

ЗАЩИТА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ОТ СВЕРХТОКОВ В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ 6-10 кВ

Коротовский А. Н. – студент группы 8Э(з)-81, Сташко В. И. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Развитие и расширение распределительных электросетей, использование более сложных схемных решений и современного электрооборудования сопровождаются увеличением нагрузок, усложнением условий эксплуатации и неизбежным в таких случаях ростом аварийности в электросетях, диктующим принимать дополнительные меры по повышению надёжности электроснабжения.

При проведении анализа литературных источников по данной тематике [1], можно сделать вывод, что в действующих электросетях повреждаемость измерительных трансформаторов напряжения (ТН) составляет 7-10% из всех установленных, а средний срок службы не превышает 3-5 лет [2].

Всё это делает актуальной проблему определения причин повреждения ТН и разработки мер по их защите в наиболее распространённых распределительных электросетях 6-10 кВ.

Основными причинами повреждения ТН от перенапряжений (ПН) и сверхтоков являются:

- конструктивные недостатки;
- феррорезонансные процессы;
- перенасыщение магнитопроводов ТН.

Конструктивным недостатком наиболее распространённых ТН типов НТМИ, ЗНОЛ является недостаточный запас по сечению магнитопровода значением всего 1,9 раза по отношению к номинальному напряжению.

ПН значительно более кратности 1,9 раза, что приводит в аварийных ситуациях к глубокому перенапряжению магнитопровода, резкому уменьшению индуктивного сопротивления, появлению сверхтоков и в результате к перегоранию защитных предохранителей или к возгоранию самих ТН.

В отношении этих причин повреждений антирезонансные ТН типа НАМИ имеет 4-х кратный запас по сечению магнитопровода и является более защищёнными от ПН.

Перенасыщение магнитопровода ТН возможно также при появлении в месте ОЗЗ дугового разряда, являющегося источником не только высших и низших гармоник, но и постоянной составляющей напряжения величиной до 650 В [2]. Например, для ТН типа ЗНОЛ-10 активное сопротивление обмотки высокого напряжения составляет 844 Ом и от действия указанного постоянного напряжения ток перегрева подмагничивания в обмотке может достигать до $650 \text{ В} / 844 \text{ Ом} = 0,77 \text{ А}$. Это приводит к перегреву и повреждению ТН, поскольку предельный длительно допустимый ток для них составляет не более 0,19 А [3].

Следует отметить, что для антирезонансных ТН типа НАМИ постоянная составляющая напряжения от дугового разряда в месте ОЗЗ также может привести к перегреву и перенасыщению, так как индуктивность основных высоковольтных обмоток и индуктивность дополнительного однофазного трансформатора, включённого в разрез нулевого заземляющего провода, практически не является активными токоограничивающими сопротивлениями для постоянной составляющей.

Кроме того, для защиты ТН от ПН и сверхтоков рекомендуют устанавливать в ТН дополнительный резистор 25 Ом во вторичную обмотку «разомкнутый треугольник», а резистор 10 кОм включать в разрез нулевого заземляющего проводника первичной высоковольтной обмотки [5].

Однако практическое применение этих рекомендаций оказалось неэффективным и защитные предохранители ТН продолжали перегорать при ОЗЗ.

Тем не менее, при ОЗЗ ток через ТН и заземляющий резистор с сопротивлением 10 кОм составит от действия постоянной составляющей напряжением 650 В:

$$650 \text{ В} / (10000 \text{ Ом} + 844 \text{ Ом}) = 0,057 \text{ А}, \quad (1)$$

что явно недостаточно для перенасыщения магнитопровода.

Включение заземляющего резистора 10 кОм, в этом случае, позволяет устранить причины повреждения ТН по крайней мере от постоянной составляющей ПН.

Таким образом, измерительные ТН как обычные, так и антирезонансные, требуют дополнительных защит от ПН и сверхтоков.

Для решения этого вопроса представляется расчёт сопротивления заземляющего резистора ТН, с учётом исходных условий: $U_{\phi} = 6,0$ кВ, $I_{дл} = 0,1$ А на каждую фазу, $U_{дл} = 1,9 \cdot U_{\phi} = 1,9 \cdot 6,0 = 11,4$ кВ [2].

Значение наибольшего уровня ПН, ограничиваемого дугогасящими реакторами (ДГР), составляет $U_{max} = 2,6 \cdot U_{\phi} = 16,38$ кВ для сетей 10 кВ [3,4].

Тогда падение напряжения на заземляющем резисторе как геометрическая разность на части делителя напряжения составит при ОЗЗ:

$$U_{г}^2 = U_{max}^2 - U_{дл}^2 = 16,382 - 11,42 = 11,772 \text{ кВ} \quad (2)$$

И в результате падения напряжения на заземляющем резисторе составляет $U_{г} = 11,7$ кВ.

Ток начала насыщения магнитопровода ТН при ОЗЗ согласно работам [2, 3] составит $I_{нас} = 0,19$ А на каждую обмотку и 0,57 А для резистора в нейтрали первичных обмоток.

В этом случае величина сопротивления заземляющего резистора в ТН для ограничения тока насыщения магнитопровода составит:

$$R_3 = U_{г} / I_{нас} = 11770 / 0,57 = 20649,0 \text{ Ом.} \quad (3)$$

Принимаем 20,0 кОм.

Введение дополнительного заземляющего резистора в нулевой провод первичных обмоток ТН будет сопровождаться:

- дополнительным падением напряжения на нём в ущерб метрологическим характеристикам ТН;
- необходимостью обеспечения электрической прочности изоляции резистора согласно требованиям к изоляции ТН.

Использование в настоящее время маломощных цифровых приборов для учёта электроэнергии и для РЗ, а также их равномерное пофазное подключение к вторичным обмоткам ТН обеспечило минимальное падение напряжения на заземляющем резисторе без ухудшения метрологических характеристик и получило практическое подтверждение.

Для соответствия уровня изоляции заземляющего резистор в цепях первичной обмотки ТН были разработаны пять вариантов конструкций и крепления резисторов в ячейке ТН с различными электроизоляционными материалами (рисунок 1, таблица 1).

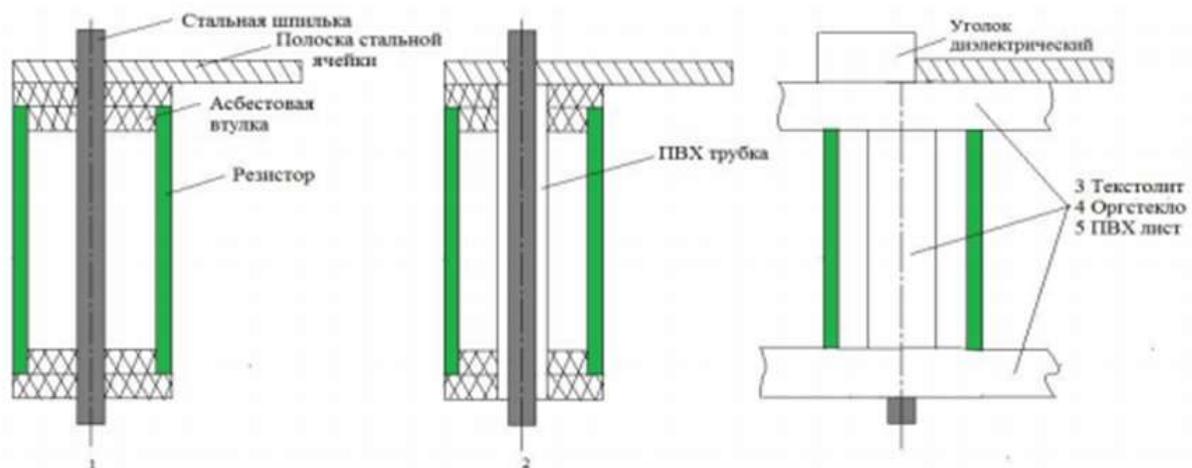


Рисунок 1 – Варианты конструкции и крепления заземляющих резисторов в ячейке ТН

Таблица 1 – Свойства электроизоляционных материалов

Материал	Электрическая прочность, кВ/мм
Воздух	3...4
Асбест	2...5
Текстолит	2...6
Эбонит	8...10
Гетинакс	10...15
Резина листовая	10...15
Масло трансформаторное	5...18
Оргстекло	17...18
Полихлорвинил листовой	44...45

Испытания на электрическую прочность выявили наиболее предпочтительную конструкцию с использованием полихлорвиниловых материалов, выдерживающих напряжение пробоя до 44 – 46 кВ.

Также на рисунке 2 представлен конструкция крепления заземляющего резистора ТН.



Рисунок 2 – Заземляющий резистор в сборе

В итоге, для защиты ТН от сверхтоков на одной из питающих с целью практического подтверждения рекомендаций в действующей ячейке ТН разработана компоновка размещения и установлены заземляющие резисторы в высоковольтные первичные обмотки «разомкнутый треугольник». Указанная защита обеспечила защиту ТН от сверхтоков при возникновении нескольких ОЗЗ без перегорания предохранителей, тогда как ранее перегорания происходили.

Список использованных источников:

1. Сарин Л. И., Васильева А. Ю., Усикова Е. М. Динамично развивающееся в электроэнергетике ООО «Болид» // Энергетик, 2016, №9.
2. Саенко Ю. Л. Влияние характера горения дуги на повреждаемость трансформаторов напряжения контроля изоляции / Ю. Л. Саенко, А. С. Попов // Вестник Приазовского Государственного Университета – Мариуполь, 2011. – Вып. 21. – с. 101-106.
3. Борисов В. Н., Халилов Ф. Х. Защита от перенапряжений в электрических сетях 6-35 кВ. – Алма-Ата: Кайнар, 1991.
4. Сайт <http://www.websor.ru> – Территория электротехнической информации WEBSOR – статья. Классификация и характеристики внутренних перенапряжений сетей 6-35 кВ.
5. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений РДД 153-34. 3-35. 125-99. Часть 2. Разделы 5.4, 5.5, 5.6.