

ОЦЕНКА ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Соснина Е. Н., Маслеева О. В., Пачурин Г. В.

ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия (603600, Н. Новгород, ГСП-41, ул. Минина, 24, НГТУ), e-mail: pachuringv@mail.ru

Большее внимание в настоящее время уделяется оценке неблагоприятных воздействий объектов энергетики на окружающую среду, в том числе воздействию шума, создаваемого энергетическим оборудованием. Повышенный шум негативно влияет на нервную систему человека, сердечно-сосудистую систему, слух человека, может стать причиной бессонницы и быстрого утомления. Силовые трансформаторы являются одним из источников шума для производственных территорий и окружающего района. Шум трансформаторов вызывается вибрацией активной части, а также вентиляторами системы охлаждения. Существенное влияние на шум трансформатора оказывают резонансные явления, возникающие в его отдельных элементах. Была проведена оценка шумового воздействия трансформаторной подстанции, на которой будет установлено 3 сухих трансформатора: мощностью 400 кВА – 1шт, мощностью 1000 кВА – 2 шт классом напряжения 10/0,4 кВ. Расчеты показали, что шум, создаваемый трансформаторной ПС, будет ниже допустимого для территории, непосредственно прилегающей к университету. Поэтому специальных мероприятий по снижению шума не требуется.

Ключевые слова: трансформатор, трансформаторная подстанция, энергетическое оборудование, шум.

THE NOISE IMPACT ASSESSMENT OF POWER TRANSFORMERS AT ENVIRONMENT

Sosnina E. N., Masleeva O. V., Pachurin G. V.

State Educational Institution "Nizhny Novgorod State Technical University. REAlekseyev, Nizhny Novgorod, Russia (603600, Nizhny Novgorod, GSP-41, st. Minin, 24, NSTU), e-mail: pachuringv@mail.ru

Greater attention is now being paid to the assessment of adverse effects of power on the environment, including the impact of noise generated by power equipment. Increased noise affects the nervous system, cardio - vascular system, the human ear can cause insomnia and rapid fatigue. Power transformers are one of the sources of noise in industrial areas and the surrounding area. The noise is caused by vibration of transformer active part, as well as cooling fans. Significant effect on the noise of the transformer have resonance phenomena in its individual elements. The estimation of noise exposure transformer station, which will be equipped with 3 dry transformer of 400 kVA - 1pc, with capacity of 1000 kVA - 2pcs voltage class 10/0, 4 kV. Calculations have shown that the noise generated by the transformer substation, will be below normal for the area immediately adjacent to the university. Therefore, special measures to reduce the noise is not required.

Keywords: transformer, transformer substation, power equipment, noise.

Введение

В настоящее время все большее внимание уделяется снижению неблагоприятных воздействий от работы объектов энергетики на окружающую среду и человека. Одним из таких воздействий является шум, создаваемый энергетическим оборудованием. Снижение шумового воздействия следует рассматривать при решении комплекса проблем для предотвращения нарастающего экологического кризиса современной техногенной цивилизации.

Влияние шума на здоровье человека может быть различным – от простого раздражения до серьезных патологических заболеваний всех внутренних органов и систем.

Прежде всего, страдает слух человека. Повышенный шумовой раздражитель также негативно влияет на нервную систему человека, сердечно-сосудистую систему, вызывает сильное раздражение. Повышенный шум может стать причиной бессонницы, быстрого утомления, агрессивности, влиять на репродуктивную функцию и способствовать серьезному расстройству психики. Зафиксированы функциональные изменения организма под влиянием шума: повышение кровяного давления, нарушение функции щитовидной железы и коры надпочечников, изменение активности мозга и центральной нервной системы.

Шум от силовых трансформаторов

Силовые трансформаторы являются одним из источников шума для производственных территорий и окружающего района.

Шум трансформаторов вызывается вибрацией активной части, а также вентиляторами системы охлаждения. Существенное влияние на шум трансформатора оказывают резонансные явления, возникающие в его отдельных элементах [1, 3, 5].

Вибрация активной части трансформатора обусловлена магнестрикционными и электромагнитными силами в магнитной системе и динамическими силами в обмотках. В трансформаторах преобладает магнестрикционная составляющая вибрации.

Магнестрикция – это явление деформации кристаллической решетки магнитного материала при его намагничивании. В процессе возрастания индукции сначала происходит смещение границ кристаллов материала, а затем их вращение, что ведет к изменению линейных размеров стали. Магнестрикционное удлинение листа стали может достигать нескольких десятков микрон на один метр длины. При перемагничивании магнитной системы трансформаторов индукция в ней достигает максимума дважды за один период частоты переменного тока, что соответствует двукратному изменению длины листов стали магнитной системы. Это ведет к периодическим колебаниям магнитной системы на удвоенной частоте переменного электрического тока (вибрация с частотой 100 Гц при частоте сети 50 Гц).

Проявление магнитных сил наиболее выражено в стыковых соединениях. В шихтованных магнитных системах магнитный поток вынужден перетекать из листа в лист в воздушном зазоре, образуемом за счет неплотной стыковки листов стали. При этом возникают поперечные силы, приводящие к изгибным колебаниям листов. Поскольку листы стали на участках, соседствующих с зазорами, перенасыщаются, здесь увеличиваются также и магнестрикционные силы.

Одним из источников шума трансформаторов является обмотка, проводники которой вибрируют под действием сил взаимного притяжения при протекании в них переменного

тока в режиме нагрузки. Генерирующими звук поверхностями в данном случае являются торцевые части обмоток, прессующие кольца, ярмовые балки, детали крепления.

Уровни звуковой мощности трансформаторов пропорциональны их массогабаритным параметрам, хотя на практике эта зависимость может значительно меняться под действием разного рода конструктивно-технологических факторов. Уровень звуковой мощности трансформатора прямо пропорционален длине стержня магнитной системы и зависит от свойств электротехнической стали, распределения поперечных магнитных потоков в углах и над средним стержнем магнитной системы, а также от высших гармоник магнитострикции и магнитного потока на отдельных участках магнитной системы, что определяет известную приближенность расчета. При прочих равных условиях увеличение длины стержня вдвое повышает уровень звука на 6 дБ. Резонанс магнитной системы может увеличить уровень звука трансформатора на 5 дБ.

Характерным для магнитных систем трансформаторов является густой спектр собственных частот в диапазоне 1-3 кГц, обусловленных отдельными пластинами электротехнической стали. Последние не всегда монолитно стянуты, в толще магнитной системы имеются пустоты, определяемые коэффициентом заполнения стали, что ведет к высокочастотным резонансным колебаниям пластин и их участков.

Существует прямая зависимость уровней звуковой мощности трансформаторов от их электрической мощности. Эта зависимость может меняться с изменением конструкции и материалов, индукции или массы при сохранении на прежнем уровне прочих параметров. Для геометрически подобных трансформаторов их уровень звуковой мощности пропорционален массе (M) или линейным размерам в третьей степени, а также пропорционален электрической мощности трансформатора в степени $\frac{3}{4}$.

Влияние индукции: уровень звука трансформатора изменяется на 3 дБ при изменении индукции на 10 %. Это соотношение характерно для основной гармоники шума трансформатора. Высшие гармоники (3-я и 5-я) при снижении индукции уменьшаются быстрее: на 4–5 дБ при снижении индукции на 10 %, что связано с улучшением синусоидальности индукции в отдельных участках магнитной системы.

Уровни вибрации и звука трансформатора зависят от характера распределения магнитных потоков по сечению сердечника. Индукция во внутренних углах шихтованных рамных магнитных систем может достигать удвоенного значения от номинального, что является предпосылкой повышения вибраций и шума.

Для трехфазных магнитных систем характерно повышенное содержание 3-й гармоники шума, что связано как с фазовым сдвигом колебаний отдельных стержней, так и с наличием значительной 3-й гармоники индукции. Повышенным шумом и вибрацией

отличаются симметричные трехфазные магнитные системы из навитых магнитопроводов, где 3-я гармоника индукции может достигать 40 % от основной гармоники.

Бак обычно повышает уровень звука источника, т.е. активной части трансформатора, как за счет увеличения поверхности звукового излучения, так и за счет резонанса стенок бака. Это повышение характерно для низших гармоник звука. Более высокие гармоники источника, звукоизолированного баком, могут и снижаться.

Спектральное содержание характеристик шума трансформаторов связано с частотой питающего напряжения. У трехфазных трансформаторов (частота сети – 50 Гц) наиболее ярко выражены первые три гармоники – 100, 200, 300 Гц.

Включение трансформатора в работу приводит к повышенному шуму вследствие остаточной намагниченности магнитопровода. Из-за перенасыщения магнитопровода уровень шума может превысить уровень при нормальной работе на 20 дБ. Снижение шума до установившегося состояния после включения может длиться до 6 часов.

Спецификой сухих трансформаторов мощностью до 1000 кВА включительно является большое разнообразие конструкций магнитных систем, среди которых можно назвать шихтованные, навитые, стыковые (склеиваемые из двух половин), симметричные пространственные при множестве модификаций, обусловленных типами стыков, видами шихтовки, характером прессовки и т.д.

Наиболее шумными являются симметричные пространственные магнитные системы 3-фазных трансформаторов, укомплектованные тремя О-образными навитыми магнитными элементами. Повышенная виброактивность такой системы обусловлена резкой не синусоидальностью индукции в отдельных элементах, низкой жесткостью конструкции и собственными частотами, находящимися в диапазоне 100-300 Гц.

Более всего распространены сухие трансформаторы 3-фазные с шихтованной магнитной системой. Шум активной части таких трансформаторов без кожуха невысок. Однако он резко возрастает у полностью собранного трансформатора с кожухом, который увеличивает поверхность звукоизлучения трансформатора и к тому же не обладает достаточной жесткостью, будучи изготовлен из тонколистовой стали.

Наибольший шум (иногда в области частот 1000 Гц) имеет место во внутренних углах окон магнитопровода. На этих участках имеет место повышенная индукция (до 2 Тл), вызывающая возрастание вибрации и, соответственно, шума. Поскольку такие участки сухих трансформаторов доступны, снижение шума осуществляется путем заливки внутренних углов окон магнитопровода эпоксидным компаундом.

В процессе эксплуатации может ослабнуть прессовка магнитной системы. В частности, бывает ослаблена стяжка листов стержней магнитопровода, функции которой

выполняет насаженная на стержень обмотка – дистанцирующие рейки свободно перемещаются от руки.

Расчет шума трансформаторов ПС

Для оценки шумового воздействия трансформаторной подстанции, которую предполагается построить во дворе учебного корпуса университета, необходимо произвести расчет уровня звукового давления на территории, прилегающей к учебным корпусам.

На трансформаторной ПС будет установлено 3 сухих трансформатора: мощностью 400 кВА – 1 шт, мощностью 1000 кВА – 2 шт классом напряжения 10/0,4 кВ. Кирпичное здание ПС имеет размеры 6 х 6 х 4м. Трансформаторы произведены на ЗАО «Энергомаш (Екатеринбург) – Уралэлектротяжмаш» [4].

Силовые трансформаторы с литой изоляцией предназначены для распределительных подстанций для внутренней установки. Обладают высокой механической и термической прочностью. Материал обмоток – алюминий. Магнитопровод изготовлен из листов холоднокатаной электротехнической стали по технологии «Step-lap», позволяющей значительно снизить уровень шума. Обмотки низшего напряжения намотаны из алюминиевой ленты с изоляцией между витками, пропитаны смолой. Обмотки высшего напряжения капсулированного типа выполнены методом литья в вакууме на основе многокомпонентной смолы. Охлаждение – естественное воздушное. Степень защиты от IP00 до IP 23. Кожух имеет вентиляционные отверстия для охлаждения.

Регламентируемой шумовой характеристикой для трансформаторов является скорректированный уровень звуковой мощности $L_{РА}$, дБА, который указывается в технических характеристиках трансформатора. Для сухих трансформаторов номинальной мощностью 400 кВА скорректированный уровень звуковой мощности составляет 68 дБА, номинальной мощностью 1000 кВА – 74 дБА.

Уровень звукового давления L , дБ, в помещении с несколькими источниками шума определяли по формуле [2]:

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{10^{0,1L_{wi}} \cdot \chi_i \Phi_i}{\Omega \cdot r_i^2} + \frac{4}{kV} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{wi}} \right),$$

где L_w – октавный уровень звуковой мощности, дБ;

χ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля;

Φ – фактор направленности источника шума;

Ω – пространственный угол излучения источника, рад;

r – расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м;

k – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении.

V – акустическая постоянная помещения, m^2 , определяемая по формуле

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{ср}}}$$

где $\alpha_{\text{ср}}$ – средний коэффициент звукопоглощения,

A – эквивалентная площадь звукопоглощения, м^2 , определяемая по формуле:

$$A = \alpha_i * S_i$$

α_i – коэффициент звукопоглощения i -й поверхности;

S_i – площадь i -й поверхности, м^2 ;

Для расчета приняты следующие значения в соответствии с [2]: $\chi = 2$, $\Phi = 1$, $\Omega = 2\pi$, $r = 1\text{м}$, $k = 1,25$, $\alpha_{\text{ср}} = 0,15$, $S = 64\text{м}^2$, $A = 9,6\text{м}^2$, $B = 11,3\text{ м}^2$.

В результате расчета получается величина шума внутри здания ПС, которая равна $L = 75,3$ дБА.

Далее определяли уровень звуковой мощности шума $L_w^{\text{шп}}$, дБ, прошедшей через ограждение на территорию, по формуле:

$$L_w^{\text{шп}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{wi}} - 10 \lg B_{\text{ш}} - 10 \lg k + 10 \lg S - R$$

где L_{wi} – уровень звуковой мощности i -го источника, дБА;

$B_{\text{ш}}$ – акустическая постоянная помещения с источником (источниками) шума, м^2 ;

S – площадь ограждения, м^2 ;

R – изоляция воздушного шума ограждением, дБА.

Для расчета приняты следующие значения: $L_{wi} = 80$ дБА, $B_{\text{ш}} = 11,3\text{ м}^2$, $S = 24\text{м}^2$, $R = 47$ дБ согласно [2] уменьшение шума 15-сантиметровой оштукатуренной стены в полкирпича.

В результате расчета получается, что величина шума с наружной стороны здания ПС составляет $L_w^{\text{шп}} = 30,6$ дБА.

Допустимый уровень шума на территории, прилегающей к зданию университета, согласно санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», составляет 55 дБА.

Выводы

Таким образом, шум, создаваемый устанавливаемой трансформаторной ПС 10/0,4 кВ, будет ниже допустимого для территории, непосредственно прилегающей к университету. Поэтому специальных мероприятий по снижению шума не требуется.

Список литературы

1. Лазароу Д. Ф., Бикир Н. Шум электрических машин и трансформаторов: Пер. с рум. – М.: Энергия, 1973. – 271 с.
2. СНиП 23.03.2003 "Защита от шума".
3. Тупов В. Б. Снижение шума от энергетического оборудования. – М.: Изд-во МЭИ, 2005 . – 232 с
4. Уралэлектротяжмаш Энергомаш – Екатеринбург [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.uetm.ru> (дата обращения: 15.09.2012).
5. Шубов И. Г. Шум и вибрация электрических машин / И. Г. Шубов . – 2-е изд., перераб. и доп . – Л. : Энергоатомиздат, 1986 . – 208 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (госконтракт № 16.526.12.6016 от 11.10.2011 г.).

Рецензенты:

Алтунин Борис Юрьевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теоретические основы электротехники» Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева (НГТУ), г. Нижний Новгород.

Михаленко Михаил Григорьевич, д.т.н., профессор, декан Инженерного физико-химического факультета, НГТУ им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.