



Авторы:

С.А. Вдовин,
А.С. Шалимов,
 ООО «НПП Селект»,
 г. Чебоксары
 S.Vdovin,
 A.Shalimov,
 SPE «Select»,
 Cheboksary

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗЕРВНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ДЛЯ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ 110-220КВ

APPLICATION BACKUP CURRENT PROTECTION OF SHUNT REACTORS 110-220KV

Аннотация: рассматривается применение функций токовой защиты обратной последовательности и максимальной токовой защиты микропроцессорных устройств РЗА для резервирования основных быстродействующих защит шунтирующих реакторов при всех видах электрических повреждений.

Ключевые слова: шунтирующий реактор, резервирование, токовая защита обратной последовательности, максимальная токовая защита.

This paper considers the application negative sequence and overcurrent protection for backup main high-speed protection of shunt reactors from all kind of electrical damages.

Key words: shunt reactor, backup, negative sequence current protection, overcurrent protection.

В соответствии с требованиями п.3.2.52 ПУЭ РФ [1], для шунтирующих реакторов (ШР) 500кВ предусматриваются устройства релейной защиты (РЗ) от следующих видов электрических повреждений (КЗ):

- 1) однофазных и двухфазных замыканий на землю в обмотках и на выводах;
- 2) витковых замыканий в обмотках;
- 3) частичного пробоя изоляции вводов.

Следует особо отметить, что в действующей редакции ПУЭ (также как и предыдущих редакциях) определены требования к релейной защите, по существу, только для шунтирующих реакторов напряжением 500кВ (или выше). При этом практически не рассматриваются функции защиты для шунтирующих реакторов напряжением 220кВ (или ниже), которые в последние десятилетия получили достаточно широкое распространение в связи с необходимостью компенсации реактивной мощности в сетях указанных уровней напряжения.

Вследствие этого, в сложившейся практике проектирования указанные положения ПУЭ автоматически распространяются на релейную защиту шунтирующих реакторов напряжением ниже 500кВ. Такой подход, в ряде случаев, следует признать упрощенным, и не всегда отвечающим реальным требованиям надежности защиты шунтирующих реакторов, имеющих конструктивное исполнение отличное от типового исполнения реакторов 500кВ.

ШР напряжением 500кВ (и выше), в основном, представляют собой группу из трёх однофазных реакторов, фазы которых (с расщепле-

нием или без расщепления) располагаются в отдельных маслonaполненных корпусах (баках). Вероятность возникновения внутренних междуфазных КЗ ШР (без замыкания на землю) при такой конструкции практически отсутствует.

Обмотки шунтирующих реакторов в трёхфазном исполнении (как правило, это реакторы напряжением 110-220кВ) размещаются в общем маслonaполненном баке, внутри которого достаточно велика вероятность возникновения междуфазных КЗ (без замыкания на землю).

Типичный (полный) набор функций РЗ для ШР включает:

- продольную дифференциальную токовую защиту от всех видов электрических повреждений реактора (за исключением витковых замыканий обмотки);
- поперечную дифференциальную токовую защиту ШР с расщеплением обмоток (реагирующую практически на любые повреждения в реакторе, включая витковые замыкания);
- две отдельные функции токовой защиты нулевой последовательности: ТЗНП на стороне высоковольтных вводов (ВВ) и ТЗНП на стороне нейтрали ШР (имеющие соответствующие зоны чувствительности при замыканиях на землю в обмотке реактора);
- функцию резервирования при отказе выключателя (УРОВ);
- функцию контроля изоляции вводов (КИВ для ВВ-330кВ и выше);
- защиту минимального напряжения, которая выполняет функцию автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН) на шинах подстанции или линии электропередачи.

В современных проектах РЗА ШР 330-750кВ применяются, как правило, основные (дифферен-

циальные токовые) защиты в двух комплектах микропроцессорных устройств (при этом, функции поперечной и продольной дифзащиты могут совмещаться в одном устройстве РЗ), а также два отдельных комплекта микропроцессорных устройств: КИВ и устройство резервных токовых защит на стороне ВВ ШР.

Для ШР 110-220кВ с расщеплением фаз представляется надежным и экономически целесообразным применение трех отдельных комплектов микропроцессорных устройств защиты: комплект продольной дифзащиты ШР, комплект поперечной дифзащиты, включающий функцию ТЗНП нейтрали ШР, и комплект резервных токовых защит на стороне ВВ ШР. Для ШР 110-220кВ без расщепления фаз достаточно двух отдельных комплектов защиты: комплект продольной дифзащиты ШР, включающий функцию ТЗНП ВВ ШР, и комплект резервных токовых защит на стороне ВВ ШР, включающий функцию ТЗНП нейтрали ШР.

Учитывая особенности конструктивного исполнения трёхфазных ШР (а также реакторов без расщепления фаз), наряду с дифференциальными защитами, а также токовой защитой от замыканий на землю в обмотке реактора (ТЗНП), целесообразно также рассмотреть применение резервных токовых защит от всех видов повреждений, использующих иные принципы функционирования, таких как:

- токовая защита обратной последовательности (ТЗОП) от любых несимметричных КЗ, включая витковые замыкания в обмотке реактора;
- максимальная токовая защита (МТЗ) от многофазных КЗ или замыканий на землю в обмотке реактора.

Указанные защиты, в пределах их чувствительности (определяемой уставкой срабатывания по току), можно рассматривать как частично резервирующие функции основных быстродействующих защит реактора, в т.ч.:

- МТЗ (защита, реагирующая на полные токи фаз реактора) резервирует продольную токовую дифзащиту;
- ТЗОП (защита, реагирующая на составляющие обратной последовательности то-

ков фаз реактора), резервирует поперечную токовую дифзащиту, а для реакторов с нерасщепленными обмотками - газовую защиту при межвитковых замыканиях в обмотке реактора.

Рассматриваемые функции защиты: ТЗОП и МТЗ, с измерением токов на стороне высоковольтных вводов (ВВ) ШР могут выполняться одноступенчатыми и должны действовать с заданными независимыми выдержками времени на:

- отключение выключателей реактора (с блокированием команд включения);
- на пуск УРОВ выключателей реактора.

Необходимо особо подчеркнуть, что применение ТЗОП на стороне ВВ ШР наиболее актуально для реакторов, имеющих нерасщепленные фазы (безотносительно, трехфазного или однофазного исполнения), т.к. в этом случае указанная защита является единственной чувствительной электрической защитой от витковых замыканий обмотки.

Так как функции ТЗОП и МТЗ, как правило, реализуются в многофункциональных микропроцессорных устройствах наряду с другими функциями защиты, их применение обычно не требует дополнительного аппаратного обеспечения.

Ниже, на рис. 1 приведён пример распределения основных функций защиты микропроцессорных устройств для трёхфазного шунтирующего реактора 110-220кВ (второстепенные функции, такие как УРОВ, АОСН и электроизмерения, не показаны).

В качестве микропроцессорных устройств защиты рассматривается оборудование зарубежных и российских фирм-изготовителей, таких как: «Siemens AG», «AREVA», «GE Multilin», «ABB» и «НПП «ЭКРА».

В качестве микропроцессорных устройств защиты рассматривается оборудование зарубежных и российских фирм-изготовителей, таких как: «Siemens AG», «AREVA», «GE Multilin», «ABB» и «НПП «ЭКРА».

Далее приводятся рекомендации по выбору уставок для ТЗОП и МТЗ шунтирующего реактора.

ТЗОП, как указывалось выше, использует измерения фазных трансформаторов тока на стороне высоковольтных вводов реактора.

Ток срабатывания ТЗОП выбирается по условию отстройки от тока небаланса в реакторе при нарушении симметрии напряжений в сети высокого напряжения (ВН):

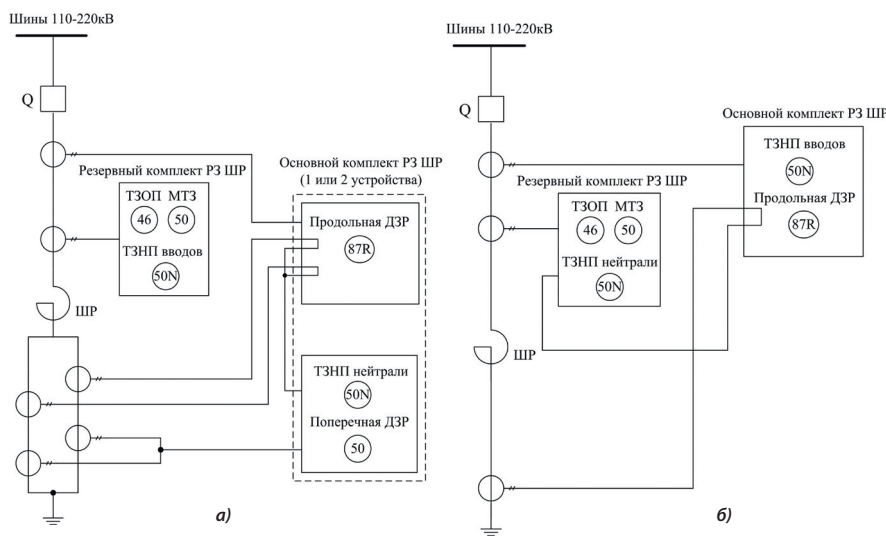


Рис. 1. Пример распределения защит по комплектам и ТТ для ШР 110-220кВ с расщеплёнными (а) и нерасщеплёнными (б) обмотками



Влодин Сергей Аркадьевич.

Руководитель группы проектирования ООО «НПП Селект». Дата рождения: 19.05.1955 г. Год окончания вуза – 1978, Политехнический институт г. Самара.

$$I_{C3} \geq (0,1 \div 0,2) \cdot K_U \cdot I_{НОМ.Р} = (0,135 \div 0,27) I_{НОМ.Р} \quad (1)$$

где $I_{НОМ.Р}$ – номинальный ток реактора;
 $K_U=1,35$ – коэффициент запаса, учитывающий перенапряжения в сети ВН, допустимые для шунтирующих реакторов в течение ограниченного периода времени (согласно п.5.11.17 ПТЭ РФ [2]).

Выдержка времени на отключение и пуск УРОВ ШР может приниматься равной:

$$T_{C3} = T_{C3.СМ.ПР} + T_{ЗАП}, \quad (2)$$

где $T_{C3.СМ.ПР}$ – максимальная выдержка времени резервных защит (ступеней) смежных присоединений в сети ВН, в конце зоны действия которых (при несимметричных КЗ), действие ТЗОП не отстроено по току срабатывания (в целях упрощения расчетов, может использоваться максимальное время срабатывания последних ступеней указанных защит);

$T_{ЗАП} = 0,3 \div 0,4$ сек. – ступень селективности по времени.

Коэффициент чувствительности ($K_{Ч}$) ТЗОП на стороне высоковольтных вводов реактора определяется при металлических КЗ по выражению:

$$K_{Ч} = I2_{КЗ.МИН} / I_{C3} \geq 1,5, \quad (3)$$

где $I2_{КЗ.МИН}$ – минимальный (по режиму) ток обратной последовательности при КЗ двух фаз на ошиновке ВН;

I_{C3} – ток срабатывания защиты.

МТЗ, аналогично ТЗОП, использует измерения фазных трансформаторов тока на стороне высоковольтных вводов реактора.

Ток срабатывания МТЗ выбирается по условию отстройки от возможных перегрузок реактора по току в симметричных режимах повышения напряжения в сети ВН:

$$I_{C3} \geq K_{ОТС} \cdot K_U \cdot I_{НОМ.Р} = 1,8 \cdot I_{НОМ.Р}, \quad (4)$$

где $K_{ОТС}$ – коэффициент отстройки;

K_U – то же самое, что в выражении (1).

Выдержку времени на отключение и пуск УРОВ ШР рекомендуется принимать из условий отстройки от кратковременных повышений напряжения в высоковольтной сети (с учетом действия устройств противоаварийной автоматики – АОПН линий 330-500кВ):

$$T_{C3} \geq 0,8 \div 1,0 \text{ сек}$$

Для трехфазной МТЗ шунтирующего реактора целесообразно также применение спе-

циальных мероприятий, предотвращающих излишнее срабатывание защиты при включении ШР под рабочее напряжение.

В том числе, в данном качестве может применяться внутренняя функция торможения (блокирования) защиты при бросках тока намагничивания, использующая оценку величины составляющей второй гармоники в фазных токах реактора.

Для шунтирующих реакторов, имеющих незначительное содержание высших гармонических составляющих в токе включения (уточняется согласно техническим данным изготовителя ШР), вместо торможения функции МТЗ на стороне ВВ реактора по току 2-й гармоники, рекомендуется применение функции динамической коррекции уставок при холодном пуске: автоматическое увеличение тока срабатывания МТЗ, вводимое с заданной выдержкой времени ($T_{ОТКЛ.ВЫКЛ}$) после отключения выключателя ШР, и с продлением действия на заданное время ($T_{ДЕЙСТ.ДИН}$) после его включения под напряжение (диаграмма рис. 2).

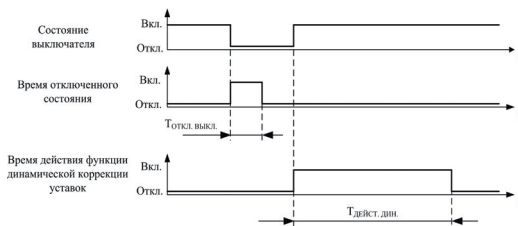


Рис. 2. Временная диаграмма функции динамической коррекции уставок при холодном пуске

По истечении времени продления действия функции динамической коррекции уставок, или после уменьшения токов фаз ШР ниже величины уставки МТЗ нормального режима, производится возврат штатных уставок МТЗ по току срабатывания (рассчитанных, согласно выражению (4), для нормального режима работы ШР).

Уставка по току срабатывания функции динамической коррекции уставок защиты должна выбираться по условию отстройки от максимальных токов переходного процесса включения ШР под напряжение (бросок тока включения):

$$I_{C3} \geq K_{ОТС} \cdot 3 \cdot I_{НОМ.Р} \approx 4,0 \cdot I_{НОМ.Р} \quad (5)$$

где $K_{ОТС}=1,3$;

$3 \cdot I_{НОМ.Р}$ – величина броска тока включения реактора (максимальное значение).



Шалимов Александр Станиславович.
Ведущий инженер ООО «НПП Селект». Дата рождения 24.02.1982 г. Год окончания вуза – 2005, электротехнический факультет Чувашского государственного университета, кафедра электрических и электронных аппаратов.

Выдержки времени функции динамической коррекции уставок определяются на основании нагрузочных характеристик защищаемого объекта и должны быть выставлены достаточными, чтобы перекрыть продолжительность перегрузки в условиях холодного пуска (переходного процесса).

Коэффициент чувствительности МТЗ на стороне высоковольтных вводов реактора определяется при металлических КЗ по выражению:

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{кз.мин}} / I_{\text{сз}} \geq 1,5, \quad (6)$$

где $I_{\text{кз.мин}}$ – минимальный (по режиму) ток КЗ в трех фазах на ошиновке ВН реактора.

Проверка чувствительности ТЗОП и МТЗ по выражениям (3) и (6) выше, носит, по сути, формальный характер, т.к. при КЗ на стороне высоковольтных вводов реактора указанное требование будет выполняться практически всегда. При этом, защищаемые зоны ТЗОП и МТЗ включают только часть обмотки ШР, т.к. определяются граничными условиями отстройки тока срабатывания.

Типовое решение с использованием функций ТЗОП и МТЗ ранее было предложено в проектах защиты шунтирующих реакторов с использованием микропроцессорных устройств SIPROTEC, реализованных при модернизации устройств РЗА присоединений 110-500кВ в составе программы реабилитации национальной электрической сети Республики Казахстан в течение 2004-2010гг. Разработка проектов велась при непосредственном участии одного из авторов статьи.

В настоящее время завершается разработка методических указаний по выбору параметров срабатывания микропроцессорных защит (с использованием оборудования «Siemens AG», «AREVA», «GE Multilin», «НПП ЭКРА», «ABB») для шунтирующих реакторов 110-750кВ и для управляемых шунтирующих реакторов 220-500кВ, выполняемая по заданию ФСК ЕЭС (исполнитель - «НПП Селект», Чебоксары). Указанные документы содержат (в том числе) рекомендации по применению и выбору параметров срабатывания функций ТЗОП и МТЗ реактора.

В заключение отмечаем, что применение рассматриваемых функций резервных токовых защит ШР, возможно так же и для сетевой обмотки (высокого напряжения) управляемых шунтирующих реакторов (УШР) в трёхфазном исполнении, с учетом некоторой специфики выбора

уставок по току срабатывания ТЗОП и МТЗ для конкретного типа УШР.

Выводы

Применение токовой защиты обратной последовательности и максимальной токовой защиты для шунтирующих реакторов во многих случаях является целесообразным, т.к. повышает надежность и эффективность резервирования основных быстродействующих защит при всех видах электрических повреждений обмотки ШР.

Литература:

1. Правила устройства электроустановок [Текст]: все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 8-й выпуск. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во. 2007. 854 с., ил.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. - М.: СПО ОРГРЭС, 2003.
3. РУ по РЗ Выпуск 13Б «Релейная защита понижающих трансформаторов и АТ 110-500кВ. Расчеты» М. Энергоатомиздат 1985г.
4. Многофункциональное устройство защиты и местного управления 75J62/64 V4.7. Руководство по эксплуатации. C53000-G1156-C207-1. Русская версия.
5. F60 Реле управления фидером. Руководство по эксплуатации терминалов серии UR. F60 версия: 5.2х. Руководство №: 1601-0214-P1 (GEK-113224), 2008 GE Multilin.
6. MiCOM P141, P142, P143. Техническое справочное руководство.
7. Relion 615 series. Feeder Protection and Control REF615. Application Manual. Document ID 1MRS756378, product version 2.0, revision E. ABB, 03.07.2009.
8. Шкаф защиты управляемого шунтирующего реактора напряжением 35 – 220 кВ типа ШЭ2607 049249. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.656453.164 РЭ.
9. Зоран Гаич (Zoran Gajic). Вопросы релейной защиты высоковольтных шунтирующих реакторов с точки зрения инженера релейной защиты. Публикации 30-й Конференции по Релейной защите Spokane, Washington Октябрь 21-23, 2003.