



блока расчета и контроля выдержки времени с блоком задания параметров; выход измерительного органа первой ступени токовой защиты подключен ко второму входу логического элемента И, выход которого подключен к первому входу логического элемента ИЛИ; третий вход блока определения места короткого замыкания и третий вход блока расчета и контроля выдержки времени подключены к выходу максиселектора; выход измерительного органа второй ступени токовой защиты подключен к первому входу блока расчета и контроля выдержки времени и к первому входу блока определения места короткого замыкания, выход которого подключен к первому входу логического элемента И и к четвертому входу блока расчета и контроля выдержки времени, выход которого подключен ко второму входу логического элемента ИЛИ, выход которого через орган сигнализации соединен с исполнительным элементом, выполненным с возможностью отключения выключателя защищаемой линии электропередачи.

---

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано в области релейной защиты линий с односторонним питанием электроэнергетических систем.

Известно устройство для токовой защиты от междуфазных коротких замыканий линии с односторонним питанием, содержащее первый, второй и третий входные преобразователи тока, входы которых подключены к измерительным трансформаторам тока защищаемой линии, а выходы - ко входам миниселектора и максиселектора, выход которого подключен к первому входу измерительного органа и первому входу блока определения вида короткого замыкания, второй вход которого подключен к выходу миниселектора, а выход - ко второму входу измерительного органа, второму входу блока определения места короткого замыкания с блоком задания параметров и второму входу блока расчета и контроля выдержки времени с блоком задания параметров; третий вход блока определения места короткого замыкания и третий вход блока расчета и контроля выдержки времени подключены к выходу максиселектора; выход измерительного органа подключен к первому входу блока расчета и контроля выдержки времени и к первому входу блока определения места короткого замыкания, выход которого подключен к первому входу логического элемента ИЛИ и к четвертому входу блока расчета и контроля выдержки времени, выход которого подключен ко второму входу логического элемента ИЛИ, выход которого через орган сигнализации соединен с исполнительным элементом, выполненным с возможностью выключения защищаемой линии [1].

Недостатками известного устройства является то, что в таком устройстве отсутствует резервирование его действия при коротких замыканиях на линиях электропередачи в пределах основной зоны токовой защиты.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технической сущности и достигаемому результату является устройство для токовой защиты от междуфазных коротких замыканий элементов электроэнергетических систем с односторонним питанием [2], содержащее входные преобразователи тока, входы которых подключены к измерительным трансформаторам тока защищаемого объекта, блок выявления несимметрии токов фаз, первый и второй измерительные органы с блоками задания уставок, при этом блок выявления несимметрии токов фаз содержит максиселектор, миниселектор и сумматор, выход которого соединен со входом первого измерительного органа, входы максиселектора и миниселектора соединены с выходами входных преобразователей тока, выход максиселектора присоединен ко входу второго измерительного органа и к первому входу сумматора, ко второму входу которого подключен миниселектор; выходы первого и второго измерительных органов через логический элемент ИЛИ, орган выдержки времени, орган сигнализации соединены с исполнительным элементом, отключающим выключатель защищаемого объекта.

Блок выявления несимметрии токов фаз в сущности определяет вид короткого замыкания для воздействия на блоки задания уставок измерительных органов с целью выбора параметров срабатывания защиты, соответствующих виду повреждения. Благодаря этому защита имеет повышенную чувствительность к несимметричным коротким замыканиям, даже когда токи нагрузки соизмеримы по величине с токами повреждений.

Однако такие защиты имеют сравнительно большие выдержки времени, особенно на головных участках сети, вследствие ступенчатых характеристик срабатывания [3].

Задача, решаемая изобретением, состоит в обеспечении ближнего резервирования действия защиты при коротких замыканиях на линиях электропередачи в пределах основной зоны токовой защиты, а также усилении дальнего резервирования при коротких замыканиях на смежных линиях электропередачи.

Поставленная задача решается тем, что устройство для токовой защиты от междуфазных коротких замыканий линии электропередачи с односторонним питанием, содержащее первый, второй и третий входные преобразователи тока, входы которых подключены к измерительным трансформаторам тока защищаемой линии, а выходы - ко входам миниселектора и максиселектора, выход которого подключен ко входу измерительного органа первой ступени токовой защиты с блоком задания уставок, к первому входу измерительного органа второй ступени токовой защиты с блоком задания уставок и к первому входу блока определения вида короткого замыкания, второй вход которого подключен к выходу миниселектора, а выход - ко второму входу измерительного органа второй ступени токовой защиты, второму входу блока определения места короткого замыкания с блоком задания параметров и второму входу блока расчета и контроля выдержки времени с блоком задания параметров; выход измерительного органа первой ступени токовой защиты подключен ко второму входу логического элемента И, выход которого подключен к первому входу логического элемента ИЛИ; третий вход блока определения места короткого замыкания и третий вход блока расчета и контроля выдержки времени подключены к выходу максиселектора; выход измерительного органа второй ступени токовой защиты подключен к первому входу блока расчета и контроля выдержки времени и к первому входу блока определения места короткого замыкания, выход которого подключен к первому входу логического элемента И и к четвертому входу блока расчета и контроля выдержки времени, выход которого подключен ко второму входу логического элемента ИЛИ, выход которого через орган сигнализации соединен с исполнительным элементом, выполненным с возможностью отключения выключателя защищаемой линии электропередачи.

Устройство защиты включает в себя два независимых измерительных органа для каждой из двух ступеней токовой защиты. Для срабатывания любой ступени токовой защиты необходимым, но недостаточным условием является срабатывание ее измерительного токового органа.

Блок определения места короткого замыкания обеспечивает получение относительного значения расстояния от места установки защиты до точки повреждения  $I_{*K3}$  по следующему выражению:

$$I_{*K3} = \frac{(k \cdot I_{K24}^{(3)} - I_{\text{МАКС}}) \cdot I_{K25}^{(3)}}{(I_{K24}^{(3)} - I_{K25}^{(3)}) \cdot I_{\text{МАКС}}}, \quad (1)$$

где  $I_{K24}^{(3)}$ ,  $I_{K25}^{(3)}$  - точки трехфазных коротких замыканий соответственно при повреждениях в начале и в конце защищаемой линии электропередачи, рассчитываемые по известным методикам;

$I_{\text{МАКС}}$  - контролируемый ток короткого замыкания;

$k$  - коэффициент, зависящий от вида повреждения, который при трехфазных коротких замыканиях  $k = 1$ , а при двухфазных коротких замыканиях:  $k = \sqrt{3}/2$ .

Если место короткого замыкания находится в пределах защищаемой линии электропередачи или на смежной линии, то срабатывает измерительный орган второй ступени токовой

вой защиты. Сигнал от данного измерительного органа запускает работу блока определения места короткого замыкания.

Если указанный блок определяет, что местом повреждения является защищаемая линия электропередачи, т.е.  $I_{*K3} \leq 1$ , то при условии срабатывания измерительного органа первой ступени токовой защиты будет сформирован сигнал на отключение выключателя защищаемой линии без выдержки времени.

Также при  $I_{*K3} \leq 1$  будет сформирован сигнал на отключение выключателя защищаемой линии второй ступенью токовой защиты с выдержкой времени. Тем самым реализуется ближнее резервирование защит линии, в первую очередь при условии отказа срабатывания первой ступени токовой защиты.

Когда же с помощью блока определения места короткого замыкания будет установлено, что повреждение расположено на смежной линии электропередачи, т.е. при  $I_{*K3} > 1$ , то не будет сформирован сигнал, дающий разрешение на срабатывание первой ступени токовой защиты. Но в то же время будет формироваться сигнал на отключение выключателя защищаемой линии с выдержкой времени от второй ступени токовой защиты. Таким образом, будет реализовано дальнейшее резервирование первой и второй ступеней токовых защит смежной линии электропередачи.

Указанные выдержки времени обеспечиваются блоком расчета и контроля выдержки времени, реализующим линейно-зависимую характеристику срабатывания, в основе которой лежит следующее выражение:

$$t_{ЛЗ}(I_*) = \frac{(k \cdot I_{К.НАЧ}^{(3)} - I_{МАКС}) \cdot I_{К.КОН}^{(3)}}{(I_{К.НАЧ}^{(3)} - I_{К.КОН}^{(3)}) \cdot I_{МАКС}} \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где  $I_{К.НАЧ}^{(3)}$ ,  $I_{К.КОН}^{(3)}$  - токи трехфазных коротких замыканий соответственно при повреждениях в начале и в конце линии электропередачи, рассчитываемые по известным методикам;

$\Delta t = (0,3 \dots 0,5)с$  - ступень селективности;

$I_{МАКС}$  и  $k$  - то же, что и в выражении (1).

На фиг. 1 приведена функциональная схема усовершенствованного устройства для токовой защиты от междуфазных коротких замыканий линии с односторонним питанием, а на фиг. 2 - характеристика ее срабатывания, где по оси 22 - время  $t$ , а по оси 23 - длина участков  $l_*$  в относительных единицах.

Устройство содержит входные преобразователи 1, 2, 3 тока, входы которых подключены к измерительным трансформаторам тока защищаемой линии электропередачи, а выходы - ко входам миниселектора 5 и максиселектора 4, выход которого подключен ко входу измерительного органа первой ступени токовой защиты 16 с блоком задания уставок 17, ко входу 71 измерительного органа второй ступени токовой защиты 7 с блоком задания уставок 8 и ко входу 61 блока определения вида короткого замыкания 6, вход 62 которого подключен к выходу миниселектора 5, а выход - ко входу 72 измерительного органа второй ступени токовой защиты 7, входу 92 блока определения места короткого замыкания 9 с блоком задания параметров 10 и входу 112 блока расчета и контроля выдержки времени 11 с блоком задания параметров 12; выход измерительного органа первой ступени токовой защиты 16 подключен ко входу 182 логического элемента И 18, выход которого подключен ко входу 131 логического элемента ИЛИ 13; вход 93 блока определения места короткого замыкания 9 и вход 113 блока расчета и контроля выдержки времени 11 подключены к выходу максиселектора 4; выход измерительного органа второй ступени токовой защиты 7 подключен ко входу 111 блока расчета и контроля выдержки времени 11 и ко входу 91 блока определения места короткого замыкания 9, выход которого подключен ко входу 181 логического элемента И 18 и ко входу 114 блока расчета и контроля выдержки времени 11, выход которого подключен ко входу 132 логического элемента ИЛИ 13, выход которого через орган сигнализации 14 соединен с исполнитель-

ным элементом 15, выполненным с возможностью отключения выключателя защищаемой линии электропередачи.

Входные преобразователи тока 1, 2, 3 формируют выходные сигналы из токов  $i_a, i_b, i_c$ , которые соответственно пропорциональны токам фаз  $I_A, I_B, I_C$ .

Максиселектор 4 и миниселектор 5 предназначены для выделения из токов  $I_A, I_B, I_C$  соответственно максимального  $I_{\text{МАКС}}$  и минимального  $I_{\text{МИН}}$  значений.

Блок определения вида короткого замыкания 6 выявляет несимметрию токов фаз по соотношению:

$$\frac{I_{\text{МАКС}} - I_{\text{МИН}}}{I_{\text{МИН}}} > 0,5. \quad (3)$$

При выполнении условия (3) имеет место несимметричный режим и на выходе блока определения вида короткого замыкания 6 появляется сигнал, в противном случае режим является симметричным и сигнал на выходе блока определения вида короткого замыкания 6 отсутствует.

Измерительный орган первой ступени токовой защиты 16 максимального тока сравнивает значение тока  $I_{\text{МАКС}}$  с уставкой по току  $I_{\text{СР1}}$ , задаваемой в блоке задания уставок 17. Величина  $I_{\text{СР1}}$  рассчитывается по известной методике и не зависит от вида короткого замыкания [3].

Измерительный орган второй ступени токовой защиты 7 максимального тока сравнивает значение тока  $I_{\text{МАКС}}$  с уставками, задаваемыми в блоке задания уставок 8, где содержатся их значения для режима трехфазного короткого замыкания  $I_{\text{СР}}^{(3)}$  и режима двухфазного короткого замыкания  $I_{\text{СР}}^{(2)}$ . Величины  $I_{\text{СР}}^{(3)}$  и  $I_{\text{СР}}^{(2)}$  также рассчитываются по известным методикам [3]. При наличии на входе 72 измерительного органа второй ступени токовой защиты 7 сигнала сравнение  $I_{\text{МАКС}}$  производится со значением  $I_{\text{СР}}^{(2)}$ , в противном случае - со значением  $I_{\text{СР}}^{(3)}$ .

Блок определения места короткого замыкания 9 предназначен для фиксации места повреждения на основе выражения (1) по величине тока  $I_{\text{МАКС}}$  с использованием параметров, задаваемых в блоке задания параметров 10, где содержатся значения токов трехфазных короткого замыкания в точках 24 и 25 (фиг. 2) соответственно  $I_{\text{К24}}^{(3)}$  и  $I_{\text{К25}}^{(3)}$ , а также значения  $k$  для режима трехфазного короткого замыкания  $k = 1$  и режима двухфазного короткого замыкания  $k = \sqrt{3}/2$ . При наличии на входе 92 блока определения места короткого замыкания 9 сигнала в (1) используется значение  $k = \sqrt{3}/2$ , а при отсутствии -  $k = 1$ .

Блок определения места короткого замыкания 9 функционирует при наличии на его входе 91 разрешающего сигнала, поступающего с выхода измерительного органа второй ступени токовой защиты 7.

Линия электропередачи 27 (фиг. 2) является основной зоной защиты для рассматриваемого устройства и короткого замыкания в пределах всей ее длины, отключается либо первой ступенью токовой защиты без специально создаваемой выдержки времени с временем срабатывания  $t_{\text{СЗ10}}$  29 (фиг. 2), представляющим собой собственное время действия защиты, либо второй ступенью токовой защиты с учетом того, что она резервирует зону срабатывания первой ступени токовой защиты, и повреждения во всех ее точках линии электропередачи 27 должны отключаться с выдержкой времени  $t_{\text{СЗ1Р}}$  20 (фиг. 2).

Линия электропередачи 28 (фиг. 2) для токовой защиты линии электропередачи 27 представляет собой зону резервирования и повреждения во всех ее точках, также должны отключаться второй ступенью токовой защиты с выдержкой времени  $t_{\text{СЗ1Р}}$  20.

Блок расчета и контроля выдержки времени 11 предназначен для определения и создания времени срабатывания защиты при повреждениях в зонах резервирования как пер-

вой ступени токовой защиты для линии электропередачи 27, так и смежной линии электропередачи 28.

Выдержка времени рассчитывается с использованием выражения (2) по величине тока  $I_{\text{МАКС}}$  на основе параметров, задаваемых в блоке задания параметров 12: токов  $I_{\text{К.НАЧ}}^{(3)}$  и  $I_{\text{К.КОН}}^{(3)}$ , величины  $k$  и значения  $\Delta t$  21 (фиг. 2). Когда с выхода блока определения места короткого замыкания 9 на вход 114 блока расчета и контроля выдержки времени 11 поступает сигнал, то место короткого замыкания расположено на защищаемой линии электропередачи и в выражении (2) в качестве токов  $I_{\text{К.НАЧ}}^{(3)}$  и  $I_{\text{К.КОН}}^{(3)}$  используются токи короткого замыкания в точках 24 и 25 соответственно  $I_{\text{К24}}^{(3)}$  и  $I_{\text{К25}}^{(3)}$ . В случае, если с выхода блока определения места короткого замыкания 9 на вход 114 блока расчета и контроля выдержки времени 11 не поступает сигнал, то место короткого замыкания расположено на смежной линии электропередачи и в выражении (2) в качестве токов  $I_{\text{К.НАЧ}}^{(3)}$  и  $I_{\text{К.КОН}}^{(3)}$  используются токи короткого замыкания в точках 25 и 26 (фиг. 2) соответственно  $I_{\text{К25}}^{(3)}$  и  $I_{\text{К26}}^{(3)}$ . Значения  $k$  для режима трехфазного короткого замыкания  $k = 1$ , а для режима двухфазного короткого замыкания  $k = \sqrt{3}/2$ . При наличии на входе 112 блока расчета и контроля выдержки времени 11 сигнала в (2) используется значение коэффициента  $k = \sqrt{3}/2$ , а при отсутствии -  $k = 1$ .

При повреждении на линии электропередачи 28 время срабатывания защиты  $t_{\text{СЗ1Р}} 20$  должно быть больше времени действия первой ступени токовой защиты смежного участка  $t_{\text{СЗ20}} 19$ , а также больше времени срабатывания второй ступени токовой защиты линии электропередачи 28  $t_{\text{СЗ2Р}} 30$  (фиг. 2). С учетом этого определение выдержки времени защиты в блоке расчета и контроля выдержки времени 11 производится по выражению:

$$t_{\text{СЗ1Р}} = \Delta t + t_{\text{ЛЗ}}(1*). \quad (4)$$

Функционирование блока расчета и контроля выдержки времени 11 обеспечивается при наличии на его входе 111 разрешающего сигнала, поступающего с выхода измерительного органа второй ступени токовой защиты 7.

Орган сигнализации 14 служит для фиксации фактов срабатывания защиты. Исполнительный элемент 15 реализует выходные команды защиты на отключение выключателя защищаемой линии электропередачи.

Все блоки и элементы функциональной схемы защиты могут быть реализованы по известным схемам на базе средств аналоговой и цифровой техники. В качестве последней целесообразно использовать современные микропроцессорные средства.

Устройство работает следующим образом. Входные токи  $i_a, i_b, i_c$  от измерительных трансформаторов тока защищаемой линии поступают на входы преобразователей тока 1, 2, 3, выходные сигналы которых пропорциональны токам фаз  $I_A, I_B, I_C$ . Максиселектор 4 и миниселектор 5 выделяют из токов  $I_A, I_B, I_C$  соответственно наибольшее  $I_{\text{МАКС}}$  и наименьшее  $I_{\text{МИН}}$  значения.

Текущее значение тока  $I_{\text{МАКС}}$  в измерительном органе второй ступени токовой защиты 7 сравнивается с одной из уставок  $I_{\text{СР}}^{(3)}$  или  $I_{\text{СР}}^{(2)}$ , которые содержатся в блоке 8 и выбираются в зависимости от вида режима, устанавливаемого по наличию или отсутствию сигнала на входе 72 измерительного органа второй ступени токовой защиты 7. В режимах, когда отсутствуют повреждения на защищаемой линии 27, значение тока  $I_{\text{МАКС}}$  не превышает уставку срабатывания измерительного органа второй ступени токовой защиты 7, и сигнал на его выходе отсутствует. При возникновении короткого замыкания ток  $I_{\text{МАКС}}$  превышает значение уставки, на выходе измерительного органа второй ступени токовой защиты 7 появляется сигнал, который поступает на вход 91 блока определения места ко-

роткого замыкания 9 и вход 111 блока расчета и контроля выдержки времени 11, разрешая их функционирование.

Текущее значение тока  $I_{\text{МАКС}}$  также сравнивается в измерительном органе первой ступени токовой защиты 16 с заданной в блоке задания уставок 17 уставкой по току  $I_{\text{СР1}}$ , которая рассчитана заранее по известной методике [3]. При возникновении короткого замыкания на защищаемой линии электропередачи ток  $I_{\text{МАКС}}$  превышает значение уставки  $I_{\text{СР1}}$ , и на выходе измерительного органа первой ступени токовой защиты 16 появляется сигнал, который поступает на вход 182 логического элемента И 18.

Сигнал от измерительного органа второй ступени токовой защиты запускает работу блока определения места короткого замыкания 9, в котором в соответствии с выражением (1) по величине поступающего на его вход 93 текущего значения тока  $I_{\text{МАКС}}$  с использованием параметров, содержащихся в блоке задания параметров 10, выбираемых в соответствии с видом короткого замыкания, который определяется путем анализа сигнала на входе 92 блока определения места короткого замыкания 9, вычисляется  $I_{*КЗ}$  и сравнивается с длиной линии, равной 1 в относительных единицах.

Сигнал с выхода блока определения места короткого замыкания 9 запускает функционирование блока расчета и контроля выдержки времени 11. В блоке расчета и контроля выдержки времени 11 на основе выражений (2), (4) по величине поступающего на вход 113 текущего значения тока  $I_{\text{МАКС}}$  с использованием параметров, содержащихся в блоке задания параметров 12, выбираемых в зависимости от вида короткого замыкания, который определяется по результатам анализа сигнала на входе 112 блока расчета и контроля выдержки времени 11, вычисляется время срабатывания защиты  $t_{\text{СЗ1Р}} 20$  для основной и резервной зон защиты и организуется его отсчет. По истечению  $t_{\text{СЗ1Р}} 20$  на выходе блока расчета и контроля выдержки времени 11 появляется сигнал, который поступает на вход 132 логического элемента ИЛИ 13, действуя с его выхода через орган сигнализации 14 на исполнительный элемент 15, и отключает выключатель защищаемой линии электропередачи без специально создаваемой выдержки времени.

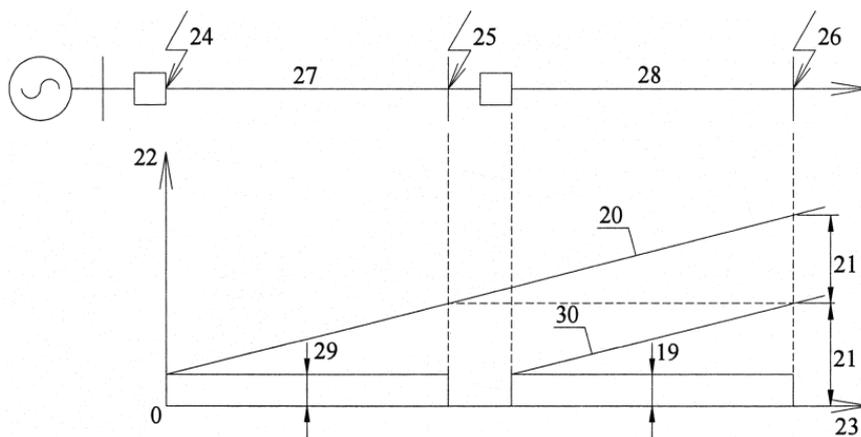
При  $I_{*КЗ} > 1$ , когда местом короткого замыкания является смежная линия электропередачи 28, уровня сигнала с выхода блока определения места короткого замыкания 9 не достаточно для функционирования логического элемента И 18.

При  $I_{*КЗ} \leq 1$ , когда местом короткого замыкания является защищаемая линия электропередачи 27, сигнал с выхода блока определения места короткого замыкания 9, поступающий на вход 181 логического элемента И 18, разрешает его функционирование. И при условии, что на входе 182 логического элемента И 18 также присутствует сигнал с выхода измерительного органа первой ступени токовой защиты 16, формируется сигнал в логическом элементе И, который с его выхода поступает на вход 131 логического элемента ИЛИ 13, сигнал с выхода которого через орган сигнализации 14 воздействует на исполнительный элемент 15 и отключает выключатель защищаемой линии электропередачи без специально создаваемой выдержки времени.

Предлагаемое изобретение обеспечивает резервирование действия защиты при коротких замыканиях на линиях электропередачи в пределах основной зоны токовой защиты.

## Источники информации:

1. Патент BY 19783, МПК Н 02Н 3/08, 3/20, 2015.
2. Патент BY 15999, МПК Н 02Н 3/08, 3/20, 2012.
3. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. - М.: Энергоатомиздат, 2007. - С. 173-177.



Фиг. 2