

Из диаграммы видно, что на сегодняшний день основную долю рынка высоковольтных выключателей составляют вакуумные и элегазовые выключатели с преобладанием вакуумных. На рисунке 2 представлено сравнение технических характеристик разных типов выключателей.

Критерии оценки	SF ₆	Vakuum	
Взрыво- и огнестойкость	●	●●●	
Контроль среды коммутации	●	●●●	
Стойкость коммутационной среды	●	●●	
Срок службы	●	●●●	
Спектр технич. характеристик	●●	●●●	
Коммутационные перенапряжения	●●	●●	
Компактность	●●	●●●	
Необслуживаемость	●	●●●	
Плохо	Удовл.	Хорошо	Отлично
○	●	●●	●●●

Рисунок 2. Сравнительная оценка элегазовых и вакуумных выключателей

Номинальные данные вакуумных и элегазовых выключателей, приведённые в вышеупомянутых «Справочных материалах» качественно не отличаются от номинальных данных современных выключателей. В настоящее время разработчики не стремятся улучшить эти параметры, удовлетворяющие эксплуатационным требованиям. Теоретические и прикладные исследования направлены на совершенствование конструкции выключателей с целью снижения их габаритных размеров и увеличения надёжности и срока эксплуатации.

Литература

1. Неклепаев, Б.Н., Крючков, И.П. Электрическая часть станций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Найшкова и др.; Под ред. А.А. Васильева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Рожкова, Л.Д., Козулин, В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перерад. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

УДК 621.316.5

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ МЕТОДОМ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГАЗОВ

Кулай А.В., Зильберман А.Д., Мосейчук Л.В.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент КРАСЬКО А.С.

Возникновение и развитие повреждения в генераторной изоляции сопровождается разложением изолирующих и конструктивных материалов под действием высокой температуры или частичных разрядов (ЧР) разной интенсивности. При этом в водород системы охлаждения выделяются примесные газы – продукты распада органических ком-

понентов изоляции. Количество, состав и скорость газовой выделения зависят от вида вовлеченной в процесс разложения изоляции, объема разлагающегося материала и интенсивности факторов воздействия – температуры или ЧР.

Применительно к генераторам использование методов хроматографического анализа газов (ХАГ) встречает ряд затруднений. Первая трудность – малые фоновые концентрации примесных газов в исправных генераторах, что требует изучения процессов при высокой чувствительности ХАГ (до 10^{-6} – 10^{-5} % по объему).

Второе затруднение – быстрая и не всегда предвиденная ротация водорода в системе охлаждения, что затрудняет непрерывное накопление примесных газов в охлаждающем водороде при развитии повреждения и требует тщательного учета динамики газообмена в реальных условиях работы генератора. Поэтому учет динамики концентрации примесных газов – необходимое условие использования ХАГ для диагностики повреждений изоляции генератора.

Исходные данные и методики проведения анализов

Термическое разложение изоляции.

При термическом разложении микалентной компаундированной изоляции в среде водорода при $t \geq 200$ °С ХАГ регистрирует CO_2 , CO , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 достаточные для численной оценки степени разрушения. Соответствующее разложение изоляции слюдотерм наблюдается при $t \geq 300$ °С. При $t < 200$ °С для микалентной изоляции и $t < 300$ °С для изоляции слюдотерм может выделяться только CO_2 . Выделение углеводородов при чувствительности анализе 10^{-5} по объему не обнаруживается.

Разложение под действием ЧР.

Приведенные ниже данные получены в результате объемных и сложных опытов, выполненных в лаборатории ТВН БНТУ.

Воздействие ЧР с интенсивностью $q = 10^{-10}$ Кл медленно разлагает микалентную изоляцию. Видимые разрушения образца после нескольких часов непрерывного воздействия ЧР выражаются в некоторой матовости поверхности, ХАГ обнаруживает только CO_2 . При увеличении ЧР до $q = 10^{-9}$ Кл при $I_{\text{СР}} = 10^{-7}$ А возрастает количество CO_2 и выделяется CH_4 . На образце появляются следы воздействия ЧР в виде эрозии поверхности.

Рост интенсивности ЧР до $q = 10^{-8}$ – 10^{-9} Кл, $I_{\text{СР}} = 10^{-6}$ – 10^{-7} А связан с тем же характером разрушения образцов и газовой выделения, но количество газов и эрозия на поверхности увеличиваются.

На дуговом воздействии микалентная изоляция находившаяся предварительно на открытом воздухе в среде водорода загорается и пропитывающая масса выгорает. В области горения сохраняется только слюда. Анализ газов после сгорания обнаруживает выделение CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , CO_2 .

В среде гелия и воздуха дуговое воздействие не вызывает воспламенения микалентной изоляции.

Воздействие ЧР на изоляцию слюдотерм приводит к тому же характеру газовой выделения как в опытах с микалентной изоляцией однако при дуговом воздействии данная изоляция в водородной среде не воспламеняется.

Приведенные данные по газовой выделению под действием ЧР и температуры, а так же данные полученные в опытах других исследователей позволяют оценить примерную величину выхода примесных газов на единицу потерянной массы деградированного материала $\frac{V_{\Gamma}}{\Delta m}$ (мл/г). При полном разложении $\frac{V_{\Gamma}}{\Delta m} = 10$ – 100 мл/г по отдельным компонентам. Общее количество газа отнесенное к объему разложившегося материала за-

висит от количества органического связующего. Например, при разложении микалентной изоляции общий выход газов больше, чем при разложении изоляции слюдотерм. Многочисленные расчеты по результатам опытов дня конкретных образцов приводят к оценке величины удельного газовыделения отнесенного к единице энергии ЧР γ (мл/Дж) в пределах $5 \cdot 10^{-3} - 10^{-4}$ мл/Дж. Меньшие величины относятся к воздействию слабых ЧР ($q = 10^{-8}$ Кл). При $q = 10^{-8} - 10^{-9}$ Кл $\gamma = 10^{-3}$ мл/Дж.

Отбор проб и методики ХАГ генераторов.

В процессе работы генератора вследствие естественного старения изоляции и других процессов в охлаждающем водороде появляются примеси легких углеводородов, или газовый фон. Его уровень различен у различных генераторов и зависит от общего состояния системы, смазки, уплотнений и т. д. Ухудшение состояния изоляции приводит к увеличению концентрации углеводородов. На количество примесей влияют постоянная утечка водорода и периодические подпитки генератора чистым водородом.

При использовании датчика по теплопроводности чувствительность хроматографа для углеводородов составляет порядка 10^{-3} %. Этого недостаточно для определения газового фона генераторов. Чувствительность увеличивалась двумя способами: освоением хроматографии с ионизационно-пламенным датчиком и применением пробоотборников-накопителей.

Пробоотборники-накопители представляли собой трубки из кварцевого стекла внутренним диаметром 10–12 мм с вентилями и штуцерами по концам. Трубки заполняются адсорбентом определенной массы, в качестве последнего после многочисленных экспериментов был выбран активированный уголь, который отличается более высокими адсорбционными свойствами к углеводородам и малой поглощаемостью водяных паров и углекислого газа, что важна для сохранения стабильности адсорбционных свойств.

Пробоотборники-накопители включаются в схему охлаждения генератора, и через них пропускается охлаждающий водород. После установления динамического равновесия пробоотборники снимаются с генераторов и адсорбированный газ извлекается, для чего пробоотборники вакуумируются при повышенной температуре. По условиям термостойкости угля температура вакуумирования была принята 200 °С. Время прогрева пробоотборников на основании экспериментов было принято 10 минут, а время вакуумирования – 5 минут.

В извлеченном из пробоотборника газе концентрация углеводородов значительно повышена. На основании закона Генри между концентрацией углеводородов в исходном водороде и их количеством в извлеченном газе должна быть пропорциональность, причем коэффициент пропорциональности постоянен для данного углеводорода при одинаковых условиях адсорбции и извлечения.

Для экспериментальной проверки пробоотборников были проведены опыты с нормированными смесями водорода с углеводородами. Выполненные опыты подтвердили, что за счет пробоотборников-накопителей концентрация метана в исследуемой газе увеличивается в 40–50 раз, этилена и этана в 100–130 раз. Во столько же повышается общая чувствительность анализа.

В продолжение подученных в лаборатории результатов была проверена серия экспериментов на действующих генераторах ГРЭС. Пробоотборники предварительно устанавливались в систему охлаждения генераторов, расход водорода через пробоотборники составлял 20–25 мл/с. Через 8 часов пробоотборники снимались, из них извлекался газ который анализировался на хроматографе. Это позволило определить количество углеводородов, соответствующее фону. Затем с помощью специального приспособления в систему охлаждения генераторов вводилось от единицы до четырех дм^3 ме-

тана, этана и этилена. С учетом избыточного давления в системе охлаждения и объема ее водорода определялось расчетная концентрация соответствующего углеводорода. После пуска пробы вновь устанавливались пробоотборники. Через 8 часов, они снимались, из них извлекался и исследовался газ.

В результате выполненных анализов было установлено, что после впуска гради ровочного углеводорода в систему охлаждения генератора его количество, извлеченное из пробоотборника, увеличивается на один-два порядка по сравнению с фоновым.

Выводы по критериям, нормам и периодичности диагностики.

1. Применение ХАГ с пламенно-ионизационным детектором обеспечивает чувствительность анализа примесных углеводородов до 10^{-5} % по объему и позволяет определить фоновые концентрации примесных углеводородов в водороде исправных генераторов.

2. Более чем десятилетний опыт применения ХАГ, систематизация и статистический анализ результатов определили следующие фоновые концентрации примесных газов в водороде исправных генераторов: $\text{CH}_4 - 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-4}$; $\text{C}_2\text{H}_4 - 10^{-5} - 10^{-4}$; $\text{C}_2\text{H}_6 - 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$ %, которые можно принять за предварительные нормы ($\text{C}_2\text{H}_2 - 10^{-5}$).

3. Критерии оценки по абсолютной концентрации примеси (CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_2H_2) является пока основными.

4. Динамика концентрации примеси также может служить параметром оценки наличия и степеней развития дефекта. При постоянной скорости процесса концентрация примеси нарастает с замедлением, достигая некоторого повышенного относительно фона установившегося значения.

При поверхностном или объемном расширении зоны разрушения нарастание концентрации будет ускоряться, сравнительно быстро достигая предельных значений.

УДК 621.316.925

АДАПТАЦИЯ УСТАВОК МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЗА

Коваленко В.А., Шапкова М.В.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ТИШЕЧКИН А.А.

Повышенные требования к сохранению устойчивости, надежности и живучести энергосистем могут обеспечить только совершенные устройства РЗ. При их разработке должно учитываться, что мероприятия противоаварийной автоматики по сохранению устойчивости разрабатываются только с учетом быстродействующих защит и не учитывают действия резервных ступеней защит, имеющих время срабатывания более 0,5 с. Для осуществления наиболее эффективного ближнего резервирования необходимо стремиться иметь время срабатывания II ступеней резервных защит от многофазных КЗ не более 0,5 с. Кроме того, необходимо также обеспечить повышение эффективности дальнего резервирования. Указанное может быть обеспечено увеличением чувствительности соответствующих ступеней резервных защит как от многофазных коротких замыканий (КЗ), так и от замыканий на землю.

Устройства РЗ на электромеханических реле и интегральных микросхемах имеют стабильные уставки. Параметры срабатывания этих устройств выбирают исходя из наиболее тяжелых расчетных условий, определяемых достаточно реальным сочетанием схем и режимов работы сети однако эти режимы и схемы могут существовать очень непродолжительное время. Такой выбор уставок приводит к неоправданному загроубле-