

## **Защита оборудования подстанций 110-750 кВ от перенапряжений с помощью вентильных разрядников и ограничителей перенапряжений**

Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В.

### **Введение**

В процессе эксплуатации оборудование подстанций (ПС) подвергается воздействию рабочего напряжения, а также различных видов перенапряжений. В случае возможности превышения какого-либо из воздействий на оборудование допустимой величины (с учетом длительности воздействия) необходимо принятие мер по ограничению таких воздействий до величин, безопасных для оборудования, таких как:

- 1 установка на ПС специальных защитных аппаратов (ЗА) – вентильных разрядников (РВ) и нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН). Указанные аппараты предназначены для защиты оборудования ПС от грозовых и коммутационных перенапряжений, но не от квазистационарных;
- 2 схемно-режимные мероприятия, направленные на снижение тех видов перенапряжений, для ограничения которых ОПН и РВ не предназначены и которые могут привести к повреждению оборудования ПС (в том числе ЗА).

При построении (или модернизации уже существующих) схем защиты от перенапряжений оборудования ПС с помощью ОПН и РВ необходимо решать две основные тесно связанные друг с другом задачи:

- 1 выбор числа, мест установки и характеристик ЗА, которые обеспечат надежную защиту основного оборудования ПС;
- 2 обеспечение надежной работы самих ЗА.

Вентильные разрядники сняты с производства и в большинстве случаев отслужили свой нормативный срок службы. Замена РВ возможна лишь на современные ОПН. Поэтому при модернизации существующих схем защиты необходимо решать дополнительную задачу по выбору характеристик ОПН, предназначенных для замены устаревших РВ.

### **Защитные аппараты**

Защита высоковольтного оборудования ПС от грозовых и коммутационных перенапряжений осуществляется с помощью вентильных разрядников и ограничителей перенапряжений.

Искровые промежутки вентильных разрядников отделяют нелинейные резисторы РВ от сети. При воздействии на вентильный разрядник перенапряжения, превышающего пробивное напряжение его искровых промежутков, происходит их пробой, и нелинейный резистор присоединяется к сети, обеспечивая снижение перенапряжения. После прохождения через разрядник импульсного тока, вызванного перенапряжением, через нелинейный резистор протекает так называемый “сопровождающий” ток, обусловленный воздействием на РВ рабочего напряжения сети. При переходе сопровождающего тока через ноль дуга в искровых промежутках гаснет, и разрядник приходит в исходное состояние.

Значительно большая нелинейность окисно-цинковых сопротивлений (варисторов) ограничителей перенапряжений позволила отказаться от использования в их конструкции искровых промежутков.

Нелинейные элементы ограничителя перенапряжений присоединены к сети в течение всего срока его службы. При воздействии рабочего напряжения через ОПН протекает ток порядка нескольких миллиампер, который носит, в основном, емкостной характер. При перенапряжениях сопротивление ОПН существенно падает, что приводит к резкому увеличению активной составляющей тока через аппарат. В итоге в варисторах ОПН рассеивается избыточная энергия перенапряжений, возникающих в защищаемой сети.

В настоящее время большинство вентильных разрядников эксплуатируется за пределами нормативного срока службы, составляющего 20 лет. Вследствие естественного старения использованных в конструкции материалов, как показывают немногочисленные исследования, защитные характеристики РВ к концу нормативного срока службы заметно изменяются даже у тех разрядников, число срабатываний которых не превышает нормированное заводом изготовителем. При этом, в большинстве случаев, пробивное напряжение искровых промежутков состаренных разрядников становится заметно ниже, а остающееся напряжение на нелинейном резисторе выше.

Так, исследования разрядников типа РВС и РВМГ 110 – 330 кВ, выполненные Кольским научным центром РАН, показали:

- 1 остающееся напряжение РВ по мере их старения возрастает, как правило, на 7 – 10 %;
- 2 пробивное напряжение РВ снижается до величин, на 15 – 20 % меньших нижней границы допустимых значений;
- 3 у разрядников типа РВС пониженное пробивное напряжение наблюдалось у 20 % обследованных разрядников, а у разрядников типа РВМГ – до 75 %.

Снижение пробивного напряжения искровых промежутков разрядников типа РВС и РВМГ может быть причиной их срабатываний от коммутационных

перенапряжений, что приводит к последующему взрывному разрушению разрядников при прохождении сопровождающего тока. Таким образом, находящиеся в эксплуатации РВ зачастую не только не выполняют своих защитных функций, но и сами становятся потенциальными источниками возможных аварий.

В 90-е годы из-за высокой трудоемкости производства и настройки искровых промежутков для РВ, отечественные предприятия полностью прекратили выпуск вентильных разрядников и существенно расширили номенклатуру выпускаемых ОПН. Отсутствие новых разрядников, необходимых для замены вышедших из строя, привело к тому, что в ряде эксплуатирующих организаций для сборки пригодных для дальнейшей работы защитных аппаратов предпринимаются попытки отобрать из ранее забракованных при профилактических испытаниях РВ имеющиеся исправные элементы. При производстве таких ремонтных работ следует иметь в виду, что для контроля вольт-секундных характеристик "восстановленных" разрядников необходим генератор линейно нарастающего импульсного напряжения, обеспечивающий в соответствии с требованиями ГОСТ 16357 возможность контроля пробивных напряжений в широком диапазоне предразрядных времен. Имеющийся в ОАО "НИИПТ" опыт испытаний РВ показывает, что контроль по одной – двум точкам недостаточен, так как встречаются РВ с провалами в вольт-секундной характеристике при различных предразрядных временах из нормированного в ГОСТ диапазона. Кроме того, испытания должны проводиться не на отдельных элементах, а на полностью собранном РВ. Поскольку удовлетворяющего перечисленным требованиям испытательного оборудования у эксплуатирующих организаций нет, то проконтролировать соответствие "отремонтированного" РВ нормативным требованиям не представляется возможным, а сам РВ, по-прежнему, остается возможной причиной аварии в сети.

Проведение полного цикла испытаний РВ возможно лишь в специализированных высоковольтных лабораториях, оснащенных необходимым высоковольтным оборудованием и измерительной аппаратурой. Среди немногих оставшихся в России организаций, обладающих необходимым для этого оборудованием, следует отметить ОАО "НИИПТ", на испытательных стендах которого были проведены государственные испытания головных образцов всех ВР, выпускавшихся заводом "Пролетарий".

### **Защита оборудования от перенапряжений**

Для оборудования сетей номинальным напряжением 110-220 кВ наибольшую опасность представляют грозовые перенапряжения, для оборудования сетей 330-750 кВ – как грозовые, так и коммутационные. Поэтому

в сетях 110-220 кВ вольт-секундные характеристики искровых промежутков РВ выбирались так, чтобы разрядники не срабатывали при воздействии коммутационных перенапряжений (разрядники типа РВС, РВМ, РВМГ); разрядники для сетей 330-750 кВ (типа РВМК) настраивались на срабатывание при воздействии как грозových, так и коммутационных перенапряжений.

Так как нелинейные элементы ОПН постоянно присоединены к сети, то при использовании ограничителей перенапряжений вместо разрядников защита изоляции электрооборудования, вне зависимости от номинального напряжения сети (110-750 кВ), будет производиться и от грозových, и от коммутационных перенапряжений.

Защитные аппараты на ПС могут быть установлены:

- 1 в цепи трансформатора, автотрансформатора;
- 2 у шунтирующего реактора;
- 3 на шинах распределительного устройства ПС (например, у шинных измерительных трансформаторов напряжения);
- 4 на концах присоединенных к ПС линий.

### **Надежность работы защитных аппаратов и выбор их характеристик**

При защите ПС от перенапряжений одной из требующих решения задач является обеспечение надежности самих защитных аппаратов, т.е. ОПН и РВ. Иными словами, характеристики установленных на подстанциях защитных аппаратов должны быть согласованы с эксплуатационными воздействиями на эти аппараты. Основными характеристиками защитных РВ и ОПН являются (см. [1]):

- 1 наибольшее рабочее напряжение аппарата;
- 2 амплитуда импульса тока пропускной способности или удельная энергоемкость аппарата;
- 3 характеристика «напряжение-время»;
- 4 номинальный разрядный ток грозového импульса;
- 5 ток взрывобезопасности.

Превышение значений какого-либо из этих воздействий может стать причиной повреждения аппарата. Даже в случае, если защитный аппарат и не выйдет из строя непосредственно после такого воздействия, его ресурс будет сработан сверх расчетного и, соответственно, срок его службы сократится.

Идентичность функционального назначения РВ и ОПН и кажущаяся простота конструкции последнего часто приводят к тому, что замену разрядников на ограничители перенапряжений проводят без проверки допустимости использования устанавливаемого ОПН в рассматриваемой точке

сети.

Как показывают исследования и отечественный опыт эксплуатации нелинейных ограничителей [2], в электрических сетях номинальным напряжением 110-750 кВ наиболее тяжелыми являются условия работы ОПН при квазистационарных повышениях напряжения. Длительность и значения повышений напряжения в этих режимах определяются видом коммутации, а ограничение времени существования таких режимов должно осуществляться выбором коммутируемых схем и временем действия соответствующей релейной защиты или противоаварийной автоматики.

Выбор основных характеристик ОПН 110-750 кВ должен проводиться с учетом воздействий, которым подвергаются эти защитные аппараты в эксплуатации. Очевидно, что в ряде случаев для повышения надежности работы ОПН в электрических сетях может потребоваться проведение специальных схемно-режимных мероприятий, например, по исключению возможности возникновения при коммутациях резонансных контуров. В таких случаях каскадность действия основных и резервных релейных защит, а также противоаварийной автоматики должны быть скоординированы с допустимыми длительностями повышения напряжения не только на защищаемом оборудовании, но и на ОПН. Такие мероприятия должны быть разработаны и реализованы для существующих сетей, где производится или уже произведена замена вентильных разрядников на ОПН, и новых, только еще проектируемых сетей, где нелинейные ограничители изначально предусмотрены в качестве основных аппаратов для ограничения перенапряжений. В [3, 4] приведен ряд таких мероприятий.

К сожалению, в отечественной нормативной документации согласно [5] отсутствуют методики, позволяющие обоснованно выбрать основные характеристики ОПН. Зачастую, из-за этого выбирают ОПН с необоснованно завышенными током пропускной способности и удельной поглощаемой энергией. В результате, выбранные с “хорошим” запасом ОПН (в основном, по току пропускной способности) подвергаются заметно меньшим допустимым воздействиям. Естественно, что рост энергоемкости ОПН приводит к существенному удорожанию аппарата (приблизительно на 25% при переходе к каждому следующему классу разряда линии).

Ограничитель перенапряжений – это аппарат, для которого часто нельзя указать на достоверную причину повреждения. Причинами согласно [2] могут быть:

- 1 неверный выбор ОПН (по вине проектировщиков или лиц, ответственных за неверно или неполно предоставленную исходную информацию);
- 2 ненадлежащие условия эксплуатации (например, повышенный сверх допустимого для ОПН уровень напряжения в месте установки

аппарата);

3 качество изготовления самого ОПН (по вине производителя).

Трудности в определении причин повреждения ОПН приводят к тому, что надежностью работы ОПН занимается не только завод-изготовитель, но и проектировщики, выбирающие ОПН с “запасом”. Кроме того, надежностью ОПН занимаются и эксплуатирующие организации, для которых существует набор рекомендаций по устранению нежелательных для ОПН схемно – режимных ситуаций. Конечно, надежность ОПН – важная составляющая надежности всей энергосистемы. Тем не менее, не совсем ясно, какой именно уровень надежности ОПН следует признать экономически оправданным.

Разработка методик выбора характеристик ОПН для конкретных условий эксплуатации сдерживается отсутствием достоверных сведений о располагаемом рабочем ресурсе варисторов и, в том числе, численных соотношений между влияющими факторами и ресурсом. Такие сведения могут быть получены либо при проведении соответствующих испытаний варисторов ОПН, либо на основе анализа и обобщения опыта эксплуатации ограничителей перенапряжений. До тех пор, пока такие работы не будут проведены, в методике выбора ОПН нельзя будет поставить точку.

## **Заключение**

В заключение можно сделать следующие основные выводы:

- 1 вентильные разрядники, собранные эксплуатирующими организациями из исправных элементов разукomплектованных однотипных РВ, не могут обеспечить требуемую надежность защиты оборудования ПС от перенапряжений.
- 2 замена устаревших вентильных разрядников 110-750 кВ на современные ОПН позволит снизить воздействия коммутационных и грозовых перенапряжений на оборудование ПС этих классов номинального напряжения.
- 3 возможность установки ОПН (в том числе взамен устаревших РВ) должна быть проверена соответствующими расчетами достаточности его характеристик для удовлетворения условиям эксплуатации на каждой конкретной ПС.
- 4 при выборе характеристик ограничителей перенапряжений для конкретных условий эксплуатации должны быть рассмотрены необходимость и возможность проведения в сети специальных схемно – режимных мероприятий, ограничивающих до допустимых значений воздействие на ОПН квазистационарных перенапряжений.
- 5 изложенные в отечественной нормативной документации методики выбора ОПН требуют доработки.

**Список использованных источников**

- [1] М.А. Аронов, О.А. Аношин, О.И. Кондратов, Т.В. Лопухова. “Ограничители перенапряжений в электроустановках 6-750 кВ”. Методическое и справочное пособие по ред. М.А. Аронова. – М.: Изд-во “Знак”, 2001.
- [2] Г.М. Иманов, А.И. Таджибаев, Ф.Х. Халилов. “Анализ опыта эксплуатации ограничителей перенапряжений 110 кВ и выше в сетях РАО “ЕЭС России”. Статья в журнале “Промышленная энергетика”, 1998, №1.
- [3] Г.Н. Александров, А.И. Афанасьев. “Применение управляемых шунтирующих реакторов и нелинейных ограничителей перенапряжений в электрических сетях высокого напряжения”. – СПб.: ПЭИПК, 1999.
- [4] Ю.И. Лысков, Н.П. Антонова, В.М. Максимов, О.Ю. Демина. “Проблемы применения нелинейных ограничителей перенапряжений 110-750 кВ”. Статья в журнале “Электрические станции”, 1998, №9.
- [5] Сборник материалов научно-технической конференции “Научные аспекты и актуальные проблемы разработки, производства, испытаний и применения ОПН”, АООТ “НИИ “Электрокерамика”, 8-10 октября 2001 г., Санкт-Петербург. “О методических указаниях по применению нелинейных ограничителей перенапряжений в сетях 6-750 кВ”. Г.А. Евдокунин, К.Б. Демьяненко, С.С. Титенков.