

**В.М. Рябенський** (1; ORC ID: 0000-0002-6998-746X)

**д.т.н., проф**

**С.Л. Трибулькевич** (1; ORC ID: 0000-0001-5783-6616)

**ст. викладач**

**О.О. Ушкаренко** (1; ORCID: 0000-0002-3159-330X)

**д.т.н., проф**

**В.Л. Тимченко** (1; ORCID: 0000-0003-4259-3919)

**д.т.н., проф**

**С.В. Драган** (1; ORCID: 0000-0001-8634-782X)

**к.т.н., проф.**

**А.В. Обрубов** (1; ORCID: 0000-0001-9667-1703)

**д.т.н., доцент**

<sup>1</sup>Національний університет кораблебудування імені адмірала  
Макарова, м. Миколаїв

## **МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ І ОПТИМІЗАЦІЯ КОМБІНОВАНИХ ФІЛЬТРІВ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ ГАРМОНІК**

У роботі досліджено вплив зовнішніх завад та комутації навантаження на якісні показники напруги живлення при використанні активних енергетичних фільтрів паралельного типу. Метою статті є оцінка динамічної точності та стабільності вихідних параметрів активних фільтрів для забезпечення живлення прецизійної апаратури. За допомогою імітаційного моделювання в середовищі MATLAB/Simulink проаналізовано реакцію системи на різкі зміни вхідних сигналів за допомогою «одиночної ступінчастої функції». Встановлено закономірність, згідно з якою амплітуда та тривалість перехідних процесів безпосередньо залежать від контурного коефіцієнта підсилення системи. Результати показали, що пускові сплески амплітуди можуть вдвічі перевищувати вхідний сигнал, а тривалість коливань після перехідного процесу сягає 1 секунди.

**Ключові слова.** Активні енергетичні фільтри (АЕФ), динамічні властивості, перехідні процеси, коефіцієнт підсилення, стабілізація напруги, ПІД-регулятор, MATLAB/Simulink.

**Постановка задачі.** Сучасний розвиток прецизійної електронної апаратури вимагає створення джерел живлення з екстремально високими показниками стабільності та низьким рівнем пульсацій вихідної напруги (струму), що не перевищують 0,001–0,01% від номінального значення [1, 2]. Найбільш перспективним методом досягнення таких параметрів є застосування активних енергетичних фільтрів (АЕФ), які працюють на принципі компенсації вищих гармонік.

Проте функціонування таких високоточних систем відбувається в умовах інтенсивних зовнішніх завад, спричинених коливаннями, сплесками та провалами напруги живлення, а також динамічною комутацією навантажень. Ці чинники можуть суттєво погіршувати якість електроживлення та призводити до виникнення небажаних перехідних процесів.

З огляду на це, постановка задачі даного дослідження включає:

1. Аналіз особливостей процесу пуску джерела живлення з активним фільтром при впливі типу «одинична ступінчаста функція» для оцінки реакції системи на різку зміну вхідного сигналу.

2. Оцінку впливу контурного коефіцієнта підсилення операційного підсилювача на амплітуду та тривалість перехідних процесів, оскільки встановлено, що сплески амплітуди під час пуску можуть у два рази перевищувати величину вхідного сигналу.

3. Дослідження динаміки системи при наявності некерованого випрямляча та визначення швидкості затухання коливань вихідної напруги, які зазвичай виникають на власній частоті пасивного фільтра.

4. Аналіз реакції системи на комутацію навантаження, що супроводжується затухаючими коливальними процесами, тривалість яких безпосередньо залежить від ефективності подавлення гармонік активною частиною фільтра.

5. Оцінку стійкості та динамічної точності комбінованого підходу до фільтрації в середовищі MATLAB/Simulink, де використовуються ПІД-регулятори та блоки широтно-імпульсної модуляції (PWM) для стабілізації живлення в умовах динамічних збурень.

Таким чином, головним завданням є визначення ступеня впливу зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів на якісні показники напруги для забезпечення надійної роботи високоточної електронної апаратури.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Активні енергетичні фільтри (АЕФ) отримали значний розвиток, починаючи з 90-х років



минулого століття, спочатку в потужних системах керованого постійного струму, а згодом — у прецизійній електроніці. Питанням підвищення якості електроенергії та електромагнітної сумісності (ЕМС) присвячено багато праць [3 – 7]. Сучасні дослідження акцентують увагу на використанні MATLAB/Simulink для моделювання динамічних процесів та застосуванні швидкої широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) на базі IGBT-ключів для ефективного подавлення неканонічних гармонік [8 – 17].

**Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Традиційні пасивні фільтри мають детерміновані властивості, вони громіздкі та не здатні адаптуватися до швидких змін навантаження або спектру гармонік. Незважаючи на успіхи в стабілізації напруги, залишається актуальною проблема забезпечення екстремально високої стабільності (рівня 0,001–0,01%) для прецизійної апаратури [1, 2] в умовах різких пускових режимів та динамічних завод. Крім того, недостатньо вивченим залишається вплив контурного коефіцієнта підсилення на тривалість низькочастотних коливань після завершення перехідних процесів, а також ризики виникнення автоколивань у складних комбінованих структурах.

**Мета дослідження.** Метою роботи є оцінка ступеня впливу зовнішніх завод (коливань, сплесків та провалів напруги живлення) та комутації навантажень на динамічну точність і стабільність вихідних параметрів активних фільтрів паралельного типу. Дослідження спрямоване на визначення оптимальних параметрів системи для забезпечення відповідності жорстким вимогам до якості електроживлення високоточної електронної апаратури.

**Методи, об'єкт та предмет дослідження.** Об'єкт дослідження: Електромагнітні перехідні процеси та динамічні режими роботи в активних енергетичних фільтрах за умов зовнішніх збурень та зміни параметрів мережі.

Предмет дослідження: Динамічні властивості (амплітуда сплесків, тривалість затухання коливань, стабільність) активних фільтрів паралельного типу зі зворотним зв'язком.

Методи дослідження:

Імітаційне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink для відтворення реальних режимів роботи САР.

Використання апарату теорії автоматичного регулювання, зокрема аналіз реакції системи на «одиничну ступінчасту функцію».

Метод параметричного синтезу для налаштування ПІД-регуляторів та оцінки впливу контурного підсилення на стійкість системи.

**Основний матеріал.** Активні енергетичні фільтри, що будуються на принципі компенсації вищих гармонік, мають високу ефективність згладжування випрямленої напруги. Їх доцільно використовувати в блоках живлення, до яких пред'являються високі вимоги до стабільності і пульсацій вихідної напруги, або струму, які характеризуються величинами, що не перевищують (0.001 – 0.01)% номінального значення вихідного параметра.

В той же час такі блоки живлення працюють в умовах зовнішніх завад, що обумовлені коливаннями і сплесками – провалами напруги живлення, так і комутацією навантажень. Тому важливо оцінити ступінь впливу таких завад на якісні показники напруги живлення електронної апаратури.

На рис.1 наведена схема АФПР при роботі на фіксоване значення напруги живлення і навантаження активним опором R1.

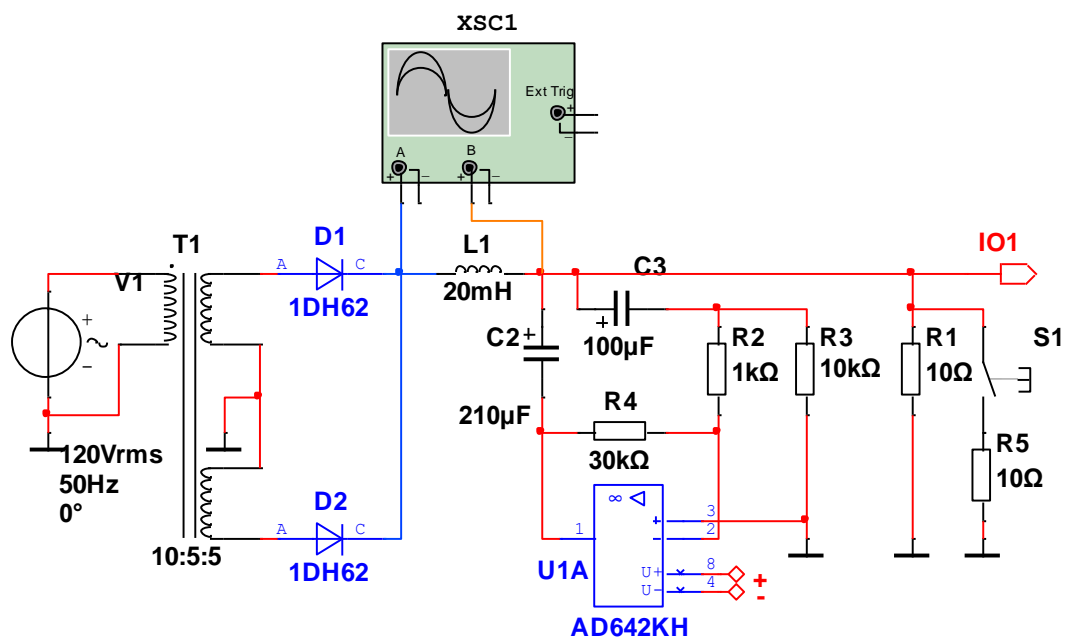


Рис.1. Схема активного фільтра з паралельною компенсацією

Розглянемо спочатку особливості процесу пуску джерела живлення з активним фільтром. Скористаємось впливом типу «одинична ступінчаста функція» (Рис. 2, б).

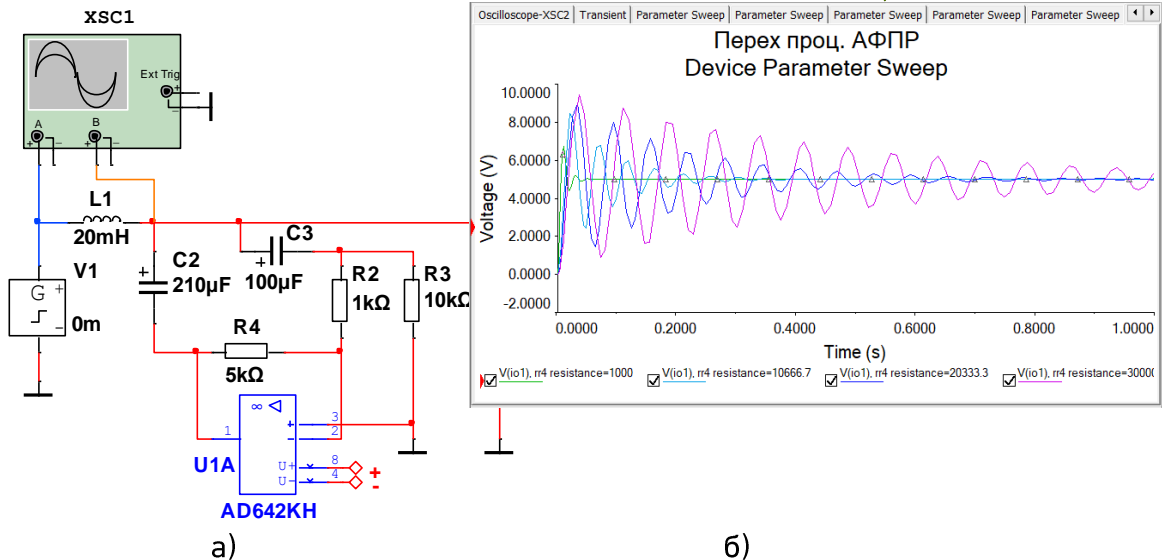


Рис.2. Процес пуску джерела живлення з активним фільтром

Як витікає з осцилограми, що наведена на рис. 2, б амплітуда і тривалість перехідного процесу пуску зростають з ростом контурного коефіцієнта підсилення операційного підсилювача (ОП), що необхідно враховувати при проектуванні активного фільтра. При цьому важливим є той факт, що сплеск амплітуди досягає величини, що майже в два рази перевищує величину вхідного сигналу. По завершенню пускового режиму у вихідній напрузі мають місце незначні низькочастотні коливання, тривалість яких може досягати 1 сек, а амплітуда – до 5 В.

Розглянемо тепер процедуру пуску при наявності не керованого випрямляча (рис. 1). В такому випадку процес пуску має такий же характер (рис. 3, а), але швидкість процесу суттєво прискорюється і практично не перевищує 150 мсек. В той же час має місце коливальний процес напруги на виході з амплітудою до 5 В і частотою, що співпадає з власною частотою пасивного фільтра який затухає в межах 1 сек.

Характер процесу включення випрямляча з активним фільтром не змінюється і при зміні опору навантаження ( резистора R1) ( Рис. 3, б)

При зміні параметрів фільтра (індуктивності L1 і ємності C2) характер процесу не змінюється, як не змінюється і величина сплеску напруги (рис.4, а, б).

При комутації навантаження (рис. 5, а, б) має місце також затухаючий коливальний процес з тою ж частотою, амплітуда

першого сплеску (провалу) залежить від величини комутуємого навантаження. Тривалість коливального процесу залежить від ефективності подавлення гармонік. Осцилограми зняті в масштабі 50В/ділення.

Для зниження величини провалів та сплесків напруги, а також зниження тривалості перехідного процесу розглядається регулювання вихідної напруги за допомогою знижуючого DC/DC перетворювача (рис. 5).

Схема є моделлю системи автоматичного регулювання напруги в середовищі MATLAB/Simulink, де реалізовано комбінований підхід до фільтрації та стабілізації живлення за допомогою ПІД-регулятора та активних елементів.

Контур керування складається з блоку зі значенням 40, який задає опорну вихідну напругу, яку система повинна підтримувати; ПІД-регулятору, що отримує сигнал неузгодженості (різницю між заданим значенням та реальним вихідним сигналом зворотного зв'язку); блоків введення завад Step та Step1, підключені до суматорів після ПІД-регулятора, імітують динамічні збурення в системі керування, що дозволяє досліджувати стійкість та час перехідних процесів. Блок PWM перетворює аналоговий сигнал від регулятора в імпульси для керування ключем силової частини.

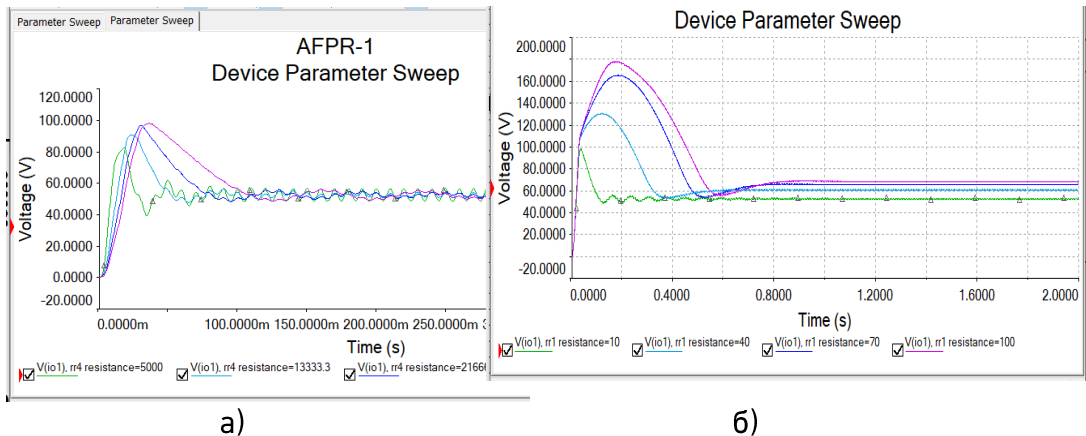


Рис.3. Процес пуску джерела живлення з активним фільтром при зміні параметрів коефіцієнту підсилення (а) та навантаження (б)

Силова частина складається з джерела змінного струму, підключене до трансформатора з випрямними діодами та формує первинну постійну напругу на накопичувальному конденсаторі, керованого ключа (транзистор/IGBT), який працює в режимі

перемикання для регулювання енергії, що передається в навантаження. Схема містить індуктивність, що утворюють пасивний фільтр нижніх частот для згладжування високочастотних пульсацій, що виникають при комутації.

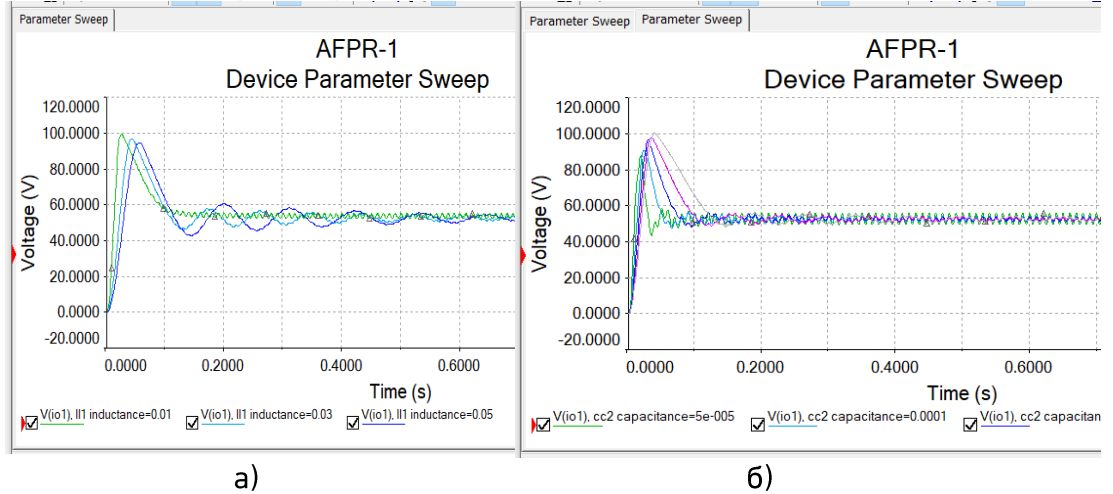


Рис.4. Процес пуску джерела живлення з активним фільтром зміни параметрів фільтра (індуктивності L1 і ємності C2)

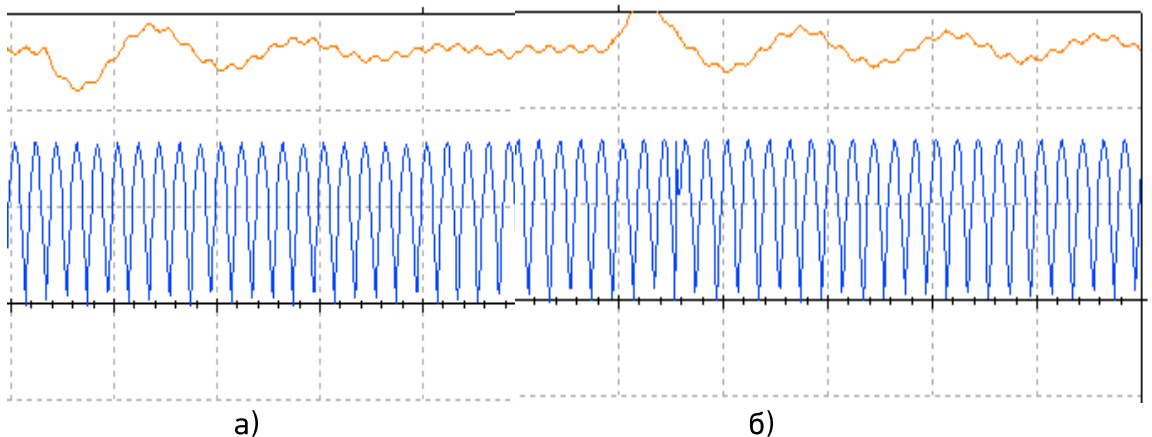


Рис.4. Процес пуску джерела живлення при комутації навантаження

Праворуч розташований блок з ключем та додатковим резистором (R\_load2). Це дозволяє моделювати «накид» або «скид» навантаження, що є критичним для перевірки динамічної точності системи.

Осцилограми вихідної напруги з розімкненим (рис. 6) та замкненим контуром зворотного зв'язку (рис.7) показують, що введення ПІД регулятора підвищує точність стабілізації вихідної

напруги, але не призводить до ефективного зниження сплесків напруги при збуреннях.

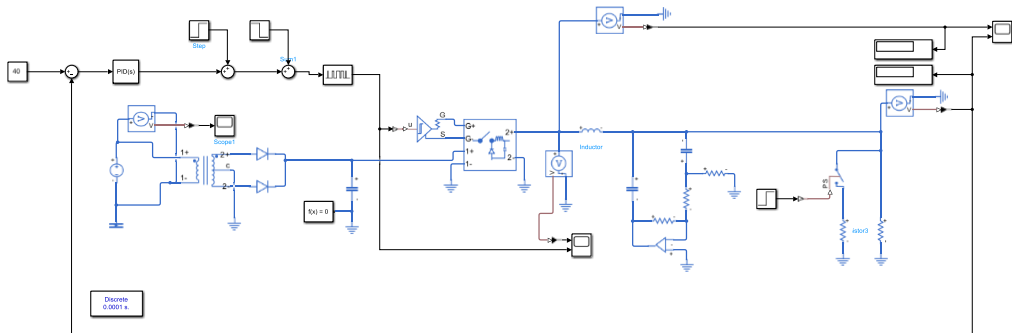


Рис. 5. Matlab модель джерела напруги з ШІМ регулюванням вихідної напруги

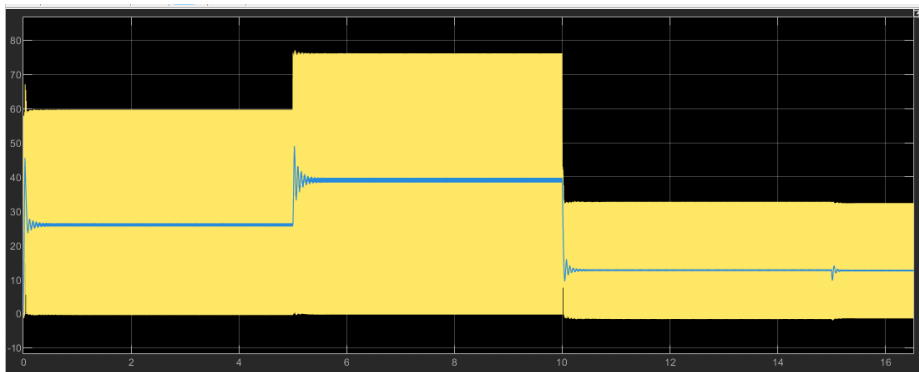


Рис.6 Осцилограма напруги перед та після активного фільтра при відсутності зворотного зв'язку по напрузі

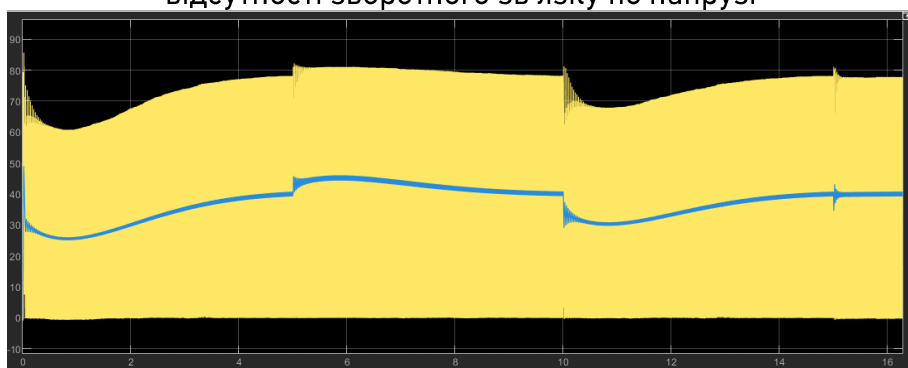


Рис.7 Осцилограма напруги перед та після активного фільтра з зворотнім зв'язком по напрузі та ПІД регулятором

**Висновки.** На основі проведеного дослідження динамічних властивостей активних енергетичних фільтрів (АЕФ) можна зробити наступні висновки:



Активні енергетичні фільтри, що працюють на принципі компенсації вищих гармонік, забезпечують екстремально високу стабільність вихідної напруги (струму) на рівні 0,001–0,01% від номінального значення. Це робить їх незамінними для живлення прецизійної електронної апаратури в умовах інтенсивних зовнішніх завад.

Встановлено, що амплітуда та тривалість перехідних процесів під час пуску системи безпосередньо залежать від контурного коефіцієнта підсилення операційного підсилювача. При високих значеннях підсилення пусковий сплеск амплітуди може вдвічі перевищувати величину вхідного сигналу.

Після завершення пуску у вихідній напрузі спостерігаються незначні низькочастотні коливання амплітудою до 5 В, тривалість яких може досягати 1 секунди. Наявність у схемі некерованого випрямляча значно прискорює процес пуску (до 150 мс), проте зберігає коливальний характер на власній частоті пасивного фільтра.

Дослідження показали, що зміна параметрів пасивного фільтра (індуктивності  $L_1$  та ємності  $C_2$ ) суттєво не змінює характер перехідного процесу та величину сплеску напруги, що підтверджує визначальну роль саме активної ланки у формуванні динаміки.

Реакція системи на зміну навантаження супроводжується затухаючим коливальним процесом. Амплітуда першого сплеску або провалу напруги залежить від величини комутованого навантаження, а загальна тривалість перехідного процесу визначається ефективністю подавлення гармонік активною частиною фільтра.

Використання комбінованого підходу з ПІД-регулятором та блоками ШІМ (PWM) у середовищі MATLAB/Simulink дозволяє ефективно компенсувати динамічні збурення та підтримувати опорну вихідну напругу з високою точністю. Перехідний процес у таких замкнених структурах зазвичай закінчується за три такти дискретності.

1. Особливості використання активних фільтрів кондуктивних електромагнітних завад. (n.d.). VD MAIS. Retrieved February 20, 2026, from <https://vdmais.ua/uk/articles/osoblivosti-vikoristannya-aktivnih-filtriv-konduktivnih-elektromagnitnih-zavad/>
2. Using an active EMI filter in power converters to reduce EMI filter size and cost. Retrieved February 20, 2026, from <https://www.ti.com/lit/ml/slyp833/slyp833.pdf> (date of access: 05.12.2025)
3. Семененко, Ю. О. (2017). Стабілізуючі силові активні

фільтри для підвищення ефективності тягового електропостачання постійного струму [Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук]. Український державний університет залізничного транспорту міністерство освіти і науки України, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова. **4.** Щербак, Я. В., & Семененко, Ю. О. (2013). Аналіз динамічних характеристик комбінованого фільтра тягової підстанції. *Collected Scientific Works of Ukrainian State University of Railway Transport*, (142). <https://doi.org/10.18664/1994-7852.142.2013.84608> **5.** Рябенський, В. М., Губаревич, В. М., Маруня, Ю. В., Худякова, І. М., & Трибулькевич, С. Л. (2025). Особливості проектування активних енергетичних фільтрів. *Техн. електродинаміка*. 2025(6) С. 3–8. <https://doi.org/10.15407/techned2025.06.003> **6.** Рябенський, В. М., Трибулькевич, С. Л., Худякова, І. М., & Кудрявцев, О. С. (2025). Каскадне нарощування активних енергетичних фільтрів із послідовною компенсацією. *Збірник наукових праць НУК*, (2 (500)), 201–207. [https://doi.org/10.15589/znp2025.2\(500\).28](https://doi.org/10.15589/znp2025.2(500).28) **7.** Рябенський, В. М., Трибулькевич, С. Л., Худякова, І. М., & Кудрявцев, О. С. (2025b). Порівняння активних енергетичних фільтрів з послідовною і паралельною схемами компенсації гармонік. *Збірник наукових праць НУК*, (2 (500)), 193–200. [https://doi.org/10.15589/znp2025.2\(500\).27](https://doi.org/10.15589/znp2025.2(500).27) **8.** Mohanty, A., Ray, P. K., Ranjan Das, S., Soudagar, M. E. M., Ramesh, S., Khan, T. M. Y., Almakayeel, N., Mahmood Ali, M., & Bashir, M. N. (2024). Enhancing power quality in contemporary utility systems: A comprehensive analysis of active power filters and control strategies. *Energy Reports*, 11, 5575–5592. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.05.033> **9.** Li, L., Yu, X., Chai, Z., Zhu, X., Li, G., & Shi, Y. (2025). The design of an active filter for DC microgrids. *Journal of Physics: Conference Series*, 3090(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/3090/1/012011> **10.** Xiao, L. Zhang, L. (1998). Simulation study of an active DC filter using frequency-domain control system, *Seventh International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives (IEE Conf. Publ. No. 456)*, London, UK, 1998, pp. 483–488, doi: 10.1049/cp:19980574 **11.** Li, H., Zhang, K. Zhao, K. (2011). Active DC-link power filter for single phase PWM rectifiers, *8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia, Jeju, Korea (South)*, 2011, pp. 2920–2926, doi: 10.1109/ICPE.2011.5944792 **12.** Engelhart, B., Bazzi, A. (2020). Design and Control of a Series DC Active Filter (SDAF) for MVDC Marine Applications, *IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC)*, Chicago, IL, USA, 2020, pp. 948–953, doi: 10.1109/ITEC48692.2020.9161757 **13.** Wang, Y., Wang, Y., Chen, S.-Z., Zhang, G., & Zhang, Y. (2018). A Simplified Minimum DC-Link Voltage Control Strategy for Shunt Active Power Filters. *Energies*, 11(9), 2407. <https://doi.org/10.3390/en11092407> **14.** Fatyga, K., & Zdanowski, M. (2025). A DC-Link Current Pulsation Compensator Based on a Triple-Active



Bridge Converter Topology. *Electronics*, 14(16), 3196. <https://doi.org/10.3390/electronics14163196> **15.** Habibullin, M.M., Pavlov, I.S., Mescheryakov, V.N., Valtchev, S. (2014). Active Power Filter with Relay Current Regulator and Common DC Link for Compensation of Harmonic Distortion in Power Grids. In: Camarinha-Matos, L.M., Barrento, N.S., Mendonça, R. (eds) *Technological Innovation for Collective Awareness Systems. DoCEIS 2014. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 423. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-54734-8\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-642-54734-8_47) **16.** Figueroa, D., Morán, L., Joos, G., & Dixon, J. (2010). Series Active Compensation of Current Harmonics Generated by High Power Rectifiers. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(08), 1525–1529. <https://doi.org/10.24084/repqj08.711> **17.** Huynh, P., & Banerjee, A. (2021). Active Voltage-Ripple Compensation in an Integrated Generator-Rectifier System. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(2), 2270–2282. <https://doi.org/10.1109/tpel.2020.3006510>

## REFERENCES:

1. VD MAIS. (n.d.). *Osoblyvosti vykorystannia aktyvnykh filtriv konduktivnykh elektromagnitnykh zavad* [Features of using active conductive electromagnetic interference filters]. Retrieved February 20, 2026, from <https://vdmais.ua/uk/articles/osoblivosti-vikoristannya-aktivnih-filtriv-konduktivnih-electromagnitnih-zavad/>
2. Texas Instruments. (2025). *Using an active EMI filter in power converters to reduce EMI filter size and cost* (Technical Report No. SLYP833). Retrieved February 20, 2026, from <https://www.ti.com/lit/ml/slyp833/slyp833.pdf>
3. Semenenko, Y. O. (2017). *Stabilizuiuchi sylovi aktyvni filtry dlia pidvyshchennia efektyvnosti tiahovoho elektropostachannia postiinoho strumu* [Stabilizing power active filters to increase the efficiency of DC traction power supply] (Candidate dissertation, Ukrainian State University of Railway Transport).
4. Shcherbak, Y. V., & Semenenko, Y. O. (2013). *Analiz dynamichnykh kharakterystyk kombinovanoho filtra tiahovoi pidstantsii* [Analysis of dynamic characteristics of the combined filter of a traction substation]. *Collected Scientific Works of Ukrainian State University of Railway Transport*, (142). <https://doi.org/10.18664/1994-7852.142.2013.84608>
5. Ryaben'kyy, V. M., Hubarevych, V. M., Marunia, Y. V., Khudiakova, I. M., & Trybulkevych, S. L. (2025). *Osoblyvosti proektuvannia aktyvnykh enerhetychnykh filtriv* [Design features of active power filters]. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2025(6), 3–8. <https://doi.org/10.15407/techned2025.06.003>
6. Ryaben'kyy, V. M., Trybulkevych, S. L., Khudiakova, I. M., & Kudriavtsev, O. S. (2025a). *Kaskadne naroshchuvannia aktyvnykh enerhetychnykh filtriv iz poslidovnoiu kompensatsiieiu* [Cascade growth of active power filters with series compensation]. *Zbirnyk Naukovykh Prats NUK*, (2 (500)), 201–207. [https://doi.org/10.15589/znp2025.2\(500\).28](https://doi.org/10.15589/znp2025.2(500).28)
7. Ryaben'kyy, V. M.,

- Trybulkevych, S. L., Khudiakova, I. M., & Kudriavtsev, O. S. (2025b). Comparison of active power filters with series and parallel harmonic compensation schemes. *Zbirnyk Naukovykh Prats NUK*, (2 (500)), 193–200. [https://doi.org/10.15589/znp2025.2\(500\).27](https://doi.org/10.15589/znp2025.2(500).27)
8. Mohanty, A., Ray, P. K., Ranjan Das, S., Soudagar, M. E. M., Ramesh, S., Khan, T. M. Y., Almakayeel, N., Mahmood Ali, M., & Bashir, M. N. (2024). Enhancing power quality in contemporary utility systems: A comprehensive analysis of active power filters and control strategies. *Energy Reports*, 11, 5575–5592. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.05.033>
9. Li, L., Yu, X., Chai, Z., Zhu, X., Li, G., & Shi, Y. (2025). The design of an active filter for DC microgrids. *Journal of Physics: Conference Series*, 3090(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/3090/1/012011>
10. Xiao, L. Zhang, L. (1998). Simulation study of an active DC filter using frequency-domain control system, *Seventh International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives (IEE Conf. Publ. No. 456)*, London, UK, 1998, pp. 483–488, doi: 10.1049/cp:19980574.
11. Li, H., Zhang, K. Zhao, K. (2011). Active DC-link power filter for single phase PWM rectifiers, 8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia, Jeju, Korea (South), 2011, pp. 2920–2926, doi: 10.1109/ICPE.2011.5944792.
12. Engelhart, B., Bazzi, A. (2020). Design and Control of a Series DC Active Filter (SDAF) for MVDC Marine Applications, IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC), Chicago, IL, USA, 2020, pp. 948–953, doi: 10.1109/ITEC48692.2020.9161757.
13. Wang, Y., Wang, Y., Chen, S.-Z., Zhang, G., & Zhang, Y. (2018). A Simplified Minimum DC-Link Voltage Control Strategy for Shunt Active Power Filters. *Energies*, 11(9), 2407. <https://doi.org/10.3390/en11092407>
14. Fatyga, K., & Zdanowski, M. (2025). A DC-Link Current Pulsation Compensator Based on a Triple-Active Bridge Converter Topology. *Electronics*, 14(16), 3196. <https://doi.org/10.3390/electronics14163196>
15. Habibullin, M.M., Pavlov, I.S., Mescheryakov, V.N., Valtchev, S. (2014). Active Power Filter with Relay Current Regulator and Common DC Link for Compensation of Harmonic Distortion in Power Grids. In: Camarinha-Matos, L.M., Barrento, N.S., Mendonça, R. (eds) *Technological Innovation for Collective Awareness Systems. DoCEIS 2014. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 423. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-54734-8\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-642-54734-8_47)
16. Figueroa, D., Morán, L., Joos, G., & Dixon, J. (2010). Series Active Compensation of Current Harmonics Generated by High Power Rectifiers. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(08), 1525–1529. <https://doi.org/10.24084/repqj08.711>
17. Huynh, P., & Banerjee, A. (2021). Active Voltage-Ripple Compensation in an Integrated Generator-Rectifier System. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(2), 2270–2282. <https://doi.org/10.1109/tpel.2020.3006510>
-

**Volodymyr M. Ryaben'kyy** (1; ORC ID: 0000-0002-6998-746X)

Doctor of technical sciences, Professor

**Serhii L. Trybulkevych** (1; ORC ID: 0000-0001-5783-6616)

Senior lecturer

**Oleksandr O. Ushkarenko** (1; ORCID: 0000-0002-3159-330X)

Doctor of technical sciences, Professor

**Victor. L. Timchenko** (1; ORCID: 0000-0003-4259-3919)

Doctor of technical sciences, professor

**Stanislav V. Dragan** (1; ORCID: 0000-0001-8634-782X)

Candidate of technical sciences, Professor

**Andrii V. Obrubov** (1; ORCID: 0000-0001-9667-1703)

Doctor of technical sciences, Associate professor

<sup>1</sup> Admiral Makarov National University of Shipbuilding

## **MODELING OF DYNAMIC MODES AND OPTIMIZATION OF COMBINED FILTERS WITH SHUNT HARMONIC COMPENSATION**

**This article investigates the influence of external disturbances and load switching on the quality of power supply voltage when employing parallel-type active power filters (APF). The study is driven by the increasing requirements of modern precision electronic equipment for power sources with extremely high stability and low ripple levels, typically ranging from 0.001% to 0.01% of the nominal value. The core objective of the research is to assess the dynamic accuracy and stability of APF output parameters under various operational conditions to guarantee the functionality of high-precision systems.**

**The methodology utilizes imitation modeling within the MATLAB/Simulink environment to analyze the system's reaction to abrupt changes in input signals, specifically employing a "unit step function" to evaluate transient responses. The research established a significant correlation where the amplitude and duration of transient processes are directly determined by the system's loop gain coefficient. Findings indicate that during startup, amplitude surges can exceed the input signal by up to twofold, with post-transient low-frequency oscillations lasting up to 1 second at amplitudes reaching 5V.**

**The analysis further examines the inclusion of an uncontrolled rectifier, which was found to accelerate the startup process to within 150 ms, although oscillations at the passive filter's natural frequency**

remain present. Crucially, the study reveals that adjustments to passive filter components, such as inductance (L1) and capacitance (C2), do not substantially change the transient characteristics or surge magnitudes, highlighting the active component's primary role in forming system dynamics.

Additionally, the system's response to load switching was analyzed, revealing decaying oscillatory processes where the initial voltage deviation is proportional to the magnitude of the switched load. To optimize performance and reduce these surges, a combined control strategy involving PID regulators and Pulse Width Modulation (PWM) was implemented. This approach proves effective in compensating for dynamic disturbances and maintaining high-precision voltage stabilization. The results confirm that optimized parallel active filters are vital for meeting the stringent power quality requirements of high-precision electronic power supplies.

**Keywords:** Active Power Filters (APF), dynamic properties, transient processes, gain factor, voltage stabilization, PID controller, MATLAB/Simulink.

Отримано: 09 січня 2026 року  
Прорецензовано: 03 лютого 2026 року  
Прийнято до друку: 27 березня 2026 року



© 2026 [Volodymyr M. Ryaben'kyy, Serhii L. Trybulkevych, Oleksandr O. Ushkarenko, Victor. L. Timchenko, Stanislav V. Dragan, Andrii V. Obrubov]. Licensee [NUWEE]. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license