ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора **Грачевой Елены Ивановны** на диссертацию **Скамьина Александра Николаевича** на тему: «Развитие методов оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения в системах электроснабжения предприятий с учетом долевых вкладов источников искажений», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Скамьина А.Н. посвящена решению актуальной научно-технической проблемы, связанной с повышением качества электрической энергии (КЭЭ) и энергоэффективности электротехнических комплексов предприятий путем нормализации несинусоидальности тока и напряжения с учетом долевых вкладов распределенных источников искажений. Нелинейная электрическая нагрузка (НН), работа которой приводит к появлению высших гармоник (ВГ), может располагаться как внутри предприятия, так и за его пределами (со стороны энергоснабжающей организации). В этом случае возникает сложность в точном определении местоположения источника ВГ и его вклада в суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения. Все это приводит к тому, что существующие подходы по оценке, анализу, расчету и нормализации необходимо совершенствовать, в том числе с учетом долевых вкладов источников искажений в несинусоидальность тока и напряжения. Необходимость разработки методологии нормализации несинусоидальности тока и напряжения с учетом оценки долевых вкладов источников искажений подтверждается в рамках Энергетической стратегии РФ на период до 2050 года, где одной из первоочередных мер является совершенствование мотивации и стимулирование потребителей к повышению КЭЭ. Кроме этого известно, что наличие ВГ в сетях предприятий приводит к большому количеству отрицательных явлений, связанных с уменьшением сроков службы электрооборудования, ложным срабатыванием систем автоматики, ухудшением качества выпускаемой продукции, выходом из строя устройств компенсации реактивной мощности. Применение традиционных методов, способов и алгоритмов зачастую не позволяют нормализовать уровни ВГ одновременно и в токе, и в напряжении при наличии распределенных НН, что подтверждает актуальность темы представленной работы.

Научная новизна и результаты диссертационной работы

К наиболее существенным научным положениям, выводам и рекомендациям диссертационной работы следует отнести следующие результаты:

ОТЗЫВ
ВХ. № 9-680 от 10.11.2026
АУ УС

1. Разработан новый метод оценки уровня ВГ в сетях 0,4-10 кВ при наличии распределенных НН, отличающийся определением остаточных значений ВГ в узле нагрузки и учитывающий граничные значения соотношений мощности короткого замыкания системы к мощности питающего узел нагрузки трансформатора для определения гармонического сопротивления сети и к мощности НН для определения влияния внешних источников искажений.

2. Впервые введены понятия алгебраического и геометрического долевого вклада, позволяющие проводить оценку присоединения с наибольшим долевым вкладом, а также оценку уровня снижения ВГ при исключении влияния отдельных НН в узле нагрузки.

3. Разработан новый метод определения долевых вкладов источников искажений, позволяющий ранжировать присоединения по степени влияния на суммарные искажения на основе алгебраического вклада, а также проводить оценку уровней снижения ВГ тока и напряжения по геометрическим вкладам.

4. Выявлены аналитические зависимости ВГ тока пассивного фильтра шунтирующего типа от ДВ внешних НН, мощности короткого замыкания и параметров фильтра, которые позволяют учесть влияние внешних НН при расчете перегрузки фильтров и выборе их параметров.

5. Выявлены аналитические зависимости остаточных значений ВГ тока и напряжения в узле нагрузки от сопротивления системы и долевых вкладов НН, позволяющие проводить выбор параметров параллельного активного фильтра при компенсации ВГ тока и напряжения.

6. Разработан метод выбора средств снижения уровня ВГ, учитывающий алгебраические долевые вклады НН для выбора мест подключения и геометрические долевые вклады для выбора параметров фильтрокомпенсирующих устройств, который позволяет нормализовать несинусоидальность тока и напряжения при наличии распределенных НН без перегрузок средств компенсации ВГ и с минимальными капитальными затратами.

7. Разработана методология оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения, которая основана на комплексном применении разработанных методов оценки ВГ тока и напряжения при наличии распределенных источников искажений, методов определения долевых вкладов и взаимосвязанного выбора параметров фильтрокомпенсирующих устройств.

Методы исследования

В работе использовались численные и аналитические методы решения дифференциальных уравнений, методы теории основ электротехники и систем электроснабжения, теории вероятностей и математической статистики, теории комплексных чисел, математического и компьютерного имитационного моделирования режимов работы электротехнических комплексов, а также методы экспериментальных лабораторных и производственных исследований на физических объектах.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выводы, сформулированные соискателем на основе выполненных исследований, обоснованы и аргументированы. Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием общепризнанных теорий, методов и подходов, в том числе теория электрических цепей и методы их расчета, теория комплексных чисел, теория вероятностей и методы математической статистики, методы расчета систем электроснабжения, также подтверждается применением адекватных математических моделей рассматриваемых элементов электротехнических комплексов, которые проверены экспериментально в лабораторных условиях.

Полученные научные результаты имеют высокую степень обоснованности, результаты теоретических исследований подтверждены и согласованы с результатами имитационного моделирования, а также результатами лабораторных экспериментов и натурных исследованиях на промышленных предприятиях. Измерения показателей качества электроэнергии проводились с применением сертифицированного и поверенного оборудования, соответствующего требованиям международных стандартов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы по пунктам:

- п. 1 «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования»;
- п. 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления»;
- п. 4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов».

Теоретическая и практическая значимость диссертации

Научная значимость работы заключается в развитии теории и усовершенствовании методов оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения с учетом взаимосвязанных долевых вкладов по току и напряжению при наличии распределенных источников искажений в электротехнических комплексах предприятий. Результаты работы создают методическую основу для совершенствования методов выбора параметров

пассивных и активных фильтров с учетом долевых вкладов источников искажений.

Практическая значимость заключается в следующем:

1. Разработан способ оценки гармонического сопротивления сети на основе генерации четных ВГ, основанный на применении тиристорного регулятора мощности. Предложено выражение для определения требуемой мощности предлагаемого устройства.

2. Разработан способ определения долевого вклада источников искажений на основе применения пассивного фильтра гармоник, позволяющий проводить оценку долевого вклада при скомпенсированных значениях ВГ тока и напряжения. По данному способу имеется патент на изобретение.

3. Усовершенствована методика выбора параметров пассивного фильтра ВГ, позволяющая оценивать перегрузку фильтра по току с учетом долевых вкладов внешних НН.

4. Усовершенствована методика выбора параметров параллельного активного фильтра с учетом долевых вкладов источников искажений, которая позволяет проводить расчет требуемого тока активного фильтра с учетом компенсации фоновых гармоник напряжения в сети.

Материалы диссертации использовались при выполнении научно-исследовательских по следующим государственным программам и грантам: грант Президента РФ № МК-980.2018.8, соглашение с Российским научным фондом № 18-79-00127, соглашение с Российским научным фондом № 21-79-10027.

Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные в диссертации результаты применяются на действующих предприятиях, о чем имеются соответствующие акты внедрения. Их применение осуществляется при:

- оценке резонансных режимов в электротехнических комплексах при наличии конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности;
- оценке и анализе измеренных показателей КЭЭ, выявлении узлов и присоединений с наибольшим вкладом, выборе параметров и мест подключения фильтрокомпенсирующих устройств;
- разработке проектов по обеспечению электромагнитной совместимости работы оборудования производственных объектов, имеющих в своем составе частотные электроприводы;
- при моделировании и расчетах параметров схемы замещения с целью выбора параметров устройств для повышения КЭЭ.

Разработанная методология оценки и нормализации уровней ВГ при наличии распределенных НН может быть применена на предприятиях различных отраслей промышленности (нефтеперерабатывающей нефтедобывающей, металлургической, легкой, пищевой, угольной, электроэнергетической и др.) для повышения уровня энергоэффективности и энергосбережения при транспортировке, распределении и использовании

электроэнергии. Кроме этого, она может быть применена и в социальном секторе с целью выявления потребителей, ухудшающих КЭЭ.

Качество оформления диссертации

Оформление диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Текст автореферата написан с использованием общепринятой научной и технической терминологии, изложение материала логичное и последовательное. Содержание автореферата отражает структуру и основное содержание диссертации.

По диссертация имеются следующие замечания и вопросы:

1. При наличии внешних источников искажений подключение пассивного фильтра гармоник шунтирующего типа в рассматриваемом узле нагрузки в любом случае позволяет снизить гармоники в напряжении. Какой смысл и требуется ли в данном случае проводить определение долевых вкладов?

2. Как повлияет наличие конденсаторных установок, подключенных параллельно генератору нехарактерных гармоник, на выражение для определения его мощности (2.6.)? Почему такие установки не учитываются в качестве линейной нагрузки?

3. Почему в основу сравнения методов определения долевых вкладов положен метод «на основе принципа суперпозиции»? При этом очевидно, что метод оценки долевых вкладов по такому же принципу будет иметь наименьшую погрешность.

4. Не совсем понятен способ определения долевых вкладов на основе применения пассивных фильтров? Необходимо ли подключать дополнительный пассивный фильтр для измерения долевых вкладов при наличии уже подключенных фильтров с той же частотой настройки?

5. Почему на рис. 3.31 в качестве пороговых значений при выборе методов определения долевых вкладов выбраны значения 95 и 5 %?

6. На стр. 195 при расчете тока пассивного фильтра указано, что «Если принять в качестве внешней НН неуправляемый выпрямитель со звеном постоянного тока в виде индуктивности, то параметры гармонических токов рассчитывают, как…». Но зачастую параметры внешних НН не известны. И даже если известны типы таких нагрузок, то эквивалентное значение тока на частотах ВГ определить затруднительно. Тогда как предлагается определять такой ток в реальных условиях?

7. Имеются некоторые неточности и некорректные формулировки. Например, аббревиатура КЭ обозначает качество электроэнергии. Однако, встречается аббревиатура КЭЭ с той же расшифровкой на стр. 32, 227, 229.

Представленные замечания касаются частностей и не снижают научной и практической значимости результатов диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Скамьина Александра Николаевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно,

в которой решена крупная научно-техническая проблема, связанная с повышением качества электрической энергии и энергоэффективности электротехнических комплексов предприятий путем нормализации несинусоидальности тока и напряжения с учетом долевых вкладов распределенных источников искажений, что имеет существенное значение для развития систем энергосбережения и обеспечения качества электрической энергии в экономике страны. Диссертация «Развитие методов оценки и нормализации несинусоидальности тока и напряжения в системах электроснабжения предприятий с учетом долевых вкладов источников искажений» полностью соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а её автор – **Скамьин Александр Николаевич** - заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент
профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», доктор технических наук, профессор

_____ **Грачева Елена Ивановна**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»
адрес: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
телефон: + 7 (843) 519-42-73
e-mail: grachieva.i@bk.ru

13.10.2026