

Опыт мониторинга состояния изоляции вводов и трансформаторов тока высокого напряжения

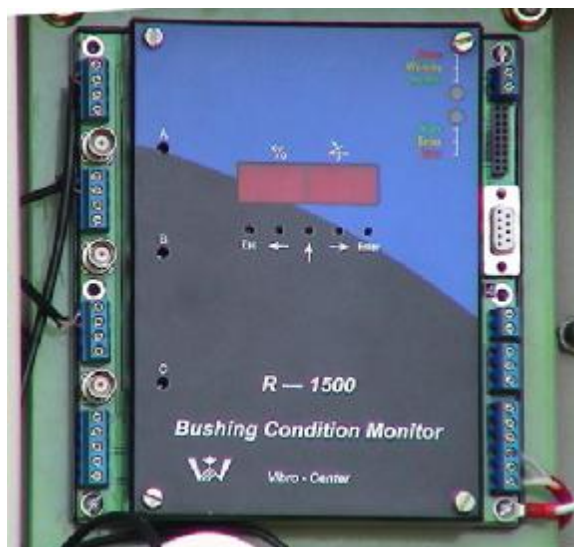
Живодерников С.В., Овсянников А.Г., Русов В.А.

В сравнении с другим сетевым оборудованием силовое трансформаторное оборудование имеет самую большую стоимость, а выход его из строя всегда чреват серьезными последствиями. Поэтому неслучайно за рубежом, а позже и в России стали развиваться системы мониторинга (СМ), т.е. системы непрерывного контроля технического состояния отдельных систем и элементов. Требования к ним определены в соответствующем стандарте ОАО «ФСК ЕЭС» [1]. Впрочем, одни из элементов трансформаторов, а именно вводы напряжения класса 500 и 750 кВ, контролировались уже давно устройствами контроля изоляции (КИВ) и опыт их применения с некоторыми оговорками можно признать положительным. Особое внимание состоянию маслонаполненных вводов уделялось потому, что доля отказов трансформаторов, связанная с отказами вводов была и остается весьма высокой.

К этой проблеме примыкает проблема высокой аварийности измерительных трансформаторов тока с изоляцией того же типа. Можно привести немало примеров «коварства» изоляции конденсаторного типа: положительные результаты проведенных профилактических проверок не дают уверенности в том, что аппарат с изоляцией этого типа будет успешно эксплуатироваться до следующего срока проверки. Известны случаи, когда вводы и ТТ взрывались в течение месяца, а в двух известных авторам случаях взрывы случились через день после обследования с положительными выводами о состоянии изоляции! Поэтому применение подсистемы мониторинга (ПСМ) состояния бумажно-масляной изоляции конденсаторного типа не имеет альтернативы, и она входит в состав всех известных систем мониторинга.

В статье описываются результаты применения ПСМ типа R-1500 производства НПФ «Вибро-Центр», реализующей неравновесно-компенсационный метод измерения токов утечки. Определение тангенса угла потерь и емкости изоляции ею производится в двух режимах. Если на специальные входы подключить опорные напряжения, то R-1500 производит расчет истинных значений емкостей, C , и тангенсов углов вводов, $\text{tg}\delta$. Если опорные напряжения отсутствуют, то прибор рассчитывает отклонения величины вводов $\text{tg}\delta$ относительно друг друга. Если до установки системы величины тангенсов и емкостей были определены каким-либо другим методом, то они или заводские

значения вводятся в память прибора, и в дальнейшем все расчеты опираются на эти значения. ПСМ R-1500 состоит из трех или шести датчиков, устанавливаемых на измерительных выводах (ИВ) вводов, микропроцессорного модуля в защитном корпусе (рис.1) и соединительных кабелей.



а



б

Рис. 1 Общий вид микропроцессорных модулей R-1500/3 (а) и R-1500/6 в защитном корпусе

Прибор R-1500 имеет встроенную цифровую индикацию амплитуды и фазы напряжения смещения с указанием того ввода, в котором произошли данные изменения. В приборе предусмотрена выдача данных по интерфейсу RS-485. Кроме того, в приборе имеется выходное реле с сухими контактами, включаемое при превышении определенного защитного порога.

При монтаже прибора производится уравнивание входных сигналов подстроечными сопротивлениями. Точность определения напряжения смещения составляет 0,1 % по амплитуде и 0,02° по фазе. Благодаря применению фильтров прибор не чувствителен к высшим гармоническим составляющим в сигналах. Точность расчета тангенса угла потерь не хуже 5 % истинного значения. Опыт показал, что диапазон изменения тока небаланса должен находиться в пределах: 3% - уровень сигнала тревоги, 5% - уровень отключения.

Помехи, влияющие на точность измерений. Как ожидалось и было подтверждено опытом эксплуатации на результаты измерений оказывают влияние два вида помех.

Во-первых, погрешность вносит разность потенциалов двух заземлен-

ных точек измерительной цепи. Измерительную цепь необходимо заземлять в двух местах по двум причинам. Одна точка заземления - корпус прибора и защитного шкафа для обеспечения безопасности персонала. Вторая точка заземления - ИВ ввода. Заземление в ней производится на случай, если будут оборваны линии связи датчиков с прибором. Установка и заземление прибора рядом с баком трансформатора приводит к весьма небольшой разнице потенциалов в точке подсоединения датчиков и точке измерения, обусловленной протеканием небольшого тока через бак трансформатора. Более высокие погрешности возникали при подключении ПСМ к вводам группы однофазных трансформаторов. Даже при хорошем соединении баков с контуром заземления ПС и отсутствии повреждений самого контура приводит к разности потенциалов между баками в пределах 0,2В и току помехи на уровне 0,1% от измеряемой величины, что, впрочем, вполне приемлемо, но требует учета.

Колебания фазных напряжений является вторым и главным источником погрешности измерений. Изменение напряжения на шинах (амплитуды или угла между фазами) создает небаланс в СМ и может быть интерпретировано устройством как изменение параметров изоляции: амплитуда - как изменение емкости изоляции, а угол – как изменение $\text{tg}\delta$. Колебания напряжения на шинах наблюдались практически везде, где ПСМ была установлен.

При этом симметричные изменения взаимно компенсируются, не влияя на ток небаланса. Следовательно, точность метода зависит от статистики асимметричного изменения напряжения на шинах в данной точке и статистической обработки полученных данных. По многочисленным наблюдениям перекося фаз на подстанциях напряжений 110 кВ и более может достигать в среднем $0,4^{\circ}$, со стандартным отклонением $0,12^{\circ}$. Однако асимметричные колебания напряжения на системах шин носили кратковременный характер, не превышая одних суток. Хорошая визуализация измерительной информации и программное обеспечение позволили различать изменения, связанные с колебаниями напряжения на системах шин от процессов, происходящих в изоляции вводов и отсеивать ложные отсчеты.

Кроме того, модификация R1500/6 позволяет одновременно регистрировать данные с двух трехфазных трансформаторов. Если эти трансформаторы соединены с одной системой шин, то дополнительная обработка данных обеспечивает автоматическое отсеивание ошибочных результатов, отнесенных к колебаниям амплитуды фазного напряжения или междуфазового угла. Такая обработка также позволяет повысить точность метода и избежать лож-

ных срабатываний ПСМ при долговременных возмущениях в сети.

Вводы. В нескольких энергосистемах на трансформаторных и выключательных вводах 110 – 500 кВ было установлено около 25 ПСМ типа R-1500. Приведем несколько примеров их применения.

ОАО «Томскэнерго». Система R-1500 была установлена на трех вводах типа БМВП-110/1000У1 масляных выключателей 110 кВ линии С-14 ПС «Левобережная» ЦЭС. Датчики ПСМ подключались к вводам в следующем порядке: фаза «А» – сторона шин ПС; фаза «В» – сторона ВЛ и фаза «С» – сторона ВЛ. Выбор такого подключения датчиков диктовался состоянием изоляции вводов фаз «В» и «С», где до этого наблюдался рост $\text{tg}\delta$. Замеры производились четыре раза в сутки. На рис. 2 приведена фазовая диаграмма, где отражены результаты регистрации тока небаланса в течение полугода.

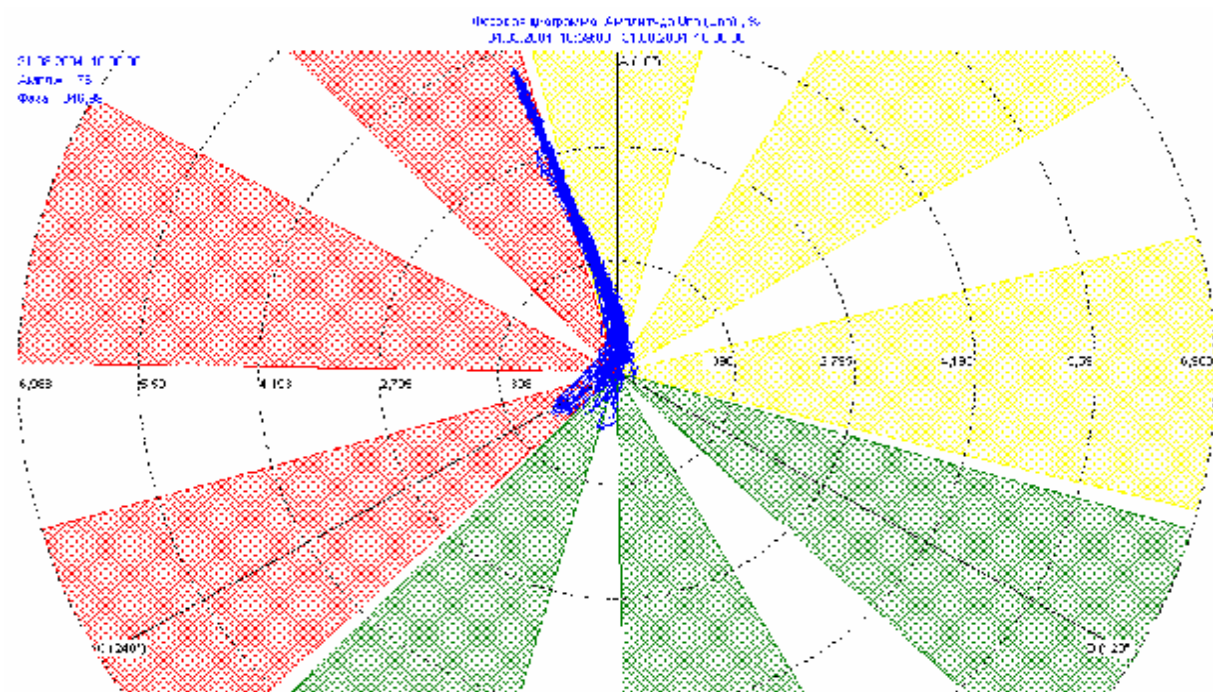


Рис. 2 Фазовая диаграмма амплитуды тока небаланса вводов МВ 110 кВ С-14

Хорошо видно, что точки замеров, в основном, располагаются вблизи друг друга, образуя своеобразное «пятно» на комплексной плоскости. В [2] уже предприняты попытки интерпретировать состояние изоляции вводов по форме и направлению движения такого «пятна». При накоплении определенного опыта этот подход можно применять и для данной ПСМ.

На рис. 3 приведен тренд за все время измерений. Прямая линия с 21.05 по 1.06 связана с паузой, связанной с отключением линии.

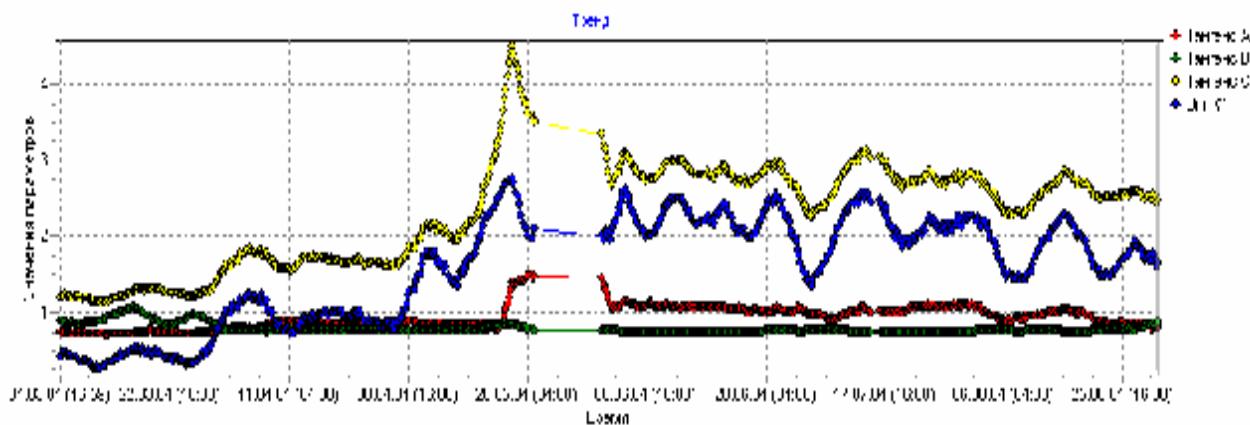


Рис. 3 Изменение тока небаланса и тангенсов фаз (усреднение по 20-ти точкам).

Наибольший вклад в изменение тока небаланса вносила величина $tg\delta_C$ фазы «С». После промывки и замены масла состояние изоляции немного улучшилось и стабилизировалось (рис. 4).

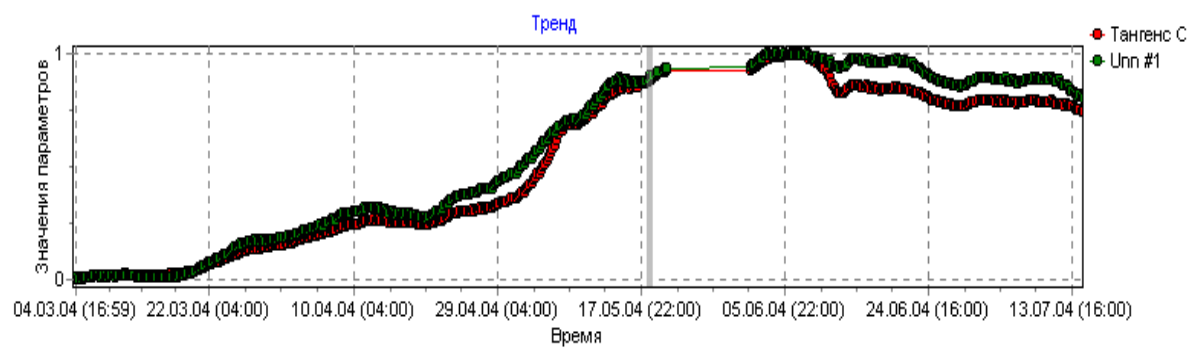


Рис. 4 Тангенс фазы «С» и ток небаланса (усреднение по 99 точкам)

ОАО Алтайэнерго. Система R-1500 была установлена на трех вводах типа БМВУ-110/1000У1 выпуска 12.1982, чертёж № 230 масляного выключателя типа МКП-110М-1000/630-20У1 1986 г. выпуска 110 кВ ПС «Черга» Горно-Алтайского предприятия электрических сетей.

Замеры также производились четыре раза в сутки. На рис. 5 приведена фазовая диаграмма, где отражены результаты регистрации тока небаланса за год. На рис. 6 приведен тренд за все время измерений. В данном случае наблюдалось практически одинаковое изменение $tg\delta_A$ и $tg\delta_B$, на фоне которых резко выделялось поведение $tg\delta_C$ тангенса изоляции ввода фазы «С»: внося наибольший вклад в изменение тока небаланса в теплое время года, он почти не изменялся в холодный период времени. Было высказано предположение, что изоляция ввода имеет высокое влагосодержание, что косвенно подтверждалось данными профилактических испытаний, а позже после разборки ввода подтвердилось в лабораторных анализах образцов бумаги. Вода зимой замерзала, а лед, как известно, имеет хорошие изоляционные свойства.

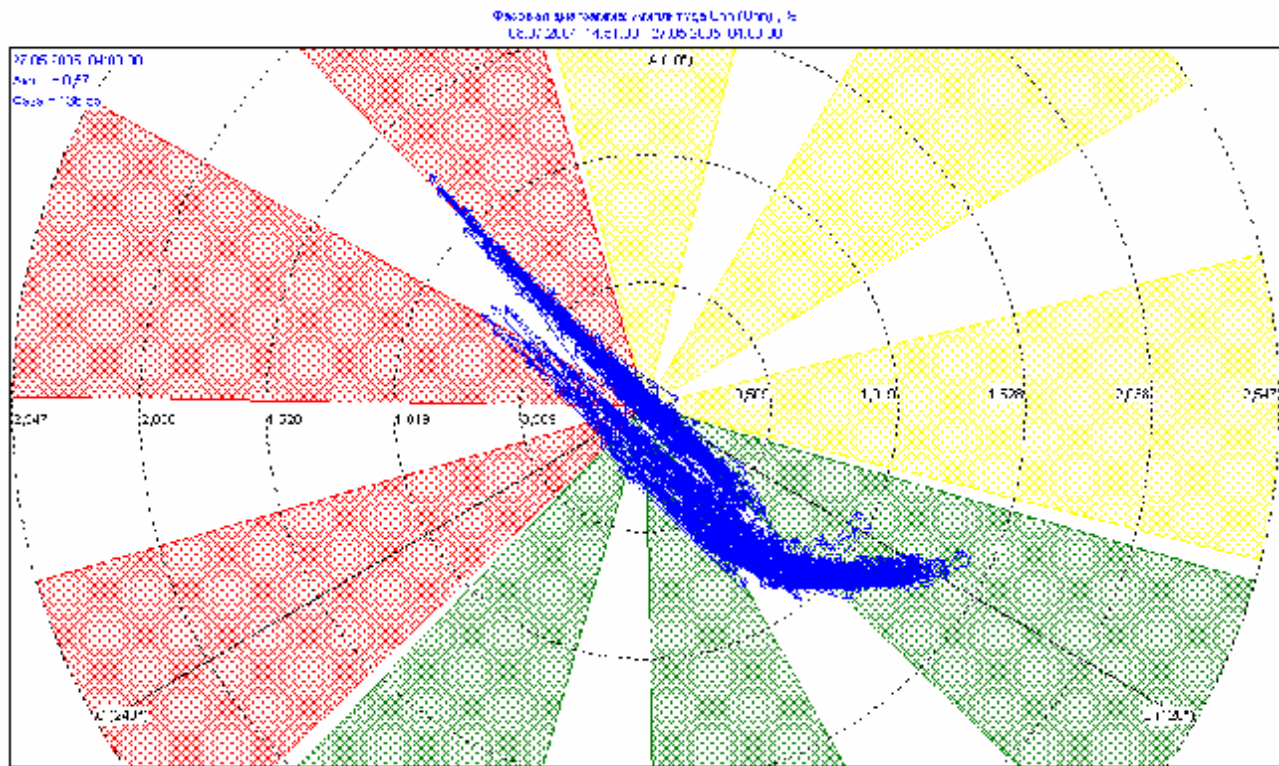


Рис. 5 Фазовая диаграмма амплитуды тока небаланса вводов МВ МКП-110

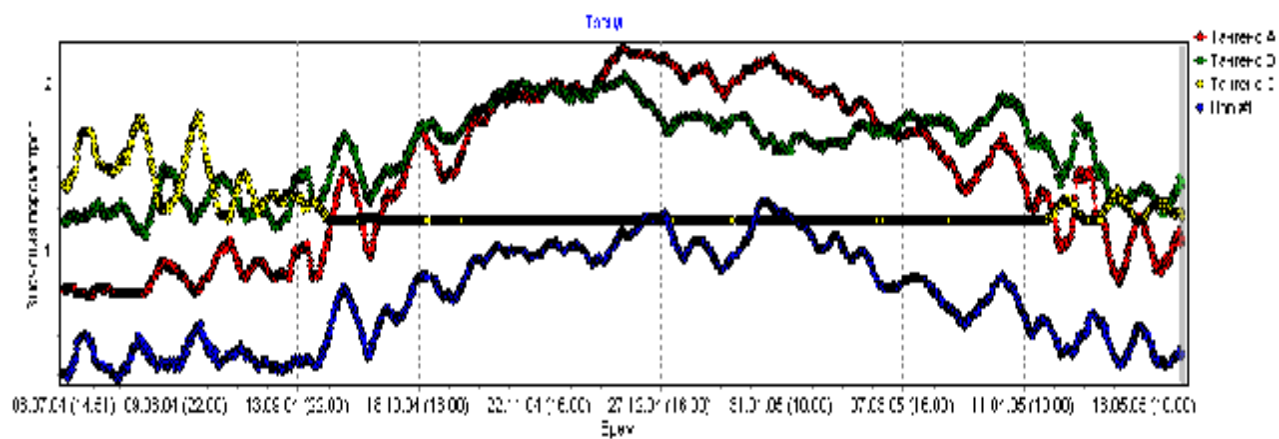


Рис. 6 Изменение тока небаланса и тангенсов фаз (усреднение по 20-ти точкам).

Повышенное влагосодержание изоляции ввода фазы «С», приводило и к характерному изменению тока небаланса от температуры: температура и небаланс находились как бы в «противофазе», рис. 7.

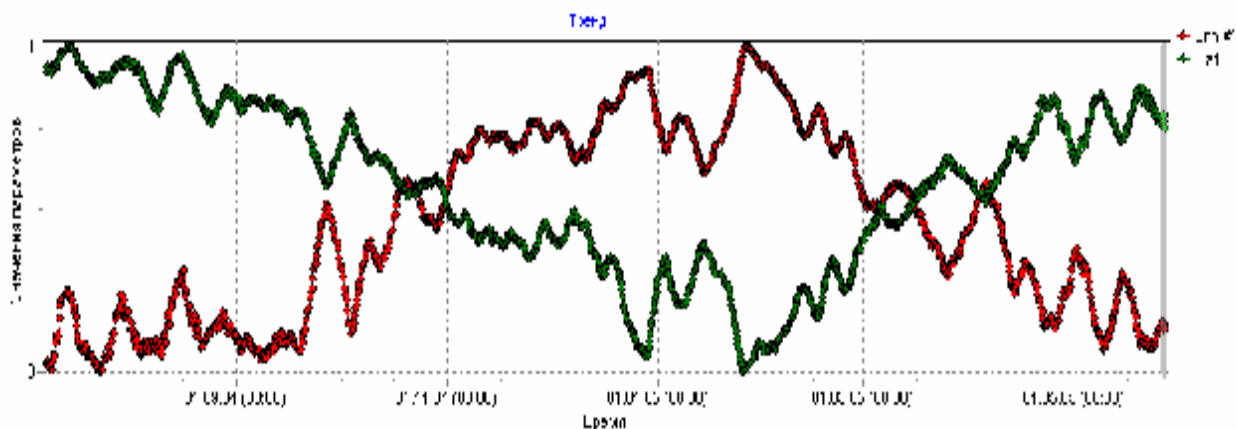


Рис. 7 Ток небаланса и температура (нормализовано)

Трансформаторы тока. Стоимость ТТ значительно меньше силового трансформатора, но их количество в несколько раз больше, а последствия аварий со взрывом доставляют немало хлопот. Поэтому были предприняты попытки охватить системами мониторинга и этот тип оборудования. В США [3] после длительных исследований и стендовых испытаний была установлена три модификации системы мониторинга ТТ классов напряжения 345 и 765 кВ. Первая модификация была наиболее полной. Непрерывному контролю подвергались ток небаланса, концентрации растворенных в масле газов, температура, электрические и акустические сигналы ЧР. Две таких системы были смонтированы на ПС 765 кВ в 1997 г., и в течение трех лет работали без сбоев, фиксируя нормальное состояние изоляции контролируемых групп ТТ. Более простая система была установлена через год на ПС 345 кВ. Поскольку ТТ не имели измерительного вывода с последней обкладки, ток небаланса не измерялся. Также не контролировалось содержание газов в масле. Результат опытной эксплуатации был аналогичным.

В 2004 г. система R-1500 была установлена нами на трех фазах измерительного трансформатора тока типа ТФРМ-500БУ1, диспетчерский № ТТ В-521, на ПС «Итатская-1150» Красноярского ПМЭС Сибири.

Контроль за состоянием группы осуществлялся в ручном режиме: визуально во время обходов дежурными (с записью данных с дисплея прибора в особый журнал) и периодически специалистами «Электросетьсервиса» в течение плановых работ на ПС. Система простояла около года (с августа 2004 г. по июль 2005 г.), после чего была демонтирована вместе с фазами группы.

Основные результаты мониторинга приведены на рис. 8. Видно, что отклонений в состоянии изоляции фаз ТТ в период мониторинга не было.

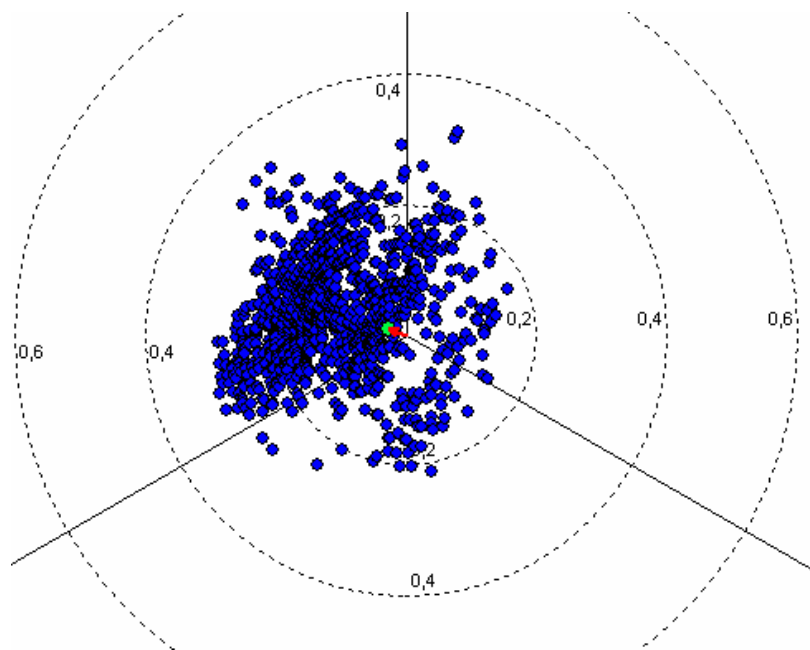


Рис. 8 Фазовая диаграмма амплитуды тока небаланса в фазах ТТ

Выводы

ПСМ R-1500 обладает приемлемой помехоустойчивостью и способна корректно измерять параметры изоляции вводов при изменении температуры окружающей среды в широких пределах. Погрешность измерений удовлетворяет требованиям при измерении тангенса угла потерь и емкости вводов и трансформаторов тока. Благодаря высокой чувствительности и широким возможностям программы обработки и отображения результатов, получена возможность наблюдать за состоянием вводов и принимать меры в самом начале развития дефектов.

Литература

- 1 **СТО 56947007-29.200.10.011-2008.** Системы мониторинга силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Общие технические требования:/ Утв. приказом ОАО «ФСК ЕЭС от 18.04.2008 № 140. Срок действия с 18.04.2008 по 18.04.2010.
- 2 Lachman M.F., Walter W., Guggenberg P.A. On-line diagnostics of high-voltage bushings and current transformers using the sum current method. IEEE transactions on Power Delivery, Vol.15, No. 1, January 2000.
- 3 R.G. Schwabe, B. Whitcomb, S. Zelinger and others. On-line Diagnostics of Oil-Paper Insulated Instrument Transformers / 38th Session CIGRE, Paris, 2000. – Report 12/33-03.