

О методике диагностики ограничителей перенапряжений

**Инж. Путова Т.Е., Малюшицкий П.Г.,
СДНРЭ "ОАО Инженерный центр",
к.т.н. Гречин В.П.,
Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - АП МЭС**

В настоящее время в эксплуатации происходит замена вентильных разрядников (РВ) на ограничители перенапряжений (ОПН) - защитные аппараты нового поколения с активным материалом на основе оксида цинка. Аппарат состоит из активного нелинейного сопротивления и изоляционных и проводниковых конструкций, помещённых в герметичный полимерный или фарфоровый корпус.

По принципу работы имеются существенные различия между разрядником и ограничителем перенапряжений. Прежде всего РВ отстроен от коммутационных перенапряжений. При нормальном состоянии его нелинейное рабочее сопротивление отключено от сети. РВ включается в работу только при срабатывании искровых промежутков. Таким образом, ресурс разрядника расходуется при его срабатывании, и работа РВ рассчитана:

1. на максимальную величину амплитуды тока грозового импульса;
2. на определенное количество грозовых импульсов.

ОПН не имеет искрового промежутка, поэтому он подключён к сети постоянно и реагирует на все изменения напряжения в сети. В связи с этим к ОПН предъявляются более жёсткие требования по термической устойчивости и по ресурсу нелинейного сопротивления. Поэтому ОПН должен выдерживать:

1. не только грозовые импульсы перенапряжений,
2. но и на повторяющиеся импульсы коммутационных перенапряжений,
3. а также на кратковременные и длительные повышения напряжения различных частот, в том числе и промышленной частоты, т. е. на гораздо более тяжёлые условия работы. К вышесказанному ОПН длительно находится под рабочим напряжением и все эти условия и воздействия должны быть расчётными для ОПН в течение всего срока службы.

ОПН в настоящее время применяются для защиты оборудования ответственных объектов, надёжность работы которых влияет на хозяйственное функционирование регионов. Поэтому всё более актуальными становятся вопросы по обеспечению надёжности работы самих ОПН и качества оценки их состояния, как в процессе эксплуатации, так и перед монтажом. Однако, существование множества производителей и, как следствие, множество модификаций ОПН с отличающимися характеристиками, отсутствие единых стандартов, ТУ и норм на

изготовление и испытания ОПН вносит неопределённость и затрудняет оценку их качества, выбор и определение четких условий их применения и эксплуатации. Поэтому, как следствие, до сих пор не существует единого подхода к вопросу диагностики, единой методики, выявляющих и учитывающих весь круг возможных дефектов ОПН, которые могут возникнуть при их изготовлении, транспортировке, хранении, монтаже и эксплуатации. Рекомендованные методики (изготовителей, нормы) применимы для ограниченного типа ОПН. В настоящее время многие ОПН, на которые распространены рекомендации, либо уже не изготавливаются, либо модифицированы. Предлагаемые другие типы ОПН отличаются характеристиками как друг от друга, так и от первых выпусков ОПН.

Типовые Нормы по испытанию оборудования нормируют только два параметра ОПН без учёта конструктивных особенностей зависящих от предприятий-изготовителей это:

1. сопротивление, измеренное мегаомметром для всех типов ОПН, которое должно быть более 3000 мОм независимо от его модификации;
2. полный ток проводимости для некоторых типов ОПН, причём, "устаревших" (данные типы снимаются или сняты с производства).

Для остальных типов ОПН в соответствии с РД диагностика производится по нормам, рекомендованными предприятиями-изготовителями. "Объем и Нормы испытаний электрооборудования РД 34.45-51.300-97" предлагают проведение тепловизионного контроля, при этом браковку предлагается производить методом сравнения.

Предприятия-изготовители проводят нормирование ОПН по следующим параметрам (по отдельности и по их комбинации):

- контроль состояния по полному току проводимости,
- контроль состояния по сопротивлению измеренному мегаомметром 2500 В
- контроль по активной составляющей полного тока проводимости,
- контроль тока проводимости под рабочим напряжением.

При анализе технической документации производителей виден следующий подход к нормированию контрольных параметров при испытании ОПН для определения их пригодности к применению: а именно:

- Многими предприятиями изготовителями нормируется только полный ток ОПН при испытательном напряжении или величина напряжения на ОПН при определённой величине полного тока проводимости.
- Некоторые предприятия кроме того устанавливают норму на активную составляющую тока проводимости.
- Некоторые предприятия устанавливают требования контроля частичных разрядов.
- Однако чаще всего нормирование идет по одному параметру: **полному току проводимости**. При этом, браковка ОПН осуществляется: либо по превышению величины тока проводимости 1мА, либо (для конкретного типа ОПН) установлен диапазон с

верхним и нижним пределом допустимого тока проводимости, либо по отклонению значения тока проводимости в эксплуатации от значения тока проводимости при испытании на заводе.

С целью формирования правильных представлений об ОПН для более качественной их диагностики была проведена серия измерений ОПН в лаборатории "СДНРЭ ОАО Инженерный центр".

Первоначально были проведены измерения ОПН 6 кВ производства НПО «Аппарат» в следующем объеме:

- получены вольтамперная характеристика на постоянном и переменном токе,
- измерены емкости прибором ПКВ-7 при 2 и 50Гц,
- проведены измерения тангенса диэлектрических потерь в зависимости от напряжения,
- получены по осциллографу значения активной составляющей по методу компенсации емкостной составляющей, предложенной "НПО Аппарат",
- измерены сопротивления мегаомметром 2500 В.

Кроме этого проводились измерения ОПН, которые подверглись в эксплуатации воздействиям перенапряжений близким к предельным и запредельным. В частности, рассмотрен случай при замыкании "на землю" одной фазы при котором произошло повреждение ОПН, а на других фазах у ОПН произошли изменения их характеристик. При этом были взяты для испытаний, как ОПН, у которых параметры остались в норме, так и ОПН, у которых характеристики вышли за пределы нормы, и ОПН, не подвергавшиеся воздействиям.

При контрольных испытаниях ОПН произведено:

- Снятие зависимости тока от напряжения, при приложении постоянного напряжения величиной от нуля до величины, равной амплитудному значению испытательного напряжения на переменном токе,
- Измерение активной составляющей тока проводимости по осциллограмме методом компенсации при соответствующих (постоянному напряжению по амплитуде) значениях напряжения частоты 50Гц.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы

1. Ток, проходящий через ОПН при подаче постоянного напряжения в начале диапазона является током утечки изоляции, а при дальнейшем повышении напряжения к току утечки изоляции добавляется ток через материал варисторов физической природы которых соответствует току утечки изоляции. Т.е. для постоянного тока ОПН представляет собой диэлектрик, при этом токи утечки могут образовываться как за счёт нелинейного сопротивления, так и за счёт изоляционных материалов ОПН.

2. При подаче переменного тока амплитуда активной составляющей значительно выше тока проводимости при постоянном напряжении.
3. При снятии емкостных характеристик установлено, что разность емкостей на частотах 2гц и 50гц равна нулю. Измеренная прибором ПКВ-7 «абсорбционная» емкость (условно - по принципу устройства прибора) равна 60пФ, т.е. не равна нулю. Емкость измеренная при 50гц примерно равна 220пФ, что существенно больше геометрической ёмкости ОПН.

На переменном токе были сделаны замеры как амплитуда активной составляющей, так и тангенса угла диэлектрических потерь, емкости и полного тока ОПН. При этом выявлено, что величина полного тока при приложении неизменного напряжения изменяется на некоторых пределах в течении более минуты. Разница между значением сразу после подъёма напряжения и установившимся значением достигает 20-30 мкА.

При снижении с более высокого значения испытательного напряжения, непосредственно после снижения также наблюдается разность тока между установившимся значением и значением сразу после снижения напряжения. Величина разности тока проводимости зависит от скорости подъёма и снижения напряжения и составляет порядка 10 мкА.

При снятии характеристик установлена пропорциональность амплитуды активной составляющей тока и тангенса угла диэлектрических потерь у всех измеряемых ОПН. Соотношения между амплитудой, измеренной по осциллографу и действующим значением тока активной составляющей, вычисленной по тангенсу, равна примерно "3".

При испытаниях ОПН-110 кВ также установлено, что величина тангенса угла диэлектрических потерь в пределах одного типа и партии у ОПН с нормальными характеристиками имеет небольшой разброс - не более 30%. Но сама величина зависит как от типа, так и от материала корпуса (полимер или фарфор). Значительное отклонение значения тангенса имелись у дефектных ОПН.

При снятии термограмм у ОПН 110-220кВ установлена прямая зависимость между показаниями мегаомметра, тангенсом угла диэлектрических потерь и степенью нагрева ОПН. Другие закономерности, характерные для ОПН 6 кВ, при испытании ОПН 110-220кВ качественно подтвердились.

Возможные причины выхода из строя ОПН и способы своевременной их отбраковки диагностическими методами

1. **Разгерметизация корпуса.** Как следствие - попадание влаги внутрь корпуса. Под действием влаги происходит ухудшение свойств оксида цинка, из которого сделаны нелинейные сопротивления. В результате - под действием рабочего напряжения увеличивается ток проводимости, нарушается термическая устойчивость ОПН, происходит прожиг дисков нелинейного сопротивления ОПН с последующим их расплавлением и разрушением ОПН от возникшего короткого замыкания.

2. **Некачественный изоляционный материал** Под действием электрического поля, создаваемого рабочим напряжением, возникают поверхностные токи утечки, от которых происходит разложение изоляционного материала с появлением проводящих и полупроводящих дорожек и последующим ростом токов утечки, которые ведут к перекрытию изоляционных конструкций внутри корпуса и разрушению ОПН.

3. **Несоответствие параметров ОПН (энергоёмкость) фактическим воздействиям в месте установки.** Т.е. воздействие импульсов с энергией и токами, превышающими предельные значения, и которые являются разрушающими. При этом, повреждение может происходить не сразу и не после однократного воздействия (даже) превышающего предельные воздействия. От чрезмерного воздействия может происходить частичное внутреннее разрушение структуры материала нелинейного сопротивления. В результате этого термическая устойчивость уменьшается, а проводимость возрастает. В результате этого происходит постепенное возрастание тока проводимости и при наступлении термической неустойчивости - разрушение ОПН.

4. **"Старение", т.е. постепенное изменение свойств материала в процессе эксплуатации** под воздействием нормальных, рабочих, расчётных воздействий рабочего напряжения, расчётных импульсов. В настоящее время выпускают варисторы устойчивые к старению.

5. **Механические повреждения и дефекты.** Неплотное прилегание поверхностей деталей при сборке, нарушение контактов, зазоры, некачественный электрический контакт между элементами. При этих дефектах возникают частичные разряды и искровые процессы.

Особенности некоторых процессов, ведущих к выходу из строя ОПН и их диагностирование

1 Разгерметизация и увлажнение на начальной стадии приводит к снижению сопротивления и увеличению токов проводимости при постоянном напряжении без изменения других показателей. Большая степень увлажнения влияет на величину активной составляющей и связанного с ней тангенс угла диэлектрических потерь, а также на нагрев ОПН, улавливаемый тепловизором.

2 Некачественный изоляционный материал - стеклопластик или боковая поверхность рабочих дисков ведёт также (прежде всего) к снижению сопротивления или увеличению токов утечки при более высоком постоянном напряжении, а затем также может влиять на величину тангенс угла диэлектрических потерь. При этом полный ток может также не измениться.

3 Старение материала нелинейных сопротивлений, прежде всего, влияет на активную составляющую тока, тангенс угла диэлектрических потерь и нагрев ОПН. Полный ток и сопротивление могут не меняться до момента, когда начнется лавинообразный процесс разогрева ОПН с последующим его разрушением.

4 При перегрузках, и толчковых воздействиях, с разрушением внутренней структуры, наоборот вместе с активной составляющей будет возрастать и полный ток. При этом сопротивление может также оставаться более 10000 мОм. Не изменится и тангенс угла диэлектрических потерь, но будет нагрев ОПН.

5 При наличии механических повреждений или плохого контакта, происходит кажущееся возрастание полного тока за счет наличия искровых нестационарных процессов. При этом, осциллограмма покажет нестационарный процесс или наличие частичных разрядов. Сопротивление при этом будет в норме, а измерение активной составляющей и тангенса угла диэлектрических потерь будет затруднено. Нагрева в этом случае может и не наблюдаться.

Таким образом, можно отметить, что каждый параметр в отдельности может выявить отдельные виды дефектов:

- По сопротивлению можно выявить увлажнение, сложнее, но возможно определить некачественную изоляцию, материал или заводской брак. Очень сложно обнаружить старение.
- По полному току проводимости можно выявить: увлажнение на поздней стадии, когда существует непосредственная угроза разрушения ОПН, разрушение внутренней структуры при перегрузках. Но нельзя определить разгерметизацию и увлажнение на ранней стадии.
- По активной составляющей тока есть небольшая вероятность определить механические повреждения, и большая вероятность уловить процесс старения.

Из вышеизложенного видно, что существующие нормативные методы диагностирования не позволяют полностью выявлять весь круг возможных дефектов ОПН, имеющих различную физическую природу. Поэтому при диагностике возможны не совсем правильные выводы о состоянии и причинах возникших и возникающих дефектах, а также при прогнозировании изменения состояния в процессе эксплуатации ОПН. Браковка по минимальному числу параметров, которые предлагаются в "Объем и Нормы....." уменьшает надёжность сделанного заключения, т.к. каждый отдельный параметр не может отразить наличие всех возможных видов дефектов, которые могут возникнуть в ОПН.

Кроме того, при появлении дефекта в начальной стадии, несмотря на необратимость развития дефекта, параметр, на который влияет данный вид дефекта, может не достичь браковочного значения и поэтому существует опасность того, что аппарат, имеющий дефект в начальной стадии, забракован не будет.

Или наоборот, допустим, под действием внешних факторов произойдёт некоторое снижение значения параметра, не влияющего на работоспособность аппарата, например сопротивления внешней изоляции (предположим от загрязнения) и будет забракован исправный аппарат. Так например, по снижению сопротивления можно судить о наличии влаги или

других, каких-либо изменениях состояния ОПН. Однако снижение сопротивления может не достигнуть нормированной величины 3000 мОм, при которой согласно нормам необходимо браковать аппарат. При этом при снижении сопротивления за счёт наружного загрязнения ток проводимости практически не изменится.

Поэтому для надёжного определения состояния ОПН необходимо измерение максимально возможного необходимого количества показателей и их сопоставление.

Литература

1. Руководство по защите электрических сетей 6-1150кВ от грозовых и внутренних перенапряжений.
2. Методические Указания по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в сетях 6-35кВ, Москва 2001г.

Международная научно-техническая конференция "Перенапряжения и надёжность эксплуатации электрооборудования", С.Петербург 2001г, 2003г.