

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.383

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-6-68-73

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОТОКАМИ В СИСТЕМАХ КОМБИНИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АПК

АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ , канд. техн. наук, доцентs.andreev@aol.com *ЗАГИНАЙЛОВ ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ*, д-р техн. наук, профессор

energo-viz@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Обоснована целесообразность перевода отдельных объектов АПК на комбинированное электроснабжение с использованием централизованной сети, фотоэлектрических преобразователей и аккумуляторов. Недоступность информации об алгоритме функционирования систем комбинированного электроснабжения зарубежного производства обуславливает необходимость разработки и популяризации таких систем. Рассмотрены четыре направления движения энергетических потоков в системах комбинированного электроснабжения, предусматривающие взаимное перераспределение электрической энергии между фотоэлектрическими преобразователями, аккумуляторами, потребителями и промышленной сетью. Показана перспективность разработки идеи коммерческой поставки излишков автономно генерированной электроэнергии в сеть. Сформулированы условия реализации основных направлений энергетических потоков и составлен алгоритм управления элементами системы. Предложена принципиальная релейно-контактная электрическая схема командно-коммутационного устройства системы комбинированного электроснабжения. Рассмотрена конструкция полупроводникового инвертора, обеспечивающего синфазность генерируемого напряжения с напряжением промышленной сети. Описана блок-схема командно-коммутационного устройства на логических элементах. Разработка соответствующего алгоритма и его техническая реализация позволяют грамотно эксплуатировать приобретаемое оборудование, а также создавать новые технические решения, отвечающие требованиям конкретных потребителей.

Ключевые слова: комбинированное электроснабжение, фотоэлектрические преобразователи, сеть, собственные потребители, командно-коммутационное устройство, алгоритм управления, инвертор, синфазность, логические элементы.

Формат цитирования: Андреев С.А., Загинайлов В.И. Управление энергетическими потоками в системах комбинированного электроснабжения объектов АПК // Агроинженерия. 2021. № 6(106). С. 68-73. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-68-73>.

© Андреев С.А., Загинайлов В.И., 2021



ORIGINAL PAPER

ENERGY FLOW CONTROL IN COMBINED POWER SUPPLY SYSTEMS FOR AGRICULTURAL FACILITIES

SERGEI A. ANDREEV , PhD (Eng), Associate Professors.andreev@aol.com *VLADIMIR I. ZAGINAILOV*, PhD (Eng), Professor

energo-viz@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract. The article proves the practicality of transferring individual objects of the agro-industrial sector to a combined power supply using a centralized network, photoelectric converters, and batteries. The authors state that there is no available information about the functioning algorithm of the combined power supply systems from foreign manufacturers and prove the necessity of independently developing and popularizing such systems. The article provides movement directions of energy flows in combined power supply systems. These areas offer the mutual redistribution of electrical energy between photovoltaic converters, batteries, consumers, and the industrial network. The authors show the prospects of developing the commercial supply of autonomously generated surplus electricity to the grid. The conditions for implementing the main directions of energy flows are formulated, and an algorithm for controlling the system elements is drawn up. The article presents the design of a basic relay-contact electrical circuit of the command-switching device of the combined power supply system. The authors describe the design of a semiconductor inverter ensuring the in-phase of the generated voltage with the industrial network voltage and present the block diagram of a command-switching device based on logical elements.

Key words: renewable energy sources, combined power supply, photoelectric converters, batteries, network, internal consumers, command-switching device, control algorithm, inverter, in-phase, logic elements.

For citation: Andreev S.A., Zaginailov V.I. Energy flow control in combined power supply systems for agricultural facilities. *Agricultural Engineering*, 2021; 6 (106): 68-73. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-68-73>.

Введение. Развитие маломощных средств генерирования электрической энергии все чаще побуждает потребителей к переходу на автономное электроснабжение. Если 10-15 лет назад автономное электроснабжение рассматривалось как единственно возможное и экономически оправданное решение для удаленных потребителей, то сегодня к нему прибегают как к способу повышения независимости от энергопоставляющих организаций или достижения бесперебойности собственного энергообеспечения.

Особую актуальность автономное электроснабжение приобретает с освоением возобновляемых источников энергии [1, 2]. Среди них для условий средней полосы РФ в качестве источника энергии наиболее пригодными являются солнечные электрогенерирующие установки [3]. Так, при размещении фотоэлектрических преобразователей на крышах небольших коттеджей получаемой энергии в дневные часы летних месяцев достаточно для удовлетворения бытовых нужд. Однако ввиду значительных капитальных затрат стоимость получаемой электроэнергии обычно выше стоимости сетевого ресурса. Кроме того, при использовании фотоэлектрических преобразователей важным является аккумулирование энергии, поскольку в темное время суток на ее поступление рассчитывать не приходится [4].

При проектировании автономных систем электроснабжения первоочередное внимание следует уделять вопросам рационального распределения электроэнергии, комбинируя подключение потребителей к электрогенерирующему устройству, аккумуляторам или централизованной сети. В связи с многообразием возможных траекторий движения энергетических потоков в подобных системах их можно отнести к категории комбинированных систем. Отдельной задачей является правильная организация зарядки аккумуляторов, а также поставка излишков электрической энергии в сеть [5].

До недавнего времени коммерческие поставки электрической энергии в сеть от частных домовладений и предприятий, не имеющих юридического лица, в нашей стране не практиковались. Однако в соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2019 г. № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации» реверсирование энергетического потока при взаимодействии с сетью разрешено. Отметим, что поставки излишков автономно произведенной электрической энергии в сеть позволяют полностью отказаться от использования аккумулирующих устройств, что существенно снижает стоимость оборудования и упрощает его эксплуатацию.

Поставкой, монтажом и обслуживанием оборудования для автономного и комбинированного электроснабжения маломощных потребителей (до 150 кВт) занимается множество фирм^{1,2,3}. В комплект оборудования обычно вхо-

дят импортные фотоэлектрические преобразователи, химические аккумуляторы, процессоры и коммутационная аппаратура.

Поставщики таких комплектов не доводят до заказчика сведения ни о подробном алгоритме, ни о программе и схемных решениях, что объясняется политикой предприятий-изготовителей и конкуренцией.

Цель исследования: анализ режимов функционирования системы комбинированного электроснабжения; формулирование условий для автоматического управления энергетическими потоками; разработка соответствующего алгоритма и его техническая реализация.

Материалы и методы. В качестве материала исследований были использованы технические характеристики современных фотоэлектрических преобразователей и химических аккумуляторов электрической энергии, а также сведения об особенностях их эксплуатации в системах комбинированного электроснабжения. При рассмотрении вопроса обеспечения синфазности генерируемой и сетевой электроэнергии был применен метод научного абстрагирования, позволивший разработать схему инвертора, не опираясь на традиционный подход.

Результаты и обсуждения. Анализ режимов функционирования системы комбинированного электроснабжения позволяет выделить несколько направлений движения энергетических потоков:

- 1) подача электроэнергии к собственным потребителям и к аккумуляторам от фотоэлектрических преобразователей;
- 2) подача электроэнергии к собственным потребителям от аккумуляторов;
- 3) подача электроэнергии к собственным потребителям и к аккумуляторам от сети в темное время суток и при разряженных аккумуляторах;
- 4) подача электроэнергии в сеть от фотоэлектрических преобразователей при избытке автономного ресурса или отсутствии собственного потребления.

Первое и второе направления реализуются с целью экономии затрат на электроэнергию (уменьшения суммарного объема электроэнергии, потребляемой из сети). Третье направление предусматривает энергообеспечение собственных потребителей при недостаточном автономном ресурсе. Четвертое направление осуществляется с целью частичной компенсации затрат на получаемую электроэнергию из сети посредством подачи в нее избытков автономно генерируемой электроэнергии. Важным условием четвертого направления является наличие напряжения в сети. В противном случае подача энергии в сеть может привести к усугублению аварийной ситуации ввиду появления локального источника в отключенном участке сети. Следует отметить, что для реализации четвертого направления у потребителя должны быть установлены специальные приборы учета энергии, допускающие реверсирование потока.

Для формализации условий, при которых в системе комбинированного электроснабжения реализуются

¹ Компания «Чистая Энергия». URL: <http://al-energy.ru/> (дата обращения: 20.05.2021).

² Компания «Технолайн». URL: <https://e-solarpower.ru> (дата обращения: 20.05.2021).

³ Компания «Ток Арсенал». URL: <http://tokarsenal.ru/> (дата обращения: 20.05.2021).

перечисленные направления, примем следующие обозначения:

U_{ϕ} – напряжение, развиваемое фотоэлектрическими преобразователями, В;

$U_{\phi, \text{мин}}$ – минимально допустимое напряжение, развиваемое фотоэлектрическими преобразователями, В;

$U_{\text{акк}}$ – напряжение на зажимах аккумуляторов, В;

$U_{\text{акк, мин}}$ – минимально допустимое напряжение на зажимах аккумулятора, В;

$P_{\text{выр}}$ – мощностной потенциал, определяемый суммой автономного энергетического ресурса, Вт (использование термина мощности для обозначения величины $P_{\text{выр}}$ не является корректным, так как электрическая мощность предполагает наличие тока, в то время как в нашем случае величина $P_{\text{выр}}$ определяется косвенным образом по известному напряжению, развиваемому на зажимах фотоэлектрических преобразователей и аккумуляторах при известных технических характеристиках этих устройств);

$P_{\text{тр}}$ – мощность, требуемая для обеспечения потребителей, Вт;

U_c – напряжение сети, В.

Минимально допустимое напряжение на фотоэлектрических элементах устанавливается на уровне, ниже которого незначительное увеличение нагрузки приводит к резкому снижению напряжения [6]. Определение объема накопленной энергии в аккумуляторах по величине напряжения холостого хода не вполне объективно. В связи с этим измерение $U_{\text{акк}}$ желательно проводить под нагрузкой. Соответственно выбор значения $U_{\text{акк, мин}}$ следует осуществлять с учетом типа и емкости аккумуляторов.

Мощность $P_{\text{тр}}$, требуемая для обеспечения собственных потребителей, определяется по ваттметру, однако может быть автоматически определена по известному напряжению и току.

Таким образом, для реализации сформулированных направлений необходимо выполнение соответствующих условий:

- 1) $U_{\phi} > U_{\phi, \text{мин}}; U_{\text{акк}} \leq U_{\text{акк, мин}};$
- 2) $U_{\phi} \leq U_{\phi, \text{мин}}; U_{\text{акк}} > U_{\text{акк, мин}};$
- 3) $U_{\phi} \leq U_{\phi, \text{мин}}; U_{\text{акк}} \leq U_{\text{акк, мин}}; U_c \neq 0;$
- 4) $U_{\phi} > U_{\phi, \text{мин}}; U_{\text{акк}} > U_{\text{акк, мин}}; P_{\text{выр}} > P_{\text{тр}}; U_c \neq 0.$

Принципиальная электрическая схема командно-коммутационного устройства системы комбинированного электроснабжения представлена на рисунке 1.

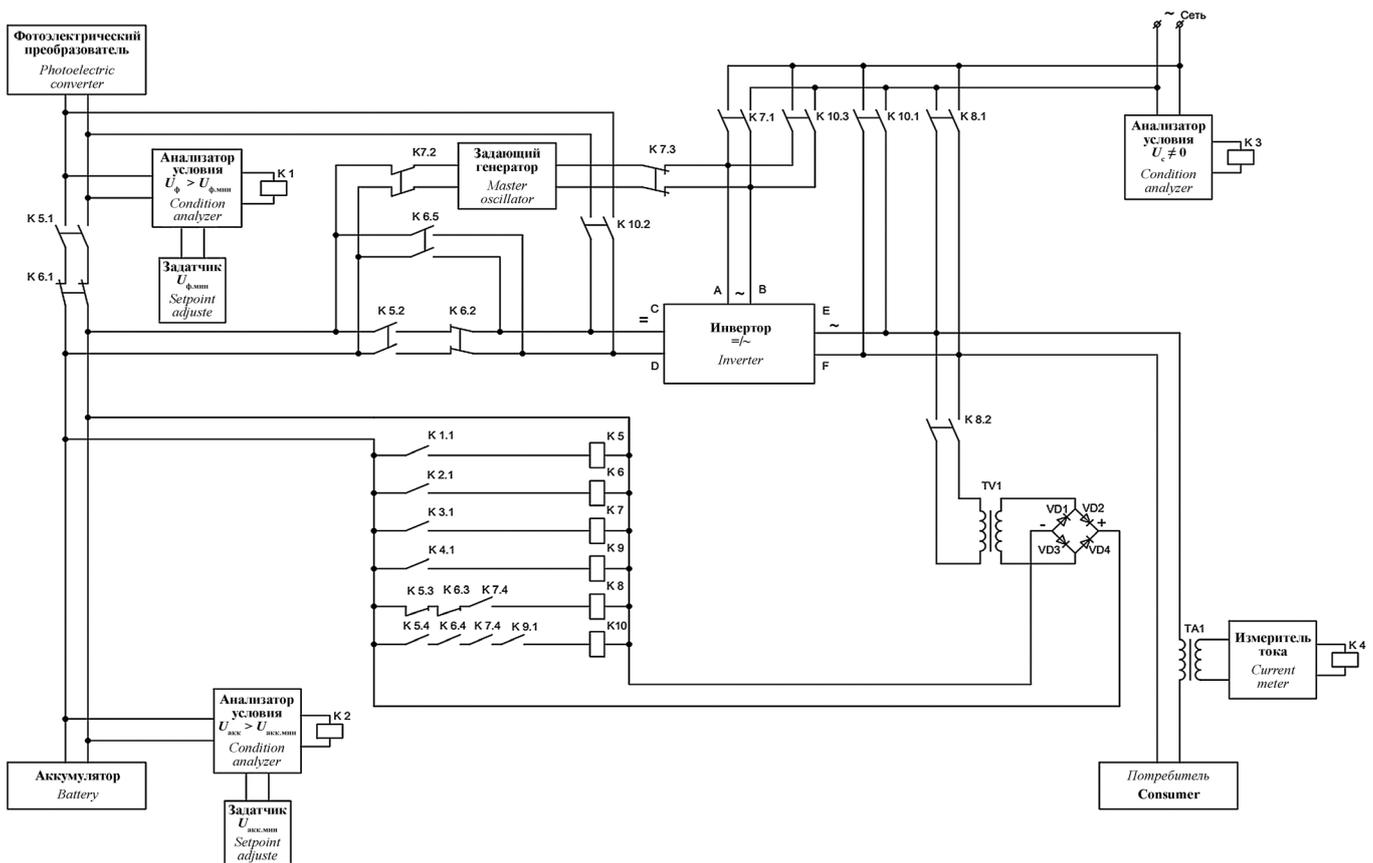


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема командно-коммутационного устройства системы комбинированного электроснабжения:

K1...K4 – слаботочные реле; K5...K10 – сильноточные реле; VD1...VD4 – полупроводниковые диоды; TA1 – трансформатор тока; K1.1...K10.3 – контакты

Fig. 1. Schematic diagram of the command-switching device of the combined power supply system:

K1...K4 – low-current relays; K5...K10 – high-current relays; VD1...VD4 – semiconductor diodes; TA1 – current transformer; K1.1...K10.3 – contacts

Командно-коммутационное устройство содержит анализаторы выполнения условий $U_{\phi} > U_{\phi, \text{мин}}$, $U_{\text{акк}} > U_{\text{акк, мин}}$

и $U_c \neq 0$, измеритель тока, задающий генератор, инвертор, слаботочные реле, сильноточные реле, трансформатор тока

и двухполупериодный выпрямитель на полупроводниковых диодах. Перечисленные анализаторы осуществляют простые операции сравнения двух величин, реализуя принцип действия компараторов. Заметим, что анализируемые условия являются частными по отношению к четырем основным условиям, ранее сформулированными при постановке задачи. Это позволяет осуществлять достаточно гибкое формирование команд при различном сочетании выполнения проверяемых условий, в том числе при их частичной или полной инверсии. Выполнение заданных условий определяет появление на выходах анализаторов напряжений, вызывающих срабатывание слаботочных реле. Контакты K1.1, K2.1, K3.1 и K4.1 этих реле установлены в цепи питания сильноточных реле K5, K6, K7 и K9. Применение в командно-коммутационном устройстве сильноточных реле вместо традиционных магнитных пускателей обусловлено стремлением к обеспечению его максимальной автономии. При номинальном напряжении на зажимах аккумулятора 12 В можно в качестве сильноточных реле использовать аппараты Swat SPR-200, характеризующиеся напряжением срабатывания 6...9 В. Столь ощутимая разность между располагаемым и требуемым напряжениями объясняется необходимостью сохранения работоспособности командно-коммутационного устройства при значительном разряде аккумуляторов.

При выполнении первого основного условия ($U_{\phi} > U_{\phi, \text{мин}}$; $U_{\text{акк}} \leq U_{\text{акк, мин}}$) реле K1 и K5 сработают, а реле K2 и K6 останутся в нерабочем состоянии. Через замкнутые контакты реле K5.1 и K6.1 электрическая энергия, вырабатываемая фотоэлектрическим преобразователем, будет поступать

на аккумулятор и заряжать его. Одновременно через контакты K5.2 и K6.2 электрическая энергия будет подаваться на вход инвертора, а с его выхода – к потребителям.

Инвертор, используемый для преобразования постоянного электрического напряжения в переменную форму, имеет некоторые особенности по сравнению с традиционными техническими решениями. Известные инверторы, как правило, содержат задающий генератор, формирующий синусоидальный управляющий сигнал частотой 50 Гц, и подключенное к его выходу силовое управляемое сопротивление [7]. При изменении этого сопротивления происходит «раскачка» постоянного энергетического ресурса и формирование переменного напряжения, которое подается потребителям. Несмотря на тривиальность известных конструкций при их использовании совместно с сетью возникает проблема обеспечения синфазности. Даже небольшое несоответствие фаз на выходе инвертора и в сети приводит к образованию значительных уравнивающих токов. Эти токи создают аварийный режим и вызывают немедленное срабатывание аппаратуры защиты. В то же время электронные синхронизирующие устройства усложняют системы электроснабжения и снижают их надежность.

Для рассматриваемой системы комбинированного электроснабжения предложен инвертор с автоматическим обеспечением синфазности генерируемой энергии с энергией электросети. На рисунке 2 представлена упрощенная принципиальная схема такого инвертора, пригодная для глубокой количественной модернизации в зависимости от используемой элементной базы, а также от мощности системы электроснабжения.

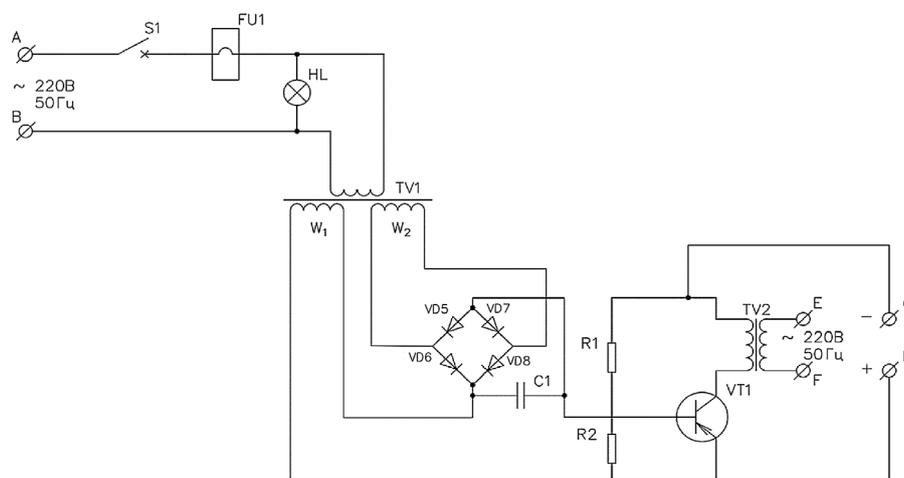


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема инвертора:

TV1, TV2 – понижающий и повышающий трансформаторы; W_1 и W_2 – вторичные обмотки;
VT1 – полупроводниковый триод; А, В, С, D, E, F – клеммы

Fig. 2. Principle electric diagram of the inverter:

TV1, TV2 – step-down and step-up transformers; W_1 and W_2 – secondary windings;
VT1 – semiconductor triode; А, В, С, D, E, F – terminals

Инвертор состоит из понижающего трансформатора *TV1* с двумя вторичными обмотками W_1 и W_2 двухполупериодного выпрямителя на диодах VD5...VD8 и эмиттерного повторителя на полупроводниковом триоде VT1. Клеммы «А» и «В» первичной обмотки трансформатора *TV1* через соответствующие коммутационные приборы подключены к сети переменного тока напряжением 220 В. Трансформа-

тор *TV1* является слаботочным, поскольку его назначение сводится к формированию информационного сигнала о текущей фазе напряжения сети. Обмотка W_2 трансформатора *TV1* подсоединена ко входным клеммам выпрямителя. Обмотка W_2 трансформатора *TV1* и выходные клеммы двухполупериодного выпрямителя соединены последовательно и подключены к управляемому входу эмиттерного повто-

рителя, выполняющего функции силового управляемого сопротивления. В результате суммирования переменного и постоянного напряжений на входе эмиттерного повторителя образуются условия смещения рабочей точки триода VT1, а внутреннее сопротивление эмиттер-коллекторного перехода начинает изменяться в соответствии с формой управляющего сигнала.

Электрическая энергия в форме постоянного напряжения подводится к клеммам «С» и «D» инвертора. Нагрузкой для триода VT1 является повышающий трансформатор TV2, на вторичной обмотке которого создается переменное напряжение 220 В частотой 50 Гц. Клеммы «Е» и «F» этой обмотки через коммутационные приборы вновь подключаются к сети. Примечательно, что наличие в схеме двух трансформаторов обеспечивает двойное инвертирование переменного напряжения, сохраняя на выходе инвертора форму кривой управляющего сигнала.

При работе инвертора в автономном режиме (для питания собственных потребителей без использования энергии сети) синфазность не требуется. В этом случае управляющий сигнал формируется отдельным электронным генератором и через внешние коммутационные приборы подается на клеммы «А» и «В».

Выполнение второго основного условия ($U_{\phi} \leq U_{\phi, \text{мин}}$; $U_{\text{акк}} > U_{\text{акк, мин}}$) сопровождается отключением реле К1 и К2, а также последующим отключением реле К5 и К6. При этом контакты К5.1 и контакты К6.1 размыкаются, отключая фотоэлектрические преобразователи. Одновременно замыкаются контакты К6.5, обеспечивая подключение аккумулятора к собственным потребителям через инвертор.

При выполнении третьего основного условия ($U_{\phi} \leq U_{\phi, \text{мин}}$; $U_{\text{акк}} \leq U_{\text{акк, мин}}$; $U_c \neq 0$) реле К1, К2, К5 и К6 остаются в выключенном состоянии, а реле К3 и К7 включаются. Размыкание контактов К5.2 и К6.5 приводит к прекращению подачи постоянного напряжения на инвертор. Реле К8 получает питание и переводится в рабочее состояние благодаря замыканию контактов К5.3, К6.3 и К7.4. Электрическая энергия от сети через замкнутые контакты К8.1 поступает к собственным потребителям. Замыкание контактов К8.2 приводит к подаче сетевой энергии на первичную обмотку понижающего трансформатора TV1, а с его вторичной обмотки – на аккумуляторы через двухполупериодный выпрямитель. Срабатывание реле К7 определяет размыкание контактов К7.2 и К7.3, приводящее к полному отключению задающего генератора. Одновременно замыкание контактов К7.1 приводит инвертор в рабочее состояние.

Если выполняется четвертое основное условие ($U_{\phi} > U_{\phi, \text{мин}}$; $U_{\text{акк}} > U_{\text{акк, мин}}$; $P_{\text{выр}} > P_{\text{тр}}$; $U_c \neq 0$), происходит срабатывание всех реле, кроме К8. При этом замыкание контактов К5.4, К6.4, К7.4 и К9.1 вызывает срабатывание реле К10. Благодаря замыканию контактов К10.2 осуществляется подача электроэнергии от фотоэлектрических преобразователей к силовому входу инвертора (клеммам С и D). Замыкание контактов К10.3 обеспечивает подачу информационного сигнала от сети к управляющему входу инвертора, а замыкание контактов К10.1 – подачу выработанной электроэнергии в сеть.

Управление энергетическими потоками в системе комбинированного электроснабжения может также осуществляться посредством командно-коммутационного устройства на бесконтактных логических элементах. Блок-схема такого устройства показана на рисунке 3.

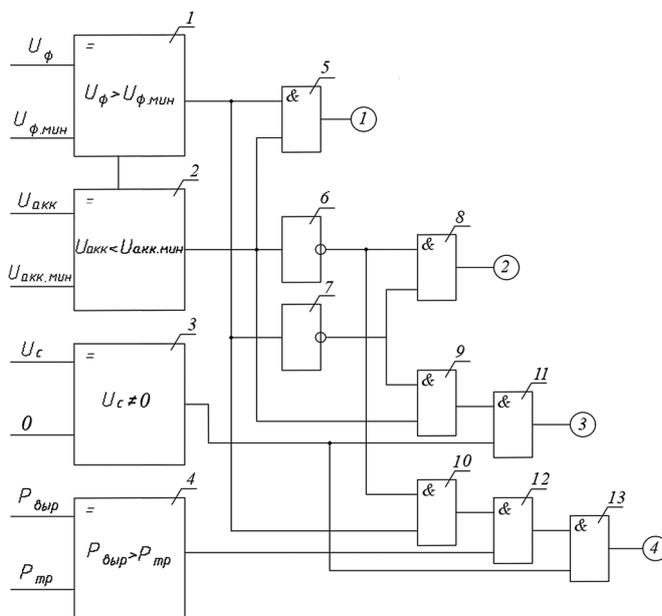


Рис. 3. Блок-схема командно-коммутационного устройства на логических элементах:

1...4 – компаратор; 5, 8...13 – логический элемент «И»; 6 и 7 – инвертор

Fig. 3. Block diagram of a switching-command device based on logic elements:

1...4 – comparator; 5, 8...13 – logic element “I”; 6 and 7 – inverter

На входы компаратора 1 поступают аналоговые сигналы, характеризующие величины напряжений U_{ϕ} и $U_{\phi, \text{мин}}$. При выполнении условия $U_{\phi} > U_{\phi, \text{мин}}$ на выходе компаратора 1 появляется логическая единица. Аналогично в компараторе 2 сравниваются напряжения $U_{\text{акк}}$ и $U_{\text{акк, мин}}$, и при выполнении условия $U_{\text{акк}} \leq U_{\text{акк, мин}}$ на его выходе также образуется единичный сигнал. Выходы компараторов 1 и 2 соединены со входами логического элемента «И» 5. Наличие сигналов на обоих входах логического элемента «И» 5 определяет формирование команды на осуществление первого направления энергетического потока.

Выход компаратора 1 подключен ко входу инвертора 7. Наличие логической единицы на выходе инвертора 7 свидетельствует о невыполнении условия $U_{\phi} > U_{\phi, \text{мин}}$ или выполнении условия $U_{\phi} \leq U_{\phi, \text{мин}}$. Инвертор 6 подключен к выходу компаратора 2. При невыполнении условия $U_{\text{акк}} \leq U_{\text{акк, мин}}$ или выполнении условия $U_{\text{акк}} > U_{\text{акк, мин}}$ логическая единица на выходе инвертора 6 исчезает. Выходы компараторов 6 и 7 подключены ко входам логического элемента «И» 8. На выходе инвертора 8 формируется команда на реализацию второго направления энергетического потока.

Выходы инвертора 7 и компаратора 2 подсоединены ко входам элемента «И» 9, что обеспечивает появление на его выходе логической единицы, свидетельствующей о выполнении условий $U_{\phi} \leq U_{\phi, \text{мин}}$ и $U_{\text{акк}} \leq U_{\text{акк, мин}}$. В компараторе 3 происходит выявление наличия напряжения сети U_c . При отсутствии U_c на выходе компаратора 3 появляется сигнал, который совместно с сигналом с выхода логического элемента «И» 9 поступает на вход элемента «И» 11. В случае выполнения условия $U_{\phi} \leq U_{\phi, \text{мин}}$; $U_{\text{акк}} \leq U_{\text{акк, мин}}$; $U_c \neq 0$ на выходе логического элемента «И» 11 формируется команда на осуществление третьего направления энергетического потока.

На входы компаратора 4 поступают аналоговые сигналы, характеризующие $P_{\text{выр}}$ и $P_{\text{тр}}$. При выполнении условия $P_{\text{выр}} > P_{\text{тр}}$ на выходе этого компаратора формируется логическая единица, которая подается на вход логического элемента «И» 12. Выходы инвертора 6 и компаратора 1 соединены со входами логического элемента «И» 10. На выходе логического элемента «И» 10 появляется логическая единица, свидетельствующая о выполнении условий $U_{\text{ф}} > U_{\text{ф.мин}}$ и $U_{\text{акк}} > U_{\text{акк.мин}}$. Выход логического элемента «И» 10 подключен ко входу элемента «И» 12, а выход последнего – к одному из входов логического элемента «И» 13. Одновременно к другому входу этого элемента подсоединен выход компаратора 3. Таким образом, формирование команды на реализацию

четвертого направления энергетического потока происходит при выполнении условий $U_{\text{ф}} > U_{\text{ф.мин}}$; $U_{\text{акк}} > U_{\text{акк.мин}}$; $P_{\text{выр}} > P_{\text{тр}}$; $U_{\text{с}} \neq 0$.

Выводы

Проведенный анализ режимов функционирования системы комбинированного электроснабжения, а также формулирование условий для автоматического управления энергетическими потоками с разработкой соответствующего алгоритма и его технической реализацией позволяют грамотно эксплуатировать приобретаемое оборудование, а также создавать новые технические решения, отвечающие требованиям конкретных потребителей.

Библиографический список

1. Кошкарров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. М.: ДМК Пресс, 2011. 144 с.
2. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. СПб.: Наука и Техника, 2011. 320 с.
3. Поулек В. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии. Теория и практика использования солнечной энергии / В. Поулек, М. Либра, Д.С. Стребков, В.В. Харченко. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2013. 324 с.
4. Андреев С.А., Загинайлов В.И., Шибаров Д.В. Аккумуляция энергии в маломощных гелиосистемах автономного электроснабжения // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2017. № 5 (81). С. 70-76.
5. Андреев С.А., Поволоцкий Н.Э. Алгоритм управления энергетическими потоками в автономных системах электроснабжения. European Research XXXII International scientific conference. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2021. С. 16-21.
6. Чопра С., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы: Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 435 с.
7. Гельман М.В. Преобразовательная техника: Учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. 425 с.

Критерии авторства

Андреев С.А., Загинайлов В.И. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Андреев С.А., Загинайлов В.И. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.05.2021

Одобрена после рецензирования 20.10.2021

Принята к публикации 21.10.2021

References

1. Koshkarov A.P. Vetrogeneratory, solnechnye batarei i druge poleznye konstruksii [Wind turbines, solar panels and other useful structures]. Moscow, DMK Press, 2011: 144. (In Rus.)
2. Germanovich V., Turilin A. Al'ternativnye istochniki energii i energosberezhenie [Alternative energy sources and energy saving]. S.-Pb, *Nauka i Tekhnika*, 2011: 320. (In Rus.)
3. Poulek V., Libra M., Strebkov D.S., Kharchenko V.V. Fotoelektricheskoe preobrazovanie solnechnoy energii. Teoriya i praktika ispol'zovaniya solnechnoy energii [Photovoltaic conversion of solar energy. Theory and practice of using solar energy]. Moscow, GNU VIESH, 2013: 324. (In Rus.)
4. Andreev S.A., Zagainailov V.I., Shibarov D.V. Akkumulirovanie energii v malomoshchnykh geliosistemakh avtonomnogo elektrosnabzheniya [Energy storage in low-power solar systems of autonomous power supply]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2017; 5 (81): 70-76. (In Rus.)
5. Andreev S.A., Povolotskiy N.E. Algoritm upravleniya energeticheskimi potokami v avtonomnykh sistemakh elektrosnabzheniya [Algorithm for managing energy flows in autonomous power supply systems]. *European Research: sbornik statey XXXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. MTsNS "Nauka i Prosveshchenie"*. Penza, 2021: 16-21. (In Rus.)
6. Chopra S., Das S. Tonkopenochnye solnechnye elementy [Thin-film solar cells]. Translated from English. Moscow, Mir, 1986: 435. (In Rus.)
7. Gelman M.V., Dudkin M.M., Preobrazhensky K.A. Preobrazovatel'naya tekhnika: uchebnoe posobie [Converting devices: study manual]. Chelyabinsk, Izdatel'skiy tsentr YUUGU, 2009: 425. (In Rus.)

Contribution

S.A. Andreev, V.I. Zagainailov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. S.A. Andreev, V.I. Zagainailov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 21.05.2021

Approved after reviewing 20.10.2021

Accepted for publication 21.10.2021