

Определение места повреждения длинных силовых кабелей

Использование опыта работы с подводными кабелями для протяженных наземных линий



Измерительный контейнер перед кабельным залом

Источник: Vaur/Манфред Баварт

Через несколько лет высоковольтные кабели длиной в сотни километров будут опоясывать Германию и станут частью ее жизненно важной инфраструктуры. Чтобы обеспечить их максимальную эксплуатационную готовность, необходимо быть в состоянии быстро и точно локализовать повреждение и отремонтировать кабель. Возможности обычных технологий определения места повреждения в этом случае ограничены, но для сверхдлинных кабелей есть особые решения. Их технология частично заимствована из другой области, где также используются сверхдлинные кабели — подводные силовые линии.



Ральф Дункер, директор,
Press'n'Relations II GmbH, Мюнхен

Через несколько лет в рамках расширения энергосистемы Германии планируется выполнить прокладку кабелей сверхвысокого напряжения, масштабы которой поистине грандиозны. Для минимизации потерь сверхпротяженные трассы с севера на юг спроектированы как линии электропередачи постоянного тока 525 кВ. Так, например, линия Südlink будет иметь длину прилб. 700 км. В случае линии Südostlink около 500 км из 560 планируется проложить под землей. Другой глав-

ной артерией немецкой энергосистемы станет линия A-Nord длиной 300 км, которую по большей части также планируется проложить под землей. Помимо внутренних кабельных трасс, также прокладываются кабели, соединяющие прибрежные ветровые электростанции.

План на случай чрезвычайных ситуаций: Подготовка к аварийной ситуации до первого повреждения

Проблемы, которые встают перед операторами энергосетей, не ограничиваются прокладкой кабельных трасс. Чтобы гарантировать постоянную эксплуатационную готовность магистралей энергоснабжения, они должны быть в состоянии быстро реагировать на любые повреждения. Это означает не только сокращение времени ремонта, но и сокращение времени простоя за счет быстрого определения места повреждения кабеля. Поэтому, как правило, имеет смысл инвестировать в систему для определения мест повреждений кабеля еще до его ввода в эксплуатацию, и обеспечивать ее постоянную готовность на обоих концах трассы, чтобы сразу локализовать любое повреждение.

Благодаря такой экономии времени инвестиции в решения для определения мест повреждения обычно окупаются уже при первом повреждении кабеля. Для стратегически важных магистральных кабелей существуют системы определения мест повреждений в измерительных контейнерах, располагаемые в кабельном зале, технология которых уже хорошо зарекомендовала себя, в частности, для протяженных подводных кабелей длиной в несколько сотен километров.

Структура наземных кабелей сложнее, чем у подводных

В случае наземных кабелей инвестиции могут стать еще более выгодными. И хотя они не подвержены опасности механических воздействий такими объектами, как якоря



Подсоединение измерительного кабеля на головокружительной высоте

Источник: BAUR/Манфред Баварт



Кабели, соединяющие прибрежные ветровые электростанции, транспортируют огромные объемы энергии. Здесь также стоит иметь под рукой оборудование, способное быстро определить место повреждения.

Источник: служба Adobe Stock / Shutterstock1

итраловые сети, существует множество других потенциальных источников повреждений. Ведь несмотря на большую протяженность подводные кабели практически не имеют муфт, а наземные кабели состоят из участков длиной 1–2 км, что обусловлено транспортными причинами. Это приводит к большому количеству кабельных муфт.

«Согласно статистическим данным, чем больше длина кабеля и количество муфт, тем чаще возникают повреждения. Это усиливает обеспокоенность операторов по поводу отказов», — говорит Манфред Баварт, эксперт компании BAUR GmbH (Зульц, Австрия) по определению мест повреждения сверхпротяженных кабелей.

Исключить опасность для людей и оборудования

По словам М. Баварта, технологии, используемые на протяженных трассах, — это нечто особенное. «Наиболее часто используемые методы измерения для определения места повреждения не работают на участках запланированной длины. И оборудование, и методы измерения для протяженных кабельных систем принципиально отличаются». Помимо прочего, для безопасной разрядки энергии необходимы специальные разрядные системы, утверждает он, отмечая, что после испытания постоянным напряжением высоковольтных кабелей протяженностью в сотни километров сохраняются тысячи килоджоулей. «Большинство

приборов и измерительных систем не могут справиться со столь мощной энергией разряда. Стандартные приборы также не обладают защитой от чрезвычайно мощных переходных волн. Все это неизбежно приводит к повреждению приборов и представляет опасность для персонала.»

Поэтому системы BAUR для определения мест повреждений кабеля, подобны тем, которые многие клиенты используют для подводных кабелей, отличаются принципиально другой концепцией системы безопасности, прежде всего в плане крупногабаритных устройств для безопасной разрядки емкости кабеля, поясняет М. Баварт. Также различаются и методы измерения. «Большинство методов предвари-



Кабелепроводы высоковольтных кабелей для наземных ветряных турбин

Источник: служба Adobe Stock / Kruwt



Измерение высоковольтным мостом по Мюррею с помощью прибора shirla для локализации повреждений кабеля и кабельной оболочки протяженных силовых кабелей.

Источник: BAUR GmbH

тельной локализации, используемых для коротких наземных кабелей благодаря своей простоте, в длинных кабельных системах не приносят никакого результата. Поэтому используются специальные методы измерения и оптимизированное измерительное оборудование.»

Определение места повреждения с обоих концов и повышение точности

Кроме того, для длинных кабелей измерительные системы часто используются с обоих концов, что повышает точность измерений при большом расстоянии до повреждения. Оборудование, специально адаптированное к соответствующей системе, и точные измерения для предварительной локализации, выполненные с обоих концов, являются основой для быстрой и эффективной точной локализации, позволяющей значительно сэкономить время. «В зависимости от метода предварительной локализации, ее точность может достигать до 0,5% от общей длины кабеля, — отмечает М. Баварт. — Зачастую точность предварительной локализации может быть еще выше, если учитывать местоположение известных опорных точек, таких как муфты.»

Особая технология измерений

В качестве опорной информации также можно использовать результаты базового измерения, выполненного сразу после прокладки. Поэтому многие стандарты рекомендуют сделать так называемый рефлектометрический цифровой отпечаток TDR (Time Domain Reflectometry = метод импульсной

рефлектометрии). «Кроме того, из-за высокого уровня затухания в протяженных кабельных трассах требуется высокомоощная система с большой энергией импульса», — поясняет М. Баварт.

В случае низкоомных повреждений, например при коротком замыкании, для локализации можно использовать измерения методом импульсной рефлектометрии. Данный метод измерения отображает изменения импеданса с течением времени вдоль всей кабельной системы. Чем больше длина кабеля и количество прерывающих экран муфт, тем меньше чувствительность такого измерения. Метод импульсной рефлектометрии не позволяет обнаруживать высокоомные повреждения до тех пор, пока они не будут преобразованы в низкоомные посредством «прожига» с помощью мощного прожигового устройства.

Старые методы по-прежнему эффективны новейших кабелей

«Определение места повреждения сверхпротяженных кабельных системах порой требует возврата к основным понятиям технологии кабельных измерений», — поясняет М. Баварт, имея в виду, что для определения высокоомных повреждений также используется метод измерительного моста по схеме Мюррея. Его можно использовать для

определения мест низко- и высокоомных повреждений кабеля, а также повреждений кабельной оболочки, если рядом с неисправной фазой имеется другая неповрежденная фаза. Для проведения такого измерения неисправная фаза соединяется с исправной на дальнем конце. В отличие от импульсных методов, измерение мостом по схеме Мюррея имеет существенные преимущества в отношении точности в зависимости от длины. Это означает, что места повреждений кабеля могут быть определены с высочайшей точностью независимо от измеряемой длины до повреждения, будь оно в начале, в середине или в конце кабеля. Измерение мостом, выполняемое высоким напряжением, обеспечивает точные результаты даже при высокоомных повреждениях кабеля.

Определение места повреждения кабелей длиной несколько сотен километров методом измерительного моста уже хорошо зарекомендовало себя: например, оно было использовано на 450-киловольтном кабеле постоянного тока, проложенном между Норвегией и Нидерландами. В этой кабельной системе длиной 580 км повреждения кабеля были успешно и очень точно локализованы методом измерительного моста по схеме Мюррея с помощью оборудования VAUR.

Другим примером является 400-киловольтный подводный кабель длиной 300 км, проложенный между юго-востоком Австралии и Тасманией. Поскольку по нему поступает около 40% тока, требуемого для энергоснабжения Тасмании, его поломка вызвала энергетический кризис, длившийся несколько месяцев. И снова, после нескольких недель сопряженных с большими издержками поисков за помощью обратились к австрийскому эксперту, который смог быстро и точно определить место повреждения, используя импульсную рефлектометрию и измерение мостом по схеме Мюррея.

Определение мест повреждений с возможным пробоем и заплывающих повреждений

По словам М. Баварта, как правило, повреждения, возникающие на подводных и наземных кабелях, отличаются друг от друга. «По моему опыту, в кабельных системах сверхвысокого напряжения, проложенных по земле, более вероятно возникновение пробоев или заплывающих повреждений основной изоляции». Также повышается значение обнаружения места повреждения кабельной оболочки. Оно может использоваться для обнаружения и устранения повреждений, вызванных внешними воздействиями, например, при строительстве дорог, а также возникших в результате дефектов монтажа,



Измерительный контейнер перед кабельным залом (рис. слева)
Отсек оператора в контейнере (рис. справа)

Источник: BAUR GmbH/Манфред Баварт

на ранней стадии, до того, как произойдет повреждение основной изоляции.

Выбор методов измерения для определения мест повреждений с возможным пробоем и заплывающих повреждений в сверхпротяженных кабельных системах весьма ограничен. Другим техническим ограничением является большое количество прерывающих экран муфт. По словам М. Баварт, все методы измерения, основанные на импульсной рефлектометрии, должны рассматриваться критически. «Дифференциальный метод затухающего сигнала [Differential Decay Method] является наиболее оптимальным для успешного определения мест повреждений кабеля в столь сложных условиях». Этот метод измерения можно использовать с испытательным напряжением до 110 кВ.

Для дифференциального метода затухающего сигнала требуется наличие неповрежденного опорного кабеля, который всегда имеется в биполярных системах. Обе кабельные системы одновременно заряжаются источником высокого напряжения, в месте повреждения происходит пробой, и выполняется автоматическая регистрация диаграмм измерений. Затем расстояние до повреждения определяется с помощью другой диаграммы по

входящей обратной стороны переходной волне.

Преимущество заключается в том, что как обусловлено длиной затухание сигнала, так и большое количество прерывающих экран муфт оказывают гораздо меньшее влияние на результат измерения. Диаграммы измерений просты для оценки и обеспечивают очень точное измерение расстояния даже в сверхпротяженных кабельных системах.

Предотвращение значительного ущерба с помощью портативных и стационарных решений

Для определения места повреждения протяженных кабелей компания BAUR GmbH предлагает несколько решений. М. Баварт говорит следующее: «Предлагается широкий спектр оборудования: от портативных устройств, таких как наш прибор *shirga* [высоковольтный измерительный мост по схеме Мюррея и Глейзера] в сочетании с импульсным рефлектометром IRG 4000, до специально оборудованных мобильных электротехнических лабораторий и мобильных измерительных контейнеров, которые зачастую просто остаются в кабельном зале, что позволяет использовать их без необходимости в какой-либо транспортировке.» Последнее решение

М. Баварт рекомендует для магистральных силовых трасс, поскольку выход из строя таких линий как *Südlink*, *Südostlink* или *A-Nord* может не только повлиять на стабильность передающей сети, но и ограничить объемы транспортируемой энергии, что принесет огромный финансовый ущерб.

Операторам подводных кабелей, соединяющих крупные прибрежные ветропарки, эксперт компании BAUR также рекомендует наиболее быстрые решения, поскольку компенсации операторам ветропарков в случае повреждения кабеля, просто огромны. Будь то наземные или подводные кабели, в обоих случаях М. Баварт рекомендует провести точную оценку рисков: «Зависимость от электроэнергии растет, например, из-за увеличения количества электромобилей или в результате последнего энергетического поворота». Поэтому риски, связанные с повреждением системообразующих кабельных магистралей, являются новым фактором, гораздо более важным, чем в прошлом».

vertrieb@baur-germany.de

www.baur-germany.eu