

ВИЗНАЧЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ СТЕНДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ В ЗРАЗКАХ ІЗОЛЯЦІЇ МАЛОЇ ЄМНОСТІ

Проценко О.Р., к.т.н., доц., Троценко Є.О., к.т.н., доц., Клименко О.С.,
студент, Циганков Р.С., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Проектування та розробка ізоляції обладнання високої напруги вимагає врахування усіх чинників, які впливають на її надійність протягом значного часу експлуатації. Одним з факторів, які можуть значно скоротити строк служби ізоляції є виникнення часткових розрядів (ЧР). Умови виникнення ЧР залежать від конструкції ізоляційних елементів, конфігурації розподілу електричного поля в якому вони знаходиться, властивостей безпосередньо самого ізоляційного матеріалу, технологічних особливостей його виготовлення та ін. 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 в цілому та призвести до пошкодження енергетичного обладнання.

Для дослідження характеристик ізоляційних матеріалів на предмет умов виникнення ЧР, їх якісних та кількісних характеристик, використовуються експериментальні установки та інформаційно-вимірювальні комплекси. Їх конструкції та апаратне забезпечення залежать від об'єкта досліджень, умов його експлуатації та мети дослідження. Для визначення закономірностей виникнення ЧР на зразках високовольтної ізоляції, зокрема електротехнічного картону (різного походження, товщини, зволоження) полімерних та скляних матеріалів використовується експериментальна установка, конструкція якої була описана в [1]. Особливістю досліджень ЧР в ізоляційних матеріалах є незначні розміри зразків та електродних систем, що призводить до малої ємності випробовуваної ізоляції та ускладнює визначення кількісних показників ЧР рекомендованими методами [2, 3].

Мета роботи. Розробка методики калібрування експериментального стенду для досліджень закономірностей виникнення ЧР в моделях паперової ізоляції з малою власною ємністю.

Матеріали і результати досліджень. Основні схеми установок для дослідження ЧР та методики вимірювання рекомендовані в нормативно-технічній літературі [2, 3]. Частковий розряд є локалізованим розрядом, який може частково шунтувати ізоляцію між двома різнопотенціальними електродами. У більшості випадків, ЧР є результатом місцевих концентрацій напруженості електричного поля та проявляють себе у вигляді імпульсу струму довжиною не більше 1 мкс, які виникають всередині випробовуваного об'єкту. Імпульс струму, спричинений ЧР, попадаючи на спеціальний детектор, перетворюється в сигнал струму або напруги пропорційний заряду імпульсу на його вході. Але заряд, який виникає в зоні розряду не може бути виміряний безпосередньо. Для характеристик ЧР використовується поняття уявного заряду

q_0 , тобто такого заряду, котрий будучи миттєво внесений у міжелектродну систему досліджуваного зразка ізоляції спричиняє таку ж зміну напруги на його електродах (а значить і на вимірювальних приладах схеми реєстрації) як і реальний розряд. Уявний заряд вимірюється в кулонах (Кл).

Для того, щоб бути певним у тому, що між вимірним значенням уявного заряду ЧР, та реальним зарядом ЧР в об'єкті досліджень існує визначена залежність, схеми реєстрації ЧР повинні пройти калібрування та градуювання. Градуювання вимірювальної системи проводиться з метою визначення масштабного коефіцієнту k , який однозначно пов'язує величину уявного заряду з реакцією вимірювальної системи на його виникнення. У [2, 3] рекомендовані наступні схеми калібрування (рис. 1,а) та градуювання (рис. 1,б), які відрізняються тільки місцем включення вимірювальної системи – послідовно зі з'єднувальним конденсатором (рис. 1,а), або послідовно з об'єктом (рис. 1,б):

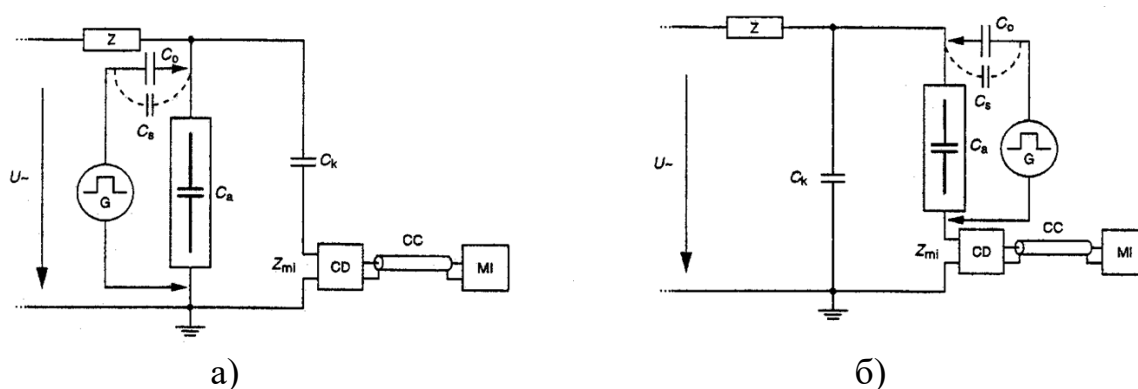


Рисунок 1 – Підготовка системи вимірювання часткових розрядів
а) схема калібрування; б) схема градуювання

На рис. 1: U – джерело високої напруги; G – генератор імпульсів калібрувальний; C_0 – градуювальний конденсатор; Z_{mi} – вхідний опір вимірювальної системи; CC – з'єднувальний кабель; C_k – з'єднувальний конденсатор; C_a – випробувальний об'єкт; C_s – паразитна ємність; CD – з'єднувальний пристрій (зазвичай включає в себе фільтр верхніх частот та підсилювач сигналів); MI – вимірювальний прилад; Z – вхідний фільтр (зазвичай фільтр верхніх частот).

Градуювання вимірювальної системи проводиться шляхом подачі короткочасних імпульсів струму з часом наростання не менше ніж 60 нс від генератора G через градуювальний конденсатор C_0 відомої величини уявного заряду $q_0 = U_0 C_0$ на виводи випробувального об'єкту. Для того, щоб градуювання вважалось дійсним, необхідно забезпечити співвідношення між градуювальним конденсатором та ємністю об'єкту $C_0 < 0,1 \cdot C_a$.

Однак, зважаючи на те, що ємність зразка ізоляції, який використовуються для досліджень характеристик ЧР, знаходиться в межах від 1 до 5 пФ, викладена вище вимога до градуювального конденсатора C_0 , який повинен мати ємність від 0,1 пФ до 0,5 пФ, не може бути дотримана практично.

Крім того паразитна ємність C_s , очевидно, буде такого ж порядку як і ємність C_0 , або навіть більшою. у цих умовах градування виміральної системи по наведеним на рис. 1 схемам не може бути виконана. Враховуючи вищенаведене, у роботі була запропонована, реалізована та випробувана інша схема градування. Її умовно можна назвати послідовною (рис. 2).

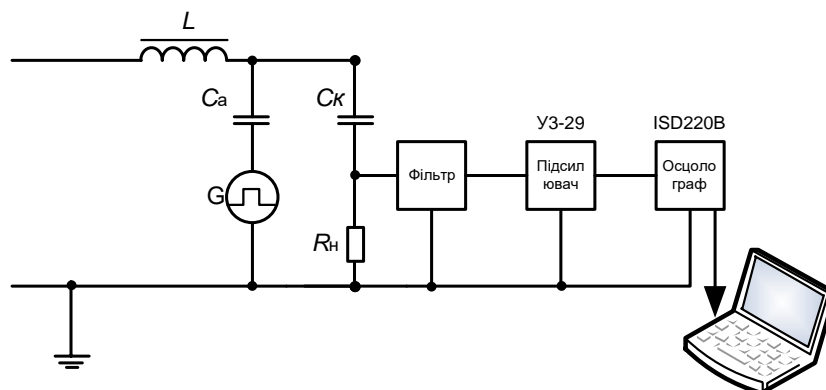


Рисунок 2 – Схема градування, використана в експерименті

Градування виконувалось на випробному стенді, описаному в [1]. В основі схеми покладена умова включення генератора імпульсів G послідовно з об'єктом випробування. При такому включенні враховуються всі паразитні параметри випробувальної схеми автоматично, на протипагу схемам рис. 1, де такі паразитні параметри необхідно було враховувати окремо при проведенні градування. Крім того зникає необхідність у градуювальному конденсаторі з жорсткими вимогами до його ємності. При подачі імпульсу від генератора G в об'єкт дослідження C_a вводиться відповідний заряд, який визначається як $q_0 = C_a U_0$ (де U_0 – вихідна напруга генератора G , C_a – ємність випробовуваного зразка ізоляції). В результаті на виході виміральної системи буде реєструватись імпульс пропорційний введеному заряду. Якщо визначити відношення амплітуди сигналу, отриманому на виміральному приладі, до введеного заряду q_0 , отримуємо градувальний коефіцієнт k . Коефіцієнт k у подальшому використовується при визначенні величини заряду ЧР у випробовуваних зразках високовольтної ізоляції, які використовуються в дослідженнях. Реєстрація імпульсів 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. Експериментальне дослідження можливостей розробленої схеми показало, що використання пасивного фільтру високих частот в сполученні з підсилювачем УЗ-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 градування схеми реєстрації ЧР у зразку електротехнічного картону товщиною 2 мм. На рис. 3 наведена

осцилограма градуєвального імпульсу амплітудою 10 В, фронт імпульсу – приблизно 10 нс, що задовольняє вимогам стандартів [2, 3].



Рисунок 3 – Калібрувальний імпульс



Рисунок 4 – Результат реєстрації калібрувального імпульса вимірювальною схемою

Оскільки ємність зразка ізоляції у даній системі електродів $C_a \approx 1$ пФ, амплітуда градуєвального імпульсу $U_0 = 10$ В, то інжектований заряд склав $q_0 = C_a U_0 = 1,0 \cdot 10,0 = 10$ пКл. При такому заряді реакція вимірювальної схеми склала 2 В. Таким чином градуєвальний коефіцієнт дорівнює $k = 5$ пКл на вольт.

Висновки: Дослідження запропонованої методики калібрування установки для реєстрації характеристик часткових розрядів показали, що вона може використовуватись досить ефективно у випадках, коли досліджуваний об'єкт на час градуєвання може бути від'єднаний від заземленого електроду. Результати реєстрації калібрувальних імпульсів показали, що вони можуть бути надійно зафіксовані та виміряні з мінімальною похибкою до 10%, (похибка осцилографа), а похибки, пов'язані з паразитними параметрами схеми реєстрації автоматично враховуються при проведенні градуєвання означеною методикою та не потребують додаткових корегувань результатів. Крім цього необхідно відмітити, що існує можливість підвищення чутливості вимірювальної схеми до 0,05 пКл на вольт, насамперед, за рахунок збільшення підсилення осцилографа мінімум у 100 разів (до 10 мВ/діл, проти використаного на рис. 4 – 1 В/діл) без повторного проведення процедури градуєвання схеми.

Перелік посилань

1. Проценко О.Р., Троценко Є.О., Малафійчук Л.В., Яременко Д.С. Стенд для дослідження характеристик часткових розрядів в ізоляції електроустаткування високої напруги. Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених, аспірантів та студентів "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". Url – <http://jour.fea.kpi.ua/article/view/165127/164190>.
2. Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов. – ГОСТ Р 55191-2012.
3. IEC 60270:2000. "High-voltage test techniques partial discharge measurements".
4. <http://www.intrustar.com>