

Внутренние предохранители для конденсаторов

Существует два типа предохранителей, используемых в конденсаторах: внутренние и наружные. Когда реактивная мощность конденсаторного блока достигала лишь нескольких кВАр, самым обычным методом защиты конденсатора являлось применение наружных предохранителей, поскольку в случае пробоя потери реактивной мощности были невелики. Однако, в настоящее время, когда величина емкости одного элемента конденсатора равняется величине, прежде соответствовавшей емкости всего конденсаторного блока, резонным представляется обеспечение защиты каждого отдельного элемента с помощью внутренних предохранителей.



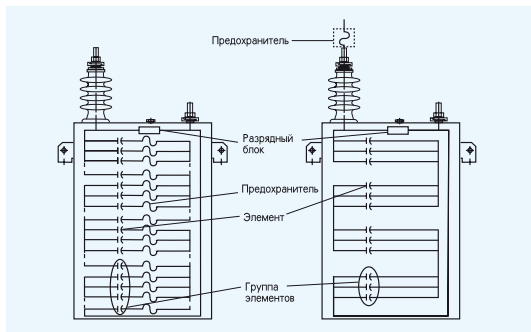


Рис. 1
Блок с внутренним предохранителем Блок с наружным предохранителем

КОНДЕНСАТОРНЫЕ БЛОКИ С ВНУТРЕННИМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ

При использовании конденсаторных блоков, защищенных внутренними предохранителями, число внутренних последовательных соединений определяется напряжением и размером конденсаторной установки. Пробой одного из элементов и последующее срабатывание предохранителя вызывает перенапряжение на исправных группах. В конденсаторных блоках, где все элементы соединены параллельно, такое напряжение зачастую не превышает 0,5%. При небольшом напряжении (приблизительно 500 В) на одном элементе не представляет трудности построить конденсаторные блоки, в которых работа предохранителя абсолютно надежна, и отключает ток от параллельных элементов и групп. Однако, если напряжение на элементе составляет приблизительно 1500 – 2500 В, отключающая способность такого предохранителя недостаточна для отключения высоких токов короткого замыкания даже, если восстанавливаемое напряжение составляет несколько киловольт, если только предохранитель, как в нашем случае, не разработан специально. В случае короткого замыкания он быстро и надежно срабатывает от части энергии блока прежде, чем высокий заряд от параллельно подключенных блоков начнет оказывать какое-либо неблагоприятное воздействие.

КОНДЕНСАТОРНЫЕ БЛОКИ С НАРУЖНЫМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ

В конденсаторных блоках с наружными предохранителями последние не срабатывают достаточно быстро в случае возникновения короткого замыкания в одной группе элементов, что связано с другими требованиями, касающимися параметров предохранителей. Согласно стандартам МЭК номинальный ток предохранителя должен равняться, по крайней мере 1,43 x номинального тока конденсаторного блока; для того, чтобы исключить нежелательное срабатывание предохранителя, этот коэффициент обычно выбирается равным 1,5.

Поэтому предохранитель не может срабатывать при возникновении короткого замыкания на первой группе элементов, а также не может быстро срабатывать при КЗ на второй группе элементов. В этих критических точках внутри конденсаторного блока в течение нескольких часов может иметь место непрерывная дуга, которая ведет к развитию чрезмерного давления. В этом случае конденсаторный блок может вспыхнуть до того, как сработает предохранитель.

При использовании наружных предохранителей всегда существует вероятность взрыва конденсаторного блока (повреждения корпуса). Это совершенно очевидно следует из содержания следующих стандартов IEEE и NEMA и руководств по их применению:

1. IEEE C37.99-2000
IEEE Guide for the Protection of Shunt Capacitor Banks
(Руководство IEEE по защите шунтирующих конденсаторных установок)
2. IEEE Std 18-2002
IEEE Standard for Shunt Power Capacitors
(Стандарт IEEE по шунтирующим силовым конденсаторам)

3. IEEE Std 1036-1992
IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors
(Руководство IEEE по применению шунтирующих силовых конденсаторов)
4. NEMA CP 1-2000
Shunt Capacitors
(Шунтирующие конденсаторы)
5. IEC (МЭК) 60871-1 - Ed. 3.0
Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1000 V (Шунтирующие конденсаторы для систем переменного тока с номинальным напряжением свыше 1000 В)

Как следует из вышеупомянутых стандартов и руководств, случаи повреждения прослеживаются весьма комплексно и серьезно при использовании конденсаторов с наружными предохранителями. Что же касается использования конденсаторов с внутренними предохранителями, то испытания, могущие привести к разрушению, ни разу даже не были упомянуты ни в одном из стандартов (NEMA, IEEE, МЭК...). Причина, по которой случаи повреждения конденсаторных установок с наружными предохранителями отслеживаются очень строго, заключается в том, что при использовании наружных предохранителей заказчики в разных странах мира часто сталкивались с повреждением корпусов. По этой причине они пожелали включить в стандарты и руководства особые требования.

РАБОТА ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ

При пробое элемента предохранитель перегорает очень быстро от электоразряда элементов, соединенных с ним параллельно. Время перегорания измеряется несколькими микросекундами, а отключение отбирает приблизительно 50–200 Джоулей энергии. Срабатывание предохранителя происходит быстро, не требует большого количества энергии и не образует в масляном корпусе ни открытой электродуги, ни газа. Предохранитель находится в замкнутом пространстве между элементами. При срабатывании он не загрязняет масла.

Диэлектрическая прочность участка перегоревшего предохранителя выше диэлектрической прочности оставшихся элементов. Величина напряжения определяется в процессе испытаний в соответствии со стандартами МЭК.

На практике было также подтверждено, что вероятность выхода из строя следующего элемента в устройстве, которое уже содержит один поврежденный элемент внутреннего предохранителя, не более велика, чем в устройстве, не имеющем поврежденных элементов. Это дает ответ на все вопросы, касающиеся выделения газа и других побочных продуктов в результате образования дуги, что могло бы привести к снижению рабочих характеристик и диэлектрических свойств жидкости.

В наружных предохранителях могут появиться побочные продукты в результате искрения; однако, для внутренних предохранителей это исключено благодаря их быстрому срабатыванию (несколько микросекунд).

ПРОЧИЕ НЕИСПРАВНОСТИ

Внутренний предохранитель не обеспечивает защиты при пробое между корпусом и горячей клеммой. Определение уровня изоляции не относится к разряду экономических вопросов, а рассчитывается в зависимости от требуемой величины. Проведение рутинных испытаний позволяет исключить производственные дефекты.

Выявление этого типа неисправности и обеспечение отключения производится при помощи защиты от несимметричных токов.

Также могут иметь место неисправности в конденсаторных установках вне конденсаторов перед наружным предохранителем; наружный предохранитель не защищает от внешних входящих дефектов.

СРАВНЕНИЕ ВНУТРЕННИХ И НАРУЖНЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

	Внутренний предохранитель	Наружный предохранитель
Потери в кВАр в случае сгорания предохранителя	малы	велики
Вероятность несанкционированного срабатывания предохранителя	мала	велика
Вероятность повреждения корпуса	мала	велика
Перерывы в работе, вызванные срабатыванием предохранителя	малы	велики
Трудности защиты от несимметричной нагрузки	малы	велики
Необходимость резервного устройства	мала	выше
Необходимость дополнительной площади для конденсаторной установки	мала	выше
Влияние атмосферных явлений	нет	да
Стоимость обслуживания и ремонта	мала	выше

ПОТЕРИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Если конденсаторный блок защищен внутренними, то потери реактивной мощности в случае сгорания предохранителя очень малы (приблизительно 2% на блок). Ввиду малого процента потерь мощности необходимость замены всего конденсаторного блока не возникает; следовательно, обеспечивается непрерывность в работе и экономия средств.

Если конденсаторный блок защищен наружным предохранителем, то выходит из строя весь конденсатор и возникает необходимость срочной замены неисправного блока. Из всего этого становится очевидным, что при использовании конденсаторных блоков с внутренними предохранителями необходимость наличия резервных конденсаторов намного ниже, чем в случае использования наружных предохранителей.

МАКСИМАЛЬНО ВЫДЕРЖИВАЕМЫЙ ТОК РАЗРЯДКИ

Разрядный ток конденсаторного блока очень высок, когда между зажимами возникает короткое замыкание. Отношение разрядного тока к номинальному току растет с увеличением напряжения конденсатора и ростом числа внутренних последовательных соединений.

Если все элементы блока 400–1000 кВАр соединены параллельно, теоретический ток, при разрядке от пикового значения номинального напряжения, в 200–300 раз превышает номинальный ток. Для аналогичного блока, имеющего от 4 до 8 внутренних последовательных соединений, соответствующее значение – 600–1000. Эти значения зависят от характера внутренних соединений блока.

Величина тока включения и других переходных токов конденсаторной установки меньше величины постоянного разрядного тока, но в совокупности с токами гармоник их величина такова, что, согласно стандартным требованиям, предохранитель должен быть рассчитан, по крайней мере, на 1,5 x номинального тока. Внутренние предохранители рассчитываются таким образом, чтобы обеспечивалось приблизительно четырехкратное значение номинального тока, с тем, чтобы не допустить никакого риска по отношению к прочим рабочим требованиям предохранителя. Аналогичные жесткие требования с учетом разрядного тока не могут применяться к наружному предохранителю, и, поэтому, его срабатывание может вызвать нежелательное перегорание других предохранителей.

РАБОТА ПОСЛЕ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОДНОГО ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ

При выходе из строя одного из элементов конденсатора, ток разрядки от элемента, соединенного напрямую параллельно с поврежденным элементом, превышает ток прямого наружного разряда. Это вызвано низкой индуктивностью цепи разряда. При наличии внутренних предохранителей энергия одного элемента и нескольких элементов, соединенных параллельно, разряжается через неисправный элемент. Внутренний предохранитель распознает высокий ток разряда от параллельных элементов и срабатывает задолго до ожидаемого пикового значения тока в течение нескольких микросекунд или миллисекунд, в зависимости от величины напряжения в момент возникновения неисправности. Рис. 2.



Пробой в параллельно соединенной группе также влияет на время срабатывания. Правильно рассчитанный предохранитель ограничивает разрядный ток и прерывает его сразу же после возникновения неисправности.

Наружный предохранитель никогда не срабатывает быстро в конденсаторном блоке, имеющем последовательные соединения, а, поскольку большинство блоков имеют как раз такие соединения, наружный предохранитель обычно срабатывает медленно. Когда в конденсаторном блоке возникает неисправность, то через неисправный элемент разряжается энергия не только этой группы, но также и часть энергии параллельных устройств и энергия, вызванная увеличенным током частоты сети. В устройстве, в котором все элементы соединены параллельно, ток разряда параллельных соединений вызывает сгорание предохранителя. Если предохранитель не ограничит этот ток и быстро не разорвет цепь, то может возникнуть механическое повреждение устройства, в котором имел место пробой.

При использовании наружных предохранителей быстрое срабатывание при токах сетевой частоты достигается не просто, т.к. неисправность в группе лишь незначительно увеличивает ток внутри устройства. Если в конденсаторном блоке имеется четыре последовательных группы и нет параллельно соединенных ветвей, ток увеличивается лишь до 1,33 x номинального тока. Поэтому в некоторых группах имеется 33% перенапряжение и, в конце концов, может произойти пробой даже через несколько месяцев. В случае пробоя ток будет равен 2 x номинального тока. Предохранитель так и не обеспечит быстрого срабатывания, поскольку номинальный ток предохранителя равен 1,5 x номинального тока конденсаторного блока. В это время может иметь место электродуга, и вполне очевидна вероятность повреждения корпуса конденсатора.

ЗАЩИТА ОТ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ

Защита от несимметричной нагрузки конденсаторных установок, в состав которых входят конденсаторы с наружными предохранителями, достаточно сложна, поскольку ситуация непосредственно перед срабатыванием предохранителя может создать такую нагрузку, которая выполнит отключение всей конденсаторной установки. Поэтому, если защита от несимметричной нагрузки вызвала отключение конденсаторной установки, визуальная индикация срабатывания предохранителя теряется, а неисправность установки должна быть выявлена путем измерения емкости.

В конденсаторной установке с внутренними предохранителями устройства защиты от несимметричной нагрузки просты и надежны. А именно, можно использовать соединение с трансформатором тока звезда-звезда, при этом не требуется компенсации линейного напряжения.

ПОТЕРИ В КОНДЕНСАТОРНЫХ БЛОКАХ И УСТАНОВКАХ

Потери в конденсаторных блоках с внутренними предохранителями немного превышают потери в блоках без внутренних предохранителей. При оценке зафиксированных и измеренных потерь в конденсаторах с внутренними предохранителями учитывались потери на предохранителе, тогда как в случаях с наружными предохранителями они не учитывались. Повышение температуры в конденсаторах с внутренними предохранителями может на несколько градусов превышать повышение температуры в конденсаторах с наружными предохранителями. Для срока службы это не имеет существенного значения, т.к. потери в полностью пленочных конденсаторах очень малы, а температура внутри диэлектрика всего лишь на 5–15°C выше температуры окружающей среды.

Оценивая потери в целой конденсаторной установке (включая потери на наружных предохранителях и внутренних кабельных соединениях) можно сказать, что потери внутренних и наружных предохранителей конденсаторных установок одинаковы.

КОНСТРУКЦИЯ КОНДЕНСАТОРНОЙ УСТАНОВКИ, РАЗМЕРЫ БЛОКОВ

Если взять конденсаторную установку 24МВАр 143кВ с наружными предохранителями, то, согласно рекомендациям таблицы 15 стандарта IEEE Std 1036-1992 1036-1992 стр.19, мы определим максимальную величину конденсаторного блока в кВАр

$$24000\text{кВАр} / 3 / 6 / 10 = 133\text{ кВАр} (13,8\text{ кВ})$$

3 = количество фаз
6 = число последовательных конденсаторных блоков
10 = минимально рекомендуемое число параллельных блоков

При использовании конденсаторных блоков с внутренними предохранителями соответствующих ограничений не существует. В этом случае могут быть использованы блоки 400кВАр (8280В) или 800кВАр (16650В).

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Для того, чтобы выявить неисправный блок, в конденсаторах, оснащенных внутренними предохранителями, необходимо произвести измерения. Для этого имеются измерительные устройства простые в эксплуатации. Необходимость проведения измерений возникает только тогда, когда происходит отключение вследствие несимметричной

нагрузки или срабатывает тревожная сигнализация. Это случается довольно редко потому, что внутренние предохранители не допускают возникновения отдельного разрушающего пробоя, если только не сократился эксплуатационный ресурс устройства. При использовании наружных предохранителей обычно требуется вывести конденсаторную установку из эксплуатации, если срабатывает хотя бы один из предохранителей, и заменить блок и предохранитель. Это увеличивает расходы на техобслуживание и время, в течение которого конденсаторная установка находится вне эксплуатации.

Конденсаторные установки требуют обеспечения высокой степени безопасности эксплуатации и простоты техобслуживания. А именно, необходимо предусмотреть работающие круглый год последовательные блоки и блоки фильтров передачи электро-энергии постоянным током. Это требуется в целях обеспечения особенно хорошей защиты с использованием предохранителей и реле. При наличии наружных предохранителей обычно довольно трудно обеспечить удовлетворительную защиту от несимметричной нагрузки, при этом почти всегда возникает необходимость немедленной замены неисправного элемента. В противоположность этому, сгорание внутреннего предохранителя лишь минимально увеличивает дисбаланс, поэтому, в случае возникновения предупреждающего сигнала о дисбалансе, можно выбрать подходящее время следующей профилактической проверки. Если, например, конденсаторная установка регулярно подвергается проверке по плану ежегодного технического осмотра, то при возникновении сигнала о дисбалансе проверка конденсаторной установки может быть отложена до технического ежегодного осмотра, если до него не очень далеко.

Поскольку некоторые очень большие конденсаторные установки располагаются на расстоянии нескольких сотен километров от места нахождения обслуживающего персонала, многократные посещения этих подстанций обслуживающим персоналом могут вылиться в значительные затраты. Еще большие трудности могут возникнуть, если потребуется вывести из эксплуатации важные линии передач, в случае их работы не на полную мощность только из-за сгорания лишь одного конденсаторного предохранителя. При использовании внутренних предохранителей этого можно избежать, т.к. поврежденный элемент, и, следовательно, сгоревший предохранитель, не оказывает никакого влияния на работу конденсаторной установки в целом.

ВЫВОД

Для конденсаторных предохранителей можно установить следующие требования:

предохранитель должен срабатывать быстро и надежно при минимальных, по возможности, потерях емкости, в пределах участка, защищаемого предохранителем, при разрядном токе от параллельно соединенного конденсатора и при избыточном токе сетевой частоты.

предохранитель должен надежно выдерживать допустимые перегрузки по току и напряжению, неустановившиеся токи при зарядке и разрядке конденсаторной батареи, испытательные напряжения и токи, токи КЗ, если пробой находится вне зоны защиты предохранителя, а также срабатывание искрового разрядника в последовательных установках.

при использовании наружных предохранителей зачастую невозможно обеспечить достаточную защиту ввиду трудности обеспечения выдерживания максимального тока разрядки. Кроме того увеличивается вероятность повреждения корпуса конденсатора при существующих больших размерах конденсаторов. При использовании внутренних предохранителей защита и эксплуатация блоков и установок вполне соответствует любому из вышеприведенных требований.

Приведенные данные и иллюстрации не являются обязательными. В связи с усовершенствованием изделия, мы оставляем за собой право изменять информацию, указанную в настоящем документе, без дополнительного уведомления.