

УДК 621.316.761.2

**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФІЛЬТРА  
З АДАПТИВНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПРИ КОМПЕНСАЦІЇ НЕАКТИВНИХ СКЛАДОВИХ ПОТУЖНОСТІ****Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський, В. Ю. Качалка**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: laplandec267@gmail.com, seemAl@kdu.edu.ua

Релейне регулювання струму трифазного силового активного фільтра забезпечує перемикання силових ключів, коли похибка струму перевищує фіксовану величину (зону гістерезису), при цьому частота регульованого параметру – змінна. Запропоновано адаптивний релейний регулятор струму, що забезпечує постійність частоти комутації та змінну зону гістерезису, при цьому розглянуто формування заданого струму трифазного силового активного фільтра двома методами: відповідно до р-q теорії та теорії С. Фрізе. Проведено дослідження з імітацією роботи трифазного силового активного фільтра для споживача з нелінійним навантаженням. Отримано часові діаграми, аналіз яких дозволив сформулювати рекомендації щодо використання методів формування заданого струму силового активного фільтра та використанню адаптивного регулювання струму залежно від зміни навантаження.

**Ключові слова:** силовий активний фільтр, широтно-імпульсна модуляція, релейне регулювання струму, зона гістерезису.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕХФАЗНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА  
С АДАПТИВНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ПРИ КОМПЕНСАЦИИ НЕАКТИВНОЙ  
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МОЩНОСТИ****Р. В. Власенко, А. В. Бялобржеский, В. Ю. Качалка**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: laplandec267@gmail.com, seemAl@kdu.edu.ua

Релейное регулирование тока трехфазного силового активного фильтра обеспечивает переключение силовых ключей, когда погрешность тока превышает фиксированную величину (зону гистерезиса), при этом частота регулируемого параметра – переменная. Предложен адаптивный релейный регулятор тока, обеспечивающий постоянство частоты коммутации и переменную зону гистерезиса, при этом рассмотрено формирование заданного тока трехфазного силового активного фильтра двумя методами: согласно р-q теории и теории С. Фризе. Проведены исследования с имитацией работы трехфазного силового активного фильтра для потребителя с нелинейной нагрузкой. Получены часовые диаграммы, анализ которых позволил сформулировать рекомендации к использованию методов формирования заданного тока силового активного фильтра и использованию адаптивного регулирования тока в зависимости от изменения нагрузки.

**Ключевые слова:** силовой активный фильтр, широтно-импульсная модуляция, релейное регулирование тока, зона гистерезиса.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** На сучасному етапі розвитку енергетики відбувається збільшення кількості споживачів електроенергії з нелінійною вольт-амперною характеристикою. Цей факт викликає різні порушення електромагнітної сумісності споживача з мережею живлення, що виходять за рамки, встановлені нормативними документами, зокрема стандартом EN 50160 [1].

Промислові керовані або некеровані вентильні перетворювачі, зварювальне обладнання, сталеплавильні печі й т.ін. є прикладами нелінійного різкозмінного навантаження [2]. Зниження впливу таких споживачів на електричну мережу досягається застосуванням комплексу фільтрокомпенсуючих пристроїв. Як новітні досягнення в області компенсації неактивних складових потужності й найбільш ефективних існуючих технічних рішень для підвищення якості споживання енергії трифазних електроспоживачів використовуються силові активні фільтри (САФ) [3], створювані на основі сучасних швидкодіючих силових напівпровідникових приладів (MOSFET, IGBT). Причому з вищезазначених пристроїв за своїми технічними можливостями науковці називають САФ

«новим технічним елементом сучасних енергозберігаючих систем електропривода» [3], які дозволяють здійснити двосторонній обмін енергією з мережею живлення; можливість безконтактно, при високій швидкодії, в широких межах і плавно управляти кількістю компенсуючої реактивної потужності, а також формувати практично синусоїдальні, споживані з мережі живлення фазні струми.

Це підтверджується дослідженнями як вітчизняних, так і зарубіжних учених [4, 5], при цьому в роботах відзначається, що найбільш переважними (виходячи з ефективності компенсації неактивної потужності, простоти й вартості їх технічної реалізації) є схеми САФ, виконані на основі трифазної мостової схеми з'єднання вентилів.

Сучасний розвиток мікроелектроніки та розробка цифрових сигнальних процесорів перетворили САФ у високоефективний інструмент, в якому силова електроніка використовується для генерування спектру гармонічних струмів, необхідних для живлення нелінійних навантажень, таким чином, щоб мережевий струм відповідав споживанню виключно активної потужності [5].

Методи управління САФ будуються на сучасних уявленнях про складові потужності. У той же час вагомою частиною якості роботи пристрою в цілому є формування імпульсів управління ключовими елементами перетворювача [6].

Серед методів імпульсного управління САФ виділяють два основних методи: широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) з постійною частотою модуляції та релейне регулювання струму (РРС) зі змінною частотою модуляції.

РРС має переваги з позиції відпрацювання заданої траєкторії струму та є простішим порівняно із ШІМ, але змінна частота комутації, яка виникає за рахунок постійної (фіксованої) зони гістерезису релейного елемента, ускладнює фільтрацію вищих гармонік у мережних колах САФ [7]. Для зниження негативного впливу РРС пропонується використан-

ня алгоритмів адаптації зони гістерезису релейного елемента залежно від поточних параметрів режиму схеми [8, 9], проте якісні показники роботи САФ при зміні навантаження розкриті недостатньо. Робота САФ з адаптивним РРС в умовах нелінійного навантаження, зокрема розповсюджених тиристорних перетворювачів при широкому діапазоні зміни кута керування, є метою дослідження.

Метою роботи є оцінка ефективності використання адаптивного управління релейним регулятором струму трифазного силового активного фільтра в умовах зміни нелінійного навантаження від розрахункового значення.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Розглянемо САФ у структурі системи електроспоживання за схемою, наведеною на рис. 1.

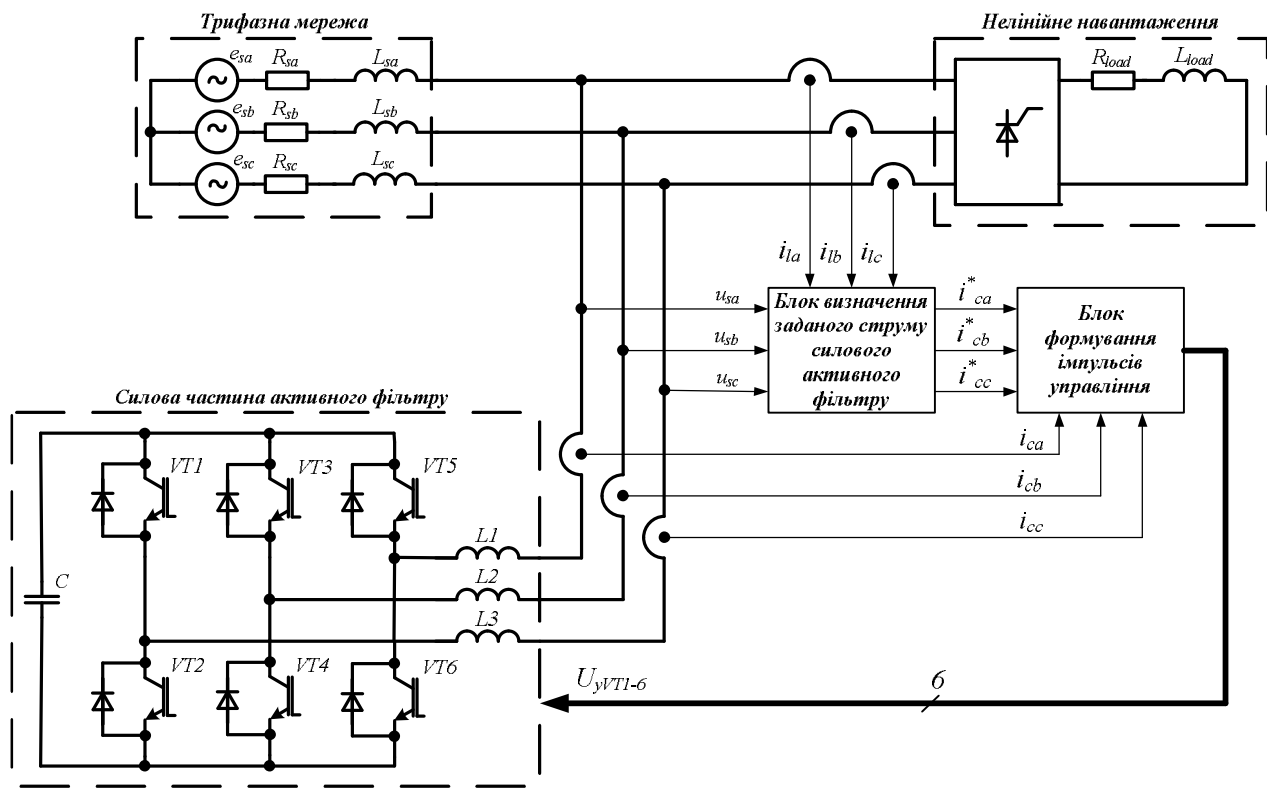


Рисунок 1 – Функціональна схема трифазного САФ

Силова частина САФ включає транзисторний перетворювач VT1–6, накопичувальний конденсатор C і буферний реактор L1–3. Клеми транзисторного перетворювача в колі постійного струму з'єднуються з накопичувальним конденсатором C. Буферний реактор L1–3 у схемі САФ є струмообмежуючим і дозуючим елементом, а завдяки явищу самоіндукції забезпечує формування заданого струму та підвищення напруги на конденсаторі, формуючи в комплексі процес заряду й розряду конденсатора.

Блок формування заданого струму САФ (рис. 1) забезпечує розрахунок та генерацію струму, який повинен протікати в мережних колах силового ак-

тивного фільтра. Алгоритм роботи блоку базується на існуючих теоретичних уявленнях про енергообмінні процеси в електричних колах та відповідні їм теорії потужності. Авторами надалі реалізовані дві теорії для визначення неактивних складових потужності: p-q теорія миттєвої потужності [5], теорія повної потужності за С. Фрізе [10].

Блок формування імпульсів управління компенсатором (рис. 1) генерує напругу управління ключами перетворювача, яка відповідає визначеному заданому струму силового активного фільтра, та може бути реалізований шляхом ШІМ похибки параметру регулювання за опорним трикутним сигналом фіксованої амплітуди й частоти. При цьому похибка

коригується, як правило, пропорційно-інтегральним (ПІ) регулятором, параметри якого визначаються абсолютним значенням критерію оптимальності [6]. У результаті комутація транзисторів відбувається з постійною частотою, яка дорівнює частоті несучого трикутного сигналу. Як зазначено у [6], ШІМ з ПІ-регулятором похибки вимагає точну лінійну математичну модель об'єкту управління, яку важко отримати; крім того, зміна режиму навантаження вимагає перерахунку коефіцієнтів та постійних часу регулятора.

Техніка РРС виявилася найбільш придатною для всіх різновидів регуляторів струму САФ [7]. РРС характеризується стабільністю, швидкою реакцією, точністю, які зумовлені виключно параметрами силової схеми та шириною петлі гістерезиса релейного елемента.

Напруга управління ключами перетворювача з РРС:

$$u_{OUT} = \begin{cases} 1, & \text{при } \left( \Delta i > HB, \frac{d\Delta i}{dt} > 0 \right) \cup \left( \Delta i > -HB, \frac{d\Delta i}{dt} < 0 \right); \\ -1, & \text{при } \left( \Delta i < HB, \frac{d\Delta i}{dt} > 0 \right) \cup \left( \Delta i < -HB, \frac{d\Delta i}{dt} < 0 \right), \end{cases} \quad (1)$$

де  $\Delta i$  – похибка струму;  $HB$  – значення зони гістерезису.

Згідно з [11], частота комутації вентилів перетворювача при фіксованій зоні гістерезису релейного елемента:

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{U_{dc}^2 - u_s^2}{4HBLU_{dc}}, \quad (2)$$

де  $T_c$  – період комутації;  $L$  – індуктивність САФ;  $U_{dc}$  – напруга конденсатора;  $u_s$  – напруга мережі.

Таким чином, головний недолік РРС – змінна частота комутації [7].

Механізм формування керуючих імпульсів та, відповідно, частоти комутації розглянемо за умови, що заданий струм САФ –  $i_c^* = I \sin(\omega t)$  – залишається постійним протягом одного періоду комутації. Для спрощення аналізу мертвий час між імпульсами управління верхнім і нижнім плечем мосту ігнорується. Коли ключі перетворювача знаходяться в робочому стані, мережевий контур однієї фази САФ описується рівнянням

$$U_{dc} - u_s = L \frac{di_c}{dt}, \quad (3)$$

де  $i_c$  – струм перетворювача.

Згідно з принципом дії релейного елемента з гістерезисом, час увімкненого стану:

$$t_{on} = \frac{2HB}{\left(\frac{di_c}{dt}\right)} = \frac{2HBL}{U_{dc} - u_s}. \quad (4)$$

Коли ключі перетворювача знаходяться в неробочому стані:

$$-U_{dc} - u_s = -L \frac{di_c}{dt}. \quad (5)$$

У результаті час відключеного стану:

$$t_{off} = \frac{2HB}{\left(\frac{di_c}{dt}\right)} = \frac{2HBL}{U_{dc} + u_s}. \quad (6)$$

Таким чином, період роботи силових ключів, покладаючи імпульси прямокутної форми, виражають у вигляді суми:

$$T_c = t_{on} + t_{off} = \frac{4HBLU_{dc}}{U_{dc}^2 - u_s^2}. \quad (7)$$

Якщо вважати напругу мережі змінною, а напругу конденсатора постійною, то похідна частоти за часом:

$$\frac{df_c}{dt} = -\frac{u_s(u_s')}{2HBLU_{dc}}. \quad (8)$$

З виразів (7) та (8) можна зробити висновок, що максимальна частота перемикання відбувається в точці перетину нульового рівня напруги мережі, а мінімальна частота перемикання – в момент пікової величини напруги мережі. У РРС є великий розрив між максимальним і мінімальним значеннями частоти комутації протягом одного періоду синусоїди у зв'язку з постійним значенням зони гістерезису  $HB$  [11].

Щоб вирішити проблему, яка виникає при змінній частоті комутації [8, 9], запропоновано адаптивний релейний регулятор струму (АРРС). У цьому випадку змінна (адаптивна) зона гістерезису визначається для заданого струму в кожній фазі так, що частота перемикання залишається постійною.

Запропонований АРРС має великий вплив на процес комутації та зменшує ширину спектра частот струму, а для більш звичайних режимів призводить до зниження втрат при перемиканні ключів, при цьому покращується показник коефіцієнта спотворення струму мережі [9], а зона гістерезису визначається:

$$HB = \frac{-U_{dc}}{8f_cL} + \frac{L}{2f_cU_{dc}} \left( \frac{u_s(t)}{L} - \frac{di_c^*(t)}{dt} \right)^2, \quad (9)$$

де  $i_c^*$  – заданий струм САФ.

Розглянемо можливість окремої зміни верхньої та нижньої межі зони гістерезису. Збільшення й спад струму (рис. 2,а) забезпечуються значними імпульсами напруги на індуктивності, які компенсують імпульси напруги перетворювача, утворені шляхом перекомутації конденсаторів:

$$\begin{aligned} \frac{di_c^+(t)}{dt} &= \frac{1}{L} \left( u_s(t) - \frac{U_{dc}}{2} \right); \\ \frac{di_c^-(t)}{dt} &= \frac{1}{L} \left( u_s(t) + \frac{U_{dc}}{2} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Для окремої зміни верхньої та нижньої межі зони гістерезису в ланці постійного струму САФ підключено два послідовно з'єднані конденсатори (рис. 2,б) з еквівалентною ємністю.

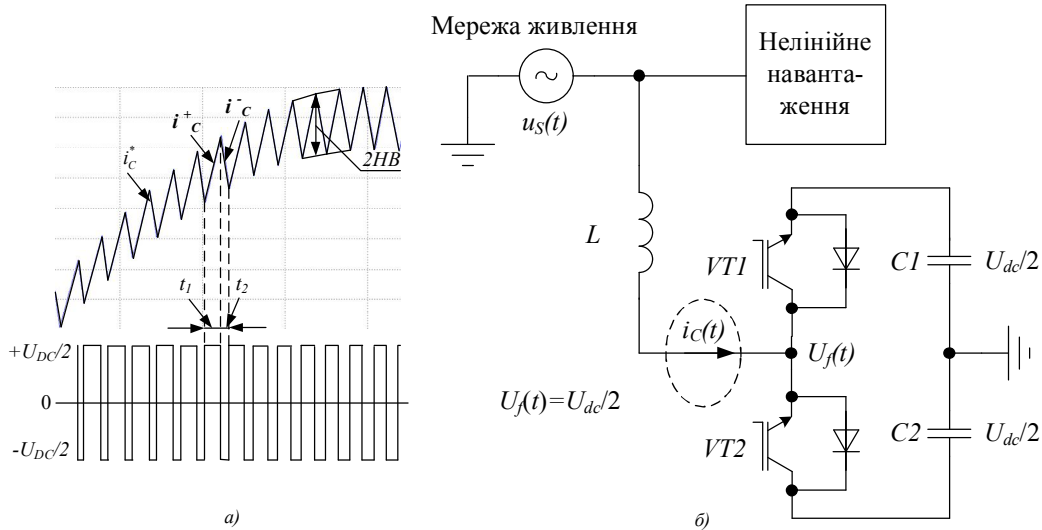


Рисунок 2 – Діаграми зміни струму та напруги транзисторного перетворювача (а); одна з фаз трифазного перетворювача по зарезерованому припущенні струму (б)

Модель електроенергетичної системи (рис. 3) включає: електричну мережу (*Three-Phase source*) з еквівалентним активним та індуктивним опорами, підключене до електричної мережі через трифазний реактор (*Reactor1*) нелінійне навантаження – тиристорний перетворювач (*Thyristor converter*) з активно-індуктивним навантаженням (*RL-load*), трифазний транзисторний перетворювач (*Transistor converter*), блок формування заданого струму САФ (*Current generation block*) та блок формування імпульсів (*Pulse shaping block*).

Параметри елементів схеми розраховано з наступних міркувань: нелінійне навантаження має розрахункову потужність  $P = 14 \text{ кВт}$ ;  $Q = 20 \text{ кВар}$  – тиристорний перетворювач (*Thyristor converter*) з активно-індуктивним навантаженням (*RL-load*)  $R_{load} = 2 \text{ Ом}$ ;  $L_{load} = 0,0116 \text{ Гн}$ . Електропостачання

здійснюється від трифазної електричної мережі (*Three-Phase source*) з номінальною напругою  $U_{source} = 380 \text{ В}$ , номінальною частотою  $50 \text{ Гц}$ . Еквівалентні активний та реактивний опори мережі розраховані, виходячи з допустимої втрати напруги на них  $7\%$ , та складають відповідно  $R_{source} = 0,1 \text{ Ом}$ ;  $L_{source} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$ . Частота комутації транзисторів  $f_c = 15000 \text{ Гц}$ ; індуктивність реактора САФ  $L_{reactor} = 0,0054 \text{ Гн}$ ; конденсатор ємністю  $C = 20 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}$ , з напругою  $U_{dc} = 2000 \text{ В}$ . У моделі по чергово реалізуються два варіанти включення конденсаторів з еквівалентною напругою та ємністю: конденсатор підключений до виводів «+» та «-» транзисторного перетворювача (*Variant 1*); два послідовно з'єднаних конденсатора, спільний вивід яких заземлений (*Variant 2*).

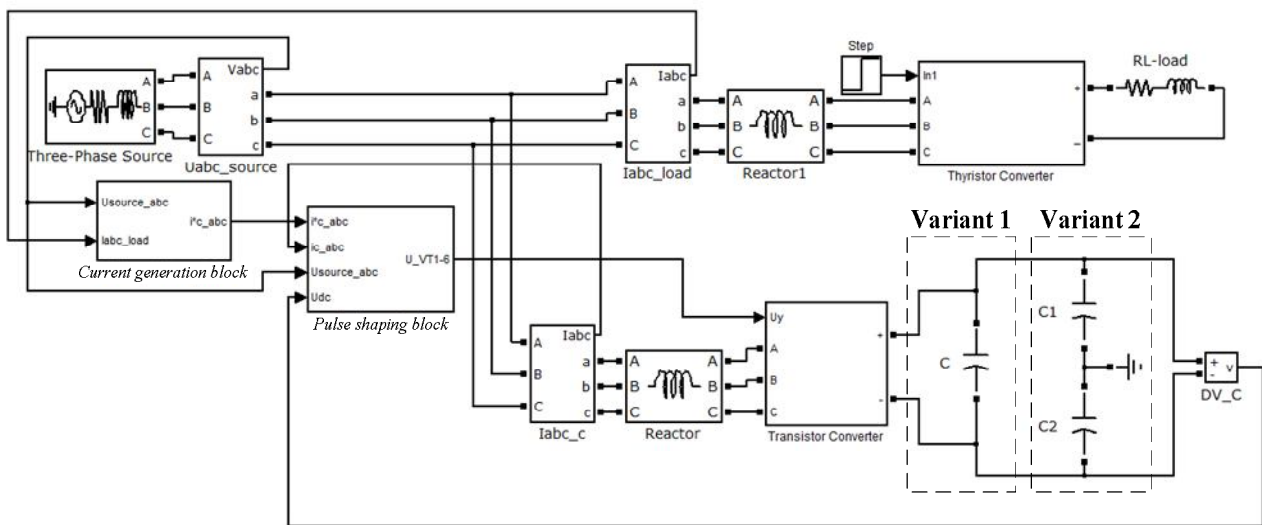


Рисунок 3 – Математична модель трифазного силового активного фільтра з адаптивним регулятором

За відомою методикою [12] визначено електричні параметри реактивних елементів компенсатора та частоту комутації вентилів  $f_c$ , розроблено математичну модель електротехнічної системи із САФ (рис. 3), для оцінки ефективності роботи якого реалізовано три варіанти блоку формування імпульсів управління:

- 1) блок релейного регулятора з фіксованою зоною гістерезису  $2HB$ ;
- 2) блок релейного регулятора з адаптацією зони гістерезису  $2HB$ ;
- 3) блок релейного регулятора з адаптацією верхньої  $HB+$  і нижньої  $HB-$  межі зони гістерезису.

Для оцінки впливу алгоритму формування заданого струму САФ та формування імпульсів управління проведено низку експериментів із дослідження електричних та енергетичних параметрів режиму системи мережа–нелінійне навантаження–силовий активний фільтр для варіантів, наведених у табл. 1.

Таблиця 1 – Варіанти дослідження моделі мережа–нелінійне навантаження–силовий активний фільтр

№	Варіант	Алгоритм формування заданого струму САФ	Алгоритм формування імпульсів управління
1	$Cs PQ$	p-q теорія	фіксована зона гістерезису $2HB$
2	$Cs F$	теорія Фрізе	фіксована зона гістерезису $2HB$
3	$Vr1 PQ$	p-q теорія	адаптація зони гістерезису $2HB$
4	$Vr1 F$	теорія Фрізе	адаптація зони гістерезису $2HB$
5	$Vr2 PQ$	p-q теорія	адаптація верхньої й нижньої межі зони гістерезису $2HB$
6	$Vr2 F$	теорія Фрізе	адаптація верхньої й нижньої межі зони гістерезису $2HB$

Параметри елементів САФ та системи формування імпульсів розраховуються згідно з [12]. Для певного значення параметрів режиму навантаження досліджено ефективність роботи САФ при зміні кута управління тиристорного перетворювача  $\alpha = 0-75^\circ$  за умови розрахованих параметрів активно-індуктивного навантаження тиристорного перетворювача [10].

Для кількісної оцінки роботи САФ як показники обрані:

– відносна компенсація за реактивною потужністю:

$$\varepsilon_Q = \frac{Q_{load} - Q_{source}}{Q_{load}} 100\%, \quad (11)$$

де  $Q_{source}$  – реактивна потужність мережі;  $Q_{load}$  – реактивна потужність навантаження;

– зниження коефіцієнта спотворення струму мережі:

$$\varepsilon_{THD_I} (\%) = \frac{THD_{I_{load}} - THD_{I_{source}}}{THD_{I_{load}}} 100\%, \quad (12)$$

де  $THD_{I_{source}}$  – коефіцієнт спотворення струму мережі;  $THD_{I_{load}}$  – коефіцієнт спотворення струму навантаження;

– відносна похибка за активною потужністю:

$$\Delta P = \frac{P_{source} - P_{load}}{P_{load}} 100\%, \quad (13)$$

де  $P_{source}$  – активна потужність мережі;  $P_{load}$  – активна потужність навантаження.

За результатами проведених експериментів побудовано графіки відносної компенсації за реактивною потужністю (рис. 4), зниження коефіцієнта спотворення струму мережі (рис. 5), відносної похибки за активною потужністю (рис. 6) для шести варіантів конфігурації системи управління САФ.

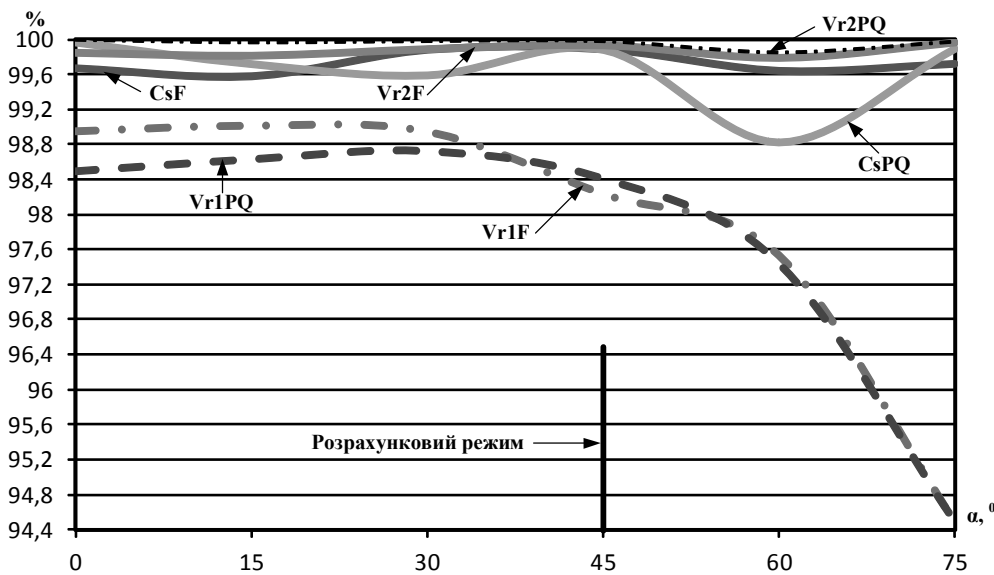


Рисунок 4 – Відносна компенсація за реактивною потужністю САФ при зміні кута керування тиристорним перетворювачем  $\alpha = 0-75^\circ$

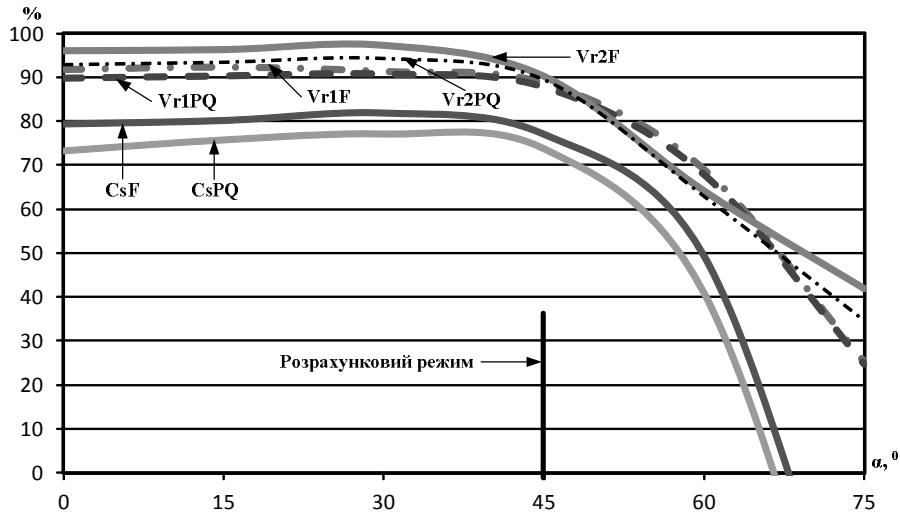


Рисунок 5 – Зниження коефіцієнта спотворення струму мережі САФ при зміні кута керування тиристорним перетворювачем  $\alpha = 0-75^\circ$

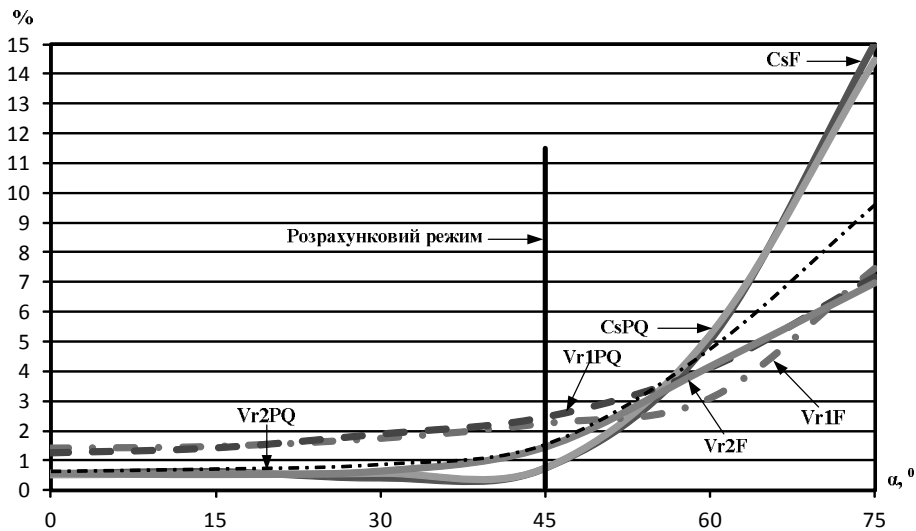


Рисунок 6 – Відносна похибка за активною потужністю САФ при зміні кута керування тиристорним перетворювачем  $\alpha = 0-75^\circ$

При кутах керування тиристорним перетворювачем у діапазоні від  $0 < \alpha \leq 45^\circ$ , що відповідає розрахунковому режиму трифазного силового активного фільтра, відносна компенсація за реактивною потужністю більше 98 % для всіх варіантів експерименту, при цьому зниження коефіцієнта спотворення

струму мережі більш ніж 70 %, а відносна похибка за активною потужністю не перевищує 3 %. При збільшенні кута керування тиристорного перетворювача та, відповідно, збільшенні рівня гармонік струму та реактивної потужності показники за варіантами суттєво відрізняються (табл. 2).

Таблиця 2 – Узагальнені показники досліджуваних варіантів САФ

№	Варіант	$\alpha \leq 45^\circ$			$\alpha > 45^\circ$		
		$\varepsilon_Q, \%$	$\varepsilon_{THDi}, \%$	$\Delta P, \%$	$\varepsilon_Q, \%$	$\varepsilon_{THDi}, \%$	$\Delta P, \%$
1	$Cs\_PQ$	>98	>70	<3	>99	60-0	1-15
2	$Cs\_F$				98-94	87-25	2,5-7
3	$Vr1\_PQ$				2,3-7,5		
4	$Vr1\_F$						
5	$Vr2\_PQ$				>99	92-35	1,5-9,3
6	$Vr2\_F$						1,5-7

Для розрахункового режиму при куті керування тиристорним перетворювачем  $\alpha=45^\circ$  та граничного

режиму перетворювача  $\alpha=75^\circ$  на рис. 7 зображено часові залежності струму мережі.

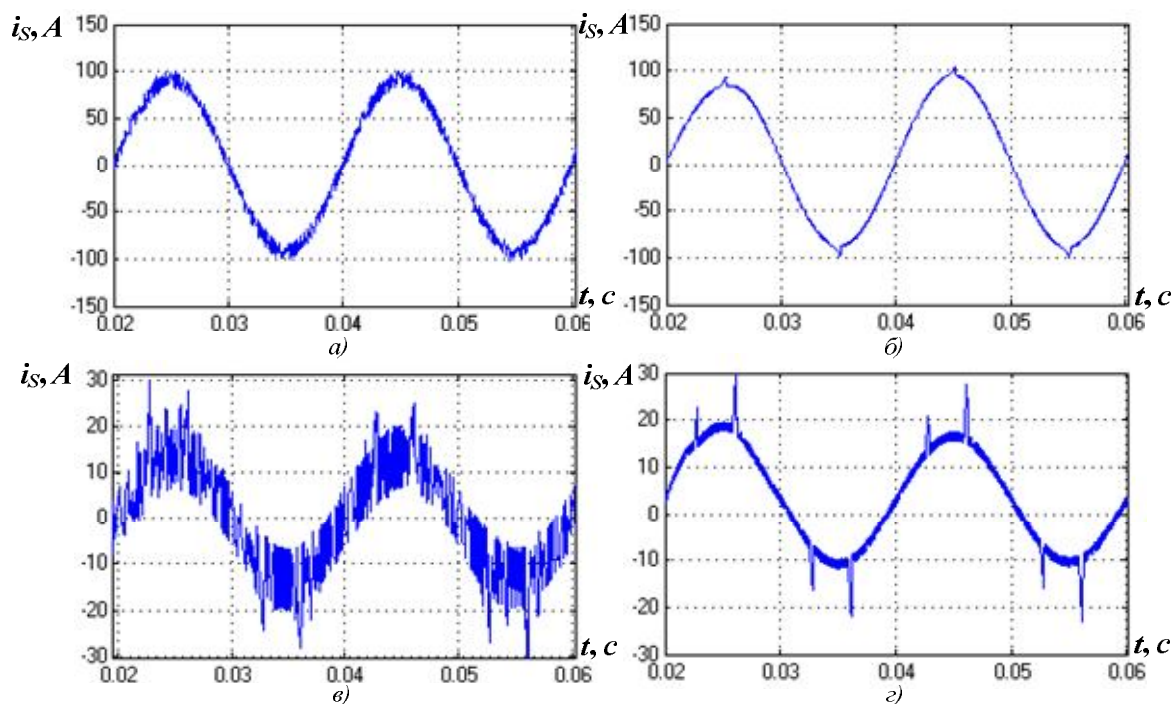


Рисунок 7 – Струм мережі фази А: а) для випадку CsPQ при  $\alpha=45^\circ$ ; б) для випадку Vr2F при  $\alpha=45^\circ$ ; в) для випадку CsPQ при  $\alpha=75^\circ$ ; г) для випадку Vr2F при  $\alpha=75^\circ$

**ВИСНОВКИ.** При збільшенні рівня гармонік та реактивної потужності вище розрахункового показники режиму САФ при використанні релейного регулятора з фіксованою зоною гістерезису суттєво знижується, що фактично призводить до нульових показників із компенсації реактивної потужності та зниження коефіцієнта гармонік струму мережі.

Упровадження в структуру релейного регулятора струму підсистеми адаптації зони гістерезису незначним чином впливає на показники режиму САФ при розрахункових рівнях реактивної потужності, окрім коефіцієнта спотворення струму мережі, який знижується на 15–20 % залежно від методу формування струму компенсатора.

При зменшенні чи збільшенні кута керування ТП від розрахункового на 20–85 % використання підсистеми адаптації зони гістерезису релейного регулятора струму дозволяє на 35–40 % знизити рівень коефіцієнта спотворення струму мережі при зменшенні на 8–9 % похибки за активною потужністю.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. EN 50160 (2007), Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.
2. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
3. Пивняк Г.Г., Волков А.В. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы

с широтно-импульсной модуляцией. – Днепропетровск: НГУ, 2006. – 472 с.

4. Алексеев Б.А. Активные фильтры высших гармоник // Электро. – 2007. – Вып. 3. – С. 28–32.
5. Akagi H., Hirokazu E., Aredes M. Instantaneous power theory and applications to power conditioning. – USA, Hoboken, New Jersey: IEEE Press, 2007. – 379 p.
6. Dixon J.Y., Tepper S.M., Moran L.T. Analysis and evaluation of different modulation techniques for active power filters // IEEE, Chile. – Iss. 5/1994 (94). – PP. 894–900.
7. Sebasthirani K., Porkumaran K. Performance enhancement of shunt active power filter with fuzzy and hysteresis controllers // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – Iss. 60/2014 (2). – PP. 284–293.
8. Власенко Р.В., Бялобржеський О.В. Адаптивне управління релейним регулятором струму однофазного силового активного фільтру // Вісник ДонНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – Вип. 1/2014 (16). – С. 39–44.
9. Vahedi H., Sheikholeslam A., Mohammad Tavakoli M.B. Reverse Direction of Hysteresis Bandwidth Calculation to Fix the Switching Frequency Employed in Active Power Filter // World Applied Sciences Journal. – 2011. – Iss. 15. – PP. 1007–1015.

10. Лохов С.М. Энергетические составляющие мощности вентильных преобразователей: учебное пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 1999, часть 1. – 106 с.

11. Xinyang Liu, Jie Wang, Gang Yao. A Novel Hysteresis Current Control Strategy with Fuzzy Band-

width for Active Power Filter // *Electronics and electrical engineering*. – Iss. 4/2012 (120). – PP. 3–8.

12. Zakis J., Vinnikov D., Laugis J., Rankirs I. Feasibility study of flexible systems for reactive power compensation // *IEEE, Latvia*. – 2010. – Iss. 5. – PP. 14–20.

### STUDY OF THE CHARACTERISTICS THREE-PHASE ACTIVE POWER FILTER WITH ADAPTIVE REGULATOR AT COMPENSATION INACTIVE POWER COMPONENTS

**R. Vlasenko, O. Bialobrzkeski, V. Kachalka**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: laplandec267@gmail.com, seemAI@kdu.edu.ua

Relay current control of three-phase active power filter switch provides power switches, the error current exceeds a fixed value (hysteresis band), with adjustable frequency parameter is variable. Proposed adaptive relay current controller, which ensures consistency switching frequency and variable hysteresis band, while considered current formation given three-phase active power filter in two ways: according to p-q theory and the theory of S. Fryze. A studied with simulated operation of the three-phase active power filter for the consumer with a nonlinear load. Retrieved timing diagrams, analysis allowed us to formulate recommendations for use given current methods of generating active power filter and use adaptive current control depending on load changes.

**Key words:** active power filter, pulse width modulation, relay current control, hysteresis band.

#### REFERENCES

1. EN 50160 (2007), Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.

2. Zhezhelenko, I.V. and Sayenko, Yu.L. (2000), *Pokazateli kachestva elektroenergiyi i ikh kontrol na promyshlennykh predpriyatiyakh* [Power quality and control of industrial plants], Energoatomizdat, Moscow. (in Russian)

3. Pivnyak, G.G. and Volkov, A.V. (2006), *Sovremennye chastotno-reguliruemye asinkhronye elektroprivody s shirotno-impulsnoy modulyatsiy* [Modern variable speed asynchronous electric drive with PWM], Dnipropetrovsk, Ukraine. (in Russian)

4. Alekseev, B.A. (2007), "Active filters higher harmonic", *Electro*, Vol. 3, pp. 28–32. (in Russian)

5. Akagi, H., Hirokazu, E. and Aredes, M. (2007), "Instantaneous power theory and applications to power conditioning", *IEEE Press*, New Jercey, Hoboken, USA, 379 p.

6. Dixon, J.Y., Tepper, S.M. and Moran, L.T. (1994), "Analysis and evaluation of different modulation techniques for active power filters", *IEEE, Chile*, Vol. 5, no. 94, pp. 894–900.

7. Sebasthirani, K. and Porkumaran, K. (2014), "Performance enhancement of shunt active power filter with fuzzy and hysteresis controllers", *Journal of Theoretical*

*and Applied Information Technology*, Vol. 60, no. 2, pp. 284–293.

8. Vlasenko, R.V. and Bialobrzkeski, O.V. (2014), "Adaptive control of relay regulator of current of a single-phase active power filter", *Visnyk DonNTU. Seriya «Elektrotehnika i enerhetyka»*, Vol. 1, no. 16, pp. 39–44. (in Ukrainian)

9. Vahedi, H., Sheikholeslam, A. and Mohammad Tavakoli, M.B. (2011), "Reverse Direction of Hysteresis Bandwidth Calculation to Fix the Switching Frequency Employed in Active Power Filter", *World Applied Sciences Journal*, Vol. 15, pp. 1007–1015.

10. Lohov, S.M. (1999), *Energeticheskiye sostavlyayushchie moshchnosti ventilnykh preobrazovately* [Energy components power rectifier converters], Chelyabinsk. (in Russian)

11. Xinyang, L., Wang, J. and Gang, Yao. (2012), "A Novel Hysteresis Current Control Strategy with Fuzzy Bandwidth for Active Power Filter", *Electronics and electrical engineering*, Vol. 4, no. 120, pp. 3–8.

12. Zakis, J., Vinnikov, D., Laugis, J. and Rankirs, I. (2010), "Feasibility study of flexible systems for reactive power compensation", *IEEE, Latvia*, Vol. 5, pp. 14–20.

Стаття надійшла 28.04.2015.