



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

Стандарт ОАО «СО ЕЭС»

СТО 56947007-29.120.70.032-2008
(обозначение стандарта)

12.07.2011
(дата введения)

**Методические указания
по выбору параметров срабатывания дифференциально-
фазной и высокочастотной микропроцессорных защит
сетей 220 кВ и выше, устройств АПВ сетей 330 кВ и
выше производства ООО НПП «ЭКРА»**

Москва
2011

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», правила применения стандарта организации – ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Сведения о стандарте

1. РАЗРАБОТАН: филиалом ОАО «НТЦ электроэнергетики» – ВНИИЭ.
2. ВНЕСЕН: Службой организации систем оперативно-диспетчерского управления, Дирекцией технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС».
3. УТВЕРЖДЕН и ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ: приказом ОАО «СО ЕЭС» от 12.07.2011 № 200 .
4. ВВЕДЕН: впервые.

Содержание

1	Область применения.....	4
2	Нормативные ссылки.....	4
3	Термины и определения.....	4
4	Общие положения.....	5
5	Требования к выбору расчетных режимов сети.....	5
6	Основные требования стандарта к выбору уставок высокочастотной микропроцессорной защиты ШЭ 2607 081(дифференциально-фазная защита).....	6
7	Основные требования стандарта к выбору уставок высокочастотной микропроцессорной защиты ШЭ 2710 581.....	24
8	Основные требования стандарта к выбору уставок высокочастотной микропроцессорной защиты ШЭ 2607 031.....	41
9	Основные требования стандарта к выбору уставок устройства однофазного и трехфазного АПВ сетей 330 кВ и выше ШЭ 2710 582.....	57
10	Основные требования к выбору уставок устройства трехфазного АПВ сетей 330 кВ и выше ШЭ 2710 511.....	64
11	Обозначения и сокращения.....	70
12	Библиография.....	70
	Приложение 1 Уставки и параметры срабатывания высокочастотных защит ООО НПП «ЭКРА».....	72

1 Область применения

Объектом регулирования данного стандарта организации являются терминалы релейной защиты и электроавтоматики производства ООО НПП «ЭКРА» в части выбора их уставок. В данном стандарте организации приведены Методические указания по выбору уставок и параметров срабатывания высокочастотных микропроцессорных защит (ООО НПП «ЭКРА», ШЭ 2607 081, ШЭ 2710 581, ШЭ 2607 031) и однофазного и трехфазного АПВ сетей 330 кВ и выше (ООО НПП «ЭКРА», шкафы ШЭ 2710 582 и ШЭ 2710 511). Стандарт осуществляет регулирование путем описания методики выбора уставок вышеупомянутых устройств.

Действие стандарта организации распространяется на все филиалы ОАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы».

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 7746-2001 Трансформаторы тока. Общие технические условия.
2. ГОСТ 13109 Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения.

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования - на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю "Национальные стандарты", который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом необходимо руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 автоматическое повторное включение (АПВ): Автоматическое включение выключателей присоединения, отключенных устройствами релейной защиты или отключившихся самопроизвольно, для быстрого восстановления питания потребителей, межсистемных и внутренних связей, а также для улучшения условий сохранения устойчивости энергосистемы.

3.2 избирательный орган ОАПВ: Орган устройства ОАПВ, определяющий поврежденную фазу при однофазном КЗ на присоединении.

3.3 однофазное АПВ (ОАПВ): Применяемое на присоединениях, снабженных пофазными выключателями, автоматическое включение фазы, отключенной устройством релейной защиты при однофазном КЗ.

3.4 органы (пусковые, блокирующие, отключающие) релейной защиты и автоматики: Структурно-функциональные элементы релейной

защиты и автоматики. Органы релейной защиты и автоматики бывают реализованы аппаратно, программно или программно-аппаратно.

3.5 селективность: Свойство защиты (функции, устройства, комплекса РЗА, системы РЗА) выделять и отключать только поврежденное присоединение электроэнергетической системы.

3.6 система РЗА: Совокупность комплексов РЗА присоединений электроэнергетической сети.

3.7 трехфазное АПВ (ТАПВ): Автоматическое включение трех фаз присоединения, отключенного устройствами релейной защиты или отключившихся самопроизвольно.

3.8 уставки: Задаваемые параметры срабатывания органов устройств РЗА.

3.9 чувствительность: Свойство устройства релейной защиты отличать ненормальный режим от нормального. Характеризуется отношением минимального значения входной воздействующей электрической величины при повреждении присоединения или его ненормальном режиме к уставке для устройств релейной защиты, реагирующих на возрастающие в условиях повреждения или ненормального режима величины. Для устройств релейной защиты, реагирующих на уменьшающиеся в условиях повреждения или ненормального режима величины - отношением уставки к максимальному значению входной воздействующей электрической величины при повреждении присоединения или его ненормальном режиме.

3.10 устройство релейной защиты и автоматики (УРЗА): Конструктивно завершенное аппаратное или программно-аппаратное изделие, выполняющее одну или несколько функций релейной защиты и/или автоматики, способное функционировать автономно.

4 Общие положения

4.1 Необходимость написания Методических указаний по выбору уставок к выше упомянутым терминалам вызвана тем, что при переходе к новой элементной микропроцессорной базе в алгоритмах традиционных защит произошли изменения, появились новые органы и функции. Поэтому расчетчику уставок трудно пользоваться указаниями, составленными для электромеханических и микроэлектронных защит.

5 Требования к выбору расчетных режимов сети

5.1 Если у расчетчика есть АРМ СРЗА, то расчеты токов и напряжений короткого замыкания необходимо проводить в АРМ. С появлением программ для расчета токов, напряжений и сопротивлений в месте установки защит расчетчику нет необходимости выбирать максимальный и минимальный режим работы сети. Это можно выявить, задав все возможные режимы работы сети и просмотрев результаты расчета.

5.2 Для расчета уставок используются виды КЗ, указанные в таблице 5-1.

Виды КЗ, используемые для расчета уставок

Тип защиты (шкаф)	Вид КЗ	Место КЗ
Дифференциально-фазная защита (ШЭ 2607 081)	Однофазное КЗ ($K^{(1)}$)	Конец линии, шины ПС ответвления.
	Двухфазное КЗ на землю ($K^{(1,1)}$)	
	Трехфазное КЗ ($K^{(3)}$)	
Дифференциально-фазная защита (ШЭ 2710 581)	Однофазное КЗ ($K^{(1)}$)	Начало и конец линии
	Двухфазное КЗ на землю ($K^{(1,1)}$)	
	Трехфазное КЗ ($K^{(3)}$)	
Направленная высокочастотная защита (ШЭ 2607 031)	Однофазное КЗ ($K^{(1)}$)	Конец линии, шины ПС ответвления.
	Двухфазное КЗ на землю ($K^{(1,1)}$)	
	Двухфазное КЗ на землю ($K^{(1,1)}$)	Конец самой длинной смежной линии.

5.3 Для всех токовых органов коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ определяется при минимальном режиме системы со стороны, где установлена защита и максимальном на остальных концах.

5.4 Для всех органов по напряжению обратной и нулевой последовательности коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ определяется при максимальном режиме всех питающих систем.

6 Основные требования стандарта к выбору уставок высокочастотной микропроцессорной защиты ШЭ 2607 081 (дифференциально-фазная защита)

6.1 Выбор уставки токовых органов с пуском по вектору разности фазных токов I_L

6.1.1 Выбор уставки токового органа с пуском по вектору разности фазных токов I_L , действующего на блокировку.

Уставки выбираются одинаковыми для обоих (или в случае многоконцевой линии трех и более) комплектов, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же наибольший из максимальных рабочих токов $I_{\text{max раб}}$ по концам линии.

Уставка $I_{\text{л бл уст}}$ выбирается исходя из обеспечения пуска передатчика при внешних симметричных КЗ с большим током.

Наличие ПО $I_{\text{л бл}}$ обеспечивает пуск ВЧ передатчика на обоих концах ВЛ при внешних симметричных повреждениях, сопровождающихся протеканием больших токов. Благодаря этому обеспечивается правильная работа защиты даже в том случае, когда на одном из концов ВЛ под влиянием тока небаланса в симметричном режиме срабатывает ПО I_{201} .

Уставка $I_{л\ бл\ уст}$ выбирается исходя от отстройки от максимального рабочего тока $I_{max\ раб}$. Если при выборе уставок других ПО, они не пройдут по чувствительности, то необходимо при выборе уставок всех ПО заменить $I_{max\ раб}$ на ток нагрузки $I_{нагр}$.

$$I_{л\ бл\ уст} = \sqrt{3} * k_{отс} * I_{max\ раб} \text{ (или } I_{нагр}), \quad (6-1)$$

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

$I_{max\ раб}$ - максимальный рабочий ток, выбирается наибольший из двух или более концов линии;

$I_{нагр}$ - ток нагрузки (длительно возможный рабочий ток, чтобы длительно не был запущен передатчик).

6.1.2 Выбор уставки токового органа с пуском по вектору разности фазных токов I_L , действующего на отключение.

Уставка $I_{л\ от\ уст}$ выбирается исходя из отстройки от $I_{л\ бл\ уст}$ того конца линии, с которым согласовывается данный комплект, с учетом коэффициента ответвления.

$$I_{л\ от\ уст} = k_{отс} * k_{отв} * I_{л\ бл\ уст}, \quad (6-2)$$

где $k_{отв}$ - коэффициент ответвления.

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

$I_{л\ бл\ уст}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по векторной разности фазных токов;

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

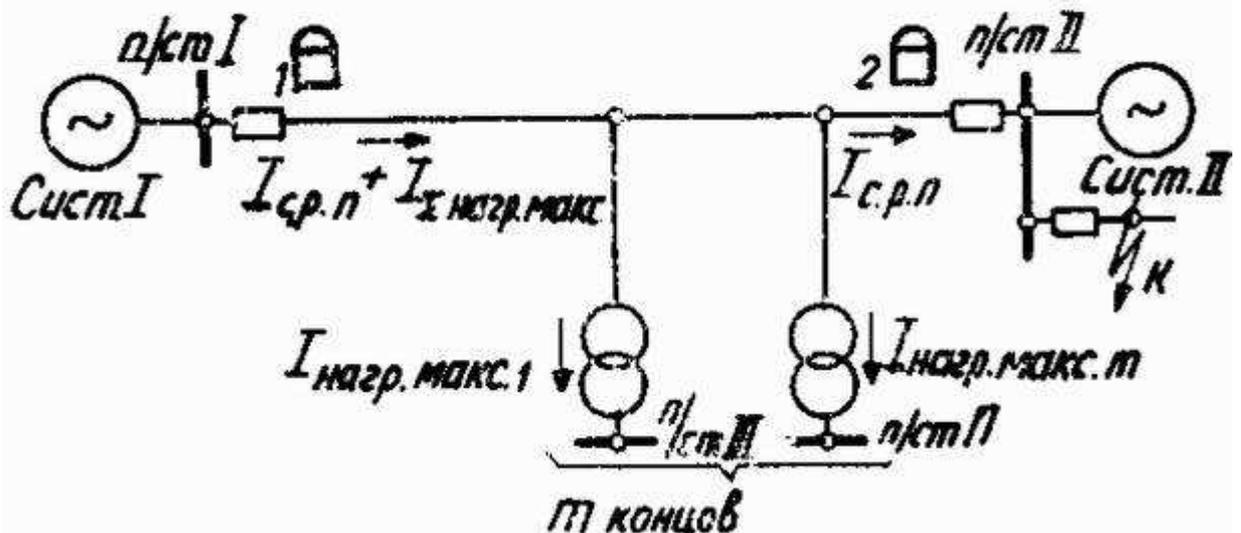


Рисунок 6-1 Схема линии с ответвлениями для определения $k_{отв}$

Так как рассматриваемая защита имеет направленные органы $Z_{отв}$, (всегда подключаются, при положении накладки ХВ1: Работа с ответвлениями на ВЛ- предусмотрена) обеспечивающие несрабатывание при направлении мощности к шинам, то необходимо учитывать коэффициент ответвления

только для случая представленного на рис. 6-1 [1]. В качестве расчетного для определения $k_{отв}$ необходимо рассматривать режим удаленного трехфазного КЗ в одной из питающих систем (в точке к, рис. 6-1). В этом случае, из-за незначительного падения напряжения на подстанциях ответвления, ток нагрузки ответвлений практически не изменится. В случае (худшем, с точки зрения селективности), если через место установки одного из полукомплектов на конце II протекает ток равный $I_{л. бл. уст}$, а на другом - $I_{л. бл. уст} + I_{\Sigma \text{ нагр. отв}}$, коэффициент ответвления $k_{отв}$ определяется по следующему выражению:

$$k_{отв} = \frac{I_{л. бл. уст} + I_{\Sigma \text{ нагр. отв}} * \sqrt{3}}{I_{л. бл. уст}} = 1 + \frac{I_{\Sigma \text{ нагр. отв}} * \sqrt{3}}{I_{л. бл. уст}}, \quad (6-3)$$

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.

Если при внешнем КЗ по отношению к рассматриваемой линии в одном из комплектов ток будет больше, чем токи в остальных комплектах, то наихудшим, с точки зрения селективности, является режим сети, когда остальные токи приблизительно равны $I_{л. бл.}$, 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 $I_{л. отг}$, то произойдет излишнее срабатывание защиты. Поэтому с помощью коэффициента ответвления $k_{отв}$ необходимо загрузить уставку $I_{л. отгуст}$.

$$k_{отв} = I_{ф \text{ п-га max}} / I_{ф \text{ равн}}, \quad (6-4)$$

где: $I_{ф \text{ п-га max}}$ - фазный ток, в том полукомплекте, где он максимальный.

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

(Для общего случая ВЛ, имеющей несколько концов с питанием, предельное расчетное значение $k_{отв} = n-1$, где n-число питающих концов линии)

6.2 Выбор уставки токовых органов с пуском по току обратной последовательности I₂.

6.2.1 Выбор уставки токового органа с пуском по току обратной последовательности I₂, действующего на блокировку.

Для обоих полукомплектов уставки выбираются одинаковыми, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же $I_{л. бл. уст}$.

Уставка токового органа с пуском по току обратной последовательности $I_{2 \text{ бл. уст}}$ 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.

Выводится из действия при тяговой нагрузке с помощью накладки ХВ2.

$$I_{2\text{бл уст}} = k_{\text{отс}} * I_{2\text{нб расч}} / k_{\text{возв}}, \quad (6-5)$$

где $I_{2\text{нб расч}}$ - расчетный ток небаланса обратной последовательности рассчитывается по выражению (6-6);

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

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

$$I_{2\text{нб расч}} = (I_{\text{л бл уст}} / \sqrt{3}) * \sqrt{[(\varepsilon_1/3)^2 + (k_f * Df)^2 + (D\phi)^2 + (k_2 \text{ несим})^2]} \\ = (I_{\text{л бл уст}} / \sqrt{3}) * 0,024, \quad (6-6)$$

где $I_{\text{л бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по И;

ε_1 - полная погрешность ТТ принимается равной $\varepsilon_1 = 0,03$, согласно ГОСТ 7746-2001 Трансформаторы тока. Общие технические условия.

k_f - коэффициент частотной зависимости ФТОП по данным разработчика принимается равным $k_f = 0,23$; [2]

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

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

$k_2 \text{ несим}$ - коэффициент несимметрии тока обратной последовательности принимается равным $k_2 \text{ несим} = 0,02$, согласно ГОСТ 13109 Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения.

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

На линиях с ответвлениями не надо отстраивать $I_2 \text{ от уст}$ от КЗ за трансформатором ответвления, т.к. в защите есть специальный орган $Z_{\text{отв}}$, отстроенный от КЗ за трансформатором. Характеристика $Z_{\text{отв}}$ в комплексной плоскости сопротивлений проходит через начало координат, поэтому $I_2 \text{ от уст}$ не надо отстраивать от внешнего КЗ на питающей стороне при одностороннем питании и подпитке от двигателей нагрузки.

Выводится из действия при тяговой нагрузке.

Уставка $I_2 \text{ от уст}$ выбирается исходя из следующих критериев:

- отстройки от $I_{2\text{бл уст}}$ того конца линии, с которым согласовывается данный комплект, с учетом коэффициента ответвления;

$$I_{2\text{от отстр уст}} = k_{\text{отв}} * k_{\text{отс}} * I_{2\text{бл уст}}, \quad (6-7)$$

где $k_{\text{отв}}$ - коэффициент ответвления;

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

$k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 1,5 - 2$.

При таком выборе коэффициента отстройки $k_{\text{отс}} = 2$, $I_{2\text{от}}$ автоматически будет отстроен от тока небаланса обратной последовательности, возникающего в режиме внешнего трехфазного КЗ при токе, обеспечивающем срабатывание $I_{\text{л бл}}$ с обоих концов линии.

При токе, обеспечивающем надежное срабатывание $I_{л. бл}$ с обоих концов, $I_{2от}$ работать не будет.

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

Так как рассматриваемая защита имеет направленные органы $Z_{отв}$, обеспечивающие несрабатывание при направлении мощности к шинам, то необходимо учитывать коэффициент ответвления только для случая представленного на рисунке 6-1. [1] В качестве расчетного для определения $k_{отв}$ необходимо рассматривать режим удаленного трехфазного КЗ в одной из питающих систем (в точке к, рис. 6-1). В худшем случае (с точки зрения селективности) через место установки одного из полукомплектов на конце II протекает ток равный $I_{2 бл. уст}$, а на другом $-I_{2 бл. уст} + I_{\Sigma нагр. отв. 2}$. Тогда $k_{отв}$ определяется по следующему выражению:

$$k_{отв} = \frac{I_{2. бл. уст} + I_{\Sigma нагр. отв. 2}}{I_{2. бл. уст}} = 1 + \frac{I_{2 \Sigma нагр. отв}}{I_{2. бл. уст}}, \quad (6-8)$$

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.

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

$$k_{отв} = I_{2 п-та max} / I_{2 равн}, \quad (6-9)$$

где $I_{2 п-та max}$ - ток обратной последовательности, в том полукомплекте, где он максимальный.

$I_{2 равн}$ - 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).

В) Если при рассмотрении согласования данного комплекта с другим окажется, что невозможен такой режим сети, когда ток в нем максимальный, то в этом случае коэффициент ответвления при расчете уставки необходимо принять равным $k_{отв}=1$. Тогда уставка $I_{2отуст}$ выбирается следующим образом:

$$I_{2от отстр уст} = k_{отв} * k_{отс} * I_{2бл уст}, \quad (6-10)$$

где: $k_{отв}$ - коэффициент ответвления принимается равным $k_{отв}=1$;

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

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

Если при этом окажется, что чувствительность на данном конце не обеспечивается, то необходимо посчитать реальный коэффициент ответвления. Но во всех случаях для одного и того же полуккомплекта уставка $I_{2от уст}$ должна быть:

$$I_{2от уст} \geq 1,05 * I_{2бл уст}$$

- отстройки от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение.

$$I_{2от емк уст} = k_{отв} * k_{отс} * I_{2 емк уд} * L, \quad (6-11)$$

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

$k_{отв}$ - коэффициент ответвления;

$I_{2 емк уд}$ - емкостной ток обратной последовательности на 1 км линии определяется по таблице 6-1;

L - длина линии.

Таблица 6-1

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

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

Окончательно уставка $I_{2от уст}$ выбирается наибольшей из $I_{2от отстр уст}$ и $I_{2от емк уст}$.

6.2.3 Определение коэффициента чувствительности токового отключающего органа I_2 .

Рассчитывается коэффициент чувствительности для каждого полуккомплекта.

Для двухконцевых линий и линии с ответвлениями без питания:

$$k_{\text{ч}} = I_{2 \text{ КЗ min}} / I_{2 \text{от уст}}, \quad (6-12)$$

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

$I_{2 \text{от уст}}$ - уставка отключающего токового органа с пуском по I2;

Если $k_{\text{ч}} > 2$, то необходимо загрузить уставку до $k_{\text{ч}} = 2$ для полуккомплекта с наименьшим коэффициентом чувствительности.

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

Для многоконцевых линий для каждого комплекта определяется:

$$k_{\text{ч}} = I_{2 \text{ КЗ min}} / I_{2 \text{от уст}}$$

Орган проходит по чувствительности, если $k_{\text{ч}} \geq 2$.

Для многоконцевых линий можно не загружать уставку $I_{2 \text{от уст}}$.

6.3 Выбор уставки органа направления мощности нулевой последовательности M_0

6.3.1 Выбор уставки органа направления мощности нулевой последовательности M_0 по току.

M_0 используется только для линий с ответвлениями без питания и выбирается одинаковым для обоих концов линии. Уставка по току нулевой последовательности $3I_{0_M0 \text{ уст}}$ выбирается исходя из отстройки от тока небаланса нулевой последовательности, определяемого погрешностью трансформаторов тока $I_{0 \text{ нб ТТ}}$ в максимальном рабочем режиме, от тока небаланса нулевой последовательности, вызванного не симметрией в первичной сети $3I_{0 \text{нб несим}}$. От броска НТ отстраивать не надо, т.к. алгоритм реле мощности обеспечивает отстройку от броска тока намагничивания.

$$3I_{0_M0 \text{ уст}} = k_{\text{отс}} * (I_{0 \text{ нб ТТ}} + 3I_{0 \text{нб несим}}) / k_{\text{возв}}, \quad (6-13)$$

где $I_{0 \text{ нб ТТ}} = k_{\text{однотипности}} * \varepsilon * I_{\text{нагр}}$.

$$3I_{0 \text{нб несим}} = 0,02 * I_{\text{нагр}}$$

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

ε - полная погрешность ТТ принимается равной $\varepsilon = 0,03 - 0,1$. Полная погрешность ТТ ε учитывает небаланс по нулевой последовательности при КЗ за трансформатором ответвления. ε принимается равной 0,03 - 0,1 в зависимости от кратности максимального тока при КЗ за трансформатором ответвления.

$k_{\text{однотипности}}$ - коэффициент однотипности принимается равным $k_{\text{однотипности}} = 0,5$, если ТТ по концам линии одинаковые, иначе $k_{\text{однотипности}} = 1$. Но в данном случае $k_{\text{однотипности}}$ учитывать не надо, т.е. он равен 1, так как реле мощности M_0 предназначено для отстройки от КЗ «за спиной защиты» и, т.о. отсутствует функциональная связь между реле, установленными по концам линии.

$I_{\text{нагр}}$ - ток нагрузки;

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

6.3.2 Определение коэффициента чувствительности органа направления мощности нулевой последовательности M_0 по току.

$$k_{\text{ч}} = 3I_{0 \text{ КЗ min}} / 3I_{0_M0 \text{ уст}}, \quad (6-14)$$

где $3I_{0 \text{ КЗ min}}$ - наименьший для двух полуккомплектов минимальный ток КЗ нулевой последовательности;

$3I_{0_M0 \text{ уст}}$ - ток срабатывания $3I_0$ органа направления мощности нулевой последовательности M_0 ;

Орган проходит по чувствительности, если $k_{\text{ч}} > 2$

Если $k_{\text{ч}}$ получается больше 3, то он закругляется до 3.

6.3.3 Выбор уставки органа направления мощности нулевой последовательности M_0 по напряжению.

Уставка по напряжению нулевой последовательности $3U_{0_M0}$ выбирается исходя из отстройки от напряжения небаланса.

$$3U_{0_M0 \text{ уст}} = k_{\text{отс}} * k_{\text{нб}} * U_{\text{ном}} / k_{\text{возв}}, \quad (6-15)$$

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

$k_{\text{нб}}$ - коэффициент небаланса принимается равным $k_{\text{нб}} = 0,009$;

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

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение ВЛ;

Таким образом:

$$3U_{0_M0 \text{ уст}} = 0,02 * U_{\text{ном}}.$$

6.3.4 Определение коэффициента чувствительности органа направления мощности нулевой последовательности M_0 по напряжению.

$$k_{\text{ч}} = 3U_{0 \text{ КЗ min}} / 3U_{0_M0 \text{ уст}}, \quad (6-16)$$

где $3U_{0 \text{ КЗ min}}$ - минимальное напряжение КЗ нулевой последовательности;

$3U_{0_M0 \text{ уст}}$ - напряжение срабатывания $3U_0$ органа направления мощности нулевой последовательности M_0 .

Орган проходит по чувствительности, если $k_{\text{ч}} > 2$

Если $k_{\text{ч}}$ получается больше 3, то он закругляется до 3.

6.4 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_2

6.4.1 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_2 , действующего на блокировку.

Фактически этот пусковой орган реагирует на приращение вектора тока

$$DI_2 = I_{2 \text{ T}(n+1)} - I_{2 \text{ T}(n)}, \text{ где } n - \text{ № периода промышленной частоты. [2].}$$

Этот пусковой орган позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ. Алгоритм этого органа обеспечивает отстройку от тока небаланса обратной последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра.

$$DI_{2 \text{ бл уст}} = k_{\text{отс}} * I_{2 \text{ бл уст}}, \quad (6-17)$$

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 I_2 .

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

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

$$DI_{2от\ уст} = k_{отс} * DI_{2бл\ уст}, \quad (6-18)$$

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_{χ} не проверяется.

6.5 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1

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

Фактически этот пусковой орган реагирует на приращение вектора тока

$DI_1 = I_{1\ T(n+1)} - I_{1\ T(n)}$, где n - № периода промышленной частоты. [2]. Этот пусковой орган позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ.

Алгоритм этого органа обеспечивает отстройку от тока небаланса прямой последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра. По данным разработчика необходимо выбирать $DI_{1бл\ уст}$ в 4 раза больше, чем $DI_{2бл\ уст}$.

$$DI_{1бл\ уст} = k_{отс} * DI_{2бл\ уст}, \quad (6-19)$$

где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс}=4$;

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

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

По данным разработчика необходимо выбирать $DI_{1от\ уст}$ в 4 раза больше, чем $DI_{2от\ уст}$.

$$DI_{1от\ уст} = k_{отс} * DI_{2от\ уст}, \quad (6-20)$$

где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс}=4$;

$DI_{2от\ уст}$ - уставка отключающего токового органа с пуском по DI_2 .

Коэффициент чувствительности k_{χ} не проверяется.

6.6 Орган манипуляции. Коэффициент комбинированного фильтра токов

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 векторов токов kI_2 с учетом тока нагрузки. Чем больше K , тем меньше влияние токов нагрузки в режиме, предшествующем КЗ. Однако, следует учитывать, что при больших значениях этого коэффициента возрастает влияние тока небаланса ТТ при внешних симметричных КЗ на правильность измерения фазы первичного тока.

6.6.1 Если расчет в АРМ производился без учета тока нагрузки, то К рассчитывается по формуле:

$$K = 1,5 * \max ((I_1^{(1,1)} + I_{\text{нагр}}) / I_2^{(1,1)}) \text{ или } (I_{\text{нагр}} / I_2^{(1)}) [1], \quad (6-21)$$

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

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

$I_2^{(1)}$ - ток обратной последовательности однофазного КЗ;

$I_{\text{нагр}}$ - ток нагрузки.

Если коэффициент К получился больше 10, то надо произвести расчет с учетом токов нагрузки, как указано в п. 6.6.2.

6.6.2 Если расчет токов КЗ в АРМ производился с учетом тока нагрузки, то для каждого полуконтакта рассчитывается коэффициент К:

$$K = 1,5 * \max ((I_1^{(1,1)} / I_2^{(1,1)}) \text{ или } (I_1^{(1)} / I_2^{(1)})), \quad (6-22)$$

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.

6.6.3 Если К получился меньше или равным 6, то К приравнивают к 6.

Если К получился больше 6, но меньше или равным 8, то К приравнивают к 8.

Если К получился больше 8, но меньше или равным 10, то К приравнивают к 10.

Окончательно коэффициент комбинированного фильтра токов К выбирается наибольшим из рассчитанных для двух или более комплектов и обязательно одинаковыми для всех концов ВЛ.

6.6.4 Определение коэффициента чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ.

Так как пуск органа манипуляции происходит при токе, равном $I_{2\text{бл уст}}$, то коэффициент чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ необходимо рассчитывать по формуле:

$$K_{\text{ч ман несим}} = [\min ((| I_2^{(1,1)} - (I_1^{(1,1)} / K) |) \text{ или } (| I_2^{(1)} - I_{\text{max раб}} / K |))] / I_{2\text{бл уст}} \quad (6-23)$$

где К - коэффициент комбинированного фильтра токов;

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

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

$I_2^{(1)}$ - ток обратной последовательности однофазного КЗ;

$I_{\text{max раб}}$ - максимальный рабочий ток;

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

Знаки минус означают, что соответствующие векторы в худшем случае находятся в противофазе.

Коэффициент чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ $K_{\text{ч ман несим}}$ должен быть больше 1,3.

6.6.5 Определение коэффициента чувствительности манипуляции при симметричных КЗ.

По данным разработчика разрешение на манипуляцию происходит при токе, равном $I_{2\text{бл уст}}$, поэтому коэффициент чувствительности необходимо определять так:

$$K_{\text{чмансим}} = \frac{\min(I_1^{(3)})}{K \cdot I_{2\text{блуст}}}, \quad (6-24)$$

где $I_1^{(3)}$ - ток прямой последовательности трехфазного КЗ;

K - коэффициент комбинированного фильтра токов;

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

Коэффициент чувствительности манипуляции при симметричных КЗ $K_{\text{чмансим}}$ должен быть больше 1,3.

6.7 Орган сравнения фаз. Выбор уставки по углу блокировки

Уставка $\Phi_{\text{бл}}$ 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 линии, а так же, если на линии будут устанавливаться разнотипные защиты: микропроцессорная и электромеханическая (таблица 6-2).

Таблица 6-2

Длина линии	Угол блокировки защиты $\Phi_{\text{бл}}$
Больше или равна 150 км	65°
От 60 км до 150 км	60°
Меньше 60 км	50°

Если устанавливаются разнотипные защиты по концам линии, то угол блокировки защиты принимается равным $\Phi_{\text{бл}}=65^{\circ}$.

6.8 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{откл}}$

6.8.1 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{откл}}$ по активной составляющей $R_{\text{откл}}$:

Уставка по активной составляющей $R_{\text{откл}}$ определяется исходя из отстройки от минимального сопротивления нагрузки линии.

$$R_{\text{откл уст}} = (R_{\text{раб мин}} - X_{\text{раб мин}} / \text{tg}(\Phi_{\text{мч}})) / k_{\text{н}}, \quad (6-25)$$

$R_{\text{раб мин}}$ - минимальное активное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению (6-26);

$X_{\text{раб мин}}$ - минимальное реактивное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению (6-27);

$\Phi_{\text{мч}}$ - угол максимальной чувствительности;

$k_{\text{н}}$ - коэффициент надежности принимается равным $k_{\text{н}}=1,6$.

$$R_{\text{раб мин}} = 0,9 * U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} * I_{\text{мах раб}}) * \cos(\Phi_{\text{н}}), \quad (6-26)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение ВЛ;

$I_{\text{мах раб}}$ - максимальный рабочий ток;

$\Phi_{\text{н}}$ - угол нагрузки.

$$X_{\text{раб мин}} = 0,9 * U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} * I_{\text{мак раб}}) * \sin(\Phi_{\text{н}}), \quad (6-27)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение ВЛ;

$I_{\text{мак раб}}$ - максимальный рабочий ток;

$\Phi_{\text{н}}$ - угол нагрузки.

Проверка чувствительности при КЗ через $R_{\text{переходное}}$.

Необходимо сравнить замер активного сопротивления при КЗ на шинах ПС ответвления и активное сопротивление линии и выбрать наибольшее:

$$R_{\text{чувст}} = 1,5 * (\max(R_{\text{мак отв}} \text{ или } R_{1 \text{ уд}} * L) + R_{\text{дуги}} * (1 + I_1^{(3)} \text{ II} / I_1^{(3)} \text{ I})), \quad (6-28)$$

где $R_{\text{мак отв}}$ - максимальная величина сопротивления при КЗ на шинах ПС ответвлений рассчитывается по выражению (6-29);

$R_{1 \text{ уд}}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

L - длина ВЛ;

$R_{\text{дуги}}$ - активное сопротивление дуги.

$I_1^{(3)} \text{ I}$ - максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 1;

$I_1^{(3)} \text{ II}$ - максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 2;

$$R_{\text{мак отв}} = \cos(\Phi_{\text{мч}}) * \max(U_{\text{А ост отв}} / I_1^{(3)} \text{ отв}), \quad (6-29)$$

где $\Phi_{\text{мч}}$ - угол максимальной чувствительности;

$U_{\text{А ост отв}}$ - остаточное напряжение при трехфазном КЗ на ПС ответвления;

$I_1^{(3)} \text{ отв}$ - ток прямой последовательности при трехфазном КЗ на ПС ответвления.

$R_{\text{чувст}}$ должно быть меньше или равно $0,7 * R_{\text{откл уст}}$:

$$R_{\text{чувст}} \leq 0,7 * R_{\text{откл уст}} \quad (6-30)$$

Если неравенство (6-30) не выполняется, то защита не проходит по чувствительности.

6.8.2 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{откл}}$ по реактивной составляющей $X_{\text{откл}}$.

Уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО $X_{\text{откл}}$ определяется исходя из двух критериев:

- обеспечение чувствительности при КЗ на шинах ПС ответвления - $X_{\text{откл отв уст}}$;

$$X_{\text{откл отв уст}} = 1,5 * \sin(\Phi_{\text{мч}}) * \max(U_{\text{А ост отв}} / I_1^{(3)} \text{ отв}), \quad (6-31)$$

где $\Phi_{\text{мч}}$ - угол максимальной чувствительности;

$U_{\text{А ост отв}}$ - остаточное напряжение при трехфазном КЗ на ПС ответвления;

$I_1^{(3)} \text{ отв}$ - ток прямой последовательности при трехфазном КЗ на ПС ответвления.

- надежный охват всей длины линии - $X_{\text{откл L уст}}$.

Если длина линии $L \geq 150$ км, то

$$X_{откл L уст} = 1,5 * X_{1уд} * L, \quad (6-32)$$

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

L - длина ВЛ.

Если длина линии $L < 150$ км, то

$$X_{откл L уст} = 2 * X_{1уд} * L. \quad (6-33)$$

Окончательно $X_{откл уст}$ выбирается максимальной из $X_{откл L уст}$ и $X_{откл отв уст}$.

Окончательный выбор уставок по R и X производится после проверки чувствительности с учетом R дуги по программе АРМ (влияние дуги будет точнее): т.е. рассчитываются максимальные замеры $R_{чувст}$ и $X_{чувст}$ при КЗ в конце линии и на подстанциях ответвлений, при этом при этом должно выполняться неравенство:

$$R_{чувст} \leq 0,8(R_{откл уст} + X_{чувст} / \text{tg}(\Phi_{мч})) \text{ и } X_{чувст} \leq 0,8X_{откл уст}. \quad (6-34)$$

6.8.3 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{откл}$ по углу максимальной чувствительности.

Угол максимальной чувствительности вычисляется алгоритмом защиты, исходя из заданных удельных параметров линии. Ниже приводятся формулы для его расчета:

Угол наклона характеристики ИО $Z_{откл}$ к оси R :

$$\Phi_R = \arctg(X_{1уд} / R_{1уд}), \quad (6-35)$$

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

$R_{1уд}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности.

Угол наклона характеристики ИО $Z_{откл}$ к оси X :

$$\Phi_X = 90^\circ - \Phi_R, \quad (6-36)$$

6.9 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{отв}$

6.9.1 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 уставке $R_{откл}$.

$$R_{отв уст} = R_{откл уст} \quad (6-37)$$

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

Уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО $X_{отв}$ определяется исходя из следующих критериев:

- отстройка от КЗ за трансформаторами ответвления - $X_{отв кз уст}$;

$$X_{отв кз уст} = k_n * \min(X_{отстр отв1}, X_{отстр отв2}, \dots, X_{отстр отвN}), \quad (6-38)$$

где $X_{отстр\ отвл1...N}$ - сопротивление в месте установки защиты при КЗ за трансформатором ответвления рассчитывается по выражению (6-39);

k_H - коэффициент надежности равен $k_H=0,85$.

$$X_{отстр\ отвлX} = X_{отвлX-п/ст} + (X_{отвлX-тр-р} + X_{тр\ отвл}^{(1)})/K_T, \quad (6-39)$$

где $X_{отвлX-п/ст}$ - сопротивление ВЛ от ответвления X до ПС, где установлена защита;

$X_{отвлX-тр-р}$ - сопротивление ВЛ от ответвления X до трансформатора ответвления;

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

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

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

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

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

$$X_{тр\ БНТ\ уст} = C_b * (X_{тр\ экв}^{(1)} + X_c) - X_c, \quad (6-40)$$

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];

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

X_c - сопротивление системы рассчитывается по выражению (6-41);

$$X_c = (U_{ном} - (X_{1\ уд} * L) * I^{(3)}) / I^{(3)}, \quad (6-41)$$

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

$X_{1\ уд}$ - 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 необходимо использовать двухфазное включение. Но все трансформаторы учитываются сопротивлениями $X_{тр\ отвл}^{(1)}$, так как ток двухфазного включения наиболее просто выразить через значение броска намагничивающего тока при однофазном включении при заземлении всех нейтралей. [1]

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

$$X_{тр\ экв}^{(1)} = (X_{тр\ отвл}^{(1)} + X_{1уд} * L_{отвл-тр}) + X_{1уд} * L_{отвл-пст1}, \quad (6-42)$$

где $X_{тр\ отвл}^{(1)}$ - сопротивление трансформатора ответвления при КЗ⁽¹⁾ рассчитывается по формуле (6-43);

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

$L_{\text{отв-тр}}$ - длина ВЛ от ответвления до трансформатора;

$L_{\text{отвл-пст1}}$ - длина ВЛ от первого ответвления до ПС.

$$X_{\text{тр отв}}^{(1)} = X_{\text{тр \%}}^{(1)} * (U_{\text{ном тр отв}} - U_{\text{РПН тр отв}})^2 / (100 * S_{\text{ном тр отв}}), \quad (6-43)$$

где $X_{\text{тр \%}}^{(1)}$ - сопротивление трансформатора в % при однофазном включении рассчитывается по формуле (6-44);

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

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

$S_{\text{ном тр отв}}$ - номинальная мощность трансформатора ответвления.

$$X_{\text{тр \%}}^{(1)} = (A + U_{\text{кз тр отв}}) / B, \quad (6-44)$$

где $U_{\text{кз тр отв}}$ - напряжение КЗ трансформатора ответвления;

A - коэффициент принимается по таблицам 6-3 и 6-4;

B - коэффициент принимается по таблицам 6-3 и 6-4.

Таблица 6-3

Коэффициенты А и В для трансформатора

Мощность трансформатора	А	В
До 60 МВА (включительно)	12,7	1,35
Выше 60 МВА	21,4	1,35

Таблица 6-4

Коэффициенты А и В для автотрансформатора

Мощность автотрансформатора	А	В
До 125 МВА (включительно)	25,7	1,3
Выше 125 МВА	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 и рассчитывается $X_{\text{тр экв}}^{(1)}$.

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

$$X_{\text{отв уст}} = \min (X_{\text{отв кз уст}} \text{ и } X_{\text{тр БНТ уст}}) \quad (6-45)$$

Проверка чувствительности

Чувствительность проверяется по выражению (6-46) - обеспечение чувствительности при КЗ на шинах ПС ответвления и надежного охвата всей длины линии:

$$X_{\text{отв уст}} \geq X_{\text{откл уст}}, \quad (6-46)$$

где $X_{\text{откл уст}}$ - уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО $X_{\text{откл}}$.

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 [1] и производится новый расчет $X_{отв кз уст}$.

Если защита не проходит по чувствительности и при этом определяющим является

$X_{тр БНТ уст}$, то на самом мощном ответвлении устанавливается отдельный комплект защиты и производится новый расчет $X_{тр БНТ уст}$ **без учета этого ответвления.**

6.9.3 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{отв}$ по углу максимальной чувствительности и характеристическим углам.

Угол максимальной чувствительности вычисляется алгоритмом защиты, исходя из заданных удельных параметров линии (он равен углу наклона характеристики ИО $Z_{от}$ к оси R). Ниже приводятся формулы для его расчета.

Угол наклона характеристики ИО $Z_{отв}$ к оси R:

$$\Phi_{ротв} = \arctg(X_{1 уд} / R_{1 уд}), \quad (6-47)$$

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

$R_{1 уд}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности.

Угол наклона нижней правой части характеристики к оси R (IY четверть) - $\Phi_{И2} = (-15)$ градусов.

Угол наклона нижней левой части характеристики к оси X (II четверть)

$\Phi_{И3} = 115$ градусов.

6.10 Выбор уставки токового органа с пуском по току нулевой последовательности I_0 , действующего на блокировку и отключение

В большинстве случаев уставки по току нулевой последовательности необходимо выбирать самыми грубыми, так как наличие пуска блокировки по $3I_0$ может привести к отказу защиты (см. рис. 6-2): питание с одной стороны, на другой стороне силовой трансформатор с заземленной нейтралью.

- внутреннее КЗ с землей при отсутствии нагрузки.

В этом случае при наличии пуска по I_0 передатчик другого конца линии будет пущен, а токов I_2 - не будет, т.е. не будет манипуляции передатчиком, что приведет к отказу защиты питающего конца. Поэтому пуск ВЧ по I_0 нежелателен.

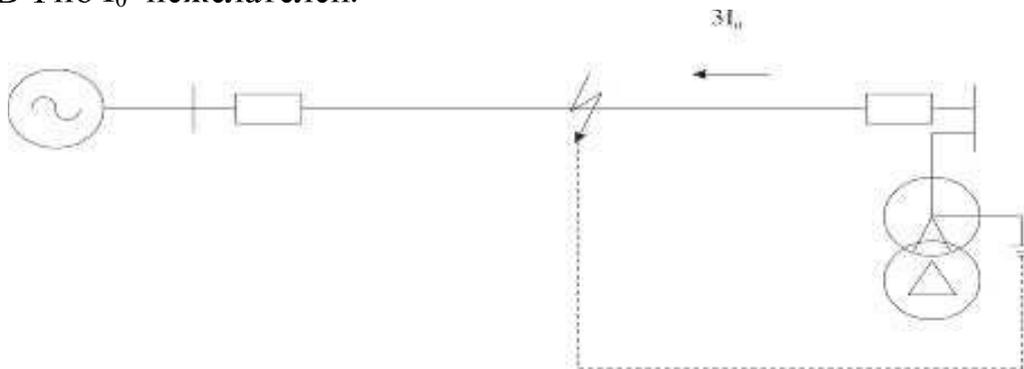


Рисунок 6-2 Случай отсутствия манипуляции со вторым концом линии при пуске передатчика от $3 I_0$

6.11 Назначение программных переключателей ХВ и элементов времени [11]

Назначения программных переключателей ХВ приведены в таблице 6-5. Назначения и параметры элементов времени приведены в таблице 6-6.

Таблица 6-5

Назначение программных переключателей ХВ

Обозначение	Назначение	Положение
ХВ1	Работа на ВЛ с ответвлениями	0 -предусмотрена
		1 -не предусмотрена
ХВ2	Работа в сети с тяговой нагрузкой	0 -предусмотрена
		1 -не предусмотрена
ХВ3	Работа с ОАПВ	0 -предусмотрена
		1 -не предусмотрена
ХВ4	Трансформатор напряжения	0 -на шинах
		1 -на линии
ХВ5	Подтверждение пуска УРОВ от РПВ (КQC)	0 -предусмотрено
		1 -не предусмотрено
ХВ6	Действие УРОВ «на себя»	0 -не предусмотрено
		1 -предусмотрено
ХВ7	Пуск ВЧ при выводе защиты	0 -не предусмотрен
		1 -предусмотрен
ХВ8	Сигнализация пуска на отключение	0 -не предусмотрена
		1 -предусмотрена
ХВ9	Инверсия сигнала запрета АК	0 -не предусмотрена
		1 -предусмотрена
ХВ10	ПО Io	0 -выведен
		1 -в работе
ХВ11	Совместная работа с ДФЗ-201 (ДФЗ-504)	0 -не предусмотрена
		1 -предусмотрена
ХВ12	Обмен ВЧ сигналами	0 -не манипулированный
		1 -манипулированный
ХВ13	Фазировка ОМ ДФЗ-504	0 -не предусмотрена
		1 -предусмотрена

Таблица 6-6

Назначение и параметры элементов времени

Обозначение	Назначение	t, с
DT1	Ввод Z_{OT}	0,2
DT2	Действие БНН	5,0
DT3	Задержка сигнала отключения	0,001...0,15
DT4	Вывод подхвата от Z_{OT}	0,2
DT5	Задержка запрета пуска ВЧ	0,005
DT6	Продление запрета пуска ВЧ	0,2
DT7	Продление запрета АПК	0,6
DT8	Задержка отключения от РЗ	0,02
DT9	Задержка пуска УРОВ	0,02
DT10	Продление пуска УРОВ	0,1
DT11	Задержка сигнала на выходе ОСФ	0,04
DT12	Продление запрета сигнала отключения	0,05
DT13	Продление сигнала отключения	0,025
DT14	Продление сигнала пуска ВЧ	0,6
DT15	Задержка сигнала «Вызов»	5,0
DT16	Задержка действия УРОВ	0,1...0,6
DT17	Задержка сигнализации вывода ДФЗ	2,0
DT18	Задержка сигнала «Неиспр.ПП»	2,0
DT19	Задержка сигнализации запрета ВЧ	5,0
DT20	Продление сигнала отключения ДФЗ	0,025
DT21	Задержка взятия данных для ОМП	0,01...0,06
DT22	Время проверки светодиодов	3,0
DT23	Задержка сигнала отключ. для ВЛ без ответвлений	0,01
DT24	Задержка сигнала отключ. для ВЛ с ответвлениями	0,02
DT25	Подхват сигнала отключения от ДФЗ	0,02
DT26	Продление сигнала пуска внешнего УРОВ	0,025

7 Основные требования стандарта к выбору уставок высокочастотной микропроцессорной защиты ШЭ 2710 581

7.1 Выбор уставки токовых органов с пуском по вектору разности фазных токов I_L

7.1.1 Выбор уставки токового органа с пуском по вектору разности фазных токов I_L , действующего на блокировку.

Уставки выбираются одинаковыми для обоих (или в случае многоконцевой линии трех и более) комплектов, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же наибольший из максимальных рабочих токов $I_{\max \text{ раб}}$ по концам линии.

Уставка $I_{L \text{ бл уст}}$ выбирается исходя из обеспечения чувствительности при внешних симметричных КЗ с большим током. Если при внешнем КЗ⁽³⁾ от большого тока сработает I_{20T} , (от небаланса) на одном конце, а на другом конце линии $I_{2бл}$ не сработает, то на обоих концах будет надежный пуск блокировки. $I_{L \text{ бл уст}}$ отстраивается от максимального рабочего тока $I_{\max \text{ раб}}$. Если при выборе уставок других пусковых органов, они не пройдут по чувствительности, то необходимо при выборе уставок всех пусковых органов заменить $I_{\max \text{ раб}}$ на $I_{\text{нагр}}$.

$$I_{L \text{ бл уст}} = \sqrt{3} * k_{отс} * I_{\max \text{ раб}} (\text{или } I_{\text{нагр}}), \quad (7-1)$$

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

$I_{\max \text{ раб}}$ - максимальный рабочий ток, выбирается наибольший из двух концов линии;

$I_{\text{нагр}}$ - ток нагрузки.

7.1.2 Выбор уставки токового органа с пуском по вектору разности фазных токов I_L , действующего на отключение.

Уставка $I_{L \text{ от уст}}$ выбирается исходя из отстройки от $I_{L \text{ бл уст}}$.

$$I_{L \text{ от уст}} = k_{отс} * I_{L \text{ бл уст}}, \quad (7-2)$$

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

$I_{L \text{ бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по векторной разности фазных токов;

7.2 Выбор уставки токовых органов с пуском по току обратной последовательности I_2

Этот орган используется только для двухконцевой линии. В случае трехконцевой линии используется только орган U_2 из-за сложности учета компенсации емкостных токов.

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

Для обоих полуккомплектов уставки выбираются предварительно (до определения коэффициента чувствительности). После определения коэффициента чувствительности, уставки могут быть скорректированы.

Уставка токового органа с пуском по току обратной последовательности $I_{2\text{ бл уст}}$ 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.

$$I_{2\text{ бл уст}} = k_{\text{отс}} * I_{2\text{ нб расч}} / k_{\text{возв}}, \quad (7-3)$$

где $I_{2\text{ нб расч}}$ - расчетный ток небаланса обратной последовательности рассчитывается по выражению (7-4);

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

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

$$I_{2\text{ нб расч}} = (I_{\text{л бл уст}} / \sqrt{3}) * \sqrt{[(\epsilon_1/3)^2 + (k_f * Df)^2 + (D\phi)^2 + (k_{2\text{ несим}})^2]} = (I_{\text{л бл уст}} / \sqrt{3}) * 0,024, \quad (7-4)$$

где $I_{\text{л бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по I_L ;

ϵ_1 - полная погрешность ТТ принимается равной $\epsilon_1 = 0,03$, согласно ГОСТ 7746-2001 Трансформаторы тока. Общие технические условия.

k_f - коэффициент частотной зависимости ФТОП по данным разработчика принимается равным $k_f = 0,23$; [2]

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 $k_{2\text{ несим}} = 0,02$, согласно ГОСТ 13109 Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения.

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

Уставка $I_{2\text{ от уст}}$ выбирается исходя из следующих критериев:

- отстройки от $I_{2\text{ бл уст}}$ того конца линии, с которым согласовывается данный комплект, с учетом коэффициента отвлечения;

$$I_{2\text{ от уст}} = k_{\text{отс}} * I_{2\text{ бл уст}}, \quad (7-5)$$

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

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

Отстройки от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение, не требуется, т.к. в защите осуществляется компенсация емкостного тока.

7.2.3 Определение коэффициента чувствительности токового отключающего органа I_2 .

Коэффициент чувствительности рассчитывается для каждого полуконспекта.

$$k_{\text{ч}} = (I_{2 \text{ КЗ min}} - I_{2 \text{ емк}}^1) / I_{2 \text{от уст}}, \quad (7-6)$$

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

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

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

$$I_{2 \text{ емк}} = U_{2 \text{КЗ}} / (b_{\text{с}} / 2), \quad (7-7)$$

где $b_{\text{с}}$ - емкостная проводимость линии;

$U_{2 \text{КЗ}}$ – напряжение обратной последовательности в том режиме, по которому определяется $I_{2 \text{ КЗ min}}$;

Если $k_{\text{ч}} > 2$, то необходимо заглубить уставку до $k_{\text{ч}} = 2$ для полукомплекта с наименьшим коэффициентом чувствительности.

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

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

Для обоих полукомплектов уставки (п. 7.3.1 и п. 7.3.2) выбираются предварительно (до определения коэффициента чувствительности). После определения коэффициента чувствительности, уставки могут быть скорректированы (подробнее в п.7.3.3).

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

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

$$U_{2 \text{ бл уст}} = k_{\text{отс}} * U_{2 \text{нб расч}} / k_{\text{возв}}, \quad (7-8)$$

где $k_{\text{отс}}$ - 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 (7-9).

$$\begin{aligned} U_{2 \text{нб расч}} &= (U_{\text{ном}} / \sqrt{3}) * \sqrt{[(\varepsilon_1 / 3)^2 + (k_f * Df)^2 + (D\phi)^2 + (k_2 \text{ несим})^2]} = \\ &= (U_{\text{ном}} / \sqrt{3}) * 0,024, \end{aligned} \quad (7-9)$$

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 принимается равным $Df = 0,03$;

¹ В зависимости от вида КЗ угол между векторами $I_{2 \text{ КЗ min}}$ и $I_{2 \text{ емк}}$ не более 40° , в формуле 7-5а угол принят равным 0° .

Дф - относительная погрешность настройки фильтра с учётом погрешности принимается равным Дф=0,005;

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

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

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

$$U_{2\text{от уст}} = k_{\text{отс}} * U_{2\text{бл уст}}, \quad (7-10)$$

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 .

7.3.3 Определение коэффициента чувствительности для каждого полуккомплекта.

$$k_{\text{ч}} = U_{2 \text{ кз min}} / U_{2\text{от уст}}, \quad (7-11)$$

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 $I_2 * Z_k$:

$$U_{2 \text{ кз min к}} = \min \left[\left(\overline{U_2^{(1,1)}} - \overline{I_2^{(1,1)}} \cdot j \cdot K_{\text{комп}} \cdot X_{2\text{уд}} \cdot L \right) \text{ или } \left(\overline{U_2^{(1)}} - \overline{I_2^{(1)}} \cdot j \cdot K_{\text{комп}} \cdot X_{2\text{уд}} \cdot L \right) \right], \quad (7-12)$$

где $U_2^{(1,1)}$ - напряжение обратной последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$U_2^{(1)}$ - напряжение обратной последовательности при однофазном КЗ;

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

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

$X_{2 \text{ уд}} = X_{1 \text{ уд}}$ - реактивное удельное сопротивление ВЛ обратной (прямой) последовательности;

$K_{\text{комп}} = 0,5$;

L - длина ВЛ.

С учетом того, что U_2 и $I * jX_1$ находятся в противофазе:

$$U_{2 \text{ кз min к}} = \min \left[\left(U_2^{(1,1)} + I_2^{(1,1)} \cdot K_{\text{комп}} \cdot X_{2\text{уд}} \cdot L \right) \text{ или } \left(U_2^{(1)} + I_2^{(1)} \cdot K_{\text{комп}} \cdot X_{2\text{уд}} \cdot L \right) \right] \quad (7-13)$$

Если $k_{\text{ч}} > 2$, то на том конце линии, где $k_{\text{ч}}$ меньше, необходимо загрузить его до $k_{\text{ч}} = 2$.

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

$$U_{2\text{бл уст}} = U_{2\text{от уст}} / k_{\text{отс}}, \quad (7-14)$$

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

7.4 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_2

7.4.1 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_2 , действующего на блокировку.

Фактически этот пусковой орган реагирует на приращение вектора тока $DI_2 = I_{2T(n+1)} - I_{2T(n)}$, где n - № периода промышленной частоты. [2]. Алгоритм этого органа обеспечивает отстройку от тока небаланса обратной последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра. Этот пусковой орган позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ.

$$DI_{2\text{бл уст}} = k_{\text{отс}} * I_{2\text{бл уст}}, \quad (7-15)$$

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 I_2 .

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

Уставка $DI_{2\text{от уст}}$ выбирается исходя из отстройки от уставки блокирующего токового органа с пуском по приращению DI_2 - $DI_{2\text{бл}}$.

$$DI_{2\text{от уст}} = k_{\text{отс}} * DI_{2\text{бл уст}}, \quad (7-16)$$

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

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

Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ не проверяется.

7.5 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1

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

Фактически этот пусковой орган реагирует на приращение вектора тока $DI_1 = I_{1T(n+1)} - I_{1T(n)}$, где n - № периода промышленной частоты. [2] Алгоритм этого органа обеспечивает отстройку от тока небаланса прямой последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра.

Этот ПО позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ.

По данным разработчика уставка $DI_{1\text{бл уст}}$ рассчитывается по формуле:

$$DI_{1\text{бл уст}} = k_{\text{отс}} * DI_{2\text{бл уст}}, \quad (7-17)$$

где $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}}=4$;

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

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

По данным разработчика уставка $DI_{1\text{от уст}}$ рассчитывается по формуле:

$$DI_{1\text{от уст}} = k_{\text{отс}} * DI_{2\text{от уст}}, \quad (7-18)$$

где $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}}=4$;

$DI_{2от\ уст}$ - уставка отключающего токового органа с пуском по DI_2 .

Коэффициент чувствительности k_q не проверяется.

7.6 Орган манипуляции. Коэффициент комбинированного фильтра токов

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 kI_2 с учетом тока нагрузки. Чем больше K , тем меньше влияние токов нагрузки в режиме, предшествующем КЗ. Следует учитывать, что при больших значениях этого коэффициента возрастает влияние тока небаланса ТТ при внешних симметричных КЗ на правильность измерения фазы первичного тока.

7.6.1 Если расчет в АРМ производился без учета тока нагрузки:

Так как пуск органа манипуляции происходит при токе, равном $I_{2бл\ уст}$, то коэффициент чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ рассчитывается по формуле:

$$K = 1,5 * \max (((I_1^{(1,1)} + I_{нагр}) / I_2^{(1,1)}) \text{ или } (I_{нагр} / I_2^{(1)})) [1], \quad (7-19)$$

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

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

$I_2^{(1)}$ - ток обратной последовательности однофазного КЗ;

$I_{нагр}$ - ток нагрузки.

Если коэффициент K получился больше 10, то надо произвести расчет с учетом токов нагрузки, как указано в п. 7.6.2.

7.6.2 Если расчет токов КЗ в АРМ производился с учетом тока нагрузки, то для каждого полукомплекта рассчитывается коэффициент K :

$$K = 1,5 * \max ((I_1^{(1,1)} / I_2^{(1,1)}) \text{ или } (I_1^{(1)} / I_2^{(1)})), \quad (7-20)$$

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.

7.6.3 Если K получился меньше или равным 6, то K принимают равным 6.

Если K получился больше 6, но меньше или равным 8, то K принимают равным 8.

Если K получился больше 8, но меньше или равным 10, то K принимают равным 10.

Окончательно коэффициент комбинированного фильтра токов K выбирается наибольшим из рассчитанных для двух полукомплектов.

7.6.4 Определение коэффициента чувствительности манипуляции при несимметричных КЗ.

$$K_{ч\ ман\ несим} = [\min ((|I_2^{(1,1)} - (I_1^{(1,1)} / K)| \text{ или } (|I_2^{(1)} - I_{макс\ раб} / K|))] / I_{2бл\ уст} \quad (7-21)$$

где K - коэффициент комбинированного фильтра токов;
 $I_1^{(1,1)}$ - ток прямой последовательности двухфазного КЗ на землю;
 $I_2^{(1,1)}$ - ток обратной последовательности двухфазного КЗ на землю;
 $I_2^{(1)}$ - ток обратной последовательности однофазного КЗ;
 $I_{\max \text{ раб}}$ - максимальный рабочий ток;
 $I_{2\text{бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по I_2 .

Знаки минус означают, что соответствующие векторы в худшем случае находятся в противофазе.

Коэффициент чувствительности манипуляции при симметричных КЗ $K_{\text{ч ман сим}}$ должен быть больше 1,3.

7.6.5 Определение коэффициента чувствительности манипуляции при симметричных КЗ.

$$K_{\text{ч ман сим}} = \frac{\min(I_1^{(3)})}{K \cdot I_{2\text{бл уст}}}, \quad (7-22)$$

где $I_1^{(3)}$ - ток прямой последовательности трехфазного КЗ;
 K - коэффициент комбинированного фильтра токов;
 $I_{2\text{бл уст}}$ - уставка блокирующего токового органа с пуском по I_2 .

Коэффициент чувствительности манипуляции при симметричных КЗ $K_{\text{ч ман сим}}$ должен быть больше 1,3.

7.7 Орган сравнения фаз. Выбор уставки по углу блокировки

Уставка $\Phi_{\text{бл}}$ 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 линии, а так же, если на линии будут устанавливаться разнотипные защиты: микропроцессорная и электромеханическая (таблица 7-1).

Таблица 7-1

Длина линии	Угол блокировки защиты $\Phi_{\text{бл}}$
Больше или равна 150 км	65°
От 60 км до 150 км	60°
Меньше 60 км	50°

Если устанавливаются разнотипные защиты по концам линии, то угол блокировки защиты принимается равным $\Phi_{\text{бл}}=65^{\circ}$.

7.8 Выбор уставки реле сопротивления ДФЗ (одновременно исполняет функцию избирателя поврежденной фазы ОАПВ)

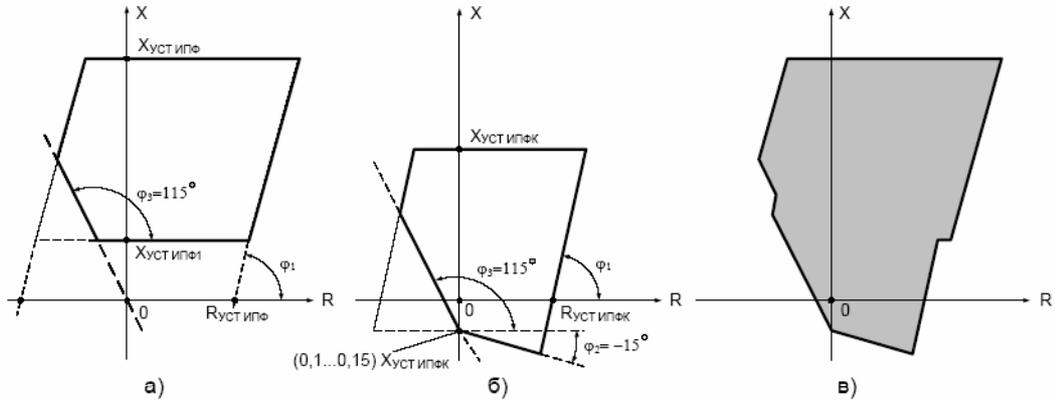


Рисунок 7-1 Характеристики срабатывания ИО сопротивления избирателей поврежденной фазы: а) с полным коэффициентом компенсации тока нулевой последовательности; б) с уменьшенным регулируемым коэффициентом компенсации тока нулевой последовательности; в) суммарная характеристика срабатывания избирателя поврежденной фазы

$$\begin{cases} |X| < X_{уст \text{ ИПФ}} \\ \left| R - \frac{X}{\operatorname{tg} \varphi_1} \right| < R_{уст \text{ ИПФ}} \\ X > X_{уст \text{ ИПФ1}} \\ \frac{X}{\operatorname{tg} \varphi_2} - R < 0 \end{cases} \quad (7-23)$$

$$\begin{cases} |X| < X_{уст \text{ ИПФК}} \\ \left| R - \frac{X}{\operatorname{tg} \varphi_1} \right| < R_{уст \text{ ИПФК}} \\ \left(X + \frac{X_{уст \text{ ИПФК}}}{8} \right) \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_2} - R < 0 \\ \left(\frac{X_{уст \text{ ИПФК}}}{8} \right) - R \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 + X > 0 \end{cases} \quad (7-24)$$

Алгоритм избирателя поврежденной фазы вычисляет замер комплексного сопротивления Z по формуле:

$$Z = \frac{\vec{U}_\Phi}{\vec{I}_\Phi + k_{ym} \cdot (\vec{k}_1 \cdot 3\vec{I}_0 + \vec{k}_2 \cdot 3\vec{I}_{0//})}, \text{ где}$$

$$\vec{k}_1 = \frac{Z_{0y\delta} - Z_{1y\delta}}{3 \cdot Z_{1y\delta}}; \quad (7-25)$$

$$\vec{k}_2 = \frac{M_{0y\delta}}{3 \cdot Z_{1y\delta}}.$$

где Φ - фаза А, В, и С.

$Z_{0УД}$, $Z_{1УД}$ - удельное комплексное сопротивление для составляющих нулевой и прямой последовательностей защищаемой линии соответственно;

$M_{0УД}$ - удельное комплексное сопротивление взаимной индукции с параллельной линией для составляющих нулевой последовательности;

$k_{УМ}$ - коэффициент степени компенсации токов нулевой последовательности.

Коэффициент уменьшения компенсации «нижней» характеристики - регулируемый. В начале расчета он принимается равным $k_{УМ} = 1$.

Расчет уставок «верхней» и «нижней» характеристик с полным коэффициентом компенсации.

В таблице 7-2 представлен список необходимых замеров, которые должны быть выполнены в любой расчетной программе типа АРМ или ТКЗ РЕЛЕ. Один и тот же замер необходимо выполнять при согласном и встречном перетоке мощности.

Таблица 7-2

Список необходимых замеров

Номер образовавшегося в результате расчета массива	Точка КЗ	Вид КЗ	Замеры активных и реактивных составляющих сопротивлений в месте установки защиты					
			RA	XA	RB	XB	RC	XC
Z_1- для отстройки, далее отстроечные замеры	Начало линии	A0			*	*	*	*
	Конец линии				*	*	*	*
Z_2- для отстройки		Цикл ОАПВ, откл. Ф.А			*	*	*	*
Z_3 - для отстройки		Цикл ОАПВ, включение Ф.А (успешное)			*	*	*	*
Z_4- для определения чувствительности	Начало линии	A0 переходное	*	*				
	Конец линии		*	*				
Z_5- для определения чувствительности	Начало линии	A0 переходное в каскаде	*	*				
	Конец линии		*	*				
Z6 - Z _{раб мин} считается по формуле (7-24)		Нагрузочный режим (макс)	*	*				

$$R_{\text{раб мин}} = 0,9 * U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} * I_{\text{макс раб}}) * \cos(\Phi_{\text{н}})$$

$$X_{\text{раб мин}} = 0,9 * U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} * I_{\text{макс раб}}) * \sin(\Phi_{\text{н}}), \quad (7-26)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение ВЛ;

$I_{\text{макс раб}}$ - максимальный рабочий ток нагрузки;

Φ_n - угол нагрузки.

7.9 Определение угла максимальной чувствительности

Угол максимальной чувствительности $\Phi_{мч}$ при вводе в защиту параметров линии рассчитывается алгоритмом защиты. Ниже приводится формула (7-27).

$$\Phi_{мч} = \arctg(X_{1\text{ уд}} / R_{1\text{ уд}}), \quad (7-27)$$

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

$R_{1\text{ уд}}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности.

7.10 Нанесение полученных замеров R,X (таблица 7-2) на комплексную плоскость сопротивлений

Полученные замеры необходимо нанести в масштабе от руки на бумаге или в любом графическом редакторе. На рис.7-2 и 7-3 замеры для каждой характеристики построены на своей комплексной плоскости, так как в общем случае, если K_{ym} не равен 1, они считаются по разным формулам. В начале расчета его рекомендуется принять равным 1, поэтому характеристики и замеры наносятся на одну комплексную плоскость. Синими (голубыми) точками показаны замеры, выполненные для проверки чувствительности, рыжими (желтыми) - замеры, от которых необходимо отстроится. Для срабатывания достаточно, чтобы конкретный замер по определению чувствительности, попал хотя бы в одну из двух характеристик, но отстроечные замеры не должны попадать ни в одну из характеристик.

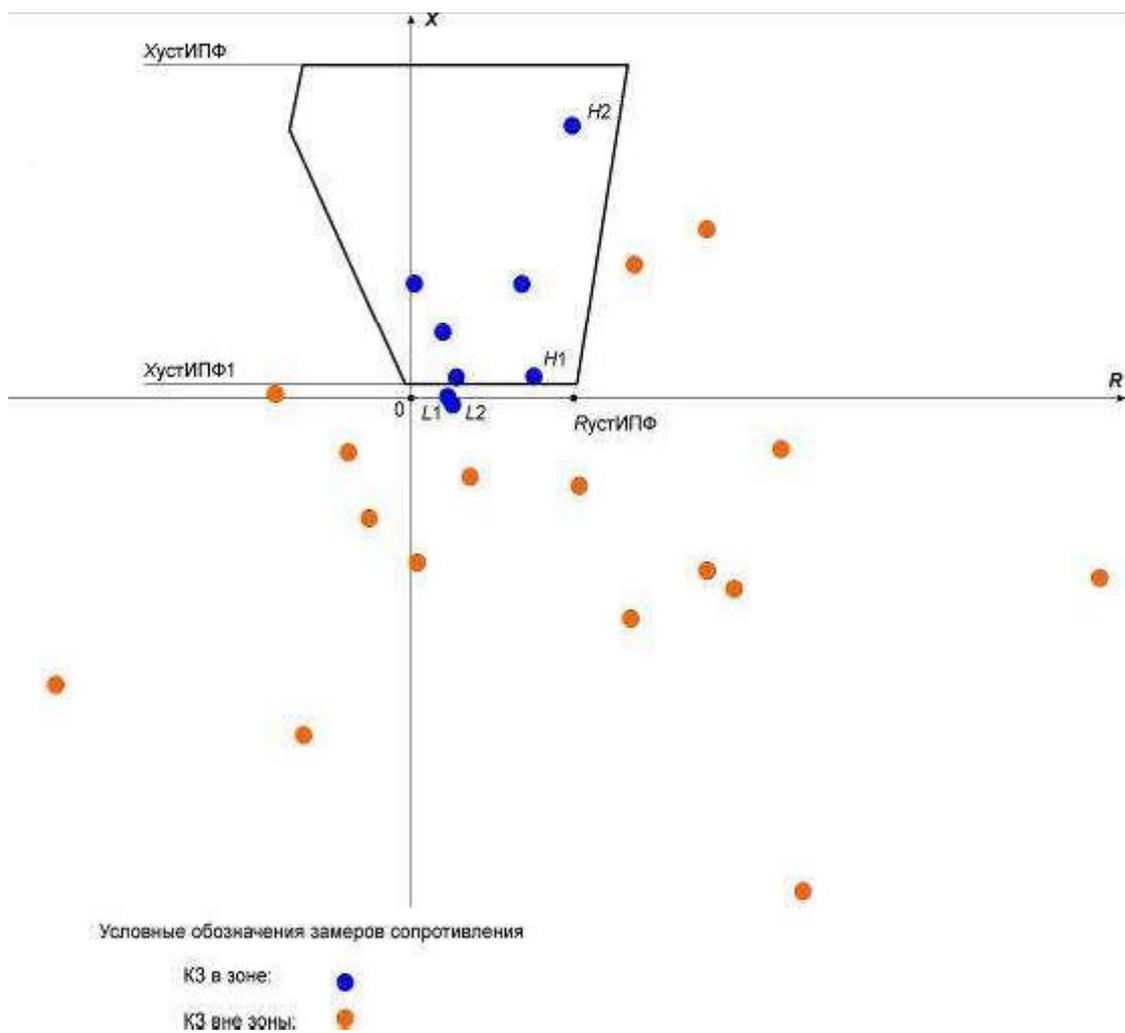


Рисунок 7-2 Рассчитанная по тестовым данным характеристика срабатывания ИО сопротивления избирателей поврежденной фазы с **полной компенсацией** тока нулевой последовательности

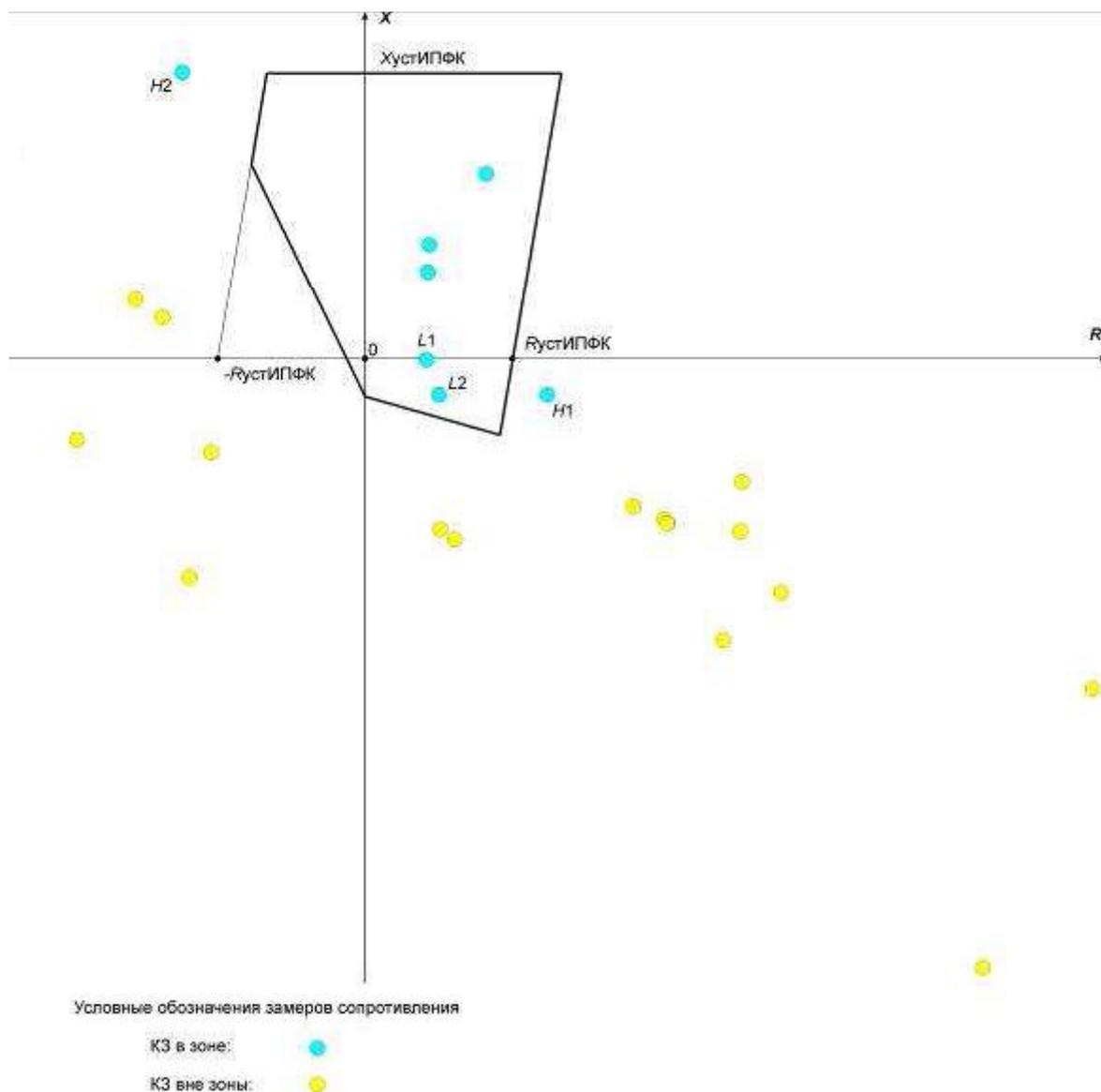


Рисунок 7-3 Рассчитанная по тестовым данным характеристика срабатывания ИО сопротивления избирателей поврежденной фазы с регулируемой компенсацией тока нулевой последовательности.

7.11 Выбор уставки $X_{устИПФ}$ - координаты верхней точки пересечения характеристики с осью X

Координата верхней точки пересечения характеристики с осью X определяется исходя из надежного охвата всей длины линии.

Если длина линии $L \geq 150$ км, то

$$X_{устИПФ} = 1,5 * X_{1\text{ уд}} * L \quad (7-28)$$

Если длина линии $L < 150$ км, то

$$X_{устИПФ} = 2 * X_{1\text{ уд}} * L \quad (7-29)$$

7.12 Определение коэффициента чувствительности в направлении угла линии

$$K_{\text{ч}} = X_{\text{устИПФ}} / X_{\text{max перех}} \quad (7-30)$$

где $X_{\text{max перех}}$ - максимальное значение X из всех замеров по определению чувствительности;

Если $K_{\text{ч}} < 1,3$, то необходимо увеличить $X_{\text{устИПФ}}$ до

$$X_{\text{устИПФ}} = k_{\text{н}} * X_{\text{max перех}}, \quad (7-31)$$

где $k_{\text{н}}$ - коэффициент надежности принимается равным $k_{\text{н}} = 1,3$;

$X_{\text{max перех}}$ - максимальное значение X из всех замеров по определению чувствительности.

7.13 Выбор уставки $X_{\text{устИПФ1}}$ - координаты нижней точки пересечения характеристики с осью X

Предварительно уставка $X_{\text{устИПФ1}}$ принимается равной:

$$X_{\text{устИПФ1}} = 0,1 * X_{\text{устИПФ}} \quad (7-32)$$

7.14 Выбор уставки $R_{\text{устИПФ}}$ - координаты точки пересечения правой боковой стороны (или ее продолжения) характеристики с осью R .

7.14.1 Необходимо «вычеркнуть» все замеры $Z1-Z3$ и $Z6$ (с учетом погрешностей), оказавшиеся выше прямой $X = X_{\text{устИПФ}}$, т.е. $0,8 * X > X_{\text{устИПФ}}$.

7.14.2 Провести на плоскости прямую $X = X_{\text{устИПФ}}$, а так же прямую через начало координат под вычисленным в п.7.9 углом максимальной чувствительности $\Phi_{\text{МЧ}}$.

7.14.3 Тогда уставка $R_{\text{устИПФ}}$ определяется из уравнения прямой $X = (R - R_{\text{устИПФ}}) * \text{tg} \Phi_{\text{МЧ}}$ так:

$$R_{\text{устИПФ}} = k_{\text{н1}} * R_i - k_{\text{н2}} * X_i / \text{tg} \Phi_{\text{МЧ}}, \quad (7-33)$$

где R_i, X_i - координаты самой левой точки из находящихся справа по отношению к линии максимальной чувствительности в I или IV квадранте;

$k_{\text{н1}}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{\text{н1}} = 0,8$;

$k_{\text{н2}}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{\text{н2}} = 1,2$.

7.15 Зная вычисленные в п.п.7.11 - 7.14 уставки и приняв $X_{\text{устИПФк}} = X_{\text{устИПФ}}$ и $R_{\text{устИПФк}} = R_{\text{устИПФ}}$, необходимо построить ориентировочные характеристики согласно рис. 7-1 (рассматривается случай, когда $K_{\text{ум}} = 1$ и т.о. все замеры находятся в одной плоскости комплексного сопротивления).

7.16 От того, как располагаются отстроечные замеры и замеры по определению чувствительности по отношению к ориентировочным характеристикам срабатывания, зависит расчет избирателя.

Вариант 1. Все замеры по определению чувствительности $Z4$ «на глаз» находятся в пределах характеристики, а отстроечные замеры - вне ее.

Тогда надо уточнить это с учетом 20% погрешности измерения Z :

7.16.1 Проверка чувствительности в I квадранте.

Все отстрочечные замеры в I квадранте находятся вне характеристики с учетом погрешностей, т.к. уставки выбирались исходя из этих соображений. Необходимо проверить, что замеры по чувствительности с учетом погрешностей лежат левее прямой $X=(R-R_{уст\ ИПФ}) * tg\Phi_{МЧ}$, т.е. проверить, что выполняется неравенство:

$$k_{н1} * X_i > (k_{н2} * R_i - R_{уст\ ИПФ}) * tg\Phi_{МЧ}, \quad (7-34)$$

где R_i, X_i - координаты самого правого замера из находящихся слева по отношению к прямой $X=(R-R_{уст\ ИПФ}) * tg\Phi_{МЧ}$;

$k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

$k_{н2}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$.

7.16.2 Проверка отстройки во II и III квадрантах.

Отстрочечные замеры во II и III квадрантах, с учетом погрешностей должны лежать ниже прямой $X=R * tg(115^0) - X_{уст\ ИПФ}/8$, т.к. они не должны попасть ни в одну из характеристик, т.е. должны выполняться неравенства:

$$k_{н2} * X_i \leq k_{н1} * R_i * tg(115^0) - X_{уст\ ИПФ}/8, \text{ II квадрант} \quad (7-35)$$

$$k_{н1} * X_i \leq k_{н1} * R_i * tg(115^0) - X_{уст\ ИПФ}/8, \text{ III квадрант,}$$

где $k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

$k_{н2}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$.

R_i, X_i - координаты самого правого замера, из находящихся слева по отношению к прямой $X=R * tg(115^0)$, который с учетом погрешностей может попасть в характеристику.

Имеются ввиду те замеры, которые теоретически могут попасть в характеристику, так как те из них, которые находятся выше прямой $X_i = (R_i + R_{уст\ ИПФ}) * tg\Phi_{МЧ}$ рассматриваются относительно этой прямой.

Отстрочечные замеры во II квадранте, с учетом погрешностей, должны находится выше прямой $X_i = (R_i + R_{уст\ ИПФ}) * tg\Phi_{МЧ}$.

Имеются ввиду те замеры, которые теоретически могут попасть в характеристику, так как те из них, которые находятся ниже прямой $X=R * tg(115^0) - X_{уст\ ИПФ}/8$ были рассмотрены относительно этой прямой. Т.о. должно удовлетворяться неравенство:

$$k_{н1} * X_i > (k_{н1} * R_i + R_{уст\ ИПФ}) * tg\Phi_{МЧ}, \quad (7-36)$$

где $k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

R_i, X_i - координаты самого правого замера из находящихся слева по отношению к прямой $X_i > (R_i + R_{уст\ ИПФ}) * tg\Phi_{МЧ}$, который с учетом погрешностей может попасть в характеристику.

7.16.3 Проверка чувствительности во II и III квадрантах.

Замеры по определению чувствительности с учетом погрешностей должны удовлетворять неравенствам:

$$\begin{aligned} k_{н1} * X_i &=> k_{н2} * R_i * \text{tg}(115^0) - X_{\text{устИПФ}}/8, \text{ II квадратант} \\ k_{н2} * X_i &=> k_{н2} * R_i * \text{tg}(115^0) - X_{\text{устИПФ}}/8, \text{ III квадратант,} \end{aligned} \quad (7-37)$$

где $k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

$k_{н2}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$.

R_i, X_i - координаты замеров из находящихся выше по отношению к прямой

$$X=R*\text{tg}(115^0) - X_{\text{устИПФ}}/8.$$

Также эти замеры одновременно должны удовлетворять неравенству:

$$k_{н2} * X_i < *(k_{н2} * R_i + R_{\text{устИПФ}}) * \text{tg} \Phi_{\text{МЧ}},$$

где $k_{н2}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$.

R_i, X_i - координаты замеров из находящихся справа по отношению к прямой

$$X_i = (R_i + R_{\text{устИПФ}}) * \text{tg} \Phi_{\text{МЧ}}.$$

7.16.4 Проверка отстройки в IV квадранте.

В квадранте IV отстроечные замеры должны находится ниже прямой

$$X= R*\text{tg} (-15^0)- X_{\text{устИПФ}}/8 \text{ или ниже (правее) прямой } X=(R-R_{\text{уст ИПФ}}) * \text{tg} \Phi_{\text{МЧ}}, \text{ принцип выбора замеров такой же как в п.п.7.16.1-7.16.3.}$$

Таким образом, должны удовлетворяться неравенства:

Для проверки отстройки в IV квадранте:

$$\begin{aligned} k_{н1} * X < k_{н2} * R * \text{tg} (-15^0) - X_{\text{устИПФ}}/8 \text{ или} \\ k_{н1} * X < (k_{н1} * R - R_{\text{уст ИПФ}}) * \text{tg} \Phi_{\text{МЧ}}, \end{aligned} \quad (7-38a)$$

где $k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

$k_{н2}$ -коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$.

Для проверки отстройки в I квадранте:

$$k_{н2} * X < (k_{н1} * R - R_{\text{уст ИПФ}}) * \text{tg} \Phi_{\text{МЧ}}, \quad (7-38б)$$

где $k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

$k_{н2}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$.

7.16.5 Проверка чувствительности замеров в IV квадранте.

Замеры по определению чувствительности с учетом погрешностей должны удовлетворять неравенствам:

Для проверки отстройки в IV квадранте:

$$k_{н1} * X > k_{н1} * R * \text{tg} (-15^0) - X_{устИПФ}/8 \text{ или}$$

$$k_{н2} * X > (k_{н2} * R - R_{уст ИПФ}) * \text{tg} \Phi_{МЧ}, \quad (7-39a)$$

где $k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

$k_{н2}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$.

Для проверки отстройки в I квадранте:

$$k_{н1} * X > (k_{н2} * R - R_{уст ИПФ}) * \text{tg} \Phi_{МЧ}, \quad (7-39б)$$

где $k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

$k_{н2}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$.

7.17 Вариант 2

Если выбранная уставка $R_{уст ИПФ}$ не позволяет отстроиться от замеров, лежащих во II квадранте, то необходимо уменьшить эту уставку до обеспечения отстройки с учетом погрешности:

$$R_{устИПФ} = k_{н1} * (X_i / \text{tg} \Phi_{МЧ} - R_i), \quad (7-40)$$

где $k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

R_i, X_i - координаты замера, от которого необходимо отстроится.

Затем снова необходимо выполнить п.7.16.1, 7.16.3 и 7.16.5. При этом может оказаться, что не все замеры удовлетворяют требованиям чувствительности, тогда надо попробовать уменьшить $K_{ум}$, например, до $K_{ум}=0,5$, в нижней характеристике и снова проверить чувствительность. При этом необходимо учитывать, что соответствующие характеристики находятся в разных комплексных плоскостях. При отстройке верхней характеристики надо учитывать прямые $X=X_{устИПФ1}$ и $X=R*\text{tg}(115^0)$, то есть отстроечные замеры должны находиться ниже этих прямых. А при проверке чувствительности соответственно замеры должны находиться выше этих прямых.

7.18 Вариант 3

Аналогично выше сказанному для обеспечения чувствительности или отстройки в IV квадранте, если возможно изменить уставку $X_{устИПФ}$, можно смещать вверх или вниз прямую:

$$X = R * \text{tg} (-15^0) - X_{устИПФ}/8 \quad (7-41)$$

7.19 Вариант 4

Если не удовлетворяется по чувствительности неравенство п. 7.16.1, а согласно п. 7.19 уставку $R_{уст ИПФ}$ невозможно изменить так, чтобы

обеспечивалась чувствительность, и критическая точка замера лежит ниже $0,4 * X_{устипф}$, то можно попробовать выбрать другой $K_{ум}$ для нижней характеристики и увеличить уставку $X_{устипф1}$ так, чтобы критическая точка оказалась под ней:

$$X_{устипф1} = k_{н2} * X_{кр}, \quad (7-42)$$

где $k_{н2}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$;

$X_{кр}$ - критическая точка замера, то есть та «отстроченная» точка, которая попала в первоначальную характеристику.

Те замеры по определению чувствительности, которые не вошли в верхнюю характеристику, необходимо проверить в нижней, построенной в другой комплексной плоскости. Для этого надо в программе АРМ или ТКЗ РЕЛЕ в задании на расчет заменить $K_{ум}$ на другой (диапазон его уставки от 0 до 1) и произвести расчет для этих замеров.

Проверка чувствительности для верхней характеристики, в случае, если нижняя не находится с ней в одной плоскости, для I квадранта производится по п. 7.16.1. А для II квадранта по формуле:

$$k_{н1} * X_i \Rightarrow k_{н2} * R_i * \text{tg}(115^0), \quad (7-43)$$

где $k_{н1}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н1}=0,8$;

$k_{н2}$ - коэффициент надежности - для учета погрешностей замера - принимается равным $k_{н2}=1,2$.

Если при этом чувствительность снова не обеспечивается, то необходимо вновь принять:

$X_{устипф1} = 0,1 * X_{устипф}$ и заменить замеры Z4 на Z5, т.е. посмотреть не будет ли обеспечиваться чувствительность в каскаде по неравенствам п. 7.16.1.

В приведенной методике все возможные случаи не рассматриваются, так как общий подход к выбору уставок ясен из изложенного в п.п.7.16 - 7.19.

7.20 Назначение программных переключателей ХВ и элементов времени

Назначение программных переключателей ХВ приведено в таблице 7-3. Назначение и параметры элементов времени приведены в таблице 7-4.

Таблица 7-3

Назначение программных переключателей ХВ.

Обозначение	Назначение	Положение
ХВ1	Вывод защиты при неисправности цепей напряжения	0 -не предусмотрен
		1 -предусмотрен
ХВ2	Пуск ВЧ при выводе защиты	0 -не предусмотрен
		1 -предусмотрен
ХВ3	Сигнализация пуска на отключение	0 -не предусмотрена

Обозначение	Назначение	Положение
		1 -предусмотрена
XB4	ПОУ2	0 -выведен
		1 -в работе
XB5	Перевод на отключение3-х фаз от	0 -ОАПВ(1 и2)
		1 -ОАПВ2
XB6	Инверсия сигнала запрета АК	0 -не предусмотрена
		1 -предусмотрена
XB7	Обмен ВЧ сигналами	0 -не манипулированный
		1 -манипулированный

Таблица 7-4

Назначение и параметры элементов времени

Обозначение	Назначение	t, с
DT1	Ввод Z _{OT}	0,2
DT2	Вывод подхвата от Z _{OT}	0,2
DT3	Задержка запрета пуска ВЧ	0,005
DT4	Продление запрета пуска ВЧ	0,2
DT5	Задержка отключения от РЗ	0,02
DT6	Задержка сигнала на выходе ОСФ	0,04
DT7	Продление запрета сигнала отключения	0,04
DT8	Задержка отключения при КЗ в цикле ОАПВ	0,02
DT9	Продление сигнала отключения	0,025

8 Основные требования стандарта к выбору уставок высокочастотной микропроцессорной защиты ШЭ 2607 031

8.1 Выбор уставки токового органа с пуском по току обратной последовательности I₂

8.1.1 Выбор уставки токового органа с пуском по току обратной последовательности I₂, действующего на блокировку.

Для обоих полукомплектов уставки предварительно, до определения коэффициента чувствительности, выбираются одинаковыми, т.к. в формулы для расчета входит один и тот же ток (I_{нагр} или I_{раб макс}).

Уставка токового органа с пуском по току обратной последовательности I_{2 бл уст} 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.

Выводится из действия при тяговой нагрузке накладкой XB 12.

$$I_{2\text{бл уст}} = k_{\text{отс}} * I_{2\text{нб расч}} / k_{\text{возв}}, \quad (8-1)$$

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

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

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

$$I_{2\text{нб расч}} = (I_{\text{нагр}} \text{ или } I_{\text{раб макс}}) * \sqrt{[(\varepsilon_1/3)^2 + (k_f * Df)^2 + (D\phi)^2 + (k_2 \text{ несим})^2]} = (I_{\text{ном}}) * 0,024, \quad (8-2)$$

где ε_1 - полная погрешность ТТ принимается равной $\varepsilon_1 = 0,03$, согласно ГОСТ 7746-2001 Трансформаторы тока. Общие технические условия.

k_f - коэффициент частотной зависимости ФТОП по данным разработчика принимается равным $k_f = 0,23$; [2]

Df - относительная погрешность отклонения частоты для сети 330 кВ и выше принимается равным $Df = 0,04$;

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

$k_2 \text{ несим}$ - коэффициент несимметрии тока обратной последовательности принимается равным $k_2 \text{ несим} = 0,02$, согласно ГОСТ 13109 Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения.

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

На линиях с ответвлениями не надо отстраивать $I_2 \text{ от уст}$ от КЗ за трансформатором ответвления, т.к. в защите есть специальный орган $Z_{\text{доп}}$, отстроенный от КЗ за трансформатором. Характеристика $Z_{\text{доп}}$ в комплексной плоскости сопротивлений охватывает начало координат, но $I_2 \text{ от уст}$ не надо отстраивать от внешнего КЗ на питающей стороне при одностороннем питании и подпитке от двигателей нагрузки, т.к. в этом случае не сработает реле мощности обратной последовательности M_2

Выводится из действия при тяговой нагрузке накладкой ХВ 12.

Уставка $I_2 \text{ от уст}$ выбирается исходя из следующих критериев:

- отстройки от $I_{2\text{бл уст}}$ с учетом коэффициента ответвления;

$$I_{2\text{от отр уст}} = k_{\text{отв}} * k_{\text{отс}} * I_{2\text{бл уст}}, \quad (8-3)$$

где $k_{\text{отв}}$ - коэффициент ответвления;

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

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

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

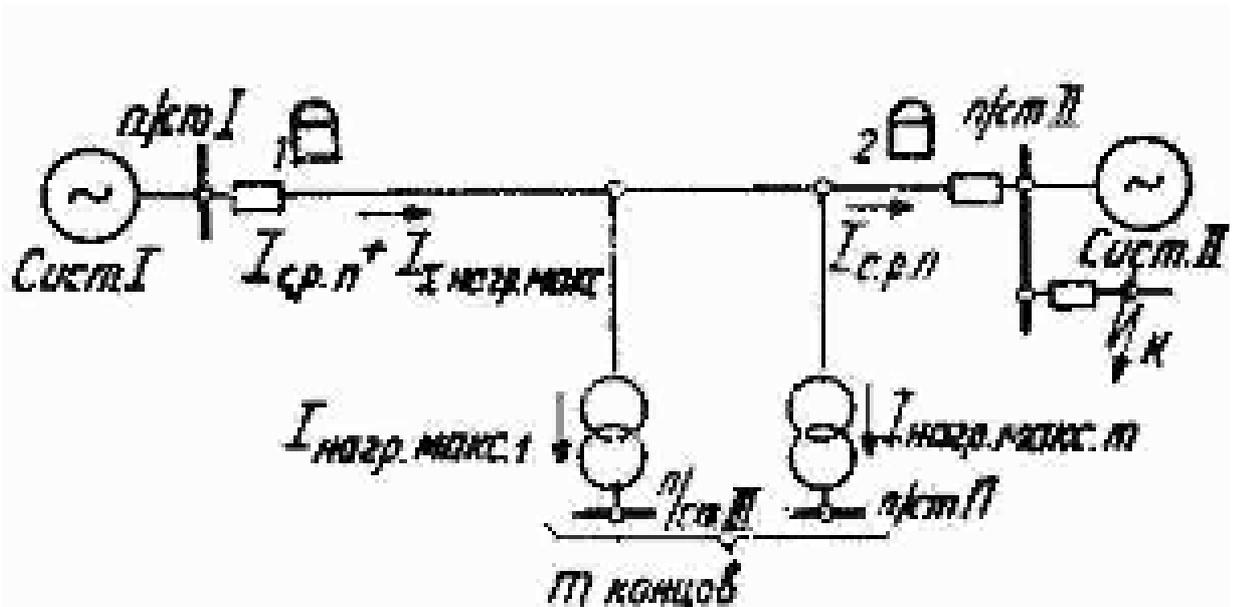


Рисунок 8-1 Схема линии с ответвлениями для определения $k_{отв}$

Так как рассматриваемая защита имеет направленные органы M_2 (от несимметричных КЗ) и $Z_{откл}$ (от симметричных КЗ), обеспечивающие несрабатывание при направлении мощности к шинам, то необходимо учитывать коэффициент ответвления только для случая представленного на рис. 8-1. [1] В качестве расчетного для определения $k_{отв}$ необходимо рассматривать режим удаленного трехфазного КЗ в одной из питающих систем (в точке к, рис. 8-1). В худшем случае (с точки зрения селективности) через место установки одного из полукомплектов на конце II протекает ток равный $I_{2 бл. уст}$, а на другом - $I_{2 бл. уст} + I_{\Sigma нагр. отв}$. Тогда $k_{отв}$ определяется по следующему выражению:

$$k_{отв} = \frac{I_{2 бл. уст} + I_{\Sigma нагр. отв}}{I_{2 бл. уст}} = 1 + \frac{I_{\Sigma нагр. отв}}{I_{2 бл. уст}}, \quad (8-4)$$

где $I_{\Sigma нагр. отв}$ - 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.

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

Коэффициент ответвления рассчитывается по формуле:

$$k_{отв} = I_{2 \text{ п-та max от шин}} / I_{2 \text{ равн}}$$

где $I_{2 \text{ п-та max от шин}}$ - ток обратной последовательности, направленный от шин в том полуккомплекте, где он максимальный.

$I_{2 \text{ равн}}$ - максимальный из токов обратной последовательности в режиме с наиболее близкими токами на остальных концах линии.

В) Если при рассмотрении согласования данного полуккомплекта окажется, что невозможен такой режим сети, когда ток в нем максимальный, то в этом случае коэффициент ответвления может быть принят равным $k_{отв}=1$. Тогда уставка $I_{2от \text{ уст}}$ выбирается следующим образом:

$$I_{2от \text{ отстр уст}} = k_{отв} * k_{отс} * I_{2бл \text{ уст}}$$

где $k_{отв}$ - коэффициент ответвления принимается равным $k_{отв}=1$;

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

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

Если при этом окажется, что чувствительность на данном конце не обеспечивается, то необходимо посчитать реальный коэффициент ответвления. Но во всех случаях для одного и того же полуккомплекта уставка $I_{2от \text{ уст}}$ должна быть:

$$I_{2от \text{ уст}} \geq 1,05 * I_{2бл \text{ уст}}$$

• отстройки от составляющей обратной последовательности емкостного тока линии, обусловленной кратковременной несимметрией при включении линии под напряжение.

$$I_{2от \text{ емк уст}} = k_{отв} * k_{отс} * I_{2 \text{ емк уд}} * L, \quad (8-5)$$

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

$k_{отв}$ - коэффициент ответвления;

$I_{2 \text{ емк уд}}$ - емкостной ток обратной последовательности на 1 км линии определяется по таблице 8-1;

L - длина линии.

Таблица 8-1

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

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

Окончательно уставка $I_{2от \text{ уст}}$ выбирается наибольшей из $I_{2от \text{ отстр уст}}$ и $I_{2от \text{ емк уст}}$.

8.1.3 Определение коэффициента чувствительности.

Коэффициент чувствительности рассчитывается для каждого полуккомплекта.

Для двухконцевых линий и линии с ответвлениями без питания:

$$k_{\text{ч}} = I_{2 \text{ кз min}} / I_{20\text{т уст}}, \text{ где}$$

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

$I_{20\text{т уст}}$ - уставка отключающего токового органа с пуском по I_2 ;

Если $k_{\text{ч}} > 2$, то необходимо заглубить уставку до $k_{\text{ч}} = 2$ для полуккомплекта с наименьшим коэффициентом чувствительности.

Таким образом, получается новая уставка $I_{20\text{т уст}}$, одинаковая для двух концов линии. По ней необходимо уточнить $I_{2\text{бл уст}} = 0.5 I_{20\text{т уст}}$

Для многоконцевых линий для каждого комплекта определяется:

$$k_{\text{ч}} = I_{2 \text{ кз min}} / I_{20\text{т уст}}$$

Если $k_{\text{ч}} \geq 2$, то орган проходит по чувствительности. Для многоконцевых линий уставку $I_{20\text{т уст}}$ можно не заглублять.

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

8.2.1 Выбор уставки блокирующего органа с пуском по напряжению обратной последовательности $U_{2\text{бл}}$.

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

$$U_{2 \text{ бл уст}} = k_{\text{отс}} * U_{2\text{нб расч}} / k_{\text{возв}}, \text{ где} \quad (8-6)$$

$k_{\text{отс}}$ - 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 (8-7).

$$U_{2\text{нб расч}} = (U_{\text{ном}} / \sqrt{3}) * \sqrt{[(\varepsilon_1/3)^2 + (k_f * Df)^2 + (D\phi)^2 + (k_2 \text{ несим})^2]} = (U_{\text{ном}} / \sqrt{3}) * 0,024, \quad (8-7)$$

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

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

Df - относительная погрешность отклонения частоты для сети 330 кВ 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 $k_2 \text{ несим} = 0,02$.

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

Уставка $U_{20\text{т уст}}$ выбирается исходя из отстройки от уставки блокирующего органа по напряжению обратной последовательности - $U_{2\text{бл}}$.

$$U_{2от\ уст} = k_{отс} * U_{2бл\ уст}, \quad (8-8)$$

где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{отс}=1,5$;
 $U_{2бл\ уст}$ - уставка блокирующего органа по напряжению с пуском по U_2 .

8.2.3 Определение коэффициента чувствительности для каждого полукомплекта.

Коэффициент чувствительности рассчитывается для каждого полукомплекта.

$$k_ч = U_{2\ кз\ min} / U_{2от\ уст}, \quad (8-9)$$

где $U_{2\ кз\ min}$ - минимальное напряжение КЗ обратной последовательности;
 $U_{2от\ уст}$ - уставка отключающего органа по напряжению с пуском по U_2 .

К пусковому органу подводится напряжение обратной последовательности компенсированное $I_2 * Z_k$:

$$U_{2\ кз\ min\ к} = \min \left[\left(\overline{U_2^{(1,1)}} - \overline{I_2^{(1,1)}} \cdot j \cdot X_{1\ у\delta} \cdot \frac{L}{2} \right) \text{ или } \left(\overline{U_2^{(1)}} - \overline{I_2^{(1)}} \cdot j \cdot X_{1\ у\delta} \cdot \frac{L}{2} \right) \right], \quad (8-10)$$

где $U_2^{(1,1)}$ - напряжение обратной последовательности при двухфазном КЗ на землю;

$U_2^{(1)}$ - напряжение обратной последовательности при однофазном КЗ;

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

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

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

L - длина ВЛ.

С учетом того, что U_2 и $I_2 * jX_1$ находятся в противофазе:

$$U_{2\ кз\ min\ к} = \min \left[\left(\overline{U_2^{(1,1)}} + \overline{I_2^{(1,1)}} \cdot X_{1\ у\delta} \cdot \frac{L}{2} \right) \text{ или } \left(\overline{U_2^{(1)}} + \overline{I_2^{(1)}} \cdot X_{1\ у\delta} \cdot \frac{L}{2} \right) \right] \quad (8-11)$$

Если $k_ч > 2$, то на том конце линии, где $k_ч$ меньше, необходимо загрубить его до $k_ч = 2$.

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

$$U_{2бл\ уст} = U_{2от\ уст} / k_{отс}, \quad (8-12)$$

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

8.3 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_2

8.3.1 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_2 , действующего на блокировку.

Фактически этот пусковой орган реагирует на приращение вектора тока $DI_2 = I_{2\ T(n+1)} - I_{2\ T(n)}$, где n - № периода промышленной частоты.[2]. Алгоритм этого органа обеспечивает отстройку от тока небаланса обратной последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при

тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра. Этот пусковой орган позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ.

$$DI_{2\text{бл уст}} = k_{\text{отс}} * I_{2\text{бл уст}}, \quad (8-13)$$

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 I_2 .

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

Уставка $DI_{2\text{от уст}}$ выбирается исходя из отстройки от уставки блокирующего токового органа с пуском по приращению DI_2 - $DI_{2\text{бл}}$.

$$DI_{2\text{от уст}} = k_{\text{отс}} * DI_{2\text{бл уст}}, \quad (8-14)$$

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

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

8.4 Выбор уставки токового органа с пуском по приращению DI_1

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

Фактически этот пусковой орган реагирует на приращение вектора тока $DI_1 = I_{1T(n+1)} - I_{1T(n)}$, где n - № периода промышленной частоты. [2] Алгоритм этого органа обеспечивает отстройку от тока небаланса прямой последовательности при максимальном токе качаний, от изменения тока при тяговой нагрузке и всех небалансов максимального рабочего режима, связанных с погрешностями ТТ и фильтра.

Этот ПО позволяет быстрее пускать ВЧ при трехфазных КЗ.

По данным разработчика уставка $DI_{1\text{бл уст}}$ должна быть в 4 раза больше $DI_{2\text{бл уст}}$.

$$DI_{1\text{бл уст}} = k_{\text{отс}} * DI_{2\text{бл уст}}, \quad (8-15)$$

где $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}}=4$;

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

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

По данным разработчика уставка $DI_{1\text{от уст}}$ необходимо рассчитывать по формуле:

$$DI_{1\text{от уст}} = k_{\text{отс}} * DI_{2\text{от уст}}, \quad \text{где} \quad (8-16)$$

$k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}}=4$;

$DI_{2\text{от уст}}$ - уставка отключающего токового органа с пуском по DI_2 .

8.5 Выбор уставки пускового органа тока, реагирующего на составляющую обратной последовательности, с торможением от первой гармоники тока прямой последовательности

8.5.1 Выбор уставки пускового органа тока, реагирующего на составляющую обратной последовательности, с торможением от первой гармоники тока прямой последовательности, действующего на блокировку.

Уставка ПО тока, реагирующего на составляющую обратной последовательности, с торможением от первой гармоники тока прямой последовательности I_2^T пуск уст необходима для пуска блокировки при качаниях.

При отсутствии торможения уставка I_2^T пуск уст принимается равной $I_{2\text{бл уст}}$, так как торможение начинается с $I_{\text{ном}}$.

Коэффициент торможения необходимо определять по формуле (8-17) (см. рис.8-2):

$$k_{\text{торм}} = (I_2^T - I_2^T \text{ пуск}) / (I_{\text{кач макс}} - I_{\text{ном}}), \quad (8-17)$$

где $I_2^T = k_{\text{отс}} I_{2\text{нб кач}} = k_{\text{отс}} k_{\text{несим}} I_{\text{кач макс}}$

$k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}} = 1.5$;

$k_{\text{несим}}$ - коэффициент несимметрии принимается равным $k_{\text{несим}} = 0,02$;

$I_{\text{кач макс}}$ - максимальный ток качаний, протекающий в месте установки защиты.

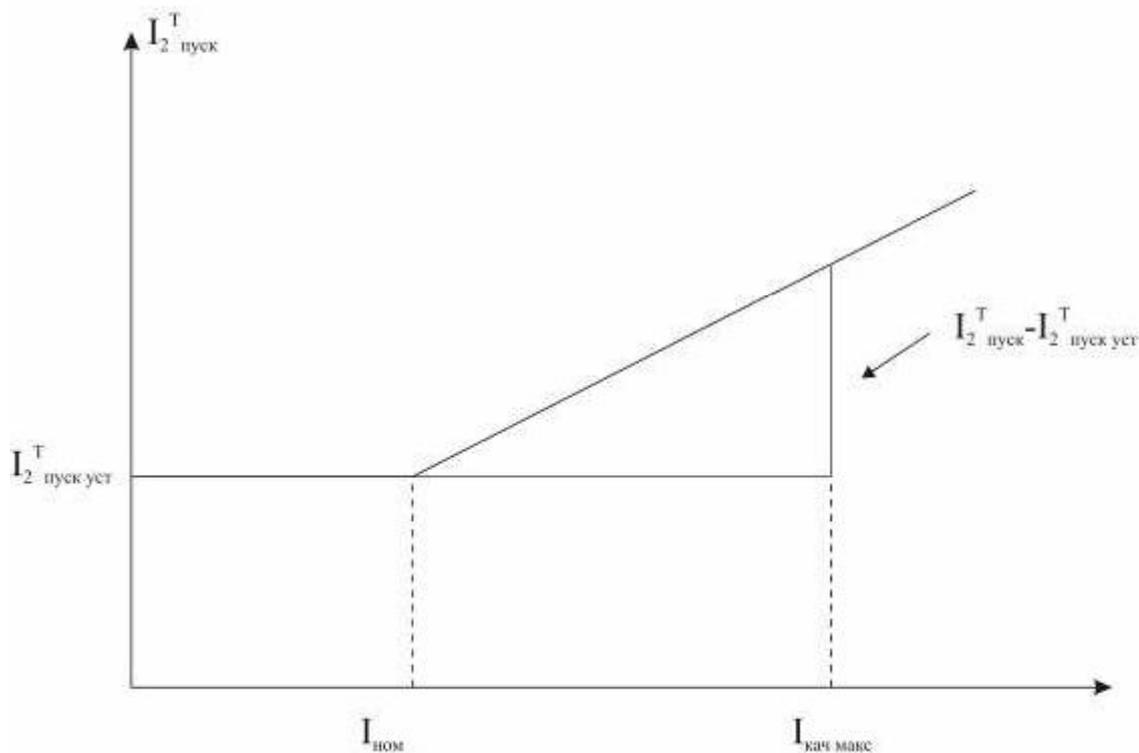


Рисунок 8-2 Характеристика срабатывания I_2^T пуск

8.5.2 Выбор уставки ПО тока, реагирующего на составляющую обратной последовательности, с торможением от первой гармоники тока прямой последовательности, действующего на отключение.

Этот пусковой орган используется, при нехватке чувствительности по напряжению обратной последовательности U_2 в случае мощной системы на одном конце линии и КЗ на другом.

Уставка $I_{2\text{отуст}}^T$ определяется исходя из следующих критериев:

- согласования по чувствительности с блокирующим реле тока обратной последовательности $I_{2\text{БЛ}}$ полукомплектов, установленных на рассматриваемом и противоположных концах линии;

$$I_{2\text{от.уст}}^T \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{2\text{БЛ.уст}}, \quad (8-18)$$

где $k_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки принимается равным $k_{\text{отс}}=1$ для линии без ответвлений и $k_{\text{отс}}=2$ для линии с ответвлениями;

$I_{2\text{БЛ.уст}}$ - уставка токового органа с пуском по току обратной последовательности I_2 , действующего на блокировку

- согласования с первичным напряжением срабатывания блокирующего реле напряжения, установленного на рассматриваемом и противоположном концах защищаемой линии по выражениям

$$I_{2\text{от.уст}}^T \geq K_{\text{отс}} \frac{U_{2\text{БЛ.уст}} * K_V}{\frac{Z_{1C}}{K_{\text{ТОК}}^I} + Z_{\text{Л}}}, \quad (8-19)$$

где $K_{\text{отс}}$ - коэффициент отстройки, принимается равным $K_{\text{отс}}=2,0$;

$U_{2\text{БЛ.уст}}$ - уставка блокирующего реле напряжения обратной последовательности полукомплекта, установленного на противоположном конце линии;

Z_{1C} - сопротивление прямой последовательности системы, примыкающей к месту установки рассматриваемого полукомплекта;

$K_{\text{ТОК}}^I$ - коэффициент токораспределения, равный отношению тока обратной последовательности в месте установки рассматриваемого полукомплекта к току обратной последовательности в сопротивлении Z_{1C} при коротком замыкании в расчетной точке - на противоположном конце линии; принимается для режима, соответствующего его максимальному значению;

$Z_{\text{Л}}$ - сопротивление защищаемой линии.

K_V - коэффициент трансформации трансформаторов напряжения $K_V=1$, так как уставки даны в первичных величинах.

В случае, когда определение Z_{1C} затруднительно (при наличии обходных связей), значение $(\frac{Z_{1C}}{K_{\text{ТОК}}^I} + Z_{\text{Л}})$ удобно определить как отношение остаточного фазного напряжения к максимальному току в месте установки защиты при КЗ в указанной выше расчетной точке.

Значение $I_{2\text{от.уст}}^T$ полукомплекта, установленного на противоположном конце линии, выбирается аналогично. В качестве расчетного по данному условию значения первичного тока срабатывания $I_{2\text{от.уст}}^T$ должно приниматься для обоих концов большее из значений, полученных по выражению (8-19);

этим обеспечивается рассматриваемое согласование как на данном, так и на противоположном конце линии;

При наличии обходной связи $I_{2\text{от.уст}}^T$ определяется по выражению:

$$I_{2\text{от.уст}}^T \geq K_{\text{ОТС}} * K_p \frac{U_{2\text{БЛ.УСТ}} * K_V}{Z_{\text{Л}}}, \quad (8-20)$$

где K_p - коэффициент несимметричного режима, учитывающий возможность возникновения кратковременного разрыва (например, вследствие коммутации выключателей с пофазными проводами) в одной или двух фазах на обходной связи (параллельной линии), непосредственно шунтирующей рассматриваемую линию. Принимается равным 2-м, исходя из предельного режима, когда абсолютные значения напряжения обратной последовательности по концам линии равны $U_2 = U_{2\text{БЛ.УСТ}}$;

K_V - коэффициент трансформации трансформаторов напряжения $K_V=1$, так как уставки даны в первичных величинах.

8.6 Выбор уставки пускового органа тока, реагирующего на составляющую нулевой последовательности

Уставка реле тока нулевой последовательности $I_{0.\text{УСТ}}$ выбирается по условию отстройки от токов, проходящих в нулевом проводе трансформаторов тока при включении линии под напряжение; от апериодических трансформированных бросков намагничивающего тока при включении одной фазы, а также от периодических бросков намагничивающего тока при включении двух фаз и задержки включения третьей фазы. Значение $I_{0.\text{УСТ}}$ необходимо определять по выражению

$$I_{0.\text{УСТ}} \geq 0,3 * \sum I_{\text{НОМ.ТР}}, \quad (8-21)$$

где $\sum I_{\text{НОМ.ТР}}$ - сумма номинальных токов трансформаторов и автотрансформаторов, подключенных к защищаемой линии в режимах, когда эта сумма максимальная;

8.7 Выбор уставок реле сопротивления $Z_{\text{откл}}$ и $Z_{\text{доп}}$

8.7.1 Выбор уставок реле сопротивления $Z_{\text{откл}}$ и $Z_{\text{доп}}$ по активной составляющей $R_{\text{откл}}$ и $R_{\text{доп}}$.

Уставка по активной составляющей $R_{\text{откл}}$ определяется исходя из отстройки от минимального сопротивления нагрузки линии.

$$R_{\text{доп.уст}} = R_{\text{откл.уст}} = (R_{\text{раб.мин}} - X_{\text{раб.мин}} / \text{tg}(\Phi_{\text{мч}})) / k_{\text{н}}, \quad (8-22)$$

где $R_{\text{раб.мин}}$ - минимальное активное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению (8-23);

$X_{\text{раб.мин}}$ - минимальное реактивное сопротивление в нагрузочном режиме рассчитывается по выражению (8-24);

$\Phi_{\text{мч}}$ - угол максимальной чувствительности;

$k_{\text{н}}$ - коэффициент надежности принимается равным $k_{\text{н}}=1,6$.

$$R_{\text{раб мин}} = 0,9 * U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} * I_{\text{макс раб}}) * \cos(\Phi_{\text{н}}), \quad (8-23)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение ВЛ;
 $I_{\text{макс раб}}$ - максимальный рабочий ток;
 $\Phi_{\text{н}}$ - угол нагрузки.

$$X_{\text{раб мин}} = 0,9 * U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} * I_{\text{макс раб}}) * \sin(\Phi_{\text{н}}), \quad (8-24)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение ВЛ;
 $I_{\text{макс раб}}$ - максимальный рабочий ток;
 $\Phi_{\text{н}}$ - угол нагрузки.

Проверка чувствительности при КЗ через $R_{\text{переходное}}$.

Необходимо сравнить замер активного сопротивления при КЗ на шинах ПС ответвления и активное сопротивление линии, выбирать наибольшее и рассчитать $R_{\text{чувств}}$ с учетом подпитки с другого конца линии:

$$R_{\text{чувств}} = 1,5 * (\max(R_{\text{откл}} \text{ или } R_{1 \text{ уд}} * L) + R_{\text{дуги}} * (1 + I_1^{(3)}_{\text{II}} / I_1^{(3)}_{\text{I}})), \quad (8-25)$$

где $R_{\text{откл}}$ - максимальная величина сопротивления при КЗ на шинах ПС ответвления рассчитывается по выражению (8-26);

$R_{1 \text{ уд}}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности;

L - длина ВЛ;

$R_{\text{дуги}}$ - активное сопротивление дуги;

$I_1^{(3)}_{\text{I}}$ - максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 1;

$I_1^{(3)}_{\text{II}}$ - максимальный ток трехфазного КЗ со стороны полукомплекта 2.

$$R_{\text{откл}} = \cos(\Phi_{\text{мч}}) * \max(U_{\text{А ост отв}} / I_1^{(3)}_{\text{отв}}), \quad (8-26)$$

где $\Phi_{\text{мч}}$ - угол максимальной чувствительности;

$U_{\text{А ост отв}}$ - остаточное напряжение при трехфазном КЗ на ПС ответвления;

$I_1^{(3)}_{\text{отв}}$ - ток прямой последовательности при трехфазном КЗ на ПС ответвления.

$R_{\text{чувств}}$ должно быть меньше или равно $0,7 * R_{\text{откл уст}}$:

$$R_{\text{чувств}} \leq 0,7 * R_{\text{откл уст}} \quad (8-27)$$

Если неравенство (8-27) не выполняется, то защита не проходит по чувствительности.

8.7.2 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{откл}}$ по реактивной составляющей $X_{\text{откл}}$.

Уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО $X_{\text{откл}}$ определяется исходя из следующих критериев:

- отстройка от КЗ за трансформаторами ответвления $-X_{\text{откл кз уст}}$;

$$X_{\text{откл кз уст}} = k_{\text{н}} * \min(X_{\text{отстр отв1}}, X_{\text{отстр отв2}} \dots X_{\text{отстр отвN}}), \quad (8-28)$$

где $X_{\text{отстр отв1} \dots \text{N}}$ - сопротивление в месте установки защиты при КЗ за трансформатором ответвления рассчитывается по выражению (8-29);

$k_{\text{н}}$ - коэффициент надежности принимается равным $k_{\text{н}} = 0,85$.

$$X_{отстр\ отвX} = X_{отвX-п/ст} + (X_{отвX-тр-р} + X_{тр\ отв}^{(1)})/K_T, \quad (8-29)$$

где $X_{отвX-п/ст}$ - сопротивление ВЛ от ответвления X до ПС, где установлена защита;

$X_{отвX-тр-р}$ - сопротивление ВЛ от ответвления X до трансформатора;

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

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

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

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

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

$$X_{тр\ БНТ\ уст} = C_b * (X_{тр\ экв}^{(1)} + X_c) - X_c, \quad (8-30)$$

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];

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

X_c - сопротивление системы рассчитывается по выражению (8-31);

$$X_c = (U_{ном} - (X_{1\ уд} * L) * I^{(3)}) / I^{(3)}, \quad (8-31)$$

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

$X_{1\ уд}$ - 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 необходимо использовать 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. [1]

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

$$X_{тр\ экв}^{(1)} = (X_{тр\ отв}^{(1)} + X_{1уд} * L_{отв-тр}) + X_{1уд} * L_{отв1-пст1}, \quad (8-32)$$

где $X_{тр\ отв}^{(1)}$ - сопротивление трансформатора ответвления при КЗ⁽¹⁾ рассчитывается по формуле (8-33);

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

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

$L_{отв1-пст1}$ - длина ВЛ от первого ответвления до ПС.

$$X_{тр\ отв}^{(1)} = X_{тр\ \%}^{(1)} * (U_{ном\ тр\ отв} - U_{рпн\ тр\ отв})^2 / (100 * S_{ном\ тр\ отв}), \quad (8-33)$$

где $X_{тр}^{(1)} \%$ - сопротивление трансформатора в % при однофазном включении рассчитывается по формуле (8-34);

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

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

$S_{ном тр отв}$ - номинальная мощность трансформатора ответвления.

$$X_{тр}^{(1)} \% = (A + U_{кз тр отв}) / B, \quad (8-34)$$

где $U_{кз тр отв}$ - напряжение КЗ трансформатора ответвления;

A - коэффициент принимается по таблицам 8-2 и 8-3;

B - коэффициент принимается по таблицам 8-2 и 8-3.

Таблица 8-2

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 8-3

Коэффициенты А и В для автотрансформатора.

Мощность автотрансформатора	А	В
До 125 МВА (включительно)	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 $X_{тр экв}^{(1)}$ значительно усложняется.

Схема «сворачивается» относительно места установки защиты и рассчитывается $X_{тр экв}^{(1)}$ аналогично (8-32)

Затем окончательно выбирается уставка $X_{откл уст}$ как наименьшая уставка из $X_{откл кз уст}$ и $X_{тр БНТ уст}$

$$X_{откл уст} = X_{доп уст} = \min (X_{откл кз уст} \text{ и } X_{тр БНТ уст}) \quad (8-35)$$

Проверка чувствительности:

Чувствительность проверяется исходя из следующих критериев:

- обеспечение чувствительности при КЗ на шинах ПС ответвления:

$$X_{откл уст} > 1,5 * \sin(\Phi_{мч}) * \max(U_{А ост отв} / I_1^{(3)}_{отв}), \quad (8-36)$$

где $\Phi_{мч}$ - угол максимальной чувствительности;

$U_{А ост отв}$ - остаточное напряжение при трехфазном КЗ на ПС ответвления;

$I_1^{(3)}_{отв}$ - ток прямой последовательности при трехфазном КЗ на ПС ответвления.

- надежный охват всей длины линии:

Если длина линии $L \geq 150$ км, то

$$X_{откл уст} > 1,5 * X_{1уд} * L, \quad (8-37)$$

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

L - длина ВЛ.

Если длина линии $L < 150$ км, то

$$X_{\text{откл уст}} > 2 * X_{1 \text{ уд}} * L \quad (8-38)$$

Окончательный выбор уставок по $R_{\text{откл уст}}$ и $X_{\text{откл уст}}$ производим после проверки чувствительности с учетом $R_{\text{дуги}}$ по программе АРМ (влияние дуги будет точнее), т.е. необходимо рассчитать максимальные замеры $R_{\text{чувст}}$ и $X_{\text{чувст}}$ при КЗ в конце линии и на подстанциях ответвлений, при этом:

$$R_{\text{чувст д.б.}} \leq 0,8(R_{\text{откл уст}} + X_{\text{чувст}} / \text{tg}(\Phi_{\text{мч}})) \text{ и } X_{\text{чувст}} \leq 0,8X_{\text{откл уст}}$$

Если защита не проходит по чувствительности и при этом определяющим является $X_{\text{откл кз уст}}$, то на тех ответвлениях, при КЗ за которыми защита не проходит по чувствительности, устанавливается неполный комплект защиты и производится новый расчет $X_{\text{откл кз уст}}$. [1]

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

8.7.3 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{откл}}$, $Z_{\text{доп}}$ по углу максимальной чувствительности.

Угол максимальной чувствительности вычисляется, исходя из заданных удельных параметров линии:

$$\Phi_R = \text{arctg}(X_{1 \text{ уд}} / R_{1 \text{ уд}}), \quad (8-39)$$

где Φ_R - угол наклона характеристики ИО $Z_{\text{откл}}$ к оси R ;

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

$R_{1 \text{ уд}}$ - активное удельное сопротивление ВЛ прямой последовательности.

8.8 Выбор уставки реле сопротивления $Z_{\text{бл}}$

При КЗ на смежной линии и срабатывании $Z_{\text{откл}}$ с противоположного конца, на конце ближайшем к месту КЗ должно надежно сработать $Z_{\text{бл}}$. Первичное сопротивление срабатывания блокирующего реле сопротивления определяется исходя из следующих условий:

- Расчет уставки $Z_{\text{бл}}$ по условию согласования с $Z_{\text{откл}}$ противоположного конца линии

$$X_{\text{бл уст}} \geq k_{\text{отс}} * (X_{\text{откл уст}} - X_{\text{л}}), \quad (8-40)$$

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

$X_{\text{л}}$ - реактивное сопротивление линии.

- Уставка по активной составляющей сопротивления $Z_{\text{бл}}$ определяется исходя из отстройки от нагрузки:

$$R_{\text{бл уст}} = 1,05 * R_{\text{откл нагр уст}} \quad (8-41)$$

8.9 Назначение программных переключателей ХВ и элементов времени

Назначение программных переключателей ХВ приведено в таблице 8-4. Назначение и параметры элементов времени приведены в таблице 8-5.

Таблица 8-4

Назначение программных переключателей ХВ

Обозначение	Назначение	Положение
ХВ1	Работа на ВЛ с ответвлениями	0 -предусмотрена
		1 -не предусмотрена
ХВ2	Действие I _{2 от} с торможением	0 -предусмотрено
		1 -не предусмотрено
ХВ3	Действие БНН на пуск ВЧ передатчика	0 -предусмотрено
		1 -не предусмотрено
ХВ4	Ускорение при включении выключателя	0 -предусмотрено
		1 -не предусмотрено
ХВ5	Контроль ускорения при вкл. выключателя от U _{лин}	0 -предусмотрен
		1 -не предусмотрен
ХВ6	Место установки ТН на линии	0 -на шинах
		1 -на линии
ХВ7	Подтверждение пуска УРОВ от сигнала КQC	0 -предусмотрено
		1 -не предусмотрено
ХВ8	Действие УРОВ "на себя"	0 -не предусмотрено
		1 -предусмотрено
ХВ9	Ускоренный возврат БК при откл. выключателя	0 -предусмотрен
		1 -не предусмотрен
ХВ10	Контроль U _{лин от}	0 -ШОН
		1 -внешнее РН минимальное
ХВ11	Пуск ВЧ при выводе защиты	0 -не предусмотрен
		1 -предусмотрен
ХВ12	Работа в сети с тяговой нагрузкой	0 -не предусмотрена
		1 -предусмотрена
ХВ13	Сигнализация пуска на отключение	0 -не предусмотрена
		1 -предусмотрена
ХВ14	Инверсия сигнала запрета пуска АК	0 -не предусмотрена
		1 -предусмотрена

Таблица 8-5

Назначение и параметры элементов времени

Обозначение	Назначение	t, с
DT1	Время ввода Z_{OT} от БК	(0,2...1,0)
DT2	Время вывода Z_{OT} от БК	(3...12)
DT3	Задержка сигнала ВЧ блокировки	0,04
DT4	Задержка на возврат сигнала ВЧ блокировки	0,025
DT5	Задержка на возврат ВЧ блокировки от АПВ, РКО, РКВ	0,25
DT6	Задержка на сброс выдержки времени в цепи отключения	0,002
DT7	Задержка на срабатывание в цепи отключения	0,015
DT8	Время ввода ускорения при включении выключателя	(0,7...2,0)
DT9	Задержка на возврат сигнала ВЧТО	0,1
DT10	Задержка сигнализации на срабатывание БНН	5
DT11	Задержка сигнализации сигнала вызова	5
DT12	Задержка на срабатывание УРОВ	(0,1...0,6)
DT13	Задержка на срабатывание ускорения при включении	0,02
DT14	Задержка на срабатывание РТ I _о для отстройки от БТН	0,02
DT18	Задержка на возврат в цепи отключения выключателей	0,025
DT19	Задержка сигнализации на запрет пуска ВЧ	5
DT20	Задержка на возврат пуска УРОВ от ВЧ защиты	0,025
DT21	Задержка на срабатывание цепи пуска УРОВ	0,02
DT22	Задержка на возврат цепи пуска УРОВ	0,1
DT23	Задержка на возврат РТ DI _{бл} при тяге	0,25
DT24	Задержка на возврат РТ DI _{от} при тяге	0,15
DT50	Задержка на срабатывание цепи подхвата пуска УРОВ	0,02
DT51	Задержка сигнализации вывода ВЧ защиты при неисправности ПП	2
DT52	Задержка сигнализации неисправности ПП	2
DT54	Задержка пуска ВЧ и сигнализации при исчезновении напряжения	2
DT74	Задержка подготовки данных ОМП	(0,01...0,06)

9 Основные требования стандарта к выбору уставок устройства однофазного и трехфазного АПВ сетей 330 кВ и выше ШЭ 2710 582

9.1 Для обеспечения надежной работы ОАПВ необходимо правильно выбрать уставки измерительных органов и логической части ОАПВ [8, 9, 11].

Регулируемые измерительные органы включают:

- избиратели поврежденной фазы (ИПФ);
- орган выявления вида повреждения (ОВП);
- реле тока обратной последовательности (РТОП);
- орган контроля погасания дуги подпитки (ОКПДУВ).

В логической части ОАПВ необходимо выбрать уставки элементов времени. Назначение и обозначение уставок приведены в таблице 9-1.

Таблица 9-1

Назначение и обозначение уставок

Регулируемый орган	Обозначение уставки	Назначение уставки
Пусковой орган	$I_{cp_PТОП}$	Ток срабатывания ПО по току обратной последовательности для кратковременного ввода на самостоятельное действие избирателя отключенной фазы
ОВП	$U_{cp_PННП}$	Напряжение срабатывания ПО по напряжению нулевой последовательности
	$I_{cp_PТНП}$	Ток срабатывания ПО по току нулевой последовательности с торможением
	$K_{т_PТНП}$	Коэффициент торможения ПО
	$I_{cp_БТ}$	Ток отсечки ПО по току
Орган КПД	$I_{cp_PТНП_ОКПДУВ}$	Ток срабатывания дополнительного ПО по току нулевой последовательности
	$U_{cp_PН2_ОКПДУВ}$	Напряжение срабатывания чувствительного ПО по фазному напряжению
Уставки времен	$t_{ВВОД_ИПФ}$	Ввод ИПФ на заданное время
	$t_{сброс_ФП}$	Сброс фиксации пуска
	$t_{cp_ОАПВ_РП}$	Расчетная пауза
	$t_{cp_ОАПВ_АКР}$	Расчетная пауза с АКР
	$t_{резер_ИО_1ф_КЗ}$	Резервирование отказа ИПФ при однофазном КЗ
	$t_{резер_ИО_2ф_КЗ}$	Резервирование отказа ИПФ при двухфазном КЗ
	$t_{ОТФ_от_ОКПДУВ}$	Задержка на отключение трех фаз от контроля погасания дуги и успешности включения
	«Готов. выключ.»	Время готовности выключателей В1, В2

9.2 Выбор уставок ИПФ

Положение программных накладок $XВ$ (см. [5], таблица 13) выбирается в соответствии с параметрами ВЛ и режимом сети (см. [5]).

9.3 Выбор уставок органа ОВП

В шкафу ШЭ2710 582 для определения вида повреждения использован комбинированный орган, состоящий из реле тока нулевой последовательности (РТНП) с торможением и реле напряжения нулевой последовательности (РННП), которые действуют на выход по схеме ИЛИ (см. [5], рис. 7, 9).

9.3.1 Реле РТНП выполнено с торможением от среднего значения из трех величин фазных токов и дополнительно блокирующим реле, включенным на тот же средний тормозной ток.

Алгебраическое выражение тока срабатывания $I_{\text{ср_РТНП}}$ представлено в виде

$$I_{\text{ср_РТНП}} = \max (I_{\text{ср_0}}; K_T (I_{\text{Ф.МАКС}}^{(2)} - I_{\text{НТ}})), \quad (9-1)$$

где $I_{\text{ср_0}}$ - начальный ток срабатывания реле РТНП;

$I_{\text{НТ}}$ - ток начала торможения;

K_T - коэффициент торможения;

$I_{\text{Ф.МАКС}}^{(2)}$ - максимальный фазный ток при двухфазном КЗ.

Использование торможения от среднего значения из трех фазных величин позволяет иметь сильное торможение при двухфазных КЗ, когда средний фазный ток равен максимальному, и в то же время слабое торможение при однофазных КЗ, когда средний ток определяется током одной из неповрежденных фаз.

При выборе характеристики срабатывания органа, реагирующего на ток нулевой последовательности (точнее, на утроенный ток $3I_0$), считается допустимым использование зависимости тока небаланса $I_{\text{НБ}}$ в нулевом проводе от величины тока для типовых трансформаторов тока при двухфазных КЗ, представленной институтом «Энергосетьпроект» в Техническом задании на разработку устройства АПВ ВЛ сверхвысокого напряжения. Эта зависимость $I_{\text{НБ}} = f(I)$, а, точнее, зависимость, рассчитанная с коэффициентом отстройки 1,5 от вышеупомянутой, использована для выбора характеристики реле РТНП (рисунок 9-1).

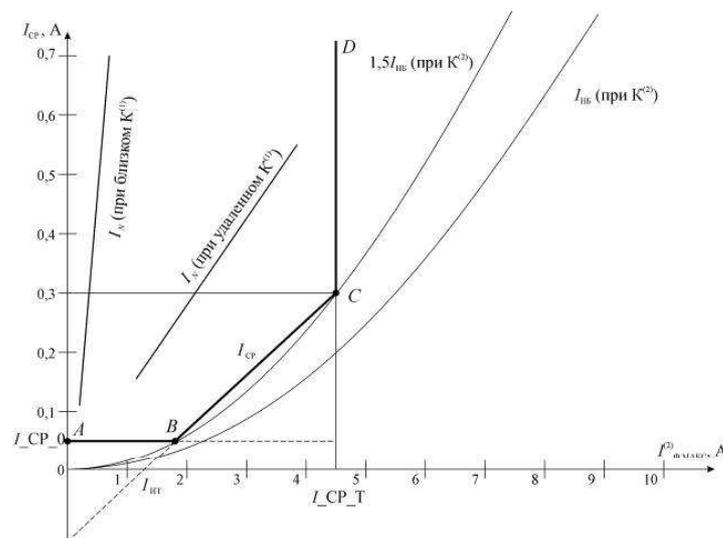


Рисунок 9-1. Характеристика срабатывания по току ОВП

При малых фазных токах КЗ (до 1,5 А) ток срабатывания органа - минимальный (максимальная чувствительность). Он определяется по условию отстройки от тока небаланса и с учетом возможной аппаратной реализации. Принимая во внимание все перечисленные выше условия и опыт предшествующих разработок, начальный ток срабатывания $I_{\text{ср}_0}$ равен 0,05 А.

Как показали проведенные оценочные расчеты токов однофазного КЗ максимальный вторичный ток средней фазы $I_{\text{Ф СРЕД}}$ (например, фазы В при К⁽¹⁾ на фазе А) при КЗ на ВЛ во всех реальных режимах работы сети 220-750 кВ не превышает 4 А (полагая, что используются трансформаторы тока на номинальный вторичный ток 1 А). Следовательно, при токах в здоровых фазах, превышающих 4 А, рассматриваемый орган может блокироваться, чем будет обеспечиваться действие устройства на разрешение отключения трех фаз (ОТФ). С некоторым запасом ток срабатывания блокирующего тормозного реле необходимо принять равным 4,5 А.

По зависимости $1,5 \cdot I_{\text{НБ}} = f(I)$ определяется ток срабатывания реле РТНП при $I_{\text{Ф МАКС}} = I_{\text{Ф СРЕД}} = 4,5 \text{ А}$. Он составляет $\approx 0,3 \text{ А}$.

Аппроксимируя зависимость $1,5 \cdot I_{\text{НБ}} = f(I)$ в диапазоне токов от 0 до 4,5 А с учетом того, что $I_{\text{ср}_0} = 0,05 \text{ А}$, по выражению (1) определяются $K_{\text{Т}} = 0,1$; $I_{\text{НТ}} = 1,25 \text{ А}$.

Окончательно выражение для $I_{\text{ср}_\text{РТНП}}$ при двухфазном КЗ принимает вид:

$$I_{\text{ср}_\text{РТНП}} = \max(0,05; 0,1 * (I_{\text{Ф МАКС}}^{(2)} - 1,25)) \quad (9-2)$$

Исходя из вышесказанного:

Уставка $I_{\text{ср}_\text{РТНП}}$ реле тока нулевой последовательности принимается равной 0,05 А, т.е.

$$I_{\text{ср}_\text{РТНП}} = 0,05 \text{ А вторичных}$$

Уставка коэффициента торможения упомянутого реле $K_{\text{Т}_\text{РТНП}}$ принимается равным 0,1, т.е.:

$$K_{\text{Т}_\text{РТНП}} = 0,1$$

Уставка блокирующего токового реле по току торможения принимается равной 5 А, т.е.:

$$I_{\text{ср}_\text{БТ}} = 5,0 \text{ А вторичных}$$

9.3.2 Напряжение $U_{\text{ср}_\text{РННП}}$ реле напряжения нулевой последовательности выбирается по условию отстройки от измеренного напряжения небаланса ($U_{\text{НБ}}$) в цепях напряжения $3U_0$

$$U_{\text{ср}_\text{РННП}} = K_{\text{ОТС}} * U_{\text{НБ}}, \text{ где}$$

$$K_{\text{ОТС}} = 1,25$$

9.3.3 Коэффициенты чувствительности реле РТНП ($K_{\text{ЧРТНП}}$) и РННП ($K_{\text{ЧРННП}}$) необходимо проверить при однофазном КЗ в конце линии ВЛ в минимальном режиме системы. В этом режиме $I_{\text{Ф СРЕД}}$ равен току нагрузки ВЛ, т.е. меньше $I_{\text{НТ}} = 1,25 \text{ А}$ и $I_{\text{ср}_\text{РТНП}} = 0,05 \text{ А}$.

$$K_{\text{ЧРТНП}} = 3I_0 / 0,05$$

$$K_{\text{чРННП}} = 3U_0 / U_{\text{срРННП}},$$

где $3I_0$ и $3U_0$ - ток и напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты в упомянутом режиме.

Для обеспечения расчетного времени действия органа ОВП хотя бы один из коэффициентов чувствительности должен быть не менее трех или одновременно для обеих величин не менее двух.

При невыполнении этих условий необходимо обращаться к разработчикам (Филиал ОАО «НТЦ электроэнергетики» - ВНИИЭ, ООО НПП «ЭКРА»).

9.4 Выбор уставок реле тока обратной последовательности

Реле тока обратной последовательности (РТОП) используется для контроля цепи пуска ОАПВ и для кратковременного ввода на самостоятельное действие избирателя отключенной фазы.

Ток срабатывания РТОП ($I_{\text{срРТОП}}$) выбирается по условию обеспечения чувствительности ($K_{\text{ч}} = 1,5$) при двухфазном КЗ в конце линии в минимальном режиме

$$I_{\text{срРТОП}} = I_2 / 1,5,$$

где I_2 - ток обратной последовательности в месте установки устройства при двухфазном КЗ в конце линии в минимальном режиме сети.

9.5 Выбор уставок органов контроля погасания дуги подпитки (ОКПДУВ)

Для ВЛ с шунтирующими реакторами (ШР) уставки нерегулируемые.

Для ВЛ без ШР подлежат выбору уставки срабатывания чувствительного реле фазного напряжения (РН2) и реле тока нулевой последовательности (РТНП).

9.5.1 Напряжение срабатывания $U_{\text{срРН2ОКПДУВ}}$ выбирается по условию надежного срабатывания ($K_{\text{ч}} = 1,5$) от принужденного ($U_{\text{ГР}}$) наведенного электростатическим путем напряжения на отключенной фазе.

$$U_{\text{срРН2ОКПДУВ}} = U_{\text{ГР}} / 1,5,$$

где $U_{\text{ГР}}$ определяется соотношением:

$$U_{\text{ГР}} / U_{\text{Н}} = (1 - \eta) / (2 + \eta - k) \quad (9-3)$$

где k - коэффициент компенсации емкостной проводимости линии, для ВЛ без ШР $k = 0$;

$U_{\text{Н}}$ - номинальное напряжение;

$\eta = B_0 / B_1$, где B_1 и B_0 - проводимости линии по прямой и нулевой последовательности соответственно ($B_1 = 1 / X_1$; $B_0 = 1 / X_0$).

После преобразования получаем выражение для уставки:

$$U_{\text{срРН2ОКПДУВ}} = (U_{\text{Н}} * (1 - \eta)) / (3 + 1,5 \eta) \quad (9-4)$$

9.5.2 Ток срабатывания блокирующего реле РТНП (блокирует действие канала с реле РН2 при больших токах нагрузки, способных вызвать срабатывание реле РН2 вследствие большой электромагнитной наводки)

выбирается по условию надежного действия ($K_{ч} = 2$) при величине напряжения, равного $U_{ср_РН2_ОКПДУВ}$:

$$I_{ср_РТНП_ОКПДУВ} = U_{ср_РН2_ОКПДУВ} / 2 * Z_{кФ}; \quad (9-5)$$

где $Z_{кФ}$ - фазное сопротивление компенсации линии.

$$Z_{кФ} = (Z_0 - Z_1) / 3 ,$$

где Z_1 и Z_0 - сопротивление линии по прямой и обратной последовательности соответственно.

Уставки $I_{ср_РТНП_ОКПДУВ}$ и $U_{ср_РН2_ОКПДУВ}$ - задаются во вторичных величинах.

9.6 Уставки элементов времени

9.6.1 Расчетная пауза на повторное включение $t_{ср_ОАПВ_РП}$ (элемент задержки $DT22$) выбирается из условия отстройки от времени гашения дуги ($t_{гаш}$) и деионизации среды в месте КЗ с необходимым запасом.

Поскольку в настоящее время отсутствуют теоретические разработки, которые бы правильно отражали особенности горения и гашения дуги подпитки, практический выбор бестоковых пауз ОАПВ для ВЛ СВН в РФ и странах СНГ базируется исключительно на опытных данных.

Как показывают опытные данные, устойчивость дуги и соответственно время её горения возрастают с увеличением амплитуд установившихся токов подпитки и напряжения после её гашения, а также с сокращением времени восстановления напряжения.

Наиболее полное обобщение результатов, проведенных по данной теме работ во ВНИИЭ, СибНИИЭ и за рубежом проведено в [7].

Там же приведены практические рекомендации по выбору бестоковых пауз ОАПВ, которые, по нашему мнению, являются наиболее правильными и могут быть приняты для установки на эксплуатируемых устройствах.

В [7] приведено уравнение регрессии $\bar{t}_{гаш}$ по $I_{д}$ и ν построенная более, чем по 720 опытными точкам, полученным на ВЛ как без реакторов, так и с реакторами

$$\bar{t}_{гаш} = -0,01 + 9,7 * 10^{-3} \cdot I_{д} + 1,16 * 10^{-3} * \nu \quad (9-6)$$

где $\bar{t}_{гаш}$ - время гашения дуги в секундах;

$I_{д}$ - ток дуги в амперах (амплитуда);

ν - крутизна нарастания напряжения в долях $U_{ф}$ за секунду (в использо-ванных данных ν колеблется в диапазоне 1,6-34).

Как видно из (9-6) зависимость времени гашения от амплитуды тока подпитки примерно на порядок сильнее, чем от средней крутизны нарастания напряжения ν . Учитывая, кроме того, что диапазон изменения значений $I_{д}$ в 5 раз шире диапазона изменения значений ν , следует признать, что изменение времени гашения определяется практически полностью изменением $I_{д}$, а влияние крутизны напряжения пренебрежимо мало.

С физической точки зрения это означает, что влияние крутизны напряжения «тонет» в сравнительно сильной зависимости $t_{гаш}$ от тока подпитки и в большом разбросе опытных точек, вызываемом различными

причинами, такими, как: фаза линии, на которой произошло КЗ; угол между напряжениями по концам линии, зависящий от значения и направления передаваемой мощности; расположение места КЗ на линии, число и расположение по концам линии шунтирующих реакторов; уровень рабочего напряжения; величина и расположение дугового промежутка и погодные условия.

Проведенный анализ показывает, что для ВЛ СВН без реакторов и с реакторами может быть использована единая зависимость времени гашения дуги подпитки от амплитуды её установившегося тока. Такая зависимость, построенная (с вероятностью 90%) по всему объему использованных опытных данных, приведена на рис.9-2.

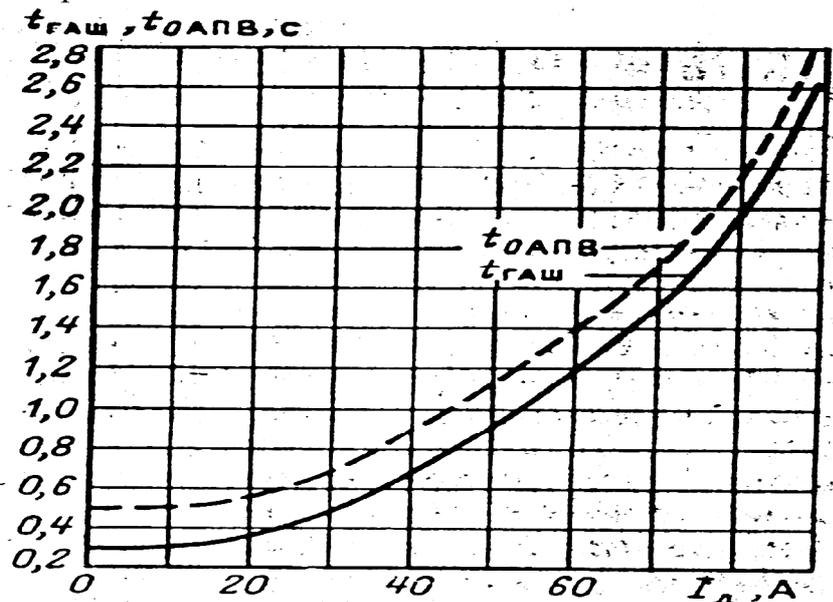


Рисунок 9-2

Приведенная на рис.9-2 зависимость может быть с удовлетворительной для практических целей точностью аппроксимирована выражением:

$$t_{гаш} = 0,2 + 2,86 \cdot 10^{-4} I_{д}^2 \quad (9-7)$$

Ток дуги подпитки $I_{д}$ приближенно рассчитывается по нижеприведенным выражениям, полученным из приведенных в таблицах 3.9-3.11 в [7] данных для усредненных ВЛ 330, 500 и 750 кВ

$$I_{\text{д}} = 0,1 \ell \text{ А} \quad \text{для ВЛ 330 кВ} \quad (9-8)$$

$$I_{\text{д}} = 0,13 \ell \text{ А} \quad \text{для ВЛ 500 кВ} \quad (9-9)$$

$$I_{\text{д}} = 0,185 \ell \text{ А} \quad \text{для ВЛ 750 кВ} \quad (9-10)$$

В (9-8)-(9-10) - ℓ - длина ВЛ в км; $I_{\text{д}}$ - ток в А.

По рассчитанному значению $t_{\text{гаш}}$ определяется расчетная пауза $t_{\text{ср_ОАПВ_РП}}$:

$$t_{\text{ср_ОАПВ_РП}} \geq t_{\text{гаш}} + 0,2 \quad (9-11)$$

где 0,2 с - время восстановления прочности канала после гашения дуги подпитки.

Окончательные выражения для расчетных пауз ОАПВ для ВЛ 330,500 и 750 кВ различной длины с учетом выражений (9-7) - (9-11) представлены в виде:

$$\text{Для ВЛ 330 кВ: } t_{\text{ср_ОАПВ_РП}} = 0,4 + 0,0286 \cdot 10^{-4} \cdot \ell^2 \quad (9-12)$$

$$\text{Для ВЛ 500 кВ: } t_{\text{ср_ОАПВ_РП}} = 0,4 + 0,048 \cdot 10^{-4} \cdot \ell^2 \quad (9-13)$$

$$\text{Для ВЛ 750 кВ: } t_{\text{ср_ОАПВ_РП}} = 0,4 + 0,098 \cdot 10^{-4} \cdot \ell^2 \quad (9-14)$$

В выражениях (9-12)-(9-14):

$t_{\text{ср_ОАПВ_РП}}$ - расчетная пауза в секундах; ℓ - длина ВЛ в км.

9.6.2 Выдержка времени на ОТФ от ОКПДУВ (элемент $DT3$) выбирается по условию отстройки (Δt) от расчетной паузы $t_{\text{ср_ОАПВ_РП}}$.

Уставка $t_{\text{ОТФ_от_ОКПДУВ}} = t_{\text{ср_ОАПВ_РП}} + \Delta t$,

где $\Delta t \approx 0,3$ с.

9.6.3 Выдержка времени на сброс фиксации пуска ($t_{\text{сброс_ФП}}$ или время возврата схемы ОАПВ на элементе $DT2$) выбирается по условию отстройки (запас Δt) от цикла ОАПВ с расчетной паузой и ОТФ от ОКПДУВ в случае непогасания дуги подпитки.

$$t_{\text{сброс_ФП}} \geq t_{\text{ср_ОАПВ_РП}} + \Delta t$$

$$t_{\text{сброс_ФП}} \geq t_{\text{ОТФ_от_ОКПДУВ}} + \Delta t,$$

где запас $\Delta t \approx 0,5$ с.

Выбирается большее значение.

9.6.4 Выдержка времени на ввод ИПФ (методика выбор уставок ИПФ описана в главе 7) на самостоятельное действие выбирается исходя из времени развития качаний до такой степени, когда становится возможным срабатывание ИПФ (элемент $DT6$).

В том случае, когда невозможно достоверно определить время, в течение которого ИПФ неповрежденных фаз еще не срабатывают под влиянием качаний, необходимо использовать минимальную уставку, которая равна 0,25 с, либо вовсе не вводить ИПФ неповрежденных фаз на самостоятельное действие. Последнее достигается снятием перемычки $XB20$.

Рекомендуемая уставка на ввод ИПФ на самостоятельное действие

$$t_{\text{ВВОД_ИПФ}} = 0,25 \text{ с.}$$

9.6.5 Выдержки времени в схеме резервирования отказа избирателей.

Величины выдержек времени $DT17$ ($t_{\text{резер_ИО_1ф_КЗ}}$) - резервирование отказа ИПФ при однофазном КЗ и $DT19$ ($t_{\text{резер_ИО_2ф_КЗ}}$) - резервирование отказа ИПФ при двухфазном КЗ, выбираются с учетом того,

что, с одной стороны необходимо стремиться как можно быстрее отключить все три фазы при отказах ИПФ и, с другой стороны, необходимо обеспечить возможность каскадного действия ИПФ при однофазных и двухфазных КЗ на землю через большие переходные сопротивления. В соответствии с этим выдержка времени $t_{резер_ИО_1ф_КЗ}$ выбирается исходя из условия обеспечения каскадной работы ИПФ на данном конце линии при удаленном однофазном КЗ, т.е. его срабатывания после отключения поврежденной фазы на другом конце линии.

Выдержка времени $t_{резер_ИО_2ф_КЗ}$ выбирается исходя из условий отстройки от времени отключения двухфазного КЗ с двух сторон линии с учетом каскадного действия ИПФ и возврата защиты.

В обоих случаях необходимо учитывать, что основная высокочастотная защита линии может срабатывать раньше ИПФ.

$$t_{резер_ИО_1ф_КЗ} \geq 2 \cdot t_{ср\ ИПФ} + t_{ОВ}^I + t_{ЗАП}$$

$$t_{резер_ИО_2ф_КЗ} \geq 2 \cdot t_{ср\ ИПФ} + t_{ОВ}^I + t_{ОВ}^{II} + t_{ВОЗ\ ЗАЦ} + t_{ЗАП},$$

где $t_{ср\ ИПФ}$ - время срабатывания ИПФ;

$t_{ОВ}^I, t_{ОВ}^{II}$ - время отключения выключателя первой и второй сторон линии, соответственно;

$t_{ВОЗ\ ЗАЦ}$ - время возврата защиты;

$t_{ЗАП}$ - время запаса.

Принимая $t_{ср\ ИПФ} = 20$ мс, $t_{ВОЗ\ ЗАЦ} = 50$ мс и $t_{ЗАП} = 20$ мс, вышеприведенные выражения получают вид:

$$\text{Уставка } t_{резер_ИО_1ф_КЗ} = t_{ОВ}^I + 60 \text{ мс};$$

$$\text{Уставка } t_{резер_ИО_2ф_КЗ} = t_{ОВ}^I + t_{ОВ}^{II} + 110 \text{ мс}.$$

9.6.6 Выдержка времени готовности $t_{ГОТ}$ выключателя (элемент DT21) устанавливается в соответствии с ТУ завода-изготовителя выключателя на режим работы

$$O - t_{АПВ} - BO - t_{ГОТ} - BO,$$

где O - отключение, B - включение, $t_{АПВ}$ - гарантированная для выключателя минимальная бестоковая пауза при АПВ.

Не рассмотренные здесь уставки - нерегулируемые.

Положение программных накладок XB (см. [5], Таблица 1) выбирается в соответствии с конкретными условиями применения (схема подключения линии, режим, состав устройств РЗА и ПА).

10 Основные требования к выбору уставок устройства трехфазного АПВ сетей 330 кВ и выше ШЭ 2710 511

В схеме устройства ТАПВ необходимо выбрать следующие параметры:

- выдержку времени ускоренного ТАПВ $t_{ср_УТАПВ}$;
- выдержку времени ТАПВ с контролем отсутствия напряжения линии ТАПВ-ОН ($t_{ср_ТАПВ-ОН}$);

- задержку на пуск схемы ТАПВ с контролем синхронизма $t_{ср_ТАПВ_КС}$;

- уставки органа контроля синхронизма (ОКС), используемого в схеме ТАПВ-КС: «Реле КС по DU », «Реле КС по $DF1$ », «Реле КС по DF »;
- напряжения срабатывания реле прямой ($U_{cp_PH_U1}$, $U_{cp_PH_U1_2}$), обратной ($U_{cp_PH_U2}$) и нулевой ($U_{cp_PH_U0}$) последовательности, используемые в схемах контроля отсутствия и наличия напряжения при различных видах ТАПВ;
- выдержку времени готовности выключателя при ТАПВ $t_{гот}$.
- задержку на сброс готовности схемы ТАПВ при отключении выключателя и отсутствии условий срабатывания $t_{сбр_гот_ТАПВ}$.

10.1 Выдержка времени УТАПВ

(см. [8], элемент $DT4$, рис. 7), запускаемого в результате отключения выключателя высокочастотной защитой линии, выбирается по условию отстройки от времени горения дуги $t_{ГД}$ и деионизации среды $t_{ДС}$ в месте КЗ. Время $t_{ГД}$ при 3-х фазном отключении весьма мало, поэтому можно представить

$$t_{cp_УТАПВ} = t_{ДС} - t_{ВВ} + t_{ЗАП}, \text{ где:} \quad (10-1)$$

$t_{ВВ}$ - время включения выключателя;

$t_{ЗАП}$ - время запаса, учитывающее неодновременное отключение выключателей по концам линии, может быть принято 0,2 с.

$t_{ДС} = 0,2; 0,3; 0,35; 0,4$ с для сетей 330, 500, 750 и 1150 кВ соответственно.

Учитывая, что $t_{ДС}$ увеличивается с возрастанием номинального напряжения и длины линии и, принимая $t_{ВВ} = 0,1$ с (для воздушных и элегазовых выключателей), рекомендуются следующие диапазоны уставок $t_{cp_УТАПВ}$ для ВЛ 220-1150 кВ:

Таблица 10-1

Уставки $t_{cp_УТАПВ}$, с в зависимости от длины и напряжения ВЛ

Напряжение, кВ	330	500	750	1150
Длина ВЛ, км				
≤ 100	0,25 ÷ 0,4	0,35 ÷ 0,45	0,4 ÷ 0,6	0,5 ÷ 0,65
>100	0,3 ÷ 0,5	0,4 ÷ 0,6	0,5 ÷ 0,7	0,6 ÷ 0,8

Большие из приведенных значений относятся к ВЛ большей длины соответствующего класса напряжения. В общем случае эта зависимость принимается линейной; возможна корректировка в конкретном месте применения.

Таблица 10-2

Рекомендуемые уставки $t_{cp_УТАПВ}$

Напряжение, кВ	330	500	750	1150
Длина ВЛ, км				
≤ 100	0,3	0,4	0,5	0,6
>100	0,4	0,5	0,6	0,7

Для повышения надежности осуществления УТАПВ целесообразно использовать контроль наличия симметричного напряжения на шинах (секции шин или смежном элементе, от которого происходит опробование линии), а также контроль отсутствия номинального симметричного напряжения (ОСН) на линии или контроль отсутствия напряжения (ОН) на линии (для предотвращения несинхронных включений или опасных перенапряжений на контактах выключателя при нештатных ситуациях).

С помощью программной накладки *XB04 (XB05)* имеется возможность выбора режима работы УТАПВ без контроля напряжения.

Для выбора режимов работы УТАПВ с контролями напряжений предназначена программная накладка *XB06 (XB07)*.

В случае, если работа УТАПВ должна контролироваться ВЧС № 5 с противоположной стороны, то выбор контроля производится с помощью программной накладки *XB08 (XB09)*.

Предусмотрена возможность вывода УТАПВ из работы с помощью программной накладки *XB03*.

10.2 Выдержка времени ТАПВ-ОН

Выдержка времени $t_{cp_ТАПВ_ОН}$ (см. [8], элемент *DT4/DT14*, рис. 6) выбирается по условию отстройки от времени действия междуфазной (дистанционной) защиты противоположного конца ВЛ, надежно охватывающий всю линию (обычно это вторая ступень $t_{защ.п.ст}$) и времени деионизации среды $t_{дс}$ в месте КЗ. Поскольку наличие однофазного КЗ на ВЛ выявляется контролем напряжения, то отстройка от времени действия защит от замыканий на землю противоположного конца линии не требуется.

$$\text{Уставка } t_{cp_ТАПВ_ОН} = t_{защ.п.ст} + t_{дс} - t_{вв} + t_{зап} \quad (10-2)$$

Здесь $t_{зап}$ необходимо принимать 0,4 с; $t_{дс} \cong 0,2; 0,3; 0,35; 0,4$ с для сетей 330, 500, 750 и 1150 кВ соответственно.

При АПВ-ОН необходимо использовать контроль наличия симметричного напряжения на шинах (НСН).

Медленно затухающие переходные процессы на отключенной линии с шунтирующими реакторами могут замедлять АПВ по цепи контроля отсутствия напряжения (контроль отсутствия напряжения ОН не разрешает включение, пока напряжение на линии не снизится, т.е. пока колебания не затухнут). Использование контроля ОСН позволяет иметь меньшее замедление, так как сигнал ОСН появляется при меньшем снижении напряжения, но при этом будут иметь место большие разности напряжений на контактах выключателя при его включении.

При осуществлении АПВ шин выдержка времени ТАПВ-ОН выбирается по условию отстройки от времени деионизации среды, т.е.

$$\text{Уставка } t_{cp_АПВШ} = t_{дс} - t_{вв} + t_{зап} \quad (10-3)$$

где: $t_{зап}$ и $t_{дс}$ - принимаются:

$t_{\text{ЗАП}} = 0,2$; $t_{\text{ДС}} \cong 0,2; 0,3; 0,35; 0,4$ с для сетей 330, 500, 750 и 1150 кВ соответственно.

Уставка срабатывания $t_{\text{ср_АПВШ}}$ принимается такой же, как для $t_{\text{ср_УТАПВ}}$ (таблица 10-2).

С помощью программных накладок $XB10$ и $XB11$ имеется возможность вывода из работы ТАПВ-ОН элементов Э1 и Э2 соответственно.

Для выбора работы ТАПВ-ОН с контролем ВЧС № 5 с противоположной стороны, предусмотрены программные накладки $XB12$ и $XB13$.

Контроль напряжения

От выполнения контроля напряжения (КН) существенным образом зависят выдержки времени отдельных видов ТАПВ, а следовательно, и полное время разрыва электропередачи.

Контроль отсутствия напряжения (КОН) на линии служит для предотвращения включения на неотключенную с противоположного конца линию с повреждением и используется при осуществлении ТАПВ-ОН, УТАПВ-ОН.

Контроль наличия напряжения (КНН) на линии, свидетельствующий о включенном положении выключателя противоположного конца и исправном состоянии линии, т.е. об успешности ТАПВ первого конца ВЛ, используется при осуществлении ТАПВ со второго конца (ТАПВ-КС, ТАПВ-КНН).

В шкафу ШЭ 2710 511 применен КН с использованием напряжений прямой U_1 , обратной U_2 и нулевой U_0 последовательностей. Такой совершенный КН позволяет фиксировать наличие всех видов повреждений, кроме трехфазного КЗ, а также режимы неполнофазных включений ВЛ.

Выражения для сигналов КНН и КОН представлены в виде логических выражений:

$$\text{КНН} = U_1 \ \& \ \text{НЕ} (U_2) \ \& \ \text{НЕ} (U_0) \quad (10-4)$$

$$\text{КОН} = \text{НЕ} (U_1) \ \& \ \text{НЕ} (U_2) \ \& \ \text{НЕ} (U_0) \quad (10-5)$$

В качестве измерительных органов использованы реле максимального напряжения РН $U1$, РН $U2$ и РН $U0$. Напряжение срабатывания реле $U_{\text{ср_РН_}U1}$ выбрано по условию надежного срабатывания при минимальном рабочем напряжении на шинах ПС.

Уставка $U_{\text{ср_РН_}U1} = 75$ В линейных вторичных (нерегулируемое).

Напряжения срабатывания реле РН $U2$ и РН $U0$ должны быть отстроены ($k = 1,2$) от напряжений небаланса в цепях напряжения в нормальном нагрузочном режиме работы линии, т.е.

$$\text{уставка } U_{\text{ср_РН_}U2} = 1,2 \cdot U_{2\text{НБ}}$$

$$\text{уставка } U_{\text{ср_РН_}U0} = 1,2 \cdot U_{0\text{НБ}}$$

Реле напряжения прямой последовательности РН $U1.2$ - используется для оценки тяжести повреждения (ОТП) и запрета ТАПВ (УТАПВ, ТАПВ-ОН) данного конца; при этом предусматривается передача разрешающего ВЧ (ВЧС №5) сигнала на противоположный конец линии.

Диапазон уставок $U_{cp_PH_U1_2}$ составляет $30 \div 60$ В линейных вторичных.

Выбор уставки срабатывания должен производиться по согласованию со службой режимов соответствующего РДУ. При отсутствии данных необходимо принять уставку $U_{cp_PH_U1_2} = 45$ В.

В схемах КН имеется возможность использовать разновидности сигналов наличия (отсутствия) напряжения, а именно: если в выражении (10-4) сигнал U_1 берется от реле РН $U1.1$ (высокая уставка) - то сигнал называется НСН (наличие симметричного напряжения). Инверсия от этого сигнала называется сигналом отсутствия симметричного напряжения ОСН.

В выражении (10-5) НЕ (U_1) - берется от реле РН $U1.2$ (низкая уставка) и получающийся сигнал называется ОН.

10.4 Контроль синхронизма

Для получения наибольшего эффекта при АПВ ЛЭП целесообразно повторное включение со второго конца линии производить только в тех случаях, когда будет сохранена синхронная динамическая устойчивость, т.е. когда синхронизм после АПВ устанавливается без асинхронного хода.

При включении электропередачи не должны быть превышены допустимые электромагнитные моменты в генераторах, а на ВЛ 750-1150 кВ - также и допустимые коммутационные перенапряжения на оборудовании ЛЭП. Упомянутые электромагнитный момент и перенапряжения зависят от угла δ между напряжениями объединяемых энергосистем.

Наибольший из допустимых по этим условиям угол δ составляет, как показывают оценочные расчеты, не менее 90° [5, 6].

Для обеспечения успешной ресинхронизации после замыкания электропередачи величины скольжения s и угла δ между напряжениями энергосистем не должны превышать их критических значений $s_{кр}$ и $\delta_{кр}$ [4]. Как показывают расчеты для подавляющего большинства электропередач нижние границы упомянутых параметров таковы: $s_{кр} \geq 1\%$; $\delta_{кр} \geq 90^\circ$.

Исходя из вышесказанного, для обеспечения большей области применения устройства ТАПВ-КС уставку по разности частот Δf целесообразно принять максимальной, т.е. 0,4 Гц ($s = 0,8\%$).

Уставка «Реле КС по DF » = 0,4 Гц.

Данная уставка должна быть согласована со службой режимов энергосистем.

Принимая угол включения $\delta_{вкл} = \delta_{кр} = 90^\circ$ и считая, что $s = \text{const}$ (во время включения) и срабатывание ОКС происходит в момент, когда угол $\delta = \delta_{уст}$:

$$\delta_{кр} - \delta_{уст} = \Delta f \cdot 360^\circ \cdot t_{ВВ}$$

откуда:

$$\delta_{уст} = \delta_{кр} - \Delta f \cdot 360^\circ \cdot t_{ВВ} \quad (10-6)$$

$\delta_{уст}$ - означает, что зона срабатывания по углу δ лежит в диапазоне $-\delta_{уст} < \delta < +\delta_{уст}$

При $t_{ВВ} = 0,1$ с и $\delta_{кр} = 90^\circ$ будем иметь $\delta_{уст} = 90 - 0,4 \cdot 360 \cdot 0,1 = 75,6^\circ \approx 75^\circ$

Рекомендуемая $\delta_{уст} = 75^\circ$.

Малое время действия ОКС (~ 30 мс) и довольно большой диапазон срабатывания по углу и скольжению позволяет расширить область применения ТАПВ-КС

При применении на первом конце ВЛ УТАПВ ($t_{ср} \approx 0,5$ с) и ТАПВ-КС ($t_{ср} \approx 0,3$ с) на втором конце получаем малое общее время разрыва передачи ($\sim 0,8$ с).

Если при положительном скольжении $s = 0,8\%$ ($\Delta f = 0,4$ Гц) угол δ между напряжениями к моменту пуска ОКС не превосходит значение $\delta_{уст}$, то включение произойдет без «проворота». Если же угол δ уже превысил значение $+\delta_{уст}$, то срабатывание ОКС произойдет при вхождении угла δ в зону срабатывания со стороны отрицательных значений, когда δ станет больше $-\delta_{уст}$ и включение выключателя произойдет с углом $\delta_{вкл}$, равным

$$\delta_{вкл} = -\delta_{уст} \cdot \Delta f \cdot 360^\circ \cdot t_{ВВ}$$

При уставках $\delta_{уст} = 75^\circ$ ($-75^\circ \div +75^\circ$); $\Delta f = 0,4$ Гц ($-0,4$ Гц $\div +0,4$ Гц)

этот угол включения составит

$$\delta_{вкл} = -75 + 0,4 \cdot 360 \cdot 0,1 = -60^\circ \text{ при изменении угла в сторону } 0^\circ.$$

Такое действие схемы ТАПВ-КС аналогично улавливанию синхронизма.

Уставка реле разности напряжений должна учитывать возможное различие номинальных рабочих напряжений ПС первого и второго концов ВЛ и принимается равной $0,2 \cdot U_{НОМ}$.

Уставка «Реле КС по DU » = $0,2 \cdot U_{НОМ}$

В схеме ТАПВ-КС предусмотрен элемент времени DT5 ($t_{ср_ТАПВ_КС}$).

Для получения минимального времени ТАПВ-КС линии эту задержку необходимо принять минимальной, т.е. уставка $t_{ср_ТАПВ_КС} = 0,2$ с. При использовании ТАПВ-КС для автоматической сборки схемы ПС после отключения присоединений от защиты шин на упомянутом элементе в схемах ТАПВ-КС разных присоединений необходимо установить различные времена (разнос $\sim 0,3 \div 0,5$ с) для исключения перегрузки аккумуляторной батареи при включении выключателей.

В случае, когда напряжение второго энергообъекта берется с ТН стороны низкого напряжения АТ, может возникнуть фазовый сдвиг между напряжениями элементов Э1 и Э2, который повлияет на правильную работу реле контроля синхронизма по углу между напряжениями, так как реле реагирует на разность фаз между напряжениями U_{bc} Э1 и U_{bc} Э2 (в нашем случае НН АТ), необходимо подстроить вектор U_{bc} Э2 под U_{bc} Э1. Для этого вводится уставка «Доворот U_{bc} Э2 на угол», которая позволяет учитывать фазовый сдвиг.

10.5 Время готовности выключателя

Выдержка времени готовности $t_{\text{гот}}$ выключателя (элемент $DT7$) выбирается по условию готовности привода выключателя к повторному действию в цикле $O - t_{\text{АПВ}} - BO - t_{\text{гот}} - BO$,

где:

O - отключение;

B - включение;

$t_{\text{АПВ}}$ - гарантированная для выключателя минимальная бестоковая пауза при АПВ.

Параметры эти необходимо брать из технических данных на выключатель завода-изготовителя (обычно $15 \div 180$ с).

10.6 Время на сброс готовности $t_{\text{сбр_гот_ТАПВ}}$.

При отключенном выключателе и отсутствии условий срабатывания (возврат схемы в исходное состояние), регулируется в диапазоне $15 \div 60$ с. Большое время может потребоваться для восстановления схемы ПС в послеаварийном режиме (например, от ТАПВ-КС). Выбирается по условиям конкретного применения и согласования со службой режимов РДУ.

Рекомендуемая величина $t_{\text{сбр_гот_ТАПВ}} = 60$ с.

11 Обозначения и сокращения

АВР - автоматическое включение резерва;

АПВ - автоматическое повторное включение;

ВН - высокое напряжение;

КЗ - короткое замыкание;

КРУ - комплектное распределительное устройство;

КРУЭ - комплектное распределительное устройство элегазовое;

ОАПВ - однофазное автоматическое повторное включение;

ПС - подстанция;

РЗА - релейная защита и автоматика;

СН - среднее напряжение;

ТАПВ - трехфазное автоматическое повторное включение;

ТЗ - техническое задание;

ТТ - технические требования;

ТУ - технические условия;

УРЗА - устройство релейной защиты и автоматики;

УРОВ - устройство резервирования при отказе выключателя.

12 Библиография

1. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 9.
2. Дони Н.А., Дони К.Н. Частотные свойства цифровых фильтров симметричных составляющих. - Электричество, № 5, 2003.

3. Выбор характеристики срабатывания органа контроля синхронизма по условию получения наибольшей эффективности трехфазного АПВ линий электропередачи Г.Г. Фокин - Релейная защита и автоматика ВЛ сверхвысоких напряжений и мощных генераторов. Сборник научных трудов/ ВНИИЭ, 1988, с.26-33
4. Хачатуров А.А. Несинхронные включения и ресинхронизация в энергосистемах. М: Энергия, 1977г.
5. Шкаф дифференциально-фазной защиты линии и устройства однофазного автоматического повторного включения типа ШЭ2710 582. Руководство по эксплуатации.
6. Отчет ВНИИЭ. Разработка аппаратуры ПА, реагирующей на угол электропередачи 750 кВ и его изменение. Разработка рекомендаций по расчету параметров срабатывания устройства АПВ - 750 М с органами угла, напряжения и тока. (Заключительный отчет). М., 1978г. Шифр 5-299/78, Инвентарный № Б 722172, УДК 621.316.925
7. Процессы при однофазном автоматическом повторном включении линий высоких напряжений//Н.Н.Беляков, К.П.Кадомская, М.Л.Левинштейн и др. Под редакцией М.Л. Левинштейна - М.: Энергоатомиздат, 1991 -256с.
8. Автоматика управления выключателем напряжением 330 кВ и выше. Шкаф типа ШЭ2710 511. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.656453.038 РЭ.
9. Исследование, разработка и внедрение устройства контроля погасания дуги (УКПД) для адаптивного управления ОАПВ ВЛ 500-1150 кВ. Отчет ВНИИЭ, шифр 5-15-23-03/86, М., 1986.
10. Панель высокочастотной направленной защиты ПДЭ 2802//Я.С. Гельфанд, Н.А. Дони, А.И. Левиуш и др. -М.:Энергоатомиздат, 1992. -128с.
11. Шкаф дифференциально-фазной защиты линии типа ШЭ2607 081. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.656453.029 РЭ.
12. Шкаф направленной высокочастотной защиты линии типа ШЭ2607 031. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.656453.023 РЭ.

Уставки и параметры срабатывания высокочастотных защит ООО НПП «ЭКРА»

Уставки и параметры срабатывания шкафа дифференциально-фазной защиты линии типа ШЭ 2607 081 [11]

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра	
ДФЗ	Уставки ПО, ИО	И _{ср} ИО М ₀	Ток срабатывания ИО М ₀ ; (0,1...2,0) I _{НОМ} , А	
		U _{ср} ИО М ₀	Напряжение срабатывания ИО М ₀ ; (2...12) В	
		И _{ср} ПО 3I ₀ бл	Ток срабатывания ПО по току нулевой последовательности, блокирующего; (0,1...1,0) I _{НОМ} , А	
		И _{ср} ПО 3I ₀ от	Ток срабатывания ПО по току нулевой последовательности, отключающего; (0,2...2,) I _{НОМ} , А	
		И _{ср} ПО I ₂ бл	Ток срабатывания ПО по току обратной последовательности, блокирующего; (0,05...0,5) I _{НОМ} , А	
		И _{ср} ПО I ₂ от	Ток срабатывания ПО по току обратной последовательно отключающего; (0,1...1,0) I _{НОМ} ,	
		И _{ср} ПО I _л бл	Ток срабатывания ПО по разности фазных токов, блокирующего; (0,2...4,0) I _{НОМ} , А	
		И _{ср} ПО I _л от	Ток срабатывания ПО по разности фазных токов, отключающего; (0,4...8,0) I _{НОМ} , А	
		И _{ср} ПО DI ₁ бл	Ток срабатывания ПО DI _{БЛ} по скорости изменения тока прямой последовательности, блокирующего; (0,08...3,0) I _{НОМ} , А	
		И _{ср} ПО DI ₁ от	Ток срабатывания ПО DI _{ОТ} по скорости изменения тока прямой последовательности, отключающего; (0,12...5,0) I _{НОМ} , А	
		И _{ср} ПО DI ₂ бл	Ток срабатывания ПО DI _{БЛ} по скорости изменения тока обратной последовательности, блокирующего; (0,04...1,5) I _{НОМ} , А	
		И _{ср} ПО DI ₂ от	Ток срабатывания ПО DI _{ОТ} по скорости изменения тока обратной последовательности, отключающего; (0,06...2,5) I _{НОМ} , А	
		Уставки ОМ, ОСФ	К фильтра	Уставка ОМ по коэффициенту k комбинированного фильтра токов; (4...10)
			Угол блокировки	Уставка ОСФ по углу блокирования действия защиты на отключение; (40...65)°
Доворот I ₁ +kI ₂	Доворот (I ₁ +kI ₂) на угол (-90,0...90,0)			

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
	Уставки РС	X $Z_{\text{отв}}$	Уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО $Z_{\text{отв}}$; (1...250) Ом при $I_{\text{НОМ}} = 1 \text{ А}$ (0,2...50) Ом при $I_{\text{НОМ}} = 5 \text{ А}$
		R $Z_{\text{отв}}$	Уставка по активной составляющей сопротивления ИО $Z_{\text{отв}}$; (1...250) Ом при $I_{\text{НОМ}} = 1 \text{ А}$ (0,2...50) Ом при $I_{\text{НОМ}} = 5 \text{ А}$
		Наклон $Z_{\text{отв}}$	Угол наклона характеристики ИО $Z_{\text{отв}}$ (Φ_1); (45...89)°
		Наклон IV кв.	Угол наклона нижней правой части характеристики ИО $Z_{\text{отв}}$ (Φ_2); (-89...0)°
		Наклон II кв.	Угол наклона нижней левой части характеристики ИО $Z_{\text{отв}}$ (Φ_3); (91 ...179)°
		X $Z_{\text{откл}}$	Уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО $Z_{\text{от}}$; (1...250) Ом при $I_{\text{НОМ}} = 1 \text{ А}$ (0,2...50) Ом при $I_{\text{НОМ}} = 5 \text{ А}$
		R $Z_{\text{откл}}$	Уставка по активной составляющей сопротивления ИО $Z_{\text{от}}$; (1...250) Ом при $I_{\text{НОМ}} = 1 \text{ А}$ (0,2...50) Ом при $I_{\text{НОМ}} = 5 \text{ А}$
		Φ_R	Вычисленный угол наклона характеристики срабатывания ИО $Z_{\text{от}}$
	Уставки времени	$t_{\text{ср}}$	Уставка времени задержки срабатывания ДФЗ; (0,01...0,15) с
ДФЗ	Логика работы	Ответвления	XB1 Работа с ответвлениями на ВЛ, предусмотрена / не предусмотрена
		Работа с тягой	XB2 Работа с тяговой нагрузкой, предусмотрена / не предусмотрена
		Работа с ОАПВ	XB3 Работа с ОАПВ, предусмотрена / не предусмотрена
		ПО I_0	XB10 ПО I_0 , выведен / в работе
		Пуск ВЧ при выводе защиты	XB7 Пуск ВЧ при выводе защиты, предусмотрен / не предусмотрен
		Сигнализация пуска отключение	XB8 Сигнализация пуск ДФЗ на отключение, предусмотрена / не предусмотрена
		Инверсия запрета АК	XB9 Инверсия сигнала запрета АК предусмотрена / не предусмотрена
		Обмен ВЧ сигналами	XB12 Обмен ВЧ сигналами не манипулированный / манипулированный

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
	Сост. переключател ей	Выбор выключателя	Перевод действия защиты с линейного выключателя на обходной: линейный/ отключено/ обходной
		ВЧ защита	Выбор режима работы ДФЗ: сигнал/ вывод/ работа
		УРОВ	Выбор режима работы УРОВ, работа/вывод
		Терминал	Выбор режима работы терминала, работа/вывод
		БИ линейн. выкл.	БИ линейного выключателя, работа/вывод
		БИ обходн. выкл.	БИ обходного выключателя, работа/вывод
УРОВ	Иср ПО УРОВ	Иср ПО УРОВ,А	Ток срабатывания ПО УРОВ; (0,04 - 0,4) $I_{НОМ}$, А
	тср УРОВ	тср УРОВ, с	Время задержки УРОВ; (<u>0,1...0,6</u>) с
	Подтвержде ние УРОВ от РПВ	Подг. УРОВ от РПВ	Подтверждение пуска УРОВ от РПВ (КQC), предусмотрено / не предусмотрено
	УРОВ на «себя»	УРОВ на «себя» не предусмотрено	Действие УРОВ «на себя», предусмотрено / не предусмотрено
Параметр ы линии	Длина линии	Длина линии, км	Уставка по длине линии, км
	R1	R1 ,Ом/км	Уставка по удельному активному сопротивлению линии прямой последовательности
	X1	X1 ,Ом/км	Уставка по удельному реактивному сопротивлению линии прямой последовательности
	R0	R0 ,Ом/км	Уставка по удельному активному сопротивлению линии нулевой последовательности
	X0	X0 ,Ом/км	Уставка по удельному реактивному сопротивлению линии нулевой последовательности
	MR0//	MR0//,Ом/км	Уставка по активному сопротивлению взаимоиндукции с параллельной линией нулевой последовательности
	MX0//	MX0//,Ом/км	Уставка по удельному реактивному сопротивлению взаимоиндукции с параллельной линией нулевой последовательности

Уставки и параметры срабатывания шкафа дифференциально-фазной защиты линии и устройства однофазного автоматического повторного включения типа ШЭ2710 582 (581) [5]

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
ДФЗ	Уставки ПО	$I_{ср}$ ПО I_2 бл	Ток срабатывания ПО по току обратной последовательности, блокирующего; (0,025 -0,5) $I_{НОМ}$, А
		$I_{ср}$ ПО I_2 от	Ток срабатывания ПО по току обратной последовательности, отключающего; (0,05 -1,0) $I_{НОМ}$, А
		$I_{ср}$ ПО $DI2$ бл	Ток срабатывания ПО $DI2_{БЛ}$ по скорости изменения тока обратной последовательности, блокирующего; (0,02 -1,5) $I_{НОМ}$, А
		$I_{ср}$ ПО $DI2$ от	Ток срабатывания ПО $DI2_{ОТ}$ по скорости изменения тока обратной последовательности, отключающего; (0,04 -2,5) $I_{НОМ}$, А
		$I_{ср}$ ПО $DI1$ бл	Ток срабатывания ПО $DI1_{БЛ}$ по скорости изменения тока прямой последовательности, блокирующего; (0,08 -3,0) $I_{НОМ}$, А
		$I_{ср}$ ПО $DI1$ от	Ток срабатывания ПО $DI1_{ОТ}$ по скорости изменения тока прямой последовательности, отключающего; (0,16 -5,0) $I_{НОМ}$, А
		$I_{ср}$ ПО $I_{л}$ бл	Ток срабатывания ПО по разности фазных токов, блокирующего; (0,2 -4,0) $I_{НОМ}$, А
		$I_{ср}$ ПО $I_{л}$ от	Ток срабатывания ПО по разности фазных токов, отключающего; (0,4 -8,0) $I_{НОМ}$, А
		$U_{ср}$ ПО U_2 бл	Напряжение срабатывания ПО по U_2-kI_2 , блокирующего; (2,0 -6,0), В
		$U_{ср}$ ПО U_2 от	Напряжение срабатывания ПО по U_2-kI_2 , отключающего; (4,0 -12,0) В
		$K_{вын}$ ТН	Коэффициент «выноса ТН» на ВЛ для ПО U_2-kI_2 ; (0,0 -1,00)
Уставки ОМ, ОСФ		К фильтра	Уставка ОМ по коэффициенту k комбинированного фильтра токов; (6,0 -10,0)
		Угол блокировки	Уставка ОСФ по углу блокирования действия защиты на отключение; (50,0 -70,0)°
		ВЧ обработанная фаза	ВЧ обработанная фаза; С, А, В
Уставки времени		$t_{ср}$	Уставка времени задержки срабатывания ДФЗ; (0,01 -0,05) с
Логика работы		Вывод от БНН	XB1 Вывод защиты при неисправностях цепей напряжения; предусмотрен / не предусмотрен
		Пуск ВЧ при выводе защиты	XB2 Пуск ВЧ сигнала при выводе защиты; предусмотрен / не предусмотрен

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
		Сигнал пуска на откл.	XB3 Сигнализация пуска ДФЗ на отключение; предусмотрена / не предусмотрена
		ПО U ₂	XB4 ПО (U ₂ -kI ₂); выведен / в работе
		Откл. 3-х фаз	XB5 Откл.3-х фаз от устройств ОАПВ; от ОАПВ(1 И 2) / от ОАПВ2
		Инверсия запрета АК	XB6 Инверсия сигнала запрета АК ВЧ приемо-передатчика; не предусмотрена / предусмотрена
		Обмен ВЧ сигналами	XB7 Обмен ВЧ сигналами не манипулированный / манипулированный
Параметры линии	Длина линии	Длина линии, км	Уставка по длине линии, км
	Удельная проводимость ВЛ	b10-6, См/км	Уставка по удельной проводимости линии прямой последовательности, 10 ⁻⁶ См/км
	X ₁	X ₁ , Ом/км	Уставка по удельному реактивному сопротивлению линии прямой последовательности
	R ₁	R ₁ , Ом/км	Уставка по удельному активному сопротивлению линии прямой последовательности
	X ₀	X ₀ , Ом/км	Уставка по удельному реактивному сопротивлению линии нулевой последовательности
	R ₀	R ₀ , Ом/км	Уставка по удельному активному сопротивлению линии нулевой последовательности
	MX ₀ //	MX ₀ //, Ом/км	Уставка по удельному реактивному сопротивлению взаимной индукции с параллельной линией нулевой последовательности
	MR ₀ //	MR ₀ //, Ом/км	Уставка по активному сопротивлению взаимной индукции с параллельной линией нулевой последовательности
	ШР на линии	ШР на линии есть	XB28 ШР на ВЛ; есть / нет
	Ток реактора на линии	Ток реактора	Ток реактора на ВЛ вычитается / суммируется
Избиратели фаз	X _{уст ипф}	X _{уст ипф} , Ом	Уставка по реактивной составляющей сопротивления избирателя с коэффициентом k _{УМ} =1; (5 -500) Ом при I _{НОМ} = 1 А
	X _{уст ипф1}	X _{уст ипф1} , Ом	Нижняя граница характеристики избирателя с коэффициентом k _{УМ} = 1 по оси X; (1 -250) Ом при I _{НОМ} = 1 А
	R _{уст ипф}	R _{уст ипф} , Ом	Уставка по активной составляющей сопротивления избирателя с коэффициентом k _{УМ} =1; (1 -250) Ом при I _{НОМ} = 1 А
	X _{уст ипфк}	X _{уст ипфк} , Ом	Уставка по оси X избирателя с уменьшенным коэффициентом k _{УМ} ; (1 -250) Ом при I _{НОМ} = 1 А

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
	$R_{уст\ ипфк}$	$R_{уст\ ипфк}$ Ом	Уставка по оси R избирателя с уменьшенным коэффициентом $k_{ум}$; (1 -250) Ом при $I_{НОМ} = 1A$
	$K_{ум}$	$K_{ум}$	Коэффициент уменьшения $k_{ум}$ (0,0 -1,0) о.е
	FI ИПФ, °	FI ИПФ, °	Угол наклона характеристики срабатывания ИО сопротивления (вычисляется автоматически из параметров линии)
Состояние переключателей	Режим АПК	Режим АПК	Выбор режима работы АПК; действие на сигнал / вывод / действие на вывод ДФЗ
	ДФЗ	ДФЗ	Выбор режима работы ДФЗ; сигнал / вывод / работа
	Терминал	Терминал	Выбор режима работы терминала; работа / вывод
	ОАПВ1	ОАПВ1	Выбор режима работы ОАПВ1; работа / вывод
	Сост. выключателей	Сост. выключателей В1 и В2	Выбор состояний выключателей, Ремонт В1 / В1 и В2 в работе / Ремонт В2
Служебные параметры	Устан. схемы ТН	цепи 3Uo от звезды	Напряжение 3Uo, от треугольника / от звезды
		Схема ТН вариант 1	Выбор схемы ТН, вариант 1 / вариант 2 / вариант 3
ОАПВ	-	$I_{ср\ РТОП}$	Ток срабатывания ПО по току обратной последовательности для кратковременного ввода на самостоятельное действие избирателя отключенной фазы; (0,1 -0,3) $I_{НОМ}$, А
	Орган ОВП	$U_{ср\ РННП}$	Напряжение срабатывания ПО по напряжению нулевой последовательности; (6,0 -15,0) В
		$I_{ср\ РТНП}$	Ток срабатывания ПО по току нулевой последовательности с торможением; (0,05 -0,2) $I_{НОМ}$, А
		$K_{т\ РТНП}$	Коэффициент торможения ПО по току нулевой последовательности; (0 -0,15) о.е
		$I_{ср\ БТ}$	Ток отсечки ПО по току нулевой последовательности; (2,5 -5,0) $I_{НОМ}$, А
	Орган КПД	$I_{ср\ РТНП_ОКПД}$	Ток срабатывания дополнительного ПО по току нулевой последовательности; (0,1 -0,25) $I_{НОМ}$, А
		$U_{ср\ РН2_ОКПД}$	Напряжение срабатывания чувствительного ПО по фазному напряжению; (3,0 -6,0) В
	Уставки времен	Ввод ИПФ на t	Ввод ИПФ на заданное время; (0,25 -2,5) с

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
		Сброс ФП	Сброс фиксации пуска; (0,5 -5,0) с
		РП	Расчетная пауза; (0,5 -5,0) с
		РП с АКР	Расчетная пауза с АКР; (0,5 -5,0) с
		РезерИО 1ф.КЗ	Резервирование отказа ИПФ при однофазном КЗ; (0,1 -0,25) с
		Резерв. ИО 2ф.КЗ	Резервирование отказа ИПФ при двухфазном КЗ; (0,25 -0,5) с
		ОТФ от ОКПДУВ	Задержка на отключение трех фаз от контроля погасания дуги и успешности включения; (0,5 -3,0) с
		t готовности выключателя	Время готовности выключателей В1, В2; (20 -180) с
	Логика работы	Ввод ИО на t	ХВ20 Ввод ИПФ на самостоятельное действие на время; не предусмотрен / предусмотрен
		Независимый пуск	ХВ22 Независимый пуск от основных (резервных) защит; не предусмотрен / предусмотрен
		Раб.2-х ОАПВ	ХВ23 Параллельная работа двух ОАПВ; предусмотрена / не предусмотрена
		ФКВ	ХВ24 Фиксация команды включения; от ОКПДУВ / от ОКПДУВ или РП
		Запрет ТАПВ	ХВ26 Запрет ТАПВ; от ФКВ / от ФКВ и ООФ
		Блок.3Uo в ОВУВ	ХВ27 Блокировка канала 3Uo в ОВУВ; предусмотрена / не предусмотрена
		ОТФ ОКПДУВ	ХВ29 Отключение трех фаз от ОКПДУВ; не предусмотрено / предусмотрено
		Очередность включения	ХВ30 Очередность включения; Вкл II / Вкл I
		Ведущий выключатель	ХВ31 Включение выключателя В1(В2) первым; В1 / В2
		Запрет ОКПДУВ	ХВ32 Запрет пуска ОКПДУВ есть / нет

**Уставки и параметры срабатывания шкафа направленной
высокочастотной защиты линии типа ШЭ2607 031 [12]**

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
ВЧ защита	Уставки РТ, РН	Иср РТ I2 _{бл}	Ток срабатывания ПО I2 _{бл} , (0,025¼0,50) Iном
		Уср РН U2 _{бл}	Напряжение срабатывания ПО U2 _{бл} , (1,0¼2,5) В
		Иср РТ I2 _{от}	Ток срабатывания ПО I2 _{от} , (0,05...1,0) Iном
		Уср РН U2 _{от}	Напряжение срабатывания ПО U2 _{от} , (1,5¼5,0) В
		Иср РТ I2 _{т.от}	Ток срабатывания ПО It2 _{от} , (0,05¼1,0) Iном
		Иср РТ I2 _{пуск}	Ток срабатывания ПО It2 _{пуск} , (0,025¼0,50) Iном
		Кт РТ	Коэффициент торможения, о.е. (0,0...0,15)
		Иср РТ 3Io	Ток срабатывания ПО 3Io, (0,05¼3,20) Iном
		Уср РН _{минШО} Н	Напряжение срабатывания ПО минимального напряжения от ШОН, (10...80) В
		DI2 _{бл}	Уставка по приращению I2 блокирующего ПО, (0,04¼1,5) Iном
		DI2 _{откл.}	Уставка по приращению I2 отключающего ПО, (0,06¼2,5) Iном
		DI1 _{бл}	Уставка по приращению I1 блокирующего ПО, (0,08¼3,0) Iном
		DI1 _{откл.}	Уставка по приращению I1 отключающего ПО, (0,12¼5,0) Iном
		Уставки РС	Уставки РС
R Z _{откл}	Уставка по активной составляющей сопротивления ИО Zот, (1¼500) Ом при I _{ном} =1 А; (0,2¼100) Ом при I _{ном} =5 А		
Наклон Z _{откл}	Угол наклона характеристики (от оси X) ИО Zот, (45...89) град.		
Накл. Iкв. Z _{откл}	Угол наклона нижней правой части характеристики ИО Zот, (0...89) град.		
Накл. IIкв Z _{откл}	Угол наклона нижней левой части характеристики ИО Zот, (91...179) град.		

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
		X Z _{бл}	Уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО Z _{бл} , (1¼500) Ом при I _{НОМ} =1 А; (0,2¼100) Ом при I _{НОМ} =5 А
		R Z _{бл}	Уставка по активной составляющей сопротивления ИО Z _{бл} , (1¼500) Ом при I _{НОМ} =1 А; (0,2¼100) Ом при I _{НОМ} =5 А
		Наклон Z _{бл}	Угол наклона характеристики ИО Z _{бл} , (45...89) град.
		X Z _{доп}	Уставка по реактивной составляющей сопротивления ИО Z _{доп} , (1¼500) Ом при I _{НОМ} =1 А; (0,2¼100) Ом при I _{НОМ} =5 А
		R Z _{доп}	Уставка по активной составляющей сопротивления ИО Z _{доп} , (1¼500) Ом при I _{НОМ} =1 А; (0,2...100) Ом при I _{НОМ} =5 А
		Наклон Z _{доп}	Угол наклона характеристики ИО Z _{доп} , (45...89) град
		Уставки времени	t _{вв} Z _{от} от
	t _{бл} Z _{от} от БК		DT2 Время вывода Z _{от} от БК, (3...12) с
	t _{вв} при вкл. В		DT8 Время ввода ускорения при включении выключателя, (0,7¼2,0) с
ВЧ защита	Логика работы	Работа с отв. ВЛ	XB1 Работа с ответвлениями на ВЛ, предусмотрена/ не предусмотрена
		Работа с тягой	XB12 Работа на ВЛ с тяговой нагрузкой, предусмотрена/ не предусмотрена
		Действие I _{т2от}	XB2 Действие I _{т2от} с торможением, предусмотрено/ не предусмотрено
		Действ БНН на ПРД	XB3 Действие БНН на пуск ВЧ передатчика, предусмотрено/ не предусмотрено
		Ускорение при вкл.	XB4 Ускорение при включении выключателя, предусмотрено/ не предусмотрено
		Контр. уск. вкл.	XB5 Контроль ускорения при включении выключателя от напряжения на линии, предусмотрен/ не предусмотрен
		Контроль Улин от	XB10 Контроль Улин от, ШОН/ внешнее РН мин.
		Уск. возврат БК	XB9 Ускоренный возврат БК при отключении выключателя, предусмотрен/ не предусмотрен

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
		Пуск ВЧ при Выводе Защиты	XB11 Пуск ВЧ при выводе защиты, предусмотрен/ не предусмотрен
		Сигнализация пуска	XB13 Сигнализация пуска на отключение, предусмотрена/ не предусмотрена
		Инверсия запрета АК	XB14 Инверсия сигнала запрета АК, не предусмотрена/ предусмотрена
	Состояние переключателей	Выбор выключателя	Перевод входных цепей напряжения переменного тока и действия защиты с линейного выключателя на обходной: линейный/ отключено/ обходной
		Режим АПК	Выбора варианта действия аппаратуры автоматического контроля ВЧ канала: сигнал/ вывод/ работа
		ВЧ защита	Выбор режима работы ВЧ защиты: сигнал/ вывод/ работа
		УРОВ	Выбор режима работы УРОВ, работа/ вывод
		Терминал	Выбор режима работы терминала, работа/ вывод
		БИ линейн. выкл.	БИ линейного выключателя, работа/ вывод
		БИ обходн. выкл.	БИ обходного выключателя, работа/ вывод
УРОВ		Иср РТ УРОВ, А 0.25	Ток срабатывания реле тока УРОВ; $(0,04 \dots 0,4)I_{ном}$, А
		tcp УРОВ, с	DT1 Задержка на срабатывание УРОВ; $(0,10 \dots 0,60)$ с
		Подт. УРОВ от РПВ	XB7 Подтверждение пуска УРОВ от сигнала КQC, предусмотрено/ не предусмотрено
		УРОВ "на себя"	XB8 Действие УРОВ "на себя", предусмотрено/ не предусмотрено
Служебные параметры	Установка схемы ТН и ШОН	ТН	XB6 Место установки ТН, на шинах / на линии
		Схема ТН	Схема ТН, типовая (ОсФазаА)/ нетиповая
		Особая Фаза	Особая фаза (в нетиповой схеме ТН), фаза В/ фаза С
		Направление вект. ТН	Направление векторов звезды и треугольника ТН, совпадает/ не совпадает

Основное меню	Меню	Подменю 1	Содержание сообщения и диапазон изменения параметра
		Напряжение 3U ₀	Напряжение 3U ₀ , от треугольника, от звезды
		Модуль подстройки Ушон	Модуль подстройки Ушон
		Угол Подстройки Ушон	Угол вектора подстройки Ушон

Уставки и параметры срабатывания шкафа управления, защиты и автоматики выключателя напряжением 330 кВ и выше типа ШЭ2710 511 [8]

Основное меню	Меню	Подменю 1	Функция и диапазон изменения параметра
АУВ, ТАПВ и УРОВ	Уставки	Иср РТ УРОВ, А	Ток срабатывания реле тока УРОВ; (0,04 - 0,4), А
		Комп 1 лин к, ое	Компенсация емкостного тока линии 1 на к длинны линии; (0,0 -1,0), ое
		Комп 2 лин к, ое	Компенсация емкостного тока линии 22 на к длинны линии; (0,0 -1,0), ое
		Уср РН U1 Э1, В	Напряжение срабатывания реле напряжения прямой последовательности Э1; (30-60), В
		Уср РН U1 Э2, В	Напряжение срабатывания реле напряжения прямой последовательности Э2; (30-60), В
		Уср РН U2 Э1, В	Напряжение срабатывания реле напряжения обратной последовательности Э1; (6-10), В
		Уср РН U2 Э2, В	Напряжение срабатывания реле напряжения обратной последовательности Э2; (6-10), В
		Уср РН U0 Э1, В	Напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности Э1; (20-40), В
		Уср РН U0 Э2, В	Напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности Э2; (20-40), В
		Реле КС по DU, В	Разность напряжений реле контроля синхронизма; (5-50), В
		Реле КС по DFI, гр	Угол между напряжениями реле контроля синхронизма; (5-85), град
		Реле КС по DF, Гц	Скорость изменения угла реле контроля синхронизма; (0,05-0,4), Гц

Основное меню	Меню	Подменю 1	Функция и диапазон изменения параметра
		Иср РТ Io, А	Ток срабатывания реле тока нулевой последовательности; (0,05-30), А
		Доворот U_{bc} Э2, °	Доворот угла напряжения BC Э2; (-179 - 179), °
	Уставки времени	тср. УРОВ ф.А, с	Задержка на срабатывание УРОВ фазы А; (0,1-0,6), с
		тср. УРОВ ф.В, с	Задержка на срабатывание УРОВ фазы В; (0,1-0,6), с
		тср. УРОВ ф.С, с	Задержка на срабатывание УРОВ фазы С; (0,1-0,6), с
		тср. ТАПВ-ОН Э1, с	Задержка на срабатывание ТАПВ-ОН Э1; (0,2-10), с
		тср. ТАПВ-ОН Э2, с	Задержка на срабатывание ТАПВ-ОН Э2; (0,2-10), с
		тср. ТАПВ-КС, с	Задержка на срабатывание ТАПВ-КС; (0,2-2,5), с
		тср. УТАПВ, с	Задержка на срабатывание УТАПВ; (0,05-1), с
		тподг. ТАПВ, с	Время подготовки ТАПВ; (20-180), с
		тсбр.гот ТАПВ, с	Время сброса готовности ТАПВ при отключенном выключателе, (15-60),с
		твв при вкл.В 1,с	Время ввода ускорения защит Э1 при включении выключателя, (0,5-2,0), с
		твв при вкл.В 2,с	Время ввода ускорения защит Э2 при включении выключателя, (0,5-2,0), с
		тср. ЗНФ, с	Задержка на срабатывание ЗНФ, (0,1-0,6), с
		тср. ЗНФР Э1, с	Задержка на срабатывание ЗНФР Э1, (0,25-0,8),с
		тср. ЗНФР Э2, с	Задержка на срабатывание ЗНФР Э2, (0,25-0,8),с
		тср.деблок.ЗНФ, с	Задержка на срабатывание деблокировки ЗНФ при невозврате ФЦО, (0,1-5,0),с
АУВ, ТАПВ и УРОВ		Логика работы	Запр.ТАПВ1 приКЗ
	Запр.ТАПВ2 приКЗ		Запрет УТАПВ и ТАПВ-ОН при близких КЗ на Э2; не предусмотрено/предусмотрено
	УТАПВ		Действие УТАПВ; не предусмотрено/предусмотрено

Основное меню	Меню	Подменю 1	Функция и диапазон изменения параметра
		УТАПВ Э1 БКН	Действие УТАПВ Э1 без контроля напряжения; не предусмотрено/предусмотрено
		УТАПВ Э2 БКН	Действие УТАПВ Э2 без контроля напряжения; не предусмотрено/предусмотрено
		Контр. УТАПВ Э1	Контроль действия УТАПВ Э1; от наличия ОН, от отсутствия СН
		Контр. УТАПВ Э2	Контроль действия УТАПВ Э2; от наличия ОН, от отсутствия СН
		УТАПВ Э1 от ВЧС	Контроль действия УТАПВ Э1 от ВЧ сигнала; не предусмотрен/предусмотрен
		УТАПВ Э2 от ВЧС	Контроль действия УТАПВ Э2 от ВЧ сигнала; не предусмотрен/предусмотрен
		ТАПВ-ОН Э1	Действие ТАПВ-ОН Э1; не предусмотрено/предусмотрено
		ТАПВ-ОН Э2	Действие ТАПВ-ОН Э2; не предусмотрено/предусмотрено
		ТАПВОНЭ1 от ВЧС	Контроль действия ТАПВ-ОН Э1 от ВЧ сигнала; не предусмотрен/предусмотрен
		ТАПВОНЭ2 от ВЧС	Контроль действия ТАПВ-ОН Э2 от ВЧ сигнала; не предусмотрен/предусмотрен
		Контроль синхронизма	Контроль синхронизма; не предусмотрен/предусмотрен
		Сброс гот. от В	Сброс готовности ТАПВ-КС при отключенном выключателе; не предусмотрен/предусмотрен
		Выбор Э1	Выбор энергообъекта Э1; шины или АТ/ линия
		Выбор Э2	Выбор энергообъекта Э2; шины или АТ/ линия
		Сигнализация Неисправности ЦН	Сигнализация неисправности цепей управления; не предусмотрена/предусмотрена
		Второй ЭМО	Второй ЭМО; не предусмотрен/предусмотрен
Параметры линии		Длина линии Э1, км	Длина линии первого энергообъекта; 0 - 10000, км
		Удельная провод. емк. тока (*10 ⁻⁶), Сим/км	Проводимость компенсации емкостного тока линии Э1; (410 -12700)·10 ⁻⁶ , См

Основное меню	Меню	Подменю 1	Функция и диапазон изменения параметра
		Длина линии Э2, км	Длина линии второго энергообъекта; 0 - 10000, км
		Удельная провод. емк. тока (*10 ⁻⁶), Сим/км	Проводимость компенсации емкостного тока линии Э2; (410 -12700)·10 ⁻⁶ , См