

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2413350

**СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И
КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ СЕТИ**

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2009146366

Приоритет изобретения 14 декабря 2009 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 февраля 2011 г.

Срок действия патента истекает 14 декабря 2029 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)RU

(11)2413350

(13)C1



(51) МПК

H02J3/18 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2009146366/07, 14.12.2009**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.12.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **14.12.2009**

(45) Опубликовано: **27.02.2011**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2354025 C1, 27.04.2009. RU 2191458 C1, 20.10.2002. SU 1427480 A1, 30.09.1988. JP 6087631 A1, 25.07.1980. DE 19738125 A1, 04.03.1999.**

Адрес для переписки:
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2, СПГГИ (ТУ), отдел интеллектуальной собственности и трансфера технологий

(отдел ИС и ТТ), рег. № 314

(72) Автор(ы):

**Абрамович Борис Николаевич (RU),
Полищук Вадим Васильевич (RU),
Сычев Юрий Анатольевич (RU)**

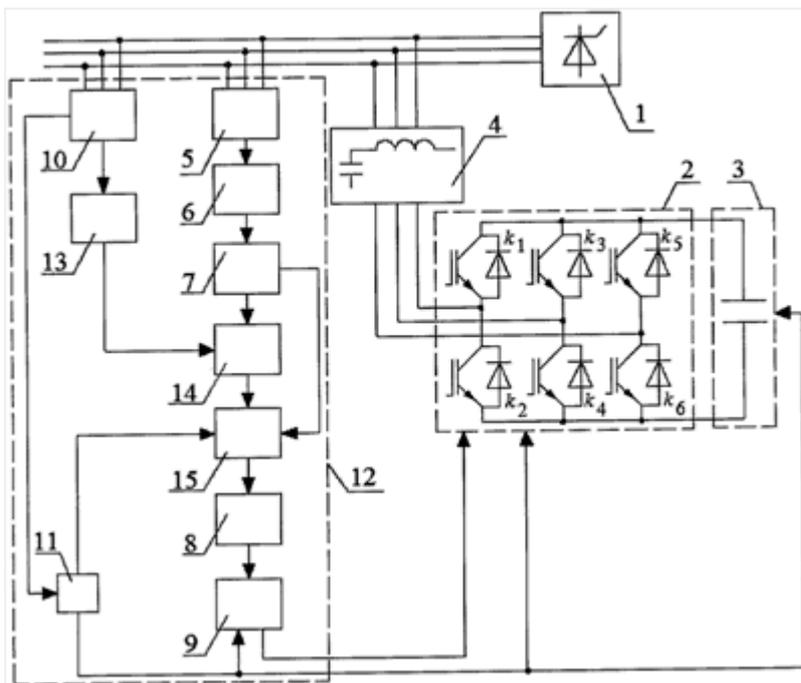
(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)" (RU)

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

(57) Реферат:

Использование: в области электротехники и электроэнергетики. Технический результат заключается в снижении коэффициентов искажения синусоидальности тока и напряжения сети и в повышении коэффициента мощности. Способ заключается в формировании импульсов управления силовыми ключами инвертора с использованием фазовой синхронизации напряжения и тока сети, обработке сигналов от датчиков напряжения фазовым преобразователем до фазовой синхронизации напряжения и тока, при этом выходные сигналы от датчика тока сети поступают на вход первого дополнительного фазового преобразователя, выходные сигналы которого вместе с выходными сигналами блока фазовой синхронизации поступают на вход второго дополнительного фазового преобразователя, выходные сигналы от которого вместе с выходным сигналом регулятора напряжения накопительного конденсатора и выходными сигналами блока фазовой синхронизации поступают на вход блока формирования напряжений, выходные сигналы от которого поступают на вход фазового преобразователя, выходные сигналы которого вместе с выходным сигналом регулятора напряжения накопительного конденсатора поступают на вход блока релейных регуляторов. 1 ил.



Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к способам подавления и компенсации высших гармоник в электрических сетях и коррекции коэффициента мощности. Способ может быть использован в системах электроснабжения промышленных предприятий с большим количеством нелинейной нагрузки, генерирующей высшие гармоники тока и напряжения, для приведения в соответствие с требованиями нормативной документации величины коэффициента искажения синусоидальности и коэффициента n -й гармонической составляющей кривой напряжения.

Известен способ и устройство для адаптивного подавления гармоник тока в силовой линии (патент США № 5726504, дата подачи заявки: 24.05.1996, H02J 3/01), содержащее датчик тока, шаблонную цепь, цепь сравнения и цепь коррекции тока. Датчик тока измеряет амплитуду тока силовой линии на каждой половине периода основной гармоники. Шаблонная цепь формирует чистый синусоидальный ток основной частоты в качестве эталона. Цепь сравнения получает сигналы с датчика тока и шаблонной цепи и формирует сигнал разности этих двух сигналов. Полученный сигнал поступает в цепь коррекции, которая несколько раз на полупериоде основной гармоники поглощает часть тока силовой линии, если этот ток превышает шаблонный, или формирует добавочный ток, если ток линии меньше шаблонного. Цепь коррекции тока содержит накопитель энергии, который заряжается при поглощении тока линии и разряжается при необходимости генерации тока в линию.

Недостатком способа является отсутствие фазовых преобразований измеренного тока и напряжения компенсируемой сети. При этом невозможно осуществить компенсацию высших гармоник и коррекцию коэффициента мощности в условиях режима работы нелинейной нагрузки с динамическим изменением потребляемого искаженного тока.

Известен способ и устройство для компенсации появляющихся в сети искажений формы сетевого напряжения (патент Германия № 19738125, дата подачи заявки: 01.09.1997, H02J 3/01) на основе активного фильтра, содержащее импульсный преобразователь тока в виде инвертора и индуктивно-емкостную связь колебательного контура. Способ заключается в формировании импульсов управления силовыми ключами инвертора на основе определения пространственных векторов искаженного напряжения сети.

Недостатком способа является отсутствие фазовых преобразований и фазовой синхронизации измеренного тока и напряжения компенсируемой сети, что не позволяет осуществить компенсацию высших гармоник и коррекцию коэффициента мощности сети в условиях режима работы нелинейной нагрузки с динамическим изменением потребляемого искаженного тока. Инвертор согласно способу работает в режиме постоянной частоты широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Известен способ формирования группы управляющих сигналов для полупроводникового преобразователя активного фильтра для компенсации гармонических и других колебаний и устройство для осуществления способа (патент Германия № 10244056, дата подачи заявки: 10.09.2002, H02M 1/12). В соответствии со способом измеряются токи или напряжения в сетевых проводах и, при

необходимости, в нулевом проводе. Из измеренных сигналов удаляется, по меньшей мере, основная составляющая с частотой f_0 . Для выработки управляющего сигнала или сигналов используется преобразованная функция $tr(t)$ на каждом измеренном сигнале.

Недостатком способа является отсутствие фазовых преобразований и фазовой синхронизации измеренных напряжений и токов компенсируемой сети.

Известен способ управления активным фильтром в системе компенсации реактивной мощности (патент Японии № 6087631, дата подачи заявки: 19.01.1988, H02J 3/01), который заключается в формировании импульсов управления силовыми ключами инвертора в составе активного фильтра на основе вычисления разности между полным током сети и суммой активной и реактивной составляющей тока сети. Реактивная мощность контролируется по вычисленной величине полного тока и напряжению сети. По среднему значению реактивной мощности и стандартному синусоидальному сигналу, синхронному с напряжением сети, вычисляется реактивный ток неизменяющейся составляющей тока нагрузки. По величине тока нагрузки и напряжению сети вычисляется активная мощность, которая используется вместе со стандартным синусоидальным сигналом для вычисления активной составляющей тока. Из полного тока вычисляется активная и реактивная составляющие и в соответствии с полученным значением формируются импульсы управления силовыми ключами инвертора активного фильтра.

Недостатком способа является отсутствие фазовых преобразований измеренных напряжений и токов искаженной сети. Инвертор согласно способу не может работать в режиме переменной частоты ШИМ.

Известен способ компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети (патент РФ № 2354025, дата подачи заявки: 4.05.2008, H02J 3/18), принятый за прототип, заключающийся в формировании импульсов управления силовыми ключами инвертора с использованием фазовой синхронизации напряжения и тока сети.

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

Технический результат изобретения заключается в снижении коэффициентов искажения синусоидальности формы кривых тока и напряжения сети при наличии нелинейной нагрузки, режим работы которой связан с динамическим изменением потребляемого несинусоидального тока, и повышении коэффициента мощности сети по основной составляющей.

Технический результат изобретения достигается тем, что в способе компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, заключающемся в формировании импульсов управления силовыми ключами инвертора с использованием фазовой синхронизации напряжения и тока сети, обработке сигналов от датчиков напряжения фазовым преобразователем до фазовой синхронизации напряжения и тока, выходные сигналы от датчика тока сети поступают на вход первого дополнительного фазового преобразователя, выходные сигналы которого вместе с выходными сигналами блока фазовой синхронизации поступают на вход второго дополнительного фазового преобразователя, выходные сигналы от которого вместе с выходным сигналом регулятора напряжения накопительного конденсатора и выходными сигналами блока фазовой синхронизации поступают на вход блока формирования напряжений, выходные сигналы от которого поступают на вход фазового преобразователя, выходные сигналы которого вместе с выходным сигналом регулятора напряжения накопительного конденсатора поступают на вход блока релейных регуляторов.

Предлагаемый способ поясняется чертежом, где показана структура параллельного активного фильтра, на основе которого реализуется предлагаемый способ. На чертеже: 1 - нелинейная нагрузка; 2 - инвертор; 3 - накопительный конденсатор; 4 - выходной пассивный фильтр; 5 - датчик напряжения; 6, 8 - преобразователи фаз; 7 - блок фазовой синхронизации; 9 - блок релейных регуляторов, состоящий из трех релейных регуляторов для каждой фазы компенсируемой сети; 10 - датчик тока; 11 - регулятор напряжения накопительного конденсатора; 12 - контроллер системы управления; 13 - первый дополнительный фазовый преобразователь; 14 - второй дополнительный фазовый преобразователь; 15 - блок формирования напряжений.

Параллельный активный фильтр (чертеж) состоит из инвертора 2, к которому со стороны постоянного тока подключен накопительный конденсатор 3. Со стороны переменного тока к инвертору подключен выходной пассивный фильтр 4. Импульсы управления силовыми ключами инвертора 2 генерирует контроллер 12 системы управления, который состоит из датчика напряжения 5, фазовых преобразователей 6 и 8, блока фазовой синхронизации 7, блока релейных регуляторов 9, датчика тока 10, регулятора напряжения накопительного конденсатора 11, первого дополнительного фазового

преобразователя 13, второго дополнительного фазового преобразователя 14, блока формирования напряжений 15.

Предлагаемый способ отличается от прототипа наличием первого дополнительного фазового преобразователя 13, второго дополнительного фазового преобразователя 14, блока формирования напряжений 15, отсутствием датчика фактического тока инвертора (в прототипе он указан под позицией 12 фиг.1), отсутствием связи между фазовым преобразователем 8 и регулятором напряжения накопительного конденсатора 11, отсутствием связи между датчиком тока 10 и блоком релейных регуляторов 9, отсутствием сравнения фактического тока инвертора, тока сети и задания по току регулятора напряжения накопительного конденсатора 11, отсутствием связи между датчиком фактического тока инвертора (в прототипе позиция 12 фиг.1) с блоком релейных регуляторов 9.

Способ компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности реализуется следующим образом.

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

$$\begin{aligned} u_{\alpha} &= (2 \cdot u_{ab} + u_{bc}) / 3; \\ u_{\beta} &= u_{bc} / \sqrt{3}, \end{aligned} \quad (1)$$

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

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

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= u_{\alpha} / u_{зм}; \\ \sin \varphi &= u_{\beta} / u_{зм}; \\ u_{зм} &= \sqrt{u_{\alpha}^2 + u_{\beta}^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

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 10 поступают на вход первого дополнительного фазового преобразователя 13, обрабатывающего поступающие сигналы в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{aligned} i_{\alpha} &= \frac{2}{3} \cdot i_a - \frac{1}{3} (i_b + i_c); \\ i_{\beta} &= \frac{\sqrt{3}}{3} (i_b - i_c). \end{aligned} \quad (3)$$

После этого выходные сигналы $\cos\varphi'$ и $\sin\varphi'$ блока фазовой синхронизации 7 и выходные сигналы i_{α} и i_{β} первого дополнительного фазового преобразователя 13 поступают на вход второго дополнительного фазового преобразователя 14, который осуществляет обработку входных сигналов в соответствии со

следующими выражениями:

$$\begin{aligned} i_d &= i_\alpha \cos \varphi' + i_\beta \sin \varphi'; \\ i_q &= i_\beta \cos \varphi' - i_\alpha \sin \varphi'. \end{aligned} \quad (4)$$

Далее выходные сигналы i_d и i_q второго дополнительного фазового преобразователя 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:

$$\begin{aligned} u_\alpha &= (-K_1 \cdot (i_3 - i_d) / \Delta T + \omega_k \cdot L_d \cdot i_q + U_m) \cos \varphi' - (K_2 i_q / \Delta T - \omega_k \cdot L_d \cdot i_d) \sin \varphi'; \\ u_\beta &= (-K_1 \cdot (i_3 - i_d) / \Delta T + \omega_k \cdot L_d \cdot i_q + U_m) \sin \varphi' + (K_2 i_q / \Delta T - \omega_k \cdot L_d \cdot i_d) \cos \varphi', \end{aligned} \quad (5)$$

где K_1 , K_2 , ΔT , L_d , ω_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_α и u_β поступают на вход фазового преобразователя 8, который осуществляет обработку входных сигналов в соответствии со следующими выражениями:

$$\begin{aligned} u_a &= u_\alpha; \\ u_b &= (\sqrt{3} \cdot u_\beta - u_\alpha) / 2; \\ u_c &= (-\sqrt{3} \cdot u_\beta - u_\alpha) / 2. \end{aligned} \quad (6)$$

Далее выходные сигналы u_a , u_b , u_c фазового преобразователя 8 вместе с сигналом задания по току от регулятора 11 i_3 поступают на вход блока релейных регуляторов 9.

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 величину 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 ей 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 в предлагаемом способе 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 Δi 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 двух дополнительных фазовых преобразователей 13, 14 и блока формирования напряжений

15 позволяет осуществлять коррекцию коэффициента мощности сети по основной составляющей.

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

Формула изобретения

Способ компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, заключающийся в формировании импульсов управления силовыми ключами инвертора с использованием фазовой синхронизации напряжения и тока сети, обработке сигналов от датчиков напряжения фазовым преобразователем до фазовой синхронизации напряжения и тока, отличающийся тем, что выходные сигналы от датчика тока сети поступают на вход первого дополнительного фазового преобразователя, выходные сигналы которого вместе с выходными сигналами блока фазовой синхронизации поступают на вход второго дополнительного фазового преобразователя, выходные сигналы от которого вместе с выходным сигналом регулятора напряжения накопительного конденсатора и выходными сигналами блока фазовой синхронизации поступают на вход блока формирования напряжений, выходные сигналы от которого поступают на вход фазового преобразователя, выходные сигналы которого вместе с выходным сигналом регулятора напряжения накопительного конденсатора поступают на вход блока релейных регуляторов.