

Я.Э. Шклярский, А.Н. Скамьин

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

У статті запропонована структура системи компенсації реактивної потужності при наявності вищих гармонік, що виникають як з боку зовнішнього джерела щодо вводу підприємства, так і з боку самого підприємства. Ефективність застосування методики вибору параметрів системи компенсації реактивної потужності за наявності гармонійних викривлень в напрузі і струмі підтверджується експериментальними дослідженнями на промисловому підприємстві.

В статье предложена структура системы компенсации реактивной мощности при наличии высших гармоник, возникающих как со стороны внешнего источника относительно ввода предприятия, так и со стороны самого предприятия. Эффективность применения методики выбора параметров системы компенсации реактивной мощности при наличии гармонических искажений в напряжении и токе подтверждается экспериментальными исследованиями на промышленном предприятии.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным распространением полупроводниковой преобразовательной техники одной из наиболее важных задач повышения качества электроэнергии является уменьшение влияния высших гармоник на работу электрооборудования, прежде всего наиболее уязвимых в этом отношении конденсаторных батарей (КБ).

В настоящее время все большее внимание уделяется разработке технических средств компенсации высших гармоник, основанных на применении силовой преобразовательной техники. Такие средства позволяют не только повышать качество электроэнергии в электрических сетях, но и с высоким быстродействием управлять потоками реактивной мощности. Активные фильтры, например, позволяют повышать коэффициент мощности сети и компенсировать гармонические искажения в напряжении и токе. Однако, отсутствие конструкций, удовлетворяющих условиям их работы в сетях 6-10 кВ, высокая цена и малая информативность об электромагнитной совместимости с уже установленными на предприятиях КБ, приводят к поиску решения задачи уменьшения уровня высших гармоник на основе более простых и менее дорогостоящих устройств и способов. Конструкцию частотных электроприводов комплектуют таким образом, чтобы искажения в питающей сети были минимальны и удовлетворяли требованиям ГОСТ. В этом случае недостаток заключается в высокой стоимости такого оборудования. Кроме этого, отсутствие исследований по влиянию высших гармоник, создаваемых преобразователями частоты, на сам электропривод может негативно сказываться на характеристиках его работы.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью статьи является разработка структуры системы компенсации реактивной мощности на основе новых алгоритмов и методов снижения влияния высших гармоник на конденсаторные установки с учетом различных условий возникновения гармонических искажений.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

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, \dots, U_n). Аналогично, источниками тока замещается нелинейная нагрузка самого предприятия, работа которой приводит к возникновению высших гармоник (I_0, I_3, \dots, I_n). Обобщенная схема замещения, объединяющая представленные выше варианты, показана на рис. 1, где $ЛН$ – эквивалентная линейная нагрузка предприятия, X_s – сопротивление системы.

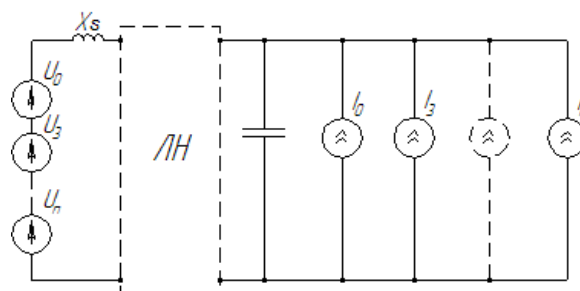


Рис. 1. Обобщенная схема замещения для расчета высших гармоник

В зависимости от факторов возникновения высших гармоник должен быть выбран метод 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.

В работе [1] рассмотрены методы и алгоритмы компенсации гармонических искажений при различ-

© Шклярский Я.Э., Скамьин А.Н.

ных условиях возникновения искажений как раз исходя из условий простоты реализации и отсутствия дорогостоящих элементов силовой преобразовательной техники. Предлагается проводить выбор параметров компенсирующих устройств в зависимости от мощности нагрузки, КБ, спектрального состава высших гармоник, а также параметров электрической сети для обеспечения работы конденсаторов без перегрузок токами высших гармоник при условии максимального коэффициента мощности сети. В условиях сложных разветвленных электрических сетей с резкопеременной электрической нагрузкой такой способ не всегда выполним. Однако, на предприятиях с неизменной нагрузкой, например, обогатительных фабриках, нефтеперерабатывающих заводах, для ограничения уровня высших гармоник на конденсаторах такой способ следует применять в первую очередь.

Другой способ ограничения уровня высших гармоник основан на изменении амплитудно-частотной характеристики узла сети относительно КБ путем размещения в электрической сети дополнительных реакторов. В этом случае важную роль играют факторы возникновения высших гармоник исходя из наличия нелинейной нагрузки в сети исследуемого электротехнического комплекса, либо во внешней сети относительно ввода предприятия.

На основе разработанных в [1] алгоритмов выбора мощности КБ и выбора параметров дополнительных устройств для снижения влияния высших гармоник на компенсирующие устройства был синтезирован алгоритм, позволяющий проводить выбор структуры системы компенсации реактивной мощности с применением КБ, обеспечивающий при этом ограничение уровня гармонических искажений до допустимых ГОСТ пределов (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм выбора структуры системы компенсации реактивной мощности, где K_i – коэффициент перегрузки, K_i – допустимый коэффициент перегрузки

Структура содержит:

1. Исследование схемы электрической сети с определением диапазона возможного варьирования

нагрузки предприятия.

2. Исследование условий возникновения высших гармоник в напряжении и токе и их спектральный анализ.

3. Последовательность выбора средств компенсации высших гармоник с усложнением конфигурации системы компенсации реактивной мощности до тех пор, пока не будут обеспечены условия максимального коэффициента мощности сети и электромагнитной совместимости всех элементов комплекса.

В качестве критерия выбора дополнительных устройств были выбраны капитальные затраты на электрооборудование при условии обеспечения нормативных показателей функционирования КБ и электромагнитной совместимости работы электрооборудования. Капитальные затраты являются объективным показателем эффективности при сравнении различных вариантов оборудования. Простейшей конфигурацией средств снижения уровня высших гармоник на конденсаторах является подбор мощности КБ. Капитальные затраты на электрооборудование при таком способе отсутствуют, либо возникают только в том случае, если необходимо увеличивать мощность конденсаторной установки. Однако это нецелесообразно, так как в этом случае происходит перекомпенсация реактивной мощности, что приводит к увеличению суммарных потерь мощности и энергии в электрической сети. Последовательность отбора дополнительных устройств в составе структуры системы компенсации реактивной мощности определяется следующим образом: выбор мощности КБ; варьирование сопротивления системы; совместное изменение мощности КБ и сопротивления системы; размещение дополнительных реакторов; установка дополнительных реакторов с варьированием мощности КБ и сопротивления системы; применение фильтрокомпенсирующих устройств и активных фильтров.

Эффективность разработанного алгоритма подтверждается экспериментальными исследованиями на промышленном предприятии в Ленинградской области РФ. В электрической сети предприятия установлены регулируемые КБ мощностью 600 квар, на работу которых значительное влияние оказывают гармонические искажения, возникающие со стороны внешнего источника относительно ввода предприятия.

С помощью анализатора качества электроэнергии Fluke 43В был получен спектральный состав тока на КБ, представленный на рис. 3.

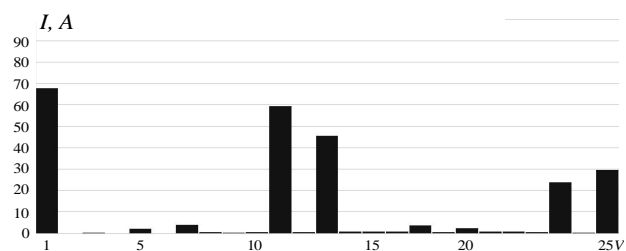


Рис. 3. Спектральный состав тока на КБ, где I – действующее значение тока, v – порядок гармоник

Перегрузка КБ токами высших гармоник достигает 70 %, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения составляет 13 %.

Согласно разработанной структуре системы компенсации реактивной мощности при наличии гармонических искажений был осуществлен последовательный выбор средств снижения уровня высших гармоник. Однако варьирование мощности КБ не приводит к требуемому результату. Тогда на следующем этапе разработанной структуры предполагается разместить реактор на входе сети. По результатам математического моделирования, согласно соответствующей схеме замещения, была построена зависимость коэффициента перегрузки КБ от мощности компенсирующих устройств и сопротивления системы, представленная на рис. 4, где X_{p1} – сопротивление дополнительно размещенного реактора на входе сети предприятия.

Из графиков видно, что коэффициент перегрузки ($K_{пер}$) компенсирующих устройств при заданном диапазоне изменения мощности нагрузки и КБ заметно снижается при увеличении сопротивления дополнительного реактора на входе электрической сети. Увеличение сопротивления реактора осуществляется исходя из условия поддержания допустимых уровней напряжения в электрической сети.

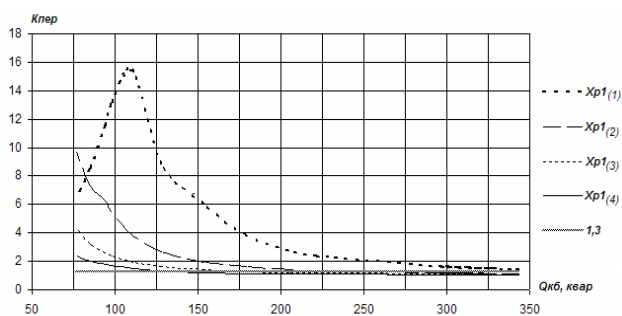


Рис. 4. Зависимость коэффициента перегрузки КБ от величины компенсирующей реактивной мощности

По методу варьирования были определены параметры реактора X_{p1} , обеспечивающие соответствие коэффициента перегрузки КБ нормативному значению. На предприятии был изготовлен и установлен реактор на входе электрической сети.

В результате применения дополнительного реактора перегрузка КБ снизилась до 20 %, что подтверждает спектральный состав тока на КБ, полученный после установки реактора (рис. 5). Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения составил около 5 %.

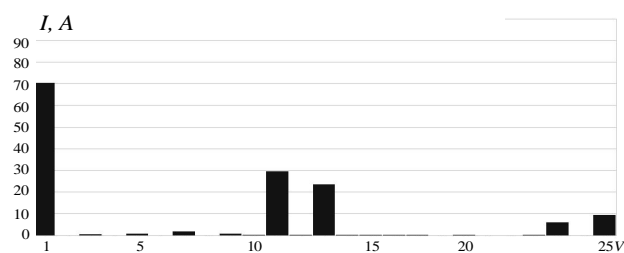


Рис. 5. Спектральный состав тока на КБ после установки реактора

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработанный алгоритм выбора структуры системы компенсации реактивной мощности при наличии высших гармоник обеспечивает соответствие величины коэффициента перегрузки КБ нормативному значению при условии эффективной компенсации реактивной мощности и соблюдении электромагнитной совместимости работы электротехнического комплекса, выраженной, прежде всего, в поддержании допустимых уровней напряжения в электрической сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скамын А.Н. Алгоритмы выбора средств компенсации высших гармоник в сетях горного предприятия // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 2012. – № 8. – С. 44-48.

Bibliography (transliterated): 1. Skam'in A.N. Algoritmy vybora sredstv kompensacii vysshih harmonik v setyah gornogo predpriyatiya // Izvestiya VUZov. Gornyj zhurnal. - 2012. - № 8. - S. 44-48.

Поступила 23.10.2012

Шклярский Ярослав Элиевич, д.т.н., профессор
Скамын Александр Николаевич, к.т.н.

Национальный минерально-сырьевой университет "Горный"
кафедра электротехники, электроэнергетики, электромеханики
199106, Россия, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2
тел. 8 (812) 3288667, e-mail: askamin@yandex.ru

Shklyarskiy Y.E., Skamin A.N.

Industrial research into high harmonic influence on compensation devices.

This work introduces the structure of a reactive power compensation system under high harmonics arising from both external nonlinear load and internal nonlinear load of an industrial enterprise. The efficiency of the system parameters definition algorithm in the presence of high harmonics is verified with experimental research at an industrial enterprise.

Key words – high harmonics, overload factor, condenser batteries, reactive power, nonlinear load, quality of electric power.