



Институт энергетики,
информационных технологий
и управляющих систем

Релейная защита и автоматика систем электрообеспечения

Практическое занятие №____. Теоретическая часть

Методика расчета уставок дистанционной защиты ВЛ 35 кВ на микропроцессорном устройстве Сириус-ДЗ-35

Материалы из: ЗАО «РАДИУС Автоматика». Рекомендации
по выбору уставок устройства дистанционной защиты линии 6-35 кВ «Сириус-ДЗ-35» (для версий 3.00 и
новее)



ВЛ 35 кВ



Рекомендации по выбору уставок устройства дистанционной защиты линий 6-35 кВ «Сириус-ДЗ-35» (для версий 3.00 и последующих)

1 Краткое описание устройства

1.1 Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-ДЗ-35» (в дальнейшем – устройство) предназначено для выполнения функций защиты воздушных или кабельных линий класса напряжения 6 - 35 кВ в сети с изолированной или компенсированной нейтралью, а также управления, автоматики и сигнализации высоковольтного выключателя с трехфазным управлением (АУВ, АПВ и УРОВ) [1].

1.2 Функции защиты, выполняемые устройством:

1.2.1 Двухступенчатая дистанционная защита (ДЗ-1 и ДЗ-2) от междуфазных коротких замыканий и двойных замыканий на землю с независимой выдержкой времени.

При отсутствии тока нулевой последовательности (контролируется органом тока нулевой последовательности) защита контролирует сопротивления трех петель междуфазных коротких замыканий (АВ, ВС и СА). При появлении тока нулевой последовательности контроль междуфазных петель автоматически выводится из действия и вводится в действие контроль сопротивлений двух петель «фаза-земля» (А0 и С0). Контроль только двух петель обеспечивает отключение одной точки повреждения в 67% случаев двойных замыканий на землю.

Измерительные органы (ИО) имеют четырехугольные ненаправленные характеристики (рисунок 1.1). Защита имеет токовый пусковой орган (ПО), состоящий из элементов контроля токов трех фаз и органа направления мощности (ОНМ), выполненного из трех фазочувствительных элементов, включенных на фазные токи и междуфазные напряжения по 90-градусной схеме.

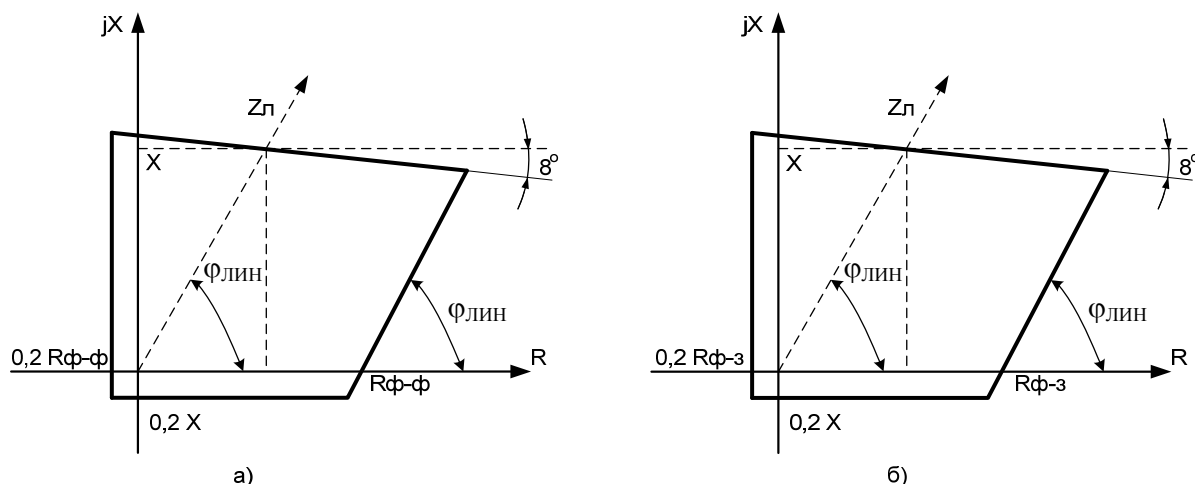


Рисунок 1.1 – а) Характеристика срабатывания ИО сопротивления первой и второй ступеней ДЗ при междуфазных замыканиях; б) Характеристика срабатывания ИО сопротивления первой и второй ступеней ДЗ при двойных замыканиях на землю

Предусматривается пуск ступеней ДЗ по напряжению и току с сохранением направленного действия с помощью ОНМ. В этом режиме действуют два токовых ПО: чувствительный (объединяющийся с органом выявления просадки напряжения по условию «И» и обеспечивающий направленность и несрабатывание в режимах, когда ток в фазах меньше максимального тока нагрузки) и грубый (действующий в тех случаях, когда чувствительность по напряжению не достаточная).

Таким образом, защита может быть выполнена как с обычным пуском по току, так и с пуском по напряжению и току с автоматическим переходом на пуск по току в случае недостаточной чувствительности по напряжению. В обоих режимах обеспечивается направленность ступеней ДЗ.

В защите реализован пуск быстродействующих ступеней ДЗ от блокировки при качаниях (БК). При КЗ БК вводит в действие защиту на время, достаточное для срабатывания, и, если срабатывание защиты не произошло, блокирует ее. ПО БК реагирует на величины приращений токов прямой и обратной последовательности. Пуск защит от БК объединяется с пуском по току или току и напряжению, по условию «И».

Для предотвращения ложного действия ступеней ДЗ предусмотрена блокировка при неисправностях в цепях переменного напряжения (БНН).

1.2.2 Третья ступень дистанционной защиты (ДЗ-3) от междуфазных коротких замыканий с независимой выдержкой времени.

Основана на контроле сопротивлений трех петель междуфазных коротких замыканий (АВ, ВС и СА). ИО имеет характеристику в виде окружности с центром, расположенным в первом квадранте плоскости сопротивления, с возможностью выреза части окружности для отстройки от сопротивления нагрузочного режима (рисунок 1.2). Ступень может быть выполнена как с пуском по току (от грубого ПО, применяемого для ступеней ДЗ-1 и ДЗ-2), так и без него (пуск по сопротивлению).

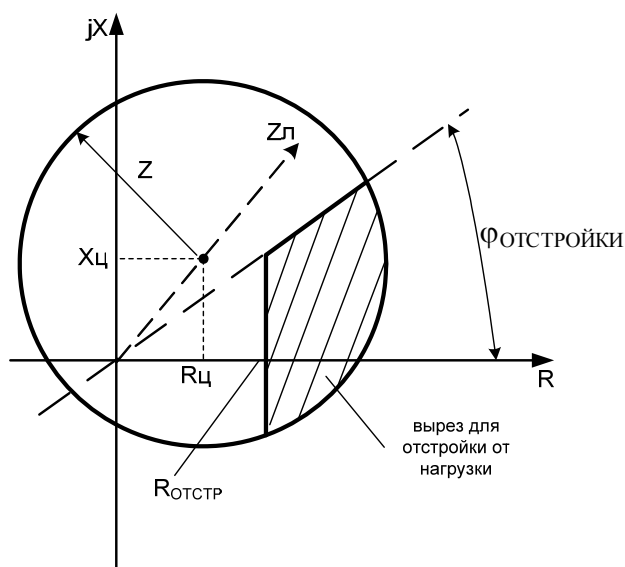


Рисунок 1.2 – Характеристика срабатывания ИО сопротивления третьей ступени ДЗ

1.2.3 Токовая отсечка (ТО), основана на контроле фазных токов. ТО может быть выполнена с контролем тока двух фаз (А и С) или контролем тока трех фаз (А, В и С).

Может быть направленной или ненаправленной, для чего используется ОНМ, применяемый в ПО ступеней ДЗ. Возможен режим постоянной работы ТО, либо режим работы ТО как ускоряющей ступени (вводится в работу на заданное время после включения выключателя), либо режим работы как аварийной ступени (вводится в действие при неисправностях в цепях напряжения).

1.2.4 Максимальная токовая защита (МТЗ), основана на контроле фазных токов. МТЗ может быть выполнена с контролем тока двух фаз (А и С) или контролем тока трех фаз (А, В и С). МТЗ выполнена с независимой выдержкой времени и возможностью использования как ненаправленной, так и направленной в линию, или направленной во внешнюю сеть. Может находиться как в постоянной работе, так и в режиме аварийной ступени. При необходимости может использоваться как резервная ступень вместо или совместно с ДЗ-3.

1.2.5 Неселективная мгновенная отсечка по току нулевой последовательности, используемая в случаях, когда решено по условиям электробезопасности отключать обе поврежденные линии в 100% двойных замыканий на землю.

1.2.6 Защита от обрыва фаз (ЗОФ) или перекаса нагрузки по соотношению токов обратной и прямой последовательностей, с независимой выдержкой времени с действием на сигнал или на отключение.

1.2.7 Сигнализация замыканий на землю на основе контроля напряжения $3U_0$, которое измеряется с помощью аналогового входа, либо рассчитывается на основе фазных напряжений.

1.2.8 Предусмотрен автоматический ввод ускорения 2-й или 3-й ступеней ДЗ, а также МТЗ при любом включении выключателя.

1.2.9 Предусмотрено оперативное ускорение 2-й или 3-й ступеней ДЗ, а также МТЗ при наличии сигнала на соответствующем дискретном входе.

1.3 Функции автоматики, выполняемые устройством:

1.3.1 Автоматика управления выключателем (АУВ) с трехфазным приводом, с двумя электромагнитами отключения.

В состав АУВ входят следующие функции:

- операции отключения и включения выключателя по внешним командам. Защита от многократного включения выключателя;

- контроль целостности цепей электромагнитов управления (ЭМУ);

- контроль состояния выключателя по ряду входных дискретных сигналов;

- защита электромагнитов управления от длительного протекания тока с действием на программируемое реле;

- двухступенчатая защита от снижения давления элегаза в выключателе. Срабатывает при появлении на соответствующих дискретных входах сигнала о снижении давления. Действует на сигнал и на ускоренное срабатывание схемы УРОВ при попытке отключения от одной из защит;

- блокировка любых операций с выключателем при поступлении сигнала внешней блокировки.

1.3.2 Трехфазное автоматическое повторное включение выключателя (одно- или двукратное АПВ от цепей несоответствия с возможностью контроля напряжения на объекте).

1.3.3 Логика устройства резервирования при отказе выключателя (УРОВ).

Функция УРОВ выполнена на основе индивидуального принципа, что подразумевает наличие независимой логики УРОВ на каждом присоединении.

1.3.4 Для выявления повреждений в цепях напряжения используется специальная блокировка при неисправностях в цепях напряжения. Блокировка действует на логику работы защит и на сигнализацию и использует следующие критерии:

- контроль отключения автомата ТН (по дискретному входу «Автомат ТН», основной критерий);

- контроль просадки хотя бы одного из междуфазных напряжений (с выдержкой времени);

- контроль нарушения симметрии вторичного напряжения (появление напряжения U_2 и пропадание тока I_2);

- контроль пропадания напряжения всех трех фаз (защита от симметричных повреждений или отключения ТН).

Блокировка снимается автоматически после исчезновения неисправности.

1.3.5 Исполнение внешних сигналов АЧР и ЧАПВ.

2 Выбор уставок дистанционной защиты

2.1 Расчет уставок ДЗ-1 и ДЗ-2

Выбору подлежат:

Наименование уставки	Описание уставки
« $X, \text{Ом/ф}$ »	определяет верхнюю границу характеристики срабатывания (см. рисунок 1.1) (вторичное реактивное сопротивление)
« $R_{\Phi\Phi}, \text{Ом/ф}$ »	определяет правую границу характеристики срабатывания ступени при междуфазных КЗ (вторичное активное сопротивление)
« $R_{\Phi\Delta}, \text{Ом/ф}$ »	определяет правую границу характеристики срабатывания ступени при двойных замыканиях на землю (вторичное активное сопротивление)

Уставки по сопротивлению и по времени первых двух ступеней ДЗ следует выбирать в полном соответствии с рекомендациями [2], в частности, *раздела Д главы 5 «Особенности расчета дистанционной защиты линий 35 кВ»*. Тот факт, что указанный материал ориентирован на защиты типа ПЗ-152, ПЗ-153, измерительными органами которых являлись реле полного сопротивления (с характеристикой в виде окружности с центром в начале координат), а характеристики устройства имеют вид четырехугольников, коренных изменений в методику выбора уставок не вносит. Однако, естественно, что придется выбирать один дополнительный параметр – ширину четырехугольника – параметр $R_{\Phi\Phi}$ для измерительного органа от междуфазных КЗ и $R_{\Phi\Delta}$ для измерительного органа при двойных замыканиях на землю.

Оба эти параметра определяют чувствительность к замыканиям через переходные сопротивления. Следует учесть, что при междуфазном замыкании переходным сопротивлением является сопротивление дуги. При двойном замыкании на землю переходное сопротивление значительно увеличивается за счет сопротивления контура заземления опоры. Сопротивление дуги может быть определено на основании известного выражения [3]:

$$R_d = 1050 l_d / I_d, \quad (2.1.1)$$

где I_d – действующее значение тока в дуге, в Амперах, l_d – ее длина в метрах.

Приведем цитату из [3]:

«Правильно определить l_d достаточно сложно. Например, при перекрытии по изоляции, l_d оказывается значительно больше длины гирлянды изоляторов. При работе защит с выдержкой времени необходимо также принимать во внимание удлинение дуг под влиянием ветра, конвекции воздуха и электродинамических усилий. В результате сопротивления дуг во времени могут существенно возрасти. В отличие от замыканий между фазами при КЗ на землю определяющими обычно являются другие составляющие переходных активных сопротивлений r_{Π} . Так, например, при перекрытии фазы линии на опору r_{Π} может в основном обуславливаться сопротивлениями заземляющих устройств опор. Согласно ПУЭ эти сопротивления при токах промышленной частоты и при отсоединенных грозозащитных тросах в летнее время не должны превышать 10-30 Ом в зависимости от удельных сопротивлений грунта. При глухом заземлении тросов на каждой опоре результирующее сопротивление заземляющих устройств опор уменьшается».

Некоторую конкретизацию приведенной цитаты применительно к выбору ширины характеристики измерительного органа защиты можно найти в [2], *глава 5, раздел А, п. 14, с.85-86*.

Кроме приведенных в цитате, следует учитывать еще ряд факторов, известных из общей теории дистанционных защит: уставки задаются не просто в Омах, а в размерности Ом/фазу. В частности, при двухфазных замыканиях по этой причине сопротивление дуги

должно делиться пополам. Кроме того, следует учитывать подпитку дуги от тока с противоположной стороны линии при двухстороннем питании. Эта подпитка увеличивает «кажущееся» сопротивление дуги пропорционально отношению тока в дуге I_D к току в месте установки защиты $I_{ЗЩ}$:

$$\Delta Z = R_D \cdot I_D / I_{ЗЩ}. \quad (2.1.2)$$

Таким образом, определение ширины характеристики требует проведения расчетов и принятия ряда волевых решений.

В большинстве случаев упрощенно можно принять, что $R_{ФФ} = X$ и $R_{ФЗ} = 2X$, но такой выбор является весьма приблизительным.

Кажущаяся очевидной необходимость проверки столь широких характеристик на несрабатывание в нагрузочном режиме и в режиме самозапуска, на самом деле может не выполняться, поскольку от указанных режимов ДЗ отстроена уставками пускового органа.

Суммируя положения [2], получаем расчетные условия для выбора уставок дистанционной защиты от междуфазных замыканий.

Первая ступень выбирается по условию отстройки от КЗ на шинах противоположной подстанции:

$$\underline{Z}_{с.з.}^I = 0.85 \cdot \underline{Z}_{линии} \quad (2.1.3)$$

где $\underline{Z}_{линии}$ – сопротивление защищаемой ВЛ.

Для линий, имеющих ответвления, дополнительно учитывается условие отстройки от замыканий за трансформаторами ответвлений. Сопротивление срабатывания принимается равным наименьшему из полученных значений.

Вторая ступень выбирается:

- по условию отстройки от КЗ за трансформатором, установленным на противоположной подстанции;
- по условию отстройки от КЗ за трансформаторами ответвлений защищаемой линии;
- по условию согласования с быстродействующими ступенями защит смежных элементов:

$$\underline{Z}_{с.з.}^{II} = K_{ОТС} \cdot \underline{Z}_{защиты} \quad (2.1.4)$$

где $K_{ОТС}$ – коэффициент отстройки;

$\underline{Z}_{защиты}$ – расчетное сопротивление на зажимах реле сопротивления при коротких замыканиях на границе зоны действия быстродействующей ступени защиты смежного элемента, с которой производится согласование. Значения $\underline{Z}_{защиты}$ рассчитываются для всех смежных элементов электрической сети в расчетных режимах по рекомендациям [2] с последующим выбором минимального значения.

Уставки 2-й ступени должны удовлетворять требованиям нормированной ПУЭ чувствительности 1,25 при КЗ в конце защищаемой линии:

$$\underline{Z}_{с.з.}^{II} \geq 1,25 \underline{Z}_{линии}. \quad (2.1.5)$$

Уставки реле междуфазного комплекта и комплекта от двойных замыканий на землю при расчете по методике [2] получаются одинаковыми, что также обосновано в [2].

Непосредственно в устройстве уставки вводятся не первичными, а вторичными значениями и не комплексным сопротивлением \underline{Z} , а его реактивной составляющей X . Пересчет ведется по известным соотношениям:

$$\underline{Z}_{ВТОР} = \frac{k_I}{k_U} \underline{Z}_{ПЕРВ}; \quad (2.1.6)$$

$$X_{ВТОР} = \underline{Z}_{ВТОР} \cdot \sin \varphi_{линии}; \quad (2.1.7)$$

$$\sin \varphi_{\text{линии}} = \frac{X_{1\text{УД}}}{Z_{1\text{УД}}}, Z_{1\text{УД}} = \sqrt{R_{1\text{УД}}^2 + X_{1\text{УД}}^2}, \quad (2.1.8)$$

где $Z_{\text{ПЕРВ}}$ – уставки в первичных величинах;
 k_I, k_U – коэффициенты трансформации ТТ и ТН;
 $X_{1\text{УД}}, R_{1\text{УД}}$ – удельные активное и реактивное сопротивления линии (задаются в группе уставок «Общие»).

2.2 Расчет уставок ДЗ-3

Выбору подлежат:

Наименование уставки	Описание уставки
« $X_{Ц}, \text{Ом/ф}$ »	определяет координату центра характеристики срабатывания ступени по оси реактивного сопротивления (см. рисунок 1.2) (вторичное реактивное сопротивление)
« $R_{Ц}, \text{Ом/ф}$ »	определяет координату центра характеристики срабатывания ступени по оси активного сопротивления (вторичное активное сопротивление)
« $Z_{Ц}, \text{Ом/ф}$ »	определяет радиус характеристики ступени в виде окружности (вторичное сопротивление)
« $\text{tg} \varphi_{\text{отстройки}}$ »	значение тангенса угла выреза в характеристики срабатывания для отстройки от нагрузки
« $R_{\text{отстройки}}, \text{Ом/ф}$ »	значение активного сопротивления выреза в характеристики срабатывания для отстройки от нагрузки

Уставки реле сопротивления 3-й ступени (используемой для выполнения функций дальнего резервирования) при выполнении ее как дистанционной также определяются по [2] по условиям обеспечения нормированного ПУЭ коэффициента чувствительности 1,2 при замыканиях в конце зоны резервирования и отстройки от минимального сопротивления в условиях самозапуска двигателей. Для упрощения такой отстройки рекомендуются традиционные способы: увеличение угла максимальной чувствительности до величины, большей угла сопротивления линии; использование окружности с вырезом части характеристики. В последнем случае угол наклона прямой, обеспечивающей вырез, должен выбираться так же, как это делается у реле третьей ступени защиты ШДЭ-2801:

$$\varphi_{\text{отстройки}} \geq \varphi_{\text{нагр}} + \varphi_{\text{доп}}, \quad (2.2.1)$$

где $\varphi_{\text{нагр}}$ – угол сопротивления нагрузки в месте установки защиты;
 $\varphi_{\text{доп}}$ – дополнительный угол, принимаемый равным 12 градусам для учета погрешностей характеристики, погрешностей ТТ и ТН.

Вырез части характеристики не должен ограничивать возможности работы ступени при металлических замыканиях на самой линии:

$$\varphi_{\text{отстройки}} \leq \varphi_{\text{линии}}, \text{ или } \text{tg}(\varphi_{\text{отстройки}}) \leq X_{\text{линии}}/R_{\text{линии}}. \quad (2.2.2)$$

Кроме того, при применении выреза следует определить параметр $R_{\text{выреза}}$. Необходимо учитывать максимальный нагрузочный режим, а также режим самозапуска двигателей.

Расчетное выражение для режима самозапуска двигателей нагрузки [2]:

$$R_{\text{выреза}} \leq \frac{U_{\text{мин.}}}{\sqrt{3} \cdot k_{\text{самоzap.}} \cdot k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{в}} \cdot I_{\text{раб.макс}}} \cdot \cos \varphi_{\text{раб}}, \quad (2.2.3)$$

где $U_{\text{МИН}}$ – минимальное междуфазное напряжение в месте установки защиты в условиях самозапуска двигателей, должно определяться расчетом; грубо ориентировочно можно принять равным $(0,8-0,9)U_{\text{РАБ.МИН}}$;

$I_{\text{РАБ.МАКС}}$ – максимальное значение рабочего тока;

$k_{\text{ОТС}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

k_B – коэффициент возврата реле сопротивления, равен 1,05;

$k_{\text{САМОЗАП}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока при самозапуске двигателей, ориентировочно может приниматься равным 1,5–2,0 в зависимости от конкретных условий и должен уточняться расчетом.

Естественно, что отстройка по углу эффективна на передающем конце линии с двусторонним питанием и неэффективна на приемном конце.

Способ задания уставок характеристики ДЗ-3 отличается от принятого в классических защитах (например, ПЗ-152). Ниже приводятся выражения для пересчета традиционных параметров характеристик реле сопротивления в значения, задаваемые в устройстве «Сириус-ДЗ-35» (рисунок 2.1):

$$\begin{aligned} R_{\text{ц}} &= \frac{Z_{\text{CP}} - |Z_{\text{CM}}|}{2} \cdot \cos \varphi; \quad X_{\text{ц}} = \frac{Z_{\text{CP}} - |Z_{\text{CM}}|}{2} \cdot \sin \varphi; \\ Z &= \frac{Z_{\text{CP}} + |Z_{\text{CM}}|}{2}. \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

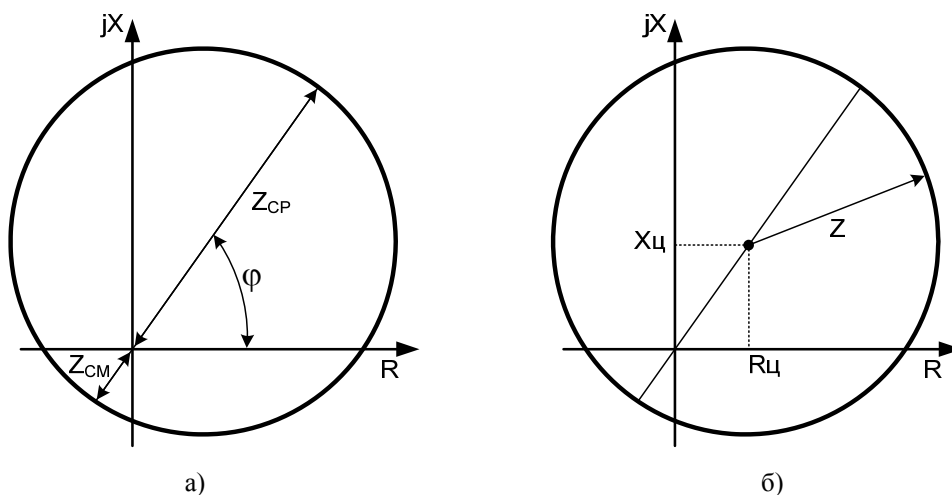


Рисунок 2.1 — Уставки, определяющие характеристику срабатывания реле сопротивления:
а) в классических защитах (например, ПЗ-152), б) в устройстве «Сириус-ДЗ-35»

2.3 Расчет уставок пусковых органов по току и напряжению

Выбору подлежат уставки в группе «ПО ДЗ»:

Наименование уставки	Описание уставки
« $I_{\text{Доп}}, A$ »	уставка грубого пускового органа по току, которая действует в случае отсутствия посадки напряжения, либо если пуск по напряжению вообще отключен уставкой «Пуск по U – Откл» (максимальный орган);
« U, B »	уставка органа напряжения, выявляющего посадку хотя бы одного междуфазного напряжения (минимальный орган; контролируется при «Пуск по U – Вкл»);
« $I_{\text{Пуск по } U}, A$ »	уставка чувствительного пускового органа по току, действующая в случае наличия посадки напряжения (максимальный орган; контролируется при «Пуск по U – Вкл»);

В устройстве применен пуск по току и напряжению по типу схемы, приведенной в [2, рисунок 14].

Особенность построения схемы ПО в том, что благодаря наличию двух уставок по току при выявлении посадки напряжения ПО действует с чувствительной уставкой по току, а при отсутствии посадки напряжения автоматически переходит в режим пуска только по току с грубой уставкой по току.

К грубой уставке по фазному току относятся все рекомендации, данные в [2], глава 5, раздел Д, п. 2 и раздел А, п. 15,а относительно уставок реле, осуществляющих в панели ПЗ-152 пуск по фазным токам.

Приводим цитату из п. 15,а:

«Первичный ток срабатывания пускового органа дистанционной защиты, осуществляемого с помощью реле тока, включенных на фазные токи, выбирается по условию отстройки от максимального рабочего тока на защищаемом участке с учетом самозапуска двигателей потребителей, в частности при успешном АПВ и АВР:

$$I_{\text{ДОП}} \geq (k_{\text{ОТСТР}} k_{\text{САМОЗАП}} / k_B) I_{\text{РАБ. МАКС.}}, \quad (2.3.1)$$

где $I_{\text{РАБ. МАКС.}}$ – максимальное значение первичного рабочего тока в защищаемой линии;

$k_{\text{ОТСТР}}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,2;

k_B – коэффициент возврата по току (в данном устройстве равен 0,92);

$k_{\text{САМОЗАП.}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока при самозапуске двигателей, (ориентировочно может приниматься равным 1,5-2,0 в зависимости от конкретных условий и должен уточняться расчетом)».

Рекомендуемая [2] отстройка от тока в неповрежденной фазе при выборе уставок данного устройства может не производиться, поскольку в устройстве принято не односистемное, а многосистемное выполнение измерительных органов защиты. Следовательно, органы контроля фазных токов не несут функции переключений в цепях тока и напряжения.

Легко подсчитать, что уставка $I_{\text{ДОП}}$ равна примерно (2,5–3) $I_{\text{РАБ. МАКС.}}$ – уставке обычной максимально-токовой защиты.

Уставки пуска по току и напряжению $I_{\text{ПУСК ПО } U}$ и $U = (U_{\text{М.Ф. МИН.}}) / k_U$ [2] рекомендует определять как уставки максимально-токовой защиты с пуском по напряжению:

$$I_{\text{ПУСК } U} \geq (k_{\text{ОТСТР}} / k_B) I_{\text{РАБ. МАКС.}} \quad (2.3.2)$$

В результате данная уставка получается равной (1,3–1,5) $I_{\text{РАБ. МАКС.}}$.

Уставка по $U_{\text{М.Ф. МИН.}}$ согласно [2] должна выбираться по условию отстройки от минимального напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска двигателей после отключения внешнего короткого замыкания:

$$U_{\text{М.Ф. МИН.}} \leq U_{\text{МИН.}} / (k_{\text{ОТСТР}} k_B), \quad (2.3.3)$$

где $U_{\text{МИН.}}$ – минимальное значение первичного напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска двигателей, должно определяться расчетом; грубо ориентировочно может быть принятым равным (0,8–0,9) $U_{\text{РАБ. МИН.}}$. Коэффициент возврата по напряжению k_B для данного устройства принимается равным 1,06.

2.4 Расчет уставок блока выявления двойных замыканий на землю

Выбору подлежат уставки:

Наименование уставки	Описание уставки
« I_0, A »	пороговый ток срабатывания чувствительного органа тока нулевой последовательности (вторичное значение, максимальный орган);
« $3U_0, B$ »	пороговое значение срабатывания сигнализации наличия однофазного замыкания на землю (вторичное значение, максимальный орган);
« $U_{\text{КОНТР}}, B$ »	пороговое значение элемента выявления снижения хотя бы одного из междуфазных напряжений (вторичное значение, минимальный орган).

В устройстве для выявления двойных замыканий на землю используется орган, контролирующий ток нулевой последовательности совместно с элементом контроля наличия $3U_0$ и элементом проверки снижения хотя бы одного из междуфазных напряжений.

Указанный орган осуществляет функции вывода из действия междуфазного комплекта ДЗ и ввода в действие комплекта от двойных замыканий на землю.

Аналогичную функцию в защитах по [2] выполняло реле тока, включенное в нулевой провод вторичных цепей трансформаторов тока. По принципу действия данное реле соответствует используемому в устройстве органу тока нулевой последовательности. Порог срабатывания органа задается с помощью уставки « I_0, A » в группе уставок «ПО ДЗ». Методика выбора данной уставки совпадает с методикой определенной в [2]:

«Первичный ток срабатывания токового реле, включенного на ток нулевой последовательности, выбирается по условию отстройки от максимального расчетного значения тока небаланса $I_{\text{НБ.РАСЧ.}}$, возникающего при междуфазном коротком замыкании в месте установки рассматриваемой защиты:

$$I_{\text{С.З.}} = k_{\text{Н}} I_{\text{НБ.РАСЧ.}} = k_{\text{ОТСТР}} k_{\text{АПЕР.}} I_{\text{НБ.УСТ.}} \quad (2.4.1)$$

где $k_{\text{ОТСТР}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,25;

$k_{\text{АПЕР.}}$ – коэффициент, учитывающий переходный режим (наличие апериодической составляющей тока), может быть принят равным 2,0;

$I_{\text{НБ.УСТ.}}$ – первичный ток небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока в установившемся режиме при металлическом трехфазном коротком замыкании в месте установки рассматриваемой защиты, может быть определен для грубо ориентировочных расчетов по следующему выражению, составленному в предположении, что трансформаторы тока удовлетворяют кривым кратности тока при 10% погрешности:

$$I_{\text{НБ.УСТ.}} = k_{\text{ОДН}} f_i I_{\text{РАСЧ.}} \quad (2.4.2)$$

где $k_{\text{ОДН}}$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока, который в зависимости от кратности токов короткого замыкания и значения сопротивлений во вторичных цепях трансформаторов тока принимается равным от 0,5 до 1,0;

f_i – относительная максимально возможная погрешность трансформаторов тока при коротком замыкании в месте установки рассматриваемой защиты, может приниматься равной 0,1;

$I_{\text{РАСЧ.}}$ – первичный расчетный ток металлического трехфазного короткого замыкания в месте установки рассматриваемой защиты».

Следует отметить, что при наличии на защищаемой линии ненаправленной токовой отсечки ток срабатывания реле может отстраиваться от тока небаланса при замыкании между фазами в конце зоны, защищаемой токовой отсечкой. Следовательно, за $I_{\text{РАСЧ.}}$ можно принимать уставку по току имеющейся в устройстве токовой отсечки, но только в том случае, если она рассчитывалась как ненаправленная.

Далее в [2] указывается, что если при уставке, выбранной по указанным условиям, защита недостаточно чувствительна при двойных замыканиях на землю, следует использовать реле с торможением. В устройстве «Сириус-ДЗ-35» предусмотрено торможение от фазных токов (см. рисунок 2.2). Следовательно, уставку можно снизить и принимать по условиям чувствительности. Необходимые для оценки чувствительности токи двойных замыканий на землю можно рассчитать по указаниям [2], приложение X.

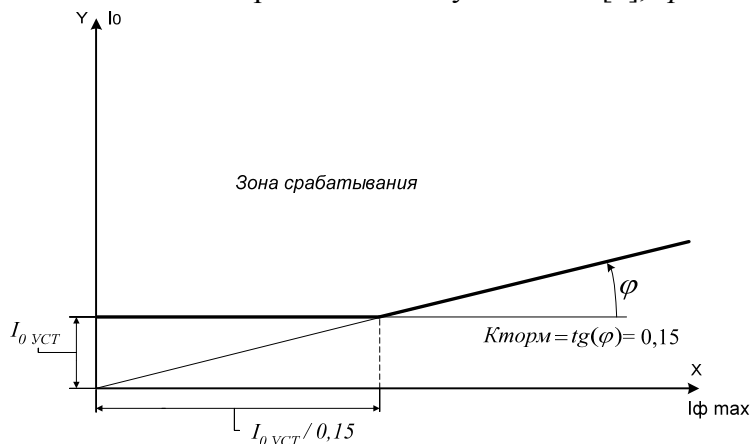


Рисунок 2.2 – Тормозная характеристика органа тока нулевой последовательности

Реле тока нулевой последовательности в блоке выявления двойных замыканий на землю применяется совместно с элементом контроля наличия $3U_0$ (задается уставкой « $3U_0$ » в группе уставок «Контроль $3U_0$ ») и элементом проверки снижения хотя бы одного из междофазных напряжений (задается уставкой « $U_{\text{КОНТР}}$ » в группе уставок «Параметры ТН»).

Первая из этих уставок проверяет наличие однофазного замыкания в период, предшествующий двойному замыканию. Ее по условию отстройки от напряжения небаланса в цепях $3U_0$ рекомендуется принимать равной 20–30 В.

Уставка « $U_{\text{КОНТР}}$ » контролирует факт снижения хотя бы одного из междофазных напряжений. Ее по условию отстройки от минимального рабочего напряжения рекомендуется принимать равной 70 В.

3 Расчет уставок блокировки при качаниях

3.1 Выбору подлежат:

Наименование уставки	Описание уставки
$\Delta I_{2\text{чувст.}}/I_{\text{ном}}$	Величина приращения тока обратной последовательности, вызывающее срабатывание чувствительного органа БК. Задание идет в относительных единицах вторичного тока
$\Delta I_{2\text{груб.}}/I_{\text{ном}}$	Величина приращения тока обратной последовательности, вызывающее срабатывание грубого органа БК. Задание идет в относительных единицах вторичного тока.
$\Delta I_{1\text{чувст.}}/I_{\text{ном}}$	Величина приращения тока прямой последовательности, вызывающее срабатывание чувствительного органа БК. Задание идет в относительных единицах вторичного тока.
$\Delta I_{1\text{груб.}}/I_{\text{ном}}$	Величина приращения тока прямой последовательности, вызывающее срабатывание грубого органа БК. Задание идет в относительных единицах вторичного тока.
$T_{\text{вв чувств.}}, \text{с}$	Время ввода ступеней при срабатывании чувствительного органа БК.
$T_{\text{вв груб.}}, \text{с}$	Время ввода ступеней при срабатывании грубого органа БК.
« $T_{\text{готов.}}, \text{с}$ »	Время возврата схемы в исходное состояние.

Блокировка при качаниях выполнена на тех же принципах, что и в известных отечественных защитах ШДЭ-2801 и ПДЭ-2001. Поэтому при выборе уставок блокировки в целом сохраняются рекомендации [4], дополненные приведенными уточнениями, учитывающими особенности алгоритмов работы пусковых органов БК.

Работа органа БК основана на контроле аварийных составляющих тока прямой и обратной последовательности. Выделение аварийных составляющих прямой и обратной последовательности из полных фазных токов выполняется цепочками фильтров прямой и обратной последовательности, на выходе которых установлены фильтры аварийных составляющих. Таким образом, образуются два канала, объединенные по условию «ИЛИ» (см. рисунок 3.1).

Аварийные составляющие тока обратной последовательности появляются при всех несимметричных КЗ, а тока прямой последовательности – при всех видах КЗ, включая и трехфазные, чем обеспечивается надежное срабатывание пусковых органов при любых видах повреждений. В режимах, сопровождающихся качаниями и асинхронным ходом, аварийные составляющие токов прямой и обратной последовательности отсутствуют, чем обеспечивается несрабатывание ПО. Для пуска ступеней ДЗ на выходе логической части БК формируется сигнал «Пуск ДЗ».

Каждый из каналов ПО имеет две ступени по чувствительности: чувствительная и грубая ступень пускового органа.

При срабатывании чувствительных ПО быстродействующие ступени, контролируемые от БК, пускаются от сигнала «Пуск ДЗ» на время (« $T_{вв\ чувств.}, с$ »), достаточное для надежного пуска ступеней. Далее они блокируются до истечения времени возврата БК (« $T_{готов.}, с$ »). Их повторный пуск до истечения времени возврата БК возможен при срабатывании грубых ПО (на время « $T_{вв\ груб.}, с$ »). Тем самым, исключается отказ ступеней при первоначальном срабатывании чувствительных ПО на внешние, удаленные КЗ или при коммутациях нагрузки, с последующим возникновением внутренних КЗ.

Упрощенная функционально-логическая схема БК приведена на рисунке 3.1.

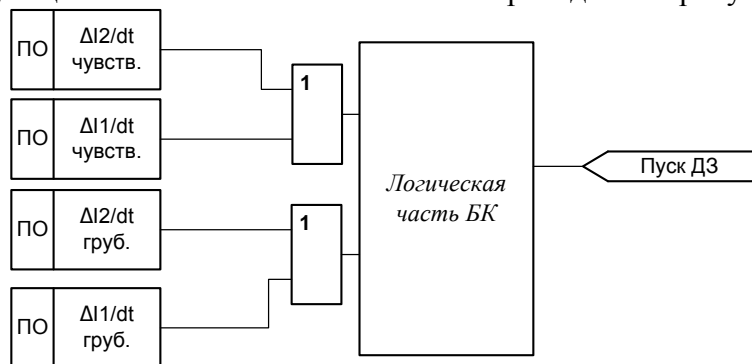


Рисунок 3.1 – Упрощенная функционально-логическая схема БК

3.2 В соответствии с [4] расчет тока срабатывания ПО БК состоит из двух этапов.

3.2.1 На первом этапе выбирается ток срабатывания из условия отстройки от небаланса на выходе цепочки фильтров.

Фильтры аварийных составляющих в режиме качаний или асинхронного хода имеют небаланс, обусловленный наличием в сигнале тока двух частот, разнесенных между собой на частоту скольжения f_s , $Гц$. Фильтры симметричных составляющих также имеют небаланс, обусловленный погрешностями аппаратной реализации фильтров.

Небаланс фильтров аварийных составляющих в условиях асинхронного хода сильно зависит от частоты скольжения. Зависимость коэффициента небаланса $K_{нб.осн}$ от частоты скольжения приведена в таблице 1.

Таблица 1 — Значение коэффициента небаланса $K_{НБ.ОСН.}$

Частота скольжения f_s , Гц	1÷5	6	7	8	9	10
Коэффициент небаланса $K_{НБ.ОСН.}$	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,11

3.2.2 На втором этапе расчета проверяется чувствительность при выбранной уставке. Минимально допустимый коэффициент чувствительности в соответствии с [4] равен 1,5 при КЗ в защищаемой зоне и 1,2 при КЗ на смежных участках. Если расчетные значения коэффициентов чувствительности значительно превышают требуемые (более чем в 2 раза), с целью снижения числа ложных срабатываний ПО, уставки срабатывания уточняются, исходя из условия достижения заданных минимальных значений коэффициентов чувствительности.

3.3 Выбор уставки « $\Delta I2_{чувст}/I_{ном}$ »

В общем случае при наличии в режиме качаний как тока прямой последовательности, так и тока обратной последовательности (обусловленного наличием несимметрии в системе, например нагрузки) уставка выбирается по выражению:

$$\Delta I2_{чувст} = K_{ОТС} \cdot (K_{НБ.ОСН.} \cdot I_{2\text{ кач}} + K_{НБ.ДОП} \cdot I_{1\text{ кач}} + I_{НБ.ДОП}) \quad (3.3.1)$$

где $K_{ОТС}$ – коэффициент отстройки, $K_{ОТС} = 1,2$;

$I_{2\text{ кач}}$ – вторичный ток обратной последовательности в режиме качаний;

$I_{1\text{ кач}}$ – вторичный ток прямой последовательности в режиме качаний;

$I_{НБ.ДОП}$ – дополнительная составляющая небаланса цепочки фильтров (принимается 0,01 А);

$K_{НБ.ОСН.}$ – коэффициент небаланса по основному сигналу фильтра аварийных составляющих (в данном выражении – ток обратной последовательности), выбирается согласно таблице 1 исходя из известной частоты скольжения;

$K_{НБ.ДОП}$ – коэффициент небаланса по дополнительному сигналу фильтра аварийных составляющих (в данном выражении – ток прямой последовательности), при расчете уставки по обратной последовательности принимается равным 0,01.

Рекомендуется ограничить минимальное значение уставки « $\Delta I2_{чувст}$ » порогом $0,08 \cdot I_{ном}$, где $I_{ном}$ – номинальный вторичный ток 1 или 5А.

Чувствительность ПО проверяется по коэффициенту чувствительности:

$$K_{ч. чувст.} = \frac{I_{2\text{ защ. мин}}}{\Delta I2_{чувст}}, \quad (3.3.2)$$

где $I_{2\text{ защ. мин}}$ – минимальный вторичный ток обратной последовательности при двухфазном КЗ в расчетной точке, определяемый для расчетного режима;

$\Delta I2_{чувст}$ – принятая уставка чувствительного ПО.

Коэффициент чувствительности (минимальный $K_{ч} = 1,2$) проверяется при КЗ в конце смежного участка – в зоне дальнего резервирования.

В устройстве уставка задается в относительных значениях: $\Delta I2_{чувст}/I_{ном}$, где $I_{ном}$ – номинальный вторичный ток 1 или 5А.

3.4 Выбор уставки « $\Delta I2_{груб}/I_{ном}$ »

Значение уставки принимается равной [4]:

$$\Delta I2_{груб} = 2 \cdot \Delta I2_{чувст} \quad (3.4.1)$$

где $\Delta I2_{чувст}$ – выбранная ранее уставка чувствительного ПО.

Проверка чувствительности производится по выражению:

$$K_{ч. ГРУБ.} = \frac{I_{2 \text{ ЗАЩ. МИН}}}{\Delta I_{2 \text{ ГРУБ.}}}, \quad (3.4.2)$$

где $I_{2 \text{ ЗАЩ. МИН}}$ – минимальный вторичный ток обратной последовательности защиты при КЗ в расчетной точке, определяемый для расчетного режима;

$\Delta I_{2 \text{ ГРУБ.}}$ – принятая уставка грубого ПО.

Коэффициент чувствительности (минимальный $K_{ч} = 1,5$) проверяется при двухфазном КЗ на защищаемом элементе сети.

3.5 Если расчетные значения коэффициентов чувствительности $K_{ч. ЧУВСТВ}$ и $K_{ч. ГРУБ.}$ значительно превышают требуемые (более чем в 2 раза), рекомендуется ограничить чувствительность ПО, что снизит вероятность их срабатывания при скачкообразных изменениях нагрузочных токов, например, при включении или отключении присоединения с мощной нагрузкой.

Для этого необходимо уточнить токи срабатывания ПО $\Delta I_{2 \text{ ЧУВСТВ}}$ и $\Delta I_{2 \text{ ГРУБ.}}$ по приведенному ниже алгоритму.

Определяется кратность коэффициентов чувствительности, полученных по выражениям (3.3.2) и (3.4.2):

$$K = K_{ч. ГРУБ.} / K_{ч. ЧУВСТВ} \quad (3.5.1)$$

где $K_{ч. ГРУБ.}$, $K_{ч. ЧУВСТВ}$ – расчетные коэффициенты чувствительности грубого и чувствительного ПО.

Далее в зависимости от полученного значения принимаем:

— при условии, что $K \geq 1,25$, уточняется ток срабатывания чувствительного ПО по выражению:

$$\Delta I_{2 \text{ ЧУВСТВ. УТОЧН.}} = \Delta I_{2 \text{ ЧУВСТВ.}} \cdot K_{ч. ЧУВСТВ.} / K_{ч. ЧУВСТВ. \text{ ТРЕБ}} \quad (3.5.2)$$

где $K_{ч. ЧУВСТВ. \text{ ТРЕБ}}$ – требуемое значение коэффициента чувствительности, рекомендуется принять в 1,5 раза больше минимально допустимого (1,2). $K_{ч. ЧУВСТВ. \text{ ТРЕБ}} = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8$.

Уточненный ток срабатывания грубого ПО $\Delta I_{2 \text{ ГРУБ. УТОЧН.}}$ берется в 2 раза больше тока срабатывания чувствительного ПО в соответствии с выражением (3.4.1):

$$\Delta I_{2 \text{ ГРУБ. УТОЧН.}} = 2 \cdot \Delta I_{2 \text{ ЧУВСТВ. УТОЧН.}} \quad (3.5.3)$$

— при условии $K < 1,25$ уточняется ток срабатывания грубого ПО по выражению:

$$\Delta I_{2 \text{ ГРУБ. УТОЧН.}} = \Delta I_{2 \text{ ГРУБ.}} \cdot K_{ч. ГРУБ.} / K_{ч. ГРУБ. \text{ ТРЕБ}} \quad (3.5.4)$$

где $K_{ч. ГРУБ. \text{ ТРЕБ}}$ – требуемое значение коэффициента чувствительности, рекомендуется принять в 1,5 раза больше минимально допустимого (1,5). $K_{ч. ГРУБ. \text{ ТРЕБ}} = 1,5 \cdot 1,5 = 2,25$.

Уточненный ток срабатывания чувствительного ПО берется в 2 раза меньше тока срабатывания грубого ПО:

$$\Delta I_{\text{ЧУВСТВ. УТОЧН.}} = \Delta I_{\text{ГРУБ. УТОЧН.}} / 2. \quad (3.5.5)$$

3.6 Выбор уставки « $\Delta I_{\text{Чувств/Ином}}$ »

Ток срабатывания чувствительного ПО определяется по выражению:

$$\Delta I_{\text{ЧУВСТВ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot (K_{\text{НБ.ОСН}} \cdot I_{1 \text{ КАЧ}} + K_{\text{НБ.ДОП}} \cdot I_{2 \text{ КАЧ}} + I_{\text{НБ.ДОП}}), \quad (3.6.1)$$

где $K_{\text{ОТС}}$ – коэффициент отстройки, $K_{\text{ОТС}} = 1,2$;

$I_{2 \text{ КАЧ}}$ – вторичный ток обратной последовательности в режиме качаний;

$I_{1 \text{ КАЧ}}$ – вторичный ток прямой последовательности в режиме качаний;

$I_{\text{НБ.ДОП}}$ – дополнительная составляющая цепочки фильтров (принимается 0,01 А);

$K_{\text{НБ.ОСН}}$ – коэффициент небаланса по основному сигналу фильтра аварийных составляющих (в данном выражении – ток прямой последовательности), выбирается согласно таблице 1 исходя из известной частоты скольжения;

$K_{\text{НБ.ДОП}}$ – коэффициент небаланса по дополнительному сигналу фильтра аварийных составляющих (в данном выражении – ток прямой последовательности), при расчете уставки по прямой последовательности принимается равным 0,02.

Рекомендуется ограничить минимальное значение уставки « $\Delta I_{\text{чувст}}$ » порогом $0,08 \cdot I_{\text{ном}}$, где $I_{\text{ном}}$ – номинальный вторичный ток 1 или 5А.

Чувствительность ПО проверяется по коэффициенту чувствительности:

$$K_{\text{ч. чувст}} = \frac{I_{1 \text{ защ. мин}}}{\Delta I_{\text{чувст}}}, \quad (3.6.2)$$

где $I_{1 \text{ защ. мин}}$ – минимальный вторичный ток прямой последовательности при трехфазном КЗ в расчетной точке, определяемый для расчетного режима;

$\Delta I_{\text{чувст}}$ – принятая уставка чувствительного ПО.

Коэффициент чувствительности (минимальный $K_{\text{ч}} = 1,2$) проверяется при КЗ в конце смежного участка – в зоне дальнего резервирования.

В устройстве уставка задается в относительных значениях: $\Delta I_{\text{чувст}}/I_{\text{ном}}$, где $I_{\text{ном}}$ – номинальный вторичный ток 1 или 5А.

3.7 Выбор уставки « $\Delta I_{\text{груб}}/I_{\text{ном}}$ »

Значение уставки принимается равным [4]:

$$\Delta I_{\text{груб}} = 2 \cdot \Delta I_{\text{чувст}}, \quad (3.7.1)$$

где $\Delta I_{\text{чувст}}$ – выбранная ранее уставка чувствительного ПО.

Проверка чувствительности производится по выражению:

$$K_{\text{ч. груб}} = \frac{I_{1 \text{ защ. мин}}}{\Delta I_{\text{груб}}}, \quad (3.7.2)$$

где $I_{1 \text{ защ. мин}}$ – минимальный вторичный ток прямой последовательности защиты при симметричном КЗ в расчетной точке, определяемый для расчетного режима;

$\Delta I_{\text{груб}}$ – принятая уставка грубого ПО.

Коэффициент чувствительности (минимальный $K_{\text{ч}} = 1,5$) проверяется при симметричном КЗ на защищаемом элементе сети.

3.8 В случае, если коэффициенты чувствительности $K_{\text{ч. чувств}}$ и $K_{\text{ч. груб}}$ для ПО прямой последовательности заметно превышают требуемые значения, рекомендуется ограничить их чувствительность, воспользовавшись методикой, приведенной для ПО обратной последовательности в п.3.5.

3.9 Выбор уставок по времени

Отличаются эти выходы длительностью существования на них сигнала, разрешающего действие защит. Для задания длительности существования сигнала «Пуск ДЗ» предусмотрены уставки:

— « $T_{\text{вв чувств.}, с}$ » – время ввода ступеней ДЗ при срабатывании чувствительного органа БК. Рекомендуемое значение – $0,4 \text{ с}$;

— « $T_{\text{вв груб.}, с}$ » – время ввода ступеней ДЗ при срабатывании грубого органа БК. Рекомендуемое значение – $0,4 \text{ с}$;

— « $T_{\text{готов.}, с}$ » – время готовности схемы БК к новому циклу пуска. Рекомендуемое значение $5\text{--}8 \text{ с}$.

4 Расчет уставок блока контроля исправности цепей напряжения

Выбору подлежат уставки в группе «Параметры ТН»:

Наименование уставки	Описание уставки
« $U_{\text{КОНТР}, B}$ »	пороговое значение элемента выявления снижения хотя бы одного из междуфазных напряжений (вторичное значение, минимальный орган);
« $U_{2\text{ КОНТР}, B}$ »	порог по напряжению обратной последовательности органа выявления несимметрии (вторичное значение, максимальный орган);
« $I_{2\text{ КОНТР}, A}$ »	порог по току обратной последовательности органа выявления несимметрии (вторичное значение, максимальный орган);
« $I_{\text{ВКЛ}, A}$ »	порог по току органа для выявления симметричных неисправностей в цепях ТН при включении выключателя (вторичное значение, максимальный орган).

Значение уставки $U_{\text{КОНТР}}$ выбирается ранее в п. 2.4 данных рекомендаций.

Расчеты показывают, что если в симметричном нагрузочном режиме с номинальными фазными напряжениями в 58 В оборвется один из проводов, подводящих фазные напряжения к устройству, то появляется вторичное фазное напряжение обратной последовательности величиной в 19 В . Для выявления такого режима рекомендуется принимать уставку по $U_{2\text{ КОНТР}}$ порядка $(10-15)\text{ В}$.

Уставку по току обратной последовательности « $I_{2\text{ КОНТР}}$ » определяют по условию отстройки от небалансов, вызванных погрешностями трансформаторов тока и возможной несимметрией в системе:

$$I_{2\text{ КОНТР}} \geq \frac{K_{\text{ОТС}}}{K_B} \cdot (I_{2\text{ НБ}} + I_{2\text{ НР}}), \quad (4.1)$$

$$I_{2\text{ НБ}} = K_{2\text{ НБ}} \cdot I_{\text{РАБ.МАКС.}}$$

где $K_{\text{ОТС}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле, ошибки расчета и необходимый запас. Для данного применения коэффициент запаса принимается равным $2,0$;

K_B – коэффициент возврата, равный $0,92$;

$I_{2\text{ НР}}$ – ток небаланса, обусловленный несимметрией в системе; при отсутствии несимметрии в системе принимается равным нулю;

$I_{2\text{ НБ}}$ – ток небаланса, обусловленный погрешностями измерения и расчета тока обратной последовательности;

$K_{2\text{ НБ}}$ – коэффициент небаланса по току обратной последовательности, равный $0,03$;

$I_{\text{РАБ.МАКС.}}$ – максимальный рабочий ток.

Также необходимо задать уставку « $I_{\text{ВКЛ}, A}$ », которая используется для выявления включений выключателя на близкие трехфазные КЗ с просадкой всех трех междуфазных напряжений. Блок, использующий указанную уставку, действует только в течение 1 секунды после включения выключателя.

Величину уставки « $I_{\text{ВКЛ}, A}$ » следует задавать несколько большую, чем максимальный ток, возникающий при включении выключателя на нагрузку (следует учитывать токи самозапуска двигателей нагрузки).

Дополнительно нужно убедиться, что ток близкого трехфазного КЗ, с просадкой линейных напряжений ниже 10 В вторичных, превышает заданную величину уставки « $I_{\text{ВКЛ}, A}$ ». В тех случаях, когда условие не выполняется (ток меньше указанной величины, а просадка возможна ниже 10 В), необходимо обязательно использовать токовую отсечку, которая предусмотрена в данном устройстве.

В большинстве случаев уставка получается примерно равной 2,5 от номинального тока линии. Используется не номинальный вторичный ток ТТ, а именно ток номинальной нагрузки линии, пересчитанный во вторичное значение.

5 Расчет уставок защиты от обрыва фаз

Выбору подлежат уставки в группе «ЗОФ»:

Наименование уставки	Описание уставки
« $I2/I1$ »	пороговое значение отношения тока обратной последовательности к току прямой последовательности
« T, c »	выдержка времени на срабатывание ступени

Защита от обрыва фаз (ЗОФ) работает по соотношению токов обратной и прямой последовательности. В нормальном режиме работы соотношение $I2/I1$ близко к нулю, тогда как при обрыве одной из фаз соотношение становится близким к единице. При обрыве вторичной токовой цепи соотношение примерно равно 0,5. При выборе уставки необходимо отстроиться от допустимого перекося токов в нагрузочном режиме и определиться, необходимо ли срабатывать при обрыве вторичных токовых цепей. Соответственно уставка выбирается: 0,3-0,4 (с обеспечением срабатывания при обрыве вторичных токовых цепей) или 0,6-0,7.

Время срабатывания ЗОФ должно быть на ступень селективности больше, чем время отключения КЗ, при срабатывании самой медленной из защит линии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Микропроцессорное устройство защиты «Сириус-ДЗ-35». Руководство по эксплуатации.– М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2012.
- 2 Руководящие указания по релейной защите. Вып.7. Дистанционная защита линий 35-330 кВ.–М.: «Энергия», 1966.
- 3 Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем.–М.: «Энергия», 1976.
- 4 Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110-750 кВ. Отчет инст. «Энергосетьпроект» №11735 тм. Москва, 1985. / Том 1. Рекомендации по расчету защит ВЛ 110-220 кВ.