УДК 621.316.94

**Я.Э.ШКЛЯРСКИЙ,** *д-р техн. наук, профессор, js-10@mail.ru*
**А.Н.СКАМЬИН**, *аспирант, askamin@yandex.ru*
*Санкт-Петербургский государственный горный институт* (*технический университет*)

**Y.E.SHKLYARSKY,** *Dr. in eng. sc., professor, js-10@mail.ru*
**A.N.SKAMIN**, *post-graduate student, askamin@yandex.ru*
*Saint Petersburg State Mining Institute* (*Technical University*)

# СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА РАБОТУ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В работе проведен краткий анализ методов уменьшения влияния высших гармоник на работу электрооборудования. Предлагается производить выбор способа снижения перегрузок конденсаторных батарей токами высших гармоник в зависимости от факторов их возникновения. Разработана методика выбора наиболее эффективного способа уменьшения влияния высших гармоник на работу конденсаторных установок.

***Ключевые слова:*** высшие гармоники, метод, перегрузка, конденсаторные батареи, реакторы, электрооборудование, нагрузка, качество электрической энергии.

# REDUCTION METHODS OF HIGH HARMONICS INFLUENCE ON THE ELECTRIC EQUIPMENT OPERATION

This work contains brief analysis of high harmonics reduction methods. It is offered to make a choice between reduction methods of high harmonics influence on condenser batteries depending on factors of harmonics occurrence. Definition algorithm for the most effective method of high harmonics reduction on condenser batteries operation is created.

***Key words:*** high harmonics, method, overloading, condenser batteries, reactors, electric equipment, load, power quality.

В настоящее время все большую актуальность приобретает проблема повышения качества электрической энергии на предприятии. Нерациональное управление потоками реактивной мощности, низкая надежность электротехнического комплекса предприятия, наличие высших гармоник в сети приводят к увеличению оплаты за электроэнергию, затрат на техническое обслуживание и ремонт электрооборудования, ухудшению качества электроэнергии, как в системе, так и в сетях предприятия.

Становится все более очевидным, что резкое обострение проблемы качества электроэнергии в электрических сетях требует активного поиска новых путей ее решения и новых подходов к выбору соответствующих мероприятий. В связи с интенсивным распространением полупроводниковой преобразовательной техники одной из наиболее важных задач повышения качества электроэнергии является уменьшение влияния высших гармонических составляющих тока и напряжения на работу электрооборудования, прежде всего наиболее уязвимых в этом отношении конденсаторных батарей (КБ).

Традиционными способами снижения уровня высших гармоник в электротехническом комплексе предприятия являются применение фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), антигармонических реакто-

ров, активных фильтров, а также рациональное построение схемы электроснабжения, которое достаточно сложно осуществить в условиях действующего предприятия.

Активные фильтры – наиболее современное устройство не только для улучшения качества электроэнергии с точки зрения высших гармоник, но и для увеличения коэффициента мощности электрических сетей. Фильтры обладают двумя основными недостатками: высокая стоимость и отсутствие конструкций, удовлетворяющих условиям их работы в сетях 6-10 кВ.

Основным недостатком ФКУ является то, что установка фильтра, настроенного лишь на одну гармонику, не позволяет уменьшить гармонические искажения до желаемых пределов. Для компенсации нескольких гармоник устанавливается несколько фильтров, что приводит к увеличению стоимости оборудования.

Антигармонические реакторы, применяемые для защиты конденсаторных батарей от перегрузки токами высших гармоник, наиболее экономичное устройство, однако, в ряде случаев его применение не позволяет уменьшить гармонические искажения тока до желаемых пределов.

При выборе способа снижения влияния высших гармоник на КБ необходимо, прежде всего, проанализировать источник и природу их возникновения. Природа возникновения высших гармоник зависит от факторов, обусловленных работой электрооборудования как во внешней сети относительно ввода предприятия, так и в сети самого предприятия. На схеме замещения электрической сети для расчета значений высших гармоник внешний источник искажений относительно ввода предприятия обычно представляется совокупностью источников напряжения частотами от 1 до $n$ ($U_0$, $U_3$, …, $U_n$). Аналогично, источниками тока замещается нелинейная нагрузка самого предприятия, работа которой приводит к возникновению высших гармоник ($I_0$, $I_3$, …, $I_n$). Обобщенная схема замещения, объединяющая представленные выше варианты, показана на рис.1, где *ЛН* – эквивалентная линейная нагрузка предприятия, *Хс* – сопротивление системы.

В зависимости от факторов возникновения высших гармоник должен быть выбран способ снижения влияния высших гармоник на работу КБ. В случае применения активных фильтров и ФКУ природа возникновения высших гармоник практически не влияет на выбор их параметров.

То же касается способа, разработанного авторами*. Как и в предыдущих способах, безразлично – каким образом образовались высшие гармоники, так как решается задача выбора такой мощности КБ при известном спектре высших гармоник в напряжении, при которой будет выполнена задача компенсации реактивной мощности по заданному критерию без перегрузок КБ. Здесь следует отметить, что такой способ реален, но не всегда выполним.

В работе** предлагается размещать дополнительные реакторы в электрической сети предприятия для снижения влияния высших гармоник на КБ. Способ основан на изменении амплитудно-частотной характеристики узла сети относительно КБ с помощью размещения дополнительных реакторов, изменяющих АЧХ узла. При этом важную роль играют факторы возникновения высших гармоник, и соответственно схема замещения сети. Так, при наличии внешнего источника искажений относительно ввода предприятия, предлагается увеличивать сопротивление системы, что приводит к ос-

---

* *Шклярский Я.Э.* К вопросу о снижении перегрузок конденсаторных батарей токами высших гармоник / Я.Э.Шклярский, А.Н.Скамьин, А.В.Круглов // Труды 8-й Международной научно-практической конференции «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения». Воркута, 2010. С. 404-407.

*Shklyarsky Y.E.* Reduction of condenser batteries overloads / Y.E.Shklyarsky, A.N.Skamin, A.V.Kruglov // Works of 8th international conference «Development of North mineral resources». Vorkuta, 2010. P.404-407.

*Шклярский Я.Э.* Уменьшение влияния высших гармоник на работу электротехнического комплекса горного предприятия / Я.Э.Шклярский, А.Н.Скамьин, Д.А.Ситников // Записки Горного института. СПб, 2008. Т.178. С.162-165.

*Shklyarsky Y.E.* Reduction of high harmonics influence on electrotechnical complex operation of mining enterprise / Y.E.Shklyarsky, A.N.Skamin, D.A.Sitnikov // Notes of mining institute. Saint Petersburg, 2008. V.178. P.162-165.

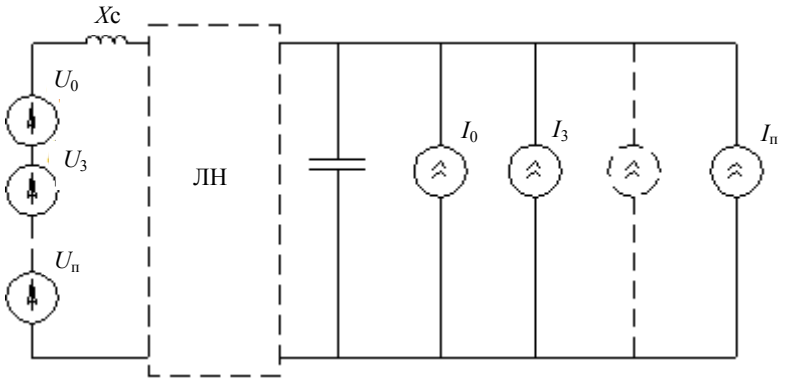



Рис.1. Обобщенная схема замещения для расчета высших гармоник

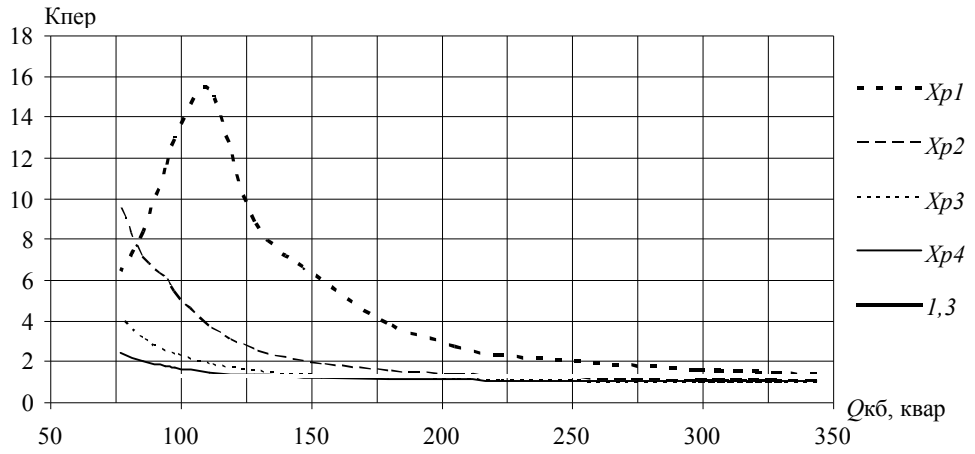



Рис.2. Зависимость коэффициента перегрузки КБ от величины компенсированной реактивной мощности

лаблению высших гармоник, проникающих в сеть предприятия. В случае возникновения искажений при работе нагрузки самого предприятия очевидно, что при увеличении сопротивления системы возникает большее падение напряжения от несинусоидального тока, генерируемого нелинейной нагрузкой. Следовательно, увеличивается несинусоидальность напряжения в сети предприятия. В этом случае предлагается применять ограничивающий реактор непосредственно перед КБ.

Представленные заключения были получены на основе теоретических исследований. Отметим, что разработки, представленные в работах, существенно экономичнее с точки зрении затрат, чем применение ФКУ и активных фильтров.

С целью подтверждения выводов, представленных выше, были проведены экспериментальные исследования на производстве. На промышленном предприятии были произведены измерения коэффициента несинусоидальности и определен спектральный состав тока и напряжения сети. Было установлено, что возникновение высших гармоник в сети предприятия обусловлено работой нелинейной нагрузки во внешней сети относительно ввода предприятия. По результатам математического моделирования, согласно соответствующей схеме замещения, была построена зависимость коэффициента перегрузки КБ от мощности компенсирующих устройств, сопротивления системы и мощности нагрузки предприятия, представленная на рис.2, где *Xpi* – дополнительно размещенные реакторы на входе сети предприятия, принимающие различные значения по сопротивлению.

Определено, согласно результатам расчета, что установка дополнительных реакторов в электрической сети промышленного

предприятия позволяет обеспечить эффективное снижение потребления реактивной мощности и отсутствие перегрузок в сети от высших гармоник. Для этого случая были выбраны параметры реакторов для инсталляции на предприятии.

Суммируя результаты представленных исследований, появилась возможность создать методику по уменьшению влияния высших гармонических составляющих напряжения и тока на электрооборудование в зависимости от природы их возникновения при условии эффективной компенсации реактивной мощности. Алгоритм методики представлен ниже:

1. Определяется источник высших гармоник. При наличии высших гармоник со стороны источника и со стороны приемника определяется доля их влияния;

2. Производится выбор мощности компенсирующих устройств с максимально возможным ограничением влияния высших гармоник до допустимых пределов при обеспечении максимального коэффициента мощности;

3. Если компенсирующие устройства не позволяют достичь желаемого результата, то:

- в случае преобладания высших гармоник со стороны источника выбирается реактор на входе сети;
- в случае преобладания высших гармоник со стороны приемника выбираются параметры устройства, уменьшающего сопротивление сети, а при недостаточной его эффективности дополнительно выбираются реакторы, размещение в сети и параметры которых определяются решением вариационной задачи.

4. В случае соизмеримости влияния высших гармоник со стороны источника и приемника, решается вариационная задача по п.3.

5. В случае получения неудовлетворительных результатов применения пунктов 2-4, должны быть применены ФКУ или активные фильтры.

На основе проведенных теоретических исследований была разработана методика выбора наиболее эффективного способа уменьшения влияния высших гармоник на работу КБ. Теоретические расчеты полностью подтвердили справедливость применения разработанной методики на промышленном предприятии.