

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль: **13.06.01 Электро- и теплотехника/ 05.14.02**
Электрические станции и электроэнергетические системы

Школа: Инженерная школа энергетики
Отделение электроэнергетики и электротехники

Научно-квалификационная работа

Тема научно-квалификационной работы
Эффективность транспорта электрической энергии на основе моделирования и идентификации параметров узла нагрузки.

УДК 621.315.1.05:621.311.1.018.3

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
А5-42	Булыга Леонид Леонидович		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. отдела	Барская А.В.	к.т.н.		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ушаков В.Я.	д.т.н.		

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В XX-м веке была сформирована основная концепция Единой Энергетической сети России. Быстрое развитие микропроцессорной техники и полупроводниковой электроники в последние десятилетия увеличивает объем информации, воспринимаемой специалистами, работающими в электрических сетях. Резко возросло использование цифровых данных и носителей информации. Требования к автоматизированной системе управления подстанцией устанавливает стандарт МЭК 61850. Согласно спецификации 3, которая получила название «9-2LE», частоты выборок за заданный период составляют: для контроля качества электроэнергии – 256 выборок мгновенных значений, для релейной защиты и коммерческого учета – 80. Далее эти данные от устройств полевого уровня передаются по коммуникационной шине данных на подстанцию для обработки. На данный момент для контроля качества электроэнергии используются портативные приборы и проводятся выборочные инструментальные обследования. Наиболее распространенными анализаторами, являются AR5 и AR6 – 128, Энергомонитор, АКЭ-824 – 256 выборок, которые позволяют восстановить аналоговый сигнал частотой 12.8 кГц без искажений и рассчитывать высшие гармонические составляющие вплоть до 128, согласно теореме Котельникова (Найквиста-Шеннона). Невозможность обеспечить протяженные электрические сети необходимым количеством приборов контроля, приводит к снижению качества контроля электроэнергии у потребителей и поддержания на его на нормированном уровне. Новые требования стандарта МЭК 61850, регламентирующие мгновенные значения, позволяют использовать математические модели, применение которых раньше было недоступно из-за ограниченности данных.

Целью работы является разработка математической модели, алгоритма идентификации узла нагрузки и его программная реализация.

Нелинейная нагрузка потребляет электроэнергию из сети и не всегда токи, потребляемые на высших частотах, остаются в элементе сети с нелинейной нагрузкой; часто они выходят за ее пределы. В зависимости от типа нелинейной нагрузки в сеть могут инжектироваться гармонические составляющие тока высших частот. Рост высших гармонических составляющих тока и напряжения, т.е. усиление несинусоидальности кривых тока и напряжения, отрицательно влияет на работу электрооборудования, систем автоматики, релейной защиты, телемеханики и связи. Увеличение уровня несинусоидальности кривых тока и напряжения, в свою очередь, снижает эффективность транспорта электрической энергии, т.е. увеличивает её потери. Математическая модель узла нагрузки позволит детерминировать токи, потребляемые нагрузкой, и позволит получить полное представление об элементе сети в виде вольт-амперной характеристики.

Решению данной проблемы и ее различных аспектов посвящены работы отечественных и зарубежных авторов, таких как: Жежеленко И.В., Железко Ю.С., Гамм А.З., Карташов И.И., Смирнов С.С., Савина Н.В., Коверникова Л.И., Манусов В.З., Содномдож Д., Богатырев Л.Л.,

Воротницкий В.Э., Шидловский А.К., Аррилага Дж. Тем не менее, она продолжает оставаться актуальной, о чем свидетельствуют сохранившиеся противоречия и ряд нерешенных задач.

Объект исследования – Электрические распределительные сети 110 – 220 кВ.

Предмет исследования – нелинейные свойства нагрузки, внутренние связи элементов с нелинейной вольт-амперной характеристикой, высшие гармонические составляющие тока и напряжения.

Цель исследования – Разработать математическую модель узла нагрузки и реализовать программное обеспечение для расчета узла нагрузки электрической сети цифровой подстанции, включающее идентификацию параметров несинусоидального входного сигнала и позволяющее определить, для нелинейной нагрузки, искажения формы кривой тока и напряжения, вносимые в систему.

Задачи исследования:

1. Исследовать электрические сети и системы в аспекте режимов их работы.
2. Разработать математическую модель узла нагрузки.
3. Осуществить алгоритмизацию процедуры идентификации параметров узла нагрузки и ее программную реализацию.
4. Использовать созданную программу для оценки уровней искажений в электрических сетях.

Методы исследований:

При решении задач, поставленных в настоящей работе, использованы: матричный метод, методы математической статистики, математическое моделирование, метод алгоритмизации и программирования, вычислительный эксперимент.

Достоверность результатов и выводов обеспечивалась продуктами: Microsoft Office Excel, для статистической обработки данных; язык программирования Matlab, на котором реализована математическая модель и алгоритм идентификации.

Научная новизна:

К элементам новизны относятся:

1. Функциональная модель узла нагрузки.
2. Математическая модель узла нагрузки.
3. Алгоритм идентификации параметров узла нагрузки.

Теоретическая значимость работы:

Разработанные модели и алгоритм позволяют использовать выходные данные модели для решения следующих актуальных задач:

1. моделирование несинусоидальных и несимметричных режимов электрических систем и сетей с нелинейными нагрузками;
2. расчет показателей качества электроэнергии;
3. расчет основных и добавочных потерь электрической энергии;

4. оценка вклада узла нелинейной нагрузки сложной электрической сети в отклонения показателей качества напряжения от нормативных значений.

Практическая значимость работы:

1. Разработанное программное обеспечение пригодно для анализа качества электрической энергии в реальных электрических сетях.

2. Применение программного обеспечения позволяет получать вольт-амперные характеристики активного и реактивного элемента электрической сети.

3. Предлагаемая модель и алгоритм идентификации параметров узла нагрузки позволяют выявлять «узкие» места в электрической сети, снижающие качество электрической энергии.

Апробация работы. Результаты работы по теме диссертации были представлены на международных конференциях:

1. 11th International forum on strategic technology (IFOST), Novosibirsk, Russia, 2016;

2. Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), Varna, Bulgaria, 2016;

3. SEWAN Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития, Томск, Россия, 2018.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 2 из перечня ВАК, 1 из базы данных Scopus и 1 из базы данных Web of Science.