

ИСПЫТАНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА НАПРЯЖЕНИЕ 800 И 1200 КВ

АВТОРЫ:

Р.П.П. СМИТС
КЕМА ТИС, НИДЕРЛАНДЫ

А.Б. ХОФСТИ
КЕМА ТИС, НИДЕРЛАНДЫ

Работоспособность выключателя должна быть гарантирована при переходном восстанавливающемся напряжении (ПВН), возникающем в энергосистеме как естественная реакция на отключение тока. Для

выключателей, предназначенных для установки в системах ультравысокого напряжения (номинальное напряжение более 800 кВ), получение при испытаниях реального восстанавливающегося напряжения – это серьезная проблема.

Ключевые слова: ультравысокое напряжение, выключатели, короткое замыкание, испытания, передача электроэнергии.

Комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией производства Toshiba на подстанции 1000 кВ компания Токуо Electric Power Co. (Япония). Номинальное напряжение – 1100 кВ, номинальный ток – 8000 А, номинальный ток отключения – 50 кА, напряжение грозового импульса – 2250 кВ



1. ВВЕДЕНИЕ

Для передачи электрической энергии на большие расстояния необходимо повышать напряжение передающих систем. Последние примеры – ввод в начале 2009 г. в эксплуатацию линии передачи переменного тока 1100 кВ в КНР, а также проектируемая в Индии линия 1200 кВ. Главным коммутационным оборудованием таких систем является выключатель, состоящий из двух–четырех последовательно соединенных разрывов. Его главная функция – отключение аварийного тока в случае короткого замыкания, наиболее вероятного на воздушных линиях электропередачи. После отключения аварийного тока (при переходе его через нулевое значение) естественной реакцией системы является возникновение на выключателе переходного восстанавливающегося напряжения. После отключения тока и разделения системы на две части переходные процессы в каждом из них развиваются совершенно независимо. Поэтому ПВН состоит из двух частей, одна возникает до выключателя, вторая – после. Проблема работоспособности прерывателя состоит в том, что, во-первых, после термических дуговых нагрузок, перед нулевым значением тока, ПВН очень быстро нарастает и, во-вторых, возникает диэлектрический стресс вследствие большого пикового значения ПВН, наложенного на напряжение промышленной частоты.

Процесс отключения аварийного тока и связанного с ним переходного восстанавливающегося напряжения показан в упрощенном виде на рис. 1. Как частный случай на рис. 1 показано одночастотное ПВН. Однако в реальности возникает ПВН очень сложной формы, зависящей от заземления сети, типа и локализации аварии и т.д. После завершения переходного процесса

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ИЛЛЮСТРАЦИЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ ТОКА В ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ

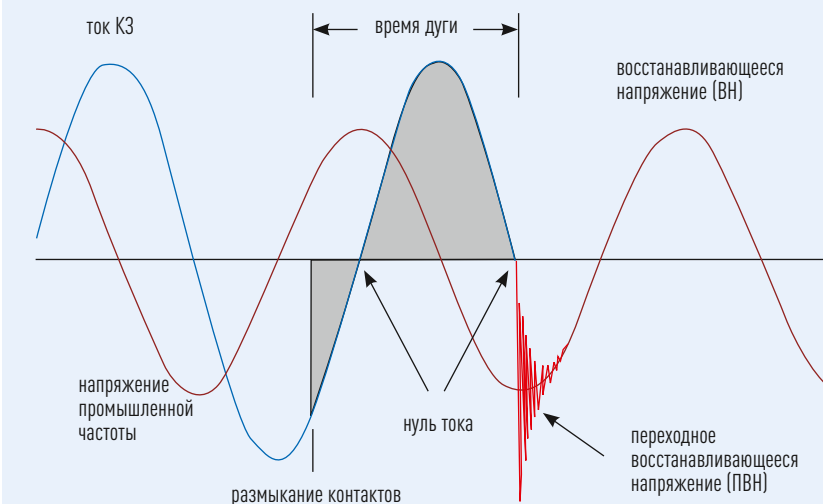


Рис. 1

нагрузка на выключатель снижается до восстанавливающегося напряжения промышленной частоты.

В типовых коммутационных испытаниях обычно используются стандартные значения ПВН, нормированные Международной электротехнической комиссией (МЭК). Соответствующие стандарты МЭК [1] определяют огибающие ПВН для различных коммутационных режимов. Эти огибающие в упрощенном виде задаются двумя или тремя линиями, каждая из которых характеризуется двумя параметрами. Таким образом, двух- или четырехпараметрические ПВН могут быть легко получены [1]. Кроме обеспечения необходимого аварийного тока, испытательные лаборатории должны создать ПВН, полностью соответствующие четырехпараметрическим огибающим МЭК. В данной статье рассматриваются методы реализации ПВН для выключателей ультравысокого напряжения, так как это является основной задачей испытаний.

ИНФОРМАЦИЯ

ПЕРВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

В 1893 г. русский ученый М.О. Доливо-Добровольский, работавший в немецкой фирме АЕГ, разработал и внедрил рубильник с пружинными контактами и автоматом.

Позже, в 1910 г., он создал дугогасящее устройство с узкими щелями и металлической решеткой, а затем, в 1914 г., деионную решетку со специальными электромагнитными устройствами для втягивания электрической дуги в щель. Так создавались первые высоковольтные выключатели.

ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТОДА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО НАЛОЖЕНИЯ ТОКА «НАЛОЖЕННОЙ ЧАСТОТОЙ» И ОТНОШЕНИЕМ L_s/L_d ДЛЯ ЧЕТЫРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПВН

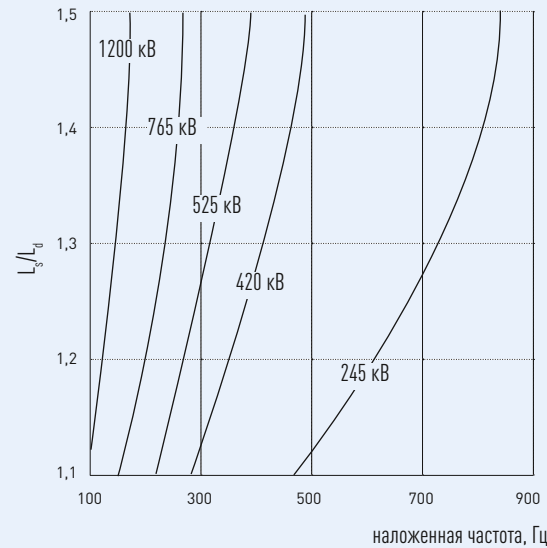


Рис. 2

СРАВНЕНИЕ ТОКА

при испытаниях для напряжения питания 24 кВ (красная линия) и 60 кВ (синяя линия) в синтетической схеме ультравысокого напряжения при восьми дугогасительных разрывах

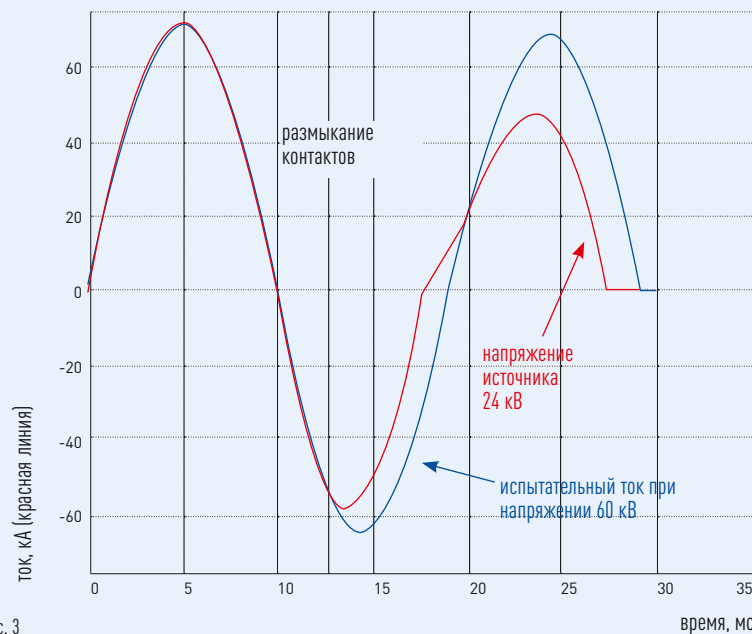


Рис. 3

2. СИНТЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Испытания выключателей ультравысокого напряжения являются довольно сложной задачей, так как обычно мощность испытательных установок недостаточна для обеспечения необходимых токов и напряжений. При трехфазном токе 63 кА в системе 800 кВ мощность короткого замыкания составляет 87,3 ГВА, что приблизительно в десять раз превышает мощность, которую может обеспечить самая большая в мире испытательная лаборатория КЕМА. Поэтому испытательные лаборатории применяют метод синтетических испытаний. В таких испытаниях создается необходимый ток в течение всего периода времени (включая время горения дуги), который обеспечивает как термическую нагрузку на выключатель перед отключением, так и нормированное ПВН после отключения. Такой подход воссоздает реальные электрические нагрузки ПВН. Обычно аварийный ток создается ударными генераторами (контур тока), а ПВН подается цепью высокого напряжения (контур напряжения), где источником энергии является заряженная конденсаторная батарея.

Для надлежащей точной синхронизации ПВН с нулевым значением тока используются два метода.

1). Схема с наложением тока, или схема Вейля – Добке [2], в которой контур напряжения на короткий период перед отключением становится источником тока дуги и обеспечивает полное ПВН после отключения. Эта схема используется в большинстве синтетических испытаний из-за эквивалентности и слабой зависимости от времени срабатывания.

НАГРУЗКИ ПО НАПРЯЖЕНИЮ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕХОДНОГО ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

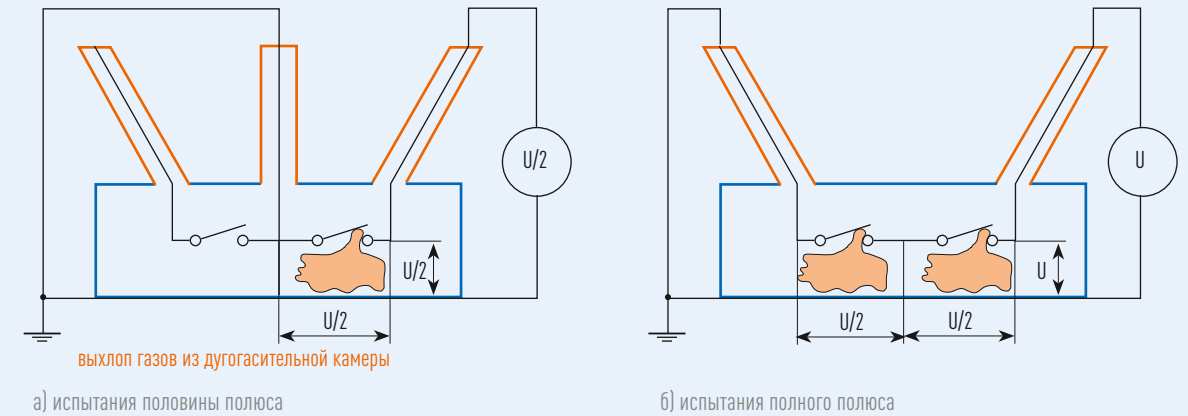


Рис. 4

2). Схема с наложением напряжения, в которой контур напряжения используется только для обеспечения ПВН.

В обоих методах необходим, по крайней мере, один вспомогательный выключатель для отсоединения контура тока от контура напряжения в период наложения ПВН.

ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ СХЕМЫ НАЛОЖЕНИЯ ТОКА

Применение параллельного наложения тока имеет некоторые принципиальные ограничения [3]. Во-первых, существует максимально допустимое отклонение отношения индуктивностей L_s/L_d , где L_s – последовательная индуктивность контура наложения тока, а L_d – ее эквивалент в соответствующей прямой схеме испытаний. Это отношение не может превышать 1,5 [4]. Далее частота наложенного тока должна быть в диапазоне от 250 Гц до 1000 Гц [4]. Оба ограничения вытекают из требования эквивалентности энергии в зоне, близкой к отключению.

На рис. 2 отношение L_s/L_d и частота наложенного напряжения показаны для выключателей различных номинальных напряжений в системах с эффективно заземленной нейтралью. Это отношение не зависит от номинального тока отключения, количества разрывов и промышленной частоты системы.

Как можно видеть, 550 кВ – максимальное номинальное напряжение,

при котором может быть испытан полный полюс в схеме с наложением тока при соблюдении требований эквивалентности МЭК, относящихся к частоте наложенного тока и отношению индуктивностей.

ИСКАЖЕНИЕ ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДУГИ

Все выключатели ультравысокого напряжения имеют несколько дуго-

НОРМИРОВАННЫЕ ОГИБАЮЩИЕ ПВН

при испытаниях в режимах отключения 100% (T100) и 10% (T10) номинального тока для выключателей с номинальными напряжениями 800 и 1200 кВ

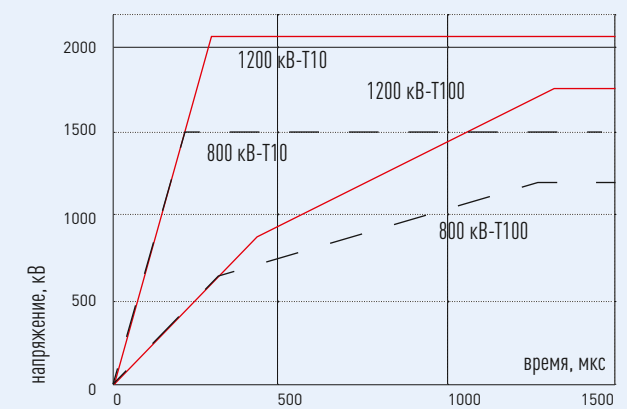


Рис. 5

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ДВУХЭТАПНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПВН ПРИ ИСПЫТАНИЯХ С УЛЬТРАВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

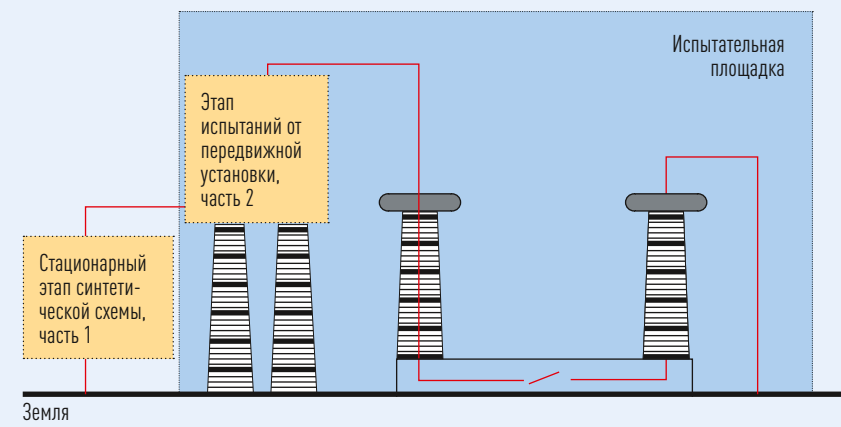


Рис. 6

гасительных устройств, соединенных последовательно. Это гарантирует их функционирование при очень высоких напряжениях и любых переходных процессах. При синтетических испытаниях полного полюса

выключателя ультравысокого напряжения в испытательную цепь входит не менее четырех последовательно соединенных дугогасительных устройств (два-четыре на испытуемом объекте и два-четыре на вспомо-

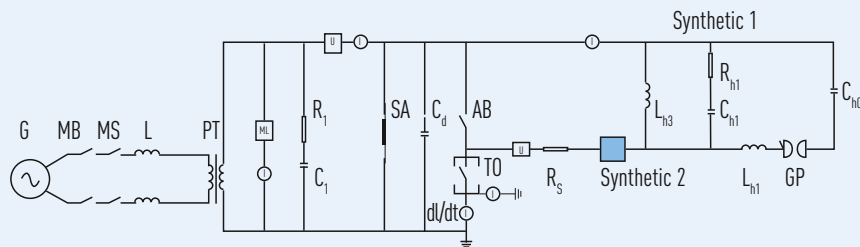
гательном выключателе). Так как источник тока обеспечивает ток дуги при напряжении много меньшем (обычно несколько десятков кВ), чем в условиях эксплуатации, суммарное напряжение дуги в синтетической схеме составляет большую часть напряжения питания. Это приводит к снижению тока короткого замыкания и, следовательно, к уменьшению энергии дуги по сравнению с режимами эксплуатации или с прямыми испытаниями. Снижение энергии дуги может быть небольшим для выключателей поршневого типа, но может повлиять на дугогасительную способность автодутьевых или автокомпрессионных и им подобных выключателей [6].

На рис. 3 приведены примеры, показывающие влияние напряжения 60 кВ и 24 кВ при испытаниях выключателей ультравысокого напряжения с восемью последовательно соединенными дугогасительными устройствами. Чтобы предотвратить слишком сильное искажение тока, напряжение питания в контуре тока и, следовательно, мощность источника тока должны быть достаточно большими. Напряжение питания от 48 до 60 кВ необходимо для испытательной цепи выключателей ультравысокого напряжения.

3. ИСПЫТАНИЯ РАЗРЫВОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Выключатели на номинальное напряжение более 500 кВ всегда содержат несколько последовательных дугогасительных разрывов, так как один разрыв не может выдержать возвращающееся напряжение требуемого уровня.

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СИНТЕТИЧЕСКАЯ СХЕМА С ДВУХЭТАПНЫМ ПРИЛОЖЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ С УЛЬТРАВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ



G – четыре генератора; MB – защитный выключатель; MS – включающий аппарат; L – токоограничивающие реакторы; PT – трансформатор КЗ, обеспечивающий достаточный уровень напряжения; ML – контур повторного зажигания дуги; U, I – цепи измерения напряжения и тока; GP – управляемый искровой промежуток; TO – испытательный объект; AB – вспомогательный выключатель; SA – разрядник; L_x, R_x, C_x – сосредоточенные индуктивности, активные сопротивления, емкости; Synthetic 1, 2 – части синтетической схемы, обеспечивающие ПВН

Рис. 7

ИНФОРМАЦИЯ

АССОЦИАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ SHORT CIRCUIT TESTING LIAISON (STL)

Международная практика сертификации электрооборудования высокого напряжения осуществляется в рамках STL – ассоциации, объединяющей испытательные центры, специализирующиеся в области испытаний высоковольтного электрооборудования. Основной целью ассоциации является разработка инструкций по интерпретации требований стандартов МЭК в части испытаний. Данные инструкции касаются тех пунктов стандартов, которые допускают неоднозначное толкование. Представители всех испытательных центров, входящих в ассоциацию, вырабатывают единую трактовку спорных требований, которая затем, отраженная в инструкции, становится обязательной для применения во всех центрах – членах STL. Такой подход способствует достижению цели взаимного признания результатов испытаний, единообразию в оценке качества продукции. Однако эти инструкции STL не являются обязательными для всех, потому что большое число испытательных центров не представлено в STL.

ОСЦИЛЛОГРАММА СИНТЕТИЧЕСКОГО ДВУХЭТАПНОГО ЧЕТЫРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПВН

для выключателя 800 кВ и нормированная МЭК огибающая

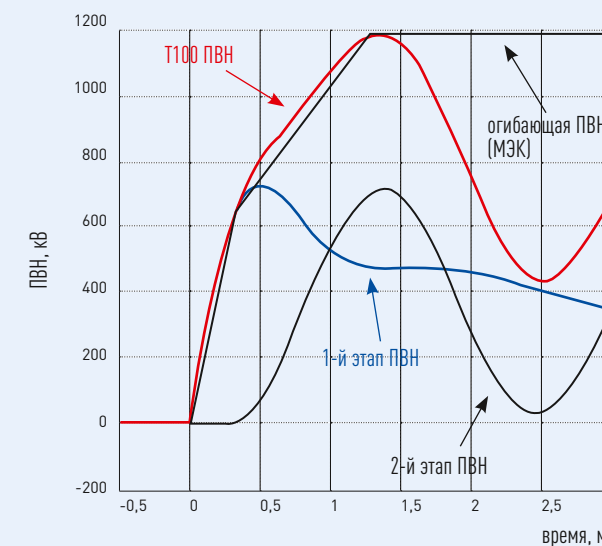


Рис. 8

В классах напряжений 245–550 кВ выключатели также часто имеют несколько разрывов. Конденсаторы, выравнивающие напряжение между разрывами, обычно обеспечивают приблизительно равные доли напряжения на каждом дугогасительном разрыве.

Для сверхвысокого и ультравысокого уровней напряжения (245–800 кВ и более 800 кВ соответственно) вместо испытаний полного полюса выключателя часто проводятся испытания дугогасительных разрывов при соответствующих частях номинального напряжения (испытания

ОСЦИЛЛОГРАММА СИНТЕТИЧЕСКОГО ИСПЫТАНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

для выключателя 800 кВ (режим T100a) и огибающая ПВН по МЭК

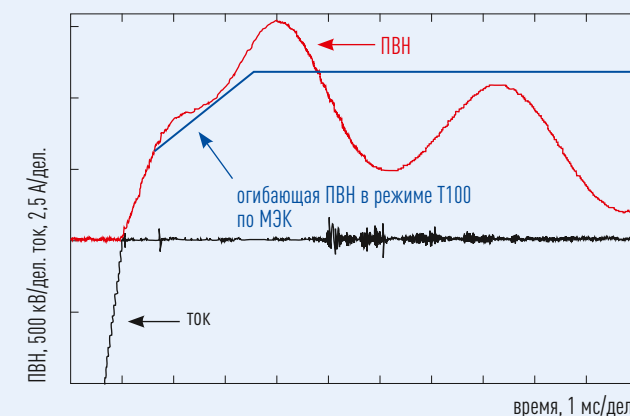


Рис. 9

ПОЛУЧЕННОЕ ПВН ДЛЯ РЕЖИМА T10 И ОГИБАЮЩАЯ ПВН ПО МЭК ДЛЯ 1200 КВ

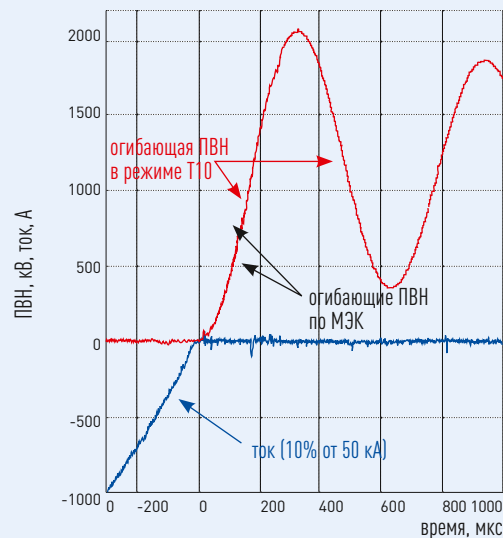


Рис. 10

по разрывам; для выключателя с двумя разрывами – испытания половины полюса).

3.1. ПЕРЕХОДНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ТОКА

При испытаниях половины полюса выключателей с металлической оболочкой электрическую нагрузку между частями, находящимися под напряжением, и оболочкой воспроизвести корректно не представляется возможным (по крайней мере, при отключении тока короткого замыкания) (рис. 4 а). Это результат того, что только половина рабочего напряжения приложена между частями, находящимися под напряжением, и оболочкой. Горячие выхлопные газы, появляющиеся в выключателе при отключении тока, также могут снизить электрическую прочность пространства вокруг ду-

гогасительных камер (между полюсами, вблизи дугогасительных камер и относительно оболочки, рис. 4). Для КРУЭ и баковых выключателей газодинамические явления и влияние выхлопного газа (нагретого, ионизированного, загрязненного) должны учитываться при принятии решения о проведении испытания разрывов, половины полюса и испытания контактных выводов выключателя, на который должно быть подано напряжение.

3.2. ШУНТИРУЮЩИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

При испытании разрывов выключателей с шунтирующими конденсаторами, включая колонковые выключатели, не воспроизводятся переходные нагрузки, возникающие из-за неравенства электрических нагрузок на дугогасительные камеры. Также не воспроизводятся нагрузки на шунтирующие конденсаторы (например, имеющие место при предварительном пробое) и на дуго-

гасительные камеры. Последние работы СИГРЭ показали, что это очень существенно, так как шунтирующие конденсаторы вносят большой вклад в отказы выключателей [7].

При испытаниях разрыва коэффициент запаса обычно принимается равным нескольким процентам. Он учитывает неравномерность распределения напряжения, возникающую вследствие неравномерного распределения собственной емкости разрывов выключателя. Так как емкость шунтирующих конденсаторов обычно много больше собственных емкостей, то неравномерное распределение напряжения перекрывается коэффициентом запаса, составляющим несколько процентов при распределении напряжения по 50% (для двухразрывного выключателя). Для конструкции без шунтирующих конденсаторов небольшие коэффициенты запаса недостаточны.

Поэтому испытания половины полюса, не учитывающие вышеупомянутые нагрузки, не дают адекватного воспроизведения характеристик испытуемого объекта в эксплуатации. Отметим, что испытания полного полюса (рис. 4 б) ближе к реальным условиям эксплуатации, как это устанавливается стандартами МЭК.

4. СХЕМА ДВУХЭТАПНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Чтобы избежать дискуссий относительно испытаний половины полюса, была разработана новая испытательная схема для коммутационных испытаний полного полюса выключателей напряжением до 1200 кВ. На рис. 5 показаны оглибающие ПВН для испытаний при максимальном (режим T100 в соответствии с [1]) и минимальном токе

Рис. 11.
Испытания выключателя 1100 кВ в КЕМА с использованием мобильной установки для двухэтапных синтетических испытаний, тестирующая сборка второго этапа установлена в испытательной камере



отключения (T10) для номинальных напряжений 800 и 1200 кВ¹.

В принципе может быть использован метод испытаний, в котором по 50% напряжения подается на оба вывода выключателя и к межконтактному промежутку прикладывается полное ПВН. Это означает, что выключатель должен быть установлен на изоляционной платформе. Такая установка крайне нежелательна, особенно для очень больших выключателей. Поэтому с самого начала проводился поиск решения, при котором выключатель может оставаться на потенциале земли во время испытаний.

Чтобы реализовать этот подход, была принята двухэтапная синтетическая схема (рис. 6), в которой к существующей схеме в испытательной камере была добавлена новая мобильная синтетическая установка (часть 2 на рис. 6). Последняя обеспечивает второй этап четырехпараметрического ПВН, наложенного на волну напряжения постоянной

синтетической установки (часть 1 на рис. 6).

Соответствующая электрическая схема показана на рис. 7. При приложении напряжения для воспроизведения ПВН его начальная часть (несколько десятков микросекунд) может быть воспроизведена цепью (R_1, C_1, C_d). Затем после пробоя искрового промежутка (SG) элементы R_{h1}, L_{h1}, C_{h0} и C_{h1} (синтетическая схема 1) обеспечивают первый этап ПВН, в то время как идентичная часть синтетической схемы на втором этапе добавляет к ПВН часть ультравысокого напряжения после срабатывания второго искрового промежутка. Реактор L_{h3} с емкостью C_{h0} обеспечивают восстанавливающееся напряжение промышленной частоты.

Контур ML создает повторное зажигание (путем разряда предварительно заряженной конденсаторной батареи) в момент первого и второго (иногда) прохождения нуля током дуги. Это необходимо, чтобы

получить требуемое время дуги, соответствующее условиям работы выключателя в системе высокого напряжения. Отсутствие такого контура может привести к отключению с коротким временем дуги, так как низкое ПВН со стороны контура тока не может повторно зажечь дугу.

Такой метод делает возможным проведение испытания выключателей 800, 1100 и даже 1200 кВ, не перегружая проходные изоляторы и другие элементы испытательной камеры, не предназначенные для испытаний на ультравысоком напряжении.

Как можно видеть, отличительной особенностью схемы является возможность выполнения синтетических испытаний полного полюса выключателя (ТВ), находящегося на потенциале земли. Другим преимуществом относительно схем испытаний, предложенных ранее [3], является возможность использования только одного вспомогательного выключателя (АВ на рис. 7).

¹ Оглибающая 1200 кВ при подготовке статьи находилась на стадии рассмотрения и еще не была стандартизована.

Рис. 12.
Новая установка
синтетических испытаний
КЕМА (третья) для испытаний
при ультравысоком
напряжении и трехфазных
синтетических испытаниях
выключателей



На рис. 8 показана типичная кривая ПВН, получаемая при двухэтапных синтетических испытаниях в нашей лаборатории. На рис. 9 приведен пример синтетических испытаний выключателя 800 кВ в режиме отключения 100% номинального тока отключения (для несимметричного тока). Как видно, в этом случае был получен более высокий пик ПВН, чем нормируется в стандарте.

Используя тот же принцип, мы провели испытания полного полюса при номинальном напряжении до 1200 кВ. На рис. 10 приведена осциллограмма испытательного режима T10. Как можно видеть, соответствующая синхронизация двух контуров между собой, а также двух параметров одночастотного ПВН, требуемых для режима T10, может быть обеспечена. Чтобы получить неискаженный ток КЗ в фазе дугового разряда (восемь последовательно соединенных

дуговых разрядов), было выбрано напряжение питания 60 кВ.

Было рассчитано также перенапряжение после повторного зажигания дуги в испытуемом выключателе. Такие вычисления необходимы, потому что в период наложения напряжения ток повторного зажигания низкий, что приводит к его быстрому отключению испытуемым выключателем. Это, в свою очередь, приводит к тому, что конденсаторная батарея разряжается только частично. Тем самым возникает риск появления чрезмерных напряжений после повторного зажигания. Соответствующие меры защиты от повышенного напряжения были приняты.

Некоторые элементы схемы, например реакторы и конденсаторные батареи, должны быть установлены на потенциале, большем, чем потенциал земли, чтобы они могли выдержать значительное напряжение относительно земли (т.е. уровень

коммутационного импульса более 2000 кВ). Поэтому некоторые элементы были модифицированы, также был разработан комплект управляемых искровых промежутков. На рис. 11 показан общий вид установки для испытаний бакового выключателя ультравысокого напряжения.

5. ПОСЛЕДНИЕ РАЗРАБОТКИ

Недавно была разработана двухэтапная схема для временного применения, состоящая из одной стационарной и одной временной мобильной установки. При такой схеме необходимо каждый раз монтировать передвижную установку в существующей испытательной камере. Чтобы сократить время испытаний и сделать их более эффективными и гибкими, было решено сконструировать новую стационарную синтетическую установку

ИНФОРМАЦИЯ

МИРОВЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Intertek (бывший ASTA) (Великобритания), CESI (Италия), CPRI (Индия), ESEF ASEFA (Франция), JSTC (Япония), КЕМА (Нидерланды), KERI (Южная Корея), PEHLA (Германия), SATS (Норвегия), STLNA (США). В 1970 г. была учреждена Ассоциация испытательных центров STL.

ТРЕХФАЗНЫЕ СИНТЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ТРЕХФАЗНОГО КРУЭ

145 кВ с коэффициентом первого полюса $k_{pp}=1/3$

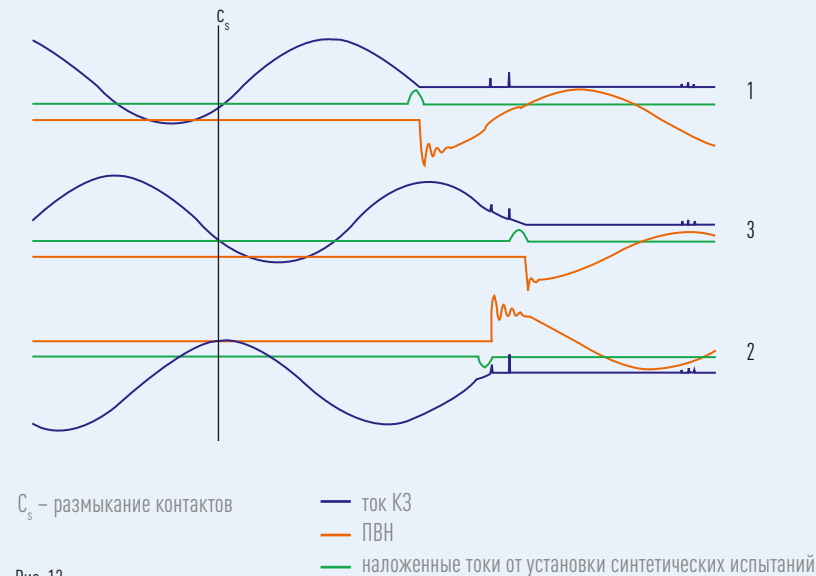


Рис. 13

(т.е. третью установку в КЕМА) и испытательную камеру ультравысокого напряжения. Такая установка была введена в эксплуатацию в начале 2012 г. (рис. 12).

Важно, что наличие такой установки делает возможным проведение трехфазных синтетических испытаний, которые обязательны для трехфазных КРУЭ. Большой опыт, полученный в прошлые годы при испытаниях многочисленных трехфазных КРУЭ 145 кВ, был обобщен в нашей лаборатории. Типичная осциллограмма таких испытаний показана на рис. 13.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена новая синтетическая схема для испытаний выключателей ультравысокого напряжения на коммутационную способность. Она включает два каскадных контура наложения напряжения. Выбор

требуемых электрических параметров, адекватное подключение и время срабатывания позволяют получить нормированное ПВН при всех возможных уровнях тока КЗ. Причем испытуемые объекты могут оставаться на потенциале земли. Испытания полного полюса при высоком значении подаваемого напряжения должны гарантировать высокую степень эквивалентности реальным условиям эксплуатации. В настоящее время КЕМА имеет стационарную испытательную установку ультравысокого напряжения, в которой используется опыт, полученный на опытной мобильной установке.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Standard IEC 62271-100: High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers, edition 2.0, 2008-04.
2. J. Biermans, The Weil circuit for testing of high-voltage circuit-breakers

with very high rupting capacities, CIGRE Report 102, 1954.

3. B. Sheng, A new synthetic test circuit for ultra-high-voltage circuit breakers, Ph. D. thesis, Delft University of Technology, 1995.
4. IEC Standard 62271-101, High-voltage. Switchgear and controlgear – Part 101: Synthetic testing, 2010.
5. L. van der Sluis, G. C. Damstra, H. W. Kempen, W. A. van der Linden, Synthetic test methods, CIGRE Conf., pp. 13-203, 1992.
6. L. van der Sluis, B. L. Sheng, The influence of the arc voltage in synthetic test circuits, IEEE trans. on pow. del., vol. 10, no. 1, pp. 274-279, 1995.
7. CIGRE Technical Brochure 368: Operating environment of voltage grading capacitors applied to high voltage circuit breakers, CIGRE WG A3.18, 2009.
8. M. Kapetanovic, High voltage circuit breakers, Sarajevo 2010, ISBN 978-9958-629-39-6 (issued by КЕМА 2011).