
УДК 681.518.5

Я.В.МИРОНЕНКО, заместитель генерального директора
АО «РЭС Групп», г. Владимир

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕНДА АКТИВНОСТИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Министерством Энергетики Российской Федерации в 2017 год был сформирован ведомственный проект «Цифровая энергетика». В 2018 году созданная на его основе программа цифровой трансформации электроэнергетики была обозначена Президентом Российской Федерации как одно из приоритетных направлений развития.

В рамках данного проекта закреплён окончательный переход к риск-ориентированному управлению ЕЭС в целом и следующие ключевые показатели в частности [1]:

- Снижение продолжительности перерывов электроснабжения и средней частоты технологических нарушений (SAIDI/SAIFI) на 5%;
- Повышение уровня технического состояния производственных фондов электроэнергетики для объектов на 5% без повышения затрат на поддержание технического состояния;
- Снижение на 20% аварийности на объектах электроэнергетики, связанной с техническим состоянием производственных фондов.

Достижение указанных ключевых показателей возможно только с развитием предиктивной диагностики, что также находит свое отражение в проекте «Цифровая энергетика», согласно которому к 2024 году должно быть создано не менее 2 аналитических продуктов для прогнозирования, выявления, анализа и оценки рисков аварий на основном оборудовании объектов электроэнергетики [1].

В отрасли, в которой доля выработавшего свой ресурс оборудования по разным источникам составляет от 40 до 70% данное направление является особенно актуальным. Среди направлений развития предиктивной диагностики перспективным является использование мониторинга частичных разрядов в изоляции электрооборудования, в качестве источника измерительных данных. Это объясняется тем, что:

- Большинство аварийных выходов из строя электрооборудования связано с нарушением изоляции;
- Мониторинг ЧР, как направление диагностики, стремительно развивается и по уровню надежности приближается к традиционным диагностическим методам;

- Мониторинг ЧР можно использовать не только в режиме on-site, но и в режиме on-line;
- Данный метод может быть полностью автоматизирован;
- Использование данного метода диагностики является сравнительно дешевым.

Тем не менее, на сегодняшний день использование данного метода затруднено из-за сложности экспертной обработки измеренных данных. Достаточно простым в этом ключе выглядит использование временного тренда в развитии ЧР при оценке состояния изоляции. Наличие временного тренда в измерении таких интегральных характеристиках ЧР, как интенсивность ЧР и максимальное значение кажущегося заряда повторяющихся ЧР, практически однозначно говорит о наличии проблем в изоляции [2].

Для оценки тренда развития ЧР в изоляции электрооборудования необходимо:

1. Выбрать параметр ЧР, по которому будет происходить оценка тренда
2. Выбрать временной промежуток, по которому будет происходить оценка тренда
3. Произвести обработку данных измерительных комплексов ЧР и подготовить график временного распределения выбранного параметра ЧР
4. Представить временное распределение параметра ЧР в линейном виде и определить линейный коэффициент
5. Дать оценку линейному коэффициенту и на основании этого сделать вывод о состоянии изоляции рассматриваемого оборудования

Частичные разряды могут регистрироваться электрическими датчиками, соединенными с высоковольтной шиной через конденсатор связи (или его эквивалент), электромагнитными датчиками, использующими внешние антенны специальной конструкции, и акустическими датчиками, регистрирующими звуковые эффекты от ЧР [3]. При выборе параметра ЧР необходимо учитывать специфику инструмента регистрации ЧР на конкретном объекте – так данные акустического мониторинга не позволят получить сведения об энергетических параметрах единичных ЧР, а рассматривают активность ЧР в целом.

Как правило, в действующей системе регистрации ЧР применяются приборы, регистрирующие максимальную амплитуду импульса в виде напряжения. Количественное соотношение между измеренными амплитудами напряжения и кажущимися зарядами ЧР в этом случае определяются по формуле [3]:

$$Q_i = A_q U_{max}, \quad (1)$$

где A_q – градуировочный линейный коэффициент, Кл/в.

Интенсивность частичных разрядов (или Partial Discharge Intensity) – интегральный параметр, учитывающий соответственно время наблюдения, и определяемый по формуле:

$$PDI = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^m Q_i U_d \quad , (2)$$

где T – время наблюдения, m – число зарегистрированных ЧР за время T , U_d – действующее значение напряжения.

Распределение единичных частичных разрядов носит случайный характер [4] и соответственно значение максимального кажущегося заряда ЧР является в большей части случайной величиной, и для оценки на длительной временной плоскости более информативными и надёжными видятся интегральные характеристики, например, интенсивность ЧР. Стоит отметить, что в рамках анализа должны участвовать уже обработанные данные о ЧР, без учета погрешности и влияния помех.

Выбор оптимальной длительности временного отрезка для оценки тренда активности ЧР определяется возможностями диагностической службы на объекте. В случае, если действует система непрерывной диагностики, то активность ЧР можно в теории рассматривать на любом промежутке времени, но наиболее информативным будет тот, что с одной стороны охватывает различные режимы работы диагностируемого оборудования, а с другой оставляет достаточное время для обнаружения дефекта и его устранения до коллапса изоляции. В случае дискретного мониторинга критерии выбора аналогичны, но могут быть дополнительно ограничены временем мониторинга.

В рамках данного исследования в качестве исследуемого параметра была выбрана интенсивность ЧР на временном промежутке в один месяц.

Линейная зависимость интенсивности от времени в этом случае была бы представлена формулой:

$$PDI = a + k \cdot t \quad (3)$$

где линейный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot \sum_{i=1}^n PDI_i - n \sum_{i=1}^n PDI_i t_i}{(\sum_{i=1}^n t_i)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i} \quad (4)$$

После расчета линейного коэффициента тренда активности, необходимо произвести его экспертную оценку. При этом необходимо учитывать, что нормальное старение изоляции является одной из причин для роста

активности ЧР помимо возникающих дефектов. Для исключения этой составляющей и соответственно выбора нормального значения линейного коэффициента могут использоваться обобщенные статистические данные о значении интенсивности ЧР за длительный промежуток эксплуатации. Пример такого распределения для силовых трансформаторов представлен на рис. 1 [5]. Представленная зависимость является достаточно грубой, не учитывающей множество факторов, вроде типа изоляции и условий эксплуатации, но может использоваться для инженерных расчетов.

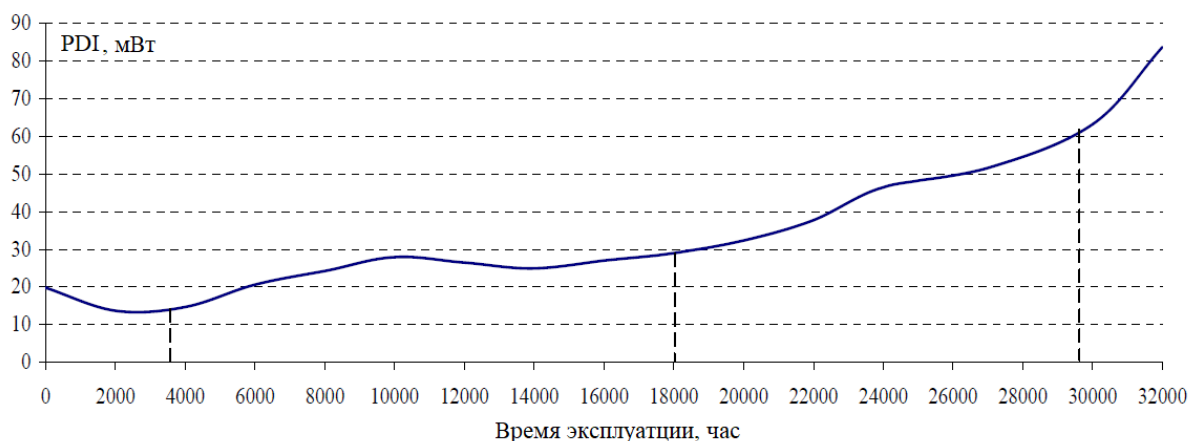


Рис. 1. Зависимость интенсивности ЧР от времени эксплуатации

Исходя из имеющихся данных линейный коэффициент тренда интенсивности ЧР при бездефектной изоляции на отрезке в 1 месяц составляет 1,12 – 1,15. Данное значение коэффициента можно считать нормальным при оценке тренда активности ЧР. Можно также вводить дополнительный коэффициент для исключения различного рода переходных режимов в изоляции, а также отрезков возвращения нормального роста после снижения активности. Таким образом, при первом приближении нормой для критического значения линейного коэффициента тренда интенсивности ЧР в течение месяца видится значение в диапазоне 1,3 – 1,5.

Для практической оценки полученных пороговых значений анализ тренда интенсивности ЧР был произведен на 11 силовых трансформаторах на энергообъектах Владимирской области, со сроком службы более 20 лет. Итоги оценки в сравнении с результатами диагностики другими методами представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Сравнение результатов оценки тренда ЧР с другими диагностическими методами

| № п/п | Тип трансформатора | Тренд активности ЧР | Вывод при оценке тренда | Подтверждение вывода другими методами диагностики |
|-------|--------------------|---------------------|-------------------------|---|
| 1 | ТМ – 6/0,4 250 | 1,54 | Дефекты | Да – ХАРГ |
| 2 | ТМ – 6/0,4 250 | 2,04 | Дефекты | Да – вскрытие бака трансформатора |
| 3 | ТМ – 6/0,4 630 | 1,04 | Норма | Да – ХАРГ |
| 4 | ТМ – 6/0,4 400 | 0,97 | Норма | Да – ХАРГ |
| 5 | ТМ – 10/0,4 400 | 1,30 | Норма | Да – ХАРГ |
| 6 | ТМ – 6/0,4 400 | 1,77 | Дефекты | Да – ХАРГ |
| 7 | ТМ – 6/0,4 400 | 1,71 | Дефекты | Да – вскрытие бака трансформатора |
| 8 | ТМ – 6/0,4 630 | 1,67 | Дефекты | Нет – ХАРГ |
| 9 | ТМ – 35/0,4 630 | - 0,65 | Норма | Да – ХАРГ |
| 10 | ТМ – 10/0,4 250 | 1,12 | Норма | Да – ХАРГ |
| 11 | ТМ – 6/0,4 400 | - 0,84 | Норма | Да – ХАРГ |

Полученные результаты с одной стороны говорят о достаточной надежности и информативности метода на сегодняшний день, а с другой определяют дальнейшие направления его развития: совершенствование алгоритмов определения временных интервалов для оценки тренда и ключевых пороговых значений линейных коэффициентов трендов активности.

Список литературы:

1. Описание ведомственного проекта Министерства энергетики Российской Федерации «Цифровая энергетика»
<https://digital.gov.ru/uploaded/files/vedomstvennyij-proekt-tsifrovaya-energetika.pdf>
2. Русов В.А. Диагностический мониторинг высоковольтных силовых трансформаторов / Пермь: DIMRUS, 2013;
3. Агамалов О.Н. Кластерный анализ частичных разрядов. / EXPONENTA PRO, № 3-4 (7-8), 2004;
4. Шахнин В.А., Чебрякова Ю.С., Мироненко Я.В. Математическое моделирование статистических характеристик частичных разрядов при

диагностике высоковольтного оборудования. / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №6, 2013;

5. Федосов Е.М. Частичные разряды в элементах электротехнических комплексов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Уфа, 2009.

Информация об авторе:

Мироненко Ярослав Владимирович, заместитель генерального директора АО «РЭС Групп», 600017, г. Владимир, ул. Сакко и Ванцетти, д. 23, оф.9, yaroslav.mironenko@inbox.ru