

УДК 621.314.224.8

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА В СХЕМАХ ЦИФРОВЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ
MEASURING CURRENT TRANSFORMERS IN DIGITAL DIFFERENTIAL PROTECTION CIRCUITS

М.Е. Шнайдер

Научный руководитель – В.Ю. Румянцев, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

denmax57@gmail.com

M. Schneider

Supervisor – V. Rummyantsev, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассматривается значение измерительных трансформаторов тока в контексте реализации дифференциальной защиты, также обращено внимание на необходимости учитывать погрешности, а также процесс насыщения трансформатора тока, которые могут привести к ложному срабатыванию защиты.*

***Abstract:** the article discusses the importance of measuring current transformers in the context of the implementation of differential protection, also draws attention to the need to take into account errors, as well as the saturation process of the current transformer, which can lead to a false protection operation.*

***Ключевые слова:** трансформатор тока, дифференциальная защита, ток, короткое замыкание, погрешности, насыщение, надежность.*

***Keywords:** current transformer, differential protection, current, short circuit, errors, saturation, reliability.*

Введение

Измерительные трансформаторы тока (ТТ) играют важную роль в реализации дифференциальной защиты. Результаты сравнения токов с использованием дифференциальной защиты будут точными только в том случае, если первичные токи были трансформированы с достаточной точностью и с соблюдением правильной полярности. При некорректной полярности подключения или при погрешности в трансформации могут возникать ложные дифференциальные токи, что ставит под угрозу стабильность работы защиты при протекании токов короткого замыкания через защищаемое оборудование. Также важно учитывать феномен насыщения трансформатора, поскольку в таких случаях могут возникать значительные погрешности. При внедрении дифференциальной защиты крайне важно стремиться к выбору устройств ТТ с идентичными характеристиками и конструкцией, поскольку это обеспечивает оптимальную работу защиты и её надежность.

Основная часть

Принцип действия ТТ аналогичен принципу работы силового трансформатора. При нормальных условиях работы уровень магнитной индукции незначителен по сравнению с магнитной индукцией насыщения. Уровень магнитной

индукции увеличивается с ростом тока первичной обмотки и, следовательно, с увеличением падения напряжения на подключенной вторичной нагрузке. Выбор трансформатора производится из-за необходимости преобразовывать периодическую составляющую тока короткого замыкания без насыщения ТТ.

При исследовании защиты пренебрегают магнитной индукцией ТТ. На рисунке 1 представлена схема замещения.

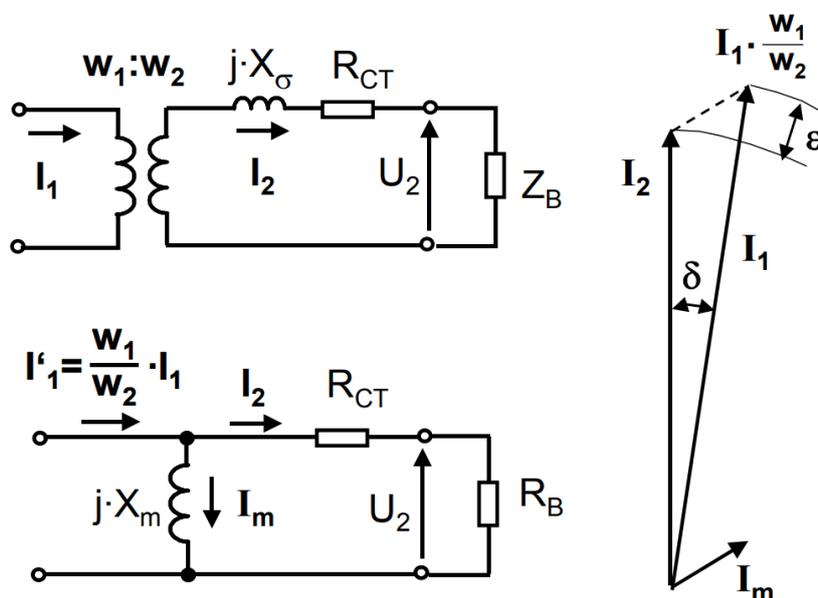


Рисунок 1 – Схема замещения ТТ

В отсутствие магнитного насыщения, ток намагничивания можно считать незначительным, тогда согласно закону Ампера:

$$I_1 \cdot w_1 = I_2 \cdot w_2. \tag{1}$$

Нагрузка складывается из сопротивлений вторичных кабелей, защитного устройства, промежуточного ТТ и другого оборудования. Реактивными составляющими можно пренебречь, и поэтому при расчетах следует учитывать только активное сопротивление.

Мощность вторичной обмотки ТТ:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = I_2^2 \cdot R_B. \tag{2}$$

ТТ выбирается с учетом таких характеристик, которые гарантируют заданный уровень точности трансформации тока короткого замыкания до заданного порогового значения (ток номинальной предельной кратности) при подключении номинальной нагрузки R_{BN} .

Ток номинальной предельной кратности определяется как:

$$I_{al} = ALF \cdot I_N, \tag{3}$$

где ALF – номинальная предельная кратность.

Внутренняя ЭДС, возникающая при протекании указанного тока, соответствует напряжению насыщения ТТ:

$$E_{al} = ALF \cdot I_{2N} \cdot (R_{CT} + R_B). \tag{4}$$

Для обеспечения правильной работы системы дифференциальной защиты необходимо учитывать полярность трансформатора тока. Если предполагается, что первичная и вторичная обмотки трансформатора намотаны на сердечник в одном направлении, применяются условия, показанные на рисунке 2. В этом случае токи в обмотках текут в противоположных направлениях, а напряжения на обмотках сохраняют одинаковую полярность.

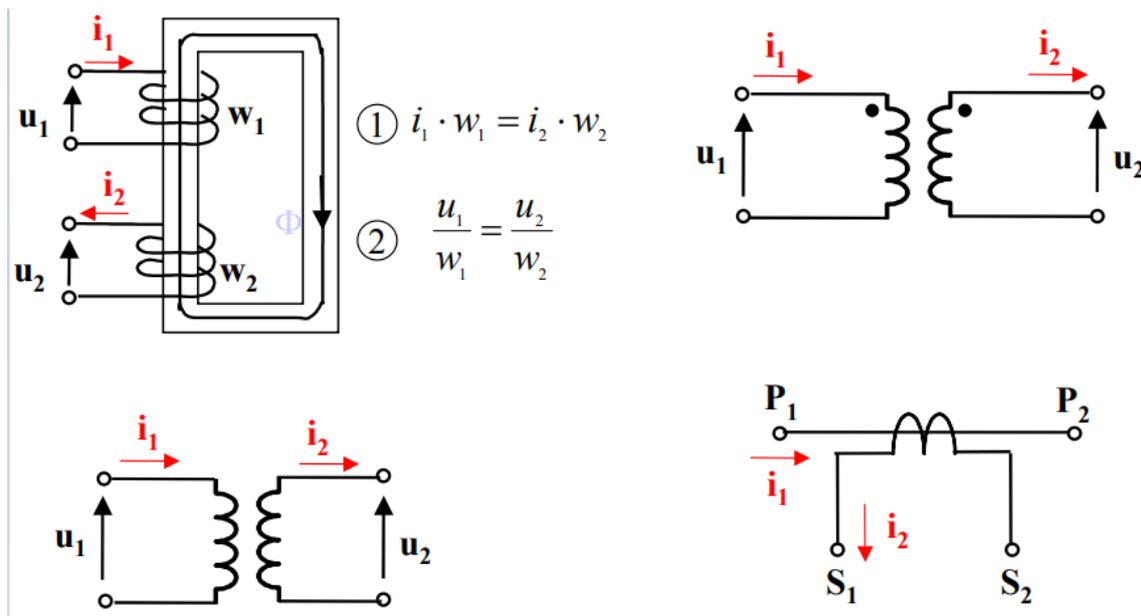


Рисунок 2 – Полярность ТТ

Для наглядности, на обмотки также может быть нанесена маркировка полярности (квадрат, крестик или точка). В этом случае правило следует интерпретировать следующим образом: вторичный ток течет в указанном направлении, когда первичный ток поступает в точку, которая обозначена соответствующим образом.

Пока ТТ работает в линейном диапазоне своей характеристики намагничивания, общая погрешность невелика, и ее влияние на дифференциальную защиту можно считать незначительным. Ситуация существенно меняется, когда магнитная индукция превышает точку излома характеристики намагничивания и ток намагничивания, как показано на рисунке 3, быстро возрастает, другими словами, когда ТТ находится в состоянии насыщения. В этом случае могут возникать значительные погрешности, которые приводят к неправильному функционированию защиты.

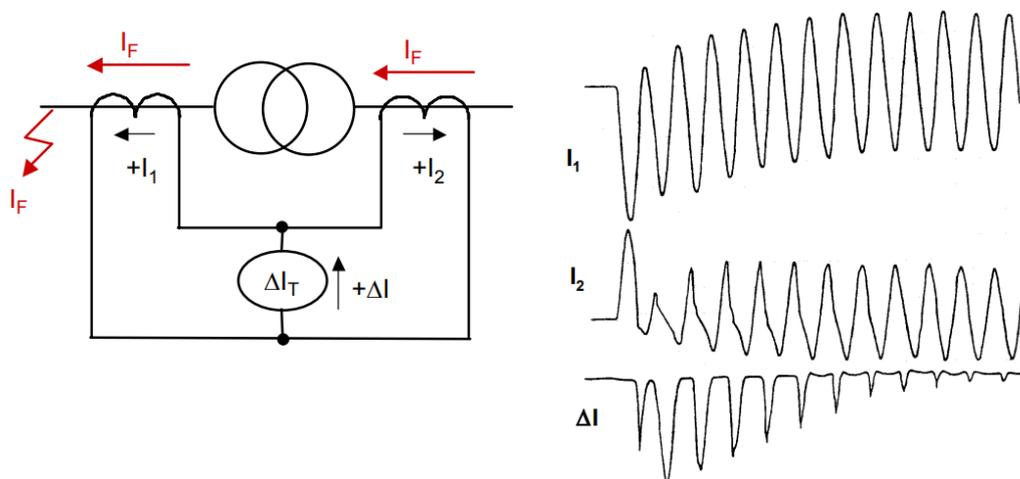


Рисунок 3 – Внешнее КЗ при насыщении ТТ

Насыщение может произойти только из-за периодической составляющей тока, когда ее величина превысит определенное пороговое значение, проиллюстрированное на рисунке 4.

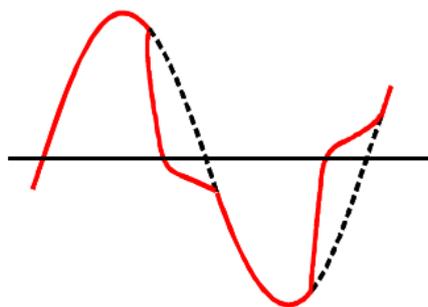


Рисунок 4 – Периодическая составляющая тока при насыщении ТТ

Поэтому насыщение ТТ, скорее всего, связано с наличием аperiodической составляющей, когда магнитная индукция значительно возрастает (рисунок 5).

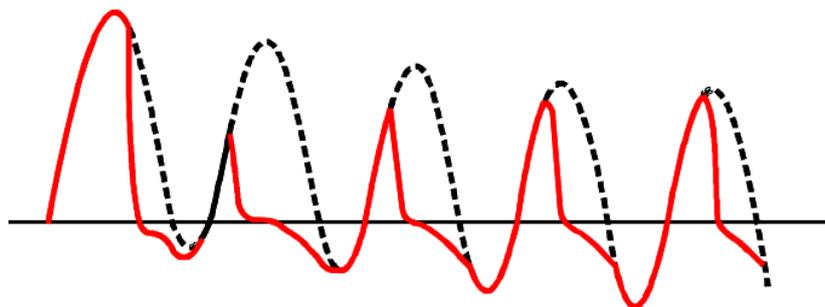


Рисунок 5 – Аperiodическая составляющая тока при насыщении ТТ

Ошибки, возникающие при более низких уровнях насыщения ТТ, устраняются путем торможения. При более высоких уровнях насыщения ТТ необходимо принять специальные меры для устранения нежелательных защитных срабатываний.

Для ТТ с замкнутыми сердечниками постоянная времени вторичной цепи равна нескольким секундам, что обеспечивает правильную трансформацию непериодической составляющей тока короткого замыкания. Напротив, для ТТ с линейризованными сердечниками постоянная времени вторичной цепи пренебрежимо мала (60 мс), что приводит к быстрому затуханию аperiodической составляющей, которая может даже принимать отрицательные значения. При подключении дифференциальной защиты к различным классам ТТ (ТРХ и ТРЗ) дифференциальный ток, возникающий в результате сквозного короткого замыкания, возникает из-за разницы в непериодических составляющих токов от двух трансформаторов. Если заданное значение невелико, что характерно для дифференциальной защиты генераторов или трансформаторов, это может привести к сбоям в работе, если не предусмотрен защитный фильтр. Однако эта проблема не является проблемой для цифровых устройств защиты, использующих фильтрацию по алгоритму Фурье.

Заключение

Измерительный трансформатор тока является важным элементом при построении дифференциальной защиты, необходимо знать о его погрешностях и особенностях. Также была освещена тема полярности, процесс насыщения ТТ, построены графики периодической и аperiodических составляющих тока.

Литература

1. Циглер, Г. Цифровая дифференциальная защита. Принципы и область применения / Г. Циглер; перевод с англ. под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: Знак, 2005. – 63 с.
2. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем / А. М. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 467 с.