

Нормальная схема применяется при определении  $\text{tg } \delta$  и ёмкости междуфазовой изоляции или при лабораторных измерениях. При нормальной схеме оба электрода испытуемого объекта должны быть изолированы от земли. Измерительная часть схемы находится под невысоким напряжением, тщательно экранирована от внешних наводок и с помощью разрядников защищена от высокого напряжения, которое может появиться на элементах моста при пробое  $C_x$ .

Наряду с измерение угла диэлектрических потерь для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов используется также хромоатографический анализ растворимых в масле газов (АРГ). Состав растворимых в масле газов зависит от характера развивающегося в трансформаторе повреждения, по полученным данным АРГ можно ориентировано предположить виды развивающихся дефектов, которые можно разделить на три группы.

**Группа 1.** Перегревы токоведущих соединений и элементов конструкции остова. Основные газы:  $C_2H_4$  или  $C_2H_2$  в случае перегрева масла, вызванного дуговым разрядом. Характерные газы:  $H_2$ ,  $CH_4$  и  $C_2H_6$ . Если дефектом затронута твердая изоляция, то заметно возрастают концентрации  $CO$  и  $CO_2$ .

**Группа 2.** Дефекты твердой изоляции могут быть вызваны перегревом и электрическими разрядами. При перегреве твердой изоляции основными газами являются  $CO$  и  $CO_2$ . При разрядах в твердой изоляции (ползущий разряд) основными газами являются  $C_2H_2$  и  $H_2$ .

**Группа 3.** Электрические разряды в масле определяются частичными разрядами, искровыми и дуговыми. При частичном разряде основным газом является  $H_2$ ; характерными газами с малым содержанием –  $CH_4$  и  $C_2H_2$ . При искровом разряде и дуговом основными являются  $H_2$  и  $C_2H_2$ ; характерными газами с любым содержанием  $CH_4$  и  $C_2H_2$ .

### Литература

1. Положение о службе релейной защиты, автоматики и измерений Оршанских электрических сетей. – Орша, 1999.
2. Белецкий, О.В., Лезнов, С.И., Филатов, А.А. Обслуживание электрических подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Аптов, И.С., Хомяков, М.В. Уход за изоляционным маслом. – М., 1966.
4. Методические указания по эксплуатации трансформаторных масел. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1989.

УДК 621.316.5

## СОВРЕМЕННЫЕ ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И КОМПЛЕКСЫ

*Ричко А.Н., Дюрбейко В.В., Мысливченко Н.А.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент **МАЗУРКЕВИЧ В.Н.**

Специфика ГВ связана с тем, что условия их работы несколько отличаются от условий работы обычных выключателей переменного тока, в частности, от выключателей, устанавливаемых на электростанциях на стороне высокого напряжения (ВН) силовых трансформаторов. Находясь между силовым трансформатором и генератором, ГВ должны одинаково успешно отключать токи как со стороны системы, так и со стороны генератора. Это накладывает определенные требования на ГВ, отраженные в стандарте IEEE C37.013, который на сегодняшний день является, по сути, единственным стандартом на ГВ.

### **Элегаз – среда для электротехнического оборудования.**

Элегаз представляет собой соединение, имеющее химическую формулу SF<sub>6</sub>. При нормальных условиях это бесцветный, не имеющий запаха газ, плотность которого 6,52 кг/м<sup>3</sup> при нормальном атмосферном давлении и температуре 0 °С. Он приблизительно в пять раз тяжелее воздуха. Строение молекулы и её энергетическое состояние определяют высокую стабильность элегаза. Чистый газообразный элегаз совершенно безвреден, химически не активен, обладает повышенной теплоотводящей способностью и является очень хорошей дугогасительной средой. В однородном поле электрическая прочность элегаза в 2,3–2,5 раза выше прочности воздуха. Элегаз не горит и не поддерживает горения, следовательно, элегазовые аппараты являются взрыво- и пожаробезопасными. Стоимость элегаза существенно зависит от объёма его производства. При большом его потреблении стоимость единицы объёма элегаза, имеющего такую плотность, при которой достигается равная с маслом электрическая прочность, незначительно будет отличаться от стоимости единицы объёма масла. Но при правильной эксплуатации элегаз не стареет и не требует поэтому такого тщательного ухода за собой, как масло.

### **Электрическая прочность элегазовой изоляции.**

Первое элегазовое дугогасительное устройство автокомпрессионного типа, способное коммутировать токи до 80 кА, было разработано АВВ для выключателей КРУЭ в 1988 году. Это дугогасительное устройство могло применяться в выключателях с номинальным напряжением 170 кВ на разрыв. В 1992 году значение номинального напряжения на разрыв выключателя удалось довести до 245 кВ. Такое усовершенствованное дугогасительное устройство типа SP используется в выключателях на номинальное напряжение 145 и 245 кВ и номинальный ток отключения 80 кА, разработанных компанией АВВ Inc (США) совместно с компанией АВВ Schwitterland (Швейцария). При увеличении тока с 63 до 80 кА энергия, воздействующая на корпус дугогасительного устройства выключателя, увеличивается в 1,6 раза. Соответственно был увеличен объём корпуса дугогасительного устройства. Разработанные дугогасительные устройства могут не только применяться в новых выключателях, но и использоваться для модернизации установленных выключателей с увеличением номинального тока отключения с 63 кА до 80 кА.

### **Дугогасительная способность элегаза.**

В качестве дугогасительной среды в выключателях используется элегаз, а принцип гашения основан на автокомпрессионном эффекте, то есть энергия самой дуги используется для нагрева элегаза в дугогасительной камере. Это в свою очередь создает необходимую разность давлений для возникновения потока газа, который охлаждает и прерывает дугу. В результате этого уменьшается необходимое управляющее усилие от привода во время коммутационных операций. Кроме того, такой принцип позволяет получить большую отключающую способность (до 190 кА) и обеспечивает разрыв небольших токов без скачков напряжения. Гашение мощной дуги в аппаратах высокого напряжения возможно лишь при интенсивном теплоотводе, который в высоковольтных выключателях обеспечивается интенсивным дутьем. Теплоотвод от дуги существенно возрастает при быстром её перемещении силами магнитного поля в неподвижном газе. Электромагнитное дутьё в воздухе широко используется в аппаратах низкого напряжения. При замене воздуха элегазом электромагнитный способ гашения дуги оказалась возможным распространить и на область высоких напряжений.

### **Элегазовые выключатели высокого напряжения.**

Компания АВВ Power Technology Products АВ (Швеция) разрабатывает и выпускает элегазовые колонковые выключатели на напряжение 72,5–800 кВ. Основная серия выключателей НРL охватывает диапазон номинальных напряжений 123–800 кВ, имеет

номинальные токи до 5 кА и номинальные токи отключения до 63 кА. Выключатель HPL800 с наибольшим рабочим напряжением 800 кВ с 2001 года эксплуатируется в РАО ЕЭС на подстанции Белый Раст. В группе АBB разработкой и производством генераторных выключателей занимается компания АBB Switzerland. Первый элегазовый генераторный выключатель был разработан в 1985 году. Его номинальные параметры: напряжение 24 кВ; ток 12 000 А; ток отключения 100 кА. С этого времени постоянно проводилась работа по повышению технических характеристик выключателей. В мае 2000 года были завершены испытания генераторного выключателя с номинальным током отключения 160 кА. Анализ полученных результатов испытаний и новые исследования на моделях позволили улучшить характеристики выключателя, и осенью 2001 года новый цикл испытаний в лаборатории КЕМА дал возможность увеличить ток отключения до 190 кА при напряжении 27,5 кВ и до 200 кА при напряжении 25 кВ. Амплитудное значение сквозного тока КЗ и тока включения – 600 кА.

#### **Элегазовые выключатели для генераторов и элегазовые генераторные комплексы.**

Автоматические выключатели для электрогенераторов – это своего рода незаменимая «тяжелая артиллерия» в арсенале электрических разъединителей. Аварийный ток величиной 200 кА где-то на линии уже само по себе довольно опасное явление. Однако ток короткого замыкания такой величины в непосредственной близости от генератора может привести к событию, сравнимому по своим последствиям с землетрясением: он может оказаться настолько велик, что наведенное им магнитное поле попросту согнет и даже разрушит стальные валы. Противостоять этому могут автоматические элегазовые выключатели типа НЕС 7/8 компании АББ, специально предназначенные для решения непростой задачи «обуздания» токов короткого замыкания. Они способны выдержать любой ток, какой только могут сбросить на них даже самые крупные в мире электростанции. Помимо своих обычных функций – проведение и прерывание рабочего тока – рассматриваемый автоматический выключатель, представляющий собой камеру, наполненную сжатым элегазом, служит для мгновенного (за время 50 мс) размыкания цепей переменного тока в аварийных ситуациях (короткое замыкание с током, в 5–10 раз превосходящим номинальное значение). Автоматический выключатель типа НЕС 7/8 гасит электрическую дугу по принципу самопроизвольного взрыва, при котором необходимая для гашения дуги энергия берется из самого дугового разряда. Высвобождаемая при образовании дугового разряда энергия вызывает резкое нарастание локального давления и температуры. За счет конвективного и лучистого теплообмена с дуговым разрядом мгновенно повышается давление в «разогреваемом объеме» между дугогасительной контактной группой и поршнем. Именно отсюда начинается взрывообразно распространяться разогретый газ, который в очередной момент прохождения переменного тока через нуль гасит дугу.

#### **Выводы**

Современные разработки конструкций выключателей с элегазовыми дугогасителями в настоящее время ведутся в различных направлениях, и прежде всего в тех, которые дают наиболее эффективное технико-экономическое использование специфических свойств этой дугогасящей и изоляционной среды. В настоящее время опытные и промышленные образцы и серии элегазовых выключателей переменного тока высокого напряжения производятся различными фирмами во всём мире.

Преимущества элегазовых выключателей:

- взрыво- и пожаробезопасность;
- быстрое действие и пригодность для работы в любом цикле АПВ;
- возможность осуществления синхронного размыкания контактов непосредственно перед переходом тока через нуль;

- высокая отключающая способность при особо тяжёлых условиях отключения (отключение неудалённых коротких замыканий и др.);
- надёжное отключение ёмкостных токов холостых линий;
- малый износ дугогасительных контактов;
- лёгкий доступ к дугогасителям и простота их ревизии;
- относительно малый вес (по сравнению с баковыми масляными);
- возможность создания серии с унификацией крупных узлов;
- пригодность для наружной и внутренней установки.

Недостатки:

- необходимость в наличии устройств для наполнения, перекачивания и очистки шестифтористой серы;
- относительная сложность конструкции ряда деталей и узлов, а также необходимость применения высоконадёжных уплотнений;
- относительно высокая стоимость дугогасящей среды и выключателя в целом.

УДК 621.316

## ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

*Ковалев В.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РЖЕВСКАЯ С.П.

В соответствии с темой доклада был рассмотрен следующий перечень вопросов:

1. Виды воздействия электрического поля на тело человека.

В начале 50-х годов при появлении первых подстанций 500 кВ оперативный и ремонтный персонал, которому подолгу приходится находиться вблизи таких электроустановок, стал жаловаться на усталость, ощущение беспокойства, головную боль. Было установлено, что причина этих явлений в электромагнитном поле и шуме. Исследования и наблюдения, проведенные в 60-х и в начале 70-х годов, выявили следующее. Человек может без вреда для здоровья работать под линией при напряженностях электрического поля порядка 1–5 кВ/м. Более высокие напряженности, например 20 кВ/м, приводят к появлению и накоплению в организме физиологических нарушений и расстройств.

– *биологическое* воздействие, проявляющееся при пребывании человека в электрическом поле вызванное протеканием тока смещения через тело человека;

– воздействие *тока стекания*, протекающего через человека, находящегося в контакте с изолированными от земли объектами;

– воздействие *импульсных токов* (электрических разрядов), возникающих при прикосновении человека к электропроводящим объектам, имеющими потенциал, отличный от потенциала тела человека.

2. Заболевания, возникающие у людей при длительном пребывании в зонах действия сильных электрических полей. Перечень статистических данных по рассматриваемому вопросу.

3. Допустимое время пребывания под воздействием электрического поля.

При рассмотрении данного вопроса было описано время пребывания человека в рабочей зоне при различных значениях напряженности электрического поля в ней.

4. Общие требования к защите персонала, обслуживающего открытые распределительные устройства.

Применяемые биологические защиты: