

Режим короткого замыкания – ограничители перенапряжения и счётчики импульсов

Джеймс Тейлор, ABB Power Products, Ludvika, Швеция

От автора

Ограничитель перенапряжения (ОПН), может быть перегружен в любое время его работы. Это выдвигает требования к способности ОПН "выходить из строя надёжно", без риска повреждения оборудования или причинения травм находящемуся вблизи персоналу. Несмотря на это, остаётся неопределённость относительно режима короткого замыкания определённых конструкций ОПН и последовательно подсоединённого с ними сопутствующего оборудования. В связи с тем, что невозможно предсказать точный момент возникновения перегрузки, возникает вопрос: насколько они безопасны во время прохождения токов короткого замыкания?

1 Введение

Большое количество параметров влияет на выбор конструкции высоковольтного ограничителя напряжения, однако требования, обычно выдвигаемые клиентом, можно подразделить на две основные категории:

- защита от перенапряжений
- высокая надёжность и длительный срок эксплуатации

В дополнение к этому, подразумевается, что риск для персонала и окружающего оборудования в случае перегрузки ОПН должен быть минимален.

Первичным требованием, предъявляемым к ОПН, является защита при любых обстоятельствах, что, естественно, ведёт к более повышенному ожиданию аварийной ситуации (перегрузки), по сравнению с требованиями к другому высоковольтному оборудованию. Вопрос "Mean Time Between Failure" (MTBF), "Предполагаемое время между перегрузками" и "Mean Time To Repair" (MTTR) "Предполагаемое время, необходимое для ремонта" часто задаётся при выборе оборудования подстанции. Другое высоковольтное оборудование: выключатели, трансформаторы оборудования, силовые трансформаторы и др. рассчитаны на бесперебойную работу в течении многих лет, хотя и с необходимым регулярным обслуживанием. Однако, такой анализ не

имеет значения или непосредственного отношения к ОПН. Расчётный срок службы современного ОПН без искрового промежутка из оксида цинка ZnO, с полным основанием может составлять период, необходимый для защиты оборудования, обычно более 30 лет. Несмотря на это, это не означает, что он будет работать так же долго, как защищаемое оборудование. Необходимо помнить, что ОПН, в принципе, является расходным защитным устройством, спроектированным для предохранения другого электрического оборудования и, в обычном рабочем случае, он должен "пожертвовать собой" для защиты основной станции. Однако, не нужно рассматривать такой случай как "авария", если он имеет естественные причины, лучше считать функцию ОПН как последний резерв.

Поэтому большинство стандартов ОПН требуют испытания на внутреннее короткое замыкание, чтобы проверить способность ОПН выдерживать внутренние к.з. (сброс давления при к.з.). Для подтверждения правильной функции ОПН, предупреждающей нарушение работы оборудования и травмы персонала в случае перегрузки, к ним предъявляются специальные требования.

2 Режим короткого замыкания высоковольтных ОПН

Правильно выбранный ОПН может отклонять импульсы напряжения практически бесконечно, в случае, если энергия, которую необходимо рассеять, соответствует возможностям этого типа ограничителя. В случае если ограничитель должен рассеять больше энергии, чем предусмотрено данным типом, он "жертвует собой", инициируя внутреннее к.з. Чаще всего ОПН подсоединены по схеме фаза-земля и при срабатывании замыкаются на землю, мгновенно прерывая напряжение на фазе и, таким образом, предохраняя другое оборудование, подключенное к той же фазе. Входная защита инициирует срабатывание выключателя для устранения перегрузки и аварийный ограничитель затем может быть заменён.

Обычно кожухи ОПН изготавливались из фарфора. Однако, в настоящее время превалирует тенденция, а часто даже отдаётся предпочтение, применению силиконовых изоляторов для изготовления ОПН во всех системах напряжений. Среди причин использования силикона вместо фарфора, упоминается потенциально лучшая способность силикона выдерживать режим короткого замыкания, что повышает безопасность другого оборудования и персонала, при правильном проектировании.

Ошибочно однако полагать, что лучшая способность проведения короткого замыкания автоматически достигается путём замены фарфоровых кожухов на полимерные. В прошлом ошибочно полагалось, что все ограничители с полимерными кожухами, независимо от конструкции, способны выдерживать огромные токи короткого замыкания. Это не так, и конструкция ОПН должна быть тщательно разработана для каждого специального типа.

2.1 Полая трубная конструкция

Трубная конструкция включает отдельный кольцевой газовый промежуток между активными частями и внешним изолятором. Если не принять мер, то существует вероятность того, что ограничители, которые содержат определённый объём газа (как фарфоровые так и полимерные), могут взорваться из-за увеличения внутреннего давления, вызванного нагревом от дуги короткого замыкания. Это приводит к тому, что эти ограничители должны быть оборудованы устройством для сброса давления, которое быстро выпустит наружу определённое количество газа. Такие ограничители обычно снабжены устройствами, расположенными внизу и наверху на каждом блоке, срабатывающими как только внутреннее давление превысит определённую величину. Ионизированный газ затем выходит из ограничителя и когда два газовых потока встретятся, внутренняя дуга переключится на внешнюю сторону, таким образом предупреждая увеличение внутреннего давления и избегая сокрушительного разрушения кожуха.

Эта конструкция хорошо известна и понятна. Несмотря на это, даже если сам кожух не взрывается, опыт показывает, что существует риск, что фланцевые крышки, вентиляционные каналы, фарфоровые юбки или другие внешние детали могут быть смещены со своих мест и отброшены. Снижение такого риска

должно быть предусмотрено при проектировании и, естественно, проверено с помощью испытаний.

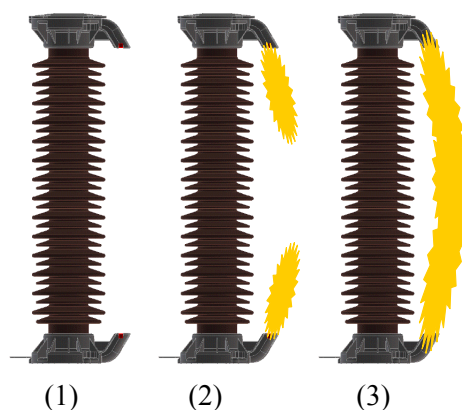


Рисунок 1. Принцип действия устройства сброса давления ОПН с фарфоровыми кожухами АББ типа EXLIM и силиконовыми кожухами HS PEXLIM трубной конструкции.

(1) Ограничитель перенапряжения в обычном состоянии.

(2) Ограничитель перенапряжения находится в режиме внутреннего короткого замыкания, пластины сброса давления открыты и газ начинает выходить через вентиляционные каналы.

(3) Два газовых потока встречаются и внутренняя дуга переключается наружу.

В мире всё ещё эксплуатируется много силиконово-карбидных (SiC) ОПН с искровым промежутком и фарфоровыми кожухами, спроектированными с большим внутренним объёмом газа. Так как по статистике риск выхода из строя старых ОПН больше, они должны рассчитываться на максимальный риск разрушения. Далее, при расширении систем, может возникнуть необходимость усовершенствования соединённых с ними ОПН, если результат превышает запроектированную мощность и увеличивает риск разрушения, факт, которому часто не придаётся значение. ОПН, изготовленные даже в 1970 году, могут не иметь необходимых устройств сброса давления, обеспечивающих безопасную работу в условиях внутреннего короткого замыкания. Даже если такие устройства есть, нет уверенности в том, что они нормально функционируют в случае, если мощность к.з. на линии была увеличена с момента первоначальной установки и в настоящее время выше запроектированных параметров ограничителя. Такие ОПН с большой долей вероятности не соответствуют сегодняшним требованиям к безопасности коротких замыканий и могут разрушительно срабатывать в случае нарушения их нормальной работы, причиняя повреждения сопутствующему оборудованию и подвергая

риску персонал, находящийся в непосредственной близости.

2.2 Закрытая или обернутая конструкция

Импульсные ограничители перенапряжения в этой категории включают "монолитный" (частично или полностью) полимерный кожух, закрывающий внутреннюю сборку и полностью защищающий активные компоненты при помощи твёрдого материала. Конструкция характеризуется отсутствием прямого пути для выхода наружу дуги во время внутреннего короткого замыкания. Типичные решения включают стекловолоконную оболочку непосредственно на столбце блоков или отдельную трубу, в которой расположены оксидированные цинком блоки. Затем на эту внутреннюю сборку компонентов устанавливается мягкий полимерный изолятор (предварительно отлитый или отлитый по месту крепления), часто вместе с жировым или гелевым заполнением свободных пространств.

Возникающая в момент перегрузки внутренняя дуга, стремится быстро пробить путь сквозь твёрдый материал, окружающий блоки из оксидированного цинка ZnO. После этого дуга легко пробивает отверстие в наружном кожухе из мягкого полимера для выхода наружу и выводит газы.

Для получения высокой механической прочности, оболочка/труба должны быть выполнены достаточно надёжно, что в свою очередь может привести к ещё более прочной конструкции, принимая во внимание силы, возникающие при коротком замыкании. Внутреннее избыточное давление может значительно увеличиться перед пробиванием твёрдого материала, что может привести к опасности взрыва с распространением осколков на большой территории. Для предупреждения разрушения кожуха, используются различные местные конструктивные решения, например, пазы в трубе. При использовании стекловолоконной оболочки, альтернативным решением может быть устройство изгибов специальной формы для ослабления определённых слабых мест для облегчения пробоя. Эти ослабленные места имеют своей целью обеспечить сброс давления и перенаправить внутреннюю дугу наружу, предохраняя таким образом от взрыва.

Может возникнуть вопрос об окончательной эффективности таких решений относительно их способности постоянно действовать как запланированными, независимо от момента и

места возникновения внутренней дуги. Особенно в случае, если устройство слишком закрыто и давление достигает большого значения, трубная конструкция должна быть дополнена устройством сброса давления.

2.3 Открытая или решеточная конструкция

Эта конструкция может состоять из витков стекловолокна, стекловолоконистых штоков или стекловолоконистой решетки/сетки, в которую обернут столбец блоков. Отличительной чертой этого типа конструкции является то, что конструкция не полностью окружена твёрдыми материалами. Вместо этого, тело мягкого полимерного материала непосредственно окружает внутренние компоненты. Такие конструкции не имеют замкнутого газового пространства. В случае перегрузки ОПН из-за превышения параметров его расчётной способности, возникнет внутренняя дуга. Благодаря открытой конструкции, дуга пройдёт отверстие или прожжёт выход сквозь полимерный материал, и вместе с сопутствующими газами вырвется наружу. Поэтому, отдельные устройства сброса давления не требуются для конструкции этого типа.

Несмотря на это, устройство не должно быть слишком открытым, иначе существует риск вытеснения дугой фрагментов твёрдого внутреннего материала - блоков окиси цинка и металлических деталей. Особенно это может быть актуально в случае длинного блока ОПН в комбинации с большими токами короткого замыкания.

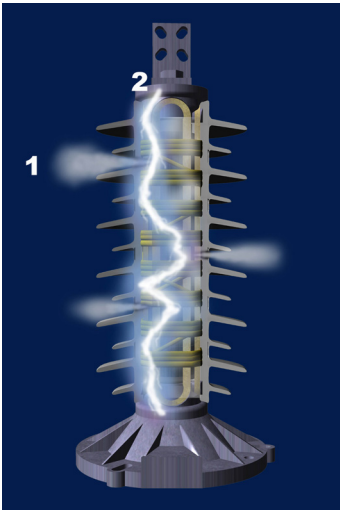


Рисунок 2. Принцип действия "сброса давления" для непосредственно залитой конструкции ОПН открытого типа для ограничителей типа PEXLIM компании АББ.

(1) В ОПН возникло короткое замыкание и газ начинает выходить через мягкий силиконовый кожух.

(2) Газовые потоки вызывают внешнее искровое перекрытие и внутренняя дуга благополучно выходит наружу. Одновременно обмотка удерживает внутренние компоненты на месте.

Компания АББ применяет уникальную, запатентованную конструкцию для своих ограничителей перенапряжения PEXLIM для изоляции блоков ZnO каждого модуля под предварительной компрессией в сетку из стекловолокна усиленную витками, закреплёнными между двумя ярусами, которые имеют форму электродов. Особое огнеупорное волокно наматывается на витки, что и формирует конструкцию открытой оболочки модуля. После этого внешний силиконовый кожух непосредственно отливается на внутренние компоненты и формирует монолитный, герметичный кожух по всей длине изолятора. В результате, ОПН приобретает безопасную герметичность, высокую механическую прочность, отличные характеристики короткого замыкания, благодаря волоконной изоляции, предохраняющей от повреждения внутренние компоненты при протекании процесса взрыва.

Большая исследовательская работа была проведена компанией АББ для определения количества волокна и угла волоконной намотки для обеспечения непрерывного и безопасного выдерживания токов короткого замыкания. Выводом исследований стала необходимость использования обмотки с этим

типом конструкции длинных модулей, используемых при высоких напряжениях.



Рисунок 3. Успешное испытание короткого замыкания ограничителя перенапряжения PEXLIM с обмоткой.



Рисунок 4. Неудачное испытание короткого замыкания ограничителя без обмотки.

3 Испытания короткого замыкания (сброс давления)

Стандартные процедуры испытаний короткого замыкания основных типов ограничителей перенапряжения учитывают, что может произойти при отказе блоков ZnO с индивидуальными конструкциями, для уменьшения риска повреждения окружающего оборудования и травм персонала. Однако остаётся различие в требованиях между последними изданиями двух наиболее распространённых стандартов ограничителей: IEC60099-4 и IEEE C62.11. Эти различия могут быть обобщены следующим образом:

IEC 60099-4

- Порядок проведения испытания хорошо определён для различных конструкций и типов кожухов.
- Включает испытания токами высокой, средней и низкой величины.
- Чёткое различие в отношении специальных требований, особенно применительно к полимерным ограничителям.

IEEE C62.11

- Аналогичная процедура испытаний и характер аварий (плавкая вставка/проволочный предохранитель), определённый для ограничителей стационарного и промежуточного классов с фарфоровыми и полимерными кожухами. Требуется испытание только высоким и низким токами.
- Различные процедуры для ограничителей распределительного класса с фарфоровыми и полимерными

кожухами. Требуется различные режимы отказа для высокого, среднего и низкого испытательного тока только для ограничителей с полимерным кожухом поедназначенных для распределительных сетей.

IEEE C62.11 - находится в процессе пересмотра в соответствии с перерасчётом на требования ИЕС. Последний стандарт ИЕС более обновлен, чем соответствующий стандарт IEEE, так как содержит дополнения и определения, которые ещё не были обработаны включены в IEEE.

3.1 Классификация конструкций ограничителей

В ИЕС 60099-4 определены две основные конструкции: "Конструкция А" и "Конструкция Б". Они отличаются по относительному объёму газового канала, который проходит в продольном направлении ограничителя.

Ограничители "Конструкции А" имеют газовый канал, проходящий вдоль всей длины ограничителя и занимающий $\geq 50\%$ внутреннего объёма, свободного от внутренних активных элементов. Обычно, эти ограничители имеют фарфоровые кожухи или полимерные кожухи с композитным полым изолятором и кольцевым газовым промежутком, т.е. ограничители трубной конструкции.

Ограничители "Конструкции Б" имеют сплошную конструкцию без газового объёма или имеют наполнение газового объёма $< 50\%$ внутреннего объёма, свободного от внутренних активных элементов. Обычно это ограничители с монолитными полимерными кожухами без каких-либо отдельных устройств сброса давления, т.е. открытой, решетчатой, закрытой или обернутой конструкции.

3.2 Порядок проведения испытания

Действие ограничителя перенапряжения во время короткого замыкания, во многом определяется статистическим риском и вероятностью. Поэтому одно испытание, насколько бы оно не было удачным или неудачным, не может гарантировать повторяемость в сервисе. По этой причине компания АББ проводит большое количество последовательных испытаний короткого замыкания в процессе разработки конструкции, перед тем как принять окончательное решение. Таким образом, увеличивается вероятность ожидаемой

запроектированной функции ограничителя. Важной частью этого является проведение рассматриваемых как решающими, испытаний на самом длинном кожухе блока, так как проверка более коротких кожухов не соответствует рабочим характеристикам полной длины.

В течении нескольких лет велись оживлённые дискуссии о том должен ли испытательный ток короткого замыкания инициироваться плавким проводом, проходящим вдоль поверхности блока ZnO, плавким проводом проходящим через просверленное отверстие в центре блоков ZnO или быть вызван предварительным отказом (электрической перегрузкой). Испытание короткого замыкания основывается на худших сценариях протекания процесса, но в то же время проверка должна представлять наиболее релевантный сценарий отказа без предъявления слишком жёстких/простых требований к конструкции.

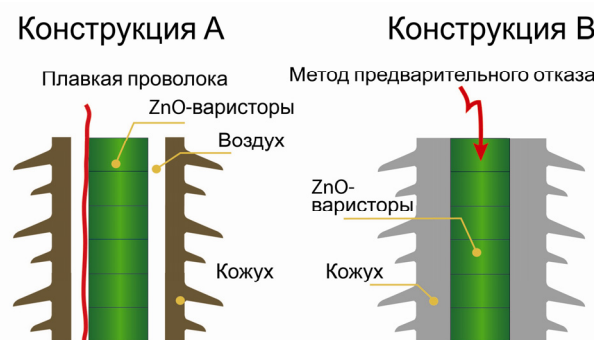


Рисунок 5. Сравнение режимов инициации короткого замыкания.

Для ограничителей "Конструкции А" обычно принято, что плавкий провод, находящийся в газовом объёме вдоль всей поверхности столбца блоков ZnO, представляет собой наиболее релевантный сценарий отказа. Для этой конструкции, вероятность отказа, инициированного в газовом пространстве, значительно больше, чем в блоках ZnO и, таким образом, эта конструкция главным образом должна доказать свою способность справиться с ударной волной, вызванной внутренней дугой.

Для ограничителей с полимерным кожухом "Конструкции Б", более высокая вероятность отказа инициируется в блоках ZnO и плавкая проволока вдоль поверхности блоков не используется, так как она не может представлять наихудший сценарий для этой конструкции (слишком простой). Такое испытание может привести к ошибочному принятию в эксплуатацию ограничителей

небезопасных с точки зрения процесса короткого замыкания. С другой стороны, плавкая проволока, пропущенная через просверленные в блоках отверстия, наоборот, является слишком жёстким сценарием для ограничителей такого типа, так как чрезвычайно неправдоподобно, что блоки ZnO отказавшего полимерного ограничителя такой конструкции будут пробиты. Поэтому необходимо рекомендовать метод предварительного отказа ограничителей с полимерными кожухами "Конструкции Б", который среди других альтернатив является компромиссом, позволяющим провести одновременно жёсткие и реалистичные испытания и автоматически исследовать возможные влияния однородности материала. Однородный блок ZnO может термически отказать ближе к центру, по сравнению с неоднородным блоком, который потенциально более слаб ближе к краю. Независимо от этого, метод электрической перегрузки (предварительного отказа) испытывает рабочие параметры более реально для этого типа ограничителей.

Требования к организации самой схемы испытания также ясно описана и специфицирована в IEC 60099-4 таким образом, чтобы создать наихудший сценарий для конкретной конструкции.

3.3 Испытательные токи

Ранее было принято, что ограничитель, отвечающий определённому классу тока и учитывающий способность сброса давления, автоматически отвечает всем классам более низкого тока. Впоследствии было выяснено, что это происходит не всегда и конструкция может иметь "серые зоны", если она проверена только на максимально возможную амплитуду тока. Очень длинные блоки могут эффективно переключать дугу наружу при чрезвычайно больших токах, но потерпеть полную неудачу при слабых токах. Для исключения этой неопределённости, IEC 60099-4 требует проверку ограничителей не только самым большим током короткого замыкания (100%), но и токами, имеющими величины, примерно, 25 % и 50 % от максимального значения. Кроме того, должно быть проведено испытание слабым током.

Стандарт IEC, далее детально описывает требования к продолжительности и амплитуде тока, прикладываемой при испытании конкретной конструкции. В частности требования допускают проверку ограничителей на полной длине, что является

существенным для создания реального процесса короткого замыкания.

3.4 Оценка испытания

Основными критериями допуска являются отсутствие сильного разрушения и самопроизвольное затухание открытых языков пламени в течении 2 минут. Однако на практике считалось утопическим иметь такие жёсткие требования, как, например, "оставить полную целостность" или "не должна быть разрушена ни одна часть" для критерия допуска ограничителей перенапряжения, проходящих испытания коротким замыканием. Это привело бы выбраковке ограничителей как не прошедших испытания, даже если все остальные характеристики были положительны. Поэтому IEC 60099-4 допускает возможность выпадения наружу керамических фрагментов (ZnO блоки или фарфор) весом до 60 грамм, вентиляционных крышек и мягких частей полимерных материалов.

Можно представить, что мягкие полимерные материалы вообще не могут нанести или причинить очень незначительный вред в случае их выброса. Компания АББ, тем не менее, настроена очень критически к принятию стандарта, в котором разрешается выброс твёрдого материала весом 60 грамм на значительное от ограничителя расстояние. Факт того, что фрагменты твёрдых материалов, таких как фарфор или блоки ZnO, которые вылетели за испытательное ограждение, не имеют какой-либо опасной кинетической энергии, рассматривается как компромисс.

Недостатком является то, что не указано какие фрагменты могут быть выброшены во время испытания. Керамический осколок весом в 60 грамм, летящий с большой скоростью, может причинить серьёзный вред или травму. Поэтому необходимо сделать различие в понятиях "не раздробляющийся" и "не взрывающийся". Таким образом, даже если фрагменты весят меньше чем 60 грамм, дополнительным критерием должно быть то, что отсутствует взрыв, сопровождающийся сильным выбросом твёрдого материала за пределы зоны испытания. Например, если ограничитель взорвался с такой силой, что керамический материал полностью превратился в осколки, весящие менее 60 грамм, которые разлетелись за пределы зоны испытания, не может быть засчитан, с чистой совестью, как удачно прошедший испытания.

4 Счётчики импульсов напряжения находятся в том же контуре

В системах с напряжением, превышающим примерно 100 кВ, счётчики импульсов напряжения часто установлены последовательно с ОПН. Основной причиной для применения счётчиков импульсов напряжения в современных ограничителях типа ZnO без искрового промежутка, является проверка не подвергается ли отдельная линия передачи или фаза большому количеству перенапряжений, которое приводит к срабатыванию ограничителя – например, грозовые импульсы на линии. Если это так, то наряду с установкой ограничителей, применение превентивных счётчиков - измерения могут быть гарантированы для ограничения количества импульсов напряжения. Внезапное увеличение в расчётном диапазоне может также указывать на внутренний отказ ограничителя, в этом случае ограничитель должен быть дополнительно проверен. Счётчики импульсов напряжения иногда дополнены оборудованием для измерения токов утечки (общих и/или резистивных), с целью мониторинга и диагностики состояния ограничителя и его физической пригодности для дальнейшего обслуживания.

Естественно что, эти счётчики импульсов напряжения/мониторы должны быть соединены последовательно с ОПН для того, чтобы они могли замерять те же импульсы напряжения и токи, которые чувствуют ограничители. Это означает, что они должны подвергаться воздействию тех же токов короткого замыкания в случае перегрузки ограничителя. Однако, в настоящее время в стандартах нет никаких требований какого-либо вида проверки или испытания способности этого устройства безопасно выдерживать нагрузку, которую может получить ограничитель. В связи с тем, что невозможно предсказать точный момент возникновения перегрузки, возникает вопрос: насколько они безопасны во время прохождения токов короткого замыкания?

Для того, чтобы генерировать необходимый вход в регистрационный контур с прохождением тока импульса напряжения в землю, одна из двух базовых конструкций использована в счётчиках имеющихся на рынке в настоящее время:

- встроенные блоки ZnO и/или искровой промежуток. В некоторых случаях они также защищают секцию измерения от

повреждений во время действия больших токов.

- встроенный трансформатор импульсного тока. В некоторых случаях, для измерения тока утечки, входит отдельный трансформатор тока нулевого потока.

Первая конструкция с блоком ZnO или искровым промежутком, имеет преимущество, благодаря своей простоте и низким расходам. Они, однако, имеют недостаток, выражающийся в добавлении дополнительного остаточного напряжения в защитный контур, сформированный ограничителем и счётчиком, приводя к увеличению напряжения защищённого объекта на каждом импульсе напряжения. Но в общем, с точки зрения безопасности короткого замыкания, риск взрывного отказа в момент прохождения большого короткого замыкания при генерации напряжения через блоки ZnO и /или искровой промежуток, может быть чрезмерный, ведущий к отказу и последующей внутренней дуге. Результатом может быть быстрый выброс внутренних компонентов, несмотря на наличие устройства, имеющего некоторую дополнительную функцию сброса давления. Большинство эти устройства полностью герметизированы и заключены в капсулы для избегания попадания влаги, которая может снизить безопасность их работы во время короткого замыкания.

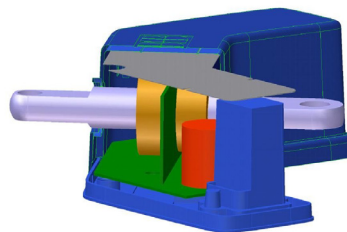


Рисунок 6. Внутренняя конструкция монитора импульсов напряжения АББ типа EXCOUNT-II.

Во второй конструкции используется тороидный трансформатор тока, соединённый с проходной первичной обмоткой. Поэтому не генерируется никакого напряжения, ни при прохождении тока импульса напряжения, ни при полном коротком замыкании в момент перегрузки ограничителя. В этом случае риск разрушительного взрыва отсутствует. Ассортимент счётчиков импульсов напряжения/мониторов EXCOUNT компании АББ этой конструкции и их исключительная безопасность при коротком замыкании была хорошо верифицирована при испытании. Применение кондукторов подходящего

размера на EXCOUNT гарантирует, что они также остаются целыми, что пользователь должен принимать в расчёт при выборе соединительных кабелей.

Не взирая на конструкцию, некоторая форма контроля короткого замыкания должна проводиться для верификации работы счётчиков. Отсутствие такого требования в стандартах считается серьёзным недостатком, так как взрыв счётчика может нанести такой же ущерб, как и взрыв ограничителя. Фактически, принимая во внимание то, что счётчики импульсов напряжения монтируются на уровне глаз и, чаще всего, оператор, снимающий показания счётчика должен стоять непосредственно перед счётчиком, это может сделать его, с точки зрения травм персонала, даже более опасным, чем ограничитель. Одним заметным исключением является монитор импульсов напряжения компании АББ типа EXCOUNT-II который, обладая безопасной конструкцией, позволяет снимать показания при помощи устройства дистанционного контроля.

Казалось бы отрегулированные счётчики могут быть предназначены для той же нагрузки, что и ограничитель, что они должны быть проверены таким же образом и по такими же приемлемым критериям, например, проверка последовательности с помощью различных токов короткого замыкания используемых и подходящих по критериям, чтобы не было сильного разрушения или взрыва и языки открытого пламени должны самопроизвольно затухать в течении 2 минут.

5 Заключение

Рынок ОПН хорошо принял конструкцию полимерных кожухов, благодаря их возможности улучшить безопасность и процесс короткого замыкания. Несмотря на это, пользователь не должен ожидать или представлять, что этого можно достичь, только благодаря замене материала кожуха или метода их изготовления. Конструкция должна разрабатываться целиком и результаты проходящих и планируемых испытаний должны анализироваться для принятия окончательного решения в области безопасности процесса короткого замыкания. Это относится не только к самим ограничителям перенапряжения ОПН (с фарфоровыми и полимерными кожухами), но и к сопутствующим им приборам, которые подключены в цепи с ними.

ОПН, обладающие значительным внутренним объёмом газа, должны быть снабжены быстродействующими и эффективными устройствами сброса давления. Ограничители с полимерными кожухами сплошной конструкции не могут быть слишком открытыми или слишком закрытыми, так как их взрыв может результироваться в сильном рассеивании осколков на большой территории. Точно так же и сопутствующее оборудование, такое как счётчики импульсов напряжения/мониторы, не должны проектироваться с более низким уровнем безопасности, чем те ограничители с которыми они соединены.

6 Справочная информация

IEC 60099-4 "Surge arresters - Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems", Edition 2.1, 2006-07

M. Mobedjina, B. Johnnerfelt, L. Stenström, "Design and Testing of Polymer-housed Surge Arresters", GCC Cigré 9th Symposium Abu Dhabi, October 28-29, 1998

R.P.P. Smeets, H. Barts, W.A. Van Der Linden, L. Stenström. "Modern ZnO surge arresters under short-circuit current stresses: Test experiences and critical review of the IEC Standard". Cigré 2004 Session, Technical Paper A3-105