

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СРЕДЕ MATLAB

Егоров Д.Э.

**Научный руководитель: Довгун В.П., д.т.н., профессор
Сибирский федеральный университет**

Одной из главных причин ухудшения качества электроэнергии в распределительных сетях является увеличение числа потребителей с нелинейными вольт-амперными характеристиками, создающих при своей работе токи несинусоидальной формы. Такими потребителями являются импульсные источники питания, приводы электродвигателей с регулируемой скоростью вращения, осветительная нагрузка. Токи и напряжения несинусоидальной формы можно представить в виде суммы гармоник, частоты которых кратны основной частоте питающей сети.

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. Если доля нелинейной нагрузки превышает 15-20%, необходима установка специальных фильтрокомпенсирующих устройств – пассивных и активных фильтров гармоник.

Активный фильтр гармоник представляет собой коммутируемое устройство, выполняющее одновременно несколько функций: подавление высших гармоник, коррекцию коэффициента мощности, снижение фликкера. В качестве коммутируемых элементов в активных фильтрах используются преимущественно мощные МОП-транзисторы или биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). Принцип действия активных фильтров гармоник основан на том, что они генерируют токи или напряжения гармоник в противофазе с гармониками сети, и тем самым компенсируют искажения потребляемых токов. Серьезным недостатком активных фильтров гармоник является их высокая стоимость и сложность.

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 фильтров гармоник 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 и программа проектирования пассивных фильтров гармоник. Для расчета 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.

Блок-схема алгоритма проектирования ПФГ показана на рис. 1. Исходными данными для расчета являются напряжение сети, необходимая реактивная мощность ПФГ, частоты и действующие значения токов гармоник, частоты нулей и полюсов входного сопротивления фильтра $Z(s)$. Шаг 2 включает в себя формирование входного сопротивления $Z(s)$.

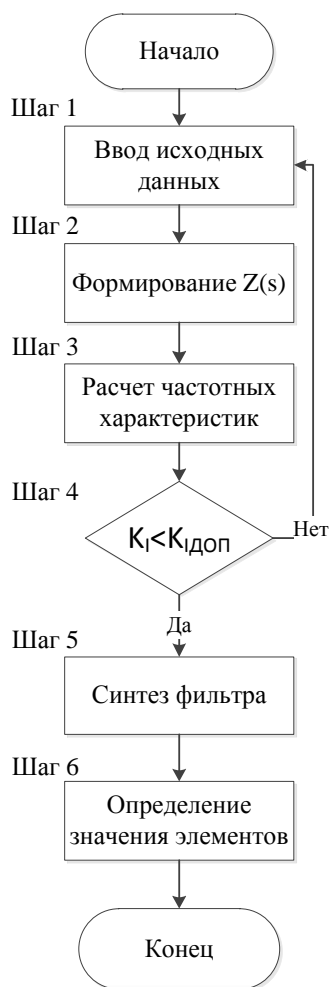


Рис. 1. Алгоритм проектирования ПФГ

На третьем шаге производится расчет частотных характеристик фильтра и определение коэффициентов искажения синусоидальности кривых тока и напряжения.

На Шаге 4 происходит проверка условия на удовлетворение расчетного коэффициента искажения требованиям ГОСТ 13109-97. Если требование не выполнено, то возвращаемся к Шагу 1. Если требования удовлетворены, то переходим к Шагу 5.

На пятом шаге осуществляется синтез структуры фильтра, реализующего входное сопротивление Z_{in} . Шаг 6 рассчитываются значения элементов фильтра и реактивная мощность звеньев.

Рассмотренный алгоритм использован в программе проектирования пассивных фильтрокомпенсирующих устройств, написанной на языке программирования пакета MATLAB.

Программа включает модуль ввода исходных данных, расчетный модуль и модуль вывода результатов расчета.

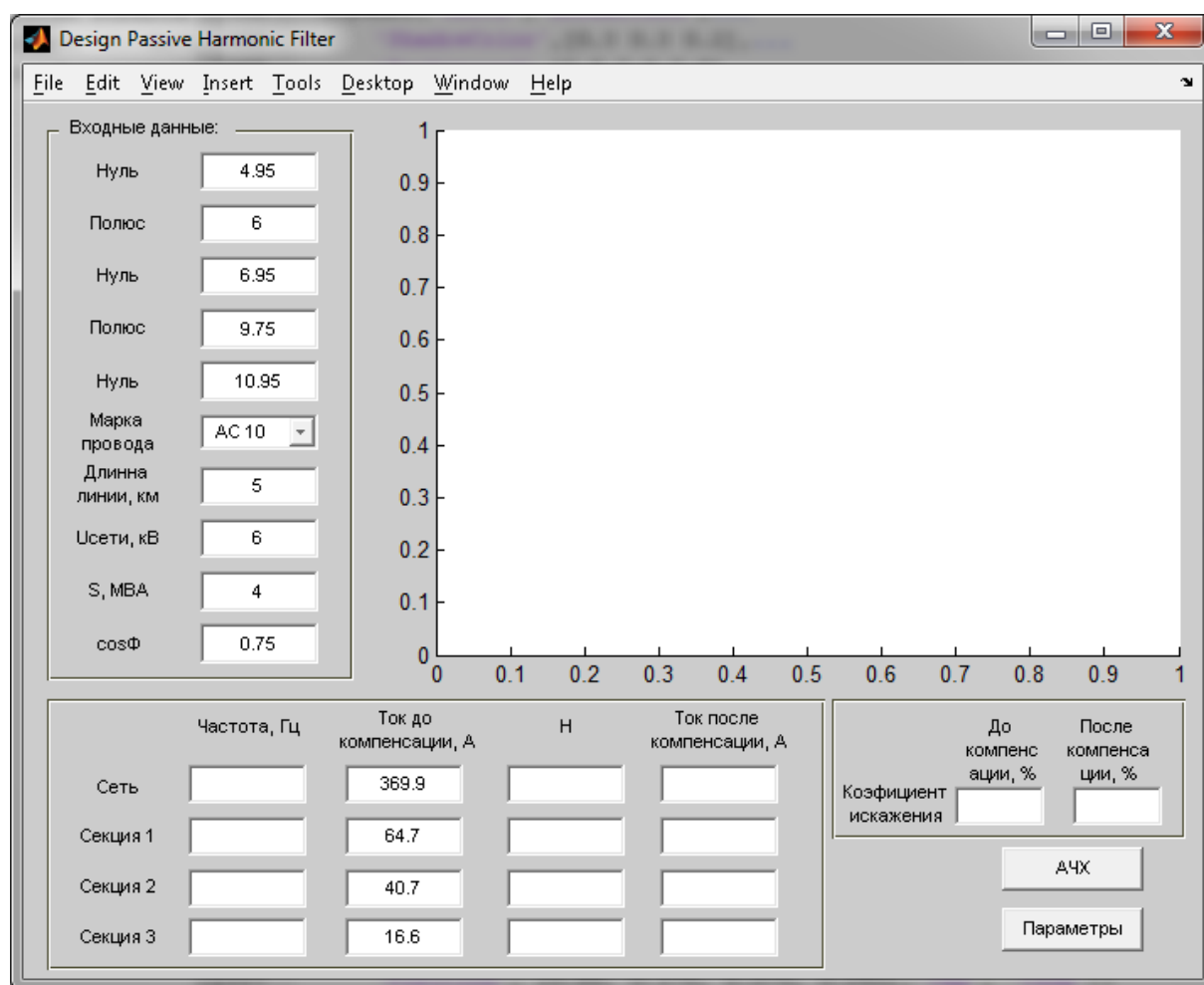


Рис 2. Основной интерфейс

Основной интерфейс программы показан на рис. 2. Он включает области для ввода исходных данных, в которых вводятся основные параметры сети и токи на интересующих частотах гармоник, а также графическое окно вывода частотной характеристики фильтра, на основе которой производится основной анализ для проектирования фильтра.

В дополнительном модуле производится вывод значений рассчитанных параметров фильтра, на основе которых производится рекомендация по выбору элементов фильтра (рис 3).

№ Звена	Li, мГн	Ci, мкФ	Qi, кВАр
Звено 1	5.5276	74.8846	-294.1708
Звено 2	5.8506	35.8901	-138.0927
Звено 3	6.4731	13.0678	-49.6536
Qsum, кВАр			-481.9171

Рис 3. Интерфейс с рассчитанными значениями элементов фильтра

Разработанная программа позволяет проектировать пассивные фильтрокомпенсирующие устройства состоящие из двух, трех, четырех и пяти звеньев, так же данная программа использована для проектирования фильтрокомпенсирующих устройств, для буровой установки БУ-2500, осуществляющих компенсацию реактивной мощности и подавление высших гармоник в электрических сетях с нелинейными нагрузками, тем самым способствуя увеличению пропускной способности питающей линии и увеличению срока службы оборудования.

Литература

1. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., М., Энергоатомиздат, 1994.
2. Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях. М.: Додэка-XXI, – 336 с
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. Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2011, № 9-10, с. 31-39.