

ТРАНСФОРМАТОР ТОКА В СЕТЯХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ НАСЫЩЕНИЮ ТТ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА КЗ



Отсутствие новых методик вынуждает обращаться к устаревшим, отменным документам, которые не соответствуют современному уровню техники. с этой проблемой вынуждены сталкиваться специалисты различных направлений электротехники и электроэнергетики. Не стала исключением и область цифровой релейной защиты.

Олег Исаакович Баглейбтер полагает, что в такой ситуации разумно обратиться к современному зарубежному опыту. В частности, рекомендации по применению трансформаторов тока в сетях цифровой релейной защиты содержатся в стандарте, разработанном IEEE (международным институтом инженеров по электротехнике и электронике).

Олег Баглейбтер, к.т.н., ведущий инженер отдела РЗА, AREVA T&D, г. Москва

В российской электроэнергетике всё более широкое распространение получают устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) на микропроцессорной (МП) элементной базе. Такие устройства обладают рядом несомненных достоинств, однако их применение может вызывать затруднения у конечных пользователей. Причиной чаще всего является недостаточное понимание специалистами проектных, монтажно-наладочных и эксплуатационных организаций некоторых особенностей этой техники. Одна из таких особенностей - специфические требования к трансформаторам тока (ТТ) и токовым цепям.

При выборе ТТ и сечений токовых цепей многие проектные организации продолжают руководствоваться методикой, изложенной в отменном РД 34.35.106 "Указания по расчету сечений жил контрольных кабелей в токовых сетях релейной защиты" и [1]. Данная методика, в отличие от зарубежных стандартов IEEE Std C37.110* [2] и IEC 60044-6 [3], не учитывает насыщение ТТ апериодической составляющей тока короткого замыкания, что в ряде случаев может приводить к ложному срабатыванию или отказу МП устройств РЗА.

СУЩНОСТЬ ЯВЛЕНИЯ

В зарубежной литературе влиянию насыщения ТТ апериодической составляющей на работу релейной защиты уделяется пристальное внимание [4-7]. Физически это явление заключается в накоплении магнитного потока в сердечнике ТТ, поскольку отсутствует или уменьшена полуволна обратной полярности, которая в обычных условиях перемагничивает сердечник (рис. 1).

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

Исходные данные для моделирования:

- номинальный вторичный ток трансформатора тока $I_N = 5$ А,
- напряжение насыщения $U_{SAT} = 260$ В действ. (при подаче напряжения на вторичную обмотку),

- ток насыщения $I = 0,1$ А действ. (при подаче напряжения на вторичную обмотку, т.е. в режиме снятия ВАХ),
- 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 апериодической составляющей и остаточной намагниченности. Для упрощения понимания процесса на трансформатор, как это показано на рис. 1, подается периодическая составляющая тока $I_p = 5$ А действ. втор. (т.е. номинальный вторичный ток), а также апериодическая составляющая с максимальным значением $I_A = 5 \cdot \sqrt{2}$.

(т.е. равным амплитуде периодической составляющей) и с постоянной времени $T_A = 0,3$ с. Последняя соответствует $X / R = 94,25$ – отношению индуктивного и активного сопротивления первичной сети, которое определяет скорость затухания апериодической составляющей тока. Таким образом, как следует из рис. 1, несмотря на малую величину тока, которая в максимуме не превышает трех значений номинального вторичного тока, трансформатор вошел в режим насыщения.

РЕКОМЕНДАЦИИ СТАНДАРТА

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

$$K_S > 1 + \frac{X}{R}, \quad (1)$$

где K_S – коэффициент запаса по насыщению:

$$K_S = \frac{U_{SAT}}{U_2},$$

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:

$$U_2 = I_2 \cdot Z_2,$$

где I_2 – вторичный ток в расчетном режиме;

Z_2 – полное вторичное сопротивление ТТ в расчетном режиме.

Формулу (1) иногда записывают в виде:

$$K_S > 1 + \omega \cdot T_A,$$

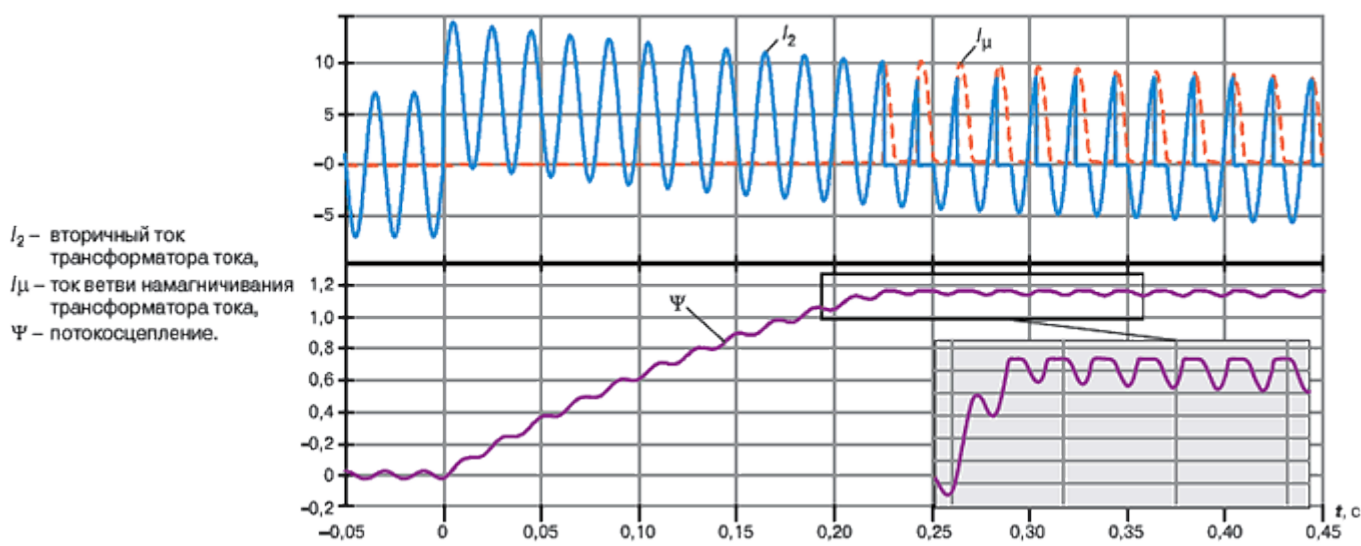
где T_A – постоянная времени первичной сети:

$$T_A = \frac{L}{R} = \frac{X}{\omega R}.$$

Расчетный режим выбирается индивидуально для каждого типа релейной защиты. Конкретные рекомендации приведены в [2] и в целом соответствуют отечественной методике [1].

* В стандарте IEEE Std C37.110-2007, принятом взамен IEEE Std C37.110-1996, рекомендации по предотвращению насыщения ТТ апериодической составляющей тока КЗ не изменились.

Процесс насыщения трансформатора тока аperiodической составляющей **Рис. 1**



ЕСЛИ РЕКОМЕНДАЦИИ СТАНДАРТА НЕВЫПОЛНИМЫ

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

Производители микропроцессорных устройств РЗА учитывают неизбежность насыщения трансформаторов тока и предлагают определенные алгоритмы, гарантирующие нормальную работу реле в этом режиме. Как правило, этим 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:

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

Следует также упомянуть такой параметр, как напряжение точки излома U_k (knee-point voltage), которое задает границы линейной работы ТТ. В [2] напряжение точки излома определяется одним из двух способов:

- как напряжение точки характеристики намагничивания, в которой касательная составляет 45° к оси абсцисс (при логарифмическом масштабе характеристики намагничивания);
- как напряжение на выводах ТТ, увеличение которого на 10 % вызывает увеличение тока намагничивания на 50 %.

Равенство напряжений U_k нескольких ТТ особенно важно для дифференциальной защиты в случае, когда невозможно выполнить условие (1).

ВЫВОДЫ

С одной стороны, рекомендации, приведенные в [2], универсальны и позволяют обеспечить правильную работу релейной защиты, выпущенной любой компанией. С другой стороны, эти рекомендации довольно сложны для повседневного применения, а также не учитывают различные меры, принимаемые производителями для снижения требований к ТТ.

Поэтому многие компании, выпускающие МП устройства РЗА, приводят в соответствующих инструкциях индивидуальные требования к ТТ для каждого отдельного реле. В большинстве случаев соблюдение этих требований гарантирует правильную работу релейной защиты даже при высоких значениях постоянной времени первичной сети.

ЛИТЕРАТУРА

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. Instrument Transformers. Part 6: Requirements for Protective Current Transformers for Transient Performance: IEC 60044-6.
4. Cosse R.E., Dunn D.G., Spiewak R.M. CT saturation calculations - are they applicable in the modern world? // P.E. IEEE PCIC conference. - September, 2005.
5. Zocholl S.E., Smaha D.W. Current transformer concepts: [Электронный документ] - www.selinc.com/techpprs/6038.pdf.
6. Kasztenny B., Mazereeuw J., Jones K. CT Saturation in Industrial Applications - Analysis and Application Guidelines: [Электронный документ] - www.geindustrial.com/publibrary/checkout/38652.30055.1533.41439/generic/ctsaturation.pdf.
7. Hindle P. J. When numerical generator protection with conventional CT's may let you down // CIGRE SC 34, Colloquium, Sibiu. - September, 10-14, 2001.