



## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2022/0286.1

(22) 12.05.2022

(45) 30.06.2023, бюл. №26

(72) Клецель Марк Яковлевич; Машрапов Бауыржан Ерболович; Машрапова Ризагуль Мегданиятовна

(73) Некоммерческое акционерное общество «Торайгыров университет»

(56) KZ 18226 A, 15.01.2007;

RU 2574038 C2, 20.10.2015;

KZ 20853 A4, 16.02.2009;

RU 2383095 C1, 27.02.2010.

(54) **ФИЛЬТР ТОКА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НА МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ТОКОПРОВОДОВ ФАЗ**

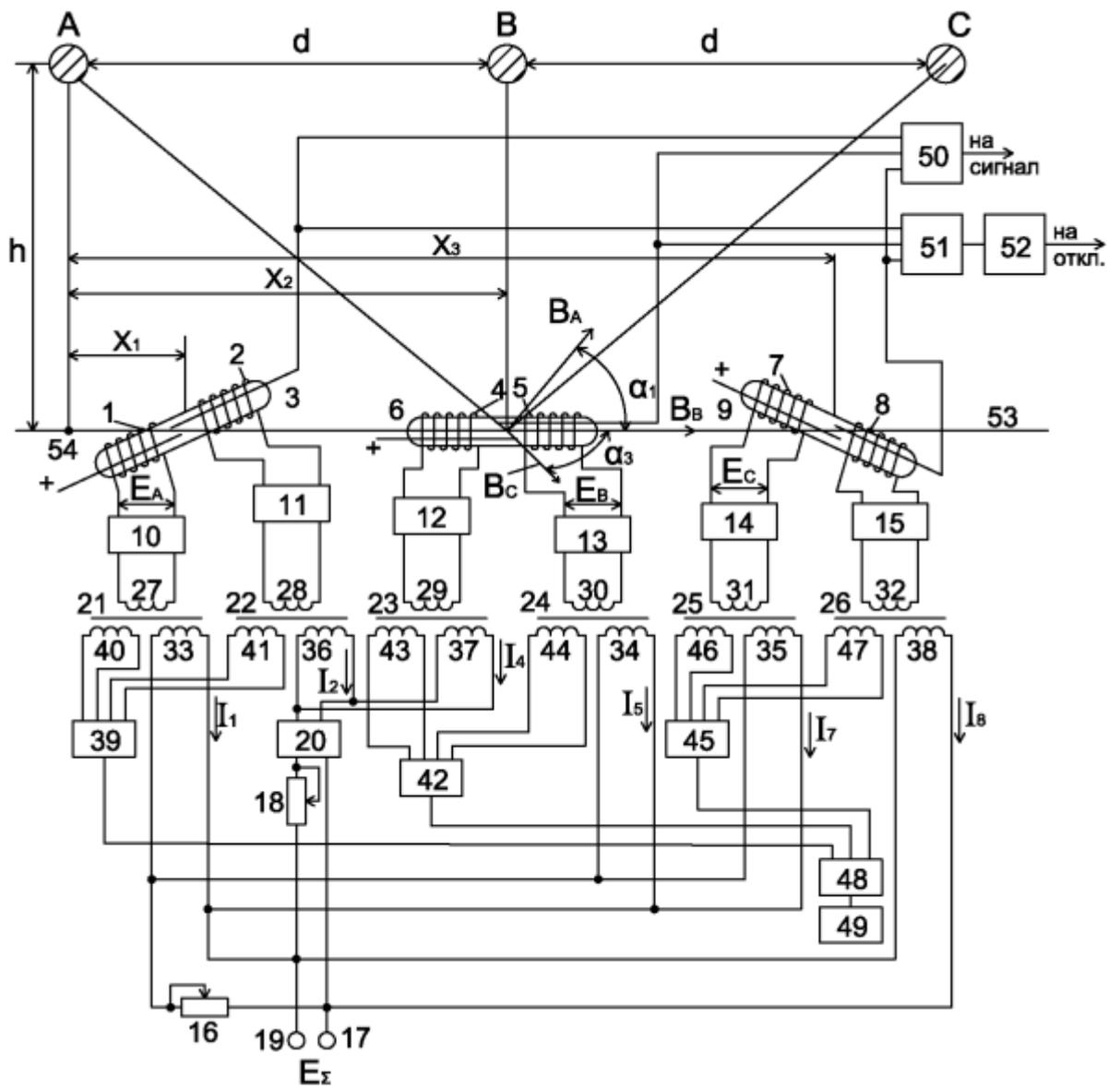
(57) Изобретение относится к электротехнике, а именно к технике релейной защиты, и может быть использовано для выявления токов обратной последовательности без применения трансформаторов тока.

Технический результат – расширение функциональных возможностей, а также выявление неисправностей в цепях обмоток управления герконов.

Фильтр тока обратной последовательности на магнито чувствительных элементах для электроустановок с горизонтальным расположением токопроводов фаз, содержащий первую и вторую обмотки, намотанные на первый геркон, третью и четвертую обмотки, намотанные на второй геркон, пятую и шестую обмотки, намотанные на третий геркон, причем входы первого, второго, третьего, четвертого, пятого и шестого усилителей подключены к выводам первой, второй, третьей, четвертой, пятой и шестой обмоток, соответственно, первый резистор подключен первым выводом к первому выходному зажиму, второй резистор первым выводом подключен к второму выходному зажиму, а другим выводом к выходу фазоповоротной схемы, другой выход которой подключен к первому выходному зажиму, первый,

второй, третий, четвертый, пятый и шестой разделительные трансформаторы с двумя вторичными обмотками подключены первичными обмотками к выводам первого, второго, третьего, четвертого, пятого и шестого усилителей, один вывод первой вторичной обмотки первого, четвертого и пятого разделительных трансформаторов подключен к второму выводу первого резистора, а другой вывод – к второму выходному зажиму, первые вторичные обмотки второго и третьего разделительных трансформаторов подключены к входам фазоповоротной схемы, первая вторичная обмотка шестого разделительного трансформатора подключена к первому и второму выходным зажимам, первая схема сравнения подключена входами к вторым вторичным обмоткам первого и второго разделительных трансформаторов, вторая схема сравнения подключена к вторым вторичным обмоткам третьего и четвертого разделительных трансформаторов, третья схема сравнения подключена к вторым вторичным обмоткам пятого и шестого разделительных трансформаторов, выходы первой, второй и третьей схем сравнения подключены к элементу ИЛИ, выход которого подключен к блоку блокировки защиты, основанной на контроле величин симметричных составляющих токов, блок измерения времени подключен к контактам первого, второго и третьего герконов, а выходом в цепь сигнализации, время задающий блок подключен к контактам первого, второго и третьего герконов, а выходом к выходному органу защиты, выход которого подключен в цепь отключения выключателя электроустановки.

Экономический эффект - предлагаемый фильтр тока обратной последовательности позволяет одновременно выявлять полные токи фаз электроустановки и токи обратной последовательности в них без использования трансформаторов тока, а также уменьшить недоотпуск электроэнергии потребителям за счет своевременного выявления неисправностей в фильтре.



Фиг. 1

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

Известен фильтр тока обратной последовательности на магниточувствительных элементах для электроустановок с горизонтальным расположением токопроводов фаз [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.

Однако этот фильтр имеет ряд недостатков: плохой информационный порог чувствительности, характеризующий уровень помех на выходе, и инерционность, обусловленную большой мощностью, потребляемой трансреактором от измерительных трансформаторов тока.

Наиболее близким к предлагаемому является фильтр тока обратной последовательности на магниточувствительных элементах для электроустановок с горизонтальным расположением токопроводов фаз [Предварительный патент № 18226 KZ, опубл. 15.01.2007, бюл. № 1], содержащий первую и вторую обмотки, намотанные на первый геркон, третью и четвертую обмотки, намотанные на второй геркон, пятую и шестую обмотки, намотанные на третий геркон, причем входы первого, второго, третьего, четвертого, пятого и шестого усилителей подключены к выводам первой, второй, третьей, четвертой, пятой и шестой обмоток, соответственно, первый резистор подключен первым выводом к первому выходному зажиму, второй резистор первым выводом подключен к второму выходному зажиму, а другим выводом к выходу фазоворотной схемы, другой выход которой подключен к первому выходному зажиму.

Недостатком этого фильтра являются невозможность выявления неисправностей его элементов, возможность ложного срабатывания при повреждениях в цепях обмоток управления.

Технический результат – расширение функциональных возможностей, а также выявление неисправностей в цепях обмоток управления герконов.

Технический результат достигается тем, что в фильтр тока обратной последовательности на магниточувствительных элементах для электроустановок с горизонтальным расположением токопроводов фаз, содержащий первую и вторую обмотки, намотанные на первый геркон, третью и четвертую обмотки, намотанные на второй геркон, пятую и шестую обмотки, намотанные на третий геркон, причем входы первого, второго, третьего, четвертого, пятого и шестого усилителей подключены к выводам первой, второй, третьей, четвертой, пятой и шестой обмоток, соответственно, первый резистор подключен первым выводом к первому выходному зажиму, второй резистор первым выводом подключен к второму выходному

зажиму, а другим выводом к выходу фазоворотной схемы, другой выход которой подключен к первому выходному зажиму, дополнительно введены первый, второй, третий, четвертый, пятый и шестой разделительные трансформаторы с двумя вторичными обмотками, подключенные первичными обмотками к выводам первого, второго, третьего, четвертого, пятого и шестого усилителей, причем один вывод первой вторичной обмотки первого, четвертого и пятого разделительных трансформаторов подключен к второму выводу первого резистора, а другой вывод – к второму выходному зажиму, первые вторичные обмотки второго и третьего разделительных трансформаторов подключены к входам фазоворотной схемы, первая вторичная обмотка шестого разделительного трансформатора подключена к первому и второму выходным зажимам, первая схема сравнения подключена входами к вторым вторичным обмоткам первого и второго разделительных трансформаторов, вторая схема сравнения подключена к вторым вторичным обмоткам третьего и четвертого разделительных трансформаторов, третья схема сравнения подключена к вторым вторичным обмоткам пятого и шестого разделительных трансформаторов, выходы первой, второй и третьей схем сравнения подключены к элементу ИЛИ, выход которого подключен к блоку блокировки защиты, основанной на контроле величин симметричных составляющих токов, блок измерения времени подключен к контактам первого, второго и третьего герконов, а выходом в цепь сигнализации, время задающий блок подключен к контактам первого, второго и третьего герконов, а выходом к выходному органу защиты, выход которого подключен в цепь отключения выключателя электроустановки.

На фиг.1 представлен фильтр тока обратной последовательности на магниточувствительных элементах для электроустановок с горизонтальным расположением токопроводов фаз.

Фильтр тока обратной последовательности на магниточувствительных элементах для электроустановок с горизонтальным расположением токопроводов фаз содержит (фиг.1) обмотки 1 и 2, намотанные на геркон 3, обмотки 4, 5, намотанные на геркон 6, обмотки 7, 8, намотанные на геркон 9. Входы усилителей 10-15 подключены к выводам обмоток 1, 2, 4, 5, 7, 8, соответственно. Резистор 16 подключен первым выводом к выходному зажиму 17. Резистор 18 первым выводом подключен к выходному зажиму 19, а другим выводом к выходу фазоворотной схемы 20, другой выход которой подключен к выходному зажиму 17. Разделительные трансформаторы 21-26 с двумя вторичными обмотками подключены первичными обмотками 27-32 к усилителям 10-15. Один вывод вторичных обмоток 33, 34, 35 разделительных трансформаторов 21, 24, 25 подключен к второму выводу резистора 16, а другой вывод – к выходному зажиму 19. Вторичные обмотки 36, 37 разделительных трансформаторов 22, 23 подключены к входам фазоворотной схемы. Вторичная обмотка 38

разделительного трансформатора 26 подключена к выходным зажимам 17 и 19. Схема сравнения 39 подключена входами к вторичным обмоткам 40, 41 разделительных трансформаторов 21, 22. Схема сравнения 42 подключена к вторичным обмоткам 43, 44 разделительных трансформаторов 23, 24. Схема сравнения 45 подключена к вторичным обмоткам 46, 47 разделительных трансформаторов 25, 26. Выходы схем сравнения 39, 42, 45 подключены к элементу ИЛИ 48, выход которого подключен к блоку 49 блокировки защиты, основанной на контроле величин симметричных составляющих токов. Блок 50 измерения времени подключен к контактам герконов 3, 6, 9, а выходом в цепь сигнализации. Время задающий блок 51 подключен к контактам герконов 3, 6, 9, а выходом к выходному органу 52 защиты, выход которого подключен в цепь отключения выключателя электроустановки.

Герконы расположены под токопроводами фаз А, В, С. Их положение определяется расстоянием  $h$  от токопровода А в вертикальной плоскости, проходящей через токопроводы всех фаз до линии 53 пересечения этой плоскости с горизонтальной плоскостью, проходящей через центры тяжести герконов, а также расстояниями  $x_1, x_2, x_3$  от точки 54 пересечения вертикали, проходящей через токопровод А и линию 53 до центров тяжести герконов 3, 6, 9, соответственно, и углами  $\gamma_1 > \gamma_2 > \gamma_3$  между линией 53 и продольными осями герконов. Расстояние  $h$  выбирается предельно допустимым по технике безопасности. Расстояние  $x_1$  ( $x_2$  и  $x_3$ ) и угол  $\gamma_1$  ( $\gamma_2$  и  $\gamma_3$ ) выбираются так, чтобы на геркон 3 (6 и 9) действовало магнитное поле, созданное током только фазы А (В и С). Для того, чтобы это сделать, рассмотрим выражение для составляющей  $B_{np}$  индукции магнитного поля, действующего на геркон вдоль его продольной оси

$$B_{np} = B_A \cos \alpha_1 + B_B \cos \alpha_2 + B_C \cos \alpha_3 = \mu_0 (g_A I_A + g_B I_B + g_C I_C) / 2\pi, \quad (1)$$

где  $B_A, B_B, B_C$  – индукции магнитных полей в месте установки геркона от токов фаз А, В, С;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – углы между осью геркона и  $B_A, B_B, B_C$ , соответственно;  $\mu_0$  – магнитная проницаемость воздуха;  $I_A, I_B, I_C$  – токи в фазах А, В, С;  $g_A, g_B, g_C$  – коэффициенты, полученные с помощью элементарной геометрии из закона Био-Савара-Лапласа для определения напряженности поля от тока в проводнике:

$$g_A = \frac{(h \cos \gamma_1 + x_1 \sin \gamma_1)}{(h^2 + (x_1)^2)};$$

$$g_B = \frac{(h \cos \gamma_2 + (x_2 - d) \sin \gamma_2)}{(h^2 + (x_2 - d)^2)};$$

$$g_C = \frac{(h \cos \gamma_3 + (x_3 - 2d) \sin \gamma_3)}{(h^2 + (x_3 - 2d)^2)};$$

где  $d$  – расстояние между проводниками соседних фаз.

Для того, чтобы герконы 3, 6 и 9 реагировали соответственно только на токи фаз А, В и С необходимо, чтобы выполнялись условия:

$$g_B = g_C; g_A = g_C; g_A = g_B. \quad (2)$$

Тогда для геркона 3 (реагирует на ток фазы А)

$$B_{np} = \mu_0 I_A (g_A - g_B) / 2\pi. \quad (3)$$

Координаты герконов находим из (2). Например, для геркона 3 и электроустановки 110 кВ, когда  $h=0,9$  м и  $d=1$  м, из  $g_B=g_C$  имеем  $x_1=0,4$  м и  $\gamma_1=59^\circ$ .

Отметим, что есть еще решения, так как  $g_B=g_C$  – одно уравнение с двумя неизвестными и можно выбирать одно из известных из соображений удобства расположения и настройки геркона. Аналогично находятся координаты герконов 6 и 9.

Устройство работает следующим образом. Ток  $I_A$  фазы А создает магнитное поле с индукцией  $B_A = \mu_0 I_A (g_A - g_B) / 2\pi = K_1 I_A$ . Магнитный поток  $\Phi_A$  есть поток вектора магнитной индукции  $B_A$  через площадь  $S$ , то есть  $\Phi_A = \int_S \vec{B}_A d\vec{S} = K_2 B_A$ . Магнитный

поток  $\Phi_A$  наводит в обмотке 1 ЭДС  $E_A = -d\Phi_A/dt = K_3 \dot{\Phi}_A$ , сдвинутую на угол  $\pi/2$  относительно  $\Phi_A$ .  $E_A$  усиливается усилителем 10 и создает ток  $I_1$  в обмотке 33 разделительного трансформатора 21, величина которого может плавно регулироваться коэффициентом  $K_y$  усиления усилителя 10.  $I_1 = E_A K_y / Z_1 = K_4 K_y E_A$ ,  $Z_1$  – сопротивление разделительного трансформатора 21 и соединительных проводов. Аналогично определяются токи  $I_2, I_4, I_5, I_7$  и  $I_8$  (индексы соответствуют позиционному обозначения обмотки управления геркона), величину которых можно регулировать усилителями 11, 12, 13, 14, и 15. Отметим, что для совпадения коэффициентов преобразования токов  $K_1, K_2, K_3, K_4$  разделительные трансформаторы должны иметь одинаковые параметры, и координаты герконов 3 и 6 должны быть выбраны так, чтобы  $B_{np}$  всех герконов совпадали (в режиме симметричной нагрузки) по величине. Сумма токов  $I_1, I_5, I_7$  дает ток нулевой последовательности  $3I_0$ , который с помощью резистора 16 уменьшается в три раза. В результате получаем ток  $I_{0C}$ , необходимый для компенсации составляющей тока нулевой последовательности в токе  $I_C$ . Отсюда имеем ЭДС, пропорциональную разности токов  $I_C - I_{0C}$ :

$$E_C = K_5 K_4 K_3 K_2 K_1 K_y (I_C - I_{0C}) = K_{nC} I'_C,$$

где  $K_{nC}$  – коэффициент пропорциональности.

Аналогично на фазоповоротную схему 20 воздействует разность ЭДС  $E_A - E_B$ , каждая их которых сдвинута на угол  $\pi/2$  относительно тока, ее создавшего (то есть  $I_A$  и  $I_B$ ). На выходе схемы 20, компенсирующей этот сдвиг, имеем  $E_{AB} = K_{nAB} (I_A - I_B)$ , где  $K_{nAB}$  – коэффициент пропорциональности. Таким образом, суммарная ЭДС, которая измеряется на выходных зажимах 17 и 19 равна:

$$E_\Sigma = E_C + E_{AB} = K_{nC} I'_C + K_{nAB} (I_A - I_B).$$

При прохождении токов прямой последовательности в фазах А, В, С разность токов  $I_A - I_B$  направлена противоположно  $I_C$ , но больше по величине в  $\sqrt{3}$  раза. Резистором 18 эта разница убирается, и следовательно  $E_\Sigma = 0$ , а при

прохождении токов обратной последовательности  $E_{\Sigma} \gg 0$ . Таким образом, схема является фильтром тока обратной последовательности.

Одновременно контролируется исправность обмоток 1, 2, 4, 5, 7 и 8 управления, усилителей 10-15 и разделительных трансформаторов 21-26 путем сравнения ЭДС наведенных на выводах этих обмоток между собой. Так при неисправности в цепи обмотки 1 напряжение на выводах вторичной обмотки 40 разделительного трансформатора 21 становится меньше напряжения на выводах вторичной обмотки 41 разделительного трансформатора 22. Поэтому схема сравнения 39 срабатывает и через элемент ИЛИ 48 выдает сигнал в цепь сигнализации и на блокировку защиты, контролирующей величину тока обратной последовательности. Аналогично при повреждениях в цепях обмоток 2, 4 или 5, 7 или 8 выдают сигналы схемы сравнения 39, 42, 45, и указанная защита блокируется.

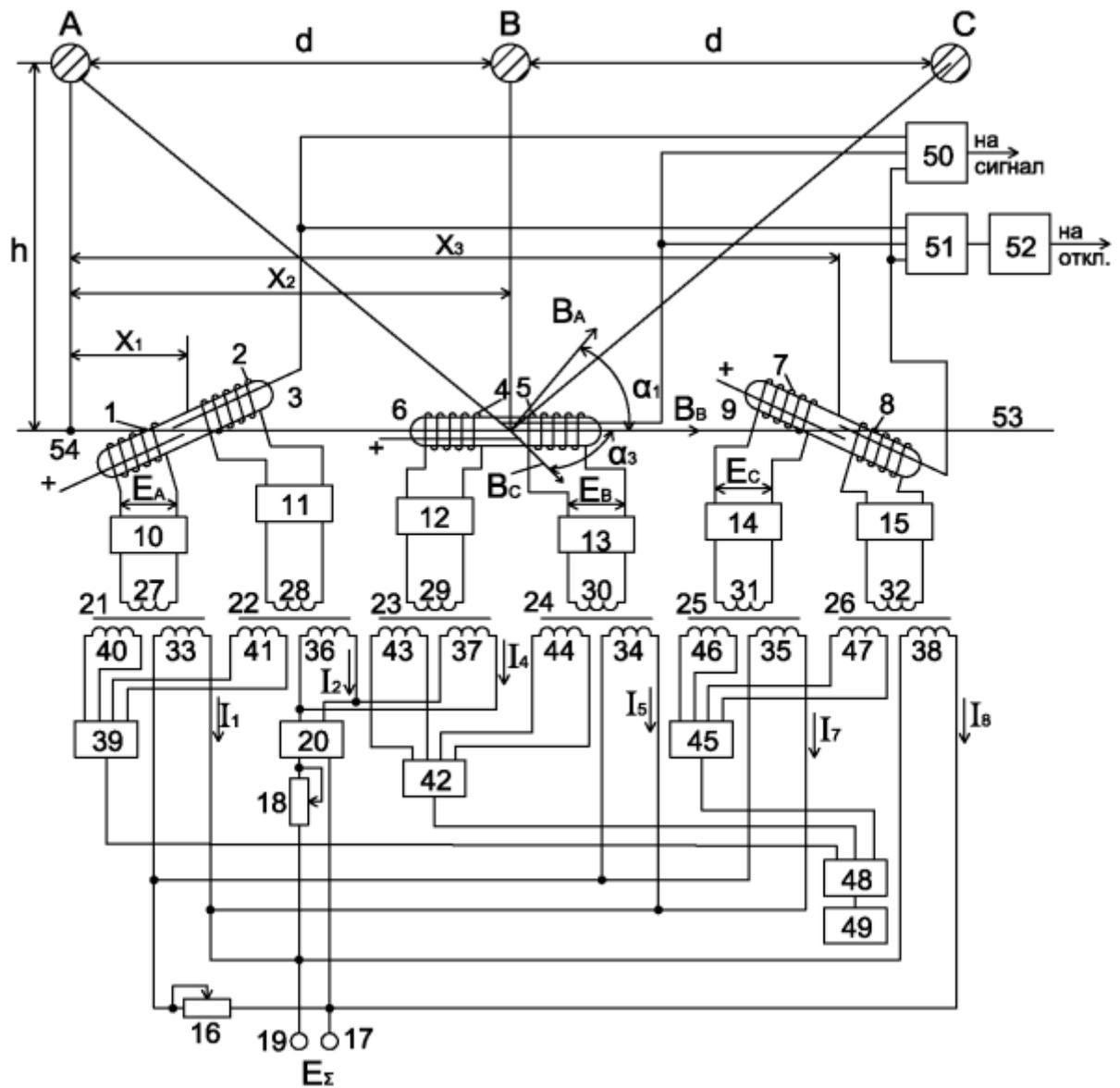
При трехфазных коротких замыканиях срабатывают герконы 3, 6, 9, реагирующие на полные токи в фазах А, В, С, и через выдержку времени времязадающий блок 51 выдает сигнал на вход выходного органа 52, который, срабатывая, подает сигнал в цепь отключения выключателя электроустановки. При залипании контактов любого из герконов 3, 6, 9 срабатывает блок измерения времени 50, который подает сигнал в цепь сигнализации.

Экономический эффект - предлагаемый фильтр тока обратной последовательности позволяет одновременно выявлять полные токи фаз электроустановки и токи обратной последовательности в них без использования трансформаторов тока, а также уменьшить недоотпуск электроэнергии потребителям за счет своевременного выявления неисправностей в фильтре.

#### **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Фильтр тока обратной последовательности на магниточувствительных элементах для электроустановок с горизонтальным расположением токопроводов фаз, содержащий первую и вторую обмотки, намотанные на первый геркон, третью и

четвертую обмотки, намотанные на второй геркон, пятую и шестую обмотки, намотанные на третий геркон, причем входы первого, второго, третьего, четвертого, пятого и шестого усилителей подключены к выводам первой, второй, третьей, четвертой, пятой и шестой обмоток, соответственно, первый резистор подключен первым выводом к первому выходному зажиму, второй резистор первым выводом подключен к второму выходному зажиму, а другим выводом к выходу фазоповоротной схемы, другой выход которой подключен к первому выходному зажиму, *отличающийся* тем, что первый, второй, третий, четвертый, пятый и шестой разделительные трансформаторы с двумя вторичными обмотками подключены первичными обмотками к выводам первого, второго, третьего, четвертого, пятого и шестого усилителей, один вывод первой вторичной обмотки первого, четвертого и пятого разделительных трансформаторов подключен к второму выводу первого резистора, а другой вывод – к второму выходному зажиму, первые вторичные обмотки второго и третьего разделительных трансформаторов подключены к входам фазоповоротной схемы, первая вторичная обмотка шестого разделительного трансформатора подключена к первому и второму выходным зажимам, первая схема сравнения подключена входами к вторым вторичным обмоткам первого и второго разделительных трансформаторов, вторая схема сравнения подключена к вторым вторичным обмоткам третьего и четвертого разделительных трансформаторов, третья схема сравнения подключена к вторым вторичным обмоткам пятого и шестого разделительных трансформаторов, выходы первой, второй и третьей схем сравнения подключены к элементу ИЛИ, выход которого подключен к блоку блокировки защиты, основанной на контроле величин симметричных составляющих токов, блок измерения времени подключен к контактам первого, второго и третьего герконов, а выходом в цепь сигнализации, время задающий блок подключен к контактам первого, второго и третьего герконов, а выходом к выходному органу защиты, выход которого подключен в цепь отключения выключателя электроустановки.



Фиг. 1