

О МЕТОДИКЕ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ ЗАЩИТЫ Понижающих ТРАНСФОРМАТОРОВ

АРЖАННИКОВ Е.А., д-р техн. наук, АРЖАННИКОВА А.Е., АНТОНОВ Д.Б., кандидаты техн. наук

Рассмотрены особенности рекомендованной фирмой АВВ методики выбора уставок микропроцессорных терминалов защиты трансформаторов. Проанализированы отличия ее от принятых в нашей стране методов выбора параметров срабатывания защит. Показано, что при комплексной оценке системы защит следует учитывать не только технические данные терминалов, но метод выбора их уставок.

Ключевые слова: трансформаторы, терминал защиты, ток небаланса, тормозная характеристика.

THE SELECTION PROCEDURES OF STEP-DOWN TRANSFORMER MICROPROCESSOR PROTECTION TERMINAL OPERATE VALUE

ARZHANNIKOV E.A., Ph.D., ARZHANNIKOVA Ph.D., ANTONOV D.B., Ph.D.

The article concerns recommended by ABB methods of selection of transformer microprocessor protection terminal installations. These methods are compared with those used in our country. It is stated that both technical terminal data and selection procedures of their installations should be taken into account.

Key words: transformers, protection terminal, imbalance current, breaking characteristics.

В настоящее время электроэнергетика страны переживает период полной смены как элементной базы релейной защиты, так и принципов выполнения защит. Из-за рубежа хлынули терминалы самых различных фирм. Большинство фирм дает для своей продукции весьма краткие описания, из которых не всегда можно понять положенные в основу действия устройства принципы. Еще хуже обстоит дело с методиками выбора уставок терминалов. Многие уставки рекомендуются фирмами на основе опыта эксплуатации защит за рубежом. Нам этот опыт неизвестен, да и российское оборудование отличается от западного. Фирмы явно стремятся сдать оборудование «под ключ», что предполагает его обслуживание и ремонт в течение всего срока эксплуатации силами специалистов фирмы. Естественно, это многократно увеличивает как стоимость оборудования при первой покупке, так и будущие вложения в эксплуатацию. При широком распространении подобной практики стране уготовлена участь технически отсталой. Из всех появившихся в нашей стране иностранных фирм только АВВ позаботилась о разработке понятных нам методик выбора уставок, заказав институту «Энергосетьпроект» разработку методики выбора уставок защит REL 511 и REL521 и опубликовав методики выбора уставок понижающих трансформаторов [3,4]. В представительствах других иностранных фирм работники часто не имеют представления о выборе уставок.

Ниже приводится сравнение официальной отечественной методики [1] с методикой фирмы АВВ [3, 4], в результате которого выявлен ряд принципиальных отличий, приводящих к значительной разнице уставок защит фирмы АВВ и уставок аналогичных отечественных защит (например, с реле типа ДЗТ-21(23)).

Напомним, что и отечественные и зарубежные защиты имеют две ступени: чувствительную ступень и отсечку. Уставки обеих ступеней отстраиваются от токов небаланса в дифференциальной цепи.

Согласно [1], расчетный ток небаланса, порождаемый в дифференциальной цепи сквозным током $I_{скв}$, состоит из трех составляющих:

$$I_{нб\ расч} = I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}''' \quad (1)$$

Первое слагаемое обусловлено погрешностями трансформаторов тока:

$$I_{нб}' = K_{пер} K_{одн} \varepsilon I_{скв} \quad (2)$$

где $K_{пер}$ – коэффициент, учитывающий переходный режим; $K_{одн}$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока; ε – относительное значение полной погрешности трансформаторов тока в установившемся режиме.

Второе слагаемое обусловлено наличием РПН и однозначно определяется $\Delta U_{РПН}$ – половиной реально используемого диапазона регулирования напряжения:

$$I_{нб}'' = \Delta U_{РПН} I_{скв}.$$

Третье слагаемое обусловлено неточностью задания номинальных токов сторон ВН и НН – округлением при установке, а также некоторыми метрологическими погрешностями, вносимыми элементами устройства. У микропроцессорных терминалов третье слагаемое весьма невелико:

$$I_{нб}''' = \Delta f I_{скв}.$$

Согласно [1], $\Delta f = 0,02-0,03$. По данным фирмы АВВ расчетное значение можно принимать $\Delta f_{добав} = 0,04$.

В [3, 4] для подсчета тока небаланса также используется выражение (1), но существенно изменены входящие в него коэффициенты.

В [1] рекомендуется принимать: $K_{одн} = 0,5-1,0$; $\varepsilon = 0,1$; $K_{пер} = 1$. А при небольших токах разрешается снижать значение ε до 0,05 и даже до 0,03.

В [3, 4], несмотря на относительно небольшие уровни сквозных токов, рекомендуется принимать: $K_{одн} = 1,0$; $\varepsilon = 0,1$; $K_{пер} = 2,5$, если доля двигательной нагрузки в общей нагрузке трансформатора более 50%, или $K_{пер} = 2,0$, если доля двигательной нагрузки менее 50%.

В итоге расчетное значение небаланса, вызванного погрешностями трансформаторов тока, по методике [1] при небольших сквозных токах, составляет 0,03–0,1 от сквозного тока, а по методике [3, 4] может доходить до 0,2–0,25 от того же тока.

Еще заметнее разница в токах небаланса при больших сквозных токах (внешнее КЗ).

По методике [1] при токе $I_{КЗ\ вн\ макс}$ небаланс в дифференциальной цепи вычисляется по выражению (2):

$$I_{нб}' = 0,1 I_{КЗ\ вн\ макс}.$$

В то же время в [3, 4] указано, что при небольших предельных кратностях отечественных трансформаторов тока амплитуда тока небаланса может достигать амплитуды максимального тока внешнего КЗ. То есть

$$I_{нб}' = 1,0 I_{КЗ \text{ вн. макс.}}$$

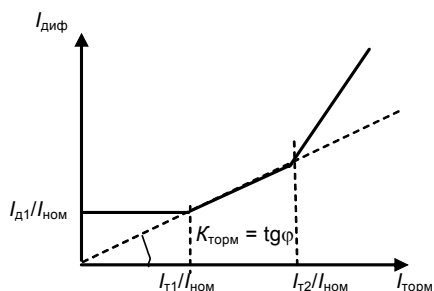
В этих условиях в [3] рекомендуется выбирать уставку входящей в терминал отсечки по условию

$$I_{диф}/I_{ном} \geq K_{отс} K_{нб(1)} I_{КЗ \text{ вн. макс.}}, \quad (3)$$

где $K_{нб(1)}$ – отношение амплитуды первой гармоники тока небаланса к приведенной амплитуде периодической составляющей тока внешнего КЗ. Согласно [3, 4], если и на стороне ВН и на стороне НН используются ТТ с вторичным номинальным током 5А, то можно принимать $K_{нб(1)} = 0,7$. Если на стороне ВН используются ТТ с вторичным номинальным током 1А, то следует принимать $K_{нб(1)} = 1,0$. Коэффициент отстройки $K_{отс}$ принимается равным 1,2.

Столь резкая разница в подходе к выбору уставки отсечки привела к тому, что отечественные и заграничные разработчики ориентируются на разные предельные значения уставок: в реле ДЗТ-11 ток срабатывания отсечки не может быть установлен больше $9 I_{ном}$. В защитах фирмы АВВ ток срабатывания отсечки можно установить до $30 I_{ном}$.

Разница в оценке небаланса при малых сквозных токах привела к различию в параметрах тормозной характеристики реле ДЗТ-11 и терминалов АВВ. Типичная тормозная характеристика терминала АВВ приведена на рисунке. Ее можно рассматривать состоящей из трех участков: участка без торможения, участка с пропорциональным торможением и участка с усиленным торможением. Весьма важным параметром характеристики является положение первой точки излома характеристики – ток начала торможения (на рисунке ток $I_{т1}$). Тормозная характеристика реле ДЗТ1 состоит лишь из двух участков (на ней нет участка усиленного торможения). Современные терминалы включаются так, что при витковых замыканиях тормозным для реле является ток нагрузки (по оси $I_{торм}$ на рисунке откладывается ток нагрузочного режима). И все параметры характеристики выбираются с учетом небалансов, существующих в нагрузочном режиме.



Тормозная характеристика дифференциальной защиты терминала RET-316

Рассмотрим порядок выбора параметров тормозной характеристики по методике [3, 4].

Базовая уставка $I_{д1}/I_{ном}$ определяет чувствительность рассматриваемой ступени защиты. Согласно [2], следует стремиться иметь уставку в пределах 0,3–0,5 для обеспечения чувствительности к полным витковым замыканиям в переплетенных обмотках и к межкатушечным замыканиям в любых обмотках.

Коэффициент торможения $K_{торм}$ должен обеспечить несрабатывание ступени при сквозных токах, соответствующих второму участку тормозной характеристики (примерно от 1,0 до $3,0 I_{ном}$). Такие токи возможны при действии устройств АВР трансформаторов, АВР секционных выключателей, АПВ питающих линий.

Расчетный ток небаланса, порождаемый сквозным током, определяется по выражениям (1) и (2) с подстановкой в них расчетных коэффициентов со значениями, рекомендованными фирмой АВВ.

Чтобы реле не сработало, коэффициент торможения в процентах должен определяться по выражению

$$K_{торм} \geq 100 I_{диф} / I_{торм} = 100 \cdot K_{отс} (K_{пер} K_{одн} \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f) / K_{сн.т.} \quad (4)$$

Здесь введен коэффициент снижения тока $K_{сн.т.}$, учитывающий то, что при значительных погрешностях ТТ тормозной ток снижается. Этот коэффициент может быть определен по выражению

$$K_{сн.т.} = I_{торм}/I_{скв} = 1 - 0,5(K_{пер} K_{одн} \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f). \quad (5)$$

В результате расчетов обычно получается, что ток начала торможения равен 0,2–0,4 $I_{ном}$.

Для защит с реле ДЗТ-11 ток небаланса считается по [1] и получается при малых сквозных токах, как показано выше, в 4–5 раз меньше, чем при расчете по [3, 4]. Это позволяет иметь у реле типа ДЗТ-21 ток начала торможения, равный 0,5–1,0 $I_{ном}$ и коэффициент торможения, меньший по величине, чем у защит фирмы АВВ.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Трансформатор 115/6,6 кВ мощностью 16 МВ А соответствует примерам 2.3.1. и 2.3.2 [1]. Трансформаторы тока на обеих сторонах собраны в звезду. $I_{ном} = 80,4$ А. Максимальный ток внешнего расчетного КЗ – 1022 А. В относительных единицах

$$I_{КЗ \text{ вн. макс.}} = 1022 / 80,4 = 12,8.$$

Проводим расчет параметров срабатывания защиты по методике фирмы АВВ.

Расчет ведется по используемому диапазону регулирования:

В [1, п.2.3.2.] за реально возможный диапазон регулирования напряжения принят диапазон от 96,5 кВ до 126 кВ. В таком случае середина диапазона соответствует напряжению:

$$96,5 + (126 - 96,5) / 2 = 111,25 \text{ кВ.}$$

Определяем размах РПН в реально используемом диапазоне:

$$\Delta U_{РПН} = (126 - 96,5) / (2 \times 111,25) = 0,13.$$

Уставка дифференциальной токовой отсечки определяется по выражению (3):

$$I_{диф}/I_{ном} \geq 1,2 \cdot 0,7 \cdot 12,8 = 10,7.$$

Принимаем уставку равной 11.

Для дифференциальной защиты с торможением принимаем начальную уставку

$$I_{д1}/I_{ном} = 0,3.$$

Ток небаланса при сквозном токе $I_{скв}$ определяется по выражениям (1) и (2):

$$I_{диф} = K_{отс} I_{нб.расч} = K_{отс} (K_{пер} K_{одн} \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{добав}) I_{скв} = 1,3 \cdot (2,0 \cdot 1,0 \cdot 1 + 0,13 + 0,04) I_{скв} = 1,3 \cdot 0,37 I_{скв} = 0,481 I_{скв}.$$

Коэффициент снижения тормозного тока – по выражению (5):

$$K_{\text{сн.т.}} = 1 - 0,5 \cdot 0,37 = 0,815;$$

Коэффициент торможения (наклон средней части тормозной характеристики) определяется по выражению (4):

$$K_{\text{торм}} \geq 100 I_{\text{диф}} / I_{\text{торм}} = 100 \cdot K_{\text{отс}} (K_{\text{пер}} K_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U_{\text{РПН}} + \Delta f_{\text{добав}}) / K_{\text{сн.т.}} = 100 \cdot 0,481 / 0,815 = 59 \%$$

Первая точка перелома тормозной характеристики

$$I_{\text{т1}} / I_{\text{ном}} = (I_{\text{д1}} / I_{\text{ном}}) \cdot 100 / K_{\text{торм}} = 0,3 \cdot 100 / 59 = 0,51.$$

Вторая точка перелома тормозной характеристики

$$I_{\text{т2}} / I_{\text{ном}} = 2.$$

Определим реальный ток срабатывания защиты при наложении виткового КЗ на режим номинальной нагрузки трансформатора:

$$I_{\text{торм}} / I_{\text{ном}} = 1;$$

$$I_{\text{диф}} = I_{\text{торм}} K_{\text{торм}} / 100 = 1 \cdot 59 / 100 = 0,59.$$

То есть реально защита сработает при токе 0,59 $I_{\text{ном}}$, несмотря на то, что начальная уставка равна 0,3 $I_{\text{ном}}$.

Рассчитанные по [1] уставки реле ДЗТ-21 позволили бы иметь реальный ток срабатывания чувствительной ступени 0,3 $I_{\text{ном}}$ и ток срабатывания отсечки 6 $I_{\text{ном}}$. Возможно, крайне плохие статистические данные о работе защит с реле ДЗТ-20 объясняются просто неправильной методикой выбора уставок, регламентированной [1].

Как показали расчеты, если витковое КЗ происходит при нагрузке, близкой к номинальной, реле ДЗТ работает при незначительном торможении, то есть с уставкой, близкой к начальной $I_{\text{д1}}$. В тех же условиях у реле фирмы АВВ тормозной ток соответствует примерно середине второго участка тормозной характеристики и реле работает с током срабатывания примерно 2 $I_{\text{д1}}$.

Подводя итоги, следует признать, что относительно небольшая разница в оценке токов небаланса между расчетом по отечественной методике и по методике фирмы АВВ привела к следующему:

- в одинаковых начальных уставках чувствительные ступени терминалов фирмы АВВ срабатывают при витковых КЗ при токах, примерно в 2 раза больших, чем у отечественных реле типа ДЗТ-20;

Аржанников Евгений Александрович,

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»
доктор технических наук, профессор кафедры автоматического управления энергетическими системами,
телефон (4932) 26-99-04,
e-mail: zav@rza.ispu.ru

Аржанникова Александра Евгеньевна,

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических систем,
телефон (4932) 26-99-21,
e-mail: zav_es@es.ispu.ru

Антонов Дмитрий Борисович,

ЗАО «Радиус-Автоматика»,
кандидат технических наук,
телефон (4932) 26-99-04,
e-mail: zav@rza.ispu.ru

- в одинаковых условиях на отсечке терминалов фирмы АВВ ставится уставка по току срабатывания примерно в 2 раза большая, чем на отсечках у реле ДЗТ-21.

Вызвано это тем, что методика расчета токов небаланса фирмы АВВ дает много большие расчетные значения тока небаланса, чем отечественная методика.

Однако прежде чем сделать окончательные выводы о достоинствах и недостатках той или иной методики, необходимо учесть следующее:

- отсечки у терминалов фирмы АВВ грубее отечественных, но отсечка в таких терминалах является дополнительной защитой, устраняющей отдельные недостатки чувствительной ступени. В нашей стране давно существует практика, при которой к дополнительным защитам предъявляются куда менее строгие требования, чем к основным;

- чувствительная ступень у терминалов АВВ менее чувствительна к витковым замыканиям, чем у отечественных, но в нашей стране до сих пор нет единого мнения о необходимости чувствительности защит к витковым замыканиям. ПУЭ регламентируют только чувствительность защит к металлическим КЗ на выводах и не дают никаких норм чувствительности к витковым замыканиям.

Таким образом, при выборе системы защит на энергетических объектах следует анализировать не только технические данные терминалов, но и методики выбора их уставок, ибо они могут в корне изменить представления об эффективности функционирования защит.

Список литературы

1. **Релейная защита** понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ. Расчеты: Руководящие указания по релейной защите. Вып.13Б. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 96 с.

2. **Засыпкин А.С.** Релейная защита трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.

3. **Дифференциальное реле с торможением.** Руководство пользователя и техническое описание. АББ Реле: Рекомендации по применению и выбору уставок дифференциального модуля SPCD 3D53 реле SPAD 346С. – Чебоксары, 1999.

4. **Рекомендации** по применению и выбору уставок функционального блока дифференциальной защиты трансформаторов терминала типа RET 316. АББ Реле. – Чебоксары, 2002.