Особенности эксплуатации ограничителей перенапряжений в сетях 6 – 35 кВ

Заболотников А.П. ЗАО «Феникс-88», г. Новосибирск

В рассматриваемых сетях импульсные воздействия со значительной энергией импульса могут появляться при атмосферных воздействиях, а также в схемах с большой емкостью (протяженные кабельные линии, батареи емкостей). Речь идет об импульсных воздействиях, которые могут приводить к непосредственному пробою варисторов ОПН, если энергия импульса превысит нормируемую изготовителем. Наиболее вероятным для сетей классов до 35 кВ будет воздействие временных перенапряжений, вызванных несимметрией в сети. Это, например, повышение напряжения на неповрежденных фазах при однофазных металлических замыканиях на землю. Кроме этого распространенным видом временных перенапряжений в рассматриваемых сетях с емкостным током до 2 А являются феррорезонансные колебания в контуре, образованном фазными емкостями сети и индуктивностью обмотки трехфазных трансформаторов напряжения типа НТМИ. Подкачка энергии в эту систему связанных нелинейных контуров может происходить в любой из фаз сети, в зависимости от соотношения угловой фазы свободных нелинейных колебаний и угловых фаз э.д.с. источника. А это соотношение, в свою очередь, определяется начальными условиями развития колебаний. Колебания могут возникнуть от возмущения в сети, вызванного кратковременной или длительной несимметрией («клевок» однофазного замыкания, перегорание предохранителя и т.п.). Пример устойчивых феррорезонансных колебаний приведен на Рис. 1. Видно, что первая гармоника колебаний напряжения на нейтрали составляет 25 Гц, а амплитуда близка к амплитуде фазного напряжения источника. Амплитуда напряжений на фазах близка в удвоенному значению фазного напряжения источника. По характеру воздействия на ОПН сюда же можно отнести процессы при горении перемежающейся дуги – однофазные дуговые замыкания на землю. В этих случаях повреждение ОПН связано с потерей термической устойчивости. Происходит это из-за зависимости активных потерь в варисторах и от величины приложенного напряжения и от температыры варисторов. Последняя зависит от температуры окружающей среды (T_0) и от перегрева варисторов (ΔT) относительно T_0. В свою очередь ΔT определится количеством введенной энергии и эквивалентной теплоемкостью ограничителя.

Зона термической устойчивости ОПН определяется линией пересечения зависимости мощности потерь варисторов ОПН от напряжения и температуры – $P_{выд}(U,T)$ – с зависимостью отводимой энергии от температуры – $P_{отв} = R_T \times T$ (R_T – тепловое сопротивление ограничителя).

Пока температура варисторов не превысит величину 170 – 190°С, аппарат вполне работоспособен. И если до момента достижения этой температуры напряжение будет снижено до уровня, при котором $P_{выд}(U,T) < P_{отв}$, то ОПН остынет и вернется в нормальное рабочее состояние. Здесь необходимо оговориться. Названный предел температуры относится лишь к аппаратам предприятия «Феникс-88». Так как некоторые изготовители применяют материалы, имеющие более низкую рабочую температуру. В этом случае нагрев варисторов может привести, например, к повреждению изоляционной оболочки или внутренних деталей ОПН.

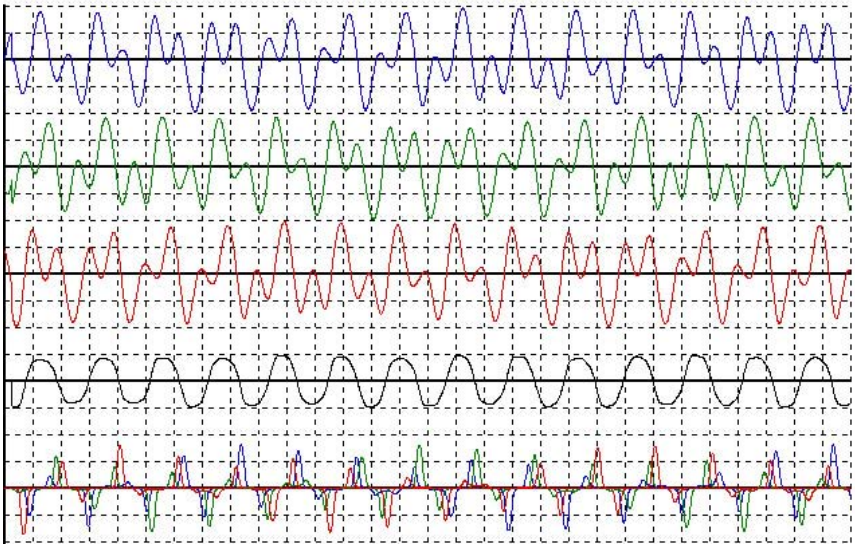

Рис. 1 Пример устойчивых феррорезонансных колебаний в сети 10 кВ. Масштабы: время – 20 мс/дел., напряжение по отношению к амплитуде фазного напряжения – 1 о.е./дел., ток – 1 А/дел.

Заземление нейтрали через правильно выбранной резистор в позволяет предотвратить развитие феррорезонансных колебаний и снизить перенапряжения при однофазных дуговых замыканиях на землю (см. Рис.2).

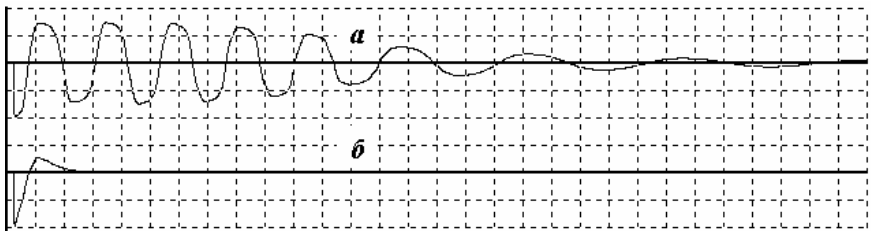

Рис. 2 Подавление феррорезонансных колебаний путем подключения резистора в рассечку треугольника (а) и путем заземления нейтрали через высокоомный резистор (б); масштаб: 20 мс/дел.

Снижение уровня временных перенапряжений и перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях на землю позволяет глубже ограничить перенапряжения с помощью ОПН. Однако, глубокое ограничение следует применять при защите электрооборудования с пониженным уровнем электрической прочности изоляции. Как правило, это сети, содержащие вращающиеся машины. Ведь снижение уровня остающихся перенапряжений приводит к увеличению энергии, вводимой в варисторы ОПН как при ограничении импульсных перенапряжении, так и при воздействии временных перенапряжений. Увеличение энергии импульса (пропускной способности) при ограничении перенапряжений требует увеличения диаметра варисторов или увеличением числа параллельных колонок варисторов (параллельно работающих ОПН). Однако, увеличением диаметра варистора или увеличением числа параллельных колонок невозможно добиться повышения устойчивости ОПН к временным перенапряжениям.

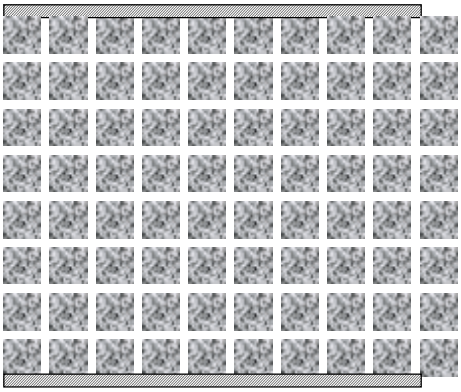

Рис. 3. Блочная модель варистора.

Проиллюстрируем это на примере. Блочной модели варистора, приведенной на **Ошибка! Источник ссылки не найден.**. При увеличении диаметра варистора увеличивается число параллельно подключенных последовательно соединенных микроваристоров. Соответственно возрастет суммарный ток через сечение варистора и поглощаемая при этом энергия. То же самое произойдет при увеличении числа колонок варисторов.

Характеристики ограничителей перенапряжений и методики испытаний для подтверждения этих характеристик одинаковы для всех классов напряжений ОПН. Термическую устойчивость ОПН подтверждают при рабочих испытаниях и при подтверждении зависимости «НАПРЯЖЕНИЕ-ВРЕМЯ». Схемы испытаний приведены на Рис. 4. Причем, подтверждение зависимости «НАПРЯЖЕНИЕ-ВРЕМЯ» проводится по сокращенной схеме, начиная с нагрева до 60±3°С.

Термическая устойчивость ОПН при испытаниях будет определяться температурой окружающей среды, количеством введенной энергии и уровнем длительного рабочего напряжения. Необходимо отметить, что способ ввода энергии до момента приложения длительного рабочего напряжения (нагрев от стороннего источника тепла, введение энергии импульсами, приложение повышенного напряжения) в данном случае имеет небольшое значение. При рабочих испытаниях, как это видно из Рис. 4, используется комбинация воздействий.

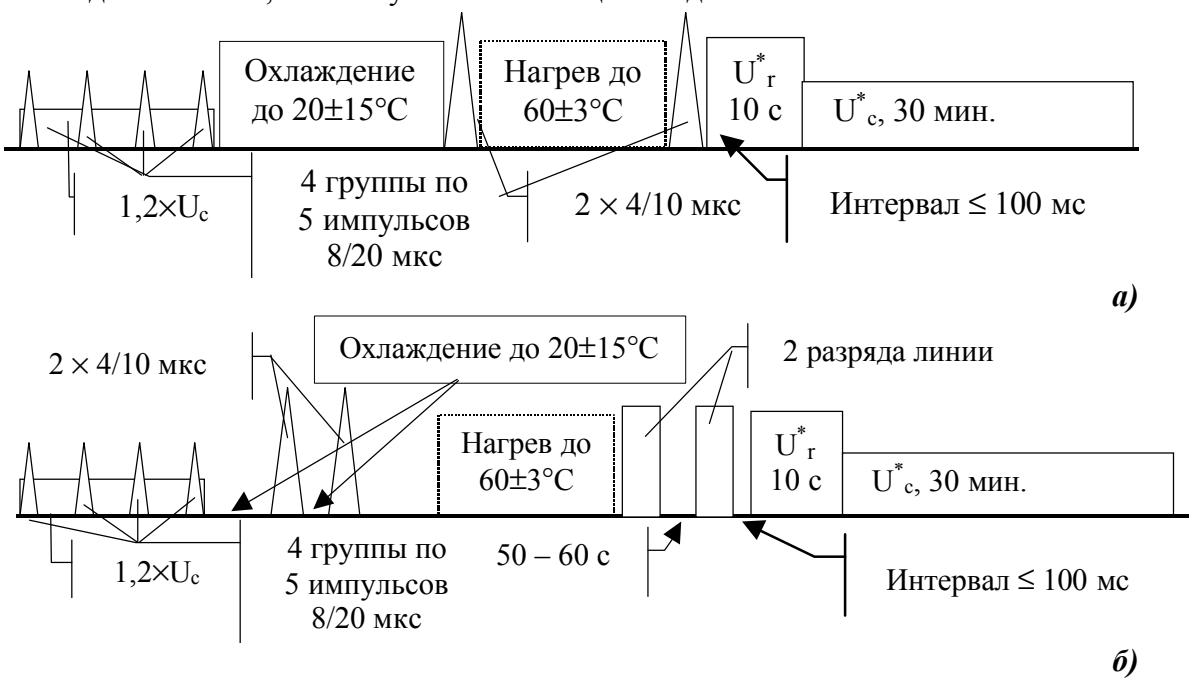

Рис. 4 Испытания в рабочем режиме ограничителей с номинальным разрядным током 1500 А, 2500 А, 5000 А и 10000 А 1 класса разряда линии (а) и с номинальным разрядным током 10000 А 2 и 3 класса разряда линии и 20000 А 4 и 5 класса разряда линии (б) в соответствии с МЭК 60099-4.

Энергопоглощающую способность ОПН характеризуют два параметра: ток пропускной способности и номинальное напряжение $U_г$. Причем именно $U_г$ является параметром, который характеризует устойчивость ОПН к временным повышениям напряжения. Упрощенный алгоритм учета воздействия временных перенапряжений при выборе параметров ОПН приведен в [1]. При известных значениях величин и длительностей временных перенапряжений (U_i и t_i), воздействующих за время порядка 2 минут, значение номинального напряжения ОПН может быть определено из выражения

$$U_r \geq 0{,}955 \cdot [\sum(t_i \cdot U_i^{50})]^{0{,}02}. \qquad (1)$$

Если значение перенапряжения U можно считать постоянным в течение времени его воздействия t, то выражение (1) примет вид:

$$U_r \geq 0{,}955 \cdot t^{0{,}02} \cdot U. \qquad (2)$$

Если воздействие временных перенапряжений может быть больше двух минут, необходимо обращаться к характеристике «НАПРЯЖЕНИЕ – ВРЕМЯ», которая предоставляется изготовителем ОПН.

Ограничитель перенапряжений может использоваться как датчик для систем релейной защиты и автоматики. Возможно подключения датчика температуры непосредственно к варисторам.

Список литературы

1. Заболотников А.П. Выбор ограничителей перенапряжений для сетей 6 – 35 кВ // Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6 –35 кВ. Труды Второй Всероссийской научно-технической конференции. - Новосибирск, 2002.- С. 177 – 183