

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016136567, 12.09.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.09.2016Дата регистрации:  
26.09.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.09.2016

(45) Опубликовано: 26.09.2017 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Клецель Марк Яковлевич (KZ),  
Машрапов Бауыржан Ерболович (KZ),  
Машрапова Ризагуль Мегданиятовна (KZ),  
Сулайманова Венера Алмазовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Национальный  
исследовательский Томский  
политехнический университет" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2527075C1, 27.08.2014. RU  
2484570C2, 10.06.2013. RU 2352044C1,  
10.04.2009. EP 1724597A2, 22.11.2006.

## (54) СПОСОБ ЗАЩИТЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

(57) Реферат:

Использование: в области электротехники.  
Технический результат: повышение надежности  
защиты параллельных линий. Способ защиты  
параллельных линий заключается в измерении  
мгновенных значений токов  $i_1$  и  $i_2$  в одноименных  
фазах первой и второй линий при нарастании  
токов и сравнении их с заданной величиной тока  
 $i_{ЭТ}$ . Затем одновременно фиксируют очередность  
моментов достижения мгновенных значений  
токов  $i_1$  и  $i_2$  в одноименных фазах первой и  
второй линий при нарастании токов значения  
заданной величины тока и измеряют время  $t$   
между моментом, когда мгновенное значение  
тока  $i_1$  в фазе первой линии достигает значения  
заданной величины тока  $i_{ЭТ}$ , и моментом, когда  
мгновенное значение тока  $i_2$  в одноименной фазе  
второй линии достигает значения заданной  
величины тока  $i_{ЭТ}$ , затем сравнивают измеренное

время  $t$  с заданной величиной времени  $t_{ЭТ1}$ . Если  
 $t \geq t_{ЭТ1}$ , то подают сигнал на отключение той линии,  
ток в которой достиг значения заданной  
величины тока первым. После того, как  
мгновенное значение тока  $i_{ЭТ}$  в фазе первой линии  
и мгновенное значение тока в фазе второй линии  
достигают заданной величины тока  $i_{ЭТ}$ , через  
время

$$t_{ЭТ2} = t_{ОТК} + t_{ДЗ} + \Delta t,$$

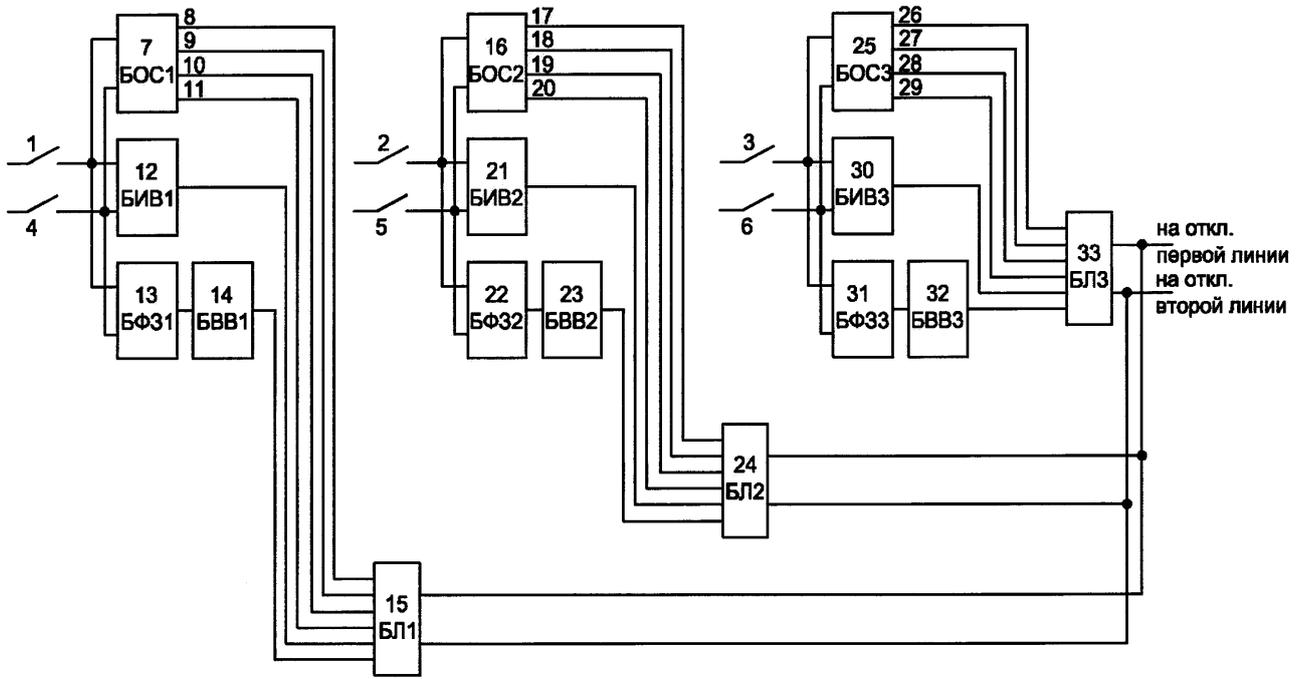
где  $t_{ОТК}$  - время, необходимое на отключение  
выключателя линии с противоположной стороны;  
 $t_{ДЗ}$  - время действия защиты, установленной с  
противоположной стороны;

$\Delta t$  - время запаса, учитывающее влияние  
погрешностей,

подают сигнал на отключение той линии, ток  
в которой оказался больше или равен заданной  
величине тока  $i_{ЭТ}$ . 1 ил.

RU 2 631 679 C1

RU 2 631 679 C1



Фиг. 1

RU 2631679 C1

RU 2631679 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H02H 7/22* (2006.01)  
*G01R 31/08* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2016136567, 12.09.2016

(24) Effective date for property rights:  
12.09.2016

Registration date:  
26.09.2017

Priority:

(22) Date of filing: 12.09.2016

(45) Date of publication: 26.09.2017 Bull. № 27

Mail address:

634050, g. Tomsk, pr. Lenina, 30, FGAOU VO  
"Natsionalnyj issledovatel'skij Tomskij  
politekhničeskij universitet", otdel pravovoj  
okhrany rezultatov intellektualnoj deyatelnosti

(72) Inventor(s):

**Kletsel Mark Yakovlevich (KZ),  
Mashrapov Bauyrzhan Erbolovich (KZ),  
Mashrapova Rizagul Megdaniyatovna (KZ),  
Sulajmanova Venera Almazovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshogo  
obrazovaniya "Natsionalnyj issledovatel'skij  
Tomskij politekhničeskij universitet" (RU)**

(54) **METHOD OF PARALLEL LINES PROTECTION**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: method of parallel lines protection is to measure the instantaneous currents  $i_1$  and  $i_2$  in the same phases of the first and second lines with increasing currents and comparing them with a given value of the current  $i_{et}$ . Then, the sequence of the instantaneous current achievement moments  $i_1$  and  $i_2$  in the same-name phases of the first and second lines is simultaneously recorded as the magnitude current buildup of current specified value, and the time  $t$  is measured between the moment when the instantaneous current  $i_1$  in the phase of the first line reaches the value of the current specified value  $i_{et}$ , and the moment when the instantaneous value of the current  $i_2$  in the same-name phase of the second line reaches the value of the preset current  $i_{et}$ , then the measured time  $t$  is compared

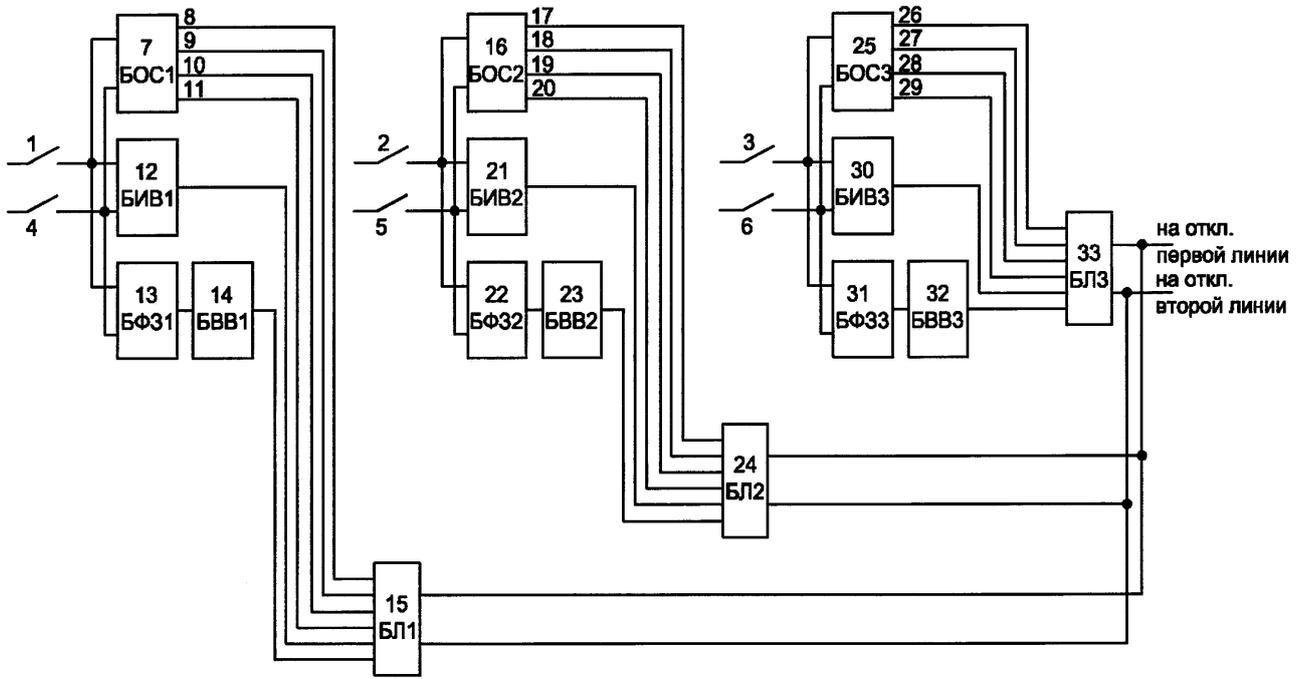
with a predetermined time  $t_{et1}$ . If  $t \geq t_{et1}$ , then a signal is sent to cut off the line the current of which has reached the value of the specified current value first. After the instantaneous value of the  $i_{et}$  current in the phase of the first line and the instantaneous value of the current in the phase of the second line reaches a specified value of the current  $i_{et}$ , in a time  $t_{et2} = t_{op} + t_{pr} + \Delta t$ , where  $t_{op}$  is the time required for line circuit breaker opening on the opposite side;  $t_{pr}$  is the duration of the protection established on the opposite side;  $\Delta t$  is the time of the reserve, taking into account the effect of errors, a signal is sent to turn off the line the current of which is greater or equal to the specified value of the  $i_{et}$  current.

EFFECT: increased security of parallel lines.

1 dwg

RU 2 631 679 C1

RU 2 631 679 C1



Фиг. 1

RU 2631679 C1

RU 2631679 C1

Изобретение относится к электроэнергетике, а именно к технике релейной защиты, и может быть использовано для защиты параллельных линий от коротких замыканий.

Известен способ защиты параллельных линий [Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения - М.: Высш. Шк., 2008. - С.328-331], при котором  
5 измеряют разность токов одноименных фаз линий и сравнивают ее с заданной величиной, измеряют напряжение на шинах, от которых питаются линии, измеряют угол между результирующим током и напряжением на шинах и сравнивают его с заданной  
10 величиной, и, если он превышает заданную величину и разность токов больше заданной величины, то отключают первую линию, если угол между результирующим током и напряжением на шинах меньше заданной величины и разность токов больше заданной величины, то отключают вторую линию.

Недостатком этого способа является то, что он основан на измерении напряжения, что влечет за собой ненадежность устройств, реализующих его. К тому же для получения информации о токе по данному способу необходимо использовать металлоемкие  
15 трансформаторы тока.

Известен способ защиты параллельных линий [Клецель М.Я. Принципы построения и модели дифференциальных защит электроустановок на герконах // Электротехника - 1991. - №10. - С.47-50], при котором измеряют мгновенные значения токов  $i_1$  и  $i_2$  в  
20 одноименных фазах первой и второй линии при нарастании токов, преобразуют эти токи в напряжение, соответственно,  $u_1$  и  $u_2$ . Сравнивают  $i_1$  и  $i_2$  с заданной величиной тока  $i_{эТ}$ . Если  $i_1$  и  $i_2$  больше заданной величины тока  $i_{эТ}$ , измеряют разность указанных токов. Если эта разность больше второй заданной величины тока и  $u_1$ , больше  $u_2$ , то отключают первую линию, если эта разность больше второй заданной величины тока  
25 и  $u_2$  больше  $u_1$ , то отключают вторую линию.

Недостатками этого способа являются необходимость выполнять большое количество операций и связанные с этим трудность реализации и низкая надежность.

Задачей изобретения является повышение надежности защиты параллельных линий.

Это достигается тем, что в способе защиты параллельных линий, также как и в  
30 прототипе, измеряют мгновенные значения токов  $i_1$  и  $i_2$  в одноименных фазах первой и второй линии при нарастании токов и сравнивают их с заданной величиной тока  $i_{эТ}$ .

Согласно изобретению затем одновременно фиксируют очередность моментов достижения мгновенных значений токов  $i_1$  и  $i_2$  в одноименных фазах первой и второй  
35 линий при нарастании токов значения заданной величины тока  $i_{эТ}$  и измеряют время  $t$  между моментом, когда мгновенное значение тока  $i_1$  в фазе первой линии достигает значения заданной величины тока  $i_{эТ}$ , и моментом, когда мгновенное значение тока  $i_2$  в одноименной фазе второй линии достигает значения заданной величины тока  $i_{эТ}$ .  
40 Затем сравнивают измеренное время  $t$  с заданной величиной времени  $t_{эТ1}$ . Если  $t \geq t_{эТ1}$ , то подают сигнал на отключение той линии, ток в которой достиг значения заданной величины тока первым. После того, как мгновенное значение тока  $i_1$  в фазе первой линии и мгновенное значение тока  $i_2$  в фазе второй линии достигают заданной величины тока  $i_{эТ}$ , через время

$$t_{эТ2} = t_{отК} + t_{дЗ} + \Delta t,$$

где  $t_{отК}$  - время, необходимое на отключение выключателя линии с противоположной  
стороны;

$t_{дз}$  - время действия защиты, установленной с противоположной стороны;

$\Delta t$  - время запаса, учитывающее влияние погрешностей, подают сигнал на отключение той линии, ток в которой оказался больше или равен заданной величины тока  $i_{ЭТ}$ .

Таким образом, в отличие от прототипа, для выявления повреждений на защищаемых линиях требуется меньшее количество операций, что обеспечивает более высокую надежность способа.

На фиг. 1 представлено устройство, реализующее способ защиты параллельных линий.

Способ защиты параллельных линий может быть реализован с помощью устройства, которое содержит датчики тока, например, герконы 1, 2, 3 установленные вблизи токопроводов фаз А, В, С первой линии и герконы 4, 5, 6, установленные вблизи токопроводов фаз А, В, С второй (на фиг. 1 не показаны). К контактам герконов 1 и 4 подключены первый блок определения очередности срабатываний герконов 7 (БОС1) с выходами 8, 9, 10, 11, первый блок измерения времени 12 (БИВ1), первый блок фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов 13 (БФЗ1), к выходу которого подключен первый блок обеспечения выдержки времени 14 (БВВ1). К выходам первого блока определения очередности срабатываний герконов 7 (БОС1), первого блока измерения времени 12 (БИВ1) и первого блока обеспечения выдержки времени 14 (БВВ1) подключен первый блок логики 15 (БЛ1), выходы которого подключены к катушкам отключения первой и второй линий. К контактам герконов 2 и 5 подключены второй блок определения очередности срабатываний герконов 16 (БОС2) с выходами 17, 18, 19, 20, второй блок измерения времени 21 (БИВ2), второй блок фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов 22 (БФЗ2), к выходу которого подключен второй блок обеспечения выдержки времени 23 (БВВ2). К выходам второго блока определения очередности срабатываний герконов 16 (БОС2), второго блока измерения времени 21 (БИВ2) и второго блока обеспечения выдержки времени 23 (БВВ2) подключен второй блок логики 24 (БЛ2), выходы которого подключены к катушкам отключения первой и второй линий. К контактам герконов 3 и 6 подключены третий блок определения очередности срабатываний герконов 25 (БОС3) с выходами 26, 27, 28, 29, третий блок измерения времени 30 (БИВ3), третий блок фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов 31 (БФЗ3), к выходу которого подключен третий блок обеспечения выдержки времени 32 (БВВ3). К выходам третьего блока определения очередности срабатываний герконов 25 (БОС3), третьего блока измерения времени 30 (БИВ3) и третьего блока обеспечения выдержки времени 32 (БВВ3) подключен второй блок логики 33 (БЛ3), выходы которого подключены к катушкам отключения первой и второй линий.

В качестве датчиков тока могут быть использованы катушки индуктивности от стандартных промежуточных реле, герконы, катушки Роговского. В заявке использованы герконы типа КЭМ-2 гр.О. Первый 7 (БОС1), второй 16 (БОС2), третий 25 (БОС3) блоки определения очередности срабатываний герконов, первый 12 (БИВ1), второй 21 (БИВ2), третий 30 (БИВ3) блоки измерения времени, первый 13 (БФЗ1), второй 22 (БФЗ2), третий 31 (БФЗ3) блоки фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов, первый 14 (БВВ1), второй 23 (БВВ2), третий 32 (БВВ3) блоки обеспечения выдержки времени, первый 15 (БЛ1), второй 24 (БЛ2), третий 33 (БЛ3) блоки логики могут быть выполнены на микроконтроллере серии 51 производителя amtel AT89S53.

Если действующее значение максимального тока нагрузки параллельных линий составляет 400 А, а токи в неповрежденных фазах не превышают этого значения, то

герконы 1-6, измеряющие токи в фазах первой и второй линий и сравнивающие их с заданной величиной тока  $i_{эТ}$ , настраивают таким образом, чтобы с учетом коэффициента запаса они срабатывали при мгновенном значении тока в фазе линии 690 А. Это значение тока принимают за заданную величину тока  $i_{эТ}$ . При этом при настройке герконов 1-6 возникают погрешности, вызывающие отклонение тока, при котором геркон замыкает контакты, например на 10%, что приводит к появлению времени между срабатываниями герконов 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6, установленных вблизи одноименных фаз. Это время принимают как заданную величину времени  $t_{эТ1}$ . Если при трехфазном КЗ на шинах противоположной подстанции действующее значение тока в фазе линии составит 2000 А, то время  $t_{эТ1}$  равно

$$t_{эТ1} = \frac{\arcsin\left(\frac{690 \cdot 1,2}{2000\sqrt{2}}\right) - \arcsin\left(\frac{690}{2000\sqrt{2}}\right)}{314} = 162 \text{ мкс}$$

При трехфазном КЗ на одной из линий, например на первой, на расстоянии 0,25 длины линии от шин противоположной подстанции, действующие значения токов в линиях составят: в первой линии около 2500 А, во второй линии около 1500 А. Так как токи в линиях больше заданной величины тока  $i_{эТ}$ , герконы 1-6 срабатывают. При этом герконы 1, 2, 3 срабатывают раньше герконов 4, 5, 6 и подают сигнал на входы первого 7 (БОС1), второго 15 (БОС2) и третьего 25 (БОС3) блоков определения очередности срабатываний герконов, первого 12 (БИВ1), второго 21 (БИВ2), третьего 30 (БИВ3) блоков измерения времени, запуская измерение времени  $t$ , и первого 13 (БФ31), второго 22 (БФ32), третьего 31 (БФ33) блоков фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов. При этом на выходах 8, 17, 26 соответственно первого 7 (БОС1), второго 15 (БОС2) и третьего 25 (БОС3) блоков определения очередности срабатываний герконов появляются сигналы и поступают на входы первого 15 (БЛ1), второго 24 (БЛ2) и третьего 33 (БЛ3) блоков логики. По достижении мгновенного значения тока во второй линии значения 690 А срабатывают герконы 4, 5, 6 и подают сигнал на входы первого 7 (БОС1), второго 15 (БОС2) и третьего 25 (БОС3) блоков определения очередности срабатываний герконов, первого 12 (БИВ1), второго 21 (БИВ2), третьего 30 (БИВ3) блоков измерения времени, останавливая измерение времени  $t$ , и первого 13 (БФ31), второго 22 (БФ32), третьего 31 (БФ33) блоков фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов, запуская их. В результате, с выходов первого 12 (БИВ1), второго 21 (БИВ2), третьего 30 (БИВ3) блоков измерения времени на входы первого (БЛ1), второго 24 (БЛ2) и третьего 33 (БЛ3) блоков логики поступает сигнал, соответствующий измеренному времени  $t$ , которое, считая, что погрешности действуют на герконы 1, 2, 3, увеличивая ток в линии, при котором они срабатывают, равно

$$t = \frac{\arcsin\left(\frac{690}{1500\sqrt{2}}\right) - \arcsin\left(\frac{690 \cdot 1,2}{2500\sqrt{2}}\right)}{314} = 290 \text{ мкс}$$

Так как  $t > t_{эТ1}$  и на выходах первого 15 (БЛ1), второго 24 (БЛ2) и третьего 33 (БЛ3) блоков логики присутствует сигнал с выходов 8, 17, 26 первого 7 (БОС1), второго 15 (БОС2) и третьего 25 (БОС3) блоков определения очередности срабатываний герконов, то первый 15 (БЛ1), второй 24 (БЛ2) и третий 33 (БЛ3) блоки логики срабатывают и выдают сигнал на отключение первой линии. С выходов первого 13 (БФ31), второго

22 (БФ32), третьего 31 (БФ33) блоков фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов сигналы поступают на входы первого 14 (БВВ1), второго 23 (БВВ2), третьего 32 (БВВ3) блоков обеспечения выдержки времени:

$$t_{ЭТ2} = t_{ОТК} + t_{ДЗ} + \Delta t,$$

5 где  $t_{ОТК}$  - время, необходимое на отключение выключателя линии с противоположной стороны;

$t_{ДЗ}$  - время действия защиты, установленной с противоположной стороны;

$\Delta t$  - время запаса, учитывающее влияние погрешностей, которое, если  $t_{ОТК} = 0,01$  с,

10  $t_{ДЗ} = 0,02$  с и  $\Delta t = 0,02$  с, равно  $0,05$  с. При этом первый 14 (БВВ1), второй 23 (БВВ2), третий 32 (БВВ3) блоки обеспечения выдержки времени сигналов не выдают, так как не истекло время  $t_{ЭТ2}$ .

При трехфазном КЗ в зоне каскадного действия защиты, например на первой линии, на расстоянии  $0,05$  длины линии от шин противоположной подстанции, действующие значения токов в линиях составят: в первой линии около  $2200$  А, во второй линии около  $1800$  А. В результате герконы 1, 2, 3 срабатывают раньше герконов 4, 5, 6 и подают сигнал на входы первого 7 (БОС1), второго 15 (БОС2) и третьего 25 (БОС3) блоков определения очередности срабатываний герконов, первого 12 (БИВ1), второго 21 (БИВ2), третьего 30 (БИВ3) блоков измерения времени, запуская измерение времени  $t$ , и первого 13 (БФ31), второго 22 (БФ32), третьего 31 (БФ33) блоков фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов. После срабатывания герконов 4, 5, 6 прекращается измерение времени  $t$  и появляются сигналы на выходах первого 12 (БИВ1), второго 21 (БИВ2), третьего 30 (БИВ3) блоков измерения времени и первого 13 (БФ31), второго 22 (БФ32), третьего 31 (БФ33) блоков фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов. При этом первый 13 (БФ31), второй 22 (БФ32), третий 31 (БФ33) блоки фиксации замкнутого состояния контактов обоих герконов запускают первый 14 (БВВ1), второй 23 (БВВ2), третий 32 (БВВ3) блоки обеспечения выдержки времени, которые начинают отсчет времени. С выходов первого 12 (БИВ1), второго 21 (БИВ2), третьего 30 (БИВ3) блоков измерения времени на входы первого 15 (БЛ1), второго 24 (БЛ2) и третьего 33 (БЛ3) блоков логики поступает сигнал соответствующий измеренному времени  $t$ , которое равно

$$35 \quad t = \frac{\arcsin\left(\frac{690}{1800\sqrt{2}}\right) - \arcsin\left(\frac{690 \cdot 1,2}{2200\sqrt{2}}\right)}{314} = 16 \text{ мкс.}$$

Так как  $t < t_{ЭТ1}$ , то первый 15 (БЛ1), второй 24 (БЛ2) и третий 33 (БЛ3) блоки логики сигналов не выдают. После отключения выключателя первой линии с противоположной стороны герконы 1, 2, 3 продолжают срабатывать, а герконы 4, 5, 6 - нет, так как токи в фазах второй линии уменьшаются и становятся недостаточными для их срабатывания. Поэтому с выходов 8, 17, 26 первого 7 (БОС1), второго 15 (БОС2) и третьего 25 (БОС3) блоков определения очередности срабатываний герконов сигналы поступают на входы первого 15 (БЛ1), второго 24 (БЛ2) и третьего 33 (БЛ3) блоков логики, на другие входы которых поступает сигнал от первого 14 (БВВ1), второго 23 (БВВ2), третьего 32 (БВВ3) блоков обеспечения выдержки времени, так как истекло время  $t_{ЭТ2} = 0,05$  с. Первый 15 (БЛ1), второй 24 (БЛ2) и третий 33 (БЛ3) блоки логики срабатывают и выдают сигнал на отключение первой линии.

Аналогично осуществляют защиту второй параллельной линии электропередачи.

## (57) Формула изобретения

Способ защиты параллельных линий, заключающийся в измерении мгновенных значений токов  $i_1$  и  $i_2$  в одноименных фазах первой и второй линий при нарастании токов и сравнении их с заданной величиной тока  $i_{эТ}$ , отличающийся тем, что затем одновременно фиксируют очередность моментов достижения мгновенных значений токов  $i_1$  и  $i_2$  в одноименных фазах первой и второй линий при нарастании токов значения заданной величины тока  $i_{эТ}$  и измеряют время  $t$  между моментом, когда мгновенное значение тока  $i_1$  в фазе первой линии достигает значения заданной величины тока  $i_{эТ}$ , и моментом, когда мгновенное значение тока  $i_2$  в одноименной фазе второй линии достигает значения заданной величины тока  $i_{эТ}$ , затем сравнивают измеренное время  $t$  с заданной величиной времени  $t_{эТ1}$ , и, если  $t \geq t_{эТ1}$ , то подают сигнал на отключение той линии, ток в которой достиг значения заданной величины тока  $i_{эТ}$  первым, причем после того, как мгновенное значение тока  $i_1$  в фазе первой линии и мгновенное значение тока  $i_2$  в фазе второй линии достигают заданной величины тока  $i_{эТ}$ , через время

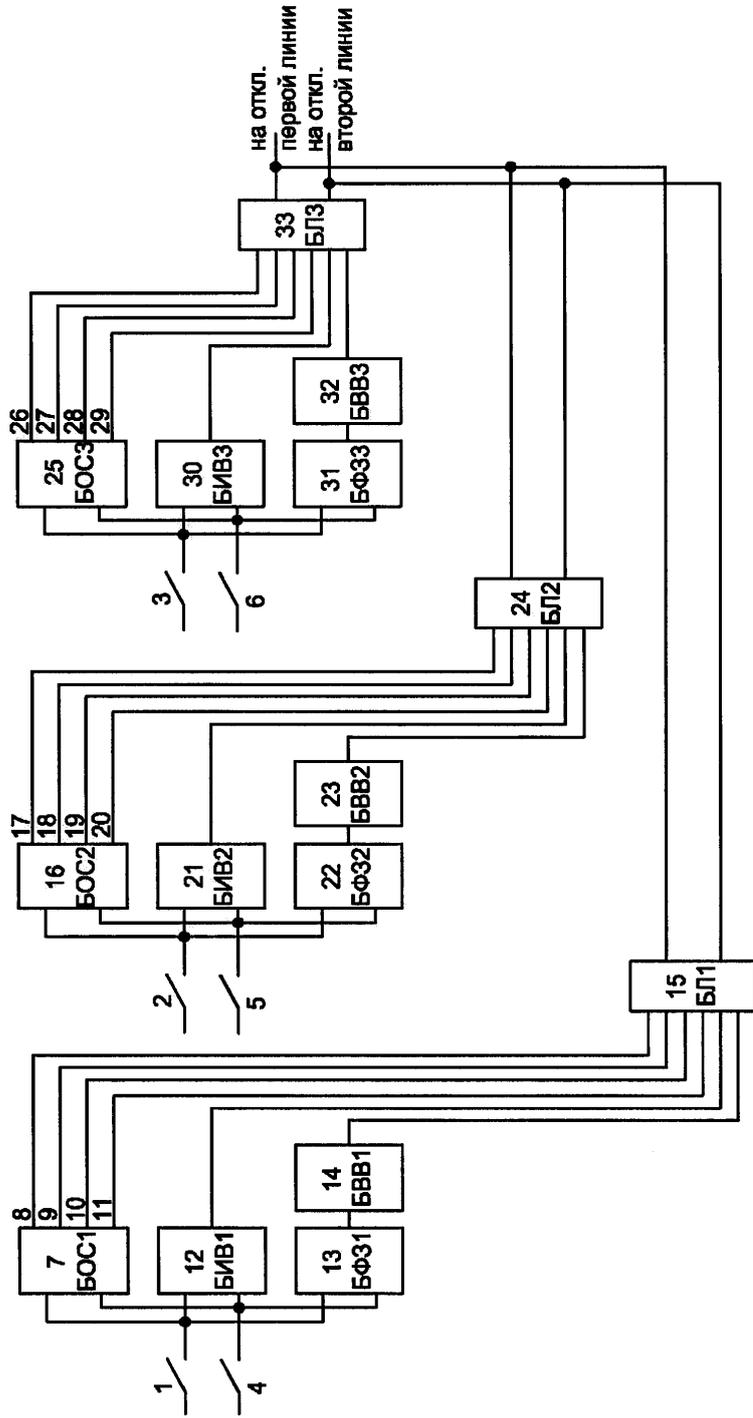
$$t_{эТ2} = t_{отк} + t_{дз} + \Delta t,$$

где  $t_{отк}$  - время, необходимое на отключение выключателя линии с противоположной стороны;

$t_{дз}$  - время действия защиты, установленной с противоположной стороны;

$\Delta t$  - время запаса, учитывающее влияние погрешностей, подают сигнал на отключение той линии, ток в которой оказался больше или равен заданной величине тока  $i_{эТ}$ .

СПОСОБ ЗАЩИТЫ  
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ



Фиг. 1