

Ю.В.ВЛАДИМИРОВ, канд. техн. наук., проф., НТУ «ХПИ»;
Ю.В.ШУМИЛИНА, магистр, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10 кВ

Исследовано влияние высших гармоник тока на дополнительные потери в трансформаторах промышленных предприятий и приведены рекомендации относительно нагрузки мощных трансформаторов напряжением 6–10 кВ с учетом влияния высших гармоник.

Досліджено вплив вищих гармонік струму на додаткові втрати в трансформаторах промислових підприємств і приведені рекомендації щодо навантаження потужних трансформаторів напругою 6–10 кВ з урахуванням впливу вищих гармонік.

Influence of higher accordions is investigational on the additional losses in the transformers of industrial enterprises and recommendations are given on the load of power transformers by voltage 6–10 kV taking into account influencing of higher accordions.

В электрических сетях современных предприятий значительное распространение получили нелинейные нагрузки. К их числу относятся в первую очередь различного рода вентиляльные преобразователи, преобразователи частоты, установки дуговой и контактной электросварки, дуговые сталеплавильные и руднотермические печи, газоразрядные лампы. Эти нагрузки потребляют из сети ток, кривая которого оказывается несинусоидальной, а в некоторых случаях и непериодической, в результате возникают нелинейные искажения кривых тока и напряжения сети [1,2].

Несинусоидальные режимы неблагоприятно сказываются на работе силового электрооборудования, систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи. Возникающие в результате воздействия высших гармоник (ВГ) экономические ущербы обусловлены главным образом ухудшением энергетических показателей, снижением надежности функционирования электрических сетей и сокращением срока службы электрооборудования. Поэтому прогрессирующее внедрение вентиляльного электропривода и электротехнологий обусловило важность и актуальность решения проблемы ВГ в электрических сетях [3]. Негативное влияние ВГ на трансформаторы, установленные в электрических сетях, в частности, ведет к увеличению активных потерь в них. При этом следует иметь ввиду, что поскольку срок эксплуатации силовых трансформаторов, как правило, превышает 10–20 лет, стоимость потерь в них за этот период может значительно превосходить стоимость самого трансформатора.

Авторами данной статьи были исследованы зависимости дополнительных потерь и суммарных потерь в трансформаторах различных типов (в частности масляных – типа ТМ; сухих – типа ТСЗ; с негорючим жидким диэлектриком – типа ТНЗ) от режима их работы с учетом воздействия высших гармоник.

Данные исследования проводились для трансформаторов напряжением 6–10 кВ различных типов и номинальных мощностей наиболее используемых, в сетях промышленных предприятий, а именно $S_{ном} = 630$; 1000; 1600 и 2500 кВА.

В трансформаторах дополнительные потери активной мощности на частотах ВГ выражаются простейшей формулой [2]:

$$\Delta P_{Tv} = 3 \sum_{v=2}^n I_{Tv}^2 \cdot R_{kv}, \quad (1)$$

где I_{Tv} – ток v -й гармоники, проходящей через трансформатор;

R_{kv} – сопротивление КЗ трансформатора на частоте v -й гармоники.

По данным [1], $R_{kv} \approx 0,47 \cdot \sqrt{v} \cdot R_k$, где R_k – сопротивление КЗ при промышленной частоте. Поэтому:

$$\Delta P_{Tv} = 0,47 \cdot \Delta P_{kT} \sum_{v=2}^n K_{I(v)}^2 \cdot \sqrt{v}, \quad (2)$$

где ΔP_{kT} – потери КЗ на частоте первой гармоники;

$K_{I(v)} = I_v / I_{ном.тп}$ – относительное значение ВГ тока.

Кроме потерь КЗ в активном сопротивлении, на частотах ВГ возникают добавочные потери ΔP_{0v} , вызываемые вихревыми токами:

$$\Delta P_{0v} = 0,05 \cdot \Delta P_{Tv} \cdot v^2. \quad (3)$$

В результате полные дополнительные потери $\Delta P_{\Sigma v}$, обусловленные токами ВГ, составляют:

$$\Delta P_{полн.v} = \sum_{v=2}^n \Delta P_{Tv} (1 + 0,05 \cdot v^2). \quad (4)$$

Суммарные потери активной мощности, т.е. потери на основной частоте с учетом потерь на частотах ВГ будут определяться, как:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_i + \Delta P_{полн.v}, \quad (5)$$

где ΔP_i – потери активной мощности в трансформаторе на основной частоте (от первой гармоники);

$\Delta P_{полн.v}$ – полные дополнительные потери активной мощности, обусловленные токами ВГ.

Расчеты по данному алгоритму, выполнялись при условии, что:

– доля токов ВГ составляет от 10 % до 40 %, что соответствует наличию ВГ в сетях большинства промышленных предприятий [1,2];
 – учет гармоник осуществляется до 11-й включительно.

Расчеты, проведенные для указанных выше трансформаторов, позволили построить зависимости величин относительных полных дополнительных и суммарных потерь ($\gamma = (\Delta P / S_{загр}) \cdot 100\%$) от величины коэффициента загрузки трансформатора ($K_{загр} = S_{загр} / S_{ном.тр}$) для различных гармоник тока. На рис.1 и 2 (в качестве примера) показаны такие зависимости для трансформатора типа ТМ–1000/10 кВ при условии, что доля токов ВГ составляет 40 %.

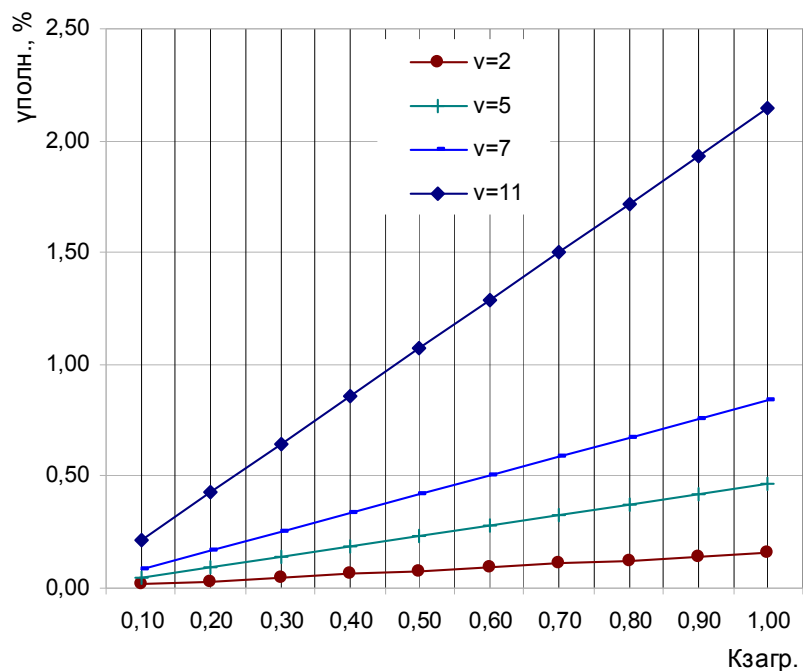


Рис.1 – Относительные полные дополнительные потери в трансформаторе

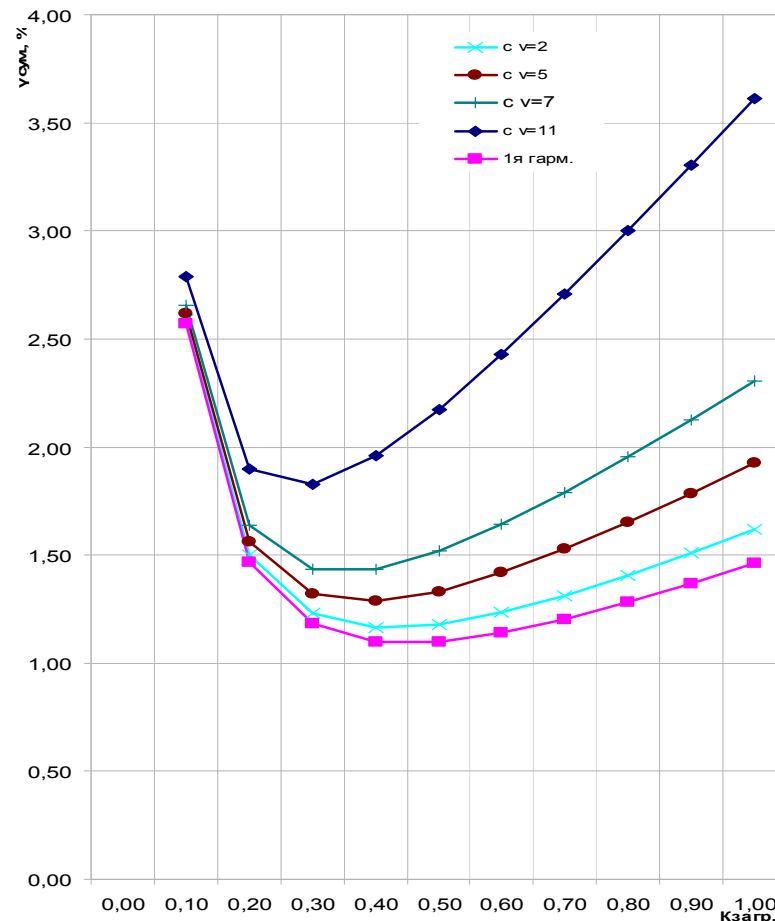


Рис.2 – Относительные суммарные потери в трансформаторе

Как видно из графиков (рис.2) оптимальная нагрузка трансформаторов с учетом влияния ВГ по отношению, к рекомендованной в работе [4] при отсутствии ВГ, изменилась и находится в диапазоне $K_{загр.} \approx 0,1 \div 0,7$. При этом относительные потери при $K_{загр.} = 0,7$ и $K_{загр.} = 0,1$ примерно равны, но абсолютные потери при $K_{загр.} = 0,7$ в 3–7 раз превышают потери при $K_{загр.} = 0,1$. Расчеты показали, что для трансформаторов типа ТНЗ оптимальная нагрузка аналогична нагрузке трансформаторов типа ТМ, а для типа ТСЗ оптимальная нагрузка находится в диапазоне $K_{загр.} \approx 0,16 \div 0,7$. Поэтому, можно сделать вывод, что с учетом влияния ВГ диапазон оптимальной нагрузки трансформаторов расширяется в сторону уменьшения

коэффициента минимальной загрузки. При этом относительные суммарные потери в трансформаторе возрастают примерно в 1,5 раза.

Если же при определении диапазона оптимальной загрузки трансформатора руководствоваться не только условием минимизации суммарных относительных потерь, но и абсолютных, то получим изменение оптимальной загрузки трансформатора в сторону уменьшения как минимальной, так и максимальной загрузки. В результате рекомендуемая оптимальная нагрузка трансформаторов 6÷10 кВ будет находиться в диапазоне $K_{\text{загр.}} \approx 0,15 \div 0,55$.

Результаты проведенных исследований показали, что при наличии высших гармоник тока менее 20 % от основной гармоники дополнительные относительные потери активной мощности не превышают 0,5% и в ряде случаев можно не учитывать влияние высших гармоник на потери.

Проведенные исследования (расчеты) позволяют считать, что целесообразно завышать номинальную мощность устанавливаемых трансформаторов и при этом получать экономическую выгоду от уменьшения годовых потерь в трансформаторах при одновременном повышении надежности электроснабжения.

Методика определения экономической эффективности дополнительных капитальных вложений в трансформатор завышенной номинальной мощности, в соответствии с [5], приведена в работе [4].

Выводы.

1. С увеличением номера гармоники дополнительные потери в силовом трансформаторе увеличиваются независимо от типа трансформатора.
2. При наличии доли ВГ тока менее 20 % от основной дополнительные потери активной мощности от ВГ можно не учитывать.
3. С учетом негативного влияния ВГ оптимальная нагрузка трансформаторов может быть рекомендована в диапазоне 15÷55% их номинальной мощности.

Список литературы: 1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий / И.В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат, 2004. – 358 с. 2. Жежеленко И.В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко.- М. : Энергоатомиздат, 2005.–261с. 3. Шидловский А.К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А.К Шидловский., А.Ф. Жаркин.– К. : Наукова думка, 2005.–210с. 4. Владимиров Ю.В. Выбор номинальной мощности трансформаторов с учетом минимизации потерь / Ю.В. Владимиров, Р.А. Вдовин // Світлотехніка та електроенергетика. – 2009. - №1(17).– С.13–16. 5. Методика ГКД 340.000.002 – 97 Отраслевые руководящие документы. «Определение экономической эффективности капитальных вложений в энергетику» /Минэнерго Украины. – Киев, 1997.–54с. Введены в действие с 01.07.97г.

Поступило в редколлегию 03.11.2010