



# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2021/0240.1

(22) 08.04.2021

(45) 20.05.2022, бюл. №20

(72) Клецель Марк Яковлевич; Машрапов Бауыржан Ерболович; Машрапова Гульнара Наримановна

(73) Некоммерческое акционерное общество «Торайгыров университет»

(56) KZ 20853 A4, 16.02.2009;  
RU 2383095 C1, 27.02.2010;  
RU 2574038 C2, 27.01.2016.(54) **ФИЛЬТР ТОКА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НА ГЕРКОНАХ**

(57) Изобретение относится к электроэнергетике, а именно к технике релейной защиты, и может быть использовано для защиты электроустановок от междуфазных коротких замыканий.

Технический результат – расширение функциональных возможностей фильтра токов обратной последовательности на герконах и выявление неисправностей обмоток управления.

Фильтр тока обратной последовательности, содержащий первый и второй герконы, исполнительный орган, первую и вторую обмотки, намотанные на первый и второй герконы, соответственно, первый усилитель, подключенный ко второй обмотке, первую фазоповоротную схему, входами подключенную к выходам первого усилителя, а выходами, через первый регулировочный резистор – к первой обмотке, причем первый и второй герконы с первой и второй обмотками закреплены на пересечении горизонтальной и первой вертикальной плоскостей  $N_1$  так, что центр тяжести первого совпадает с точкой с координатами

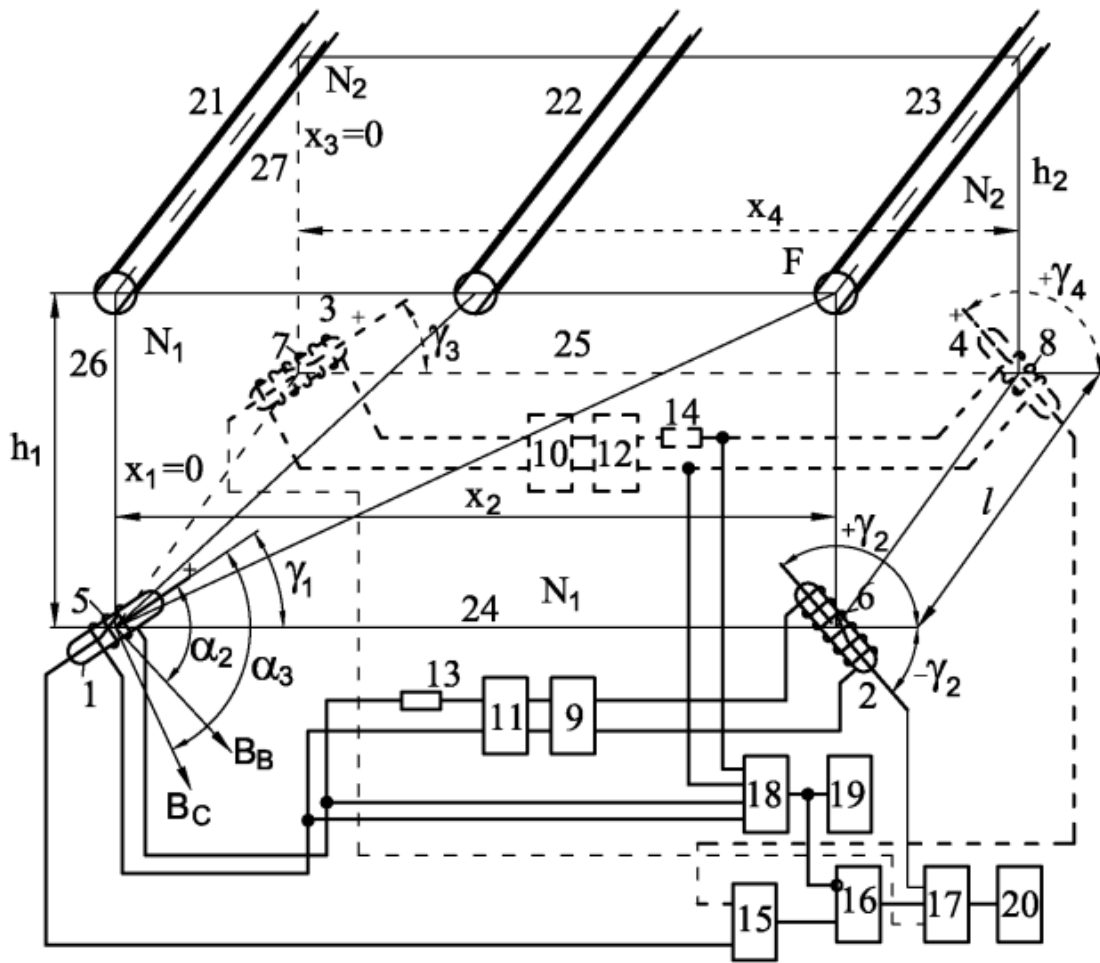
$$h = 1.155d, \gamma_1 = \arctg\left(\frac{1.4h^2 + 0.4d^2}{dh}\right) \text{ и } x_1 = 0$$

(в вертикальной плоскости), а второго – с точкой с координатами

$$h = 1.155d, x_2 = 2d, \gamma_2 = \arctg\left(\frac{1.6h^2 + 4d^2}{1.2dh}\right)$$

где  $h$  – расстояние в вертикальной плоскости  $N_1$  от первой горизонтальной линии, проходящей через центры тяжести герконов, до плоскости  $F$ , в которой расположены токопроводы,  $\gamma_1$  ( $\gamma_2$ ) – угол между первой горизонтальной линией и продольной осью первого (второго) геркона,  $x_1$  ( $x_2$ ) – расстояние от центра тяжести первого (второго) геркона до первой вертикальной линии, проходящей через центр токопровода фазы  $A$ ,  $d$  – расстояние между проводниками соседних фаз, третий и четвертый герконы расположены в той же горизонтальной плоскости на ее пересечении с второй вертикальной плоскостью  $N_2$ , находящейся от первой на расстоянии  $l$ , третий и четвертый герконы закреплены под углами  $\gamma_3$  и  $\gamma_4$  к второй горизонтальной прямой, проходящей через их центры тяжести, и на расстояниях  $x_3$  и  $x_4$  от второй вертикальной линии, проходящей через центр токопровода фазы  $A$  и пересекающей вторую горизонтальную линию, причем  $x_3=x_1$ ,  $x_4=x_2$  и  $\gamma_3=\gamma_1$ ,  $\gamma_4=\gamma_2$ , контакты первого и четвертого герконов подключены к входу элемента ИЛИ, выход которого подключен к прямому входу элемента И с одним инверсным входом, логическая часть подключена к выходу элемента И с одним инверсным входом, а выходом к исполнительному органу, третья и четвертая обмотки намотаны на третий и четвертый герконы, соответственно, второй усилитель подключен к третьей обмотке, вторая фазоповоротная схема входами подключена к выходам второго усилителя, а выходами, через второй регулировочный резистор – к четвертой обмотке, блок сравнения входами подключен к выводам первой и четвертой обмоток, а выходом к блоку сигнализации и инверсному входу элемента И с одним инверсным входом.

Экономический эффект – уменьшение себестоимости устройства за счет использования в качестве датчиков тока герконов вместо трансформаторов тока и ущерба от несрабатывания фильтра токов обратной последовательности за счет своевременного выявления его неисправности.



Фиг. 1

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

Известен фильтр тока обратной последовательности [Н.В. Чернобровов. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – С. 800], содержащий трехобмоточный трансреактор, первичные обмотки которого подключены к трансформаторам тока фаз А и С, активное сопротивление и двухобмоточный трансформатор, подключенные параллельно вторичной обмотке трансреактора.

Недостатком этого фильтра являются невозможность работы без трансформаторов тока, плохой информационный порог чувствительности, характеризующий уровень помех на выходе, и инерционность, обусловленную большой мощностью, потребляемой трансреактором от измерительных трансформаторов тока.

Известен фильтр тока нулевой последовательности [KZ 20853 МПК H02H 3/38, опубл. 16.02.2009], содержащий первый и второй герконы, исполнительный орган, первую и вторую обмотки, намотанные на первый и второй герконы, соответственно, первый усилитель, подключенный ко второй обмотке, первую фазоповоротную схему, входами подключенную к выходам первого усилителя, а выходами, через первый регулировочный резистор – к первой обмотке, причем первый и второй герконы с первой и второй обмотками закреплены на пересечении горизонтальной и первой вертикальной плоскостей  $N_1$  так, что центр тяжести первого совпадает с точкой с координатами

$$h = 1,155d, \gamma_1 = \arctg \left( \frac{1,4h^2 + 0,4d^2}{dh} \right) \text{ и } x_1 = 0$$

(в вертикальной плоскости), а второго – с точкой с координатами

$$h = 1,155d, x_2 = 2d, \gamma_2 = \arctg \left( \frac{1,6h^2 + 4d^2}{1,2dh} \right)$$

где  $h$  – расстояние в вертикальной плоскости  $N_1$  от первой горизонтальной линии, проходящей через центры тяжести герконов, до плоскости  $F$ , в которой расположены токопроводы,  $\gamma_1$  ( $\gamma_2$ ) – угол между первой горизонтальной линией и продольной осью первого (второго) геркона,  $x_1$  ( $x_2$ ) – расстояние от центра тяжести первого (второго) геркона до первой вертикальной линии, проходящей через центр токопровода фазы А,  $d$  – расстояние между проводниками соседних фаз.

Недостатками этого фильтра являются возможность несрабатывания или ложного срабатывания из-за своевременно не выявленных неисправностей его элементов.

Технический результат – расширение функциональных возможностей фильтра токов

обратной последовательности на герконах и выявление неисправностей обмоток управления.

Технический результат достигается тем, что в фильтр тока обратной последовательности, содержащий первый и второй герконы, исполнительный орган, первую и вторую обмотки, намотанные на первый и второй герконы, соответственно, первый усилитель, подключенный ко второй обмотке, первую фазоповоротную схему, входами подключенную к выходам первого усилителя, а выходами, через первый регулировочный резистор – к первой обмотке, причем первый и второй герконы с первой и второй обмотками закреплены на пересечении горизонтальной и первой вертикальной плоскостей  $N_1$  так, что центр тяжести первого совпадает с точкой с координатами

$$h = 1,155d, \gamma_1 = \arctg \left( \frac{1,4h^2 + 0,4d^2}{dh} \right) \text{ и } x_1 = 0$$

(в вертикальной плоскости), а второго – с точкой с координатами

$$h = 1,155d, x_2 = 2d, \gamma_2 = \arctg \left( \frac{1,6h^2 + 4d^2}{1,2dh} \right)$$

где  $h$  – расстояние в вертикальной плоскости  $N_1$  от первой горизонтальной линии, проходящей через центры тяжести герконов, до плоскости  $F$ , в которой расположены токопроводы,  $\gamma_1$  ( $\gamma_2$ ) – угол между первой горизонтальной линией и продольной осью первого (второго) геркона,  $x_1$  ( $x_2$ ) – расстояние от центра тяжести первого (второго) геркона до первой вертикальной линии, проходящей через центр токопровода фазы А,  $d$  – расстояние между проводниками соседних фаз, дополнительно введены третий и четвертый герконы, расположенные в той же горизонтальной плоскости на ее пересечении с второй вертикальной плоскостью  $N_2$ , находящейся от первой на расстоянии  $l$ , третий и четвертый герконы закреплены под углами  $\gamma_3$  и  $\gamma_4$  к второй горизонтальной прямой, проходящей через их центры тяжести, и на расстояниях  $x_3$  и  $x_4$  от второй вертикальной линии, проходящей через центр токопровода фазы А и пересекающей вторую горизонтальную линию, причем  $x_3=x_1$ ,  $x_4=x_2$  и  $\gamma_3=\gamma_1$ ,  $\gamma_4=\gamma_2$ , контакты первого и четвертого герконов подключены к входу элемента ИЛИ, выход которого подключен к прямому входу элемента И с одним инверсным входом, логическая часть подключена к выходу элемента И с одним инверсным входом, а выходом к исполнительному органу, третья и четвертая обмотки намотаны на третий и четвертый герконы, соответственно, второй усилитель подключен к третьей обмотке, вторая фазоповоротная схема входами подключена к выходам второго усилителя, а выходами, через второй регулировочный резистор – к четвертой обмотке, блок сравнения входами подключен к выводам первой и четвертой обмоток, а выходом к

блоку сигнализации и инверсному входу элемента И с одним инверсным входом.

На фигуре 1 представлена структурная схема фильтра токов обратной последовательности.

Фильтр тока обратной последовательности содержит герконы 1, 2, 3 и 4 с обмотками 5, 6, 7 и 8, соответственно. Усилитель 9 (10) входами подключен к обмотке 6 (7) геркона 2 (3), а выходами – к входам фазоповоротной схемы 11 (12), которая выходами, через регулировочный резистор 13 (14), подключена к обмотке 5 (8) геркона 1 (4). Элемент ИЛИ 15 подключен к контактам герконов 1 и 4. Элемент И 16 с одним инверсным входом подключен к прямому входу к элементу ИЛИ 15, а выходом к логической части 17. Схема сравнения 18 входами подключена к выводам обмоток 5 и 8, а выходом – к блоку сигнализации 19 и инверсному входу элемента И 16. Исполнительный орган 20 подключен к логической части 17.

Герконы располагаются (фиг. 1) в магнитном поле токопроводов 21, 22, 23 фаз А, В, С, соответственно. Для того, чтобы геркон 1 реагировал только на токи обратной последовательности, как известно из прототипа, вдоль его продольной оси должна действовать индукция  $\dot{B}_{\text{пр}}$ , созданная токами в фазах 21, 22, 23:

$$\dot{B}_{\text{пр}} = \frac{\mu_0 \cos \alpha_A^{11}}{2\pi h_A^{11}} \left( (I_A - 0,4I_B - 0,6I_C) + (-0,6I_A - 0,4I_B - I_C) e^{j47^\circ} \right). \quad (7)$$

где  $h_A^{11}$  – расстояние от оси фазы А до центра тяжести геркона 1;  $\alpha_A^{11}$  – угол между продольной осью геркона 1 и индукцией магнитного поля, действующего на него;  $I_A, I_B$ , и  $I_C$  – вектора токов в фазах 21, 22, 23;  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

Как показали расчеты, приведенные в [КЗ 20853 МПК Н02Н 3/38, опубл. 16.02.2009], для выполнения равенства (7) геркон 1 должен быть установлен в плоскости  $N_1$  в точке с координатами:

$$h = 1,155d, \gamma_1 = \arctg \left( \frac{1,4h^2 + 0,4d^2}{dh} \right) \text{ и } x_1 = 0$$

(в вертикальной плоскости), геркон 2 – в этой же плоскости в точке с координатами

$$h = 1,155d, x_2 = 2d, \gamma_2 = \arctg \left( \frac{1,6h^2 + 4d^2}{1,2dh} \right)$$

(где  $h$  – расстояние в вертикальной плоскости  $N_1$  от горизонтальной линии 24, проходящей через центры тяжести герконов 1 и 2, до плоскости  $F$ , расположения токопроводов 21, 22, 23,  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  – углы в плоскости  $N_1$  между линией 24 и продольной осью герконов 1 и 2,  $x_1$  и  $x_2$  – расстояние от центров тяжести герконов 1 и 2 до вертикальной линии 26, проходящей через центр токопровода фазы А перпендикулярно линии 24,  $d$  – расстояние между проводниками соседних фаз) и соответствующим

образом должны быть выбраны коэффициент  $K_y$  усиления усилителя 9, угол  $\beta$  фазоповоротной схемы 11 и резистор 13.

Аналогично обеспечивается воздействие магнитных полей, созданных токами обратной последовательности, на геркон 4, но в (7) отсутствует множитель  $e^{j47^\circ}$ , и первое слагаемое в скобках умножается на  $e^{-j47^\circ}$ . Герконы 3 и 4 устанавливаются в плоскости  $N_2$  в точках с координатами  $h_2=h_1$ ,  $x_3=0$ ,  $x_4=2d$ ,  $\gamma_3=\gamma_1$ ,  $\gamma_4=\gamma_2$ , коэффициент усиления усилителя 10 равен  $K_y$ , угол фазоповоротной схемы 12 рассчитывается аналогично углу  $\beta$ .

Фильтр работает следующим образом. В нормальном режиме работы электроустановки токи обратной последовательности отсутствуют. Однако из-за неточности установки герконов 1 и 2 в заданные точки и допустимой не симметрии системы трехфазных токов вдоль продольной оси геркона 1 действует индукция  $B_{\text{нб}}$  небаланса. Для несрабатывания геркона 1 в нормальном режиме, его индукция  $B_{\text{сп}}^{\Gamma 1}$  срабатывания выбирается большей  $B_{\text{нб}}$ , то есть

$$B_{\text{сп}}^{\Gamma 1} = k_{\text{отс}} B_{\text{нб}}, \quad (29)$$

где  $k_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки,  $k_{\text{отс}}=1,2$ .

При коротком замыкании на землю по токопроводам электроустановки протекают токи нулевой последовательности. При этом геркон 1 (4) не срабатывает, так как токи нулевой последовательности в фазах электроустановки равны ( $I_{A0} = I_{B0} = I_{C0} = I_0$ ), и из (7) индукция  $\dot{B}_{\text{пр}}$  равна нулю.

При междуфазных коротких замыканиях по токопроводам электроустановки протекают токи обратной последовательности. При этом  $B_{\text{сп}}^{\Gamma 1}$  оказывается меньше индукции воздействующего на него магнитного поля, созданного токами обратной последовательности. В этом можно убедиться, если в (7) подставить систему токов обратной последовательности

$I_{A2} = I_2 e^{j0^\circ}$ ,  $I_{B2} = I_2 e^{j120^\circ}$ ,  $I_{C2} = I_2 e^{j-120^\circ}$ . Индукция в (7) при этом станет равной

$$\frac{1,1\mu_0 B_A^{11}}{\pi} I_2 e^{-j36,6^\circ}$$

Геркон 1 сработает, замыкая контакты, и подаст сигнал через элемент ИЛИ 15 и И 16 в логическую часть 17.

При этих же замыканиях по токопроводам также протекают токи и прямой последовательности. Но при этом магнитное поле, созданное токами прямой последовательности, не будет действовать на геркон 1. В этом можно также убедиться, подставив в (7) систему токов прямой последовательности  $I_{A1} = I_1 e^{j0^\circ}$ ,  $I_{B1} = I_1 e^{-j120^\circ}$ ,  $I_{C1} = I_1 e^{j120^\circ}$ . Индукция в (7) при этом станет равной нулю. Поэтому геркон 1, выполняющий функции реагирующего элемента фильтра не срабатывает.

Токовая защита функционирует следующим образом. В режиме нагрузки и самозапуска электродвигателей геркон 2 не замыкает контакты, так как его индукция срабатывания  $V_{cp}$  отстроена от максимальной индукции, созданной токами нагрузки и самозапуска, протекающими в токопроводах 21, 22, 23. Геркон 3, используемый для защиты от перегрузки, при самозапуске срабатывает, но время его работы, как и в традиционных защитах, больше времени пуска и самозапуска. При трехфазных коротких замыканиях индукции магнитных полей, действующих на герконы 2 и 3, возрастают и становятся больше  $V_{cp}$ . Поэтому герконы 2 и 3 срабатывают и подают сигнал на логическую часть 17 защиты. В результате выключатель электроустановки отключается.

Самодиагностика предлагаемого измерительного органа выполняется следующим образом. Во всех режимах его работы на входы схемы сравнения 18 поступают ЭДС, подаваемые на обмотки 5 и 8, с абсолютными значениями  $E_5$  и  $E_8$ . При этом из-за неточности установки герконов 1-4 и не симметрии токов  $E_5 \neq E_8$ . Чтобы схема сравнения 18 не выдавала сигналов при отсутствии повреждений в цепях обмоток 5 и 8, параметр ее срабатывания  $E_{cp}$  должен быть отстроен от наибольшей разности этих ЭДС

$$E_{cp} = |k_{отс}(E_5 - E_8)| \quad (30)$$

При возникновении каких-либо повреждений в цепях обмоток 5 и 8, разность ( $E_5 - E_8$ ) становится больше  $E_{cp}$ . Схема сравнения 18 срабатывает и выдает сигнал в блок сигнализации 19 и на инверсный вход элемента И 16, блокируя работу фильтра.

Экономический эффект – уменьшение себестоимости устройства за счет использования в качестве датчиков тока герконов вместо трансформаторов тока и ущерба от несрабатывания фильтра токов обратной последовательности за счет своевременного выявления его неисправности.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Фильтр тока обратной последовательности, содержащий первый и второй герконы, исполнительный орган, первую и вторую обмотки, намотанные на первый и второй герконы, соответственно, первый усилитель, подключенный ко второй обмотке, первую фазопоротную схему, входами подключенную к выходам первого усилителя, а выходами, через первый регулировочный резистор – к первой обмотке,

причем первый и второй герконы с первой и второй обмотками закреплены на пересечении горизонтальной и первой вертикальной плоскостей  $N_1$  так, что центр тяжести первого совпадает с точкой с координатами

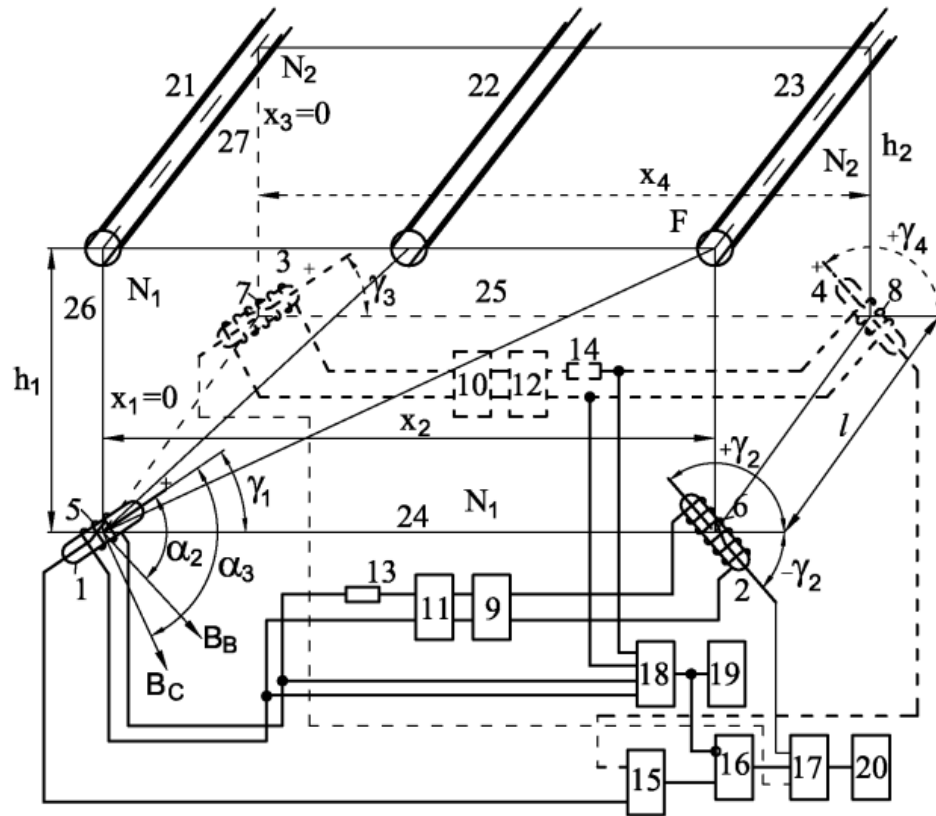
$$h = 1,155d, \gamma_1 = \arctg\left(\frac{1,4h^2 + 0,4d^2}{dh}\right) \text{ и } x_1 = 0$$

(в вертикальной плоскости), а второго – с точкой с координатами

$$h = 1,155d, x_2 = 2d, \gamma_2 = \arctg\left(\frac{1,6h^2 + 4d^2}{1,2dh}\right)$$

где  $h$  – расстояние в вертикальной плоскости  $N_1$  от первой горизонтальной линии, проходящей через центры тяжести герконов, до плоскости  $F$ , в которой расположены токопроводы,  $\gamma_1$  ( $\gamma_2$ ) – угол между первой горизонтальной линией и продольной осью первого (второго) геркона,  $x_1$  ( $x_2$ ) – расстояние от центра тяжести первого (второго) геркона до первой вертикальной линии, проходящей через центр токопровода фазы А,  $d$  – расстояние между проводниками соседних фаз, *отличающийся* тем, что третий и четвертый герконы расположены в той же горизонтальной плоскости на ее пересечении с второй вертикальной плоскостью  $N_2$ , находящейся от первой на расстоянии  $l$ , третий и четвертый герконы закреплены под углами  $\gamma_3$  и  $\gamma_4$  к второй горизонтальной прямой, проходящей через их центры тяжести, и на расстояниях  $x_3$  и  $x_4$  от второй вертикальной линии, проходящей через центр токопровода фазы А и пересекающей вторую горизонтальную линию, причем  $x_3 = x_1$ ,  $x_4 = x_2$  и  $\gamma_3 = \gamma_1$ ,  $\gamma_4 = \gamma_2$ , контакты первого и четвертого герконов подключены к входу элемента ИЛИ, выход которого подключен к прямому входу элемента И с одним инверсным входом, логическая часть подключена к выходу элемента И с одним инверсным входом, а выходом к исполнительному органу, третья и четвертая обмотки намотаны на третий и четвертый герконы, соответственно, второй усилитель подключен к третьей обмотке, вторая фазопоротная схема входами подключена к выходам второго усилителя, а выходами, через второй регулировочный резистор – к четвертой обмотке, блок сравнения входами подключен к выводам первой и четвертой обмоток, а выходом к блоку сигнализации и инверсному входу элемента И с одним инверсным входом.





Фиг. 1

Верстка Д. Женьсова  
 Корректор Г. Косанова