

УДК 621.314

UDC 621.314

КОНВЕРТОРЫ СИСТЕМ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

CONVERTERS OF UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY 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

Отмахов Георгий Сергеевич
студент
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Otmahov Georgij Sergeevich
student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассматриваются структурно-схемные решения силовых схем и систем стабилизации напряжения конверторов с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками

The article discusses structural schematics power circuits and voltage stabilization systems of converters with improved operational and technical characteristics

Ключевые слова: СИСТЕМА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ИСТОЧНИК НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА, КОНВЕРТОР, СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Keywords: UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEM, DC VOLTAGE SOURCE, CONVERTER, VOLTAGE REGULATOR

Известно, что для электроснабжения автоматизированных устройств управления и защиты в основном применяются источники напряжения постоянного тока, выпрямители и конверторы, последние могут потреблять электроэнергию, как от выпрямителей, так и аккумуляторных батарей. Конверторы осуществляют преобразование напряжения постоянного тока одного уровня в напряжение постоянного тока повышенной или пониженной величины (в сравнении с входным напряжением) [1, 2].

Широкое применение конверторы находят в настоящее время в автономных системах электроснабжения, выполненные с использованием возобновляемых источников энергии [3, 4].

Конструктивно конверторы содержат три преобразователя: инвертор (И), трансформатор (Т) и выпрямитель (В) (рисунок 1). Инвертор преобразует напряжение постоянного тока в переменное, как правило, повышенной частоты, трансформатор согласует напряжение источника питания с нагрузкой, а выпрямитель преобразовывает напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока.

Стабилизация выходного напряжения конверторов может осуществляться как за счет силовых электронных приборов инвертора, так и за счет электронных приборов выпрямителя В, в этом случае его силовая схема его выполняется на тиристорах или транзисторах [5]. Для обеспечения требуемого качества выходного напряжения на выходе конверторов применяются сглаживающие фильтры Ф (рисунок 1).

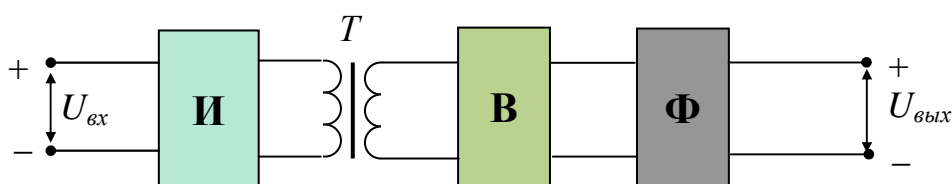


Рисунок 1 – Структурная схема конвертора

От эксплуатационно-технических характеристик конверторов зависят и характеристики систем, обеспечивающих бесперебойное электропитание ответственных потребителей электроэнергии. Основными недостатками эксплуатируемых в настоящее время конверторов являются низкие значения КПД и показателей надежности, из-за большого числа полупроводниковых приборов, содержащихся в силовой части инвертора и выпрямителя, а также конверторы имеют относительно сложные системы стабилизации параметров электроэнергии и системы защиты [6].

В статье предлагаются новые структурно-схемные решения конверторов с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками, новизна технических решений которых подтверждена патентами РФ [7, 8].

Для того чтобы уменьшить массу и габариты трансформатора, рабочая частота инвертора выбирается по возможности высокой (в диапазоне 3 - 20 кГц). Несмотря на то, что поток преобразуемой электроэнергии в конверторах проходит через несколько преобразователей

электроэнергии и понижает в комплексе его КПД, однако промежуточная повышенная частота тока позволяет значительно уменьшить массу конвертора (5 – 30 раз, в зависимости от мощности) [9].

Применение в конструкции конверторов трансформаторов с вращающимся магнитным полем позволяет также улучшить их технические характеристики [10, 11].

Функциональная схема конвертора с промежуточным высокочастотным преобразованием, выполненная на резонансном инверторе приведена на рисунке 2. Схема содержит: резонансный инвертор *РИ*, выполненный на транзисторах *VT1* и *VT2*, конденсатор инвертора *C1*, трансформатор с вращающимся магнитным полем *T* с первичными обмотками W_{11} , W_{12} и вторичными обмотками W_{21} , W_{22} , фазосдвигающий конденсатор *C2*, выпрямитель *B*, выполненный на диодах *VD1* и *VD2*, обратный диод *VD3*, выходной фильтр Φ , содержащий дроссель *Д* и конденсатор *C3*, систему стабилизации напряжения *ССН*, в составе которой используются делитель напряжения *ДН*, формирователь импульсов *ФИ*, генератор опорного сигнала *ГОС*, распределитель импульсов *РИ* и усилители импульсов *УИ1*, *УИ2*. На рисунке 2 показаны также выводы для подключения источника питания конвертора с напряжением $U_{вх}$ и выводы для подключения нагрузки с напряжением $U_{вых}$.

Конвертор работает следующим образом. Входное напряжение $U_{вх}$ постоянного тока поступает на вход резонансного инвертора *РИ* (рисунок 2). Резонансный контур в инверторе образуется конденсатором *C1* и дросселем *Д* выходного фильтра Φ . К примеру, в исходном состоянии конденсатор инвертора *C1* разряжен. Для формирования положительной полуволны выходного напряжения инвертора $U_{аб}$ система стабилизации напряжения *ССН* подает управляющий импульс на транзистор *VT1* он открывается, и конденсатор инвертора *C1* начинает заряжаться от источника входного напряжения $U_{вх}$ таким образом, что

его выводы будут иметь потенциалы, указанные знаками на рисунке 2. Ток заряда конденсатора инвертора $C1$ будет протекать через первичные обмотки W_{11} , W_{12} трансформатора T и фазосдвигающий конденсатор $C2$. Для формирования отрицательной полуволны выходного напряжения инвертора система стабилизации $ССН$ закрывает транзистор $VT1$ и открывает транзистор $VT2$. В этом случае конденсатор инвертора $C1$ будет являться источником питания для нагрузки, и его ток разряда протекает по первичным обмоткам трансформатора T и фазосдвигающий конденсатор $C2$ в обратном направлении.

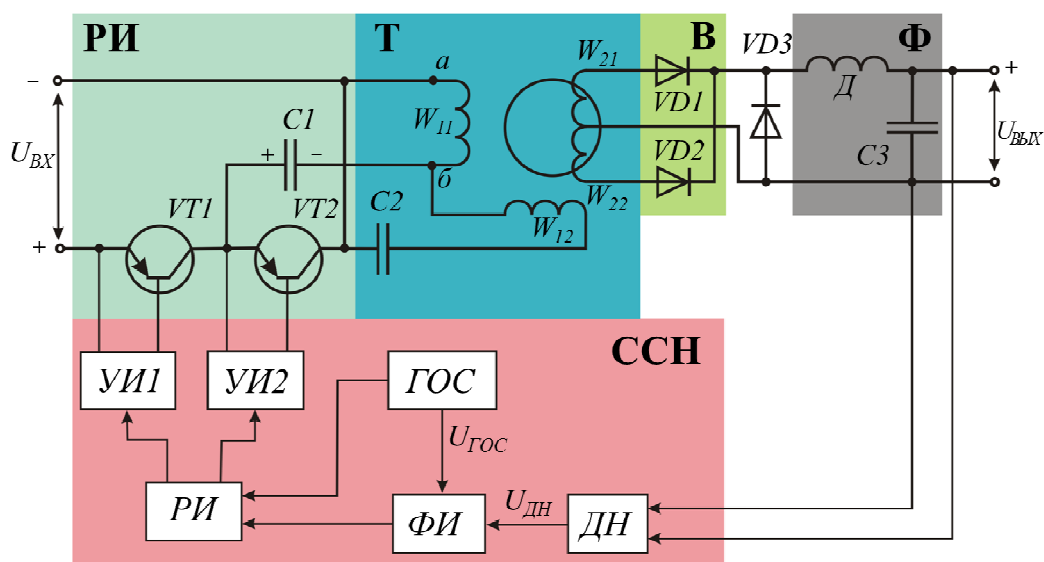


Рисунок 2 – Функциональная схема конвертора, выполненного на резонансном инверторе

Таким образом, по первичным обмоткам W_{11} и W_{12} трансформатора T протекает переменный ток, вызывающий действие вращающегося магнитного и соответственно ЭДС во вторичных обмотках W_{21} , W_{22} , которые размещены на сердечнике трансформатора. Выпрямитель B преобразует напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока, а выходной фильтр Φ сглаживает пульсации обеспечивая требуемое качество выходного напряжения конвертора $U_{вых}$.

Система стабилизации напряжения конвертора работает следующим образом. С выхода конвертора сигнал пропорциональный величине выходного напряжения $U_{вых}$, являющийся ведущим для системы стабилизации $ССН$, через делитель напряжения $ДН$ поступает на один из входов формирователя импульсов $ФИ$ (рисунок 2 и рисунок 3, а, $u_{ДН}$). На второй вход формирователя импульсов $ФИ$ поступает сигнал $U_{ГОС}$ от генератора опорного сигнала $ГОС$ (рисунок 2 и рисунок 3, а, $u_{ГОС}$).

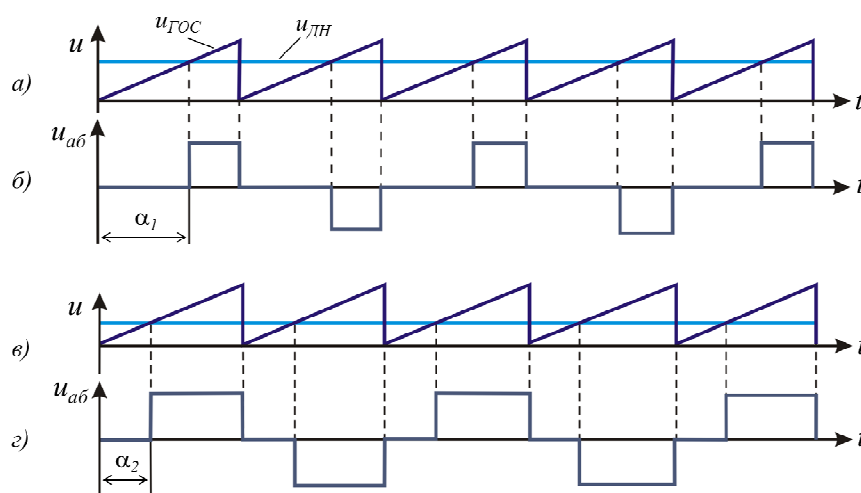


Рисунок 3 – Диаграммы напряжений, поясняющие работу системы стабилизации напряжения конвертора, выполненного на резонансном инверторе

Когда сигнал $U_{ГОС} > U_{ДН}$ формирователь импульсов $ФИ$ формирует импульсы управления (рисунок 3, а, б), которые через распределитель импульсов $РИ$ и усилители импульсов $УИ1$, $УИ2$ поступают на управляющие электроды транзистора $VT1$ или транзистора $VT2$ (рисунок 2). Работа распределителя импульсов $РИ$ синхронизирована с опорным напряжением генератора $ГОС$, для обеспечения формирования положительной и отрицательной полуволн выходного напряжения $U_{аб}$ резонансного инвертора $РИ$. Угол управления транзисторами α_1 (рисунок 3, б) соответствует номинальному режиму работы конвертора.

Если, к примеру, выходное напряжение конвертора $U_{вых}$ уменьшится, то уменьшится напряжение на выходе делителя напряжения $ДН$ и уменьшится угол управления транзисторами до величины α_2 , а значит увеличится выходное напряжение резонансного инвертора $U_{аб}$ (рисунок 3, в, г) и соответственно увеличится выходное напряжение конвертора $U_{вых}$.

Выходной фильтр Φ конвертора кроме функций создания колебательного контура и обеспечения требуемого качества выходного напряжения, выполняет функции накопителя электрической энергии и в моменты времени, когда существует пауза между работой транзисторов $VT1$ и $VT2$, фильтр накопленную электроэнергию отдает в нагрузку, тем самым улучшает качество выходного напряжения конвертора. Контур для протекания тока от фильтра в нагрузку, когда закрыты транзисторы, создается обратным диодом $VD3$.

Предложенное техническое решение преобразователя позволяет улучшить его показатели надежности, КПД и качества выходного напряжения [8].

Высокие показатели надёжности имеет конвертор, функциональная схема которого приведена на рисунке 4.

Новизна технического решения заключается в том, что в конверторе применяется трансформатор, содержащий среднюю точку в первичной и во вторичной обмотках, выпрямитель, выполнен на двух диодах, а высокочастотный инвертор – на двух транзисторах, система управления которого обеспечивает стабилизацию выходного напряжения. Поскольку выпрямитель соединён последовательно с входными выводами стабилизатора, то выходное напряжение стабилизатора напряжения постоянного тока определяется по формуле

$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} + U_B.$$

Таким образом, выпрямитель выполняет функции вольтодобавочного устройства, питание которого осуществляется от высокочастотного инвертора.

Конвертор работает следующим образом. С выхода генератора пилообразного напряжения *ГПН* (рисунок 4) сигнал $u_{ГПН}$ (рисунок 5, *а*) поступает на первый вход формирователя импульсов *ФИ*, на второй вход которого сигнал $u_{ДН}$ (рисунок 5, *а*) поступает от делителя напряжения *ДН* (рисунок 4), вход которого соединён с выходом конвертора. Когда $u_{ГПН} > u_{ДН}$ на выходе формирователя импульсов формируется управляющий сигнал $u_{ФИ}$ (рисунок 5, *б*), который через распределитель импульсов *РИ* и усилители импульсов *УИ1* и *УИ2*, поступает на управляющие электроды тран-

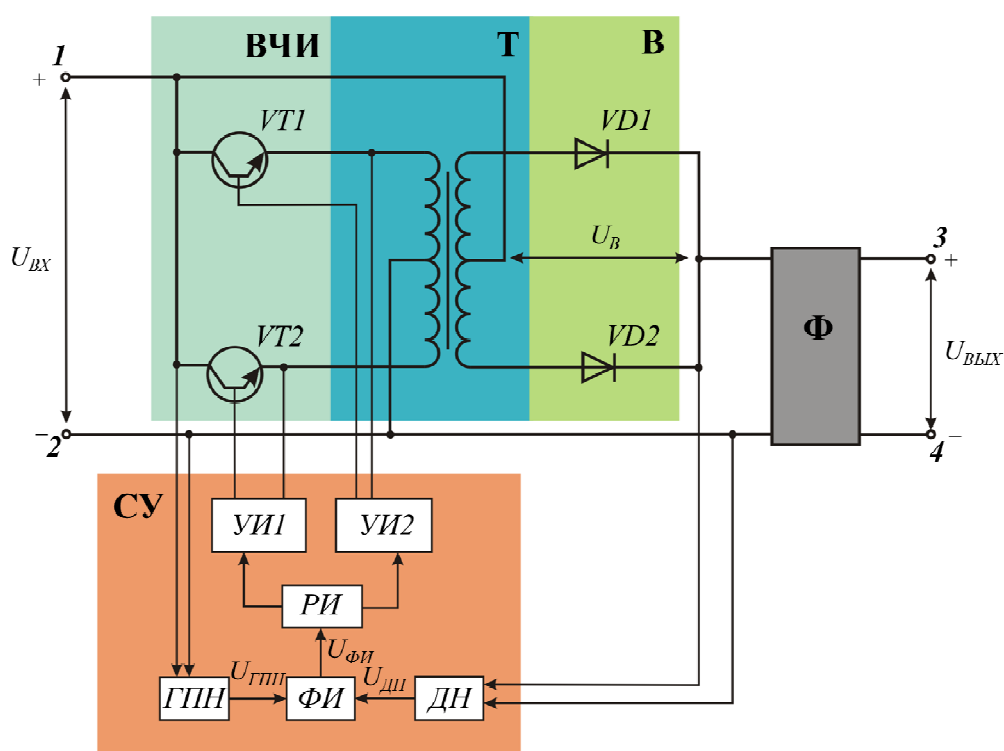


Рисунок 4 – Функциональная схема конвертора на трансформаторе, содержащем средние точки в первичной и вторичной обмотках

Если, к примеру, напряжение на выход конвертора уменьшится, то и уменьшится напряжение $u_{ДН}$ (рисунок 5, *в*), уменьшится угол управления транзисторами с α_1 до α_2 (рисунок 5, *б, з*). Временной интервал открытого

состояния транзисторов $VT1$ и $VT2$ увеличится, а значит и увеличится выходное напряжение выпрямителя U_B и соответственно выходное напряжение стабилизатора $U_{ВЫХ}$.

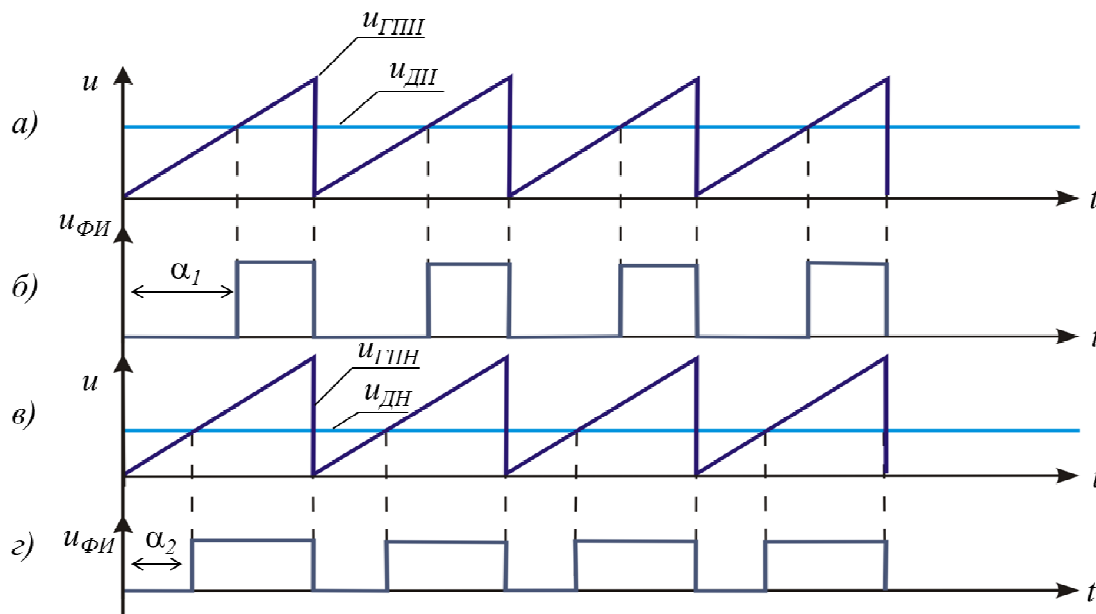


Рисунок 5 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип стабилизации напряжения конвертора (рисунок 4)

На рисунке 6 приведена функциональная схема конвертора, питание которого осуществляется от двух источников напряжения постоянного тока $U_{ВХ1}$ и $U_{ВХ2}$, а на рисунке 7 – диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы его системы стабилизации напряжения.

Принцип работы конвертора. Система стабилизации напряжения $ССН$ поочередно открывает транзисторы $VT1$ или $VT2$ и по первичной обмотке трансформатора T протекает переменный ток, который во вторичной обмотке наводит переменную ЭДС. Выпрямитель, выполненный на двух диодах $VD1$ и $VD2$, преобразует напряжение переменного тока в постоянны, а выходной Г-образный фильтр Φ сглаживает его пульсации обеспечивая требуемое качество выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ (рисунок 6).

Система $ССН$ стабилизирует напряжение следующим образом. С выхода конвертора сигнал поступает на вход делителя напряжения $ДН$ (рисунок 6), выходной сигнал которого $u_{ДН}$ (рисунок 7, а) пропорциональ-

ной величине выходного напряжения $U_{ВЫХ}$, является ведущим сигналом для системы стабилизации напряжения $ССН$. Сигнал $u_{ДН}$ поступает на первый вход формирователя импульсов $\Phi И$, на второй вход которого поступает сигнал пилообразной формы $u_{ГОС}$ от генератора опорного сигнала $ГОС$ (рисунок 7, а). Когда $u_{ГОС} > u_{ДН}$, формирователь импульсов $\Phi И$ формирует импульсы управления u_y (рисунок 7, б), которые через распределитель импульсов $Р И$ и усилители импульсов $У И 1$ и $У И 2$ (рисунок 7, в, г) поступают на управляющие электроды транзисторов $VT1$ или $VT2$. На выходе выпрямителя формируется напряжение u_B (рисунок 7, д).

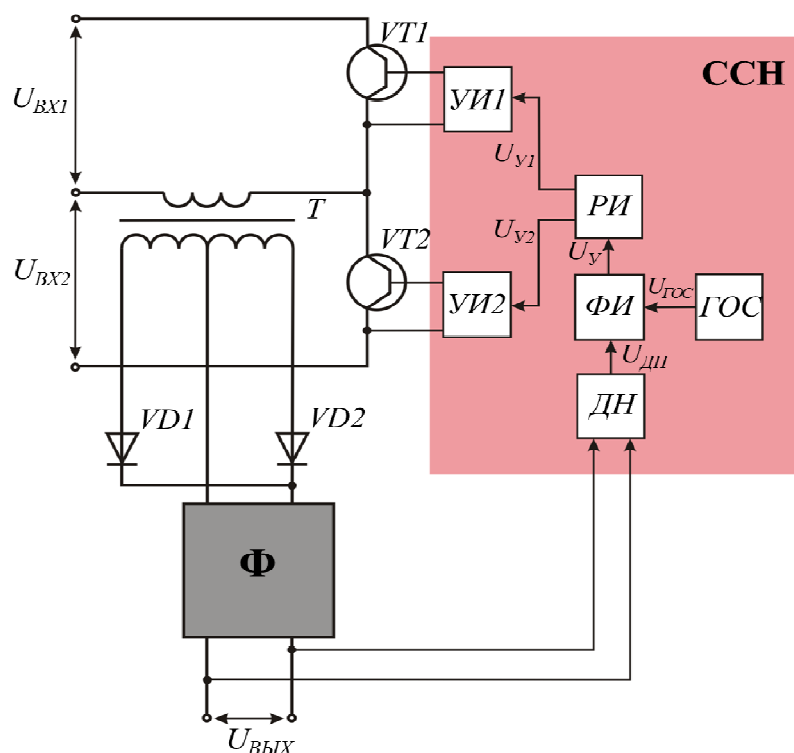


Рисунок 6 – Функциональная схема конвертора, питание которого осуществляется от двух источников электроэнергии

К примеру, когда выходное напряжение $U_{вых}$ (рисунок 6) уменьшится, тогда и уменьшится напряжение $u_{ДН}$ на выходе делителя напряжения $ДН$ (рисунок 7, е). Это приведет к увеличению длительности управляющих сигналов u_y (рисунок 7, ж), поступающих на транзисторы $VT1$ и $VT2$, они

больше времени будут открыты, и будет увеличиваться напряжение u_B (рисунок 7, з) на выходе выпрямителя и соответственно выходное напряжение на выходе конвертора $U_{ВЫХ}$.

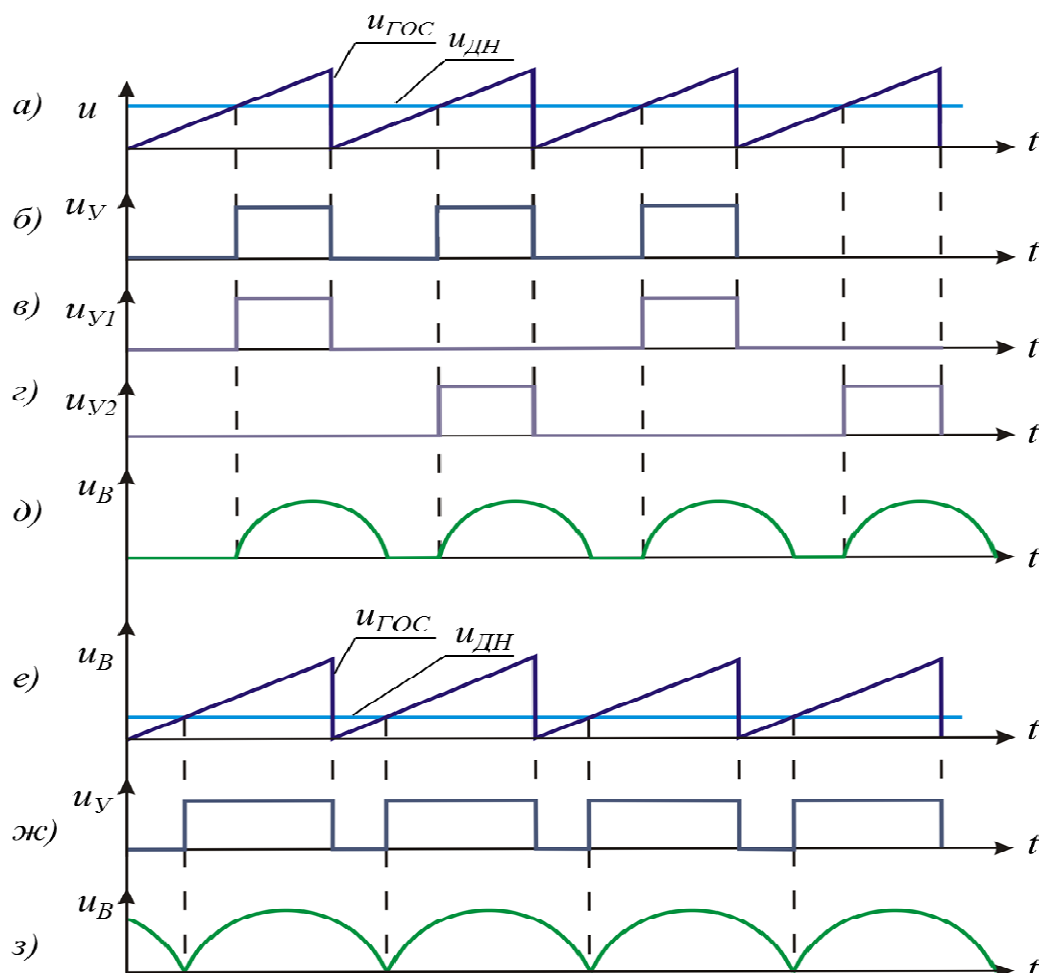


Рисунок 7 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип стабилизации напряжения конвертора (рисунок б)

Таким образом, рассмотренные структурно-схемные решения силовых схем конверторов и их систем стабилизации напряжения имеют улучшенные эксплуатационно-технические характеристики (массогабаритные показатели, показатели надёжности и КПД) в сравнении с известными техническими решениями конверторов, за счёт применения промежуточного высокочастотного преобразования и уменьшенного количества силовых электронных приборов.

Список литературы

1. Григораш О.В., Божко С.В., Нормов Д.А. и др. Модульные системы гарантированного электроснабжения. Краснодар. 2005.
2. Григораш О.В., Богатырев Н.И., Курзин Н.Н. Системы автономного электроснабжения. Краснодар. 2001. С. 333.
3. Григораш О.В., Степура Ю.П., Сулейманов Р.А. и др. Возобновляемые источники электроэнергии. Краснодар. 2012. С.272.
4. 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.
5. Богатырев Н.И., Григораш О.В., Курзин Н.Н. и др. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования. Краснодар. 2002. С. 358.
6. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. Краснодар. 2011. С.188.
7. Устройство стабилизации напряжения постоянного тока. Григораш О.В., Шевченко А.А., Шульга Р.В. и др. Патент на изобретение RUS 2444832 10.03.2012.
8. Стабилизированный преобразователь напряжения постоянного тока. Богатырев Н.И., Григораш О.В., Дацко А.В. и др. Патент на изобретение RUS 2210100 10.08.2003.
9. Григораш О.В., Новокрещенов О.В., Хамула А.А. и др. Статические преобразователи электроэнергии. Краснодар. 2006. С. 264.
10. Григораш О.В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения. Промышленная энергетика. 1997. № 7.
11. Григораш О.В., Кабанков Ю.А. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии. Электротехника. 2002. № 3.

References

1. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Normov D.A. i dr. Modul'nye sistemy garantirovannogo jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2005.
2. Grigorash O.V., Bogatyrev N.I., Kurzin N.N. Sistemy avtonomnogo jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2001. S. 333.
3. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Sulejmanov R.A. i dr. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii. Krasnodar. 2012. S.272.
4. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Ponomarenko A.S. i dr. Sovremennoe sostojanie proizvodstva jelektrojenergii vozobnovljaemymi istochnikami v mire i Rossii. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agarnogo universiteta. 2012. № 6. S.159–163.
5. Bogat'rev N.I., Grigorash O.V., Kurzin N.N. i dr. Preobrazovateli jelektričeskoj jenergii: osnovy teorii, rascheta i proektirovanija. Krasnodar. 2002. S. 358.
6. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2011. S.188.
7. Ustrojstvo stabilizacii naprjazhenija postojannogo toka. Grigorash O.V., Shevchenko A.A., Shul'ga R.V. i dr. Patent na izobretenie RUS 2444832 10.03.2012.
8. Stabilizirovannyj preobrazovatel' naprjazhenija postojannogo toka. Bogatyrev N.I., Grigorash O.V., Dacko A.V. i dr. Patent na izobretenie RUS 2210100 10.08.2003.
9. Grigorash O.V., Novokreshhenov O.V., Hamula A.A. i dr. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii. Krasnodar. 2006. S. 264.

10. Grigorash O.V. Preobrazovateli jelektricheskoj jenergii na baze transforma-torov s vrashhajushhimsja magnitnym polem dlja sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija. Promyshlennaja jenergetika. 1997. № 7.

11. Grigorash O.V., Kabankov Ju.A. K voprosu primeneniya transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenergii. Jelektrotehnika. 2002. № 3.