

СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ДЛЯ СЕТЕЙ 6 КВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Гуляев Б.В., к.т.н., Лавшонок А.В., ассистент,
Донецкий государственный технический университет

На основании распределения токов нулевой последовательности обоснован рациональный способ построения селективной защиты от однофазных замыканий на землю, с обеспечением продольной селективности.

On the basis of a current distribution of a zero-sequence the rational way of construction of selective protection from single-phase ground faults, with maintenance of longitudinal selectivity is justified.

Существующие селективные защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) не обеспечивают продольной селективности действия при возникновении аварийных режимов [1]. В связи с этим актуальным является вопрос разработки устройств защиты от ОЗЗ зона действия, которых распространяется на участок кабельной сети питающей группы потребителей, например ствольные или магистральные кабельные линии.

Токи и напряжения нулевой последовательности связаны с величиной сосредоточенного тока однофазного замыкания в месте повреждения однозначными зависимостями [2]. Для контроля параметров нулевой последовательности используются фильтры нулевой последовательности различных типов. Однако контроль отдельных параметров нулевой последовательности в сети не позволяет обеспечить селективность срабатывания устройств защиты. Очевидно, что наибольшей эффективности функционирования устройства можно достичь при контролировании и оценке им значений, пропорциональных мгновенным значениям тока однофазного замыкания в зоне действия защиты. Для обеспечения селективности применяют различные методы, все они основаны на том, что устройством защиты контролируется совокупность параметров. Определить значение сосредоточенного тока однофазного замыкания на защищаемом участке можно путем контроля параметров нулевой последовательности в от-

дельных точках сети. То есть контролируемый параметр в современных защитах определяется из выражения 1.

$$A_{OЗЗ}(t) = f(U_1^0, U_2^0 \dots U_n^0; i_1^0, i_2^0 \dots i_m^0, t) \quad (1)$$

где: $U_1^0, U_2^0 \dots U_n^0$ - напряжение нулевой последовательности в контролируемых точках сети;

$i_1^0, i_2^0 \dots i_m^0$ - токи нулевой последовательности в контролируемых точках сети.

Основной задачей синтеза рациональной схемы защиты от ОЗЗ является минимизация точек и числа контролируемых параметров. Для решения этой задачи, необходимо рассмотреть каким образом распределяются токи нулевой последовательности в сети и на основе этого определить рациональный способ построения защиты от однофазных замыканий на землю с обеспечением продольной селективности.

Рассмотрим подземную высоковольтную электрическую сеть произвольной конфигурации. Пример схемы сети изображен на рисунке 1.

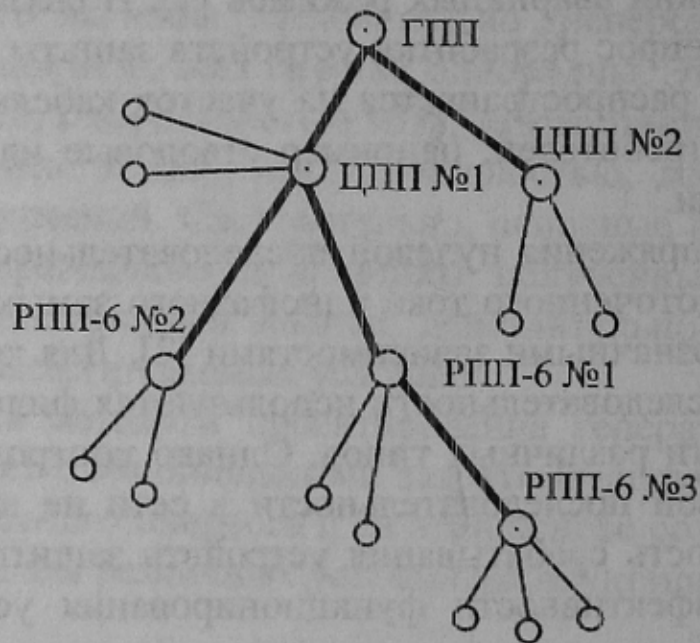


Рисунок 1 – Подземная высоковольтная электрическая сеть

Контролировать параметры нулевой последовательности осуществляется узловых точках сети, которыми являются распределительные пункты высокого напряжения. Пусть необходимо обеспечить защиту от ОЗЗ магистрального кабеля между ЦПП №1 и РПП-6 №1 см. рис 1. В этом случае схеме на рис.1 будет соответствовать схема

распределения токов нулевой последовательности приведенная на рисунке 2.

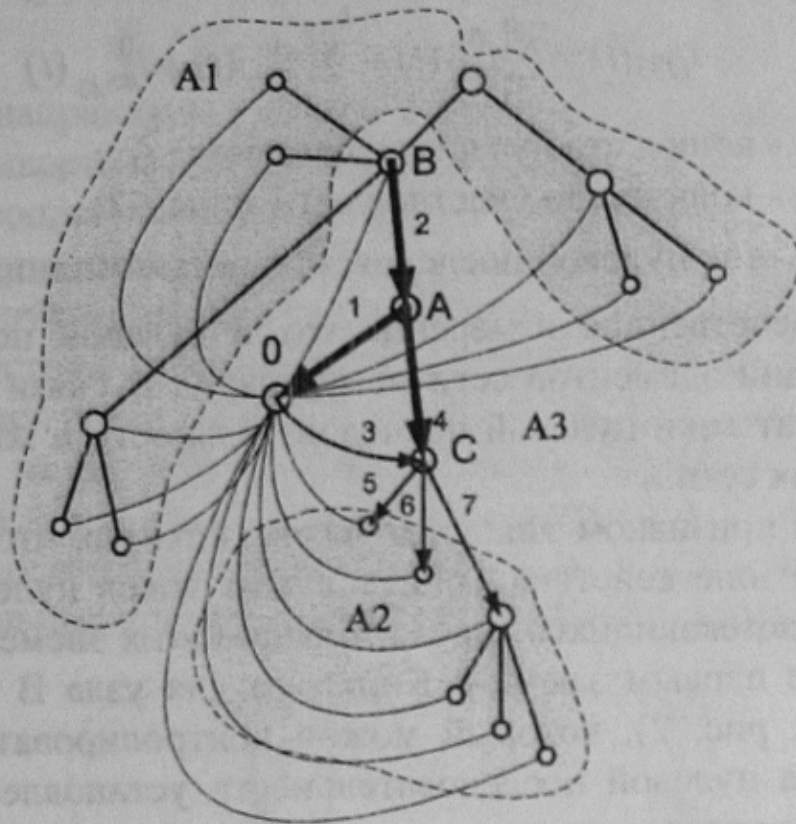


Рисунок 2 – Распределение токов нулевой последовательности при возникновении однофазного замыкания

Пусть в зоне действия защиты возникнет однофазное замыкание на землю. Во всей электрической сети будут протекать токи нулевой последовательности. Распределение токов нулевой последовательности следует рассматривать по схеме на рисунке 2. Ток замыкания на землю будет растекаться через элементы изоляции всей сети.

$$i_{OЗЗ}(t) = \sum_{i=1}^k i_{уз_i}^0(t) \quad (2)$$

где: k - количество участков сети;

$i_{уз_i}^0(t)$ - ток нулевой последовательности i -того участка.

Ток ОЗЗ в месте повреждения будет соответствовать ветви 1 и будет искомой величиной. Для дальнейшего анализа удобно считать, что ветвь 1 содержит источник тока, величина которого равна току однофазного замыкания на землю. Проанализировав схему распределения токов ОЗЗ, можно выделить три зоны:

- элементы сети, питающие защищаемый участок и соседние с защищаемым участком ответвления (зона A1);

- элементы, питаемые от защищаемого участка сети (зона А2);
- защищаемый участок электрической сети (зона А3).

С учетом этого получено выражение 3.

$$i_{OЗЗ}(t) = \sum_{i=1}^{k_{A1}} i_{уз_i}^0(t) + \sum_{i=1}^{k_{A2}} i_{уз_i}^0(t) + i_{уз_{A3}}^0(t) \quad (3)$$

где: k_{A1} - количество участков сети зоны А1;

k_{A2} - количество участков сети зоны А2;

$i_{уз_i}^0$ - ток нулевой последовательности защищаемого участка.

Непосредственное измерение токов нулевой последовательности в изоляции элементов сети невозможно. В связи с этим измерению подлежат токи нулевой последовательности в жилах кабельных линий в узлах сети.

Общим признаком для зоны А1 является то, что при возникновении ОЗЗ в зоне действия защиты сумма токов нулевой последовательности, растекающихся через изоляцию этих элементов сети, в соответствии с первым законом Кирхгофа для узла В определяет ток ветви 2 (см. рис. 2), который можно контролировать при помощи фильтра тока нулевой последовательности установленного в начале защищаемого участка сети.

$$\sum_{i=1}^{k_{A1}} i_{уз_i}^0(t) = i_2(t) \quad (4)$$

где $i_2(t)$ – ток нулевой последовательности в начале защищаемого участка сети;

Зона А2 включает в себя элементы сети, питаемые от защищаемого участка. Сумма токов нулевой последовательности растекающихся в изоляции участков сети зоны А2 для приведенной схемы можно определить из выражения 5.

$$\sum_{i=1}^{k_{A2}} i_{уз_i}^0(t) = -(i_5(t) + i_6(t) + i_7(t)) \quad (5)$$

или

$$\sum_{i=1}^{k_{A2}} i_{уз_i}^0(t) = -i_8(t) \quad (6)$$

где $i_8(t)$ – ток нулевой последовательности, в конце защищаемого участка сети.

Токи нулевой последовательности, которые растекаются в изоляции защищаемого участка (зона А3), измерить непосредственно не

представляется возможным. Однако величины этих токов, пренебрегая активной проводимостью изоляции защищаемого участка, можно определить из выражения 7.

$$i_{из, АЗ}^0(t) = f(U_i^0, C, R_{ж}, R_3, L) \tag{7}$$

- где: U_i^0 – напряжение нулевой последовательности;
 C – емкость изоляции защищаемого участка;
 $R_{ж}$ – сопротивление жил кабеля защищаемого участка;
 R_3 – сопротивление цепи заземления;
 L – индуктивность жил защищаемого участка сети.

При отсутствии однофазных замыканий в зоне действия защиты ток ветви 1 будет равен нулю. С учетом этого а, также заменив зоны А1 и А2 схемы на рисунке 2 эквивалентными ветвями в соответствии с выражениями 4 и 6, были получены универсальные схемы распределения токов нулевой последовательности для защищаемого участка сети действительные для произвольной конфигурации сети.

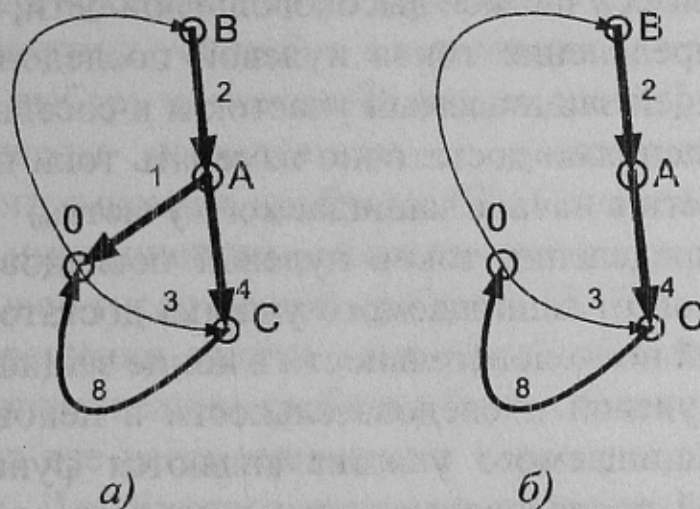


Рисунок 3 – Распределение токов нулевой последовательности при возникновении ОЗЗ в зоне действия (а) и вне зоны действия защиты (б)

На основании схем на рисунке 3, а также выражений 3, 4 и 6, , искомая величина тока однофазного замыкания может быть определена из выражения 8.

$$i_1(t) = i_2(t) - i_8(t) + i_3(t) \tag{8}$$

Подставив выражение 7 в 8, получим выражение 9 для определения величины сосредоточенного тока однофазного замыкания на землю в зоне действия защиты, для рассматриваемого участка кабельной сети.

$$i_1(t) = i_2(t) - i_3(t) + f(U_i^0, C, R_{\Sigma}, R_3, L) \quad (9)$$

Выражение 9 позволяет обосновать рациональный способ построения защиты от однофазных замыканий на землю с обеспечением продольной селективности, заключающейся в контроле величин пропорциональных мгновенным значениям тока однофазного замыкания на землю в зоне действия защиты полученных в результате вычитания значений пропорциональных токам нулевой последовательности в конце защищаемого участка от значений в начале защищаемого участка с учетом токов нулевой последовательности в изоляции защищаемого участка как функции напряжения нулевой последовательности и параметров защищаемой кабельной линии.

Анализ распределения токов нулевой последовательности в высоковольтной электрической сети позволяет сделать следующие выводы:

- величина сосредоточенного тока ОЗЗ в зоне действия защиты является функцией токов нулевой последовательности в изоляции всех участков высоковольтной сети;
- для определения токов нулевой последовательности в сети питающей защищаемый участок и в соседних с защищаемым ответвлениями достаточно измерять токи нулевой последовательности в начале защищаемого участка;
- для определения токов нулевой последовательности в сети питаемой от защищаемого участка достаточно измерять токи нулевой последовательности в конце защищаемого участка;
- токи нулевой последовательности в неповрежденной изоляции защищаемого участка являются функцией напряжения нулевой последовательности и зависят от параметров защищаемого участка;

Описанный выше способ построения защиты от однофазных замыканий на землю позволил разработать принципиально новое устройство защиты от ОЗЗ с обеспечением продольной селективности. Применение такого устройства защиты позволит существенно повысить эффективность и безопасность электроснабжения потребителей угольных шахт.

Список источников.

1. Айдаров Ф.А. Избирательность отключения однофазных замыканий на землю вдоль фидеров подземной сети 6 кВ горных предприятий. / Высоковольтные рудничные аппараты: Сборник научных трудов ВНИИВЭ. – Донецк, 1989. – с. 70-77
2. Бухтояров В.Ф., Маврицин А.М. Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров. – М.: Недра, 1986. 184 с.