

DOI: 10.34831/EP.2022.67.66.005

УДК 621.316.9

Мультикамерные разрядники закрытого типа

ЕНЬКИН Е. Ю., СИВАЕВ А. Д., канд. техн. наук, ЮЛЬ А. С., КОТКИН Д. В.

191024, Санкт-Петербург, Невский просп., 147, пом. 17Н

evgeniy.enkin@streamer.ru



Е. Ю. Енькин



А. Д. Сиваев



А. С. Юль



Д. В. Коткин

Для предотвращения аварийных грозовых отключений воздушных линий 110 кВ, эксплуатируемых без молниезащитного троса, необходимо применять специальные устройства, способные выдерживать многократное протекание токов прямого удара молнии. Данная статья посвящена одному из таких перспективных устройств — мультикамерному разряднику закрытого типа. Для демонстрации работоспособности устройства описан выполненный комплекс исследовательских электрических испытаний с подробным описанием уникальных методик.

Ключевые слова: молниезащита, мультикамерные разрядники, воздушные линии электропередачи, мультикамерная система, прямой удар молнии, дуга сопровождающего тока, гашение дуги.

В настоящее время основными средствами защиты от аварийных грозовых отключений воздушных линий электропередачи (ВЛ) 110 кВ, по разным причинам эксплуатируемых без молниезащитного троса, являются нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) (рис. 1, а), а также мультикамерные разрядники (РМК) (рис. 1, б) и гирлянды мультикамерных изоляторов-разрядников (ГИРМК) (рис. 1, в).

Каждое из устройств имеет свои преимущества и недостатки, а также ограничения по применению. Например, ОПН обладают рядом достоинств, такими как: быстрдействие, глубокое ограничение перенапряжений, компактность, высокая надёжность (при строгом соблюдении технологии изготовления и правильном выборе класса пропускной способности, как правило для защиты от прямого удара молнии — четвёртого или пятого класса). К недостаткам устройств можно отнести: сложность применяемой технологии производства варисторов (основные

рабочие элементы), высокую стоимость, необходимость контроля состояния и регулярных профилактических осмотров. В современных реалиях суровой конкуренции на рынке молниезащиты также нередки случаи снижения качества изготовления варисторов вследствие стремления производителей удешевить свою продукцию, а также случаи усталовки ОПН с недостаточным уровнем пропускной способности для защиты ВЛ от прямых ударов молнии (ПУМ).

Избавиться от недостатков, связанных с эксплуатацией ОПН непосредственно под рабочим напряжением, возможно путём его отделения от фазного провода при помощи искрового воздушного промежутка. Однако, в таком случае, для защиты ВЛ без молниезащитного троса, требуется использование ОПН с 2 – 3-кратным увеличением пропускной способности [1], что существенно снижает экономическую привлекательность такого решения.

Мультикамерные разрядники и ГИРМК — молниезащитные устройства, использующие иной, чем ОПН, физический принцип работы для предотвращения аварийных отключений ВЛ — так назы-

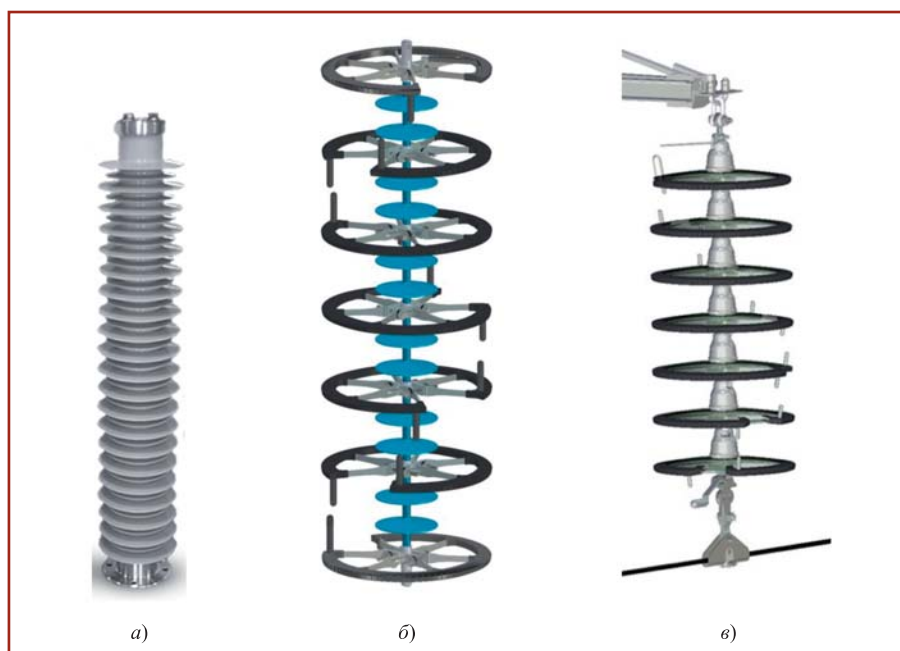


Рис. 1. Внешний вид молниезащитных устройств ВЛ 110 кВ в масштабе:

а — ОПН-110; б — РМКЭ-110; в — ГИРМК-110

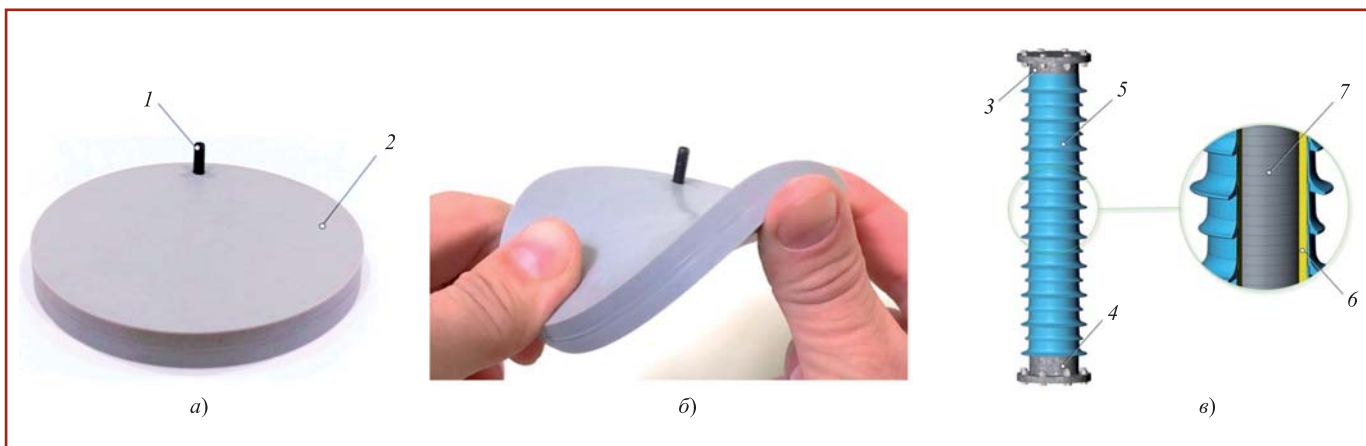


Рис. 2. Конструкция РМКЗ-110:

а и б — единичный разрядный модуль; в — РМКЗ внешний вид; 1 — подводящий электрод РМ; 2 — тело РМ; 3 — верхний оконцеватель; 4 — нижний оконцеватель; 5 — оболочка; 6 — корпус; 7 — колонка разрядных модулей

ваемое гашение дуги сопровождающего тока посредством дугогасящих камер [2]. К неоспоримому достоинству РМК и ГИРМК можно отнести способность при срабатывании выводить дугу за пределы рабочего элемента и рассеивать её энергию в окружающем пространстве, что обеспечивает стойкость к многократным воздействиям токов ПУМ, а также простоту и надёжность конструкции. Отдельно следует выделить концептуальную особенность ГИРМК, которая состоит в размещении главного рабочего элемента — мультикамерной системы (МКС), непосредственно на рёбрах стеклянных изоляторов гирлянды, тем самым обеспечивая наиболее совершенную конструкцию с точки зрения технологии размещения молниезащитного устройства (рис. 1, в).

К недостаткам РМК и ГИРМК можно отнести ограничение по применению, связанное с максимальной величиной

тока короткого замыкания (КЗ) в месте установки устройства до 5 кА. Данное ограничение обусловлено спецификой гашения дуги сопровождающего тока в нуле, который может протекать через МКС разрядника достаточно длительно — до 7 мс. Превышение амплитуды сопровождающего тока свыше рекомендуемого максимального значения приводит к интенсивной эрозии электродов и стенок камер, а следовательно, ускоренной выработке рабочего ресурса разрядника.

В НПО «Стример» разработан новый класс молниезащитных разрядников, изготовленных по инновационной технологии и обладающих достоинствами ОПН и РМК, но лишённых их недостатков.

Описание конструкции

Мультикамерный разрядник закрытого типа (РМКЗ) — устройство, предназначенное для защиты ВЛ 110 кВ от аварийных отключений, вызванных воздействием молнии, в том числе ПУМ в фазные провода. Основными рабочими элементами РМКЗ являются разрядные модули (РМ), представляющие собой МКС, выполненную в виде дисков с размещёнными внутри металлическими электродами. Между электродами сформированы миниатюрные дугогасящие камеры. В отличие от варистора, где ток протекает по множественным параллельным каналам, в РМ путь тока один — по системе электродов, объединённых в непрерывную цепь. Последовательно соединённые РМ собираются в колонку, которая размещается внутри стеклопластикового корпуса. Для обеспечения требуемых характеристик по выдерживаемому переменному напряжению, а также гидроизоляции, корпус снаружи покрыт полимерной оболочкой с оребрением (рис. 2, в).

Размещение МКС внутри стеклопластиковой трубы позволило значительно уменьшить габариты устройства и сделать их сопоставимыми с усреднёнными значениями габаритов ОПН.

Мультикамерный разрядник закрытого типа устанавливают на ВЛ 110 кВ параллельно линейной изоляции с искровым воздушным промежутком (ИВП) между проводом и высоковольтным дугообразным электродом (рис. 3). Наличие ИВП изолирует РМКЗ от непрерывного воздействия рабочего напряжения сети, а также исключает срабатывания от внутренних сетевых перенапряжений, что благотворно сказывается на надёжности и долговечности устройства. Включение РМКЗ в работу осуществляется только при пробое ИВП вследствие возникшего грозового перенапряжения.

Принцип работы РМКЗ основывается на обеспечении суммарного падения напряжения на искровых промежутках, существенно превосходящего уровень приложенного напряжения сети, которое восстанавливается на разряднике сразу после протекания импульса тока молнии. Это препятствует возникновению КЗ, и ВЛ продолжает свою бесперебойную работу (рис. 4).

Конструкция МКС РМКЗ, выполненная в виде РМ, существенно отличается от конструкции МКС, применяемой в настоящее время в серийно выпускаемых РМК [3], в части формы и числа электродов, логики их размещения, а также конструкции дугогасящих камер и пр. Данные отличия позволили обеспечить плотное размещение РМ внутри корпуса трубы и добиться значительного повышения быстродействия — до 0,5 мс от начала воздействия импульса молнии вплоть до полного восстановления напряжения сети. По сути, при таком быстродействии протекание сопровождающего тока через разрядник практи-

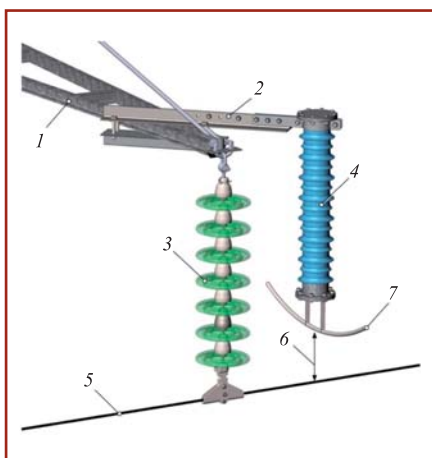


Рис. 3. Размещение РМКЗ на ВЛ 110 кВ:

1 — траверса опоры; 2 — выносная траверса РМКЗ; 3 — гирлянда изоляторов; 4 — РМКЗ; 5 — провод; 6 — искровой воздушный промежуток; 7 — высоковольтный дугообразный электрод

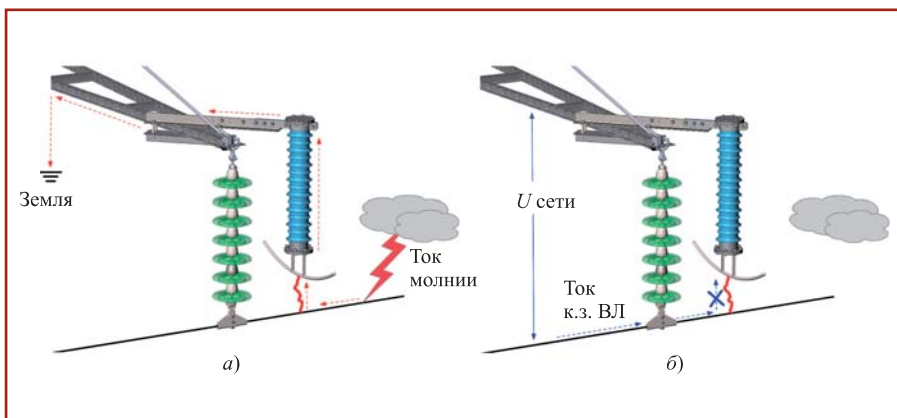


Рис. 4. Иллюстрация принципа работы РМКЗ-110:

а — протекание импульсного тока молнии; б — предотвращение протекания сопровождающего тока сети

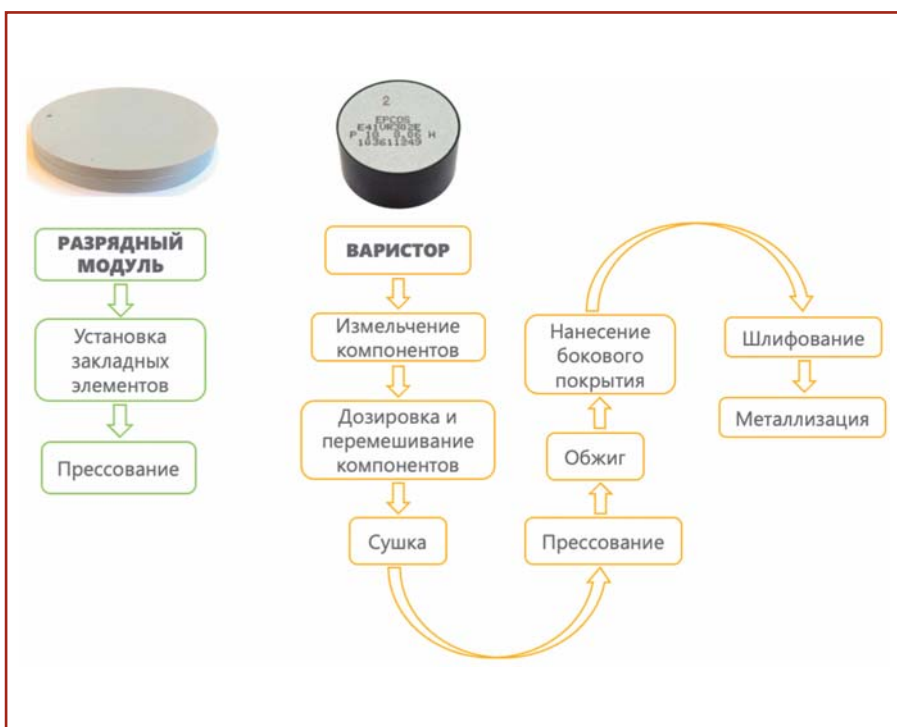


Рис. 5. Сравнение технологии изготовления РМ и варисторов

чески исключено, что позволяет снять присущее серийно выпускаемым РМК ограничение по его максимальной величине и даёт возможность существенно расширить область применения РМКЗ.

Сравнение технологии изготовления РМ с варисторами

Изготовление МКС в виде РМ — принципиально новая технология, которая в отличие от варисторов ОПН имеет большой потенциал по оптимизации конструкции и повышению технологичности изготовления.

Одно из важных преимуществ РМ по сравнению с классическими варисторами — простота изготовления и несрав-

нимо меньшие требования к технологичности процессов и сложности применяемого оборудования (рис. 5).

При прохождении токов ПУМ по колонке РМ на миниатюрных искровых промежутках МКС в результате возникновения разряда выделяется энергия, которая расходуется на нагрев и механическую работу по расширению канала внутри камер РМ. Выделяемое от каждого импульса ПУМ тепло поглощается материалом РМ и нагревает его приблизительно не более, чем на 10 °С, а механическая энергия, распространяющаяся в виде волн деформации, быстро затухает в толще материала РМ и корпуса.

В отличие от варисторов РМ практически не чувствительны к перегреву, поскольку все материалы, присутствующие в их составе, сохраняют свои рабочие характеристики до температуры +250 °С. Такие температуры недостижимы при нормальных режимах работы РМКЗ и даже при экстремальных перегрузках в испытательной лаборатории, где к разряднику непрерывно с периодичностью в несколько минут прикладываются последовательно несколько десятков импульсов тока ПУМ. Таким образом, протекающие токи вызывают слабый температурный накопительный эффект, что позволяет РМКЗ выдерживать многократные воздействия токов ПУМ.

Способность РМ сохранять работоспособность при многократных воздействиях ПУМ делает РМКЗ конкурентом ОПН самого высокого, пятого класса пропускной способности.

На основе технологии создания МКС в виде РМ открываются широкие возможности адаптации её конструкции под целый ряд новых устройств различных классов напряжения, а также условий применения, в частности, создание упрощённых устройств защиты ВЛ, оборудованных молниезащитным тросом, где исключены ПУМ в фазный провод.

Для подтверждения технических характеристик проведена серия исследовательских электрических испытаний РМКЗ-110 по требованиям [4], демонстрирующая базовую работоспособность устройства.

В перечень испытаний вошли:

- испытания на отключающую способность;
- проверка возможности защиты изоляторов от перекрытий;
- испытание одноминутным переменным напряжением.

Испытания на отключающую способность (гашение дуги сопровождающего тока)

Данный вид испытаний демонстрирует способность разрядника предотвращать КЗ при возникновении грозовых перенапряжений на ВЛ.

Испытания проводятся на специально разработанном высоковольтном стенде, имитирующим одновременное воздействие реальных параметров молнии и сети на испытуемый образец (рис. 6).

Импульс молнии моделируется генератором импульсов напряжения и тока. Параметры воздействия: амплитуды токов молнии — до 30 кА, длительность до полуспада — до 100 мкс. По расчётам [5] данные параметры в своём максимальном выражении соответствуют 95 %-ной вероятности появления воз-

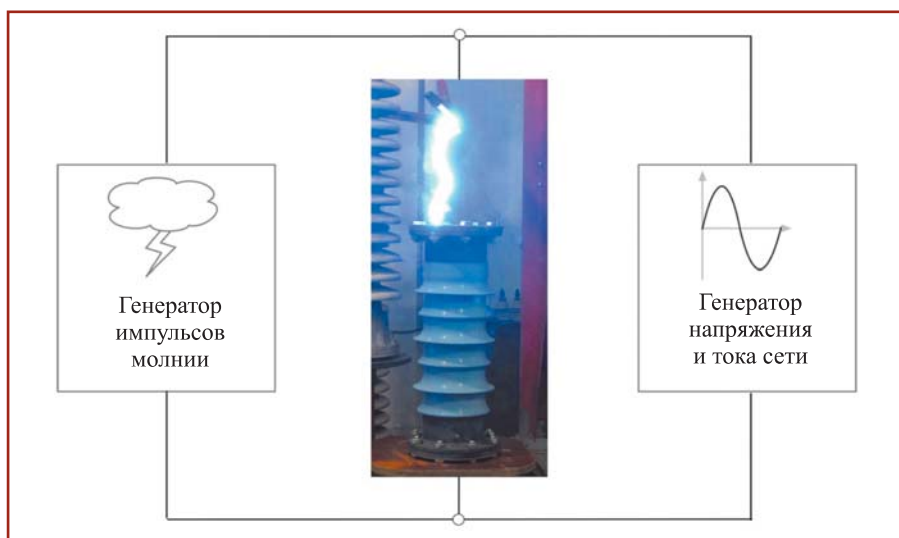


Рис. 6. Блок-схема испытательного стенда

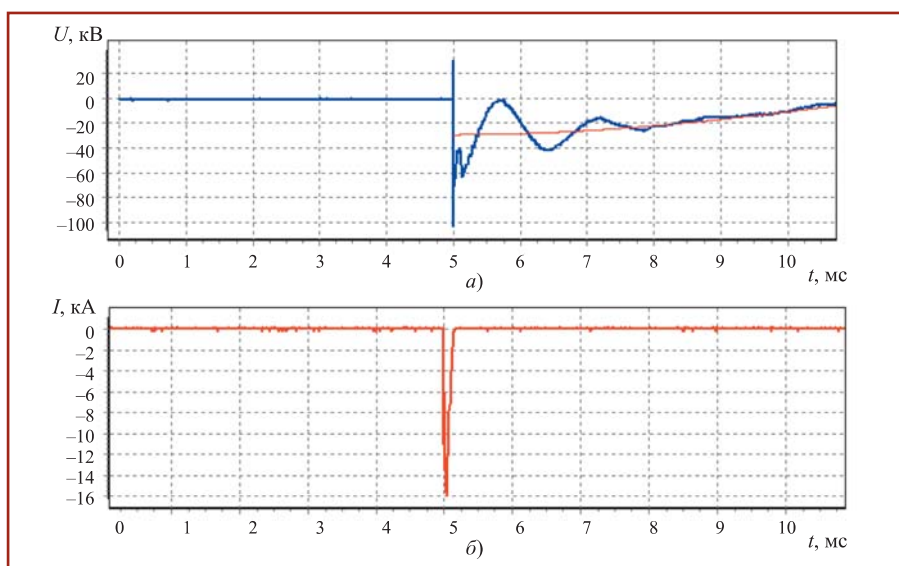


Рис. 7. Типовые осциллограммы напряжения на РМКЗ и протекающего через него тока при испытаниях на отключающую способность



Рис. 8. Проверка возможности защиты изоляторов от перекрытий

можных токов молнии по [6], которые протекнут через один, ближайший к месту удара молнии разрядник. Воздействия сети моделируются колебательным контуром с напряжением до 30 кВ и током КЗ до 25 кА.

Ограничение по максимальному напряжению колебательного контура не позволяет провести испытания полноценного образца на 110 кВ, поэтому опыты проводились на образце укороченного размера (рис. 6).

По программе испытаний к каждому образцу прикладывалось по 10 воздействий тока молнии обратных перекрытий и прямых ударов молнии с различными амплитудами от 3 до 30 кА. Одновременно на образце восстанавливалось напряжение сети, под действием которого по сработавшему разряднику

стремился протечь сопровождающий ток.

Конструкция МКС — главного рабочего элемента РМКЗ, разработана таким образом, чтобы протекание сопровождающего тока было исключено, а весь процесс от начала воздействия импульса молнии до восстановления напряжения сети занимал не более 1 мс.

Результаты испытаний оценивались по осциллограммам. На рис. 7 представлены типовые осциллограммы напряжения, приложенного к образцу, и протекающего через него тока. Штатная работа РМКЗ предполагает отсутствие протекания сопровождающего тока после окончания импульсного тока с восстановлением напряжения сети до своего нормального значения.

Критерием успешности прохождения испытаний являлось отсутствие протекания сопровождающего тока для всех режимов испытаний на всех образцах, а также отсутствие повреждений корпуса и МКС.

В качестве эксперимента на одном из образцов проведено исследование ресурса, которое заключалось в непрерывном повторении программы испытаний на отключающую способность до появления первого протекания сопровождающего тока. Испытуемый образец выдержал более шести повторений стандартной программы испытаний, т. е. более 60 воздействий, 40 из которых составили импульсы токов ПУМ.

По расчётам, проведённым в [5], на каждый разрядник, установленный на ВЛ 110 кВ, за 30-летний срок эксплуатации ожидается не более 2 воздействия токов ПУМ при грозовой интенсивности 100 ч/год. Таким образом, можно утверждать, что РМКЗ-110 имеет значительный запас рабочего ресурса.

Проверка возможности защиты изоляторов от перекрытий

Данный вид испытаний проводился по методике, описанной в [4], с целью проверки возможности защиты разрядником линейной изоляции от импульсных перекрытий при возникновении атмосферных перенапряжений.

Для проведения испытаний полноразмерный РМКЗ-110 размещался параллельно гирлянде из семи изоляторов ПС-70Е, типичной для ВЛ класса напряжения 110 кВ (рис. 8). Подвес конструкции осуществлялся на заземлённой траверсе. К проводу, установленному на гирлянде изоляторов, подводился высоковольтный вывод генератора импульсов напряжения (ГИН). Между проводом и электродом РМКЗ выполнен регулируемый искровой воздушный промежуток.

Задача испытания — определение максимальной длины ИВП, при которой не происходит перекрытия линейной изоляции.

Методика проведения испытаний предполагала приложение к гирлянде изоляторов серии импульсов напряжения с крутым фронтом обеих полярностей с пошаговым увеличением длины ИВП. Для определения пути прохождения разряда в каждом опыте проводилась фотосъёмка.

В ходе испытаний определено, что надёжная координация срабатывания РМКЗ с линейной изоляцией сохраняется при максимальной величине ИВП 300 мм.

Испытание одноминутным переменным напряжением

Единственная функция РМКЗ — защита ВЛ 110 кВ от аварийных отключений, вызванных воздействием молнии. Разрядник не предназначен для защиты от внутренних сетевых перенапряжений, а, следовательно, должен быть отстроен от них достаточной величиной ИВП.

Задача такого вида испытаний — определение минимальной величины ИВП, при которой не будет происходить срабатывания РМКЗ вследствие воздействий внутренних сетевых перенапряжений.

Установка РМКЗ аналогична предыдущему виду испытаний с той лишь разницей, что вместо ГИН к проводу, установленному на гирлянде изоляторов,

подключён трансформатор напряжения.

Методика испытаний заимствована из [4] и предполагает приложение к разряднику переменного напряжения 200 кВ промышленной частоты и выдержки его в течение 1 мин с непрерывным воздействием дождя.

Для определения минимальной величины ИВП проводится его пошаговое уменьшение до первого срабатывания или перекрытия разрядника.

Испытания позволили определить минимальную величину ИВП в 200 мм, при которой в течение 1 мин не происходит срабатывания или перекрытия разрядника.

Выводы

1. В статье описаны конструкция и принцип работы инновационного устройства РМКЗ-110, предназначенного для защиты ВЛ 110 кВ от прямых ударов молнии в фазные провода.

2. Разрядник РМКЗ-110 обладает достоинствами ОПН, такими как малые габариты, высокое быстродействие и широкая область применения, а также достоинствами РМК — стойкостью к многократным воздействиям токов прямого удара молнии и относительно невысокая себестоимость.

3. Технология изготовления мультикамерных разрядников, в отличие от варисторов, обладает большим потенциалом развития.

4. Технические решения, используемые в конструкции РМКЗ-110, позволяют применить их для создания большой группы устройств молниезащиты

ВЛ разных классов напряжения и для разных условий.

5. Проведённые исследовательские электрические испытания подтверждают работоспособность РМКЗ-110.

Список литературы

1. Гайворонский А. С. Грозозащита ВЛ без тросов. Опыт проектирования с применением линейных ОПН // Новости электротехники. 2012. № 5(77). <https://bit.ly/3P3fP7d>.

2. Подпоркин Г. В. Грозозащита ВЛ 10 – 35 кВ и выше при помощи мультикамерных разрядников и изоляторов-разрядников / Г. В. Подпоркин, Е. Ю. Енькин, Е. С. Калакутский, В. Е. Пильщиков, А. Д. Сиваев // Электричество. 2010. № 10. С. 11–16.

3. Подпоркин Г. В., Енькин Е. Ю., Пильщиков В. Е. Молниезащита воздушных линий электропередачи мультикамерными разрядниками нового поколения // Известия РАН. Сер. «Энергетика». 2015. № 3. С. 95–102.

4. СТО «ПАО «РОССЕТИ» 34.01-2.2-037–2021. Разрядники мультикамерные молниезащитные для воздушных линий электропередачи переменного тока на напряжение 6 – 110 кВ. Общие технические требования. Правила приёмки и методы испытаний. <https://bit.ly/3VqPHWj>.

5. Подпоркин Г. В. Молниезащита воздушных линий? электропередачи. — СПб: ИД «Родная Ладога», 2015.

6. IEEE Std 1410–2010. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines. <https://standards.ieee.org/ieee/1410/4720>.

РЕМОНТ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ КЛИЕНТА ПО ПОДПИСКЕ

Оформите подписку, и при нарушении функционирования ваших кабельных линий наши специалисты оперативно придут на место и устранят повреждение. Оплата подписки осуществляется 1 раз в год и значительно экономит ваши средства: стоимость услуги в среднем составляет 4% от реальной стоимости ремонта!



В УСЛУГУ ВХОДИТ:

- поиск места повреждения кабельной линии
- получение разрешения (открытие ордера) на производство земляных работ
- выполнение земляных работ (раскопка и последующая засыпка места повреждения)
- выполнение ремонта с установкой соединительных муфт и вставки кабеля

Москва,
ул. Вавилова, д. 7Б
uslugi@rossetimr.ru
8 800 220 0 220 #6

