

# Интерпретация интегральной картины частичных разрядов как множества взаимосвязанных процессов\*

Киншт Н.В., Петрунько Н.Н.  
ИАПУ ДВО РАН  
г. Владивосток, Российская Федерация  
[kin@dvo.ru](mailto:kin@dvo.ru), [pnn@dvo.ru](mailto:pnn@dvo.ru)

**Аннотация.** Одной из важнейших неопределенностей, не учитываемой современными методами и нормативными документами, является вопрос относительно реального числа дефектов в изоляции высоковольтного оборудования. Основной целью настоящего исследования является формулировка процесса электрических частичных разрядов (ЧР) как совокупности взаимосвязанных электрических разрядов в физических дефектах изоляции; разработка основных принципов описания процессов ЧР как квазидетерминированных процессов с перспективой постановки вопроса различения и классификации отдельных дефектов.

**Ключевые слова:** изоляция, частичные разряды, дефект, включение, квазидетерминированный процесс, энергетические параметры включения.

## ВВЕДЕНИЕ

Техническое состояние элементов силового высоковольтного трансформаторного электрооборудования (ВВО) в наибольшей степени определяется состоянием его изоляции, связанного с наличием, интенсивностью и распределением частичных электрических разрядов, возникающих как при нормальной работе ВВО, так и при деградации изоляции и других конструктивных элементов. К настоящему времени регламентированы методики оценки ТС высоковольтного оборудования на основе экспериментального определения интегральных характеристик ЧР – “кажущегося заряда” и целом ряде функций, основанных на этой величине [1]. Одной из важнейших неопределенностей, не учитываемой современными методами и нормативными документами, является вопрос относительно реального числа дефектов (включений) в изоляции высоковольтного оборудования.

Основной целью настоящего исследования является формулировка процесса электрических частичных разрядов как совокупности взаимосвязанных электрических разрядов в физических дефектах изоляции; разработка основных принципов описания процессов ЧР как квазидетерминированных процессов с перспективой постановки вопроса различения и классификации отдельных дефектов.

## ФАКТОРЫ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ТЕОРИИ ЧР

ЧР возникают в малоразмерных включениях, диэлектрическая проницаемость и электрическая прочность которых отличны от характеристик основной изоляции. В каждом из элементарных включений за каждый полупериод рабочего напряжения происходит серия ЧР, теоретически детерминированно связанных с величиной напряженности

первичного электрического поля в ее окрестности  $E(x,y,z)$ . Принципы метода анализа ЧР в уединенном малом включении, расположенном в однородном электрическом поле на основе анализа простейшей эквивалентной схемы [2], сформулированы более 70 лет назад. Модель кажущегося заряда создает иллюзию технической простоты и корректности, неявным образом опирается на предположение об однородности электрического поля, в эту модель в принципе заложен целый ряд факторов неопределенности, обесценивающих ее. Эти неопределенности связаны с размерами и координатами дефекта, неопределенность в напряжении зажигания разряда, не учитываются омические и поляризационные потери. Важнейшими факторами, влияющими на процессы ЧР, являются картина электрического поля в активной зоне трансформатора, месторасположение дефекта, электрофизические свойства дефекта, и свойств самой изоляции. Ряд особенностей процессов, так или иначе связанных с явлениями ЧР, анализировались с учетом электрофизических параметров среды [3, 4], однако они не представляли собой комплексного анализа явлений, являясь скорее иллюстрациями факторов разнообразия взаимосвязей параметров. Попыткой абстрагироваться от сложности внутренней электрофизической структуры явлений ЧР, оценивать комплексную связь их с техническим состоянием оборудования можно считать направление, связанное с анализом собственных электромагнитных излучений оборудования, инициированное частичными разрядами [5-12]. Однако в целом электрофизическое явление ЧР имеет многопараметрический характер, существенно зависит от множества параметров (рис. 1).

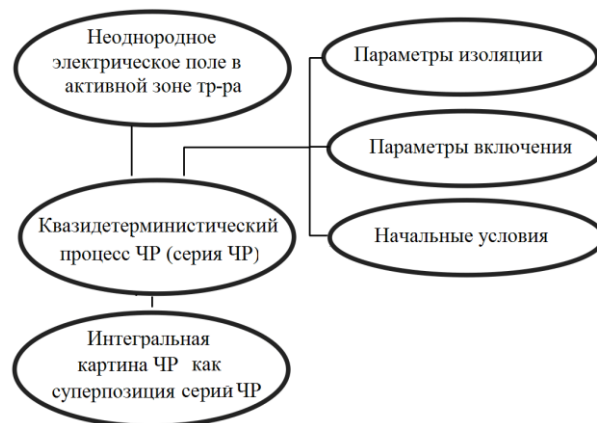


Рис. 1. Зависимости ЧР от множества параметров

\* Работа частично выполнялась в рамках гранта РФФИ №17-08-00693. Статья публикуется по рекомендации программного комитета Международной научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг" (ICIE-2018), <http://icie-rus.org>

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЧР

Рассмотрим внутренний активный объем элемента оборудования, в котором находятся конструктивные элементы, а пространство между ними заполнено изоляционным диэлектрическим материалом. Рабочее синусоидальное напряжение создает в изоляции рабочее переменное электрическое поле  $E(x, y, z, t)$ :

$$E(x, y, z, t) = E_m(x, y, z) \sin(\omega t).$$

Наиболее важным параметром некоторого  $k$ -го дефекта является амплитуда электрического поля в его окрестности  $E_{mk}$ . С точки зрения ЧР «энергетические координаты» включений  $E_{mk}$  более важны чем их геометрические координаты. Электрическое поле внутри включения  $E_{in}$  отличается от электрического поля вне его  $E_{ex}$  и зависит от формы включения:

$$E_{in} = k_\epsilon E_{ex}, \quad k_\epsilon > 1,$$

где коэффициент  $k_\epsilon$  зависит от соотношения диэлектрических проницаемостей диэлектрика и газовой среды самого включения.

В дальнейшем легко перейти от напряженности внешнего электрического поля к падению напряжения на  $k$ -том включении:

$$v_{jk}(\omega t) = k_\epsilon E_{mk} d \sin(\omega t) = V_{jmk} \sin(\omega t), \quad (k=1, \dots, N)$$

где  $d$  – характерный размер включения;  $E_{mk}$  – амплитуда внешнего электрического поля в окрестности  $k$ -го включения;  $N$  – число включений.

ЧР происходит во включении, когда напряжение на нем достигает напряжения пробоя (зажигания)  $V_b$ , которое может быть определено, например, на основе справочных данных:

$$V_{bk} = V_{bk}(d_k).$$

Ток ЧР возникает в виде короткого экспоненциального импульса, при этом напряжение на включении уменьшается до напряжения погасания  $V_e$ . В литературе к настоящему времени не уточняется значение напряжения погасания, отмечается лишь, что оно составляет около  $(0.1 \dots 0.9)V_b$  [2]. В соответствии с [3] оказывается возможным уточнить напряжение погасания и время горения ЧР, привлекая информацию о вольтамперной характеристике ЧР и знание поляризационной составляющей  $\text{tg}\delta$  изоляции.

Итак, каждое  $k$ -е включение однозначно ассоциируется с множеством энергетических параметров  $\mathbf{V}_k = \{V_{mk}, V_{bk}, V_{ek}\}$  [4]. Эта тройка взаимосвязанных параметров включает в себя геометрические координаты, картину электрического поля в данной точке активного объема трансформатора, характерный размер и форму включения, диэлектрические свойства основной изоляции и включения, поляризационные параметры тангенса потерь, а также свойства вольтамперной характеристики ЧР. Если бы точная картина электрического поля в элементе оборудования была задана, были бы заданы также энергетические координаты и электрофизические свойства дефектов, то задача аналитического либо численного расчета процесса всего множества ЧР могла бы быть решена однозначно. В этом смысле процесс ЧР будем называть квазидетерминированным [13].

#### ФУНКЦИИ, СВЯЗАННЫЕ С КВАЗИДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ ПРОЦЕССОМ ЧР

Реальное напряжение на  $k$ -м включении  $v_k(t)$  как функция времени представляет собой релаксационный процесс заряда и разряда изоляции. Процесс  $v_k(t)$  является несину-

соидальным и, кроме того, нет гарантии, что он вообще периодический, однако его можно рассматривать как квазипериодический. Описывая процесс  $v_k(t)$  детерминистическими связями с множеством параметров, будем называть процесс квазидетерминированным.

Напряжение  $v_k(t)$  зависит как от энергетических параметров включения  $\mathbf{V}_k = \{V_{mk}, V_{bk}, V_{ek}\}$ , так и от начальных условий  $V_{0k}$ :

$$v_k(t) = f(\mathbf{V}_k, V_{0k}, t). \quad (k=1, \dots, N)$$

Если отсчет времени начинается с началом положительного полупериода, то это напряжение продолжает изменение по закону:

$$v_k(t) = v_{jk}(t) + V_{0k},$$

вплоть до момента  $t_{k1}$  достижения напряжения зажигания ЧР  $V_{bk}$  и возникновения пробоя. Ток ЧР затухает по экспоненциальному закону и напряжение  $v_k(t)$  очень быстро падает до напряжения погасания  $V_{ek}$ .

Введя для удобства функцию знака  $s(t) = \text{sign}[\cos(\omega t)]$ , можно записать общую формулу для напряжения на включении:

$$v_k(t) = v_{jk}(t) - v_{jk}(t_{k-1}) + s(t_{k-1})V_{ek}, \quad t_{k-1} < t < t_{kj},$$

$$v_k(t_{kj}^-) = s(t_{kj})V_b, \quad v_k(t_{kj}^+) = s(t_{kj})V_e, \quad (j=2, \dots, n_k)$$

и момент времени  $t_j$  определится из соотношения:

$$t_{kj} := \min \{ \text{abs}[v_{jk}(t_{kj}) - v_{jk}(t_{k(j-1)}) + s(t_{k(j-1)})V_e] = V_b \}, \quad (t_{kj} > t_{k(j-1)})$$

Функция тока горения  $j$ -го ЧР запишется в виде:

$$i_{kj}(t) = I_k \exp(-(t_{kj}-t)/\tau) [1(t-t_{kj}) - 1(t-t_{kj}-\tau_b)] s(t),$$

здесь:  $I_k$  – начальное значение тока зажигания ЧР,

$1(t)$  – функция единичного скачка,

$\tau$  – постоянная времени горения ЧР,

$\tau_b$  – время горения ЧР.

Серия токов ЧР в  $k$ -м включении задается последовательностью:

$$\mathbf{I}_k = \{I_k, \{t_{kj}\}\}, \quad (k=1, \dots, N, j=1, \dots, n_k).$$

Например, функция напряжения  $v_k(\omega t)$  и тока ЧР  $i_k(\omega t)$  показаны на рис. 2. Количество ЧР за первую четверть периода:

$$n_{k1} = [(V_{mk} + V_{0k} - V_{bk}) / (V_{bk} - V_{ek}) + 1],$$

здесь квадратные скобки означают взятие целой части числа.

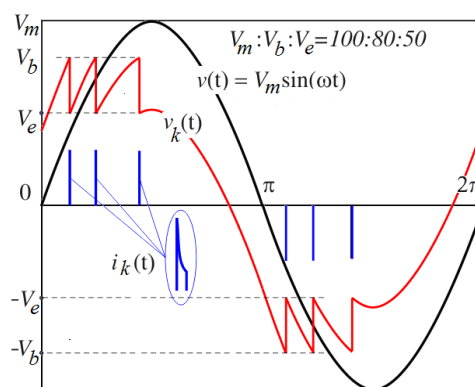


Рис. 2. Функция напряжения  $v_k(\omega t)$  и тока ЧР  $i_k(\omega t)$

#### ВАРИАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЧР

Процессы ЧР по существу являются переходными процессами, и в этом контексте невозможно игнорировать фундаментальное требование начальных условий. Рассмотрим на качественном уровне зависимость процессов ЧР от начальных условий (рис. 3). Моделирование серий ЧР при вариации начальных условий показывает, что, при

прочих равных, картина распределения ЧР в серии явно зависит от случайных начальных условий. Так, для различных начальных условий  $V_{0k} = 80, V_{0k} = 50, V_{0k} = 25$  (в безразмерной форме) функции напряжения  $v_k(\omega t)$  существенно варьируются (верхнее изображение на рис. 3). Нижняя часть рис. 3 изображает серии ЧР для трех упомянутых начальных условий. Заметим, что, в зависимости от начальных условий может в течение полупериода происходить различное число ЧР в серии (1 или 2 в данном простом примере). Нетрудно видеть также, что начальные условия для 2-го полупериода не идентичны начальным условиям для 1-го. Более того, нет гарантии периодичности процесса, в общем случае  $V_{0k}(0) \neq V_{0k}(2\pi)$ .

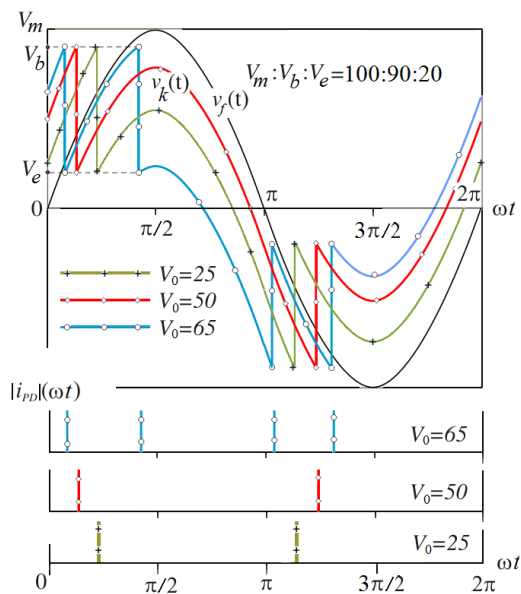


Рис. 3. Зависимость ЧР от начальных условий

Рассмотрим зависимость серии ЧР от принужденного напряжения. Предельное соотношение между максимумом принужденного напряжения и напряжением зажигания может достигать порядка 3...4. На рис. 4 представлены две серии ЧР, ассоциированные с двумя включениями. Максимальные принужденные напряжения для них, соответственно равны  $V_m=100$  и  $V_m=200$ , (при прочих равных условиях,  $V_0=70$ ). Моделирование результатов, приведенных на рис. 4 основано на соотношениях, приведенных выше. Как показано на рис. 4, число ЧР в серии отличается с PD 6 (верхняя часть) до 18 (нижняя часть). Для соотношения параметров  $V_{mk}:V_{bk}:V_{ek}=200:80:50$  получим за 1-й полупериод:

$$n_{k1} = [(V_{mk}+V_{0k} - V_{bk})/(V_{bk}-V_{ek})+1]=7.$$

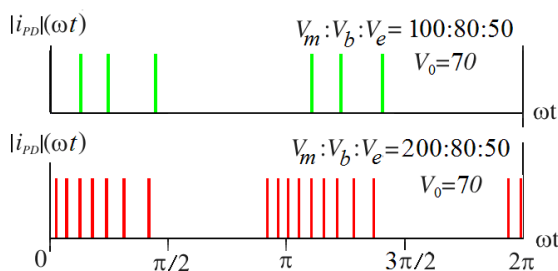


Рис. 4. Зависимость ЧР от энергетических координат

В серии ЧР, ассоциированной с отрицательным полупериодом имеем число ЧР:

$$n_{k2} = [(V_{mk}+V_{0k} - n_{k1}(V_{bk}-V_{ek}) - V_{bk})/(V_{bk}-V_{ek})+1]=9,$$

и 18 ЧР происходят в течение всего цикла. Итак, общее количество ЧР в серии явно зависит от соотношений  $V_{mk}, V_{bk}, V_{ek}, V_{0k}$  и может достигать нескольких десятков.

#### МНОЖЕСТВО ВКЛЮЧЕНИЙ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ КАРТИНА ЧР

Одним из важнейших факторов неопределенности, не учитываемых современными методиками и нормативными документами, является вопрос о количестве реальных дефектов в изоляции. Теория ЧР основана на молчаливом предположении, что в изоляции имеется единственный дефект (инородное включение).

Однако наблюдаемая картина ЧР представляет собой суперпозицию явлений, вызванных всем множеством реально существующих включений, и коллективные эффекты могут как маскировать реальную опасность развития дефекта (приводя к ошибкам первого рода), так и преувеличивать ее (обуславливая ошибки второго рода).

При наличии некоторого множества включений могут проявляться качественно новые ситуации. Например, максимальный кажущийся заряд, вычисленный на основе наблюдаемых в диагностическом эксперименте параметров (например, тока ЧР) может фактически представлять собой сумму кажущихся зарядов нескольких ЧР, происшедших в нескольких различных включениях на интервале времени, соизмеримом с разрешающей способностью средств измерений. Например, пусть в течение периода рабочего напряжения выявлена серия (примерно) одинаковых ЧР. Возникает вопрос, соответствуют ли все эти ЧР множеству малых включений, рассеянных в объеме изоляции, либо происходят в единственном развитом локальном включении.

В обоих случаях кажущиеся заряды могут быть эквивалентны, однако если все ЧР происходят в единственном включении, развитие разрядных процессов гораздо более опасно и вероятность выхода оборудования из строя значительно выше.

Вопрос о количестве реальных дефектов в изоляции и об опасности каждого из них до сих пор специально не ставился, однако именно этот вопрос является ключевым в проблеме.

Обычно результаты наблюдений ЧР представляются в виде 3-х или 2-хмерных диаграмм или подходящих проекций различного вида. Наблюдаемый процесс рассматривается как совокупность единичных не связанных между собой импульсов, классифицируемых по амплитуде, количеству и фазе рабочего напряжения. Такие диаграммы представляются естественными для исследования ЧР во вращающихся электрических машинах, а также результативными применительно к одномерным моделям распространения сигналов ЧР (например, кабелям). Если потенциальных дефектов может оказаться множество, то традиционный способ представления интегральной картины ЧР, игнорирующий эти факты, явно недостаточно информативен. Попытаемся получить некое общее представление, по данному вопросу используя имитационное моделирование.

### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОЖЕСТВА ЧР

Представим себе, что в активной области трансформатора имеется  $N=100$  идентичных малых включений, в которых могут происходить ЧР. Каждое из них характеризуется напряжениями зажигания и погасания ЧР  $V_b$ ,  $V_e$ , соответственно. Предположим, что напряженность электрического поля в активной области такова, что принужденное напряжение на  $k$ -м включении может достигать трехкратной величины напряжения зажигания:

$$V_{b..} \leq V_{mk} \leq 3V_b. \quad (k = 1, \dots, 100)$$

Введем также правдоподобное предположение о том, что начальные условия процессов ЧР находятся в пределах:

$$V_e \leq V_{ok} \leq V_b$$

Итак, задаем энергетические параметры  $k$ -го включения  $V_k = \{V_{mk}, V_{bk}, V_{ek}\}$  и начальные условия для каждого из них, причем значения  $V_{mk}$  and  $V_{ok}$  назначаются при моделировании случайным образом в соответствии с равномерным законом распределения в пределах, заданных соотношениями. Так, в данном примере принято:  $V_{ek} = 0.53 V_{bk}$ . Далее, в соответствии с соотношениями, приведенными в разделе 4, рассчитываются функции токов ЧР как последовательности импульсов ЧР:

$$I_k = \{I_{bk}, \{t_{kj}\}\}, \quad (k = 1, \dots, N, j = 1, \dots, n_k),$$

причем в связи с идентичностью включений все токи зажигания ЧР также равны между собой:  $I_{bk} = 1$  (в безразмерных единицах). Теперь можно получить расчетную интегральную картину ЧР, просуммировав токи ЧР всех включений:

$$I_{\Sigma} = \sum I_k \quad (k = 1, \dots, N).$$

Построим полученный результат с точностью до 1/360 периода рабочего напряжения (рис. 5).

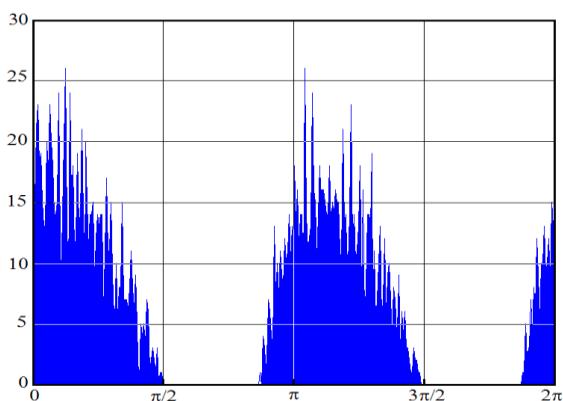


Рис. 5. Моделирование интегральной картины ЧР

Нетрудно видеть, что получена типичная картина распределения ЧР на периоде рабочего напряжения. В соответствии с традиционными представлениями можно было бы естественно говорить о максимальном наблюдаемом токе ЧР, который в данном примере составляет около 27 ед., ассоциировать эту величину с кажущимся зарядом и фазой рабочего напряжения, при котором он происходит.

Однако на самом деле, в соответствии с условием задачи имеется 100 источников ЧР, всего за период произошло около 2900 ЧР. Наличие пика величиной 27 ед. в момент времени с фазой около  $190^\circ$  означает лишь, что в интервале  $190^\circ \pm 0.5^\circ$  произошло 27 ЧР величиной 1 ед. в различных потенциальных дефектах.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имеются формализованные связи между важнейшими факторами, влияющими на процессы ЧР, именно: размерами, координатами дефекта, картиной электрического поля в активной зоне трансформатора, напряжениями зажигания и погасания ЧР, омическими и поляризационными потерями, электрофизическими свойствами дефекта, и свойств самой изоляции.

С каждым включением ассоциированы обобщенные энергетические параметры  $V_k = \{V_{mk}, V_{bk}, V_{ek}\}$ , включающие максимальное принужденное напряжение, напряжения зажигания и погасания разряда.

Существенное влияние на распределение ЧР во времени оказывают случайные начальные условия.

Ключевыми вопросами в проблеме ЧР являются вопросы о количестве реальных дефектов в изоляции и об опасности каждого из них. Эти вопросы к настоящему времени не решены. Интегральная картина распределения ЧР во времени не дает непосредственного ответа на эти вопросы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. High-voltage test techniques. Partial discharge measurement // International IEC Standard 60270. – 2000.
2. Koske B. Prüfung der Isolation von Hochspannungsfreileitungen // Elektrizitätswirtschaft. – 1939. – no.37.
3. Kinsht N.V. A problem of the Partial Discharge Extinction/ N.V. Kinsht, M.A. Katz, N.N. Petrun'ko // Automation, control, and applications: Proc. of the Second IASTED International Multi-Conference. – Calgary, 2005. – P. 98-101.
4. Kinsht N.V. Some Problems of the Partial Discharge Burning Time / N.V. Kinsht, M.A. Katz // TEEM. – 2006. – Vol. 7, no.6. – P. 319-323. DOI: 10.4313/TEEM.2006.7.6.319
5. Kinsht N.V. Electromagnetic radiation of partial discharges in insulation of the HV devices / N.V. Kinsht, M.A. Katz, N.N. Petrun'ko // Power Plants & Power Systems Control: Proc. of the IFAC Symposium. – Seoul, Korea, 2003. – Vol. 1. – P. 373-376.
6. Kinsht N.V. The Model of Propagation of the Own Electromagnetic Radiation on the HV Equipment on Substations / N.V. Kinsht, N.N. Petrun'ko // TEEM. – 2006. – Vol. 7, no.5. – P. 240-246. DOI: 10.4313/TEEM.2006.7.5.240
7. Kinsht N.V. The Diagnostics of the Electromagnetic Radiation Sources on the HV Substations / N.V. Kinsht, N.N. Petrun'ko // Electromagnetic Compatibility: Proc. of the Asia-Pacific Symposium on EMC & 19th International Zurich Symposium. – Singapore, 2008. – P.724-727.
8. Kinsht N.V. The Experience of Inspection of a Technical Condition of the HV Equipment on Substations by a Method of Registration of the own Electromagnetic Radiations / N.V. Kinsht, N.N. Petrun'ko // Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2008): Proc. of the International Conference. – Beijing, China, 2008. – P.738-740. DOI: 10.1109/CMD.2008.4580391
9. Kinsht N.V. Research on Characteristics of EMR of the High-Voltage Equipment During the Process of its Diagnostic / N.V. Kinsht, N.N. Petrun'ko // Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2010): Proc. of the International Conference. – Tokyo, Japan, 2010. – P. 1149-1152.
10. Kinsht N.V. Interpretation of monitoring data of own electromagnetic radiation HV transformers / N.V. Kinsht, N.N. Petrun'ko // Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2012): Proc. of 2012 IEEE International Conference. – Bali, Indonesia, 2012. – P. 569-572. DOI: 10.1109/CMD.2012.6416207

11. Kinsht N.V. Interpretation of the properties of the spectra of electromagnetic radiation emitted from high-voltage equipment / N.V. Kinsht, N.N. Petrun'ko // Thermal Engineering. – 2012. – Vol. 59, no.14. – P. 1018-1022. DOI: 10.1134/S0040601512140066

12. Kinsht N.V. Some Properties of the Electromagnetic Radiation Emitted by the HV Transformers equipment / N.V. Kinsht, N.N. Petrun'ko, P.V. Katz // Energy and Power Engi-

neering. – 2013. – Vol. 5, no.4B. – P. 1463-1467. DOI: 10.4236/epe.2013.54B277

13. Kinsht N.V. Some Possibility of Constructing of the PD Processes Quasi-Deterministic Model / N.V. Kinsht, N.N. Petrun'ko // Condition Monitoring and Diagnosis2014 (CMD2014): Proc. of 2014 International Conference. – Jeju, Korea, 2014. – P. 371-374.

DOI: 10.24892/RIJEE/20180106

# Interpretation of the Partial Discharges Integrated Frame as a Set of Interrelated Processes

Kinsht N.V, Petrunko N.N.

Institute of Automation and Control Processes Far-Eastern Branch of Russian Academy of Science  
Vladivostok, Russian Federation

[kin@dvo.ru](mailto:kin@dvo.ru), [pnn@dvo.ru](mailto:pnn@dvo.ru)

**Abstract.** One of the major uncertainties that are not accounted modern techniques and regulations is a question about the real number of defects in the HV equipment insulation. The aim of this study is the formulation process of the partial discharges (PD) as a set of interrelated discharges in the insulation physical defects, creating the basic principles of description of the PD process as quasi-deterministic process with a view to raising the question of the distinction and classification of individual defects.

**Keywords:** insulation, partial discharges, defect, inclusion, quasideterministic process, inclusion power parameters.

## REFERENCES

1. High-voltage test techniques. Partial discharge measurement, *International IEC Standard 60270*, 2000.
2. Koske B. Prüfung der Isolation von Hochspannungsfreileitungen, *Elektrizitätswirtschaft*, 1939, no.37.
3. Kinsht N.V., Katz M.A., Petrun'ko N.N. A problem of the Partial Discharge Extinction, *Proc. of the Second IASTED International Multi-Conference "Automation, control, and applications"*, Calgary, 2005, pp. 98-101/
4. Kinsht N.V. Katz M.A. Some Problems of the Partial Discharge Burning Time, *TEEM*, 2006, vol. 7, no.6, pp. 319-323. DOI: 10.4313/TEEM.2006.7.6.319
5. Kinsht N.V., Katz M.A., Petrun'ko N.N. Electromagnetic radiation of partial discharges in insulation of the HV devices, *Proc. of the IFAC Symposium "Power Plants & Power Systems Control"*, Seoul, Korea, 2003, vol. 1, pp. 373-376.
6. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. The Model of Propagation of the Own Electromagnetic Radiation on the HV Equipment on Substations, *TEEM*, 2006, vol. 7, no.5, pp. 240-246. DOI: 10.4313/TEEM.2006.7.5.240
7. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. The Diagnostics of the Electromagnetic Radiation Sources on the HV Substations,

*Proc. of the Asia-Pacific Symposium on EMC & 19th Internathional Zurich Symposium "Electromagnetic Compatibility"*, Singapore, 2008, pp.724-727.

8. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. The Experience of Inspection of a Technical Condition of the HV Equipment on Substations by a Method of Registration of the own Electromagnetic Radiations, *Proc. of the International Conference "Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2008)"*, Beijing, China, 2008, pp.738-740. DOI: 10.1109/CMD.2008.4580391

9. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. Research on Characteristics of EMR of the High-Voltage Equipment During the Process of its Diagnostic, *Proc. of the International Conference "Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2010)"*, Tokyo, Japan, 2010, pp. 1149-1152.

10. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. Interpretation of monitoring data of own electromagnetic radiation HV transformers, *Proc. of 2012 IEEE International Conference "Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2012)"*, Bali, Indonesia, 2012, pp. 569-572. DOI: 10.1109/CMD.2012.6416207

11. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. Interpretation of the properties of the spectra of electromagnetic radiation emitted from high-voltage equipment, *Thermal Engineering*, 2012, vol. 59, no.14, pp. 1018-1022. DOI: 10.1134/S0040601512140066

12. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N., Katz P.V. Some Properties of the Electromagnetic Radiation Emitted by the HV Transformers equipment, *Energy and Power Engineering*, 2013, vol. 5, no.4B, pp. 1463-1467. DOI: 10.4236/epe.2013.54B277

13. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. Some Possibility of Constructing of the PD Processes Quasi-Deterministic Model, Proc. of 2014 International Conference "Condition Monitoring and Diagnosis2014 (CMD2014)", Jeju, Korea, 2014, pp. 371-374.

## Библиографическое описание статьи

Киншт Н.В. Интерпретация интегральной картины частичных разрядов как множества взаимосвязанных процессов / Н.В. Киншт, Н.Н. Петрунько // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2018. – Т.5, №2. – С. 36-40. DOI: 10.24892/RIJEE/20180206

## Reference to article

Kinsht N.V, Petrunko N.N. Interpretation of the partial discharges integrated frame as a set of interrelated processes, *Russian Internet Journal of Electrical Engineering*, 2018, vol.5, no.2, pp. 36-40. DOI: 10.24892/RIJEE/20180206