

личными схемами соединения их обмоток; токоограничивающие реакторы; элементы заземления; кабельные и воздушные ЛЭП; сопротивления нейтралей, генераторы. Пользователь с помощью мыши выбирает нужный элемент и помещает его на поле схемы. Затем с помощью элементов линий электропередач элементы схемы соединяются между собой согласно расчетной схемы энергосистемы. Запуск программы осуществляется нажатием кнопки Enter. При этом на экране монитора показываются пути циркуляции токов нулевой последовательности по элементам схемы и затем составляется эквивалентная схема замещения нулевой последовательности. Это дает возможность пользователю проверить свою версию схемы, составленную вручную на бумаге и при ее совпадении с компьютерными вариантами приступить к расчетам.

Программа составлена на Borland Delphi Builder, что облегчает восприятие программы пользователем, при этом она имеет простую конфигурацию и в тоже время обладает хорошим интерфейсом.

УДК 621.3

## ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

*Пашкович Н.П., Потачиц Я.В.*

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

Общеизвестны последствия прямых ударов молний в здания и коммуникации. Грозовой потенциал способен проникать в строения в виде наведенных или занесенных импульсов перенапряжения в сетях и электропроводящих частях. Оно также возникает в сетях при авариях и определенных режимах работы электрооборудования и потребителей. По мере широкого распространения чувствительных к импульсам перенапряжения современных электронных приборов, информационно-вычислительной техники и тому подобного значительно увеличился ущерб от атмосферных разрядов. Все многообразие поражающих факторов и их последствий представлено в таблице 1.

**Таблица 1. Поражающие факторы и их последствия**

Проявление угрозы	Поражающие факторы	Возможные последствия
Прямой удар молнии в здание	Разряд до 200 кА, до 1000 кВ, 30000 °С	Поражение людей, разрушение частей зданий, пожары
Удаленный удар молнии в коммуникации (до 5 км и более)	Занесенный грозовой потенциал по проводам электроснабжения и металлическим трубопроводам (возможное значение импульсного перенапряжения – сотни кВ)	Поражение людей, нарушение изоляции электропроводки, возгорание, выход из строя электрооборудования и приборов
Ближний разряд (до 0,5 км от здания)	Наведенный грозовой потенциал в сетях (возможное значение импульсного перенапряжения – десятки кВ)	Выход из строя электронных приборов, потери баз данных, сбои в работе автоматизированных систем
Коммутации, короткие замыкания в сетях низкого напряжения	Импульсное перенапряжение в сетях (до 10 кВ)	Выход из строя чувствительных приборов, потери баз данных, сбои в работе автоматизированных систем

Очень часто при эксплуатации телекоммуникационных и информационных систем, электронных приборов, систем автоматики и телемеханики приходится сталкиваться с отрицательным влиянием перенапряжений. Основными причинами низкой устойчивости современного оборудования к импульсным перенапряжениям являются:

– возросшая степень интеграции элементов на кристаллах интегральных схем, что приводит к уменьшению напряжения пробоя изоляционных промежутков и уменьшению энергии, достаточной для повреждения элемента БИС;

– уменьшение напряжения питания полупроводниковых приборов и уровня сигналов внутри электронных схем;

– применение импульсных выпрямителей с бестрансформаторным входом.

Возникновение импульсных перенапряжений в электропитающих сетях может привести не только к выходу из строя выпрямителей, электрических кабелей, распределительных щитов, но и к повреждению питаемого оборудования и сбоям в его работе. Согласно статистическим данным случаи повреждения сложной электронной техники из-за выбросов напряжения в распределительных сетях 220/380 В удваиваются каждые три – четыре года. Всё это вызывает повышение требований к защищенности электропитающих установок (ЭПУ) объектов и сооружений связи.

Одной из серьезных проблем в процессе организации защиты оборудования и объекта связи в целом от грозовых и коммутационных перенапряжений является то, что нормативная база в этой области до настоящего времени разработана недостаточно. Существующие нормативные документы либо содержат в себе устаревшие, не соответствующие современным условиям требования, либо рассматривают их частично, в то время как решение данного вопроса требует комплексного подхода. Некоторые документы в данный момент находятся в стадии разработки и есть надежда, что они вскоре выйдут в свет. В их основу положены основные стандарты и рекомендации Международной Электротехнической Комиссии (МЭК).

Наиболее продуманным и отвечающим современным требованиям документом в области защиты от импульсных грозовых перенапряжений в настоящее время является разработанная МЭК **зоновая концепция защиты**.

Суть данной концепции заключается в том, что объект, подлежащий молниезащите (защите от перенапряжений), разбивается на три условных зоны. Предусматривается последовательное снижение уровня перенапряжений от зоны 0 к зоне 1 и далее к зоне 2, в которой устанавливается оборудование. Границей зоны 0 и зоны 1 для служит внешний контур заземления и стены здания. Для систем электропитания границей этих зон является вводный щит здания. Границей зон 1 и 2, как правило, является токораспределительный щит.

Большое значение имеют экранирующие свойства зданий и сооружений, длины и направления кабельных трасс, взаимное расположение оборудования и, в первую очередь, правильно выполненные системы заземления и выравнивания потенциалов. Таким образом, в ходе проектирования, монтажа и эксплуатации объекта связи при решении проблем защиты от импульсных перенапряжений нельзя рассматривать различные типы оборудования, различные системы и коммуникации отдельно друг от друга.

Зарубежный опыт показывает, что без применения специальных защитных устройств (ограничителей перенапряжения) невозможна надёжная эксплуатация устройств электропитания. Стоимость проведения минимально необходимых мер по защите в десятки и сотни раз меньше, чем возможный ущерб от выхода оборудования из строя и нарушения нормальной работы объекта.

В качестве элементной базы для защитных устройств, способных выдерживать большие значения импульсных токов и напряжений, в настоящее время используют искровые разрядники и оксидно-цинковые варисторы. Современная классификация защитных устройств ЭПУ строится в соответствии с зоновой концепцией молниезащиты.

В зависимости от места установки и способности пропускать через себя различные импульсные токи устройства защиты от перенапряжений делятся на следующие классы – А, В, С, и D.

Защитные устройства класса **B** устанавливаются на вводе в здание (во вводном щите или же специальном боксе). Защитные устройства класса **C** – на других подраспределительных щитах, на щитах в выпрямительной или в автозале. Защита класса **D** устанавливается непосредственно возле потребителя. Обычно бывает достаточно установить ограничители перенапряжения класса **C** и класса **D** (устройства класса **D** рекомендуется устанавливать всегда). Защитные устройства класса **B** должны применяться в обязательном порядке на объектах подверженных грозовым воздействиям (прежде всего, имеющим высокие антенно-мачтовые сооружения). Схема подключения защитных устройств для сетей типа TN-C-S приведена на рисунке 1.

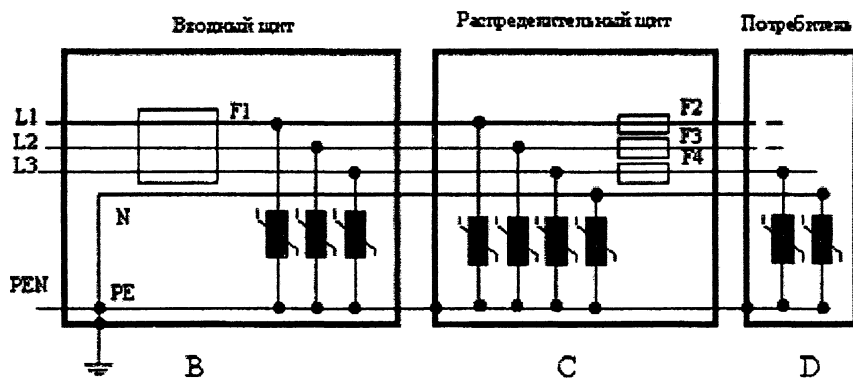


Рис. 1. Установка защитных устройств в TN-C-S сети 220/380 В

Особенностью данной схемы является то, что в первой ступени защиты между нулевым рабочим (N) и нулевым защитным (PE) проводниками не устанавливается ограничитель перенапряжения, так как защитные устройства расположены непосредственно возле точки разделения PEN проводника на N и PE проводники. Во второй ступени защиты между N и PE проводниками уже должен устанавливаться ограничитель перенапряжения, так как при удалении от точки разделения PEN проводника и увеличении длины электрических кабелей индуктивность и, соответственно, индуктивное сопротивление жил кабелей току разряда молнии резко возрастает. В результате этого возможно возникновение разности потенциалов между элементами оборудования, подключенного к N и PE проводникам.

Так же при установке защитных устройств очень важно, чтобы расстояние между соседними ступенями защиты было не менее 7–10 метров по кабелю электропитания. Выполнение этого требования необходимо для правильной работы защитных устройств. В момент возникновения в силовом кабеле импульсного грозового перенапряжения, за счет увеличения индуктивного сопротивления металлических жил кабеля обеспечивается необходимая временная задержка в росте импульса перенапряжения на следующей ступени защиты, что позволяет обеспечить поочерёдное срабатывание ограничителей перенапряжения от более мощных к менее мощным. В случае необходимости размещения защитных устройств на более близком расстоянии или рядом (в одном щитке) необходимо использовать искусственную линию задержки в виде дросселя с индуктивностью не менее 12 мкГн. В качестве примера можно привести устройство PRONET (ISKRA ZASCITE), дроссель ДРМ (НПО «Инженеры электросвязи») или им подобные устройства других фирм производителей. При установке дросселей необходимо учитывать, что рабочие токи нагрузки по фазам не должны превышать предельно допустимые значения, указанные в техническом паспорте на данные устройства. Схема включения дросселей приведена на рисунке 2.

В случае применения устройств УЗО, ограничители перенапряжений классов **B** и **C** необходимо размещать на линейной стороне УЗО, чтобы токи разряда и токи утечки,

протекающие через них на РЕ проводник, не вызывали срабатывания УЗО. К тому же в случае установки ограничителей перенапряжения классов В и С на сторону нагрузки УЗО, последнее может быть выведено из строя током разряда молнии, что недопустимо с точки зрения обеспечения электробезопасности. Ограничители перенапряжений класса D можно устанавливать после УЗО на стороне нагрузки для защиты оборудования от дифференциальных перенапряжений между фазным проводником L и нейтралью N. В этом случае импульсные токи разряда будут протекать между L и N проводниками, не отводясь на защитный РЕ проводник. В ряде случаев возможно использование схемы, приведенной на рисунке 3.

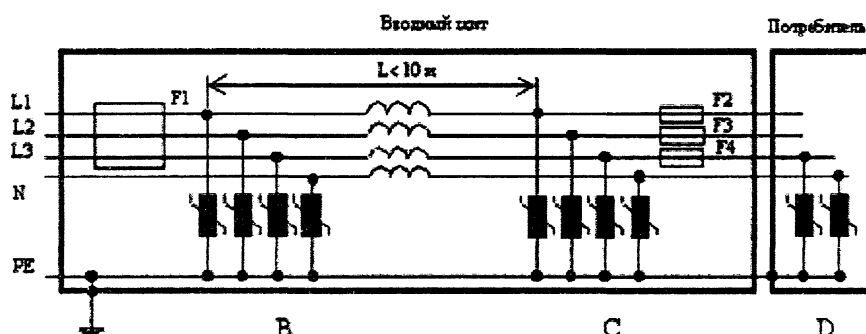


Рис. 2. Установка защитных устройств с использованием дросселей в TN-S сеть 220/380 В

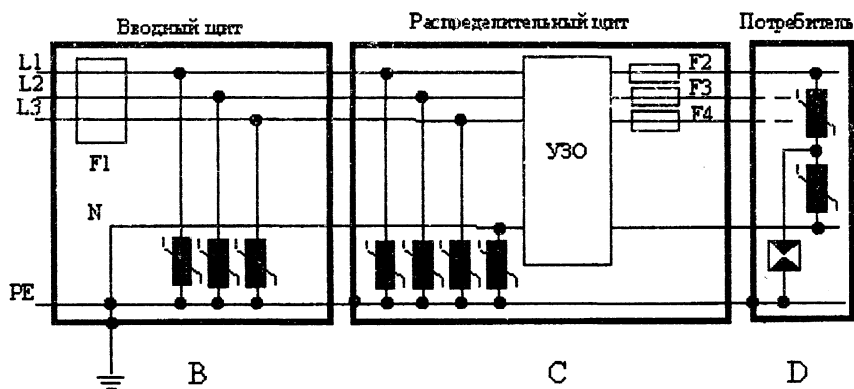


Рис. 3. Вариант установки защитных устройств в TN-C-S сети 220/380 В с применением УЗО

Здесь средняя точка двух варисторов подключается к РЕ проводнику через разрядник, который не позволит токам утечки варисторов вызвать ложное срабатывание УЗО. В данной схеме необходимо применение УЗО типа S с временной задержкой срабатывания. Однако следует отметить, что вопрос применения УЗО на объектах, где необходимо обеспечение электропитания по первой категории, на данный момент времени остается не решенным. ПУЭ издание 7-е 1999 г. предусматривает применение УЗО в электроустановках жилых, общественных, административных и бытовых зданий. Документы, определяющие область применения УЗО в электрических сетях промышленных предприятий, в настоящее время отсутствуют.

### Литература

1. ИЕС-1024-1: 1990. Защита сооружений от удара молнии. Часть 1: Общие принципы.
2. ИЕС-1312-1: 1995. Защита от электромагнитного импульса молнии. Часть 1: Общие принципы.
3. ИЕС 1643-1 (37A/44/CDV: 1996-03). Устройства защиты от волн перенапряжения для низковольтных систем распределения электроэнергии. Эксплуатационные требования и методы испытания.

4. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

5. ГОСТ Р 50571.18-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ.

6. ГОСТ Р 50571.19-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 443. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.

7. ГОСТ Р 50571.20-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 444. Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными воздействиями.

8. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.

9. Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации зданий при применении устройств защитного отключения. – М.: Издательство МЭИ, 2001.

УДК 621.3.022

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

*Горячко М.Г., Тихон Д.А., Мельянчук А.А.*

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

Расчет тока короткого замыкания (КЗ) в сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняется, в основном, для следующих целей:

– для выбора электрооборудования по условиям КЗ (отключающая способность электрических аппаратов, термическая и электродинамическая стойкость проводников и аппаратов);

– для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и селективности.

Для выбора электрооборудования по условиям КЗ подлежат определению начальное значение периодической составляющей тока КЗ, апериодическая составляющая тока КЗ, ударный ток КЗ и действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени после КЗ.

Сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняются с глухим заземлением нейтрали. В таких сетях возможны все виды металлических и дуговых КЗ. Вид КЗ и величина переходного сопротивления в месте КЗ определяются многими факторами возникновения и существования повреждения изоляции электроустановки и являются случайными величинами. При этом в процессе развития повреждения один вид замыкания может переходить в другой: двухфазное в трехфазное или однофазное на землю в двухфазное на землю. Вероятность существования чистого металлического КЗ невысока, а ток дугового КЗ всегда меньше тока металлического КЗ.

Исходя из сказанного, ток металлического КЗ используется для проверки электрооборудования на отключающую способность и на электродинамическую и термическую стойкость. Для проверки селективности защитной аппаратуры необходимо использовать токи дуговых замыканий в конце зоны действия защитных аппаратов с учетом наличия дуги в месте КЗ и с учетом термического эффекта тока КЗ.

В соответствии с ГОСТ 28249-93 при расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

– индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи;

– активные сопротивления короткозамкнутой цепи;

– активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;