



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02H 3/00 (2020.08); H02H 7/00 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020123283, 14.07.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.07.2020

Дата регистрации:
23.12.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.07.2020

(45) Опубликовано: 23.12.2020 Бюл. № 36

Адрес для переписки:

111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14,
ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ", НИЧ, Центр
патентования, защиты и оценки
интеллектуальной собственности, Лобзовой
Т.А.

(72) Автор(ы):

Нухулов Саид Магомедрасулович (RU),
Волошин Евгений Александрович (RU),
Волошин Александр Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Национальный
исследовательский университет "МЭИ"
(ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ") (RU)

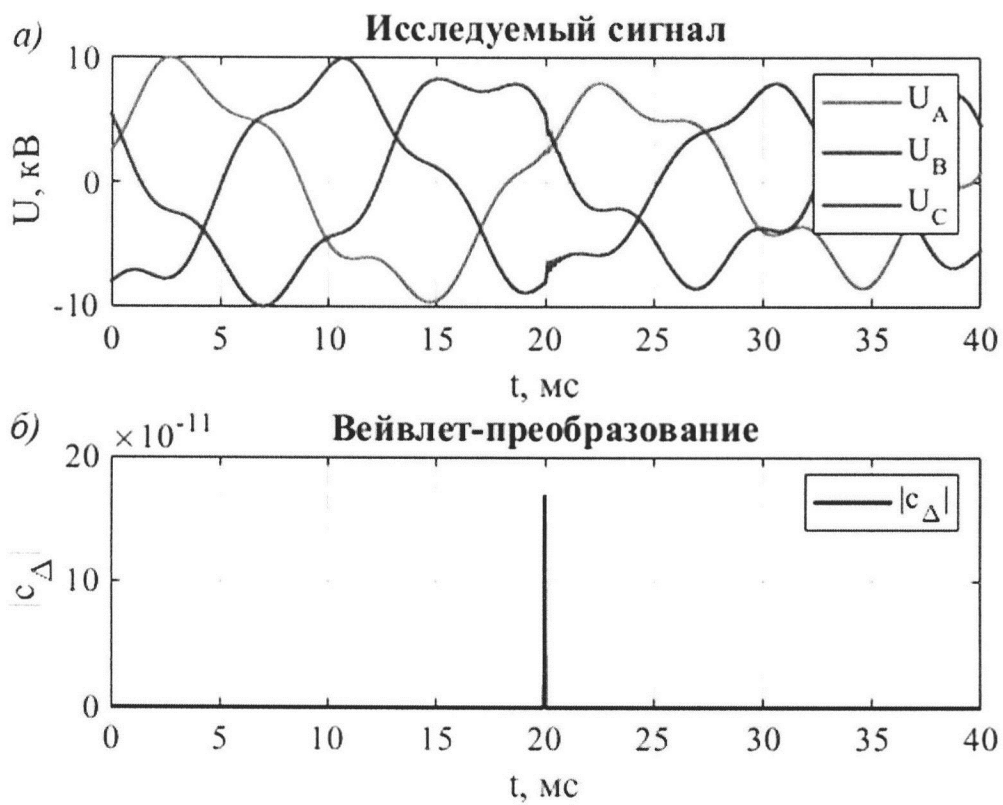
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: CN 107482596 A, 15.12.2017. RU
162321 U1, 10.06.2016. RU 101280 U1, 10.01.2011.
RU 2212747 C2, 20.09.2003. RU 2215355 C1,
27.10.2003.

(54) Способ бесперебойного электропитания потребителей

(57) Реферат:

Использование: в области электроэнергетики, при реализации электроснабжения объектов с автоматизированными системами управления. Технический результат - повышение эффективности защиты потребителей от кибератак с сохранением высокого качества их защиты от повреждений в сети электроснабжения. Согласно способу у потребителей устанавливают устройства РЗ, которые реагируют на недопустимое отклонение от нормальных электрических рабочих параметров, в сети электроснабжения непрерывно измеряют рабочие электрические параметры и анализируют переходные процессы по их вейвлет-преобразованию, а в случае возникновения повреждений в сети пуск устройств РЗ и аварийное отключение соответствующих потребителей осуществляют при выходе значений вейвлет-функции за заданные пределы. Анализ переходных процессов в сети электроснабжения

осуществляют по непрерывному вейвлет-преобразованию Морле, при этом при возникновении в сети несинусоидальных режимов и искажений формы синусоиды тока вследствие действия систем управления напряжения, а также при появлении сигналов, сформированных злоумышленником, фиксируют значение вейвлет-функции ниже заданного порогового и предотвращают формирование сигналов на отключение от устройств РЗ, а при возникновении в сети повреждений фиксируют всплеск вейвлет-преобразования, после которого разрешают формирование сигналов на отключение от устройств РЗ, причем начало аварийной ситуации определяют одновременно для всех устройств РЗ по минимальному времени достижения максимума функции вейвлет-преобразования для каждой фазы тока и напряжения при превышении заданного порогового значения. 2 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг.2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

H02H 3/00 (2020.08); H02H 7/00 (2020.08)(21)(22) Application: **2020123283, 14.07.2020**(24) Effective date for property rights:
14.07.2020Registration date:
23.12.2020

Priority:

(22) Date of filing: **14.07.2020**(45) Date of publication: **23.12.2020 Bull. № 36**

Mail address:

**111250, Moskva, ul. Krasnokazarmennaya, 14,
FGBOU VO "NIU "MEI", NICH, Tsentr
patentovaniya, zashchity i otsenki intellektualnoj
sobstvennosti, Lobzovoj T.A.**

(72) Inventor(s):

**Nukhulov Said Magomedrasulovich (RU),
Voloshin Evgenij Aleksandrovich (RU),
Voloshin Aleksandr Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Natsionalnyj issledovatel'skij
universitet "MEI" (FGBOU VO "NIU "MEI")
(RU)**

(54) **UNINTERRUPTED POWER SUPPLY METHOD FOR CONSUMERS**

(57) Abstract:

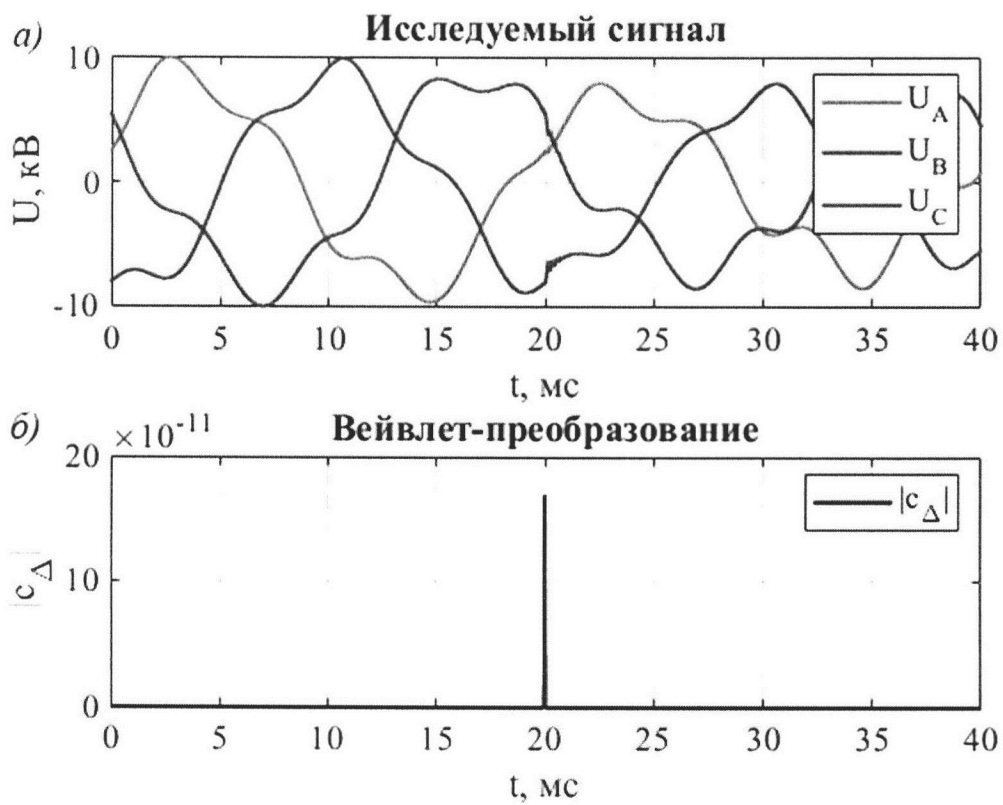
FIELD: electric power engineering.

SUBSTANCE: invention can be used in power engineering, in power supply of objects with automated control systems. According to the method, consumers install RP devices, which respond to inadmissible deviation from normal electrical operating parameters, in a power supply network, continuously measuring operating electrical parameters and analyzing transient processes by their wavelet transformation, and in case of damage in the network, start-up of RP devices and emergency disconnection of the corresponding consumers is performed at output of wavelet-function values beyond the specified limits. Analysis of transient processes in power supply network is carried out by continuous Morlet wavelet transformation, wherein in the occurrence of nonsinusoidal modes and distortions of the current sinusoid shape in the network owing to the voltage control systems action, as well as when

signals generated by intruder appear, wavelet function value is lower than preset threshold value and formation signals for disconnection from RP devices are prevented, and when a fault occurs in the network, a wavelet transformation spike is fixed, after which generation of signals for disconnection from the RP devices is allowed, wherein the beginning of the emergency situation is determined simultaneously for all RP devices by the minimum time for achieving the maximum wavelet transform function for each phase of current and voltage when the predetermined threshold value is exceeded.

EFFECT: high efficiency of protecting consumers from cyberattacks while maintaining high quality of protection thereof against damage in a power supply network.

3 cl, 4 dwg



Фиг.2

Изобретение относится к электроэнергетике и предназначено для использования при реализации электроснабжения объектов с автоматизированными системами управления.

Известен способ бесперебойного электропитания потребителей

- 5 электроэнергетической системы, предусматривающий, помимо измерения абсолютных значений напряжения и тока, их динамический анализ и сравнение измеренных значений, т.е. более полный контроль энергорежима на защищаемом потребителе, позволяющий с помощью передаваемых по каналу связи результатов анализа к логическому органу уменьшить количество ложных срабатываний релейной защиты (РЗ) (RU 162321 U1, 10 Н02Н 3/40, 10.06.2016).

Недостаток такого способа связан с несовершенством используемого динамического анализа переходных процессов и, как следствие, с возможными ошибками в работе логического органа.

- Наиболее близким к предложенному является представленный в заявке CN 107482596 15 А, G01R 19/175, 15.02.2017 способ бесперебойного электропитания потребителей с использованием интеллектуальной сети электроснабжения, заключающийся в том, что у потребителей устанавливают устройства РЗ, реагирующие на недопустимое отклонение от нормальных электрических рабочих параметров, в сети электроснабжения непрерывно измеряют рабочие электрические параметры и анализируют переходные 20 процессы по их вейвлет-преобразованию, а в случае возникновения повреждений в сети пуск устройств РЗ и аварийное отключение соответствующих потребителей осуществляют при выходе значений вейвлет-функции за заданные пределы.

Недостатком указанного способа является возникновение ошибок в обеспечении селективности устройств РЗ.

- 25 Задачей изобретения является бесперебойное питание потребителей.

Техническим результатом изобретения является повышение эффективности защиты потребителей от кибератак с сохранением высокого качества их защиты от повреждений в сети электроснабжения.

- Это достигается тем, что в известном способе бесперебойного электропитания 30 потребителей, заключающемся в том, что у потребителей устанавливают устройства РЗ, которые реагируют на недопустимое отклонение от нормальных электрических рабочих параметров, в сети электроснабжения непрерывно измеряют рабочие электрические параметры и анализируют переходные процессы по их вейвлет-преобразованию, а в случае возникновения повреждений в сети пуск устройств РЗ и 35 аварийное отключение соответствующих потребителей осуществляют при выходе значений вейвлет-функции за заданные пределы, - анализ переходных процессов в сети электроснабжения осуществляют по непрерывному вейвлет-преобразованию Морле, при этом при возникновении в сети несинусоидальных режимов и искажений формы синусоиды тока вследствие действия систем управления напряжения, а также при 40 появлении сигналов, сформированных злоумышленником, фиксируют значение вейвлет-функции ниже заданного порогового и предотвращают формирование сигналов на отключение от устройств РЗ, а при возникновении в сети повреждений фиксируют всплеск вейвлет-преобразования, после которого разрешают формирование сигналов на отключение от устройств РЗ, причем начало аварийной ситуации определяют 45 одновременно для всех устройств РЗ по минимальному времени достижения максимума функции вейвлет-преобразования для каждой фазы тока и напряжения при превышении заданного порогового значения.

Дополнительно непрерывное вейвлет-преобразование осуществляют в соответствии

с выражением:

$$CWT^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int f(t) \cdot \psi_{jk}^* \left(\frac{t - \tau}{s} \right) dt,$$

где ψ_{jk}^* - комплексно сопряженная функция материнского вейвлета;

τ - параметр сдвига;

s - параметр масштаба,

при этом материнский вейвлет Морле определяют как

$$\psi_{jk}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi f_{\Pi}}} e^{-\frac{t}{f_{\Pi}}} e^{j2\pi f_{\Pi} t},$$

где f_{Π} - центральная частота вейвлета;

f_{Π} - ширина полосы пропускания,

а в качестве анализируемой функции используют функцию модуля коэффициентов комплексного вейвлет-преобразования:

$$|c| = |\langle f_{A,B,C}, \psi_{jk} \rangle|.$$

Кроме того, для определения модуля коэффициентов вейвлет-преобразования Морле формируют буфер мгновенных значений тока и напряжения во временном окне от 1 до 3 мс.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на фиг. 1 представлена архитектура комплекса релейной защиты и автоматики (РЗА) цифровой подстанции, поясняющая заявляемый способ, на фиг. 2,а приведены осциллограммы напряжений на шинах низкого напряжения при несинусоидальном режиме, на фиг. 2,б - определение максимума модуля коэффициентов вейвлет-преобразования для данного режима. На фиг. 3,а изображены осциллограммы напряжений на шинах высокого напряжения при междуфазном КЗ, а на фиг. 3,б - определение максимума модуля коэффициентов вейвлет-преобразования измеренных значений напряжений при рассматриваемом междуфазном КЗ. На фиг. 4,а представлены осциллограммы токов, протекающих по линии электропередач также при междуфазном КЗ, а на фиг. 4,б - определение максимума модуля коэффициентов вейвлет-преобразования токов при данном КЗ.

Схема архитектуры комплекса РЗА цифровой подстанции содержит измерительные органы 1, терминалы РЗА 2, сервер сбора данных 3, автоматизированное рабочее место 4 и маршрутизатор 5, образующие локальную вычислительную сеть, коммуникационную шину процесса 6, соединяющую измерительные органы 1 и терминалы РЗА 2, коммуникационную шину станции 7, соединяющую терминалы РЗА 2, сервер сбора данных 3, автоматизированное рабочее место 4 и маршрутизатор 5, удаленный центр управления 8, подключенный к локальной вычислительной сети подстанции посредством цифровых каналов связи.

Предложенный способ реализуют следующим образом.

Измерительными органами 1 измеряют рабочие электрические параметры в сети электроснабжения, определяют искажение формы синусоидального тока и напряжения на основании вейвлет-преобразования, сравнивают значения вейвлет-преобразования с пороговым значением. При значениях вейвлет-преобразований ниже пороговых значений свидетельствуют о протекании нормального режима работы энергосистемы и блокируют сигналы на отключение от терминалов РЗА 2. При превышении вейвлет-

преобразованием порогового значения в электроэнергетической сети определяют аварийный режим и деблокируют сигналы от терминалов РЗА 2. Сервером сбора данных 3 собирают и хранят информацию о функционировании измерительных органов 1 и терминалов РЗА 2 для ее отображения на автоматизированном рабочем месте 4 и

5 передачи в удаленный центр управления 8 по цифровому каналу связи посредством маршрутизаторов 5. Коммуникационную шину процесса 6 используют для обмена данными между измерительными органами 1 и терминалами РЗА 2. Коммуникационную шину станции 7 используют для обмена данными между терминалами РЗА 2, сервером сбора данных 3, автоматизированным рабочим местом 4 и маршрутизатором 5.

10 В качестве материнского вейвлета используют вейвлет Морле, позволяющий проводить качественный анализ переходного процесса и определять с заданной точностью момент возникновения аварийной ситуации.

Непрерывное вейвлет-преобразование осуществляют в соответствии с выражением:

$$15 \quad CWT^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int f(t) \cdot \psi_{jk}^* \left(\frac{t - \tau}{s} \right) dt,$$

где ψ_{jk}^* - комплексно сопряженная функция материнского вейвлета;

τ - параметр сдвига;

20 s - параметр масштаба.

Материнский вейвлет Морле определяют как

$$\psi_{jk}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi f_{\Pi}}} e^{-\frac{t}{f_{\Pi}}} e^{j2\pi f_{\Pi} t},$$

25 где f_{Π} - центральная частота вейвлета;

f_{Π} - ширина полосы пропускания.

В качестве анализируемой функции используют функцию модуля коэффициентов комплексного вейвлет-преобразования:

$$30 \quad |c| = |\langle f_{A,B,C}, \psi_{jk} \rangle|.$$

Для определения модуля коэффициентов вейвлет-преобразования Морле формируют буфер мгновенных значений тока и напряжения во временном окне от 1 до 3 мс.

Алгоритм выбора начала аварийной ситуации заключается в определении

35 минимального времени достижения максимума функции вейвлет-преобразования для каждой фазы тока и напряжения $|c|$ при превышении определенного порога (уставки) срабатывания. Фиксация момента возникновения аварийной ситуации происходит в каждом измерительном органе 1 одновременно.

Экспериментально установлено, что применение вейвлет-преобразования для

40 выявления аварийного режима на примере подстанции 500/110/10 кВ для различных видов возмущений: коротких замыканий, набросов мощности, отключений линий, несинусоидальных режимов - обеспечивает бесперебойное питание потребителей и повышение эффективности защиты потребителей от кибератак. Для моделирования вышеперечисленных возмущений использовался программно-аппаратный комплекс

45 моделирования энергосистем в реальном времени RTDS. Шаг расчета модели имел фиксированное значение 50 мкс.

При возникновении несинусоидальных режимов вследствие действия систем управления напряжением может происходить искажение формы синусоиды тока (фиг.

2, а), Момент изменения формы измеряемого сигнала однозначно определяется по результатам вычисления функции вейвлет-преобразования (фиг. 2, б). Периодический характер изменения функции вейвлет-преобразования и небольшое значение вейвлет-функции свидетельствуют об отсутствии требований для срабатывания пускового органа, вследствие чего осуществляется блокирование сигналов на отключение от РЗ. При возникновении короткого замыкания (фиг. 3, а и фиг. 4, а) происходит всплеск вейвлет-преобразования (фиг. 3, б и фиг. 4, б), по факту которого срабатывает пусковой орган и происходит деблокирование сигналов от терминалов РЗ.

Использование предложенного способа обеспечивает повышенную эффективность защиты потребителей от кибератак с сохранением высокого качества их защиты от повреждений в сети электроснабжения.

(57) Формула изобретения

1. Способ бесперебойного электропитания потребителей, заключающийся в том, что у потребителей устанавливают устройства РЗ, которые реагируют на недопустимое отклонение от нормальных электрических рабочих параметров, в сети электроснабжения непрерывно измеряют рабочие электрические параметры и анализируют переходные процессы по их вейвлет-преобразованию, а в случае возникновения повреждений в сети пуск устройств РЗ и аварийное отключение соответствующих потребителей осуществляют при выходе значений вейвлет-функции за заданные пределы, отличающийся тем, что анализ переходных процессов в сети электроснабжения осуществляют по непрерывному вейвлет-преобразованию Морле, при этом при возникновении в сети несинусоидальных режимов и искажений формы синусоиды тока вследствие действия систем управления напряжения, а также при появлении сигналов, сформированных злоумышленником, фиксируют значение вейвлет-функции ниже заданного порогового и предотвращают формирование сигналов на отключение от устройств РЗ, а при возникновении в сети повреждений фиксируют всплеск вейвлет-преобразования, после которого разрешают формирование сигналов на отключение от устройств РЗ, причем начало аварийной ситуации определяют одновременно для всех устройств РЗ по минимальному времени достижения максимума функции вейвлет-преобразования для каждой фазы тока и напряжения при превышении заданного порогового значения.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что непрерывное вейвлет-преобразование осуществляют в соответствии с выражением

$$CWT\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int f(t) \cdot \psi_{jk}^* \left(\frac{t - \tau}{s} \right) dt,$$

где ψ_{jk}^* - комплексно сопряженная функция материнского вейвлета;

τ - параметр сдвига;

s - параметр масштаба,

при этом материнский вейвлет Морле определяют как

$$\psi_{jk}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi f_{\Pi}}} e^{-\frac{t}{f_{\Pi}}} e^{j2\pi f_{\Pi} t},$$

где f_{Π} - центральная частота вейвлета;

f_{Π} - ширина полосы пропускания,

а в качестве анализируемой функции используют функцию модуля коэффициентов

комплексного вейвлет-преобразования

$$|c| = |\langle f_{A,B,C}, \psi_{jk} \rangle|.$$

3. Способ по п. 2, отличающийся тем, что для определения модуля коэффициентов
5 вейвлет-преобразования Морле формируют буфер мгновенных значений тока и
напряжения во временном окне от 1 до 3 мс.

10

15

20

25

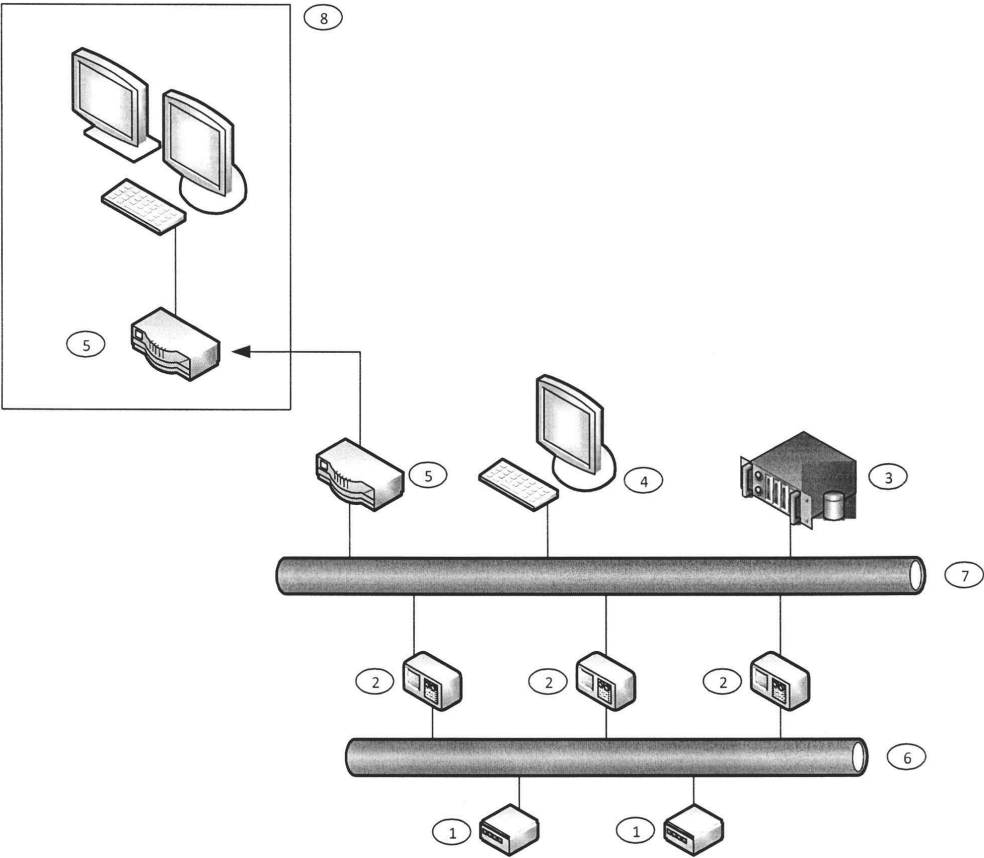
30

35

40

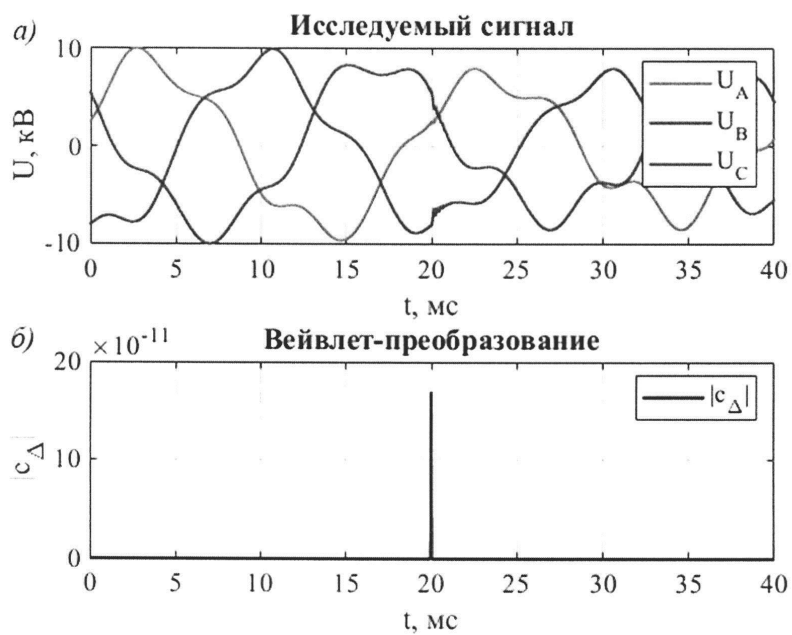
45

1

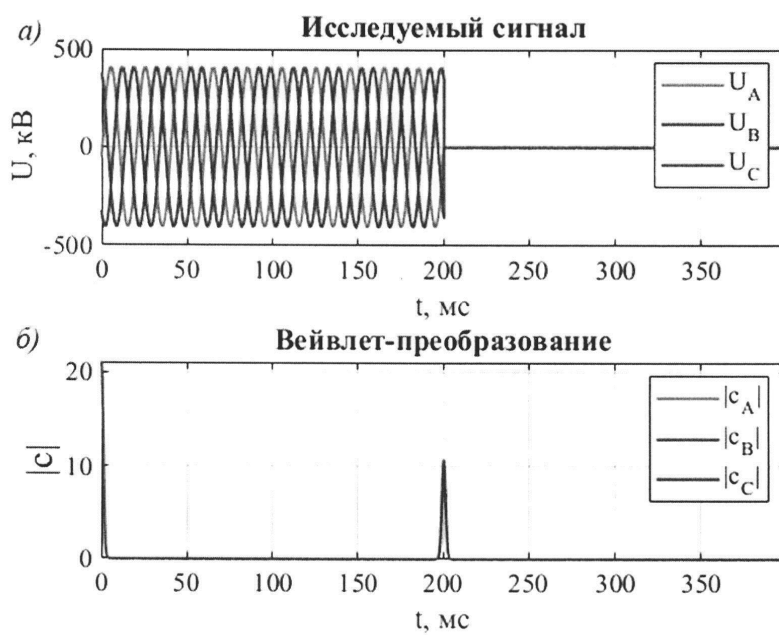


Фиг.1

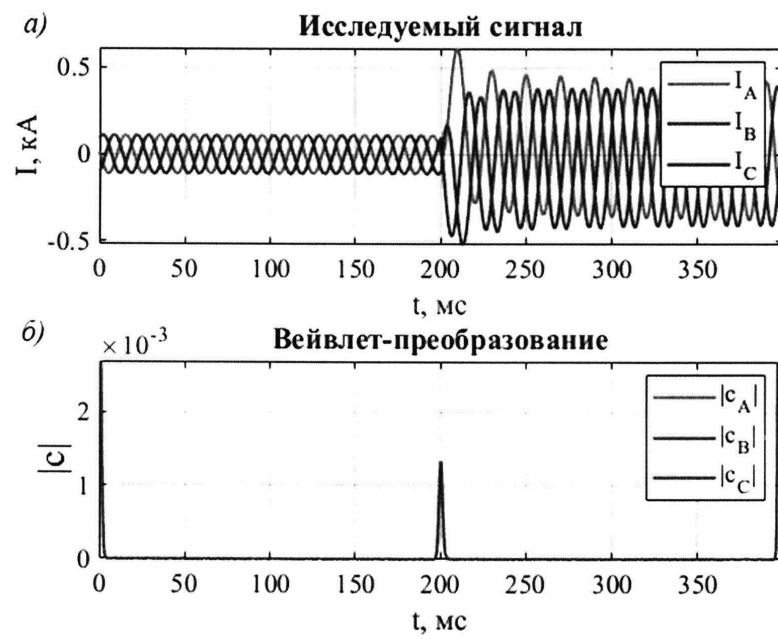
2



Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4