

Рекомендации по выбору уставок защит устройства «Сириус-ДЗ-35»

1. Дистанционная защита от междуфазных коротких замыканий

Уставки по сопротивлению и по времени первых двух ступеней дистанционной защиты следует выбирать в полном соответствии с рекомендациями [1], 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 терминала 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 междуфазного комплекта и $R_{\phi-3}$ для измерительного органа комплекта защиты от двойных замыканий 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 [2]:

$$R_{д} = 1050 l_{д} / I_{д},$$

где $I_{д}$ – действующее значение тока в дуге, в Амперах, $l_{д}$ – ее длина в метрах.

Приведем цитату из [2]:

«Правильно определить $l_{д}$ достаточно сложно. Например, при перекрытии по изоляции, $l_{д}$ 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 слагающие переходных активных сопротивлений $r_{п}$. Так, например, при перекрытии фазы линии на опору $r_{п}$ 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 цитате применительно к выбору ширины характеристики измерительного органа защиты можно найти в [1], *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 двустороннем питании. Эта подпитка увеличивает «кажущееся» сопротивление дуги пропорционально отношению тока в дуге I_D к току в месте установки защиты $I_{ЗАЩ}$:

$$\Delta Z = R_D I_D / I_{ЗАЩ}.$$

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

Приведенная в паспорте на устройство рекомендация принимать $R_{\phi-\phi} = X$ и $R_{\phi-3} = 2X$ является весьма приблизительной.

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 [1], получаем для уставок дистанционной защиты от междуфазных замыканий:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{С.З.}^I &= 0,85 \underline{Z}_{ЛИНИИ}, \\ \underline{Z}_{С.З.}^{II} &\leq \underline{Z}_{ЗАЩИТЫ}; \end{aligned}$$

где $\underline{Z}_{ЗАЩИТЫ}$ – сопротивление на зажимах реле при коротких замыканиях за пределами зон действия быстродействующих защит смежных элементов – величина, подсчитываемая для всех смежных элементов электрической сети в расчетных режимах по рекомендациям [1].

В то же время уставки 2-й ступени должны удовлетворять требованиям нормированной ПУЭ чувствительности 1,25 при КЗ в конце защищаемой линии:

$$\underline{Z}_{С.З.}^{II} \geq 1,25 \underline{Z}_{ЛИНИИ}.$$

Уставки реле междуфазного комплекта и комплекта от двойных замыканий на землю при расчете по методике [1] получаются одинаковыми, что также обосновано в [1].

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

$$\underline{Z}_{ВТОР} = \frac{k_I}{k_U} \underline{Z}_{ПЕРВ}; \quad X_{ВТОР} = \underline{Z}_{ВТОР} \cdot \sin \varphi_{ЛИНИИ};$$

$$\sin \varphi_{ЛИНИИ} = \frac{X_{1УД}}{Z_{1УД}}; \quad Z_{1УД} = \sqrt{R_{1УД}^2 + X_{1УД}^2},$$

где $\underline{Z}_{ПЕРВ}$ – уставка в первичных величинах ($\underline{Z}_{С.З.}^I$, $\underline{Z}_{С.З.}^{II}$, $R_{\phi-\phi}$, $R_{\phi-3}$);

k_I, k_U – коэффициенты трансформации ТТ и ТН;

$X_{1УД}$, $R_{1УД}$ – удельные активное и реактивное сопротивления линии (задаются в группе уставок «общие»).

Уставки реле сопротивления 3-й ступени (используемой для выполнения функций дальнего резервирования) при выполнении ее как дистанционной также определяются по [1] 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 возможности отстройки по углу путем применения не полной окружности, а 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:

$$\varphi_{\text{отстройки}} \geq \varphi_{\text{нагр}} + \varphi_{\text{доп}},$$

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:

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

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

2. Уставки пускового органа ДЗ

В терминале применен пуск то току и напряжению по типу схемы рис.14 [1].

Необходим выбор и последующий ввод в группе «ПО ДЗ» трех уставок пускового органа (ПО):

U – уставка органа напряжения, выявляющего посадку хотя бы одного междуфазного напряжения;

$I_{\text{пуск } U}$ – уставка чувствительного пускового органа по току, действующая в случае наличия посадки напряжения;

$I_{\text{доп}}$ – 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».

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 [1], 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:

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

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 терминале 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 [1] отстройка от тока в неповрежденной фазе при выборе уставок данного терминала может не производиться, поскольку в терминале 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 $I_{\text{ПУСК } U}$ и $U = (U_{\text{М.Ф. МИН.}}) / k_U$ [1] рекомендует определять как уставки максимально-токовой защиты с пуском по напряжению:

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

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

Уставка по $U_{\text{М.Ф. МИН.}}$ согласно [1] должна выбираться по условию отстройки от минимального напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска двигателей после отключения внешнего короткого замыкания:

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

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 терминала может приниматься равным 1,06.

3. Уставки блока выявления двойных замыканий на землю

В терминале 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 [1] выполняло реле тока, включенное в нулевой провод вторичных цепей трансформаторов тока. По

принципу действия данное реле соответствует используемому в терминале 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 [1]:

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

$$I_{С.З.} = k_H I_{НБ.РАСЧ.} = k_{ОТСТР} k_{АПЕР} I_{НБ.УСТ}$$

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

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

$I_{НБ.УСТ}$ – 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:

$$I_{НБ.УСТ} = k_{ОДН} f_i I_{РАСЧ.}$$

где $k_{ОДН}$ – 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;

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

Следует отметить, что при наличии на защищаемой линии токовой отсечки ток срабатывания реле может отстраиваться от тока небаланса при замыкании между фазами в конце зоны, защищаемой токовой отсечкой. Следовательно, за $I_{РАСЧ.}$ можно принимать уставку по току имеющейся в терминале токовой отсечки.

Далее в [1] указывается, что если при уставке, выбранной по указанным условиям, защита недостаточно чувствительна при двойных замыканиях на землю, следует использовать реле с торможением. В терминале «Сириус–ДЗ–35» предусмотрено торможение от фазных токов. Следовательно, уставку можно снизить и принимать по условиям чувствительности. Необходимые для оценки чувствительности токи двойных замыканий на землю можно рассчитать по указаниям [1], приложение X.

В терминале 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 «ОЗЗ») и элементом проверки снижения хотя бы одного из междуфазных напряжений (задается уставкой « $U_{КОНТР}$ » в группе уставок «ТН»). Обе уставки задаются во вторичных Вольтах

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

Вторая уставка контролирует факт снижения хотя бы одного из междуфазных напряжений. Ее рекомендуется принимать равной 70 В (отстройка от минимального рабочего напряжения).

4. Уставки органа контроля цепей напряжения

В группе меню «Уставки ТН» необходимо задать уставки $U_{2\text{КОНТР}}$ и $I_{2\text{КОНТР}}$, которые будут обеспечивать выявление несимметричных повреждений в цепях напряжения.

Расчеты и эксперименты показывают, что если в симметричном нагрузочном режиме с номинальными фазными напряжениями в 58 В оборвется один из проводов, подводящих фазные напряжения к терминалу, 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) В.

Это соответствует первичному напряжению обратной последовательности:

$$U_2 = U_{2\text{КОНТР}} \cdot k_U,$$

где k_U – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Но если напряжение обратной последовательности появилось в первичной сети в результате несимметричного КЗ, то в этой сети появится и ток обратной последовательности величиной:

$$I_2 = U_2 / X_{2\text{СИСТ}},$$

где $X_{2\text{СИСТ}}$ – сопротивление обратной последовательности эквивалентной системы, расположенной «за спиной» защиты. Алгоритм выявления неисправности в цепях ТН проверяет, что ток обратной последовательности значительно ниже этой расчетной величины. Поэтому уставку по $I_{2\text{КОНТР}}$ рекомендуется принимать равной:

$$I_{2\text{КОНТР}} = ((U_{2\text{КОНТР}} \cdot k_U) / X_{2\text{СИСТ}}) / (k_i \cdot k_{\text{ОТСТР}}),$$

где k_i – коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$k_{\text{ОТСТР}}$ – коэффициент отстройки, равный 1,5–2,0.

Также в группе «Уставки ТН» 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 $10 B$ вторичных, превышает заданную величину уставки « $I_{ВКЛ} A$ ». В тех случаях, когда условие не выполняется (ток меньше указанной величины, а просадка возможна ниже $10 B$), необходимо обязательно использовать токовую отсечку, которая предусмотрена в данном терминале.

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.

Литература:

1. Руководящие указания по релейной защите. Вып.7. Дистанционная защита линий 35-330 кВ.–М.: «Энергия», 1966.
2. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем.–М.: «Энергия», 1976.