

Эффективные методы поиска мест повреждений в сетях 0,4–20 кВ

По материалам
VI Всероссийской конференции
«РАЗВИТИЕ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ»

В статье подробно рассмотрены наиболее эффективные методы определения места повреждения (ОМП) на ВЛ 0,4–6–20 кВ, позволяющие минимизировать временные затраты оперативно-ремонтного персонала на поиск места повреждения и тем самым снизить экономический ущерб.

Рубцов М.Л., заместитель главного инженера по эксплуатации «Россети Томск» (ПАО «ТРК»)

Никулин К.М., заместитель начальника Богашевского РЭС «Россети Томск» (ПАО «ТРК»)

Максимальную протяженность практически любой распределительной сетевой компании составляют воздушные линии низкого (0,4 кВ) и среднего класса напряжения (6–20 кВ), основными причинами повреждения которых является низкая устойчивость к воздействиям природных факторов (штормовые ветра, ледяные дожди, грозовые фронты), а также к механическим воздействиям (повреждения сторонними лицами).

И если определение места повреждения (ОМП) на ВЛ 0,4 кВ, которые расположены в населенной местности, не представляет труда, то для ВЛ 6–20 кВ, основная часть которых проходит по ненаселенной местности, локализация места повреждения и его устранение значительно осложняются следующими факторами:

- большой протяженностью;
- разветвленной структурой;
- неоднородностью линии (наличие кабельных участков);
- прохождением по труднодоступной местности;
- низкой автоматизацией и оснащенностью средствами мониторинга.

Кроме того, подавляющее число ВЛ 6–20 кВ работает в режиме изолированной или компенсированной через дугогасящий реактор нейтралей и при возникновении ОЗЗ, которые по статистике

составляют 70–80% от общего числа повреждений, значительно повышается риск поражения сторонних лиц электрическим током. При этом ОЗЗ зачастую переходят в двойные замыкания на землю (междуфазные КЗ с «землей») и, как следствие, отключению ВЛ, что влечет за собой перерыв электроснабжения потребителей и недоотпуск электроэнергии.

Существующие в настоящее время методы ОМП на ВЛ можно разделить на две основные группы: дистанционные методы и топографические методы.

Дистанционный метод. ОМП осуществляется с помощью специальных устройств, установленных на ПС, которые автоматически определяют расстояние до места повреждения на основании предварительно составленной модели ВЛ и параметров аварийного режима. Примером таких устройств являются микропроцессорные терминалы (Бреслер-0107.090, Сириус-2-ОМП и т.п.). Данный метод имеет следующие достоинства и недостатки:

- минимальные временные затраты;
- высокую точность ОМП (3% от протяженности ВЛ при одностороннем измерении при условии, что ВЛ имеет неразветвленную структуру, а модель ВЛ подробно описана; 1% — при двустороннем измерении, что в сетях 6–20 кВ можно реализовать

только на линиях связи между ПС, но экономически нецелесообразно);

- невозможность ОМП при ОЗЗ;
- значительные материальные затраты на оборудование ПС соответствующими устройствами.

Топографический метод. ОМП осуществляется путем обхода ВЛ оперативно-ремонтным персоналом (в том числе с делением ВЛ на участки разъединителями) и применением переносных приборов, указывающих направление места ОЗЗ (Квант, Вектор и т.д., основанных на принципе измерения электромагнитного поля).

Данный метод имеет следующие достоинства и недостатки:

- высокую точность;
- сравнительно небольшие материальные затраты;
- значительные временные затраты на ОМП;
- сравнительно небольшую зону обнаружения;
- опасность поражения персонала электрическим током в процессе поиска ОЗЗ.

Учитывая все достоинства и недостатки обоих методов, а также особенности сетей 6–20 кВ, получаем необходимость в симбиозе дистанционного и топографического методов, который при небольших материальных затратах на автоматизацию ВЛ позволит дистанционно определять по-



Крепление индикаторов на провода ВЛ посредством специальной штанги

врежденный участок воздушной линии, сокращая тем самым время на поиск и ликвидацию повреждения. Таким эффективным способом является определение места повреждения посредством индикаторов короткого замыкания.

В компании «Россети Томск» с 2015 года эксплуатируются индикаторы короткого замыкания (ИКЗ), разработанные компанией «АНТРАКС». Индикаторы ИКЗ в качестве метода определения аварийной ситуации работают не только по броску тока или исчезновению напряжения в линии, но используют совокупность разных методов фиксации аварийного процесса, что позволяет определять даже быстрые аварийные события с малыми токами. Их применение в сетях среднего класса напряжения не требует выбора воздушных линий со специальным конструктивом, поскольку они устанавливаются на изолированные и неизолированные фазные провода ВЛ диаметром от 7 до 40 мм. Индикаторы работают на воздушных линиях любой топологии вне зависимости от конфигурации подвеса проводов и количества цепей. За счет высокой чувствительности индикаторов их использование возможно как на линиях с односторонней запиткой, так и на кольцевых линиях с двухсторонней запиткой.

Необходимо принять во внимание, что при возникновении ОЗЗ на ВЛ возникает емкостной ток, обусловленный величиной суммарной емкости линии и топологическими особенностями данного участка линии. Поэтому, исходя из этих особенностей, выбирают устройства ИКЗ с подходящими характеристиками и определяют места для их размещения на ВЛ. Правильная установка индикаторов во многом определяет эффективность мониторинга сетей и обеспечивает контроль в нормальных и аварийных режимах работы сети. Выбор места установки устройств ИКЗ проводится на основании анализа нормальной однолинейной схемы электрических сетей, опорных схем, параметров линии и нагрузок, с учетом рельефа местности.

Оптимальным решением является установка на фазные провода ВЛ комплектов из трех индикаторов одного типа, которые синхронизируют векторные измерения напряжения и тока в трех фазах воздушной линии электропередачи и сравнивают данные в режиме реального времени. Совокупная обработка информации обеспечивает высокую точность определения аварийных процессов, включая определение аварийной фазы и направление аварийной ситуации. Комплекты устройств ИКЗ способны определять направление на ОЗЗ — в сторону нагрузки либо в сторону питающего центра (что существенно облегчает поиск места повреждения).

Для получения максимального эффекта от направленного действия необходимо, чтобы емкостной ток участка до места установки прибора был значительным, в этом случае устройства зафиксируют повреждение и направление на него.

Индикаторы крепятся непосредственно на провода ВЛ, в том числе без отключения ВЛ посредством специальной штанги. В целях максимального сокращения времени поиска места повреждения рекомендуется устанавливать комплекты ИКЗ в следующих местах:

- на линии с короткими «отпайками» комплекты устанавли-

ваются по стволу линии за местом разветвления;

- на линии с коротким стволем и длинными «отпайками» комплекты устанавливаются на 3-й или 4-й промежуточной опоре «отпайки» (для исключения ошибочного срабатывания при повреждении на магистральной линии);
- на линии с длинным стволем и длинными «отпайками» комплекты устанавливаются на контролируемых «отпайках» и на магистрали за местом разветвления;
- до и после труднодоступных участков (река, лес, болото);
- участки ВЛ, проходящие по населенной местности (для обеспечения электробезопасности при ОЗЗ).

Для питания устройств ИКЗ используется внутренняя батарея. ИКЗ постоянно работает в режиме пониженного энергопотребления (режим ожидания), находясь в котором он контролирует токи и напряжение на ВЛ посредством индукционных и емкостных датчиков и сравнивает измерения со значениями уставок.

Обмен данными между индикаторами, входящими в комплект, осуществляется по радиоканалу ближней связи (радиосвязь стандарта Bluetooth Low Energy (BLE) — 2,4 ГГц). При обнаружении повреждения на сработавшем комплекте ИКЗ включается световая индикация, позволяющая персоналу ОВБ визуально определить в каком направлении от сработавшего комплекта им сле-



Индикатор короткого замыкания со световой индикацией

дует двигаться и какой тип аварии был зафиксирован: однофазное или междупольное замыкание, устойчивым или неустойчивым был аварийный процесс.

Кроме того, в энергонезависимой памяти фиксируются следующие параметры сети: тип аварии, значения аварийных напряжений и токов, а также время КЗ или ОЗЗ с точностью до секунды. После восстановления напряжения на линии (либо по истечении времени, установленного персоналом на таймере) сработавший комплект ИКЗ автоматически переходит в режим ожидания.

Поврежденный участок определяется путем анализа мест расположения комплектов индикаторов ИКЗ, зафиксировавших и не зафиксировавших аварию. Анализ может проводиться как визуально (в случае, если комплекты находятся вне зоны покрытия сети сотовой связи), так и посредством смартфона или планшета через ПО «КОМОРСАН Web-клиент». При установке комплекта индикаторов типа ИКЗ-Б54 не требуется дополнительных устройств для передачи информации в SCADA-систему или ПО «КОМОРСАН Web-клиент», достаточно комплекта из трех устройств — одного «мастер»-индикатора, содержащего GSM-передатчик, и двух «слейв» индикаторов. Мастер-устройство поддерживает связь напрямую по сотовой сети. Определение комплектом ИКЗ-Б54 междупольных аварий с токами более 20 А и однофазных замыканий от 0,5 А, а также выявление неполнофазного режима позволяют определить возможный обрыв провода и касание провода зелеными насаждениями. Индикаторы ИКЗ-Б54 высылают SMS оповещение о произошедших событиях с указанием GPS-координат места аварии и именем прибора (при необходимости в имени прибора можно легко указать номер опоры и название ответвления, рядом с которым установлен прибор). Считывание GPS-координат происходит после перезагрузки и при подаче команд с пульта дистанционного управления ППИ-3 или через ПО КОМОРСАН. Наглядное отображение текущего состояния

сети, аварийные предупреждения о любых отклонениях позволяют повысить точность управления сетью.

Программой инновационного развития ПАО «Россети» с 2016 по 2020 годы с перспективой до 2025 года предусмотрена установка датчиков КЗ для поиска технологических нарушений в работе ВЛ и КЛ с целью снижения недоотпуска электроснабжения и локализации аварийных участков ЛЭП.

В качестве индикатора внедрения указан параметр — доведение уровня наблюдаемости сетей: — 110–750 кВ — до 90%; — 6–35 кВ — до 65%.

На сегодняшний день это острая проблема, так как износ линий распределительных сетей составляет около 80%, а в условиях явно недостаточного объема инвестиций в реконструкцию распределительных сетей необходимо достичь приемлемых показателей по надежности электроснабжения.

Практика показывает, что установка индикаторов ИКЗ оказывает влияние на следующие целевые показатели: Psaidi, недоотпуск электроэнергии, трудозатраты, а при наличии средств автоматического секционирования на Psaiifi. При этом установку индикаторов ИКЗ можно отнести к минимальному сценарию модернизации распределительных сетей в сторону наблюдаемости и цифровизации сети.

В качестве критериев для анализа сценариев модернизации рассматриваются следующие технические и финансовые аспекты:

- 1) технические:
 - показатели надежности электроснабжения (Psaidi, Psaiifi);
 - степень повреждаемости оборудования;
 - степень потерь в сети;
 - степень недоотпуска электроэнергии;
 - трудозатраты на текущую эксплуатацию;
 - трудозатраты на ликвидацию аварийных ситуаций;
- 2) финансовые:
 - капитальные и эксплуатационные затраты (CAPEX, OPEX);



ПО «КОМОРСАН Web-клиент» для определения поврежденного участка сети

- финансовые затраты при ликвидации аварийных ситуаций, повреждении оборудования, недоотпуске электроэнергии, потерях в сети;
- риски штрафных санкций вследствие несоответствия показателей надежности заданным нормативам.

Существенно улучшить показатели Psaiifi и Psaidi можно при установке устройств ИКЗ в совокупности с устройствами автоматического секционирования участков распределительной сети, такими как управляемый линейный разъединитель РЛЦ, срабатывающий в бестоковую паузу или при обесточенной линии.

Эксплуатируемые в «Россети Томск» ИКЗ (ИКЗ-33МР) производства МНПП «АНТРАКС» зарекомендовали себя у персонала ОВБ исключительно с положительной стороны как надежных и простых в эксплуатации устройств ОМП на ВЛ, которые позволяют значительно сократить время на локализацию и устранение места повреждения. Совмещение при эксплуатации индикаторов ИКЗ дистанционного (волнового) метода определения аварийных процессов) и топографического метода позволяет сделать определение поврежденного участка действительно точным и эффективным, а время устранения аварийного процесса — действительно малым. 📍