

УДК 621.314

UDC 621.314

ИНВЕРТОРЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

SOLAR POWER INVERTER WITH IMPROVED PERFORMANCE

Григораш Олег Владимирович
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой,
grigorasch61@mail.ru

Grigorash Oleg Vladimirovich
Doctor of engineering sciences, professor, head of the
chair, grigorasch61@mail.ru

Усков Антон Евгеньевич

Uskov Anton Evgenevich

Семёнов Ярослав Александрович
студент
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Semjonov Jaroslav Aleksandrovich
student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассматриваются структурно-схемные решения систем управления и стабилизации напряжения однофазных мостовых схем инверторов солнечных электростанций с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения и улучшенными техническими характеристиками

The article discusses the structural and control systems schematics and voltage stabilization in phase bridge circuits solar power inverters with PWM output voltage and improved performance

Ключевые слова: АВТОНОМНЫЕ ИНВЕРТОРЫ, СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Keywords: STAND-ALONE INVERTERS, SOLAR POWER PLANTS, SOLAR PHOTOVOLTAIC INSTALLATION, SOLAR BATTERY, CONTROL SYSTEM

Отрицательные экологические последствия от использования традиционных источников энергии, а также ограниченный их ресурс привели в настоящее время к глубокому изучению, разработке и внедрению возобновляемых источников энергии [1, 2].

Перспективным направлением является внедрение солнечных электростанций в Краснодарском крае [3, 4].

Известно, что одним из основных функциональных узлов солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ) являются автономные инверторы (АИ), которые согласуют электрические параметры солнечных батарей с параметрами, необходимые для нагрузки. Практически от АИ зависят показатели надёжности СФЭУ, в том числе ресурс непрерывной работы [5].

Конструктивно СФЭУ содержит (рисунок 1):

– солнечные батареи (СБ), содержащие фотоэлементы;

- автономный инвертор (АИ), выполненный на полупроводниковых приборах, как правило, в своей конструкции, содержащий трансформатор;
- аккумуляторные батареи (АБ);
- систему управления и защиты (СУЗ).

Солнечные батареи *СБ* преобразуют энергию солнечного излучения в электрическую энергию постоянного тока. АИ выполняют три функции: преобразуют напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока; согласуют уровни напряжения источника с нагрузкой, за счёт трансформаторов, входящих в их конструкцию; стабилизируют напряжение при изменении величины и характера нагрузки. Аккумуляторные батареи в составе СФЭУ выполняют функции резервного источника электроэнергии. Система управления и защиты *СУЗ* кроме стабилизации напряжения, обеспечивает переход питания нагрузки от *СБ* к *АБ* и защиту СФЭУ от аварийных режимов работы [6].

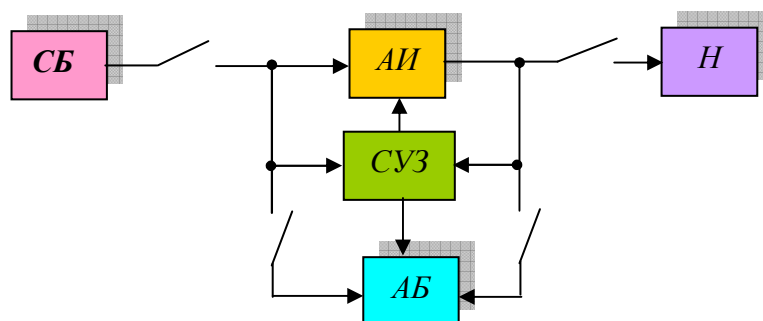


Рисунок 1 – Структурная схема СФЭУ с подключённой нагрузкой *Н*

Основными недостатками эксплуатируемых АИ в составе СФЭУ являются относительно низкие показатели надёжности и повышенный уровень электромагнитных помех, за счёт наличия силовых электронных приборов [7].

Для улучшения эксплуатационно-технических характеристик АИ в настоящее время существуют несколько направлений:

- применение однофазно-трёхфазных трансформаторов с вращающимся магнитным полем (ТВМП);
- применение в конструкции АИ промежуточного звена повышенной частоты;
- совершенствование системы управления силовыми электронными приборами.

Перспективным является направление применения в составе АИ трансформаторов с вращающимся магнитным полем [8, 9]. Важным преимуществом конструкции ТВМП является то, что они позволяют из однофазного напряжения переменного тока получать многофазную симметричную систему напряжений. А это приведёт к исключению трёхфазных АИ и применению однофазных, а трёхфазную систему напряжений получать с помощью однофазно-трёхфазных ТВМП. Уменьшение в составе автономных инверторов силовых полупроводниковых приборов позволяет упростить силовую схему и систему управления и повысить показатели надёжности и КПД автономных инверторов СФЭУ. Недостатками схем АИ на ТВМП являются повышенные массогабаритные показатели и небольшой диапазон стабилизации напряжения. Однако значительно повышается эффект от использования ТВМП для обеспечения параллельной работы АИ солнечных электростанций [6].

Применение в силовой схеме АИ промежуточного высокочастотного звена, функцию которого выполняет сам инвертор и реверсивного выпрямителя, преобразующего высокочастотный сигнал в напряжение переменного тока промышленной частоты, значительно улучшает массогабаритные показатели АИ. Основными недостатками, рассмотренной конструкции АИ, являются относительно низкие показатели КПД и небольшая расчётная мощность [7].

В статье авторами рассматриваются новые структурно-схемные решения систем управления АИ с широтно-импульсной модуляцией выходно-

го напряжения с улучшенными техническими характеристиками. Новизна технических решений схем подтверждена патентами РФ [10, 11].

На рисунке 2 приведена функциональная схема однофазного автономного инвертора с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения, а на рисунке 3 – диаграммы напряжений, поясняющие работу системы управления по преобразованию входного и стабилизации выходного напряжения инвертора.

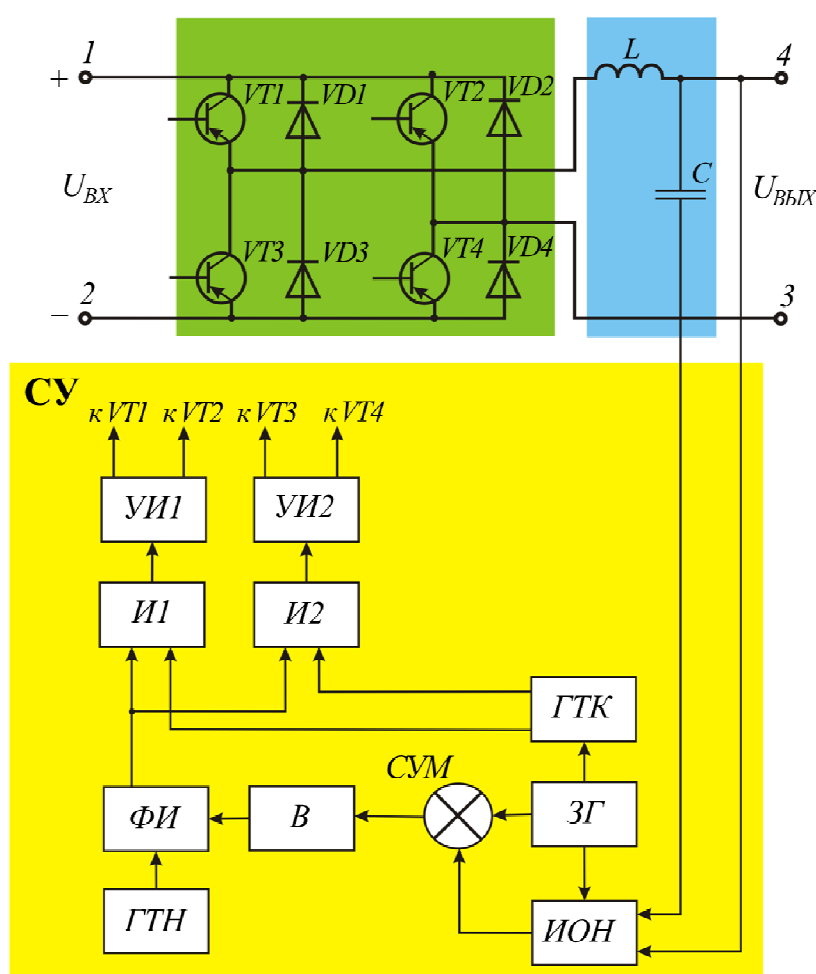


Рисунок 2 – Функциональная схема АИ с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения

Однофазный АИ с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения содержит (рисунок 2): мостовую схему инвертора, выполненную на транзисторах $VT1-VT4$, к которым встречно-параллельно включены

диоды $VD1-VD4$, выходной Г-образный фильтр, содержащий дроссель L и конденсатор C , и систему управления $СУ$.

В состав $СУ$ входят: задающий генератор $ЗГ$, генератор типа кривой $ГТК$, измеритель отклонения напряжения $ИОН$, сумматор $СУМ$, выпрямитель B , генератор треугольного напряжения $ГТН$, формирователь импульсов $ФИ$, первый и второй логические элементы $И1$ и $И2$, первый и второй усилители импульсов $УИ1$ и $УИ2$. На рисунке 2 показаны выводы 1 и 2 для подключения входного напряжения постоянного тока и выводы 3 и 4 для подключения нагрузки переменного тока.

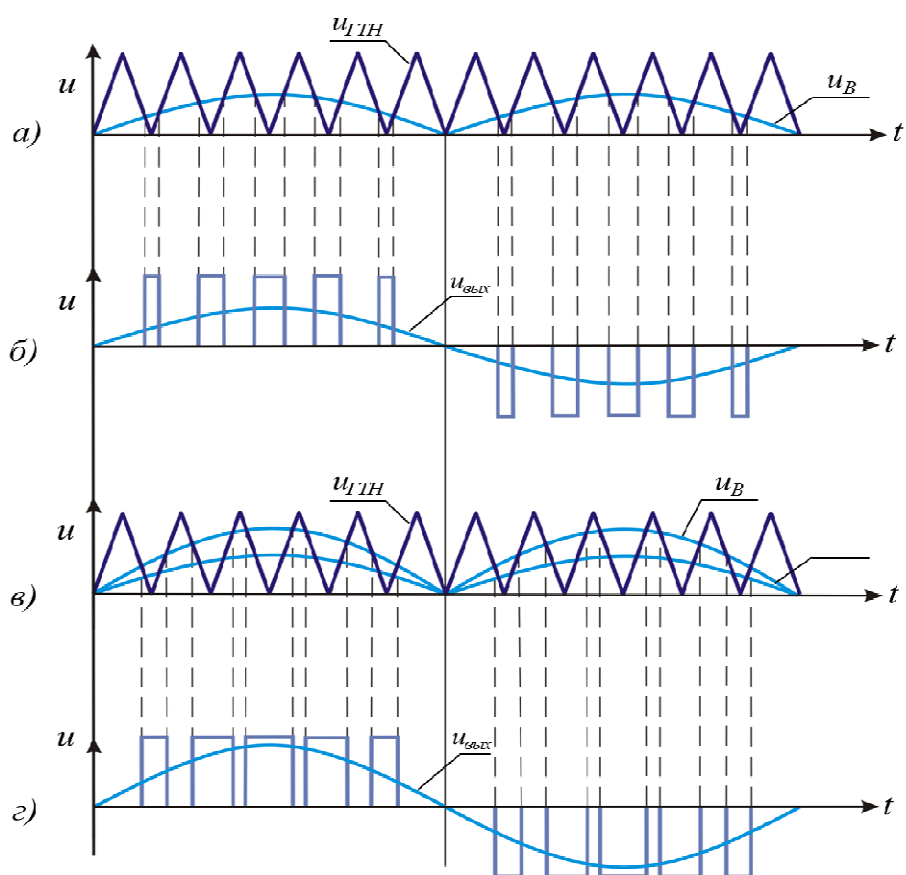


Рисунок 3 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы АИ с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения

Система управления АИ работает следующим образом. С задающего генератора синусоидальной формы $3Г$ (рисунок 2) сигнал $u_{3г}$ поступает на первый вход сумматора $СУМ$, на второй вход которого поступает сигнал Δu от измерителя отклонения напряжения $ИОН$, работа которого синхронизируется с работой задающим генератором $3Г$. В сумматоре сигналы $u_{3г}$ и Δu складываются и результирующий сигнал поступает на вход выпрямителя $В$, где выпрямляется и поступает на первый вход формирователя импульсов $ФИ$ (рисунок 3, а, сигнал u_B). На второй вход формирователя импульсов $ФИ$ поступает сигнал $u_{ГТН}$ от генератора треугольного напряжения $ГТН$ (рисунок 3, а).

В случае когда $u_{ГТН} < u_B$ на выходе формирователя импульсов $ФИ$ формируются импульсы управления (рисунок 3, б), которые поступают на первые входы логических элементов И $И1$ и $И2$, на вторые входы которых поступает сигнал о полярности напряжения от генератора типа кривой $ГТК$ (рисунок 2). При положительной полярности напряжения задающего генератора $3Г$, срабатывает логический элемент И $И1$ и импульсы от формирователя импульсов $ФИ$, через усилитель импульсов $УИ1$, поступают на управляющие электроды транзисторов $VT1$ и $VT4$ (рисунок 2) и на выходе инвертора формируется положительная полуволна выходного напряжения $u_{ВЫХ}$ (рисунок 3, б от 0 до π). При отрицательной полярности напряжения задающего генератора $3Г$, срабатывает логический элемент И $И2$ и импульсы от формирователя импульсов $ФИ$, через усилитель импульсов $УИ2$, поступают на управляющие электроды транзисторов $VT2$ и $VT4$ (рисунок 2) и на выходе инвертора формируется отрицательная полуволна выходного напряжения $u_{ВЫХ}$ (рисунок 3, б, от π до 2π).

К примеру, если напряжение на выходе инвертора уменьшится, тогда сигнал рассогласования Δu суммируется с сигналом задающего генератора $u_{3г}$, увеличивается амплитуда сигнала u_B на выходе выпрямителя $В$. В результате увеличивается длительность импульсов управления на выходе

формирователя импульсов $\Phi И$ и увеличивается напряжение на выходе инвертора $u_{ВЫХ}$ (рисунок 3, в, г).

Применение в составе системы управления АИ с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения измерителя отклонения напряжения, генератора типа кривой и сумматора, обеспечивает стабилизацию выходного напряжения инвертора при изменении величины и характера нагрузки в широком диапазоне [12].

На рисунке 4 приведён ещё один вариант структурной схемы системы управления АИ (см. рисунок 2), обеспечивающей широтно-импульсную модуляцию выходного напряжения, а на рисунке 5 – диаграммы напряжений, поясняющие принцип её работы.

Структурная схема системы управления, приведённая на рисунке 4, также имеет широкий диапазон стабилизации напряжения, однако она имеет повышенную надёжность в работе, из-за меньшего количества функциональных блоков, в сравнении с системой управления, показанной на рисунке 2 [13].

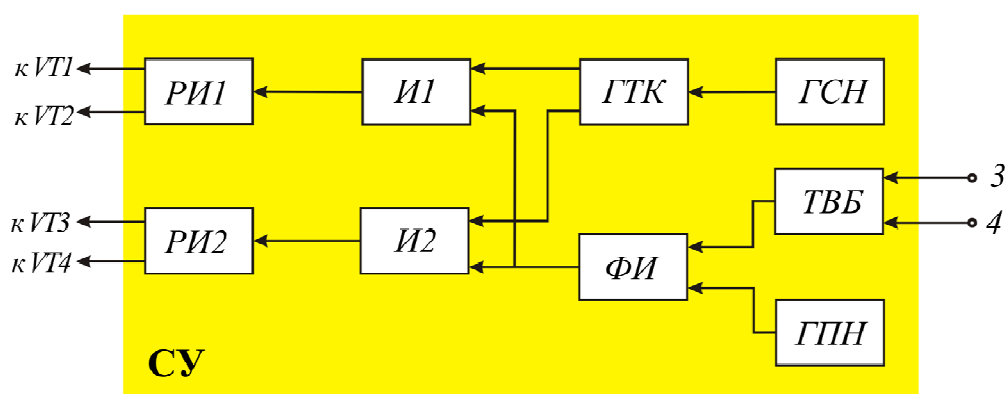


Рисунок 4 – Структурная схема системы управления АИ

Широтно-импульсная модуляция выходного напряжения и его стабилизация системой управления СУ (рисунок 4) осуществляется следующим образом. С выходом генератора пилообразного напряжения ГПН опорный сигнал $u_{ГПН}$ (рисунок 5, а) поступает на второй вход формирователя импульсов ФИ, на первый вход которого поступает ведущий сигнал $u_{ТВБ}$ (рисунок 5, а), от трансформаторно-выпрямительного блока ТВБ.

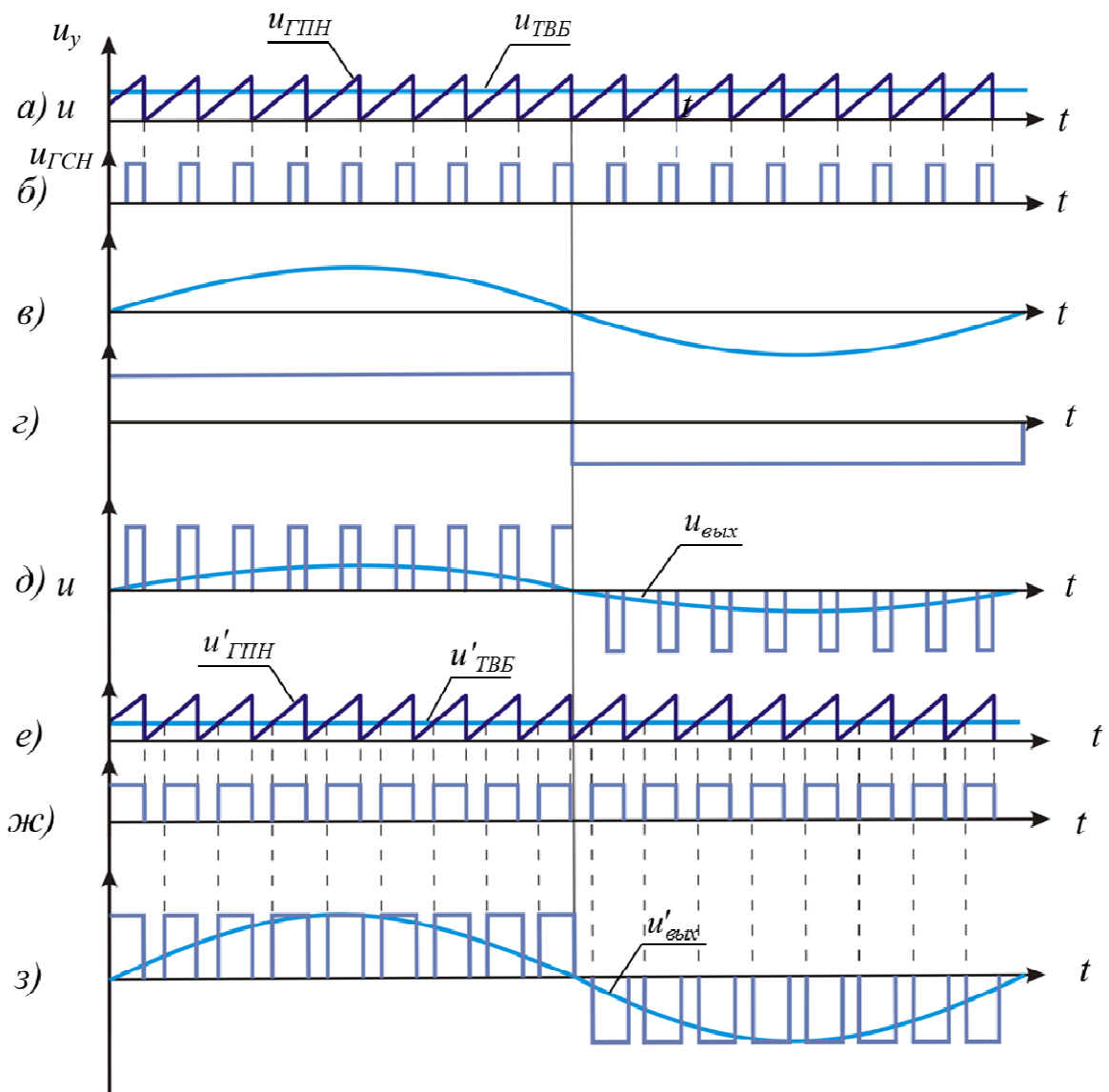


Рисунок 5 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы структурной схемы системы управления АИ, приведённой на рисунке 4

Когда $u_{ГПН} > u_{ТВБ}$ на выходе формирователя импульсов $\Phi И$ формируются управляющие импульсы u_y (рисунок 5, б), которые поступают на первые входы логических элементов И $И1$ и $И2$. На вторые входы логических элементов через генератор типа кривой $ГТК$, поступает сигнал синусоидального напряжения от генератора синусоидального напряжения $ГСН$ (рисунок 5, в, г). Таким образом, когда $u_{ГСН}$ имеет положительную полярность, то управляющие импульсы с выхода логического элемента $И1$ через распределительно-усилительный блок $РИ1$ поступают на управляющие электроды транзисторов $VT1$ и $VT4$ (см. рисунок 2) и на выходе автономного инвертора напряжения формируется положительная волна напряжения $u_{ВЫХ}$ (рисунок 5, д, $0 \div \pi$).

Когда напряжение генератора $ГСН$ $u_{ГСН}$ имеет отрицательную полярность, то управляющие импульсы с выхода логического элемента $И2$ через блок $РИ2$ поступают на управляющие электроды транзисторов $VT2$ и $VT3$ (рисунок 5, д, $\pi \div 2\pi$), и на выходе автономного инвертора формируется отрицательная волна напряжения $u_{ВЫХ}$ (рисунок 5, д).

К примеру, если выходное напряжение инвертора $u_{ВЫХ}$ уменьшится, то и уменьшится величина ведущего сигнала $u_{ТВБ}$ (рисунок 5, е). Это приведёт к увеличению времени открытого состояния транзисторов силовой схемы АИ, и повышению уровня выходного напряжения инвертора $u_{ВЫХ}$ (рисунок 5, ж, з).

Таким образом, применение в составе СФЭУ предложенных структурно-схемных решений систем управления АИ позволит улучшить их эксплуатационно-технические характеристики.

Список литературы

1. Григораш О.В., Стрелков Ю.И. Нетрадиционные автономные источники электроэнергии. Промышленная энергетика. 2001. № 4. С.37–40.
2. Григораш О.В., Степура Ю.П., Пономаренко А.С. и др. Современное состояние производства электроэнергии возобновляемыми источниками в мире и России. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 6. С.159–163.

3. Григораш О.В., Коваленко В.П., Воробьев Е.В. Перспективы возобновляемых источников электроэнергии в Краснодарском крае. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 6. С. 123– 27.
4. Григораш О.В., Тропин В.В., Оськина А.С. Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников электроэнергии в Краснодарском крае. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. №09 (083). С.506–517.
5. Григораш О.В., Степура Ю.П., Сулейманов Р.А. и др. Возобновляемые источники электроэнергии. Краснодар. 2012. С. 272.
6. Григораш О. В., Степура Ю.П., Божко С.В. и др. Автономные инверторы модуляционного типа. Краснодар. 2008. С.187.
7. Богатърев Н.И., Григораш О.В., Курзин Н.Н. и др. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования. Краснодар. 2002. С. 358.
8. Григораш О.В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения. Промышленная энергетика. 1997. № 7. С.21–25.
9. Григораш О.В., Кабанков Ю.А. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии. Электротехника. 2002. № 3. С.22–26.
10. Автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. и др. Патент на изобретение RUS 2421871 20.06.2011.
11. Однофазный автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией переменного тока. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. и др. Патент на изобретение RUS 2420854 10.06.2011.
12. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. Краснодар. 2011. С.188.
13. Григораш О.В., Новокрещенов О.В., Хамула А.А. и др. Статические преобразователи электроэнергии. Краснодар. 2006. С. 264.

References

1. Grigorash O.V., Strelkov Ju.I. Netradicionnye avtonomnye istochniki jelektrojenergii. Promyshlennaja jenergetika. 2001. № 4. S.37–40.
2. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Ponomarenko A.S. i dr. Sovremennoe sostojanie proizvodstva jelektrojenergii vozobnovljaemymi istochnikami v mire i Rossii. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 6. S.159–163.
3. Grigorash O.V., Kovalenko V.P., Vorob'ev E.V. Perspektivy vozobnovljaemyh istochnikov jelektrojenergii v Krasnodarskom krae. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 6. S. 123– 27.
4. Grigorash O.V., Tropin V.V., Os'kina A.S. Ob jeffektivnosti i celesoobraznosti ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jelektrojenergii v Krasnodarskom krae. Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. №09 (083). S.506–517.
5. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Sulejmanov R.A. i dr. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii. Krasnodar. 2012. S. 272.
6. Grigorash O. V., Stepura Ju.P., Bozhko S.V. i dr. Avtonomnye inventory moduljacionnogo tipa. Krasnodar. 2008. S.187.
7. Bogat'rev N.I., Grigorash O.V., Kurzin N.N. i dr. Preobrazovateli jelektricheskoy jenergii: osnovy teorii, rascheta i proektirovanija. Krasnodar. 2002. S. 358.

8. Grigorash O.V. Preobrazovateli jelektricheskoy jenerгии na baze transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem dlja sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija. Promyshlennaja jenergetika. 1997. № 7. S.21–25.

9. Grigorash O.V., Kabankov Ju.A. K voprosu primenenija transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenerгии. Jelektrotehnika. 2002. № 3. S.22–26.

10. Avtonomnyj invertor s shirotno-impul'snoj moduljaciej vyhodnogo naprjazhenija. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. i dr. Patent na izobretenie RUS 2421871 20.06.2011.

11. Odnofaznyj avtonomnyj invertor s shirotno-impul'snoj moduljaciej peremennogo toka. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. i dr. Patent na izobretenie RUS 2420854 10.06.2011.

12. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2011. S.188.

13. Grigorash O.V., Novokreshhenov O.V., Hamula A.A. i dr. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenerгии. Krasnodar. 2006. S. 264.