

УДК 620.314 (075.8)

UDC 620.314 (075.8)

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И
ЗАЩИТЫ****POWER SOURCES OF OPERATION,
CONTROL AND PROTECTION DEVICES**

Григораш Олег Владимирович
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
grigorasch61@mail.ru
РИНЦ SPIN-код 4729-2767

Grigorash Oleg Vladimirovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the
chair, grigorasch61@mail.ru
RSCI SPIN-code 4729-2767

Ивановский Олег Якович
магистр

Ivanovsky Oleg Yarkovich
master student

Туаев Александр Сергеевич
Магистр
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар,
Россия*

Tuaev Alexander Sergeevich
master student
*Kuban state agrarian University named after
I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

Эксплуатируемые в настоящее время в автономных системах электроснабжения источники напряжения постоянного тока – вторичные источники питания устройств управления, защиты и контроля генераторов, двигателей, стабилизаторов и преобразователей электроэнергии имеют относительно низкие показатели эксплуатационно-технических характеристик. В статье предложено для улучшения массогабаритных показателей источников питания в их конструкции применить звено повышенной частоты. Приводятся структурно-схемные решения и раскрываются особенности работы вторичных источников питания с звеном повышенной частоты. Рассматриваются принципиальные электрические схемы импульсных регуляторов, конверторов, выполненных на базе резонансных инверторов и трансформаторов с вращающимся магнитным полем. Применение в составе источников питания резонансных инверторов позволит значительно улучшить их массогабаритные показатели. А использование в составе вторичных источников питания трансформаторов с вращающимся магнитным полем упростит их конструкцию и уменьшит уровень электромагнитных помех, создаваемых полупроводниковыми приборами. Рассмотренные в статье особенности работы импульсных регуляторов и перспективные структурно-схемные решения конверторов, выполненных на резонансных инверторах и трансформаторах с вращающимся магнитным полем, повысят эффективность предпроектных работ по разработке вторичных источников питания с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками для устройств управления, контроля и защиты

Currently operating in autonomous systems of power supply DC voltages power sources are secondary sources for operation devices, protection and control of generators, motors, stabilizers and inverters have relatively low operational performance. The work proposes to improve the weight and the size of power supplies to apply a high frequency link in their designs. We provide structural designs and the peculiarities of operation of secondary power sources with a high frequency link. This article discusses the fundamental electrical circuits of pulse regulators, converters based on resonant inverters and transformers with rotating magnetic field. The use of resonant inverters in power sources will significantly improve their weight and overall dimensions. In addition, the use of secondary sources of supply for transformers with rotating magnetic field will simplify their design and reduce the level of electromagnetic interference generated by semiconductor devices. The features of operation of pulsed regulators and prospective structural-schematics converters discussed in the article, performed on resonant inverters and transformers with rotating magnetic field, will increase the effectiveness of pre-work on the development of secondary power sources with improved operational and technical characteristics for devices of operating, control and protection

Ключевые слова: ВТОРИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Keywords: SECONDARY POWER SOURCES,

ПИТАНИЯ, ВЫПРЯМИТЕЛЬ, КОНВЕРТОР,
УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И
ЗАЩИТЫ, ЗВЕНО ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

RECTIFIER, CONVERTER, DEVICE
MANAGEMENT, CONTROL AND PROTECTION,
HIGH FREQUENCY LINK

Doi: 10.21515/1990-4665-132-078

Практически во всех системах автоматического управления, контроля и защиты генераторов, двигателей, стабилизаторов и преобразователей электроэнергии питание осуществляется постоянным током широкого диапазона напряжений и мощностей.

Эксплуатируемые в настоящее время источники электроэнергии постоянного тока – вторичные источники питания (ВИП) имеют относительно низкие показатели эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ), в том числе показатели надежности, КПД и массогабаритные показатели (МГП). МГП, как правило, имеют первостепенное значение для транспортных автономных систем электроснабжения (АСЭ) поскольку масса и габариты ВИП, иногда превышает массу и габариты питаемых ими потребителей электроэнергии [1, 2].

Перспективным направлением в решении задачи улучшения МГП ВИП является повышение рабочей частоты преобразования электроэнергии, которое реализуется с помощью промежуточного звена повышенной частоты (ЗПЧ) [3].

На рисунке 1 приведены типовые структурные схемы ВИП с ЗПЧ. На рисунке 1, *a* приведена часто применяемая в АСЭ структурная схема выпрямителя с ограниченной мощностью источников электроэнергии. Схема содержит трансформатор T , неуправляемый выпрямитель B , фильтры $\Phi 1$ и $\Phi 2$. Регулирование напряжения на повышенной частоте осуществляется импульсным регулятором $ИР$. Преимуществом схемы является сравнительно слабое влияние на напряжение первичного источника за счет применения неуправляемого выпрямителя. Высшие

гармоники, создаваемые при работе импульсного регулятора *ИР* отфильтровываются фильтром $\Phi 2$.

Структурные схемы выпрямителей, показанных на рисунках 1, б и в имеют бестрансформаторные входы. Функции регулирования и согласования напряжения источника питания с напряжением потребителей выполняются ЗПЧ. В структурной схеме, приведенной на рисунок 1, б ЗПЧ выполнено на базе инвертора *И*, а в структурной схеме на рисунке 1, в – импульсного регулятора *ИР* постоянного тока, имеющего гальваническую развязку, осуществляющую двухобмоточными дросселями фильтров $\Phi 1$ и $\Phi 2$.

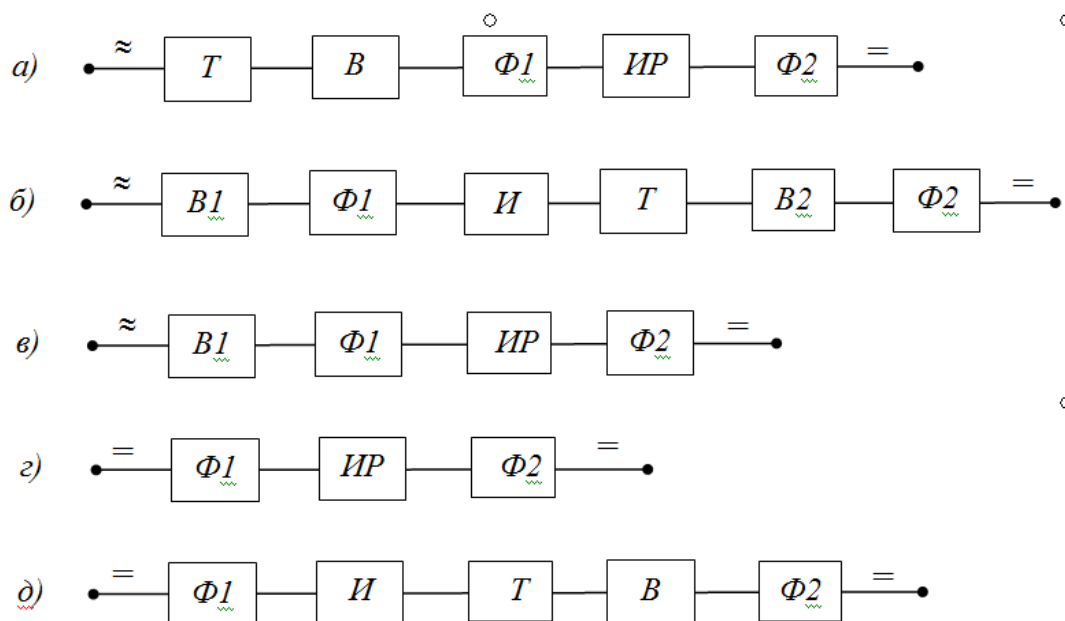


Рисунок 1 – Структурные схемы вторичных источников питания

Наибольший эффект получается при использовании ЗПЧ в преобразователях напряжения постоянного тока в постоянный – конверторах, при этом напряжение на выходе преобразователя может быть больше или меньше входного напряжения. В конверторах регулирование напряжения может осуществляться импульсный регулятором *ИР* (рисунок 1, в) или инвертором *И* (рисунок 1, д). Параметры входных фильтров $\Phi 1$ и

$\Phi 2$ конверторов отличаются от параметров входных фильтров выпрямителей, так как питание преобразователей осуществляется непосредственно от источников напряжения постоянного тока.

Одним из функциональных элементов выпрямителей и конверторов является импульсный регулятор ИР (см. рисунок 1). На рисунке 2 приведены основные схемы ИР с понижением и повышением выходного напряжения, а также комбинированная схема [4, 5].

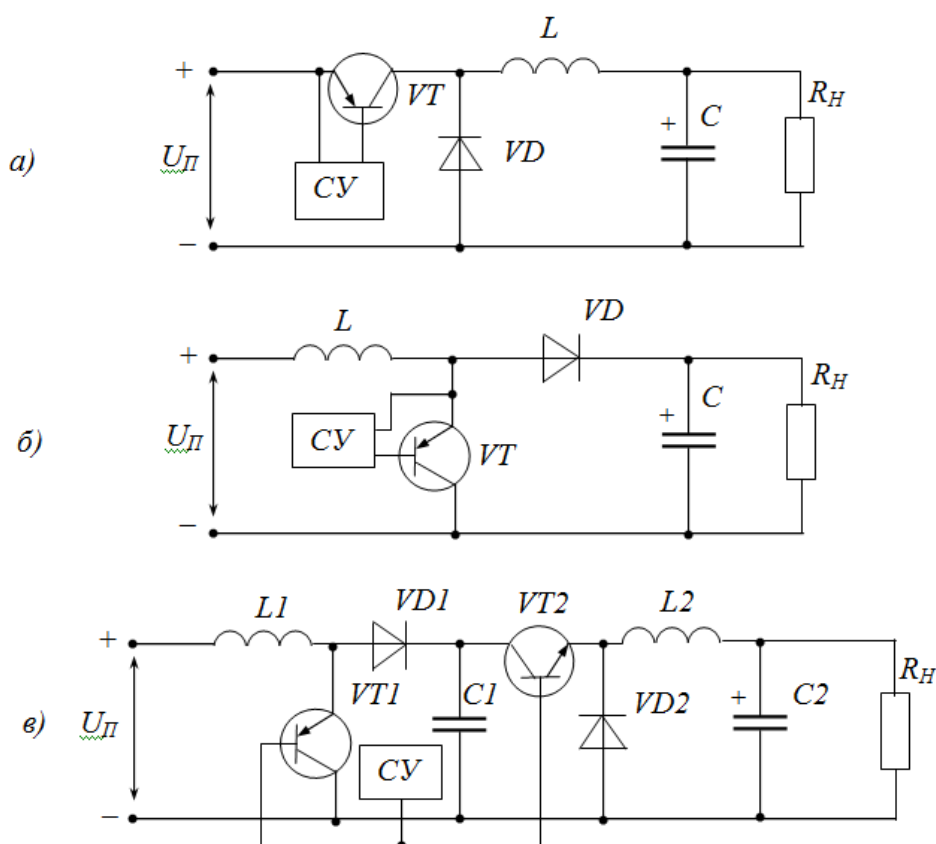


Рисунок 2 – Принципиальные электрические схемы импульсных регуляторов: с понижением напряжения (а); повышением напряжения (б); комбинированная (в)

Схема ИР с понижением выходного напряжения (рисунок 2, а) работает в двух режимах. В первом режиме система управления $СУ$ открывает транзистор VT . Ток от источника к нагрузке будет протекать по цепи: «+», $VT_{\text{ЭК}}$, L , R_H , «-». В этот промежуток времени дроссель L накапливает электроэнергию, а конденсатор C заряжается.

Во втором режиме работы система управления СУ закрывает транзистор VT . Источником электроэнергии для нагрузки является энергия, накопленная дросселем L и конденсатором C .

Соответствующим подбором параметров реактивных элементов L и C достигается непрерывность протекания тока через нагрузки. Регулирование напряжения осуществляется изменением длительности паузы между открытым и закрытым состоянием транзистора. Напряжение на нагрузке имеет максимальное значение при включенном транзисторе. При отключении транзистора напряжение на нагрузке уменьшается, т. е. рассмотренная схема ИР может регулировать среднее значение напряжения источника в сторону его уменьшения.

Изменив в схеме ИР расположение дросселя L , транзистора VT и диода VD с такой целью, чтобы после отключения транзистора запасенная энергия в дросселе добавлялась к источнику регулируемого напряжения, в этом случае на выходе ИР повышается выходное напряжение (рисунок 2, б).

Схема ИР (рисунок 2, б) также работает в двух режимах. В первом режиме транзистор VT открыт. Ток от источника питания через транзистор протекает по цепи: «+», L , $VT_{ЭК}$, «-». Диод VD в этом режиме работы закрыт. Питание нагрузки R_H осуществляется энергией запасенной конденсатором C , напряжение которого с течением времени уменьшается.

Во втором режиме работы схемы система управления СУ закрывает транзистор VT . Ток от источника питания к нагрузке протекает по цепи: «+» L , VD , R_H , «-». При этом к источнику напряжения постоянного тока $U_{П}$ подключается последовательно дроссель L и нагрузка R_H . Конденсатор в этом режиме заряжается. В результате питание нагрузки осуществляется от двух источников $U_{П}$ и L . Таким образом, ИР работает на повышение напряжения.

Схема ИР с понижением напряжения (рисунок 2, а) потребляет прерывистый ток от источника напряжения постоянного тока U_{II} , а схема с повышением напряжения (рисунок 2, б) имеет прерывистый ток, поступающий в конденсатор выходного фильтра. Эти недостатки устраняются комбинированной схемой ИР (рисунок 2, в).

Схема комбинированного ИР позволяет снизить пульсации входного и выходного тока регулятора практически до нуля. В свою очередь уменьшение пульсаций токов позволит уменьшить емкость входного и выходного фильтров, и таким образом, улучшить МГП регуляторов и их КПД.

На рисунке 3 показан один из вариантов принципиальной электрической схемы конвертора (см. рисунок 1, д). Для того чтобы уменьшить массу и габариты трансформатора, а также улучшить качество выходного напряжения конвертора, рабочая частота транзисторных инверторов находится в пределах от 1 кГц до 5 кГц [3]. Стабилизация выходного напряжения конверторов может осуществляться как за счет силовых ключей инвертора, так и за счет выпрямителя B , у которого силовая схема может быть выполнена на управляемых полупроводниковых приборах.

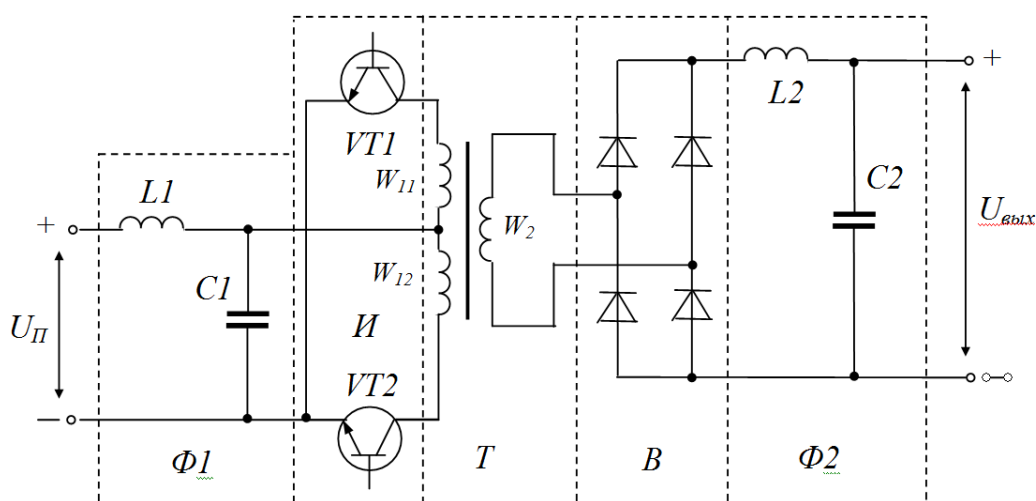


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема конвертора

Система управления конвертером поочередно формирует импульсы управления для транзисторов $VT1$ или $VT2$. Поэтому во вторичной обмотке трансформатора W_2 , будет протекать переменный ток и индуцировать в ней переменную ЭДС и соответственно переменное напряжение, первая гармоника которого изменяется по синусоидальному закону.

Стабилизация выходного напряжения конвертера осуществляется широтно-импульсным методом, за счет изменения времени открытого состояния силовых транзисторов, а также паузы когда они оба закрыты.

На рисунке 4 приведена принципиальная силовая электрическая схема конвертера на резонансном инверторе в состав которого входят тиристоры $VS1$ и $VS2$, а также коммутирующий конденсатор C_K . Выпрямитель, выполнен на диодах $VD1$ и $VD2$.

Резонансный (колебательный) контур в преобразователе образуется коммутирующим конденсатором C_K и дросселем L выходного фильтра.

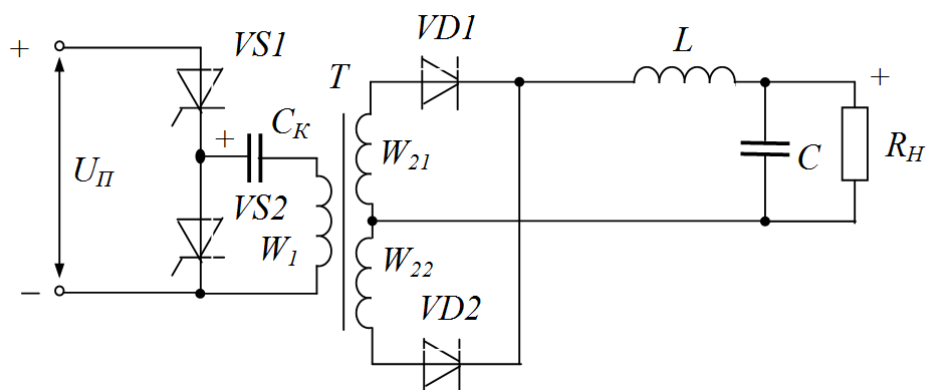


Рисунок 4 – Принципиальная электрическая схема конвертера на резонансном инверторе

К примеру, в исходном состоянии конденсатор C_K разряжен. Когда система управления открывает тиристор $VS1$, то конденсатор C_K начинает заряжаться. Ток заряда будет протекать по цепи: «+» $VS1$, C_K , $W1$, «-». После заряда конденсатора закроется тиристор $VS1$. Система

управления откроет тиристор $VS2$. В этом случае источником питания для нагрузки будет энергия, накопленная конденсатором C_K , при этом ток разряда также будет протекать по первичной обмотке трансформатора $W1$.

В результате заряда и разряда конденсатора ток в первичной обмотке трансформатора будет изменять направление, тем самым индуцировать во вторичной обмотке трансформатора переменную ЭДС, которая выпрямителем со средней точкой на диодах $VD1$ и $VD2$ преобразуется в напряжение постоянного тока. Выходной LC-фильтр сглаживает пульсации, обеспечивая необходимое качество напряжения постоянного тока на выходе преобразователя.

Перспективным является направление применение в составе конверторов трансформаторов с вращающимся магнитным полем (ТВМП) (рисунок 5) [6, 7].

На рисунке 5, *a* приведена функциональная схема конвертора, выполненного на резонансном инверторе и однофазно-однофазном ТВМП. В исходном состоянии конденсатор инвертора $C1$ разряжен. Для формирования положительной полуволны напряжения на выходе инвертора система управления $СУ$ открывает транзистор $VT1$. Конденсатор инвертора $C1$ начинает заряжаться от источника питания постоянного тока U_{II} таким образом, что его один из выводов будет иметь положительный потенциал как указано на рисунке 5, *a*. Ток заряда конденсатора инвертора $C1$ будет протекать через первичные обмотки ТВМП и фазосдвигающий конденсатор $C2$. Для формирования отрицательной полуволны выходного напряжения инвертора $СУ$ закрывает транзистор $VT1$ и открывает транзистор $VT2$. В этом случае конденсатор инвертора $C1$ будет являться источником питания для нагрузки, и его ток разряда будет протекать по первичным обмоткам трансформатора и фазосдвигающий конденсатор $C2$ в обратном направлении.

Поскольку первая и вторая первичные обмотки ТВМП смещены в пространстве одна относительно другой на угол 90° и подключены между собой через фазосдвигающий конденсатор $C2$, то в тороидальном магнитопроводе трансформатора образуется вращающееся магнитное поле, вызывающее действие ЭДС во вторичных обмотках.

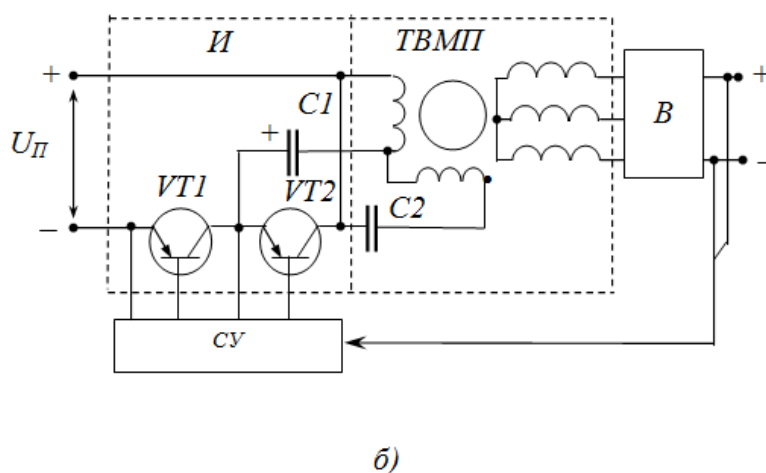
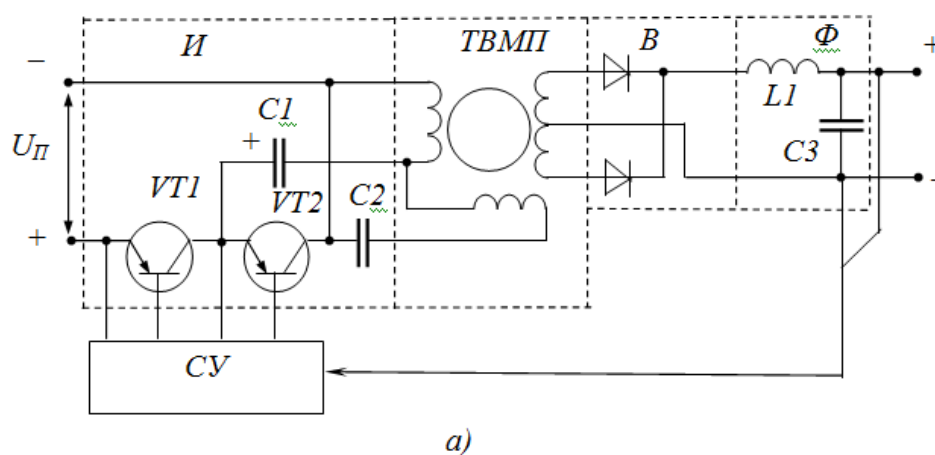


Рисунок 5 – Функциональные схемы конверторов на однофазно-однофазном (а) и однофазно-трехфазном (б) трансформаторах с вращающимся магнитным полем

Схема выпрямителя со средней точкой B преобразует напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока, а выходной фильтр Φ сглаживает пульсации обеспечивая требуемое качество выходного напряжения преобразователя.

На рисунке 5, б приведена функциональная схема конвертора, выполненного на базе однофазно-трехфазного ТВМП. Принципиальное отличие в работе схемы состоит в наличии трех вторичных обмоток ТВМП, которые сдвинуты одна относительно другой на угол 120° , поэтому на их выводах, подключаемых к выпрямителю B , формируется симметричная трехфазная система напряжений переменного тока. Рассмотренная схема имеет улучшенное качество выходного напряжения и на ее выходе может не применяться выходной фильтр.

Применение в конструкции конвертора резонансного инвертора экономически целесообразно при мощностях преобразователя не превышающих 1 кВт.

Использование ЗПЧ позволит значительно улучшить массогабаритные показатели ВИП устройств управления, контроля и защиты. Кроме того, применение в составе ВИП ТВМП упростит конструкцию источника напряжения постоянного тока и уменьшит уровень электромагнитных помех, создаваемых полупроводниковыми приборами [8, 9].

Таким образом, рассмотренные особенности работы импульсных регуляторов и перспективные структурно-схемные решения конверторов, выполненных на ТВМП, позволят повысить эффективность предпроектных работ по разработке ВИП с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками.

Список литературы

1. Атрощенко В. А. Современное состояние и перспективы развития систем автономного электроснабжения [Текст] В. А. Атрощенко, О. В. Григораш, В. В. Ланчу // Промышленная энергетика. – 1994. – № 5. – С.33–36.
2. Григораш О. В. Статические преобразователи электроэнергии [Текст] / О. В. Григораш, О. В. Новокрещенов, А. А. Хамула и др. – Краснодар. – 2006. – 264 с.
3. Богатырев Н.И. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования [Текст] / Н. И. Боагытев, О. В. Григораш, Н. Н. Курзин и др. – Краснодар. – 2002. – 358 с.
4. Григораш О. В. Стабилизаторы напряжения постоянного тока / О. В. Григораш, М. А. Попучиева // Политематический сетевой электронный научный

журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №05(129). С. 1043 – 1056. – IDA [article ID]: 1291705074. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/74.pdf>.

5. Григораш О. В. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш, Ю. П. Степура, А. Е. Усков. – Краснодар. – 2011. – 188 с.

6. Григораш О. В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш // Промышленная энергетика. – 1997. – № 7. – С.21–25.

7. Григораш О. В. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии [Текст] / О. В. Григораш, Ю. А. Кабанков // Электротехника. – 2002. – № 3. – С.22–26.

8. Григораш О. В. К вопросу электромагнитной совместимости основных узлов систем автономного электроснабжения [Текст] / О. В. Григораш, А. В. Дацко, С. В. Мелехов // Промышленная энергетика. – 2001. – № 2. – С.44–47.

9. Григораш О. В. Электрические аппараты низкого напряжения [Текст] / О. В. Григораш, Н. И. Богатырев, Н. Н. Курзин, Г. В. Тельнов. – Краснодар: КубГАУ. – 2000. – 313 с.

Spisok literatury

1. Atroshhenko V. A. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija [Tekst] V. A. Atroshhenko, O. V. Grigorash, V. V. Lanchu // Promyshlennaja jenergetika. – 1994. – № 5. – S.33–36.

2. Grigorash O. V. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii [Tekst] / O. V. Grigorash, O. V. Novokreshhenov, A. A. Hamula i dr. – Krasnodar. – 2006. – 264 s.

3. Bogatyrev N.I. Preobrazovateli jelektricheskoy jenerгии: osnovy teorii, rascheta i proektirovanija [Tekst] / N. I. Boagytev, O. V. Grigorash, N. N. Kurzin i dr. – Krasnodar. – 2002. – 358 s.

4. Grigorash O. V. Stabilizatory naprjazhenija postojannogo toka / O. V. Grigorash, M. A. Popuchieva // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – №05(129). S. 1043 – 1056. – IDA [article ID]: 1291705074. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/74.pdf>.

5. Grigorash O. V. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, Ju. P. Stepura, A. E. Uskov. – Krasnodar. – 2011. – 188 s.

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

7. Grigorash O. V. K voprosu primenenija transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenergii [Tekst] / O. V. Grigorash, Ju. A. Kabankov // Jelektrotehnika. – 2002. – № 3. – S.22–26.

8. Grigorash O. V. K voprosu jelektromagnitnoj sovmestivosti osnovnyh uzlov sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, A. V. Dacko, S. V. Melehov // Promyshlennaja jenergetika. – 2001. – № 2. – S.44–47.

9. Grigorash O. V. Jelektricheskie apparaty nizkogo naprjazhenija [Tekst] / O. V. Grigorash, N. I. Bogatyrev, N. N. Kurzin, G. V. Tel'nov. – Krasnodar: KubGAU. – 2000. – 313 s.