

Оценка эффективности дистанционной защиты управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов напряжением 110 кВ

С.А. ВДОВИН, А.С. ШАЛИМОВ
ООО «НПП «Селект»
Россия
shalimov@rzaselect.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Дистанционная защита, управляемый шунтирующий реактор с подмагничиванием.

1 ВВЕДЕНИЕ

Управляемые шунтирующие реакторы (УШР) с подмагничиванием 110-500 кВ, типа РТУ (ОАО «ЭЛРУ»), являются наиболее распространённым устройством FACTS в России. Из введённых к 2013 г. в эксплуатацию УШР, почти половина работает в распределительных сетях напряжением до 110 кВ [1].

Система релейной защиты УШР 220-500 кВ достаточно полно охватывает реактор от всех видов повреждений и включает, в общем случае: 1 или 2 (для УШР 330-500 кВ) комплекта продольной и поперечной дифференциальной защиты сетевой обмотки (СО), как правило, может быть реализована отдельная продольная дифзащита компенсационной обмотки (КО), резервные максимальные токовые защиты фазного тока и тока нулевой последовательности обмоток СО и КО, контроль изоляции высоковольтных вводов (для УШР 330-500 кВ).

УШР напряжением 110 кВ выполняются двухобмоточными – с совмещением во вторичной обмотке функций компенсационной обмотки и обмотки управления (ОУ). Данное решение вызывает циркуляцию в ветвях первичной (сетевой) обмотки УШР, наряду с током нагрузки, составляющих выпрямленного тока подмагничивания и высших гармоник, что делает невозможным применение поперечной и полноценной продольной дифзащиты сетевой обмотки [1]. Трансформаторы тока (ТТ) со стороны нейтрали СО устанавливаются только на общем выводе заземления, т.е. фактически в цепи циркуляции токов нулевой последовательности.

В настоящее время, согласно действующим правилам и указаниям, состав защит для реакторов подобного типа и назначения не регламентирован. В практике проектирования для УШР 110 кВ принят следующий состав релейной защиты: продольная дифзащита нулевой последовательности СО (включаемая на ТТ трёхфазного высоковольтного ввода и отдельный ТТ, установленный в общем выводе заземления нейтрали) и максимальные токовые защиты (МТЗ) СО и совмещённой ОУ [2].

Следует отметить недостатки указанной системы релейной защиты. УШР 110 кВ выполняются трёхфазными, что делает вероятными их междуфазные повреждения (КЗ), без составляющих нулевой последовательности, к которым дифзащита нулевой последовательности нечувствительна. Отключение при многофазных КЗ осуществляется МТЗ, как правило, двухступенчатой. Первая ступень, отстроенная от броска тока включения, защищает только часть сетевой обмотки реактора. Чувствительность второй ступени МТЗ, может находиться на пределе допустимой, а выдержка времени отстраивается от времени действия предохранителей и МТЗ со стороны присоединений к ОУ трансформаторов, питающих преобразователи подмагничивания.

Решением для повышения эффективности релейной защиты УШР является применение двухступенчатой направленной дистанционной защиты (ДЗ) в качестве защиты УШР 110 кВ от всех видов повреждений, действующей с выдержкой времени, и быстродействующей защиты от междуфазных КЗ замыканий на землю в СО УШР.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим эксплуатационные особенности УШР с позиции влияния на поведение устройства ДЗ, схема подключения которого к УШР приведена на рис. 1.

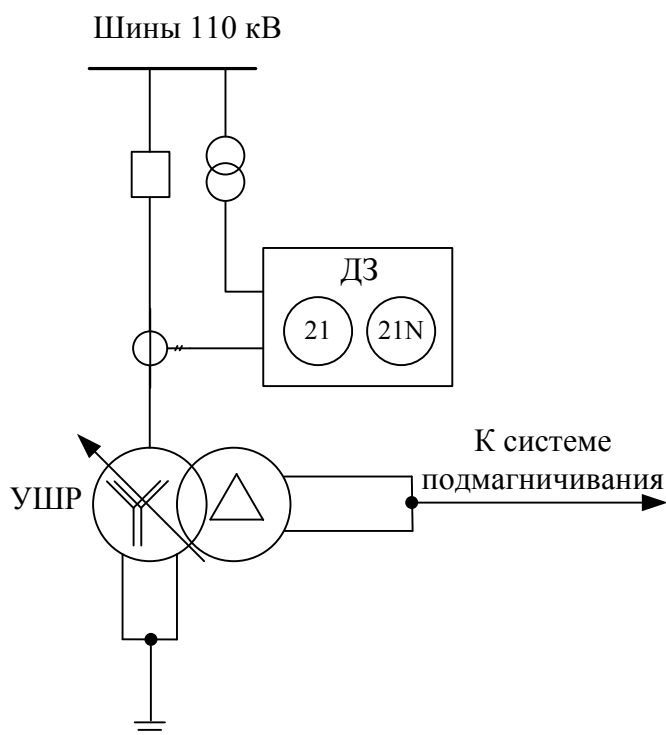


Рис. 1: Подключение ДЗ к УШР 110 кВ

УШР рассматриваемого типа можно представить схемой замещения аналогичной трансформатору со схемой соединения обмоток «звезда с нулём – треугольник» (Y/Δ-11) с напряжением U_K примерно 30% [2].

При включении УШР, величина броска тока намагничивания в СО не превышает двукратного номинального тока (рис. 2).

Зона срабатывания ДЗ, выполняемая с охватом выводов КО/ОУ, должна быть отстроена от импеданса нагрузочного режима, который с учётом допустимой перегрузки (20%) УШР по току, будет иметь величину примерно в 2,5 раза большую, чем сопротивление реактора при междуфазном КЗ на выводах КО/ОУ:

$$Z_{\text{НАГР.МИН}} = \frac{U_{\text{РАБ.МИН}}}{\sqrt{3}I_{\text{НАГР.МАКС}}} = \frac{0,9 \cdot U_{\text{НОМ}}}{1,2 \cdot \sqrt{3}I_{\text{НОМ}}} = 0,43 \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}}; \quad (1)$$

$$Z_{\text{ВКЛ.МИН}} = \frac{U_{\text{РАБ.МИН}}}{\sqrt{3}I_{\text{ВКЛ.МАКС}}} = \frac{0,9 \cdot U_{\text{НОМ}}}{2 \cdot \sqrt{3}I_{\text{НОМ}}} = 0,26 \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}}; \quad (2)$$

$$Z_{\text{УШР}} = \frac{U_K}{100} \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} = 0,17 \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}}; \quad (3)$$

$$Z_{\text{УСТ}}^{\text{УШР}} = 1,2 \cdot Z_{\text{УШР}} = 0,21 \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}}. \quad (4)$$

где $U_{\text{РАБ.МИН}} = 0,9 \cdot U_{\text{НОМ}}$ – минимальное рабочее напряжение; $I_{\text{НАГР.МАКС}} = 1,2 \cdot I_{\text{НОМ}}$ – максимальный ток нагрузки УШР, с учётом допустимой перегрузки 20%; $I_{\text{ВКЛ.МАКС}} = 2 \cdot I_{\text{НОМ}}$ – максимальная величина тока включения УШР.

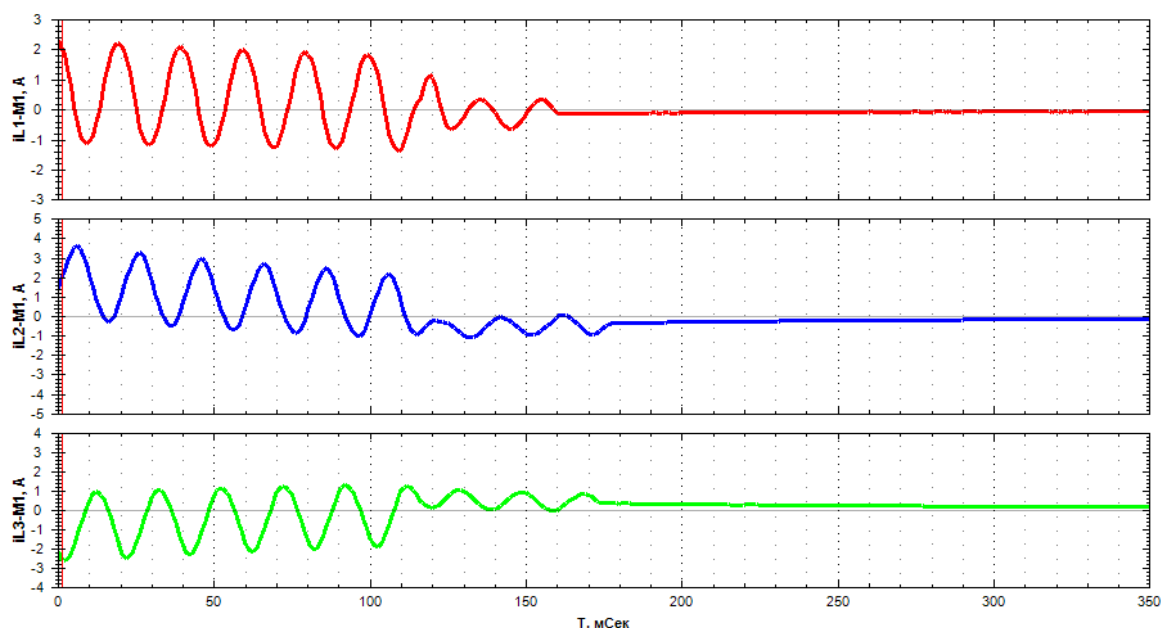


Рис. 2: Осциллограмма процесса включения УШР 110 кВ

Из соотношений (1)÷(4) следует, что надёжная отстройка срабатывания ДЗ обеспечивается как в режимах нагрузки, так и при броске тока включения УШР (даже не учитывая выдержку времени срабатывания защиты).

Режим набора или снижения мощности УШР может оказать влияние на функцию блокирования ДЗ при неисправностях в цепях напряжения (БНН) устройств ДЗ с контролем дифференциальной величины трёхфазного тока dI/dt . В случае трёхфазного исчезновения (обрыва цепей) напряжения в процессе регулирования мощности УШР теоретически возможна деблокировка функции БНН с отключением УШР от ДЗ. Постоянная времени для УШР 110 кВ составляет 1 с (рис. 3). Скорость нарастания тока от нуля до величины допустимой перегрузки в относительных величинах составит около $1,2 \cdot I_{\text{НОМ}}/с$, что, в большинстве случаев, значительно ниже порога минимальной уставки БНН по dI/dt .

При выполнении дистанционных измерений двухфазного КЗ за выводами КО/ОУ необходимо учитывать распределение линейных токов на сторонах УШР. Двухфазное КЗ за выводами КО/ОУ, сопровождается несимметричным распределением токов в трёх фазах на стороне высоковольтных вводов СО УШР.

Для правильного определения значения и фазового угла сопротивлений междуфазных КЗ за выводами КО/ОУ, предпочтительно применение ступени ДЗ с однофазными контурами измерения.

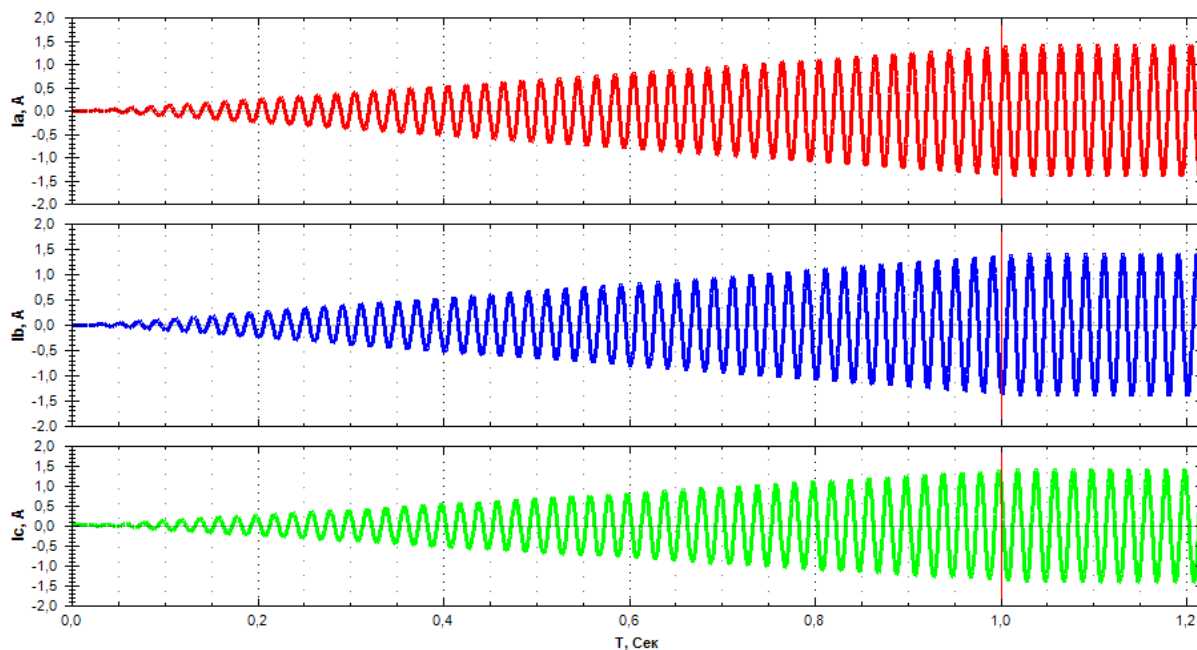


Рис. 3: Осциллограмма тока при наборе мощности УШР 110 кВ в сетевой обмотке

Замер сопротивления ступени ДЗ от КЗ на землю в фазе *B* на стороне вводов УШР («звезда») при двухфазном КЗ (*AB*) за выводами обмотки КО/ОУ («треугольник»), будет точно соответствовать аналогичному замеру при трехфазном (симметричном) КЗ в указанной точке. Это может быть проиллюстрировано следующими расчетными выражениями:

$$Z_{K3}^{(2)} = E_{\Phi} / I_{\Phi} = E_{\Phi} / ((2 / \sqrt{3}) \cdot I_{K3}^{(2)}),$$

где E_{Φ}, I_{Φ} – соответственно величина ЭДС и тока в фазе защиты.

С учетом равенства $I_{K3}^{(2)} = (\sqrt{3} / 2) \cdot I_{K3}^{(3)}$, получаем:

$$Z_{K3}^{(2)} = E_{\Phi} / I_{K3}^{(3)}.$$

Таким образом, сопротивление двухфазного КЗ за выводами обмотки КО/ОУ УШР, измеренное в одной (характерной) фазе на стороне вводов УШР, равно сопротивлению при трёхфазном КЗ в этой точке, следовательно, расчетные зоны действия и чувствительность ДЗ (для данного однофазного измерительного контура) при любых междуфазных КЗ одинаковы.

Дистанционный орган ДЗ будет также реагировать и на однофазные замыкания на землю в СО, резервируя действие продольной дифзащиты нулевой последовательности.

Поясняющие векторные диаграммы сопротивлений на примере металлического двухфазного КЗ (повреждение фаз *A* и *B*) за выводами КО/ОУ $Z_{K3} = Z_{УШР}$ представлены на рис. 4 ниже.

Как видно из диаграммы рис. 4, правильный замер сопротивления КЗ производится однофазным контуром дистанционного органа Z_{BN} (при двухфазных КЗ фаз *BC* и *CA*, соответственно контурами Z_{CN} и Z_{AN}) [3]. Таким образом, при использовании междуфазных измерительных контуров реле сопротивления, необходимо учитывать искажение замера дистанционного органа.

Необходимо учитывать, что не все цифровые устройства ДЗ предусматривают возможность пуска однофазных контуров ДЗ (фаза-земля) при отсутствии составляющих тока и/или напряжения нулевой последовательности $3I_0, 3U_0$. В таких случаях, могут использоваться междуфазные контуры ДЗ УШР с учётом искажений замера дистанционного органа, как это представлено выше на диаграмме рис.4. Однако, такое применение ДЗ потребует специальных

расчётных критериев выбора уставок междуфазных контуров (учет дополнительного запаса характеристики по оси R).

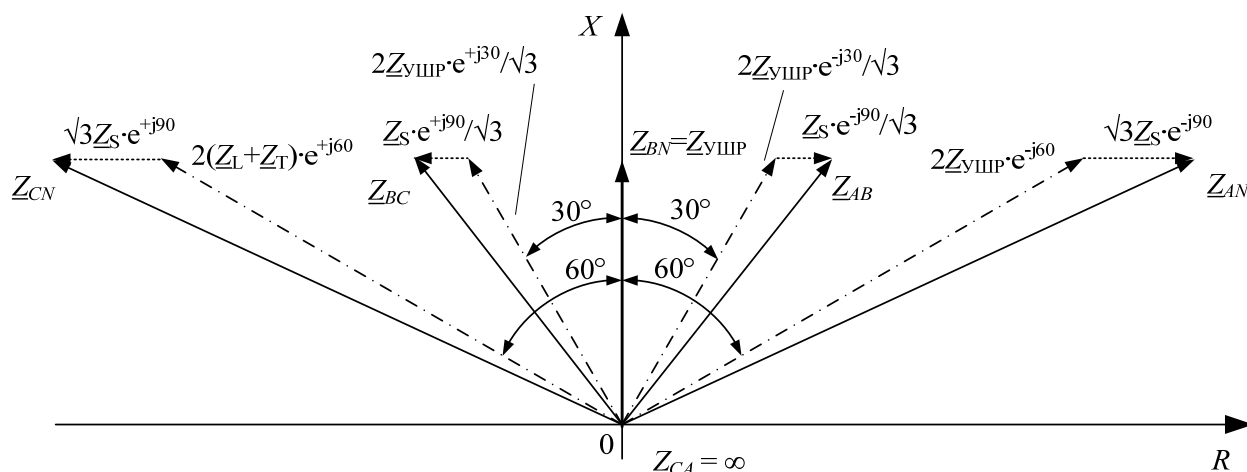


Рис. 4: Векторные диаграммы сопротивлений на зажимах измерительных контуров ДЗ при КЗ между фазами A и B за выводами обмотки КО/ОУ УШР

Выдержка времени ступени ДЗ с охватом выводов КО/ОУ УШР выбирается по условию согласования с выдержкой времени МТЗ на выводах КО/ОУ.

Целесообразно также применение отдельной ступени ДЗ с минимальной (или нулевой) выдержкой времени для защиты СО УШР от всех видов повреждений. Уставка ступени по сопротивлению должна выбираться по условию отстройки от КЗ за выводами обмотки КО/ОУ УШР:

$$Z_{уст}^{CO\ УШР} = 0,85 \cdot Z_{УШР}.$$

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксплуатационные режимы не накладывают ограничений на функционирование устройства ДЗ УШР. В сравнении с обычной МТЗ, ДЗ СО УШР, в основном, будет иметь лучшее быстродействие и чувствительность при всех видах КЗ в обмотках УШР и за выводами совмещённой обмотки КО/ОУ, особенно с учетом активного сопротивления дуги при междуфазных КЗ на стороне выводов КО/ОУ. Эффективность применения ДЗ будет также возрастать при больших значениях U_K УШР, вследствие уменьшения расчётной величины сквозного тока КЗ и соответствующего снижения чувствительности обычной МТЗ.

Представляется целесообразным применение ДЗ для защиты УШР, на которых отсутствует возможность выполнения поперечной и полноценной продольной дифференциальной токовой защиты. Использование МТЗ УШР в традиционном исполнении (в качестве защиты резервирующей ДЗ) при этом не исключается.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Долгополов А.Г. Релейная защита управляемых шунтирующих реакторов. – М.:НТФ «Энергопрогресс», 2011.
- [2] Долгополов А.Г. Релейная защита управляемых шунтирующих реакторов для электрических сетей 35-110 кВ // Энергетик. 2011. №11. С. 27-31.
- [3] Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. – Перевод с англ. Под ред. Дьякова А.Ф. – М.: Энергоиздат. 2005 .