

УДК 621.316

UDC 621.316

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**CLASSIFICATION OF INDEPENDENT SOURCES OF ELECTRIC POWER**

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

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

Горбачёв Владимир Александрович
студент
9184349285@mail.ru

Gorbachyov Vladimir Aleksandrovich
student
9184349285@mail.ru

Дизендорф Андрей Витальевич
студент
9184349285@mail.ru

Dizendorf Andrey Vitalyevich
student
9184349285@mail.ru

Лучков Сергей Сергеевич
студент
9184349285@mail.ru

Luchkov Sergey Sergeevich
student
9184349285@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье приводится описание основных видов источников электроэнергии, их достоинства и недостатки. В настоящее время автономные источники электроэнергии на статических преобразователях являются наиболее универсальными. Несмотря на то, что электронные устройства способны обеспечить достаточно надёжное электроснабжение с потребителями различной мощности и характера нагрузки, однако их плохая приспособленность к высоко-динамическим нагрузкам. Поэтому электромашинные преобразователи остаются основным источником электроэнергии, как наиболее устойчивые к перегрузкам. Так даже в транспортных автономных источниках, для которых массогабаритные показатели наиболее критичны, используются электромашинные преобразователи. В статье приведены типовые схемы электромашинных преобразователей с синхронными и асинхронными генераторами, их преимущества и недостатки по отношению к статическим преобразователям. А так же приведены методы повышения их эффективности, например работа на повышенной частоте. Для источников, выполненных на статических преобразователях, наиболее перспективно использование схем с промежуточным звеном повышенной частоты, что, в свою очередь, позволяет снизить массогабаритные показатели. Как правило, статические преобразователи имеют плохое качество выходного напряжения, поэтому для повышения его качества используют различные выходные электрические фильтры. Наибольшую эффективность имеют управляемые фильтры, в

In the article the description of the basic kinds of sources of the electric power, their merits and demerits is resulted. Nowadays independent sources of the electric power on static converters are the most universal. In spite of the fact that electronic devices are capable to provide reliable enough electrosupply with consumers of various capacities and character of loading, however their bad fitness to high - dynamic loadings still is. Therefore electromachine converters remain the basic source of the electric power, as the steadiest to overloads. So even in transport independent sources, for which weight-dimensions parameters are most critical, electromachine converters are used. In the article typical circuits of electromachine converters with synchronous and asynchronous generators, their advantages and lacks in relation to static converters are resulted. And as methods of increase of their efficiency, for example work on the part frequency, are resulted. For the sources executed on static converters, use of circuits with an intermediate link of the part frequency is most perspective, which, in its turn, allows to lower weight-dimensions parameters. As a rule, static converters have bad quality of a target voltage, therefore for increase of its quality use various target electric filters. Controlled filters whit electronic elements in their structure have the greatest efficiency

составе которых используются электронные элементы

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СТАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ВЫХОДНОЙ ФИЛЬТР, МАССОГАБАРИТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ, КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ

Keywords: STATIC CONVERTER, ELECTROMACHINE CONVERTER, TARGET FILTER, MASS-DIMENSIONAL PARAMETERS, QUALITY OF VOLTAGE

В настоящее время автономные источники электроэнергии на статических преобразователях являются наиболее универсальными. Основные показатели автономных источников электроэнергии (АИЭ) представлены в табл.1. Предпочтительнее характеристики имеют электромеханические генераторы (ЭМГ). В настоящее время они являются наиболее универсальным источником электроэнергии как переменного, так и постоянного тока с широким диапазоном мощностей и напряжений. Кроме того, ЭМГ имеют хорошие массогабаритных показатели (МГП), КПД, а также высокую степень отработанности технологий изготовления. Однако из-за наличия вращающихся частей они характеризуются средним уровнем ресурса.

Электрохимические генераторы (ЭХГ) имеют высокий КПД и ресурс, основные их недостатки: плохие МГП и сложность регулирования параметров электроэнергии.

Аккумуляторные батареи (АБ) применяются в САЭ в основном как резервные или аварийные источники, как и ЭХГ имеют средний уровень ресурса и относительно высокую стоимость.

Солнечные батареи (СБ) получают энергию непосредственно из окружающей среды, имеют большой ресурс, но плохо приспособлены для высокودинамических режимов, не работают без солнечного света и имеют высокую стоимость.

Таким образом, как видно с табл.1, основу перспективы для использования в качестве источника электроэнергии составляют ЭМГ.

В основном приводные двигатели ЭМГ определяют основные эксплуатационно-технические характеристики АИЭ, в том числе и ресурс работы.

Таблица 1 - Основные показатели АИЭ

<i>Тип АИЭ</i>	<i>Диапазон мощности, кВт</i>	<i>Напряжение, В</i>	<i>КПД</i>	<i>Удельная масса, кг/кВт</i>
<i>ЭМГ</i>	<i>1 - 10⁴</i>	<i>10 - 10⁴</i>	<i>0,8 - 0,9</i>	<i>0,2 - 12</i>
<i>ЭХГ</i>	<i>1 - 100</i>	<i>10 - 100</i>	<i>0,4 - 0,7</i>	<i>5 - 50</i>
<i>АБ</i>	<i>0,1 - 10</i>	<i>10 - 100</i>	<i>0,6 - 0,9</i>	<i>0,002 - 0,01 (кг/кДж)</i>
<i>СБ</i>	<i>0,1 - 100</i>	<i>10 - 300</i>	<i>0,1 - 0,25</i>	<i>10 - 100</i>

Общий обзор разработок ведущих отечественных и зарубежных фирм показывает, что главными направлениями развития двигателестроения в ближайшее время остаются совершенствование и оптимизация рабочего процесса повышающего эксплуатационно-технические характеристики дизельных двигателей (ДД), которые осуществляют привод ЭМГ. Кроме того, значительное внимание уделяется совершенствованию газотурбинных двигателей (ГТД), развитию и внедрению двигателей Стирлинга (ДС) и адиабатных двигателей (АД).

В настоящее время в США налажен серийный выпуск ДС, КПД которых достигает 0,35. Показатели ДС – экономичность, компактность и удельная мощность – практически такие же, как у современных ДД. Кроме того, ДС имеет ряд преимуществ: практически полное отсутствие вибрации и шума вследствие непрерывности (а не вспышками, как в ДД) процесса горения топлива в ДС и хорошей сбалансированностью цилиндров; возможность использования в ДС любого источника энергии, включая солнечную энергию, ядерного реактора и даже радиоизотопов. Основными недостатками ДС является относительная сложность конструкции, высокая стоимость производства и более сложная система регулирования, чем у ДД.

Весьма перспективны АД, экономическая эффективность работы которых может быть повышена до уровня, практически недостижимого для

ДД. Расчетные исследования на физических моделях показывают, что КПД АД может достигать до 0,59, а анализы патентов прогнозируют его до 0,64, при этом ожидаемый расход топлива – не более 150 г/кВт ч. Кроме того, показатели удельной массы АД на 15 – 20% лучше, чем у ДД. Однако создание АД ставит перед конструкторами многочисленные проблемы, которые исходят с их основных недостатков: низкая надежность керамических материалов (хрупкость), высокая токсичность отработавших газов, высокая стоимость.

Основные энергетические характеристики АИЭ определяют их генераторы электроэнергии. Автономная электроэнергетика предъявляет ряд специфических требований к генераторам АИЭ, основными из которых являются:

1) высокая стабильность и точность поддержания параметров электроэнергии (амплитуды, частоты и формы генерируемого напряжения) в условиях действия таких дестабилизирующих факторов, как переменная частота вращения приводного двигателя (ПД), изменяющаяся величина и характер нагрузки, параллельная работа с другими источниками;

2) минимальная масса и габариты при растущей потребности увеличения установленной (расчетной) мощности;

3) высокая надежность работы и КПД;

4) минимальная стоимость и эксплуатационные расходы.

В автономной энергетике нашли применение весьма перспективные ЭМГ переменного тока – асинхронизированные синхронные генераторы (АСГ), представляющие собой синтез собственно электрической машины и силовых статических преобразователей электроэнергии.

АСГ могут устойчиво работать во всех требуемых по условиям эксплуатации режимах, в том числе и переменных частотах вращения ПД. При этом требования к приводам АСГ по точности стабилизации частоты вращения значительно снижены в сравнении с требованиями, предъявляемыми к приводам традиционных СГ. Области устойчивости АСГ, при прочих равных условиях, всегда больше областей устойчивости СГ, особенно в режимах глубокого потребления реактивной мощности.

Для транспортных АИЭ основным критерием эффективности являются МПП, поэтому здесь применяются статические преобразователи. Основным источником электроэнергии в таких системах, как правило, являются генераторы переменного тока и, реже, генераторы постоянного тока они же могут выполнять функции, как и аккумуляторные батареи, резервных источников.

Типовые структурные схемы транспортных АИЭ, выполненных на базе статических преобразователей электроэнергии представленные на рисунке 1, где обозначено: *АИЭ* – автономный источник электроэнергии; *ПД* – приводной двигатель; *Г* – генераторы электроэнергии; *ШГП1* и *ШГП2* – шины гарантированного питания переменного и постоянного тока соответственно; *ТВБ* – трансформаторно-выпрямительный блок; *ИТБ* – инверторно-трансформаторный блок; *ПНП* – преобразователь напряжения постоянного тока; *АБ* – аккумуляторные батареи.

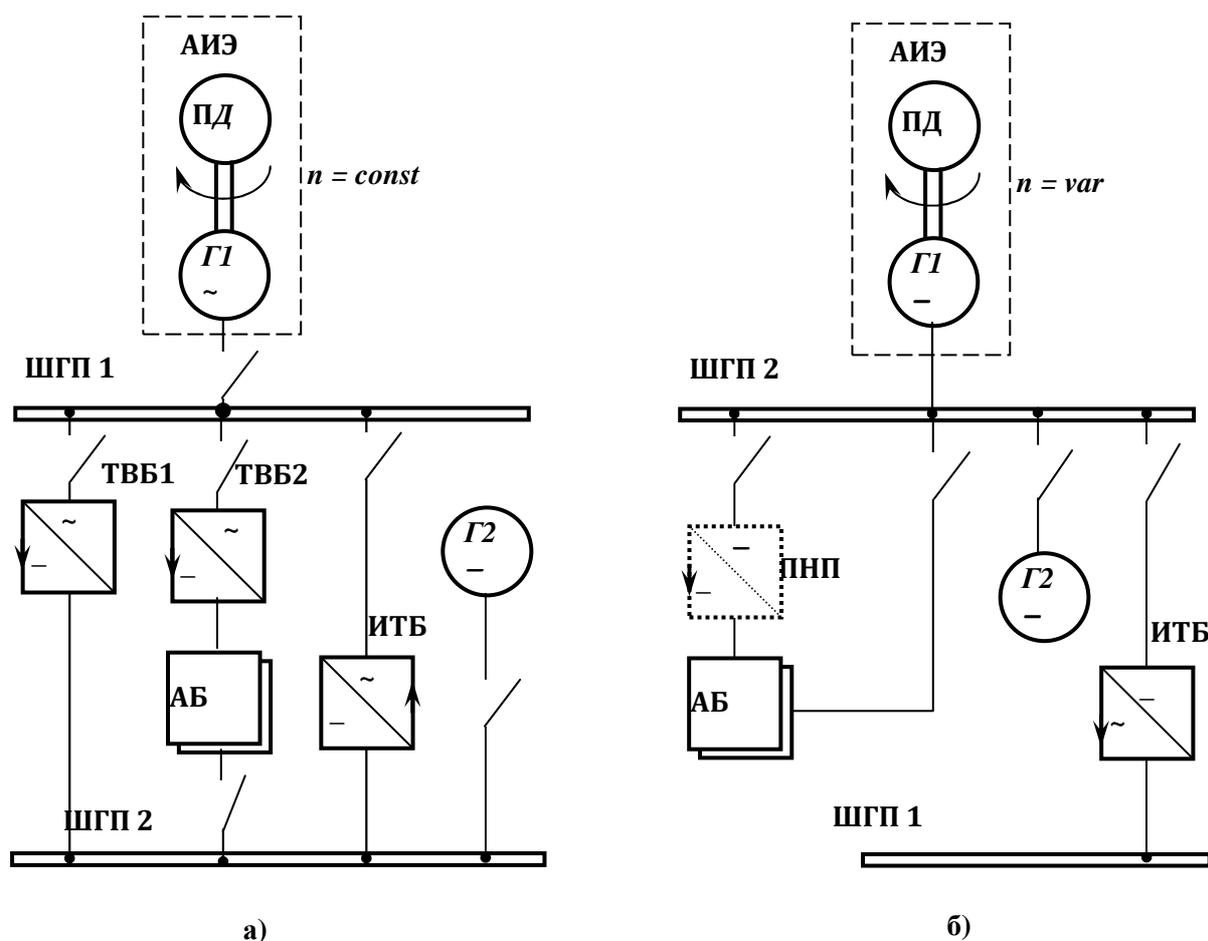


Рисунок 1 – Структурные схемы транспортных АИЭ

Особенностью конструкции рассмотренных схем АИЭ является отсутствие вводов электроснабжения от внешних источников электроэнергии, но они могут быть предусмотрены.

Режимы работы. В основном режиме функционирования АИЭ (рисунок 1) основными источниками электроэнергии являются генераторы $G1$ переменного (рисунок 1, а) и постоянного (рисунок 1, б) токов соответственно АИЭ. При этом потребители электроэнергии переменного тока получают питание от шины ШГП1, а постоянного - от шины ШГП2. В аварийных ситуациях источниками электроэнергии для потребителей являются генераторы $G2$, привод которых осуществляется от коробки отбора мощности ходового двигателя, или аккумуляторные батареи АБ. Преобразователи

ТВБ и *ИВБ* осуществляют преобразование напряжения источника питания для соответствующих групп потребителей.

Надежность работы транспортных АИЭ систем повышается за счет дополнительных резервных АИЭ и ПЭ (на рисунке 1 не показаны).

Значительно улучшаются массогабаритные показатели АИЭ при использовании высокочастотных АИЭ (частота герируемого напряжения которых находится в пределах $400\div 800$ Гц), выполненных на базе высокоскоростных приводных двигателей (ВПД) и бесконтактных генераторов электроэнергии.

В течении последних лет, как в нашей стране так и зарубежом, теоретические исследования и практический опыт показывают перспективы применения самовозбуждающихся АГ в качестве АИЭ средней мощности (до 200 кВт) с приводом от ВПД.

АИЭ, выполненный на базе АГ с конденсаторным возбуждением, может являться источником напряжения переменного тока как повышенной, так и промышленной частоты, а также источником напряжения постоянного тока. В первом случае АИЭ подключается непосредственно к шине питающей нагрузку с повышенной частотой напряжения, во втором случае он работает совместно с НПЧ, а в третьем – с выпрямителем.

Применение промежуточного высокочастотного преобразования (ПВП) электроэнергии, позволяет значительно улучшить эксплуатационно-технические характеристики, в том числе МГП, статических преобразователей АИЭ.

За счет промежуточного повышения частоты в преобразователях с бестрансформаторным входом удается существенно (в 10 - 15 и более раз) уменьшить массу и объем электромагнитных элементов (трансформаторов, дросселей) по сравнению с их аналогами, работающими на частоте сети 50 Гц. Кроме этого с ростом частоты повышается достижимый КПД трансформаторов и дросселей. Применение ПВП в преобразовательных устрой-

ствах увеличивает функциональные возможности их расширяются: помимо заданного вида преобразования с их помощью регулируют, стабилизируют, осуществляют защиту, фильтруют низкочастотные пульсации и т.д. Значительно улучшаются показатели надежности преобразователей, модульного исполнения.

На рисунке 2 показаны основные варианты структурных схем многозвенных статических преобразователей с промежуточным звеном повышенной частоты (400 Гц и более).

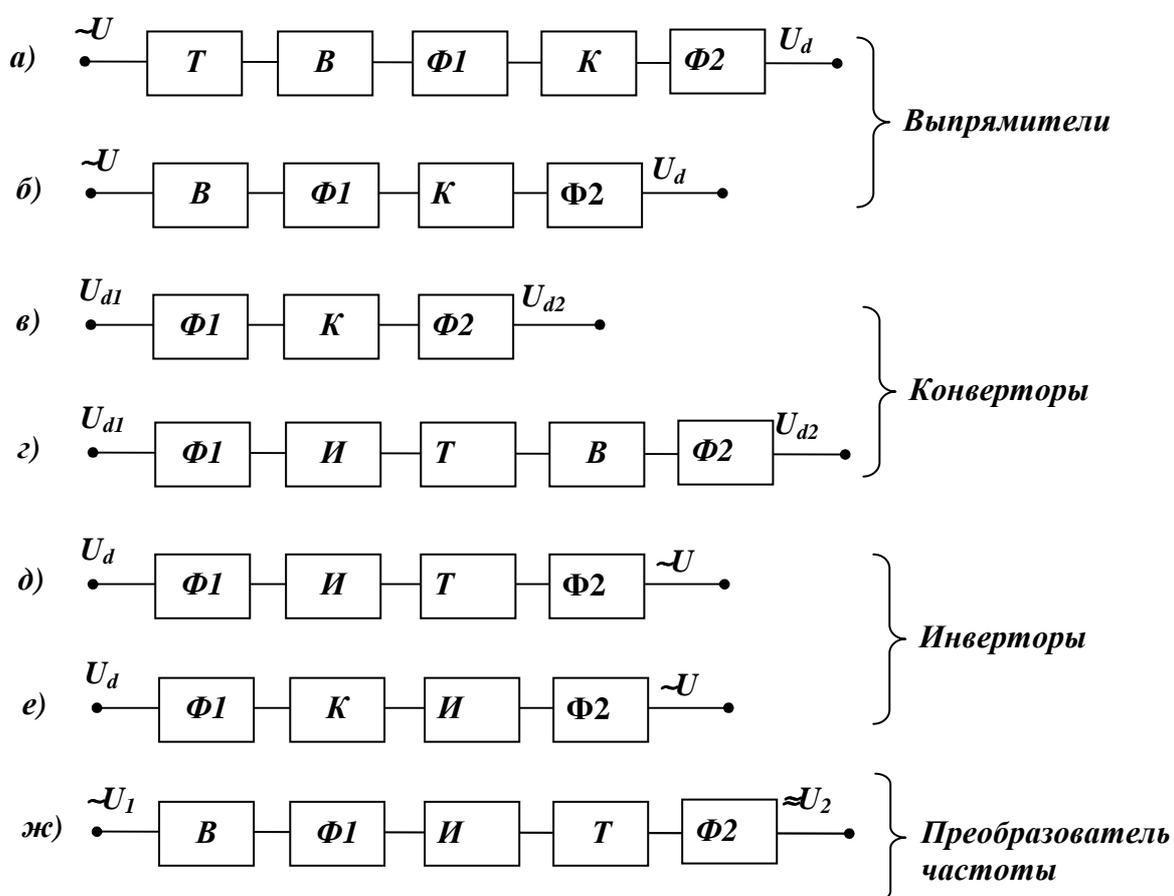


Рисунок 2 – Структурные схемы многозвенных статических преобразователей с промежуточным высокочастотным преобразованием: T – согласующий трансформатор; B – выпрямительная схема; K – полупроводниковых ключ; $\Phi 1$ и $\Phi 2$ – входной и выходной фильтры; I – инверторная схема;

Основное преимущество ПЭ на входе которых имеются неуправляемые выпрямители – это относительно слабое влияние на качество напряжения источника питания (рисунок 2, а, б, ж). Наличие входного согласо-

ющего трансформатора позволяет вообще свести это влияние к минимуму. Высшие гармоники входного тока преобразователей, создаваемые работой силовых полупроводниковых ключей преобразователей, сравнительно легко отфильтровываются, так как в большинстве случаев являются высокочастотными.

В структурах ПЭ с бестрансформаторным входом (рисунок 2, б, в, е) функции регулирования и согласования, выполняются полупроводниковым высокочастотным ключом K (рисунок 3). Принцип действия высокочастотных полупроводниковых ключей основан на регулировании потока энергии, поступающего в нагрузку от источника, посредством изменения соотношения времени открытого и закрытого состояния ключа. Для обеспечения непрерывности кривой выходного напряжения функции промежуточных накопителей электроэнергии выполняют дроссель L и конденсатор C (рисунок 3).

В рассмотренных многозвенных преобразователях гальваническая развязка может осуществляться за счет использования двухобмоточного дросселя в составе входного или выходного фильтров. Высокая частота коммутации ключа K улучшает качество выходных параметров напряжения постоянного тока, особенно в динамических режимах работы.

Наиболее широко ПВП используется в конверторах (рисунок 2, в, г). Структуры таких преобразователей идентичны структурам выпрямителям (рисунок 2, а, б), но без входного выпрямительного звена. Следует отметить, что параметры входных фильтров конверторов отличны от параметров входных фильтров выпрямителей, так как питание таких преоб-

зователей осуществляется непосредственно от источников напряжения постоянного тока различных типов.

Использование ПВП в инверторах, как в явном виде, так и виде звеньев, совмещающих в одном инверторе процессы преобразования на основной и повышенных частотах посредством синусоидальной модуляции повышенной частоты, стало наиболее распространённой схемой. В модульных блоках инверторов, показанных на рисунке 2, *д*, *е*, напряжение постоянного тока преобразуется в напряжение переменного тока посредством ШИМ.

Преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока (рисунок 2, *ж*) может применяться в АИЭ, однако он значительно уступает по основным критериям эффективности непосредственным преобразователям частоты.

Представленные на рисунке 2 структурные схемы многозвенных статических преобразователей не исчерпывают всего многообразия возможных вариантов структур преобразователей с ПВП, но в значительной мере отражают основные современные направления по использованию повышенной частоты в целях улучшения эксплуатационно-технических характеристик статических ПЭ.

Как правило, статические преобразователи имеют плохое качество выходного напряжения, поэтому для повышения его качества используют различные выходные электрические фильтры. Наибольшую эффектив-

ность имеют управляемые фильтры, в составе которых используются электронные элементы (рисунок 3). Для достижения требуемого качества выходного напряжения, как правило, используют многозвенный неуправляемый фильтр, что увеличивает массу блоков фильтров. Применение управляемых выходных фильтров позволяет уменьшить массу, однако использование полупроводниковых устройств в составе выходного фильтра приводит к возникновению дополнительных помех.

Таким образом, использование определённого вида источника электроэнергии зависит в первую очередь от требований качества выходного напряжения и массогабаритных показателей.

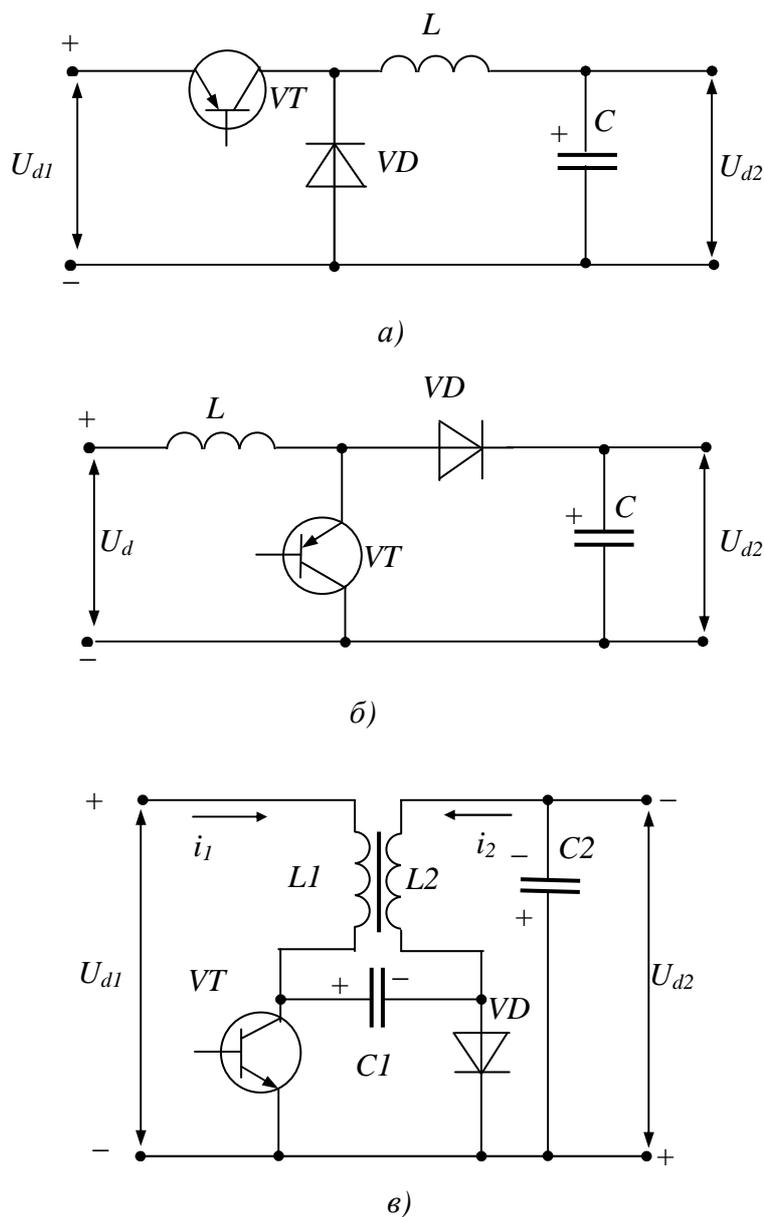


Рисунок 3 – Принципиальные электрические схемы высокочастотных полупроводниковых фильтров на транзисторах: а) – последовательный; б) – параллельный; в) – универсальный

Литература

1. Автономные инверторы в устройствах бесперебойного электроснабжения. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., Власенко Е.А. Электротехника. 2012. № 6. С. 40-44.
2. Универсальные статические преобразователи электроэнергии. Григораш О.В., Усков А.Е., Бутенко А.В. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 1. С. 57.

3. Преобразователь напряжения постоянного тока на реверсивном выпрямителе. Степура Ю.П., Григораш О.В., Власенко Е.А., Усков А.Е., Петренко Ю.М. патент на изобретение RUS 2420855 11.05.2010

4. 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. 17-20.

5. 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.

6. 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

References

1. Avtonomnye invertory v ustrojstvah besperebojnogo jelektro-snabzhenija. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., Vlasenko E.A. Jelektrotehnika. 2012. № 6. S. 40-44.

2. Universal'nye staticheskie preobrazovateli jelektrojenergii. Grigorash O.V., Uskov A.E., Butenko A.V. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2008. № 1. S. 57.

3. Preobrazovatel' naprjazhenija postojannogo toka na reversivnom vyprjamitele. Stepura Ju.P., Grigorash O.V., Vlasenko E.A., Uskov A.E., Petrenko Ju.M. patent na izobrenie RUS 2420855 11.05.2010

4. Avtomatizirovannye ustrojstva stabilizacii naprjazhenija pe-remennogo toka. Grigorash O.V., Uskov A.E., Jengovatova V.V., Voencov D.V., Chesovskoj A.S. Promyshlennaja jenergetika. 2008. № 5. S. 17-20.

5. 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.

6. 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