

УДК 621.314.12

О.В. Бялобржеський, канд. техн. наук, доц.,  
Р.В. ВласенкоКременчуцький національний університет імені Михайла  
Остроградського, м. Кременчук, Україна, e-mail:  
seemal@kdu.edu.ua

## ЗВ'ЯЗОК ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ОДНОФАЗНОГО АКТИВНОГО ФІЛЬТРУ З ПАРАМЕТРАМИ ЙОГО НАКОПИЧУВАЧІВ

O.V. Byalobrzheskii, Cand. Sci. (Tech.),  
R.V. VlasenkoKremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kre-  
menchuk, Ukraine, e-mail: seemal@kdu.edu.ua

## INTERRELATION OF ELECTRIC-POWER PARAMETERS OF THE SINGLE-PHASE ACTIVE POWER FILTER MODE WITH PARAMETERS OF THE STORES ATTACHED

**Мета.** Визначення зв'язку параметрів накопичувальних елементів однофазного активного фільтру з електроенергетичними параметрами його режиму.

**Методика.** Методика досліджень включає складання математичної моделі однофазного активного фільтру та реалізацію режиму формування заданого гармонійного струму мережі. Складання рівнянь балансу енергії з урахуванням специфіки розподілу напруг і протікання струмів в елементах пристрою, у комплексі з аналізом часових і спектральних залежностей вказаних параметрів режиму, що надає змогу сформулювати закономірності, які пов'язують електричні параметри режиму з параметрами індуктивності та конденсатора пристрою.

**Результати.** Шляхом декомпозиції параметрів режиму для відповідних гармонік визначений зв'язок амплітуди коливань напруги конденсатора з амплітудою струму мережі. Шляхом порівняння пилкоподібної модулюючої складової мережевого струму з відповідною синусоїдальною за діючим значенням ураховано вплив буферної індуктивності схеми на коефіцієнт гармонік струму та напруги у вузлі підключення пристрою. На підставі рівнянь балансу потужності встановлені взаємні залежності параметрів схеми однофазного активного фільтру з параметрами режиму, з урахуванням коефіцієнту гармонік у точці підключення пристрою.

**Наукова новизна.** У результаті проведеного аналізу режиму та аналітичних залежностей параметрів елементів схеми від параметрів режиму встановлено, що їх однозначний чисельний розрахунок, у зв'язку з відсутністю необхідної кількості незалежних рівнянь, виконаним бути не може, що відносить задачу визначення параметрів до групи оптимізаційних.

**Практична значимість.** Полягає в розробці прикладної моделі та методики аналізу її режимів на підставі часових і спектральних залежностей, що дозволяє досліджувати усталені та перехідні процеси в подібних пристроях.

**Ключові слова:** баланс енергії, релейне керування режимом, гармонійний склад, відносне відхилення напруги, коефіцієнт гармонік напруги

**Вступ.** Застосування електричних навантажень, що мають несиметричний або (та) нелінійний характер, ставить перед науковцями задачі пошуку методів і засобів компенсації впливу таких навантажень на мережу та показники якості електричної енергії [1,2]. Історично певне місце в ланці фільтро-компенсуючих пристроїв зайняли конденсаторні та реакторні елементи; фільтри виконані в результаті комбінації послідовного, паралельного та послідовно-паралельного з'єднання вказаних елементів; симетруючі пристрої виконані аналогічним чином за певними принципами [1]. Деякі науковці [3,4] за фізичними процесами, що протікають у вказаних пристроях, об'єднують їх у групу фільтро-компенсуючих симетруючих пристроїв. При цьому зміна режиму та показників енергоспоживання, що супроводжує більшість навантажень, ставить задачі керування режимами фільтрації, компенсації та симетрування [2]. У результаті впроваджуються дискретно керовані фільтро-компенсуючі пристрої та статичні тиристорні компенсатори реактивної потужності.

**Аналіз попередніх досліджень.** Розроблені різноманітні силові перетворюючі пристрої, що забезпечують підвищення якості електричної енергії у вузлі електричної мережі та відповідні системи керування ними [2]. Вітчизняні автори використовують терміни: „силовий активний фільтр“ [3], „активний випрямляч“ [5], „чотирьохквadrantний перетворювач“ [6]; а в іноземних публікаціях „active power filter“ [7], „4-QS converter“ [7], „bidirectional converter“ [1]. Особливу увагу зосереджено на питаннях синтезу оптимальної системи керування вказаними перетворювачами за мінімумом статичної та динамічної помилок із забезпеченням високих енергетичних показників режиму його функціонування [3]. При цьому осторонь залишилися деякі питання розподілу електричної енергії в силовій частині перетворювача та елементах, що забезпечують режим роботи. Це, у свою чергу, зумовлює раціоналізацію режиму роботи пристрою в цілому.

**Постановка проблеми.** Аналіз процесів трансформації та розподілу енергії в силових елементах перетворювача активного фільтру для визначення необхідних електричних параметрів накопичувальних елементів.

**Мета роботи** – визначення зв'язку параметрів накопичувальних елементів однофазного активного фільтра з електроенергетичними параметрами його режиму.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом досліджень обрано перетворювач, схематичну модель якого наведено на рис. 1. До джерела живлення ( $V_{Gr}$ ), з напругою  $u_{Gr} = U_{Gr} \sin(\omega_{Gr}t) = 220 \sqrt{2} \sin(314,926t)$ , підключене активно-індуктивне навантаження ( $L_{Load} = 0,058$  Гн;  $R_{Load} = 10,4$  Ом), що покладено незмінним. Напівпровідникові елементи ідеалізовані. Організація керування транзисторами, параметри буферної індуктивності та накопичувального конденсатора розраховані за рекомендаціями [6] та складають:  $L_b = 0,0054$  Гн;  $C_{stor} = 0,002$  Ф. Це забезпечує формування струму з діючим значенням  $I_{Gr} = 0 - 100$  А, що випереджає за фазою напругу мережі на  $90^0$ . Блок керування транзисторами побудований на релейних елементах, що відпрацьовують помилку між заданим ( $i_{ref}$ ) і поточним ( $i_{com}$ ) струмом компенсатора. При цьому ширина петлі релейного елемента складає 10% амплітуди струму.

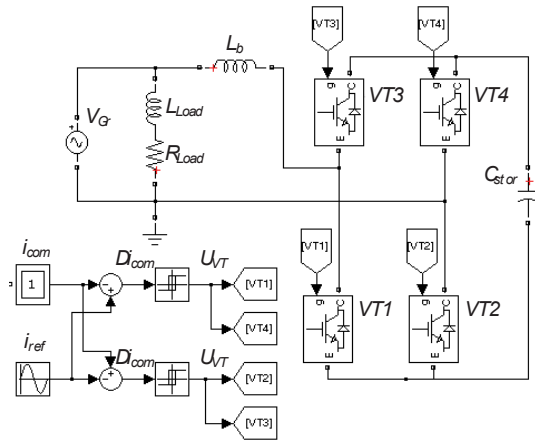


Рис. 1. Схема досліджуваної моделі

За вказаних умов виконане моделювання процесу формування струму

$$i_{ref} = 100\sqrt{2} \sin\left(314,926t - \frac{\pi}{2}\right),$$

результати моделювання наведено на рис. 2. Струм мережевого кола компенсатора ( $i_{Gr}$ ), відрізняється від заданого ( $i_{ref}$ ) на певне значення  $\Delta I_{Gr} = 10$  А.

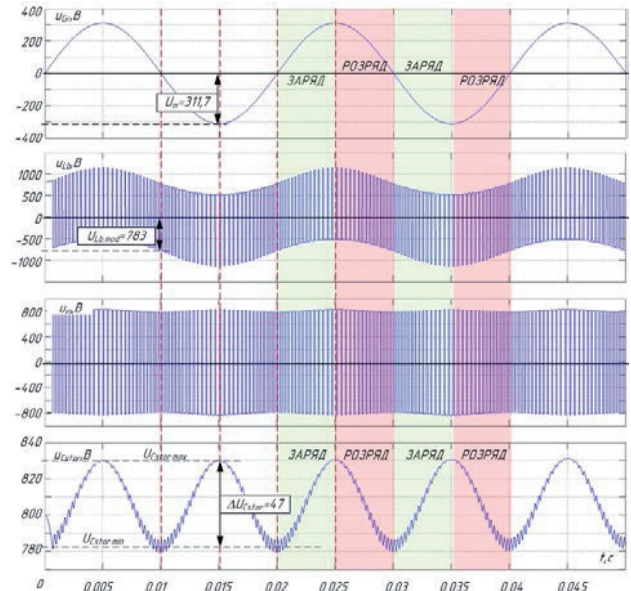
За вказаних показників організації режиму роботи схеми та отриманих електричних параметрів режиму, на рис. 3 наведені графіки зміни у часі енергії, що циркулює між схемою та мережею (без урахування навантаження  $L_{Load}$ ,  $R_{Load}$ ), енергії буферної індуктивності та енергії накопичувального конденсатора.

Згідно з рис.3, період зміни енергії у два рази менший ніж період зміни напруги мережі, та складає  $T_w = 0,01 = T_U / 2$ .

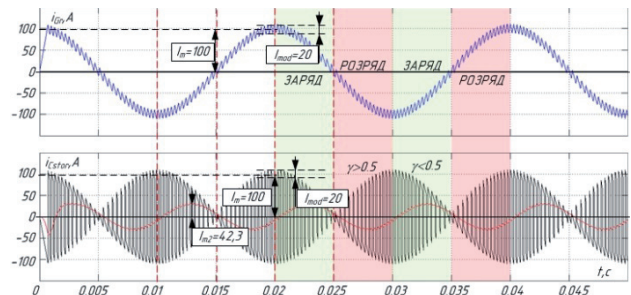
У даному випадку, відповідно до рис. 3, зміна енергії за період у будь-якому із вказаних елементів перетворювача дорівнює нулю. Зміна енергії, циркулюючої між мережею та перетворювачем за половину періоду

$T_w / 2$ , або за чверть періоду напруги мережі  $T_U / 4$ , нехтуючи пульсаціями струму, дорівнює

$$\Delta W_{Gr} = \int_0^{T_w/4} i_{Gr} u_{Gr} dt = \int_0^{T_w/4} I_m \sin\left(\omega_{Gr}t - \frac{\pi}{2}\right) U_m \sin(\omega_{Gr}t) dt = -\frac{I_m U_m}{2\omega_{Gr}}.$$



а



б

Рис. 2. Зміна у часі електричних параметрів режиму перетворювача: а – напруга мережі, напруга буферного реактора, напруга конденсаторного накопичувача; б – струм буферного реактора (мережевий струм компенсатора), струм конденсаторного накопичувача

Зміна енергії буферної індуктивності за такий самий проміжок часу

$$\Delta W_{Lb} = \frac{L_b}{2} \left( i_{Lb}^2 \left( \frac{T_w}{4} \right) - i_{Lb}^2(0) \right) = \frac{L_b I_m^2}{2}.$$

При цьому енергія конденсатора

$$\Delta W_{Cstor} = \frac{C_{stor}}{2} \left( u_{Cstor}^2 \left( \frac{T_w}{4} \right) - u_{Cstor}^2(0) \right),$$

напруга накопичувального конденсатора

$$u_{Cstor} \left( \frac{T_w}{4} \right) = U_{Cstor, \max}; \quad u_{Cstor}(0) = U_{Cstor, \min}.$$

Введемо відносне відхилення напруги конденсатора у вигляді

$$k_c = \frac{\Delta U_{Cstor}}{U_{Cstor.0}} = \frac{U_{Cstor.max}}{U_{Cstor.0}} - 1 = 1 - \frac{U_{Cstor.min}}{U_{Cstor.0}}$$

де  $U_{Cstor.0}$  – середнє значення напруги на конденсаторі

$$U_{Cstor.0} = \frac{U_{Cstor.max} + U_{Cstor.min}}{2}$$

або, використовуючи відносне відхилення напруги від середнього значення,

$$U_{Cstor.0} = \frac{U_{Cstor.max}}{(k_c + 1)} = \frac{U_{Cstor.min}}{(1 - k_c)}$$

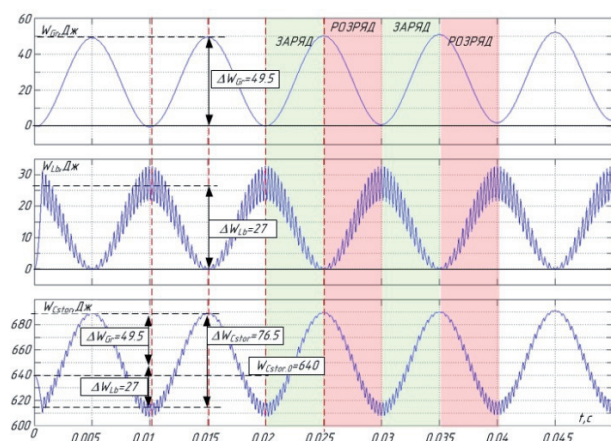


Рис. 3. Зміна у часі енергії мережі, буферного реактора та накопичувального конденсатора

Тоді зміна енергії на конденсаторі

$$\Delta W_{Cstor} = 2C_{stor} U_{Cstor.0}^2 k_c$$

Для довільного моменту часу виконується баланс енергій

$$\Delta W_{Cstor} + \Delta W_{Lb} + \Delta W_{Gr} = 0$$

або, використовуючи параметри схеми та режиму,

$$2C_{stor} U_{Cstor.0}^2 k_c - \frac{L_b I_m^2}{2} - \frac{I_m U_m}{2\omega_{Gr}} = 0$$

Якщо виразити амплітуду основної гармоніки струму компенсатора ( $I_m$ ) через значення реактивної потужності, на яку він розраховується, покладаючи

$$Q = I_{Gr} U_{Gr} = \frac{I_m U_m}{\sqrt{2} \sqrt{2}} = \frac{I_m U_m}{2}$$

отримаємо

$$I_m = \frac{2Q}{U_m}$$

Виходячи з балансу енергії

$$-\frac{2Q}{\omega_{Gr}} - \left(\frac{2Q}{U_m}\right)^2 L_b + 4C_{stor} U_{Cstor.0}^2 k_c = 0$$

Отримана формула дозволяє визначити рівень середнього значення напруги накопичувального конденсатора за відомих параметрів накопичуючих елементів і параметрів режиму мережі та навантаження

$$U_{Cstor.0} = \sqrt{\frac{QU_m^2 + 2Q^2 L_b \omega_{Gr}}{2C_{stor} \omega_{Gr} U_m^2 k_c}}$$

Якщо привести пилоподібні пульсації струму  $I_{m.mod}^{\wedge}$  (рис.2, б) до відповідних гармонійних  $I_{m.mod}^{\circ}$ , виконуючи рівність діючих значень цих пульсацій

$$I_{rms.mod}^{\wedge} = I_{rms.mod}^{\circ}$$

через амплітуди пульсацій

$$\frac{I_{m.mod}^{\wedge}}{\sqrt{3}} = \frac{I_{m.mod}^{\circ}}{\sqrt{2}}, \text{ тобто } I_{m.mod}^{\circ} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{m.mod}^{\wedge}$$

то, урахуваючи, що пилоподібні пульсації струму зумовлені його модуляцією з частотою  $\omega_{mod}$  у буферній індуктивності, отримаємо

$$u_{Lb} = L_b \frac{di_{Gr}}{dt} \Rightarrow U_{Lb.mod} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{m.mod}^{\wedge} L_b \omega_{mod} = U_{Cstor.min} = U_d$$

З іншої сторони пульсації струму, відповідно до [4], повинні відповідати вимогам до якості електричної енергії за показником коефіцієнту гармонік

$$THD_I = \frac{I_{rms.mod}^{\circ}}{I_{rms.1}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{I_{m.mod}^{\wedge}}{I_m}$$

де  $I_{rms.1} = I_m / \sqrt{2}$  – діюче значення основної гармоніки струму буферної індуктивності компенсатора, що пов'язано з показником нелінійних спотворень напруги

$$THD_U = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{I_{m.mod}^{\wedge} \omega_{mod} L_{Gr}}{U_m} = \frac{U_{Lb.mod} L_{Gr}}{U_m L_b} = \frac{U_{Cstor.min} L_{Gr}}{U_m L_b} \quad (1)$$

$$THD_U = THD_I \frac{I_m \omega_{mod} L_{Gr}}{U_m}$$

Виходячи з цього, для отримання заданого коефіцієнту гармонійних викривлень за напругою індуктивність реактора повинна складатися

$$L_b = \frac{U_{Cstor.min} L_{Gr}}{U_m THD_U} = \frac{U_{Cstor.0} (1 - k_c) L_{Gr}}{U_m THD_U} \quad (2)$$

Як показує аналіз графіків (рис. 3) і спектрального складу струмів і напругу перетворювача (рис. 4), струм і напруга конденсатора, окрім високочастотних складових, мають складову, що змінюється з подвійною частотою відносно частоти мережі. Це зумовлено періодичним перезарядом конденсатора для формування потоку реактивної потужності до мережі. У той же час

друга гармоніка струму конденсатора зумовлена роботою пристрою в режимі випрямляча та, аналогічно, згідно з [8], має вигляд

$$i_{Cstor} = m \sin(\omega_{Gr}t) I_m \sin\left(\omega_{Gr}t + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{m I_m}{2} \sin(2\omega_{Gr}t) = I_{m2.Cstor} \sin(2\omega_{Gr}t).$$

У той же час, зіставляючи напругу конденсатора зі струмом (рис. 3), за другою гармонікою

$$u_{Cstor} = \frac{1}{C_{stor}} \int i_{Cstor} dt; \\ -U_{m2} \cos(2\omega_{Gr}t) = \frac{1}{C_{stor}} \int \frac{m I_m}{2} \sin(2\omega_{Gr}t) dt.$$

Після інтегрування отримаємо

$$-U_{m2} \cos(2\omega_{Gr}t) = -\frac{m I_m}{2 C_{stor} 2\omega_{Gr}} \cos(2\omega_{Gr}t),$$

звідки амплітуда пульсацій напруги конденсатора

$$U_{m2} = \frac{m I_m}{4 C_{stor} \omega_{Gr}} = \Delta U_{C.stor}.$$

Використовуючи замість коефіцієнта модуляції  $m$ , відповідно до [9], коефіцієнт регулювання  $k_r$  та коефіцієнт схеми  $k_{sh}$ , отримаємо

$$U_{m2} = \frac{I_m}{4 C_{stor} \omega_{Gr}} \frac{U_m (1+k_r)}{k_{sh} U_d} = \frac{I_m U_m}{4 C_{stor} \omega_{Gr} k_{sh} U_d} + I_m^2 \omega_{Gr} L_b. \quad (3)$$

Виходячи з виразів (1–3), необхідна ємність конденсатора накопичувача становить

$$C_{stor} = \frac{I_m U_m}{4 U_{Cstor0} U_{m2} \omega_{Gr} k_{sh}} + \left( \frac{U_{Cstor0} - U_{m2}}{U_{Cstor0} U_{m2}} \right) \frac{I_m^2 L_{Gr}}{4 U_m THD_U k_{sh}}$$

або, використовуючи  $k_c$ ,

$$C_{stor} = \frac{I_m U_m}{4 U_{Cstor0}^2 k_c \omega_{Gr} k_{sh}} + \left( \frac{1-k_c}{U_{Cstor0} k_c} \right) \frac{I_m^2 L_{Gr}}{4 U_m THD_U k_{sh}}$$

Для стійкого керування роботою транзисторів [10] перетворювача необхідно виконання умови деякого перевищення мінімальної напруги накопичувального конденсатора  $C_{stor}$  над напругою мережі  $U_m$ , з урахуванням основної гармоніки напруги на буферній індуктивності  $L_b$ , тобто

$$U_{Cstor.min} = U_{Cstor0} (1-k_c) > U_m + I_m L_b \omega_{Gr}.$$

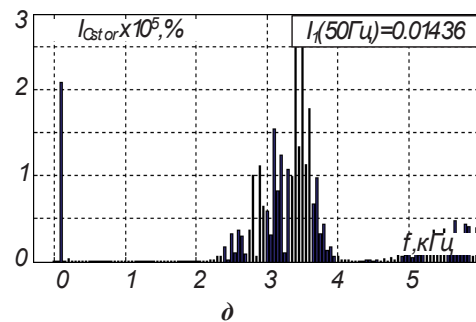
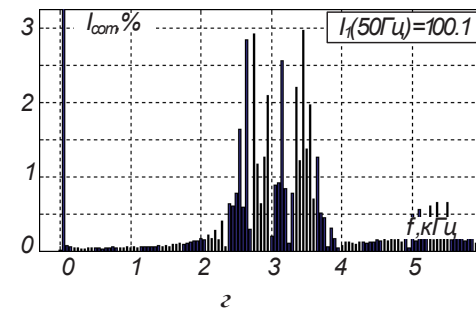
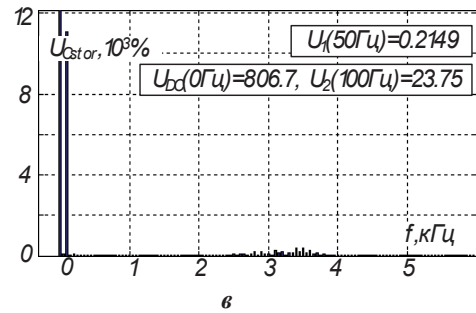
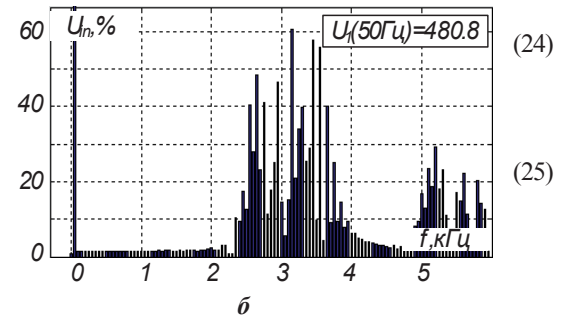
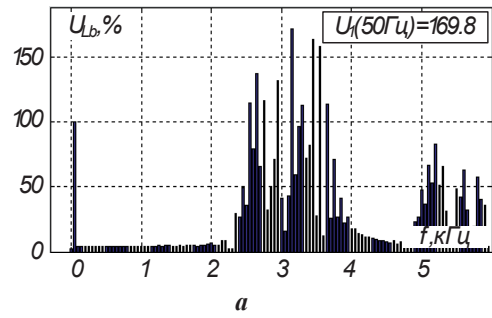


Рис. 4. Розподіл амплітуд гармонік: а – напруги буферного реактора; б – напруги на вході перетворювача; в – напруги на виході перетворювача (накопичуючого конденсатора); г – струму компенсатора; д – струму накопичуючого конденсатора

Зважаючи на відсутність достатньої кількості рівнянь для однозначного вирішення відносно параметрів режиму ( $U_{C_{stor.0}}$ ,  $k_C$ ) та параметрів перетворювача ( $C_{stor}$ ,  $L_b$ ), єдиним варіантом визначення вказаних параметрів є стратегія оптимізації. При цьому зазначені параметри є змінними оптимізації, а за цільову функцію може бути обрано мінімум втрат електричної енергії у схемі або мінімум фінансових витрат на реалізацію схеми.

**Висновки та напрям подальших досліджень.** У результаті розрахунку балансу енергії для пристрою встановлено, що зміна енергії, яка відповідає реактивній потужності, обернено пропорційна частоті зміни цієї потужності.

Компенсація реактивної потужності пристроєм відбувається за рахунок енергії конденсаторного накопичувача, що викликає зміну рівня напруги. Для характеристики останнього введений показник коливання напруги, що використано як один з параметрів режиму.

Визначений зв'язок коефіцієнту спотворень напруги з параметрами перетворювача, що дозволяє врахувати дію пристрою на якість електричної енергії в точці підключення.

У результаті аналізу часових залежностей параметрів режиму та розподілу гармонік цих параметрів, з використанням рядів Фур'є, встановлена наявність та аналітичний зв'язок другої гармоніки струму й середнього значення напруги конденсаторного накопичувача.

На підставі отриманих аналітичних залежностей параметрів елементів схеми встановлена неможливість їх однозначного чисельного розрахунку за відсутності необхідної кількості лінійно-незалежних рівнянь, що призводить до оптимізаційної задачі з визначенням цільової функції критеріїв та параметрів оптимізації.

#### Список літератури / References

1. Popescu, M., Bitoleanu, A., Dobriceanu, M. and Suru, V. (2009), "Optimum control strategy of three-phase shunt active filter system", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Romania, no. 58, pp. 441–446.
2. Колб А.А. Управление вентильными компенсаторами неактивных составляющих полной мощности / А.А. Колб // Вісник Призов. держ. техн. ун-ту: збір. наук. праць. – 2005. – Вип. 1.5–4.2. – С. 87–91.
3. Kolb, A.A. (2005), "Controls of transistor compensated of inactive components of full capacity", *Visnyk Pryazovskoho Derzhavnoho Tekhnichnoho Universytetu*, vol. 1.5–4.2, pp. 87–91.
3. Волков А.В. Исследование функционирования и энергоэффективности применения силового активного фильтра для четырехпроводной трехфазной сети переменного напряжения / А.В. Волков, В.П. Метельский, В.А. Волков // Технічна електродинаміка. – 2010. – № 5. – С. 61–68.
4. Volkov, A.V., Metelskiy, V.P. and Volkov, V.A. (2010), "Research of functioning and energetically effective applications of the power active filter for the four-wire three-phase network of an alternating potential", *Tekhnichna Elektrodynamika*, no. 5, pp. 61–68.
4. Жуйков В.Я. Особливості режимів роботи ФКП / В.Я. Жуйков, Д.А. Миколаєць // Технічна електродинаміка. – 2011. – Част. 1. – С. 24–29.

Zhuikov, V.Ya. and Mykolaiets, D.A. (2011), "Features of modes work a filtering compensating devices", *Tekhnich-na Elektrodynamika*, no. 1, pp. 24–29.

5. Жемеров Г.Г. Коэффициент несинусоидальности напряжения сети в точке подключения активного выпрямителя / Г.Г. Жемеров, О.И. Ковальчук // Технічна електродинаміка. – 2011. – № 3. – С. 33–40.

Zhemerov, G.G. and Kovalchuk, O.I. (2011), "Voltage nonsinusoidality ratio of a network in a point of connection of the active rectifier", *Tekhnichna Elektrodynamika*, no. 3, pp. 33–40.

6. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Шрейнер Р.Т. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.

Shreyner, R.T. (2000), *Matematicheskoye modelirovaniye electroprivodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovatelyami chastoty* [Mathematical Modeling of Electric Drives an Alternating Current with Semi-Conductor Converters of Frequency], URO the Russian Academy of Science, Ekaterinburg, Russia.

7. Leon M. Tolbert., William A. Peterson, Cliff P. White a.m. (2002), "A bi-directional DC-DC converter with minimum energy storage elements", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 22, no. 2, pp. 284–391.

8. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники / Зиновьев Г.С. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 667 с.

Zinovyev, G.S. (2012), *Osnovy silovoye elektroniki* [The Power Electronics Bases], Publishing house Yurayt, Moscow, Russia.

9. Чаплыгин Е.Е. Спектральные модели импульсных преобразователей с переменной частотой коммутации / Е.Е. Чаплыгин, Нгуен Хоанг Ан // Электричество. – 2006. – № 4. – С. 41–49.

Chaplygin, Ye.Ye. and Nguen Hoang An (2006), "Spectral models of switching converters with variable switching frequency", *Electrichestvo*, no.4, pp. 41–49.

10. Остренко В.С. Визначення кращого типу IGBT модуля для застосування в перетворювачах частоти / Остренко В.С., Кулініч Є.В. // Науковий вісник НГУ. – 2012. – №5 – С. 80–85.

Ostrenko, V.S. and Kulinich, Ye.V. (2012), "Determination of the best type of IGBT module for application in frequency converters", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 5, pp. 80–85.

**Цель.** Определение связи параметров накопительных элементов однофазного активного фильтра с электроэнергетическими параметрами его режима.

**Методика.** Методика исследований включает составление математической модели однофазного активного фильтра и реализацию режима формирования заданного гармонического тока сети. Составление уравнений баланса энергии с учетом специфики распределения напряжений и протекание токов в элементах устройства, в комплексе с анализом временных и спектральных зависимостей указанных параметров режима, дает возможность сформулировать закономерности, которые связывают электрические параметры режима с параметрами индуктивности и конденсатора устройства.

**Результаты.** Путем декомпозиции параметров режима для соответствующих гармоник определена связь амплитуды колебаний напряжения конденсатора с амплитудой тока сети. Сравнивая пилообразную модулирующую составляющую сетевого тока с соответствующей синусоидальной, по действующему значению, учтено влияние буферной индуктивности схемы на коэффициент гармоник тока и напряжения в узле подключения устройства. На основании уравнений баланса мощности установлены взаимные зависимости параметров схемы однофазного активного фильтра с параметрами режима, с учетом коэффициента гармоник в точке подключения устройства.

**Научная новизна.** На основании проведенного анализа режима и аналитических зависимостей параметров элементов схемы от параметров режима установлено, что их однозначный численный расчет, в связи с отсутствием необходимого количества независимых уравнений, выполненным быть не может, что относит задачу определения параметров к группе оптимизационных.

**Практическая значимость.** Состоит в разработке прикладной модели и методики анализа ее режимов на основании временных и спектральных зависимостей, что позволяет исследовать установившиеся и переходные процессы в подобных устройствах.

**Ключевые слова:** баланс энергии, релейное управление режимом, гармонический состав, относительное отклонение напряжения, коэффициент гармоник напряжения

**Purpose.** Determination of the relation between the parameters of energy storage system of the single-phase active filter with electric-power parameters of its mode.

**Methodology.** The research methodology included the development of a mathematical model of a single-phase active filter and implementation of the mode of the required harmonic current formation in the network. Formulation of

energy equations, in the light of specific features of the stress distribution and flow of currents in the elements of the device, together with the analysis of temporal and spectral dependencies of the mentioned parameters of mode, allows us to derive the laws that bind the power mode settings with the parameters of inductance and capacitor device.

**Findings.** By decomposition of the mode parameters for the corresponding harmonic oscillation amplitude we defined the relation between the capacitor voltage amplitude and the current amplitude in the network. Comparing the sawtoothlike modulating component of the line current to the corresponding sinusoidal component at a value, into account the effect, of the buffer circuit inductance on harmonic current and voltage at the node connecting the device. Based on the power balance equations we established the mutual dependence of the parameters of single-phase active filter circuit with the mode parameters, taking into account the harmonic content at the point of connection of the device.

**Originality.** Based on the mode analysis and analytical dependence of the parameters of circuit elements on the mode parameters, we have proved that the unmistakable numerical calculation is impossible, due to lack of the required number of independent equations. This qualifies the problem of determining of the parameters as optimization problem.

**Practical value.** The model and methods of analysis of its modes based on the time dependent behavior and spectral dependencies have been developed. This allows research of the steady and transient processes in such devices.

**Keywords:** energy balance, relay control mode, harmonic composition, relative deviation of voltage, voltage total harmonic distortion

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук  
О.П.Чорним. Дата надходження рукопису 29.07.14.*