



# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2022/0284.1

(22) 12.05.2022

(45) 30.06.2023, бюл. №26

(72) Клецель Марк Яковлевич; Машрапов Бауыржан Ерболович; Казамбаев Ильяс Маратулы

(73) Некоммерческое акционерное общество «Торайгыров университет»

(56) KZ 28740 A4, 15.07.2014;  
RU 2574038 C2, 27.01.2016;  
RU 2383095 C1, 27.02.2010;  
RU 2333584 C1, 10.09.2008.

(54) **СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ ТОКОВ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СО СМЕШАННЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ТОКОПРОВОДОВ ФАЗ**

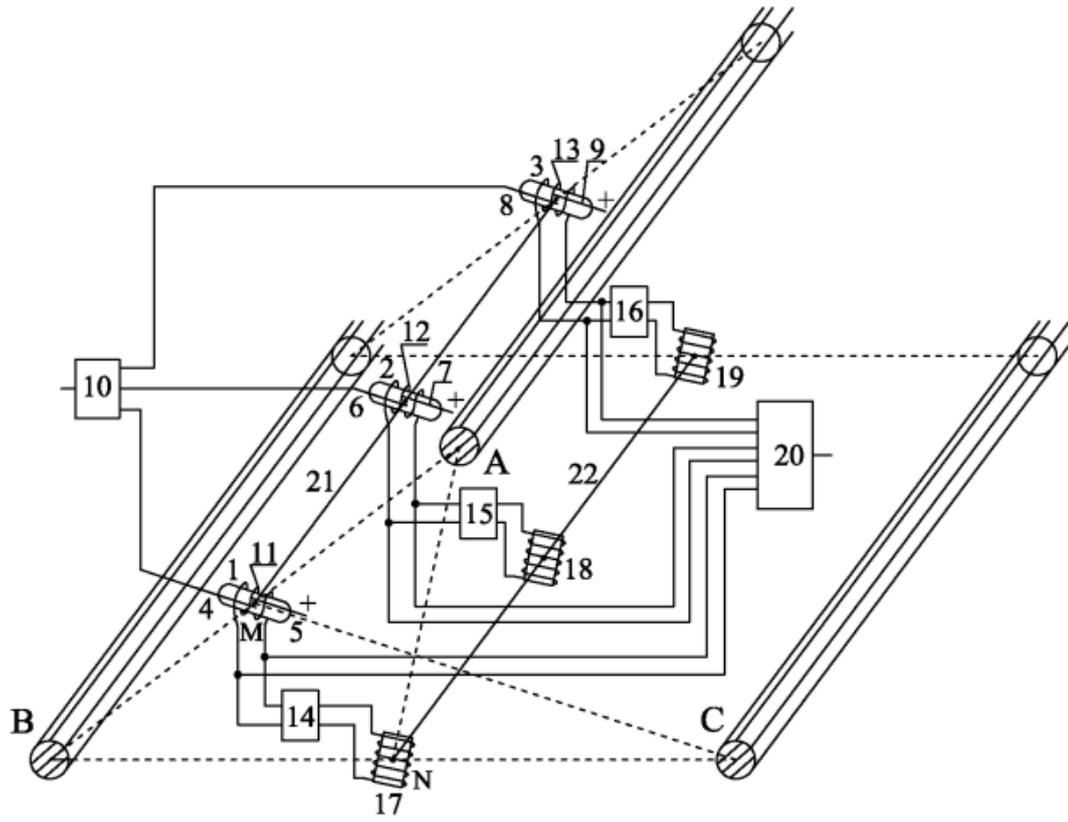
(57) Изобретение относится к электротехнике, а именно к технике релейной защиты.

Технический результат – возможность построения фильтров токов обратной последовательности с встроенной функциональной диагностикой неисправностей и способных правильно работать даже при наличии неисправных элементов.

Способ выявления токов обратной последовательности для электроустановок со смешанным расположением токопроводов фаз, заключающийся в том, что первый преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу помещают в магнитное поле токов в токопроводах фаз электроустановки, расположенных по вершинам треугольника ABC, на безопасном от них расстоянии, преобразуют магнитный поток в электродвижущую силу на зажимах катушки, усиливают электродвижущую силу в  $K_y$  раз и поворачивают на угол  $\beta$ , в тоже магнитное поле вводят первый геркон с обмоткой управления, закрепляют его в точке M на середине стороны AB так, чтобы зазор между контактами геркона оказался в этой точке, поворачивают первый геркон до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины C, первый преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу устанавливают в точку N на середине стороны BC и поворачивают до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины A, воздействуют на первый геркон через обмотку управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущей силой первого преобразователя

магнитного поля, помещают в магнитное поле токов в токопроводах фаз электроустановки второй и третий преобразователи магнитного поля в электродвижущую силу и второй и третий герконы с обмотками управления, причем второй и третий преобразователи магнитного поля в электродвижущую силу закрепляют таким образом, чтобы продольные оси первого, второго и третьего преобразователей магнитного поля в электродвижущую силу были параллельны, их центры тяжести лежали на одной прямой, параллельной токопроводам фаз B и C электроустановки и принадлежащей плоскости их расположения, второй и третий герконы закрепляются таким образом, чтобы продольные оси первого, второго и третьего герконов были параллельны, а их центры тяжести лежали на одной прямой параллельной токопроводам фаз A и B электроустановки и принадлежащей плоскости их расположения, преобразуют магнитный поток в электродвижущие силы на зажимах второй и третьей катушек, усиливают электродвижущие силы в  $K_y$  раз и поворачивают на угол  $\beta$ , воздействуют на второй и третий герконы через их обмотки управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущими силами второго и третьего преобразователей магнитного поля, после этого постоянно контролируют состояние контактов первого, второго и третьего герконов, и по замыканию двух из трех контактов судят о появлении токов  $I_2$  обратной последовательности, равных или превосходящих заданную величину  $I_{cp}$ , измеряют напряжения на выводах обмоток управления первого, второго и третьего герконов, сравнивают их между собой, и если хотя бы одно из этих напряжений не равно двум другим, то сигнализируют о наличии неисправности в цепи обмотки управления соответствующего геркона.

Экономический эффект – способ позволяет создавать устройства, выявляющие токи обратной последовательности, с высокой надежностью и без использования трансформаторов тока при расположении токопроводов фаз по вершинам произвольного треугольника, и, тем самым, экономить медь и сталь, а также обнаруживать неисправности в этих устройствах в процессе их функционирования.



Фиг. 1

Изобретение относится к электротехнике, а именно к технике релейной защиты.

Известен способ выявления токов обратной последовательности для электроустановок со смешанным расположением токопроводов фаз, при котором измеряют токи в фазах А и В, преобразуют их во встречно направленные магнитные потоки с помощью трансреактора, компенсируют токи нулевой последовательности с помощью трансформатора тока, измеряют напряжение на зажимах вторичной обмотки трансреактора, и по этому напряжению судят о появлении токов обратной последовательности [Н.В. Чернобровов. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – с. 800].

Однако для реализации этого способа необходимы металлоемкие трансформаторы тока, что в современных условиях совершенно неприемлемо.

Наиболее близким к предлагаемому по технической сущности и достигаемому эффекту является способ выявления токов обратной последовательности для электроустановок со смешанным расположением токопроводов фаз, заключающийся в том, что первый преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу помещают в магнитное поле токов в токопроводах фаз электроустановки, расположенных по вершинам треугольника АВС, на безопасном от них расстоянии, преобразуют магнитный поток в электродвижущую силу на зажимах катушки, усиливают электродвижущую силу в  $K_y$  раз и поворачивают на угол  $\beta$ , в тоже магнитное поле вводят первый геркон с обмоткой управления, закрепляют его в точке М на середине стороны АВ так, чтобы зазор между контактами геркона оказался в этой точке, поворачивают первый геркон до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины С, первый преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу устанавливают в точку N на середине стороны ВС и поворачивают до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины А, воздействуют на первый геркон через обмотку управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущей силой первого преобразователя магнитного поля, причем  $K_y$  и  $\beta$  должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$K_y = \frac{l_{BC} \cdot z \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{l_{BC}^2 - l_{AC}^2}{l_{AB} \sqrt{2l_{BC}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{AB}^2}} \right)^2} \cdot \sqrt{l_{OBM2}^2 + D_{CP2}^2}}{2\pi \cdot f \cdot W_3 \cdot S_3 \cdot \mu_0 \cdot W_2 \cdot l_{AB} \sqrt{1 - \left( \frac{l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{l_{BC} \sqrt{2l_{AB}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{BC}^2}} \right)^2}}$$

$$\beta = 30 + \gamma,$$

где  $l_{AB}$ ,  $l_{AC}$ ,  $l_{BC}$  – расстояния между токопроводами фаз А и В, А и С, В и С, соответственно;  $l_{OBM2}$ ,  $D_{CP2}$  и  $W_2$  – длина каркаса обмотки управления, её средний диаметр и количество витков;  $f$  – частота;  $W_3$ ,  $S_3$  – количество витков и площадь поперечного сечения катушки индуктивности;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\gamma$  – угол сдвига фаз между напряжением на выходе блока преобразований электродвижущей

силы и током в обмотке управления;  $z$  – сопротивление выходной цепи этого блока [KZ 28740, МПК H02H 3/08, опубл. 15.07.2014].

Недостатком данного способа является то, что он не предусматривает возможность реализации на устройствах с встроенной функциональной диагностикой неисправности, а также правильного функционирования этих устройств при неисправностях некоторых элементов в них.

Технический результат – возможность построения фильтров токов обратной последовательности с встроенной функциональной диагностикой неисправностей и способных правильно работать даже при наличии неисправных элементов.

Технический результат достигается тем, что в способе выявления токов обратной последовательности для электроустановок со смешанным расположением токопроводов фаз, заключающийся в том, что первый преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу помещают в магнитное поле токов в токопроводах фаз электроустановки, расположенных по вершинам треугольника АВС, на безопасном от них расстоянии, преобразуют магнитный поток в электродвижущую силу на зажимах катушки, усиливают электродвижущую силу в  $K_y$  раз и поворачивают на угол  $\beta$ , в тоже магнитное поле вводят первый геркон с обмоткой управления, закрепляют его в точке М на середине стороны АВ так, чтобы зазор между контактами геркона оказался в этой точке, поворачивают первый геркон до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины С, первый преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу устанавливают в точку N на середине стороны ВС и поворачивают до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины А, воздействуют на первый геркон через обмотку управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущей силой первого преобразователя магнитного поля, причем  $K_y$  и  $\beta$  должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$K_y = \frac{l_{BC} \cdot z \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{l_{BC}^2 - l_{AC}^2}{l_{AB} \sqrt{2l_{BC}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{AB}^2}} \right)^2} \cdot \sqrt{l_{OBM2}^2 + D_{CP2}^2}}{2\pi \cdot f \cdot W_3 \cdot S_3 \cdot \mu_0 \cdot W_2 \cdot l_{AB} \sqrt{1 - \left( \frac{l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{l_{BC} \sqrt{2l_{AB}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{BC}^2}} \right)^2}}$$

$$\beta = 30 + \gamma,$$

где  $l_{AB}$ ,  $l_{AC}$ ,  $l_{BC}$  – расстояния между токопроводами фаз А и В, А и С, В и С, соответственно;  $l_{OBM2}$ ,  $D_{CP2}$  и  $W_2$  – длина каркаса обмотки управления, её средний диаметр и количество витков;  $f$  – частота;  $W_3$ ,  $S_3$  – количество витков и площадь поперечного сечения катушки индуктивности;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\gamma$  – угол сдвига фаз между напряжением на выходе блока преобразований электродвижущей силы и током в обмотке управления;  $z$  – сопротивление выходной цепи этого блока, дополнительно помещают в магнитное поле токов в токопроводах фаз электроустановки второй и третий преобразователи магнитного поля в

электродвижущую силу и второй и третий герконы с обмотками управления, причем второй и третий преобразователи магнитного поля в электродвижущую силу закрепляют таким образом, чтобы продольные оси первого, второго и третьего преобразователей магнитного поля в электродвижущую силу были параллельны, их центры тяжести лежали на одной прямой, параллельной токопроводам фаз В и С электроустановки и принадлежащей плоскости их расположения, второй и третий герконы закрепляются таким образом, чтобы продольные оси первого, второго и третьего герконов были параллельны, а их центры тяжести лежали на одной прямой параллельной токопроводам фаз А и В электроустановки и принадлежащей плоскости их расположения, преобразуют магнитный поток в электродвижущие силы на зажимах второй и третьей катушек, усиливают электродвижущие силы в  $K_y$  раз и поворачивают на угол  $\beta$ , воздействуют на второй и третий герконы через их обмотки управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущими силами второго и третьего преобразователей магнитного поля, после этого постоянно контролируют состояние контактов первого, второго и третьего герконов, и по замыканию двух из трех контактов судят о появлении токов  $I_2$  обратной последовательности, равных или превосходящих заданную величину  $I_{ср}$ , измеряют напряжения на выводах обмоток управления первого, второго и третьего герконов, сравнивают их между собой, и если хотя бы одно из этих напряжений не равно двум другим, то сигнализируют о наличии неисправности в цепи обмотки управления соответствующего геркона.

Способ выявления токов обратной последовательности для электроустановок со смешанным расположением токопроводов фаз может быть реализован с помощью устройства, представленного на фигуре 1.

Устройство содержит герконы 1, 2, 3 с контактными пластинами 4 и 5, 6 и 7, 8 и 9, соответственно. Контактные пластины 4, 6 и 8 подключены к мажоритарному элементу 10, а контактные пластины 5, 7 и 9 к плюсу источника оперативного тока (на фиг. 1 не показан). Обмотки 11, 12, 13 управления надеты на герконы 1, 2, 3 и подключены через блоки 14, 15, 16 преобразования электродвижущей силы (ЭДС) к выходам преобразователей 17, 18, 19 магнитного поля в электродвижущую силу (ЭДС). Блок 20 входами подключен к выводам обмоток 11, 12, 13 управления, а выходом – в цепь сигнализации. Выход мажоритарно элемента 10 подключен к логической части защиты (на фиг. 1 не показана).

Геркон (МК) 1 и преобразователь 17 установлены в точках М и N, лежащих в плоскости треугольника ABC, образованного центрами поперечных сечений токопроводов фаз А, В и С, так, чтобы расстояния от токопроводов до этих точек удовлетворяли условиям техники безопасности. Причем продольная ось МК 1 совпадает с медианой CM, а продольная ось преобразователя 17 – с медианой

AN. Центры тяжести МК 2 и 3 лежат на прямой 21, проходящей через центр тяжести МК 1 и принадлежащей плоскости расположения токопроводов фаз А и В, а их продольные оси параллельны продольной оси МК 1. Центры тяжести преобразователей 18 и 19 лежат на прямой 22, проходящей через центр тяжести преобразователя 17 и принадлежащей плоскости расположения токопроводов фаз В и С. Тогда магнитные поля, созданные токами в фазах С и А, соответственно, на МК 1, 2, 3 и преобразователи 17, 18, 19 не влияют. Например, вдоль продольных осей МК 1 и преобразователя 17 действуют магнитные поля с индукциями  $\underline{B}_{ПП}^{\Gamma}$  и  $\underline{B}_{ПП}^{KH}$

$$а) \underline{B}_{ПП}^{\Gamma} = K_1(I_A - I_B), \quad б) \underline{B}_{ПП}^{KH} = K_2(I_B - I_C), \quad (1)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты пропорциональности;  $I_A, I_B, I_C$  – токи в фазах А, В и С, соответственно.

При этом  $\underline{B}_{ПП}^{\Gamma}$  и  $\underline{B}_{ПП}^{KH}$ , используя закон Био-Савара-Лапласа, можно записать следующим образом

$$\underline{B}_{ПП}^{\Gamma} = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi l_A^{\Gamma}} \cos \alpha_1^{\Gamma} + \frac{\mu_0 I_B}{2\pi l_B^{\Gamma}} \cos \alpha_2^{\Gamma} + \frac{\mu_0 I_C}{2\pi l_C^{\Gamma}} \cos \alpha_3^{\Gamma}, \quad (2)$$

$$\underline{B}_{ПП}^{KH} = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi l_A^{KH}} \cos \alpha_1^{KH} + \frac{\mu_0 I_B}{2\pi l_B^{KH}} \cos \alpha_2^{KH} + \frac{\mu_0 I_C}{2\pi l_C^{KH}} \cos \alpha_3^{KH}. \quad (3)$$

Откуда следует, что для получения (1а) и (1б) из (2) и (3), соответственно, необходимо выполнение следующих условий

$$K_1 = \frac{\mu_0}{2\pi l_A^{\Gamma}} \cos \alpha_1^{\Gamma} = -\frac{\mu_0}{2\pi l_B^{\Gamma}} \cos \alpha_2^{\Gamma} \quad \text{и} \quad \frac{\mu_0}{2\pi l_C^{\Gamma}} \cos \alpha_3^{\Gamma} = 0, \quad (4)$$

$$K_2 = -\frac{\mu_0}{2\pi l_B^{KH}} \cos \alpha_2^{KH} = -\frac{\mu_0}{2\pi l_C^{KH}} \cos \alpha_3^{KH} \quad \text{и} \quad \frac{\mu_0}{2\pi l_A^{KH}} \cos \alpha_1^{KH} = 0, \quad (5)$$

где  $\alpha_1^{\Gamma}, \alpha_2^{\Gamma}, \alpha_3^{\Gamma}$  ( $\alpha_1^{KH}, \alpha_2^{KH}, \alpha_3^{KH}$ ) – углы между продольной осью геркона (катушки индуктивности) и индукцией магнитного поля, созданного токами в фазах А, В, С, соответственно;  $l_A^{\Gamma}, l_B^{\Gamma}, l_C^{\Gamma}$  ( $l_A^{KH}, l_B^{KH}, l_C^{KH}$ ) – расстояния от токопроводов фаз А, В и С до точки М (N), соответственно, большие минимально допустимых по технике безопасности.

Используя (4) и (5), а также соотношения сторон в треугольниках AMC, BMC и ANC, ANB, учитывая, что  $l_A^{\Gamma} = l_B^{\Gamma} = 0,5l_{AB}$  и  $l_B^{KH} = l_C^{KH} = 0,5l_{BC}$  находим

$$K_1 = \frac{\mu_0}{\pi l_{AB}} \sqrt{1 - \left( \frac{l_{BC}^2 - l_{AC}^2}{l_{AB} \sqrt{2l_{BC}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{AB}^2}} \right)^2}, \quad (6)$$

$$K_2 = \frac{\mu_0}{\pi l_{BC}} \sqrt{1 - \left( \frac{l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{l_{BC} \sqrt{2l_{AB}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{BC}^2}} \right)^2} \quad (7)$$

Индукция  $\underline{B}_{ПП}^{KH}$  наводит в преобразователе 17 ЭДС  $\underline{E}$ , которая с помощью блока 14 усиливается в  $K_y$  раз, поворачивается на угол  $\beta$  и подается на обмотку 11. Следовательно, по ней протекает ток, который создает магнитное поле с индукцией

$$\underline{B}_{ПП}^{OBM} = K_y K_3 K_2 (I_B - I_C) e^{j\varphi} = K_{OBM} (I_B - I_C) e^{j\varphi} \quad (8)$$

где  $K_3$  – коэффициент пропорциональности (зависит от параметров обмотки 11 и преобразователя 17);  $\varphi = \beta - 90 - \gamma$ ;  $\gamma$  – угол сдвига фаз между напряжением на выходе блока 14 и током в обмотке 11.

Тогда суммарная магнитная индукция магнитных потоков, действующих вдоль продольной оси МК

$$\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Sigma} = \underline{B}_{\text{ПР}}^{\Gamma} + \underline{B}_{\text{ПР}}^{\text{ОБМ}} = K_1(I_A - I_B) + K_{\text{ОБМ}}(I_B - I_C)e^{j\varphi}. \quad (9)$$

Если  $K_{\text{ОБМ}} = K_1$  и  $\varphi = -60^\circ$ , то вынося  $K_1$  за скобки, получим внутри них известное выражение для  $I_2$ , и как результат

$$\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Sigma} = 3K_1I_2.$$

Расчеты показали, что для обеспечения таких  $K_{\text{ОБМ}}$  и  $\varphi$  необходимо, чтобы:

$$K_y = \frac{l_{BC} \cdot z \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{l_{AB}\sqrt{2l_{BC}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{AB}^2}} \right)^2} \cdot \sqrt{l_{\text{ОБМ}11}^2 + D_{\text{СР}11}^2}}{2\pi \cdot f \cdot W_{17} \cdot S_{17} \cdot \mu_0 \cdot W_{11} \cdot l_{AB} \sqrt{1 - \left( \frac{l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{l_{BC}\sqrt{2l_{AB}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{BC}^2}} \right)^2}}, \quad (10)$$

$$\beta = 30 + \gamma, \quad (11)$$

где  $l_{AB}$ ,  $l_{AC}$ ,  $l_{BC}$  – расстояния между токопроводами фаз А и В, А и С, В и С, соответственно;  $l_{\text{ОБМ}11}$ ,  $D_{\text{СР}11}$  и  $W_{11}$  – длина каркаса обмотки 11 управления, её средний диаметр и количество витков;  $f$  – частота;  $W_{17}$ ,  $S_{17}$  – количество витков и площадь поперечного сечения преобразователя 17;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $z$  – сопротивление выходной цепи блока 14.

Аналогично (10) определяются коэффициент усиления ЭДС и необходимый угол ее поворота для блоков 15 и 16 преобразования ЭДС, но с подстановкой параметров соответствующих обмоток управления герконов и преобразователей магнитного поля в ЭДС.

Рассмотрим работу устройства при возникновении несимметрии в сети, например, при двухфазных коротких замыканиях. Тогда в фазах А, В и С электроустановки появляются токи обратной последовательности  $I_{A2}$ ,  $I_{B2}$ ,  $I_{C2}$  (нулевая последовательность отсутствует). Подставим их в формулу (9) вместо  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ . Учитывая, что  $I_{A2} = I_2e^{j0^\circ}$ ,  $I_{B2} = I_2e^{j120^\circ}$ ,  $I_{C2} = I_2e^{-j120^\circ}$ , получаем  $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Sigma} = 3K_1I_2$ . Если  $\underline{B}_{\text{ПР}}^{\Sigma}$  превышает индукции срабатывания МК 1, 2, 3, то они замыкают контактные пластины 4 и 5, 6 и 7, 8 и 9 и подают сигналы на мажоритарный элемент 10. Последний срабатывает, так как на все три его входа поступили сигналы, и выдает сигнал в логическую часть защиты о появлении токов обратной последовательности равных или больших заданной величине, определяемой типом используемого МК (индукция срабатывания МК зависит только от

него). При этих замыканиях также протекают токи  $I_{A1}$ ,  $I_{B1}$ ,  $I_{C1}$  прямой последовательности. Но МП, созданное ими, не действует ни на геркон с обмоткой, ни на КИ, так как при подстановке в (9) вместо  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  токов  $I_{A1} = I_1e^{j0^\circ}$ ,  $I_{B1} = I_1e^{-j120^\circ}$ ,  $I_{C1} = I_1e^{j120^\circ}$   $B_{\text{ПР}}^{\Sigma} = 0$ . При однофазных коротких замыканиях, в фазах А, В, С электроустановки появляются токи нулевой последовательности  $I_{A0}$ ,  $I_{B0}$ ,  $I_{C0}$ . Подставив их вместо  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  в формулу (9) и учитывая, что они равны, получаем  $B_{\text{ПР}}^{\Sigma} = 0$ , т.е. устройство не срабатывает.

Отметим, что фильтр правильно функционирует как при ложном срабатывании любого из герконов, так и при его несрабатывании. Это объясняется тем, что для срабатывания мажоритарного элемента 10 в первом случае необходимо, а во втором достаточно, чтобы сигналы поступили на два его входа.

Диагностика неисправностей осуществляется путем постоянного контроля напряжения на выводах обмоток 11, 12, 13 управления герконов 1, 2, 3. Эти напряжения поступают на входы блока сравнения 20, где они сравниваются между собой попарно. Если хотя бы одно равенство между каждыми двумя измеренными напряжениями не выполняется, то блок сравнения 20 выдает сигнал в цепь сигнализации, сообщая, что в фильтре токов обратной последовательности есть неисправность.

Экономический эффект – способ позволяет создавать устройства, выявляющие токи обратной последовательности, с высокой надежностью и без использования трансформаторов тока при расположении токопроводов фаз по вершинам произвольного треугольника, и, тем самым, экономить медь и сталь, а также обнаруживать неисправности в этих устройствах в процессе их функционирования.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ выявления токов обратной последовательности для электроустановок со смешанным расположением токопроводов фаз, заключающийся в том, что первый преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу помещают в магнитное поле токов в токопроводах фаз электроустановки, расположенных по вершинам треугольника АВС, на безопасном от них расстоянии, преобразуют магнитный поток в электродвижущую силу на зажимах катушки, усиливают электродвижущую силу в  $K_y$  раз и поворачивают на угол  $\beta$ , в тоже магнитное поле вводят первый геркон с обмоткой управления, закрепляют его в точке М на середине стороны АВ так, чтобы зазор между контактами геркона оказался в этой точке, поворачивают первый геркон до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины С, первый преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу устанавливают в точку N на середине стороны ВС и

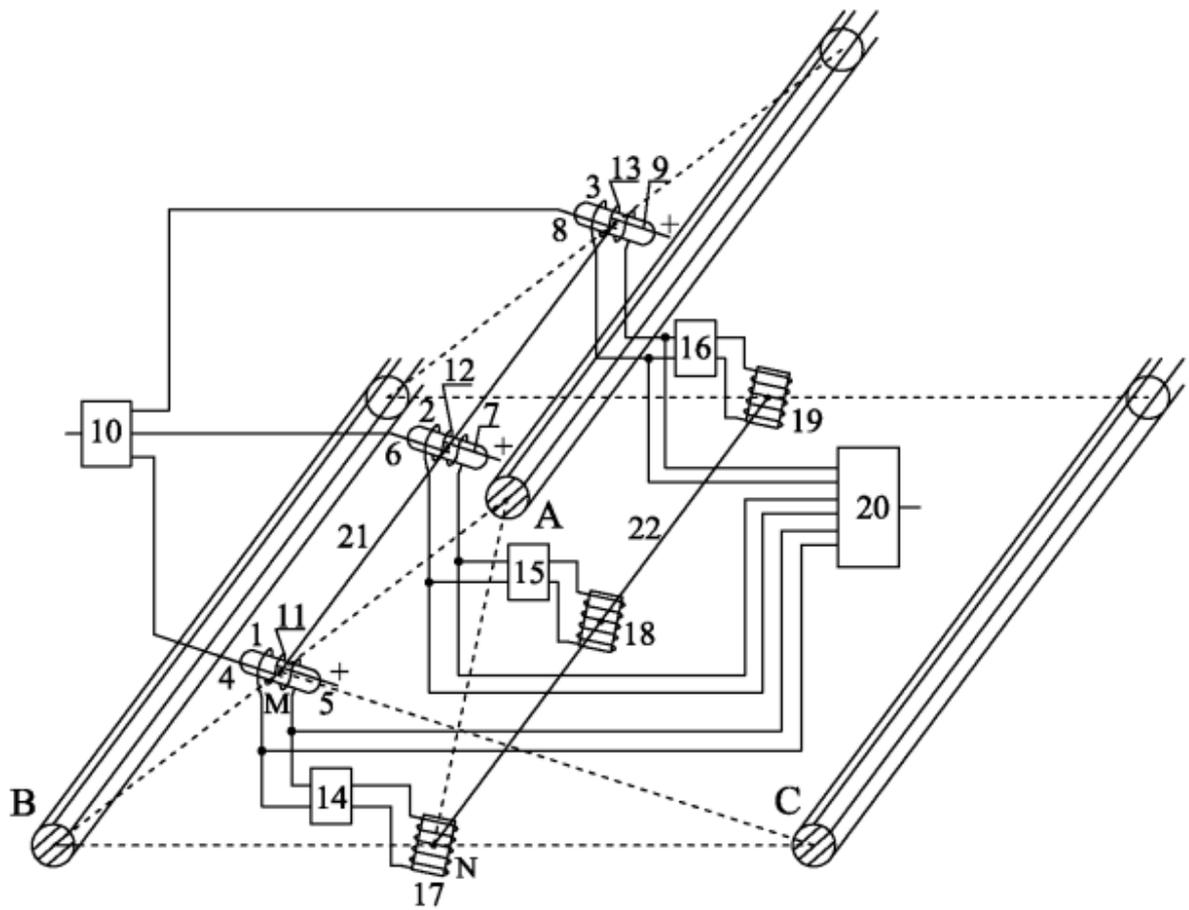
поворачивают до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины А, воздействуют на первый геркон через обмотку управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущей силой первого преобразователя магнитного поля, причем  $K_y$  и  $\beta$  должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$K_y = \frac{l_{BC} \cdot z \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{l_{BC}^2 - l_{AC}^2}{l_{AB} \sqrt{2l_{BC}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{AB}^2}} \right)^2} \cdot \sqrt{l_{ОБМ2}^2 + D_{CP2}^2}}{2\pi \cdot f \cdot W_3 \cdot S_3 \cdot \mu_0 \cdot W_2 \cdot l_{AB} \sqrt{1 - \left( \frac{l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{l_{BC} \sqrt{2l_{AB}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{BC}^2}} \right)^2}}$$

$$\beta = 30 + \gamma,$$

где  $l_{AB}$ ,  $l_{AC}$ ,  $l_{BC}$  – расстояния между токопроводами фаз А и В, А и С, В и С, соответственно;  $l_{ОБМ2}$ ,  $D_{CP2}$  и  $W_2$  – длина каркаса обмотки управления, её средний диаметр и количество витков;  $f$  – частота;  $W_3$ ,  $S_3$  – количество витков и площадь поперечного сечения катушки индуктивности;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\gamma$  – угол сдвига фаз между напряжением на выходе блока преобразований электродвижущей силы и током в обмотке управления;  $z$  – сопротивление выходной цепи этого блока, **отличающийся** тем, что помещают в магнитное поле токов в токопроводах фаз электроустановки второй и третий преобразователи магнитного поля в электродвижущую силу и второй и третий герконы с обмотками управления, причем второй и третий преобразователи магнитного поля в электродвижущую силу закрепляют таким образом, чтобы продольные оси первого, второго и третьего

преобразователей магнитного поля в электродвижущую силу были параллельны, их центры тяжести лежали на одной прямой, параллельной токопроводам фаз В и С электроустановки и принадлежащей плоскости их расположения, второй и третий герконы закрепляются таким образом, чтобы продольные оси первого, второго и третьего герконов были параллельны, а их центры тяжести лежали на одной прямой параллельной токопроводам фаз А и В электроустановки и принадлежащей плоскости их расположения, преобразуют магнитный поток в электродвижущие силы на зажимах второй и третьей катушек, усиливают электродвижущие силы в  $K_y$  раз и поворачивают на угол  $\beta$ , воздействуют на второй и третий герконы через их обмотки управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущими силами второго и третьего преобразователей магнитного поля, после этого постоянно контролируют состояние контактов первого, второго и третьего герконов, и по замыканию двух из трех контактов судят о появлении токов  $I_2$  обратной последовательности, равных или превосходящих заданную величину  $I_{cp}$ , измеряют напряжения на выводах обмоток управления первого, второго и третьего герконов, сравнивают их между собой, и если хотя бы одно из этих напряжений не равно двум другим, то сигнализируют о наличии неисправности в цепи обмотки управления соответствующего геркона.



Фиг. 1