

## **О Т З Ы В**

### **официального оппонента**

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

#### **Актуальность работы**

Развитие электротехники и электроэнергетики, связанное с передачей, преобразованием и регулированием параметров электрической энергии, ещё в 19-том веке определило баланс между конструктивными и экономическими решениями производства и эксплуатации электротехнического оборудования.

Результатом исследований и разработок учёных и инженеров всего мира явились трёхфазные сети электроснабжения с частотой изменения напряжения 50 или 60 Гц.

Одной из решаемых проблем и по сегодняшний день является снижение активных и реактивных потерь в электрических сетях, что в основном определяется протяжённостью и конструктивным исполнением линий электропередачи.

Наряду с этим, малая частота питающего напряжения приводит к увеличению массогабаритных показателей электротехнического оборудования: электромеханических инструментов; сварочных аппаратов; установок индукционного нагрева; электрической сушки материалов; установок электротепловых технологических процессов и т.п.

Стремительное развитие силовой преобразовательной техники, разработка новых материалов, двухпроводных кабельных систем с воздушной изоляцией, быстродействующих микропроцессорных систем управления и контроля привело к возможности создания высокочастотных систем электропитания производственных установок, требующих тщательного исследования их режимов работы и методик определения оптимальных параметров.

Таким образом усовершенствование методов математического моделирования объектов и систем электроснабжения повышенной частоты магистрального типа в целях определения их оптимальных параметров является актуальным. Выполненные исследования в области развития методики расчета установившихся режимов систем переменного тока повышенной частоты позволяют оптимизировать процесс вычислений и корректно отразить физические процессы в полупроводниковых компонентах системы.

Важным исследовательским вопросом являлась возможность применения альтернативных кабелей в системах переменного тока повышенной частоты как альтернативу радиочастотным кабелям. Выполненные соискателем исследования в области определения погонной емкости высоковольтной кабельной линии в виде двух проводников в твердой высоковольтной изоляции, расположенных в общем электромагнитном экране подтверждают возможность использования таких кабелей в системах электроснабжения повышенной частоты для снижения погонной ёмкости, снижения реактивной мощности и увеличения волнового сопротивления.

Доказано, что при использовании в составе электротехнических комплексов повышенной частоты высоковольтных двухпроводных кабельных линий в электромагнитном экране не происходит увеличения потерь электроэнергии.

Показано, что системы электроснабжения магистрального типа по своим показателям и характеристикам не уступают системам электроснабжения радиального типа и могут широко применяться в промышленности, например в строительной отрасли, для электропитания установок электротепловой обработки.

Принимая во внимание все вышесказанное, тема диссертации Танкой Абель представляется актуальной.

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

Нет сомнений в том, что результаты работы, полученные автором, имеют большое значение для науки и производства. Теоретические разработки, представленные в диссертации, являются серьезным вкладом в развитие общей теории полупроводниковой преобразовательной техники, выполненной с применением силовых IGBT транзисторов, расширяют физико-теоретические представления об особенностях и режимах работы этих компонентов в полупроводниковых устройствах различного назначения. Что касается производства, то широкое использование на практике электротехнических комплексов повышенной частоты (ЭТКПЧ) при изготовлении железобетонных изделий с помощью электротепловой обработки (ЭТО) токами повышенной частоты позволит решить одну из главных задач строительной отрасли – повышение энергоэффективности.

Анализ полученных в работе результатов и выводов позволяет рекомендовать продолжение теоретических разработок в целях уточнения разработанных методик, а также решения вопросов и проблем, которые из-за ограниченного объема не нашли своего отражения в диссертационной работе.

Например, в настоящее время отсутствуют методы расчета переходных процессов и величины перенапряжений на изоляции высоковольтной части ЭТКПЧ.

Также можно отметить, что целесообразно ускорить внедрение ЭТКПЧ в практику на предприятиях сборного железобетона.

**Диссертационная работа Абель Танкой несомненно обладает научной новизной, т.к. в ней представлены новые теоретические разработки**

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, 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).

К перечисленному выше можно добавить, что в работе впервые показано, что ЭТКПЧ можно применять не только для электроснабжения потребителей, представляющих собой активную нагрузку, но и потребителей с ярко выраженной реактивной составляющей активно-индуктивной нагрузки.

**Достоверность и обоснованность результатов работы** обеспечиваются применением классических 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 работы** обеспечивают следующие обстоятельства.

1. Предложенные расчетные методики, представляющие собой удобный и эффективный инструмент разработки и применения ЭТКПЧ в виде системы электроснабжения магистрального типа и позволяющие существенно экономить

финансовые и материальные средства, а также время проектирования 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 установок индукционного нагрева.

3. Установлено, что системы электроснабжения магистрального типа по своим показателям и характеристикам не уступают системам электроснабжения радиального типа при меньшей стоимости и более высокой компактности. Оценка основных показателей и характеристик ЭТКПЧ в виде систем электроснабжения магистрального типа производственного назначения свидетельствует о целесообразности широкого применения таких устройств на практике.

4. Экспериментально доказано, что использование в составе ЭТКПЧ высоковольтных двухпроводных кабельных линий в электромагнитном экране не происходит к увеличению потерь электроэнергии.

5. Показана целесообразность применения в составе ЭТКПЧ высоковольтных кабелей с воздушной изоляцией, как коаксиальной конструкции, так и 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.

**По представленным материалам исследований имеются следующие замечания.**

1. Во второй главе на стр. 45 после выражения 2.10 следует предложение, в котором не ясен смысл фразы "при одинаковой частоте напряжения и кратности гармоники". Далее в тексте эта фраза повторяется.

2. На рис. 2.4. Переменная ЭДС представлена как источник постоянного напряжения.

3. В тексте второй главы имеются несоответствия в обозначениях (например, одно и то же обозначение в выражении 2.10 внутреннего сопротивления транзистора представлено действительным, а в 2.11 - комплексным числом).

4. В материалах неочевидно как учтены динамические сопротивления транзисторов.

5. В четвёртой главе при расчётной величине максимального тока транзисторов 63 А выбран модуль CM300DU-24NFH 2IGBT 1200 с допустимой токовой нагрузкой 300 А. Чем обусловлен выбор с таким превышением допустимого тока?

### Заключение

Указанные недостатки не снижают значимости работы в целом.

Диссертационная работа «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 удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 в актуальной редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Считаю, что Танкой Абель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

### Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры «Теоретическая  
и общая электротехника»,  
ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева»

603600, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
Тел.: (831)-4- 19-82-84 (8-903-60-50-766)  
e-mail: [chyvenkov@mail.ru](mailto:chyvenkov@mail.ru) ([pe@nntu.nnov.ru](mailto:pe@nntu.nnov.ru) )

**Чивенков**  
**Александр Иванович**  
25.05.2020

Подпись Чивенкова А.И. заверяю

Чивенков А.И. заверяю



Чивенков А.И.