

Авторы

Юль Александр Сергеевич;
Младший научный сотрудник;
АО «НПО «Стример»;
Санкт-Петербург, Невский пр. д.147, офис 17-Н;
+7 981 163-66-82;
alexander.yul@streamer.ru

Коткин Дмитрий Валерьевич;
Младший научный сотрудник;
АО «НПО «Стример»;
Санкт-Петербург, Невский пр. д.147, офис 17-Н;
+7 911 135-58-10;
dmitry.kotkin@streamer.ru

Енькин Евгений Юрьевич;
Ведущий научный сотрудник;
АО «НПО «Стример»;
Санкт-Петербург, Невский пр. д.147, офис 17-Н;
+7 921 643-14-45;
evgeniy.enkin@streamer.ru

Сиваев Александр Дмитриевич;
Советник генерального директора по науке;
к.т.н.;
АО «НПО «Стример»;
Санкт-Петербург, Невский пр. д.147, офис 17-Н;
+7 921 900-15-23;
alexander.sivaev@streamer.ru

Мультикамерные разрядники закрытого типа.

Характеристики и результаты исследовательских испытаний.

А.С. Юль, Е.Ю. Енькин, Д.В. Коткин., А.Д. Сиваев к.т.н.

Введение

Разрядник мультикамерный закрытого типа (РМКЗ-110) – устройство нового типа, предназначенное для защиты воздушных линий электропередачи 110 кВ от аварийных отключений, вызванных воздействиями молнии (рисунок 1). По своим техническим характеристикам РМКЗ-110 аналогичен ОПН наивысшего, пятого класса пропускной способности (по величине пропускаемого заряда, обозначенного в [1], таблица 1 - классификация ОПН) и может без ограничений применяться на ВЛ, не оборудованных молниезащитным тросом.

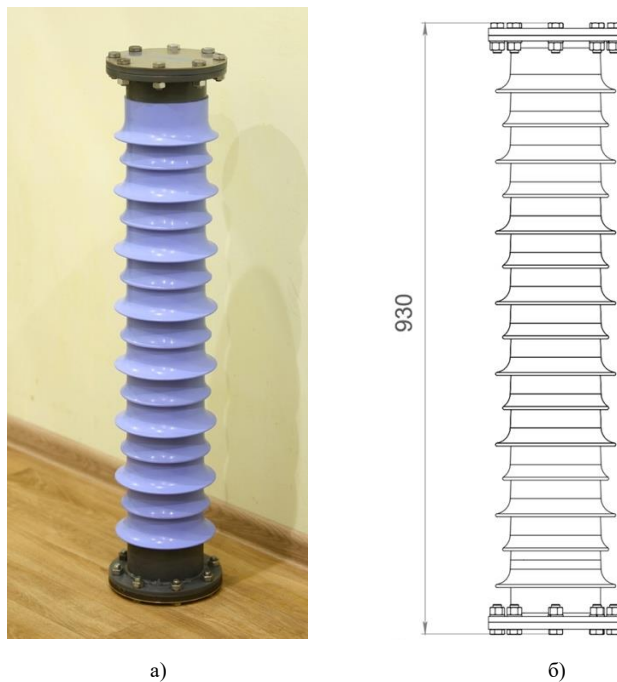


Рисунок 1 – РМКЗ-110:

а) внешний вид; б) габаритный эскиз.

Для подтверждения технических характеристик проведена серия исследовательских электрических испытаний РМКЗ-110 по требованиям [1], демонстрирующая базовую работоспособность устройства.

В перечень испытаний вошли:

- испытания на отключающую способность;
- испытания на пропускную способность;

- испытания импульсами большого тока;
- 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 к.з. при возникновении на ВЛ грозовых перенапряжений.

Испытания проводятся на специально разработанном высоковольтном стенде имитирующим одновременное воздействие реальных параметров молнии и сети на испытуемый образец (рисунок 2).

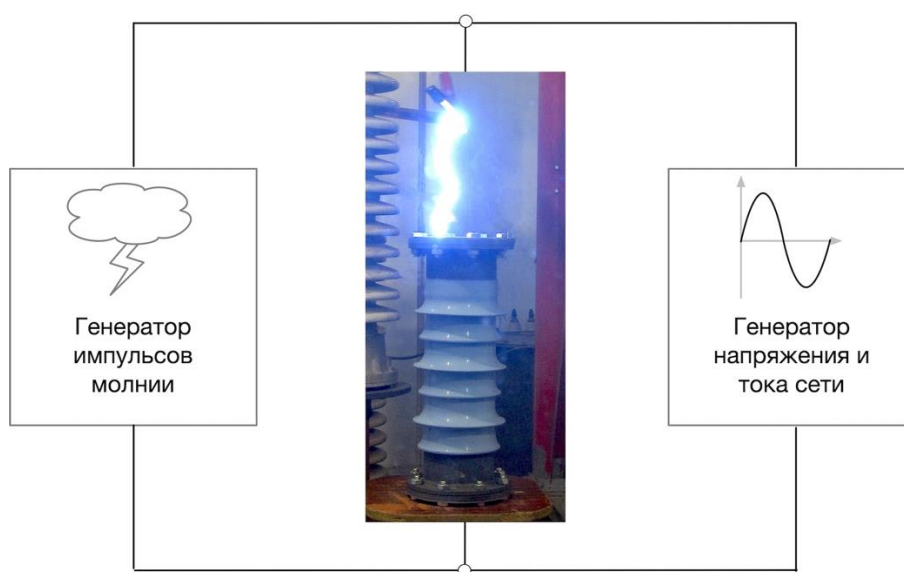


Рисунок 2 – Блок-схема испытательного стенда.

Импульс молнии моделируется ГИНТ. Параметры воздействия: амплитуды токов молнии - до 30 кА, длительность до полуспада - до 100 мкс. По расчётам [2] данные параметры в максимальном своём выражении соответствуют 95%-ной вероятности появления возможных токов молнии по [3], которые протекут через один, ближайший к месту удара молнии разрядник. Воздействия сети моделируются колебательным контуром с напряжением до 30 кВ и током к.з. до 25 кА.

Ограничение по максимальному напряжению колебательного контура не позволяет провести испытания полноразмерного образца на 110 кВ, поэтому опыты проводились на образце укороченного размера (рисунок 1).

По программе испытаний к каждому образцу прикладывалось по 10 воздействий тока молнии обратных перекрытий и прямых ударов молнии (ПУМ) с различными амплитудами от 3 до 30 кА. Одновременно с этим на образце восстанавливалось

напряжение сети, под действием которого по сработавшему разряднику стремился протечь сопровождающий ток.

Конструкция мультикамерной системы (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 0,5 мс.

Результаты испытаний оценивались по осциллограммам. На рисунке 3 представлены типовые осциллограммы напряжения, приложенного к образцу и тока протекающего через него. 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 6 повторений стандартной программы испытаний, т.е. более 60 воздействий, 40 из которых составили импульсы токов ПУМ.

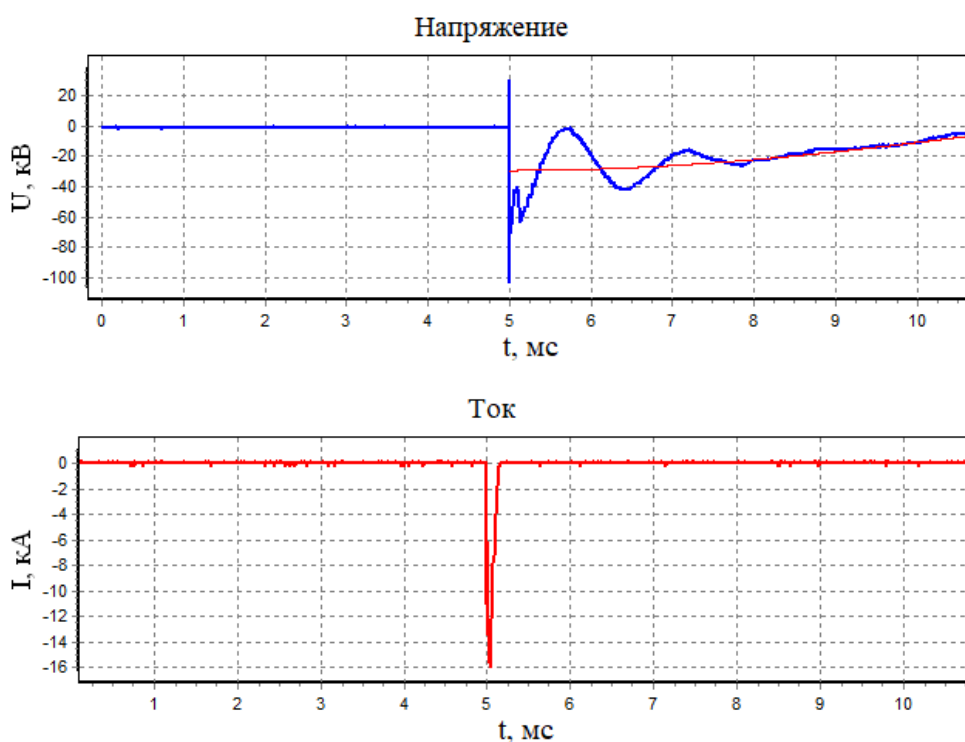


Рисунок 3 – Типовые осциллограммы напряжения на РМКЗ и протекающего через него тока при испытаниях на отключающую способность.

По расчётам, проведённым в [2], 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 более чем значительный запас рабочего ресурса.

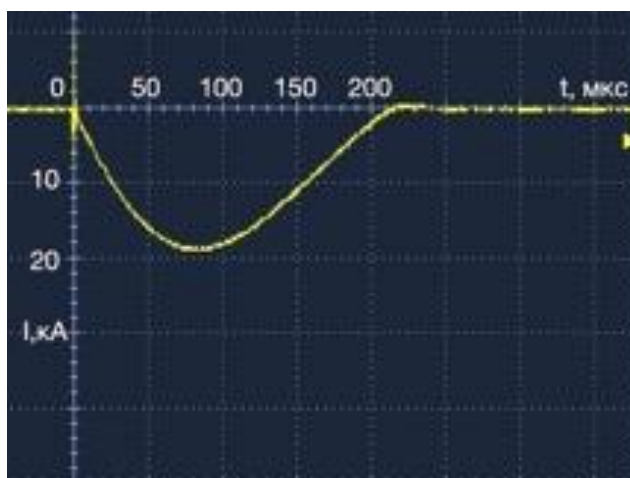
Испытания на пропускную способность

В [1] дано официальное определение: *пропускная способность* - показатель, характеризующий способность ОПН выдерживать многократно повторяющиеся воздействия импульсов тока при нормированной величине переносимого заряда (заряда пропускной способности) без повреждения и недопустимого ухудшения электрических характеристик варисторов.

По аналогии с методикой испытаний линейных ОПН проведены испытания РМКЗ на пропускную способность. В отличие от ОПН, где критерием успешности является отсутствие изменений контрольных значений для квалификационного, а также остающегося напряжений до и после всего цикла испытаний, критерием успешности для РМКЗ является наличие сохранения отключающей способности, а также отсутствие критических повреждений.

Испытания проводились на трёх образцах РМКЗ (рисунок 4а), содержащих по два разрядных модуля (рабочий элемент, представляющий собой диск из полимерного материала с расположенной внутри мультикамерной системой).

Методика испытаний предполагала приложение каждому образцу 20 импульсов тока (рисунок 4б) с амплитудой 19 кА длительность 210 мкс (величина пропускаемого заряда каждого импульса составляла - 2,4 Кл).



а)

б)

Рисунок 4 – испытания на пропускную способность:

а) испытуемый образец; б) осциллограмма тока испытательного импульса.

Испытательные воздействия разделены на 10 серий по 2 импульса. После всех воздействий проведены испытания на отключающую способность, которые показали сохранение рабочих характеристик РМКЗ и отсутствие повреждений разрядных модулей.

Испытания большим током

Определение из [1]: *импульс большого тока* - максимальное (амплитудное) значение разрядного тока 4/10 с длительностью фронта в диапазоне от 3,5 до 4,5 мкс и длительностью импульса в диапазоне от 9 до 11 мкс.

Для ОПН импульсы большого тока являются составной частью испытаний на тепловую устойчивость. В случае с РМКЗ, где протекающий ток не разделяется на множество параллельных ветвей, как в варисторах, а течёт по единому пути – искровым промежуткам мультикамерной системы, эти испытания демонстрируют стойкость конструкции разрядных модулей к мощному динамическому воздействию быстро расширяющихся плазменных каналов.

По аналогии с испытаниями на пропускную способность испытания большим током проводились на трёх образцах, содержащих по 2 разрядных модуля. По методике испытаний, описанной в [1] к каждому образцу должны быть приложены по два импульса тока амплитудой $100 \text{ кА} \pm 10\%$ с временными параметрами 4/10 мкс. По факту, получены характеристики импульсов тока - 92 кА 4/14 мкс, что укладывается в допустимые рамки (рисунок 5).

По окончании испытаний образцы РМКЗ испытаны на отключающую способность, которые подтвердили сохранение работоспособности и отсутствие повреждений разрядных модулей.

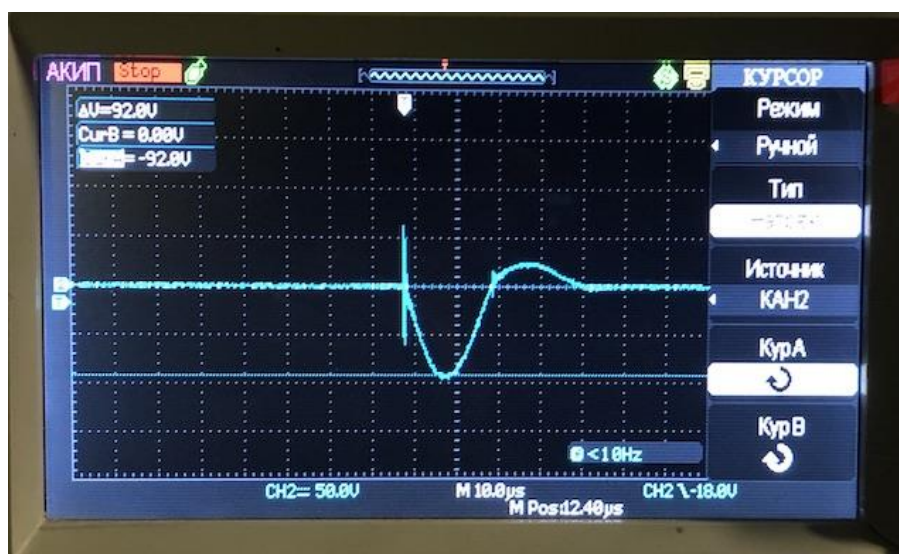


Рисунок 5 – Оциллограмма импульса большого тока.

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 (рисунок 6). Подвес конструкции осуществлялся на заземлённой траверсе. К проводу, установленному на гирлянде изоляторов, подводился высоковольтный вывод ГИИ. Между проводом и электродом РМКЗ выполнен регулируемый искровой воздушный промежуток (ИВП).

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 велась фотосъёмка.

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



Рисунок 6 – Проверка возможности защиты изоляторов от перекрытий.

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

Установка РМКЗ (рисунок 7) аналогична предыдущему виду испытаний с той лишь разницей, что вместо ГИН подключён трансформатор напряжения.



Рисунок 7 – Проведение испытаний одноминутным переменным напряжением.

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

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

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

Характеристики РМКЗ-110

Характеристики РМКЗ-110 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Нормировочное значение
1. Класс напряжения, кВ	110
2. Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ	73
3. Величина ИВП, мм	200 – 300
4. Импульсное разрядное напряжение при величине ИВП - 300мм, не более, кВ	550
5. Величина ожидаемого действующего значения тока короткого замыкания (КЗ) сети, при котором гарантируется не менее 10 срабатываний, кА	25
6. Время гашения дуги сопровождающего тока промышленной частоты, не более, мс	0,5
7. Одноминутное переменное напряжение в сухом состоянии и под дождем при величине ИВП 200 мм, не менее, кВ	200
8. Выдерживаемый импульсный ток длительностью до полуспада не менее 50 мкс, не менее 2-х воздействий, кА	30
9. Пропускная способность, Кл	2,4
10. Выдерживаемый большой импульсный ток 4/10, не менее 2 раз, кА	100±10%
11. Срок эксплуатации, не менее, лет	30
12. Габарит по высоте, мм	930

Вывод

1. Проведённые исследовательские электрические испытания подтверждают наличие базовой работоспособности мультикамерного разрядника закрытого типа для ВЛ-110 кВ.
2. Испытания на отключающую и пропускную способность демонстрируют высокую стойкость разрядника к многократным импульсам тока прямых ударов молнии.
3. Испытание на координацию срабатывания с линейной изоляцией и испытание одноминутным переменным напряжением позволили определить максимальную и минимальную величину искрового воздушного промежутка между проводом и электродом разрядника – 250±50 мм.

4. Рекомендовано проведение полного цикла приёмочных электрических, механических и климатических испытаний.

Литература:

- [1] ГОСТ Р 52725–2021. Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного тока напряжением от 3 до 750 кВ. Общие технические условия
- [2] Подпоркин Г. В. Молниезащита воздушных линий электропередачи. – СПб.: ИД «Родная Ладога», 2015.
- [3] IEEE Std 1410-2010. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines.
- [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