
**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»**



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО
56947007-29.120.70.031-2009**

**Методические указания
по выбору параметров срабатывания дифференциально-
фазной защиты производства GE Multilin (L60)**

Стандарт организации

Дата введения: 04.06.2009

ОАО «ФСК ЕЭС»
2009

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения», общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним - ГОСТ 1.5-2001, правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2004.

Сведения о стандарте организации

РАЗРАБОТАН: ОАО «НТЦ электроэнергетики»

ВНЕСЕН: Службой организации систем оперативно-диспетчерского управления, Дирекцией технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС»

УТВЕРЖДЕН: распоряжением ОАО «ФСК ЕЭС» от 04.06.2009 № 216р

ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ: с 04.06.2009

ВВЕДЕН впервые

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Дирекцию технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу 117630, Москва, ул. Ак. Челомея, д. 5А, электронной почтой по адресу: zhulev-an@fsk-ees.ru.

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС»

Содержание

Введение.....	4
1 Системные уставки	4
2 Уставки пусковых и измерительных органов	5
3 Выбор уставки по углу сдвига в сторону опережения вектора $F(I2kI1)$ (87PC Mixed Reference Angle).....	16
4 Выбор уставки для компенсации асимметрии ВЧ пакетов в канале связи (87PC Channel 1/2 Asymmetry).....	16
5 Выбор уставки выдержки времени для компенсации времени прохождения сигнала по каналу связи Tks (87PC Channel1/2 Delay).....	17
6 Выбор уставок блокировки при внешних КЗ.....	17
7 Выбор уставок органа сравнения фаз	18
8 Выбор уставок реле минимального тока прямой и обратной последовательности	20
9 Выбор уставок функции «Включение на повреждение» (Line Pickup).....	20
10 Выбор уставок ступени дистанционной защиты для «подхвата» пусковых отключающих органов ДФЗ при симметричных КЗ.....	25
Библиография	36

Введение

В целом алгоритм микропроцессорной дифференциальнофазной защиты производства GE Multilin сходен с алгоритмом российских ДФЗ, но есть отличия в пусковых органах, в органе манипуляции, в органе сравнения фаз и в логике. В отличие от российских защит, терминал L60 имеет большие возможности для регулировки уставок и создания дополнительных логических схем. Поэтому выбор уставок представляет определенную трудность для расчетчика. Несмотря на то, что разработчик выполнил локализацию программы для связи с терминалом (Enervista), устанавливаемой на персональном компьютере, названия уставок не соответствуют принятой в России терминологии. В настоящих методических указаниях (далее-МУ L60) этот недостаток устранен, и наряду с уставкой на английском языке дается понятный специалисту по релейной защите ее перевод на русский язык (см. таблицу 8). По сравнению с версией 5.42 в новую версию 5.5 добавлены:

1. Пусковые органы по току прямой и обратной последовательности, работающие на компенсированном токе, введены в функцию ДФЗ.
2. Все токовые пусковые органы работают на суммарном токе линии, но ток через каждый выключатель измеряется отдельно для правильного формирования импульсов.
3. Внесена уставка STOP TX для останова передатчика при срабатывании защит или при включении линии на XX.
4. Внесена уставка на задержку срабатывания органа сравнения фаз.
5. Внесена уставка в функцию ДФЗ на достижение продолжительности пуска ВЧ (600 мс) при возврате чувствительных пусковых органов (FDL).
7. Внесена в функцию ДФЗ уставка и логика подхвата грубых пусковых органов (FDH) от дистанционных органов.
8. Внесено в функцию ДФЗ обеспечение посылки сплошного (неманипулированного) сигнала при токе манипуляции $<0,02$ относительных единиц и сработавшем состоянии чувствительных пусковых органов (FDL).

1 Системные уставки

1.1 Присвоение трансформаторам тока (ТТ) и напряжения (ТН) номеров источников аналоговых величин, которые будут использоваться в алгоритме защиты

При наличии двух выключателей на присоединении (и соответственно двух ТТ) каждому ТТ (PHASE CT) присваивается номер источника (например, как показано в меню задания уставок в таблице 1, ТТ 1(ряд входных зажимов F1) присвоен № источника SOURCE 1, ТТ 2 (ряд входных зажимов M1) присвоен № источника SOURCE 3, сумме токов двух ТТ присваивается номер отдельного источника SOURCE 4). Аналогично - для ТН: фазному ТН присвоен номер SOURCE 4, ТН для формирования U0 присвоен номер-SOURCE 3.

Таблица 1

Параметр	Источник 1	Источник 3	Источник 4
PARAMETER	SOURCE 1	SOURCE 3	SOURCE 4
Source 1 Name	CT1	CT2	Sum CT
Phase CT	F1	M1	F1+M1
Ground CT	None	None	None
Phase VT	None	None	M5
Aux VT	None	M5	None

1.2 Выбор вида обмена данными между комплектами защиты

В Российской Федерации для дифференциальнофазных защит используется однополупериодная схема сравнения фаз с блокирующими сигналами, выбирается соответствующая уставка: 2TLBLSPC2FC. Другие схемы в РФ не используются.

2 Уставки пусковых и измерительных органов

Расчет уставок и измерительных органов произведен в первичных величинах. В терминале эти уставки задаются в относительных единицах по отношению к номинальным величинам тока (фазного) и напряжения (линейного).

Для расчета уставок используются виды КЗ, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Тип защиты (шкаф)	Вид КЗ	Место КЗ
Дифференциальнофазная защита L60	Однофазное КЗ ($K^{(1)}$)	Начало и конец линии
	Двухфазное КЗ на землю ($K^{(1,1)}$)	
	Трехфазное КЗ ($K^{(3)}$)	

2.1 Источник сигнала для дифференциальнофазного элемента 87PC (87PC Signal Source) - см. таблицу 3.

Таблица 3

Ток к защите подводится:	Значение уставки	Примечание
от одного источника	-"One Source Current (Ток от Одного Источника)"	Либо в случае одного выключателя и, соответственно, одного ТТ, либо в случае двух выключателей, токи от ТТ которых просуммированы вне реле
от двух источников	"Two Sources Current (Ток от Двух Источников)".	В полуторных схемах или схемах многоугольников

2.2 Выбор выходной величины органа манипуляции (87PC Mixed Signal)

Выбирается сигнал I2kI1, т.к. ток нулевой последовательности в Российской Федерации не используется для манипуляции передатчиком ДФЗ.

2.3 Выбор коэффициента K выходной величины органа манипуляции (87PC Mixed Signal K)¹

Коэффициент комбинированного фильтра токов K определяется, исходя из расчета необходимой чувствительности при несимметричных КЗ в минимальном, с точки зрения токов КЗ, режиме работы линии с обеспечением предпочтительного сравнения по I_2 с учетом тока нагрузки. Рассматриваются КЗ по концам линии.

Следует учитывать, что при малых значениях этого коэффициента возрастает влияние тока небаланса ТТ при внешних симметричных КЗ на правильность измерения фазы первичного тока.

2.3.1 Если расчет токов КЗ в АРМ производился с учетом тока нагрузки, то для каждого полукомплекта коэффициент K рассчитывается по формуле (1):

$$K = 0,7 * \min ((I_2^{(1,1)} / I_1^{(1,1)}) \text{ или } (I_2^{(1)} / I_1^{(1)})),^2 \quad (1)$$

где: $I_1^{(1,1)}$ - ток прямой последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$I_2^{(1,1)}$ - ток обратной последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$I_1^{(1)}$ - ток прямой последовательности при однофазном КЗ;

$I_2^{(1)}$ - ток обратной последовательности при однофазном КЗ.

2.3.2 Если расчет в АРМ производился без учета тока нагрузки, то для каждого полукомплекта коэффициент K рассчитывается по формуле (2):

$$K = 0,7 * \min ((I_2^{(1,1)} / (I_1^{(1,1)} + I_{\text{нагр}})) \text{ или } (I_2^{(1)} / I_{\text{нагр}})) [1], \quad (2)$$

где: $I_1^{(1,1)}$ - ток прямой последовательности двухфазного КЗ на землю;

$I_2^{(1,1)}$ - ток обратной последовательности двухфазного КЗ на землю;

Если коэффициент K при расчете по п. 2.3.2 получился меньше 0,1, то необходимо сделать расчет с учетом токов нагрузки.

Окончательно уставка K выбирается наименьшей из рассчитанных для каждого комплекта защиты.

2.4 Выбор уставки токового органа с пуском по прямой последовательности I_1

Для обоих полукомплектов уставки п.2.4.1 и п.2.4.2 выбираются одинаковыми, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же наибольший из $I_{\text{max раб}}$ по концам линии.

2.4.1 Выбор уставки токового органа с пуском по прямой последовательности I_1 , действующего на блокировку.

Уставка I_1 бл уст (**I_1FDL**) выбирается исходя из обеспечения пуска передатчика при внешних симметричных КЗ с большим током. Если при

¹ В скобках даны английские названия уставок защиты

² Если расчет токов КЗ производится в программе АРМ, то можно задав несколько подрежимов работы сети, выбрать тот режим и то место КЗ, при котором отношение токов минимально

внешнем трехфазном КЗ от большого тока сработает $I_{2от}$, (от небаланса) на одном конце, а на другом конце линии $I_{2бл}$ не сработает, то на обоих концах будет надежный пуск блокировки по прямой последовательности от $I_{1бл}$.

Уставка $I_{1блуст}$ (**I_{1FDL}**) отстраивается от максимального рабочего тока $I_{maxраб}$. Если при выборе уставок других пусковых органов, они не пройдут по чувствительности, то необходимо при выборе уставок всех пусковых органов заменить $I_{maxраб}$ на $I_{нагр}$ и произвести все расчеты заново.

$$I_{1блуст}(I_{1FDL}) = k_{отс} * I_{maxраб}(\text{или } I_{нагр}), \quad (3)$$

где: $k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс} = 1,3$;

$I_{maxраб}$ - максимальный рабочий ток (наибольшее действующее значение переменного тока, который может протекать по оборудованию, не вызывая его повреждения), выбирается наибольший из двух концов линии;

$I_{нагр}$ - ток нагрузки (прогнозируемый ток нагрузки линии. Этот ток меньше тока $I_{maxраб}$).

Для версии 5.42:

Выдержка времени возврата пускового органа $I_{1блуст}(I_{1FDL})$ равна 10 мс.

Для версии 5.5:

Выдержка времени возврата пускового органа $I_{1блуст}(I_{1FDL})$ не выбирается.

2.4.2 Выбор уставки токового органа с пуском по прямой последовательности I_1 , действующего на отключение.

Уставка $I_{1отуст}$ (**I_{1FDH}**) выбирается исходя из отстройки от $I_{1блуст}$.

$$I_{1отуст} = k_{отв} k_{отс} * I_{1блуст}, \text{ где} \quad (4)$$

$k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс} = 1,3$;

$k_{отв}$ - коэффициент ответвления (выбор см.ниже)

$I_{1блуст}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по току прямой последовательности;

Требований к значению коэффициента чувствительности нет - он может быть рассчитан для оценки зоны защиты линии.

Для версии 5.42:

Выдержка времени возврата отключающего органа $I_{1отуст}(I_{1FDH})$ равна 25мс - выбирается из соображений надежности срабатывания

Для версии 5.5:

Выдержка времени возврата отключающего органа $I_{1отуст}(I_{1FDH})$ не выбирается.

А) Расчет коэффициента ответвления $k_{отв}$ на линиях с ответвлениями без источников питания.

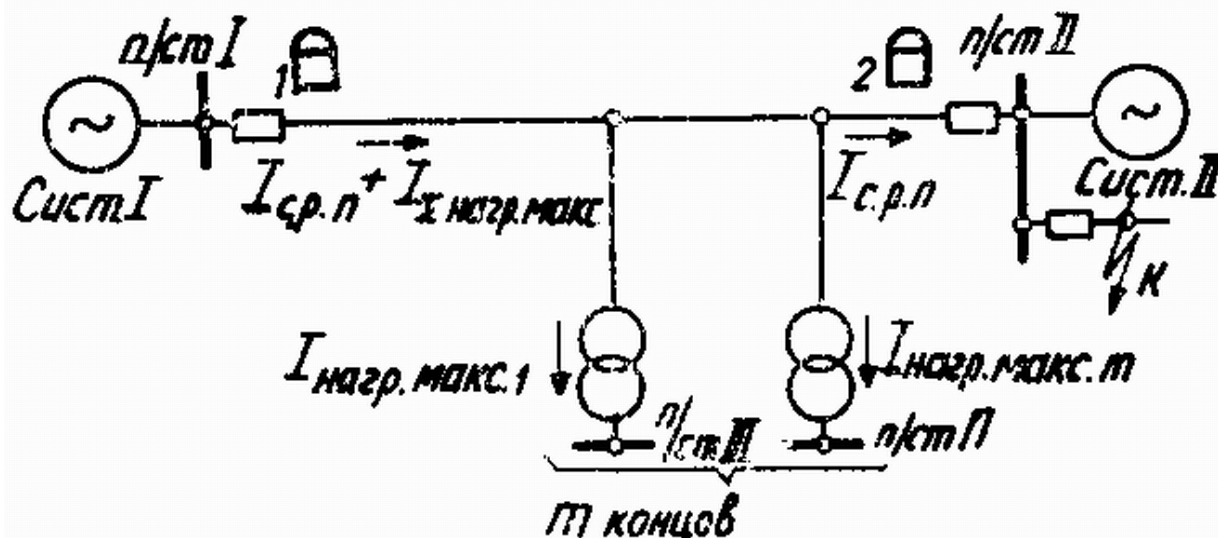


Рисунок 1-Схема линии с ответвлениями для определения $k_{отв}$

Так как для линий с ответвлениями в терминале будут использоваться направленные органы $Z_{отв}$, не дающие ей срабатывать при направлении мощности к шинам, то при расчете коэффициента ответвления необходимо учитывать только случай представленный на рисунке 1 [1]. В качестве расчетного для определения $k_{отв}$ рассматривается режим удаленного трехфазного КЗ в одной из питающих систем (в точке «к», рисунок 1). В этом случае, из за незначительного падения напряжения на подстанциях ответвления, ток нагрузки ответвлений практически не изменится. Пусть через место установки одного из полукомплектов на конце II протекает ток, равный $I_{1 \text{ бл. уст}}$, а на другом - $I_{1 \text{ бл. уст}} + I_{\Sigma \text{ нагр. отв.}}$. Тогда $k_{отв}$ определяется по выражению (5):

$$k_{отв} = \frac{I_{1 \text{ бл. уст}} + I_{\Sigma \text{ нагр. отв.}}}{I_{1 \text{ бл. уст}}} = 1 + \frac{I_{\Sigma \text{ нагр. отв.}}}{I_{1 \text{ бл. уст}}}, \quad (5)$$

где: $I_{\Sigma \text{ нагр. отв.}}$ - максимальный ток нагрузки в рассматриваемом режиме КЗ, в первом приближении может быть принят равным сумме максимальных рабочих токов концов без питания в нагрузочном режиме.

Во всех остальных случаях коэффициент ответвления принимается равным $k_{отв}=1$.

Б) Расчет коэффициента ответвления $k_{отв}$ на многоконцевых линиях, с питанием более, чем с двух сторон.

Возможен случай, когда при внешнем КЗ по отношению к рассматриваемой линии в одном из комплектов ток будет больше, чем токи в остальных комплектах. Тогда наихудшим, с точки зрения селективности, является режим сети, когда остальные токи приблизительно равны $I_{1 \text{ бл. уст}}$, то есть находятся на грани срабатывания. В этом случае может запуститься только передатчик комплекта с наибольшим током. И если ток КЗ окажется достаточным для срабатывания $I_{1 \text{ от уст}}$, то произойдет излишнее срабатывание

защиты. Поэтому с помощью коэффициента ответвления $k_{отв}$ необходимо загрузить уставку I_1 от уст.

$$k_{отв} = I_{1 \text{ пта max}} / I_{1 \text{ равн}}, \quad (6)$$

где: $I_{1 \text{ пта max}}$ - ток прямой последовательности, в том полукомплекте, где он максимальный.

$I_{1 \text{ равн}}$ - максимальный из токов прямой последовательности в режиме с наиболее близкими токами на остальных концах линии.

Для общего случая ВЛ, имеющей несколько концов с питанием, предельное расчетное значение $k_{отв} = n1$, где n - число питающих концов линии.

2.5 Выбор уставки токового органа с пуском по току обратной последовательности I_2 .

Для обоих полукомплектов уставки п.2.5.1 и п.2.5.2 выбираются предварительно, до определения коэффициента чувствительности. После определения коэффициента чувствительности, уставки могут быть скорректированы (подробнее см. п. 2.5.3). Орган I_2 выводится из действия при тяговой нагрузке.

2.5.1 Выбор уставки токового органа с пуском по току обратной последовательности I_2 , действующего на блокировку.

Уставка $I_{2 \text{ бл уст}} (I_{2FDL})$ выбирается исходя из отстройки от тока небаланса, определяемого погрешностями ТТ, частотными небалансами фильтров обратной последовательности и погрешностями их настройки, а также небалансами нагрузочного режима сети.

$$I_{2 \text{ бл уст}} (I_{2FDL}) = k_{отс} * I_{2 \text{ нб расч}} / k_{возв}, \quad (7)$$

где: $I_{2 \text{ нб расч}}$ - расчетный ток небаланса обратной последовательности рассчитывается по выражению (8);

$k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс} = 1,5$;

$k_{возв}$ - коэффициент возврата принимается равным $k_{возв} = 0,95$.

$I_{2 \text{ бл}}$ должен быть отстроен от небаланса при внешнем трехфазном КЗ с таким током, когда $I_{1 \text{ бл}}$ находится на грани срабатывания, поэтому в формулу для расчета тока небаланса подставляется ток $I_{1 \text{ бл уст}}$.

$$I_{2 \text{ нб расч}} = (I_{1 \text{ бл уст}}) * \sqrt{[(\epsilon_1/3)^2 + (k_f * Df)^2 + (D\phi)^2 + (k_2 \text{ несим})^2]} = (I_{1 \text{ бл уст}}) * 0,024, \quad (8)$$

где: $I_{1 \text{ бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по току прямой последовательности;

ϵ_1 - полная погрешность ТТ принимается равной $\epsilon_1 = 0,03$; [3]

k_f - коэффициент частотной зависимости ФТОП по данным разработчика принимается равным $k_f = 0,23$; [4]

Df - относительная погрешность отклонения частоты принимается равным $Df = 0,03$;

$D\phi$ - относительная погрешность настройки фильтра с учётом погрешности принимается равным $D\phi = 0,005$;

$k_{2 \text{ несим}}$ - коэффициент несимметрии тока обратной последовательности принимается равным $k_{2 \text{ несим}}=0,02$. [5]

Для версии 5.42:

Выдержка времени возврата пускового органа $I_{2 \text{ бл уст}}(I_{2\text{FDL}})$ равна 10 мс.

Для версии 5.5:

Выдержка времени возврата пускового органа $I_{2 \text{ бл уст}}(I_{2\text{FDL}})$ не выбирается.

2.5.2 Выбор уставки токового органа с пуском по току обратной последовательности I_2 , действующего на отключение.

Уставка $I_{2 \text{ от уст}}(I_{2\text{FDH}})$ выбирается исходя из отстройки от $I_{2 \text{ бл уст}}$.

$$I_{2 \text{ от}} = k_{\text{отв}} * k_{\text{отс}} * I_{2 \text{ бл уст}}, \quad (9)$$

где: $I_{2 \text{ бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по I_2 ;

$k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}}=2$.

$k_{\text{отв}}$ - коэффициент отвлечения (выбор см.ниже)

Отстройка от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение (производится, если в устройстве не введена уставка по компенсации емкостного тока - Charge Current Compensation).

$$I_{2 \text{ от емк}} = k_{\text{отв}} * k_{\text{отс}} * I_{2 \text{ емк уд}} * L, \quad (10)$$

где: $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки, учитывающий необходимый запас на увеличение емкостного тока в переходном режиме, принимается равным $k_{\text{отс}}=2,0$;

$k_{\text{отв}}$ - коэффициент отвлечения;

$I_{2 \text{ емк уд}}$ - емкостной ток обратной последовательности на 1 км линии определяется по таблице 4;

L - длина линии.

● Таблица 4

Удельный емкостной ток $I_{2 \text{ емк уд}}$ при включении линии 220-330 кВ³ под напряжение

Число фаз, включаемых под напряжение	Удельные емкостные токи обратной последовательности, А/км	
	для линий 220 кВ	для линий 330 кВ
Одна	0,1	0,22
Две	0,13	0,26

Окончательно уставка $I_{2 \text{ от уст}}$ выбирается наибольшей из $I_{2 \text{ от емк}}$, выбранном исходя из отстройки от составляющей обратной

³ На ВЛ 500 кВ и выше емкостной ток линии компенсируется в терминале, поэтому от него не отстраиваются.

последовательности емкостного тока линии (см. формулу 10) и $I_{2от}$, выбранном исходя из отстройки от блокирующего пускового органа $I_{2бл}$ (см. формулу 9).

Для версии 5.42:

Выдержка времени возврата отключающего органа I_2 от уст(I_{2FDH}) равна 25 мс.

Для версии 5.5:

Выдержка времени возврата отключающего органа I_2 от уст(I_{2FDH}) не выбирается.

А) Расчет коэффициента ответвления $k_{отв}$ на линиях с ответвлениями без источников питания.

Так как рассматриваемая защита имеет направленные органы $Z_{отв}$, не дающие ей срабатывать при направлении мощности к шинам, то необходимо учитывать коэффициент ответвления только для случая представленного на рис. 1. [1] В качестве расчетного для определения $k_{отв}$ рассматривается режим удаленного трехфазного КЗ в одной из питающих систем (в точке к, рис. 1). Пусть через место установки одного из полукомплектов на конце II протекает ток равный $I_{2 бл уст}$, а на другом - $I_{2 бл уст} + I_{2\Sigma нагр. отв}$. Тогда $k_{отв}$ определяется по следующему выражению:

$$k_{отв} = \frac{I_{2.бл.уст} + I_{2\Sigma нагр.отв}}{I_{2.бл.уст}} = 1 + \frac{I_{2\Sigma нагр.отв}}{I_{2.бл.уст}}, \quad (11)$$

где: $I_{2 \Sigma нагр.отв}$ - максимальный ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией нагрузки в рассматриваемом режиме КЗ, в первом приближении может быть принят равным 2% от суммы максимальных рабочих токов концов без питания в нагрузочном режиме.

Во всех остальных случаях коэффициент ответвления принимается равным $k_{отв}=1$.

Б) Расчет коэффициента ответвления $k_{отв}$ на многоконцевых линиях.

Возможен случай, когда при внешнем КЗ по отношению к рассматриваемой линии в одном из комплектов ток будет больше, чем токи в остальных комплектах. Тогда наихудшим, с точки зрения селективности, является режим сети, когда остальные токи приблизительно равны $I_{2бл уст}$, то есть находятся на грани срабатывания. В этом случае может запуститься только передатчик с наибольшим током. И если ток КЗ окажется достаточным для срабатывания $I_{2от уст}$, то произойдет излишнее срабатывание защиты. Поэтому с помощью коэффициента ответвления $k_{отв}$ необходимо загрузить уставку $I_{2от уст}$.

В общем случае коэффициент ответвления определяется для каждого полукомплекта - рассматривается как отношение тока обратной последовательности в этом полукомплекте к току обратной последовательности в другом полукомплекте, с которым производится согласование.

$$k_{отв} = I_{2\text{ пта max}} / I_{2\text{ равн}}, \quad (12)$$

где: $I_{2\text{ пта max}}$ - ток обратной последовательности, в том полукомплекте, где он максимальный.

$I_{2\text{ равн}}$ - максимальный из токов обратной последовательности в режиме с наиболее близкими токами на остальных концах линии (берется максимальный ток, т.к. необходимо, чтобы в режиме внешнего КЗ запустились оба передатчика, тогда срабатывание отключающего органа не приведет к излишней работе защиты).

2.5.3 Определение коэффициента чувствительности токового отключающего органа I_2 .

Рассчитывается коэффициент чувствительности для каждого полукомплекта.

Если предусмотрена компенсация в терминале емкостных токов, то коэффициент чувствительности равен:

$$k_{ч} = (I_{2\text{ кз min}} - I_{2\text{ емк}}) / I_{2от\text{ уст}},^4 \quad (13)$$

где: $I_{2\text{ кз min}}$ - минимальный ток КЗ обратной последовательности;

$I_{2от\text{ уст}}$ - уставка отключающего токового органа с пуском по I_2 ;

$I_{2\text{ емк}}$ - емкостной ток обратной последовательности, рассчитывается по формуле:

$$I_{2\text{ емк}} = U_{2КЗ} / (X_{с\text{ уд}} * L / 2), \quad (14)$$

где: $U_{2КЗ}$ - напряжение обратной последовательности в месте установки защиты в том режиме, по которому определяется $I_{2\text{ кз min}}$;

$X_{с\text{ уд}}$ - удельное емкостное сопротивление линии (емкостное сопротивление половины длины линии = $1/(\omega C / 2) = 2/\omega C$);

L - длина линии.

Если не предусмотрена компенсация в терминале емкостных токов, то коэффициент чувствительности равен:

$$k_{ч} = I_{2\text{ кз min}} / I_{2от\text{ уст}}, \quad (15)$$

где: $I_{2\text{ кз min}}$ - минимальный ток КЗ обратной последовательности в минимальном режиме работы системы со стороны места установки защиты;

$I_{2от\text{ уст}}$ - уставка отключающего токового органа с пуском по I_2 .

Если $k_{ч} > 2$ с обеих сторон, то заглубляем уставку до $k_{ч} = 2$ для полукомплекта с наименьшим коэффициентом чувствительности (если заглубить уставку с наибольшим $k_{ч}$, то на другом конце ВЛ орган не пройдет по чувствительности).

Таким образом, получается новая уставка $I_{2от\text{ уст}}$, одинаковая для двух концов линии. По ней уточняется $I_{2бл\text{ уст}} = 0.5 * I_{2от\text{ уст}}$.

⁴ В зависимости от вида КЗ угол между векторами $I_{2\text{ кз min}}$ и $I_{2\text{ емк}}$ не более 40° , в формуле 13 угол принят равным 0° .

2.6 Выбор уставки органа с пуском по напряжению обратной последовательности U_2 .

Для обоих полукомплектов уставки п.2.6.1 и п.2.6.2 выбираются предварительно (до определения коэффициента чувствительности). После определения коэффициента чувствительности, уставки подлежат корректировке (подробнее см. п.2.6.3).

2.6.1 Выбор уставки блокирующего органа с пуском по напряжению обратной последовательности U_2 .

Уставка $U_{2 \text{ бл уст}} (U_2 \text{ FDL})$ выбирается исходя из отстройки от напряжения небаланса обратной последовательности, вызванного погрешностью ТН и частотными небалансами ФНОП и несимметрией нагрузочного режима с учетом коэффициента надежности.

$$U_{2 \text{ бл уст}} (U_2 \text{ FDL}) = k_{\text{отс}} * U_{2\text{нб расч}} / k_{\text{возв}}, \text{ где} \quad (16)$$

$k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}}=1,5$;

$k_{\text{возв}}$ - коэффициент возврата принимается равным $k_{\text{возв}}=0,9$;

$U_{2\text{нб расч}}$ - расчетное напряжение небаланса обратной последовательности рассчитывается по выражению (18).

$$U_{2\text{нб расч}} = (U_{\text{ном}} / \sqrt{3}) * \sqrt{[(\varepsilon_1/3)^2 + (k_f * Df)^2 + (D\phi)^2 + (k_2 \text{ несим})^2]} = (U_{\text{ном}} / \sqrt{3}) * 0,024, \quad (17)$$

где: ε_1 - полная погрешность ТН принимается равной $\varepsilon_1=0,03$;

k_f - коэффициент частотной зависимости ФНОП по данным разработчика принимается равным $k_f=0,23$;

Df - относительная погрешность отклонения частоты и выше принимается равным $Df=0,03$;

$D\phi$ - относительная погрешность настройки фильтра с учётом погрешности принимается равным $D\phi=0,005$;

$k_2 \text{ несим}$ - коэффициент несимметрии напряжения обратной последовательности принимается равным $k_2 \text{ несим}=0,02$.

Уставка по времени возврата пускового органа $U_{2 \text{ бл уст}} (U_2 \text{ FDL})$ не задается.

2.6.2 Выбор уставки отключающего органа с пуском по напряжению обратной последовательности U_2 :

Уставка $U_{2\text{от уст}} (U_2 \text{ FDH})$ выбирается исходя из отстройки от уставки блокирующего органа по напряжению обратной последовательности - $U_{2\text{бл}}$.

$$U_{2\text{от уст}} (U_2 \text{ FDH}) = k_{\text{отс}} * U_{2\text{бл уст}}, \quad (18)$$

где: $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}}=1,5$;

$U_{2\text{бл уст}}$ - уставка блокирующего органа по напряжению с пуском по U_2 .

Уставка по времени возврата отключающего органа $U_{2 \text{ от уст}} (U_2 \text{ FDH})$ не задается.

2.6.3 Определение коэффициента чувствительности:

Для каждого полукомплекта:

$$k_{\text{ч}} = U_{2 \text{ кз min}} / U_{2 \text{от уст}}, \quad (19)$$

где: $U_{2 \text{ кз min}}$ - минимальное напряжение КЗ обратной последовательности;

$U_{2 \text{от уст}}$ - уставка отключающего органа по напряжению с пуском по U_2 .

К пусковому органу подводится напряжение обратной последовательности, компенсированное напряжением $I_2 * Z_{2\text{к}}$:

$Z_{2\text{к}}$ - половина от полного сопротивления линии обратной последовательности, в расчетах полное сопротивление обратной последовательности можно заменить реактивным сопротивлением $X_{1\text{уд}} * L/2$, так как для ВЛ $X_{1\text{уд}} = X_{2\text{уд}}$.

$$U_{2 \text{ кз min к}} = \min \left[\left(\overline{U_2^{(1,1)}} - \overline{I_2^{(1,1)}} \cdot j \cdot X_{1\text{уд}} \cdot \frac{L}{2} \right) \text{ или } \left(\overline{U_2^{(1)}} - \overline{I_2^{(1)}} \cdot j \cdot X_{1\text{уд}} \cdot \frac{L}{2} \right) \right], \quad (20)$$

где: $U^{(1,1)}_2$ - напряжение обратной последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$U^{(1)}_2$ - напряжение обратной последовательности при однофазном КЗ;

$I^{(1,1)}_2$ - ток обратной последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$I^{(1)}_2$ - ток обратной последовательности при однофазном КЗ;

$X_{1 \text{уд}}$ - реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

L - длина ВЛ.

С учетом того, что вектора U_2 и $I_2 * j \cdot X_{1 \text{уд}} * L/2$ находятся в противофазе:

$$U_{2 \text{ кз min к}} = \min \left[\left(\overline{U_2^{(1,1)}} + \overline{I_2^{(1,1)}} \cdot X_{1\text{уд}} \cdot \frac{L}{2} \right) \text{ или } \left(\overline{U_2^{(1)}} + \overline{I_2^{(1)}} \cdot X_{1\text{уд}} \cdot \frac{L}{2} \right) \right] \quad (21)$$

Если для обоих комплектов $k_{\text{ч}} > 2$, то на том конце линии, где $k_{\text{ч}}$ меньше, закругляем его до $k_{\text{ч}} = 2$.

Таким образом, получается новая уставка $U_{2 \text{от уст}}$ для двух полукомплектов. По ней уточняется $U_{2\text{бл уст}}$:

$$U_{2\text{бл уст}} = U_{2 \text{от уст}} / k_{\text{отс}}, \quad (22)$$

где: $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 1,5$.

2.7 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI2

Этот пусковой орган позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ с кратковременной несимметрией и при несимметричных КЗ.

2.7.1 Уставки токового органа с пуском по приращению DI2, действующего на блокировку

$$DI_{2\text{бл уст}} (DI_{2_FDL}) = k_{\text{отс}} * I_{2\text{бл уст}}, \quad (23)$$

где: $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 0,7$;

$I_{2\text{бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по I2.

Выдержка времени на возврат:

$t_{DI_{2\text{бл}}}(FDL \text{ SealIn}) = 20 \text{ мс}$.

2.7.2 Уставка токового органа с пуском по приращению DI_2 , действующего на отключение

В версии 5.42 токовый орган с пуском по приращению DI_2 , действующий на отключение, реализован вне функции ДФЗ на базе флексэлемента аналогового компаратора. Приращение тока во флексэлементе, в отличие от токовых органов, встроенных в функцию ДФЗ версии 5.5 и выше, измеряется не за полпериода, а за целый период. Поэтому уставка токового органа на базе флексэлемента в относительных единицах должна быть увеличена в два раза по сравнению с уставкой токового органа, встроенного в функцию ДФЗ.

Уставка $DI_{2от\ уст}$ выбирается исходя из отстройки от уставки блокирующего токового органа с пуском по приращению DI_2 - $DI_{2бл\ уст}$.
для версии 5.5 и выше:

$$DI_{2от\ уст} (DI_2_FDH) = k_{отс} * DI_{2бл\ уст}, \quad (24)$$

для версии 5.42:

$$DI_{2от\ уст} (DI_2_FDH) = 2 * k_{отс} * DI_{2бл\ уст}, \quad (25)$$

где: $k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс}=2$;

$DI_{2бл\ уст}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по DI_2 ;

Коэффициент чувствительности $k_ч$ не проверяется.

Выдержка времени на возврат:

$t_{DI_{2от}}(FDH\ SealIn)=30$ мс.

2.8 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1

Этот ПО позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ.

2.8.1 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1 , действующего на отключение.

Так как ДФЗ по принципу действия не работает при качаниях, то орган $DI_{1от\ уст}$ не надо отстраивать от максимального тока качаний. Уставка $DI_{1от\ уст}$ выбирается исходя из обеспечения чувствительности в минимальном режиме КЗ в конце ВЛ (коэффициент чувствительности должен быть не меньше 3).

$$DI_{1от\ уст} = I_{1мин} / k_ч, \quad (26)$$

$I_{1мин}$ - аварийная составляющая минимального тока трехфазного КЗ;

$k_ч$ - коэффициент чувствительности;

Выдержка времени на возврат:

$t_{DI_{1от}}(FDH\ SealIn)=30$ мс.

2.8.2 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1 , действующего на блокировку

Уставка $DI_{1от\ уст}$ выбирается исходя из отстройки уставки отключающего токового органа с пуском по приращению $DI_{1от}$ от $DI_{1бл\ уст}$.

$$DI_{1\ бл} = k_{отс} * DI_{1от\ уст}, \quad (27)$$

$k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс}=0,5$;

Выдержка времени на возврат:
 $t_{DI16л}(FDH\ SealIn)=20\text{ мс.}$

2.9 Выбор уставки компенсации емкостного тока (Charge Current Compensation)

Уставку «Компенсация емкостных токов - Введена» рекомендуется устанавливать на линиях 330 кВ и выше длиной более 100 км включительно.

Уставки $X_{c1\text{ комп}}$ и $X_{c0\text{ комп}}$ (Pos Seq Xc и Zero Seq Xc) выбираются исходя из удельной поперечной проводимости линии. Т.к. токи реакторов вычитаются из тока линии, сопротивление реактора не учитывается.

Pos Seq Xc:

$$X_{c1\text{ комп}} = 1 / (b_{1\text{уд}} * L) \quad (28)$$

Zero Seq Xc:

$$X_{c0\text{ комп}} = 1 / (b_{0\text{уд}} * L), \quad (29)$$

где: $b_{1\text{уд}}$ - удельная поперечная проводимость линии прямой последовательности;

$b_{0\text{уд}}$ - удельная поперечная проводимость линии нулевой последовательности;

L - длина линии.

3 Выбор уставки по углу сдвига в сторону опережения вектора $F(I2kI1)$ (87PC Mixed Reference Angle)

Данная уставка сдвигает передаваемые ВЧ пакеты во времени с целью минимизировать - для большинства КЗ - перекрытие моментов существования "паузы" в импульсах и положительной полуволны напряжения в фазе, используемой для ВЧ-передачи. Это позволяет снизить влияние помех от короны.

Уставка $F(I2kI1)$ выбирается в зависимости от используемой для ВЧ-передачи фазы и угла линии согласно следующей таблице 5.

Таблица 5

Обработанная фаза	Уставка по углу сдвига $F(I2kI1)$
ВЧ-обработка на фазе А	90° (угол линии)
ВЧ-обработка на фазе В	$240^\circ+90^\circ$ (угол линии)= 330°
ВЧ-обработка на фазе С	$120^\circ+90^\circ$ (угол линии)= 210°

4 Выбор уставки для компенсации асимметрии ВЧ пакетов в канале связи (87PC Channel 1/2 Asymmetry)

Уставка асимметрии канала необходима, если ВЧ канал удлиняет или укорачивает прямоугольные импульсы ВЧ пакетов. Уставка выбирается на

объекте при работе по реальному ВЧ каналу. Настройка асимметрии импульсов координирует длительность ВЧ пакетов и пауз между ними. Величина асимметрии обычно находится в пределах от 0 до 1,5мс, что вносит значительную ошибку при определении совпадения ВЧ пакетов. Поскольку асимметрия зависит от рабочих условий и конкретного канала, рассматриваемая уставка выбирается только на объекте.

5 Выбор уставки выдержки времени для компенсации времени прохождения сигнала по каналу связи Tks (87PC Channel1/2 Delay)

Уставка задержки в канале Tks необходима для компенсации времени прохождения сигнала по каналу, в целях фазирования положительных и отрицательных импульсов на одном конце линии относительно друг друга. Это делается после настройки компенсации асимметрии ВЧ пакетов непосредственно на объекте.

6 Выбор уставок блокировки при внешних КЗ

6.1 Выбор уставки выдержки времени на срабатывание блокировки при внешних КЗ T_{SR_BVKZ} (87PC Trans Block Pickup)

Эта уставка увеличивает надежность во время и после устранения внешнего повреждения, предотвращая излишнее отключение во время реверса мощности или при переходном процессе. Если за время равное T_{SR_BVKZ} не сработает ОСФ (при срабатывании пусковых органов на отключение), то защита блокируется на все время существования внешнего КЗ.

Рекомендуемое значение для версии 5.42:

T_{SR_BVKZ} (87PC TRANS BLOCK ТРКР) = 45 мс.

Рекомендуемое значение для версии 5.5:

В версии 5.5 ОСФ имеет задержку на подключение (87 PC Pickup Delay) - 15 мс. Пуск 87PC Trans Block осуществляется непосредственно от FDH OP и к моменту срабатывания ОСФ, 87PC Trans Block (40-45 мс) может уже сработать. Это приведет к задержке сигнала 87 PC OP на время возврата 87PC Trans Block. Избежать такого случая, не меняя алгоритма, можно только при увеличении 87PC Trans Block PICKUP до 50-55 мс.

T_{SR_BVKZ} (87PC TRANS BLOCK ТРКР) = 87PC PICKUP DELAY (15 мс) + T_{max} ОСФ первое совпадение (20 мс) + T_{запаса} (15 мс)

Т.е. при первом совпадении достаточно:

T_{SR_BVKZ} (87PC TRANS BLOCK ТРКР) = 50 мс -это минимальная уставка, по желанию расчетчика T_{SR_BVKZ} можно увеличить до 55 мс.

Если пауза ВЧ недостаточна и ОСФ ждет второго совпадения, то в худшем случае произойдет задержка срабатывания защиты в целом, пока не вернется блокировка при внешних КЗ (T_{VOZ_BVKZ}).

6.2 Выбор уставки выдержки времени на возврат блокировки при внешних КЗ T_{VOZ_BVKZ} (87PC Trans Block Reset)

Рекомендуемое значение:

$T_{VOZ_BVKZ} = 40 \text{ мс.}$

За это время переходный процесс, связанный с отключением внешнего КЗ, практически закончится.

7 Выбор уставок органа сравнения фаз

7.1 Выбор алгоритма работы органа сравнения фаз (87PC TRIP SECURITY)

Возможны два алгоритма работы ОСФ:

- Срабатывание по первой паузе в ВЧ сигнале, большей угла блокировки F_{BL} (87PC STABILITY ANGLE).

- Вводятся две уставки F_{BL1} (87PC ENHANCED STAB ANGLE) и F_{BL} . При паузе большей F_{BL1} срабатывание разрешается при первой паузе в ВЧ пакете. Срабатывание разрешается при второй паузе, если первая пауза находится в промежутке между F_{BL} и F_{BL1} , где F_{BL1} (87PC ENHANCED STAB ANGLE) - усовершенствованная уставка ОСФ.

На части (а) рисунка 2 отключение произойдет при первом совпадении, если ОСФ измерит совпадение более чем заданное уставкой расширенного угла блокировки (87PC ENHANCED STAB ANGLE). На части (б) рисунка 2 отключение произойдет при втором совпадении, если ОСФ измерит совпадение более чем заданное уставкой базового угла блокировки (87PC STABILITY ANGLE), но менее расширенного угла блокировки (87PC ENHANCED STAB ANGLE). Ожидание второго совпадения происходит в течение времени $T_{VTOR\ SOVP}$ - таймер второго совпадения. Эта уставка обычно выбирается равной:

$T_{VTOR\ SOVP} = 40 \text{ мс.}$

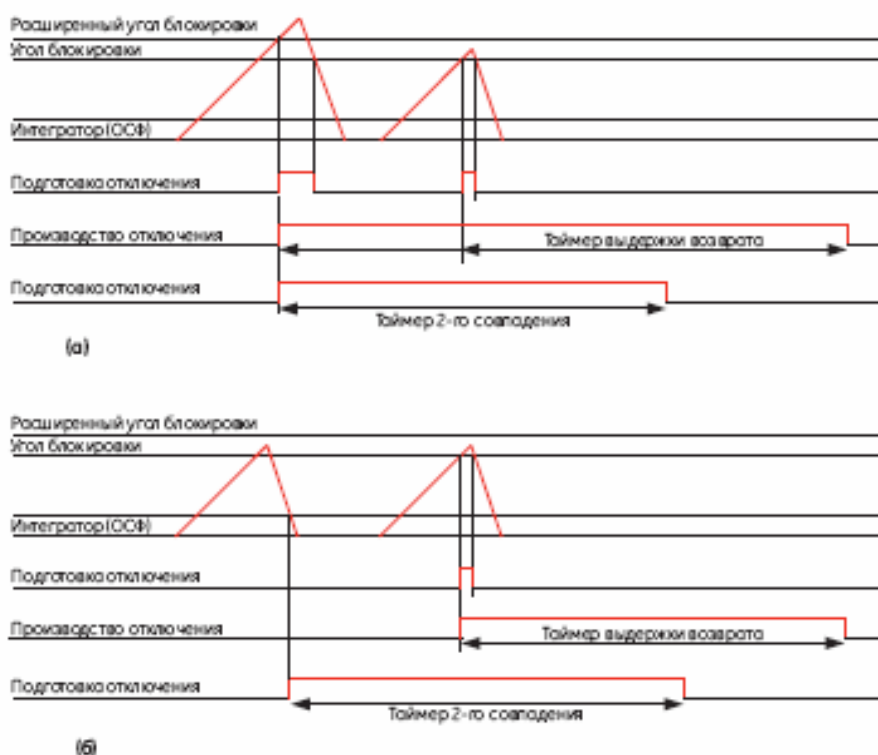


Рисунок 2-Повышение надежности срабатывания ОСФ

7.2 Выбор уставки по углу F_{BL}

Уставка F_{BL} определяется, исходя из условия селективной работы при внешнем КЗ с максимальным углом между векторами напряжений на выходе органов манипуляции по концам линии. Этот угол в основном зависит от погрешностей ТТ, в особенности, если они разнотипны по концам линии, от длины и напряжения линии. Выбор угла блокировки защиты F_{BL} для линий 110-220 кВ без компенсации емкостных токов представлен в табл. 6. Выбор угла блокировки защиты F_{BL} для линий 330 кВ и выше с компенсацией емкостных токов и на ВЛ 330 кВ без ёмкостной компенсации длиной меньше 100 км представлен в табл. 7.

Таблица 6

Для линий 110-220 кВ без компенсации емкостных токов.

Длина линии	Угол блокировки защиты F_{BL}
Больше или равна 100 км	60^0
От 60 км до 100 км	55^0
Меньше 60 км	45^0

Таблица 7

Для линий 330 кВ и выше с компенсацией емкостных токов и на ВЛ 330 кВ без ёмкостной компенсации длиной меньше 100 км

Длина линии	Угол блокировки защиты F_{BL}
Больше или равна 200 км	65^0
От 100 км до 200 км	57^0
Меньше 100 км ⁵	50^0

7.3 Выбор уставки по углу F_{BL1}

Рекомендуемая уставка:

$F_{BL1} = 90$ градусов.

7.4 Выбор таймера ожидания второго совпадения (87PC SECOND COINCID TIMER)

Так как в худшем случае вторая пауза в ВЧ сигнале может появиться в конце второго периода, то:

$T_{VT_SOVP}(87PC\ SECOND\ COINCID\ TIMER) = 40$ мс.

7.5 Выбор выдержки времени на срабатывание и возврат выходного сигнала дифференциальнофазного элемента (87PC PICKUP DELAY, 87PC RESET DELAY)

⁵ Для линии длиной менее 100 км уставка компенсации емкостных токов не выбирается.

Рекомендуемое значение уставки:

T_{SR_OSF} (87PC PICKUP DELAY) =15 мс

T_{VZ_OSF} (87PC RESET DELAY) =30 мс.

8 Выбор уставок реле минимального тока прямой и обратной последовательности

8.1 (для версии 5.42) Реле минимального тока прямой и обратной последовательности (<I1 COMP FDL OP, <I2 COMP FDL OP) обеспечивают пуск сплошного блокирующего сигнала в течение 600мс после ликвидации внешнего КЗ при отсутствии нагрузки по ВЛ.

Указанные реле не должны работать при минимальных токах внутренних КЗ для обеспечения надежной манипуляции. Таким образом, уставки равны:

$$I_{1 \min} = k_n * I_{1 \text{ КЗ } \min} \quad (30)$$

$$I_{2 \min} = k_n * I_{2 \text{ КЗ } \min}, \text{ где} \quad (31)$$

$I_{1 \text{ КЗ } \min}$ - минимальный ток КЗ прямой последовательности.

$I_{2 \text{ КЗ } \min}$ - минимальный ток КЗ обратной последовательности.

k_n - коэффициент надежности принимается равным $k_n=0,8$

8.2 Выбор уставки реле минимального тока для функции OPEN POLE ДЕТЕКТОР или реле максимального тока с инверсным выходом Phase IOC.

Данная уставка используется для определения отключенного положения выключателя. Уставка $I_{РТ \text{ выкл}}$ ⁶ определяется исходя из отстройки от половины емкостного тока линии:

$$I_{РТ \text{ выкл}}(\text{OPEN POLE Current PKP}) = (0,5 - 0,8) * I_{\text{емк уд}} * 0,5 * L, \text{ где}$$

$I_{\text{емк уд}}$ - удельный емкостной ток линии;

L - длина линии.

При отсутствии на линии, включенной с двух сторон, активной нагрузки суммарный ток выключателей с одной из сторон будет мал, так как реактивная (индуктивная) нагрузка компенсируется емкостным током линии. При холостом ходе линии наличие на линии реактора также приведет к уменьшению суммарного тока выключателей. В этих случаях возможно излишнее трехфазное отключение при однофазном КЗ.

Уставку $I_{РТ \text{ выкл}}$ не рекомендуется выбирать меньше 10 А (первичных)

9 Выбор уставок функции «Включение на повреждение» (Line Pickup)

В версиях 5.5 и 5.6 не выполнена логика принудительного останова передатчика после включения линии, поэтому при включении на КЗ дифференциальнофазная функция может сработать через 600 мс, когда остановится передатчик отключенного конца линии. Поэтому отключение КЗ будет производится только с помощью Line Pickup.

⁶ Реле тока включен на тот же источник, что и функция 87PC (ДФЗ)

В ДФЗ любой версии необходимо использовать логику останова ВЧ ПРД на отключенном конце ВЛ. В версиях 5.42, 5.5, 5.6 останов ВЧ ПРД ДФЗ можно выполнить только на «гибкой логике». ПРД должен быть принудительно остановлен при одновременном выполнении следующих условий:

1) Появление напряжения на одной из фаз с задержкой на возврат 20мс (реле максимального напряжения).

2) Отсутствие тока через выключатель (Open Pole или реле максимального тока с инверсным выходом Phase IOC) во всех трех фазах (контролируются реле тока, включенные на ток выключателя, т.е без учета тока реактора).

9.1 Выбор уставки функции «Включение на повреждение» фазной МТЗ (Phase Instantaneous Overcurrent Line Pickup)

Данная уставка должна обеспечивать срабатывание при любом КЗ на включаемой линии.

Её значение рассчитывается по следующему выражению (обеспечение чувствительности при КЗ в конце линии):

$$I_{\text{ЮСРКР}} = I_{\text{кз мин}}/K_{\text{ч}}, \quad (32)$$

где: $I_{\text{кз мин}}$ - минимальный ток однофазного или трехфазного КЗ в конце ВЛ.

$K_{\text{ч}}$ должен быть больше или равен 1,5.

Далее необходимо проверить, что уставка $I_{\text{ЮСРКР}}$ отстроена от емкостного тока линии и тока нагрузки:

$$I_{\text{ЮСРКР}} > k_{\text{отс}} * I_{\text{емк уд}} * L, \quad (33)$$

и

$$I_{\text{ЮСРКР}} > 1,2 * I_{\text{нагр}}$$

где: $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки, учитывающий необходимый запас на увеличение емкостного тока в переходном режиме, принимается равным $k_{\text{отс}}=2,0$;

$I_{\text{емк уд}}$ - емкостной ток на 1 км линии;

L - длина линии.

9.2. Выбор уставки органа минимального напряжения прямой последовательности (Line Pickup Undervoltage Pickup)

Это уставка органа минимального напряжения прямой последовательности. Значение этой уставки обычно задается равным 0.7-0.8 о.е. напряжения системы, заданного в уставках системы.

$$U_{\text{under}}=0,8*U_{\text{ном}} \quad (34)$$

9.3 Выбор выдержки времени на срабатывание сигнала «Конец ВЛ отключен» (Line End Open Pickup Delay)

Данная уставка необходима для формирования сигнала «**Конец ВЛ отключен**» (**Line End Open**), который подготавливает элемент ВКЛЮЧЕНИЕ ЛИНИИ к срабатыванию. Выдержка времени должна быть достаточной для перекрытия переходных процессов.

Line End Open Pickup Delay=150 мс.

9.4 Выбор выдержки времени на возврат сигнала «Конец ВЛ отключен» (Line End Open Reset)

Данная выдержка времени определяет, как долго элемент ВКЛЮЧЕНИЕ ЛИНИИ находится в состоянии подготовленности к срабатыванию при успешном включении линии, т.е. если КЗ возникнет с небольшой задержкой после включения выключателя. Обычно ДЗ готова к работе уже через 5 периодов существования достаточного уровня напряжения, поэтому рекомендуется выбирать данную уставку равной не менее 6 периодов.

Line End Open Reset=120 мс.

9.5 Выбор выдержки времени определения успешности включения ВЛ

Данная выдержка времени определяет, как долго напряжение восстанавливается до нормального уровня (выше значения уставки срабатывания органа минимального напряжения), что означает успешное, без КЗ, включение.

Значение уставки не должно быть слишком малым, поскольку L60 требуется некоторое время на фильтрацию сигнала.

Обычно рекомендуется значение:

Line Pickup Overvoltage Delay=40 - 100мс в зависимости от параметров сети.

9.6 Выбор уставки функции вывода из действия координации АПВ при БАПВ (Autoreclose Coordination Bypass)

Нормально уставка **Autoreclose Coordination Bypass** введена. Она выводится из действия при использовании БАПВ.

9.7 Выбор выдержки времени на срабатывание координации АПВ (Autoreclose Coordination Pickup Delay)

$T_{SR_ARCOORD}$ (Autoreclose Coordination Pickup Delay) =40 мс.

9.8 Выбор выдержки времени на возврат координации АПВ (Autoreclose Coordination Reset Delay).

Эта выдержка времени выбирается меньше, чем выдержка времени на включение линии с противоположного конца при БАПВ.

9.9 Выбор уставки ускорения защиты от внешнего АПВ (AR Acceleration)

Определяется при проектировании конкретного объекта.

В таблице 8 представлены выбираемые в методике уставки функции ДФЗ (87РС) и включения на повреждение (Line Pickup) с их переводом на русский язык.

Таблица 8

Выбираемые в методике уставки функции ДФЗ (87РС) и включения на повреждение (Line Pickup)

Обозначение уставки в терминале	Перевод	Обозначение в методике
87PC Scheme Select	вид обмена данными между комплектами защиты	87PC Scheme Select
87PC Signal Source	источник сигнала для дифференциальнофазного элемента 87РС	87PC Signal Source
87PC Mixed Signal	выходная величина органа манипуляции	I_{2kI1} .
87PC Mixed Signal K	коэффициента к выходной величины органа манипуляции	k
87PC I_1FDL	уставка чувствительного токового органа с пуском по прямой последовательности	$I_{1\text{бл}} \text{ уст}$
87PC I_1FDH	уставка чувствительного токового органа с пуском по прямой последовательности	$I_{1\text{от}} \text{ уст}$
87PC I_2FDL	уставка чувствительного токового органа с пуском по обратной последовательности	$I_{2\text{бл}} \text{ уст}$
87PC I_2FDH	уставка грубого токового органа с пуском по обратной последовательности	$I_{2\text{от}} \text{ уст}$
87PC U_2FDL	уставка чувствительного органа напряжения с пуском по обратной последовательности	$U_{2 \text{ бл}} \text{ уст}$
87PC U_2FDH	уставка грубого органа напряжения с пуском по обратной последовательности	$U_{2 \text{ от}} \text{ уст}$
87PC DI1 FDL	уставка чувствительного токового органа с пуском по приращению прямой последовательности	$DI1 \text{ бл уст}$
87PC DI1 FDH	уставка грубого токового органа с пуском по приращению прямой последовательности	$DI1 \text{ отуст}$
87PC DI2 FDL	уставка чувствительного токового органа с пуском по приращению обратной последовательности	$DI2 \text{ бл уст}$
87PC DI2 FDH	уставка грубого токового органа с пуском по приращению обратной последовательности	$DI2 \text{ отуст}$
Pos Seq Xc	уставки компенсации емкостного тока по прямой последовательности	$X_{c1} \text{ комп}$

Обозначение уставки в терминале	Перевод	Обозначение в методике
Zero Seq Xc	уставки компенсации емкостного тока по нулевой последовательности	$X_{c0 \text{ комп}}$
87PC Mixed Reference Angle	уставка по углу сдвига в сторону опережения вектора $F_{(I2kI1)}$	$F_{(I2kI1)}$
87PC Trans Block Pickup	выдержка времени на срабатывание блокировки при внешних КЗ	T_{cp_BVKZ}
87PC Trans Block Reset	выдержка времени на возврат блокировки при внешних КЗ	T_{VOZ_BVKZ}
87PC TRIP SECURITY	выбор алгоритма работы органа сравнения фаз	87PC TRIP SECURITY
87PC STABILITY ANGLE	срабатывание по первой паузе в ВЧ сигнале, большей угла блокировки	F_{BL}
87PC ENHANCED STAB ANGLE	усовершенствованная уставка ОСФ	F_{BL1}
87PC PICKUP DELAY	задержка на срабатывание ОСФ	T_{SR_OSF}
87PC SECOND COINCID TIMER	таймер ожидания второго совпадения	T_{VT_SOVP}
87PC RESET DELAY	выдержка времени на возврат выходного сигнала дифференциальнофазного элемента	T_{VZ_OSF}
<I1 COMP FDL OP	уставка реле минимального тока по прямой последовательности	$I_{1 \text{ min}}$
<I2 COMP FDL OP	уставка реле минимального тока по обратной последовательности	$I_{2 \text{ min}}$
Phase Instantaneous Overcurrent Line Pickup	уставка функции «Включение на повреждение» фазной МТЗ	$I_{\text{ЮСРКР}}$
Line Pickup Undervoltage Pickup	уставка органа минимального напряжения прямой последовательности	U_{under}
Line End Open Pickup Delay	выдержка времени на срабатывание сигнала «Конец ВЛ отключен»	Line End Open Pickup Delay
Line End Open Reset	выдержка времени на возврат сигнала «Конец ВЛ отключен»	Line End Open Reset
Line Pickup Overvoltage Delay	выдержка времени на включение ВЛ	Line Pickup Overvoltage Delay
Autoreclose Coordination Bypass	Вывод из действия координации АПВ при БАПВ	Autoreclose Coordination Bypass
Autoreclose Coordination Pickup Delay	Выдержка времени на срабатывание координации АПВ	$T_{SR_ARCOORD}$
Autoreclose Coordination Reset Delay	Выдержка времени на возврат координации АПВ	$T_{VZ_ARCOORD}$

10 Выбор уставок ступени дистанционной защиты для «подхвата» пусковых отключающих органов ДФЗ при симметричных КЗ

Так как в терминале L60 версии 5.4 в функции 87 РС нет специально выделенных реле сопротивления для подхвата отключающих органов, реагирующих на приращение токов, то с помощью гибкой логики организуется специальная схема, с использованием вторых зон дистанционной защиты от междуфазных КЗ и КЗ на землю, логических элементов и выдержек времени. Эта схема создана разработчиком терминала, находится под паролем и изменению не подлежит.

В версии 5.5 логическая схема введена в функцию защиты. Используется пусковой орган дистанционной защиты (Distance Pickup).

Расчетчик выбирает только уставки дистанционной ступени.

10.1 Выбор уставок реле сопротивления ДФЗ

На рисунке 3 показана многоугольная характеристика реле сопротивления, на которой обозначены уставки, необходимые для ее задания.

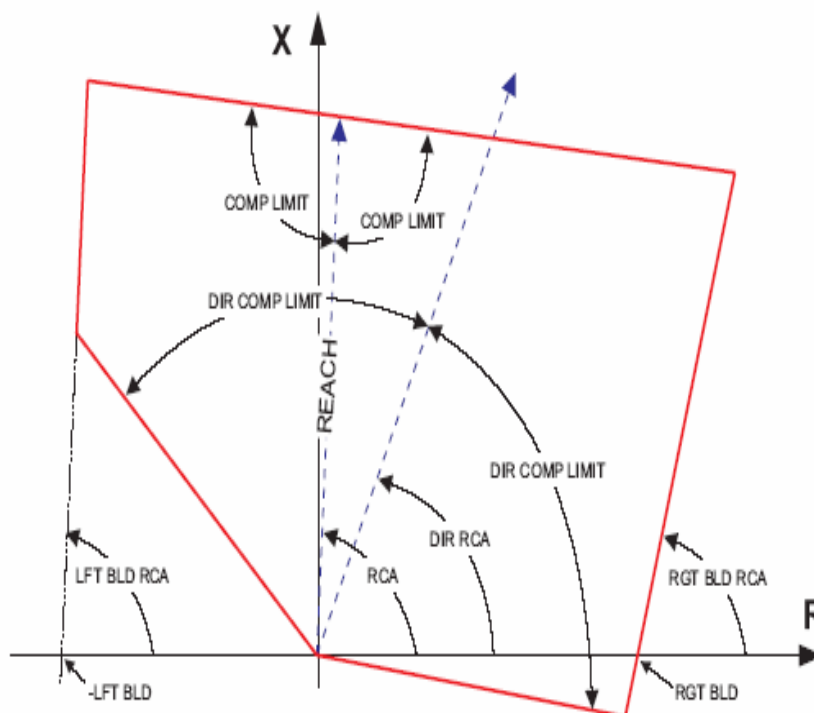


Рисунок 3-Общий вид многоугольной характеристики

Получаемая после выбора всех уставок (см. таблицу 9) характеристика реле сопротивления представлена на рисунке 4.

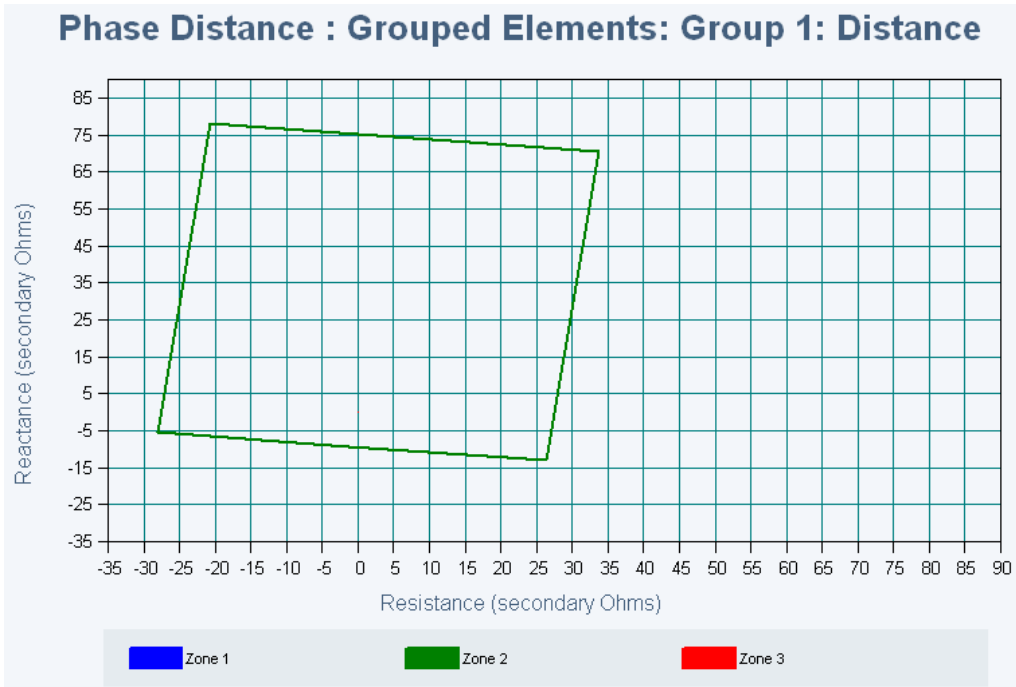


Рисунок 4-Характеристика, получаемая после выставления необходимых уставок

Таблица 9

Английское название уставки	Перевод	Выбор уставки	
		Первый вариант ⁷	Второй вариант ⁸
Direction	Область направления вектора сопротивления	Ненаправленная (Nondirectional)	Направленная (Forward)
Shape	Тип характеристики	Многоугольная (Quad)	Многоугольная (Quad)
Xfmr Vol Connection	Определяет группу соединения обмоток силового трансформатора, если источник напряжения (ТН) расположен на одной стороне силового трра, а зона действия направлена на другую сторону.	Не определена (None)	Не определена (None)
Xfmr Curr Connection	Определяет группу соединения обмоток силового трансформатора, если источник тока (ТТ) расположен на одной стороне силового трра, а зона действия направлена на другую сторону.	Не определена (None)	Не определена (None)
Reach⁹	Уставка по Z в	Если длина линии больше 150 км, то уставка	$Z_{откл}=0,5*X_{1смежн}+X_{1\text{ лин.}}$ где

⁷ используется отдельная ступень.

⁸ реле сопротивления одновременно выполняет функцию второй ступени дистанционной защиты.

⁹ Выбор уставки $X_{отв}$ см. после таблицы.

Английское название уставки	Перевод	Выбор уставки	
		Первый вариант ⁷	Второй вариант ⁸
	направлении $Z_{\text{лин}}$.	$Z_{\text{откл}}$ выбирается равной: $Z_{\text{откл}}=2*X_{\text{л}}$. Если длина линии меньше 150 км, то уставка $Z_{\text{откл}}$ выбирается равной: $Z_{\text{откл}}=1,5*X_{\text{л}}$. Если на линии установлено устройство продольной компенсации, то уставка выбирается равной: $Z_{\text{откл}}=2*X_{\text{л}}$.	$X_{1\text{смежн}}$ - реактивное сопротивление смежной линии прямой последовательности
RCA	Угол максимальной чувствительности $\Phi_{\text{мч}}$.	$\Phi_{\text{мч}} = \arctg(X_{1\text{уд}}/ R_{1\text{уд}})$, где $X_{1\text{уд}}$ - реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности; $R_{1\text{уд}}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности	$\Phi_{\text{мч}} = \arctg(X_{1\text{уд}}/ R_{1\text{уд}})$, где $X_{1\text{уд}}$ - реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности; $R_{1\text{уд}}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности
Rev Reach	Уставка по Z в направлении «за спину»	$Z_{\text{откл назад}} = 1/8 * Z_{\text{откл}}$	$Z_{\text{откл назад}}$ выбирается равной минимальной уставке.
Rev Reach RCA	Угол максимальной чувствительности $\Phi_{\text{мч}}$ в направлении «за спину»	$\Phi_{\text{мч назад}} = \Phi_{\text{мч}}$.	$\Phi_{\text{мч назад}} = \Phi_{\text{мч}}$.
Comp Limit	Определяет форму характеристики срабатывания (для многоугольной - делает верхнюю часть характеристики шатровой).	Уставка выбирается равной 90^0 .	Уставка выбирается равной 90^0 .
DIR RCA	Угол максимальной чувствительности элемента контроля		Уставка выбирается равной $\Phi_{\text{мч}} 15^0$.

Английское название уставки	Перевод	Выбор уставки	
		Первый вариант ⁷	Второй вариант ⁸
	направления.		
DIR Comp Limit	Определяет зону действия элемента контроля направленности	Уставка выбирается равной 90 ⁰ .	Уставка выбирается равной 80 ⁰ .
Quad Right Blinder¹⁰	Определяет пересечение правой части характеристики с осью X.	<p>Уставка по активной составляющей $R_{откл}$ определяется исходя из отстройки от минимального сопротивления нагрузки линии.</p> <p>$R_{откл} = (R_{раб\ мин} - X_{раб\ мин}/tg(\Phi_{мч}))/k_n$, где $R_{раб\ мин}$ - минимальное активное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению; $X_{раб\ мин}$ - минимальное реактивное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению; $\Phi_{мч}$ - угол максимальной чувствительности; k_n - коэффициент надежности принимается равным $k_n=1,6$.</p> <p>$R_{раб\ мин} = 0,9 * U_{ном} / (\sqrt{3} * I_{мах\ раб}) * \cos(\Phi_n)$, где $U_{ном}$ - номинальное напряжение ВЛ; $I_{мах\ раб}$ - максимальный рабочий ток; Φ_n - угол нагрузки.</p> <p>$X_{раб\ мин} = 0,9 * U_{ном} / (\sqrt{3} * I_{мах\ раб}) * \sin(\Phi_n)$, где $U_{ном}$ - номинальное напряжение ВЛ;</p>	<p>Уставка по активной составляющей $R_{откл}$ определяется исходя из отстройки от минимального сопротивления нагрузки линии.</p> <p>$R_{откл} = (R_{раб\ мин} - X_{раб\ мин}/tg(\Phi_{мч}))/k_n$, где $R_{раб\ мин}$ - минимальное активное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению; $X_{раб\ мин}$ - минимальное реактивное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению; $\Phi_{мч}$ - угол максимальной чувствительности; k_n - коэффициент надежности принимается равным $k_n=1,6$.</p> <p>$R_{раб\ мин} = 0,9 * U_{ном} / (\sqrt{3} * I_{мах\ раб}) * \cos(\Phi_n)$, где $U_{ном}$ - номинальное напряжение ВЛ; $I_{мах\ раб}$ - максимальный рабочий ток; Φ_n - угол нагрузки.</p> <p>$X_{раб\ мин} = 0,9 * U_{ном} / (\sqrt{3} * I_{мах\ раб}) * \sin(\Phi_n)$, где $U_{ном}$ - номинальное напряжение ВЛ;</p>

¹⁰ Выбор уставки $R_{отв}$ см. после таблицы

Английское название уставки	Перевод	Выбор уставки	
		Первый вариант ⁷	Второй вариант ⁸
		<p>$I_{\max \text{ раб}}$ - максимальный рабочий ток; $\Phi_{\text{н}}$ - угол нагрузки.</p> <p>Проверка чувствительности при КЗ через $R_{\text{переходное}}$.</p> <p>Сравнивается замер активного сопротивления при КЗ на шинах ПС ответвления и при КЗ в конце линии и выбирается наибольшее:</p> $R_{\text{чувст}} = 1,5 * (\max(R_{\text{макс отв}} \text{ или } R_1 * L) + R_{\text{дуги}} * (1 + I_1^{(3)} \text{ II} / I_1^{(3)} \text{ I})),$ <p>$R_{\text{макс отв}}$ - максимальная величина сопротивления при КЗ на шинах ПС ответвлений; рассчитывается по выражению (*);</p> <p>$R_{1 \text{ уд}}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;</p> <p>L - длина ВЛ;</p> <p>$R_{\text{дуги}}$ - активное сопротивление дуги.</p> <p>$I_1^{(3)} \text{ I}$ - максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 1;</p> <p>$I_1^{(3)} \text{ II}$ - максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 2;</p> $R_{\text{макс отв}} = \cos(\Phi_{\text{мч}}) * \max(U_{\text{А ост отв}} / I_1^{(3)} \text{ отв})$ <p>(*), где</p> <p>$\Phi_{\text{мч}}$ - угол максимальной чувствительности;</p> <p>$U_{\text{А ост отв}}$ - остаточное напряжение при трехфазном КЗ на ПС ответвления;</p>	<p>$I_{\max \text{ раб}}$ - максимальный рабочий ток; $\Phi_{\text{н}}$ - угол нагрузки.</p> <p>Проверка чувствительности при КЗ через $R_{\text{переходное}}$.</p> <p>Сравнивается замер активного сопротивления при КЗ на шинах ПС ответвления и при КЗ в конце линии и выбирается наибольшее:</p> $R_{\text{чувст}} = 1,5 * (\max(R_{\text{макс отв}} \text{ или } R_1 * L) + R_{\text{дуги}} * (1 + I_1^{(3)} \text{ II} / I_1^{(3)} \text{ I})),$ <p>$R_{\text{макс отв}}$ - максимальная величина сопротивления при КЗ на шинах ПС ответвлений; рассчитывается по выражению (*);</p> <p>$R_{1 \text{ уд}}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;</p> <p>L - длина ВЛ;</p> <p>$R_{\text{дуги}}$ - активное сопротивление дуги.</p> <p>$I_1^{(3)} \text{ I}$ - максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 1;</p> <p>$I_1^{(3)} \text{ II}$ - максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 2;</p> $R_{\text{макс отв}} = \cos(\Phi_{\text{мч}}) * \max(U_{\text{А ост отв}} / I_1^{(3)} \text{ отв})$ <p>(*), где</p> <p>$\Phi_{\text{мч}}$ - угол максимальной чувствительности;</p> <p>$U_{\text{А ост отв}}$ - остаточное напряжение при трехфазном КЗ на ПС ответвления;</p>

Английское название уставки	Перевод	Выбор уставки	
		Первый вариант ⁷	Второй вариант ⁸
		<p>$I_{1\text{ отв}}^{(3)}$ - ток прямой последовательности при трехфазном КЗ на ПС ответвления.</p> <p>$R_{\text{чувст}}$ должно быть меньше или равно $0,7 \cdot R_{\text{откл}}$.</p> <p>Окончательный выбор уставок по R и X производим после проверки чувствительности с учетом R дуги по программе АРМ (влияние дуги будет учтено точнее), т.е. рассчитываются максимальные замеры $R_{\text{чувст}}$ и $X_{\text{чувст}}$ при КЗ в конце линии и на подстанциях ответвлений, при этом:</p> <p>$R_{\text{чувст}} \leq 0,8(R_{\text{откл уст}} + X_{\text{чувст}} / \text{tg}(\Phi_{\text{мч}}))$ и $X_{\text{чувст}} \leq 0,8X_{\text{откл уст}}$</p>	<p>$I_{1\text{ отв}}^{(3)}$ - ток прямой последовательности при трехфазном КЗ на ПС ответвления.</p> <p>$R_{\text{чувст}}$ должно быть меньше или равно $0,7 \cdot R_{\text{откл}}$.</p> <p>Окончательный выбор уставок по R и X производим после проверки чувствительности с учетом R дуги по программе АРМ (влияние дуги будет учтено точнее), т.е. рассчитываются максимальные замеры $R_{\text{чувст}}$ и $X_{\text{чувст}}$ при КЗ в конце линии и на подстанциях ответвлений, при этом:</p> <p>$R_{\text{чувст}} \leq 0,8(R_{\text{откл уст}} + X_{\text{чувст}} / \text{tg}(\Phi_{\text{мч}}))$ и $X_{\text{чувст}} \leq 0,8X_{\text{откл уст}}$</p>
Quad Right Blinder RCA	Угол наклона правой части многоугольной характеристики.	Уставка выбирается равной $\Phi_{\text{мч}}$ (RCA).	Уставка выбирается равной $\Phi_{\text{мч}}$ (RCA).
Quad Left Blinder	Определяет пересечение левой части характеристики с осью X.	Уставка выбирается равной $R_{\text{откл уст}}$ (Quad Right Blinder)	Уставка выбирается равной $R_{\text{откл уст}}$ (Quad Right Blinder)
Quad Left Blinder RCA	Угол наклона левой части многоугольной характеристики	Уставка выбирается равной $\Phi_{\text{мч}}$ (RCA).	Уставка выбирается равной $\Phi_{\text{мч}}$ (RCA).
Supervision	Ток точной работы	Уставка выбирается равной $0,5 \cdot I_{\text{мин}}^{(3)}$	$0,5 \cdot I_{\text{мин}}^{\text{междуфазн кз}}$
Delay	Время срабатывания	Выдержка времени не имеет значения для РС ДФЗ, т. к. в качестве реле сопротивления ДФЗ используется пусковой орган реле сопротивления (pickup).	Если в качестве реле сопротивления ДФЗ используется вторая ступень Z2 дистанционной защиты, то ее выдержка времени не имеет значения для РС ДФЗ, т. к. в качестве реле сопротивления ДФЗ

Английское название уставки	Перевод	Выбор уставки	
		Первый вариант ⁷	Второй вариант ⁸
			используется пусковой орган реле сопротивления (pickup).

10.2 Выбор уставок реле сопротивления $Z_{отв}$ ДФЗ.

Характеристика выбирается такой же, как характеристика $Z_{откл}$ в варианте 2. Выбирается степень Z - Ground Distance.

Выбор уставки реле сопротивления $Z_{отв}$ по активной составляющей $R_{отв}$:

Уставка реле сопротивления $Z_{отв}$ по активной составляющей $R_{отв}$ определяется исходя из тех же критериев, что и уставка реле сопротивления $R_{откл}$, и приравнивается соответствующей уставке $R_{откл}$.

$$R_{отв} = R_{откл} \quad (35)$$

Выбор уставки реле сопротивления $Z_{отв}$ по реактивной составляющей $X_{отв}$:

- по отстройке от КЗ за трансформаторами ответвления - $X_{отв \text{ кз уст}}$;

$$X_{отв \text{ кз уст}} = k_n * \min(X_{отстр \text{ отв}1}, X_{отстр \text{ отв}2}, \dots, X_{отстр \text{ отв}N}), \quad (36)$$

где $X_{отстр \text{ отв}1 \dots N}$ - сопротивление в месте установки защиты при КЗ за трансформатором ответвления рассчитывается по выражению (37);

k_n - коэффициент надежности принимается равным $k_n=0,85$.

$$X_{отстр \text{ отв}X} = X_{отвX \text{ П/СТ}} + (X_{отвX \text{ ТРР}} + X_{тр \text{ отв}}^{(1)}) / K_T, \quad \text{где} \quad (37)$$

$X_{отвX \text{ П/СТ}}$ - сопротивление ВЛ от ответвления X до ПС, где установлена защита;

$X_{отвX \text{ ТРР}}$ - сопротивление ВЛ от ответвления X до трансформатора ответвления;

$X_{тр \text{ отв}}^{(1)}$ - реактивное сопротивление трансформатора ответвления;

K_T - коэффициент токораспределения принимается равным $K_T=1$, так как второй конец линии принимается отключенным. [2]

При определении минимального сопротивления необходимо учитывать возможность параллельной работы трансформаторов на ответвлении.

- отстройка от броска намагничивающего тока - $X_{тр \text{ БНТ уст}}$.

Второй конец линии отключен. Все трансформаторы на ответвлении принимаются работающими параллельно [2].

$$X_{тр \text{ БНТ уст}} = C_b * (X_{тр \text{ экв}}^{(1)} + X_c) X_c, \quad [2] \quad (38)$$

где: C_b - коэффициент принимается равным для ВЛ $U_{ном}=110$ кВ $C_b=1,75$, для $U_{ном}=220$ кВ $C_b=1,55$ [1];

$X_{тр \text{ экв}}^{(1)}$ - эквивалентное сопротивление при однофазном включении линии;

X_c - минимальное сопротивление системы;

Если X_c не известно, то оно вычисляется по выражению (39)

$$X_c = (U_{ном} - (X_{1 \text{ уд}} * L) * I^{(3)}) / I^{(3)}, \quad (39)$$

где: $U_{ном}$ - номинальное напряжение ВЛ [в кВ];

$X_{1 \text{ уд}}$ - реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

L - длина линии;

$I^{(3)}$ - максимальный ток трехфазного КЗ [в кА].

Для расчета отстройки реле сопротивления от броска тока намагничивания надо брать двухфазное включение. Но все трансформаторы учитываются сопротивлениями $X_{тр\ отв}^{(1)}$, так как ток двухфазного включения наиболее просто выразить через значение броска намагничивающего тока при однофазном включении при заземлении всех нейтралей. [2]

Для одного ответвления, при наличии на нем одного трансформатора, формула принимает вид:

$$X_{тр\ экв}^{(1)} = (X_{тр\ отв}^{(1)} + X_{1уд} * L_{отвтр}) + X_{1уд} * L_{отвлпст1}, \quad (40)$$

где: $X_{тр\ отв}^{(1)}$ - сопротивление трансформатора ответвления при КЗ⁽¹⁾ рассчитывается по формуле (41);

$X_{1уд}$ - реактивное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

$L_{отвтр}$ - длина ВЛ от ответвления до трансформатора;

$L_{отвлпст1}$ - длина ВЛ от первого ответвления до ПС.

$$X_{тр\ отв}^{(1)} = X_{тр\ \%}^{(1)} * (U_{ном\ тр\ отв} - U_{РПН\ тр\ отв})^2 / (100 * S_{ном\ тр\ отв}), \quad (41)$$

где: $X_{тр\ \%}^{(1)}$ - сопротивление трансформатора в % при однофазном включении рассчитывается по формуле (42);

$U_{ном\ тр\ отв}$ - номинальное напряжение трансформатора ответвления [в кВ];

$U_{РПН\ тр\ отв}$ - диапазон РПН трансформатора ответвления [в кВ];

$S_{ном\ тр\ отв}$ - номинальная мощность трансформатора ответвления [в МВА].

$$X_{тр\ \%}^{(1)} = (A + U_{кз\ тр\ отв}) / B, \quad (42)$$

Где: $U_{кз\ тр\ отв}$ - напряжение КЗ трансформатора ответвления;

A - коэффициент принимается равным см. таблицы 10 и 11;

B - коэффициент принимается равным см. таблицы 10 и 11;.

Таблица 10

Коэффициенты А и В для трансформатора

Мощность трансформатора	А	В
До 60 МВА	12,7	1,35
От 60 МВА и выше	21,4	1,35

Таблица 11

Коэффициенты А и В для автотрансформатора

Мощность автотрансформатора	А	В
До 125 МВА	25,7	1,3
От 125 МВА и выше	35	1,28

При наличии нескольких трансформаторов на ответвлении, а также при наличии нескольких ответвлений на линии расчет $X_{\text{тр экв}}^{(1)}$ значительно усложняется.

Схема «сворачивается» относительно места установки защиты до простейшей с одним источником и эквивалентным сопротивлением. Затем рассчитывается $X_{\text{тр экв}}^{(1)}$.

Затем выбирается наименьшая уставка из $X_{\text{отв кз уст}}$ и $X_{\text{тр БНТ уст}}$:

$$X_{\text{отв}} = \min (X_{\text{отв кз уст}} \text{ и } X_{\text{тр БНТ уст}})$$

Проверка чувствительности

Чувствительность проверяется по формуле (43) обеспечение чувствительности при КЗ на шинах ПС ответвления и надежного охвата всей длины линии:

$$X_{\text{отв}} \geq X_{\text{откл}} \tag{43}$$

Если защита не проходит по чувствительности и при этом определяющим является $X_{\text{отв кз уст}}$, то на тех ответвлениях, при КЗ за которыми защита не проходит по чувствительности, устанавливается неполный комплект защиты [2].

Если защита не проходит по чувствительности и при этом определяющим является $X_{\text{тр БНТ уст}}$, то на самом мощном ответвлении устанавливается неполный комплект защиты и производится новый расчет.

Библиография

1. Устройство дифференциальнофазной защиты линии L60. Руководство по эксплуатации терминалов серии UR L60 версия: 5.5х.
2. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 9.
3. ГОСТ 77462001 Трансформаторы тока. Общие технические условия.
4. Дони Н.А., Дони К.Н. Частотные свойства цифровых фильтров симметричных составляющих. - Электричество, № 5, 2003.
5. ГОСТ 13109 Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения.