

Варианты борьбы с помехами (высшими гармониками) в промышленных электрических сетях

В. Самохин, к. т. н.¹, Д. Самохин², Е. Бабкин, к. т. н.³, И. Сухоставский⁴

УДК 621.31 | ВАК 05.27.01

Экономия электрической энергии является сегодня одним из ключевых факторов экономики. Этому, в частности, посвящен Федеральный закон 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Добиться энергосбережения возможно лишь за счет улучшения параметров качества электроэнергии путем компенсации реактивной мощности, снижения несимметрии питающих токов и напряжений, фильтрации высших гармоник, ограничения пусковых токов, компенсации кратковременных падений напряжений, сглаживания переходных процессов и др. [1]. В статье рассматриваются решения для борьбы с помехами (высшими гармониками) в промышленных электрических сетях.

Даже при гарантированном качестве поставляемой электроэнергии искажения могут возникать в процессе ее потребления и обусловлены характером нагрузки, такой как импульсные источники питания, преобразователи частоты, двигатели переменного тока, люминесцентное освещение и др. Гармонические искажения могут явиться причиной перегрева в обмотках электродвигателей, а также снижения КПД систем. Наличие гармоник уменьшает коэффициент мощности, что обусловлено повышением доли реактивной энергии, которая не может быть использована нагрузкой.

Следует добавить, что гармонические искажения, допускаемые ГОСТом [2], настолько велики, что могут приводить к активным потерям в электроэнергетической системе свыше 10%. Согласно указанному выше ГОСТу, значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_U в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 12% (при напряжении электрической сети 0,38 кВ) в течение 100% времени интервала в одну неделю.

На ряде предприятий коэффициент гармоник существенно превышает допускаемые ГОСТом значения. Так, например, проведенный авторами статьи на предприятии ООО «ТЕХНОНИКОЛЬ» электроэнергоаудит показал, что коэффициент гармоник достигает 18–19%, в основном, из-за использования мощных частотных преобразователей.

Достижения материаловедения и современные технологии позволяют поставить вопрос о создании для энергетики нового поколения аппаратуры, дающей возможность существенно повысить качественные показатели электроэнергии. Далее рассматриваются способы борьбы с помехами (высшими гармониками) в промышленных электрических сетях.

В зависимости от вида некоррелированных или коррелированных помех применяются разные способы борьбы с ними. Некоррелированные помехи возникают случайным образом и весьма редко, поэтому на энергетику работы сети влияния не оказывают. К ним относятся, например, разряды молнии, коммутации в структуре сети, «моргуны» (кратковременные провалы и выбросы напряжения) и др. Такого рода помехи могут привести к повреждению элементов сети. Для защиты от них используют схемы, их часто называют фильтрами, которые содержат предохранители, разрядники, малоиндуктивные конденсаторы, варисторы, стабилитроны с ограничителями тока и др.

Природа возникновения коррелированных помех другая. Они возникают в результате формирования структуры сети и ее динамического изменения во время эксплуатации, например при подключении, отключении

¹ Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (НИУ МИЭТ), Институт микроприборов и систем управления, доцент, samokhin.1951@mail.ru.

² НИУ МИЭТ, Институт микроприборов и систем управления, старший преподаватель, oppozite1984@mail.ru.

³ НИУ МИЭТ, Институт микроприборов и систем управления, доцент, babkinee@mail.ru.

⁴ ООО «Терминальные технологии», директор, isoukhostavsky@termt.com.

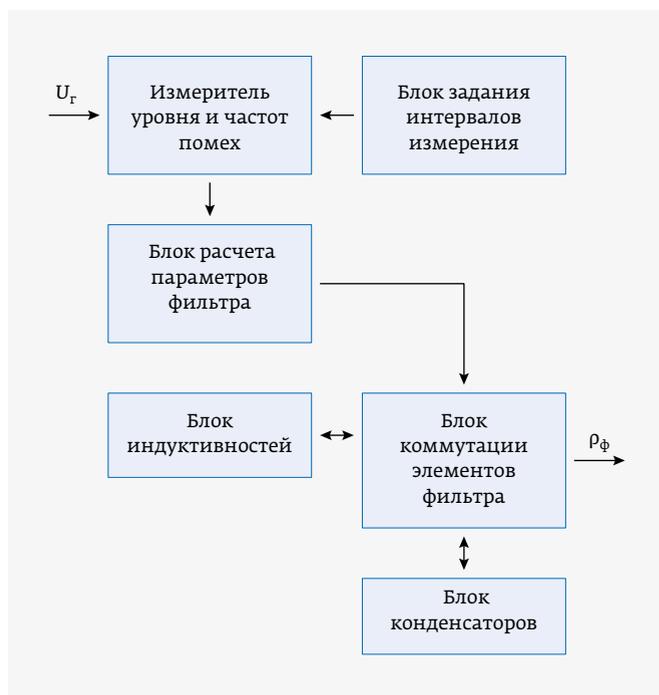


Рис. 1. Функциональная схема системы подавления помех в силовой сети (U_g – напряжение гармоник в сети; ρ_Φ – волновое сопротивление фильтра)

и изменении режимов работы элементов сети.

Наличие нелинейных элементов в сети, несимметрия линий связи (последовательных и параллельных), наличие распределенных индуктивностей и емкостей в сети приводят к образованию высших гармоник. Их спектр и мощность изменяются в результате динамического изменения параметров сети (изменение режимов работы сети, добавление или исключение элементов сети и др.). Поэтому корреляция этих помех возможна только на временных промежутках, где параметры сети не изменяются. Коррелированные помехи оказывают негативное влияние на элементы сети, вызывая их нагрев, паразитное излучение, потери энергии в сети. Поэтому необходимы средства для подавления этих помех.

Авторами получен патент [3] на способ подавления таких помех с использованием режекторных фильтров. Они подключаются

параллельно нагрузке и не приводят к изменению конфигурации электрической сети предприятия и, соответственно, не снижают ее надежности. Для реализации запатентованного способа создается система, которая должна содержать измеритель спектра и уровня гармоник в силовой сети и средства для настройки режекторных фильтров. Функциональная схема системы подавления высших гармоник, возникающих в силовой сети, приведена на рис. 1.

Измеритель уровня и частот помех определяет спектр помех и при помощи быстрого преобразования Фурье формирует список частот с соответствующими уровнями.

Непрерывно, с заданным интервалом времени, измеритель уровня и частот помех измеряет частоты, спектр и мощность паразитных высших гармоник. Блок расчета параметров фильтра на основании значений частот гармоник, определенных сканером, вычисляет номиналы конденсаторов и индуктивностей дросселей, обеспечивающих резонанс напряжений при заданной добротности. Блок коммутации обеспечивает последовательное подключение дросселей и конденсаторов с необходимыми значениями индуктивности и емкости. Схема работы системы подавления помех в силовой сети приведена на рис. 2.

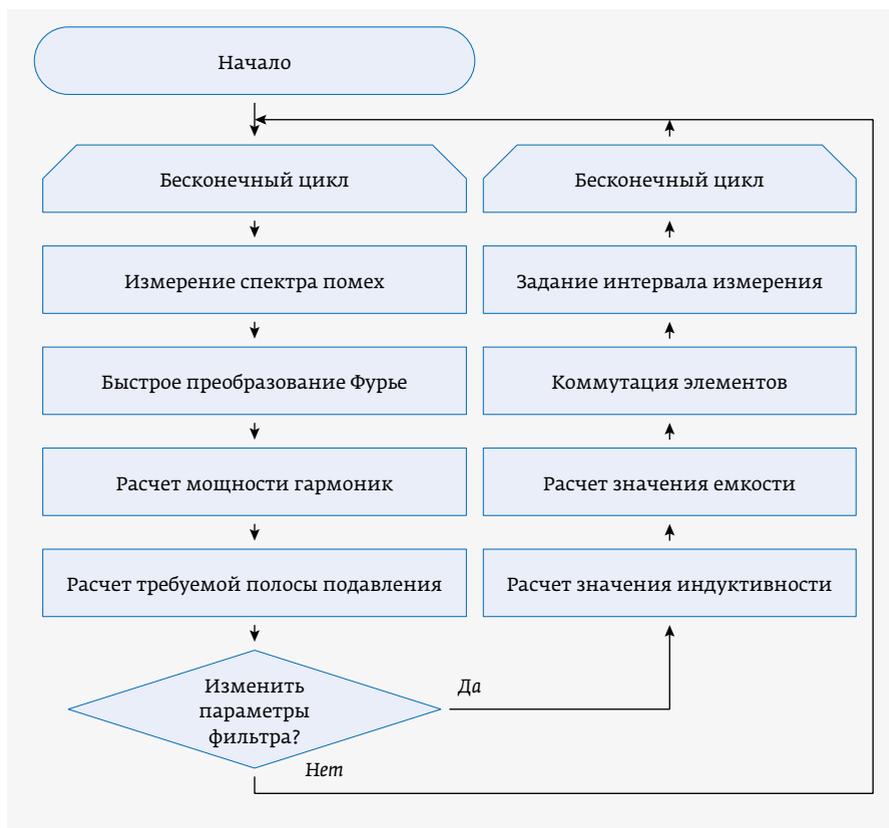


Рис. 2. Схема работы системы подавления помех в силовой сети

Функциональная схема адаптивного фильтра высших гармоник для промышленных предприятий любой мощности представлена на рис. 3. Адаптация осуществляется за счет изменения структуры фильтра в соответствии с разработанным алгоритмом. Адаптивный фильтр высших гармоник работает следующим образом.

Схема защиты 1 осуществляет как защиту схемы адаптивного блока фильтра высших гармоник от бросков напряжения в трехфазной сети, так и защиту трехфазной сети в случае неисправности самой схемы адаптивного фильтра высших гармоник. Для больших мощностей используются стандартные электромагнитная и тепловая защиты. Для малых мощностей и увеличения динамики

в разработанном устройстве применяются варисторы, стабилитроны и малоиндуктивные конденсаторы.

Блок питания схем управления и контроллера 2 и схема гальванической развязки 4 необходимы для удобства управления схемой адаптивного фильтра высших гармоник, а также настройкой и режимами. Блок питания – стандартный, сертифицированный. В схеме гальванической развязки нами были использованы оптронные симисторы. Это связано с необходимостью обеспечения электробезопасности, в частности при подключении средств программного управления системой.

Контроллер 3 поддерживает быстрое преобразование Фурье (БПФ). Блоки конденсаторов 5 и индуктивных элементов 7 состоят из наборов конденсаторов и индуктивных элементов, которые при помощи электронных ключей 6 соединяются таким образом, чтобы реализовать режекторные фильтры для определенных высших гармоник в заданном промежутке времени.

Блок настройки добротности 8 изменяет добротность режекторных фильтров в зависимости от мощности подавляемых гармоник и полосы занимаемых частот.

Как известно, добротность резонансного контура равна отношению характеристического сопротивления контура к активному сопротивлению. Таким образом, изменяя активное сопротивление, можно изменять добротность, а значит полосу пропускания фильтра.

В том случае, если гармоники помехи имеют узкий спектр, но большую мощность, более эффективным способом их подавления является не изменение активного сопротивления, а увеличение индуктивности и уменьшение емкости, при условии сохранения резонанса на заданной частоте при соответствующем сокращении полосы пропускания блока формирования полос пропускания 9, осуществляемым блоком настройки добротности при помощи схемы управления электронными ключами 6.

Синтез режекторного фильтра сосредоточенной селекции (ФСС) проводится по заложенному алгоритму в течение заданного промежутка времени, определяемого

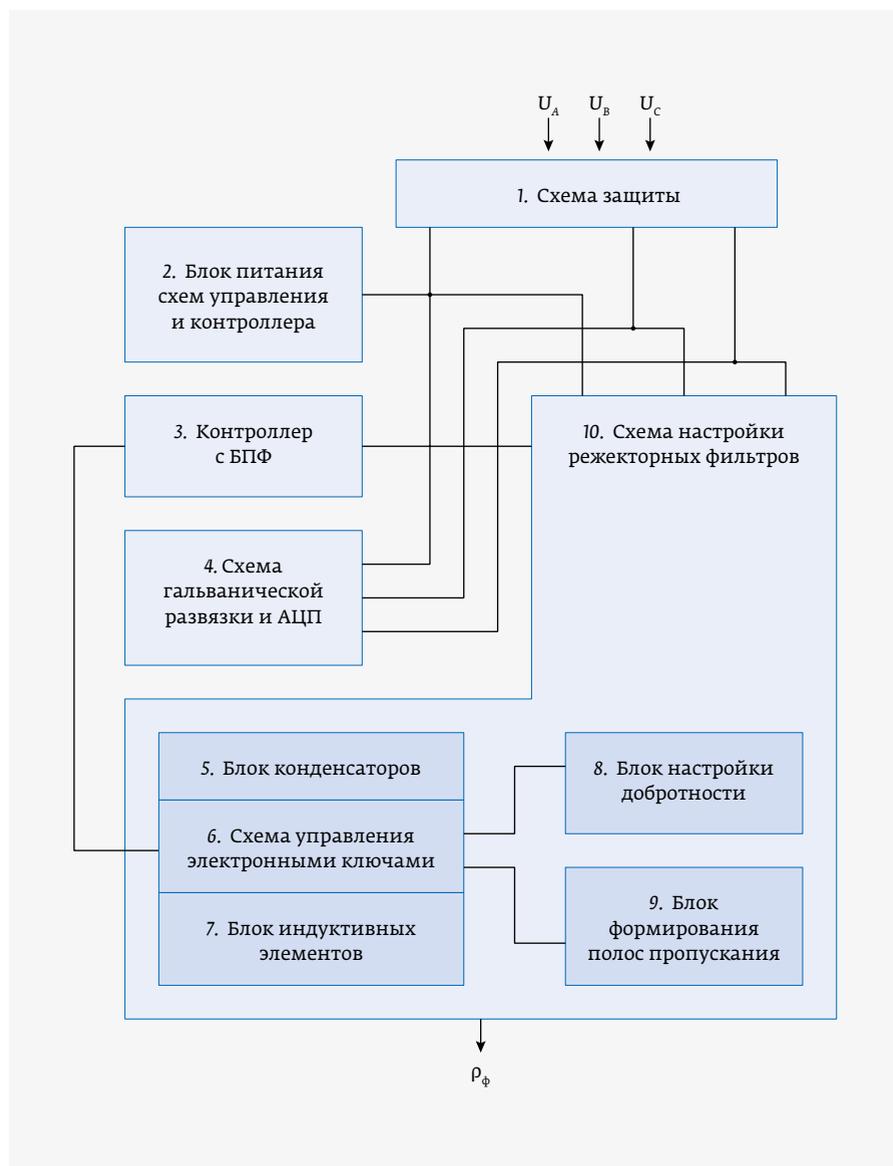


Рис. 3. Функциональная схема адаптивного фильтра высших гармоник. U_A , U_B , U_C – фазные напряжения сети

энергетическим соотношением мощности основной частоты и суммарной мощности высших гармоник на заданном интервале эксплуатации сети.

В случае коррелированных гармоник (коррелированность определяется на заданном временном интервале) находятся те гармоники, мощность которых превышает заданный уровень, настраиваются их полосы пропускания (в блоке 9) и добротности фильтров (в блоке 8). В случае если изменения частотных и мощностных характеристик произошли на временном интервале меньше заданного, осуществляется перестройка режекторных фильтров в соответствии с заложенным алгоритмом.

Если гармоники некоррелированные, то весь частотный диапазон гармоник (тех, которые влияют на энергетику сети) разбивается на участки в соответствии с заложенным алгоритмом. На каждом из участков осуществляется измерение характеристик гармоник в течение заданного промежутка времени. Происходит сравнение мощностных характеристик гармоник (промежуток времени может меняться). На функционально важных участках спектра, влияющих на энергетику сети, либо создающих помехи аппаратуре, которая питается от сети, строятся режекторные фильтры. Функционально важные участки диапазона могут

увеличиваться, а второстепенные (оказывающие меньшее влияние на энергетику сети и подключаемое оборудование) могут уменьшаться. Оптимальным является режим, при котором влияние гармоник на энергетику сети и подключаемое оборудование минимально по выбранным критериям, в зависимости от их важности для конкретного оборудования. Основным критерием выступает минимум потерь в сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Самохин В. И., Самохин Д. В., Сухоставский И. В., Бабкин Е. Е.** Основные направления энергосбережения на предприятиях и оборудование, используемое для энергосбережения // Электронные информационные системы. 2020. № 1(24). С. 63–76.
2. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Дата введения 2014-07-01.
3. Пат. 2480883 Российская Федерация, МПК H02J 3/01. Способ энергосбережения / С. А. Каратыгин, Е. Е. Бабкин, А. Т. Берестов, В. И. Самохин; патентообладатель: Закрытое акционерное общество «ГРИН ЭНЕРДЖИ» (RU). № 2011125963; заявл. 27.04.2013; опубл. 27.04.2013. Бюл. № 12.

interlight | **intelligent building**
RUSSIA | RUSSIA

Международная выставка освещения, автоматизации зданий, электротехники и систем безопасности

13–16.09.2021
ЦВК «Экспоцентр», Москва

interlight-building.ru

messe frankfurt

16+

Бесплатный билет по промокоду:
IL21-790GM