

где $F_q = \frac{1}{2} [Y_{q-1} - Y_{q+1}]$.

Функция Y_q имеет вид

$$y_q = \left(\frac{h-q}{h+q} \right)^{\frac{q}{2}} J_q \left(\sqrt{h^2 - q^2} \right),$$

$$\text{где } q = \sqrt{\frac{4\kappa c}{t_0} \left(1 - \frac{2i}{wt_0} \right)} n,$$

$$h = \sqrt{\frac{4\kappa c}{t_0} \left(1 - \frac{2i}{wt_0} \right)} m,$$

$$m = \frac{1}{2} \left(x + \frac{z}{c} \right),$$

$$n = \frac{1}{2} \left(x - \frac{z}{c} \right),$$

$$\xi = t - \frac{z}{c},$$

κ - коэффициент поглощения среды;

W - частота оптической несущей;

t_0 - характерный промежуток времени, пропорциональный времени релаксации (длительность падающего импульса);

Осуществляя переход к переменным (x, z) , получим

$$y_q(x, z) = \left(\frac{cx}{z} \right)^{\frac{q}{2}} J_q \left(\sqrt{\frac{4\kappa z x}{t_0} \left(1 - \frac{2i}{wt_0} \right)} \right).$$

Коэффициенты a_q можно определить из начальных и граничных условий. Исходя из прямоугольного фронта падающего импульса для первой гармоники, имеем

$$\lim_{\substack{t \rightarrow +0 \\ z \rightarrow +0}} E(x, z) = \frac{1}{2} E_0 a_1 J_0(0) = E_0 \frac{1}{2} a_1,$$

следует $a_1 = 2$,

где E_0 - начальная амплитуда электрической составляющей поля.

Следует отметить, что первая гармоника является определяющей при формировании фронта огибающей электрической составляющей поля. Остальными составляющими можно пренебречь. Тогда огибающая электрического поля для первой гармоники принимает вид:

$$E = E_0 e^{-\frac{2i\kappa c}{wt_0} e^{-\frac{x}{t_0}}} \left[J_0 \left(\sqrt{\frac{4\kappa z x}{t_0} \left(1 - \frac{2i}{wt_0} \right)} \right) - \left(\frac{cx}{z} \right) J_2 \left(\sqrt{\frac{4\kappa z x}{t_0} \left(1 - \frac{2i}{wt_0} \right)} \right) \right].$$

Таким образом, получено точное решение волнового уравнения в линейной оптической среде, не связанное с традиционными допущениями о медленности изменения параметров среды или поля.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ

Чупак Т. М., Южанников А. Ю.

Красноярский государственный
технический университет,

Красноярск

Хроматографический анализ растворённых в масле газов (ХАРГ) на сегодняшний день является одним из самых распространённых методов оценки состояния силовых трансформаторов. На содержание и степень концентрации растворённых в масле газов влияет большое число факторов: перенапряжение, перегрузка, естественное старение изоляции, доливка старым маслом, длительное превышение среднесуточной температуры и т. д. Следствием этого является разрушение электрической изоляции, сопровождающееся выделением газов: водорода H_2 , метана CH_4 , ацетилена C_2H_2 , этилена C_2H_4 , этана C_2H_6 , двуокиси углерода CO_2 , окиси углерода CO и др.

В методических указаниях изложены критерии диагностики развивающихся в трансформаторах дефектов (критерий ключевых газов, критерий граничных концентраций газов, критерий отношения концентраций пар газов для определения вида и характера дефекта, критерий скорости нарастания газов в масле); эксплуатационные факторы, влияющие на результаты ХАРГ; дефекты, обнаруживаемые в трансформаторах с помощью ХАРГ; основы диагностики эксплуатационного состояния трансформаторов по результатам ХАРГ; определение наличия дефекта в высоковольтных герметичных вводах по результатам анализа растворённых в масле газов.

Значения граничных концентраций газов, учитываемые различные условия их эксплуатации в разных регионах, определяются для каждой энергосистемы по группам однотипных трансформаторов (блочные, сетевые, с регулированием напряжения или без регулирования, с одним сроком эксплуатации, одного класса напряжения и т.д.). По сведениям о соотношениях концентраций газов можно различать следующие состояния трансформатора: нормальное старение; частичные, искровые, дуговые разряды; низкотемпературный, среднетемпературный и высокотемпературный нагрев. Периодичность проведения ХАРГ для нормально работающих трансформаторов один раз в 6 мес. Если результаты анализа показывают, что содержание газов превышает граничные значения, то такой трансформатор берут под контроль и проводят хроматографический анализ чаще.

В электрической системе в качестве вида выделены 19 трёхобмоточных трансформаторов напряжением 110–220 кВ с РПН. В качестве видообразующего параметра исследуются результаты ХАРГ (содержание H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , CO_2 , CO) за 5 лет дважды в год.

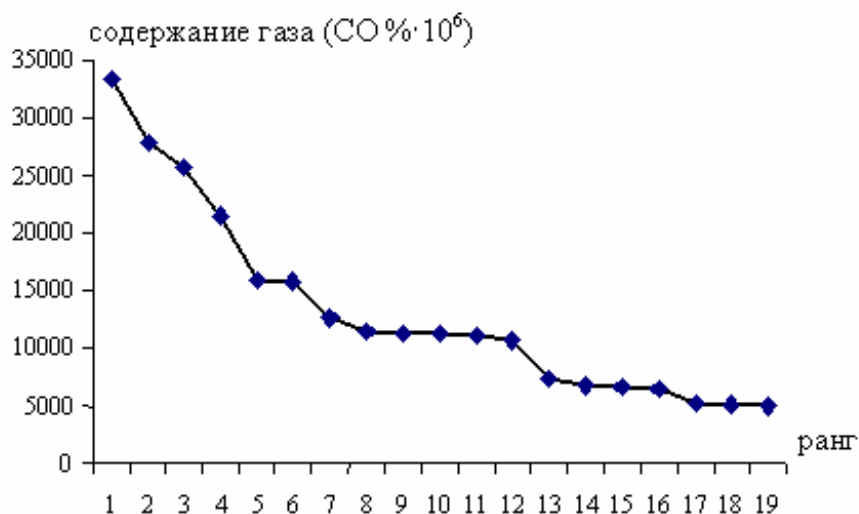


Рисунок 1. Ранговое параметрическое распределение содержания СО

Ранговое параметрическое распределение одного из растворённых в масле газов (оксида углерода) изображено на рис. 1.

Для определения принадлежности исследуемой совокупности данных к статистике техноценологического типа, по результатам анализов на первом этапе сформированы матрицы табулированного рангового параметрического распределения. Аппроксимация рангового распределения обеспечивает более высокую, по сравнению с аппроксимацией динамики, точность регрессионных моделей, что уже является проявлением свойств систем ценологического типа и создает предпосылки для создания методов прогноза состояния изоляции трансформаторов с учётом анализа растворённых в масле газов.

Законы развития техники, состоящей из отдельных элементов, и живой природы, включающей отдельные особи, имеют много общего. Известно, что в 1877 г. при исследовании свойств отдельных особей и совокупностей живых организмов Клаус Фердинанд Мебиус ввел понятие «биоценоз». Биоценоз – совокупность живых организмов, обитающих на определенном участке, где условия внешней среды определяют его видовой состав. Термин «техноценоз» и ценологический подход к исследованию сложных технических систем предложены Б.И. Кудриным, где техноценоз определяется как сообщество всех изделий, включающее все популяции, ограниченное в пространстве и времени. Кудрин Б.И. предложил использовать модель Н-распределения для математического описания видového и рангового распределения техноценозов. Теория предполагает существование идеального распределения элементов ценоза.

Объясним существование идеальной технической системы с точки зрения гармонии. В технике существует понятие «Золотое сечение» – деление отрезка на две части, при котором длина отрезка так относится к большей части, как большая часть относится к меньшей. Это определение предложено Леонардо да Винчи в XV веке. Принято считать, что гармония и идеальное распределение ценоза как системы, выполняющей свое функциональное назначение, подчиня-

ются «Золотому сечению», а понятие «Золотое сечение» неразрывно связано с числами Фибоначчи.

В 1202 г. была написана книга под названием «Liber abacci». Автором этой книги был итальянский купец и математик Леонардо (1180-1240 г.г.) из Пизы, известен по имени Фибоначчи. Часть этого трактата составляла задача про кроликов. Решая эту задачу, Фибоначчи получил последовательность чисел, где последующее число равно сумме двух предыдущих чисел: 0; 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; 34 и т.д. Отношение последующего члена ряда к предыдущему с ростом последовательности стремится к коэффициенту золотого сечения $\Phi = 1,618$. Если взять числовой ряд 1,0; 0,62; 0,38; 0,24; 0,15; 0,09 и т.д. (что сильно напоминает шкалу мощностей трансформаторов), состоящий из чисел с коэффициентом 1,618 («Золотое сечение»), то этим числовым рядом можно описывать при ранжировании в ценозе соотношение количества видов и численности каждого вида.

Проверка гипотезы о соответствии совокупности данных нормальному распределению осуществлялась по критерию согласия Пирсона и критерию Фридмана; взаимосвязанность исследуемого техноценоза оценивалась коэффициентом конкордации; мера связи между парой ранговых распределений, характеризующая степень их взаимосвязи определялась с помощью выборочных коэффициентов ранговой корреляции Спирмена и Кендалла; теснота корреляционной связи между случайными переменными проверялась с использованием выборочного коэффициента линейной корреляции.

В результате расчётов выяснено, что данные не принадлежат нормальному закону распределения и все коэффициенты статистически значимы, а это говорит о том, что исследуемый объект является ярко выраженным техноценозом. Данный вывод позволяет при обработке статистических данных по ХАРГ использовать методологию рангового анализа.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования методологии рангового параметрического распределения для анализа состояния силовых трансформаторов по результатам ХАРГ на основе пропорций золотого сечения.

ОБРАБОТКА ТЕЛЕИНФОРМАЦИИ ПОДСТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Ярцев С.Д.

ОАО «Амурэнерго» ФАО «Центральные
электрические сети»

Современные электроэнергетические системы (ЭЭС) представляют собой сложные, многосвязные, пространственно разнесенные иерархические объекты, функционирующие в условиях переменности их структуры, параметров и режимов работы при многочисленных внешних и внутренних возмущениях как систематического, так и случайного характера. Это определяет сложность задач управления ими.

В обеспечение надежности на уровне оперативного управления ЭЭС входят следующие задачи [1]: анализ возможных аварийных ситуаций в системе, оценка текущего режима, корректировка схем и режимов системы по условиям надежности, восстановление работы ЭЭС после системных аварий, расчет показателей и обеспечение требуемого уровня безопасности работы системы, расчет включенной составляющей оперативного резерва мощности, определение оптимальных перетоков мощности по линиям электропередачи (ЛЭП) и проверка допустимости разрешения ремонтных заявок. В соответствии с задачами этого уровня управления наибольшее внимание уделяется телеизмерениям (ТИТ) в системообразующих, питающих и транзитных ЛЭП.

На нижестоящем иерархическом уровне (предприятия электрических или распределительных сетей) к перечисленным задачам необходимо добавить контроль нагрузки трансформаторов и поддерживать нормированное напряжение в низковольтной сети потребителя, что обуславливает необходимость получения телеизмерений с обмоток низкого напряжения трансформаторов.

Измерения электрических величин: модулей напряжений и токов, активных и реактивных мощностей – неизбежно содержат ошибки. Ошибки, включающие в себя погрешности измерительных трансформаторов, измерительных, аналого-цифровых преобразователей и наводимых импульсов в линиях связи между измерительными цепями, возникают по всему тракту передачи измерительной информации.

При аварийных режимах в линиях электропередач и первичных обмотках силовых трансформаторов возможен режим предельной нагрузки, поэтому измерительные трансформаторы тока подбираются с завышенным коэффициентом трансформации. В нормальном режиме это приводит к снятию показаний в начале шкалы и увеличению погрешности измерений как трансформаторов тока, так и остальных измерительных устройств. Из-за ограниченности снятия напряжения с основных узлов и основообразующих высоковольтных линий затруднено техническое обслуживание и поверка измерительных трансформаторов.

В случае снятия измерений с обмоток низкой и средней сторон трансформатора измеряемые величины находятся на уровне среднего и выше среднего значения относительно предельной величины. При этом облегчаются условия технического обслуживания

измерительных трансформаторов, так как имеется возможность производить коммутацию секционных шин на низких сторонах силовых трансформаторов.

В качестве исходных данных уравнений узловых напряжений (УУН) в форме баланса мощностей при расчете установившегося режима используются активные и реактивные мощности нагрузок и генераторов. В связи с этим для получения результата расчета, близкого к существующему режиму электрической сети, необходимо большое внимание уделять достоверности вышеуказанных параметров. Достоверность этих параметров имеет важное значение и при выходе электроэнергетической системы из аварийного или ремонтного режима.

В последнее время наблюдается тенденция к развитию децентрализованной структуры устройств контролируемых пунктов (КП). Это означает выполнение устройств КП в виде набора территориально распределенных контроллеров с подключением входных измерительных цепей непосредственно к измерительным трансформаторам тока (ТТ) и трансформаторам напряжения (ТН). Таким образом, с каждой ячейки снимается информация о следующих параметрах: напряжения (U), тока (I), активной (P) и реактивной (Q) мощностям, частоты (F), активной (W_P) и реактивной (W_Q) энергиям, что позволяет использовать эти контроллеры для снятия показаний в целях технического или коммерческого учета. Кроме этого, информация передается с метками времени, а также производится осциллографирование сигнала в случае выхода параметра за уставку. Возможность установки контроллеров непосредственно в ячейках распределительных устройств позволяет добиться существенной экономии кабеля при монтаже вторичных цепей.

Для проверки правильности монтажа вторичных цепей и отдельных измерительных составляющих контроллера для параметров U , I , P , Q одной ячейки справедливо контрольное уравнение:

$$w_1 = \sqrt{P^2 + Q^2} - \sqrt{3} \cdot U \cdot I. \quad (1)$$

В случае правильного монтажа измерительного контроллера и выхода за предел невязки w_1 невозможно определить, какой из параметров имеет грубую ошибку, поэтому необходимо ввести избыточный параметр. Им может быть измеренный или рассчитанный при статистическом анализе параметр $\cos j$. Тогда контрольные уравнения для определения грубой ошибки будут иметь следующий вид:

$$w_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos j} - \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \sin j} \quad (\text{исключение } I);$$

$$w_3 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot I \cdot \cos j} - \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot I \cdot \sin j} \quad (\text{исключение } U);$$

$$w_4 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin j - Q \quad (\text{исключение } P);$$

$$w_5 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos j - P \quad (\text{исключение } Q).$$

Предложенный алгоритм может определить грубую ошибку, возникающую в цифровом преобразователе, но, если взять подстанцию в целом, для сведения баланса необходимо учитывать погрешности ТТ и