

ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА С ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ

И. Д. КУТЯВИН

Трансформаторы тока с воздушным зазором в пределах индукции в сердечнике до 8000—10000 гаусс имеют постоянную погрешность, так как основная часть намагничивающих ампервитков приходится на долю воздушного зазора, имеющего постоянное магнитное сопротивление. Наличие воздушного зазора у сердечников трансформаторов тока может устранить также влияние на их работу остаточного магнетизма и насыщения железа.

Трансформаторы тока с указанными свойствами могут найти применение для некоторых релейных защит (для дифференциальных, дистанционных и т. д.), для которых желательно иметь одинаковую точность замера электрической величины при всех режимах работы.

Автором исследована возможность применения подобных трансформаторов для дифференциальной защиты шин, в результате чего установлено, что это мероприятие может в несколько раз повысить чувствительность данной защиты и упростить её настройку.

В качестве трансформаторов с воздушным зазором можно использовать нормальные серийные трансформаторы тока типа ТПОФ, ТПШФ, ТВ и ТФН, в сердечнике которых должен быть сделан воздушный зазор такой величины, чтобы индукция в железе не превышала 8000—10000 гаусс. Ниже приводятся элементы расчета величины воздушного зазора описываемых трансформаторов для дифференциальной защиты шин.

1. Определение воздушного зазора трансформаторов для дифференциальной защиты шин с равновесием токов

За основу расчета приняты следующие положения:

- 1) расчетным режимом является сквозное короткое замыкание с наибольшей апериодической составляющей тока;
- 2) расчету подлежит трансформатор тока, проводящий наибольший ток короткого замыкания;
- 3) погрешность трансформатора в трансформации периодической составляющей тока при расчетном режиме не должна превышать заданной величины, например, $K=0,05—0,10$;
- 4) при устройстве воздушного зазора у нормальных трансформаторов тока сохраняется сечение сердечника q , число витков обмоток и сопротивление вторичной обмотки. Эти величины при определении воздушного зазора могут считаться заданными и могут быть взяты по заводским данным.

Для определения величины воздушного зазора необходимо найти максимальную амплитуду намагничивающего тока трансформатора при рас-

четном режиме, для чего можно воспользоваться формулой А. Б. Чернина¹⁾, имеющей следующий вид:

$$I_{нм} = \frac{\sqrt{2} I''}{n_T} \left[\frac{1}{\omega T_2} + \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \frac{T_2}{T_2 - T_1} \right], \quad (1)$$

где I'' — сверхпереходный ток первичной цепи в амперах,

n_T — коэффициент трансформации трансформатора тока,

T_1 — постоянная времени первичной цепи и

T_2 — постоянная времени цепи трансформатора, состоящей из сопротивлений z_H и z_2 (см. рис. 1).

Первое слагаемое в квадратных скобках выражения (1) представляет относительную величину периодической составляющей намагничивающего

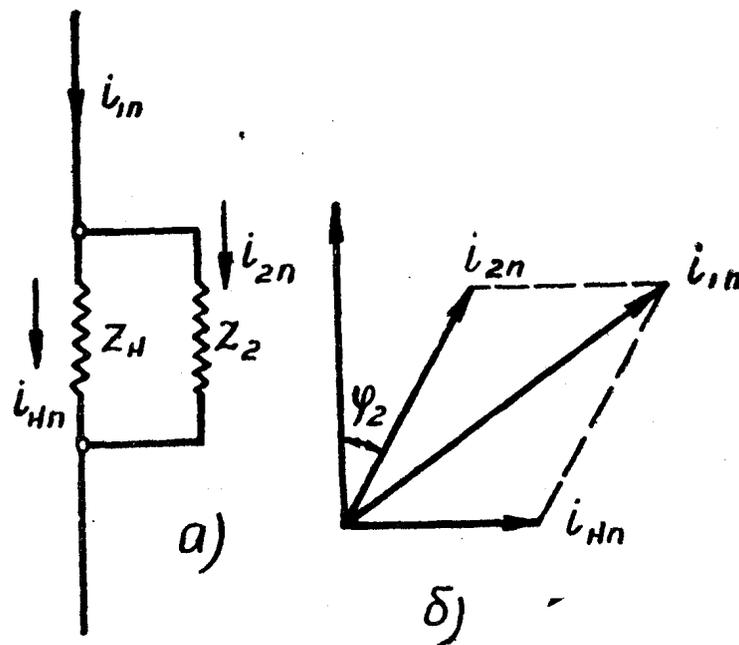


Рис. 1

тока, а второе слагаемое — относительную величину полного аperiodического тока.

Однако для использования формулы (1) необходимо знать постоянную T_2 , которая зависит от величины воздушного зазора трансформатора и поэтому может быть предварительно определена лишь косвенным путем.

В качестве исходного данного для определения T_2 воспользуемся допустимой погрешностью в токе K трансформатора при трансформации только периодической составляющей. Тогда первичный и вторичный токи трансформатора будут связаны соотношением:

$$i_2 = i_1(1-K) = \frac{I_1}{n_T}(1-K). \quad (2)$$

Кроме того, на основании векторной диаграммы и схемы замещения трансформатора (рис. 1) все три тока i_1 , i_2 и i_H связаны следующими соотношениями:

$$i_1 = \sqrt{(i_2 \cos \varphi)^2 + (i_2 \sin \varphi_2 + i_H)^2}, \quad (3)$$

$$i_H = i_2 \frac{z_2}{z_H}. \quad (4)$$

¹⁾ А. Б. Чернин. Токи намагничивания трансформаторов тока. „Электрические станции“ № 3, 1937.

Решая совместно (2), (3) и (4), получаем выражение для z_n :

$$z_n = \frac{z_2^2}{\sqrt{\left(\frac{z_2}{1-K}\right)^2 - r_2^2} - x_2}, \quad (5)$$

где r_2 и x_2 — составляющие сопротивления z_2 .

Постоянная времени вторичной цепи трансформатора:

$$T_2 = \frac{x_2 + x_n}{\omega r_2} = \frac{x_2 + z_n}{\omega r_2}, \quad (6)$$

так как активное сопротивление ветви намагничивания трансформатора равно нулю.

Величину воздушного зазора можно определить через максимальные ампервитки намагничивания из следующего выражения:

$$\sigma = \frac{i_{нм} \omega_2}{0,8 B_{мд}}, \quad (7)$$

где ω_2 — вторичное число витков трансформатора и

$B_{мд}$ — максимально-допустимая индукция (8000—10000 гаусс).

Выражение (1) дает величину намагничивающего тока, хорошо согласующегося с опытом. Так, например, на рис. 2 приведена осциллограмма, на которой кривая (1) представляет первичный сверхток, а кривая (2) — ток намагничивания трансформатора с воздушным зазором 2,5 мм. Постоянная времени $T_1 = 0,02$ сек. Сопротивления: $z_n = 2,0$ ома, $x_2 = 0$; $r_2 = 0,3$ ома. Установившийся первичный ток 20 а эфф. Коэффициент трансформации трансформатора $n_T = 1$.

Вычисленная на основании (1) максимальная амплитуда намагничивающего тока составляет 13,4 а и установившийся эффективный ток — 3 а, а по осциллограмме максимальная амплитуда 11,5 а и установившийся ток также 3 а.

Пример расчета трансформатора.

Для дифференциальной защиты шин предполагается использовать втулочные трансформаторы типа ТВ, встроенные в МКП-160, с коэффициентом трансформации $n_T = 150 = \omega_2$, сечение сердечника $q = 60$ см². Сопротивление вторичной обмотки $x_2 = 0,14$ ома и $r_2 = 0,61$ ома. Сопротивление соединительных проводов $r_n = 0,1$ ома. Сверхпереходный расчетный ток $I'' = 7,5$ ка. Постоянная времени первичной цепи $T_1 = 0,05$ сек. Допустимая погрешность трансформатора при расчетном режиме $K = 0,1$.

Полное сопротивление вторичной цепи:

$$z_2 = \sqrt{(r_2 + r_n)^2 + x_2^2} = \sqrt{(0,61 + 0,1)^2 + 0,14^2} = 0,724 \text{ ома.}$$

Сопротивление ветви намагничивания на основании (5)

$$z_n = \frac{0,724^2}{\sqrt{\left(\frac{0,724}{1-0,1}\right)^2 - 0,61^2} - 0,14} = 1,36 \text{ ома.}$$

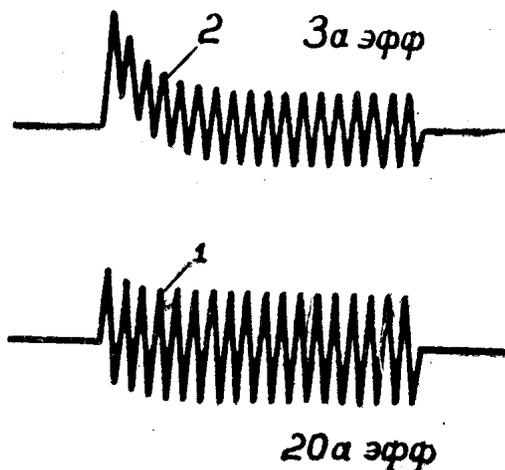


Рис. 2

Постоянная времени T_2 на основании (6)

$$T_2 = \frac{0,14 + 1,36}{314 \cdot 0,71} = 0,0067 \text{ сек.}$$

Максимальный намагничивающий ток трансформатора при расчетном режиме на основании (1):

$$I_{\text{нм}} = \frac{7500\sqrt{2}}{150} \left[\frac{1}{314 \cdot 0,0067} + \left(\frac{0,0067}{0,05} \right) \frac{0,0067}{0,0067 - 0,05} \right] = 85 \text{ а}$$

Величина воздушного зазора на основании (7)

$$\sigma = \frac{85 \cdot 150}{0,8 \cdot 10000} = 1,6 \text{ см.}$$

II. Определение воздушного зазора трансформаторов дифференциальной защиты шин с равновесием э. д. с.

В рассматриваемой схеме при сквозном первичном сверхтоке во вторичной цепи трансформаторов появляется только ток небаланса, размагничивающим действием которого можно пренебречь. Тогда первичный расчетный сверхток целиком будет являться намагничивающим током, поэтому необходимая величина воздушного зазора определяется весьма просто из следующего выражения:

$$\sigma = \frac{2,55 I'' w_1}{0,8 B_{\text{мд}}}, \quad (8)$$

где в числителе поставлены наибольшие мгновенные первичные ампервитки при расчетном сверхтоке, а в знаменателе—максимально допустимая индукция.

Для данных предыдущего примера, но для рассматриваемой схемы величина воздушного зазора на основании (8)

$$\sigma = \frac{2,55 \cdot 7500}{0,8 \cdot 10000} = 2,4 \text{ см.}$$