

УДК 621.314

UDC 621.314

**СТАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЛУЧШЕННЫМИ
ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**STATIC CONVERTERS OF THE ELECTRIC
POWER WITH IMPROVED OPERATION-
TECHNICAL CHARACTERISTICS**

Усков Антон Евгеньевич
старший преподаватель,
9184349285@mail.ru

Uskov Anton Evgenyevich
senior lecturer
9184349285@mail.ru

Корзенков Павел Геннадьевич
магистр
pasha1mat@mail.ru

Korzenkov Pavel Gennadevich
master
pasha1mat@mail.ru

Донсков Андрей Павлович
студент
donl@mail.ru
*Кубанский государственный аграрный универси-
тет, Краснодар, Россия*

Donskov Andrey Pavlovich
student
donl@mail.ru
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассматриваются области применения и новые технические решения статических преобразователей электроэнергии с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками, выполненные с использованием новой элементной базы и модульного принципа построения

The article describes scopes and new technical decisions of static converters of the electric power with the improved operation-characteristics, executed with use of new element base and a modular principle of construction

Ключевые слова: СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Keywords: SYSTEM OF INDEPENDENT ELECTROSUPPLY, UNIVERSAL STATIC CONVERTER OF ELECTRIC POWER

Известно, что силовая электроника это область электротехники связанная преимущественно с преобразованием и стабилизацией параметров электроэнергии. Кроме того, силовая электроника в настоящее время широко применяется в качестве коммутационных устройств в системах управления и защиты[1].

Методы и средства, обеспечивающие преобразование и стабилизацию параметров электроэнергии охватываются научно-техническим направлением, которое в отечественной литературе получило название преобразовательной техникой. Поскольку основными элементами преобразовательной техники являются полупроводниковые приборы, в международной практике оно определяется как силовая электроника, т.е. как направление электроники, которое связано с силовыми статическими преобразователями электроэнергии (СПЭ).

СПЭ применяемые в составе автономных систем электроснабжения значительно улучшили их эксплуатационно-технические характеристики в сравнении с электромашинными преобразователями [1]. Основными недостатками СПЭ являются повышенный уровень электромагнитных помех, которые могут приводить к сбою в работе даже собственной системы управления, и относительно низкие показатели надёжности и КПД. Улучшить характеристики СПЭ возможно за счёт применения в их конструкции трансформаторов с вращающимся магнитным полем (ТВМП). Применение ТВМП в составе автономных инверторов позволяет уменьшить число силовых полупроводниковых приборов и улучшить тем самым их характеристики [2, 3, 4].

В настоящее время существует множество схемотехнических и конструктивных решений СПЭ. Одной из основных областей использования силовой электроники стал регулируемый электропривод переменного тока. Созданы высокоэффективные преобразователи, преобразующие ток промышленной частоты в переменный ток регулируемой частоты для управления частотой вращения электродвигателя.

Для различных областей техники разработаны СПЭ как с регулируемыми, так и стабилизированными выходными параметрами. Преимущества СПЭ определили их широкое применение в системах бесперебойного электроснабжения [5].

Неотъемлемой частью конструкции солнечных фотоэлектрических станций является автономный инвертор, преобразующий напряжение постоянного тока фотоэлементов в напряжение переменного тока [6].

Однако, несмотря на то, что в настоящее время значительно улучшились технические характеристики полупроводниковых приборов и расширились области их применения, основные научно-технические проблемы и задачи, связанные с преобразованием электроэнергии, в настоящее время еще не решены. Так для мощности, находящейся в пределах $3\div 12$ кВт и

частоте тока 50 Гц КПД СПЭ находится в пределах 70 – 90%. Кроме того, если определить общий объём и массу СПЭ и потребителей в составе автономных систем электроснабжения, то до 50% объёма и массы приходится на долю СПЭ. При этом значительную часть объёма и массы СПЭ (до 80%) занимают трансформаторы [1].

Ещё один недостаток СПЭ. Принцип их действия основанный на переключении нелинейных элементов, что вызывает появление электромагнитных помех. Электромагнитные помехи возникают из-за скачкообразного изменения токов и напряжений в электрических цепях преобразователя. Передача электромагнитных помех происходит как по проводным связям преобразователя с другими устройствами автономных систем электроснабжения, так и непосредственно через окружающее пространство. В возникающей при этом проблеме можно выделить следующие основные аспекты: появление шумов в аппаратуре связи, сбой работы различного рода электронной аппаратуры и нарушение нормального функционирования систем управления и защиты самого источника помех – статического преобразователя.

Один из способов улучшения технических характеристик, и в особенности, массогабаритных показателей, в настоящее время в составе СПЭ применяются промежуточные звенья повышенной частоты. Промежуточная повышенная частота (от 3 до 5 кГц) позволила уменьшить массу СПЭ в $4 \div 15$ раз, что важно для автономных, в частности бортовых (космических) систем электроснабжения.

Еще один способ, предполагающий улучшение эксплуатационно-технических характеристик СПЭ и прежде всего, повышение их КПД и надежности является применение в их конструкции силовых интегральных схем (в одном кристалле технологическими приемами изготавливаются силовые ключевые элементы, схемы их защиты, устройства управления, регулирования и диагностики). Т. е. в едином корпусе смон-

тированы законченные технические решения выпрямителя, инвертора, преобразователя частоты и т.д.

Перспективным направлением является также применения в составе автономных систем электроснабжения универсальных статических преобразователей электроэнергии. Такие преобразователи, содержат неизменную структуру силовой части, выполненной на электронных приборах, которые могут работать в режимах всех типов СПЭ [7].

Однако, какие бы новые технические решения силовых электронных приборов не применялись, неотъемлемой частью СПЭ являются трансформаторы, согласующие напряжение источника питания с напряжением нагрузки. Поэтому перспективным направлением, в решении задачи уменьшения уровня электромагнитных помех, за счет применения в составе СПЭ трансформаторов с вращающимся магнитным полем. Это позволит уменьшить число полупроводниковых приборов, упростить систему управления и защиты и повысить показатели надежности преобразователей и автономной системы электроснабжения в комплексе [2].

Конструкция ТВМП позволяет несложными техническими решениями обеспечивать стабилизацию выходного напряжения. Если же применить такой трансформатор в составе преобразователя напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока (выпрямителя), то можно уменьшить число полупроводниковых приборов, применяемых для стабилизации напряжения постоянного тока и упростить систему управления и защиты преобразователей.

Важным преимуществом ТВМП является то, что они позволяют из однофазного напряжения переменного тока получать многофазную систему напряжений, в том числе трехфазную симметричную. В этом случае, на сердечнике магнитопровода размещается несколько вторичных обмоток с соответствующим пространственным сдвигом одна от-

носителем другой. Такое техническое решение ТВМП позволяет исключать из состава автономных систем трехфазные преобразователи, выполненные на полупроводниковых приборах, а трехфазную систему напряжений получать с помощью однофазных полупроводниковых преобразователей и ТВМП с однофазным входом и трехфазным выходом [3].

Уменьшение числа силовых полупроводниковых приборов приведет не только к уменьшению уровня электромагнитных помех, но и к повышению надежности работы статических преобразователей, поскольку, кроме того, упрощаются их системы управления, т.к. управление осуществляется меньшим числом силовых полупроводниковых приборов [1, 2].

Принципиальные силовые электрические схемы инвертора и преобразователя частоты, выполненные на ТВМП, приведены на рисунке 1.

Преобразователь напряжения постоянного тока (инвертор) в трехфазное напряжение переменного тока, выполнен на базе однофазной мостовой транзисторной схемы (рисунок 1, *а*), а непосредственный преобразователь частоты (НПЧ), выполнен на базе однофазной мостовой шестипульсной схемы (рисунок 1, *б*).

В схеме НПЧ (рисунок 1, *б*) показан блок искусственной коммутации *БИК*, который в схемах преобразователей частоты с естественной коммутацией клапанов отсутствует. ТВМП в рассмотренных схемах кроме обеспечения гальванической развязки и преобразования однофазного напряжения переменного тока в трехфазную симметричную систему напряжений позволяют изменять уровень выходного напряжения в сравнении с напряжением источника питания. Особенностью работы ТВМП с однофазным входом и многофазным выходом является обеспечение стабилизации выходного напряжения, которую можно осуществлять непосредственно силовыми полупроводниковыми приборами или за счет дросселя с обмоткой подмагничивания включаемого

в силовые цепи между полупроводниковыми преобразователями и ТВМП (рисунок 2). ТВМП могут применяться не только в силовых схемах преобразователей электроэнергии, но и в составе их СУ, в особенности при необходимости многофазной синхронизации, что также позволит повысить показатели надежности СУ[8].

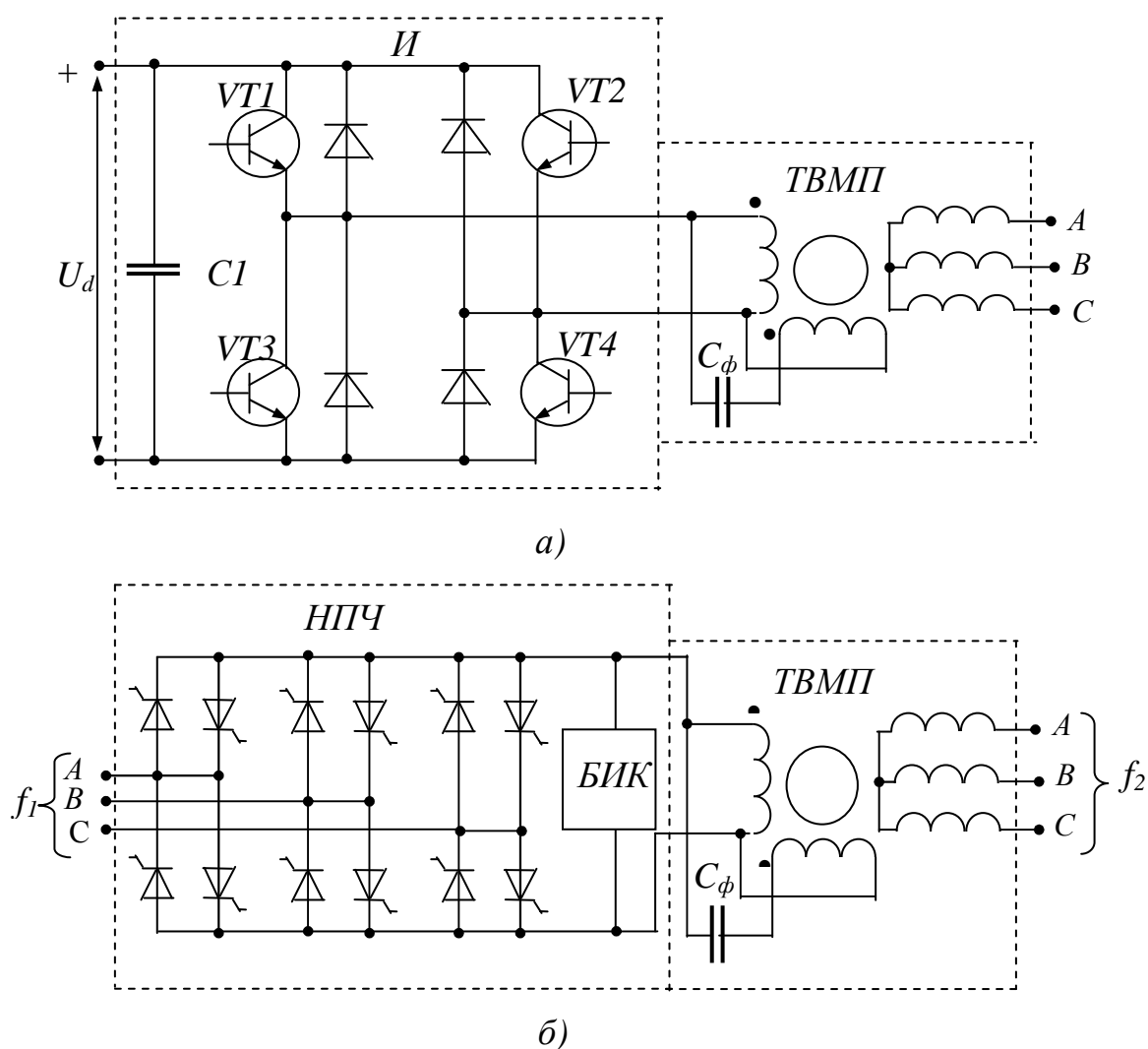


Рисунок 1 - Принципиальные силовые электрические схемы преобразователей на базе ТВМП: инвертор с трехфазным выходом (а) и трехфазный преобразователь частоты (б)

Основным недостатком статических преобразователей, содержащих ТВМП, является повышенная масса трансформаторов, примерно в 1,3 – 1,8 раза больше, в зависимости от типа преобразователей, в сравнении с

трансформаторами типового исполнения. Поэтому в настоящее время у нас в стране и за рубежом ТВМП рассматриваемой конструкции не выпускаются. Однако перспективы статических преобразователей электроэнергии, выполненных с использованием ТВМП очевидны, поскольку, во-первых, уменьшается уровень электромагнитных помех, создаваемых статическими преобразователями, во-вторых, повышаются показатели надежности, как преобразователей, так и автономной системы электропитания в комплексе.

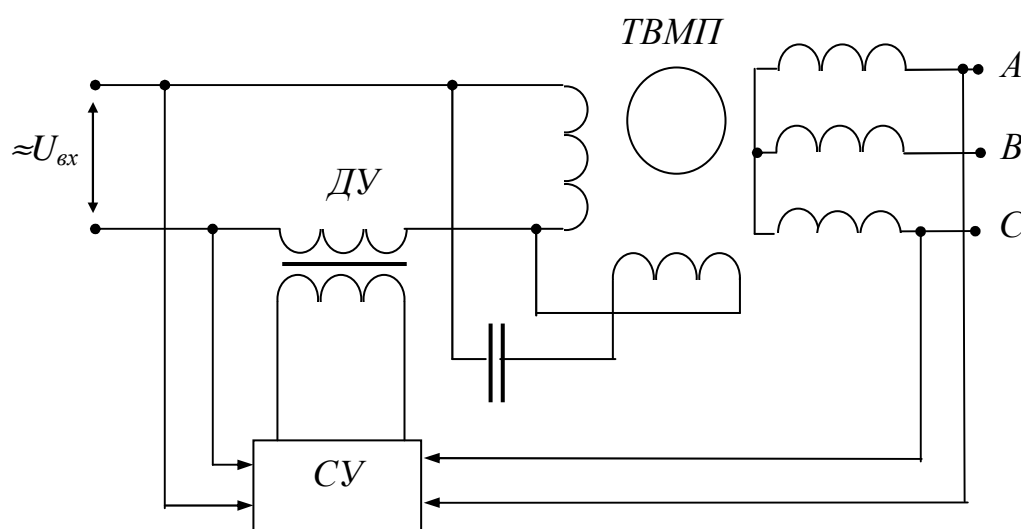


Рисунок 2. Функциональная схема преобразователя с трёхфазной симметричной системой вторичных обмоток ТВМП, где *ДУ* – дроссель управления, *СУ* – система управления

При создании новых конструктивных решений СПЭ целесообразно использовать принцип модульного агрегатирования. Как известно, агрегатирование – это метод создания нового оборудования путем компоновки стандартных и унифицированных устройств, блоков, узлов, элементов. Для СПЭ целесообразно модульное изготовление силовых ключевых элементов, входных и выходных фильтров, систем защиты, управления и диагностики.

Модульный принцип построения СПЭ наряду с агрегатированием и унификацией является весьма перспективным, поскольку он позволит

упростить решение важной задачи – обеспечения высокой надежности работы автономных систем электроснабжения за счет резервирования её основных функциональных узлов и блоков, а при необходимости позволит наращивать мощность преобразователей электроэнергии [1]. Кроме того, значительный технико-экономический эффект модульного построения СПЭ обеспечивается при ее эксплуатации за счет сокращения времени технического обслуживания и устранения неисправностей.

При модульном построении СПЭ кроме вопросов резервирования, повышения надежности преобразователей решаются вопросы адаптации структур преобразователей к изменениям условий их эксплуатации и режимов работы, и как следствие экономии электроэнергии.

Перспективным является направление разработки единого по структуре модуля преобразователя электроэнергии – универсального статического преобразователя (УСП) и построение на его основе САЭ [7].

УСП должен быть выполнен на базе полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов. Это позволит избавиться от сложных устройств искусственной коммутации, упростить схемы защиты преобразователей и использовать новые методы синтеза выходного напряжения. Работой УСП должна управлять микроЭВМ по нескольким алгоритмам таким образом, чтобы преобразователь при необходимости работал в режимах выпрямителя, инвертора, конвертора или преобразователя частоты.

Вариант структурной схемы УСП, выполненного по модульному принципу, показан на рисунок 3, где приняты следующие обозначения: *МБ1*, *МБ2*, *МБ3* – модульные блоки полупроводниковых ключей *ПК1* – *ПК6*; *МСУ* – модульным блок системы управления (СУ) преобразователем; *МК1* и *МК2* – модульные коммутационные устройства; *М1* – *М4* – модули входных и выходных устройств; *1* и *2* - выводы для подключения источника и нагрузки; *3* - вывод для подключения центральной

системы управления САЭ; $i_{y1} - i_{y6}$ – управляющие сигналы СУ преобразователя.

При работе в выпрямительном режиме СУ преобразователя через устройство коммутации *МК1* подключает модульный блок *М1* к входу модульных блоков полупроводниковых ключей, который содержит автотрансформатор и осуществляет согласование напряжений источника и нагрузки. Через устройство коммутации *МК2* СУ подключает к выходу модульных блоков модуль *М3*, содержащий сглаживающий фильтр. Изменяя угол управления полупроводниковыми ключами *ПК1 – ПК6*, с помощью сигналов управления $i_{y1} - i_{y6}$ модуля *МСУ*, обеспечивает стабилизацию выходного напряжения.

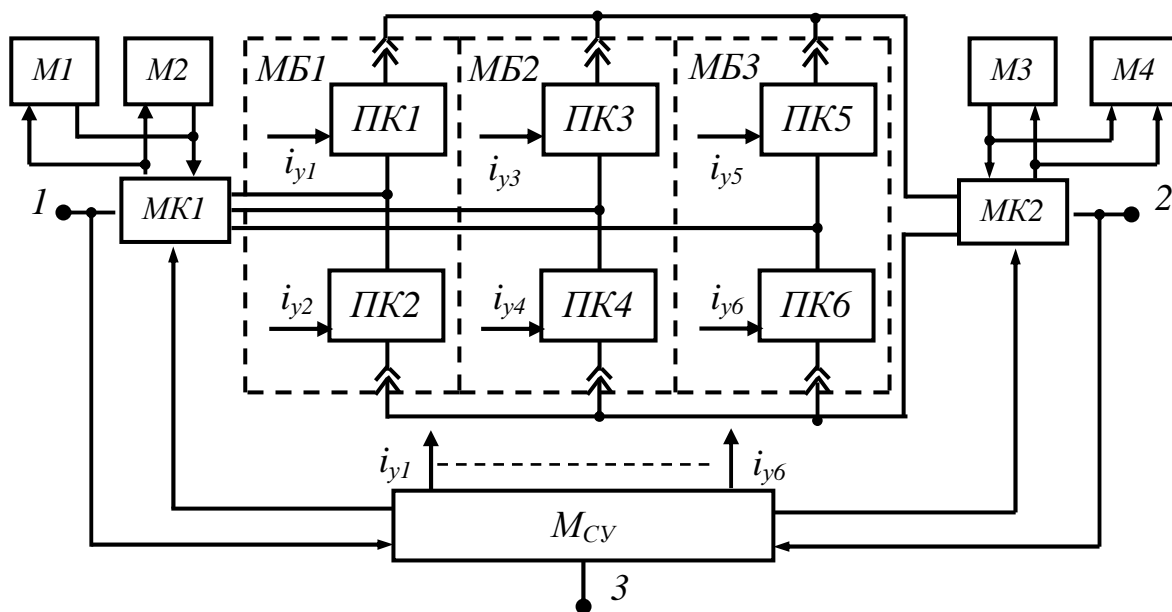


Рисунок 3. Структурная схема универсального статического преобразователя

В инверторном режиме источник питания подключается к выводу 2, а нагрузка – к выводу 1 с помощью устройств коммутации. К входу модульных блоков *МБ* подключается модуль *М4*, содержащий

дроссель, а к выходу – модуль согласующего автотрансформатора $M1$ и модуль $M2$, выполняющий функции компенсирующего устройства.

При использовании в САЭ высокочастотных источников электроэнергии для работы УСП в режиме непосредственного преобразователя частоты через коммутирующее устройство $MK1$ осуществляется параллельное подключение дополнительных модульных блоков, а устройство коммутации $MK2$ к выходу преобразователя подключает модуль $M3$, выполняющий функции фильтра.

В режиме конвертора последовательно включаются два УСП. Первый из которых, выполняет функции высокочастотного инвертора, а второй – трансформаторно-выпрямительного блока. В этом режиме преобразователь также должен иметь дополнительный модуль, содержащий высокочастотный трансформатор.

Таким образом, УСП позволяет выполнять функции четырех типов преобразователей электроэнергии. Однако на практике нецелесообразно, чтобы один УСП выполнял четыре функции, поскольку это ухудшает его критерии эффективности и характеристики автономных систем электроснабжения в целом.

Литература

1. Богатырев Н. И. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования / Н. И. Богатырев, О. В. Григораш, Н. Н. Курзин и др. Краснодар, 2002. с.358.
2. Григораш О. В. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии / О. В. Григораш, Ю. А. Кабанков // Электротехника. 2002. № 3. С.22
3. Богатырев Н. И., Григораш О.В., Темников В. Н., и др. Однофазно-трехфазный трансформатор с вращающимся магнитным полем / Патент на изобретение RUS 2335027. 29.06.2007.

4. Богатырев Н. И., Григораш О.В., Вронский О. В., и др. Однофазно-однофазный трансформатор с вращающимся магнитным полем / Патент на изобретение RUS 2335028. 29.06.2007.

5. Григораш О.В. Выбор оптимальной структуры системы автономного электро-снабжения / О. В. Григораш, С. А. Симоненко, А. М. Передистый и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2—7. № 8. С.31-33.

6. Степура Ю. П., Григораш О.В., Власенко Е. А., и др. Преобразователи напряжения постоянного тока на реверсивном выпрямителе / Патент на изобретение RUS 2420855. 11.05.2010.

7. Григораш О.В. Универсальные статические преобразователи электроэнергии / О. В. Григораш, А. Е. Усков, А. В. Бутоина // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 1. С. 57.

8. Григораш О.В., Квитко А.В., Алмазов В.В. и др. Непосредственный трехфазный преобразователь частоты естественной коммутацией / Патент на изобретение RUS 2421867. 12.05.2010.

9. Григораш О.В., Власенко Е.А., Усков А.Е. и др. Однофазно-трёхфазный трансформатор с вращающимся магнитным полем / Патент на изобретение RUS 2417471. 25.01.2010

10. Григораш О.В. Статические преобразователи электроэнергии на трансформаторах с вращающимся магнитным полем / О.В. Григораш, А.Е. Усков, Ю.Г. Пугачёв, А.М. Передистый // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 12. С. 185-190.

References

1. Bogatyrev N. I. Preobrazovateli jelektricheskoj jenergii: osnovy teorii, rascheta i proektirovaniya / N. I. Bogatyrev, O. V. Grigorash, N. N. Kurzin i dr. Kras-nodar, 2002. s.358.

2. Grigorash O. V. K voprosu primenenija transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenergii / O. V. Grigorash, Ju. A. Kabankov // Jelektrotehnika. 2002. № 3. S.22

3. Bogatyrev N. I., Grigorash O.V., Temnikov V. N., i dr. Odnofazno-trehfaznyj transformator s vrashhajushhimsja magnitnym polem / Patent na izobretenie RUS 2335027. 29.06.2007.

4. Bogatyrev N. I., Grigorash O.V., Vronskij O. V., i dr. Odnofazno-odnofaznyj transformator s vrashhajushhimsja magnitnym polem / Patent na izobrenenie RUS 2335028. 29.06.2007.
5. Grigorash O.V. Vybor optimal'noj struktury sistemy avtonomnogo jelektrosnabzhenija / O. V. Grigorash, S. A. Simonenko, A. M. Peredistyj i dr. // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2—7. № 8. S.31-33.
6. Stepura Ju. P., Grigorash O.V., Vlasenko E. A., i dr. Preobrazovateli naprja-zhenija postojannogo toka na reversivnom vyprjamitele / Patent na izobrenenie RUS 2420855. 11.05.2010.
7. Grigorash O.V. Universal'nye staticheskie preobrazovateli jelektrojenergii / O. V. Grigorash, A. E. Uskov, A. V. Butoina // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo ag-rarnogo universiteta. 2008. № 1. S. 57.
8. Grigorash O.V., Kvitko A.V., Almazov V.V. i dr. Neposredstvennyj trehfaz-nyj preobrazovatel' chastoty estestvennoj kommutaciej / Patent na izobrenenie RUS 2421867. 12.05.2010.
9. Grigorash O.V., Vlasenko E.A., Uskov A.E. i dr. Odnofazno-trjohfaznyj transformator s vrashhajushhimsja magnitnym polem / Patent na izobrenenie RUS 2417471. 25.01.2010
10. Grigorash O.V. Staticheskie preobrazovateli jelektrojenergii na transfor-matorah s vrashhajushhimsja magnitnym polem / O.V. Grigorash, A.E. Uskov, Ju.G. Pugachjov, A.M. Peredistyj // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2008. № 12. S. 185-190.