



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 113685

(13) U

(51) МПК

H02M 7/68 (2006.01)

H02J 3/01 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 08106	(72) Винахідник(и): Власенко Руслан Володимирович (UA), Бялобржеський Олексій Володимирович (UA), Бондаренко Сергій Сергійович (UA), Кобеляцький Максим Дмитрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 22.07.2016	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.02.2017	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.02.2017, Бюл.№ 3	(73) Власник(и): КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600 (UA)

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ СТРУМУ ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФІЛЬТРА ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАВАНТАЖЕННЯ ТА НАПРУГИ МЕРЕЖІ

(57) Реферат:

Спосіб формування струму трифазного силового активного фільтра при несиметрії навантаження та напруги мережі, при якому формують імпульси управління за методом широтно-імпульсної модуляції, формують струм компенсатора, вимірюють фазну напругу мережі, фазні струми навантаження і фазні поточні струми силового активного фільтра, виділяють похибку струму. Визначають косинусні та синусні складові напруги та струму навантаження за першою гармонікою для кожної фази, визначають комплекс напруги та струму навантаження основної гармоніки по кожній фазі. Визначають напругу та струм прямої послідовності основної гармоніки для кожної з фаз, формують миттєву напругу прямої послідовності по основній гармоніці для кожної з фаз, визначають активну потужність прямої послідовності за основною гармонікою для трьох фаз, визначають діюче значення напруги основної гармоніки прямої послідовності по кожній фазі, визначають квадрат середнього діючих значень основної гармоніки напруги прямої послідовності, визначають активний струм за Фрізе на підставі параметрів прямої послідовності, виділяють зі струму навантаження пасивну складову, порівнюють сигнали заданого та фактичного струму компенсатора, формують імпульси управління за методом широтно-імпульсної модуляції, формують струм компенсатора.

UA 113685 U

Корисна модель належить до області електротехніки, а саме до силових активних фільтрів, у яких як силові схеми використовують трифазний IGBT перетворювач із широтно-імпульсною модуляцією, що дозволяє виконувати компенсацію реактивної потужності, зниження вищих гармонік струму та симетрування струмів навантаження.

Відоме технічне рішення [Патент UA 95418 C2. Паралельний активний фільтр з підвищеною швидкістю / В.В. Бурлака, С.В. Гулаков. Дата публікації 22.06.2005, МПК (7) H02J 3/01], паралельний активний фільтр, що містить два інвертори із ланками постійного струму, інтерфейсний фільтр і схему керування, який відрізняється тим, що інтерфейсний фільтр в кожній фазі являє собою Т-подібну схему з двох дроселів, з'єднаних послідовно, і конденсатора, причому вихід першого інвертора з'єднаний з вільним виводом першого дроселя, вихід другого інвертора з'єднаний через конденсатор із точкою з'єднання дроселів, вільний вивід другого дроселя з'єднаний із мережею живлення, а ланки постійного струму інверторів розділені.

Недоліки даного технічного рішення: по наявності двох мостових схем інверторів до мережі генеруються високочастотні складові, що призводить до додаткових пульсацій струму із-за різних частот перемикання інверторів.

Спільними ознакою є: формування струму компенсатора, шляхом імпульсного керування транзисторами перетворювача.

Відоме технічне рішення [Патент RU 2498475 C2. Способ управления устройством компенсации реактивной мощности в питающей сети / С.С. Харитонов, Д.В. Коробков, В.В. Машинский, С.Н. Завертай, Н.И. Бородин, А.И. Христолюбова, Д.Н. Бородин. Дата публікації 20.06.2013, МПК (51) H02J 3/18], спосіб керування пристроєм компенсації реактивної потужності в живильній мережі, що містить нелінійне навантаження і підключений паралельно до нелінійного навантаження статичний компенсатор на повністю керованих ключах, вимірюють параметри гармонійних складових струму нелінійного навантаження - величину і фазу і формують в струмі статичного компенсатора гармонійні складові пропорційно і протифазні виміряним гармонічними складовими струму нелінійного навантаження, який відрізняється тим, що вимірюють миттєві значення трифазного струму мережі, виділяють вибрані гармонійні складові цього струму, виробляють пофазне додавання даних гармонічних складових, що формують струми корекції для кожної фази мережевого струму, що містять виділені гармонійні складові і мають фазовий зсув 180 електричних градусів, і, видаючи в кожен фазу відповідні струми, домагаються компенсації гармонічних складових мережевого струму.

Недоліки даного технічного рішення: струми корекції формують не виділяючи з миттєвої потужності складову прямої послідовності, таким чином симетрування відбувається не коректно.

Спільними ознакою є: вимірювання миттєвих значень трифазного струму навантаження статичного компенсатора, формування струмів корекції для кожної фази струму мережі, що містять виділені гармонічні складові для компенсації вищих гармонік струму.

Відоме технічне рішення [Патент RU 2354025 Cl. Способ компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети / Б.Н. Абрамович, В.В. Полищук, Ю.А. Сычев. Дата публікації 27.04.2009, МПК (51) H02J 3/18], спосіб полягає у формуванні імпульсів керування силовими ключами інвертора з використанням фазової синхронізації напруги та струму мережі, при цьому до фазової синхронізації напруги і струму сигнали від датчиків напруги обробляються фазовим перетворювачем, а після фазової синхронізації вихідні сигнали блока фазової синхронізації множаться на сигнал завдання по струму регулятора напруги накопичувального конденсатора, обробляються фазовим перетворювачем, потім порівнюються з вимірювальними сигналами струму нелінійного навантаження, заданого і фактичного струму інвертора, отриманий у результаті цього сигнал неузгодженості подається на входи релейних регуляторів.

Недоліки даного технічного рішення: струми корекції формують не виділяючи з миттєвої потужності складову прямої послідовності.

Спільними ознаками є: вимірювання сигналів напруги мережі, струму нелінійного навантаження, фактичного струму інвертора; формування на основі струму навантаження і напруги мережі заданого струму інвертора; знаходження похибки струму між заданим і фактичним струмом інвертора.

Спосіб є найбільш близьким за сукупністю ознак до способу, який заявляється, та приймається за прототип.

В основу корисної моделі поставлена задача розробки способу формування заданого струму при несиметрії струму навантаження та напруги мережі для трифазного силового активного фільтра шляхом розрахунку складових вектора струмів, які відповідають неактивній потужності без урахування потужності прямої послідовності та вищим гармонікам струму, забезпечити симетрування струмів навантаження з урахуванням несинусоїдальності напруги

мережі живлення, що дозволить завантажити фазу мережі з меншим діючим значенням напруги струмом з меншою амплітудою і навпаки.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі формування струму трифазного силового активного фільтра при несиметрії навантаження та напруги мережі вимірюють фазну напругу мережі, фазні струми навантаження і фазні поточні струми силового активного фільтра, визначають косинусні та синусні складові напруги та струму навантаження за першою гармонікою для кожної фази, визначають комплекс напруги та струму навантаження основної гармоніки по кожній фазі; визначають напругу та струм прямої послідовності основної гармоніки для кожної з фаз, формують миттєву напругу прямої послідовності по основній гармоніці для кожної з фаз, визначають активну потужність прямої послідовності за основною гармонікою для трьох фаз, визначають діюче значення напруги основної гармоніки прямої послідовності по кожній фазі, визначають квадрат середнього діючих значень основної гармоніки напруги прямої послідовності, визначають активний струм за Фрізе на підставі параметрів прямої послідовності, виділяють зі струму навантаження пасивну складову, порівнюють сигнали заданого та фактичного струму компенсатора, формують імпульси управління за методом ШІМ, формують струм компенсатора.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

На Фіг. 1 - алгоритм реалізації запропонованого способу.

На Фіг. 2 - продовження алгоритму реалізації запропонованого способу.

На Фіг. 3 - Функціональна схема пристрою, що реалізує запропонований спосіб.

Алгоритм реалізації способу пояснюється на Фіг. 1, Фіг. 2.

Функціональна схема пристрою, що реалізує запропонований спосіб, на Фіг. 3 містить: трифазну електричну мережу живлення 1 до якої послідовно через блок датчиків струму навантаження 7 підключено трифазне несиметричне нелінійне навантаження 2, а паралельно підключений трифазний силовий активний фільтр 13, де силовий активний фільтр 13 являє собою трифазний транзисторний перетворювач 3, який стороною змінного струму через блок датчиків поточного струму силового активного фільтра 8 і трифазного реактора 4 (із клемми "a", "b" й "c") підключений до трифазної електричної мережі живлення 1, а стороною постійного струму (із клемми «+» й «-») до двох послідовно з'єднаних конденсаторів 5 (C1, C2) середній вивід яких заземлено, блок датчиків напруги мережі 6; блок визначення заданого струму силового активного фільтра 9; суматор 10; ПІ-регулятор 11; блок формування імпульсів управління ключами перетворювача силового активного фільтра 12. При цьому трифазний транзисторний перетворювач 3 складається із шести керованих силових IGBT ключів K1-K6. Трифазна електрична мережа живлення 1 показана на Фіг. 2 у вигляді еквівалентної схеми заміщення, що містить у своєму складі джерела e_a , e_b , e_c змінного струму, індуктивності L_a , L_b , L_c та активні опори R_a , R_b , R_c . Трифазне несиметричне нелінійне навантаження 2 показано у вигляді еквівалентної схеми заміщення, що містить у своєму складі індуктивність L_{ldb} , активні опори R_{lda} , R_{ldb} , R_{ldc} та ємність C_{ldb} , які мають нелінійні характеристики.

Блок визначення заданого струму силового активного фільтра 9 має два входи, вхід 1 з'єднаний з виходом блока датчиків напруги мережі 6, вхід 2 з'єднаний з виходом блока датчиків струму навантаження 7. Вихід блока визначення заданого струму силового активного фільтра 9 з'єднаний з входом 1 суматора 10. Вхід 2 суматора з'єднаний з виходом блока датчиків поточного струму силового активного фільтра 8. Вихід суматора 10 з'єднаний з блоком ПІ-регулятора 11, вихід якого з'єднаний з входом блоком системи формування імпульсів управління ключами перетворювача силового активного фільтра 12. Вихід блоку системи формування імпульсів управління ключами перетворювача силового активного фільтра 12 з'єднаний з керуючими входами IGBT- транзисторів K1-K6 трифазного транзисторного перетворювача 3.

Алгоритм визначення заданого струму (Фіг. 1, Фіг. 2) при несиметрії струму навантаження та напруги мережі чи/або при несинусоїдальній напрузі мережі трифазного силового активного фільтра реалізується наступним чином.

Контролюють фазні напруги мережі u_{S_abc} і фазні струми навантаження i_{ld_abc} , що надходять відповідно на вхід суматора 1 і вхід суматора 2 блока визначення заданого струму силового активного фільтра 9. Контролюють фазні поточні струми силового активного фільтра i_{c_abc} , що надходять на вхід 2 суматора 10.

В блоці визначення заданого струму силового активного фільтра 9 обчислюють задані струми силового активного фільтра $i^*_{c_abc}$.

Для отримання основної гармоніки напруги мережі та струму навантаження використовуємо розкладання в ряд Фур'є. Косинусна і синусна складова основної гармоніки напруги мережі для трьох фаз:

$$U_{a1\cos} = \frac{2}{T} \int_0^T u_a \cdot \cos \omega t \cdot dt; (1)$$

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

1 о

Аналогічно для фаз b і c

- 5 Косинусна і синусна складова основної гармоніки для струму навантаження трьох фаз дорівнює:

$$I_{a1\cos} = \frac{2}{T} \int_0^T i_a \cdot \cos \omega t \cdot dt; (3)$$

$$I_{a1\sin} = \frac{2}{T} \int_0^T i_a \cdot \sin \omega t \cdot dt; (4)$$

Аналогічно для фаз b і c.

- 10 Складову основної гармоніки напруги мережі для трьох фаз в комплексній формі:

$$\dot{U}_{1a} = U_{a1} \cdot e^{j\varphi_{a1}} = \sqrt{U_{a1\cos}^2 + U_{a1\sin}^2} \cdot e^{\arctg \frac{U_{a1\sin}}{U_{a1\cos}}}; (5)$$

$$\dot{U}_{1b} = U_{b1} \cdot e^{j\varphi_{b1}} = \sqrt{U_{b1\cos}^2 + U_{b1\sin}^2} \cdot e^{\arctg \frac{U_{b1\sin}}{U_{b1\cos}}}; (6)$$

$$\dot{U}_{1c} = U_{c1} \cdot e^{j\varphi_{c1}} = \sqrt{U_{c1\cos}^2 + U_{c1\sin}^2} \cdot e^{\arctg \frac{U_{c1\sin}}{U_{c1\cos}}}. (7)$$

де $\arctg \frac{U_{a1\sin}}{U_{a1\cos}}$, $\arctg \frac{U_{b1\sin}}{U_{b1\cos}}$, $\arctg \frac{U_{c1\sin}}{U_{c1\cos}}$ - фазовий зсув основної гармоніки напруги мережі для 3-х

- 15 фаз.

Складову основної гармоніки струму навантаження для 3-х фаз отримують за виразами:

$$\dot{I}_{1a} = I_{a1} \cdot e^{j\varphi_{a1}} = \sqrt{I_{a1\cos}^2 + I_{a1\sin}^2} \cdot e^{\arctg \frac{I_{a1\sin}}{I_{a1\cos}}}; (8)$$

$$\dot{I}_{1b} = I_{b1} \cdot e^{j\varphi_{b1}} = \sqrt{I_{b1\cos}^2 + I_{b1\sin}^2} \cdot e^{\arctg \frac{I_{b1\sin}}{I_{b1\cos}}}; (9)$$

$$\dot{I}_{1c} = I_{c1} \cdot e^{j\varphi_{c1}} = \sqrt{I_{c1\cos}^2 + I_{c1\sin}^2} \cdot e^{\arctg \frac{I_{c1\sin}}{I_{c1\cos}}}. (10)$$

- 20 Де $\arctg \frac{I_{a1\sin}}{I_{a1\cos}}$, $\arctg \frac{I_{b1\sin}}{I_{b1\cos}}$, $\arctg \frac{I_{c1\sin}}{I_{c1\cos}}$ - фазовий зсув основної гармоніки напруги мережі для 3-х фаз.

Знаходимо напругу мережі прямої послідовності за основною гармонікою:

$$\dot{U}_{1a}^+ = \frac{1}{3} (\dot{U}_{1a} + a \cdot \dot{U}_{1b} + a^2 \cdot \dot{U}_{1c}); (11)$$

$$\dot{U}_{1b}^+ = \frac{1}{3} (a^2 \cdot \dot{U}_{1a} + \dot{U}_{1b} + a \cdot \dot{U}_{1c}); (12)$$

- 25 $\dot{U}_{1c}^+ = \frac{1}{3} (a \cdot \dot{U}_{1a} + a^2 \cdot \dot{U}_{1b} + \dot{U}_{1c}); (13)$

де a - оператор фази.

Знаходимо струм навантаження прямої послідовності за основною гармонікою:

$$\dot{I}_{1a}^+ = \frac{1}{3} (\dot{I}_{1a} + a \cdot \dot{I}_{1b} + a^2 \cdot \dot{I}_{1c}); (14)$$

$$\dot{I}_{1b}^+ = \frac{1}{3} (\dot{I}_{1b} + a \cdot \dot{I}_{1c} + a^2 \cdot \dot{I}_{1a}); (15)$$

- 30 $\dot{I}_{1c}^+ = \frac{1}{3} (\dot{I}_{1c} + a \cdot \dot{I}_{1a} + a^2 \cdot \dot{I}_{1b}). (16)$

Виділяємо з миттєвої напруги мережі u складову основної гармоніки u_1 для трьох фаз:

$$u_{a1}^+ = U_{a1}^+ \cdot \sin(\omega t + \varphi_{1a}^+); (17)$$

$$u_{b1}^+ = U_{b1}^+ \cdot \sin(\omega t + \varphi_{1b}^+); \quad (18)$$

$$u_{c1}^+ = U_{c1}^+ \cdot \sin(\omega t + \varphi_{1c}^+); \quad (19)$$

Знаходять активну потужність прямої послідовності за основною гармонікою для трьох фаз:

$$P_{a1}^+ = U_{a1}^+ \cdot I_{a1}^+ \cdot \cos(\varphi_{a1}^+ - \psi_{a1}^+); \quad (20)$$

$$5 \quad P_{b1}^+ = U_{b1}^+ \cdot I_{b1}^+ \cdot \cos(\varphi_{a1}^+ - \psi_{a1}^+); \quad (21)$$

$$P_{c1}^+ = U_{c1}^+ \cdot I_{c1}^+ \cdot \cos(\varphi_{a1}^+ - \psi_{a1}^+); \quad (22)$$

де U_1^+ - напруга прямої послідовності за основною гармонікою; I_1^+ - струм прямої послідовності за основною гармонікою; φ_{a1}^+ - зсув по фазі основної гармоніки напруги прямої послідовності; ψ_{a1}^+ - зсув по фазі основної гармоніки струму прямої послідовності;

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

$$U_{RMSa}^+ = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u_{a1}^+)^2 dt}; \quad (23)$$

$$U_{RMSb}^+ = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u_{b1}^+)^2 dt}; \quad (24)$$

$$U_{RMSc}^+ = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u_{c1}^+)^2 dt}. \quad (25)$$

Та квадрат середнього діючих значень основної гармоніки напруги прямої послідовності:

$$15 \quad U_{RMS+}^2 = \left(\frac{U_{RMSa}^+ + U_{RMSb}^+ + U_{RMSc}^+}{3} \right)^2; \quad (26)$$

де $U_{RMSa}^+, U_{RMSb}^+, U_{RMSc}^+$ - діюче значення напруги мережі відповідно для фаз а, b, с. Визначають активний струм за Фрізе для фази а:

$$i_{AF.a} = \frac{P_{a1}^+ \cdot u_{a1}^+}{(U_{RMS}^+)^2}, \quad (27)$$

Аналогічним чином визначають струм для фаз b, с.

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

$$i_p = i_c^* = i_{ld} - i_{AF}. \quad (28)$$

За допомогою суматора 10 знаходять похибку струму, різницю між заданим $i_{c_abc}^*$ і поточним

i_{c_abc} струмом трифазного силового активного фільтра:

$$25 \quad \Delta i_a = i_{c_a}^* - i_{c_a}; \quad (29)$$

$$\Delta i_b = i_{c_b}^* - i_{c_b}; \quad (30)$$

$$\Delta i_c = i_{c_c}^* - i_{c_c}. \quad (31)$$

3 виходу суматора 10 похибка струму Δi_{abc} надходить на вхід блока ПІ-регулятора 11, де формується модулююча напруга і порівнюється з опорною напругою, похибка надходить на блок системи формування імпульсів управління ключами перетворювача силового активного фільтра 12, де формується напруга управління U_{VT1-6} для шести IGBT ключів трифазного транзисторного перетворювача 3 трифазного силового активного фільтра 13. Блок системи формування імпульсів управління ключами перетворювача силового активного фільтра 12 реалізований на основі методу широтно-імпульсної модуляції.

$$35 \quad u^*(t) = K_p \cdot \Delta i(t) + K_i \cdot \int \Delta i(t) dt, \quad (32)$$

де K_p - пропорційна складова; K_i - інтегральна складова.

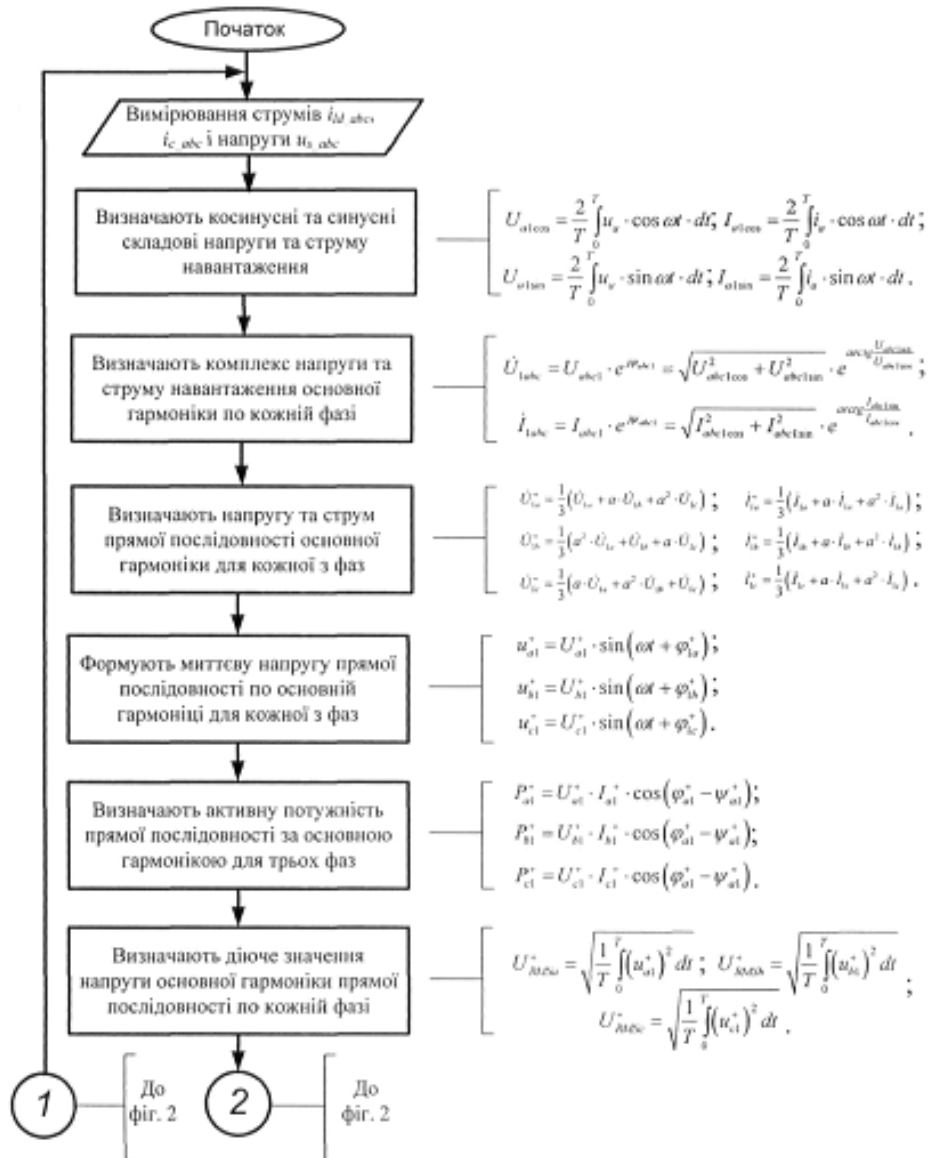
На основі отриманої моделюючої напруги $u_{abc}^*(t)$, яку порівнюємо з опорною напругою $U_{оп}$, формуються імпульси управління за методом широтно-імпульсної модуляції за формулою:

$$U_{VT1-2} = \begin{cases} u_a^* > U_{оп}, U_{VT1} = 1; U_{VT2} = 0 \\ u_a^* < U_{оп}, U_{VT1} = 0; U_{VT2} = 1 \end{cases} \quad (33)$$

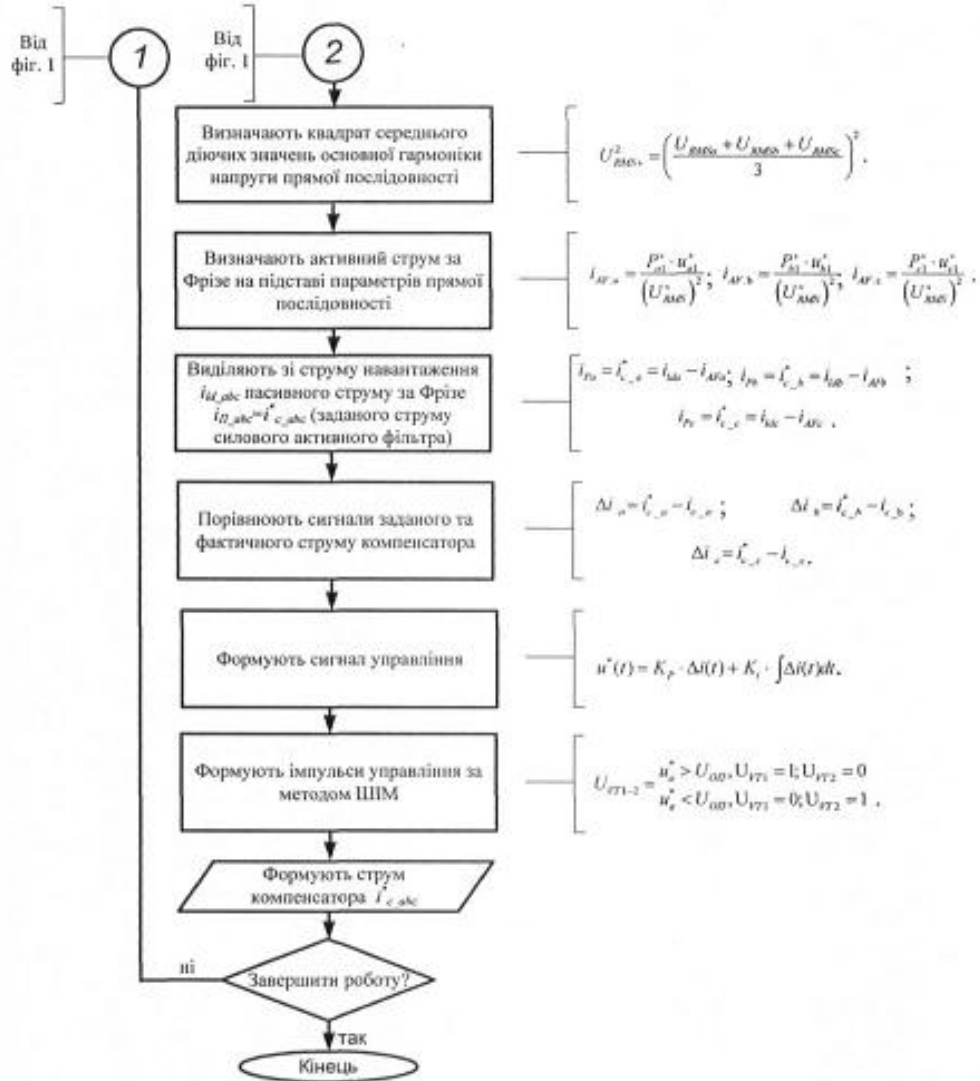
5 Таким чином, запропонований алгоритм визначення заданого струму силового активного фільтра дозволяє реалізувати керування трифазним силовим активним фільтром в трифазній мережі змінного струму при несиметрії струмів навантаження, несиметрії напруги мережі живлення та при несинусоїдальності напруги мережі живлення.

10 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

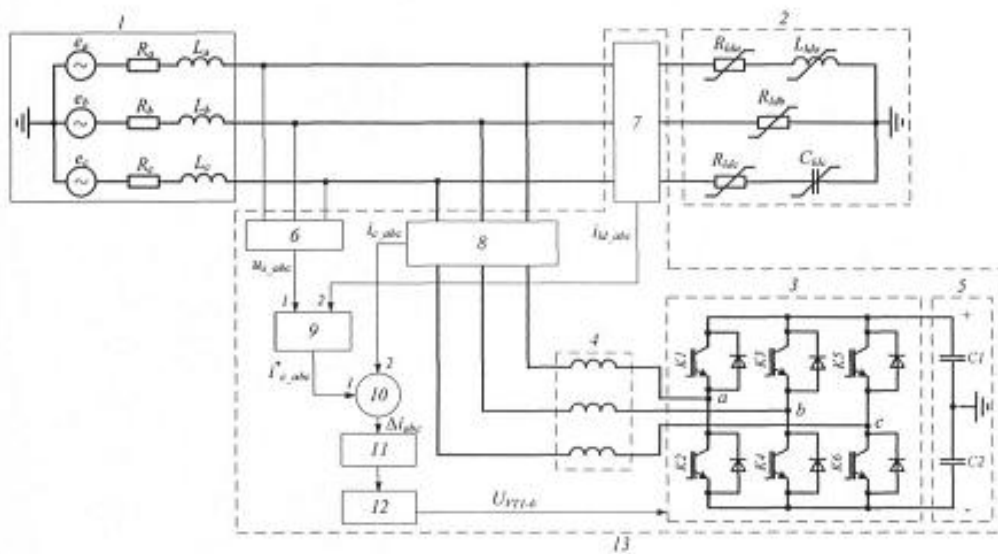
Спосіб формування струму трифазного силового активного фільтра при несиметрії навантаження та напруги мережі, при якому формують імпульси управління за методом широтно-імпульсної модуляції, формують струм компенсатора, вимірюють фазну напругу
15 мережі, фазні струми навантаження і фазні поточні струми силового активного фільтра, виділяють похибку струму, який **відрізняється** тим, що визначають косинусні та синусні складові напруги та струму навантаження за першою гармонікою для кожної фази, визначають комплекс напруги та струму навантаження основної гармоніки по кожній фазі; визначають напругу та струм прямої послідовності основної гармоніки для кожної з фаз, формують миттєву
20 напругу прямої послідовності по основній гармоніці для кожної з фаз, визначають активну потужність прямої послідовності за основною гармонікою для трьох фаз, визначають діюче значення напруги основної гармоніки прямої послідовності по кожній фазі, визначають квадрат середнього діючих значень основної гармоніки напруги прямої послідовності, визначають активний струм за Фрізе на підставі параметрів прямої послідовності, виділяють зі струму
25 навантаження пасивну складову, порівнюють сигнали заданого та фактичного струму компенсатора, формують імпульси управління за методом широтно-імпульсної модуляції, формують струм компенсатора.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601