

Экономика

УДК 681.5 – 621.22

Кадыров А.С. - ОшГУ

Контроль и диагностика силовых трансформаторов подстанций напряжением 110 кВ в рабочих режимах

Аннотация

В данной работе использовались электромагнитные характеристики трансформатора, методы дистанционного контроля состояний силовых трансформаторов по спектрам собственных электромагнитных излучений и внедрение частотного телеконтроля силовых трансформаторов без отключения напряжения с применением штатного электрооборудования.

Введение. Системные аварии трансформаторных подстанций напряжением 110 кВ в Кыргызстане подтверждают необходимость развития средств диагностики электрогенерирующего и электросетевого оборудования. Более 50% блочных силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ, эксплуатируемых на электростанциях Кыргызстана, отработали установленный срок службы, что требует замены или реконструкции. Для аналогичного парка силовых трансформаторов и автотрансформаторов, эксплуатируемых на предприятиях электрических и межсистемных сетей, изношенность оборудования составляет 32% и в ближайшие годы, очевидно, будет увеличиваться.

В настоящее время очень остро стоит задача продления сроков эксплуатации старого оборудования. В целях обеспечения надежности работы трансформаторов с отработанным сроком службы, появляется необходимость непрерывного мониторинга и контроля их состояний. Поэтому стали актуальными методы дистанционного диагностического контроля состояний силовых трансформаторов под напряжением. В [1] предложены теоретические основы диагностики электромагнитных характеристик трансформатора по результатам измерений значений токов и напряжений обмоток, где трансформатор как элемент электрической цепи описывается матричным уравнением состояния [2,3].

Постановка задачи. Принятие оптимальных решений о состоянии системы с учетом помех, ошибок измерений, флуктуаций параметров имеет статистическую основу [4]. Все оборудование подстанции будет оснащено подсистемами мониторинга с полным набором первичных датчиков, программных и технических средств сбора диагностической информации и интеграции в АСУ ТП ПС. Средства верхнего уровня будут едиными для всего комплекса оборудования АСУ ТП, поэтому с целью оптимизации оборудования системы необходима разработка программно-аппаратных устройств сбора и обработки от комплекса датчиков и передачи информации.

Решение. Высоковольтные линии – готовая структура для организации каналов высокочастотной (ВЧ) связи, которые в течение еще многих лет останутся одними из самых:

- надежных видов связи, используемых для управления объектами электроэнергетического комплекса;
- экономически выгодных видов связи при передаче технологической информации на большие расстояния;

• основных каналов для передачи релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА).

При этом весьма существенно, что воздушная линия (ВЛ) и организуемые по ним каналы связи как правило, являются собственностью энергетического комплекса.

Для эффективности устройства контроля силовых трансформаторов разработано устройство телеконтроля на подстанциях 110 кВ [5] (рис.1).

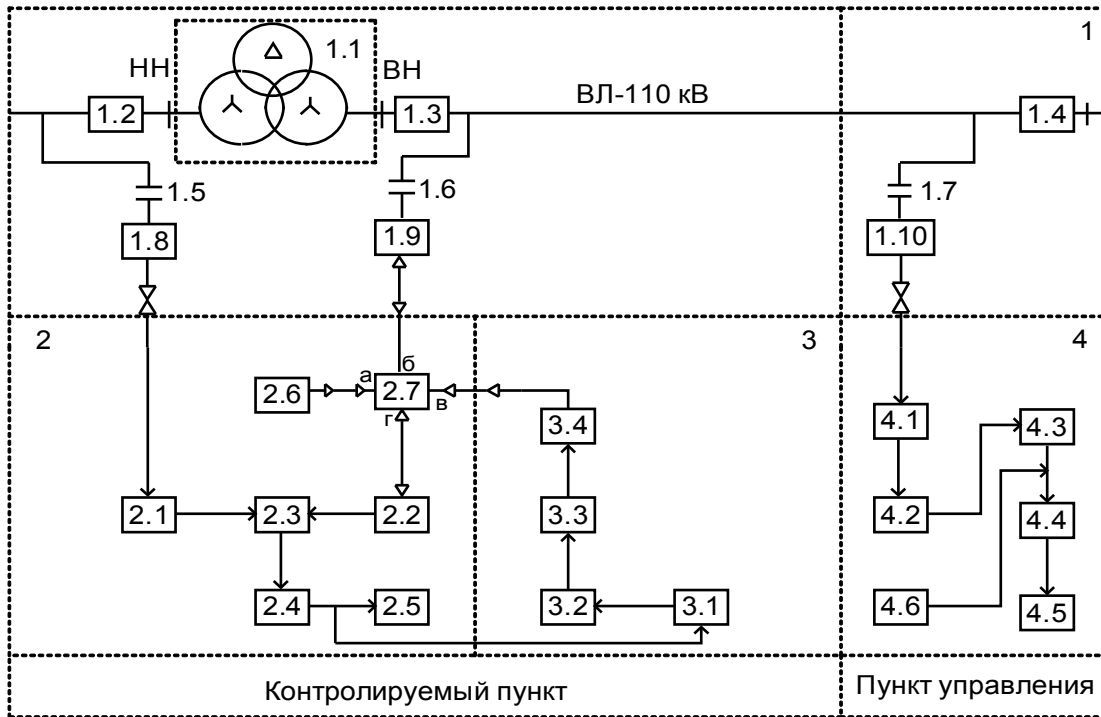


Рис.1. Структурная схема контроля силовых трансформаторов 110/35/10 кВ.

Устройство содержит: штатное электрооборудование 1 подстанций, включающее контролируемый силовой трансформатор 1.1 с выводами обмотки низкого НН и обмотки высокого ВН напряжения, трёх заградителей 1.2, 1.3 и 1.4, конденсаторов связи 1.5, 1.6 и 1.7 и фильтров присоединения 1.8, 1.9 и 1.10; ВЧ-тракт, организованный по воздушной линии ВЛ-110 кВ; контроллер 2, имеющий первый выпрямитель 2.1, второй выпрямитель 2.2, дифференциальный усилитель 2.3, усилитель мощности 2.4, блок индикации 2.5, генератор высокой частоты 2.6 и мостовой разделительный фильтр 2.7 с диагональю питания "а-в" и диагональю измерения "б-г"; передатчик 3, содержащий пусковой блок 3.1, генератор 3.2 модулированных высокочастотных сигналов, усилитель 3.3 мощности связи и линейный фильтр 3.4; приёмник 4, включающий входной фильтр 4.1, промежуточный фильтр 4.2, усилитель 4.3 высокой частоты, демодулятор 4.4, блок 4.5 сигнализации и блок 4.6 контроля высокочастотного сигнала.

Принцип работы устройство работает следующим образом. Генератор контроллера вырабатывает синусоидальные высокочастотные сигналы (50 ± 5 кГц, мощность выходного сигнала не менее 5 Вт и выходное напряжение не более 50 В), которые поступают через мостовой разделительный фильтр, имеющий малое входное сопротивление в плечах "а-б" и "а-г" и большое сопротивление в плечах "б-в" и "в-г" для данного сигнала, на первый фильтр 1.9 присоединения, конденсатор 1.6 связи и заградитель 1.3 высокочастотного сигнала (полоса заграждения в зависимости от настройки 100 кГц – 1,0 МГц), имеющий малое сопротивление для токов частоты 50 ± 5 кГц, и далее - на обмотку ВН 110 кВ

проверяемого трансформатора 1.1 и одновременно на вход второго выпрямителя 2.2 напряжения.

Сигнал, прошедший через диагностируемый трансформатор, поступает через второй заградитель 1.2, имеющий малое сопротивление для токов частоты 50 ± 5 кГц, конденсатор 1.5 связи, фильтр 1.8 присоединения и далее на первый выпрямитель 2.1 напряжения. С выходов выпрямителей напряжения 2.1 и 2.2 высокочастотные сигналы поступают на входы дифференциального усилителя 2.3, результирующий сигнал которого через усилитель мощности 2.4 воздействует на блок индикации 2.5, показывающий состояние изоляции, и далее, в случае отклонения от нормы, на пусковой блок передатчика.

Структурная схема передатчика 3 содержит генератор 3.2 модулированных высокочастотных сигналов (ГМВС) в диапазоне 100кГц–1МГц. Управление передатчиком осуществляется через пусковой блок 3.1. С выхода ГМВС 3.2 сигнал через усилитель 3.3 мощности и линейный фильтр 3.4 поступает через ВЧ- кабель в мостовой разделительный фильтр 2.7, имеющий малое входное сопротивление в плече "б-в" и большое сопротивление в плечах "а-б" и "в-г" для данного сигнала, и далее через фильтр 1.9 присоединения, конденсатор 1.6 связи поступает в линию электропередачи 110 кВ, по которой организован ВЧ-тракт.

ВЧ-тракт, выполненный по схеме "фаза – земля", образуется одним из проводов линии 110 кВ и оборудованием обработки и присоединения, состоящим из заградителей 1.3 и 1.4, конденсаторов связи 1.6 и 1.7, фильтров присоединения 1.9 и 1.10, соответственно, высокочастотных кабелей, соединяющих выход "б" мостового разделительного фильтра 2.7 с входом фильтра 1.9 присоединения на контролируемом пункте, а также выход фильтра 1.10 присоединения с входом фильтра 4.1 приёмника на пункте управления. Заградители 1.3 и 1.4, представляющие собой параллельный резонансный контур, имеют большое сопротивление для токов ВЧ частотой 100 кГц - 1,0 МГц в сторону выводов обмоток высокого напряжения трансформаторов и незначительное сопротивление для токов диапазона промышленной частоты 50 Гц до частоты контроля 50 ± 5 кГц.

С одной стороны, конденсаторы связи 1.5 и 1.6 с фильтрами присоединений 1.8 и 1.9 служат для пропускания токов сигналов генератора частотой 50 ± 5 кГц; с другой - конденсаторы связи 1.6 и 1.7 вместе с фильтрами присоединения 1.9 и 1.10 образуют несимметричные четырёхполюсники, служащие для согласования входных сопротивлений линии и ВЧ- кабелей и для разделения токов частоты 50 Гц от полосы высоких частот 100 кГц - 1,0 МГц.

Запишем затухание ВЧ-тракта электрооборудования 1:

$$A_{\text{тр}} = 10 \lg (P_1 / P_2), \quad (1)$$

где P_1 , и P_2 – кажущаяся мощность в пунктах приёма и передачи, соответственно. При этом, чем выше частота, тем больше затухание. Перекрываемое затухание аппаратуры канала определяется по выражению:

$$\alpha_n = P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{пер}}$ – мощность передачи; $P_{\text{пр}}$ – необходимая мощность приёма. Запас по перекрываемому затуханию $\Delta\alpha_n = \alpha_n - \alpha$ должен составлять 10-15 дБ.

Уровень порога чувствительности приёмника 4 выбирают по формуле:

$$P_{\text{ч}} = P - (\alpha_{\text{тр}} + A_{\text{зап}} \Delta P_{\text{пр}}), \quad (3)$$

где $A_{\text{зап}}$ - минимально допустимый запас по перекрываемому затуханию, равный 10 дБ; $\Delta P_{\text{пр}} = 10 \lg(\Delta f / 1400)$ – уменьшение чувствительности приёмника при полосе пропускания Δf , отличной от нормированной.

ВЧ-сигнал, приходящий в приёмник 4 с противоположного конца ВЛ–110 кВ через конденсатор 1.7 связи, фильтр 1.10 присоединения, входной и промежуточный фильтры 4.1 и 4.2 усилитель 4.3 высокой частоты, поступает на вход демодулятора 4.4 значений полезной составляющей манипулированного сигнала частотой 300–600 Гц и далее в блок 4.5 сигнализации для оповещения дежурного персонала пункта управления, а также на вход блока 4.6 контроля значений несущей высокочастотного сигнала передатчика 3.

Доказательство эффективности устройства для контроля состояния силовых трансформаторов (СТ) выполним согласно [4].

1. Эффективность по оперативности $\Theta\tau$ определяется отношением времени, затрачиваемого на контроль состояния СТ прототипа τ_1 , ко времени предлагаемого решения τ_2 :

$$\Theta\tau = \frac{\tau_1}{\tau_2} \quad (4)$$

Оперативность контроля складывается из времени i -х операций длительностью τ_i , $= i\tau_0$ прототипа и инновации соответственно:

$$\tau_1 = \sum_{i=1}^n i\tau_{01}; \tau_2 = \sum_{i=1}^m i\tau_{02} \quad (5)$$

Предполагая для простоты рассуждений равное число операций $m=n$, тождественность τ_{i+1} и кратность $\tau_{01} = k\tau_{02}$ операций, находим эффективность по оперативности:

$$\Theta\tau = \frac{\tau_1}{\tau_2} = k \quad (6)$$

Учитывая, что длительность операций в предлагаемом устройстве за счёт автоматизации и телеметрии не превышает 1 мин, а в прототипе не ограничивается часом (60... 180 мин) из-за выезда бригады на объект контроля, очевидно значение $k = 60... 180$. Следовательно, эффективность по оперативности предлагаемого решения на два порядка выше прототипа за счёт автоматизации и телеметрии.

2. Эффективность по экономичности ΘS является отношением себестоимости прототипа S_1 к себестоимости инновации S_2 :

$$\Theta S = \frac{S_1}{S_2} \quad (7)$$

Себестоимость оценивается трудозатратами за единицу времени и регламентируется временем контроля. Предполагая равноценные почасовые трудозатраты на контроль электрооборудования, получаем тождественность эффективностей:

$$\Theta S = \Theta\tau,$$

так как $S = T\tau$ и, соответственно, для $T_1 = T_2$:

$$\Theta S = \frac{T_1\tau_1}{T_2\tau_2} = \frac{\tau_{01}}{\tau_{02}} \quad (8)$$

Из этого следует, что $S_1 = kS_2$, или себестоимость прототипа в k раз, т.е. в (60—180) раз выше себестоимости предлагаемого решения. Следовательно, эффективность в инновации на два порядка выше по экономичности, чем у прототипа, за счёт автоматизации телеметрического контроля трансформаторов подстанций, организуемого без отключения питающей сети.

В конечном счёте, использование штатного электрооборудования высокочастотных обработок связи 35 и 110 кВ подстанций 110 кВ, а также передатчика и приёмника, связанных высокочастотным трактом по воздушной линии электропередачи 110 кВ,

позволяет в предлагаемом решении повысить на два порядка оперативность и снизить на два порядка себестоимость контроля состояния изоляции силовых трансформаторов за счёт автоматизации и телеметрического анализа силового оборудования подстанций в рабочем режиме без отключения напряжения сети. Это позволяет непрерывно систематизировать и прогнозировать качество силовых трансформаторов 110 кВ и тем самым повысить эффективность эксплуатации электрических сетей.

Выводы:

1. Использование электромагнитных характеристик трансформатора является новым шагом в системе мониторинга, что позволяет более полно контролировать состояние трансформатора и его отдельных узлов в реальном масштабе времени.

2. Метод дистанционного контроля состояний силовых трансформаторов по спектрам собственных электромагнитных излучений соответствует современным требованиям к технологиям дистанционной диагностики.

3. Внедрение частотного телеконтроля силовых трансформаторов без отключения напряжения с применением штатного электрооборудования даёт значительный экономический эффект и позволяет в будущем создать эффективную автоматизированную систему мониторинга силовых трансформаторов 110 кВ в рамках каждой региональной сетевой компании.

Литература

1. *Бутырин П.А., Алпатов М.Е.* Диагностика силовых трансформаторов под нагрузкой. // Изв. РАН – Энергетика, 1996, №1.
2. *Бутырин П.А.* Исследование упрощенных диагностических моделей трансформаторов // Электро, 2007, №1
3. *Гаркуша В.В., Собстель Г.М., Борисов Б.Д., Кинит Н.В., Петрунько Н.Н.* Интегрированная система мониторинга состояний высоковольтного оборудования в рабочих режимах СО РАН №120 «Обеспечение живучести электроэнергетических систем» 2008г.
4. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов.радио, 1976г.
5. *Чичев С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И.* Информационно-измерительная система центра управления электрических сетей. М.: Машиностроение, 2009г. 176с.