

Исследования и разработка экспериментальных образцов серии устройств отбора мощности от линий электропередачи 110–500 кВ

Работа проведена в 2019 г. в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» в период с 9 января 2019 г. по 31 декабря 2019 г.

Соглашение о предоставлении субсидии № ЭБ 075-15-2019-911 от 31.05.2019 (внутренний номер соглашения № 14.577.21.0243), (Этап 3).

Уникальный идентификатор соглашения: RFMEFI57717X0243.

Научный руководитель проекта: заведующий кафедрой ТЭВН, к.т.н., доц. Хренов Сергей Иванович.

Ответственный исполнитель: н.с. кафедры ТЭВН Константинова Анна Юрьевна.

1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Разработка и экспериментальная апробация серии устройств отбора мощности от линий электропередачи 110–500 кВ с возможностью применения в двустороннем режиме передачи электроэнергии и регулирования напряжения на стороне потребителей.

2. Основные результаты ПНИЭР

В 2019 году в рамках 3 этапа в период с 9 января 2019 г. по 31 декабря 2019 г. выполнены следующие работы.

За счет средств субсидии:

1. Разработана программа и методика исследовательских испытаний экспериментальных образцов УОМ 60-110/0,4 и УОМ 60-330/0,4 с высоким коэффициентом использования электрического поля.

2. Проведены исследовательские испытания экспериментальных образцов УОМ 60-110/0,4 и УОМ 60-330/0,4.

3. Выполнены обработка и анализ результатов исследовательских испытаний работы экспериментальных образцов УОМ 60-110/0,4 и УОМ 60-330/0,4.

4. Разработана программа и методика исследовательских испытаний экспериментальных образцов УОМ 100-110/10, УОМ 160-110/10 и УОМ 60-500/0,4.

5. Проведены исследовательские испытания экспериментальных образцов УОМ 100-110/10, УОМ 160-110/10 и УОМ 60-500/0,4.

6. Выполнены анализ и обобщение результатов исследовательских испытаний экспериментальных образцов УОМ 100-110/10, УОМ 160-110/10 и УОМ 60-500/0,4, проведено сравнение с характеристиками ближайших отечественных и зарубежных аналогов.

За счет собственных средств получателя субсидии:

7. Выполнен расчет конструкций экспериментальных образцов УОМ 100-110/10, УОМ 160-110/10 и УОМ 60-500/0,4.

8. Разработана эскизная конструкторская документация на изготовление экспериментальных образцов УОМ 100-110/10, УОМ 160-110/10 и УОМ 60-500/0,4.

9. Разработаны Методические рекомендации по проектированию электрических сетей с устройствами отбора мощности от линий электропередачи 110–500 кВ.

10. Сделаны обобщения и выводы по результатам ПНИЭР.

11. Разработаны технические требования и предложения по разработке и производству продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера.

12. Разработан проект технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка комплекта конструкторской и технологической документации, изготовление

и испытание опытных образцов для постановки на производство серии устройств отбора мощности от линий электропередачи 110–500 кВ с номинальной мощностью 100 кВА».

За счет средств индустриального партнера:

13. Проведена закупка технологического оборудования для изготовления экспериментальных образцов УОМ.

14. Проведена закупка материалов для изготовления экспериментальных образцов УОМ.

15. Изготовлены экспериментальные образцы УОМ 60-110/0,4 и УОМ 60-330/0,4.

16. Изготовлены экспериментальные образцы УОМ 100-110/10, УОМ 160-110/10 и УОМ 60-500/0,4.

При этом были получены следующие результаты.

Разработана структурная схема устройства отбора мощности (УОМ), сформулированы требования к электрическим и функциональным параметрам устройства, разработаны метод расчета его основных параметров и имитационная компьютерная модель, позволившие выработать конструктивно-техническое решение, обеспечивающее максимальный коэффициент использования материалов и оптимальные технические характеристики трансформатора, составляющего основу устройства отбора мощности.

Для устройств отбора мощности напряжением 220 кВ и выше разработан принцип организации каскадной конструкции с различающимися сечениями проводов уравнивающих обмоток. Разработанный подход к выбору сечений внешних и внутренних уравнивающих обмоток обеспечивает их минимальный радиальный размер, что приводит к сокращению каналов рассеяния обмоток и, как следствие, к уменьшению напряжения короткого замыкания устройства, что в итоге приводит к повышению номинальной мощности. Патентные исследования подтвердили новизну предлагаемых решений.

Для разработки конструкций УОМ с высоким коэффициентом использования электрического поля на основе теоретических исследований разрядных процессов в комбинированной изоляции, разработки их физико-математических моделей и проведения экспериментальных исследований на макетах разработаны уточненные критерии длительной и кратковременной электрической прочности изоляционных узлов. На их основе разработана методика расчета изоляции УОМ посредством трехмерного компьютерного моделирования электрических полей, обеспечивающая минимальные массо-габаритные показатели при полном соответствии техническим требованиям.

По результатам компьютерного моделирования и исследовательских испытаний впервые в мировой практике получены данные по воздействиям на изоляцию УОМ и оборудования, подключенного к его вторичным обмоткам, возникающим при грозовых и высокочастотных перенапряжениях. Исследованы резонансные свойства обмоток УОМ и установлена необходимость учета резонансных перенапряжений при коммутациях во внешней схеме.

По результатам экспериментальных исследований скорректированы компьютерные модели УОМ, используемые для конструирования активных частей с учетом распределения воздействий грозовых и высокочастотных перенапряжений по элементам обмоток и обеспечивающие максимально возможное значение коэффициента использования изоляции.

Результаты проведенных исследований были применены в расчетах конструкций экспериментальных образцов УОМ и обеспечили получение новых технических решений с подачей заявок на их правовую охрану.

Изготовлены и успешно испытаны 7 экспериментальных образцов устройств отбора мощности: УОМ 20-110/0,4; УОМ 20-220/10; УОМ 60-110/0,4; УОМ 60-330/0,4; УОМ 100-110/10; УОМ 160-110/10 и УОМ 60-500/0,4.

По результатам исследований опубликованы 3 статьи.

1. Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Ларин В.С., Матвеев Д.А., Никулов И.И., Хренов С.И. Применение дуальных схем для моделирования электромагнитных процессов в каскадных трансформаторах отбора мощности / Электротехника, № 8, 2019, стр. 35–40

Using Dual Circuits to Simulate Electromagnetic Processes in Cascade Station Service Voltage Transformers. Zhuikov A.V., Kubatkin M.A., Larin V.S., Matveev D.A., Nikulov I.I., Khrenov S.I. / Russian Electrical Engineering, Volume 90, Issue 8, 1 August 2019, Pages 579–584

DOI: 10.3103/S1068371219080121

2. Ларин В.С., Матвеев Д.А. Расчетно-экспериментальная оценка напряжений на продольной изоляции обмоток трансформаторов отбора мощности при резонансных перенапряжениях / Электротехника, № 8, 2019, стр. 40–46

Calculation and Experimental Assessment of the Voltages on the Longitudinal Insulation of the Windings of Station Service Voltage Transformers under Resonant Overvoltages. Larin V.S., Matveev D.A. / Russian Electrical Engineering, Volume 90, Issue 8, 1 August 2019, Pages 585–590

DOI: 10.3103/S1068371219080078

3. Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Ларин В.С., Матвеев Д.А., Никулов И.И. К определению индуктивностей рассеяния обмоток трансформаторов / Электротехника, № 8, 2019, стр. 46–53

On Determination of Leakage Inductances of Transformer Windings. Zhuikov A.V., Kubatkin M.A., Larin V.S., Matveev D.A., Nikulov I.I. / Russian Electrical Engineering, Volume 90, Issue 8, 1 August 2019, Pages 591–598

DOI: 10.3103/S1068371219080133

Проведена популяризация результатов ПНИЭР на следующих мероприятиях.

1. Всероссийская научно-практическая конференция «Режимы нейтрали. Ограничение перенапряжений. Релейная защита. 2019», 17–19 апреля 2019 г., г. Екатеринбург.

Доклад «Перспективы применения трансформаторов отбора мощности 110–220 кВ для электроснабжения удаленных потребителей». Быкова А.М., Жуйков А.В., Константинова А.Ю., Кубаткин М.А., Ларин В.С., Матвеев Д.А., Никулов И.И.

2. Научно-технической конференции «Инновационные решения и современные технологии эксплуатации трансформаторного оборудования высокого напряжения», 25–26 июня 2019 г., г. Санкт-Петербург.

Доклад «Технические и конструктивные особенности трансформаторов отбора мощности – нового оборудования для электроснабжения удаленных потребителей». Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Ларин В.С., Матвеев Д.А., Никулов И.И.

По результатам исследований поданы 3 патентные заявки.

1. Изобретение «Устройство для определения электрической прочности», РФ. Быкова А.М., Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Матвеев Д.А., Никулов И.И. Заявка № 2019143010 от 23.12.2019 г.

2. Изобретение «Трансформатор отбора мощности», РФ. Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Ларин В.С., Матвеев Д.А., Никулов И.И. Заявка № 2019144189 от 26.12.2018 г.

3. Изобретение «Устройство регистрации гистерезисных петель», РФ. Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Матвеев Д.А., Никулов И.И. Заявка № 2019144192 от 26.12.2018 г.

При проведении исследований использовано оборудование уникальной научной установки «Имитационно-натурный комплекс «Интеллектуальная электроэнергетическая система» (базовая организация: ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ») – измеритель показателей качества электрической энергии «Ресурс UF2M».

Коммерциализация полученных результатов осуществляется в форме поставки электросетевым компаниям разрабатываемого оборудования для обеспечения отбора мощности от воздушных линий электропередачи 110–500 кВ. При этом электросетевыми компаниями решаются задачи:

- снижения затрат на обеспечение резервного питания систем собственных нужд (рынок сбыта: строящиеся и реконструируемые распределительные подстанции 110–500 кВ);

- снижение затрат на обеспечение питания переключательных пунктов (рынок сбыта: строящиеся и реконструируемые переключательные пункты 110–500 кВ);

- снижение расходов на потери электроэнергии и ущерб от ее недоотпуска.

В контексте федерального бюджета обеспечивается снижение затрат на организацию социальных проектов по обеспечению пунктов мобильного электроснабжения, в частности для организации пунктов питания и медицины катастроф.

Предприятие–индустриальный партнер АО «РЭТЗ Энергия» по окончании разработки и стандартизации технического решения планирует вывести на рынок инновационные устройства отбора мощности для сетей 110–500 кВ, прямых аналогов которым на сегодняшний день в Российской Федерации нет. Это дает основания считать, что АО «РЭТЗ Энергия» сможет занять не менее 50% российского рынка, что в количественном выражении составит около 100 шт. в год при планируемой стоимости устройств в зависимости от номинального напряжения и мощности 500–5000 тысяч рублей за 1 шт.

В целях коммерциализации (практического использования) результатов интеллектуальной (научно-технической) деятельности, полученных в рамках проекта, между ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» и АО «РЭТЗ Энергия» заключены лицензионные договора на полученные в рамках выполнения проекта результаты интеллектуальной деятельности:

- 1) лицензионный договор № 18-18 от 12.12.2018 о передаче права на использование патента РФ на полезную модель «Каскадный трансформатор напряжения» № 179354 от 11.05.2018;

- 2) лицензионный договор № 6-19 от 20.09.2019 о передаче права на использование патента РФ на полезную модель «Трансформатор отбора мощности» № 188482 от 16.04.2019;

- 3) лицензионный договор № 7-19 от 20.09.2019 о передаче права на использование патента РФ на полезную модель «Каскадный трансформатор отбора мощности» № 189077 от 13.05.2019.

3. Область применения результатов ПНИЭР. Оценка элементов новизны полученных результатов работ.

Разрабатываемые устройства отбора мощности предназначены для прямого подключения к воздушным линиям электропередачи 110–500 кВ и трансформации мощности до напряжения потребителя без дополнительных ступеней трансформации, характерных для традиционных технических решений.

Результаты проекта призваны обеспечить повышение доступности электроэнергии и снижение затрат в электроэнергетической отрасли на:

- питание интеллектуальных систем энергоснабжения и потребления;

- питание сетей собственных нужд (СН) объектов подстанций 110–500 кВ, возобновляемой энергетики, переключательных подстанций;

- питание удаленных потребителей;

- выдачу мощности в сеть при распределенной генерации;

и в других отраслях:

- на вышках сотовой связи и телекоммуникаций;

- в мобильных сетях при строительстве удаленных объектов;
- для насосных и нефтеперекачивающих станций;
- при ликвидации катастроф.

Каскадная конструкция устройства отбора мощности с различающимися сечениями проводов уравнительных обмоток разработана впервые в мире.

4. Оценка перспектив продолжения работ по проекту

Все обозначенные в Плане-графике работы по этапу 3 выполнены в полном объеме. Полученные результаты полностью соответствуют требованиям технического задания.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.