

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **19086**

(13) **С1**

(46) **2015.04.30**

(51) МПК

**H 02H 1/04** (2006.01)

**H 02H 7/04** (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО БЛОКИРОВКИ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ  
ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ БРОСКЕ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ**

(21) Номер заявки: а 20131196

(22) 2013.10.15

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Романюк Фёдор Алексеевич; Ломан Михаил Степанович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ШНЕЕРСОН Э.М. Цифровая линейная защита. - М.: Энергоатомиздат, 2007. - С. 177-181.

ВУ 15398 С1, 2012.

RU 2176123 С1, 2001.

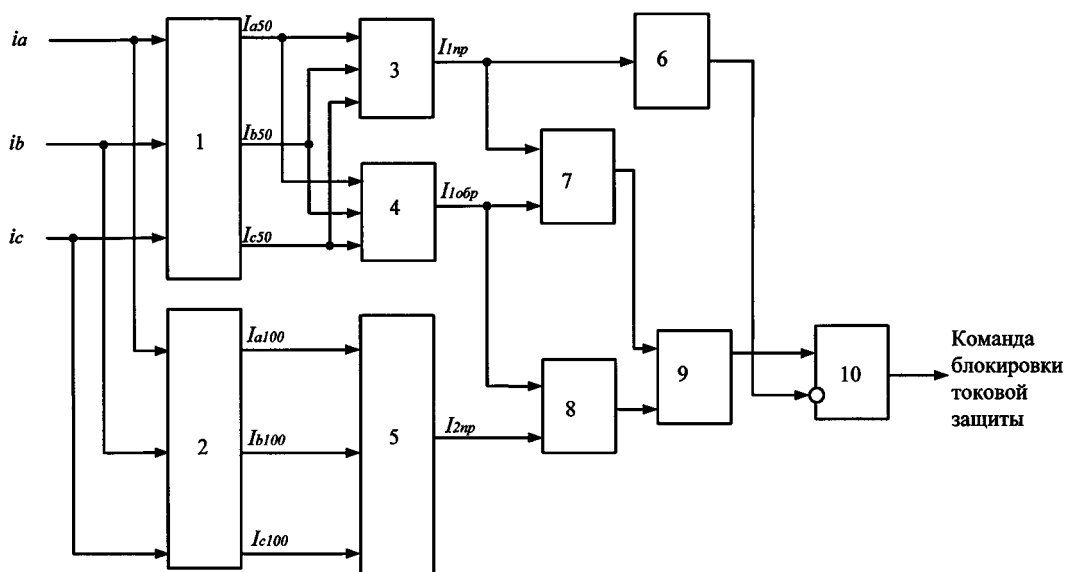
SU 556529, 1977.

SU 1228179 А1, 1986.

CN 201584755 U, 2010.

(57)

Устройство блокировки токовой защиты трансформатора при броске тока намагничивания, содержащее трехфазный частотный фильтр первой гармоники тока фазы и частотный фильтр второй гармоники тока фазы, входы которых подключены к измерительным трансформаторам тока, первый фильтр тока прямой последовательности и фильтр тока обратной последовательности, подключенные к выходам частотного фильтра первой гармоники, второй фильтр тока прямой последовательности, подключенный к выходам частотного фильтра второй гармоники, блок запрета блокировки, подключенный к выходу первого фильтра тока прямой последовательности, блок контроля содержания тока обратной последовательности, первый вход которого подключен к выходу первого фильтра тока



Фиг. 1

ВУ 19086 С1 2015.04.30

прямой последовательности, а второй - к выходу фильтра тока обратной последовательности, блок расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, первый вход которого подключен к выходу фильтра тока обратной последовательности, а второй - к выходу второго фильтра тока прямой последовательности, элемент И, первый вход которого подключен к выходу блока контроля содержания тока обратной последовательности первой гармоники, а второй - к выходу блока расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, выход элемента И подключен к первому входу элемента ЗАПРЕТ, второй вход которого подключен к выходу блока запрета блокировки.

---

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано в области релейной защиты электроэнергетических систем, а именно в устройствах токовых защит трансформаторов.

Известно устройство для блокировки токовой защиты трансформатора при броске тока намагничивания [1], содержащее максиселектор, фильтр тока обратной последовательности с частотным фильтром второй гармоники на выходе, при этом входы фильтра тока обратной последовательности и максиселектора соединены и подключены к измерительным трансформаторам тока защищаемого объекта, а выход максиселектора подключен к первому входу блока расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, ко второму входу которого присоединен выход частотного фильтра.

В указанном устройстве блок расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания реализуется на основе оценки отношения второй гармоники тока обратной последовательности к максимальному фазному току. Устройство содержит малое число функциональных блоков, что приводит к снижению числа элементов при его реализации на аналоговой базе, а также к снижению требований к вычислительной способности процессора и объему памяти программы при его реализации на микропроцессорной базе.

Недостатком данного устройства является невысокая чувствительность к броску тока намагничивания, так как критерий блокировки реализуется на основе оценки отношения второй гармоники тока обратной последовательности и максимального фазного тока, а максимальный фазный ток содержит в себе весь спектр гармоник, в том числе вторую гармонику тока обратной последовательности.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технической сущности и достигаемому результату является устройство для блокировки токовой защиты трансформатора при броске тока намагничивания [2], содержащее частотный фильтр первой гармоники тока фазы и частотный фильтр второй гармоник тока фазы, входы которых подключены к измерительному трансформатору тока защищаемого объекта, выход частотного фильтра первой гармоники тока фазы соединен с первым входом блока расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, выход частотного фильтра второй гармоники тока фазы соединен со вторым входом блока расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, выход которого подключен к первому входу элемента ЗАПРЕТ, первый блок задания уставок, выход которого соединен с третьим входом блока расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, блок запрета блокировки, первый вход которого подключен к выходу частотного фильтра первой гармоники тока фазы, а второй вход - к выходу второго блока задания уставок, при этом выход блока запрета блокировки подключен ко второму входу элемента ЗАПРЕТ, на выходе которого формируется команда блокировки токовой защиты.

В указанном устройстве блок расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания реализуется на основе оценки отношения второй и первой гармоник тока фазы. Как правило, в одной из фаз трехфазной сети отношение второй и первой гар-

моник тока фазы имеет малое значение, а значит, для этой фазы устройство имеет низкую чувствительность к броску тока намагничивания.

Еще одним недостатком является то, что устройство выполняется трехсистемным - отдельно для каждой из трех фаз - и содержит большое число функциональных блоков. При реализации на аналоговой базе устройство требует использования большого количества элементов. В случае реализации на микропроцессорной базе требуется относительно большая вычислительная способность процессора и существенный объем памяти программы.

Задача, решаемая изобретением - повышение чувствительности блокировки токовой защиты для трехфазной сети при броске тока намагничивания и упрощение реализации устройства блокировки.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве блокировки токовой защиты трансформатора при броске тока намагничивания, содержащем трехфазные частотный фильтр первой гармоники тока фазы и частотный фильтр второй гармоники тока фазы, входы которых подключены к измерительным трансформаторам тока, первый фильтр тока прямой последовательности и фильтр тока обратной последовательности, подключенные к выходам частотного фильтра первой гармоники, второй фильтр тока прямой последовательности, подключенный к выходам частотного фильтра второй гармоники, блок запрета блокировки, подключенный к выходу первого фильтра тока прямой последовательности, блок контроля содержания тока обратной последовательности, первый вход которого подключен к выходу первого фильтра тока прямой последовательности, а второй - к выходу фильтра тока обратной последовательности, блок расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, первый вход которого подключен к выходу фильтра тока обратной последовательности, а второй - к выходу второго фильтра тока прямой последовательности, элемент И, первый вход которого подключен к выходу блока контроля содержания тока обратной последовательности первой гармоники, а второй - к выходу блока расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, выход элемента И подключен к первому входу элемента ЗАПРЕТ, второй вход которого подключен к выходу блока запрета блокировки.

Наличие в схеме фильтров токов прямой и обратной последовательностей позволяет выполнить устройство блокировки при броске тока намагничивания односистемным и таким образом упростить его по сравнению с прототипом. В предлагаемом устройстве блок расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания реализуется на основе оценки отношения второй гармоники тока прямой последовательности и первой гармоники тока обратной последовательности, при этом при срабатывании данного блока запрещается работа токовой защиты в трех фазах, что обеспечивает повышение чувствительности блокировки токовой защиты в трехфазной сети по сравнению с прототипом.

Бросок тока намагничивания возникает при включении трансформатора на холостой ход, в циклах АПВ, АВР, при восстановлении напряжения после отключения внешних коротких замыканий (КЗ) и может достигать десятикратных значений по отношению к номинальному току трансформатора. Во всех фазах броски тока намагничивания различны по величине, гармоническому составу, форме и затухают достаточно медленно. Под действием броска тока намагничивания все ступени токовых защит могут срабатывать ложно. Вероятность ложных срабатываний тем больше, чем выше чувствительность и быстродействие ступени защиты. Переходной процесс, сопровождающийся броском тока намагничивания, является несимметричным режимом. Как правило, в двух фазах токи имеют однополярный характер, максимальны по величине и содержат апериодическую составляющую, гармонику основной частоты и высшие гармоники. В третьей фазе ток меньше, практически не содержит апериодической составляющей и характеризуется высоким содержанием высших гармоник. Характерной особенностью такого переходного режима является то, что независимо от условий его возникновения в токах всех фаз всегда

## ВУ 19086 С1 2015.04.30

содержатся первая (50 Гц) и вторая (100 Гц) гармоники, при этом первая гармоника токов включает в себя в значительной мере составляющую обратной последовательности  $I_{2np}$ , вторая гармоника токов включает в себя в значительной мере составляющую прямой последовательности  $I_{1обр}$ .

В симметричных трехфазных системах первые гармоники частотой 50 Гц в токах  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  образуют систему прямой последовательности, а вторые - систему обратной последовательности частотой 100 Гц. В несимметричных режимах работы, например при несимметричных КЗ, в токах  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  появляются составляющие прямой и обратной последовательности в основном частотой 50 Гц. Таким образом, высокое содержание токов второй гармоники (частотой 100 Гц) прямой последовательности является отличительным признаком броска тока намагничивания, что позволяет повысить чувствительность блокировки для трехфазной сети по сравнению с прототипом.

Выделение токов фаз первой и второй гармоники осуществляется трехфазными частотными фильтрами 50 и 100 Гц соответственно. Выходные сигналы фильтра тока обратной последовательности первой гармоники и фильтра токов прямой последовательности второй гармоники поступают в блок расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, где определяется численное значение параметра блокировки при броске тока намагничивания  $I_{2np}/I_{1обр}$ , которое затем сравнивается с заранее рассчитанным пороговым значением  $K_{БЛК}$ . Использование отношения  $I_{2np}/I_{1обр}$  вместо отношения второй гармоники тока к первой гармонике тока, рассчитываемого для каждой из трех фаз отдельно в прототипе, позволяет упростить блокировку.

Сущность предлагаемого устройства поясняется фигурами, где на фиг. 1 приведена функциональная схема предлагаемого устройства для блокировки токовой защиты трансформатора при броске тока намагничивания, на фиг. 2 - график изменения во времени параметра блокировки при опыте броска тока намагничивания для предлагаемого устройства и для прототипа.

Устройство содержит трехфазный частотный фильтр 1 первой гармоники тока и трехфазный частотный фильтр 2 второй гармоники тока, подключаемые к измерительным трансформаторам тока защищаемого объекта (на чертеже не показаны) на фазные токи  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ , фильтр 3 тока прямой последовательности и фильтр 4 тока обратной последовательности, подключенные к выходам трехфазного частотного фильтра 1 первой гармоники тока, фильтр 5 тока прямой последовательности, подключенный к выходам трехфазного частотного фильтра 2 второй гармоники тока, блок 6 запрета блокировки, подключенный к выходу фильтра 3 тока прямой последовательности, блок 7 контроля содержания тока обратной последовательности первой гармоники, первый вход которого подключен к выходу фильтра 3 тока прямой последовательности, а второй - к выходу фильтра 4 тока обратной последовательности, блок 8 расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, первый вход которого подключен к выходу фильтра 4 тока обратной последовательности, а второй - к выходу фильтра 5 тока прямой последовательности, элемент 9 И, первый вход которого подключен к выходу блока 7 контроля содержания тока обратной последовательности первой гармоники, а второй - к выходу блока 8 расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания, выход элемента 9 И подключен к первому входу элемента 10 ЗАПРЕТ, при этом второй вход элемента 10 ЗАПРЕТ подключен к выходу блока 6 запрета блокировки, а на выходе элемента 10 ЗАПРЕТ формируется команда блокировки токовой защиты.

Трехфазный частотный фильтр 1 первой гармоники тока предназначен для выделения из токов трех фаз  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  составляющих  $i_{a50}$ ,  $i_{b50}$ ,  $i_{c50}$  частотой 50 Гц.

Трехфазный частотный фильтр 2 второй гармоники тока предназначен для выделения из токов трех фаз  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  составляющих  $i_{a100}$ ,  $i_{b100}$ ,  $i_{c100}$  частотой 100 Гц.

Фильтр 3 тока прямой последовательности обеспечивает выделение из фазных токов первой гармоники  $i_{a50}$ ,  $i_{b50}$ ,  $i_{c50}$  тока прямой последовательности  $I_{1np}$ .

Фильтр 4 тока обратной последовательности осуществляет выделение из фазных токов первой гармоники  $i_{a50}$ ,  $i_{b50}$ ,  $i_{c50}$  тока обратной последовательности  $I_{1обр}$ .

Фильтр 5 тока прямой последовательности осуществляет выделение из фазных токов второй гармоники  $i_{a100}$ ,  $i_{b100}$ ,  $i_{c100}$  тока прямой последовательности  $I_{2пр}$ .

Блок 6 запрета блокировки сравнивает значение тока  $I_{1пр}$ , поступающее от фильтра 3 тока прямой последовательности, с заранее заданной уставкой  $I_{1бл.макс}$ .

Блок 7 контроля содержания тока обратной последовательности первой гармоники по сигналам  $I_{1пр}$  и  $I_{1обр}$ , поступающим от фильтра 3 тока прямой последовательности и фильтра 4 тока обратной последовательности, рассчитывает отношение  $I_{1обр}/I_{1пр}$ , а затем сравнивает с заранее заданным коэффициентом  $K_C$ .

Блок 8 расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания по сигналам  $I_{1обр}$  и  $I_{2пр}$ , поступающим от фильтра 4 тока обратной последовательности и фильтра 5 тока прямой последовательности, рассчитывает отношение  $I_{2пр}/I_{1обр}$ , а затем сравнивает с заранее заданной уставкой  $K_{бл}$ .

Элемент 9 И служит для разрешения блокировки защиты только при достаточно высоком уровне обратной последовательности тока первой гармоники и формирует выходной сигнал при одновременном выполнении условий по блоку 7 и блоку 8.

Элемент 10 ЗАПРЕТ служит для запрета блокировки защиты дискретным сигналом, который формируется в блоке 6 запрета блокировки.

Все блоки могут быть выполнены по известным схемам на базе аналоговой или цифровой техники. Наиболее целесообразно использовать для реализации устройства серийно выпускаемые промышленностью микроконтроллеры (микроЭВМ).

Устройство работает следующим образом. Входные токи  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  от измерительных трансформаторов тока поступают на входы трехфазного фильтра 1 первой гармоники тока и трехфазного фильтра 2 второй гармоники тока. Трехфазный частотный фильтр 1 выделяет составляющие первой гармоники  $i_{a50}$ ,  $i_{b50}$ ,  $i_{c50}$  частотой 50 Гц, которые подаются на входы фильтра 3 тока прямой последовательности и входы фильтра 4 тока обратной последовательности. Фильтр 3 выделяет ток прямой последовательности  $I_{1пр}$  частотой 50 Гц. Фильтр 4 выделяет ток обратной последовательности  $I_{1обр}$  частотой 50 Гц. Ток  $I_{1пр}$  подается на вход блока 6 запрета блокировки и на первый вход блока 7 контроля содержания тока обратной последовательности первой гармоники. Ток  $I_{1обр}$  подается на второй вход блока 7 контроля содержания тока обратной последовательности первой гармоники и на первый вход блока 8 расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания.

Трехфазный частотный фильтр 2 выделяет составляющие второй гармоники  $i_{a100}$ ,  $i_{b100}$ ,  $i_{c100}$  частотой 100 Гц, которые подаются на вход фильтра 5 тока прямой последовательности. Фильтр 5 токов прямой последовательности выделяет ток прямой последовательности  $I_{2пр}$  частотой 100 Гц. Ток  $I_{2пр}$  подается на второй вход блока 8 расчета и контроля параметра блокировки при броске тока намагничивания.

В блоке 6 значение  $I_{1пр}$  сравнивается с заранее заданной уставкой  $I_{бл.макс}$ . Если  $I_{1пр}$  больше  $I_{бл.макс}$ , то фиксируется режим короткого замыкания и элементом 10 ЗАПРЕТ запрещается блокировка токовой защиты.

В блоке 7 рассчитывается отношение  $I_{1обр}/I_{1пр}$ , которое сравнивается с заранее заданным коэффициентом  $K_C$ . Если  $I_{1обр}/I_{1пр}$  больше  $K_C$ , то констатируется наличие несимметричного режима и формируется сигнал на выходе блока.

В блоке 8 рассчитывается отношение  $I_{2пр}/I_{1обр}$ , которое сравнивается с заранее заданной уставкой  $K_{бл}$ . Если  $I_{2пр}/I_{1обр}$  больше  $K_{бл}$ , то формируется сигнал на выходе блока 8.

Элемент 9 И проверяет одновременное выполнение условий по блокам 7 и 8. Элемент 9 И разрешает реализацию блокировки только при достаточно большом уровне тока обратной последовательности, что исключает ошибки, связанные с погрешностями расчета тока обратной последовательности, например, в симметричных режимах с малой нагрузкой.

Элемент 10 ЗАПРЕТ по сигналу от блока 6 запрещает блокировку токовой защиты при токах заведомо больших, чем бросок тока намагничивания.

В нормальных режимах, при перегрузках, самозапуске двигателей, при симметричных междуфазных КЗ, не сопровождающихся насыщением трансформаторов тока, сигналы на выходах фильтров 2 и 5 малы и обусловлены погрешностью измерений, сигналы на выходах фильтра 1 пропорциональны токам фаз, а ток  $I_{1обр}$  на выходе фильтра 4 близок к нулю. При этом значение  $I_{2нр}/I_{1обр}$  может превысить значение  $K_{бл}$ , что приведет к формированию сигнала на выходе блока 8. В рассматриваемых симметричных режимах ток прямой последовательности первой гармоники  $I_{1нр}$  имеет значительную величину, а ток обратной последовательности первой гармоники  $I_{1обр}$  имеет малое значение, при этом отношение  $I_{1обр}/I_{1нр}$  меньше коэффициента  $K_C$  и сигнал на выходе блока 7 не формируется, тогда элемент 9 И не разрешает блокировку токовой защиты.

При несимметричных междуфазных КЗ, не сопровождающихся насыщением трансформаторов тока, сигналы на выходах фильтров 2 и 5 малы и обусловлены погрешностью измерений, сигналы на выходах блока 1 пропорциональны токам фаз, а сигнал на выходе фильтра 4 имеет значительную величину. При этом значение  $I_{2нр}/I_{1обр}$  не превышает значение  $K_{бл}$ , не генерируется сигнал на выходе блока 8 и команда блокировки токовой защиты не формируется.

При симметричных и несимметричных КЗ, сопровождающихся насыщением трансформаторов тока, трехфазный частотный фильтр 2 выделяет составляющие тока частотой 100 Гц, на выходе фильтра 5 появляется составляющая прямой последовательности  $I_{2нр}$ . При глубоком насыщении трансформаторов тока значение  $I_{2нр}/I_{1обр}$  может превысить значение  $K_{бл}$ , что приведет к формированию сигнала на выходе блока 8. Насыщение трансформаторов тока вызывается протеканием больших токов КЗ, при этом значение тока  $I_{1нр}$  превышает уставку  $K_{бл.макс}$  и блок 6 формирует сигнал на своем выходе, который запрещает формирование команды блокировки токовой защиты.

В режимах работы, сопровождающихся броском тока намагничивания, в токах  $i_a, i_b, i_c$  появляются вторые гармоники значительной величины. На выходах блока 1 появляются сигналы, пропорциональные первой гармонике в токах  $i_a, i_b, i_c$ . На выходах фильтров 3 и 4 появляются составляющие прямой и обратной последовательности тока первой гармоники соответственно. При этом отношение  $I_{1обр}/I_{1нр}$  больше коэффициента  $K_C$  и на выходе блока 7 формируется сигнал, разрешающий блокировку токовой защиты и подаваемый на первый вход элемента 9 И.

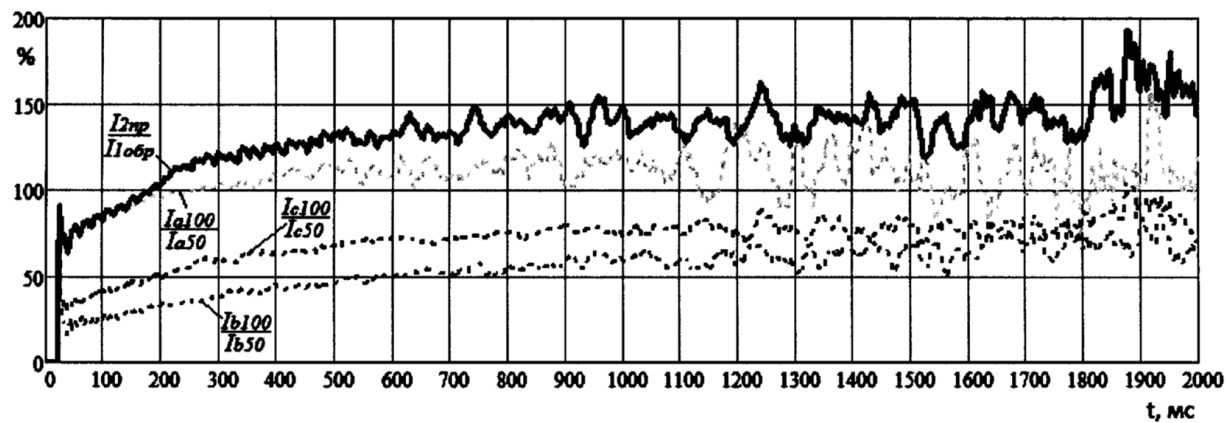
На выходах фильтров 2 и 5 появляются сигналы, пропорциональные второй гармонике в токах  $i_a, i_b, i_c$ . Численное значение параметра блокировки  $I_{2нр}/I_{1обр}$  превышает уставку  $K_{бл}$  и на выходе блока 8 появляется сигнал, при этом ток  $I_{1нр}$  может достигать нескольких крат номинального тока силового трансформатора, но не превышает уставку  $I_{бл.макс}$ , и блок 6 не формирует сигнал на своем выходе. Наличие сигналов на входах элемента 9 И приводит к подаче сигнала на первый вход элемента 10 ЗАПРЕТ, и т.к. сигнал на втором входе элемента 10 ЗАПРЕТ отсутствует, то на выходе элемента 10 появляется команда блокировки токовой защиты.

Из фиг. 2 видно, что параметр блокировки предлагаемого устройства (отношение  $I_{2нр}/I_{1обр}$ ) имеет большие значения, чем параметр блокировки прототипа по любой из трех фаз (отношения  $I_{a100}/I_{a50}, I_{b100}/I_{b50}, I_{c100}/I_{c50}$ ). Это значит, что предлагаемое устройство обеспечивает повышение чувствительности блокировки токовой защиты трансформатора в трехфазной сети по сравнению с прототипом. Значения, представленные на фиг. 2, были получены с помощью математического моделирования предлагаемого устройства и прототипа, при этом в качестве входных данных использовались токи, полученные при проведении натурального эксперимента броска тока намагничивания на трансформаторе в белорусской энергосистеме.

# ВУ 19086 С1 2015.04.30

Источники информации:

1. Патент 16960 ВУ, МПК Н02Н 3/08, 3/20, 2013.
2. Шнеерсон Е.М. Цифровая релейная защита. - М.: Энергоатомиздат, 2007. - С. 177-181.



Фиг. 2