



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 83775

(13) U

(51) МПК

H02J 3/18 (2006.01)

H02J 3/01 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: u 2013 05036	(72) Винахідник(и): Бялобржеський Олексій Володимирович (UA), Качалка Вадим Юрійович (UA), Слободенюк Дмитро Володимирович (UA), Герасименко Роман Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки: 19.04.2013	(73) Власник(и): КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.09.2013	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2013, Бюл.№ 18	

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ТА ВИЩИХ СКЛАДОВИХ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТЕЙ**(57)** Реферат:

Пристрій для компенсації реактивної та вищих складових активної потужностей, який містить перетворювач, накопичувальний конденсатор, вихідний згладжуючий пасивний фільтр, контролер системи управління обладнаний датчиком струму фільтра, датчиком струму мережі, датчиком напруги, датчиком напруги накопичувального конденсатора, формувачем імпульсів на основі релейних регуляторів із змінною шириною гістерезису, фазовими перетворювачами напруги, регулятором, блоки визначення гармонійних складових, блоки визначення гармонік активної та неактивної складових струму, блок визначення активної потужності вищих гармонік та різноіменних гармонік струму і напруги навантаження, блок визначення складових миттєвої неактивної потужності, блок визначення складових компонентів струму компенсатора.

UA 83775 U

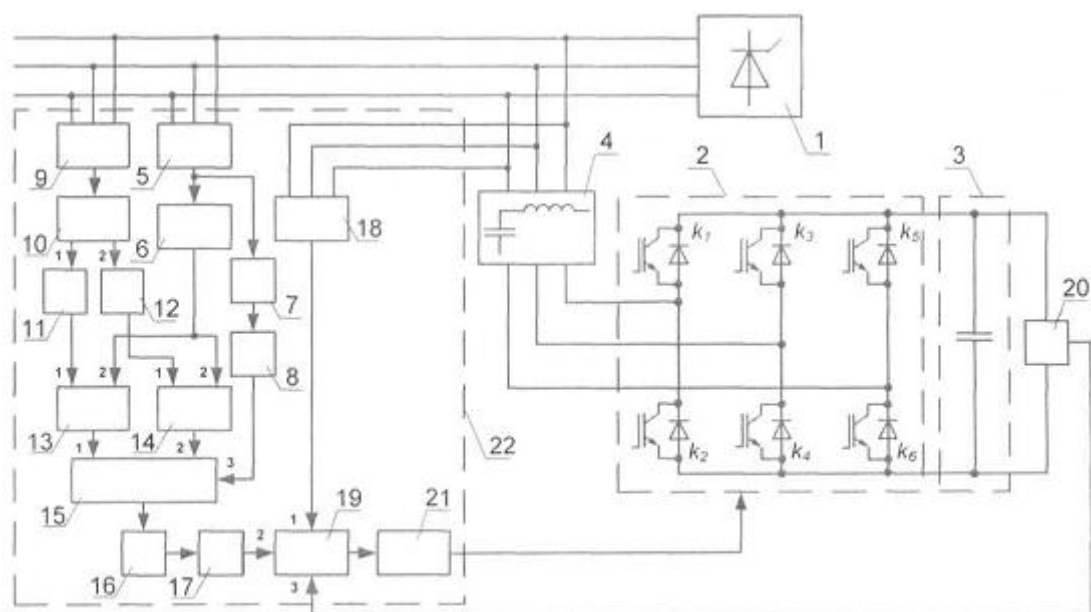


Fig.

Корисна модель належить до галузі електротехніки і може бути використана у системах електропостачання промислових підприємств для одночасного вирішення задач компенсації реактивної потужності та покращення гармонічного складу струму живлячої мережі.

Відоме технічне рішення [патент RU 2368992, H02J3/18, 27.09. 2009 Бюл. № 27. Трёхфазный компенсатор реактивной мощности и способ управления им, Рогинская Л.Э., Стыскин А.В., Караваев А.А.], яке складається із блока силових вентилів, що підключений через LC-фільтр високих частот до трифазної мережі, до виходу блока силових вентилів підключений дросель із зазором, блока аналізу трифазної мережі, який передає отримані дані в блок керування перемиканням вентилів, який в свою чергу здійснює керування блоком силових вентилів.

Спільними ознаками даного технічного рішення із корисною моделлю, що заявляється, є: блок силових вентилів, LC-фільтр високих частот, блок аналізу трифазної мережі, блок керування перемиканням вентилів.

Недоліки даного технічного рішення: дросель із зазором ускладнює використання та економічно недоцільний, відсутній блок визначення складових активної та реактивної потужностей, відсутній блок розділення гармонік напруги і струму, що генеруються джерелом або навантаженням, що унеможливорює відповідну компенсацію складових генерованих навантажень.

Відоме технічне рішення [патент UA 57064, H02J3/01, 10.02.2011 Бюл. № 3. Фільтрокомпенсуючий пристрій, Домнін І.Ф., Кайда О.О.], за яким пристрій підключено паралельно живильній мережі, що містить перетворювач напруги, перший вхід якого зв'язаний з живильною мережею, двомостовий випрямляч, реактор, підключений паралельно до першого виходу двомостового випрямляча, накопичувач енергії, що підключений паралельно перетворювачу напруги та двомостовому випрямлячу і зв'язаний з виходом перетворювача напруги і другим виходом двомостового випрямляча, датчик напруги, що підключений паралельно накопичувачу енергії, а також систему обробки та формування сигналів, один з виходів якої зв'язаний з другим входом перетворювача напруги, а другий її вихід підключений до другого входу двомостового випрямляча, який додатково обладнаний контуром регулювання рівня вищих гармонік струму живильної мережі, що містить підключений до живильної мережі датчик струму, перший вихід якого зв'язаний з першим входом двомостового випрямляча, а другий його вихід з'єднаний з входом блока вимірювання амплітуд, перший блок порівняння, перший вхід якого з'єднаний з виходом блока вимірювання амплітуд, а до другого його входу підключений блок завдання допустимої величини гармоніки, при цьому вихід першого блока порівняння через блок регулятора амплітуди вибраної гармоніки з'єднаний з першим входом другого блока порівняння, до другого входу якого підключений вихід датчика напруги, а вихід другого блока порівняння через регулятор напруги зв'язаний з входом системи обробки та формування сигналів.

Спільними ознаками даного технічного рішення із корисною моделлю, що заявляється, є: реактор, підключений паралельно до виходу випрямляча, накопичувач енергії, що підключений паралельно перетворювачу напруги, датчик напруги, що підключений паралельно накопичувачу енергії, а також система обробки та формування сигналів, підключений до живлячої мережі датчик струму.

Недоліки даного технічного рішення: додатковий контур регулювання рівня вищих гармонік струму живильної мережі не забезпечує компенсацію вищих гармонійних складових струму та напруги, що генеруються навантаженням.

Відоме технічне рішення [патент US 6,862,199, B2, H02H1/12, G05F1/70, Mar. 1.2005. Adaptive controller for D-Statcom in the stationary reference frame to compensate for reactive and harmonic distortion under unbalanced conditions, Gerardo Escobar, Alex M. Stancovic, Paolo Mattavelli] полягає у використанні контролера для компенсації реактивної потужності та окремих гармонік струму навантаження в незбалансованій багатофазній розподільчій мережі. Сформований струм подається від багатофазного автономного перетворювача напруги у багатофазну розподільчу мережу, як функція напруги і струму, створена автономним інвертором напруги; генерований струм використовують для симетрії навантаження, яке підключено до розподільчої мережі, включаючи нелінійні/спотворені і незбалансовані навантаження в кожній фазі; контролер містить у собі внутрішній процесор керування контуром, зовнішній процесор контролю за контуром, і процесор адаптації; процесор адаптації проводить оперативну оцінку вибраного набору заданих гармонійних складових у за період вимірювань, які є залежними від невідомих параметрів системи, струм мережі, напругу мережі, а також їх похідні за часом в нерухомій системі координат.

Спільними ознаками даного технічного рішення із корисною моделлю, що заявляється, є: реактор, підключений паралельно до випрямляча, накопичувач енергії, за який використаний конденсатор, вимірювання миттєвих значень трифазної напруги мережі.

Недоліки даного технічного рішення: набір гармонічних фільтрів не забезпечує фільтрацію всього спектру гармонік, що виникають при нелінійних навантаженнях та робить громіздкою систему керування, нерухома система координат не передбачає розділення гармонік напруги і струму, що генеруються джерелом живлення або навантаженням.

Найбільшим аналогом є технічне рішення [патент RU 2446536, Н02J3/00, 27.03.2012 Бюл. № 9. Устройство компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А.], яке містить перетворювач, накопичувальний конденсатор, вихідний згладжуючий пасивний фільтр і контролер системи керування, що обладнаний датчиком струму фільтра, датчиком струму мережі, датчиком напруги, формувачем імпульсів на основі релейних регуляторів зі змінною шириною гістерезису, фазовими перетворювачами струму і напруги, блоком фазової синхронізації, регулятором напруги накопичувального конденсатора, причому вхід датчика струму мережі з'єднаний із затискачами живильної мережі, вхід датчика струму фільтра з'єднаний із затискачами лінії, яка живить вихідний згладжуючий пасивний фільтр і перетворювач, вхід датчика напруги з'єднаний із затискачами живильної мережі, вихід регулятора напруги накопичувального конденсатора з'єднаний з входами драйверів керування силовими ключами перетворювача, вхід регулятора напруги накопичувального конденсатора з'єднаний з затискачами накопичувального конденсатора, вихід датчика струму мережі з'єднаний із входом формувача імпульсів, вихід датчика струму фільтра з'єднаний із входом формувача імпульсів, вихід датчика струму мережі з'єднаний із входом регулятора напруги накопичувального конденсатора, вихід датчика напруги з'єднаний з входом фазового перетворювача напруги, вихід фазового перетворювача напруги з'єднаний із входом блока фазової синхронізації, вихід блока фазової синхронізації з'єднаний із входом фазового перетворювача струму, вихід регулятора напруги накопичувального конденсатора з'єднаний із входом фазового перетворювача струму, вихід фазового перетворювача струму і вихід регулятора напруги накопичувального конденсатора з'єднані з входом формувача імпульсів, вихід якого з'єднаний з входами драйверів керування силовими ключами перетворювача.

Спільні суттєві ознаки: перетворювач, накопичувальний конденсатор, вихідний згладжуючий пасивний фільтр, контролер системи керування, що обладнаний датчиком струму фільтра, датчиком струму мережі, датчиком напруги, датчиком напруги накопичувального конденсатора, формувачем імпульсів на основі релейних регуляторів із змінною шириною гістерезису, фазовим перетворювачем напруги, регулятором.

Недоліки даного технічного рішення: відсутність блоків виділення гармонік джерела живлення та гармонік навантаження, що не дозволяє виділити складові струму, які підлягають компенсації.

Відомий пристрій вибрано як найближчий аналог корисної моделі, що заявляється.

В основу корисної моделі поставлена задача компенсації реактивної потужності, вищих гармонійних складових активної потужності, які генеруються навантаженням, за рахунок розкладу повної миттєвої потужності на активні та неактивні складові, з урахуванням вищих гармонік та поділом останніх на генеровані джерелом та навантаженням, що забезпечить формування гармонічного складу струму та зниження втрат в мережі живлення.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрої компенсації реактивної та вищих складових активної потужностей, який містить перетворювач, накопичувальний конденсатор, вихідний згладжуючий пасивний фільтр і контролер системи керування, контролер системи керування обладнаний датчиком струму фільтра, датчиком струму мережі, датчиком напруги, датчиком напруги накопичувального конденсатора, формувачем імпульсів на основі релейних регуляторів зі змінною шириною гістерезису, фазовим перетворювачем напруги, регулятором, додатково введено блоки визначення гармонійних складових, блоки визначення гармонік активної та неактивної складовими струму, блок визначення активної потужності вищих гармонік та різнойменних гармонік струму і напруги навантаження, блок визначення складових миттєвої неактивної потужності, блок визначення складових компонентів струму компенсатора.

Завдяки цьому відбувається компенсація реактивної потужності, вищих гармонійних складових активної потужності, які генеруються навантаженням, за рахунок розкладу повної миттєвої потужності на активні та неактивні складові, з урахуванням вищих гармонік та поділом останніх на генеровані джерелом та навантаженням, що забезпечує формування гармонічного складу струму та зниження втрат в мережі живлення.

Запропонований пристрій пояснюється кресленнями, де наведена блок-схема пристрою компенсації реактивної та вищих складових активної потужностей, на якій прийнято наступні

позначення: 1 - нелінійне навантаження; 2 - перетворювач; 3 - накопичувальний конденсатор; 4 - вихідний пасивний фільтр; 5 - датчик напруги; 6 - блок визначення гармонійних складових; 7 - блок перетворення напруги систем координат $a-b-c/\alpha-\beta$; 8 - блок перетворення напруги систем координат $\alpha-\beta/d-q$; 9 - датчик струму; 10 - блок визначення гармонійних складових; 11 - блок визначення гармонік активної складової струму; 12 - блок визначення гармонік неактивної складової струму; 13 - блок визначення активної потужності вищих гармонік та різнойменних гармонік струму і напруги навантаження; 14 - блок визначення складових миттєвої неактивної потужності; 15 - блок визначення складових компонентів струму компенсатора; 16 - блок перетворення компонентів струму систем координат $d-q/\alpha-\beta$; 17 - блок перетворення струму систем координат $\alpha-\beta/a-b-c$; 18 - датчик струму фільтра; 19 - регулятор; 20 датчик напруги накопичувального конденсатора; 21 - формувач імпульсів; 22 - контролер системи керування; k_1-k_6 - силові ключі перетворювача.

Пристрій для компенсації реактивної та вищих складових активної потужностей включає в себе перетворювач, накопичувальний конденсатор, вихідний пасивний фільтр, контролер системи керування, до складу якого входять датчик напруги, блок визначення гармонійних складових, блок перетворення напруги систем координат $a-b-c/\alpha-\beta$, блок перетворення напруги систем координат $\alpha-\beta/d-q$, датчик струму, блок визначення гармонійних складових, блок визначення гармонік активної складової струму, блок визначення гармонік неактивної складової струму, блок визначення активної потужності вищих гармонік та різнойменних гармонік струму і напруги навантаження, блок визначення складових миттєвої неактивної потужності, блок визначення складових компонентів струму компенсатора, блок перетворення компонентів струму систем координат $d-q/\alpha-\beta$, блок перетворення струму систем координат $\alpha-\beta/a-b-c$, датчик струму фільтра, регулятор, датчик напруги накопичувального конденсатора, формувач імпульсів.

Пристрій для компенсації реактивної та вищих складових активної потужностей реалізований наступним чином. Входи датчика напруги 5 та датчика струму 9 з'єднані із мережею, вихід датчика струму мережі 9 з'єднаний із входом блока визначення гармонійних складових 10, вихід датчика напруги мережі 5 з'єднаний із входом блока визначення гармонійних складових 6, перший та другий виходи блока визначення гармонік 10 з'єднані з входами блоків визначення гармонік на активні 11 та неактивні 12 складові струму відповідно, вихід блока з гармоніками активної складової струму 11 з'єднаний з першим входом блока визначення активної потужності вищих гармонік та різнойменних гармонік струму і напруги навантаження 13 та вихід блока визначення гармонійних складових 6 з'єднаний із другим входом блока 13, вихід блока визначення гармонік неактивної складової струму 12 та вихід блока визначення гармонійних складових 6 з'єднані із першим та другим входами блока визначення складових миттєвої неактивної потужності 14 відповідно, виходи блоків 13 і 14 з'єднані з першим та другим входами блока визначення складових компонентів струму компенсатора 15 відповідно, на третій вхід надходять імпульси з блока перетворення напруги систем координат $\alpha-\beta/d-q$ 8, вхід блока 8 з'єднаний з виходом блока перетворення напруги систем координат $a-b-c/\alpha-\beta$ 7, вхід якого з'єднаний з виходом датчика напруги мережі 5, вихід блока визначення складових компонентів струму компенсатора 15 з'єднаний з входом блока перетворення компонентів струму систем координат $d-q/\alpha-\beta$ 16, вихід якого з'єднаний з входом блока перетворення струму систем координат $\alpha-\beta/a-b-c$ 17, сформований струм компенсатора з виходу блока 17 надходить на другий вхід регулятора 19, на його перший вхід надходять сигнали з датчика струму фільтра 18, що з'єднаний із мережею, яка живить вихідний згладжуючий фільтр 4, третій вхід з'єднаний з виходом датчика напруги накопичувального конденсатора 20, вихід регулятора 19 з'єднаний із входом формувача імпульсів 21, вихід якого з'єднаний з драйверами керування силовими ключами перетворювача 2.

Пристрій працює наступним чином. Контролер системи керування 22 здійснює регулювання напруги накопичувального конденсатора 3 та генерацію імпульсів керування силовими ключами перетворювача 2. До перетворювача 2 підключений накопичувальний конденсатор 3, який має у своєму складі датчик напруги 20, до виходу перетворювача 2 підключається вихідний пасивний фільтр 4.

Робота контролера системи керування 22 полягає в наступному. Вимірювальні сигнали миттєвих значень напруги та струму мережі від датчика напруги 5 та струму 9 надходять на входи блоків визначення гармонійних складових 10 та 6, які визначаються перетворенням Фур'є. Складові напруги Фур'є і складові струму Фур'є відображені в рівняннях нижче.

Складові напруги Фур'є:

$$u_k = U_{0k} + u_{1k} + u_{hk} + u_{gk} = U_{0k} + \sqrt{2}U_{1k} \cos(\alpha_{1k}) + \sum \sqrt{2}U_{hk} \cos(\alpha_{hk}) + \sum \sqrt{2}U_{gk} \cos(\alpha_{gk}) \quad (1)$$

Складові струму Фур'є:

$$i_k = I_{0k} + i_{1k} + i_{hk} + i_{gk} = I_{0k} + \sqrt{2}I_{1k} \cos(\beta_{1k}) + \sum \sqrt{2}I_{hk} \cos(\beta_{hk}) + \sum \sqrt{2}I_{gk} \cos(\beta_{gk}) \quad (2)$$

- 5 де U_{0k} , I_{0k} - постійна напруги і струму відповідно; U_{1k} , U_{hk} , U_{gk} , I_{1k} , I_{hk} та I_{gk} є діючі значення (великі букви наприклад U , I використовуються, щоб представити діючі значення і малі літери наприклад u та i - миттєві значення) складових гармоніки u_{1k} , u_{hk} , u_{gk} , i_{1k} , i_{hk} та i_{gk} відповідно; α_{xk} та β_{xk} ($x=l, h, g$) кут напруги і струму відповідно, отриманий з обчислення Фур'є. "1" є основна гармоніка, "h" (h - додатне ціле число, більше 1 та $h \neq g$), являє собою гармоніки напруги і струму генеровані джерелом, та "g" (g - додатне ціле число, більше 1 та $g \neq h$) гармоніки напруги і струму генеровані навантаженням. Багато відліків за цикл, $N_{\text{samplesCy}}$, форм хвилі, є також важливою інформацією для методу. Один важливий момент - там може бути затримка здійснення вибірки $t_{\text{samplingLag}}$, в залежності від типу аналого-цифрового використовуваного пристрою здійснення вибірки, між здійсненням вибірки u_k та i_k .
- 10 Це могло призвести до кутової помилки для кожної гармоніки. Виправлення може бути легко виконано для кожного гармонійного кута, наприклад, віднімаючи значення, дане:

$$\varepsilon_{\text{samplingLag}} = 2\pi \frac{t_{\text{samplingLag}}}{T} n, \quad (3)$$

де n дорівнює l , h або g , і T - час для одного основного циклу. Інші методи можуть також використовуватися, щоб компенсувати цю тимчасову затримку.

- 20 З датчика напруги 5 до блока перетворення напруги із системи координат a - b - c в α - β координати 7 надходять сигнали миттєвих значень напруги, де відбувається перетворення трифазної системи векторів (координати a - b - c) в лінійно-незалежну двофазну (система координат α - β) - перетворення Кларка:

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}, \quad (4)$$

- 25 де u_a , u_b , u_c - миттєві значення напруги кожної фази.

- На вхід блока перетворення напруги із системи координат α - β в d - q координати 8 надходять сигнали з виходу блока перетворення напруги із системи координат a - b - c в α - β координати 7. D - q метод характеризується тим, що трифазна система векторів напруг і струмів навантаження перетворюється за допомогою перетворень Кларка (4) і Парку в систему координат d (пряму) і q (квадратурну), що обертається з частотою промислової мережі:

$$U_{dq} = u_\alpha \cos \theta + u_\beta \sin \theta + j \cdot (u_\beta \cos \theta - u_\alpha \sin \theta) = u_d + ju_q, \quad (5)$$

де $\theta = \omega t$ - кут між осями d і α тоді

$$u_d = u_\alpha \cos \theta + u_\beta \sin \theta, \quad (6)$$

$$u_q = u_\beta \cos \theta - u_\alpha \sin \theta.$$

- 35 Вихід блока визначення гармонійних складових 10 з'єднаний із входами блока визначення гармонік активної складової струму 11 та блока визначення гармонік неактивної складової струму 12, в яких струм для кожної гармоніки розділений на складові: активні складові струму (позначені "р" в приписці) і неактивні складові струму (позначені «q» в приписці). Вони дані в рівняннях нижче.

Активні складові струму:

- 40 $i_{pk} = I_{0pk} + i_{1pk} + i_{hpk} + i_{gpk} \quad (7)$

Неактивні складові струму:

$$i_{qk} = i_{0qk} + i_{1qk} + i_{hqk} + i_{gqk} \cdot (8)$$

На блок визначення активної потужності вищих гармонік та різнойменних гармонік струму і напруги навантаження 13 надходять сигнали з блоків 11 та 6, в якому визначаються миттєва активна потужність вищих гармонік, що генерується навантаженням, та активна потужність, що генерується навантаженням за рахунок різнойменних гармонік струму і напруги. Активна потужність - є результат перемноження гармонійних складових 6 на гармоніки активної складової струму 11. Це включає різнойменні гармонійні компоненти напруг з активними складовими струму. Рівняння для цього компоненту, тобто, миттєва активна потужність, наступне:

$$P_k = (U_{0k} + u_{1k} + u_{hk} + u_{gk})(I_{0pk} + i_{1pk} + i_{hpk} + i_{gpk}) = P_{0Dk} + P_{0Xk} + P_{1k} + P_{hk} + P_{gk} + P_{X1k} + P_{Xhk} + P_{Xgk} \cdot (9)$$

Миттєва активна потужність p_k розділена на складові p_{xk} ("x" визначає складову), що вказано в загальних рисах нижче. Нижня "0D" визначає постійну складову потужності і "0X" різнойменною постійною гармонікою пов'язаний з постійною напруги і струму. "1" представляє основну, "h" гармоніки струму та напруги, що генеруються джерелом, "g" гармоніки струму та напруги, що генеруються навантаженням, "X1" і "Xh" різнойменна гармонічна потужність, що виникла із-за струму гармонік, генерованих джерелом, та "Xg" різнойменна гармонічна потужність, що виникла із-за струму гармонік, генерованих навантаженням.

Пристрій враховує компенсацію вищих гармонійних складових активної потужності, які генеруються навантаженням:

$$P_{gk} = 2 \sum_g U_{gk} I_{gk} \cos^2(\alpha_{gk}) \cos \gamma_{gk} \cdot (10)$$

та активну потужність, що генерується навантаженням за рахунок різнойменних гармонік струму і напруги:

$$P_{Xgk} = 2 \sum_{\substack{m \neq n \\ m=1,h,g \\ n=g}} U_{mk} I_{nk} \cos(\alpha_{mk}) \cos(\alpha_{nk}) \cos \gamma_{nk} \cdot (11)$$

Тоді, повна миттєва активна потужність, яку необхідно компенсувати:

$$P_k = P_{gk} + P_{Xgk} \cdot (12)$$

Визначення складових миттєвої неактивної потужності відбувається у блоці 14, до якого надходять сигнали з блоків 12 та 6. Неактивна потужність - є результат перемноження гармонійних складових 6 на гармоніки неактивної складової струму 12. Це включає різнойменні гармонійні компоненти напруг з неактивними складовими струму. Рівняння для цього компоненту, тобто, миттєва неактивна потужність, дано наступним чином:

$$q_k = (U_{0k} + u_{1k} + u_{hk} + u_{gk})(I_{0qk} + i_{1qk} + i_{hqk} + i_{gqk}) = q_{0Xk} + q_{1k} + q_{hk} + q_{gk} + q_{X1k} + q_{Xhk} + q_{Xgk} \cdot (13)$$

Складові миттєвої неактивної потужності надані наступними виразами:

1) неактивна постійна потужність різнойменних гармонік:

$$q_{0Xk} = \sqrt{2} U_{0k} I_{1k} \sin(\alpha_{1k}) \sin \theta_{1k} + \sqrt{2} U_{0k} \sum I_{hk} \sin(\alpha_{hk}) \sin \theta_{hk} + \sqrt{2} U_{0k} \sum I_{gk} \sin(\alpha_{gk}) \sin \gamma_{gk} + \sqrt{2} U_{1k} I_{0k} \cos(\alpha_{1k})(1 - k_{01k}) + \sqrt{2} \sum_{m=h,g} U_{mk} I_{0k} \cos(\alpha_{mk})(1 - k_{0mk}); \quad (14)$$

2) основна неактивна потужність:

$$q_{1k} = 2 U_{1k} I_{1k} \cos(\alpha_{1k}) \sin(\alpha_{1k}) \sin \theta_{1k}; \quad (15)$$

3) неактивна потужність вищих гармонік, що генерується джерелом:

$$q_{hk} = 2 \sum_h U_{hk} I_{hk} \cos(\alpha_{hk}) \sin(\alpha_{hk}) \sin \theta_{hk}; \quad (16)$$

4) неактивна потужність вищих гармонік, що генерується навантаженням:

$$q_{gk} = 2 \sum_g U_{gk} I_{gk} \cos(\alpha_{gk}) \sin(\alpha_{gk}) \sin \gamma_{gk}; \quad (17)$$

5) неактивна потужність, що генерується джерелом, за рахунок різнойменних гармонік струму і напруги:

5.1) різнойменні основні неактивні потужності:

$$q_{x1k} = 2 \sum_{m=h,g} U_{mk} I_{1k} \cos(\alpha_{mk}) \sin(\alpha_{1k}) \sin \theta_{1k}; \quad (18)$$

5.2) різнойменні гармоніки активних потужностей:

$$q_{xhk} = 2 \sum_{\substack{m \neq n \\ m=1,h,g \\ n=h}} U_{mk} I_{nk} \cos(\alpha_{mk}) \sin(\alpha_{nk}) \sin \theta_{nk}; \quad (19)$$

6) неактивна потужність, що генерується навантаженням за рахунок різнойменних гармонік струму і напруги:

$$q_{xgk} = 2 \sum_{\substack{m \neq n \\ m=1,h,g \\ n=h}} U_{mk} I_{nk} \cos(\alpha_{mk}) \sin(\alpha_{nk}) \sin \gamma_{nk}; \quad (20)$$

У блоці визначення складових компонентів струму компенсатора 15 розраховуються компоненти струму компенсатора i_d, i_q за такими формулами:

$$i_d = \frac{p_k}{u_d}, i_q = \frac{q_k}{u_q}. \quad (21)$$

Блоки 16 та 17 призначені для зворотного перетворення компонентів струму компенсатора в a-b-c координати. Для цього застосовується зворотне перетворення Парку (22) і Кларка (23):

$$i_\alpha = i_d \cdot \cos \theta - i_q \cdot \sin \theta, \quad (22)$$

$$i_\beta = i_d \cdot \sin \theta + i_q \cdot \cos \theta,$$

де i_d, i_q - струм фільтра в d-q координатах.

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & 0 \\ -\frac{1}{3} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}, \quad (23)$$

де i_α, i_β - струм фільтра в $\alpha-\beta$ координатах.

Регулятор 19 контролює рівень напруги накопичувального конденсатора 3 на заданій величині та подає сигнал через формувач імпульсів 21 драйверам керування силовими ключами перетворювача 2 на його підзарядку, якщо здійснюється умова - фактична напруга нижче заданої. Порівнюючи задану та фактичну величину напруги накопичувального конденсатора 3, регулятор 19 формує сигнал завдання по струму для перетворювача 2. Сигнал завдання по струму регулятора 19 подається на вхід формувача імпульсів 21.

За результатами порівняння заданого і фактичного струму перетворювача 2, і струму нелінійного навантаження 1 на основі сигналів від датчика струму мережі 9 і датчика струму фільтра 18 з урахуванням сигналу завдання по струму від регулятора 19 для перетворювача 2, формувач імпульсів 21, виконаний на основі релейних регуляторів, виробляє імпульси керування силовими ключами перетворювача 2. Формувач імпульсів 21 складається з трьох релейних регуляторів, по числу фаз мережі живлення, кожен з яких формує імпульси для керування ключами перетворювача 2. Імпульси надходять на керуючі електроди силових ключів перетворювача 2.

Режим роботи перетворювача 2 з змінною частотою широтно-імпульсної модуляції реалізується шляхом зміни ширини гістерезису релейних регуляторів формувача імпульсів 21 в залежності від характеру зміни сигналів заданого і фактичного компенсаційного струму перетворювача 2, сигналу завдання по струму від регулятора 19 і вимірювального сигналу струму нелінійного навантаження 1. Зі збільшенням частоти гістерезису релейних регуляторів зростає точність відпрацювання завдання по компенсаційному струму перетворювача 2.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій для компенсації реактивної та вищих складових активної потужностей, який містить перетворювач, накопичувальний конденсатор, вихідний згладжуючий пасивний фільтр, контролер системи управління обладнаний датчиком струму фільтра, датчиком струму мережі, датчиком напруги, датчиком напруги накопичувального конденсатора, формувачем імпульсів на основі релейних регуляторів із змінною шириною гістерезису, фазовими перетворювачами

напруги, регулятором, який **відрізняється** тим, що в контролер системи керування додатково введено блоки визначення гармонійних складових, блоки визначення гармонік активної та неактивної складових струму, блок визначення активної потужності вищих гармонік та різнойменних гармонік струму і напруги навантаження, блок визначення складових миттєвої неактивної потужності, блок визначення складових компонентів струму компенсатора, причому входи датчика напруги та датчика струму з'єднані із мережею, вихід датчика струму мережі з'єднаний із входом блока визначення гармонійних складових, вихід датчика напруги мережі з'єднаний із входом блока визначення гармонійних складових, перший та другий виходи блока визначення гармонік з'єднані з входами блоків визначення гармонік на активні та неактивні складові струму відповідно, вихід блока з гармоніками активної складової струму з'єднаний з першим входом блока визначення активної потужності вищих гармонік та різнойменних гармонік струму і напруги навантаження та вихід блока визначення гармонійних складових з'єднаний із другим входом останнього, вихід блока визначення гармонік неактивної складової струму та вихід блока визначення складових миттєвої неактивної потужності відповідно, вихід блока визначення активної потужності вищих гармонік та різнойменних гармонік струму і напруги навантаження з'єднаний з першим входом блока визначення складових компонентів струму компенсатора, другий вхід з'єднаний з виходом блока визначення складових миттєвої неактивної потужності, на третій вхід надходять імпульси з блока перетворення напруги систем координат $\alpha - \beta / d-q$, вхід цього блока з'єднаний з виходом блока перетворення напруги систем координат $a-b-c / \alpha - \beta$, вхід якого з'єднаний з виходом датчика напруги мережі, вихід блока визначення складових компонентів струму компенсатора з'єднаний з входом блока перетворення компонентів струму систем координат $d-q / \alpha - \beta$, вихід якого з'єднаний з входом блока перетворення струму систем координат $\alpha - \beta / a-b-c$, сформований струм компенсатора з виходу блока надходить на другий вхід регулятора, на його перший вхід надходять сигнали з датчика струму фільтра, що з'єднаний із мережею, яка живить вихідний згладжуючий фільтр, третій вхід з'єднаний з виходом датчика напруги накопичувального конденсатора, вихід регулятора з'єднаний із входом формувача імпульсів, вихід якого з'єднаний з драйверами управління силовими ключами перетворювача.

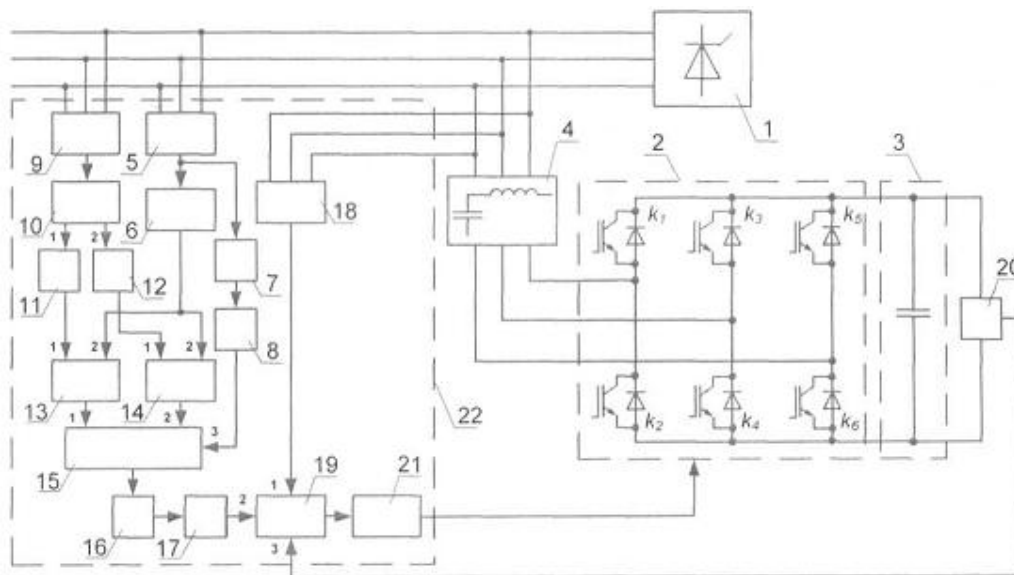


Fig.

Комп'ютерна верстка В. Мацело

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

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