

Технические решения для определения мест повреждения в распределительных сетях 6–35 кВ

Воздушные линии электропередачи (ЛЭП) являются наименее надежными элементами энергосистемы, повреждение которых наносит значительный ущерб и представляет большую опасность для жизни и здоровья людей. В отличие от сетей с глухозаземленной нейтралью, сети напряжением 6–35 кВ с изолированной компенсированной нейтралью имеют сильно разветвленную древовидную топологию. Однофазное замыкание на землю (ОЗЗ) является наиболее частым видом повреждения, характеризуется малыми токами в пределах 20–30 А и не отражается на питании потребителей. Между тем длительное существование ОЗЗ в сети нередко становится причиной повреждений ЛЭП с переходом в аварийное состояние и отключением электроснабжения.

Феоктистов А.В., руководитель отдела разработки радиоэлектронной аппаратуры МНПП «АНТРАКС»

На текущий момент существует несколько проблем определения и поиска повреждений в кабельно-воздушных сетях среднего класса напряжения. Первая кроется в определении однофазных замыканий в линиях с изолированной нейтралью. Вторая проблема в том, что распределительные сети довольно разветвленные и неоднородные. Это усложняет и делает невозможным использование приборов для определения места повреждения.

Рассмотрим основные способы определения мест повреждения, их достоинства и недостатки.

Импедансный метод. Работа устройств ОМП импедансного типа основывается на принципе измерения тока и напряжения во время повреждения. За счет использования этих двух электрических величин при определении места повреждения выполняется расчет, который характеризуется ошибками, возникающими из-за нескольких факторов:

- переходные составляющие тока;
- искажение тока, вызванное насыщением сердечника в трансформаторах тока;
- ток предварительного заряда в линии, возникающий непосредственно перед возникновением короткого замыкания;
- переходное сопротивление в месте короткого замыкания;

- емкость линии относительно земли;
- взаимная индукция кабелей;
- неточность данных, касающихся полного сопротивления линии, в частности, неточное определение нулевого полного сопротивления линии из-за изменения сопротивления земли вдоль линии;
- явление прохождения тока в точке соединения линии с ответвлениями в разветвленных системах.

Волновой метод. Устройства ОМП волнового типа измеряют время, а не ток и напряжение. Таким образом, устраняется влияние на погрешность измерения многих вышеупомянутых факторов.

Однако такие устройства также имеют свои недостатки. Среди основных факторов, влияющих на погрешность ОМП в таких устройствах, отметим:

- малые углы повреждений;
- повреждения вблизи места установки устройств обнаружения;
- качество синхронизации устройств;
- неверно определенная скорость распространения волны в линии;
- погрешность определения бегущей волны.

Для использования импедансного метода желательно иметь полную модель линии, но из-за того, что конфигурация линии может меняться в процессе работы,

возникают большие трудности в построении модели. Кроме того, если линия имеет большое количество переходов кабель–воздух, сложно просчитать сопротивление линии. Поэтому добиться высокой точности измерения расстояния до места повреждения не получится, хотя и требования к самим устройствам ОМП минимальны.

Для получения наибольшей точности измерений и минимизации необходимых данных на входе оптимальнее всего использовать вариацию двухстороннего волнового метода.

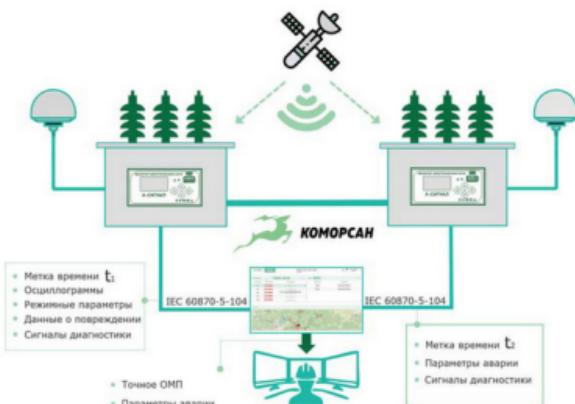
На сегодняшний день в распределительных сетях нет широкого распространения аналогичного решения по многим причинам. В отличие от сетей высокого напряжения, для которых достаточно использования двух приборов по концам линии, в распределительных сетях при применении данного метода необходима установка приборов на концах всех ответвлений контролируемой сети. А это существенно усложняет использование подобных решений.

Для локализации места повреждения при такой структуре необходимо решать задачу ОМП для каждой пары приборов и затем минимизировать отклонения полученных результатов. Схема линии может быть непостоянной и варьироваться в зависимости от текущих требований потребителей, отключенных резервных или поврежденных участков.

99% ЛЭП распределительных сетей существенно неоднородны и включают в себя участки с разными типами опор, систем подвеса или проводов, зачастую имеют кабельные вставки. На распространение электромагнитной волны, порожденной аварийным процессом, большое влияние оказывает наличие отпаек, которые дают ослабление, а также создают множественные переотражения. В результате, используя классический волновой синхронный метод определения расстояния до аварии с применением большого количества устройств, установленных на всех концах ЛЭП, мы получим размытые и искаженные приходящие фронты электромагнитных волн, претерпевшие множественные искажения.

У компании АНТРАКС накоплен большой опыт разработки приборов для определения аварий в распределительных сетях среднего класса напряжения на кабельных и воздушных линиях с любым типом заземления нейтрали. Оборудование линейки А-Сигнал успешно прошло испытания и эксплуатируется в крупнейших российских компаниях энергетической отрасли. Разработанные нами алгоритмы позволяют фиксировать однофазные замыкания с направлением на линиях с токами до 0,1 А, а возможность сохранения осцилограмм аварийных процессов — непрерывно совершенствовать алгоритмы и увеличивать количество распознаваемых событий.

Используя имеющиеся наработки, специалисты компании АНТРАКС разработали решение для определения места повреждения в разветвленных неоднородных линиях. Для фиксации аварий создан прибор А-Сигнал ОМП, который, помимо стандартного функционала фиксации межфазных, однофазных замыканий и направления на них, сохраняет осциллографии аварийного процесса с высокой частотой дискретизации (1 МГц) и временной меткой момента аварии с точностью ± 100 нс. Для синхронизации приборов используются внешние GPS-приемники точного времени. Так как используется волновой метод, то для расчета места ава-



рии необходимо устанавливать минимум два прибора, а в случае разветвленной сети — дополнительные приборы по концам отпаек. Для корректной работы системы необходимы данные о длине линии, наличии отпаек, а также проведение предварительной калибровки системы для учета неоднородностей линии, таких как кабельные муфты, переходы кабель-воздух и т.д. При возникновении аварии на линии информация об аварийном процессе со всех приборов на линии передается в виде осциллографии на верхний уровень в систему мониторинга и управления КОМОРСАН. Далее происходит обработка данных с каждого прибора и по имеющейся схеме линий расчет до места повреждения. Данные выводятся как в КОМОРСАН, так и в любую другую SCADA-систему. В то же время при любом изменении конфигурации линии достаточно знать, какие участки линии выведены из работы, а какие нет.

Полностью готовая система А-Сигнал ОМП была установлена для испытаний и опытной эксплуатации на участке линии СЦБ напряжением 10 кВ и протяженностью 16 км ОАО «РЖД». Кроме приборов А-Сигнал ОМП, GPS-приемников и системы мониторинга КОМОРСАН, были установлены устройства передачи данных БСПИ-КЛ. Линия неоднородная, с кабельными вставками и несколькими отпаеками, но аварийные события создавались только на стволе линии.

Приборы были установлены по концам линии. Предварительно была проведена калибровка системы. Создавался «эталонный волновой портрет». Во время проведения калибровки отмечено, что затухание сигнала на высоких частотах тем больше, чем большее расстояние ему требуется пройти от места аварии до приемника. Этот фактор существенно влияет на точность. Также наблюдается зависимость величины импульса от фазы напряжения в моменте аварии.

На линии был проведен ряд экспериментов с однофазным замыканием на землю в разных точках. Результаты испытаний показали возможность работы системы на неоднородных разветвленных линиях электропередачи с точностью определения места аварии ± 200 м.

Таким образом, мы получили систему, способную определить место повреждения в распределительных кабельно-воздушных сетях. А это, в свою очередь, дает возможность сократить время на поиск и устранение аварии.

Перспективы развития системы А-Сигнал ОМП в будущем — это определение места возникновения пробоев или перемежающихся дуговых замыканий, что позволит, не дожидаясь аварийного события, выполнить ремонт линии. ■

