

Переносные приборы для определения места однофазного замыкания на землю

КРАСНЫХ А.А., д.т.н., КРИВОШЕИН И.Л. к.т.н., КОЗЛОВ А.Л.

Вятский государственный университет

610000 г. Киров ул. Московская д. 36

Тел. (8332) 742-751

nrc2006@mail.ru

Приводимая в различных публикациях статистика аварийности в воздушных линиях электропередачи (ВЛ) напряжением 6-35 кВ показывает, что основная часть (70-80 %) повреждений сопровождается однофазным замыканием на землю (ОЗЗ). Определение места ОЗЗ представляет сложную задачу, так как эти ВЛ имеют значительную протяжённость, проходят в сельской местности, часто в условиях бездорожья, и имеют сложную древовидную структуру.

В сетях 6-35 кВ, работающих с изолированной или компенсированной нейтралью, в случае ОЗЗ происходит искажение симметричной системы фазных напряжений. На исправных фазах возникают перенапряжения. Вокруг места замыкания могут длительно существовать опасные для людей напряжения, обусловленные током стекания в землю. Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ) [1] допускается работа воздушной линии в этом состоянии, но персонал обязан отыскать место замыкания на землю и в кратчайший срок устранить повреждение.

Для ускорения и облегчения поиска места ОЗЗ ПТЭ обязывает использовать предназначенные для этой цели переносные приборы. Все существующие переносные приборы для определения направления к месту ОЗЗ анализируют электромагнитное поле (ЭМП) ВЛ.

В нормальном режиме ЭМП под ВЛ весьма незначительно, поскольку фазные напряжения и токи почти равны и сдвинуты на 120° . Существование ЭМП у земли в нормальном режиме объясняется в [2] несимметричным

расположением проводов в пространстве, небольшой несимметрией емкостей фазных проводов относительно земли и незначительным неравенством токов нагрузки и емкостных токов по отдельным фазам.

В режиме ОЗЗ ЭМП под ВЛ существенно возрастает, в отдельных случаях на два порядка. Это увеличение ЭМП, вызванное нарушением равновесия фазных токов и напряжений при ОЗЗ, и дает возможность определить место повреждения с помощью переносных приборов.

Электрическая и магнитная составляющие ЭМП принимаются переносными приборами с помощью специальных датчиков. Сигналы, полученные с датчика электрического поля пропорциональны напряжению, а с датчика магнитного поля – току в ВЛ. Результаты обработки полученных сигналов выводятся на индикатор прибора.

Переносные приборы для определения места замыкания делятся на две группы: токовые и направленные. Токовые приборы используются для сравнительной оценки токов выбранной гармоники в линиях и участках сети при замыкании на землю. Направленные приборы дают возможность определить направление протекания этих токов. Принцип действия направленных приборов основан на сравнении фаз гармонических составляющих преобразованных датчиками сигналов.

Все применяемые в последние годы переносные приборы при определении места ОЗЗ контролируют высшие гармоники, что минимизирует влияние магнитного поля токов нагрузки на результат измерения. В то же время, чем выше номер гармоники, тем больше влияние на ее уровень переходного сопротивления в месте замыкания. Таким образом, вопрос выбора рабочей частоты прибора является важным и может иметь различные решения в зависимости от конфигурации конкретной линии электропередачи.

В Советском Союзе достаточно широко применялись четыре вида переносных приборов для определения места ОЗЗ. С 1969 г. Мытищинский электромеханический завод производил приборы «Поиск – 1» (рис. 1а), с 1981 г. – «Волна» и с 1990 г. – «Волна –М». Все приборы токовые.



а)



б)

Рис. 1. Внешний вид приборов «Поиск-1» (а) и «Зонд» (б)

Приборы «Поиск-1» имели фиксированные настройки на 5, 7, 11 и 13 гармоники. У приборов «Волна» с настройками на 250 Гц и 550 Гц была более высокая чувствительность и лучшая селективность. Приборы «Волна-М» отличались более стабильными характеристиками и добавленным блоком автоматического контроля наличия замыкания на землю.

Четвертый прибор «Зонд» (рис. 1б) – единственный направленного типа, с 1981 г. выпускался Рижским опытным заводом «Электроавтоматика». Его принцип действия был основан на сравнении фаз напряжения и тока 11 гармоники. В качестве индикатора в нем применялся магнитоэлектрический микроамперметр типа М4200 или М4205 с нулем в середине шкалы. Прибор «Зонд» имел много ручек управления, переключателей («Ток», «Земля», «Направление», «Контроль питания», «Усиление», «Подсвет»), что усложняло его применение.

Во многих энергосистемах до сих пор сохранены отдельные экземпляры описанных выше устройств поиска места ОЗЗ. Пользовавшиеся ими

специалисты отдают предпочтение приборам «Зонд», во многом благодаря наглядности представления результата измерения: отклонение стрелки микроамперметра вправо или влево указывало направление движения к месту ОЗЗ. У токовых приборов для этого нужно сопоставлять численные значения ряда последовательных измерений (если показания нарастают, то нужно двигаться далее в выбранном направлении, если же показания резко уменьшились, то место ОЗЗ пройдено).

В настоящее время на российском рынке предлагается лишь прибор «Квант» (рис. 2а) (НПФ «Радиус» г. Москва) и его модификация «Квант-К» (рис. 2б) (ООО «Квазар», г. Уфа), отличающаяся тем, что магнитоэлектрический микроамперметр заменен на цифровой индикатор. Приборы – токовые, настроенные на 11 гармонику.



а)



б)

Рис. 2. Внешний вид приборов «Квант» (а) и «Квант-К» (б)

Помимо основной задачи они способны осуществлять контроль наличия напряжения на ВЛ напряжением 6-35 кВ (по первой гармонике), а так же контроль тока нагрузки в линии. При этом в эксплуатационной документации указано, что прибор является индикатором, поверки не требует, поэтому о точности измерений говорить нельзя. Методика оценки тока, к тому же, предполагает введение расчетных коэффициентов, значения которых приведены лишь для трех случаев конфигурации трехфазных линий 0,4–35 кВ с конкретными размерами.

Можно отметить еще один токовый прибор «Спектр», разработанный в Псковском государственном университете в 1995 году. Он имеет цифровую индикацию численных показаний, малые массогабаритные показатели, минимальное количество органов управления и ряд других достоинств. Однако авторам статьи не удалось найти коммерческих предложений по этому прибору.

Во всех перечисленных приборах использованы аналоговые методы обработки сигналов, приводящие либо к усложнению схемы (необходимо большое количество узкополосных усилителей, которые обладают низкой температурной и временной стабильностью параметров), либо к слишком сложному управлению прибором (выбор гармоник, подстройка фильтров, калибровка и необходимость частых испытаний) из-за большого количества органов управления.

В ООО «Электробезопасность – Вятка», г. Киров, с 2015 г. началось производство переносных цифровых указателей «Вектор» (рис. 3) направленного типа, которые, согласно запатентованному способу [3], позволяют автоматически в результате спектрального анализа электромагнитного поля ВЛ определять наличие ОЗЗ и направление движения к месту ОЗЗ (ведется обработка данных всех гармонических составляющих с первой по пятьсот двенадцатую).



Рис. 3. Внешний вид опытного образца указателя «Вектор»

Основными достоинствами указателя «Вектор» являются:

- отсутствие переключателей и настроек при измерениях;
- автоматический выбор гармоник для фазового анализа;
- автоматическая подстройка чувствительности;
- наглядное представление результата измерений – направление поиска места ОЗЗ указывается на дисплее прибора в виде плавающей стрелки

На дисплее указателя так же представляется информация о режиме работы ВЛ (линия под напряжением, линия отключена, в линии ОЗЗ), о мощности измеряемого сигнала и о состоянии элементов питания. Малая мощность сигнала, например, из-за частичного экранирования прибора, снижает вероятность правильного результата. Индикатор мощности помогает выбрать для измерения место с достаточным уровнем сигнала.

На рис. 4 представлена структурная схема указателя «Вектор».

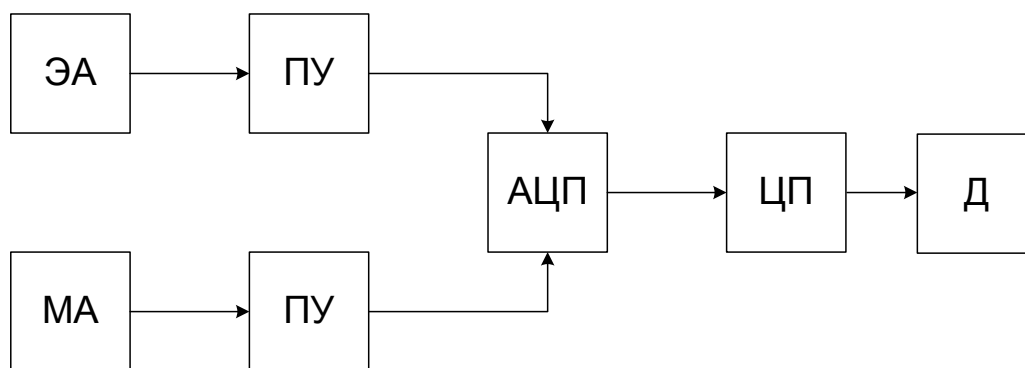


Рис. 4. Структурная схема указателя «Вектор»

Магнитная и электрическая составляющая ЭМП принимается с помощью, соответственно, магнитной антенны МА, выполненной в виде индуктивной катушки с разомкнутым сердечником, и электрической антенны ЭА, представляющей собой проводящую пластинку.

Сигналы, полученные с датчиков усиливаются полосовыми усилителями ПУ с изменяемым коэффициентом усиления и поступают на вход аналого-цифрового преобразователя АЦП. Изменяемый коэффициент усиления ПУ позволяет поддерживать оптимальный уровень сигнала на входе АЦП.

АЦП служит для ввода мгновенных значений сигнала в процессор для последующей обработки. Центральный процессор ЦП – однокристалльная микроЭВМ, выполняющая все необходимые манипуляции с сигналом: сбор, хранение, спектральный анализ, формирование изображения на дисплее Д.

В ходе работы микроЭВМ с полученными при измерении сигналами производится преобразование Фурье. В результате анализа гармоник по ряду признаков из полученных значений амплитуд и фазовых углов, выбирается оптимальная частота исследуемых сигналов, осуществляется фазовый анализ ее параметров, по результатам которого определяется и высвечивается на дисплее направление движения к месту ОЗЗ.

Следует отметить, что в процессе испытаний на разных ВЛ опытных образцов указателей «Вектор» регистрировалась выбранная прибором для фазового анализа гармоническая составляющая и это не всегда была одиннадцатая гармоника (550 Гц).

Рассмотрим, вкратце, методику применения указателя «Вектор». Если поврежденная ВЛ неизвестна, то поиск места ОЗЗ должно начинаться с питающей подстанции, на шинах которой появился сигнал «земля в сети» (рис. 5). В этом случае последовательно под каждой ветвью ВЛ, отходящей от подстанции, необходимо определить направление движения. Если прибор будет указывать направление на питающую подстанцию, то данная ВЛ не повреждена. Поврежденная ВЛ определяется по направлению поиска от питающей подстанции. Аналогичное определение направления последующего движения нужно производить и в местах разветвления ВЛ.

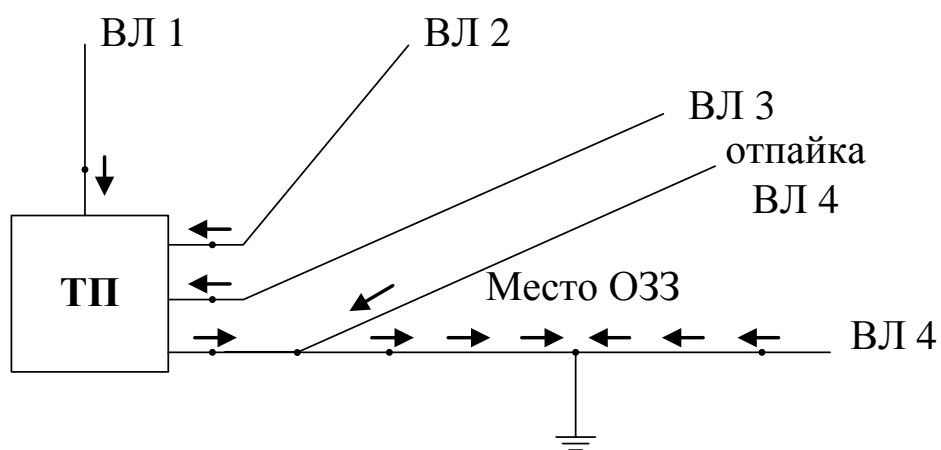


Рис. 5. Схема определения места ОЗЗ с помощью указателя «Вектор»

Двигаясь вдоль поврежденной линии в направлении места ОЗЗ нужно периодически определять направление поиска. Если при последующем измерении направление поиска указатель указывает в сторону места предыдущего измерения, то место ОЗЗ расположено между двумя последними точками измерений. При обходе этого участка следует контролировать изображение на дисплее указателя. Смена направления поиска на обратное будет информировать о месте замыкания на землю.

На рис. 6 подробнее показано, как меняется направление стрелки на дисплее указателя при прохождении вдоль трассы мимо места ОЗЗ. Такая очевидность и наглядность не позволит пропустить даже визуально нераспознаваемые повреждения ВЛ.

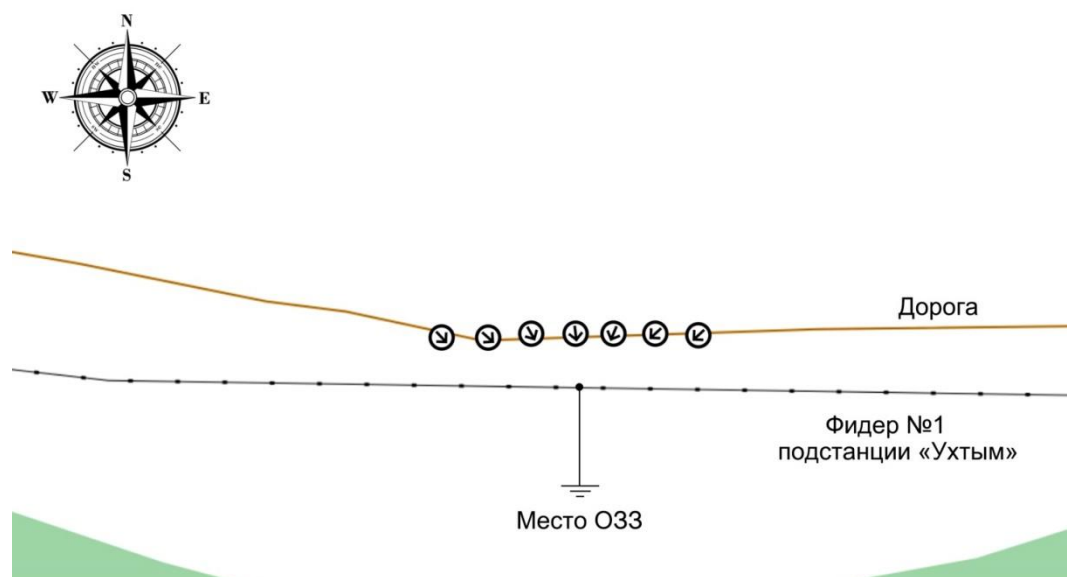


Рис. 6. Изменение показаний указателя «Вектор» у места замыкания

При использовании переносного указателя «Вектор» не требуется проходить по всей трассе ВЛ. Определить направление к месту ОЗЗ можно в любом месте поврежденной ВЛ. Для сокращения времени поиска определение направления к месту ОЗЗ на первом этапе целесообразно проводить в точках, удобных для подъезда автомобиля ремонтно-технического обслуживания.

Из зарубежных переносных приборов для поиска места ОЗЗ можно отметить украинские приборы серии ПОМЗ (ООО «Молния –Харьков»). Приборы токовые, имеют технические характеристики, близкие к «Кванту». Отличаются матричным светодиодным индикатором (рис. 7), на котором в логарифмическом масштабе отражаются амплитуды 1; 2; 3; 7; 9; 11 и 13 гармоник тока, а также первой гармоники напряженности электрического поля.



Рис. 7 Внешний вид прибора «ПОМЗ»

В ходе длительного цикла испытаний опытных образцов указателя «Вектор» авторами статьи проведены исследования зоны растекания тока вблизи места ОЗЗ с точки зрения электробезопасности. На ВЛ 10 кВ (рис. 8) и на специально созданных установках при различных токах стекания в полевых условиях измерялись шаговые напряжения как в установившемся режиме так и в переходных процессах, моделировавших процессы в линии в момент падения

провода или в момент, часто имеющих место при ОЗЗ резких изменений сопротивления растеканию тока.

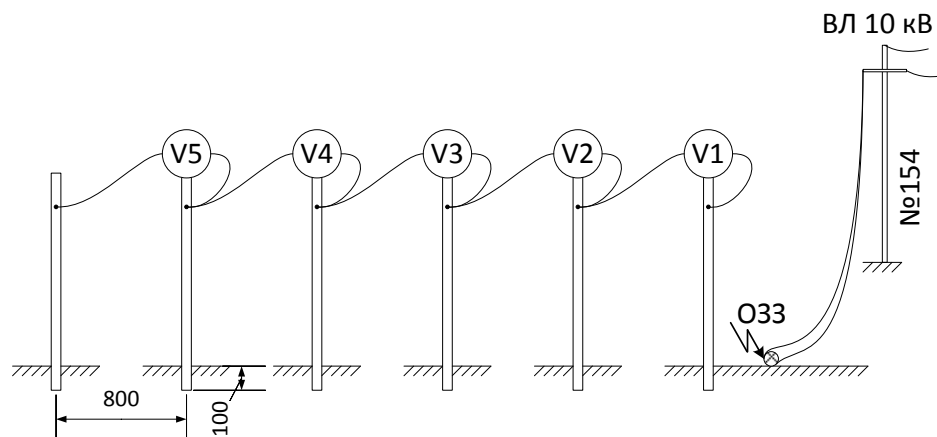


Рис. 8 Схема установки для измерения шагового напряжения

С учетом того, что токи растекания в землю при ОЗЗ относительно невелики (5-10 А), то шаговые напряжения в установившемся режиме, как и предполагалось, оказались малыми. Показания первого вольтметра не превышали 2 В (расстояние от лежащего провода до первого контактного штыря - 5 см). Однако снятые с помощью цифровых осциллографов мгновенные значения тока и напряжения в переходных процессах подтвердили большую опасность нахождения в зоне растекания тока вблизи места ОЗЗ. Максимальные значения токов в непосредственной близости от него достигали сотен ампер, а шаговые напряжения – тысяч вольт.

Список использованных источников:

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Москва: Энергосервис, 2003. – 168 с.
2. Пеневич Е.И. Отыскание мест замыкания на землю в распределительных сетях 6-10 кВ. – М.: Энергия, 1975. – 120 с.: ил.
3. Патент № 2002129552 G01R31/08 Способ определения места однофазного замыкания на землю в разветвленной воздушной ЛЭП с изолированной нейтралью. Красных А.А., Литвинов Д.Г., Машковцев И.И., Кривошеин И.И., Козлов А.Л.; Заявлено 04.11.2002; Опубликовано 27.05.2004