

# Выявление неполнофазных режимов на ВЛ 110 кВ с помощью индикаторов короткого замыкания

**Авторы:** Горожанкин П.А., Кучерявенков А.А.

Использование индикаторов короткого замыкания (ИКЗ) производства позволит решить проблему выявления неполнофазных режимов для всех практически возможных случаев: обрыв без замыкания на землю, обрыв с замыканием на землю с одной или двух сторон, ВЛ на ХХ и с малой нагрузкой.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** неполнофазный режим, индикатор короткого замыкания, токовая защита от замыканий на землю

**Н**еполнофазные режимы в сети 110 кВ порождают достаточно много неблагоприятных явлений:

- несимметрия фазных напряжений на стороне 110 кВ вызывает несимметрию напряжений на стороне 10 кВ и 0.4 кВ, что вызывает повышенный нагрев силовых трансформаторов и асинхронных электродвигателей;
- появляется опасность повреждения силовых трансформаторов, работающих с малой нагрузкой или в режиме ХХ, а также измерительных трансформаторов из-за феррорезонанса и перенапряжений в незаземленных нейтралях силовых трансформаторов;
- появляется опасность производства операций с разъединителями в нейтралях трансформаторов ввиду опасности возникновения больших токов;
- увеличивается время срабатывания ДФЗ при наложении на междуфазное замыкание неполнофазного режима;
- появляется опасность неселективной работы токовых защит нулевой последовательности, что в сетях с многоконцевыми и параллельными линиями может привести к системной аварии.

Проблема определения неполнофазных режимов на ВЛ с ответвлениями и трансформаторами на ответвительных и проход-

ных подстанциях состоит в том, что существующие защиты нечувствительны к обрыву фазы:

- токовая направленная защита нулевой последовательности (3 ст.) такой режим не чувствует, т.к. параметры ее срабатывания выбираются из условий отстройки от неполнофазного режима (иначе возможна ложная работа при возникновении неполнофазного режима на смежной линии) [1];
- дистанционная защита (4-я ступень) такой режим также не чувствует;

Особенностью режима является и то, что ВЛ может отключаться от защиты не сразу, а после набора нагрузки.

Напряжение также не может служить надежным фактором неполнофазного режима, т.к. на ВЛ с односторонним питанием напряжение в отсутствующей фазе (за обрывом) будет, но меньше номинального значения – оно появляется за счет того, что генерируется в трансформаторах со схемой соединения Y/Д.

Из-за сложностей в определении неполнофазных режимов, они могут не отключаться релейной защитой и длительность их существования может составлять часы, а иногда и сутки.

При всем многообразии причин возникновения неполнофазных режимов, их можно разделить на две категории (рис. 1):

## 1) Неполнофазные режимы без отключения ВЛ:

- обрыв (отгорание) фазного провода в шлейфе (петле) на анкерной опоре;
- обрыв фазного провода в пролете с падением провода на землю при большой толщине и плотности снегового покрова;
- обрыв фазного провода у гирлянды изоляторов в натяжном зажиме с односторонним замыканием на землю
- обрыв фазного провода в пролете с падением проводов на землю

ВЛ отключится защитами от замыкания на землю

## 2) Неполнофазные режимы с отключением ВЛ:

- отключение ВЛ токовой направленной защитой от замыкания на землю (если обрыв фазного провода сопровождается замыканием на землю); замыкание на землю может быть односторон-

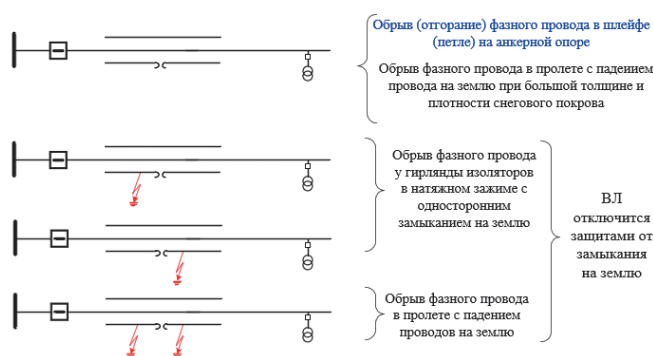


Рис. 1. Варианты неполнофазных режимов ВЛ-110 кВ

ним (обрыв фазного провода у гирлянды изоляторов в натяжном зажиме) и двухсторонним (обрыв фазного провода в пролете),

- отключение ВЛ защитой от непереключения фаз (ЗНПФ) при неполнофазном включении выключателя (разъединителя).

Для выявления неполнофазного режима предлагается использовать индикаторы короткого замыкания (ИКЗ) типа ИКЗ-В43Л.

В комплект ИКЗ входят три прибора (по одному прибору на каждую фазу). Каждый прибор фиксирует мгновенные значения тока и напряжения в соответствующей фазе, а также вычисляет угол между током и напряжением, мощность. Приборы в комплекте синхронизированы, что позволяет определять симметричные составляющие тока, напряжения и мощности.

#### Основные технические характеристики:

- порог чувствительности по току – 2 А;
- устойчивость к перегрузке по току – 25 кА x 500 мс;
- срок службы батареи – 10 лет;
- температурный диапазон –60 ...+85 °С;
- устойчивость к механическим воздействиям (пляска и вибрация) – М1
- устойчивость к ветровой нагрузке – до 40 м/с без гололеда, 23 м/с с гололедом 35 мм.

Передача сигнала от ИКЗ диспетчеру (или на подстанцию) осуществляется по GSM-каналу связи через блок сбора и передачи информации (БСПИ). БСПИ связывается с ИКЗ по BLE-связи. БСПИ устанавливается на опоре, ближайшей к ИКЗ. Время передачи информации от ИКЗ на блок сбора информации не превышает 1–2 сек., время передачи информации от БСПИ в диспетчерский центр зависит от сети GSM и обычно составляет не более 1–2 мин.

Питание БСПИ осуществляется от Li батареи, которой хватает на 8–10 лет при условии выхода на связь не реже 1 раза в сутки. Класс защиты IP65.

Основная идея определения обрыва – контроль емкостного тока ВЛ [2]. Для напряжения ВЛ 110 кВ емкостной ток составляет 0.17 А/км, поэтому чувствительность ИКЗ к неполнофазным режимам обеспечивается при протяженности ВЛ 110 кВ не менее 12 км.

Преимущество ИКЗ перед традиционными устройствами РЗА состоит в повышенной чувствительности по току (прибор располагается непосредственно на проводе). Кроме того, для работы ИКЗ не требуются измерительные трансформаторы тока и напряжения, что совместно с отсутствием вторичных цепей обеспечивает достаточно высокую надежность.

Индикаторы устанавливаются по концам ВЛ и работают следующим образом:

#### 1) Неполнофазный режим с отключением ВЛ

ИКЗ сравнивает напряжение и ток доаварийного режима:

- выявляется емкостной ток (ток опережает по фазе напряжение на 90 град)
- выполняется пофазное сравнение емкостного тока (на фазе с обрывом емкостной ток будет меньше).

При обрыве вблизи противоположного конца ВЛ, ИКЗ на противоположном конце ВЛ покажет минимальный емкостной ток, зато ИКЗ на другой стороне ВЛ покажет емкостной ток целой ВЛ



Рис. 2. Индикатор короткого замыкания ИКЗ-В43Л

#### 2) Неполнофазный режим без отключения ВЛ

Если ВЛ под напряжением, а ток нагрузки меньше порога чувствительности ИКЗ, то ИКЗ выделяет неполнофазный режим по величине емкостного тока (емкостной фазы с обрывом будет меньше, чем в неповрежденных фазах).

Если ВЛ под напряжением, а ток нагрузки меньше уставки срабатывания ТНЗНП, но больше порога чувствительности ИКЗ, то ИКЗ выделяет неполнофазный режим по отсутствию тока в одной фазе и наличию тока в двух других фазах

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование индикаторов короткого замыкания (ИКЗ) позволит решить проблему выявления неполнофазных режимов для всех практически возможных случаев: обрыв без замыкания на землю, обрыв с замыканием на землю с одной или двух сторон, ВЛ на XX и с малой нагрузкой.

Применение ИКЗ позволяет:

- однозначно определять неполнофазный режим в случае срабатывания ТНЗНП;
- выявлять неполнофазные режимы без повторных включений ВЛ (на холостой ход);
- сократить время выявления неполнофазного режима с нескольких часов (суток) до нескольких минут.

В перспективе возможна реализация защиты с использованием ИКЗ, питающихся от напряжения ВЛ и не требующих замены элемента питания в течение всего срока службы (25 лет).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Листовкин В. / ВЛ 110–220 кВ. Диагностика обрыва фазы под рабочим напряжением. // Новости электротехники, 2(128)–3(129), 2021, <http://www.news.elteh.ru/arh/2010/62/05.php>.