

УДК 53.043

UDC 53.043

05.00.00 Технические науки

Engineering

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИЛОВОГО  
ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ВЫСОКОМ УРОВНЕ  
ВЫСШИХ ГАРМОНИК**

**SIMULATION OF A POWER  
TRANSFORMER WORK WITH A HIGH  
LEVEL OF HIGHER HARMONICS**

Вильданов Рауф Гибадуллович  
Д.т.н., профессор

Vildanov Rauf Gibadulloevich  
Dr.Sci.Tech., Professor

Вахитова Алина Рамилевна  
Студент

Vakhitova Alina Ramilevna  
Student

Габидуллин Ильсур Ильшатович  
Студент

Gabidullin IIsur Ilshatovich  
Student

Кудояров Руслан Ильдарович  
Студент

Kudoyarov Ruslan Ildarovich  
Student

*Уфимский государственный нефтяной технический  
университет, Салават, Россия*

*Ufa State Petroleum Technical University, Salavat,  
Russia*

Важность проблемы повышения качества электрической энергии нарастала вместе с развитием и широким внедрением на производстве вентильных преобразователей и различных высокоэффективных технологических установок, таких как дуговые сталеплавильные печи, сварочные установки и др. Основными причинами потенциальных и существующих несоответствий по несинусоидальности напряжения может быть присоединение источников несинусоидальности и источников реактивной мощности, в том числе резонансных фильтров, к существующим электрическим сетям без учета их возможного влияния на искажение синусоидальности напряжения в сети. Трансформаторы подвержены влиянию несинусоидальности форм кривых тока и напряжения. Влияние характеризуется тем, что гармоники тока и напряжения приводят к повышению температуры трансформатора по сравнению с чисто синусоидальным током и напряжением. Целью работы является исследование влияния уровня высших гармоник на потери мощности силовых трансформаторов. Экспериментальные исследования работы силовых трансформаторов проводились на разработанной модели трансформаторной подстанции. Эксперименты проводились при разных мощностях трансформаторов, которые варьировались в пределах 250-1000 кВА. С помощью программируемого источника синусоидального напряжения формировалось напряжение, содержащее третью, пятую, шестую, седьмую, девятую и двенадцатую гармоники

The importance of improving the quality of electrical energy was growing along with the development and wide implementation in the production of valve converters and various high-performance processing units, such as arc furnace, welding machines etc. The main causes of potential and existing non-compliances of non-sinusoidal voltages can be joining sources and non-sinusoidal reactive power sources, including resonant filters, to existing electric grids without taking into account their possible impact on the distortion of the sinusoidal voltage. Transformers are affected by the non-sinusoidal shapes of the curves of current and voltage. The effect is characterized by the fact that the harmonics of current and voltage increase transformer temperature, compared to purely sinusoidal current and voltage. The aim of this work is to study the influence of higher harmonics on power loss in power transformers. Experimental study of operation of power transformers was carried out on the developed model of the transformer substation. The experiments were conducted with different capacities of transformers that have variables in the range of 250-1000 kVA. By using programmable voltage source a sinusoidal voltage is formed containing the third, fifth, sixth, seventh, ninth and twelfth harmonics. The level of harmonics is changed in the range of 2-12 %

Ключевые слова: ВЫСШИЕ ГАРМОНИКИ, НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ, ТРЕХФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР, ПОТЕРИ МОЩНОСТИ

Keywords: HIGHER HARMONICS, NON-SINUSOIDAL, THREE-PHASE TRANSFORMER, POWER LOSS

Doi: 10.21515/1990-4665-133-003

Важность проблемы повышения качества электрической энергии нарастала вместе с развитием и широким внедрением на производстве вентильных преобразователей и различных высокоэффективных технологических установок, таких как дуговые сталеплавильные печи, сварочные установки и др.

Основными причинами потенциальных и существующих несоответствий по несинусоидальности напряжения может быть присоединение источников несинусоидальности и источников реактивной мощности, в том числе резонансных фильтров, к существующим электрическим сетям без учета их возможного влияния на искажение синусоидальности напряжения в сети [1].

Трансформаторы подвержены влиянию несинусоидальности форм кривых тока и напряжения. Влияние характеризуется тем, что гармоники тока и напряжения приводят к повышению температуры трансформатора по сравнению с чисто синусоидальным током и напряжением.

Целью работы является исследование влияния уровня высших гармоник на потери мощности силовых трансформаторов.

Экспериментальные исследования работы силовых трансформаторов проводились на разработанной модели трансформаторной подстанции. Эксперименты проводились при разных мощностях трансформаторов, которые варьировались в пределах 250-1000 кВА. С помощью программируемого источника синусоидального напряжения формировалось напряжение, содержащее третью, пятую, шестую, седьмую, девятую и двенадцатую гармоники. Уровень гармоник изменялся в пределах 2-12 %.

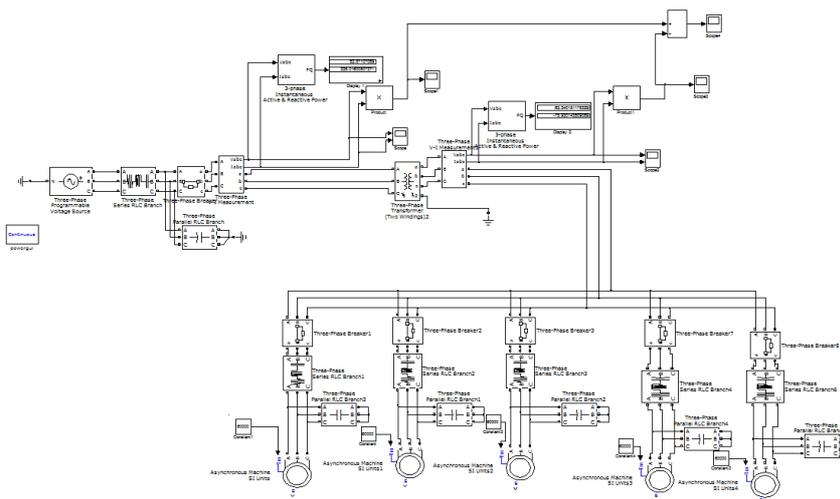


Рисунок 1 – Модель силового трансформатора при высоком уровне высших гармоник

На рисунке 3 приведена зависимость дополнительных потерь трансформатора мощностью 400 кВА от уровня девятой гармоники.

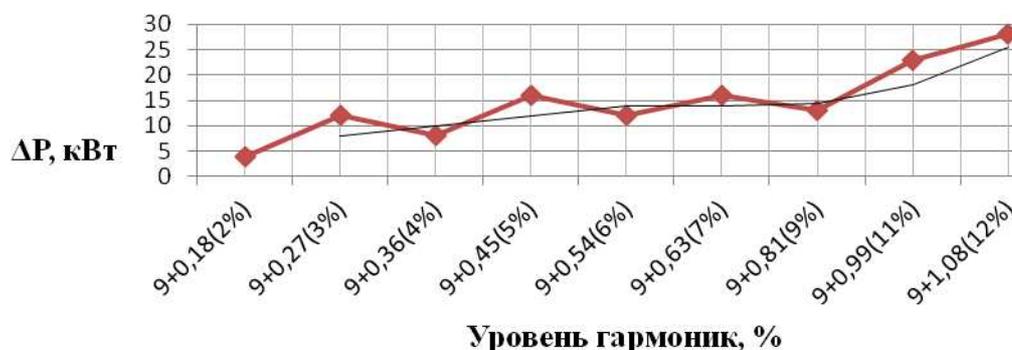


Рисунок 3 – Зависимость дополнительных потерь трансформатора мощностью 400 кВА от уровня девятой гармоники

На рисунке 4.1.12 приведена зависимость дополнительных потерь трансформатора от мощности трансформатора при коэффициенте несинусоидальности  $K_u=4\%$ .

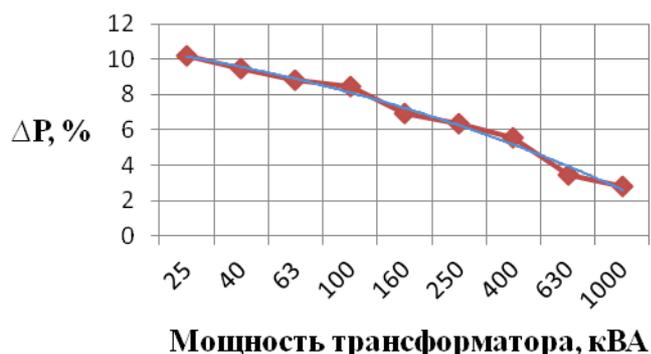


Рисунок 4.1.12 – Зависимость дополнительных потерь трансформатора от мощности трансформатора при коэффициенте несинусоидальности  $K_u=4\%$

На рисунке 4.1.13 приведена зависимость дополнительных потерь трансформатора мощностью 1000 кВА от коэффициента несинусоидальности.

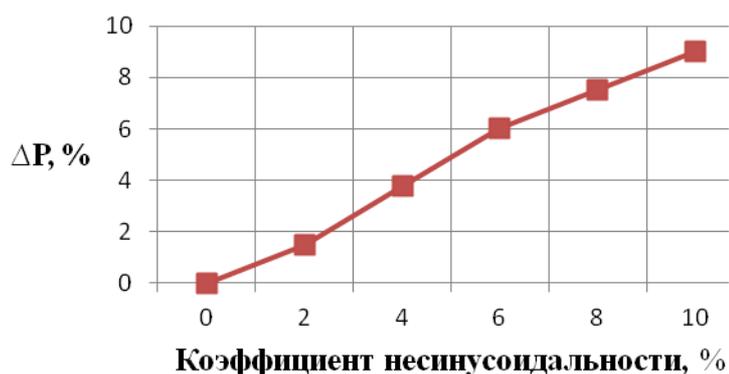


Рисунок 4.1.13 – Зависимость дополнительных потерь трансформатора мощностью 1000 кВА от коэффициента несинусоидальности

Анализ результатов экспериментов показывает, что дополнительные потери мощности трансформаторов в условиях загрязненности высшими гармониками изменяются в пределах 1,5 – 10,43 %, причем с ростом уровня гармоник дополнительные потери растут, а с ростом единичной мощности трансформатора относительные потери уменьшаются.

Дополнительные потери из-за гармоник повышаются пропорционально квадрату тока и частоты, приводя к уменьшению полезной нагрузки трансформатора. Кроме того, высокочастотные гармоники тока увеличивают потери в стали сердечника магнитопровода на перемагничивание и вихревые токи. В этих условиях повышается значение диагностики состояния трансформаторов. В филиале ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате разрабатываются датчики, приборы и методы определения технического состояния силовых трансформаторов [2-5].

#### Выводы

1 Разработана модель для исследования трехфазного трансформатора при высоком уровне высших гармоник.

2 Дополнительные потери мощности трансформаторов в условиях загрязненности высшими гармониками изменяются в пределах 2 – 10,5 %, причем с ростом уровня гармоник дополнительные потери растут, а с ростом единичной мощности трансформатора относительные потери уменьшаются.

3 Показано, что высокочастотные гармоники тока увеличивают потери в стали сердечника магнитопровода на перемагничивание и вихревые токи. В этих условиях повышается значение средств и методов диагностики состояния трансформаторов, разрабатываемых в филиале ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате.

## Литература

1 РД 153-34.0-15.502-2002. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии. – Москва, 2002. – 33 с.

2 Ibragimov I.G., Vildanov R.G. Measurement of stresses in metallic structures by method of reversal magnetization losses / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2005. – Т. 71. № 2. – С. 29-31.

3 Вильданов Р.Г., Шкарлет Ю.М., Абакумов А.А., Баширов М.Г. Магнитотелевизионный дефектоскоп для контроля качества крупногабаритных ферромагнитных изделий / Дефектоскопия. – 1988. – № 9. – С. 84.

4 Вильданов Р.Г. Исследование датчика потерь перемагничивания / Измерительная техника. – 2004. – № 3. – С. 31-33.

5 Вильданов Р.Г. Индикатор механических напряжений ИМН-1 / Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 6. – С. 140-141.

## References

1 RD 153-34.0-15.502-2002. Metodicheskie ukazaniya po kontrolju i analizu kachestva jelektricheskoj jenergii v sistemah jelektrosnabzhenija obshhego naznachenija. Chast' 2. Analiz kachestva jelektricheskoj jenergii. – Moskva, 2002. – 33 s.

2 Ibragimov I.G., Vildanov R.G. Measurement of stresses in metallic structures by method of reversal magnetization losses / Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov. – 2005. – T. 71. № 2. – S. 29-31.

3 Vil'danov R.G., Shkarlet Ju.M., Abakumov A.A., Bashirov M.G. Magnitotelevizionnyj defektoskop dlja kontrolja kachestva krupnogabaritnyh ferromagnitnyh izdelij / Defektoskopija. – 1988. – № 9. – S. 84.

4 Vil'danov R.G. Issledovanie datchika poter' peremagnichivaniya / Izmeritel'naja tehnika. – 2004. – № 3. – S. 31-33.

5 Vil'danov R.G. Indikator mehanicheskikh naprjazhenii IMN-1 / Pribory i tehnika jeksperimenta. – 2004. – № 6. – S. 140-141.