

**Использование подвесных  
ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН)  
для защиты изоляции воздушных линий от грозových перенапряжений**  
Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В.

В статье рассмотрен ряд вопросов, касающихся условий работы нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН), защищающих изоляцию воздушных линий (ВЛ) от грозových перенапряжений.

### **1. Введение**

Расчетное число грозových отключений ВЛ [1] обычно снижают “привычными” способами - уменьшая импульсное сопротивление заземления опор, снижая высоту опор, применяя грозозащитные тросы, увеличивая импульсную прочность гирлянд линейных изоляторов. В тех случаях, когда традиционные средства грозозащиты оказываются неэффективными из-за неблагоприятных геофизических условий (высокое удельное сопротивление грунтов) или метеоусловий (высокие гололедно-ветровые нагрузки для тросов), единственным способом повышения грозоупорности ВЛ является использование подвесных ограничителей перенапряжений, как эффективного средства снижения числа отключений ВЛ, вызванных грозowymi перенапряжениями.

Подвесные ограничители перенапряжений ОПН устанавливаются на опорах ВЛ параллельно гирляндам линейных изоляторов, т.е. между фазным проводом и траверсой опоры. При этом используются два способа подключения оксидно-цинкового нелинейного сопротивления:

- без искрового промежутка;
- через искровой промежуток.

Наличие или отсутствие искрового промежутка заметно изменяет условия работы защитного аппарата в эксплуатации и накладывает определенные требования на характеристики используемых в аппарате оксидно-цинковых варисторов.

Общие требования к характеристикам и конструкции таких защитных аппаратов можно сформулировать следующим образом:

- ограничители перенапряжений должны обеспечить отсутствие перекрытий линейной изоляции при грозových перенапряжениях на ВЛ, т.е. обладать необходимыми защитными характеристиками;
- ограничители перенапряжений должны выдерживать без повреждений в течение срока своей службы совокупность эксплуатационных воздействий, в том числе, вызванных перенапряжениями на защищаемой изоляции;

- ограничители перенапряжений должны обеспечивать возможность эксплуатации ВЛ без немедленного проведения ремонтных работ в случае повреждения аппарата.

## **2. Воздействия на ОПН**

**Воздействия на ОПН с искровыми промежутками.** Оснащение подвесных ОПН искровыми промежутками обусловлено желанием исключить воздействие на эти защитные аппараты рабочего напряжения промышленной частоты и коммутационных перенапряжений.

Длина искрового промежутка должна выбираться такой, чтобы он не срабатывал при воздействии перечисленных воздействий, т.е. не должна быть “маленькой”.

При грозовых перенапряжениях искровой промежуток должен надежно срабатывать. Его пробой приведет к подключению ОПН и, следовательно, к снижению воздействующих на изоляцию ВЛ грозовых перенапряжений до уровня остающегося на нелинейном элементе напряжения. Поэтому длина искрового промежутка не должна быть “большой”.

**Воздействия на ОПН без искровых промежутков.** Изоляция ВЛ обладает существенно большей импульсной прочностью по сравнению с изоляцией подстанционного оборудования. Это позволяет применять на ВЛ ограничители с заметно большим наибольшим длительно допустимым рабочим напряжением, чем у подстанционных ОПН. Поэтому увеличением длительно допустимого рабочего напряжения подвесных ОПН можно свести к минимуму негативные последствия воздействия этого напряжения на варисторы ОПН.

При большом числе установленных на ВЛ подвесных ОПН коммутационные перенапряжения не приводят к опасным для этих аппаратов токовым и энергетическим воздействиям: энергия коммутационных перенапряжений рассеивается сразу во многих ОПН.

В случае малого числа установленных на ВЛ подвесных ОПН (например, защита “больших переходов”) коммутационные перенапряжения могут представлять опасность для ОПН. Однако возможность увеличения наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения ОПН позволяет существенно снизить токовые и энергетические воздействия на варисторы.

## **3. Взаимное влияние ОПН,**

### **установленных на соседних опорах или фазах ВЛ**

**Взаимное влияние ОПН без искровых промежутков.** Во всех случаях удара молнии в ВЛ (в трос, в фазный провод) отсутствие искрового промежутка у ОПН обеспечивает участие нескольких защитных аппаратов в рассеивании энергии грозовых перенапряжений. Исключение составляет

удар молнии в трос вблизи от хорошо заземленной опоры, когда подвесные ОПН практически не работают.

**Взаимное влияние ОПН с искровыми промежуткам.** Наличие у ОПН искровых промежутков приводит к тому, что в рассеивании энергии грозových перенапряжений будет участвовать существенно меньшее число таких аппаратов. Отсюда следует, что каждый ОПН с искровым промежутком должен быть рассчитан на большие энергетические воздействия по сравнению с ОПН без такого промежутка.

**Энергоемкости ОПН различного типа.** Расчеты показывают, что в режиме ограничения грозových перенапряжений величина остающегося напряжения ОПН слабо влияет на токи в этом аппарате. Это приводит к тому, что при одном и том же типе варисторов в ОПН удельная выделяемая энергия не зависит от высоты столба варисторов в ОПН, а полная энергия оказывается пропорциональна высоте столба, или, то же самое, остающемуся напряжению. Отсюда следует, что при сопоставлении требуемых характеристик ОПН (с искровым промежутком или без него) в расчетах целесообразно оперировать не полной, а удельной энергией аппаратов.

При ударе молнии с амплитудой тока 40 кА в фазный провод ВЛ 500 кВ близко к опоре с установленным на ней ОПН при сопротивлении заземления опоры 10 Ом удельная поглощенная энергия ОПН (с искровым промежутком или без него) согласно расчетам составит около 10 кДж/кВ (приведено к действующему значению наибольшего рабочего напряжения).

Если на соседних опорах также установлены ОПН (без искровых промежутков), то в ближайшем к месту удара молнии ОПН удельная выделяющаяся энергия снижается до 2-4 кДж/кВ.

Если бы на соседних опорах были установлены ОПН с искровыми промежутками, то в ближайшем к месту удара молнии ОПН удельная выделяющаяся энергия составляла бы те же 10 кДж/кВ, так как искровые промежутки соседних ОПН скорее всего не сработают.

Итак, энергоемкость варисторов ОПН без искровых промежутков может быть выбрана меньшей, чем у варисторов ОПН с искровыми промежутками. Различие в требуемых энергоемкостях тем больше, чем на большем числе фаз и опор ВЛ установлены защитные аппараты, так как от этого зависит степень возможной помощи защитных аппаратов друг другу.

При сравнении двух различных типов подвесных ОПН часто утверждается, что аппараты с искровыми промежутками дешевле, так как имеют меньшую высоту столба варисторов. Отметим, что по условиям надежного гашения в искровых промежутках дуги от напряжения промышленной частоты, высота столба варисторов ОПН с искровым промежутком должна быть не менее  $2/3$  высоты столба варисторов ОПН без такого промежутка. Существенно большая требуемая энергоемкость варисторов ОПН при незначительно сниженной высоте столба варисторов не может сделать ОПН с искровым промежутком заметно дешевле ОПН без такого промежутка.

#### **4. Требования к способу установки ОПН**

Разрядные характеристики искровых промежутков в составе ОПН изменяются под воздействием погодных условий (например, ветер) и других факторов. Для обеспечения неизменной длины искрового промежутка и конфигурации электродов провод и искровой промежуток должны быть жестко зафиксированы друг относительно друга. В случае обычных ОПН без искровых промежутков таких ограничений на способ крепления аппарата к ВЛ нет.

#### **5. Эксплуатация ВЛ при повреждении ОПН**

В процессе эксплуатации ВЛ возможно повреждение варисторов защитного аппарата (прожег, растрескивание, перекрытие по поверхности) с возникновением устойчивого короткого замыкания ОПН как с искровым промежутком, так и без него.

**ОПН без искрового промежутка.** Для отделения поврежденного аппарата без искрового промежутка разработано специальное устройство – “отделитель”, который в случае короткого замыкания в ОПН отсоединяет шлейф, соединяющий аппарат с опорой. Линия после прохождения цикла повторного включения (ТАПВ или ОАПВ) вновь может быть включена под напряжение. Наличие отсоединенного шлейфа безошибочно укажет на поврежденный аппарат. Замена поврежденных аппаратов может быть произведена в любое удобное время (например, раз в год – перед грозовым сезоном летом или при ближайшем выводе ВЛ в ремонт по каким-то независимым от ОПН причинам).

**ОПН с искровым промежутком.** Согласно литературным данным конструкции аналогичной отделителю для ОПН с искровым промежутком нет.

Наибольшая длина искрового промежутка (по условию надежного срабатывания при воздействии грозových перенапряжений) зависит от типа линейной изоляции и от полярности ударов тока молнии. Для ВЛ класса напряжения 500 кВ максимальная длина промежутка должна быть не более 2,5 м при длине гирлянды линейных изоляторов, равной примерно 4.0 м. Таким образом, импульсная прочность искрового промежутка в составе ОПН ориентировочно не менее чем в 1,5 раза меньше, чем у линейной изоляции.

В случае повреждения нелинейного элемента, очевидно, на ВЛ появляется место, имеющее как минимум в 1,5 раза меньшую электрическую прочность, чем в среднем по линии. Естественно, что это место может стать причиной новых отключений ВЛ, что потребует проведения немедленных ремонтных работ по замене поврежденного аппарата. Основная причина – отсутствие конструкции отделителя для ОПН с искровым промежутком.

## **6. Технологичность производства ОПН**

ОПН без искровых промежутков является типовым элементом сетей всех классов напряжения. Многие предприятия и фирмы занимаются изготовлением таких защитных аппаратов. Отличие подвешенного ОПН, используемого для защиты изоляции ВЛ, от обычных подстанционных заключается, в основном, в специальной арматуре для подвески к элементам ВЛ и в применении в конструкции обязательного элемента – отделителя (для ОПН без искровых промежутков). При этом отсутствует необходимость в проведении каких-либо дополнительных настроек при монтаже на объекте.

Использование ОПН с искровым промежутком потребует настройки искровых промежутков в полевых условиях в соответствии с указаниями изготовителя. Возможно, что в процессе эксплуатации потребуются дополнительный контроль основных габаритных размеров промежутка вследствие естественной деформации его токоведущих частей. Зарубежные авторы, ссылаясь на опыт эксплуатации, указывают на имеющие место ошибки обслуживающего персонала при настройке ИП.

## **7. Воздействия на оборудование ПС**

Наличие у ОПН искрового промежутка при его пробое приводит к возникновению частично срезанных волн напряжения (срез до величины остающегося напряжения на нелинейном элементе ОПН). Воздействие таких волн на продольную изоляцию силовых трансформаторов ПС, изоляция которых, как правило, состарена, нежелательно.

## **8. Заключение**

Требуемая удельная энергоемкость нелинейного элемента ОПН для случая аппарата без искрового промежутка заметно меньше, чем для случая с искровым промежутком. Поэтому технико-экономическое сравнение ОПН с искровыми промежутками и без них необходимо проводить с учетом различий в требуемой удельной энергоемкости.

Кроме того, ОПН без искрового промежутка по сравнению с аппаратом с искровым промежутком:

- имеет большую технологичность в монтаже на месте эксплуатации;
- при повреждении (и наличии в его конструкции отделителя) дает возможность нормальной эксплуатации ВЛ с проведением ремонтных работ в удобное время.

## **Литература**

[1] РАО “ЕЭС России”. “Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений”. Санкт-Петербург, Издательство ПЭИПК, 1999.