

# КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ВВОДОВ С ТВЕРДОЙ RIP-ИЗОЛЯЦИЕЙ

БОТОВ С. В., РУСОВ В. А., «DIMRUS», г. Пермь

Измерение параметров высоковольтных вводов, проводимое системами мониторинга под рабочим напряжением в режиме «on-line», по сравнению с измерениями под испытательным напряжением, имеет значительные преимущества. К достоинствам таких измерений следует отнести: измерение параметров вводов в номинальном режиме работы; высокая оперативность проведения измерений; низкое воздействие наведенных токов промышленной частоты. В то же время в режиме «on-line» на точность и достоверность проведения измерений начинают влиять другие причины, которые хотя и не очень сильно изменяют результаты измерений, но, поскольку эти измерения идут в постоянном режиме, приводят к появлению специфических вопросов у эксплуатационного персонала. Все возникающие изменения, в основном, связаны с нестабильностью векторов питающих фазных напряжений. Эта нестабильность в реальных условиях не очень значительна, и практически не влияет на работу основных потребителей электроэнергии, но при контроле параметров вводов, проводимых с высокой точностью, приводит к появлению погрешностей.

Существует распространенное мнение, что влияние этих погрешностей можно исключить, если отказаться от измерения относительных параметров вводов, принятых в системе КИВ-500, и перейти к измерению абсолютных значений тангенсов углов потерь, использующему опорные сигналы от измерительных трансформаторов напряжения. Наша практика не подтверждает это заключение: чаще всего погрешность измерений абсолютных параметров вводов оказывается больше, чем при измерении относительных параметров. Попробуем рассмотреть этот важный методический вопрос более подробно.

Все приведенные в статье рассуждения и заключения относятся к случаю ранней диагностики дефектов изоляции трансформаторных вводов, которая проводится при помощи систем мониторинга. Вопросы работы систем защиты трансформаторов от повреждения вводов строятся на других принципах, имеют увеличенные пороговые значения, и, как результат, меньше подвержены влиянию несимметрии питающих напряжений.

Существуют четыре основные причины перекоса фазных напряжений, котрым пропорциональны токи проводимости вводов:

- несимметрия фазных (линейных) напряжений питающей сети, которая возникает вне пределов подстанции, на которой стоит контролируемый трансформатор. Ее величина одинаково регистрируется на всех высоковольтных шинах подстанции. Такой вид несимметрии может наблюдаться в том случае, когда контролируемый трансформатор подключен к энергосистеме длинной линией, обладающей сравнительно большим сопротивлением, или же при наличии несимметричной нагрузки трансформатора по фазам (сопротивление  $Z_L$  на

рис. 1). При организации мониторинга мощных трансформаторов такой тип несимметрии встречается достаточно редко и не достигает больших значений; ■ несимметрия фазных напряжений, которая возникает на шинах подстанции, на которой расположен контролируемый трансформатор. В этом случае в разных точках подстанции несимметрия напряжений обычно имеет различные значения. Такой тип несимметрии возникает при значительных сопротивлениях шин подстанции или их неравенстве, или же при наличии проблем в системе заземления трансформатора или другого оборудования подстанции. Согласно рисунку 1, это возникает при неравенстве фазных сопротивлений шин  $Z_S$ , или при протекании значительных токов в цепи заземления оборудования подстанции, а также при неправильном выборе точки заземления системы мониторинга. Несимметрия на шинах подстанции возникает как при несимметричной нагрузке трансформаторов по фазам, так и при симметричной. Проблема часто возникает при использовании для систем мониторинга выводов обмоток трансформаторов напряжения с большой по-

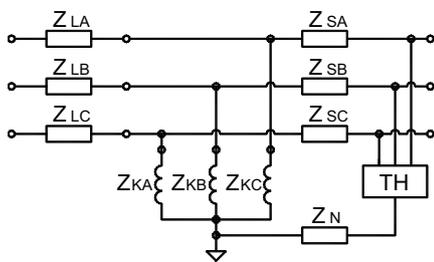


Рис. 1. Возможные причины и места возникновения нелинейности фазных напряжений

грешностью, или же при использовании сигналов ТН с другой системы шин подстанции. Пример появления такой несимметрии, имеющей суточный тренд, приведен на рисунке 2;

- несимметрия токов проводимости вводов, возникающая в самом контролируемом трансформаторе при изменении параметров, не связанных с проблемами изоляции во вводах. В этом случае на шинах подстанции несимметрия напряжений не выявляется. Наиболее часто встречающимся дефектом такого типа, приводящим к «внутренней» несимметрии, является плохое заземление корпуса ввода относительно бака трансформатора, обычно из-за лакокрасочного покрытия. В этом случае имеет место изменяющееся сопротивление в точке подключения к земле емкости  $C_2$ , шунтирующей входную цепь измерительного прибора. Эта проблема не возникает в тех трансформаторах, у которых корпус ввода принудительно замкнут на бак трансформатора специальным проводником. «Внутренняя» несимметрия токов проводимости вводов может возникнуть и при нарушении формы фазных обмоток, но в этом случае она всегда будет связана с величиной нагрузки трансформатора;
- несимметрия токов проводимости вводов, вызванная проблемами (дефектами) в изоляции контролируемых вводов, представляющая основной интерес для работы систем мониторинга.

Возможность разделения этих четырех типов несимметрии фазных напряжений (в реальности токов проводимости вводов) между собой при помощи технических и алгоритмических решений систем мониторинга сильно зависит от типа измерительной схемы, используемой для контроля параметров вводов. Таких измерительных схем на практике используется две:

- измерение истинных параметров вводов с использованием опорных напряжений от измерительных трансформаторов напряжения;
- измерение относительных параметров вводов в трехфазной сбалансированной схеме измерения (как в системе КИВ-500).

Существует и третья измерительная схема, в которой производится взаимное сравнение параметров вводов нескольких высоковольтных объектов, но для систем мониторинга и защиты она применяется менее широко.

Не вдаваясь в подробности анализа, можно оценить влияние всех четырех типов несимметрии фазных напряжений на работу каждой измерительной схемы, на ее способность надежно отстраиваться от помех. Результаты такого анализа приведены в таблице 1.

Из таблицы хорошо видно, что, выбирая схему измерения абсолютных значений параметров вводов, можно, по сравнению со схемой измерения относительных параметров, только отстроиться от внешних проблем в энергосистеме. При этом важно другое: в случае измерения абсолютных значений параметров вводов увеличивается погрешность измерений за счет влияния несимметрии на шинах подстанции, которая случается чаще всего (по нашим данным это происходит более чем в 70 % случаев возникновения погрешности от несимметрии). В ряде случаев это даже может приводить к еще большим погрешностям, чем при контроле относительных параметров вводов.

Вариант технического решения для системы мониторинга, позволяющий эффективно повысить точность измерения параметров вводов – использование комбинированной схемы измерения, одновременно реализующей три подхода к диагностике:

- измерение параметров вводов по «абсолютной» схеме измерения;
- измерение параметров вводов по «относительной» схеме измерения;
- контроль технологических параметров работы трансформатора.

Таблица 1. Влияние типов несимметрии фазных напряжений на работу измерительных схем

№	Схема измерения параметров вводов	Несимметрия вне подстанции	Несимметрия на подстанции	Несимметрия в трансформаторе	Дефект во вводе
1	Измерение абсолютного значения параметров вводов с использованием напряжений от ТН	Не влияет	Сильно влияет	Влияет	Влияет
2	Измерение относительных параметров вводов с использованием сбалансированной схемы	Влияет	Влияет	Влияет	Влияет

Таблица 2. Результаты анализа работы комбинированной системы мониторинга при различных типах несимметрии

№	Контролируемый параметр	Несимметрия вне подстанции	Несимметрия на шинах	Несимметрия в трансформаторе	Дефект во вводе
1	Напряжения фаз ТН	Изм.	Изм.	Не изм.	Не изм.
2	Напряжения фаз трансформатора	Изм.	Изм.	Изм.	Изм.
3	Абсолютный тангенс потерь в изоляции вводов	Не изм.	Изм.	Изм.	Изм.
4	Нагрузка трансформатора	Влияет (?)	Влияет	Влияет	Не влияет
5	Симметрия токов нагрузки	Не влияет	Влияет	Не влияет	Не влияет
6	Температура бака	Не влияет	Не влияет	?	Влияет

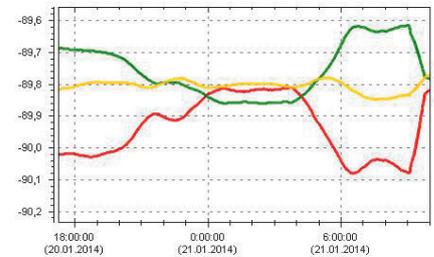


Рис. 2. Изменение углов фазных напряжений при несимметрии на шинах подстанции при изменении нагрузки

Контроль параметров вводов по двум измерительным схемам реализован на техническом уровне, когда входные сигналы системы мониторинга, пропорциональные токам проводимости всех трех вводов, измеряются одновременно, в режиме реального времени. Результаты полученных измерений обрабатываются процессором системы мониторинга при помощи экспертного ядра. При обработке учитываются изменения технологических параметров трансформатора, что позволяет максимально надежно различать реальное возникновение проблем в изоляции вводов от проблем, связанных с изменением векторов питающих напряжений трансформатора.

Рассмотрим особенности работы такой комбинированной системы мониторинга вводов. В ней одновременно производится измерение и расчет как абсолютных, так и относительных параметров вводов. Результаты анализа работы такой системы мониторинга при различных типах несимметрии приведены в таблице 2.

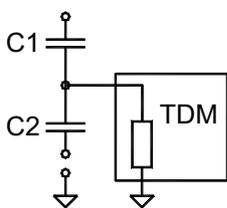


Рис. 3. Влияние плохого контакта корпуса ввода с баком трансформатора

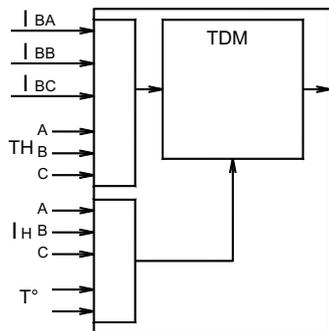


Рис. 4. Принципиальная схема организации комплексного мониторинга вводов

Из сравнения параметров таблицы видно, что комплексная система мониторинга действительно может достоверно отличать случаи возникновения дефектов в изоляции вводов от случаев, когда изменение связано с появлением всех трех типов несимметрии питающих напряжений.

Рассмотрим алгоритм анализа параметров для каждого типа несимметрии.

### НЕСИММЕТРИЯ ИЗ «ВНЕШНЕЙ» ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Такой тип несимметрии фазных напряжений в комбинированной схеме измерения легко выявляется. Диагностические признаки:

- абсолютное значение тангенсов вводов не меняется;
- относительное значение тангенсов меняется, появляется напряжение небаланса.

Заключение:

- причина появления тревожной информации – «внешняя» несимметрия из энергосистемы;
- дефектов во вводах нет, реальные тангенсы вводов неизменны.

### НЕСИММЕТРИЯ НА ШИНАХ ИЛИ В ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ ЦЕПЯХ ПОДСТАНЦИИ

Это самый сложный тип несимметрии фазных напряжений, так как он имеет

место на шинах подстанции, в цепях заземления, и даже зависит от места установки измерительного оборудования системы мониторинга (места заземления диагностического оборудования).

Диагностические признаки несимметрии напряжений на подстанции:

- абсолютное значение тангенсов вводов меняется, относительное значение тоже меняется (появляется напряжение небаланса). Изменения параметров вводов происходят на участке времени в единицы часов, носят циклический характер и связаны с суточными и недельными изменениями нагрузки;
- изменения тангенсов по фазам, рассчитанные по обеим схемам, чаще всего не совпадают между собой. Этот факт в диагностических целях можно дополнительно детализировать, но это уже в большей степени наука, чем практика;
- изменение тангенсов вводов зависит от нагрузки, при изменении нагрузки тангенсы меняются, при восстановлении прежней нагрузки трансформатора они возвращаются к прежним значениям. Обычно тангенс одного ввода остается неизменным, а тангенсы двух других вводов меняются в различном направлении – в «плюсовом» и «минусовом».

Заключение:

- причина появления тревожной информации – несимметрия, возникшая «внутри» подстанции;
- дефектов во вводах нет, реальные тангенсы неизменны.

### НЕСИММЕТРИЯ В ТРАНСФОРМАТОРЕ

Диагностические признаки:

- абсолютное значение тангенсов меняется, относительное значение тоже меняется. Изменения параметров происходит скачкообразно;
- изменение тангенсов по фазам, рассчитанное по обеим схемам, совпадает между собой;
- изменение тангенсов не зависит от нагрузки, чаще всего носит случайный характер. Иногда связано с ростом или уменьшением температуры бака трансформатора.

Заключение:

- причина появления тревожной информации – несимметрия, возникшая «внутри» трансформатора;
- дефектов во вводах нет, реальные тангенсы неизменны.

### ДЕФЕКТ ВО ВВОДЕ

Диагностические признаки:

- абсолютное значение тангенсов меняется, относительное значение тоже меняется таким же образом. Изменения не носят циклический характер и слабо связаны с суточными и недельными изменениями нагрузки;
- изменение тангенсов может зависеть от нагрузки, так как при этом меняется температура бака трансформатора, что в свою очередь влияет на изменение параметров вводов.

Заключение:

- дефекты во вводах есть, значения тангенсов реально изменились, персоналу необходимо принимать определенные меры.

Поскольку функция оценки технического состояния вводов и диагностики дефектов работает «на опережение» и должна выявлять проблемы, которые станут критическими через достаточно большой интервал времени – дни, недели и даже месяцы, то больших требований к быстродействию такой диагностической системы не возникает.

Иные временные требования предъявляются к быстродействию работы систем защиты трансформаторов от повреждений высоковольтных вводов. Особенно жесткими эти временные требования становятся при создании систем защиты вводов с твердой RIP-изоляция, время развития дефектов в которой может составлять десятки и даже единицы секунд. С другой стороны, для повышения устойчивости работы и уменьшения ложных срабатываний защитных устройств необходимо исключить влияние импульсных и переходных процессов в энергосистеме и в контролируемых трансформаторах, приводящее к большим скачкам токов проводимости вводов, превышающим стандартные пороги срабатывания защитных устройств. Оптимальным является проведение оценки технического состояния вводов с интервалом 0,5–1 секунда, с дальнейшим усреднением и выявлением «установившихся» скачков токов проводимости вводов.

Всем этим требованиям соответствует «TDM» – комплексная система мониторинга состояния вводов, производимая фирмой «DIMRUS».