DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-50-55
УДК 620.97

В. В. Цыганов

Tsyganov V. V.

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURE OF A STAND-ALONE POWER SUPPLY SYSTEM

Обосновано использование двух структурных схем автономной системы электроснабжения с использованием фотоэлектрических преобразователей, аккумуляторных батарей и топливных электростанций. Первый вариант структурной схемы предполагает использование устройства автоматики – программируемый логический контроллер или гибридный программируемый логический контроллер. В качестве примера рассматривается гибридный программируемый логический контроллер российского производства. Отмечены его главные достоинства и недостатки. В качестве альтернативного решения можно использовать программируемый логический контроллер общего назначения, для этого случая указаны рекомендации по выбору оборудования. Перечислены преимущества использования постоянного тока в автономной системе электроснабжения.

Существуют автономные потребители, для которых наличие автоматизации системы электроснабжения является не обязательным условием. Для таких потребителей нагрузка небольшой мощности может быть переведена на постоянный ток. Учитывая это решение и отсутствие устройства автоматизации, приводится второй вариант структурной схемы автономной системы электроснабжения, из которой исключен программируемый логический контроллер и инвертор. Такое решение предположительно уменьшит стоимость автономной системы электроснабжения и увеличит эксплуатационный период оборудования.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, фотоэлектрические преобразователи, топливные электростанции, аккумуляторные батареи, программируемый логический контроллер.

The article substantiates the use of two block schemes of the stand-alone solar power system using photovoltaic converters, electric storage batteries and fuel power plants. The first variant of the block scheme involves the use of the automation programmable logic controller or a hybrid programmable logic controller. The Russian-made hybrid programmable logic controller is considered as an example. It also noted advantages and disadvantages of this hybrid programmable logic controller. Another alternative would be to use of general-purpose programmable logic controller, the article specifies recommendations for selection of the equipment for this case. There are specified advantages of the use of direct current in the stand-alone power supply system. There are stand-alone consumers for whom the presence of automation of the power supply system is not required. For these consumers, the load of low power can be translated on DC. Given this point and the lack of automation devices, the article presents the second variant of the block scheme of the stand-alone power supply system which excluded the programmable logic controller and inverter. This decision might be able to reduce the cost of the stand-alone power supply system and extend the maintenance period of the equipment.

Key words: renewable energy, photovoltaic, fuel power plants, accumulator battery, programmable logic controller.

Цыганов Василий Васильевич – аспирант кафедры теплоэнергетики и информационно-управляющих систем Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» г. Зерноград
E-mail: tsyganov.vasily.v@gmail.com

Tsyganov Vasiliy Vasil'evich – Post-graduate Student of the Department of Heat Power Engineering and Information Management Systems of Azov-Black Sea Engineering Institute FSBEI HE «Don State Agrarian University» Zernograd
E-mail: tsyganov.vasily.v@gmail.com

Производство электроэнергии от топливных электростанций (ТЭ) имеет ключевое значение для автономных сельских объектов в России, особенно для отдаленных регионов без хорошей сети в инфраструктуре. Общее число ТЭ превышает 47 тысяч, их установленная мощность достигает 15 млн кВт [1]. ТЭ имеют ряд преимуществ: универсальность применения, низкую стоимость оборудования, быструю окупаемость, достаточную надежность и долговечность. Они позволяют электрифицировать автономные сельские объекты с умеренными начальными инвестициями. Вместе с тем ТЭ присутствуют и некоторые недостатки. Во-первых, возникает зависимость от традицион-

го топлива, отсутствие которого приведет к дефициту электроэнергии. Во-вторых, традиционное топливо ежегодно увеличивается в цене, его нужно доставлять до автономного объекта, требуются особые условия хранения.

На рисунке 1 представлена динамика изменения цен на бензин в России. Использование традиционного топлива сопровождается высокими эксплуатационными расходами.

Кроме того, при работе в автономном режиме при изменении нагрузки от нескольких ватт до нескольких киловатт (что имеет место при электроснабжении фермерских усадеб и др. мелких сельскохозяйственных объектов) существенно изменяется КПД топливной электростанции, что снижает ее эффективность.

Рисунок 1 – Динамика изменения цен на бензин в России

Эти недостатки вынуждают изыскивать альтернативные варианты электроснабжения. Одним из таких вариантов могут быть фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) и аккумуляторные батареи (АБ), используемые совместно с ТЭ.

Так как солнечное излучение на поверхности земли нерегулярно, а электроэнергия требуется и в ночное время суток, то автономные солнечные электростанции требуют дублирующего источника энергии [3]. Электроснабжение децентрализованных населенных пунктов, как правило, осуществляется с помощью топливных электростанций, следовательно, их интеграция в состав солнечной электростанции является наиболее перспективным вариантом [4].

Структурные схемы автономной системы электроснабжения с использованием фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), аккумуляторных батарей (АБ) и топливной электростанции (ТЭ) можно подразделить как минимум на два вида. Деление на виды осуществлялось исходя из необходимости в автоматическом переключении разнородных источников электрической энергии.

При комбинированном использовании различных источников электрической энергии в роли управляющего устройства может выступать программируемый логический контроллер (ПЛК) [5] или гибридный ПЛК. На рисунке 2 представлена структурная схема автономной системы электроснабжения под управлением ПЛК.

В ряде стран, заинтересованных в развитии возобновляемых источников энергии, в частности в развитии комбинированных электрических систем, ведутся разработки по созданию гибридных ПЛК.

К гибридным ПЛК отечественного производства можно отнести систему автоматического пуска топливных электростанций компании «Энергия», изображение которой представлено на рисунке 3.

Рисунок 2 – Структурная схема автономной системы электроснабжения под управлением ПЛК:

ФЭП – фотоэлектрический преобразователь; КЗ – контроллер заряда; АБ – аккумуляторные батареи; ПЛК – программируемый логический контроллер; И – инвертор; ТЭ – топливная электростанция; РУ – распределительное устройство; ~П – потребитель переменной нагрузки; –П – потребитель постоянной нагрузки

Рисунок 3 – Система автоматического пуска топливных электростанций компании «Энергия»

Общий алгоритм работы системы автоматического пуска (САП):

1. При падении напряжения на АКБ ниже 22 В длительностью более 20 сек САП запускает ТЭ (при неудачном пуске делается до пяти попыток пуска), через 3 минуты после прогрева вырабатываемое ТЭ напряжение 220 В поступает через инвертор к потребителям.

2. Когда напряжение на АКБ достигнет 29 В, САП дает команду на выключение ТЭ.

Пиковые мощности некоторых автономных объектов меньше 4 кВт (например, домик рыбака) [5]. В отличие от зарубежных и отечественных аналогов одно из преимуществ САП «Энергия» – ориентация на работу с менее мощными топливными электростанциями (до 3,5 кВт) в первом варианте исполнения. Во втором варианте исполнения САП «Энергия» может использоваться в электрических системах с промышленными топливными электростанциями мощностью от 9 до 22 кВт. САП «Энергия» работает в двух режимах:

- по заданному диапазону напряжений на АБ;
- по заданному времени включения и длительности включения топливной электростанции.

Использование САП «Энергия» может быть сопряжено с рядом недостатков. Для повышения КПД автономной электрической системы с использованием САП «Энергия» необходимо добавить в систему инвертор МАП «Энергия», также он выступает в роли распределительного устройства. Таким образом, ограничивается возможность использовать инверторы других фирм. Нет открытого доступа к программе, заложенной в САП, чтобы реализовывать другие алгоритмы управления комбинированной системой электроснабжения. Электроснабжение только от переменного напряжения 220 В.

В работе указано, что главным недостатком гибридных ПЛК является их высокая цена [6].

Из анализа цен на САП «Энергия» и ПЛК различных фирм, а именно: SAP-35, OBEH ПЛК63, Pixel-2511-02-0, Schneider Electric SE ZelioLogic, Siemens RLU232, представленных на российском рынке устройств автоматизации, можно сделать вывод, что цена за САП «Энергия» с допустимой мощностью нагрузки, равной 3,5 кВт, превышает цену стандартных ПЛК. Выбор устройств для сравнения производился по условию минимальной комплектации устройств (дискретные и аналоговые входы/выходы).

Для автоматизации комбинированной электрической системы с использованием ПЛК необходимо:

- распределительное устройство;
- устройство запуска ТЭ;
- устройство контроля уровня заряда;
- обеспечение электроснабжением потребителя при переключении источников электрической энергии.

Распределительное устройство необходимо для переключения разнородных источников

электрической энергии. Оно может быть выполнено в виде набора реле, управляемых ПЛК.

Топливную электростанцию следует выбирать с электрическим стартером. Такое условие необходимо для дальнейшей автоматизации запуска ТЭ при помощи команд ПЛК.

Автор считает, что передавать ПЛК информацию о состоянии заряда АБ, используя контроллер заряда, который предназначен для солнечных электростанций, не целесообразно. Это связано с тем, что снизится гибкость подбора оборудования комбинированной системы электроснабжения. Не все производители контроллеров заряда АБ предоставляют информационные протоколы связи устройств в открытом доступе. Данный факт накладывает ограничение на выбор контроллеров заряда АБ, не дает возможности выбора бюджетных устройств. Возможное решение представлено в работе [7]. В данной работе ПЛК может брать на себя функционал контроллера заряда, также возможна реализация алгоритма MPPT (Maximum Power Point Tracking).

При использовании ПЛК в комбинированной системе электроснабжения для реализации бесперебойного питания следует воспользоваться инверторами с функционалом источника бесперебойного питания (ИБП). Из отечественной линейки устройств можно выделить инверторы компании «Энергия» и «А-электроника».

Существуют автономные потребители, для которых наличие автоматизации системы электроснабжения является необязательным условием. К таким потребителям можно отнести бригадный дом нерестово-выростного хозяйства [8].

Для электроснабжения нагрузки небольшой мощности можно использовать постоянный ток. Это решение можно обосновать следующими положительными сторонами использования постоянного тока [9]:

- в постоянном токе отсутствуют гармонические токи и реактивные составляющие электроэнергии, что снижает потери электроэнергии при ее передаче;
- при использовании постоянного тока в окружающей среде практически не создается переменное электромагнитное поле, влияющее на физиологию человека;
- техника, используемая в быту, может работать на постоянном токе. Чтобы обеспечить электроснабжение такой техники, необходимо выпрямить переменный ток и преобразовать его в частотных преобразователях для применения или выполнения разных функций, например для регулирования скорости вращения двигателей, изменения звука, цвета и т. п. Стоит отметить, что промышленностью выпускается оборудование, работающее на постоянном токе;
- солнечные модули и аккумуляторные батареи можно использовать напрямую без преобразования и синхронизации, что

существенно упрощает и удешевляет их применение.

Таким образом, учитывая положительные стороны использования постоянного тока, из структурной схемы может быть исключен инвертор. Структурная схема автономной системы электроснабжения без системы автоматизации и инвертора представлена на рисунке 4.

Рисунок 4 – Структурная схема автономной системы электроснабжения без системы автоматизации и инвертора:

ФЭП – фотоэлектрический преобразователь; КЗ – контроллер заряда; АБ – аккумуляторные батареи; ТЭ – тепловая электростанция; ~П – потребитель переменной нагрузки; –П – потребитель постоянной нагрузки

В таблице составлена ведомость электроприемников бригадного дома нерестово-

выростного хозяйства. Проанализировав эти данные, были выделены нагрузки, электроснабжение которых можно обеспечить от постоянного тока без преобразования. К этим нагрузкам можно отнести осветительные установки, используемые в помещении и уличной территории.

Общеизвестно, что для энергосбережения используются светодиодные лампы. Светодиоды обладают высоким уровнем светоотдачи. Малое тепловыделение и низкое питающее напряжение гарантируют высокий уровень безопасности. В светодиодных лампах исключены стеклянной колбы, это повышает их механическую прочность и надежность. При всех своих преимуществах у светодиодных ламп есть как минимум два недостатка. К недостаткам относятся высокая стоимость и необходимость источника питания на 10–12 В постоянного тока [10].

На рисунке 5 представлен график суточной нагрузки бригадного дома нерестово-выростного хозяйства. Из анализа графика следует, что малой нагрузкой (до 0,28 кВт) являются осветительные установки. Используя при построении комбинированной системы электроснабжения структурную схему, представленную на рисунке 4, малую нагрузку рекомендуется при возможности питать от аккумуляторов.

Таблица – Ведомость электроприемников бригадного дома нерестово-выростного хозяйства

№ п/п	Наименование электроприемника	Кол-во	Номинальная мощность, кВт	Режим/ время работы, час	Суммарная мощность одновременной работы, кВт	Суточное потребление электроэнергии, кВт·ч
Бытовые нагрузки						
1	Холодильник Атлант KSH-355	1	0,12	7	0,12	0,86
2	Освещение помещения. Лампы энергосберегающие	3	0,045	10	0,1	1
3	Освещение помещения. Лампы светодиодные MX-A65- 13-230	3	0,013	12	0,04	0,46
4	Кондиционер оконный NLL-A65-13-230	1	1,5	Июнь– сентябрь / 4	1,5	6
Технологические нагрузки						
5	Освещение территории. Прожектор светодиодный	2	0,05	И	0,1	1,1
6	Зарядное устройство АБ для лодки с электродвигателем Min-Cotta Endura 43	1	0,25	4	0,25	1
7	Насос скважинный	1	0,3	Днем / 1,5	0,3	0,45
Итого						
Максимум для летнего периода					2,41	10,87
Максимум для зимнего периода					0,91	4,87

Рисунок 5 – График суточной нагрузки бригадного дома нерестово-выростного хозяйства

Пики мощности выражены активно-индуктивной (кондиционер оконный, зарядное устройство АБ для лодки с электродвигателем) и индуктивной нагрузками (насос скважинный, холодильник). Рекомендуется покрывать такие нагрузки ТЭ.

Таким образом, для повышения эффективности ФЭП, защиты от высоких пусковых то-

ков АБ, обеспечения щадящего режима заряда – разряда АБ не обязательно использовать автоматизированную систему управления. Это приведет к снижению стоимости всей комбинированной автономной электрической системы, но при этом возможно ухудшение качества электроснабжения. Поэтому необходимо провести дополнительные исследования.

Литература

1. Характеристики синхронного генератора, работающего в составе инверторной дизельной электростанции / С. Г. Обухов, Н. Ю. Сипайлова, И. А. Плотников, А. Г. Сипайлов // Изв. вузов. Электромеханика. 2012. № 5. С. 41–45.
2. Воронин С. М., Жогалев А. П., Цыганов В. В. Обоснование площади батареи фотоэлектрических преобразователей для автономной электростанции // АгроЭкоИнфо. 2017. № 1. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/1/st_113.doc. (дата обращения: 13.09.2017).
3. Mondal A., Denich M. Hybrid systems for decentralized power generation in Bangladesh // Energy for Sustainable Development. 2010. Vol. 14. P. 48–55.
4. Pavan K. PLC Based Energy Management and Control Design for an Alternative Energy Power system with improved Power Quality // IEEE Transaction on smart grid. 2013. № 3(3). С. 186–193.
5. Реализованные объекты компании «Солнечный центр» [Электронный ресурс] // Сайт компании «Солнечный центр». URL: <http://www.solarcenter.ru/objects/12>. (дата обращения: 15.09.2017).
6. Energy yield of photo voltaic (pv) systems supporting hybrid power generation in Bontang city, Indonesia / Hamnah Ahsan Siti, Manjang Salama, Tjaronge Wihardi [et al.] // ICIC Express Letters. 2015. № 9 (11). P. 3127–3134.
7. Выпускная квалификационная работа [Электронный ресурс]. URL: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/27794/1/TPU165735.pdf> (дата обращения: 20.09.2017).

References

1. Characteristics of a synchronous generator, which consists of inverter diesel power plant / S. G. Obukhov, N. Ya. Sipaylova, I. A. Plotnikov, A. G. Sipaylov // Proceedings of Universities. Electrical Engineering. 2012. № 5. P. 41–45.
2. Voronin S. M., Zhogalev A. P., Tsyganov V. V. The rationale square battery of photovoltaic converters for autonomous power plants // AgroEcoInfo. 2017. № 1. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/1/st_113.doc. (date of access: 13.09.2017).
3. Mondal A., Denich M. Hybrid systems for decentralized power generation in Bangladesh // Energy for Sustainable Development. 2010. Vol. 14. P. 48–55.
4. Pavan K. PLC Based Energy Management and Control Design for an Alternative Energy Power system with improved Power Quality // IEEE Transaction on smart grid. 2013. № 3 (3). P. 186–193.
5. Implemented objects of the company «Sunny center» [Electronic resource] // Site of the company «Sunny center». URL: <http://www.solarcenter.ru/objects/12>. (date of access: 15.09.2017)
6. Energy yield of photovoltaic (pv) systems supporting hybrid power generation in Bontang city, Indonesia / Hamnah Ahsan Siti, Manjang Salama, Tjaronge Wihardi [et al.] // ICIC Express Letters. 2015. № 9 (11). P. 3127–3134.
7. Final qualifying thesis [Electronic resource]. URL: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/27794/1/TPU165735.pdf> (date of access: 20.09.2017).
8. Kozyukov D. A. Parameters and operation modes of PV systems for farming fish

8. Козюков Д. А. Параметры и режимы работы фотоэлектрических установок для фермерских рыбоводных хозяйств : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 : защищена 27.12.2017 / Д. А. Козюков ; Кубанский ГАУ ; науч. рук. Б. К. Цыганков. Краснодар, 2017. 146 с. Библиогр.: с. 137.
9. Яковлев Г. Н. Применение постоянного тока в электроснабжении социально-бытового сектора экономики с целью снижения потерь электроэнергии // Электроснабжение. 2011. № 6(19). С. 65–66.
10. Карманова Т. Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения : учебное пособие. Архангельск : САФУ имени М. В. Ломоносова, 2015. 120 с.
- farms : thesis for Candidate of Technical Sciences : 05.20.02 : defended 27.12.2017 / D. A. Kozyukov ; Kuban SAU ; scientific supervisor B. K. Tsygankov. Krasnodar, 2017. 146 p.
9. Yakovlev G. N. Application of direct current in power supply of social and household sector of economy for the purpose of reduction of losses of the electric power // Power Supply. 2011. № 6 (19). P. 65–66.
10. Karmanova T. E. Receivers and consumers of electric energy systems : study guide : textbook. Arkhangelsk : NAFU named after M. V. Lomonosov, 2015. P. 120.