

НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Максим ПРОХОРЧИК

*Студент кафедры электроснабжения энергетического факультета
Гомельского государственного технического университета им. П.Сухого*

Регулятор напряжения под нагрузкой (РПН) предназначен для регулирования вторичного напряжения силового трансформатора (СТ). РПН применяются на ответственных мощных подстанциях для поддержания вторичного напряжения на заданном уровне, а также на электровозах для регулирования скорости.

РПН – ответственный элемент электрической сети с высокой степенью надёжности, поскольку он работает в режиме многократного срабатывания. Опыт эксплуатации СТ показывает, что в контактных системах РПН часто возникают дефекты (подгорание контактов, неодновременность срабатывания по фазам, повторные разрывы при переключении), причиной которых являются износ элементов механической части и эрозия контактов из-за многократных срабатываний. Подобная ситуация приводит к аномальным и аварийным режимам.

Отказ СТ может стать причиной ущерба от недоотпуска электроэнергии либо от снижения пропускной способности ЖД. В обоих случаях величина ущерба может многократно превышать стоимость трансформатора. Внезапный выход СТ из строя причиняет особенно большой ущерб, так как при этом убытки связаны не только с необходимостью восстановления трансформатора, но и, прежде всего, с перерывом в производстве. Правильное техническое обслуживание должно гарантировать длительное надежное функционирование. Однако в настоящее время износ основных производственных фондов на всех промышленных предприятиях практически, увеличивается. Доля электрооборудования (ЭО), выработавшего свой ресурс, в странах бывшего СССР составляет от 30% и более, а для силовых трансформаторов доходит до 70%. Нарастание объема изношенного оборудования и отсутствие возможности его восстановления вводит энергетическое обеспечение в зону повышенного риска, технологических отказов и аварий не только электрооборудования, систем РПН, релейной защиты и противоаварийного управления, но и технологического оборудования промышленных предприятий.

Различают два подхода к выполнению профилактических работ. Первый - ресурсный, когда профилактический ремонт производится через более короткие интервалы, чем время развития неисправности, независимо от технического состояния узла, при отработке определенного ресурса подлежит замене. Второй – ремонты по состоянию. Технология ремонтов оборудования по со-

стоянию основана на том, что все работы по ремонту и наладке производятся в зависимости от реального текущего технического состояния механизма, контролируемого в процессе эксплуатации на базе измерения соответствующих параметров. Технология ремонта по состоянию позволяет сократить эксплуатационные расходы, существенно повысить ресурс и надежность оборудования, однако для ее внедрения необходимо достаточно точное приборное и методическое обеспечение. Основу технологии перехода на обслуживание и ремонт оборудования по фактическому состоянию составляют методы и средства его диагностики, позволяющие обнаруживать и идентифицировать все потенциально опасные дефекты на начальной стадии развития.

Система технического обслуживания и ремонта силовых трансформаторов по текущему состоянию электрооборудования является наиболее эффективной, однако требует детальной проработки и совершенствования организации технического обслуживания и ремонтов ЭО. Средства мониторинга и диагностики состояния ЭО, а также применение экспертных систем в организации производственных процессов позволяют изменить стратегию организации периодически проводимых профилактических работ на более эффективную систему обслуживания, зависящую от состояния объекта.

Для выявления развивающихся дефектов РПН в существующих комплексах контролируются следующие параметры:

- температура бака РПН, сравнение с температурой бака трансформатора;
- виброакустический контроль состояния привода и наличия дуги в контакторе в процессе каждой коммутации;
- контроль частичных разрядов в баке РПН акустическим датчиком между коммутациями;
- контроль коэффициента трансформации;
- контроль мощности потребляемой РПН;
- контроль состояния и уровня масла в баке РПН.

Основной задачей системы непрерывного мониторинга является принятие решения о необходимости проведения профилактического ремонта. Это значительно затруднено ввиду ограниченности источников информации (датчиков), влияющих на принятие решения, а также ограниченность информации. Чтобы расширить возможности системы, а также повысить достоверность решения, автором данной работы предлагается дополнить номенклатуру контролируемых параметров следующими:

- контроль разрыва тока;
- контроль одновременности переключения в фазах;
- контроль сопротивления токоограничивающих сопротивлений.

Суть предлагаемых методов заключается в следующем.

Первый из них назовём *пофазным исследованием*. Исследуемый трансформатор с нагрузкой представляется в виде трех RL-цепей, по одной для каждой фазы. RL-цепь описывается уравнением:

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt}, \quad (1)$$

где $i(t)$ и $u(t)$ – осциллограммы тока и напряжения обмотки, подключенной к РПН соответственно, R и L – активное сопротивление и индуктивность принятой модели трансформатора.

Для решения этого уравнения в реальном времени относительно параметров R и L необходимо получить второе уравнение. Для этого примем допущение, что искомые параметры в течение времени Δt не изменяются. Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} u(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt}; \\ u(t + \Delta t) = R \cdot i(t + \Delta t) + L \cdot \frac{di(t + \Delta t)}{dt}. \end{cases} \quad (2)$$

При выборе интервала времени следует учесть, что чем больше Δt , тем лучше обусловлена система (2), однако снижается достоверность результата ввиду принятых допущений. В нашем случае Δt экспериментально приняли равным 0,6 миллисекунд, т. е. три интервала дискретизации применяемого нами осциллографа.

Полученные решения в виде временных рядов $R(t)$ и $L(t)$ позволяют судить о одновременности переключения ответвлений в фазах и наличии разрывов тока во время переключения.

Трёхфазное исследование. Контролируются мгновенные значения тока и напряжения трех фаз первичной и вторичной обмоток. В реальном времени определяется входная и выходная полная мгновенная мощность согласно выражению:

$$\begin{cases} \vec{i}(t) = \frac{2}{3} \cdot \sum_{k=1}^3 i_k(t) \cdot \exp(j \cdot k \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi); \\ \vec{u}(t) = \frac{2}{3} \cdot \sum_{k=1}^3 u_k(t) \cdot \exp(j \cdot k \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi), \\ \vec{s}(t) = \vec{u}(t) \cdot \vec{i}^*(t), \end{cases} \quad (3)$$

где $i_k(t)$ и $u_k(t)$ – фазные ток и напряжение СТ соответственно, $\vec{u}(t)$ и $\vec{i}^*(t)$ – обобщенные векторы напряжения и тока трансформатора. По разности мощностей можно судить о состоянии токоограничивающих сопротивлений по мгновенному значению потерь мощности в СТ в процессе переключения.

Для проверки работоспособности первого метода был создан макет СТ с трансформатором мощностью 0,6 кВА, а также макет РПН с настраиваемой длительностью цикла переключений.

Данные осциллографа обрабатывались в системе компьютерной математики MATLAB, результаты представлены на рисунках.

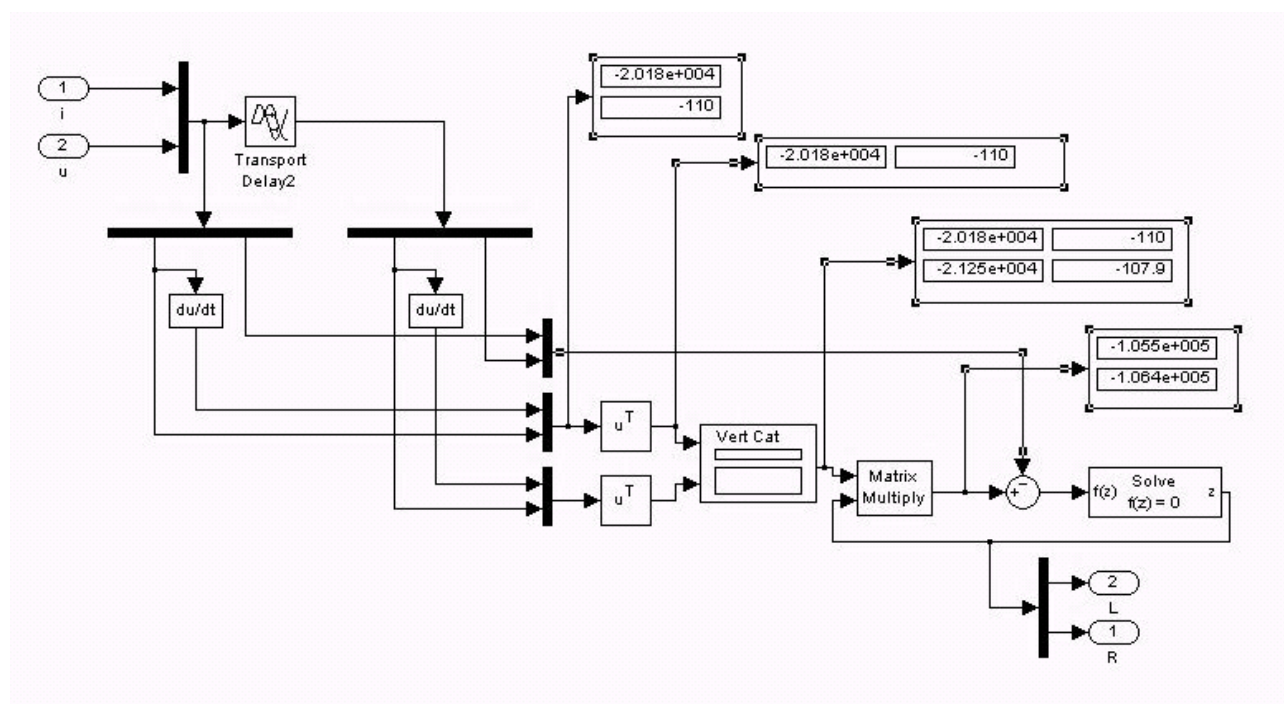


Рис. 1. Решение уравнения (1) в реальном времени

Из рис. 3 видно, что данный метод позволяет достаточно точно определить момент переключения контактора РПН в фазе, тем самым дает возможность производить достоверные заключения неодновременности срабатывания контактов в фазах. Это может быть следствием механического либо электрического износа: выход из строя подшипника в кинематической цепи либо пружины, стирание рубящего контакта и т. п. Трехфазное исследование позволяет выявить отклонения в значении токоограничивающего сопротивления вследствие ухудшения контакта, внутреннего пробоя и др. Рассмотренная оценка позволит получить ответы на вопросы: какого рода неисправность, как быстро она развивается, является ли она функцией времени или количества переключений, каков ресурс надежной работы? Это особенно важно, если учесть, что системы

диагностики работают в условиях ограниченности входной информации. Предлагаемые в данной работе методы расширяют возможности и повысят достоверность выходной информации существующих систем диагностики СТ.

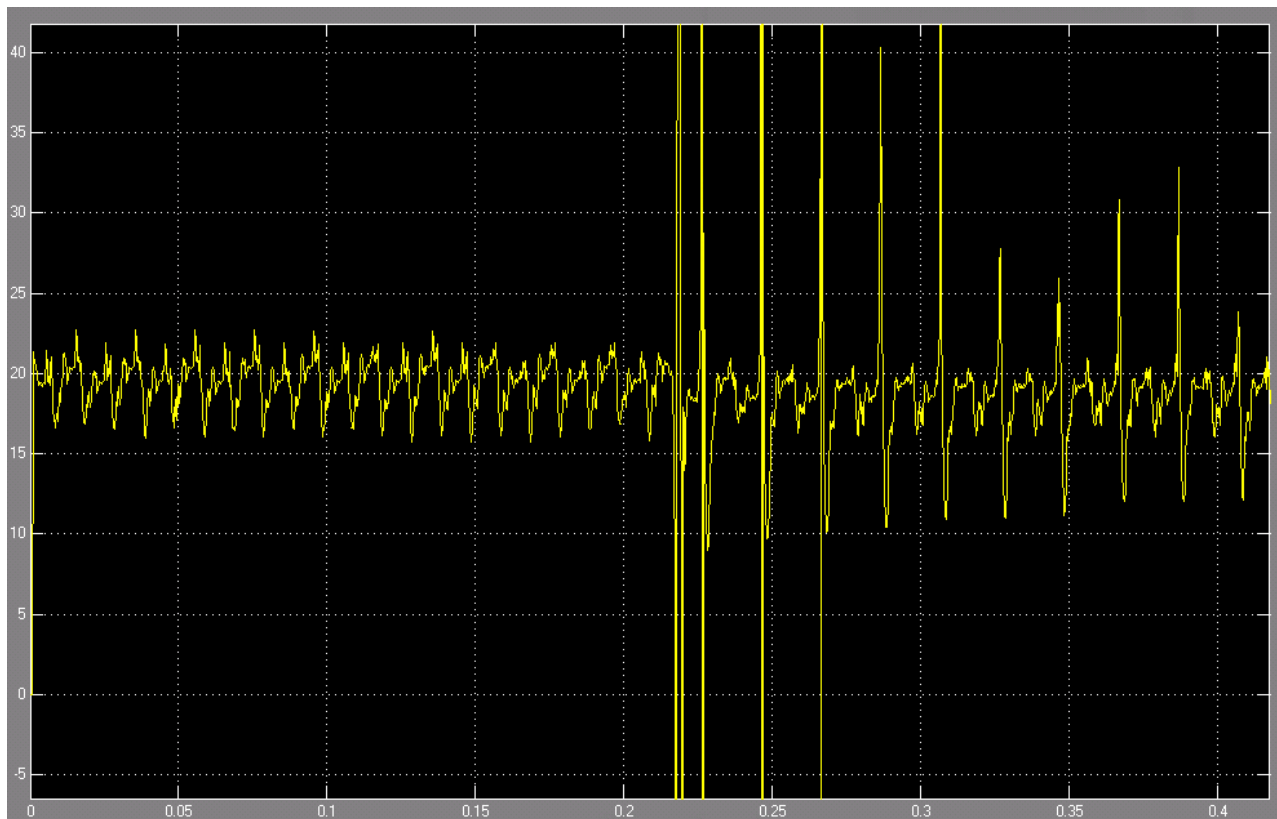


Рис. 2. Расчетное значение $R(t)$

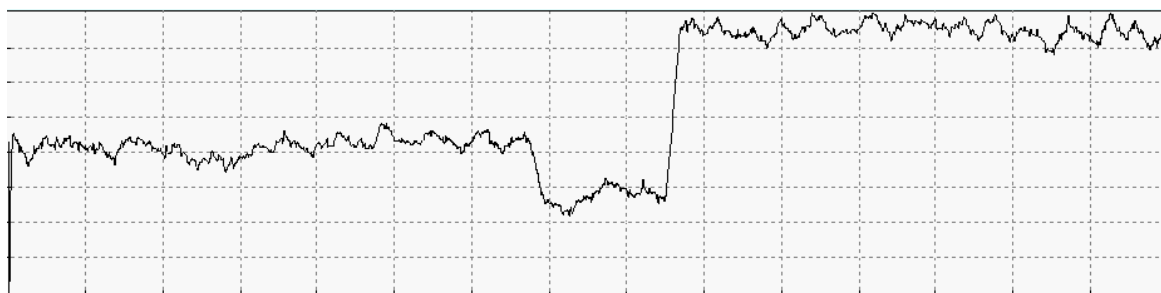


Рис. 3. Тренд, выделенный из расчетного $R(t)$

Основные достоинства предлагаемых методов заключаются в том, что не требуется установка дополнительных устройств на СТ, а цифровой осциллограф подключается во вторичные измерительные цепи релейной защиты и автоматики, так как предлагаемые методы реализованы программно. Отсутствует необходимость ввода в программу какой-либо априорной информации о контролируемом СТ, так как приведенные в данной работе методы основаны на

идее параметрической идентификации, таким образом являются универсальными для всех конструкций РПН, а также типов трансформаторов.

Литература

1. Ванин, Б. В. и др. 2001. *О повреждениях силовых трансформаторов на-пряжением 110–500 кВ в эксплуатации*. Доступ через интернет: www.transform.ru.