

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.316.1

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-159-166

Вячеслав Безручко

ЗАХИСТ ФІЛЬТРІВ СТРУМІВ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ В НЕНОРМАЛЬНИХ РЕЖИМАХ МЕРЕЖІ

Актуальність теми дослідження. Сучасні тенденції розвитку приводить до збільшення однофазних електроприймачів у системах електропостачання, які споживають несинусоїдальний струм, що спричиняють погіршення показників якості електроенергії. Для усунення негативного впливу використовують фільтри різних типів, серед яких фільтри струмів нульової послідовності. Забезпечення безвідмовної роботи таких фільтрів у ненормальних режимах мережі є актуальним завданням.

Постановка проблеми. В електричних мережах при короткому замиканні або в разі збільшення частки нелінійного навантаження в мережі збільшуються струми фільтра, що призводить до відключення фільтрів, особливо при установці кількох фільтрів в одній мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи патенти, про конструкції та системи захисту автотрансформаторних фільтрів струмів нульової послідовності.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Є потреба у створенні способу захисту фільтра, які дозволяють на час ненормального режиму мережі залишити фільтр у роботі.

Постановка завдання. Розробити захист фільтра, який дозволить на час ненормального режиму мережі залишити фільтр у роботі.

Виклад основного матеріалу. Запропоновані схемотехнічні рішення захисту фільтра, які дають змогу на час ненормального режиму мережі збільшити опір фільтра, що у свою чергу дозволяє знизити струм фільтра і залишити його в роботі. Запропонована методика вибору опору допоміжного дроселя, при підключенні якого в аварійному для фільтра режимі дозволяє достатньо знизити струм в обмотках, проте не дасть значно погіршити показникам несинусоїдальності кривої напруги.

Висновки відповідно до статті. Запропоновані схемотехнічні рішення та методика вибору елементів захисту фільтра струмів нульової послідовності дозволить забезпечити безвідмовну роботу таких фільтрів у ненормальних режимах мережі.

Ключові слова: фільтр струмів нульової послідовності; релейний захист; зниження вищих гармонік.

Рис.: 4. Бібл.: 14.

Актуальність теми дослідження. У системах електропостачання адміністративних та офісних будинків при високій концентрації офісної техніки з імпульсними джерелами живлення [1] (більше ніж 12 % [2]) з'являються проблеми: несинусоїдальність напруги, додаткові втрати, викликані вищими гармоніками (ВГ) струму, та інше [3–5]. Для зменшення ВГ напруги використовують фільтри струмів нульової послідовності (ФСНП) [6]. Забезпечення безвідмовної роботи таких фільтрів у ненормальних режимах мережі є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Здебільшого схема мережі будівлі є розгалуженою, що потребує використання декількох ФСНП, що встановлюються в різних її частинах. Однак це призводить до зменшення надійності в роботі фільтрів, через те що струми ВГ розподіляються між ними нерівномірно, а у разі перевантаження одного фільтра – він відключається від мережі, ВГ струму перерозподіляються та перевантажують другий фільтр, який також відключається. Тому локальне збільшення струму в одному фільтрі в ненормальному режимі мережі призводить до лавинного відключення усіх фільтрів.

Тому актуальною є розробка способів захисту ФСНП, особливо при їх груповій роботі в електричній мережі з розгалуженою схемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробці нових та оптимізації відомих конструкцій ФСНП присвячені роботи [6–7]. У роботі [7] наведена класифікація всіх відомих схемних рішень ФСНП. У роботах [6; 8; 9] розкриті основи теорії ФСНП.

Для вирішення поставленої проблеми останніми роками західні компанії отримали патент на конструкцію нових фільтрів [10], які мають додаткові виводи обмоток, що до-

звояють регулювати опір фільтра. У випадку перевантаження фільтра виробник рекомендує відключити фільтр, виконати необхідні перемикання та знову увімкнути фільтр.

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. Проте такий підхід до вирішення проблеми може призвести до небажаних наслідків. Річ у тому, що коли перевантажується і відключається автоматикою один ФСНП, у мережі відбувається перерозподіл ВГ струму. Отже, ВГ перенавантажують інші фільтри, які також миттєво відключаються автоматикою. При цьому в системі електропостачання більше не виконується фільтрація ВГ. Це спричиняє значні спотворення напруги й порушення рівнів електромагнітної сумісності устаткування. У такому режимі система працює до виявлення проблем обслуговуючим персоналом і виконання інструкцій виробника (це може тривати більше дня). Постачання електроприймачів неякісною електричною енергією значно збільшує ймовірність виходу їх з ладу.

Тому метою цієї роботи є розробка схемо-технічних рішень захисту ФСНП, які враховуватимуть короточасне зростання струмів вищих гармонік у системі електропостачання, що підвищить стійкість роботи ФСНП у ненормальних режимах.

Виклад основного матеріалу. Суть захисту, що пропонується, полягає в послідовному підключенні до ФСНП допоміжного (захисного) дроселя, який виконує роль додаткового індуктивного опору. Сумарний опір нульової послідовності фільтра збільшиться, тому струм через фільтр зменшиться, що не дозволить перевищити допустимий струм ФСНП.

Схему автоматики, що регулюватиме опір фільтра в ненормальному режимі мережі, може бути виконана на стандартних елементах (рис. 1, а).

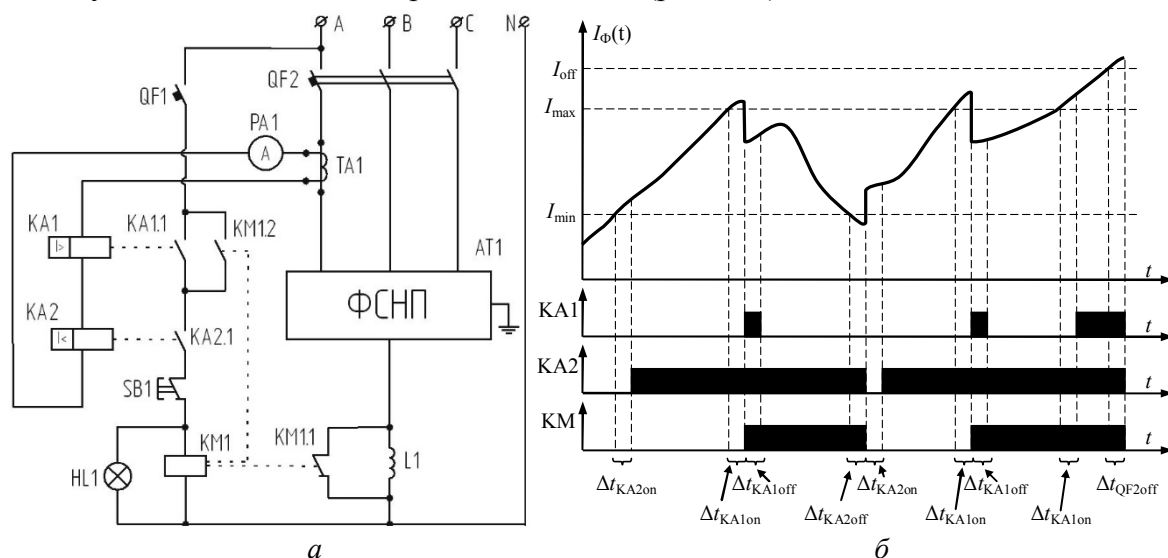


Рис. 1. Схеми захисту ФСНП (а) та діаграма її роботи (б)

Схеми захисту ФСНП складається з таких елементів: QF1, QF2 – автоматичні вимикачі; KA1, KA2 – мінімальне та максимальне реле контролю струму; KA1.1, KA2.1 – контакти мінімального та максимального реле контролю струму; KM1 – котушка контактора; KM1.1, KM1.2 – блок-контакти контактора; L1 – захисний дросель; SB1 – кнопка; AT1 – фільтр струму нульової послідовності; HL1 – світловий індикатор; TA1 – трансформатор струму; PA1 – амперметр.

Алгоритм роботи схеми захисту фільтра.

Увімкнення фільтра. Вмикається автоматичний вимикач QF1. Вмикається автоматичний вимикач QF2, через фільтр та силові контакти контактора KM, почне протікати електричний струм. При збільшенні струму ФТНП до значення I_{min} контакт KA2.1 (реле контролю струму KA2) замкнеться з витримкою часу Δt_{KA1on} , (рис. 1, б). Оскільки кон-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

такти КА1.1 і КМ1.2 розімкнені, струм через обмотку контактора КМ1 протікати не буде, а отже, і струм буде протікати через силові контакти контактора КМ.

Введення в коло фільтра додаткового опору дроселя. При збільшенні струму ФСНП до значення більше I_{\max} спрацює реле контролю струму КА1 і контакт КА1.1 замкнеться з витримкою часу $\Delta t_{\text{КА2on}}$, струм почне протікати через котушку контактора КМ1 і блок-контакти контактора КМ1.1 розімкнуться, а блок контакт КМ1.2 замкнеться. Як наслідок, струм ФСНП буде протікати через захисний дросель L1. При цьому струм, який протікатиме через ФСНП, зменшиться за рахунок введення в роботу додаткового опору дроселя X_{L1} . Через зменшення струму нижче I_{\max} контакт КА1.1 реле контролю струму КА1 розімкнеться з витримкою часу $\Delta t_{\text{КА1off}}$, струм буде протікати через котушку L1, оскільки блок-контакт КМ1.2, контактора КМ, залишиться в замкненому положенні.

Виключення з кола фільтра додаткового опору дроселя. Коли струм зменшиться до значення I_{\min} , спрацює реле контролю струму КА2, і контакт КА2.1 розімкнеться з витримкою часу $\Delta t_{\text{КА2off}}$. У результаті струм через котушку контактора КМ протікати не буде, і блок-контакти КМ1.1 замкнуться. І як наслідок, струм через захисний дросель L1 протікати не буде. При цьому струм, який протікатиме через ФСНП, збільшиться за рахунок виведення з роботи додаткового опору котушки X_{L1} . Через збільшення струму ФСНП вище I_{\min} контакт КА2.1 (реле контролю струму КА2) замкнеться з витримкою часу $\Delta t_{\text{КА2on}}$.

При виникненні короткого замикання в колі ФСНП спрацюють автоматичні вимикачі QF1 або QF2.

Кнопка SB1 призначена для примусового виводу з роботи захисного дроселя L1.

Вибір обладнання схеми захисту.

Вибір номіналів обладнання схеми захисту ФСНП, за винятком захисного дроселя, є стандартним та розглядатися в статті не буде. Зосередимо увагу на виборі номіналу захисного дроселя.

Умови, за якими повинен обиратися дросель:

- при введенні дроселя струм в обмотках ФСНП повинен зменшуватися на достатню величину;

- при введенні дроселя показники несинусоїдальності напруги в мережі не повинні вийти за гранично допустимі значення, хоча можуть перевищити нормально допустимі встановлені стандартами ГОСТ 13109-97 або EN 50160, або IEC 61000-2-4 [4].

Розглянемо зміну цих параметрів для типового офісного будинку (рис. 2, а) зі схемою СЕ (рис. 2, б) [2; 11]. Нехай будівля живиться від трансформаторної підстанції (ТП) 10/0,4кВ, в якій встановлено два трансформатори потужністю 1000 та 400 кВА. Живлення до будівлі підводиться двома кабельними лініями (КЛ), що під'єднанні до головного розподільного щита (ГРЩ). У ГРЩ встановлені два ФСНП на кожен секцію шин. Від ГРЩ йде шинопровід, який під'єднується до кожного поверхового розподільного щита (ПРЩ). ПРЩ живить групову мережу поверху.

За правилами гармонійного аналізу, що детально описаний у [2; 12–14], для цієї СЕ складемо схему заміщення (рис. 3), де $E_{A(1)}, E_{B(1)}, E_{C(1)}$ – симетрична трьохфазна система живлячої напруги; $Z_{C(v)}$ – опір живлячої системи, який залежить від v -ої гармоніки; $Z_{T(v)}$ – повний опір струмам прямої послідовності силового трансформатора; $Z_{L(v)}$ – повний опір струмам прямої послідовності кабельної лінії від ТП до ГРЩ; $Z_{LN(v)}$ – повний опір струмам нульової послідовності нульового провідника кабельної лінії від ТП до ГРЩ; $J_{(v)}$ – джерела струму вищих гармонік, що моделюють емісію ВГ навантаженням; R_{Φ} – активні опори однієї з обмоток ФСНП; $X_{\Phi(v)}$ – індуктивні опори однієї з обмоток фільтра типу зигзаг, обумовлений потоком розсіяння; M – коефіцієнт взаєміндукції між обмотками на одному стрижні; $I_{L(v)}$ – струм у фазному провіднику лінії від ФСНП до ТР; $I_{LN(v)}$ – струм у нульовому провіднику лінії від ФСНП до ТР; $I_{T(v)}$ – струм у фазах трансформатора; $I_{TN(v)}$ – струм у нейтралі трансформатора; $I_{\Phi(v)}$ – струм у фазах ФСНП.

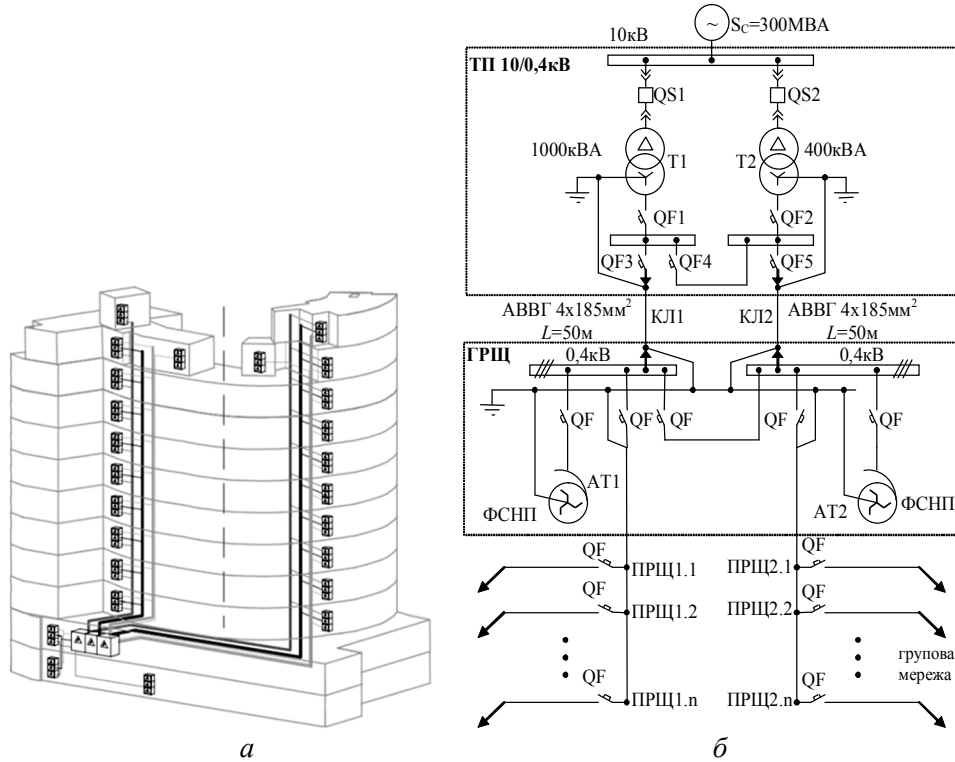


Рис. 2. Типова офісна будівля (а) зі схемою СЕ (б)

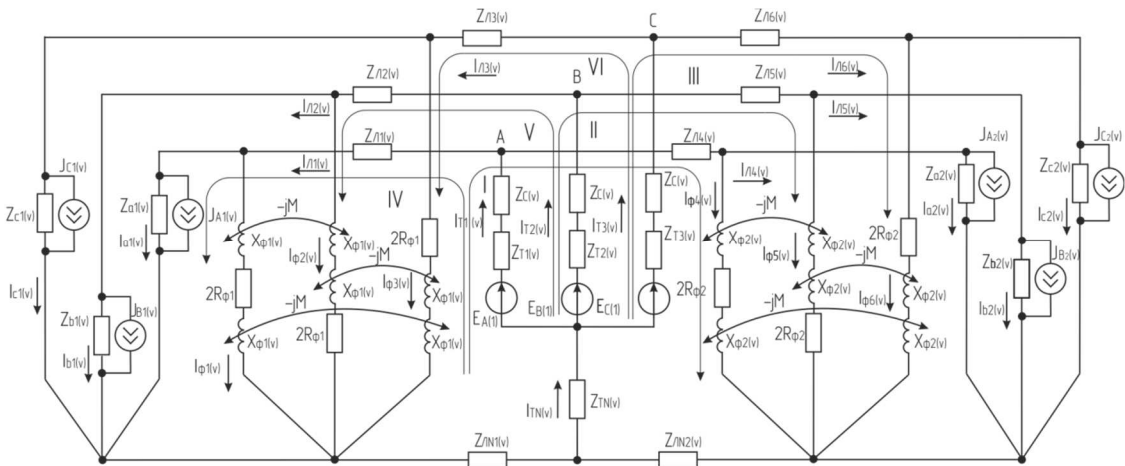


Рис. 3. Схема заміщення для розрахунку струмів і напруг ВГ

Для наведеної вище схеми заміщення за законами Кірхгофа була складена та вирішена система рівнянь. За результатами на рис. 4, а побудовані залежності 1 – зміни струму ФСНП у відносних одиницях при підключенні захисного дроселя та 2 – зміни коефіцієнта несинусоїдальності кривої напруги від опору дроселя. Опір дроселя вказаний у відносних одиницях від реактивного опору обмотки фільтра.

Як видно з рисунку 4, а, опір захисного дроселя слід обирати в межах від 1 до 3 (у відносних одиницях від реактивного опору обмотки фільтра) при цьому забезпечується різний ступень зменшення струму фільтра та погіршення коефіцієнта спотворень синусоїдальності напруги, що може варіюватися залежно від вимог до захисту (різний ступень захисту).

На рис. 4, б наведена залежність зміни струму (1) та коефіцієнта спотворень синусоїдальності напруги (2) при подальшому збільшенні частки нелінійних електроприймачів за умови введення додаткового дроселя в коло фільтра з опором, рівним опором обмотки фільтра.

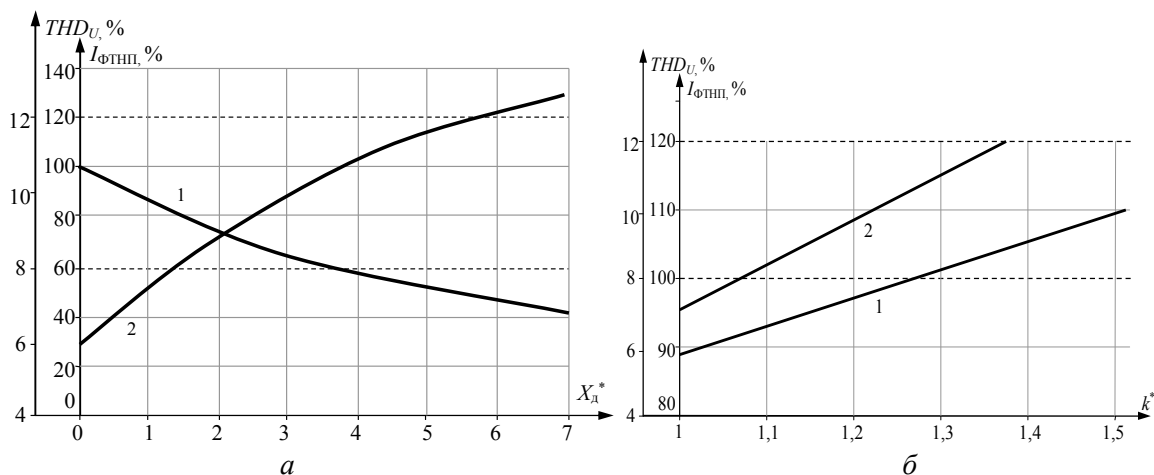


Рис. 4. Залежність THD_U та струму фільтра від опору допоміжного дроселя (а) та від нелінійних електроприймачів (б)

Ця залежність дозволяє оцінити запас стійкості роботи ФСНП надалі. З рис. 4 видно, що подальше збільшення частки нелінійних електроприймачів на 20 % після введення дроселя в коло фільтра приведе до збільшення струму фільтра до значення 106 % від номінального, а показники несинусоїдальності напруги не перевищать максимально допустимих значень.

Висновки відповідно до статті. Запропоновані схемотехнічні рішення захисту фільтра дають змогу на час ненормального режиму мережі збільшити опір фільтра, що у свою чергу дозволяє знизити струм фільтра й залишити його в роботі. Запропонована методика вибору опору допоміжного дроселя підключення якого в аварійному для фільтра режимі дозволяє достатньо знизити струм в обмотках, проте не дасть значно погіршати показникам несинусоїдальності напруги. Виконані розрахунки дозволяють рекомендувати обирати опір допоміжного дроселя в межах від 1 до 3 від опору обмотки ФСНП.

Список використаних джерел

1. *Жаркин А. Ф.* Анализ электропотребления импульсного источника электропитания электронной техники / А. Ф. Жаркин // Техн. электродинамика. – 2002. – № 1. – С. 19-21.
2. *Шидловский А. К.* Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А. К. Шидловский, А. Ф. Жаркин. – К. : Наукова думка, 2005. – 210 с.
3. *Жаркин А. Ф.* Пути решения проблемы высших гармоник в электрических сетях Украины / А. Ф. Жаркин, И. В. Мостовик, С. А. Палачев // Технічна электродинаміка. Тем. випуск. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2006. – Ч. 1. – С. 79–82.
4. *Жаркин А. Ф.* Нормативное регулирование качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения Украины и стран Евросоюза / А. Ф. Жаркин, С. А. Палачев // Техн. электродинамика. – 2007. – № 6. – С. 54–60.
5. *Жаркин А. Ф.* Европейская практика нормативно-правового обеспечения предельных уровней гармоник напряжения в электрических сетях / А. Ф. Жаркин, В. А. Новский, С. А. Палачев // Технічна электродинаміка. Темат. вип.: Силова електроніка та енергоефективність. – 2008. – Ч. 1. – С. 89–92.
6. *Снижение потерь активной мощности в сетях низкого напряжения с помощью силовых фильтров токов нулевой последовательности* / А. Ф. Жаркин, Н. Н. Капличный, В. А. Новский, А. В. Козлов // Электрические сети и системы. – 2015. – № 1. – С. 45–51.
7. *Сравнительный анализ трехфазных фильтров токов нулевой последовательности автотрансформаторного и трансформаторного типа* / И. В. Пентегов, С. В. Рымар, И. В. Волков та ін. // Технічна электродинаміка: Тем. випуск. Проблеми сучасної електротехніки. – 2008. – Ч. 3. – С. 49–56.
8. *Пентегов И. В.* Выбор мест присоединения фильтров токов нулевой последовательности к распределительной сети высотных административных зданий / И. В. Пентегов, А. Л. Приступа,

В. М. Безручко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2011. – № 1 (47). – С. 134–141.

9. Жаркин А. Ф. Анализ эффективности фильтрации высших гармоник в сетях низкого напряжения с использованием фильтров токов гармоник, кратных трем / А. Ф. Жаркин, Н. Н. Каплычный // Техн. електродинаміка. – 2005. – № 1. – С. 47–49.

10. Патент 5406437 Сполучені Штати Америки, МПК Н 02 Н 7/08. Zero phase sequence current filter with adjustable impedance / Michael I. Levin ; заявник та патентовласник Michael I. Levin. – № 1994227408; заявл. 14.04.94; опубл. 11.04.95.

11. Жаркин А. Ф. Определение несинусоидальности токов и напряжений в электрических сетях жилых или общественных зданий / А. Ф. Жаркин // Техн. електродинаміка. – 2003. – № 1. – С. 52–56.

12. Жаркин А. Ф. Методика определения параметров схем замещения низковольтной сети с нелинейными нагрузками / А. Ф. Жаркин // Техн. електродинаміка. – 2002. – № 6. – С. 62–65.

13. Жаркин А. Ф. Анализ несинусоидальности токов и напряжений в низковольтных сетях помощью схем замещения с источниками токов высших гармоник / А. Ф. Жаркин // Техн. електродинаміка. – 2003. – № 3. – С. 47–50.

14. Жаркин А. Ф. Методика определения коэффициента несинусоидальности кривых фазных напряжений в низковольтных электрических сетях / А. Ф. Жаркин // Техн. електродинаміка. – 2003. – № 4. – С. 68–72.

References

1. Zharkin, A.F. (2002). Analiz elektropotrebleniia impulsnogo istochnika elektropitaniia elektronnoi tekhniki [Analysis of power consumption of a pulsed power supply source for electronic equipment]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics, 1*, 19–21 [in Russian].

2. Shidlovsky, A. K. & Zharkin A. F. (2005). *Vysshie garmoniki v nizkovoltnykh elektricheskikh setiakh [Higher harmonics in low-voltage electrical networks]*. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].

3. Zharkin, A. F., Mostovik, I. V. & Palachev, S. A. (2006). Puti resheniia problemy vysshikh garmonik v elektricheskikh setiakh Ukrainy [Ways to solve the problem of higher harmonics in electric grids of Ukraine]. *Tekhnichna elektrodynamika: Tem. vypusk. Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist – Technical Electrodynamics: Special Issue. Power Electronics and Energy Efficiency, 1*, 79–82 [in Russian].

4. Zharkin A. F. & Palachev S. A. (2007). Normativnoe regulirovanie kachestva elektroenergii v sistemakh elektrosnabzheniia obshchego naznacheniia Ukrainy i stran Evrosoiuzia [Normative Regulation of Electricity Quality in General Purpose Electric Power Supply Systems of Ukraine and EU Countries]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics, 6*, 54–60 [in Russian].

5. Zharkin, A. F., Novsky, V. A. & Palachev, S. A. (2008). Evropeiskaia praktika normativno-pravovogo obespecheniia predelnykh urovnei garmonik napriazheniia v elektricheskikh setiakh [European practice of normative and legal provision of limit levels of voltage harmonics in electrical networks]. *Tekhnichna elektrodynamika: Tem. vypusk. Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist – Technical Electrodynamics: Special Issue. Power Electronics and Energy Efficiency, 1*, 89–92 [in Russian].

6. Zharkin, A. F., Kaplychnyi, N. N., Novsky, V. A., Kozlov, A. V. (2015). Snizhenie poter aktivnoi moshchnosti v setiakh nizkogo napriazheniia s pomoshchiu silovykh filtrov tokov nulevoi posledovatelnosti [Reduction of active power losses in low voltage networks by means of power filters of zero-sequence currents]. *Elektricheskie seti i sistemy – Electrical networks and systems, 1*, 45–51 [in Russian].

7. Pentegov, I. V., Rymar, S. V., Volkov, I. V., Bezruchko, V. M., Larchenko, B. B., Kryvenko, H. S. & Levin M. (2008). Sravnitelnyi analiz trekhfaznykh filtrov tokov nulevoi posledovatelnosti avtotransformatornogo i transformatornogo tipa [Comparative analysis of three-phase zero sequence currents filters of autotransformer and transformer type]. *Tekhnichna elektrodynamika: Tem. vypusk. Problemy suchasnoi elektrotekhniki – Technical Electrodynamics: Special Issue. Problems of Modern Electrical Engineering, 3*, 49–56 [in Russian].

8. Pentegov I. V., Pristupa A. L. & Bezruchko V. M. (2011). Vybór mest prisoedineniia filtrov tokov nulevoi posledovatelnosti k raspredelitelnoi seti vysotnykh administrativnykh zdanií [Selection of the places of connection of zero sequence current filters to the distribution network of high-rise administrative buildings]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University, 47*, 134–141 [in Russian].

9. Zharkin, A. F. & Kaplychnyi, N. N. (2005). Analiz effektivnosti filtratsii vysshikh garmonik v setiakh nizkogo napriazheniia s ispolzovaniem filtrov tokov garmonik, kratnykh trem [Analysis of the

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

efficiency of higher harmonics filtration in low-voltage networks using harmonic currents multiple of three filters]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 1, 47–49 [in Russian].

10. Levin, M. I. (1995). Zero phase sequence current filter with adjustable impedance. Patent USA No. 5406437 MPK N 02 H 7/08. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US5406437A/en>.

11. Zharkin, A.F. (2003). Metodika opredeleniia koefitsienta nesinusoidalnosti krivykh faznykh napriazhenii v nizkovolnykh elektricheskikh setiakh [Determination of non-sinusoidal currents and voltages in electrical networks of residential or public buildings]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 1, 52–56 [in Russian].

12. Zharkin, A.F. (2002). Metodika opredeleniia parametrov skhem zameshcheniia nizkovoltnoi seti s nelineinymi nagruzkami [Method for determining the parameters of low-voltage network replacement circuits with non-linear loads]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 6, 62–65 [in Russian].

13. Zharkin, A. F. (2003). Analiz nesinusoidalnosti tokov i napriazhenii v nizkovolnykh setiakh pomoshchiu skhem zameshcheniia s istochnikami tokov vysshikh garmonik [Analysis of the non-sinusoidal nature of currents and voltages in low-voltage networks using substitution circuits with current sources of higher harmonics]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 3, 47–50 [in Russian].

14. Zharkin, A.F. (2003). Metodika opredeleniia koefitsienta nesinusoidalnosti krivykh faznykh napriazhenii v nizkovolnykh elektricheskikh setiakh [Method for determining the non-sinusoidal coefficient of the phase voltage curves in low-voltage electrical networks]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 4, 68–72 [in Russian].

UDC 621.316.1

Viacheslav Bezruchko

PROTECTION OF ZERO SEQUENCE CURRENT FILTERS IN THE ABNORMAL NETWORK MODES

Urgency of the research. Modern development trends lead to an increase in single-phase electric devices in power supply systems that consume non-sinusoidal current, which leads to deterioration of power quality indices. To eliminate negative effects, filters of various types are used, among which zero sequence currents filters. Providing trouble-free operation of such filters in abnormal network modes is an urgent task.

Target setting. In electrical networks with short-circuiting or with increased part nonlinear load of the network, the currents of the filter increase, which causes the filters to be switched off, especially when installing several filters in the same network.

Actual scientific researches and issues analysis. The latest open access publications, including patents, on design and protection systems for autotransformer zero sequence currents filters were considered.

Uninvestigated parts of general matters defining. There is a need to create a protection method that allows the filter to remain active during the abnormal network mode.

The research objective. Develop a filter protection that allows the filter to remain active during the abnormal network mode.

The statement of basic materials. Schematic filter protection solutions are proposed that allow to increase the filter resistance during an abnormal mode of the network, which in turn reduces the filter current and leaves it in operation. The proposed method of selecting the resistance of the auxiliary choke when turned on in the emergency mode for the filter allows sufficiently to reduce the current in the windings, but will not significantly degrade the parameters of the non-sinusoidal voltage.

Conclusions. The proposed circuitry solutions and the method of selecting the elements of the protection of the zero sequence currents filter will ensure the trouble-free operation of such filters in the abnormal modes of the network.

Keywords: zero sequence current filter; relay protection; higher harmonics.

Fig.: 4. References: 14.

УДК 621.316.1

Вячеслав Безручко

ЗАЩИТА ФИЛЬТРОВ ТОКОВ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В НЕНОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ СЕТИ

Актуальность темы исследования. Современные тенденции развития приводят к увеличению однофазных электроприемников в системах электроснабжения, потребляющих несинусоидальный ток, что приводит к ухудшению показателей качества электроэнергии. Для устранения негативного влияния используют фильтры различных типов, среди которых фильтры токов нулевой последовательности. Обеспечение безотказной работы таких фильтров в ненормальных режимах сети является актуальной задачей.

Постановка проблемы. В электрических сетях при коротком замыкании или при увеличении доли нелинейной нагрузки в сети увеличиваются токи фильтра, что приводит к отключению фильтров, особенно при установке нескольких фильтров в одной сети.

Анализ последних исследований и публикаций. Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе, включая патенты, о конструкциях и системах защиты автотрансформаторных фильтров токов нулевой последовательности.

Выделение неисследованных частей общей проблемы. Существует необходимость в создании способа защиты фильтра, которые позволяют на время ненормального режима сети оставить фильтр в работе.

Постановка задачи. Разработать защиту фильтра, которые позволяют на время ненормального режима сети оставить фильтр в работе.

Изложение основного материала. Предложенные схемотехнические решения защиты фильтра, которые позволяют на время ненормального режима сети увеличить сопротивление фильтра, что в свою очередь позволяет снизить ток фильтра и оставить его в работе. Предложена методика выбора сопротивления вспомогательного дросселя, при включении которого в аварийном для фильтра режиме позволяет достаточно снизить ток в обмотках, однако не даст значительно ухудшиться показателям несинусоидальности напряжения.

Выводы в соответствии со статьей. Предложенные схемотехнические решения и методика выбора элементов защиты фильтра токов нулевой последовательности позволяют обеспечить безотказную работу таких фильтров в ненормальных режимах сети.

Ключевые слова: фильтр токов нулевой последовательности; релейная защита; снижение высших гармоник.

Рис.: 4. Библ.: 14.

Безручко Вячеслав Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических систем и сетей, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Безручко Вячеслав Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических систем и сетей, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

Bezruchko Viacheslav – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Electrical Systems and Networks Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: slavajm@meta.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3705-8543>

ResearcherID: F-5725-2014