

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Сатаров А.К.,

Научный руководитель д.т.н., профессор Довгун В.П.

Сибирский федеральный университет

Институт космических и информационных технологий

В сетях электроэнергии, в пределах от промышленной электросети до зданий офисов, происходят искажения сети при работе электронными и электрическими нагрузками. Мы рассмотрим искажения электрической сети, когда происходят изменения формы «идеальной» синусоиды напряжения и тока от осветительной нагрузки. Искажения электрической сети приводят к дополнительным затратам и должны быть ограничены. Несинусоидальные напряжения и токи оказывают неблагоприятное влияние на эффективность работы электрооборудования, создавая дополнительные потери, сокращая срок службы изоляции, вызывая перегрузку нулевых проводников токами третьей гармоники.

Важная особенность осветительных нагрузок заключается в том, что в спектре тока доминирующими являются 3-я и 5-я гармоники. В зависимости от типа ламп относительное значение тока третьей гармоники может составлять от 4 до 18-19% тока основной гармоники. Серьезной проблемой таких систем являются большие уровни токов нейтрального провода даже при симметричной нагрузке. Основную долю тока нейтрального провода составляют токи третьей гармоники. Большие уровни токов третьей гармоники приводит к дополнительному нагреву обмоток трансформаторов, повреждению их изоляции и сокращению сроков эксплуатации. При использовании фильтров, рассчитанных по предлагаемой методике, удастся избежать перегрузки нейтрального провода систем освещения.

Из осветительных установок экспериментально исследовались светильники с индуктивным балластом в составе двух и четырех люминесцентных ламп (ЛЛ) фирмы Philips (по две лампы на один дроссель). Мощность каждой ЛЛ составляла 18 Вт. Частичная компенсация реактивной мощности (исходный коэффициент мощности равен 0,5) осуществлялась параллельным подключением к светильнику конденсатора ёмкостью 9 мкФ (заводская установка в светильнике). Анализ осциллограммы формы тока и его спектра, потребляемого пятнадцатью светильниками этого типа рисунок 1, показывает, что в токе присутствуют ВГ с третьей по пятнадцатую с доминированием третьей, пятой и седьмой гармоник. [2]

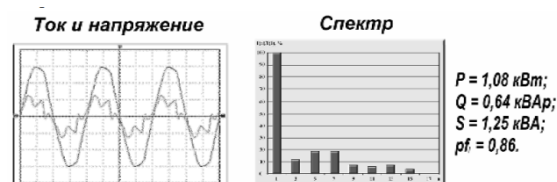


Рисунок 1 – Осциллограммы тока и напряжения и спектр тока осветительных установок с люминесцентными лампами с индуктивным балластом и емкостной компенсацией реактивной мощности учебного класса (15 четырёхламповых светильников (4x18) Вт)

Если доля нелинейной нагрузки превышает 15-20%, необходима установка специальных фильтрокомпенсирующих устройств.

В мире предлагают различные методы и решения, которые ограничивают синусоидальные токи, тем самым улучшают качество мощности. Диапазоны решений колеблются от пассивных гармонических – активных гармонических фильтров.

Пассивный фильтр гармоник (ПФГ) представляет частотно-селективную цепь, обеспечивающую подавление или ослабление высших гармоник, генерируемых нелинейной нагрузкой. Основными достоинствами пассивных фильтров являются их простота и экономичность. Они дешевы, не требуют регулярного обслуживания, могут осуществлять одновременно подавление гармоник и коррекцию коэффициента мощности. Благодаря своей простоте, экономичности и надежности пассивные фильтры гармоник являются самым распространенным видом фильтрокомпенсирующих устройств.

Существующие методы проектирования пассивных фильтров гармоник [1, 4, 5] заключаются в расчете параметров колебательных контуров, обеспечивающих подавление гармоник тока определенной частоты. Такие методы позволяют контролировать частотные характеристики только на частотах резонансов параллельных ветвей. Однако составной фильтр представляет сложную резонансную систему, в которой необходимо учитывать взаимное влияние ветвей фильтра и сопротивления питающей сети. Отдельные ветви фильтра образуют параллельные колебательные контуры с индуктивностью сети. Если частота параллельного резонанса совпадает с частотой одной из гармоник, амплитуда этой гармоники в сети может возрасти в несколько раз. Добавление каждого нового звена приводит возникновению еще одного параллельного колебательного

контура. Таким образом, при проектировании пассивных фильтрокомпенсирующих устройств важно контролировать частоты параллельных резонансов системы фильтр – питающая сеть.

Широкое использование ПФГ в сетях с нелинейными нагрузками требует разработки специального программного обеспечения для автоматизированного проектирования таких устройств.

В докладе рассмотрены алгоритм проектирования фильтрокомпенсирующих устройств для осветительной нагрузки. Для проектирования использован метод, основанный на представлении фильтра в виде реактивного четырехполюсника, нагруженного на сопротивление питающей сети [6]. Такой подход позволяет использовать при проектировании фильтра хорошо разработанные регулярные методы синтеза пассивных цепей. Устройство, спроектированное с помощью предлагаемого метода, выполняет одновременно функции компенсатора реактивной мощности основной гармоники и фильтра высших гармоник.

Процедура проектирования фильтра включает следующие шаги.

1. На первом шаге выполняется анализ спектрального состава несинусоидальных напряжений и токов, генерируемых нелинейной нагрузкой.

2. На основе данных, полученных на предыдущем шаге, формулируются требования к функции входного сопротивления $Z_{вх}(s)$, обеспечивающего требуемую амплитудно-частотную характеристику. Если проектируемый фильтр помимо подавления высших гармоник должен выполнять функции компенсации реактивной мощности на частоте основной гармоники, коэффициент H определяется из условия :

$$H = \frac{U_{\phi}^2}{QZ'_{вх}(j\omega)}$$

Осуществляется синтез реактивного четырехполюсника, реализующего сопротивление $Z_{вх}(s)$, определенное на предыдущем этапе. Нормированные значения элементов фильтра C_{i^*} , L_{i^*} . Затем производится денормирование значений элементов по отношению к частоте основной гармоники: $C_i = C_{i^*}/314$, $L_i = L_{i^*}/314$.

Литература

1. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий. – 4-е изд., М., Энергоатомиздат, 1994.
2. Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях. М.: Додэка-XXI, – 336 с Климов, В.П. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания / В.П. Климов, А.Д. Москалев. Web: <http://www.tensy.ru/article01.html>.
3. Das J. Passive filters – potentialities and limitations. IEEE trans. on industry applications, Vol. 40, No. 1, January/February 2004, pp. 232-241.
4. Phipps J. A transfer function approach to harmonic filter design. IEEE industry application magazine, March/April 1997, pp. 68-82.
5. Lin K-P., Lin M-H., Lin T-P. An advanced computer code for single-tuned harmonic filter design. IEEE trans. on industry applications, Vol. 34, No. 4, 1998, pp. 640-648.
6. Довгун В. П., Боярская Н. П., Новиков В. В. Синтез пассивных фильтрокомпенсирующих устройств. Изд. вузов. Проблемы энергетики. 2011, № 9-10, с. 31-39.