



Открытое акционерное общество  
«Научно-исследовательский институт  
по передаче электроэнергии  
постоянным током высокого на  
(ОАО «НИИПТ»)

ул. Курчатова, д. 14, лит А, Санкт-Петербург  
тел. (812) 297 54 10, факс (812) 552 62  
E-mail: niipt@niipt.ru, http://www.niipt  
ОКПО 45565538 ОГРН 112984700339:  
ИНН/КПП 7802810732/780201001

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель Генерального директора ОАО  
— научный руководитель,  
к. доцент.

\_\_\_\_\_ Н.Г. Лозина

» м.в.д. 2020г.



## О Т З Ы В

ведущей организации

**Открытого акционерного общества «Научно-исследовательский институт  
по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения»**

по диссертации Танкой Абель на тему

«Разработка локальной высоковольтной промышленной системы  
электропитания повышенной частоты», представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»

### Актуальность темы

Силовая электроника в виде мощных высоковольтных тиристоров уже давно получила применение и отлично зарекомендовала себя в электроэнергетических установках постоянного тока высокого напряжения: в линиях и вставках постоянного тока. Ярким примером таких установок является длительная и эффективная работа Выборгской вставки постоянного тока. В последние 10-15 лет применение силовых электронных устройств электроэнергетического направления получило новый импульс своего развития в связи с появлением на мировых рынках электроники новых силовых электронных компонентов в виде мощных высоковольтных транзисторов – IGBT. Эти электронные компоненты, несколько уступая пока по стоимости и предельным значениям рабочих токов и напряжений, выгодно отличаются от своих предшественников – силовых тиристоров тем, что являются полностью управляемыми элементами (при практически полном отсутствии затрат мощности на управление), имеют значительно большую предельную частоту и, как правило, меньшую величину потерь энергии при одинаковой передаваемой мощности. Это явилось причиной заметного улучшения технико-экономических показателей электроэнергетического оборудования на основе силовой электроники в случае использования в их составе транзисторов – IGBT.

Несомненные преимущества IGBT позволили им в короткие сроки «завоевать» сферу электропривода: по разным оценкам в настоящее время около

90 % процентов устройств такого назначения выполняется на основе этих компонентов. В настоящее время ведутся активные разработки по их применению в составе высоковольтных электроэнергетических установок постоянного тока. Разрабатываются и уже эксплуатируются высоковольтные преобразовательные установки переменного тока промышленной частоты, выполненные с использованием IGBT, которые предназначены для фильтрации рабочих напряжений и токов различных потребителей электроэнергии, а также для управления потоками активной и реактивной мощностями в электрических сетях.

Представленная для анализа и составления настоящего отзыва диссертационная работа Абель Танкой является примером расширения области применения преобразовательной техники, выполненной на основе IGBT, когда она используется для создания систем промышленного электроснабжения. Результаты его работы и предшествующих разработок свидетельствуют о высоких показателях такого применения. Нет никаких сомнений в актуальности этой работы, и следует только приветствовать продолжение научно-технических разработок в данном направлении, а также внедрение в практику их результатов.

### **Цель работы**

Цель работы – разработка высоковольтных промышленных систем электроснабжения повышенной частоты магистрального типа на основе дальнейшего развития и совершенствования методологии расчета и применения на практике таких устройств.

### **Значимость для науки и производства полученных автором результатов.**

Результаты, полученные в диссертационной работе, безусловно, имеют большое значение для науки и производства. Действительно, те расчетные методики, которые разработаны и представлены в работе, являются существенным вкладом в создание полной математической модели электротехнологических комплексов повышенной частоты (ЭТКПЧ), выполненных на основе IGBT и предназначенных для изготовления промышленных высоковольтных систем электроснабжения повышенной частоты для электроснабжения электротехнологических установок электротепловой обработки при изготовлении железобетонных изделий. Эти теоретические разработки являются основой для продолжения научно-исследовательской деятельности по этому направлению, поскольку, как показано в работе, имеется ряд вопросов, требующих своего решения, например, необходимо уточнить методику определения некоторых индуктивных параметров схемы замещения, возможно, пересмотреть способ представления силового трансформатора

повышенной частоты в схеме замещения и др. Значимость для производства состоит в том, что в работе представлены не только результаты теоретических и экспериментальных исследований по теме работы, но и выполнена эскизная проработка вероятных вариантов практической реализации рассматриваемых устройств, что является основой для создания опытно-промышленных установок такого типа. Таким образом, результаты работы представлены в форме, понятной специалисту, работающему в сфере производства. Это, по-видимому, упростит и ускорит применение на предприятиях строительной отрасли перспективной энергоэффективной технологии изготовления железобетонных изделий с использованием электротепловой (электротермической) отработки токами повышенной частоты электродным и индукционным методом

### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

По результатам и выводам диссертационной работы Абель Танкой можно высказать следующие рекомендации. Что касается теоретических разработок, то необходимо их дальнейшее развитие для решения тех проблем, которые были выявлены в ходе выполнения работы и нашли отражение в ней. Кроме этого, целесообразно рассмотреть вопрос о расширении сферы их применения для решения иных задач или разработки устройств с применением IGBT другого назначения, например, для решения вопросов электромагнитной совместимости и др. Относительно практических результатов, вполне очевидно, что важнейшей рекомендацией является пожелание о скорейшем создании опытно-промышленных установок такого типа и их опытная эксплуатация в целях накопления опыта для решения вопроса о широком применении таких устройств на практике. Кроме этого, также следует рассмотреть вопрос о целесообразности применения разрабатываемых устройств на предприятиях не только строительной, но других отраслей народного хозяйства.

### **Новизна исследования**

Кроме того направления использования преобразовательной техники на основе IGBT, которому посвящена работа и которое пока воспринимается, как новое, можно согласиться с автором работы, что она обладает несомненной научной новизной в виде наличия в ней оригинальных теоретических разработок, заключающиеся в следующем.

1. Выполнено усовершенствование (модернизация) методики электрического расчета характеристик установившегося режима работы ЭТКПЧ, основанной на

использовании метода частотного анализа с разложением несинусоидальных сигналов в ряд Фурье; это усовершенствование включает в себя более точное определение величины внутреннего сопротивления транзисторного преобразователя напряжения в зависимости от кратности гармоник разложения Фурье и замену численного интегрирования на применение набора аналитических выражений, полученных в настоящей работе, что позволило многократно снизить затраты времени на выполнение вычислений в среде MATLAB и повысить производительность научно-технических разработок.

2. Разработана методика электрического расчета характеристик ЭТКПЧ, выполненного в виде системы электроснабжения технологических установок магистрального типа, основанная на использовании принципов частотного анализа, с использованием усовершенствований по п.1

3. Разработана методика определения погонной емкости высоковольтной кабельной линии в виде двух проводников в твердой высоковольтной изоляции, расположенных в общем электромагнитном экране («полувоздушная изоляция»), основанная на использовании метода эквивалентных зарядов; методика является составной частью математической модели ЭТКПЧ.

### **Обоснованность и достоверность результатов работы**

Обоснованность и достоверность и результатов обеспечиваются применением известных методов расчета электрических цепей, методов математического и статистического определения характеристик изоляции, использованием апробированных методов экспериментальных исследований, экспериментальных данных других авторов и данных, полученных в работе, совпадением расчётных и экспериментальных результатов.

### **Практическую значимость**

Практическая значимость вполне очевидна и заключается в следующем.

1. Предложенные расчетные методики, представляющие собой удобный и эффективный инструмент разработки и применения ЭТКПЧ в виде системы электроснабжения магистрального типа и позволяющие существенно экономить силы, средства и время при создании необходимого оборудования и выборе его режимов работы.

2. Впервые доказана возможность использования высоковольтных ЭТКПЧ для создания систем электроснабжения потребителей, коэффициент мощности которых существенно меньше единицы ( $\cos\varphi \ll 1$ ), например, установки индукционного нагрева.

3. Установлено, что системы электроснабжения магистрального типа по своим показателям и характеристикам не уступают системам электроснабжения

радиального типа при меньших стоимости и более высокой компактности. Оценка основных показателей и характеристик ЭТКПЧ в виде систем электроснабжения магистрального типа производственного назначения свидетельствуют о целесообразности широкого применения таких устройств на практике.

4. Экспериментально доказано, что при использовании в составе ЭТКПЧ высоковольтных двухпроводных кабельных линий в электромагнитном экране не происходит увеличения потерь электроэнергии.

5. Показана целесообразность применения в составе ЭТКПЧ высоковольтных кабелей с воздушной изоляцией как коаксиальной конструкции, так в виде двухпроводного кабеля в общем электромагнитном экране в целях снижения реактивной (зарядной) мощности кабеля, что явилось основой для подготовки и подачи заявки на получение патента.

### **Замечания по работе**

По работе можно сделать следующие замечания.

1. В работе ничего не сказано о возможности использования в составе ЭТКПЧ не транзисторов IGBT, а силовых полупроводниковых приборов другого типа.
2. В конструкции ЭТКПЧ, который рассматривается в работе, используется полупроводниковый преобразователь мостового типа, возможно ли применение преобразователей других типов?
3. Конструкция ЭТКПЧ, используемая в работе, не содержит устройств демпфирования токов и напряжений в части повышенной частоты, есть ли необходимость применения таких устройств?
4. В п.2.1 приводятся рассуждения и термины, не имеющие отношение к IGBT приборам, например «модуль коэффициента передачи транзистора по току». Можно ли применить выводы п.2 к IGBT приборам?
5. Насколько важен учет участков 2, 4, 6, 8 с точки зрения расчета режима? Опыт показывает, что инженерная компоновка конструкции преобразователя (индуктивность ошиновки, конденсаторов) может нивелировать учет столь малых величин.
6. На рис.3.16. показана зависимость относительного значения активной мощности, передаваемой в нагрузку на отдельной гармонике. Показано, что третья гармоника передает менее 10 % от первой, остальные – на уровне погрешности. Зачем шкала графика оканчивается 57-ой гармоникой?

7. Недостаточно внимание уделено конструкции высокочастотного повышающего трансформатора. Он может быть причиной повышенных потерь энергии.
8. Имеются опечатки по тексту, например на рис. 1.12б ошибочно изображены VT3 и VT4, на рис. 4.2. по оси X частота должна быть в Гц, а не в кГц.

### Заключение по работе.

Диссертационная работа Абель Танкой на тему «Разработка локальной высоковольтной промышленной системы электроснабжения повышенной частоты» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний – электротехнические комплексы и системы, что отвечает требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 в актуальной редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы», автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации, а ее автор Танкой Абель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа, а также отзыв на диссертацию рассмотрены на заседании отдела постоянного тока (НИО-1) Открытого акционерного общества «Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения», протокол № 2 от 27 мая 2020 г.

Заместитель заведующего НИО-1  
ОАО «Научно-исследовательский институт по передаче  
электроэнергии постоянным током высокого  
напряжения»,  
канд. техн. наук  
e-mail [zmaznov\\_e@niipt.ru](mailto:zmaznov_e@niipt.ru)  
телефон (812)2928930

Змазнов  
Евгений Юрьевич

*Подпись Змаз.*

*Юрьевича заверяю.*

*Ведущий спец  
по кадрам*

*Н. Ю. Рацункина*