

Авторы:
к.т.н. Малый А.П.,
к.т.н. Шурупов А.А.,
к.т.н. Дони Н.А.,
ООО «НПП «ЭКРА»,
г. Чебоксары, Россия.

Dr. Mal'yi A.P.,
Dr. Shurupov A.A.,
Dr. Doni N.A.

«СМЕЩЕНИЕ В ЗОНУ» РАЗРЕШАЮЩЕГО ОРГАНА НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Аннотация: в статье освещается вопрос, который в последнее время часто возникает у нового поколения инженеров-релейщиков, имеющих небольшой опыт эксплуатации устройств релейной защиты, – о выборе способа повышения чувствительности токовой направленной защиты нулевой последовательности и выборе уставки «смещения в зону» органа направления

Ключевые слова: нулевая последовательность, направление мощности, смещение в зону.

Abstract:

The article describes the question recently frequently appears in the new generation of relaying engineers—selection of the method of increasing the voltage sensitivity of the current directional zero sequence protection and the selection of setting «displacement into the zone» of zero sequence directional relay.

Keywords:

zero sequence, power direction, displacement into the zone.

Многие из приведённых ниже сведений можно найти в технической литературе и нормативных документах [1, 2]. Авторы полагают, однако, что эти сведения будут полезны как разработчикам и проектировщикам, так и ремонтному персоналу электролабораторий, который непосредственно эксплуатирует устройства релейной защиты в энергосистемах.

Орган направления мощности нулевой последовательности (ОНМНП) предназначен для обеспечения селективности токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТНЗНП): разрешающий ОНМНП должен срабатывать при КЗ на землю в зоне, то есть в направлении защищаемой линии, а блокирующий ОНМНП – при КЗ «за спиной», то есть в направлении шин подстанции.

Параметры ОНМНП (ток и напряжение срабатывания) не определяют границу зоны срабатывания ТНЗНП, – она определяется уставкой органа тока последней ступени. Чувствительность ОНМНП по току поэтому всегда выше, чем у органа тока самой чувствительной ступени ТНЗНП. Уставка ОНМНП по напряжению отстраивается от напряжения небаланса фильтра напряжения нулевой последовательности в нормальном рабочем режиме и в некоторых случаях может быть недостаточна для срабатывания ОНМНП при КЗ на землю, что может приводить к отказу резервной ступени ТНЗНП [3].

На рис. 1 представлена схема сети, в которой чувствительность ОНМНП токовой направленной защиты нулевой последовательности

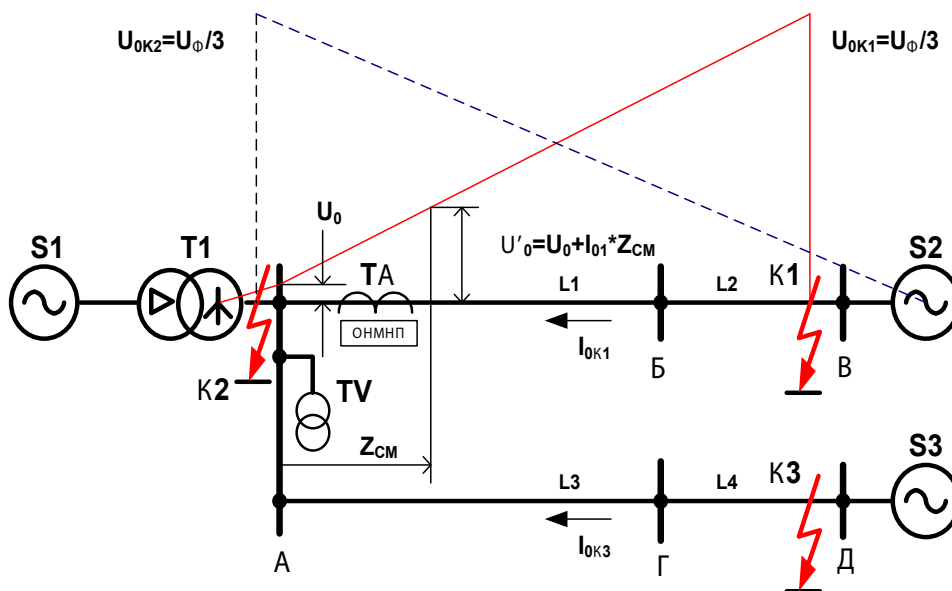


Рис. 1. Расчётные случаи для выбора сопротивления смещения Z_{CM}

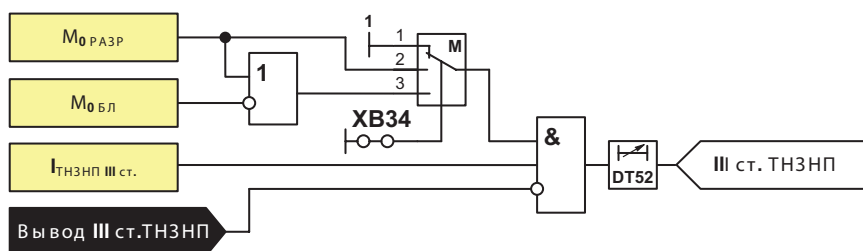


Рис. 2. Структурная схема контроля направленности резервной ступени ТНЗНП с использованием блокирующего ОНМНП

(при удалённом КЗ на землю в точке К1) может оказаться недостаточной.

В приведённой схеме зона срабатывания третьей ступени ТНЗНП охватывает свою L1 и предыдущую L2 линии, имеющие в сумме большую длину и, соответственно, большое сопротивление. В то же время сопротивление нулевой последовательности предвключенной части энергосистемы («за спиной» у защиты) мало из-за того, что к шинам подключён мощный трансформатор Т1 с заземлённой нейтралью.

В случае КЗ «за спиной», в точке К2, напряжение нулевой последовательности $U_{0К2}$ в месте установки защиты достаточно велико и не ограничивает чувствительность ТНЗНП.

При удалённом (в точке К1) КЗ на землю в зоне срабатывания резервной ступени ТНЗНП напряжение в месте установки защиты, равное падению напряжения от тока нулевой последовательности на сопротивлении мощного трансформатора Т1, мало и может быть недостаточным для срабатывания разрешающего ОНМНП.

Для повышения чувствительности ТНЗНП по напряжению существует два способа:

- 1) «смещение в зону» разрешающего ОНМНП;
- 2) использование наряду с разрешающим также и блокирующего ОНМНП (рис. 2).

В последнем случае, в соответствии со схемой рис. 2 (приведено схемное решение, использованное в шкафах защит серии ШЭ2607 производ-

ства НПП «ЭКРА», г. Чебоксары), программной накладкой ХВ34 выбирается один из режимов III ступени ТНЗНП:

- ненаправленный;
- направленный с контролем направленности от разрешающего ОНМНП ($M_{0 PA3P}$);
- направленный с контролем направленности при срабатывании разрешающего ОНМНП или несрабатывании блокирующего ОНМНП ($M_{0 BL}$).

При удалённом КЗ на землю в зоне и напряжении нулевой последовательности, недостаточном для срабатывания разрешающего ОНМНП, не срабатывает также и блокирующий ОНМНП. В результате предотвращается отказ резервной ступени ТНЗНП.

Ограничивает использование блокирующего ОНМНП возможность излишнего срабатывания ТНЗНП при КЗ на землю в точке К3 на линии L4 (рис. 1), отходящей от шин той же подстанции (параметры линий L3 и L4 аналогичны параметрам линий L1 и L2). Эпюра напряжения нулевой последовательности при КЗ на землю в точке К3 такая же, как и при КЗ на землю в точке К1. Чтобы при этом ТНЗНП не срабатывала, уставка реле тока третьей ступени $I_{TNZNP III ст.}$ должна быть выше тока, протекающего в месте установки защиты при КЗ на землю в точке К3 с учётом разветвления тока КЗ на шинах подстанции А – в нейтраль трансформатора Т1 и в линию L1.

При работе с контролем направленности только от разрешающего ОНМНП «смещение в зону» характери-

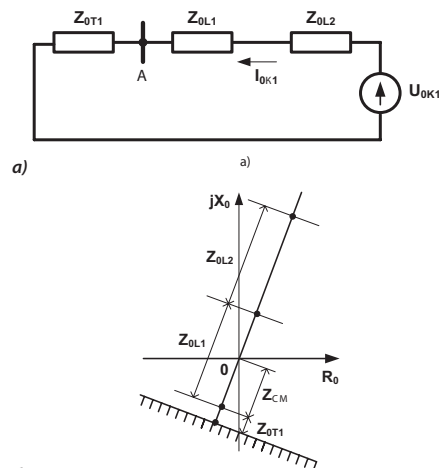


Рис. 3. Схема замещения нулевой последовательности при КЗ на землю в конце зоны (а); «смещение в зону» в плоскости Z_0 (б)

стики ОНМНП выполняется программно путём условного смещения точки подключения защиты в сторону линии. На рис. 3 показаны схема замещения нулевой последовательности при КЗ на землю в зоне (рис. 3, а) и «смещение в зону» в плоскости Z_0 (рис. 3, б) [4]. Углы сопротивлений всех участков сети и угол максимальной чувствительности ОНМНП условно приняты равными.

Источником тока нулевой последовательности $I_{0К1}$, который замыкается через нейтраль трансформатора, является составляющая напряжения $U_{0К1}$ нулевой последовательности в месте КЗ на землю.

При этом напряжение U'_{0} , подведённое к реле, повышается на величину, равную произведению сопротивления смещения Z_{CM} на ток нулевой последовательности I_{01} при КЗ (рис. 1).

Угол сопротивления смещения при этом совпадает с углом сопротивления нулевой последовательности защищаемой линии электропередачи, а модуль может быть задан в диапазоне от нуля до 100 Ом.

Уставки современных – микроэлектронных и микропроцессорных – ОНМНП по току и напряжению независимы друг от друга, и вольт-амперная характеристика ОНМНП при угле между током и напряжением, равном ха-



Малый Альберт Петрович
 Датарождения: 01.06.1935г.
 Год окончания вуза – 1958, МЭИ.
 Год и место защиты диссертации к.т.н. – 1988, НПИ.
 Учёное звание – кандидат технических наук.
 Учёная степень – старший научный сотрудник.
 Должность – ведущий инженер ООО НПП «ЭКРА».



Шурупов Алексей Александрович
 Датарождения: 25.03.1951г.
 Год окончания вуза – 1973, НПИ.
 Год и место защиты диссертации к.т.н. – 1981, НПИ.
 Учёное звание – кандидат технических наук.
 Учёная степень – старший научный сотрудник.
 Заведующий отделом защит подстанционного оборудования ООО НПП «ЭКРА».

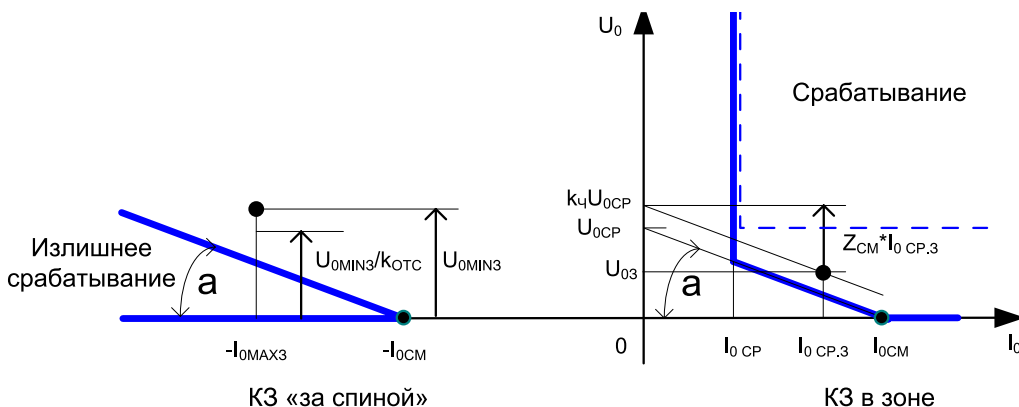


Рис. 4. Характеристика разрешающего ОНМНП со «смещением в зону»

характеристическому углу ОНМНП, имеет почти прямоугольную форму (пунктирная характеристика на рис. 4). ОНМНП с такой формой характеристики имеет высокую чувствительность к удалённым КЗ на землю, когда и ток, и напряжение в месте установки защиты малы.

Вольт-амперная характеристика разрешающего ОНМНП при введении «смещения в зону» трансформируется, как показано на рис. 4.

При использовании смещения «в зону» на характеристике разрешающего ОНМНП существует «ток смещения» I_{0CM} , при котором разрешающий ОНМНП может сработать от одного только тока, без напряжения (явление «самохода» по току). Для селективного действия ТНЗНП сопротивление смещения Z_{CM} и ток смещения I_{0CM} разрешающего ОНМНП следует выбирать так, чтобы ток смещения был больше, чем максимальный ток небаланса нулевой последовательности в режимах без «земли» (при чисто междуфазных КЗ вне зоны срабатывания, качаниях, асинхронном ходе).

Связь между сопротивлением смещения Z_{CM} и током смещения I_{0CM} определяется формулой:

$$tg\alpha = Z_{CM} = U_{0CP}/I_{0CM}$$

где α – угол наклона зависимости от тока ветви вольт-амперной характеристики разрешающего ОНМНП (рис. 4);

U_{0CP} – уставка разрешающего ОНМНП по напряжению.

При изменении уставки разрешающего ОНМНП по напряжению сопротивление смещения Z_{CM} и угол α остаются неизменными, а ток смещения меняется пропорционально уставке по напряжению. В этом отличие и преимуще-

ство ОНМНП в шкафах микропроцессорных защит типа ШЭ2607 от ОНМНП в шкафах микроэлектронных защит типа ШДЭ 2802, где при изменении уставки по напряжению остаётся неизменным ток смещения, а сопротивление смещения изменяется пропорционально уставке по напряжению.

Сопротивление смещения выбирается исходя из следующего [1]:

1) Должна быть обеспечена чувствительность разрешающего ОНМНП по напряжению при КЗ в зоне дальнего резервирования при токе срабатывания последней (чувствительной) направленной ступени ТНЗНП:

$$U_{03} + Z_{CM} * I_{0CP.3} > k_U * U_{0CP}$$

или:

$$Z_{CM} > (k_U * U_{0CP} - U_{03}) / I_{0CP.3} \quad (1)$$

где Z_{CM} – сопротивление смещения; $k_U = 1, 2$ – коэффициент чувствительности [2]; U_{0CP} – вторичное напряжение срабатывания разрешающего ОНМНП;

U_{03} – вторичное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при КЗ в конце зоны срабатывания последней направленной ступени ТНЗНП;

$I_{0CP.3}$ – вторичный ток срабатывания ИО тока последней, направленной ступени ТНЗНП (рис. 4, первый квадрант).

Вольт-амперная характеристика ОНМНП на рис. 4 построена при угле между напряжением и током нулевой последовательности, равном характеристическому углу ОНМНП. При КЗ «за спиной» измеренный ток меняет фазу на 180° , а фаза измеренного напряжения остаётся неизменной. Таким образом, характеристика ОНМНП продолжается во втором квадранте.



Дони

Николай Анатольевич

Дата рождения: 26.10.1946 г. Окончил энергетический факультет Новочеркасского политехнического института в 1969 году. В 1981 году во ВНИИЭ защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка высокочастотной защиты линий сверхвысокого напряжения». Директор по науке - заведующий отделом перспективных разработок. Имеет более 120 научных публикаций в области релейной защиты, микропроцессорной техники и цифровой обработки сигналов электроэнергетических систем.

2) Должна быть обеспечена селективность (несрабатывание) защиты при КЗ на землю расчётного вида (однофазное или двухфазное) на шинах подстанции, где установлена защита, то есть «за спиной» (К2 на рис. 1): измеренное напряжение нулевой последовательности на ОНМНП должно быть с запасом больше дополнительной составляющей от смещения (рис. 4, второй квадрант):

$$U_{0MIN3}/k_{OTC} > (I_{0MAX3} - I_{0CM})Z_{CM} = (I_{0MAX3} - U_{0CP}/Z_{CM}) = I_{0MAX3} * Z_{CM} - U_{0CP}$$

или:

$$Z_{CM} < (U_{0MIN3}/k_{OTC} + U_{0CP})/I_{0MAX3} \quad (2)$$

при $I_0 > I_{0CM} = U_{0CP}/Z_{CM}$

где Z_{CM} – сопротивление смещения;

U_{0MIN3} – минимальное вторичное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при КЗ «за спиной»;

$k_{OTC} = 1,15$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешности АЦП, ТТ и ТН и ошибки расчётов;

U_{0CP} – вторичное напряжение срабатывания разрешающего ОНМНП;

I_{0MAX3} – максимальный ток нулевой последовательности, протекающий через защиту при КЗ «за спиной», на шинах подстанции.

В качестве уставки Z_{CM} выбирается значение, промежуточное между значениями, полученными по формулам (1) и (2).

Коэффициент $K_{вын.ТН}$ выноса ТН в о.е. (параметр, задаваемый в бланке уставок ТНЗНП) связан с сопротивлением смещения Z_{CM} формулой:

$$K_{вын.ТН} = Z_{CM}/Z_{0ВЛ}$$

где $Z_{0ВЛ}$ – сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии.

Если при выбранном сопротивлении смещения проверка покажет, что ток I_0 при КЗ «за спиной» меньше тока смещения I_{0CM} , условие 2 можно не учитывать: неселективного срабатывания ОНМНП при этом не может быть.

Из рис. 4 видно, что при КЗ «за спиной» разрешающий ОНМНП со «смещением в зону» при недостаточно большом сигнале нулевой последовательности, получаемом от ТН, может излишне срабатывать из-за того, что в канале напряжения от цепей тока формируется сигнал, совпадающий по фазе с током.

Практически этого не следует опасаться, так как смещение в зону используется в случаях, когда к шинам защищаемой подстанции подключён мощный источник нулевой последовательности, а суммарное сопротивление нулевой последовательности защищаемого и

предыдущего участка передачи велико. В этих условиях (при КЗ в точке К2, рис. 1) напряжение нулевой последовательности, получаемое от ТН, при КЗ «за спиной» максимально, и разрешающий ОНМНП уверенно определяет КЗ вне зоны и не срабатывает.

В частности, на линии без отпаек при выборе сопротивления смещения Z_{CM} меньше сопротивления нулевой последовательности линии $Z_{0ВЛ}$ в случае КЗ на землю на шинах подстанции («за спиной») излишнее срабатывание разрешающего ОНМНП исключено, так как составляющая напряжения от «смещения в зону» не превышает напряжения нулевой последовательности на шинах даже при очень мощной системе у противоположного конца линии.

В случае если длина защищаемой линии мала, а предыдущей велика, смещение в зону мало что прибавит к чувствительности ОНМНП. В таком случае нужно рассмотреть возможность использования блокирующего ОНМНП для повышения чувствительности ТНЗНП по напряжению.

Несколько более сложно определяется сопротивление «смещения в зону» разрешающего реле ОНМНП в фильтровых направленных защитах, где, в отличие от ТНЗНП, требуется обеспечить не только чувствительность защиты по напряжению, но и – для селективного действия защиты – одинаковую кратность напряжения нулевой последовательности по концам защищаемой линии, а следовательно, одновременное срабатывание ОНМ на обоих концах линии [5].

Литература

1. Разработка рекомендаций по расчёту и выбору параметров защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110-750 кВ. Отчёт института «Энергосетьпроект», №11735тм – Т1, – Москва, 1985 г. – 104 стр.
2. Руководящие указания по релейной защите. Вып.12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ. Расчёты. – М.: Энергия, 1980. – 88 с., ил.
3. Лысенко Е.В. Полупроводниковая фильтровая защита с высокочастотной блокировкой. – М: БТИ ОРГРЭС, 1966. – 104 с., ил.
4. Малый А.П., Нудельман Г.С., Наймон А.М. Полупроводниковая токовая направленная защита нулевой последовательности. – Чебоксары: Тр. ВНИИР, вып. 5, 1976. – с.192-204.
5. Дони Н.А., Шнейерсон Э.М. Области действия сложных измерительных органов релейной защиты. – Электрические станции, 1977, – с. 68-71.