

$$\Delta_P = \begin{vmatrix} x & y & z \\ R_{Gx} & R_{Gy} & R_{Gz} \\ P_x & P_y & P_z \end{vmatrix}.$$

Вес провода определяется по справочным данным для заданной марки провода. Дополним уравнение (1) условиями упругой деформации растяжения прилегающих к распоркам участков провода по закону Гука:

$$\Delta H = \frac{\Delta L}{l} EA,$$

где

$$\Delta H = H_{\max} - H_0;$$

H_{\max} – максимальное тяжение провода при схлестывании, Н;

H_0 – начальное тяжение провода, Н;

$$\Delta L = L_{\max} - L_0;$$

L_{\max} – максимальная длина провода при схлестывании в подпролете, м;

L_0 – первоначальная длина провода в подпролете, м;

l – длина пролета, м;

E – модуль упругости провода, Н/мм²;

A – поперечное сечение провода, мм².

После некоторых преобразований получим:

$$H_{\max} = H_0 + \frac{EA}{l} \left(\frac{2}{3} S \operatorname{tg} \alpha_{\max} - \frac{q^2 l^3}{24 H_0^2} \right). \quad (3)$$

Уравнения (3) и (1) образуют систему трансцендентных уравнений относительно неизвестных H_{\max} и α_{\max} . Приведем ее к виду удобному для решения методом половинного деления. Для этого подставим H_{\max} из (3) в уравнение (1) и решим (1) относительно α_{\max} . После достижения заданной точности итерационного решения трансцендентного уравнения (1) определяем и силу сжатия распорки (F_p). Расчет H_{\max} производится по выражению (3), а F_p по формуле:

$$F_p = 2H_{\max} \operatorname{tg} \alpha_{\max}.$$

Литература

1. ГОСТ 30323-95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического действия токов короткого замыкания. – Введ. 01.03.99. – Минск, 1999.
2. Сергей И.И., Пономаренко Е.Г., Саммур Вайль Махмуд. Оценка сближения проводов распределительных устройств электростанций по допустимому импульсу электродинамических усилий // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2004. – № 4. – С. 5–9.

УДК 621.316.933

ПРИМЕНЕНИЕ ДЛИННО-ИСКРОВЫХ РАЗРЯДНИКОВ

Пашкович Н.П.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

Применение длинно-искровых разрядников (РДИ) – эффективный способ защиты воздушных линий электропередачи (ВЛ) и электрических сетей 6–35 кВ от грозových

перенапряжений и их последствий. РДИ – особенный по своему принципу действия, конструктивным параметрам, техническим характеристикам и функциональным возможностям класс грозозащитных разрядников, предотвращающий дуговые замыкания за счет удлинения и разбиения на части канала разряда. РДИ эффективны, надёжны, экономичны благодаря простоте технической концепции и главному отличительному достоинству – неподверженности разрушениям и повреждениям грозowymi и дугowymi токами, поскольку токи протекают вне аппаратов.

Технология грозозащиты распределительных сетей с помощью РДИ, являющаяся российским научно-техническим достижением, не имеющим зарубежных аналогов. В основе всех разработок ОАО «НПО Стример» (Россия) в области технологии грозозащиты электрических сетей с помощью длинно-искровых разрядников лежат научные исследования, результаты которых регулярно публикуются в периодических изданиях, трудах международных конференций.

Принцип работы разрядников основан на использовании эффекта скользящего разряда, который обеспечивает большую длину импульсного перекрытия по поверхности разрядника. За счет этого, а также благодаря разбиению канала разряда на части промежуточными электродами, исключается переход импульсного перекрытия в силовую дугу тока промышленной частоты.

На современном рынке представлены три типа РДИ 10 кВ:

- шлейфового типа (РДИШ-10);
- модульного типа с длиной перекрытия по поверхности 1,5 м (РДИМ-10-1,5);
- модульного типа для компактных ВЛ (РДИМ-10-К).

РДИ шлейфового типа. Разрядник предназначен для защиты ВЛ напряжением 6–10 кВ трехфазного переменного тока с защищенными и неизолированными проводами от индуктированных грозowych перенапряжений и их последствий.

Основным элементом разрядника является отрезок специального кабеля с алюминиевой монолитной жилой диаметром 9 мм и трёхслойной изоляцией из сшитого полиэтилена (ПЭ) общей толщиной около 4 мм. Прилегающий к жиле слой выполнен из проводящего ПЭ, средний слой – из чисто изоляционного ПЭ, а наружный слой – из светостабилизированного трекингостойкого ПЭ. На одном из плечей отрезка кабеля установлены промежуточные кольцевые электроды, обеспечивающие разбиение канала перекрытия на отдельные отрезки. Кабель снабжён алюминиевыми оконцевателями, через которые жила кабеля выступает за пределы изоляции. Разрядник крепится к проводу этими выпусками с использованием зажимов. В средней части кабеля установлена металлическая трубка, которая крепится к изолятору. На штыре этого же изолятора, напротив металлической трубки, устанавливается стержневой электрод для обеспечения необходимого искрового промежутка.

При возникновении на проводе ВЛ индуктированного грозowego импульса перенапряжения металлическая трубка на кабеле разрядника приобретает тот же высокий потенциал, что и провод. Поэтому первоначально практически всё грозовое перенапряжение оказывается приложенным к искровому воздушному промежутку между трубкой и заземлённым стержневым электродом. При напряжении порядка 50–70 кВ промежуток пробивается, и металлическая трубка на поверхности кабеля приобретает нулевой потенциал земли. Таким образом, перенапряжение оказывается приложенным между жилой кабеля и металлической трубкой на его поверхности. Под воздействием этого перенапряжения вдоль поверхности изоляции разрядника развивается скользящий разряд, который проходит от металлической трубки через промежуточные кольцевые электроды к соответствующему оконцевателю. Таким образом провод ВЛ оказывается связанным с заземлённой опорой через длинный канал разряда, который разбит на отдельные отрезки кольцевыми электродами. После прохождения импульсного тока

грозового перенапряжения по каналу разряда протекает сопровождающий ток промышленной частоты. Однако при первом переходе тока через ноль разряд гаснет, не переходя в силовую дугу, что предотвращает возникновение короткого замыкания и отключение ВЛ.

Конструкция разрядника обеспечивает усиление крепления провода на опоре, то есть разрядник заменяет обычный шлейф двойного крепления.

Разрядники РДИШ-10 целесообразно применять для защиты ВЛ 6–10 кВ от индуктированных грозовых перенапряжений в тех местах, где необходимо двойное крепление проводов. Их надо устанавливать по одному на опору с чередованием фаз.

РДИ модульного типа с длиной перекрытия по поверхности 1,5 м. Возможны различные варианты исполнения РДИ. Наилучшими вольт-секундными характеристиками обладают РДИ модульного типа (РДИМ), что позволяет с их помощью защитить изоляцию ВЛ с неизолированными и защищенными проводами не только от индуктированных перенапряжений, но и от прямых ударов молнии в линию электропередачи.

РДИМ состоит из двух отрезков кабеля с корделем, выполненным из резистивного материала. Отрезки кабеля сложены между собой так, что образуются три разрядных модуля (рисунок 1).

Отрезки резистивного корделя подсоединяются к металлическим оконцевателям через внутренние искровые промежутки И1, И2, И3, И4. При воздействии импульса грозового перенапряжения они перекрываются, и резистив-

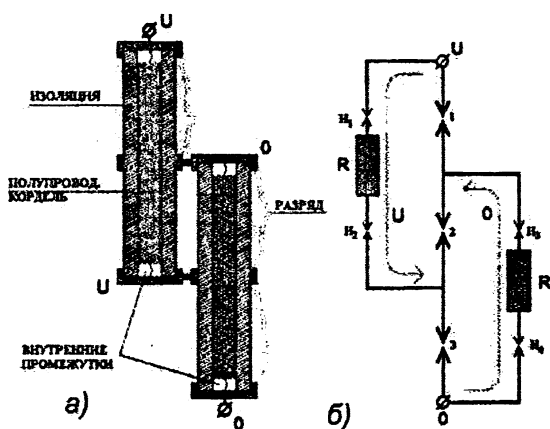


Рис. 1. Иллюстрация принципа действия РДИМ:
а – конструктивная схема; б – принципиальная схема

ный кордель верхнего отрезка кабеля, имеющий сопротивление R , выносит высокий потенциал U на поверхность нижнего отрезка кабеля в его средней части. Аналогично, резистивный кордель нижнего отрезка кабеля, имеющий также сопротивление R , выносит низкий потенциал 0 на поверхность верхнего отрезка кабеля в его средней части.

Таким образом, к каждому разрядному модулю одновременно приложено полное напряжение U , и для всех трёх разрядных модулей созданы условия для одновременного начала развития скользящих разрядов, которые, при перекрытии соответствующих модулей, создают единый, длинный канал перекрытия.

Два отрезка кабеля из полиэтилена высокого давления, соединены между собой хомутами (рисунок 2). Разрядник

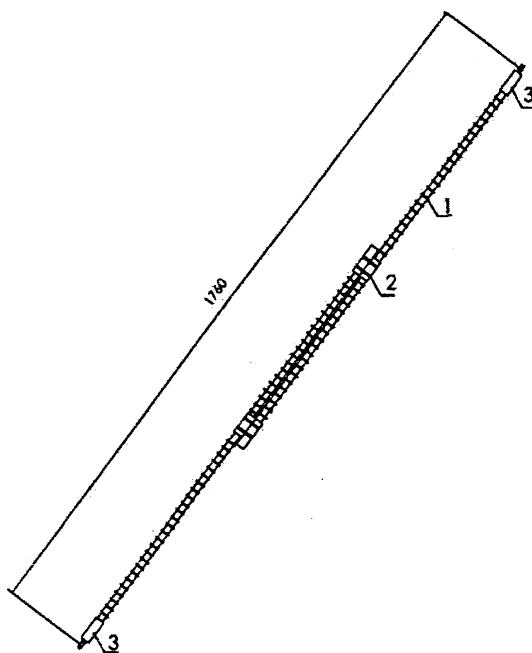


Рис. 2. Разрядник РДИМ-10-1,5: 1 – кабель; 2 – хомут; 3 – оконцеватель

снабжён оконцевателями, с помощью которых он присоединяется при помощи универсального зажима к проводу и при помощи кронштейна крепления к опоре ВЛ. Элементы крепления дополнительно соединены с траверсой посредством шины для осуществления заземления. При возникновении на проводе ВЛ индуктированного грозового импульса или при прямом ударе молнии в линию вдоль поверхности изоляции разрядника развивается скользящий разряд. После прохождения импульсного тока разряд гаснет, не переходя в силовую дугу, что предотвращает возникновение короткого замыкания и отключение ВЛ.

Разрядник целесообразно применять для защиты участков линии, подверженных прямым ударам молнии, а также для защиты подходов к подстанциям ВЛ на деревянных опорах или на железобетонных опорах с изоляторами ШФ20Г или аналогичных им по классу напряжения.

РДИ модульного типа для компактных ВЛ. Разрядник предназначен для защиты от индуктированных грозовых перенапряжений и их последствий воздушных линий электропередачи напряжением 6–10 кВ трехфазного переменного тока с неизолированными и защищенными проводами компактного исполнения с расстоянием между соседними проводами около 0,5 м и с изоляторами класса 20 кВ в районах до II степени загрязнения.

Разрядник состоит из двух отрезков кабеля с резистивным корделем и изолятора в виде тонкого жгута из силиконовой резины. Изолятор снабжен оконцевателями, с помощью которых разрядник крепится одним концом к проводу, а другим – к опоре, и служит для обеспечения необходимой механической прочности разрядника, а также для создания внешних искровых разрядных промежутков. Отрезки кабеля крепятся к изолятору при помощи металлических втулок, образуя три разрядных модуля.

При воздействии импульса грозового перенапряжения сначала перекрываются искровые промежутки по поверхности стержневого изолятора с обоих его концов между металлическими оконцевателями и крайними втулками крепления к нему отрезков кабеля. Импульсное напряжение благодаря проводящим свойствам внутренних корделей двух отрезков кабеля прикладывается одновременно к трем разрядным модулям, при искровом замыкании которых формируется общий длинный канал перекрытия разрядника.

После прохождения импульсного грозового тока разряд гаснет, поскольку при заданной длине канала перекрытия силовая дуга не устанавливается, что предотвращает возникновение короткого замыкания и отключение ВЛ.

На одноцепных ВЛ разрядники устанавливаются по одному на каждую опору параллельно изолятору только средней фазы. На двухцепных ВЛ разрядники устанавливаются по 2 шт. на каждую опору, по одному разряднику, также – только на среднюю фазу каждой из цепей. Благодаря такому способу установки разрядников на компактных ВЛ при воздействии индуктированных перенапряжений возможно только однофазное замыкание на землю. При этом сопровождающий ток является емкостным и в подавляющем большинстве случаев не превышает 10 А. Поэтому относительно небольшой длины пути перекрытия по разряднику достаточно для гашения сопровождающего тока.

При воздействии индуктированного перенапряжения на ВЛ срабатывают разрядники, установленные на средней фазе, и она приобретает нулевой потенциал. Благодаря большому коэффициенту связи между средней и крайней фазами компактной ВЛ, а также вследствие падения напряжения на сопротивлении заземления опор от тока, протекающего через сработавший разрядник, напряжение на изоляторах крайних фаз не превышает их разрядное напряжение. Таким образом все три фазы ВЛ оказываются защищенными от индуктированных перенапряжений.

Рассмотренные длинно-искровые разрядники целесообразно применять для защиты ВЛ 6–10 кВ с защищенными и неизолированными проводами.

Литература

1. Методические указания по защите распределительных электрических сетей напряжением 0,4–10 кВ от грозовых перенапряжений. – М.: ФСК, 2005.
2. Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» в распределительном электросетевом комплексе. – М.: ФСК, 2006.
3. Подпоркин Г.В., Пильщиков В.Е., Сиваев А.Д. Защита ВЛ 6–10 кВ от грозовых перенапряжений посредством длинно-искровых разрядников модульного типа // Энергетик. – 2003. – № 1. – С. 27–29.

УДК 621.315

ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРВОГО МАКСИМУМА ТЯЖЕНИЯ ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТКРЫТОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Андрукевич Е.П.

Научный руководитель – ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

С ростом токов коротких замыканий (КЗ) усиливается их электродинамическое действие на токопроводы распределительных устройств и воздушных линий (ВЛ). Электродинамические усилия (ЭДУ) при больших токах КЗ преобладают по сравнению с климатическими нагрузками и оказывают решающее влияние на конструктивное исполнение открытых распределительных устройств (ОРУ) и воздушных линий электропередачи.

Особенностью динамики гибких токопроводов при КЗ является сближение и даже схлестывание соседних фаз. Второй неблагоприятный фактор электродинамического действия тока КЗ проявляется в виде динамических нагрузок в проводах, гирляндах изоляторов и других элементах РУ и ВЛ, в несколько превышающих тяжения нормального режима. Согласно указаниям ПУЭ, проверку гибких проводов РУ и ВЛ на схлестывание следует проводить при токах КЗ 20 кА и более. Установлено, что существующие токи КЗ значительно превышают указанное в ПУЭ значение в сетях всех классов напряжения.

Большое внимание уделяется исследованию динамики проводов расщепленных фаз. Небольшие (на порядок меньше междуфазных) расстояния между проводами расщепленной фазы обуславливают большие ЭДУ, действующие внутри расщепленной фазы при КЗ.

При определенном сочетании конструктивных параметров расщепленной фазы и величины тока КЗ возникает схлестывание проводов фазы. Время от начала КЗ до момента их схлестывания определяется величиной тока КЗ, расстоянием между проводами и их массой. При достаточно больших токах КЗ схлестывание наступает уже через несколько периодов промышленной частоты и происходит на большей части подпролета. Стягивание проводов фазы при КЗ обуславливает значительные силы сжатия F_c , действующие на дистанционные распорки. После схлестывания провода двигаются совместно под действием междуфазных ЭДУ. Динамика системы схлестнувшихся проводов аналогична динамике одиночного провода [1].

Таким образом, отличительной особенностью расщепленной фазы является наличие трех максимумов тяжения сдвинутых во времени (рисунок 1). Первый максимум