



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012125053/07, 18.11.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.11.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.11.2009

(43) Дата публикации заявки: 27.12.2013 Бюл. № 36

(45) Опубликовано: 27.08.2014 Бюл. № 24

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2248077 C2, 10.03.2005. RU 2365013 C1, 20.08.2009. RU 40544 U1, 10.09.2004. GB 364021 A, 28.12.1931. CN 101252273 A, 27.08.2008. CN 101388545A, 26.02.2003. US 2009021878 A1, 22.01.2009. WO 2009095040 A1, 06.08.2009

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 18.06.2012

(86) Заявка РСТ:  
CN 2009/075004 (18.11.2009)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2011/060578 (26.05.2011)

Адрес для переписки:  
109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО  
"Союзпатент", Ю.Б.Перегудовой

(72) Автор(ы):

**СУ Бинь (CN),  
ЛИ Юи (CN),  
ЯН Ин (CN)**

(73) Патентообладатель(и):

**АББ РИСЕРЧ ЛТД. (CN)**

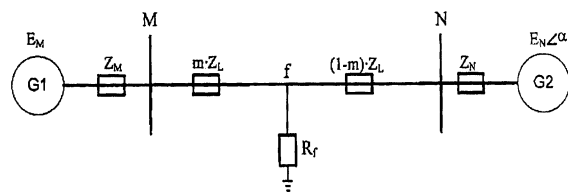
**(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в системах дистанционной защиты от замыкания на землю в системах линий электропередачи. Техническим результатом является повышение надежности защиты за счет возможности избежать переоценки или недооценки разницы между углами тока в месте короткого замыкания и на реле при отключении во время действия защиты. Способ дистанционной защиты от короткого замыкания на землю содержит следующие этапы: измерение полного

сопротивления локального источника на основе составляющей короткого замыкания на обоих концах (M, N) линии электропередачи при возникновении короткого замыкания; отправку измеренного полного сопротивления локального источника из первого конца линии во второй конец линии; настройку критерия защиты на втором конце линии на основе измеренного полного сопротивления локального источника; оценку короткого замыкания на землю как внутреннего короткого замыкания или внешнего короткого замыкания в соответствии с

настроенным критерием защиты. 4 н. и 6 з.п. ф-лы, 6 ил.



Фиг. 2

RU 2526844 C2

RU 2526844 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H02H 3/28* (2006.01)  
*H02H 7/26* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

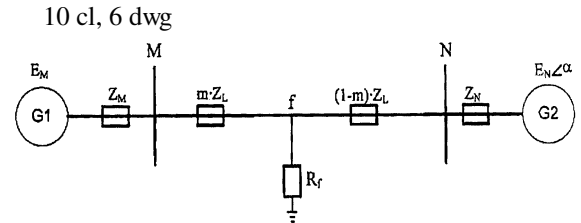
(21)(22) Application: **2012125053/07, 18.11.2009**  
 (24) Effective date for property rights:  
**18.11.2009**  
 Priority:  
 (22) Date of filing: **18.11.2009**  
 (43) Application published: **27.12.2013** Bull. № 36  
 (45) Date of publication: **27.08.2014** Bull. № 24  
 (85) Commencement of national phase: **18.06.2012**  
 (86) PCT application:  
**CN 2009/075004 (18.11.2009)**  
 (87) PCT publication:  
**WO 2011/060578 (26.05.2011)**  
 Mail address:  
**109012, Moskva, ul. Il'inka, 5/2, OOO "Sojuzpatent",  
Ju.B.Peregudovoj**

(72) Inventor(s):  
**SU Bin' (CN),  
LI Jui (CN),  
JaN In (CN)**  
 (73) Proprietor(s):  
**ABB RISERCh LTD. (CH)**

(54) **REMOTE GROUND FAULT PROTECTION METHOD AND DEVICE**

(57) Abstract:  
 FIELD: electricity.  
 SUBSTANCE: invention is related to electric engineering and may be used in remote ground fault protection systems in power transmission lines. The remote ground fault protection method consists of the following stages: measurement of a local source impedance on the basis of fault component at both ends (M, N) of a power transmission line when ground fault occurs; dispatch of the local source impedance from the first end of the line to the second one; setting the protection criterion at the second end of the line on the basis of measured impedance of the local source; assessment of ground fault as internal or external fault in compliance with the set criterion of the protection.

EFFECT: improving protection reliability due to prevention of overestimation or underestimation indifference between current angles at the point of ground fault occurrence and at the relay at shutdown when the protection is active.



Фиг. 2

RU 2 526 844 C2

RU 2 526 844 C2

### Область техники

Настоящее изобретение относится к способу и устройству для повышения эффективности дистанционной защиты от замыканий на землю в системах линий электропередачи. В частности, настоящее изобретение относится к такому устройству и способу, которые обеспечивают устойчивость границы реактивного сопротивления к подаваемому извне току для случая, когда система является неоднородной.

### Уровень техники

В системах передачи электроэнергии часто используют дистанционное реле для определения короткого замыкания в системе на заданном расстоянии от конкретной точки контроля/измерения, в которой расположено реле. Область, охватывающую участок на заданном расстоянии от точки контроля, называют одной зоной защиты реле. То есть, на линии передачи расположено несколько зон защиты (например, зона 1, зона 2, зона 3 и т.д.). Настоящее изобретение, в частности, относится к дистанционным реле, реагирующим на однофазные замыкания на землю в пределах определенной зоны защиты, например, зоны 1. Обычно в зоне 1 предусмотрены отдельные реле для каждой фазы в многофазной системе электропередачи.

В обычной модели дистанционного реле определение сигнала на отключение выполняют сравнением фазных напряжений, полученных измерением напряжения и тока системы в контрольной точке для условий короткого замыкания. Например, как показано на фиг.1, в дистанционном реле с четырехсторонней характеристикой, он состоит из четырех элементов. Как показано на фиг.1, каждая из сторон графика четырехсторонней характеристики представляет собой отдельный элемент. А именно, верхняя линия 11 представляет реактивный элемент; правая и левая линия, 12 и 14, представляют, в указанном порядке, положительную и отрицательную границы реактивного сопротивления; и нижняя линия 13 представляет элемент направления. График характеристики, показанный на фиг.1, представляет собой типичную четырехстороннюю характеристику для линии электропередачи. Четырехсторонняя характеристика дистанционного обнаружения замыкания вступает в действие, когда измеренное полное сопротивление попадает в прямоугольную область, ограниченную четырьмя вышеупомянутыми элементами. Если измеренное полное сопротивление не попадает в данную прямоугольную область, реле определяет, что замыкание произошло вне зоны защиты, и, таким образом, не срабатывает.

Система является однородной, когда углы линии и источника равны во всех трех схемах последовательности. Система также считается однородной, если полное сопротивление источника, и линии, связанные с током последовательности и используемые реактивным элементом в качестве основы для поляризации, имеют одинаковый угол. Например, в случае, когда реактивный элемент использует ток нулевой последовательности в качестве основы поляризации, рассматривают только схему нулевой последовательности. В случае, когда реактивный элемент использует ток обратной последовательности в качестве основы поляризации, рассматривают только схему обратной последовательности. В случае настоящего изобретения, приведенное описание и расчеты сосредоточены на реактивных элементах, использующих параметры нулевой последовательности.

Система является неоднородной, если углы источника и линии полного сопротивления не являются одинаковыми. В неоднородной системе угол полного тока при коротком замыкании отличается от угла тока, измеренного на реле. Для металлического короткого замыкания (когда в точке замыкания отсутствует сопротивление) разница между углом тока короткого замыкания и углом тока, измеренного на реле, не вызывает проблем.

Однако для ситуации, описанной в соответствии с фиг.1, где существует сопротивление в месте короткого замыкания, разница между углами тока в месте короткого замыкания и на реле может привести к опасному уменьшению или увеличению области действия дистанционного реле защиты от короткого замыкания. Это, в особенности, происходит в случае короткого замыкания с высоким переходным сопротивлением. Если параметр неоднородности системы не исправлен должным образом, защита либо будет иметь низкую чувствительность (уменьшенная область действия), либо ошибочно срабатывать для коротких замыканий вне зоны защиты (увеличенная область действия). В случае уменьшенной области действия, короткое замыкание в зоне защиты может быть расценено как внешнее и, таким образом, реле не сработает. В случае увеличенной области действия, внешнее короткое замыкание может быть расценено как внутреннее, что приведет к ошибочному отключению зоны. Как уменьшение, так и увеличение области действия оказывает негативное влияние на линию электропередачи. Целью современных технологий защиты является ограничение возможного уменьшения или увеличения области действия.

На фиг.2 показан примерный вид системы передачи электроэнергии. В данном случае, ссылочными позициями G1 и G2 представлены два источника электропитания, соединенные линией электропередачи. Ссылочной позицией f обозначено место, в котором произошло короткое замыкание. Ссылочной позицией R<sub>f</sub> обозначено сопротивление, вызванное коротким замыканием на землю. Ссылочными позициями M и N представлены две точки измерения в системе электропередачи. Z<sub>L</sub> обозначает полное сопротивление всей линии электропередачи. Ссылочная позиция m представляет собой удельное расстояние от точки измерения (M) до позиции короткого замыкания, и, следовательно, полное сопротивление между точкой f и точкой M будет равно m\*Z<sub>L</sub>, а полное сопротивление между точкой f и точкой N будет равно (1-m)\*Z<sub>L</sub>.

В случае возникновения короткого замыкания на землю в системе электропередачи, показанной на фиг.2, напряжение на шине M может быть вычислено посредством нижеприведенной формулы 1.

$$U_M = m * Z_{1L} * (I_\phi + k * I_0) + I_f * R_f \quad (1)$$

где Z<sub>1L</sub> и Z<sub>0L</sub> представляют собой, в указанном порядке, полное сопротивление прямой и нулевой последовательности линии. I<sub>φ</sub> представляет собой ток в фазе, в которой произошло короткое замыкание, U<sub>0</sub> представляет собой ток нулевой последовательности. I<sub>f</sub> представляет собой ток нулевой последовательности. И коэффициент k в данном уравнении может быть выражен как: k=(Z<sub>0L</sub>-Z<sub>1L</sub>)/Z<sub>1L</sub>.

Состояние системы электропередачи и уравнения (1) может быть отображено графиком, показанным на фиг.3. В данном случае, напряжение в точке M измерения, т.е. U<sub>M</sub>, показано вектором 32. Вектор I<sub>f</sub>\*R<sub>f</sub> (31) представляет собой реактивный элемент в плоскости полных сопротивлений. В случае короткого замыкания на землю и когда система является однородной, составляющая V<sub>R</sub>=I<sub>f</sub>R<sub>f</sub> находится в фазе с током I<sub>0</sub>. Тогда вычисленное напряжение U<sub>M</sub> (32) является реальным напряжением короткого замыкания. Однако если система является неоднородной, то, как показано на фиг.3, V<sub>R</sub> не будет совпадать по фазе с I<sub>0</sub> (между ними будет разница на угол θ).

Как можно понять из фиг.3, вычисленное реактивное сопротивление будет переоценено или недооценено в зависимости от значения θ. А именно, при отрицательном

значении  $\theta$  произойдет отключение при замыкании во внешней зоне, а при положительном значении  $\theta$  не произойдет отключения при замыкании внутри зоны.

Для решения проблемы с переоценкой или недооценкой, углу отклонения для границы реактивного сопротивления может быть присвоено максимально возможное значение угла для предотвращения избыточного срабатывания реле. Обычно максимальный угол отклонения имеет заранее заданное значение, например, 10 или 15 градусов, в зависимости от предшествующего практического опыта. Однако использование заранее заданного постоянного значения максимального угла отклонения для разных ситуаций по-прежнему имеет некоторые недостатки.

Во-первых, когда значение угла  $\theta$  является положительным, зона защиты будет меньше установленной области досягаемости. Во-вторых, когда сопротивление короткого замыкания является большим и значение угла  $\theta$  является отрицательным, реле может также ошибочно срабатывать для зоны 1 защиты даже при заранее установленном угле отклонения. В-третьих, полное сопротивление шины меняется в режиме реального времени в зависимости от различных условий эксплуатации, которые невозможно полностью предсказать заранее. Следовательно, заранее заданный угол отклонения не подходит для всех ситуаций.

Таким образом, предпочтительно иметь новую схему для дистанционной защиты от замыканий на землю, имеющую лучшие эксплуатационные характеристики для устранения переоценки или недооценки при срабатывании реле во время эксплуатации.

#### Сущность изобретения

Согласно первому предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения предложен способ дистанционной защиты от короткого замыкания на землю в линии электропередачи, содержащий следующие этапы: измерение, при возникновении короткого замыкания на землю, полного сопротивления локального источника на основе составляющей короткого замыкания на обоих концах линии электропередачи; отправку измеренного полного сопротивления локального источника из первого конца линии на второй конец линии; настройку критерия защиты на втором конце на основе измеренного полного сопротивления локального источника; оценку короткого замыкания на землю как внутреннего короткого замыкания или внешнего короткого замыкания в соответствии со скорректированным критерием защиты.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения критерий защиты настраивают объединением угла компенсации с углом реактивного элемента в графике четырехсторонней характеристики.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения угол компенсации вычисляют на основе полного сопротивления линии электропередачи и полного сопротивления, измеренного на первом и втором концах линии.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения способ дополнительно содержит оповещение о внутреннем коротком замыкании в линии электропередачи, когда объединенный угол реактивного элемента попадает в диапазон  $[-180^\circ, 0^\circ]$ .

Согласно второму предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения предложен контроллер дистанционной защиты от замыканий на землю, содержащий: блок измерения, выполненный с возможностью измерения, при возникновении короткого замыкания на землю, полного сопротивления локального источника на основе составляющей короткого замыкания на обоих концах линии электропередачи; блок отправки, выполненный с возможностью отправки измеренного полного сопротивления локального источника из первого конца линии на второй конец линии; блок настройки, выполненный с возможностью настройки критерия защиты на

втором конце на основе измеренного полного сопротивления локального источника; и блок оценки, выполненный с возможностью оценки короткого замыкания на землю как внутреннего короткого замыкания или внешнего короткого замыкания в соответствии со скорректированным критерием защиты.

5 Согласно другому аспекту настоящего изобретения контроллер дополнительно содержит блок оповещения, выполненный с возможностью оповещения о внутреннем коротком замыкании в линии электропередачи, когда объединенный угол реактивного элемента попадает в диапазон  $[-180^\circ, 0^\circ]$ .

10 Согласно третьему предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения предложено устройство дистанционной защиты от замыканий на землю, отличающееся тем, что оно выполнено с возможностью реализации способов, описанных выше.

15 Согласно четвертому предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения предложена компьютерная программа для защиты от замыканий на землю в системе линий электропередачи, данная компьютерная программа может быть загружена во внутреннюю память ЭВМ и содержит код компьютерной программы, который, при загрузке в вышеупомянутую внутреннюю память, позволяет компьютеру выполнять функции контроллера, описанного выше.

Краткое описание чертежей

20 Подробное описание вариантов осуществления, преимущества и применение настоящего изобретения раскрыто в формуле изобретения и нижеследующем описании, сделанном со ссылками на фиг.1-6.

На фиг.1 изображен график четырехсторонней характеристики дистанционного реле.

На фиг.2 изображен схематический вид системы передачи электроэнергии.

25 На фиг.3 изображен вычисленный вектор реактивного элемента.

На фиг.4 изображен результат моделирования на основе ненастроенного угла и угла компенсации для режима реального времени, предложенного в настоящем изобретении.

На фиг.5 изображен результат моделирования на основе ненастроенного угла и заранее заданного фиксированного максимального угла компенсации.

30 На фиг.6 изображен результат моделирования на основе ненастроенного угла и угла компенсации, зависящего от типа замыкания в случае высокого сопротивления при замыкании на землю.

Предпочтительные варианты осуществления изобретения

35 Способ защиты согласно настоящему изобретению может содержать следующие этапы: во-первых, определение, есть ли замыкание на землю. Во-вторых, определение фазы, в которой произошло короткое замыкание. В-третьих, вычисление полного сопротивления локального источника на основе составляющей короткого замыкания в линии электропередачи. В большинстве случаев составляющая короткого замыкания является частью, выделенной из полного напряжения и силы тока, которая состоит из составляющей короткого замыкания и нормальной составляющей. Но в некоторых 40 чрезвычайных ситуациях полное напряжение и сила тока может содержать только составляющую короткого замыкания.

$$Z_{M0} = \frac{\Delta U_{M0}}{\Delta I_{M0}}$$

45

Необходимо заметить, что в случае возникновения короткого замыкания где-либо в следующей зоне защиты (т.е. внешнее короткое замыкание), вычисленное полное сопротивление дистанционного источника будет отрицательным, и, тогда, реальное

полное сопротивление дистанционного источника может быть получено из нижеприведенного уравнения, а если короткое замыкание произошло на другой стороне защищаемой линии, то для расчета может быть использовано вышеприведенное уравнение.

$$Z_{N0} = \left| \frac{\Delta U_{N0}}{\Delta I_{N0}} \right| - Z_{M0} - Z_{0L} \quad (4)$$

В-четвертых, осуществляют отправку вычисленного полного сопротивления локального источника от локального узла на удаленный узел, расположенный на другом конце зоны защиты. Поскольку изменения в вычисляемом полном сопротивлении являются относительно медленными, полное сопротивление во время оценки короткого замыкания может быть принято постоянным. Таким образом, в настоящем изобретении не требуется наличие синхронного канала.

В-пятых, вычисление угла компенсации на основе нижеследующего уравнения.

$$\theta = \text{Angle}\left(\frac{Z_{M0} + Z_{N0} + Z_{0L}}{Z_{N0} + Z_{0L}}\right)$$

В-шестых, обновление критерия  $\alpha > \text{Angle}(Z - Z_{\text{set}}) > \beta$  для реле реактивного сопротивления в соответствии с углом компенсации, вычисленным во время периода короткого замыкания:

$$\alpha > \text{Angle}(Z - Z_{\text{set}}) - \theta > \beta.$$

После этого из вышеописанного критерия может быть определено, является короткое замыкание внешним или внутренним. Далее данные этапы будут описаны подробно.

Что касается системы электропередачи, показанной на фиг.2, то ток нулевой последовательности обнаруживают для определения, есть ли замыкание в линии электропередачи. Когда измеренный ток нулевой последовательности превышает некоторый порог, может быть сделан вывод о том, что где-то в линии электропередачи произошло короткое замыкание. А именно, для определения, в какой фазе произошло короткое замыкание, может быть измерен ток нулевой последовательности для каждой фазы.

Когда определено, что в линии L электропередачи произошло однофазное короткое замыкание на землю, реальное полное сопротивление нулевой последовательности источника может быть вычислено в точках M и N измерения в реальном масштабе времени посредством уравнения (2). Полное сопротивление в обоих точках измерения вычисляют на основе составляющей короткого замыкания.

$$Z_{M0} = \frac{\Delta U_{M0}}{\Delta I_{M0}}, \quad Z_{N0} = \frac{\Delta U_{N0}}{\Delta I_{N0}} \quad (2)$$

В одном предпочтительном варианте осуществления, вычисленное полное сопротивление для одной точки N измерения, например,  $Z_{N0}$ , отправляют на другой узел (удаленную точку M измерения). Затем реле в другом узле может принять и сохранить данное значение полного сопротивления. Принятое значение полного сопротивления будет использовано для вычисления угла компенсации так, как это будет описано ниже. Поскольку скорость изменения полного сопротивления локального источника является низкой (по сравнению с периодом короткого замыкания и периодом дискретизации), необходимость в частой отправке вычисленного в реальном времени полного сопротивления из точки N в точку M отсутствует. Следовательно, в соответствии с решением согласно настоящему изобретению наличие синхронной линии

связи не является необходимым.

Однако в другом предпочтительном варианте осуществления, полное сопротивление вычисляют в реальном времени для каждого периода дискретизации. И все вычисленные значения полного сопротивления могут быть последовательно отправлены на удаленный узел в каждый период дискретизации. После этого, удаленный узел вычисляет угол компенсации на основе принятого в реальном времени значения полного сопротивления для разных периодов дискретизации.

Для реле в конечной точке М, максимальный угол разницы между измеренным током нулевой последовательности и током короткого замыкания может быть вычислен посредством нижеследующего уравнения (3) ( $I_f$  приводят к  $I_0$ ).

$$\theta = \text{Angle}\left(\frac{Z_{M0} + Z_{N0} + Z_{0L}}{Z_{N0} + Z_{0L}}\right) \quad (3)$$

В уравнении (3),  $Z_{M0}$  представляет собой полное сопротивление нулевой последовательности линии в точке М;  $Z_{N0}$  представляет собой полное сопротивление нулевой последовательности линии в точке N; и  $Z_{0L}$  представляет собой полное сопротивление нулевой последовательности линии. В настоящем изобретении для настройки реактивного элемента в плоскости полных сопротивлений, показанной на фиг.3, вместо фиксированного угла (10-15 градусов) используют угол  $\theta$  компенсации, зависящий от характера короткого замыкания (вычисляемый для разных возможных случаев возникновения короткого замыкания).

В соответствии с принципом работы реле реактивного сопротивления, для внутреннего короткого замыкания вычисленный угол между измеренным полным сопротивлением и установленным полным сопротивлением должен находиться в диапазоне  $[-180^\circ, 0^\circ]$ . В противном случае короткое замыкание должно быть расценено как внешнее короткое замыкание. В этом отношении, критерий для определения внутреннего или внешнего короткого замыкания может быть выражен нижеприведенным уравнением (5).

$$\gamma > \text{Angle}(Z - Z_{set}) > \beta \quad (5)$$

где  $Z$  представляет собой измеренное полное сопротивление в качестве полного сопротивления линии, и  $Z_{set}$  представляет собой установленное полное сопротивление линии. При описании и в расчетах согласно настоящему изобретению значение установленного полного сопротивления линии должно составлять 80% от общего полного сопротивления линии.

С учетом угла  $\theta$  компенсации, уточненный критерий приведен в нижеприведенном уравнении (6):

$$\gamma > \text{Angle}(Z - Z_{set}) - \theta > \beta \quad (6)$$

При использовании данного уточненного критерия, реле дистанционной защиты от короткого замыкания на землю может иметь лучшие эксплуатационные характеристики в случае неоднородной системы. То есть, распознавание типа короткого замыкания будет более точным, что позволит значительно сократить количество ложных отключений по сравнению с обычными технологиями.

Авторы изобретения провели моделирование для сравнения определения типа короткого замыкания на основе критерия, предложенного в настоящем изобретении, и обычного критерия.

Пример 1

Система электропередачи, используемая для моделирования, аналогична показанной на фиг.2. Условия в системе отличаются только тем, что значения  $Z_{M0}$  и  $Z_{N0}$  не совпадают, и каждый из двух углов полного сопротивления приведен к  $Z_{0L}$ . Параметры системы, используемой для моделирования, приведены ниже:

Напряжение источника:  $U_M=U_N=220$  кВ,  $\angle\alpha=-20$ .

Полное сопротивление источника:  $Z_M=35\angle 85^\circ$  и  $Z_N=25\angle 80^\circ$ . Для упрощения моделирования предположено, что полное сопротивление прямой последовательности равно полным сопротивлениям нулевой/обратной последовательности.

Линия: длина=100 км, и другие параметры линии являются следующими:

$R_1=1.27e-5(\Omega/m)$ ,  $R_0=2.729e-4(\Omega/m)$ ,  $X_1=2.68e-4(\Omega/m)$ ,  $X_0=8.4e-4(\Omega/m)$ .

Область действия реле для зоны 1 установлена как 80% (установленный диапазон) от общей длины линии электропередачи. То есть, область действия зоны 1 установлена с допущением в 20 км для избежания избыточного срабатывания. Частота дискретизации реле установлена в 4000 Гц.

В качестве примера возьмем реле в точке М и предположим возникновение внешнего короткого замыкания на землю в фазе А. Дополнительно предположим, что точка короткого замыкания расположена на позиции 90% от общей длины линии электропередачи. Сопротивление нагрузки равно 300 Ом; короткое замыкание происходит через 0.5 секунд после начала процесса дискретизации. В случае частоты дискретизации 400 Гц, короткое замыкание происходит в 2000-м элементе выборки на фиг.4.

Поскольку область действия зоны 1 установлена в 80% от общей длины линии электропередачи и точка короткого замыкания расположена на расстоянии 90% общей длины линии электропередачи, то, фактически, короткое замыкание является внешним по отношению к зоне 1. На основе вышеприведенных параметров проведено моделирование для оценки обычного критерия и критерия в соответствии с настоящим изобретением.

На фиг.4 показана разница в вычислении угла компенсации для схемы, предложенной в настоящем изобретении, и схемы без настройки угла реактивного элемента. Как было упомянуто выше, когда разница углов попадает в диапазон  $[-180^\circ, 0^\circ]$ , схема защиты от короткого замыкания на землю сообщит о возникновении внутреннего короткого замыкания в зоне 1 защиты, и реле будет отключено в целях защиты. Когда разница углов превышает вышеупомянутый диапазон, схема защиты от короткого замыкания распознает короткое замыкание как внешнее, и, таким образом, зона 1 защиты не будет отключена.

Как можно увидеть на фиг.4, в случае, когда используют угол без какой-либо настройки (что показано пунктирной линией 41), реле примет неправильное решение (распознает внешнее короткое замыкание как внутреннее короткое замыкание) после того, как возникнет короткое замыкание в течение, примерно, 20 мс (в точке 2080 выборки). То есть, после одного цикла передачи в линии переменного тока зона 1 будет отключена из-за неправильной оценки.

Однако если угол компенсации вычисляют в отношении произошедшего короткого замыкания, разница углов превысит верхний предел ( $0^\circ$ ) диапазона в точке выборки вблизи отметки 2090. Таким образом, реле даст правильную оценку для внешнего короткого замыкания (что показано сплошной линией 42).

Очевидно, что схема без настройки угла реактивного сопротивления не подходит для различных условий работы системы.

Как можно понять из приведенного выше примера моделирования, настройка угла компенсации, зависящего от типа короткого замыкания, имеет преимущества перед схемой без настройки угла.

#### Пример 2

5 Другой пример моделирования показан на фиг.5. В данном случае, точка короткого замыкания расположена в той же позиции, что и вышеприведенном примере 1. Что касается параметров системы, то единственным отличием является значение полного сопротивления источника в конечной точке М, которое больше значения в примере 1, т.е.  $Z'_M=65\angle 65^\circ$ . В данном примере, угол реактивного элемента в плоскости полных  
10 сопротивлений настраивают с использованием предварительно установленного фиксированного угла компенсации, выбранного на основе предшествующего опыта (т.е. значение угла настройки принимают в соответствии с обычной технологией).

Как можно увидеть на фиг.5, даже если угол реактивного сопротивления компенсируют с использованием максимального фиксированного значения, ложной  
15 оценки избежать невозможно. В данном примере также предположено, что внешнее короткое замыкание произошло в точке 2000 выборки. Однако, как исходная (ненастроенная), так и настроенная разница углов, обозначенные кривыми 51 и 52, показывают, что разница углов попадает в диапазон  $[-180^\circ, 0^\circ]$ . То есть, реле распознает возникновение внутреннего короткого замыкания в зоне 1 защиты, даже если угол  
20 настроен с максимальным значением. Таким образом, обычная схема является неэффективной для случая короткого замыкания с более высоким сопротивлением.

#### Пример 3

Для параметров системы, аналогичных вышеприведенному примеру 2, если схема  
25 защиты использует зависящие от типа замыкания значения  $Z_M$  и  $Z_N$ , вычисленные на основе составляющей короткого замыкания, реле на стороне М примет правильное решение.

Как показано на фиг.6, кривая 62 (сплошная линия) для настроенной разницы углов указывает, что разница углов выходит за пределы диапазона  $[-180^\circ, 0^\circ]$ , начиная, по  
30 меньшей мере, с точки 2060 выборки. Таким образом, схема, предложенная в настоящем изобретении, позволяет сделать правильную оценку в случае наличия высокого сопротивления.

Способы и схемы по настоящему изобретению могут быть реализованы как программное обеспечение, работающее на ЭВМ, или как устройство с жесткой логикой,  
35 использующее технологию EPROM и т.д. В случае аппаратной реализации предложенного способа, для специалистов в данной области техники должно быть очевидно, что каждый вышеупомянутый этап по идентификации короткого замыкания, вычислению угла компенсации и т.д. может соответствовать отдельному аппаратному блоку. Например, может быть предусмотрен блок определения для определения  
40 возникновения короткого замыкания в линии электропередачи, и в какой фазе произошло короткое замыкание. Блок измерения может быть предусмотрен для измерения полного сопротивления. Блок связи может быть предусмотрен для отправки из одной конечной точки и приема другой конечной точкой измеренного полного сопротивления. Блок обработки может быть предусмотрен для вычисления угла  
45 компенсации на основе принятого значения полного сопротивления. И блок оценки может быть предусмотрен для вывода сигнала отключения, когда блок обработки определил, что разница углов попадает в заданный диапазон.

В качестве альтернативы, все этапы/функции могут быть реализованы процессором, встроенным в реле. В этом случае, все отдельные блоки объединены вместе для

выполнения предложенного способа защиты. Для изготовления такого оборудования могут быть использованы любые доступные технологии производства полупроводников.

5 Специалисты в данной области техники должны понимать, что могут быть сделаны различные модификации без отклонения от объема настоящего изобретения. Например, в настоящем изобретении могут быть применены любые другие хорошо известные  
схемы защиты от короткого замыкания.

10 Подразумевается, что настоящее изобретение включает в себя все возможные модификации, соответствующие предложенному принципу, и объем настоящего изобретения определен в прилагаемой формуле изобретения, а не подробно описанными выше вариантами осуществления.

#### Формула изобретения

1. Способ дистанционной защиты от короткого замыкания на землю в линии электропередачи, характеризующийся тем, что содержит этапы, на которых:

15 измеряют полное сопротивление локального источника на основе составляющей короткого замыкания на каждом из обоих концов линии электропередачи при возникновении короткого замыкания;

отправляют указанное полное сопротивление локального источника, измеренное на первом конце линии, во второй конец линии;

20 настраивают критерий защиты на втором конце линии на основе указанного полного сопротивления локального источника, измеренного на первом конце;

оценивают короткое замыкание на землю как внутреннее короткое замыкание или внешнее короткое замыкание в соответствии с настроенным критерием защиты.

2. Способ защиты по п.1, в котором

25 критерий защиты настраивают путем объединения угла компенсации с углом реактивного элемента в графике четырехсторонней характеристики.

3. Способ защиты по п.2, в котором

30 угол компенсации вычисляют на основе полного сопротивления линии электропередачи и полных сопротивлений, измеренных на первом и втором концах линии.

4. Способ защиты по п.2 или 3, дополнительно содержащий:

оповещение о возникновении внутреннего короткого замыкания в линии электропередачи, если указанный объединенный угол реактивного элемента попадает в диапазон  $[-180^\circ, 0^\circ]$ .

35 5. Контроллер для дистанционной защиты от короткого замыкания на землю, характеризующийся тем, что содержит:

блок измерения, выполненный с возможностью измерения полного сопротивления локального источника на основе составляющей короткого замыкания на каждом из  
40 обоих концов линии электропередачи при возникновении короткого замыкания;

блок отправки, выполненный с возможностью отправки полного сопротивления локального источника, измеренного на первом конце, из указанного первого конца  
линии во второй конец линии;

45 блок настройки, выполненный с возможностью настройки критерия защиты на втором конце линии на основе полного сопротивления локального источника, измеренного на первом конце; и

блок оценки, выполненный с возможностью оценки короткого замыкания на землю как внутреннего короткого замыкания или внешнего короткого замыкания в соответствии с настроенным критерием защиты.

6. Контроллер защиты по п.5, в котором критерий защиты настраивается путем объединения угла компенсации с углом реактивного элемента на графике четырехсторонней характеристики.

5 7. Контроллер защиты по п.6, в котором угол компенсации вычисляется на основе полного сопротивления линии электропередачи и полных сопротивлений, измеренных на первом и втором концах линии.

8. Контроллер защиты по п.6 или 7, дополнительно содержащий: блок оповещения, выполненный с возможностью оповещения о возникновении  
10 внутреннего короткого замыкания в линии электропередачи, если указанный объединенный угол реактивного элемента попадает в диапазон  $[-180^\circ, 0^\circ]$ .

9. Устройство дистанционной защиты от короткого замыкания на землю, характеризующееся тем, что содержит контроллер по любому из пп. 5-8.

10. Внутренняя память ЭВМ с загруженной компьютерной программой для защиты  
15 от замыканий на землю в системе линий электропередачи, характеризующаяся тем, что содержит код компьютерной программы, который обеспечивает выполнение компьютером функций контроллера по любому из пп.5-8.

20

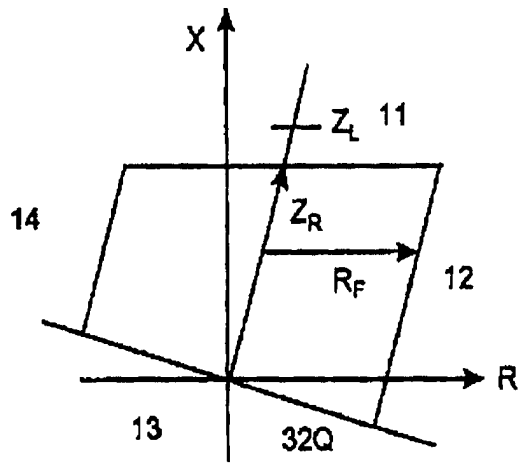
25

30

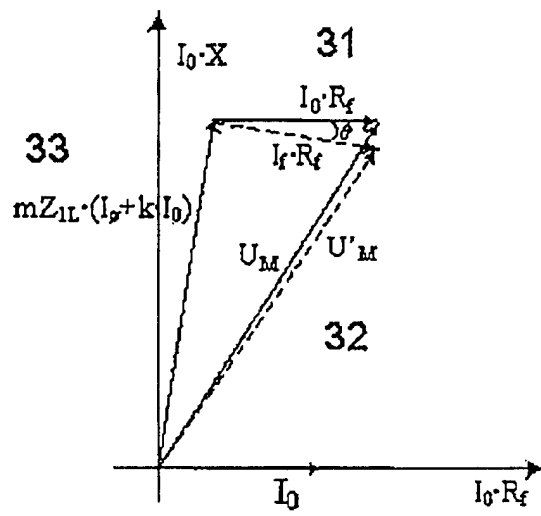
35

40

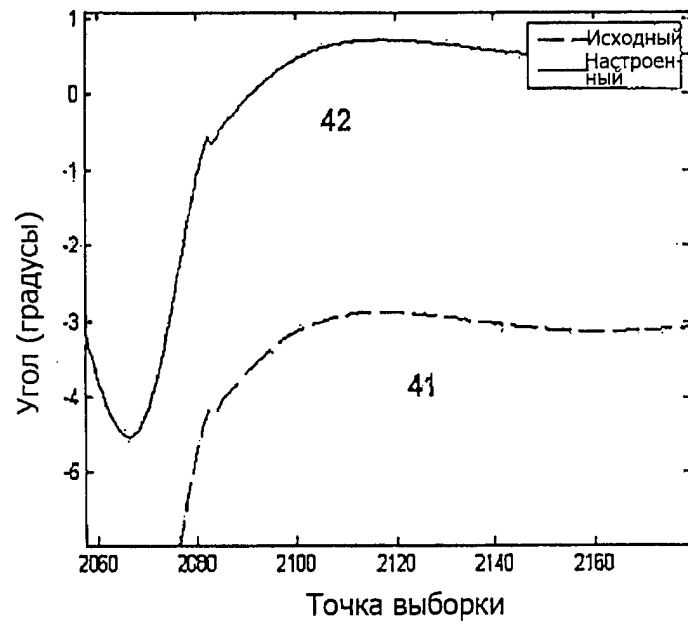
45



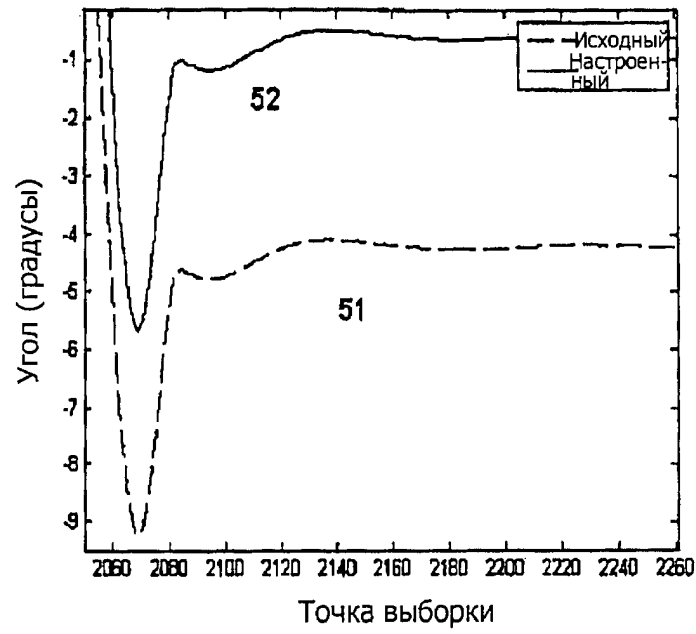
ФИГ. 1



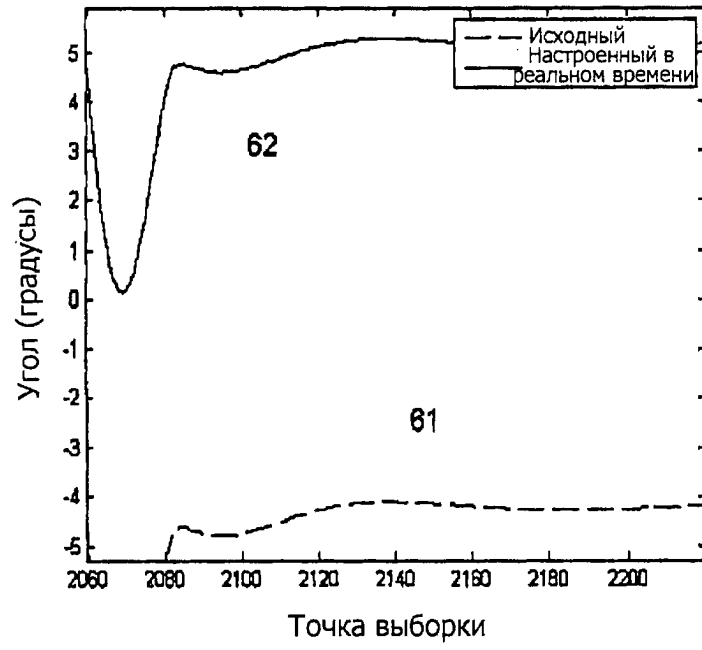
ФИГ. 3



ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6