

УДК 621.3

Коррекция качества электрической энергии в системах электроснабжения

Лойко А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

На сегодняшний день электроэнергия играет одну из важнейших ролей в жизни современного человека, что ведет к возрастанию нагрузки на энергосистему. В частности, увеличение количества потребителей с нелинейной вольтамперной характеристикой (ВАХ) вызывает искажения формы питающего напряжения, отрицательно влияющие на систему электроснабжения, а именно:

1. Ухудшение электромагнитной совместимости оборудования.
2. Увеличение потерь энергии в системе.
3. Повышение вероятности возникновения резонансных явлений в энергосистеме.
4. Нарушение работы устройств релейной защиты и автоматики.
5. Ускорение старения изоляции.
6. Увеличение значения действующего тока и тепловых потерь.
7. Сокращение срока службы электрооборудования.

Примером нелинейной нагрузки являются вентиляльные преобразователи, сварочное оборудование, сталеплавильные печи, а также потребители коммерческого или бытового сектора, содержащего большое количество электронной техники, с выпрямительными диодными мостом.

Низкое качество электроэнергии (скачки, просадки мощности, импульсные помехи) – частые причины производственного брака. Исправление брака, приводит к увеличению затрат на производство продукции.

Проблема качества в отечественных электрических сетях очень специфична. Во всех промышленно развитых странах подключение мощных нелинейных нагрузок, искажающих форму кривых тока и напряжения электрической сети, допускается только при соблюдении требований по обеспечению качества электроэнергии и при наличии соответствующих корректирующих устройств. При этом суммарная мощность вновь вводимой нелинейной нагрузки не должна превышать 3...5% от мощности всей нагрузки энергокомпании. Иная картина наблюдается в нашей стране, где такие потребители подключаются достаточно хаотично.

Существуют три основные группы методов повышения качества электроэнергии:

- 1) рационализация электроснабжения, заключающаяся в повышении мощности сети или в питании нелинейных потребителей повышенным напряжением;
- 2) улучшение структуры 1УР, например, обеспечение номинальной загрузки двигателей, использование многофазных схем выпрямления, включение в состав потребителя корректирующих устройств;
- 3) использование устройств коррекции качества – регуляторов одного или нескольких показателей качества электроэнергии.

Экономически наиболее выгодно является третья группа, так как изменение структуры сети или проектирование новой сети ведет к значительным затратам, а именно использование активных фильтров (АФ).

Принцип работы активного фильтра заключается в следующем: система управления анализирует гармонический состав потребляемого тока, затем активный фильтр инжектирует в сеть ток, находящийся в противофазе с анализируемым током. Что приводит к выравниванию гармонических искажений и повышению качества электроэнергии.

Рассмотрим структурную схему параллельно подключенного активного фильтра (ПАФЭ) к трехфазной сети (рис. 1), с последующим математическим описанием.

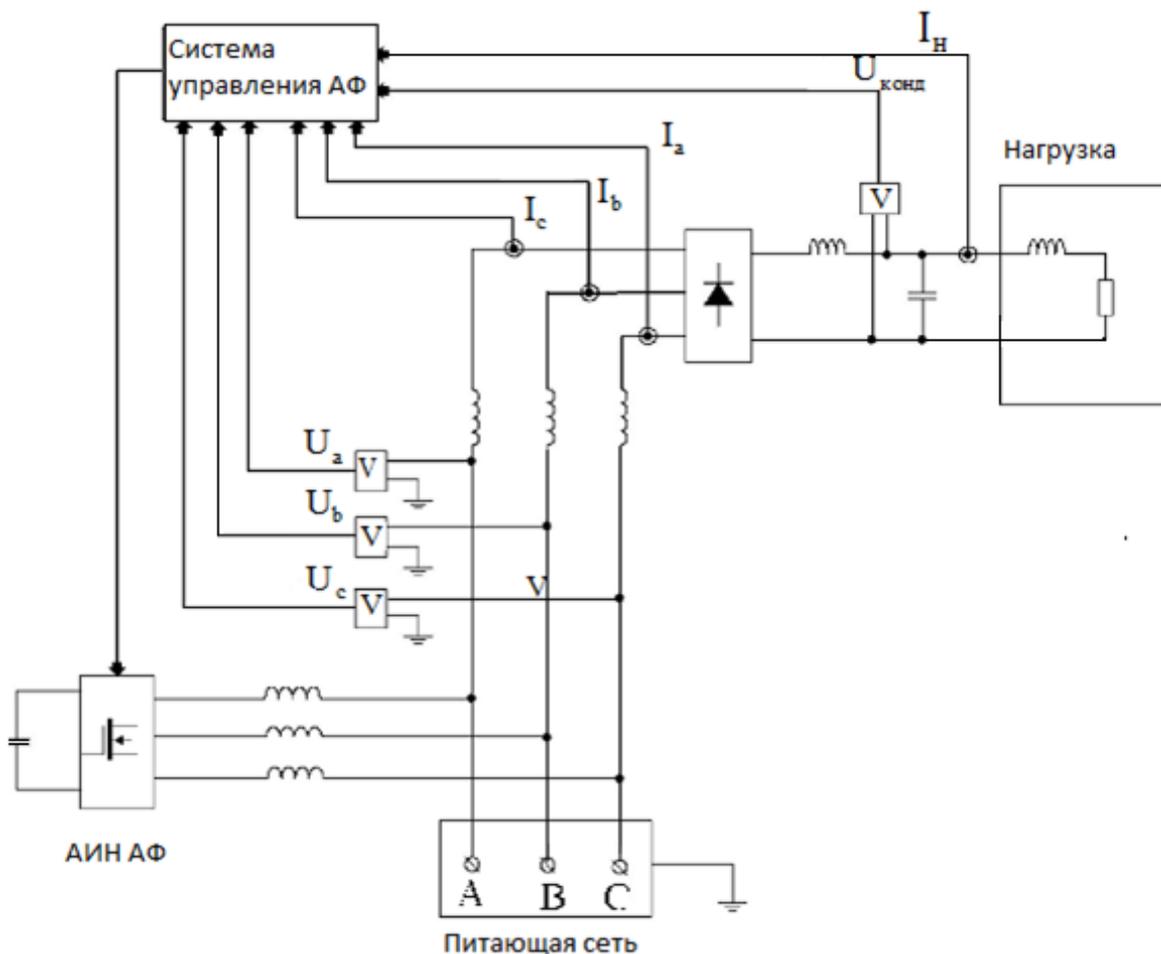


Рисунок 1 – Структурная схема подключения АФ к трехфазной сети

Принцип работы заключается в определении «желаемого» тока через мощность, передаваемую через звено постоянного тока в нагрузку:

$$P_{\text{пост}} = U_{\text{конд}} I_{\text{н}}$$

где $U_{\text{конд}}$ – напряжение на обкладках конденсатора; $I_{\text{н}}$ – ток, потребляемый нагрузкой. Примем допущение, что мощность, потребляемая нагрузкой, равна полной мощности S , потребляемой из сети:

$$S = 3U_{\phi} I_{\phi}$$

где I_{ϕ} – действующее значение фазного тока, потребляемого из сети вентильным преобразователем; U_{ϕ} – действующее значение фазного напряжения питающей сети.

Отсюда определим действующее значение «желаемого» фазного тока:

$$I'_{\phi} = \frac{U_{\text{конд}} I_{\text{н}}}{3U_{\phi}}$$

Мгновенные значения «желаемых» фазных токов следующие:

$$\begin{cases} I'_{\phi} = I'_{\phi \text{ max}} \sin(\omega t) \\ I'_{\phi} = I'_{\phi \text{ max}} \sin(\omega t - 120^{\circ}) \\ I'_{\phi} = I'_{\phi \text{ max}} \sin(\omega t - 240^{\circ}) \end{cases}$$

Амплитудные значения фазных токов определяем по формуле:

$$I'_{\phi max} = \frac{\sqrt{2}U_{конд}I_H}{3U_{\phi}}$$

Формирование синусоидальных фазных токов реализуется путем умножения амплитудных значений фазных токов на сигналы фазных напряжений через коэффициент преобразования по фазному напряжению K_u и коэффициент преобразования по напряжению в звене постоянного тока $K_{u\ конд}$:

$$\begin{cases} i_{жа} = \frac{\sqrt{2}U_{конд}I_H}{3U_{\phi}} K_{u\ конд} K_u U_{та} \sin(\omega t) \\ i_{жб} = \frac{\sqrt{2}U_{конд}I_H}{3U_{\phi}} K_{u\ конд} K_u U_{та} \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_{жв} = \frac{\sqrt{2}U_{конд}I_H}{3U_{\phi}} K_{u\ конд} K_u U_{та} \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$

Мгновенные значения тока фильтра определяются как разность «желаемого» синусоидального тока и тока потребителя:

$$\begin{aligned} i_{fa} &= i_{жа} - i_{на} \\ i_{fb} &= i_{жб} - i_{nb} \\ i_{fc} &= i_{жв} - i_{nc} \end{aligned}$$

Физически формирование тока фильтра происходит путем накопления либо отдачи энергии на накопительном конденсаторе посредством автономного инвертора напряжения (АИН). Ток фильтра i_f представлен на рис. 2.

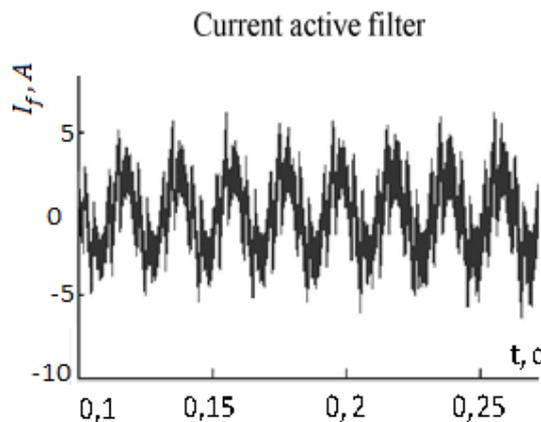


Рисунок 2 – Ток активного фильтра

Математически работу АФ с отрицательной обратной связью (ООС) по току можно представить в виде:

$$\begin{cases} i_{fa} = i_{жа} - i_{на} - i_{Na} \\ i_{fb} = i_{жб} - i_{nb} - i_{Nb} \\ i_{fc} = i_{жв} - i_{nc} - i_{Nn} \end{cases}$$

В совокупности все эти уравнения представляют систему управления АФ. Компьютерная модель активного фильтра, подключенного к трехфазной сети переменного тока, имеет вид (рис. 3):

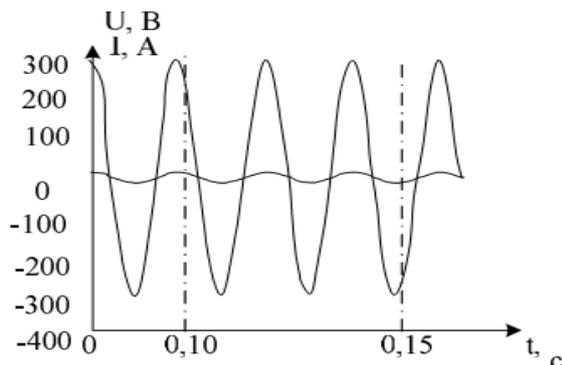


Рисунок 3 – Результат компьютерного моделирования работы активного фильтра в трехфазной сети

Как видно из рис. 3, потребляемый тиристорным преобразователем ток (жирный шрифт линии) не только имеет синусоидальную форму, но и полностью совпадает по фазе с питающим фазным напряжением сети.

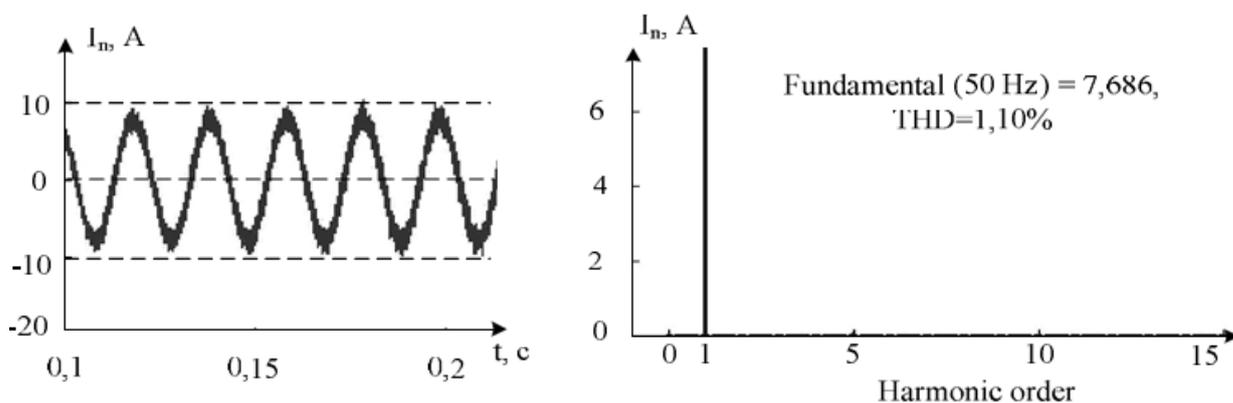


Рисунок 4 – Спектральный состав тока, потребляемого активно-индуктивной нагрузкой с активным фильтром электроэнергии

Частотный анализ (метод БПФ) тока системы с активным фильтром приведен на рис. 4

Из результатов гармонического анализа тока, потребляемого системой с ПАФЭ, видно, что уровень гармонических искажений (THD) составляет 1,10%, что соответствует требованиям ГОСТ 13109.

Применение активного фильтра электроэнергии позволяет добиться существенного улучшения электромагнитной совместимости нелинейного потребителя с питающей сетью, что отражается на качестве электроэнергии и нормальном безаварийном функционировании энергосистемы в целом.

Выводы

1) Разработана концепция построения системы управления активным фильтром электроэнергии, которая позволяет использовать фильтр в трехфазных сетях независимо от типа нагрузки.

2) На сегодняшний день, данный метод борьбы с искажениями высших гармонических составляющих тока, является наиболее эффективным и экономически выгодным.

Литература

1. Мещеряков В.Н., Шеин М.А. Активная фильтрация высших гармонических составляющих тока в трехфазных электрических. // Вести высших учебных заведений Черноземья – 2010 - №1(19) – С. 35-39.
2. Чумаков С.А., Малашин А.Н., Суходолов Ю.В. Обеспечение качества электрической энергии в системах электроснабжения автономных образцов оружия. // Белорусский национальный технический университет, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ». – Минск: БНТУ, 2014. – С. 42-46.