

**ВПЛИВ ПОТУЖНОСТІ СПОТВОРЕННЯ НА ПАРАМЕТРИ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФІЛЬТРА****Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ruslan.vlasenko@i.ua; seemAl@kdu.edu.ua

Важливу роль при компенсації реактивної потужності і фільтрації вищих гармонік засобами активної фільтрації грає правильний вибір параметрів елементів силової частини пристрою. Проведено аналіз відомих методик розрахунку елементів силової частини для трифазного силового активного фільтра при роботі з нелінійним навантаженням. У середовищі візуального програмування створено модель електротехнічної системи з трифазним силовим активним фільтром. В результаті реалізації експерименту отримано осцилограми струму навантаження, струму мережі, заданого і поточного струму силового активного фільтра. Аналіз отриманих результатів показав високий рівень зниження реактивної потужності мережі, але при цьому підвищення спотворення форми струму мережі. На підставі цього зроблено висновок про неможливість застосування існуючої методики розрахунку в разі навантажень з нелінійними характеристиками. Аналіз існування альтернативних варіантів розрахунку показав наявність досліджень у даному напрямку, в яких акцентується увага на характері спотворення форми струму навантаження, проте відсутні розрахункові вирази дозволяють врахувати цей фактор. Запропоновано поряд з реактивною потужністю навантаження, при розрахунку, використовувати потужність спотворення струму. Ввівши в розрахункові вирази по визначенню рівня напруги накопичувального конденсатора пристрою потужність спотворення струму, і виконавши перерахунок параметрів елементів силової частини пристрою, проведені аналогічні дослідження. Отримані результати показали зниження середньоквадратичного рівня помилки регулювання струму до величини 3,8 %, рівень компенсації реактивної потужності навантаження 101,5 % при зниженні коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої струму навантаження на 40,7 %.

**Ключові слова:** силовий активний фільтр, реактивна потужність, потужність спотворення струму, частота комутації, заданий струм.

**ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ИСКАЖЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ТРЕХФАЗНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА****Р. В. Власенко, А. В. Бялобржеский**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ruslan.vlasenko@i.ua, seemAl@kdu.edu.ua

Важную роль при компенсации реактивной мощности и фильтрации высших гармоник средствами активной фильтрации играет правильный выбор параметров элементов силовой части устройства. Проведен анализ известных методик расчета элементов силовой части для трехфазного силового активного фильтра при работе с нелинейной нагрузкой. В среде визуального программирования создана модель электротехнической системы с трехфазным силовым активным фильтром. В результате реализации эксперимента получены осциллограммы тока нагрузки, тока сети, заданного и текущего тока силового активного фильтра. Анализ полученных результатов показал высокий уровень снижения реактивной мощности сети, но при этом повышение искажения формы тока сети. На основании этого сделан вывод о невозможности применения существующей методики расчета в случае нагрузок с нелинейными характеристиками. Анализ существования альтернативных вариантов расчета показал наличие исследований в данном направлении, в которых акцентируется внимание на характере искажения формы тока нагрузки, однако отсутствуют расчетные выражения позволяющие учесть данный фактор. Предложено наряду с реактивной мощностью нагрузки, при расчете, использовать мощность искажения тока. Введя в расчетные выражения по определению уровня напряжения накопительного конденсатора устройства мощность искажения тока, и выполнив перерасчет параметров элементов силовой части устройства, проведены аналогичные исследования. Полученные результаты показали снижение среднеквадратичного уровня ошибки регулирования тока до величины 3,8 %, уровень компенсации реактивной мощности нагрузки 101,5 % при снижении коэффициента искажения синусоидальности кривой тока нагрузки на 40,7 %.

**Ключевые слова:** силовой активный фильтр, реактивная мощность, мощность искажения тока, частота коммутации, заданный ток.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Поширення впровадження напівпровідникових пристроїв керування електротехнічними та електротехнологічними установками системи електропостачання які спроектовані без урахування вищих гармонік та зміни їх спектру в різних режимах роботи загострило проблему забезпечення якості електроенергії. Таким чином разом із задачею компенсації реактивної потужності виникла задача мінімізації рівня вищих гармонік струму [1].

Певним досягненням силової перетворювальної техніки в частині компенсації неактивних складових потужності (реактивної потужності та вищих гармонік струму) є застосування силових активних фільтрів (САФ). САФ поєднують в собі функції компенсації реактивної потужності, фільтрації вищих гармонік струму та симетруванні струмів навантаження застосування шляхом використання певних алгоритмів активної фільтрації [2, 3].

Визначений за алгоритмом струм компенсації повинна забезпечувати силова частина пристрою,

відповідно до режиму розраховують елементи силової частини. Зважаючи на те, що за режимом роботи силовий пристрій САФ не відносять до класу випрямлячів, інверторів та чотирьохквadrантних перетворювачів. Відомі роботи з аналізу електричних та енергетичних процесів, які протікають в силовому пристрої САФ, підкреслюють складність вибору параметрів елементів силової частини пристрою [4–8].

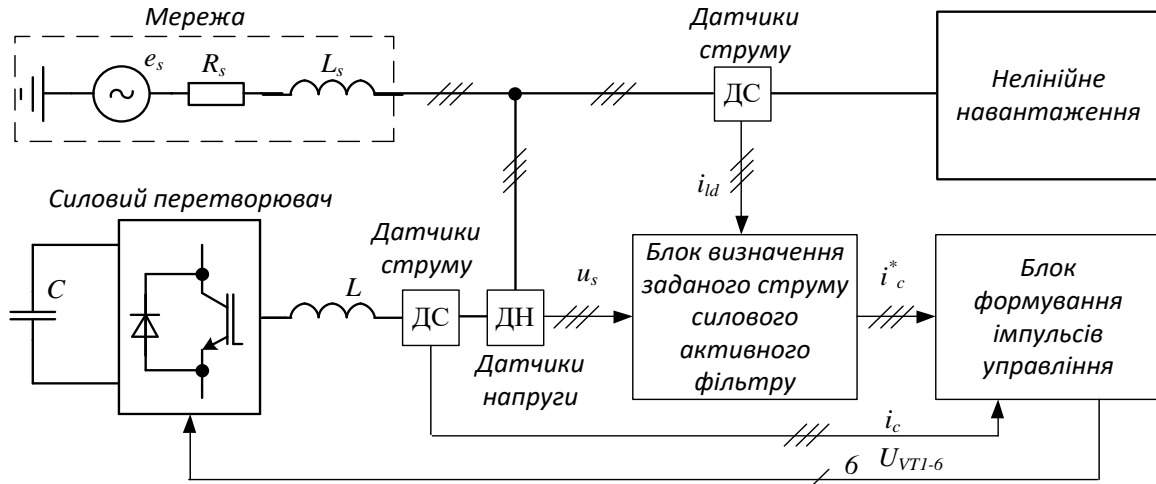


Рисунок 1 – Функціональна схема трифазного САФ

В процесі роботи паралельний САФ реалізує режим, який забезпечує виконання двох задач (не беручи до уваги мінімізацію потужності несиметрії) [7]:

1) компенсація реактивної потужності навантаження;

2) компенсація потужності, яка зумовлена вищими гармоніками струму навантаження - фільтрація.

Розглянемо можливість використання відомої послідовності розрахунку параметрів елементів силової частини трифазного САФ [6]. Покладемо, що нелінійне навантаження представлено у вигляді трифазного керованого випрямляча до ланки постійного струму якого підключене активно-індуктивне навантаження [2]. Діюче значення струму за першою гармонікою складає  $I_{rms} = 110$  А, при цьому розрахункова активна і реактивна потужність для однієї фази  $P = 13$  кВт,  $Q = 21$  кВАр, а коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму  $THD_I = 23,2$  %. Що відповідає потужності спотворення  $D_I = 0,56$  кВАр.

Групою латвійських вчених у роботі [6] запропоновано дві методики для розрахунку параметрів елементів пристрою компенсації реактивної потужності та фільтрокомпенсуючого пристрою. Розглянемо 2-гу методику, що приводить розрахунок параметрів елементів силової частини пристрою: визначення значення індуктивності, частоти комутації, напруги конденсатора і значення його ємності.

Струм  $i_c$  реактору  $L$  має пульсації відносно заданого струму  $i_c^*$ . В залежності від стану ключів силового перетворювача САФ матимуть місце наступні міркування для контуру мережа, реактор, конденсатор [6]. Якщо, верхній транзистор включений, то диференціальне рівняння має вигляд:

Мета роботи - розробка структури комплексу по дослідженню процесів енергоспоживання тиристорного перетворювача і тиристорного регулятора напруги, та елементів фільтрації вищих гармонік струму різної конфігурації.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Відповідно до функціональної схеми трифазного САФ (рис. 1) розрахунку підлягають елементи силової частини пристрою. Параметри елементів САФ істотним чином залежать від навантаження [5, 6].

$$U_m \sin(\omega t) - 0,5U_C = L(di_c / dt), \quad (1)$$

але при включенні нижнього транзистору:

$$U_m \sin(\omega t) + 0,5U_C = L(di_c / dt), \quad (2)$$

де  $U_m$  – амплітуда напруги мережі;  $U_C$  – напруга конденсатора;  $L$  – значення індуктивності реактору.

На підставі рівнянь (1) та (2) у [6] визначається найвища частота перемикування транзисторів:

$$f_{max} = U_C / 4L\Delta I_L, \quad (3)$$

де  $\Delta I_L$  – амплітуда струму зумовленого процесом комутації елементів силового перетворювача САФ. З рівняння (3) значення індуктивності реактору  $L$  визначають таким, що забезпечує частоту комутації не вище  $f_{max}$  за умов обмеження втрат потужності в транзисторі:

$$L \geq U_C / (4f_{max}\Delta I_L). \quad (4)$$

Покладаючи [6], що для основної гармоніки струму напруги в контурі:

$$U_C \approx \sqrt{2}U_{sm} + \sqrt{3}I_{Lm}\omega L, \quad (5)$$

де  $I_{Lm}$  – амплітуда струму реактору, що відповідає компенсованій реактивній потужності, отримують:

$$U_C \approx \sqrt{2}U_{sm} + (\sqrt{2}Q / U_{sm})\omega L, \quad (6)$$

або використовуючи замість  $L$  вираз (4) отримують:

$$U_C = \frac{\sqrt{2}U_{sm}^2 \cdot 4f_{max}\Delta I_L}{4U_{sm}f_{max}\Delta I_L - \sqrt{2}Q\omega}. \quad (7)$$

Розглянемо, наприклад, трифазну електричну мережу, покладаючи амплітудне значення міжфазної напруги  $U_{sm} = 380 \text{ В}$ , кутову частоту мережі  $\omega = 314 \text{ рад/с}$ , і тому параметр  $f^* = 1169 \text{ Гц}$ .

Максимальна частота перемикання транзисторів повинна бути більше частоти  $f^*$ , що визначається трифазною мережею живлення [7]:

$$f_{\max} > (\sqrt{2}\omega \cdot 10^3) / U_{sm} = f^*, \quad (8)$$

Автори роботи [7] фіксуючи максимальну частоту комутації, висувають припущення про те, що амплітуда пульсації струму  $\Delta I_L$  пов'язані зі значенням реактивної потужності навантаження  $Q$ :

$$\Delta I_L = Q / 4 \cdot 10^3. \quad (9)$$

Використовуючи за аналогією коефіцієнт кратності частоти:

$$k_f = f_{\max} / f^* = 2 \div n, \quad (10)$$

Задавши коефіцієнт  $k_f$  від 2 до 10, оцінимо залежність зміни індуктивності дроселя при декількох значеннях реактивної потужності навантаження:

$$L = \frac{\sqrt{2}U_{sm}^2}{Q(U_{sm}k_f f^* \cdot 10^{-3} - \sqrt{2}\omega)}. \quad (11)$$

Результуючі графічні залежності наведені на рис. 2.

Нелінійна залежність індуктивності дроселя від кратності частоти показує суттєвої зміна індуктивності при  $k_f = 2 \div 4$ , з цього приймаємо для подальших розрахунків  $k_f = 2$ .

Конденсатор, в складі перетворювача працює з малими пульсаціями напруги, які відповідно теорії трифазних випрямлячів, мають частоту  $300 \text{ Гц}$  (при частоті мережі  $f = 50 \text{ Гц}$ ). Амплітуда пульсацій по-

в'язана із середнім значенням напруги  $U_C$  коефіцієнтом пульсацій  $k_n = 0,057$ . Тоді, ємність конденсатора дорівнює [7] визначається виразом:

$$C \geq I_{Lm} / (12f \cdot 0,057 \cdot 2U_C). \quad (12)$$

Таким чином, на підставі вихідних даних, за результатами розрахунку прийняті наступні параметри елементів силової частини САФ:  $\Delta I_L = 5,25 \text{ А}$ ;  $f_{\max} = 2338 \text{ Гц}$ ;  $L = 0,022 \text{ Гн}$ ;  $U_C = 1075 \text{ В}$ ;  $C = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}$ .

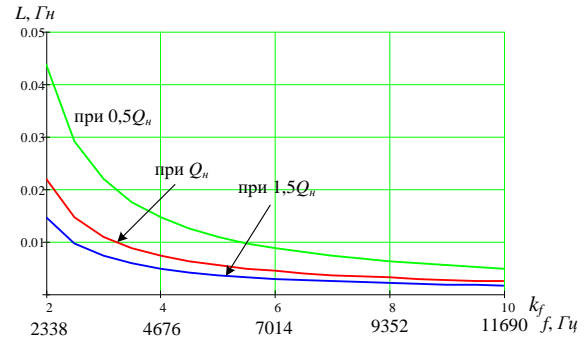


Рисунок 2 – Залежність значення індуктивності дроселя від значення частоти перемикання

Синтезуємо в середовищі візуального програмування модель паралельного трифазного САФ з розрахованими параметрами силової частини відповідно для нелінійного навантаження.

На рис. 3 представлена модель електроенергетичної системи з паралельним підключенням до трифазної електричної мережі змінного струму трифазного САФ [3, 9, 10].

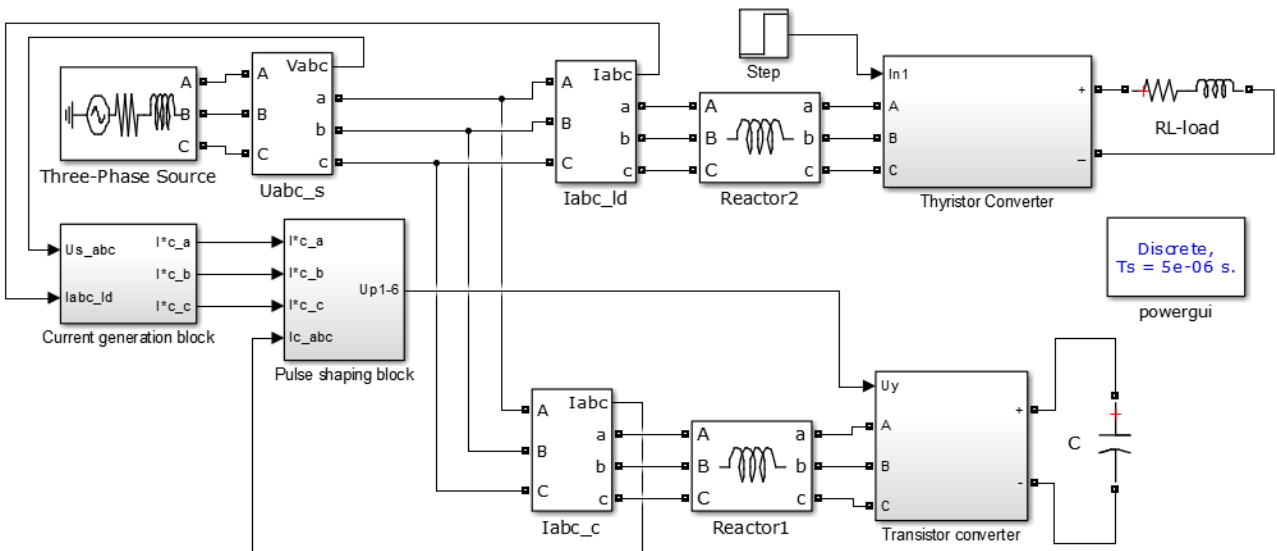


Рисунок 3 – Модель електротехнічної системи з паралельним трифазним САФ

В ході досліджень отримані осцилограми струму при нелінійному навантаженні (рис. 4) для системи з релейним регулюванням струму РРС із зоною гістерезису  $HV = \Delta I_L = 5,25$ , при реалізації алгоритму формування струму САФ у відповідності з теорією Фрізе [10].

Таким чином, при роботі САФ (рис. 4) за умов наведених вище, виникає помилка регулювання струму  $\Delta i$ , яка істотно знижує ефективність роботи пристрою.

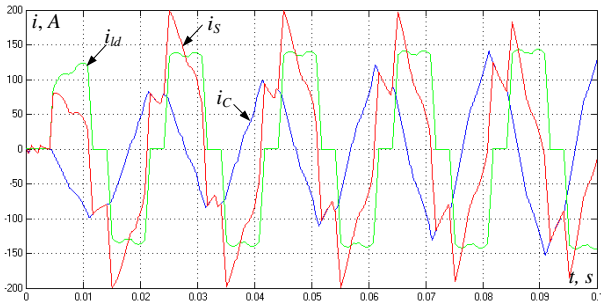


Рисунок 4 – Осцилограма струму навантаження  $i_{ld}$ , поточного струму САФ  $i_c$  і струму мережі  $i_s$  фази  $a$

Для визначення помилки регулювання струму  $\Delta i$  порівняємо заданий струм  $i_c^*$  САФ і поточний  $i_c$  (рис. 5). Помилка регулювання досягає максимального значення в 100 А, таким чином в режимі, який імітується якісна робота пристрою неможлива. В цьому випадку реактивна потужність мережі знижується на 98,13 %, коефіцієнт спотворення струму мережі підвищується на 8,14 %. На осцилограмі рис. 5 середньоквадратичне значення похибки струму  $\Delta i$  перевищує 40 А. Тому, необхідно переглянути розрахунок параметрів САФ для нелінійного навантаження.

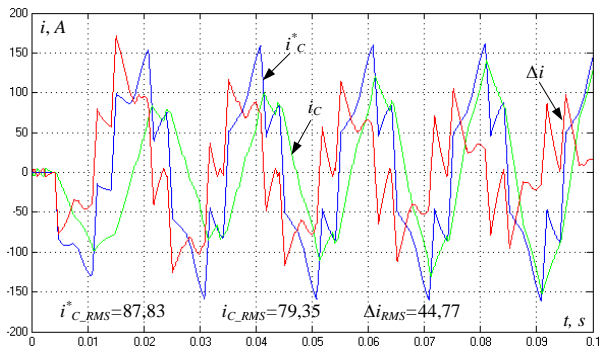


Рисунок 5 – Осцилограма заданого  $i_c^*$  і поточного  $i_c$  струму САФ і похибки струму  $\Delta i$  фази  $a$

Припустимо, що мінімальна напруга, прикладена до індуктивності  $u_L$ , буде не менше діючого значення основної гармоніки напруги мережі  $u_L > U_{RMS}$ . Виходячи з того, що індуктивний опір, при протіканні струму основної гармоніки –  $X_L = U_L / I_L$ , припустимо, що значення індуктивності в цьому випадку:

$$L = U_{1,rms} / (\omega I_{1,rms}) \quad (13)$$

В [11] зазначено, що для різних типів нелінійних навантажень коефіцієнт спотворення кривої струму  $THD_I$  сильно відрізняється. Таким чином, при розрахунку параметрів елементів силової частини САФ виникає необхідність враховувати не тільки реактивну потужність основної гармоніки навантаження, а й складові вищих гармонік струму навантаження.

Врахувати спотворення кривої струму можливо шляхом введення в розрахунок потужності спотворення [11]:

$$D_I = S_1 \cdot THD_I, \quad (14)$$

де  $S_1$  – повна потужність навантаження по основній гармоніці:

$$S_1 = U_{1rms} \cdot I_{1rms} \quad (15)$$

Виконаємо перерахунок напруги конденсатора за формулою (7) з урахуванням значення індуктивності  $L$  (13) і потужності спотворення струму  $D_I$ . Тоді, напруга на конденсаторі:

$$U_C = \sqrt{2}U_m + \left( \sqrt{2}(Q + D_I) / U_m \right) \omega L \quad (16)$$

Виконаємо перерахунок параметрів елементів силової частини схеми і порівняємо результати, звівши їх в табл. 1.

Таблиця 1 – Зведені параметри розрахованих значень елементів силової частини пристрою САФ

| Параметр  | Нелінійне навантаження   |                        | Величина вимірювання |
|-----------|--------------------------|------------------------|----------------------|
|           | 1 варіант розр.          | 2 варіант розр.        |                      |
| $L$       | 0,022                    | 0,006366               | Гн (H)               |
| $f_{max}$ | 2338                     | 15480                  | Гц (Hz)              |
| $U_C$     | 1075                     | 1853                   | В (V)                |
| $C$       | $\geq 1,5 \cdot 10^{-3}$ | $\geq 1 \cdot 10^{-3}$ | Ф (F)                |

Після перерахунку значень параметрів елементів схеми, проведені аналогічні експерименти на моделі. Отримані осцилограми струму навантаження  $i_{ld}$ , поточного струму САФ  $i_c$  і струму мережі  $i_s$  по фази  $a$  (рис. 6) і осцилограма заданого струму САФ  $i_c^*$ , поточного струму САФ  $i_c$  і похибки регулювання струму  $\Delta i$  фази  $a$  (рис. 7).

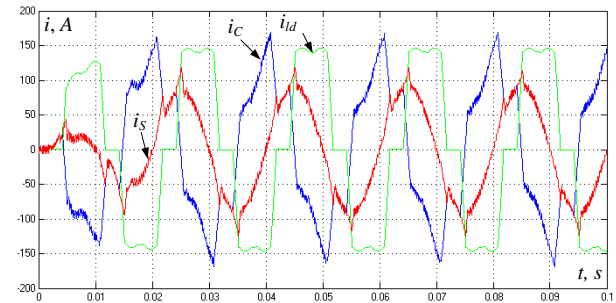


Рисунок 6 – Осцилограма струму навантаження  $i_{ld}$ , поточного струму САФ  $i_c$  і мережі  $i_s$  по фази  $a$

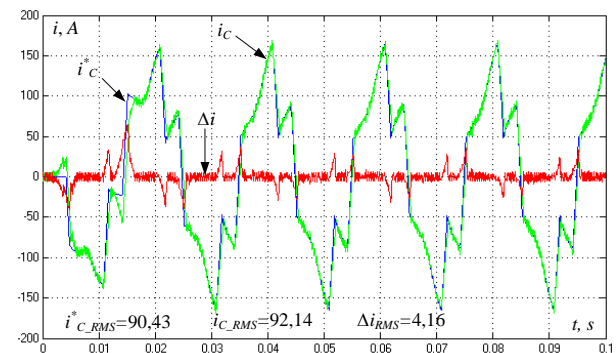


Рисунок 7 – Осцилограма похибки струму  $\Delta i$  і струму навантаження  $i_{ld}$  фази  $a$

Порівнюючи струм мережі на рис. 6 з аналогічним струмом на рис. 4 зазначається істотна різниця

в формі, і наближення її до синусоїди. За винятком інтервалів, на яких спостерігається крутий фронт струму навантаження. В цьому випадку реактивна потужність мережі знижується на 101,5 %, коефіцієнт спотворення струму мережі знижується на 40,7 %. На осцилограмі рис. 7 похибка регулювання струму досягає в сталому режимі максимального значення 34,8 А при цьому її середньоквадратичне значення не перевищує 5 А, що відповідає 4,54 % розрахункового струму.

**ВИСНОВКИ.** Доведено, що розрахунок параметрів САФ без урахування потужності спотворення призводить до суттєвого порушення режиму роботи САФ і виключає компенсацію струму, середньоквадратичне значення відхилення струму становить 44,77 А, тобто 40,7 % від розрахункового струму.

В результаті аналізу впливу спотворення струму і відповідної потужності спотворення обґрунтовано необхідність використання потужності спотворення струму на рівні з реактивною потужністю, що істотно впливає на значення параметрів силових елементів САФ.

Для розрахункового режиму потужність спотворення струму призводить до зміни індуктивності реактора на 28,6 %, ємності конденсатора на 50 %, напруги конденсатора на 58 %, частоти комутації в 6,6 раз, при цьому компенсація реактивної потужності мережі зростає до 101,5 % (незначна перекомпенсація), а коефіцієнт  $THD_I$  мережі знижується на 40,7 %.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. 3-ие изд. перераб. и доп. Москва: Энергоатомиздат, 2000. 252 с.
2. Vlasenko R. V., Bialobrzescki O. V. Limitations of current of the three-phase active power filter in the conditions of overload and short circuit. *Electrical engineering & electromechanics*. 2018. No. 1. P. 29–34.
3. Власенко Р. В., Бялобржеський О. В. Порівняння методів компенсації неактивної потужності трифазним силовим активним фільтром з адаптивним релейним регулятором струму. *Електротехніка та електроенергетика*. 2014. № 2. С. 20–27.

4. Akagi H., Watanabe E. H., Aredes M. Instantaneous power theory and applications to power conditioning. IEEE Press Editorial Board. 2007. 400 p.

5. Бялобржеський О. В., Власенко Р. В. Зв'язок електроенергетичних параметрів режиму однофазного активного фільтру з параметрами його накопичувачів. *Науковий вісник НГУ*. 2015. № 148. С. 79–84.

6. Popescu M., Bitoleanu A., Dobricianu M., Suru V. Optimum control strategy of three-phase shunt active filter system. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*. 2009. Vol. 3. No. 10. P. 1810–1815.

7. Zakis J., Rankis I. Comparison of flexible systems of reactive power compensation. *5th International symposium „Topical problems in the field of electrical and power engineering”, doctoral school of energy and geotechnology kuressaare, Estonia, January 14-19. 2008. P. 99–102.*

8. Brandstetter P., Chlebis P., Simonik P. Control Algorithms of Active Power Filters. *Progress in electromagnetics research symposium proceedings conf.* Cambridge, USA. 2010. P. 429–433.

9. Bialobrzescy O., Vlasenko R., Gladyr A. Analysis of electric energy allocation processes in power elements of the active filter converter. *Proceeding of scientific and student's works in the field of Industrial Electrical Engineering*. 2015. Vol. 4. P. 164–168.

10. Власенко Р. В., Бялобржеський О. В., Качалка В. Ю. Дослідження характеристик трифазного силового активного фільтру з адаптивним релейним регулятором при компенсації неактивних складових потужності. *Електротехнічні і енергозберігаючі системи*. 2015. № 3. С. 118–125.

11. Плехов А. С., Титов Д. Ю., Чернов Е. А. Расчет емкости конденсатора в цепи постоянного тока активного фильтра гармоник. *Инженерный вестник Дона*. 2014. № 1. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2243>. (дата звернення: 30.01.2014).

12. Tugay D. V. The phase reactor inductance selection technique for power active filter. *Electrical engineering & electromechanics*. 2016. No. 6. P. 31–38.

#### THE INFLUENCE OF THE DISTORTION POWER ON THE PARAMETERS OF THE POWER COMPONENTS OF A THREE-PHASE ACTIVE POWER FILTER

R. Vlasenko, O. Bialobrzescy

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ruslan.vlasenko@i.ua, seemAl@kdu.edu.ua

**Purpose.** The purpose of the article is to obtain expression for determining the values of parameters of elements of the power part of a three-phase parallel active power filter, which are uniquely related to the reactive power of load and current distortion power, which is determined by the coefficient total harmonic distortion of current. In particular, the voltage on the storage capacitor is determined taking into account the power of distortion of current the load. **Methodology.** The following theories were used to conduct research: general methods of theoretical foundations of electrical engineering, the theory apparent power Fryze, the theory of electric circuits, the theory of three-phase rectifiers, three-phase autonomous inverter voltage, the method of relay current control and mathematical modeling in the Matlab package were used. **Results.** Calculated relations are obtained, allowing to take into account the current distortion power the load together with reactive power the load in determining the values of parameters of elements of the power part of the three-phase parallel active power filter. This allows you to correctly select the parameters of the elements of the power part of the three-phase parallel active power filter for efficient operation of the device in conditions of three-phase non-linear loads. **Originality.** The found influence of current distortion power the load at the choice of values of parameters

of elements of the power unit, which affects the quality of the three-phase parallel active power filter. Interconnection of the values of the parameters of the elements of the power part of the three-phase parallel active power filter assumes, when performing the calculation, to apply predictions for the beginning of the calculation or the use of an optimization problem. **Practical value.** The use of the proposed methodology will allow to more correctly perform the calculation of the values of parameters of elements of the power part of the three-phase parallel active power filter when designing these devices for power supply systems of industrial enterprises, electric power stations, and others. References 12, tables 1, figures 7.

**Key words:** active power filter, reactive power, current distortion power, switching frequency, the given current.

#### REFERENCES

1. Zhezhelenko, I. V., Sayenko, Yu. L. (2000), *Indicators of power quality and their control in industrial enterprises* [Pokazateli kachestva elektroenergiyi i ikh kontroly na promyshlennykh predpriyatiyakh], Energoatomizdat, Moscow, 252 p.
2. Vlasenko, R., Bialobrzzeski, O. (2010), "Limitations of current of the three-phase active power filter in the conditions of overload and short circuit", *Electrical engineering & electromechanics*, No. 1, pp. 29-34.
3. Vlasenko, R., Bialobrzzeski, O. (2014), "Comparison of inactive power compensation methods by three-phase active power filter with adaptive relay current controller" ["Porivnyannya metodiv kompensatsiyi neaktyvnoyi potugnosti tryfaznym sylovym aktyvnym fil'trom z adaptivnym releynym regulyatorom strumu"], *Electrical engineering and power engineering*, No. 2, pp. 20-27.
4. Akagi, H., Watanabe, E. H., Aredes, M. (2007), *Instantaneous power theory and applications to power conditioning*, IEEE Press Editorial Board, USA, 400 p.
5. Bialobrzzeski, O., Vlasenko, R. (2015), "Interrelation of electric-power parameters of the single-phase active power filter mode with parameters of the stores attached" [Zv'yazok elektroenergetychnykh parametriv regymu odnofaznogo aktyvnogo fil'tru z parametramy yogo nakopychuvachiv], *Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk*, No.148, pp. 79-84.
6. Popescu, M., Bitoleanu, A., Dobriceanu, M., Suru, V. (2009), "Optimum control strategy of three-phase shunt active filter system", *International journal of electrical, computer, energetic, electronic and communication engineering*, Vol. 3, No. 10, pp. 1810–1815.
7. Zakis, J., Rankis, I. (2008), "Comparison of flexible systems of reactive power compensation", *5th International symposium „Topical problems in the field of electrical and power engineering”*, pp. 99-102.
8. Brandstetter, P., Chlebis, P. Simonik, P. (2010), "Control algorithms of active power filters", *Progress in electromagnetics research symposium proceedings conference*, pp. 429-433.
9. Bialobrzzesky, O., Vlasenko, R., Gladyr, A. (2015), "Analysis of electric energy allocation processes in power elements of the active filter converter", *Proceeding of scientific and student's works in the field of industrial electrical engineering*, Vol. 4, pp. 164-168.
10. Vlasenko, R., Bialobrzzeski, O., Kachalka, V. (2015), "Study of the characteristics three-phase active power filter with adaptive regulator at compensation inactive power components" ["Doslidzennya harakterystyk tryfaznogo sylovogo aktyvnogo fil'tru z adaptivnym releynym regulyatorom pry kompensatsiyi neaktyvnykh skladovykh potugnosti"], *Electromechanical and energy saving systems*, No. 3, pp. 118-125.
11. Plekhov, A. S., Titov, D. Ur., Chernov, E. A., "Calculation of the capacitance of the capacitor on the DC link active harmonic filter" ["Raschet emkosti kondensatora v tchepi postoyannogo toka aktivnogo fil'tra garmonik"], available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2243>.
12. Tugay, D. (2016), "The phase reactor inductance selection technique for power active filter", *Electrical engineering & electromechanics*, No. 6, pp. 31-38.

Стаття надійшла 13.02.2019.