

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 620.192: 621.317.32.015.34

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ НА ФОРМУ И АМПЛИТУДУ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Ба Бораик А.М., Усачев А.Е., Кубарев А.Ю.

Казанский государственный энергетический университет,

Резюме: В работе сообщается о моделировании частичных разрядов в диэлектриках в компьютерной среде Multisim. При моделировании ЧР использовалась схема с датчиком тока в цепи заземления объекта испытания. Показывается, что форма и амплитуда сигнала частичного разряда зависят от параметров развязки. Установлено, что амплитуда ЧР не связана однозначно с характеристиками дефекта в изоляции. Предлагается объяснение, что причиной, по которой полярность регистрируемого ЧР может быть как положительной, так и отрицательной, вне зависимости от полярности напряжения промышленной частоты, является знак скорости изменения напряжения (dU/dt) в момент возникновения частичного разряда, который может иметь случайный характер.

Ключевые слова: частичные разряды, форма импульса ЧР, схема измерения ЧР, модель дефекта, индуктивность развязки, диагностика изоляции.

INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE SCHEME OF REGISTRATION ON AMPLITUDE AND SHAPE OF PARTIAL DISCHARGE

A. M. Baboraik, A. E. Usachev, A. Y. Kubarev

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Abstract: In this paper reports on computer modeling of discharge processes in dielectric Multisim environment. The simulation was performed for partial discharges measuring circuit with a current sensor in the chain of isolation grounding. The simulation results show the dependence of the shape and amplitude of a partial discharge signal from junction type parameters and measurement circuit. An explanation is offered that reason for the polarity of the detected PD can be both positive and negative, regardless of the polarity of the power frequency voltage, is a sign of the rate of change of voltage (dU / dt) at the time of partial discharge, which may be random in nature.

Keywords: partial discharge, PD pulse shape, measuring circuit partial discharge, the defect model, decoupling inductance, isolation diagnostics.

Введение

Показателем совершенства современных систем регистрации частичных разрядов (ЧР) при контроле дефектов в изоляции электрооборудования на ранней стадии является достоверность полученных результатов. Существенную роль в этом процессе играет выбор схемы регистрации ЧР. Существует множество работ о моделировании процессов образования и развития частичных разрядов в изоляции высоковольтного электрооборудования [1–5]. В основе этого моделирования заложена известная схема замещения многослойной изоляции. Отличительной особенностью предыдущих работ является исследование процессов развития ЧР, которые очень сильно зависят от интенсивности и природы образования ЧР. Также отмечено влияние ёмкости изоляции и ёмкости объекта на величину «кажущегося заряда» ЧР.

Данная работа посвящена рассмотрению влияния параметров схемы регистрации на амплитуду, форму и полярность частичных разрядов и является продолжением работы [5].

Для анализа влияния схемы регистрации на характеристики ЧР в изоляции в программной среде *Multisim* была использована модель ЧР, представленная на схеме замещения изоляции с дефектом (рис.1). Схема замещения изоляции с дефектом учитывает не только столбец изоляции с дефектом, но и остальную бездефектную часть изоляции [4].

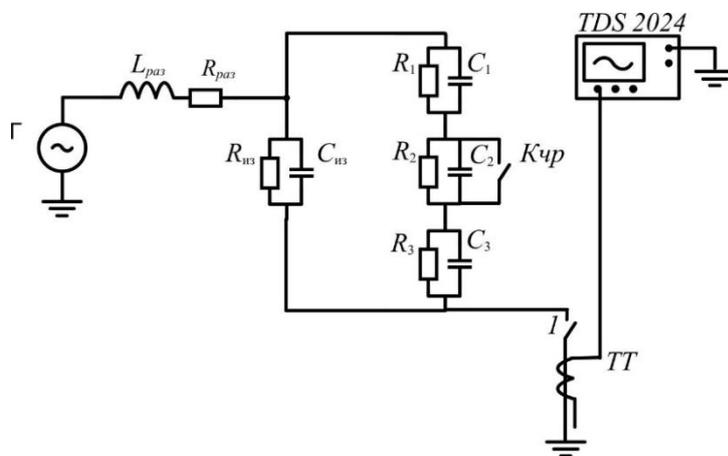


Рис.1. Схема регистрации ЧР с включенной в неё схемой замещения изоляции с дефектом в среде *Multisim*: TDS 2024 – четырёхканальный осциллограф; Γ – источник напряжения; $R_{из}$ и $C_{из}$ – активное сопротивление и ёмкость всей изоляции; R_2 и C_2 – активное сопротивление и ёмкость дефекта; R_1 , C_1 , R_3 и C_3 – активное сопротивление и ёмкость столбика над и под дефектом; TT – высокочастотный трансформатор тока; $L_{раз}$ и $R_{раз}$ – индуктивности и активное сопротивление развязки; $K_{чр}$ – ключ замыкания ёмкости дефекта

Активное сопротивление и ёмкость всей изоляции, за исключением столбика изоляции с сечением, равным сечению дефекта, обозначены на рис. 1 символами $R_{из}$ и $C_{из}$ соответственно. Активное сопротивление и ёмкость дефекта отмечены как R_2 и C_2 . Активное сопротивление и ёмкость столбика над дефектом записаны как R_1 и C_1 соответственно, активное сопротивление и ёмкость столбика под дефектом как R_3 и C_3 .

Для регистрации ЧР в изоляции применяются две основные схемы [6]:

а – измерительное устройство присоединяется через соединительный конденсатор C_c к высоковольтному электроду изоляции.

б – измерительное устройство присоединяется к датчику (обычно высокочастотный трансформатор тока (*BTT*), включаемому со стороны земли в цепь изоляция–земля, как показано на рис.1.

В ряде случаев в лабораторных условиях в схеме (рис. 1) вместо высокочастотного *ТТ* используют параллельное соединение активного сопротивления R_d и ёмкости C_d [2,7].

Для моделирования процесса ЧР как искрового разряда в среде *Multisim* используется функция силового ключа, который замыкает часть изоляции, имитирующей дефект. В качестве измерительного устройства при моделировании изоляции использовался четырёхканальный осциллограф типа *TDS 2024*.

Также можно использовать и другие встроенные компоненты (*Voltagesuppresser V430MA7B*, *Spark_Plug*, *Varistor V275LA20A*, *SWICH*) [8].

В данной схеме моделирование процесса частичного разряда осуществлялось замыканием ёмкости дефекта C_2 и его сопротивления R_2 ключом (*switch*) марки *SPST* (КЧР). Сопротивление при замкнутых контактах (включено) принималось равным $R_{on}=100$ мОм, а сопротивление при разомкнутых контактах (отключено) $R_{off}=100$ МОм. Величины сопротивлений R_{on} и R_{off} изменялись в зависимости от размера моделируемого дефекта. Процесс после разряда имитировался размыканием ключа. Такое раздельное моделирование двух стадий частичного разряда с помощью ключа (*switch*) имеет определённое преимущество перед другими встроенными компонентами *Multisim*, поскольку позволяет анализировать стадии ЧР отдельно друг от друга.

Индуктивность системы учитывалась вводом «индуктивности развязки» $L_{раз}$ между источником напряжения Γ и изоляцией объекта испытания с дефектом.

Использование *BTT* в качестве регистратора частичных разрядов

В работе исследовалось влияние индуктивности $L_{раз}$ на форму и амплитуду ЧР, моделирование которого проводилось по схеме рис. 1. Параметры трансформатора тока (*ТТ*) в схеме выбирались равными параметрам высокочастотного трансформатора тока марки *RFCT-1* [9], который часто используется для регистрации импульсов от частичных разрядов в высоковольтных выключателях, ячейках КРУ и в подходящих к ним кабельных линиях, а также в цепях нейтралей силовых трансформаторов. Благодаря использованию в конструкции датчика высокочастотного сердечника, в выходном сигнале датчика отсутствуют токи промышленной частоты 50 герц, датчик на них не реагирует. В выходном сигнале датчика присутствуют только сигналы от высокочастотных импульсов, протекающих по контролируемой цепи заземления высоковольтного устройства, в основном обусловленные импульсами частичных разрядов в изоляции. При моделировании выбирались различные размеры дефектов, и при их неизменной величине наблюдались зависимости амплитуды и формы ЧР от индуктивности между источником напряжения и объектом исследования. Изменения амплитуды тока и формы сигнала ЧР при неизменных характеристиках дефекта изоляции в зависимости от $L_{раз}$ показаны на рис. 2. При величине $L_{раз} \leq 100$ мкГн наблюдается затухающий колебательный процесс, обозначенный на рис. 2 строкой 100 мкГн. Подобные колебательные процессы при ЧР наблюдались в работах [10, 11, 12]. В колебательном процессе при $L_{раз} = 100$ мкГн амплитуда первого экстремума меньше, чем второго. Обычно, при переходном процессе, амплитуда экстремумов последовательно убывает [13], и самым большим по амплитуде является первый экстремум. Такое необычное для переходного процесса поведение в нашем случае было объяснено, как и в работе [5], наложением на нормальный колебательный затухающий процесс аperiodического сигнала частичного разряда.

При увеличении $L_{раз}$ до 1 мГн период переходного колебательного процесса увеличивается, а время от начала ЧР, которое для удобства сравнения привязано к значению времени 0, до первого экстремума уменьшается. Амплитуда первого экстремума становится

больше, чем второго. При дальнейшем увеличении $L_{раз}$ период колебательного процесса продолжает увеличиваться, а амплитуда второго экстремума продолжает уменьшаться. Начинает в явном виде проявляться аperiodический сигнал. Амплитуда этого сигнала уменьшается нелинейно при увеличении $L_{раз}$. Зависимость амплитуды первого экстремума от величины $L_{раз}$ показана на рис. 3.

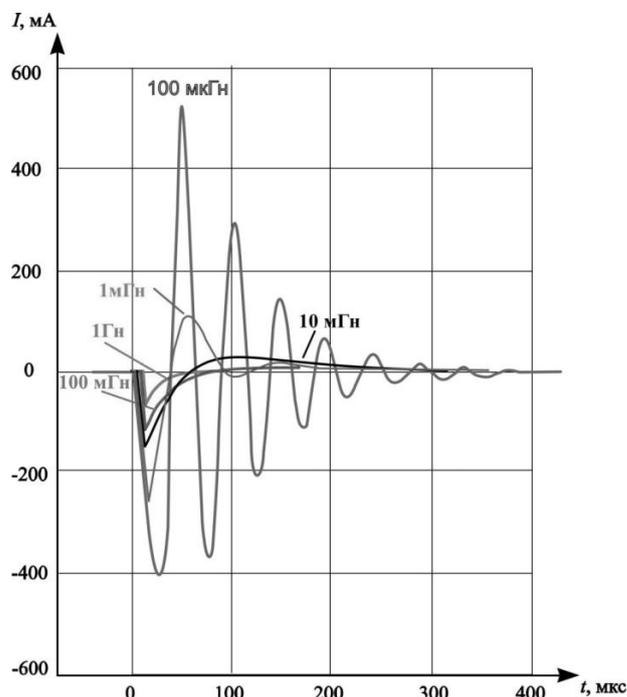


Рис. 2. Оциллограммы модельных частичных разрядов в схеме рис. 1 при различных значениях индуктивности $L_{раз}$

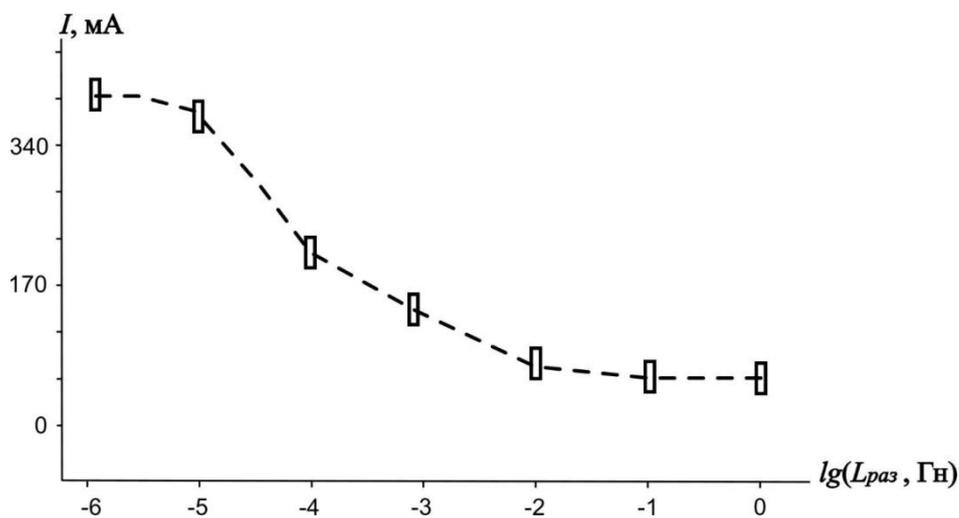


Рис. 3. Зависимость амплитуды ЧР, регистрируемого по схеме рис. 1, от индуктивности между источником напряжения и объектом с ЧР

Наблюдаемые различия в формах и амплитудах сигналов ЧР при одинаковых размерах дефекта в изоляции свидетельствуют о существенном влиянии на них параметров

развязки при регистрации сигналов ЧР. Когда наблюдается сигнал ЧР с колебательным процессом – это свидетельствует о близости источника напряжения от испытываемого объекта и сильном его влиянии на сигнал ЧР.

В этом случае становится очевидной неоднозначная связь между регистрируемой величиной броска тока при ЧР и характеристиками дефекта в изоляции, поскольку все данные на рис. 2, 3 были получены при одном и том же дефекте, но различной индуктивности $L_{\text{раз}}$, которая не связана с характеристиками измеряемой изоляции. В связи с этим становятся не имеющими смысла рассуждения о том, что принимать за истинное значение ЧР: амплитуду первого экстремума, амплитуду второго экстремума или их среднее значение, которые встречаются в литературе по ЧР [14, 15, 16].

Регистрируемая величина ЧР при малых $L_{\text{раз}}$ маскируется переходным процессом. Амплитуда колебательного процесса напрямую не связана с величиной дефекта. Для достоверного определения амплитуды броска тока, связанного с ЧР, из наблюдаемого переходного процесса нужны ёмкости объекта, параметры измерительного тракта и индуктивность системы в точке наблюдения ЧР. Даже при знании этих параметров выделение сигнала ЧР представляется сложной задачей.

Полярность сигналов частичных разрядов относительно синусоиды приложенного напряжения

В международном стандарте [6] ЧР определяется как локальный электрический разряд, который шунтирует только часть изоляции в электроизоляционной системе. Согласно модели многослойной изоляции, если рассматривать изоляцию в виде множества емкостей параллельно-последовательно включенных между собой, любой пробой части изоляции можно свести к шунтированию и разряду некой ёмкости. Это приводит, в свою очередь, к небольшому общему увеличению ёмкости изоляции объекта измерения. В случае постоянства общего заряда на ёмкости изоляции, которое возможно при отсутствии подпитки от источника питания (хорошая развязка), напряжение на изоляции должно уменьшиться по абсолютной величине. При положительном полупериоде напряжения промышленной частоты импульс напряжения при ЧР должен быть отрицательным, а на отрицательном полупериоде – положительным, т.е. они направлены «внутри» синусоиды [4, 14]. На этом основании утверждается, что при регистрации ЧР импульсы напряжения, которые направлены «внутри» синусоиды, могут быть отнесены к частичным разрядам. Импульсы, направленные «наружу» синусоиды и соответствующие возрастанию напряжения, к ЧР отнесены быть не могут и часто отсеиваются на аппаратном уровне. При исследовании ЧР в бумажно-пропитанной изоляции кабелей нами наблюдались примерно с равной вероятностью оба типа импульсов [7]. Импульсы ЧР, направленные «внутри» синусоиды, мы обозначали как ЧР 1-го типа, а импульсы, направленные «наружу» синусоиды, обозначали как ЧР 2-го типа. К ЧР 1-го типа относятся те разряды, которые хорошо объясняются с точки зрения модели многослойной изоляции, а к ЧР 2-го типа – те, которые этой моделью напрямую объяснить не получается.

При моделировании ЧР в среде *Multisim* как по схеме рис.1, так и через соединительный конденсатор [5], наблюдались сигналы ЧР обоих типов примерно с одинаковой вероятностью. В отличие от экспериментальных наблюдений ЧР, где сигналы второго типа можно предполагать не относящимися к ЧР, при моделировании такие предположения сделать нельзя, поскольку импульсы напряжения однозначно связаны с замыканием ключа КЧР, имитирующего процесс ЧР. Для установления причин возникновения импульсов напряжения 2-го типа, которые не согласуются со статической моделью многослойной изоляции, были проведены и систематизированы тысячи модельных ЧР при разных величинах как постоянного, так и переменного напряжения.

Постоянное напряжение в среде *Multisim* моделировалось как подключением источника постоянного напряжения, так и подачей на схему прямоугольных импульсов напряжения типа «меандр» с частотой $0,1 \div 1$ Гц.

При подаче напряжения, когда использовался источник постоянного напряжения, в 100% случаев наблюдались импульсы напряжения первого типа, т.е. при положительном напряжении импульсы были отрицательными, а при отрицательном напряжении – положительными.

При подаче напряжения типа «меандр» после каждого переключения полярности в системе наблюдался затухающий переходной процесс. Декремент затухания этого процесса регулировался изменением величины активного сопротивления развязки ($R_{раз}$). Замыкание ключа КЧР, имитирующего ЧР, осуществлялось после затухания переходного процесса. В этом случае случайным образом наблюдались импульсы обоих типов. Вероятность возникновения обоих типов импульсов была примерно одинакова и не зависела от времени между переключением меандра и замыканием ключа КЧР. При увеличении чувствительности осциллографа TDS 2024 оказалось, что гармоническая составляющая переходного процесса не равна нулю. На уровне амплитуды меандра 2 кВ в момент замыкания ключа она имела амплитуду в несколько мВ, т.е. была меньше постоянной составляющей напряжения на $4 \div 6$ порядков. В реальных условиях измерения ЧР эта составляющая намного меньше случайных шумов. После обнаружения этой ничтожной периодической составляющей было установлено, что именно она играет определяющую роль в полярности импульса ЧР. С вероятностью 100% полярность импульса ЧР воспроизводилась. Если замыкание ключа происходило при уменьшении амплитуды этой малой составляющей, то полярность импульса была отрицательной вне зависимости от полярности постоянной составляющей. Если замыкание ключа происходило при увеличении амплитуды, то полярность модельного ЧР была положительной. Из этих наблюдений был сделан вывод, что регистрируемая полярность импульса ЧР зависит от знака скорости изменения напряжения (dU/dt) в момент замыкания ключа КЧР. Такая зависимость полярности импульсов от знака dU/dt характерна для прохождения сигналов через дифференцирующие цепочки [18]. Если таким образом на полярность ЧР влияет случайная составляющая, которая на $4 \div 6$ порядков меньше основного напряжения, то при проведении измерений ЧР в реальных условиях на полярность ЧР должны влиять случайные шумы, не до нуля уменьшившиеся колебательные процессы предыдущих ЧР и периодическая составляющая промышленной частоты.

При моделировании ЧР, когда в качестве источника использовался источник напряжения промышленной частоты, полярность импульсов была похожа на полярность при наличии малой периодической составляющей по сравнению с амплитудой меандра, но вблизи экстремумов синусоиды промышленной частоты наблюдался случайный характер полярности ЧР. Характерное соотношение полярности ЧР в модельных экспериментах для одного периода синусоиды показано на рис. 4.

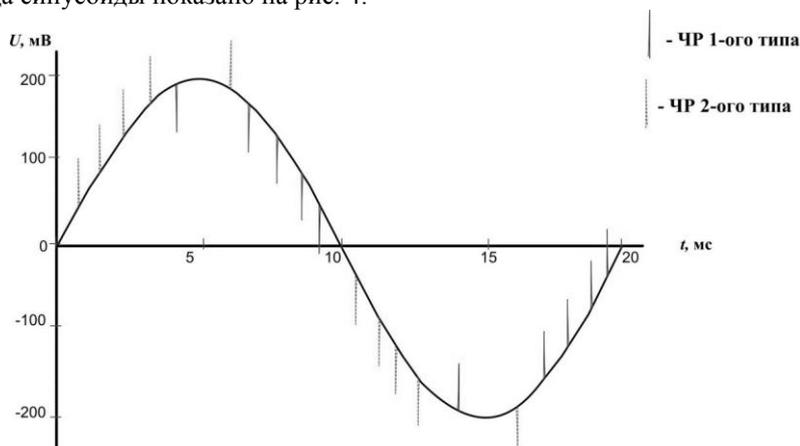


Рис. 4. Распределение и полярность сигналов ЧР на синусоиде

На рис. 4 ЧР 2-го типа изображены пунктирными линиями, а 1-го типа – сплошными линиями. Как видно на рис. 4, при уменьшении напряжения (вторая и третья четверти синусоиды) наблюдаются, в основном, импульсы отрицательной полярности. В первой и четвёртой четверти синусоиды преимущественно наблюдаются импульсы положительной полярности. Отклонение от основной тенденции наблюдается только вблизи экстремумов. Это, вероятно, связано с тем, что вблизи экстремумов dU/dt основной составляющей промышленной частоты уменьшается, обращаясь в ноль при экстремуме, и начинают сказываться малые случайные составляющие предыдущих ЧР. Поскольку все импульсы были однозначно связаны с замыканием ключа КЧР, имитирующего ЧР, и согласно модели многослойной изоляции все ЧР должны быть 1-го типа («внутри» синусоиды), наблюдается явное отклонение от этой простой модели. Это отклонение и наличие ЧР 2-го типа можно объяснить прохождением импульсов ЧР при регистрации через дифференцирующие цепочки.

На рис. 5 показаны осциллограммы ЧР, наблюдавшиеся в тонких пластинах (толщина ~40 мкм) изоляции из сшитого полиэтилена, вырезанных из изоляции силового кабеля.

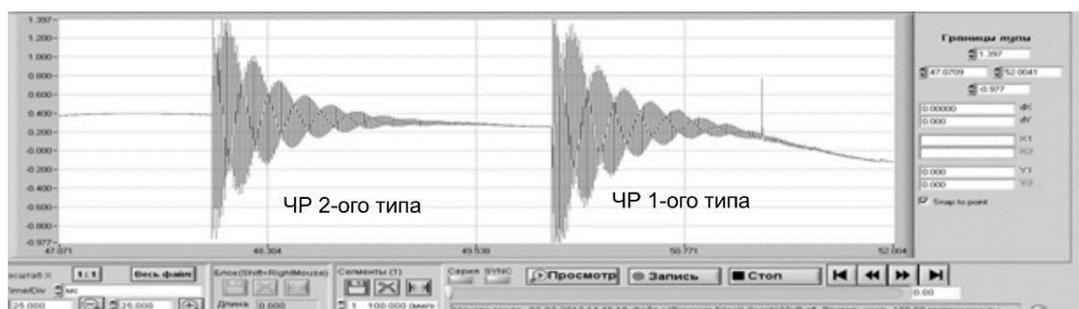


Рис. 5. Осциллограммы ЧР в пластинах из сшитого полиэтилена

При масштабе времени рис. 5 и одинаковой полярности синусоиды эти ЧР практически не различимы. Оба сигнала имеют колебательный характер с одинаковыми частотами и декрементами затухания и различаются только тем, что первые полупериоды колебательного процесса направлены в противоположные стороны. Возникает естественный вопрос, почему мы должны отбрасывать ЧР, помеченный на рис.5 как ЧР 2-го типа и учитывать только ЧР 1-го типа? Именно такой отсев ЧР часто заложен в измерителях ЧР на аппаратном уровне. Сообщения об экспериментальном наблюдении ЧР второго типа встречаются в литературе. Так в работах [11, 12] экспериментально наблюдались сигналы ЧР, которые приводили не к уменьшению напряжения, а к его увеличению, т.е. по нашей терминологии к ЧР 2-го типа. Некоторые авторы [16, 17] описывают эти сигналы как помехи, не принадлежащие к частичным разрядам. В некоторых исследованиях вопрос об учёте ЧР 2-го типа опускается [15]. Действительно, в определённых случаях ЧР 2-го типа можно объяснить существованием, либо униполярной, либо биполярной короны переменного тока [19].

Заключение

1. Форма наблюдаемого ЧР является его важной характеристикой. Колебательная форма ЧР свидетельствует о сильном влиянии источника питания (слабой развязке между источником питания в контролируемой изоляции) на измеряемую величину частичного разряда. Аперриодическая форма ЧР свидетельствует о слабом влиянии источника питания (сильной развязке между источником питания и измеряемой изоляции). Величина броска тока (напряжения) при ЧР, из которой определяется значение «кажущегося разряда»,

сильно зависит от параметров развязки между источником напряжения и изоляцией, в которой наблюдаются частичные разряды. Амплитуда ЧР, наблюдаемого от одного и того же дефекта при слабой и сильной развязке, может отличаться на порядок.

2. Полярность ЧР не может служить единственным условием отнесения сигнала к частичному разряду или к помехе. Частичный разряд в одном и том же дефекте изоляции может быть зарегистрирован как положительной, так и отрицательной полярности, в зависимости от знака скорости изменения напряжения (dU/dt) в момент возникновения ЧР. Импульсы ЧР, при которых напряжение увеличивается по модулю, также могут быть ЧР в изоляции.

Литература

1. Nenad Kartalovi'c, Dragan Kova'cevi'c and Srđan Milosavljevi'c. An Advanced Model of Partial Discharge in Electrical Insulation//FACTA UNIVERSITATIS (NI'S) SER.: ELEC. ENERG. vol. 24, no. 1, April 2011, pp,41-55.
2. Кубарев А.Ю., Усачев А.Е. Моделирование дефектов в бумажно-пропитанной изоляции кабельных линий распределительных сетей среднего напряжения// Энергетика Татарстана. 2011. №2 (22). С. 52 – 55.
3. Asima Sabat and S. Karmakar. Simulation of Partial Discharge in High Voltage Power Equipment// International Journal on Electrical Engineering and Informatics - Vol. 3, Number 2, 2011, pp,234-247.
4. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. Новосибирск: Наука, 2007. 155 с.
5. Ба Бораик А.М., Усачев А.Е., Кубарев А.Ю. Моделирование процесса возникновения частичного разряда в компьютерной среде// Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. №9-10. С. 25–30.
6. ГОСТ 20074-83. Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения характеристик частичных разрядов. М: Стандарты, 2008.
7. Кубарев А.Ю. Метод и автоматизированный комплекс контроля технического состояния бумажно-пропитанной изоляции кабельных линий по характеристикам частичных разрядов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.11.13) / Кубарев А.Ю.; Казань: КГЭУ, 2011. 16 с.
8. National Instruments: NIDiscussion Forums [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ni.com. (Дата обращения: 14.04.2015).
9. ООО «DIMRUS». Каталог датчиков для переносных и стационарных систем контроля состояния высоковольтного электротехнического оборудования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dimrus.ru/sensors.html>.
10. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Метод селекции сигнала ЧР с помощью вейвлет-преобразования // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. № 2. С. 99 – 104.
11. Ермаков Е.Г., Монастырский А.Е. О проблемах применения электрического метода регистрации частичных разрядов для диагностики высоковольтных силовых трансформаторов // Трансформаторы: эксплуатация, диагностирование, ремонт и продление срока службы. Екатеринбург: Автограф, 2010. С. 39–48.
12. Муратов В.И., Куценко С.М. Об отклике измерительной системы при регистрации частичных разрядов / В. И. Муратов, С. М. Куценко // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2009. № 4. С. 200–202.
13. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: Учебник для электротехнических и энергетических вузов и факультетов. М.: "Энергия", 1970.
14. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. // Л.: Энергия, 1979.
15. Русов В.А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного электрооборудования; // Екатеринбург: УрГУПС, 2011.

16. Muhr Hans Michael, Schwarz Robert. Partial Discharge Impulse Characteristics of Different Detection Systems // Institute of High Voltage Engineering and System Management Graz University of Technology, Austria, 2013.

17. B. Kästner, S.M. Hoek, R. Plath, K. Rethmeier. Störunter drückungbei Teilentladungsmessungmiteinem modernen Ansatz zurdifferentiellen Signal auswertung // ETG Fachtagungelektrische Diagnostik, Berlin 2014.

18. Добротворский И. Н. Теория электрических цепей: Учебник для техникумов. М.: Радио и связь, 1989. 472 с.

19. R. Morrow. Theory of Stepped Pulses in Negative Corona Discharges // Phys.Rev. – 1985. – V.32. – pp, 3821-3824.

Авторы публикации

Ба Бораик Абдулрахман Мохаммед – магистр техники и технологии, аспирант кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: baboraik_4@mail.ru.

Усачев Александр Евгеньевич – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: aleksandr_usachev@rambler.ru.

Кубарев Артём Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: artemkubarev@yandex.ru.

References

1.NenadKartalović, Dragan Kovačević, and SrđanMilosavljević. An Advanced Model of Partial Discharge in Electrical Insulation. //FACTA UNIVERSITATIS (NI'S) SER.: ELEC. ENERG. vol. 24, no. 1, April 2011,pp 41-55.

2.Kubarev A.Y. and A.E.Usachev Simulation of defects in the paper-impregnated insulation of cable lines of medium voltage distribution networks. // Tatarstan Energy - №2 (22) 2011 –pp 52 - 55.

3.AsimaSabat and S. Karmakar. Simulation of Partial Discharge in High Voltage Power Equipment// International Journal on Electrical Engineering and Informatics - Vol. 3, Number 2, 2011,pp 234-247.

4.Vdoviko V.P. Partial discharges in high-voltage equipment diagnosing. Nauka, Novosibirsk, 2007.155 p.

5.Ба Boraika. M., UsachevA. E.,KubarevA. Y. Simulation process of appearance partial discharge in the computer environment. // Proceedings of the universities. Energy Problems. - 2016. - №9-10.

6.GOST 20074-83 Electrical equipment and electrical systems. The method of measuring the partial discharge characteristics. M: Out ofstandardsin 2008.

7.Kubarev A. Y.Method and automated system monitoring the technical condition of the paper-impregnated insulation of cable lines on the characteristics of PD [Text]: Author. Dis. forgetting. scientists. PhD. tehn. Sciences (05.11.13) / KubarevArtem; VPO KSPEU. - Kazan, 2011. - 16 p.

8.National Instruments: NI Discussion Forums [electronic resource]. - Access: www.ni.com. - (Access date: 14.04.2015).

9.Company «DIMRUS». Catalog sensors for mobile and stationary systems, control of a condition of high voltage electrical equipment.Access:https://dimrus.ru/sensors.html

10. DUBYAGO M.N., POLUYANOVICH N. K. The method of selection of the CR signal using wavelet transform. // Proceedings of the Southern Federal University. Technical science. - 2013. - № 2. - S. 99 - 104.

11. Ermakov E. G., Monastic A.E. On the problems of the application of the electric method of registration of partial discharges for the diagnosis of high-voltage power transformers // Operation, diagnostics, repair and life extension. - Ekaterinburg: Autograph, 2010. - pp 39-48.
12. Muratov V. I., Kutsenko S. On the response of the measuring system for registration of partial discharges [Text] / VI Muratov, SM Kutsenko // Bulletin of Irkutsk State Technical University. - 2009. - N 4. - S. 200-202.
13. Ulyanov S. A. Electromagnetic transients in electric systems. Textbook for electrical energy and high schools and faculties. M., "Energy", 1970.
14. Kuchinsky G. S. Partial discharges in high voltage constructions // L.: Energy. - 1979.
15. Rusov V. A. Measurement of partial discharges in the insulation of high-voltage electrical equipment // Ekaterinburg: USURT. - 2011.
16. Muhr Hans Michael, Schwarz Robert. Partial Discharge Impulse Characteristics of Different Detection Systems // Institute of High Voltage Engineering and System Management Graz University of Technology, Austria, 2013.
17. B. Kästner, S.M. Hoek, R. Plath, K. Rethmeier: "Störunterdrückung bei Teilentladungsmessung mit einem modernen Ansatz zur differentiellen Signalauswertung", ETG Fachtagung elektrische Diagnostik, Berlin 2014.
18. Dobrotvorsky I. N. The theory of electrical circuits: Textbook for technical schools. - M.: Radio and Communications, 1989. - 472 p.
19. R. Morrow. Theory of Stepped Pulses in Negative Corona Discharges // Phys.Rev. – 1985. – V.32. – pp, 3821-3824.

Authors of the publication

Ba Boraik Abdulrahman Mohammed - Master of engineering and technology, graduate student of "Electric stations" (ES), Kazan State Power Engineering University (KGEU). rt 5194270 bw 89046614843 e-mail: baboraik_4@mail.ru

Usachev Alexander Evgenyevich is the Dr. physical. - a mat. Sciences, Professor of Department. "Electric stations" of Kazan State Power Engineering University (KGEU). rt M.t.89503124299 5194270, e-mail: aleksandr_usachev@rambler.ru

Kubarev Artyom - PhD, associate professor of "Electric stations" (ES), Kazan State Power Engineering University (KGEU). rt 5194270 bw 89503119630 e-mail: artemkubarev@yandex.ru

Поступила в редакцию

07 февраля 2017 г.