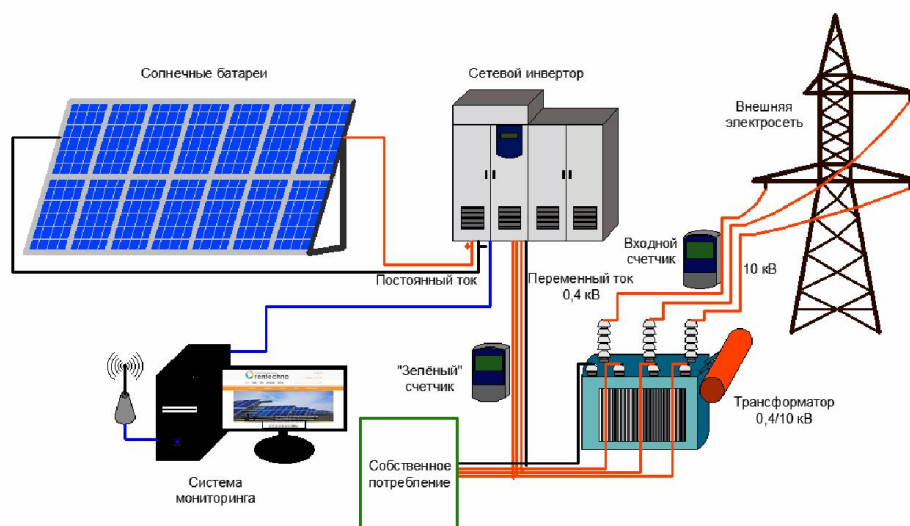


Охоткин Г.П., Серебрянников А.В.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОНОМНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ



Введение

Благодаря увеличению объемов производства тонкопленочных солнечных модулей в мире наблюдается бурный рост производства солнечной электроэнергии. Суммарная мощность солнечных электростанций в настоящее время составляет около 70 ГВт и продолжает увеличиваться высокими темпами [5]. Высокие темпы развития солнечной энергетики в западных странах позволяют утверждать, что солнечная энергетика скоро станет одним из главных источников электроэнергии.

Основные сведения об автономных солнечных электростанциях

Солнечные электростанции подразделяются на автономные и комбинированные. Автономные солнечные электростанции (АСЭ), в основном, используются в районах, где источники общего энергоснабжения недоступны или слишком дороги. Также они могут быть использованы для электроснабжения дач, коттеджей, школ, лицеев, административных зданий, офисов, сотовых станций, уличного освещения и освещения рекламных щитов, систем охраны и т.д. Для питания этих потребителей может быть использовано как постоянное 24, 48, 110 и 220 В, так и переменное напряжение 110 и 220 В.

Солнечное излучение, падающее на Землю, обладает низкой плотностью потока энергии, суточной и сезонной цикличностью, зависимостью от погодных условий. Следовательно, АСЭ должна иметь аккумулирующее устройство для исключения больших колебаний выходного напряжения и повышения надежности электроснабжения. Аккумуляторы для АСЭ по своему устройству очень похожи на автомобильные аккумуляторы с напряжением 12 В и имеют те же требования по эксплуатации и технике безопасности.

Наличие аккумуляторов расширяет область применения АСЭ, но в то же время требует дополнительного технического оборудования и обслуживания. Для зарядки аккумуляторов солнечных электростанций потребуются зарядные устройства и контроллеры заряда с функцией отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ). Такой контроллер при наличии достаточной освещенности не препятствует поступлению энергии от солнечных батарей на аккумуляторы, а при недостатке освещенности накапливает энергию и подает ее на аккумулятор порциями с оптимальными значениями тока и напряжения. Кроме того, контроллер заряда предотвращает перезаряд аккумулятора, своевременно отключая солнечную батарею (СБ) от аккумулятора, регулирует степень зарядки аккумуляторов и тем самым помогает продлить их эксплуатационный срок службы.

В течение дня СБ заряжают аккумуляторы и обеспечивают питанием потребителей. В ночное время накопленная в аккумуляторной батарее (АБ) энергия потребляется нагрузкой. Способность производить, накапливать и хранить электроэнергию делает такие солнечные электростанции надежным источником энергии в любое время, независимо от погодных условий и времени суток.

Для дальнейшего повышения надежности АСЭ используется несколько источников электроэнергии. В дополнение к фотоэлектрическим системам можно установить дизель-

генераторы, ветряные генераторы, небольшие гидрогенераторы или любые другие подходящие источники электроэнергии. При недостаточной освещенности для зарядки аккумуляторных батарей и электроснабжения потребителей используются дополнительные источники энергии. Гибридные системы идеально подходят для применения в труднодоступных районах, например, на станциях связи, военных постройках, в сельских поселениях и т.д.

В АСЭ неподвижные солнечные модули устанавливают непрерывными параллельными рядами. Однако если расстояние между вертикальными рядами модулей будет недостаточным, может возникать их взаимное затенение. Затенение уменьшает освещенную площадь световоспринимающей поверхности модуля и приводит к снижению вырабатываемой им электроэнергии. Большие расстояния между рядами солнечных модулей приводят к неоправданному завышению требуемой площади земли под электростанцию.

В работах [3, 4] разработана методика учета влияния затенения на производительность солнечной электростанции и оптимизации расстояния между рядами модулей, при котором относительные годовые потери вырабатываемой энергии за счет затенения не превышают определенного значения. Установлено, что при проектировании солнечных электростанций в районе г. Чебоксары целесообразно выбирать параметры размещения модулей в интервале углов их наклона 20–35 °, основываясь на данных по доступной площади земли под электростанцию.

В г. Новочебоксарск ООО «Хевел» практически завершено строительство завода по производству тонкопленочных солнечных модулей, выполненных по технологии фирмы Oerlikon. Максимальное выходное напряжение модулей модели a-Si/μc-Si площадью 1,43 м² (длиной 1,3 м, шириной 1,1 м), толщиной 6,8 мм и весом 26 кг составит 102,7 В, максимальный выходной ток – 1,22 А, максимальная выходная мощность – 125 Вт [1]. Последовательно-параллельное включение солнечных модулей позволяет формировать необходимую мощность СБ.

Постановка задачи

Из сказанного выше видно, что выходное напряжение СБ намного больше напряжений нагрузки и аккумуляторных батарей. Относительный диапазон изменения напряжения питания потребителей достаточно большой и составляет более 9. В этих условиях для эффективного преобразования постоянного напряжения в постоянное в АСЭ целесообразнее использовать импульсные преобразователи постоянного напряжения (ИППН), как понижающего, так и повышающего типов [2]. Это значительно усложняет схему и управление солнечной электростанцией. Данные вопросы в доступной литературе освещены недостаточно, поэтому разработка алгоритма управления АСЭ, обеспечивающего высокую надежность электроснабжения, является актуальной задачей.

Целью данного исследования является разработка принципов построения и алгоритмов управления автономной солнечной электростанцией.

Основные принципы построения автономных солнечных электростанций

Функциональная схема АСЭ с постоянным напряжением на выходе представлена на рис. 1. Для формирования переменного выходного напряжения схема может быть снабжена автономным инвертором напряжения (АИН), подключение которого на рис. 1 показано пунктирными линиями.

Автономная солнечная электростанция строится из следующих основных узлов: дополнительный источник энергии (ДИЭ); солнечная батарея (СБ); импульсный преобразователь постоянного напряжения (ИППН) понижающего типов П1, П2 и повышающего типа П3; входные шины Ш1 и Ш3; выходная шина Ш2; ключи К1-К7; система управления (СУ); аккумуляторная батарея (АБ); нагрузка (Н); автономный инвертор напряжения (АИН).

Как видно из рис. 1, схема АСЭ содержит три шины подключения: две входные Ш1, Ш3 и одну выходную Ш2. Напряжения на всех шинах Ш1-Ш3 разные. Для определенности примем $U_{Ш1}=54$ В, $U_{Ш2}=24$ В и $U_{Ш3}=12$ В. Импульсные преобразователи постоянного напряжения П1 и П3, выполненные по классическим схемам понижающего и повышающего

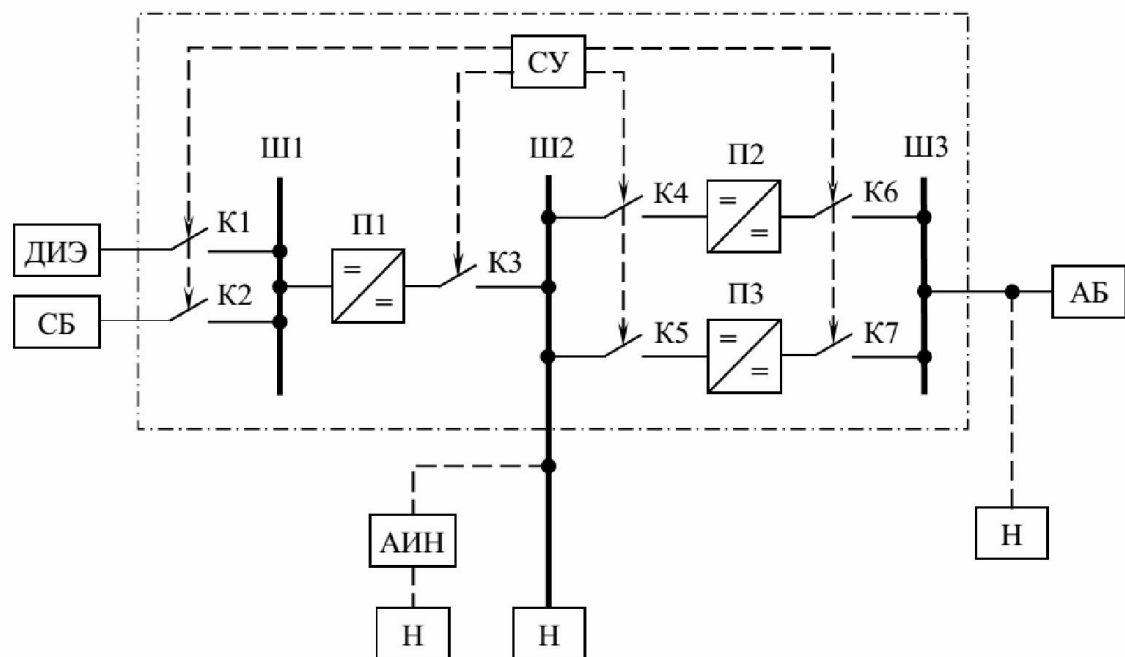


Рис. 1. Функциональная схема АСЭ со стабилизированным выходным напряжением

преобразователей, обеспечивают стабилизацию выходного напряжения электростанции на шине Ш2. ИППН понижающего типа П2 используется в качестве зарядного устройства аккумуляторных батарей. Напряжение на второй входной шине Ш3 медленно уменьшается по мере разряда аккумулятора. Система управления включает и выключает ключи К1-К7 по заданному алгоритму, обеспечивая высокую надежность электроснабжения АСЭ.

Подробнее рассмотрим алгоритм управления АСЭ. При наличии достаточной освещенности солнечных батарей (дневное время суток, солнечная погода) формируется достаточное

количество энергии для питания нагрузки и заряда аккумуляторных батарей. В этом случае система управления включает ключи К2, К3, К4 и К6 для питания нагрузки и заряда аккумуляторных батарей от СБ. После полного заряда аккумуляторных батарей СУ выключает ключи К4 и К6.

При недостаточной освещенности солнечных батарей (ночь, пасмурная погода) и достаточной степени заряженности АБ система управления включает ключи К5 и К7 для питания нагрузки от аккумуляторных батарей.

При недостаточной освещенности солнечных батарей и разряженных аккумуляторных батареях СУ включает ключи К1, К3, К4 и К6 для питания нагрузки и заряда аккумуляторных батарей от дополнительного источника энергии. После полного заряда АБ все включенные ранее СУ ключи выключаются и включаются ключи К5 и К7 для питания нагрузки от аккумуляторных батарей.

Такой алгоритм управления ключами К1-К7 позволяет обеспечить высокую надежность электроснабжения АСЭ, независимо от погодных условий и времени суток. Автономная солнечная электростанция, построенная по схеме на рис. 1, обеспечивает питание потребителей, включенных на шину Ш2, стабильным постоянным или переменным напряжением. Потребители с менее жесткими требованиями к стабильности постоянного напряжения могут быть подключены непосредственно ко второй входной шине Ш3.

Схема АСЭ (рис. 1) способна формировать на шине Ш2 любые значения выходного напряжения, вплоть до 220 В. Для этого потребуется увеличить выходное напряжение солнечных батарей путем последовательного соединения солнечных модулей и выбрать преобразователи П1-П3 на требуемое выходное напряжение.

Для потребителей с менее жесткими требованиями к стабильности потребляемого напряжения может быть предложена немного измененная схема АСЭ, представленная на рис. 2. В нее, в отличие от схемы на рис. 1, входит несколько последовательно соединенных аккумуляторных батарей АБ1-АБN, для заряда которых используются индивидуальные импульсные преобразователи постоянного напряжения П1-ПN и ключи К11-К1N, К21-К2N. Заметим, что все импульсные преобразователи П0-ПN в схеме на рис. 2 являются понижающего типа.

Данная схема имеет только две шины: входную Ш1 и выходную Ш2. Напряжение на входной шине Ш1 намного больше напряжения на выходной шине Ш2, которое соответствует напряжению последовательно включенных аккумуляторных батарей. Импульсные преобразователи П1-ПN могут быть выполнены в одном конструктиве в виде многоканальной схемы. Другим широко распространенным способом зарядки АБ является групповая зарядка последовательно включенных аккумуляторов от одного импульсного преобразователя. В рассматриваемой схеме для групповой зарядки аккумуляторных батарей может использоваться ИППН повышающего типа. СУ управляет ключами К01-К04, К11-

K1N, K21-K2N по заданному алгоритму.

Рассмотрим более подробно алгоритм управления АСЭ, представленной на рис. 2. При наличии достаточной освещенности солнечных батарей СУ включает ключи K02, K03, K11-

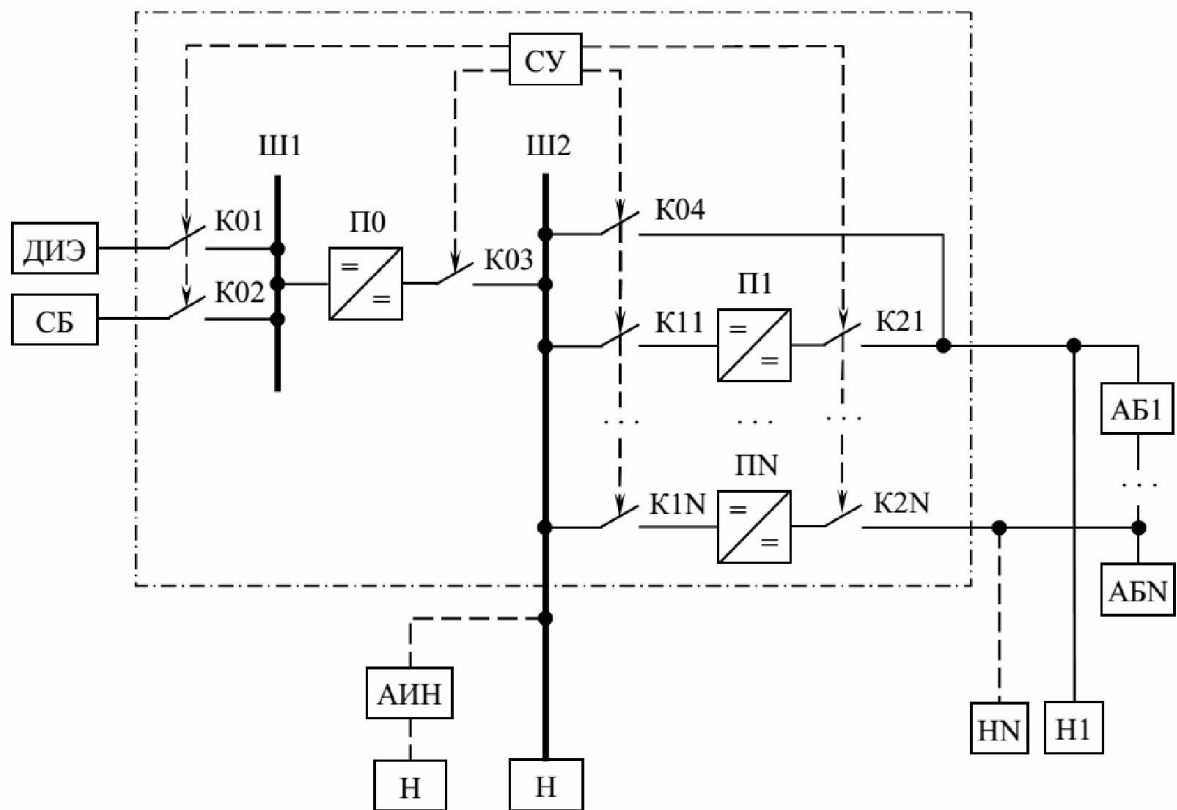


Рис. 2. Функциональная схема АСЭ с нестабилизированным выходным напряжением

K1N, K21-K2N, обеспечивая питанием нагрузку и заряжая аккумуляторные батареи от СБ. После полного заряда аккумуляторных батарей системой управления выключаются ключи K11-K1N, K21-K2N.

При недостаточной освещенности солнечных батарей и заряженных аккумуляторных батареях СУ включает ключ K04. При этом нагрузка питается от последовательно включенных аккумуляторных батарей.

При недостаточной освещенности солнечных батарей и разряженных аккумуляторных батареях СУ включает ключи K01, K03, K11-K1N, K21-K2N для питания нагрузки и заряда аккумуляторных батарей от дополнительного источника энергии. После полного заряда аккумуляторных батарей АБ1-АБN все ключи, включенные ранее системой управления, выключаются и включается ключ K04 для питания нагрузки от аккумуляторных батарей.

Предложенный алгоритм управления ключами также позволяет обеспечить высокую надежность электроснабжения АСЭ независимо от погодных условий и времени суток. Схема автономной солнечной электростанции способна формировать любые значения выходного напряжения как для потребителей постоянного, так и переменного тока.

Основными недостатками схемы АСЭ (рис. 2) являются медленное уменьшение выходного напряжения электростанции по мере разряда аккумуляторов, достаточно сложный способ заряда аккумуляторов и, как следствие, усложнение схемы зарядного устройства.

Выводы

1. Разработаны принципы построения и алгоритмы управления автономными солнечными электростанциями, обеспечивающие высокую надежность электроснабжения независимо от погодных условий и времени суток.
2. Установлено, что автономные солнечные электростанции со стабилизированным выходным напряжением выполняются на основе трех шин подключения, а с нестабилизированным выходным напряжением – на основе двух шин подключения.
3. Показано, что последовательное соединение аккумуляторных батарей усложняет как схему зарядного устройства, так и схему контроля заряда аккумуляторов.

Список литературы

1. Батюнин В. А. Группа Компаний «Ренова». Завод по производству солнечных модулей на базе технологии «тонких пленок» Oerlikon // SEMICON Russia 2009, г. Москва, 1–3 июня 2009 г. – URL: <http://gendocs.ru/v14320/?download=1> (дата обращения: 29.10.12).
2. Моин В. С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 376 с.
3. О влиянии реальных условий эксплуатации на энергетические характеристики солнечных фотоэлектрических установок различных типов / Е. С. Аронова, В. А. Грилихес, Н. Х. Тимошина, М. З. Шварц // Гелиотехника. – 2008. – № 3. – С. 3-10.
4. Особенности работы тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния в составе электростанции на широте г. Чебоксары / Е. С. Аронова, Г. П. Охоткин, Е. И. Теруков, М. З. Шварц // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: Материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2011. – С. 222-224.
5. European Photovoltaic Industry Association. Global Market Outlook for Photovoltaics until 2016. – URL: <http://www.epia.org/publications/epiapublications/globalmarketoutlookforphotovoltaicsuntil2016.html> (дата обращения: 27.10.12).

Рецензенты:

Белов Геннадий Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой промышленной электроники ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова», г. Чебоксары.

Иванов Александр Григорьевич – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник департамента силовой электроники ОАО «ВНИИР», г. Чебоксары.