



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012101106/28, 11.01.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.01.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.01.2012

(43) Дата публикации заявки: 20.07.2013 Бюл. № 20

(45) Опубликовано: 27.01.2014 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2033623 C1, 20.04.1995. RU 2072876 C1, 20.02.1997. SU 473969 A, 16.12.1975. SU 416634 A1, 25.02.1974. RU 2419802 C2, 27.05.2011. EP 227017 A, 01.07.1987. WO 2009010169 A1, 22.01.2009.

Адрес для переписки:

428000, г.Чебоксары, пр. И. Яковлева, 1/1,
ООО "Исследовательский центр "Бреслер"

(72) Автор(ы):

Лямец Юрий Яковлевич (RU),
Романов Юрий Вячеславович (RU),
Воронов Павел Ильич (RU),
Исмуков Григорий Николаевич (RU)

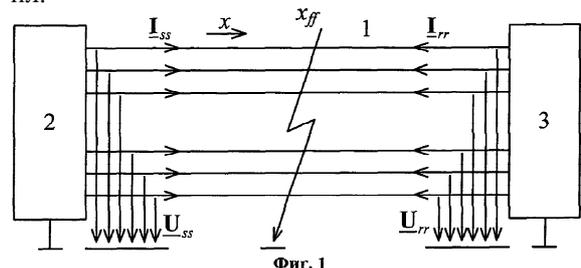
(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной
ответственностью "Исследовательский
центр "Бреслер" (RU)(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА И ХАРАКТЕРА ПОВРЕЖДЕНИЯ
МНОГОПРОВОДНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электроэнергетике, конкретнее - к релейной защите и автоматике электрических систем. Сущность: определение места повреждения выполняется в два этапа. На первом этапе полагают, что повреждены все провода. Определяют место повреждения по токам и напряжениям всех проводов до и после мест предполагаемых повреждений. Определяют для каждого провода сигнал абсолютного значения разности модулей токов до и после обнаруженного на первом этапе места повреждения, сигнал абсолютного значения разности модулей напряжений до и после этого места, сдвиг фаз между напряжением и током каждого провода до этого места и сдвиг фаз между напряжением и током после этого места, сигнал абсолютного значения разности первого и второго сдвигов фаз. Сравнивают

три упомянутых разностных сигнала каждого провода с соответствующими порогами. Подразделяют провода сети на неповрежденные и поврежденные, для чего относят к первым те провода, все три разностных сигнала которых не превысили своих порогов. На втором этапе определяют место повреждения по токам и напряжениям только вторых проводов до и после мест предполагаемых повреждений. Технический результат: повышение точности и расширение функциональных возможностей. 1 з.п. ф-лы, 7 ил.





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012101106/28, 11.01.2012**
 (24) Effective date for property rights:
11.01.2012
 Priority:
 (22) Date of filing: **11.01.2012**
 (43) Application published: **20.07.2013 Bull. 20**
 (45) Date of publication: **27.01.2014 Bull. 3**
 Mail address:
428000, g.Cheboksary, pr. I. Jakovleva, 1/1, OOO
"Issledovatel'skij tsentr "Bresler"

(72) Inventor(s):
Ljamets Jurij Jakovlevich (RU),
Romanov Jurij Vjacheslavovich (RU),
Voronov Pavel Il'ich (RU),
Ismukov Grigorij Nikolaevich (RU)
 (73) Proprietor(s):
Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju
"Issledovatel'skij tsentr "Bresler" (RU)

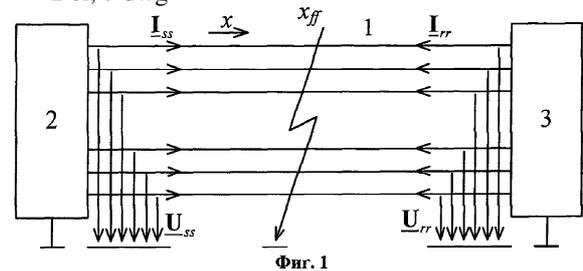
(54) **METHOD OF DETERMINING POINT AND NATURE OF DAMAGE TO MULTIWIRE POWER GRID**

(57) Abstract:
 FIELD: electricity.
 SUBSTANCE: point of damage is determined in two steps. The first step includes the assumption that all wires are damaged. The point of damage is determined from currents and voltages of all wires before and after the point of the assumed damage. The signal of the magnitude of the difference between current moduli before and after the point of damage detected at the first step, the signal of the magnitude of the difference between voltage moduli before and after said point, the phase shift between the voltage and current of each wire before said point and phase shift between voltage and current after said point and the magnitude of the difference between the first and second phase shifts are determined for each wire. Said three difference signals of each wire are compared with respective

thresholds. Wires of the power grid are divided into undamaged and damaged, where wires for which all three difference signals do not exceed their thresholds are classified as undamaged. At the second step, the point of damage is determined from currents and voltages of only second wires before and after the point of the assumed damage.

EFFECT: higher accuracy and broader functional capabilities.

2 cl, 7 dwg



RU 2 505 826 C2

RU 2 505 826 C2

Изобретение относится к области электроэнергетики, а именно к релейной защите и автоматике электрических систем.

Приобретают все большую актуальность способы контроля состояния электропередач, наблюдаемых с разных сторон, так как появилась реальная возможность обмениваться информацией, получаемой на удаленных друг от друга подстанциях.

Контроль состояния электрической сети предполагает решение задач селекции и локации случающихся повреждений. Под селекцией понимается разделение множества проводов электрической сети на поврежденные и неповрежденные. Локация - определение места повреждения.

Задача селекции может быть рассмотрена независимо от задачи локации [1-3]. Она решается относительно просто, если большой ток короткого замыкания возникает скачкообразно на фоне стационарного нагрузочного режима. Проблема селекции становится острой, если короткое замыкание возникает после подачи напряжения на обесточенную сеть. Те же трудности имеют место в случае монотонного нарастания тока короткого замыкания, что случается, например, при замыкании одного из проводов сети на землю через дерево.

Известен способ определения места повреждения и поврежденных проводов линии электропередачи с использованием ее моделей [4, 5], в котором задачи локации и селекции совмещены. Этот способ ориентирован на одностороннее наблюдение линии. Более общим является способ определения места повреждения и поврежденных проводов электрической системы с использованием ее моделей [6], по которому определяют компоненты токов и напряжения на разных сторонах сети, а затем преобразуют их с использованием ее модели. Модель составляют для поврежденной сети. Место предполагаемого повреждения варьируют. Токи и напряжения, зафиксированные на одной стороне сети, преобразуют на модели сети в токи и напряжения, действующие в этой модели до места предполагаемого повреждения. Токи и напряжения, зафиксированные на другой стороне сети, преобразуют на той же модели в токи и напряжения, действующие сразу после места предполагаемого повреждения. Таким образом, получают две группы электрических величин, имеющих отношение к предполагаемому повреждению. Обе группы используют совместно для проверки выполнения критерия повреждения в местах предполагаемых повреждений. После определения места повреждения выстраивают модель повреждения, по величинам сопротивлений разных фаз модели судят о том, какие фазы повреждены, а какие - нет.

Данному способу присущи два существенных недостатка. Во-первых, он исходит из предположения, что в разных местах электрической сети токи и напряжения наблюдаются синхронно. Это условие значительно ограничивает область его применения. Во-вторых, опыт применения способов определения места повреждения показывает, что точность локации повышается, если ей предшествует селекция, т.е. выявление поврежденных проводов. В противном случае неповрежденные провода вносят в определяемые параметры предполагаемого повреждения излишний вклад, что и становится причиной дополнительной погрешности.

Цель предлагаемого изобретения - повышение точности локации и расширение функциональных возможностей способа определения места повреждения и поврежденных проводов многопроводной сети.

Повышение точности достигается благодаря двухэтапной организации поиска места повреждения и проведения селекции проводов между первым и вторым этапами

локации. Расширение функциональных возможностей обеспечивается благодаря такому подбору и сочетанию операций определения характера повреждения, что устраняется необходимость в синхронизации наблюдения на противоположных сторонах сети. На первом этапе локации провода сети не подразделяются на поврежденные и неповрежденные. Место повреждения в таком случае определяют с точностью, достаточной для селекции проводов, но недостаточной для поиска места повреждения в контролируемой сети. Селекция в предполагаемом способе инверсна, т.е. нацелена на выявление неповрежденных проводов. Остальные признаются поврежденными. Повреждение заключается в коротком замыкании, которое, возможно, сопровождается обрывами. Соотношения между токами и напряжениями до и после места повреждения в общем случае не регламентированы. Иное дело, неповрежденные провода. В них токи до и после места повреждения совпадают, то же и напряжения. Эти физические признаки используют при селекции проводов. Поскольку синхронизация наблюдений в разных сторонах сети не предполагается, то проверяют совпадения не комплексов, а модулей токов и модулей напряжений. Но опыт показывает, что этого может оказаться недостаточно. Поэтому проверяют еще и совпадение разностей фаз между напряжением и током в каждом проводе до и после места повреждения. Разность фаз так же инвариантна к началу отсчета времени, как и модули электрических величин. В подавляющем большинстве случаев такой трехкратной проверки достаточно для надежной селекции проводов, и после ее выполнения приступают ко второму этапу локации, используя критерий повреждения только для группы поврежденных проводов.

В дополнительном пункте формулы изобретения предлагается для дальнейшего повышения надежности селекции проводить и взаимную проверку проводов, признаваемых неповрежденными. Для этого определяют углы сдвига между токами (или напряжениями, или и токами, и напряжениями) каждого провода до и после места повреждения, а затем попарно сравнивают углы разных проводов. В неповрежденных проводах эти углы должны совпадать в силу того, что там однотипные величины до и после места повреждения смещены на один и тот же угол, обусловленный сдвигом во времени наблюдений на разных сторонах сети.

На фиг.1 приведена схема многопроводной электрической сети, наблюдаемой на концевых подстанциях. Часть проводов повреждена в месте с координатой x_{ff} . На фиг.2 дана модель контролируемой сети, составленная в предположении, что вероятно повреждение всех проводов в месте x_f . Значение x_f произвольно и, вообще говоря, не совпадает с x_{ff} , так как координата x_{ff} априори неизвестна и составляет предмет поиска. На фиг.3 приведена уточненная модель сети, полученная в результате селекции проводов - разграничения поврежденных и неповрежденных. Остальные рисунки детализируют предлагаемый способ, поясняя, как осуществляется его реализация. На фиг.4 показана общая структура преобразования электрических величин, наблюдаемых на разных подстанциях. Структурная схема реализует локацию и совмещенную с ней селекцию в многопроводной сети. Остающиеся рисунки посвящены операциям селекции. Общая структура селектора приведена на фиг.5. На фиг.6 показан формирователь инвариантных по отношению к началу отсчета времени сигналов - модулей и разностей фаз. Пунктиром показаны блоки, вводимые в соответствии с дополнительным пунктом формулы изобретения, т.е. присутствующие в структуре лишь в качестве опции. Блок преобразователей по фиг.6 является составной частью селектора. Вторая его часть - распознающий орган, показанный на фиг.7; он выявляет неповрежденные провода сети.

Рассмотрим последовательность операций, составляющих предлагаемый способ, на примере электрической системы, в которую входит многопроводная сеть 1 и концевые подстанции 2 и 3. На обеих подстанциях наблюдаются токи и напряжения, преобразуемые в комплексы. Величины \underline{I}_{ss} и \underline{U}_{ss} , получаемые на подстанции 2, и величины \underline{I}_{r1} и \underline{U}_{r1} на подстанции 3 привязаны к различным временным осям, из-за чего разности фаз комплексов \underline{I}_{ss} и \underline{I}_{r1} , как и \underline{U}_{ss} , \underline{U}_{r1} , оказываются информационно бесполезными.

Сеть повреждена в месте x_{ff} , неизвестном наблюдателям. Требуется отыскать эту координату и указать поврежденные провода. Действие способа начинается с составления модели сети для произвольного места предполагаемого повреждения x_f (фиг.2). Модель состоит из двух предположительно неповрежденных участков 4 и 5 и из блока повреждения 6. Участки 4 и 5 определены, а структура блока 6 неизвестна, поэтому на первом этапе локации предполагается, что повреждение затронуло все провода. После завершения первого этапа локации и выполнения селекции модель уточняется (фиг.3). Вместо блока повреждения 6, охватывающего все провода, вводится блок 7 меньшей размерности, так же неопределенный, как и блок 6, но охватывающий только поврежденные провода.

Структурная схема по фиг.4, реализующая предлагаемый способ, состоит из пяти основных блоков: преобразователи входных величин 8 и 9, локатор 10 первого этапа, селектор 11 и локатор 12 второго этапа. Селектор в свою очередь состоит из четырех блоков (фиг.5): формирователь инвариантных сигналов 13, блок компараторов 14 и коммутаторы 15, 16. Коммутаторы передают на выход селектора только те электрические величины, которые имеют отношение к поврежденным проводам. Формирователь инвариантных сигналов 13 (фиг.6) включает в свой состав детекторы модулей токов 17, 18, детекторы модулей напряжений 19, 20, фазовый детектор напряжения и тока 21, фазовый детектор тока и напряжения 22, а также в качестве опции фазовые детекторы пары токов 23 и 24. Наконец, блок компараторов имеет в своем составе инверторы 25, 26, сумматоры 27-31, выпрямители 31-34, пороговые элементы 35-38 и логические блоки 39, 40, определяющие номера неповрежденных проводов.

Преобразователи 8 и 9 действуют так же, как и участки 4 и 5 модели многопроводной сети 1. Преобразователь 8, как и участок сети 4, воспринимает векторы токов и напряжений \underline{I}_{ss} , \underline{U}_{ss} , наблюдаемых на подстанции 2, и формирует их векторы токов и напряжений $\underline{I}_{sf}(x_f)$, $\underline{U}_{sf}(x_f)$, действующие до места предполагаемого повреждения 6. Аналогично этому, преобразователь 9, как и участок сети 5, воспринимает векторы $\underline{I}_{r1}(x_f)$, $\underline{U}_{r1}(x_f)$, действующие после того же самого места 6 с координатой x_f . Преобразователи 8 и 9 характеризуются каждый матрицей коэффициентов размера $2n \times 2n$, где n - число проводов

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{sf}(x_f) \\ \underline{U}_{sf}(x_f) \end{bmatrix} = \underline{B}(x_f) \begin{bmatrix} \underline{I}_{ss}(x_f) \\ \underline{U}_{ss}(x_f) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{r1}(x_f) \\ \underline{U}_{r1}(x_f) \end{bmatrix} = \underline{A}(x_f) \begin{bmatrix} \underline{I}_{r1}(x_f) \\ \underline{U}_{r1}(x_f) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где \underline{B} - матрица преобразователя 8, \underline{A} - преобразователя 9.

Токи и напряжения $\underline{I}_{sf}(x_f)$, $\underline{U}_{sf}(x_f)$, $\underline{I}_{r1}(x_f)$, $\underline{U}_{r1}(x_f)$, формируемые преобразователями 8 и 9 для разных значений x_f в пределах от $x_f=0$ до $x_f=1$, где l - протяженность многопроводной сети, воспринимается первым локатором 10, осуществляющим поиск

места повреждения по общему критерию без разделения множества проводов на поврежденные и неповрежденные. Важнейшую роль играет энергетический критерий повреждения, говорящий о том, что повреждение как физическое явление характеризуется нулевой реактивной мощностью. Отсюда следует, что суммарная реактивная мощность Q_f , подаваемая в место повреждения с разных сторон сети, равна нулю

$$Q_f(x_f) = Q_{sf}(x_f) + Q_{rf}(x_f) = 0, \quad (3)$$

где Q_{sf} и Q_{rf} - реактивные мощности, поступающие в место б соответственно со стороны 2 и стороны 3. Реактивные мощности формируются из напряжений и токов, выдаваемых преобразованиями 8 и 9

$$Q_{sf}(x_f) = \text{Im} \left(\underline{U}_{sf}^T(x_f) \underline{I}_{sf}^*(x_f) \right), \quad (4)$$

$$Q_{rf}(x_f) = \text{Im} \left(\underline{U}_{rf}^T(x_f) \underline{I}_{rf}^*(x_f) \right), \quad (5)$$

где верхний индекс «Т» говорит о преобразовании столбца напряжений в строку.

Локатор 10, реализуя условие (3), определяет подходящее значение координаты повреждения \hat{x}_f . Если оно окажется не единственным, то условие (3) дополняется условиями, позволяющими устранить неоднозначность распознавания места повреждения.

После определения первоначального значения координаты места повреждения \hat{x}_f

первый этап локации завершается и выполняется селекция проводов. Токи и напряжения $\underline{I}_{sf}(\hat{x}_f)$, $\underline{U}_{sf}(\hat{x}_f)$, $\underline{I}_{rf}(\hat{x}_f)$, $\underline{U}_{rf}(\hat{x}_f)$, подводимые именно к этому месту, воспринимаются формирователем инвариантных сигналов 13. К числу инвариантных сигналов относятся модули токов I_{sf} , I_{rf} , выделяемые детекторами 17, 18, модули напряжений U_{sf} , U_{rf} , выделяемые детекторами 19, 20, разности фаз

$$\varphi_{sf}(\hat{x}_f) = \arg \text{diag} \left(\underline{U}_{sf}(\hat{x}_f) \underline{I}_{sf}^T(\hat{x}_f) \right),$$

$$- \varphi_{rf}(\hat{x}_f) = \arg \text{diag} \left(\underline{I}_{rf}(\hat{x}_f) \underline{U}_{sf}^T(\hat{x}_f) \right),$$

выделяемые фазовыми детекторами 21,22, и как дополнительные сигналы, - разности фаз токов в отдельных проводах до и после места повреждения, выделяемые фазовыми детекторами 23,24

$$\varphi_{kl}(x_f) = \arg \left(\underline{I}_{sk}(x_f) \underline{I}_{rlk}^*(x_f) \right),$$

$$- \varphi_{ll}(x_f) = \arg \left(\underline{I}_{rl}(x_f) \underline{I}_{sl}^*(x_f) \right),$$

где k - номер провода; l - произвольный номер другого провода, составляющего пару k-ому проводу.

Перечисленные сигналы названы инвариантными потому, что в поврежденном k-ом проводе имеют место равенства

$$I_{sk}(\hat{x}_f) = I_{rlk}(\hat{x}_f),$$

$$U_{sk}(\hat{x}_f) = U_{rlk}(\hat{x}_f),$$

$$\varphi_{sk}(\hat{x}_f) = \varphi_{rlk}(\hat{x}_f),$$

а в паре, составленной из двух неповрежденным проводов, кроме того, еще и равенство взаимных углов

$$\Phi_{kl}(\hat{x}_f) = \Phi_{ll}(\hat{x}_f).$$

Сумматоры 27-30 с участием инверторов 25; 26 формируют разностные сигналы, которые выпрямителями 31-34 преобразуются в знакоположительные сигналы

$$\Delta I_k(\hat{x}_f) = |I_{sk}(\hat{x}_f) - I_{rk}(\hat{x}_f)|,$$

$$\Delta U_k(\hat{x}_f) = |U_{sk}(\hat{x}_f) - U_{rk}(\hat{x}_f)|,$$

$$\Phi_{kk}(\hat{x}_f) = |\varphi_{sk}(\hat{x}_f) - \varphi_{rk}(\hat{x}_f)|,$$

$$\Phi_{kl}(\hat{x}_f) = |\varphi_{kl}(\hat{x}_f) - \varphi_{ll}(\hat{x}_f)|.$$

По каждому из перечисленных сигналов пороговые элементы 38 задают параметры срабатывания ε_I , ε_U , ε_φ . Если выполняются все три условия

$$\Delta I_k(\hat{x}_f) > \varepsilon_I,$$

$$\Delta U_k(\hat{x}_f) > \varepsilon_U,$$

$$\Delta \varphi_{kk}(\hat{x}_f) > \varepsilon_\varphi,$$

то соответствующий провод признается неповрежденным, что фиксируется логическим блоком 39. Его выход помечен символом k' , так как предусматривается дополнительная проверка всего множества проводов, признанных неповрежденными. Для пар проводов из этого множества выполняется еще одна проверка

$$\Delta \varphi_{kl}(\hat{x}_f) > \varepsilon_\varphi$$

Если и эти условия выполняются тоже, все найденные номера передаются в коммутаторы 15, 16, сокращающие число сигналов, требующихся для локации. На выходы коммутаторов передаются только сигналы поврежденных проводов, отмеченные на фиг.4, 5 верхним индексом «пв», а сигналы выявленных селектором 11 неповрежденных проводов блокируются и на локатор 12 второго этапа не поступают. Локатор 12 действует по тем же критериям, что и локатор 10, отличие заключается только в том, что в формировании реактивных мощностей $Q_{sf}(x_f)$ и $Q_{rf}(x_f)$ принимают участие только поврежденные провода многопроводной сети. Благодаря тому, что реактивная мощность места предполагаемого повреждения определяется без участия избыточных сигналов неповрежденных проводов, координата места повреждения

\hat{x}_{ff} будет определена более точно, чем первоначальное значение \hat{x}_f .

Таким образом, предполагаемый способ решает в комплексе две задачи - определяет более точно место повреждения многопроводной сети и, находя поврежденные провода, указывает характер повреждения. При этом число проводов не ограничивается, а синхронизации наблюдений на противоположных сторонах сети не требуется.

Источники информации

1. Патент РФ №1820974, кл. H02H 3/26, 1993.

2. Патент РФ №2006124, кл. H02H 3/26, 1994.

3. Патент РФ №2037246, кл. H02H 3/40, H02H 3/26, G01R 31/08, 1995.

4. Патент РФ №2033622, кл. G01R 31/11, H02H 3/28, 1995.

5. Диагностика линий электропередачи. Межвуз. сб. науч. тр., Чебоксары, изд-во Чуваш. ун-та, 1992, С.9-32 / Ю.Я. Лямец, В.И. Антонов, В.А. Ефремов и др.

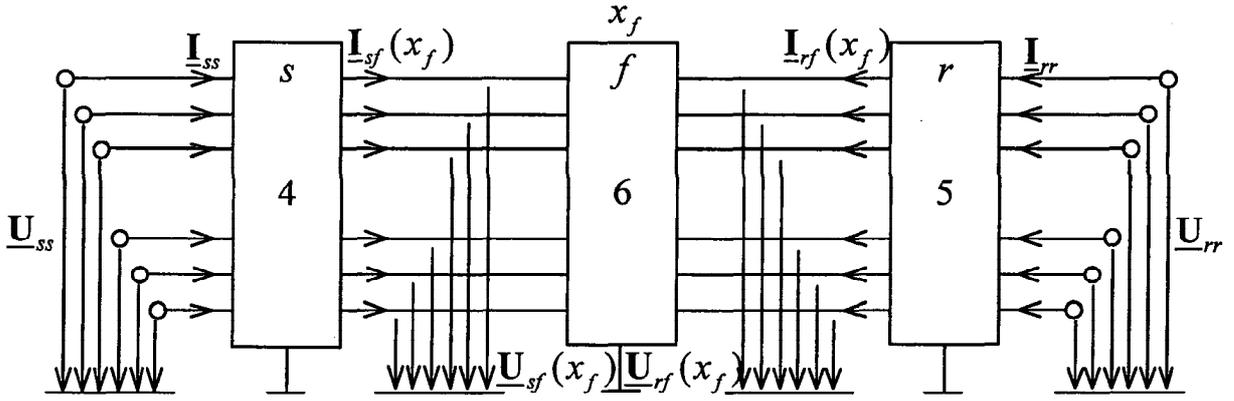
6. Патент РФ №2033623, кл. G01R 31/11, H02H 3/28, 1995.

Формула изобретения

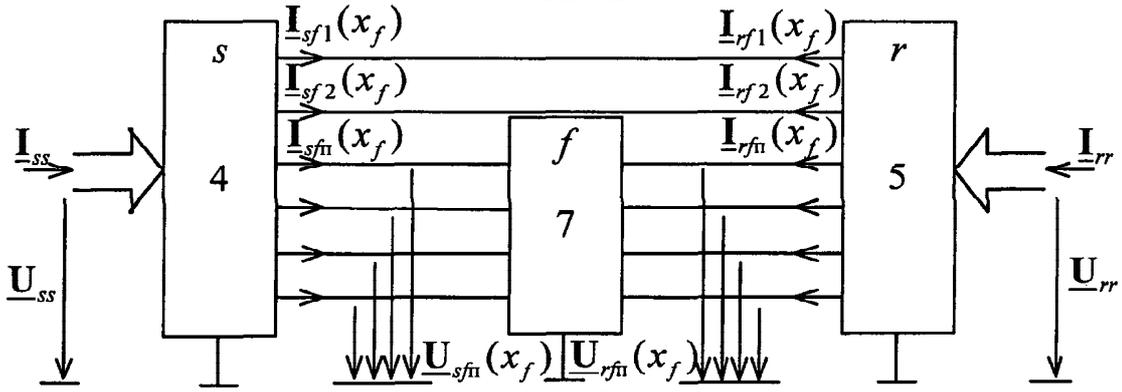
1. Способ определения места повреждения и поврежденных проводов многопроводной электрической сети при двухстороннем наблюдении с

использованием ее модели, согласно которому определяют комплексы токов и напряжений на обеих сторонах сети, преобразуют на модели сети токи и напряжения, наблюдаемые на одной стороне сети, в токи и напряжения, действующие до места предполагаемого повреждения, а токи и напряжения, наблюдаемые на другой стороне сети, - в токи и напряжения, действующие за местом предполагаемого повреждения, отличающийся тем, что, с целью повышения точности определения места повреждения и расширения функциональных возможностей, место повреждения определяют в два этапа, а поврежденные провода выявляют между первым и вторым этапами, причем на первом этапе полагают, что повреждены все провода, определяют место повреждения по токам и напряжениям всех проводов до и после мест предполагаемых повреждений, определяют для каждого провода сигнал абсолютного значения разности модулей токов до и после обнаруженного на первом этапе места повреждения, сигнал абсолютного значения разности модулей напряжений до и после этого места, сдвиг фаз между напряжением и током каждого провода до этого места и сдвиг фаз между напряжением и током после этого места, сигнал абсолютного значения разности первого и второго сдвигов фаз, сравнивают три упомянутых разностных сигнала каждого провода с соответствующими порогами, подразделяют провода сети на неповрежденные и поврежденные, для чего относят к неповрежденным те провода, все три разностных сигнала которых не превысили своих порогов, и на втором этапе определяют место повреждения по токам и напряжениям только поврежденных проводов до и после мест предполагаемых повреждений.

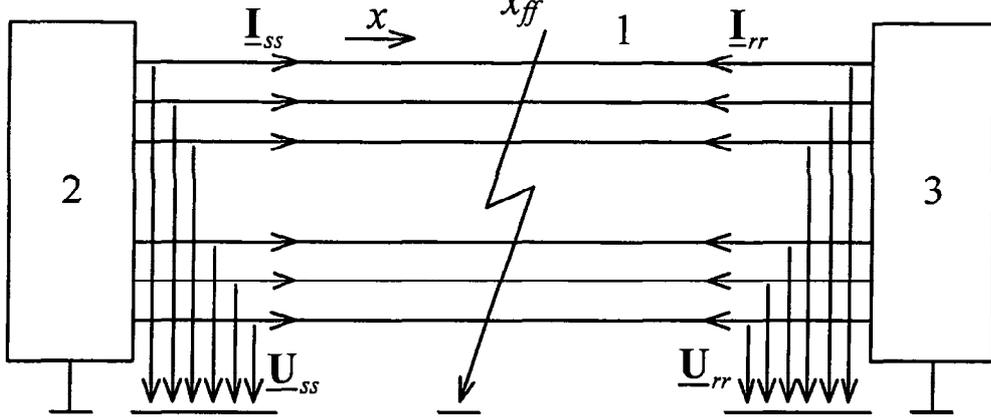
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно для каждого провода предположительно неповрежденных проводов угол сдвига между токами (напряжениями) до и после места повреждения, для каждой пары проводов из состава этой группы определяют сигнал абсолютного значения разности углов сдвига, сравнивают сформированные сигналы с соответствующим порогом, и исключают из состава группы провода, с участием которых сформированы сигналы, превышающие упомянутый порог.



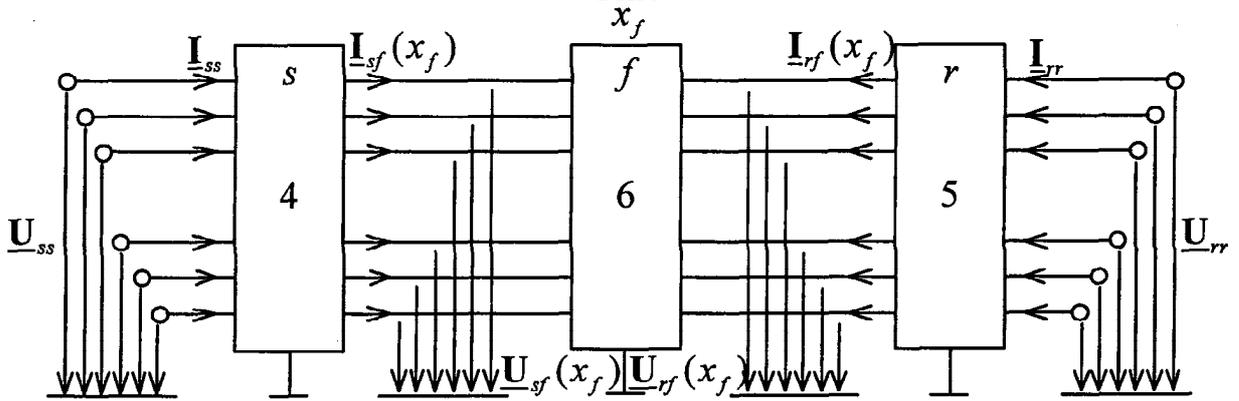
Фиг. 2



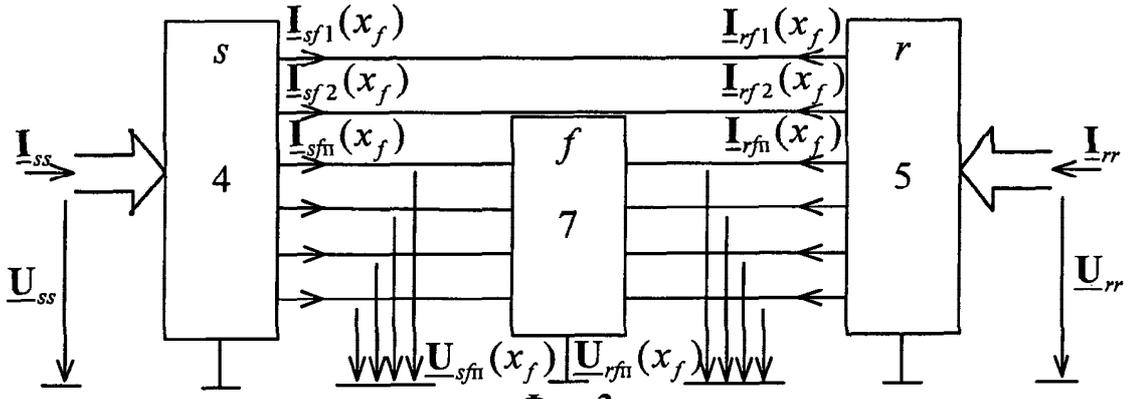
Фиг. 3



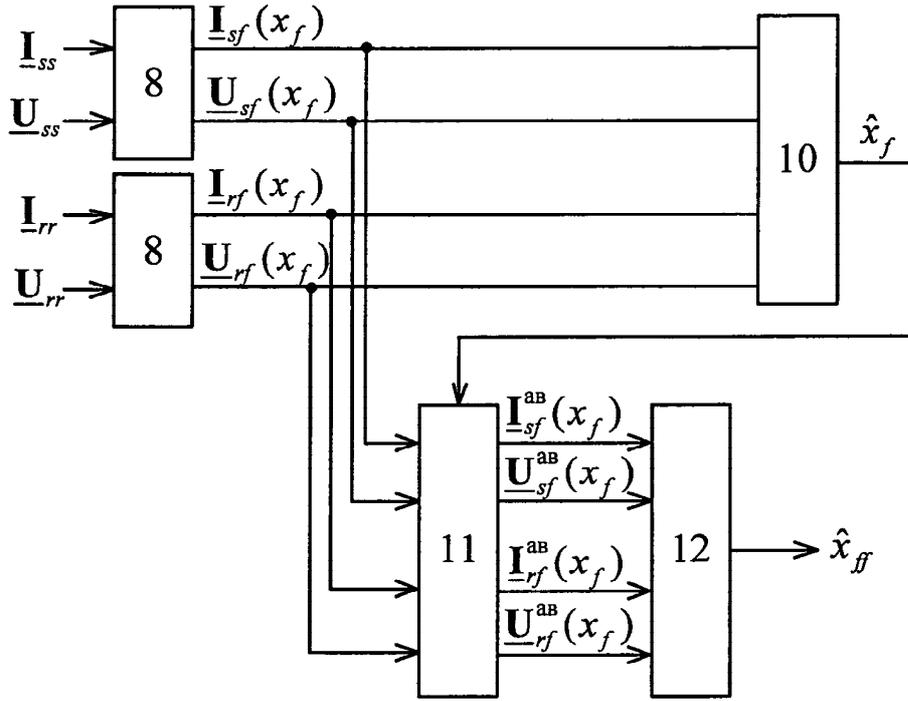
Фиг. 1



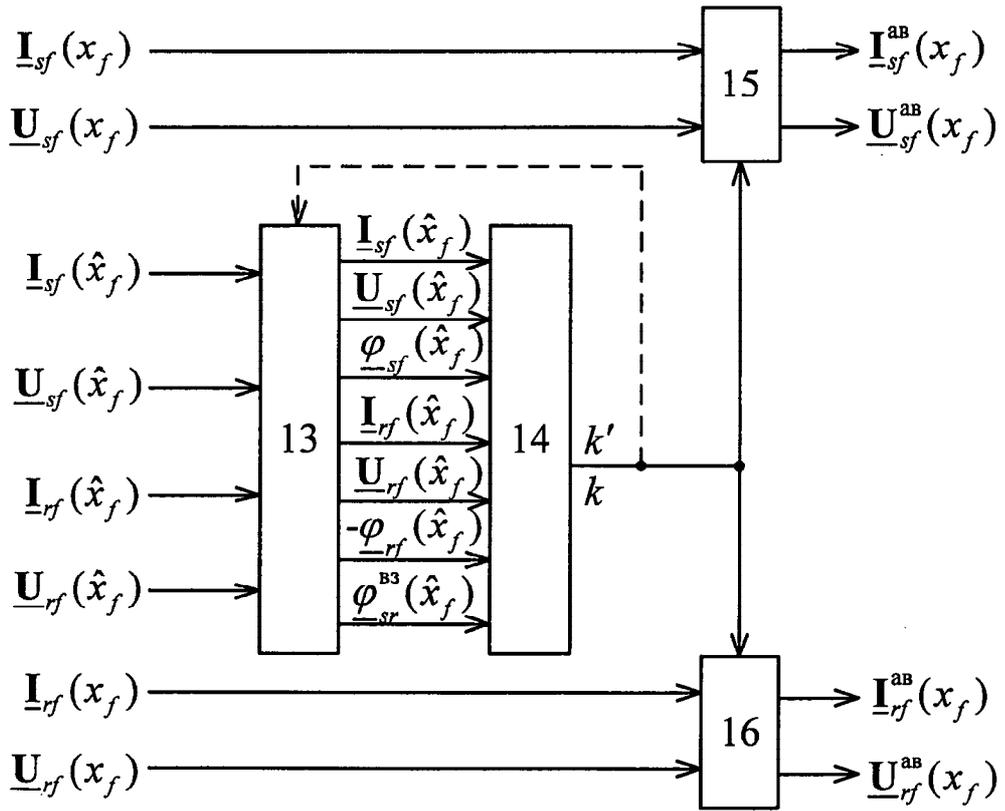
Фиг. 2



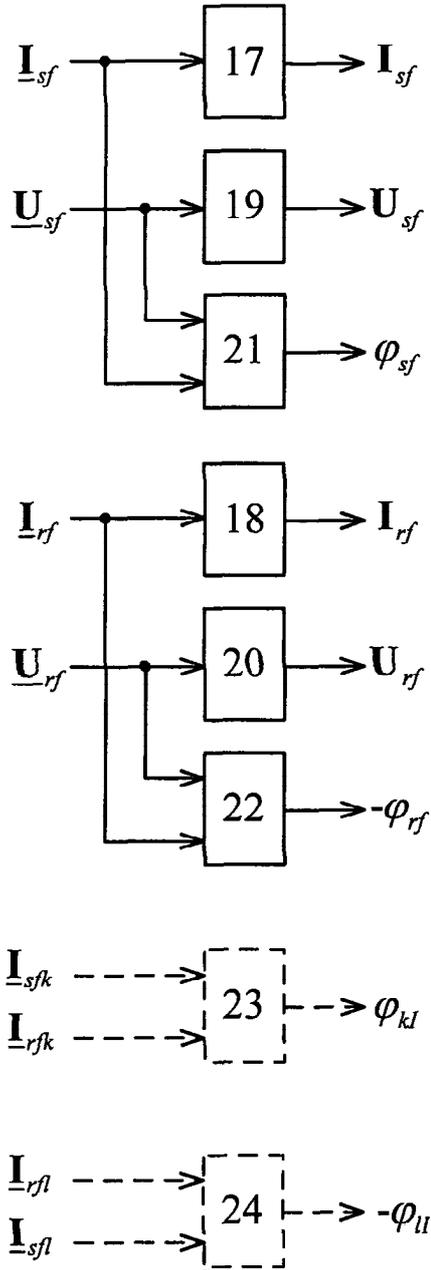
Фиг. 3



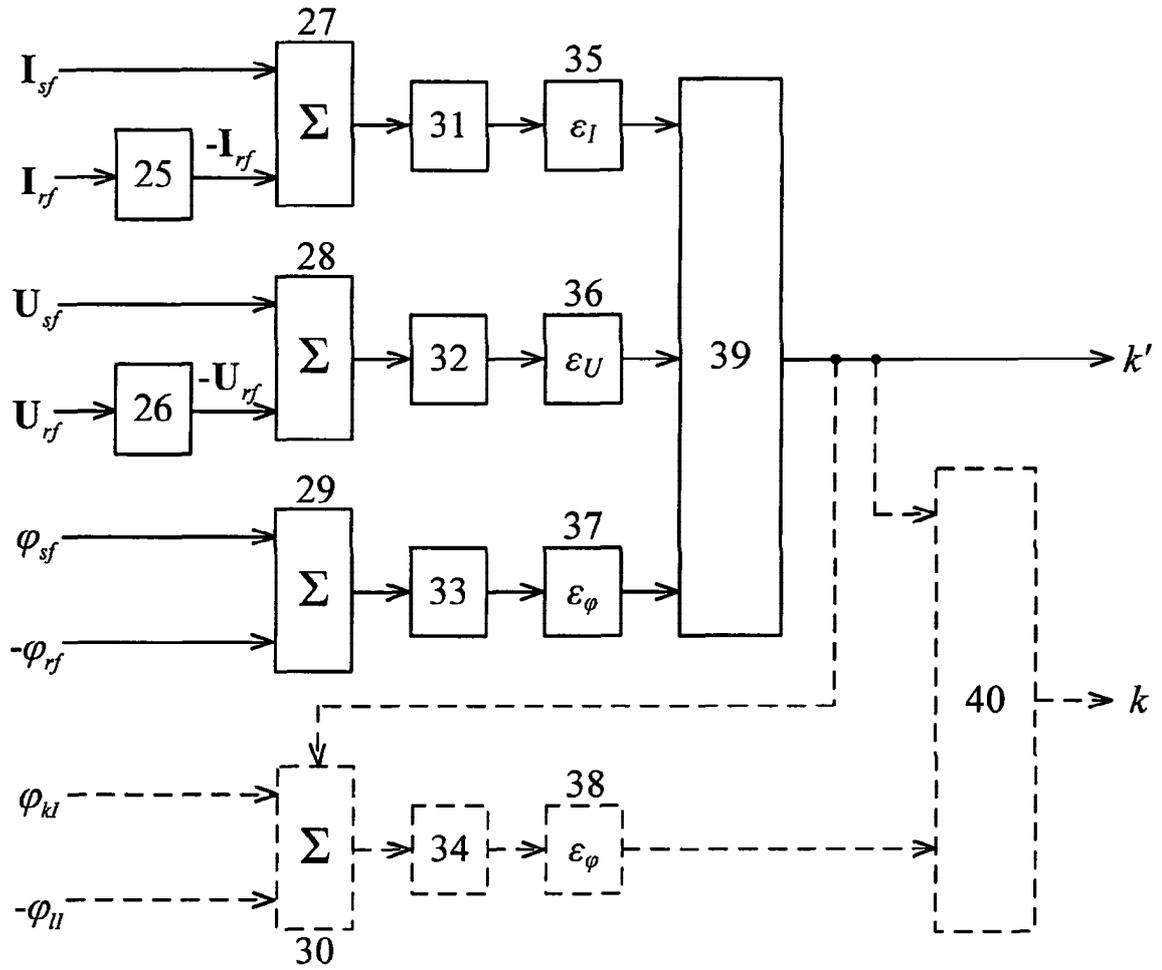
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7