

УДК 623.44

## АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Копейкина Т.В.

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: kopeikina.tania@yandex.ru*

В настоящей статье имеется обзор существующих в российской электроэнергетической практике средств определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи высокого напряжения. Анализируется факт разработки множества различных устройств и методик определения места повреждения (далее - ОМП), в частности, определения места короткого замыкания (ОМКЗ). Однако, крайне распространенной является ситуация, когда недостаточная точность описания математической модели линии электропередачи, а также протекающих в ней переходных процессов, приводят к существенным неточностям получаемых результатов. В статье содержится информация о необходимости и целесообразности применения устройств для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи в системе электрооборудования. Рассмотрен анализ существующих устройств для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи. В результате проведенных исследований сделан вывод о необходимости внедрения данных современных устройств на воздушные линии.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, место повреждения, короткое замыкание, аппарат, сеть

## ANALYSIS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF FAULT LOCATION ON OVERHEAD TRANSMISSION LINES

Kopeikina T.V.

*FGBOU VO "Volgograd State Technical University" Kamyshin institute of technology (branch) of FGBOU VO "Volgograd State Technical University", Kamyshin, e-mail: kopeikina.tania@yandex.ru*

In this article a review of existing practice in the Russian power tools of fault location on overhead transmission lines of high voltage. Analyzed the fact that the development of a wide variety of devices and methods for determining the location of the damage (hereinafter WMD), in particular, determine the fault location (OMCS). However, very common is the situation where the insufficient precision of the description of the mathematical model of a transmission line, and proceeding in it of transients, lead to significant inaccuracies in the results obtained. The article provides information on the necessity and feasibility of using devices for fault location on overhead transmission lines in the power system. Considered analysis of existing devices for fault location on overhead transmission lines. As a result of the conducted research the conclusion about the necessity of implementation of modern data devices on overhead lines.

**Key words:** overhead transmission lines, fault location, short circuit, device, network

Проведение периодических осмотров, профилактических измерений и испытаний не гарантирует безотказной работы ВЛ. В практической эксплуатации всегда имеют место случайные повреждения ВЛ: однофазные и многофазные замыкания, обрывы проводов и другие повреждения. Одной из важных задач эксплуатации ВЛ является быстрое определение места повреждения и проведение ремонтно-восстановительных работ. При большой протяженности и разветвленности распределительных сетей указанная задача может эффективно решаться только при использовании специальных технических средств, определяющих поврежденную линию и расстояние до места повреждения.

### Цель исследования

Используемые в настоящее время устройства по принципу действия подразделяются:

1. Фиксирующие аппараты, предназначенные для определения расстояния до места повреждения на ВЛ. Данные устройства фиксируют симметричные составляющие тока и напряжения нулевой последовательности на обоих концах контролируемой линии.

Такой подход позволяет исключить влияние переходных сопротивлений без учёта режимов работы линий, примыкающих к аварийному участку сети.

Расчётное расстояние до места повреждения, как правило, определяет дежурный персонал на диспетчерских пунктах. Имея показания прибора, диспетчер при помощи аналитического, графического и графоаналитического методов определяет расстояние до места аварии.

Далее, определенное таким образом расстояние передаётся ремонтному персоналу соответствующего предприятия сетей, которое занимается непосредственным обслуживанием воздушных линий электро-

передач для организации обхода, осмотра и последующего ремонта неисправных элементов сети.

Основные разновидности подобных устройств с запоминающим конденсатором: ЛИФП, ФИП, МФИ, ФИС.

2. Аппараты для определения участков сети, повреждаемых при коротких замыканиях. Данные устройства автоматически контролируют и фиксируют электрические величины промышленной частоты в период аварийных режимов. Использование таких устройств позволяет очень точно определить участки и опоры ВЛ с повреждённой изоляцией.

В свою очередь, данные устройства подразделяются на следующие подвиды:

Указатели участков ВЛ с повреждённой изоляцией, которые производят контроль следующих параметров аварийных режимов в заданных точках сети: снижение напряжения, увеличение тока, направление мощности в месте аварии.

Указатели опор с повреждёнными изоляторами, контролирующие прохождение тока по элементам опоры, выполненным из металла.

Указатели гирлянд, имеющих повреждённую изоляцию, ведущие контроль над гирляндами, которые были перекрыты действием электрической дуги.

Устройства переносного типа для определения мест замыканий на землю в сетях, работающих в режиме компенсации ёмкостных токов. В данном случае, с помощью датчиков напряжения и тока происходит контроль процессов в сетях при замыканиях на землю.

Такого рода сети 6-35 кВ отличаются малым значением токов замыкания на землю, которые порой могут быть в несколько раз меньше токов нагрузки. Именно по этой причине здесь не применимы устройства, использующиеся в сетях более высокого напряжения.

В данном случае, довольно широкое применение получили приборы переносного типа, позволяющие при малых токах замыкания на землю точно определить место повреждения. К таким устройствам относят приборы «Поиск-1», «ЗОНД», «Волна».

Они способны достаточно точно определить место повреждения по токам нулевой последовательности, протекающим в момент замыкания на землю, путём измерения магнитного поля возле линии при помощи специальных датчиков, которые представляют собой катушку индуктивности с разомкнутым ферромагнитным сердечником.

### Результаты исследования

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.

Многие разработанные различные типы фиксирующих приборов успешно эксплуатируются. В сельских 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.

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.

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 длительное сохранять зафиксированную величину. На этом принципе были разработаны перечисленные выше приборы типа ФИП, нашедшие применение в сельских 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 (индуктив-

ное) 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. При помощи устройств для определения поврежденных участков воздушных линий можно определить направление поиска точек короткого замыкания на воздушных линиях напряжением 10 - 35 кВ. Устройства, как правило, устанавливают 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.

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 замыкания 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).

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 — это 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.

### Выводы

Использование подобных современных средств ОМП позволяет достичь следующих результатов:

- значительно улучшить технико-экономические показатели электроснабжения наиболее ответственных потребителей;
- повысить надёжность работы сетей;
- сократить недоотпуск электроэнергии;
- существенно сократить затраты труда на поиск мест повреждений.

Стоит отметить, что и сегодня производители таких устройств не останавливаются на достигнутом результате и постепенно уходят от применения электромеханических устройств.

В настоящее время наметилась твердая тенденция использования электронных устройств, позволяющих ещё более точно определять место повреждения на воздушных линиях электропередач.

Однако, ввиду простоты своей конструкции и высокой надёжности рассмотренные выше устройства достаточно эффективно применяются для определения мест повреждения на ВЛ всех классов напряжений.

### Список литературы

1. Журнал: Электротехнический рынок. №5-6 (65-66) Сентябрь-Декабрь 2015.
2. Технические аспекты применения компактных управляемых воздушных линий электропередачи. Копейкина Т.В.Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. 4. С. 581-585.
3. Техническое состояние электрических сетей России и перспективы их развития / Ю. В. Лебедева, Н. Ю. Шевченко, К. Н. Бахтиаров // Современные проблемы науки и образования. - 2013.-№4. - С. <http://www.science-education.ru/110-9808>.