

Испытания на стойкость при сквозных токах короткого замыкания.

Общие требования.

Способность электрического аппарата во включенном положении выдерживать без повреждений воздействие тока короткого замыкания характеризуется понятиями электродинамической и термической стойкости электрического аппарата при сквозных токах короткого замыкания.

После воздействия сквозного тока короткого замыкания электрический аппарат должен остаться пригодным для дальнейшей работы.

Электродинамическая стойкость электрического аппарата характеризуется значением наибольшего пика сквозного тока короткого замыкания (номинального кратковременного выдерживаемого тока), равного $2,55 I_{нп}$, где $I_{нп}$ – начальное действующее значение периодической составляющей нормированного тока короткого замыкания (номинального кратковременного выдерживаемого тока). Практически, это максимальное значение полного тока короткого замыкания, которое имеет место через 10 мс после возникновения к.з. при полной аperiodической составляющей и при постоянной времени ее затухания, равной 45 мс, вычисляемое по формуле

$$i_M = I_{нп} (1 + e^{-10/45}) \sqrt{2} = 2,55 I_{нп}.$$

Этот ток (*ток электродинамической стойкости*) определяет максимально возможные механические усилия, возникающие вследствие протекания тока по токоведущему контуру, способные не только деформировать токопровод и опорные конструкции электрического аппарата, но и разрушить аппарат.

Электродинамические усилия, воздействующие на электрический аппарат, оцениваются расчетным путем при проектировании электрического аппарата, исходя из максимально возможных значений токов, с учетом конфигурации токоведущего контура. Существует много методов определения электродинамических усилий для токопроводов различной формы и расположения [1], [2].

Термическая стойкость электрического аппарата характеризуется значением номинального кратковременно выдерживаемого тока за время его протекания (*ток термической стойкости*) и временем протекания тока (*время короткого замыкания*).

Электрический аппарат должен выдерживать в течение заданного времени протекание тока короткого замыкания без перегрева токоведущего контура свыше

допустимой температуры: перегрев может привести к уменьшению механической прочности токоведущего контура и температурным деформациям.

Отечественные стандарты на высоковольтные электрические аппараты и комплектные распределительные устройства нормируют время протекания тока короткого замыкания значениями, равными 1 или 2 с; 1 или 3 с, в зависимости от класса напряжения; для заземлителей это время принято равным 1 с.

Время протекания тока короткого замыкания и допускаемые отклонения от нормированных значений указываются в стандартах на конкретные типы аппаратов.

Воздействие токов термической стойкости на токоведущую систему аппарата происходит за время $t_{кз}$, значительно меньшее постоянной времени нагрева токопровода T (время, необходимое для нагрева до установившейся температуры), т.е. $t_{кз} \ll T$. В этом случае тепло не успевает отдаваться в окружающую среду, поэтому можно считать, что процесс нагрева при коротком замыкании – адиабатический.

Для практических расчетов при оценке термической стойкости токоведущей контактной системы используются кривые адиабатического нагрева, построенные для некоторых наиболее широко применяемых в токоведущих системах материалов (медь, алюминий, сталь) [2]. Это график зависимости $\theta = f(j^2 t_{кз})$, где θ – температура токопровода; j – плотность тока; $t_{кз}$ – время короткого замыкания.

Если известны допустимая температура проводника в конце режима короткого замыкания и температура перед началом этого режима, то по кривым для данного материала находится допустимое значение интеграла Джоуля $\int_0^{t_{кз}} j^2 dt$. Зная это значение, можно рассчитать допустимую плотность тока в проводнике при известном времени $t_{кз}$ или, наоборот, найти допустимую длительность короткого замыкания $t_{кз}$ при известной плотности тока j .

Если известны плотность тока j , время $t_{кз}$ и начальная температура θ_0 , то по кривым сразу находится температура в конце режима короткого замыкания.

Температура нагрева токоведущих частей аппарата, включая контактные соединения, не должна превышать предельно допустимых значений, указанных ниже:

- токоведущих частей из меди и ее сплавов, не соприкасающихся с органической изоляцией или маслом, – 300 °С;
- токоведущих частей из алюминия, не соприкасающихся с органической изоляцией или маслом, – 200 °С;
- стальных токоведущих частей, не соприкасающихся с органической изоляцией или маслом, – 400 °С.

Так как допустимые температуры токопроводов в конце режима короткого замыкания ограничены, каждый аппарат по термической стойкости может быть охарактеризован нормированной величиной интеграла Джоуля, равного I^2t .

Требования по стойкости при сквозных токах короткого замыкания и методы испытаний определяются стандартами на конкретные типы электрических аппаратов и комплектных распределительных устройств: российскими и международными [3-7].

Параметры токов короткого замыкания, характеризующих стойкость электрических аппаратов при коротком замыкании, указываются в технических условиях и паспортных данных на конкретный тип устройства.

Режимы испытаний на стойкость при сквозных токах короткого замыкания.

Испытания проводятся в трехфазной или однофазной схеме от источника, мощность которого должна быть достаточной для обеспечения протекания токов заданных значений и длительностей.

Напряжение источника должно быть таким, чтобы обеспечивалась непрерывность протекания тока, в том числе и в случае ослабления контактного нажатия или размыкания контактов под действием электродинамических усилий.

Испытания отдельных электрических аппаратов и комплектных распределительных устройств трехполюсного исполнения, в том числе и в общем кожухе (токопроводы, соединительные секции КРУЭ), проводятся в трехфазной схеме.

Испытания трехполюсных аппаратов допускается проводить в однофазной схеме, если испытательная установка не позволяет провести трехфазные испытания.

При однофазной схеме испытываются два соседних полюса или один полюс с обратной шиной, расположенной параллельно испытываемому полюсу на расстоянии, равном нормированному междуполюсному расстоянию.

При испытаниях токопроводов и соединительных секций КРУЭ токоведущая шина соединяется последовательно с оболочкой кожуха, служащей "обратной" шиной.

Испытание проводится путем пропускания через включенный испытываемый аппарат при любом выбранном для опыта напряжении частоты (50 ± 5) Гц тока короткого замыкания с нормированными параметрами.

В зависимости от характеристик испытательной установки допускается:

- проводить испытания при увеличенном начальном действующем значении периодической составляющей тока для получения требуемого наибольшего пика;

- проводить испытания при меньшем среднеквадратичном значении тока короткого замыкания с соответствующим увеличением времени протекания в случае большого затухания периодической составляющей тока.

При испытании трехполюсных аппаратов в трехфазной схеме требования к значению пика предельного сквозного тока должны быть выдержаны в одном из крайних полюсов.

Если испытательная установка не позволяет получать нормированные параметры тока короткого замыкания, допускается испытания в одном совмещенном опыте заменить двумя испытаниями:

- путем пропускания тока с заданным значением наибольшего пика в течение (0,03-0,1) с.

- путем пропускания тока, среднеквадратичное значение которого и время протекания соответствуют заданным значениям, а пик тока равен наибольшему, который может быть получен в этой испытательной установке.

Условия проведения испытаний.

Испытуемый образец устанавливается на испытательном поле на собственной опоре (раме) или другом жестком основании.

Испытания допускается проводить на пониженной опорной изоляции.

Конфигурация, сечение токоведущего контура и расположение мест крепления контура должны соответствовать требованиям нормативно-технической документации.

Сечение шин испытательного токоведущего контура выбирается по значению тока термической стойкости, длительности его протекания с учетом начального термического эффекта от нагрева при номинальном токе в длительном режиме.

Токоведущий испытательный контур фиксируется изоляционными распорками, стяжками, установленными поперек шин. Количество фиксирующих распорок, стяжек и расстояния между ними определяются усилиями от воздействия тока электродинамической стойкости.

При отсутствии технических возможностей для испытаний полностью собранного образца или его полюса допускаются испытания по частям (элементы полюсов, модули, блоки); допускаются и другие отступления от требований, например испытания аппаратов без привода, если установлено, что условия механических и термических воздействий при этом не облегчаются.

Испытания элегазовых выключателей, а также выключателей, заземлителей, разъединителей, соединительных секций, входящих в отдельный элемент или сборную

единицу КРУЭ с элегазовой изоляцией, допускается проводить без заполнения элегазом, поскольку при коротком замыкании процесс нагрева токоведущей системы аппарата адиабатический и влиянием окружающей среды можно пренебречь.

Перед испытаниями проводится проверка исправности действия механизма испытуемого коммутационного аппарата путем выполнения операций "включение-отключение" при отсутствии тока в цепи. Если эта операция является обязательной, то без привода испытывать аппарат нельзя.

В процессе испытаний контролируются параметры испытательного режима (значения тока и длительность их протекания) с помощью осциллографа либо автоматизированной системы измерений на базе персонального компьютера.

При проведении испытаний на термическую стойкость температура контактных соединений определяется с помощью термопар, термоиндикаторов либо расчетным путем с учетом начального термического эффекта от нагрева номинальным током к моменту короткого замыкания.

Полученные при испытаниях значения температур нагрева не должны превышать значений предельно допустимых для данного материала токоведущего контура электрического аппарата.

Для заземлителей температура токоведущих частей не нормируется.

В процессе испытаний не должно наблюдаться внешних признаков тяжелой работы, например искрения контактных соединений, самопроизвольного размыкания подвижных контактов и др.

После испытаний аппаратов, имеющих размыкаемые контакты, производится проверка действия их механизмов при оперировании приводом или вручную (при отсутствии привода). Контакты должны разомкнуться при первой же попытке, сопротивление главной токоведущей цепи не должно увеличиваться более чем на 20 %.

Для заземлителей допускается незначительная приварка контактов.

Состояние контактов оценивается визуальным осмотром, а если это сложно, то испытанием на нагрев при номинальном токе.

Объект испытаний считается выдержавшим испытание, если параметры испытательных режимов соответствуют нормированным значениям с учетом допустимых отклонений и состояние объекта испытаний в процессе и после испытаний соответствует требованиям стандарта или другой нормативно-технической документации на аппараты конкретного типа.

Испытательный центр ОАО «НИИВА» проводит испытания на стойкость при сквозных токах короткого замыкания электрических аппаратов с использованием ударного генератора и понижающих трансформаторов типа ОМИ-10000/10.

Подвод испытательного тока от выводов понижающего трансформатора к испытываемому аппарату осуществляется токопроводом с возможно наименьшим индуктивным сопротивлением, например, с использованием пакетов прямоугольных медных шин. Технические данные испытательной установки позволяют проводить испытания на стойкость при сквозных токах короткого замыкания высоковольтных и низковольтных электрических аппаратов и их элементов с нормированными параметрами вплоть до тока электродинамической стойкости - 450 кА и тока термической стойкости - 180 кА. В качестве примера описаны испытания на стойкость при сквозных токах короткого замыкания блока элегазовой ячейки в общем кожухе на напряжение 110 кВ.

Испытания проводились в трехфазной схеме, приведенной на рисунке 1.

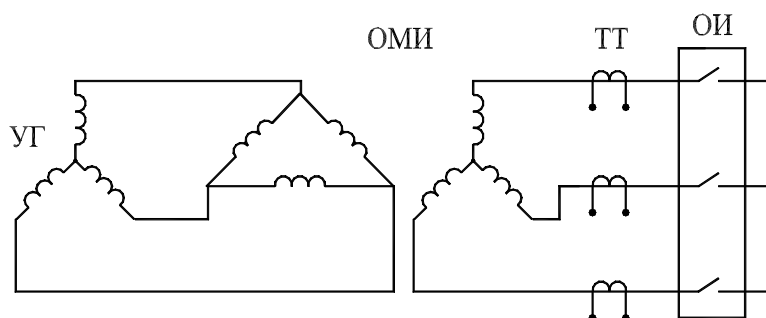


Рисунок 1.

УГ – ударный генератор; ОМИ – понижающий трансформатор; ОИ – объект испытаний; ТТ – трансформатор тока

Схема подсоединения объекта испытаний к токоведущему испытательному контуру приведена на рисунке 2.

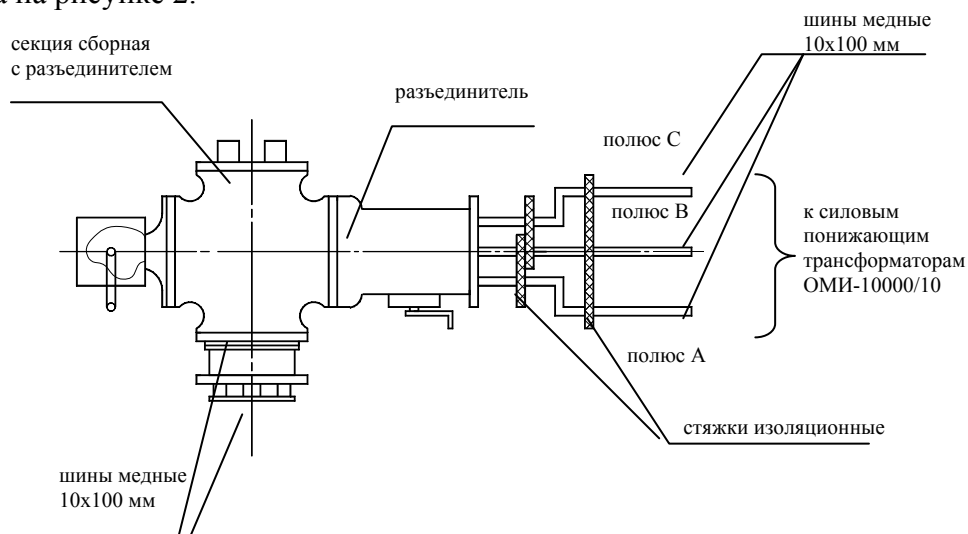


Рисунок 2.

Испытания проводились без заполнения блоков элегазом отдельно на электродинамическую стойкость и термическую стойкость.

Электродинамическая стойкость испытуемого образца проверялась при нормированном значении наибольшего пика тока, равного 102 кА.

Термическая стойкость контактной системы была проверена при нормированном значении тока – 40 кА и времени протекания тока 3,1 с (нормированное значение 3,0 с), термический эффект $I_T^2 \cdot t_{кз} = 4900 \text{ кА}^2\text{с}$ (нормированное значение $I_T^2 \cdot t = 4800 \text{ кА}^2\text{с} + 10 \%$).

На рисунках 3 и 4 в качестве иллюстраций приведены копии осциллограмм проведенных испытаний на электродинамическую и термическую стойкость.

В опытах при протекании тока короткого замыкания на объекте испытаний не наблюдалось внешних изменений.

После опытов при осмотре контактов не было обнаружено видимых изменений контактной поверхности, температура нагрева контактной системы оценивалась расчетным путем.

Испытуемый образец испытания на стойкость при сквозных токах выдержал.

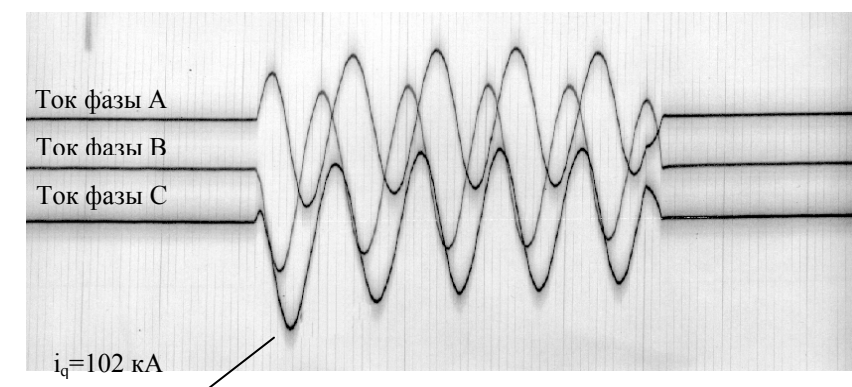


Рисунок 3. Испытания на электродинамическую стойкость.

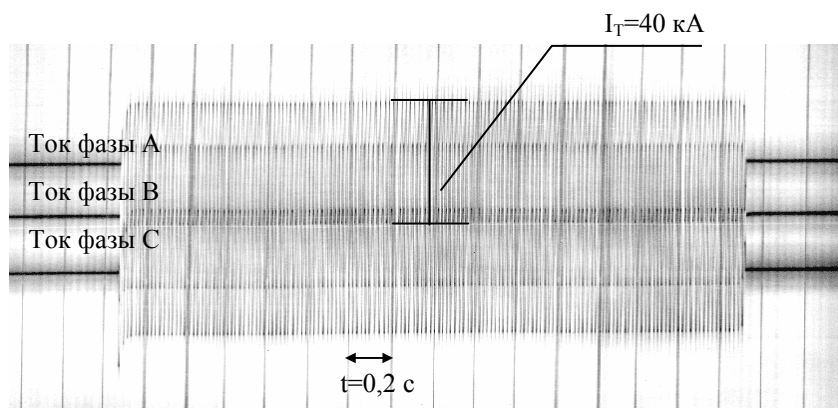


Рисунок 4. Испытания на термическую стойкость.

Литература:

1. «Расчет электродинамических усилий в электрических аппаратах». Холявский Г. Б., Энергия, 1971.
2. «Основы теории электрических аппаратов». Буль Б. К., Буткевич Г. В. Высшая школа, 1970.
3. ГОСТ Р 52565-2006. «Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Общие технические условия».
4. IEC 62271-001.2000. «Common specification».
5. ГОСТ 689-90. «Разъединители и заземлители переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия».
6. ГОСТ 18397-86. «Выключатели переменного тока на номинальное напряжение 6-220 кВ для частых коммутационных операций. Общие технические условия».
7. ГОСТ 7746-2001. «Трансформаторы тока. Общие технические условия».
8. «Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией». Под ред. Ю. И. Вишневого- СПб.: Энергоатомиздат. 2002.-728с.