

УДК 621.311.031

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ГЛУБОКОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОСЕТИ

В. В. КРОТЕНОК

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Повышение рабочего напряжения, длительные квазистационарные напряжения, импульсные токи микросекундного диапазона и токи при коммутационных перенапряжениях являются основными факторами, определяющими технические характеристики ОПН (ограничитель перенапряжений нелинейный) [1, с. 14].

Термическая устойчивость ОПН определяется 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. Снижение уровня временных перенапряжений и перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях на землю можно обеспечить, используя пониженный уровень ограничения 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 перенапряжений, 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). Наиболее распространенная сейчас схема подключения ограничителей: «фаза-земля» в ячейке выключателя на стороне коммутируемого присоединения [2, с. 39].

Настоящей задачей является разработка устройства ограничения перенапряжений, выполненного на основе ОПН. Устройство должно обладать рядом преимуществ перед существующими способами подключения ОПН.

Основная часть

Устойчивость ОПН к воздействиям высокого напряжения можно обеспечить увеличением номинального напряжения аппарата путем конструктивных решений. Применение ОПН с повышенным значением номинального напряжения позволит увеличить время до момента повреждения ОПН в 4 и более раз [4]. В случае «не ликвидирующегося» дугового замыкания такой аппарат при прочих равных условиях способен дольше выдерживать воздействия при однофазных дуговых замыканиях на землю. Вышеуказанный подход к применению ОПН, безусловно, имеет ряд таких преимуществ, как: установка ОПН с повышенным значением номинального напряжения позволяет на промышленной частоте рассеивать в аппаратах класса 6–10 кВ

заданную энергию или заданную эквивалентную мощность в течение заданного времени; устойчивость ОПН к воздействиям при ОДЗ (однофазного короткого замыкания) может оцениваться величиной номинального напряжения, характеризующего устойчивость к временным повышениям напряжения.

К недостаткам подхода применения ОПН с повышенным значением номинального напряжения можно отнести следующие факторы:

- 1) большая вероятность появления «не ликвидирующегося» дугового замыкания;
- 2) кабельные сети с устаревшей изоляцией будут с большей вероятностью подвержены многократным замыканиям на землю и переходом с однофазного замыкания в двух- и трехфазное замыкания;
- 3) неограниченные уровни перенапряжений пагубно воздействуют на изоляцию оборудования, и время износа изоляции уменьшается, из-за чего возникает экономический ущерб от досрочных текущих и капитальных ремонтов оборудования, от возможного недоотпуска электроэнергии потребителям с возникающими последствиями нарушениями технологических процессов и качества поставляемой электроэнергии.

Обеспечить выполнение всех положительных моментов от того или иного схемного решения очень трудно, необходимо учесть много факторов, влияющих на защиту от перенапряжений. Поэтому определить режим заземления, уровень ограничения ОПН или места их установки, сопротивление заземляющего резистора и т. д. можно только в индивидуальном порядке.

Одно из схемных решений подключения ОПН предлагается для распределительных сетей 6–10 кВ и рассматривается ниже. Задачей является упрощение существующих конструкций [5], [6] и повышение надежности устройства, а также снижение уровней перенапряжений в распределительных сетях с изолированной и компенсированной нейтралью, при переходных процессах, обусловленных коммутациями и замыканиями на землю, уменьшение тепловыделения в ОПН в установившихся режимах, и обеспечение возможности длительной работы сети при замыкании на землю.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве, содержащем ОПН с пониженным уровнем ограничения перенапряжений, подключенный, по меньшей мере, к одному из присоединений за выключателем со стороны нагрузки, последовательно с ОПН за выключателем включен симистор, а параллельно симистору и ОПН включены высокоомные резисторы, составляющие делитель напряжения, выбранный так, что распределение напряжения между ОПН и симистором в нормальном режиме пропорционально их номинальным напряжениям.

Введение в устройство симистора обеспечивает снижение защитного уровня ограничения перенапряжений в начальный момент переходного процесса, когда волна перенапряжения превышает исходный защитный уровень ограничителя. Снижение уровня ограничения перенапряжений приводит к быстрому затуханию высокочастотного процесса, обусловленного разрядом емкостей фаз на землю, и уменьшает вероятность повторных зажиганий дуги, а также уменьшаются уровни возникающих перенапряжений. Устройство содержит минимальное количество простых составляющих элементов и не требует вспомогательного источника питания, что повышает надежность конструкции. При металлическом замыкании на землю и отсутствии переходного процесса мгновенное значение напряжения на устройстве глубокого ограничения перенапряжений не превышает исходный защитный уровень и ток в цепи ОПН и тепловыделение практически отсутствует. Это позволяет обеспечить возможность длительной работы электрической сети при замыканиях на землю и тем самым повысить надежность электроснабжения.

На рис. 1 представлена блок-схема предлагаемого устройства глубокого ограничения перенапряжений в электросети с изолированной или компенсированной нейтралью. На рис. 2 приведены вольтамперные характеристики симистора и ОПН. На рис. 3 приведена эквивалентная вольтамперная характеристика при последовательном соединении симистора и ОПН.

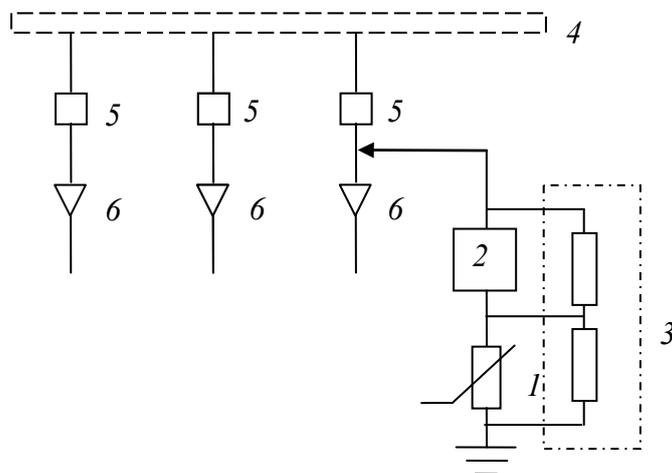


Рис. 1. Блок-схема устройства глубокого ограничения перенапряжений

На рис. 1 показаны ОПН 1 с пониженным уровнем ограничения перенапряжения, симистор 2 и делитель напряжения 3, сборная шина 4, выключатели 5 и присоединения 6. Элементы 4, 5, 6 лежат за пределами предлагаемого объекта и приведены для пояснения работы устройства.

Устройство работает следующим образом. В нормальном режиме в цепи симистора 2 и последовательно соединенного с ним ОПН 1, ток отсутствует, т. к. симистор 2 закрыт и напряжение, приложенное к нему меньше напряжения включения при отсутствии управляющего тока. Делитель напряжения 3, распределяет, поданное на симистор 2 и ОПН 1, напряжение в соответствии с их номинальными напряжениями. На рис. 2 приведены вольтамперные характеристики ОПН (а) и симистора (б), а также эквивалентная характеристика при последовательном их соединении на рис. 3.

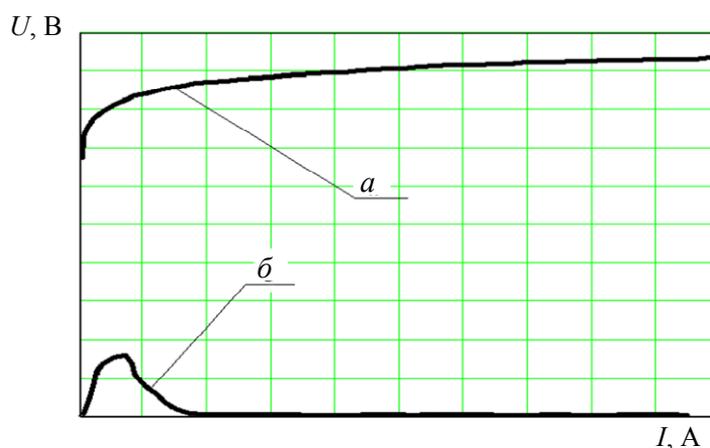


Рис. 2. Вольтамперные характеристика ОПН (а) и симистора (б)

При замыкании на землю в электрической сети, вследствие переходного процесса, на неповрежденных фазах сети возникают перенапряжения. В начальный момент переходного процесса, когда волна перенапряжения превышает исходный защитный уровень ограничителя, происходит открытие симистора 2. Падение напряжения на нем становится близким к нулю, а снижение исходного защитного уровня ограничителя перенапряжений происходит на величину пробивного напряжения симистора 2. Пониженный уровень ограничения перенапряжений сохраняется до тех пор, пока мгновенное значение тока в цепи ОПН не перейдет через ноль и симистор автоматически закроется. Последующее включение симистора произойдет только лишь тогда, когда уровень перенапряжений вследствие переходного процесса превысит установленное значение.

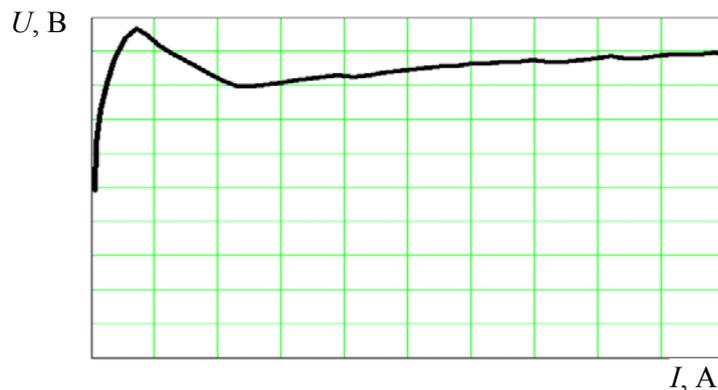


Рис. 3. Эквивалентная вольтамперная характеристика при последовательном соединении ОПН и симистора

При установившемся замыкании на землю, что характерно для металлического замыкания, напряжение на неповрежденных фазах увеличивается до линейного, а перенапряжение, связанное с переходным процессом, отсутствует. В этих условиях симистор находится в закрытом состоянии, и ток через ОПН I не протекает. Такой режим не может привести к повреждению ОПН I , и работа в этом режиме может продолжаться неограниченно долго. Таким образом, устройство глубокого ограничения перенапряжений в электросети, по сравнению с известными, обладает более высокой надежностью конструкции и позволяет снизить уровни перенапряжений в распределительных сетях с изолированной и компенсированной нейтралью, уменьшить тепловыделение в ограничителях перенапряжений в установившихся режимах, обеспечить возможность длительной работы сети при замыканиях на землю и тем самым повысить надежность электроснабжения (данное устройство запатентовано в Республике Беларусь автором [7]).

Результаты исследования переходных процессов с использованием устройства глубокого ограничения перенапряжений. На кафедре «Электроснабжение» в ГГТУ им. П. О. Сухого были проведены опыты по испытанию работы устройства глубокого ограничения в электросети. Сняты и занесены в память ПЭВМ основные электрические характеристики устройства. Эксперимент проведен для подтверждения адекватности модели устройства глубокого ограничения перенапряжений в электросети.

На рис. 4 приведена осциллограмма напряжения при работе устройства глубокого ограничения перенапряжения, на которое был подан всплеск напряжения. Всплеск напряжения был подан с заряженного конденсатора в силовую цепь устройства, где произошло наложение приложенного напряжения промышленной частоты и напряжения, выдаваемого конденсатором. Опорное напряжение промышленной

частоты подобрано так, что при наложении напряжений срабатывает симистор и ОПН входит в проводящее состояние. Процесс ограничения виден на рис. 4 на промежутке 0,38–0,41 с. На этом промежутке времени происходит разряд конденсатора, падение напряжения на симисторе, вследствие чего он закрывается, и ОПН переходит в состояние малой проводимости.

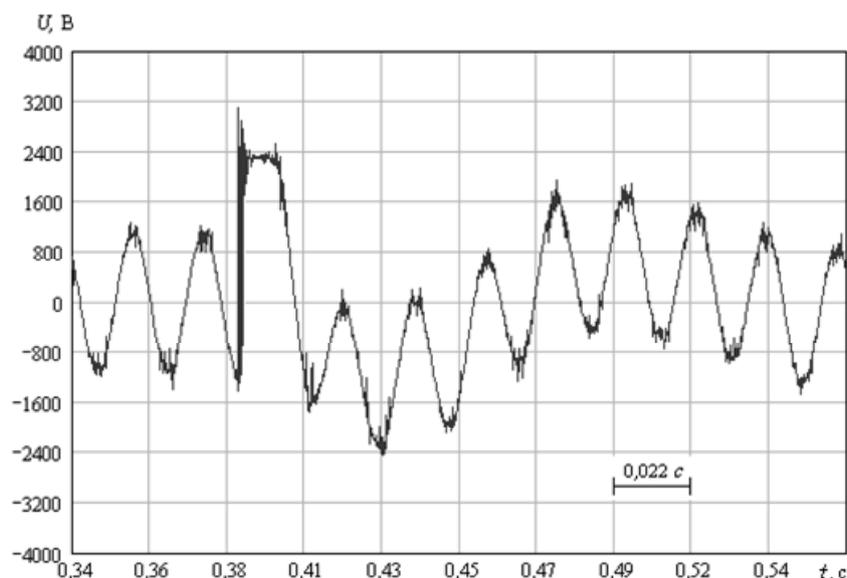


Рис. 4. Осциллограмма напряжения при работе устройства глубокого ограничения перенапряжений

Эксперименты подтверждают эффективность применения устройства. Применение устройства глубокого ограничения перенапряжений дает ряд преимуществ:

- обеспечивает глубокое ограничение возникающих перенапряжений;
- устройство входит и выходит из режима ограничения при заданном уровне напряжения;
- снижение уровня ограничения перенапряжений приводит к быстрому затуханию высокочастотного процесса, обусловленного разрядом емкостей фаз на землю, и уменьшает вероятность повторных зажиганий дуги;
- при установившихся режимах однофазных замыканий мгновенное значение напряжения, на устройстве глубокого ограничения, не превышает исходный защитный уровень, и ток в цепи ОПН и тепловыделение практически отсутствует. Это позволяет обеспечить возможность длительной работы электрической сети при замыканиях на землю;
- малая вероятность деградации структуры ОПН. Вследствие этого нет необходимости вести контроль за состоянием ОПН.

Результаты исследования переходных процессов в распределительной сети с устройством глубокого ограничения перенапряжений. Установка устройства глубокого ограничения по схеме на рис. 1 в распределительную сеть дает положительные результаты, которые видны из расчетных осциллограмм на рис. 5.

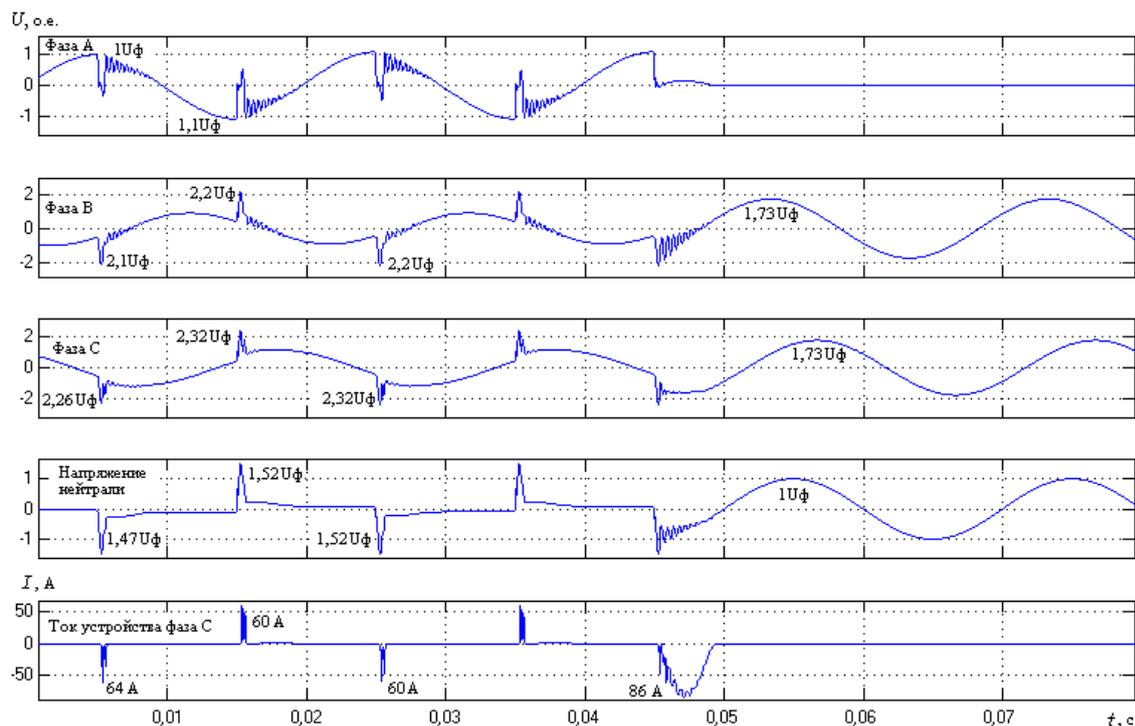


Рис. 5. Расчетные осциллограммы при коротких однофазных замыканиях на землю фазы А, при максимальном фазном напряжении и гашением дуги в полпериода собственных колебаний и последующим заиганием в полпериода промышленной частоты, и, в конечном счете, переходящим в устойчивое замыкание. На шинах установлен комплект устройства глубокого ограничения перенапряжения. Сеть 6 кВ, 2 км кабельных линий при емкостном токе 2,17 А

В устройстве глубокого ограничения перенапряжений элементы выбраны так, чтобы срабатывание ОПН происходило при достижении максимума напряжения в фазе, равным 9700 В. Такое значение напряжения дает возможность не вступать в работу ОПН при устойчивом замыкании (рис. 5). ОПН выбран на условиях глубокого ограничения перенапряжений, т. е. в данном случае для сети 6 кВ длительно допустимое напряжение ОПН принято 5 кВ. Такой подход к выбору ОПН дает достаточно глубокое ограничение возникающих перенапряжений, значение которых не превышает $2,35 U_{\phi}$. Если речь идет о термической стойкости ОПН, то ее обеспечивает избирательная работа устройства. Причем уровень стекающего через ОПН тока можно регулировать выбором уровня срабатывания ОПН. Время работы ОПН в устройстве определяют параметры делителя напряжения (рис. 1).

Заключение

Устройство глубокого ограничения перенапряжений можно применить установкой его в нейтраль, где наблюдается эффективная работа устройства.

Устройство обеспечивает глубокое ограничение возникающих перенапряжений.

При установившихся режимах однофазных замыканий, мгновенное значение напряжения на устройстве глубокого ограничения не превышает исходный защитный уровень, и ток в цепи ОПН и тепловыделение практически отсутствует, это позволяет обеспечить возможность длительной работы электрической сети при замыканиях на землю (преимущество изолированной нейтрали).

Очевиден и экономический эффект от применения устройства глубокого ограничения перенапряжений, особенно установкой устройства в нейтраль, где роль играет установка количества устройств.

Литература

1. Методические указания по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6–35 кВ / РАО «ЕЭС России». – Москва, 2000.
2. Перенапряжения в электрических сетях. Проблемы и опыт эксплуатации. Рекомендации по выбору и применению нелинейных ограничителей перенапряжения. – [Б. м.] : Таврида Электрик, 2000. – 61 с.
3. Catalogue Zinc oxide surge arrester. ABB Switchgear / Publ. SESWG/A 2240E, № 2, Edition 1, 1991. – 17 p.
4. Беляков, Н. Н. Ограничение перенапряжений при замыканиях на землю в сети 6 кВ собственных нужд с помощью ОПН / Н. Н. Беляков, К. И. Кузьмичева, А. Ивановски. – Режим доступа : <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2001/eltf/sheverdin/ellib/index.htm>.
5. Устройство глубокого ограничения : пат. РФ № 2110878, кл. Н 02 Н 9/06 / А. Н. Васильев ; опубли. 10.05.98 // Бюл. – 1998. – № 13.
6. Устройство глубоко ограничения : пат. РФ № 2040841, кл. Н 02 Н 9/04 / В. С. Карпов ; опубли. 27.07.95 // Бюл. – 1995. – № 21.
7. Устройство глубокого ограничения перенапряжений в электросети : пат. 8922 ВУ С1 Н02Н 9/0,4 9/00 / В. В. Кротенок, А. Н. Бохан, В. С. Овсянников. – № а 20040207 ; заявл. 15.03.2004 ; опубли. 28.02.2007.

Получено 27.02.2008 г.