



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2022/0094.1

(22) 14.02.2022

(45) 07.04.2023, бюл. №14

(72) Машрапов Бауыржан Ерболович

(73) Некоммерческое акционерное общество
«Торайгыров университет»

(56) KZ 28740 A4, 15.07.2014;

Клецель М.Я., Майшев П.Н., Токомбаев М.Т.,
Жантлесова А.Б., Фильтры симметричных
составляющих для электроустановок с
токопроводами фаз по вершинам
треугольника//Проблемы энергетики, 2008, №3-4,
с.76-78;

RU 2574038 C2, 27.01.2016;

RU 2383095 C1, 27.02.2010.

(54) СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ ТОКОВ
ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

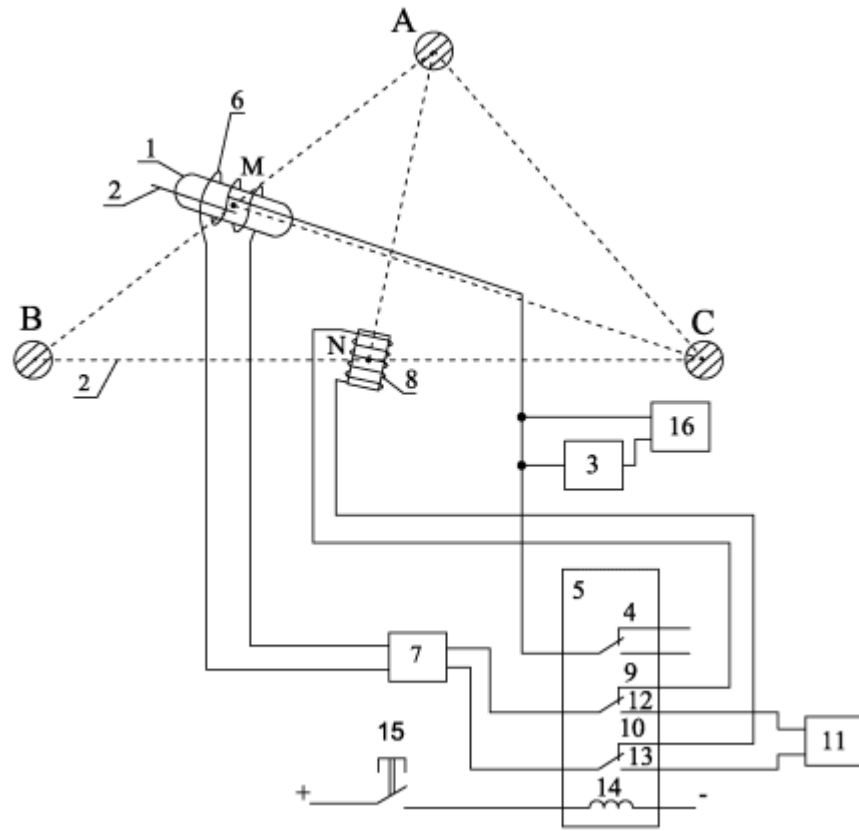
(57) Изобретение относится к электротехнике, а
именно к технике релейной защиты.

Технический результат – возможность построения
фильтров токов обратной последовательности с
встроенной диагностикой неисправностей.

Способ выявления токов обратной
последовательности, заключающийся в том, что
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 β , в магнитное
поле вводят геркон с обмоткой управления,
закрепляют его в точке M на середине стороны AB
так, чтобы зазор между контактами геркона оказался

в этой точке, поворачивают геркон до совпадения
его продольной оси с медианой, опущенной из
вершины C, преобразователь магнитного поля в
электродвижущую силу устанавливают в точку N на
середине стороны BC и поворачивают до
совпадения ее продольной оси с медианой,
опущенной из вершины A, воздействуют на геркон
через обмотку управления дополнительным
магнитным полем, созданным электродвижущей
силой преобразователя магнитного поля, после
этого постоянно контролируют состояние контактов
геркона, и по их замыканию судят о появлении
токов I_2 обратной последовательности, равных или
превосходящих заданную величину I_{cp} , измеряют
время, в течение которого контакты геркона
замкнуты, если это время больше заданной
величины, то сигнализируют о залипании контактов
геркона, отсоединяют преобразователь магнитного
поля в электродвижущую силу от обмотки
управления геркона и контакты геркона от
логической части защиты, подают на обмотку
управления геркона переменное напряжение от
постороннего источника, предварительно усилив его
в K_y раз и повернув на угол β , контролируют
состояние контактов геркона и по их замыканию
судят об исправности геркона и его обмотки
управления.

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.



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

Известен способ выявления токов обратной последовательности, 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, заключающийся в том, что 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 β , в тоже магнитное поле вводят геркон с обмоткой управления, закрепляют его в точке М на середине стороны АВ так, чтобы зазор между контактами геркона оказался в этой точке, поворачивают геркон до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины С, преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу устанавливают в точку N на середине стороны ВС и поворачивают до совпадения ее продольной оси с медианой, опущенной из вершины А, воздействуют на геркон через обмотку управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущей силой преобразователя магнитного поля, после этого постоянно контролируют состояние контактов геркона, и по их замыканию судят о появлении токов I_2 обратной последовательности, равных или превосходящих заданную величину I_{cp} , причем K_y и β 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; μ_0 – магнитная

постоянная; γ – 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 диагностикой неисправности.

Технический результат – возможность построения фильтров токов обратной последовательности с встроенной диагностикой неисправностей.

Технический результат достигается тем, что в способе выявления токов обратной последовательности, заключающемся в том, что 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 β , в тоже магнитное поле вводят геркон с обмоткой управления, закрепляют его в точке М на середине стороны АВ так, чтобы зазор между контактами геркона оказался в этой точке, поворачивают геркон до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины С, преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу устанавливают в точку N на середине стороны ВС и поворачивают до совпадения ее продольной оси с медианой, опущенной из вершины А, воздействуют на геркон через обмотку управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущей силой преобразователя магнитного поля, после этого постоянно контролируют состояние контактов геркона, и по их замыканию судят о появлении токов I_2 обратной последовательности, равных или превосходящих заданную величину I_{cp} , причем K_y и β 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; μ_0 – магнитная постоянная; γ – угол сдвига фаз между напряжением на выходе блока преобразований электродвижущей силы и током в обмотке управления; z – сопротивление выходной цепи этого блока, дополнительно измеряют время, в течение которого контакты геркона замкнуты, если это время больше

заданной величины, то сигнализируют о залипании контактов геркона, отсоединяют преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу от обмотки управления геркона и контакты геркона от логической части защиты, подают на обмотку управления геркона переменное напряжение от постороннего источника, предварительно усилив его в K_y раз и повернув на угол β , контролируют состояние контактов геркона и по их замыканию судят об исправности геркона и его обмотки управления.

Способ выявления токов обратной последовательности может быть реализован с помощью устройства, представленного на фигуре 1.

Устройство содержит геркон 1 с контактами 2, подключенными к реле времени 3 и через нормально замкнутые контакты 4 промежуточного реле 5 к логической части защиты, обмотку 6 управления, надетую на геркон 1 и подключенную к блоку 7 преобразования ЭДС, преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу (ЭДС) 8, подключенный выходами через нормально замкнутые контакты 9 и 10 промежуточного реле 5 к блоку 7 преобразования ЭДС, посторонний источник 11 переменного напряжения, подключенный выходами через нормально разомкнутые контакты 12 и 13 промежуточного реле к блоку 7 преобразования ЭДС, обмотка 14 управления промежуточного реле 5 одним выводом подключена к «минусу» источника оперативного тока, а другим – через нормально разомкнутые контакты кнопки 15 к «плюсу» источника оперативного тока», блок 16 сигнализации подключен к контактам 2 и выходу реле времени 3.

Геркон (МК) 1 и преобразователь 8 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 СМ, а продольная ось преобразователя 8 – с медианой АН, тогда магнитные поля, созданные токами в фазах С и А, соответственно, на МК 1 и преобразователь 8 не влияют. Вдоль их продольных осей действуют магнитные поля с индукциями $\underline{B}_{\Gamma}^{\Gamma}$ и $\underline{B}_{\Gamma}^{KH}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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 АМС, ВМС и АНС, АНВ, 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 $\underline{B}_{\Gamma}^{KH}$ наводит в преобразователе 8 ЭДС \underline{E} , которая с помощью блока 7 усиливается в K_y раз, поворачивается на угол β и подается на обмотку 6. Следовательно, по ней протекает ток, который создает магнитное поле с индукцией

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

где K_3 – коэффициент пропорциональности (зависит от параметров обмотки 6 и преобразователя 8); $\varphi = \beta - 90 - \gamma$; γ – угол сдвига фаз между напряжением на выходе блока 7 и током в обмотке 6).

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

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

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

$$\underline{B}_{\Gamma}^{\Sigma} = 3K_1 I_2.$$

Расчеты показали, что для обеспечения таких K_{OBM} и φ необходимо, чтобы:

$$K_y = \frac{l_{BC} \cdot z \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{l_{BC}^2 - l_{AC}^2}{l_{AB} \sqrt{2l_{BC}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{AB}^2}} \right)^2} \cdot \sqrt{l_{OBM2}^2 + D_{CP2}^2}}{2\pi \cdot f \cdot W_3 \cdot S_3 \cdot \mu_0 \cdot W_2 \cdot l_{AB} \sqrt{1 - \left(\frac{l_{AC}^2 - l_{AB}^2}{l_{BC} \sqrt{2l_{AB}^2 + 2l_{AC}^2 - l_{BC}^2}} \right)^2}}, \quad (10)$$

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

где l_{AB} , l_{AC} , l_{BC} – расстояния между токопроводами фаз А и В, А и С, В и С, соответственно; l_{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; μ_0 – магнитная постоянная; z – сопротивление выходной цепи блока 7.

Рассмотрим работу устройства при возникновении несимметрии в сети, например, при междуфазных 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 \underline{I}_A , \underline{I}_B , \underline{I}_C . Учитывая, что $\underline{I}_{A2} = I_2 e^{j0^\circ}$, $\underline{I}_{B2} = I_2 e^{j120^\circ}$, $\underline{I}_{C2} = I_2 e^{-j120^\circ}$, получаем $\underline{B}_{\Pi P}^{\Sigma} = 3K_1 I_2$. Если $\underline{B}_{\Pi P}^{\Sigma} \geq \underline{B}_{CP}$, где B_{CP} – индукция вдоль продольной оси МК, при которой он срабатывает, то геркон 1 замыкает контакты 2, и подает сигнал в логическую часть защиты о появлении токов обратной последовательности равных или больших заданной величине, определяемой типом используемого МК (B_{CP} зависит только от него), а также запускает реле времени 3. Если контакты 2 залипли, то по истечении выдержки времени реле времени 3 срабатывает и выдает сигнал в блок сигнализации 16, который сигнализирует о неисправности геркона 1. 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 $\underline{I}_{A1} = I_1 e^{j0^\circ}$, $\underline{I}_{B1} = I_1 e^{j120^\circ}$, $\underline{I}_{C1} = I_1 e^{-j120^\circ}$ $\underline{B}_{\Pi P}^{\Sigma} = 0$. 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 $\underline{B}_{\Pi P}^{\Sigma} = 0$, т.е. устройство не срабатывает.

Диагностика неисправностей запускается нажатием кнопки 15. В результате на обмотку управления 14 промежуточного реле 3 подается напряжение, и оно срабатывает, замыкая контакты 12 и 13 и размыкая контакты 4, 9 и 10. Переменное напряжение от источника 11 подается через блок преобразования ЭДС 7 на обмотку управления 6. Если все эти элементы исправны, то при срабатывании геркона 1 запускаются реле времени 3 и блок сигнализации 16. Последний сигнализирует об отсутствии неисправностей в этих элементах. Если геркон исправен, то реле времени 3 не срабатывает. Фильтр тока обратной последовательности исправен.

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 раньше, чем при плановых проверках, что в релейной защите может предотвратить аварию с вытекающими последствиями.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ выявления токов обратной последовательности, заключающийся в том, что 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 β , в тоже магнитное поле вводят геркон с обмоткой управления, закрепляют его в точке М на середине стороны АВ так, чтобы зазор между контактами геркона оказался в этой точке, поворачивают геркон до совпадения его продольной оси с медианой, опущенной из вершины С, 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 геркон через обмотку управления дополнительным магнитным полем, созданным электродвижущей силой преобразователя магнитного поля, после этого постоянно контролируют состояние контактов геркона, и по их замыканию судят о появлении токов I_2 обратной последовательности, равных или превосходящих заданную величину I_{cp} , причем K_y и β 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; μ_0 – магнитная постоянная; γ – 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 измеряют время, в течение которого контакты геркона замкнуты, если это время больше заданной величины, то сигнализируют о залипании контактов геркона, отсоединяют преобразователь магнитного поля в электродвижущую силу от обмотки управления геркона и контакты геркона от логической части

защиты, подают на обмотку управления геркона переменное напряжение от постороннего источника, предварительно усилив его в K_y раз и повернув на угол β , контролируют состояние контактов геркона и по их замыканию судят об исправности геркона и его обмотки управления.

