

УДК 621

05.00.00 Технические науки

СТАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ТРЕБОВАНИЯ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОТЛИЧИЯ

Усков Антон Евгеньевич
старший преподаватель
9184349285@mail.ru
Spin-code 7461-9490

Гиркин Артём Сергеевич
студент
bleachyda@mail.ru

Дауров Адам Вячеславович
студент
9184349285@mail.ru
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

В статье рассматриваются технические требования к статическим преобразователям. К основным показателям относятся: КПД и качество выходного напряжения. К основным эксплуатационным показателям относятся массо-габаритные показатели, надёжность, ремонтпригодность. Так же к основным параметрам статических преобразователей относятся выходная мощность, величина входного и выходного напряжения. Как правило, проектирование преобразователей – это единый конструктивный комплекс. Так же при проектировании учитывается и время наработки до первого отказа, время гарантированной работы отдельных элементов, входящих в состав статического преобразователя, определены по статистическим данным. Выход из строя отдельных элементов звеньев преобразователей возможны из-за внутренних (времени гарантированной работы) и внешних (коротких замыканий, перегрузок) факторов. В статье предлагаются способы уменьшения влияния внешних факторов, так например, используются высокоскоростные автоматические выключатели или многозвенные статические преобразователи, в которых звенья силовой цепи включены параллельно. Так же использование универсальных статических преобразователей позволяет повышать несколько параметров эффективности одновременно. В статье, так же предложена схема многозвенного преобразователя с переменной структурой, который позволяет без конструктивного изменения, в зависимости от входных и выходных условий или требований, формировать на выходе мощность требуемого уровня и качества

Ключевые слова: СТАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, ЗАЩИТА, МНОГОЗВЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

UDC 621

Technical sciences

REQUIREMENTS AND CONSTRUCTIVE DIFFERENCES OF A STATIC CONVERTER

Uskov Anton Evgenevich
senior lecturer
9184349285@mail.ru
Spin-code 7461-9490

Girkin Artem Sergeevich
student
bleachyda@mail.ru

Daurov Adam Viacheslavovich
student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

In this article technical requirements to static converters are examined. We can treat as the basic parameters: efficiency and quality of a target voltage. Weight-dimensional parameters, reliability, maintainability are basic operational parameters, as well as target capacity, size of an starting and target voltage belong to key parameters of static converters. As a rule designing of converters is a uniform constructive complex. As at designing, time of an operating time until first failure is taken into account, time of guaranteed work of the separate elements included in the static converter, are determined on the statistical data. Failure of separate elements of parts of converters are possible because of internal (time of guaranteed work) and external (short circuits, overloads) factors. In the article we have offered the ways of reduction of influence of external factors (for example, we used high-speed automatic switches or iterative static converters in which parts of a power circuit were included in parallel). Using universal static converters allows raising some parameters of efficiency simultaneously. In the article we have also considered a scheme of the iterative converter with variable structure which allows (depending on start and target conditions or requirements) forming an output capacity of the required level and quality without constructive change

Keywords: STATIC CONVERTERS, PROTECTION, ITERATIVE CONVERTER

При проектировании статических преобразователей (СП) необходимо учитывать весь комплекс технических требований, включающих требования по энергетическим, эксплуатационным и экономическим показателям.

К основным энергетическим показателям относятся: КПД и качество выходной электроэнергии преобразователя.

К основным эксплуатационным показателям относятся: массогабаритные показатели (МГП), надежность, ремонтпригодность, простота обслуживания.

Перечисленные технические показатели взаимосвязаны между собой. Практически тяжело создать преобразователь соответствующий высоким перечисленным показателям. Поэтому в зависимости от назначения и условий эксплуатации СП одним из показателей определяются первостепенные значения, а другим - второстепенные.

Как правило, исходными данными при расчете СП являются: номинальная мощность преобразователя P_n , напряжение источника питания и нагрузки, частота переменного тока, а так же устанавливаются значения качества напряжения, которое в цепях переменного тока оценивается значением коэффициента несинусоидальности K_n , а в цепях постоянного тока – коэффициентом пульсаций $K_{П}$.

Одной из важных задач проектирования, является уменьшение массы и габаритов СП.

Как известно, от значений коэффициентов определяющих качество выходного напряжения зависят МГП преобразователя и, прежде всего МГП силового блока полупроводниковых приборов и выходного фильтра, КПД преобразователя, его надежность и стоимость. Чем выше требования по качеству выходного напряжения преобразователя, тем больше его масса и габариты.

При проектировании преобразователей электроэнергии важное место принадлежит требованиям по эргономике, простоте обслуживания и ремонтпригодности. Они, как правило, представляют собой единый конструктивный комплекс, содержащий силовую часть, систему управления, средства измерения и отображения информации.

Чтобы управление и обслуживание преобразователей были эффективными, необходимо:

- количество ручек органов управления и регулировок сводить к минимуму и располагать их в удобной для обслуживания зоне;
- контрольно-измерительные приборы располагать на уровне, доступном для снятия показаний;
- уменьшать число световых индикаторов;
- стремиться к простоте и целесообразности форм, размеров и применяемых материалов;
- устанавливать преобразователи на месте, обеспечивающем безопасность обслуживаемого персонала.

Важным эксплуатационным показателем преобразователя является его надежность работы. К числу наиболее широко применяемых критериев, по которым оценивается надежность преобразователей, относятся: вероятность безотказной работы в течение определенного времени $P(t)$; средняя наработка до первого отказа T_{cp} ; интенсивность отказов $\lambda(t)$.

Ориентировочное значение вероятности безотказной работы преобразователя определяется, как произведение вероятностей безотказной работы его функциональных узлов (трансформатора, силовых полупроводниковых приборов, фильтра, системы управления).

В свою очередь, для расчета вероятностей безотказной работы функциональных узлов и элементов, необходимо знать их интенсивность отказов, значение которой, как правило, определяются по статистическим данным (по справочнику).

Кроме того, элементы преобразователя находятся обычно в различных режимах работы. Это влияет на надежность, как преобразователя в целом, так и его функциональных узлов. На практике для уточнения показателей надежности применяют поправочные коэффициенты интенсивности отказов, позволяющих учесть влияние различных факторов на надежность преобразователя.

В общем случае интенсивность отказов элементов зависит от следующих основных факторов: электрического режима работы элемента; давления, температуры и влажности окружающей среды; вибрационных воздействий; механических ударов. Низкая надёжность отдельных элементов может приводить к аварии и выходу из строя всего преобразователя. В самом общем виде, аварийные режимы можно разделить на две группы: внутренние и внешние.

Внутренние аварии обусловлены, как правило, отказом или изменением параметров одного или нескольких элементов преобразователя. Внешние аварии обусловлены отклонением сверхдопустимых значений параметров электроэнергии питающей сети и аварийными режимами потребителей электроэнергии (перегрузки по току, короткие замыкания (КЗ) и т.д.).

В СП внутренние аварийные режимы работы сопровождаются возникновением повышенных значений токов и перенапряжений на всех силовых элементах. Так, пробой одного из тиристорov трехфазного СП приводит к возникновению КЗ между двумя соответствующими фазами. При этом максимальные значения аварийных токов в элементах силовой схемы СП зависят также от момента возникновения КЗ, т.е. фазы соответствующего напряжения.

В цепи поврежденного тиристора СП аварийное значение тока может достигать значительно больших значений.

Внешние аварийные режимы в СП, как со стороны нагрузки, так и со стороны источника электроэнергии, вызывают ухудшение формы кривых выходного напряжения и тока, а также напряжения и тока потребляемого СП от источника питания. В общем случае это приводит к перегрузке полупроводниковых приборов по току и может привести к их пробую.

При возникновении внешних и внутренних КЗ, а также при токовых перегрузках элементы схемы СП подвергаются повышенным тепловым и электродинамическим воздействиям.

Защиту от повышенных значений тока можно осуществлять с помощью различных устройств в зависимости от характера перегрузки. Если перегрузки возникают при наличии в схеме больших индуктивных сопротивлений, необходимую защиту можно выполнять в виде плавких предохранителей и контакторов. Можно применять защиту с запирающими характеристиками управляемых полупроводниковых приборов.

Если перегрузка полупроводникового прибора возникает при наличии незначительных индуктивных сопротивлений в схеме, то необходимо применять быстродействующие защитные устройства, способные прервать ток прежде, чем он достигнет опасного значения.

Силовые цепи полупроводниковых приборов, как правило, содержат реактивные элементы – дроссели, конденсаторы, индуктивности рассеяния трансформаторов. При коммутациях полупроводниковых приборов в контурах, образуемыми этими реактивными элементами, возникают колебательные процессы. Поэтому для уменьшения перенапряжений в контурах с вентилями необходимо предусматривать низкоомные цепи, либо специальные меры, способствующие уменьшению амплитуды переходного процесса.

Основные требования к защитным средствам силовых преобразователей в целом являются требования по обеспечению надежности, селективности и быстродействия.

Наиболее простым способом защиты полупроводниковых приборов является использование быстродействующих плавких предохранителей. Они обычно предназначены для защиты от токов КЗ, но не перегрузки. Особенностью использования быстродействующих предохранителей является необходимость согласования тепловых эквивалентов плавких вставок и полупроводниковых приборов.

Обычно для эффективной защиты необходимо недогружать полупроводниковые приборы по току. Количество параллельно включаемых приборов (транзисторов) выбирается с запасом, обеспечивающим нормальную работу преобразователя при выходе из строя одного из группы параллельно включенных полупроводниковых приборов.

Для защиты полупроводниковых преобразователей широко применяются быстродействующие автоматические выключатели (АВ), обеспечивающие многократное срабатывание и возможность дистанционного управления. Наиболее эффективными в настоящее время являются электронные защиты, одним из самых простых способов электронной защиты является снятие управляющих импульсов с силовых приборов управляемых преобразователей.

Поэтому для повышения быстродействия системы защиты в полупроводниковых преобразователях иногда используются схемы принудительной (искусственной) коммутации силовых приборов.

Многообразие СП и условий их эксплуатации обуславливает различие в способах защиты и схемотехнического исполнения самой системы защиты. Значительно повышается эффективность защиты преобразователей при использовании в качестве их исполнительного органа статических контакторов (тиристорных или транзисторных) и комбинированных электрических аппаратов (контакторы которых содержат электромагнитные и статические устройства).

Внедрение СП в системы электроснабжения позволяет повысить надёжность электропитания потребителей. Наиболее эффективны универсальные статические преобразователи (УСП). Конструктивно УСП представляет собой комплектное устройство, содержащее блок силовых ключей, согласующий автотрансформатор, фильтр, коммутационные аппараты (бесконтактные или комбинированные) и систему управления, обеспечивающую преобразование и стабилизацию напряжения, а также защиту преобразователя в аварийных режимах работы. Кроме того, система управления (СУ) УСП способна управлять работой преобразователя по нескольким алгоритмам таким образом, что преобразователь может работать в режимах выпрямителя, инвертора и преобразователя частоты. Для работы в режиме конвертора два УСП включаются последовательно.

Принцип работы УСП позволяет осуществлять рациональное построение систем бесперебойного электроснабжения, обеспечивая при этом эффективные взаимосвязи в системе электроснабжения в целом. Поскольку важной особенностью работы УСП является их способность пропускать потоки электроэнергии в обоих направлениях. Кроме того, применение УСП в составе системы бесперебойного электроснабжения позволит улучшить эксплуатационно-технические показатели системы, в том числе КПД и МГП.

В составе любого УСП включены, как правило, звенья представляющие из себя стандартные СП (инвертор, выпрямитель и т.п.) Как известно, конвертор в своей структуре имеет три преобразователя электроэнергии: инвертор, трансформатор и выпрямитель. Данный тип преобразователя с промежуточным высокочастотным звеном (ПВЗ) имеет значительно лучшие МГП, чем обычные трансформаторно-ключевые структуры переменного тока. К недостаткам конвертора с ПВЗ можно отнести многократное преобразование электроэнергии, что несколько понижает КПД и увеличивает установленную мощность полупроводниковых элементов. Кроме

того, здесь обязательным условием является применение управляемых полупроводниковых ключей для преобразования и стабилизации параметров электроэнергии, что в свою очередь понижает показатели надежности модульного блока как самостоятельного звена системы.

Широкое распространение получили два типа структур многозвенных преобразователей параллельный и последовательный.

В многозвенном преобразователе параллельного типа как правило используются электронный ключ, например транзистор, и гальваническая развязка, как правило трансформатор. При многофазном управлении транзисторными ключами осуществляется стабилизация напряжения на нагрузке с гальваническим разделением входа и выхода. Функции дросселя в каждом звене выполняет трансформатор, который при закрытом транзисторе запасает энергию, а при открытом – отдает ее в нагрузку через вторичную обмотку. При этом осуществляется суммирование токов в общем узле. Однако, в модуляционных источниках питания повышенной мощности применение схем такого типа ограничено из-за трудности исполнения трансформатора с коэффициентом связи обмоток, близким к единице, повышенных напряжениях на полупроводниковых ключах и возрастании напряжений при увеличении сопротивления нагрузки.

Возможно также исполнение многозвенных преобразователей электроэнергии параллельного типа на базе двухтактных инверторов и однотактных с прямым включением диодов. Однако в этом случае, чтобы осуществить суммирование в общем узле, необходимо в каждое звено ввести дроссель.

При повышенных напряжениях источников электроэнергии и на нагрузке (когда напряжение превышает допустимое для применяемых полупроводниковых приборов) используют последовательный тип многозвенных преобразователей. Здесь возникает сложная техническая задача деления напряжения на звеньях во всем диапазоне регулирования в особен-

ности при малых длительностях импульсов и на холостом ходу, и ситуация тем более усугубляется, если импульсы, применяемых звеньев, имеют разную длительность. Симметрия напряжения в многозвенном преобразователе последовательного типа должна поддерживаться во всех режимах, в том числе и при отсутствии напряжения на выходе многозвенного преобразователя. При увеличении напряжения на каком либо звене по сравнению с остальными увеличивается и длительность импульсов в нагрузке этого звена, а в другом звене наоборот - длительность импульсов уменьшается. При этом отсутствуют уравнивающие токи, улучшается магнитный режим работы трансформаторов, уменьшается возможность одностороннего насыщения сердечников, что при возникновении режима насыщения увеличивает потребляемый звеном ток, а, следовательно, уменьшает напряжение источника питания. Это в свою очередь, вызывает автоматическое уменьшение длительности управляющих импульсов, и тем самым уменьшаются площади полувольтных кривых напряжения на обмотке трансформатора.

Информация о несимметрии получается с помощью резистивного высоковольтного делителя и встречно-параллельно включенных оптронов. При одинаковом напряжении на звеньях в точках подключения оптронов действуют одинаковые потенциалы, через светодиоды ток не протекает – система симметрична. Чем больше ток через фотодиод, тем больше длительность импульсов. При неисправности какого либо звена система управления многозвенного преобразователя автоматически отключается, стремясь войти в равновесие.

Во всех случаях при последовательном соединении преобразовательных звеньев необходимы дополнительные конденсаторы, для обеспечения процесса симметрирования. Кроме того, конденсаторы в этом случае выполняют функцию входных фильтров.

Последовательно-параллельные многозвенные преобразователи электроэнергии используют в первую очередь в тех случаях, когда необходимо уменьшить напряжение на звене, которое равномерно распределяется между звеньями. Преобразователи последовательно-параллельного типа с ПВЗ получили наибольшее распространение в силу того, что здесь не возникает трудностей с делением токов и напряжений между звеньями. При последовательном соединении вторичных цепей (обмоток) наиболее просто осуществляется суммирование напряжений отдельных звеньев в общем контуре.

Перспективными являются многозвенные преобразователи с переменной структурой, которые позволяют соединять преобразовательные звенья по входным или выходным цепям параллельно, последовательно или последовательно параллельно. Структура таких преобразователей зависит от значения входного напряжения, тока или напряжения нагрузки, а также от работоспособности отдельных звеньев. Их выгодно применять при больших изменениях напряжения источника питания ограниченной мощности, при работе на нагрузку с одним уровнем потребляемой мощности. Необходимо отметить, что в системах бесперебойного электроснабжения возникает необходимость в таком построении силовой цепи при работе от источников с различными номиналами напряжения. В качестве примера на рисунке 1 показана функциональная схема многозвенного преобразователя с переменной структурой.

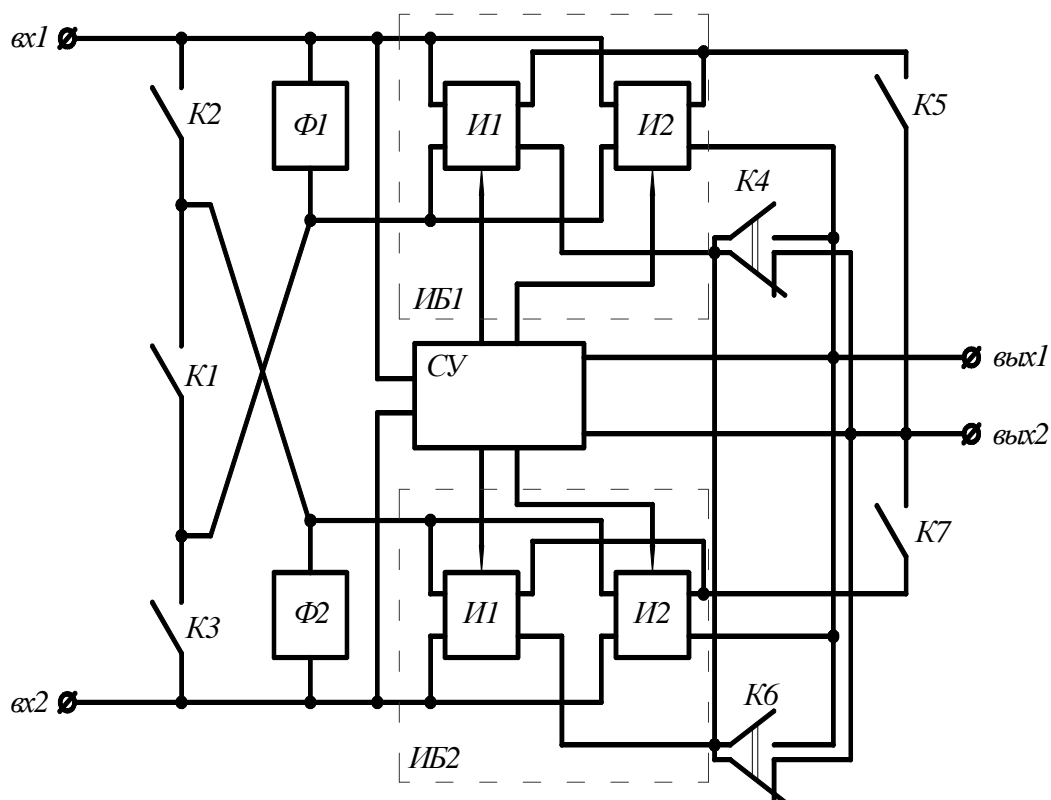


Рисунок 1 – Функциональная схема многозвенного преобразователя с переменной структурой

Преобразователь напряжения постоянного тока с переменной структурой содержит: входные выводы $vx1$ и $vx2$, к которым подключается источник напряжения постоянного тока, выходные выводы $вых1$ и $вых2$, к которым подключается нагрузка работающая на переменном токе, входные силовые ключи $K1$, $K2$, $K3$ входные фильтры $\Phi1$, $\Phi2$, инверторные блоки ИБ1 и ИБ2 содержащие инверторы И1, И2 и И1, И2 соответственно, выходные силовые ключи $K4$, $K6$ и $K5$, $K7$, систему управления СУ. Входные силовые ключи $K1$, $K2$, $K3$ предназначены для подключения инверторных блоков ИБ1, ИБ2 параллельно или последовательно к источнику напряжения постоянного тока. Выходные силовые ключи $K4$, $K6$ и $K5$, $K7$ предназначены для включения инверторов И1, И2 и И1, И2 инверторных блоков ИБ1, ИБ2 на параллельную или последовательную работу. Система управ-

ления СУ предназначена для управления работой силовых ключей и синхронизации работы инверторов.

Изменение подключения входов инверторных блоков ИБ1 и ИБ2 с параллельного соединения в последовательное и обратно позволяет применять преобразователь для работы с источниками напряжения постоянного тока с различными уровнем напряжения, а изменение подключения выходов инверторов И1, И2 и И1, И2 инверторных блоков ИБ1 и ИБ2 с последовательного соединения в параллельное и обратно позволит изменять величину выходного напряжения преобразователя независимо от уровня напряжения источника питания постоянного тока.

Таким образом применение многозвенных и универсальных статических преобразователей расширяет функциональные возможности преобразователя напряжения постоянного тока.

Литература

1. Автоматизированные устройства стабилизации напряжения переменного тока. Григораш О.В., Усков А.Е., Энговатова В.В., Военцов Д.В., Чесовской А.С. Промышленная энергетика. 2008. № 5. С. 17.
2. Автономные инверторы в устройствах бесперебойного электроснабжения. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., Власенко Е.А. Электротехника. 2012. № 6. С. 40-44.
3. Автономные инверторы солнечных электростанций. /Монография// Усков А.Е. Краснодар, 2011.
4. Однофазный автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией переменного тока. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., Тонкошкуров Ю.Н., Сулейманов А.Э. патент на изобретение RUS 2420854 11.05.2010
5. Преобразователь напряжения постоянного тока с переменной структурой. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., Сулейманов А.Э. Патент на изобретение RUS 2457606 25.05.2011
6. Преобразователь напряжения постоянного тока с промежуточным звеном повышенной частоты. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., Власенко Е.А., Винников А.В. патент на изобретение RUS 2414802 29.03.2010
7. Статические преобразователи электроэнергии на трансформаторах с вращающимся магнитным полем. Григораш О.В., Усков А.Е., Пугачёв Ю.Г., Передистый А.М. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 12. С. 185-190.
8. Трёхфазный стабилизированный выпрямитель. Григораш О.В., Усков А.Е., Энговатова В.В., Передистый А.М., Григораш А.О. Патент на изобретение RUS 2337463 31.07.2007
9. Григораш О. В. Статические преобразователи электроэнергии систем автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей: дис. ... д-ра техн. наук. / О. В. Григораш; КубГАУ. – Краснодар, 2003. – 338 с.

References

1. Avtomatizirovannye ustrojstva stabilizacii naprjazhenija pere-mennogo toka. Grigorash O.V., Uskov A.E., Jengovatova V.V., Voencov D.V., Chesovskoj A.S. Promyshlennaja jenergetika. 2008. № 5. S. 17.
2. Avtonomnye inventory v ustrojstvah besperebojnogo jelektro-snabzhenija. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., Vlasenko E.A. Jelektrotehnika. 2012. № 6. S. 40-44.
3. Avtonomnye inventory solnechnyh jelektrostancij. /Monografija// Uskov A.E. Krasnodar, 2011.
4. Odnofaznyj avtonomnyj inverter s shirotno-impul'snoj moduljaciej peremennogo toka. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., Tonkoshkurov Ju.N., Sulejmanov A.Je. patent na izobrenie RUS 2420854 11.05.2010
5. Preobrazovatel' naprjazhenija postojannogo toka s peremenoj strukturoj. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., Sulejmanov A.Je. Patent na izobrenie RUS 2457606 25.05.2011
6. Preobrazovatel' naprjazhenija postojannogo toka s promezhutochnym zvenom povyshennoj chastoty. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., Vlasenko E.A., Vinnikov A.V. patent na izobrenie RUS 2414802 29.03.2010
7. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii na transformatorah s vrashhajushhimsja magnitnym polem. Grigorash O.V., Uskov A.E., Pugachjov Ju.G., Peredistyj A.M. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2008. № 12. S. 185-190.
8. Trehfaznyj stabilizirovannyj vyprjamitel'. Grigorash O.V., Uskov A.E., Jengovatova V.V., Peredistyj A.M., Grigorash A.O. Patent na izobrenie RUS 2337463 31.07.2007
9. Grigorash O. V. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija sel'skohozjajstvennyh potrebitelej: dis. ... d-ra tehn. nauk. / O. V. Grigorash; KubGAU. – Krasnodar, 2003. – 338 s.