



Издательский дом «Вся электротехника»

ЭНЕРГОЭКСПЕРТ

информационно-аналитический журнал

ISSN 2075-6518



№ 2 (90)
2024

22 ХРАНИТЕ ЭНЕРГИЮ В НАКОПИТЕЛЬНОМ БАНКЕ

- 40 **Применение кластерного подхода**
при создании цифровых подстанций новой архитектуры
- 44 **Предотвращение излишних срабатываний**
токовых защит нулевой последовательности
при междуфазных КЗ в распредсетях
- 48 **Пилотная эксплуатация**
комплекса волнового ОМП в сети 35 кВ
- 52 **Опыт внедрения схем АВР 10 кВ**
на однострановых подстанциях
с линиями кольцевания
- 55 **Контроль влагосодержания**
в маслонаполненных силовых
трансформаторах
в режиме мониторинга



ПИЛОТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОМПЛЕКСА ВОЛНОВОГО ОМП В СЕТИ 35 кВ

СУВОРОВ А.А., начальник службы автоматизированных систем технологического управления ПАО «Россети Ленэнерго»

БОЙКО О.А., начальник службы релейной защиты и автоматики ПАО «Россети Ленэнерго»

КОЗЛОВ В.Н., к.т.н., главный конструктор ООО «НПП Бреслер»

ЕРМАКОВ К.И., к.т.н., заведующий сектором ОМП ООО «НПП Бреслер»

Описана пилотная эксплуатация комплекса определения места повреждения (ОМП), который был разработан при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР) совместно ПАО «Россети Ленэнерго» и ООО «НПП Бреслер». Уникальность комплекса ОМП заключается в возможности расчета координаты всех видов повреждений в сети с изолированной нейтралью, в том числе однофазных замыканий на землю (ОЗЗ).

Ключевые слова: линия электропередачи, определение места повреждения, короткое замыкание, однофазное замыкание на землю.

В России в режиме изолированной нейтрали работают 70–80 % линий электропередачи (ЛЭП) среднего напряжения 6–35 кВ [1–3]. Для повышения надежности энергоснабжения потребителей допускается работа линий в режиме ОЗЗ. При этом создаются риски поражения электрическим током людей, животных и растений; возникает вероятность возникновения дуги в месте повреждения и целый ряд других сопутствующих отрицательных факторов ОЗЗ.

Нивелировать возникающие проблемы можно быстрым выполнением аварийно-восстановительных работ [4]. Важную роль в этом играет точное определение места повреждения.

Вышесказанное явилось предпосылкой к разработке устройств ОМП при всех видах повреждений для линий с изолированной нейтралью. Поставленная задача была решена при выполнении НИОКР «Разработка микропроцессорного комплекса определения места повреждения при всех видах замыканий на линиях 35 кВ, интегрированного в цифровые активно-адаптивные сети».

Важно отметить основную проблему ОМП линий 6–35 кВ – низкий уровень токов при ОЗЗ, что не позволяет использовать традиционные устройства, основанные на измерении аварийных величин. С их помощью можно определить только междофазные короткие замыкания (КЗ) – двух- и трехфазные. Поэтому определение всех видов по-

вреждений потребовало внедрение новых алгоритмов.

Особенность разработанного комплекса ОМП заключается в совмещении двух принципов ОМП в одном устройстве – по параметрам аварийного режима и волнового.

Метод по параметрам аварийного режима основан на измерении аварийных напряжений и токов в начале линии. С помощью математической модели ЛЭП выполняется оценка аварийных величин в разных точках линии с заданным шагом (рис. 1). Предполагаемым местом повреждения является координата точки, в которой реактивная мощность равна нулю. Данный критерий связан с резистивным характером дуги в месте замыкания [5].

Распространение импульсов электромагнитных волн от точки замыкания к разным концам линии [6] позволяет определить место повреждения (в том числе ОЗЗ) пассивным двухсторонним волновым методом (рис. 2).

Для реализации двухстороннего волнового ОМП могли бы использоваться серийные устройства, которые успешно эксплуатируются на линиях с заземленной нейтралью. Но в этом случае возникает проблема регистрации волны при ОЗЗ, фронт которой получается размытым или может во-

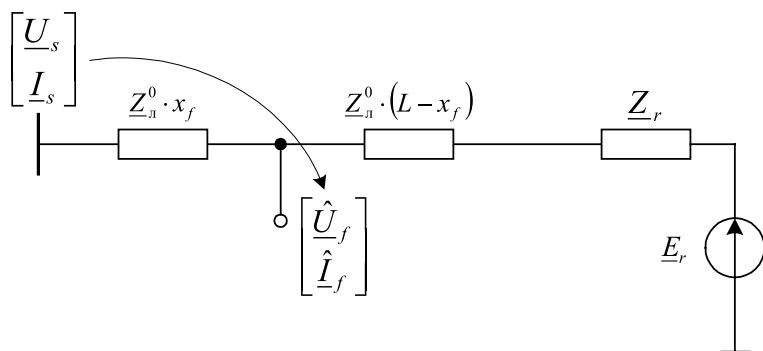


Рис. 1. Одностороннее ОМП по параметрам аварийного режима

все не быть распознанным ввиду малой мощности. В связи с этим одной из основных задач НИОКР была адаптация волновых алгоритмов к линиям с изолированной нейтралью.

Для выделения фронта волны использовались высокочастотные датчики, позволяющие регистрировать импульсные сигналы в мегагерцовом диапазоне частот. Были рассмотрены датчики частичных разрядов, устанавливаемые во вторичной цепи измерений, а также датчики конденсаторного типа, подключенные к первичной стороне ЛЭП. Подробное описание и сравнительный анализ сигналов волны разных датчиков приведен в [7, 8].

В 2019 г. введены в опытно-промышленную эксплуатацию три комплекта опытных образцов волнового ОМП на электросетевых объектах ПАО «Россети Ленэнерго». Устройства были уста-

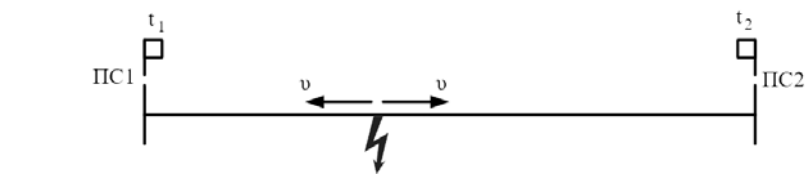


Рис. 2. Пассивное двухстороннее волновое ОМП

новлены на шести подстанциях и контролировали шесть линий 35 кВ (рис. 3).

В 2020 г. успешно выполнены натурные испытания с имитацией искусственного ОЗЗ на одной из ЛЭП. Для этого на линии, находящейся под нагрузкой, замыкался выключатель проходной подстанции, одна из фаз которого была заземлена. В момент коммутации создавалось искусственное ОЗЗ. Опыт повторялся на разных фазах, точность волнового ОМП составила 200–400 м.

В период 2020–2023 гг. на этих же объектах проходила пилотная эксплу-

атация, основная цель которой был мониторинг повреждений контролируемых линий, сбор информации и анализ работы опытных образцов. Поведение устройств регистрировалось в журналах учета пилотной эксплуатации, на основании которых можно сделать вывод, что комплексы ОМП исправно фиксировали однофазные и междуфазные замыкания и выводили результаты на экраны устройств, работали без программных и аппаратных сбоев. Точность ОМП для разных аварийных событий за время пилотной эксплуатации составила 300–600 м.

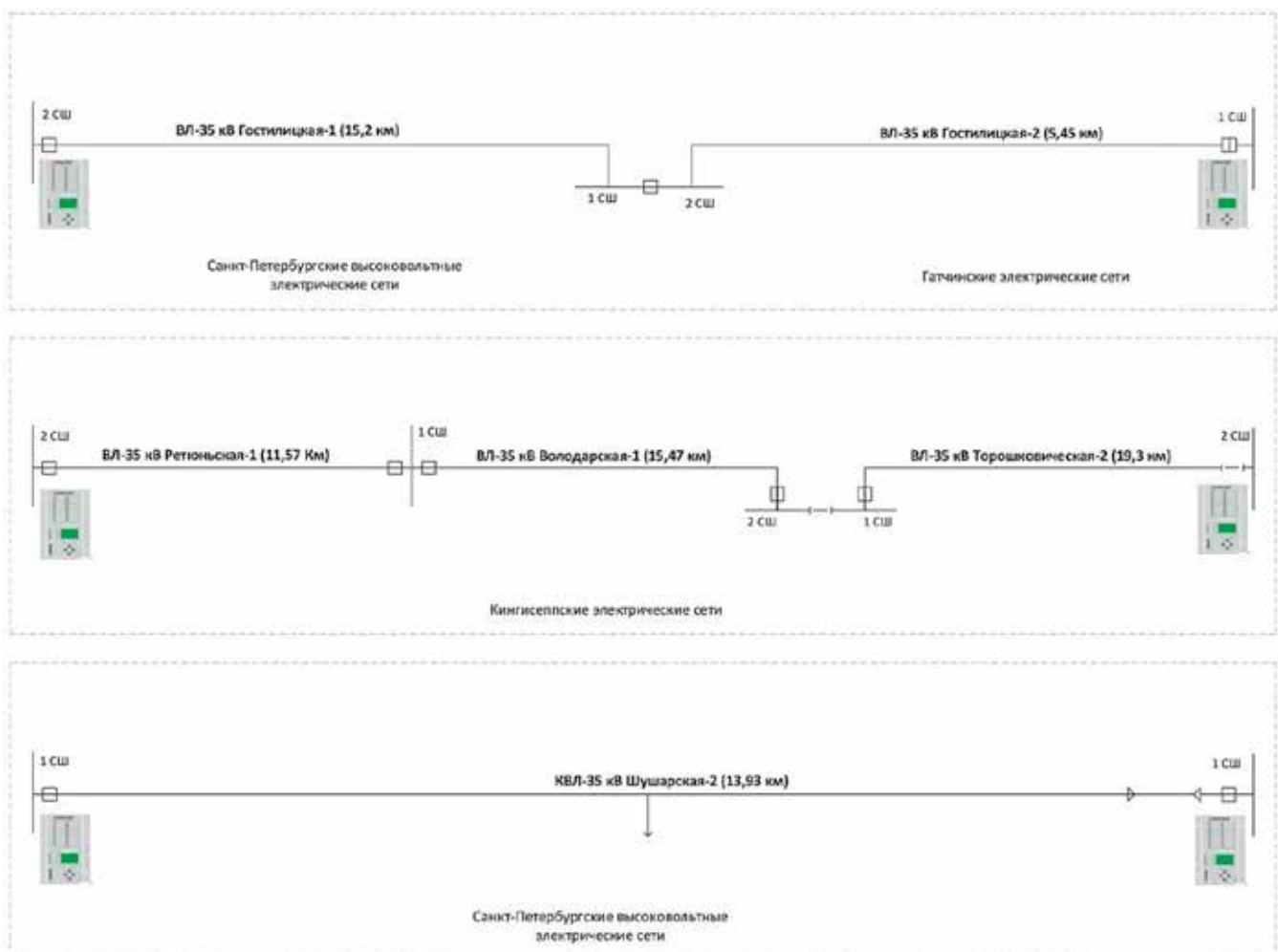


Рис. 3. Распределение устройств ОМП по объектам



Рис. 4. Эффект применения высокочастотных датчиков частичных разрядов для регистрации аварийной волны

На рис. 4 на реальных аварийных осциллограммах показан эффект, который был достигнут в вопросе регистрации электромагнитной волны с помощью датчиков частичных разрядов.

Красным цветом изображен сигнал, зарегистрированный в цепях трансформаторов тока при ОЗЗ. Такой способ может быть использован для линий с заземленной нейтралью, но на линиях 35 кВ фронт волны слабо выражен и не позволяет выполнить точный волновой расчет.

Зеленым цветом показан сигнал, который зафиксирован с помощью высокочастотного датчика частичных разрядов. Очевидно, что фронт волны выражен гораздо лучше, чем в сигнале красного цвета. Это дает возможность расширить область применения

волновых методов благодаря их эксплуатации на линиях с изолированной нейтралью.

Отметим также другие функциональные возможности комплексов ОМП, которые были подтверждены при выполнении пилотной эксплуатации:

- при междуфазных КЗ зафиксирована работа методов по параметрам аварийного режима. Волновой метод функционировал при всех видах повреждений – КЗ и ОЗЗ. Сочетание разных алгоритмов увеличивает точность и надёжность системы ОМП;
- подтверждена работа устройств ОМП на линиях со сложной конфигурацией – с кабельными вставками, с ответвлениями (в том числе с тяговой нагрузкой), а также на транзитах, образованных объединением нескольких линий;

- предоставлена возможность верификации автоматического расчета в специализированном программном комплексе. С его помощью можно повысить точность ОМП за счет выбора сигнала, в котором волна распознаётся лучше, а также за счет уточнения моментов времени начала аварийной волны;

- для повышения точности волнового ОМП предложены способы уточнения фактической длины линии и скорости волны по аварийным событиям с достоверно найденными координатами повреждений [9]. Реализована возможность учета волновых параметров в терминалах;

- устройства ОМП интегрированы по цифровым каналам связи в систему сбора и передачи информации (ССПИ), с помощью которой осуществляется удалённый мониторинг устройств.

На рис. 5 изображено окно программы мониторинга для одного из аварийных событий с волновым расчётом координаты ОЗЗ. Точность ОМП в данном случае составила 565 м.

В конце 2018 года в ПАО «Россети Ленэнерго» был реализован проект по созданию системы сбора и передачи данных с установленных устройств ОМП различных производителей. Опытные устройства волнового ОМП были интегрированы в общую систему сбора и передачи данных. В целях сокращения затрат и времени на поиск мест повреждений на линиях 110 кВ была создана централизованная система мониторинга и анализа

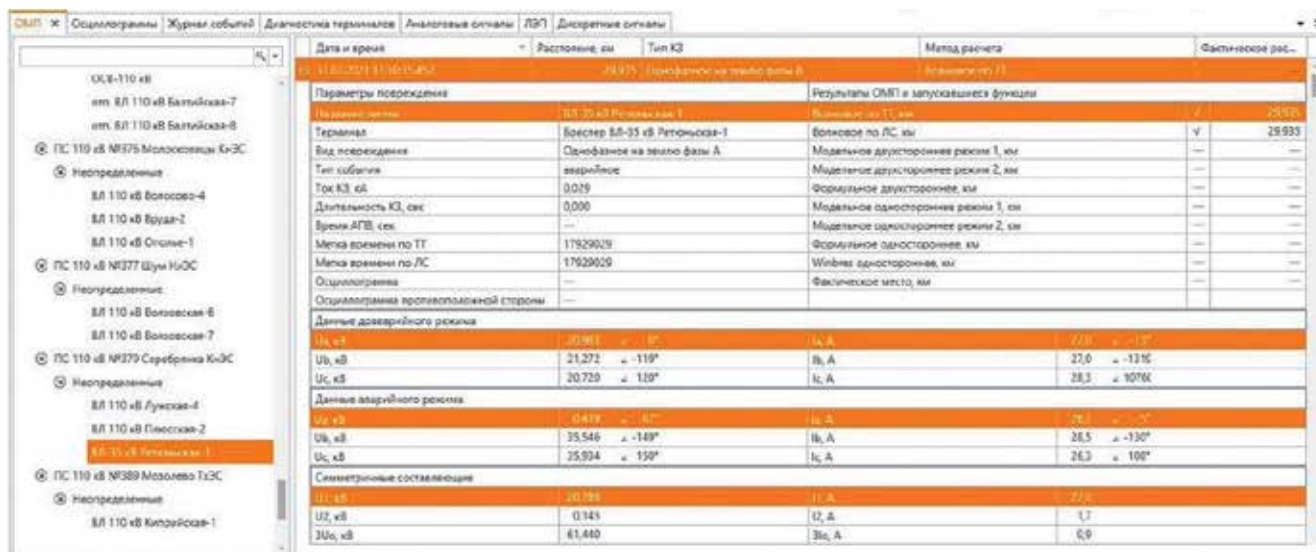


Рис. 5. Система удалённого мониторинга устройств ОМП

данных с устройств ОМП, позволяющая в режиме реального времени получать необходимую информацию и оперативно осуществлять почтовую и СМС-рассылку сообщений о возникающих технологических нарушениях со следующей информацией: дата и время повреждения, название подстанции, вид замыкания, повреждённые фазы, координата повреждения, длительность повреждения и аварийные величины.

Последующая эксплуатация показала эффективность данной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении НИОКР ПАО «Россети Ленэнерго» и ООО «НПП Бреслер» удалось разработать комплекс ОМП при всех видах замыканий в сетях с изолированной нейтралью. Особенность комплекса заключается в реализации в одном устройстве нескольких алгоритмов – по аварийным величинам и волнового. Для регистрации волны малой мощности при ОЗЗ были использованы высокочастотные датчики.

Опытные образцы с положительной оценкой завершили пилотную эксплуатацию, которая длилась в период 2020–2023 гг. В настоящее время устройства ОМП (рис. 6–9) готовы к серийному производству. Результаты НИОКР будут применены при развитии существующей системы сбора и передачи данных с устройств ОМП ПАО «Россети Ленэнерго».

ЛИТЕРАТУРА

1. Титенков С.С., Пугачев А.А. Режимы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю // Энергоэксперт. – 2010. – № 2. – С. 36–43.
2. Телегин А.В., Ширковец А.И. Проблематика замыканий на землю и режим заземления нейтрали в сетях среднего напряжения стран Европы и Америки // Релейная защита и автоматика. – 2012. – № 3 (08). – С. 30–39.
3. Назарычев А.Н., Титенков С.С., Пугачев А.А. Комплексные инновационные решения по заземлению нейтрали в сетях 6–35 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2016. – № 3 (36). – С. 40–46.
4. Ермаков К.И. Совершенствование методов и средств определения места



Рис. 6–9. Микропроцессорный комплекс определения места повреждения при всех видах замыканий на линиях 35 кВ

повреждения на линиях электропередачи для организации аварийно-восстановительных работ: дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Ермаков Константин Игоревич. – Чебоксары, 2022. – 209 с.

5. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях: Учебное пособие. Иваново: ИГЭУ, 1998. 74 с.
6. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. М.: Энергоиздат, 1982. 312 с.
7. Булычев А.В., Ермаков К.И., Козлов В.Н., Михеев К.А., Бойко О.А. Волновой метод определения мест повреждения на ВЛ 35 кВ. Сравнительный анализ датчиков волны // Новости электротехники. – 2020. – № 6 (126). – С. 22–23.

8. Бойко О.А., Ермаков К.И., Кирюшин М.И. Разработка микропроцессорного комплекса определения места повреждения при всех видах замыканий на линиях 35 кВ, интегрированного в цифровые активно – адаптивные сети // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие топливно-энергетической и добывающей отраслей 2021 года. – 2021. – С. 194–196.
9. Козлов В.Н., Ермаков К.И., Кирюшин М.И., Шашкий А.В. Повышение точности волновых методов ОМП высоковольтных ЛЭП // Энергия единой сети. – 2022. – № 5–6 (66–67). – С. 26–34.