

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 212745

УСТРОЙСТВО ПОДАВЛЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ СЕТИ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Зимин Роман Юрьевич (RU), Сычев Юрий Анатольевич (RU), Алдашов Алексей Александрович (RU)*

Заявка № 2022113666

Приоритет полезной модели 23 мая 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 04 августа 2022 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 23 мая 2032 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02J 3/01 (2022.05); G01R 21/06 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2022113666, 23.05.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.05.2022

Дата регистрации:
04.08.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.05.2022

(45) Опубликовано: 04.08.2022 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

**Зимин Роман Юрьевич (RU),
Сычев Юрий Анатольевич (RU),
Алдашов Алексей Александрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)**

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 198721 U1, 23.07.2020. RU 184273
U1, 22.10.2018. CN 105515004 A, 20.04.2016. WO
2011012436 A3, 03.02.2011.

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

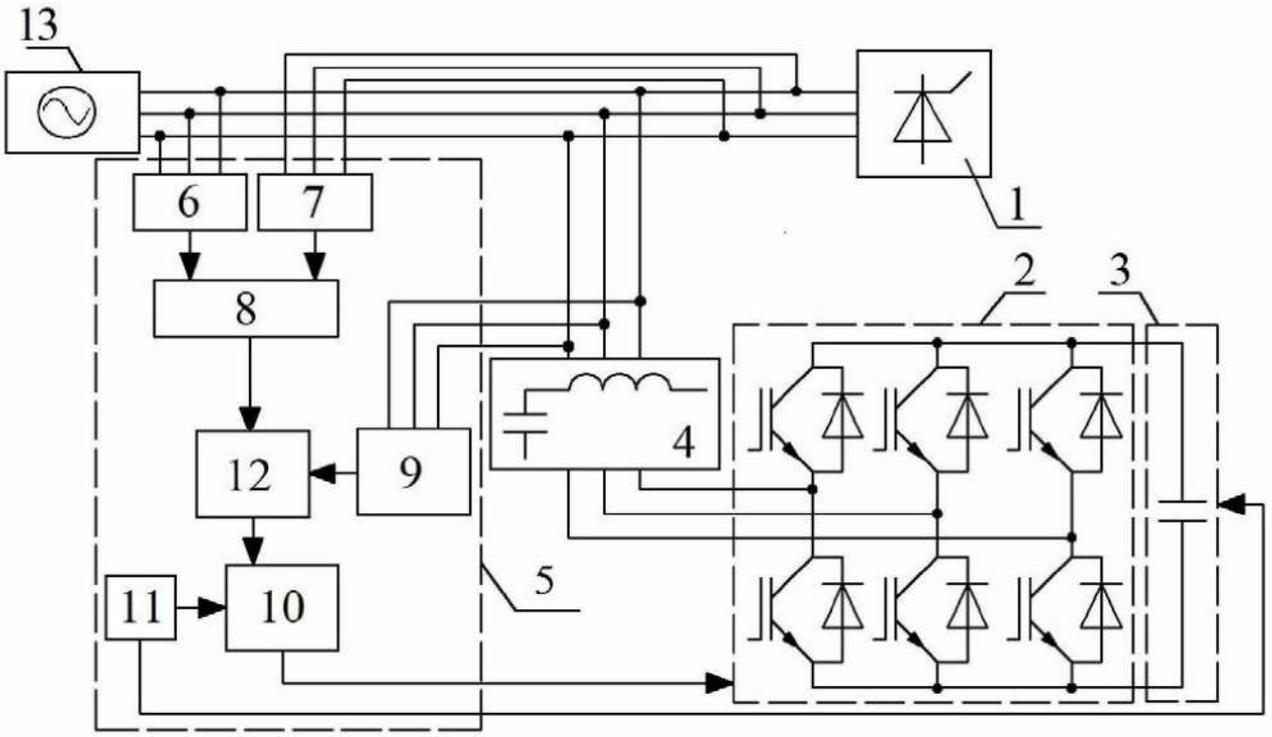
(57) Реферат:

Полезная модель относится к области электротехники, в частности к устройствам компенсации высших гармоник в электрических сетях и коррекции коэффициента мощности. Технический результат заключается в устранении высших гармоник тока и коррекции реактивных составляющих тока нелинейной нагрузки. Достигается тем, что в контроллер системы управления дополнительно установлены датчик тока инвертора активного фильтра, вход

которого соединен с выходом выходного пассивного фильтра, а выход – со входом формирователя компенсационного тока, вход которого соединен с выходом фильтра выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети, а выход соединен с одним из входов формирователя импульсов, при этом другой вход соединен с выходом регулятора напряжения накопительного конденсатора. 1 ил.

RU
212745
U1

RU
212745
U1



Фиг.1

RU 212745 U1

RU 212745 U1

Полезная модель относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к устройствам компенсации высших гармоник в электрических сетях и коррекции коэффициента мощности. Устройство может быть использовано в системах электроснабжения промышленных предприятий с большим количеством нелинейной нагрузки, генерирующей гармоники тока и напряжения.

Известно устройство компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети (патент RU № 2512886, опубл. 10.04.2014), 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. Устройство 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.

Недостатком устройства является применение большого числа фазовых преобразований, что усложняет схему и ведет к недостаточному быстродействию в условиях резкопеременного режима изменения гармонических искажений, а также не позволяет реализовать функцию коррекции высших гармоник напряжения со стороны сети и коэффициента мощности по основной составляющей.

Известно устройство компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента несимметрии сети (патент RU № 2573599, опубл. 20.01.2016), содержащее инвертор, накопительный конденсатор, выходной сглаживающий пассивный фильтр и контроллер системы управления, причем 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, регулятором напряжения накопительного конденсатора. Контроллер системы управления снабжен блоком выявления составляющих токов обратной и нулевой последовательности и блоком фазовой коррекции несимметричных составляющих тока, при этом вход блока

выявления составляющих токов обратной и нулевой последовательности соединен с выходом датчика тока сети, а выход блока выявления составляющих токов обратной и нулевой последовательности соединен с входом блока фазовой коррекции несимметричных составляющих тока, который также соединен с выходом блока фазовой синхронизации, при этом выход блока фазовой коррекции несимметричных составляющих тока соединен с входом формирователя импульсов.

Недостатком устройства является использование большого числа фазовых преобразований в системе управления устройством компенсации, что усложняет схему и ведет к недостаточному быстродействию в условиях резкопеременного режима изменения высших гармонических составляющих, а также не позволяет реализовать функцию коррекции высших гармоник напряжения со стороны сети и коэффициента мощности по основной гармонической составляющей.

Известно устройство гибридной компенсации высших гармоник (патент RU № 176107, опубл. 09.01.2018 г.), содержащее инвертор, неуправляемый выпрямитель преобразователя частоты, накопительный конденсатор преобразователя частоты, инвертор устройства компенсации, датчик переменного тока преобразователя частоты, блок вычитания, причем вход неуправляемого выпрямителя преобразователя частоты подключен через датчик переменного тока преобразователя частоты к сети, зажимы «+» и «-» неуправляемого выпрямителя преобразователя частоты подключены соответственно через первую и вторую обкладки накопительного конденсатора преобразователя частоты к зажимам «+» и «-» инвертора преобразователя частоты, зажимы «+» и «-» инвертора устройства компенсации подключены соответственно к зажимам «+» и «-» неуправляемого выпрямителя преобразователя частоты. Выход датчика тока сети соединен с входом блока преобразования Фурье, выход которого соединен с первым входом блока выделения основной гармоники, а второй вход которого соединен с выходом задатчика основной гармоники, выход блока выделения основной гармоники соединен с первым входом блока вычитания, второй вход которого подключен к выходу датчика переменного тока преобразователя, выход блока вычитания соединен с входом блока смещения, выход которого соединен с входом блока широтно-импульсной модуляции, выход которого соединен с инвертором устройства компенсации.

Недостатком устройства является использование большого числа фазовых преобразований в системе управления гибридным устройством компенсации высших гармоник, что усложняет схему и ведет к недостаточному быстродействию в условиях резкопеременной нелинейной нагрузки, а также не позволяет реализовать функцию коррекции высших гармоник напряжения со стороны сети и коэффициента мощности по основной гармонической составляющей.

Известно устройство гибридной компенсации высших гармоник (патент RU № 185875, опубл. 21.12.2018 г.), содержащее инвертор, неуправляемый выпрямитель преобразователя частоты, накопительный конденсатор преобразователя частоты, инвертор устройства компенсации, сглаживающие дроссели, выходной пассивный фильтр, датчик переменного тока преобразователя частоты, датчик переменного тока сети, блок вычитания, вход неуправляемого выпрямителя преобразователя частоты подключен через датчик переменного тока преобразователя частоты к сети, зажимы «+» и «-» неуправляемого выпрямителя преобразователя частоты подключены соответственно через первую и вторую обкладки накопительного конденсатора преобразователя частоты к зажимам «+» и «-» инвертора преобразователя частоты, зажимы «+» и «-» инвертора устройства компенсации подключены к зажимам «+» и «-»

неуправляемого выпрямителя преобразователя частоты, выход инвертора устройства компенсации подключен через сглаживающие дроссели и пассивный фильтр к сети, с выхода датчика тока сети сигнал поступает на вход блока преобразования Фурье, с выхода которого сигнал поступает на первый вход блока выделения основной гармоник, на второй вход которого поступает сигнал с датчика основной гармоник, с выхода блока выделения основной гармоник сигнал поступает на первый вход блока вычитания, второй вход которого подключен к выходу датчика переменного тока преобразователя, с выхода блока вычитания сигнал поступает на вход блок фазовой синхронизации, а также установлен блок широтно-импульсной модуляции, выход которого соединен с устройством компенсации. Дополнительно установлены блок смещения и блок регулирования частоты широтноимпульсной модуляции, выход блока фазовой синхронизации соединен со входом блока смещения, выход которого соединен с первым входом блока широтноимпульсной модуляции, выход датчика переменного тока сети соединен с входом блока регулирования частоты широтно-импульсной модуляции, выход которого соединен со вторым входом блока широтно-импульсной модуляции.

Недостатком устройства является использование большого числа фазовых преобразований в системе управления гибридным устройством компенсации высших гармоник, что усложняет схему и ведет к недостаточному быстродействию в условиях резкопеременной нелинейной нагрузки, а также не позволяет реализовать функцию коррекции высших гармоник напряжения со стороны сети и коэффициента мощности по основной гармонической составляющей.

Известно устройство подавления высших гармоник тока (патент RU № 184273, опубл. 22.10.2018 г.) содержащее инвертор, накопительный конденсатор, выходной сглаживающий пассивный фильтр и контроллер системы управления, при этом сетевой дроссель входом подключен к выходным цепям выходного пассивного фильтра, а выходом - к сети питающего напряжения, фильтр выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети входами подключен к выходам датчика напряжения сети, с его выхода первая гармоническая составляющая сети питающего напряжения подается на вход формирователя импульсов управления транзисторами инвертора; первая гармоническая составляющая выходного напряжения инвертора, выделенная пассивным фильтром, посредством датчика выходного напряжения инвертора передается на вход формирователя импульсов управления транзисторами инвертора.

Недостатком устройства является применение большого числа фазовых преобразований, что значительно усложняет схему и ведет к недостаточному быстродействию в условиях резкопеременной нелинейной нагрузки, а также не позволяет реализовать функцию коррекции высших гармоник напряжения со стороны сети и коэффициента мощности по первой гармонической составляющей.

Известно устройство подавления высших гармоник тока (патент RU № 198721, опубл. 23.07.2020 г.), принятое за прототип, содержащее инвертор, накопительный конденсатор, выходной сглаживающий пассивный фильтр и контроллер системы управления, при этом сетевой дроссель входом подключен к выходным цепям выходного пассивного фильтра, а выходом - к сети питающего напряжения, фильтр выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети входами подключен к выходам датчика напряжения сети, первая гармоническая составляющая выходного напряжения инвертора, выделенная пассивным фильтром, посредством датчика выходного напряжения инвертора передается на вход формирователя импульсов

управления транзисторами инвертора, дополнительно к сети подключается датчик тока нелинейной нагрузки, выход которого соединен с входом фильтра выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети, выход которого соединен с блоком выбора режима работы устройства, выход которого подключен к входу формирователя импульсов и входу блока регулирования индуктивности сетевого дросселя, выход которого соединен с сетевым дросселем.

Недостатком устройства является наличие потерь напряжения на сетевом дросселе, а также значительная погрешность при формировании компенсационного тока за счет отсутствия сравнения заданного компенсационного тока с фактическим током на выходе инвертора.

Техническим результатом является устранение высших гармоник тока, и коррекция реактивных составляющих тока нелинейной нагрузки.

Технический результат достигается тем, что в контроллер системы управления дополнительно установлены датчик тока инвертора активного фильтра, вход которого соединен с выходом выходного пассивного фильтра, а выход – со входом формирователя компенсационного тока, вход которого соединен с выходом фильтра выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети, а выход соединен с одним из входов формирователя импульсов, при этом другой вход соединен с выходом регулятора напряжения накопительного конденсатора.

Устройство подавления высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети поясняется следующей фигурой:

фиг.1 – общая схема устройства, где:

- 1 – нелинейная нагрузка;
- 2 – инвертор;
- 3 – накопительный конденсатор;
- 4 – выходной пассивный фильтр;
- 5 – контроллер системы управления;
- 6 – датчик напряжения сети;
- 7 – датчик тока нелинейной нагрузки;
- 8 – фильтр выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети;
- 9 – датчик тока инвертора активного фильтра;
- 10 – формирователь импульсов;
- 11 – регулятор напряжения накопительного конденсатора;
- 12 – формирователь компенсационного тока;
- 13 – сеть.

Устройство подавления высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети включает контроллер системы управления 5, который содержит датчик напряжения сети 6, датчик тока нелинейной нагрузки 7, фильтр выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети 8, датчик тока инвертора активного фильтра 9, формирователь импульсов 10, регулятор напряжения накопительного конденсатора 11, формирователь компенсационного тока 12. Выход нелинейной нагрузки 1 соединен со входом датчика тока нелинейной нагрузки 7. Выход сети 13 соединен со входом датчика напряжения сети 6. Выход датчика тока нелинейной нагрузки 7 и выход датчика напряжения сети 6 соединены с входом фильтра выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети 8, а его выход соединен с одним из входов формирователя компенсационного тока 12, а другой вход соединен с выходом датчика тока инвертора активного фильтра 9. Вход датчика тока инвертора активного фильтра

9 соединен с выходом выходного пассивного фильтра 4, вход которого соединен с выходом инвертора 2. Вход инвертора 2 соединен с выходом накопительного конденсатора 3, а вход которого соединен с регулятором напряжения накопительного конденсатора 11. Выход формирователя компенсационного тока 12 соединен с одним из входов формирователя импульсов 10, другой вход которого соединен с выходом регулятора напряжения накопительного конденсатора 11. Выход формирователя импульсов 10 соединен с входом инвертора 2

Устройство работает следующим образом. Датчик напряжения сети 8 и датчик тока нелинейной нагрузки 7 собирают измерительную информацию о гармонических искажениях напряжения источника и тока подключенной нелинейной нагрузки 1 соответственно. На основании полученной информации фильтр выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети 8 формирует задания по напряжению первой гармоники сети, а также по основной составляющей тока, потребляемого нелинейной нагрузкой, что позволяет расширить функциональные возможности устройства путем введения в его состав минимального количества новых блоков.

Выделение первой гармоники напряжения сети фильтром 8 осуществляется аналогично прототипу. При этом выделение основной составляющей тока, потребляемого нелинейной нагрузкой 1, может быть реализовано по принципу определения ортогональных составляющих тока и напряжения, который рассматривается далее.

Для заданных фазных токов $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$ и напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ электрической сети во временном диапазоне $[0, T]$ можно записать следующие обобщенные вектора тока и напряжения:

$$\mathbf{i}(t) = \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \\ i_3(t) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ u_3(t) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Скалярное произведение этих векторов на интервале t_1-t_2 :

$$(\mathbf{u}, \mathbf{i}) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{u}^T \mathbf{i} d\tau = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \begin{bmatrix} u_1(\tau) \\ u_2(\tau) \\ u_3(\tau) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} i_1(\tau) \\ i_2(\tau) \\ i_3(\tau) \end{bmatrix} d\tau = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (p_1(\tau) + p_2(\tau) + p_3(\tau)) d\tau = \quad (2)$$

$$= P_1 + P_2 + P_3 = P,$$

где p_1, p_2, p_3 - мгновенные значения активной мощности каждой из трех фаз, P_1, P_2, P_3 - средние значения активной мощности каждой из трех фаз. Таким образом, векторное произведение векторов тока и напряжения равно суммарной средней активной мощности трехфазной сети.

При представлении действующих значений вектора тока I и вектора напряжения U с помощью Эвклидовых норм векторов:

$$I^2 = \|\mathbf{i}\|^2 = I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{i}^T \mathbf{i} d\tau = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (i_1^2(\tau) + i_2^2(\tau) + i_3^2(\tau)) d\tau, \quad (3)$$

$$U^2 = \|\mathbf{u}\|^2 = U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{u}^T \mathbf{u} d\tau = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (u_1^2(\tau) + u_2^2(\tau) + u_3^2(\tau)) d\tau, \quad (4)$$

где: I_1, I_2, I_3 и U_1, U_2, U_3 - действующие значения токов и напряжений. Эквивалентная

активная проводимость G трехфазной сети определяется следующим образом:

$$G = \frac{P}{U^2} = \frac{P}{\|\mathbf{u}\|^2}. \quad (5)$$

5 Величина G необходима для определения вектора тока \mathbf{i}_u , который коллинеарен вектору приложенного напряжения \mathbf{u} :

$$\mathbf{i}_u = G\mathbf{u} = \frac{P}{U^2}\mathbf{u}. \quad (6)$$

10 Выражение (6) также можно представить следующим образом:

$$\mathbf{i}_u = G\mathbf{u} = \frac{P}{\|\mathbf{u}\|^2}\mathbf{u} = \frac{(\mathbf{u}, \mathbf{i})}{\|\mathbf{u}\|^2}\mathbf{u}. \quad (7)$$

Взаимосвязь между составляющими полного тока следующая:

$$\mathbf{i}_{u0} = \mathbf{i} - \mathbf{i}_u. \quad (8)$$

15 Таким образом, выражение (6) позволяет выявить основную составляющую тока нелинейной нагрузки, которая будет синфазна приложенному напряжению сети, а выражение (8) определить реактивную составляющую тока первой гармоники, которую необходимо компенсировать в случае коррекции коэффициента мощности по основной составляющей.

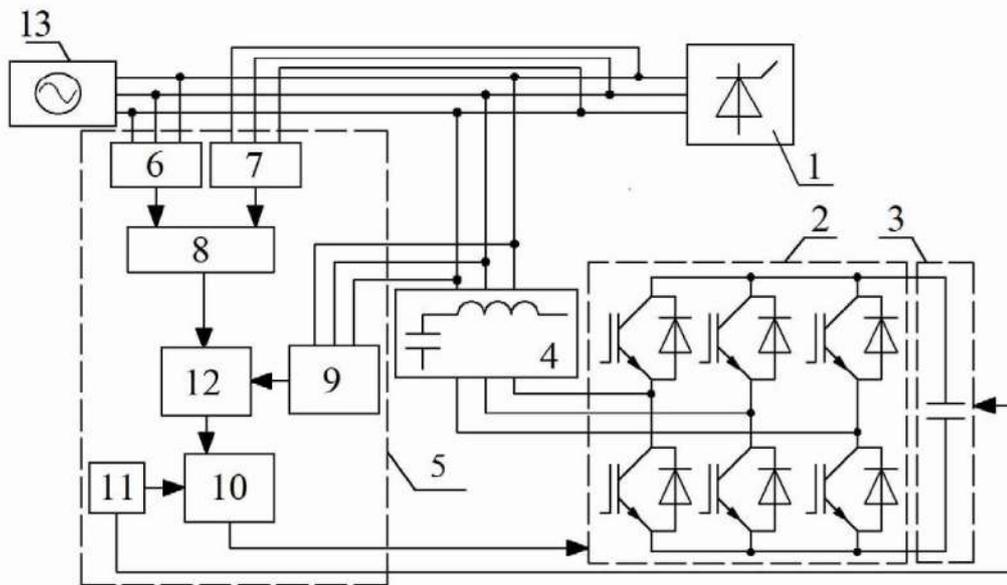
20 Результаты исследований активного фильтра параллельного типа, на основе которого выполнено предлагаемое устройство, показали, что величина индуктивности выходного пассивного фильтра 4 оказывает влияние на степень эффективности компенсации высших гармоник тока и напряжения.

25 В зависимости от поставленных целей и задач применения предлагаемого устройства может работать одновременно в трех режимах: компенсация высших гармоник тока нелинейной нагрузки, компенсация высших гармоник напряжения питающей сети, коррекция коэффициента мощности по основной составляющей за счет формирователя компенсационного тока.

30 (57) Формула полезной модели

Устройство подавления высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, подключающееся в сеть с нелинейной нагрузкой и содержащее инвертор, накопительный конденсатор, выходной пассивный фильтр и контроллер системы управления, при этом фильтр выделения первой гармонической составляющей
35 напряжения питающей сети входами подключен к выходам датчика напряжения сети и выходам датчика тока нелинейной нагрузки, отличающееся тем, что в контроллер системы управления дополнительно установлен датчик тока инвертора активного фильтра, вход которого соединен с выходом выходного пассивного фильтра, а выход – со входом формирователя компенсационного тока, вход которого соединен с выходом
40 фильтра выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети, а выход соединен с одним из входов формирователя импульсов, при этом другой вход соединен с выходом регулятора напряжения накопительного конденсатора.

45



Фиг.1