

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Абдали Л. М.¹, Кувшинов В.В.¹, Бекиров Э.А.², Аль-Руфаи Ф. М.¹

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной
энергии и промышленности, г. Севастополь, РФ
laithm.abood@uokufa.edu.iq

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь,
РФ

Аннотация: При работе фотоэлектрических станций, обеспечивающих большие населенные районы планеты, и вырабатывающих значительное количество электрической энергии, часто возникают проблемы, связанные с непостоянством потока падающей солнечной радиации. Это приводит к сбоям в работе электрических сетей и быстрым износом оборудования. При оснащении таких объектов новыми системами управления и контроля фотовольтаических параметров можно значительно увеличить выработку электрической энергии, поставляемой в общую или локальную энергосистему, и улучшить эффективность работы электроустановок находящихся на солнечной электростанции. В предложенной работе представлен общий подход к моделированию и управлению работой фотоэлектрических систем (PV-систем). Необходимые данные для моделирования предоставляются производителями в виде таблиц. Обработка этих данных предоставляет экспериментаторам и инженерам удобный способ исследовать проблемы интеграции фотоэлектрических систем в установки бесперебойной генерации для обеспечения индивидуальных потребителей. Система двухступенчатого преобразования энергии (PCS-система), предложенная в этой статье, работает совместно с генерирующей фотовольтаической системой. Система накопления электрической энергии (BESS-система), использует аккумуляторные батареи и может быть подключена к цепи постоянного тока, посредством двунаправленного преобразователя. Таким образом, система BESS может предоставлять некоторые вспомогательные услуги, которые могут потребоваться в процессе генерации для повышения эффективности работы. В этой статье описана специальная система бесперебойной работы (FRT-система), позволяющая создавать возможности бесперебойной работы и выработки электрической энергии системой генерации, при некорректной работе отдельных узлов (например, при частичном затенении солнечных модулей). Работа интегрированной системы генерации, системы накопления электрической энергии (BESS-система) и фотовольтаической системы (PV-система) вместе с соответствующими системами управления моделируется на платформах Matlab, а эффективность работы контроллера подтверждается результатами моделирования. При внедрении предложенных систем на действующих и строящихся солнечных электрических станциях (СЭС) можно значительно улучшить эффективность их работы и увеличить выработку электрической энергии для потребителей.

Предмет исследования. Режимы работы интегрированной системы генерации совместно с системой накопления электрической энергии, фотовольтаической системой и системой бесперебойной работы.

Материалы и методы. Исследовательские методы компьютерного моделирования параметров управления интегрированной системой солнечной генерации и накопления энергии фотоэлектрическими преобразователями с использованием программной среды Matlab.

Результаты. В данной статье рассматривается фотовольтаическая система преобразования энергии, работающая совместно с системой накопления энергии. Работа системы управления для аккумулятора. Регулирующий преобразователь системы аккумуляирования энергии и инвертор, соединенный с сетью, предназначен для обеспечения возможности бесперебойной работы при неисправности.

Выводы. Проведено моделирование, которое подтвердило эффективность предложенных систем управления.

Ключевые слова: Мультиходовой преобразователь постоянного тока, PV-система, солнечное излучение, моделирование, MPP-система, фотоэлектрические элементы.

ВВЕДЕНИЕ

Ввиду растущей мировой обеспокоенности в отношении вопросов энергетической безопасности и контроля окружающей среды, использование возобновляемой энергии получило быстрое развитие и мировое признание в течение последних нескольких десятилетий. Среди возобновляемых источников, фотоэлектрическая генерация (PV) представляет одну из наиболее перспективных технологий. Это обуславливается высокой солнечной инсоляцией в различных регионах Земли, отсутствием движущихся частей в системе солнечной генерации, также PV-система, при установке фотоэлектрических модулей на крышах зданий, не требует линий электропередач, что объясняет низкие эксплуатационные расходы [1].

В 2010 году мощность установок по всему миру увеличилась до 14,2 ГВт, что означает удвоение мощности по сравнению с 2009 год. Такая же тенденция наблюдалась например, в США, к концу 2010 года накопленная установленная мощность по всей стране достигла 2,5 ГВт. Всего 2 года (с 2018 по 2019) понадобилось мировой солнечной энергетике, чтобы увеличить установленную мощность СЭС с 300 до 500 ГВт. Такие данные приводит Союз солнечной промышленности Германии.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Согласно прогнозам немецких специалистов, в 2020 году мировая солнечная энергетика «прибавит» еще 100 ГВт. Для сравнения, установленная мощность АЭС в мире составляет около 400 ГВт. Среди этих требований функции поддержки сети заключены в существующих стандартах присоединения, таких как IEEE 1547 или UL 1741, которые требуют, чтобы возобновляемая генерация была отключена от сети, когда возникают проблемы при передаче. Напряжение в точке присоединения (POI) не регулируется электростанцией на возобновляемой энергии [2]. Однако с повышением уровня возобновляемой генерации подключенные к сети солнечные системы изменяются от систем распределения к системам передачи, и стандарты обновляются (например, стандарт FERC 661 и 661A), чтобы обеспечивать выработку возобновляемой энергии подключенным к сети установкам, обеспечить вспомогательные возможности во время неисправности и после аварии. Эти вспомогательные возможности включают в себя возможность бесперебойной работы («обхода неисправностей»), возможность управления реактивной мощностью для регулирования напряжения или коэффициента мощности и системы SCADA. Система бесперебойной работы (FRT) в режиме работы солнечных энергетических систем была исследована в других работах [3].

Тем не менее, некоторые производители реализуют возможность системы бесперебойной работы (FRT), уменьшая выходную мощность генерации PV, в то же время максимизируя реактивную мощность (чтобы ограничить ток IGBT от превышения его проектного номинального значения), чтобы избежать падения напряжения во время повреждения. Это реализуется путем смещения рабочего напряжения фотоэлектрической панели от максимальной генерации точки питания (MPP). Этот процесс уменьшает выработку электроэнергии в течение времени повреждения и снижает эффективность фотоэлектрических установок. Это особенно важно для крупных, связанных с сетью солнечных электростанций, которые генерируют сотни мегаватт, где уменьшение выработки электроэнергии в переходных процессах станет настолько значительным, что им нельзя пренебрегать, как указано в [4]. Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является использование выходной мощности солнечной электростанции для зарядки системы накопления энергии (BESS), в течение периода повреждений, без потери солнечной генерации PV, в то время как влияние тока при повреждении уменьшается или исключается. Предполагается, что модуль системы накопления энергии (BESS) установлен на шине постоянного тока силового инвертора, как показано на рис. 1 [5].

В существующих стандартах для схем соединений силовые инверторы немедленно отключаются от сети, когда напряжение падает до точки POI, например, из-за неисправностей в сети. Цель метода состоит в том, чтобы предотвратить влияние тока короткого замыкания на работу солнечной электростанции, что повышает эффективность работы системы. Поскольку мощность солнечной фотоэлектрической установки увеличивается выше 10 МВт, требования не соответствуют IEEE1547, и она считается обычной электростанцией. Если сокращение солнечной генерации не является предпочтительным, и солнечная электростанция все еще работает в условиях MPP, работа инверторов системы преобразования энергии (PCS) способствует току повреждения и, таким образом, ухудшает состояние напряжения в точке соединения POI [6]. С развертыванием BESS и надлежащим контролем, мощность, вырабатываемая солнечной электростанцией, может быть поставлена в сеть или систему BESS по мере необходимости. Разряжающий BESS действует как генератор, а заряжаемый BESS действует как активная нагрузка. Вклад тока короткого замыкания от солнечной электростанции может быть ограничен током солнечного инвертора, имеющего возможность управления током [7].

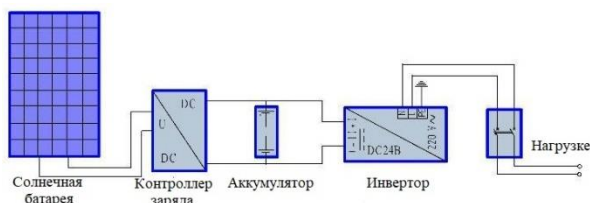


Рис. 1. Общая системная схема PV-системы с аккумуляторной системой накопления электрической энергии

Fig. 1. General system diagram of a PV-system with a battery storage system for electrical energy

Второе преимущество включения BESS в солнечную фотоэлектрическую установку состоит в том, что благодаря уменьшению реальной мощности, поступающей в сеть, емкость инвертора PCS со стороны энергосистемы может быть полностью использована для ввода реактивной мощности, чтобы поддержать восстановление напряжения в точке соединения POI во время и после сбоя. Третье преимущество системы накопления и хранения электроэнергии заключается в уменьшении выходных колебаний, вызванных изменением солнечного излучения во время прохождения облаков. Этот пункт рассмотрен в работе [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

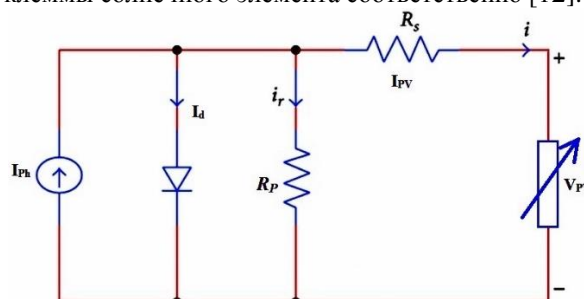
Описание системы

Система преобразования энергии (PCS) используется для солнечных электростанций и других типах возобновляемых источников энергии, подключенных к электрической сети, например ветроэлектрических станций. Системы PCS могут иметь различную архитектуру, например, одноступенчатую (только для инвертора, подключенного к сети) или двухступенчатую с системой преобразования энергии PCS (например, AC/DC преобразователь и инвертор с сетевым подключением). Последняя структура, как показано на рис. 1, более популярна и выбрана для сопряжения фотоэлектрической станции с сетью из-за дополнительной степени свободы, которую она может предоставить. В этой топологии функция AC/DC-преобразователя, подключенного к PV-системе, заключается в отслеживании MPP солнечной установки путем регулирования выходного напряжения фотоэлектрических модулей [9]. Преобразователь постоянного тока в переменный ток увеличивает выходное напряжение солнечного постоянного тока до уровня, превышающего значение напряжения точки POI, так что повышающий трансформатор может не потребоваться для инвертора источника напряжения при подаче электроэнергии в сеть. Этот метод был предложен в исследованиях без трансформаторных фотоэлектрических инверторов с использованием новых мощных электронных устройств с высокой мощностью. Предложенный

метод использует повышающий трансформатор, как показано на рис.2. В данной схеме используется инвертор с сетевым интерфейсом, который преобразует ток из постоянного в переменный и контролирует поступающую в сеть активную и реактивную мощности [10]. В системе преобразования энергии (PCS), описанной выше, система накопления и хранения электрической энергии (BESS) подключена к линии постоянного тока солнечной электростанции. Процессы зарядки и разрядки выполняются путем регулирования тока соответствующего преобразователя постоянного тока в системе BESS. Это может компенсировать прерывистость выходной мощности фотоэлектрической установки в нормальных условиях, то есть изменчивость солнечного излучения из-за проходящих облаков. Другие функции поддержки сети, такие как регулирование частоты, также могут быть предоставлены фотоэлектрической установкой с помощью аккумуляторной системы накопления энергии (BESS). В этих случаях BESS может передавать энергию, а также получать энергию от узла постоянного тока для зарядки, пока солнечная установка работает на MPP для достижения максимально возможной эффективности. Поэтому для системы BESS реализован двунаправленный преобразователь постоянного тока в переменный ток, как показано на рисунке 1. Основное внимание в этом процессе уделяется функции аккумуляторной системы хранения энергии (BESS) для сохранения солнечной энергии во время сбоя и, таким образом, инвертор, подключенный к сети, обеспечивает поддержку напряжения, что позволяет работать системе во время неисправности [11].

Моделирование солнечной электроэнергетики и системы хранения батареи

Основной этап в моделировании солнечной установки или электростанции – это анализ одного солнечного элемента, который может моделироваться с различными параметрами. В этом исследовании солнечный элемент по существу представлен эквивалентной электрической схемой. Схема состоит из источника энергии – входного фототока (I_{ph}), параллельного диода, шунтирующего сопротивления (R_p правило, им можно пренебречь) и последовательного сопротивления R_s , как показано на рис. 2, где I_d - ток диода, а I_{pv} и V_{pv} - выходной ток и напряжение клеммы солнечного элемента соответственно [12].



Более подробное описание этого алгоритма приведено в работе [15].

Контроллер для преобразователя BESS AC/DC

При интеграции BESS с фотоэлектрической системой, система аккумулирования может заряжать или разряжать, чтобы использовать или освобождать питание для узла постоянного тока. Следовательно, поток энергии может поступать и выходить из аккумуляторной системы накопления энергии, и для BESS требуется двунаправленный преобразователь переменного тока в постоянный. Для реализации работы, описанной выше схемы работы преобразователя постоянного тока, схема его системы управления приведена на рис.5. Внутренний контур регулирует ток от аккумуляторной системы накопления энергии и отслеживает параметры заданной команды (I_b^*). Внешний контур напряжения регулирует напряжение узла постоянного тока для опорного значения и генерирует ток для внутреннего контура опорного сигнала, I_b^* .

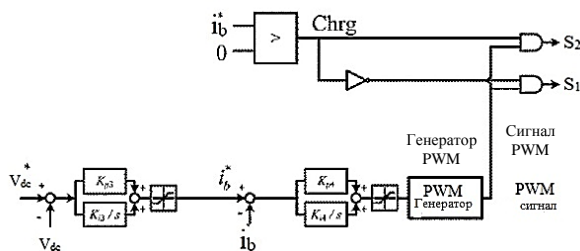


Рис. 5. Система управления двунаправленным преобразователем аккумуляторная система накопления энергии (BESS)

Fig. 5. Bidirectional converter control system battery energy storage system (BESS)

Для улучшения динамических характеристик внутреннего цикла используется следующая схема в зависимости от оценки направления I_b^* , значение C_{hr} . Состояние деактивации работы S_1 и S_2 будет определяться значением C_{hr} вместо сравнения напряжения постоянного тока с его опорным значением. Этот подход позволяет избежать частых переходов направлений потока энергии и переключений в схеме назад и вперед между параметрами «вкл.» и «выкл.». Это может способствовать улучшению динамических характеристик контроллера, особенно при переходе от состояния зарядки к разрядке или наоборот [16].

Контроллер для FRT-системы солнечной генерации с интегрированной энергосистемой

Электрическая конфигурация со связанной схемой управления инвертором связи сети показана на рис.6.

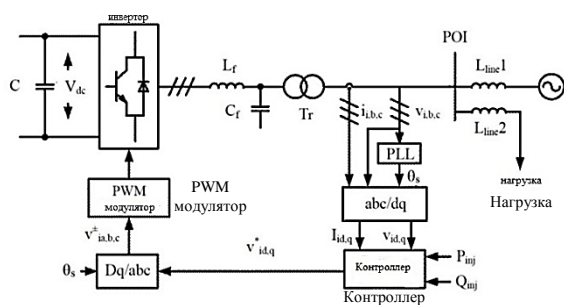


Рис.6. Инверторная схема сеть-инвертор.
Fig. 6. Inverter network-inverter circuit.

Основная концепция управления D-D, чтобы выполнить преобразование опорного импульса из неподвижной системы координат (a-b-c-координата) опорный импульс, который синхронно работает с d-q импульсом, то есть, Dq/abc преобразование. После преобразования реальная и реактивная мощности инвертора могут управляться отдельно, регулируя включение тока по оси d и по оси q в сети, соответственно, как показано в (7),

$$\begin{cases} P_{inj} = 3/2 I_{id} * V_{id} \\ Q_{inj} = -3/2 I_{id} * V_{id} \end{cases} \quad (7)$$

На основе этой связанной системы отсчета d-q-система управления для инвертора, подключенного к сети, может состоять из двух каскадных контуров [17].

Такой управляемый модуль аккумуляторной система хранения энергии (BESS) может обеспечить возможность работы системы бесперебойной работы (FRT-системы) используемой для бесперебойной работы фотоэлектрической системы. Также он повышает эффективность системы генерирования электроэнергии, поскольку накопленная энергия может быть надлежащим образом поставлена в сеть после аварийного сбоя [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Система генерации PV-BESS, показанная на рис. 1, с соответствующими системами управления, как описано в разделе II, была смоделирована на платформе PSCAD/EMTDC. Некоторые технические характеристики системы описаны ниже.

В этой моделируемой системе, фотоэлектрическая батарея мощностью 1 МВт, состоит из последовательно соединенных и параллельно подключенных фотоэлектрических панелей от BP Solar. Из таблицы данных BP 3225T можно обнаружить, что номинальное напряжение панели при стандартных условиях составляет 29,1В.

Мощность аккумуляторной системы хранения энергии (BESS) также была определена как 1 МВт. Согласно спецификациям, Hawker Genesis 12V26Ah10EP, номинальное значение элемента батареи составляет 12 В. При номинальном напряжении 600В аккумуляторной системе

накопления энергии (BESS) требуется 50 элементов, соединенных последовательно для каждой цепи. Емкость элемента батареи составляет $C5 = 0,052 \text{ A}\cdot\text{ч}$ (или $0,055/5 \text{ A}\cdot\text{ч}$ на элемент). Поэтому число параллельно соединенных строк в аккумуляторной системе хранения энергии (BESS) может быть вычислено как $1\text{M} / (50 * 12 * 0,052 / 5 * 3600) = 44,5$ с энергетической мощностью 1 МВт-секунд. Активная локальная нагрузка 10 МВт также включена в сеть и подключена к POI через другую 7-километровую воздушную линию, Line2. Константы PI, выбранные для контроллеров в системе, перечислены в таблице I.

Таблица 1. Константы, используемые при моделировании

Table 1. Constants used in modeling

K_{p1}	K_{i1}	K_{p2}	K_{i2}	K_{p3}	K_{i3}	K_{p4}	K_{i4}
4e-6	4e-6	4e-6	4e-6	4e-6	4e-6	4e-6	4e-6
K_{p5}	K_{i5}	K_{p6}	K_{i6}	K_{p7}	K_{i7}		
0.2	0.01	10	0.1	10	0.4		

В первом случае выполняется моделирование, чтобы исследовать производительность системы во время отказа. Если установка не оснащена системой бесперебойной работы (FRT-система) то инвертор PV-системы не работает, что означает, что генерация PV отключается сразу после возникновения сбоя.

Наблюдение за верхней траекторией на рис.7 показывает, что напряжение в точке соединения (POI) падает с 1,0 до 0,7 его первоначального значения во время возникновения неисправности. Подача активной и реактивной мощности в сеть показаны на двух нижних графиках на рис.7, соответственно, которые уменьшаются до нуля из-за отключения фотоэлектрической системы от сети. Это разъединение вызывает процесс восстановления после того, как время сбоя длится дольше, чем в случае с возможностью использования системы бесперебойной работы (FRT), как будет показано на рис. 9, что является более благоприятным с точки зрения работы системы.

Производительность аккумуляторной системы накопления (хранения) энергии (BESS) во время этого события показана на рис. 8, из которого можно обнаружить, что изменения напряжения, тока и мощности аккумуляторной системы хранения энергии (BESS) в течение времени повреждения более не эффективны по сравнению со случаем, показанным на рис. 11, это касается особенно напряжение постоянного тока.

Как можно видеть на рис. 9, величина напряжения точка соединения (POI) падает до 0,8 пунктов, что выше, чем приведенное на рис. 7. Это обусловлено тем, что в этом случае генерация PV-системы может обеспечивать поддержку напряжения. Выработка активной мощности

уменьшается соответственно, и фактическая реальная мощность, поставляемая в сеть, может идеально отслеживать его опорное значение, уменьшаясь с 2 МВт до 1,6 МВт. Это гарантирует, что ограничение тока IGBT в преобразователе не нарушается. Однако эффективность поддержки напряжения, обеспечиваемой фотоэлектрической системой во время повреждения, можно наблюдать на рис. 9, сравнивая результаты, приведенные в верхнем графике на рис. 7.

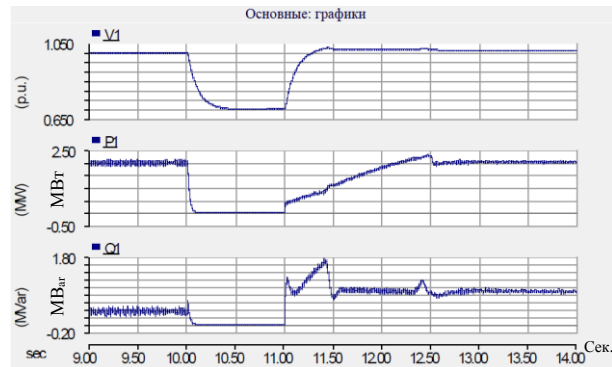


Рис.7. Результаты моделирования величины напряжения POI и активной и реактивной мощности в POI (без FRT).
Fig. 7. Results of simulation of voltage value POI and active and reactive power in POI (without FRT).

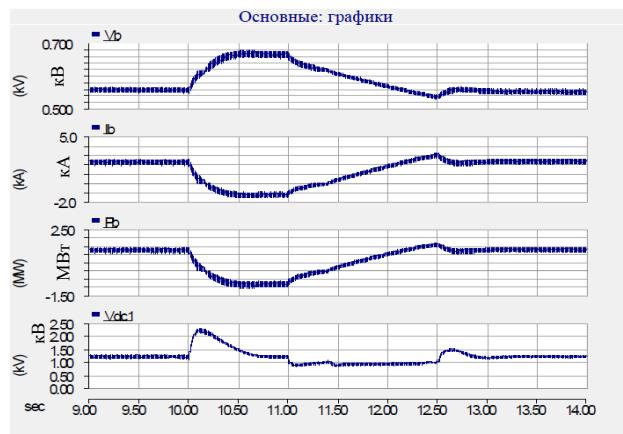


Рис.8. Результаты моделирования BESS-системы (без FRT-системы).
Fig. 8. Results of modeling a BESS-system (without FRT-system).

Результаты моделирования модуля PV приведены на рис. 10. При моделировании предполагается, что интенсивность излучения в течение моделируемого периода составляет $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$, а модуль PV-системы управляется так, чтобы он всегда работал на MPP. Поэтому напряжение фотоэлектрической батареи поддерживается на уровне 600В с помощью алгоритма MPPT. Общий выходной ток составляет 1,66кВ, а мощность, генерируемая фотоэлектрической батареей, составляет 1 МВт.

На рис. 11 показаны результаты моделирования аккумуляторной системы хранения энергии (BESS)

за этот период времени. По нижней графике можно обнаружить, что напряжение на звене постоянного тока всегда поддерживается около его эталонного значения 1,2кВ. При нормальных условиях напряжение на клемме BESS составляет 0,555 кВ, а ток разряда - 2,25 кА. Выработка электроэнергии от BESS составляет 1,25МВт. Сравнивая результат ввода мощности в нормальном состоянии, центральный график на рис. 9, можно увидеть, что после возникновения неисправности активная мощность, подаваемая в сеть, уменьшается с 2 МВт до 1,6 МВт. Притом, что фотоэлектрическая батарея все еще работает на MPP, генерируя мощность 1 МВт (нижний график на рис. 10) и что выходная мощность аккумуляторной системы накопления энергии (BESS) снижается до 1,1 МВт (третий график на рис. 11). Два верхних графика показывают напряжение и ток модуля аккумуляторной системы хранения энергии (BESS) соответственно.

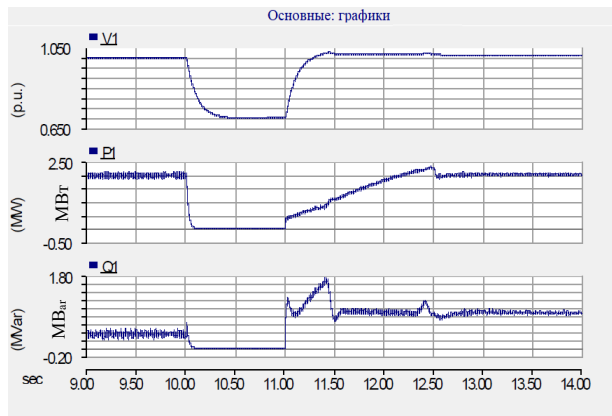


Рис.9. Результаты моделирования величины напряжения POI и активной и реактивной мощности в POI (с FRT-системой).

Fig. 9. Results of simulation of voltage value POI and active and reactive power in POI (with FRT-system).

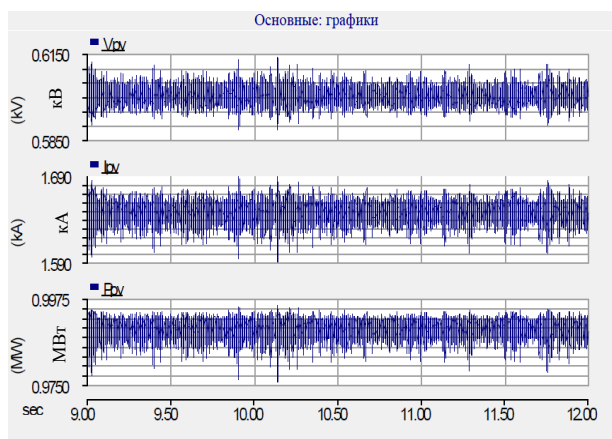


Рис.10. Результаты моделирования массива PV (с FRT).

Fig. 10. PV array simulation results (with FRT).

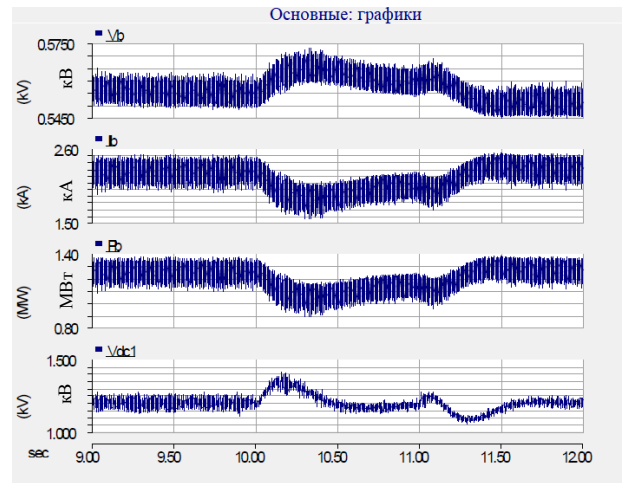


Рис.11. Результаты моделирования BESS (с FRT-системой)

Fig. 11. BESS simulation results (with FRT system)

ВЫВОДЫ

Системы управления для регулирующего преобразователя аккумуляторной системы накопления энергии (BESS) и преобразователя, подключенного к сети, спроектированы с учетом возможностей FRT-системы.

Благодаря предложенной схеме системы бесперебойной работы (FRT), аккумуляторная система накопления энергии BESS сохраняет энергию, генерируемую фотоэлектрической установкой, что позволяет ей продолжать работать в условиях MPP в течение всего времени неисправности. В то же время резервная мощность инвертора со стороны сети может быть использована для поддержки работы системы, обеспечивая дополнительный ввод реактивной мощности в сеть до ее максимальной токовой способности переключателей питания, если это необходимо.

Таким образом, фотоэлектрическая установка может сыграть свою роль, помогая системе плавно восстанавливаться после сбоев и поддерживать стабильность сети во время повреждения и в период восстановления после сбоя.

Проведенное в ходе работы моделирование, подтвердило эффективность предложенных систем управления.

Термин

система преобразования энергии	(PCS)
аккумуляторная система накопления (хранения) энергии	(BESS)
система бесперебойной работы	(FRT)
точка соединения	(POI)
точка максимальной мощности	(MPP)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абд Али, Лаит Мохаммед А., Ф. М. Аль-Руфай, Б.А. Якимович, В.В. Кувшинов. Анализ производительности гибридных фото-ветроэлектрических установок. Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5, № 2. С. 61–68.

2. Абд Али, Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Using tidal energy as a clean energy source to generate electricity // Молодой ученый. 2018. № 11. С. 62–69.

3. Abd Ali L.M. and Issa H.A. Hybrid power generation using solar and wind energy. *Molod. Uchen.*, 2018, no. 7, pp. 19–26.

4. Абд Али Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Разработка элементов Smart Grid для оптимизации режимов районных сетей // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 117–120.

5. Kuvshinov V.V., Abd Ali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223–228.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.

6. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256–259.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029>.

7. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 229–234.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.

8. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260–264.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030>.

9. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242–246. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042>.

10. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 4414–4418.

doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.

11. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed and Husam Abdulhusein Wahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666–3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.

12. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153–158. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046>.

13. Abdali A.L.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. HYBRID POWER GENERATION BY USING SOLAR AND WIND ENERGY. *Energy*, 2, 3.

14. Abd Ali Layth & Al-Rufae Faez. Simulation of a Model Photovoltaic power system to generate electricity. 2019, pp. 234–240.

15. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698–3706. doi.org/10.3923/jeasci.2019.3698.3706.

16. Абдали, Л. М. А., & Кувшинов, В. В. генерация электрической энергии гибридной силовой установкой. In научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов, 2019, pp. 66–73.

17. Daus, Y.V., Kharchenko, V.V., Yudaev, I.V. Managing Spatial Orientation of Photovoltaic Module to Obtain the Maximum of Electric Power Generation at Preset Point of Time. *Appl. Sol. Energy*. 2018, Vol. 54, no. 6, Pp. 400–405.

18. Pavel Nikolaevich Kuznetsov, Layth Mohammed Abd Ali, Vladimir Vladislavovich Kuvshinov Hayder Abdulsahib Issa, Hayder Jasim Mohammed, Ali Ghanim Al-bairmani. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, vol. 18, no. 3, pp. 194–202. [doi:10.5937/jaes18-24460](https://doi.org/10.5937/jaes18-24460).

REFERENCES

1. AbdAli Laith Mohammed A., Al-Rufae F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. [Performance Analysis of Hybrid Photo-Wind Turbines]. *Energeticheskiye ustanovki i tekhnologii*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 61–68 (in Russ.).

2. Abd Ali Laith Mohammed, Khayder Abdulsakhib Issa. [Using tidal energy as a clean energy source to generate electricity]. *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 11, pp. 62–69.

3. Abd Ali L.M. and Issa H.A. Hybrid power generation using solar and wind energy. *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 7, pp. 19–26.

4. Abd Ali Laith Mokhammed, Khayder Abdulsakhib Issa. [Development of Smart Grid elements for optimizing regional network modes]. *Molodoy uchenyy*, 2014, vol. 8, pp. 117–120 (in Russ.).

5. Kuvshinov V.V., Abd Ali L.M., Kakushina E.G. Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 223–228.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040054>.

6. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. Lyamina, N.V. Some Results of a Study of Wave Energy Converters at Sevastopol State University. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 256–259.

<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040029>.

7. Vologdin S.V., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Analysis of Various Energy Supply Scenarios of Crimea with Allowance for Operating Modes of Solar Power Planta. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4,

- pp. 229-234.
<https://doi.org/10.3103/S0003701X1904008X>.
8. Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. An Offshore Wind-Power-Based Water Desalination Complex as a Response to an Emergency in Water Supply to Northern Crimea. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 260-264.
<https://doi.org/10.3103/S0003701X19040030>.
9. Guryev V.V., Yakimovich B.A., Abd Ali L.M. Improvement of Methods for Predicting the Generation Capacity of Solar Power Plants: the Case of the Power Systems in the Republic of Crimea and City of Sevastopol. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 4, pp. 242-246. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19040042>.
10. Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H., Abd Ali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 4414-4418.
doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.
11. Layth Mohammed Abd Ali, Haider Ahmed Mohammed and Husam Abdulhusein Wahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.
12. Kuvshinov V.V., Kolomiychenko V.P., Kakushkina E.G. Storage System for Solar Plants. *Appl. Sol. Energy*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 153-158.
<https://doi.org/10.3103/S0003701X19030046>.
13. Abdali A.L.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. HYBRID POWER GENERATION BY USING SOLAR AND WIND ENERGY. *Energy*, 2, 3.
14. Abd Ali Layth & Al-Rufae Faez. Simulation of a Model Photovoltaic power system to generate electricity. 2019, pp. 234-240.
15. Abd Ali L.M., Ahmed Mohammed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. *J. Eng. Appl. Sci.*, 2019, no. 14, pp. 3698-3706.
doi.org/10.3923/jeasci.2019.3698.3706.
16. Abd Ali Layth & Kuvshinov V. *Generatsiya elektricheskoi energii gibridnoi silovoi ustanovki* [Hybrid Power Generation Electric Power Generation]. *Nauchnaya initsiativa inostrannykh studentov* [Nauchnaya initsiativa inostrannykh studentov], 2019, pp. 66-73 (in Russ.).
17. Daus, Y.V., Kharchenko, V.V., Yudaev, I.V. Managing Spatial Orientation of Photovoltaic Module to Obtain the Maximum of Electric Power Generation at Preset Point of Time. *Appl. Sol. Energy*. 2018, Vol. 54, no. 6, Pp. 400-405
18. Pavel Nikolaevich Kuznetsov, Layth Mohammed Abd Ali, Vladimir Vladislavovich Kuvshinov Hayder Abdulsahib Issa, Hayder Jasim Mohammed, Ali Ghanim Al-bairmani. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. *Journal of Applied Engineering Science*, 2020, vol. 18, no. 3, pp. 194-202.
doi:10.5937/jaes18-24460.

DEVELOPMENT OF THE SIMULATION AND CONTROL SYSTEM FOR AN INTEGRATED SOLAR ENERGY GENERATION AND STORAGE

Abdali L.M.¹, Kuvshinov V.V.², Bekirov E.A.³, Al-Rufaae F. M.⁴

¹Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: laithm.abood@uokufa.edu.iq

²Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

³Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky "295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia, mail:bekirov.e.a@cfuv.ru

⁴ Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 7, Kurchatov Avenue, Sevastopol, 299015, Russia, E-

Abstract: When photovoltaic stations operate, providing large populated areas of the planet, and generating significant amounts of electrical energy, problems often arise due to the inconstancy of the flux of incident solar radiation. This leads to failures in the operation of electrical networks and rapid wear of equipment. By equipping such facilities with new systems for the control and monitoring of photovoltaic parameters, it is possible to significantly increase the generation of electrical energy supplied to the general or local power system, and improve the efficiency of the electrical installations located at the solar power plant. The proposed work presents a general approach to modeling and controlling the operation of photovoltaic systems (PV systems). The necessary data for modeling are provided by manufacturers in the form of tables. The processing of this data provides experimenters and engineers with a convenient way to investigate the problems of integrating photovoltaic systems into uninterruptible generation installations to supply individual consumers. The two-stage power conversion system (PCS) proposed in this article works in conjunction with a photovoltaic generating system. The electrical energy storage system (BESS system) uses rechargeable batteries and can be connected to the DC circuit by means of a bidirectional converter. Thus, the BESS system may provide some auxiliary services that may be needed to improve operational efficiency during the generation process. This article describes a special system of uninterrupted operation (FRT-system), which allows you to create the possibility of uninterrupted operation and the generation of electrical energy by the generation system, in case of incorrect operation of individual nodes (for example, with partial shading of solar modules). The operation of an integrated generation system, an electric energy storage system (BESS-system) and a photovoltaic system (PV-system), together with the corresponding control systems simulated on Matlab platforms and the simulation results confirm the efficiency of the controller. When introducing the proposed systems at existing and under construction solar power plants (SPP), it is possible to significantly improve the efficiency of their work and increase the generation of electricity for consumers.

Subject of study. Integrated solar power generation and storage system.

Materials and methods. To achieve this aim, it is necessary to present research methods of computer modeling of control parameters for an energy storage system of photovoltaic solar cells and integrated solar generation using the Matlab software environment.

Results. This article discusses a battery energy conversion system built into an energy storage system. Battery management systems. The regulating converter of the energy storage system and the inverter connected to the network are designed to allow passage in the event of a failure.

Findings. The simulation has executed that confirmed the effectiveness of the proposed control systems.

Key words: Multi input boost DC / DC converter, PV, solar radiation, simulation, MPP, photovoltaic cells.