

УДК 621.316

## СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ЦИФРОВЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ БРОСКОВ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ

Беседа А.С., Гавриелок Ю.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Дифференциальная защита является защитой с абсолютной селективностью, действующей без выдержки времени, и применяется для организации защиты электрических машин, силовых трансформаторов, сборных шин и присоединений всех уровней напряжения.

Дифференциальная защита вычисляет сумму всех токов, втекающих и вытекающих из защищаемой зоны. Пренебрегая токами намагничивания и емкостными токами, можно сказать, что указанная сумма всегда будет равна нулю (согласно закону Кирхгофа), если защищаемый объект не поврежден. Внутренние повреждения обнаруживаются за счет того, что появляется дифференциальный ток.

Используются три способа отстройки от токов намагничивания.

Первый из них заключается в применении быстросыщающихся промежуточных ТТ (НТТ), через которые включаются дифференциальные реле тока. НТТ не пропускает апериодическую составляющую тока, составляющего значительную часть тока намагничивания, и позволяет, таким образом, надежно отстроить дифференциальные реле от периодической составляющей намагничивающих токов.

Второй способ, примененный в реле типа ДЗТ-21, основан на использовании различия времени  $\Delta t$  бестоковых пауз в дифференциальном реле при броске тока намагничивания трансформатора и при токе КЗ для блокирования действия реле в сочетании с торможением второй гармонической составляющей тока намагничивания (отсутствующей в кривой тока КЗ).

Третий способ состоит в отстройке тока срабатывания реле от тока намагничивания по величине. Такой способ используется в дифференциальной отсечке, но он может применяться только при токе КЗ, превышающем бросок намагничивания.

Дифференциальная защита трансформатора обладает рядом дополнительных функций (функцией выравнивания коэффициентов трансформации, учета фазового сдвига группы соединения обмоток силового трансформатора, функцией торможения при бросках тока намагничивания и в случае перевозбуждения) и, тем самым, при расчете уставок и конфигурировании защиты требуется учет некоторых основных положений.

При включении силового трансформатора под напряжение имеет место одностороннее его перевозбуждение в связи с наличием остаточного магнитного потока, что вызывает значительное увеличение тока (БНТ).

Магнитный поток не уменьшается до нуля, когда силовой трансформатор отключается от сети, а остается на некотором уровне  $\Phi_{Rem}$ , который может превышать 80 % номинальной магнитной индукции. Когда вновь производится включение силового трансформатора под напряжение, магнитный поток начинает увеличиваться именно с точки, соответствующей уровню остаточного магнитного потока. В зависимости от фазы напряжения в момент включения трансформатора под напряжение, может произойти смещение магнитного потока. Большие значения магнитного потока диапазона насыщения обуславливают большой ток намагничивания и характерные периодические его броски. Форма кривой БНТ соответствует полуволнам выпрямленного периодического тока, который затухает с большой постоянной времени.

Бросок тока намагничивания особенно значителен, когда магнитопровод из холоднокатанной стали с номинальной индукцией (1,6 – 1,8 Тл) работает в условиях близких к индукции насыщения (приблизительно 2 Тл). В трехфазных силовых трансформаторах будет характерен трехфазный БНТ, который зависит от группы соединения обмоток силового

трансформатора и способа заземления нейтрали трансформатора. В общем случае, две фазы войдут в насыщение и будут характерны значительные токи намагничивания.

На двух трансформаторных подстанциях (где два силовых трансформатора соединены в параллель) при включении под напряжение одного трансформатора происходит ложное срабатывание дифференциальной защиты трансформатора, находящегося в работе. Причиной тому является индуцированный БНТ, который возникает из-за включения под напряжения одного из трансформаторов.

Бросок тока намагничивания втекает в защищаемый объект с одной стороны при этом защита воспринимает его как внутреннее КЗ. Дифференциальная защита трансформатора не должна срабатывать в подобной ситуации. Факт большого содержания второй гармоники в БНТ уже использовался для торможения при реализации защиты на традиционной элементной базе. Вторая гармоника отфильтровывается из дифференциального тока (рабочего тока), а затем используется в качестве дополнительной величины торможения. При содержании второй гармоники в дифференциальном токе приблизительно в 15 % (по отношению к основной) характерным являлось значительное дополнительное торможение для предотвращения ложного срабатывания защиты. Другие производители осуществляли сравнение токов основной гармоники и второй гармоники непосредственно при помощи отдельной дифференциальной цепи, которая затем осуществляла блокирование защиты, что и реализуется программным образом в современных цифровых устройствах защиты.

Наличие гармоник низшего порядка может выступать критерием, разрешающим срабатывание защиты, а содержание гармоник высшего порядка, наоборот, являться критерием проявления БНТ и использоваться для блокировки действия защиты.

Наиболее простой подход – использование амплитуды тока второй гармоники в дифференциальном токе по данной фазе в качестве сигнала комбинированного гармонического тока и амплитуды основной гармоники в дифференциальном токе по той же фазе в качестве комбинированного дифференциального тока.

Другой способ – использовать в качестве комбинированного дифференциального тока действующее значение.

Существует два метода отстройки на основе оценки кривой тока.

Первый и наиболее распространенный способ использует в качестве критерия идентификации БНТ значение пауз между импульсами тока. Второй способ производит оценку знака максимального значения тока и скорости затухания БНТ.

Также существует ряд иных способов, основанных на оценке параметров математической модели. Производится вычисление либо определенных параметров модели на основе информации об измеренных величинах, либо производится вычисление ряда величин на выводах трансформатора, а затем их сравнение с измеренными величинами.

Метод вычисления и оценки значения дифференциальной мощности.

Осуществляется вычисление и контроль значения дифференциальной мощности. Сигналом, оценка которого производится, здесь является разность между значениями мгновенных мощностей на выводах трансформатора. При применении данного метода необходимо измерение токов и напряжений со всех сторон трансформатора, однако не требуется выполнение учета группы соединения его обмоток и отличия коэффициентов трансформации, используемых защитой ТТ. Надежность идентификации БНТ может быть повышена путем компенсации активных потерь в трансформаторе, как в меди, так и в стали.

Метод вычисления и оценки значения магнитной индукции.

При использовании данного алгоритма отличие режима внутреннего КЗ от режимов БНТ и перевозбуждения производится на основе вычисления магнитной индукции в сердечнике. Преимуществом данного способа является то, что в нем оказываются взаимосвязаны проблема, вызывающая БНТ (насыщение сердечника трансформатора), и параметр, используемый для его идентификации (магнитная индукция сердечника).