

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ НАЧАЛЬНЫХ НЕБАЛАНСОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Староверов К.С., Лавшонок А.В.
ДНТУ

*Разработана методика автоматической компенсации начальных
небалансов трансформаторов тока нулевой последовательности и
определения коэффициентов.*

Чувствительность современных защит от однофазных замыканий на землю во многом определяется качеством используемых трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП). Погрешности трансформаторов тока нулевой последовательности приводят к ложным срабатываниям устройств защиты и обусловлены многими факторами, причем основным являются токи начального небаланса ТТНП [1].

На рисунке 1 приведена магнитная цепь трансформатора тока нулевой последовательности.

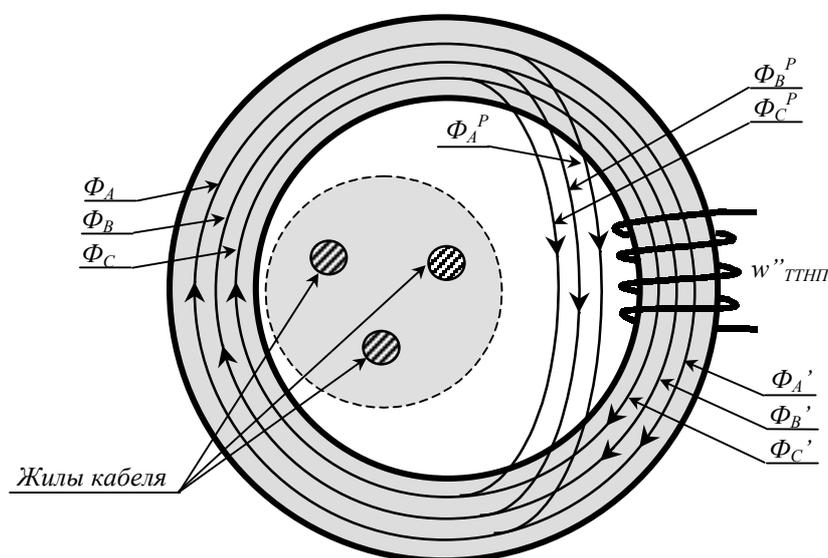


Рисунок 1 – Магнитная цепь трансформатора тока нулевой последовательности

На рисунке 1, первичными обмотки являются жилы кабеля, в которых протекают токи $i'A$, $i'B$ и $i'C$. Этими токами создаются

магнитные потоки (Φ_A , Φ_B , Φ_C). Часть магнитного потока, созданного каждым из токов замыкается по воздуху (потоки рассеяния Φ_{AP} , Φ_{BP} , Φ_{CP}), а часть по сердечнику (Φ_A' , Φ_B' , Φ_C'). Потоки, которые замыкаются по сердечнику, определяют ЭДС во вторичной обмотке ТТНП. Для реальных трансформаторов ТТНП отношения между потоками рассеяния и потоков, замыкающихся по сердечнику различны для разных фаз. Причем эти отношения зависят от конструкции ТТНП и положения силовых жил в окне трансформатора. Неодинаковость долей потоков рассеяния для разных фаз приводит к появлению несимметрии потоков, замыкающихся по сердечнику и соответственно к появлению ЭДС во вторичной обмотке ТТНП при отсутствии токов нулевой последовательности в защищаемом кабеле. С учетом этого можно записать выражения для определения потоков

$$\begin{cases} \Phi_A'(t) = (1 - k_A^{TTНП}) \cdot \Phi_A(t) \\ \Phi_B'(t) = (1 - k_B^{TTНП}) \cdot \Phi_B(t) \\ \Phi_C'(t) = (1 - k_C^{TTНП}) \cdot \Phi_C(t) \end{cases} \quad (1)$$

Где $k_A^{TTНП}$, $k_B^{TTНП}$ и $k_C^{TTНП}$ – некоторые постоянные величины, для каждой из фаз, которые зависят от конструкции ТТНП и положения соответствующей жилы в окне трансформатора, и теоретически могут находиться в пределах от 0 до 1.

Положение жил защищаемого кабеля в окне ТТНП являются случайными. Однако при условии надежного крепления трансформатора тока нулевой последовательности в корпусе коммутационного аппарата можно считать, что доля потока рассеяния для каждой из фаз является неизменной при эксплуатации. Изменения возможны при проведении ремонта коммутационного аппарата, например при замене трансформатора ТТНП.

Передаточная функция трансформатора тока нулевой последовательности с учетом неодинаковых потоков рассеяния будет выглядеть следующим образом:

$$U_{TTНП}^{НГ}(p) = \frac{k_{TTНП} \cdot p}{T_{TTНП} \cdot p + 1} \cdot I_{TTНП}^{ВХ}(p) - \frac{k_{TTНП} \cdot p}{T_{TTНП} \cdot p + 1} \cdot (k_A^{TTНП} \cdot I_A'(p) + k_B^{TTНП} \cdot I_B'(p) + k_C^{TTНП} \cdot I_C'(p)) \quad (2)$$

Где $k_{ТТНП}$, $T_{ТТНП}$ - параметры ТТНП, $I_{ТТНП}^{BX}(p)$ - изображение тока нулевой последовательности, а $I_{A-C}'(p)$ изображение токов фаз.

То есть изображение напряжения, на выходе ТТНП обусловленного токами начального небаланса определяется из выражения 3.

$$U_{ТТНП}^{HEB}(p) = \frac{k_{ТТНП} \cdot p}{T_{ТТНП} \cdot p + 1} \cdot (k_A^{ТТНП} \cdot I_A'(p) + k_B^{ТТНП} \cdot I_B'(p) + k_C^{ТТНП} \cdot I_C'(p)) \quad (3)$$

То есть для того, чтобы снизить влияние токов первичного небаланса ТТНП на погрешности определения величин тока однофазных замыканий на землю, напряжение на выходе ФТНП корректируется в соответствии с выражением 4.

$$U_{ТТНП}(p) = W_{ТТНП}(p) I_{ТТНП}^{BX}(p) + U_{ТТНП}^{HEB}(p) \quad (4)$$

Для эквивалентного тока начального небаланса справедливо выражение

$$I_{ТТНП}^{HEB}(p) = k_A^{ТТНП} \cdot I_A'(p) + k_B^{ТТНП} \cdot I_B'(p) + k_C^{ТТНП} \cdot I_C'(p) \quad (5)$$

Мгновенные значения токов в жилах кабеля связаны между собой следующим соотношением

$$i_A'(t) + i_B'(t) + i_C'(t) = i_{O33}(t) \quad (6)$$

Отсюда, пренебрегая значением тока замыкания (величина которого мала по сравнению с током в силовых жилах кабеля) получено выражение 7.

$$i_{ТТНП}^{HEB}(t) = k_A' \cdot i_A'(t) + k_B' \cdot i_B'(t)$$

где :

$$\begin{aligned} k_A' &= k_A^{ТТНП} - k_C^{ТТНП} \\ k_B' &= k_B^{ТТНП} - k_C^{ТТНП} \end{aligned} \quad (7)$$

Выражение 7 позволяет определить мгновенное значение эквивалентного первичного тока небаланса ТТНП, как функцию от токов двух фаз. При этом необходимо определить два постоянных коэффициента k_A' и k_B' . Данные коэффициенты должны быть определены после установки трансформатора тока нулевой

последовательности либо ремонта коммутационного аппарата и связанного с этим смещения жил в окне трансформатора ТТНП. Эти коэффициенты можно определить при отсутствии замыкания в сети при наличии тока в силовых жилах.

В момент времени, когда ток одной из фаз, на которой установлен трансформатор тока, равен нулю, можно определить один из коэффициентов. Например, для фазы А

В момент времени t_1

$$i_A'(t_1) = 0, \quad \text{тогда :}$$

$$k_B' = \frac{i_{ТТНП}^{HEB}(t_1)}{i_B'(t_1)} \quad (8)$$

Аналогично для второй фазы

В момент времени t_2

$$i_B'(t_2) = 0, \quad \text{тогда :}$$

$$k_A' = \frac{i_{ТТНП}^{HEB}(t_2)}{i_A'(t_2)} \quad (9)$$

То есть коэффициенты для компенсации начальных небалансов ТТНП в соответствии с выражением 7 могут быть определены в моменты перехода фаз через ноль при наличии тока в жилах, охваченных ТТНП в соответствии с выражениями 8 и 9. Имеется возможность автоматического определения коэффициентов k_A' и k_B' (для устройств защиты необходимо использовать специальный режим работы). После чего полученные коэффициенты используются в основном режиме работы устройства защиты, с осуществлением защиты линии от ОЗЗ с автоматической компенсацией начальных небалансов.

Литература

1. Сирота И.М. Трансформаторы и фильтры напряжения и тока нулевой последовательности. Киев, Наукова думка, 1983.