

из ее фаз, размещенных на разных стержнях магнитопровода. Половины вторичных фазных обмоток размагничивают стержни, на которых они расположены, а четверти - за период изменения тока попеременно оказывают и намагничивающее и размагничивающее действие.

Результирующее магнитное поле трансформатора не зависит от нагрузки, так как изменение размагничивающего действия вторичной обмотки компенсируется пропорциональным изменением намагничивающего действия первичной обмотки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент №16008 Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: / А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - № а 20100121; заявл. 2010.02.01; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180-181.

2. Збродыга В.М., Зеленкевич А.И., Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-ой международной научно-технической конференции, Минск, 2013 г. т.1 / БНТУ; редкол. Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2013. С. 62.

78. В.М. Збродыга, к.т.н., доцент, А.И. Зеленкевич, Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ГАРМОНИК КРАТНЫХ ТРЕМ В ТРАНСФОРМАТОРЕ «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ»

Высшие гармоники токов и напряжений снижают эффективность процессов генерации, передачи и использования электроэнергии. Уменьшение уровней высших гармоник можно обеспечить рациональным построением схемы электрической сети и применением специальных корректирующих устройств: линейных дросселей, пассивных и активных фильтров высших гармоник, питающих трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток. В частности, в сельских электрических сетях для этой цели авторы рассматривают возможность использования трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [1].

При работе этого трансформатора на нелинейную нагрузку фазные токи кратных трем высших гармоник первичной обмотки и создаваемые ими МДС равны нулю:

$$i_{A(3n+3)} = 0, i_{B(3n+3)} = 0, i_{C(3n+3)} = 0, \quad (1)$$

$$i_{A(3n+3)} W_1 = 0; i_{B(3n+3)} W_1 = 0; i_{C(3n+3)} W_1 = 0, \quad (2)$$

где W_1 – количество витков в одной фазе первичной обмотки, шт.; $n=0, 1, 2, 3, \dots$

Токи кратных трем гармоник вторичной обмотки равны по величине и имеют одинаковое направление во всех трех фазах в любой момент времени:

$$i_{a(3n+3)} = i_{b(3n+3)} = i_{c(3n+3)}. \quad (3)$$

С учетом направления намотки и маркировки выводов создаваемые ими МДС половин фаз вторичных обмоток и четвертей, расположенных на каждом из стержней магнитопровода, имеют противоположное направление (рисунок 1).

Результирующие МДС кратных трем гармоник в стержнях фаз «А», «В», «С» с учетом выражения (3) равны:

$$\begin{aligned}
f_{A(3n+3)} &= i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0, \\
f_{B(3n+3)} &= i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0, \\
f_{C(3n+3)} &= i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0,
\end{aligned} \tag{4}$$

где W_2 – количество витков в одной фазе вторичной обмотки, шт.

Происходит компенсация МДС кратных трем гармоник, а их магнитные потоки в стержнях магнитопровода будут равны нулю:

$$\Phi_{A(3n+3)} = 0; \Phi_{B(3n+3)} = 0; \Phi_{C(3n+3)} = 0. \tag{5}$$

МДС кратных трем гармоник вторичной обмотки могут создавать только потоки рассеяния $\Phi_{a1\sigma(3n+3)}, \Phi_{a2\sigma(3n+3)}, \Phi_{a3\sigma(3n+3)}, \Phi_{b1\sigma(3n+3)}, \Phi_{b2\sigma(3n+3)}, \Phi_{b3\sigma(3n+3)}, \Phi_{c1\sigma(3n+3)}, \Phi_{c2\sigma(3n+3)}, \Phi_{c3\sigma(3n+3)}$.

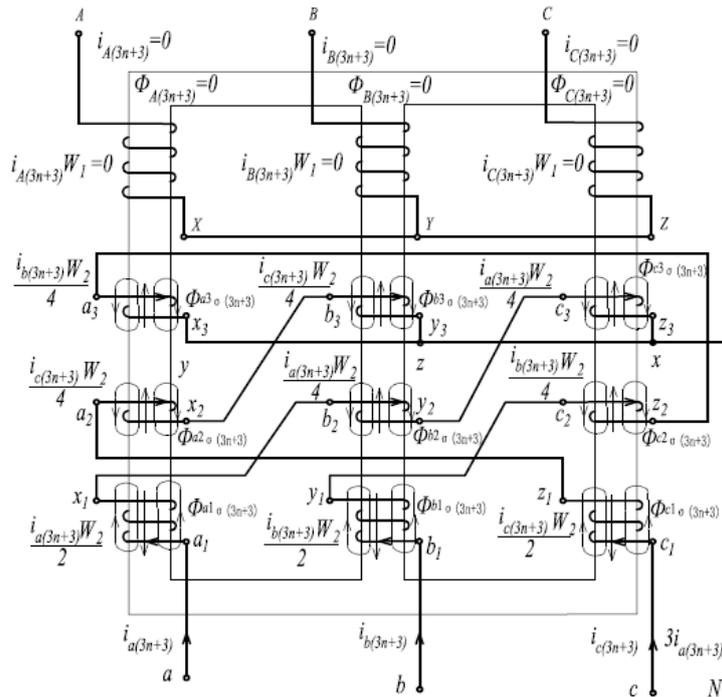


Рис. 1. Схема распределения МДС и магнитных потоков высших гармоник, кратных трем, в трансформаторе

Тогда ЭДС кратных трем гармоник обмоток равны нулю:

$$\begin{aligned}
e_{A(3n+3)} &= -W_1 \frac{d\Phi_{A(3n+3)}}{dt} = 0; e_{B(3n+3)} = -W_1 \frac{d\Phi_{B(3n+3)}}{dt} = 0; \\
e_{C(3n+3)} &= -W_1 \frac{d\Phi_{C(3n+3)}}{dt} = 0; e_{a(3n+3)} = -W_2 \frac{d\Phi_{A(3n+3)}}{dt} = 0; \\
e_{b(3n+3)} &= -W_2 \frac{d\Phi_{B(3n+3)}}{dt} = 0; e_{c(3n+3)} = -W_2 \frac{d\Phi_{C(3n+3)}}{dt} = 0.
\end{aligned} \tag{6}$$

Кратные трем гармоники первичных напряжений, обусловленные нелинейной нагрузкой, равны:

$$\begin{aligned}
u_{A(3n+3)} &= -e_{A(3n+3)} = 0; \\
u_{B(3n+3)} &= -e_{B(3n+3)} = 0; \\
u_{C(3n+3)} &= -e_{C(3n+3)} = 0.
\end{aligned}
\tag{7}$$

Кратные трем гармоники напряжений вторичной обмотки незначительны и обусловлены только падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз:

$$\begin{aligned}
u_{a(3n+3)} &= -i_{a(3n+3)} Z_{2(3n+3)}; \\
u_{b(3n+3)} &= -i_{b(3n+3)} Z_{2(3n+3)}; \\
u_{c(3n+3)} &= -i_{c(3n+3)} Z_{2(3n+3)},
\end{aligned}
\tag{8}$$

где $Z_{2(3n+3)}$ - полные сопротивления фаз вторичной обмотки токам высших гармоник, кратных трем, Ом.

Заключение

Улучшение формы кривых вторичных напряжений трансформатора происходит вследствие компенсации кратных трем гармоник, а их остаточные значения обусловлены падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз вторичной обмотки. При этом трансформатор не будет генерировать высшие гармоники напряжений нулевой последовательности, обусловленные нелинейной нагрузкой, в питающую сеть.

Вторичная обмотка самостоятельно уравнивает свои намагничивающие силы кратных трем гармоник, устраняя процесс дополнительного подмагничивания ими магнитопровода, что уменьшает магнитные потери в трансформаторе и повышает его КПД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: пат. 16008 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01F 30/12 / А.И. Зеленькевич, В.М. Збродыга; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - № а 20100121; заявл. 2010.02.01; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180-181.

79. И.В. Протосовицкий, к.т.н., доцент, Д.И. Протосовицкий, УО «Белорусский Государственный Аграрный Технический Университет»

ПАРАМЕТРЫ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ТМГСУ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ

На техническое состояние силовых трансформаторов в распределительных сетях значительное влияние оказывают условия окружающей среды и эксплуатационные параметры. Большинство силовых трансформаторов, эксплуатирующийся в сельских сетях 0,4-10 кВ, подвержено воздействию перенапряжений, сверхтоков, перегрузок, условий окружающей среды, температуры воздуха и солнечной радиации. Как следствие из-за воздействия данных факторов происходит снижение диэлектрической прочности изоляции трансформаторов.

Безотказность трансформаторов, установленных в сетях 10 кВ, в основном зависит от состояния внутренней изоляции (главная, витковая), отказы из-за дефектов которой составляют 70,8% от общей повреждаемости трансформаторов, а из-за дефектов витковой – 55,2%. Пробой изоляции при внутренних перенапряжениях составляет 34,4%, при грозных – 20,8% [1].

Данная проблема наиболее характерна для потребителей с пониженным уровнем прочности изоляции, в частности для трансформаторов длительно находящихся в эксплуатации. В большом количестве публикаций подробно рассмотрены процессы, происходящие в обмотках трансформатора во время переходных процессов и определены