

СТАНДАРТЫ И КОММУТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГЕНЕРАТОРНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

АВТОРЫ:

Р.Н. ШУЛЬГА,
К.Т.Н.,
ВЗИ — ФИЛИАЛ
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»

Т.С. СМЕРНОВА,
ВЗИ — ФИЛИАЛ
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»

Д.А. ГЛУШКОВ,
ВЗИ — ФИЛИАЛ
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»

Существующие стандарты генераторных выключателей для энергоблоков мощностью свыше 1200 МВт не учитывают целый ряд потенциально возможных внешних воздействий на них, возникающих

в процессе эксплуатации. Современное развитие распределенной и автономной генерации формирует дополнительные требования к выключателям, встраиваемым в распределительные устройства среднего напряжения.

Ключевые слова: стандарт; коммутационное испытание; генераторный выключатель; прямое испытание; синтетическая схема.



СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Если современные (вакуумные и элегазовые) сетевые (высоковольтные) выключатели (СВ) классов напряжения свыше 110 кВ на токи отключения до 63 кА выпускаются отечественной промышленностью, то генераторные выключатели (ГВ) для крупных АЭС и ТЭС в нашей стране практически не разработаны и не освоены. В России в энергоблоках мощностью до 400 МВт стоят масляные выключатели типа МГГ и ВГГ или воздушные выключатели типа ВВГ, ВВ0А на номинальные токи 2000...13000 А и токи отключения 45...160 кА, которые в большинстве своем выработали свой ресурс, морально и физически устарели и требуют замены.

Отечественный стандарт — ГОСТ Р 52565-2006 [1] — во многом не учитывает особенности работы ГВ. Зарубежные производители и испытатели ориентированы на стандарт IEEE Std 37.013-1997 «Высоковольтные генераторные выключатели переменного тока», основанный на симметричных токах, который недостаточно учитывает специфику ГВ. Стандарт IEC/IEEE 62271-37-013 «Высоковольтные выключатели переменного тока» [2] более полно учитывает специфику ГВ по сравнению с СВ: большее число ступеней номинальных токов и напряжений; высокое значение апериодической составляющей в токе короткого замыкания (КЗ) на шинах генераторного напряжения; большее значение скорости переходного восстановления напряжения (ПВН) на контактах ГВ при отключении токов КЗ вблизи генератора; коммутация в режиме рассогласования фаз генератора и сети, вызванная неисправностью синфазирования, выпадением генератора из синхронизма; релейная защита при потере возбуждения. Кроме того, для генераторов, работающих в пиковом режиме, присущем для ГЭС, ГТЭС,

ГЭС, требуется более высокий механический и коммутационный ресурсы ГВ по сравнению с СВ. В последние годы, наряду с потребностями разработки ГВ для крупных энергоблоков мощностью свыше 1000 МВт, в связи с приоритетным развитием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и распределенной электрогенерации, возникла потребность согласования стандартов по ГВ в части энергоблоков мощностью менее 100–200 МВт, стандартов IEEE и IEC. Из предполагаемого на электрогенерацию объема инвестиций в Европе до 2050 г. (3,200 млрд евро) более половины (1,670 млрд евро) придется на ВИЭ, что обеспечивает необходимость разработки ГВ для энергоблоков мощностью менее 200 МВт преимущественно с вакуумными ГВ.

Разработка новых образцов ГВ с использованием элегазовой и вакуумной техники взамен устаревших масляных и воздушных ГВ требует разработки новых отечественных стандартов, комплексных решений и схем для коммутационных испытаний (КИ) рассматриваемых нами выключателей.

Так, благодаря наличию указанных решений, фирма АВВ с 1954 г. продала в 100 стран 8 тыс. элегазовых и вакуумных ГВ на номинальные токи 3...50 кА, токи отключения 50...300 кА напряжением 15...31,5 кВ [4]. Фирма Siemens в качестве ГВ использует преимущественно вакуумные выключатели 3АН374 на номинальные токи до 10 кА, токи отключения 63 или 80 кА напряжением до 24 кВ [5]. Близкие показатели имеют ГВ производства других зарубежных фирм (Alstom, Schneider Electric). Отечественные фирмы, например «Высоковольтный союз» и АО «ПО Электроаппарат», также выпускают соответственно вакуумные и элегазовые ГВ, однако в более узком диапазоне напряжений (10...20 кВ) на номинальные токи

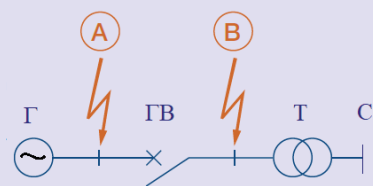
от 4 до 10 кА, номинальные токи отключения от 63 до 90 кА, например, вакуумный ВГГ-20-90/10000 УЗ (вместо МГ-20) по ТУЗ414-008-00213606-2018 [6, 7]. Разруха 1990-х гг. привела к практической утрате испытательной базы для КИ, которая необходима для отладки ГВ [8, 9].

Целью настоящей статьи является анализ состояния стандартов и формирование требований для проведения КИ ГВ для создания линейки гибридных генераторных выключателей (ГВГ) с использованием вакуумной техники энергоблоков АЭС мощностью 200, 600, 1200 кВт и выше. Суть подхода к решению обозначенных задач частично отражена в работах Р.Н. Шульги и соавторов [10–12], в которых используется гибридная конструкция ГВ с трехступенчатой коммутацией тока. Существующие стандарты ГВ для энергоблоков мощностью свыше 1200 МВт не позволяют учесть в полной мере воздействие на них в процессе эксплуатации и при использовании гибридных конструкций ГВ. Кроме того, приоритетное развитие распределенной и автономной генерации потребовало разработки дополнительных требований к выключателям, встраиваемым в распределительные устройства среднего напряжения, что отражено в стандарте «Выключатель генератора среднего напряжения» [3].

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ ГВ

На рис. 1 представлена созданная по данным стандарта «Выключатель генератора среднего напряжения» [3] расчетная схема трехфазного КЗ для ГВ, включенного между генератором (Г) и трансформатором (Т), причем вариант А соответ-

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ТРЕХФАЗНОГО КЗ ДЛЯ ГВ



Обозначения: Г — генератор; ГВ — генераторный выключатель; Т — трансформатор; С — сборные шины; А — короткое замыкание на шинах генератора и питание со стороны сети; В — короткое замыкание между генераторным выключателем и трансформатором и питание от генератора [3]

Рис. 1

стует КЗ на выводах генератора, а вариант В соответствует КЗ между ГВ и трансформатором. Вариант В является наихудшим для выключателя в части амплитуды и степени асимметрии и обычно принимается в качестве расчетного, а вариант А является наихудшим в части ПВН.

Рассмотрим требования стандарта «Выключатель генератора среднего напряжения» [3] по следующим показателям:

1. номинальные и наибольшие уровни напряжения и изоляции;
2. степень асимметрии при КЗ;
3. скорость нарастания ПВН;
4. номинальный и кратковременный выдерживаемый ток КЗ;
5. номинальная последовательность работы;
6. количество механических операций.

В части 4.2.101 стандарта IEC / IEEE 62271-37-013 (табл. 1) определены номинальные уровни изоляции U_r для автоматических ГВ, которые фактически являются компромиссом между стандартными значения-

ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ГВ ПО СТАНДАРТУ IEC / IEEE 62271-37-013

Номинальный уровень изоляции U_r , кВ	Номинальное выдерживаемое напряжение U_d , кВ	Импульсное выдерживаемое напряжение U_p , кВ
$\leq 7,2$	20	60
$7,2 < U_r \leq 12$	28	75
$12 < U_r \leq 15$	38	95
$15 < U_r \leq 17,5$	50	110

Таблица 1

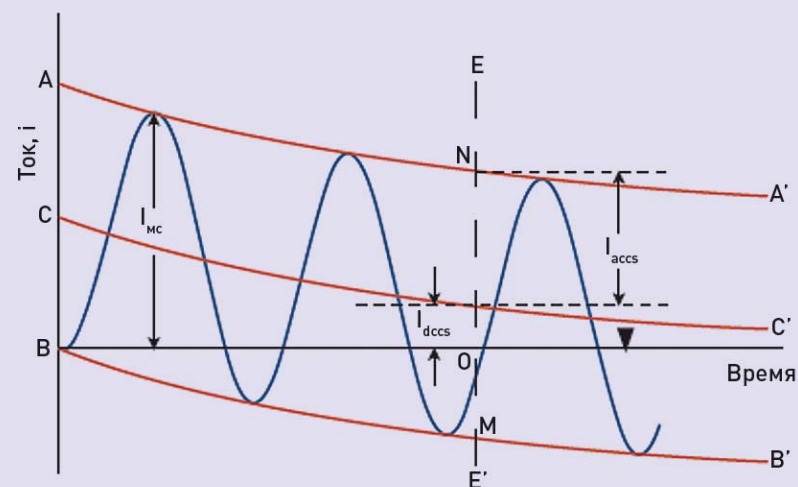
ми IEEE и IEC, U_d — номинальное выдерживаемое напряжение, U_p — импульсное выдерживаемое напряжение, причем U_r , U_d приведены в действующих значениях, а U_p — соответствует амплитудным значениям.

Кроме того, в ч. 2 стандарта IEC 62271-1 приведены две таблицы

(табл. 1а, 1в) с дополнительными значениями U_r 24 и 27 кВ, соответствующими действующими значениями U_d 50 и 60 кВ при значении амплитуды U_p равном 125 кВ.

Степень асимметрии для тока КЗ от подпитки системой (вариант А) определяется двумя компонентами:

ПЕРЕМЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ И СТЕПЕНЬ АСИММЕТРИИ ТОКА КЗ ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ КОНТАКТОВ ВО ВРЕМЕНИ



$I_{accs} / \sqrt{2}$ — среднеквадратичное значение переменной компоненты тока I_{sc} в момент расхождения контактов;
 $Asy_{cs} = [I_{dccs} / I_{accs}] \times 100\%$ — степень асимметрии в момент расхождения контактов,
 I_{dccs} — постоянная составляющая тока; I_{accs} — переменная составляющая тока

Рис. 2

ГРАФИК ТОКА КЗ (КА) И СТЕПЕНЬ АСИММЕТРИИ (%) ВО ВРЕМЕНИ (МС)

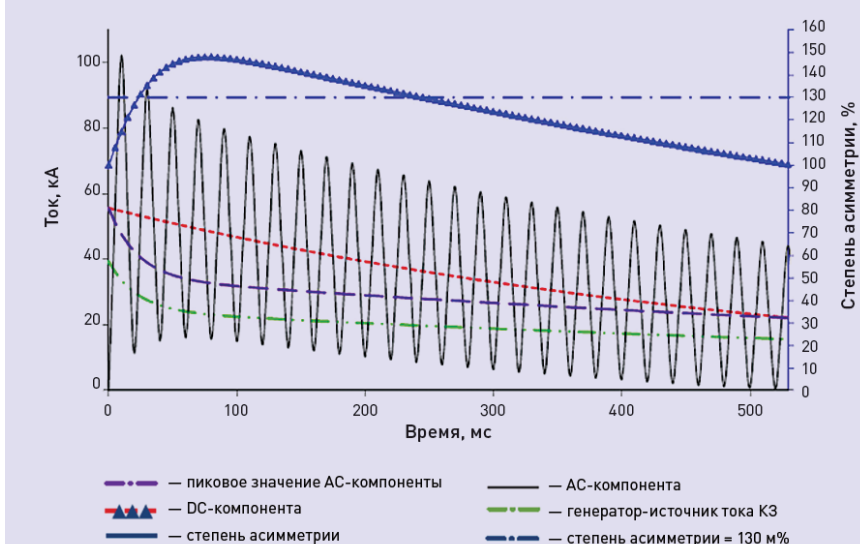


Рис. 3

- действующим значением переменной составляющей тока I_{sc} ;
- постоянной времени τ (постоянной составляющей тока КЗ, которая определяет степень асимметрии в токе между расходящимися контактами), которые представлены на рис. 2.

Стандарт IEC/IEEE 62271-37-13 (ч. 4.101.2) определяет значение времени 133 мс для постоянной составляющей подпитки тока от системы при степени асимметрии, равной 68 %, в момент времени 50 мс.

Степень асимметрии тока КЗ при питании от генератора (вариант В) характеризуется постоянной составляющей тока DC, которая значительно больше, чем в предыдущем случае, и может превысить 100 %, когда КЗ возникает при нуле напряжения, достигая иногда значения 130 или 148 %, как показано на рис. 3. При испытаниях степень асимметрии обычно принимается равной 130 %.

Скорость восстановления ПВН (TRV) после отключения тока КЗ при питании от системы (вариант А) определяется характеристиками генератора и системы, включая трансформатор. Наихудший случай соответствует трехфазному КЗ и отключению первой фазы, причем для генератора с незаземленной нейтралью ударный коэффициент k_{pp} принимается равным 1,5, так же как и коэффициент k_{af} , определяющий порядок коммутации полюсов.

Амплитуда ПВН, равная U_c (кВ), в соответствии со стандартом «Выключатель генератора среднего напряжения» [3] определяется соотношением:

$$U_c = k_{pp} \cdot k_{af} \cdot U_r \cdot (\sqrt{2}/\sqrt{3}),$$

где коэффициенты k_{pp} и k_{af} определяются порядком подключения полюсов ГВ и характером заземле-

ния нейтрали трансформатора, их значения равны 1,5, $U_r \cdot (\sqrt{2}/\sqrt{3})$ — амплитуда фазного напряжения генератора.

Характер ПВН во времени (мкс) приведен на рис. 4 и характеризуется одночастотной составляющей, ограниченной амплитудой ПВН, равной u_c (кВ). Верхняя касательная линия к значению u_c в момент пересечения соответствует длительности фронта t_3 ПВН. Нижняя касательная параллельна верхней, начинается от времени задержки t_d и кончается в точке с координатами t', u' .

Для генераторов мощностью 100 МВА амплитуда ПВН принимается равной $1,84 U_r$, а для противофазного режима сети относительно генератора при отключении КЗ — $2,6 U_r$, причем ПВН представляет косинусоиду одной частоты. Скорость ПВН соответственно принимается равной 1,6 и 3,3 кВ/мкс.

Соотношение U_c / t_3 определяет

скорость нарастания ПВН ($RRRV$). В табл. 2 в зависимости от номинальной мощности трансформаторов (МВА) приведены значения длительности фронта ПВН — t_3 (мкс), амплитуды u_c (кВ), скорости ПВН — $RRRV$ (кВ/мкс) в соответствии со стандартом IEC/IEEE 62271-37-013.

Время задержки t_d принимается равным 1 мкс, наибольшее значение $RRRV$ (кВ/мкс) не превышает 6 кВ/мкс. Для кабельных сетей коэффициент k_{af} принимается равным 1,4, а время задержки равно $0,15 t_3$ (мкс).

Скорость нарастания ПВН в режиме В при питании КЗ от генератора существенно ниже, чем в табл. 2, и не превышает 1,6 кВ/мкс, а длительность фронта составляет 1,15–1,23 U_r , время задержки t_d равно 0,5 мкс, значение u_c — $1,84 U_r$.

В противофазном режиме значение ПВН для трансформаторов до 100 МВА заметно больше и равно

ЗНАЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ФРОНТА ПВН, АМПЛИТУДЫ U_c , СКОРОСТИ ПВН В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ IEC/IEEE 62271-37-013

Номинальная мощность трансформатора, МВА	ПВН		
	Длительность фронта, t_3 , мкс	Амплитуда ПВН, u_c , кВ	Скорость нарастания ПВН, кВ/мкс
10–50	$0,58 U_r$	$1,84 U_r$	3,2
51–100	$0,53 U_r$	$1,84 U_r$	3,5
101–200	$0,46 U_r$	$1,84 U_r$	4,0
201–400	$0,41 U_r$	$1,84 U_r$	4,5
401–600	$0,37 U_r$	$1,84 U_r$	5,0
601–1000	$0,34 U_r$	$1,84 U_r$	5,5
1001 и выше	$0,31 U_r$	$1,84 U_r$	6,0

Таблица 2

$2,6U_r$, скорость $RRRV$ не выше $3,3$ кВ/мкс, а время задержки t_d равно 1 мкс, длительность фронта составляет $0,79-87U_r$.

Сопоставление стандарта IEC/IEEE 62271-37-013 и стандарта IEC 62271-100 показывает, что в части ПВН первый задает более высокие

ПВН — U_c (кВ) ВО ВРЕМЕНИ (МКС)

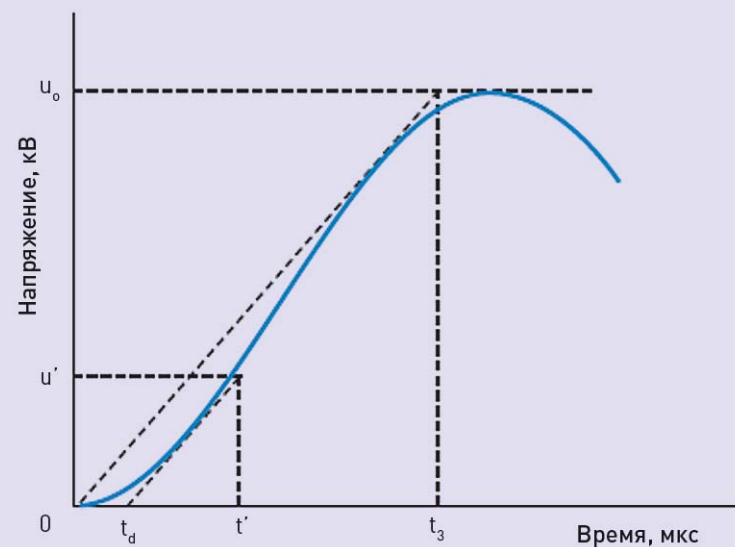


Рис. 4

требования к скорости нарастания ПВН, нежели второй стандарт. Так, на рис. 5 в качестве примера приведены (для генератора 12 кВ, мощностью от 10 до 50 МВА) графики зависимости амплитуды ПВН u_c (кВ) от длительности фронта t_3 (мкс), определяемые стандартами IEC / IEEE 62271-37-013 и IEC 62271-100, подтверждающие указанное положение. В части t_d , наоборот, первый стандарт задает меньшие значения — от 0,5 до 1 мкс, в то время как второй — от 9 до 18 мкс (для генераторов 12 кВ мощностью от 10 до 50 МВА).

Стандарт IEC/IEEE 62271-37-013 (ч. 4.108) определяет два класса механического эксплуатационного ресурса: класс M1 и класс M2, как показано в табл. 3. Выключатель должен выполнять количество рабочих циклов, указанных для каждого класса, с учетом графика технического обслуживания, установленного изготовителем.

ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КИ

Возможные варианты выполнения КИ [13, 14] предусматривают реализацию двух вариантов: модифицированной схемы прямых испытаний либо синтетической схемы.

Модифицированная схема прямых испытаний (рис. 6) использует в качестве генератора импульсных токов (ГИТ) ударный генератор (УГ) (один или несколько параллельных), обычно в сочетании с понижающим трансформатором, а в качестве схемы испытательных напряжений — генератор импульсных напряжений (ГИН), обычно в виде синтетической схемы с наложением тока.

ДВА КЛАССА МЕХАНИЧЕСКОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ГВ

Стандартный ГВ — класс M1 (нормальный механический ресурс)	1000 рабочих циклов
ГВ защиты для специальных требований обслуживания — класс M2	3000 рабочих циклов

Таблица 3

В качестве источника тока используется ударный синхронный генератор с трансформатором, который используется для повышения генераторного напряжения или повышения тока в цепи ГИТ, а иногда и просто как изолирующий цепь ГИТ от цепи высокого напряжения. Зарядное напряжение U_H конденсатора C_H должно быть таким, чтобы с учетом затухания и уменьшения напряжения за счет схемы формирования ПВН

обеспечить приложение требуемого напряжения к испытуемому выключателю после гашения дуги. Значение индуктивности L_H должно быть равно или близко к значению индуктивности прямой схемы испытаний. Значение емкости C_H выбирается таким, чтобы частота колебаний контура C_H-L_H , определяемая в первую очередь параметрами испытуемого выключателя (ИВ) после гашения дуги и восстановления прочности его

ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ АМПЛИТУДЫ ПВН U_c (кВ) ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ФРОНТА t_3 (МКС) ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА 12 КВ (МОЩНОСТЬЮ ОТ 10 ДО 50 МВА), ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СТАНДАРТАМИ IEC/IEEE 62271-37-013 И IEC 62271-100

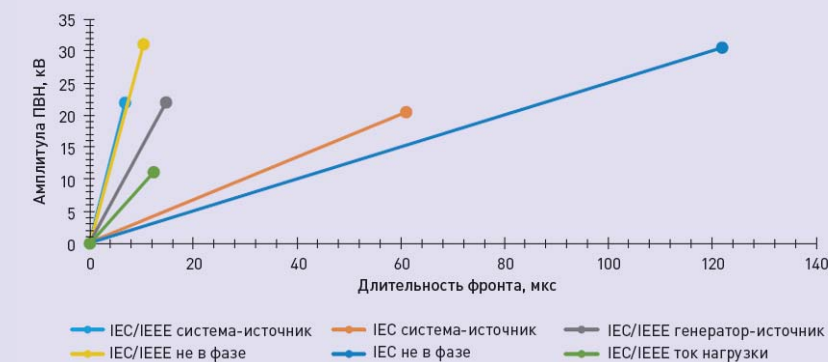


Рис. 5

МЕДИАКИТ 2020

УЧРЕДИТЕЛЬ: ПАО «ФСК ЕЭС»
ИЗДАТЕЛЬ: АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

+7 (495) 268-04-79 (доб. 104)

editor@ntc-power.ru



УМНЫЙ ЖУРНАЛ
ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ



ЦЕЛЕВАЯ АУДИТОРИЯ

СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ФСК ЕЭС
СЕТЕВЫЕ КОМПАНИИ
РОССЕТИ
РАН
СПЕЦИАЛИСТЫ
ПРОИЗВОДИТЕЛИ
ОБОРУДОВАНИЯ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ
ПМЭС
МОЛОДЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ

ЛИЧНО В РУКИ
ИНЖЕНЕРЫ
МНЕНДЖЕРЫ
ЦЕЛЕВАЯ РАССЫЛКА
МИНЭНЕРГО
ГЛАВНЫЕ ИНЖЕНЕРЫ
СТУДЕНТЫ
ВУЗЫ
ЭНЕРГОХОЛДИНГИ
МЭС
РУКОВОДИТЕЛИ
ПРОЕКТИРОВЩИКИ

промежутка, составляла порядка 500 Гц.

При задействовании включающего аппарата (ВА) через замкнутые вспомогательный и испытуемый выключатели начинает проходить отключенный ранее ток I_o . За определенное время до последнего перед гашением перехода тока через нулевое значение, равное, например, трем четвертям времени полупериода колебаний собственной частоты контура высокого напряжения, замыкается быстродействующий замыкатель, и в контуре $Сн-Lн$ начинает проходить ток $Iн$ повышенной частоты $\omegaн$, величина которого равна:

$$Iн = I_o \omega / \omegaн,$$

где ω — круговая промышленная частота источника тока, т.е. ток $Iн$ меньше I_o в $\omega / \omegaн$ раз.

После этого через вспомогательный выключатель (ВВ) протекает ток I_o , а через испытуемый $I_o + Iн$. При прохождении тока I_o через нулевое значение ВВ гасит дугу и в течение времени $tн$, а ИВ оказывается включенным только в контур высокого напряжения с индуктивностью и напряжением, близкими к таковым при прямых испытаниях. После гашения дуги на ИВ восстанавливается напряжение, форма которого определяется схемой формирования ПВН.

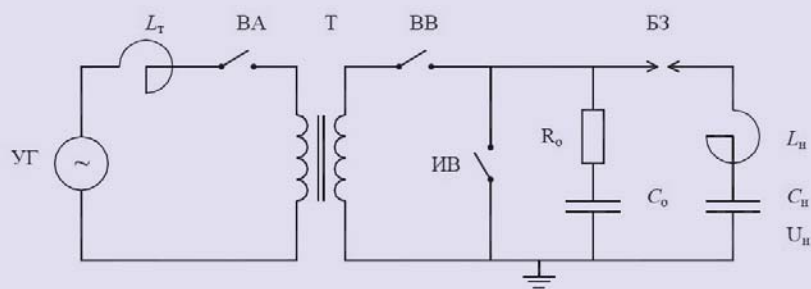
Синтетическая схема КИ представлена на рис. 7. В отличие от прямых методов синтетические методы испытаний являются более экономичными и основаны на применении двух контуров: ГИТ с пониженным напряжением и ГИН с повышенным напряжением и малым током. Идея синтетических испытаний состоит в том, чтобы нагрузить испытуемый ГВ большим током от ГИТ, а после перехода тока через ноль отключить ГВ и приложить между его контакта-

ми напряжение от ГИН, одновременно защитив ГИТ от повышенного напряжения ГИН.

На рис. 7 приведена схема КИ ГВ с использованием ГИТ и ГИН, а также быстродействующих выключателей: S1 ГИТ, S2 ГИТ и S ГИН, в качестве которых могут быть использованы разрядники вакуумные управляемые (РВУ+). Системы зарядки и управления

стендом не показаны. Реализация контура ГИН также не вызывает особых проблем, а вот реализация контура ГИТ достаточно проблематична из-за огромной емкости С ГИТ при минимальной индуктивности L ГИТ и периоде колебаний 50 Гц. Например, для разработки стенда на импульсный ток 800 кА частотой 50 Гц с восстанавливаемым напряжением 50 кВ частотой 500 Гц для ГИТ необходимо обеспечить:

МОДИФИЦИРОВАННАЯ СХЕМА ПРЯМЫХ ИСПЫТАНИЙ



Обозначения: УГ — ударный генератор; L_t — индуктивность контура тока; ВА — включающий аппарат; Т — повышающие или изолирующие трансформаторы; ВВ — вспомогательный выключатель; ИВ — испытуемый выключатель; БЗ — быстродействующий замыкатель; L_n, C_n — индуктивность и емкость контура высокого напряжения; R_o, C_o — элементы схемы формирования ПВН; U_n — зарядное напряжение конденсатора C_n

Рис. 6

СИНТЕТИЧЕСКАЯ СХЕМА КИ ГВ

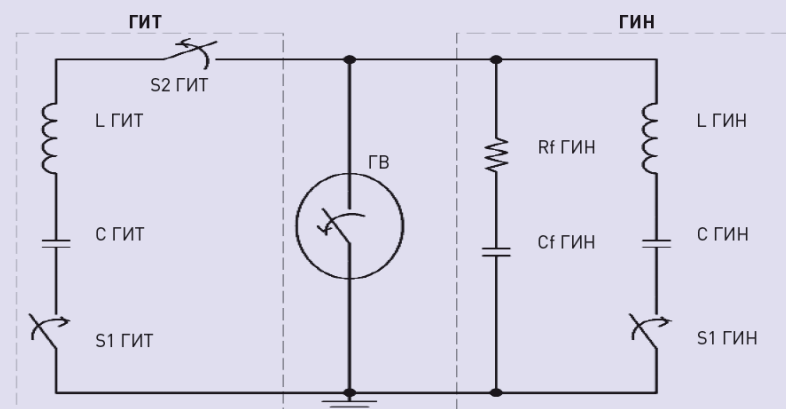


Рис. 7

- период колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC}$;
- волновое сопротивление $\rho = \sqrt{L/C} = U_{зар.} / I_{ампл.}$

Задав напряжение заряда $U_{зар.} = 1,6$ кВ, амплитуду тока $I_{ампл.} = 800$ кА, по вышеприведенным формулам получим:

$$\rho = 0,002 \text{ Ом}; C = 1,6 \text{ Ф}; L = 6,4 \text{ мкГн.}$$

Запасаемая энергия батареи равна $E = CU^2/2$ и в зависимости от комплектации составляет от 2 до 6 МДж.

Для учета аperiodической и периодической составляющих тока КЗ контур ГИТ рис. 7 преобразуется в двухконтурный, как показано в статье Р.Н. Шульги и соавторов [11], где анализируются переходные процессы в двухконтурном ГИТ при учете аperiodической и периодической составляющих тока КЗ.

Схемы КИ ГВ, составленные по данным исследования Р. П. П. Свитса и соавторов [15], проведенного в испытательном центре (ИЦ) КЕМА для элегазового ГВ фирмы «Альстом» как по прямой схеме (синий пунктир), так и по синтетической (красный пунктир), приведены на рис. 8 для токового контура (ГИТ), а схема ГИН для ПВН (зеленый пунктир) показана справа от токового контура. В нижней части рис. 8 слева показаны измеренные токи (кА) и напряжения (кВ): красным цветом ток и синим цветом восстанавливаемое напряжение ГВ, а справа — начальная часть ПВН, которая на графике слева выделена пунктиром синего цвета. Временной масштаб слева — мс, справа — мкс. Анализ начальной части кривой ПВН показывает частоту восстановления напряжения на уровне 10 кГц, что на порядок превышает аналогичное значение для СВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отечественный ГОСТ Р 52565-2006 [1] во многом не учитывает особенности работы ГВ. Зарубежные производители и испытатели ориентированы на стандарт IEEE Std 37.013-1997 «Высоковольтные генераторные выключатели переменного тока», основанный на симметричных токах, который недостаточно учитывает специфику ГВ. Стандарт IEC/IEEE 62271-37-013 «Высоковольтные выключатели переменного тока» [2] более полно учитывает специфику ГВ, которую отличает от СВ: большее число ступеней номинальных токов и напряжений, высокое значение аperiodической составляющей в токе КЗ на шинах генераторного напряжения, большее значение скорости ПВН на контактах ГВ при отключении токов КЗ вблизи генератора, коммутация в режиме рассогласования фаз генератора и сети, вызванная неисправностью синфазирования, выпадением генератора из синхронизма, работе релейной защиты при потере возбуждения.

Существующие стандарты ГВ не позволяют учесть в полной мере воздействия на них для энергоглобков мощностью свыше 1200 МВт и использование гибридных конструкций ГВ, особенно с учетом использования более дешевых и надежных элементов вакуумной техники. Кроме того, приоритетное развитие распределенной и автономной генерации диктует необходимость разработки дополнительных требований к выключателям, встраиваемым в распределительные устройства среднего напряжения, что отражено в стандарте «Выключатель генератора среднего напряжения» [3].

Необходимость разработки отечественных ГВ требует создания испытательных установок для вы-

ИЗ ГОСТА Р 52565-2006 «ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА НАПРЯЖЕНИЯ ОТ 3 ДО 750 КВ»

4.1 Выключатели подразделяют по следующим основным признакам.

4.1.1 По роду установки для работы:

4.1.2 По принципу устройства (виды):

- газовые
- элегазовые, с другими газами или газовыми смесями;
- вакуумные;
- воздушные;
- масляные;
- электромагнитные.

4.1.3 По размещению дугогасительного устройства: [...]

4.1.4 По конструктивной связи между полюсами: [...]

4.1.5 По функциональной связи между полюсами: [...]

4.1.6 По виду привода в зависимости от рода энергии, используемой в процессе оперирования: [...]

4.1.7 По характеру конструктивной связи выключателя с приводом: [...]

4.1.8 По механической стойкости: [...]

4.1.9 По наличию или отсутствию в дугогасительном устройстве шунтирующих резисторов: [...]

4.1.10 По наличию или отсутствию шунтирующих конденсаторов: [...]

4.1.11 По пригодности выключателя для работы при автоматическом повторном включении (АПВ): [...]

4.1.12 По пригодности выключателя для коммутации конденсаторных батарей: [...]

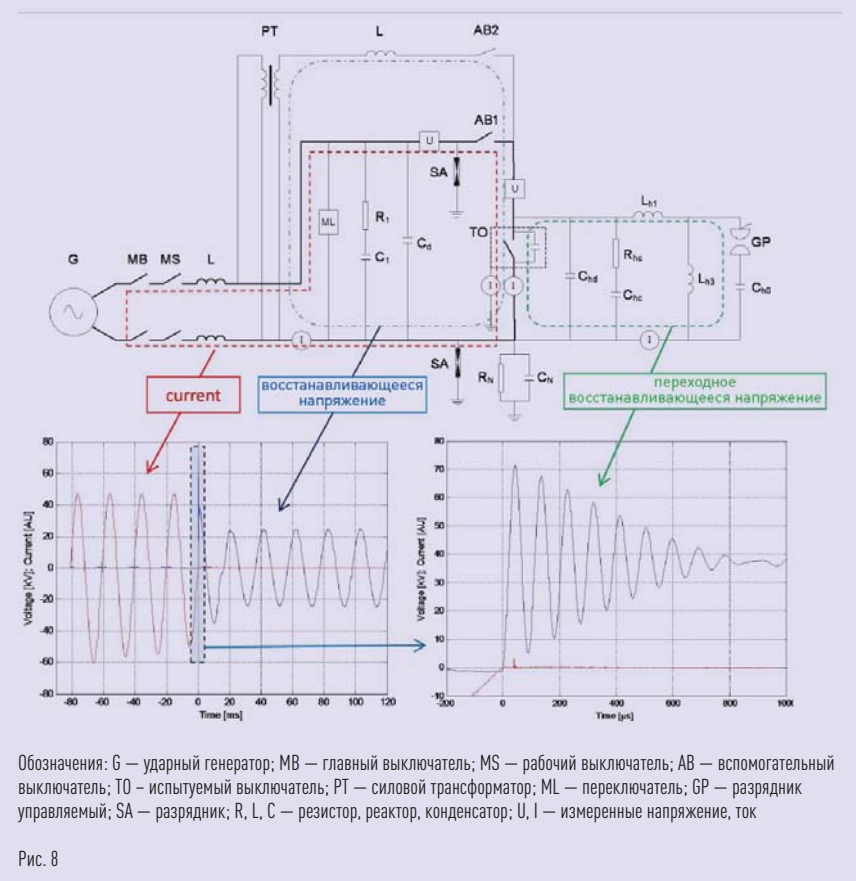
4.1.13 По пригодности выключателя для коммутации токов шунтирующих реакторов: [...]

полнения КИ этих выключателей. Выполнен анализ проведения КИ, который предусматривает реализацию двух вариантов: модифицированной схемы прямых испытаний либо синтетической схемы. Приведены данные по реализации наиболее перспективной синтетической схемы для испытаний ГВ для мощных энергоблоков АЭС.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 52565-2006 «Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Общие технические условия».
- IEC/IEEE 62271-37-013 High Voltage Alternating Current-Breakers.
- Medium voltage generator circuit-breaker. Technical Application Paper № 22. URL: <https://www.library.e.abb.com/public/2017.03/pdf> (дата обращения 05.09.2019).
- Элегазовые генераторные распределительные устройства НЭС, с. 6. URL: <http://www.new.abb.com> (дата обращения 05.09.2019).
- Генераторные распределительные устройства НВЗ-80 с автоматическими выключателями — Каталог НВЗ-80, 2015, с. 28. URL: <http://www.siemens.ru/lmv> (дата обращения 05.09.2019).
- Генераторные выключатели — Высоковольтный союз. URL: <http://www.vsoyuz.com> (дата обращения 05.09.2019).
- АО ВО Электроаппарат. URL: <http://www.ea.spb.ru/catalog/4/14/> (дата обращения 05.09.2019).
- Испытательный центр ВЭИ. Всероссийский электротехнический институт — филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ». URL: <https://dostup1.ru/> (дата обращения 05.09.2019).
- Испытательный Центр НТЦ ФСК. URL: <https://ap-babushkin.livejournal.com/> (дата обращения 05.09.2019).
- Шульга Р.Н., Лавринович В.А., Иванов В.П., Сидоров В.А., Смирнова Т.С. Разработка гибридного генераторного выключателя — XXVIII Международная научно-техническая конференция ТРАВЭК «Перспективы развития электроэнергетики и высоковольтного электротехнического оборудования», 5–6 июня 2019 г., Москва.
- Шульга Р.Н., Лавринович В.А., Иванов В.П., Сидоров В.А., Смирнова Т.С. Исследования и разработка гибридного генераторного вы-

СХЕМЫ КИ ГВ: ПРЯМАЯ (СИНИЙ ПУНКТИР), СИНТЕТИЧЕСКАЯ (КРАСНЫЙ ПУНКТИР) ДЛЯ КОНТУРА ГИТ И СИНТЕТИЧЕСКАЯ СХЕМА ПВН (ЗЕЛЕНый ПУНКТИР) ДЛЯ КОНТУРА ГИН, А ТАКЖЕ ГРАФИКИ ТОКА (КРАСНЫЙ ЦВЕТ) И НАПРЯЖЕНИЯ (СИНИЙ ЦВЕТ) ВО ВРЕМЕНИ: СЛЕВА — МС, СПРАВА — МКС [12].



- Шульга Р.Н., Лавринович В.А., Иванов В.П., Сидоров В.А., Смирнова Т.С. Разработка гибридного генераторного выключателя // Энергия единой сети. 2019. № 3 (45). С. 63–72.
- Шульга Р.Н., Лавринович В.А., Иванов В.П., Сидоров В.А., Смирнова Т.С. Гибридный генераторный выключатель и испытательный стенд // Энергоэксперт. 2019. № 3. С. 14–20.
- Каплан В.В., Нашатырь В.М. Синтетические испытания высоковольтных выключателей. Л.: Энергия, 1980. 200 с.
- Агафонов Г.Е. Схемы испытаний электрических аппаратов на коммутационную способность, НИИВА. URL: www.niiva.org/data/article2.pdf.
- Sweets R. P. P., te Paske L.H., Kuivenhoven S., Thomas R., Royot V., Robin-Joan P., Willieme J. M., Jacquer F. Interruption Phenomena and Testing of Very Large SF6 Generator Circuit-Breaker. CIGRE 2014, A3-306, pp. 1–10.

XI МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЕ ТРУДА

SAPE



СОЧИ

14-17 АПРЕЛЯ 2020

ОРГАНИЗАТОР:



Электрификация

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



МИНИСТЕРСТВО ТРУДА
И СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ВСЕРОССИЙСКАЯ
НЕДЕЛЯ ОХРАНЫ ТРУДА

www.sape-expo.ru

Тел.: +7 (499) 181-52-02, доб. 131,145

eor@expo-elektra.ru