



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02H 3/165 (2020.02); G01R 31/08 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019135707, 07.11.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.11.2019

Дата регистрации:
13.10.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.11.2019

(45) Опубликовано: 13.10.2020 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

620002, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул.
Мира, 19, Центр интеллектуальной
собственности, Марк Т.В.

(72) Автор(ы):

Чусовитин Павел Валерьевич (RU),
Дехтяр Сергей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)

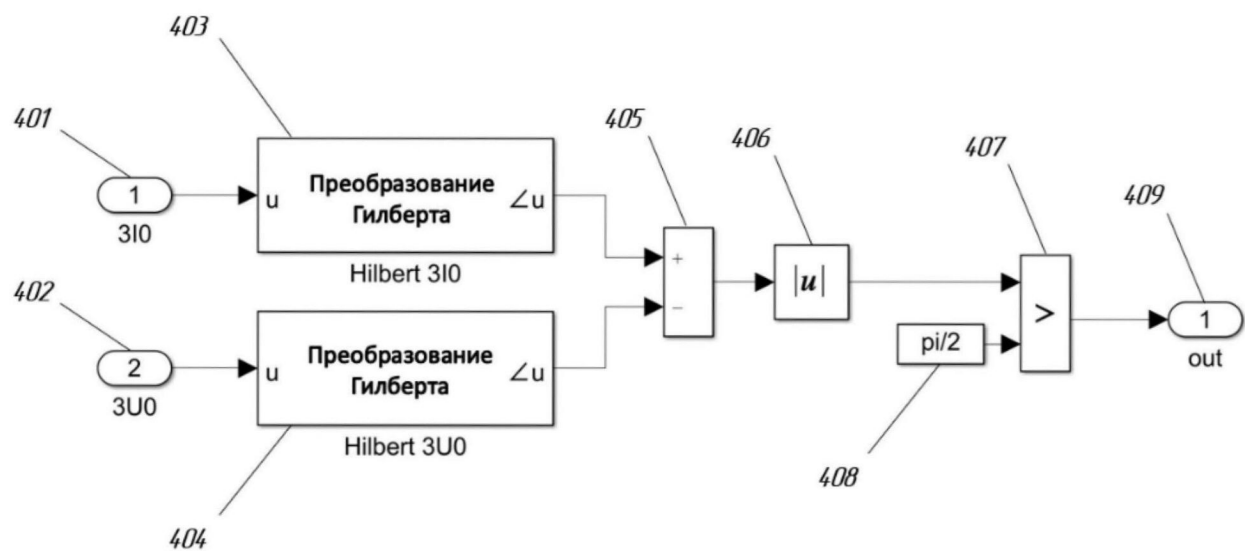
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2342754 C2, 27.12.2008. RU
2402131 C1, 20.10.2010. RU 2303323 C1,
20.07.2007. EP 0267500 A1, 18.05.1988.

(54) Способ выявления однофазных замыканий на землю в присоединениях распределительной сети

(57) Реферат:

Использование: в области электроэнергетики.
Технический результат – повышение надежности
выявления однофазных замыканий на землю в
присоединениях распределительной сети. В
способе выявления однофазных замыканий на
землю в присоединениях распределительной сети
используют сигнал тока нулевой
последовательности присоединения и сигнал
напряжения нулевой последовательности
соответствующей шины распределительной сети,
к упомянутым сигналам применяют

преобразование Гилберта, в результате которого
получают мгновенную фазу сигнала. Затем
определяют модуль разности между значениями
мгновенной фазы напряжения и мгновенной фазы
тока нулевой последовательности, при этом в
случае, если значение модуля разности превышает
значение $\pi/2$ для одного из присоединений к шине
распределительной сети, то сигнализируют о
возникновении однофазного замыкания на землю
на таком присоединении. 4 ил.



ФИГ. 4

RU 2 7 3 4 1 6 4 C 1

RU 2 7 3 4 1 6 4 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

H02H 3/165 (2020.02); *G01R 31/08* (2020.02)(21)(22) Application: **2019135707, 07.11.2019**(24) Effective date for property rights:
07.11.2019Registration date:
13.10.2020

Priority:

(22) Date of filing: **07.11.2019**(45) Date of publication: **13.10.2020 Bull. № 29**

Mail address:

**620002, Sverdlovskaya obl., g. Ekaterinburg, ul.
Mira, 19, Tsentr intellektualnoj sobstvennosti,
Marks T.V.**

(72) Inventor(s):

**Chusovitin Pavel Valerevich (RU),
Dekhtyar Sergej Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education Ural Federal
University named after the first President of
Russia B.N.Yeltsin (RU)**(54) **METHOD OF DETECTING SINGLE-PHASE EARTH FAULTS IN DISTRIBUTION NETWORK CONNECTIONS**

(57) Abstract:

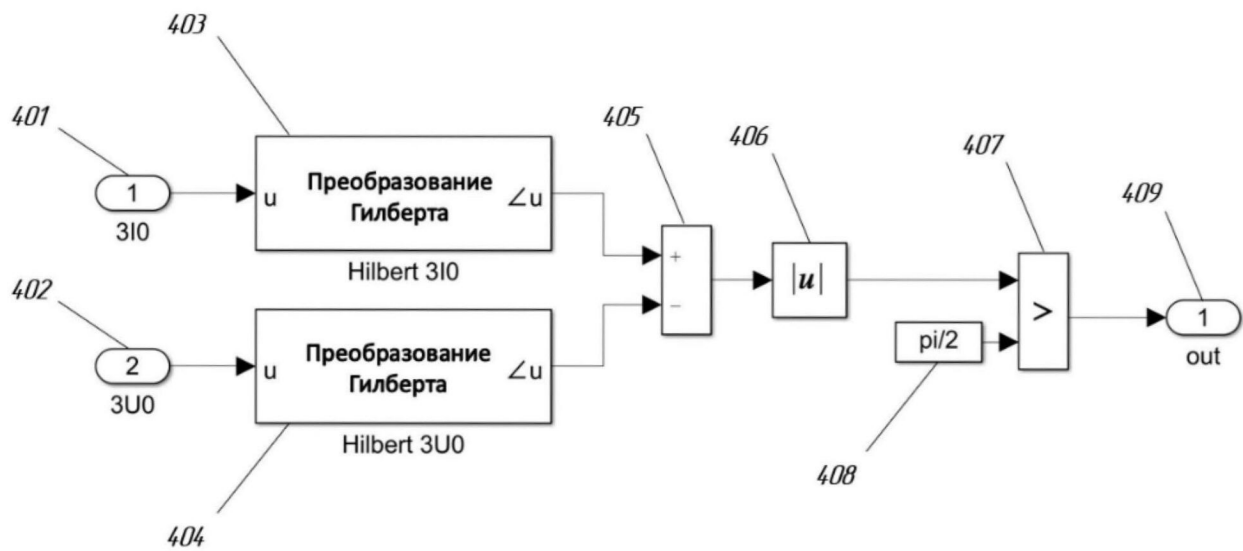
FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: use: in electric power engineering.
In the method of detecting single-phase earth faults in distribution network connections, the zero-sequence current signal is used and the zero-sequence voltage signal of the corresponding bus of the distribution network, the Gilbert transformation is applied to the said signals, as a result of which the instantaneous phase of the signal is obtained. Method then includes determining modulus of difference between values of

instantaneous phase of voltage and instantaneous phase of zero sequence current, wherein if difference value exceeds value of $\pi/2$ for one of connections to distribution network bus, then single-phase earth fault occurs at such connection.

EFFECT: technical result is increase in reliability of detecting single-phase earth faults in connections of distribution network.

1 cl, 4 dwg



ФИГ. 4

Область техники

Настоящее изобретение относится к средствам управления электроэнергетическими системами, в частности, к способам выявления однофазных замыканий на землю.

Уровень техники

5 Известен способ направленной защиты от однофазного замыкания на землю в распределительной электрической сети переменного тока (RU 2303323 C2, опубл. 20.07.2007, МПК H02H 3/16). В известном способе выявляют наличие одновременного превышения над эталонными значениями амплитуд первых полуволн высокочастотных составляющих тока и напряжения нулевой последовательности. Затем измеряют сдвиг
10 фаз между ними в момент прохождения через ноль тока ВЧ. Сдвиг фаз близкий или равный 90° фиксируют в течение контрольного интервала времени (КИ). Затем контролируют нижнее значение амплитуды низкочастотной составляющей (НЧС) напряжения нулевой последовательности. За максимально допустимое значение амплитуды НЧС принимают допустимый для данной сети максимальный
15 кратковременный уровень смещения нейтрали. За нижнее значение амплитуды НЧС принимают допустимый для данной сети длительный максимальный уровень смещения нейтрали. Проверяют наличие превышения амплитудой НЧС нижнего контролируемого значения. При положительном результате в течение контрольного интервала времени измеряют амплитуду НЧС. Аварийный сигнал формируют после момента фиксации
20 превышения через интервал времени, который задают с учетом времени существования высокочастотных переходных процессов при ОЗЗ на землю, времени компенсации емкостных токов при ОЗЗ, времени для отстройки от сигналов помех и самоустраниющихся ОЗЗ.

Известен способ диагностики и направленной защиты от однофазных замыканий в
25 электрических сетях (RU 2402131 C1, опубл. 20.10.2010, МПК H02H 3/16). Способ заключается в измерении мгновенных значений тока нулевой последовательности и скорости нарастания мгновенных значений напряжения нулевой последовательности переходного процесса в момент нарушения изоляции фазы сети на землю, вычислении интегральной величины, рассчитанной в интервале времени срабатывания защиты,
30 выдаче командного воздействия на исполнительные органы защиты при превышении интегральной величиной заданного значения.

В качестве интегральной величины выбирают взаимную корреляционную функцию совокупностей мгновенных значений токов нулевой последовательности и скорости нарастания напряжения нулевой последовательности.

35 Известен способ осуществления селективности защиты от однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью (RU 2342754 C1, опубл. 27.12.2008, МПК H02H 3/16). Известный способ заключается в преобразовании и сравнении сигналов полученных от датчиков тока и напряжения нулевой последовательности, когда сигнал от датчика тока нулевой последовательности интегрируется и далее, вместе с сигналом
40 от датчика напряжения нулевой последовательности направляется по двум параллельным цепям, в одной из которых формируется модуль их суммы, а в другой - модуль их разности, формируется разность сигналов с выходов этих цепей, которая подается на вход апериодического звена первого порядка, выходной сигнал с которого используется для селективного отключения однофазного замыкания на землю.

45 Недостатком известных способов является необходимость проведения длительной настройки для того, чтобы задать уставки, относительно которых затем определяется возникновение однофазного замыкания. Это усложняет процедуру обнаружения замыканий, а ее надежность ставится в зависимость от качества данных, полученных

для конкретной энергосистемы на предэксплуатационной стадии внедрения программно-аппаратных комплексов, реализующих известные способы, и потому в некоторых случаях может быть недостаточной.

Раскрытие сущности изобретения

5 Технический результат, достигаемый при осуществлении настоящего изобретения, заключается в повышении надежности выявления однофазных замыканий на землю в присоединениях распределительной сети.

10 Технический результат достигается за счет того, что в способе выявления однофазных замыканий на землю в присоединениях распределительной сети, в котором используют сигнал тока нулевой последовательности присоединения и сигнал напряжения нулевой последовательности соответствующей шины распределительной сети, к упомянутым сигналам применяют преобразование Гилберта, в результате которого получают мгновенную фазу сигнала, затем определяют модуль разности между значениями мгновенной фазы напряжения и мгновенной фазы тока нулевой последовательности, 15 при этом в случае, если значение модуля разности превышает значение $\pi/2$ для одного из присоединений к шине распределительной сети, то сигнализируют о возникновении однофазного замыкания на землю на таком присоединении.

20 Главным преимуществом заявленного способа является его относительная простота и надежность, обусловленная использованием в качестве одной из операций применение преобразования Гилберта и выделение мгновенной фазы сигнала в момент времени после возникновения возмущения, что исключает необходимость проведения предварительной длительной настройки.

Краткое описание чертежей

На ФИГ.1 представлена схема моделируемой энергосистемы.

25 На ФИГ.2 показаны графики преобразования Гилберта для поврежденного и неповрежденного присоединения

На ФИГ.3 представлены осциллограммы $3I_0$, $3U_0$, разности мгновенных фаз тока и напряжения при ОЗЗ на присоединении.

На ФИГ.4 представлена блок-схема заявленного способа.

30 Осуществление изобретения

Предпосылками к разработке заявленного способа выявления однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в присоединениях распределительной сети являются следующие результаты, полученные в ходе испытаний, которые были проведены на тестовой модели энергосистемы:

35 – отличить включение присоединения от однофазного замыкания на землю можно по высокочастотным составляющим тока $3I_0$, однако для этого необходимо осуществить выбор уставок, поскольку уровень ВЧ составляющих зависит от нелинейности нагрузок и не всегда легко определить;

40 – определить на каком присоединении произошло ОЗЗ можно по уровню действующего значения. Так ток $3I_0$ через присоединение, на котором произошло ОЗЗ, имеет наибольшее значение и соответствует емкостному току всей сети, тогда как токи $3I_0$ через другие присоединения соответствуют емкостному току своего присоединения. Данный подход менее эффективен, если одно присоединение обеспечивают большую часть тока ОЗЗ;

45 – выявить на каком присоединении произошло дуговое ОЗЗ, можно по направлению тока или мощности нулевой последовательности в первый момент времени переходного процесса. Ток $3I_0$ изменяется в поврежденном фидере в направлении противоположном напряжению $3U_0$, а в остальных фидерах в том же направлении. Эта особенность

переходного процесса проявляется при возникновении однофазной несимметрии, в том числе, дуговое и глухое замыкание.

На основании выявленных закономерностей было предложено использование преобразования Гилберта для определения присоединения, на котором происходит замыкание.

Модель энергосистемы создается на основе конфигурации сети представленной в стандарте организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.70.241-2017 «Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА». Схема моделируемой энергосистемы представлена на ФИГ.1.

Модель энергосистемы представляет собой сеть 10 кВ типичной конфигурации. Сеть представлена 5 радиальными распределительными линиями (присоединения Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф5), отходящими от одной из секций шин подстанции 110/35/10 кВ. Секция получает питание от понизительного трансформатора Т1 115,5/38,5/11 кВ.

При моделировании сети с изолированной нейтралью положение разъединителя К – отключенное, с компенсированной нейтралью – включенное. Модель энергосистем включает балансирующий узел, трехобмоточный трансформатор, 19 силовых трансформаторов 10/0,4 кВ, на низшую сторону которых подключается линейная и нелинейная нагрузка, 19 кабельных линий, трансформатор собственных нужд, в нейтраль которого подключается дугогасящий реактор, 2 измерительных трансформатора напряжения.

Также модель энергосистемы включает блоки ОЗЗ. Для моделирования однофазных замыканий на землю создан оригинальный блок, позволяющий моделировать глухие и дуговые замыкания на землю различной длительности.

Преобразование Гилберта заключается в получении сигнала, смещенного на 90 градусов относительно исходного периодического сигнала. Далее формируется сигнал, называемый «аналитическим»:

$$Z(t) = x(t) + j \cdot x_H(t),$$

где

$$x_H(t) = -\frac{1}{\pi} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\varepsilon}^{\infty} \frac{x(t+\tau) - x(t-\tau)}{\tau} d\tau$$

– преобразование Гилберта исходного сигнала.

Из аналитического представления функции можно получить мгновенную амплитуду и фазу сигнала:

$$A(t) = \sqrt{x(t)^2 + x_H(t)^2}, \quad \varphi(t) = \operatorname{atan}\left(\frac{x_H(t)}{x(t)}\right).$$

Соответственно, сравнение мгновенных фаз высокочастотных составляющих тока $3I_0$ и напряжения $3U_0$ однозначно характеризует место появления несимметрии, поскольку данные сигналы изменяются в противофазе. На ФИГ.2 показаны графики преобразования Гилберта для тока нулевой последовательности неповрежденного (201) и поврежденного присоединения (202), и для напряжения нулевой последовательности на шине (203). На верхних графиках: синим – исходный сигнал, оранжевым – результат преобразования Гилберта. На нижнем мгновенная фаза в радианах. Из графиков видно, что мгновенная фаза до возмущения характеризует направление изменения тока. Снижающемуся току соответствует фаза $\pi/2$, а растущему $-\pi/2$. После возмущения мгновенная фаза обоих сигналов, естественно, растет, поскольку векторы вращаются. Преобразование Гилберта для напряжения дает фазу $\pi/2$, поскольку

напряжение после возмущения снижается.

На ФИГ.3 представлены осциллограммы $3I_0$ (301), $3U_0$ (302), разности мгновенных фаз тока и напряжения (303) для каждого присоединения при ОЗЗ на присоединении Ф2. Из графиков видно, что после пробоя какое-то время идентифицируется модуль разности мгновенных фаз для повреждённого фидера около π (с точностью до знака), а для неповрежденных около нуля. Для того чтобы упростить выявление поврежденного фидера и отстроиться от погрешности измеряемого сигнала и вычислений, принимается следующий критерий принятия решения: если модуль разности мгновенных фаз больше $\pi/2$, то данный фидер поврежден, если модуль разности мгновенных фаз меньше $\pi/2$, то этот фидер не поврежден.

На ФИГ.4 представлена блок-схема заявленного способа. В качестве входных сигналов используются мгновенные значения $3I_0$ (401), $3U_0$ (402). Для значения $3I_0$, $3U_0$ рассчитывается мгновенное значение фазы посредством преобразования Гилберта в блоках «Hilbert $3I_0$ » (403) и «Hilbert $3U_0$ » (404). Затем находится разность этих фаз (405) и модуль полученного значения (406). Далее полученное значение подается на вход блока сравнения (407). Когда разность фаз находится в диапазоне от $-\pi/2$ до $\pi/2$, что соответствует критерию принятия решения, модуль меньше $\pi/2$ (408), то это внешнее возмущение, следовательно, на выходе (409) формируется сигнал «0», в противном случае на выходе формируется сигнал «1», что свидетельствует о возмущении на присоединении.

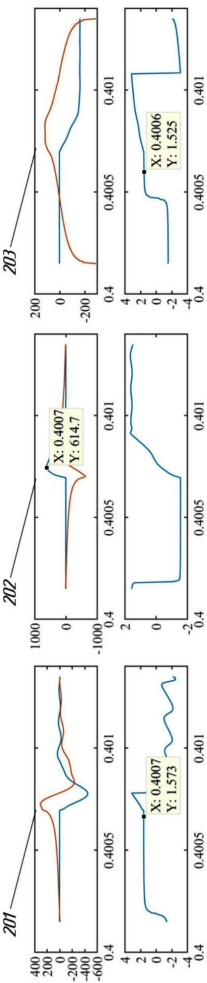
Данный алгоритм вводится в работу в первые моменты времени после возникновения переходного процесса. Поскольку при работе преобразования Гилберта важно получить только мгновенную фазу сигнала, свидетельствующую о направлении изменения сигнала, достаточно использовать малое скользящее окно размером 5-10 замерам преобразуемой величины.

Работа данного алгоритма воссоздана в среде Matlab/Simulink. Данный алгоритм протестирован на разработанной модели при различных возмущениях в сети с изолированной и компенсированной нейтралью. Работоспособность данного алгоритма подтверждена успешным прохождением испытаний на разработанной модели распределительной сети.

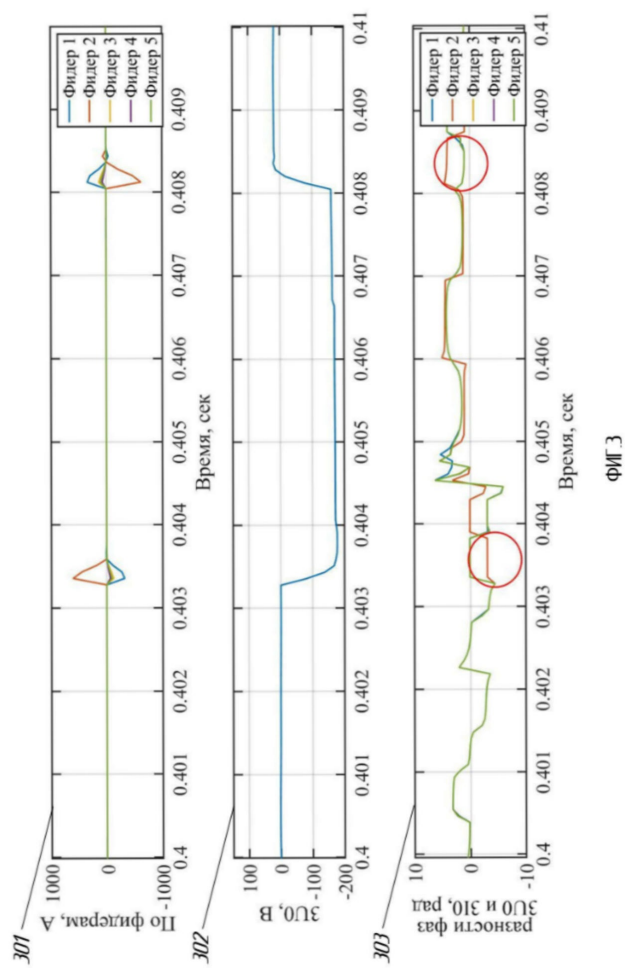
(57) Формула изобретения

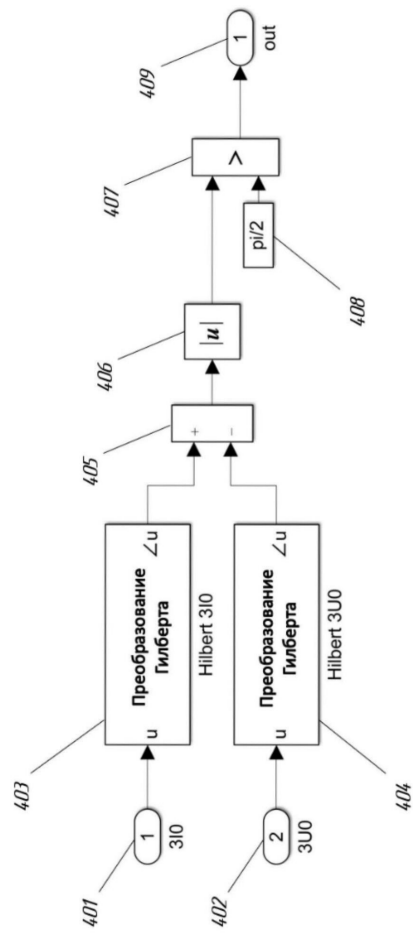
Способ выявления однофазных замыканий на землю в присоединениях распределительной сети, в котором используют сигнал тока нулевой последовательности присоединения и сигнал напряжения нулевой последовательности соответствующей шины распределительной сети, отличающийся тем, что к упомянутым сигналам применяют преобразование Гилберта, в результате которого получают мгновенную фазу сигнала, затем определяют модуль разности между значениями мгновенной фазы напряжения и мгновенной фазы тока нулевой последовательности, при этом в случае, если значение модуля разности превышает значение $\pi/2$ для одного из присоединений к шине распределительной сети, то сигнализируют о возникновении однофазного замыкания на землю на таком присоединении.





Фиг. 2





Фиг. 4