

Из спектра вибрации видно, что повышенный уровень вибрации наблюдается в диапазоне выше 3000 Гц. До 3000 Гц уровень вибрации находится в норме и не превышает допустимого значения.

В результате диагностирования было выявлено, что причиной повышенной вибрации является неправильный монтаж автотрансформаторов.

Аналогичная ситуация наблюдается и в автотрансформаторе на ПС «Светлогорск-220» (рис. 3).

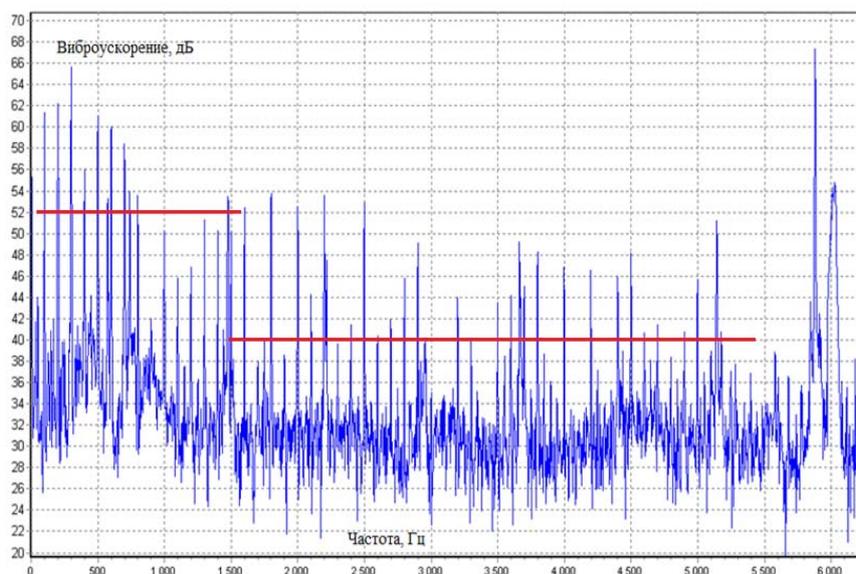


Рис. 3. Виброграмма автотрансформатора на ПС «Светлогорск-220»

В данном случае повышенный уровень вибрации наблюдается при 5000 Гц. Результаты исследования показали, что причиной вибрации является старение оборудования.

Видно, что дефекты по итогам диагностирования были выявлены в диапазоне выше 1000 Гц, что не соответствует той частоте (1000 Гц), в которой производят исследования большая часть исследователей.

Можно сделать вывод, что необходимо пересмотреть методику выполнения вибродиагностирования (диапазон исследований), что позволит выявлять дефекты более точно и устранять их до того момента, как трансформаторы и автотрансформаторы выйдут из строя.

## **ВЫБОР СЕЧЕНИЯ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ С УЧЕТОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА ТОКАМИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК**

**А. С. Ходько**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. А. Рудченко

Проблема качества электроэнергии (КЭ) потребителей в системах электроснабжения (СЭС) относится к числу важнейших проблем современной электроэнергетики. От ее решения во многом зависит повышение эффективности использования электроэнергии и надежности энергообеспечения потребителей.

Разработка основных направлений повышения энергоэффективности СЭС связана с определением причин нерационального использования электроэнергии и резервов энергосбережения, в частности его потенциала. Внедрение мероприятий по энергосбережению в СЭС, которые содержат значительное количество нелинейных и нестационарных потребителей, предусматривает обеспечение заданных уровней КЭ в системах. Это связано с тем, что снижение КЭ в СЭС приводит к нарушению технологических режимов, возрастанию уровней потребления активной и реактивной мощностей, потерям активной энергии, сокращению срока службы и снижению коэффициента мощности системы и, соответственно, производительности электрического оборудования [1].

Качество электроэнергии является существенным фактором, влияющим на эффективность режимов энергосистемы и потребителей. Проблема обеспечения КЭ в электрических сетях общего и специального назначения приобрела в последнее десятилетие особую актуальность. Внедрение новых прогрессивных технологических процессов и систем и, как следствие, непрерывный рост числа и мощности нелинейных, несимметричных и быстроизменяющихся потребителей электроэнергии, средств цифровой техники вызывает проблему с нагревом от высших гармоник.

Проблема высших гармоник особенно остро проявляется и имеет свои особенности в сетях низкого напряжения (НН). С одной стороны, в настоящее время в низковольтных сетях жилых и общественных зданий широко распространены и непрерывно возрастают в количестве сравнительно маломощные нелинейные электроприемники, такие, как, средства компьютерной техники, телекоммуникационная аппаратура, аудио- и видеотехника, современные бытовые электроприборы и т. д. Несмотря на небольшую мощность каждого из этих потребителей электроэнергии, их массовое применение является причиной значительных искажений синусоидальности кривых напряжений в сетях НН. С другой стороны, именно в низковольтных сетях получили распространение ответственные электропотребители, отличающиеся повышенной чувствительностью к воздействию высших гармоник, которое приводит к существенному технико-экономическому ущербу.

Устройства и системы, порождающие гармоники, имеются во всех секторах экономики: в промышленности, коммерческом секторе и жилищном хозяйстве. Гармоники порождаются нелинейными нагрузками, т. е. нагрузками, потребляющими ток с формой волны, отличающейся от формы волны питающего напряжения [2].

Примеры нелинейных нагрузок:

- промышленное оборудование (сварочные машины, электродуговые печи, индукционные печи и выпрямители);
- преобразователи частоты для асинхронных двигателей или двигателей постоянного тока;
- источники бесперебойного питания;
- офисное оборудование (компьютеры, фотокопировальные машины, факсимильные аппараты и др.);
- бытовые электроприборы (телевизоры, микроволновые печи, люминесцентные лампы).

Гармоники тока в линиях приводят к дополнительным потерям электроэнергии и напряжения. Дополнительные потери в кабелях силовой сети, приводящие к повышению температуры проводников, при наличии высших гармоник тока вызываются следующими основными причинами:

- увеличением действующего значения негармонического тока;

- увеличением активного сопротивления проводника из-за скин-эффекта;
- увеличением потерь в диэлектрике изоляции кабеля.

В кабельных линиях гармоники напряжения увеличивают воздействие на диэлектрик пропорционально увеличению максимального значения амплитуды. Это, в свою очередь, увеличивает число повреждений кабеля и стоимость ремонтов. В линиях сверхвысокого напряжения гармоники напряжения по той же причине могут вызывать увеличение потерь на корону.

Высшие гармоники тока, кратные трем, определяющие высокое значение коэффициента амплитуды и генерируемые однофазными нагрузками, имеют специфическое результирующее воздействие в трехфазных системах. В сбалансированной (симметричной) трехфазной системе гармонические (синусоидальные) токи во всех трех фазах сдвинуты на 120 градусов по отношению друг к другу, и в результате сумма токов в нейтральном проводнике равна нулю. Следовательно, не возникает и падения напряжения на проводнике нейтрали в кабеле.

Это утверждение остается справедливым для большинства гармоник. Однако некоторые из них имеют направление вращения вектора тока в ту же сторону, что и основная гармоника (первая, «фундаментальная», т. е. 50 Гц), т. е. они имеют прямую последовательность. Другие же вращаются в обратном направлении и, таким образом, имеют обратную последовательность.

В трехфазных цепях они сдвинуты на 360 градусов друг к другу, совпадают по фазе и образуют нулевую последовательность. Нечетные гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали (рис. 1).

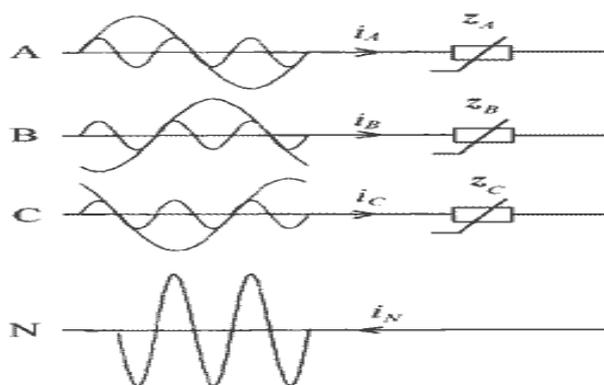


Рис. 1. Процесс формирования тока нейтрали при нелинейной нагрузке

Общий ток в нейтрали может превышать фазные токи:

$$I_N = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots}$$

Так, например, при фазных токах, равных 37 А, ток нейтрали составляет 55 А при частоте, равной 150 Гц [3]. Неправильно спроектированные четырехпроводные кабели трехфазных сетей могут перегреваться вплоть до воспламенения, подтверждая тем самым необходимость увеличения сечения проводников нейтрали трехфазных кабелей сети электропитания компьютерного оборудования. Гармоники, кратные третьей, приводят к падениям напряжения как в нейтрали, так и в фазных проводниках, вызывая искажения формы напряжения на других нагрузках, подключенных к этой сети.

Кроме указанного выше, в межфазных напряжениях трехфазной сети будут отсутствовать гармоники, кратные трем, в связи с чем соотношение между фазным и междуфазным напряжениями при несинусоидальном токе становится меньше, чем  $\sqrt{3}$ .

Высшие гармоники оказывают неблагоприятное воздействие на состояние электроизоляционных материалов – повышение температуры. При увеличении температуры изоляции ускоряются химические реакции, протекающие в материалах изоляции, усиливаемые внутренними неоднородностями, воздействием окружающей среды, поглощенной влагой [4]. Все это снижает электрофизические свойства изоляции, что может привести к пробоем изоляционного промежутка или механическому разрушению изоляции.

Негативное действие на изоляцию повышенных температур подтверждается известным правилом Миннезингера, используемым для выполнения экстраполяции результатов ускоренно проводимых испытаний на нагревостойкость: увеличение нормативной температуры на каждые 8 °С (так называемое «восьмиградусное правило») сокращает тепловой срок службы изоляции в два раза. Это является обоснованием вывода о значительном влиянии температуры нагрева изоляции, особенно превышения нормально допустимых значений, на срок ее эксплуатации и в конечном итоге на показатели надежности работы кабельных линий. Таким образом, контроль значений температуры нагрева изоляции позволяет получать обоснованную оценку состояния кабелей различного класса напряжения.

В результате, с учетом того, что они составляют большую долю в действующем значении фазных токов, общий ток в нейтрали может превышать фазные токи.

В связи с этим необходимо произвести расчет предельно допустимых токов для четырехжильного кабеля напряжением до 1 кВ для уточнения сечений кабеля при наличии в токах гармоник высшего порядка.

#### Литература

1. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий / И. В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.
2. Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Бодер ; пер. с англ. Е. А. Васильченко. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
3. Капустин, В. М. Компьютеры и трехфазная электрическая сеть / В. М. Капустин, А. А. Лопухин // Современные технологии автоматизации – СТА. – 1997. – № 2. – С. 104–108.
4. Ушаков, В. Я. Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты / В. Я. Ушаков. – СПб. : Томск, 2008. – 469 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПОРА ВЕТРА НА ПРОВОДА ВОЗДУШНЫХ ЛЭП МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Э. Ж. Серкенов

*Рудненский индустриальный институт, Республика Казахстан*

Научный руководитель А. И. Барулин

Надежность работы воздушных линий электропередач зависит от многих факторов: конструкции опор, типов проводов, сроков эксплуатации, климатических условий и др. Сейчас для оценки надежности электрических сетей используются справочные показатели надежности. Однако они не являются универсальными для разных регионов, сезонов года и т. д. Поэтому результаты расчета не могут достоверно отображать реальную ситуацию и, соответственно, обоснованно проводиться мероприятия по повышению надежности электроснабжения и снижению аварийных режимов.