

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2543075

### СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013113097

Приоритет изобретения 22 марта 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 января 2015 г.

Срок действия патента истекает 22 марта 2033 г.

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Курий





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013113097/07, 22.03.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.03.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.03.2013

(43) Дата публикации заявки: 27.09.2014 Бюл. № 27

(45) Опубликовано: 27.02.2015 Бюл. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2416853C1, 20.04.2011. RU 2510556 C1, 27.03.2014. RU 2282912 C2, 27.08.2006. EP 1387461 A1, 04.02.2004. US 8400119 B2, 19.03.2013. US 7183752 B2, 27.02.2007

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):

Шклярский Ярослав Элиевич (RU),  
Скамьин Александр Николаевич (RU),  
Бунтеев Юрий Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

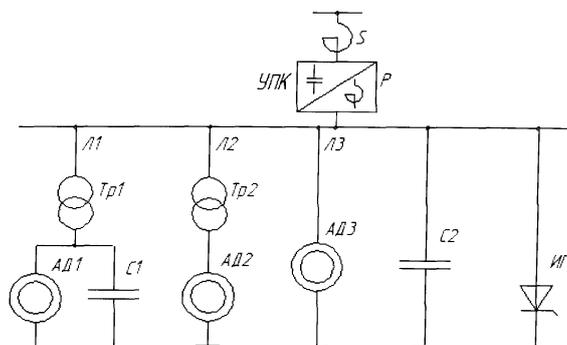
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Национальный минерально-сырьевой  
университет "Горный" (RU)

## (54) СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

(57) Реферат:

Использование: в области электротехники и электроэнергетики. Технический результат - снижение коэффициента несинусоидальности напряжения сети и уменьшение влияния высших гармоник тока при наличии переменной нелинейной нагрузки. Способ заключается в том, что при возникновении высших гармоник со

стороны нелинейной нагрузки исследуемого предприятия на выходе понижающего трансформатора устанавливают емкостное сопротивление, параметры которого выбирают из условия снижения несинусоидальности напряжения на нагрузке. 2 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013113097/07, 22.03.2013

(24) Effective date for property rights:  
22.03.2013

Priority:

(22) Date of filing: 22.03.2013

(43) Application published: 27.09.2014 Bull. № 27

(45) Date of publication: 27.02.2015 Bull. № 6

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):

Shkljarskij Jaroslav Ehlievich (RU),  
Skam'in Aleksandr Nikolaevich (RU),  
Bunteev Jurij Evgen'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) **METHOD TO REDUCE IMPACT OF HIGHER HARMONICS ON ELECTRIC EQUIPMENT**

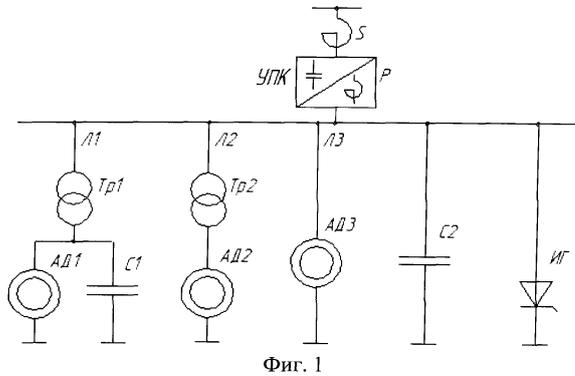
(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: invention is used in the field of electric engineering and power engineering. The method lies in the following: when higher harmonics occur from the side of studied non-linear load capacitive resistance is installed at step-down transformer output, and parameters of the above resistance are selected on condition of reduction of load voltage unharmonicity.

EFFECT: reducing voltage non-sinusoidality ratio and reduced impact of higher harmonics when variable non-linear load is available.

2 dwg



RU 2 543 075 C2

RU 2 543 075 C2

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к способам снижения уровня высших гармоник в электрических сетях. Способ может быть использован в системах электроснабжения промышленных предприятий с неизменной и переменной нагрузкой для исключения перегрузок от высших гармоник электрооборудования.

Известен способ повышения качества электрической энергии, заключающийся в выделении из напряжения электрической сети высших гармоник напряжения, а также первой гармоники, определяемой напряжением нулевой последовательности, выпрямлении выделенных гармоник напряжения, преобразовании выпрямленного напряжения в переменное напряжение с частотой, равной частоте первой гармоники сети, и возвращении переменного напряжения в электрическую сеть (патент RU №2237334, опубликован 27.09.2004).

Недостатком известного способа является неполная компенсация высших гармоник, ограниченная характеристиками фильтров, входящих в его состав. Способ основан на применении силовых полупроводниковых систем, что приводит к увеличению стоимости оборудования.

Известен способ снижения уровня высших гармоник (US Patent Application 20080129122, опубликован 05.06.2008), который заключается в установке фильтров, состоящих из трех основных элементов: последовательно включенный реактор и резонансный шунтирующий фильтр. Последовательно включенный реактор ограничивает высшие гармоники, генерируемые нелинейной нагрузкой в сеть. Резонансный шунтирующий фильтр состоит из LC цепи с резонансной частотой, настроенной на частоту гармоники напряжения, которую необходимо ослабить. На резонансной частоте шунтирующий фильтр имеет минимальное сопротивление, соответствующее активному сопротивлению реактора. Поэтому фильтр потребляет почти все генерируемые гармонические токи резонансной частоты с низким гармоническим искажением напряжения на этой частоте (напряжение равно произведению сопротивления реактора на протекающий через фильтр ток).

Основным недостатком этого способа является то, что установка резонансного шунтирующего фильтра, настроенного лишь на одну гармонику, не позволяет уменьшить гармонические искажения до желаемых пределов. Для компенсации нескольких гармоник устанавливается несколько резонансных шунтирующих фильтров, что приводит к увеличению стоимости оборудования.

Известен способ повышения качества электрической энергии, заключающийся в снижении уровня высших гармоник путем настройки нескольких групп из последовательных контуров на резонанс напряжений по 5, 7, 11 и 13 гармоникам (Жежеленко И.В. «Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий». М.: Энергоатомиздат, 1984, с. 109). Принцип действия таких устройств основан на возникновении резонанса в их собственном колебательном контуре, настроенном на определенную частоту. Фильтры могут устанавливаться в сети для разделения линейных и нелинейных нагрузок (заградительные фильтры) и для поглощения (шунтирования) токов высших гармоник.

Недостатком использования данных фильтров является неполная компенсация высших гармоник. Для каждого порядка гармоник требуется отдельный фильтр, настроенный на эту гармонику. Как правило, устанавливаются несколько фильтров, что приводит к увеличению стоимости оборудования.

Известен способ и устройство для компенсации появляющихся в сети искажений формы сетевого напряжения (патент Германии 19738125, опубликован 25.04.2000) 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.

5 Основным недостатком этого способа является наличие значительного количества электротехнических элементов как в управляющей цепи, так и в силовой части устройства, предназначенного для реализации способа, что приводит к снижению надежности предложенного устройства. Способ основан на применении силовых полупроводниковых систем, что приводит к значительному увеличению стоимости оборудования.

10 Известен способ снижения уровня высших гармоник (патент RU №2416853, опубликован 20.04.2011), принятый за прототип, который заключается в размещении дополнительных реакторов, представляющих большое сопротивление для высших гармоник, в электрической сети. Предлагаемый способ основан на изменении амплитудно-частотной характеристики узла сети, так как сеть содержит как индуктивные, так и емкостные элементы. При фиксированном составе электрической нагрузки и определенном сочетании дополнительных реакторов ограничивается весь спектр высших гармоник до требуемых пределов.

20 Основным недостатком этого способа является то, что в условиях режима работы нелинейной нагрузки с динамичным изменением потребляемого искаженного тока не обеспечивается полная компенсация гармонических искажений в напряжении и токе.

Технический результат изобретения заключается в снижении коэффициента несинусоидальности напряжения сети и уменьшении влияния высших гармоник тока на работу электрооборудования при наличии переменной нелинейной нагрузки.

25 Технический результат достигается тем, что в способе снижения уровня высших гармоник, заключающемся в уменьшении несинусоидальности напряжения сети и снижении перегрузок по току от высших гармоник на электрооборудование путем установки дополнительных реакторов в электрической сети предприятия, согласно изобретению при возникновении высших гармоник со стороны нелинейной нагрузки исследуемого предприятия уменьшают несинусоидальность падения напряжения на сопротивлении системы с помощью установки емкостного сопротивления на выходе понижающего трансформатора, что приводит к снижению несинусоидальности напряжения в электрической сети предприятия в условиях переменной электрической нагрузки.

35 Предлагаемый способ поясняется чертежами, представленными на фиг. 1 и фиг. 2, где на фиг. 1 показана принципиальная схема электрической сети промышленного предприятия, на фиг. 2 приведена схема замещения электрической сети с учетом дополнительных реакторов. На фиг. 1: S - сопротивление системы (1); P - реактор (2); ЕМК - дополнительное емкостное сопротивление на выходе понижающего трансформатора (2); Л1, Л2, Л3 - линии электропередач (7); Тр1, Тр2 - понижающие трансформаторы (3); С1, С2 - соответственно низковольтные и высоковольтные конденсаторные батареи (КБ) (5); АД1, АД2 - низковольтные двигатели (4); АД3 - высоковольтный двигатель (4); ИГ - источник высших гармоник (6).

40 На фиг. 2:  $U_0(v)$  - составляющая напряжения v-ых гармоник (1);  $R_{Л1}, R_{Л2}, R_{Л3}, R_{Т1}, R_{Т2}, R_{Н1}, R_{Н2}, R_{Н3}$  - активные сопротивления соответственно принципиальной схеме (2);  $v \cdot X_P, v \cdot X_{P2}, v \cdot X_{P3}, v \cdot X_{P4}$  - реактивные сопротивления дополнительных реакторов (3);  $v \cdot X_{Л1}, v \cdot X_{Л2}, v \cdot X_{Л3}, v \cdot X_{Т1}, v \cdot X_{Т2}, v \cdot X_{Н1}, v \cdot X_{Н2}, v \cdot X_{Н3}, X_{C1}/v, X_{C2}/v$  - реактивные

сопротивления на  $\nu$ -гармонике соответственно принципиальной схеме (4);  $I_0(\nu)$  - составляющая тока  $\nu$ -ых гармоник вентильных приводов (5);  $\nu \cdot X_P$  - реактивное сопротивление дополнительного реактора на выходе понижающего трансформатора (6);  $X_{\text{EMK}}/\nu$  - емкостное сопротивление на выходе понижающего трансформатора (7);  $\nu \cdot X_S$  - реактивное сопротивление системы (8).

Способ снижения уровня высших гармоник реализуется следующим образом.

Источник высших гармоник 6 на фиг. 1 (ИГ) искажает форму кривой тока, в результате искаженный ток создает искаженное падение напряжения в сети и, следовательно, искажается форма кривой напряжения. Исходя из того, что в схеме замещения на фиг. 2 присутствуют различного рода реактивные сопротивления 4, то реально получить полюсы для различных гармоник путем включения дополнительных реакторов 3 ( $\nu \cdot X_P$ ,  $\nu \cdot X_{P2}$ ,  $\nu \cdot X_{P3}$ ,  $\nu \cdot X_{P4}$ ). Индуктивное сопротивление прямо пропорционально частоте протекающего тока, поэтому дополнительно включенные в сеть реакторы создают большое сопротивление для высших гармоник и снижают гармонические искажения кривых тока и напряжения. Таким образом, изменяя амплитудно-частотную характеристику узла сети, можно добиться уменьшения токов КБ до их допустимого значения. Место включения дополнительных реакторов показано на фиг. 2.

Искажения могут поступать в сеть исследуемого предприятия как со стороны внешнего ИГ относительно главного ввода предприятия, так и со стороны переменной нелинейной нагрузки на исследуемом предприятии.

Если ИГ является нелинейная нагрузка исследуемого предприятия, то на схеме замещения (фиг. 2) такая нагрузка представляется совокупностью источников тока 5 частотами от 1 до  $\eta$ , где  $\eta$  - порядок (номер) высших гармоник. Несинусоидальный ток нелинейной нагрузки, протекая по линиям электропередач (сопротивлению системы), создает падение напряжения, которое в свою очередь тоже становится несинусоидальным. Вследствие этого напряжение в электрической сети исследуемого предприятия будет несинусоидальным. Уменьшая сопротивление системы 8 (фиг. 2), несинусоидальность напряжения на нагрузке, обусловленная несинусоидальным током нелинейной нагрузки, будет уменьшаться. В свою очередь, увеличение сопротивления системы в этом случае приводит к увеличению несинусоидальности напряжения электрической сети предприятия. Установка емкостного сопротивления 7 (фиг. 2) последовательно с сопротивлением системы 8 (фиг. 2) приводит к уменьшению последнего. Таким образом, в случае преобладания высших гармоник со стороны нелинейной нагрузки исследуемого предприятия выбираются параметры емкостного сопротивления 7 ( $X_{\text{EMK}}/\nu$ ), приводящего к снижению несинусоидальности напряжения на нагрузке.

Если ИГ является нелинейная нагрузка во внешней сети относительно главного ввода исследуемого предприятия, то на схеме замещения (фиг. 2) такая нагрузка представляется совокупностью источников напряжения 1 частотами от 1 до  $n$ , где  $n$  - порядок (номер) высших гармоник. В таком случае напряжение на нагрузке исследуемого предприятия уже будет несинусоидальным вследствие питания электрической сети несинусоидальным напряжением. Увеличение сопротивления системы 8 (фиг. 2) приводит к уменьшению высших гармоник в питающем напряжении, так как индуктивное сопротивление создает пробку для высших гармоник, поступающих со стороны внешней сети. Установка индуктивного сопротивления 6 (фиг. 2) последовательно с сопротивлением системы 8 (фиг. 2) приводит к увеличению

последнего. Таким образом, в случае преобладания высших гармоник со стороны внешней сети относительно ввода исследуемого предприятия выбираются параметры реактора  $b$  ( $v \cdot X_p$ ), представляющего собой индуктивное сопротивление, на выходе понижающего трансформатора.

5 Очевидно, что изменение сопротивления системы должно удовлетворять условиям электромагнитной совместимости системы электроснабжения при максимально возможном коэффициенте мощности. Прежде всего, необходимо при этом поддерживать уровень напряжения в допустимых пределах.

10 Достоинством способа уменьшения влияния высших гармоник на электрооборудование промышленных предприятий является экономичность затрат на устройство для его осуществления, снижение всего спектра высших гармоник до допустимых пределов в условиях переменной нелинейной нагрузки.

#### Формула изобретения

15 Способ снижения уровня высших гармоник, заключающийся в уменьшении несинусоидальности напряжения сети и снижении перегрузок по току от высших гармоник на электрооборудование путем установки дополнительных реакторов в электрической сети предприятия при фиксированном составе электрической нагрузки, отличающийся тем, что при возникновении высших гармоник со стороны нелинейной

20 нагрузки исследуемого предприятия уменьшают несинусоидальность падения напряжения на сопротивлении системы с помощью установки емкостного сопротивления на выходе понижающего трансформатора, что приводит к снижению несинусоидальности напряжения в электрической сети предприятия в условиях

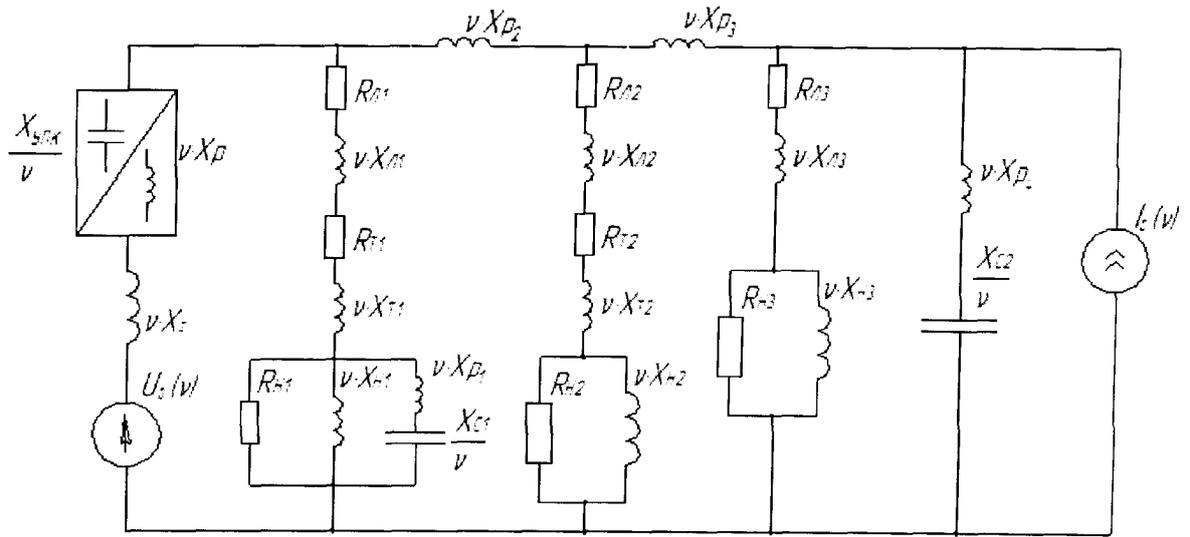
25

30

35

40

45



Фиг. 2