

ЕФЕКТИВНІСТЬ АКТИВНОГО ФІЛЬТРА У ЗМЕНШЕННІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ШУМІВ ПІД ЧАС ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В умовах сучасного розвитку електроенергетики, розподільчі електричні системи стикаються зі значним впливом високочастотних шумів та перехідних процесів, що можуть негативно впливати на якість електропостачання та ефективність роботи підключених пристроїв. У даному дослідженні детально розглядається роль активного фільтра у контролі та зменшенні цих небажаних явищ.

Ключові слова: силовий активний фільтр, високочастотні шуми, перехідні процеси, якість електропостачання, нелінійні навантаження, частотні характеристики, резонансна частота.

Abstract

In the conditions of the modern development of the electric power industry, electrical distribution systems face a significant impact of high-frequency noise and transient processes, which can negatively affect the quality of power supply and the efficiency of the connected devices. This study examines in detail the role of the active filter in controlling and reducing these undesirable phenomena.

Keywords: power active filter, high-frequency noise, transient processes, power supply quality, nonlinear loads, frequency characteristics, resonant frequency.

Вступ

Сучасні розподільчі електричні системи є складними технічними утвореннями, які забезпечують надійне та ефективне електропостачання для різних секторів суспільства. Однак, зростання кількості чутливих електричних пристроїв та розширення використання електроніки породжують проблеми, пов'язані з високочастотними шумами та перехідними процесами, що можуть впливати на якість електроенергії.

У зв'язку з цим, дослідження напрямків покращення якості електропостачання стає актуальною задачею [1]. Силові активні фільтри (САФ), як інтегральна частина сучасних електроенергетичних систем, визначаються як ефективний інструмент для зменшення високочастотних шумів та впливу перехідних процесів на розподільчих лініях [2, 3].

Дослідження в області використання активних фільтрів для управління високочастотними шумами та перехідними процесами привертає увагу вчених через їхню спроможність активного реагування на електричні аномалії. Важливою перевагою є те, що ці системи можуть бути програмовані для адаптації до різних умов та ефективного фільтрування навіть найскладніших високочастотних спотворень.

Результати дослідження

Оцінка високочастотного нелінійного шуму в електричній напрузі може бути складною задачею, оскільки вона залежить від конкретних характеристик системи, які можуть включати в себе різноманітні електричні елементи та умови експлуатації. Для виявлення високочастотних нелінійних шумів використовують методи спектрального аналізу для виявлення частотного складу напруги чи струму.

В якості генератора високочастотних шумів використано нелінійне навантаження (випрямляч, схема Ларіонова) з комплексним опором $12+j1,256$ Ом, паралельне лінійне навантаження з опором $15+j1\dots j15$ Ом, Активний фільтр встановлений на відстані 20 м від навантаження та 200 м від джерела живлення 400 В. Моделювання проводиться на проміжку 0,3 с, період зміни навантаження $T/2$. Рівень некомпенсованих вищих гармонік напруги визначається $U_{h23}, U_{h25}, U_{h29}, U_{h31}, U_{h35}, U_{h37}, U_{h41}, U_{h43}, U_{h47}, U_{h49}, U_{h53}, U_{h55}, U_{h59}$ гармоніками. Для струмів характерні $I_{h23}, I_{h29}, I_{h31}, I_{h37}$,

I_{h43} гармоніки. Коефіцієнт нелінійного спотворення струмів THDI = 15,76 % (рис. 1, а) та напруг THDU = 8,35 % (рис. 1, б) мережі.

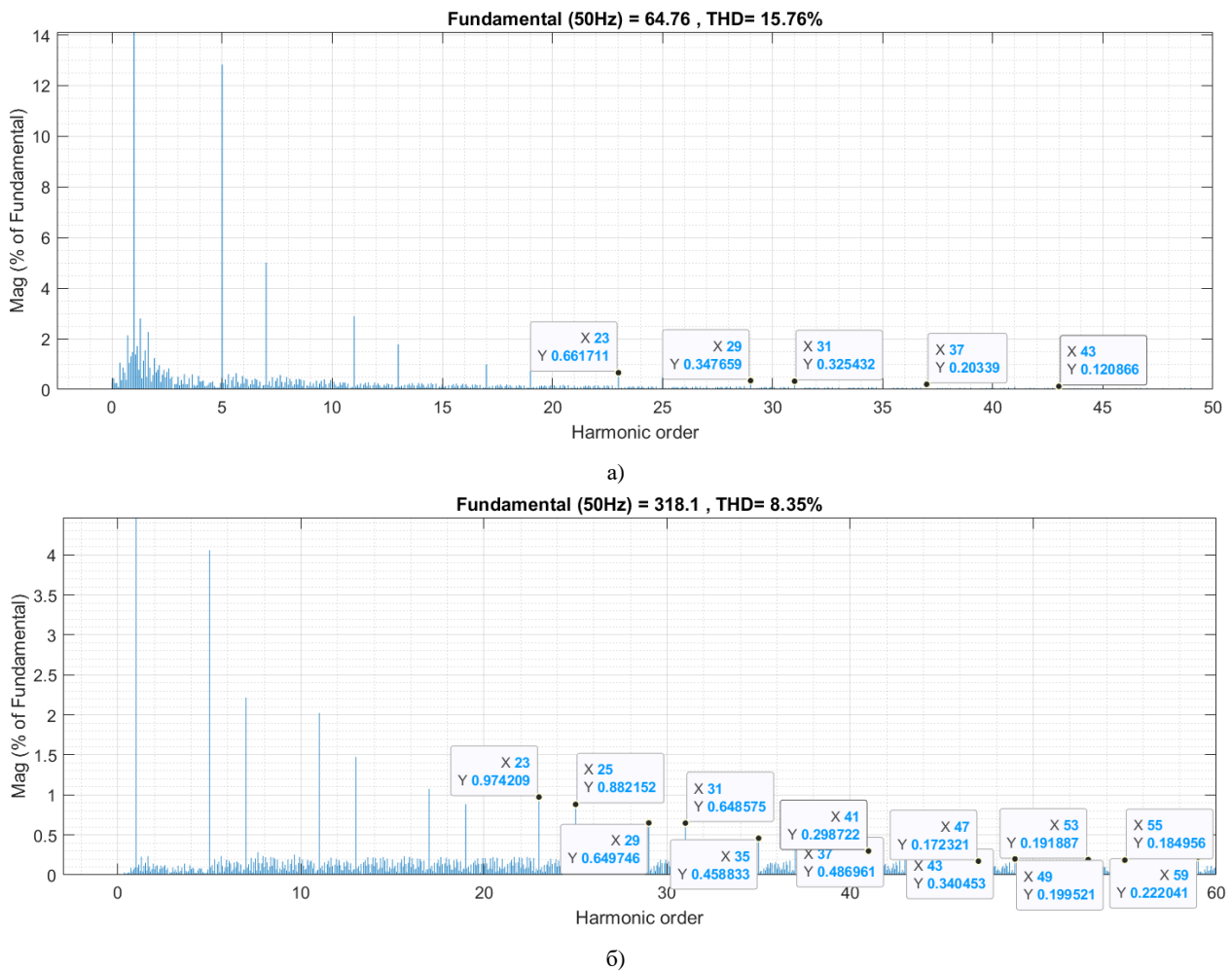


Рис. 1. Гістограма загального гармонічного спотворення а) напруги та б) струму навантаження розкладеного в ряд Фур'є

Для компенсації високочастотних шумів використано САФ, схема керування якого описана в [2, 3] з параметрами індуктивності вихідного реактора $L=0,5$ мГн та ємністю накопичувального конденсатора $C=2500$ мкФ. Задавальна напруга $U_{dref}=1000$ В. Для компенсації реактивної потужності встановлено паралельний конденсатор з ємністю 10 мкФ по виходу.

Особливістю САФ є нова схема кола керування напругою конденсатора (рис. 2), яка працює в двох режимах, компенсації нижніх частот, у разі проходження основного сигналу через фільтр нижніх частот та компенсації верхніх частот, у разі шунтування фільтра нижніх частот. В будь-якому випадку загальне гармонічне спотворення залишається незмінним. Також, особливістю нової схеми керування напругою конденсатора є можливість керування амплітудно-частотною та фазо-частотною характеристиками за допомогою підсилювача резонансних частот. Дана структура допомагає змістити резонансний спектр в потрібний діапазон.

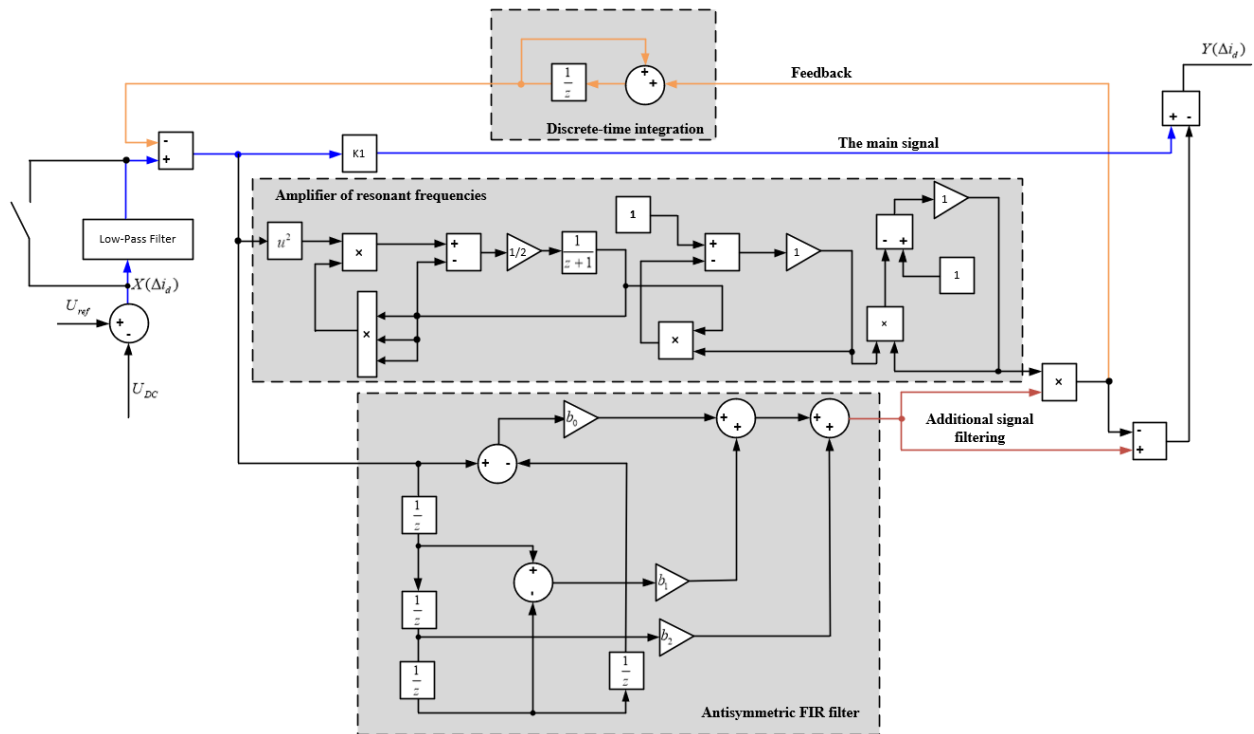


Рис. 2. Функціональна схема системи керування напругою конденсатора САФ

Передатна функція для схеми керування напругою конденсатора з фільтром нижніх частот реалізована в z-перетворенні у вигляді

$$\frac{Y(\Delta i_d)}{X(\Delta i_d)} = \frac{0,002499 \cdot z^3 - 0,003098 \cdot z^2 + 9,995 \cdot 10^{-5} \cdot z + 0,0004998}{z^4 - 1,999 \cdot z^3 + 0,999 \cdot z^2 - 4,163 \cdot 10^{-7} \cdot z - 7,131 \cdot 10^{-18}} \quad (1)$$

Для схеми керування без фільтра нижніх частот z-перетворення змінює свій характер до вигляду

$$\frac{Y(\Delta i_d)}{X(\Delta i_d)} = \frac{2,5 \cdot z^3 - 3,1 \cdot z^2 + 0,1 \cdot z + 0,5}{z^3 - z^2 + 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot z - 1,937 \cdot 10^{-21}} \quad (2)$$

Використання САФ з новою схемою керування напругою конденсатора забезпечує ефективну фільтрацію високочастотних шумів струму, для 23, 29, 31, 37 та 43 гармонік (рис. 3, а), що виникають внаслідок роботи різноманітних нестационарних навантажень. Для компенсації шумів в напрузі у САФ виникають складнощі в компенсації 25, 29 та 33 гармонік (рис. 3, б). Недолік такої компенсації виникнення інтергармонік, амплітуди яких, можуть досягати вище основних гармонік. Також виявлено, що САФ успішно компенсує перехідні процеси, сприяючи стабільності напруги та покращенню динаміки розподільчих електричних мереж. Один з ключових параметрів, який впливає на перехідні процеси, - це час реакції. Його можна визначити як відношення індуктивності до опору мережі (індуктивного часу), або як відношення ємності до опору мережі (емісійного часу). Для САФ індуктивність вихідного реактора потрібно підібрати якомога меншу, для компенсації перехідних процесів. В іншому випадку можуть виникати гармонічні пульсації, що перевищують критичні значення та можуть нашкодити електричним пристроям.

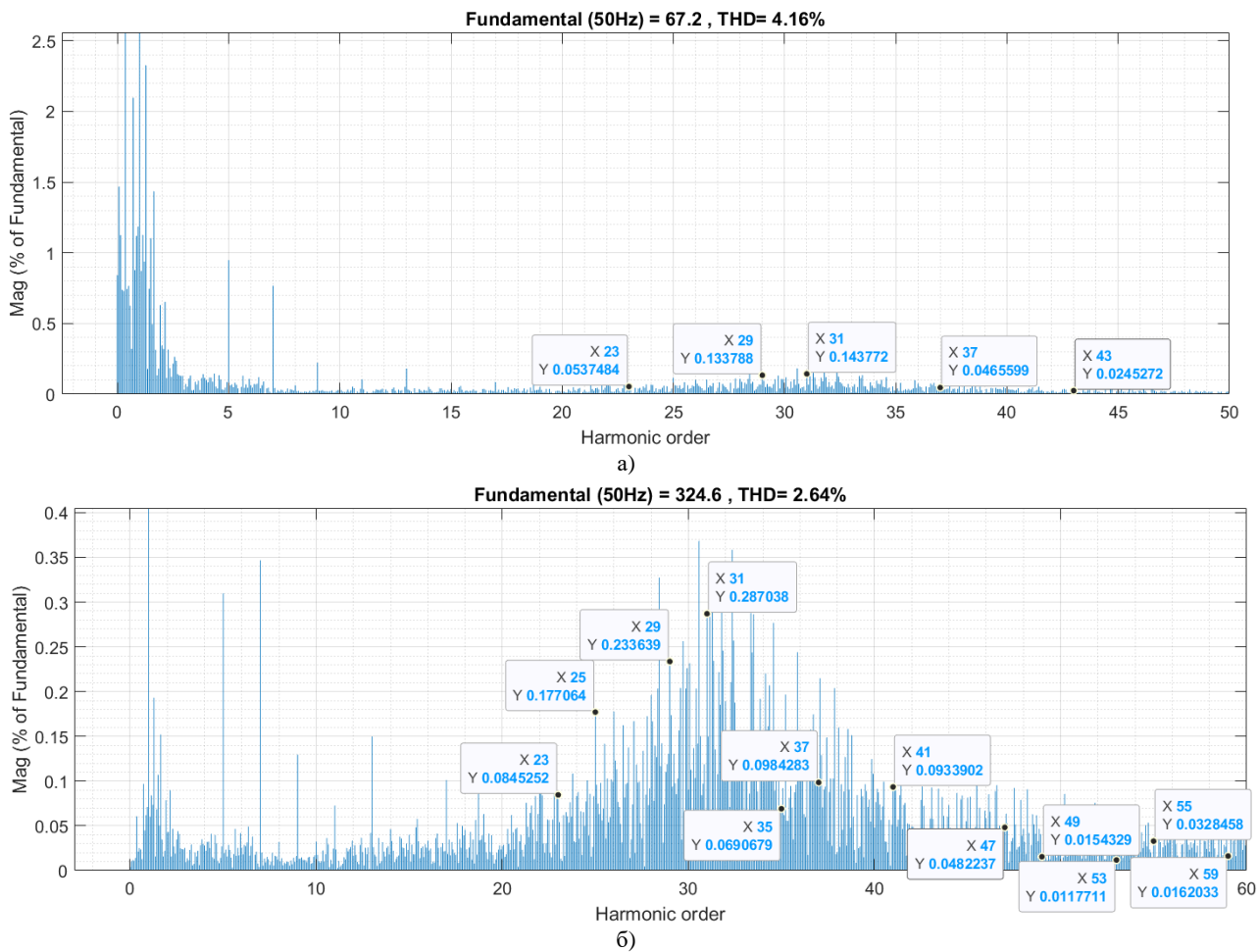


Рис. 3. Гістограма загального гармонічного спотворення а) напруги та б) струму мережі розкладеного в ряд Фур'є

Висновки

Використання активних фільтрів виявляється дієвим засобом у покращенні якості електропостачання. Активні фільтри ефективно фільтрують високочастотні шуми та компенсують перехідні процеси, сприяючи стабільності та надійності розподільчих електричних систем. Їхні параметри та алгоритми керування визначаються для оптимального управління електричними спотвореннями, що робить їх ключовим елементом для сучасних інженерних рішень у галузі енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурбело М. Й. Розробка цифрового блоку схеми керування напругою конденсатора активного фільтра [Електронний ресурс] / М. Й. Бурбело, Д. Ю. Лебедь // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2022/paper/view/15298>.
2. Бурбело М. Й. Оптимізація часу заряду/розряду конденсаторів активного фільтра під час коливань напруги / М. Й. Бурбело, Д. Ю. Лебедь, О. Р. Лещенко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 3. – С. 119–124.
3. Бурбело М. Й. Підвищення точності регулювання напруги на конденсаторі активного фільтра / М. Й. Бурбело, О. М. Кравець, Д. Ю. Лебедь // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2022. – Вип. 1. – С. 28–34.

Лебедь Денис Юрійович – аспірант кафедри ЕСЕМ, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com

Lebed Denys Yuriiovych – Department of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: 4e15b.lebyd@gmail.com