

## Выбор схемы подключения и параметров ОПН для повышения надежности эксплуатации электрических сетей

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

Для обеспечения ограничения перенапряжений при включении и отключении электрооборудования в нормальном и аварийных режимах защитный аппарат должен быть установлен на стороне коммутируемого присоединения по отношению к выключателю. Уровень остающихся напряжений при максимальных возможных в конкретной схеме разрядных токах не должен превышать гарантированной электрической прочности изоляции защищаемого электрооборудования.

В схемах с вращающимися машинами уровни остающихся напряжений защитного аппарата должны быть на уровне 2,7 – 2,9 по отношению к амплитуде фазного напряжения сети. При этом такой ОПН будет ограничивать перенапряжения при горении перемежающейся дуги – однофазные дуговые замыкания на землю (ОДЗ). Причем эксплуатационные воздействия при ограничении именно этих перенапряжений будут являться определяющими при выборе параметров ОПН в случае сети с изолированной нейтралью. При наличии дугогасящего реактора (ДГР) энергетические воздействия на ограничитель снижаются. При заземлении нейтрали через высокоомный резистор с правильно выбранными параметрами воздействия при ОДЗ перестают быть определяющими при выборе параметров ОПН. Однако в ряде случаев у предприятия нет возможности изменить режим нейтрали сети.

Наиболее распространенная сейчас схема подключения ограничителей: «фаза-земля» в ячейке выключателя на стороне коммутируемого присоединения. При ОДЗ все ОПН подключенных присоединений являются многоколонковым распределенным ограничителем. Однако повреждение ОПН в случае ненормированных воздействиях при горении перемежающейся дуги приводит к отключению присоединения и при отсутствии резерва может приводить к перерыву в технологическом режиме, например, к прекращению перекачки энергоносителя по трубопроводу.

По данным регистрации средняя длительность ОДЗ в кабеле составляет порядка 40 с. При этом напряжение повторного пробоя снижается в первые секунды горения дуги, соответственно снижается кратность перенапряжений и энергия, рассеиваемая в варисторах ОПН. Ограничители для защиты вращающихся машин, выпускаемые предприятием «Феникс-88» с надежностью 0,95 рассчитаны на длительность ОДЗ 90 с при условии снижения напряжения повторного пробоя (или на длительность порядка 30 с при постоянном уровне повторного пробоя). Опыт эксплуатации показывает правильную оценку энергопоглощающей способности этих ограничителей. В случае «неликвидирующегося» дугового замыкания (например, при обрыве провода) ограничитель будет функционировать до момента разогрева варисторов до температуры порядка 180°C.

Скорость ввода энергии при ограничении дуговых перенапряжений невелика. Это импульсы с амплитудой порядка десятков ампер и длительностью несколько десятков мкс. Интервал между импульсами при изолированной нейтрали 10 – 20 мс. По динамике эти воздействия ближе к воздействиям при временных повышениях напряжения. При эквивалентном процессе ОДЗ по энергии воздействию напряжения промышленной частоты частота следования импульсов тока будет одинаковой. Но при приложении напряжения промышленной частоты амплитуда этих импульсов будет ниже, чем при ОДЗ, а длительность больше. Отсюда вывод: нет необходимости выбирать ОПН с высокой пропускной способностью (с большим диаметром варистора) для повышения устойчивости к эксплуатационным воздействиям при ОДЗ. Устойчивость к этим воздействиям можно обеспечить увеличением номинального напряжения аппарата путем конструктивных решений. В частности это может быть достигнуто снижением теплового

сопротивления аппарата и увеличением его эквивалентной теплоемкости. С уменьшением теплового сопротивления ограничителя увеличивается суммарная энергия, которая может быть поглощена ОПН при достаточно длительном (порядка десятков секунд и более) вводе энергии. В качестве параметра, характеризующего эксплуатационное воздействие, можно использовать эквивалентную мощность –  $P_{\Sigma}$ , под которой понимается среднее количество энергии, вводимое в ОПН за единицу времени.

Теоретически возможно достижение установившегося режима, когда температура варисторов ОПН будет равна:

$$T_1 = T_0 + P_{\Sigma} \cdot R_T,$$

где  $T_0$  – окружающая температура,  $R_T$  – эквивалентное тепловое сопротивление. При этом допустимая величина температуры варисторов должна быть на уровне  $T_1 = 110 - 120^{\circ}\text{C}$ .

Рост температуры на начальном этапе:

$$T_1 = T_0 + P_{\Sigma} \cdot t / C_T,$$

где  $t$  – время,  $C_T$  – эквивалентная теплоемкость.

При небольших по амплитуде импульсах тока через варисторы ОПН, характерных для ограничения перенапряжений при ОДЗ, энергия рассеивается в области встречно включенных полупроводниковых переходов, расположенных на поверхностях кристаллов.

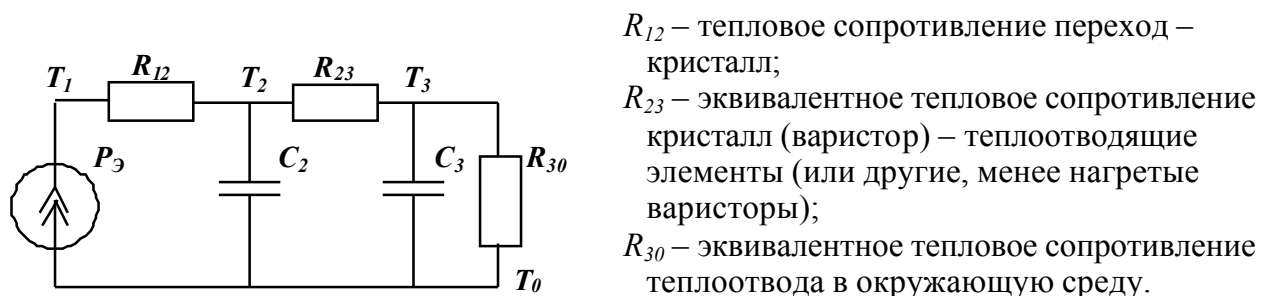


Рис. 1. Упрощенная термическая модель ОПН

Применение ОПН с повышенным значением номинального напряжения позволит увеличить время до момента повреждения ОПН в 4 и более раз.

Предлагается схема с выделенным ОПН, который подключен к шинам и может быть расположен в отдельной ячейке (или в ячейке ТН), для ограничения перенапряжений при ОДЗ. Этот ОПН имеет несколько меньший уровень остающихся напряжений и повышенный уровень номинального напряжения. То есть, при коммутациях включения и отключения защиту обеспечивают ОПН, установленные на присоединениях. При возникновении ОДЗ перенапряжения ограничиваются этим выделенным аппаратом с большим значением номинального напряжения. В случае «не ликвидирующегося» дугового замыкания такой аппарат при прочих равных условиях способен дольше выдерживать воздействия при ОДЗ.

В настоящее время не существует стандартных испытаний для подтверждения устойчивости ОПН к воздействиям при ОДЗ. Учитывая изложенные выше доводы в пользу практической идентичности с точки зрения разогрева варисторов ОПН воздействий при ОДЗ и при приложении повышенного напряжения промышленной частоты, предприятие «Феникс-88» проводит такую оценку на установке собственной разработки. Эта установка позволяет на промышленной частоте рассеивать в аппаратах класса 6 кВ заданную энергию или заданную эквивалентную мощность в течение заданного времени.

#### Выводы.

- В ряде случаев для повышения надежности необходимо применять ограничители с номинальным напряжением, повышенным за счет снижения эквивалентного теплового сопротивления защитного аппарата.

- Устойчивость ОПН к воздействиям при ОДЗ может оцениваться величиной номинального напряжения, характеризующего устойчивость к временным повышениям напряжения.
- Подтверждение устойчивости ОПН к воздействиям при ОДЗ возможно путем приложения повышенного напряжения промышленной частоты.