ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ. ВОЛНОВОЙ МЕТОД ДВУСТОРОННИХ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

АВТОРЫ:

В.Ф. ЛАЧУГИН,
Д.Т.Н.,
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. Г.М. КРЖИЖАНОВСКОГО» (ОАО «ЭНИН»)

Д.И. ПАНФИЛОВ,
Д.Т.Н.,
ОАО «ЭНИН»

А.Н. СМИРНОВ,
К.Т.Н.,
ОАО «ЭНИН»

П.С. ПЛАТОНОВ,
ОАО «ЭНИН»

Важным фактором для быстрого устранения последствий повреждений воздушных линий электропередач (ВЛ) является точное дистанционное определение места повреждения, что позволяет уменьшить зону обхода ВЛ оперативно-ремонтным персоналом электрических сетей. Точность определения места повреждения ВЛ особенно важна, если на элементах ВЛ отсутствуют видимые следы пробоя, не позволяющие достоверно определить место повреждения при осмотре ВЛ. Волновые методы двусторонних измерений являются одним из наиболее точных средств определения мест повреждения воздушных линий электропередачи. Использование таких методов позволяет существенно сократить время поиска поврежденного элемента воздушной линии.

Ключевые слова: определение места повреждения; воздушные линии; волновой метод; синхронизированные двусторонние измерения; спутниковая связь.

Работа электриков в Ленинградской области

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛНОВЫХ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Волновые методы двусторонних измерений [1] основаны на измерении времени между моментами достижения концов воздушных линий электропередач (ВЛ) фронтами электромагнитных волн, возникших в месте короткого замыкания (КЗ). При длине *L* линии, скорости v распространения волны, разности времени *Δt* достижения фронтами волн одного и второго концов ВЛ расстояние *l* от точки контроля до места повреждения соответствует:

$$l = \frac{L}{2} - \frac{\Delta t}{2} \cdot v \qquad (1)$$

Необходимым условием реализации метода является синхронный отсчет времени на двух концах ВЛ. Волновые методы широко применяются в США, Китае, Канаде, Южной Африке и характеризуются высокой точностью определения места повреждения (ОМП) (150–500 м), что определяется слабой зависимостью контролируемых величин от режима работы электрической сети, величины переходного сопротивления в месте КЗ и вида КЗ [2]. Характеристики современных технических решений ОМП ряда производителей [3–8], реализуемые волновым методом, приведены в табл. 1.

На точность метода оказывают влияние погрешности синхронизации устройств, способы определения скорости распространения электромагнитной волны, точность измерения времени прихода электромагнитной волны, а также внешние электромагнитные помехи. Эффективность волнового метода двусторонних измерений связана с особенностями синхронизации измерений по концам линии. Развитие спутниковых радионавигационных систем (СРНС), таких как GPS и ГЛОНАСС, позволило повысить степень синхронизации измерений со шкалой всемирного координированного времени UTC.

ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

При разработке способа ОМП использованы преимущества преобразования фазных токов и напряжений ВЛ в токи и напряжения волновых каналов [9] по выражениям:

$$U_m = T_u^{-1} x\, U_{ph}, \qquad (2)$$

$$I_m = T_i^{-1} x\, I_{ph}, \qquad (3)$$

где U_m и I_m — матрицы-столбцы модальных напряжений и токов ВЛ, U_{ph} и I_{ph} — матрицы-столбцы фазных напряжений и токов ВЛ.

Матрицы преобразований токов T_i и напряжений T_u зависят от геометрии расположения и марки проводов ВЛ, их удаленности от поверхности земли и от удельной проводимости земли. Места нарушения однородности ВЛ, такие как транспозиция и в большей степени — ответвления от линии, оказывают влияние на распространение волн. Однако они не искажают форму фронта волны, что позволяет эффективно использовать волновые каналы при практической реализации. Поскольку нулевой канал имеет более высокую степень затухания, для получения волны, наиболее приближенной по форме к волне в месте повреждения, целесообразно применение междуфазных волновых каналов.

Использование высокой частоты дискретизации входных сигналов токов и напряжений линий для наиболее точного определения фронта волны требует весьма широкой полосы пропускания частот с минимальными искажениями. Применяемые трансформаторы напряжения (ТН) и трансформаторы тока (ТТ) проектируются для измерения сигналов промышленной частоты. Как показали исследования [10], ТТ имеют погрешности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не более 5%, а фазо-частотной характеристики (ФЧХ) — не более 10 градусов в диапазоне до 500 кГц. Метрологические погрешности ТН существенно возрастают в полосе частот, превышающих 5 кГц. Однако волновой метод можно успешно применять раздельно по токам и по напряжениям, либо совместно. Это позволит при реализации ОМП волновым методом использовать серийно выпускаемые ТТ и ТН.

Для уменьшения влияния отраженных волн производится определение напряжения падающей волны для волновых каналов [11] по выражению:

$$U_{пад} = \frac{U_m + Z_m \times I_m}{2}, \qquad (4)$$

где Z_m — величина, характеризующая сопротивление волнового канала, U_m и I_m — напряжение и ток в точке контроля. Контроль напряжения падающей волны позволяет ограничить зависимость ОМП от изменения сопротивления в энергосистеме,

№	Наименование	Способ ОМП	Погрешность ОМП, указанная производителем
1	Qualitrol IDM+ 9 (IDM+18, IDM+36) (США)	Метод по параметрам аварийного режима, волновой метод двусторонних измерений	± 150 м
2	Qualitrol FL-1 (FL-8) (США)	Волновой метод двусторонних измерений	± 60 м
3	Qualitrol TWS Mk VI (США)	Волновой метод двусторонних измерений	± 150 м
4	ISA TFS 2100 (Италия)	Волновой метод двусторонних измерений, волновой метод односторонних измерений	± 50 м
5	Alstom Reason/RPV-310 (Франция)	Односторонний метод по параметрам аварийного режима, волновой метод двусторонних измерений	—
6	Бреслер-0107.090 (Россия)	Односторонний и двусторонний по параметрам аварийного режима, волновой метод двусторонних измерений	3% (односторонний по параметрам аварийного режима), 1% (двусторонний по параметрам аварийного режима), ± 150 — ± 450 м (волновой метод двусторонних измерений)
7	HPR-7000 (Китай)	Волновой метод двусторонних измерений, метод по параметрам аварийного режима	—

Таблица 1

примыкающей к ВЛ, и отрицательного воздействия повторных волн, способных исказить достоверность процесса измерения.

Составляющие токов и напряжений волновых каналов при повреждениях отстраиваются от токов и напряжений режима, предшествующего повреждению, путем, например, вычисления в темпе процесса разности значений электрических величин, разделенных интервалом, кратным периоду промышленной частоты *T*, в соответствии с выражением:

$$U_{ac}(t)=U_{пад}(t) - U_{пад}(t-T), \qquad (5)$$

где *t* — текущее время.

Точность определения фронта волны во многом зависит от используемого математического аппарата. В последние годы за счет внедрения микропроцессоров, способных регистрировать и обрабатывать переходный процесс с интервалом дискретизации порядка единиц и десятков микросекунд, особое внимание было уделено алгоритмическому обеспечению функционирования микропроцессорных устройств ОМП с помощью современных математических методов обработки сигналов тока и напряжения электрической сети. Наиболее распространенным среди них является метод преобразования Фурье. Однако он не приспособлен для анализа высокочастотных переходных процессов из-за того [12], что гармонические базисные функции в принципе не могут отображать перепады сигналов с бесконечной крутизной типа прямоугольных импульсов, так как это требует бесконечно большого числа членов ряда.

ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН В ТОКЕ ФАЗЫ А

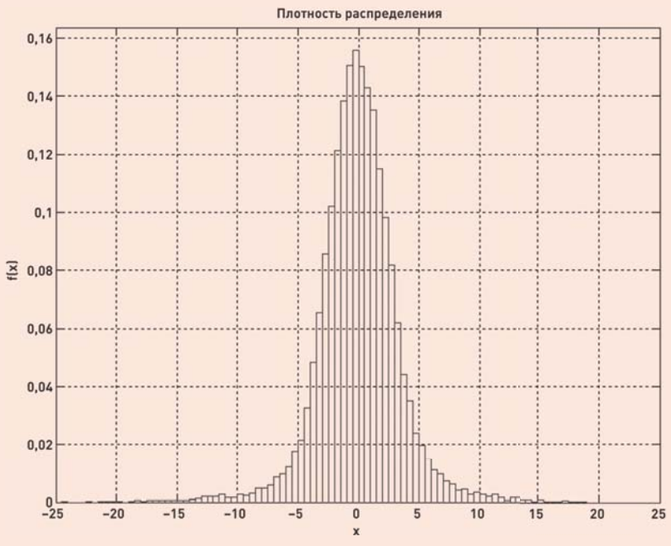

Рис. 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРОНТА ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКСЦЕССА

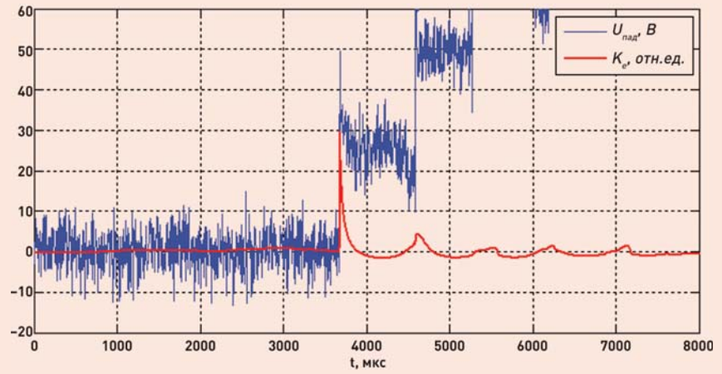

Рис. 2

Д. Робертсон [13] и П. Рибейро [14] предложили использовать вейвлет-преобразование для анализа переходных процессов в электроэнергетических системах. Разложение сигналов производится по базису собственных функций (вейвлетов), занимающих промежуточное положение между гармоническими (синусоидальными) функциями и функцией Дирака, локализованной во времени. Оценка амплитуды и знака модуля максимума напряжения и тока с обеих сторон линии, позволяет определить наличие и вид КЗ [15]. Предлагается использовать и другие способы обработки и распознания сигналов тока и напряжения, например, морфологический градиент [16], S-преобразование [17], метод фильтрации Прони [18] и преобразование Гильберта-Хуанга [19].

Современные математические методы определения фронта волны имеет ограничения при низком отношении сигнал/шум. В связи с этим целесообразно определение фронта волны производить на основе анализа сигналов во временной области с помощью методов математической статистики [20]. Для фиксации времени прихода фронта волны с помощью методов математической статистики использован расчет коэффициента эксцесса для составляющих падающих волн междуфазных волновых каналов. Коэффициент эксцесса является мерой остроты пика распределения случайной величины и рассчитывается по выражению:

$$K_E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 \qquad (6)$$

где μ_4 и σ — четвертый и второй центральные моменты статистического распределения соответственно, определяемые как:

$$\mu_4 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4 \qquad (7)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \qquad (8)$$

где x_i — исследуемый сигнал, *n* — число точек, $\bar{x}$ — среднее арифметическое значение.

При отсутствии переходного процесса измеряемый сигнал определяется уровнем помех в токах и напряжениях ЛЭП и подчиняется закону нормального распределения. Как видно из рис. 1, сигнал, полученный с вторичных обмоток ТТ путем фильтрации частот, превышающих 3 кГц, имеет нормальное Гауссово распределение.

Поэтому значение коэффициента эксцесса для данного сигнала в точках контроля будет находиться на уровне нуля. При возникновении повреждения электромагнитные волны распространяются от места повреждения к концам ВЛ в точки контроля, нарушая в них нормальный закон распределения токов и напряжений. При этом коэффициент эксцесса резко возрастает и в момент превышения им величины заданного порогового значения фиксируется появление фронта волны. Чувствительность коэффициента эксцесса к отклонению распределения функции от закона нормального распределения очень высока. Это позволяет повысить достоверность определения начала формирования фронта волны (рис. 2) в точке контроля.

Для анализа волновых переходных процессов, возникающих при повреждениях в ВЛ, на основе аналитических расчетов производилась верификация модели ВЛ при имитационном моделировании с помощью программ ATP/EMTP и Matlab/Simulink. При этом ВЛ рассматривается в виде частотно-зависимой модели с распределенными параметрами и с учетом геометрического расположения проводов.

Для линии 220 кВ длиной 100 км с треугольным расположением проводов марки АС 240/32 и типом опор П 220-3 проводилось [21] моделирование всех видов КЗ при значении переходного сопротивления в месте КЗ, равного 10 Ом. Расстояние до места повреждения варьировалось от 10 км до 90 км с расчетным шагом 10 км. При запаздывании времени КЗ относительно времени

ОСЦИЛЛОГРАММЫ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ КЗ ФАЗЫ А НА ЗЕМЛЮ

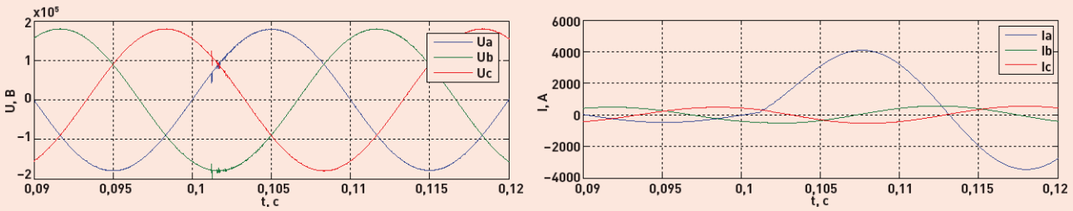

Рис. 3

ПАДАЮЩАЯ ВОЛНА ПЕРВОГО ВОЛНОВОГО КАНАЛА И КОЭФФИЦИЕНТ ЭКСЦЕССА ПО АВАРИЙНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ ПРИ КЗ ФАЗЫ А НА ЗЕМЛЮ

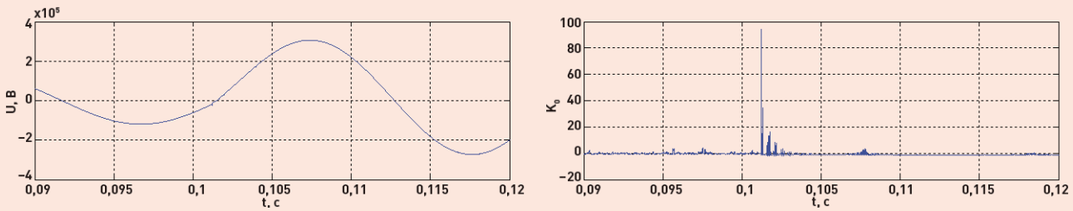

Рис. 4

начала процесса моделирования, составившем 0,101000 с, время появления фронта волны в точке контроля составляет:

$$t_{ПСА}(i) = 0{,}101000c + \frac{i * 10км}{299793\frac{км}{c}}$$

где i — расчетный шаг.

На рис. 3. представлены осциллограммы токов и напряжений в точке контроля при КЗ фазы А на землю и расстоянии до места КЗ, равном 50 км.

На рис. 4 зафиксировано появление волны при КЗ фазы А на землю. При этом в момент появления волны коэффициент эксцесса по аварийным составляющим начинает резко возрастать.

Оценка способа также проводилась и по результатам измерения токов и напряжений на действующей ВЛ 110 кВ Пугачи — Акбулак в 2009 году [22], а также на ВЛ 220 кВ Тамбовская — Давыдовская-1 в 2012 году [21, 23]. На рис. 5 изображен процесс развития КЗ на ВЛ 110 кВ Пугачи — Акбулак 25 октября 2009 года. Время появления фронта волны относительно начала записи процесса составляет 0,666487 с.

На рис. 6 видно, что резкое увеличение коэффициента эксцесса начинается в момент скачка напряжения первого волнового канала.

Аналогичного типа устройства, установленные на ВЛ 220 кВ Тамбовская-500 — Давыдовская-1, подключались к вторичным цепям измерительных ТН и ТТ. На рис. 7 представлен установившийся режим работы ВЛ, зафиксированный 3 октября 2012 года на ПС Тамбовская-500. Расчет аварийных составляющих и коэффициента эксцесса (рис. 8) показал, что способ не чувствителен к шумам в линии, имеющим нормальное распределение.

Результаты проведенных расчетов указывают, что абсолютная погрешность волнового метода ОМП с применением анализа сигналов во временной области с помощью метода математической статистики не превысила 523 м на ВЛ длиной 90 км с треугольным расположением проводов при КЗ фазы А на землю с различными значениями переходных сопротивлений в месте КЗ.

Предложенные методы определения расстояния до места повреждения с применением статистического анализа реализованы в устройстве «ЭНИС» [24–27], разработанном в ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского» по заказу ПАО «ФСК ЕЭС».

СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСТРОЙСТВА

На рис. 9 приведена структурная схема опытного образца устройства «ЭНИС», содержащего модуль аналого-цифрового преобразования (АЦП), модуль цифровой обработки сигналов (ЦОС), модуль синхронизации, интерфейсный преобразователь. Модуль АЦП должен обеспечивать минимальные нелинейные искажения и широкую полосу пропускания для волнового ОМП. В задачу модуля ЦОС входит математическое обеспечение выполняемых функций. При большом объеме вычислений, связанных с преобразованием цифровых сигналов в темпе процесса, он должен быть выполнен на основе цифрового сигнального процессора. В устройствах с повышенными требованиями к точности синхронизации, таких как волновое ОМП, необходимо применять синхронизацию с погрешностью не более 1 мкс с учетом характеристик спутниковых радионавигационных систем GPS или ГЛОНАСС, либо внешние источники синхронизации на основе стандартов IRIG-B или IEEE 1588

ОСЦИЛЛОГРАММА КЗ В ЛИНИИ ПУГАЧИ — АКБУЛАК В ПЕРВОМ И ВО ВТОРОМ ВОЛНОВЫХ КАНАЛАХ СО СТОРОНЫ ПС ПУГАЧИ

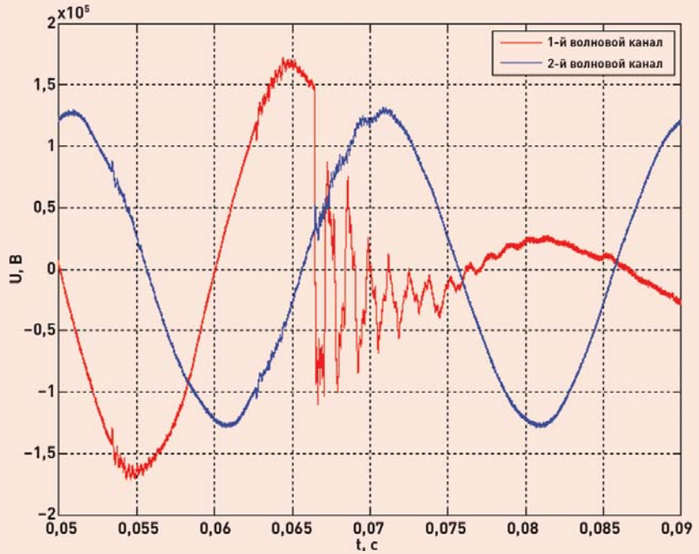

Рис. 5

НАПРЯЖЕНИЕ ПЕРВОГО ВОЛНОВОГО КАНАЛА И КОЭФФИЦИЕНТ ЭКСЦЕССА ПО АВАРИЙНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ ПРИ КЗ В ЛИНИИ ПУГАЧИ — АКБУЛАК

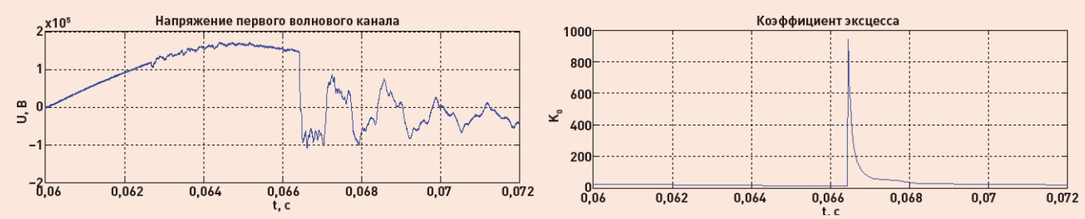

Рис. 6

[28]. Задачей интерфейсного преобразователя является интеграция устройства в информационную сеть ПС. Интерфейсный преобразователь должен поддерживать максимально возможное количество интерфейсов и протоколов, применяемых в электроэнергетике.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

При контроле переходных процессов для ОМП была проведена обработка полученных данных с помощью выделения аварийных составляющих с последующим расчетом коэффициента эксцесса. Вычисление аварийных составляющих было проделано для напряжений падающих волн в первом и во втором волновых каналах по следующим формулам:

$$U_{fall1} = \frac{I_a - I_b \cdot 2 + I_c}{12} \cdot Z_1 + \frac{U_a - U_b \cdot 2 + U_c}{12},$$

$$U_{fall2} = \frac{I_a - I_c}{4} \cdot Z_2 + \frac{U_a - U_c}{4}.$$

Величины коэффициентов, соответствующие волновым сопротивлениям линии в первом и во втором волновых каналах (Z_1 и Z_2), вычисляются с учетом значений коэффициентов трансформации трансформаторов напряжения и тока линии, к которым подключается устройство. Коэффициент эксцесса вычислялся в соответствии с (6). На рис. 10–13 представлены диаграммы аварийных составляющих и эксцесса для напряжений падающих волн первого и второго волновых каналов соответственно.

ОСЦИЛЛОГРАММЫ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЕРВОМ И ВО ВТОРОМ ВОЛНОВЫХ КАНАЛАХ НА ПС ТАМБОВСКАЯ-500

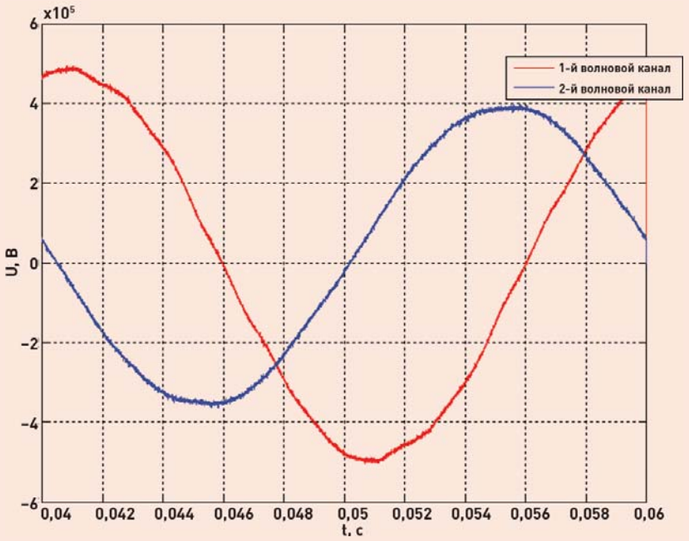

Рис. 7

НАПРЯЖЕНИЕ ПЕРВОГО ВОЛНОВОГО КАНАЛА И КОЭФФИЦИЕНТ ЭКСЦЕССА ПО АВАРИЙНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ В УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ НА ПС ТАМБОВСКАЯ-500

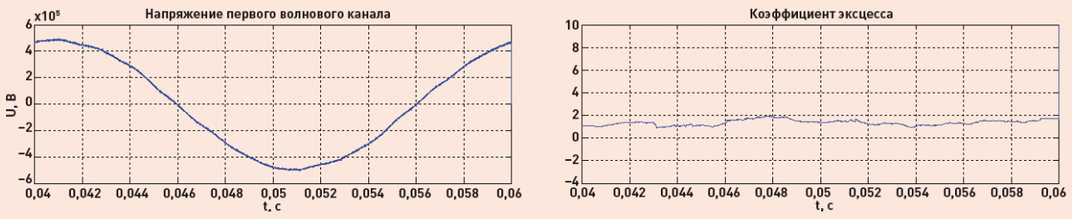

Рис. 8

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА

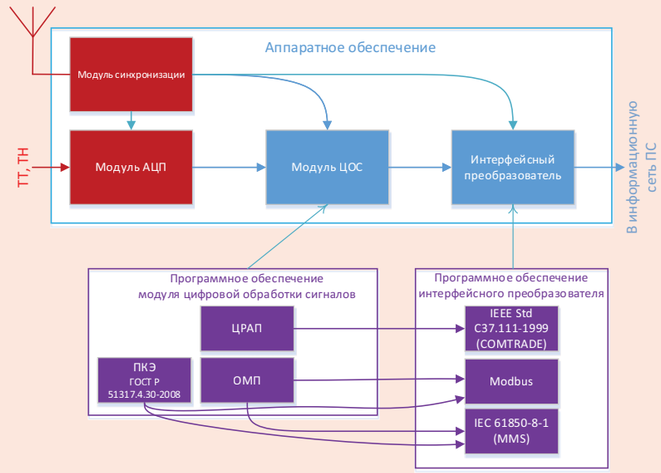

Рис. 9

Приведенные зависимости подчиняются нормальному закону распределения.

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ

После успешного завершения разработки, испытаний и исследований работы опытного образца устройства осуществлялась доработка конструкторской документации. Вид опытно-промышленных образцов устройства представлен на рис. 14 и 15.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Методика испытаний устройства волнового ОМП заключается в воспроизведении осциллограмм КЗ генератором сигналов (LeCroy ArbStudio 1104). Сигналы по концам ВЛ при различных параметрах повреждений моделируются в программе ATP/EMTP, преобразуются в формат CSV и загружаются в генератор.

Предаварийный процесс длительностью 100 мс циклически воспроизводится генератором. После подачи команды начинается воспроизведение аварийного процесса длительностью 100 мс. Через 40 мс после начала воспроизведения аварийного процесса генератор через промежуточные реле подает сигнал пуска ОМП, имитируя сигнал от релейной защиты. По окончании аварийного процесса начинается воспроизведение сигнала послеаварийного процесса длительностью 100 мс. При испытаниях производилась оценка погрешности определения времени контроля фронта волны с помощью лабораторной установки (рис. 16). Испытания проводились в отдельности по напряжениям и токам. Генераторы синхронизировались между собой и с всемирным координированным временем с помощью приемника сигналов СРНС.

Лабораторные испытания на установке показали, что суммарная погрешность определения времени появления волны не превышает

АВАРИЙНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ДЛЯ UFALL1

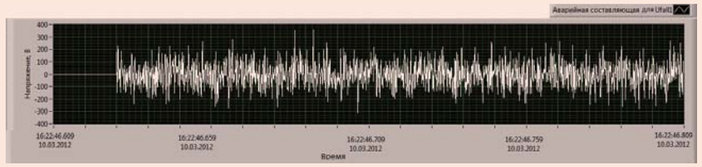

Рис. 10

КОЭФФИЦИЕНТ ЭКСЦЕССА ДЛЯ UFALL1

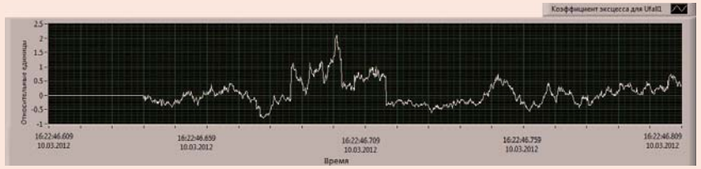

Рис. 11

2 мкс. Это указывает на то, что волновой метод двусторонних измерений можно отнести к достаточно точным средствам ОМП.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В июне 2015 года на ВЛ 220 кВ Парская — Сасово МЭС Центра ПАО «ФСК ЕЭС» устройство «ЭНИС» было введено в опытно-промышленную эксплуатацию. Были выполнены работы по подключению полукомплектов устройства «ЭНИС» к цепям измерительных трансформаторов тока и напряжения ВЛ 220 кВ Парская — Сасово, к цепям питания и к каналам передачи информации. Синхронизация измерений токов и напряжений в полукомплектах устройства по концам ВЛ 220 кВ осуществляется с помощью спутниковой радионавигационной системы GPS, антенны которой установлены на наружной стене щитов управления ПС Сасово и ПС Парская. Длина ВЛ 220 кВ Парская — Сасово составляет 73,6 км.

Следует отметить, что функции ОМП на ВЛ 220 кВ Парская — Сасово в течение ряда лет выполняют устройства типа ИМФ-3Р, реагирующие на параметры аварийного режима.

3 сентября 2015 года в 0 часов 40 минут на ВЛ 220 кВ Парская — Сасово произошло КЗ фазы В на землю. При этом выключатели ВЛ отключились от дифференциально-фазной защиты ДФЗ-504 с успешным автоматическим повторным включением. Устройство ИМФ-3Р, установленное со стороны ПС Парская, определило, что расстояние до места КЗ составляет 41,7 км. Персонал службы РЗА Приокского ПМЭС в соответствии с методикой стандарта организации ПАО «ФСК ЕЭС» «Типовая инструкция по организации работ для определения мест повреждений воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше» (СТО 56947007-29.240.55.159-2013) по осциллограммам токов и напряжений аварийного режима с помощью специального программного обеспечения рассчитал расстояние от места КЗ по ВЛ до ПС Парская, равное 45,2 км.

АВАРИЙНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ДЛЯ UFALL2

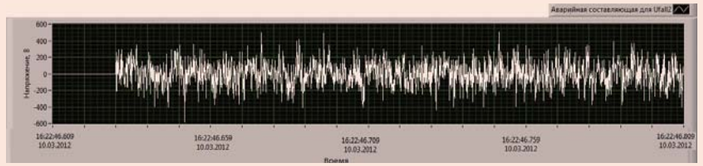

Рис. 12

КОЭФФИЦИЕНТ ЭКСЦЕССА ДЛЯ UFALL2

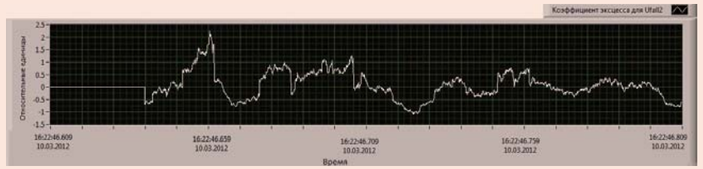

Рис. 13

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ УСТРОЙСТВА ПРИ СНЯТОЙ КРЫШКЕ

Рис. 14

ВНЕШНИЙ ВИД ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ОБРАЗЦА УСТРОЙСТВА

Рис. 15

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ОМП

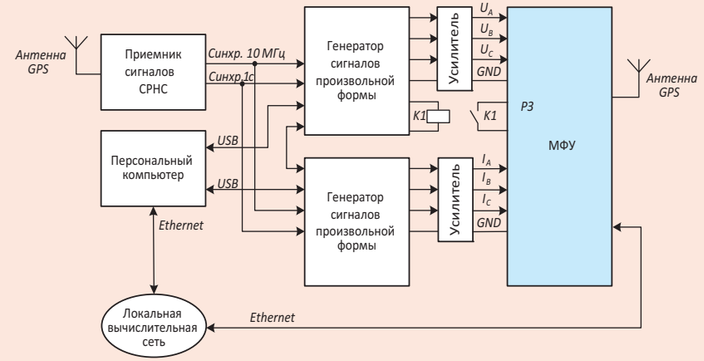

Рис. 16

По данным осциллограмм (рис. 17 и 18), зафиксированных «ЭНИС», расстояние по ВЛ от ПС Парская до места повреждения составило 44,85 км.

Днем 3 сентября 2015 года линейная бригада Приокского ПМЭС выехала на ВЛ 220 кВ Парская — Сасово для проведения осмотра зоны повреждения на расстоянии 46,0 км от ПС Парская. Следы повреждения были отмечены на гирлянде фазы В изоляторов опоры, расположенной на расстоянии 44,9 км от ПС Парская.

Таким образом, погрешности ОМП составили по данным ИМФ-3Р — 44,9–41,7=3,2 км (4,35%), по осциллограммам службы РЗА Приокского ПМЭС — 44,9–45,2=0,3 км (0,41%) и по данным «ЭНИС» — 44,9–44,85 = 0,05 км (0,07%).

Погрешность определения места повреждения устройством «ЭНИС», равная 50 м, указывает на высокую точность измерений, осуществленных с помощью программно-технических средств этого устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Волновой метод двусторонних измерений можно отнести к наиболее точным средствам ОМП. Этот вывод подтверждается опытом эксплуатации МФУ «ЭНИС». Его широкое внедрение позволит сократить время поиска поврежденного элемента ВЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.М. Шалыт. Определение мест повреждений в электрических сетях. — М.: Энергоиздат, 1982. — 312 с.
2. Устройство определения места повреждения Qualitrol TWS MK VI [Электронный ресурс] — Режим доступа: www.qualitrolcorp.com/Products/TWS MkVI Traveling wave fault locator.
3. Многофункциональное устройство Qualitrol IDM+ VI [Электронный ресурс] — Режим доступа: www.qualitrolcorp.com/Products/IDM + Multifunction power system monitor (with options for power quality, PMU and TWS fault location).
4. Устройство определения места повреждения Qualitrol TWS FL-1 and FL-8 [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.qualitrolcorp.com/Products/TWS FL-8 and TWS FL-1 Traveling wave fault locators.
5. Устройство определения места повреждения ISA TFS 2100 [Электронный ресурс] — Режим доступа: www.isatest.com/index.php?page=tfs-2100.
6. Многофункциональное устройство Reason RPV-310 [Электронный ресурс] — Режим доступа: www.reason.com.br/pt/produtos/registradores-digitais/rpv310.
7. Микропроцессорное устройство определения места повреждения Бреслер-0107.090 [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.bresler.ru/library/bresler 0107 090 docs.
8. Высокоточный РАС и ОМП HPR-7000 [Электронный ресурс]–Режим доступа:http://www.htabd.com/Upload/WebEditor/2011 03/311112609772.pdf.
9. М.В. Костенко, Л.С. Перельман, Ю.П. Шкарин. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения / М.: Энергия. — 1973. — 272 с.
10. A.M. Elhaffar. Power Transmission Line Fault Location Based on Current Travelling Waves, Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology, Helsinki, 2008.
11. Пат. 2472169 (РФ) МПК G 01 R 31/08. Способ определения расстояния до места повреждения

ОСЦИЛЛОГРАММА КЗ 3 СЕНТЯБРЯ 2015 Г. НА ВЛ 220 КВ ПАРСКАЯ — САСОВО СО СТОРОНЫ ПС ПАРСКАЯ

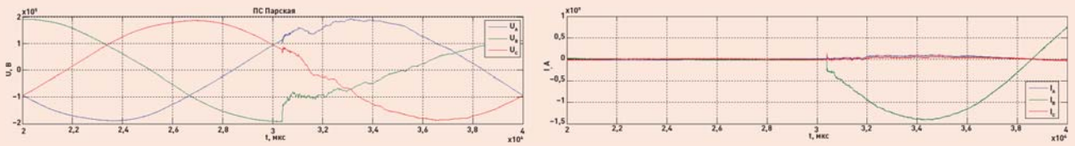

Рис. 17

ОСЦИЛЛОГРАММА КЗ 3 СЕНТЯБРЯ 2015 Г. НА ВЛ 220 КВ ПАРСКАЯ — САСОВО СО СТОРОНЫ ПС САСОВО

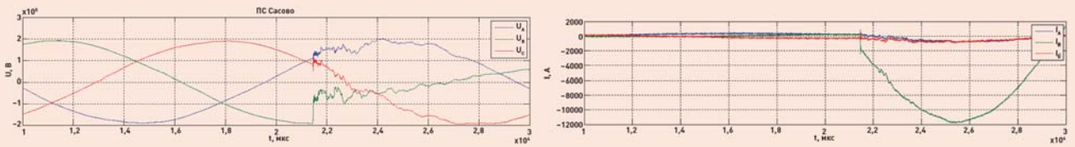

Рис. 18

на линии электропередачи / В.Ф. Лачугин, Д.И. Панфилов, С.В. Сидорук, С.В. Краснышов, М.И. Манжелий, Д.В. Денисов, С.А. Образцов, А.Н. Смирнов; заявители и патентообладатели ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «ЭНИН» — № 2011121762; заявл. 31.05.2011; опубл. 10.01.2013. Бюлл. №1.

12. Р. Поликар. Введение в вейвлет-преобразование. [Электронный ресурс] — http://www.autex.spb.su.
13. D. Robertson, O. Camps, J. Mayer. Wavelet and Power System Transient // SPIE Int. Sympos. Optical Engen. Aerospace Sensing. 1994. P. 474–487.
14. P.F. Ribeiro. Wavelet transform: an advanced tool for analyzing non-stationary harmonic distortions in power systems // Proc. IEEE ICHPS VI, Bologna, 1994. Sep. 21–23.
15. Lee, C. H. Wavelet-Based Transient Analysis. Ph. D. Dissertation, Georgia Institute of Technology, 1998, Atlanta, GA, USA.
16. Ma Jing, Wang Zeng-ping, Xu Yan, Ma Lei. Single-ended transient positional protection of transmission lines using mathematical morphology. Huabei dianli daxue xuebao=J. N. China Electric Power University, 2005. 32, N 5, P. 7–10.
17. Xiao Xian-yong, Li Feng, Deng Wu-jun. Identification method of lightning stroke and short circuit faults using S-transformed characteristics. Gaodianya jishu= High Voltage Engineering. 2009, 35, № 4, P. 817–822.
18. Yang Mingyu, Yang Yukun. EHV power transmission line transient-based protection with backward Prony algorithm. Dianli zidonghua shebei = Electric power automation equipment. 2011, 31, № 5, P. 28–33.
19. Liu Hui, Wang Xin, Chi Weishuang. Application of Improved HHT in Fault Line Selection for Hybrid Lines. Shui dian nengyuan kexue = Water Resources and Power, 2013. 31, № 10, P. 192–194.
20. Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Высшая школа, 2010. 480 с.
21. В.Ф. Лачугин, Д.И. Панфилов, А.Н. Смирнов. Реализация волнового метода определения места повреждения на линиях электропередачи с использованием статистических методов анализа данных // Известия РАН. Энергетика. 2013. № 6. С.137–146.
22. С.В. Краснышов, М.И. Манжелий, В.Ф. Лачугин, С.В. Сидорук, В.А. Джангиров, И.Е. Бояркин. Опыт применения регистраторов синхронизированных измерений токов и напряжений на ВЛ 110 кВ. — Электрические станции, 2010, № 9. С. 23–31.
23. В.Ф. Лачугин, Д.И. Панфилов, А.Н. Смирнов, С.А. Образцов, А.А. Рывкин, А.О. Шимина. Многофункциональное устройство регистрации процессов, контроля качества электроэнергии и определения места повреждения на линиях электропередачи // Электрические станции. — 2013. — № 8. — С. 29–36.
24. Патент 2472169 (РФ) / В.Ф. Лачугин, Д.И. Панфилов, С.В. Сидорук и др. Способ определения расстояния до места повреждения на линии электропередачи. 2011.
25. Патент 2475768 (РФ) / Д.И. Панфилов, С.А. Арутюнов, Ю.А. Горюшин и др. Способ определения расстояния до места повреждения на линии электропередачи. 2011.
26. Патент на полезную модель 113016 (РФ) / С.А. Арутюнов, Ю.А. Горюшин, С.В. Сидорук и др. Устройство для определения расстояния до места повреждения на линии электропередачи. 2012.
27. Патент на полезную модель № 128341 (РФ) / Д.И. Панфилов, В.Ф. Лачугин, А.Н. Смирнов, С.А. Образцов, И.М. Ахметов, А.А. Рывкин, А.О. Шимина, И.Ф. Артемьев, С.А. Арутюнов, Ю.А. Горюшин. Многофункциональное устройство регистрации процессов на линии электропередачи. 2013.
28. IEEE Std 1588–2008 Precision Time Protocol. New York, IEEE, 2008. — 269 с.

IX МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ
ВЫСТАВКА И КОНГРЕСС
«АТОМЭКСПО 2017»

19-21 ИЮНЯ
2017 ГОДА

МОСКВА,
ГОСТИНЫЙ ДВОР

atomexpo

КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Выставка
Презентации
Деловые переговоры
Пленарная сессия, круглые столы
Подписание соглашений
Культурная программа

реклама

РОСАТОМ
АТОМЭКСПО

atomexpo@atomexpo.com
ATOMEXPO
2017.atomexpo.ru