

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036979**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.01.21

(21) Номер заявки
201892650

(22) Дата подачи заявки
2017.05.23

(51) Int. Cl. **H02H 3/16** (2006.01)
G01R 31/02 (2006.01)
H02H 3/34 (2006.01)
H02H 7/28 (2006.01)

(54) **СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

(31) **20160137**

(32) **2016.05.23**

(33) **FI**

(43) **2019.06.28**

(86) **PCT/FI2017/050382**

(87) **WO 2017/203099 2017.11.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭМТЕЛЕ ОЙ (FI)

(56) **WO-A1-2005038474**
GB-A-2012505
EP-A1-2752674

(72) Изобретатель:
Петтиссало Сеппо (FI)

(74) Представитель:
Хмара М.В., Рыбаков В.М., Липатова И.И., Новоселова С.В., Дощечкина В.В., Пантелеев А.С., Ильмер Е.Г., Осипов К.В. (RU)

(57) Способ обнаружения коротких замыканий (4) в трехфазной электрической распределительной сети, включающий в себя определение тока (21C) нулевой последовательности, тока (21A) первой фазы и тока (21B) второй фазы в некотором месте трехфазной электрической распределительной сети, определение первых отфильтрованных токов (22) путем удаления из определенных токов частотной составляющей, соответствующей основной частоте электрической распределительной сети, за счет отфильтровывания указанной частотной составляющей, определение направлений первых отфильтрованных токов в течение первого периода (23) времени и сравнение указанных направлений (24) относительно друг друга и, если по меньшей мере одно из определенных направлений противоположно относительно по меньшей мере одного из двух других определенных направлений, сигнализирование об обнаружении короткого замыкания (25).

B1**036979****036979****B1**

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится в целом к технической области обнаружения коротких замыканий в электрических распределительных сетях. В первую очередь, изобретение относится к обнаружению замыканий на землю в работающих по радиальной схеме электрических распределительных сетях среднего напряжения, например, компенсированных централизованным, распределенным или гибридным способом, или в сетях с изолированной нейтралью, состоящих из подземных и/или подвесных кабелей и/или подвесных линий электропередачи.

Сведения о предшествующем уровне техники

При коротком замыкании на землю одна фаза электрической распределительной сети находится в контакте с потенциалом земли. Это приводит к вытеканию тока из сети в месте короткого замыкания и обратно в сеть через емкости между фазой и землей и/или через заземляющие устройства. Это является причиной возникновения потенциально опасных контактных напряжений, поэтому важно распознавать эти неисправные состояния и отсоединять неисправную часть распределительной сети.

Короткие замыкания могут представлять собой устойчивые короткие замыкания на землю, и в этом случае, после возникновения короткого замыкания, состояние короткого замыкания, как правило, остается в сети постоянно до устранения короткого замыкания. Ток короткого замыкания при устойчивом коротком замыкании отличается тем, что преимущественно имеет основную частоту электрической сети, такую как 50 или 60 Гц.

Могут также возникать короткие замыкания, представляющие собой дуговые или неустойчивые короткие замыкания на землю, и в этом случае короткое замыкание возникает на короткие периоды времени (т.е. одно событие короткого замыкания), но, как правило, повторно несколько раз подряд. Короткое замыкание может возникать, например, вследствие поврежденной изоляции. При возникновении дугового или неустойчивого короткого замыкания оно содержит часть быстрого разряда, в течение которой разряжается емкость (емкости) между фазой и землей неисправной фазы, и часть более медленного заряда, в течение которой заряжаются емкости исправных фаз при возрастании их напряжений до напряжений сети относительно земли. Токи части быстрого разряда и части более медленного заряда суммируются с образованием общего тока короткого замыкания на землю. Часть быстрого разряда обуславливает появление короткого пика, видимого в токе нулевой последовательности и токе неисправной фазы. Пик, таким образом, выделяется, а переходный ток состоит, главным образом, из тока части более медленного заряда. Типичная длительность тока части быстрого разряда может составлять несколько сотен микросекунд, например от 100 до 200 мкс. Длительность одного события дугового или неустойчивого короткого замыкания может, как правило, составлять приблизительно от 1 до 3 мс.

Ток короткого замыкания при замыкании на землю можно уменьшить путем использования компенсационного реактора, например, (дугогасящей) катушки Петерсена, присоединенной к нейтрали трансформатора. Такие системы называются системами резонансного заземления. Выбирая индуктивность реактора в соответствии с емкостями распределительной сети, можно компенсировать емкостный ток короткого замыкания индуктивным током равной величины.

В уровне техники раскрыты способы определения места коротких замыканий в электрических распределительных сетях. Как правило, определение места короткого замыкания осуществляют путем выполнения тестовых измерений, требующих значительных усилий и людских ресурсов и отнимающих много времени. Эти измерения могут также повредить электрическую распределительную систему вследствие срабатывания автоматических выключателей, которые необходимо замыкать, несмотря на короткое замыкание в распределительной сети.

Разработаны также способы, основанные на измерениях и алгоритмах определения места короткого замыкания. Эти способы, как правило, основаны на централизованных измерениях в подстанции или, альтернативно, на распределенных измерениях в нескольких местах распределительной сети и вдоль линий.

Были разработаны несколько способов, основанных на централизованных измерениях. Эти способы основаны на алгоритмах, оценивающих расстояние до места короткого замыкания от подстанции. Все эти способы имеют ограничения, такие как локализация короткого замыкания в правой ветви сети, и ни один из этих способов не был в действительности использован в крупном масштабе. В частности, существуют трудности, связанные с определением места коротких замыканий в компенсированных электрических распределительных сетях.

Как упоминалось, существуют также способы, использующие распределенные измерения. Эти способы, как правило, основаны на измерении тока и напряжения нулевой последовательности и наблюдении за изменением этих параметров. Эти способы могут использоваться для распознавания неисправной ветви питающей линии, если разъединяющее устройство оснащено надлежащими средствами измерения и способностью дистанционного управления. Другой известный способ распознавания неисправной ветви основан на сравнении тока нулевой последовательности различных ветвей при коротком замыкании.

Сущность изобретения

Задача настоящего изобретения состоит в предоставлении способов, блоков управления детекторами короткого замыкания, детекторов короткого замыкания и систем для реализации способов для устра-

нения одного или более из вышеназванных недостатков, связанных с обнаружением коротких замыканий в электрической распределительной сети. Задача изобретения решена способом, блоком управления детектора короткого замыкания, детектором короткого замыкания и системой, раскрытыми в соответствующих независимых пунктах формулы изобретения. Предпочтительные варианты изобретения раскрыты в зависимых пунктах формулы изобретения.

Изобретение согласно первому аспекту представляет собой способ обнаружения коротких замыканий в трехфазной электрической распределительной сети. Способ включает в себя следующие шаги:

определяют ток нулевой последовательности, ток первой фазы и ток второй фазы в некотором месте трехфазной электрической распределительной сети;

определяют первый отфильтрованный ток нулевой последовательности, первый отфильтрованный ток первой фазы и первый отфильтрованный ток второй фазы путем удаления частотной составляющей из токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы, соответствующей основной частоте электрической распределительной сети, за счет отфильтровывания указанной частотной составляющей, вследствие чего первые указанные первые отфильтрованные токи включают в себя частотные составляющие, отличные от указанной удаленной частотной составляющей;

определяют направление первого отфильтрованного тока нулевой последовательности, направление первого отфильтрованного тока первой фазы и направление первого отфильтрованного тока второй фазы в течение первого периода времени;

сравнивают указанные направления друг относительно друга и, если по меньшей мере одно из определенных направлений противоположно относительно по меньшей мере одного из двух других определенных направлений;

сигнализируют об обнаружении короткого замыкания.

Кроме того, способ может включать в себя определение второго отфильтрованного тока нулевой последовательности, второго отфильтрованного тока первой фазы и второго отфильтрованного тока второй фазы путем фильтрации тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы относительно основной частоты электрической распределительной сети, причем указанные вторые отфильтрованные токи, таким образом, содержат только указанную основную частотную составляющую.

Способ может также, перед определением указанных первых отфильтрованных токов, включать в себя определение тока обратной последовательности на основе токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы или на основе указанных вторых отфильтрованных токов в течение второго периода времени, определение величины изменения в течение второго периода времени тока обратной последовательности на основе значений тока обратной последовательности во времени до и после короткого замыкания, сравнение указанного изменения со значением тока нулевой последовательности во времени после указанного короткого замыкания и, если величина указанного изменения относительно тока нулевой последовательности после указанного короткого замыкания превышает второй порог, сигнализирование об обнаружении указанного короткого замыкания.

Способ может также включать в себя, перед определением тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы в месте расположения трехфазной электрической распределительной сети, сравнение значения тока нулевой последовательности с первым порогом и выполнение способа в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения, если значение тока нулевой последовательности превышает первый порог.

Способ может включать в себя, перед определением указанных первых отфильтрованных токов, определение тока прямой последовательности в течение третьего периода времени на основе частотной составляющей токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы, соответствующей основной частоте электрической распределительной сети, или на основе указанных вторых отфильтрованных токов, сравнение тока прямой последовательности с третьим порогом и, если ток прямой последовательности превышает третий порог, сигнализирование об обнаружении короткого замыкания.

Способ может также включать в себя определение тока нулевой последовательности непосредственно путем измерения суммы фазовых токов.

Определение тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы в месте трехфазной электрической распределительной сети может включать в себя определение тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы с первой частотой дискретизации.

По меньшей мере один из тока обратной последовательности и тока прямой последовательности может быть определен на основе определения тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы со второй частотой дискретизации.

По меньшей мере один из тока обратной последовательности и тока прямой последовательности может быть определен на основе определения тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы путем понижающей дискретизации определенных токов первой фазы, второй фазы и нулевой последовательности.

Изобретение согласно второму аспекту представляет собой блок управления детектора короткого замыкания для обнаружения коротких замыканий в трехфазной электрической распределительной сети. Блок управления детектора короткого замыкания содержит по меньшей мере один процессор и по мень-

шей мере одно устройство памяти для хранения по меньшей мере одной части компьютерного программного кода, причем по меньшей мере один процессор выполнен с возможностью инициировать выполнение блоком управления детектора короткого замыкания следующих шагов:

определение тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы в некотором месте трехфазной электрической распределительной сети;

определение первого отфильтрованного тока нулевой последовательности, первого отфильтрованного тока первой фазы и первого отфильтрованного тока второй фазы путем удаления частотной составляющей из токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы, соответствующей основной частоте электрической распределительной сети, за счет отфильтровывания указанной частотной составляющей, причем указанные первые отфильтрованные токи, таким образом, включают в себя частотные составляющие, отличные от указанной удаленной частотной составляющей;

определение направления первого отфильтрованного тока нулевой последовательности, направления первого отфильтрованного тока первой фазы и направления первого отфильтрованного тока второй фазы в течение первого периода времени;

сравнение указанных направлений друг относительно друга и, если по меньшей мере одно из определенных направлений противоположно относительно по меньшей мере одного из двух других определенных направлений;

сигнализирование об обнаружении короткого замыкания.

Изобретение согласно третьему аспекту представляет собой детектор короткого замыкания, содержащий блок управления детектора короткого замыкания согласно второму аспекту для обнаружения коротких замыканий в трехфазной электрической распределительной сети. Детектор короткого замыкания дополнительно содержит средство для определения тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы, средства для ввода определенных тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы в блок управления детектора короткого замыкания и средства внешней связи.

Изобретение согласно четвертому аспекту представляет собой систему, содержащую некоторое количество детекторов короткого замыкания согласно третьему аспекту для обнаружения коротких замыканий в трехфазной электрической распределительной сети. Система содержит некоторое количество детекторов короткого замыкания, расположенных вдоль трехфазной электрической распределительной сети для обнаружения коротких замыканий на основе сигнализирования об обнаружении короткого замыкания по меньшей мере одним из некоторого количества детекторов короткого замыкания по сети передачи данных к системе управления сетью.

Изобретение согласно пятому аспекту представляет собой компьютерный программный продукт, содержащий программные инструкции, которые, при выполнении блоком управления детектора короткого замыкания в соответствии со вторым аспектом, инициируют осуществление блоком управления детектора короткого замыкания способа согласно первому аспекту.

Преимущество способов, устройств и систем в соответствии с настоящим изобретением состоит в том, что обнаружение коротких замыканий может быть надежно определено на основе измерений и местоположения детекторов короткого замыкания и сигналов обнаружения и/или необнаружения короткого замыкания от детекторов короткого замыкания. Другое преимущество состоит в том, что детекторы короткого замыкания в соответствии с настоящим изобретением могут быть выполнены относительно просто и по доступной цене, и поэтому также экономически целесообразно располагать детекторы короткого замыкания в нескольких местах электрической распределительной сети для достижения достаточной точности при обнаружении и содействии в определении места коротких замыканий.

Выражение "некоторое количество" относится в настоящем документе к любому положительному целому числу, начиная с одного, например к одному, двум или трем.

Выражение "множество" относится в настоящем документе к любому положительному целому числу, начиная с двух, например к двум, трем или четырем.

Термины "первый", "второй", "третий" не обозначают какой-либо порядок, количество или значимость, а скорее используются, чтобы отличать один элемент от другого.

Примеры осуществления изобретения, представленные в данной заявке на патент, не следует интерпретировать в качестве накладывающих ограничения на применимость приложенной формулы изобретения. Глагол "содержать" применяется в данной заявке на патент в качестве открытого ограничения, которое не исключает наличие также не перечисленных признаков. Признаки, перечисленные в зависимых пунктах формулы изобретения, является взаимно свободно комбинируемыми, если прямо не предусмотрено иное.

Перечень фигур

Варианты осуществления настоящего изобретения изображены в качестве примера неограничивающим образом на приложенных чертежах.

На фиг. 1A и 1B показаны схематически примеры электрической распределительной сети, компенсированной или с изолированной нейтралью соответственно, состоящей из подземных и/или подвесных кабелей и/или подвесных линий электропередачи, вдоль которых детекторы короткого замыкания в соответствии с настоящим изобретением могут быть расположены и использованы для обнаружения ко-

ротких замыканий.

На фиг. 2 показана блок-схема варианта осуществления способа в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 3 показан ток короткого замыкания во время одного события дугового или неустойчивого короткого замыкания на землю.

На фиг. 4A-4D показаны токи трех фаз и ток нулевой последовательности соответственно исправной линии во время одного события дугового или неустойчивого короткого замыкания на землю.

На фиг. 5A-5D показаны токи трех фаз и ток нулевой последовательности соответственно неисправной линии во время одного события дугового или неустойчивого короткого замыкания на землю.

На фиг. 6 показана блок-схема варианта осуществления способа в соответствии с настоящим изобретением, в первую очередь, для обнаружения устойчивых коротких замыканий на землю.

На фиг. 7 показана блок-схема варианта осуществления способа в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг. 8 показан схематически блок управления детектора короткого замыкания в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 9 показан схематически детектор короткого замыкания в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 10 показан вариант осуществления системы в соответствии с настоящим изобретением, в котором используется по меньшей мере один детектор короткого замыкания в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 11 показана система управления сетью, которая может использоваться со способами, устройствами и системами в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 12A-12C показаны измеренные фазовые токи электрической распределительной сети и воздействие дугового короткого замыкания на землю на измеренные токи.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

На фиг. 1A показан схематически пример компенсированной электрической распределительной сети, состоящей из подземных и/или подвесных кабелей и/или подвесных линий электропередачи, вдоль которых детекторы 10 короткого замыкания в соответствии с настоящим изобретением могут быть расположены и использованы для обнаружения прохождения токов короткого замыкания.

Детекторы 10 короткого замыкания могут быть расположены в соединении со средствами для определения тока электрической распределительной сети среднего напряжения. Средства для определения тока могут включать в себя токовые трансформаторы, токоизмерительные датчики 3A-3C, поясы 3C Роговского, датчики Холла и т.д. Могут также быть средства для определения напряжения электрических распределительных сетей среднего напряжения, например измерительные трансформаторы, емкостные делители напряжения, резистивные делители напряжения и т.д.

Электрические распределительные сети на фиг. 1A и 1B могут иметь радиальную структуру или ячеистую структуру, работающую по радиальной схеме. Компенсация может быть реализована централизованным, распределенным или гибридным способом. Электрическая распределительная сеть может включать в себя некоторое количество трансформаторов 1, 2, преобразующих электрические величины, такие как напряжения и токи, в различные уровни, такие как уровни 1-3 напряжения, VL1, VL2, VL3 соответственно.

Трансформаторы 1, 2 могут иметь одну или несколько цепей первичных обмоток и/или одну или несколько цепей вторичных обмоток и/или третичных цепей и т.д. Может быть типичное распределительное устройство, расположенное в соединении с силовым трансформатором 1, содержащее измерительные устройства, реле, переключатели и т.д.

На фиг. 1 компенсация реализована централизованным способом с использованием регулируемой катушки 5 Петерсена. Имеются две линии: первая линия L1 и вторая линия L2, показанные на фиг. 1A и 1B, обе имеющие три фазы, L1A, L1B, L1C и L2A, L2B, L2C, соответственно.

На фиг. 1A и 1B показан пример сценариев, при которых имеет место однофазное короткое замыкание на землю на третьей фазе L2C второй линии L2. Детектор 10 короткого замыкания на второй линии L2 слева от места 4 короткого замыкания обнаруживает прохождение тока короткого замыкания и помечен символом X внутри четырехугольника, представляющего детектор 10 короткого замыкания, тогда как остальные детекторы 10, расположенные вдоль сети, не обнаруживают ток короткого замыкания, т.е. они помечены символом O внутри четырехугольника, представляющего детектор 10 короткого замыкания на фиг. 1A и 1B.

Может использоваться, как показано на фиг. 1A, по меньшей мере один силовой трансформатор 1, имеющий с одной стороны первый уровень VL1 напряжения, а с другой стороны второй уровень VL2 напряжения. В соответствии с примером электрической распределительной сети, показанной на фиг. 1A, первый уровень VL1 напряжения силового трансформатора 1 представляет высокий уровень напряжения сети линий передачи. В соответствии с примером электрической распределительной сети, показанной на фиг. 1A, второй уровень VL2 напряжения представляет средний уровень напряжения электрической рас-

пределительной сети.

Может также быть по меньшей мере один распределительный трансформатор 2, имеющий с одной стороны второй уровень VL2 напряжения, а с другой стороны третий уровень VL3 напряжения. В соответствии с примером электрической распределительной сети, показанной на фиг. 1А, третий уровень VL3 напряжения представляет низкий уровень напряжения электрической распределительной сети. Могут использоваться переключатели, устройства со способностью дистанционного управления и датчики, расположенные в соединении по меньшей мере с одним распределительным трансформатором 2.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления уровни VL1 и VL2 напряжения могут составлять, например, от 70 до 1000 кВ и от 1,5 до 70 кВ, соответственно. Уровень VL3 напряжения может составлять, например, от 0 до 1,5 кВ.

На фиг. 1В показан схематически пример электрической распределительной сети с изолированной нейтралью, состоящей из подземных и/или подвесных кабелей и/или подвесных линий электропередачи, вдоль которых могут быть расположены детекторы 10 короткого замыкания в соответствии с настоящим изобретением. Электрическая распределительная сеть в соответствии с фиг. 1В может также содержать трансформаторы 1,2 аналогично примеру, показанному на фиг. 1А и объясняемому в настоящем документе в связи с фиг. 1А.

На фиг. 2 показана блок-схема способа 200 в соответствии с вариантом осуществления способа согласно настоящему изобретению для обнаружения прохождения токов короткого замыкания, в первую очередь дуговых коротких замыканий на землю.

Шаг 20 относится к фазе запуска способа. Устанавливают необходимость в обнаружении коротких замыканий, получают надлежащие устройства и располагают их в соединении с электрической распределительной сетью. Устройства могут быть настроены, и может быть установлена связь между соседними элементами в электрической распределительной сети. Фаза 20 запуска способа может включать в себя критерии для инициализации способа, такие как, например, значение тока нулевой последовательности или сумма фазовых токов, превышающая первый порог. Для обнаружения и индикации наличия короткого замыкания в сети могут также использоваться другие источники, такие как реле на подстанции или информация из системы управления сетью или основанная на уровне определенного напряжения нулевой последовательности.

Ток нулевой последовательности или сумму фазовых токов в соответствии с определением в настоящем документе следует понимать как представляющие по существу одинаковые значения с очевидным различием в виде множителя $1/3$, который можно соответствующим образом принять в расчет при реализации варианта осуществления настоящего изобретения, т.е. ток нулевой последовательности составляет $1/3$ сумму фазовых токов.

Шаги 21А, 21В, 21С могут предпочтительно выполняться по существу одновременно. На шаге 21А определяют ток первой фазы. На шаге 21В определяют ток второй фазы. На шаге 21С определяют ток нулевой последовательности или сумму фазовых токов.

В соответствии с вариантом осуществления ток нулевой последовательности можно также определять путем определения каждого из фазовых токов по отдельности, используя количество приборов для измерения тока, равное количеству фаз в электрической распределительной сети.

Ток нулевой последовательности или сумма фазовых токов могут предпочтительно определяться мгновенно. Кроме того, в соответствии с вариантом осуществления ток нулевой последовательности можно также определять на основе отсчетов, представляющих один основной цикл электрической распределительной сети, таких как последовательные отсчеты в течение 20 или приблизительно 16,7 миллисекунд в зависимости от основной частоты электрической распределительной сети, т.е. 50 или 60 Гц соответственно.

Токи, определяемые на шагах 21А, 21В, 21С, могут быть определены, например, посредством измерений с использованием токоизмерительных датчиков 3А-3С или датчиков 3С на основе пояса Роговского. На шаге 21С ток нулевой последовательности может предпочтительно быть определен путем прямого измерения с использованием датчика 3С на основе пояса Роговского, который повышает чувствительность измерения. Датчик 3С на основе пояса Роговского, измеряющий ток нулевой последовательности, может также использоваться для обнаружения состояния короткого замыкания в электрической распределительной сети в фазе 20 запуска способа.

Шаги 21А-21С могут включать в себя определение каждого из тока первой фазы, тока второй фазы и тока нулевой последовательности с первой частотой дискретизации. Первая частота дискретизации может предпочтительно составлять 12,8 кГц, обеспечивая 32 отсчета для каждого тока в течение периода времени 2,5 мс, что представляет собой порядок, типичный для события дугового короткого замыкания на землю. Первая частота дискретизации может также составлять 9,6 или 19,2 кГц.

Шаг 22 включает в себя определение первого отфильтрованного тока нулевой последовательности, первого отфильтрованного тока первой фазы и первого отфильтрованного тока второй фазы. Токи, определенные на шагах 21А, 21В и 21С, могут содержать низкочастотные составляющие, такие как основная частотная составляющая электрической распределительной сети, которая может составлять, например, 50 или 60 Гц. В определенных токах могут также присутствовать гармонические и/или субгармонические

частотные составляющие или другие различные частотные составляющие. На шаге 22 определенные токи, т.е. ток нулевой последовательности, ток первой фазы и ток второй фазы, могут отфильтровываться, например, фильтром нижних частот, имеющим частоту среза порядка 75, 100 или 125 Гц для определения первого отфильтрованного тока нулевой последовательности, первого отфильтрованного тока первой фазы и первого отфильтрованного тока второй фазы. Может применяться как аналоговая, так и цифровая фильтрация. Определение может включать в себя применение аналоговых фильтров или предпочтительно цифровую фильтрацию. Различные частотные составляющие могут быть определены с применением численных методов, таких как использование быстрого преобразования Фурье (БПФ), реализованное на по меньшей мере одном процессоре.

Шаг 23 включает в себя определение направления или полярности первых отфильтрованных токов. После того, как основная частотная составляющая была отфильтрована из определяемых токов на шаге 22, в первых отфильтрованных токах присутствуют только частоты, отличные от основной. Путем отфильтровывания основной частотной составляющей из определяемых токов на шагах 21А-21С можно определить направление или полярность первых отфильтрованных токов.

Необходимость и преимущество отфильтровывания основной частоты дополнительно показаны на фиг. 12А-12С, на которых изображены измеренные фазовые токи 1201-1203. Как видно из фиг. 12А, изменение фазового тока вследствие дугового короткого замыкания на землю может быть таким небольшим, что, хотя направление или полярность изменения положительна, полярность полного тока, включая воздействие основной частотной составляющей фазового тока, остается отрицательной.

Как описано выше и показан на фиг. 3, событие 30 дугового короткого замыкания на землю может быть разделено на две части: часть 31 быстрого разряда и часть 30 более медленного заряда. Токи во время указанных двух частей суммируются в течение события 30 короткого замыкания на землю. Часть 31 быстрого разряда происходит в течение периода 31 времени, а часть медленного заряда - в течение периода 30 времени. Первый пик 33 тока короткого замыкания, имеющий место в течение периода 31 времени, возникает при разряде емкости (емкостей) неисправной фазы. В течение части 30 медленного заряда напряжение исправных фаз возрастает и, как следствие, емкость (емкости) между фазой и землей заряжается через катушки силового трансформатора 1.

Направления или полярности могут, предпочтительно, быть определены на основе направления или полярности первого полуцикла, т.е. первого периода времени, периода 32 времени на фиг. 3 части 30 медленного заряда.

В соответствии с вариантом осуществления фильтр Баттерворта четвертого порядка может использоваться для фильтрации определяемых токов, чтобы получить первые отфильтрованные токи, по которым можно определять направления или полярности. Фильтр Баттерворта может предпочтительно быть фильтром полосового типа, имеющим нижнюю частоту среза 100 Гц и верхнюю частоту среза 600 Гц, что позволяет определять направления или полярности во время первого полуцикла 32. Часть 31 быстрого разряда, таким образом, сглаживают по указанным первым отфильтрованным токам.

Шаг 24 включает в себя определение направлений или полярностей первых отфильтрованных токов. Если направления или полярности одинаковы, как на фиг. 4А-Д (направления или полярности первого полуцикла токов все отрицательны), ток был определен и, таким образом, детектор 10 короткого замыкания располагается в точке сети, находящейся на исправной линии L1 на фиг. 1 и 2, или в точке "позади" места короткого замыкания, т.е. дальше вдоль линии от силового трансформатора 1 или подстанции по сравнению с местом 4 короткого замыкания. На фиг. 4А-4Д показаны токи трех фаз 401-403 соответственно и ток 404 нулевой последовательности.

Если, с другой стороны, по меньшей мере одно из направлений или полярностей первых отфильтрованных токов противоположно по отношению к остальным направлениям или полярностям первых отфильтрованных токов, таких как показаны на фиг. 5А-5Д (направления или полярности первого полуцикла двух токов отрицательны, а двух - положительны), точка, в которой были определены токи, находится "впереди" места 4 короткого замыкания, т.е. точка сети между силовым трансформатором или подстанцией и местом 4 короткого замыкания. В этом случае устанавливается сигнал для обнаружения короткого замыкания. На фиг. 5А-5Д показаны токи трех фаз 501-503, соответственно, и ток 504 нулевой последовательности.

Сигнал для обнаружения короткого замыкания может быть передан системе управления сетью (NMS, от англ. network management system) или сообщен визуальным выходом, таким как светоизлучающий диод (СИД) пользователю или специалисту по техническому обслуживанию, который занимается определением места короткого замыкания и готовится к его устранению.

Выполнение способа заканчивается на шаге 26. Обнаружение короткого замыкания больше не является необходимым, или условия для наличия короткого замыкания больше не существуют.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения значение первого порога, используемого в детекторах 10 короткого замыкания, может быть задано равным 1-6 А, или предпочтительно 1-3 А. Выбранное значение порога для суммы фазовых токов зависит от предпочтительной чувствительности устройств индикации коротких замыканий. Порог может быть статически определен или динамически отрегулирован на основе конфигурации сети или других параметров.

В соответствии с вариантом осуществления способ согласно настоящему изобретению может выполняться непрерывно или быть инициализирован после выполнения некоторого критерия. Этим критерием может быть, например, значение тока нулевой последовательности относительно первого порога. Это значение тока нулевой последовательности может определяться, например, непрерывно, перед выполнением шагов 21А-21С.

На фиг. 6 показана блок-схема способа 600, которая может выполняться в дополнение или параллельно с вариантом осуществления настоящего изобретения для обнаружения токов короткого замыкания, в первую очередь устойчивых коротких замыканий на землю. Способ, показанный позицией 600, может также выполняться отдельно или независимо от способа, показанного позицией 200.

Шаг 60 относится к фазе запуска способа. Устанавливают необходимость в обнаружении коротких замыканий, получают надлежащие устройства и располагают их соединенными с электрической распределительной сетью. Устройства могут быть настроены, и может быть установлена связь между соседними элементами в электрической распределительной сети. Фаза 60 запуска может включать в себя критерии для инициализации способа, такие как, например, значение тока нулевой последовательности или сумма фазовых токов, превышающие первый порог. Для обнаружения и индикации наличия короткого замыкания в сети могут также использоваться другие источники, такие как реле на подстанции или информация из системы управления сетью или основанная на уровне определяемого напряжения нулевой последовательности.

Шаги 61А-61С могут быть идентичны шагам 21А-21С, показанным на фиг. 2 и раскрытым выше в соответствующих частях настоящего описания. Шаги 61А-61С могут включать в себя определение каждого из тока первой фазы, тока второй фазы и тока нулевой последовательности со второй частотой дискретизации. Вторая частота дискретизации может предпочтительно составлять 1,6 кГц. Вторая частота дискретизации может также составлять 3,2 или 6,4 кГц. Вторая частота дискретизации может быть отличной от первой частоты дискретизации или равной ей.

Перед выполнением способа, показанного на фиг. 6, шаг 62, представляющий собой опциональную характеристику, может использоваться для отфильтровывания некоторых частотных составляющих из определяемых токов, предпочтительно, частотных составляющих с более высокой частотой, чем основная частота электрической распределительной сети. На шаге 62 фильтрацию можно выполнять таким образом, чтобы определять второй отфильтрованный ток нулевой последовательности, второй отфильтрованный ток первой фазы и второй отфильтрованный ток второй фазы. Фильтрация может быть выполнена с использованием аналоговых фильтров или, предпочтительно, цифровой фильтрации. Различные частотные составляющие могут быть определены с применением численных методов, таких как БПФ, реализованное на процессоре. В соответствии с вариантом осуществления высокочастотный фильтр с частотой среза, например, 75, 100 или 125 Гц, может использоваться для фильтрации определяемых токов.

На шаге 63, на основе определенных токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы, можно определить величину изменения во время второго периода времени тока обратной последовательности. Второй период времени может предпочтительно составлять по меньшей мере половину основного цикла электрической распределительной сети. Более предпочтительно второй период времени может составлять полный основной период электрической распределительной сети, например 20 или 16,7 мс. Определение указанного изменения тока обратной последовательности может осуществляться на основе значений тока обратной последовательности во времени до и после короткого замыкания, т.е. $\Delta I_2 = |I_{2,2} - I_{2,1}|$, причем ΔI_2 представляет собой величину изменения тока обратной последовательности во время короткого замыкания, $I_{2,2}$ представляет собой значение тока обратной последовательности после короткого замыкания, а $I_{2,1}$ представляет собой значение тока обратной последовательности перед коротким замыканием. Для увеличения точности тока обратной последовательности на шаге 62 можно использовать БПФ для фильтрации определяемых токов, чтобы они существу включали в себя только основную частотную составляющую.

На шаге 64 изменение тока обратной последовательности ΔI_2 можно сравнить со значением тока нулевой последовательности во времени после короткого замыкания 4, т.е., например, определение отношения $\Delta I_2 / I_{0,2}$, в котором $I_{0,2}$ представляет собой значение тока нулевой последовательности во времени после короткого замыкания 4.

На шаге 65 решение или отношение, определяемое на шаге 64, можно затем сравнить со вторым порогом. Второй порог может составлять, например, 0,4. Если решение или отношение, определяемое на шаге 64, превышает второй порог, может быть сделан вывод о том, что место, в котором определяются токи, находится на неисправной линии и между подстанцией или силовым трансформатором 1 и местом 4 короткого замыкания. В этом случае об обнаружении короткого замыкания сигнализируют, как показано на фиг. 6, шагом 66. Сигнал для обнаружения короткого замыкания может быть передан системе управления сетью (NMS) или сообщен визуальным выходом, таким как светоизлучающий диод (СИД), пользователю или специалисту по техническому обслуживанию, который занимается определением места короткого замыкания и готовится к его устранению.

Выполнение способа заканчивается на шаге 67. Обнаружение короткого замыкания больше не является необходимым, или условия для наличия короткого замыкания больше не существуют.

На фиг. 7 вариант осуществления способа в соответствии с настоящим изобретением показан блоком-схемой 700. Способ, показанный позицией 700, включает в себя варианты осуществления обоих способов, показанных на фиг. 2 и Фиг. 6. Все шаги на схеме 700 могут быть идентичными шагам, показанным на фиг. 2 и 6 и раскрытым выше в соответствующих частях описания.

Шаг 72, однако, может содержать характеристики обоих шагов 22 и 62. Ток обратной последовательности и/или ток прямой последовательности может быть определен с помощью второй частоты дискретизации или путем понижающей дискретизации токов, определяемых на шагах 71А-71С.

В соответствии с вариантом осуществления понижающую дискретизацию можно выполнять предпочтительно для обнаружения устойчивых коротких замыканий, но, кроме того, ее можно использовать для обнаружения дуговых или неустойчивых коротких замыканий. В соответствии с некоторыми вариантами осуществления, если первая частота дискретизации составляет 12,8 кГц и каждый второй, четвертый или восьмой отсчет может быть использован, вторая частота дискретизации может, таким образом, составлять, например, 6,4, 3,2 или 1,6 кГц соответственно.

Определенные токи могут храниться в устройстве 806 памяти. Определенные токи могут храниться в буфере или памяти скользящего окна, т.е., например, последние 16 отсчетов, или последние 20 мс, или последние 10 циклов электрической распределительной сети, или что-либо аналогичное в зависимости, например, от характеристик системы и требуемого количества отсчетов для определения различных параметров для реализации способа в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения.

Шаги способа в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения, показанного позицией 700, могут выполняться непрерывно, или способ может быть инициализирован после выполнения некоторого критерия. Критерием может служить, например, уровень определяемого тока нулевой последовательности. В соответствии с вариантом осуществления шаги, показанные на фиг. 2 и показанные на фиг. 6, объединенные в один способ, как изображено на фиг. 7, могут выполняться по-разному. Это предусматривает, например, непрерывное выполнение шагов на фиг. 6, тогда как шаги на фиг. 2 выполняются после достижения соответствия с критерием, таким как уровень тока нулевой последовательности, т.е., например, после превышения первого порога.

На шаге 72, в дополнение к определению первых отфильтрованных токов, можно определить вторые отфильтрованные токи. Шаг 72 может выполняться процессором в детекторе 10 короткого замыкания в случае, когда определяют только первые отфильтрованные токи, или в случае, когда определяют также вторые отфильтрованные токи. Это создает простую и эффективную по стоимости структуру для детектора 10 короткого замыкания с различными функциональными возможностями.

Способ в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения может содержать, альтернативно или в дополнение к определению тока обратной последовательности, определение тока прямой последовательности. Определенный ток прямой последовательности может использоваться для обнаружения симметричных коротких замыканий в электрической распределительной сети, таких как трехфазные короткие замыкания. В соответствии с вариантом осуществления короткое замыкание может быть обнаружено, когда ток прямой последовательности, определенный в течение третьего периода времени, превышает третий порог, после чего сигнал обнаружения может быть направлен, например, системе управления сетью или индицирован при помощи СИД для того, чтобы специалист по техническому обслуживанию мог заметить сигнализирование обнаружения короткого замыкания. Третий период времени может быть равен второму периоду времени или отличаться от него. Третий порог может составлять, например, от 100 А до 1000 А в зависимости от электрической распределительной сети. Третий порог может представлять собой постоянный ток, постоянную временную задержку, обратное время или порог адаптационного типа.

Токи обратной и прямой последовательности можно определять, сохраняя определенные токи в буфере или памяти скользящего окна. В этом случае окна должны, предпочтительно, быть выполнены с возможностью составлять по меньшей мере половину основного цикла электрической распределительной сети.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения способы могут быть реализованы компьютерным программным продуктом или компьютерным программным кодом при выполнении процессором.

На фиг. 8 показан схематически блок 800 управления детектора короткого замыкания для реализации способа в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения. Способ в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения может выполняться компьютером, соединенным с детектором 10 короткого замыкания, содержащим по меньшей мере процессор 804 и устройство 806 памяти. Шаги способа могут программироваться в устройстве 806 памяти, например, долговременном машиночитаемом носителе, и выполняться процессором 804, таким как (микро)процессор. В соответствии с вариантом осуществления способ может по меньшей мере частично выполняться процессором 804 в блоке 800 управления детектора короткого замыкания. В соответствии с другим вариантом

осуществления способ может по меньшей мере частично выполняться отдельным процессором в детекторе 800 короткого замыкания. В некоторых вариантах осуществления способ может выполняться распределенно множеством процессоров, например, частично процессором в детекторе 800 короткого замыкания и частично процессором, например, в системе управления сетью.

Внешние блоки 801 могут быть подключены к интерфейсу 808 связи блока 800 управления детектора короткого замыкания. Внешний блок 801 может содержать беспроводное соединение, или проводное соединение, или, например, дисплей. Интерфейс 808 связи обеспечивает интерфейс для связи с внешними блоками 801, такими как маршрутизаторы, другой детектор 10 короткого замыкания, реле, устройства автоматизации подстанций, системы управления сетью и т.д. Может также иметь место подключение к локальным устройствам, таким как переносной компьютер или мобильное устройство. Может также иметь место подключение к базе данных детектора 10 короткого замыкания или внешней базе данных, включая информацию, используемую при управлении работой детектора или детекторов короткого замыкания, такой как база данных системы управления сетью.

Блок 800 управления детектора короткого замыкания может содержать один или более процессоров 804, одно или более устройств 806 памяти, энергозависимых или энергонезависимых, для хранения частей компьютерного программного кода 807A-807N и любых значений данных и, возможно, один или более блоков 810 пользовательского интерфейса. Названные элементы могут быть соединены с возможностью осуществления связи, например, при помощи внутренней шины.

Процессор 804 блока 800 управления детектора короткого замыкания по меньшей мере выполнен с возможностью реализации по меньшей мере некоторых шагов описанного способа. Реализация способа может также достигаться путем настройки процессора 804 с возможностью выполнения по меньшей мере некоторой части компьютерного программного кода 807A-807N, хранящегося в устройстве 806 памяти, инициирующего выполнение процессором 804 и, тем самым, блоком 800 управления детектора короткого замыкания одного или более шагов описанного способа. Процессор 804 может также быть выполнен с возможностью доступа к устройству 806 памяти и извлечения и хранения информации из нее/в ней. Для полной ясности, "процессор 804" в настоящем документе относится к любому устройству, подходящему, помимо прочего, для обработки информации и управления работой блока 800 управления детектора короткого замыкания. Операции могут также быть реализованы при помощи решения на базе микроконтроллера со встроенным программным обеспечением. Аналогичным образом, устройство 806 памяти не ограничено только определенным типом памяти, но память любого типа, подходящая для хранения описанных порций информации, может применяться в контексте настоящего изобретения.

Интерфейс 808 связи может содержать антенну и/или порт связи для технологии проводной связи, например интерфейс Ethernet или другой локальной вычислительной сети (ЛВС). В случае беспроводной связи приемник может использовать, например, радиочастотные технологии, такие как технологии Zigbee® на основе стандарта IEEE 802.15.4, беспроводной локальной вычислительной сети (БЛВС), глобальной системы мобильной связи (GSM®), технологии третьего поколения (3G), стандарт "Долгосрочное развитие сетей связи" (LTE®).

На фиг. 9 показан схематически позицией 900 детектор 10 короткого замыкания в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения. Детектор 10 короткого замыкания может содержать блок 800 управления детектора короткого замыкания, такой как, например, показан на фиг. 8, или может содержать отдельный процессор, выполненный с возможностью реализации по меньшей мере части способа в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Детектор 10 короткого замыкания может содержать средство 905 подключения к источнику питания, к которому источник постоянного тока или переменного тока может быть подключен для обеспечения питания. Детектор 10 короткого замыкания может содержать преобразователь 910 постоянного напряжения в постоянное и/или переменного напряжения в постоянное, способный преобразовывать характеристики электропитания от источника, подходящего для детектора 10 короткого замыкания.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения детектор 10 короткого замыкания может содержать один или несколько входов. Они могут включать в себя измерение токов 920 и/или напряжений 920 электрической распределительной сети, таких как фазовые токи 920 или напряжения 920, или сумма фазовых токов 920 или напряжений 920, а также определение электрических мощностей, кажущейся, активной и/или реактивной мощностей. Для фильтрации измерений могут использоваться различные фильтры, такие как фильтр 925 интегрирующего типа.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения могут применяться аналого-цифровой преобразователь 915 или преобразователи 915, используемые для преобразования аналоговых сигналов в цифровые сигналы, подаваемые в блок 800 управления детектора короткого замыкания или отдельный процессор. Могут иметь место цифровые входы 930, через которые можно конфигурировать или переконфигурировать детектор 10 короткого замыкания. Могут также применяться интерфейсное устройство 935 или устройства 935 для цифровых входов 930.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения детектор 10 короткого замыкания может содержать средства связи для вспомогательных измерений, таких как емкостное измерение

940 напряжения, например, емкостный делитель напряжения. Могут также иметь место средства 945 соединения для внешних блоков 801. Могут также иметь место средства проводной связи, такие как проводное подключение Ethernet 950, например, через разъем RJ45. Детектор 10 короткого замыкания может также содержать инфракрасные или прочие подобные средства беспроводной связи.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения детектор 10 короткого замыкания может содержать один или несколько модулей 808 связи, чтобы обмениваться данными с внешними устройствами или системами беспроводным или проводным способом. Детектор короткого замыкания может быть выполнен с возможностью обмена данными с использованием различных протоколов, таких как определены в стандарте МЭК (Международной электротехнической комиссии) 61850, стандарте МЭК 60870-5-104, в соответствии с протоколами CANOpen® или "Интернет физических объектов" (IoT), такими как протокол LoRa® беспроводной связи с большим радиусом действия. Детектор 10 короткого замыкания может быть выполнен с возможностью передачи сигнала обнаружения и/или необнаружения короткого замыкания беспроводным или проводным способом. Связь по линиям электросети (PLC) может также использоваться для передачи сигналов внешнему устройству или системе.

Детектор 10 короткого замыкания может быть напрямую связан с системой управления сетью или может обмениваться данными через маршрутизирующее устройство. Маршрутизирующее устройство может быть подключено к нескольким детекторам короткого замыкания и обслуживать, например, все детекторы короткого замыкания в некоторой конкретной зоне. В соответствии с вариантом осуществления к детектору или детекторам короткого замыкания может быть подключен блок расширения. Блок расширения может использоваться, например, в случае, когда необходимо большее количество измерений, чем включает в себя детектор 10 короткого замыкания в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Это может потребоваться в случае нескольких линий, начинающихся из одного места, или когда несколько трансформаторов расположены в одном месте, вследствие чего потребуется использовать множество детекторов 10 короткого замыкания в одном месте. Множеством детекторов короткого замыкания можно при этом управлять через блок расширения.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения детектор 10 короткого замыкания содержит внутренний накопитель энергии, такой как, например, аккумуляторная батарея или конденсатор большой емкости. В соответствии с другим вариантом осуществления детектор 10 короткого замыкания может содержать схему соединения с резервным источником питания, такую как обычно используются в разъединяющих устройствах с дистанционным управлением. В соответствии с еще одним вариантом осуществления детектор 10 короткого замыкания может иметь схему соединения с устройством аккумуляции энергии, таким как гелиоэлектростанция, построенная на фотоэлектрических элементах, или ветроэнергетическая установка. Может также иметь место схема соединения с резервной системой электропитания, такой как система источников бесперебойного питания (ИБП) или система, содержащая, например, топливный элемент, или вспомогательная система генерирования энергии, такая как двигатель возвратно-поступательного действия, подключенный к электрогенератору, и система, имеющая подходящие устройства преобразования энергии, например, включающие компоненты электронного управления питанием, для обеспечения электроэнергии для детектора 10 короткого замыкания.

Один вариант осуществления настоящего изобретения схематически показан на фиг. 10, на котором представлены несколько детекторов 10 короткого замыкания, расположенных в нескольких местах в компенсированной электрической распределительной сети, эксплуатируемой в радиальной конфигурации.

На фиг. 10 показана схематически работа способа в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения. На фиг. 10 компенсированная электрическая распределительная сеть показана использующей однолинейную схему. Детекторы 10 короткого замыкания посылают сигнал обнаружения или необнаружения системе 1000 управления сетью по сети 1010 передачи данных при помощи интерфейса 808 связи или другого средства 950 связи.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения детекторы 10 короткого замыкания могут, предпочтительно, быть расположены в непосредственной близости к распределительным трансформаторам 2 так, чтобы источник питания низкого напряжения мог быть легко доступен. Детекторы 10 короткого замыкания могут также располагаться вдоль линий, а также монтироваться на интерфейсе между подвесной линией и подземным кабелем, что обеспечивает возможность обнаружения, имеет ли место короткое замыкание в подвесной части или в подземном кабеле линии. В соответствии с еще одним вариантом осуществления настоящего изобретения детекторы 10 короткого замыкания могут быть расположены на разъединяющих устройствах с дистанционным управлением, которые, как правило, имеют вспомогательные системы электропитания, включающие в себя резервный источник электроэнергии на случай нарушений нормальной работы сети.

В соответствии с вариантом осуществления способа согласно настоящему изобретению детекторы 10 короткого замыкания используют для определения места короткого замыкания, используя систему 1100 управления сетью или систему 1100 мониторинга, как показано на фиг. 11. На фиг. 11 компенсированная электрическая распределительная сеть, эксплуатируемая в радиальной конфигурации, показана на

топографической карте. Видно, что линии могут располагаться и/или проходить через леса (показанные символом "ель"). Вблизи от сети могут располагаться дороги (толстые линии), и в этом случае существует простой способ технического обслуживания и проверки состояния сети. Система 1100 мониторинга может содержать один или более компьютеров 1110 с подходящими пользовательским интерфейсом и программным обеспечением. Система 1100 мониторинга может включать в себя, например, систему управления и сбора данных (SCADA), систему управления распределительными сетями (DMS) или систему управления сетью (NMS), или по меньшей мере часть этих систем.

В соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения, показанным на фиг. 11, статус каждого из детекторов 10 короткого замыкания может быть показан на карте (невидимой на фиг. 11) или другом средстве графического/визуального представления, отображенном на компьютерах системы 1100 мониторинга. Обнаружение или необнаружение может предпочтительно быть показано для каждого из детекторов 10 короткого замыкания. Определение места короткого замыкания может затем осуществляться путем логического рассуждения оператором или путем использования, например, алгоритма, который может автоматически определять место короткого замыкания на основе сигналов, полученных от детекторов 10 короткого замыкания.

Система мониторинга в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения может содержать по меньшей мере один компьютер, функционально соединенный с детекторами 10 короткого замыкания по сети 1010 передачи данных и способный посылать сигналы управления на реле и другие защитные устройства в распределительной сети. Компьютеры 1110 содержат блок обработки данных, устройство памяти, блок связи и подходящий пользовательский интерфейс, а также подходящее программное обеспечение операционной системы. Система мониторинга может также обладать способностью передачи сигналов на детекторы 10 короткого замыкания. Система 1100 мониторинга может фактически быть способна передавать скорректированную логику мониторинга коротких замыканий детекторам короткого замыкания, такую как, например, порог для суммы фазовых токов или другие параметры, такие как режим работы, в соответствии с которыми сигнал обнаружения или необнаружения может быть послан системе мониторинга.

В соответствии с конкретным вариантом осуществления, система мониторинга включает в себя алгоритм, обрабатывающий принятые сигналы обнаружения и/или необнаружения от детекторов 10 короткого замыкания путем упорядочения по категориям или разбиения по группам детекторов 10 короткого замыкания в зависимости, например, от того, на какой питающей линии или части сети находится конкретный детектор 10 короткого замыкания. Поскольку детекторы 10 короткого замыкания расположены в определенном месте, им можно присваивать номер, представляющий порядок в последовательности устройств индикации коротких замыканий. Сравнивая сигналы обнаружения и номера последовательности, алгоритм может определять местоположение короткого замыкания по отношению к конкретному участку или секции сети. Информация о местоположении может затем быть передана непосредственно оператору или рабочей группе для отключения или ремонта неисправной части сети.

Конкретные примеры, приведенные в представленном выше описании, не должны рассматриваться в качестве ограничивающих применимость и/или интерпретацию приложенной формулы изобретения. Списки и группы примеров, приведенные в представленном выше описании, не являются исчерпывающими, если прямо не предусмотрено иное.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обнаружения коротких замыканий (4) в трехфазной электрической распределительной сети, отличающийся тем, что включает в себя следующие шаги:

определяют ток (21C) нулевой последовательности, ток (21A) первой фазы и ток (21B) второй фазы в некотором месте трехфазной электрической распределительной сети;

определяют первый отфильтрованный ток (22) нулевой последовательности, первый отфильтрованный ток (22) первой фазы и первый отфильтрованный ток (22) второй фазы путем удаления частотной составляющей из токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы, соответствующей основной частоте электрической распределительной сети за счет отфильтровывания указанной частотной составляющей, причем первые отфильтрованные токи, таким образом, включают в себя частотные составляющие, отличные от указанной удаленной частотной составляющей;

определяют направление первого отфильтрованного тока (23) нулевой последовательности, направление первого отфильтрованного тока (23) первой фазы и направление первого отфильтрованного тока (23) второй фазы в течение первого периода времени;

сравнивают указанные направления (24) друг относительно друга и, если по меньшей мере одно из определенных направлений противоположно относительно по меньшей мере одного из двух других определенных направлений;

сигнализируют об обнаружении короткого замыкания (25).

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что, перед определением указанных первых отфильтрованных токов (22), включает в себя следующий шаг:

определяют второй отфильтрованный ток (62) нулевой последовательности, второй отфильтрованный ток (62) первой фазы и второй отфильтрованный ток (62) второй фазы путем фильтрации тока нулевой последовательности, тока первой фазы и тока второй фазы относительно основной частоты электрической распределительной сети, причем указанные вторые отфильтрованные токи, таким образом, содержат только указанную основную частотную составляющую.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что, перед определением указанных первых отфильтрованных токов (22), включает в себя следующие шаги:

определяют ток (62) обратной последовательности на основе токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы или на основе указанных вторых отфильтрованных токов в течение второго периода времени;

определяют величину изменения (63) в течение второго периода времени тока обратной последовательности на основе значений тока обратной последовательности во времени до и после короткого замыкания (4);

сравнивают указанное изменение со значением тока (64) нулевой последовательности во времени после указанного короткого замыкания (4) и, если величина указанного изменения относительно тока нулевой последовательности после указанного короткого замыкания (4) превышает второй порог (65);

сигнализируют об обнаружении указанного короткого замыкания (66).

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что, перед определением тока (21C) нулевой последовательности, тока (21A) первой фазы и тока (21B) второй фазы в указанном некотором месте трехфазной электрической распределительной сети, включает в себя следующие шаги:

сравнивают значение тока нулевой последовательности с первым порогом и

выполняют остальные шаги способа по любому из пп.1-3, только если значение тока нулевой последовательности превышает первый порог.

5. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что, перед определением указанных первых отфильтрованных токов (22), включает в себя следующие шаги:

определяют ток прямой последовательности в течение третьего периода времени на основе частотной составляющей токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы, соответствующей основной частоте электрической распределительной сети, или на основе указанных вторых отфильтрованных токов;

сравнивают ток прямой последовательности с третьим порогом и, если ток прямой последовательности превышает третий порог;

сигнализируют об обнаружении короткого замыкания.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий в себя следующий шаг:

определяют ток нулевой последовательности непосредственно путем измерения суммы фазовых токов.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что определение тока (21C) нулевой последовательности, тока (21A) первой фазы и тока (21B) второй фазы в указанном некотором месте трехфазной электрической распределительной сети включает в себя следующий шаг:

определяют ток нулевой последовательности, ток первой фазы и ток второй фазы с первой частотой дискретизации.

8. Способ по любому из пп.2-6, отличающийся тем, что по меньшей мере один из следующих токов определяют на основе определения тока (21C) нулевой последовательности, тока (21A) первой фазы и тока (21B) второй фазы со второй частотой дискретизации: ток обратной последовательности, ток прямой последовательности.

9. Способ по любому из пп.2-6, отличающийся тем, что по меньшей мере один из следующих токов определяют на основе определения токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы путем понижающей дискретизации токов (21A-21C) первой фазы, второй фазы и нулевой последовательности: ток обратной последовательности, ток прямой последовательности.

10. Блок (800) управления детектора короткого замыкания, отличающийся тем, что содержит:

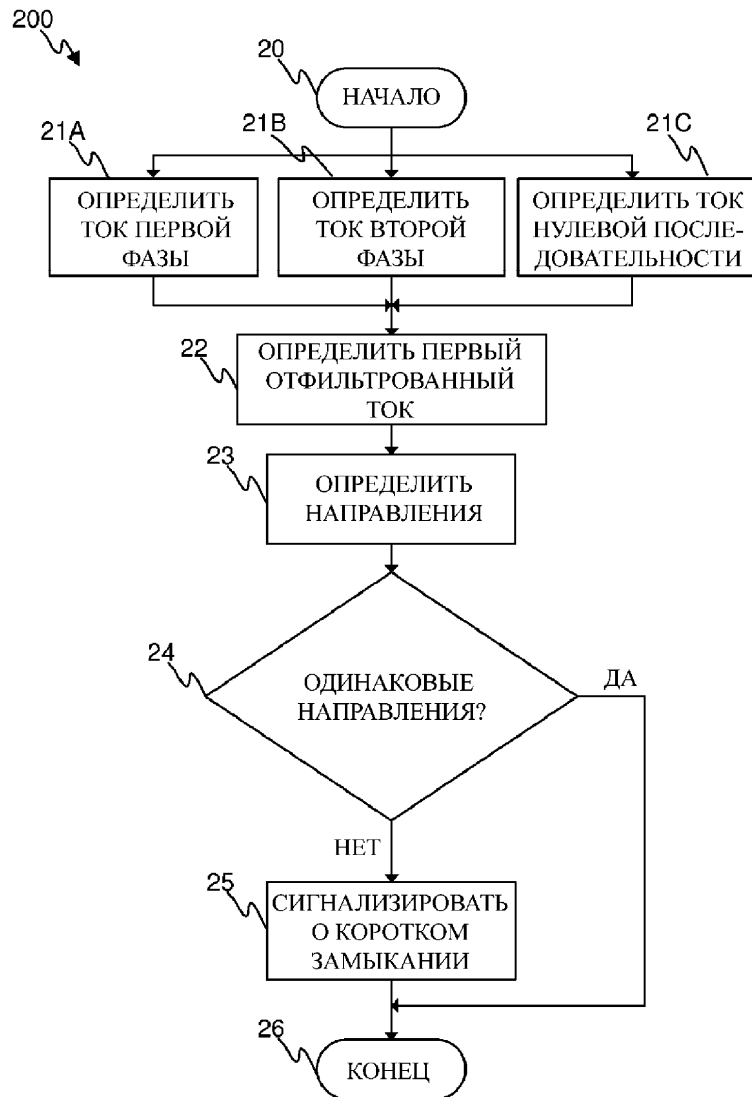
по меньшей мере один процессор (804) и

по меньшей мере одно устройство (806) памяти для хранения по меньшей мере одной части компьютерного программного кода (807A-807N);

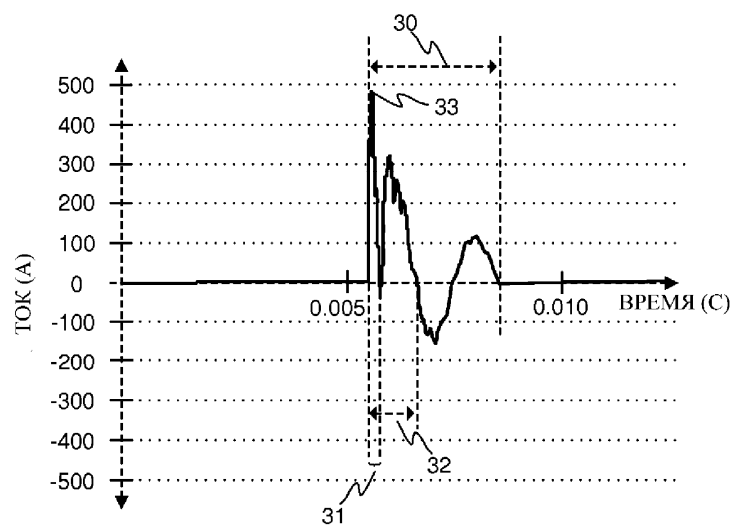
причем по меньшей мере один процессор (804) выполнен с возможностью инициирования выполнения блоком (800) управления детектора короткого замыкания следующих шагов:

определяют ток (21C) нулевой последовательности, ток (21A) первой фазы и ток (21B) второй фазы в некотором месте трехфазной электрической распределительной сети;

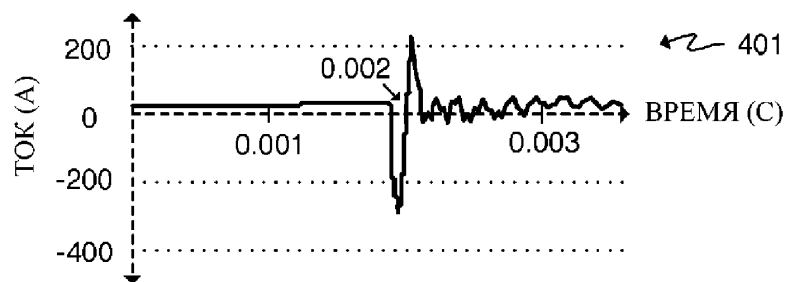
определяют первый отфильтрованный ток (22) нулевой последовательности, первый отфильтрованный ток (22) первой фазы и первый отфильтрованный ток (22) второй фазы путем удаления частотной составляющей из токов нулевой последовательности, первой фазы и второй фазы, соответствующей основной частоте электрической распределительной сети за счет отфильтровывания указанной частотной составляющей, вследствие чего первые отфильтрованные токи включают в себя частотные составляющие, отличные от указанной удаленной частотной составляющей;



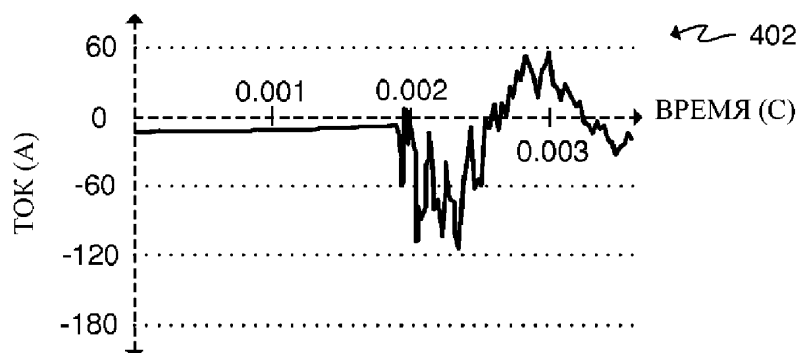
Фиг. 2



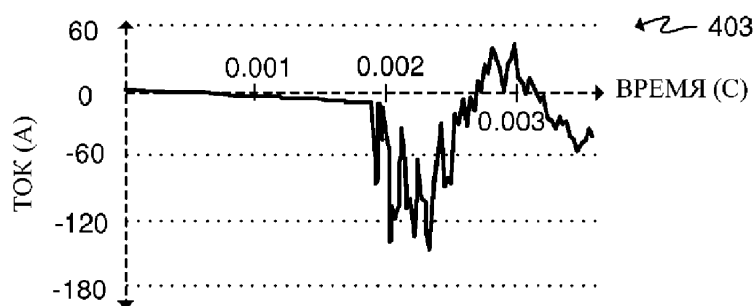
Фиг. 3



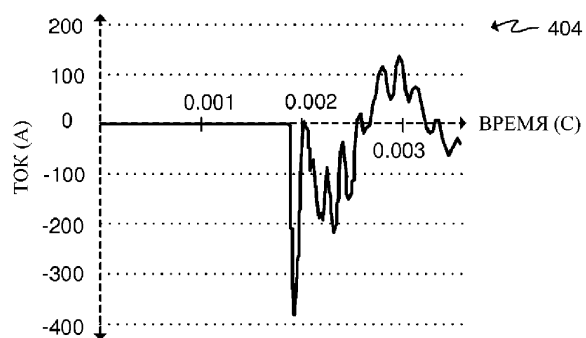
Фиг. 4А



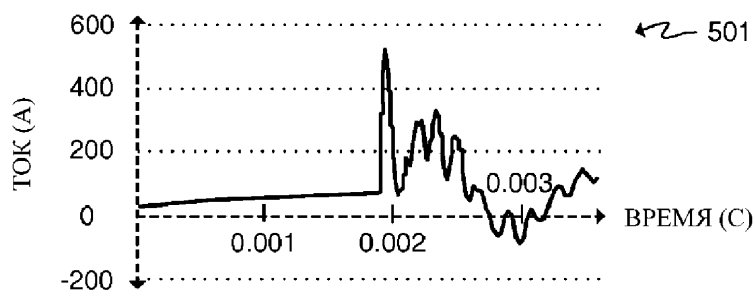
Фиг. 4В



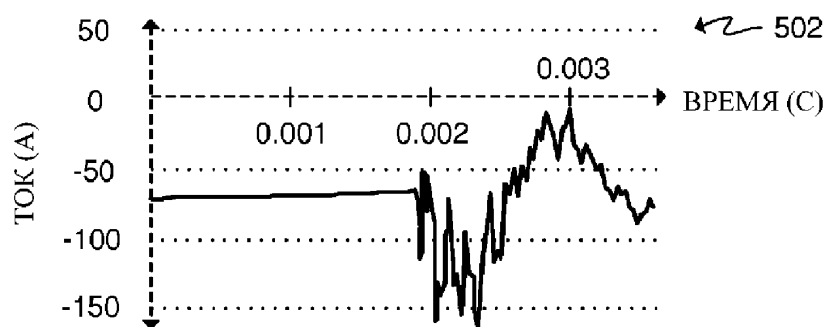
Фиг. 4С



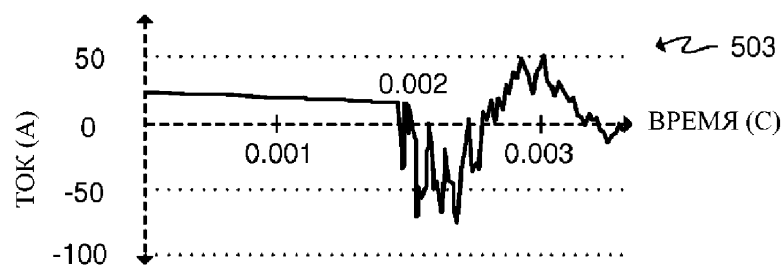
Фиг. 4D



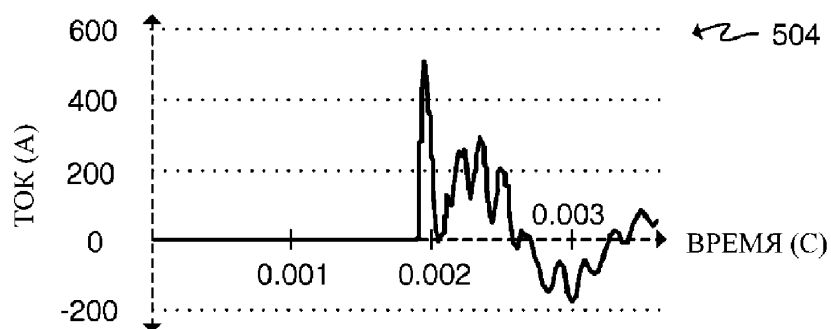
Фиг. 5А



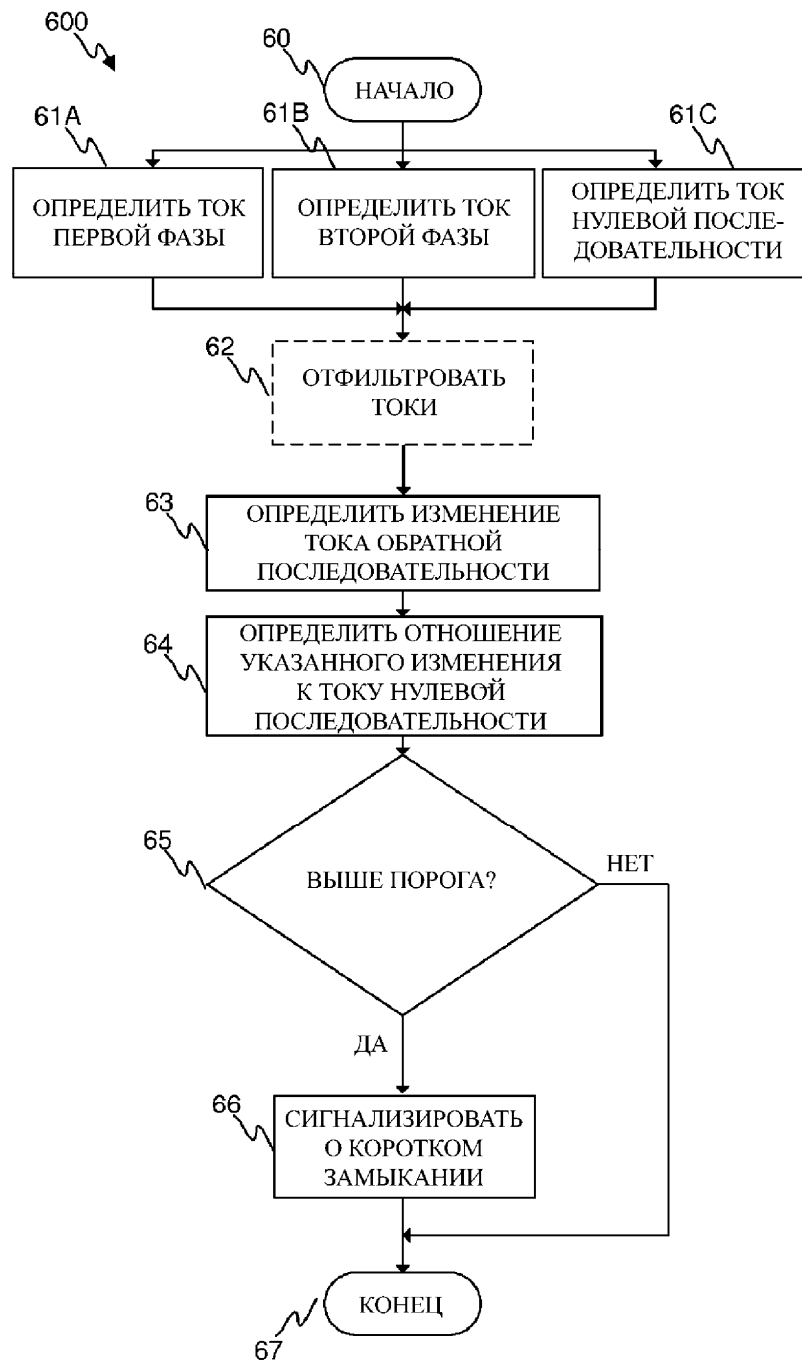
Фиг. 5В



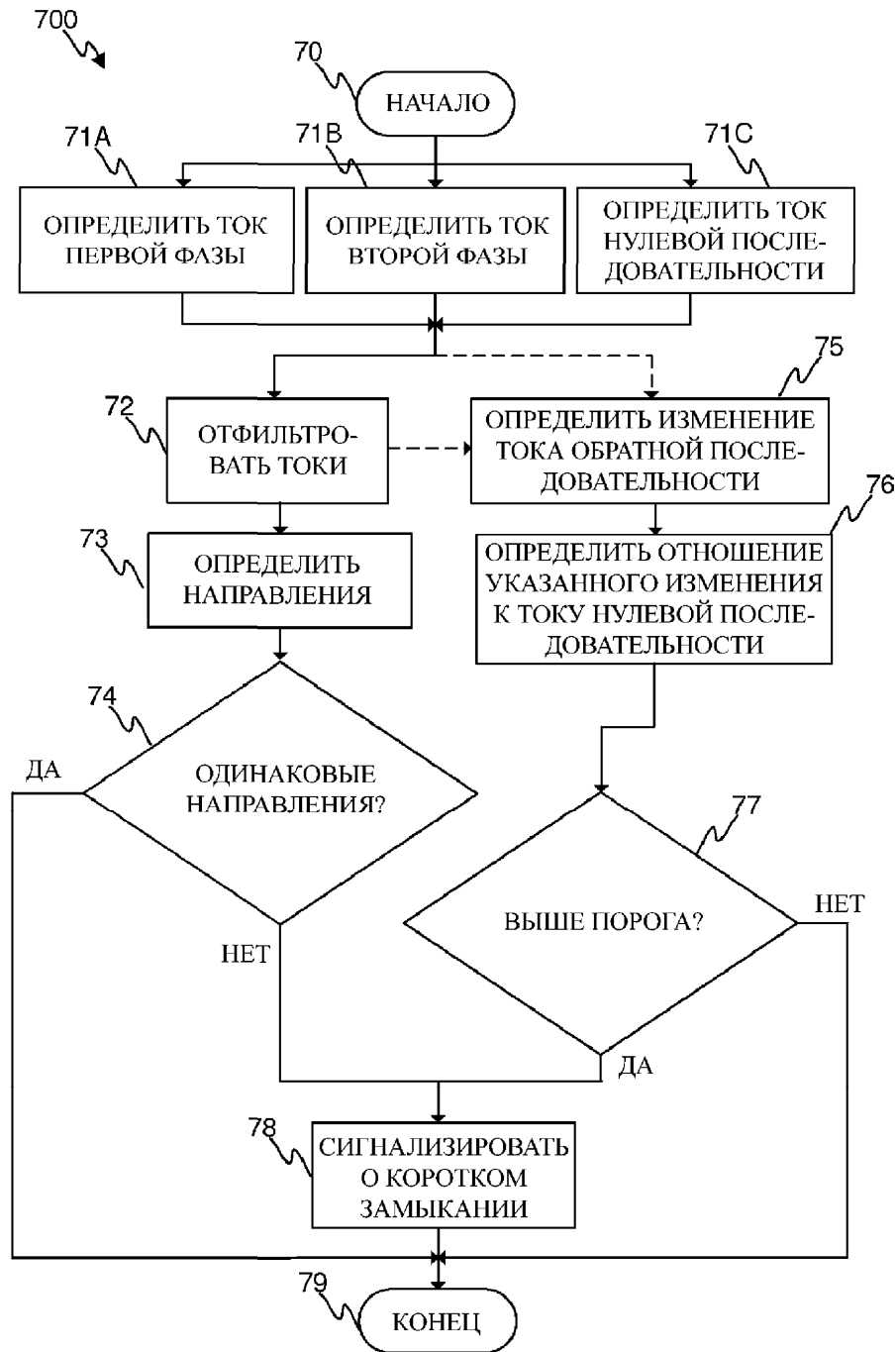
Фиг. 5С



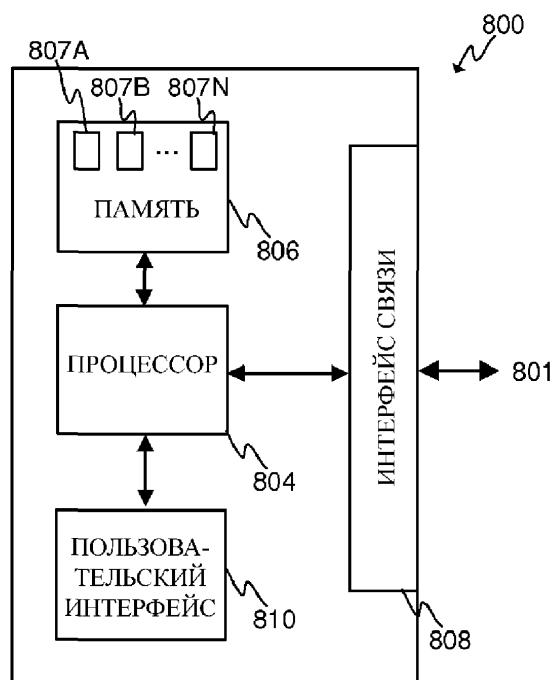
Фиг. 5D



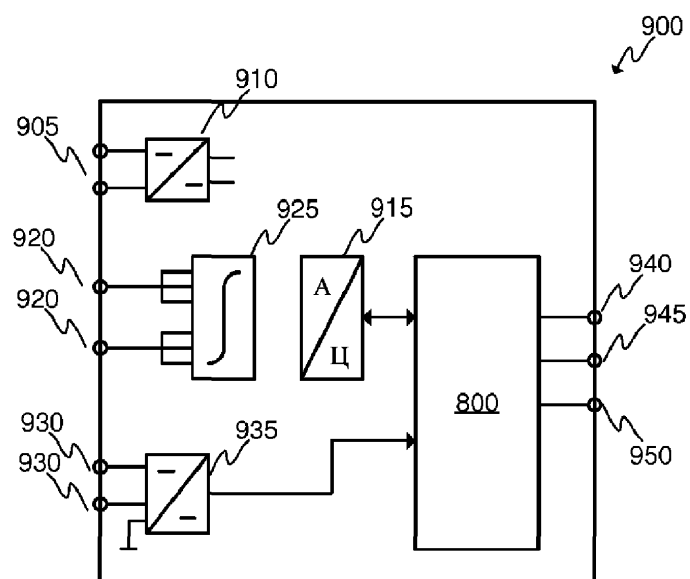
Фиг. 6



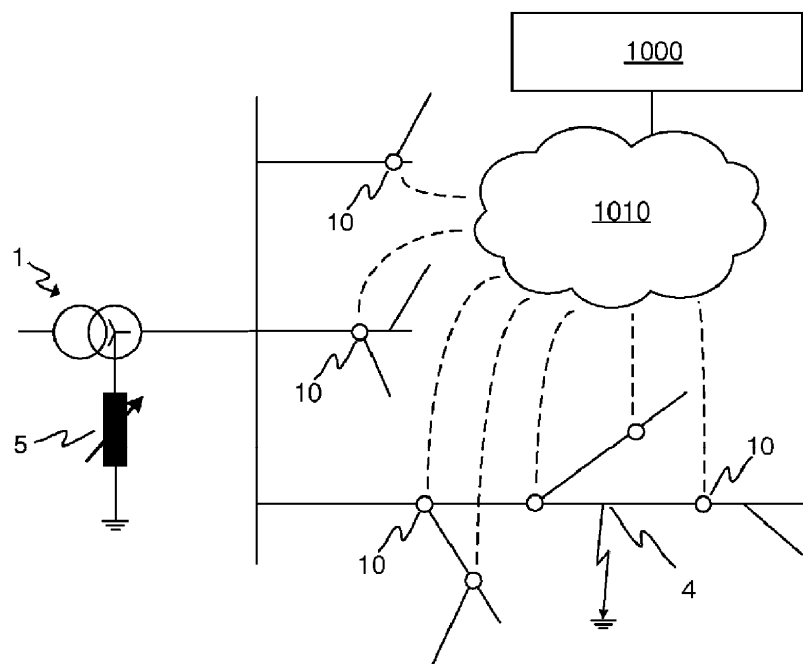
Фиг. 7



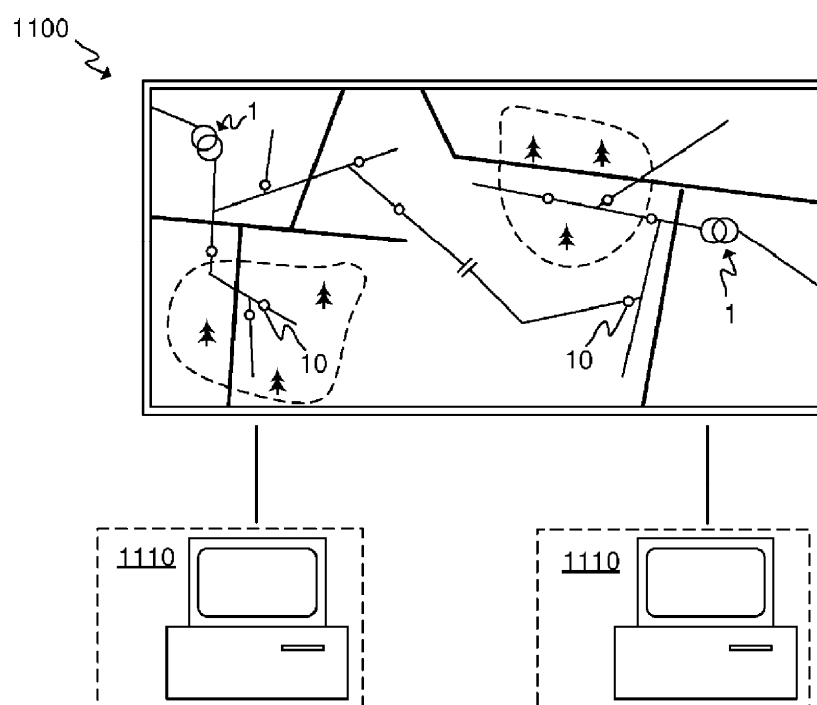
Фиг. 8



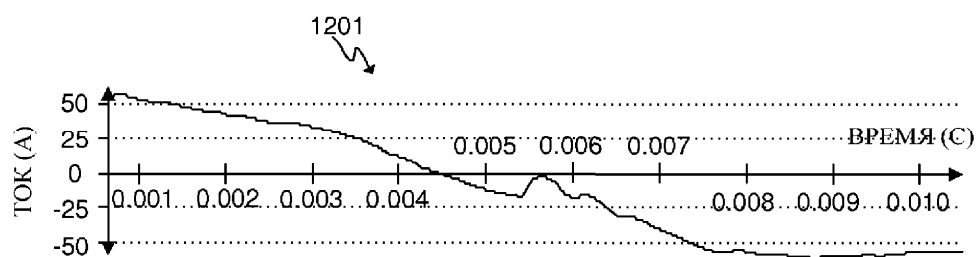
Фиг. 9



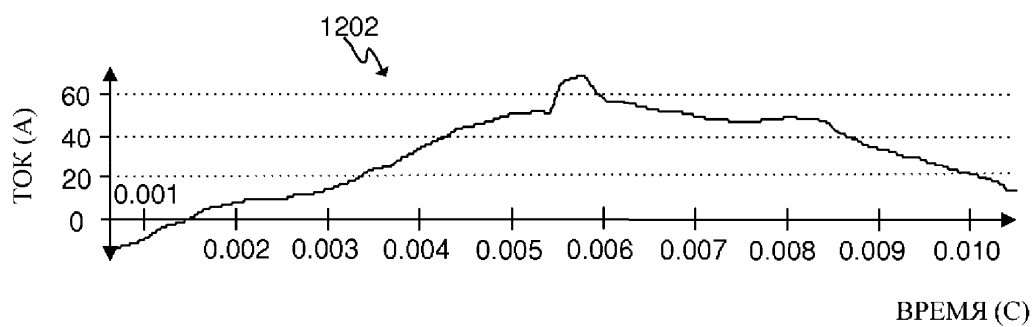
Фиг. 10



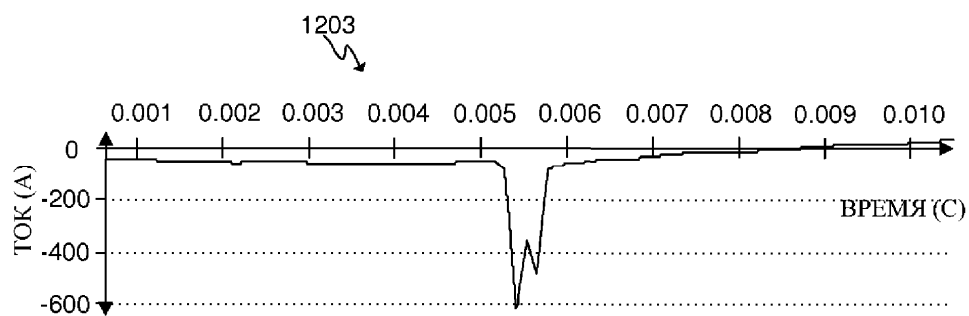
Фиг. 11



Фиг. 12А



Фиг. 12В



Фиг. 12С

