

# ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

М. А. Прохорчик

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель О. Г. Широков

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

Внезапный выход из строя СТ 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 СТ. Однако в настоящее время растет износ производственных основных фондов практически на всех промышленных предприятиях. Доля электрооборудования (ЭО), выработавшего свой ресурс, в странах бывшего Союза 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.

Различают два подхода к выполнению профилактических работ, ресурсный и ремонты по состоянию. Ресурсный, когда профилактический ремонт производится через более короткие интервалы, чем время развития неисправности, независимо от технического состояния узла, при отработке определенного ресурса подлежит замене. Необходимо отметить, что периодичность и содержание проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР) оборудования определяется производителем и гарантирует его безотказную работу в течение регламентированного срока службы (РСС). При превышении оборудованием РСС ресурсный подход не целесообразен, так как возрастает вероятность отказов, что предполагает коррекцию графиков ППР в сторону уплотнения, как следствие увеличения эксплуатационных расходов и времени простоя в ремонте. Следующий подход позволяет решить перечисленные проблемы.

*Ремонты по состоянию.* Технология ремонтов оборудования по состоянию 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.

Для выявления развивающихся дефектов РПН в существующих комплексах диагностики 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 приводом РПН;
- контроль состояния и уровня масла в баке РПН.

Основной задачей системы диагностирования в реальном времени является принятие решения о необходимости проведения профилактического ремонта, что значительно затруднено ввиду ограниченности источников информации (датчиков), влияющих на принятие решения, а также неполнота информации. Чтобы расширить возможности системы, а также повысить достоверность решения, в данной работе предлагается дополнить номенклатуру контролируемых параметров следующими:

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

Суть предлагаемых методов заключается в следующем.

*Пофазное исследование.* 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  $\Delta t$  не изменяются, тогда 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  $\Delta t$ , тем лучше обусловлена система (2), однако снижается достоверность результата ввиду приня-

тых допущений. В нашем случае  $\Delta t$  экспериментально приняли равным 0,6 мс, т. е. три интервала дискретизации применяемого нами осциллографа.

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

*Трехфазное 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 вектора 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, также макет РПН с настраиваемой длительностью цикла переключений.

Данные с осциллографа обрабатывались в системе компьютерной математики MATLAB, результаты представлены ниже.

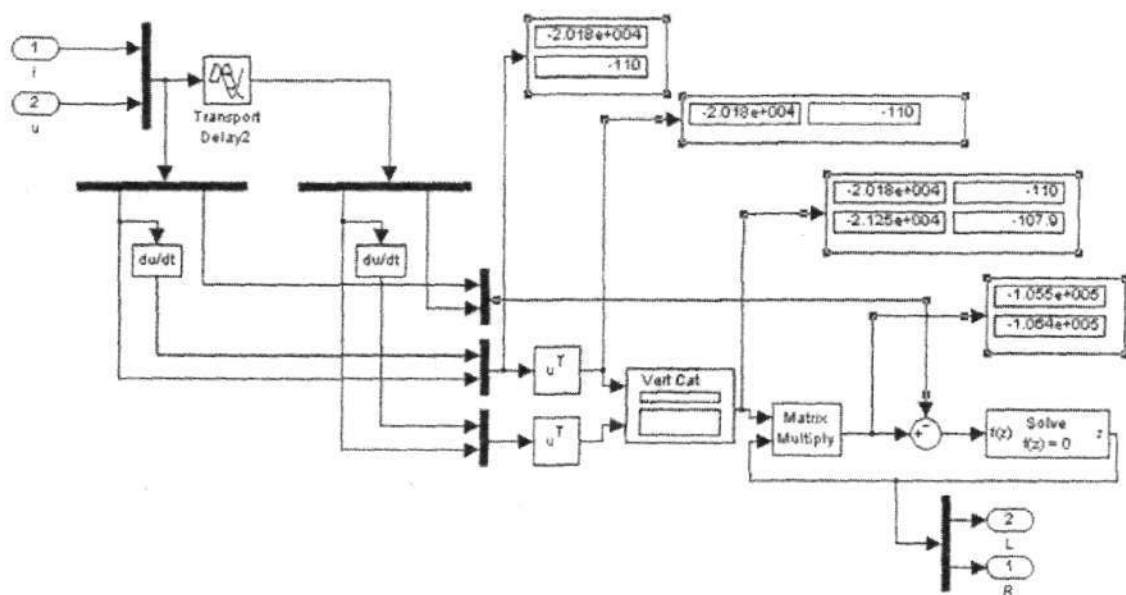
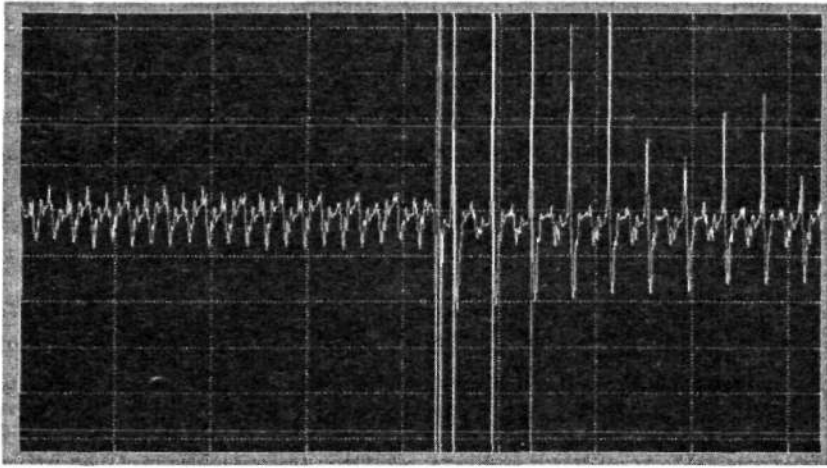


Рис. 1а. Результаты обработки данных в системе компьютерной математики MATLAB: решение уравнения (1) в реальном времени



б)

Рис. 1б. Результаты обработки данных в системе компьютерной математики MATLAB: расчетное значение  $R(t)$

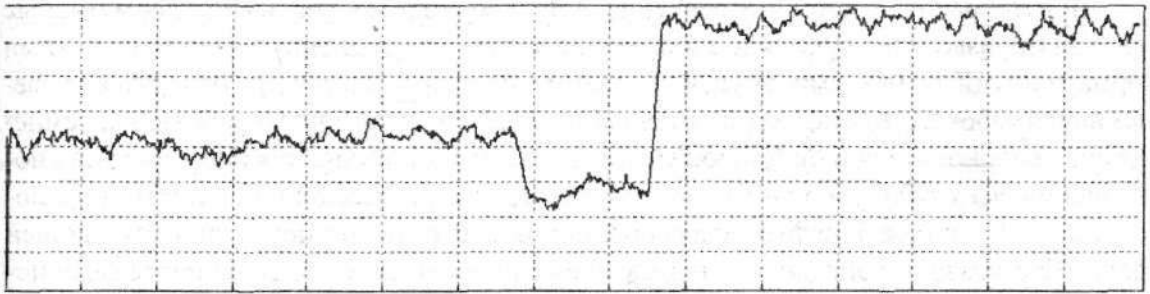


Рис. 2. Тренд, выделенный из расчетного  $R(t)$

Из рис. 2 видно, что данный метод позволяет достаточно точно определить момент переключения контактора РПН в фазе, тем самым дает возможность производить достоверные заключения на предмет наличия неодновременности срабатывания контактов в фазах, что 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 значения токоограничивающего сопротивления в следствии ухудшения контакта, внутреннего пробоя и др. Рассмотренные методы позволяют получить ответы на вопросы: какого рода неисправность, как быстро она развивается, является функцией времени или количества переключений, каков ресурс надежной работы? Это особенно важно, если учесть, что системы диагностики работают в условиях неполноты входной информации. Предлагаемые в данной работе методы расширяют возможности и повысят достоверность выходной информации существующих систем диагностики СТ. Кроме того, предлагаемые методы могут быть применены для непрерывной коррекции графиков ППР РПН, регламентированных производителями, для трансформаторов которые превысили РСС.

Основные достоинства предлагаемых методов заключаются в том, что не требуется установка дополнительных устройств на СТ, а цифровой осциллограф под-

ключается 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. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110–500 кВ в эксплуатации / Б. В. Ванин [и др.]. – 2001. – Режим доступа: <http://www.transform.ru>.