

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2512886

### УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ СЕТИ

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013119660

Приоритет изобретения 26 апреля 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 11 февраля 2014 г.

Срок действия патента истекает 26 апреля 2033 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





(51) МПК  
*H02J 3/00* (2006.01)  
*H02J 3/02* (2006.01)  
*H02J 3/16* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013119660/07, 26.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 26.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.04.2013

(45) Опубликовано: 10.04.2014 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
 поиске: RU 2446536 C1, 27.03.2012. RU  
 2354035 C1, 27.04.2009. RU 2413350 C1,  
 27.02.2011. RU 2169978 C1, 27.06.2001. EP  
 2416561 A2, 18.03.1987. ....  
 .....

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
 ФГБОУ ВПО "Национальный минерально-  
 сырьевой университет "Горный", отдел ИС и  
 ТТ

(72) Автор(ы):

Абрамович Борис Николаевич (RU),  
 Сычев Юрий Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 профессионального образования  
 "Национальный минерально-сырьевой  
 университет "Горный" (RU)

(54) УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА  
 МОЩНОСТИ СЕТИ

(57) Реферат:

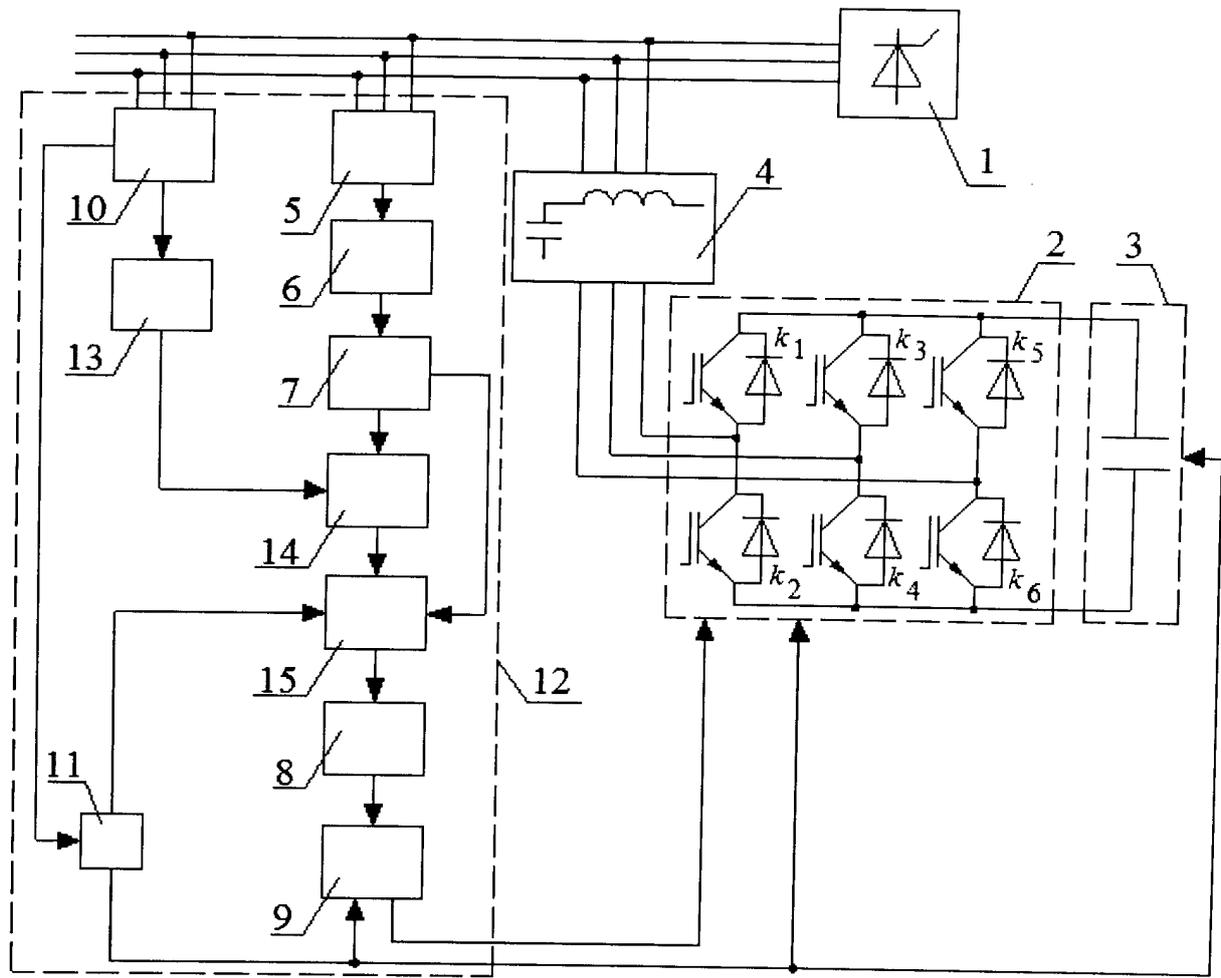
Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к устройствам подавления и компенсации высших гармоник в электрических сетях и коррекции коэффициента мощности. Технический результат заключается в снижении коэффициента искажения синусоидальной формы кривых тока и напряжения сети при наличии нелинейной нагрузки, режим которой связан с динамическим изменением потребляемого несинусоидального тока, повышении коэффициента мощности сети по основной составляющей. Для этого заявленное устройство содержит инвертор, накопительный конденсатор, выходной сглаживающий пассивный

фильтр и контроллер системы управления, при этом контроллер системы управления снабжен датчиком тока сети, датчиком напряжения, формирователем импульсов на основе релейных регуляторов с изменяемой шириной гистерезиса, фазовыми преобразователями тока и напряжения, блоком фазовой синхронизации и регулятором напряжения накопительного конденсатора, драйверами управления силовыми ключами инвертора, устройство снабжено фазовым преобразователем сетевых токов, фазовым преобразователем опорных токов и блоком формирования напряжения. 1 ил.

RU 2 512 886 C1

RU 2 512 886 C1

RU 2512886 C1



RU 2512886 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H02J 3/00* (2006.01)  
*H02J 3/02* (2006.01)  
*H02J 3/16* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013119660/07, 26.04.2013

(24) Effective date for property rights:  
26.04.2013

Priority:

(22) Date of filing: 26.04.2013

(45) Date of publication: 10.04.2014 Bull. № 10

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU  
VPO "Natsional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet  
"Gornyj", otdel IS i TT

(72) Inventor(s):

**Abramovich Boris Nikolaevich (RU),  
Sychev Jurij Anatol'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Natsional'nyj  
mineral'no-syr'evoj universitet "Gornyj" (RU)**

(54) **DEVICE TO COMPENSATE HIGH HARMONICS AND CORRECT GRID POWER RATIO**

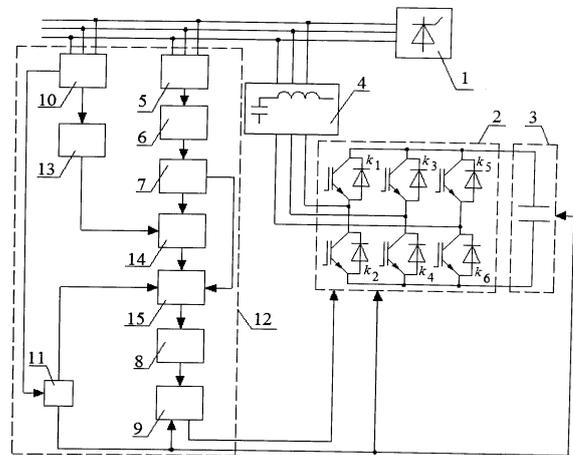
(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: device comprises an inverter, an accumulating capacitor, an output smoothing passive filter, and a control system controller, at the same time the control system controller is equipped with a grid current sensor, voltage sensor, pulse shaper on the basis of relay controllers with variable width of hysteresis, phase converters of current and voltage, a unit of phase synchronisation and a controller of accumulating capacitor voltage, control drivers for inverter power-circuit keys; the device is equipped with grid current phase converter, reference current phase converter and voltage-shaping unit.

EFFECT: reducing coefficient of distortion for sinusoidal current curves and line voltage in presence of non-linear load which mode is connected to dynamic change of consumed non-sinusoidal current; increasing

power factor of the grid as per the main component.  
1 dwg



RU 2 512 886 C1

RU 2 512 886 C1

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к устройствам подавления и компенсации высших гармоник в электрических сетях и коррекции коэффициента мощности. Устройство может быть использовано в системах электроснабжения промышленных предприятий с большим количеством нелинейной

5

нагрузки. Известен активный фильтр (патент JP №6091711, д. пр. 04.03.1988), содержащий инвертор, накопительный конденсатор, вычислительные схемы и блок памяти. Выходной ток активного фильтра корректируется в зависимости от регулирующей величины тока, в качестве которой используется высокочастотная составляющая тока нелинейной

10

нагрузки. Активный фильтр в данном устройстве содержит вычислительные схемы, определяющие разность между регулирующей величиной тока и выходным током фильтра, и блок памяти, на вход которого поступает выходной сигнал схем, где записана, по меньшей мере, часть периода регулирующей величины тока. В самообучающихся

15

схемах управления за опорные приняты моменты времени, следующие через интервалы запаздывания, например, равные одному периоду регулирующей величины тока. Вычислительные схемы вырабатывают сигнал корректировки регулирующей величины тока в результате считывания содержимого блока памяти с опережением опорных моментов времени на определенный интервал, равный времени запаздывания выходного тока фильтра.

20

Недостатком устройства является невозможность выполнения фазовой синхронизации напряжения и тока компенсируемой сети, а механизм подавления высших гармоник основан на корректировке регулирующей величины тока в течение времени запаздывания фильтра, что в условиях режима динамического изменения тока нелинейной

25

нагрузки не позволит фиксировать и обрабатывать резкие скачки тока сети. В устройстве отсутствует регулятор напряжения накопительного конденсатора для управления величиной компенсационного тока и отработки резких изменений тока компенсируемой

30

нагрузки. Устройство не позволяет инвертору активного фильтра работать с переменной частотой ШИМ. Известно устройство управления активным фильтром (патент JP №6055009, д. пр. 16.11.1987), содержащее блок фазовой синхронизации, вычислительные схемы, накопительный конденсатор и инвертор. Блок фазовой синхронизации вырабатывает фазовые сигналы синхронно с напряжением источника, которые обрабатываются

35

вычислительными схемами. В результате формируются высокочастотные сигналы тока, являющиеся разностью между сигналами тока основной гармоники и сигналами

40

измерения тока нагрузки, которые используются в качестве опорных сигналов при регулировании с применением ШИМ выходного тока активного фильтра. Недостатком устройства является отсутствие регулятора напряжения накопительного конденсатора и что инвертор в составе устройства работает с постоянной частотой ШИМ.

45

Известен активный фильтр высших гармонических составляющих токов и устройство коррекции коэффициента мощности, (патент US №5977660, д. пр. 08.08.1997), содержащее инвертор, контроллер, накопительные конденсаторы и выходной пассивный

сглаживающий фильтр. Контроллер выполняет процедуру прогноза тока в следующий промежуток времени с целью уменьшения создаваемой нагрузкой разницы фаз между

током и напряжением сети. Управляющая процедура выполняет интегрирование разницы между реальными токами в линии и их требуемыми значениями в эквивалентные

промежутки времени на различных циклах переменного тока основной частоты. Интегральные величины можно комбинировать с пропорционально регулируемым

разностными токами для снижения или полной компенсации гармонических токов. Процедура балансировки токов позволяет активному фильтру выравнять токи в многофазных силовых линиях. Все эти процедуры можно использовать как по отдельности, так и вместе.

5 Недостатком фильтра является невозможность инвертора работать с переменной частотой ШИМ.

Известно устройство компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, принятое за прототип (патент RU №2446536, д. пр. 30.11.2010), содержащее инвертор, накопительный конденсатор, выходной сглаживающий пассивный  
10 фильтр и контроллер системы управления, при этом контроллер системы управления снабжен датчиком тока фильтра, датчиком тока сети, датчиком напряжения, формирователем импульсов на основе релейных регуляторов с изменяемой шириной гистерезиса, фазовыми преобразователями тока и напряжения, блоком фазовой синхронизации и регулятором напряжения накопительного конденсатора.

15 Недостатком прототипа является отсутствие возможности компенсации реактивной мощности основной составляющей (первой гармоники). Прототип эффективен при компенсации реактивной мощности, которую создают только высшие гармоники.

Технический результат изобретения заключается в снижении коэффициентов искажения синусоидальности формы кривых тока и напряжения сети при наличии  
20 нелинейной нагрузки, режим работы которой связан с динамическим изменением потребляемого несинусоидального тока, и повышении коэффициента мощности сети по основной составляющей. Предлагаемое устройство может быть востребовано в сетях предприятий, где широкое распространение получила нелинейная нагрузка в виде различного типа преобразователей частоты систем регулируемого электропривода  
25 технологических установок и комплексов.

Технический результат изобретения достигается тем, что в состав устройства компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, содержащего инвертор, накопительный конденсатор, выходной сглаживающий пассивный фильтр и контроллер системы управления, при этом контроллер системы управления снабжен  
30 датчиком тока сети, датчиком напряжения, формирователем импульсов на основе релейных регуляторов с изменяемой шириной гистерезиса, фазовыми преобразователями тока и напряжения, блоком фазовой синхронизации, регулятором напряжения накопительного конденсатора, причем вход датчика тока сети соединен с зажимами питающей сети, вход датчика напряжения соединен с зажимами питающей сети, выход  
35 регулятора напряжения накопительного конденсатора соединен с входами драйверов управления силовыми ключами инвертора, вход регулятора напряжения накопительного конденсатора соединен с зажимами накопительного конденсатора, выход датчика тока сети соединен с входом регулятора напряжения накопительного конденсатора, выход датчика напряжения соединен с входом фазового преобразователя напряжения, выход  
40 фазового преобразователя напряжения соединен с входом блока фазовой синхронизации, выход формирователя импульсов соединен с входами драйверов управления силовыми ключами инвертора, выход фазового преобразователя тока и выход регулятора напряжения накопительного конденсатора соединены с входом формирователя импульсов, включены фазовый преобразователь сетевых токов, фазовый  
45 преобразователь опорных токов и блок формирования напряжения, при этом выход блока фазовой синхронизации соединен с входом фазового преобразователя опорных токов, выход которого соединен с входом блока формирования напряжений, выход которого соединен с входом фазового преобразователя тока, выход блока фазовой

синхронизации соединен с входом блока формирования напряжений, выход датчика тока сети соединен с входом фазового преобразователя сетевых токов, выход которого соединен с входом фазового преобразователя опорных токов, выход регулятора напряжения накопительного конденсатора соединен с входом блока формирования напряжений.

Предлагаемое устройство поясняется на фиг.1, где показана структура устройства. На фиг.1: 1 - нелинейная нагрузка; 2 - инвертор; 3 - накопительный конденсатор; 4 - выходной пассивный фильтр; 5 - датчик напряжения; 6 - фазовый преобразователь напряжения; 7 - блок фазовой синхронизации; 8 - фазовый преобразователь тока; 9 - формирователь импульсов; 10 - датчик тока сети; 11 - регулятор напряжения накопительного конденсатора; 12 - контроллер системы управления; 13 - фазовый преобразователь сетевых токов; 14 - фазовый преобразователь опорных токов; 15 - блок формирования напряжений.

Устройство компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети работает следующим образом. К инвертору 2 подключен накопительный конденсатор 3, к выходу инвертора 2 подключается выходной пассивный фильтр 4. Контроллер системы управления 12 осуществляет регулирование напряжения накопительного конденсатора 3 и генерацию импульсов управления силовыми ключами инвертора 2. Контроллер системы управления 12, в свою очередь, состоит из датчика напряжения 5, фазового преобразователя напряжения 6, блока фазовой синхронизации 7, фазового преобразователя тока 8, формирователя импульсов 9, датчика тока сети 10, регулятора напряжения накопительного конденсатора 11, фазового преобразователя сетевых токов 13, фазового преобразователя опорных токов 14, блока формирования напряжений 15.

Вход датчика тока сети 10 соединен с зажимами питающей сети, вход датчика напряжения 5 соединен с зажимами питающей сети, выход регулятора напряжения накопительного конденсатора 11 соединен с входами драйверов управления силовыми ключами инвертора 2, вход регулятора напряжения накопительного конденсатора 11 соединен с зажимами накопительного конденсатора 3, выход датчика тока сети 10 соединен с входом формирователя импульсов 9, выход датчика тока сети 10 соединен с входом регулятора напряжения накопительного конденсатора 11, выход датчика напряжения 5 соединен с входом фазового преобразователя напряжения 6, выход фазового преобразователя напряжения 6 соединен с входом блока фазовой синхронизации 7, выход блока фазовой синхронизации 7 соединен с входом фазового преобразователя опорных токов 14, выход которого соединен с входом блока формирования напряжений 15, выход которого соединен с входом фазового преобразователя тока 8, выход регулятора напряжения накопительного конденсатора 11 соединен с входом фазового преобразователя тока 8, выход фазового преобразователя тока 8 и выход регулятора напряжения накопительного конденсатора 11 соединены с входом формирователя импульсов 9, выход которого соединен с входами драйверов управления силовыми ключами инвертора 2, выход датчика тока сети 10 соединен с входом фазового преобразователя сетевых токов 13, выход которого соединен с входом фазового преобразователя опорных токов 14, выход блока фазовой синхронизации 7 соединен с входом блока формирования напряжений 15.

Предлагаемое устройство отличается от прототипа наличием фазового преобразователя сетевых токов 13, фазового преобразователя опорных токов 14, блока формирования напряжений 15, отсутствием датчика фактического тока фильтра, отсутствием связи между фазовым преобразователем 8 и регулятором напряжения

накопительного конденсатора 11, отсутствием связи между датчиком тока сети 10 и формирователем импульсов 9, отсутствием сравнения фактического тока инвертора, тока сети и задания по току регулятора напряжения накопительного конденсатора 11, отсутствием связи между датчиком тока фильтра (в прототипе позиция 12 фиг.1) с формирователем импульсов 9.

Измерительные сигналы линейных напряжений искаженной сети от датчика напряжения 5 поступают на вход фазового преобразователя напряжения 6, обрабатывающего поступающие сигналы в соответствии со следующими выражениями:

$$u_{\alpha} = (2 \cdot u_{ab} + u_{bc}) / 3,$$

$$u_{\beta} = u_{bc} / \sqrt{3},$$

где  $u_{ab}$ ,  $u_{bc}$  - измеренные линейные напряжения искаженной сети;  $u_{\alpha}$ ,  $u_{\beta}$  - преобразованные линейные напряжения искаженной сети в системе координат  $\alpha\beta 0$ . Фазовые преобразования позволяют определить угол  $\varphi$  между изображающим вектором искаженного напряжения сети и его проекцией на ось  $\alpha$ . Характер изменения и величина угла  $\varphi$  содержат информацию об уровне искажения, присутствующих высших гармониках и фазовом сдвиге напряжения и тока компенсируемой сети.

Выходные сигналы  $u_{\alpha}$ ,  $u_{\beta}$  фазового преобразователя напряжения 6 поступают на вход блока фазовой синхронизации 7, который выполняет подстройку направляющих косинусов и синусов угла  $\varphi$  так, чтобы полученная в результате этого величина  $\varphi'$  соответствовала синусоидальной форме кривых напряжения сети. Исходные направляющие косинусы и синусы определяются следующим образом:

$$\cos\varphi = u_{\alpha} / u_{sm};$$

$$\sin\varphi = u_{\beta} / u_{sm}; \quad (2)$$

$$u_{sm} = \sqrt{u_{\alpha}^2 + u_{\beta}^2}.$$

Далее полученные значения  $\cos\varphi$  и  $\sin\varphi$  подстраиваются блоком фазовой синхронизации 7 до величин  $\cos\varphi'$  и  $\sin\varphi'$ , соответствующих синусоидальной форме кривых напряжений сети.

Измерительные сигналы фазных токов компенсируемой сети  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  от датчика тока сети 10 поступают на вход фазового преобразователя сетевых токов 13, обрабатывающего поступающие сигналы в соответствии со следующими выражениями:

$$i_{\alpha} = \frac{2}{3} \cdot i_a - \frac{1}{3} (i_b + i_c);$$

$$i_{\beta} = \frac{\sqrt{3}}{3} (i_b - i_c); \quad (2)$$

После этого выходные сигналы  $\cos\varphi'$  и  $\sin\varphi'$  блока фазовой синхронизации 7 и выходные сигналы  $i_{\alpha}$  и  $i_{\beta}$  фазового преобразователя сетевых токов 13 поступают на вход фазового преобразователя опорных токов 14, который осуществляет обработку входных сигналов в соответствии со следующими выражениями:

$$i_d = i_{\alpha} \cos\varphi' + i_{\beta} \sin\varphi';$$

$$i_q = i_{\beta} \cos\varphi' - i_{\alpha} \sin\varphi'. \quad (3)$$

Далее выходные сигналы  $i_d$  и  $i_q$  фазового преобразователя опорных токов 14 вместе с выходным сигналом задания по току  $i_3$  от регулятора 11 и выходными сигналами  $\cos\varphi'$  и  $\sin\varphi'$  блока фазовой синхронизации 7 подаются на вход блока формирования

напряжений 15, который осуществляет обработку входных сигналов в соответствии со следующими выражениями:

$$u_{\alpha} = (-K_1 \cdot (i_3 - i_d) / \Delta T + \omega_k \cdot L_d \cdot i_q + U_m) \cos \varphi' - (K_2 i_q / \Delta T - \omega_k \cdot L_d \cdot i_d) \sin \varphi';$$

$$u_{\beta} = (-K_1 \cdot (i_3 - i_d) / \Delta T + \omega_k \cdot L_d \cdot i_q + U_m) \sin \varphi' + (K_2 i_q / \Delta T - \omega_k \cdot L_d \cdot i_d) \cos \varphi', \quad (4)$$

где  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $\Delta T$ ,  $L_d$ ,  $\omega_k$ ,  $U_m$  - параметры блока формирования напряжений 15, величины которых определяются в зависимости от параметров компенсируемой сети.

После этого выходные сигналы блока формирования напряжений 15  $u_{\alpha}$  и  $u_{\beta}$  поступают на вход фазового преобразователя тока 8, который осуществляет обработку входных сигналов в соответствии со следующими выражениями:

$$u_a = u_{\alpha};$$

$$u_b = (\sqrt{3} \cdot u_{\beta} - u_{\alpha}) / 2; \quad (5)$$

$$u_c = (-\sqrt{3} \cdot u_{\beta} - u_{\alpha}) / 2.$$

Далее выходные сигналы  $u_a$ ,  $u_b$ ,  $u_c$  фазового преобразователя тока 8 вместе с сигналом задания по току от регулятора 11  $i_3$  поступают на вход формирователя импульсов 9, выполненного на основе релейных регуляторов.

Регулятор 11 также контролирует уровень напряжения накопительного конденсатора 3 у заданной величины и дает сигнал на силовые ключи инвертора 2 для подзарядки конденсатора 3, если фактическое напряжение ниже задания. Сравнивая заданную и фактическую величины напряжения накопительного конденсатора 3 с учетом величины искаженного тока сети от датчика 10, регулятор 11 формирует сигнал задания по току заряда  $i_3$  для инвертора. Регулятор 11, обладая высоким быстродействием, которое позволяет обрабатывать резкие изменения тока нелинейной нагрузки длительностью от единиц до десятков микросекунд, обеспечивает запас величины напряжения конденсатора 3 в случае внезапного изменения режима работы нелинейной нагрузки, приводящего к увеличению потребляемого ею искаженного тока и, как следствие, к росту величины необходимого компенсационного тока. Регулятор 11 имеет верхний и нижний пределы ограничения, не позволяющие устройству работать в режиме длительной перегрузки.

Изменение ширины и частоты гистерезиса релейных регуляторов формирователя импульсов в предлагаемом устройстве позволяет обеспечить режим работы инвертора с переменной частотой ШИМ, требуемую точность отработки задания по компенсационному току при сохранении уровня быстродействия, достаточного для отслеживания динамических изменений режима работы большинства типов нелинейной нагрузки, контролировать непрерывное изменение спектра генерируемого компенсационного тока.

С увеличением частоты гистерезиса релейных регуляторов растет точность отработки задания по компенсационному току инвертора. Величина ширины гистерезиса релейных регуляторов  $\Delta i$  определяет частоту ШИМ инвертора.

Динамическое изменение режима работы компенсируемой нелинейной нагрузки и генерируемого ею гармонического спектра делает неэффективным использование других типов регуляторов для формирования импульсов управления ключами инвертора в данном способе.

Наличие фазового преобразователя сетевых токов 13, фазового преобразователя опорных токов 14 и блока формирования напряжений 15 позволяет осуществлять коррекцию коэффициента мощности сети по основной составляющей.

Аппаратная реализация предлагаемого устройства может быть осуществлена с помощью существующих силовых электротехнических, электронных и микропроцессорных устройств при надлежащем выборе и настройке соответствующих параметров.

5

#### Формула изобретения

Устройство компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, содержащее инвертор, накопительный конденсатор, выходной сглаживающий пассивный фильтр и контроллер системы управления, при этом контроллер системы управления снабжен датчиком тока сети, датчиком напряжения, формирователем импульсов на основе релейных регуляторов с изменяемой шириной гистерезиса, фазовыми преобразователями тока и напряжения, блоком фазовой синхронизации, регулятором напряжения накопительного конденсатора, причем вход датчика тока сети соединен с зажимами питающей сети, вход датчика напряжения соединен с зажимами питающей сети, выход регулятора напряжения накопительного конденсатора соединен с входами драйверов управления силовыми ключами инвертора, вход регулятора напряжения накопительного конденсатора соединен с зажимами накопительного конденсатора, выход датчика тока сети соединен с входом регулятора напряжения накопительного конденсатора, выход датчика напряжения соединен с входом фазового преобразователя напряжения, выход фазового преобразователя напряжения соединен с входом блока фазовой синхронизации, выход формирователя импульсов соединен с входами драйверов управления силовыми ключами инвертора, выход фазового преобразователя тока и выход регулятора напряжения накопительного конденсатора соединены с входом формирователя импульсов, отличающееся тем, что оно снабжено фазовым преобразователем сетевых токов, фазовым преобразователем опорных токов и блоком формирования напряжения, при этом выход блока фазовой синхронизации соединен с входом фазового преобразователя опорных токов, выход которого соединен с входом блока формирования напряжений, выход которого соединен с входом фазового преобразователя тока, выход блока фазовой синхронизации соединен с входом блока формирования напряжений, выход датчика тока сети соединен с входом фазового преобразователя сетевых токов, выход которого соединен с входом фазового преобразователя опорных токов, выход регулятора напряжения накопительного конденсатора соединен с входом блока формирования напряжений.

35

40

45