

УДК 621.314

**М.Ю. Артеменко**, д-р.техн.наук, **Л.М. Батрак**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

## **Комбінована система управління паралельним активним фільтром чотирипровідної трифазної мережі**

*Запропонована проста та ефективна комбінована система управління паралельним активним фільтром (ПАФ) чотирипровідної трифазної мережі, побудована на принципі безпосереднього розрахунку вектора миттєвих значень струмів трифазного джерела, та представлений спосіб її реалізації. Побудована модель фільтра з зазначеною системою управління в програмному середовищі MatLab та проаналізована його робота на нелінійне навантаження при несиметричній незбалансованій напрузі живлення. Бібл. 7, рис. 4, табл. 2.*

**Ключові слова:** *вентильний перетворювач, гармоніки струму, активний фільтр, система управління активним фільтром, складова нульової послідовності.*

### **Вступ**

В умовах подорожчання електроенергії у всьому світі стрімко розвиваються засоби її збереження. Одним із таких ефективних засобів є застосування активних фільтрів, які дозволяють здійснити: рекуперацію енергії в трифазну мережу живлення; швидкодіючу та точну компенсацію неактивних складових миттєвої потужності, споживаних нелінійним навантаженням; симетрування мережевих фазних струмів і наближення їх форми до синусоїдної; зменшення втрат електроенергії в мережах електропостачання промислових підприємств та поліпшення якості мережевої напруги. Вдосконалення автоматичного управління АФ та дослідження ефективності компенсації спотворень і неактивних складових миттєвої потужності різних споживачів становлять великий практичний інтерес. АФ, що випускаються промисловістю, за структурою побудови силової частини практично не розрізняються, однак вони мають високу вартість та невисоку надійність внаслідок ускладненої системи управління. Остання здебільшого побудована на основі швидкодіючих високопродуктивних мікропроцесорних систем, що здійснюють розрахунки в реальному масштабі часу за ускладненими алгоритмами теорії миттєвої по-

тужності з багаторазовим перетворенням координат [1].

Таким чином, дослідження, спрямовані на розробку високоефективних і надійних систем управління активними фільтрами, що відрізняються простотою реалізації і низькою вартістю, є актуальними.

### **Основна частина**

Системи управління ПАФ з перетворенням координат діють за наступним алгоритмом. Виміряні миттєві значення струмів навантаження та фазних напруг мережі живлення шляхом матричних лінійних операцій перетворюють у відповідні миттєві значення струмів та напруг однієї з відомих систему координат  $\alpha\beta 0$ ,  $d\beta 0$ ,  $pq$ . Далі матричним множенням отриманих координат знаходять миттєве значення активної потужності та миттєві значення складових реактивної потужності в обраній системі координат, визначаються їх середні за період значення та пульсації. В залежності від завдання (компенсація складових реактивної або активної потужності, забезпечення сталої величини споживаної компенсація складових нульової послідовності, вибіркова компенсація вищих гармонік струму та інше) визначають складові миттєвої потужності, що підлягають компенсації, тобто мають бути забезпечені силовою частиною ПАФ. Оберненим матричним перетворенням цих складових потужності визначають компенсаційні струми в обраній системі координат. І, нарешті, оберненим матричним перетворенням координат отримують значення компенсаційних струмів фільтра. Для автоматичного управління ПАФ чотирипровідної трифазної мережі без перетворення координат знаходять застосування дві основні стратегії керування [2, 3]. При використанні першої стратегії максимально компенсується миттєвий реактивний струм та спотворення у кожному фазному проводі, що не виключає протікання струму в нейтралі за умови незбалансованої фазної напруги. Вектор миттєвих значень струмів трифазного джерела формують

пропорційним вектору миттєвих значень фазних напруг, а коефіцієнт пропорційності визначають з умови відсутності споживання енергії паралельним активним фільтром. Тобто дана стратегія керування шляхом впливу на струми фільтра формує струми трифазного джерела відповідно до виразу:

$$\mathbf{i}_D = \mathbf{i}_H - \mathbf{i}_\Phi = G_V \mathbf{v}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{i}_D = \left\| i_D^a \quad i_D^b \quad i_D^c \right\|^T$  - вектор миттєвих струмів трифазного джерела,  $^T$  - знак транспонування;  $\mathbf{i}_H = \left\| i_H^a \quad i_H^b \quad i_H^c \right\|^T$  - вектор миттєвих струмів навантаження;  $\mathbf{i}_\Phi = \left\| i_\Phi^a \quad i_\Phi^b \quad i_\Phi^c \right\|^T$  - вектор миттєвих струмів ПАФ;  $\mathbf{v} = \left\| v^a \quad v^b \quad v^c \right\|^T$  - вектор миттєвих значень фазних напруг.

Задовольнити умову відсутності споживання енергії ПАФ при визначенні коефіцієнта пропорційності  $G_V$  можна трьома різними способами, що зумовлює наступні три способи керування:

$$G_{V1} = \frac{p}{v^2}; \quad (2)$$

$$G_{V2} = \frac{P}{V^2}; \quad (3)$$

$$G_{V3} = \frac{P}{V^2}. \quad (4)$$

де  $p = \mathbf{v}^T \mathbf{i}_H = v^a i_H^a + v^b i_H^b + v^c i_H^c$  - миттєва

потужність навантаження,  $P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt$  - активна

потужність навантаження,  $T$  - період мережної напруги;  $v^2 = \mathbf{v}^T \mathbf{v} = (v^a)^2 + (v^b)^2 + (v^c)^2$ ,

$$V^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{v}^T \mathbf{v} dt = \frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt.$$

Перший спосіб керування за формулою (2) забезпечує нульову миттєву потужність активного фільтра [2], другий спосіб за формулою (3) - сталу величину миттєвої потужності, споживаної від джерела [3], третій спосіб за формулою (4) - мінімально можливе середньоквадратичне значення споживаного струму [4], а, отже, і мінімальне значення споживаної електроенергії для даного навантаження. До недоліків даної стратегії можна віднести протікання струму в нейтральному проводі за наявності складової нульової послідовності в векторі миттєвих значень

фазних напруг, що призводить до додаткових втрат енергії в силовому кабелі мережі живлення.

Друга стратегія керування ПАФ чотирипровідної трифазної мережі [3] без перетворення координат формує вектор миттєвих значень струмів трифазного джерела пропорційним різниці вектора миттєвих значень фазних напруг та його складової нульової послідовності, а коефіцієнт пропорційності визначають з умови відсутності споживання енергії паралельним активним фільтром. Тобто система керування формує струми трифазного джерела відповідно виразу:

$$\mathbf{i}_D = \mathbf{i}_H - \mathbf{i}_\Phi = G_U \mathbf{u}, \quad (5)$$

де  $\mathbf{u} = \mathbf{v} - \mathbf{v}_0$  - вектор миттєвих значень фазних напруг, позбавлений складової нульової послідовності;  $\mathbf{v}_0 = \frac{v^a + v^b + v^c}{3} \mathbf{j}$  - складова нульової послідовності вектора миттєвих значень фазних напруг,  $\mathbf{j} = \left\| 1 \quad 1 \quad 1 \right\|^T$ .

Коефіцієнт пропорційності  $G_U$  визначають з умови відсутності споживання енергії паралельним активним фільтром трьома різними способами [3, 4], що зумовлюють наступні три способи керування

$$G_{U1} = \frac{p}{u^2}; \quad (6)$$

$$G_{U2} = \frac{P}{U^2}; \quad (7)$$

$$G_{U3} = \frac{P}{U^2}, \quad (8)$$

де  $u^2 = \mathbf{u}^T \mathbf{u}$ ,  $U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}^T \mathbf{u} dt$ .

Спосіб керування за формулою (6) забезпечує нульову миттєву потужність активного фільтра та нульовий миттєвий струм нейтралі, спосіб керування (7) - сталу величину миттєвої потужності, споживаної від джерела та нульовий миттєвий струм нейтралі, спосіб керування за формулою (8) - мінімально можливе середньоквадратичне значення споживаного струму при нульовому миттєвому струмі нейтралі. До недоліків даної стратегії можна віднести підвищені втрати енергії в силовому кабелі чотирипровідної трифазної мережі, оскільки з вектора опорної напруги  $\mathbf{u}$  повністю виключається складова нульової послідовності, яка створює частину активної потужності в навантаженні. Для забезпе-

чення останньої збільшуються струми фазних проводів силового чотирипровідного кабелю, що не дозволяє мінімізувати втрати енергії в ньому.

В роботах [5, 6, 7] була запропонований спосіб керування ПАФ чотирипровідної трифазної мережі, в якому вектор миттєвих значень струмів трифазного джерела формують пропорційним вектору миттєвих значень фазних напруг з частково послабленою складовою нульової послідовності,

$$\mathbf{i}_D = \mathbf{i}_H - \mathbf{i}_\Phi = \mathbf{G}_\sigma \mathbf{v}_\sigma, \quad (9)$$

де  $\mathbf{v}_\sigma = \mathbf{v} - \sigma \mathbf{v}_0 = \mathbf{u} + (1 - \sigma) \mathbf{v}_0$ ,  $\sigma$  - скалярний коефіцієнт послаблення складової нульової послідовності вектора миттєвих значень фазних напруг, що лежить в межах  $0 \leq \sigma \leq 1$ . Оптимальне значення цього коефіцієнта за критерієм

$$\mathbf{G}_\sigma = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{v}^T \mathbf{i}_H dt}{\frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{v}^T \mathbf{v}_\sigma dt} = \frac{P}{\frac{1}{T} \int_0^T (\mathbf{u} + \mathbf{v}_0)^T [\mathbf{u} + (1 - \sigma) \mathbf{v}_0] dt} = \frac{P}{U^2 + (1 - \sigma) V_0^2}. \quad (11)$$

Функції осереднення, як правило, виконують фільтри нижніх частот (ФНЧ) з частотою зрізу, що дорівнює половині частоти мережі. До недоліків цього способу можна віднести обмежену функціональну можливість ПАФ, керованого у такий спосіб, через неможливість мінімізувати втрати енергії чотирипровідного кабелю за таких додаткових умов:

- нульової миттєвої потужності паралельного активного фільтра ( $p_\Phi = \mathbf{v}^T \mathbf{i}_\Phi = 0$ );
- сталості величини миттєвої потужності, споживаної від джерела ( $p_D = \mathbf{v}^T \mathbf{i}_D = P = \text{const}$ ).

Обмежені функціональні можливості цього способу проявляються також у неможливості реалізації способів керування за формула-

мінімізації потужності втрат в силовому кабелю визначається співвідношенням

$\sigma_r = r / (3r_n + r)$  питомих активний опорів кожного з фазних проводів силового кабелю трифазної мережі  $r$  та питомого активного опору нейтралі  $r_n$  [6] відповідно до виразу

$$\sigma_0 = 1 - \sigma_r = r_n / (r_n + r / 3). \quad (10)$$

Коефіцієнт пропорційності  $\mathbf{G}_\sigma$  визначають з умови рівності нулю активної потужності на застискачах паралельного активного фільтра шляхом ділення осередненої за період мережної напруги значення миттєвої потужності навантаження на так само осереднене значення скалярного добутку вектора миттєвих значень фазних напруг на вектор миттєвих значень фазних напруг з частково послабленою складовою нульової послідовності

ми (2)- (4) та (6) (8), які, хоча і не мінімізують втрати енергії в кабелі, реалізують інші корисні властивості, зокрема, мінімізації споживаної електроенергії.

Запропонована нижче система управління (рис.1), що зберігає усі функціональні блоки, описані в [5, 6], здійснює вибір одного з декількох розглянутих способів керування шляхом комутації вхідних або вихідних величин зазначених ФНЧ з входами зазначеного дільника, а також шляхом дискретної зміни величини коефіцієнта послаблення  $\sigma$  складової нульової послідовності вектора миттєвих значень фазних напруг. Таким чином реалізовується комбінована систем управління ПАФ чотирипровідної трифазної мережі, в якій в залежності від конкретних умов застосування обирається спосіб, оптимальний за певним показником якості.

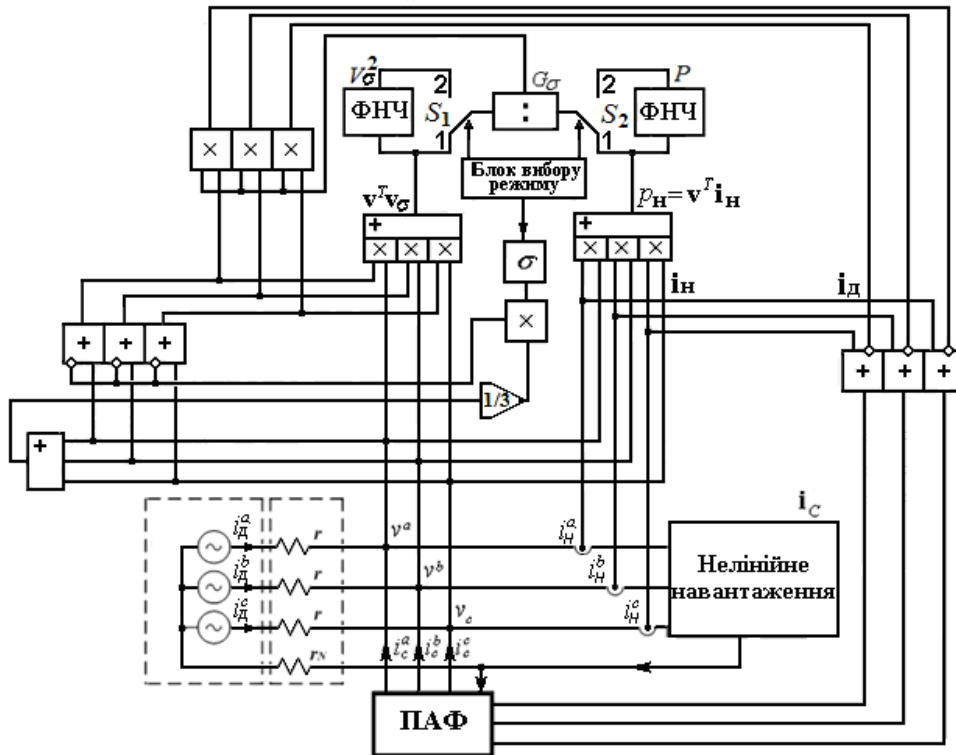


Рис.1. Структурна схема паралельного активного фільтра з системою керування

Оскільки входною величиною ФНЧ - осереднювача потужності є миттєва потужність навантаження  $p$ , вихідною – активна потужність навантаження  $P$ , а для ФНЧ - осереднювача напруг входною величиною є добуток миттєвих значень векторів  $\mathbf{v}^T \mathbf{v}_\sigma$ , вихідною – середнє значення зазначеного добутку  $V_\sigma^2 = U^2 + (1 - \sigma)V_0^2$ , то при комбінаторному переборі станів ключів  $S_1$  та  $S_2$ , що здійснюють комутацію цих величин з входами дільника та  $\sigma = \sigma_0$ , на його виході отримуємо чотири варіанти коефіцієнтів пропорційності:

$$G_{\sigma 1} = \frac{p}{\mathbf{v}^T \mathbf{v}_\sigma}; \quad (12)$$

$$G_{\sigma 2} = \frac{P}{\mathbf{v}^T \mathbf{v}_\sigma}; \quad (13)$$

$$G_{\sigma 3} = \frac{P}{V_\sigma^2}; \quad (14)$$

$$G_{\sigma 4} = \frac{p}{V_\sigma^2}. \quad (15)$$

Значення коефіцієнта  $G_{\sigma 3}$  і відповідний спосіб керування реалізований в роботах [5, 6, 7],

при цьому мінімізується потужності втрат в силовому кабелю.

При значенні коефіцієнта  $G_{\sigma 1}$  маємо нульову миттєву потужність активного фільтра, оскільки

$$\begin{aligned} p_\phi &= \mathbf{v}^T \mathbf{i}_\phi = \mathbf{v}^T (\mathbf{i}_H - \mathbf{i}_D) = \\ &= \mathbf{v}^T \mathbf{i}_H - \mathbf{v}^T G_{\sigma 1} \mathbf{v}_\sigma = p - p = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

і компенсація неактивних складових потужності навантаження може здійснюватись активним фільтром без накопичувального реактивного елемента, що зменшує його масу та габарити.

Величина коефіцієнта  $G_{\sigma 2}$  забезпечує стабільну величину споживаної від мережі потужності навіть при несиметричних фазних напругах та нелінійному навантаженні, оскільки

$$p_D = \mathbf{v}^T \mathbf{i}_D = \mathbf{v}^T G_{\sigma 2} \mathbf{v}_\sigma = P = const. \quad (17)$$

Це виключає пульсації миттєвої потужності, які погіршують умови роботи електрообладнання, ведуть до непродуктивного завантаження ліній електропередач та електрообладнання, знижуючи ефективність їх використання [8].

Всі три розглянуті коефіцієнта забезпечують рівність нулю активної потужності на затискачах паралельного активного фільтра, оскільки активна потужність трифазного джерела дорівнює активній потужності навантаження:

$$P_D = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{v}^T \mathbf{i}_D dt = P. \quad (18)$$

Значення коефіцієнта пропорційності  $G_{\sigma 4}$  останню умову не забезпечує, оскільки при несиметричних фазних напругах

$$P_D = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{v}^T \mathbf{i}_D dt = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{v}^T \frac{p}{U^2 + (1-\sigma)V_0^2} \mathbf{v}_\sigma dt = \frac{1}{T(U^2 + (1-\sigma)V_0^2)} \int_0^T \mathbf{v}^T \mathbf{v}_\sigma p dt \neq P \quad (19)$$

тому комбінація станів ключів, коли до дільника підключається вхід осереднювача потужності та вихід осереднювача напруг має бути виключена.

Стратегію керування, що використовує вектор миттєвих значень фазних напруг з частковим послабленням складової нульової послідовності та комутацію з входами дільника вхідних та вихідних величин зазначених осереднювачів можна розглядати як узагальнення розглянутих

відомих стратегій при різних значеннях параметра  $\sigma$ . Так при  $\sigma = 0$ ;  $\mathbf{v}_\sigma = \mathbf{v}$ ;  $G_\sigma = G_V$  та зазначеній комутації реалізуються способи керування (2), (3), (4) першої стратегії, а при  $\sigma = 1$ ;  $\mathbf{v}_\sigma = \mathbf{u}$ ;  $G_\sigma = G_U$  - способи керування (6), (7), (8) другої стратегії. При  $\sigma = \sigma_0$  та комутації до входів дільника вихідних величин зазначених осереднювачів реалізується відома стратегія (12), а при комутації до входів дільника різних величин зазначених осереднювачів реалізуються способи керування (13), (14) з відзначеними позитивними властивостями.

Блок вибору режиму (рис.1) управляє двохпозиційними ключами  $S_1$  та  $S_2$ , а також величиною коефіцієнта послаблення  $\sigma$ . В залежності від станів двохпозиційних ключів та вибору значення коефіцієнта послаблення складової нульової послідовності вектора миттєвих значень фазних напруг  $\sigma$  система керування може реалізувати 9 способів формування вектора струмів трифазного джерела, наведених в табл. 1.

Таблиця 1.

Положення ключів	Значення коефіцієнта $\sigma$		
	$\sigma = 0$	$\sigma = \sigma_0$	$\sigma = 1$
$S_1 - 1$ $S_2 - 1$	$\frac{p}{V^2} \mathbf{v}$	$\frac{p}{\mathbf{v}^T \mathbf{v}_\sigma} \mathbf{v}_\sigma$	$\frac{p}{u^2} \mathbf{u}$
$S_1 - 1$ $S_2 - 2$	$\frac{P}{V^2} \mathbf{v}$	$\frac{P}{\mathbf{v}^T \mathbf{v}_\sigma} \mathbf{v}_\sigma$	$\frac{P}{u^2} \mathbf{u}$
$S_1 - 2$ $S_2 - 2$	$\frac{P}{V^2} \mathbf{v}$	$\frac{P}{V_\sigma^2} \mathbf{v}_\sigma$	$\frac{P}{U^2} \mathbf{u}$

## Результати моделювання

Для порівняння різних способів управління ПАФ, що реалізує комбінована система управління, в програмному середовищі Matlab 2012 моделювався процес фільтрації струмів джерела трифазної чотирипровідної системи живлення при роботі на некерований випрямляч за схемою Міткевича з активно - індуктивним навантаженням.

Для перевірки обґрунтованості завдання коефіцієнта послаблення складової нульової послідовності вектора миттєвих значень фазних напруг в способах управління (12), (13), (14) досліджувалися залежності потужностей втрат в чотирипровідному силовому кабелю трифазної мережі при дискретній зміні коефіцієнта послаблення  $\sigma$  від 0 до 1 та несиметричних фазних напругах джерела живлення відповідно до формули

блення  $\sigma$  від 0 до 1 та несиметричних фазних напругах джерела живлення відповідно до формули

$$\mathbf{v}(t) = \begin{pmatrix} 150 \sin \omega t \\ 50 \sin(\omega t - 120^\circ) \\ 50 \sin(\omega t + 120^\circ) \end{pmatrix}.$$

Результати експериментів (рис. 2) свідчать, що для способу управління (12) координати мінімумів втрат потужності точно (рис. 2), а для способів управління (13), (14) приблизно відповідають формулі (10). Таким чином, при реалізації стратегії мінімізації потужності втрат в си-

ловому кабелю доцільно прийняти  $\sigma_0 = 1 - \sigma_r$  для будь-якого способу управління за формулами (12), (13), (14).

Усі дев'ять розглянутих способів управління ПАФ, що реалізує запропонована система управління відповідно до табл. 1, порівнювалися при несиметричній, несинусоїдній напрузі живлення

$$v(t) = \begin{pmatrix} 120 \sin \omega t \\ 80 \sin(\omega t - 120^\circ) \\ 80 \sin(\omega t + 120^\circ) \end{pmatrix} + 12 \begin{pmatrix} \sin 5\omega t \\ \sin(5\omega t - 120^\circ) \\ \sin(5\omega t + 120^\circ) \end{pmatrix}$$

за величиною середньоквадратичного струму джерела. Результати моделювання при  $\sigma_0 = 0.75$  зведено до табл. 2.

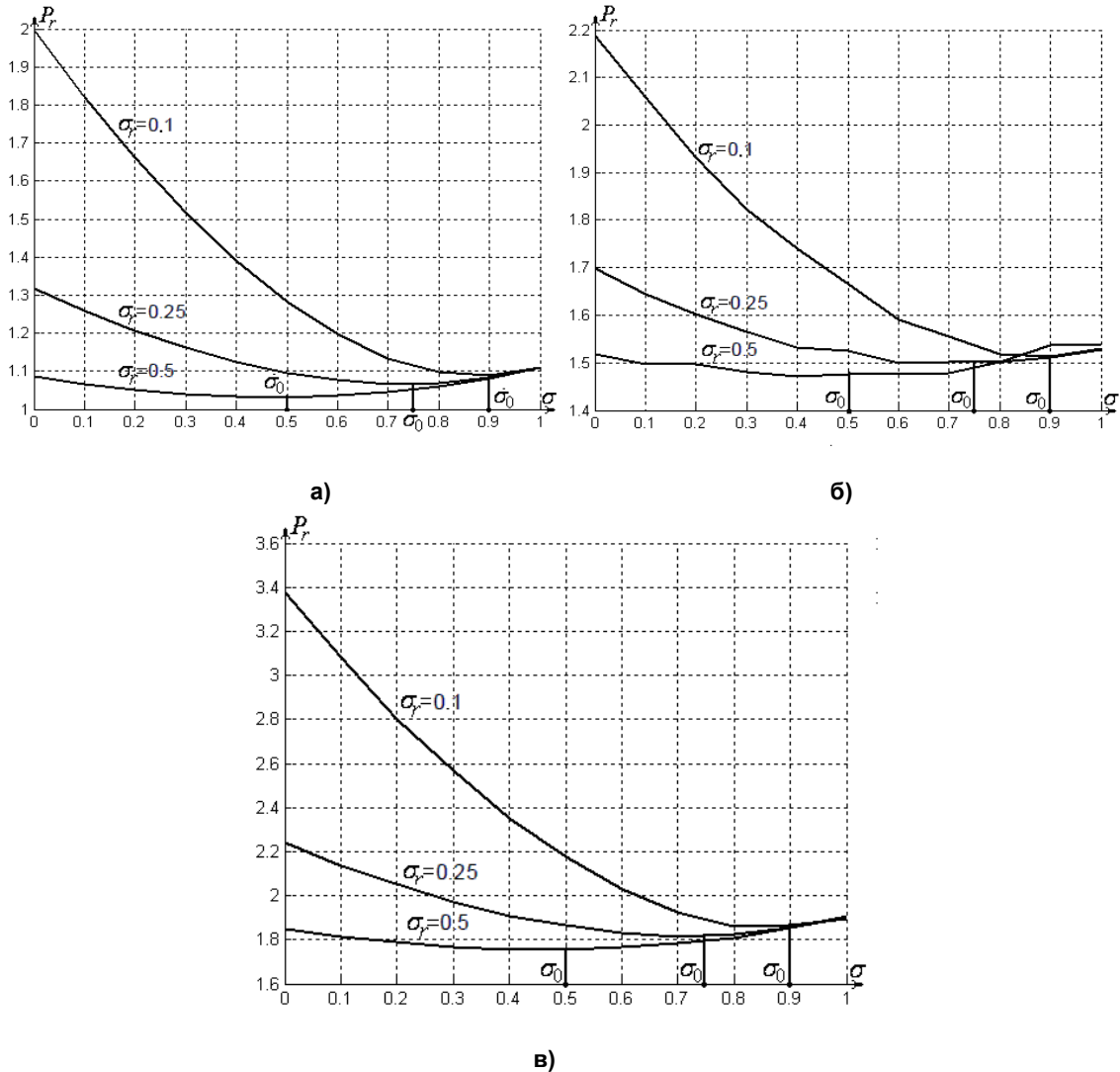


Рис. 2. Графічне зображення результатів моделювання потужності втрат в силовому кабелю при різних способах управління ПАФ: а) - за формулою (12); б) - за формулою (13); в) - за формулою (14).

Таблиця 2.

Положення ключів	Значення середньоквадратичного струму, А		
	$\sigma = 0$	$\sigma = \sigma_0$	$\sigma = 1$
$S_1 - 1$ $S_2 - 1$	34,82	34,97	35,48
$S_1 - 1$ $S_2 - 2$	28,02	28,24	28,39
$S_1 - 2$ $S_2 - 2$	27,02	27,27	27,46

Як і очікувалося, середньоквадратичний струм є найменшим при використанні першої стратегії, тобто при компенсації миттєвої реактивної потужності відповідно до способу 4. Будь-які додаткові позитивні властивості компенсації, що реалізується іншими способами керування, потребують відповідного збільшення значення середньоквадратичного струму та електричної енергії, споживаної із мережі. В усіх випадках стратегія управління з формуванням вектора струмів джерела пропорційним вектору фазних напруг з частковим послабленням складової нульової послідовності займає проміжне становище між першою та другою відомими стратегіями за критерієм енергоефективності.

### Висновки

Запропонована комбінована система управління ПАФ чотирипровідної трифазної мережі з прямим обчисленням значень струмів джерела, в якій в залежності від конкретних умов застосування обирається один із дев'яти способів керування, оптимальний за певним показником якості.

При реалізації стратегії мінімізації потужності втрат в силовому кабелю доцільно прийняти  $\sigma_0 = 1 - \sigma_r$  для будь-якого способу управління за формулами (12), (13), (14).

Стратегія управління з формуванням вектора струмів джерела пропорційним вектору фазних напруг з частковим послабленням складової нульової послідовності за критерієм енергоефективності займає проміжне становище між стратегією з використанням в якості опорного вектора фазних напруг та стратегією з опорним вектором фазних напруг, позбавленим складової нульової послідовності.

### Список використаних джерел

1. Akagi H., Watanabe E.H., Aredes M. Instantaneous power theory and applications to power conditioning. – Piscataway, NJ: IEEE Press. – 2007. – 379 p.
2. Peng F. Z., Lai J. S. Generalized instantaneous reactive power theory of three-phase power systems // IEEE Trans. Instrum. Meas., – 1996. – Vol. 45. – No. 1. – Pp. 293 - 297.
3. Salmeron P., Montano J. C., Vazquez J. R., Prieto J., Perez A. Compensation in nonsinusoidal, unbalanced three-phase four-wire systems with active power-line conditioner // IEEE Trans. on Power Delivery, – 2004. – Vol. 19. – No. 4, – Pp. 1968–1974.
4. Reyes S., Salmeron P. Instantaneous Reactive Power Theory: A Reference in the Nonlinear Loads Compensation // IEEE Trans. on Industrial Electronics, – 2009. – Vol. 56, – No 6, – Pp. 2015–2022.
5. Пат. 84949 UA, МПК Н02Р 9/00. Спосіб керування паралельним активним фільтром чотирипровідної трифазної мережі / Поліщук С. Й., Артеменко М. Ю., Михальський В. М., Батрак Л. М. - Опубл. 11.11.2013. - Бюл. № 21.
6. Поліщук С. Й., Артеменко М. Ю., Михальський В. М., Шаповал І. А., Батрак Л. М. Стратегія керування паралельним активним фільтром з частковим послабленням складової нульової послідовності напруг трифазної чотирипровідної мережі // Технічна електродинаміка. – 2013. № 3. С. 12-19.
7. Artemenko M. Y., Batrak L. M., Polishchuk L.M., Mykhalskyi V. M., Shapoval I.A. Minimization of Cable Losses in Three-Phase Four-Wire Systems by means of Instantaneous Compensation with Shunt Active Filters // Proceedings of IEEE XXXIII International Scientific Conference "Electronics and nanotechnology" – 2013. – Pp. 359 – 362.
8. Милях А.Н. Схемы симметрирования однофазных нагрузок в трехфазных цепях / А.Н. Милях, А. К. Шидловский, А.Г. Кузнецов. – К. : Наукова думка, – 1973. – 219 с.

Поступила в редакцію 23 декабря 2013 г.

УДК 621.314

**М.Ю. Артеменко**, д-р.техн.наук, **Л.М. Батрак**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,  
пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина.

## Комбинированная система управления параллельным активным фильтром четырехпроводной трехфазной сети

Предложена простая и эффективная комбинированная система управления параллельным активным фильтром четырехпроводной трехфазной сети, построенная на принципе непосредственного расчета вектора мгновенных значений токов трехфазного источника, и представлен способ ее реализации. Построена модель параллельного активного фильтра с указанной системой управления в программной среде MatLab и проанализирована его работа на нелинейные нагрузки при несимметричном несбалансированном напряжении. Библ. 6, рис. 4, табл. 2.

**Ключевые слова:** вентильный преобразователь, гармоники тока, активный фильтр, система управления активным фильтром, составляющая нулевой последовательности.

UDC 621.314

**M.Yu. Artemenko**, Dr.Sc., **L.M. Batrak**National technical university of Ukraine "Kyiv polytechnic institute",  
Peremogy pr, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

## Combined control system of shunt active power filter of three phase four-wire system

Simple and efficient control system for shunt active filter for four-phase network was proposed. This system built on the principle of the direct calculation of the instantaneous values of the vector current three-phase power and shows how to implement it.

The model constructed with said filter control system in MatLab software environment and analyzed his work on nonlinear load unbalanced unbalanced voltage. Reference 6, figures 4, tables 2.

**Keywords:** converter, current harmonics, active filter, active filter control system, the zero-sequence.

### Reference

1. Akagi H., Watanabe E.H., Aredes M. (2007), "Instantaneous power theory and applications to power conditioning". Piscataway, NJ: IEEE Press., 379 p.
2. Peng F. Z., Lai J. S. (1996), "Generalized instantaneous reactive power theory of three-phase power systems". IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 45. No. 1. Pp. 293-297.
3. Salmeron P., Montano J. C., Vazquez J. R., Prieto J., Perez A. (2004), "Compensation in nonsinusoidal, unbalanced three-phase four-wire systems with active power-line conditioner". IEEE Trans. on Power Delivery. Vol. 19, no. 4, pp. 1968–1974.
4. Reyes S., Salmeron P. (2009), "Instantaneous Reactive Power Theory: A Reference in the Nonlinear Loads Compensation". IEEE Trans. on Industrial Electronics. Vol. 56, no 6, pp. 2015–2022.
5. Pat. 84949 UA, HO2P 9/00. "The method of parallel active filter control of three-phase four-wire system". Polishchuk S.Y., Artemenko M.Yu., Mykhalskyi V.M., Batrak L. M. Publ. 11/11/2013. Bull. no 21. (Ukr)
6. Polishchuk S.Y., Artemenko M.Yu., Mykhalskyi V.M., Batrak L. M., Shapoval I. A. (2013). "Shunt active filter control strategy with partial decrease of zero-sequence component in three-phase four-wire system". Tekhnichna elektrodynamika. no.3. pp. 12-19. (Ukr)
7. Artemenko M. Y., Polishchuk L.M., Mykhalskyi V. M., Shapoval I.A., Batrak L. M. (2013). "Minimization of Cable Losses in Three-Phase Four-Wire Systems by means of Instantaneous Compensation with Shunt Active Filters". IEEE XXXIII International Scientific Conference "Electronics and nanotechnology, pp. 359 – 362.
8. Milyah A.N., Shydlovskyi A.K., Kuznetsov A.G (1973). "Balancing of circuit single-phase loads in three-phase circuits". Kiyv: Naukova Dumka, P. 219 p. (Rus)