

О ВЫБОРЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ДЛЯ РЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ

О.И. Баглейбтер (AREVA T&D)

Рассматривается вопрос выбора трансформаторов тока (ТТ) при высокой постоянной времени первичной сети, показана физика насыщения ТТ аperiodической составляющей тока короткого замыкания, приводятся общие требования зарубежных стандартов по выбору ТТ для релейной защиты и индивидуальные требования при установке устройств РЗА фирмы AREVA T&D.

В последнее время в российской энергетике повсеместное распространение получили устройства релейной защиты и электроавтоматики (РЗА) на микропроцессорной (МП) элементной базе. Микропроцессорные устройства РЗА обладают рядом несомненных преимуществ, но в то же время их применение может вызывать затруднения у конечных пользователей. Причиной чаще всего является недостаточное понимание специалистами проектных, монтажно-наладочных и эксплуатационных организаций некоторых особенностей МП устройств РЗА. Одной из таких особенностей являются специфические требования к трансформаторам тока и токовым цепям.

При выборе трансформаторов тока и сечений токовых цепей многие проектные организации продолжают руководствоваться методикой, изложенной в РД 34.35.106 "Указания по расчету сечений жил контрольных кабелей в токовых сетях релейной защиты" и [1]. Данная методика не учитывает насыщение трансформаторов тока (ТТ) аperiodической составляющей тока короткого замыкания (КЗ), что не соответствует современным зарубежным стандартам IEEE Std C37.110 [2] и IEC 60044-6 "Instrument Transformers Part 6: Requirements for Protective Current Transformers for Transient Performance" и в ряде случаев может приводить к ложному срабатыванию или отказу МП устройств РЗА.

Следует отметить, что в зарубежной литературе влиянию насыщения трансформаторов тока аperiodической составляющей на работу релейной защиты уделяется пристальное внимание [3-6]. Физически указанное явление заключается в накоплении магнитного потока в сердечнике трансформатора тока (поскольку отсутствует или уменьшена поперечная обратная полярности, которая в обычных условиях перематывает сердечник). Графически этот процесс представлен на рисунке.

Для расчетов использована авторская упрощенная модель трансформатора тока в среде MATLAB.

Исходные данные для моделирования:

- номинальный вторичный ток трансформатора тока $I_N = 5A$;
- напряжение насыщения $U_{SAT} = 260 В$ действующих (при подаче напряжения на вторичную обмотку);
- ток насыщения $I_{SAT} = 0 < 1A$ действующих.;
- активная нагрузка $R = 1 Ом$.

Указанное напряжение насыщения обеспечивает линейную трансформацию тока как минимум до 200 В действ., что при нагрузке 1 Ом гарантирует

кратность $K = 40$ без учета аperiodической составляющей и остаточной намагниченности

Для упрощения понимания процесса на трансформатор подается периодическая составляющая тока $I_p = 5A$ вторичных (то есть номинальный вторичный ток), и аperiodическая составляющая с максимальным значением $I_A = 5 \cdot \sqrt{2}A$ вторичных (равна амплитуде периодической составляющей) и постоянной времени первичной сети $T_A = 0,3 с$ (соответствует отношению индуктивного и активного сопротивления первичной сети $X/R = 94,25$, определяющему скорость затухания аperiodической составляющей тока).

Можно видеть, что, несмотря на малую величину тока, которая в максимуме не превышает три номинальных вторичных тока, трансформатор вошел в режим насыщения.

В стандарте [2] содержатся следующие рекомендации по предотвращению насыщения ТТ:

$$K_S > 1 + X/R, \quad (1)$$

где K_S – коэффициент запаса по насыщению;

$$K_S = U_{SAT}/U_2,$$

где U_{SAT} – напряжение насыщения (в трактовке стандарта [2] действующее значение напряжения на вторичной обмотке ТТ, при котором амплитудное значение индукции достигает плотности потока насыщения), U_2 – требуемое вторичное напряжение в расчетном режиме;

$$U_2 = I_2 Z_2,$$

где I_2 – вторичный ток в расчетном режиме, Z_2 – полное вторичное сопротивление ТТ в расчетном режиме.

Выбор расчетного режима осуществляется индивидуально для каждого типа релейной защиты (конкретные рекомендации также приведены в [2], в це-

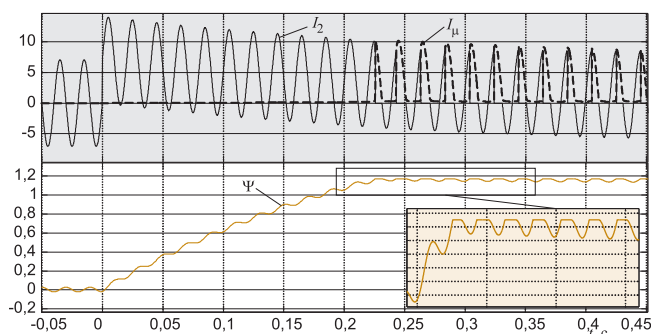


Иллюстрация насыщения трансформатора тока аperiodической составляющей,

где I_2 – вторичный ток трансформатора тока, I_μ – ток ветви намагничивания трансформатора тока, Ψ – потокосцепление

лом они соответствуют рекомендациям отечественной методики [1]).

На практике условие (1) часто является невыполнимым, поскольку, например, для мощных генераторов отношение X/R может лежать в пределах 50...100 ед. При этом обеспечить коэффициент запаса по насыщению, сохраняя разумное сечение токовых цепей и размеры ТТ, невозможно.

Производители МП устройств РЗА прекрасно осознают неизбежность насыщения ТТ в некоторых режимах и предлагают определенные алгоритмы, позволяющие гарантировать нормальное функционирование реле при насыщении. Как правило, данным алгоритмам требуется некоторое время от момента возникновения возмущения в системе до момента насыщения ТТ.

Для оценки времени до наступления насыщения T_S по фактическому коэффициенту запаса в [2] приводится следующее выражение:

$$T_S = -T_A \cdot \ln \left(1 - \frac{K_s - 1}{X/R} \right).$$

Важным параметром ТТ является также напряжение точки излома U_K (knee-point voltage), которое определяет границы линейной работы ТТ. В [2] оно задается одним из двух способов:

1. Как напряжение точки характеристики намагничивания, в которой касательная составляет 45° к оси абсцисс (при логарифмическом масштабе характеристики намагничивания);

2. Как напряжение на выводах трансформатора тока, увеличение которого на 10% вызывает увеличение тока намагничивания на 50%.

Равенство напряжений U_K двух трансформаторов тока особенно важно для дифференциальной защиты генераторов в том случае, если выполнить условие (1) невозможно.

В целом можно отметить, что рекомендации, приведенные в [2], являются универсальными и позволяют обеспечить правильную работу релейной защиты любого производителя. С другой стороны, эти рекомендации чрезмерно сложны для повседневного применения, а также не учитывают различные принимаемые производителями меры по снижению требований к ТТ.

По этой причине большинство производителей МП устройств РЗА приводят в соответствующих инструкциях индивидуальные требования к ТТ для каждого отдельного реле.

Для МП реле РЗА производства компании АРЕВА требования к характеристикам ТТ указываются в различной форме. Например, для максимальной дифференциальной защиты генератора требования выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} U_K &\geq 50 \cdot I_N \cdot R_2, \\ \text{но не менее чем } 60/I_N &\text{ — при } X/R \leq 120, \quad I_f \leq 10 \cdot I_N, \\ U_K &\geq 30 \cdot I_N \cdot R_2, \\ \text{но не менее чем } 60/I_N &\text{ — при } X/R \leq 40, \quad I_f \leq 10 \cdot I_N, \end{aligned}$$

Баглейбтер Олег Исаакович — канд. техн. наук, ведущий инженер отдела РЗиА, AREVA T&D.

E-mail: oleg.bagleybter@areva-td.com

где I_N — максимальное предполагаемое значение вторичного тока, I_f — максимальный вторичный ток при внешнем КЗ.

В терминалах дифференциальной защиты шин MiCOM P740 используется специальный алгоритм выявления насыщения, в основе которого лежит прогнозирование магнитного потока в сердечнике ТТ. К трансформаторам тока при этом предъявляется следующее требование:

$$U_K \geq \max(0,5 \cdot I_{fEXT} \cdot R_2, I_{fINT} \cdot R_2),$$

где I_{fEXT} — максимальное значение вторичного тока через анализируемый ТТ при внешнем КЗ, I_{fINT} — максимальное значение вторичного тока через анализируемый ТТ при внутреннем КЗ.

При этом время до момента насыщения всегда будет $>1,4$ мс при остаточной намагниченности до 80%, что обеспечивает правильное выявление насыщения трансформаторов тока.

Подобные рекомендации по выбору ТТ содержатся в инструкциях на все терминалы РЗА AREVA MiCOM, а также в документации на устройства других производителей.

Выводы

1. По возможности следует выполнять требования стандарта IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes (IEEE Std C37.110-1996) и полностью исключать насыщение трансформаторов тока в расчетных режимах.

2. Необходимо всегда соблюдать индивидуальные требования производителей устройств РЗА к трансформаторам тока.

3. Несоблюдение требований к трансформаторам тока рано или поздно приводит к неправильной работе устройств РЗА.

Список литературы

1. Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. М.: Энергия, 1980.
2. IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes. IEEE Std C37.110-1996.
3. CT saturation calculations — are they applicable in the modern world? Roy E. Cosse, Jr., P.E. Donald G. Dunn Robert M. Spiewak // P.E. IEEE PCIC CONFERENCE, SEPTEMBER 2005 — PAPER 32.
4. Current transformer concepts. S. E. Zocholl, D. W. Smaha.: [Электронный документ] — www.selinc.com/tech-prs/6038.pdf
5. CT Saturation in Industrial Applications — Analysis and Application Guidelines. Bogdan Kasztenny, Jeff Mazereeuw, Kent Jones.: [Электронный документ] — www.geindustrial.com/publibrary/checkout/38652.30055.1533.41439/generic/ctsaturation.pdf
6. When numerical generator protection with conventional ct's may let you down. P J Hindle // CIGRE 2001 SC 34 Colloquium Sibiu, September 10 — 14.