

А. И. ЧУБ, аспирант, ТТУ, Талин, Эстония;

А. А. ГУСЕВ, канд. техн. наук, ассистент, ЧГТУ, Чернигов, Украина;

Д. В. ВИННИКОВ, д-р техн. наук, старш. научн. сотр., ТТУ, Талин, Эстония

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ DC/DC КВАЗИ-ИМПЕДАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Представлены существующие схемы повышающих DC/DC квази-импедансных преобразователей. Произведена классификация преобразователей по передаточной характеристике по постоянному току и типу схемы квази-импедансного звена.

Ключевые слова: квази-импедансный преобразователь, возобновляемые источники энергии, классификация.

Введение

За последние годы наблюдается резкий рост количества энергии, генерируемой возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). В 2011 году мощность ветряных и фотоэлектрических установок выросла почти на 20% и 74%, соответственно, и составила 238 ГВт и 70 ГВт, соответственно [1]. Топливные элементы могут генерировать постоянную мощность, и являются другой активно развивающейся технологией в сфере энергетики и транспорта [2]. Выше упомянутые ВИЭ требуют повышающих преобразователей для распределенных систем сбора энергии и интеграции с сетью.

Импедансные и квази-импедансные инверторы (КИИ) были предложены для интеграции в сеть низковольтных источников энергии [3,4]. КИИ обходят ограничения классических инверторов: они могут повышать, понижать и инвертировать входное напряжение. КИИ использует состояние перекрестной проводимости плеча/плеч инвертора для повышения входного напряжения. Эти схемы обладают повышенной надежностью, благодаря невосприимчивости к сквозным токам. Непрерывный входной ток КИИ подтолкнул исследования по применению квази-импедансного звена в интерфейсных преобразователях для систем отслеживания точки максимальной мощности. Базовая ячейка квази-импедансного преобразователя (КИП) показана на рис. 1 а. Эта структура получена из классического КИИ и состоит из КИ-звена и ключа S_1 . КИ-звено содержит: два индуктора, два конденсатора и ключ S_2 . Простейший DC/DC КИП, показанный на рис. 1 б, содержит базовую ячейку, ключ S_1 , выходной фильтр. К достоинствам КИП по сравнению с импедансными преобразователями можно отнести меньшие перенапряжения на компонентах и непрерывный входной ток.

Цель

Целью данного исследования является обзор существующих решений в области DC/DC КИП и их классификация по передаточной характеристике по постоянному току и типу схемы квази-импедансного звена.

Существующие схемы изолированных квази-импедансных преобразователей

Первое семейство DC/DC КИП было представлено в [5]. На основе базовой

ячейки, путем добавления нагрузки к одному из конденсаторов КИ-звена, было получено две схемы. Еще две схемы были получены путем перестановки источника напряжения и одного из конденсаторов. Это семейство работало в асимметричном режиме и не нашло широкого применения. Именно вокруг схемы, изображенной на рис. 1 б, было сосредоточено большинство исследований.

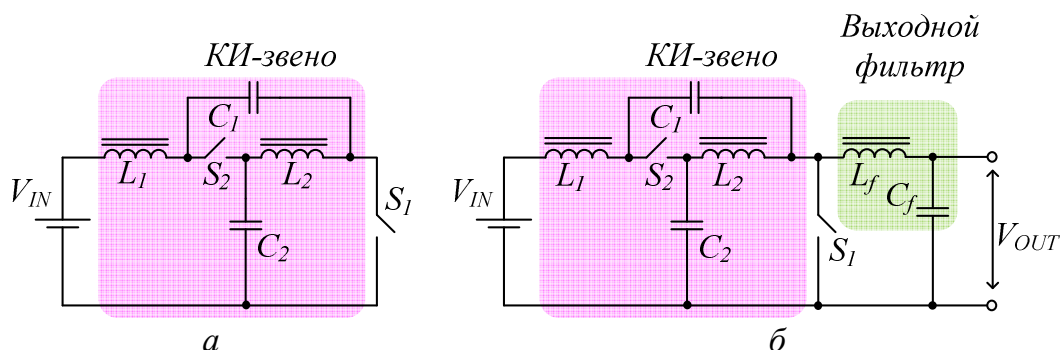


Рис. 1 – Схемы КИ преобразователей:
a – базовая ячейка; *б* – простейший КИП

DC/DC КИП на базе мостового инвертора (МИ) были подробно описаны в [6] и обобщены в [7]. В зависимости от приложения, может использоваться однофазный (см. рис. 2) или трехфазный МИ. Повышающее КИ-звено и понижающий инвертор напряжения придают итоговому преобразователю повышающе-понижающие свойства. Высокочастотный трансформатор (TR_1) и выпрямитель с удвоением напряжения (ВУН) позволяют устранить индуктивность выходного фильтра и обеспечивают гальваническую изоляцию, необходимую во многих приложениях. ВУН позволяет снизить коэффициент трансформации высокочастотного трансформатора на 62%. Также ВУН содержит вдвое меньше диодов, чем в мостовой схеме, что снижает потери. В приведенной схеме общий коэффициент усиления распределен между трансформатором, КИ-звеном и ВУН. Для мощных приложений оправдано использование трехфазного инвертора. КИ-звено служит для стабилизации выходного напряжения, когда входное напряжение меняется, обычно в диапазоне не более 2 раз.

DC/DC КИП обеспечивает непрерывный входной ток. Меньшее повышение на КИ-звене соответствует меньшим потерям при перекрестной проводимости [8]. Это обеспечивает работу преобразователя вне зоны критического усиления, когда длительность интервалов перекрестной проводимости приближается к 0,5 и потери начинают значительно расти. Диоды $D_1...D_3$ можно заменить транзисторами, что обеспечит возможность двунаправленной передачи энергии. Двунаправленный режим передачи энергии подходит для задач интеграции элементов хранения энергии (суперконденсаторы, водородный буфер и т.д.) в системы ВИЭ [9]. На практике КПД КИ-звена может достигать 94% [10]. Главным недостатком этих преобразователей является сложная динамика, что выдвигает дополнительные требования при проектировании системы управления [11].

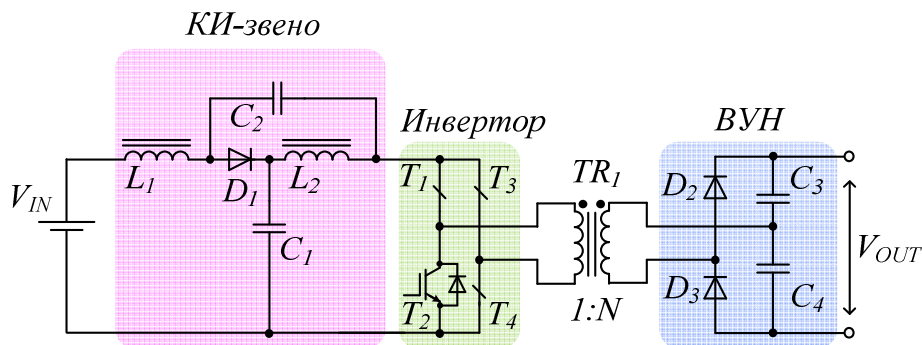


Рис. 2 – Схема DC/DC КИП на базе МИ

Дополнительным путем улучшения характеристик является замена двух индукторов КИ-звена одной связанной индуктивностью [12], как показано на рис. 3. Подобная замена не изменяет принципа работы, но улучшает массогабаритные параметры преобразователя. Чтобы полупроводниковые элементы не подвергались перенапряжениям со стороны индуктивностей рассеяния, необходимо применить снабберную цепь. На рис. 3 показан снаббер, состоящий из диодов $D_4...D_6$ и конденсаторов $C_5...C_7$. Эта цепь также позволяет регенерировать энергию, запасенную в индуктивности рассеяния.

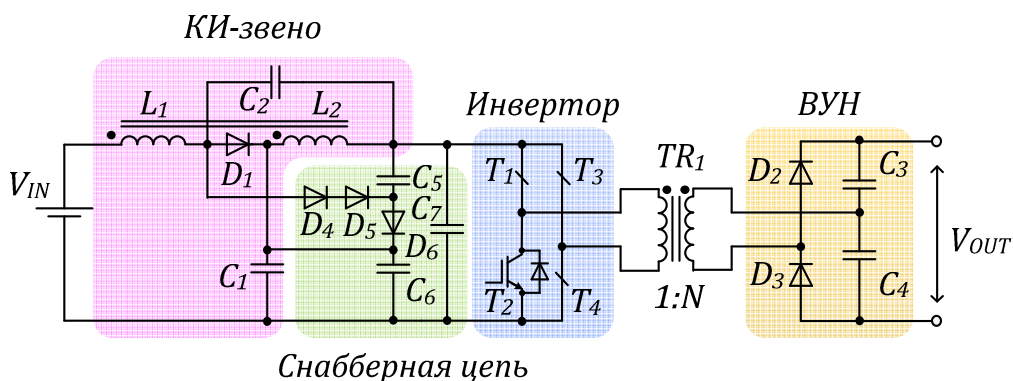


Рис. 3 – Схема улучшенного DC/DC КИП на базе МИ

Обычно повышение на КИ-звене не превышает 2,5 раз и служит для адаптации к изменениям входного напряжения. Для расширения диапазона усиления было предложено каскадное включение КИ-звеньев [13]. Каскадные КИП можно разделить на два типа: со вспомогательным конденсатором и со вспомогательным диодом. Каскадные схемы имеют потенциал в приложениях, где входное напряжение может варьироваться более чем в 2,5 раза [14]. Каскадные схемы показаны на рис. 4. Оба типа схем имеет модифицированный вариант с меньшим напряжением на элементах. Каскадный КИП со вспомогательным конденсатором требует на 30% меньшую длительность состояния перекрестной проводимости, то есть способен обеспечить в 1,5 большее повышение напряжения при той же длительности перекрестного состояния [15]. При незначительном повышении напряжения схема со вспомогательным диодом немного уступает схеме со вспомогательным конденсатором. На практике каскадные схемы не дают выигрыша по КПД, по сравнению с простыми КИП.

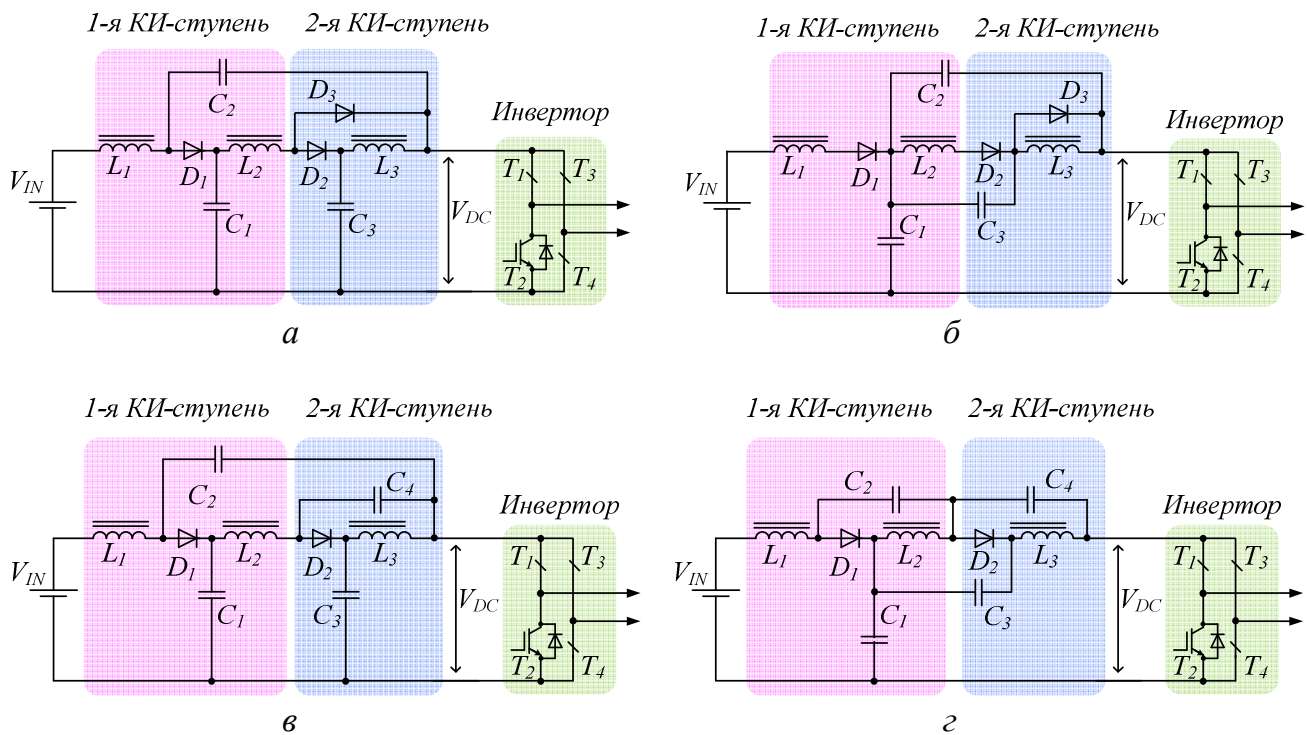


Рис. 4 – Схемы каскадных DC/DC КИП: *а* - со вспомогательным диодом; *б* - модифицированная со вспомогательным диодом; *в* - со вспомогательным конденсатором; *г* - модифицированная со вспомогательным конденсатором

Для увеличения повышающей способности один (см. рис. 5 *а*) или оба индуктора в КИ-звене могут быть заменены схемой коммутируемого индуктора [16,17]. Эти схемы по передаточной характеристике не имеют преимуществ перед каскадными КИП. Они содержат больше диодов, что снижает КПД, а дополнительные индукторы ухудшают массогабаритные характеристики.

Также КИ-звено может дать положительный эффект совместно с резонансной цепью (рис. 5 *б*). При изменении входного напряжения МИ с резонансной цепью требует широкого изменения частоты коммутации. КИ-звено позволяет сузить диапазон частоты, путем стабилизации входного напряжения инвертора [18]. Это ведет к повышению КПД. Как и все КИИ, эта схема имеет повышенную надежность.

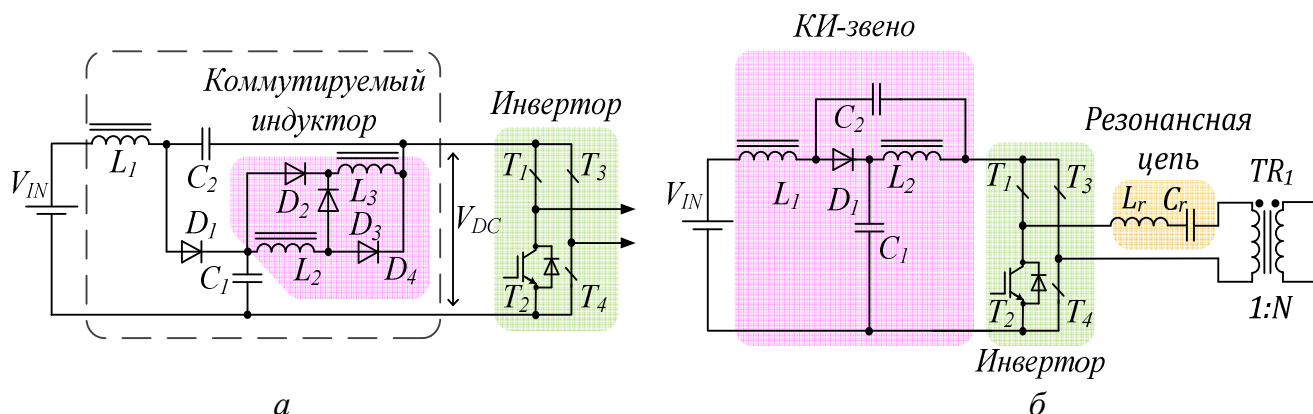


Рис. 5 – Схемы КИП: *а* – с одним коммутируемым индуктором; *б* – на базе МИ с резонансной цепью

Альтернативой DC/DC КИП на МИ стал двухтактный изолированный

КИП [19]. Ранее был показан и проанализирован в установившемся режиме вариант с двумя независимыми трансформаторами (см. рис. 6 а). Трансформаторы сочетают роль гальванической изоляции и элемента хранения энергии. Эта схема имеет перспективу интеграции трансформаторов в один магнитный элемент. Это позволит снизить количество магнитных элементов до одного (см. рис. 6 б). Также схема имеет непрерывный входной ток в разных режимах работы, что актуально в системах ВИЭ.

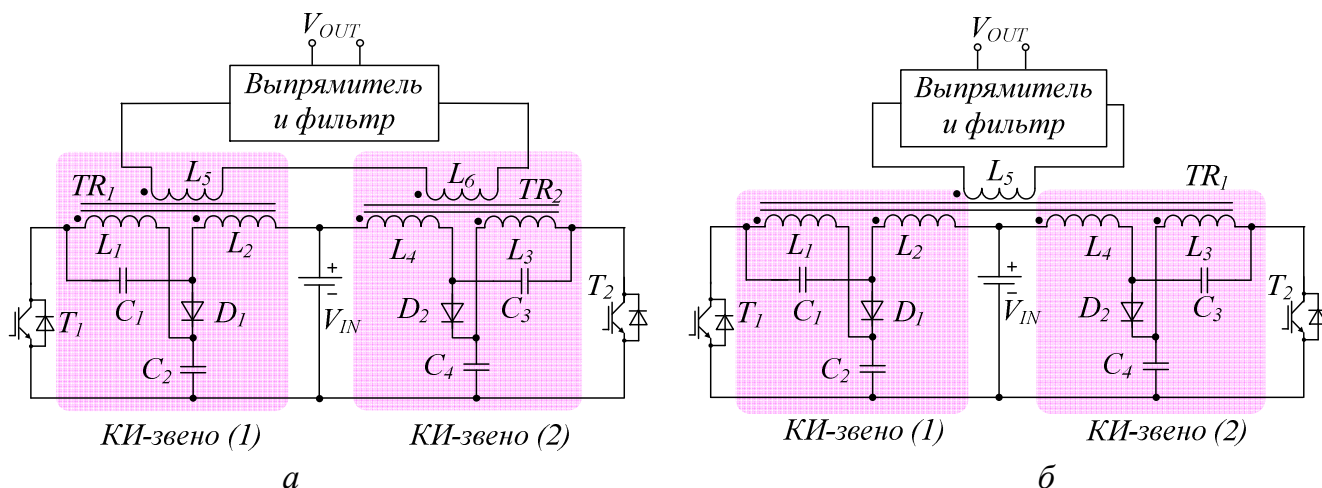


Рис. 6 – Схемы двухтактных изолированных КИП:
 а – с двумя трансформаторами; б – с одним трансформатором

Классификация КИП

Классификация существующих схем изображена на рис. 7.

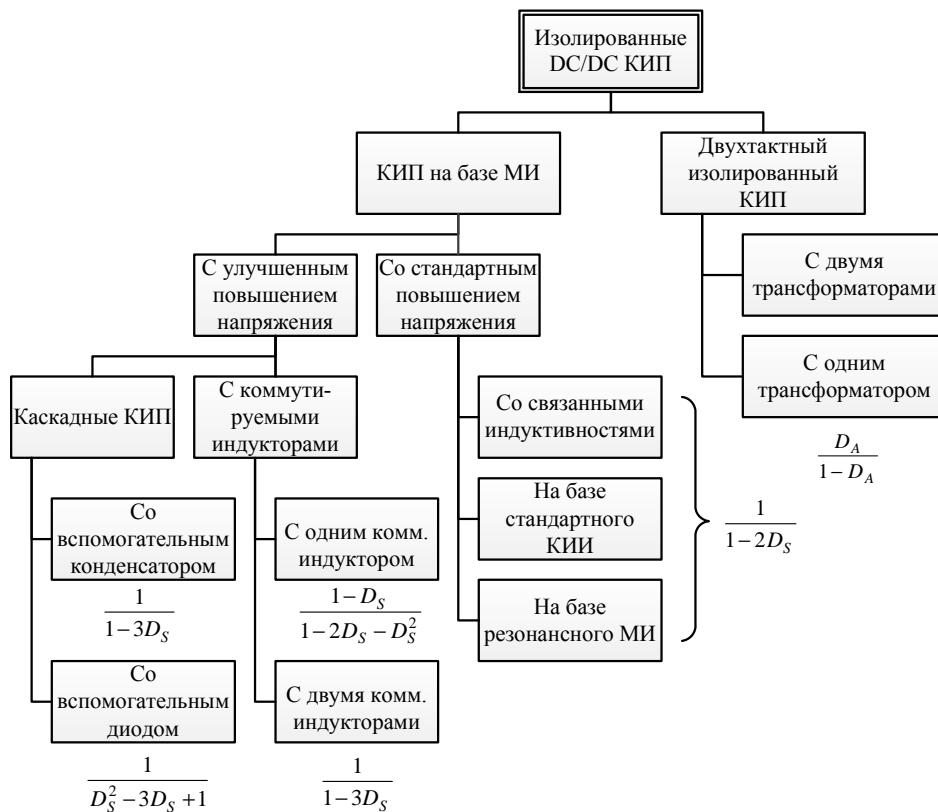


Рис. 7 – Классификация КИП

Рассмотренные схемы КИП были классифицированы по передаточной харак-

теристике по постоянному току и по особенностям схемы КИП. Рисунок содержит выражения для коэффициентов повышения напряжения в зависимости от относительной длительности состояния перекрестной проводимости.

Выводы

Обычно КИ-звено служит для регулирования коэффициента повышения всего преобразователя при изменении входного напряжения. Для многих задач с изменением входного напряжения в диапазоне до 2,5 раз КИП на базе МИ могут стать простым и надежным решением. Двухтактный изолированный КИП перспективен в системах ветряной энергетики и фотоэлектрических установках в условиях частичного затемнения, где входное напряжение преобразователя изменяется в широких пределах. Этот КИП содержит малое количество полупроводниковых компонентов и обеспечивает непрерывный входной ток в широком диапазоне регулирования.

Благодарность

Данная научно-исследовательская работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Эстонии (проект SF0140016s11) и научного фонда (грант ETF8538).

Список литературы: 1. Renewables 2012 Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2012. 2. The Fuel Cell Industry Review 2012, Fuel Cell Today, 2012. 3. J. Anderson, F. Z. Peng, Four quasi-Z-Source inverters, in Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf., PESC'08, pp. 2743-2749, 2008. 4. F. Z. Peng, Z-Source Inverter, IEEE Trans. Ind. Appl., vol.39, no.2, pp. 504- 510, 2003. 5. Dong Cao, F. Z. Peng, A Family of Z-source and Quasi-Z-source DC-DC Converters, in Proc. 24th Annu. IEEE Appl. Power Electronics Conf. and Expo., APEC'09, pp. 1097-1101, 2009. 6. D. Vinnikov, I. Roasto, T. Jalakas, An Improved High-Power DC/DC Converter for Distributed Power Generation, in Proc. 10th Int. Conf. Elect. Power Quality and Utilisation, EPQU'09, 2009. 7. D. Vinnikov, I. Roasto, Quasi-Z-Source-Based Isolated DC/DC Converters for Distributed Power Generation, IEEE Trans. Ind. Electron., vol.58, no.1, pp.192-201, 2011. 8. R. Strzelecki, D. Vinnikov, Models of the qZ-Converters, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), vol.86, no.6, pp.80-84, 2010. 9. J. Zakis, D. Vinnikov, O. Husev, I. Rankis, Dynamic Behaviour of qZS-based Bi-directional DC/DC Converter in Supercapacitor Charging Mode, in Proc. Int. Symp. Power Electronics, Elect. Drives, Automation and Motion, SPEEDAM'12, pp.764-768, 2012. 10. D. Vinnikov, I. Roasto, Impact of Component Losses on the Voltage Boost Properties and Efficiency of the qZS-Converter Family, in Proc. 7th Int. Conf.-Workshop Compatibility and Power Electronics, CPE'011, pp.303-308, 2011. 11. D. Vinnikov, O. Husev, I. Roasto, Lossless Dynamic Models of the Quasi-Z-Source Converter Family, Scientific J. of Riga Tech. University: Power and Elect. Eng., vol.29, pp.73-78, 2011. 12. J. Zakis, D. Vinnikov, I. Roasto, T. Jalakas, Practical Design Guidelines of qZSI Based Step-Up DC/DC Converter, Scientific J. of Riga Tech. University: Power and Elect. Eng., vol.27, pp.107-114, 2010. 13. D. Vinnikov, I. Roasto, T. Jalakas, S. Ott, Extended Boost Quasi-Z-Source Inverters: Possibilities and Challenges, Electronics and Elect. Eng., no.112(6), pp.51-56, 2011. 14. Miaosen Shen, A. Joseph, Jin Wang; F. Z. Peng, D. J. Adams, Comparison of Traditional Inverters and Z-Source Inverter for Fuel Cell Vehicles, IEEE Trans. Power Electron., vol.22, no.4, pp.1453-1463, 2007. 15. D. Vinnikov, I. Roasto, R. Strzelecki, M. Adamowicz, Step-Up DC/DC Converters With Cascaded Quasi-Z-Source Network, IEEE Trans. Ind. Electron., vol.59, no.10, pp.3727-3736, 2012. 16. M.-K. Nguyen, Y.-C. Lim, G.-B. Cho, Switched-Inductor Quasi-Z-Source Inverter, IEEE Trans. Power Electron., vol.26, no.11, pp.3183-3191, 2011. 17. M.-K. Nguyen, Y.-C. Lim, J.-H. Choi, Two switched-inductor quasi-Z-source inverters, IET Power Electronics, vol.5, no.7, pp.1017-1025, 2012. 18. Honnyong Cha; Peng, F.Z.; Dongwook Yoo; "Z-Source Resonant DC-DC Converter for Wide Input Voltage and Load Variation," International Power Electronics Conference, IPEC'10, pp.995-1000, 2010 19. D. Vinnikov, J. Zakis, O. Husev, R. Strzelecki, New High-Gain Step-Up DC/DC Converter with High-Frequency Isolation, in Proc. 27th Annu. IEEE Appl. Power Electronics Conf.

УДК 621.314.1

Классификация изолированных DC/DC квазиимпедансных преобразователей/ А. И. Чуб, А. А. Гусев, Д. В. Винников // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПИ», 2013. – № 18 (991).– С. 15–21. – Бібліогр.: 19 назв.

Представлені існуючі схеми підвищуючих DC/DC квазі-імпедансних перетворювачів. Виконана класифікація перетворювачів за передавальною характеристикою у статичному режимі та типу схеми квазі-імпедансної ланки.

Ключові слова: квазі-імпедансний перетворювач, відновлювальні джерела енергії, класифікація.

Existent topologies of the quasi-Z-source converter were presented and discussed. Classification of the DC/DC qZS-converters based on DC voltage gain and type of quasi-Z-source network was made.

Keywords: quasi-Z-source converter, renewable energy sources, classification.

УДК 621.314.58

Ю. П. ГОНЧАРОВ, д-р. техн. наук, НТУ «ХПИ»;

В. В. ИВАХНО, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;

Ю. С. ВОЙТОВИЧ, студент, НТУ «ХПИ»;

А. В. ЛОБКО, аспирант, НТУ «ХПИ»;

Е. И. ОПАНАСЕНКО, студент, НТУ «ХПИ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ ШИРОКОДИАПАЗОННОГО БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОММУНАЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

В данной работе рассматривается применение принципов, используемых в электронных системах вторичного электропитания с промежуточным звеном постоянного и высокочастотного переменного тока, для построения распределительных электросетей объектов коммунально-бытового назначения.

Ключевые слова: широкодиапазонное регулирование, бесконтактная защита, распределительная электросеть.

Анализ состояния проблемы и постановка задачи работы

Современные распределительные электросети 220/380 В для питания коммунально-бытовых объектов обладают рядом существенных недостатков:

- не обеспечивается плавное регулирование электрической мощности при формировании в питающей сети синусоидального тока, совпадающего по фазе с