

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2641097

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ

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

Авторы: *Шклярский Ярослав Элиевич (RU),
Барданов Алексей Игоревич (RU)*

Заявка № 2017112420

Приоритет изобретения 11 апреля 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 16 января 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 11 апреля 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02J 3/01 (2006.01); H02M 1/126 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017112420, 11.04.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.04.2017

Дата регистрации:
16.01.2018

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 11.04.2017

(45) Опубликовано: 16.01.2018 Бюл. № 2

Адрес для переписки:
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет", отдел интеллектуальной
собственности и трансфера технологий (отдел
ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):
Шклярский Ярослав Элиевич (RU),
Барданов Алексей Игоревич (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 2416853C1, 20.04.2011. RU
2543075C2, 27.02.2015. RU 2294044C1,
20.02.2007. US 7183752B2, 27.02.2007.

(54) СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ

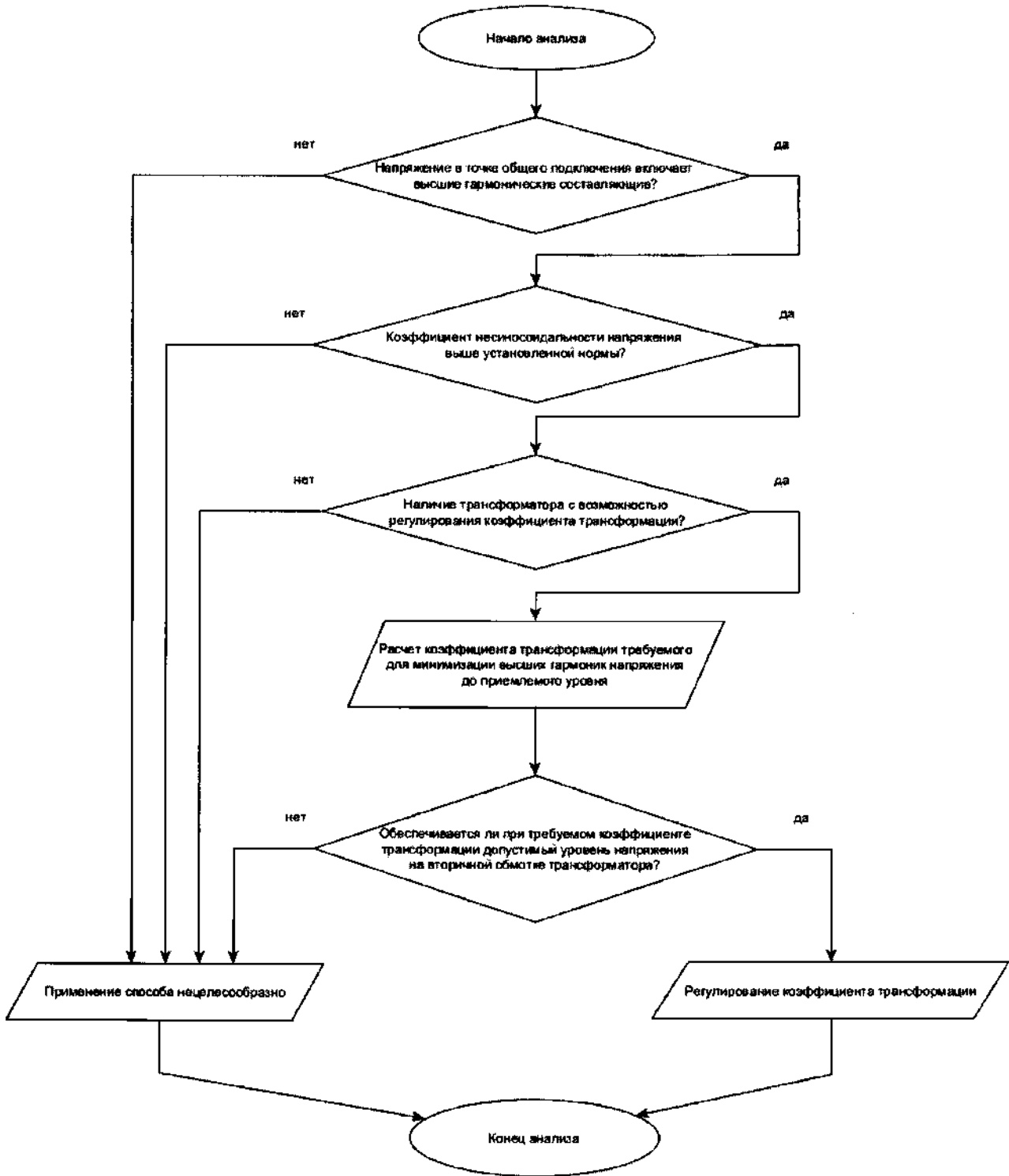
(57) Реферат:

Использование: в области электротехники и электроэнергетики. Технический результат – повышение качества электроэнергии. Физически амплитуды высших гармоник напряжения уменьшаются вследствие изменения полного сопротивления системы электроснабжения. Так как индуктивное сопротивление увеличивается прямо пропорционально частоте тока, даже незначительное увеличение его на частотах высших гармоник приводит к значительным изменениям амплитуд гармоник напряжения в точке общего подключения. При регулировании числа витков обмоток трансформатора приведенное сопротивление системы меняется

пропорционально квадрату коэффициента трансформации, поэтому изменение его отражается на величине индуктивного сопротивления. Для уменьшения искажений напряжения средствами переключения числа витков силового трансформатора экспериментально определяют коэффициент $k_{ГНД}$ – наклон кривой зависимости коэффициента гармонических искажений от напряжения на вторичной обмотке. Затем по указанной формуле выбирается требуемый коэффициент трансформации. Коэффициент трансформации силового трансформатора изменяют на величину, определенную по формуле. 5 ил.

RU 2 641 097 C1

RU 2 641 097 C1



Фиг. 3



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H02J 3/01 (2006.01); *H02M 1/126* (2006.01)

(21)(22) Application: **2017112420, 11.04.2017**

(24) Effective date for property rights:
11.04.2017

Registration date:
16.01.2018

Priority:
(22) Date of filing: **11.04.2017**

(45) Date of publication: **16.01.2018** Bull. № 2

Mail address:
**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet", otdel
intelektualnoj sobstvennosti i transfera tekhnologij
(otdel IS i TT)**

(72) Inventor(s):
**Shklyarskij Yaroslav Elievich (RU),
Bardanov Aleksej Igorevich (RU)**

(73) Proprietor(s):
**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet" (RU)**

(54) **METHOD FOR REDUCING VOLTAGE HIGHER HARMONIC COMPONENTS**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: physically, the amplitudes of the higher harmonics of the voltage decrease due to a change in the impedance of the power supply system. Since the inductive resistance increases directly in proportion to the current frequency, even a slight increase in it at the frequencies of the higher harmonics leads to significant changes in the amplitudes of the voltage harmonics at the common connection point. When adjusting the number of turns of the transformer windings, the reduced resistance of the system varies in proportion to the square of the transformation

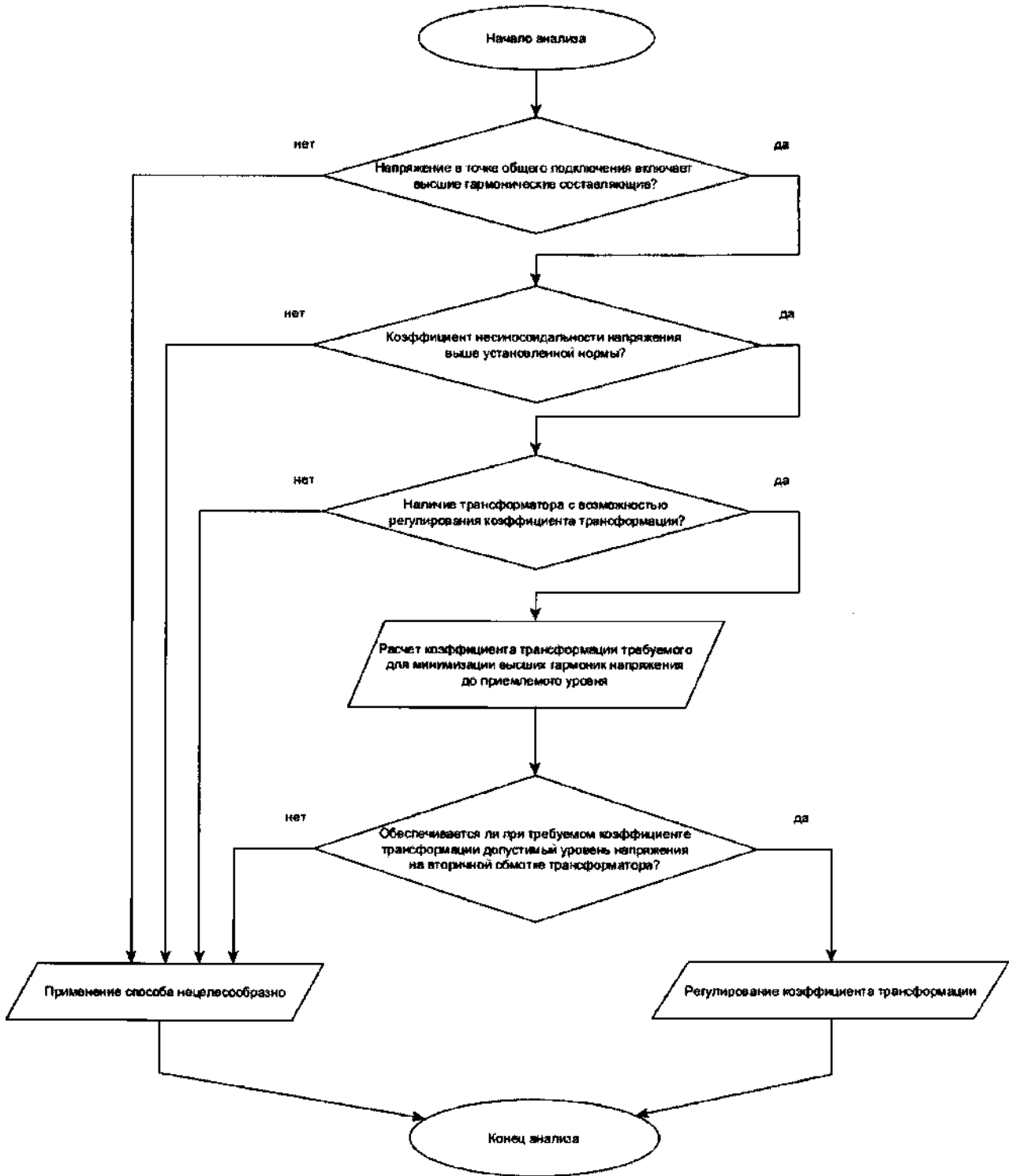
coefficient, so its change is reflected in the magnitude of the inductive resistance. To reduce voltage distortions by means of switching the number of turns of a power transformer, the coefficient k_{THD} - slope of the curve of the harmonic distortion coefficient versus the voltage on the secondary winding. Then, according to the formula, the required transformation ratio is selected. The transformer ratio of the power transformer is changed by the value determined by the formula.

EFFECT: improving the quality of electricity.

5 dwg

C 1
2 6 4 1 0 9 7
R U

R U
2 6 4 1 0 9 7
C 1



Фиг. 3

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

5 Известен способ повышения качества электрической энергии (патент РФ №2237334, опубл. 27.09.2004 г.), 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,
10 равной частоте первой гармоники сети, и возвращении переменного напряжения в электрическую сеть.

Недостатком способа является неполная компенсация высших гармоник, ограниченная характеристиками фильтров, входящих в его состав. Усложняет реализацию способа также то, что оборудование, входящее в состав устройства
15 компенсации, требует точной настройки.

Известен динамический фильтр гармоник для систем электроснабжения переменного тока (патент US 20090206950 A1, опубликован 20.08.2009), заключающийся в том, что последовательно с источником напряжения включается вольто-добавочный трансформатор, состоящий из двух отдельных трансформаторов T1 и T2 с одинаковым
20 коэффициентом трансформации, обмотки которых соединены друг с другом, вторичная T1 к первичной T2, посредством параллельного LC фильтра, настроенного на частоту основной гармоники. Предусмотрена возможность включения параллельно первичной обмотке T2 последовательного заграждающего LC фильтра, настроенного на основную частоту основной частоты. Такое включение обеспечивает подавление гармоник
25 напряжения в точке общего подключения как при источнике гармоник со стороны сети, так и при источнике гармоник со стороны нагрузки.

Недостатком данного способа помимо необходимости включения в сеть двух дополнительных трансформаторов является то, что эффективность работы рассматриваемого устройства чрезвычайно зависит от точности настройки LC фильтра,
30 посредством которого соединены вторичная и первичная обмотки трансформаторов T1 и T2, так как при отклонениях частоты первой гармоники напряжения от номинального значения устройство будет ее подавлять.

Известен способ снижения уровня высших гармоник (патент US 20080129122 A1, опубликован 05.06.2008), который заключается в установке фильтров, состоящих из
35 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
40 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).

45 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 значительно увеличивает сложность устройства фильтрации, так как фильтры требуют точной настройки.

Известен способ снижения влияния высших гармоник на электрооборудование (патент РФ №2543075, опубликован 27.02.2015), заключающийся в установке на выходе понижающего трансформатора емкостного сопротивления, при наличии источника гармоник со стороны нелинейной нагрузки исследуемого предприятия, параметры которого выбираются исходя из условия снижения несинусоидальности напряжения на нагрузке.

Недостатком данного способа является необходимость установки дополнительного электрооборудования в систему электроснабжения. Установка емкостной нагрузки параллельно основной может привести к возникновению нежелательных резонансов и перекompенсации реактивной мощности.

Известен способ снижения уровня высших гармоник (патент РФ №2416853, опубликован 20.04.2011), принятый за прототип, который заключается в установке реактора на вводе предприятия. Последовательно включенный реактор ограничивает высшие гармоники, генерируемые нелинейной нагрузкой в сеть. При этом достигается снижение коэффициента несинусоидальности напряжения в точке общего подключения. Способ основан на изменении амплитудно-частотной характеристики узла сети, так как сеть содержит как индуктивные, так и емкостные элементы. При фиксированном составе электрической нагрузки, определенном сочетании дополнительных реакторов ограничивается весь спектр высших гармоник до требуемых пределов.

Основным недостатком способа является то, что требуется установка дополнительного электрооборудования (реактора), на вводе предприятия, также может потребоваться замена электрических аппаратов в связи с увеличением сопротивления системы электроснабжения.

Техническим результатом изобретения является повышение качества электроэнергии за счет подавления высших гармонических составляющих напряжения в точке общего подключения и уменьшении влияния гармоник тока на работу электрооборудования.

Технический результат достигается тем, что импеданс электрической сети на частотах высших гармоник регулируется путем изменения коэффициента трансформации силового трансформатора на величину, определяемую по формуле:

$$k_2 = k_1 \left(1 + \frac{\Delta THD_U}{k_{THD}} \right), \quad (1)$$

где ΔTHD_U - изменение коэффициента гармонических искажений;

k_{THD} - наклон кривой зависимости коэффициента гармонических искажений от напряжения на вторичной обмотке,

k_1 - нормальный коэффициент трансформации;

k_2 - требуемый коэффициент трансформации.

Способ уменьшения высших гармонических составляющих напряжения поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - схема замещения электрической сети с трансформатором с коэффициентом трансформации k ;

фиг. 2 - принципиальной, схема замещения сети электроснабжения, где:

$X_{C1}^{(h)}$, $X_{C2}^{(h)}$, $X_{C3}^{(h)}$ - реактивные сопротивления линий электропередач для частоты гармоники h ;

$R_{C1}^{(h)}$, $R_{C2}^{(h)}$, $R_{C3}^{(h)}$ - активные сопротивления линий электропередач для частоты

гармоники h , T_1 - понижающий трансформатор;

$X_{H1}^{(h)}$, $R_{H1}^{(h)}$ - сопротивление нагрузки, присоединенной к стороне высокого напряжения для частоты гармоники h ;

5 $X_{H2}^{(h)}$, $R_{H2}^{(h)}$ - сопротивление нагрузки, присоединенной к стороне низкого напряжения для частоты гармоники h ;

$I_{H1}^{(h)}$, $I_{H2}^{(h)}$ - источники высших гармоник, представленные источниками тока;

10 $U_0^{(h)}$ - источник напряжения частоты гармоники h , который совместно с сопротивлениями $X_{C1}^{(h)}$ и $R_{C1}^{(h)}$ представляет остальную часть рассматриваемой сети;

фиг. 3 - схема способа;

фиг. 4 - зависимость действующих значений напряжений вторичной обмотки силового трансформатора, от времени;

15 фиг. 5 - зависимость коэффициентов гармонических искажений напряжений вторичной обмотки силового трансформатора, от времени.

Способ осуществляется следующим образом. Производят изменение коэффициента трансформации (k на фиг. 1), при этом изменяется приведенное сопротивление системы

20 по отношению к нагрузке $X_{C3}^{(h)}$, $R_{C3}^{(h)}$, фиг. 2. Амплитуды высших

гармонических составляющих токов и напряжений системы, изменяется значительно, так как индуктивное сопротивление сети прямо пропорционально частоте тока.

Требуемый коэффициент трансформации определяется исходя из величины ожидаемого снижения коэффициента гармонических искажений $\Delta THDU$, определяемой по формуле 2:

$$\Delta THDU = k_{THD} (1 - (U_2 + \Delta U_2) / U_2). \quad (2)$$

30 Наклон кривой зависимости коэффициента гармонических искажений от коэффициента трансформации k_{THD} определяется по формуле 3:

$$k_{THD} = \frac{\Delta THDU}{\Delta k}, \quad (3)$$

где Δk - изменение напряжения вторичной обмотки в вольтах.

35 Так как в ходе регулирования коэффициента трансформации изменяется величина основной гармоники напряжения на вторичной обмотке, перед применением описываемого метода требуется установить максимально допустимое отклонение напряжения вторичной обмотки трансформатора ΔU_{2max} , при котором сохраняется нормальный режим работы энергосистемы.

$$40 \left| \frac{\Delta U_2}{U_2} \right| \leq \frac{\Delta U_{2max}}{U_2} \quad (4)$$

В зависимости от того, находится источник гармоник на стороне нагрузки $I_{H2}^{(h)}$

45 или на стороне питающей сети $I_{H1}^{(h)}$, относительно трансформатора, токи в обмотках трансформатора могут соответственно либо уменьшаться, либо увеличиваться. При уменьшении импеданса сети для составляющих тока сети высших частот уменьшаются высшие гармонические составляющие напряжения U_2 , фиг. 1, в точке общего

подключения. Таким образом, предлагаемый способ основан на изменении амплитудно-частотной характеристики узла сети.

Из полученных расчетным путем результатов следует, что при выборе определенного коэффициента трансформации приведенное к стороне низкого напряжения реактивное сопротивление системы изменяется так, что можно добиться уменьшения коэффициента несинусоидальности напряжения до допустимых значений. Схема применения способа приведена на фиг. 3.

Эффективность предложенного способа демонстрируется результатами эксперимента, проведенного в энергосистеме Сясьского ЦБК, с силовым трансформатором, оборудованным устройством регулирования под напряжением. Из фиг. 4 и фиг. 5 видно, что при снижении действующего значения напряжения вторичной обмотки силового трансформатора, его коэффициент гармонических искажений пропорционально увеличивается, и пропорционально уменьшается при увеличении напряжения на вторичной обмотке.

Достоинствами способа уменьшения влияния высших гармоник на электрооборудование промышленных предприятий являются подавление высших гармоник во всем спектре и простота его применения, это обусловлено тем, что для реализации способа не требуется установка дополнительного электрооборудования.

(57) Формула изобретения

Способ уменьшения высших гармонических составляющих напряжения, заключающийся в уменьшении искажений напряжения и снижении их влияния на электрооборудование путем включения в сеть дополнительных реакторов, представляющих большое сопротивление для высших гармоник, отличающийся тем, что полное сопротивление электрической сети на частотах высших гармоник регулируется путем изменения коэффициента трансформации силового трансформатора на величину, определяемую по формуле:

$$k_2 = k_1 \left(1 + \frac{\Delta THD_U}{k_{THD}} \right),$$

где ΔTHD_U - изменение коэффициента гармонических искажений;

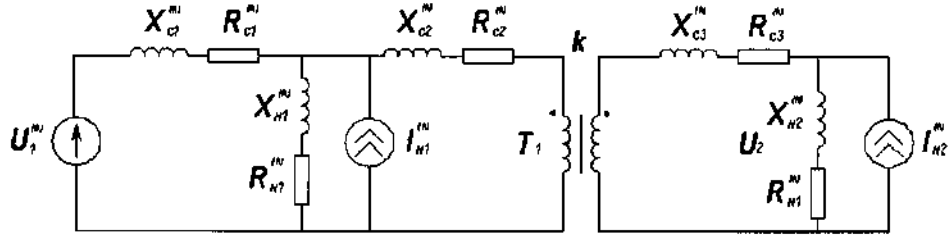
k_{THD} - наклон кривой зависимости коэффициента гармонических искажений от напряжения на вторичной обмотке,

k_1 - нормальный коэффициент трансформации;

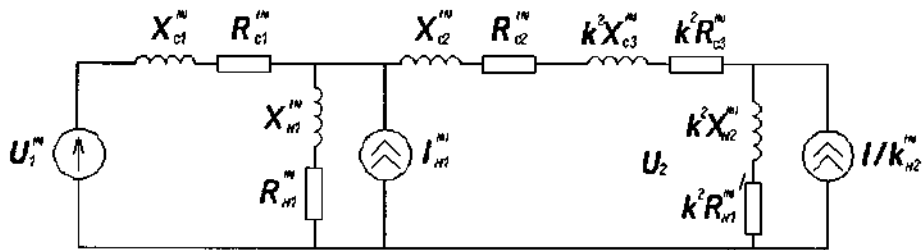
k_2 - требуемый коэффициент трансформации.

1

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ



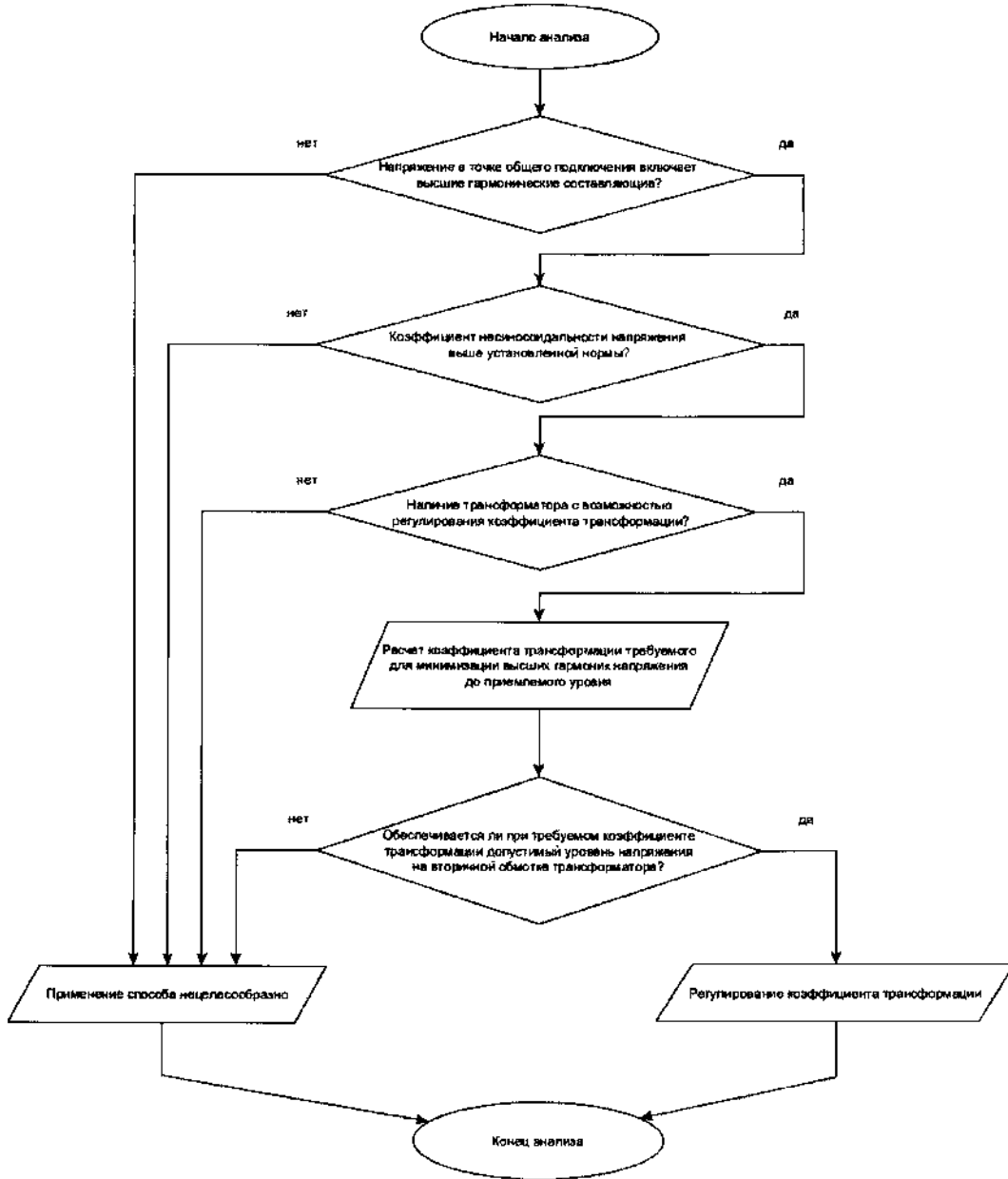
Фиг. 1



Фиг. 2

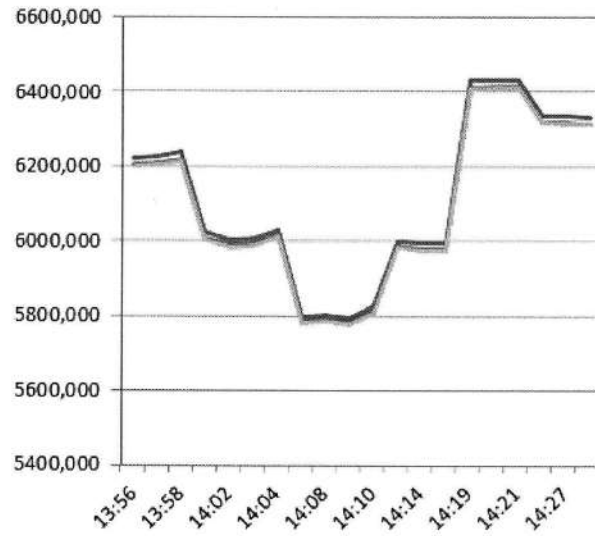
2

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ

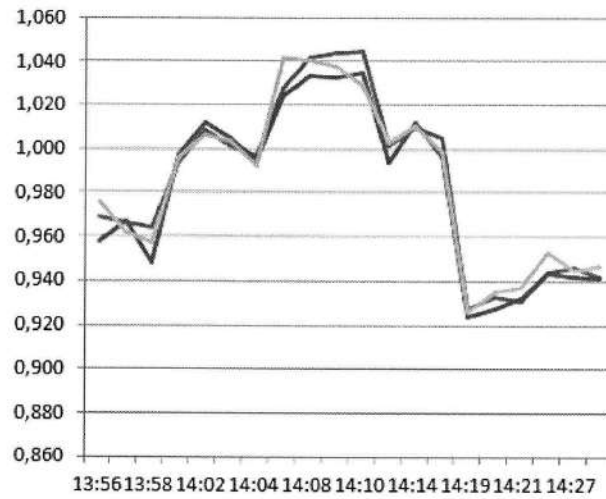


Фиг. 3

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ



Фиг. 4



Фиг. 5