

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 16960

(13) С1

(46) 2013.04.30

(51) МПК

H 02H 3/08 (2006.01)

H 02H 3/20 (2006.01)

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С СИЛОВЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

(21) Номер заявки: а 20110418

(22) 2011.04.05

(43) 2012.12.30

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

(72) Авторы: Романюк Федор Алексеевич;  
Тишечкин Анатолий Артемович;  
Глинский Евгений Владимирович;  
Сапожникова Анна Георгиевна (ВУ)

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

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

ВУ 5111 С1, 2003.

ВУ 11267 С1, 2008.

RU 2009590 С1, 1994.

RU 2137276 С1, 1999.

KZ 21962 А4, 2009.

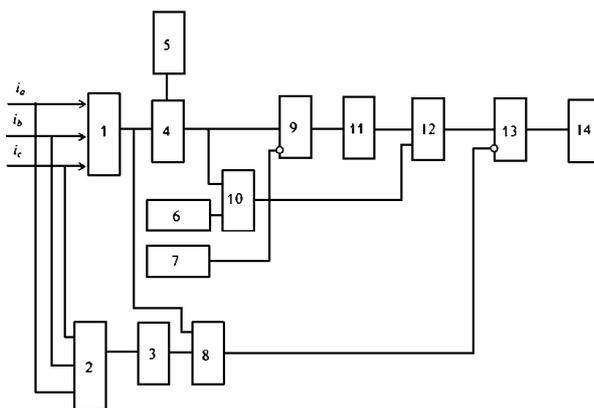
SU 1160498 А1, 1985.

SU 1695439 А1, 1991.

CN 1917322 А, 2007.

(57)

Устройство для максимальной токовой защиты элементов электроэнергетических систем с силовыми трансформаторами, содержащее измерительный орган тока с блоком задания уставок, блок ускорения, блок блокировки защиты, блок расчета и контроля параметра блокировки при бросках тока намагничивания, при этом выход измерительного органа подключен ко входу первого логического элемента ЗАПРЕТ и первому входу логического элемента И, ко второму входу которого подключен блок ускорения, выход первого логического элемента ЗАПРЕТ через блок выдержки времени, а также выход логического элемента И подключены к соответствующим входам логического элемента ИЛИ, выход которого соединен со входом второго логического элемента ЗАПРЕТ, входы запрета первого и второго логических элементов ЗАПРЕТ подключены соответственно к блоку блокировки защиты и выходу блока расчета и контроля параметра блокировки при бросках тока намагничивания, выход второго логического элемента ЗАПРЕТ соединен



ВУ 16960 С1 2013.04.30

со входом блока отключения выключателя, максиселектор, фильтр токов обратной последовательности с частотным фильтром на выходе, при этом входы фильтра токов обратной последовательности и максиселектора соединены и присоединены к измерительным трансформаторам тока защищаемого объекта, а выход максиселектора подключен ко входу измерительного органа тока и к первому входу блока расчета и контроля параметра блокировки при бросках тока намагничивания, ко второму входу которого присоединен частотный фильтр.

---

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано в области релейной защиты электроэнергетических систем, а именно к устройствам токовых защит элементов электроэнергетических систем с силовыми трансформаторами.

Известно устройство максимальной токовой защиты [1], содержащее измерительные органы тока, входы которых подключены к измерительным трансформаторам тока, а выходы через логический элемент ИЛИ, орган выдержки времени связаны с блоком отключения выключателя защищаемого объекта. Измерительными органами защиты являются реле максимального тока, включенные на полные токи всех фаз защищаемого объекта.

Недостатками известного устройства являются значительное число измерительных органов (ИО) тока и возможность ложных срабатываний от бросков тока намагничивания (БТН) силовых трансформаторов.

Известно устройство односистемной максимальной токовой защиты [2], содержащее максиселектор, входы которого через входные преобразователи тока подключены к измерительным трансформаторам тока защищаемого объекта, а выход соединен с входом ИО тока, выход которого через орган выдержки времени связан с блоком отключения выключателя.

Известное устройство содержит минимальное число ИО тока. Однако устройство может ложно срабатывать при бросках тока намагничивания силовых трансформаторов.

Наиболее близким к предлагаемому по технической сущности и достигаемому результату является устройство для максимальной токовой защиты [3], содержащее измерительные органы тока с блоками задания уставок, блоки ускорения, блоки блокировки защиты, блоки гармонического анализа токов фаз, выходы которых соединены с первым и вторым входом блоков расчета и контроля параметра блокировки при бросках тока намагничивания, входы измерительных органов и блоков гармонического анализа токов фаз подключены к измерительным трансформаторам тока защищаемого объекта, выходы измерительных органов подключены ко входам первых логических элементов ЗАПРЕТ и первым входам логических элементов И, ко вторым входам которых подключены блоки ускорения, выходы первых логических элементов ЗАПРЕТ через блоки выдержки времени и выходы логических элементов И через логические элементы ИЛИ соединены со входом второго логического элемента ЗАПРЕТ, входы запрета первых и второго логических элементов ЗАПРЕТ подключены соответственно к блокам блокировки защиты и выходам блоков расчета и контроля параметров блокировки при бросках тока намагничивания, выход второго логического элемента ЗАПРЕТ соединен с блоком отключения выключателя.

В указанном устройстве блоки гармонического анализа токов фаз, которые выделяют из контролируемых токов составляющие первой  $i_1$  и второй  $i_2$  гармоник в сочетании с блоками расчета и контроля параметра блокировки при БТН, где определяется отношение  $I_2/I_1$ , для всех фаз образуют блок блокировки при БТН.

Такая защита содержит значительное число ИО тока с блоками задания уставок, которые реагируют на полные токи всех фаз, а в блоках гармонического анализа из полных токов  $i_a, i_b, i_c$  каждой фазы выделяются составляющие первой  $i_1$  и второй  $i_2$  гармоник, которые в блоках расчета и контроля параметра блокировки при БТН используются для расчета параметра блокировки  $I_2/I_1$  и последующего сравнения его с заранее заданной

## ВУ 16960 С1 2013.04.30

величиной  $I_{\text{Бу}}$ . Такое пофазное выполнение значительно усложняет блокировку при БТН и защиту в целом.

Задача, решаемая изобретением, - уменьшение числа измерительных органов, упрощение блокировки при БТН и защиты в целом.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве для максимальной токовой защиты элементов электроэнергетических систем с силовыми трансформаторами, содержащем измерительный орган тока с блоком задания уставок, блок ускорения, блок блокировки защиты, блок расчета и контроля параметра блокировки при бросках тока намагничивания, при этом выход измерительного органа подключен ко входу первого логического элемента ЗАПРЕТ и первому входу логического элемента И, ко второму входу которого подключен блок ускорения, выход первого логического элемента ЗАПРЕТ через блок выдержки времени, а также выход логического элемента И подключены к соответствующим входам логического элемента ИЛИ, выход которого соединен со входом второго логического элемента ЗАПРЕТ, входы запрета первого и второго логических элементов ЗАПРЕТ подключены соответственно к блоку блокировки защиты и выходу блока расчета и контроля параметра блокировки при бросках тока намагничивания, выход второго логического элемента ЗАПРЕТ соединен со входом блока отключения выключателя, максиселектор, фильтр токов обратной последовательности с частотным фильтром на выходе, при этом входы фильтра токов обратной последовательности и максиселектора соединены и присоединены к измерительным трансформаторам тока защищаемого объекта, а выход максиселектора подключен ко входу измерительного органа тока и к первому входу блока расчета и контроля параметра блокировки при бросках тока намагничивания, ко второму входу которого присоединен частотный фильтр.

Введение в схему защиты максиселектора и фильтра токов обратной последовательности позволяет выполнить защиту и устройство блокировки при БТН односистемными и таким образом уменьшить число ИО, значительно упростить блокировку при БТН и защиту в целом.

БТН возникает при включении защищаемого объекта с силовыми трансформаторами в работу, в циклах АПВ, АВР, при восстановлении напряжения после отключения внешних коротких замыканий (КЗ) и может достигать десятикратных значений по отношению к номинальному току. Во всех фазах БТН различны по величине, гармоническому составу, форме и затухают достаточно медленно. Под действием БТН все ступени токовых защит со ступенчатыми характеристиками выдержки времени могут срабатывать ложно. Вероятность ложных срабатываний тем больше, чем выше чувствительность и быстродействие ступени защиты. Переходной процесс, сопровождающийся БТН, является несимметричным режимом. Как правило, в двух фазах токи имеют однополярный характер, максимальны по величине и содержат аperiodическую составляющую, гармонику основной частоты и высшие гармоники. В третьей фазе ток меньше, практически не содержит аperiodическую составляющую и характеризуется высоким содержанием высших гармоник. Характерной особенностью такого переходного режима является то, что независимо от условий возникновения переходного режима в токах всех фаз всегда наблюдается первая и вторая гармоники.

В симметричных трехфазных системах первые гармоники частотой 50 Гц в токах  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  образуют прямую систему, а вторые - систему обратной последовательности [4] частотой 100 Гц, которая выделяется ФТОП. В несимметричных режимах работы, например при несимметричных КЗ, в токах  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  появляются составляющие обратной последовательности других частот, в основном составляющие обратной последовательности частотой 50 Гц. Для улучшения отстройки от токов небаланса и составляющих обратной последовательности других частот, отличных от частоты 100 Гц, и таким образом для повышения чувствительности блокировки на выходе ФТОП включается частотный фильтр, пропускающий только составляющие с частотой 100 Гц, то есть вторую гармонику во входных токах  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ .

## ВУ 16960 С1 2013.04.30

Выходные сигналы частотного фильтра и максиселектора поступают в блок расчета и контроля параметра блокировки при БТН, где определяется численное значение параметра блокировки при БТН  $I_2/I_{\text{макс}}$ , которое затем сравнивается с заранее рассчитанным пороговым значением  $I_{\text{бу}}$ . Использование отношения  $I_2/I_{\text{макс}}$  вместо  $I_2/I_1$  позволяет упростить блокировку. Возможно также использование отношения  $I_2/I_1$  в том случае, если в процессе реализации алгоритма работы ИО защиты вследствие частотной фильтрации из входного сигнала выделяется первая гармоника, что характерно для микропроцессорных устройств защиты.

На чертеже приведена функциональная схема устройства для максимальной токовой защиты.

Устройство содержит максиселектор 1 и фильтр 2 токов обратной последовательности с частотным фильтром 3 на выходе, подключаемые к измерительным трансформаторам тока защищаемого объекта на фазные токи  $i_a, i_b, i_c$ , измерительный орган 4 тока с блоком 5 задания уставки, блок 6 ускорения, блок 7 блокировки защиты, блок 8 расчета и контроля параметра блокировки при БТН, выход измерительного органа 4 тока подключен ко входу первого логического элемента 9 ЗАПРЕТ и первому входу логического элемента 10 И, ко второму входу которого подключен блок 6 ускорения, выход первого логического элемента 9 ЗАПРЕТ через блок 11 выдержки времени и выход логического элемента 10 И через логический элемент 12 ИЛИ соединены со входом второго логического элемента 13 ЗАПРЕТ, входы запрета первого 9 и второго 13 логических элементов ЗАПРЕТ подключены соответственно к блоку 7 блокировки защиты и выходу блока 8 расчета и контроля параметра блокировки при БТН, выход второго логического элемента 13 ЗАПРЕТ соединен с входом блока 14 отключения выключателя, выход максиселектора 1 подключен ко входу ИО 4 и к первому входу блока 8 расчета и контроля параметра блокировки при БТН, ко второму входу которого присоединен выход частотного фильтра 3.

Максиселектор 1 предназначен для выделения  $I_{\text{макс}}$  значения из токов  $I_a, I_b, I_c$  защищаемого объекта.

Фильтр 2 токов обратной последовательности служит для выделения из несимметричной системы токов  $i_a, i_b, i_c$  тока обратной последовательности  $i_{\text{об}}$ .

Частотный фильтр 3 предназначен для выделения из тока обратной последовательности  $i_{\text{об}}$ , составляющей  $i_2$  с частотой 100 Гц.

ИО 4 максимального тока сравнивает значение тока  $I_{\text{макс}}$  с выхода максиселектора 1 с уставкой, задаваемой в блоке 5. Уставки для каждой ступени токовой защиты рассчитываются по общеизвестной методике.

Блок 6 ускорения служит для формирования дискретного сигнала ускорения ступени токовой защиты, например, при ручном включении выключателя или при работе некоторых устройств автоматики. С помощью этого сигнала уменьшается или полностью исключается выдержка времени ступени, задаваемая в блоке 11.

Первый логический элемент 9 ЗАПРЕТ служит для блокирования ступени защиты дискретным сигналом, который формируется в блоке 7. Такое блокирование может быть осуществлено внешней защитой (контактом) или их совокупностью, так и в цикле АПВ. Указанное расширяет возможности применения токовых защит.

Блок 11 выдержки времени служит для задания зависимой или не зависимой от тока уставки по времени срабатывания ступени защиты, выбираемого по условию селективности со смежными защитами по известной методике.

Второй логический элемент 13 ЗАПРЕТ служит для блокирования ступени защиты дискретным сигналом, который формируется в блоке 8. Такое блокирование необходимо для исключения ложных срабатываний ступени защиты при бросках тока намагничивания силовых трансформаторов, возникающих при включении защищаемого объекта с присоединенными трансформаторами или при восстановлении напряжения после отключения внешних коротких замыканий.

Блок 8 расчета и контроля параметра блокировки при бросках тока намагничивания по сигналам, поступающим от частотного фильтра  $i_2$  и максиселектора  $I_{\text{макс}}$ , рассчитывает относительное значение  $I_2/I_{\text{макс}}$  тока второй гармоники в контролируемых токах, а затем сравнивает в пороговом элементе с уставкой  $I_{\text{БУ}}$ .

Блок 14 отключения выключателя реализует сигналы защиты.

Все блоки и элементы могут быть выполнены по известным схемам на базе средств 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 максиселектора 1 и ФТОП 2. Максиселектор 1 выделяет наибольшее значение  $I_{\text{макс}}$  из токов фаз, которое затем сравнивается в ИО 4 с уставкой  $I_y$ . В случае превышения уставки на выходе ИО 4 появляется сигнал, который при отсутствии блокирующих сигналов действует с выдержкой или без выдержки времени на отключение выключателя защищаемого объекта.

ФТОП 2 совместно с частотным фильтром 3 выделяет составляющие обратной последовательности с частотой 100 Гц. Составляющие основной частоты 50 Гц и высшие гармоники частотой 150 Гц и выше не пропускаются частотным фильтром 3. В блоке 8 рассчитывается текущее значение параметра блокировки  $I_2/I_{\text{макс}}$ , которое сравнивается с заранее рассчитанной уставкой  $I_{\text{БУ}}$ . Если  $I_2/I_{\text{макс}}$  больше  $I_{\text{БУ}}$ , то фиксируется БТН и защита блокируется.

В нормальных режимах, при перегрузках, самозапуске электродвигателей, при симметричных междуфазных КЗ, не сопровождающихся насыщением трансформаторов тока, сигналы на выходах блоков 2, 3, 8 отсутствуют. В этих режимах в ИО 4 происходит сравнение тока  $I_{\text{макс}}$ , выделяемого максиселектором 1, с уставкой  $I_y$ , которая рассчитывается заранее из условия наиболее неблагоприятного симметричного режима с учетом самозапуска электродвигателей по общеизвестной методике. Если  $I_{\text{макс}} < I_y$ , то на выходе ИО 4 сигнал отсутствует. В том случае, когда  $I_{\text{макс}} > I_y$ , на выходе ИО 4 появляется сигнал, который при условии отсутствия сигналов блокировки от блоков 7, 8 через логические элементы 9, 12, 13 и блок 11 задания выдержек времени воздействует на исполнительный элемент 14 блока отключения выключателя. Выдержка времени защиты может быть блокирована сигналом с выхода блока 6.

При несимметричных КЗ, не сопровождающихся насыщением трансформаторов тока, на выходе ФТОП 2 появляется составляющая обратной последовательности основной частоты 50 Гц, которая не пропускается частотным фильтром 3. Сигнал на выходе блока 8 отсутствует и действие защиты на отключение разрешается.

При симметричных и несимметричных КЗ, сопровождающихся насыщением трансформаторов тока, на выходе ФТОП 2 кроме составляющей обратной последовательности основной частоты 50 Гц появляются составляющие обратной последовательности высших гармоник [5]. Частотный фильтр 3 выделяет только составляющую обратной последовательности частотой 100 Гц.

Поскольку численное значение параметра блокировки  $I_2/I_{\text{макс}}$  меньше порогового значения  $I_{\text{БУ}}$ , то в этих режимах сигнал на входе запрета логического элемента 13 отсутствует и действие защиты на отключение разрешается.

В режимах работы, сопровождающихся БТН, независимо от степени насыщения трансформаторов тока, в токах  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  появляются вторые гармоники значительной величины. На выходах блоков 2, 3 появляется сигнал, пропорциональный второй гармонике в токах  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ . Численное значение параметра блокировки превышает уставку и на выходе блока 8 и на входе запрета логического элемента 13 ЗАПРЕТ появляется сигнал, которым блокируется действие защиты. По окончании переходного процесса сигнал на входе запрета логического элемента 13 ЗАПРЕТ исчезает и действие защиты разрешается. При необходимости действие защиты может быть запрещено сигналом от блока 7. При нали-

# ВУ 16960 С1 2013.04.30

чий сигнала на входе запрета логического элемента 9 ЗАПРЕТ сигнал на выходе этого элемента отсутствует независимо от наличия сигнала на выходе ИО 4.

Источники информации:

1. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. - М.: Энергия, 1976. - С 52-56, 61-64, 66-71.
2. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - С. 192-196.
3. Шнеерсон Е.М. Цифровая релейная защита. - М.: Энергоатомиздат, 2007. - С. 177-181.
4. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 1971. - С. 437-439.
5. Сопьяник В.Х. Расчет и анализ переходных и установившихся процессов в трансформаторах тока и токовых цепях устройств релейной защиты. - Минск: БГУ, 2000. - С. 108-118.