

СПЕКТР ВИПРОМІНЮВАННЯ СТРУМУ ЧАСТКОВОГО РОЗРЯДУ У ДІЕЛЕКТРИКАХ

Бабушкін А.М., Дюжаєв Л.П.

Під час проведення діагностики та моніторингу високовольтної апаратури, зокрема, високовольтних кабелів та ізоляторів, важливе значення мають методи дослідження часткових розрядів у діелектрику.

Одним з видів розрядних процесів у високовольтному обладнанні є часткові розряди (ЧР). Вони, на відміну від інших, виникають у товщі ізоляційних матеріалів високовольтних апаратів (частково шунтуючи їх) і викликають їх деструкцію [1]. ЧР – це електричний розряд, що лише частково шунтує ізоляцію між провідниками і може виникати поруч з ними. Імпульс ЧР – це імпульс току чи напруги, що виникає в результаті ЧР, що виник всередині об'єкту, який досліджується [2]. Контроль рівня ЧР є дуже потужним засобом технічного моніторингу та діагностики стану високовольтного обладнання, як час випробування, так і під час роботи.

Розглянемо процес виникнення ЧР. Моделлю дефекту у товщі твердого діелектрика може слугувати паралелепіпед (газового включення), орієнтований своїм довгим боком паралельно металічним електродам об'єкту. Причому висота паралелепіпеда набагато менша за його основу ($d \ll l$). Напруженість електричного поля в газі буде більше, ніж у твердому діелектрику через різницю діелектричних сталей, і у випадку паралелепіпеда, орієнтованого поперек поля ($d \ll l$) може бути представлено формулою:

$$E_B = \frac{\varepsilon_{ТД}}{\varepsilon_B} \cdot E_{ТД} \quad (1)$$

де ε_B – діелектрична стала газу, $\varepsilon_{ТД}$ - діелектрична стала твердого діелектрика, $E_{ТД}$ – напруженість електричного поля у твердому діелектрику.

З урахуванням того, що діелектрична стала газу приблизно дорівнює сталій повітря (для повітря $\varepsilon \approx 1$) формула (1) може бути записана у вигляді $E_B = \varepsilon_{ТД} \cdot E_{ТД}$, тобто напруженість електричного поля у включенні у $\varepsilon_{ТД}$ раз більше, ніж у діелектрику. Напруга між електродами, буде ділитися між твердим діелектриком і включенням (аналогічно ємнісному подільнику напруги):

$$U_B = \frac{U_{СЕТИ}}{1 + (d_{ТД} / d_B \varepsilon_{ТД})} \quad (3)$$

де d_T – товщина твердого діелектрика, d_B – товщина газового включення. В момент часу, коли напруга на включенні досягне напруги початкової іонізації газу ($U_{н.и}$) відбудеться частковий розряд ємності включення через іскру. Напруга мережі, при якій відбудеться частковий розряд, буде дорівню-

вати:

$$U_{\text{пробоя}} = U_{\text{Н.И}} \left(\frac{d_{\text{ТД}} / d_{\text{В}}}{\varepsilon_{\text{ТД}}} + 1 \right) \quad (4)$$

Дослідження показали [4], що початкова напруга іонізації у включенні має таке же значення, як при розряді між металічними електродами. Під час розряду у повітрі та нормальному тиску тривалість початкової стадії іскри лежить в межах $(0,3 \dots 1) \cdot 10^{-8}$ с. Середня тривалість процесу пробоя складає $(1,5 \dots 2,5) \cdot 10^{-7}$ с. Під час дослідження твердої ізоляції спостерігались імпульси току ЧР тривалістю 10^{-11} с [3].

Тепер оцінимо розподіл потужності в спектрі частот від імпульсу току ЧР під час спостереження процесу у безпосередній близькості до джерела. Спектральна щільність потужності прямокутного імпульсу з коротким фронтом може бути оцінена як:

$$F = 0,35 / t_{\text{фронта}} \quad (5)$$

де $t_{\text{фронта}}$ – тривалість фронту імпульсу току ЧР.

Слід зазначити, що формула (5) дає оціночне значення частоти, вище якої значення середньої спектральної густини потужності знаходиться на 3дБ нижче апроксимуючої прямої (с нахилом -20дБ/декаду). На прикладі середніх значень тривалості фронту току ЧР розрахуємо граничну частоту перелому. Для імпульсу з тривалістю фронту $0,3 \cdot 10^{-8}$ с потужність, головним чином, зосереджена у частотному діапазоні до $1,17 \cdot 10^8$ Гц. Очевидно, що для імпульсів з більш короткими фронтами ефективна ширина спектру становиться набагато більша. Спектр потужності ЧР зосереджено у достатньо широкому частотному діапазоні. Наприклад, при спостереженні радіовипромінювання від ЧР у високовольтних підвісних ізоляторах типу ПС-70 було виявлено, що потужність випромінювання зосереджена у частотному діапазоні до 500 МГц [4].

На жаль, реєстрація ЧР у безпосередній близькості до місця його виникнення, зважаючи на конструктивні особливості контрольованого обладнання, неможливе. Цікаво визначити, як зміниться спектральна густина потужності імпульсу току ЧР по ходу його розповсюдження через RLC структуру з розподіленими параметрами (власне такою структурою по відношенню до імпульсу току ЧР є високовольтне обладнання, в ізоляції якого він виникає). Власна індуктивність і ємність об'єкту буде змінювати частотний розподіл потужності імпульсу току ЧР по ходу його розповсюдження по об'єкту. Імпульс току у ході розповсюдження по довгій лінії, спотворюється – високочастотні складові потужності ЧР будуть затухати значно швидше низькочастотних. Частоти, які відповідають частоті власного резонансу об'єкту будуть превалювати в імпульсі, що спостерігається далеко від міста виникнення ЧР. Також імпульс, який спостерігається, бу-

де мати «хвоста», обумовленого перехідним процесом у мережі.

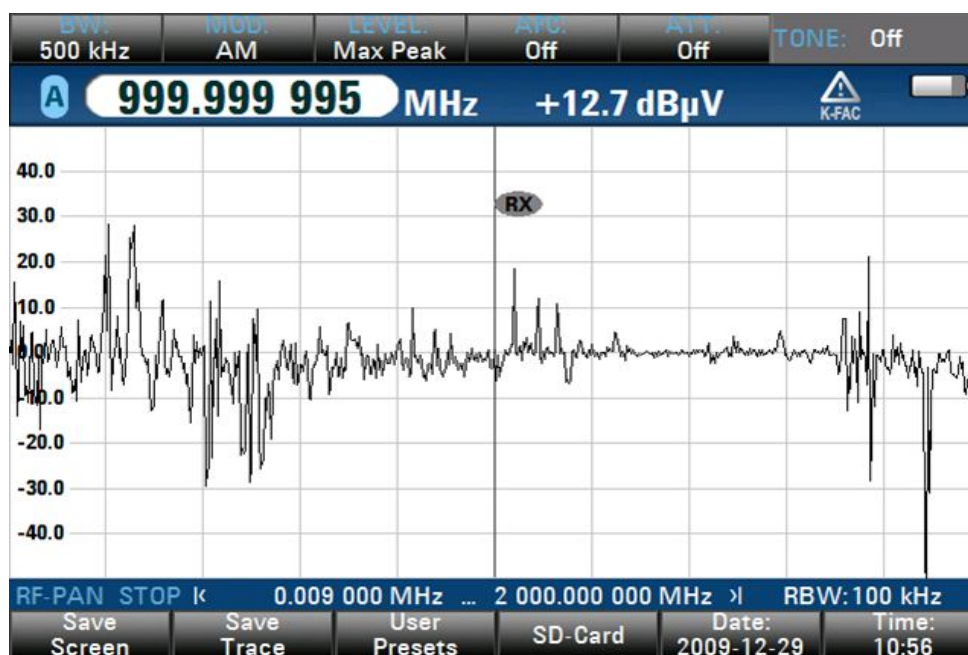


Рис.1. Спектр ефіру у діапазоні частот від 9 кГц до 2 ГГц (диференційний режим прийому)

Перехідний процес в ідеальному ланцюгу другого порядку носить експоненціальний характер з сталою часу $2L/R$ і залежить від добротності ланцюга. Таким чином, потужність імпульсу, що спостерігається далеко від міста його виникнення (найбільш розповсюджений випадок підключення датчиків), буде зосереджена в області пропускання самого об'єкта, і буде мати «хвоста» при достатньо високій добротності системи.

Розподіл потужності ЧР у спектрі частот під час його розповсюдження об'єктом сильно змінюється. Особливо це стосується високовольтного обладнання, яке має велику довжину (кабельні та високовольтні лінії). Аналіз спектральної густини потужності імпульсу, який прийшов до датчика на кінці лінії, може підказати, як далеко він виник від міста реєстрації. Цей принцип покладено в основу аналізу методом ТФ площини (Time - Frequency). Також слід визначити, що достатньо широкий спектр електромагнітного випромінювання імпульсів ЧР дозволяє проектувати системи дистанційного виявлення дефектного обладнання із застосуванням широкодіапазонних приймачів та спрямованих антен.

Література

1. Сви П.М. Измерение частичных разрядов в изоляции оборудования высокого напряжения энергосистем / П.М. Сви. – Москва: Энергия. – 1977. – 194с.
2. Международный стандарт IEC 60270. Третье издание 2000-12.
3. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования / В.П. Вдовико. – Новосибирск: Наука. – 2007. – 155с.
4. Бабушкин А. М. Опробование метода дистанционного определения технического

состояния подвесных изоляторов ЛЭП путем регистрации электромагнитного излучения от ЧР// Электропанорама. – 2010. – №2.

Бабушкін А.М., Дюжаєв Л.П. Спектр випромінювання струму часткового розряду діелектриках. У статті виконаний аналіз методики визначення спектру струму часткового розряду у високовольтному обладнанні.

Ключові слова: частковий розряд, спектр, високовольтне обладнання

Бабушкин А.М., Дюжаев Л.П. Спектр излучения тока частичного разряда в диэлектриках. В статье произведен анализ методики изучения спектра тока частичного разряда в высоковольтном оборудовании.

Ключевые слова: частичный разряд, спектр, высоковольтное оборудование.

Babushkin A.M., Duzhaev L.P. Spectrum of radiation of the partial discharge in the dielectrics. In the article the analysis of the method of study the spectrum of partial discharge in high voltage equipment.

Keywords: partial discharge, spectrum, high voltage equipment.

УДК 615.471:616

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Яненко А.Ф., Перегудов С.Н., Головчанская А.Д.

Развитие элементной базы СВЧ и КВЧ – диапазонов, ее удешевление и доступность стимулировали появление новых направлений использования микроволновой техники. В последнее время микроволновая техника и технологии получили распространение и применение не только в военных целях, науке и технике, а и в промышленности, сельском и народном хозяйстве, биологии и медицине [1, 2].

Достаточно активно используется в медицине и биологии радиометрическая аппаратура для контроля слабых температурных аномалий в теле человека и диагностики онкологических заболеваний, для метрологического сопровождения приборов квантовой медицины, для научных исследований электромагнитных излучений физических и биологических объектов, для исследования свойств диэлектрических материалов и веществ [3].

Так в работе [4] приведены результаты исследования и оценка комфортности натуральных и синтетических текстильных материалов - шерсти, хлопка, шелка, полиамида, полиэфира и других с телом человека с использованием коэффициента излучательной способности β (коэффициента серости) этих материалов, определяемого отношением уровня излучения материала к уровню излучения абсолютно черного тела при этой же температуре. Измерения проводились высокочувствительной радиометрической системой мм-диапазона на частоте 52 ГГц при температуре материала эк-