

относительно земли можно добиться снижения энергопотребления более чем на 20 % при том же расходе воздуха.

Влияние на степень охлаждения газа в АВО также оказывает поверхность теплообмена с воздушной средой, в особенности ее загрязнение. Оно формируется на стадии изготовления при использовании смазочно-охлаждающей жидкости при накатке. При использовании способов механизированной очистки при изготовлении можно повысить тепловую эффективность АВО.

Таким образом, энергетическую эффективность аппаратов воздушного охлаждения определяет совершенство вентиляторного блока и поверхность теплообмена. Использование методов повышения эффективности и энергосбережения дает: снижение температуры газа на выходе из АВО, снижение энергопотребления, повышение эффективности работы аппарата.

Список использованных источников

1. Ресурсосберегающая технология охлаждения газа на компрессорных станциях / И. И. Артюхов [и др.] // Вестник Саратовского гос. техн. ун-та. 2011. № 3. С. 54.

2. Снижение энергозатрат на охлаждение природного газа в АВО КС / О. Е. Аксютин [и др.] // Газовая промышленность. 2009. № 2. С. 74-76.

3. Современные АВО газа – ресурс энергосбережения в газовой отрасли / А. З. Шайхутдинов [и др.] // Газовая промышленность. 2010. № 9. С. 40-41.

УДК 624.9

РАБОТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД НЕСИНУСОИДАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

WORK OF POWER TRANSFORMERS AT NON-SINUSOIDAL LOAD

Груздев И. М., Шелюг С. Н.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
gruzdew-ilya@mail.ru

Gruzdev I. M., Shelyug S. N.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе рассмотрены силовые трансформаторы со схемой соединения обмоток звезда с нулем/треугольник и со схемой соединения обмоток звезда/звезда с нулем. В качестве исходных данных представлена несинусоидальная нагрузка на стороне 0,4 кВ, а также принятая система допущений. Исходя из этого, получили влияние несинусоидальной нагрузки на нулевую последовательность токов и потерь в трансформаторе, в работе сделаны

выводы о влиянии несинусоидальной нагрузки на работу силовых трансформаторов.

Abstract: The paper deals with such windings configurations of power transformers as grounded star/delta and star/grounded star. Non-sinusoidal load on the 0.4 kV side and agreed system of assumptions are considered to be source data. As a result, non-sinusoidal load influence on the currents zero-sequence and transformer losses was established. The conclusions according to non-sinusoidal load influence on power transformers operation have been made.

Ключевые слова: трансформатор; нелинейная нагрузка; высшие гармоники; несинусоидальные режимы.

Key words: transformer; non-linear load; harmonics; non-sinusoidal regimes.

Современное развитие техники и технологий приводит к увеличению доли потребителей с несинусоидальной нагрузкой. Эти режимы влияют на работу силовых трансформаторов. В дальнейшем будет происходить рост доли несинусоидальной нагрузки, а, следовательно, и увеличиваться влияние на силовое оборудование, в том числе на силовые трансформаторы. В связи с этим, изучение данного вопроса является весьма актуальной задачей.

Классические методы расчета дают предположение о том, что через трансформатор проходит синусоидальная нагрузка, равная по фазам. Данные предположения дают возможность считать, что гармоники, кратные трем ($\nu=3, 9, 15\dots$), в отдельных фазах обмотки будут совпадать по фазе. По этой причине, в линейных токах, которые равны разности токов соответствующих фаз, гармоники кратные трем будут отсутствовать.

В данной работе рассматриваются силовые трансформаторы 110/10 кВ со схемой соединения обмоток звезда с нулем/треугольник (Y_n/Δ) и 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток звезда/звезда с нулем (Y/Y_n)

За исходные данные была принята несинусоидальная нагрузка на стороне 0,4 кВ. Эта нагрузка различна по фазам, но было сделано допущение о равенстве действующих значений. Мгновенные значения токов по трем фазам и ток, протекающий по нулевому проводу со стороны 0,4 кВ, где схема соединения звезда с нулем, изображены на рис. 1.

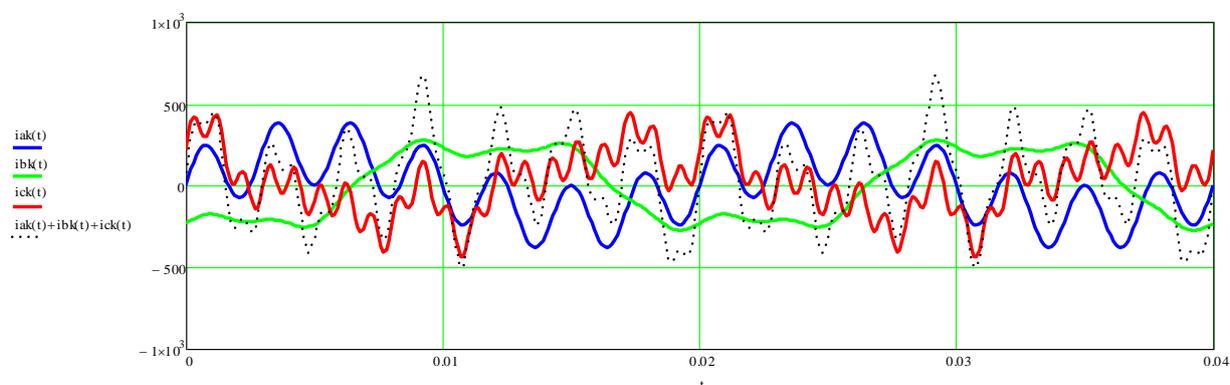


Рис. 1. Осциллограмма токов на низшей стороне трансформатора 10/0,4 кВ

Из-за того, что фазные токи имеют несинусоидальный характер, их мгновенные значения в сумме не дают 0, а, значит, и в нулевом проводе будет протекать ток. В данной работе принято допущение о пренебрежении потерями на гистерезис для упрощения расчетов. При переходе на сторону 10 кВ используем коэффициент трансформации:

$$K_T = 10/0,4$$

На рис. 2 представлена осциллограмма токов на высшей стороне силового трансформатора 10/0,4 кВ.

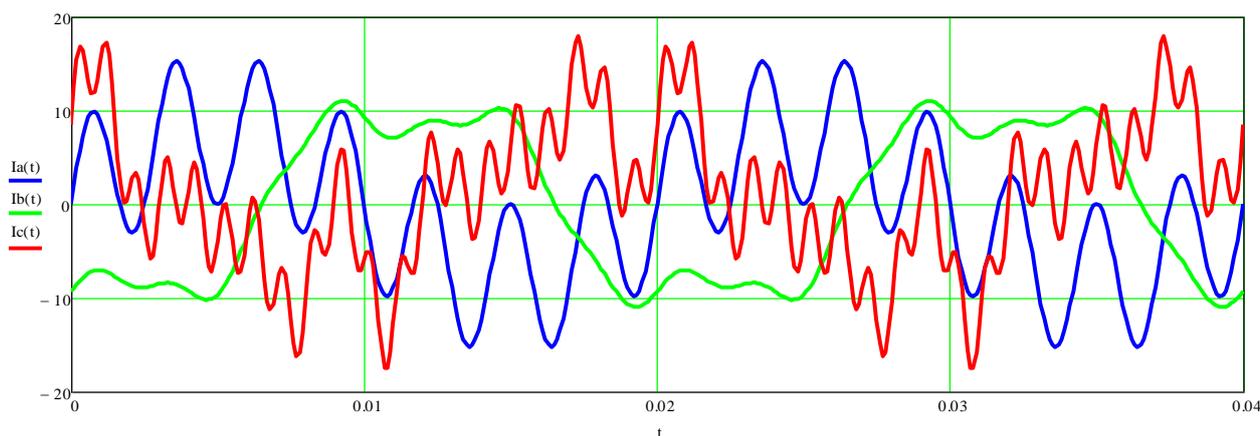


Рис. 2. Осциллограмма токов на высшей стороне трансформатора 10/0,4 кВ

При наличии несимметрии появляется нулевая последовательность. Необходимо рассмотреть наличие нулевой последовательности. Ток несимметричной нагрузки, протекающий по нулевому проводу и вторичным обмоткам трансформатора, создает магнитные потоки нулевой последовательности каждой фазы. Они, в отличие от магнитных потоков прямой и обратной последовательности, которые сдвинуты по фазе на угол 120° , не могут замыкаться по магнитопроводу. Эти потоки создают дополнительные потери на вихревые токи. Отношение сопротивлений нулевой и прямой последовательности $Z_0/Z_1 = 10$.

В данной работе не учитывается влияние линий, а также потери в них. В начале линии, на стороне 10 кВ, установлен трансформатор с соединением обмоток на низшей стороне по схеме треугольник (Δ). На рис. 3 представлена осциллограмма линейных токов на стороне 10 кВ.

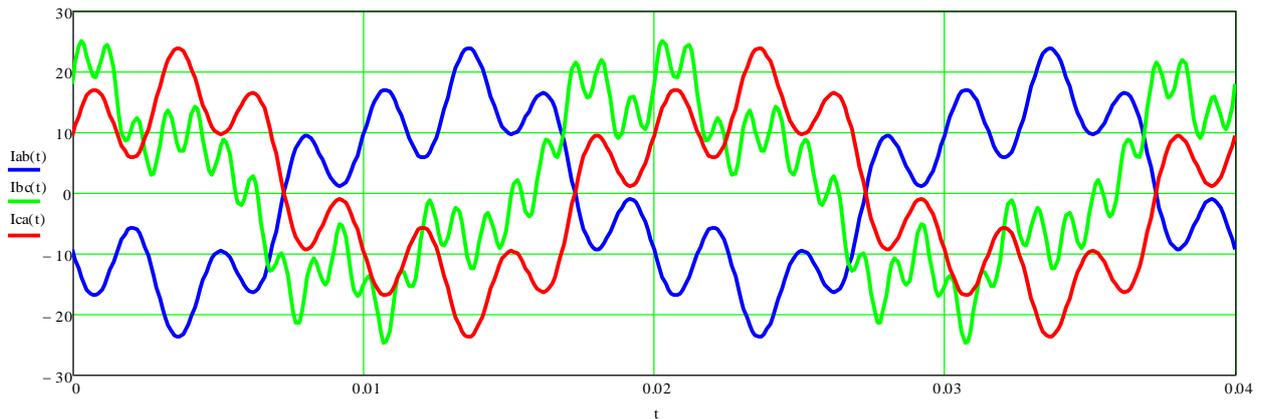


Рис. 3. Осциллограмма токов на низшей стороне трансформатора 110/10 кВ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Несинусоидальность нагрузки на стороне 0,4 кВ оказывает заметное влияние на форму кривой тока на стороне 110 кВ.
2. Необходимо провести дальнейшие исследования в части влияния формы кривой протекающего тока на режим работы трехфазного трансформатора с различными группами соединений высшей и низшей обмоток.
3. Наличие одинаковых по номерам, но разных по амплитуде, гармоник в фазных проводах трехфазной системы вносит дополнительные сложности в анализ электрического и магнитного состояния трансформатора и требует проводить анализ в мгновенных значениях.
4. Несинусоидальность оказывает существенное влияние на появление нулевой последовательности токов в трансформаторе. Из-за нулевой последовательности происходит заметное повышение сопротивления, из-за чего увеличиваются потери мощности.
5. С целью повышения энергетической эффективности и долговечности работы трансформаторного оборудования, а также для снижения потерь электроэнергии необходимо принимать меры по снижению влияния несинусоидальных токов и напряжений.

Список использованных источников

1. Электрические машины / А. И. Вольдек. Л. : Энергия, 1978. 832 с.
2. Энергосбережение в низковольтных электрических сетях при несимметричной нагрузке / Ф. Д. Косоухов. СПб., М., Краснодар : Лань, 2016. 276 с.
3. Схемы и группы соединения обмоток [Электронный ресурс]. URL: <http://zei.narod.ru/resource/t2/7-2.html> (дата обращения 12.11.2016).