

Адаптация методов определения места повреждения к современным требованиям эксплуатации линий электропередачи

А.Н. ПОДШИВАЛИН, Г.Н. ИСМУКОВ
ООО «Исследовательский центр «Бреслер»
Россия
podshivalin_a@ic-bresler.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Определение места повреждение, одностороннее ОМП, двухсторонне ОМП, опыт эксплуатации, распознаваемость, анализ режимов, ТОР-Локатор

1 ВВЕДЕНИЕ

Определение места повреждения (ОМП) линий электропередачи является неотъемлемой функцией современных систем автоматизации подстанции. Наибольшее распространение нашли методы ОМП по параметрам аварийного режима, в которых удаленность замыкания определяется с использованием составляющих основной гармоники аварийного и, возможно, доаварийного процессов. Параметры объекта, необходимые для работы таких устройств, определяют на основе имитационных моделей или схем замещения, используемых при настройке защит линий электропередачи. Большая часть установленных на подстанциях устройств определяет расстояние по одностороннему замеру, что продиктовано простотой применения таких устройств и отсутствием требований к связи между подстанциями.

На точность ОМП по одностороннему или многостороннему замеру оказывают влияние многие факторы, учет которых частично возможен в алгоритмах ОМП: удаленность замыкания, интенсивность замыкания (характеризуется эквивалентным переходным сопротивлением), соотношение сопротивлений в электропередаче, параметры и конфигурация электропередачи и другими. В настоящем докладе проведен анализ каждого из этих факторов и предложены методы преодоления возникающих проблем эксплуатации комплексов ОМП.

2 ОЦЕНКА ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В МЕСТЕ КЗ

Наиболее важным фактором можно считать эквивалентное переходное сопротивление в месте повреждения. В случае металлического замыкания влияние других факторов тем более ослабляется. С величиной переходного сопротивления связано ограничение чувствительности алгоритмов РЗА, выражаемое в явлении нераспознаваемости режимов короткого замыкания [1]. В задаче ОМП переходное сопротивление снижает точность оценки места повреждения, а потому внимание к этому параметру является приоритетным в разработке алгоритмов ОМП [2].

В опубликованных данных отсутствует адекватная оценка эквивалентного переходного сопротивления при различных видах повреждения линий электропередачи. Однако такое исследование необходимо для формирования представления о характере повреждений. Кроме того, сведения о переходном сопротивлении позволяют проводить адекватный анализ эффективности методов ОМП. Авторами выполнена оценка переходного сопротивления в реальных условиях эксплуатации на основе данных о зарегистрированных повреждениях линий электропередачи с известным истинным местом повреждения. Оценка производилась с использованием алгоритмических моделей объекта [3] по соотношениям расчетных токов и напряжений в истинном (известном) месте повреждения.

На рис. 1 приведена статистика переходных сопротивлений R_f при трехфазных, междуфазных и однофазных КЗ. Принятые модели повреждения при различных видах КЗ показаны на рис. 2. Отметим характерные особенности графиков. Наблюдается сходный

характер распределения искомого параметра R_f вне зависимости от вида КЗ. Также примечательно, что для большинства повреждений оценка переходного сопротивления лежит в диапазоне до 5 Ом. Условия для определения места повреждения при таких повреждениях благоприятные, отклонение от истинного места удовлетворительное. Как следует из рис. 1, при однофазных КЗ немалая доля случаев приходится на сравнительно большие значения сопротивлений. При других видах замыканий этот процент значительно ниже. Этот факт объясняет, в частности, в среднем более низкую точность ОМП при земляных замыканиях.

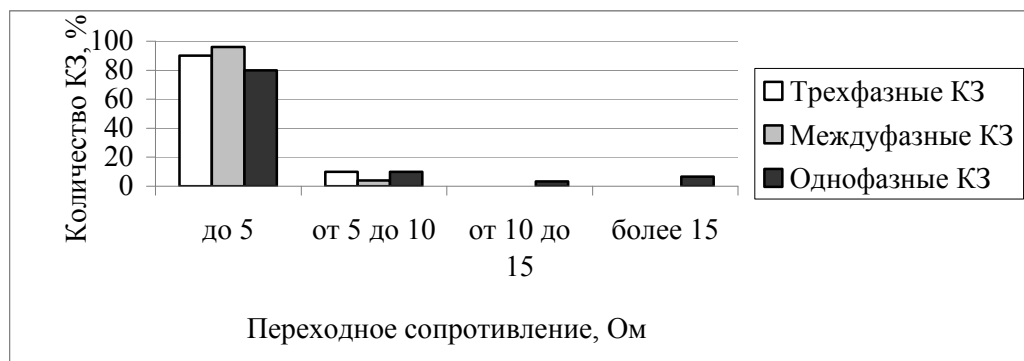


Рис. 1: Переходное сопротивление в месте повреждения

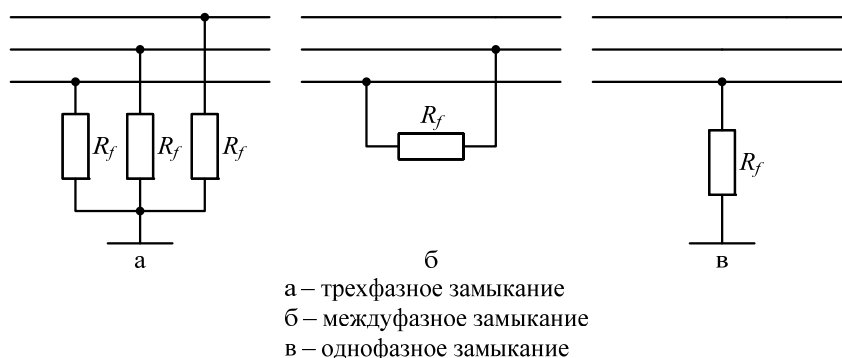


Рис. 2: Модели повреждения при различных видах КЗ

3 ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ АВАРИЙНОГО ПРОЦЕССА

Точность результата ОМП в реальных условиях определяется не только совершенством алгоритмической модели [4], но и способом выделения информационных составляющих аварийного процесса. Методы ОМП по параметрам аварийного режима используют компоненты аварийного и предаварийного (нормального) режимов. Измерение предаварийных величин, как правило, не встречает значительных затруднений. Нормальный режим чаще всего имеет однородный синусоидальный характер. Если имеет место опробование присоединения, то токи или напряжения доаварийного режима могут отсутствовать. В других случаях их величина может быть оценена с достаточной степенью точности. Фиксация значений предаварийного режима производится непосредственно перед срабатыванием чувствительных пусковых органов, как показано на рис. 3. В качестве пусковых органов целесообразно использование реле векторного приращения токов фаз или их симметричных составляющих. Тогда запаздывание момента срабатывания ИО по отношению к началу аварийного процесса составляет не более 10 мс, в среднем – 5 мс. В итоге оказывается возможным разделить аварийный процесс на нагрузочную составляющую и чисто аварийную составляющую, последняя непосредственно связана с коротким замыканием и его местоположением в электрической сети.

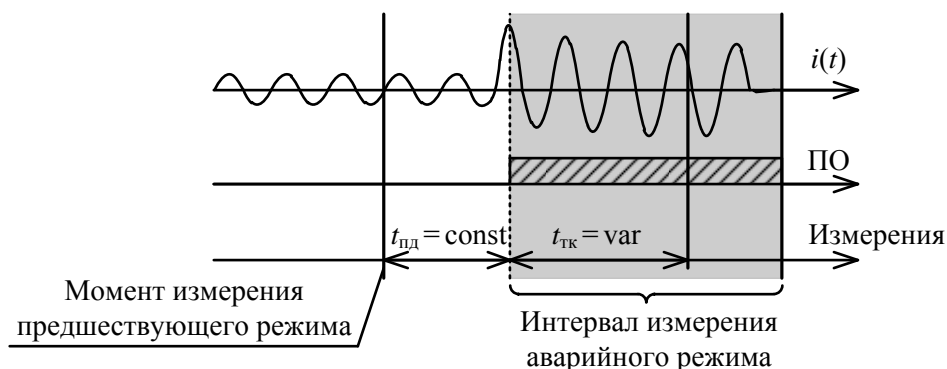


Рис. 3: Фиксация аварийных и предаварийных величин

Замер токов и напряжений аварийного процесса сразу после срабатывания пусковых органов может не обеспечить высокую точность ОМП, например, по причине искажения электрических величин за счет свободных составляющих электромагнитных переходных процессов в первичной сети или из-за погрешностей измерительных преобразователей. Требуется интеллектуальный выбор момента замера на интервале аварийного процесса (рис. 3). На основе анализа 20 тысяч аварийных осциллограмм, зафиксированных цифровыми регистраторами на линиях среднего и высокого напряжения, были выделены наиболее распространенные сценарии развития аварийных процессов:

- 83% – Классические повреждения линии. К ним отнесены повреждения на фоне нагрузки или без тока до КЗ, при которых не изменяется вид КЗ, схема сети остается постоянной, а величина эквивалентного переходного сопротивления изменяется незначительно.
- 6% – Неуспешные АПВ. Для процесса характерно отсутствие предаварийного режима, постоянство параметров аварийного режима в течение всей длительности процесса. Должна обеспечиваться готовность алгоритма ОМП к повторному действию после обработки первоначального КЗ.
- 6% – Процессы малой длительности, неоднородные по структуре процессы, режимы с каскадным отключением линии. Особенность обработки таких режимов заключается в применении специализированных фильтров для выделения информационных составляющих на уменьшенном (по сравнению с периодом промышленной частоты) интервале. К этой категории отнесены и развивающиеся КЗ.
- 4% – КЗ на фоне внешних возмущений в сети, приводящих к преждевременному срабатыванию пусковых органов. Анализ затруднен тем, что не все части зафиксированного процесса относятся к одному КЗ. Замеры в предаварийном и аварийном режимах могут относиться к разным схемам сети, а потому их совместное использование невозможно.
- 1% – КЗ на ответвлении от магистральной линии, сопровождающееся включением короткозамыкателя. Процессы имеют относительно большую длительность. Предаварийный режим, как правило, не может быть использован для расширения информационной базы функции ОМП. Наблюдается малое эквивалентное переходное сопротивление.

На рис. 4 показан пример сложного процесса, в котором однофазное КЗ переросло в двухфазное КЗ на землю.

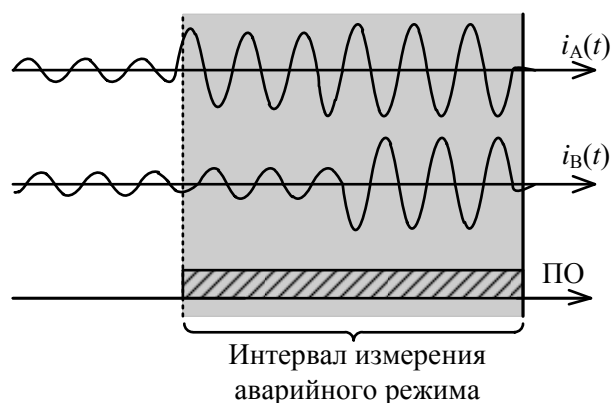


Рис. 4: Фиксация аварийных и предаварийных величин

Каждый сценарий устанавливает собственные требования к способу фиксации параметров режима. Авторами был разработан и применен алгоритм адаптации измерительного модуля к различным ситуациям. Параметры аварийного режима фиксируются на разных этапах развития аварии. Далее применяется двухступенчатая схема отбора замеров по результатам ОМП. На первом этапе исключаются те интервалы, которым соответствуют повреждения вне наблюдаемой линии. Из оставшихся замеров выбирается интервал с наибольшим индексом надежности результата ОМП. Таким образом, алгоритм использует всю доступную информацию, содержащуюся в записи аварийного процесса.

4 ПОДПИТКА КЗ ТОКОМ УДАЛЕННОЙ СИСТЕМЫ

На линиях с двухсторонним питанием приходится иметь дело с искажением картины повреждения из-за подпитки места повреждения от удаленной системы. Этот эффект проявляется при наличии переходного сопротивления в месте повреждения и хорошо известен в теории дистанционных защит. Наличие двухстороннего питания, в частности, приводит к проблеме нераспознаваемости повреждений через переходное сопротивление в некоторых точках или даже зонах линии в определенных режимах электропередачи. Для ОМП этот эффект означает многовариантность решения задачи или относительно широкий диапазон решений. Результатом становится недопустимо большая зона обхода линии электропередачи.

Оценка расстояния только по замеру сопротивления поврежденного контура здесь не представляется возможной из-за высокой погрешности. Удовлетворительный результат могут обеспечить только те алгоритмы ОМП, которые учитывают влияние удаленной системы и снижают зависимость результата расчета от ее параметров, принимаемых варьируемыми. Для этого требуется оценка состояния и параметров удаленного конца линии в момент повреждения. Такая оценка возможна на основе измерений (при их наличии), выполненных на удаленном конце линии в момент КЗ, или информации о нагрузочном режиме, предшествующем КЗ. Первый способ не может быть реализован локально и требует установки приборов на обоих концах линии и наладки связи между ними. Второй способ может быть воплощен в одном локальном устройстве, производящем одностороннее наблюдение КЗ.

Собрана статистика срабатываний одиночного устройства ОМП (рис. 5). Известно, что на замеры токов влияют направление и величина передаваемой мощности в предаварийном режиме. При обратном направлении мощности условия ОМП значительно ухудшаются по сравнению с прямой передачей. Поэтому в качестве основного критерия оценки алгоритмов было выбрано направление активной мощности до аварии. Проведен анализ более 450 срабатываний на линиях напряжением 35-220 кВ с известным местом повреждения. Доля срабатываний с погрешностью ОМП не более 4% от длины линии практически одинакова. Таким образом, статистика показывает высокую степень адаптации выбранного алгоритма к режиму работы линии в момент возникновения аварии.

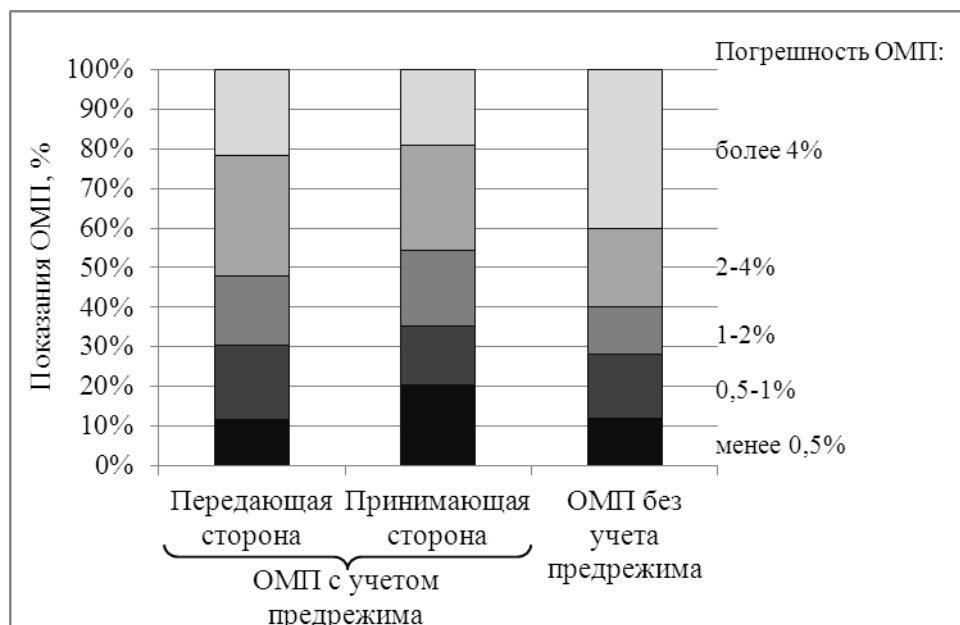


Рис. 5: Показатели погрешности ОМП в зависимости от направления передачи мощности

5 ДВУХСТОРОННИЙ РАСЧЕТ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ

Как указывалось выше, алгоритм расчета места повреждения на линиях с двухсторонним питанием требует учета влияния удаленной системы. Одним из возможных решений этой проблемы является привлечение дополнительной информации с удаленного конца линии. Как правило, это замер аварийных величин. Существуют относительно простые и при этом достаточно точные методы ОМП, использующие синхронизированные замеры с обоих концов линии. Но такие методы предъявляют более высокие требования к технической реализации, в частности к синхронизации векторов, измеренных на разных подстанциях. Системы ОМП на основе этих методов имеют повышенную стоимость, появляется зависимость от погрешности работы дополнительного оборудования синхронизации по сравнению с устройствами одностороннего ОМП.

Авторами был разработан и исследован способ двухстороннего ОМП, не требующий синхронизации измерений с разных концов линии электропередачи. Как и в одностороннем методе, здесь используется алгоритмическая модель наблюдаемой линии. Однако учет подпитки места повреждения удаленным концом выполняется на основе замера удаленного конца, а не по предаварийному режиму.

Проведено сравнение разработанного метода с существующим односторонним алгоритмом. Оценке подлежат области режимов, в которых не обеспечивается достаточная точность ОМП (относительная погрешность превышает 4% от длины линии). Используется модель типичной линии электропередачи 110 кВ длиной 100 км, угол передачи и соотношения мощностей прилегающих систем варьировались в широких диапазонах. Поскольку методическая погрешность рассматриваемого одностороннего алгоритма ОМП в этих условиях испытаний оказалась пренебрежимо мала, а двухсторонний способ ОМП не содержит методическую погрешность вовсе, то в модель была введена погрешность измерительных преобразователей тока, нелинейная по характеру.

Области повышенной погрешности ОМП показаны на рис. 6 в виде объектных характеристик на плоскости переходного сопротивления и расстояния до места моделируемого замыкания. График показывает минимальные величины R_f , при которых наблюдается погрешность ОМП выше порогового значения. Для одностороннего метода погрешность выходит за рамки допустимой только при замыканиях через переходное сопротивление на последней трети линии электропередачи. Двухсторонний метод оказывается более точным,

области погрешности расположены значительно выше по оси переходного сопротивления. Как показало исследование, замыкания с переходными сопротивлениями более 15 Ом встречаются относительно редко (рис. 1). Таким образом, двухсторонний метод распознавания замыканий показывает удовлетворительный результат по всей длине магистральной линии.

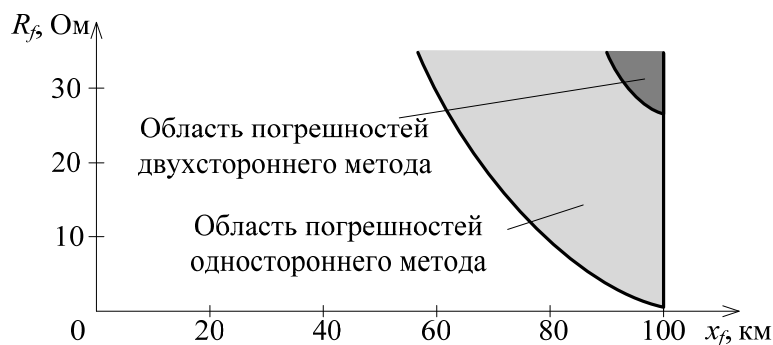


Рис. 6: Области погрешностей методов ОМП

6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе проведен анализ основных источников погрешностей дистанционных методов ОМП. По результатам эксплуатации в настоящей работе проведена оценка эквивалентного переходного сопротивления в месте короткого замыкания. Выполнен детальный анализ процесса короткого замыкания и представлен метод использования информации о каждом его интервале. Предложен метод двухстороннего ОМП для уточнения оценки места повреждения по односторонним замерам. Представлены результаты теоретического исследования его погрешностей в сравнении с односторонними. Реализация всех перечисленных мер в одном устройстве позволяет значительно увеличить точность и надежность результата ОМП.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лямец Ю.Я., Иванов С.В., Подшивалин А.Н. Абсолютная нераспознаваемость однофазного короткого замыкания // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы IV Всероссийской научно-технической конференции. – Чебоксары, 2002. С. 308-311.
- [2] Аржанников Е.А., Лукоянов В.Ю., Мисриханов М.Ш. Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи. – М.: Энергоатомиздат, 2003.
- [3] Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Павлов А.О. Алгоритмические модели электрических систем // Труды Академии электротехнических наук Чувашской республики. 1999. №1. С.42-49.
- [4] Подшивалин А.Н., Исмукоев Г.Н., Жарков А.В. Опыт применения системы ОМП исследовательского центра «Бреслер» // Релейная защита и автоматика энергосистем: материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции. – М., 2012. С 303-309.