УДК 621.316.12
DOI: 10.53015/18159958_2024_20_2_3

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ БЫТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING A DC-BASED ELECTRIC POWER SYSTEM TO POWER DOMESTIC FACILITIES

©2024

Зацепин Евгений Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования
Кудрявцев Артем Евгеньевич, аспирант кафедры электрооборудования
Zatsepin Evgeny Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Electrical Equipment Department
Kudryavtsev Artem Evgenievich, postgraduate student of the Department of Electrical Equipment

Липецкий государственный технический университет, Липецк (Россия)
Lipetsk State Technical University, Lipetsk (Russia)

E-mail: tembich001@mail.ru
E-mail: ezats@mail.ru

Аннотация: Системы, обеспечивающие автономное электроснабжение объектов, в период развития зеленой энергетики становятся еще более актуальными и востребованными. В данной работе анализируется вопрос эффективности внедрения системы электроснабжения постоянного тока, вырабатываемой альтернативными источниками энергии, в рамках бытового использования. В работе рассмотрены несколько видов энергетических систем, которые используют смешанную генерацию электричества. Целью данного исследования является изучение вопроса об экономическом эффекте, а именно снижении стоимости систем генерации электричества при переходе на постоянный ток в связи с использованием меньшего количества преобразовательных элементов энергии. Также важным аспектом работы является демонстрация всех технических нововведений перехода на системы постоянного тока, с их положительным влиянием на энергосистему и потребителей. В исследовании рассматривается конкретный пример с выбранным оборудованием будущего жилищного хозяйства, в котором энергоснабжение будет осуществляться источниками автономной генерации, в состав которых входят солнечные панели, определенное количество аккумуляторных батарей, а уровень напряжения анализируется расчетным способом, также как и экономический эффект от внедрения.

Ключевые слова: смешанная система электроснабжения, возобновляемая энергетика, фотоэлектрические панели, аккумуляторные батареи, блок питания.

Для цитирования: Зацепин Е.П., Кудрявцев А.Е. Анализ эффективности использования электроэнергетической системы на базе постоянного тока для питания бытовых сооружений // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2024. – Т. 20, № 2 (76). – С. 3–10. DOI: 10.53015/18159958_2024_20_2_3.

Abstract: Systems providing autonomous power supply to facilities are becoming even more relevant and in demand during the development of green energy. In this paper, the issue of the ef-

fectiveness of the introduction of a DC power supply system generated by alternative energy sources in the framework of everyday use is analyzed. The paper considers several types of energy systems that use mixed generation of electricity. The purpose of this study is to study the economic effect, namely, reducing the cost of electricity generation systems when switching to direct current due to the use of fewer energy conversion elements. Also an important aspect of the work is the demonstration of all the technical innovations of the transition to DC systems, with their positive impact on the power system and consumers. The study examines a specific example with the selected equipment of the future housing sector, in which energy supply will be provided by sources of autonomous generation, which include solar panels, a certain number of batteries, and the voltage level is analyzed by calculation, as well as the economic effect of the introduction.

Keywords: mixed power supply system, renewable energy, photovoltaic panels, rechargeable batteries, power supply.

For citation: Zatsepin E.P., Kudryavtsev A.E. Analysis of the efficiency of using a dc-based electric power system to power domestic facilities // Vesti of Higher Educational Institutions of the Chernozem region. – 2024. – Vol. 20, № 2 (76). – P. 3–10. DOI: 10.53015/18159958_2024_20_2_3.

ВВЕДЕНИЕ

На текущий момент времени роль альтернативной энергетики значительно возросла по сравнению с применением систем электроснабжения на базе сетей переменного тока. Причин тому может быть несколько. В результате аварийных отключений систем генерации переменного тока в связи с различными погодными условиями и другими явлениями потребители нуждаются в автономном энергоснабжении, которое будет независимым и бесперебойным, непрерывным. Также устаревшее оборудование, предназначенное для выработки переменного тока влияет на уровень качества процесса передачи энергии. Автономные источники генерации обладают огромным потенциалом, позволяя создавать непрерывное электроснабжение потребителей, как бытового, так и промышленного сектора.

Энергетическая структура, построенная с применением фотоэлектрических станций, аккумуляторных батарей, солнечных контроллеров и других аппаратов, являющихся неотъемлемыми атрибутами возобновляемой энергетики, позволяет выполнять функции диагностики и просматривать результаты в любой момент времени о всех элементах системы, о количестве и качестве циркулируемой энергии, позволяя контролировать не только потери, но и фиксировать финансовую статистику потребляемой и теряемой энергии с учетом использования техники на постоянном токе. Гибридная электрическая сеть позволяет совместно применять источники переменного тока, а именно подключать здание к общей сети и использовать электрическое оборудование постоянного тока. Это будет способствовать повышенной надежности системы, позволяя направлять энергию переменного тока от общей сети к наиболее крупным, мощным электрическим приборам, сохраняя тем самым энергию резервных устройств генерации постоянного тока. Если произойдет аварийная ситуация на общей линии, то резервная система станет основной и запитает потребителей, благодаря накопленной энергии в пиковые часы солнечной активности, что способствует непрерывному потоку электрической энергии.

В связи с повышением КПД и улучшенной пропускной способностью сети постоянного тока позволит повысить качество и производительность системы, также благодаря отсутствию реактивной мощности и отсутствию необходимости синхронизировать частоту. Задавать необходимый уровень напряжения в сети постоянного тока можно с помощью преобразователей напряжения постоянного тока, которые позволяют входное напряжение постоянного тока преобразовывать до требуемых значений.

ТЕОРИЯ ВОПРОСА

Смешанная система электроснабжения на основе использования общей централизованной сети переменного тока, а также устройств генерации и электрических аппаратов постоянного тока обладают большим потенциалом и достаточно эффективна в вопросе непрерывного электроснабжения как бытового, так и промышленного сектора. На рис. 1 представлена описываемая концепция данной системы. Среди элементов, которые отображены на данной модели можно выделить преобразователи постоянного, переменного тока, шину постоянного тока. Эта система позволяет одновременно взаимодействовать с сетью постоянного и переменного тока, снабжая необходимым количеством энергии потребителей. Благодаря преобразователям можно добиться требуемого напряжения нужного эквивалента.

С помощью понижающих силовых преобразователей постоянного тока можно подключать в работу потребителей с низким входным напряжением и наоборот. Благодаря наличию в системе двунаправленного преобразователя можно заряжать и разряжать аккумуляторы [1]. Надежность, а также эффективность смешанных систем электроснабжения подкрепляется тем фактом, что среди применяемых электрических устройств постоянного тока используются энергоэффективные сберегающие светодиодные осветительные устройства, центры, обрабатывающие информацию. Так как из цепочки, контура электроснабжения можно извлечь используемые в традиционной сети переменного тока блоки питания, можно добиться уменьшения количества некоторых ступеней преобразования напряжения.

Это означает, что можно найти электрические устройства постоянного тока, у которых отсутствует блок питания в их технической конструкции, который изначально предусматривал преобразование входного напряжения переменного тока, в напряжение постоянного тока, что в свою очередь означает экономическую эффективность перехода на данный тип электроснабжения.

Используя смешанный тип электрической системы, можно спроектировать и смоделировать систему умного дома, которая подразумевает наличие множества различных датчиков. А именно датчика протечки воды, присутствия, света, температуры, разнообразные конфигурации сервоприводов, работающих в связке с представленными датчиками, которые, в свою очередь, образуют единую информационную экосистему, которая дает потребителю возможность производить мониторинг всех систем в доме [2].

Пользователь получает возможность дистанционно управлять светом, температурой, жалюзи, кранами с водой, производить проверку охранных систем, и получать уведомления о текущем состоянии. Это несомненно повышает уровень комфорта. Помимо использования фотоэлектрических панелей, в систему для дополнительной выработки электрической энергии можно будет внедрить ветряные турбины.

Солнечные панели подразумевают отсутствие их технического обслуживания, среди проводимых мероприятий, необходимых для их эффективного функционирования, являются очистка рабочей поверхности для успешного попадания достаточного количества солнечных лучей. Их функционирование не оказывает негативного воздействия на здоровье людей и состояние окружающей среды, что дает возможность устанавливать данные панели там, где находятся и живут люди, чаще всего на крышах домов [3]. В связи с характером вырабатываемой энергии постоянного тока можно отметить, что отсутствует реактивная мощность, по сравнению с сетями переменного тока.

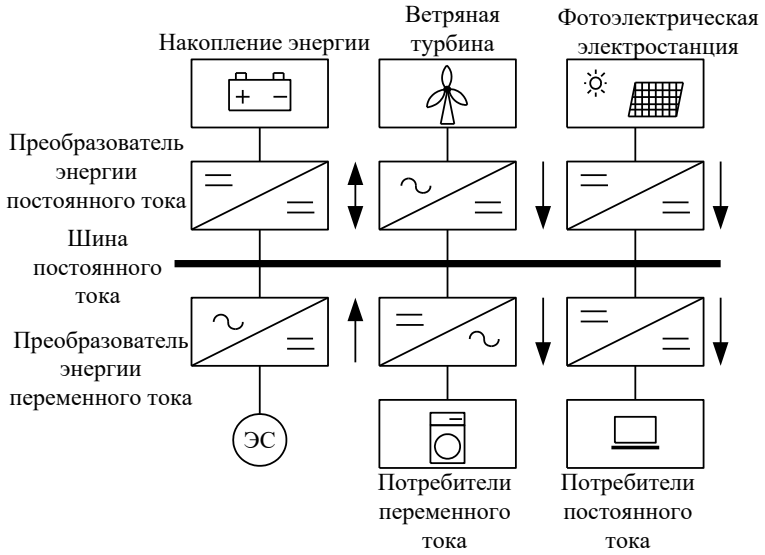


Рис. 1. Концепция смешанной системы электроснабжения
Fig. 1. The concept of a mixed power supply system

ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При подключении в традиционном варианте источников света со светодиодами к сети переменного тока, применяются драйверы, которые преобразуют переменный ток в постоянный. Если применяются светодиодные источники с мощностью 15-30 Вт, то можно говорить о эффективности упомянутых драйверов в численном диапазоне до 80%, что позволяет сделать вывод о низком КПД и потерях энергии [4]. В качестве передачи энергии на постоянном токе можно убедиться, используя следующие факты и примеры, а именно отсутствие реактивной составляющей, отсутствие индуктивной составляющей, что говорит о малых значениях падения напряжения [5]. В вопросе экономической эффективности система постоянного тока также демонстрирует более положительные результаты нежели сеть переменного тока, в этом позволяет убедиться конкретный пример с анализом технического устройства блока питания, который имеется практически в любом оборудовании [6]. Если проанализировать устройство блока питания, применяемого в ноутбуке, мощностью 150 Вт, то можно обнаружить, что он обладает 2 ступенями преобразования. В его составе имеется входной фильтр, компенсатор реактивной составляющей, выпрямитель, преобразователь уровня постоянного напряжения, которые соединены электролитическим конденсатором. На рис. 2 отображена техническая конструкция блока питания. В случае применения энергетической системы генерации и распределения исключительно на постоянном токе, то можно сделать вывод о том, что задействованные ранее элементы между конденсатором, входным фильтром и выпрямителем, которые занимают около половины блока питания, не несут важного функционального значения [7]. С точки зрения экономической выгоды за счет снижения стоимости источников питания, можно говорить о ее значительном повышении на 50%. Объектом, который наиболее часто оказывает влияние на выход из строя блока питания, является электролитический конденсатор. При анализе требуемого значения разности потенциалов основное внимание уделялось тому, что существующий блок питания преобразует 220 В переменного тока в постоянное напряжение 24 В, а в некоторых случаях и в 5 В [8]. Чтобы проанализировать возможность электроснабжения дома постоянным током рассмотрим наиболее часто используемые электротехнические устройства и произведем расчет электрических нагрузок, а также подберем необходимое количество фотоэлектрических панелей и аккумуляторов. Среди нагрузок постоянного тока будут светодиодные энергосберегающие лампы, микроволновая печь, холодильник,

чайник, ноутбук, инструменты, ТВ. Нагрузку можно вычислить, используя формулу (1):

$$P = U \cdot I, \quad (1)$$

где U – напряжение постоянного тока, I – сила тока. Полученные значения отражены в таблице (1). Для рассматриваемой концепции выбранное напряжение постоянного тока составляет 24 В, поскольку большинство электрических устройств рассчитано на данное напряжение [9]. Оно также является самым безопасным и имеет минимальные потери при передаче. Потери разности потенциалов системы на 12 В больше, чем в других случаях, что доказывает эффективность значений напряжений 24, 48 В. Преобразователи постоянного тока имеют КПД 75%, 95%, что зависит от уровня входного напряжения постоянного тока [10]. Чем оно выше, тем ниже значение эффективности. После того, как мощность устройств была вычислена необходимо определить какое количество кВт, оно будет потреблять в течении дня, с учетом отведенного времени работы по формуле (2):

$$P_S = P \cdot t \quad (2)$$

где P – мощность оборудования, t – время его работы в течении дня Таким образом результаты вычислений можно отобразить в таблице (2). После данных вычислений можно также определить тип, количество, мощность фотоэлектрических панелей, которые смогут обеспечить электрической энергией рассмотренные электрические аппараты. Также нужно найти необходимое количество аккумуляторных батарей, которые потребуется для накопления энергии и последующей передачи ее элементам электрической сети. Данные устройства будут подключаться друг к другу через защитные автоматические выключатели и солнечный контроллер, который необходим для контроля за уровнем заряда солнечных батарей [11].

Так, в данной работе в качестве фотоэлектрических панелей представлены SilaSolar, а в качестве аккумуляторов литий-железо-фосфатные. По формуле (3) можно найти значение энергии, которые будут аккумулировать солнечные панели:

$$E_V = \frac{E_{INS} \cdot P_{SP}}{P_{ins} \cdot k} \quad (3)$$

где P_{SP} – значение выдаваемой мощности, E_{INS} – среднее за месяц значение инсоляции. Таким образом, получается, что для успешного функционирования данной системы требуется две фотоэлектрические панели. Данную систему можно интегрировать в устройство умного дома на постоянном токе.

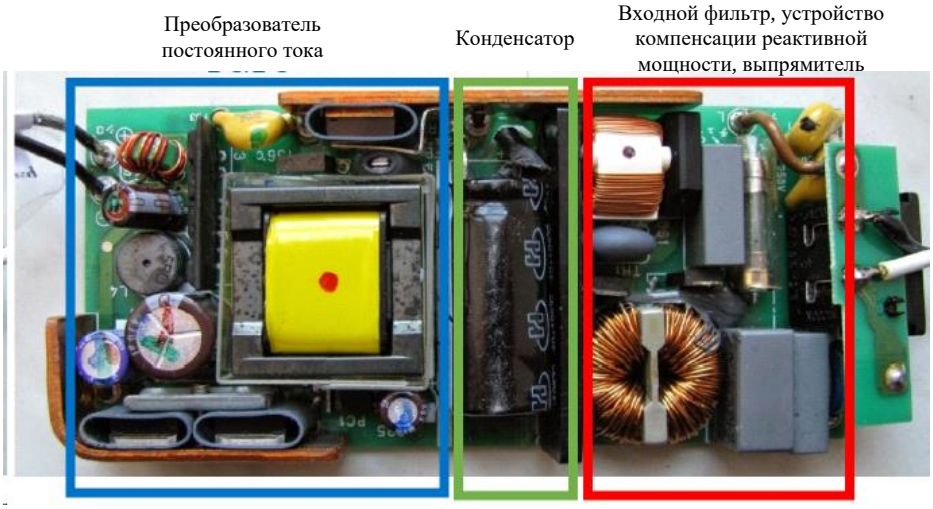


Рис. 2. Блок питания
Fig. 2. Power unit

Таблица 1

Требуемая мощность выбранных аппаратов

Table 1

The required power of the selected devices

Аппараты	U, В	Р, кВт
Электрочайник	24	0,25
Микроволновая печь	24	0,5
Специальное холодильное устройство	24	0,13
Ноутбук	24	0,062
Различные электроинструменты (лобзик, отвертка)	24	0,25
ТВ	24	0,073
Осветительная нагрузка	24	0,11
Датчики	24	0,012

Таблица 2

Энергия, потребляемая в течении дня

Table 2

Energy consumed during the day

Аппараты	Р, кВт	t, ч
Электрочайник	0,481	2
Микроволновая печь	1,21	2
Специальное холодильное устройство	1,44	12
Ноутбук	0,288	4
Различные электроинструменты (лобзик, отвертка)	0,72	3
ТВ	0,288	4
Осветительная нагрузка	0,44	4
Датчики	0,144	12
Общая мощность	5	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, удалось определить, что система постоянного тока обладает достаточным потенциалом, как с экономической, так и с технической точки зрения. Из системы можно исключить такой элемент как блок питания, в связи с тем, что энергия будет напрямую подаваться к потребителям, соответственно не будет затрат на данное звено энергосистемы. Также солнечные панели позволят заряжать аккумуляторные батареи, которые, смогут обеспечить непрерывное бесперебойное электроснабжение за счет накопленной в пик солнечной активности энергии. Это позволит значительно повысить уровень комфорта и сделать здания бытового и промышленного сектора более подготовленными к неблагоприятным условиям в энергетическом секторе, что очень важно в современных условиях, требующих постоянного наличия напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аклан, Ф., Мустафа, С., Ахмад, А. Международное агентство по возобновляемым источникам энергии. Затраты на производство энергии из возобновляемых источников в 2019 году. Оценка устойчивости и надежности ветроэнергетических си-

стем. Возобновляемая энергия. 2020. № 139. С. 1095-1108.

2. Дахал, Г., Пандей, С., Лохани, С. Обзор надежности систем возобновляемых источников энергии: Концепции, методологии и будущие направления исследований. Возобновляемые источники энергии. 2020. № 160. С. 728-741.

3. Ванг, Х., и Го, С. Анализ надежности системы возобновляемых источников энергии: Обзор. Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики. 2019. № 99. С. 101-110.

4. Ванг, П., и Сун, В. Оценка надежности подключенных к сети фотоэлектрических систем с учетом климатических и монтажных факторов. Возобновляемая энергия. 2019. № 136. С. 841-853.

5. Чжан, Х., Фу, Ж., Ван, Л., Ли, З. Метод оценки устойчивости систем хранения энергии с использованием подхода многоцелевой оптимизации на основе надежности. Прикладная энергетика, 2018. № 230, С. 1193-1203.

6. Кудрявцев, А. Е., Зацепина, В. И. Имитационное исследование рабочих характеристик микросети постоянного тока. Цифровая трансформация в энергетике: материалы Четвертой Международной научной конференции. 2023. С. 107-109.

7. Кудрявцев, А. Е., Зацепина, В. И. Исследование структур применения гибридной распределительной сети переменного и постоянного тока среднего напряжения. Энергетика будущего - цифровая трансформация : Сборник трудов III всероссийской научно-практической конференции. 2022. С. 120-124.

8. Кудрявцев А. Е., Зацепина, В. И. Концепция «Умного дома» со схемой электроснабжения на базе сети постоянного тока. Энергосбережение и эффективность в технических системах: Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции с международным участием для студентов, молодых ученых и специалистов. 2022. С. 89-90.

9. Полищук, Е. И. Актуальность применения системы «умный дом» в индивидуальном жилом доме. Молодые ученые - развитию национальной технологической инициативы. 2019. № 1-2. С. 205-207.

10. Рехлин, Т., Карташов, Е. Краткая история электричества, или почему умные дома питаются постоянным током. Компоненты и технологии. 2015. № 3. С. 84-86.

11. Васильчиков, М.Г., Клименко, А.В. Разработка веб-сервера для удаленного управления системой «Умный дом» Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях. 2018. С. 92-100.

REFERENCES

1. Aklan, F., Musta-fa, S., Ahmad, A. (2019). International Renewable Energy Agency. Costs of producing energy from renewable sources in 2019. Sustainability and reliability assessment of wind energy systems. Renewable Energy. 2020. № 139. P. 1095-1108.

2. Dahal, G., Pandey, S., Lohani, S. A review of reliability of renewable energy systems: Concepts, methodologies and future research directions. Renewable Energy. 2020. № 160. P. 728-741.

3. Wang, H., and Guo, S. Reliability analysis of renewable energy system: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. № 99. P. 101-110.

4. Wang, P., and Sun, W. Reliability assessment of grid-connected PV systems considering climate and installation factors. Renewable Energy. 2019. № 136. P. 841-853.

5. Zhang, X., Fu, J., Wang, L., Li, Z. A method for assessing the stability of energy storage systems using reliability-based multi-objective optimization approach. Applied Energy, 2018. no. 230, P. 1193-1203.

6. Kudryavtsev, A. E., Zatsepina, V. I. Simulation study of the operating characteristics of a DC Microgrid. Digital transformation in power engineering: materials of the Fourth International Scientific Conference. 2023. pp. 107-109.

7. Kudryavtsev, A. E., Zatsepina, V. I. Investigation of the structures of application of a hybrid distribution network of alternating and constant current of medium voltage. Energy of

the Future - digital transformation: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference. 2022. pp. 120-124.

8. Kudryavtsev, A. E., Zatsepina, V. I. The concept of a "Smart home" with an electrical supply scheme based on a DC network . Energy saving and efficiency in technological systems : Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation for students, young scientists and specialists. 2022. pp. 89-90.

9. Polishchuk, E. I. Relevance of the application of the smart home system in an individual residential building. Young scientists - development of the national technological initiative. 2019. No. 1-2. pp. 205-207.

10. Rechlin, T., Kartashov, E. A brief history of electricity, or why smart homes are powered by direct current Kartashov. Components and Technologies. 2015. No. 3. pp. 84-86.

11. Vasilchikov, M.G., Klimenko, A.V. Development of a web server for remote control of the Smart Home system. New mathematical methods and computer technologies in design, production and scientific research. 2018. pp. 92-100.