

Утверждаю
Технический директор
НПП ХАРТРОН-ИНКОР

А.Д. Нистратов

"__" _____ 2004г.

ПМ РЗА "Диамант"
(версия защит ВЛ)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫБОРУ УСТАВОК ЗАЩИТ И ОМП**

ВВЕДЕНИЕ

ПМ РЗА "Діамант" разработан с учетом особенностей построения электрических сетей отечественных энергосистем. Заложенные в него принципы и алгоритмы учитывают требования Руководящих указаний (РУ) по релейной защите, что позволяет использовать их методики для расчетов уставок, принимая во внимание изложенное ниже.

1 ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ (ТЗНП)

Первичная информация, снимаемая с ТТ и ТН, обрабатывается с помощью преобразования Фурье, что исключает влияние апериодической и периодической составляющих при броске тока намагничивания, а также при КЗ. В связи с этим, при расчетах уставок ТЗНП рекомендуется пользоваться методиками для токовых органов, выполненных на реле типа РНТ (РУ по РЗА, выпуск 12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110 – 500 кВ. Москва. Энергия, 1980).

Максимально возможное замедление защит, связанное с преобразованием Фурье – не более периода промышленной частоты.

Погрешность выдержки времени составляет 0,001 с.

Коэффициенты возврата органов, выполняющих функции измерения максимальных величин, имеют возможность регулирования в пределах 0,8 – 0,99, минимальных – 1,01 – 1,2.

Орган направления мощности (ОНМ) нулевой последовательности любой ступени ТЗНП может работать как на разрешающем, так и блокирующем принципах. Необходимость использования органа направления мощности и способа определения направленности определяется при выборе уставок ТЗНП. Минимальная мощность срабатывания ОНМ – не более 0,5 ВА.

2 ДИСТАНЦИОННЫЕ ЗАЩИТЫ

В составе ПМ РЗА "Діамант" имеются дистанционные защиты (ДЗ) от междуфазных и однофазных КЗ для сетей с глухозаземленной нейтралью.

ДЗ от междуфазных КЗ реагирует на отношение линейных напряжений и разность соответствующих фазных токов.

ДЗ от однофазных КЗ использует фазовую петлю (U_ϕ и I_ϕ), при этом выполняется компенсация токов нулевой последовательности. Коэффициент компенсации K определяется выражением:

$$K = \frac{X_0 - X_1}{X_1},$$

где X_0 и X_1 - сопротивления нулевой и прямой последовательности защищаемой линии.

Характеристики срабатывания дистанционных органов ДЗ в комплексной плоскости для I, II, и IV ступеней имеют форму четырехугольников (или треугольников) с возможностью смещения на любой квадрант относительно начала координат.

Для базового варианта дистанционной защиты от междуфазных КЗ вершины четырехугольника (z_1, z_2, z_3, z_4), расположенные в I, II, III и IV квадрантах комплексной плоскости z , имеют следующие координаты по оси R (рисунки 1 а, 1 б):

z_1 - в I квадранте - $0,85 z_y$ (и регулируются в пределах $(0,5 - 2) z_y$);

z_2 - во II квадранте - $0,57 z_y (0,5 - 2) z_y$;

z_3 - в III квадранте - $0,3 z_y (0,05 - 0,5) z_y$;

z_4 - в IV квадранте - $0,3 z_y (0,05 - 1,5) z_y$.

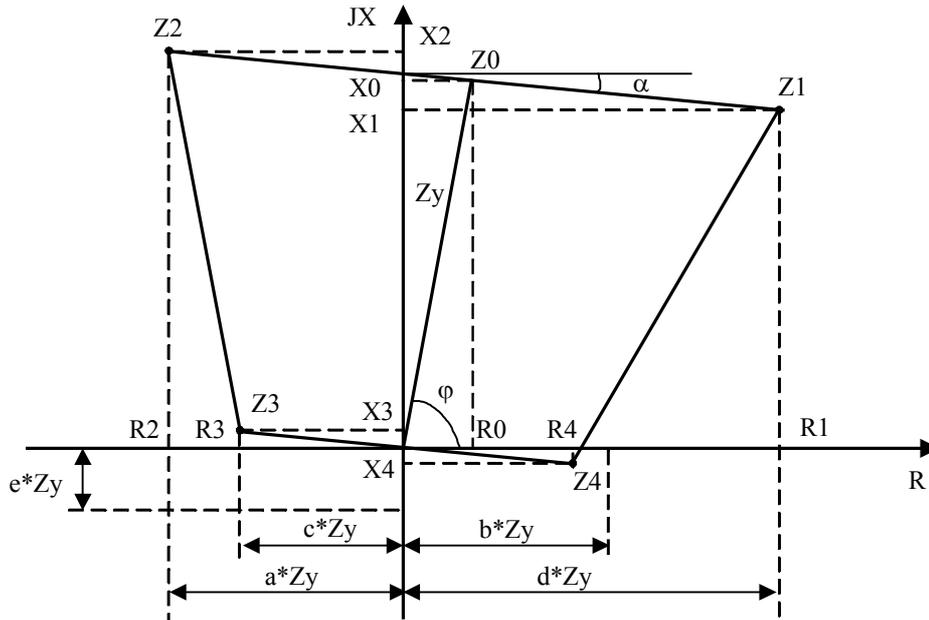


Рисунок 1 а – Рекомендуемые характеристики для 1 – ой ступени дистанционной защиты

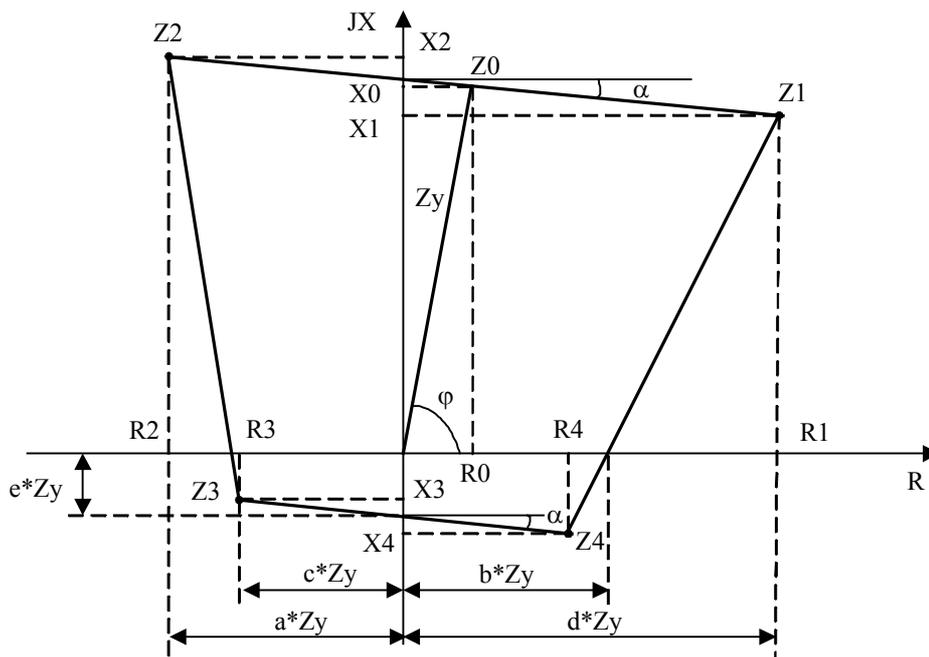


Рисунок 1 б - Рекомендуемые характеристики для 2 – ой ступени дистанционной защиты

Предусмотрено регулирование наклона правой боковой стороны четырехугольника для отстройки от нагрузки в пределах:

$$v/a = 0,3 - 0,6,$$

где $a = z_y/2$; v – отрезок оси R между началом координат и правой боковой стороной четырехугольника.

Характеристика срабатывания III ступени имеет вид треугольника z_1, z_2, z_3 с вершиной z_3 , расположенной в начале координат (рисунок 2 а). Сторона z_2, z_3 имеет наклон к оси R 115^0 , а сторона z_1, z_3 наклон от 47^0 до 35^0 (регулируемый). Угол наклона стороны z_1, z_2 к оси R регулируется в диапазоне от минус 15^0 до 0^0 .

Указанные характеристики являются стандартными и аналогичны характеристикам шкафа ШДЭ – 2802, поэтому при расчетах уставок для ДЗ от междуфазных КЗ целесообразно использовать соответствующие методики для ШДЭ – 2802 (Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110 – 750 кВ. Том 1. Рекомендации по расчету защит ВЛ 110 – 220 (330) кВ. Энергосеть-проект. Москва.1985).

В составе инструментария для работы с ПМ РЗА имеется программное обеспечение, позволяющее по параметрам срабатывания ДЗ (z уставки, ($\varphi_{\max.ч.}$) автоматически рассчитывать характеристики срабатывания дистанционных органов и задавать их в ПМ РЗА.

Заказчик может использовать и другие характеристики, например: окружность – для I зоны, четырехугольник – для III зоны и т.д. Любая из зон может быть также переориентирована "за спину" (рисунок 2 б) или смещена в I квадрант.

Для расчета уставок ДЗ от однофазных КЗ следует пользоваться указаниями НЭК "Укрэнерго" по выбору уставок для импортных дистанционных защит от однофазных КЗ, которые рекомендуют для I зоны $z_{cp} = 0,7 z_{л.}$

II зона должна надежно защищать линию и быть согласованной с I зонами земляных защит присоединений, отходящих от подстанции противоположного конца.

III зона отстраивается от нагрузки с учетом влияния последней на характеристики ДЗ при больших уставках. Характеристики ступеней ДЗ от однофазных КЗ аналогичны рассмотренным.

Как известно, в отечественных сетях широкое распространение от однофазных КЗ получили ТЗНП и вопросам применения для этих целей дистанционных защит не придавалось значения. В связи с этим отсутствуют хорошо разработанные методики согласования дистанционных защит от однофазных КЗ с ТЗНП.

С накоплением опыта эксплуатации микропроцессорных защит, выявилась целесообразность использования дистанционной защиты для I и II ступеней от однофазных КЗ, а для остальных - ТЗНП.

Такой подход обеспечивает более быстрое отключение КЗ (особенно на коротких линиях) и позволяет сравнительно легко вписать ДЗ в действующие сети с ТЗНП.

Для блокирования дистанционных защит при качаниях в "Діаманте" используется принцип измерения скорости вхождения вектора сопротивления в зону. Пусковой орган блокировки имеет характеристику в комплексной плоскости, подобную характеристике блокируемой зоны с уставкой, равной $1,25 z$ срабатывания зоны и вводимой автоматически в устройство вместе с функцией блокирования. В связи с этим не требуется выполнения дополнительных расчетов.

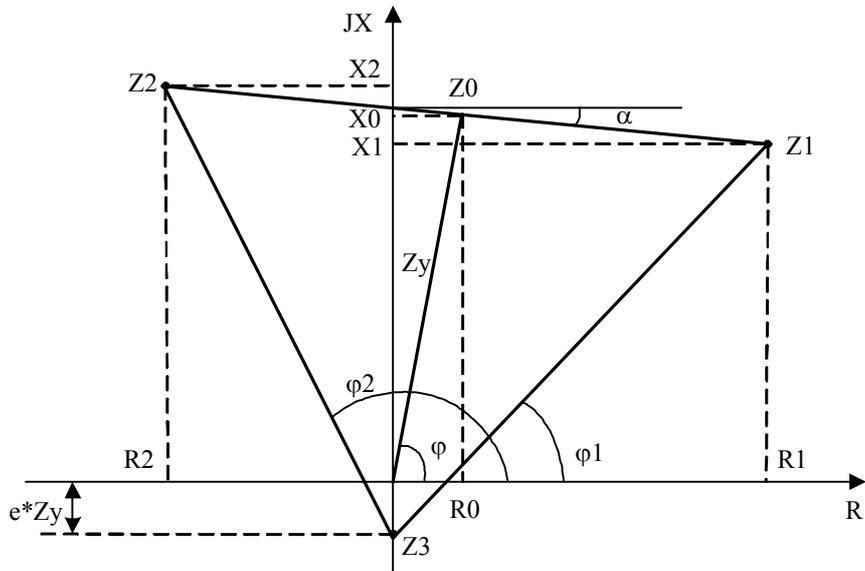


Рисунок 2 а - Рекомендуемые характеристики для 3 – ей ступени дистанционной защиты

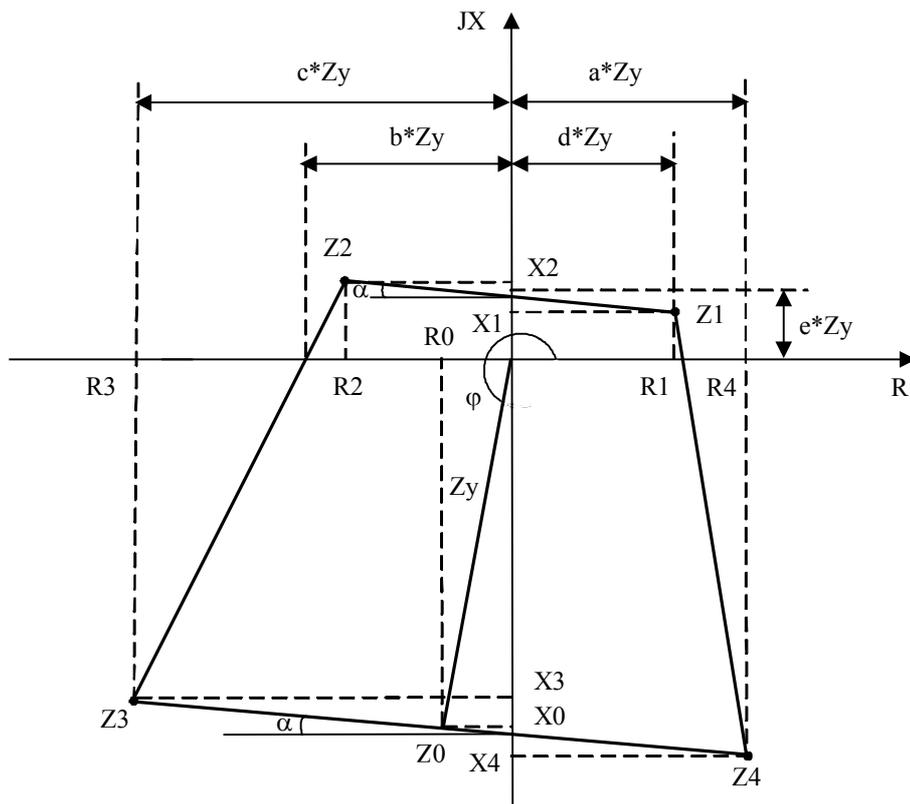


Рисунок 2 б – Рекомендуемые характеристики для 4 – ой ступени дистанционной защиты

3 ОРГАНИЗАЦИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЗАЩИТЫ ВЛ 110 – 330 кВ, ОХВАТЫВАЮЩЕЙ 100% ЛИНИИ

Имеется возможность реализации быстродействующей 100% защиты линии посредством приема и передачи разрешающих и блокирующих сигналов по каналам связи (например АНКА или АКПА).

При использовании разрешающих сигналов принципы действия защиты аналогичны ускорениям защит по каналам АНКА, применяемым на ВЛ 330 – 750 кВ.

В основу использования блокирующих сигналов положены алгоритмы в.ч. блокировки – панели ПДЭ – 2802.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ (ОМП) НА ЛИНИИ

При аварии в энергосистеме мощность обратной последовательности направлена от места повреждения, где она имеет наибольшее абсолютное значение, к нулевым точкам системы в схеме обратной последовательности. Мощность нулевой последовательности направлена от места повреждения, где она также имеет максимальное значение, к заземленным нейтралям.

Для повреждения соблюдается равенство:

$$U_1 I_1 = -(U_2 I_2 + U_0 I_0), \quad (1)$$

где $U_1, U_2, U_0, I_1, I_2, I_0$ – комплексы напряжений и токов различных последовательностей в месте аварии (* над комплексом соответствует его сопряженному значению).

Таким образом, в месте аварии мощность прямой последовательности генераторов электрической энергии компенсирует мощности обратной и нулевой последовательностей, генерируемых несимметрией.

Соотношения между напряжениями и токами различных последовательностей при различных видах аварий:

однофазное КЗ:

$$U_1 = -(U_2 + U_0); I_1 = I_2 = I_0; \quad (2)$$

двухфазное КЗ:

$$U_1 = U_2; I_1 = -I_2; \quad (3)$$

двухфазное КЗ на землю:

$$U_1 = U_2 = U_0; I_1 = -(I_2 + I_0). \quad (4)$$

Для формирования алгоритма определения места повреждения рассматривалась линия с двусторонним питанием при КЗ фаз линии на землю (поперечная несимметрия). Этот случай – универсальный, поскольку токи и напряжения содержат составляющие всех последовательностей. Измерение проводится с одного конца высоковольтной линии. На рисунке 3 приведена схема рассматриваемой электропередачи для токов и напряжений трех последовательностей. В схеме приняты следующие обозначения: E'_g, E''_g – комплексы ЭДС генераторов, входящие только в схему прямой последовательности; Z'_{ci}, Z''_{ci} – комплексные сопротивления энергосистем, примыкающих к узлам, ограничивающим контролируруемую линию; Z'_i, Z''_i – сопротивления линии до места аварии; $R_{\pi i}$ – переходные сопротивления в месте аварии, рассматриваемые как симметричные элементы сети; в схеме нулевой последовательности $R_{\pi 0} = 3R_3$, где R_3 – сопротивление между фазой и землей при замыкании на землю.

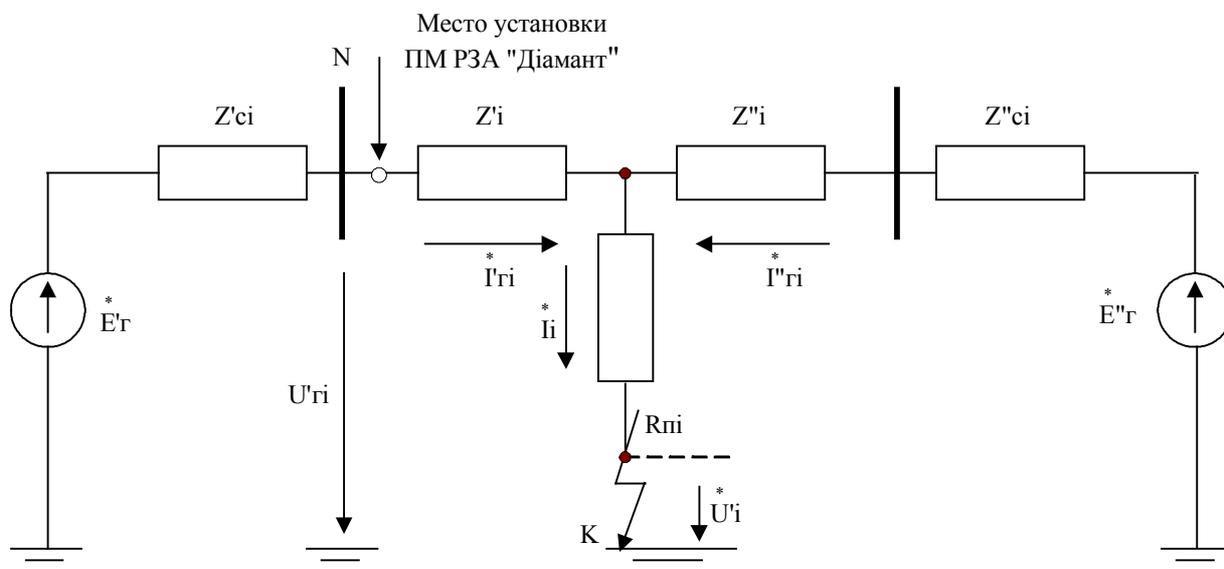


Рисунок 3 – Схема замещения электропередачи ($i = 0, 1, 2$)

По известным напряжениям и токам в узле измерения N – $U'_{r1}, U'_{r2}, U'_{r0}, I'_{r1}, I'_{r2}, I'_{r0}$ определяются мощности прямой, обратной и нулевой последовательностей в месте аварии:

$$S_1 = U_1 I_1^* = U'_{r1} I_1^* - I_{r1} Z'_{r1} I_1^* - R_{n1} |I_1|^2; \quad (5)$$

$$S_2 = U_2 I_2^* = U'_{r2} I_2^* - I_{r2} Z'_{r2} I_2^* - R_{n2} |I_2|^2; \quad (6)$$

$$S_0 = U_0 I_0^* = U'_{r0} I_0^* - I_{r0} Z'_{r0} I_0^* - R_{n0} |I_0|^2; \quad (7)$$

Токи в месте аварии через контролируемые токи в узле измерения:

$$I_{ri} = C_{pi} I_i, \quad (8)$$

где C_{pi} – коэффициент токораспределения в точке КЗ, определяемый в виде

$$C_{pi} = \frac{Z''_{\Sigma i}}{Z'_{\Sigma i} + Z''_{\Sigma i}} \quad (9)$$

Здесь $Z'_{\Sigma i} = L_{кз} Z_{iуд} + Z'_{ci}$; $Z''_{\Sigma i} = (L - L_{кз}) Z_{iуд} + Z''_{ci}$; $L, L_{кз}$ – полная длина линии и расстояние от узла измерения до места аварии; $Z_{iуд}$ – удельные сопротивления линии для различных последовательностей; в дальнейшем принято $Z_{1уд} = Z_{2уд}$.

Для схемы прямой последовательности соотношение (8) справедливо только для аварийной составляющей тока, т.е. для

$$I_{AB} = I_{r1} - I_n, \quad (10)$$

где I_n – ток предшествующего аварии симметричного нагрузочного режима.

После суммирования (5) – (7) и выделения мнимой части суммы – реактивной мощности, получено в соответствии с [1] исходное уравнение для определения места аварии в виде

$$\text{Im} \left\{ \frac{U'_{r1} (I'_{r1} - I'_n)}{C'_{p1}} + \frac{U'_{r2} I'_{r2}}{C'_{p2}} + \frac{U'_{r0} I'_{r0}}{C'_{p0}} - \frac{|I'_{r1}|^2 Z'_1}{C'_{p1}} + \frac{I'_{r1} I'_n Z'_1}{C'_{p1}} - \frac{|I'_{r2}|^2 Z'_2}{C'_{p2}} - \frac{|I'_{r0}|^2 Z'_0}{C'_{p0}} \right\} = 0 \quad (11)$$

Для расчета расстояния до места КЗ по алгоритму (11) необходимо задавать удельные сопротивления линии $Z'_{\text{уд}}$ и значение эквивалентных сопротивлений примыкающих к контролируемой линии энергосистем, которые представляют собой комплексы.

Для однофазных, двухфазных, трехфазных КЗ общий алгоритм (11) представлен частными алгоритмами, соответствующими граничным условиям несимметрии:

при однофазном КЗ

$$I_1 = I_2 = I_0; U_1 + U_2 + U_0 = 0;$$

$$\text{Im} \{ I'_{r0} e^{j\varphi_0} [U'_{r1} + U'_{r2} + U'_{r0} - L_{\text{кз}} Z'_{1\text{уд}} (I'_{r1} + I'_{r2}) - L_{\text{кз}} Z'_{0\text{уд}} I'_{r0}] \} = 0 \quad (12)$$

$$\varphi_0 = \arg C'_{p0};$$

при двухфазном КЗ, в том числе и на землю

$$I_1 + I_2 = 0; I_0 = 0; U_1 = U_2;$$

$$I_1 + I_2 + I_0 = 0; U_1 = U_2 = U_0;$$

$$\text{Im} \{ I'_{r2} e^{j\varphi_2} [U'_{r2} - U'_{r1} - L_{\text{кз}} Z'_{1\text{кз}} (I'_{r2} - I'_{r1})] \} = 0; \quad (13)$$

$$\varphi_2 = \arg C'_{p2};$$

при трехфазном КЗ

$$I_2 = I_0 = 0; U_2 = U_0 = 0;$$

$$\text{Im} \{ (I'_{r1} - I'_n) e^{j\varphi_1} [U'_{r1} - L_{\text{кз}} Z'_{1\text{уд}} I'_{r1}] \} = 0; \quad (14)$$

$$\varphi_1 = \arg C'_{p1}.$$

Точное отыскание корней в соотношениях (11) – (14) требует информации об удельных сопротивлениях и о комплексах сопротивлений примыкающих к контролируемой линии энергосистем. Сопротивления различных последовательностей систем со стороны узла замера аварийных параметров определяются по отношению напряжений и токов соответствующих последовательностей.

Соотношения (12) – (14) использованы в качестве базовых алгоритмов при создании программного комплекса определения мест повреждения высоковольтных линий электропередачи для ПМ РЗА "Діамант". Комплекс позволяет учитывать электромагнитную связь между близко расположенными линиями и наличие ответвлений от линий электропередачи.

В ПМ РЗА "Діамант" при расчете расстояния до места повреждения используются вторичные значения сопротивлений и удельных сопротивлений.

Характеристики функции определения места повреждения соответствуют указанным в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики функции определения места повреждения

Наименование параметра	Значение
Диапазон уставок сопротивления последовательностей, Ом	0 – 500
Диапазон уставок удельного сопротивления последовательностей, Ом/км	0,0001 – 10
Дискретность уставок сопротивления последовательностей, Ом	0,0001
Дискретность уставок удельного сопротивления последовательностей, Ом/км	0,0001
Длина линии, км	0 - 99,99
Дискретность задания длины линии, км	0,01

Диапазоны уставок функции определения места повреждения указаны в таблице 2 (Руководство по эксплуатации. Приложение Б. Таблица Б.3).

Таблица 2 - Уставки ОМП

Наименование параметра	Размерность	Диапазон изменения	Шаг изменения	Примечание
ОМП	-	-	-	-
Х УД. ЛИНИИ НП	ОМ/КМ	0,0001 - 10	0,0001	Устанавливается значение удельного реактивного сопротивления нулевой последовательности для защищаемой линии
Х УД. ЛИНИИ ПП	ОМ/КМ	0,0001 - 10	0,0001	Устанавливается значение удельного реактивного сопротивления прямой последовательности для защищаемой линии
Х УД. ЛИНИИ ОП	ОМ/КМ	0,0001 - 10	0,0001	Устанавливается значение удельного реактивного сопротивления обратной последовательности для защищаемой линии
Р УД. ЛИНИИ НП	ОМ/КМ	0,0001 - 10	0,0001	Устанавливается значение удельного активного сопротивления нулевой последовательности для защищаемой линии
Р УД. ЛИНИИ. ПП	ОМ/КМ	0,0001 - 10	0,0001	Устанавливается значение удельного активного сопротивления прямой последовательности для защищаемой линии

Продолжение таблицы 2

Наименование параметра	Размерность	Диапазон изменения	Шаг изменения	Примечание
R УД. ЛИНИИ ОП	ОМ/КМ	0,0001 - 10	0,0001	Устанавливается значение удельного активного сопротивления обратной последовательности для защищаемой линии
X СИСТ 1 НП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение реактивного сопротивления нулевой последовательности для системы "за спиной"
X СИСТ 1 ПП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение реактивного сопротивления прямой последовательности для системы "за спиной"
X СИСТ 1 ОП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение реактивного сопротивления обратной последовательности для системы "за спиной"
R СИСТ 1 НП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение активного сопротивления нулевой последовательности для системы "за спиной"
R СИСТ 1 ПП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение активного сопротивления прямой последовательности для системы "за спиной"
R СИСТ 1 ОП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение активного сопротивления обратной последовательности для системы "за спиной"
X СИСТ 2 НП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение реактивного сопротивления нулевой последовательности для системы "за линией"
X СИСТ 2 ПП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение реактивного сопротивления прямой последовательности для системы "за линией"

Продолжение таблицы 2

Наименование параметра	Размерность	Диапазон изменения	Шаг изменения	Примечание
X СИСТ 2 ОП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение реактивного сопротивления обратной последовательности для системы "за линией"
R СИСТ 2 НП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение активного сопротивления нулевой последовательности для системы "за линией"
R СИСТ 2 ПП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение активного сопротивления прямой последовательности для системы "за линией"
R СИСТ 2 ОП	ОМ	0 - 500	0,0001	Устанавливается значение активного сопротивления обратной последовательности для системы "за линией"
ДЛИНА ЛИНИИ	КМ	0 - 99,99	0,01	Устанавливается длина линии

Уставки – значения реактивных и активных сопротивлений эквивалентов системы "за спиной" и системы "за линией" ($Z'c$ и $Z''c$ соответственно на рисунке 3. Схемы замещения электропередачи) задаются для прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Расчеты эквивалентов систем выполняются службами РЗА энергосистем, при этом целесообразно использовать программу расчетов токов коротких замыканий в сложных электрических сетях разработки ИЭД НАН Украины, автор В.А. Крылов.

Эквиваленты систем могут быть определены, как было отмечено, исходя из значений токов и напряжений соответствующих последовательностей при коротких замыканиях на шинах подстанций со стороны установки ПМ РЗА и противоположного конца линии, а также схемы прилегающей сети. Точность показаний ОМП при этом будет зависеть от корректности выполненных расчетов эквивалентов.

Для тупиковых режимов электропередачи уставки эквивалентов системы приемного конца линии для прямой и обратной последовательностей необходимо задать максимально возможными для ПМ РЗА. В эквиваленте нулевой последовательности необходимо учесть заземленные нейтрали приемного конца.

Литература

- 1 Якимец И.В., Наровлянский А.В., Иванов И.А. Определение места повреждения в линиях электропередачи на основе измерения потоков мощности. "Электричество" № 5, 1999.
- 2 Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. М. ГЭИ, 1957.
- 3 Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. М. Энергия, 1976.
- 4 Шнеерсон Э.М. Дистанционные защиты. М. Энергоатомиздат, 1986.