

Расчет коммутационных перенапряжений в сетях 500-750 кВ и выбор некоторых параметров ОПН, защищающих оборудование ПС

(Бойко А.А., Дмитриев М.В., Дмитриев В.Л.)

1. Расчет коммутационных перенапряжений и нагрузок на ОПН

Расчет коммутационных перенапряжений для выбора ОПН по пропускной способности и удельной поглощаемой энергии можно вести в различных схемах сети и ПС: в нормальном режиме, в различных ремонтных режимах, в пусковом режиме. Очевидно, что коммутационные перенапряжения, а также токовые и энергетические нагрузки на ОПН во всех перечисленных случаях будут различными.

Нормативных документов, отдающих предпочтение какой-либо конкретной схеме для расчета коммутационных перенапряжений нет. Выбор расчетной схемы в каждом конкретном случае остается за расчетчиком.

Обеспечить «абсолютную» надежность защиты оборудования от грозовых перенапряжений оказывается неоправданно дорого (слишком большое количество защитных ОПН необходимо установить в ОРУ), поэтому при анализе грозовых перенапряжений используется вероятностный подход.

Обеспечить «абсолютную» надежность защиты оборудования от коммутационных перенапряжений вполне реально. Для этого достаточно рассмотреть наиболее тяжелый случай из всех возникающих коммутационных перенапряжений, в котором определить требуемые параметры ОПН. Тогда во всех прочих случаях нагрузки на ОПН и коммутационные перенапряжения на оборудовании будут ниже, т.е. менее опасны.

Таким образом, задача выбора схемы для проведения расчетов коммутационных перенапряжений может быть сведена к поиску той схемно-режимной ситуации, в которой возникающие на оборудовании коммутационные перенапряжения приводят к максимальным токовым и энергетическим нагрузкам на ОПН.

Рассмотрим перенапряжения на ПС, соединенной с внешней системой посредством ВЛ. При включении ВЛ 500-750 кВ со стороны «системы» наибольшие коммутационные перенапряжения на оборудовании линейной ячейки ВЛ 500-750 кВ рассматриваемой ПС будут возникать в том случае, когда внутренняя индуктивность «системы» будет максимально возможной. Поэтому из возможных режимов работы «системы» нужно выбрать тот, в котором в работе находится кроме коммутируемой ВЛ минимум оборудования, т.е., например, один автотрансформатор или еще одна линия кроме коммутируемой.

В цикле ОАПВ ВЛ 500-750 кВ, проварьировав угол на передаче и число присоединенных к отключенной фазе шунтирующих реакторов, надо

найти то сочетание параметров, которое даст максимальные перенапряжения или максимальные токовые и энергетические нагрузки на ОПН.

Максимальные перенапряжения возникают при отключении асинхронного хода вблизи наиболее мощной системы. При этом перенапряжения, естественно, максимальны на отключенном конце линии, а не со стороны питания. Поэтому при расчете асинхронного хода выключателем рассматриваемой ПС максимальные перенапряжения на оборудовании линейной ячейки этой ПС будут в том случае, когда эквивалентная индуктивность этой ПС, используемая в расчетных схемах, минимальна. Учитывая это, необходимо рассмотреть такой случай, когда на рассматриваемой ПС в работе находятся все присоединения. На основе схемы рассматриваемой ПС можно определить эквивалентное сопротивление всего находящегося в работе оборудования за исключением, разумеется, коммутируемой ВЛ.

Расчеты показывают, что при известном сопротивлении рассматриваемой ПС при отключении асинхронного хода выключателем рассматриваемой ПС максимальные перенапряжения в ее линейной ячейке растут с ростом внутренней индуктивности «системы». Поэтому для получения максимальных перенапряжений и нагрузок на ОПН для «системы» имеет смысл рассмотреть случай, когда в работе находится минимальное число присоединений, т.е. внутреннее сопротивление «системы» максимально.

В перечисленных коммутациях необходимо учитывать разброс в работе полюсов выключателей разных фаз, так как при учете разброса перенапряжения и нагрузки на ОПН возрастают.

Результатом расчетов (в наиболее тяжелых случаях) будут:

- коммутационные перенапряжения. Если они опасны для оборудования, то с учетом вероятности возникновения рассмотренной тяжелой ситуации в условиях конкретной точки сети надо рассмотреть реальную необходимость в установке дополнительных защитных ОПН.
- токовые (амплитуда импульса тока) и энергетические (выделяющаяся энергия) нагрузки на установленные ОПН. Если рассмотренный самый тяжелый случай приводит к необходимости использования ОПН с характеристиками, превышающими серийно выпускаемыми промышленностью, то можно провести уточненные расчеты с учетом вероятности возникновения тех или иных схемно-режимных ситуаций.

2. Ток или энергия ?

Некоторые авторы в качестве результатов указывают лишь амплитуду импульсного тока в ОПН, которую они зафиксировали в своих расчетах. Учитывая тот факт, что амплитуда импульса тока никак не связана с его длительностью, считаем, что важнейшим результатом является выделяющаяся в ОПН энергия, которую необходимо определять в каждом из расчетов. Именно превышение выделяющейся в ОПН энергии совершенно

недопустимо, поскольку такое воздействие может привести к его повреждению. Превышение в ОПН амплитуды тока при перенапряжении над нормируемым значением не столь критично, как превышение энергии.

В этой связи, указывать только амплитуду тока в ОПН без указания энергии бессмысленно. Амплитуда тока в ОПН может быть лишь дополнительной иллюстрацией формы тока в ОПН, так как при известной энергии и токе можно вычислить условную длительность его протекания.

При заданной вольтамперной характеристике ОПН амплитуда импульсного тока в нем соответствует определенным неограниченным перенапряжениям в месте установки ОПН. Неограниченные перенапряжения в свою очередь зависят от всех параметров расчетной схемы и являются весьма чувствительными к разбросу срабатывания полюсов выключателя, к параметрам «системы», к способу моделирования коммутируемой ВЛ (с сосредоточенными параметрами или с распределенными, с частотными зависимостями погонных параметров или без них). Как показывают многочисленные расчеты, выделяющаяся в ОПН энергия заметно менее чувствительна к используемой в расчетах модели и во многом определяется лишь длиной линии, что говорит о выделяющейся энергии, как о том параметре, который удобно использовать при сравнении результатов расчетов, а также для их унификации.

3. Выбор ОПН на основе расчетов коммутационных перенапряжений

Предметом для обсуждения также является выбор параметров ОПН, устанавливаемых в линейных ячейках ПС, удовлетворяющих условиям эксплуатации на конкретной ВЛ 500-750 кВ.

Одним из результатов расчетов коммутационных перенапряжений является максимальное значение энергии W , которая выделяется в установленном ОПН 500-750 кВ в самом неблагоприятном для него случае. На основе этого значения W необходимо выбрать такой ОПН 500-750 кВ (испытан воздействием 20 импульсов с энергией $W_{исп}$), который бы проработал в рассматриваемой точке сети не менее 25 лет.

Для выбора на основе полученного в расчетах значения W конкретных характеристик аппарата $W_{исп}$ воспользоваться главой 3.2 «Методических указаний» [2], названной «Выбор класса энергоемкости ОПН», не представляется возможным, так как в ней не сказано, как именно на основе результата расчетов W выбрать значение $W_{исп}$.

В «Методических указаниях» есть рекомендации относительно выбора наибольшего рабочего напряжения ОПН (на основе наибольшего рабочего напряжения сети), выбора остающегося напряжения при грозовых перенапряжениях (определяется с учетом расстояния до защищаемого оборудования на основе данных ПУЭ), выбора остающегося напряжения при коммутационных перенапряжениях (с запасом на основе испытательного

напряжения изоляции защищаемого оборудования). Однако никаких формул и неравенств, связывающих W и $W_{исп}$, в «Методических указаниях» нет.

В отсутствие руководства по выбору энергетических характеристик ОПН на основе результатов расчетов W , приходится ориентироваться на опыт эксплуатации ОПН, установленных в линейных ячейках ВЛ 500-750 кВ.

Опыт эксплуатации свидетельствует о возможных повышениях напряжения промышленной частоты в сетях 500-750 кВ, которые, разумеется, приводят к росту коммутационных перенапряжений; о возможных коммутациях длинных ВЛ 500-750 кВ с выведенными из работы ШР 500-750 кВ; о возможности повторных многократных коммутаций ВЛ 500-750 кВ (например, случаи многократных отключений ВЛ 500-750 кВ из-за лесных пожаров). Следствием этого на ряде ПС 500-750 кВ были взрывы ОПН 500-750 кВ, в результате которых помимо ОПН повреждалось ближайшее к ним оборудование (трансформаторы тока и проч.).

На основе опыта эксплуатации ВЛ 500-750 кВ, а также на основе результатов расчетов выделяющихся энергий W , параметры ОПН 500-750 кВ по нашему мнению следует выбирать из условия $W_{исп} > W$ с запасом, учитывая то, что число и форма испытательных воздействий на ОПН (20 импульсов $W_{исп}$) существенно отличаются от числа реальных эксплуатационных воздействий на ОПН (на основе данных [1] число различных коммутаций ВЛ 500-750 кВ за срок службы ОПН приведено в таблице). Величина достаточного запаса, очевидно, является наиболее спорным моментом при выборе энергетических характеристик ОПН 500-750 кВ.

Усредненное число n , воздействий на ОПН за срок службы (25 лет) коммутаций и к.з.

S	Виды аварий или коммутаций	Число n , аварий или коммутаций для электропередач, кВ					
		110	220	330	500	750	1150
1	Плановое включение линии	125–200	125–200	75–150	75–125	25-75	25-75
2	Плановое отключение линии и трансформаторов	125–200	125–200	75–150	75–125	25-75	25-75
3	разрыв передачи вследствие асинхронного хода	–	–	0,5–0,75	1,0–1,25	1,5–1,75	1,25–1,5

4. Заключение

В настоящее время, по нашему мнению, требуется обсуждение вопросов, связанных с расчетом коммутационных перенапряжений в сетях 500-750 кВ и выбором ОПН для защиты оборудования от перенапряжений, с целью выработки единого подхода:

1. к алгоритму выбора схемы для расчета коммутационных перенапряжений;

2. к выбору характеристик ОПН на основе полученных в расчетах значений и токовых, и энергетических нагрузок при коммутационных перенапряжениях;

3. к выбору обеспечивающего безаварийную эксплуатацию ОПН в течение всего срока его службы соотношения между полученной в расчетах величиной выделяющейся в ОПН энергии и допустимой энергией, нормируемой производителем ОПН.

Литература:

- [1] РАО “ЕЭС России”. “Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений”. Санкт-Петербург, Издательство ПЭИПК, 1999.
- [2] РАО “ЕЭС России”. “Методические указания по применению ограничителей в электрических сетях 110-750 кВ”. – М.: Изд-во НТК “Электропроект”. 2000.