

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ВЫБОРА ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СЕТЯХ 0,4 КВ С НЕЛИНЕЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Данилов В. Г., студ.; Бершадский И.А., проф., доц., д.т.н.

(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Ухудшение качества электроэнергии – одна из проблем современного электроснабжения. В России ГОСТ Р 54149-2010 регламентирует тринадцать показателей качества электроэнергии в электрических сетях общего назначения [1].

Сложившаяся сегодня практика регулирования качества электроэнергии, как правило, ограничивается контролем двух показателей: отклонение напряжения и частоты. При этом меньшее внимание уделяется нормированию показателей, связанных с высшими гармониками тока и напряжения.

Основными источниками гармоник искажений в сети являются нагрузки крупных промышленных потребителей с нелинейными вольтамперными характеристиками, создающих при своей работе токи несинусоидальной формы [2].

Но в последние годы наблюдается значительное ухудшение качества электроэнергии и в городских распределительных сетях 0,4 – 10 кВ. Это объясняется увеличением доли нелинейной нагрузки коммерческих и офисных потребителей.

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);
- некоторые устройства с магнитным насыщением (трансформаторы).

Ухудшение качества электроэнергии в распределительных сетях характерно для большинства развитых стран и приводит к серьезным отрицательным последствиям. Перечислим основные из них:

1. Увеличение потерь при передаче и распределении электроэнергии
2. Сокращение срока службы электрооборудования, повышение аварийности в кабельных сетях, вызванное ускоренным старением изоляции
3. Увеличение капитальных вложений, вызванное преждевременной заменой оборудования и необходимостью проведения комплекса организационных и технических мероприятий по улучшению качества электроэнергии
4. Ложные срабатывания устройств релейной защиты и автоматики
5. Неправильная работа измерительных устройств и приборов учета электроэнергии
6. Перегрузка нулевых проводников токами третьей гармоники

Если доля нелинейной нагрузки превышает 15-20%, при этом искажение напряжения превышает 5%, необходима установка специальных фильтрокомпенсирующих устройств.

Пассивный фильтр гармоник (ПФГ) представляет собой 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.

Цель работы: оптимизация алгоритмов улучшения качества электроэнергии в распределительных сетях с высоким уровнем нелинейной нагрузки с помощью фильтрокомпенсирующих устройств.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ качества электроэнергии в распределительных сетях 0,4 кВ.
2. Исследование компенсационных характеристик основных структур фильтрокомпенсирующих устройств, и определение конфигураций для ослабления высших гармоник тока и напряжения, создаваемых как нелинейной нагрузкой, так и внешней сетью
3. Разработка методов и алгоритмов оптимального выбора конфигурации фильтрокомпенсирующего устройства
4. Моделирование статических и динамических характеристик силовых фильтрокомпенсирующих устройств

Объект исследования: Распределительные сети 0,4 – 10 кВ.

Основным средством ослабления высших гармоник в системах электроснабжения являются силовые фильтры гармоник [2]. Пассивный фильтр гармоник представляет собой 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 выполнять одновременно подавление гармоник и коррекцию коэффициента мощности. Как правило, в качестве узкополосного фильтра используют последовательный колебательный контур, настроенный в резонанс на частоту определенной гармоники. Для подавления нескольких гармоник используют составные фильтры, образованные параллельным соединением нескольких колебательных контуров. Каждый контур настроен на частоту одной из гармоник (как правило, 5, 7, 11 и 13-й). Для одновременного подавления нескольких гармоник высокого порядка ($n > 10$) целесообразно использовать широкополосные фильтры (ШПФ).

В данной работе разрабатывается алгоритм быстрого и эффективного выбора конденсаторной батареи и реактора для пассивного фильтрокомпенсирующего устройства на напряжении 0,4 кВ. Алгоритм основан на методике, описанной Жежеленко И.В. в [2]. Фильтрокомпенсирующее устройство по данной методике выполняет одновременно функции компенсатора реактивной мощности основной гармоники и фильтра высших гармоник.

Разработана методика, которая позволяет для данной системы электроснабжения подбирать параметры пассивных ФКУ при изменении уровня нелинейной нагрузки 0,4 кВ, ее типа и мощности и проверять соответствия уровня искажения напряжения THD на шинах 0,4 кВ ТП.

Блок-схема алгоритма расчета и выбора ПФУ показана на рисунке 1.

Измеряемая часть схемы приведена на рисунке 2.

Суть алгоритма состоит в следующем. Составляется модель Simulink и производится ввод параметров компонентов. Из-за того, что в каталоге приводятся далеко не все параметры, необходимые для корректной работы модели, производится расчет недостающих параметров. Далее рассчитывается эквивалентное сопротивление следующим образом:

$$X_c = \frac{(U_{ВН} \cdot 10^3)^2}{S_k} \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2, \text{ мОм}$$

где $U_{НН}$ – напряжение на низкой стороне;
 $U_{ВН}$ – напряжение на высокой стороне;
 S_k – мощность короткого замыкания системы.

Сопротивление трансформатора

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{\text{НН}}^2 \cdot 10^3}{S_n}, \text{ мОм}$$

где Z_T – полное сопротивление трансформатора;
 S_n – номинальная мощность трансформатора;

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{\text{НН}}^2}{S_n^2}, \text{ мОм}$$

где R_T – активное сопротивление трансформатора;
 ΔP_k – потери при опыте короткого замыкания.

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \text{ мОм}$$

где X_T – реактивное сопротивление трансформатора.
 Переходные активное и реактивное сопротивления:

$$R_{\text{пер эк}} = 10 + R_T, \text{ мОм}$$

где 10 – активное переходное сопротивление контактных соединений.

Далее производится расчет сопротивления нагрузки с учетом переходного сопротивления и сопротивления кабельных линий

Расчет необходимой минимальной мощности конденсаторных батарей для компенсации гармоник

$$Q_{\text{бкн}} \geq 3 \cdot 1,2 \cdot U_{\text{НН}} \cdot I_n$$

Эквивалентное сопротивление сети и нагрузки на частоте первой гармоники

$$Z_{\text{ЭК}} = \frac{(R_{\text{пер эк}} + j \cdot X_{\text{пер эк}})(R_{\text{нагр}} + j \cdot X_{\text{нагр}})}{(R_{\text{пер эк}} + R_{\text{нагр}}) + j \cdot (X_{\text{пер эк}} + X_{\text{нагр}})}, \text{ мОм}$$

Далее, с учетом дефицита реактивной мощности, производится выбор ФКУ, его оборудования и параметров на гармонику, которую необходимо компенсировать.

Коэффициент токораспределения между ФКУ и сетью

$$k_{np} = \sqrt{\frac{1 + n_{\text{гарм}} \cdot \text{tg} \varphi^2}{(1 + \frac{R_{\phi}}{R_{\text{ЭК}}})^2 + n_{\text{гарм}} \cdot \text{tg} \varphi^2}}$$

где $n_{\text{гарм}}$ – номер гармоники, которую необходимо компенсировать;

R_{ϕ} – активное сопротивление фильтра.

Кратность снижения напряжений n-й гармоники

$$k_{un} = \frac{R_{\phi}}{R_{\text{ЭК}}} \cdot \frac{k_{np}}{1 + n_{\text{гарм}} \cdot \text{tg} \varphi^2}$$

Остаточное напряжение n-й гармоники

$$U_{n \text{ ост}} = k_{un} \cdot U_{n \text{ гарм}}, \%$$

THD после установки ФКУ

$$k_{\text{нс}} = \sqrt{\sum U_{n \text{ ост}}^2}, \%$$

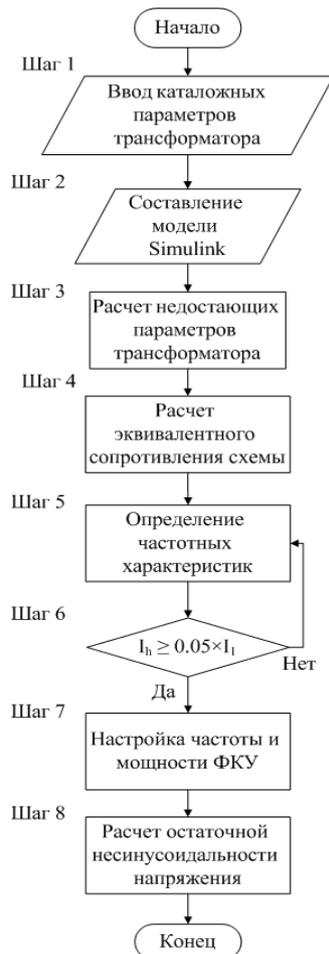


Рисунок 1 – Алгоритма расчета и выбора ПФУ

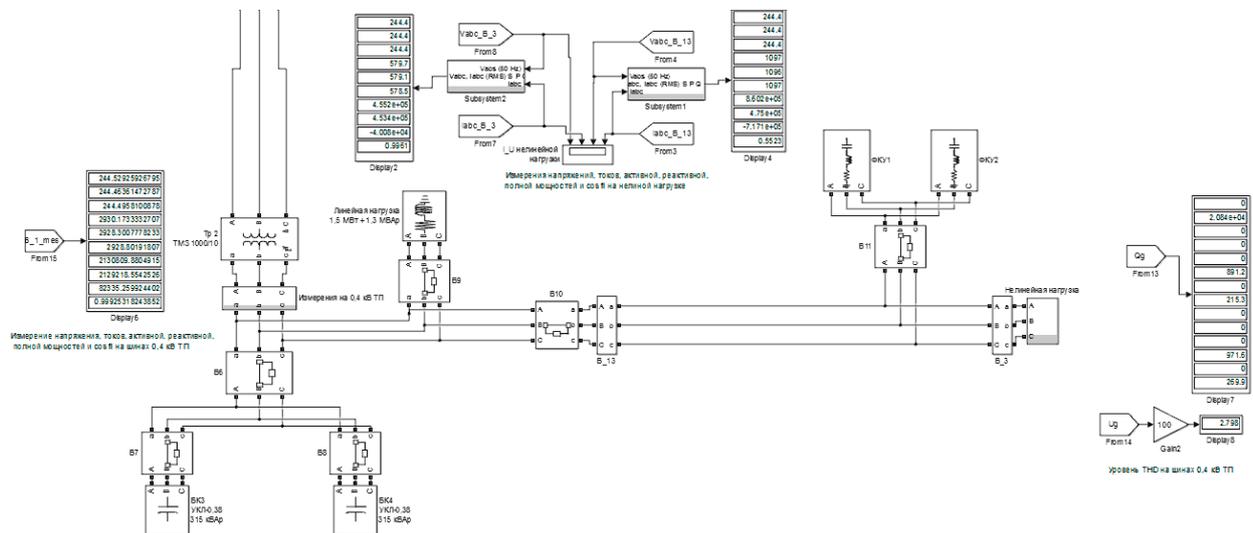


Рисунок 2 – Измеряемая схема

Нелинейная нагрузка (рисунок 3) представляет собой два диодных выпрямительных моста с нагрузкой в сумме 200 кВт

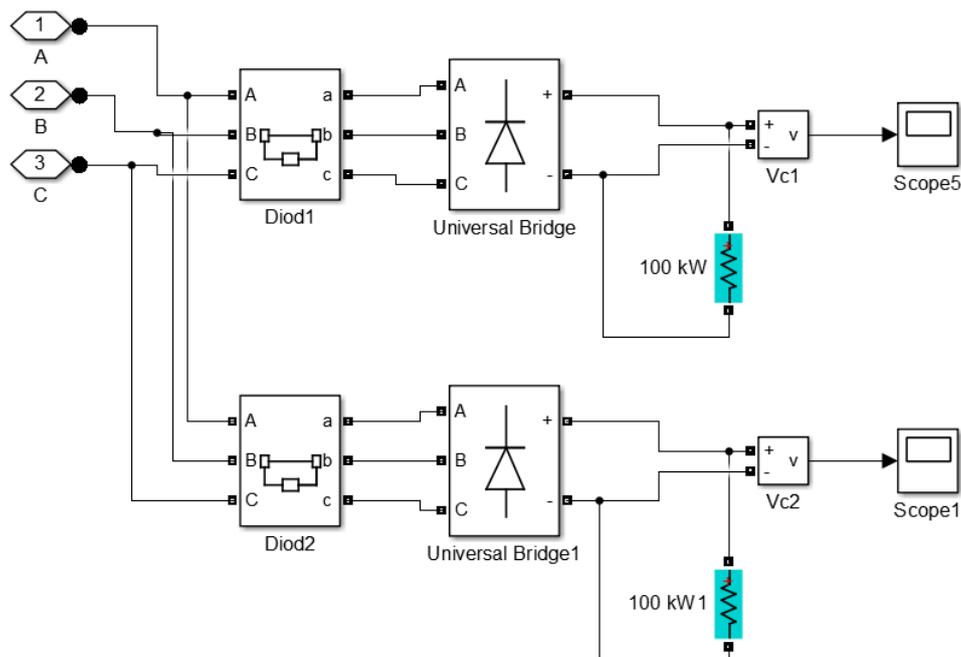


Рисунок 3 – Нелинейная нагрузка

Результаты компенсации гармоник представлены на рисунке 4.

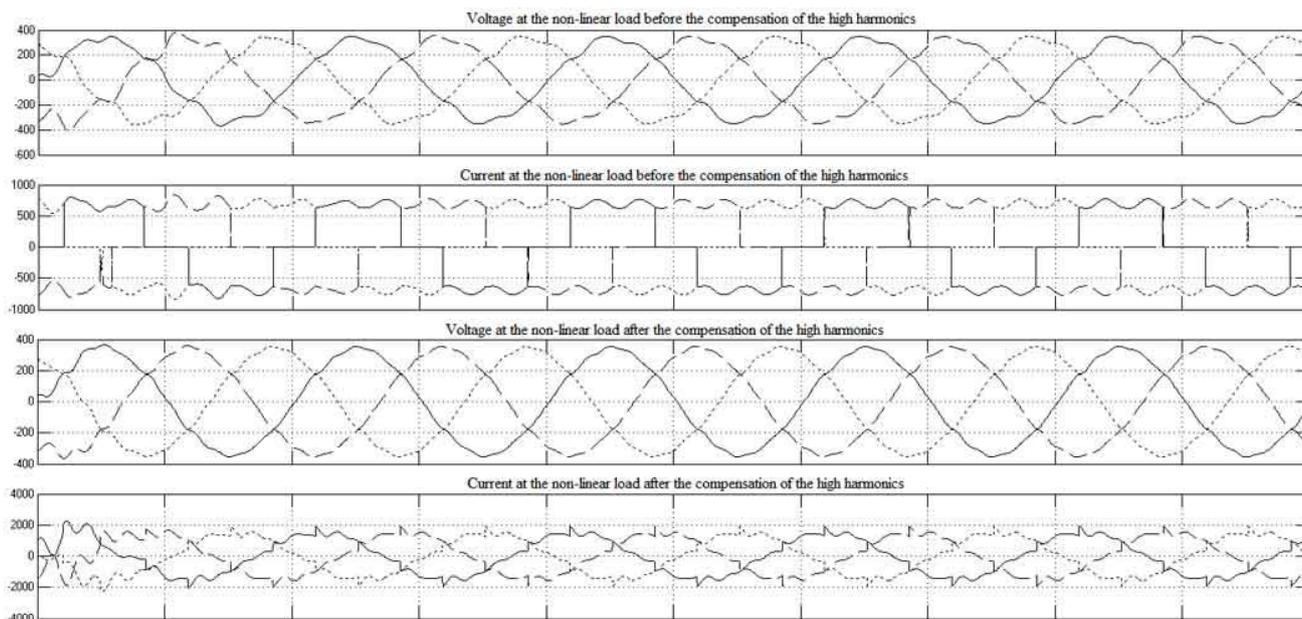


Рисунок 4 – Формы напряжения и тока до и после применения ФКУ

Для рассмотренного примера электроснабжения подстанции промпредприятия с трансформатором мощностью 1000 кВА с учетом дефицита реактивной мощности в 593 квар выбрано ФКУ 5-й гармоники с параметрами $Q_{\text{БК}} = 240$ квар, реактор РТСТ-410-0,076, $R_{\phi} = 9$ МОм и ФКУ 7-й гармоники с параметрами $Q_{\text{БК}} = 342$ квар, реактор РТСТ-660-0,027, $R_{\phi} = 6$ МОм.

Перечень ссылок

1. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
2. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., М., Энергоатомиздат, 1994.