

УДК 621.311

## СПОСОБЫ ПОИСКА МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В СЕТЯХ 10КВ

Спода А. Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Мышковец Е. В.

Высокие темпы развития электросетей при одновременном сокращении удельной численности эксплуатационного персонала требуют ускоренного внедрения средств автоматики.

В электрических сетях широкое распространение получили устройства для определения мест повреждения, в первую очередь на воздушных электрических линиях напряжением 10 кВ и выше, основанные на измерении параметров аварийного режима. Эти устройства можно разделить на две основные группы, предназначенные для определения мест повреждений при коротких замыканиях и при замыканиях на землю.

### Определение мест повреждения при коротких замыканиях

Определение места короткого замыкания на линиях особенно важно, так как отключение линии при устойчивых повреждениях связано с недоотпуском электроэнергии и материальным ущербом, наносимым потребителям. В этих случаях ускорение поиска повреждений дает большой экономический эффект.

По принципу действия устройства ОМП могут быть разделены на три основные группы:

- фиксирующие приборы для определения расстояния до места повреждения на воздушных линиях, автоматически измеряющие и фиксирующие значения электрических величин во время аварийного режима;
- устройства для определения поврежденных при коротком замыкании (КЗ) участков сети, автоматически контролирующие и фиксирующие изменения электрических величин промышленной частоты во время аварийного режима;
- переносные устройства для определения места замыкания на землю в электросетях, работающих с изолированной нейтралью или в режиме компенсации емкостного тока, осуществляющие контроль процессов в сети при замыкании на землю с помощью датчиков тока и напряжения.

Разработаны различные типы фиксирующих приборов, ряд из которых успешно эксплуатируется. В распределительных сетях напряжением 10 кВ нашли применение приборы типа ФИП (ФИП-1, ФИП-2, ФИП-Ф), ЛИФП и др. Широко используется также устройство типа ФМК-10 и «Сириус-2-ОМП».

Учитывая, что фиксирующие приборы обеспечивают автоматическое измерение и фиксацию электрических величин во время короткого замыкания, они должны удовлетворять определенным требованиям, в частности следующим: измерение необходимо закончить до начала отключения поврежденных участков линии от релейной защиты, т. е. в течение порядка 0,1 с, прибор должен сохранять значение зафиксированной электрической величины в течение времени, достаточного для прибытия на подстанцию (без постоянного дежурства) оперативной выездной бригады, т. е. не менее 4 ч, должен предусматриваться автоматический селективный запуск приборов, чтобы контролируемая величина была зафиксирована только при аварийных отключениях линий, прибор должен обеспечивать определенную точность измерения (обычно относительная погрешность измерения не должна превышать 5 %) и т. д.

Один из простейших вариантов фиксирующих приборов — **устройство, замеряющее (фиксирующее) ток короткого замыкания**. При этом для определения расстояния до места короткого замыкания можно решить задачу, обратную той, которую рассматривают при расчете тока короткого замыкания, а именно по известным величинам тока короткого замыкания и напряжения определить сопротивление до точки короткого замыкания. Зная это

сопротивление, несложно по известным параметрам сети найти расстояние до точки короткого замыкания.

Наибольшее распространение получили **фиксирующие приборы с так называемой электрической памятью**. Они основаны на использовании запоминающего конденсатора. При этом во время процесса короткого замыкания запоминающий конденсатор быстро заряжается до напряжения, пропорционального значению фиксируемого тока короткого замыкания (или соответствующего ему напряжения). Затем на следующем этапе к запоминающему конденсатору подключается считывающее устройство, управляющее элементом с долговременной памятью. Таким образом обеспечиваются указанные выше требования быстрого замера до отключения линии под действием релейной защиты и возможности длительно сохранять зафиксированную величину.

На этом принципе были разработаны перечисленные выше приборы типа ФИП, нашедшие применение в распределительных сетях 10 кВ.

Для облегчения практического применения приборов, фиксирующих ток короткого замыкания, чтобы не требовалось каждый раз в аварийной ситуации проводить расчеты, используют эквитоковые кривые. При этом предварительно рассчитывают токи короткого замыкания для достаточно большого числа точек каждой отходящей линии и по результатам расчета на схему линии наносят эквитоковые кривые магистральной части линии и ответвлений с равными значениями токов короткого замыкания. После того как прибором будет зафиксировано определенное значение тока короткого замыкания, по схеме линии с эквитоковыми кривыми непосредственно определяют зону поиска повреждения.

Однако простейшие приборы типа ФИП, фиксирующие ток короткого замыкания, имеют ряд недостатков, в том числе следующие: для определения расстояния до точки короткого замыкания требуются дополнительные расчеты или предварительное построение эквитоковых кривых, на точность замера (погрешность прибора) влияют переходное сопротивление в месте повреждения (в первую очередь сопротивление дуги), уровень напряжения в сети, значение тока нагрузки (прибор фактически измеряет суммарный ток нагрузки и короткого замыкания) и т. д.

Более совершенными являются **фиксирующие омметры, особенно измеряющие реактивное сопротивление**. При измерении сопротивления, то есть отношения напряжения к току, удается значительно уменьшить влияние изменения уровней напряжения на точность замера. Измерение реактивного сопротивления уменьшает также влияние сопротивления дуги в точке короткого замыкания, которое является в основном активным, и дает возможность проградуировать шкалу прибора в километрах. Если к тому же приборы измеряют ток нагрузки, предшествующей режиму короткого замыкания, появляется возможность учесть и соответственно уменьшить влияние тока нагрузки.

Омметр в отличие от фиксирующих амперметров и вольтметров измеряет не одну, а две величины (ток и напряжение), которые подаются на его вход. Для уменьшения шунтирующего влияния нагрузки отдельно может быть измерен ток нагрузки, предшествующий появлению короткого замыкания. Все эти величины фиксируются (запоминаются) по принципу, рассмотренному выше (при этом токи предварительно преобразуются в пропорциональные им напряжения), а затем при помощи специальных схем (преобразовательных блоков) преобразуются в сигналы, пропорциональные сопротивлению (полному, реактивному, с учетом тока предшествующей нагрузки и т. д.). Учитывая, что реактивное (индуктивное) сопротивление линий мало зависит от площади сечения применяемых проводов, шкалы этих приборов проградуированы в километрах. К таким приборам относятся фиксирующие омметры типа ФМК-10, ФИС и др.

#### **Устройства для определения поврежденных участков воздушных линий**

При помощи таких устройств можно определить направление поиска точек короткого замыкания на воздушных линиях напряжением 10 - 35 кВ. Устройства, как правило, устанавливаются в месте разветвления линии — на первых опорах после точки разветвления. Они фиксируют появление тока короткого замыкания при возникновении его на ответвлении

или участке магистрали линии за точкой установки устройства. При поиске короткого замыкания на отключенной линии от этих устройств получают информацию о наличии (устройство сработало) или отсутствии (не сработало) короткого замыкания за местом его установки. В электрических сетях получили распространение **указатели поврежденных участков** типа УПУ-1 и более совершенные и надежные указатели короткого замыкания типа УКЗ и ИКЗ.

Возникновение короткого замыкания указатель фиксирует при помощи магнитного (индукционного) датчика тока, устанавливаемого в зоне проводов, но не имеющего непосредственной связи с ними. Один указатель обеспечивает информацию о всех видах междуфазных коротких замыканий.

Указатель типа УКЗ выполнен в виде исполнительного блока, содержащего, кроме магнитного датчика, электронную схему управления и магнитный индикатор.

При возникновении короткого замыканий за местом установки указателя он срабатывает за счет броска тока короткого замыкания, в результате чего флажок индикатора поворачивается к наблюдателю стороной, окрашенной в яркий оранжевый цвет, и остается в этом положении, если линия отключается защитой.

После подачи напряжения на линию (при успешном АПВ или после устранения повреждения) флажок индикатора автоматически возвращается в исходное положение. Возврат флажка происходит благодаря емкостному отбору напряжения линии при помощи антенного преобразователя.

Установка указателей дает возможность обслуживающему персоналу при повреждении линии объехать точки разветвления и, определив поврежденный участок, обойти для нахождения места короткого замыкания только поврежденный участок, а не всю линию. Указатели целесообразно устанавливать, как при отсутствии, так и при наличии фиксирующих приборов для определения расстояния до точки короткого замыкания. В последнем случае указатели ускоряют поиск в связи с тем, что из-за разветвленности сельских линий 10 кВ показания фиксирующих приборов определяют не одну, а, как правило, несколько точек короткого замыкания (на магистрали и разных ответвлениях).

#### **Устройства для определения места однофазного замыкания на землю**

Однофазные замыкания на землю — наиболее частый вид повреждения. В сельских распределительных сетях напряжением 10 кВ, работающих с изолированной нейтралью, однофазные замыкания на землю, сопровождающиеся относительно малыми токами, не являются короткими замыканиями. Поэтому при их возникновении допускается не отключать линию в течение времени, требуемого для устранения повреждения.

Однако необходимо максимально быстро определить место и устранить повреждение, так как однофазное замыкание на землю может перейти в двойное. Последнее является коротким замыканием и будет отключено защитой, что приведет к перерыву в электроснабжении потребителей.

Кроме того, возможны замыкания на землю, например, при обрыве провода и падении его на землю, весьма опасные для жизни людей и животных. В то же время замыкания на землю могут происходить в результате скрытых повреждений, например, при внутренних трещинах изоляторов, когда внешние признаки замыкания отсутствуют и обнаружить его визуально очень сложно. Поэтому были разработаны специальные устройства — переносные приборы, облегчающие и ускоряющие отыскание места повреждения.

Принцип действия переносных приборов, используемых в электрических сетях напряжением 10 кВ, основан на измерении высших гармонических составляющих тока замыкания на землю. Значительно больший уровень гармоник в спектре токов замыкания на землю по сравнению с токами нагрузки обеспечивает эффективное действие этих приборов.

В сельских электрических сетях 10 кВ получили распространение, приборы типа «Поиск» (сняты с производства) и более совершенные «Волна» и «Зонд». В приборах «Поиск» и «Волна» основные элементы — магнитный (индуктивный) датчик, фиксирующий

появление (увеличение амплитуды) гармонических составляющих тока, фильтр высших гармоник, пропускающий те из них, на которые настроен прибор, усилитель, обеспечивающий требуемое усиление сигнала, и измерительный прибор, выдающий результирующий сигнал.

Место замыкания на землю в линии определяют следующим образом. Если обход линии начинается с подстанции, делают замеры на выходе линии с подстанции, располагая прибор под линией. Поврежденную линию определяют по максимальному отклонению стрелки измерительного прибора. Делая измерения в местах разветвления поврежденной линии, аналогичным образом определяют поврежденное ответвление или участок магистрали. За местом замыкания на землю показания прибора резко уменьшаются, что и определяет точку замыкания.

Прибор «Зонд» — устройство направленного действия, то есть он обеспечивает не только определение места замыкания на землю, но и направление поиска, что представляет интерес, если поиск начинается не с подстанции, а с какой-то точки поврежденной линии. Действие его основано на сравнении фаз напряжения и тока 11-й гармоники (550 Гц). Поэтому, кроме указанных основных элементов, «Зонд» имеет орган сравнения фаз, а выходной измерительный прибор имеет шкалу с нулем посередине.

#### Литература

1. А. П. Кузнецов. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи – Москва: Энергоиздат, 1989. – 50 с
2. Фадеева Г.А., Федин В.Т. Проектирование распределительных электрических сетей.- Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 365 с
3. <http://leg.co.ua/knigi/rzia/opredelenie-mest-povrezhdeniya-na-vl.html>