

УДК 621.314

UDC 621.314

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОДУЛЬНЫЙ СТАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ И СТАБИЛИЗАТОР ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**UNIVERSAL MODULAR STATIC CONVERTER AND STABILIZER PARAMETERS OF ELECTRIC POWER**

Григораш Олег Владимирович  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой,  
[grigorasch61@mail.ru](mailto:grigorasch61@mail.ru)

Grigorash Oleg Vladimirovich  
Doctor of Engineering Sciences, professor, head of the  
chair, [grigorasch61@mail.ru](mailto:grigorasch61@mail.ru)

Семёнов Ярослав Александрович  
студент

Semjonov Yaroslav Aleksandrovich  
student

Кондратенко Юлия Евгеньевна  
студент  
*Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия*

Kondratenko Yuliya Evgenyevna  
student  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В статье рассматривается функциональная схема универсального модульного статического преобразователя и стабилизатора параметров электроэнергии с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками

The article discusses the functional diagram universal modular inverter and stabilizer parameters of electric power with improved operational and technical characteristics

Ключевые слова: АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, СИСТЕМА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Keywords: AUTONOMOUS ELECTRICITY SYSTEM, UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEM, AUTONOMOUS ENERGY SOURCE, UNIVERSAL STATIC CONVERTERS

Модульный принцип построения автономных систем электроснабжения (АСЭ) наряду с агрегатированием и унификацией является перспективным направлением в развитии возобновляемой энергетики, поскольку позволяет обеспечить высокую надежность работы системы, за счет резервирования основных функциональных узлов и блоков. Важно то, что при разработке модульных систем сокращается время их проектирования и упрощается задача по изменению структуры АСЭ в зависимости от режимов работы потребителей. Значительный технико-экономический эффект достигается при эксплуатации модульных АСЭ за счет сокращения времени на устранение неисправностей, поскольку неисправные модульные блоки в ручном или автоматическом режиме заменяются на рабочие [1, 2].

Известно, что в составе АСЭ могут применяться следующие типы преобразователей: выпрямители, инверторы, преобразователи частоты и конверторы. Силовая схема каждого из рассмотренных типов преобразова-

телей выполненная на полупроводниковых приборах, содержит фильтр и трансформатор, кроме преобразователя частоты [2, 3].

Для существенного улучшения эксплуатационно-технических характеристик АСЭ, обеспечивающих бесперебойное электроснабжение ответственных потребителей (потребителей первой категории) актуальным является направление разработки единого по структуре (в одном корпусе) преобразователя и стабилизатора параметров электроэнергии – универсального статического преобразователя (УСП) [4, 5].

При использовании в составе автономных систем УСП решаются вопросы электромагнитной совместимости, поскольку уменьшается число силовых электронных приборов – основных источников электромагнитных помех и повышаются показатели КПД и надёжности АСЭ [6, 7].

На рисунке 1 представлен один из вариантов функциональной схемы УСП, который в своем составе содержит модульный блок системы управления *СУ*, модульный блок коммутации *БК*, первый и второй модульные блоки фильтров *Ф1* и *Ф2*, первый *А, В, С* и второй *Х, Y, Z* комплекты шин, нулевой вывод *0*, модульные блоки однофазных согласующих трансформаторов *Т1 – Т4*, модульные блоки полупроводниковых ключей *ПК1 – ПК4*, выполненные на транзисторах *VT1* и *VT2*.

На рисунке 1 показаны также первые и вторые выводы преобразователя *1, 2, 3* и *4, 5, 6* соответственно, контакты *К1.1 – К6.1* и *К1.2 – К4.2* контакторов модульного блока коммутации *БК*, управляющие выходы системы управления и управляющие входы полупроводниковых ключей, а также выводы для подключения системы управления *СУ* и распределительное устройство *РУ*. Распределительное устройство осуществляет связь УСП с источником напряжения и нагрузкой посредством системы управления *СУ*.

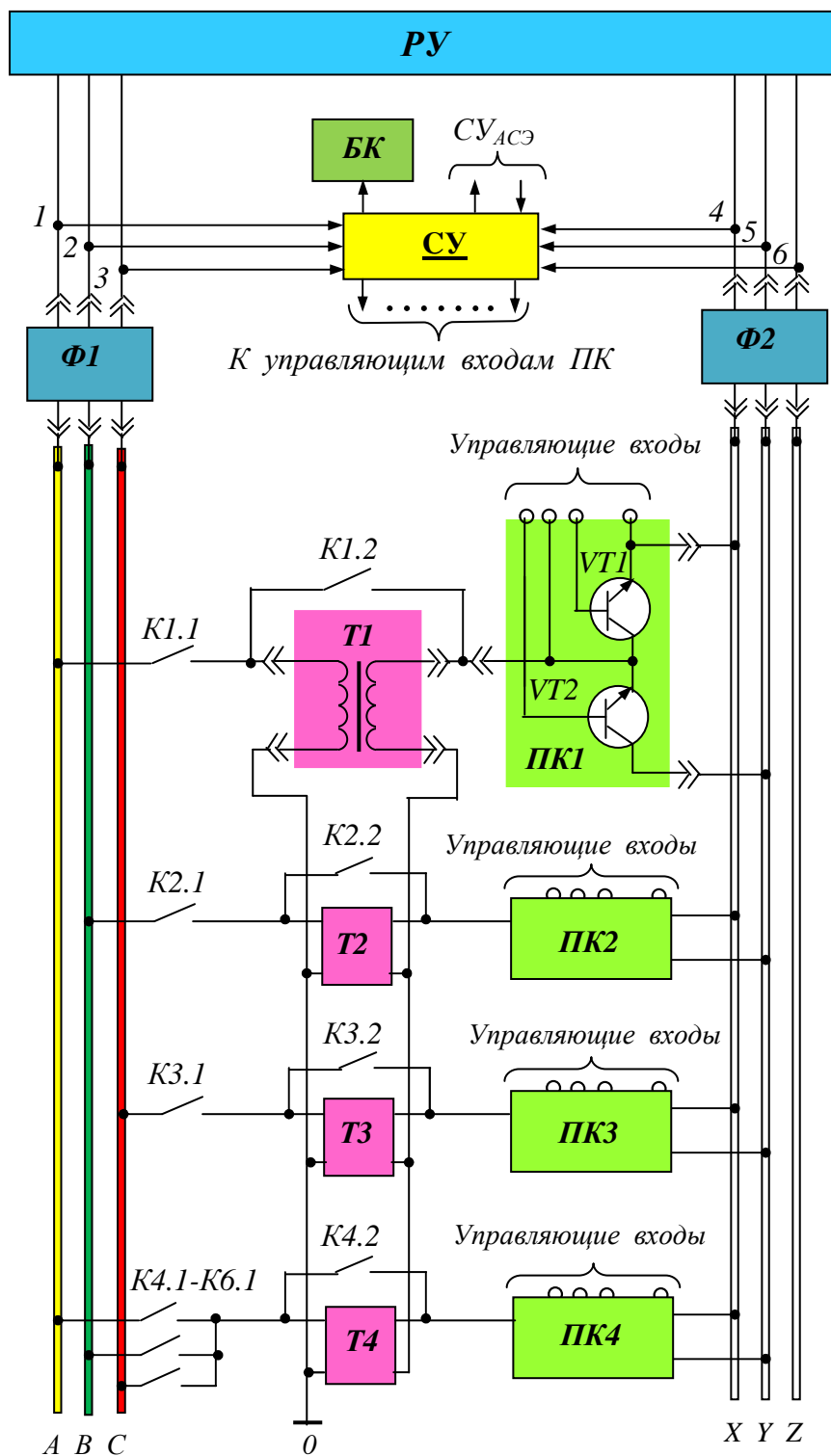


Рисунок 1 – Функциональная схема универсального статического преобразователя

Система управления УСП, выполнена на микропроцессорной технике и содержит несколько программ, обеспечивающих работу по преобразованию и стабилизации параметров электроэнергии в режиме несколь-

ких типов преобразователей. Причем стабилизация напряжения, функции контроля параметров электроэнергии, защиты и оперативных переключений через модульный блок коммутации *БК* осуществляются на локальном уровне, а выбор типа преобразователя (режима работы) УСП осуществляет система управления АСЭ [4].

Целесообразно рассмотреть особенности работы УСП в различных режимах.

**Режим выпрямителя.** Система управления *СУ* через распределительное устройство *РУ* к первым выводам 1, 2, 3 преобразователя подключает трехфазный источник электроэнергии переменного тока. Модульный блок первого фильтра *Ф1* в этом режиме исключен из схемы преобразователя. Через шины *A, B, C* и контакты *K1.1 – K3.1*, коммутация которых осуществляется модульным блоком коммутации *БК*, напряжение источника питания переменного тока подключается к первичным обмоткам модульных блоков трансформаторов *T1 – T3*.

Трансформаторы предназначены для согласования напряжения источника питания с нагрузкой, т.е. преобразуют его до требуемого для нагрузки уровня. Далее напряжение переменного тока прикладывается к блокам полупроводниковых ключей *ПК1 – ПК3*, которые преобразуют его в напряжение постоянного тока и которое прикладывается к шинам *X* и *Y*. Модульный блок второго фильтра *Ф2* сглаживает пульсации выпрямленного напряжения, обеспечивая требуемое его качество для нагрузки, которая подключается к выводам 4 и 5 преобразователя через *РУ*. Стабилизация напряжения осуществляется системой управления *СУ* за счет изменения угла управления транзисторов *VT1* и *VT2* блоков *ПК1 – ПК3*. К входным выводам преобразователя может подключаться однофазный источник напряжения переменного тока. В этом случае работает один трансформатор *T1* и два блока полупроводниковых ключей *ПК1* и *ПК2*.

**Режим инвертора.** Источник напряжения постоянного тока подключается к выводам 4, 5 преобразователя и через модульный блок второго фильтра  $\Phi 2$  и шины  $X, Y$  напряжение прикладывается к модульным блокам полупроводниковых ключей  $ПК1 - ПК3$ , которые осуществляют преобразование напряжения постоянного тока в симметричную трехфазную систему напряжений переменного тока, которая через шины  $A, B, C$ , модульный блок первого фильтра  $\Phi 1$  прикладывается к выводам 1, 2, 3. В распределительном устройстве  $РУ$  к этим выводам подключается нагрузка. В этом режиме УСП может формировать однофазную систему напряжения переменного тока, при этом, в работе задействуются только полупроводниковые ключи  $ПК1$  и  $ПК2$ .

Модульные блоки  $T4$  и  $ПК4$  для рассмотренных режимов являются резервными и включаются в работу к соответствующей фазе источника питания, в случае, неисправности одного их трансформаторов или блока полупроводниковых ключей.

**Режим преобразователя частоты.** Для этого режима необходимы дополнительные модульные блоки полупроводниковых ключей эмиттерные выводы которых подключаются к шине  $Y$ , а коллекторные – к шине  $X$ , при этом, каждый из модульных блоков полупроводниковых ключей подключается к соответствующей шине  $A, B, C$ . Модульные блоки согласующих трансформаторов в этом режиме исключены из работы. Высокочастотное напряжение источника питания подключается через  $РУ$  к выводам 1, 2, 3 преобразователя и через фильтр  $\Phi 1$  и шины  $A, B, C$  к модульным блокам полупроводниковых ключей, которые преобразуют систему напряжений трёхфазного тока в однофазную и понижают его частоту до требуемых значений для нагрузки, которая подключается к выводам 4, 5 преобразователя. При этом фильтр  $\Phi 2$  обеспечивает требуемое качество преобразованного напряжения. При необходимости полу-

чения трехфазной низкочастотной системы напряжения в конструкции УСП должна быть предусмотрена дополнительная шина  $Z$ .

**Режим конвертора.** В этом режиме последовательно включаются два УСП, при этом первый работает в инверторно-трансформаторном режиме, а второй в режиме выпрямителя. Причем, инвертор генерирует напряжение с повышенной частотой. Здесь стабилизацию напряжения можно осуществлять как за счет изменения угла управления транзисторов высокочастотного инвертора, так и за счет, изменения угла управления транзисторов выпрямителя [8].

При необходимости наращивания установленной мощности или повышения надежности УСП его конструкция позволяет подключать к шинам  $A, B, C$  и  $X, Y, Z$  типовых по мощности модульных блоков.

Таким образом, УСП позволяют выполнять функции четырех типов преобразователей электроэнергии. Однако практически нецелесообразно, чтобы один преобразователь имел такое многообразие функций, т.к. это ухудшает его критерии эффективности (показатели надёжности, КПД и массогабаритные показатели) и эксплуатационно-технические характеристики АСЭ в целом [4].

В настоящее время существуют два основных пути улучшения характеристик АСЭ. Первый предполагает использование источников электроэнергии постоянного тока повышенного напряжения (до 400 В), а второй использование высокочастотных источников электроэнергии (до 1200 Гц). Тогда, в первом случае АСЭ должна содержать УСП, работающие в режимах конвертор-инвертор, а во втором – в режимах выпрямитель-преобразователь частоты [9].

Принцип работы УСП позволяет рационально использовать преобразовательные модули в АСЭ, обеспечивая при этом эффективные взаимосвязи в системе электроснабжения в целом. Поскольку важной особенностью работы УСП является их способность пропускать потоки электро-

энергии в обоих направлениях. На рисунке 2 представлен вариант структурной схемы АСЭ, выполненной на базе высокочастотных источников электроэнергии *ВЧИ1* и *ВЧИ2*, трансформаторно-выпрямительных блоков *ТВБ1* и *ТВБ2*, универсальных статических преобразователей электроэнергии *УСП1* и *УСП2*. На рисунке 2 показаны также блок накопителей электроэнергии *БНЭ*, шина переменного тока промышленной частоты *Ш1*, шина переменного тока повышенной частоты *Ш3*, шина напряжения постоянного тока *Ш2* и выходы для подключения нагрузки *1 – 7*.

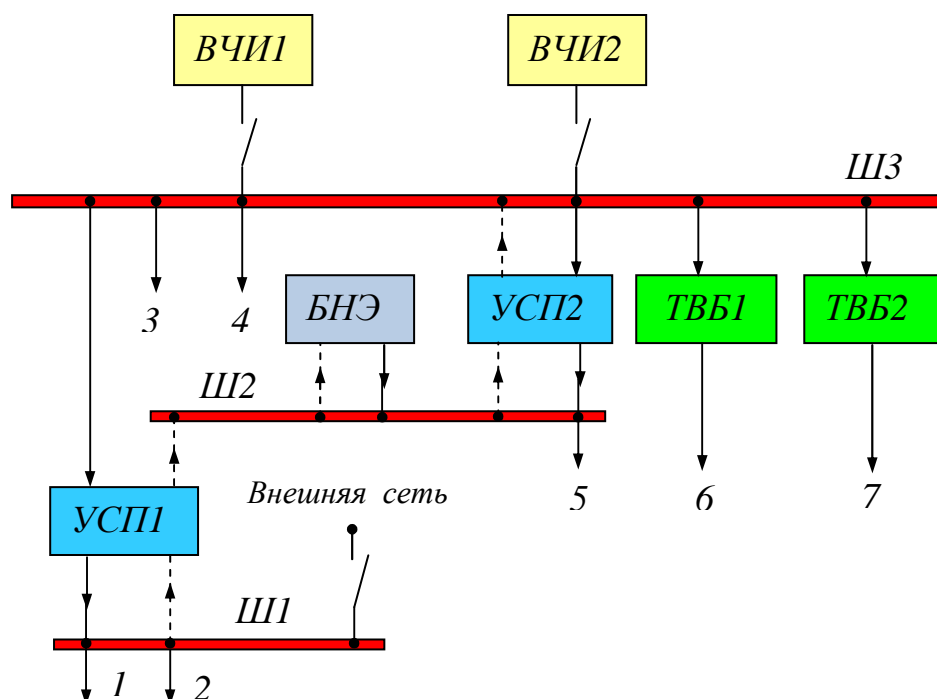


Рисунок 2 – Структурная схема АСЭ с использованием УСП

При питании потребителей электрической энергии от внешней сети *УСП1* работает в режиме выпрямителя, а *УСП2* – в режиме высокочастотного инвертора, блок накопителей *БНЭ* находится в режиме подзаряда (пунктирной линией на рисунке 2 показаны направления передачи электроэнергии от *УСП1*). Когда электроснабжение потребителей осуществляют высокочастотные источники электроэнергии *ВЧИ1* и

*ВЧИ2*, блок *БНЭ* продолжает работать в предыдущем режиме, а преобразователи *УСП1* и *УСП2* переходят работать в режим преобразователя частоты и выпрямителя соответственно. В случае когда же основным источником электроэнергии является *БНЭ*, *УСП1* продолжает работать в режиме преобразователя частоты, а *УСП2* снова переходит работать в режим высокочастотного инвертора.

При модульном агрегатировании АСЭ необходимо учитывать способы подключения УСП к источнику ( $U_{II}$ ) и ( $Z_H$ ) нагрузке (рисунок 3). На практике используются следующие способы взаимного подключения УСП к источнику и нагрузке:

– УСП подключены параллельно к источнику электроэнергии и работают параллельно на общую нагрузку (рисунок 3, *а*);

– УСП включены между собой последовательно по цепям их питания и работают параллельно на общую нагрузку (рисунок 3, *б*);

– УСП подключены параллельно к источнику питания, а их выходные напряжения суммируются для питания общей нагрузки (рисунок 3, *в*);

– УСП включены последовательно по цепям питания, а их выходные напряжения суммируются для питания общей нагрузки (рисунок 3, *г*).

Первый из рассмотренных способов включения УСП (рисунок 3, *а*) применяется при сравнительно низких значениях напряжения источника питания  $U_{II}$  для распределения суммарной мощности нагрузки между синхронно и синфазно работающими УСП, когда напряжение, прикладываемое к каждому полупроводниковому прибору любого отдельно взятого УСП, не превышает предельно допустимого значения этого параметра. Рассмотренный способ включения УСП позволяет создавать мощное устройство из маломощных УСП.



Второй способ включения УСП (рисунок 3, б) используется, когда напряжение источника питания  $U_{\Pi}$  превышает верхнюю границу, при которой обеспечивается допустимое значение напряжения на закрытых полупроводниковых приборах каждого отдельно взятого УСП. В данном случае напряжение питания  $U_{\Pi}$  распределяется между последовательно включенными УСП, в результате на входе каждого из них действует напряжение, равное  $U_{\Pi}/N$ , где  $N$  – число используемых модулей.

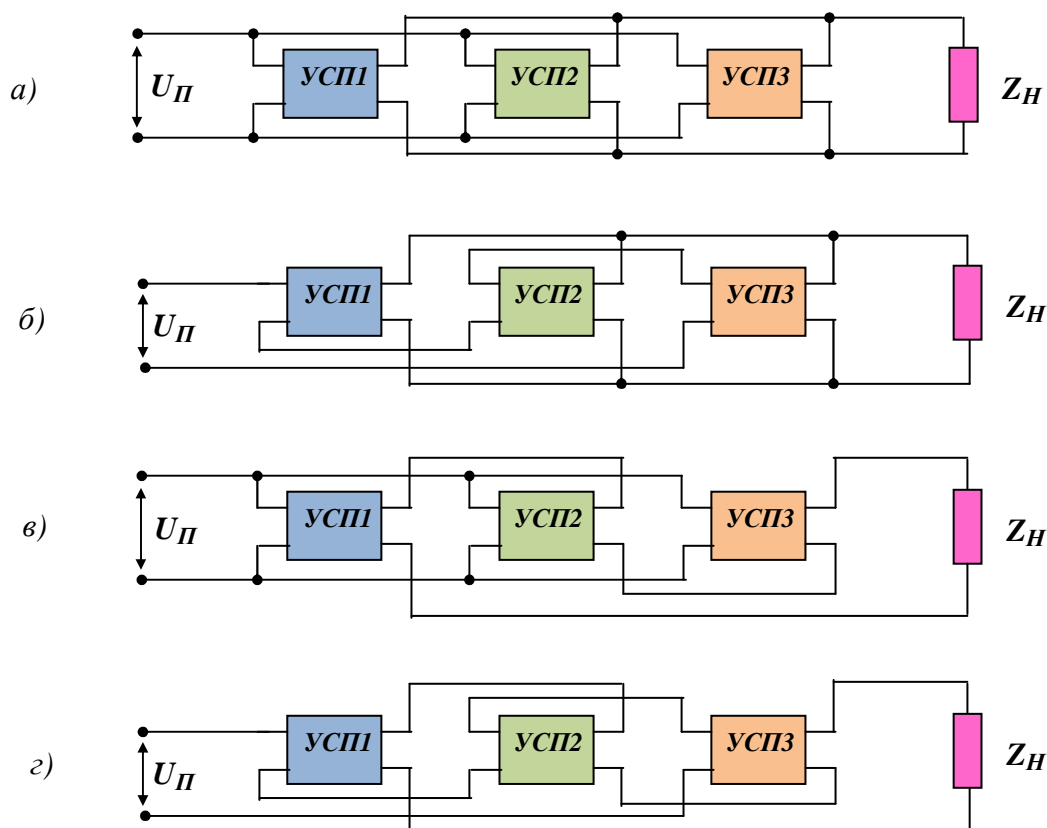


Рисунок 3 – Структурные схемы включения УСП к источнику и нагрузке

Параллельное подключение УСП к источнику электроэнергии и суммирование их выходных напряжений на общей нагрузке (рисунок 3, в) является одним из распространенных способов построения высоковольтных преобразовательных устройств. Устройство управления моду-

лями, как правило, выполненных в одноканальном варианте, обеспечивает синхронность работы всех стабилизирующих устройств.

Включение УСП по схеме, приведённой на рисунке 3, *з* может быть использовано при построении УСП, питающих от источников электроэнергии со сравнительно высоким напряжением и обеспечивающих высокое постоянное или переменное напряжение.

Рассмотренные способы подключения УСП к источнику и нагрузке обеспечивают получение следующих нескольких положительных свойств одновременно:

1) высокую надежность вследствие того, что несколько УСП могут быть включены как функционально избыточные и при отказе одного или двух их функции выполняют оставшиеся УСП;

2) увеличение выходной мощности или входного напряжения без необходимости параллельного или последовательного подключения силовых транзисторов и введения в связи с этим устройств выравнивания токов или напряжений между транзисторами как при их открытом, так и при закрытом, состоянии;

3) возможность минимизации, так, к примеру, в преобразователях с промежуточным высокочастотным преобразованием при разделении его на маломощные модульные преобразователи частота может быть увеличена до сотен килогерц, благодаря чему уменьшаются масса и габариты реактивных элементов (трансформаторов, дросселей, конденсаторов).

Таким образом, предложенное техническое решение УСП позволит значительно улучшить эксплуатационно-технические характеристики АСЭ в комплексе.

### Список литературы

1. Возобновляемые источники электроэнергии. Григораш О.В., Степура Ю.П., Сулейманов Р.А. и др. Краснодар, 2012.
2. Современное состояние и перспективы развития систем автономного электроснабжения. Атрощенко В.А., Ланчу В.В., Григораш О.В. Промышленная энергетика. 1994. № 5.
3. Статические преобразователи электроэнергии. Григораш О.В., Новокрещенов О.В., Хамула А.А., Шхалахов Р.С. Краснодар, 2006.
4. Модульные системы гарантированного электроснабжения. Григораш О.В., Божко С.В., Нормов Д.А. и др. Краснодар. 2005.
5. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. Краснодар, 2011.
6. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования. Богатырев Н.И., Григораш О.В., Курзин Н.Н. и др. Краснодар, 2002.
7. К вопросу электромагнитной совместимости основных узлов САЭ. Григораш О.В., Дацко А.В., Мелехов С.В. Промышленная энергетика. 2001. № 2.
8. Универсальный модульный преобразователь. Богатырев Н.И., Курзин Н.Н., Григораш О.В., и др. Патент на изобретение RUS 2231907, 27.06.2004.
9. Системы автономного электроснабжения. Григораш О.В., Богатырев Н.И., Курзин Н.Н. Краснодар, 2001.

### References

1. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Sulejmanov R.A. i dr. Krasnodar, 2012.
2. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija. Atroshhenko V.A., Lanchu V.V., Grigorash O.V. Promyshlennaja jenergetika. 1994. № 5.
3. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii. Grigorash O.V., Novokreshhenov O.V., Hamula A.A., Shhalahov R.S. Krasnodar, 2006.
4. Modul'nye sistemy garantirovannogo jelektrosnabzhenija. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Normov D.A. i dr. Krasnodar. 2005.
5. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektro-snabzhenija. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. Krasnodar, 2011.
6. Preobrazovateli jelektricheskoy jenerгии: osnovy teorii, rascheta i proekti-rovanija. Bogatyrev N.I., Grigorash O.V., Kurzin N.N. i dr. Krasnodar, 2002.
7. K voprosu jelektromagnitnoj sovmestimosti osnovnyh uzlov SAJe. Grigorash O.V., Dacko A.V., Melehov S.V. Promyshlennaja jenergetika. 2001. № 2.
8. Universal'nyj modul'nyj preobrazovatel'. Bogatyrev N.I., Kurzin N.N., Grigorash O.V., i dr. Patent na izobretenie RUS 2231907, 27.06.2004.
9. Sistemy avtonomnogo jelektrosnabzhenija. Grigorash O.V., Bogatyrev N.I., Kurzin N.N. Krasnodar, 2001.