

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе

д-р техн. наук, профессор

А.Г. Вострецов



« 15 » февраля 2020 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Диссертация «Импедансный преобразователь в составе системы электроснабжения для возобновляемых источников энергии» выполнена на кафедре Электроники и электротехники.

В период подготовки диссертации соискатель Шульц Татьяна Евгеньевна с 2015 года и по настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». В 2018 г. Шульц Т.Е. окончила очную аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 13.06.01 – «Электро- и теплотехника» (профиль: Силовая электроника), присуждена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь», выдан диплом об окончании аспирантуры, нормативный период обучения с 01.09.2014 по 31.08.2018 г.

В 2014 г. Шульц Т.Е. окончила очное обучение в магистратуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 11.04.04 – «Электроника и наноэлектроника» (профиль: Промышленная электроника и микропроцессорная техника), присуждена квалификация магистр.

Справки о сдаче кандидатских экзаменов № 356 (Иностранный язык (английский), История и философия науки, Специальность: 05.09.12 – Силовая электроника) выдана в 2018 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Брованов Сергей Викторович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», проректор по учебной работе.

По итогам обсуждения принято следующее заключение (выписка из протокола расширенного заседания кафедры Электроники и электротехники):

### **1. Актуальность темы диссертационного исследования**

Диссертационная работа посвящена исследованию импедансный преобразователь в составе системы электроснабжения для возобновляемых источников энергии. Работа состоит из введения, 5 глав и заключения. Цель работы состояла в разработке топологии трёхуровневого импедансного инвертора с наименьшим числом пассивных компонентов и векторных способов управления однофазными импедансными NPC инверторами с балансировкой нулевой точки и высоким КПД.

В работе представлены результаты исследования существующих импедансных цепей(ИЦ) трехуровневых инверторов напряжения и способов управления 1-фазными 3-уровневыми ИИ с нулевой точкой. На основании проведенных исследований были предложены методики по оценке и сравнению схем импедансных цепей включающей оценку массогабаритных показателей схем через энергию, накопленную в конденсаторах и дросселях ИЦ; схема 3-уровневого NPC LCCT-Z-инвертора с непрерывным входным током, с наименьшим числом компонентов ИЦ; новые способы управления 1-фазными 3-уровневыми ИИ с нулевой точкой, позволяющие производить контроль заряда-разряда конденсаторов ИЦ, улучшить качество выходного напряжения ИИ, эффективно использовать дополнительные состояния инвертора. Представлены результаты имитационного моделирования рассматриваемых схемы 3-уровневого NPC LCCT-Z-инвертора и способов управления 1-фазными 3-уровневыми импедансным инвертором с нулевой точкой, а также испытаний на экспериментальных установках малой мощности под управлением ПЛИС+микроконтроллер, на высоких частотах коммутации (от 100 до 240кГц).

### **2. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

Автор непосредственно принимал непосредственное участие в теоретических исследованиях, разработке, планировании и проведении экспериментальных исследований, анализе и обобщении полученных данных, написании текстов статей и докладов. В работах, написанных в соавторстве, автор проводил: имитационное моделирование и расчет 3-уровневых NPC LCCT-Z-инверторов, проектирование печатной платы ИЦ инвертора, анализ электромагнитных процессов в NPC LCCT-Z-инверторах, расчет и оценку массогабаритных показателей ИЦ различных видов, математическое описание и имитационное моделирование векторных ШИМ 1-фазных 3-уровневых ИИ, анализ электромагнитных процессов в них, моделирование и анализ параметров *CIS T-source* инвертора.

### **3. Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и достоверны. Теоретические решения и экспериментальные данные, полученные в работе, не противоречат известным положениям науки, базируются на строго доказанных выводах и согласуются с ранее полученными результатами.

### **4. Связь исследований с научно-техническими программами:**

- DORA-5 program – 6-месячная стажировка в ТГУ, Таллин, группа Силовой электроники, руководители Винников Дмитрий и Гусев Александр.
- грант мол\_a- Конкурс инициативных научных проектов, выполняемых молодыми учёными (Мой первый грант) – 2016 год - «Разработка трёхуровневого трёхфазного импедансного преобразователя для системы генерирования электроэнергии с питанием от фотоэлектрических панелей.» - грант номер 16-38-00340 - должность Руководитель.

### **5. Новизна и практическая значимость результатов проведенных исследований**

Научная новизна состоит в следующем:

1. Разработана методика по оценке и сравнению схем ИЦ включающей оценку массогабаритных показателей схем через энергию, накопленную в конденсаторах и дросселях ИЦ.
2. Разработан 3-уровневый NPC LCCT-Z-инвертор с непрерывным входным током, с наименьшим числом компонентов ИЦ.
3. Разработаны новые способы управления 1-фазными 3-уровневыми ИИ с нулевой точкой, позволяют производить контроль заряда-разряда конденсаторов ИЦ, улучшить качество выходного напряжения ИИ, эффективно использовать дополнительные состояния инвертора.

Практическая значимость и ценность работы состоит в следующем:

1. Полученные по единой методике соотношения для компонентов преобразователей позволяют рассчитать и сравнить их параметры и загрузку при равных параметрах входного напряжения и мощности схем.
2. Полученные теоретические и практические результаты могут быть использованы в инженерных расчётах при проектировании системы электроснабжения, запитанной от возобновляемого источника энергии.

### **6. Ценность научных работ соискателя**

Ценность научных работ соискателя состоит в полученной методике по оценке и сравнению схем ИЦ включающей оценку массогабаритных показателей схем через энергию, накопленную в конденсаторах и дросселях ИЦ. Разработанные схемы трёхуровневого импедансного преобразователя и алгоритмы управления 1-фазными 3-уровневыми ИИ с нулевой точкой

применимы в различных системах электроснабжения, использующих солнечные батареи в качестве источников электроэнергии.

### **7. Научная специальность, которой соответствует диссертация**

Выполненная диссертация Шульц Татьяны Евгеньевны «Импедансный преобразователь в составе системы электроснабжения для возобновляемых источников энергии» соответствуют паспорту специальности 05.09.12 «Силовая электроника»:

– формуле паспорта специальности, так как в диссертации рассматриваются вопросы «по теории и практике использования электрических и электромагнитных процессов в силовых, полупроводниковых преобразователях и технических устройствах на их основе и отличающаяся использованием электронных приборов в качестве основных, силовых элементов структуры преобразователей»

– областям исследования паспорта специальности, в частности:

1) пункту 1 «Разработка научных основ создания схем и устройств силовой электроники, исследование свойств и принципов функционирования элементов схем и устройств»;

2) пункту 2 «Теоретический анализ и экспериментальные исследования процессов преобразования (выпрямления, инвертирования, импульсного, частотного и фазочастотного регулирования и т.п.) в устройствах силовой электроники с целью улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик»;

3) пункту 3 «Оптимизация преобразователей, их отдельных, функциональных узлов и элементов»;

4) пункту 4 «Математическое и схемотехническое моделирование преобразовательных устройств»;

5) пункту 5 «Разработка научных подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих адекватное отражение в моделях физической сущности электромагнитных процессов и законов функционирования устройств силовой электроники».

### **8. Полнота изложения материалов диссертации, в работах опубликованных соискателем**

Результаты диссертационного исследования отражены в 17 публикациях, в том числе 2-х статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 публикациях в зарубежных журналах уровня Q1, Q2, Q3, 1 патенте, 6 статьях, индексируемых в SCOPUS и WoS.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены:

В работах, опубликованных в **рецензируемых научных изданиях (из перечня ВАК)**:

1. Шульц Т.Е., Гусев А.А. Сравнительный анализ трехфазных трехуровневых квазиимпедансных инверторов Т-типа // Доклады академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2016. - № 3 (32) – С. 117-127;

2. Курочкин Д.А. Сравнительный анализ шунтовых регуляторов на основе топологий повышающих DC/DC преобразователей для аэрокосмического применения / Д.А. Курочкин, Т.Е. Шульц, А.В. Гейст, Д.А. Штейн, С.А. Харитонов // Электропитание. – 2019. – № 2. – С. 22-34;

В работах, опубликованных в **зарубежных рецензируемых научных изданиях Q1, Q2, Q3**:

3. Shults T., Husev O., Blaabjerg F., Zakis J., Khandakji K. / LCCT-derived three-level three-phase Inverters // IET Power Electronics, Vol. 10, Issue 9, 28 July 2017, pp. 996 – 1002;

4. T. E. Shults, O. Husev, F. Blaabjerg, C. Roncero-Clemente, E. Romero-Cadaval and D. Vinnikov / Novel Space Vector Pulsewidth Modulation Strategies for Sin-gle-Phase Three-Level NPC Impedance-Source Inverters. // IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 34, no. 5, May 2019, pp. 4820-4830;

5. Husev, O.; Shults, T.; Vinnikov, D.; Roncero-Clemente, C.; Romero-Cadaval, E.; Chub, A. / Comprehensive Comparative Analysis of Impedance-Source Networks for DC and AC Application" // Electronics, vol. 8(4), no 405, 2019, pp. 1-21;

**В полученных патентах на изобретения:**

6. Пат. EE05800B1 Эстонская Республика, МКИ Н02М, А LCCT-derived three-level three-phase inverter, having a new impedance source network, consisting of a single inductor, a single impedance diode, a transformer, having a secondary wind-ing with a center point, and only three capacitors [Текст] / Janis Zakis, Oleksandr Husev, Tatiana Schults; заявитель и патентообладатель Tallinna Tehnikaüli-kool; №P201500034 заявл. 02.12.2015; опубл. 15.11.2017. – 12 с;

Научные результаты диссертации отражены также в следующих **научных изданиях**:

**Изданиях, индексируемых базами Scopus и/или Web of Science:**

7. Brovanov S.V., Shults T.E., Sidorov A.V., "Stand-alone power supply system using photovoltaic panels and diode-clamped multilevel inverter. // 2014 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), June 30 2014-July 4, 2014, Novosibirsk, pp. 464 - 467;

8. Shults T., Husev O., Blaabjerg F. / Design and Comparison of Three-Level Three-Phase T-Source Inverters. // 2015 IEEE 5th International Conference

on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), May 11-13, 2015, Riga, Latvia, pp. 1-6;

9. Shults T.E., Husev O.O., Zakis, J.G. / Overview of impedance source networks for voltage source inverters. // 2015 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), June 29 - July 3, 2015, Novosibirsk, pp. 514 – 520;

10. Shults T., Husev O., Roncero-Clemente C., Blaabjerg F., Strzelecki R. / Design of Three-Phase Three-Level CIC T-Source Inverter with Maximum Boost Control. // IECON, 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, November 9 – 12, 2015, pp. 4447-4452;

11. Shults T.E., Husev O.O., Blaabjerg F. / Space Vector Pulse Width Modulation Strategy for Single-Phase Three-Level CIC T-source Inverter // Proceedings of 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. June 30-July 4, 2016, Novosibirsk, pp. 600-606;

12. T. E. Shults, A. S. Filatova, M. A. Dybko and O. O. Husev / SVPWM Capacitor Balancing Method for Single-Phase Three-Level NPC Impedance-Source Inverters.//19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, Erlagol, 2018, pp.6403-6407;

***В прочих работах по теме диссертации:***

13. Шульц Т.Е., Штейн Д.А. / Анализ особенности использования солнечной энергетики в сибирском регионе // Наука, технологии, инновации (НТИ), Часть 2, г.Новосибирск, 21-24 ноября 2013: Тез. Докл. – С. 192-193;

14. Шульц Т.Е. / Система генерирования электрической энергии с использованием фотоэлектрических панелей. // Наука, технологии, инновации (НТИ), Часть 11, г.Новосибирск, 02-06 декабря 2014: Тез. Докл. С. 20-22;

15. Shults T. / Power Supply System Based on Photovoltaic Panels and Three-level NPC Inverter. // Closing Conference of the Project “Doctoral School of Energy and GeotechnologyII,”January12-17,2015,Parnu,Estonia,pp.154-157;

16. Shults T., Husev O., Blaabjerg F. / Design and Comparison of Three-Level Three-Phase T-Source Inverters. // 4th International Doctoral School of Electrical Engineering and Power Electronics, the student sport centre "Ronishi" of Riga Technical University, Latvia, 29 - 30 May, 2015: Стенд. докл.;

17. Shults T., Sidorov A., Husev O. / SVPWM Strategy for Single-Phase Three-Level Impedance Source Inverter // Proceedings of 16th International Symposium “Topical problems in the field of electrical and power engineering” and “Doctoral School of Energy and Geotechnology III”, Publisher: Elektriajam. January 16-21, 2017, Parnu, Estonia, pp. 144-147;

**Результаты диссертационных исследований докладывались на научных конференциях, форумах:**

1. Closing Conference of the Project "Doctoral School of Energy and Geotechnology II," January 12 - 17, 2015, Пярну, Эстония.
2. 2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), May 11-13, 2015, Riga, Latvia.
3. 4th International Doctoral School of Electrical Engineering and Power Electronics, the student sport centre "Ronishi" of Riga Technical University, 29 - 30 May, 2015, Latvia.
4. 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), June 29 2015-July 3, 2015, Республика Алтай, Чемальский район, ЗСОК НГТУ «Эрлагол», РФ.
5. 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), November 9 – 12, 2015, Yokohama, Japan. - доклад соавтора.
6. 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM) 30 июня - 4 июля 2016, Республика Алтай, Чемальский район, ЗСОК НГТУ «Эрлагол», РФ.
7. 16th International Symposium "Topical problems in the field of electrical and power engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology III" 16-21 января 2017 Пярну, Эстония. - Приз за лучшее выступление в секции.
8. 19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. 29 июня - 3 июля 2018, Республика Алтай, Чемальский район, ЗСОК НГТУ «Эрлагол», РФ.
9. 19th International Symposium "Topical problems in the field of electrical and power engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology III" 14-17 января 2020 Тарту, Эстония.

Личный вклад соискателя в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 60 % и состоит в теоретических исследованиях, разработке, планировании и проведении экспериментальных исследований, анализе и обобщении полученных данных, написании текстов статей и докладов и др., совокупный процент вклада соискателя в перечисленных опубликованных работах составляет не менее 75 %.

## **9. Общее заключение**

Диссертация соответствует требованиям установленным в пп. 9 - 14 Положения «О присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским (докторским) диссертациям и является законченной научно-квалификационной работой.

Научная работа Шульц Татьяны Евгеньевны «Импедансный преобразователь в составе системы электроснабжения для возобновляемых источников энергии» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 «силовая электроника». Работа может быть представлена в диссертационный совет.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры Электроники и электротехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Присутствовало на заседании 28 чел, в том числе 5 докторов технических наук, 4 кандидата технических наук.

Результаты голосования: "за" – 28 чел., "против" – 0 чел., "воздержалось" – 0 чел., протокол расширенного заседания кафедры Электроники и электротехники № 13 от 24.12 2019 г.

Председатель расширенного заседания кафедры Электроники и электротехники:

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой электроники и электротехники

Сергей Александрович Харитонов

Секретарь расширенного заседания кафедры Электроники и электротехники:

ученый секретарь кафедры Электроники и электротехники

Наталья Ивановна Нефедова

Подписи С.А. Харитонова и Н.И. Нефедовой заверяю.

Начальник отдела кадров ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Ольга Константиновна Пустовалова

