



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012130729/28, 17.07.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.07.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.07.2012

(45) Опубликовано: 20.01.2014 Бюл. № 2

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: WO 2009010169 A1, 22.01.2009. WO 2007090484 A1, 16.08.2007. CN 101183133 A, 21.05.2008. JP 2228574 A, 11.09.1990. RU 2419802 C2, 27.05.2011.

Адрес для переписки:

634050, г.Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ
ВПО "Национальный исследовательский
Томский политехнический университет",
отдел правовой охраны результатов
интеллектуальной деятельности

(72) Автор(ы):

**Хрущёв Юрий Васильевич (RU),
Бацева Наталья Ленмировна (RU),
Абрамочкина Людмила Владимировна (RU),
Панкратов Алексей Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Национальный исследовательский Томский
политехнический университет" (RU)**

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО МАССИВАМ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ

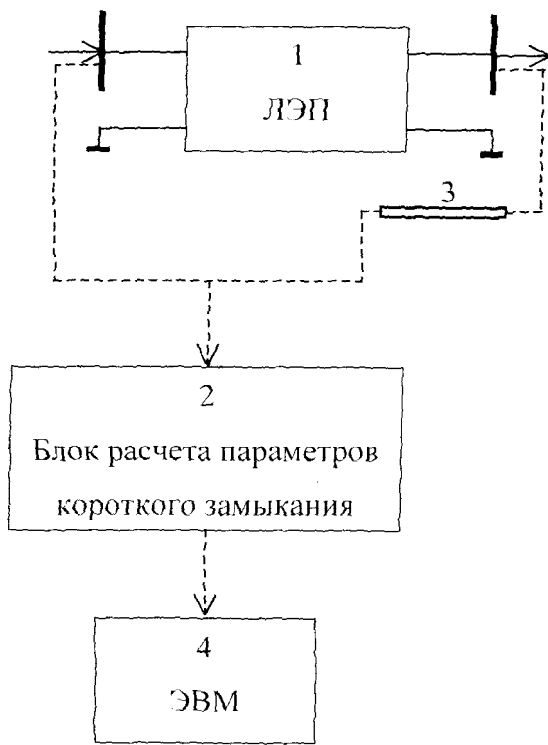
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано для определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи. Сущность: измеряют массивы мгновенных значений сигналов напряжений и токов трех фаз в начале и в конце линии для одних и тех же моментов времени. Передают сигналы с конца линии в ее начало по каналу связи. Сохраняют пары цифровых отсчетов как текущие. Осуществляют сдвиг сигналов фазы В на угол 120 градусов и фазы С на угол 240 градусов. Далее одновременно определяют массивы мгновенных значений симметричных

составляющих напряжений и токов в начале и конце линии и их векторные значения $U_{A1,1}$, $I_{A1,1}$, $U_{A1,2}$, $I_{A1,2}$. Затем определяют расстояние до места короткого замыкания l_1 из выражения:

$$l_1 = \frac{1}{\gamma_0} \operatorname{arth} \left(\frac{U_{A1,1} - U_{A1,2} \operatorname{ch} \gamma_0 l - I_{A1,2} Z_B \operatorname{sh} \gamma_0 l}{I_{A1,1} Z_B - U_{A1,2} \operatorname{sh} \gamma_0 l - I_{A1,2} Z_B \operatorname{sh} \gamma_0 l} \right)$$

, где $\gamma_0 = a_0 + j\beta_0$ - коэффициент распространения электромагнитной волны, a_0 - коэффициент затухания электромагнитной волны, β_0 - коэффициент изменения фазы электромагнитной волны, Z_B - волновое сопротивление линии, l - длина линии. Технический результат: повышение точности определения места повреждения. 7 табл., 2 ил.



Фиг. 1

RU 2504792 C1

RU 2504792 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01R 31/08 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012130729/28, 17.07.2012

(24) Effective date for property rights:
17.07.2012

Priority:

(22) Date of filing: 17.07.2012

(45) Date of publication: 20.01.2014 Bull. 2

Mail address:

634050, g.Tomsk, pr. Lenina, 30, FGBOU VPO
"Natsional'nyj issledovatel'skij Tomskij
politekhneskij universitet", otdel pravovoj
okhrany rezul'tatov intellektual'noj dejatel'nosti

(72) Inventor(s):

**Khrushchev Jurij Vasil'evich (RU),
Batseva Natal'ja Lenmirovna (RU),
Abramochkina Ljudmila Vladimirovna (RU),
Pankratov Aleksej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovaniya "Natsional'nyj
issledovatel'skij Tomskij politekhneskij
universitet" (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINATION OF SHORT-CIRCUIT LOCATION AT OVERHEAD TRANSMISSION LINES AGAINST ARRAYS OF INSTANTANEOUS CURRENT AND VOLTAGE VALUES**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: arrays of instantaneous current and voltage values are measured for voltage and current signals of three phases at the beginning and end of the line for the same time moments. Signals are transmitted from the end of line to its beginning via communication channel. Pairs of digital readouts are stored as current ones. Signal of phase B is shifted per angle of 120 degrees while phase C is shifted per angle of 240 degrees. Thereafter arrays of instantaneous values are determined for symmetric components of voltage and current at the beginning and end of the line with their vector values $U_{A1.1}$, $I_{A1.1}$, $U_{A1.2}$, $I_{A1.2}$. Then distance to short circuit location l_1 is determined according to the following formula:

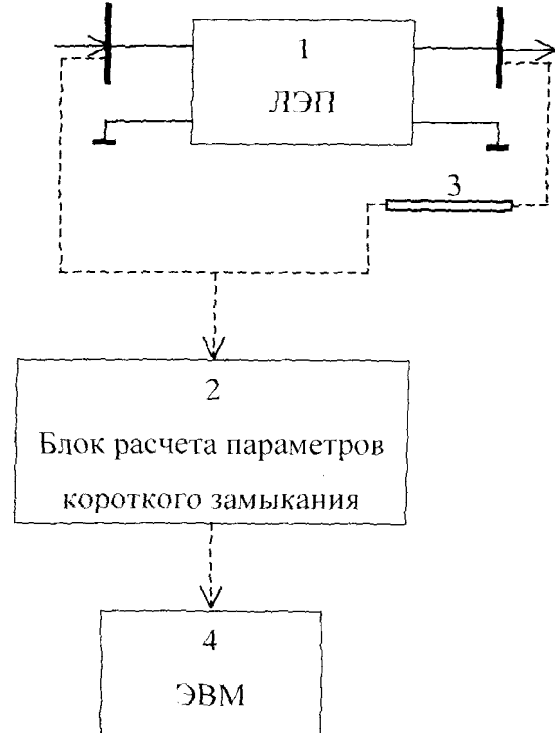
$$l_1 = \frac{1}{\gamma_0} \operatorname{arth} \left(\frac{U_{A1.1} - U_{A1.2} \operatorname{ch} \gamma_0 l - I_{A1.2} Z_B \operatorname{sh} \gamma_0 l}{I_{A1.1} Z_B - U_{A1.2} \operatorname{sh} \gamma_0 l - I_{A1.2} Z_B \operatorname{sh} \gamma_0 l} \right),$$

where $\gamma_0 = a_0 + j\beta_0$ is EM wave propagation factor, a_0 is EM wave attenuation factor, β_0 is EM wave phase-change coefficient, Z_i is iterative impedance of the line, l is line length.

EFFECT: increased accuracy of damage spot

detection.

7 tbl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2 504 792 C1

RU 2 504 792 C1

Изобретение относится к области электротехники, а именно средствам обработки информации в электротехнике, и может быть использовано для определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи (ЛЭП).

Известен способ одностороннего определения места короткого замыкания на воздушной ЛЭП по массивам мгновенных значений токов и напряжений [Гриб О.Г., Светелик Г.А., Калужный Д.Н. Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи - Харьков: ХГАГХ. 2003. - 146 с.], заключающийся в том, что решают уравнение петли короткого замыкания относительно расстояния до места повреждения, составленного по мгновенным значениям токов и напряжений аварийного режима. Для определения мгновенного значения междуфазного напряжения используют выражение:

$$u_{AB} = u_A - u_B = L \frac{di_{AB}}{dt} + lr i_{AB} + kR_{\Pi} i_{AB} = xv + lw,$$

где $i_{AB} = i_A - i_B$ - мгновенное значение тока со стороны ЛЭП, где производится измерение;

L и r - удельные индуктивность и активное сопротивление единицы длины системы «провод-провод» (прямой последовательности в расчете на два провода):

k - коэффициент, учитывающий падение напряжения на переходном сопротивлении оттока i'_{AB} с противоположного конца ЛЭП;

$$x = 1 + \frac{kR_{\Pi}}{r}; \quad v = r i_{AB}; \quad w = L \frac{di_{AB}}{dt}.$$

Измеряя ток i_{AB} и напряжение u_{AB} , вычисляя производную тока $\frac{di_{AB}}{dt}$ для двух

произвольных моментов времени t_1 и t_2 , получают u_{AB1} , u_{AB2} , v_1 , v_2 , w_1 , w_2 в двух уравнениях:

$$u_{AB1} = xv_1 + lw_1;$$

$$u_{AB2} = xv_2 + lw_2.$$

Решение уравнений относительно неизвестных x и l позволяет найти искомое расстояние до места повреждения:

$$l = \frac{u_{AB1}v_2 - u_{AB2}v_1}{w_1v_2 - w_2v_1} = \frac{u_{AB1}i'_{AB2} - u_{AB2}i'_{AB1}}{L \left[\left(\frac{di_{AB1}}{dt} \right) - \left(\frac{di_{AB2}}{dt} \right) \right]}.$$

При определении места повреждения с помощью указанного способа достаточным условием является фиксация мгновенного значения тока для момента перехода его через нуль, то есть при условии, что $i_{AB} = 0$, $v = 0$, тогда:

$$(u_{AB})_{i=0} = l(w)_{i=0},$$

$$l = \frac{(u_{AB})_{i=0}}{L \left(\frac{di_{AB}}{dt} \right)_{i=0}}.$$

Недостатком данного способа является частая возможность несовпадения тока i'_{AB} по фазе с током i_{AB} , вследствие чего коэффициент k и параметр x в два фиксированных момента времени будут иметь различные значения, что приведет к погрешности определения расстояния до места повреждения l .

Задачей изобретения является разработка способа, позволяющего более точно определять место короткого замыкания на воздушной линии электропередачи.

Поставленная задача решена за счет того, что способ определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи осуществляют по массивам мгновенных значений токов и напряжений.

Согласно изобретению в режиме короткого замыкания измеряют массивы мгновенных значений сигналов напряжений и токов трех фаз в начале $u_{A1}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{B1}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{C1}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{A1}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{B1}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{C1}(t_j)|_{j=1}^N$ и в конце $u_{A2}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{B2}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{C2}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{A2}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{B2}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{C2}(t_j)|_{j=1}^N$ линии для одних и тех же моментов времени $t_j=t_1, t_2, \dots, t_N$ с дискретностью массивов мгновенных значений

$$\Delta t = \frac{T}{N},$$

где T - период сигнала напряжения/тока,

N - число разбиений на периоде T .

Передают сигналы с конца линии в ее начало по каналу связи. Сохраняют пары цифровых отсчетов как текущие. Осуществляют сдвиг сигналов фазы В на угол 120 градусов и фазы С на угол 240 градусов. Далее одновременно определяют массивы мгновенных значений симметричных составляющих напряжений и токов в начале и конце линии и соответствующие им векторные значения $\underline{U}_{A1,1}$, $\underline{I}_{A1,1}$, $\underline{U}_{A1,2}$, $\underline{I}_{A1,2}$. Затем определяют расстояние до места короткого замыкания l_1 из выражения:

$$l_1 = \frac{1}{\gamma_0} \operatorname{arth} \left(\frac{\underline{U}_{A1,1} - \underline{U}_{A1,2} \operatorname{ch} \gamma_0 l - \underline{I}_{A1,2} \underline{Z}_B \operatorname{sh} \gamma_0 l}{\underline{I}_{A1,1} \underline{Z}_B - \underline{U}_{A1,2} \operatorname{sh} \gamma_0 l - \underline{I}_{A1,2} \underline{Z}_B \operatorname{sh} \gamma_0 l} \right),$$

где $\gamma_0 = \alpha_0 + j\beta_0$ - коэффициент распространения электромагнитной волны.

где α_0 - коэффициент затухания электромагнитной волны,

β_0 - коэффициент изменения фазы электромагнитной волны,

\underline{Z}_B - волновое сопротивление линии,

l - длина линии.

Предложенный способ позволяет более точно определять место короткого замыкания за счет учета распределенности параметров воздушной линии электропередачи и использования в качестве исходных данных массивов мгновенных значений токов и напряжений, измеренных на обоих концах линии, что исключает влияние переходного сопротивления в месте короткого замыкания на точность определения места повреждения.

На фиг.1 представлена структурная схема реализации способа определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи.

На фиг.2 показана аппаратная схема блока устройства, реализующего рассматриваемый способ определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи.

В таблице 1 приведены цифровые отсчеты мгновенных значений сигналов напряжений и токов всех трех фаз в начале линии $u_{A1}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{B1}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{C1}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{A1}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{B1}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{C1}(t_j)|_{j=1}^N$.

В таблице 2 приведены цифровые отсчеты мгновенных значений сигналов напряжений и токов всех трех фаз в конце линии $u_{A2}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{B2}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{C2}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{A2}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{B2}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{C2}(t_j)|_{j=1}^N$.

В таблицах 2, 4, 5, 6 приведены промежуточные результаты расчета места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи.

В таблице 7 представлены реальное и определенное предложенным способом значения расстояния до места короткого замыкания, а также погрешность определения места короткого замыкания.

Способ может быть осуществлен с помощью устройства для определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи, представленного на фиг.1. В начале и в конце линии электропередачи 1 (ЛЭП) установлены регистраторы аварийных процессов (на фиг.1 не показаны). Регистраторы аварийных процессов через каналы связи связаны с системой сбора и обработки информации, которая обычно расположена в начале линии электропередачи 1 (ЛЭП). Устройство для определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи содержит блок расчета параметров короткого замыкания 2, вход которого связан с началом линии электропередачи 1 (ЛЭП) и через канал связи 3 с ее концом. Выход блока расчета параметров короткого замыкания 2 подключен к 4 ЭВМ.

Блок расчета параметров короткого замыкания 2 (фиг.2) состоит из двенадцати устройств выборки и хранения 5 (УВХ 1), 6 (УВХ 2), 7 (УВХ 3), 8 (УВХ 4), 9 (УВХ 5), 10 (УВХ 6), 11 (УВХ 7), 12 (УВХ 8), 13 (УВХ 9), 14 (УВХ 10), 15 (УВХ 11), 16 (УВХ 12), входы которых подключены к регистраторам аварийных процессов. К выходу первого устройства выборки-хранения 4 (УВХ 1) последовательно подключены первый 17 (П 1), второй 18 (П 2) и третий 19 (П 3) программаторы. К выходам второго 6 (УВХ 2) и третьего 7 (УВХ 3) устройств выборки-хранения подключены соответственно четвертый 20 (П 4) и пятый 21 (П 5) программаторы, выходы которых подключены к первому программатору 17 (П 1).

К выходу четвертого устройства выборки-хранения 8 (УВХ 4) последовательно подключены шестой 22 (П 6), седьмой 23 (П 7) и третий 19 (П 3) программаторы. К выходам пятого 9 (УВХ 5) и шестого 10 (УВХ 6) устройств выборки-хранения подключены соответственно восьмой 24 (П 8) и девятый 25 (П 9) программаторы, выходы которых подключены к шестому программатору 22 (П 6).

К выходу седьмого устройства выборки-хранения 11 (УВХ 7) последовательно подключены десятый 26 (П 10), одиннадцатый 27 (П 11) и третий 19 (П 3) программаторы. К выходам восьмого 12 (УВХ 8) и девятого 13 (УВХ 9) устройств выборки-хранения подключены соответственно двенадцатый 28 (П 12) и тринадцатый 29 (П 13) программаторы, выходы которых подключены к десятому программатору 26 (П 10).

К выходу десятого устройства выборки-хранения 14 (УВХ 10) последовательно подключены четырнадцатый 30 (П 14), пятнадцатый 31 (П 15) и третий 19 (П 3) программаторы. К выходам одиннадцатого 15 (УВХ 11) и двенадцатого 16 (УВХ 12) устройств выборки-хранения подключены соответственно шестнадцатый 32 (П 16) и семнадцатый 33 (П 17) программаторы, выходы которых подключены к четырнадцатому программатору 30 (П 14).

Выход третьего программатора 19(П 3) подключен к 4 ЭВМ (фиг.1).

Все устройства выборки-хранения хранения 5 (УВХ 1), 6 (УВХ 2), 7 (УВХ 3), 8 (УВХ 4), 9 (УВХ 5), 10 (УВХ 6), 11 (УВХ 7), 12 (УВХ 8), 13 (УВХ 9), 14 (УВХ 10), 15 (УВХ 11) и 16 (УВХ 12) могут быть реализованы на микросхемах 1100СК2. Все программаторы 17 (П 1), 18 (П 2), 19 (П 3), 20 (П 4), 21 (П 5), 22 (П 6), 23 (П 7), 24 (П 8), 25 (П 9), 26 (П 10), 27(П 11), 28(П 12), 29(П 13), 30 (П 14), 31 (П 15) могут быть выполнены на микроконтроллере серии 51 производителя atmel AT89S53. Для работы

пользователя может быть предусмотрена кнопочная клавиатура FT008, имеющая 8 кнопок, предназначенных для включения питания, запуска измерения, сохранения полученных значений, и сегментный индикатор SCD55100 для вывода рассчитанного места короткого замыкания воздушной линии электропередачи.

5 В качестве примера способа определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи рассматривается однофазное короткое замыкание на расстоянии $l_1=200$ км воздушной ЛЭП, напряжением 500 кВ протяженностью 600 км, выполненная проводом АС - 500/64.

10 Посредством регистраторов аварийных процессов измеряют в режиме короткого замыкания мгновенные значения сигналов напряжений и токов всех трех фаз в начале $u_{A1}(t_j)|_{j=1}^N, u_{B1}(t_j)|_{j=1}^N, u_{C1}(t_j)|_{j=1}^N, i_{A1}(t_j)|_{j=1}^N, i_{B1}(t_j)|_{j=1}^N, i_{C1}(t_j)|_{j=1}^N$ (табл.1) и в конце $u_{A2}(t_j)|_{j=1}^N, u_{B2}(t_j)|_{j=1}^N, u_{C2}(t_j)|_{j=1}^N, i_{A2}(t_j)|_{j=1}^N, i_{B2}(t_j)|_{j=1}^N, i_{C2}(t_j)|_{j=1}^N$ (табл.2) линии
15 для одних и тех же моментов времени $t_j=t_1, t_2, \dots, t_N$ с дискретностью массивов мгновенных значений

$$\Delta t = \frac{T}{N} = 0,317 \text{ мс},$$

20 где T - период сигнала напряжения/тока,
 N - число разбиений на периоде T .

Сигналы с конца линии $u_{A2}(t_j)|_{j=1}^N, u_{B2}(t_j)|_{j=1}^N, u_{C2}(t_j)|_{j=1}^N, i_{A2}(t_j)|_{j=1}^N, i_{B2}(t_j)|_{j=1}^N, i_{C2}(t_j)|_{j=1}^N$ передают в ее начало по каналу связи. Далее сигналы $u_{A1}(t_j)|_{j=1}^N, u_{B1}(t_j)|_{j=1}^N, u_{C1}(t_j)|_{j=1}^N, i_{A1}(t_j)|_{j=1}^N, i_{B1}(t_j)|_{j=1}^N, i_{C1}(t_j)|_{j=1}^N, u_{A2}(t_j)|_{j=1}^N, u_{B2}(t_j)|_{j=1}^N, u_{C2}(t_j)|_{j=1}^N, i_{A2}(t_j)|_{j=1}^N, i_{B2}(t_j)|_{j=1}^N, i_{C2}(t_j)|_{j=1}^N$ поступают соответственно на входы
25 первого 5 (УВХ 1), второго 6 (УВХ 2), третьего 7 (УВХ 3), четвертого 8 (УВХ 4), пятого 9 (УВХ 5), шестого 10 (УВХ 6), седьмого 11 (УВХ 7), восьмого 12 (УВХ 8), девятого 13 (УВХ 9), десятого 14 (УВХ 10), одиннадцатого 15 (УВХ 11) и двенадцатого 16 (УВХ 12) устройств выборки и хранения блока расчета параметров короткого замыкания 2 (фиг.2), где их записывают и хранят как текущие.

35 Затем одновременно с выходов второго 6 (УВХ 2), пятого 9 (УВХ 5), восьмого 12 (УВХ 8) и одиннадцатого 15 (УВХ 11) устройств выборки-хранения сигналы $u_{B1}(t_j), u_{B2}(t_j)$ и $i_{B2}(t_j)$ поступают, соответственно, на входы четвертого 20 (П 4), восьмого 24 (П 8), двенадцатого 28 (П 12) и шестнадцатого 32 (П 16) программаторов,
40 где осуществляют их сдвиг на угол 120 градусов, и на выходах формируются, соответственно, сигналы: $au_{B1}(t_j), ai_{B1}(t_j), au_{B2}(t_j), ai_{B2}(t_j)$ (табл.3).

Далее одновременно с выходов третьего 7 (УВХ 3), шестого 10 (УВХ 6), девятого 13 (УВХ 9) и двенадцатого 16 (УВХ 12) устройств выборки-хранения сигналы $u_{C1}(t_j), i_{C1}(t_j), u_{C2}(t_j)$ и $i_{C2}(t_j)$ поступают, соответственно, на входы пятого 21 (П 5), девятого 25 (П 9), тринадцатого 29 (П 13) и семнадцатого 33 (П 17) программаторов, где
45 осуществляют их сдвиг на угол 240 градусов, и на выходах формируются, соответственно сигналы: $a^2u_{C1}(t_j), a^2i_{C1}(t_j), a^2u_{C2}(t_j), a^2i_{C2}(t_j)$ (табл.4).

Затем одновременно с выходов первого устройства выборки-хранения 5 (УВХ 1), четвертого 20 (П 4) и пятого 21 (П 5) программаторов сигналы $u_{A1}(t_j), au_{B1}(t_j), a^2u_{C1}(t_j)$, соответственно, поступают в первый программатор 17 (П 1), на выходе которого формируется массив мгновенных значений напряжения фазы А прямой последовательности в начале линии $u_{A11}(t_j)$ (третий столбец таблицы 5):

$$u_{A11}(t_j) = \frac{1}{3} (u_{A1}(t_j) + au_{B1}(t_j) + a^2 u_{C1}(t_j))$$

Одновременно с выходов четвертого устройства выборки-хранения 8 (УВХ 4), восьмого 24 (П 8) и девятого 25 (П 9) программаторов сигналы $i_{A1}(t_j)$, $ai_{B1}(t_j)$, $a^2 i_{C1}(t_j)$, соответственно, поступают в шестой программатор 22 (П 6), на выходе которого формируется массив мгновенных значений тока фазы А прямой последовательности в начале линии $i_{A11}(t_j)$ (четвертый столбец таблицы 5):

$$i_{A11}(t_j) = \frac{1}{3} (i_{A1}(t_j) + ai_{B1}(t_j) + a^2 i_{C1}(t_j))$$

Одновременно с выходов седьмого устройства выборки-хранения 11 (УВХ 7), двенадцатого 28 (П 12) и тринадцатого 29 (П 13) программаторов сигналы $u_{A2}(t_j)$, $au_{B2}(t_j)$, $a^2 u_{C2}(t_j)$, соответственно, поступают в десятый программатор 26(11 10), на выходе которого формируется массив мгновенных значений напряжения фазы А прямой последовательности в конце линии $u_{A12}(t_j)$ (пятый столбец таблицы 5):

$$u_{A12}(t_j) = \frac{1}{3} (u_{A2}(t_j) + au_{B2}(t_j) + a^2 u_{C2}(t_j))$$

Одновременно с выходов десятого устройства выборки-хранения 14 (УВХ 10), шестнадцатого 32 (П 17) и семнадцатого 33 (П 17) программаторов сигналы $i_{A2}(t_j)$, $ai_{B2}(t_j)$, $a^2 i_{C2}(t_j)$, соответственно, поступают в четырнадцатый программатор 31 (П 14), на выходе которого формируется массив мгновенных значений тока фазы А прямой последовательности в конце линии $i_{A12}(t_j)$ (шестой столбец таблицы 5):

$$i_{A12}(t_j) = \frac{1}{3} (i_{A2}(t_j) + ai_{B2}(t_j) + a^2 i_{C2}(t_j))$$

Далее одновременно с выходов первого 17 (П 1), шестого 22 (П 6), десятого 26 (П 10) и четырнадцатого 30 (П 14) программаторов сигналы $u_{A11}(t_j)$, $i_{A11}(t_j)$, $u_{A12}(t_j)$ и $i_{A12}(t_j)$, соответственно, поступают во второй 18 (П 2), седьмой 23 (П 7), одиннадцатый 27 (П 11) и пятнадцатый 31 (П 15) программаторы, на выходе которых по формулам [Функциональный контроль и диагностика электротехнических и электромеханических систем и устройств на цифровым отсчетам мгновенных значений тока и напряжения / В.С. Аврамчук, Н.Л. Бацева, Е.И. Гольдштейн, И.Н. Исаченко, Д.В. Ли, А.О. Сулайманов, И.В. Цапко // Под ред. Е.И. Гольдштейна. Томск: Печатная мануфактура. 2003. - 240 с.] формируют соответствующие им векторные значения \underline{U}_{A11} , \underline{I}_{A11} , \underline{U}_{A12} и \underline{I}_{A12} , (табл.6):

$$\underline{U}_{A11} = U_{A11} e^{j\varphi_{U_{A11}}}, U_{A11} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_{A11}^2(t_j)}, \varphi_{U_{A11}} = \arccos \left(\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (u_{A11}(t_j) \cdot f(t_j))}{U_{A11} \cdot F} \right);$$

$$\underline{I}_{A11} = I_{A11} e^{j\varphi_{I_{A11}}}, I_{A11} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N i_{A11}^2(t_j)}, \varphi_{I_{A11}} = \arccos \left(\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (i_{A11}(t_j) \cdot f(t_j))}{I_{A11} \cdot F} \right);$$

$$5 \quad \underline{U}_{A12} = U_{A12} e^{j\varphi_{U_{A12}}}, U_{A12} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_{A12}^2(t_j)}, \varphi_{U_{A12}} = \arccos \left(\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (u_{A12}(t_j) \cdot f(t_j))}{U_{A12} \cdot F} \right);$$

$$10 \quad \underline{I}_{A12} = I_{A12} e^{j\varphi_{I_{A12}}}, I_{A12} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N i_{A12}^2(t_j)}, \varphi_{I_{A12}} = \arccos \left(\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (i_{A12}(t_j) \cdot f(t_j))}{I_{A12} \cdot F} \right);$$

где $f(t_j) = 1 \cdot \sin(\omega t_j)$ - массив, совмещенный с осью отсчета,

$$15 \quad F = \frac{\sqrt{2}}{2} - \text{действующее значение массива.}$$

Затем с выходов второго 18 (П 2), седьмого 23 (П 7), одиннадцатого 27 (П 11) и пятнадцатого 31 (П 15) программаторов сигналы \underline{U}_{A11} , \underline{I}_{A11} , \underline{U}_{A12} и \underline{I}_{A12} соответственно, поступают на вход третьего программатора 19 (П 3), с помощью которого определяют расстояние до места короткого замыкания на воздушной линии П1 (табл.7):

$$25 \quad l_1 = \frac{1}{\gamma_0} \operatorname{arth} \left(\frac{\underline{U}_{A1,1} - \underline{U}_{A1,2} \operatorname{ch} \gamma_0 l - \underline{I}_{A1,2} \underline{Z}_B \operatorname{sh} \gamma_0 l}{\underline{I}_{A1,1} \underline{Z}_B - \underline{U}_{A1,2} \operatorname{sh} \gamma_0 l - \underline{I}_{A1,2} \underline{Z}_B \operatorname{sh} \gamma_0 l} \right),$$

$l_1 = 200$ км.

По результатам расчетов таблицы 7 видно, что расчетное расстояние до места короткого замыкания совпадает с реальным значением. Относительную погрешность ε вычисляли по формуле [Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник для инженеров и учащихся ВТУЗов. - М.: Наука. 1980. - 976 с.]:

$$30 \quad \varepsilon = \left| \frac{a - z}{z} \right| \cdot 100\%$$

где a - расчетное значение расстояния до места короткого замыкания (является приближенным значением числа),

z - реальное значение (табл.7).

$$40 \quad \frac{|200 - 200|}{200} \cdot 100\% = 0\%$$

							Таблица 1	
j	t _j , с	u _{A1} (t _j), кВ	u _{B1} (t _j), кВ	u _{C1} (t _j), кВ	i _{A1} (t _j), кА	i _{B1} (t _j), кА	i _{C1} (t _j), кА	
1	2	3	4	5	6	4	5	
0	0	189,444	-308,516	-282,558	-0,319	0,816	-0,360	
1	0,000317	192,296	-255,313	-328,114	-0,152	0,795	-0,327	
2	0,000635	193,237	-199,573	-370,408	0,017	0,766	-0,291	
3	0,000952	192,257	-141,849	-409,021	0,185	0,730	-0,252	
4	0,00127	189,367	-82,716	-443,570	0,352	0,686	-0,210	
5	0,001587	184,594	-22,760	-473,710	0,515	0,636	-0,166	
6	0,001905	177,988	37,421	-499,142	0,673	0,579	-0,121	
7	0,002222	169,612	97,231	-519,613	0,824	0,517	-0,074	
8	0,00254	159,550	156,074	-534,920	0,968	0,449	-0,027	
9	0,002857	147,903	213,367	-544,911	1,101	0,377	0,021	
10	0,003175	134,786	268,539	-549,486	1,224	0,301	0,068	

RU 2 504 792 C1

11	0,003492	120,329	321,041	-548,600	1,334	0,222	0,115
12	0,00381	104,677	370,354	-542,262	1,431	0,141	0,161
13	0,004127	87,984	415,985	-530,535	1,514	0,059	0,205
14	0,004444	70,417	457,483	-513,535	1,582	-0,024	0,247
15	0,004762	52,149	494,433	-491,431	1,634	-0,107	0,286
16	0,005079	33,364	526,470	-464,443	1,670	-0,189	0,323
17	0,005397	14,247	553,274	-432,840	1,689	-0,268	0,356
18	0,005714	-5,012	574,580	-396,934	1,692	-0,346	0,386
19	0,006032	-24,220	590,175	-357,084	1,677	-0,419	0,413
20	0,006349	-43,188	599,905	-313,685	1,647	-0,489	0,435
21	0,006667	-61,727	603,673	-267,168	1,599	-0,554	0,452
22	0,006984	-79,653	601,441	-217,996	1,536	-0,613	0,465
23	0,007302	-96,786	593,232	-166,658	1,458	-0,666	0,474
24	0,007619	-112,958	579,127	-113,663	1,365	-0,712	0,478
25	0,007937	-128,008	559,266	-59,539	1,258	-0,752	0,477
26	0,008254	-141,785	533,847	-4,823	1,139	-0,784	0,471
27	0,008571	-154,152	503,123	49,942	1,009	-0,808	0,461
28	0,008889	-164,988	467,398	104,209	0,868	-0,824	0,446
29	0,009206	-174,184	427,028	157,441	0,719	-0,832	0,427
30	0,009524	-181,649	382,414	209,109	0,563	-0,832	0,403
31	0,009841	-187,309	333,999	258,698	0,401	-0,823	0,376
32	0,010159	-191,107	282,265	305,716	0,236	-0,806	0,344
33	0,010476	-193,006	227,726	349,696	0,068	-0,782	0,309
34	0,010794	-192,987	170,924	390,200	-0,101	-0,749	0,272
35	0,011111	-191,049	112,422	426,826	-0,269	-0,709	0,231
36	0,01429	-187,213	52,804	459,210	-0,434	-0,662	0,188
37	0,01746	-181,517	-7,340	487,031	-0,595	-0,608	0,144
38	0,02063	-174,016	-67,410	510,011	-0,750	-0,549	0,098
39	0,02381	-164,786	-126,810	527,923	-0,897	-0,484	0,050
40	0,012698	-153,918	-184,951	540,587	-1,036	-0,414	0,003

30

Продолжение таблицы 1							
j	t_j, c	$u_{A1}(t_j), кВ$	$u_{B1}(t_j), кВ$	$u_{C1}(t_j), кВ$	$i_{A1}(t_j), кА$	$i_{B1}(t_j), кА$	$i_{C1}(t_j), кА$
1	2	3	4	5	6	4	5
41	0,013016	-141,520	-241,253	547,879	-1,164	-0,340	-0,045
42	0,013333	-127,716	-295,157	549,726	-1,280	-0,262	-0,092
43	0,013651	-112,643	-346,128	546,110	-1,384	-0,182	-0,138
44	0,013468	-96,450	-393,659	537,066	-1,474	-0,100	-0,183
45	0,014286	-79,299	-437,277	522,685	-1,550	-0,017	-0,226
46	0,014603	-61,359	-476,550	503,108	-1,610	0,066	-0,267
47	0,014921	-42,810	-511,087	478,532	-1,654	0,148	-0,305
48	0,015238	-23,835	-540,544	449,200	-1,682	0,229	-0,340
49	0,015556	-4,623	-564,629	415,403	-1,693	0,307	-0,372
50	0,015873	14,634	-583,102	377,478	-1,687	0,383	-0,400
51	0,01619	33,746	-595,781	335,802	-1,664	0,455	-0,424
52	0,016508	52,523	-602,538	290,788	-1,625	0,522	-0,444
53	0,016825	70,778	-603,307	242,884	-1,570	0,584	-0,459
54	0,017143	88,329	-598,080	192,566	-1,499	0,640	-0,470
55	0,01746	105,003	-586,909	140,335	-1,413	0,690	-0,476
56	0,017778	120,633	-569,905	86,709	-1,313	0,733	-0,478
57	0,018095	135,064	-547,237	32,221	-1,200	0,769	-0,475
58	0,018413	148,153	-519,130	-22,588	-1,075	0,797	-0,467
59	0,01873	159,769	-485,864	-77,171	-0,940	0,817	-0,454
60	0,019048	169,797	-447,770	-130,988	-0,795	0,829	-0,437
61	0,019365	178,138	-405,225	-183,503	-0,642	0,833	-0,415
62	0,019683	184,709	-358,653	-234,194	-0,483	0,828	-0,390

63	0,02	189,444	-308,516	-282,558	-0,319	0,816	-0,360
----	------	---------	----------	----------	--------	-------	--------

Таблица 2

j	t _j , с	u _{A2} (t _j), кВ	u _{B2} (t _j), кВ	u _{C2} (t _j), кВ	i _{A2} (t _j), кА	i _{B2} (t _j), кА	i _{C2} (t _j), кА
1	2	3	4	5	6	4	5
0	0	-151,270	-449,584	-402,098	0,488	-1,143	0,733
1	0,000317	-145,956	-403,365	-445,357	0,582	-1,125	0,697
2	0,000635	-139,192	-353,137	-484,190	0,670	-1,095	0,653
3	0,000952	-131,044	-299,400	-518,211	0,751	-1,055	0,604
4	0,00127	-121,594	-242,687	-547,081	0,826	-1,004	0,548
5	0,001587	-110,936	-183,562	-570,515	0,892	-0,944	0,487
6	0,001905	-99,175	-122,612	-588,278	0,949	-0,874	0,421
7	0,002222	-86,428	-60,444	-600,195	0,996	-0,795	0,350
8	0,00254	-79,823	2,324	-606,147	1,034	-0,708	0,277
9	0,002857	-58,493	65,070	-606,075	1,062	-0,615	0,200
10	0,003175	-43,583	127,169	-599,979	1,078	-0,515	0,122
11	0,003492	-28,239	188,004	-587,921	1,085	-0,410	0,042
12	0,00381	-12,614	246,970	-570,019	1,080	-0,301	-0,038
13	0,004127	3,136	303,482	-546,452	1,065	-0,189	-0,118
14	0,004444	18,854	356,978	-517,455	1,039	-0,075	-0,196
15	0,004762	34,386	406,926	-483,315	1,003	0,040	-0,273
16	0,005079	49,575	452,830	-444,371	0,957	0,154	-0,347
17	0,005397	64,272	494,234	-401,011	0,901	0,267	-0,417
18	0,005714	78,330	530,725	-353,665	0,836	0,377	-0,483
19	0,006032	91,610	561,942	-302,805	0,763	0,483	-0,545
20	0,006349	103,979	587,574	-248,935	0,683	0,584	-0,601
21	0,006667	115,315	607,367	-192,592	0,595	0,680	-0,651
22	0,006984	125,504	621,123	-134,334	0,502	0,769	-0,695
23	0,007302	134,447	628,706	-74,741	0,404	0,850	-0,731
24	0,007619	142,053	630,041	-14,405	0,302	0,923	-0,761
25	0,007937	148,247	625,115	46,074	0,196	0,987	-0,783
26	0,008254	152,969	613,975	106,095	0,089	1,041	-0,797
27	0,008571	156,169	596,734	165,061	-0,019	1,084	-0,803
28	0,008889	157,818	573,562	222,388	-0,127	1,117	-0,801
29	0,009206	157,898	544,689	277,503	-0,233	1,138	-0,791
30	0,009524	156,409	510,404	329,861	-0,338	1,149	-0,774
31	0,009841	153,366	471,045	378,941	-0,439	1,148	-0,749
32	0,010159	148,798	427,006	424,255	-0,535	1,135	-0,716
33	0,010476	142,752	378,722	465,352	-0,626	1,111	-0,676
34	0,010794	135,286	326,675	501,824	-0,712	1,077	-0,629
35	0,011111	126,477	271,381	533,309	-0,790	1,031	-0,577
36	0,011429	116,410	213,390	559,494	-0,860	0,975	-0,518
37	0,011746	105,186	153,278	580,118	-0,921	0,910	-0,454
38	0,012063	92,917	91,642	594,976	-0,974	0,835	-0,386
39	0,012381	79,725	29,096	603,922	-1,016	0,753	-0,314
40	0,012698	65,740	-33,739	606,865	-1,049	0,662	-0,239

Продолжение таблицы 2

j	t _j , с	u _{A2} (t _j), кВ	u _{B2} (t _j), кВ	u _{C2} (t _j), кВ	i _{A2} (t _j), кА	i _{B2} (t _j), кА	i _{C2} (t _j), кА
1	2	3	4	5	6	4	5
41	0,013016	51,102	-96,239	603,778	-1,071	0,565	-0,161
42	0,013333	35,955	-157,782	594,689	-1,083	0,463	-0,082
43	0,013651	20,452	-217,758	579,691	-1,084	0,356	-0,002
44	0,013968	4,745	-275,569	558,931	-1,074	0,245	0,078
45	0,014286	-11,009	-330,641	532,616	-1,053	0,132	0,157

46	0,014603	-26,653	-382,428	501,008	-1,022	0,018	0,235
47	0,014921	-42,033	-430,413	464,420	-0,981	-0,097	0,310
48	0,015238	-56,994	-474,121	423,217	-0,930	-0,210	0,382
49	0,015556	-71,390	-513,117	377,808	-0,870	-0,322	0,451
50	0,015873	-85,076	-547,014	328,644	-0,801	-0,430	0,515
51	0,01619	-97,916	-575,474	276,214	-0,724	-0,534	0,574
52	0,016508	-109,783	-598,214	221,038	-0,640	-0,633	0,627
53	0,016825	-120,559	-615,010	163,666	-0,549	-0,725	0,674
54	0,017143	-130,137	-625,693	104,667	-0,454	-0,811	0,714
55	0,01746	-138,422	-630,157	44,628	-0,353	-0,888	0,747
56	0,017778	-145,331	-628,359	-15,854	-0,249	-0,956	0,773
57	0,018095	-150,795	-620,316	-76,179	-0,143	-1,015	0,791
58	0,018413	-154,761	-606,108	-135,747	-0,035	-1,064	0,801
59	0,01873	-157,189	-585,876	-193,966	0,073	-1,102	0,803
60	0,019048	-158,055	-559,822	-250,257	0,180	-1,129	0,797
61	0,019365	-157,349	-528,203	-304,060	0,286	-1,145	0,784
62	0,019683	-155,080	-491,335	-354,842	0,389	-1,150	0,762
63	0,02	-151,270	-449,584	-402,098	0,488	-1,143	0,733

Таблица 3

j	t _j , с	a _{В1} (t _j), кА	a _{В1} (t _j), кА	a _{В2} (t _j), кВ	a _{В2} (t _j), кА
1	2	3	4	5	6
0	0	603,673	-0,554	607,367	0,680
1	0,000317	601,441	-0,613	621,123	0,769
2	0,000635	593,232	-0,666	628,706	0,850
3	0,000952	579,127	-0,712	630,041	0,923
4	0,00127	559,266	-0,752	625,115	0,987
5	0,001587	533,847	-0,784	613,975	1,041
6	0,001905	503,123	-0,808	596,734	1,084
7	0,002222	467,398	-0,824	573,562	1,117
8	0,00254	427,028	-0,832	544,689	1,138
9	0,002857	382,414	-0,832	510,404	1,149
10	0,003175	333,999	-0,823	471,045	1,148
11	0,003492	282,265	-0,806	427,006	1,135
12	0,00381	227,726	-0,782	378,722	1,111
13	0,004127	170,924	-0,749	326,675	1,077
14	0,004444	112,422	-0,709	271,381	1,031
15	0,004762	52,804	-0,662	213,390	0,975
16	0,005079	-7,340	-0,608	153,278	0,910
17	0,005397	-67,410	-0,549	91,642	0,835
18	0,005714	-126,810	-0,484	29,096	0,753
19	0,006032	-184,951	-0,414	-33,739	0,662
20	0,006349	-241,253	-0,340	-96,239	0,565
21	0,006667	-295,157	-0,262	-157,782	0,463
22	0,006984	-346,128	-0,182	-217,758	0,356
23	0,007302	-393,659	-0,100	-275,569	0,245
24	0,007619	-437,277	-0,017	-330,641	0,132
25	0,007937	-476,550	0,066	-382,428	0,018 !
26	0,008254	-511,087	0,148	-430,413	-0,097
27	0,008571	-540,544	0,229	-474,121	-0,210
28	0,008889	-564,629	0,307	-513,117	-0,322
29	0,009206	-583,102	0,383	-547,014	-0,430
30	0,009524	-595,781	0,455	-575,474	-0,534
31	0,009841	-602,538	0,522	-598,214	-0,633
32	0,010159	-603,307	0,584	-615,010	-0,725
33	0,010476	-598,080	0,640	-625,693	-0,811

34	0,00794	-586,909	0,690	-630,157	-0,888
35	0,01111	-569,905	0,733	-628,359	-0,956
36	0,01429	-547,237	0,769	-620,316	-1,015
37	0,01746	-519,130	0,797	-606,108	-1,064
38	0,02063	-485,864	0,817	-585,876	-1,102
39	0,02381	-447,770	0,829	-559,822	-1,129
40	0,02698	-405,225	0,833	-528,203	-1,145

5

Продолжение таблицы 3

j	t _j , с	a _{В1} (t _j), кВ	a _{В1} (t _j), кА	a _{В2} (t _j), кВ	a _{В2} (t _j), кА
1	2	3	4	5	6
41	0,013016	-358,653	0,828	-491,335	-1,150
42	0,013333	-308,516	0,816	-449,584	-1,143
43	0,013651	-255,313	0,795	-403,365	-1,125
44	0,013968	-199,573	0,766	-353,137	-1,095
45	0,014286	-141,849	0,730	-299,400	-1,055
46	0,014603	-82,716	0,686	-242,687	-1,004
47	0,014921	-22,760	0,636	-183,562	-0,944
48	0,015238	37,421	0,579	-122,612	-0,874
49	0,015556	97,231	0,517	-60,444	-0,795
50	0,015873	156,074	0,449	2,324	-0,708
51	0,01619	213,367	0,377	65,070	-0,615
52	0,016508	268,539	0,301	127,169	-0,515
53	0,016825	321,041	0,222	188,004	-0,410
54	0,017143	370,354	0,141	246,970	-0,301
55	0,01746	415,985	0,059	303,482	-0,189
56	0,017778	457,483	-0,024	356,978	-0,075
57	0,018095	494,433	-0,107	406,926	0,040
58	0,018413	526,470	-0,189	452,830	0,154
59	0,01873	553,274	-0,268	494,234	0,267
60	0,019048	574,580	-0,346	530,725	0,377
61	0,019365	590,175	-0,419	561,942	0,483
62	0,019683	599,905	-0,489	587,574	0,584
63	0,02	603,673	-0,554	607,367	0,680

10

15

20

25

30

35

Таблица 4

j	t _j , с	a ² u _{C1} (t _j), кВ	a ² i _{C1} (t _j), кА	a ² u _{C2} (t _j), кВ	a ² i _{C2} (t _j), кА
1	2	3	4	5	6
0	0	549,726	-0,092	594,689	-0,082
1	0,000317	546,110	-0,138	579,691	-0,002
2	0,000635	537,066	-0,183	558,931	0,078
3	0,000952	522,685	-0,226	532,616	0,157
4	0,00127	503,108	-0,267	501,008	0,235
5	0,001587	478,532	-0,305	464,420	0,310
6	0,001905	449,200	-0,340	423,217	0,382
7	0,002222	415,403	-0,372	377,808	0,451
8	0,00254	377,478	-0,400	328,644	0,515
9	0,002857	335,802	-0,424	276,214	0,574
10	0,003175	290,788	-0,444	221,038	0,627
11	0,003492	242,884	-0,459	163,666	0,674
12	0,00381	192,566	-0,470	104,667	0,714
13	0,004127	140,335	-0,476	44,628	0,747
14	0,004444	86,709	-0,478	-15,854	0,773
15	0,004762	32,221	-0,475	-76,179	0,91
16	0,005079	22,588	-0,467	-135,747	0,801

40

45

50

17	0,005397	-77,171	-0,454	-193,966	0,803	
18	0,005714	-130,988	-0,437	-250,257	0,797	
19	0,006032	-183,503	-0,415	-304,060	0,784	
20	0,006349	-234,194	-0,390	-354,842	0,762	
5	21	0,006667	-282,558	-0,360	-402,098	0,733
22	0,006984	-328,114	-0,327	-445,357	0,697	
23	0,007302	-370,408	-0,291	-484,190	0,653	
24	0,007619	-409,021	-0,252	-518,211	0,604	
25	0,007937	-443,570	-0,210	-547,081	0,548	
10	26	0,008254	-473,710	-0,166	-570,515	0,487
27	0,008571	-499,142	-0,121	-588,278	0,421	
28	0,008889	-519,613	-0,074	-600,195	0,350	
29	0,009206	-534,920	-0,027	-606,147	0,277	
30	0,009524	-544,911	0,021	-606,075	0,200	
31	0,009841	-549,486	0,068	-599,979	0,122	
15	32	0,010159	-548,600	0,115	-587,921	0,042
33	0,010476	-542,262	0,161	-570,019	-0,038	
34	0,00794	-530,535	0,205	-546,452	-0,118	
35	0,011111	-513,535	0,247	-517,455	-0,196	
36	0,01429	-491,431	0,286	-483,315	-0,273	
20	37	0,011746	-464,443	0,323	-444,371	-0,347
38	0,02063	-432,840	0,356	-401,011	-0,417	
39	0,02381	-396,934	0,386	-353,665	-0,483	
40	0,012698	-357,084	0,413	-302,805	-0,545	

25

Продолжение таблицы 4

j	t_j, c	$a^2 i_{C1}(t_j), кВ$	$a^2 i_{C1}(t_j), кА$	$a^2 u_{C2}(t_j), кВ$	$a^2 i_{C2}(t_j), кА$	
1	2	3	4	5	6	
41	0,013016	-313,685	0,435	-248,935	-0,601	
42	0,013333	-267,168	0,452	-192,592	-0,651	
30	43	0,013651	-217,996	0,465	-134,334	-0,695
44	0,013968	-166,658	0,474	-74,741	-0,731	
45	0,014286	-113,663	0,478	-14,405	-0,761	
46	0,014603	-59,539	0,477	46,074	-0,783	
47	0,014921	-4,823	0,471	106,095	-0,797	
35	48	0,015238	49,942	0,461	165,061	-0,803
49	0,015556	104,209	0,446	222,388	-0,801	
50	0,015873	157,441	0,427	277,503	-0,791	
51	0,01619	209,109	0,403	329,861	-0,774	
52	0,016508	258,698	0,376	378,941	-0,749	
53	0,016825	305,716	0,344	424,255	-0,716	
40	54	0,017143	349,696	0,309	465,352	-0,676
55	0,01746	390,200	0,272	501,824	-0,629	
56	0,017778	426,826	0,231	533,309	-0,577	
57	0,018095	459,210	0,188	559,494	-0,518	
58	0,018413	487,031	0,144	580,118	-0,454	
45	59	0,01873	510,011	0,098	594,976	-0,386
60	0,019048	527,923	0,050	603,922	-0,314	
61	0,019365	540,587	0,003	606,865	-0,239	
62	0,019683	547,879	-0,045	603,778	-0,161	
63	0,02	549,726	-0,092	594,689	-0,082	

50

Таблица 5

j	t_j, c	$u_{A11}(t_j), кВ$	$i_{A11}(t_j), кА$	$u_{A12}(t_j), кВ$	$i_{A12}(t_j), кА$
1	2	3	4	5	6

RU 2 504 792 C1

	0	0	447,614	-0,321	350,262	0,7362
	1	0,0000317	446,616	-0,301	351,619	0,449
	2	0,000635	441,178	-0,277	349,482	0,533
	3	0,000952	431,356	-0,251	343,871	0,611
5	4	0,00127	417,247	-0,222	334,843	0,682
	5	0,001587	398,991	-0,191	322,486	0,747
	6	0,001905	376,770	-0,158	306,925	0,805
	7	0,002222	350,804	-0,124	288,314	0,855
	8	0,00254	321,352	-0,088	266,837	0,896
10	9	0,002857	288,706	-0,052	242,708	0,928
	10	0,003175	253,191	-0,015	216,167	0,951
	11	0,003492	215,160	0,023	187,478	0,964
	12	0,00381	174,990	0,060	156,925	0,968
	13	0,004127	133,081	0,096	124,813	0,963
	14	0,004444	89,849	0,132	91,460	0,948
15	15	0,004762	45,725	0,166	57,199	0,923
	16	0,005079	1,146	0,198	22,369	0,889
	17	0,005397	-43,445	0,229	-12,684	0,846
	18	0,005714	-87,603	0,257	-47,610	0,795
	19	0,006032	-130,891	0,283	-82,063	0,736
20	20	0,006349	-172,878	0,306	-115,701	0,670
	21	0,006667	213,147	0,326	-148,188	0,597
	22	0,006984	-251,298	0,342	-179,203	0,518
	23	0,007302	-286,951	0,355	-208,437	0,434
	24	0,007619	-319,752	0,365	-235,600	0,346
25	25	0,007937	-349,376	0,371	-260,421	0,254
	26	0,008254	-375,527	0,374	-282,653	0,160
	27	0,008571	-397,946	0,372	-302,077	0,064
	28	0,008889	-416,410	0,367	-318,498	-0,033
	29	0,009206	-430,736	0,358	-331,754	-0,129
	30	0,009524	-440,780	0,346	-341,713	-0,224
30	31	0,009841	-446,444	0,331	-348,276	-0,317
	32	0,010159	-447,671	0,312	-351,377	-0,406
	33	0,010476	-444,449	0,289	-350,987	-0,492
	34	0,010794	-436,810	0,265	-347,108	-0,572
	35	0,011111	-424,830	0,237	-339,779	-0,647
35	36	0,011429	-408,627	0,207	-329,074	-0,716
	37	0,011746	-388,363	0,175	-315,098	-0,777
	38	0,012063	-364,240	0,141	-297,990	-0,831
	39	0,012381	-336,497	0,106	-277,921	-0,876
	40	0,012698	-305,409	0,070	-255,090	-0,913

40

Продолжение таблицы 5						
j	t_j, c	$u_{A11}(t_j), кВ$	$i_{A11}(t_j), кА$	$u_{A12}(t_j), кВ$	$i_{A12}(t_j), кА$	
1	2	3	4	5	6	
41	0,013016	-271,286	0,033	-229,723	-0,941	
45	42	0,013333	-234,467	-0,004	-202,074	-0,959
	43	0,013651	-195,317	-0,041	-172,416	-0,968
	44	0,013968	-154,227	-0,078	-141,044	-0,967
	45	0,014286	-111,604	-0,114	-108,271	-0,956
	46	0,014603	-67,871	-0,149	-74,422	-0,936
50	47	0,014921	-23,464	-0,182	-39,833	-0,907
	48	0,015238	21,176	-0,214	-4,848	-0,869
	49	0,015556	65,606	-0,243	30,184	-0,822
	50	0,015873	109,383	-0,270	64,917	-0,767
	51	0,01619	152,074	-0,295	99,005	-0,704

52	0,016508	193,253	-0,316	132,109	-0,634
53	0,016825	232,512	-0,334	163,900	-0,558
54	0,017143	269,460	-0,349	194,062	-0,477
55	0,01746	303,729	-0,361	222,295	-0,390
56	0,017778	334,981	-0,369	248,319	-0,300
57	0,018095	362,903	-0,373	271,875	-0,207
58	0,018413	387,218	-0,373	292,729	-0,112
59	0,01873	407,685	-0,370	310,674	-0,016
60	0,019048	424,100	-0,363	325,531	0,081
61	0,019365	436,300	-0,353	337,153	0,177
62	0,019683	444,164	-0,339	345,424	0,271
63	0,02	447,614	-0,321	350,262	0,362

Таблица 6

\underline{U}_{A11} , кВ	\underline{I}_{A11} , кА	\underline{U}_{A12} , кВ	\underline{I}_{A12} , кА
1	2	3	4
$316,631e^{88,4j}$	$0,264e^{59,4j}$	$248,648e^{84,9j}$	$0,685e^{21,9j}$

Таблица 7

Реальное l_1 , км	Расчетное l_1 , км	Погрешность, %
1	2	3
200	200	0

Формула изобретения

Способ определения места короткого замыкания на воздушной линии электропередачи по массивам мгновенных значений токов и напряжений, отличающийся тем, что в режиме короткого замыкания измеряют массивы

мгновенных значений сигналов напряжений и токов трех фаз в начале $u_{A1}(t_j)|_{j=1}^N$,

$u_{B1}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{C1}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{A1}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{B1}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{C1}(t_j)|_{j=1}^N$ и в конце $u_{A2}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{B2}(t_j)|_{j=1}^N$, $u_{C2}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{A2}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{B2}(t_j)|_{j=1}^N$, $i_{C2}(t_j)|_{j=1}^N$ линии для одних и тех же

моментов времени $t_j=t_1, t_2, \dots, t_N$ с дискретностью массивов мгновенных значений

$$\Delta t = \frac{T}{N},$$

где T - период сигнала напряжения/тока,

N - число разбиений на периоде T,

передают сигналы с конца линии в ее начало по каналу связи, сохраняют пары цифровых отсчетов как текущие, осуществляют сдвиг сигналов фазы B на угол 120° и фазы C на угол 240°, далее одновременно определяют массивы мгновенных значений симметричных составляющих напряжений и токов в начале и конце линии и соответствующие им векторные значения $U_{A1,1}, I_{A1,1}, U_{A1,2}, I_{A1,2}$, затем определяют расстояние до места короткого замыкания l_1 из выражения

$$l_1 = \frac{1}{\gamma_0} \operatorname{arth} \left(\frac{\underline{U}_{A1,1} - \underline{U}_{A1,2} \operatorname{ch} \gamma_0 l - \underline{I}_{A1,2} \underline{Z}_B \operatorname{sh} \gamma_0 l}{\underline{I}_{A1,1} \underline{Z}_B - \underline{U}_{A1,2} \operatorname{sh} \gamma_0 l - \underline{I}_{A1,2} \underline{Z}_B \operatorname{sh} \gamma_0 l} \right),$$

где $\gamma_0 = \alpha_0 + j\beta_0$ - коэффициент распространения электромагнитной волны,

где α_0 - коэффициент затухания электромагнитной волны;

β_0 - коэффициент изменения фазы электромагнитной волны;

Z_B - волновое сопротивление линии;
 l - длина линии.

5

10

15

20

25

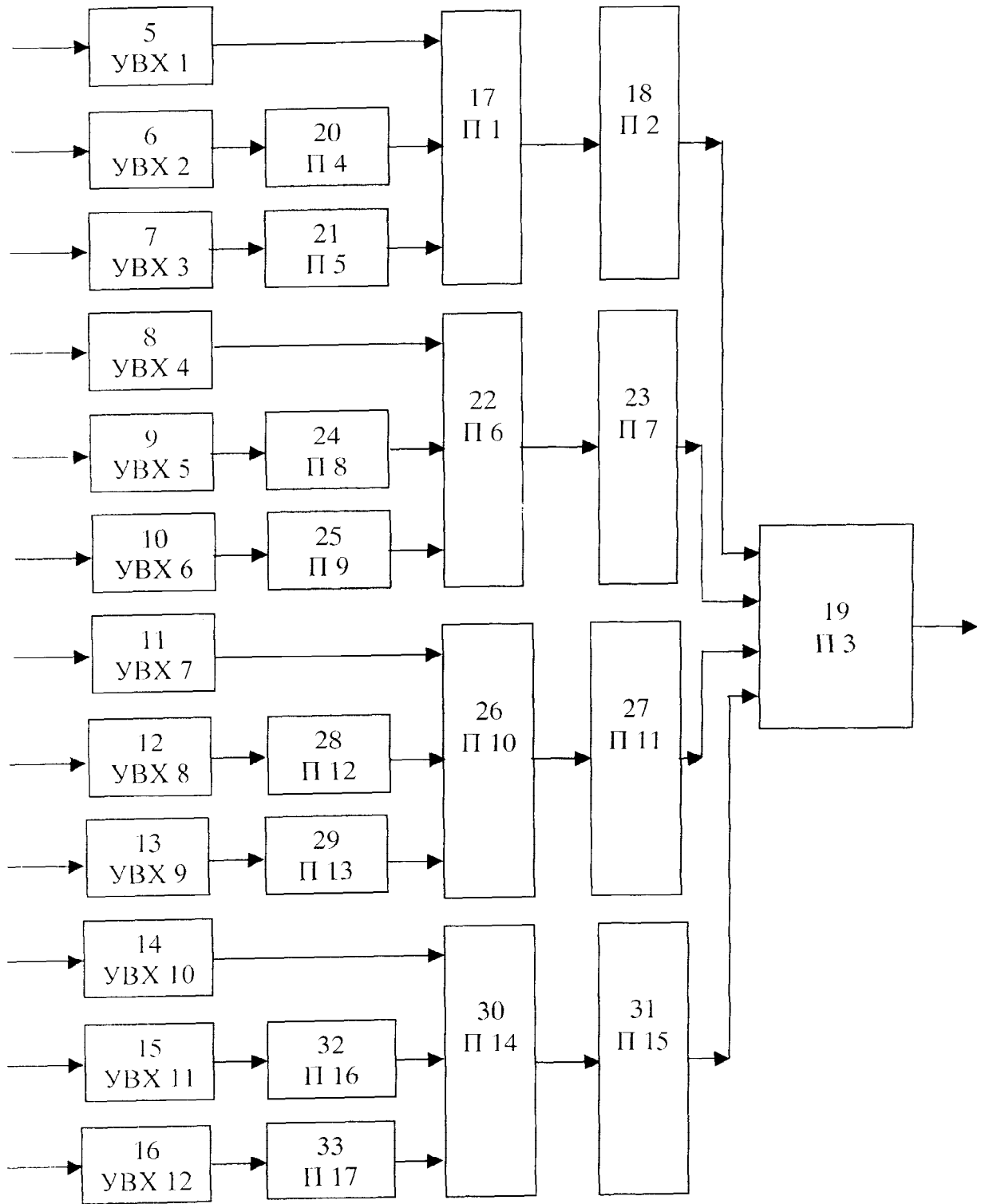
30

35

40

45

50



Фиг. 2