

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 19004

(13) С1

(46) 2015.02.28

(51) МПК

H 02H 1/04 (2006.01)

H 02H 3/44 (2006.01)

H 02H 7/045 (2006.01)

(54) СПОСОБ БЛОКИРОВКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ВНЕШНЕМ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

(21) Номер заявки: а 20130831

(22) 2013.07.08

(71) Заявители: Белорусский национальный технический университет; Открытое акционерное общество "Белэлектромонтажналадка" (ВУ)

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

(73) Патентообладатели: Белорусский национальный технический университет; Открытое акционерное общество "Белэлектромонтажналадка" (ВУ)

(56) RU 2368990 С1, 2009.

ВУ 4758 С1, 2002.

ВУ 15398 С1, 2012.

RU 2261510 С1, 2005.

EP 0045105 А1, 1982.

JPS 54132749 А, 1979.

US 5808844, 1998.

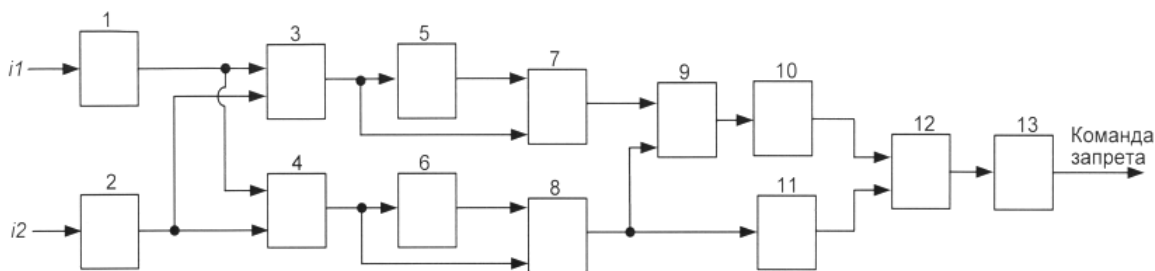
(57)

Способ блокировки дифференциальной защиты электроэнергетических систем при внешнем коротком замыкании, при котором периодически измеряют токи плеч защиты, вычисляют тормозной ток $i_{\text{ТОРМ}}$, дифференциальный ток $i_{\text{ДИФ}}$, приращения тормозного тока $\Delta i_{\text{ТОРМ}}$ и дифференциального тока $\Delta i_{\text{ДИФ}}$, вычисляют отношение

$\frac{\Delta i_{\text{ДИФ}}}{\Delta i_{\text{ТОРМ}}}$, а блокировку защиты на требуемое время осуществляют при выполнении условия:

$$\frac{\Delta i_{\text{ДИФ}}}{\Delta i_{\text{ТОРМ}}} < K, \text{ при } \Delta i_{\text{ТОРМ}} > 0,$$

где $K = 0,2-0,3$ - коэффициент, учитывающий погрешность определения $i_{\text{ТОРМ}}$ и $i_{\text{ДИФ}}$.



Фиг. 4

ВУ 19004 С1 2015.02.28

Изобретение относится к электротехнике, предназначено для предотвращения ложной работы дифференциальной защиты электроэнергетических систем при внешнем коротком замыкании (КЗ), сопровождающимся интенсивными переходными процессами, приводящими к насыщению трансформаторов тока. Изобретение может быть использовано в области релейной защиты электроэнергетических систем при реализации цифровых устройств дифференциальной защиты.

Известен способ отстройки (блокировки) от ложной работы дифференциальной защиты электроэнергетических систем при внешнем КЗ [1], при котором измеряют токи плеч защиты, определяют дифференциальный ток, подключают дифференциальный ток к первичной обмотке быстронасыщающегося трансформатора тока (БНТ), а ток, полученный во вторичной обмотке БНТ, сравнивают с заранее заданным значением, на основании данного сравнения формируют команду на отключение защищаемого объекта.

Указанный способ позволяет осуществлять блокировку дифференциальной защиты при внешнем КЗ за счет того, что БНТ резко снижает сопротивление своей ветви намагничивания при наличии апериодической составляющей в дифференциальном токе. В этих условиях значительная часть периодической составляющей дифференциального тока замыкается через указанную ветвь намагничивания и не трансформируется во вторичную обмотку БНТ. Это обеспечивает автоматическое загробление дифференциальной защиты при внешних КЗ со значительной апериодической составляющей в дифференциальном токе, что является достоинством способа.

Недостатком данного способа является отсутствие загробления при периодическом токе небаланса, что приводит к снижению надежности работы дифференциальной защиты. По принципу реализации данный способ хорошо применим в аналоговых дифференциальных защитах, но при реализации в цифровых устройствах защиты имеет низкую эффективность.

Известен способ блокировки дифференциальной защиты электроэнергетических систем при внешнем КЗ [2], при котором измеряют токи плеч защиты, рассчитывают токи обратной последовательности плеч защиты, сравнивают токи обратной последовательности с заранее заданной величиной, при превышении токов обратной последовательности данной величины рассчитывают разность фаз токов обратной последовательности двух плеч защиты, сравнивают указанную разность фаз с заранее заданным значением и на основании данного сравнения формируют признак обнаружения внешнего КЗ.

Данный способ также обеспечивает блокировку дифференциальной защиты от ложной работы при внешнем КЗ. Кроме того, данный способ позволяет сократить временные задержки на срабатывание дифференциальной защиты при внутренних КЗ, что является его достоинством.

Недостатком данного способа является высокая погрешность вычисления токов обратной последовательности в переходных режимах, что приводит к сложности разработки надежной методики выбора уставок для реализации данного способа, а значит, к снижению надежности блокировки дифференциальной защиты при внешних КЗ.

Известен способ блокировки дифференциальной защиты электроэнергетических систем при внешнем КЗ [3], при котором периодически измеряют токи плеч защиты, рассчитывают тормозной ток, определяют его приращение, сравнивают указанное приращение с наперед заданным постоянным коэффициентом, характеризующим скорость нарастания тормозного тока, и по результатам этого сравнения вырабатывают команду на запрет действия защиты на определенный промежуток времени.

Указанный способ обеспечивает блокировку дифференциальной защиты от ложной работы при внешнем КЗ. Кроме того, данный способ позволяет определять режимы внешних КЗ за время 3 мс, что является его достоинством.

Недостатком указанного способа является сложность выбора постоянного коэффициента, значение которого изменяется в широких пределах и зависит от скорости изменения

и величины тормозного тока в различных режимах. Некорректный выбор постоянного коэффициента приводит к снижению надежности блокировки дифференциальной защиты при внешних КЗ.

Наиболее близким к предлагаемому по технической сущности и достигаемому результату является способ блокировки дифференциальной защиты при внешнем КЗ [4], при котором измеряется напряжение, создающее ток КЗ. Указанное напряжение запоминается на контуре памяти в динамическом режиме и из него на простых элементах - моделях - образуются характерные копии токов броска и короткого замыкания, которые далее совместно с текущей реализацией режима в виде напряжения на нагрузочном сопротивлении измерительного трансформатора тока подвергаются корреляционной обработке и сравнению.

Указанный способ обеспечивает блокировку дифференциальной защиты от ложной работы при внешнем КЗ. Достоинством данного способа является высокое быстродействие.

Недостатком данного способа является необходимость выполнения дополнительных измерений напряжения. По принципу реализации данный способ может быть применен в аналоговых дифференциальных защитах, но при реализации в цифровых устройствах защиты имеет низкую эффективность.

Задача изобретения - повышение надежности блокировки дифференциальной защиты при внешних коротких замыканиях, сопровождающихся интенсивными переходными процессами, приводящими к насыщению трансформаторов тока.

Поставленная задача решается тем, что в способе блокировки дифференциальной защиты электроэнергетических систем при внешнем коротком замыкании периодически измеряют токи плеч защиты, вычисляют тормозной ток $i_{ТОРМ}$, дифференциальный ток $i_{ДИФ}$, приращение тормозного тока $\Delta i_{ТОРМ}$ и дифференциального тока $\Delta i_{ДИФ}$, вычисляют отношение

отношение $\frac{\Delta i_{ДИФ}}{\Delta i_{ТОРМ}}$, а блокировку защиты на требуемое время осуществляют при выполнении условия:

$$\frac{\Delta i_{ДИФ}}{\Delta i_{ТОРМ}} < K, \text{ при } \Delta i_{ТОРМ} > 0,$$

где $K = 0,2-0,3$ - коэффициент, учитывающий погрешность определения $i_{ТОРМ}$ и $i_{ДИФ}$.

Сущность способа поясняется фигурами, где на фиг. 1 приведены формы токов при КЗ, сопровождающихся насыщением трансформаторов тока, на фиг. 2 - осциллограммы токов плеч дифференциальной защиты, полученные при испытаниях способа на физической модели, на фиг. 3 - осциллограммы дифференциального и тормозного токов, полученные при испытаниях способа на физической модели, на фиг. 4 - функциональная схема блокировки дифференциальной защиты при внешних КЗ, сопровождающихся насыщением трансформаторов тока.

Предлагаемый способ блокировки дифференциальной защиты электроэнергетических систем при внешнем КЗ, сопровождающимся интенсивными переходными процессами, приводящими к насыщению трансформаторов тока, реализуется на основе оценки отношения скоростей изменения дифференциального и тормозного тока, определяемого по формуле:

$$\frac{di_{ДИФ}}{dt} : \frac{di_{ТОРМ}}{dt} = \frac{di_{ДИФ}}{di_{ТОРМ}}, \quad (1)$$

где:

$$i_{ДИФ} = |i_1 + i_2|, \quad (2)$$

$$i_{ТОРМ} = |i_1| + |i_2|, \quad (3)$$

i_1, i_2 - токи первого и второго плеч дифференциальной защиты соответственно.

В режиме внутреннего КЗ токи плеч защиты суммируются и дифференциальный ток имеет большое значение. В режиме внешнего КЗ, не сопровождающегося насыщением трансформаторов тока, токи плеч вычитаются друг из друга и дифференциальный ток примерно равен нулю. Дифференциальные защиты используют дифференциальный ток для определения повреждения и в режимах работы трансформаторов тока без насыщения обладают абсолютной селективностью.

Наиболее тяжелым режимом для работы дифференциальной защиты является режим, когда магнитопровод трансформатора тока в первом плече защиты не насыщается, а магнитопровод трансформатора тока во втором плече защиты работает в режиме насыщения. В данном режиме получаем формы токов, представленные на фиг. 1.

В случае внешнего КЗ, сопровождающегося насыщением трансформаторов тока, появляется дифференциальный ток, который может привести к ложной работе дифференциальной защиты. Для обеспечения надежности работы дифференциальной защиты необходимо определять режимы внешних КЗ, сопровождающихся насыщением трансформаторов тока, и блокировать работу дифференциальной защиты в таких режимах.

При внешнем повреждении тормозной ток нарастает раньше (быстрее) дифференциального, при внутреннем повреждении дифференциальный и тормозной токи нарастают одновременно с одинаковой скоростью. Таким образом, при $\frac{di_{\text{диф}}}{di_{\text{ТОРМ}}} \rightarrow 0$ действие дифференциальной защиты на отключение должно быть заблокировано в течение полупериода.

При $\frac{di_{\text{диф}}}{di_{\text{ТОРМ}}} \rightarrow 1$ действие дифференциальной защиты на отключение должно быть разрешено.

При реализации алгоритма должны быть учтены погрешности измерения и расчета дифференциального и тормозного токов, тогда критерий блокировки примет вид:

$$\frac{di_{\text{диф}}}{di_{\text{ТОРМ}}} < K, \text{ при } di_{\text{ТОРМ}} > 0, \quad (4)$$

где коэффициент K учитывает погрешность измерения и расчета дифференциального и тормозного токов и находится в пределах 0,2-0,3; условие $di_{\text{ТОРМ}} > 0$ разрешает проверку только на участках нарастания тормозного тока.

При реализации способа в цифровых устройствах дифференциальной защиты дифференциалы $di_{\text{диф}}$, $di_{\text{ТОРМ}}$ можно заменить приращениями $\Delta i_{\text{диф}}$, $\Delta i_{\text{ТОРМ}}$ за период дискретизации. Тогда условие (4) принимает вид:

$$\frac{\Delta i_{\text{диф}}}{\Delta i_{\text{ТОРМ}}} < K, \text{ при } \Delta i_{\text{ТОРМ}} > 0. \quad (5)$$

Для обеспечения точности расчета критерия блокировки выражение (5) проверяется как минимум на двух последовательных отрезках дискретизации. На данных отрезках дискретизации ток должен трансформироваться без искажений.

Алгоритм блокировки реагирует только на отношение скоростей изменения дифференциального и тормозного токов и не зависит от скорости изменения тормозного тока. Достоинствами изобретения являются: простота реализации цифрового алгоритма определения внешнего КЗ, сопровождающегося насыщением трансформаторов тока, при сохранении необходимой точности; простота выбора коэффициента K .

Способ блокировки прошел лабораторные испытания на физической модели. Модель включала в себя источник переменного синусоидального тока промышленной частоты, трансформатор тока и устройство микропроцессорной дифференциальной защиты с блокировкой при внешних КЗ, сопровождающихся насыщением трансформаторов тока, построенной на основании выражения (5).

При проведении опыта внешнего КЗ, сопровождающегося насыщением трансформатора тока, были получены осциллограммы токов плеч i_1 , i_2 (фиг. 2). В начале полупериода ток второго плеча защиты i_2 трансформируется без существенных искажений (фиг. 2), что достаточно для расчета критерия блокировки. В дальнейшем форма тока i_2 искажается из-за насыщения трансформаторов тока и существенно отклоняется от формы тока i_2 идеальный (полученного в режиме линейной трансформации трансформатором тока без насыщения магнитопровода). При этом тормозной ток нарастает быстрее дифференциального тока (фиг. 3), что позволяет надежно определить режим внешнего КЗ, сопровождающегося насыщением трансформаторов тока. Результаты лабораторных испытаний на физической модели показали: отсутствие блокировки при внутренних КЗ; наличие блокировки при внешних КЗ.

Устройство для реализации способа (фиг. 4) содержит блоки 1 и 2 измерения токов двух плеч защиты, входы которых подключены к измерительным трансформаторам тока, а выходы подключены к входам блока 3 расчета дифференциального тока и к входам блока 4 расчета тормозного тока, при этом выход блока 3 расчета дифференциального тока подключен ко входу блока 5 запоминания двух предыдущих выборок дифференциального тока и ко второму входу блока 7 определения приращения дифференциального тока, выход блока 4 расчета тормозного тока подключен ко входу блока 6 запоминания двух предыдущих выборок тормозного тока и ко второму входу блока 8 определения приращения тормозного тока. Выход блока 5 запоминания двух предыдущих выборок дифференциального тока подключен к первому входу блока 7 определения приращения дифференциального тока, выход которого подключен к первому входу блока 9 вычисления отношения приращений дифференциального и тормозного токов. Выход блока 6 запоминания двух предыдущих выборок тормозного тока подключен к первому входу блока 8 определения приращения тормозного тока, выход которого подключен ко входу блока 11 определения участков нарастания тормозного тока и ко второму входу блока 9 вычисления отношения приращений дифференциального и тормозного токов. Выход блока 9 вычисления отношения приращений дифференциального и тормозного токов подключен ко входу блока 10 сравнения указанного отношения с постоянным наперед заданным коэффициентом, выход которого подключен к первому входу элемента 12 "И". Выход блока 11 определения участков нарастания тормозного тока подключен ко второму входу элемента 12 "И", выход которого соединен со входом блока 13 формирования длительности команды запрета действия дифференциальной защиты.

Блоки 1 и 2 осуществляют измерение токов первого и второго плеч дифференциальной защиты.

Блок 3 производит расчет дифференциального тока на основе формулы (2).

Блок 4 производит расчет тормозного тока на основе формулы (3).

Блок 5 осуществляет запоминание и хранение двух предыдущих выборок дифференциального тока.

Блок 6 осуществляет запоминание и хранение двух предыдущих выборок тормозного тока.

Блок 7 производит определение приращения дифференциального тока на двух периодах дискретизации по формулам:

$$\Delta i_{\text{диф}_n} = i_{\text{диф}_n} - i_{\text{диф}_{n-1}}, \quad (6)$$

$$\Delta i_{\text{диф}_{n-1}} = i_{\text{диф}_{n-1}} - i_{\text{диф}_{n-2}}, \quad (7)$$

где $i_{\text{диф}_{n-2}}$, $i_{\text{диф}_{n-1}}$, $i_{\text{диф}_n}$ - значения дифференциального тока, рассчитанные на $n-2$, $n-1$ и n -ном шагах дискретизации.

Блок 8 производит определение приращения тормозного тока на двух периодах дискретизации по формулам:

ВУ 19004 С1 2015.02.28

$$\Delta i_{\text{ТОРМ } n} = i_{\text{ТОРМ } n} - i_{\text{ТОРМ } n-1}, \quad (8)$$

$$\Delta i_{\text{ТОРМ } n-1} = i_{\text{ТОРМ } n-1} - i_{\text{ТОРМ } n-2}, \quad (9)$$

где $i_{\text{ТОРМ } n-2}$, $i_{\text{ТОРМ } n-1}$, $i_{\text{ТОРМ } n}$ - значения тормозного тока, рассчитанные на $n-2$, $n-1$ и n -ном шагах дискретизации.

Блок 9 производит вычисление отношения приращений дифференциального и тормозного токов на двух периодах дискретизации.

Блок 10 сравнивает вышеуказанное отношение с коэффициентом K на двух периодах дискретизации согласно следующим неравенствам:

$$\frac{\Delta i_{\text{ДИФ } n}}{\Delta i_{\text{ТОРМ } n}} < K, \quad (10)$$

$$\frac{\Delta i_{\text{ДИФ } n-1}}{\Delta i_{\text{ТОРМ } n-1}} < K, \quad (11)$$

где коэффициент K выбирается из диапазона 0,2-0,3.

Блок 11 определяет периоды нарастания тормозного тока. Блок 11 производит сравнение приращения тормозного тока на двух периодах дискретизации с нулевым значением согласно неравенствам:

$$\Delta i_{\text{ТОРМ } n} > 0, \quad (12)$$

$$\Delta i_{\text{ТОРМ } n-1} > 0. \quad (13)$$

Элемент 12 "И" проверяет одновременное выполнение условий по блокам 10 и 11. Таким образом осуществляется контроль условий (10) и (11) только при нарастании тормозного тока в начале полупериода.

Блок 13 формирует длительность команды запрета действия дифференциальной защиты на время 10 мс, т.е. на длительность полупериода, в котором было обнаружено внешнее КЗ.

Устройство работает следующим образом. Блоки 1, 2 периодически измеряют токи плеч защиты. На n -ном отсчете на выходе блоков 1, 2 формируются значения токов i_{1n} , i_{2n} . Блоки 3, 4 на основе полученных значений i_{1n} , i_{2n} рассчитывают дифференциальный $i_{\text{ДИФ } n}$ и тормозной $i_{\text{ТОРМ } n}$ токи. Блоки 5, 6 хранят значения дифференциального $i_{\text{ДИФ } n-2}$, $i_{\text{ДИФ } n-1}$ и тормозного $i_{\text{ТОРМ } n-2}$, $i_{\text{ТОРМ } n-1}$ токов, полученные на двух предыдущих шагах дискретизации. Блоки 7, 8 определяют приращения дифференциального $\Delta i_{\text{ДИФ } n}$, $\Delta i_{\text{ДИФ } n-1}$ и тормозного $\Delta i_{\text{ТОРМ } n}$, $\Delta i_{\text{ТОРМ } n-1}$ токов. Блок 9 вычисляет отношения приращений дифференциального и тормозного токов $\frac{\Delta i_{\text{ДИФ } n}}{\Delta i_{\text{ТОРМ } n}}$, $\frac{\Delta i_{\text{ДИФ } n-1}}{\Delta i_{\text{ТОРМ } n-1}}$. Блок 10 сравнивает указанные отношения с коэффициентом K .

При внутреннем КЗ дифференциальный ток будет равен тормозному (фиг. 1), в этом случае неравенства (10), (11) не выполняются, т.к. отношения $\frac{\Delta i_{\text{ДИФ } n}}{\Delta i_{\text{ТОРМ } n}}$, $\frac{\Delta i_{\text{ДИФ } n-1}}{\Delta i_{\text{ТОРМ } n-1}}$ будут близки к 1. Блок 10 не срабатывает, тогда нет срабатывания элемента 12 и блока 13, команда запрета действия дифференциальной защиты не формируется.

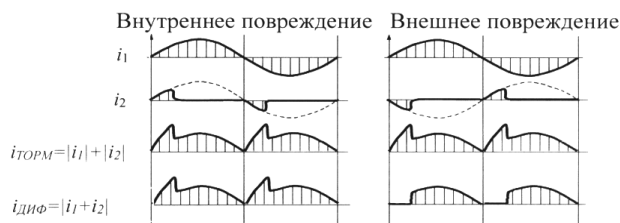
При внешнем КЗ в начале полупериода тока тормозной ток нарастает, выполняются неравенства (12), (13), срабатывает блок 11. В то же время дифференциальный ток близок к 0 и нарастает незначительно (фиг. 1, 3), тогда выполняются неравенства (10), (11) и сраба-

тывает блок 10. Срабатывание блоков 10 и 11 приводит к срабатыванию элемента 12 и блок 13 формирует команду запрета действия дифференциальной защиты на время 10 мс.

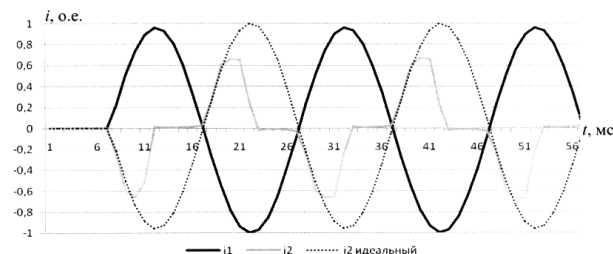
Данная функциональная схема наиболее просто реализуется на средствах микропроцессорной техники, на которых выполняются современные цифровые устройства дифференциальной защиты.

Источники информации:

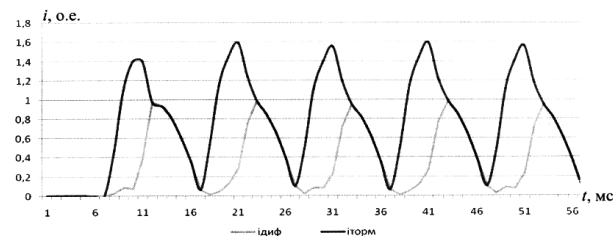
1. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электроэнергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - С. 301-308.
2. Брнчич И., Гаич З., Торбьон А. Использование составляющих обратной последовательности при защите силового трансформатора // Релейщик. - № 4. - 2010. - С. 26-31.
3. Циглер Г. Цифровая дифференциальная защита. Принципы и область применения: Перевод с англ. / Под ред. А.Ф.Дьякова - М.: Знак. 2008. - С. 63-66.
4. Патент RU 2368990 С1, 2009.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3