

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 198721

УСТРОЙСТВО ПОДАВЛЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ СЕТИ

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

Авторы: *Абрамович Борис Николаевич (RU), Сычев Юрий Анатольевич (RU), Зимин Роман Юрьевич (RU)*

Заявка № 2020109533

Приоритет полезной модели 03 марта 2020 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 23 июля 2020 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 03 марта 2030 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02J 3/01 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2020109533, 03.03.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.03.2020

Дата регистрации:
23.07.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.03.2020

(45) Опубликовано: 23.07.2020 Бюл. № 21

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет", отдел интеллектуальной
собственности и трансфера технологий
(Патентно-лицензионный отдел)

(72) Автор(ы):

Абрамович Борис Николаевич (RU),
Сычев Юрий Анатольевич (RU),
Зимин Роман Юрьевич (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 184273 U1, 22.10.2018. RU 92261
U1, 10.03.2010. RU 2146848 C1, 20.03.2000. RU
2512886 C1, 10.04.2014. WO 2007016346 A2,
08.02.2007.

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

(57) Реферат:

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

Устройство подавления высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, 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. 1 ил.

Полезная модель относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к устройствам компенсации высших гармоник в электрических сетях. 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 №2446536, опубл. 30.11.2010), содержащее контроллер системы управления снабжен датчиком тока фильтра, датчиком тока сети, датчиком напряжения, формирователей 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 тока фильтра соединен с зажимами линии, питающей выходной сглаживающий пассивный фильтр и инвертор, 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 формирователя импульсов, выход датчика тока фильтра соединен с входом формирователя импульсов, 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 блока фазовой синхронизации соединен с входом фазового преобразователя тока, выход регулятора напряжения накопительного конденсатора соединен с входом фазового преобразователя тока, выход фазового преобразователя тока и выход регулятора напряжения накопительного конденсатора соединены с входом формирователя импульсов, выход которого соединен с входами драйверов управления силовыми ключами 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 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, клеммы «+» 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
5 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
10 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
15 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
20 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
25 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,
30 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
35 выхода датчика тока сети сигнал поступает на вход блока преобразования Фурье, с выхода которого сигнал поступает на первый вход блока выделения основной гармоники, на второй вход которого поступает сигнал с задатчика основной гармоники, с выхода блока выделения основной гармоники сигнал поступает на первый вход блока
40 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
45 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, опублик. 22.10.2018 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, 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.

Техническим результатом является расширение функциональных возможностей устройства подавления высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, а именно, помимо компенсации высших гармоник тока, создаваемых нелинейной нагрузкой, и коррекции реактивных составляющих тока нелинейной нагрузки, устройство способно осуществлять компенсацию высших гармоник напряжения и коррекцию реактивной мощности основной составляющей сети при сохранении исходной структуры устройства.

Технический результат достигается тем, что 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.

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 - сетевой дроссель;
- 6 - контроллер системы управления;
- 7 - датчик напряжения сети;
- 8 - фильтр выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети;
- 9 - датчик выходного напряжения инвертора;
- 10 - формирователь импульсов;
- 11 - регулятор напряжения накопительного конденсатора;
- 12 - датчик тока нелинейной нагрузки;

13 - блок выбора режима работы устройства;

14 - блок регулирования индуктивности сетевого дросселя.

Устройство подавления высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети содержит нелинейную нагрузку 1, к зажимам которой подключен вход датчика тока нелинейной нагрузки 12, к сети подключен вход датчика напряжения сети 7, выходы датчика тока нелинейной нагрузки 12 и датчика напряжения сети 7 подключены к входу фильтра выделения первой гармонической составляющей напряжения питающей сети 8, выход которого соединен с входом блока выбора режима работы устройства 13, к входу которого также подключен выход блока регулирования индуктивности сетевого дросселя 14, вход которого соединен с сетевым дросселем 5, который соединен с зажимами нелинейной нагрузки 1. К входу формирователя импульсов 10 подключены выходы датчика выходного напряжения инвертора 9, регулятора напряжения накопительного конденсатора 11, блока выбора режима работы устройства 13, входы датчика выходного напряжения инвертора 9 соединены с выходом выходного пассивного фильтра 4, вход которого соединен с выходом инвертора 2, вход которого соединен с выходом накопительного конденсатора 3, к входу которого подключен регулятор напряжения накопительного конденсатора 11. Выход формирователя импульсов 10 соединен с инвертором 2.

Устройство работает следующим образом. Датчик напряжения сети 7 и датчик тока нелинейной нагрузки 12 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. Это позволяет существенно 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:

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

Скалярное произведение этих векторов на интервале t_1 - t_2

$$\begin{aligned} (u, i) &= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u^T i d\tau = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \begin{bmatrix} u_1(\tau) \\ u_2(\tau) \\ u_3(\tau) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} i_1(\tau) \\ i_2(\tau) \\ i_3(\tau) \end{bmatrix} d\tau = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (p_1(\tau) + p_2(\tau) + p_3(\tau)) d\tau = \\ &= P_1 + P_2 + P_3 = P, \end{aligned} \quad (2)$$

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:

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

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

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:

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

Величина G необходима для определения вектора тока i_u , который коллинеарен вектору приложенного напряжения u :

$$i_u = Gu = \frac{P}{U^2} u. \quad (6)$$

Выражение (6) также можно представить следующим образом:

$$i_u = Gu = \frac{P}{\|u\|^2} u = \frac{(u, i)}{\|u\|^2} u. \quad (7)$$

Взаимосвязь между составляющими полного тока следующая:

$$i_{u0} = i - i_u. \quad (8)$$

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.

Результаты исследований параллельного активного фильтра, на основе которого выполнено предлагаемое устройство, показали, что величина индуктивности сетевого дросселя оказывает влияние на степень эффективности компенсации высших гармоник тока и напряжения. При этом идеализированный параллельный активный фильтр способен осуществлять компенсацию только гармоник тока без какого-либо влияния на гармоники напряжения при минимальных значениях индуктивности сетевого дросселя. С увеличением индуктивности сетевого дросселя, согласно исследованиям, степень эффективности компенсации высших гармоник тока снижается, а высших гармоник напряжения растет. Таким образом, регулирование коэффициента:

$$k_{др} = \frac{Z_{др}}{Z_{сети}}, \quad (9)$$

отражающего соотношение полного сопротивления сетевого дросселя $Z_{др}$ и полного сопротивления питающей сети $Z_{сети}$ позволяет управлять эффективностью компенсации высших гармоник тока и напряжения одним устройством в зависимости от поставленных задач. Изменение индуктивности сетевого дросселя 5 осуществляется блоком регулирования индуктивности сетевого дросселя 14.

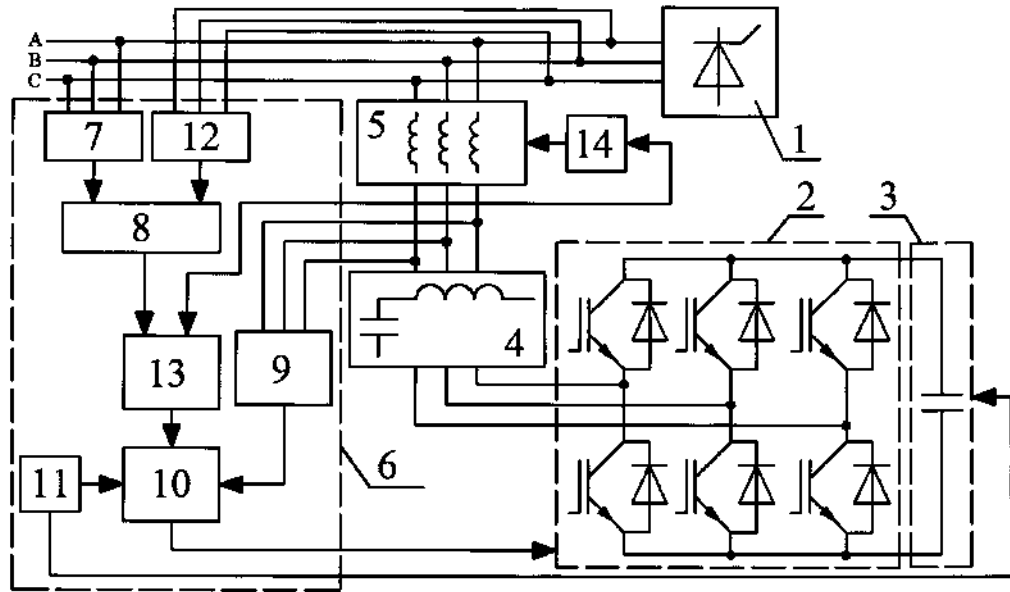
В зависимости от поставленных целей и задач применения предлагаемого устройства оно может работать в трех режимах: компенсация высших гармоник тока нелинейной нагрузки, компенсация высших гармоник напряжения питающей сети, коррекция коэффициента мощности по основной составляющей. Выбор той или иной из указанных функций осуществляется блоком выбора режима работы устройства 13.

Таким образом, за счет добавления минимального количества блоков, а именно датчика тока нелинейной нагрузки, блока выбора режима работы устройства, блока регулирования индуктивности сетевого дросселя, значительно расширяются функциональные возможности предлагаемого устройства по сравнению с прототипом.

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

(57) Формула полезной модели

Устройство подавления высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети, 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, отличающееся тем, что 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.



Фиг.1