

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040728**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.07.21

(21) Номер заявки
202091048

(22) Дата подачи заявки
2018.05.31

(51) Int. Cl. **H02J 3/38** (2006.01)
H02J 7/34 (2006.01)
H02J 3/14 (2006.01)
G05F 1/67 (2006.01)
H02M 7/66 (2006.01)

(54) **ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ**

(31) **15/796,506**

(32) **2017.10.27**

(33) **US**

(43) **2020.08.06**

(86) **PCT/US2018/035454**

(87) **WO 2019/083567 2019.05.02**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ЭлТи ЛАЙТИНГ (ТАЙВАНЬ)
КОРПОРЕЙШН (TW)**

(72) Изобретатель:
**Ляо Цзау-Дарь, Лай Син-Чэнь, Чун
Фэн-Цэ, Хан Сю-Вэнь, Шун Джеффри
Вэнь-Тай (TW)**

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

(56) **US-A1-20150229131
US-A1-20100292853**

(57) Фотоэлектрическая (PV) станция включает в себя по меньшей мере один блок генерирования AC-мощности. Блок генерирования AC-мощности включает в себя энергохранилище, которое снабжается DC-энергией от генератора DC-мощности, такого как PV-панели. Энергохранилище используется как буфер для хранения энергии и улучшает эффективность фотоэлектрической станции. Используется или нет энергохранилище, развязывающие устройства могут быть использованы для предотвращения аннигиляции мощности, которая может уменьшать количество мощности, доставляемой электростанцией в сеть. В системной интеграции для фотоэлектрической станции обнаружено, что заявленная номинальная мощность DC/AC-преобразователя в преобразовании электрической сети не может быть взята в качестве способности преобразования мощности.

B1

040728

040728

B1

Уровень техники

Фотоэлектрические (PV) станции генерируют электричество посредством преобразования солнечной энергии в электричество. Это сгенерированное электричество затем подается в электроэнергетическую сеть. Источник солнечной энергии (т.е. принимаемые лучи солнца) характеризуется наличием изменяющейся по времени интенсивности. Соответственно, фотоэлектрические генераторы в таких фотоэлектрических станциях содержат устройство оптимизации генерации мощности (также называемое "оптимизатором"). Один тип оптимизатора называется "устройством слежения за точкой максимальной мощности (MPPT)" (или "MPPT-устройством"), которое отслеживает мгновенное напряжение точки генерирования максимальной мощности (MPP), причем это MPPT-устройство использует для управления работой фотоэлектрической станции. Эта практика называется "слепым MPPT-согласованием" в данном документе. MPPT-устройство типично является программным или микропрограммным обеспечением; и отслеживает изменяющееся по времени напряжение, получающееся в результате генерирования максимальной мощности из изменяющегося по времени источника солнечной энергии.

Объект изобретения, заявленный в данном документе, не ограничивается вариантами осуществления, которые устраняют некоторые недостатки или которые работают только в таких условиях, таких как описаны выше. Скорее, этот уровень техники предоставлен, только чтобы проиллюстрировать одну примерную область техники, в которой некоторые варианты осуществления, описанные в данном документе, могут быть применены на практике.

Краткая сущность изобретения

Варианты осуществления, описанные в данном документе, относятся к фотоэлектрической (PV) станции, которая включает в себя, по меньшей мере, один блок генерирования AC-мощности. В соответствии с одним вариантом осуществления состояния PV-мощности, каждый блок генерирования AC-мощности содержит генератор DC-мощности, первый DC/AC 3-фазный преобразователь(и), энергохранилище и второй DC/AC 3-фазный преобразователь(и). Генератор DC-мощности состоит из x МВт-ных последовательностей солнечных панелей (цепочек последовательно соединенных солнечных панелей), где x - это положительное число. Первые DC/AC 3-фазные генератор(ы) имеют суммарную заявленную номинальную мощность y МВт. Первые DC/AC 3-фазные преобразователь(и) получают DC-мощность, предоставляемую посредством генератора DC-мощности, преобразуют полученную DC-мощность в AC-мощность и предоставляют эту преобразованную AC-мощность через трансформатор в электрическую сеть. Энергохранилище получает, по меньшей мере, некоторую часть оставшейся доли DC-мощности, сгенерированной посредством генератора DC-мощности.

Вторые DC/AC 3-фазные преобразователь(и) имеют суммарную заявленную номинальную мощность z МВт, где z - это положительное число, и сумма y и z больше x . Вторые DC/AC 3-фазные преобразователь(и) получают DC-мощность из энергохранилища, преобразуют полученную DC-мощность из энергохранилища в AC-мощность и предоставляют эту преобразованную AC-мощность через трансформатор в электрическую сеть. Поскольку сумма y и z больше x , электростанция в соответствии с этим вариантом осуществления доставляет больше мощности в электрическую сеть.

В соответствии с другим вариантом осуществления, описанным в данном документе, каждый блок генерирования AC-мощности включает в себя генератор DC-мощности, состоящий из x МВт-ных последовательностей солнечных панелей, и энергохранилище, и DC/AC 3-фазные преобразователи, имеющие суммарную заявленную номинальную мощность z МВт, где z больше x . Энергохранилище получает, по меньшей мере, некоторую часть оставшейся доли DC-мощности, сгенерированной посредством генератора DC-мощности. DC/AC 3-фазные преобразователь(и) получают DC-мощность из энергохранилища, преобразуют полученную DC-мощность из энергохранилища в AC-мощность и предоставляют эту преобразованную AC-мощность через трансформатор в электрическую сеть. Поскольку z больше x , электростанция в соответствии с этим вариантом осуществления предоставляет больше мощности в электрическую сеть.

В соответствии с еще одним вариантом осуществления, описанным в данном документе, каждый блок генерирования AC-мощности содержит генератор DC-мощности, состоящий из последовательностей солнечных панелей. DC/AC 3-фазные преобразователь(и) получают DC-мощность от генератора DC-мощности через развязывающее устройство, преобразуют полученную DC-мощность в AC-мощность и предоставляют эту преобразованную AC-мощность через трансформатор в электрическую сеть. Использование развязывающего устройства устраняет проблемы, которые изобретатели обнаружили относительно явления аннигиляции мощности, тем самым, повышая величину мощности, которую электростанция может предоставлять в сеть.

Данная сущность предусмотрена для того, чтобы в упрощенной форме представить набор идей, 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 области применения заявляемого предмета изобретения.

Краткое описание чертежей

Для того, чтобы описать способ, которым вышеупомянутые и другие преимущества и отличитель-

ные признаки могут быть получены, несколько 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 область применения изобретения, варианты осуществления будут описаны и объяснены с помощью дополнительной специфики и подробностей посредством использования прилагаемых чертежей, на которых:

фиг. 1А-1С иллюстрируют блок-схемы различных электростанций, в которых развязывающие устройства используются вместе с энергохранилищем;

фиг. 2А иллюстрирует блок-схему электростанции, которая была смонтирована для эксперимента, и в которой существует два блока генерирования АС-мощности, которые смонтированы традиционным образом, и с измерителями мощности и энергии, которые измеряют выходную мощность каждого блока генерирования мощности;

фиг. 2В иллюстрирует блок-схему электростанции на фиг. 2А после модификации, чтобы включить в нее развязывающие устройства и энергохранилище, и которая была использована, чтобы подтвердить улучшенный вывод энергии в сеть;

фиг. 3 иллюстрирует блок-схему электростанции, в которой существуют два канала доставки мощности, один канал прибегает к использованию энергохранилища, а другой не прибегает к использованию энергохранилища;

фиг. 4 иллюстрирует блок-схему электростанции, которая представляет несколько широкий вариант осуществления на фиг. 3;

фиг. 5 иллюстрирует блок-схему электростанции, в которой мощность доставляется посредством использования энергохранилища;

фиг. 6 иллюстрирует блок-схему электростанции, которая представляет несколько широкий вариант осуществления на фиг. 5;

фиг. 7 иллюстрирует блок-схему электростанции;

фиг. 8 иллюстрирует блок-схему контроллера для отслеживания точки максимального использования энергии (MEURT) в соответствии с принципами, описанными в данном документе; и

фиг. 9 иллюстрирует блок-схему MEURT-контроллера на фиг. 8 в контексте электростанции.

Подробное описание изобретения

Патентные публикации, US2016/0036232 и US2017/0149250 A1 (содержимое которых включено по ссылке в данный документ) описывают, что PV-энергетические системы, которые применяют на практике слепое MPPT-согласование, достигаются неоптимальные количества электричества, предоставляемого в сеть. Эти патентные публикации учат, что для того, чтобы эффективно извлекать электричество для использования энергии, следует соответствовать характеристикам устройства для извлечения энергии, чтобы эффективно и продуктивно извлекать созданную электроэнергию. Кроме того, эти патентные заявки учат, что связанные устройства также должны соответствовать условию и/или доставке извлеченного электричества для эффективного использования энергии.

Эти патентные публикации дополнительно подчеркивают тот факт, что эффективность использования энергии неразрывно зависит от потребления мощности в дополнение к производству мощности. Кроме того, они учат, что в любой энергетической системе типичное потребление мощности обязательно равно производству мощности, даже при соответствии законам энергии и сохранения заряда.

Вместо использования MPPT-устройства в качестве оптимизатора для солнечных электростанций упомянутые патентные публикации предложили использовать "устройство отслеживания точки максимального использования энергии" или "MPPT-устройство" в качестве оптимизатора фотоэлектрической станции. Такой оптимизатор будет называться "MEURT-оптимизатором" в данном документе. Согласно упомянутым патентным публикациям, MEURT-оптимизатор предназначен, чтобы захватывать то, что называется "избыточной энергией", которую он определяет как электроэнергию, которая произведена, но не извлечена и/или не доставлена в электрическую сеть для использования. Это определение "избыточной энергии" также используется в данном документе.

MEURT-оптимизатор также предназначен, чтобы временно хранить захваченную избыточную энергию в резервуаре энергии; и затем подготавливать и доставлять эту электроэнергию в электрическую сеть для использования. Таким образом, доход от сбыта электричества для фотоэлектрической станции может быть улучшен, когда в нее включен MEURT-оптимизатор.

Раздел 1. Функциональность MEURT-оптимизатора.

В соответствии с принципами, описанными в US2016/0036232 и US2017/0149250 A1 ("упомянутые патентные публикации"), MEURT-оптимизатор одного варианта осуществления, описанного в данном документе, содержит устройство извлечения избыточной энергии, энергохранилище и MEURT-контроллер. MEURT-контроллер работает согласованно с устройствами извлечения энергии и DC/AC-преобразователями. Термины "мощность" и "энергия" (тогда как не являются в точности одинаковыми) используются взаимозаменяемо в области техники. Таким образом, пока не указано иное, каждый термин имеет одинаковое значение.

Устройство извлечения энергии извлекает первоначальную осциллирующую передачу мощности из произведенного источника DC-электрической мощности. Извлеченная первоначальная передача мощности согласуется с требованиями AC-электрической сети для электрической сети. Другими словами, извлеченная первоначальная передача мощности имеет изменяющееся по времени синусоидальное напряжение, которое имеет пиковое напряжение, которое соответствует диапазону напряжений электрической сети. Кроме того, электрическая мощность (которая пропорциональна квадрату напряжения) принимает форму $(\sin^2(\omega t))$ или $(\cos^2(\omega t))$, которая синхронизируется (с одинаковой фазой и одинаковой частотой) с электрической сетью.

С другой стороны, устройство извлечения избыточной энергии извлекает оставшуюся осциллирующую передачу мощности, которая остается от вычитания первоначальной осциллирующей передачи мощности из произведенной DC-мощности. Другими словами, эта оставшаяся осциллирующая передача мощности является лишней осциллирующей передачей мощности, которая остается после предоставления первоначальной осциллирующей передачи мощности в электрическую сеть. Оставшаяся осциллирующая передача мощности имеет фазовый сдвиг 90° по сравнению с первоначальной осциллирующей передачей мощности, которая предоставляется в электрическую сеть. Вследствие фазового сдвига 90° эта осциллирующая передача мощности не может быть немедленно преобразована в AC-мощность для предоставления в ту же силовую цепь. Энергохранилище, таким образом, используется для временного хранения избыточной энергии оставшейся осциллирующей передачи мощности. После этого сохраненная энергия подается к DC/AC-преобразователю; так что сохраненная избыточная энергия может быть преобразована в AC-мощность, которая синхронизируется (с той же фазой и частотой) с той же электрической сетью.

MEURT-контроллер измеряет уровень энергии хранилища; оценивает количество энергии в хранилище, которое может быть извлечено; и доставляет эту информацию ассоциированным DC/AC-преобразователю(ям), так что это количество энергии может быть извлечено посредством DC/AC-преобразователя(ей). DC/AC-преобразователь(и) затем извлекают сохраненную энергию из хранилища для преобразования в AC-мощность в форме подходящей пульсирующей передачи мощности и предоставляют эту AC-мощность в электрическую сеть, фотоэлектрической станции могут, таким образом, предоставлять почти всю произведенную электроэнергию в электрическую сеть, когда включают в себя MEURT-оптимизатор. В отличие от этого, без MEURT-оптимизатора, фотоэлектрическая станция согласно упомянутым патентным публикациям может предоставлять лишь менее половины произведенной мощности/энергии в электрическую сеть.

Раздел 2. Улучшение традиционной фотоэлектрической станции с помощью MEURT.

Солнечные электростанции часто классифицируются с точки зрения некоторого числа мегаватт (МВт). Традиционно, когда солнечная электростанция заявляется как относящаяся к классу x МВт (где x - это некоторое положительное число), это означает, что суммарный итог нормы генерирования DC-мощности всех последовательностей солнечных панелей равен x МВт. Такие традиционные солнечные электростанции также имеют 3-фазные DC/AC-преобразователи, которые имеют суммарную заявленную производителем способность DC/AC-преобразования, которая не больше x МВт. Этот принцип резюмирует операции традиционной электростанции согласно традиционной MPPT-практике.

Другими словами, традиционная фотоэлектрическая станция с номинальной мощностью x МВт состоит из x МВт-ных последовательностей фотоэлектрических солнечных панелей, которые преобразуют солнечную энергию в DC-электричество. Сгенерированное DC-электричество затем извлекается и преобразуется посредством трехфазных DC/AC-преобразователей в подходящую AC-электрическую мощность, которая соответствует всем требованиям AC-мощности электрической сети, и затем предоставляется в электрическую сеть. Эта AC-электрическая мощность, предоставляемая в электрическую сеть, также называется в данном документе "первоначальной осциллирующей передачей мощности". Напомним, что суммарная заявленная производителем способность DC/AC-преобразования DC/AC-преобразователей не больше x МВт, что является итоговой величиной способности DC-генерации установленных солнечных панелей, заявленной отраслью генерирования солнечных панелей.

Согласно описанию упомянутых патентных публикаций, US 2016/0036232 и US 2017/0149250 A1, существует оставшаяся осциллирующая передача мощности, которая получается в результате вычитания первоначальной осциллирующей передачи мощности (извлеченной посредством устройства извлечения энергии) из суммарной DC-мощности, произведенной посредством последовательностей солнечных панелей. Другими словами, эта передача мощности является оставшейся осциллирующей передачей мощности, которая имеет примерно 90° разность фаз от первоначальной осциллирующей передачи мощности, которая была извлечена посредством устройства извлечения энергии и предоставлена в электрическую сеть.

Поскольку оставшаяся осциллирующая передача мощности примерно на 90° расходится с фазой из электрической сети, эта оставшаяся осциллирующая передача мощности не может быть непосредственно обусловлена и преобразована в AC-мощность и предоставлена в ту же электрическую сеть. В соответствии с принципами, описанными в упомянутых патентных публикациях, энергохранилище временно хра-

нит энергию, содержащую в себе несовпадающую на 90° по фазе оставшуюся осциллирующую передачу мощности (которая, когда сохранена, представляет собой избыточную энергию). После этого избыточная энергия сохраняется в энергохранилище, избыточная энергия может служить в качестве DC-энергии, которая может быть подана к DC/AC-преобразователю. Эта избыточная энергия может затем быть преобразована в AC-мощность, которая соответствует всем требованиям электрической сети (включающим в себя синхронизацию с электрической сетью), так что получающаяся в результате AC-мощность может быть предоставлена в ту же сеть.

Раздел 3. Предотвращение утечки энергии из энергохранилища.

Прежде чем подробно рассмотреть принцип конструкции энергохранилища для MEURT-оптимизатора, обратимся сначала к важному вопросу в данном документе. В частности, последовательности солнечных панелей могут иметь очень высокое сопротивление в сумерках, но последовательность солнечных панелей может проводить значительный электрический ток в том или другом направлении, когда солнечный свет является интенсивным в полдень. Следовательно, электрическая энергия, сохраненная в хранилище, может утекать и нагревать солнечные панели в дневное время. Соответственно, развязывающие диоды могут быть добавлены в каждую из последовательностей солнечных панелей, так что электрическая энергия может протекать от каждой последовательности солнечных панелей, чтобы заряжать хранилище, но энергия в хранилище не может протекать обратно из хранилища в последовательности солнечных панелей. Различные системы энергохранилищ, которые выполняют такую развязку, будут сейчас описаны со ссылкой на фиг. 1A, 1B и 1C.

Раздел 4. Конструктивные решения для энергохранилища.

Фиг. 1A изображает блок-схему, которая иллюстрирует энергохранилище 1300A, который предназначен, чтобы временно хранить избыточную мощность, получающуюся в результате потока мощности, созданного от множества последовательностей 1100A солнечных панелей, за вычетом мощности, потребляемой DC/AC-преобразователем 1200A, когда DC/AC-преобразователь 1200A преобразует эту мощность в AC-мощность. AC-мощность предоставляется в AC-электрическую сеть 1600A через трансформатор 1500A. Хранилище 1300A получает оставшуюся осциллирующую передачу мощности через набор 1400A развязывающих диодов. В одном примере этот энергохранилище 1300A спроектирован, чтобы временно хранить избыточную энергию 1 МВт-ной фотоэлектрической станции в течение 2 мин.

Только в качестве примера, предположим, что первичный источник энергии может удерживаться при постоянной интенсивности (и что производство мощности последовательностей фотоэлектрических модулей 1100A удерживается, с тем, чтобы предоставлять возможность постоянного генерирования мощности 1 МВт-ного генератора) в течение двух минут. Для последующего анализа и первоначальные, и оставшиеся осциллирующие передачи мощности имеют одинаковые повторяющиеся формы, но с разностью фаз 90° . Во-первых, рассмотрим, как энергохранилище может быть спроектировано с помощью грубого метода. Учтем, что целью энергохранилища является временное хранение избыточной энергии, так что DC/AC-преобразователи могут позже преобразовать эту сохраненную энергию.

Как обсуждалось в упомянутых патентных публикациях, расчетный коэффициент избыточной энергии по отношению к произведенной DC-электрической энергии выше 0,5 для типичных традиционных фотоэлектрических станций. Для анализа предположим, что фотоэлектрической станции имеют 1 МВт-ные последовательности фотоэлектрических солнечных панелей; и DC-мощность преобразуется в AC-мощность для предоставления в сеть, которая имеет 3-фазную AC-мощность с частотой 50 Гц и напряжением сети 380 В переменного тока. В этом случае, продолжительность времени одного энергетического цикла равна приблизительно 0,01 с, а суммарный ток фазы равен вплоть до $1000000 / (380 / 1,732)$, где 1,732 - это значение квадратного корня из 3. Этот коэффициент является отношением пикового напряжения к напряжению сети (линейно-фазному напряжению или "фазному напряжению", в 3-фазной AC-мощности). Сохранение заряда, ассоциированного с избыточной энергией в энергетическом цикле для этой электростанции, потребует эквивалентной зарядной емкости приблизительно в $8V \Phi (0,5 * 0,01 * 1000000 / (380 / 1,732))$, где "V" - это разность напряжений спроектированного хранилища перед и после зарядки.

Чтобы максимизировать использование энергии для этой PV-станции, в некоторых вариантах осуществления, рабочее напряжение MEURT-оптимизатора должно быть в пределах 75% от напряжения для создания максимальной PV-мощности. Другими словами, диапазон напряжений для 75% генерирования максимальной мощности должен наблюдаться в этих вариантах осуществления MEURT-оптимизатора. Измеренные вольт-амперные данные указывают, что типично этот диапазон равен приблизительно 80 В. Когда этот диапазон напряжения выбирается в качестве диапазона напряжения заряда/разряда (т.е., $V=80$ В) для энергохранилища, зарядная емкость энергохранилища равна приблизительно 0,1 Ф на каждый МВт, на каждый энергетический цикл (где энергетический цикл длится 0,01 с).

Если конструктивным решением является хранение этого максимального количества избыточной энергии, накапливающейся в течение двух (2) мин, требуемая эквивалентная зарядная емкость равна 1200 Ф ($100 * 120 * 01$) для 1 МВт-ной фотоэлектрической станции. Эта требуемая эквивалентная зарядная емкость называется "полной максимальной зарядной емкостью", а количество ассоциированной сохра-

ненной в хранилище энергии называется "полной максимальной емкостью энергохранилища" или "полной максимальной избыточной энергией" в этом документе.

Если используются только тонкопленочные конденсаторы, чтобы удовлетворять этой требуемой зарядной емкости, комплект тонкопленочных конденсаторов, требуемых для достижения этой зарядной емкости, будет чрезмерно большим по объему и очень дорогостоящим в капиталовложениях. Таким образом, является непрактичным проектировать такой энергохранилище, состоящий только из тонкопленочных конденсаторов.

В качестве ухищрения для этой грубой конструкции можно включать фарадеевские устройства (такие как аккумуляторы) в конструкцию, чтобы уменьшать объем и размер. Тщательный анализ изобретателями показывает, что требуемая зарядная емкость на самом деле является технически управляемой для энергохранилища с тонкопленочными конденсаторами и фарадеевскими устройствами. Однако стоимость такого хранилища все еще является слишком высокой, чтобы быть выгодной, если только цена аккумулятора не может упасть, по меньшей мере, в 3 раза, в то же время сохраняя ту же рабочую характеристику.

Использование электролитических конденсаторов может значительно уменьшать требуемые капитальные затраты. Однако, это повысит эксплуатационные расходы вследствие относительно короткого срока службы таких конденсаторов. Таким образом, в настоящее время, использование электролитических конденсаторов также не является практичным. Следовательно, грубый метод решения не добивается экономически выгодных конструктивных решений с требуемой полной максимальной емкостью энергохранилища.

Принципы, описанные в данном документе, используют следующие факты, наблюдавшиеся изобретателями, для решения этой проблемы:

(1) Большинство существующих DC/AC-преобразователей могут легко быстро повышать или понижать мощность на 3% за одну секунду; а также существующие 500 кВт-ные DC/AC-преобразователи могут легко быстро повышать или понижать мощность более чем на 10 кВт за одну секунду во время работы.

(2) В качестве грубого наблюдения, типичная 1 МВт-ная фотоэлектрическая станция начинает производство мощности с нулевой мощности каждое утро и редко увеличивает свое производство мощности быстрее чем на 10 кВт/с в своей обычной ежедневной работе.

(3) Фотоэлектрическая станция МВт-ного уровня (с номинальной мощностью несколько 1 МВт) может время от времени испытывать темп повышения несколько 10 кВт/с во время короткого резкого всплеска мощности. Однако, энергия, содержащаяся в этом коротком всплеске (или даже во всплеске несколько 100 кВт/с), является незначительной по сравнению с суммарной ежедневной энергией, производимой в электростанциях МВт-ного уровня.

Из этих трех факторов изобретатели определили, что (1) генерация мощности в каждой из последовательностей солнечных панелей начинается с нуля каждое утро; и (2) PV-генератор не генерирует полную мощность мгновенно. Таким образом, остальная осциллирующая передача мощности не повышается до своего максимального значения мгновенно. Другими словами, остальная осциллирующая передача мощности увеличивается типично гораздо несколько постепенно по сравнению с темпом повышения DC/AC-преобразователей. Кроме того, количество энергии в каком-либо кратковременном повышающем всплеске не является значительной проблемой при накоплении энергии для PV-станций с номинальной мощностью 1 МВт или выше.

Следовательно, вместо проектирования энергохранилища, приспособленного для хранения максимального полного количества избыточной энергии, принципы, описанные в данном документе, предлагают проектировать хранилище для хранения количества чистой энергии, равного (в течение, скажем, 2 минут) разнице между избыточной энергией, введенной в хранилище, и энергией, которую DC/AC-преобразователь(и) извлекли из хранилища. Это количество энергии называется "максимальной дифференциальной избыточной энергией" в данном документе. Это количество максимальной дифференциальной избыточной энергии гораздо меньше максимальной полной избыточной энергии. Таким образом, легче проектировать такой меньший энергохранилище; который является управляемым в технологии, а также экономичным.

Фиг. 1В изображает блок-схему, которая символически иллюстрирует энергохранилище 1300В, которое хранит избыточную мощность, получающуюся в результате потока мощности, производимого от множества последовательностей 1100В солнечных панелей, за вычетом мощности, затрачиваемой DC/AC-преобразователем 1201В. В то же время, другой DC/AC-преобразователь 1202В управляется посредством MEURT-контроллера 1310В, чтобы получать приблизительно такое же количество DC-энергии из энергохранилища 1300В (содержащего избыточную энергию). Оба DC/AC-преобразователя 1201В и 1202В одновременно преобразуют полученную DC-энергию в AC-мощность и предоставляют эту AC-мощность в одну и ту же сеть 1600В через один и тот же трансформатор 1500В. При этом хранение чистой энергии, имеющееся в хранилище 1300В, может быть уменьшено до очень небольшой емкости по сравнению с емкостью хранилища 1300А, изображенного на фиг. 1А.

Фиг. 1С изображает конфигурацию, которая является модифицированной из конфигурации, изо-

браженной на фиг. 1В, но имеет приблизительно ту же рабочую характеристику, что и конфигурация, изображенная на фиг. 1В. Как изображено на фиг. 1С, энергохранилище 1300С сохраняет поток DC-мощности, произведенный посредством последовательностей 1100С фотоэлектрических солнечных панелей, через набор 1400С диодов. Два DC/AC-преобразователя 1201С и 1202С управляются посредством MEURT-контроллера 1310С, чтобы получать (и накапливать) приблизительно одинаковую суммарную DC-мощность из энергохранилища 1300С в количестве, которое приблизительно равно входной DC-энергии, произведенной посредством последовательностей фотоэлектрических модулей. Таким образом, существует лишь очень небольшой входной баланс полезной мощности на входах и выходах хранилища 1300С. И 1201С, и 1202С одновременно преобразуют полученную DC-мощность в AC-мощность, предоставляемую в одну и ту же сеть 1600В через один и тот же трансформатор 1500С.

Вкратце, как изображено на фиг. 1В (когда правильно развязан), энергохранилище может извлекать и сохранять избыточную энергию в форме оставшейся осциллирующей передачи мощности, которая остается после того, как произведенная DC-мощность извлекается посредством устройства извлечения энергии (которое может быть встроенным в качестве модуля DC/AC-преобразователя 1201В). Другой DC/AC-преобразователь 1201В предназначается, чтобы извлекать приблизительно такое же количество энергии из энергохранилища 1300В, чтобы уменьшать чистую величину избыточной энергии, сохраненной в хранилище. Таким образом, относительно небольшое хранилище является достаточным.

Также, как изображено на фиг. 1С (когда правильно развязан) энергохранилище 1300С может получать всю произведенную DC-мощность от последовательностей фотоэлектрических модулей 1100С. Осциллирующая передача мощности затем извлекается посредством DC/AC-преобразователей 1201С и 1202С, в то время как избыточная энергия (оставшаяся мощность) также косвенным образом сохраняется в энергохранилище 1300С в форме, сдвинутой на 90° от фазы оставшейся осциллирующей передачи мощности. Как может быть видно, эта избыточная энергия также косвенным образом автоматически извлекается и сохраняется в хранилище 1300С.

Применяя либо конструкцию, изображенную на фиг. 1В (либо на фиг. 1С), проектируемый энергохранилище может служить в качестве энергохранилища, предложенного для MEURT-оптимизатора; который временно хранит небольшое количество чистой избыточной энергии, которая сдвинута на 90° по фазе. Трудная задача проектирования энергохранилища теперь смещается на задачу проектирования правильного MEURT-контроллера.

Раздел 5. Необходимые функции MEURT-контроллера.

Контроллер должен иметь возможность управлять ассоциированными ОС/АС-преобразователями(ями), чтобы согласованно потреблять правильное количество энергии из хранилища, которое по существу равно количеству избыточной мощности, заряжаемой в хранилище. При этом можно минимизировать чистое количество энергии, сохраняемой в хранилище; и поддерживать адекватное сбалансированное хранение энергии в хранилище, чтобы стабилизировать работу системы. При этом энергохранилищу необходимо лишь хранить (или предоставлять) разность энергий между заряжаемой избыточной энергией и мощностью, потребляемой DC/AC-преобразователями(ями), в небольшом временном интервале.

С помощью приспособленного контроллера разница энергий может быть спроектирована управляемой малой. Временной интервал может быть спроектирован достаточно длительным для повышения или понижения для ВСУАС-преобразователя(ей) в соответствии с избыточной энергией; и достаточно коротким, чтобы значительно снижать емкость хранилища, в то же время все еще сохраняя работу системы устойчивой. Расчетная емкость хранилища может, таким образом, уменьшаться до коэффициента менее 0,001 для максимальной полной избыточной энергии. Эта емкость меньше 2 Ф для каждой 1 МВт-ой фотоэлектрической станции; управляемая зарядная емкость даже при использовании тонкопленочных конденсаторов. Пример подходящего MEURT-контроллера будет описан ниже относительно разделов 12-14 ниже.

Раздел 6. Объединенное с конденсатором/аккумулятором энергохранилище.

Другой проблемой является то, что хороший тонкопленочный конденсатор может работать в течение 10-15 лет, в то же время все еще сохраняя несколько 80% своей первоначальной емкости, в то время как хороший аккумулятор может работать менее 5 лет и иметь приблизительно 70% своей зарядной емкости после этого времени. Следовательно, точный баланс конструкции предполагается для оптимизации экономических затрат. Кроме того, количество энергии в хранилище должно быть достаточно большим, чтобы стабилизировать работу всегда. Моделирования проекта показали, что с текущими ценами тонкопленочного конденсатора и аккумуляторов, типовая 20-летняя оптимальная конструкция энергохранилища для 1 МВт-ной PV-станции является конструкцией с тонкопленочными конденсаторами 0,1-1 Ф, объединенными с автоматическим комплектом аккумуляторов приблизительно 50 Ач с подходящим рабочим напряжением.

Раздел 7. Предотвращение взаимной аннигиляции мощности в последовательностях фотоэлектрических модулей.

Как описано выше, метод развязывания, примененный на фиг. 1В и фиг. 1С, предоставляет возмож-

ность последовательностям солнечных панелей заряжать энергохранилище; но предотвращает протекание мощности обратно из хранилища в последовательности фотоэлектрических солнечных панелей. При правильном применении набора развязывающих диодов этот метод не только предотвращает утечку энергии из хранилища через последовательности фотоэлектрических - солнечных панелей, но также может предотвращать явление, обнаруженное изобретателями. Это явление называется в данном документе "явлением взаимной аннигиляции мощности между последовательностями фотоэлектрических модулей", "явлением взаимной аннигиляции мощности" или "явлением аннигиляции мощности".

Это явление возникает, когда параллельно-соединенные несколько последовательностей фотоэлектрических модулей накапливают произведенную мощность. Это явление особенно четко выражается, когда параллельно-соединенные последовательности фотоэлектрических модулей имеют очень различные вольт-амперные характеристики, эффективности фотоэлектрического преобразования и/или напряжения генерирования максимальной мощности.

Например, когда не все солнечные панели не во всех последовательностях находятся в тени, последовательности, которые находятся в тени, будут иметь несколько низкую эффективность фотоэлектрического преобразования по сравнению с последовательностями, которые не находятся в тени. Другими словами, такие последовательности солнечных панелей имеют очень различные вольт-амперные характеристики даже в одно и то же время дня, вследствие различного затенения. Когда такие последовательности солнечных панелей соединяются параллельно, высокоэффективные последовательности могут разряжать часть своей произведенной электрической мощности в менее эффективные последовательности солнечных панелей, чтобы нарушать производство мощности в последовательностях фотоэлектрических солнечных панелей. Изобретатели подтвердили это явление экспериментально. Эксперименты также показали, что это явление может быть предотвращено, когда последовательности фотоэлектрических солнечных панелей являются правильно развязанными.

Кроме того, явление аннигиляции мощности может также возникать, когда параллельно соединенные последовательности фотоэлектрических модулей имеют очень разные напряжения генерирования максимальной мощности. Например, предположим, что существует две последовательности солнечных панелей, соединенные параллельно - одна имеет 15 последовательно соединенных солнечных панелей, а другая имеет 19 последовательно соединенных солнечных панелей. Мощность, генерируемая в последовательности с 19 панелями, будет определено протекать через последовательность с 15 панелями, и возникает явление аннигиляции мощности. Эксперименты показали, что мощность, полученная из вышеупомянутых параллельно соединенных двух последовательностей, может уменьшаться до менее половины мощности, производимой последовательностью с 19 панелями в отдельности. Когда правильно развязаны, мощность, получаемая от вышеупомянутых двух параллельно соединенных последовательностей, может восстанавливаться до коэффициента приблизительно 1,53 для мощности, производимой посредством последовательности с 19 панелями в отдельности. Вышеописанный эксперимент показывает, что (а) явление взаимной аннигиляции мощности существует; и (b) способы правильной развязки могут предотвращать явление.

В еще одном эксперименте PV-станция была выполнена с возможностью иметь два блока генерирования мощности; каждый блок состоит из 85 солнечных панелей одного и того же производителя и модели. Каждый из двух блоков генерирования мощности был сконфигурирован с пятью (5) параллельно соединенными последовательностями фотоэлектрических модулей, чтобы накапливать произведенную DC-энергию. Две последовательности фотоэлектрических модулей были сконфигурированы с помощью последовательно соединенных 15 панелей, две последовательности с последовательно соединенными 17 панелями и другая последовательность с последовательно соединенными 21 панелью. Когда напряжения генерирования максимальной мощности этих 10 последовательностей измеряются отдельно ровно в полдень с ясным небом, напряжения генерирования максимальной мощности изменяются в диапазоне от 420 В самое меньшее до 610 В самое большее. Таким образом, эти параллельно соединенные последовательности фотоэлектрических солнечных панелей имеют очень разные напряжения генерирования максимальной мощности под одним и тем же ясным небом.

Каждый из блоков генерирования мощности преобразует накопленную DC-мощность через различный DC/AC-преобразователь в AC-мощность. Для измерения энергии и мощности, произведенной в каждом производственном блоке, кВт-ч-измеритель и ваттметр были присоединены к AC-выходу каждого из DC/AC-преобразователей каждого производственного блока. Эти блоки были затем присоединены к трансформатору, чтобы предоставлять AC-мощность в сеть. С помощью 72 идентичных показаний двух измерителей мощности в течение 36-дневного периода, и с помощью идентичных показаний двух кВт-ч-измерителей в конце 36-дневного периода, подтвердилось, что все элементы в этих двух блоках генерирования мощности (включающих в себя два набора измерительных датчиков) были по существу идентичными.

Один блок генерирования мощности был затем модифицирован, чтобы быть сконфигурированным с помощью 4 последовательностей из 21 панели (и 1 панель не используется); в то время как другой блок генерирования мощности остался неизменным из вышеописанных 5 последовательностей. Измеренное

производство мощности модифицированного блока генерирования мощности было типично в 4,1 раза больше генерирования мощности другого блока для генерирования мощности ровно в полдень и при ясном небе. Затем мы измеряли в течение шестидесяти (60) дней накопленную предоставленную энергию, которая была получена из показаний двух кВт·ч-измерителей. Модифицированный блок генерирования мощности предоставил энергию в сеть в 3,38 раза больше по сравнению с немодифицированным блоком генерирования мощности. Вышеописанные эксперименты ясно и определенно доказали, что явление взаимной аннигиляции мощности на самом деле существует в параллельно соединенных последовательностях фотоэлектрических модулей; особенно с последовательностями, имеющими очень разные вольт-амперные характеристики или очень разные напряжения максимальной мощности.

В заключение, правильный способ развязки в соответствии с принципом, описанным в данном документе, может предотвращать утечку энергии из энергохранилища через последовательности солнечных панелей; а также может предотвращать обнаруженное явление взаимной аннигиляции мощности между последовательностями фотоэлектрических модулей.

Раздел 8. Эксперименты, которые доказали существование избыточной энергии.

Перед описанием конструкций MEURT-оптимизатора этот раздел описывает эксперименты, чтобы окончательно доказать существование избыточной энергии в таких фотоэлектрических станциях; которое предсказано упомянутыми патентными публикациями, US2016/0036232 и US2017/0149250 A1. Чтобы напомнить, упомянутые патентные публикации определяют избыточную энергию как электроэнергию, произведенную, но не извлеченную и/или использованную перед превращением в тепло. В частности, в фотоэлектрической станции, "избыточная энергия" включает в себя оставшуюся электроэнергию, которая существует, после того как произведенная DC-энергия извлекается и преобразуется в AC-мощность посредством 3-фазных DC/AC-преобразователей. MEURT-оптимизатор может быть предназначен, чтобы захватывать/использовать эту оставшуюся электроэнергию, избыточную энергию. Последующее описывает экспериментальные установки и пошаговые выполнения экспериментов.

Фиг. 2А изображает начальную настройку фотоэлектрической станции 2000А, содержащей 2 блока 2100А и 2200А генерирования AC-мощности. Каждый из блоков 2100А и 2200А генерирования AC-мощности применяет на практике слепое MPPT-согласование; и предоставляет 3-фазную AC-мощность в электрическую сеть 2600А. Блок 2100А генерирования AC-мощности состоит из генератора 2110А DC-мощности и 3-фазного DC/AC (15 кВт) преобразователя 2130А. Блок 2200А генерирования AC-мощности состоит из генератора 2220А DC-мощности и 3-фазного DC/AC (15 кВт) преобразователя 2230А. Генератор 2110А мощности использует 2 параллельно-соединенные последовательности 2111А и 2112А фотоэлектрических модулей, чтобы генерировать DC-электричество. Генератор 2220А мощности использует другие 2 параллельно-соединенные последовательности 2221А и 2222А солнечных панелей, чтобы генерировать DC-электричество. Каждая из 4 последовательностей фотоэлектрических модулей состоит из 25 последовательно соединенных солнечных панелей; каждая панель приспособлена для генерирования 250 Вт мощности ровно в полдень и с ясным небом.

Генератор 2110А DC-мощности подает DC-мощность к 3-фазному DC/AC-преобразователю 2130А; а генератор 2220А DC-мощности подает DC-мощность к 3-фазному DC/AC-преобразователю 2230А. Эти два преобразователя 2130А и 2230А затем преобразуют поданную DC-мощность в 3-фазную AC-мощность. В эксперименте AC-выходная мощность блоков 2100А и 2200А генерирования мощности была измерена посредством двух 3-фазных AC-ваттметров (в кВт) 2351А и 2352А, соответственно. Производство AC-энергии (в кВт·ч) этих двух блоков 2100А и 2200А генерирования мощности также было измерено посредством двух кВт·ч-измерителей 2361А и 2362А, соответственно. Произведенная 3-фазная AC-мощность была затем предоставлена в сеть 2600А через трансформатор 2500А. фотоэлектрическая станция работала; и производство энергии двух блоков 2100А и 2200А для генерирования AC-мощности измерялось в течение 7 дней.

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 2100А и 2200А генерирования мощности (включающих в себя два комплекта инструментов для измерения) являются по существу идентичными. После этого этапа один из двух блоков 2200А генерирования AC-мощности был сохранен неизменным, в то время как другой блок 2100А генерирования AC-мощности был модифицирован с другой конфигурацией 2100В, которая изображена с левой стороны на фиг. 2В.

Блок 2200В генерирования мощности на фиг. 2В является немодифицированным блоком 2200А генерирования мощности на фиг. 2А. Также, элементы 2351В, 2361В, 2352В, 2362В, 2500В, 2600В на фиг. 2 являются такими же, что и элементы 2351 А, 2361 А, 2352А, 2362А, 2500А, 2600А, соответственно, на фиг. 2А. Кроме того, хотя конфигурация блока 2100В генерирования мощности отличается на фиг. 2В по сравнению с блоком 2100А генерирования мощности на фиг. 2А, некоторые из элементов блока 2100В генерирования мощности на фиг. 2В являются такими же, что и элементы, которые включены в блок 2100А генерирования мощности на фиг. 2А. Например, последовательности 2111В и 2112В фотоэлектрических модулей на фиг. 2 являются такими же, что и -последовательности 2111А и 2112А фотоэлек-

трических модулей, соответственно, на фиг. 2А. Аналогично, DC/AC-преобразователь 2130В на фиг. 2В является таким же, что и DC/AC-преобразователь 2130А на фиг. 2А.

Следующие шесть (6) этапов описывают, как блок 2100А генерирования мощности был модифицирован в конфигурацию 2100В, и описывается относительно левой стороны на фиг. 2В. Этапом 1 было добавление набора развязывающих диодов 2311В между последовательностями 2111В и 2112В солнечных панелей и 3-фазным DC/AC-преобразователем 2130В, который применяет на практике слепое МРРТ-согласование. Этапом 2 было добавление энергохранилища 2410В в конфигурацию. Этапом 3 было соединение энергохранилища 2410В с DC-клеммами DC/AC-преобразователя 2130В через другой набор развязывающих диодов 2312В и через переключатель SW1. Этапом 4 было добавление другого 3-фазного DC/AC-преобразователя 2130S (20 кВт) в конфигурацию, причем этот преобразователь 2130S работал в соответствии с управлением предназначенного MEUPT-контроллера 2420В. Этапом 5 было соединение DC/AC-преобразователя 2130S с энергохранилищем 2410В через другой набор развязывающих диодов 2313В и через переключатель SW2. Этапом 6 было соединение выходных клемм преобразователя 2130S с набором 2351В и 2361В 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. 1В, так что соответствующие устройства могут быть введены (или удалены) в эксперименты в правильное время на предназначенных этапах выполнения эксперимента, описанных ниже.

Первой ночью, после того как вышеупомянутая модификация была выполнена; SW1 был включен, в то время как переключатели SW2 и SW3 были выключены. Преобразователи 2130В и 2230В начали работать следующим ранним утром. Измерители 2351В и 2352В мощности, измеряющие два выхода блоков 2100В и 2200В генерирования мощности, показали одинаковое показание. Хранилище 2410В также начал заряжаться, как указано посредством измерения высокого напряжения на клеммах хранилища 2410В. Система работала, как описано, весь первый день. Измеренная энергия, предоставленная от двух блоков 2100В и 2200В генерирования мощности, была одинаковой; как показано в показаниях кВт·ч-измерителей 2361В и 2362В. Этот экспериментальный этап продемонстрировал, что добавленные наборы 2311В развязывающих диодов и хранилище 2410В не изменили генерирования мощности и энергии блока 2100В генерирования мощности.

Переключатели SW1, SW2 и SW3 были включены ночью после первого дня работы (второй ночью). Преобразователи 2130В и 2230В начали работать рано ранним утром (второй день), в то время как преобразователь 2130S начал работать при несколько низком уровне преобразования мощности приблизительно через 15 минут после того, как преобразователи 2130В и 2230В начали работать. После этого преобразователь 2130 повышал свой уровень мощности преобразования примерно каждые 2 минуты; что согласуется с проектом контроллера и увеличением уровня энергии хранилища. Показание измерителя 2351В мощности (для блока 2100В) достигло почти двойного показания измерителя 2352В мощности (для блока 2200В) за весь день - почти до заката. Энергия, предоставленная от двух блоков 2100В и 2200В генерирования мощности в конце второго дня, была получена из показаний двух кВт·ч-измерителей. Результат показал, что энергия, предоставленная от модифицированного блока 2100В генерирования мощности, была больше вдвое по сравнению с энергией, предоставленной от немодифицированного блока 2200В генерирования мощности. В течение следующих шести последовательных дней переключатели SW1, SW2 и SW3 оставались включенными, и энергия, предоставленная от модифицированного блока 2100В генерирования мощности, была постоянно вдвое больше энергии блока 2200В генерирования мощности каждый день.

Следующей ночью переключатели SW2 и SW3 были выключены. Измеренная энергия, предоставленная от блоков 2100В и 2200В генерирования 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 2100В генерирования мощности стало снова больше вдвое по сравнению с производством энергии блока 2200В генерирования мощности каждый день в течение последующих 5 последовательных дней с переключателями SW2 и SW3, остающимися включенными.

Как описано выше, пошаговое выполнение этих экспериментов окончательно доказывает существование упомянутой избыточной энергии в фотоэлектрической станции, как спрогнозировали упомянутые патентные публикации (US2016/0036232 и US2017/0149250 A1), В частности, в фотоэлектрической станции, когда произведенная DC-энергия извлекается посредством 3-фазного DC/AC-преобразователя, оставшаяся энергия все еще существует. MEUPT-оптимизатор может захватывать и использовать эту избыточную энергию, чтобы увеличивать электричество, предоставляемое в электрическую сеть.

Раздел 9. Конфигурации спроектированного MEUPT-оптимизатора.

Модифицированный блок 2100В генерации мощности (как описано выше и изображено на фиг. 2В) может служить в качестве примера PV-блока генерации мощности, включающего в себя MEUPT-оптимизатор. В этом случае, MEUPT-оптимизатор содержит три набора 2311В, 2312В и 2313В развязывающих

вающих диодов; хранилище 2140В и MEURT-контроллер 2320В. Отметим, что набор развязывающих диодов называется "развязывающим устройством" далее в данном документе.

Соединения модулей MEURT-оптимизатора изображаются на фиг. 2В и описаны выше. Отметим, что избыточная энергия пассивно извлекается посредством хранилища 2410В энергии в этом варианте осуществления. Другое устройство извлечения мощности содержится в качестве модуля в 3-фазном DC/AC-инверторе 2130S, который извлекает избыточную энергию, которая хранится в хранилище 2410В. Уровень преобразования AC-мощности преобразователя 2130S регулируется посредством MEURT-контроллера 2320В, так что мощность, которая заряжается в энергохранилище 2410В, приблизительно уравнивается с мощностью, разряжаемой из энергохранилища 2410В. Следовательно "полезная" мощность, заряжаемая в хранилище в течение периода, может быть настолько малой, насколько желательно. Меньшие заряды полезной мощности являются предпочтительными для обеспечения меньшего энергохранилища 2410В, за счет более строгого управления посредством MEURT-контроллера 2320В.

Другой вариант осуществления изображен на фиг. 3. Этот вариант осуществления иллюстрирует конфигурацию фотоэлектрической станции 3000, включающей в себя MEURT-оптимизатор, который содержит только один блок 3100 генерирования AC-мощности, который использует 500 кВт-ные солнечные панели 3110 для преобразования солнечной энергии в DC-электрическую энергию. Другими словами, блок 3100 генерирования AC-мощности состоит из генератора 3110 DC-мощности и 3-фазного DC/AC (500 кВт) преобразователя 3130. Генератор 3110 мощности использует 80 параллельно соединенных последовательностей солнечных панелей, чтобы генерировать DC-электричество. Каждая из 80 последовательностей солнечных панелей состоит из 25 последовательно соединенных солнечных панелей; каждая панель заявляется имеющей способность генерирования DC-мощности 250 Вт ровно в полдень и при ясном небе. Отметим, что этот DC-генератор 3110 называется 500 кВт-ным генератором электрической мощности ($80 \times 25 \times 250 \text{ Вт} = 500 \text{ кВт}$); и эта фотоэлектрическая станция называется 500 кВт-ной фотоэлектрической станцией.

Как изображено на фиг. 3, генератор 3110 мощности подает DC-мощность к трехфазному DC/AC-преобразователю 3130 (с заявленными 500 кВт) через развязывающее устройство 3311. Генератор 3110 также подает DC-мощность в энергохранилище 3410 через развязывающее устройство 3312 и служит в качестве источника DC-энергии, который заряжает энергохранилище 3410. Следовательно, избыточная энергия пассивно извлекается посредством хранилища 3410. Хранилище 3410 затем подает (или разряжает) DC-мощность к другому 3-фазному DC/AC-преобразователю 3130S (с заявленными 500 кВт) через развязывающее устройство 3313. Преобразователь 3130 работает как MPPT-оптимизатор, в то время как преобразователь 3130S работает как MEURT-контроллер. Преобразователи 3130 и 3130S преобразуют отдельно подаваемую DC-мощность в 3-фазную AC-мощность и доставляют в электрическую сеть 3600 через один и тот же трансформатор 3500.

Отметим, что DC/AC-преобразователи, используемые в вышеприведенных описаниях, могут быть классифицированы на два типа; а именно, один тип, который получает свою DC-мощность непосредственно от последовательностей фотоэлектрических солнечных панелей, и другой тип, который получает свою DC-мощность из энергохранилища. Когда тип для различения преобразователя является необходимым в описании и в последующем подробном описании, тип, получающий DC-мощность от последовательностей фотоэлектрических солнечных панелей, также называется "PS DC/AC-преобразователем"; в то время как другой тип, получающий DC-мощность из энергохранилища, также называется "ER DC/AC-преобразователем" в данном документе. Когда различение необходимо в случаях, которые используют 3-фазные DC/AC-преобразователи в этом описании, преобразователи будут также классифицированы и называться в данном документе "PS 3-фазный DC/AC-преобразователь" и "ER 3-фазный DC/AC-преобразователь", соответственно.

Для повторения на несколько широком уровне; как показывает конфигурация, изображенная на фиг. 4, этот MEURT-оптимизатор предоставляет услугу оптимизации для фотоэлектрической станции мощностью x МВт, которая имеет правильно размещенные последовательности солнечных панелей с номинальной способностью генерации мощности x МВт. Произведенная DC-мощность извлекается посредством заявленного производителем y МВт-ного "PS 3-фазного DC/AC-преобразователя" 4130 через развязывающее устройство 4311. Оставшаяся мощность заряжается в энергохранилище 4410 через другое развязывающее устройство 4312; таким образом, извлекая и сохраняя избыточную энергию. Сохраненная избыточная энергия затем преобразуется посредством другого заявленного производителем z МВт-ного "ER 3-фазного DC/AC-преобразователя" 4130S через другое развязывающее устройство. Один из преобразователей 4130 регулируется посредством MPPT-оптимизатора, в то время как другой преобразователь 4130S регулируется посредством MEURT-контроллера. Оба преобразователя преобразуют правильное количество DC-мощности в 3-фазную AC-мощность; и предоставляют 3-фазную AC-мощность в электрическую сеть 4600 через один и тот же трансформатор 4500. Отметим, что $x=y=z=0,5$ в этой конфигурации.

Фиг. 5 изображает другой вариант осуществления включения MEURT-оптимизатора в большую фотоэлектрическую станцию. Электростанция оборудуется последовательностями 5110 солнечных панелей

с номинальной мощностью 0,5 МВт и двумя заявленными 500 кВт-ными 3-фазными DC/AC-преобразователями 5130 и 5130S. Этот вариант осуществления иллюстрирует другую конфигурацию для MEURT-оптимизатора. фотоэлектрическая станция 5000 может быть задумана как содержащая один блок генерирования AC-мощности (далее в данном документе также называемый "блоком 5100 генерирования AC-мощности"). Блок 5100 генерирования AC-мощности состоит из генератора 5110 DC-мощности, который состоит из солнечных панелей с номинальной мощностью 500 кВт и двух 3-фазных DC/AC (каждый заявлен как 500 кВт-ный) преобразователей 5130 и 5130S. Генератор 5110 мощности использует 80 параллельно соединенных последовательностей солнечных панелей, которые генерируют DC-электричество. Каждая из 80 последовательностей солнечных панелей состоит из 25 последовательно соединенных солнечных панелей; каждая солнечная панель классифицируется как имеющая возможность генерирования мощности 250 Вт. Энергохранилище 5410 получает DC-электрическую мощность от генератора 5110 через развязывающее устройство 5311. Два 3-фазных DC/AC-преобразователя 5130 и 5130S получают DC-мощность из хранилища 5410 через два отдельных развязывающих устройства, включающих в себя развязывающее устройство 5312 для преобразователя 5130 и развязывающее устройство 5313 для преобразователя 5130S. Преобразователи 5130 и 5130S регулируются посредством MEURT-контроллера, чтобы потреблять подходящее количество мощности из хранилища 5410 и преобразовывать DC-мощность в 3-фазную AC-мощность для предоставления в электрическую сеть 5600 через трансформатор 5500.

Чтобы несколько широко представить конфигурацию, изображенную на фиг. 5: MEURT-оптимизатор предоставляет услугу оптимизации x МВт-ной фотоэлектрической станции. Эта фотоэлектрическая станция имеет один блок генерирования AC-мощности с последовательностями солнечных панелей, имеющими суммарную номинальную способность генерации DC-мощности x МВт. DC-генератор заряжает энергохранилище через развязывающее устройство. Энергохранилище подает DC-электричество двум 3-фа Сузным DC/AC-преобразователям через два отдельных набора развязывающих устройств. суммарная заявленная производителем способность преобразования двух "ER 3-фазных DC/AC-преобразователей" равна $z_1+z_2=z$ МВт. Два преобразователя регулируются посредством MEURT-контроллера, чтобы преобразовывать правильное количество DC-мощности в 3-фазную AC-мощность. Электричество, произведенное посредством двух преобразователей, предоставляется в электрическую сеть через один и тот же трансформатор. Вышеописанная конфигурация скопирована и изображена на фиг. 6. Отметим, что $x=0,5$, $y=0$, $z=1$ в этой конфигурации.

Это описание сейчас будет сравнивать две конфигурации, изображенные на фиг. 4 и 6. В конфигурации, изображенной на фиг. 4, DC-генератор подает DC-мощность "PS 3-фазному DC/AC-преобразователю" с заявленной производителем производительностью y МВт; и заряжает оставшуюся мощность в энергохранилище. На фиг. 4 энергохранилище подает DC-мощность "ER 3-фазному DC/AC-преобразователю" с заявленной производителем производительностью z МВт. При этом нет "PS 3-фазного DC/AC-преобразователя" в конфигурации, изображенной на фиг. 6 (т.е. $y=0$), вся сгенерированная DC-мощность заряжается в энергохранилище через развязывающее устройство; и энергохранилище подает DC-электричество в два "ER 3-фазных DC/AC-преобразователя" через два отдельных набора развязывающих устройств. Следовательно, $x=y=z=0,5$ в конфигурации на фиг. 3; в то время как $x=0,5$, $y=0$, $z=1$ в конфигурации на фиг. 6. В одном дополнительном варианте осуществления на фиг. 6 нет энергохранилища 6410. Вместо этого последовательности 6110 солнечных панелей предоставляют DC-мощность преобразователям 6130 через развязывающее устройство 6311.

Теперь, единственной оставшейся конструктивной проблемой для MEURT-оптимизатора является идентификация оптимального соотношения для соответствия мощности между параметрами, представляющими номинальную производительность последовательностей солнечных панелей и номинальную производительность преобразователей. В частности, задачей является идентификация соотношения между значениями x , y и z в оптимальной ситуации. Напомним, что значение суммы $y+z$ не больше значения x в традиционной фотоэлектрической станции, как описано в разделе 2.

Также отметим, что значение x обозначает МВт-ное значение номинальной производительности для генерирования DC-мощности последовательностей фотоэлектрических модулей; значение y обозначает суммарное МВт-ное значение заявленной изготовителем производительности "PS 3-фазного DC/AC-преобразователя", который преобразует DC-энергию, подаваемую посредством Последовательностей фотоэлектрических модулей; в то время как значение z обозначает суммарное МВт-ное значение заявленной изготовителем производительности "ER 3-фазного DC/AC-преобразователя", который преобразует DC-энергию, подаваемую посредством энергохранилища

Например, на фиг. 6, x равно 0,5, заявленная изготовителем суммарная производительность PV 0,5 МВт; y равно 0, что означает, что "PS 3-фазный DC/AC-преобразователь" не установлен"; z равно 1, что означает суммарную заявленную изготовителем производительность 1 МВт для двух "ER 3-фазных DC/AC-преобразователей", которая содержится для получения DC-мощности из энергохранилища и преобразования DC-энергии в 3-фазную AC-мощность. Отметим, что значение $y+z$ не меньше в 2 раза по сравнению со значением x в обеих конфигурациях, описанных выше. Термин "производительность" также называется "номинальной мощностью" устройства; и является взаимозаменяемым далее в данном

документе, пока не указано иное.

Раздел 10. Оптимальное соотношение для согласования мощности.

Вследствие различных мер регулирования (отраслей промышленности) определение номинальной мощности для солнечных панелей отличается от определения номинальной мощности для DC/AC-преобразователей. Номинальная мощность солнечных панелей определяется как максимальная DC-мощность, которую солнечная панель может производить ровно в полдень при ясном небе. Отрасль генерирования солнечных панелей использует предварительно определенный тип осветительных ламп (называемых в данном документе "стандартной лампой") для моделирования ясного неба; а полдень моделируется посредством излучения светового потока перпендикулярно через поверхность солнечной панели. Следовательно, заявленная изготовителем производительность для генерирования мощности может быть очень близкой к реальной производительности DC-генератора. Эксперименты, выполненные изобретателями, также подтвердили вышеизложенное утверждение. Суммарная производительность генерации DC-мощности последовательностей фотоэлектрических солнечных панелей, следовательно, оценивается как правдоподобная; и наименование "заявленная изготовителем производительность" пропускаться в данном документе при описании номинальной мощности последовательностей солнечных панелей. С другой стороны, отрасль генерирования DC/AC-преобразователей определяет номинальную мощность DC/AC-преобразователей согласно правилам электроэнергетической отрасли, называемым "правилами электроэнергетической системы" в данном документе. Эти правила и определение производительности DC/AC-преобразователя разъясняются следующим образом.

Отрасль AC-электроэнергетических систем обеспечивает соблюдение правил (называемых правилами электроэнергетических систем), чтобы гарантировать, что построенная 3-фазная AC-электросеть может удовлетворять заявленной производительности по доставке мощности. 3-фазная AC-электросеть состоит из 3 или 4 силовых линий, которые могут доставлять изменяющиеся по времени синусоидальные функции напряжения и тока в каждой паре силовых линий в качестве одной фазы. Правила электроэнергетической системы определяют напряжение, заявленное в спецификации как "стандартное" максимальное напряжение, которое силовые линии должны выдерживать (называется "напряжением в линии"). Аналогично указанный максимальный ток, заявленный в спецификации, является максимальным током, который силовые линии должны переносить (называется "максимальным фазным током"). Когда устройство изготавливается в соответствии с правилами электроэнергетической системы, напряжение, заявленное в спецификации устройства, является максимальным напряжением, которое все связанные компоненты должны выдерживать. Аналогично, максимальный ток, заявленный в спецификации, является максимальной возможностью переноса тока для всех связанных компонентов одной фазы, соединяющихся с одной парой силовых линий. Изменяющиеся по времени функции напряжения и тока устройства также должны соответствовать синусоидальной функции каждой фазы в AC-электросети.

Повторимся, указанное напряжение 3-фазного DC/AC-преобразователя определяется как линейное напряжение 3-фазной мощности; указанный максимальный ток определяется как максимальная способность переноса тока пары силовых линий для каждой фазы; и указанная максимальная мощность определяется как итоговая сумма максимальной допустимой мощности, которую три фазы могут выдерживать. Другими словами, когда соответствуют правилам электроэнергетической системы; силовые линии каждой фазы и присоединенные силовые устройства должны быть приспособлены для передачи одной трети (1/3) указанной максимальной мощности, иначе говоря, "заявленная изготовителем номинальная мощность" 3-фазного DC/AC-преобразователя равна $3 * U * I$, где U - это напряжение фазы, а I - это ток фазы. Каждая пара силовых линий является приспособленной для доставки $U * I$ мощности, или 1/3 "заявленной изготовителем номинальной мощности", и каждый модуль, соединяющийся с парой силовых линий, также должен переносить или доставлять 1/3 указанной заявленной номинальной мощности, когда соответствует правилам электроэнергетической системы.

Например, возьмем 3-фазный DC/AC-преобразователь, указывающий "AC-напряжение=315 В переменного тока; максимальный ток=916 А; и максимальную выводимую мощность=500 кВт", в качестве примера. Спецификация "AC-напряжение=315 В переменного тока" должна читаться как: "выходное напряжение линии этого преобразователя равно 315 В". Или, когда 3 фазы уравниваются, напряжение U фазы для каждой фазы равно $U = 315 / 1,732 = 181,9$ В (где 1,732 является квадратным корнем из 3, что является отношением напряжения линии к напряжению фазы). Указанный "максимальный ток=916 А" следует читать так, что силовые линии и все компоненты в каждой фазе проектируются, чтобы обеспечивать максимальную допустимую нагрузку по току, $I = 916$ А. Указанная "максимальная выходная мощность=500 кВт" следует понимать как максимальную способность преобразования и доставки мощности всех компонентов каждой фазы DC/AC-преобразования $= U * I = 181,9 * 916 = 500/3$ кВт; и суммарная максимальная способность преобразования и доставки мощности связанных модулей в 3 фазах преобразования равна сумме каждой фазы, $3 * U * I = 3 * 181,9 * 916 = 500$ кВт, что является определенной "заявленной изготовителем номинальной мощностью" $= 3 * U * I$, когда соответствует правилам электроэнергетической системы, изложенным в предыдущем параграфе.

3 фазы в 3-фазном DC/AC-преобразователе строго согласуются, чтобы иметь сдвиги по фазе 120°. Другими словами, одна пара силовых линий (фаза) доставляет изменяющуюся по времени мощность $U * I$

$\sin^2(\omega t)$; в то время как вторая фаза доставляет изменяющуюся по времени мощность $U \cdot I \sin^2(\omega t + 120^\circ)$; а третья фаза доставляет изменяющуюся по времени мощность $U \cdot I \sin^2(\omega t - 120^\circ)$. Каждая пара силовых линий трех фаз доставляет три осциллирующих передачи АС-мощности, связанных друг с другом со строгим соответствием. Отметим, что емкость для преобразования мощности, $P(t)$, не равна определенной "заявленной изготовителем номинальной мощности". Емкость для преобразования мощности, $P(t)$, выражается как функция времени и получается в соответствии с определенными ограничениями 3-фазной АС-мощности.

Другими словами, емкость для DC/AC-преобразования мощности, $P(t)$, получается из суммы изменяющихся по времени выходных мощностей 3 фаз; со строго сопоставленным сдвигом фаз, равным 120° ; и с формами волн сигналов мощности, которые соответствуют квадратам синусоидальных колебаний $\sin(\omega t)$, или $\cos(\omega t)$; и синхронизированным с электрической сетью (одинаковая фаза и частота), что вынуждает угловую частоту ω быть постоянной.

Теперь, давайте получим изменяющуюся по времени емкость преобразования мощности, $P(t)$, 3-фазного DC/AC-преобразователя. Емкость преобразования мощности 3-фазного DC/AC-преобразователя как функция времени равна $P(t) = U \cdot I (\sin^2(\omega t) + \sin^2(\omega t + 120^\circ) + \sin^2(\omega t - 120^\circ))$. Как определено выше, U является напряжением фазы, I является током фазы, а ω является постоянной угловой частотой электросети. Также, может быть показано, что $\sin^2(\omega t + 120^\circ) + \sin^2(\omega t - 120^\circ) = \cos^2(\omega t) + 1/2$. Следовательно, емкость преобразования мощности, $P(t)$, 3-фазного DC/AC-преобразователя как функция времени равна $P(t) = U \cdot I (\sin^2(\omega t) + \sin^2(\omega t + 120^\circ) + \sin^2(\omega t - 120^\circ)) = U \cdot I (\sin^2(\omega t) + \cos^2(\omega t) + 1/2) = U \cdot I (1 + 1/2) = 3/2 (U \cdot I)$.

Другими словами, итоговая сумма этих строго сопоставленных трех пульсирующих передач мощности в трех фазах является постоянной. Другими словами, общая суммарная подача мощности этих трех пар силовых линий является постоянной. Или общая сумма трех модулей, связанных с тремя фазами, является постоянной. Однако эта константа равна лишь половине ($1/2$) "заявленной допустимой мощности". Это является соотношением между способностью преобразования мощности и определенной "заявленной допустимой мощностью" 3-фазного DC/AC-преобразователя, когда соответствует правилам электроэнергетической системы.

Напомним, что, как описано ранее, "заявленная изготовителем номинальная мощность", или упомянутая "заявленная изготовителем допустимая мощность" 3-фазного DC/AC-преобразователя равна $3 \cdot U \cdot I$, когда соответствует правилам электроэнергетической системы. Сравнивая это со способностью преобразования мощности, полученной выше, $P(t) = 3/2 (U \cdot I)$; ясно, что полученная способность DC/AC-преобразования мощности 3-фазного DC/AC-преобразователя равна лишь половине "заявленной изготовителем допустимой мощности".

В качестве примера, возьмем снова вышеописанный 3-фазный DC/AC-преобразователь; который указывает "АС-напряжение=315 В переменного тока; максимальный ток фазы=916 А; и максимальная выходная мощность=500 кВт". В реальности, способность DC/AC-преобразования мощности этого 3-фазного DC/AC-преобразователя равна лишь 250 кВт. Чтобы получить вышеупомянутое заключение, мы сначала подтвердили, что заявленная максимальная мощность, 500 кВт, действительно равна $3 \cdot U \cdot I$, где U - это напряжение фазы, полученное из указанного напряжения в линии, а I - это заявленный максимальный ток; способность преобразования мощности этого преобразователя равна $3/2 \cdot U \cdot I = 250$ кВт.

Оптимальное соотношение для согласования мощности для параметров x , y и z (как определено) является таким, что $(y+z)$ должно быть не меньше $2x$. Когда связанная фотоэлектрическая станция состоит из x МВт-ных последовательностей фотоэлектрических солнечных панелей; при этом "PS 3-фазные DC/AC-преобразователи" имеют суммарную "заявленную изготовителем допустимую мощность" y МВт; и при этом "ER 3-фазные DC/AC-преобразователи" имеют суммарную "заявленную изготовителем допустимую мощность" z МВт. "PS 3-фазные DC/AC-преобразователи" и "ER 3-фазные DC/AC-преобразователи" могут быть задействованы либо посредством одного или несколько MPPT-контроллеров, либо посредством одного или несколько MEURT-контроллеров. Для применения на практике MEURT-оптимизации является предпочтительным задействовать все DC/AC-преобразователи посредством MEURT-контроллера(ов).

Раздел 11. Итоги.

Фиг. 7 абстрактно иллюстрирует конфигурацию фотоэлектрической солнечной электростанции 7000. Электростанция содержит x МВт-ные солнечные панели, суммарно размещенные в последовательностях 7100 солнечных панелей. DC-мощность, сгенерированная в последовательностях 7100 солнечных панелей, предоставляет входную DC-мощность для группы 3-фазных DC/AC-преобразователей 7301 через развязывающее устройство 7201; и заряжает избыточную мощность в хранилище 7400 через развязывающее устройство 7202. Энергохранилище 7400 предоставляет входную DC-мощность в группу 3-фазных DC/AC-преобразователей 7302 через развязывающее устройство 7203. Оба 3-фазных DC/AC-преобразователя 7301 и 7302 предоставляют преобразованную 3-фазную АС-мощность в электрическую сеть 7600 через трансформатор 7500. Суммарная "заявленная изготовителем допустимая мощность" преобразователей 7301 равна y МВт. Суммарная "заявленная изготовителем допустимая мощность" преоб-

разователей 7302 равна z МВт. Значение суммы $(y+z)$ не меньше значения $2x$. Напомним, что при использовании аналогичной конфигурации для описания традиционной фотоэлектрической станции, которая описана в разделе 2, значение $(y+z)$ не больше значения x . Следовательно, когда конструктивное решение со значением $(y+z)$ больше x или даже больше x в 1,1 раза; это означает, что некоторая часть избыточной энергии может быть захвачена для улучшения электроэнергии, предоставляемой в электрическую сеть.

Преобразователи 7301 и 7302, все могут быть задействованы посредством MEURT-контроллера(ов), описанных выше. В некоторых вариантах осуществления, некоторые, один или даже ни один из преобразователей не задействуются посредством MEURT-контроллера. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления, одно или некоторые из развязывающих устройств 7201, 7202 и 7203 могут быть пропущены в конфигурации. Последовательности 7100 фотоэлектрических солнечных панелей предоставляют входную DC-мощность для преобразователей 7301. Следовательно, они называются "PS-преобразователями" в данном документе. Энергохранилище 7400 предоставляет входную DC-мощность для преобразователей 7302. Следовательно, они называются "ER-преобразователями" в данном документе. Выражения суммарная "заявленная изготовителем номинальная мощность" и суммарная "заявленная изготовителем допустимая мощность" должны быть сокращены как "заявленная мощность" в данном документе.

Повторяя описание конфигурации, изображенной на фиг. 7: фотоэлектрическая станция 7000 содержит x МВт-ные последовательности 7100 солнечных панелей в качестве генератора DC-мощности. Генератор 7100 DC-мощности обеспечивает ввод для "PS-преобразователей" 7301 с "заявленной мощностью" y МВт, через развязывающее устройство 7201; и заряжает оставшуюся мощность в хранилище 7400 через другое развязывающее устройство 7202. Хранилище 7400 обеспечивает ввод в "ER-преобразователи" 7302 с "заявленной мощностью" z МВт через развязывающее устройство 7203. Все 3-фазные DC/AC-преобразователи 7301 и 7302 предоставляют преобразованную 3-фазную AC-мощность в электрическую сеть 7600 через трансформатор 7500. В некотором варианте осуществления значение $(y+z)$ не меньше значения $2x$. Однако, когда значение $(y+z)$ больше значения x , конструктивное решение может получать частичную пользу для улучшения продажи электрической энергии в электрическую сеть.

MEURT-оптимизатор в соответствии с принципами, описанными в данном документе, может обслуживать небольшую фотоэлектрическую станцию или большую фотоэлектрическую станцию, содержащую один или несколько блок(ов) генерирования AC-мощности. Кроме того, с правильно спроектированным развязывающим устройством, утечка энергии из энергохранилища через последовательности фотоэлектрических солнечных панелей может быть предотвращена. Кроме того, с правильно спроектированным развязывающим устройством, обнаруженное явление "взаимной аннигиляции мощности" может быть предотвращено. Также, энергохранилище может быть использовано для приема только избыточной энергии после извлечения энергии "PS-преобразователя" или приема всей произведенной DC-энергии прежде какого-либо извлечения. Наконец, MEURT-оптимизатор может также обеспечивать обслуживание для фотоэлектрической станции, оборудованной однофазными DC/AC-преобразователем(ями).

Раздел 12. Конструктивные ограничения MEURT-контроллера.

Фиг. 8 иллюстрирует MEURT-контроллер 8000 (также называемый "системным контроллером"), который представляет пример MEURT-контроллера 2320В на фиг. 2В. MEURT-контроллер 8000 состоит из 3 исполняемых компонентов: компонента 8100 обнаружения, компонента 8200 определения и компонента 8300 доставки.

Компонент 8100 обнаружения измеряет уровень сохраненной энергии в хранилище 8400. Примером хранилища является хранилище 2410В на фиг. 2В, энергохранилище 3410 на фиг. 3, энергохранилище 4410 на фиг. 4, энергохранилище 5410 на фиг. 5, энергохранилище 6410 на фиг. 6 и энергохранилище 7410 на фиг. 7.

Компонент 8200 определения определяет правильный уровень потребления мощности, чтобы почти уравновешивать заряд, предоставляемый в и разряжаемый из энергохранилища 8400.

Компонент 8300 доставки доставляет кодированное сообщение о вышеопределенном правильном уровне потребления мощности избыточному DC/AC-преобразователю(ям) 8500. Преобразователи интерпретируют кодированное сообщение, и подчиняются кодированному сообщению, так что преобразователь(и) могут непрерывно работать с указанным уровнем мощности, чтобы почти уравновешивать заряжаемую энергию. Примером преобразователей 8500, которые потребляют мощность из хранилища 8400, являются преобразователи 2130S на фиг. 2В, преобразователи 3130S на фиг. 3, преобразователи 4130S на фиг. 4, преобразователи 5130S на фиг. 5, преобразователи 6130S на фиг. 6, преобразователи 7302 на фиг. 3.

Для того, чтобы получать экономически выгодный MEURT-оптимизатор, конструктивное решение MEURT-контроллера принимает во внимание следующие параметры и переменные, (1) емкость энергохранилища 8400; (2) скорость повышения/понижения мощности DC/AC-преобразователей 8500; (3) вольт-амперные характеристики последовательностей солнечных панелей; (4) климат в местоположении фотоэлектрической станции; и (5) способность MEURT-контроллера, работающего с избыточным

DC/AC-преобразователем, минимизировать разницу между (или уравнивать) величиной заряда, предоставленного в энергохранилище, и величиной заряда, потребленного из энергохранилища. Прямое конструктивное решение может быть получено только при применении специально предназначенного контроллера для всех без исключения фотоэлектрических станций, принимая во внимание эти параметры и переменные.

Раздел 13. Конструктивные решения MEURT-контроллера.

Является непрактичным индивидуально проектировать MEURT-контроллер для всех без исключения фотоэлектрических станций, т.е. использовать MEURT-контроллер. С другой стороны, очень трудно следовать прямолинейному проекту для требуемого MEURT-контроллера; особенно, когда индивидуально спроектированные контроллеры не допускаются. Однако, напряжение на клеммах энергохранилища может быть рассмотрено как показатель, на который влияет каждый из 5 параметров и переменных. Следовательно, вышеупомянутые 5 конструктивных ограничений могут быть разделены на две части, когда напряжение на клеммах MEURT- энергохранилища выбирается в качестве определяющего параметра.

При сравнении измеренного напряжения на клеммах с набором характерных для местных условий "стандартных интервалов напряжения" изобретателям стало ясно, что уровень извлечения и преобразования мощности, в настоящее время выполняющихся посредством системы, может быть разбит на следующие подгруппы: уровень извлечения мощности является (1) слишком низким, (2) слишком высоким и (3) точно правильным. Следовательно, задача проектирования MEURT-контроллера может быть разделена на 1) обычный промышленный контроллер, плюс 2) индивидуально сформированная, характерная для местных условий таблица "стандартных интервалов напряжения" (называемая "таблицей интервалов напряжения" в данном документе).

После того как характерная для местных условий таблица интервалов напряжения сформирована для фотоэлектрической станции; таблица интервалов напряжения может работать совместно с промышленным контроллером, чтобы осуществлять требуемые функции MEURT-контроллера. Промышленный контроллер тогда состоит из компонента обнаружения, компонента определения и компонента доставки, как также иллюстрировано на фиг. 8. Однако в этом случае компонент 8100 обнаружения измеряет напряжение на клеммах энергохранилища 8400. Компонент 8200 определения сравнивает измеренное напряжение с таблицей интервалов напряжения; и определяет правильную величину потребления мощности, чтобы почти уравнивать заряжаемую энергию. Компонент 8300 доставки опять доставляет кодированное сообщение о вышеопределенном правильном уровне потребления мощности избыточным ОС/АС-преобразователю(ям); так что преобразователь(и) могут непрерывно работать на указанном уровне мощности, чтобы почти уравнивать входящий и исходящий заряд для энергохранилища 8400.

В одном варианте осуществления компонент 8100 обнаружения MEURT-контроллера 8000 измеряет напряжение на клеммах хранилища 8400 избыточной энергии в реальном времени. Тем не менее, компонент 8200 определения может все еще выполнять сравнение (измеренного напряжения с таблицей интервалов напряжения) в каждом предназначенном временном интервале сравнения. Это сравнение может приводить в результате к одной из следующих трех ситуаций.

(1) Если сравнение измеренного напряжения и таблицы интервалов напряжения указывает, что уровень мощности является слишком низким, контроллер 8000 может запросить (через компонент 8300 доставки), чтобы 3-фазный DC/AC-преобразователь 8500 увеличил на один уровень извлечение и преобразование мощности для следующего предназначенного временного интервала.

(2) Если сравнение измеренного напряжения и таблицы интервалов напряжения указывает, что уровень мощности является слишком высоким, контроллер 8000 может запросить (через компонент 8300 доставки), чтобы 3-фазный DC/AC-преобразователь 8500 уменьшил на один уровень извлечение и преобразование мощности для следующего предназначенного временного интервала.

(3) Если сравнение измеренного напряжения и таблицы интервалов напряжения указывает, что уровень мощности является точно правильным, контроллер 8000 может запросить, чтобы 3-фазный DC/AC-преобразователь 8500 остался на том же уровне извлечения мощности в течение следующего предназначенного временного интервала, по меньшей мере, до следующего события сравнения.

Когда уровни регулировки извлечения/преобразования мощности DC/AC-преобразователя являются достаточно небольшими, вышеупомянутое конструктивное решение может работать для всех видов емкости энергохранилища; для всех видов скорости повышения/понижения мощности DC/AC-преобразователя; для всех видов вольт-амперных характеристик последовательностей солнечных панелей; и для всех климатических условий для фотоэлектрической станции. Следовательно, является важным, чтобы контроллер мог управлять небольшими шагами регулирования для 3-фазного DC/AC-преобразователя, который потребляет мощность из энергохранилища.

Типичные традиционные централизованные 3-фазные DC/AC-преобразователи могут работать с очень небольшими шагами регулирования, когда управляются. Однако, оборудованный канал связи, называемый "сухой соединительной коробкой" в области техники (а также упоминаемый в данном документе), имеет типично только 6-битные каналы связи посредством оптических сообщений. Для управления чем 6 уровнями извлечения мощности посредством сухой соединительной коробки применяется спо-

соб кодирования-декодирования. Этот способ предоставляет возможность передачи до $2^6=64$ сообщений, чтобы управлять уровнями извлечения мощности. С помощью до 64 уровней регулировки извлечения мощности требуемая почти нулевая чистая балансировка во входящей энергии и исходящей энергии хранилища может быть осуществлена технически.

Раздел 14. Фотоэлектрическая станция, включающая в себя MEURT-оптимизатор.

Как изображено на фиг. 9, фотоэлектрическая станция 9000 включает в себя MEURT-оптимизатор 9200, который содержит MEURT-контроллер 9210. MEURT-контроллер 9200 содержит 3 исполняемых компонента; а именно, компонент 9211 обнаружения, чтобы измерять напряжение на клеммах хранилища 9400 избыточной энергии; компонент 9212 определения, чтобы сравнивать измеренное напряжение с таблицей интервалов напряжения фотоэлектрической станции; и компонент 9213 доставки, чтобы оповещать 3-фазный DC/AC-преобразователь 4502 о повышении, понижении мощности или оставаться таким же через компонент 4213 доставки. Компоненты 9211, 9212 и 9213 на фиг. 9 являются примерами компонентов 8100, 8200 и 8300, соответственно на фиг. 8. Энергохранилище 9400 на фиг. 9 является примером энергохранилища 8400 на фиг. 8. Преобразователи 9502 являются примерами преобразователей 8500 на фиг. 8.

Фотоэлектрическая станция 9000 также содержит последовательности 9100 фотоэлектрических солнечных панелей. Последовательности 9100 солнечных панелей преобразуют солнечную энергию в электричество; и доставляют сгенерированную DC-мощность в хранилище 9400 избыточной энергии через развязывающее устройство 9320. 3-фазный DC/AC-преобразователь 9502 получает DC-мощность, вводимую из хранилища 9400 избыточной энергии, через развязывающее устройство 9330. Последовательности 9100 солнечных панелей на фиг. 9 совокупно являются источником DC-энергии для заряда энергохранилища и являются примерами последовательностей 2111A и 2111B солнечных панелей на фиг. 2B, последовательности 3110 солнечных панелей на фиг. 3, последовательности 4110 солнечных панелей на фиг. 4, последовательности 5110 солнечных панелей на фиг. 5, последовательности 6110 солнечных панелей на фиг. 6 и последовательности 7110 солнечных панелей на фиг. 7. Развязывающее устройство 9320 на фиг. 9 является примером развязывающего устройства 2312B на фиг. 2B, развязывающего устройства 3312 на фиг. 3, развязывающего устройства 4312 на фиг. 4, развязывающего устройства 5311 на фиг. 5, развязывающего устройства 6311 на фиг. 6 и развязывающего устройства 7202 на фиг. 7. Развязывающее устройство 9330 на фиг. 9 является примером развязывающего устройства 2313B на фиг. 2B, развязывающего устройства 3313 на фиг. 3, развязывающего устройства 4313 на фиг. 4, развязывающего устройства 5313 на фиг. 5, развязывающего устройства 6313 на фиг. 6 и развязывающего устройства 7203 на фиг. 7.

Как изложено выше, MEURT-контроллер 9210 управляет 3-фазным DC/AC-преобразователем 9502, чтобы потреблять надлежащее количество энергии из энергохранилища 9400, чтобы уравнивать входную энергию, заряжаемую от последовательностей 9100 солнечных панелей; которая получается в результате почти нулевого заряда энергии или потребления в хранилище 9400. Таким образом, небольшое энергохранилище 9400 является достаточным для фотоэлектрической станции. Преобразованная AC-мощность от DC/AC-преобразователя предоставляется в соединяющую электрическую сеть 9700 через трансформатор 9600.

Когда используется в данном документе, выражение "исполняемый компонент" используется относительно фиг. 8 и 9. Выражение "исполняемый компонент" является названием для структуры, которая является хорошо понятной обычному специалисту в области вычисления как структура, которая может быть программным обеспечением, аппаратными средствами, микропрограммным обеспечением или их сочетанием. Например, когда реализована в программном обеспечении, обычный специалист в области техники поймет, что структура исполняемого компонента может включать в себя объекты программного обеспечения, алгоритмы, способы, которые могут исполняться в вычислительной системе, существует ли такой исполняемый компонент в динамической памяти вычислительной системы, или существует ли исполняемый компонент на компьютерно-читаемых носителях хранения информации.

В таком случае, обычный специалист в области техники признает, что структура исполняемого компонента существует на компьютерно-читаемом носителе, так что, когда интерпретируется посредством одного или несколько процессоров вычислительной системы (например, посредством потока процессора), вычислительной системе инструктируется выполнять функцию. Такая структура может быть компьютерно-читаемой непосредственно процессорами (как в случае, когда исполняемый компонент был бинарным). Альтернативно, структура может быть построена как интерпретируемая и/или компилируемая (либо в единой стадии, либо во множестве стадий), с тем, чтобы формировать такой двоичный код, который является непосредственно интерпретируемым процессорами. Такое понимание примерных структур исполняемого компонента является хорошим в понимании обычного специалиста в области вычислений при использовании выражения "исполняемый компонент".

Выражение "исполняемый компонент" также хорошо понимается обычным специалистом в области техники как включающее в себя структуры, которые реализуются исключительно или почти исключительно в микропрограммном обеспечении или аппаратных средствах, например, в программируемой пользователем вентильной матрице (FPGA), специализированной интегральной схеме (ASIC) или любой

другой специализированной схеме. Соответственно, выражение "исполняемый компонент" является выражением для структуры, которое хорошо понимается обычными специалистами в области вычислений, реализован ли он в программном обеспечении, аппаратных средствах или их сочетании.

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. Фотоэлектрическая станция, содержащая по меньшей мере один блок генерирования AC-мощности, каждый из одного или нескольких, по меньшей мере из одного блока генерирования AC-мощности содержит

генератор DC-мощности, состоящий из x МВт-ных последовательностей солнечных панелей, и выполненный для генерирования DC-мощности, причем x - это положительное число;

один или несколько первых DC/AC 3-фазных преобразователей с суммарной заявленной номинальной мощностью y МВт, первый(ые) DC/AC 3-фазные преобразователь(и) выполнен(ы) с возможностью получения части DC-мощности, генерируемой посредством генератора DC-мощности, преобразования по меньшей мере части полученной DC-мощности в AC-мощность, и предоставления этой преобразованной AC-мощности через трансформатор в электрическую сеть;

энергохранилище, выполненное с возможностью получения на входе энергохранилища по меньшей мере части оставшейся доли DC-мощности, сгенерированной посредством генератора DC-мощности, причем оставшаяся доля DC-мощности является DC-мощностью, генерируемой генератором DC-мощности, но не преобразованной в AC-мощность одним или несколькими первыми DC/AC 3-фазными преобразователями;

один или несколько вторых DC/AC 3-фазных преобразователей, имеющих суммарную заявленную номинальную мощность z МВт, где z - это положительное число, вторые DC/AC 3-фазные преобразователь(и) выполнены с возможностью получения DC-мощности из энергохранилища на входе одного или нескольких вторых DC/AC 3-фазных преобразователей, преобразования полученной DC-мощности из энергохранилища в AC-мощность и предоставления этой преобразованной AC-мощности через трансформатор в электрическую сеть, и

переключающий механизм, выполненный с возможностью включения и выключения входа энергохранилища и входа одного или нескольких вторых DC/AC 3-фазных преобразователей, так что вход энергохранилища и вход одного или нескольких вторых DC/AC 3-фазных преобразователей не являются включенными одновременно, при этом сумма y и z больше x .

2. Фотоэлектрическая станция по п.1, причем сумма y и z в 2 раза больше x .

3. Фотоэлектрическая станция по п.1, причем сумма y и z в 1,1-2 раза больше x .

4. Фотоэлектрическая станция по п.1, причем y меньше x .

5. Фотоэлектрическая станция по п.1, причем z больше x .

6. Фотоэлектрическая станция по п.1, причем по меньшей мере один блок генерирования AC-мощности является множеством блоков генерирования AC-мощности, отношение $(y+z)/x$ является по существу одинаковым для каждого из множества блоков генерирования AC-мощности.

7. Фотоэлектрическая станция по п.1, дополнительно содержащая по меньшей мере одно из следующего

первый развязывающий диод, через который генератор DC-мощности предоставляет DC-мощность первому(ым) DC/AC 3-фазному(ым) преобразователю(ям);

второй развязывающий диод, через который генератор DC-мощности предоставляет DC-мощность в энергохранилище; и

третий развязывающий диод, через который энергохранилище предоставляет DC-мощность второму(ым) DC/AC 3-фазному(ым) преобразователю(ям).

8. Фотоэлектрическая станция по п.1, дополнительно содержащая по меньшей мере два из следующего:

первый развязывающий диод, через который генератор DC-мощности предоставляет DC-мощность первому(ым) DC/AC 3-фазному(ым) преобразователю(ям);

второй развязывающий диод, через который генератор DC-мощности предоставляет DC-мощность в энергохранилище; и

третий развязывающий диод, через который энергохранилище предоставляет DC-мощность второму(ым) DC/AC 3-фазному(ым) преобразователю(ям).

9. Фотоэлектрическая станция по п.1, дополнительно содержащая следующее:

первый развязывающий диод, через который генератор DC-мощности предоставляет DC-мощность

первому(ым) DC/AC 3-фазному(ым) преобразователю(ям);

второй развязывающий диод, через который генератор DC-мощности предоставляет DC-мощность в энергохранилище; и

третий развязывающий диод, через который энергохранилище предоставляет DC-мощность второму(ым) DC/AC 3-фазному(ым) преобразователю(ям).

10. Фотоэлектрическая станция по п.1, в которой первый(е) DC/AC 3-фазный(ые) преобразователь(и) управляются с помощью контроллера для отслеживания точки максимального использования энергии (MEURT).

11. Фотоэлектрическая станция по п.10, в которой второй(ые) DC/AC 3-фазный(ые) преобразователь(и) также управляются с помощью контроллера для отслеживания точки максимального использования энергии (MEURT).

12. Фотоэлектрическая станция по п.1, в которой второй(ые) DC/AC 3-фазный(ые) преобразователь(и) управляются с помощью контроллера для отслеживания точки максимального использования энергии (MEURT).

13. Фотоэлектрическая станция по п.1, причем фотоэлектрическая станция включает первый набор из одного или нескольких развязывающих диодов и второй набор из одного или нескольких развязывающих диодов, причем второй набор из одного или нескольких развязывающих диодов отличается от первого набора из одного или нескольких развязывающих диодов,

при этом каждый из одного или нескольких развязывающих диодов в первом наборе имеет направление пропускания, обращенное от генератора DC-мощности, а каждая из x МВт-ных последовательностей солнечных панелей ассоциирована с соответствующим одним из одного или нескольких развязывающих диодов в первом наборе,

один или несколько развязывающих диодов во втором наборе имеют направление пропускания, обращенное от генератора DC-мощности и дополнительно размещены между энергохранилищем и генератором DC-мощности.

14. Фотоэлектрическая станция по п.1, причем переключающий механизм выполнен с возможностью поочередного включения и выключения входа энергохранилища и входа одного или нескольких вторых DC/AC 3-фазных преобразователей, так что, если вход энергохранилища включен, то вход одного или нескольких вторых DC/AC 3-фазных преобразователей выключен, и если вход энергохранилища выключен, то вход одного или нескольких вторых DC/AC 3-фазных преобразователей включен.

15. Фотоэлектрическая станция по п.14, причем переключающий механизм содержит:

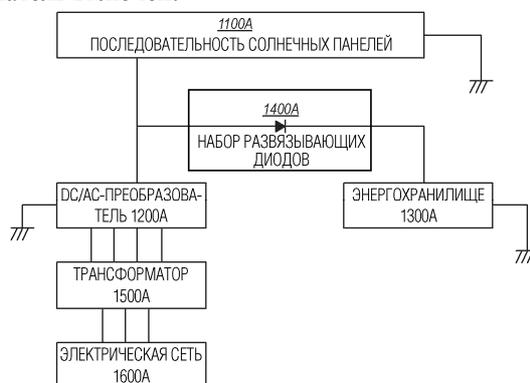
первый переключатель управляющий входом энергохранилища,

второй переключатель управляющий входом одного или нескольких вторых DC/AC 3-фазных преобразователей,

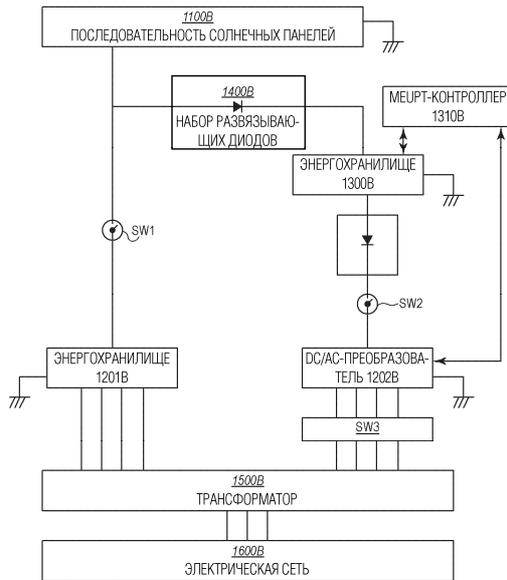
регулятор (DFA) коэффициента режима работы, выполненный для управления включением и выключением первого переключателя с заданной частотой, и;

модуль блокировки со сдвигом по фазе, выполненный с возможностью реверсирования фазы (DFA) и для управления вторым переключателем для его включения и выключения с заданной частотой;

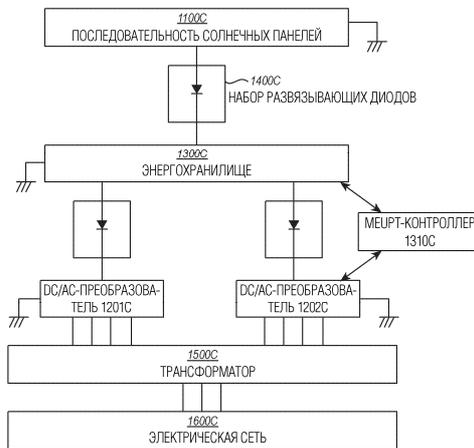
при этом регулятор коэффициента режима работы и модуль блокировки со сдвигом по фазе вызывают попеременное включение и выключение первого переключателя и второго переключателя, так что, когда первый переключатель включен, второй переключатель выключен, а когда первый переключатель выключен, то второй выключатель включен.



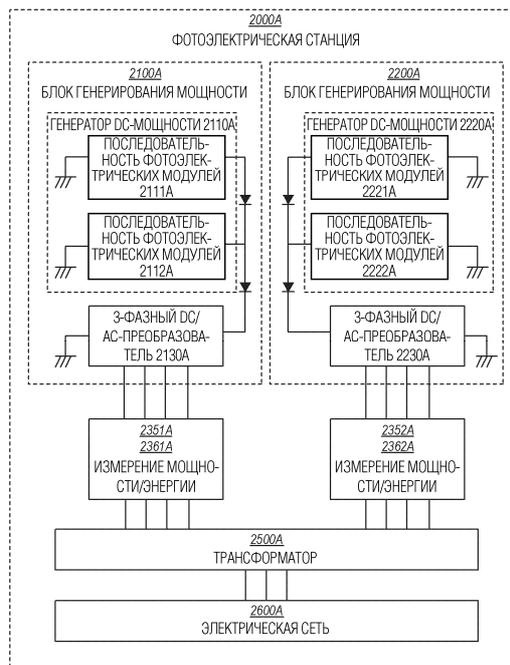
Фиг. 1А



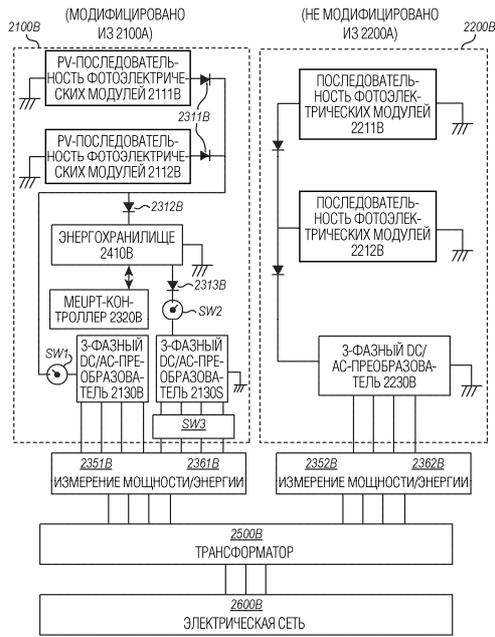
Фиг. 1В



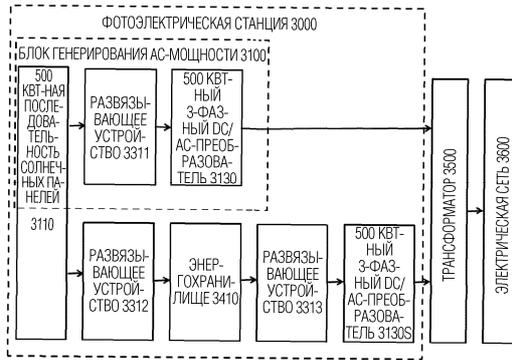
Фиг. 1С



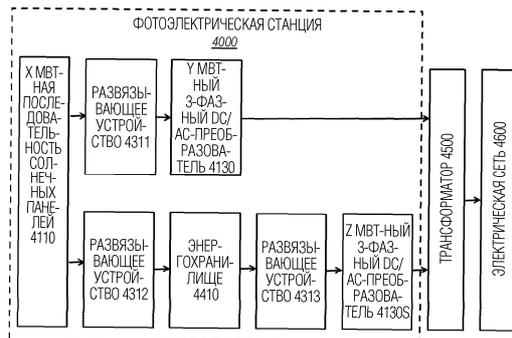
Фиг. 2А



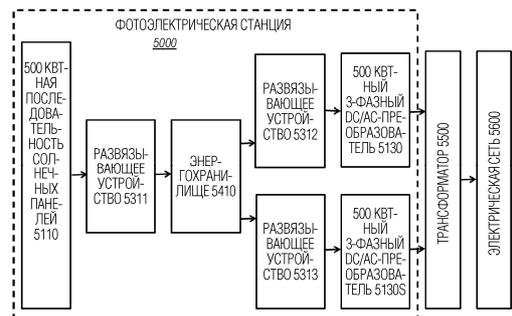
Фиг. 2В



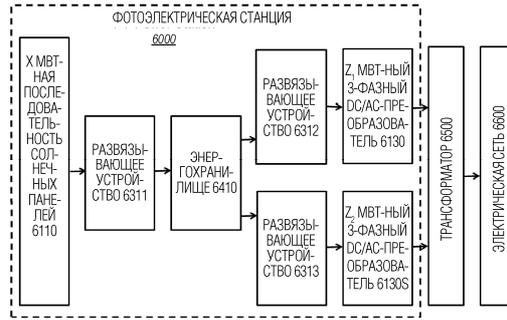
Фиг. 3



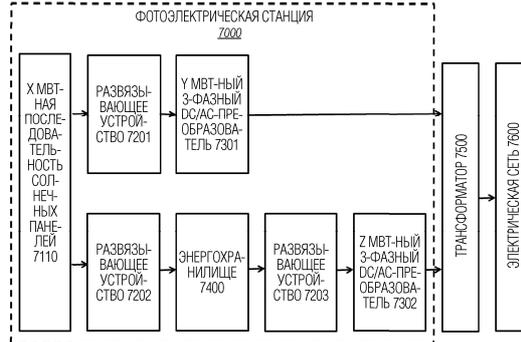
Фиг. 4



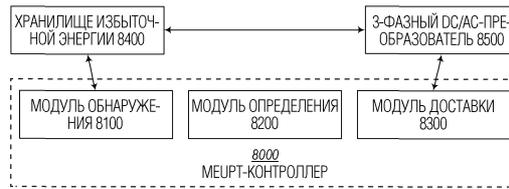
Фиг. 5



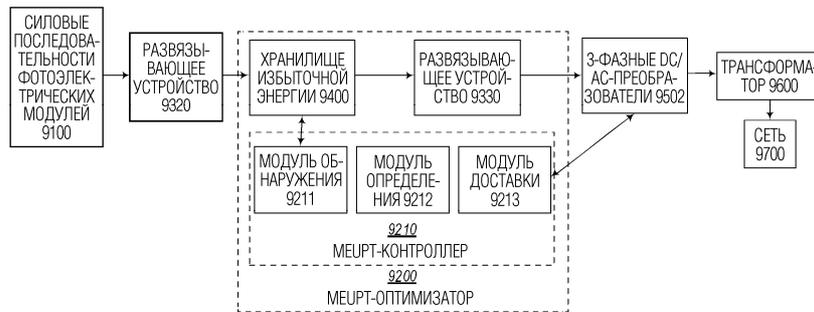
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

