

УДК 623.44

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ВВОДОВ С ТВЁРДОЙ RIP-ИЗОЛЯЦИЕЙ

Копейкина Т.В.

Камышинский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: kopeikina.tania@yandex.ru

В настоящей статье приведена информация по комплексному подходу к мониторингу трансформаторных вводов с твёрдой RIP-изоляцией. Рассмотрены все возможные виды трансформаторных вводов, существующих на данный момент. Обозначены достоинства трансформаторных вводов с твёрдой rip-изоляцией. Детально анализируется конструкция данных трансформаторных вводов. Отражены основные причины перекаса фазных напряжений, которым пропорциональны токи проводимости вводов. Проведена работа по анализу существующих проблем в эксплуатации распределительных сетях. Указаны типы измерительной схемы, используемой для контроля параметров вводов. Отдельное внимание уделяется вопросу построения алгоритма анализа параметров для каждого типа несимметрии, с указанием диагностических признаков, а также производится соответствующий вывод о причине появления тревожной информации. В выводе проведенных исследований изложены подходы к требованиям к комплексной системе мониторинга состояния трансформаторных вводов.

Ключевые слова: трансформаторный ввод, мониторинг, распределительные сети, изоляция, несимметрия, контроль, напряжение, параметр, трансформатор

A COMPREHENSIVE APPROACH TO THE MONITORING OF TRANSFORMER BUSHINGS WITH SOLID RIP-INSULATION

Kopeikina T.V.

Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: kopeikina.tania@yandex.ru

This article presents information on the integrated approach to the monitoring of transformer bushings with solid RIP-insulation. Considered all the possible types of transformer inputs existing at the moment. Marked advantages of transformer bushings with solid rip-insulation. Analyzed in details the design of the data transformer inputs. Describes the main causes of imbalance of the phase voltages, which are proportional to the currents of the conductance inputs. Conducted analysis of existing problems in the operation of distribution networks. Specifies the types of the measuring circuit used to control the parameters of inputs. Special attention is paid to algorithm analysis parameters for each type of asymmetry, indicating the diagnostic signs, and also produced the appropriate conclusion about the cause of alarming information. In conclusion of the conducted research describes the approaches to the requirements for a comprehensive system of condition monitoring of transformer bushings.

Key words: transformer input, monitoring, distribution network, insulation, asymmetry, control, voltage, parameter, transformer

В первых конструкциях вводов 110 кВ, разработанных и выпускавшихся в промышленных масштабах еще в предвоенные годы, использовалась маслбарьерная изоляция, основу которой составляли изоляционные промежутки в трансформаторном масле с барьерами из картона. Такая изоляция имела ряд достоинств, однако, ее электрическая прочность была недостаточно высокой для получения требуемых радиальных размеров вводов на напряжения 220 кВ и более. В настоящее время в стране и за рубежом различные фирмы выпускают вводы для трансформаторного оборудования на напряжения 110 кВ и более со следующими видами внутренней изоляции: с бумажно-масляной (БМИ или OIP — oil-impregnated paper); с бумажной, слою бумаги и покрыты смолой (RBP — resin-bounded paper); с бумажной, слою бумаги пропитаны смолой (RIP — resin-impregnated paper). Последние два вида изоляции называют твердой. Дол-

гое время БМИ применялась во всех вводах на напряжения 110 кВ и более. В последние годы вводы 110—220 кВ выполняют преимущественно с твердой изоляцией (RBP и RIP). Во всех случаях для регулирования электрического поля используют системы конденсаторных обкладок, располагаемых в остовах вводов. Такие вводы называют конденсаторными.

Цель исследования

Конструкции трансформаторных вводов с твердой изоляцией.

Как и во вводах с БМИ, основу внутренней изоляции составляет изоляционный остов, который выполняется путем намотки слоев или кабельной бумаги, покрытой смолой (RBP-изоляция) или кабельной бумаги с последующей пропиткой смолой (RIP-изоляция). В обоих случаях в остов при намотке закладывают конденсаторные обкладки для регулирования электрическо-

го поля. От предпоследней обкладки, как и во вводах с БМИ, делается измерительный вывод. После намотки RBP-остовы проходят термообработку и лакирование, а RIP-остовы — пропитку смолой под вакуумом и процесс отверждения смолы. В результате получают твердые, механически прочные остовы. На твердый остов прессовой посадкой устанавливается соединительная втулка. Для обеспечения герметичности соединения остова со втулкой место стыка дополнительно заливается эпоксидной смолой. Верхняя часть остова закрывается фарфоровой крышкой, на которую сверху устанавливается фланец. Стыки крышки с втулкой и фланцем уплотняются прокладками из маслостойкой резины. Сжатие прокладок осуществляется с помощью пружинного стяжного узла, который обеспечивает стабильное усилие при изменениях температуры от -60 до $+120$ °С. Пространство между остовом и фарфоровой крышкой заполняется специальным твердеющим компаундом или трансформаторным маслом (завод «Мосизолятор»). Герметичность этой полости, заполненной маслом, обеспечивается с помощью специальной мембраны. Нижняя крышка отсутствует.

Нижняя часть ввода с твердой изоляцией на время транспортировки и хранения защищается от увлажнения и механических повреждений полиэтиленовым чехлом и бакелитовым цилиндром.

Главное достоинство вводов с твердой изоляцией — резкое снижение опасности возгорания и взрыва при повреждении. Общий вид трансформаторных вводов с твердой изоляцией показан на Рис. 28 и 29.

Вводы с изоляцией типа RBP выпускаются на номинальное напряжение до 220 кВ, а с изоляцией типа RIP — от 110 до 800 кВ.

Вводы с изоляцией RIP имеют лучшие характеристики в части габаритных размеров, электрической и механической прочности, пожаробезопасности и пр. В случае применения полимерной крышки вместо фарфоровой ввод имеет хорошие характеристики в загрязненной атмосфере за счет гидрофобной силиконовой поверхности крышки. Эти вводы обладают повышенной сейсмостойкостью. Они имеют хорошие характеристики при работе в установках постоянного тока. Во вводах с полимерной крышкой промежуток между остовом и крышкой заполняется полиуретаном, вспененным элегазом.

Результаты исследования и их обсуждение

Комплексный подход к мониторингу трансформаторных вводов с твердой RIP-изоляцией.

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.

Существуют четыре основные причины перекоса фазных напряжений, которым 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. 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 про-

блем в системе заземления трансформатора или другого оборудования подстанции. Несимметрия на шинах подстанции возникает как при несимметричной нагрузке трансформаторов по фазам, так и при симметричной. Проблема часто возникает при использовании для систем мониторинга вводов обмоток трансформаторов напряжения с большой погрешностью, или же при использовании сигналов ТН с другой системы шин подстанции;

- 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. 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.

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.

Комплексная система мониторинга может достоверно отличать случаи возникновения дефектов в изоляции вводов от случаев, когда изменение связано с появлением всех трех типов несимметрии питающих напряжений.

Далее рассматривается 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.

Вывод: 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 проис-

ходят 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».

Вывод:

- 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.

Вывод:

- 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.

Вывод:

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

Выводы

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-изоляцией, 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.

На данный момент всем рассмотренным требованиям соответствует комплексная система мониторинга состояния вводов «TDM», производимая фирмой «DIMRUS».

Список литературы

1. Журнал: Энергоэксперт № 3 - 2014. Ботов С. В., Русов В. А. ООО DIMRUS, г. Пермь;
2. <http://leg.co.ua/transformatory/praktika/konstrukcii-transformatornyh-vvodov-2.html>