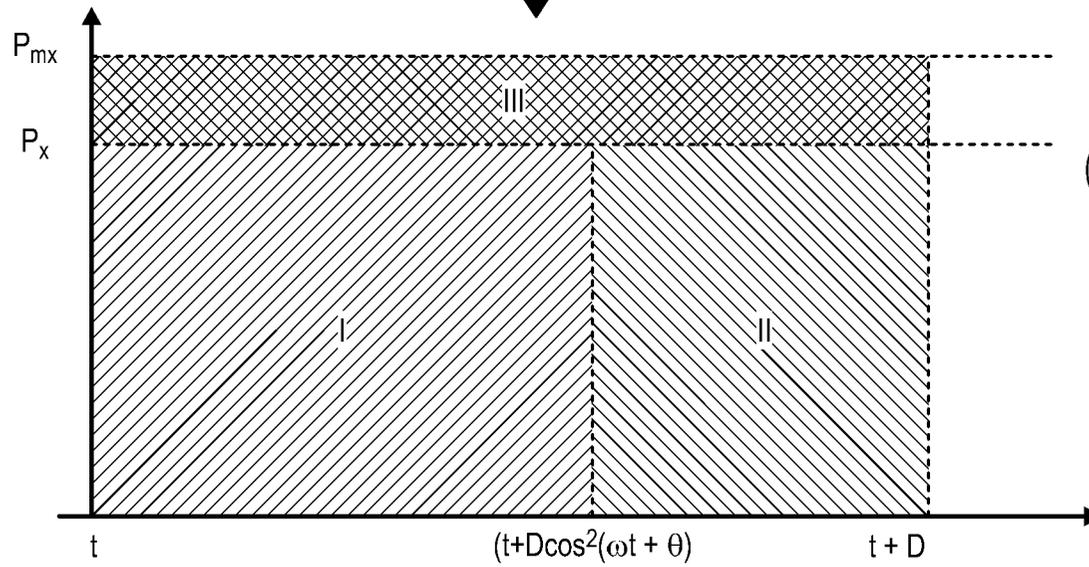


ФИГ. 2D

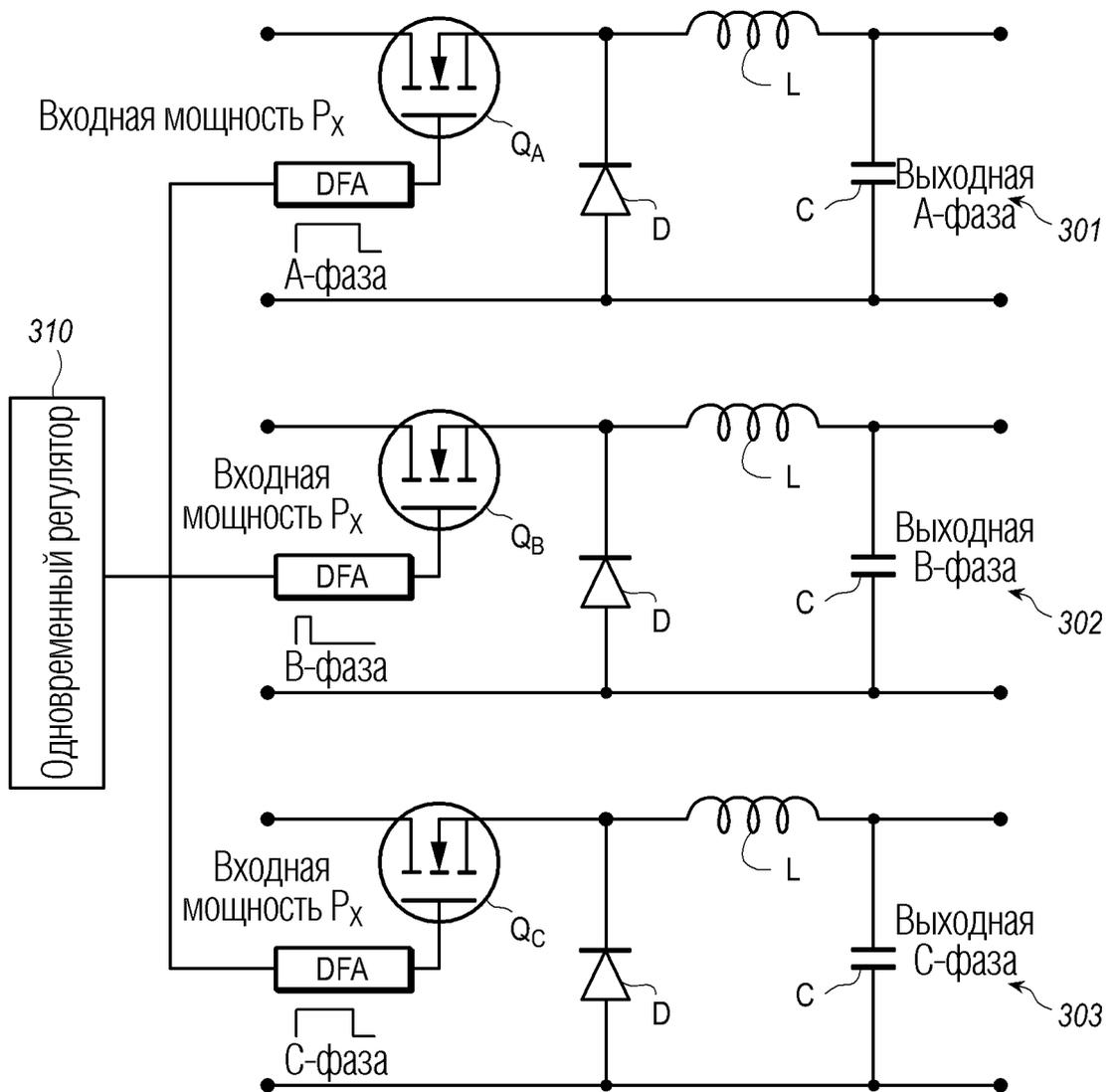
(предшествующий  
уровень техники)



Увеличено



ФИГ. 2Е  
(предшествующий уровень техники)

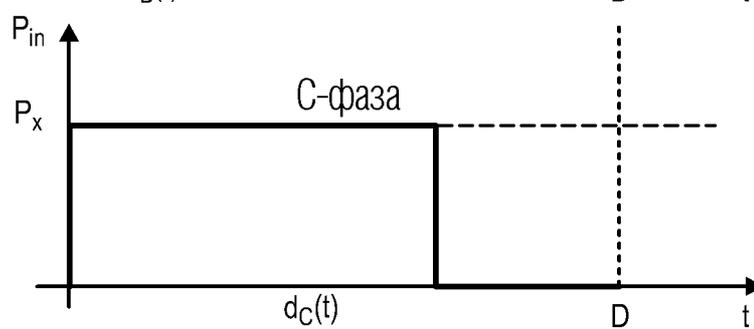
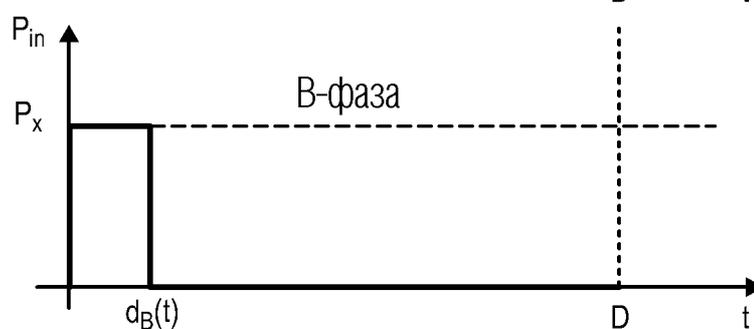
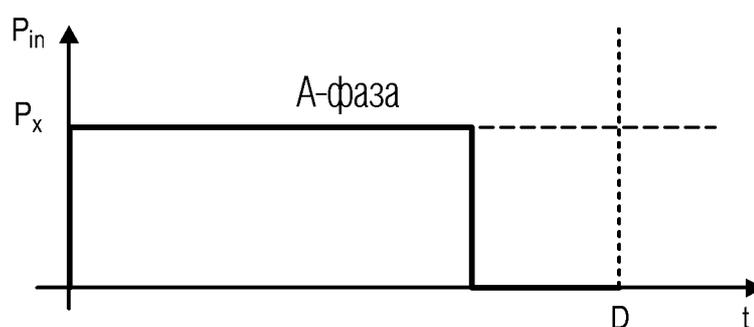


ФИГ. 3А

(предшествующий  
уровень техники)

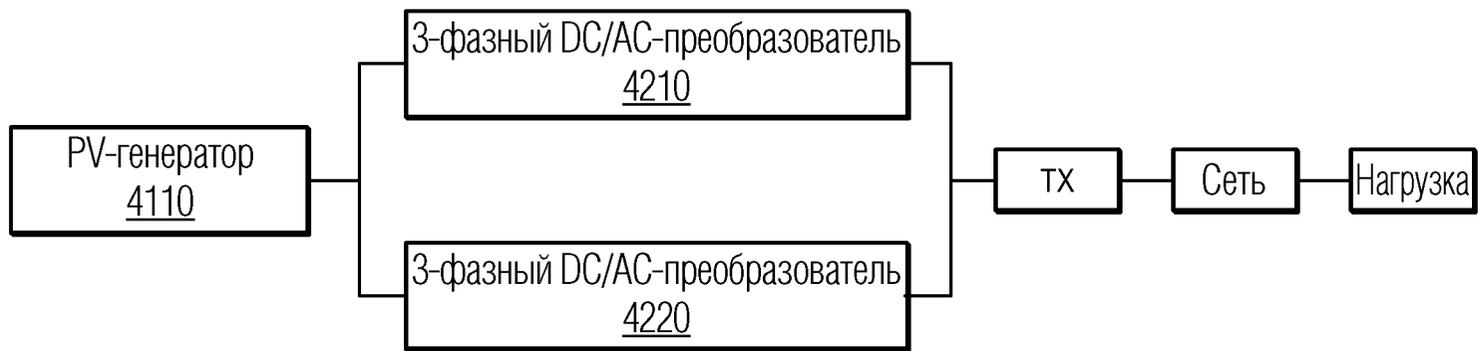


ФИГ. 3В

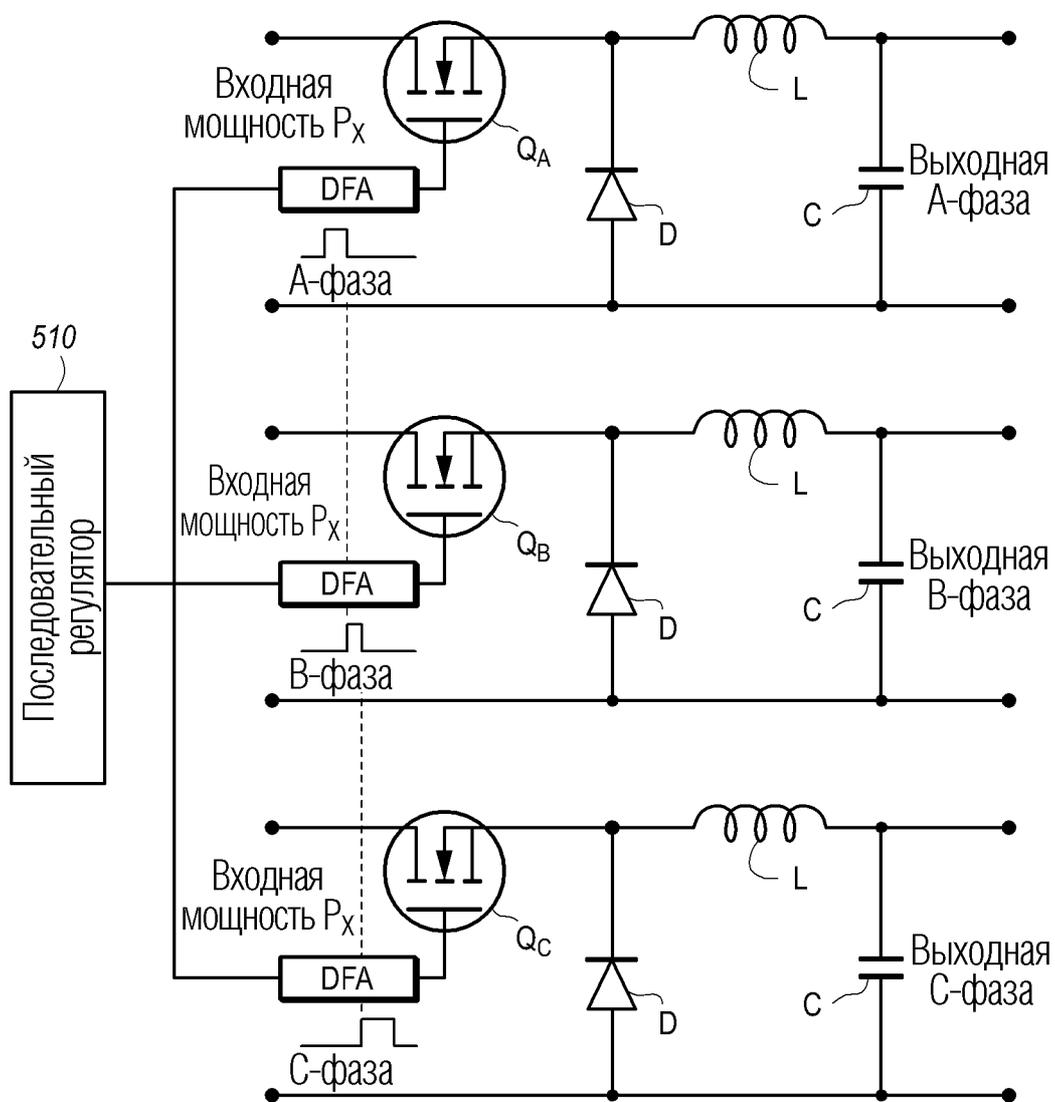
(предшествующий  
уровень техники)

ФИГ. 3С

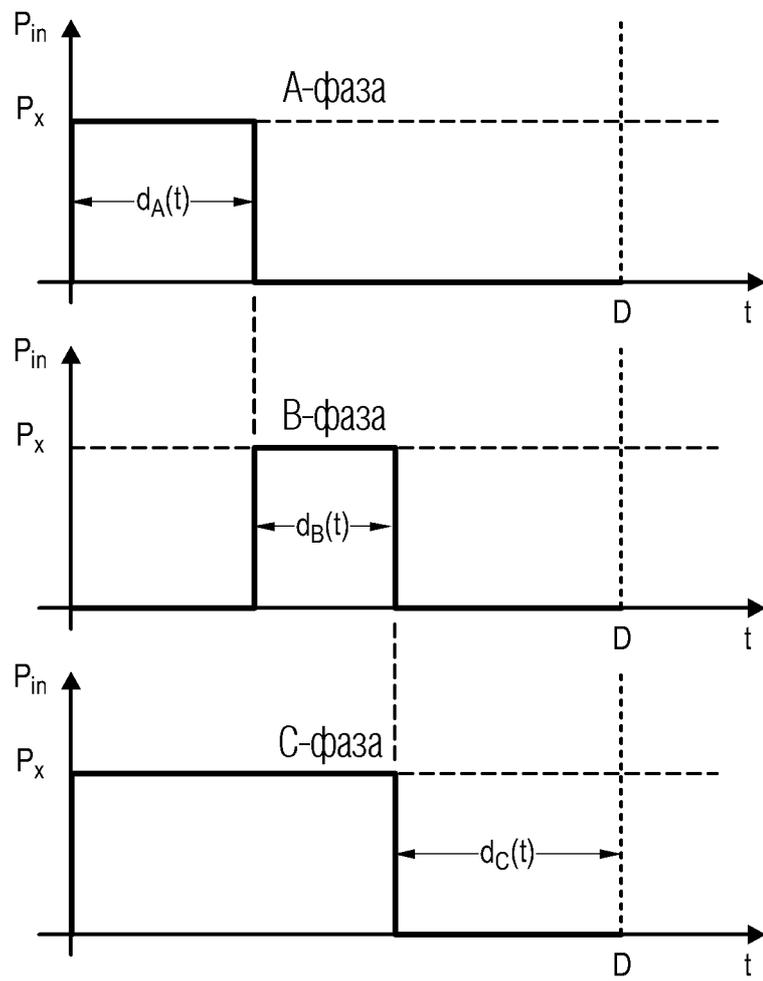
(предшествующий  
уровень техники)



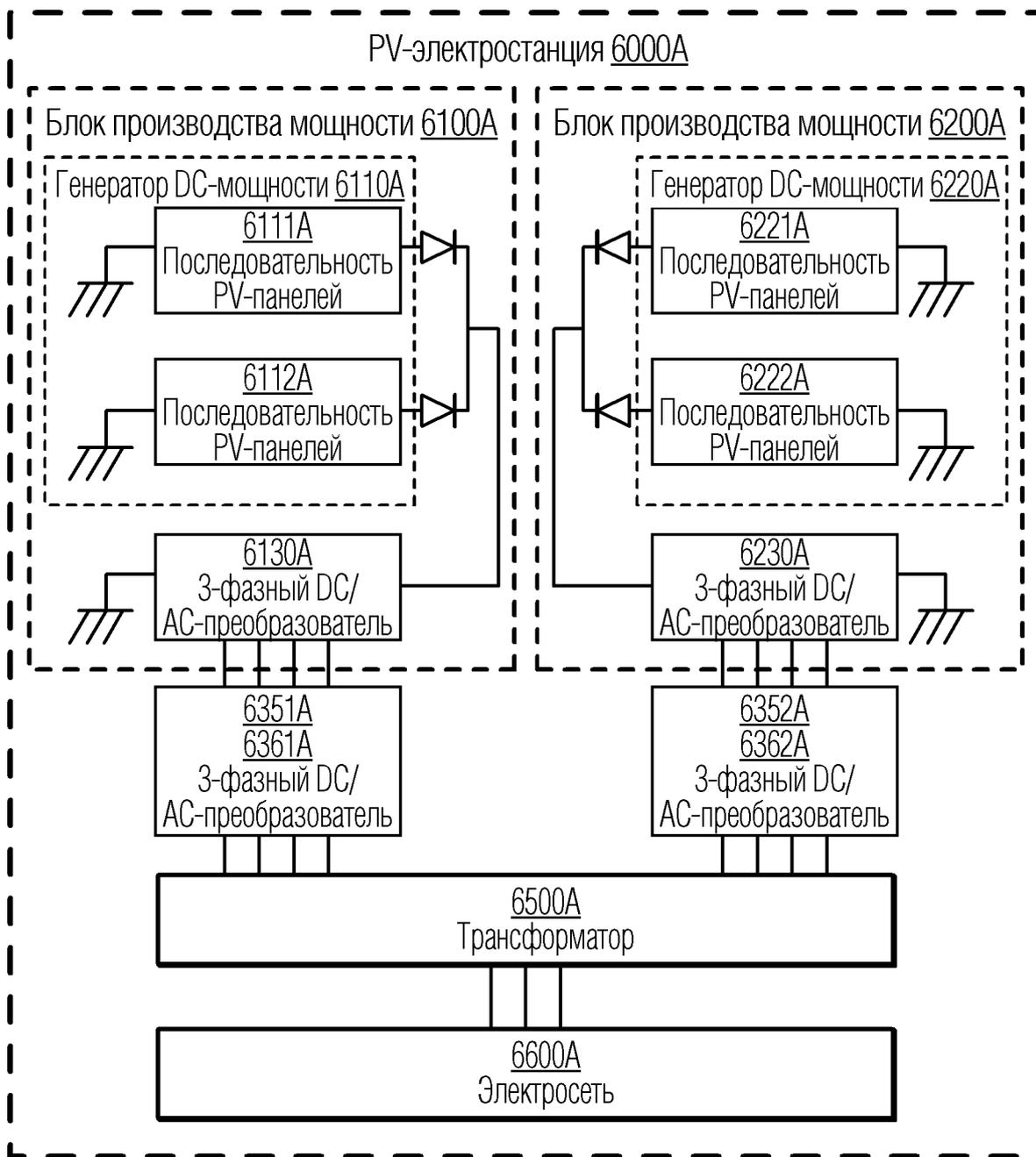
**ФИГ. 4**  
(предшествующий  
уровень техники)



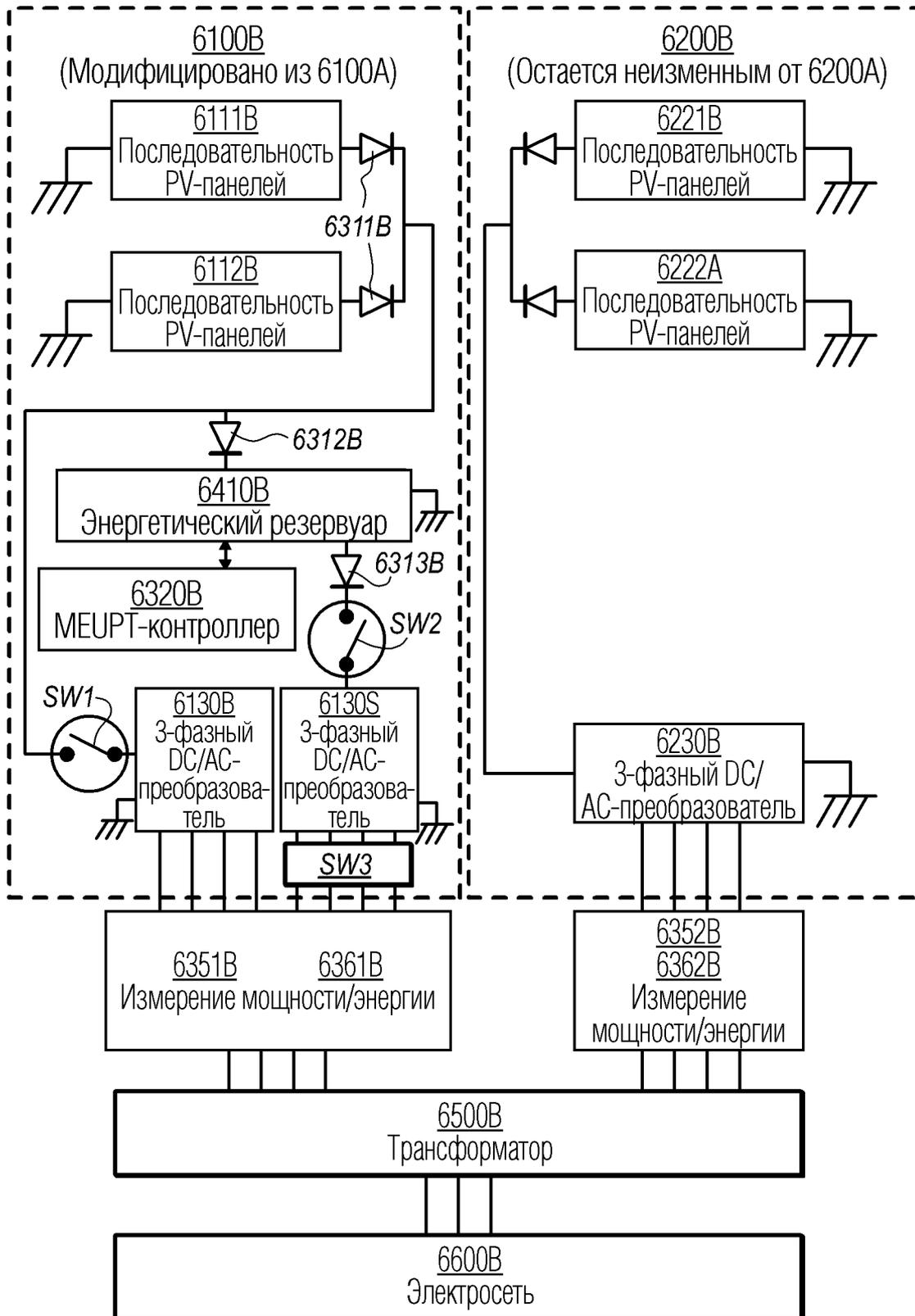
ФИГ. 5А



ФИГ. 5В



ФИГ. 6А



ФИГ. 6В