

РОЗРОБКА ФІЛЬТРА ВЕРХНІХ ЧАСТОТ ДЛЯ СТЕНДУ З ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ

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. При дослідженні часткових розрядів (ЧР), які виникають в ізоляції обладнання високої напруги, базовим є вимірювання уявного заряду часткового розряду. Для дослідження часткових розрядів в нормативно-технічній документації [1,2] рекомендовані декілька схем. Особливість таких схем полягає в тому, що на навантажувальному елементі (датчику інформаційного сигналу) виділяється крім імпульсів від ЧР також і випробна напруга частотою 50 Гц. Амплітуда цього сигналу набагато, в 10^3 - 10^4 разів, перевищує амплітуду імпульсів ЧР. Таким чином сигнал випробної напруги створює завади, які перешкоджають реєстрації імпульсів ЧР. Для боротьби з цим явищем використовуються фільтри верхніх частот [3]. В технічній літературі наводяться основні вимоги до таких фільтрів, але конкретних конструкцій та значення їх елементів не наводиться, вважаючи, що при кожному дослідженні дослідники самостійно розрахують та зроблять такий фільтр виходячи з можливостей та потреб конкретної випробної установки.

Мета роботи. Розробка пасивного фільтру верхніх частот експериментального стенду для досліджень закономірностей виникнення ЧР в моделях паперової високовольтної ізоляції.

Матеріали і результати досліджень. Серед існуючих схем пасивних фільтрів в роботі розглядались фільтри Батерворта та Чебишева відповідно 4-го та 3-го порядку.

Розрахунок фільтрів проводився за допомогою моделювання в демонстраційній версії Micro-Cap Evaluation/Student Version [4].

Особливість фільтру Батерворта полягає в тому, що його амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) в полосі пропускання має максимально гладкий характер в протиположності фільтру Чебишева, який в полосі пропускання допускає нелінійність АЧХ до 3 дБ.

Фільтри розраховувались виходячи з опору навантаження 500 Ом, значення якого було вибрано, як компромісне. Якщо опір буде малий, меншим 100 Ом, характеристики фільтру можуть бути досягнуті простішими засобами, але амплітуда сигналу на такому навантаженні буде занадто малою і потребує більшого підсилення підсилювачем. Великий опір, більше 1000 Ом, дасть достатньо великий сигнал імпульсу ЧР, але необхідні характеристики фільтру можуть бути отримані за рахунок значних індуктивностей.

Приклад розрахунків АЧХ для таких фільтрів представлений на рис. 1 та рис. 2. При розрахунках були задані частота пропускання фільтрів на рівні мінус 20 дБ - 500 Гц, нерівномірність АЧХ в полосі пропускання від 1000 Гц не більше 3 дБ.

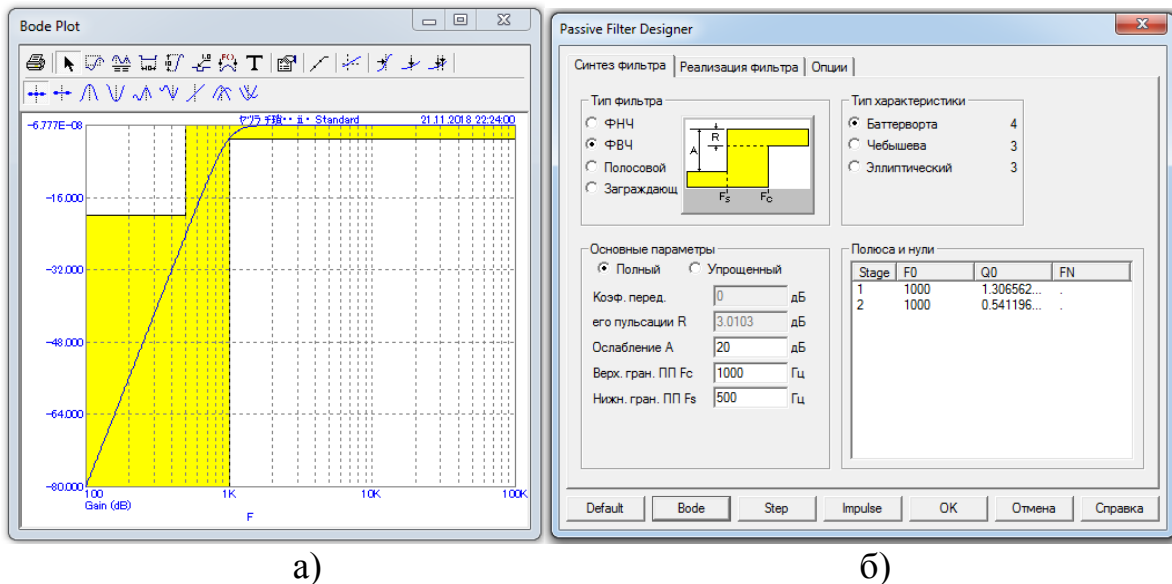


Рисунок 1 – Амплітудно-частотна характеристика фільтра Баттерворта 4-го порядку:
 а) вікно з діаграмою Бодє; б) вікно з параметрами фільтра

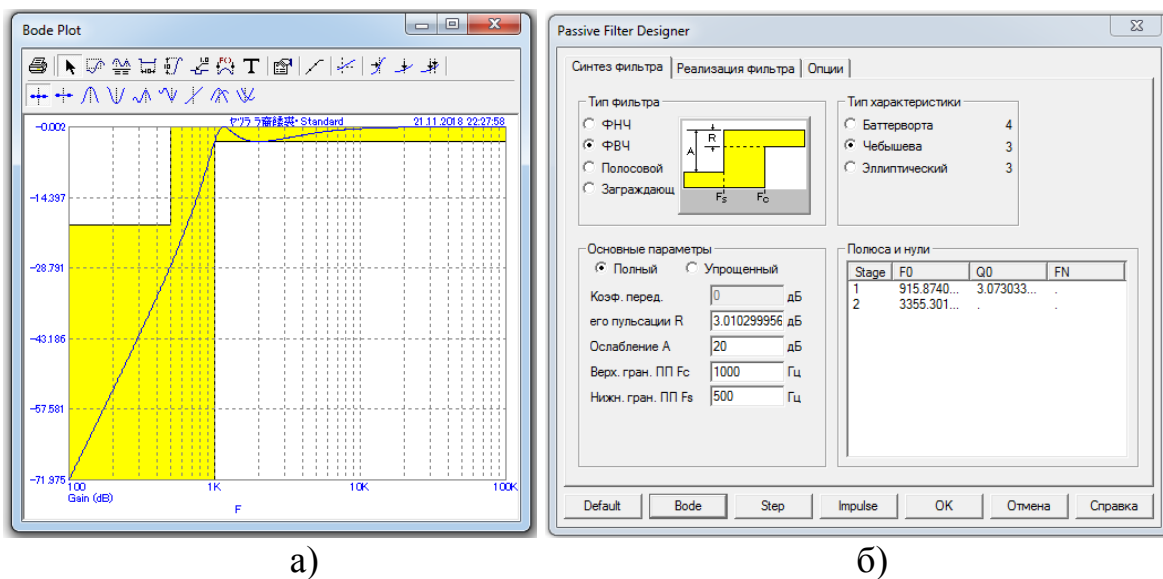


Рисунок 2 – Амплітудно-частотна характеристика фільтра Чебишева 3-го порядку:
 а) вікно з діаграмою Бодє; б) вікно з параметрами фільтра

Аналіз проведених розрахунків показав, що фільтр Чебишева, маючи не лінійність АЧХ в полосі пропускання 3 dB, створює затухання на частоті 100 Гц на рівні 72 dB, в той час як фільтр Баттерворта на тій же частоті має затухання – 80 dB і рівномірну (без затухань) АЧХ в полосі пропускання.

Тому для конструкції фільтра вимірнювальної установки був вибраний саме фільтр Баттерворта 4-го порядку. Його схема наведена на рис. 3.

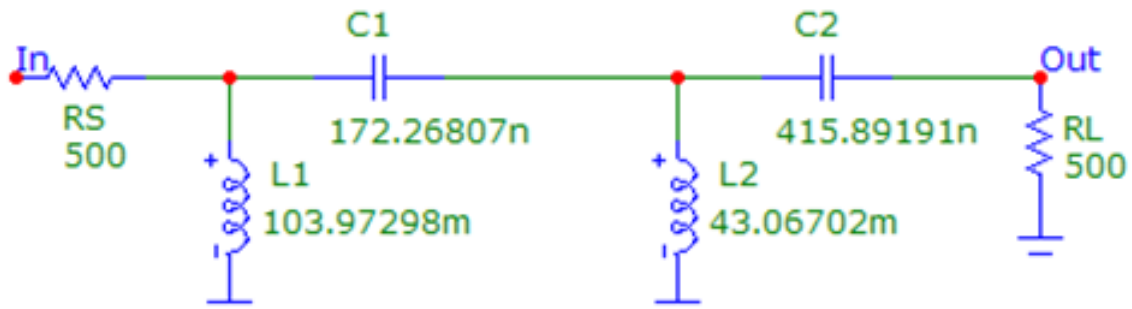


Рисунок 3 – Електрична схема фільтра Батерворта 4-го порядку.

Для виготовлення індуктивностей фільтра були застосовані феритові осердя та провід ПЕВ-2 діаметром 0,2 мм. З метою оптимізації розмірів котушок індуктивностей та спрощення процесу їх виготовлення був проведений розрахунок для трьох типів осердь. Результати наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку феритових осердь

	$L_1 = 103,9 \text{ мГн}$			$L_2 = 43,06 \text{ мГн}$		
Розміри	1500НМ	3000НМ	2000НМ	1500НМ	3000НМ	2000НМ
$d_1 \times d_2 \times h$	38×24×7	16×19×9	45×28×12	38×24×7	16×19×9	45×28×12
ω	330,99	223,968	215,58	213,098	144,195	138,795
$l_w \text{ (м)}$	9,368	4,535	8,939	6,067	2,924	5,791

В табл. 1: d_1 , d_2 , h – відповідно зовнішній, внутрішній діаметри та висота осердя в мм; ω – кількість витків; l_w – довжина проводу, м.

Виходячи з конструктивних та технологічних міркувань вибір був зупинений на котушках з феритовим осердям магнітною проникністю 1500 (тип 1500НМ) та зовнішнім діаметром 38 мм.

Конструктивно фільтр зібраний на платі з склотекстоліту покритою з обох сторін мідною фольгою. Плата розроблена таким чином, щоб уникнути взаємного впливу котушок індуктивностей який може погіршити властивості фільтра. Плата розміщена в циліндричному алюмінієвому корпусі діаметром 90 мм та висотою 112 мм. В корпусі встановлений вхідний роз'єм на фторопластовому ізоляторі та вихідний стандартний роз'єм типу BNC. Також передбачені елементи заземлення корпусу та його кріплення. Загальний вигляд фільтра високих частот наведений на рис. 4.



а)



б)

Рисунок 4 – Фотографія фільтра високих частот:
а) внутрішній вигляд; б) зовнішній вигляд

Експериментальні дослідження характеристик установки з розробленим фільтром показали його задовільні характеристики, які дозволяють забезпечити чутливість вимірювання уявного заряду ЧР на рівні 10^{-13} - 10^{-12} Кл. Приклад осцилограми при реєстрації ЧР з зарядом 5 пКл наведений на рис. 5. Аналіз результатів реєстрації дає надію при застосуванні підсилювача з більшим коефіцієнтом підсилення на досягнення чутливості як мінімум на порядок, а при забезпеченні екранування від сторонніх електромагнітних завад – на два порядки, до 10^{-14} Кл.

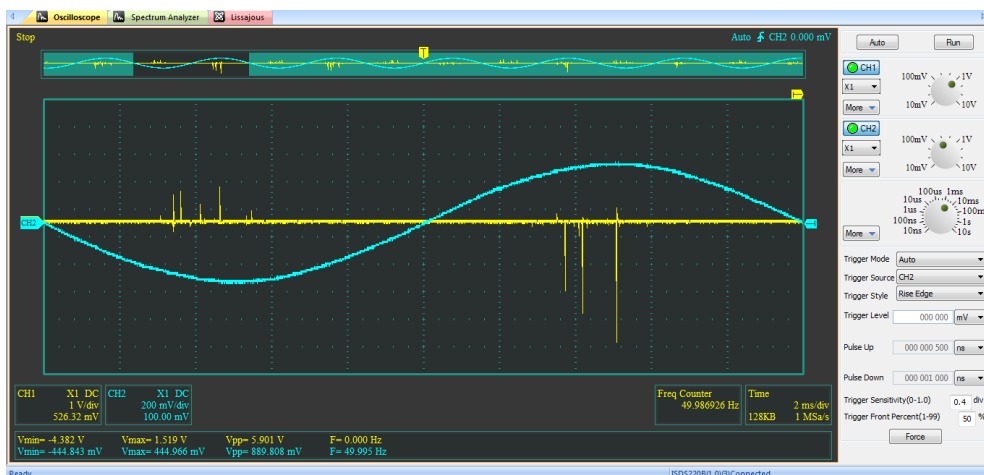


Рисунок 5 – Осцилограма імпульсів ЧР в електрокартоні товщиною 2 мм та напрузі 2,1 кВ

Для реєстрації імпульсів часткових розрядів використовувався цифровий осцилограф PC-OSCILLOSCOPE, модель ISDS220B (виробник INSTRUSTAR [5]). З'єднання осцилографа з персональним комп'ютером здійснювалося через USB-інтерфейс. На рис. 5 жовтим кольором показано зареєстровані імпульси часткових розрядів, а яскраво-синім кольором показано синусоїдальну напругу, що прикладена до електрокартону.

Висновки: Експериментальна експлуатація фільтра високих частот, який був розроблений для використання в дослідній установці по вивченню закономірностей розвитку часткових розрядів в паперовій ізоляції високовольтних апаратів, показав його високі характеристики. Даний фільтр пропускає високі частоти вхідного сигналу (імпульси часткових розрядів), при цьому пригнічує низькі частоти сигналу (напруга частотою 50 Гц). Електричний метод виявлення часткових розрядів чутливий до різного роду завад, тому для захисту від них фільтр було розміщено в екрані (рис. 4).

Завдяки достатній фільтрації випробувальної напруги частотою 50 Гц чутливість вимірювальної схеми установки досягала 10^{-12} Кл і обмежувалась тільки можливостями підсилювача сигналів. При використанні підсилювача з більшим коефіцієнтом підсилення чутливість схеми вимірювання може бути збільшена мінімум в 10^2 разів. Це дасть змогу вивчати зразки ізоляції досить високої якості в якій рівень ЧР є набагато нижчим, ніж в тих зразках, які використовувались в даній роботі. Установка використовувалась для визначення можливостей моделювання ЧР та співставлення їх результатів з реальним експериментом [6].

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. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия. Ленингр. Отд-ние, 1979. – 224 с.
4. <http://www.spectrum-soft.com/download.shtm>
5. <http://www.intrustar.com>
6. 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.