

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

УДК 621.314

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.66.096>

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ТРИФАЗНИЙ ПАСИВНИЙ ФІЛЬТР ГАРМОНІК СТРУМУ МЕРЕЖІ

В. М. Губаревич *, канд. техн. наук, **Ю.В. Маруня** **, канд. техн. наук, **В.П. Кабан**, канд. техн. наук, **В.Ю. Матвєєв**, канд. техн. наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Берестейський, 56, Київ, 03057, Україна
e-mail: marunia@ied.org.ua

Проведено аналіз відомих універсальних фільтрів гармонік струму. Запропоновано варіант трифазного пасивного фільтра гармонік струму мережі, завдяки зміні структури якого обмежується значення напруги на навантаженні в режимах роботи, близьких до холостого ходу. Виконано математичне моделювання такої системи, що живить мостовий випрямляч з ємнісним фільтром та активним навантаженням потужністю 5 кВт. Наведено навантажувальні характеристики та залежності коефіцієнта гармонік струму від зміни потужності навантаження розробленого фільтра. Бібл. 2, рис. 3.

Ключові слова: коефіцієнт гармонік струму, THD_r , пасивний фільтр, активний фільтр паралельного типу, гібридний фільтр, децентралізована система електропостачання.

Вступ. Відомо про широке застосування універсальних фільтрів гармонік струму, які підключаються між трифазною мережею та нелінійним навантаженням і поліпшують електромагнітну сумісність такого навантаження з мережею живлення. Процес відбувається завдяки фільтрації гармонічних складових та обмеження їхньої величини, що генеруються нелінійним навантаженням в електричному устаткуванні різноманітного призначення і потрапляють в мережу живлення, у такий спосіб забезпечуючи високу якість напруги на шинах розподільчих пристроїв і якісне електроживлення споживачів. Недоліком такого роду фільтрів є те, що в режимах низьких навантажень (у тому числі холостого ходу) напруга на виході фільтра може перевищувати напругу мережі живлення на значну величину, що обмежує діапазон їхньої роботи. Серед типових аналогів розповсюдженим є універсальний фільтр гармонік, що виробляється фірмою «MIRUS» (Канада), Lineator [1]. Цей фільтр складається з трифазного дроселя, що має по три обмотки, розміщені на кожному стрижні в кожній фазі, і групи конденсаторів, крім того, перша обмотка в кожній фазі приєднана своїм початком до мережі, а кінець її сполучений з кінцем другої обмотки, і в точку сполучення цих обмоток своїм початком включається третя обмотка, кінець якої підключається до конденсатора, який так само з конденсаторами інших фаз з'єднаний в «трикутник» або «зірку», а до вільного початку другої обмотки під'єднується навантаження. Основним недоліком такого фільтра є обмежений діапазон роботи, а також те, що всі обмотки розміщені на загальному магнітопроводі і між ними існує магнітний зв'язок. У результаті такого з'єднання гармоніки, що протікають у резонансній третій обмотці, трансформуються в інші обмотки і далі потрапляють у мережу живлення, чим зменшують ефективність фільтрації.

Крім того, відомим є пасивний фільтр з магнітним шунтом [2], призначений для придушення вищих гармонік струму, що генеруються нелінійним навантаженням, магнітне осердя якого має три стрижні. Кожний стрижень відповідає одній із трьох фаз системи електроживлення, а також має принаймні один магнітний шунт, що проходить через усі стрижні та магнітнозв'язаний в їхній середній частині. Перша та друга частини осердя на кожній із двох



сторін шунта мають для кожної фази фазну обмотку з одним кінцем для з'єднання з першою фазою і другим кінцем, водночас ця фазна обмотка знаходиться на першій частині осердя; для кожної фази друга (резонуюча) обмотка, що має перший кінець, з'єднаний з другим кінцем фазної обмотки, і другий кінець обмотки, з'єднаний з конденсатором. Конденсатор має другий вивід, з'єднаний з другою фазою або з другим конденсатором, що підключений до другої фази, крім того, фазна та резонуюча обмотки зв'язані за допомогою магнітного шунта, а навантаження підключається в кожній фазі в точку з'єднання фазної та резонуючої обмоток. Осердя має один або декілька немагнітних зазорів. Завдяки такому виконанню магнітні потоки, що створюються фазною та резонуючою обмотками, розділені за допомогою магнітного шунта, що значною мірою ослаблює магнітний зв'язок між обмотками, а отже, фільтрація гармонік фільтра з такою конструкцією є кращою, ніж у [1]. Однак, основними недоліками такого фільтра є складність виготовлення осердя фільтра та неможливість зменшення напруги в режимах, близьких до холостого ходу, до заданого рівня. Ці недоліки звужують діапазон роботи фільтра та погіршують його фільтрувальні властивості.

Метою роботи є розробка трифазного пасивного фільтра з наперед заданим значенням напруги на навантаженні в режимах роботи, близьких до холостого ходу.

У роботі пропонується новий трифазний фільтр гармонік струму (рис.1), що має магнітне осердя з одним або декількома немагнітними зазорами, яке включає в себе три стрижні, кожний з яких відповідає одній із трьох фаз системи електроживлення, та два ярма, розміщені на кінцях цих стрижнів, що замикають їхні магнітні потоки. На кожному стрижні магнітного осердя відповідно кожній фазі розміщені фазна ($L1$) та узгоджена резонансна ($L2$) обмотки.

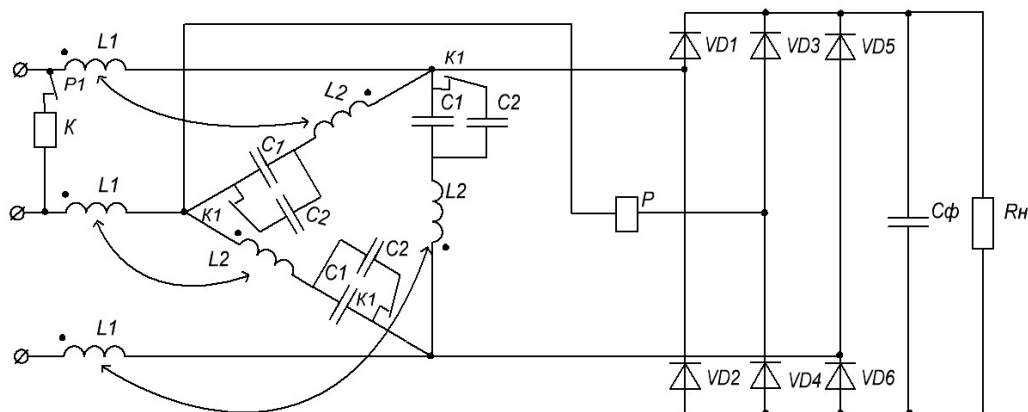


Рис. 1

У такий спосіб досягається новий технічний результат, адже фазна та резонансна обмотки розміщуються як у звичайного трифазного дроселя на одному магнітному осерді без магнітного шунта, що значно спрощує конструкцію фільтра. З метою обмеження напруги в режимах, близьких до холостого ходу, вводиться реле струму (P) і контактор (K). Залежно від величини струму, що протікає через реле, воно включає або виключає контактор, який зі свого боку підключає або відключає конденсатор $C2$, впливаючи таким чином на параметри резонансного контуру. Резонансний контур складається із резонансної обмотки $L2$ та послідовно з нею включеного блоку конденсаторів. Блок конденсаторів складається з конденсатора $C1$ та паралельно підключеного до нього через контакт $K1$ конденсатора $C2$. Конденсатор $C1$ підключено між резонансною обмоткою однієї фази та точкою сполучення фазної та резонансної обмоток іншої фази.

Для дослідження роботи розробленого фільтра було проведено комп'ютерне моделювання схеми, зображеної на рис. 1 в середовищі MicroCap. Параметри елементів схеми обиралися, виходячи з використання трифазної мережі 0.4 кВ, 50 Гц за номінального навантаження в 5 кВт. Навантаженням є трифазний випрямний міст із резистором R_H і згладжуючу-

єю пульсації випрямленої напруги батареєю конденсаторів C_{ϕ} великої ємності на виході. Параметри розробленого фільтра є такими: $L1= 50$ мГн; $L2= 2.5$ мГн; $C1=C2 =4$ мкФ. Було проаналізовано роботу такого фільтра без та з підключенням $C2$ та отримано навантажувальні характеристики для обох випадків (рис. 2), а також залежності зміни коефіцієнту гармонік струму (THD_I) від потужності навантаження P_H (рис. 3).

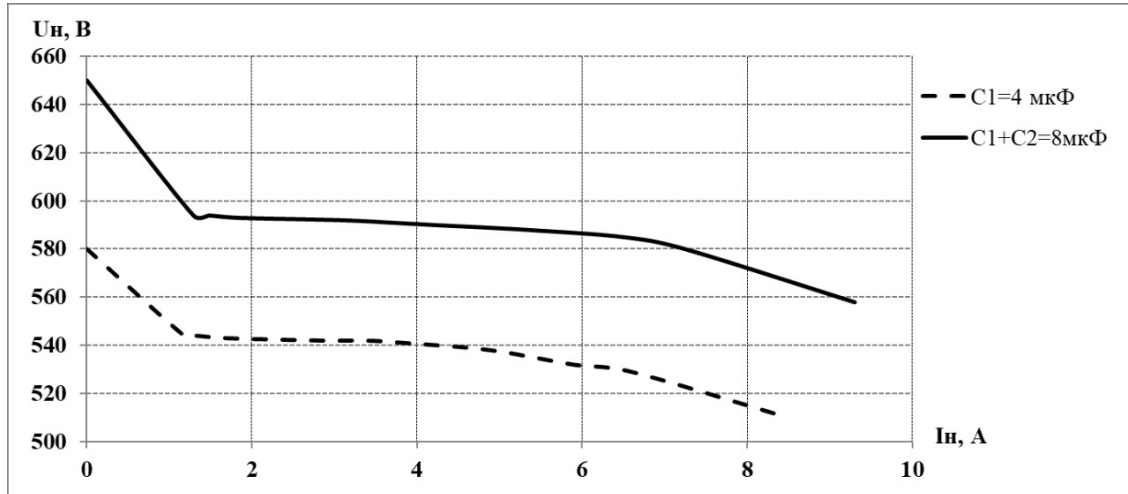


Рис. 2

Рис. 2 ілюструє, що для обмеження рівня напруги в режимах, близьких до холостого ходу, запуск схеми повинен відбуватися за відключеного конденсатора $C2$. У подальшому, у разі досягнення струмом навантаження встановленого значення спрацьовує реле струму P , яке своїм контактом PI подає напругу на контактор K , а останній підключає конденсатор $C2$, і робота фільтра відбувається вже за сумарної ємності обох конденсаторів, що забезпечує необхідну ступінь фільтрації в номінальних режимах роботи, як видно з рис. 3 (неперервна крива). Таким чином, за наявності в навантаженні чутливого обладнання, що не допускає перевищення напруги вище 600 В, забезпечується надійне та якісне його електроживлення. Наступним кроком у дослідженні цього фільтра авторами планується проведення оптимізації його параметрів для використання в гібридній структурі в рамках науково-дослідної роботи.

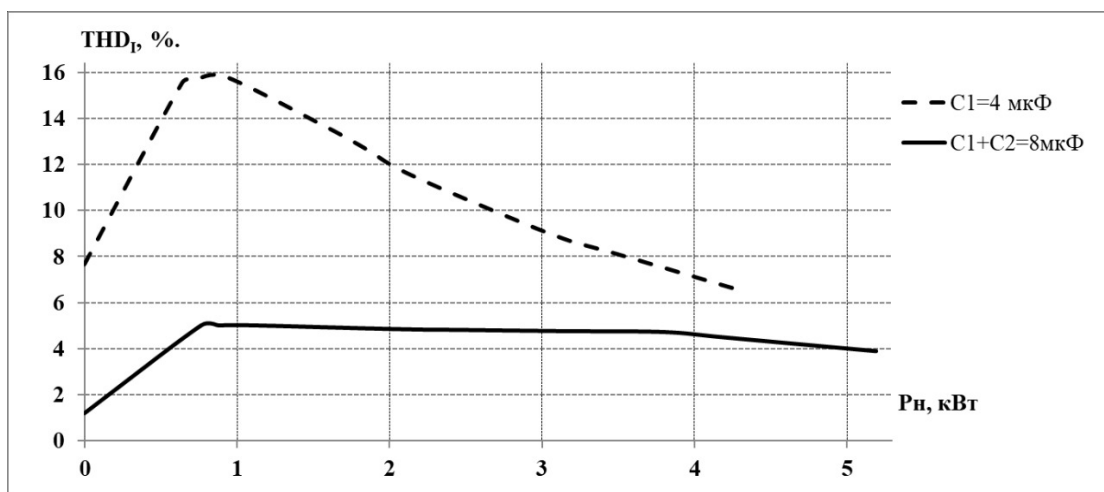


Рис. 3

Висновок. Розроблено трифазний універсальний пасивний фільтр, у якому зміна параметрів резонансного контуру зменшує рівень підвищення напруги на навантаженні в режимах роботи, близьких до холостого ходу, що призводить до зменшення установленної по-

тужності фільтру без погіршення значення рівня коефіцієнта гармонік струму в номінальному режимі роботи навантаження.

Фінансується за держбюджетною темою "Аналіз, синтез та розвиток принципів побудови гібридних фільтрів гармонік струму як універсальних засобів покращення електромагнітної сумісності пристроїв перетворювальної техніки з мережею живлення" (Шифр "Гібрид"), що виконується за Постановою Бюро ВФТПЕ 29.06.2021, протокол № 8. Державний реєстраційний номер 0122U001711, КПКВК 6541030.

1. Levin M., Volkov I. Patent Universal Harmonic Mitigating System /Pub. № US 6,127,743// 10.01.2000.
2. Levin M., Hoevenaars A., Volkov I. Patent application publication/Harmonic mitigating device with magnetic shunt / Pub. №US 2006 / 0197385 A1 (USA) // Sep.7.2006.

UNIVERSAL THREE-PHASE PASSIVE MAINS CURRENT HARMONIC FILTER

V.M. Gubarevich, Yu.V. Marunia, V.P. Kaban, V.Yu. Matveev

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

Beresteiskyi ave., 56, Kyiv, 03057, Ukraine

e-mail: marunia@ied.org.ua

An analysis of well-known universal filters of current harmonics was carried out. A variant of the three-phase passive filter of network current harmonics is proposed, due to the change in its structure, the value of the voltage on the load is limited in operating modes close to idling. Mathematical modeling of such a system, which feeds a bridge rectifier with a capacitive filter and an active load with a power of 5 kW, was performed. The load characteristics and the dependence of the current harmonic coefficient on the change in the load power of the developed filter are given. Ref. 2, fig. 3.

Keywords: current harmonic coefficient, THD_I , passive filter, active filter of parallel type, hybrid filter, decentralized power supply system.

Надійшла: 07.06.2023

Прийнята: 18.09.2023

Submitted: 07.06.2023

Accepted: 18.09.2023