

УСЛОВИЯ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА В РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Баев В.В., Баева М.С.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В рамках тематики магистерской диссертационной работы поставлена задача изучения и моделирования режима насыщения трансформаторов тока (ТТ) в условиях работы релейной защиты и автоматики (РЗА).

В «идеальном» ТТ вторичный ток линейно пропорционален первичному [1] и фактически равен первичному приведенному. В реальном же ТТ характеристика намагничивания нелинейна и вторичный ток меньше первичного приведенного на величину погрешности, обусловленной насыщением сердечника ТТ [3].

К тому же следует отличать условия работы реальных ТТ в устройствах измерения и в устройствах РЗА. Для нужд измерения обычно требуется работа ТТ определенного класса точности в установившемся режиме при первичном токе, не превышающем номинальный. В устройствах РЗА ТТ в большинстве случаев должны выполнять свои функции в экстремальных условиях коротких замыканий (КЗ) при токах, многократно превышающих номинальные, в условиях переходного режима [2].

Согласно схеме замещения ТТ и в соответствии с первым законом Кирхгофа ток, протекающий по первичной обмотке ТТ, делится на две части: одна трансформируется во вторичную обмотку, а вторая идет на намагничивание сердечника и способствует возникновению погрешности ТТ. В переходном процессе наличие в токе КЗ апериодической составляющей (которая не трансформируется во вторичную цепь, а идет на насыщение сердечника) ухудшает трансформацию периодической составляющей и повышает её долю в токе намагничивания («подмагничивающий эффект»)

К тому же в сердечниках ТТ обычно присутствует остаточная магнитная индукция, способная сохраняться в течение длительного времени. Наихудший режим работы возникает при совпадении в сердечнике ТТ направления остаточного магнитного потока с направлением магнитного потока, созданного апериодической составляющей. В результате в ТТ возникает режим насыщения, когда ток намагничивания растет значительно быстрее рабочего магнитного потока.

Все вышеописанное вносит искажения в величину и фазу вторичного тока, создавая тем самым токовую и угловую погрешности (именно величина тока намагничивания снижает точность работы ТТ). И несмотря на то, что в РЗА точность трансформации имеет гораздо меньшее значение, чем в измерительной технике, погрешности могут быть настолько велики, что могут вызвать существенную задержку срабатывания устройств РЗА, а также их ложное действие или отказ. Это особенно актуально для дифференциальных защит, так как вместе с токами намагничивания ТТ возрастают и токи небаланса в схеме защиты. Обеспечение селективности и устойчивости функционирования при глубоком

насыщении ТТ часто является проблемой, особенно – в защите силовых трансформаторов. Исследованию и повышению устойчивости функционирования дифференциальных защит посвящены, в частности, работы [4,5].

Насыщение ТТ является проблемой также и для максимальных токовых защит (МТЗ) с обратозависимой характеристикой выдержки времени и может привести к существенному увеличению времени срабатывания и, соответственно, - к неселективной работе.

Однако несмотря на появление новых преобразователей тока, традиционные ТТ продолжают занимать подавляющую долю в электроэнергетике.

Таким образом, при анализе влияния насыщения сердечников ТТ на поведение защит целесообразно рассматривать два случая:

- насыщение из-за превышения допустимой нагрузки при отсутствии апериодических составляющих, что для РЗА не столь актуально;

- насыщение из-за наличия апериодической составляющей в токе КЗ, что особенно актуально при больших кратностях тока $K_{З}$ относительно номинального тока ТТ.

В трехфазных группах соединений ТТ могут наблюдаться одновременно оба случая насыщения. Также известно, что ТТ разных фаз в общем случае работают с разными погрешностями и оказывают взаимное влияние друг на друга.

В РЗА кабельных и воздушных линий условия работы ТТ могут существенно отличаться. Для кабельных линий характерны большие активные и малые индуктивные сопротивления, в результате чего постоянная времени затухания апериодической составляющей тока невелика и переходные процессы быстро затухают. Для воздушных линий ситуация противоположная.

При наличии в первичном токе апериодической составляющей в работе ТТ можно выделить ряд стадий. В начальной стадии ТТ не насыщен, в трансформированных токах присутствуют апериодические составляющие, а высшие гармоники отсутствуют. В зависимости от конкретных условий работы ТТ насыщение может произойти на втором, третьем периоде и далее, а в неблагоприятных условиях ТТ насыщаются уже в первый период.

При насыщении ТТ его коэффициент трансформации резко увеличивается. Соответственно апериодическая составляющая во вторичном токе невелика, появляются четные и нечетные гармоники. Доля первой гармоники резко уменьшается. Из высших гармоник наиболее выражены вторая и третья. Влияние высших гармоник на интегральные характеристики несинусоидального вторичного тока может быть значительным [4]. По мере затухания апериодических составляющих ТТ выходит из насыщения, и погрешности в трансформации первичного тока уменьшаются.

Уменьшение вторичной нагрузки на ТТ при таком характере насыщения не является достаточно эффективным мероприятием по снижению погрешностей, так как ТТ в неблагоприятных условиях могут насыщаться даже при закороченной вторичной обмотке [6,7].

Для уменьшения влияния насыщения ТТ на работу защит предлагается использовать специальные алгоритмы функционирования [4,5], что становится возможным при переходе РЗА на микропроцессорную элементную базу.

Список литературы

- 1. ГОСТ 18685-73. Трансформаторы тока и напряжения. Термины и определения. – М.: «Энергия». 2014 г. - 20 с.*
- 2. Афанасьев, В. В. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кибель, И. М. Сирота, Б. С. Стогний. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат, 1989 г. - 416 с.*
- 3. Казанский, В. Е. Трансформаторы тока в устройствах релейной защиты и автоматики. – М.: Энергия, 1978 г. – 264 с.*
- 4. Куприенко, В. В. Управление тормозным сигналом в дифференциальной защите // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов», Благовещенск, 27-29 мая 2015, с. 421-423.*
- 5. Бурнашев А. Н., Куприенко, В. В. Устройство для дифференциальной защиты электроустановки / патент на изобретение RUS 2024145, 1994.*
- 6. Сопьяник, В. Х. Расчет и анализ переходных и установившихся процессов в трансформаторах тока и токовых цепях устройств релейной защиты. – Минск: БГУ, 2000. – 143 с.*
- 7. Шмурьев, В. Я. Цифровые реле защиты. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 1999. – 56 с.*