

УЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОПН ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

С. Н. Прохоренко

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь

Научный руководитель А. Н. Бохан

Одним из наиболее распространенных на сегодняшний день способов ограничения перенапряжений является применение нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН), изготавливаемых на основе высоконелинейных варисторов из оксида цинка. Сопротивление варисторов зависит от приложенного к нему напряжения: при превышении некоторого порогового значения проводимость варистора резко возрастает. Это обусловлено тем, что под действием приложенного к варистору напряжения зерна оксида цинка начинают выстраиваться в «цепочки», соприкасаясь между собой, вследствие чего сопротивление варистора снижается.

В ряде источников указывается, что переход в проводящее состояние варисторов осуществляется практически мгновенно, т. е. ОПН не обладает инерционностью срабатывания. Однако выполненные испытания ОПН различных фирм и типов на напряжение 10 кВ (Raychem HSRA15B 12kV 10kA, ОПН-10/12/10 УХЛ1, ОПН-П-10/11 УХЛ1, ОПН-КР/TEL -10/12 УХЛ2 ЮкА и др.) и 0,4 кВ, дают основания считать, что происходит некоторое запаздывание при переходе ОПН в проводящее состояние, причем это свойство варисторов характерно не для отдельных образцов, а для всех исследованных ОПН. Попытки моделирования отставания тока внутренней индуктивностью варистора не дали положительных результатов.

Для уточнения динамических свойств ОПН выполнены испытания при воздействии напряжения повышенной частоты. На рис. 1 приведена осциллограмма полупериода напряжения на ОПН-0,4 при воздействии напряжения повышенной частоты 3,3 кГц.

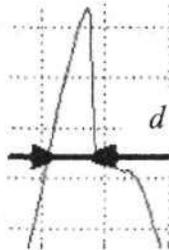


Рис. 1. Осциллограмма полупериода напряжения на варисторе 0,4 кВ ($f = 3,3$ кГц)

На отрезке времени d мгновенное напряжение, воздействующее на ОПН, превышает уровень ограничения ($U_{ref} = 760$ В).

На основании выполненных экспериментальных исследований разработана динамическая модель ОПН, позволяющая получать достоверные результаты моделирования внутренних перенапряжений в распределительных сетях с ОПН.

Динамическая модель ОПН (рис. 2) разработана в среде MATLAB.

Блок 1 (АЗ) - аperiодическое звено, реализует инерционность работы. Блок 2 (АВАХ), аппроксимация статической ВАХ ОПН, определяет ток ОПН. Блок 3 (БОТ) - блок определения температуры ОПН, определяет и по обратной связи корректирует изменение ВАХ ОПН с учетом расчетных температур. Блок 4 (БР) - блок разрушения, моделирует разрушение ОПН по критерию превышения температуры T . Блок 5 (БУСНР) - блок управления сопротивлением резистора, изменяет сопротивление резистора, посредством управляющего сигнала тока. Блок ИП является источником входного напряжения $U_{ВХ}$ заданной частоты и амплитуды.

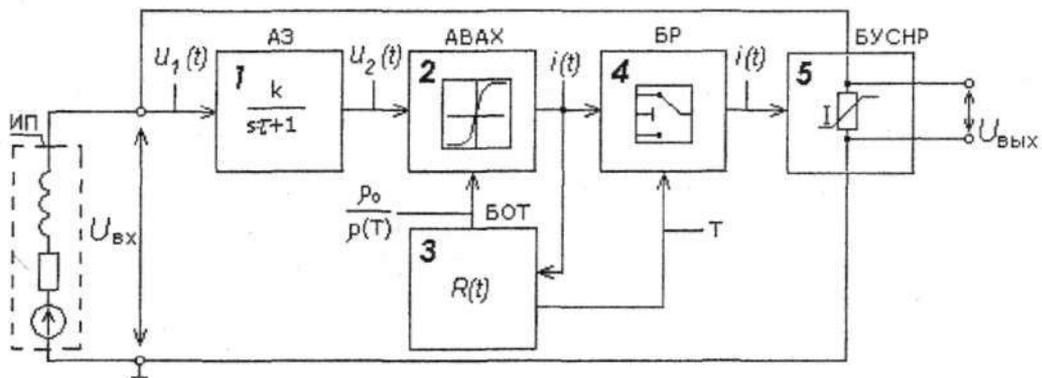


Рис. 2. Структурная схема модели ОПН

Для моделирования запаздывания ОПН (блок 1) используется инерционное звено первого порядка с постоянной времени x . При моделировании ОПН различных типов в частотном диапазоне 50–6000 Гц получены результаты моделирования, близкие к экспериментальным исследованиям для $\tau \sim 140$ мкс.

Учет динамических свойств ОПН позволяет получить более достоверные результаты моделирования перенапряжений в распределительных сетях. При этом предельные кратности перенапряжений получаются несколько выше, чем это следовало бы ожидать, моделируя ОПН статической характеристикой, что подтверждается данными экспериментов в реальных сетях, полученными разными авторами.

Исследованы перенапряжения в кабельной распределительной сети 10 кВ с изолированной нейтралью при перемежающихся дуговых замыканиях на землю и установленных на шинах ОПН - 10/12 с помощью модели сети. Изменение максимальных кратностей перенапряжения в зависимости от длины кабельной линии для трансформаторов мощностью 25 и 40 МВА приведено на рис. 3

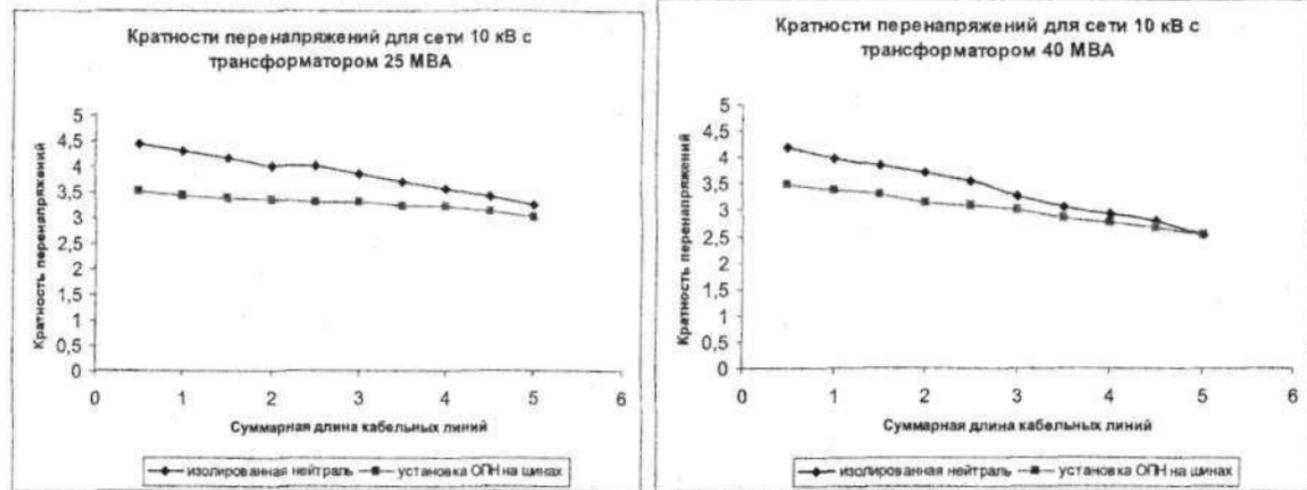


Рис. 3. Изменение максимальных кратностей перенапряжений

Учет динамических свойств ОПН позволяет уточнить математическую модель ОПН и тем самым получать результаты моделирования перенапряжений весьма близкие к реальным данным.