



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94181 (13) C2
(51) МПК (2011.01)
H02J 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРИФАЗНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

1

2

(21) а201001785

(22) 19.02.2010

(24) 11.04.2011

(46) 11.04.2011, Бюл.№ 7, 2011 р.

(72) БУРБЕЛО МИХАЙЛО ЙОСИПОВИЧ, НИКИТЕНКО МАКСИМ ВАСИЛЬОВИЧ

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) SU 1261044 A1, 30.09.1986

SU 1347118 A1, 23.10.1987

CN 201256296 Y, 10.06.2009

US 5349522 A, 20.09.1994

US 2005035815 A1, 17.02.2005

(57) Пристрій для компенсації реактивної потужності трифазного навантаження, що складається з компенсатора, який містить приєднані до мережі паралельно трифазному навантаженню трифазні силові фільтри, кожен з яких виконаний з послідовно з'єднаних конденсаторів і фільтрових реакторів, ввімкнених в зірку, та тиристорно-реакторну групу, яка складається з послідовно з'єднаних компенсуючих реакторів та зустрічно-паралельно ввімкнених тиристорів, з'єднаних в трикутник, а також із регулятора, який складається з трьох датчиків напруги мережі, трьох датчиків струму мережі, трьох датчиків струму навантаження, блока суматорів, до складу якого входять три суматори, двох перетворювачів потужності, датчика зони керування, блока корекції та блока керування, в кожен із трьох каналів якого входить синхронізатор, генератор функцій, схема порівняння, розподільник імпульсів та два вихідних каскади, причому виходи другого і третього датчиків струму мережі з'єднані з входами другого суматора, а виходи другого і третього датчиків струму наван-

таження з'єднані з третім суматором, виходи першого і третього суматорів та першого датчика струму навантаження приєднані до входів першого перетворювача потужності, виходи першого та другого суматорів, а також другого датчика напруги мережі і першого датчика струму мережі приєднані до входів другого перетворювача потужності, виходи якого з'єднані з першими трьома входами блока корекції, до других трьох входів якого приєднані виходи датчика зони керування, а виходи першого, другого та третього датчиків напруги з'єднані з входами синхронізаторів та першими входами розподільників імпульсів відповідно першого, другого та третього каналів блока керування, виходи кожного із синхронізаторів з'єднані з першими входами відповідного генератора функцій, другі входи якого приєднані до виходів блока корекції, а виходи - до першого входу схеми порівняння, вихід якої, в свою чергу, з'єднаний з відповідним входом датчика зони керування та другим входом розподільника імпульсів, а виходи останнього через вихідні каскади з'єднані з відповідними керуючими електродами зустрічно-паралельно ввімкнених тиристорів тиристорно-реакторної групи, який відрізняється тим, що в нього введено третій та четвертий перетворювачі потужності, входи яких з'єднані з першим та другим суматорами та другим датчиком напруги мережі і першим датчиком струму мережі, а також мікроконтролер, входи якого приєднані до виходів першого, третього та четвертого перетворювачів потужності, а виходи - до других входів схем порівняння першого, другого та третього каналів блока керування, виходи першого та третього датчиків напруги мережі з'єднані з входами першого суматора.

Винахід належить до електротехніки і може бути застосований для динамічної компенсації реактивної потужності трифазного несиметричного навантаження в електричних мережах споживачів.

Відомий пристрій для компенсації реактивної потужності навантаження і симетрування трифазної мережі (А.С. СССР № 1261044, Кл. H02J3/18, 1985), що містить приєднані до шин живлячої ме-

режі паралельно навантаженню силові фільтри, до складу яких входять конденсатори, фільтрові реактори та тиристорно-реакторна група, яка складається з послідовно з'єднаних шунтових реакторів та зустрічно-паралельно ввімкнених тиристорів, що з'єднані в трикутник, які обладнані вузлом керування, помножувачі, перший, другий та третій суматори, перший, другий та третій інтегратори з

(19) UA (11) 94181 (13) C2

встановленням "нуля", перший, другий та третій елементи вибірки і зберігання, датчики струму та датчики напруги мережі, що виходами з'єднані через помножувачі з входами суматорів, вихід кожного з яких, через відповідний інтегратор з встановленням "нуля", з'єднаний з входом відповідного елемента вибірки і зберігання, вузол синхронізації входами приєднаний до датчиків напруги мережі а виходами - до входів встановлення "нуля" інтеграторів і входів керування елементів вибірки та зберігання, перший, другий та третій функціональні перетворювачі виходами приєднані до вузла керування тиристорами, перший, другий та третій вузли корекції, кожен з яких виконаний як операційний підсилювач з першим резистором і паралельно ввімкненим другим резистором та двополярним обмежувачем напруги у від'ємному зворотному зв'язку.

Недоліком пристрою є низька швидкодія отримання інформації, а також складність налагодження в процесі компенсації реактивної потужності у вузлі приєднання несиметричного різкозмінного навантаження.

Найбільш близьким є пристрій для компенсації реактивної потужності трифазного навантаження (А.С. СССР №1347118 А1, Кл. H02J3/18 Б.И. №39 1987), що складається з компенсатора, який містить підключені до живлячої мережі паралельно навантаженню силові фільтри, які складаються з конденсаторів і фільтрових реакторів, та тиристорно-реакторну групу, регулятора, що містить блок керування, до складу якого входять вихідні каскади, розподільники імпульсів, схеми порівняння, генератори функцій і синхронізатори, кожен з яких виходами з'єднаний з керуючими входами відповідного генератора функцій, а входом - з відповідним входом синхронізації блока керування, датчик струму мережі, датчик сумарного струму навантаження і силових фільтрів, датчик напруги мережі, перший блок вимірювання регульованого параметра, входами з'єднаний з виходами датчиків сумарного струму навантаження та силових фільтрів, в подальшому блока суматорів, і датчиків напруги мережі, другий блок вимірювання регульованого параметра, входами підключений до виходів датчиків струму мережі та датчиків напруги мережі, блок корекції, датчик зони керування, причому кожен генератор функцій виконаний у вигляді ключів багатовхідного інтегратора з установкою початкового значення, вихід якого є виходом генератора функцій і кожен вхід з'єднаний, через відповідний керуючий ключ, з входом задавання амплітуди генератора функцій, кожен синхронізатор виконаний у вигляді дешифратора, двійкового лічильника і схеми фазової автопідстройки частоти, вхід якої є входом синхронізатора, а вихід з'єднаний з входом двійкового лічильника, з'єднаного виходом з входом дешифратора, виходи якого є виходами синхронізатора, з'єднаними з керуючими входами ключів генератора функцій, датчик зони керування виконаний у вигляді подільника напруги та двополюгового елемента, входи якого з'єднані з входами подільника напруги, а виходи є виходами датчика зони керування, блок корекції виконаний у вигляді суматорів, джерел опорної напруги ключів

блокування та інтеграторів, причому виходи суматорів є виходами вузла корекції, керуючі входи вузлів блокування є входами блокування вузла корекції, входи інтеграторів підключені через відповідні вузли блокування до відповідних сигнальних входів вузла корекції, а виходи підключені до першого входу відповідного суматора, другий вхід якого з'єднаний з виходом відповідного джерела опорної напруги і при цьому сигнальні входи блока корекції з'єднані з виходами другого блока вимірювання регульованого параметра, а виходи - з додатковими входами генераторів функцій блока керування.

Недоліком пристрою є низька швидкодія отримання інформації, а також збільшення несиметрії напруг в процесі компенсації реактивної потужності у вузлі приєднання несиметричного різкозмінного навантаження, що є одним з нормованих показників якості електричної енергії.

В основу винаходу поставлено задачу створення пристрою для компенсації реактивної потужності трифазного несиметричного різкозмінного навантаження, в якому за рахунок введення двох додаткових перетворювачів потужності та мікроконтролера досягається, з використанням активної та реактивної складових умовних потужностей зворотної послідовності, одночасне зменшення несиметрії напруг в процесі компенсації реактивної потужності у вузлі приєднання несиметричного різкозмінного навантаження, та за рахунок використання інтегрування на ковзному інтервалі часу більш висока швидкодія.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для компенсації реактивної потужності, що складається з компенсатора, який містить приєднані до мережі паралельно трифазному навантаженню трифазні силові фільтри, кожен з яких виконаний з послідовно з'єднаних конденсаторів і фільтрових реакторів, ввімкнених в зірку, та тиристорно-реакторну групу, яка складається з послідовно з'єднаних компенсуючих реакторів та зустрічно-паралельно ввімкнених тиристорів, з'єднаних в трикутник, а також із регулятора, який складається з трьох датчиків напруги мережі, трьох датчиків струму мережі, трьох датчиків струму навантаження, блока суматорів, до складу якого входять три суматори, двох перетворювачів потужності, датчика зони керування, блока корекції та блока керування, в кожен із трьох каналів якого входить синхронізатор, генератор функцій, схема порівняння, розподільник імпульсів та два вихідних каскади, причому виходи другого і третього датчиків струму мережі з'єднані з входами другого суматора, а виходи другого і третього датчиків струму навантаження з'єднані з третім суматором, виходи першого і третього суматорів та першого датчика струму навантаження приєднані до входів першого перетворювача потужності, виходи першого та другого суматорів а також другого датчика напруги мережі і першого датчика струму мережі приєднані до входів другого перетворювача потужності, виходи якого з'єднані з першими трьома входами блока корекції, до других трьох входів якого приєднані виходи датчика зони керування, а виходи першого, другого та третього датчиків напруги ме-

режі з'єднані з входами синхронізаторів та першими входами розподільників імпульсів відповідно першого, другого та третього каналів блока керування, виходи кожного із синхронізаторів з'єднані з першими входами відповідного генератора функцій, другі входи якого приєднані до виходів блока корекції, а виходи - до першого входу схеми порівняння, виходи якої, в свою чергу, з'єднані з відповідним входом датчика зони керування та другим входом розподільника імпульсів, а виходи останнього через вихідні каскади з'єднані з відповідними керуючими електродами зустрічно-паралельно ввімкнених тиристорів тиристорно-реакторної групи, введено третій та четвертий перетворювачі потужності, входи яких з'єднані з першим та другим суматорами та другим датчиком напруги мережі і першим датчиком струму мережі, а також мікроконтролер, входи якого приєднані до виходів першого, третього та четвертого перетворювачів потужності, а виходи - до других входів схем порівняння першого, другого та третього каналів блока керування, виходи першого та третього датчиків напруги мережі з'єднані з входами першого суматора.

На кресленні подана структурна схема пристрою для компенсації реактивної потужності трифазного навантаження.

Пристрій для компенсації реактивної потужності складається з компенсатора 1, який містить приєднані до мережі 2 паралельно трифазному навантаженню 3 силові фільтри 4, кожен з яких виконаний з послідовно з'єднаних конденсаторів 5 і фільтрових реакторів 6, ввімкнених в зірку, та тиристорно-реакторну групу 7, яка складається з послідовно з'єднаних компенсуючих реакторів 8 та зустрічно-паралельно ввімкнених тиристорів 9, з'єднаних в трикутник, а також із регулятора 10, який складається з трьох датчиків 11 напруги мережі (трансформатори напруги ТН), трьох датчиків 12 струму мережі (трансформатори струму ТС), трьох датчиків струму навантаження 13, блока суматорів 14, до складу якого входять три суматори 15-17, чотирьох перетворювачів потужності 18-21, мікроконтролера 22, датчика зони керування 24, блока корекції 23 та блока керування 25, в кожен канал 26, 27, 28 якого входить синхронізатор 29, генератор функцій 30, схема порівняння 31, розподільник імпульсів 32 та два вихідних каскади 33, 34, причому виходи першого та третього датчиків напруги мережі 11 з'єднані з входами першого суматора 15, а виходи другого і третього датчиків струму мережі 12-з входами другого суматора 16, виходи суматорів 15, 16 а також другого датчика напруги мережі 11 і першого датчика струму навантаження 13 приєднані до входів першого, третього та четвертого перетворювачів потужності 18, 19, 20, до виходів яких приєднані входи мікроконтролера 22, виходи першого 15 другого 16 суматорів та другого датчика напруги мережі 11 і першого датчика струму мережі 12 приєднані до входів другого перетворювача потужності 21, виходи якого з'єднані з першими трьома входами блока корекції 23, до других трьох входів якого приєднані виходи датчика зони керування 24, а виходи першого, другого та третього датчиків на-

пруги мережі 11 з'єднані з входами синхронізаторів 29 та першими входами розподільників імпульсів 32 відповідно першого, другого та третього каналів 26, 27, 28 блока керування 25, виходи кожного із синхронізаторів 29 з'єднані з першими входами відповідного генератора функцій 30, другі входи якого приєднані до виходів блока корекції 23, а виходи - до першого входу схеми порівняння 31, другий вхід якої з'єднаний до виходів мікроконтролера 22, а вихід - з другим входом розподільника імпульсів 32, виходи останнього через вихідні каскади 33 і 34 з'єднані з відповідними керуючими електродами зустрічно-паралельно ввімкнених тиристорів 9 тиристорно-реакторної групи 7.

Пристрій працює таким чином. З використанням трьох датчиків напруги мережі 11, трьох датчиків струму мережі 12, трьох датчиків струму навантаження 13 та трьох суматорів 15, 16 і 17 формуються ортогональні напруги та струми

$$u_{\alpha}(t) = \frac{1}{\sqrt{3}}(u_{AB}(t) - u_{CA}(t)); u_{\beta}(t) = u_{BC}(t);$$

$$i_{\alpha}(t) = i_A(t); i_{\beta}(t) = \frac{1}{\sqrt{3}}(i_B(t) - i_C(t));$$

$$i_{\alpha}^H(t) = i_A^H(t); i_{\beta}^H(t) = \frac{1}{\sqrt{3}}(i_B^H(t) - i_C^H(t)),$$

де $u_{AB}(t)$; $u_{BC}(t)$; $u_{CA}(t)$ - лінійні напруги мережі, які вимірюють за допомогою датчиків напруги мережі 11; $i_A(t)$; $i_B(t)$; $i_C(t)$ - струми мережі, які вимірюють за допомогою датчиків струму мережі 12; $i_A^H(t)$; $i_B^H(t)$; $i_C^H(t)$ - струми навантаження, які вимірюють за допомогою датчиків струму навантаження 13.

Керування здійснюється згідно з інтегральними виразами реактивної потужності навантаження і мережі, які формуються на кожному інтервалі часу тривалістю півперіоду напруги живлення з використанням напруг мережі і струмів навантаження та мережі:

$$Q^H(t) = \frac{\sqrt{3}}{T} \int_{t-T/2}^t (u_{\beta} i_{\alpha}^H - u_{\alpha} i_{\beta}^H) dt;$$

$$\Delta Q(t) = \frac{\sqrt{3}}{T} \int_{t-T/2}^t (u_{\beta} i_{\alpha} - u_{\alpha} i_{\beta}) dt,$$

де T - період напруги живлення.

Додатково використовується інформація про активну та реактивну складові умовних потужностей зворотної послідовності:

$$P_2(t) = \frac{\sqrt{3}}{T} \int_{t-T/2}^t (u_{\alpha} i_{\alpha} - u_{\beta} i_{\beta}) dt;$$

$$Q_2(t) = \frac{\sqrt{3}}{T} \int_{t-T/2}^t (u_{\beta} i_{\alpha} + u_{\alpha} i_{\beta}) dt.$$

Перетворювачами потужності 18, 21 вимірюються реактивні потужності навантаження і мережі, а перетворювачами потужності 19, 20 - активна та реактивна складові умовних потужностей зворотної послідовності.

В основу роботи першого контуру керування за збуренням пристрою покладено безітераційний

алгоритм керування реактивною потужністю фаз у відповідності з формулами

$$Q_{BC} = \frac{1}{3} [Q^H - 2Q_2];$$

$$Q_{CA} = \frac{1}{3} [Q^H + Q_2 - \sqrt{3}P_2];$$

$$Q_{AB} = \frac{1}{3} [Q^H + Q_2 + \sqrt{3}P_2],$$

де P_2 , Q_2 - активна та реактивна умовні потужності зворотної послідовності навантаження. Даний закон керування реалізується з використанням мікроконтролера 22, сигнали з якого подаються на другий вхід схем порівняння 31, кожного з трьох каналів 26, 27, 28 блока керування 25.

Другий контур керування за відхиленням базується на ітераційній процедурі корекції реактивної потужності з використанням значення АО, яке формується перетворювачем потужності 21.

Сигнал з датчиків напруги мережі 11 також надходить на синхронізатор 29 та на перший вхід розподільника імпульсів 32 кожного з трьох каналів блока керування 25. Вихід синхронізатора з'єднаний з першим входом генератора функцій 30, на другий вхід якого подається сигнал з блока корекції 23, вихід генератора функцій з'єднаний з першим входом схеми порівняння 31, сигнал з першо-

го виходу якої подається на другий вхід розподільника імпульсів 32, який через вихідні каскади 33, 34 з'єднаний з відповідними керуючими електродами зустрічно-паралельно ввімкнених тиристорів 9 тиристорно-реакторної групи 7, сигнал з другого виходу схеми порівняння 31 подається на датчик зони керування 24, з якого надходить на другі входи блока корекції 23, перші входи якого з'єднані з виходами другого перетворювача потужності 21.

Кожний трифазний силовий фільтр 4 компенсатора 1 шунтує струми вищих гармонік зі спектра навантаження 3 і тиристорно-реакторного кола 7 тієї частоти, на яку він налагоджений. Водночас здійснюється генерування реактивної потужності основної гармоніки $Q_{ФКУ}$.

В компенсаторі 1 на компенсуючий реактор 8 кожної фази тиристорно-реакторної групи 7 подається відповідна лінійна напруга при вмиканні відповідних тиристорів 9. Споживана реактивна потужність тиристорно-реакторної групи 7 залежить від кута керування і тиристорів 9.

Результуюча регульовальна характеристика реактивної потужності компенсатора 1 може бути представлена у вигляді

$$Q_K(\alpha) = Q_{ФКУ} - \frac{Q(\alpha = 0)}{\pi} \cdot [(\pi - 2\alpha) - \sin(\pi - 2\alpha)].$$

