ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 53735.5–2009 (МЭК 60099-5:2000)

РАЗРЯДНИКИ ВЕНТИЛЬНЫЕ И ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА НАПРЯЖЕНИЕ от 3 до 750 кВ

Часть 5

Рекомендации по выбору и применению

IEC 60099-5:2000
Surge arresters — Part 5: Selection and application recommendations
(MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2011

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. N9184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стан* дартое Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0 — 2004 «-Стандартизация в Российской Федерации. Основ* ные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский электротехнический институт имени В.И. Лени на» (ФГУП ВЭИ)на основе собственного аутентичного лере* вода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 37 «Электрооборудован ие для передачи, преобразования и распределения электроэнергии»

3 УТВЕРЖДЕН И 8ВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 декабря 2009 г. № 641-ст

4 Настоящий стандарт модифицирован поотношению к международному стандарту МЭК 60099*5:2000 «Разрядники. Часть 5. Рекомендации по выбору и применению» (IEC 60099-5:2000 «Surge arresters — Part 5: Selection and application recommendations». МОО) путем внесения технических отклонений, объяс- нение которых представлено во введении к настоящему стандарту, а также путем изменения его структу- ры. Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного международного стан- дарта с объяснением причин изменения структуры приведено в дополнительном приложении ДД.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международ- ного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р1.5 — 2004 (пункт 3.5). а также с учетом сложив- шейся отечественной практики наименования рассматриваемых в международном стандарте аппаратов защиты от перенапряжений.

8 соответствии с ГОСТ Р1.7 — 2008 (пункт 7.6.6) е элемент «Библиография» не включены докумен- ты. на которые даны ссылки в международном стандарте и информация о которых приведена в приложе- нии С международного стандарта

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях *к настоящему стандарту публикуется* в ежегодно издаваемом *информационном указателе «Национальные стандарты»*т а *текст изменений и поправок*— е ежемесячно *издаваемых информационных указателях* «Национальные *стандарты». В* случае пересмотра *(замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее* уведомление *будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация. уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет*

Содержание

Введение

Настоящий стандарт разработан в целях нормативного обеспечения выбора и применения аппаратов защиты от перенапряжений, которые в отечественной практике известны как «вентильные разрядники» и «нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН)». с учетом рекомендаций международных стандартов Международной электротехнической комиссии (МЭК) и опыта эксплуатации таких аппаратов в ведущих промышленно развитых странах мира.

Настоящий стандарт модифицирован по отношению к примененному международному стандарту МЭК60099-5:2000 «Разрядники. Часть 5. Рекомендации по выбору и применению». Несмотря на то. что в настоящем стандарте в основном сохранено техническое содержание, однако изменено наименование. включены некоторые терминологические статьи, проведены дополнения и изменения технического характера.

8 качестве дополнительных приложений ДА. ДБ и ДВ в настоящий стандарт включены отдельные положения из международных стандартов МЭК60071-1:2006, МЭК60071*2:1996 и МЭК 60099-3:1990 соответственно, на которые даны нормативные ссылки в примененном международном стандарте, но которые не приняты в качестве национальных стандартов Российской Федерации.

8 тексте стандарта такие положения выделены одиночной вертикальной линией, расположенной слева от текста, а информация о том. что данное положение заме няет ссылку на международный стандарт, приведена в виде примечания, заключенного в рамку из тонких ли кий и размещенного после этого положения.

Дополнительные по отношению к международному стандарту положения выделены одиночной вертикальной линией, расположенной справа от текста, а дополнительные слова, фразы — подчеркиванием сплошной горизонтальной линией.

С учетом сложившейся отечественной практики эксплуатации рассматриваемых в международном стандарте аппаратов защиты от перенапряжений проведены изменения отдельных фраз (слов, значений показателей), которые выделены в тексте курсивом. Внесение указанных технических отклонений направлено на учет объекта и аспекта стандартизации, характерных для Российской Федерации. Информация об отечественных документах приведена в приложении ДГ.

Стандарт содержит рекомендации, а следовательно, представляет собой вспомогательный документ, полезный при выборе и эксплуатации как уже давно используемых для защиты от перенапряжений вентильных разрядников, так и пришедших им на смену нелинейных ограничителей перенапряжений, предназначенных для объектов электроэнергетики и электроснабжения промышленных предприятий.

Аппараты защиты от перенапряжений, на которые распространяется настоящий стандарт, в отечественной практике, как правило, применяют в электроустановках переменного тока напряжением 3 кВ и выше.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РАЗРЯДНИКИ ВЕНТИЛЬНЫЕ И ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИИ
НЕЛИНЕЙНЫЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
НА НАПРЯЖЕНИЕ от 3 до 750 кВ

Часть 5

Рекомендации по выбору и применению

Surge arresters without gaps and non-linear resistor type gapped surge arresters (or a.c. electrical installations for voltages from 3 to 750 kV. Part 5. Selection and application recommendations

Дата введения — 2011 — 01— 01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на вентильные разрядники (далее — РВ) и нелинейные ограничители перенапряжений (далее—ОПН) и устанаели вает методику их выбора и применения для ограничения грозовых и коммутационных перенапряжений на электрооборудовании переменного тока напряжением от 3 до 7 50 кВ.

Стандарт может быть также применен к РВ и ОПН. предназначенным для работы е условиях, отличных от условий, указанных в настоящем стандарте, если изготовителем и потребителем согласованы соответствующие специальные дополнительные требования.

Рекомендации настоящего стандарта могут быть конкретизированы и дополнены в технических условиях. технических требованиях и руководствах по эксплуатации, согласованных изготовителем и потребителем.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 1.0—2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения

ГОСТ Р 52725—2007 Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока на пряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия *(МЭК 60099-4:2006 Разрядники для защиты от перенапряжений. Часть 4. Оксидно-металлические разрядники без искровых промежутков для защиты от перенапряжений в системах переменного тока». NEQ)*

ГОСТ 1516.3—96 Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции *(МЭК 60071-1:2006 «Координация изоляции. Часть 1. Определения, принципы и правила». NEQ)*

ГОСТ 9920 — 89 (МЭК 815—86. МЭК 694 — 80) Электроустановки переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Длина пути утечки внешней изоляции *(МЭК 60815:1986 «Изоляторы высокого напряжения для рабогпы е загрязненных условиях,* выбор *и определение размеров». NEQ: МЭК 60694:1980 «Аппаратура коммутационная и устройства управления высокого напряжения. Общие технические требования, включаемые е стандарты». NE Q)*

ГОСТ 10390 — 86 Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязнен ном состоянии *(МЖ60507:1991 «Изоляторы высокого напряжения переменного тока.* Методы испытаний *в* условиях *искусственного загрязнения». NEQ)*

Издание официальное

ГОСТ 16357 — 83 Разрядники вентильные переменного тока на номинальные напряжения от 3.8 до 600 кВ. Общие технические условия *(МЭК 60099-1:1999 «Разрядники для защиты от перенапряжений. Часть 1. Искровые защитные разрядники с* нелинейными *резисторами для* систем переменного тока». *NEQ)*

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю я Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение. в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссыпку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 52725, ГОСТ 1516.3иГОСТ 16357. а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 пропускная способность вентильного разрядника: Способность вентильного разрядника выдерживать без повреждений 20 любых токовых воздействий по ГОСТ 16357 (подпункт 3.1.11).

3.2 класс пропускной способности нелинейного ограничителя перенапряжений: Обозначаемая е соответствии с ГОСТ Р 52725 (таблица 1) цифрами 1.2.3.4 и 5 способность нелинейного ограничителя перенапряжений выдерживать без повреждений 18 импульсов тока пропускной способности по ГОСТ Р 52725 (пункт 3.25).

3.3 ток взрывобезопасности нелинейного ограничителя перенапряжений: Максимальное действующее значение установившегося большого тока короткого замыкания е соответствии с ГОСТ Р 52725 (подпункт 6.4.10). при котором нелинейный ограничитель перенапряжений еще сохраняет взрывобезоласиостъ по ГОСТ Р 52725 (пункт 3.34).

Примечание — Остальные термины и их определения приведены в приложении ДА

4 Общие положения

4.1 Общие принципы применения вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений

ГОСТ 1516.3 устанавливает *испытательные напряжения для трех диапазонов классов напряжения электрооборудования:*

• диапазон I: от 1 до 35 кВ включительно:

• диапазон II: от 110 до 220 кВ включительно:

• диапазон III: от 330 до 750 кВ включительно.

Для сетей *диапазонов 1 и ll*. содержащих воздушные линии, основ кую опасность для оборудования представляют индуктированные и прямые удары молнии е подключенные воздушные линии. В кабельных сетях, не связанных с воздушными линиями, наиболее вероятны перенапряжения, обусловленные повреждениями или коммутационными операциями. В редких случаях, однако, могут также возникнуть перенапряжения. индуктированные молнией. В сетях *диапазона III,* е дополнение к факторам *диапазонов I и ll*. становятся значимыми коммутационные перенапряжения. Перенапряжения могут вызывать перекрытия и серьезные повреждения оборудования и. таким образом, подвергать электроснабжение потребителей опасности прерывания. Необходимо противостоять этому путем соответствующей координации РВ и ОПН с изоляцией. Поэтому, если есть вероятность грозовых или высоких коммутационных перенапряжений, которые могут быть опасными для оборудования, рекомендуется использовать РВ (ОПН).

Эти РВ (ОПН) должны представлять собой часть сети, отвечающую за ее надежность. РВ (ОПН) проектируют так, чтобы выдерживать напряжения и соответствующие токи через нихсдостаточно высокой вероятностью с учетом загрязнений и других воздействий е месте установки РВ (ОПН). Перечень *напряжение» и перенапряжений, действующих в каждой сети, приведен в приложении ДА:*

• рабочее напряжение:

• квази стационарные перенапряжения:

- перенапряжения спологим фронтом;

• перенапряжения с крутым фронтом. —

где перенапряжения с пологим фронтом, обусловленные коммутациями, представляют особую важность для РВ (ОПН), защищающих оборудование, относящееся к диапазону ///.

Как правило, требования лучшей защиты оборудования и высокого номинального напряжения РВ (ОПН) взаимно противоречивы. Поэтому выбор подходящего РВ (ОПН) представляет собой процесс оптимизации. при котором необходимо рассматривать большое число параметров сети и оборудования.

ОПН наиболее эффективны в сетях с заземленными нейтралями, поскольку они позволяют осуществить наилучшую защиту от перенапряжении с пологим фронтом. В настоящее время аппараты данного типа широко представлены в этих сетях, причем применение РВ (ОПН) для таких сетей имеет тенденцию к преимущественному использованию ОПН. В некоторых сетях с изолированными и резонансно-заземленными нейтралями, где квазистационарные перенапряжения вследствие замыкания на землю более продолжительны. могут быть предпочтительными РВ. если требуются низкие защитные уровни. Несмотря на то. что существующие РВ традиционно применяют во всех диапазонах напряжения, применение РВ может быть наиболее оправдано *для* сетей *диапазона I.*

4.2 Общая методика выбора вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений

Для выбора РВ или ОПН рекомендуется следующая итерационная методика, показанная на структурной схеме рисунка 1. в соответствии с которой выполняют следующие действия:

• определяют наибольшее длительно *допустимое рабочее напряжение* РВ (ОПН) в зависимости от наибольшего рабочего напряжения сети;

-определяют номинальное напряжение РВ (ОПН) в зависимости от квазистационарных перенапряжений;

• оценивают амплитуды и вероятности ожидаемых грозовых разрядных токов через РВ (ОПН). определяют *требования к разрядным напряжениям* линии электропередачи и выбирают номинальный разрядный ток. значение импульса большого тока, *пропускную способность* или класс *устойчивости* РВ и *ток пропускной способности* ОПН.

Примечание — Если необходимы значения импульса большого тока, отличные от стандартизованных значений в соответствии с ГОСТ Р 52725 (подпункт 6.2.5), эти значения следует выбирать в соответствии с грозовым разрядным током и пропускной способностью;

- выбирают *категорию езрывобезопасности* РВ или *ток езрыеобезопасности* ОПН;
- выбирают РВ (ОПН). который удовлетворяет вышеуказанным требованиям;
• определяют защитные характеристики РВ (ОПН) при грозовых и коммутационных импульсах:
- располагают РВ (ОПН) как можно ближе к защищаемому оборудованию:
- определяют координационное выдерживаемое напряжение защищаемого оборудования при коммутационном импульсе. учитывая представительные перенапряжения с пологим фронтом и конфигурацию сети;
- определяют координационное выдерживаемое напряжение защищаемого оборудования при грозовом импульсе, рассматривая:
- представительную падающую волну грозового перенапряжения, определяемую *поведением* воздушной линии, соединенной с РВ (ОПН). *при ударе молнии* и приемлемой нормой повреждений защищаемого оборудования,
• схему подстанции:
- расстояние между РВ (ОПН) и защищаемым оборудованием;
• определяют нормированный уровень изоляции оборудования, приведенный в приложении ДА;
• если требуется более низкий уровень изоляции оборудования, то рассматривают более низкое наибольшее *длительно допустимое* рабочее *напряжение,* более низкое номинальное напряжение, более высокий номинальный разряди ый ток, болев высокий класс *пропускной способности,* другую конструкцию РВ (ОПН) или уменьшенное расстояние между РВ (ОПН) и защищаемым объектом.

Примечание — Более низкое наибольшее длительно *допустимое* рабочее *напряжение* или более низкое номинальное напряжение может снизить эксплуатационную надежность РВ <ОПН).

Детали этой итерационной методики изложены в разделах 5.6 и 7 .

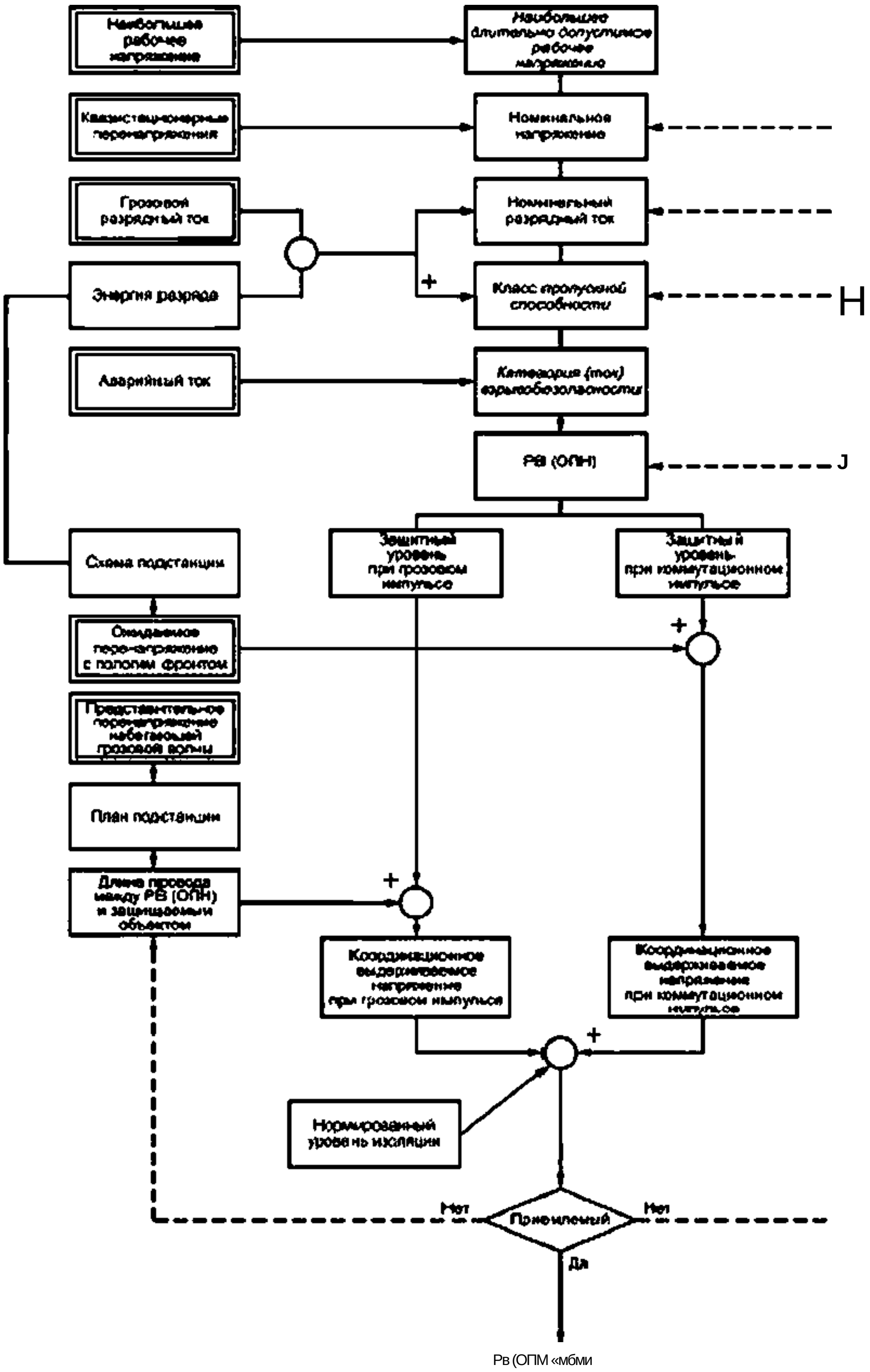


Рисунок 1 — Структурная схема выбора Рв (ОПН)

4.3 Сохранение работоспособности вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений при загрязнении покрышек

Загрязнение покрышки РВ(ОПН) может вызвать перекрытие или повышение температуры компонентов, выравнивающих напряжение в РВ. и большой рост температуры варисторов в ОПН. Чтобы предотвратить повреждения РВ (ОПН) в районах с загрязнением, следует выбирать РВ (ОПН). способные выдерживать соответствующие условия загрязнения. Несмотря на то. что данное требование не установлено явно в ГОСТ 16357 и ГОСТ Р 52725. РВ и ОПН. используемые в нормальных условиях эксплуатации, должны выдерживать средние воздействия загрязнения, соответствующие *степени* загрязнения II (см. приложение ДБ). Если район установки РВ (ОПН) подвержен более сильному загрязнению, это может неблагоприятно повлиять на исполнение РВ (ОПМ) своих функций. Если в сильно (степень загрязнения III) или очень сильно (*степень* загрязнения IV) загрязненных районах используют РВ (ОПН) неадекватной конструкции, эффективной в предупреждении случаев, указанных выше, допускается проводить периодическую чистку или смазку.

Если предполагается обмыв РВ (ОПН) под напряжением, необходимо, чтобы РВ (ОПН) были спроектированы с учетом таких условий эксплуатации.

5 Вентильные разрядники в соответствии с ГОСТ 16357

5.1 Характеристики вентильных разрядников

5.1.1 Общие положения

Косновным характеристикамРВотносятсяихноминальное напряжение, пробивное напряжение, номинальные разрядные токи и остающиеся напряжения при этих токах.

Защитная функция характеризуется пробивными напряжениями для фронта волны грозового и. при необходимости, коммутационного импульсов, а также остающимися напряжениями при номинальном разрядном токе и. когда необходимо, при токах коммутационного импульса. Для данного номинального напряжения существуют РВ различных типов, а следовательно, разные защитные уровни.

К дополнительным характеристикам РВ, подлежащим рассмотрению, относятся длительно *допустимое* рабочее напряжение, *пропускная способность* или *класс устойчивости РВ к длительным импульсам тока, категория езрыеобезопасности.* способность выдерживать загрязнения, при годность кобмыву под напряжением и специальные механические качества.

5.1.2 Номинальное напряжение

Номинальное напряжение — это максимально допустимое действующее значение напряжения промышленной частоты между выводами РВ. при котором предполагается правильная его работа. как это предписано условиями испытаний. Номинальное напряжение используется в качестве контрольного параметра для установления рабочих характеристик.

Примечание — РВ некоторых типов. предназначенные для использования в *диапазоне III,* создают для гашения дуги при напряжениях промышленной частоты более высоких, чем номинальное напряжение. Это напряжение, как правило, называют «напряжением гашения при квэзистационарных перенапряжениях». Поскольку ГОСТ 16357 не устанавливает испытаний в цепях гарантии правильной работы таких РВ. условия проведения испытаний и приложение напряжения должны быть согласованы между потребителем и изготовителем.

В некоторых случаях, например для испытаний в условиях загрязнения, должно быть известно максимальное действующее значение напряжения промышленной частоты, которое может быть длительно приложено между выводами РВ. Для РВ, предназначенных для использования в *диапазонах I и II.* это напряжение можетбыть равно номинальному напряжению РВ.

Для РВ всетях с изолированными и резонансно-заземленными нейтралями в течение всего периода исп ытаний в условиях загрязнения должно быть приложено длительное напряжение, равное номинальному напряжению РВ. При этом, если номинальное напряжение превышает наибольшее рабочее напряжение (между фазами) сети, по соглашению между потребителем и изготовителем в качестве испытательного напряжения выбирают последнее.

Для РВ, предназначенных для использования в *диапазоне ill,* оно. как правило, ниже. Для РВ в сетях с заземленными нейтралями с коэффициентом замыкания на землю между 1.2 и 1.4 сначала должно быть приложено испытательное напряжение, составляющее 0.75 —0.6 (для коэффициентов замыкания на землю 1.33 и 1.25 соответственно) номинального напряжения РВ. или 0.87 (т.е. 1/1.15) установленного длительно *допустимого* рабочего напряжения РВ (оно равно или меньше, чем номинальное напряжение Р8).

в зависимости от того, какое меньше. Далее значение испытательного напряжения с перерывам и увеличивают доболее высокого значения, соответствующего, в принципе, напряжению короткого замыкания, в течение 1 — 2 с. а затем быстро снижают до начального значения.

Примечание — Даннов положение заменяет ссылку на МЭК 60099-3 (раздел 6).

Поскольку ГОСТ 16357 не устанавливает испытаний в целях гарантии максимального действующего значения напряжения промышленной частоты, которое может быть длительно приложено между выводами РВ. приемлемое значение должно быть получено от изготовителя.

5.1.3 Защитные уровни

Защитным уровнем РВ при (розовом импульсе считают наибольшее из следующих значений:

• пробивное напряжение при стандартном грозовом импульсе;

• остающееся напряжение при номинальном разрядном токе.

Примечание — В случав защиты оборудования от перенапряжений с крутым фронтом предполагают, что выдерживаемая прочность пропитанной маслом изоляции трансформаторов, по крайней мере, на 15 % больше ее выдерживаемой прочности при полном грозовом импульсе для продолжительности напряжения болев короткой, чем 3 мкс. Следовательно, максимальные напряжения, установленные в ГОСТ 16357 (табгыцы 2—4) для пробоя на фронте волны, на 15 % выше, чем они же для стандартного грозового импульса.

Изоляция других типов, как. например, в измерительных трансформаторах, кабелях или *герметизированных* распределительных устройствах *(ГРУ),* может иметь различные выдерживаемые характеристики, а пробивное напряжение нв фронте волны может потребовать специального рассмотрения.

Защитный уровень при коммутационном импульсе применяют для защиты оборудования от перенапряжений с пологим фронтом. Он представляет собой наибольшее назначений пробивного напряжения при коммутационном импульсе и остающегося напряжения при коммутационном импульсе.

Примечание — Если для РВ какого-либо типа пробивное напряжение при коммутационном импульсе не известно, весьма близкая по содержанию информация о нем может быть получена из пробивного напряжения промышленной частоты.

5.1.4 Номинальный разрядный ток

За номинальный разрядный ток принимают амплитудное значение импульса, имеющего форму 8/20. которое используют для классификации РВ. Номинальный разрядный ток используют также для того, чтобы инициировать сопровождающий ток е ходе рабочих испытаний и установить защитный уровень РВ при грозовых перенапряжениях.

5.1.5 Класс *устойчивости к длительный импульсам тока*

Класс *устойчивости к длительным импульсам тока* обозначают числом, соответствующим способности РВ поглощать энергию при разряде длинных линий. Возрастающие номера классов по ГОСТ 16357 (таблица 7) указывают на увеличивающиеся напряжения сети и длину пинии. и снижающиеся волновое сопротивление и коэффициенты перенапряжений.

5.1.6 *Категория взрыеобезопасности*

Категорию взрывобезопасиости обозначают *буквой* (А. В. С. О и пи Е), соответствующей способности РВ выдерживать после повреждения токи внутренних коротких замыканий без взрывного разрушения покрышки согласно ГОСТ 16357 (подпункт 3.1.15).

5.1.7 Выдерживаемые характеристики в условиях загрязнения

Для РВ. предназначенных для использования в загрязненных районах со *степенями* загрязнения III и IV. характеристики которых приведены в приложении ДБ. необходимо испытание в условиях загрязнения в соответствии приложением Дв. Из результатов этого испытания получают информацию о пробивной характеристике. Характеристика перекрытия покрышки может быть проверена а соответствии с ГОСТ 10390.

5.1.8 Характеристики обмыва под напряжением

Применение обмыва под напряжением может потребовать специальной конструкции РВ. а также соответствующих испытаний.

При проектировании обмывочного оборудования должны быть соблюдены -следующие требования:

•должна быть использована вода ссоответствующим удельным сопротивлением:

• давление и конфигурация сопла должны быть такими, чтобы разрядник по всей длине и окружности смачивался как можно более равномерно и одновременно. Для этого необходимо учитывать максимально допустимую скорость ветра.

5.2 Выбор фазных вентильных разрядников

5.2.1 Номинальное напряжение

Как правило, выбирают РВ. который бы выдерживал воздействия, обусловленные квазисгационарны* ми перенапряжениями, пояеляющим ися в результате однофазного замыкания на землю, вызывающего подъем напряжения на неповрежденных фазах в то время, когда происходит срабатывание РВ на одной из этих фаз. Необходимо рассматривать и другие причины кваэистационарных перенапряжений, а за напряжение. на которое рассчитан разрядник, следует принимать наивысшее из этих перенапряжений. В некоторых случаях может быть необходимо рассмотреть квазистационарныв перенапряжения, возникающие в результате одновременного свершения разных событий, например внезапного сброса нагрузки и замыкания на землю, принимая во внимание вероятность их появления.

Во всех случаях рассматривают следующие причины кваэистационарных перенапряжений:

• замыкания на землю. Эти перенапряжения проявляются в большой части сети. Руководство по определению амплитуд кваэистационарных перенапряжений п риведено а приложении А. Продолжительность перенапряжения зависит от продолжительности замыкания (до его устранения). В сетях сэаэе млеяной нейтралью она. как правило, не превышает 1 с. 8 сетях с резонансно заземленной нейтралью с автоматическим устранением замыкания она. как правило, не превышает 10 с. В сетях бвзавтоматического устранения замыкания на землю эта продолжительность может составлять несколько часов;

- сбросы нагрузки. После отключения нагрузки возрастает напряжение на сработавшем силовом выключателесо стороны источника питания. Амплитуда перенапряжения зависит от характеристик отключенной нагрузки и от мощности короткого замыкания питающей подстанции. Кваэистационарные перенапряжения имеют особенно высокие амплитуды после полного сброса нагрузки на генераторных трансформаторах е зависимости от условий намагничивания и превышения нормальной скорости. Амплитуда перенапряжений. вызванных сбросом нагрузки, как правило, изменяется в течение их периода действия. При точных расчетах необходимо учитывать много параметров.

В качестве руководства могут быть использованы следующие типичные значения:

- в небольших по протяженности сетях полный сброс нагрузки может вызвать подъем перенапряжений фаза — земля самплитудой. как правило, ниже 1.2 отн. ед. Продолжительность перенапряжения зависит от срабатывания аппаратуры, регулирующей напряжение, и может достигать нескольких минут:

- в протяженных сетях после полного сброса нагрузки амплитуда перенапряжения фаза — земля может достигать 1.S отн. ед. или даже более в случае появления эффекта Ферранти или резонанса. Продолжительность перенапряжений может составлять несколько секуно;

• при сбросе нагрузки генераторных трансформаторов амплитуды кваэистационарных перенапряжений могут достигать 1.4 отн. е д. для турбогенераторов и 1.5 отн. ед. для гидрогенераторов. Продолжитвльность перенапряжений составляет приблизительно 3 с.

Если известна временная зависимость амплитуд, удобно представлять перенапряжения в виде колебаний с максимальной амплитудой продолжительностью, равной времени, в течение которого амплитуды превышают 90 % максимального значения.

В некоторых сетях необходимо рассматривать следующие случаи квазисгационарных перенапряжений:

• резонансные эффекты, например при зарядке длинных холостых линий или при резонансах между сетями;

• подъем напряжения вдоль длинных линий (эффект Ферранти):

• гармонические перенапряжения, например при коммутации трансформаторов;

- обратное питание через связанные трансформаторные обмотки, наприме р двухграсформаторная подстанция с общей вторичной шиной во время устранения повреждения или однофазной коммутации трехфазного трансформатора с неуравновешенной вторичной нагрузкой.

Кеазисгационарные перенапряжения, обусловленные феррорезокаксами. не должны быть использованы как основа для выбора РВ. а должны быть устранены.

Комби нация таких прим ин. как замыкание на землю и сброс нагрузки, может привести к более высоким значениям квазисгационарных перенапряжений, чем е случае воздействия одной из них. Когда такие комбинации считают достаточно вероятными, перенапряжения от каждой причины необходимо суммировать. учитывая действительную конфигурацию сети.

Примечание! — Выбор номинального напряжения РВ. соответствующего максимальным квазистационарным перенапряжениям сети, основывают на предположении, что наибольшее напряжение сети не повышается при нормальных условиях эксплуатации. Если имеется вероятность появления аномальных напряжений сети, увеличивающих, таким образом, вероятность срабатываний РВ в данных условиях, может стать необходимым использование РВ с более высоким номинальным напряжением, чем то. которое было рекомендовано выше.

Примечание 2 — Рабочие напряжения с частотами, отличными от 50 иш 60 Ги. могут потребовать специального рассмотрения при изготовлении игм эксплуатации РВ и должны быть предметом обсуждения между изготовителем и потребителем.

РВ для сетей с изолированными или резонансно-заземленными нейтралями без автоматического устранения замыкания на землю должны быть способны выдерживать номинальное на пряжение непрерывно, что обусловлено возможным длительным кваэистациокарным перенапряжением. РВ для сетей с автоматическим устранением замыкания на землю должны выдерживать максимальное напряжение фаза — земля сети. Это уменьшенное значение может быть получено or изготовителя.

5.2.2 Номинальный разрядный ток

5.2.2.1 Факторы, влияющие на грозовые разрядные токи

Как правило, токи РВ. обусловленные разрядами молнии, меньше, чем ток молнии. В случае прямых ударов е линии бегущие волны распространяются в противоположных направлениях от точки удара. Перекрытие линейной изоляции создает параллельный путь к земле, который отводит часть тока молнии. В случае ударов в более чем один провод или перекрытия между проводами могут сработат ь и распределить между собой ток два или более РВ. Только в случае прямого удара очень близко к вводу РВ. где до срабатывания РВ не происходит никакого перекрытия, разрядник вынумщен пропустить через себя наибольший ток удара молнии. Вероятность такою случая может быть значительно снижена соответствующей защитой. Информация, касающаяся параметров грозовой волны, может быть получена иэобщих или местных статистических данных. Соотношение между грозовыми волнами и разрядными токами РВ может быть получено путем расчетов методом бегущих волн.

Воздушные линии могут быть защищены от прямых ударов молнии е провода путем использования защитных тросов («воздушная земля»), которые размещают так. чтобы перехватывать удары молнии и направлять ток молнии к земле по металлическим башенным или опорным конструкциям. Там. где применяют деревянные опоры, для соединения защитных тросов с землей используют проводники с низким сопротивлением.

При использовании защитных тросов исключаются почти все прямые удары в линейные провода. Когда происходит такой прямой удар (прорыв защиты), перекрытие линии почти неизбежно в сети, относящейся к *диапазонам lulI.* Число защищающих повреждений и их тяжесть следует регулировать числом и расположением защитных тросов. Когда удар молнии оканчивается на защитном тросе, ток молнии отводится в землю по устройствам, состоящим из соединенных проводников. Полное сопротивление пути тока, включая волновое сопротивление земли, вызывает напряжение на верху линейной опоры. Часть этого напряжения приходится на фазные провода. Разница между потенциалом фазного провода и потенциалом верха опоры, прилагаемая непосредственно к линейной изоляции, может привести к перекрытию. 1!ерекрытие этого типа называют обратным перекрытием. Частота появления обратных перекрытий регулируется соответствующим выбором изоляции, поддержанием сопротивления заземления опор на прие млемом низком уровне, обеспечением адекватных промежутков провод — опора, провод — защитный трос и провод — провод и путем оптимизации геометрии опор.

Методики, аналогичные применяемым для защиты линий. могут также быть применены для защиты подстанций. Методы защиты предусматривают использование подвесных заземленных тросов, металлических мачт и молниеотводов, поддерживаемых подстанционными опорами. Эти методы могут быть применены в различных комбинациях.

В установках, не защищенных от прямых ударов молнии. например на распределительных трансформаторах или в месте присоединения кабеля на линиях с деревянными опорами, как изоляция, так и РВ могут быть подвержены прямым ударам, вызывающим чрезвычайно высокие разрядные токи. Как правило. значения тока молнии и представительного разрядного тока связаны с вероятностью их появления.

Цель защиты при ее применении на подстанциях заключается в снижении риска повреждения изоляции до приемлемого уровня. В некоторых случаях это может быть достигнуто защитой только подстанции. В других случаях потребуется защита всех линий, подходящих к подстанции. Защита линий на сравнительно коротком расстоянии от подстанции для подстанционной защиты равноценна полной защите линий.

При наличии хорошо спроектированных средств защиты, изоляции и заземляющих систем вероятность прямых ударов молнии в фазные провода существенно у меньшается. а значение напряжения, приложенного к изоляции в случае ударов в защитную систему, снижается до значений, меньших чем уровни перекрытия. В результате снижаются разрядные токи РВ. что позволяет осуществлять лучшую защиту оборудования и уменьшать нагрузку на него.

5.2.2.2 Выбор номинального разрядного тока

Как правило, номинальный разрядный ток РВ выбирают после рассмотрения:

• важности и степени проектируемой защиты. Защитные уровни, базирующиеся ка более высоких амплитуде и крутизне тока, увеличивают надежность защиты:

- числа линий, подключенных во время срабатывания РВ. Вследствие отражения бегущих волн на разрядный ток РВ влияют параллельно соединенные волновые сопротивления линий и кабелей:

• линейной изоляции. Ожидаемые грозовые разрядные токи растут с увеличением линейной изоляции (например, полностью изолированные деревянные столбы), пока удар молнии не произойдет настолько близко к разряднику, что волновое сопротивление и изоляция линии не смогут повлиять на волну. Когда РВ используют на подстанции.к которой подсоединены линии надеревянныхолорахснезаземленнымитра-версами или штырями изоляторов, тогда, по крайней мере, одна опора, скорее всего, последняя на этой линии, должна иметь заземленные траверсы или штыри и низкое сопротивление заземления. В случае высоких сопротивлений заземления должны быть заземлены насколько опор на расстоянии приблизитель-но пяти пролетов от подстанции;

• вероятности появления более высоких токов от ударов молнии. Амплитуда грозовых токов изменяет-ся в широком диапазоне значений. Линии в районах с высокой плотностью ударов молнии в землю имеют повышенную вероятность ударов молнии с высокими амплитудами тока:

- характеристик линии и окружающей среды с точки зрения появления молний. Грозовые разрядные токи и крутизны представляют собой функции интенсивности обратных перекрытий и прорывов защиты линий (или интенсивности перекрытий незащищенных линий) на некотором ограниченном расстоянии от подстанции. Более высокие (более низкие) интенсивности повреждений увеличивают (уменьшают)ампли-туду вероятного грозового разрядного тока и крутизну.

Для стандартных номинальных разрядных токов в соответствии с ГОСТ 16357 практика подтверждает достижение достаточной степени защиты при соблюдении следующих рекомендаций.

Диапазоны I и II (от 1 до 220 кВ): 5 *или 10 кА*

В сетях *диапазоновIиП*по ГОСТ 1516.3. где линейные расстояния между РВ небольшие (менее 5 км). РВ на распределительных трансформаторах с номинальным разрядным током 5 кА достаточно надежны, даже когда трансформаторы подсоединены к линиям на деревянных опорах с неэаземленными траверсами.

В сетях *классов напряжения 35 кВ и ниже* РВ с номинальным разрядным током 5 кА могут быть достаточными для районов с низкой плотностью ударов в землю и эффективно защищенными подходящи-ми воздушными линиями с низкими сопротивлениями фундаментов опор. РВ с номинальным разрядным током 10 кА могут быть поедпочтител ьными для важных установок (необходимы для наилучшей зашиты) особенно в районах с высокой плотностью ударов в землю или высокими сопротивлениями земли.

В сетях *классов напряжения 110 кВ и* выше, как правило, рекомендуются РВ с номинальным разряд-ным током 10 кА.

Диапазон III (от 330 до 750 кВ): 10 или 20 кА

Для сетей *класса напряжения 330 кВ.* как правило, достаточны РВ с номинальным разрядным током 10 кА.

Для сетей классов *напряжения свыше 330 кВ* могут потребоваться РВ с номинальным разрядным током 20 кА.

5.2.3 Способность выдерживать разряды большой длительности

В уста новках, где подключены длинные линии или кабели, или большие емкости РВ должен быть способен выдерживать разрядный ток и энергию, обусловленные коммутационными перенапряжениями. Поэтому для РВ с номинальным разрядным током 10 кА тяжелого режима для различных диапазонов напряжений сети в соответствии с ГОСТ 16357 (подпункт 3.1.■12) установлены параметры испытаний, кото-рые представляют типичную энергию рассеяния через разрядники в рассматриваемой сети. РВ тяжелого режима, как правило, используют для оборудования *диапазона III.* Для оборудования *диапазонов I и II* РВ тяжелого режима используют в случае крупных подстанций, когда требуются низкие защитные уровни, или в случае длинных воздушных линий, кабелей или батареи конденсаторов, подключенных к сборным ши-нам. Для др-угих случаев, например когда отходящие линии сравнительно короткие (менее 100 км), как правило, используют РВ с номинальным разрядным током 10 кА легкого режима или РВ с номинальным разрядным током 5 кА.

5.2.3.1 Р8 тяжелого режима

Требования к испытаниям по ГОСТ 16357 (таблица 7) основаны на режиме, включающем в себя разряд линии электропередачи, и на номинальном напряжении РВ. равном 1.4 от наибольшего напряжения фаза — земля сети.

Как правило, класс *устойчивости к длительный импульсам тока* основан на соответствующем напряжении сети, как это указано в таблице 1. Однако, когда характеристики линии заметно отличаются от указанных в таблице 1. энергию, рассеиваемую в РВ в эксплуатационных условиях, необходимо сравнивать с получаемой вовремя испытания, выполняемого е соответствии с таблицей 1.8 таких случаях рекомендуется учет особых условий.

Таблица 1 — Связь между классом *устойчивости к длительным импульсам тока* и характеристюсами линии электропередачи

Класс *устойчивости* к *длительный* импульсам *тока*	Приблизительный диалами наибольших рабочих напряжений сети, кв	Приблизительная длина ЛИНИИ. MJ	Приблизительное оол новое сопротивление линии. Ом	Приблизительный коэффициент перенапряжений, (отн.ед.)*
1	До 245 8ключ.	300	450	3.0
2	» 300 »	300	400	2.6
3	» 420 »	360	350	2.6
4	» 525 »	420	325	2.4
5	» 765 »	460	300	2.2

* Базой для значений *в* относительных единицах служит амплитудное значение наибольшего напряжения фаза— земля сети.

Примечание — Даннов положение заменяет ссылку на МЭК 60099-1 [таблица С.1 (приложение С)].

5.2.3.2 РВ легкого режима 10 кА и 5 кА

Для РВ легкого режима с номинальным разрядным током 10 и 5 кА не указано никакого различия по нал ряжениям сети, а установлен только испытательный ток прямоугольной волны.

5.2.4 ***Категория взрыеобезопасности вентильных разрядников***

8 случае внутреннего повреждения РВ аварийный ток через него не должен вызывать ез-рывного разрушения покрышки. Следовательно. РВ должен выдерживать аварийный ток. равный или больший, чем ток через РВ е точке его установки.

Если требуются более высокие значения тока короткого замыкания, чем 80 кА. потребитель должен проконсультироваться у изготовителя.

Примечание — Даннов положение заменяет ссылку на МЭК 60099-1 (таблица 7).

6 Нелинейные ограничители перенапряжений в соответствии с ГОСТ Р 52725

6.1 Характеристики нелинейных ограничителей перенапряжений

6.1.1 Общие положения

Основные характеристики ОПН включают е себя *наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение.* номинальное напряжение. номинальный разрядный ток и остающиеся напряжения при номинальном разрядном токе, при коммутационном импульсе тока и крутом импульсе тока.

Для заданного *наибольшего длительно допустимого рабочего* и номинального напряжений существуют ОПН разных типов и. следовательно, различные защитные уровни.

К дополнительным характеристикам, которые необходимо рассматривать при конкретном применении. относятся класс *пропускной способности, ток взрыеобезопасности.* способность выдерживать загрязнения. способность выдерживать обмыв под напряжением и специальные механические свойства.

6.1.2 ***Наибольшее длительно допустимое рабочее*** **напряжение**

Наибольшее *длительно допустимое рабснее* напряжение — это максимально допустимое значение синусоидального напряжения промышленной частоты, которое может быть длительно приложено между выводами ОПН.

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение полностью собранного ОПН. приходящееся на секцию, может быть ниже, чем напряжение, используемое а рабочих испытаниях, для методики старения и для оценки термической стабильности. Более низкое *наибольшее длительно д опустиюе рабочее* напряжение может быть обусловлено степенью загрязнения покрышки ОПН или большой нелинейностью распределения напряжения вдоль колонки варисторов из-за менее эффективного выравнивания, вызванного эффектами близости других объектов.

6.1.3 Номинальное напряжение

Номинальное напряжение—это максимальное напряжение промышленной частоты, которое ОПН может выдержать в течение 10 с в процессе рабочих испытаниях [по ГОСТ Р 52725 (пункт 3.8)]. Следовательно, этооценочный параметр, позволяющей установить характеристику ОПН «напряжение промышленной частоты в зависимости от времени» и определить требования к испытанию *на пропускную способность.*

6.1.4 Номинальный разрядный ток

Номинальный разрядный ток используют для классификации ОПН. Это основной параметр, позволяющий определить защитные характеристики и способность ОПН поглощать энергию.

6.1.5 Защитные уровни

Защитный уровень ОПН при грозовом импульсе представляет собой максимальное остающееся напряжение при номинальном разрядном токе. Его применяют при защите оборудования от перенапряжений с крутым фронтом.

Защитный уровень при коммутационном импульсе представляет собой максимальное остающееся напряжение при установленных токах коммутационного импульса. Его применяют при защите оборудования от перенапряжений с пологим фронтом.

Для определения эффективности защиты ОПН от перенапряжений с крутым фронтом необходимо учитывать запаздывание в механизме проводимости варисторов, например при испытании крутым импульсом тока по ГОСТ Р 52725 (пункт 9.3.2).

6.1.6 Класс *пропускной способности*

Число, связанное со способностью ОПН с номинальным разрядным током 10 и 20 кА поглощать энергию разряда длинных линий. В соответствии с ГОСТ Р 52725 (таблица 1) существуют пять классов, причем возрастание номера указывает на возрастающую способность поглощения энергии.

Для ОПН с классом *пропускной способности* 2 и выше получающийся разрядный ток используют в рабочих испытаниях для проверки термической стабильности после поглощения энергии. Процессы в сети, вызывающие токи в ОПН с различными формами, могут быть оценены путем сравнения с энергией и током эквивалентного разряда пинии.

6.1.7 *Токвзрывобезопасности*

Ток взрьюобезопасности—элю заявленное *изготовителем максимальное действующее значение установившегося люка короткого замыкания ОПН. при котором еще* сохраняется *его взрывобезопасность (см. 3.3).*

6.1.8 Характеристики способности нелинейных ограничителей перенапряжений выдерживать загрязнения

Способность ОПН выдерживать загрязнения касается трех требований:

а) покрышке ОГ1Н необходимо выдерживать воздействия загрязнений без перекрытия. Это может быть проверено в соответствии с ГОСТ 10390 или гарантировано конструкцией в соответствии с ГОСТ 9920:

b) ОПН необходимо выдерживать возможное повышение температуры вследствие изменений в распределении напряжения, обусловленных действием зафязнения на поверхности покрышки. Должны быть учтены *степень* загрязнения, а также частота и амплитуда перенапряжений, вызванных замыканиями и повторными включениями в условиях загрязнения. Соответствующие методики испытаний находятся в стадии рассмотрения:

c) ОПН необходимо выдерживать внутренние частичные разряды, вызванные изменением распределения напряжения, обусловленным загрязнением, без повреждения варисторов или внутренних элементов конструкции. Возможные методики испытаний находятся в стадии рассмотрения.

6.1.9 Характеристики обмыва под напряжением

Если предусматривается обмыв ОПН под напряжением, требуется гарантия, что покрышка ОПН не перекроется и что возрастание температуры варисторов останется в пределах нормированной максимальной температуры. Должны быть определены соответствующие методики испытаний.

6.2 Выбор фазных нелинейных ограничителей перенапряжений

6.2.1 *Наибольшее длительно допустимое рабочее* напряжение

Основное требование заключается в том. чтобы максимальное значение наибольшего *длительно допустимого рабочего* напряжения ОПН было выше, чем максимальное значение рабочего напряжения. Максимальное значение *наибольшего длительно допустимого рабочего* напряжения определяется напряжением промышленной частоты, соответствующим наибольшему напряжению сети, и возможными гармониками напряжения. В существующих сетях увеличение максимального напряжения из-за гармоник может быть принято в расчет путем использования коэффициента запаса 1.05 к напряжению промышленной частоты. Как правило, *наибольшее длительно допустимое* рабочее напряжение должно быть:

• в сетях с автоматическим устранением замыкания на землю — не менее чем максимальное значение наибольшего рабочего напряжения фаза—земля, деленное на ^2 *:*

• в сетях с резонансно заземленными или изолированными нейтралями без автоматического устранения замыкания на землю—не менее чем наибольшее рабочее напряжение.

Примечание — Считают, что с учетом ограниченной продолжительности замыкания на землю а таких сетях коэффициент запаса 1.05 перекрывается характеристикой ОПН «напряжение промышленной частоты в зависимости от временив.

Если наибольшее рабочее напряжение е месте установки ОПН то wo не известно, оно должно быть заменено наибольшим напряжением сети или наибольшим рабочим напряжением оборудования.

Если ОПН устанавливают по отношению к находящимся под напряжением или заземленным объектам ближе, чем рекомендовано изготовителем, необходимо проверить, достаточно пи линейно распределение напряжения вдоль ОПН для выбранного *наибольшего длительно допустимого рабочего* напряжения.

6.2.2 Номинальное напряжение

Номинальное напряжение ОПН выбирают в зависимости от квазистационарных перенапряжений в сети в месте установки ОПН. учитывая их амплитуды и продолжительность. Основное требование заключается в том. что характеристика ОПН «напряжение промышленной частоты в зависимости от времени» должна быть выше, чем характеристика сети «амплитуда к ваз «стационарного перенапряжения в зависимости от продолжительности». Способность выдерживать загрязнения и способность выдерживать обмыв под нал ряжением учитывают при необходимости.

Во всех случаях рассматривают следующие причины квазистационарных перенапряжений:

- перенапряжения при замыканиях на землю. Эти перенапряжения возможны в большой части сети. Руководство по определению амплитуд квазистационарных перенапряжений приведено в приложении А. Продолжительность перенапряжения за висит от продолжительности замыкания. В сетях с заземленной нейтралью она. как правило, меньше чем 1 с. В сетях с резонансно заземленной нейтралью с автоматическим устранением замыкания она. как правило, меньше чем 10 с. В сетях без автоматического устранения замыкания на землю продолжительность может составлять несколько часов;

• сбросы нагрузки. После отключения нагрузок возрастает напряжение на сработавшем силовом выключателе со стороны источника питания. Амплитуда перенапряжения зависит от отключенной нагрузки и от мощности короткого замыкания питающей подстанции. Квазистационарные перенапряжения имеют особенно высокие амплитуды после полного сброса нагрузки на генераторных трансформаторах в зависимости от условий намагничивания и превышения нормальной скорости. Амплитуда перенапряжений, вызванных сбросом нагрузки, как правило, изменяется в течение их периода действия. При точных расчетах необходимо учитывать много параметров.

8 качестве руководства могут быть использованы следующие типичные значения:

- в небольших по протяженности сетях полный сброс нагрузки может вызвать подъем перенапряжений фаза — земля самплитудой. как правило, ниже 1,2 отн. ед. Продолжительность перенапряжения зависит от срабатывания аппаратуры, регулирующей напряжение, и может достигать нескольких минут:

• в протяженных сетях после полного сброса нагрузки амплитуда перенапряжений фаза — земля может достигать 1.5 отн. ед. или даже более в случае появления эффекта Ферранти или резонанса. Продолжительность перенапряжений может составлять несколько секунд;

• при сбросе нагрузки генераторных трансформаторов амплитуды квазистационарных перенапряжений могут достигать 1.4 отн. ед. для турбогенераторов и 1.5 отн. ед. для гидрогенераторов. Продолжительность перенапряжений приблизительно 3с.

Если известна временная зависимость амплитуд, удобно представлять перенапряжения в виде колебаний с максимальной амплитудой продолжительностью, равной времени, в течение которого амплитуды превышают 90 % их максимального значения.

В некоторых сетях необходимо рассматривать следующие случаи кваэистационарных перенапряжений:

• резонансные эффекты, например при зарядке длинных холостых линий или при резонансах между сетями;

• подъем напряжения вдоль длинных линий (эффект Ферранти);

• гармонические перенапряжения, например при коммутации трансформаторов;

• обратное питание через связанные трансформаторные обмотки, например двухтрансформаторная подстанция с общей вторичной шиной во время устранения поврежде кия или однофазной коммутации трехфазного трансформатора с неуравновешенной вторичной нагрузкой.

Кеазистационарные перенапряжения, обусловленные феррорезонаксами. не должны быть использованы как основа для выбора ОПН. а должны быть устранены.

Последовательность причин квазистационарных перенапряжений, например сброс нагрузки, вызванный замыканием на землю, необходимо учитывать, когда оба перенапряжения имеют сравнимую жесткость. В таких случаях, однако, необходимо учесть значение сброшенной нагрузки, зав исящее от места замыкания и места установки ОПН.

Комби нация таких причин, как замыкания на землю и сброс нагрузки, может привести к более высоким значениям квазистационарных перенапряжений, чем в случае воздействия одной из них. Когда такие комбинации считают достаточно вероятными, перенапряжения от каждой причины необходимо суммировать. учитывая действительную конфигурацию сети.

Кривая, представляющая собой характеристику ОПН «напряжение промышленной частоты е зависимости от времени», на общем графике должка быть расположена выше кривой, изображающей характеристику сети «амплитуда кеаэисгационарного перенапряжения в зависимости от продолжительности». Как приближение, амплитуда и продолжительность кваэистационарных перенапряжений, когда последняя находится между 0.1 и 100 с. могут быть приведены *к* эквивалентной амплитуде $1У_{ма}$ с продолжительностью 10с (в соответствии с лродолжительностью приложения номинального напряжения в рабочих испытаниях):

$$(I. \quad = U_{к}\left(\frac{T_{к}}{10}\right)^{m}, \qquad (1)$$

где U_t — амплитуда квазистационарного перенапряжения.

$Г_к$ — продолжительность квазистационарного перенапряжения в секундах;

— амплитуда эквивалентного 10-секундного квазистационарного перенапряжения:

m — показатель степени, описывающей характеристику ОПН «напряжение промышленной частоты в зависимости от времени». Для различных конструкций ОПН этот показатель колеблется между 0,022 и 0.018. а в качестве усредненного значения может быть использовано 0,02.

Номинальное напряжение ОПН должно быть не менее полученного наибольшего эквивалентного квазистационарного перенапряжения.

Примечания

1 В некоторых случаях используют коэффициент запаса между наибольшим эквивалентным каазистационарным перенапряжением и номинальным напряжением, чтобы перекрыть возможные неточности в определении перенапряжения. Общепринятые значения таких коэффициентов запаса находятся между 5 % и 15 %.

2 Когда требуются защитные уровни ниже, чем защитные уровни принятой конструкции ОПН. номинальные напряжения могут быть выбраны ниже эквивалентных 10-секундных квазистационарных перенапряжений при условии, что разрядник способен поглотить энергию, вызванную сетевыми воздействиями. В этом случае расчеты поглощения энергии выполняют, моделируя воздействия сети. Кроме учета приблизительности представления сети должен быть учтен разброс при снятии характеристики ОПН «напряжение — ток».

3 В некоторых случаях номинальное напряжение ОПН выбирают также, рассматривая поглощение энергии ео время разряда пинии электропередачи с учетом ущерба от более высокого защитного уровня ОПН.

6.2.3 Номинальный разрядный ток и класс *пропускной способности*

6.2.3.1 Общие положения

В ГОСТ Р 52725 способность ОПН поглощать энергию связана с номинальным разрядным током. Если значение импульса большого тока выбирают не в соответствии с ГОСТ Р 52725 (пункт 6.2.5), способность ОПН поглощать энергию зависит от номинального разрядного тока и импульса большого тока. Кроме того, поглощение энергии ОПН. обусловленное воздействием переходного перенапряжения сети, зависит от характеристики ОПН «остающееся напряжение — ток», а также от номинального разрядного тока. Номинальный разрядный ток и класс *пропускной способности,* следовательно, определяют в процессе итераций.

6.2.3.2 Номинальный разрядный ток

Номинальный разрядный ток выбирают в соответствии с грозовым разрядным током через ОПН, от которого требуется защитить оборудование. Применяюттотже самый подход, что и для РВ согласно 5.2.2. Как правило, в зависимости от ожидаемого грозового разрядного тока приемлемы следующие значения:

Диапазоны I и II (от 1 до 220 кВ): 5 или 10 кА

В сетях *диапазонов I и II* по ГОСТ 1516.3. где линейные расстояния между ОПН небольшие (менее 5 км). ОПН на распределительных трансформаторах с номинальным разрядным током 5 иА достаточно надежны, даже когда трансформаторы подсоединены к линиям на деревянных опорах с незаземлвнными траверсами.

8 сетях *классов* напряжения *35 кВ и ниже* ОПН с номинальным разрядным током 5 кА могут быть достаточными для районов с низкой плотностью ударов в землю и эффективно защищенными отходящими воздушными линиями с низкими сопротивлениями фундаментов опор. ОПН с номинальным разрядным током 10 кА могут быть предпочтительными для важных установок (необходимых для наилучшей защиты) особенно в районах с высокой плотностью ударов в землю или высокими сопротивлениями земли.

8 сетях классов *напряжения 110 кВ и выше,* как правило, рекомендуются ОПН с номинальным разрядным током 10 кА.

Диапазон III (от 330 до 750 кВ): 10 или 20 кА

Для сетей класса *напряжения 330 кВ.* как правило, достаточны ОПН с номинальным разрядным током 10 кА.

Для сетей *классов напряжения выше 330 кВ* могут потребоваться ОПН с номинальным разрядным током 20 кА.

6.2.3.3 Способность поглощать энергию

ОПН должны быть способны поглощать энергию, обусловленную кратковременными перенапряжениями в сети. Опасны кратковременные перенапряжения. которые возникают вследствие:

• включения или повторного включения длинных линий;

-отключения батарей конденсаторов или кабелей силовыми выключателями, допускающими повторные зажигания дуги:

• ударов молнии в провода воздушной линии с высоким уровнем изоляции или обратных перекрытий, близких к месту установки ОПН.

При известных уровнях защиты ОПН энергию, которую должен поглотить ОПН. допускается определять. используя формулы, приведенные ниже:

- включение или повторное включение линий:

$$W = 2UM \qquad (2)$$

где *W* — поглощенная энергия;

$u_ж$ — защитный уровень ОПН при коммутационном импульсе;

$U_„$ — амплитуда перенапряжения, например приведенная в приложении ДБ (см. ДБ.2);

Z — волновое сопротивление линии;

Г, — время распространения волны вдоль линии, равное длине линии, деленной на скорость распространения волны;

• коммутация конденсатора или кабеля:

$$W = \frac{1}{2}C\left[(3U_0)^2 - (\sqrt{2}U_н)^2\right], \qquad (3)$$

где С — емкосгьоднойфазыбатареиilикабеля;

Uо — максимальное значение рабочего напряжения фаза — земля;

U_H — номинальное напряжение ОПН (действующее значение).

Энергия может быть распределена мехщу несколькими ОПН. установленными на одной и той же фазе, при этом должно быть определено соотношение в распределении энергии;

• молния:

$$W\ m[2U_„ - NU_{)t}(U-H2UJU_{it}))\backslash \quad Z \qquad (4)$$

где ln — натуральный логарифм;

U„ — уровень защиты ОПН при грозовом импульсе;

Ц, — напряжение перекрытия линейной изоляции при отрицательной полярности;

Z —волновое сопротивление линии;

N —числолиний.подключенныхкОПН;

Т, — эквивалентная продолжительность тока грозового разряда, включая первый и последующие удары. Типичное значение 3 • 10"4 с.

Если расстояния между подстанциями в распределительной сети небольшие, энергия может быть уменьшена из-за распределения тока.

Примечание — Формула -(4) получена путем интегрирования экспоненциально уменьшающегося перенапряжения.

В некоторых случаях другие воздействия, кроме упомянутых, могут привести к большому поглощению энергии ОПН. Типичный пример — срабатывание токоограничивающих плавких предохранителей в случае необычного применения; если характеристика предохранителя намного выше, чем требуется для применения в сети, или если установлены ОПН с очень низким уровнем защиты.

При рабочих испытаниях согласно ГОСТ Р 52725 (пункт 9.5) ОПН перед приложением номинального напряжения должен поглотить следующую энергию;

• 5 и 10 кА в случае ОПН класса пропускной способности 1.

Эти ОПН подвергают рабочим испытаниям импульсом большого тока. Энергия, сообщаемая импульсом большого тока, может быть оценена как

$$W*UJT. \quad (5)$$

где U_a — остающееся напряжение при импульсе большого тока. Если это нал ряжение не известно, его допускается оценивать как 1.5 от остающегося напряжения при номинальном разрядном токе;

I — амплитуда нормированного импульса большого тока;

Т — эффективное время импульса большого тока, равное 6.5 мкс;

• 10 кА в случае ОПН классов пропускной способности 2 или выше и ОПН на 20 кА.

Эти ОПН подвергают рабочим испытаниям коммутационным импульсом. Удельная энергия, поглощаемая за один импульс, приведена в ГОСТ Р 52725 (таблица 1). Способность ОПН поглощать энергию оценивают как равную или большую удвоенного приведенного значения.

Для более точного определения поглощения энергии должны быть выполнены детальные расчеты с использованием всех параметров перенапряжений.

Если поглощение энергии, требуемое дляэксплуатации, выше, чем способность к поглощению энергии у выбранного ОПН. что подтверждается рабочими испытаниями, то должен быть выбран более высокий номинальный разрядный ток или более высокий класс *пропускной* способности, или более высокое значение импульса большою тока. В качестве альтернативы номинальное напряжение ОПН может быть увеличено при условии, что достигнута адекватная защита.

6.2.4 *Ток взрывобвзопасноспги*

В случае внутреннего повреждения ОПН протекающий через него аварийный ток не должен вызывать взрывного разрушения покрышки. Следовательно. ОПН должен выдерживать аварийный ток. равный или больший, чем наибольший аварийный ток через ОПН в точке его установки.

Если требуются более высокие значения *тока взрывобеэспэсности.* чем 80 кА. потребителю следует проконсультироваться у изготовителя.

Примечание — Данное положение заменяет ссылку на МЭК 60099-4 (пункт 8.7).

7 Применение вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений

7.1 Принцип координации изоляции

Принцип координации изоляции ((см. ДА-1 (приложение ДА)] предусматривает определение нормированных выдерживаемых напряжений путем последовательного определения;

а) представительного перенапряжения на оборудовании [(см. ДА.3 (приложение ДА)];

b) координационного выдерживаемого напряжения оборудования в течение его срока службы [(см. ДА.7 (приложение ДА)];

c) требуемого выдерживаемого напряжения оборудования при стандартных условиях испытания [см. ДА.9 (приложение ДА)]. Указанное напряжение может отличаться от координационного выдерживаемого напряжения из-за старения изоляции или из-за разброса при изготовлении и сборке. Для учета этих отличий используют коэффициент запаса 1.15. Для установок на высотах свыше 1000 м этот коэффициент учитывает также необходимую коррекцию на атмосферные условия для внешней изоляции:

d) нормированного выдерживаемого напряжения [см. ДА. 11 (приложение ДА)]. Указанное напряжение может быть представлено различными формами требуемого и нормированного выдерживаемых напряжений и выбрано из таблиц стандартизованных значений.

П р и м е ч а н и е — Данное положение заменяет ссылку на МЭК 60071-1 и МЭК 60071-2.

7.2 Защита от перенапряжений с пологим фронтом

Защита от перенапряжений с пологим фронтом особенно важна в диапазоне *Ш.* В- *диапазонах і и И* стандартный уровень изоляции оборудования, как правило, так высок, что защита от перенапряжений с пологим фронтом не потребуется (исключение составляют вращающиеся машины, см. 8.3).

Представительное перенапряжение на оборудовании, защищенном с помощью РВ (ОПН). равно уровню защиты от коммутационных импульсов, так как. за исключением линий электропередачи, влиянием набегающих волн возможно пренебречь, и напряжение на оборудоеани и равно напряжению на РВ (ОПН).

ОПН пригодны для защиты от перенапряжений с пологим фронтом в сетях с умеренными квазистационарными перенапряжениями, тогда как РВ срабатывают от перенапряжений с пологим фронтом только после перекрытия последовательно включенного искрового промежутка. Как правило, допускается, что с помощью ОПН возможно ограничение амплитуд перенапряжений фаза — земля (максимальное значение) до приблизительно двукратного номинального напряжения ОПН (действующее значение). Защитный уровень РВ существенно выше.

Это означает, что ОПН пригодны для ограничения перенапряжений с пологим фронтом, возникающих из-за включения и повторного включе ния линий и отключения индуктивных и емкостных токов, но не перенапряжений в целом. вызываемых замыканиями на землю и отключением замыканий, так как ожидаемые амплитуды последних слишком низкие.

Перенапряжения, возникающие из-за включения и повторного включения линии, вызывают токи через ОПН приблизительно от 0.5 до 2кА. В этом диапазоне токов знание точной амплитуды тока не так важно из-за экстремальной нелинейности металлооксидного материала. Для перенапряжений с пологим фронтом допускается не учитывать влияние длительности фронтов тока. Кроме того, возможно пренебречь се па рационными эффектами внутри подстанций. Изоляция дальних воздушных линий, однако, может быть подвержена воздействию перенапряжений, существенно более высоких, чем защитный уровень РВ (ОПН).

РВ (ОПН). как правило, устанавливают между фазой и землей, и. если ОПН используют для ограничен ия перенапряжений с пологим фронтом до низкого уровня, междуфаз-кые перенапряжения будут достигать приблизительно удвоенного уровня защиты ОПН. установленного между фазой и землей, независимо от устройства нейтрали трансформатора. Междуфазное перенапряжение будет состоять из двух фазных компонентов с наиболее частым соотношением 1:1. Если требуются более низкие междуфаэные уровни защиты, необходимы дополнительные ОПН между фазами.

Допустимое максимальное значение представительного перенапряжения фаза — земля равно защитному уровню РВ (ОПН). При отсутствии РВ (ОПН) между фазами допустимое максимальное значение междуфазных перенапряжений может быть в два раза больше этого значения.

8 случае защиты с помощью РВ (ОПН) от коммутационных перенапряжений е статистическом распределении перенапряжений возможно сильное искажение. Этот перекос наиболее ярко выражен при более низком уровне защиты по сравнению самплитудами ожидаемых перенапряжений с пологим фронтом. В таких ситуациях незначительные отклонения в прочности изоляции имеют большое влияние на вероятность повреждения. С целью преодолеть этот эффект предлагается находить расчетный коэффициент координации, зависящий от отношения уровня защиты РВ (ОПН) к 2%-ному значению (т. е. вероятность превышения которого равна 2 %) ожидаемых перенапряжений, следующим образом:

А? ≤ о К.р=11- (6)

0.7« ik.SI.2 u* ^=1'24- 0.2 i'is.. и,2 (7)

$$1{,}2 < \frac{U_{э1}}{U_{э2}} \qquad\qquad K_{кр} = 1{,}0\,. \qquad (8)$$

а координационное выдерживаемое напряжение коммутационного импульса как

$$= к^{*}u_{ы}. \qquad (9)$$

где $u_ж$ — уровень защиты РВ (ОПН) при коммутационных импульсах:

u_a — 2%-ное значение амплитуды ожидаемого перенапряжения с пологим фронтом по отношению к земле:

U_{tt} — координационное выдерживаемое напряжение оборудования при коммутационном импульсе:

$K_ф$ — расчетный коэффициент координации.

Примечание — Коэффициент 1.0—1.1 учитывает высокую частоту перенапряжений с амплитудами, равными уровню защиты из-за усечения распределения перенапряжений вентильным разрядником или ОПН. Эта частота тем выше, чем ниже уровень защиты. Из-за неопределенное гей в прочности оборудования запас между выдерживаемым напряжением и уровнем защиты следует увеличивать с повышением частоты перенапряжений. чтобы сохранить заданный уровень риска.

7.3 Защита от грозовых перенапряжений

7.3.1 Общие положения

Из-за высокой скорости нарастания грозовых перенапряжений невозможно пренебречь влиянием пробега волны между РВ (ОПН) и оборудованием. Как правило, напряжение на защищаемом оборудовании выше, чем остающееся напряжение РВ (ОПН) (см. 7.3.2). Следовательно, на практике всегда полезно до минимума снижать расстояние по шинам, разделяющее РВ (ОПН) и основное оборудование. Однако есл и скорости нарастания грозовых перенапряжений могут быть ограничены, иногда установкой одного РВ (ОПН) возможна защита более чем одной единицы оборудования также, как и в случае, когда и подстанция. и питающие воздушные линии эффективно защищены.

Главный фактор, определяющий расположение РВ (ОПН) на подстанции.—это линейная и под станционная защита. Как правило, защита подстанции может быть обеспечена, даже если отходящие линии не защищены. Подстанционная защита снижает вероятность высоких напряжений и крутых фронтов волн, возникающих в результате ударов молнии с большими амплитудами тока внутри подстанции. Однако следует учесть, что большинство ударов будет направлено в линии, эти удары создадут волны, бегущие по линии и достигающие подстанции. Если линии защищены, волны, приходящие на подстанцию, менее опасны, чем волны, приходящие с незащищенных линий. Соответственно, амплитуда токов РВ (ОПН) будет ниже, что приводит к более низкому остающемуся напряжению РВ (ОПН) и лучшей защите оборудования.

Незащищенные установки подвержены самым высоким грозовым токам и скоростям нарастания напряжения. Для установок, где не используется полная защита, рекомендуется самое минимально возможное их рассредоточение.

В защищенных установках с единственной незащищенной отходящей воздушной линией Р В (ОПН) располагают как можно ближе к выводам оборудования (как правило, трансформатора), которое следует защищать. Коша к подстанции подходят несколько незащищенных воздушных линий, амплитуда и крутизна приходящего по ним перенапряжения снижаются в результате деления, но частота появления таких перенапряжений увеличивается. Однако следует рассмотреть случаи, когда одна или несколько линий выводятся из эксплуатации, и оценить вероятность таких случаев во время гроз. Когда один или несколько силовых выключателей или разъединителей на такой подстанции разомкнуты, соответствующие линейные подходы или определенные части станции могут быть оставлены без защиты со стороны РВ (ОПН) на трансформаторах. Повреждение линейной изоляции при грозовом перекрытии отключенной линии маловероятно. но изоляция другого оборудования, такого как силовые выключатели, трансформаторы напряжения и трансформаторы тока, включенные на линейной стороне, может быть повреждена. Если такие случаи считают требующими дополнительной защиты, РВ (О ПН) могут быть установлены на соответствующих линейных подходах.

Приходящие с защищенных линий перенапряжения по а мплитуде и крутизне ниже, чем с незащищенных линий. Во многих случаях эго позволяет иметь некоторое удаление РВ (ОПН) от защи щаемой изоляции. П ри наличии единственной защищенной отходящей воздушной линии один комплект РВ (ОПН) может быть расположен в точке, которая обеспечивает защиту всего оборудования, но преимущество должно быть отдано трансформатору. Для определения максимального расстояния между РВ (ОПН) и тра нсформатором может быть использован метод по 7.3.2.

На подстанциях с большим числом защищенных отходящих воздушных линий {связанных с крупны* ми установками с трансформаторами, выключателями и измерительным оборудованием) РВ (ОПН) не всегда располагают на вводах каждою трансформатора. Методы, приведенные в 7.3.2. могут быть использованы в целях оценки максимальных отделяющих расстояний. Более важные установки могут потребовать детального изучения переходных процессов. Такие исследования и интерпретация их результатов находятся вне сферы действия настоящего стандарта.

8 области применения РВ (ОПН) для защиты оборудования от грозовых перенапряжений существуют два альтернативных подхода:

• определяют необходимое для координации выдерживаемое напряжение грозового импульса для данного уровня защиты РВ (ОПН) и отделяющего расстояния. Нормированное выдерживаемое напряжение грозового импульса затем рассчитывают умножением полученного значения на коэффициент 1.15 {см. 7.1);

. определяют защитную зону РВ (ОПН) — максимальное отделяющее расстояние, для которого выполняются требования по координации изоляции для заданного уровня защиты РВ (ОПН) и координационного выдерживаемого напряжения. Последнее получают делением нормированного выдерживаемого напряжения грозового импульса оборудования на 1.15 (см. 7.1).

Обе альтернативы требуют определения формы действительного перенапряжения на защищаемом оборудовании и его выдерживаемого напряжения, связанного с этой формой. В качестве достаточно адекватного упрощения, однако, допускается предположить, что это требование соблюдают при следующих условиях:

• для РВ: пробивное напряжение на фронте волны сравнивают с выдерживаемым напряжением срезанного грозового импульса на оборудовании.

• и/или пробивное напряжение грозового импульса и остающееся напряжение при номинальном разрядном токе (импульс 8/20) сравнивают с выдерживаемым напряжением грозового импульса оборудования.

Для трансформаторов с бумажно-масляной изоляцией обе альтернативы дают приблизительно один и тот же результат. Кроме тою. для крупных трансформаторов их входная емкость снижает скорость нарастания набегающей волны перенапряжения. Следовательно, рассмотрение пробоя на фронте волны может быть опущено.

Если выдерживаемая прочность оборудования на линейном входе подстанции при срезанном гроэоьюм импульсе менее чем на 15 % превышай! полный импульс. Ю!ца можсл бы 1ь необходимо рассмшрение пробивного напряжения на фронте им пульса.

Для *герметизированных распределительных устройств (ГРУ)* передаваемые и отраженные волны внутри *ГРУ* вызывают снижение скорости нарастания набегающей вол ны. приводящее к пробою РВ при напряжении. бопее низком, чем напряжение срабатывания на фронте волны. Как упрощение, следовательно. допускается пренебречь эффектами срабатывания на фронте волны или. в качестве альтернативы, провести расчеты методом бегущих волн:

• для ОПН: остающиеся напряжения при номинальном разрядном токе и/или при крутом импульсе тока сравнивают с выдерживаемым напряжением оборудования при грозовом импульсе.

Представительные грозовые перенапряжения, от которых требуется защита, как правило, вызывают е ОПН токи с длительностью фронта, приближенной скорее к 1 мкс. чем к 8 мкс. Следовательно, может быть оправдано использование остающегося напряжения крутого импульса тока, который вызывает приблизительно на 5% более высокое перенапряжение, чем в случае использования остающегося напряжения при номинальном разрядном токе. Сравнительные расчеты показывают, что этот эффект подобен срабатыванию РВ на ф>ронте волны, поэтому применяют те же рассуждения.

Примечание — Для воздушной изоляции результат применения этих методик может быть слишком консервативным из-за задержки в перекрытии изоляции, которую, как правило, выражают е виде кривых «напряжение — время». Более точные результаты могут быть получены из расчетов методом бегущих волн, в которых эта задержка перекрытия учтена. Аналогичные соображения применяют и к изоляции других видов, для которых известно их поведение при пробое.

7.3.2 Упрощенный метод расчета защиты от молнии

7.3.2.1 Защита оборудования наружной установки

Опыт работы с подстанционным оборудованием показывает, что -если приняты в расчет влияющие факторы, указанные в 7.3.1. координационное выдерживаемое напряжение при грозовом импульсе может быть определено из эмпирической формулы (10) [см. ДБ.З (приложение ДБ)], которая учитывает фундаментальные характеристики поведения грозового перенапряжения на подстанциях:

$$U. \quad {}^{u}**NL \quad яп^{+} \tag{10}$$

где L_a - *RJr*— длина воздушной линии перед подстанцией, которая позволяет получить норму ударов молнии, равную приемлемой норме повреждений. Правая дробь, умноженная на *A (N,* пропорциональна крутизне представительной падающей волны:

Ц» — координационное выдержи ваемое напряжение фоэового импульса оборудования;

А — напряжение в соответствии с таблицей 2. *учитывающее деформацию фронта волны из-за импульсной короны при пробеге* по воздушной линии, подсоединенной к подстанции:

U„ — уровень защиты РВ (ОПН) от грозовых импульсов:

N—число линий, подключенных к подстанции *{N-A* или *N-*2);

i_0 — общая длина *d* ♦ tf, *d_2*d_A (рисунок2):

L_a,,—длина пролета;

L_a—секция воздушной линии с нормой простоя, равной приемлемой норме повреждений;

R_a — приемлемая норма повреждений (число повреждений в единицу времени) для защищаемого оборудования;

г— норма простоя воздушной линии (число простоев в единицу времени и на единицу длины) в год для проектирования, соответствующая первому километру перед подстанцией. Если *N -2,* нормы необходимо складывать.

П р и м е ч а н и е — В формулах (19) — (12) должны быть использованы согласующиеся единицы.

Как правило, приемлемые нормы повреждения защищенного оборудования находятся между 0.1 % в год и 0.4 % в год. Типичное значение 0.25 % в год использовано в примерах таблицы 3>.

Для распределительных линий нормы простоя, как правило, более сравнимы с приемлемыми нормами повреждений, т. е. длина воздушной линии мала и ею можно пренебречь. Тогда формула (10) упрощается:

$$U. \quad \underline{A\,L*} \tag{11}$$

Т а б л и ц а 2 — Коэффициент *А* вформулах (10) — (12) для различных воздушных линий

Воздушная пиния	*А.* кВ
Распределительные линии (междуфазные перекрытия):	
- с заземленными траверсами (перекрытие на землю при низком напряжении):	900
• линии на деревянных опорах (перекрытие на землю при высоком напряжении)	2700
Линии электропередачи (однофазное перекрытие на землю):	
• одиночный провод:	4500
• *расщепление* на два провода;	7000
• *расщепление* на четьфв провода:	11000
- расщепление на шесть или восемь проводов	17000

П р и м е ч а н и е — Напряжение *А* для распределительных линий ниже, чем для линии электропередачи с одиночным проводом, так как в распределительных линиях возможны междуфазные перекрытия или многократные перекрытия фаза — земля, что приводит, таким образом, к разделению токов и. в случае заземленных траверс, к ограничению амплитуды набегающей волны.

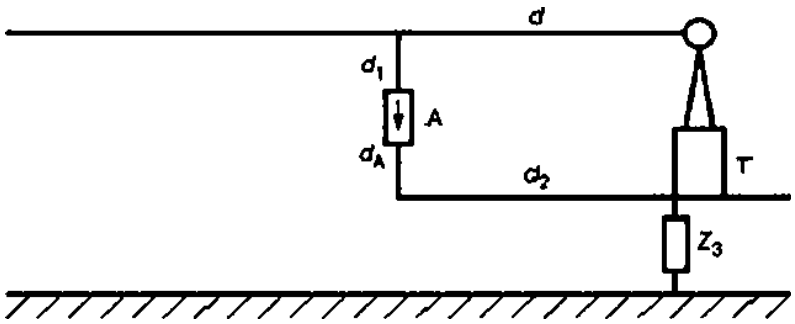


Рисунок 2а — Установки без контура заземления {распределительные оети)

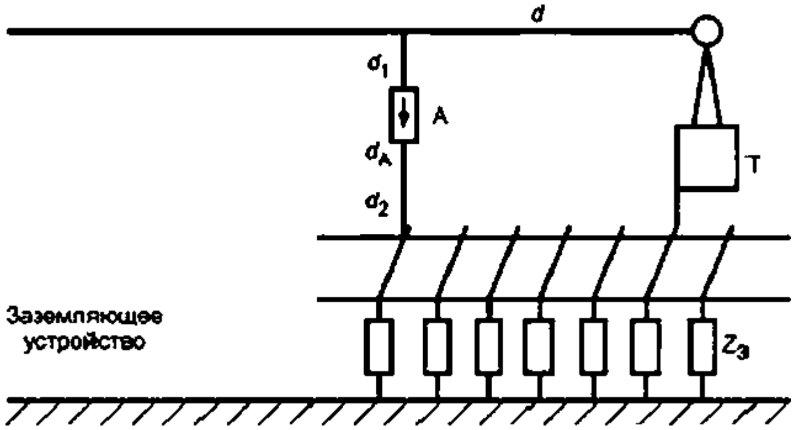


Рисунок 26 — Установки с контуром заземления (подстанции)

J •• р«иичнниа МСЛМ; MMVVtiUBUIIftltlbIM (IWDUAUM MUtnUldSHWV
оборудования и точкой подключения высоковольтного провода РВ (ОПН);
d, — длина аысокоаопыного провода РВ <ОПН): rfj — длина заземляющего
провода РВ (ОПН): rf_A ~ дпнна РВ (ОПН); 2, — сопротивление заземления;
Т — защищаемый объект; 1*1* — набегающая волна перенапряжения

Рисунок 2 — Схема присоединения РВ (ОПН) к защищаемому объекту

Таблица 3 — Примеры защитных зон. рассчитанных по формуле (10). для открытых *распределительных устройств (ОРУ)*

Наибольшее напряжение оборудова-ния. кВ	Уровень зашиты. кВ	Выдерживаемое напряжение, кв		Длина пролета. ы	А. кВ	Защитная зона L_r. м					
		Норми ре-венное	Коораина-ционное			г» 0.1* ЛР»2	*г* « 0.5*		*f* * 2*		К Я в* W » 2
							N • 1	N>2	W« 1	N>2	
24	80	125	109	100	2700	—	—	—	2.4	4.8	3.0
				200	900	—	—	—	10.4	20.8	15.5
123	350	550	478	300	4500	160	23	46	12.0	24	—
420	900	1425	1239	400	11000	180	28	56	16	32	—

*** В вдинщах (1) на 100 км и на год.**

Индуктированные грозовые перенапряжения необходимо рассматривать а распределительных системах. где оборудование не защищено от прямых ударов молнии в провода или от обратных перекрытий.

Примечание — Формула (10) описывает падение напряжения, зависящее от *поведения* воздушной линии, связанной с оборудованием, *при ударе* молнии, от схемы подстанции и от выбранной приемлемой нормы повреждений оборудования. На основании существующих данных о поведении *воздушной* линии *при ударе молнии* и демпфирующих эффектах хорош определяют константу *А.* чтобы получить согласие между выдерживаемыми напряжениями, рассчитанными по формуле (10), и опытом эксплуатации, приобретенным в результате использования зон защиты в тенение долгого времени {см. таблицу 3). Формула {10) не должна быть использована для определения амплитуды перенапряжения для конкретного грозового случая на воздушной линии.

При выборе нормированного выдерживаемого напряжения грозового импульса защитная зона РВ (ОПН) может быть оценена по формуле

$$L_з = \frac{N}{A}\left[\left(\frac{U_{rw}}{1{,}15}\right) - U_{pl}\right]\left(L_{ап} + L_a\right), \quad (12)$$

где — защитная зона;

$Ц_{га}$ — нормированное выдерживаемое напряжение грозового импульса (см. 4.1).

Формула (12) показывает, что для данной подстанции защитная зона увеличивается:

• с увеличением разницы между нормированным выдерживаемым напряжением и уровнем защиты;

• со снижением нормы простоя воздушной линии перед подстанцией, указывая, таким образом, на влияние улучшенной защиты заземленными тросами и сниженного сопротивления фундамента опор;

• с увеличением приемлемых норм повреждений, что указывает на возможность защиты оборудования. однако сболее высокой нормой повреждения.

Таблица 3 содержит примеры рассчитанных защитных зон. в которых подчеркнутые значения диапазонов относятся к тем. которые, как правило, принимают. Зоны защиты 160 и 180 м подтверждаются практикой с оборудованием на входе линии, защищенном РВ (ОПН) на трансформаторе при обеспечении полной защиты воздушной линии перед подстанцией.

7.3.2.2 Защита *герметизированных распределительных* устройств *(ГРУ)*

ГРУ считают защищенными лучше, чем ОРУ. так как они имеют волновые сопротивления, намного меньшие, чем волновые сопротивления воздушных линий. Как правило, обоснованная рекомендация для оценки улучшения, полученная для ГРУ сравнением с ОРУ. не может быть дана. Однако использование формул (10)—(12). приведенных выше для *ОРУ.* позволяет получить консервативные оценки координационного выдерживаемого напряжения грозового импульса или защитного диапазона и. возможно, снижение значения постоянной *А* до половины значения. указанного в таблице 2.

Общее правило состоит в том. что для защиты ГРУ необходимо устанавливать РВ (ОПН) на входе пинии, даже когда линейный выключал* ib разомкну i. Moiyi noipeGouai ьсн допилнишльные РВ (ОПН) на трансформаторах или когда слишком велики отделяющие расстояния до РВ (ОПН). установленных на линейных подходах, или когда ожидаются большие перенапряжения на трансформаторе, в то ерем я как РВ (ОПН) на линейных подходах отключены. Для протяженных Л°У могут также быть необходимы РВ (ОПН). установленные вудобных местах внутри *ГРУ.* Улучшенная защита от перенапряжения сбыстро кара стающим фронтом может быть достигнута путем установки РВ (ОПН) линейного подхода внутри ГРУ. что устраняет влияния присоединений РВ (ОПН) при наружной их установке. Несмотря на то. что этот РВ (ОПН) был бы более дорогостоящим, чем РВ (ОПН) при наружной его установке, не понадобятся дополнительные РВ (ОПН).

Если в соответствии с защитными диапазонами дополнительные РВ (ОПН) должны быть установлены внутри ГРУ. не следует пользоваться приближенной формулой.адолжны быть выполнены расчеты методом бегущих волн.

Защита с помощью РВ (ОПН) от перенапряжений с быстронарастающим фронтом внутри ГРУ. как правило, невозможна из-за очень высоких вызываемых частот и задержки в проводящем механизме ОПН. РВ вообще не будут срабатывать.

7.3.2.3 Защита подстанций с кабельным подключением

Аналогично /ТУлодстанции, подключаемые с помощью кабелей, при тех же самых размерах, защищены лучше, чем ОРУ. но в этом случае также невозможна никакая полностью обоснованная рекомендация.

РВ (ОПН) должны быть установлены в месте соединения воздушная линия — кабель, чтобы защитить кабельный ввод. Влияния отделяющих расстояний могут быть оценены консервативно, так же как и в случае с *ОРУ.* Когда во время удара молнии более чем одна линия остается подключенной к подстанции через кабели, Р8 (ОПН) способны защитить подстанцию. Если возможен случай, когда кабели, подключенные к подстанции, во время удара молнии разомкнуты на концах, и если длина кабелей приблизительно в пять раз превышает значение, вычисленное по формуле (12), рекомендуются дополнительные РВ (ОПН) на разомкнутом конце. Аналогичное решение должно быть применено на разомкнутом конце кабелей, которые подсоединены к воздушной линии через подстанцию.

7.3.2.4 Защита кабелей

Кабели, подключенные между двумя воздушными линиями, должны быть защищены с помощью РВ (ОПН) на обоих концах, если длина кабеля превышает пятикратное значение, определенное в соответствии с формулой (12). Подключение РВ (ОПН) к кон цам кабелей должно следовать этой формуле.

8 случае кабелей на 72.5 кВ и выше рекомендуются использование защитных тросов на воздушной линии рядом с кабелем (около трех пролетов) и низкие сопротивления фундаментов опор в месте подключения кабелей.

8 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений специального назначения

8.1 Ве-нтилькые разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений для нейтралей трансформаторов

8.1.1 Общие положения

Одно из наиболее широко распространенных специальных применений РВ (ОПН) — для защиты нейтралей трансформаторов. Каждая незаземленная нейтраль, выведенная через изолирующую втулку, должна быть защищена с помощью РВ (ОПН) от грозовых и коммутационных ле ренапряжений. Изоляция нейтрали может быть подвергнута воздействию перенапряжений е случае приход ящих многофазных грозовых перенапряжений или е случае коммутационных перенапряжений из-за несимметричных замыканий е электрических сетях.

Кроме того, в сетях с резонансие-эаземпекной нейтралью высокие коммутационные перенапряжения могут возникать в трансформаторной нейтрали и поперек обмотки, когда прерывается двойное замыкание фаза — земля, а цепь, остающаяся подключенной к линейной стороне трансформатора, имеет малую емкость на землю.

Пропускная способность РВ (ОПН) нейтрали должна быть, по фай ней мере, такой же. какая требуется для фазных РВ (ОПН) или выше.

Поскольку высокие значения тока отсутствуют, для определения защитного уровня РВ (ОПН) может быть использовано остающееся напряжение при разрядном токе 1 кА. Для РВ (ОПН) нейтрали защитное отношение может быть значительно меньше благодаря меньшей скорости нарастания напряжения.

8.1.2 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений для трансформаторов с полной изоляцией нейтрали

Защита нейтралей с полной изоляцией может быть достигнута применением РВ (ОПН). имеющих тот же уровень защиты, что и у фазных РВ (ОПН) или ниже его. Из-за более низкого напряжения промышленной частоты между нейтралью и землей номинальное напряжение РВ (ОПН) нейтрали может быть более низкого значения. Как правило, рекомендуется, чтобы номинальное напряжение было на уровне, по фай- ней мере. 60 % номинального напряжения, необходимого для фазного РВ (ОПН).

Используют РВ (ОПН) двух видов:

• или той же самой конструкции, что и фазного РВ (ОПН). но со сниженным номинальным напряжением. или

• специальные РВ (ОПН) со сниженными уровнями защиты.

Во время аномальных условий работы сети или во время перемежающихся замыканий на землю могут произойти перенапряжения большем длительности с максимумом амплитуды, достаточным для того, чтобы вызвать следующие одно за другим срабатывания РВ (ОПН) и дал ьнейшее повреждение фазных РВ (ОПН). В таких случаях следует скоординировать РВ (ОПН) так. чтобы РВ (ОПН) нейтрали срабатывал раньше, чем РВ (ОПН) между фазой и землей. РВ (ОПН) для нейтрали с высокой энергией может выдерживать эти воздействия и предотвращать повреждение фазных РВ (ОПН). Рекомендуется, чтобы уровень защиты РВ (ОПН) нейтрали от коммутационных импульсов составлял около 45 % уровня защиты при коммутационных импульсах, необходимого для фазных РВ (ОПН).

8.1.3 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений для нейтралей трансформаторов с неравномерной изоляцией

Трансформаторы с электрической прочностью, градуированной от ввода фазы к нейтрали, как правило. применяют в сетях с заземленной нейтралью. Если нейтраль трансформатора непосредственно не заземлена. чтобы ограничивать токи короткого замыкан ия в сети, она должка быть защищена РВ (ОПН) с характеристиками, выбранными сучегом условий сети и выдерживаемого напряжения нейтрали, в соответствии с теми же самыми методами выбора, которые применяют для фазных РВ (ОПН).

8.2 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений между фазами

Значительные перенапряжения между фазными выводами трансформаторов или реакторов возможны при отключении реактора или реактивно нагруженного трансформатора. Выдерживаемое напряжение реактора или трансформатора между фазами может быть превышено без срабатывания фазных РВ (ОПН). Если ожидаются такие коммутацион мыв операции, в дополнение кфазнымРВ (ОПН) должны быть применены РВ (ОПН) между фазами. Фазные РВ (ОПН) должны иметь длительное рабочее напряжение, равное или более высокое чем 1.05 наибольшего напряжения сети. Для ОПН это значение перекрывает кваэистационарные перенапряжения вплоть до 1.25 наибольшего напряжения сети. Для более высоких квазистационарных перенапряжений значение номинального напряжения необходимо уточнить. Для РВ выбранное значение номинального напряжения должно перекрывать значение квази стационарных перенапряжений.

В случае трансформаторов с низковольтной обмоткой, соединенной в треугольник, могут быть необходимы РВ {ОПН) между фазами на низковольтной стороне, чтобы ограничить индуктивно трансформированные перенапряжения. Эти РВ (ОПН) могут также защищать высоковольтную сторону трансформатора путем поглощения электромагнитной оперши при отключении трансформаторов.

Печные трансформаторы могут потребовать РВ (ОПН) между фазами в дополнение к РВ (ОПН). подключенным между фазами и землей. Для этих РВ (ОП Н) необходимы специальные требования, а также должны быть определены их характеристики.

8.3 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений для вращающихся маш ин

Несмотря на то. что рекомендации по координации изоляции вращающихся машин не определены, для защиты генераторов и двигателей от перенапряжений используют РВ (ОПН).

Для этой цели часто используют специальные РВ (ОПН). а требования определяют путем соглашения между изготовителе ми потребителем. В частности, в случае РВ (ОПН) для защиты генераторов особое внимание должно быть уделено исполнению их протиаовзрывиых устройств, поскольку токи короткого замыкания могут быть заметно выше, чем токи, указанные е ГОСТ 16357 или ГОСТ Р 52725.

Для машин, которые связаны с воздушными линиями или непосредственно. или через короткие кабели. конденсаторы (от 0.1 до 0.3 мкФ) и РВ (ОПН) должны быть установлены между фазой и землей как можно ближе к выводам машины, чтобы растянуть фронт перенапряжения приблизительно до 10 мкс или более и обеспечить дополнительную защиту. Кроме того, может быть применен второй комплект РВ (ОПН) на воздушных линиях перед машинной станцией или в точке соединения воздушной линии и кабеля.

П р и м е ч а н и е — Кроме ограничения перенапряжений, приходящих на машинную станцию. РВ (ОПН) на воздушной пинии снижают разрядные гаки через РВ (ОПН). установленные на машине. В результате более низких остающихся напряжений этих РВ (ОПН) осуществляется дополмитетъная защита машины.

Характеристики РВ (ОПН) выбирают в соответствии с разделом 5 или 6. а импульсную прочность изоляции или значение, рекомендованное изготовителем, сравнивают с уровнем защиты РВ (ОПН). В общем случае между уровнями защиты и выдерживаемыми напряжениями достижимы только небольшие запасы прочности.

Машинам, подключенным к воздушным линиям через трансформаторы, может не потребоваться защита с помощью РВ (ОПН) е дополнение к защите трансформатора, если машина подключена достаточно длинным кабелем или если установлены конденсаторы указанных выше значений. Если выключатель установлен между трансформатором и вращающейся машиной, конденсаторы должны быть установлены на выводах трансформатора (обмотках генератора).

Для машин, подключенных к трансформаторам с обмотками, соединенными по схе ме звезда — треугольник. улучшенная защита может быть обеспечена дополнительными междуфаэными РВ(ОПН). РВ (ОПН). установленные на машине или машинной стороне трансформатора, не подвержены воздействию больших токов молнии. Следовательно, низкие уровни защиты могут быть достигнуты с помощью низких пробивных напряжений (в случае РВ) и низких остающихся напряжений при разрядных токах 500 А или менее.

Большие турбогенераторы имеют низкие волновые сопротивления и однофазные сборные шины, а короткие замыкания между фазами должны быть исключены. Рв (ОПН) не должны быть установлены меж* ду фазами. Достаточная защита может быть обеспеченаспомощьюРВ<ОПН)на высоковольтной стороне трансформатора.

8.4 Дополнительные специальные случаи применения вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений

Выбор и установка РВ (ОПН) для защиты нижеследующего оборудования должны соответство* вать специальным требованиям на этооборудование. устанавливаемым между потребителем и изготовителем:

• оболочки кабелей должны быть заземлены на обоих концах. Если это невозможно для однофазных кабелей из-эа снижения нагрузочной способности кабеля, мезаемленный конец кабельной оболочки дол* жен быть защищен с помощью РВ (ОПН). Номинальное напряжение этих РВ (ОПН) должно быть выше, чем наведенное нал ряжение оболочка — земля при максимальном токе повреждения. Оно перекрывает требуемое длительное рабочее напряжение. Номинальный разрядный ток должен быть таким же. что и у фазных РВ (ОПН) на концах кабеля. Защитный уровень должен быть как можно ниже, та к как выдерживаемая прочность оболочки в течение срока службы недостаточно определена и не гарантирована каким* либо стандартизованным испытанием.

• специальные трансформаторы, например последовательно включенные обмотки автотрансформаторов и преобразовательных трансформаторов:

• последовательно включенные реакторы, например токоограничивающие реакторы, высокочастотные реакторы и последовательно включенные конденсаторы:

• резонирующие цепи:

• тяговые системы переменного тока;

. воздушные линии.

8.5 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений для аномальных условий эксплуатации

Для аномальных условий эксплуатации необходимы специальные решения при проектировании или применении РВ (ОПН). и на них должно быть обращено внимание изготовителя.

Примеры таких условий:

• высота свыше 1000 м;

• температура вне диапазона от минус *60* °С до плюс 40 °С;

• обмыв РВ (ОПН) под напряжением;

• сильные порывы ветра;

• землетрясения;

• ограниченные расстояния до проводящих поверхностей.

9 Диагностические индикаторы для нелинейных ограничителей перенапряжений в эксплуатации

9.1 Общие положения

Кроме кратковременных случаев, когда ОПН функционирует в качестве устройства, ограничивающего перенапряжения, считают, что он проявляет свойства изолятора. Изолирующие качества весьма важны для продолжительности срока службы ОПН и для надежности работы электрической сети.

При эксплуатации ОПН для обнаружения возможного ухудшения или нарушения изолирующих свойств используют различные диагностические метод ы и индикаторы—от индикаторов неисправностей и отделителей для указания коротких замыканий ОПН до приборов, которые позволяют измерять незначительные изменения в активной составляющей тока утечки или мощности потерь ОПН.

Цель настоящего раздела — предоставить потребителю руководство при рассмотрении возможностей использования какого-либо диагностического метода, а также обзор общеприменяемых диагностических методов. Приведена также подробная информация относительно измерений тока утечки ОПН.

Примечания

1 Диагностические устройства следует проектировать и эксплуатировать так. чтобы обеспечивать безопасность персонала во время измерения. При проектировании и установке стационарных устройств должны быть учтет воздействия, возможные в рабочих режимах и при коротких замыканиях.

2 Для применения отдельных диагностических методов у ОПН должен быть изолированный земляной вывод. Он должен иметь достаточно высокий уровень выдерживаемого напряжения, учитывающий появление индуктивного падения напряжения между выводом и заземленными частями во время прохождения разрядного тока.

9.1.1 Индикаторы неисправностей

Индикаторы неисправностей обеспечивают четкую визуальную индикацию поврежденного ОПН без отключения его от линии. Устройство может быть составной частью ОПН или отдельной единицей, установленной последовательно сОПН. Принцип действия, как правило, основан на амплитуде и продолжительно* сти протекания тока через ОПН или на температуре нелинейных металлооксидных резисторов.

9.1.2 Отделители

Отделители, часто используемые на ОПН среднего напряжения, обеспечивают визуальную индикацию поврежденного ОПН путем отключения его от сети. Типичный принцип работы основан на наличии взрывного устройства, приводимого в действие током короткого замыкания: однако отделитель не предназначен отключать ток короткого замыкания. Отделитель может быть составной частью ОПН или изолирующей консолью, или о-тдельной единицей, установленной последовательно с ОПН. Преимущество устройства состоит в том. что линия остается в работе после отключения ОПН. Основной недостаток заключается в отсутствии защиты от перенапряжений до тех пор. пока поврежденный ОПН не будет обнаружен и заменен.

9.1.3 Счетчики импульсов

Счетчики импульсов срабатыва юг при импульсных токах выше определенной амплитуды или выше определенных комбинаций амплитуды тока и его продолжительности. Если интервал между разрядами очень мал {менее 50 мкс) счетчики импульсов могут не учесть каждый импульс тока. Некоторые счетчики требуют последующего тока промышленной частоты, поэтому они не могут считать короткие импульсные токи через ОПН.

В зависимости от принципа действия и чувствительности счетчик может предоставить индикацию о перенапряжениях, появляющихся всети. или он может обеспечить информацию о количестве разрядов, соответствующих значительным зкергетическим воздействиям на ОПН. но не дает никакой специальной информации относительно со стояния ОПН.

Исходя из требований безопасности счетчик импульсов следует устанавливать вне зоны легкой досягаемости персоналом. Он должен быть расположен та м. где может быть считан с уровня земли, при этом ОПН должен оставаться в эксплуатации. Монтаж следует проводить без значительного удлинения связи с землей или снижения ее поперечного сечения. ОПН должен быть оснащен изолированным земляным выводом и проводом между ОПН и счетчиком, который изолируют от земли.

9.1.4 Искровые промежутки для мониторинга

Искровые промежутки для мониторинга используют для определения числа и оценки амплитуды и продолжительности разрядных токов через ОПН. необходим специальный опыт, чтобы соответствующим образом интерпретировать знаки на промежутке. Некоторые искровые промежутки могут быть проверены с ОПН в условиях эксплуатации, в то время как при использовании других типов искровых промежутков требуется, чтобы ОПН был отключен. Необходимо, чтобы ОПН имел вывод, изолированный от земли. С другой стороны, искровой промежуток может быть составной частью ОПН. Искровые промежутки не предоставляют никакой прямой информации относительно действительного состояния ОПН. но позволяют еделатьэаключение относительно продолжения работы.

9.1.5 Измерения температуры

Дистанционное измерение температуры ОПН может быть выполнено посредством методов, основанных на термическом отражении. Эти измерения только приблизительно характеризуют состояние ОПН. в то время как перепад температуры между варисторами и поверхностью покрышки может быть существенным. Тем не менее, сравнительные измерения, выполненные на соседних ОПН или элементах ОПН. могут указать на чрезмерный нагрев.

Прямые измерения температуры металлооксидного еаристора позволяют получить точную индикацию состояния ОПН. но требуется, чтобы ОПН был оборудован специальными преобразователями во время изготовления. Следовательно, этот метод может быть использован только в случае применения специальных ОПН.

9.1.6 Измерения тока утечки через ОПН

Любое ухудшение изолирующих свойств ОПН вызовет увеличение активной составляющей тока утечки или мощности потерь при данных значениях напряжения и температуры. Большинство диагностических методов для определения состояния ОПН основаны на измерениях тока утечки.

Методы измерения тока утечки могут быть разделены на две группы: неавтономные измерения, когда ОПН подключен к сети и находится под рабочим напряжением во- время эксплуатации, и *ввтономныв* измерения, когда ОПН отключен от сети и находится под особым на пряжением стороннего источника или в лабораторных условиях.

Автономные измерения могут быть выполнены с источниками напряжения, специально приспособ* пенными для этой цели, например передвижными испытательными генераторами переменного или посто-янного тока. Хорошая точность может быть получена путем применения *автономных* методов при условии использования достаточно высокого испытательного напряжения. Основные недостатки авто* номных методов заключаются в высокой сто-имости оборудования и необходимости отключения ОПН от сети.

Наиболее распространены измерения, выполняемые неавтономно под нормальным рабочим напря* жением. По практическим причинам и с учетом требований безопасности ток утечки, как правило, доступен только на заземленном конце ОПН. Для того чтобы осуществить измерения тока утечки, протекающего в земляном проводе. ОПН должен быть оборудован изолированным земляным выводом.

П р и м е ч а н и е — Изоляция земляного вывода должна, как и после длительной деградации, быть достаточной, чтобы предотвратить циркуляцию тонов, вызываемых электромагнитной индукцией, поскольку эти токи могут мешать измерению тока утечки.

Неавтономные измерения токов утечки, как правило, проводят на временной основе, используя переносные или постоянно установленные приборы. Переносные приборы подсоединяют к земляному выводу ОПН посредством зажимов, а постоянно установленные -> через трансформатор тока. Длительные измерения тока утечки могут быть необходимы для более подробных исследований, особенно если кратковременными измерениями обнаружены значительные изменения в состоянии ОПН. Дистанционные измерения могут быть осуществлены в компьютеризованных сетях для наблюдения за подстанционным оборудованием.

9.1.6.1 Свойства тока утечки нелинейных металлооксидных резисторов

Переменный ток утечки может быть разделен на емкостную и активную части с преобладающей емкостной и значительно меньшей активной составляющей. Это видно на рисунке 3. на котором показаны результаты типичного лабораторного измерения тока утечки единичного нелинейного метал гкжсидного резистора. находящегося под напряжением, эквивалентным наибольшему длительно допустимому рабочему нал ряжению собранного ОПН.

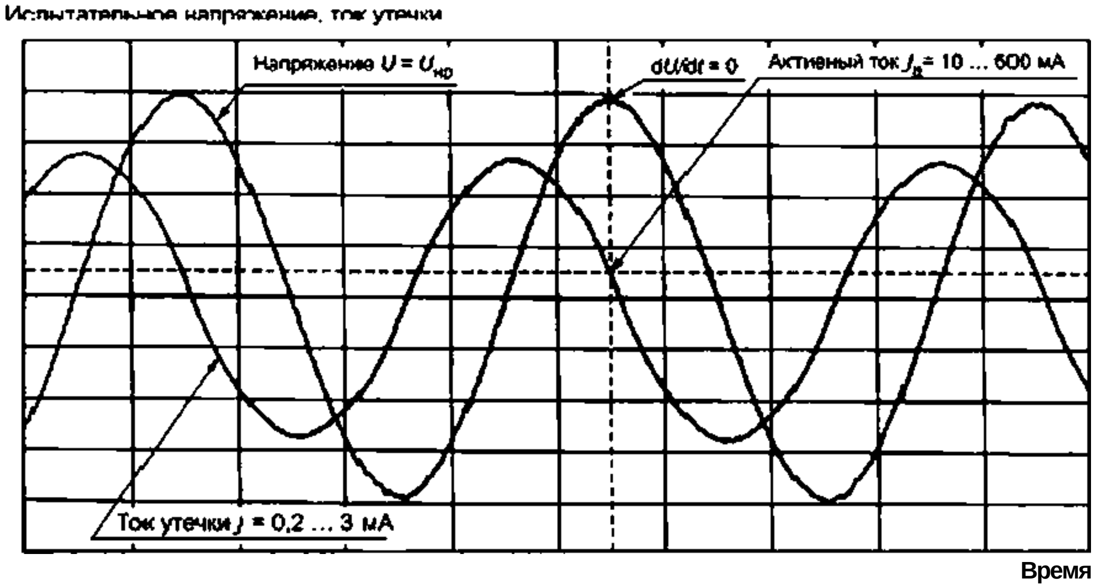


Рисунок 3 — Типичный ток утечки нелинейного металлооксидного резистора в лабораторных условиях

На рисунке 4 показаны результаты измерений тока утечки е двух различных ОПН в эксплуатации при уровнях нап ряжения несколько более низких, чем U_{utt}.

Рисунок 4 иллюстрирует также влияние различных уровней содержания гармоник в напряжении сети.

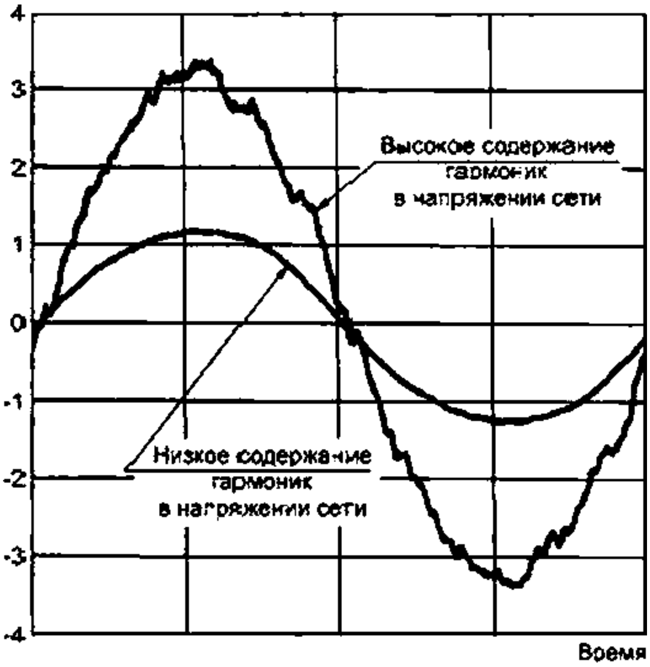


Рисунок 4 — Тилич4ый ток утечки ОПН в условиях эксплуэтацт

9.1.6.1.1 Емкостный ток утечки

Емкостный ток утечки, измеренный на земляном выводе ОПН, вызывается диэлектрической проницаемостью нелинейных металлооксидных резисторов, паразитными емкостями и выравнивающими конденсаторами при их применении. Удельная емкость резисторного элемента составляет, как правило, от 60 до 150 пФкВ/см^2 (номинальное напряжение), приводя в результате к максимальному значению емкостного тока утечки приблизительно от 0.2 до 3 мА при нормальных условиях эксплуатации.

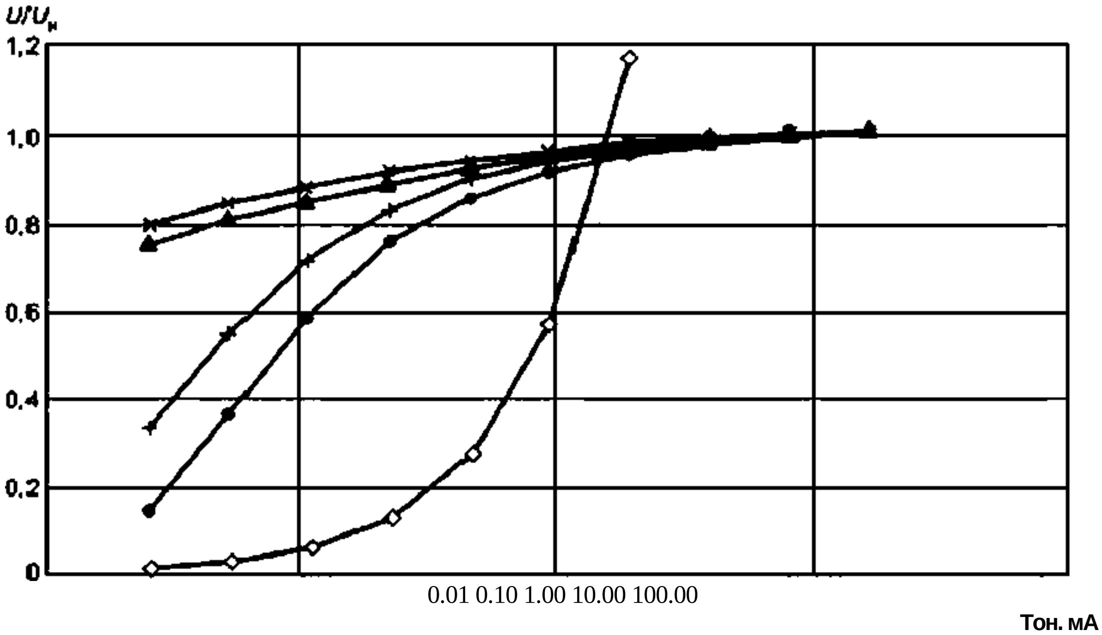
Отсутствуют какие-л ибо доказательства того, что емкостный ток значител ьно изменился бы вслед* ствие ухудшения вольтамперных характеристик нелинейных металлооксидных резисторов. Следовательно. маловероятно, что результаты измерения емкостного тока могут надежно указывать на состояние ОПН.

9.1.6.1.2 Активный ток утечки

При заданных значениях напряжения и температуры активная составляющая тока утечки служит чувствительным индикатором изменений вольтамперных характеристик нелинейных металлооксидных резисторов. Активный ток. следовательно, может быть использован в качестве инструмента диагностической индикации изменений всостоянии ОПН при эксплуатации. Типичные активные и емкостные вольтамлерные характеристики для напряжения переменного тока показаны на рисунке 5. Для сравнения на рисунке 5 показаны также типичные характеристики при постоянном токе.

Активную составляющую при напряжении переменного тока определяют как уровень тока в точке максимума напряжения (<К7/сИ = 0).какпоказано на рисунке 3. Активный ток утечки нелинейного металлооксидного резистора составляет от 5 % до 20 % емкостного тока при нормальных рабочих условиях, соответствуя приблизительно от 10 до 600 мкА максимального значения активного тока при температуре ♦20 С.

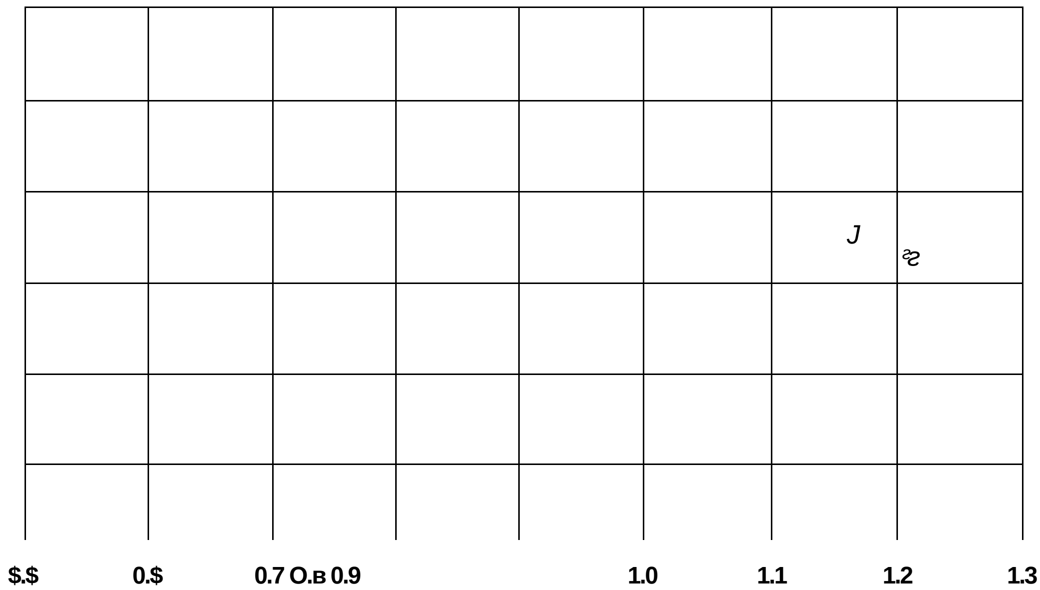
В диапазоне тока утечки активный ток зависит от напряжения и температуры. Типичные значения зависимостей напряжения и температуры при напряжении переменного тока, приведенные к и температуре +20 С соответственно, указаны на рисунках 6 и 7.



- постоянный ток, температура «20 * С;
- постоянный ток. температура *40 'С:
- переменный активный то*. температуре «20 *С;
- переменный активный то*, температура «40 'С;
- переменный емкостный ток

Рисунок 5 — Типичные вольтамперные характеристики нелинейных металлооксидных резисторов

Зависимость от напряжения, отн. ед



-ш- - активный ток;
•А- - третья гармоника тока:
-ф- - мощность потерь

Рисунок & — Типичная нормализованная зависимость от напряжения при температуре «20 'С

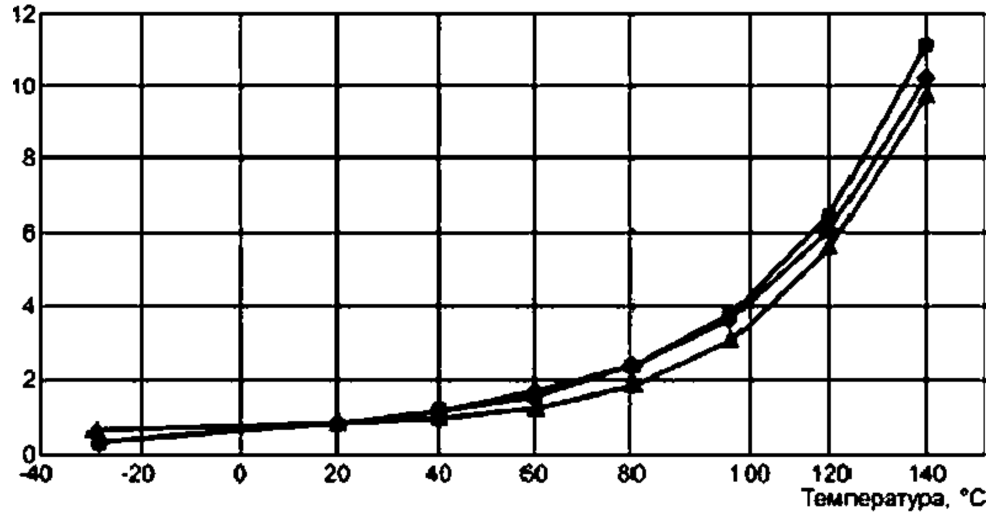


Рисунок 7 — Типичная нормализованная зависимость от температуры при наибольшем длительно допустимом рабочем напряжении U^,

Распределение напряжения вдоль ОПН может быть неравномерным, прежде всего из-за влияния паразитных емкостей на землю и соседнее оборудование. Напряжение, приложенное к нелинейным металлооксидным резисторам на заземленном конце ОПН. может, следовательно, отличаться какло амплитуде, так и по фазе от среднего значения напряжения вдоль ОПН. Данный фактор влияет на измерение активного тока утечки двумя путями: во-первых, активный ток. измеряемый в земляном проводе, зависит от амплитуды напряжения, приложенного к нелинейным металлооксидным резисторам на заземленном конце, следовательно. измеренный активный ток может отличаться от среднего активного тока вдоль ОПН. Во-вторых, сдвиг по фазе напряжения, приложенного к нелинейным металлооксидным резисторам на заземленном конце ОПН. влияет на результат измерения акт ивного тока для методов, использующих напряжение, приложенное к собранному ОПН. е качестве оценки фазового угла.

Другой подобный феномен, который может влиять на измерение активного тока при использовании точных методов, —это емкостный ток. наводи мый в земляном проводе ОПН соседними фазами.

9.1.6.1.3 Гармоники е токе утечки

Нелинейная вольтамперная характеристика ОПН вызывает рост гармоник в токе утечки, когда ОПН нагружается синусоидальным напряжением. Содержание гармоник зависит от амплитуды активного тока и степени нелинейности, которая представляет собой функцию напряжения и температуры. Например, содержание третьей гармоники активного тока составляет, как правило, от 10 % до 40 %. Содержание гармоник, следовательно, может быть использовано в качестве индикатора активного тока. На рисунках 6 и 7 показаны типичные значения изменений третьей по порядку гармоники от напряжения и температуры.

Другим источником гармоник, кроме непринимаемых е расчет источников, которые могут значительно влиять на измерение гармоник в токе утечки, служит содержание гармоник в напряжении сети. Емкостные токи гармоник, вызванные гармон иками напряжения, могут быть тоге же самого порядка по амплитуде, как и токи гармоник, созданных нелинейным сопротивлением ОПН. Пример гармонике токе утечки, вызванных гармониками напряжения сети, приведен на рисунке 4.

9.1.6.1.4 Мощность потерь

Мощность потерь может быть использована для диагностической индикации ОПН тем же самым способом, каки активный ток утечки. Типичные значения мощности потерь составляют от 5 до 300 мВт/кВ (номинального напряжения) при $u_{н}$,, и +20 °С. Зависимости температуры и напряжения практически те же самые, что и для активного тока, как видно из рисунков 6 и 7.

9.1.6.2 Ток утечки по поверхности

Как и у любого другого изолятора для наружной установки, ток утечки по наружной поверхности может временно появляться на покрышке ОПН при дожде или в условиях высокой влажности, сочетаемых с поверхностным загрязнением. Кроме того, ток утечки по внутренней поверхности может появляться из-за проникновения влаги. Во время измерений токи по поверхности могут накладываться на токи утечки резисторов, однако для различных методов измерений чувствительность к внешним и внутренним поверхностным токам может быть различной. Влияние тока утечки по внешней поверхности может быть исключено или выполнением измерений в сухих условиях, или применением любого другою удобного метода, например отведением тока утечки по поверхности в землю.

9.2 Измерение полного тока /течки

Полный ток утечки зависит, главным образом, от емкостного тока, поскольку активная составляющая намного меньше емкостной составляющей тока. Кроме того, емкостная и активная составляющие тока отличаются по фазе на 90°: следовательно, требуется большой рост активного тока нелинейных металлооксидных резисторов перед тем. как мо-жет быть отмечено значительное изменение в уровне полного тока утечки. Кроме того, полный ток утечки чувствителен к местоположению, поскольку емкостный ток зависит от паразитных емкостей.

Оперативный режим измерения полного тока утечки широко используют на практике посредством применения обычных миллиамперметров, встроенных е счетчики импульсов или переносные приборы, показывающие действующее, среднее или максимальное знамен ие полного тока утечки.

Чувствительность действующего, среднего или максимального значения полного тока утечки к изменениям в активном токе иллюстрируется рисунком 8. Низкая чувствительность к изменениям в уровне активного тока утечки позволяет использовать измерение полного тока утечки в качестве диагностического индикатора только в редких случаях, когда активный ток находится в том же диапазоне, что и емкостный ток.

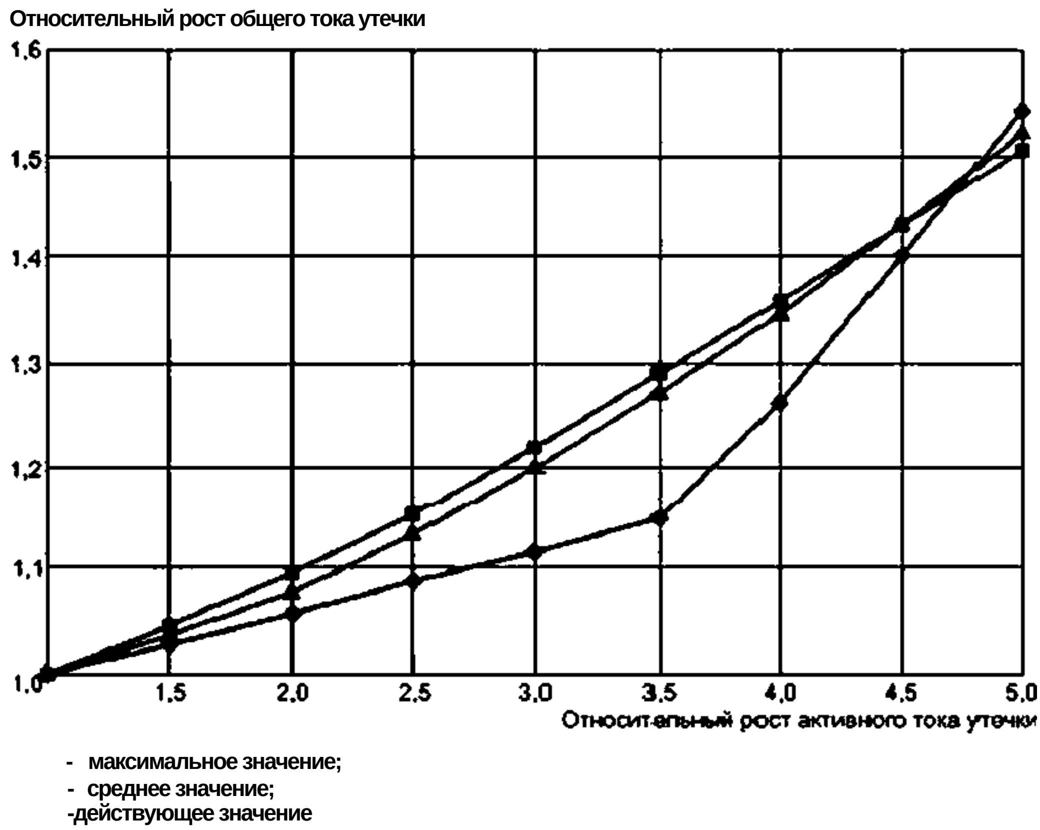


Рисунок 8 — Влияние роста активного тона утечки на рост полного тока утечки

9.3 Измерение активного тока утечки или мощности потерь

Активная часть тока утечки или мощность потерь может быть определена использованием нескольких методов. Могут быть уста новлекы три основных метода, разделенных на различные группы.

Метод А: Непосредственное измерение активного тока утечки. Этот метод может быть подразделен на четыре группы в зависимости от способа выделения активной составляющей тока утечки:

А1 Использование напряжения в качестве эталона.

А2 Компенсация емкостной составляющей тока утечки путем использования напряжения в качестве сигнала.

А3 Компенсация емкостной составляющей тока утечки без использования напряжения в качестве сигнала.

А4 Компенсация емкостных составляющих тока утечки путем комбинации токов трех фаз.

Метод Б: Косвенное определение активной составляющей посредством гармонического анализа тока утечки. Этот метод может быть подразделен на три группы:

Б1 Анализ третьей по порядку гармоники тока утечки.

Б2 Анализ третьей по порядку гармоники с компенсацией гармоник в напряжении сети.

Б3 Анализ первой по порядку гармоники тока утечки.

Метод В: Непосредственное определение мощности потерь.

9.3.1 Метод А1. Использование напряжения в качестве эталона

Метод основан на использовании эталонного сигнала, представляющего собой напряжение, приложенное к ОПН. Эталонный сигнал может быть использован для прямою считывания активной составляющей тока утечки в момент, когда значение напряжения равно своему максимальному значению (d&ttif - 0). Напряжение и уровень активного тока могут быть считаны с осциллографа или подобного устройства. Этот метод, как правило, используют в лаборатории для точного определения активного тока, поскольку эталонный сигнал легко получают с делителя напряжения, имеющего достаточно незначительный сдвиг по фазе (см. рисунок4).

На практике точность лимитируется главным образом сдвигом по фазе эталонного сигнала и отклонениями в амплитуде и фазе напряжения, приложенного к нелинейным металлооксидным резисторам у заземляемого конца ОПН. как это указано в 9.1.6.1.2. Наличие гармоник в напряжении может, кроме того, снизить точность метода.

Ограничение, накладываемое на применение данного метода для измерений в эксплуатации, заключается в необходимости эталонного сигнала. Необходимо и может представлять собой сложность временное присоединение ко вторичной стороне трансформатора напряжения или к ем костному выводу проходного изолятора. Емкостные токи, наведенные в земляном проводе ОПН соседними фазами, могут уменьшить точность измерений в эксплуатации, как это указано в 9.1.6.1.2.

9.3.2 Метод А2. Компенсация емкостной составляющей путем использования напряжения в качестве сигнала

Чувствительность при измерении активной части может быть дополнительно повышена путем использования напряжения в качестве сигнала для компенсации емкостной составляющей тока утечки. Основной принцип основан на применении моста высокого напряжения, емкостно-активное плечо которого должно быть регулируемым. Это позволяет сбалансировать емкостную составляющую тока утечки так. что выходное напряжение зависит только от нелинейной активной составляющей и может быть изучено с помощью осциллографа.

Балансировку моста прекращают, когда напряжение близко к нулю, а емкостный ток имеет максимальное значение. Поскольку дифференциальная емкость ОПН зависит от напряжения (емкость увеличивается с напряжением), в то время как емкость моста постоянна, остающийся после компенсации ток включает в себя не только активную составляющую, но также и емкостную часть (см. рисунок 9). Как и для метода А1. истинная активная составляющая может быть считана в тот момент, когда значение напряжения равно своему максимальному значению.

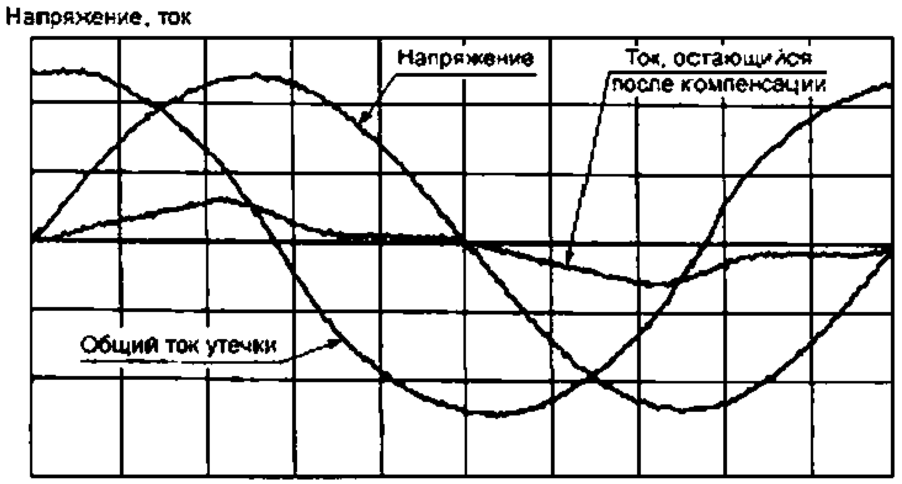


Рисунок 9 — Ток. остающийся после компенсации емкостного тока, при $1/_{ир}$

9.3.3 Метод А3. Компенсация емкостной составляющей без использования напряжения в качестве сигнала

Это метод компенсации, согласно которому необходимость в сигнале нал ряжения отсутствует. Основной принцип заключается в том. что эталонный сигнал основной частоты создается искусственно посредством информации, извлеченной из тока утечки. Путем соответствующего регулирования амплитуды и фазового угла, которое может быть проведено автоматически или при использовании осциллографа, может быть создан эталонный сигнал для компенсации емкостной составляющей тока утечки. Метод может быть осуществлен с различными степенями сложности.

Метод может быть без затруднений применен для измерений в эксплуатации. Потенциальная проблема заключается в наличии в напряжении гармоник, вызывающих гармонические емкостные токи, которые могут служить помехой активной составляющей. Кроме того, компенсирующий сигнал представляет ток в линейной емкости, которая заключает в себе ту же самую проблему точности, как и в методе А2. Сдвиги фаз в напряжениях и токах, вызванные соседними фазами, могут снизить точность, как и в методах А1 и А2.

9.3.4 Метод А4. Емкостная компенсация путем комбинации токов утечки трех фаз

Метод основан на предположении, что емкостные токи исчезают, если токи утечки ОПН в трех фазах суммируются. Результирующий ток состоит из гармоник активных токов трех фаз. поскольку основные составляющие также исчезают, пока они равны по амплитуде. Если происходит увеличение активного тока любого из ОПН при постоянстве емкостных токов, рост будет п роявляться е суммарном токе. Эталонный сигнал напряжения не требуется.

Во время измерений при эксплуатации основной недостаток метода состоит атом, что емкостные токи трех фаз. как правило, не равны. Только хорошо отрегулированные пространственные формы, такие как ОПН е гаэоизолированном коммутирующем устройстве, объединенном с равными емкостями ОПН. обеспечивают необходимую симметрию. Другой недостаток заключается во влиянии гармоник в напряжении сети, вызывающих гармоники в суммарном токе.

9.3.5 Метод Б1. Анализ третьей по порядку гармоники

Метод основан на том. что гармоники создаются в токе утечки нелинейной еольтамперной характеристикой ОПН. Никакого эталонного кап ряжения не требуется, поскольку предполагается, что все га рмоники появляются из нелинейного активного тока. Содержание гармоник зависит от амплитуды активного тока и степени нелинейности еольтамперной характеристики, т. е. гармонический состав изменяется е зависимости от напряжения и температуры ОПН, как показано для третьей по порядку гармоники на рисунках 6 и 7.

Третья гармоника, как наибольшая гармоническая составляющая активною тока, наиболее часто ис* ноньзуысн дли диш нос 1ических измерений. Переходсн і армоники к уровнюшипинти кжа. если ipeCyeiся. осуществляется на основе информации, п редоставляемой изготовителем ОПН или получаемой в результате измерений в лаборатории.

Метод может быть широко использован для измерений в эксплуатации. Основная проблема заключается в чувствительности к гармоникам а напряжении сети. Гармоники а напряжении могут создавать емкостные гармонические токи, которые по значению сравнимы с гармоническими токами, генерируемыми нелинейным сопротивлением ОПН. Как результат, ошибка е измеренном гармоническом токе может быть значительной при высоком содержании гармоник в напряжении. Это видно на рисунке 10. где ошибка е оценке третьей гармоники в токе утечки представлена как функция от содержания третьей гармоники е напряжении сети. Рисунок отражает влияние различных вольтамперных характеристик и емкостей, также как и влияние фазового угла третьей гармоники напряжения.

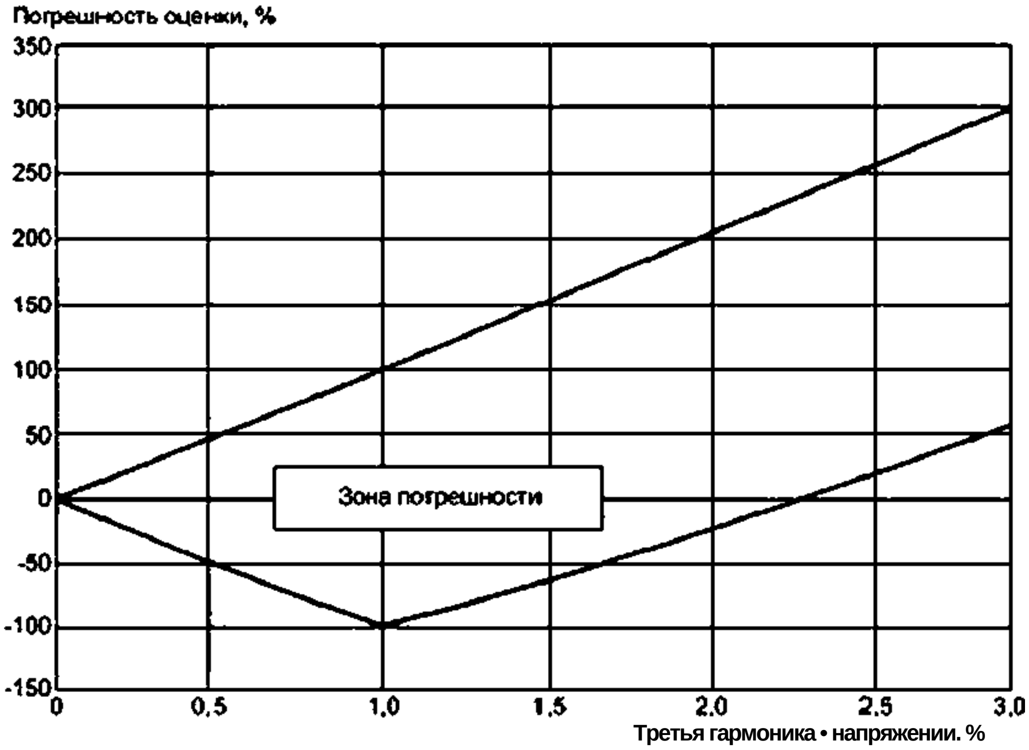


Рисунок 10 — Ошибка в оценке третьей гармоники тока утечки для различных фазовых углов третьей гармоники напряжения сети при учете различных емкостей и еольтамлврных характеристик нелинейных металлооксидных резисторов

9.3.6 Метод Б2. Анализ третьей по порядку гармоники с компенсацией гармоник в напряжении

Метод основан на том же самом принципе, что и метод Б1. но чувствительность к гармоникам е кап ряжении значительно снижена введением для третьей гармоники емкостного тока е ОПН компенсирующего ток сигнала. получаемого от «пробника поля», расположенного в основании ОПН. После соответствующего масштабирования гармонический ток. наведенный в пробнике электрическим полем, выделяется из потюго гармонического тока, в результате чего лолеллотсл гармонический ток. генерируемый нелинейным активным током ОПН. Превращение третьей гармоники в активный ток требует дополнительной информации от изготовителя ОПН, как и в методе Б1. Метод пригоден для измерений в эксплуатации.

9.3.7 Метод БЗ. Анализ первой по порядку гармоники

Основная составляющая активного тока, получаемая фильтрованием и интегрирова кием тока утечки, выдает сигнал, пропорциональный активной составляющей.

Влияние гармоник в напряжении сети во время измерений при эксплуатации практически исключается использованием только основных составляющих напряжения и тока. Основной недостаток метода состоит в необходимости сигнала напряжения, получаемого, например, со вторичной стороны трансформатора напряжения. Точность зависит от углов фаз напряжений и токое. также как и для методов А1—АЗ.

9.3.8 Метод В. Непосредственное определение мощности потерь

Мощность потерь представляет собой интеграл произведения мгновенных значений напряжения и тока утечки, деленного на значение времени. Мощность потерь может быть выражена в терминах произведения действующего значения активной составляющей тока утечки и действующего значения напряжения . приложенного к ОПН. Влияние гармоник в напряжении значительно снижается применением процедур умножения и интегрирования. Основной недостаток состоит в необходимости сигнала напряжения. Как и в методах А1 —АЗ. точ ность во время измерений е эксплуатации может быть ограничена углами фаз напряжений и токов, вызываемых соседними фазами.

9.4 Информация о токе утечки от изготовителя нелинейных ограничителей перенапряжений

Результаты измерений тока утечки могут быть сопоставлены с информацией, предоставляемой изготовителем ОПН. Для использования этой информации важно, чтобы были известны рабочее напряжение и температура окружающей среды во время измерений.

Для эффективного использования диагностических методов, описанных выше, изготовитель ОПН может предоставить информацию относительно различных методов. Информация может включать в себя данные, относящиеся к активному току, третьей гармонике тока и мощности потерь для ОПН каждого типа как функции напряжения и температуры.

Для практического использования зависимость от напряжения может быть выражена как функция рабочего напряжения, делетого на $U_„$. Информация, предпочтительно, должка охватывать рабочие напряжения от 0,40 U_M до 0.90 $U_„$. Активный ток и ток третьей гармоники должны быть представлены как максимальные значения, в то ерем я как мощность потерь должна быть выражена как удельное значение, основанное на номинальном напряжении.

Зависимость от температуры должна быть представлена как функция температуры окружающей среды с учетом точной температуры перегрева резисторов, поскольку отсутствует какая-либо возможность получить реальную температуру резисторов во время измерений в эксплуатации. Диапазон температуры окружающей среды предпочтительно должен быть от минус 10°С до плюс 40 °С.

Примечание — Реальная температура резисторов может быть выше, чем нормальная, из-за солнечной радиации, поглощенной энергии и т. п.

Два различных вида информации от изготовителя ОПН представляют основной интерес при оценке результатов измерений.

Во-первых, это информация для сравнения результатов, полученных при различных условиях работы. выраженных в терминах рабочего напряжения и температуры окружающей среды. Путем при ведения измеренных значений к набору «стандартных*» рабочих условий, например при рабочем напряжении 0.70 $U_„$ и температуре окружающей среды +20 °С. возможно сравнение результатов измерений, полученных при различных условиях. Информация от изготовителя может быть также представлена в виде корректирующих множителей, как указано на рисунках 11 и 12.

Во-вторых, изготовитель ОПН может представить пределы для измеряемых величин после приведения к «стандартным» рабочим условиям, какописано выше. В случае превышения этих пределов следует проконсультироваться у изготовителя. Пределы могут быть заданы в виде абсолютных значений и/или относительных изменений со временем.

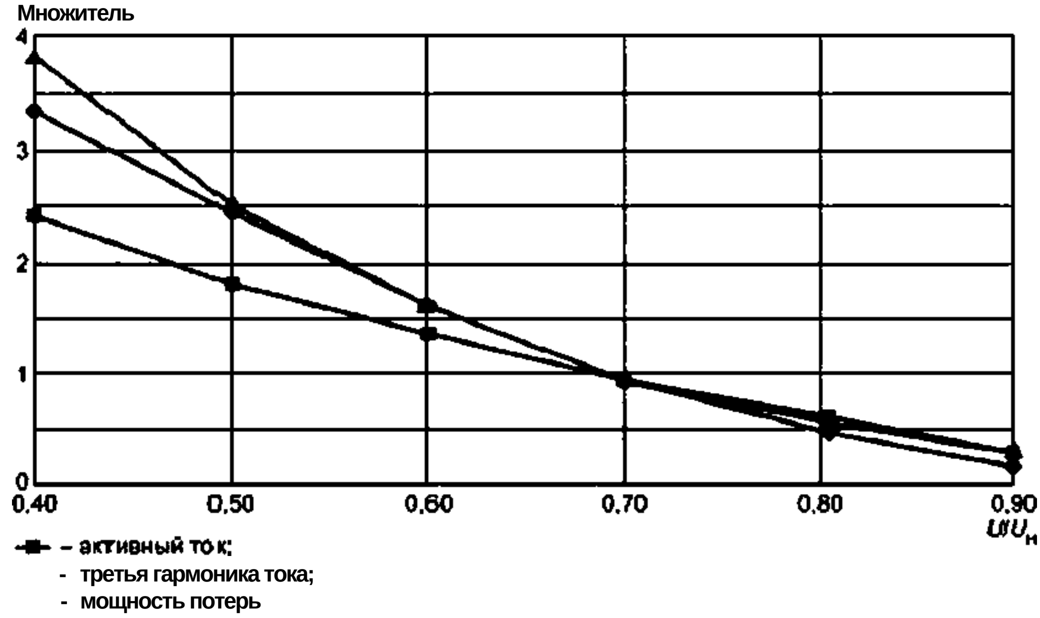


Рисунок 11 — Типичная тформация для приведения к условиям «стандартного» рабочего напряжения

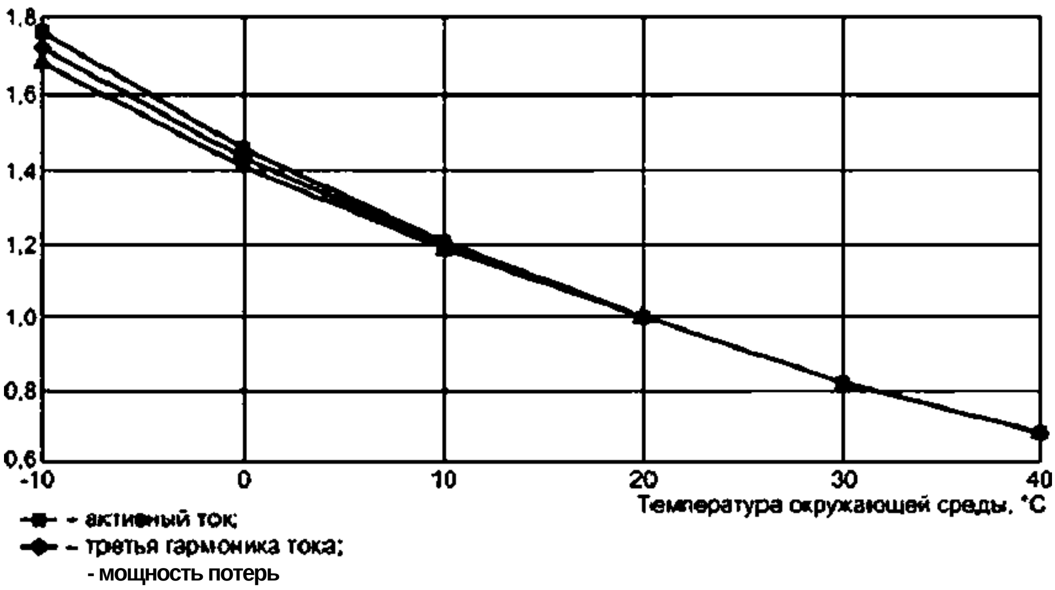


Рисунок 12 — Тигмчная информация для приведения к условиям «стандартной» температуры окружающей среды

Примечания

1 Вследствие сложности методов измерений рекомендуется консультироваться с изготовителем, чтобы предотвратить неверное истолкование результатов измерений.

2 На определение значений третьей гармоники тока могут повлиять гармоники в лабораторном испытательном напряжении. Поэтому следует учесть требования к испытатегьному оборудованию.

9.5 Обобщение диагностических методов

Опыт применения различных диагностических методов представлен е таблице 4.

Таблица 4 — Обобщение диагностических методов

Диагностический метод	Условие применения		Опыт эксплуатации
	Автономное	Неавтономное	
Индикатор повреждения		X	■Ограниченный
Отделитель		X	Обширный*'
Счетчик импульсов		X	Обширный
Искровой промежуток для мониторинга	X	X	Обширный[6']
Измерение температуры		X	Ограниченный
Измерение тока утечки при использовании:			
• отдельного источника напряжения	X		См. таблицу 5
• рабочего напряжения		X	См. таблицу 5

[в)] С ОПН среднего напряжения.

[В)] В отдельных странах.

Т а б л и ц а 5 — Характеристика методов измерения тока утечки на месте эксплуатации

Метод измерение тока утечки	Обозначение метода	Чу остоитвпьмость			Диагностическая эффективность		Опыт эксплуатации
		к гармоникам в напряжении	« фазовому углу при измерении напряжения или тока	к токах по поверхности	Качество информации	Сложность применения	
Отдельный источник напряжения постоянного тока		Н.п.	Н. п.	Высокая	Высокое	Высокая	Ограниченный
Эксплуатационное напряжение или отдегъный источник напряжения переменного тока							
Измерение полного тоже утечки		Низкая	Низкая	Средняя	Низков	Низкая	Обширный
Измерение активного тока утечки при использовании:							
• эталонного напряжения	А1	С редняя	Высокая	Высокая	Среднее	Высокая	Ограниченный
• емкостной компенсации	А2	Средняя	Высокая	Высокая	Среднее	Высокая	Ограниченный
- искусственной компенсации	А3	Средняя	Высокая	Высокая	Среднее	Низкая	О. и. п.
- исключения емкостного тока	АА	Высокая	Высокая	Высокая	Низков	Низкая	Ограниченный
Гармонический анализ тока утечки при использовании:							
- третьей гармоники	Б1	Высокая	Низкая	Низкая	Среднее	Низкая	Обширный
- третьей гармоники с компенсацией	Б2	Низкая	Низкая	Низкая	Высокое	Средняя	Обширный
• первой по порядку гармоники	БЗ	Низкая	Высокая	Высокая	Среднее	Высокая	Ограниченный
Измерение мощности потерь	В	Низкая	Высокая	Высокая	Среднее	Высокая	О. и. п.

П р и м е ч а н и е — Н.п. — не применимо: О. и. п. — отсутствует информация о применении.

Приложение А
(рекомендуемое)

Определение кваэистациомарных перенапряжений вследствие замыканий на землю

Коэффициент замыкания на землю [см. *ДА. 15 (приложение ДА)\ к* рассчитывают, используя полные сопротивления систем положительной *Z,,* отрицательной Z_2 и нулевой Zo последовательностей, а также сопротивление замыкания *R.* Используют следующее:

Z,-Z_2 - + /X,: активное и реактивное сопротивления систем положительной и отрицательной последовательностей:

Zo = Ro + /X_0: активное и реактивное сопротивление системы нулевой последовательности.

Коэффициенты замыкания на землю рассчитывают для места замыкания.

Примечание — В протяженных сетях с резонансным заземлением нейтрали коэффициент замыкания на землю в других местах может быть выше, чем в месте замыкания.

Рисунок А.1 показывает предельный случай, когда /?-, « X* и *R* » 0.

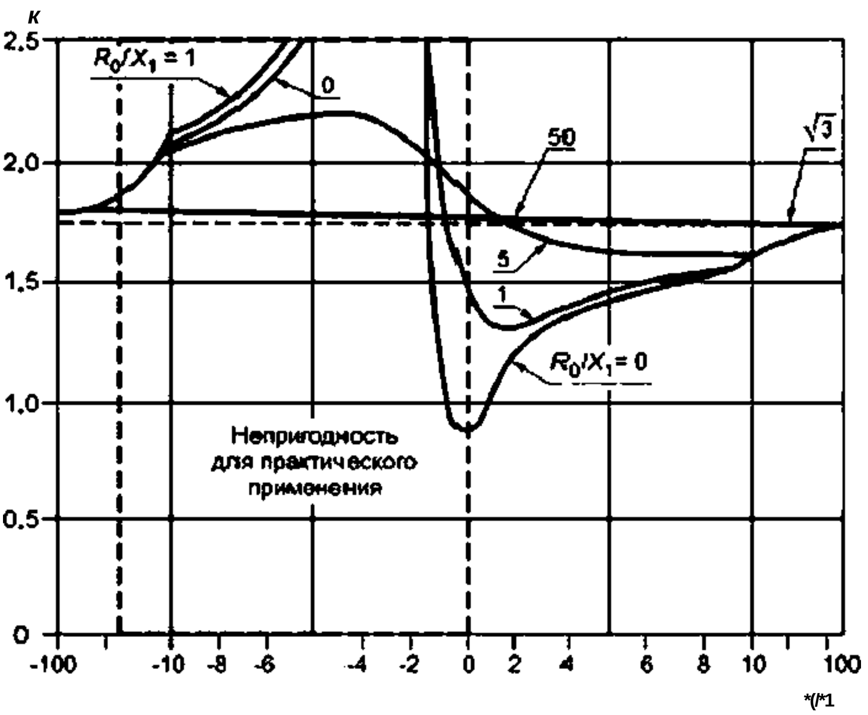


Рисунок А.1 — Коэффициент замыкания на землю *к* на основе X_0 /X,
для R, / X, » *R* ■ O

Диапазон высоких значений для Xo / X,. положительных и/или отрицательных, применяют к системам с резонансно-заземленными или изолированными нейтралями.

Диапазон низких значений положительных Xo / X, действителен для систем с заземленными нейтралями.

Диапазон низких значений отрицательных Xo/X,. ограниченный на рисунке А.1 штрихованными линиями . не пригоден для практического применения из-за резонансных условий.

Для систем с заземленными нейтралями рисунки А.2 — А. 5 показывают коэффициенты замыкания на землю как семейства кривых, применяемых к частным значениям Р, / X,.

Кривые разделены на участки, представляющие собой наиболее критические условия, следующими способами изображения:

--------- - максимагъное напряжение, наблюдаемое во время замыкания фаза — земля на фазе, которая опережает поврежденную фазу:

.... -максимаге>ное напряжение, наблюдаемое во время замыкания фаза — земля на фазе, которая отстает от поврежденной фазы;

------- -максимаге>ное напряжение, наблюдаемое во время замыкания фаза—земля на неповрежденных фазах.

Кривые действительны для значений сопротивления заземления с наибольшими коэффициентами замыкания на землю.

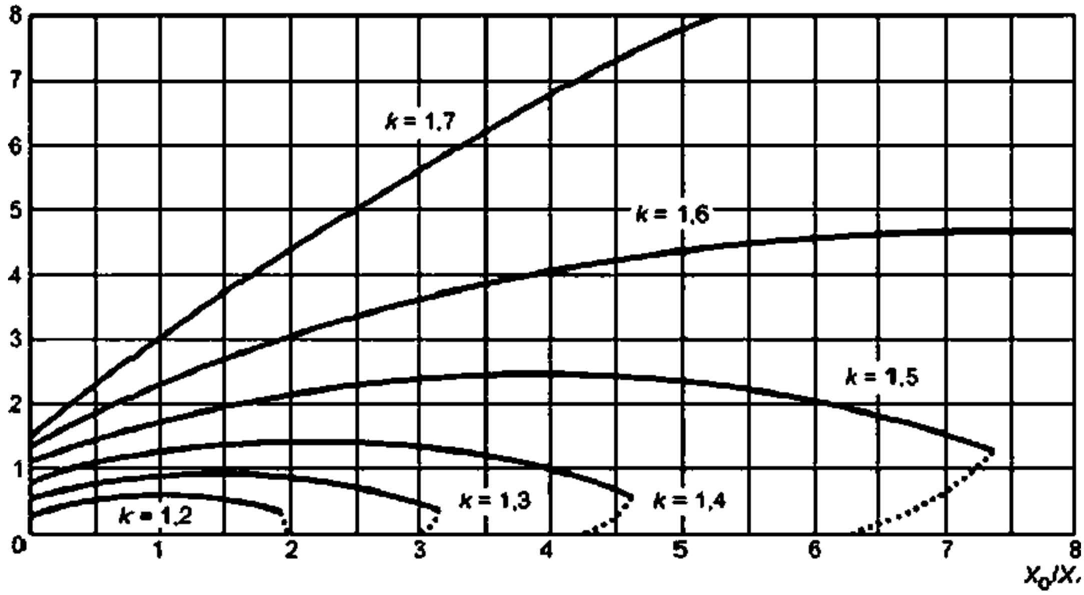


Рисунок А.2 — Соотношение между /?$_0$ / X, и X_0 / X, для постоянных значений коэффициента замыкания на землю Я. где R, = 0

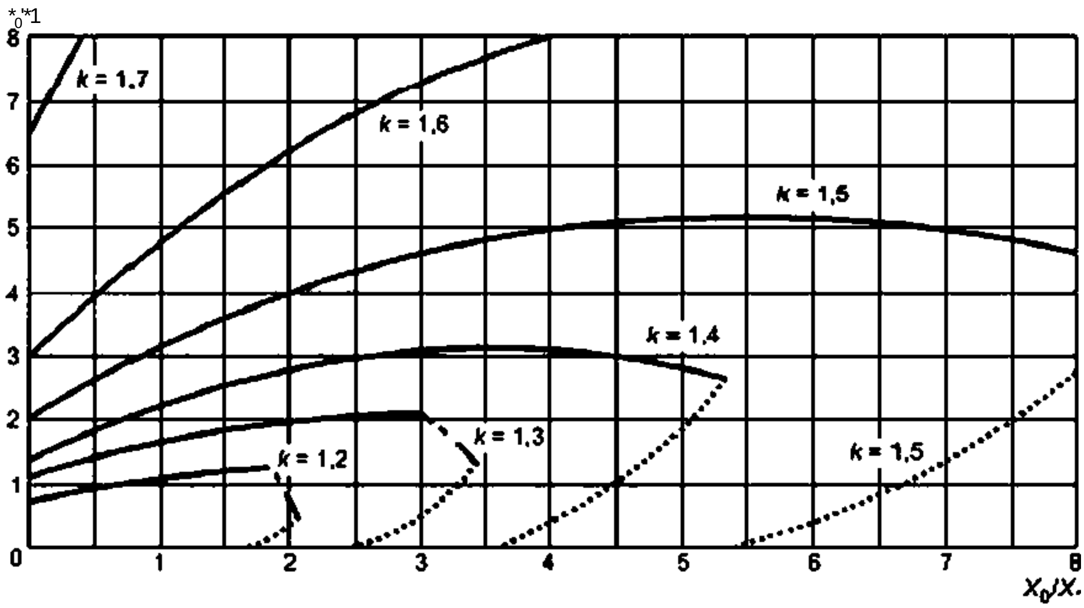


Рисунок А.Э — Соотношение между *Rq tX,* и Xo / X, для постоянных значений коэффициента замыкания на землю *к.* где *R*\ = $0.5X_1$

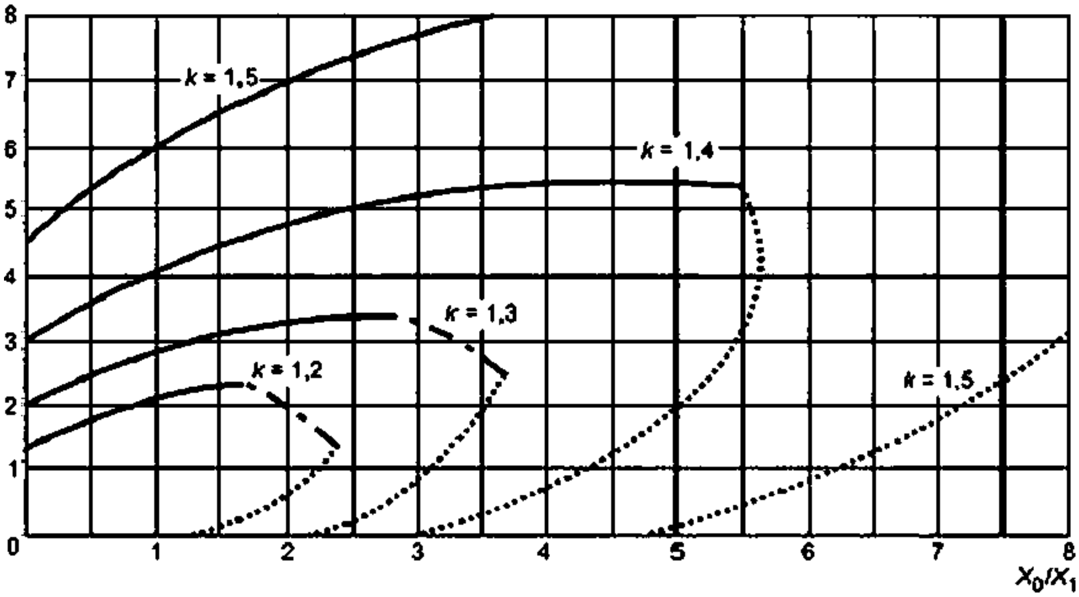


Рисунок А.4 — Соотношение между R_0 / JC, и Xo / X, для постоянных значений коэффициента замыкания на землю *к.* где f?$_t$ = *X*

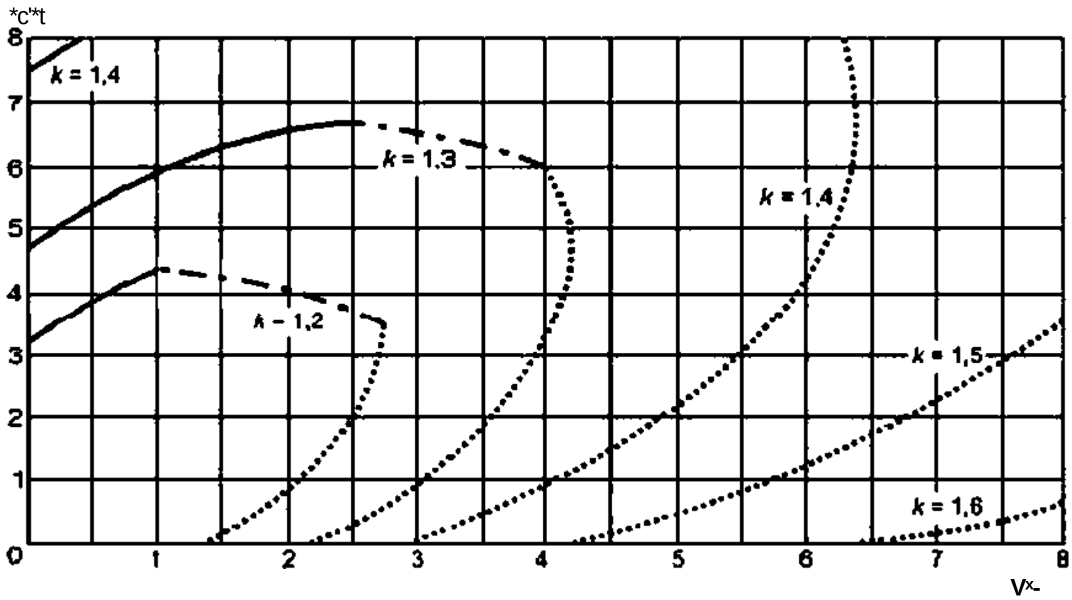


Рисунок А.5 — Соотношение между /?o ^ X$_ч$ и Xo / X, для постоянных значений коэффициента замыкания на землю *к.* где R, = 2X,

Приложение ДА
(рекомендуемое)

Термины и определения МЭК 60071 -1:2006. используемые в настоящем стандарте

(Настоящее приложение заменяет ссылки не международный стандарт МЭК 60071-1:2006, не принятый в качестве национального стандарта Российской Федерации.)

В МЭК 60071-1 приняты следующие термины с соответствующими определениями:

ДА.1 координация изоляции (insulation co-ordination): Выбор электрической прочности оборудования относительно рабочих напряжений и перенапряжений, возможных в системе, для которой предназначено эго электрооборудование, с учетом условий эксплуатации и характеристик имеющихся защитных устройств.

Примечание — Электрическая прочность оборудования означает его нормированный или его стандартный уровень изоляции, *как это* определено в ДА.13 и ДА. 14 соответственно.

ДА.2 Классификация напряжений и перенапряжений

В зависимости от формы и длительности напряжения и перенапряжения подразделяют на следующие классы.

ДА.2.1 длительное (промышленной частоты) напряжение (continuous (power frequency) voltage): Напряжение промышленной частоты с практически постоянным действующим значением, длительно приложенное *к* любой паре выводов.

ДА.2.2 квазистационарное перенапряжение: КПН (temporary overvoltage): Перенапряжение промышленной частоты относительно большой длительности.

Примечание — Это перенапряжение может быть незатухающим или слабо затухающим. В некоторых случаях его частота может быть в несколько раз меньше или больше, чем промышленная частота.

ДА.2.3 перенапряжение переходного процесса (transient overvoltage): Перенапряжение короткой длительности (несколько миллисекунд или менее), колебательное или апериодическое, как правило, сильно затухающее.

Примечание — После кратковременных перенапряжений могут сразу же следовать квазисгационарные перенапряжения. В таких случаях эти два перенапряжения рассматривают как отдельные процессы.

Перенапряжения переходного процесса подразделяют следующим образом:

• перенапряжение с пологим фронтом; ППФ (slow-front overvoltage): Перенапряжение переходного процесса. как правило, униполярное, с временем подъема 7, более 20 мкс. но не более 5000 мкс и временем до полуспада T_2 не более 20 мс.

• перенапряжение с крутым фронтом: ПКФ (fast-front overvoltage): Пеоенапряжекие переходного процесса. как правило, униполярное, с временем подъема Г, более 0.1 мкс. но не более 20 мкс и временем до полуспада T_2 менее 300 мкс:

- перенапряжение с очень крутым фронтом: ПОКФ {very-fast-front overvoltage): Кратковременное перенапряжение. как правило, униполярное, с временем подьема Г, не более 0.1 мкс. общей длительностью менее 3 мс и с наложенными колебаниями частотой *f* более 30 кГц, но менее 100 МГц. или без них:

• комбинированное перенапряжение (combined overvoltage): Перенапряжение, включающее е себя две составляющие, одновременно приложенные между каждым из фазных выводов междуфазной (или продольной) изоляции и землей и классифицированное составляющей с наибольшим максимальным значением {квазистационарное. с пологим фронтом. с крутым фронтом, с очень крутым фронтом).

ДА.3 представительные перенапряжения If_{np} (representative overvoltages): Перенапряжения, которые оказывают практически такое же воздействие на изоляцию, как и перенапряжения соответствующего класса, возникающие в эксплуатации по разным причинам, и которые состоят из напряжений со стандартной формой этого класса и могут быть определены одним значением или рядом значений, или частотным распределением значений, характеризующим условия эксплуатации.

Примечание — Это определение применимо также к длительному напряжению промышленной частоты, представляющему воздействие напряжения на изоляцию в эксплуатации.

ДА.4 защитный уровень при грозовом (или коммутационном) импульсе: (*I*„(или U_M) (lightning (or switching) impulse protective level): Максимальное значение напряжения на зажимах защитного устройства при приложении к нему грозового {коммутационного} импульса в нормированных условиях.

ДА.5 критерий надежности (perfomance criterion): Показатель, по которому выбирают изоляцию а целях снижения до экономически и технически приемлемого уровня вероятности того, что воздействия напряжения на электрооборудование вызовут повреждение его изоляции или повлияют на продолжительность его эксплуатации, и который, как правило, выражают в терминах допустимой нормы повреждений (число повреждений в год. число лет между повреждениями, риск повреждения и т. д.).

ДА.6 выдерживаемое напряжение (withstand voltage): Испытатепькое напряжение, приложенное в нормированных условиях соответствующего испытания, во время которого допускается нормированное число завершенных разрядов.

Выдерживаемое напряжение обозначают как:

•общепринятое выдерживаемое напряжение (conventional assumed withstand voltage), когда допускаемое число завершенных разряде» равно нулю. Считают, что оно соответствует вероятности выдерживания $P_{,,}$= 100 %;

• статистическое выдерживаемое напряжение (statistical withstand voltage), когда допускаемое число завершенных разряде» связано с установленной вероятностью выдерживания. В соответствии с настоящим стандартом установленная вероятность $P_{в}$= 90

Примечание — В настоящем стандарте для несамоаосстанзвливающвйся изоляции установлены общепринятые выдерживаемые напряжения, а для самоеоссганавливающейся изоляции — статистические выдерживаемые напряжения.

ДА.7 координационное выдерживаемое напряжение: $u_{ы}$ (co-ordination withstand voltage): Выдерживаемое напряжение изоляции, значение которого для каждого класса напряжения в реальных условиях эксплуатации удовлетворяет критерию надежности.

ДА.8 коэффициент координации; К* (co-ordination factor): Коэффициент, на который должно быть умножено значение представительного напряжения, чтобы получить значение координационного выдерживаемого напряжения.

ДА.9 требуемое выдерживаемое напряжение: (/„ (required withstand voltage): Испытательное напряжение. которое изоляция должна выдерживать при стандартном испытании на выдерживание (с учетом всех условий его- проведения) с целью подтвердить ее соответствие критерию надежности при воздействии перенапряжений данного класса в реальных условиях эксплуатации и в течение всего срока службы.

Примечание — Требуемое выдерживаемое напряжение имеет форму координационного выдерживаемого напряжения.

ДА. 10 коэффициент запаса; К, (safety factor): Суммарный коэффициент, применяемый к координационному выдерживаемому напряжению после учета поправки на атмоосферные условия (если требуется), а также учета всех других различий в электрической прочности е условиях эксплуатации во время срока службы и в условиях испытания стандартным выдерживаемым напряжением с целью получить требуемое выдерживаемое напряжение.

ДА11 нормированное выдерживаемое напряжение (rated withstand voltage): Значение испытательного напряжения, приложенного во время испытания стандартным выдерживаемым напряжением, показывающее, что изоляция удовлетворяет одному или большему числу требуемых выдерживаемых напряжений, и представляющее собой нормированное значение для изоляции оборудования.

ДА12 стандартное нормированное выдерживаемое напряжение; V. (standard rated withstand voltaae): Стандартное значение нормированного выдерживаемого напряжения, как это установлено а настоящем стандарте.

ДА.1Э нормированный уровень изоляции (rated insulation level): Ряд нормированных выдерживаемых напряжений, которые характеризуют электрическую прочность изоляции.

ДА. 14 стандартный уровень изоляции (standard insulation level): Ряд стандартных нормированных выдерживаемых напряжений, которые связаны со значением наибольшего напряжения оборудования, как это установлено 8 таблицах 2 и 3 настоящего стандарта.

ДА15 коэффициент замыкания на землю; А (earth fault factor): Коэффициент, представляющий собой отношение наибольшего действующего значения фазного напряжения промышленном частоты на неповрежденной фазе во время замыкания на землю, поражающего одну фазу или большее чтсло фаз в какой-либо точке сети, к действующему значению фазного напряжения промышленной частоты, которое было бы получено в данном месте при отсутствии такого замыкания при данном расположении трехфазной системы и для данной ее схемы.

Приложение ДБ
(рекомендуемое)

**Положения МЭК 60071-2:1996,
используемые в настоящем стандарте**

(Настоящее приложение заменяет ссылки на международный стандарт МЭК 60071-2:1996. не принятый в качестве национального стандарта Российской Федерации.)

ДБ.1 Загрязнение

В случае, когда загрязнение определяет собой реакцию внешней изоляции на напряжения промышленной частоты, оно становится важным фактором, от которого зависит конструкция внешней изоляции. Перекрытие изоляции возможно, когда поверхность загрязняется и смачивается моросящим дождем, снегом, росой или туманом без значительного смывающего эффекта.

Для целей стандартизации установлены четыре квалификационные *степени* загрязнения. В таблице ДБ.1 для каждой квалификационной степени загрязнения представлено описание некоторых признаков соответствующей типичной окружающей среды. Изоляторы должны длительно выдерживать наибольшее рабочее напряжение сети в условиях загрязнения с приемлемым риском первфыгия. Координационные выдерживаемые напряжения должны быть равны представительным перенапряжениям, а критерий надежности должен быть установлен путем выбора соответствующей выдерживаемой *степени* загрязнения согласно степени загрязнения местности.

Т а б л и ц а ДБ.1 — Рекомендованные длины пути утечки

С *топонь* загрязне-ний	Прыысрная характеристика типичной окружающей среди	Наименьшая номиналь-ная удельная длина пути утечки, ым/кв"
1 Легкая	Районы без предприятий промышленности и с низкой плотностью жилых зданий, оборудованных отопительными установками: • районы с низкой плотностью предприятий промышленности или жилых зданий, но подверженные воздействию частых ветров и/или дождей: • сельскохозяйственные районы[21]; • горные районы. — должны быть расположены, по крайней мере, на расстоянии от 10 до 20 км от морского побережья и не> должны быть подвержены дейсгвюю ветров, дующих непосредственно с моря[3']	16.0
1 Средняя	Районы с предприятиями промышленности, практически не выделяющими загрязняющего дыма, и/или средней плотностью жилых зданий, оборудованных отопительными установками: • районы с высокой плотностью жилых зданий и/или предприятий промышленности, но подверженные воздействию частых ветров и/или дождей: • районы, подверженные действию ветров, дующих с моря, ноне слишком близкие к побережью (по крайней мере, на расстоянии нескольких километров)[31]	20.0
III Сильная	Районы с высокой плотностью предприятий промышленности и пригороды больших городе» с высокой плотностью отопительных установок, выделяющих загрязнения: • районы, близкие к морскому побережью и. в любом случае, подверженные воздействию весьма сильных ветров с моря[3']	25.0
IV Очень сильная	Районы, как правило, умеренной протяженности, подверженные воздействию проводящей пыли и промышленного дыма, оставляющего чрезвычайно тонкий проводящий осадок: • районы, как правило, умеренной протяженности, очень близко расположенные к морскому побережью и подверженные воздействию морских брызг или очень сильных и загрязняющих ветров с моря:	31.0

Окончание таблицы *ДБ. 1*

С *тепонь* загрязне-ния	Примерная характеристика типичной офужающей среды	Наименьшая номиналь-ная удельная длина пути утечки. ым/кВ[1]
(V Очень сильная	- пустынные районы, характеризующиеся отсутствием дождей в течение длительных периодов, подверженные действию сильных ветров, несущих песок и соль, и подверженные регулярной конденсации влаги	

[1] Согласно МЭК 60815 наименьшая длина пути утечки изоляторов между фазой и землей, отнесенная к наибольшему междуфазному рабочему напряжению сети.

[2] Использование удобрений путем распыления или золы от сжигания сельскохозяйственных культур может привести к более высокому уровню загрязнения из-за рассеивания под действием ветра.

[3] Расстояния от морского побережья зависят от топографии прибрежного района и от экстремальных ветровых условий.

Примечание — Эту таблицу следует применять только к стекля иной и фарфоровой изоляции и не распространять на некоторые ситуации 8 окружающей среде, такие как снег и лед при сильном загрязнении, сильном дожде, в засушливых районах и т. д.

Длительно приложенное координационное выдерживаемое напряжение промышленной частоты должно соответствовать наибольшему рабочему напряжению сети для междуфазных изоляторов, а это значение, деленное на ^Гз ■ — для фазных изоляторов.

Изоляторы разных типов и даже изоляторы одною и того же типа, но в разных положениях могут аккумулировать загрязнения с разной скоростью в одной и той же окружающей среде, а для одной и той же степени загрязнения могут иметь разные характеристики перекрытия. Кроме того, вследствие вариации в природе загрязняющего агента одни формы изоляторов могут быть бопве эффективными, чем другие. Таким образом, для целей координации *степень* загрязнения следовало бы определять для каждого типа используемого изолятора.

В случае местностей с высокой *степенью* загрязнения можег быть рассмотрена счистка или обмыв изолирующих поверхностей.

Примечание — Раздел ДБ.1 заменяет ссылку на МЭК 60071-2 в части подпункта 3.3.1.1.

ДБ.2 Перенапряжения при включении и повторном включении линии

Включение и повторное включение трехфазной линии вызывают коммутационные перенапряжения на всех трех фазах линии, причем каждая коммутационная операция вызывает три фазных и. соответственно, три междуфазных перенапряжения.

Амплитуды перенапряжений при включении линии зависят от некоторых факторов, в том числе от типа силового выключателя (путем предварительного замыкания резистора или без него), натуральной мощности или мощности короткого замыкания на шинах, от которых включается линия, натуральной мощности используемой компенсации и длины включаемой линии, характеристики конца линии (открытый, с трансформатором, с разрядником) и т. д.

Трехфазное автоматическое повторное включение может генерировать высокие перенапряжения с пологим фронтом из-за оставшихся зарядов на повторно включаемой линии. Во время повторного включения амплитуда перенапряжения на линии (из-за оставшегося заряда) может быть тем выше, чем выше максимум хвазисгационарного перенапряжения. Разряд этого оставшегося заряда зависит от оборудования, остающегося подключенным к линии, от поверхностной проводимости изоляторов или от условий, способствующих поддержанию короны на проводах, от паузы до момента повторного включения.

В нормальных сетях однофазное повторное включение не дает перенапряжений выше, чем плановое включение. Однако для линий со значительными резонансными эффектами или эффектом Ферранти однофазное повторное включение может вызвать более высоте перенапряжения, чем трехфазное включение.

Достоверное распределение вероятности амплитуд перенапряжений может быть получено только путем точного воспроизведения коммутационных операций и численных расчетов, с помощью анагызаторов переходных процессов и т. а. а типичные значения, такие как показаны в таблицах ДБ.2 и ДБ.3. следует рассматривать только в качестве приблизительного руководства. Все приведенные значения относятся к перенапряжениям на открытом конце линии (принимающий конец). Перенапряжения на питающем конце могут быть значительно ниже.

В таблицах ДБ.2 и ДБ.3 приведены диапазоны 2%-ных значений (т. е. вероятность превышения которых равна 2 %) перенапряжений (в относительных единицах от *J~2 fJ~3* . где U_{uc}— наибольшее *длительно* *допускаемое* рабочее напряжение в электрической сети), которые могут быть ожидаемы между фазой и землей без ограничения с помощью РВ или ОПН. Приведенные значения получены в результате полевых испытаний и исследований и учитывают влияние большинства факторов, определяющих перенапряжения.

Таблица ДБ.2 — Диапазоны 2%-ных перенапряжений с пологим фронтом на приемом конце при включении пинии

Наличие выключателей с одноступенчатым шунтирующим резистором		Да				Нет			
Характеристика питающей сети		Комплексная		Индуктивная		Комплексная		Индуктивная	
Степень параллельной компенсации. %		>50	<50	>50	< 50	>50	<50	> 50	< 50
Амплитуда лвреналряжекия. отн.ед.	Максимальная	1.28	2.00	1.89	2,22	2.11	2.59	2.78	2.69
	Минимальная	1.05	1.26	1.33	1.39	1.61	1.39	1.78	1.67

Таблица ДБ.3 — Диапазоны 2%-ных перенапряжений с пологим фронтом на приемном конце при повторном включении пинии

Наличие выключателей с одноступенчатым шунтирующим резистором		Да				Нет			
Характеристика питающей сети		Комплексная		Индуктивная		Комплексная		Индуктивная	
Степень параллельной компенсации, %		>50	< 50	>50	< 50	>50	<50	>50	< 50
Амплитуда леренапряжекии, uim.ад.	Максимальная	1.94	1.78	2.17	2.11	2.44	3.44	3.50	3.67
	Минимальная	1.57	1.22	1.30	1.33	1.50	1.50	2.89	2.17

Таблицы ДБ.2 и ДБ.3 следует использовать для того, чтобы определить, могут ли перенапряжения в данной ситуации быть достаточно высокими, чтобы вызвать нарушения в электроснабжении. Если могут, то диапазон приведенных значений указывает, в какой мере эти перенапряжения могут быть ограничены. Без приведенных таблиц для достижения той же цели потребовались бы детальные исследования.

Примечание — Раздел ДБ.2 заменяет ссылку на МЭК 60071-2 в части подпункта 2.3.3.

ДБ.3 Упрощенный метод защиты от молнии

Для упрощенной оцемси представительного перенапряжения U_{np} на защищаемом объекте может быть использована формула

$$V_{np} = U_{yi} + 2S7 \text{ для } U_{tl} k2ST: \qquad (ДБ.1)$$

$$Um, = 2U_y \text{ для } l/_x S2Sr.$$

где $U_{„}$ — уровень защиты РВ (ОПН) при грозовом импульсе. кВ;

S — крутизна набегающей волны. кВ/мкс:

T — время движения грозовой волны, определенное как

$$T\text{-}Uc.$$

где с — скорость света (300 м/мкс):

i. * <*3* + rf, + d_2 + rf_A — расстояния из рисунка 2. м.

Значения крутизны должны быть выбраны в соответствии с деформацией *фронта волны из-за импульсной короны при пробеге* по воздушный линиям, подсоединенным к подстанции, и по прииято-му риску повреждения на подстанции.

Если к подстанции присоединено более одной воздушной линии, первоначальная крутизна S набегающей волны может быть разделена на число линий *п.* Однако это число линий должно соответствовать минимальному числу, которое следует оставлять в эксплуатации, учитывая возможные отключения во время гроз.

С учетом поправки на то. что крутизна набегающей вопны уменьшается обратно пропорционально расстоянию. которое пробегает волна вдоль воздушной линии, крутизна S набегающей волны, которую следует использовать в формуле (ДБ.1), приблизительно равна

$$S ■ 1/\{лK_к\hat{}0. \quad (ДБ.2)$$

где *п* — число воздушных линий, подсоединенных к подстанции: при наличии многоценных опор и необходимое ги учитывать двой ную систему обратных перекрытий рекомендуется это число делить на два:

— постоянная. учитывающая демпфирующее влияние короны. 8 соответствии с таблицей ДБ.4. мкс/(кВ-м);

X — расстояние меяду точкой удара молнии и подстанцией, м.

Примечание — Эта формула получена в предположении, что расстояния между защищаемым объектом и точками подсоединения воздушных линий соответствуют временам пробега, меньшим чем половина времени фронта набегающей волны. Следовательно, в ходе приблизительной оценки допускается пренебречь токоподводом между объектом и точкой подсоединения. Такой подход справедлив для оценки предельного расстояния в формуле (ДБ.З). так как е этом случае для набегающей волны характерны малые крутизны. Для расчета реальных перенапряжений, возникающих вследствие допущенной набегающей волны, данное упрощение может не быть консервативным.

Таблица ДБ.4 — Постоянная $K_{,0}$, учитывающая демпфирующее влияние короны

Конфигурация проводов	мксГ(кВ м)
Одиночный провод	1.5-10-*
Расщепление на два провода	1.0-ИГ*
Расщепление на четыре провода	0.6-ю-6-
Расщепление на шесть или восемь проводов	0.4-10-*

Использование этого значения крутизны в формуле (ДБ.1) не дает достаточно точных результатов для расчете пере напряжен ил па оборудовании. Однако оно достаточно (и консервативно), чтобы оценить предельное расстояние X„ следующим обрезом:

$$X_{rt} = 27?[nK,JU-U_x)I. \quad (ДБ.3)$$

где *U* — наименьшая амплитуда рассматриваемого перенапряжения:

Т — наибольшее время пробега между любой точкой на подстанции, подлежащей защите, и ближайшим РВ (ОПН). мкс:

U_u — уровень зашиты РВ (ОПН) при грозовом импульсе.

Для расстояний, больших чем $X_п$. крутизна уменьшится так. что значение перенапряжения на оборудовании будет меньше, чем принятое значение *U.*

В целях дальнейшего упрощения расчетов принимают следующие допущения:

- все случаи ударов молнии в пределах некоторого расстояния от подстанции вызывают перенапряжения на защищаемом оборудовании более высоких значений, чем допускаемое значение, а все случаи вне этого диапазона — перенапряжения более низких значений:

• перенапряжение на оборудовании может быть рассчитано в соответствии с формулой (ДБ-1) и формулой (ДБ-2).

Как уже указано, оба допущения ст рого не обоснованы. Во-первых, не все удары молнии в пределах определенного расстояния одинаково жестки. Их воздействие зависит от тока молнии или от набегающей волны перенапряжения. Во-вторых, перенапряжения могут быть выше, чем те. которые рассчитаны с использованием формул (ДБ.1) и (ДБ.2). Однако современная практика защиты оборудования с помощью РВ (ОПН) показывает, что обе неточности практически погашают одна другую.

Относительно расстояния X. используемого в формуле (ДБ.2), показано, что обратные перекрытия не происходят на опоре, ближней к подстанции, имеющей заземляющее устройство. Минимальным значением X считают значение длины одного пролета воздушной пинии L_{np}. Таким образом, предсгаеигегъная крутизна S_{np}. которую следует использовать в формуле (ДБ. 1).

Se-»1WU + U. (ДБ.4)

где L„ ~ *(RJR,»)* — секция воздушной линии, в которой норма грозового перекрытия равна приемлемой норме повторения перенапряжений.

Примечание — Уравнение получено из того наблюдения, что обратные перекрытия не происходят на опоре, ближней к подстанции, имеющей хорошее заземляющее устройство, и что прорывы защиты не происходят на первом пролете воздушной линии. Следовательно, существует минимальная длине пробега набегающей волны. которая дает максимально возможную крутизну. Аналитическое выражение, использованное в формуле (ДБ.4). представляет собой приближение к этому наблюдению. В качестве альтернативы вместо суммы может быть использовано более высокое значение длины пропета или длины 1„.

Таким образом, вводя в формулу (ДБ.1) и вставляя *A* = 2/*(К^с)* для линий электропередачи, получают зависимость представительного грозового перенапряжения от нормы повторения:

Ц** (Л. М *.д„ + (ДБ.5)

где U_{np} — амплитуда представительного грозового перенапряжения. кВ:

А — коэффициент, приведенный в таблице ДБ.5. учитывающий *деформацию фронта волны из-за импульсной короны при пробеге* по воздушной линии, подсоединенной к подстанции:

U„ — уровень защиты РВ (ОПН) при грозовом импульсе. кВ:

N— наименьшее число пиний, приходящих на подстанцию (N = 1 или *N* = 2):

Lp — отделяющее расстояние: *L* » *d* * d, + + rf*. квк показано на рисунке 2. м:

Lg, — длина пропета, м;

*L** — длина воздушной пинии с нормой простоя, равной принятой норме повторения перенапряжений, м;

R* — принятая норма повторения перенапряжений (1/год):

— норма простоя воздушной линии в год для конструкции, соответствующей первому километру перед станцией [см. формулу (ДБ.4)] {общепринятая единица измерения: 1/(100 км-год): рекомендуемая единица измерения: 1/(М'ГОД)].

Таблица ДБ.5 — Коэффициент *А* для различных воздушных линий, применяемый 8 формулах (ДБ.5) и (ДБ.7)

Тип пинии	*А*. кВ
Распределительные линии (междуфазные перекрытия):	
- с заземленными траверсами (перекрытие на землю при низком напряжении);	900
• линии на деревянных столбах (перекрытие на землю при высоком напряжении)	2700
Линии электропередачи (однофазное замыкание на землю):	
• одиночный провод:	4500
• расщепление на два провода:	7000
• *расщепление* на четыре провода:	11000
• расщепление на шесть или восе**> проводов	17000

Координационное выдерживаемое напряжение получают путем замены *L** на длину линии L_a. которая дает норму простоя, равную приемлемой норме повреждения $Я_a$

(ДБ.6)

и координационное выдерживаемое напряжение грозового импульса

U. = *u** *А* *-о* / W A* + Ц (ДБ.7)

где — координационное выдерживаемое напряжение грозового импульса:

L_t — секция воздушной пинт с нормой простоя, равной приемлемой норме повреждения:

$#?_a$ — приемлемая норма повреждения оборудования.

Для линий электропередачи коэффициенты *А* берут из таблицы ДБ.5. а постоянные K_{10} учитывающие демпфирующее влияние короны. — из таблицы ДБ.4. Для распределительных сетей грозовые перенапряжения, квк правило, многофазные, и необходимо рассматривать ток. распределяющийся по фазным проводам. В случае стагъных опор перекрытия более чем одной опоры во время удара молнии приводят к дальнейшему снижению грозовых перенапряжений. Для этих линий коэффициент *А* подбирают 8 соответствии с опытом эксплуатации.

ГРУ. как правило, защищены лучше, чем подстанции на открытом воздухе, так как обладают волновым сопротивлением намного более низким, чем волновые сопротивления воздушных линий. Всесторонне обоснованная рекомендация для оценки улучшения для ГРУ по сравнению с подстанциям! на открытом воздухе не может быть представлена. Однако использование уравнения (ДБ.7) для подстанции на открытом воздухе позволяет получить консервативные оценки координационного выдерживаемого напряжения (розового импульса или защитного диапазона, а снижение отношения *А//Я* до пол сеймы значения, использованного для подстанций наружной установки, еще приемлемо.

Для новых подстанций, когда грозовая характеристика изоляции существующих подстанций известна, предполагаемое максимальное значение представительного (розового перенапряжения может быть оценено следующим образом:

$$\frac{U_{Л»2}}{u_{м2}} = 1 + \ast 2 \, t_{l} \, U_{„2} - 1)) \,)] \qquad \text{(ДБ.8)}$$

где $U_{„0}$ — ожидаемое максимальное представительное перенапряжение:

*U** — защитный уровень РВ (ОПН) при грозовом импульсе:

N — минимальное число воздушных линий, находящихся в эксплуатации и подключенных к подстанции;

$L - d * d_t * d_2 * d_A$ (см. рисунок 2).

Индекс 1 относится к ситуации, для которой достаточен опыт эксплуатации, а индекс 2 — к ситуации с новой подстанцией.

С другой стороны, предполагаемое максимальное значение может быть получено, если предположить норму повторения в формуле (ДБ.4) равной нулю, поэтому » 0 и

$$N \; L_{ап} \qquad \text{(ДБ.9)}$$

П р и м е ч а н и е — Раздел ДБ.3 заменяет ссылку на МЭК 60071-2 в части подпункта 2.3.4.5. пункта F.2.1. а также разделов F.4 и F.5 (приложение F).

Приложение ДВ
(рекомендуемое)

Положения МЭК 60099-3:1990, используемые в настоящем стандарте

(Настоящее приложение заменяет ссылки на международный стандарт МЭК 60099-3:1990. не принятый в качестве национального стандарта Российской Федерации.)

ДВ.1 Основные принципы

Известно, что РВ может зыйти из строя, находясь под нормальным рабочим напряжением при некоторых условиях загрязнения, вследствие появления неравномерного распределения напряжения на его внешней поверхности и/или из-за очень быстрых изменений в этом распределении. Указанные стадии появляются как следствие образования при этих условиях начального почти сплошного проводящего поверхностного слоя, состоящего. как правило, из водного раствора электролита, образованного при высокой влажности гигросхогмчными твердым! частицами или капельками жидкости, осажденными на поверхности. Таоке может присутствовать пыль, оказывая влияние на характеристики влажной и сухой поверхности. Установлено таюке, что ток утечки, нагревающий поверхностный слой, когда проводимость достаточно высока, вызывает формирование «сухих поясков», на которых происходит очень большое падение напряжения, а когда эти пояски на короткое время перекрываются дугой, возникают импульсы тока утечки.

Эти явления могут привести к тому, что напряжение, приложенное к некоторым искровым промежуткам, превысит их пробивное значение с последующим пробоем из-за нарушения распределения напряжения по промежуткам, вызванного емкостями, образованными электродами и мокрыми поясками.

Следовательно, основная цель испытания Рв в условиях загрязнения - воспроизвести важные условия загрязнения, представить те из них. которые возможны в эксплуатации, и установить, что подверженный загрязнению РВ. включенный на соответствующее напряжение промышленной частоты, не допускает пробоя искровых промежутков.

Перекрытие поверхности РВ в условиях загрязнения опасно с точен зрения его эксплуатацют. следовательно, в этом отношении таюке должна быть определена характеристика.

Имеются данные, полученные как из опыта эксплуатации, так и из практики испытаний, что условия загрязнения. способные вызвать пробой РВ. могут отличаться от условий загрязнения, приводящих к перекрытию по поверхности. Последние, как правило, связаны с жесткими условиями, характеризующимися частыми импульсами тока утечки с большими ампгытудами. тогда как пробой искровых промежутков, как правило, связан с резким усилением загрязнения или высыханием загрязняющего агента. Соответственно, могут потребоваться отдельные испытания для этих двух различных путей, приводящих к повреждению.

П р и м е ч а н и е — Раздел ДВ.1 заменяет ссылку на МЭК 60099-3 в части раздела Э.

ДВ.2 Приложение напряжения

Дпл РВ о сorпх с изолированными и розот-юмсно зззомлонпыми нейтралями (Диапазон *I)* о то-юмио осого периода испытаний должно быть приложено длительное напряжение, равное номинальному напряжению РВ. При этом, если номинальное напряжение превышает наибольшее рабочее напряжение (между фазами) сети, по соглашению между потребителем и изготовителем в качестве испытательного напряжения выбирают последнее.

Для РВ в сетях с заземленными нейтралями (диапазоны *И и III)* с коэффициентом замыкания на землю между 1.2 и 1.4 сначала должно быть приложено испытатетъное напряжение, составляющее 0.75 — 0.8 (для коэффициентов замькания на землю 1.33 и 1.25 соответственно) от номинального напряжения РВ. или 0.87 (т. е. 1/1.15) от установленного длительно допустимого рабочего напряжения РВ (оно равно или меньше, чем номинальное напряжение РВ). в зависимости от того, какое меньше. Далее значение испытательного напряжения с промежутками увеличивают до более высокого значения, соответствующего напряжению короткого замыкания. в течение 1 — 2 с. а затем быстро снижают до начального значения.

П р и м е ч а н и е — Раздел ДВ.2 заменяет ссылку на МЭК 60099-3 8 части раздела б.

ДВ.3 Методика испытания

ДВ.3.1 Начало испытания

Подготовленный РВ устанавливают 8 его испытательное положение. Создают необходимые условия загрязнения и воздействуют напряжением в соответствии с выбранным методом. Испытание считают начавшимся. когда при необходимых условиях загрязнения должно быть приложено полное испытательное напряжение 8 соответствии с разделом ДВ.2.

ДВ.3.2 Порядок испытания

Испытание следует проводить при каждом из грех уровней загрязнения из ДВ.3.3. применяя соответствующие методы и используя предписанный загрязняющий агент. При этом отмечают все случаи пробоя РВ или перекрытия изоляции по поверхности.

ДВ.3.3 Уровни загрязнения

Уровни загрязнения характеризуются соленостью раствора для метода солевого тумана и проводимостью суспензии жидкой глины для методов с твердым загрязняющим агентом. Рекомендуются следующие уровни:

- солевой туман: 2.5. 5.0 и 10 кг NaCl/м³;
- твердый загрязняющий агент (увлажняющий метод) : 2,5, 5.0 и 10 мСм/см:
- твердый загрязняющий агент (высушивающий метод): не более, чем 2.5 мСм/см.

ДВ.3.4 Оценка испытания

В соответствии с результатами испытаний устанавливают уровень, который разрядит выдерживает без перекрытия в четырех исгытаниях при данном уровне.

Не должно быть значительного изменения ни в сухоразрядном значении перекрытия при промышленной частоте, ни в распределении текущего значения после испытания.

ДВ.3.5 Наблюдение во время исл ытания: индикация пробоя

Кривые приложенного испытательного напряжения, тока, протекающего внутри, и тока утечки по поверхности следует записывать по отдельности с помощью осциллографа, чтобы видеть различив между перекрытием по поверхности или пробоем искрового промежутка.

Внезапный рост тока по поверхности до тока, близкого к току короткого замыкания, как правило, добавляемый к визуальным и слуховым наблюдениям, указывает на перекрытие. Простой рост внутреннего тока указывает на пробой искрового промежутка.

Если осциллограмма показывает спад напряжения в течение приблизительно пяти периодов до значения, меньшего чем 10 % испытательного напряжения, следовательно, зафиксировано внешнее перекрытие. Спад значения налряжегмя до значений, больших чем 10 %. указывает на пробой искрового промежутка.

П р и м е ч а н и е — Раздел ДВ.3 заменяет ссылку на МЭК 60099-3 в части раздела 7.

Приложение ДГ
(справочное)

Современная отечественная практика

При проектировании и эксплуатации электропередач необходимо решать основную задачу координации изоляции, которая состоит в обеспечении оптимальной, с экономической точки зрения, надежности работы изоляции с учетом защитных характеристик защитных аппаратов и других способов ограничения перенапряжений. а также в установлении и поддержании необходимого соотношения между электрической прочностью изоляции и воздействующими на нее напряжениями.

Рекомендации МЭК не связывают однозначно уровни изоляции оборудования и номинальное напряжение сети, в которой оно установлено. При этом уровни изоляции выбирают по многоступенчатой шкале испытательных импульсных напряжений в зависимости от защитных характеристик Рв или ОПН.

В Российской Федерации расчетная электрическая прочность или уровни изоляции высоковольтного оборудования должны быть заданы по ГОСТ 1516.3. который устанавливает для каждою класса напряжения испытательные напряжения промышленной частоты и импульсные испытательные напряжения.

В 1999—2001 гп были разработаны и выпущены методические указания и руководства, предназначенные для использования прежде всего персоналом проектных и эксплуатационных организаций Российского акционерною общества «Единая энергетическая система России», для определения характеристик и выбора типа ОПН по условиям его работы в заданной точке электрических сетей напряжением 6 — 1150 кВ при плановой замене РВ. реконструкции и проектировании новых распределительных устройств.

Меры защиты электрооборудования ог грозовых и внутренних перенапряжений, в том числе с помощью РВ и ОПН, для действующих, вновь сооружаемых и реконструируемых электроустановок напряжением до 750 кВ достаточно лото и подробно изложены в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) [1].

Для использования рекомендаций, содержащихся в настоящем стандарте, вышеупомянутых и других источниках. особенно 8 неординарных случаях применения аппаратов защиты от перенапряжений или при оптимизации мер защиты, требуются специальные знания и наличие соответствующего программного обеспечения для проведения необходимых расчетов, поэтому потребителям, не обладающих ими. следует обращаться е специализированные проектные организации или сервисные службы предлриятий-изготовителей.

Приложение ДД
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного междуна родного стандарта

Разделы 1 и 2 настоящего стандарте (далее — стандарт), несмотря на соответствие определенным пунктам примененного международного стандарта, оформлены согласно требованиям ГОСТ Р 1.5.

Раздел 3 «Термины и определения» стандарта (в отличие от примененного в нем международного стандарта) введен в соотеетсгвюг с требованием ПОСТ Р 1.5.

Раздел 4. а также разделы 5 — 9 стандарта практически полностью идентичны соответствующим пунктам раздела 1. а также разделам 2 — 6 международного стандарта соответственно.

Приложение А стандарта полностью идентично приложению А международного стандарта.

Приложения ДА. ДБ и ДВ стандарта введены дополнительно, поскольку они заменяют ссылки на международные стандарты, не принятые в качестве национальных.

В приложении ДГ стандарта (в соответствии с рекомендациями приложения В примененного международного стандарта) охарактеризована современная отечественная практика выбора и применения РВ и ОЛН.

Сопоставление структур настоящего и примененного международного стандартов представлено в таблице ДД.1.

Таблица ДД.1

Структура настоящего стандарта	Структура международного стандарта МЭК 60099-S:t9tt+At:1999
	1 Общие положения
1 Область применения (1.1)	1.1 Область применения
2 Нормативные ссылки (1.2)	1.2 Нормативные ссылки
3 Термины и определения	
4 Общие положения	
4.1 Общие принципы применения вентильных разрядников и нелинейных ограни'-нтелей перенапряжений (1.3)	1.3 Общие принципы применения разрядников
4.2 Общая методика выбора вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений (1.4)	1.4 Общая методика выбора разрядников
4.3 Сохранение работоспособности вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений при загрязнении покрышек (1.5)	1.5 Сохранение работоспособности разрядников при загрязнении покрышек
5 Вентильные разрядники в соответствии с ГОСТ 16357	2 Разрядники с нелинейными резисторами и искровыми промежутками в соответствии с МЭК 60099-1
5.1 Характеристики вентильных разрядников (2.1)	2.1 Характеристики разрядников с искровыми промежутками
5.2 Выбор фазных вентильных разрядников (2.2)	2.2 Выбор разрядников фаза — земля с искровыми промежутками
6 Нелинейные ограничители перенапряжений в соответствии с ГОСТ Р 52725	3 Металлоокошные разрядники без искровых промежутков в соответствии с МЭК 60099-4

Продолжение таблицы ДД. 1

Структура настоящего стандарта	Структура международного стандарта МЭК е0099-S:t994*-А1:1999
6.1 Характеристики нелинейных ограничителей перенапряжений (3.1)	3.1 Характеристики мегаллооксидкых разрядников без искровых промежутков
6.2 Выбор фазных нелинейных ограничителей перенапряжений (3.2)	3.2 Выбор металлооксидных разрядников фаза — земля без искровых промежутков
7 Применение вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений	4 Применение разрядников
7.1 Принципы координации изоляции (4.1)	4.1 Принципы координации изоляции
7.2 Защита от перенапряжений с пологим фронтом (4.2)	4.2 Защита от перенапряжений с пологим фронтом
7.3 Защита от грозовых перенапряжений (4.3)	4.3 Защита от грозовых перенапряжений
6 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений специального назначения	5 Разрядники для специального применения
8.1 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений для нейтралей трансформаторов (5.1)	5.1 Разрядники для нейтралей трансформаторов
8.2 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений между фазами (5.2}	5.2 Разрядники между фазами
В.3 Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений для вращающихся машин (5.3)	5.3 Разрядники для вращающихся машин
8.4 Дополнительные специальные применения вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений (5.4)	5.4 Дополнительные специальные применения разрядников
6.5 Вен'ильные рьзрмднти и нелинейные игреничигели перенапряжений для аномальных условий применения (5.5)	5.5 Разрядники дли аномальных условий применения
9 Диагностические индикаторы для нелинейных ограничителей перенапряжений в эксплуатации	6 Диагностические индикаторы для мвгаллооксидмых разрядников в эксплуатации
9.1 Общие положения (6.1)	6.1 Общие положения
9.2 Измерение полного то*а утечки (6.2)	6.2 Измерение полного тока утечки
9.3 Измерение активного тока утечки или мощности потерь (6.3)	6.3 Измерение активного тока утачки или мощности потерь
9.4 Информация о токе утечки от изготовителя нелинейных ограничителей перенапряжений (6.4)	6.4 Информация о токе утечки от изготовителя разрядников
9.5 Обобщение диагностических методов (6.5)	6.5 Обобщение диагностических методов
Приложение А Определение квазистационарных перенапряжений вследствие замыканий на землю (приложение А)	Приложение А Определение квазистационарных перенапряжений вследствие замыканий на землю

Окончание таблицы ОД. 1

Структура настоящего стандарта	Структура международного стандарта МЭК е0099-S:t996+At:1999
Приложение ДА Термины и определения МЭК 60071-1: 2006. используемые в настоящем стандарте	
Приложение ДБ Положения МЭК 60071-2:1996, используемые в настоящем стандарте	
Приложение ДВ Положения МЭК 60099-3:1990. используемые в настоящем стандарте	
Приложение ДГ Современная отечественная практика	Приложение В Современная практика
Приложение ДД Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного международного стандарта	
Библиография	Приложение С Библиография
Примечание — За наименованиями разделов (подразделов) настоящего стандарта приведены в скобках номера аналогичных им разделов {подразделов, пунктов) международного стандарта.	

Библиография

[1] Правила устройства электроустановок (ПУЭ-7). — 7-е изд.. с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 января 2006 гсща (утверждены Министерством энергетика Российской Федерации, приказы от 8 июля 2002 г. № 204 и от 20 мая 2003 г. № 187)

УДК 621.316.933.6:006.354 **ОКС 29.240.10** **Е72** **ОКП 34 1430**

Ключевые слова; перенапряжения, координация изоляции, разрядники вентильные, ограничители перена* пряжений нелинейные (ОПН), характеристики, выбор, применение, методы диагностики ОПН

Редактор ***Л. В. Афанасенко***
Технический редактор в. ***Н. Прусакова***
Корректор ***И. И. Гаерищук***
Компьютерная верстка ***Т. Ф. Кузнецовой***

Сдано в набор 22.02.2011. Подписано о печать 16.04.2011. Формат 60x84'/, Бумага офсетная Гарнитура Ариал.
Печать офсетная. Уел. печ. п. 6.51. Уч.-итд. л. S.53. Тираж 1 !в экэ. Зек. 147

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», T2399S Москва. Гранатный пер.. 4.
«www.90stinro.nj in(o@90slin(o ra
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов. 240021 Калуга, уп. Московская. 256