

СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТРИФАЗНОГО ПАРАЛЕЛЬНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФІЛЬТРА З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ В КОНТУРІ СТРУМУ

Р. В. Власенко, С. С. Бондаренко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Анотація. Вагомою частиною якості роботи пристрою є процес регулювання струму. При аналізі встановлено, що параметри регулятора зумовлюються режимом навантаження. Виникає необхідність корегування параметрів регулятора. Корекцію коефіцієнтів регулятора можлива використанням нечіткої логіки. Запропоновано нечіткий регулятор з перерахунком коефіцієнтів. Розроблено модель запропонованої системи. Застосування запропонованого рішення підтверджено часовими діаграмами струму.

Ключові слова: силовий активний фільтр, теорія потужності Фризе, пряма послідовність, нечіткий регулятор, широтно-імпульсна модуляція.

Вступ

Зростання користувачів напівпровідникової техніки, стало призводити до зростання нелінійного навантаження, що загостило проблему забезпечення якості електроенергії [1]. Негативна дія нелінійного навантаження полягає в тому, що воно призводить до високого коефіцієнту несинусоїдальності струму, споживаного перетворювачами з мережі. Такий струм навантаження характеризується високим рівнем гармонійних складових, вплив яких призводить до економічних збитків, зумовлених погіршенням енергетичних показників, зниженням надійності функціонування електричних мереж і технологічних процесів, збільшенню додаткових втрат в мережах і елементах електрообладнання, скороченням терміну служби основного електрообладнання енергетичних систем, зниженням надійності і збоями в роботі систем релейного захисту, автоматики, мікропроцесорних систем і систем зв'язку. Разом з цим нелінійне навантаження має високий рівень споживання реактивної потужності, що призводить до зростання втрат в енергосистемі, перевантаженні генераторів, трансформаторів, ліній електропередач і т.п. [1].

Останніми досягненнями силової перетворювальної техніки і найбільш ефективними технічними рішеннями в області компенсації неактивних складових потужностей навантажень в трифазних мережах змінної напруги є керований фільтрокомпенсуючий пристрій – силовий активний фільтр (САФ) [2, 4].

Аналіз попередніх досліджень

Методи керування САФ будуються на су-

© Власенко Р. В., Бондаренко С.С.. 2018

часних уявленнях про складові потужності [3], але вагомою складовою при роботі пристрою є метод формування імпульсів управління ключами перетворювача [4]. Серед методів імпульсного управління виділяють широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) та релейне регулювання струму (РРС). Метод РРС привертає увагу дослідників у зв'язку з такими можливостями, як простота в реалізації, швидкий перехідний процес, висока точність та обмеження пікових струмів, але значним недоліком є змінна частота комутації вентилів перетворювача, що призводить до генерації у мережу високочастотних складових [4]. ШІМ передбачає порівняння модулюючого сигналу з опорним сигналом фіксованої амплітуди і частоти. Модулюючим сигналом у випадку САФ є похибка струму в мережевому колі. Похибка струму регулюється відповідним регулятором, параметри якого розраховуються у відповідності з оптимальними налаштуваннями [3, 4].

Застосування ШІМ призводить до формування імпульсів управління комутацією вентилів САФ з постійною частотою, що надає можливість ефективної фільтрації відповідних гармонік струму пасивним фільтром [4].

Актуальність роботи

В роботі [3] пропонують певну послідовність синтезу регулятора струму САФ. Припустивши, що вихідна напруга фільтра U_0 є постійною і рівною її середньому значенню (U_{0av}), протягом дії сигналу несучої частоти, то U_0 виражають у вигляді функції опорної напруги в області Лапласа:

$$U_0(s) = U_{0av}(s) = \frac{U_c}{2U_{tmax}} \cdot U_m(s), \quad (1)$$

де $K_{Fi} = \frac{2L \cdot U_{i \max}}{U_c}$ коефіцієнт; L – індуктивність

дроселя в колі змінного струму.

У блок-схемі струмового контуру (рис. 1) передбачається, що динамічна поведінка датчика струму відбивається передавальною функцією:

$$G_{Ti}(s) = \frac{K_{Ti}}{1 + T_{Ti} \cdot s}, \quad (2)$$

де K_{Ti} – коефіцієнт передачі датчика струму; T_{Ti} – постійна часу датчика струму.

Використовують класичну пропорційно-інтегральну структуру регулятора струму:

$$G_{Ci}(s) = \frac{1 + \theta_i \cdot s}{\theta_i \cdot s}, \quad (3)$$

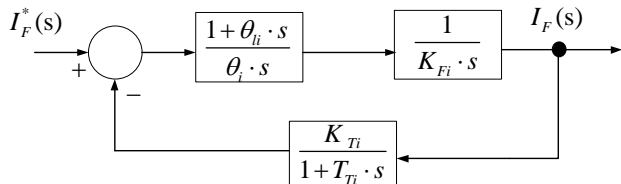


Рис. 1. Блок-схема струмового контуру

Використовуючи класичний підхід до синтезу регуляторів при налаштуванні розімкненого контуру для передавальної функції:

$$G_{di}(s) = G_{Ci}(s) \cdot G_{Fi}(s) \cdot G_{Ti}(s) = \frac{1 + \theta_i \cdot s}{T^2 \cdot s^2 \cdot (1 + T_{Ti} \cdot s)}, \quad (4)$$

де $T^2 = \frac{\theta_i \cdot K_{Fi}}{K_{Ti}}$.

Отримують параметри регулятора струму:

$$\theta_{ii} = 4T_i; \theta_i = 8K_{Ti} \cdot T_{Ti}^2 / K_{Fi}, \quad (5)$$

Таким чином, передавальну функцію регулятора струму визначають у вигляді:

$$G_{Ci}(s) = \frac{K_{Fi}}{2K_{Ti} \cdot T_{Ti}} \left(1 + \frac{1}{4T_{Ti} \cdot s} \right), \quad (6)$$

Таким чином параметри регулятора залежать від струму САФ та напруги на конденсаторі, що викликає розлад регулятора при зміні режиму навантаження або форми струму та ставить задачу корегування коефіцієнтів регулятора при зміні режиму навантаження з використанням елементів теорії нечіткої логіки [5].

Мета роботи

Розробка системи регулювання трифазного паралельного силового активного фільтра з нечітким регулятором в контурі струму та дослідження її моделі.

Матеріал і результати досліджень

Нечітке регулювання використовується при недостатньому знанні об'єкта управління, але наявності досвіду управління ним в нелінійних системах, ідентифікація яких занадто трудомістка [5].

В 1974 р. Мамдані [6] показана можливість застосування ідей нечіткої логіки для побудови системи управління динамічним об'єктом. З тих пір область застосування нечітких регуляторів постійно розширюється, збільшується різноманітність їх структур і виконуваних функцій.

Нечітка логіка в регуляторах використовується переважно двома шляхами: побудова регулятора і організація підстроювання коефіцієнтів існуючого регулятора. Обидва шляхи можуть використовуватися одночасно [5].

Одна з найбільш поширених структур нечіткого регулятора показана на рис. 2.

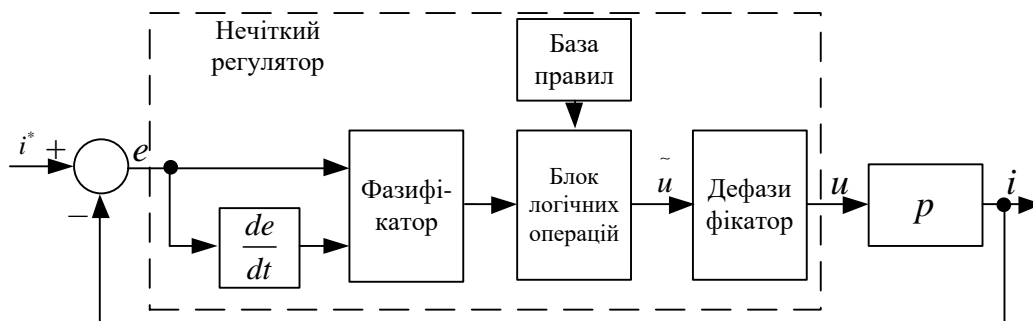


Рис. 2. Приклад структури нечіткого регулятора

В загальному випадку на вхід регулятора надходить помилка e і обчислюється її похідна по часу de/dt . Далі обидві величини спочатку

піддаються операції фазифікації (перетворення в нечіткі змінні), отримані нечіткі змінні використовуються в блоці логічних операцій для отри-

мання керуючого впливу на об'єкт \tilde{u} , яке після виконання операції дефазифікації (зворотного перетворення нечітких змінних) надходить на вихід регулятора у вигляді керуючого впливу u .

Для виконання функції регулювання над нечіткими змінними повинні бути виконані операції сформульовані у вигляді нечітких правил [6].

Алгоритм управління САФ. В запропонованому рішенні визначення заданого струму САФ за теорією повної потужності Фризе, згідно з якою розкладають струм, як дві ортогональні складові в часовій області.

С. Фризе запропонував розкласти струм i на активну i_A і пасивну i_{II} складові [2]:

$$i_{ld} = i_A + i_{II}, \quad (7)$$

Активний струм за Фризе:

$$i_A = \frac{P}{U^2} \cdot u, \quad (8)$$

Активна потужність та діюче значення середньоквадратичної напруги за інтервал розгляду T :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot idt; \quad U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt. \quad (9)$$

Пасивну складову струму виділяють зі струму навантаження:

$$i_{II} = i_{ld} - i_A, \quad (10)$$

Оскільки пасивні складові не споживають енергії, то відповідно до теорії Фризе, їх необхідно компенсувати [2].

Теорія Фризе використовується для виділення та компенсації неактивних складових навантаження, але оскільки теорія не призначена для поліфазних кіл, не враховує несиметрію струмів та напруг, то запропонований скорегований порядок визначення заданого струму САФ [11]. Цей порядок дозволяє реалізувати керування трифазним САФ в трифазній мережі змінного струму при несиметрії струмів навантаження, несиметрії напруги мережі живлення та при несинусоїдальності напруги мережі живлення [11].

Контролюють фазні напруги мережі u_{abc} і фазні струми навантаження $i_{ld,abc}$, контролюють фазні поточні струми САФ $i_{c,abc}$.

Для отримання основної гармоніки напруги мережі та струму навантаження використовують розкладання в ряд Фур'є. Визначають косинусну і синусну складові основної гармоніки напруги мережі для трьох фаз:

$$U_{a1\cos} = \frac{2}{T} \int_0^T u_a \cdot \cos \omega t \cdot dt, \quad (11)$$

$$U_{a1\sin} = \frac{2}{T} \int_0^T u_a \cdot \sin \omega t \cdot dt, \quad (12)$$

аналогічно для фаз b і c . Надалі будемо розуміти що розрахунки для фази a мережі супроводжуються аналогічними розрахунками для фаз b і c .

Визначають косинусні і синусні складові основної гармоніки струму навантаження трьох фаз:

$$I_{a1\cos} = \frac{2}{T} \int_0^T i_{ld,a} \cdot \cos \omega t \cdot dt, \quad (13)$$

$$I_{a1\sin} = \frac{2}{T} \int_0^T i_{ld,a} \cdot \sin \omega t \cdot dt, \quad (14)$$

аналогічно для фаз b і c .

Складові основної гармоніки напруги мережі для визначають в комплексній формі:

$$\dot{U}_{1a} = U_{a1} \cdot e^{j\varphi_{a1}} = \sqrt{U_{a1\cos}^2 + U_{a1\sin}^2} \cdot e^{j \arctg \frac{U_{a1\sin}}{U_{a1\cos}}}, \quad (15)$$

Визначають складові основної гармоніки струму навантаження:

$$\dot{I}_{1a} = I_{a1} \cdot e^{j\varphi_{a1}} = \sqrt{I_{a1\cos}^2 + I_{a1\sin}^2} \cdot e^{j \arctg \frac{I_{a1\sin}}{I_{a1\cos}}}, \quad (16)$$

На підставі складових основної гармоніки напруг та струмів фаз визначають складові прямої послідовності напруги:

$$\dot{U}_{1a}^+ = \frac{1}{3} (\dot{U}_{1a} + a \cdot \dot{U}_{1b} + a^2 \cdot \dot{U}_{1c}) = U_{1a}^+ \cdot e^{j\varphi_{1a}^+}, \quad (17)$$

$$\dot{U}_{1b}^+ = \frac{1}{3} (a^2 \cdot \dot{U}_{1a} + \dot{U}_{1b} + a \cdot \dot{U}_{1c}) = U_{1b}^+ \cdot e^{j\varphi_{1b}^+}, \quad (18)$$

$$\dot{U}_{1c}^+ = \frac{1}{3} (a \cdot \dot{U}_{1a} + a^2 \cdot \dot{U}_{1b} + \dot{U}_{1c}) = U_{1c}^+ \cdot e^{j\varphi_{1c}^+}, \quad (19)$$

де a – оператор фази, та струму:

$$\dot{I}_{1a}^+ = \frac{1}{3} (\dot{I}_{1a} + a \cdot \dot{I}_{1b} + a^2 \cdot \dot{I}_{1c}) = I_{1a}^+ \cdot e^{j\varphi_{1a}^+}, \quad (20)$$

$$\dot{I}_{1b}^+ = \frac{1}{3} (a^2 \cdot \dot{I}_{1a} + \dot{I}_{1b} + a \cdot \dot{I}_{1c}) = I_{1b}^+ \cdot e^{j\varphi_{1b}^+}, \quad (21)$$

$$\dot{I}_{1c}^+ = \frac{1}{3} (a \cdot \dot{I}_{1a} + a^2 \cdot \dot{I}_{1b} + \dot{I}_{1c}) = I_{1c}^+ \cdot e^{j\varphi_{1c}^+}, \quad (22)$$

Виділяють з миттєвої напруги мережі u складову основної гармоніки u :

$$u_{a1}^+ = U_{a1}^+ \cdot \sin(\omega t + \varphi_{1a}^+), \quad (23)$$

Знаходять активну потужність прямої послідовності за основною гармонікою:

$$P_{a1}^+ = U_{a1}^+ \cdot I_{a1}^+ \cdot \cos(\varphi_{a1}^+ - \psi_{a1}^+), \quad (24)$$

Діюче значення напруги основної гармоніки прямої послідовності визначають по кожній фазі:

$$U_{RMSa}^+ = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u_{a1}^+)^2 dt}, \quad (25)$$

Визначають активний струм за Фризе фази a :

$$i_{AF.a} = \frac{P_{a1}^+ \cdot u_{a1}^+}{(U_{RMS}^+)^2}, \quad (26)$$

аналогічно визначають струм для фаз b і c .

Виділяють зі струму навантаження пасивну складову, що відповідає заданому струму силового активного фільтра:

$$i_{p.a} = i_{c.a}^* = i_{ld.a} - i_{AF.a}, \quad (27)$$

аналогічно виділяють струм для фаз b і c .

Знаходять похибку струму, різницю між заданим $i_{c_abc}^*$ і поточним i_{c_abc} струмом трифазного силового активного фільтра:

$$\Delta i_a = i_{c_a}^* - i_{c_a}, \quad (28)$$

Зважаючи на те, що нечіткий контролер реалізується в дискретному вигляді, то похідну за часом обчислюють з використанням Z-перетворення:

$$\Delta i_a' = \frac{K_d(z-1)}{T_s z} \Delta i_a, \quad (29)$$

де K_d – коефіцієнт підсилення диференційної складової, який визначається за відомими методиками; T_s – постійна часу, 10^{-5} с; z – оператор дискретного перетворення Лапласа.

Виконують фазифікацію:

$$\Delta i_{a.1} = G_{ce} \Delta i_a, \quad (30)$$

$$\Delta i_{a.2} = G_e \Delta i_a, \quad (31)$$

$$\Delta i_{a.3} = G_{ce} \Delta i_a'. \quad (32)$$

Коефіцієнти G_e та G_{ce} визначаються виходячи з коефіцієнту підсилення пропорційної складової K_p та коефіцієнту підсилення і складової K_i , які визначаються за відомими методиками:

$$G_e = 1,$$

$$G_{ce} = \frac{G_e \cdot (K_p - \sqrt{K_p^2 - 4 \cdot K_i \cdot K_d})}{2 \cdot K_i}. \quad (33)$$

Визначається вихідний параметру f_a за правилами [7]:

– Якщо $\Delta i_{a.2}$ є негативним і $\Delta i_{a.3}$ є негативним, то $f_a = -1$;

– Якщо $\Delta i_{a.2}$ є негативним і $\Delta i_{a.3}$ дорівнює нулю, то $f_a = -0,5$;

– Якщо $\Delta i_{a.2}$ є негативним і $\Delta i_{a.3}$ позитивна, то $f_a = 0$;

– Якщо $\Delta i_{a.2}$ дорівнює нулю, і $\Delta i_{a.3}$ є негативним, то $f_a = -1$;

– Якщо $\Delta i_{a.2}$ дорівнює нулю, і $\Delta i_{a.3}$ дорівнює нулю, то $f_a = 0$;

– Якщо $\Delta i_{a.2}$ дорівнює нулю, і $\Delta i_{a.3}$ позитивна, то $f_a = 0,5$;

– Якщо $\Delta i_{a.2}$ позитивна і $\Delta i_{a.3}$ негативна, то $f_a = 0$;

– Якщо $\Delta i_{a.2}$ позитивна і $\Delta i_{a.3}$ дорівнює нулю, то $f_a = 0,5$;

– Якщо $\Delta i_{a.2}$ позитивна і $\Delta i_{a.3}$ позитивна, то $f_a = 1$.

Виконують дефазифікацію [7]:

$$uf_a = G_{cu} \Delta i_{a.1} + f_a \left(G_{cu} \frac{K_i T_s z}{(z-1)} + G_u \right). \quad (34)$$

$$\text{де } G_{cu} = \frac{K_i}{G_e}; \quad G_u = \frac{K_d}{G_{ce}}.$$

За методом ШІМ з використанням пілкоподібної напруги u_{ref} , формуються імпульси [4]:

$$U_{VT1-2} = \begin{cases} U_{VT1} = 1; U_{VT2} = 0, & \text{якщо } uf_a \geq u_{ref}; \\ U_{VT1} = 0; U_{VT2} = 1, & \text{якщо } uf_a < u_{ref}. \end{cases}, \quad (35)$$

Аналогічно формуються напруги для транзисторів фаз b і c .

В пакеті *MATLAB/Simulink* була розроблена модель пристрою регулювання трифазного паралельного САФ [12] з нечітким регулятором. В моделі нелінійне навантаження представлено у вигляді тиристорного перетворювача з активно-індуктивним навантаженням $R_{TC} = 2 \text{ Ом}$, $L_{TC} = 0,0116 \text{ Гн}$ підключеного до мережі через реактор $L_{RC} = 0,0015 \text{ Гн}$. Також до мережі підключене: 1) однофазне навантаження індуктивного характеру потужністю $Q = 6 \text{ кВАр}$ підключене до фази c ; 2) двофазне навантаження активного характеру потужністю $P = 6 \text{ кВт}$ підключене до фаз a - c ; 3) трифазне активно-індуктивне навантаження потужністю $P = 33 \text{ кВт}$, $Q = 66 \text{ кВАр}$.

Параметри мережі розраховані згідно [8]: трифазне джерело живлення з номінальною міжфазною напругою 380 В , частотою 50 Гц та акти-

вно-індуктивним опором $R_S = 0,1 \text{ Ом}$, $L_S = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$. Для створення несиметрії напруги вводиться джерело напруги в фазу «b» з амплітудою 35 В , частотою 50 Гц , фазовим зсувом 120° . Для спотворення напруги вводиться в фазу abc джерело напруги з амплітудою 10 В , частотою 150 Гц , фазовим зсувом 0° .

Трифазний САФ представлений: транзисторним перетворювачем, який підключений до мережі через реактор, ланкою постійного струму підключені два послідовно з'єднані конденсатори з ємністю $C_1 = C_2 = 40 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$. Параметри САФ розраховані за методикою [9]. Система визначення заданого струму САФ представлена алго-

ритмом, що враховує несиметрію струму і напруги базуючись при цьому на теорії потужності Фризе [11]. Метод формування імпульсів управління використовує ШІМ [4]. Параметри регулятора розраховані за методикою [3].

В процесі дослідження отримані осцилограми струму мережі i_S , навантаження i_{ld} і поточного струму САФ i_{APF} (рис. 3) при роботі САФ з звичайним регулятором та на основі теорії нечіткої логіки. Також отриманий спектральний склад струму мережі при роботі САФ з фіксованими параметрами регулятора та з використанням нечіткого регулятора (рис. 4).

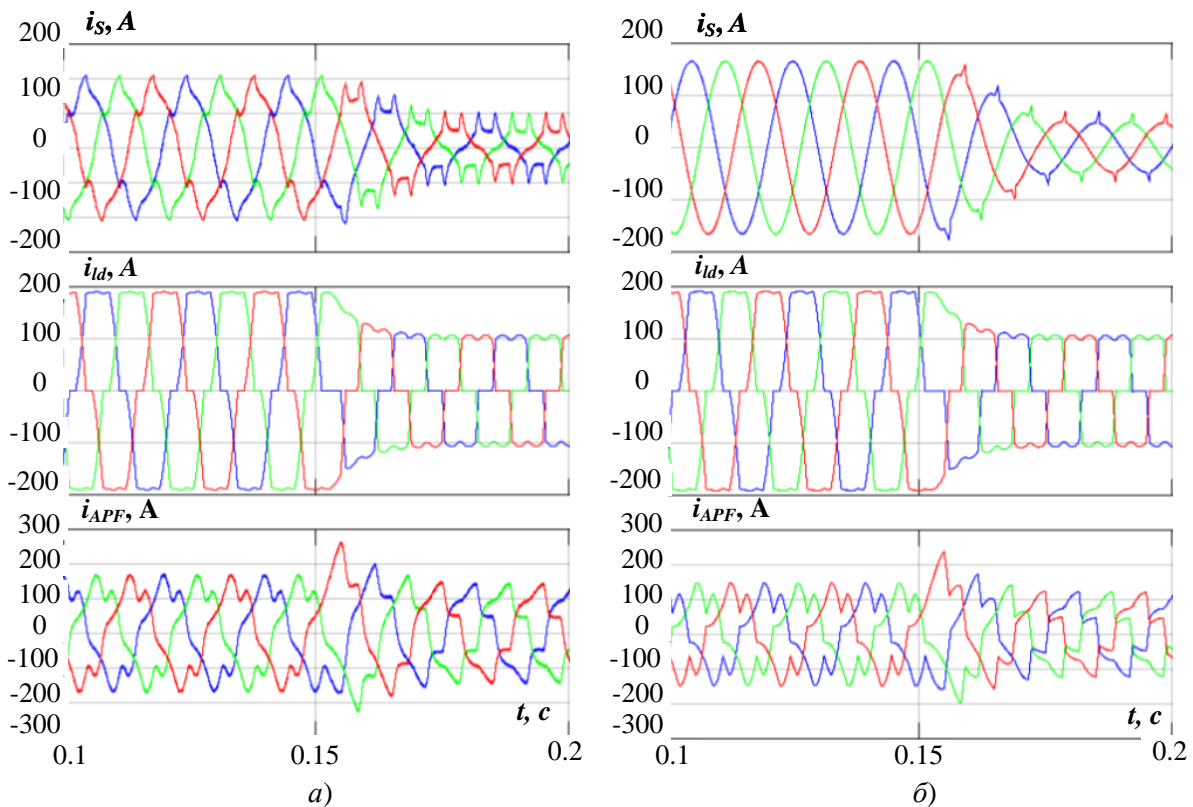


Рис. 3 Результати досліджень роботи пристрою: а) з фіксованими параметрами регулятора; б) з використанням нечіткого регулятора

Порівнюючи осцилограми струмів мережі i_S (рис. 3) видно, що при застосуванні регулятора з фіксованими параметрами (рис. 3, а) сигнал струму спотворений, тоді як при використанні нечіткого регулятора (рис. 3, б) сигнал струму має синусоїдальну форму сигналу з незначними пульсаціями.

Оцінюючи гармонійний склад струму фази мережі при роботі трифазного силового активного фільтра (рис. 4) можна побачити,

що коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму мережі суттєво знизився при використанні нечіткого регулятора. Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму мережі з фіксованим регулятором складає $THD = 34,63 \%$ (рис. 4, а), тоді як з використанням нечіткого регулятора $THD = 8,41 \%$ (рис. 4, б).

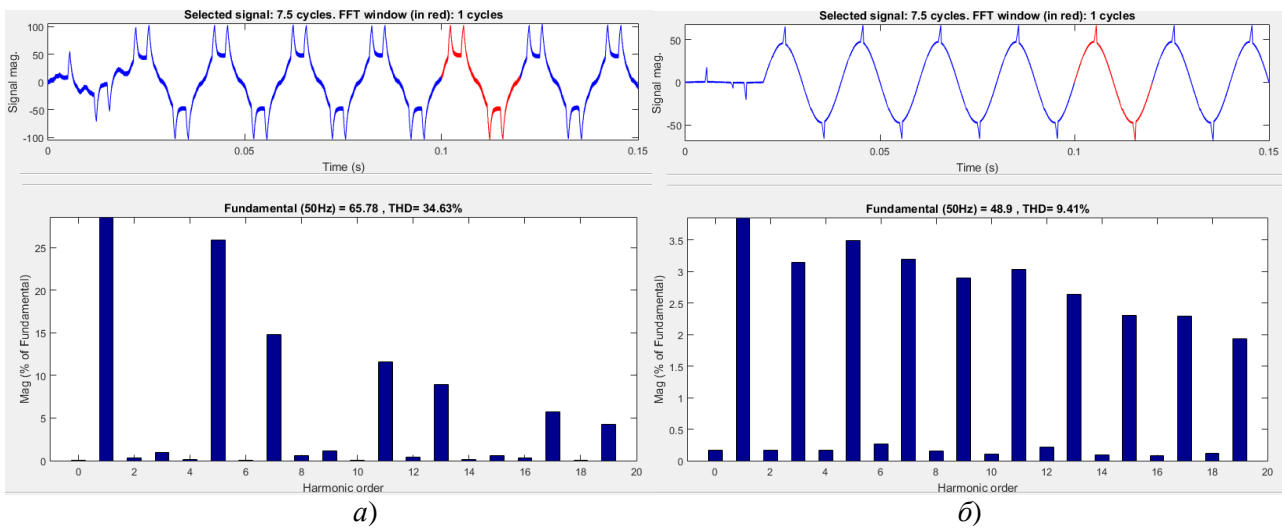


Рис. 4 Гармонійний склад струму фази мережі при застосуванні силового активного фільтра: а) з фіксованими параметрами регулятора; б) з перерахунком параметрів використовуючи нечіткий регулятор

Висновки

Використання регуляторів струму САФ для підвищення його швидкодії, і відповідно якості роботи, потребує вирішення додаткового завдання з корекції параметрів регулятора за умов зміни струму навантаження та його форми (рис. 3, а). Застосовуючи нечіткий регулятор в порівнянні з регулятором з фіксованими параметрами підвищується якість роботи САФ в перехідних процесах (рис. 3, б), зменшується генерація вищих гармонік струму до мережі (рис. 4). Нечіткий регулятор не потребує перерахунку коефіцієнтів в порівнянні зі звичайним регулятором. Використання нечіткого регулятора за алгоритмом Мамдані в структурі системи регулювання струму САФ дозволяє знизити коефіцієнт THD на 25,22 % (рис. 4).

Зазначено, що ефективність застосування теорії потужності Фризе може бути суттєво підвищення з використанням у відомому алгоритмі потужностей та напруг прямої послідовності.

Список використаної літератури

1. Жежеленко, И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. [Текст] / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
2. Власенко, Р. В. Порівняння методів компенсації неактивної потужності трифазним силовим активним фільтром з адаптивним релейним регулятором струму [Текст] / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – № 2 – С. 20–27.

3. Popescu, M., Bitoleanu, A., Dobriceanu, M., and Suru, V. Optimum control strategy of three-phase shunt active filter system [Text] / M. Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, V. Suru // *World Academy of Science, Engineering and Technology* – 2009. – no.58. – pp. 441–446.

4. Dixon, J. W., Tepper, S. M., and Moran, L. T. Analysis and evaluation of different modulation techniques for active power filters [Text] / J. W. Dixon, S. M. Tepper, L. T. Moran // *Applied power electronics conference and exposition, "APEC 94"* – 1994. – pp. 894–900.

5. Рутковская, Д, Пилиньский, М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. [Текст] – Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2006. – 383 с.

6. Mamdani, E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant [Text] / E. H. Mamdani // *Proceedings of the institution of electrical engineers* – 1974. – vol. 121. – no. 12. – pp. 1585–1588.

7. Xu, J. X., Hang, C. C., and Liu, C. Parallel structure and tuning of a fuzzy PID controller [Text] / J. X. Xu, C. C. Hang, C. Liu // *Automatica* – vol. 36. – pp. 673–684.

8. Сегеда, М. С. Електричні мережі та системи. [Текст] – Льв.: НУ «Львівська політехніка», 2007. – 488 с.

9. Zakis, J., and Rankis, I. Comparison of flexible systems of reactive power compensation [Text] / J. Zakis, I. Rankis // *5th International symposium „Topical problems in the field of electrical and power engineering”* – 2008. – pp. 99–102.

10. Бялобржеський, О. В. Зв'язок електроенергетичних параметрів режиму однофазного активного фільтру з параметрами його накопичу-

вачів [Текст] / О. В. Бялобржеський, Р. В. Власенко // Науковий вісник НГУ. – Дніпро: НГУ, 2015. – № 4. – С. 79–84.

11. Власенко, Р. В. Корекція алгоритму визначення заданого струму силового активного фільтра на основі теорії Фрізе в умовах несиметрії [Текст] / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – № 2 – С. 20–27.

References

1. Zhezhelenko, I. V. and Saenko, Yu. L. (2000), Quality parameters of power and control of industrial plants [Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh kontrol' na promyshlen'ykh predpriyatiyakh], Energoatomizdat, Moscow, Russia.

2. Vlasenko, R., and Bialobrzzeski, O. (2014), Comparison methods compensation of inactive power three-phase active power filter with adaptive relay current controller [Porivnyannya metodiv kompensatsiyi neaktyvnoyi potuzhnosti tryfaznym sylovym aktyvnym fil'trom z adaptivnym releynym regulyatorom strumu], Electrical engineering and power engineering, no.2, pp. 20–27.

3. 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*, no.58, pp. 441–446.

4. Dixon, J. W., Tepper, S. M., and Moran, L. T. (1994), Analysis and evaluation of different modulation techniques for active power filters, *Applied power electronics conference and exposition, "APEC 94"*, pp. 894–900.

5. Rutkovskaya, D., Pilin'skiy, M. and Rutkovskiy, L. (2006), Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems [Neyron'ye seti, geneticheskie

algoritmy i nechetkie sistemy], Translated by Rudinskiy, N., Goryachaya Liniya-Telekom, Moscow, Russia.

6. Mamdani, E. H. (1974), Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, *Proceedings of the institution of electrical engineers*, vol.121, no.12, p. 1585–1588.

7. Xu J. X., Hang, C. C., and Liu, C. (2000), Parallel structure and tuning of a fuzzy PID controller, *Automatica*, vol.36, pp. 673–684.

8. Segeda, M. S. (2007), Electrical networks and systems [Elektrychni merezhi ta systemy] NU Lvivs'ka politekhnik, Lviv, Ukraine.

9. Zakis, J., and Rankis, I. (2008), Comparison of flexible systems of reactive power compensation, *5th International symposium „Topical problems in the field of electrical and power engineering”*, Doctoral school of energy and geotechnology Kuressaare, Estonia. – pp. 99–102.

10. Bialobrzzeski, O. and Vlasenko, R. (2015), Interrelation of electric-power parameters the mode a single-phase active filter with parameters of attaching stores [Zv'yazok elektroenergetychnykh parametrov rezhyму odnofaznogo aktyvnogo fil'tru z parametramy yogo nakopychuvachiv], *Scientific Bulletin of National Mining University*, vol.148, no.4, pp. 79–84.

11. Vlasenko, R., and Bialobrzzeski, O. (2016), Correction algorithm for determining the given current active power filter based on the Fryze power theory in terms of asymmetry [Korektsiya algoritmu vyznachennya zadanogo strumu sylovogo aktyvnogo fil'tra na osnovi teoriiy Frize v umovah nesymetriyi], *Electrical engineering and power engineering*, no.2, pp. 20–27.

FUZZY-PID CONTROLLER IN THE METHOD PULSE WIDTH MODULATION CONVERTER ACTIVE POWER FILTER

R. V. Vlasenko, S. S. Bondarenko

Kremenchuk Myhailo Ostrohradskiy National University

Abstract. *The emergence and widespread application of semiconductor devices for controlling electrical installations and devices, electric motors and various technological processes exacerbated the problem of ensuring the quality of electric power of the power supply network. This led to the generation and oscillation of reactive power, the appearance of a variable composition of higher harmonics of current. Devices for compensating reactive load power and filters higher harmonics of current are not able to satisfy modern requirements of nonlinear loads, which are guided by semiconductor devices. These requirements are capable of executing devices – active power filters. Active power filter used for compensation reactive power and filtering higher harmonic current at the non-linear loads. Methods of the active power filter control are*

based on the current understanding of the power components. Various theories determine the inactive components of the power can be implemented to determine the target current of the active power filter, among which theory applies full power S . Fryze. At the same time, a heavy part of the quality of the device is generally the current control process. Based on the analysis of well-known works found that parameters of a closed current loop control active power filter are determined by the load mode, which varies. Thus, there is a need to adjust the controller parameters. During preliminary experiments established that fuzzy logic may be used to control the correction coefficients. A fuzzy controller with the corresponding order conversion ratios regulator. The package of visual programming developed a model of the proposed system. The effectiveness of the proposed solutions was confirmed by comparing the waveform power system components for two variants: with fixed control parameters and the fuzzy controller. Also, a spectral diagram of a network current for one phase was obtained during the operation of a active power filter. As a result of the findings by the rationality of the proposed solutions.

Keywords: active power filter, power theory Fryze, direct sequence, fuzzy control, pulse width modulation.

СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТРЕХФАЗНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО С НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ В КОНТУРЕ ТОКА

Р. В. Власенко, С. С. Бондаренко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

Аннотация. Весомой частью качества работы устройства является процесс регулирования тока. При анализе установлено, что параметры регулятора обусловлены режимом нагрузки. Возникает необходимость корректировки параметров регулятора. Коррекцию коэффициентов регулятора возможна использованием нечеткой логики. Предложено нечеткий регулятор с пересчетом коэффициентов. Разработана модель предлагаемой системы. Применение предлагаемого решения подтверждается временными диаграммами тока.

Ключевые слова: силовой активный фильтр, теория мощности Фризе, прямая последовательность, нечеткий регулятор, широтно-импульсная модуляция.

Получено 19.03.2018



Власенко Руслан Володимирович, асистент, асистент кафедри систем електроживання та енергетичного менеджменту Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська обл., Україна, E-mail: ruslan.vlasenko@i.ua, тел. +38-097-190-28-15

Ruslan Vlasenko, assistant, Department of electricity consumption systems and power management, Kremenchuk Myhailo Ostrohradskyi National University, Pershotravneva street, 20, Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, E-mail: ruslan.vlasenko@i.ua, тел. +38-097-190-28-15

ORCID ID: 0000-0002-1666-2776



Бондаренко Сергій Сергійович, аспірант, аспірант кафедри систем електроживання та енергетичного менеджменту Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська обл., Україна, E-mail: sergj1994@gmail.com, тел. +38-095-098-33-19

Serhii Bondarenko, postgraduate, Department of electricity consumption systems and power management, Kremenchuk Myhailo Ostrohradskyi National University, Pershotravneva street, 20, Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, E-mail: sergj1994@gmail.com, тел. +38-095-098-33-19

ORCID ID: 0000-0002-6224-2123