СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТКОВІХ РОЗРЯДІВ В ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

Проценко О.Р., к.т.н., доц., Троценко Є.О., к.т.н., доц., Малафійчук Л.В., студентка, Яременко Д.С., студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Явище виникнення і розвитку часткових розрядів (ЧР) в ізоляції обладнання високої напруги в умовах його експлуатації представляє значний інтерес як для персоналу, що його експлуатує, так і для розробників та дослідників електричної ізоляції. Часткові розряди становлять велику небезпеку для ізоляції через швидке її руйнування в локальних зонах з подальшим пробоєм ізоляційних проміжків.

Умови виникнення ЧР визначаються електрофізичними характеристиками ізоляційних матеріалів в тому числі електричною міцністю. ЧР зазвичай не призводять до негайного наскрізного пробою ізоляції, проте можуть викликати місцеве руйнування діелектрика, а при тривалому існуванні в певних умовах можуть призвести до порушення електричної міцності ізоляційної конструкції. У зв'язку з цим реєстрація характеристик часткових розрядів дозволяє оцінювати якість виготовлення тієї чи іншої ізоляційної конструкції і виявляти місцеві дефекти, які практично неможливо визначити звичайними випробуваннями високою напругою або вимірами будь-яких інтегральних характеристик ізоляції.

Мета роботи. Розробка експериментального стенду для досліджень закономірностей виникнення ЧР в моделях паперової ізоляції обладнання високої напруги.

Матеріали і результати досліджень. Основні схеми установок для дослідження ЧР та методики їх вимірювання рекомендовані в нормативно-технічній літературі [1, 2].

Стандарт [1] встановлює метод вимірювання характеристик ЧР під час випробування ізоляції електрообладнання напругою змінного струму понад 1 кВ. Зокрема передбачено використання трьох основних схем: перша – з включенням вимірювального елементу в коло заземлення об’єкта, друга – з включенням вимірювального елементу в коло заземлення з’єднувального конденсатора та третя – балансна схема.

Аналіз проведених схем, показав, що для дослідження об’єктів з незначною власною ємністю, яка характерна для зразків досліджуваної ізоляції (від 3 пФ до 20 пФ), доцільним буде використання схеми с включенням вимірювального елементу в коло заземлення з’єднувального конденсатора. Основним фактором, який вплинув на її вибір, була можливість застосування послідовної схеми калібрування, яка в даних умовах дозволяє підвищити точність визначення калібрувальних коефіцієнтів.

Вибрана схема вимірювання ЧР зображена на рис. 1.

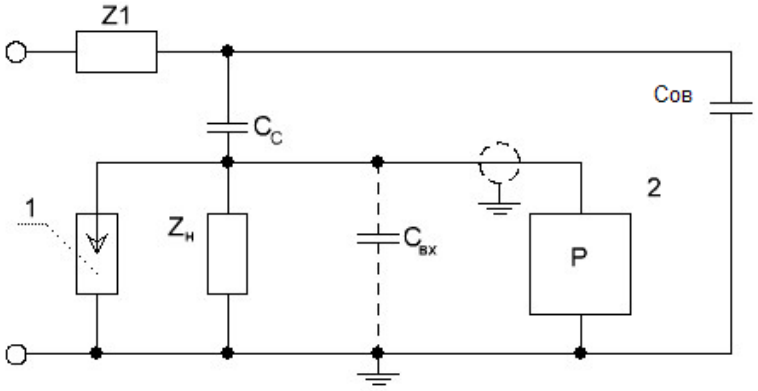

Рисунок 1 – Електрична схема вимірювання часткових розрядів

В схемі на рис. 1: 1 – захисний пристрій; 2 – вимірювальний пристрій P; $C_с$ – ємність з'єднувального конденсатора; $C_{ов}$ – ємність об'єкта випробувань; $Z_н$ – опір вимірювального елемента; $C_{вх}$ – вхідна ємність вимірювального пристрою; $Z1$ – фільтр нижніх частот або захисний опір.

Як відмічалося в [3] сигнал на виході такої схеми буде, $\Delta U \approx \frac{C_{вх}}{C_{вх}+C_П} \cdot q$ (де q – уявний заряд ЧР, $C_п$ – паразитна ємність на високовольтних виводах схеми вимірювання (на рис. 1 не показана)), що, виходячи з аналізу, проведеного у [3], дещо менше, ніж в першій схемі. Але за умови використання підсилювача імпульсних сигналів ЧР втрати чутливості можуть бути компенсовані.

Практична схема вимірювальної установки зображена на рис. 2.

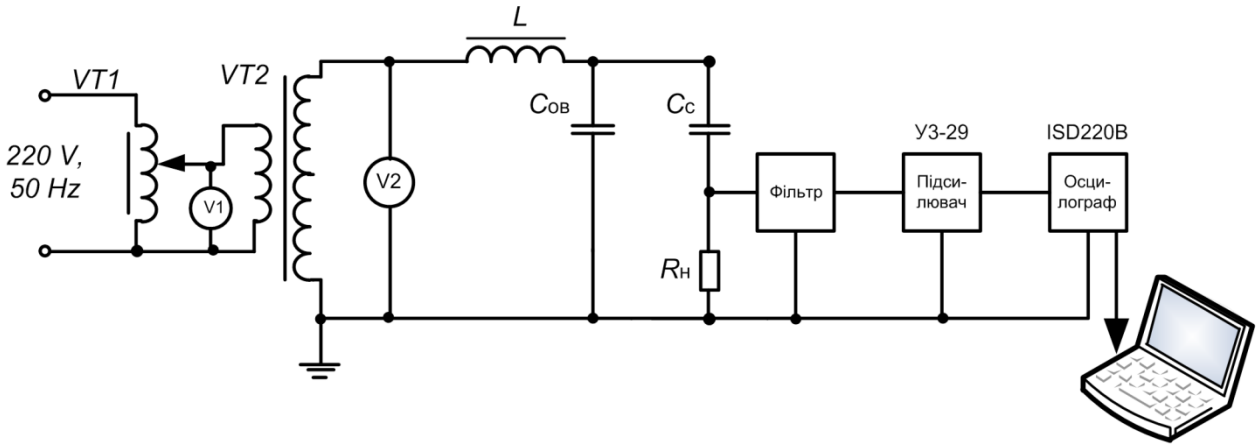

Рисунок 2 – Структурна схема вимірювання часткових розрядів

Живлення установки здійснюється від мережі 220 В, 50 Гц через автотрансформатор VT1. Значення напруги контролюється вольтметром V1. Для отримання високої випробної напруги застосований трансформатор напруги VT2 типу НОМ-10. Вимірювання величини прикладеної до зразка високої напруги відбувається кіловольтметром V2 типу С-196 з межею

вимірювання напруги 15 кВ. Зразок ізоляції разом зі схемою вимірювання відстроєні від обмотки високої напруги котушкою L індуктивністю 1950 мкГн. Разом з ємністю вольтметра та ємністю трансформатора вони утворюють фільтр нижніх частот, перешкоджаючи протіканню струмів ЧР через трансформатор. Об'єкт випробування $C_{ов}$ є коміркою із зразком ізоляції, яка складається з системи пласких мідних дискових електродів. Один електрод має діаметр 50 мм, а другий може замінюватися на електроди діаметром від 10 мм до 40 мм. У якості приєднувальної ємності C_c використаний конденсатор з керамічною ізоляцією типу КВИ-3. Він має робочу напругу 10 кВ та ємність 2200 пФ. Приєднувальна ємність з'єднана з «землею» через безіндуктивний резистор R опором 500 Ом, на якому виділяються імпульси ЧР.

Реєстрація ЧР виконується цифровим осцилографом типу INTRUSTAR ISD220B [4]. Для фільтрації напруги частотою 50Гц застосований фільтр верхніх частот з коефіцієнтом затухання на частоті 50Гц не менше ніж 80 dB. Сигнал імпульсів ЧР підсилюється підсилювачем типу У3-29.

Експериментальне дослідження можливостей розробленої схеми показало, що використання пасивного фільтру високих частот в сполученні з підсилювачем У3-29 забезпечило досить високу чутливість вимірювання ЧР (0,1-0,5 пКл) у поєднанні з високим рівнем стійкості до електромагнітних завад в умовах роботи діючої лабораторії високих напруг.

На рис. 3 та рис. 4 наведені результати реєстрації часткових розрядів у зразку електротехнічного картону (не висушеного) товщиною 2 мм.

На рис. 3 наведена осцилограма виникнення початкових ЧР при напрузі 5 кВ (амплітудне значення) з уявним зарядом 38 пКл.

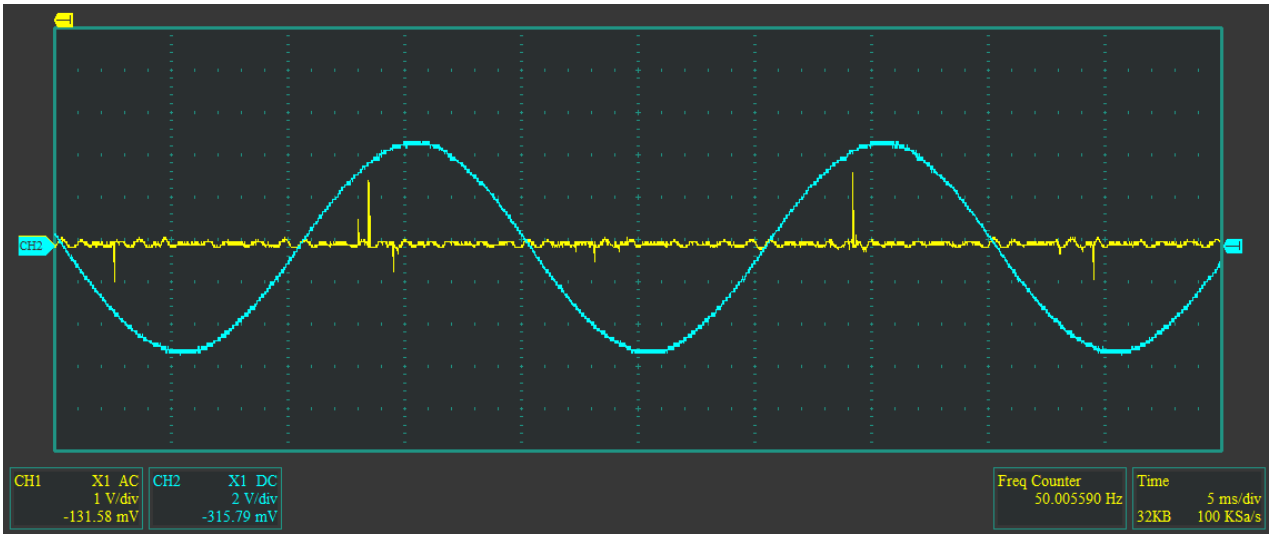

Рисунок 3 – Осцилограма часткових розрядів при напрузі 5,0 кВ змінного струму

На рис. 4 наведена осцилограма часткових розрядів більшої інтенсивності з уявним зарядом 52 пКл, які виникають при випробній напрузі 7,1 кВ (амплітудне значення).

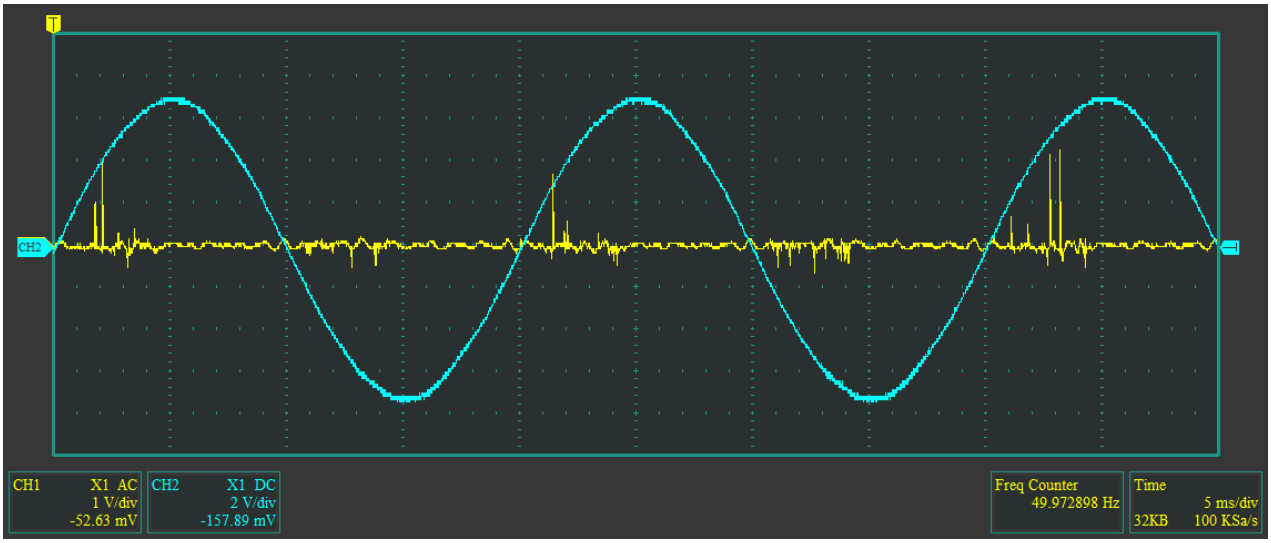

Рисунок 4 – Осцилограма часткових розрядів при напрузі 7,1 кВ змінного струму

Висновки: Дослідження виготовленої установки для реєстрації характеристик часткових розрядів у зразках паперової ізоляції підтвердили високу чутливість системи реєстрації, яка знаходиться на рівні 0,1 пКл. Експерименти зі зразками електрокартону товщиною 2,0 мм показали можливість надійної реєстрації ЧР в такій ізоляції, рівень яких склав 20-50 пКл. Порівняння результатів моделювання процесів виникнення ЧР в паперовій ізоляції з експериментальними результатами, отриманими на цій установці та викладеними в [5], підтверджують ії високу єфективність. Дана установка, маючи значний запас по чутливості, дає можливість провести дослідження ЧР на зразках висушеного та просоченого трансформаторним маслом електрокартону.

Перелік посилань

1. ГОСТ 20074-83. "Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения характеристик частичных разрядов".

2. IEC 60270:2000. "High-voltage test techniques partial discharge measurements".

3. Вдовико В. П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. Новосибирск: Наука, 2007. 155 с.

4. http://www.intrustar.com

5. Trotsenko Y., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Y. Experimental study and modeling of partial discharge detection system // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 4, No. 1 (42). pp. 17-22.