

Коррекция вторичного тока при насыщении измерительных трансформаторов

Атниськин А.Б., ООО «Релематика», Чебоксары

Аннотация: Насыщение измерительных трансформаторов тока приводит к искажению формы наблюдаемого тока устройствами релейной защиты, что в конечном итоге приводит к неверной работе защиты. Одним из путей компенсации данного негативного влияния является коррекция тока на участках насыщения. В работе рассмотрен способ коррекции тока с использованием наблюдаемого тока насыщенного участка.

Ключевые слова: релейная защита, трансформатор тока, насыщение, коррекция.

Abstract: Current transformers saturation leads to a distortion of the shape of the observed current by relay protection devices, which leads to incorrect operation of the protection. One way to compensate this negative phenomenon is to correct the current in the saturation intervals. A method of current correction using the observed current of a saturated section is considered.

Keywords: relay protection, current transformer, saturation, correction.

В качестве первичных измерительных преобразователей тока для релейной защиты в подавляющем большинстве выступают электромагнитные трансформаторы тока (ТТ), которые подвержены насыщению. Основными причинами насыщения являются наличие апериодической составляющей в первичном токе, а также остаточная индукция в магнитопроводе трансформатора. Насыщение ТТ приводит к искажению формы тока во вторичной цепи, что оказывает негативное влияние на функционирование релейной защиты.

В быстродействующих дифференциальных защитах учет погрешности ТТ в режимах насыщения выполняется посредством тормозной характеристики. Данная мера оказалась универсальной, применялась в электромеханических реле, а затем и в микропроцессорных терминалах. Однако возможности микропроцессорных устройств помимо тормозной характеристики позволяют применить дополнительные новые методы для компенсации погрешности при насыщении ТТ. В работе [1] проведен качественный анализ путей обеспечения селективности и быстродействия устройств дифференциальной защиты в переходных режимах, сопровождающихся насыщением ТТ. Авторами рассмотрены четыре способа, наиболее целесообразными были отмечены следующие: 1) применение защит, учитывающих особенности трансформации вторичного тока ТТ в переходных режимах (наличие интервалов правильной трансформации); 2) компенсация погрешностей ТТ с насыщенными магнитопроводами.

Для вышеуказанных способов имеется общая первоочередная процедура – это сегментация наблюдаемого тока. Сегментация в случае насыщения ТТ позволяет выделить участок правильной трансформации, который, при сильном насыщении может составлять всего 2-3 мс после возникновения КЗ. Процедуре сегментации в задаче восстановления тока может быть отведена самостоятельная роль. Идеи об обработке сигналов электрических величин, включая процедуру сегментации, были представлены в [2].

Недостаток работы защиты только по выделенным участкам правильной трансформации может проявиться в случае его малой продолжительности. Результат работы фильтров, например, ортогональных составляющих, на малом интервале может оказаться неудовлетворительным. Способы коррекции (восстановления) искаженного вторичного тока исключают данный недостаток. Выполняемые после сегментации алгоритмы восстановления могут быть как без использования отсчетов искаженного участка вторичного тока, так и с их использованием. Поскольку процесс преобразования тока при насыщении ТТ имеет физическое объяснение, может быть идеализирован и математически описан, то сам искаженный вторичный ток содержит информационную составляющую о протекающем процессе в целом. Таким образом, использование вторичного тока в способах восстановления тока видится предпочтительным.

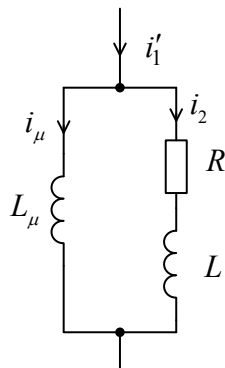


Рис. 1. Схема замещения ТТ с нагрузкой

Рассмотрим модель ТТ с нагрузкой, представленную на рис. 1. Она включает в себя параметры нагрузки R и L , а также индуктивность намагничивания L_μ . В общем случае параметры данной схемы замещения неизвестны. Для модели насыщенного ТТ с активно-индуктивной нагрузкой справедлива закономерность

$$L_\mu \frac{di_\mu}{dt} = Ri_2 + L \frac{di_2}{dt}, \quad (1)$$

где i_2 – наблюдаемый вторичный ток в нагрузке, i_μ – намагничивающий ток.

Проинтегрировав (1) на одном интервале дискретизации, получим

$$L_{\mu} [i_{\mu}(t) - i_{\mu}(t - \Delta t)] = R \int_{t-\Delta t}^t i_2(\lambda) d\lambda + L [i_2(t) - i_2(t - \Delta t)]. \quad (2)$$

Далее принимая в учет, что для малого периода дискретизации Δt можно считать

$$\int_{t-\Delta t}^t i_2(\lambda) d\lambda = (i_2(t) - i_2(t - \Delta t)) \frac{\Delta t}{2}, \quad (3)$$

получим выражение, связывающее наблюдаемый ток i_2 и ток намагничивания i_{μ}

$$g(i_2(k) + i_2(k-1)) + h(i_2(k) - i_2(k-1)) = i_{\mu}(k) - i_{\mu}(k-1), \quad (4)$$

где k – дискретное время,

$$g = \frac{R\Delta t}{2L_{\mu}}, \quad h = \frac{L}{L_{\mu}}. \quad (5)$$

Считая, что параметры схемы замещения ТТ заранее неизвестны, то для определения коэффициентов g и h необходимо располагать как минимум тремя отсчетами тока $i_{\mu}(k)$, начиная от начала насыщения ТТ. Эти отсчеты могут быть получены путем экстраполяции модельного сигнала, параметры которого могут быть определены из отсчетов ненасыщенного участка правильной трансформации тока. Критерием при определении параметров модельного сигнала является максимальная близость модельного сигнала к наблюдаемому. Одним из наиболее простых является линейный модельный сигнал.

Далее находится намагничивающий ток с помощью рекурсивной формулы, полученной из (4),

$$i_{\mu}(k) = i_{\mu}(k-1) + (g+h) \cdot i_2(k) + (g-h) \cdot i_2(k-1), \quad (6)$$

и определяется восстановленный ток

$$i_{\text{в}}(k) = i_{\mu}(k) + i(k). \quad (7)$$

Для проверки предлагаемого способа коррекции тока использовалась имитационная модель ТТ с параметрами нагрузки $R=1$ Ом, $L=2 \cdot 10^{-3}$ Гн, индуктивностью намагничивания $L_{\mu}=3,8 \cdot 10^{-4}$ Гн в режиме насыщения и $L_{\mu}=\infty$ при отсутствии насыщения.

На модель ТТ подавался модельный сигнал $i_1' = 50(e^{-t/0,08} - \cos \omega t)$ А. Частота дискретизации принята равной 2 кГц.

Результат коррекции вторичного тока при насыщении ТТ приведен на рис. 2. Примечательно, что форму и уровень сигнала во многом удалось сохранить, что говорит об эффективности проведенной процедуры коррекции тока.

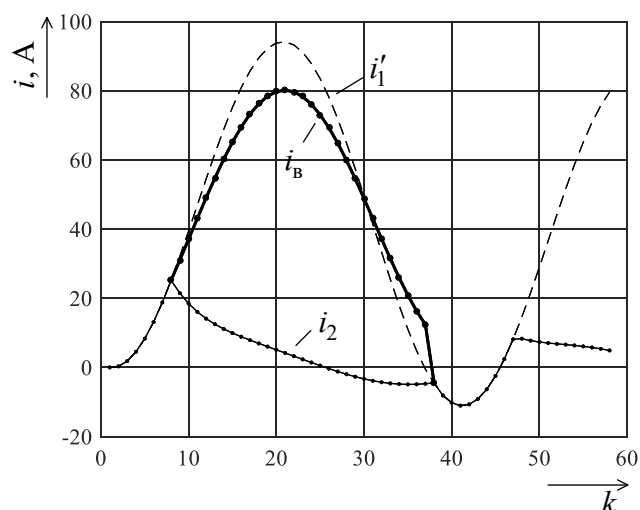


Рис. 2. Пример коррекции тока

Выводы

1. Задача коррекции тока при насыщении ТТ может быть решена в два этапа – это первоначальная сегментация процесса, а затем непосредственно восстановление тока на участке насыщения.
2. Восстановление тока с использованием вторичного наблюдаемого тока видится предпочтительным, поскольку наблюдаемый ток несет информационную составляющую о протекающем процессе.

Список литературы

1. Кужеков С.Л., Нудельман Г.С. Обеспечение правильной работы микропроцессорных устройств дифференциальной защиты при насыщении трансформаторов тока // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. №4. С.12-18.
2. Лямец Ю.Я., Романов Ю.В., Зиновьев Д.В. Мониторинг процессов в электрической системе, ч. 1. Преобразование, сегментация и фильтрация, ч. 2 Цифровая обработка осциллограмм токов короткого замыкания // Электричество. 2006. №10. С.2-10; №11. С.2-10.
3. Баглейбтер О. Трансформатор тока в сетях релейной защиты противодействие насыщению ТТ аperiodической составляющей тока КЗ // Новости электротехники. 2008. №5.