

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2573706

### СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ВЫСШИХ ГАРМОНИК

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014109521

Приоритет изобретения **12 марта 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **22 декабря 2015 г.**

Срок действия патента истекает **12 марта 2034 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Ивлиев**





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014109521/28, 12.03.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.03.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.03.2014

(43) Дата публикации заявки: 20.09.2015 Бюл. № 26

(45) Опубликовано: 27.01.2016 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2206099 C1 10.06.2003. RU 126529 U1 27.03.2013. RU 2364875 C1 20.08.2009. RU 2210080 C2 10.08.2003. US 6127743 A1 03.10.2000.

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),  
Бунтеев Юрий Евгеньевич (RU),  
Скамьин Александр Николаевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ВЫСШИХ ГАРМОНИК

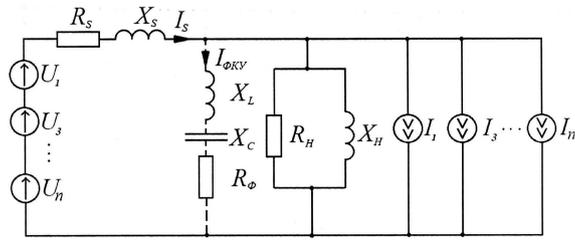
(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к способам оценки качества электроэнергии. Способ может быть использован в системах электроснабжения промышленных предприятий с неизменной нагрузкой для определения источника нелинейных искажений как со стороны питающей сети, так и со стороны нелинейной нагрузки самого предприятия. Способ выявления источника высших гармоник заключается в определении местоположения источника искажения в электрической сети переменного тока, которая содержит искажающие нагрузки, источник сетевого напряжения синусоидальной формы, питающую линию с конечной величиной внутреннего активного и реактивного сопротивления и подключенными в параллель потребителями электроэнергии, часть которых относится к категории искажающих нагрузок с

несинусоидальной формой тока на сетевом входе. При этом для анализа источника высших гармоник в контрольной точке сети параллельно нагрузке подключают фильтр, настроенный в последовательный резонанс на частоту исследуемой гармоники. Далее снимают зависимость тока исследуемой гармоники системы  $I_5$  от активного сопротивления фильтра  $R_{\Phi}$ , по анализу зависимости тока системы на высшей гармонике от активного сопротивления фильтра определяют местонахождение источника нелинейных искажений. Технический результат заключается в упрощении выявления источника высших гармоник, возможности применения без перерыва в электроснабжении, а также в использовании на действующих объектах с установленными фильтрокомпенсирующими устройствами. 2 ил.

C 2  
C 2  
6  
9  
0  
7  
3  
7  
0  
6  
R U

R U  
2  
5  
7  
3  
7  
0  
6  
C 2



Фиг. 1

RU 2573706 C2

RU 2573706 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014109521/28, 12.03.2014

(24) Effective date for property rights:  
12.03.2014

Priority:

(22) Date of filing: 12.03.2014

(43) Application published: 20.09.2015 Bull. № 26

(45) Date of publication: 27.01.2016 Bull. № 3

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

Shkljarskij Jaroslav Ehlievich (RU),  
Bunteev Jurij Evgen'evich (RU),  
Skam'in Aleksandr Nikolaevich (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 OF IDENTIFICATION OF HIGHER HARMONICS SOURCE**

(57) Abstract:

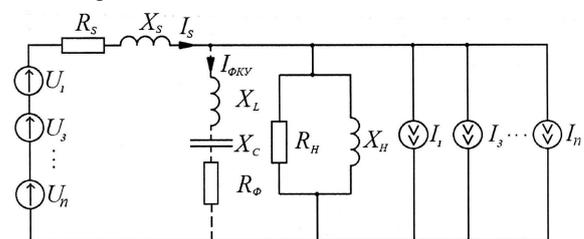
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: invention relates to electric engineering and electric power industry, namely to methods of the assessment of electric energy quality. The method can be used in power supply systems of industrial enterprises with permanent load to determine the source of harmonic distortions both at the power grid side, and from the non-linear load side of the enterprise. The method of the higher harmonics source identification means the determination of a position of the distortion source in AC grid, containing distortion loads, a source of grid voltage of a sine shape, a power line with an end value of internal active and reactive impedances, and connected in parallel power consumers, a part of them is assumed as the distortion loads with nonsinusoidal current at the grid input. Wherein for the analysis of the higher harmonics source in the grid control point in parallel to the load a filter is connected, it is set to series resonance to the frequency of the studied harmonic. Further a

relationship between the current of the studied system harmonic  $I_{\Sigma}$  and active impedance of the filter  $R_f$ , is determined, based on the analysis of the system current at the higher harmonic relationship to the active impedance of the filter the position of the source of harmonic distortions is determined.

EFFECT: simplified identification of the higher harmonics source, possibility of use without the termination of power supply, and use at operated objects with installed filter compensating devices.

2 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к способам оценки качества электроэнергии. Способ может быть использован в системах электроснабжения промышленных предприятий с неизменной нагрузкой для определения источника нелинейных искажений как со стороны питающей сети, так и со стороны нелинейной нагрузки самого предприятия.

Известен способ учета расхода активной электрической энергии (патент WO 2012148316 A1, опубл. 01.11.13), заключающийся в учете расхода активной электрической энергии, при котором осуществляется измерение активной мощности путем непрерывного измерения напряжения и тока в подключенной нагрузке, перемножение измеренного напряжения и тока с умножением на коэффициент мощности нагрузки (косинус угла нагрузки), последующее интегрирование по времени измеренной мощности, что дает учтенный расход активной электрической энергии, потребленной нагрузкой от питающей сети, отличающийся тем, что при несинусоидальности напряжений и токов электрической сети указанное перемножение осуществляют только для значений основной (первой) гармоники напряжения и тока, и косинуса угла между ними. Данный способ позволяет оценивать активную мощность, потребляемую на основной гармонике.

Недостатком способа является невозможность оценить вклад источника искажения как со стороны питающей сети, так и со стороны нагрузки.

Известен способ гармонического анализа сигнала (патент РФ №2010246, опубл. 30.03.1994), заключающийся в сравнении исследуемого сигнала с опорным синусоидальным сигналом частотой первой гармоники, при этом в определенные моменты времени для различных фазовых сдвигов между сигналами определяют модули отношений мгновенных значений двух сигналов и по отклонению значений этих модулей отношений между собой судят о степени содержания высших гармоник в исследуемом сигнале.

Недостатком способа является невозможность выявить источник искажения в электрической сети предприятия.

Известен способ выявления и оценки искажающей нагрузки в сети переменного тока (патент РФ №2206099, опубл. 10.06.2003), принятый за прототип. Принцип действия данного способа состоит в определении места подключения искажающей нагрузки к фидерной линии путем определения знака и величины активной мощности высших гармоник. Для упрощения анализа отыскание мощности высших гармоник предлагается заменить измерением составляющей активной мощности основной гармоники идеального симметричного вентиля, предполагаемое введение которого могло бы привести к существующей величине и форме напряжения и тока в контрольной точке сети. Для оценки полной мощности высших гармоник искажающей нагрузки указанную мощность первой гармоники вентиля умножают на коэффициент пропорциональности, зависящий от величин активных сопротивлений участков сети с различных сторон от точки подключения указанной нагрузки.

К недостаткам данного способа следует отнести необходимость в перерыве электроснабжения на время включения в сеть вентиля, а также необходимость определения коэффициентов пропорциональности для оценки мощности искажений, вносимых с различных сторон от места измерения для оценки полной мощности высших гармоник.

Технический результат изобретения заключается в выявлении источника высших гармоник путем включения в сеть фильтрокомпенсирующего устройства, настроенного на частоту исследуемой гармоники, и оценки зависимости тока системы от активного

сопротивления фильтрокомпенсирующего устройства. По результатам анализа зависимости происходит выявление источника высших гармоник с целью их дальнейшей компенсации.

Технический результат достигается тем, что в качестве устройства для анализа источников высших гармоник в контрольной точке сети параллельно нагрузке подключают фильтр, настроенный в последовательный резонанс на частоту исследуемой гармоники, затем снимают зависимость тока исследуемой гармоники системы  $I_S$  от активного сопротивления фильтра  $R_\Phi$ , по анализу зависимости тока системы на высшей гармонике от активного сопротивления фильтра определяют местонахождение источника нелинейных искажений.

Если зависимость имеет выпуклый характер, преобладают искажения со стороны нагрузки, если зависимость имеет вогнутый характер, либо вогнутый с наличием экстремума, наибольший вклад в искажения вносит питающая сеть, данный опыт проводится для всех гармоник, вклад которых в общую форму кривой тока и напряжения наиболее значителен, на основании данных заключений производится дальнейший способ устройств подавления и компенсации высших гармоник и места их установки с целью повышения качества электроэнергии. Представляется возможность судить о местонахождении источника искажений как со стороны питающей сети, так и со стороны нагрузки без перерыва электроснабжения объекта, применения сложных вычислительных устройств, появляется основание для более целесообразного выбора устройств подавления и компенсации высших гармоник и места их установки для повышения качества электроэнергии, что приводит к увеличению ресурса электрооборудования, снижению количества ложных срабатываний устройств автоматики, улучшению качества выпускаемой продукции в условиях предприятия

Предлагаемый способ поясняется чертежами, представленными на фиг. 1 и фиг. 2, где на фиг. 1 показана схема замещения электрической сети, включающей в себя источник напряжения, питающую линию с конечной величиной внутреннего активного и реактивного сопротивления и подключенными в параллель потребителями электроэнергии, часть которых относится к категории искажающих нагрузок с несинусоидальной формой тока на сетевом входе, на фиг. 1:  $U_1, U_2, \dots, U_n$  - источники напряжения различных гармоник, представляющие параметры питающей сети,  $R_S, X_S$  - активное и реактивное сопротивление системы (внутреннее сопротивление источника и питающей линии),  $R_H, X_H$  - параметры линейной нагрузки,  $I_1, I_2, \dots, I_n$  - источники тока, представляющие нелинейную нагрузку с несинусоидальной формой тока на сетевом входе,  $X_C, X_L, R_\Phi$  - параметры фильтрокомпенсирующего устройства. Схему электроснабжения представляют в виде, показанном на фиг. 1, далее в точке измерения подключается фильтрокомпенсирующее устройство, настроенное на частоту исследуемой гармоники, т.е. необходимо выполнение следующего неравенства:

$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{X_C \cdot X_L}}, \quad (1)$$

где  $\omega_{рез}$  - частота резонанса фильтрокомпенсирующего устройства.

Для получения зависимостей тока системы на исследуемой гармонике от активного сопротивления фильтра, представленных на фиг. 2, был произведен анализ уравнения, выражающего ток системы в зависимости от активного сопротивления фильтра.

Уравнение имеет вид:

$$\dot{I}_s = \frac{U(Z_H + R_\phi) + I \cdot Z_H \cdot R_\phi}{Z_S \cdot (Z_H + R_\phi) + Z_H \cdot R_\phi} \quad (2)$$

Сопrotивление установленного фильтра считаем чисто активным, поскольку фильтр настроен на исследуемую гармонику. Также принимаем в расчет допущения, согласно которым углы сдвига фаз источника тока (нелинейной нагрузки) и источника напряжения (питающей сети) принимаются равными нулю ( $\dot{U} = U$  ;  $\dot{I} = I$  ).

В результате проведенных преобразований получена зависимость модуля тока системы от активного сопротивления фильтра в аналитическом виде:

$$I_s(R) = \sqrt{\frac{a \cdot R_\phi^2 + b \cdot R_\phi + c}{d \cdot R_\phi^2 + e \cdot R_\phi + f}} \quad (3)$$

где коэффициенты соответственно равны:

$$a = (U \cdot R_H)^2 + (I \cdot R_H \cdot X_H + U \cdot X_H)^2;$$

$$b = 2 \cdot (U \cdot R_H \cdot X_H) \cdot (I \cdot R_H \cdot X_H + U \cdot X_H);$$

$$c = (U \cdot R_H \cdot X_H)^2;$$

$$d = (R_S \cdot R_H - X_S \cdot X_H) + (R_H \cdot X_H + R_S \cdot X_H + R_H \cdot X_S);$$

$$e = 2[(R_S \cdot R_H - X_S \cdot X_H)(-X_S \cdot X_H \cdot R_H) + R_S \cdot X_H \cdot R_H(R_H \cdot X_H + R_S \cdot X_H + R_H \cdot X_S)];$$

$$f = (-X_S \cdot X_H \cdot R_H)^2 + (R_S \cdot X_H \cdot R_H)^2.$$

Зависимости модуля тока системы от активного сопротивления включенного фильтрокомпенсирующего устройства при различных сочетаниях источников искажений представлены на фиг. 2, где верхняя кривая - зависимость модуля тока системы на исследуемой гармонике от активного сопротивления фильтрокомпенсирующего устройства при источнике искажений со стороны питающей сети, нижняя кривая - та же зависимость при источнике искажения только со стороны нелинейной нагрузки, пунктирной линией обозначен ток системы без подключения фильтрокомпенсирующего устройства, промежуточные кривые получены при различных сочетаниях искажений как со стороны питающей сети, так и со стороны нагрузки.

Способ осуществляется следующим образом - производится оценка наличия высших гармоник в электрической сети, производится расчет и выбор параметров фильтрокомпенсирующего устройства, с последующим включением его в сеть и снятие зависимости модуля тока системы от активного сопротивления фильтра на исследуемой гармонике. По анализу данной зависимости производится оценка вклада как питающей сети, так и нелинейной нагрузки, с целью выбора средств для компенсации нелинейных искажений и места установки.

Из полученных расчетным путем результатов следует, что функция, имеющая вогнутый вид либо выпуклый с наличием экстремума (зависимости обозначенные сплошной линией на фиг. 2), указывает на искажение в напряжении, вызванное питающей сетью, если функция имеет выпуклый характер, без наличия экстремумов (зависимости, обозначенные штрих-пунктирной линией на фиг. 2), то наибольшее влияние оказывает искажение тока, вызванное нелинейной нагрузкой.

Достоинством способа выявления источника высших гармоник является простота его реализации, экономичность затрат на устройство для его осуществления, возможность его применения без перерыва в электроснабжении, а также использование на действующих объектах с установленными фильтрокомпенсирующими устройствами.

## Формула изобретения

Способ выявления источника высших гармоник, заключающийся в определении местоположения источника искажения в электрической сети переменного тока, содержащей искажающие нагрузки, источник сетевого напряжения синусоидальной формы, питающую линию с конечной величиной внутреннего активного и реактивного сопротивления и подключенными в параллель потребителями электроэнергии, часть которых относится к категории искажающих нагрузок с несинусоидальной формой тока на сетевом входе, отличающийся тем, что в качестве устройства для анализа источника высших гармоник в контрольной точке сети параллельно нагрузке подключают фильтр, настроенный в последовательный резонанс на частоту исследуемой гармоники, затем снимают зависимость тока исследуемой гармоники системы  $I_S$  от активного сопротивления фильтра  $R_\Phi$ , по анализу зависимости тока системы на высшей гармонике от активного сопротивления фильтра определяют местонахождение источника нелинейных искажений.

20

25

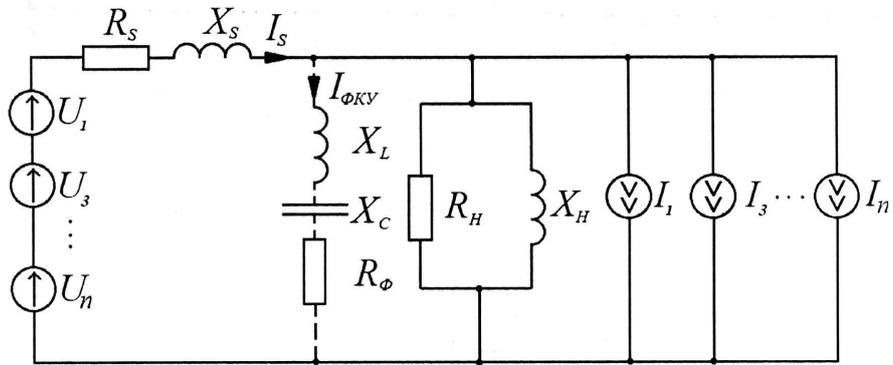
30

35

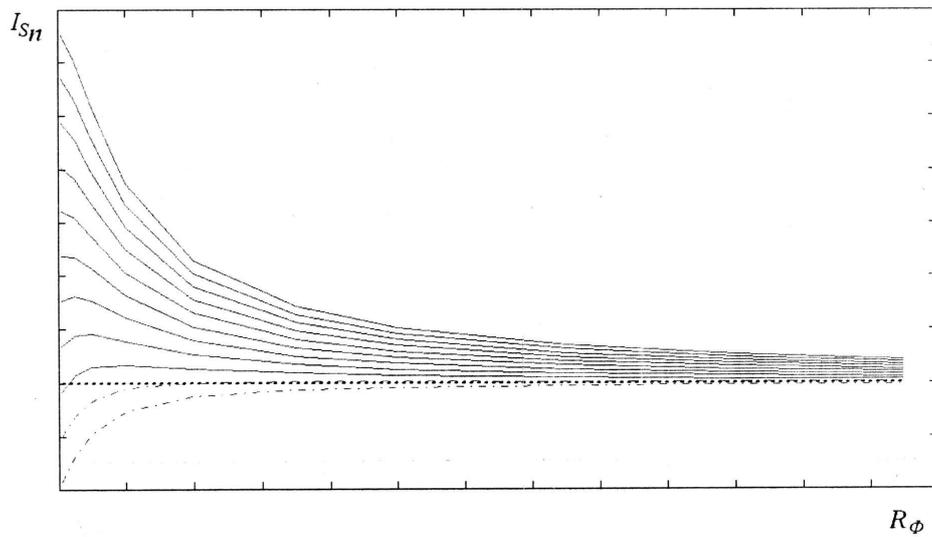
40

45

СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ВЫСШИХ ГАРМОНИК



Фиг. 1



Фиг. 2