

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ НЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРИФАЗНИМ СИЛОВИМ АКТИВНИМ ФІЛЬТРОМ З АДАПТИВНИМ РЕЛЕЙНИМ РЕГУЛЯТОРОМ СТРУМУ

Релейне регулювання струму трифазного силового активного фільтру забезпечує перемикання силових ключів, коли похибка струму перевищує фіксовану величину (зону гістерезису), при цьому частота регульованого параметру – змінна. Запропоновано адаптивний регулятор, що забезпечує постійність частоти комутації, при цьому розглянуто формування заданого струму двома методами: відповідно до рq-теорії та теорії С. Фрізе. Проведено серію експериментів з імітацією роботи силового активного фільтру для споживача з лінійним та нелінійним навантаженнями. Отримано діаграми, аналіз яких дозволив сформулювати рекомендації, що до використання методів формування заданого струму силового активного фільтру та використання адаптивного регулювання струму в залежності від характеру навантаження.

Ключові слова: силовий активний фільтр, широтно-імпульсна модуляція, релейне регулювання струму, адаптивний регулятор, частота комутації.

ВСТУП

Зростання в промисловості різко змінного і нелінійного навантаження, яке викликано нерівномірною роботою електротехнологічних установок та впровадженням останнім часом пристроїв напівпровідникової техніки, загострило проблему забезпечення якості електроенергії [1].

Негативна дія нелінійного навантаження призводить до збільшення рівня споживання реактивної потужності, що викликає зростання втрат в енергосистемі, перевантаження генераторів, трансформаторів, ліній електропередач і коливань напруги [1], також виникнення знакозмінних складових моменту, що негативно позначається на працездатності електричних машин [2].

Конденсаторні батареї, які в основному використовують на промислових підприємствах для компенсації реактивної потужності розраховують на постійне навантаження. При різко змінному навантаженні батареї конденсаторів для кожного окремого випадку потребують перерахунку балансу реактивної потужності, окрім цього вони дуже чутливі до вищих гармонік [3].

Останніми досягненнями силової перетворювальної техніки і ефективними технічними рішеннями в області компенсації неактивних складових потужностей навантажень є силові активні фільтри (САФ) [3].

В той же час ефективність роботи САФ залежить від визначеної компенсаційної характеристики, яка підлягає компенсації. Для визначення неактивних складових застосовують різні теорії потужності. Імпульси управління для САФ, що відповідають визначеній компенсаційній характеристиці, впливають на швидкість роботи компенсатора. Тому реалізований метод формування імпульсів управління САФ є важливим питанням.

МЕТА РОБОТИ

Порівняти методи визначення складових потужності для трифазного САФ. Оцінка ефективності використання методів формування ключами перетворювача трифазного САФ в умовах лінійного та нелінійного навантаження.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис. 1 зображена функціональна схема трифазного САФ. Силова частина активного фільтру включає транзисторний перетворювач VT1-6, накопичувальний конденсатор С і з'єднувальний реактор – група індуктивностей LI-3. Клеми транзисторного перетворювача у колі постійного струму з'єднуються з накопичувальним конденсатором С. Індуктивності LI-3 в 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 і розряду конденсатору. Реалізований алгоритм управління в блоці визначення заданого струму компенсатора, визначає компенсаційні характеристики для САФ. Блок формування імпульсів управління компенсатором, в свою чергу, призначений для правильного посилання імпульсів керування, які відповідають визначеному заданому струму компенсатора.

Методи управління САФ будуються на сучасних уявленнях про складові потужності [4]. В той же час вагомою частиною якості роботи пристрою в цілому є метод формування імпульсів управління ключовими елементами перетворювача.

Серед методів формування імпульсів управління транзисторами силового активного фільтру виділяють два основних: широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) з пост-

ійною частотою та релейне регулювання струму (PPC) зі змінною частотою модуляції.

Метод ШІМ реалізується шляхом порівняння похибки параметру регулювання з опорним сигналом фіксованої амплітуди і частоти. Похибка додатково підсилюється пропорційно-інтегральним (ПІ) регулятором. Параметри регулятора розраховують у відповідності з абсолютним значенням критерію оптимальності. Недоліком ШІМ є те, що вона спотворює форму кривої струму, призводячи до змінного у часі складу вищих гармонік [4].

PPC забезпечує перемикання силових ключів, коли похибка перевищує фіксовану величину – зону гістерезису (*HB*). У цьому випадку частота перемикання змінна. Перевагою системи керування є її простота, недоліком – виникнення субгармонік при зміні частоти комутації [4].

PPC має просту будову в порівнянні з ШІМ, зокрема не потребує складнощів з налаштуванням ПІ-регулятора, має кращі показники регулювання при роботі з різними сигналами напруги мережі [4]. Для подальших досліджень обрано систему керування САФ з PPC.

При реалізації PPC в силових перетворювачах змінна частота комутації викликає широкий спектр вищих гармонік регульованого параметру (струму) [5]. Це явище було визнано, як рішення для приводних перетворювачів електричних машин при мінімізації механічного шуму, але таке рішення не рекомендують для систем високої потужності через генерування субгармонік і низько частотних гармонік [6].

Для виключення зазначених недоліків пропонують використання адаптивного регулятора [6]. При цьому збільшення і спад поточного струму перетворювача, який виробляє значну напругу $+U_{dc}$ і $-U_{dc}$ на індуктивності, яка з'єднує перетворювач до мережі, розглядають як [6]:

$$\begin{cases} \frac{di_c^+}{dt} = \frac{1}{L}(U_{dc} - u_s); \\ \frac{di_c^-}{dt} = -\frac{1}{L}(U_{dc} + u_s), \end{cases} \quad (1)$$

де L – індуктивність реактору; U_{dc} – напруга накопичувального конденсатора; u_s – напруга мережі.

Розглянутий мережевий контур САФ для довільного проміжку часу визначає зв'язок між струмом на періоді комутації вентилів, напругою перетворювача та мережі, а частоту комутації визначають тривалістю періоду комутації [6]. В результаті ширина зони гістерезису *HB* релейного елемента [6]:

$$HB = \frac{U_{dc}^2 - \left(u_s + L \cdot \frac{di_c^*}{dt}\right)^2}{4f_c \cdot U_{dc} \cdot L}, \quad (2)$$

де f_c – частота комутації вентилів перетворювача; i_c^* – заданий струм САФ.

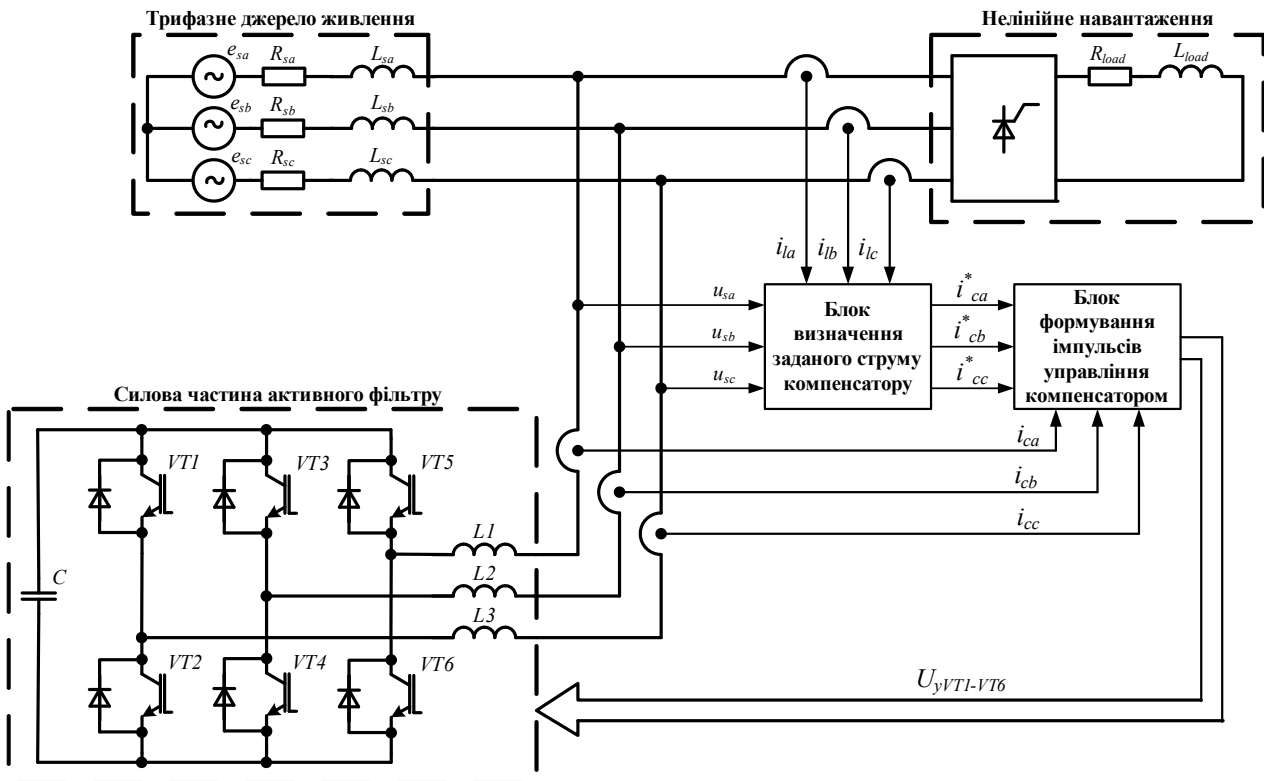


Рисунок 1 – Функціональна схема трифазного САФ

Таким чином, обравши за відомими рекомендаціями [7] частоту комутації вентилів f_c , знаючи електричні параметри реактивних елементів компенсатору, за рівнянням (2) синтезують схему блоку адаптивного регулятора (*Adaptive regulator*). При цьому в блок вводять поточні миттєві значення параметрів режиму компенсатора: заданий струм i_c^* , напруга мережі u_s , напруга конденсатору U_{dc} .

Для оцінки якості функціонування регулятора струм компенсатору i_c^* визначають використовуючи два різні підходи:

- 1) *PQ*-теорія потужності [8];
- 2) теорія потужності за С. Фрізе [9].

За 1-им методом, застосовуючи *PQ* теорію потужності [8], виконують перетворення миттєвої напруги мережі та миттєвого струму навантаження в координати $\alpha\beta$:

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де x_a, x_b, x_c – значення миттєвої напруги мережі або миттєвого струму навантаження в координатах abc .

Миттєву активну і реактивну потужність навантаження знаходять [8]:

$$\begin{bmatrix} p_l \\ q_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ u_\beta & -u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{l\alpha} \\ i_{l\beta} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де u_α, u_β – миттєва напруга мережі в координатах $\alpha\beta$; $i_{l\alpha}, i_{l\beta}$ – миттєвий струм навантаження в координатах $\alpha\beta$.

Миттєву активну і реактивну потужність представляють двома складовими [8]: постійною (середньою) P_p, Q_l та змінною \tilde{p}_l, \tilde{q}_l :

$$\begin{aligned} p_l &= P_p + \tilde{p}_l \\ q_l &= Q_l + \tilde{q}_l \end{aligned} \quad (5)$$

Середню активну потужність визначають інтегруванням:

$$P_p = \frac{1}{T} \int_0^T p dt, \quad (6)$$

де $p = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c$ – миттєва активна потужність; T – період напруги мережі.

На САФ покладають функцію компенсації \tilde{p}_l і \tilde{q}_l . Заданий струм компенсатору в координатах $\alpha\beta$ [8]:

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{(u_\alpha^2 + u_\beta^2)} \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ u_\beta & -u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p}_l \\ \tilde{q}_l \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Визначення заданого струму компенсатору в координатах abc виконують шляхом зворотного перетворення (3) [8].

За 2-им методом, теорією повною потужності Фрізе, виконують розкладання струму (напруги) на дві ортогональні складові в часовій області [9]: активну i_A (повторює форму напруги мережі і отримуючу за інтервал розгляду ту ж енергію, що і весь струм) і пасивну i_{II} (нев'язки до струму, не споживаючу енергію):

$$i = i_A + i_{II}. \quad (8)$$

Визначають активну потужність та значення середньоквадратичної напруги за період напруги мережі T [9]:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt; \quad (9)$$

$$U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt. \quad (10)$$

Тоді активний струм за Фрізе [9]:

$$i_A = \frac{P}{U^2} \cdot u. \quad (11)$$

Пасивну складову струму виділяють зі струму навантаження [9]:

$$i_{II} = i - i_A = i_c^*. \quad (12)$$

Аналогічним чином визначають струми за фазами «В» та «С».

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

У середі візуального моделювання MATLAB/Simulink розроблена модель електричної системи з трифазним САФ (рис. 2) яка включає: електричну мережу (*Three-Phase source*) з еквівалентним активним та індуктивним опорами, підключене через трифазний ключ (*Breaker*) лінійне навантаження (*Three-phase RL load*); підключений до електричної мережі через трифазний реактор (*Reactor1*) тиристорний перетворювач (*Thyristor converter*) з активно-індуктивним навантаженням (*RL-load*); трифазний транзисторний перетворювач (*Transistor converter*), з'єднувальний реактор (*Reactor*) і конденсатор (*C*); підсистему формування заданого струму компенсатору (*PQ theory/Theory Fryze*); систему регулювання струму САФ (*System control*). Для зниження високочастотних пульсацій струму (напруги) введено трифазний одно частотний фільтр (*LC-filter*).

Параметри лінійного та нелінійного навантаження встановлені таким чином, щоб забезпечити однаковий режим споживання електроенергії за активною та реактивною потужностями першої гармоніки струму. Лінійне навантаження (*Three-phase RL load*) з активною потужністю $P_{load} = 30$ кВт, реактивною потужністю $Q_{load} = 66$ кВАр і тиристорний перетворювач (*Thyristor converter*)

з активно-індуктивним навантаженням $R_{load}=2$ Ом; $L_{load}=0,0116$ Гн та кутом управління 45° .

Відповідно до навантаження за [7] розраховані з'єднувальний реактор САФ $L=5,4$ мГн; конденсатор ємністю $C=20$ мФ; напруга конденсатору $U_{dc}=1000$ В.

В блоці *PQ theory/Theory Fryze* формується заданий струм компенсатору $i_{c,abc}^*$, за необхідністю комутацією зв'язків подається на вхід блоку *System control* (рис. 3).

Заданий струм $i_{c,abc}^*$ надходить на вхід «+» суматора, на вхід «-» поступає поточний струм САФ $i_{c,abc}$, на виході суматора – отриманий вектор похибки струму i_{abc} (рис. 3). Вектор похибки струму i_{abc} поступає на один з входів блоків порівняння *Relay1-6*, на інший поступає

поточне значення ширини гістерезису HB_{abc} , яке знаходиться за допомогою блоку *Adaptive regulator*. З виходів блоків порівняння сигнал надходить на входи «S» і «R» тригерів *S-R Flip-Flop1-3*, в результаті забезпечується формування імпульсів управління.

Для порівняння процесів в системі з PPC фіксованою шириною гістерезису ($HB=constant$) та змінною ($HB=var$), що забезпечується адаптивним регулятором введено ключі *Manual Switch 1-3* (рис. 3).

Дослідження електричних та енергетичних параметрів режиму САФ в системі електроспоживання проведено для наступних комбінацій підсистем формування та регулювання струму:

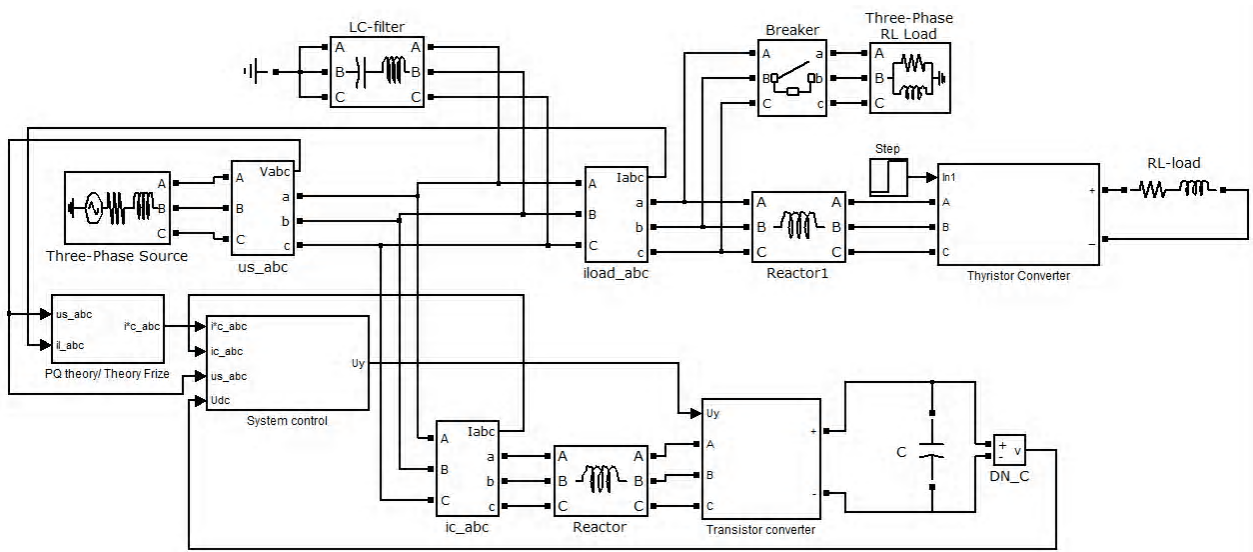


Рисунок 2 – Електроенергетична модель з трифазним САФ

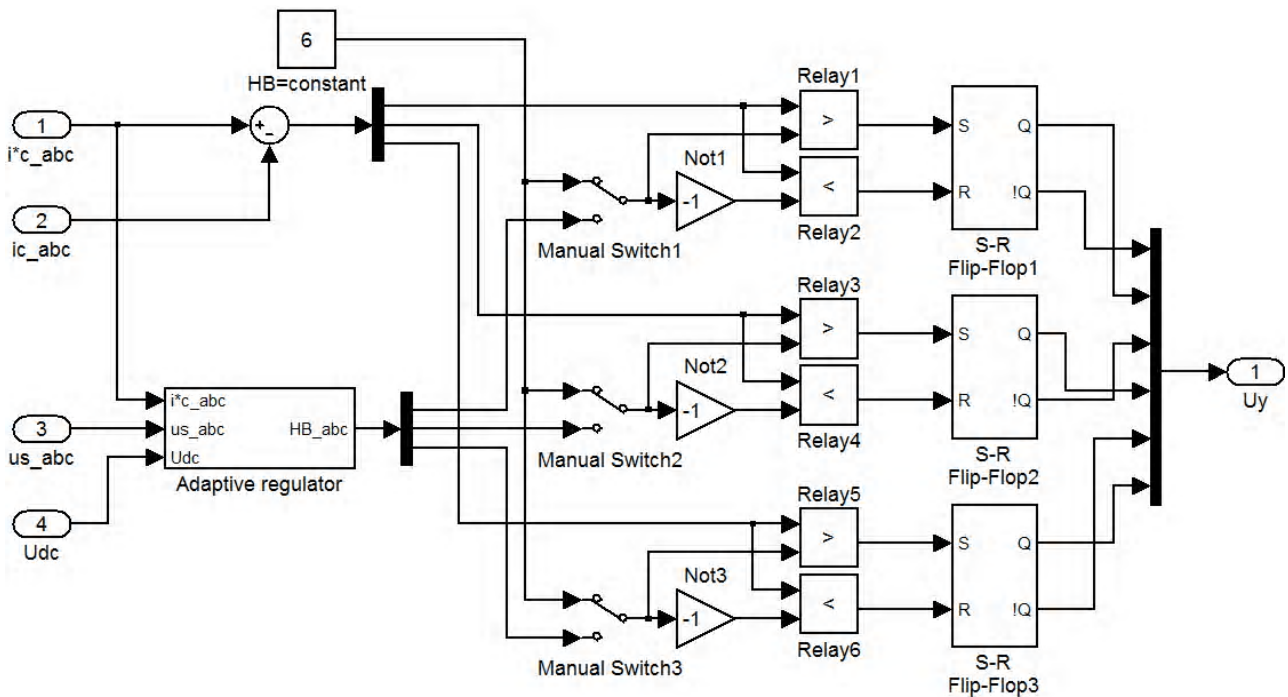


Рисунок 3 – Система регулювання струму САФ

1. PQ теорія, адаптивне регулювання ширини гістерезису (*T-PQ AHB*);
2. PQ теорія, фіксована ширина гістерезису (*T-PQ HB*);
3. Теорія Фрізе, адаптивне регулювання ширини гістерезису (*T-Fryze AHB*);
4. Теорія Фрізе, фіксована ширина гістерезису (*T-Fryze HB*);
5. PQ теорія, фіксована ширина гістерезису, пасивний фільтр (*T-PQ AHB F*);
6. PQ теорія, фіксована ширина гістерезису, пасивний фільтр (*T-PQ HBF*);
7. Теорія Фрізе, адаптивне регулювання ширини гістерезису, пасивний фільтр (*T-Fryze AHB F*);
8. Теорія Фрізе, фіксована ширина гістерезису, пасивний фільтр (*T-Fryze HB F*).

Для порівняння традиційного PPC та запропонованого адаптивного регулятора, було приведено їх системні показники в однакові умови. Тобто, зіставили постійну ширину зони гістерезису $HB=const$ PPC з постійною частотою комутації $f_c=const$ адаптивного регулятора. При цьому параметри САФ залишаються для обох видів систем управління однаковими.

Тому додатково для 8-ми варіантів експерименту з лінійним та нелінійним навантаженням проведено чотири експерименти при наступних умовах:

- a. $HB=12; f_c=7,5$ кГц; $U_{dc}=1000$ В; $C=20$ мФ;
- b. $HB=6; f_c=15$ кГц; $U_{dc}=1000$ В; $C=20$ мФ;
- c. $HB=12; f_c=7,5$ кГц; $U_{dc}=2000$ В; $C=20$ мФ;
- d. $HB=6; f_c=15$ кГц; $U_{dc}=2000$ В; $C=20$ мФ;

Для дослідження були обрані наступні параметри: активна потужність навантаження P_p мережі P_s , реактивна потужність навантаження Q_p мережі Q_s та коефіцієнт спотворення струму мережі $I_{thd,s}$.

Оцінку роботи САФ виконано за відхиленнями активної потужності $P(\%)$ та реактивної потужності $Q(\%)$:

$$\begin{cases} \Delta P = ((P_s - P_l) / P_l) \cdot 100\%; \\ \Delta Q = (Q_s / Q_l) \cdot 100\%. \end{cases} \quad (15)$$

В результаті реалізації групи експериментів зазначені показники побудовані у вигляді діаграм – рис. 4–6, на яких стрілками позначені діаграми, ординати яких перевищують визначений діапазон. В таблицях 1 та 2 наведені усереднені показники за групами експериментів.

Зважаючи, що основне завдання САФ – компенсація реактивної потужності Q з мінімізацією викривлень струму (THD_l), а помилка за активною потужністю призводить до суттєвої зміни напруги конденсатора, аналіз отриманих результатів виконано шляхом порівняння зазначених параметрів за групами. Найкращі усереднені показники роботи САФ (табл. 1.) забезпечуються в четвертій серії експериментів. Серед них слід окремо виділити (табл. 2.) комбінації, що забезпечують: $\Delta P < 1\%$; $\Delta Q < 0,15\%$; $THD_l < 10\%$, причому комбінації позначені жирним забезпечують високі показники як при лінійному так і при нелінійному навантаженні.

Для визначення причин високих показників роботи САФ в серії d експериментів, проведено додаткові дослідження помилки регулювання струму САФ – рис. 7. Незважаючи на однакову структуру системи регулювання струму САФ помилка не може бути скомпенсована при напрузі розрахованій за рекомендаціями [7]. Таким чином, існуючі рекомендації потребують уточнення з урахуванням швидкості зміни струму нелінійного навантаження.

Для одного з найкращих варіантів експерименту d T-Fryze AHB приведена осцилограма струму мережі до компенсації (рис. 8а) та після компенсації (рис. 8б).

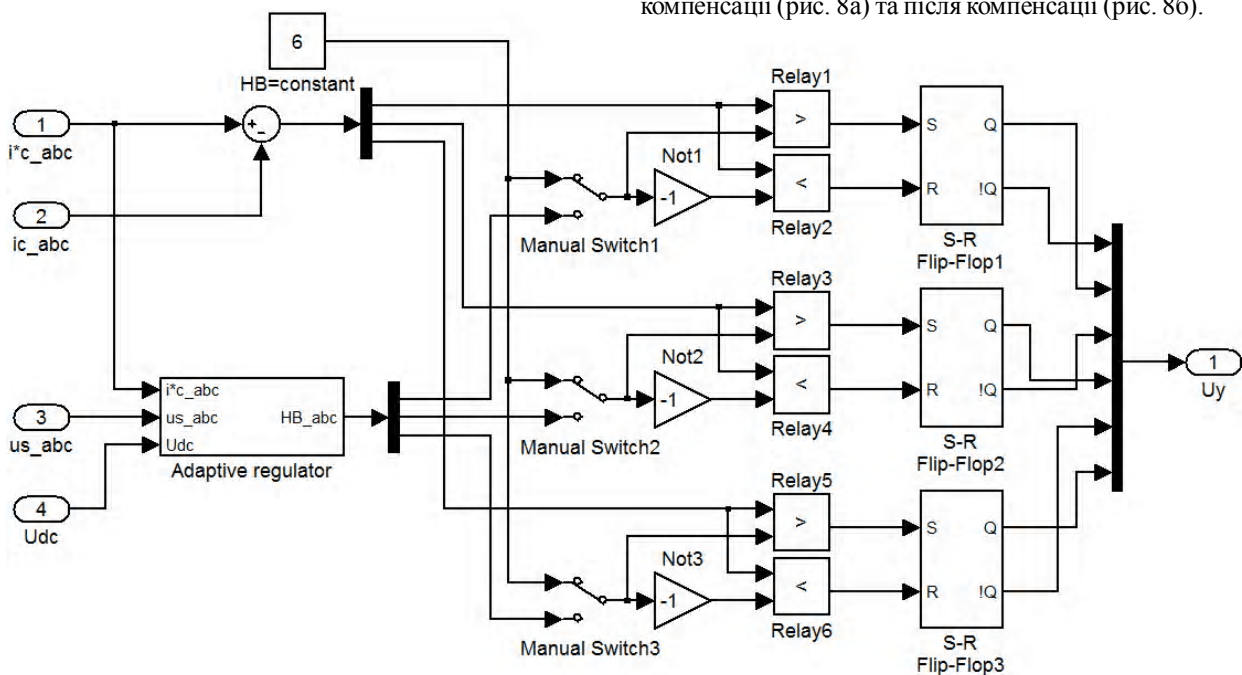


Рисунок 3 – Система регулювання струму САФ

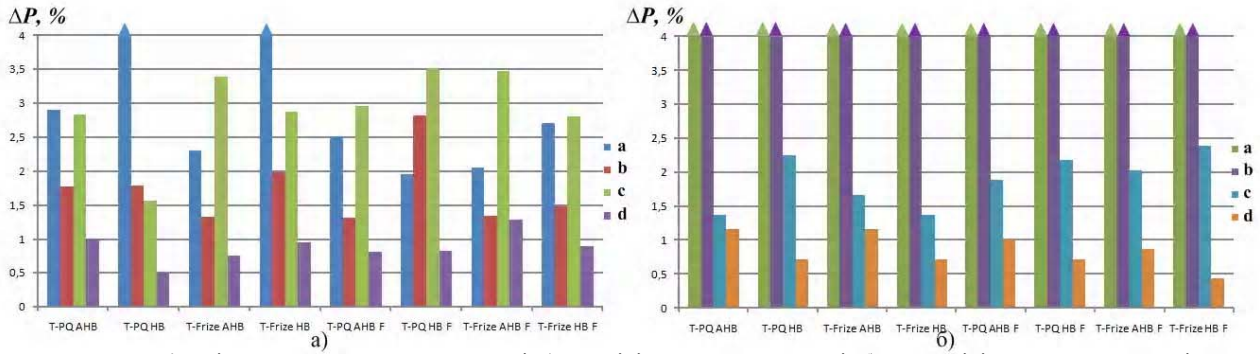


Рисунок 4 – Відхилення активної потужності: а) при лінійному навантаженні; б) при нелінійному навантаженні

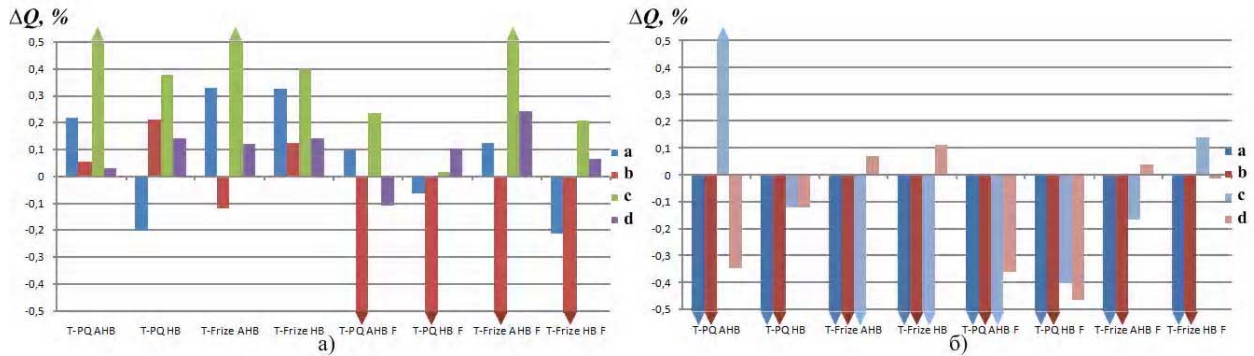


Рисунок 5 – Відхилення реактивної потужності: а) при лінійному навантаженні; б) при нелінійному навантаженні

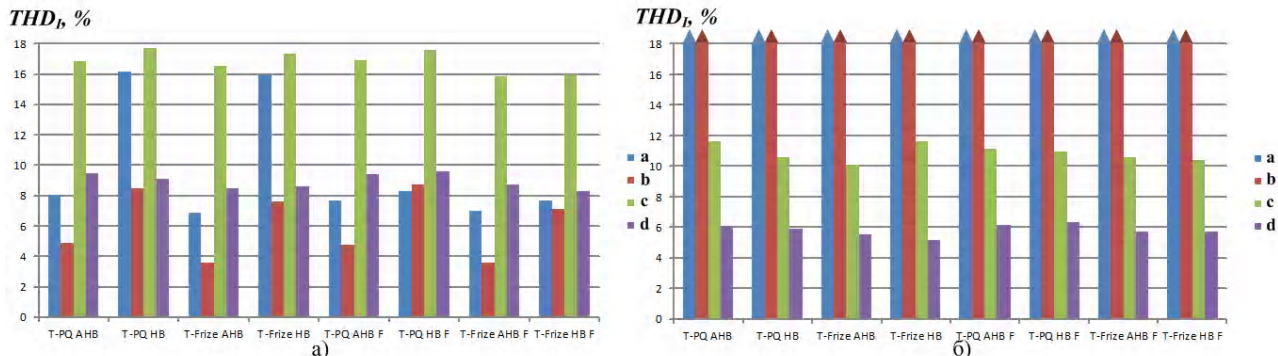


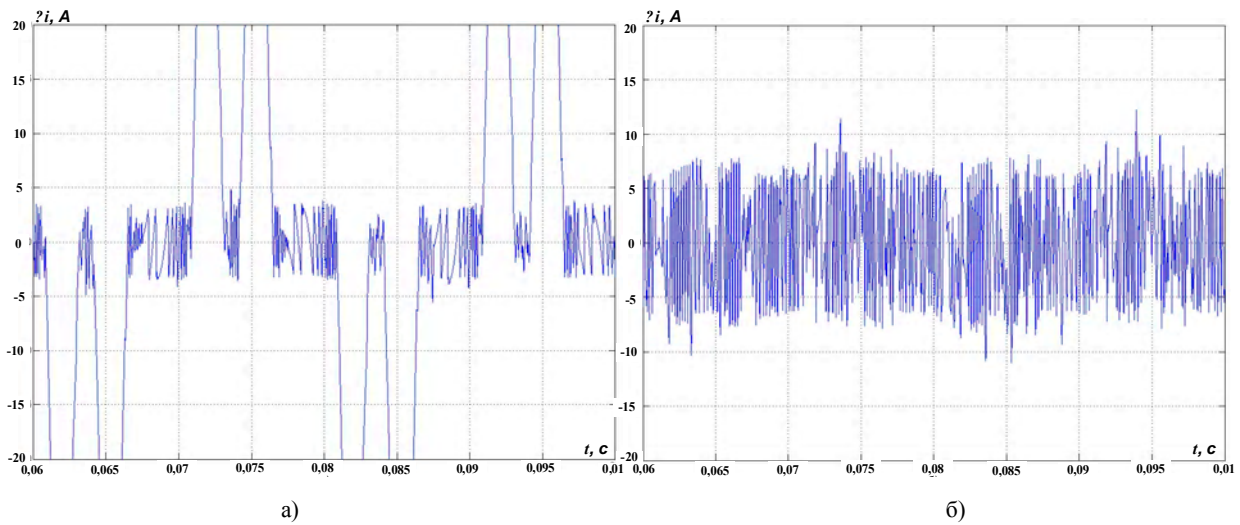
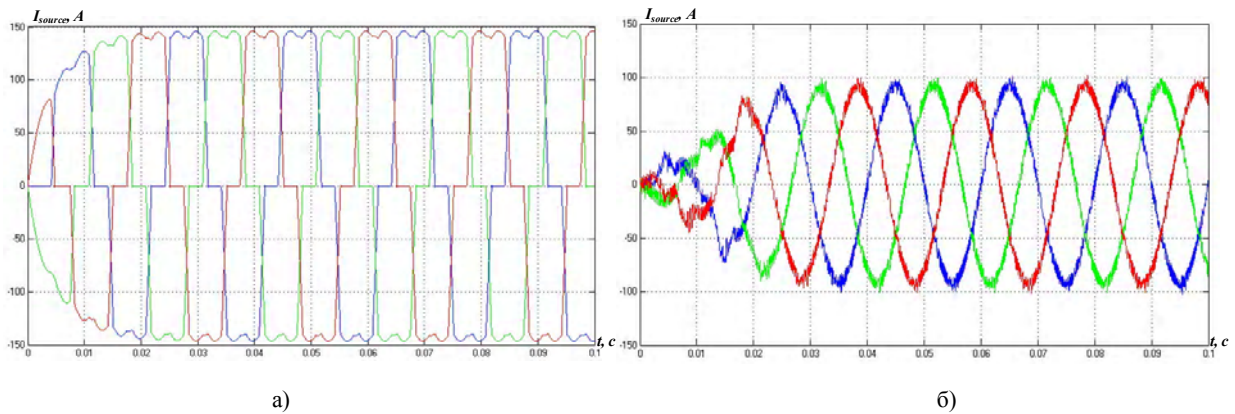
Рисунок 6 – Коефіцієнт спотворення струму мережі: а) при лінійному навантаженні; б) при нелінійному навантаженні

Таблиця 1 – Усереднені показники за групами експериментів

№ серії	Лінійне навантаження			Нелінійне навантаження		
	$\Delta P, \%$	$\Delta Q, \%$	$THD_I, \%$	$\Delta P, \%$	$\Delta Q, \%$	$THD_I, \%$
a	3,36	0,075	9	26	8,23	22,6
b	1,72	0,15	6,1	25,75	8,45	21,3
c	2,93	0,36	16,8	1,86	0,21	10,9
d	0,88	0,091	8,9	0,86	0,13	5,8

Таблиця 2 – Порівняння показників якості компенсації для «кращих» випадків

№ серії	Експеримент	Лінійне навантаження			Нелінійне навантаження		
		$\Delta P, \%$	$\Delta Q, \%$	$THD_I, \%$	$\Delta P, \%$	$\Delta Q, \%$	$THD_I, \%$
b	T-PQ AHB	1	0,048	4,4	28	1,9	11,8
d	T-PQ HB	0,48	0,13	9	0,62	0,12	6
d	T-Fryze AHB	0,68	0,11	8,7	1,2	0,067	5,5
d	T-Fryze HB	0,89	0,14	8,8	0,62	0,11	5
d	T-PQ HB F	0,87	0,091	9,2	0,62	0,45	6,2
d	T-Fryze AHB F	1,33	0,22	8,9	0,81	0,032	5,7
d	T-Fryze HB F	0,9	0,049	8,2	0,47	0,011	5,7

Рисунок 7 – Помилка струму компенсатору : а) $U_{dc}=1000$ В; б) $U_{dc}=2000$ ВРисунок 8 – Осцилограми струму мережі I_{source} : а) до компенсації; б) після компенсації

ВИСНОВКИ

1. Використання сучасних теорій потужності, як і раніше сформульованих, для визначення струму САФ підключеного до вузлу з лінійним чи нелінійним навантаженням, забезпечує режим компенсації при релейному регулюванні струму САФ, при цьому використання адаптивного регулювання ширини гістерезису регулятора не завжди виправдано.

2. При лінійному навантаженні існуючі рекомендації з вибору параметрів силових елементів САФ є достатніми, але при наявності у вузлі нелінійного навантаження виникають нові вимоги які зумовлюються швидкістю зміни струму.

3. Вища швидкість зміни струму навантаження вимагає збільшення швидкодії САФ, яка засобами системи регулювання компенсована бути не може, виникає необхідність підвищення напруги конденсатора в колі постійної напруги.

4. В деяких випадках застосування силового пасивного фільтру, як засобу зниження пульсацій струму САФ є

невиправданим і призводить до додаткових перетоків енергії в колах САФ.

5. Різна ефективність використання САФ для домінуючого лінійного чи нелінійного навантажень, вимагає регулювання напруги конденсатора відносно розрахункової.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Агунов А. В. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах / А. В. Агунов – СПб. : СПбГМТУ, 2009. – 134 с.
2. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
3. Давидов О. Ю. Анализ засобів компенсації реактивної потужності в електротехнічних системах / О. Ю. Давидов, О. В. Бялобржеський // Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – №3, ч.1 – С. 132–136.
4. Dixon J. Y. Analysis and evaluation of different modulation techniques for active power filters / J. Y. Dixon, S. M. Tepper, L. T. Moran // IEEE. – 1994. – vol. 94, No. 5. – P. 894–900.

5. Власенко Р. В. Адаптивне управління релейним регулятором струму однофазного силового активного фільтру / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Вісник ДонНТУ, серія «Електротехніка і енергетика». – 2014. – №1. – С. 39–44.
6. Zabihi S. An adaptive hysteresis current control based on unipolar PWM for active power filters // S. Zabihi, F. A. Zare // Proceedings of the 2006 Australasian Universities Power Engineering Conference, 10–13 December 2006. – Victoria, Melbourne, Australia.
7. Feasibility study of flexible systems for reactive power compensation / [J. Zakis, D. Vinnikov, J. Laugis, I. Rankirs] // IEEE. – 2010. – №5. – P. 14–20.
8. Современные теории мощности и их использование в преобразовательных системах силовой электроники / [И.Ф. Домнин, Г.Г. Жемеров, Д.С. Крылов, Е.И. Сокол] // Техническая электродинамика, тематический выпуск «Проблемы современной электротехники». – 2004. – ч. 1. – С. 81–90.
9. Лохов С. М. Энергетические составляющие мощности вентиляционных преобразователей / С. М. Лохов. – Челябинск : ЮУрГУ, 1999. – ч. 1. – 106 с.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2014.
Після доробки 28.11.2014.

Власенко Р. В.¹, Бялобржеський А. В.²

¹Аспирант, Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського, Україна

²Канд. техн. наук, доцент, Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського, Україна

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЛЕЙНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ТРЕХФАЗНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА

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 регулятор, обеспечивающий постоянство частоты коммутации, при этом рассмотрено формирование заданного тока двумя методами: согласно рq-теории и теории С. Фризе. Проведено серию экспериментов с имитацией работы силового активного фильтра для потребителя с линейной и нелинейной нагрузкой. Получены диаграммы, анализ которых позволил сформулировать рекомендации, к использованию методов формирования заданного тока силового активного фильтра и использование адаптивного регулирования тока в зависимости от характера нагрузки.

Ключевые слова: силовой активный фильтр, широтно-импульсная модуляция, релейное регулирование тока, адаптивный регулятор, частота коммутации.

Vlasenko R.V.¹, Bialobrzzeski O.V.²

¹Postgraduate Kremenchuk Myhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

²Candidate of Science, Associate Professor, Kremenchuk Myhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

ADAPTIVE CONTROL OF CURRENT CONTROLLER RELAY FOR THREE-PHASE ACTIVE POWER FILTER

Current control relay of three-phase active power filter provides the toggle power switches, when the current error exceeds a fixed value (hysteresis band), while the frequency of setting options is variable. The adaptive controller, which ensures the consistency switching frequency, is proposed, while formation of this current in two ways (according to the pq-theory and the theory of S. Fryze) is considered. Series of experiments with simulated operation of the active power filter for the consumer with linear and nonlinear loads are considered. The diagrams are obtained; their analysis allows to formulate recommendations for use of the given current methods of generating active power filter and the use of adaptive current control depending on the nature of the load.

Keywords: active power filter; pulse-width modulation; current control relay; adaptive controller; switching frequency.

REFERENCES

1. Agunov A. V. Upravlenie kachestvom electroenergiyi pri nesinusoidal'nyh rezhymah. Sankt-Peterburg, SPbSMTU, 2009, 134 p.
2. Zhezelenko I. V. Vysshie garmoniki v sistemax elektrosnabzheniya prompredpriyatij. Moscow, Energoatomizdat, 1984, 160 p.
3. Davydov O. Y., Bialobrzzeski O. V. Analiz zasobiv kompensacziyi potuzhnosti v elektrotexnichyx sistemax, *Visnyk KDU Ostrograds'kogo*, 2010, No. 3, Part 1, pp. 132–136.
4. Dixon J. Y., Tepper S. M., Moran L. T. Analysis and evaluation of diffeal modulation techniques for active power filters, *IEEE*, 1994, vol. 94, No. 5, pp. 894–900.
5. Vlasenko R. V., Bialobrzzeski O. V. Adaptivne upravlin'ya relejnym regulatorom strumu odnofaznogo syloвого aktyvnogo fil'tru, *Visnyk DonTU, seriya «Elektrotexnika i energetyka»*, 2014, No.1, pp. 39–44.
6. Zabihi S., Zare F. An adaptive hysteresis current control based on unipolar PWM for active power filters, *A Proceedings of the 2006 Australasian Universities Power Engineering Conference*, 10–13 December 2006, Victoria, Melbourne, Australia.
7. Zakis J., Vinnikov D., Laugis J., Rankirs I. Feasibility study of flexible systems for reactive power compensation, *IEEE*, 2010, No. 5, pp. 14–20.
8. Domnin I. F., Zhemerov G.G., Krylov D.S., Sokol E.I. Sovremennye teoryyi moshhnosti i ix ispol'zovanie v preobrazovatel'nyh sistemax silovoy elektroniki, *Elektrodynamika, tematychnyy vypusk «Problemy suchasnoyi elektrotexniki»*, 2004, Part 1, pp. 81–90.
9. Loxov S. M. Energetichesie sostavlyayushhie moshhnosti preobrazovateley. Chelyabinsk, YUUrGU, 1999, Part 1, 106 p.