

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

Работа проведена в 2018 г. в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» в период с 09 января 2018 г. по 29 декабря 2018 г.

Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0243 от 26 сентября 2017 г. (Этап 2).

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 2018 году в рамках 2 этапа в период с 09 января 2018 г. по 29 декабря 2018 г. выполнены следующие работы.

За счет средств субсидии:

1. Проведены теоретические исследования разрядных процессов в комбинированной изоляции, разработаны их физико-математические модели.
2. Разработаны критерии длительной и кратковременной электрической прочности изоляционных узлов УОМ на основе физико-математических моделей.
3. Разработана эскизная конструкторская документация на изготовление макетов изоляционных узлов УОМ для исследования их электрической прочности.
4. Разработана Программа и методика исследовательских испытаний макетов изоляционных узлов УОМ.
5. Проведены исследовательские испытания макетов изоляционных узлов УОМ.
6. Выполнен анализ результатов исследовательских испытаний макетов изоляционных узлов УОМ, уточнены критерии длительной и кратковременной прочности изоляции.
7. Выполнен расчет конструкции экспериментального образца УОМ 20-220/10.
8. Разработана компьютерная модель экспериментального образца УОМ 20-220/10 для анализа грозовых и высокочастотных перенапряжений в программе расчета импульсных перенапряжений в обмотках трансформаторов и реакторов «ТТ».
9. Проведено исследование работы экспериментального образца УОМ 20-220/10 в условиях грозовых и высокочастотных перенапряжений с помощью компьютерной модели экспериментального образца УОМ 20-220/10 для анализа грозовых и высокочастотных перенапряжений в программе «ТТ».
10. Проведено расчетное исследование с использованием трехмерных компьютерных моделей электрических полей в изоляционных узлах УОМ и определены направления оптимизации конструкции.
11. Разработана методика расчета изоляции УОМ посредством трехмерного компьютерного моделирования электрических полей и применения критериев длительной и кратковременной электрической прочности.

За счет собственных средств получателя субсидии:

12. Разработана программа и методика исследовательских испытаний экспериментального образца УОМ 20-110/0,4.
13. Проведены исследовательские испытания экспериментального образца УОМ 20-

110/0,4.

14. Выполнен анализ результатов исследовательских испытаний экспериментального образца УОМ-20-110/0,4, проведена корректировка имитационных моделей и методов расчета основных электрических параметров УОМ.

15. Разработана эскизная конструкторская документация на изготовление экспериментального образца УОМ 20-220/10.

16. Разработана Программа и методика исследовательских испытаний экспериментального образца УОМ 20-220/10 при воздействии грозовых и высокочастотных перенапряжений.

17. Разработана эскизная конструкторская документация на изготовление испытательного стенда для исследования технических характеристик экспериментальных образцов УОМ.

18. Проведены исследовательские испытания работы экспериментального образца УОМ 20-220/10 при воздействии грозовых и высокочастотных перенапряжений.

19. Выполнены обработка и анализ результатов исследовательских испытаний работы экспериментального образца УОМ 20-220/10 при воздействии грозовых и высокочастотных перенапряжений.

20. Проведена корректировка компьютерной модели экспериментального образца УОМ 20-220/10 для анализа грозовых и высокочастотных перенапряжений в программе «ТТ».

21. Выполнен расчет конструкций экспериментальных образцов УОМ 60-110/0,4 и УОМ 60-330/0,4 с высоким коэффициентом использования электрического поля.

22. Разработана эскизная конструкторская документация на изготовление экспериментальных образцов УОМ 60-110/0,4 и УОМ 60-330/0,4.

За счет средств индустриального партнера:

23. Проведена закупка испытательного и технологического оборудования для изготовления и испытаний экспериментальных образцов УОМ.

24. Проведена закупка материалов для изготовления экспериментальных образцов УОМ.

25. Изготовлен экспериментальный образец УОМ 20-110/0,4.

26. Изготовлены макеты изоляционных узлов УОМ.

27. Изготовлен экспериментальный образец УОМ 20-220/10.

28. Изготовлен испытательный стенд для исследования технических характеристик экспериментальных образцов УОМ.

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 уравнильных обмоток. Разработанный подход к выбору сечений внешних и внутренних уравнильных 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.

По результатам исследований опубликованы 3 статьи.

1. Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Матвеев Д.А., Хренов С.И., Ларин В.С., Никулов И.И. Исследование импульсных перенапряжений в обмотках трансформатора отбора мощности / Электротехника, №5, 2018, стр. 22–26

A.V. Zhuikov, M.A. Kubatkin, D.A. Matveev, S.I. Khrenov, V.S. Larin, I.I. Nikulov. Studying the Impulse Overloads in the Windings of a Station Service Voltage Transformer / Russian Electrical Engineering, 2018, Vol. 89, No. 5, pp. 309–312

DOI: 10.3103/S1068371218050139

2. Ларин В.С., Матвеев Д.А., Жуйков А.В. Исследование наведенных перенапряжений на вторичных обмотках трансформатора отбора мощности / Электротехника, №5, 2018, стр. 27–32

V. S. Larin, D. A. Matveev, A. V. Zhuikov. A Study of Transferred Overvoltages on the Secondary Windings

of Station Service Voltage Transformers / Russian Electrical Engineering, 2018, Vol. 89, No. 5, pp. 313–317

DOI: 10.3103/S106837121805005X

3. Ларин В.С., Матвеев Д.А., Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Никулов И.И. Резонансные перенапряжения в первичной обмотке трансформатора отбора мощности / Электротехника, №8, 2018, стр. 46–52

V. S. Larin, D. A. Matveev, A. V. Zhuikov, M. A. Kubatkin, I. I. Nikulov. Resonance Overvoltages in Primary Winding of a Station Service Voltage Transformer / Russian Electrical Engineering, 2018, Vol. 89, No. 8, pp. 490–495

DOI: 10.3103/S1068371218080072

Проведена популяризация промежуточных результатов ПНИЭР на следующих мероприятиях.

1. XXVIII Международная научно-техническая конференция «Перспективы развития электроэнергетики и высоковольтного электротехнического оборудования. Преобразовательная техника, коммутационные аппараты, микропроцессорные системы управления и защиты», 07-08 ноября 2018 г., г. Москва.

Доклад «Актуальные вопросы применения трансформаторов отбора мощности 110–500 кВ». Матвеев Д.А., Акопян А.Г., Быкова А.М., Кубаткин М.А., Ларин В.С.,

Никулов И.И.

2. XLVIII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы «Федоровские чтения – 2018», 14–16 ноября 2018 г., г. Москва.

Доклад «Перенапряжения в обмотках трансформатора отбора мощности». Кубаткин М.А., Ларин В.С., Матвеев Д.А.

По результатам исследований поданы 2 патентные заявки.

1. Полезная модель «Трансформатор отбора мощности», РФ. Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Матвеев Д.А., Никулов И.И. Заявка № 2018146882 от 27.12.2018 г.

2. Полезная модель «Каскадный трансформатор отбора мощности», РФ. Жуйков А.В., Кубаткин М.А., Матвеев Д.А., Никулов И.И., Ларин В.С., Быкова А.М. Акопян А.Г. Заявка № 2018147272 от 28.12.2018 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 UF2М»

3. Область применения результатов ПНИ. Оценка элементов новизны полученных результатов работ по первому этапу

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 2 выполнены в полном объеме. Полученные результаты полностью соответствуют требованиям технического задания, и позволяют перейти к дальнейшим исследованиям, запланированным на 3 этапе реализации проекта.

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