

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

TDM

ЕАС



Краткие методические указания по анализу результатов
измерений частичных разрядов в трансформаторном
оборудовании,
полученных при работе систем мониторинга.

Оглавление

1. Общие вопросы нормирования частичных разрядов.....	3
2. Признаки дефектного состояния изоляции.....	3
3. Дополнительные признаки ЧР, выявляемые в ХАРГ анализе масла.....	5
4. Диагностические «образы» наиболее часто встречающихся дефектов в изоляции силовых трансформаторов	6
5. Общий алгоритм анализа и локации дефектов в силовых трансформаторах	12

1. Общие вопросы нормирования частичных разрядов

Существующие мировые и отечественные стандарты и рекомендации описывают способы измерений и калибровки частичных разрядов (ЧР) и не касаются конкретных значений нормирования уровней разрядной активности для различного высоковольтного электротехнического оборудования. Имеющиеся в этих стандартах рекомендации (!) по допустимым уровням ЧР носят настолько общий характер, что чаще всего не могут быть применены на практике.

Причина такого обобщенного подхода очевидна. Используемое в эксплуатации оборудование настолько различается между собой по конструкции, примененным изоляционным материалам, величине рабочего напряжения, величинам импульсных перенапряжений, условиям эксплуатации и т. д., что реально допустимые значения параметров частичных разрядов могут отличаться для различного оборудования на несколько порядков.

Обычно заводы-изготовители самостоятельно устанавливают предел величины ЧР для производимого оборудования, определяемый в процессе приемо-сдаточных испытаний. Следует хорошо понимать, что такие испытания проводятся на специализированных стендах в лабораторных условиях при низком уровне внешних помех. Обеспечить низкий уровень помех в условиях реальных подстанций невозможно, поэтому ориентироваться на нормы завода-изготовителя, соответствующие лабораторным условиям, нельзя. Кроме того, целью испытаний на заводе-изготовителе является только подтверждение отсутствия частичных разрядов, а не определение наличия дефектов, оценка степени их опасности для эксплуатации оборудования.

Наличие частичных разрядов в силовом трансформаторном оборудовании, выявленное при помощи систем диагностического мониторинга, на первом этапе является лишь тревожным фактором, не требующим немедленного вывода оборудования из эксплуатации. Для принятия решения о необходимости проведения ремонтных работ необходимо проведение дополнительного анализа зарегистрированной информации.

Оценка опасности выявленных в процессе эксплуатации оборудования частичных разрядов является важной практической задачей, которую приходится решать диагностическим службам «на месте».

2. Признаки дефектного состояния изоляции

Появление частичных разрядов в изоляции силового трансформатора, контролируемого системой мониторинга, всегда является тревожным признаком. Более 90% всех дефектов в высоковольтной изоляции сопровождается частичными разрядами различного уровня, частоты и фазо-временного распределения.

2.1. Первым достоверным и самым важным признаком появления дефектов в высоковольтной изоляции является сам факт появления частичных разрядов, имеющих значимую амплитуду (достоверно!!!), регистрируемых системой мониторинга.

В силу ряда причин, часть которых уже перечислена выше, амплитуда частичных разрядов не используется в качестве основного нормируемого диагностического параметра состояния высоковольтной изоляции. Амплитуда разрядов не только зависит от особенностей конструкции оборудования, но и связана с целым рядом методических причин и особенностей анализа.

- В оценке технического состояния изоляции всегда используются не единичные высокочастотные разряды, чаще всего являющиеся импульсами внешних помех, а только периодически повторяющиеся импульсы, появление которых связано с фазой приложенного напряжения. Именно наличие повторяющихся импульсов является признаком появления дефектов, причем амплитуда этих повторяющихся импульсов от одного и того же дефекта в изоляции может различаться в несколько раз.

- Достаточно часто развитие дефекта в изоляции сопровождается не увеличением амплитуды отдельных импульсов частичных разрядов, а увеличением их количества. Поэтому, отслеживая амплитуду импульсов, обычно не удастся правильно оценить степень развития того или иного дефекта, то есть его опасность.

- Вследствие того, что разрушение изоляции происходит от энергии, которую выделяют частичные разряды, самым важным диагностическим параметром для диагностики дефектов является интенсивность частичных разрядов, которую чаще всего определяют как параметр PDI (Partial Discharge Intensity). Упрощенно говоря, параметр PDI можно определять (пропорционально) как сумму амплитуд всех зарегистрированных импульсов частичных разрядов. Энергия, выделяемая несколькими разрядами большой амплитуды, достаточно часто бывает меньше энергии, которую выделит большое количество разрядов существенно меньшей амплитуды. Это еще один аспект вопроса, почему амплитуду импульсов частичных разрядов нельзя использовать в качестве основного диагностического параметра.

2.2. Любой дефект технического состояния изоляции представляет опасность для эксплуатации оборудования в том случае, если реально имеет место его развитие, выражающееся или в расширении дефектной зоны, или же в дальнейшем качественном ухудшении состояния изоляции. Если дефект в изоляции носит стационарный характер, зона его локализации не увеличивается, то такой дефект чаще всего не представляет опасности для дальнейшей эксплуатации оборудования.

Если же системой мониторинга выявляется развитие дефекта, выражающееся в постепенном (иногда скачкообразном) увеличении амплитуды или интенсивности (PDI) регистрируемых частичных разрядов, т. е. присутствует временной тренд (trend – общее направление, тенденция), то это всегда отрицательно сказывается на прогнозах дальнейшей эксплуатации оборудования. Причем чаще всего практически не важно, с какого уровня частичных разрядов начался рост, важным является интенсивность этого процесса, важен сам факт разрастания и деградации изоляции в зоне дефекта.

Анализ тренда параметров ЧР позволяет на ранней стадии диагностировать развитие дефекта в изоляции. При выявлении положительного тренда ЧР важным для принятия решения о дальнейшей работе оборудования является определение типа дефекта и локация источника разрядной активности. Если на интервале одного года интенсивность частичных разрядов выросла в 5 – 10 раз и более, то это всегда очень серьезный признак наличия развивающегося и опасного дефекта в изоляции.

2.3. Очень важно понимать, что дефекты в изоляции, приводящие к появлению частичных разрядов в высоковольтном оборудовании, различаются по степени своей опасности. Не всегда наличие частичных разрядов, даже имеющих явно выраженный рост с течением времени (наличие временного тренда), говорит о необходимости ограничивать эксплуатацию трансформаторного оборудования. Разные типы дефектов по-разному влияют на работу трансформаторов.

Наиболее важным является определение места возникновения дефекта в силовом трансформаторе. Возможных мест возникновения частичных разрядов достаточно много:

- Обмотки трансформатора. Внутри обмоток трансформатора частичные разряды возникают достаточно редко, что обусловлено особенностями их конструкции – наличием достаточно больших зазоров, заполненных маслом, и небольшой разностью потенциалов между отдельными витками и слоями обмотки.

Разряды между разными обмотками трансформатора (одной фазы) возникают также достаточно редко, так как в этом случае им препятствуют еще большие зазоры, заполненные маслом.

Встречаются случаи, когда частичные разряды возникают между витками обмотки и элементами конструкции трансформатора. Но и это бывает редко и только у тех силовых трансформаторов, конструкция которых имеет очевидные конструктивные дефекты и уменьшенные зазоры.

Если все же частичные разряды в обмотках возникают, то они являются достаточно опасными, особенно если наблюдается их развитие. Диагностический образ этих дефектов соответствует основным двум типам разрядов: «разряд с высоковольтного электрода» и «разряд с земляного электрода». Появление разрядов в обмотках всегда коррелирует с анализом растворенных в масле газов.

- Сердечник трансформатора, магнитные шунты и конструктивные элементы.

В этой сложной системе частичные разряды возникают достаточно часто, что обусловлено различными механическими и гальваническими ослаблениями. Разряды обычно имеют достаточно большую интенсивность.

Наиболее часто диагностический образ дефектов в механической системе трансформатора соответствует типам «разряд с высоковольтного электрода», «разряд с земляного электрода» и особенно часто «плавающий потенциал». Практически всегда эти дефекты подтверждаются анализом растворенных газов.

Чаще всего эти дефекты не опасны для эксплуатации трансформаторов. Они могут наблюдаться системами мониторинга несколько лет до наступления времени планового ремонта трансформатора. Важно, чтобы не было интенсивного роста этих разрядов во времени.

- Зона подключения вводов «косичкой» к обмоткам трансформаторов.

В этой зоне могут возникать частичные разряды, имеющие образ «разряд с высоковольтного электрода». Эти разряды чаще всего замыкаются по разделительным перегородкам из картона, имеющимся у некоторых конструкций трансформаторов. Наличие частичных разрядов обычно подтверждается результатами анализа растворенных в масле газов.

Данный дефект является опасным.

2.4. Высоковольтные вводы.

Дефекты в изоляции вводов достаточно надежно диагностируются частичными разрядами. Особенно важно это для вводов с твердой изоляцией, для которых появление частичных разрядов всегда (и на самой ранней степени развития дефекта) говорит о появлении и развитии опасных дефектов на интервале между двумя обкладками. Анализ растворенных газов в масле бака трансформатора не реагирует на такой дефект.

Чаще всего после появления частичных разрядов дефектный изоляционный промежуток внутри ввода «перекрывается» через 0,5 – 6 месяцев, иногда и быстрее.

Диагностический образ дефектов в изоляции вводов – «разряд внутри изоляции».

3. Дополнительные признаки ЧР, выявляемые в ХАРГ анализе масла

Альтернативный способ анализа наличия частичных разрядов в силовых трансформаторах – анализ хроматографического анализа растворенных газов (ХАРГ) в масле трансформаторного оборудования.

Для частичных разрядов в баке трансформаторного оборудования характерно появление водорода, а при искровых разрядах – ацетилена. Наличие роста водорода или ацетилена предполагает наличие источника разрядной активности внутри бака трансформатора.

Для локализации источника разрядной активности необходимо использовать измерение ЧР на поверхности бака акустическим методом. Акустические датчики производят измерения строго направленно. Проведение измерений одним акустическим датчиком на всей поверхности бака трансформатора позволяет обнаружить зоны разрядной активности внутри бака.

Если зоны разрядной активности находятся не в зоне обмоток трансформатора, то для определения возможного источника достаточным может оказаться анализ конструкции оборудования. Если источник разрядов находится в зоне обмоток или анализ конструкции не позволяет однозначно определить возможный источник ЧР - необходимо провести локацию при помощи 4-х акустических датчиков. При достаточном уровне сигнала локация при помощи 4-х датчиков позволяет с хорошей точностью определить зону источника ЧР.

Отсутствие роста водорода или ацетилена в ХАРГ масле позволяет с определенной уверенностью (но не полностью) исключить частичные разряды в баке трансформаторного оборудования.

Следующим потенциально опасным элементом являются высоковольтные вводы. ЧР в высоковольтном вводе являются активными потерями и должны сказываться на росте тангенса данного ввода. Заметный рост тангенса и появление температурной зависимости тангенса характерно для вводов с бумажно-масляной изоляцией. Дефект во вводах с твердой изоляцией может не сопровождаться изменением тангенса или это изменение быть очень незначительным. Это связано с тем, что зона дефекта может быть очень малой по объему, и потери будут

незначительными. Тем более изменение тангенса не будет заметно при проведении испытаний напряжением 10 кВ.

Наличие ЧР и рост их интенсивности в высоковольтном вводе с твердой изоляцией является потенциально опасным и может привести к перекрытию обкладок высоковольтного ввода или пробое. Перекрытие обкладок сопровождается увеличением амплитуды тока утечки соответствующего ввода и появлению небаланса токов проводимости. Пробой одной обкладки, в зависимости от конструкции ввода, увеличивает ток утечки от 2 до 10%. Для вводов с твердой изоляцией в среднем это значение порядка 5%. При таком изменении тока система КИВ может не сработать даже на предупреждение. Но эти изменения будут четко зафиксированы приборами мониторинга изоляции вводов. Причем интенсивность ЧР при перекрытии обкладок значительно уменьшается в связи с отсутствием источника ЧР.

4. Диагностические «образы» наиболее часто встречающихся дефектов в изоляции силовых трансформаторов

Ниже приведено распределение частичных разрядов относительно фазы питающего напряжения (PRPD распределение) для наиболее часто встречающихся дефектов в высоковольтной изоляции, зарегистрированное оборудованием, аналогичным системам мониторинга.

4.1. Частичный разряд между двумя слоями высоковольтной изоляции, «внутренний разряд».

На рисунке 4.1. приведено амплитудно-фазовое распределение частичных разрядов. На основании анализа приведенного распределения частичных разрядов можно отметить следующее.

- При положительной полярности питающего напряжения импульсы частичных разрядов имеют отрицательную полярность, а при отрицательном напряжении питающей сети импульсы частичных разрядов имеют положительную полярность.

- Имеет место практически полная симметрия амплитуды и количества частичных разрядов в изоляции относительно нулевой линии. Интенсивность частичных разрядов одинакова в двух полупериодах питающей сети. Эта симметрия хорошо прослеживается при анализе положительной и отрицательной полуволн питающего напряжения.

- Все частичные разряды располагаются в двух (симметричных) угловых зонах напряжения питающей сети: $10 \div 20$ градусов ($190 \div 200$ градусов для отрицательного напряжения) и $40 \div 90$ градусов ($220 \div 270$ градусов для отрицательного напряжения) относительно фазы питающего напряжения. Все импульсы сосредоточены в зонах нарастания амплитуды питающего напряжения. В зонах спада амплитуды питающего напряжения импульсы практически полностью отсутствуют.

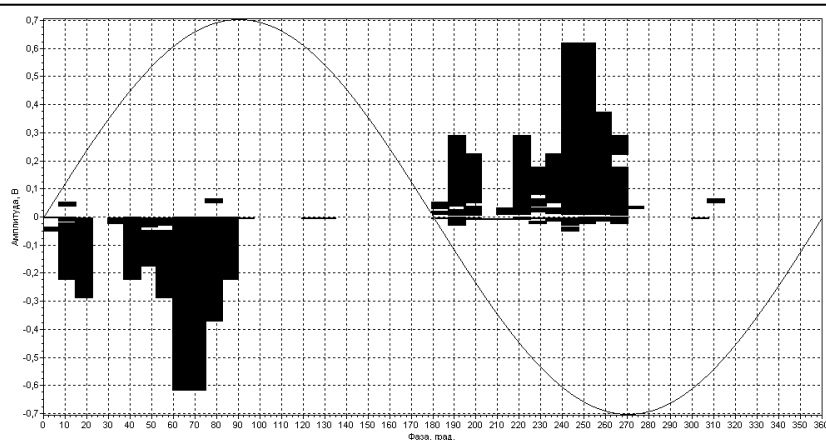


Рисунок 4.1. Распределение импульсов частичных разрядов на PRPD плоскости, возникающее при дефекте типа «ЧР между слоями изоляции».

- Максимальную интенсивность частичные разряды имеют в угловых зонах $60 \div 75$ градусов и $240 \div 255$ градусов. В этих угловых зонах напряжение питающей сети еще не достигло максимума, но скорость его нарастания существенно уменьшилась.

В целом можно сделать заключение, что реальная картина распределения частичных разрядов, возникающая при таком типе дефекта в изоляции, достаточно хорошо совпадает с нашими теоретическими рассуждениями, которые мы привели выше.

4.2. Частичный разряд между проводником, находящимся под «плавающим потенциалом».

В зависимости от места возникновения дефекта типа «проводник под плавающим потенциалом», его опасность для дальнейшей эксплуатации изоляции очень различается. В большинстве случаев, даже несмотря на высокий уровень частичных разрядов, оборудование с таким типом дефекта может работать долго и надежно.

Амплитудно-фазовое распределение импульсов частичных разрядов (PRPD) для этого дефекта показано на рисунке 4.2. Основные особенности проявления этого дефекта следующие.

- При положительной полярности питающего напряжения импульсы частичных разрядов имеют отрицательную полярность, а при отрицательном напряжении питающей сети импульсы частичных разрядов имеют положительную полярность. Это стандартная картина.

- Имеет место симметрия амплитуды и количества частичных разрядов в изоляции относительно нулевой линии. Интенсивность частичных разрядов примерно одинакова в двух полупериодах питающей сети. В идеальном случае картинки распределения импульсов при двух полярностях напряжения одинаковы, имеющиеся на рисунке отклонения в основном обусловлены типом используемого имитатора дефекта.

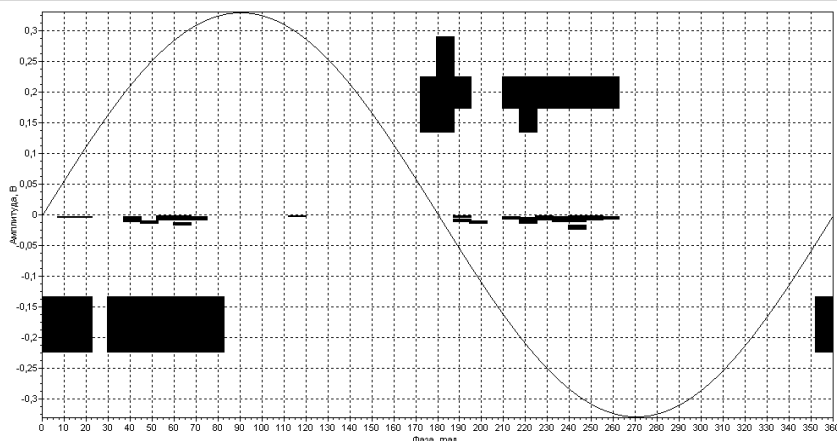


Рисунок 4.2. Распределение импульсов частичных разрядов на PRPD плоскости при дефекте типа «проводник под плавающим потенциалом».

- Все частичные разряды располагаются в двух (симметричных) угловых зонах напряжения питающей сети: $(-)\ 10 \div 20$ градусов ($170 \div 200$ градусов для отрицательного напряжения) и $30 \div 85$ градусов ($210 \div 265$ градусов для отрицательного напряжения) относительно фазы питающего напряжения.

- Все импульсы сосредоточены в зонах нарастания амплитуды питающего напряжения. В зонах спада амплитуды питающего напряжения импульсы отсутствуют. Импульсы частичных разрядов имеют место в зонах перехода питающего напряжения через нулевое значение, что для других дефектов не свойственно.

- Еще одним важным отличительным признаком дефекта «проводник под плавающим потенциалом» является то, что амплитуда импульсов частичных разрядов практически везде одинакова, вне зависимости от фазовой зоны питающего напряжения. На большинстве практически зарегистрированных дефектов изоляции такого типа частичные разряды сосредоточены в одной или двух амплитудных зонах, и картина дефекта представляет собой два отрезка прямой линии в зонах $0 \div 90$ градусов и $180 \div 270$ градусов.

Физическая картина возникновения частичных разрядов при таком дефекте изоляции может быть объяснена достаточно просто. Как только напряжение на малом интервале между

металлическим элементом и электродом достигает пробивного значения, происходит частичный разряд. Разряды возникают как при положительном, так и при отрицательном напряжении. Амплитуда разряда всегда примерно одинакова, т. к. разряд происходит при приложении к пробивному участку необходимого, но всегда одинакового напряжения.

4.3. Поверхностный разряд с «земляного электрода».

Дефект изоляции такого типа также достаточно часто встречается в высоковольтном оборудовании. Он может иметь место в концевых частях кабельных линий, при неправильной разделке защитного экрана, в соединительных муфтах, в зонах выхода секций обмотки статора из пакета магнитопровода.

Картина распределения импульсов частичных разрядов приведена на рисунке 4.3. В ней можно выделить следующие особенности.

- При положительной полярности питающего напряжения импульсы частичных разрядов имеют отрицательную полярность, а при отрицательном напряжении питающей сети импульсы частичных разрядов имеют положительную полярность. Имеющиеся на рисунке отклонения можно отнести к погрешности проводимых измерений.

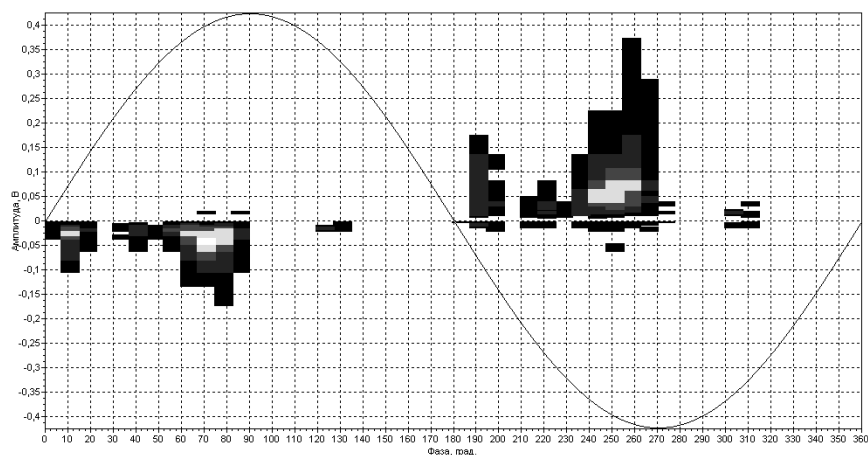


Рисунок 4.3. Распределение импульсов частичных разрядов на PRPD плоскости при дефекте типа «поверхностный разряд с земляного электрода».

- Фазовое распределение импульсов частичных разрядов имеет аналогичную картину как в области положительной, так и отрицательной полярности питающего напряжения.

- Амплитудное распределение импульсов по полупериодам питающей сети пропорционально несимметрично. Амплитуды всех импульсов при отрицательном напряжении питания больше, чем амплитуды при положительном напряжении. При каждом фазовом угле импульсы при отрицательном напряжении превышают импульсы при положительном напряжении примерно в два раза. Этот коэффициент определен параметрами нашей ячейки имитатора. В реальных условиях он может изменяться в широких пределах в зависимости от параметров зоны возникновения дефекта. Чем ближе разряд (зона дефекта) к земле, тем выше может быть этот коэффициент.

- Все частичные разряды располагаются в двух (симметричных) угловых зонах напряжения питающей сети: $0 \div 20$ градусов ($185 \div 200$ градусов для отрицательного напряжения) и $30 \div 90$ градусов ($210 \div 270$ градусов для отрицательного напряжения) относительно фазы питающего напряжения. Все импульсы сосредоточены в зонах нарастания амплитуды питающего напряжения. В зонах спадания амплитуды питающего напряжения имеет место возникновения импульсов небольшой амплитуды в зонах $120 \div 135$ градусов и $300 \div 315$ градусов.

- Максимальную интенсивность частичные разряды имеют в угловых зонах $60 \div 90$ градусов и $235 \div 270$ градусов. В этих зонах величина питающего напряжения еще не достигла максимума, но скорость его нарастания существенно уменьшилась.

Основной особенностью наличия такого дефекта является большой уровень частичных разрядов при отрицательном напряжении питающей сети. Кратко физическую природу этого можно описать следующим образом. При двух возможных полярностях питающего напряжения,

приложенного к зоне дефекта, интенсивность частичных разрядов будет больше в том случае, когда потоки электронов будут «стекаться из большого объема от большей поверхности» к меньшей зоне, в идеале – к точечному острию. Это соответствует такому распределению потенциалов, когда острие (меньшая зона) заряжено положительно, а большая поверхность заряжена отрицательно.

Дефект типа «поверхностный разряд с земляного электрода» возникает в том случае, когда на земляном электроде имеют место геометрические дефекты (локальные выступы, острые края, «углы»). Крайней стадией проявления этого дефекта «поверхностный разряд с земляного электрода» является дефект типа «корона с земляного электрода».

4.4. «Поверхностный разряд с высоковольтного электрода».

Дефект такого типа чаще всего встречается в оборудовании с очень высоким рабочим напряжением: в силовых трансформаторах, выключателях, измерительных трансформаторах, линиях передачи. Важно не путать такой дефект с коронным разрядом. Хотя у них достаточно много общего.

Картина распределения импульсов частичных разрядов, зарегистрированная на ячейке имитации данного дефекта, приведена на рисунке 4.4. В ней можно выделить следующие особенности:



Рисунок 4.4. Распределение импульсов частичных разрядов на PRPD плоскости при дефекте типа «поверхностный разряд с высоковольтного электрода».

- При положительной полярности питающего напряжения импульсы частичных разрядов имеют отрицательную полярность, а при отрицательном напряжении питающей сети импульсы частичных разрядов имеют положительную полярность. Имеющиеся на рисунке отклонения можно отнести к погрешности проводимых измерений.

- Фазовое распределение импульсов частичных разрядов имеет примерно одинаковую картину как в области положительной, так и отрицательной полярности питающего напряжения.

- Амплитудное распределение импульсов по полупериодам питающей сети имеет ярко выраженную не симметрию. Амплитуды всех импульсов при положительном напряжении питания больше, чем амплитуды при отрицательном напряжении. По сравнению с предыдущим дефектом все выглядит наоборот. При отрицательном напряжении импульсы значительно, примерно в три раза меньше, чем при положительном напряжении. Этот коэффициент также определен параметрами нашей ячейки имитатора. В реальных условиях, чем ближе зона дефекта будет приближена к высоковольтному электроду, тем выше может быть этот коэффициент.

- Все импульсы частичных разрядов сосредоточены в зонах нарастания амплитуды питающего напряжения. В зонах спада напряжения импульсов частичных разрядов практически нет. Максимальную интенсивность частичные разряды имеют в угловых зонах $60 \div 90$ градусов и $235 \div 270$ градусов. В этих зонах мгновенное значение питающего напряжения еще не достигло максимума, но скорость его нарастания уже существенно уменьшилась.

Основной особенностью наличия такого дефекта является больший уровень частичных разрядов при положительном напряжении питающей сети. Этот дефект типа «поверхностный

разряд с высоковольтного электрода» по картине своего проявления противоположен предыдущему дефекту «поверхностный разряд с земляного электрода».

Не повторяясь в общих описаниях, можно сказать следующее. Дефект типа «поверхностный разряд с высоковольтного электрода» возникает в том случае, когда на высоковольтном электроде имеют место геометрические дефекты (большая поверхность, локальные выступы, острые края, «углы»). Крайней стадией проявления этого дефекта является дефект типа «корона».

4.5. «Корона с высоковольтного электрода».

Дефект такого типа чаще всего встречается в оборудовании с очень высоким напряжением – в силовых трансформаторах, выключателях, измерительных трансформаторах. Чем выше рабочее напряжение контролируемого оборудования, тем в большей степени на его работу влияют коронные разряды.

Сами по себе коронные разряды чаще всего не опасны для изоляции контролируемого оборудования. Их отрицательное влияние заключается в том, что они, являясь шумовыми, мешают диагностике других дефектов изоляции, влияние которых на остаточный ресурс оборудования велико.

Картина распределения импульсов частичных разрядов приведена на рисунке 4.5. Эта картина не совсем характерна для обычной высоковольтной короны, но определенное сходство имеется.

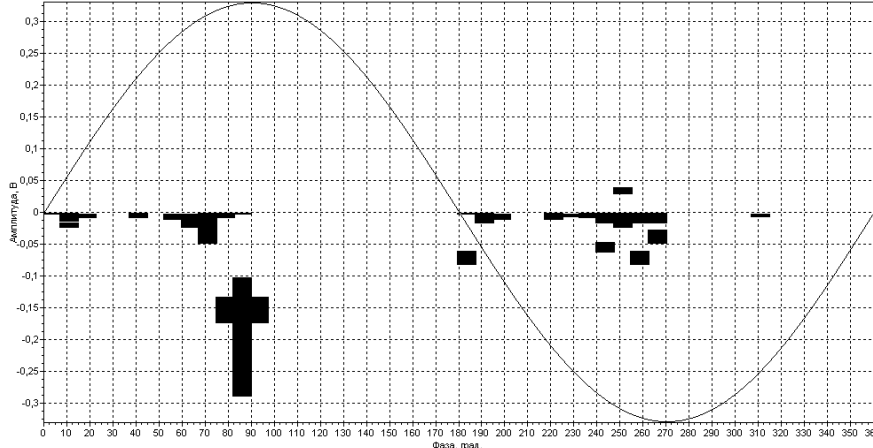


Рисунок 4.5. Распределение импульсов частичных разрядов на PRPD плоскости при дефекте типа «корона с высоковольтного электрода».

На рисунке можно выделить следующие особенности амплитудно-фазового распределения импульсов частичных разрядов.

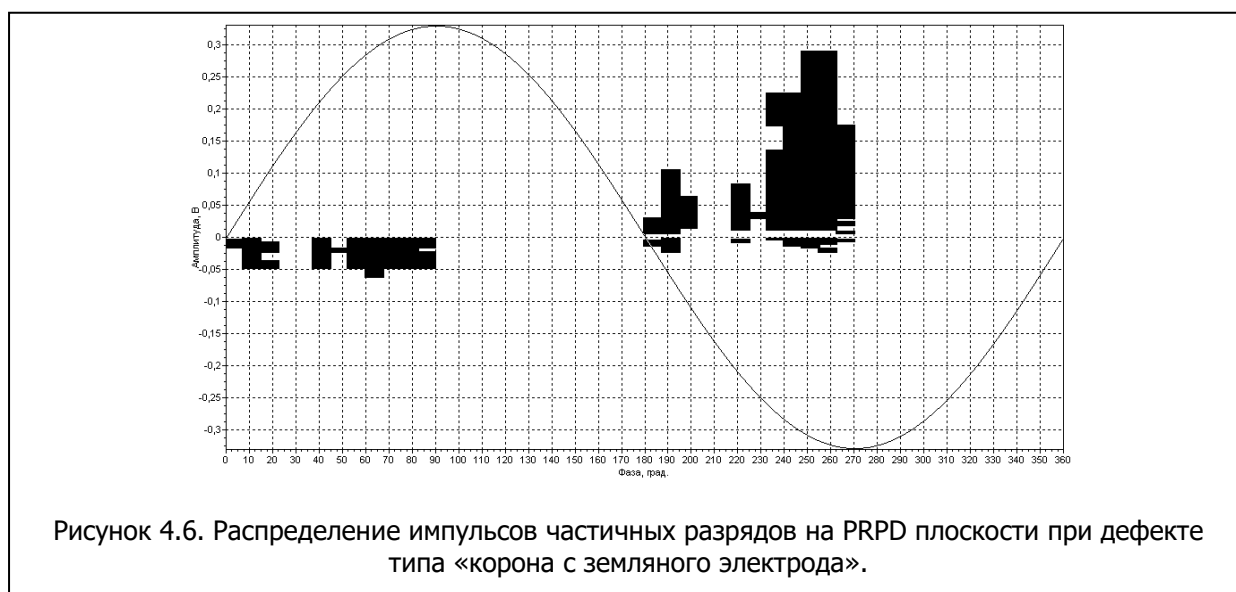
- При положительной полярности питающего напряжения зарегистрированные импульсы частичных разрядов имеют отрицательную полярность, как и при отрицательном напряжении питающей сети.
- Фазовое распределение импульсов частичных разрядов имеет примерно одинаковую картину как в области положительной, так и отрицательной полярности питающего напряжения.
- Амплитудное распределение импульсов по полупериодам питающей сети имеет ярко выраженную не симметрию. Амплитуды всех импульсов при положительном напряжении питания многократно больше, чем амплитуды при отрицательном напряжении. В реальных условиях, чем ближе зона возникновения коронных разрядов будет приближена к высоковольтному электроду, тем выше будут импульсы при положительном напряжении.
- Все импульсы частичных разрядов сосредоточены в зонах максимальных значений амплитуды питающего напряжения. (На нашем имитаторе это проявилось не совсем корректно). Максимальную интенсивность частичные разряды обычно имеют в угловых зонах $60 \div 120$ градусов и $150 \div 300$ градусов. В этих зонах мгновенное значение питающего равно или приближено к максимальному значению.

Основной особенностью наличия в контролируемом оборудовании дефекта типа «корона» является большой уровень отрицательных частичных разрядов при положительном напряжении питающей сети. Основные частичные разряды сосредоточены в области максимального значения питающего напряжения. При отрицательном напряжении питающей сети импульсов частичных разрядов много меньше, и они имеют отрицательную полярность (!).

Дефект типа «корона с высоковольтного электрода» возникает в том случае, когда на высоковольтном электроде имеет место геометрический дефект типа «игла». При приложении к «игле» положительного потенциала потоки электронов устремляются от «земли» к «игле». По мере приближения эти потоки сливаются, набирают большую мощность и проявляются в виде разрядов с высокой энергией. При противоположной полярности приложенного напряжения имеет место растекание электродов от «иглы». В процессе растекания потоки электронов делятся на все более мелкие «ручейки», энергия их падает, интенсивность уменьшается.

4.6. «Корона с земляного электрода».

Картина распределения импульсов частичных разрядов, зарегистрированная на ячейке имитации данного дефекта, приведена на рисунке 4.6. В ней можно выделить следующие особенности.



- При положительной полярности питающего напряжения импульсы частичных разрядов имеют отрицательную полярность, а при отрицательном напряжении питающей сети импульсы частичных разрядов имеют положительную полярность. Имеющиеся на рисунке отклонения можно отнести к погрешности проводимых измерений.

- Фазовое распределение импульсов частичных разрядов имеет примерно одинаковую картину как в области положительной, так и отрицательной полярности питающего напряжения.

- Амплитудное распределение импульсов по полупериодам питающей сети имеет ярко выраженную не симметрию. Амплитуды всех импульсов при положительном напряжении питания меньше, чем амплитуды при отрицательном напряжении.

- Все импульсы частичных разрядов сосредоточены в зонах нарастания амплитуды питающего напряжения. В зонах спадания напряжения импульсов частичных разрядов практически нет. Максимальную интенсивность частичные разряды имеют в угловых зонах $40 \div 90$ градусов и $220 \div 270$ градусов. В этих зонах мгновенное значение питающего напряжения еще не достигло максимума, но скорость его нарастания уже существенно уменьшилась.

Основной особенностью наличия такого дефекта является больший уровень частичных разрядов при отрицательном напряжении питающей сети.

Не повторяясь в общих описаниях, можно сказать следующее. Дефект типа «коронный разряд с земляного электрода» возникает в том случае, когда на земляном электроде имеют место геометрические дефекты (большая поверхность, локальные выступы, острые края, «углы»).

5. Общий алгоритм анализа и локации дефектов в силовых трансформаторах

1. Анализ изменений интенсивности ЧР.
2. При увеличении интенсивности ЧР - анализ ХАРГ и изменений концентрации водорода и ацетилена.
3. При увеличении концентраций водорода или ацетилена – акустическая локация источника ЧР внутри бака.
4. При отсутствии водорода или ацетилена в ХАРГ и тренда на их увеличение – анализ изменений тангенса и температурной зависимости токов утечки ввода с бумажно-масляной изоляцией и дополнительный контроль за изменениями амплитуды токов утечки и изменением емкости С1 высоковольтного ввода. Измерение ЧР в СВЧ (UHF) диапазоне при помощи направленной антенны.
5. Использование специальных ультрафиолетовых регистраторов для локации ЧР снаружи трансформатора.

Информация о предприятии-изготовителе

ООО «ДИМУС» (г. Пермь)

Разработка и поставка приборов и программного обеспечения по диагностике для различных отраслей промышленности.

Россия, 614500, Пермский край,
д. Ванюки, Шоссейный въезд, д.2

Тел.: (342) 212-23-18, 212-91-93

Адрес в интернете: <http://dimrus.ru>

e-mail: dimrus@dimrus.ru