

Частичные Разряды в изоляции

Бабушкин Антон, инженер-конструктор ООО «ДАТОС ЛТД»
Email: Anton.Babushkin@datos.kiev.ua

Диагностика силового высоковольтного оборудования методом регистрации частичных разрядов позволяет проводить непрерывный мониторинг технического состояния изоляции под рабочим напряжением, с достаточно высокой точностью определить место и степень развития дефекта.

Процесс возникновения Частичного Разряда

При длительной эксплуатации высоковольтного оборудования, в связи с воздействием на его изоляцию некоторых внешних факторов (изменения температуры, механического воздействия и т.д.) в диэлектрике возникают газовые (воздушные) включения (каверны) [1]. На Рис. 1 представлено сечение изолятора, который содержит такое включение. С точки зрения опасности нас будет интересовать только высота каверны, так как увеличение расстояния (d_v), приведет к росту мощности Частичных Разрядов (ЧР) и последующему пробою диэлектрика.

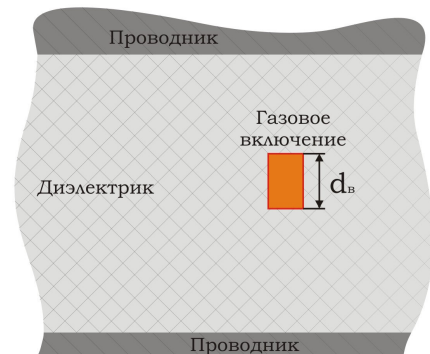


Рис.1 Изолятор с газовым включением

Эквивалентная схема изолятора с газовым включением представлена на Рис. 2. Емкость C_v представляет собой газовое включение, последовательно включенная с ней емкость C_t – емкость части твердой изоляции, для которой

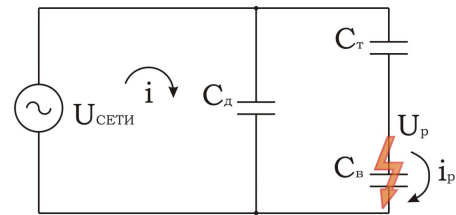


Рис.2 Эквивалентная схема изолятора с газовым включением

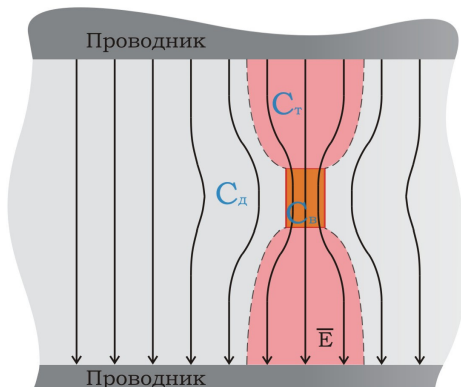


Рис.3 Расположение силовых линий электрического поля

силовые линии поля общие с газовым включением (см. Рис. 3). C_d - емкость остальной части диэлектрика.

Так как диэлектрическая проницаемость диэлектрика значительно выше диэлектрической проницаемости газа ($\epsilon_{\text{воздуха}}=1$), напряженность электрического поля в газовом включении превышает напряженность поля в остальном

диэлектрике. На эквивалентной схеме (Рис. 2) показано, что емкости C_B и C_T образуют емкостной делитель напряжения. При приложении напряжения сети $U_{\text{сети}}$ к такому делителю напряжение на газовом включении U_B будет равно:

$$U_B = \frac{C_T}{C_T + C_B} U_{\text{сети}}.$$

Емкость плоского конденсатора зависит от диэлектрической проницаемости материала диэлектрика, площади обкладок и расстояния между ними: $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$. Приняв, что площади обкладок емкостей C_B и C_T равны ($S_{C_B} = S_{C_T}$), а диэлектрическая проницаемость газа во включении равна 1 ($\epsilon_{\text{газа}}=1$), запишем:

$$U_B = \frac{1}{1 + \frac{C_B}{C_T}} U_{\text{сети}} = \frac{U_{\text{сети}}}{1 + \frac{d_T}{d_B \epsilon_T}},$$

где d_T – толщина твердого диэлектрика;

d_B – толщина газового включения.

Прикладываемое напряжение вызывает накопление поверхностного заряда на границе газового включения и остального диэлектрика (Рис. 4). Когда напряжение на включении достигнет напряжения начальной ионизации газа $U_{\text{н.и}}$ произойдет частичный разряд емкости включения. Напряжение сети, при котором произойдет частичный разряд, будет равно:

$$U_P = U_{\text{н.и}} \left(\frac{d_T / d_B}{\epsilon_T} + 1 \right).$$

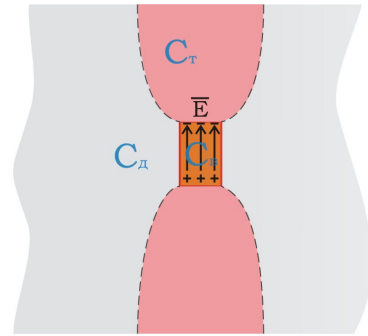


Рис.4 Накопление поверхностного заряда на включении

При разряде в газовом включении напряжение $U_{\text{н.и}}$ на нем падает до конечной величины U_K . Величина изменения напряжения $\Delta U_B = U_{\text{н.и}} - U_K$ может сильно колебаться однако в большинстве случаев $\Delta U_B \approx U_{\text{н.и}}$.

Можно считать, что разряд в газовом включении принимает форму искрового разряда.

Опытным путем было установлено, что напряжение начальной ионизации во включении имеет такую же величину, как и для разряда между металлическими электродами. Что можно объяснить накоплением поверхностного заряда на границе

включения и остальной твердой изоляции. Также следует отметить, что разрядные процессы в изоляции подчиняются закону Пашена [1].

Зависимость мощности и интенсивности ЧР от размера включения



Рис.5 Дендритный рост газовых включений

Следствием увеличения размера каверны (а именно увеличения пробивного промежутка d_v) является увеличение начального напряжения ионизации, следовательно, импульс тока и напряжения будет иметь большую амплитуду, а мощность ЧР возрастет (Рис. 6). Увеличение мощности разряда приведет к интенсивному росту каверны по направлению к электродам, что в последствии приведет к полному пробою изоляции. Рост каверны происходит по дендритной структуре, как это показано на Рис. 5.

Интенсивность ЧР (количество разрядов за период питающего напряжения) также будет зависеть от размера газового включения, что продемонстрировано на Рис. 6.

Рассмотрим первый случай, когда включение имеет размер d_1 ($d_1 < d_2$). При достижении напряжения питающей сети величины разрядного напряжения U_{p1} произойдет первый разряд, после разряда повторно начнет накапливаться поверхностный заряд и с течением времени t_1 напряжение на включении достигнет напряжения начальной ионизации, в следствии чего произойдет следующий разряд и т.д. В случае включения с размером d_2 времени для накопления поверхностного заряда потребуется больше ($t_1 < t_2$), следовательно, временной интервал между разрядами будет больше. Таким образом, можно сделать вывод, что интенсивность ЧР в случае газового включения с большими размерами будет меньше, но при этом его мощность (амплитуда) будет больше. Анализируя мощность импульса ЧР можно говорить о степени развития дефекта в изоляции.

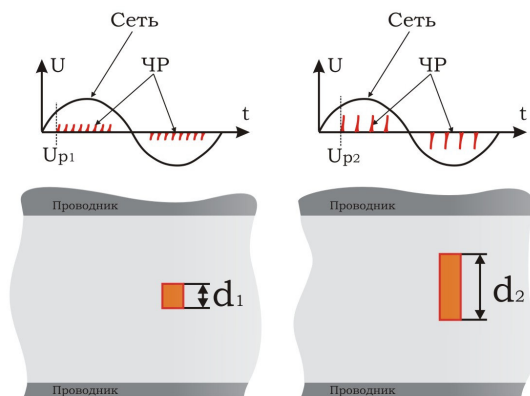


Рис.6 Зависимость интенсивности и амплитуды ЧР от размера включения

Зависимость формы импульса тока Частичного Разряда от места его возникновения

Рассмотрим случай, когда в разных местах в диэлектрике находится два одинаковых (для простоты объяснения) газовых включения (Рис. 7). ЧР в изоляции – это

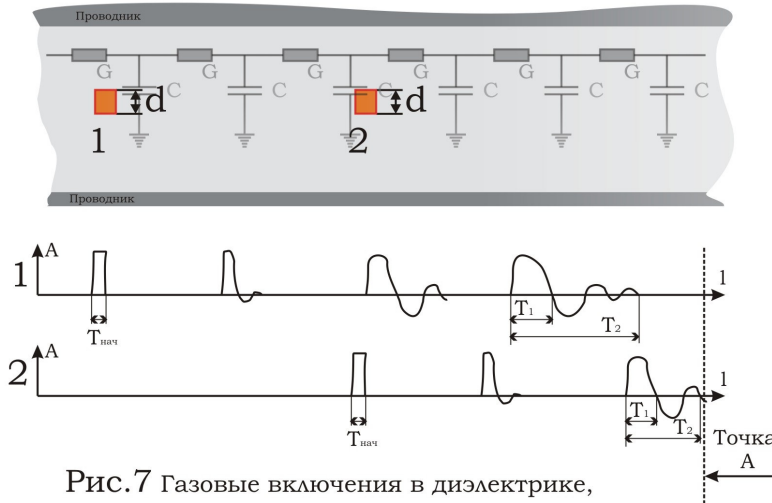


Рис.7 Газовые включения в диэлектрике, расположенные в разных местах

разряд емкости C_b газового включения через искру [1].

При разряде в воздухе и нормальном давлении длительность начальной стадии искры

$$T_{\text{нач}} = (0,3 - 1) \cdot 10^{-8} \text{ сек.}$$

Средняя длительность всего процесса пробоя

$T_2 = (1,5-2,5) \cdot 10^{-7} \text{ сек.}$ Эти параметры справедливы

только для места непосредственного возникновения разряда, то есть возле газового включения. По мере распространения через структуру с распределенными RC параметрами (проводники и изолятор между ними можно представить, как длинную линию) изначально прямоугольный импульс тока Частичного Разряда претерпевает изменения: растягивается импульс начальной стадии искры (T_1), «зализываются» фронты и возникает «хвост». Общая длина импульса включает в себя импульс начальной стадии искры и «хвост» (T_2). Следует также отметить, что мощность импульса ЧР (площадь импульса начальной стадии искры) практически не изменяется со временем прохождения через длинную линию.

Следовательно, если рассмотреть импульсы тока Частичных Разрядов в точке А (Рис. 7), возникших в разных местах в диэлектрике видно, что импульс ЧР от первого газового включения (1) имеет более растянутый начальный импульс (T_1) и большую общую длину (T_2), чем импульс, возникший во втором включении (2). Анализируя длины

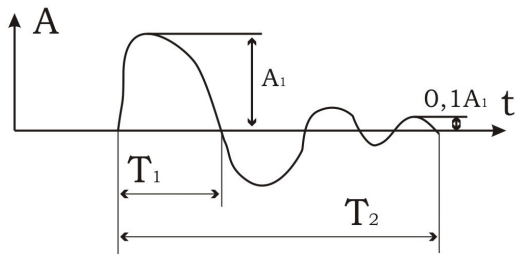


Рис.8 Определение общей длины импульса тока ЧР

начального импульса и его общую длину можно говорить об месте возникновения ЧР и производить локальную селекцию дефектов.

Общая длина импульса определяется, как время, за которое один из импульсов «хвоста» затухает по амплитуде на 10% от амплитуды начального импульса (Рис. 8).

Литература:

1. П.М. Сви. Контроль высоковольтной изоляции методом частичных разрядов.- М.: Государственное энергетическое издательство, 1962г.