

МЕТОДИКА КОСВЕННОГО АДАПТИВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МАСЛА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ ИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Д.И. Зализный

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Широков О.Г.

Среди силовых трансформаторов, эксплуатирующихся сейчас в энергосистемах на территории СНГ и многих стран мира, большой процент составляют трансформаторы уже отработавшие свой номинальный срок службы. Например, в «Центрэнерго» РАО «ЕЭС России» их количество превышает 40 %, и в эксплуатации находятся трансформаторы, отработавшие 40, 50 лет и более. Аналогичная ситуация наблюдается и в Беларуси.

Недостаток финансовых средств не позволяет предприятиям провести обновление трансформаторного парка. Поэтому, чтобы обеспечить максимально надежную работу старых трансформаторов, на сегодняшний день большое внимание уделяется различным диагностическим комплексам. В частности, в последние годы все большее распространение получают системы непрерывного мониторинга состояния трансформаторов непосредственно в эксплуатации, что позволяет выявлять их повреждения на самой ранней стадии. Подобное оборудование производят фирмы Alstom, ABB, ОАО «ЗТР» и др.

Авторами данной статьи разработан новый способ непрерывной диагностики силовых масляных трансформаторов. А именно: предложено осуществлять двойной контроль температуры верхних слоев масла – непосредственный и косвенный. Назначение косвенного контроля – выявить ненормальный перегрев трансформатора при нормальной нагрузке. При отсутствии повреждений в системе охлаждения такой перегрев будет свидетельствовать о возникновении внутренних повреждений, таких как [1]:

- а) образования короткозамкнутого контура в магнитопроводе из-за износа изоляции между отдельными листами под воздействием вибраций трансформатора;
- б) увеличения переходного сопротивления в контактных соединениях;
- в) уменьшения сечения масляных каналов из-за разбухания изоляции;
- г) попадания в канал постороннего предмета, накопления шлама и т. д.

Все перечисленные виды повреждений могут привести к серьезной аварии трансформатора, но не всегда могут быть обнаружены существующими способами диагностики [2].

В основе предлагаемой косвенной методики контроля температуры масла лежит адаптивный алгоритм с настраиваемой моделью [3]. В качестве модели использована математическая тепловая модель, где трансформатор рассматривается как система из четырех нагреваемых однородных тел: обмотки, масла, магнитопровода и внешней охлаждающей среды. Получена система дифференциальных уравнений, описывающих указанную тепловую модель, и синтезирована тепловая схема замещения трансформатора, параметры которой рассчитываются по его паспортным данным [4].

Выражение для расчета температуры масла в операторном виде можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \theta_m(p) &= \theta_{xx} + \frac{(\kappa_1 p + \kappa_0) \cdot \Delta P_{кз} + (\kappa_4 p^2 + \kappa_3 p + \kappa_2) \cdot \theta_{охл}}{p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0} = \\ &= \theta_{xx} + W_1(p) \cdot \Delta P_{кз} + W_2(p) \cdot \theta_{охл}, \end{aligned} \quad (1)$$

где θ_{xx} – составляющая температуры масла от потерь холостого хода; $\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания; $\theta_{охл}$ – температура охлаждающей среды; κ_i, a_i – параметры передаточных функций $W_1(p)$ и $W_2(p)$.

Предлагаемый адаптивный алгоритм имеет два основных режима: режим адаптации и режим контроля. В режиме адаптации параметры передаточных функций $W_1(p)$ и $W_2(p)$ исходной тепловой модели методом градиента подстраиваются под конкретный трансформатор, который должен быть заведомо исправным. Рекуррентное соотношение для этого режима можно представить в виде:

$$\beta_i(j) = \beta_i(j-1) - 2 \cdot T_0 \cdot \gamma_i \cdot e(j) \cdot z_i(j), \quad (2)$$

где $\beta_i(j)$ – настраиваемые параметры, поставленные в соответствие параметрам κ_i, a_i ; T_0 – величина рабочего шага итерации; γ_i – весовые коэффициенты; $z_i(j)$ – частные передаточные функции, поставленные в соответствие передаточным функциям $W_1(p)$ и $W_2(p)$; i – номер коэффициента; j – номер шага итерации.

Адаптивная часть алгоритма опробована в пакете Mathcad. Для этого была смоделирована ситуация отклонения параметров трансформатора ТРДН – 25000 от паспортных значений, а также смоделирован график нагрузки этого трансформатора. В результате получены следующие данные:

1. Максимальное время адаптации алгоритма: 20000 итераций.
2. Максимальная ошибка адаптации по температуре масла: 0,5 °С
3. Результирующая максимальная ошибка относительно расчета: 2,1 °С

После режима адаптации алгоритм переходит в режим контроля. В этом режиме ведется сравнение непосредственно измеряемой температуры масла и расчетной. При обнаружении непрерывного увеличения реальной температуры масла над расчетной, система выдает сообщение, что в трансформаторе возможно наличие развивающегося внутреннего повреждения.

В перспективе планируется дополнить предлагаемый алгоритм функциями идентификации возможных повреждений, исходя из динамики изменения реальной температуры масла.

Для подтверждения работоспособности предлагаемого алгоритма проводятся измерения температуры верхних слоев масла заведомо исправных трансформаторов и сравниваются реальная температура и расчетная.

При практической реализации предлагаемый алгоритм может быть введен в общее программное обеспечение системы комплексного мониторинга трансформатора. При отсутствии таковой, необходимо реализовать измерение следующих параметров:

1. Токов нагрузки всех фаз.
2. Напряжений всех фаз.
3. Температуры верхних слоев масла.
4. Температуры внешней охлаждающей среды (температуры воздуха для систем охлаждения М, Д и ДЦ).

Также необходимо реализовать систему сбора данных с выходом на ПЭВМ.

Литература

1. Голоднов Ю.М. Контроль за состоянием трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Трансформаторы. Перенапряжения и координация изоляции: Переводы докладов международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ-84) /Под ред. С.Д. Лизунова. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высшая школа, 1989.
4. Зализный Д.И. Использование тепловой модели для теоретических исследований тепловых процессов в масляных трансформаторах 10/0,4 кВ //Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – № 3-4. – 2001.