

отдавать энергию в пиковых режимах генерации или потребления электроэнергии, увеличивая ресурс аккумулятора и снижая время отклика всей системы на внешние воздействия.

Список литературы:

- [1] Качество электрической энергии на судах/ В.В. Шейнихович [и др.]: Справочник/Л.: Судостроение, 1988. – 160 с.
- [2] Коробко Г.И. Анализ построения силовых схем стабилизаторов переменного напряжения (СПН) с широтно-импульсными преобразователями. / Коробко Г.И., Попов С.В. // Электрооборудование промышленных установок: межвуз. сб. научн. тр. / НГТУ. – Н.Новгород, 2001. с. 25–28.
- [3] Коробко Г.И. Накопители электроэнергии в стабилизаторах переменного напряжения для специальных судовых потребителей./ Г.И. Коробко, С.В. Попов: Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 13. Судовая и промышленная энергетика. Н.Новгород: ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2005 г. – с. 54–57.
- [4] Попель О.С., Тарасенко А.Б. Накопители электрической энергии // Энергоэксперт. 2011. №3. С. 28–37.
- [5] Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. // М.: ООО «Изумруд». 2003.

В.В. Лебедев
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ВЫДЕЛЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НАПРЯЖЕНИЯ АУТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Проблема поддержания надлежащего качества электроэнергии становится все более актуальной. Решением одной из задач повышения качества электроэнергии является компенсация нелинейных искажений напряжения сети. Существуют различные способы компенсации нелинейных искажений, однако, наиболее перспективным является применение активных компенсаторов нелинейных искажений. Принцип работы таких устройств основан на генерации в сеть высших гармоник напряжения или тока соответствующей амплитуды, находящихся в противофазе с высшими гармониками сети. Существуют различные варианты построения таких устройств. Один из них – это компенсатор нелинейных искажений на базе вольтодобавочных устройств.

Основной задачей, решаемой при построении компенсатора, является точное выделение сигнала суммы высших гармонических составляющих напряжения сети. Однако, создание такого устройства для автономной электростанции, в частности судовой, осложняется изменением частоты и амплитуды напряжения сети. Поскольку регуляторы частоты вращения дизелей и возбуждения генераторов обладают ограниченным быстродействием, система управления компенсатором должна обеспечивать качественное выделение высших гармоник и в динамических режимах работы электростанции.

Анализ устройств выделения сигнала высших гармоник показал:

1. Генератор эталонного синусоидального напряжения [1], реализованный на базе микроконтроллера представлен на рис. 1. Микроконтроллер формирует эталонную синусоиду, синхронизированную с сетью, однако, в данном устройстве не учитывается изменение амплитуды сетевого напряжения. Вследствие этого в сигнале суммы высших гармоник, получаемом за счет вычитания из напряжения сети эталонного напряжения, появится основная гармоника, что негативно скажется на качестве ком-

пенсации нелинейных искажений. Кроме того, данное устройство сложно в настройке и требует написания сложного алгоритма управления, что ведет к значительному его удорожанию.

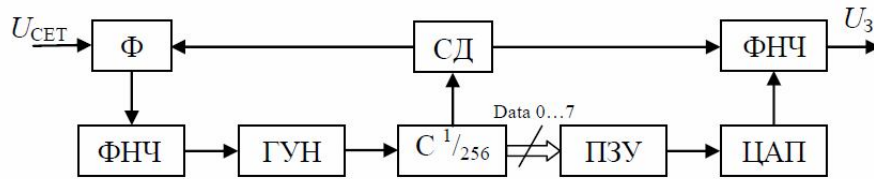


Рис. 1. Генератор эталонного синусоидального напряжения

2. Выделение высших гармоник напряжения может быть обеспечено полосовым фильтром ПФ [2], структурная схема которого представлена на рис. 2.

Данный фильтр состоит из двух дифференцирующих цепочек, колебательного звена и двух апериодических звеньев. Параметры дифференцирующих цепочек выбираются таким образом, чтобы отсечь (ослабить) первую гармонику напряжения. Коэффициент демпфирования колебательного звена задается таким образом, чтобы наиболее полно скомпенсировать фазовый сдвиг, вносимый дифференцирующими звеньями и обеспечить постоянство коэффициента передачи фильтра в полосе его пропускания. Апериодические звенья обеспечивают помехозащищенность устройства. Выходной сигнал суммы высших гармоник, как и в предыдущем случае, будет содержать основную гармонику, т.к. данное устройство не позволяет ослабить ее в достаточной степени. Для решения этой проблемы требуется дополнительно вводить фильтр высоких частот высокого порядка, что также ведет к усложнению настройки параметров и удорожанию устройства.

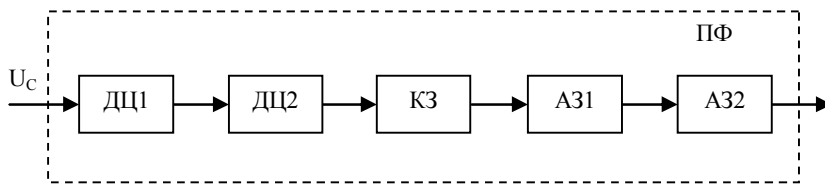


Рис. 2. Структурная схема полосового фильтра

3. Для выделения сигнала суммы высших гармоник может быть использовано устройство на базе фильтра низких частот высокого порядка, структурная схема которого представлена на рис. 3.

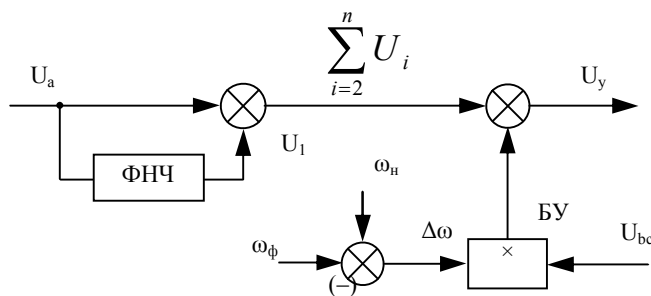


Рис. 3. Структурная схема устройства выделения высших гармоник напряжения на базе фильтра низких частот высокого порядка

Принцип работы устройства заключается в следующем: фазное напряжение сети поступает на вход фильтра низких частот. На выходе фильтра остается основная гармоника напряжения (50 Гц) сдвинутая относительно сетевого напряжения на 180° (U_1). В результате сложения этих напряжений формируется сигнал суммы высших гармоник ($\sum U_i$), который не зависит от изменения амплитуды сетевого напряжения (рис.4а). Очевидно, что, при изменении частоты напряжения сети, в выходном сигнале фильтра появляется дополнительный фазовый сдвиг (рис.4б). Это приводит к появлению основной гармоники в составе сигнала суммы высших гармоник напряжения. Для компенсации основной гармоники из сигнала суммы высших гармоник необходимо вычесть сигнал разности между основной гармоникой сдвинутой на 180° ($U_{\text{н}}$) и гармоникой с дополнительным фазовым сдвигом ($U_{\Delta f}$). Данный сигнал будет иметь косинусоидальную форму (ΔU), а его амплитуда будет прямопропорциональна отклонению частоты сети или частоты вращения дизель-генератора от номинального значения. Для получения косинусоидального сигнала используется линейное напряжение двух других фаз. Дозирование этого сигнала обеспечивает блок умножения БУ (рис. 3), на второй вход которого поступает сигнал отклонения частоты вращения дизель-генератора от номинального значения.

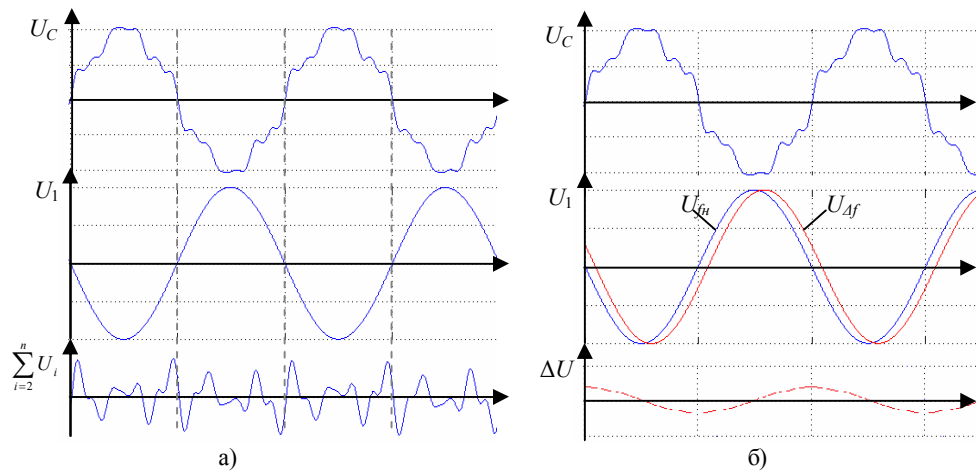


Рис. 4. Диаграммы напряжений, поясняющие работу устройства выделения высших гармоник

Для исследования работы устройства выделения высших гармоник было проведено его моделирование в пакете программ Matlab Simulink. Модель устройства представлена на рис. 5.

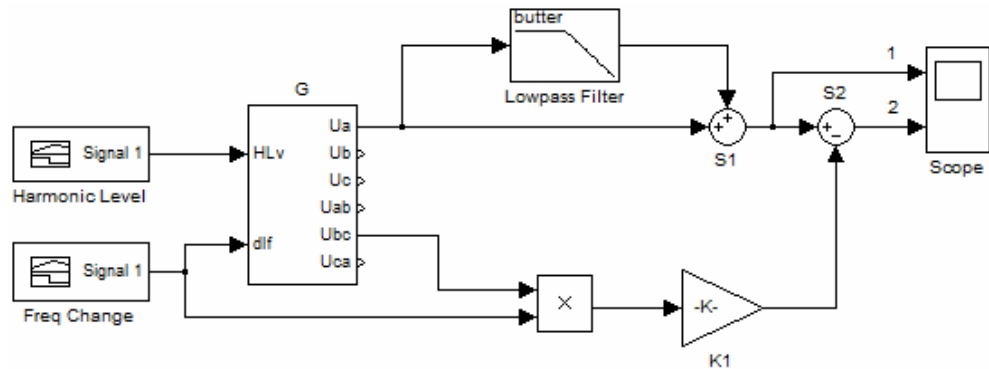


Рис. 5. Модель устройства выделения высших гармоник напряжения

Генератор «G» формирует фазные и линейные напряжения синусоидальной формы. С помощью блока «HarmonicLevel» задается величина нелинейных искажений напряжения сети. Фазное напряжение (U_a) поступает на вход сумматора «S1» и на вход фильтра низких частот «LowpassFilter», в качестве которого был использован фильтр Баттерворта 8-го порядка [3]. На выходе фильтра формируется сигнал, содержащий только основную гармонику напряжения сети, который поступает на второй вход сумматора «S1». При сложении двух сигналов, на выходе сумматора формируется сигнал суммы высших гармоник напряжения т.к. выходное напряжение фильтра и напряжение сети сдвинуты относительно друг друга на 180° . Данный сигнал поступает на один вход сумматора «S2».

Сигнал отклонения частоты от номинального значения задается с помощью блока «FreqChange». Данный сигнал поступает на вход «dif» генератора «G» для изменения частоты сетевого напряжения, а также на вход блока умножения, на второй вход которого поступает линейное напряжение U_{bc} . Таким образом, линейное напряжение дозируется с помощью сигнала отклонения частоты от номинального значения. Сигнал с выхода блока умножения через пропорциональное звено «K1» поступает на другой вход сумматора «S2», в результате чего в сигнале суммы высших гармоник компенсируется основная гармоника. Пропорциональное звено «K1» задает требуемый коэффициент компенсации основной гармоники напряжения.

Визуализация результатов моделирования осуществляется с помощью осциллографа «Scope», на один вход которого подается сигнал без компенсации дополнительного фазового сдвига (1), а на второй – сигнал с компенсацией (2).

Результаты моделирования устройства при отсутствии нелинейных искажений и изменении частоты сетевого напряжения на 2% (1Гц) представлены на рис. 6:

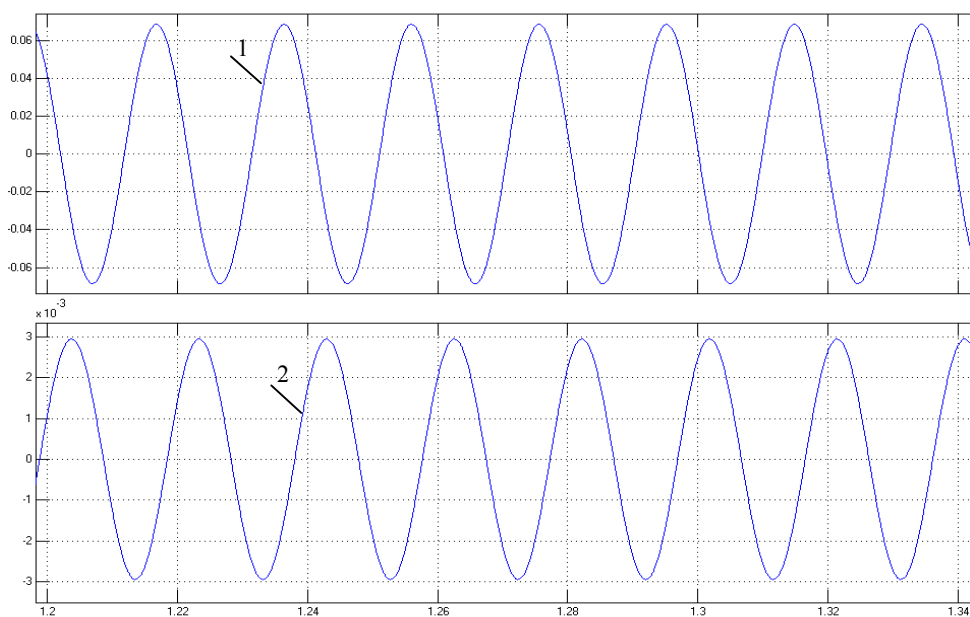


Рис. 6. Результаты моделирования при отсутствии нелинейных искажений напряжения

На рис. 7 представлены результаты моделирования при том же отклонении частоты и наличии нелинейных искажений (50% от максимального значения):

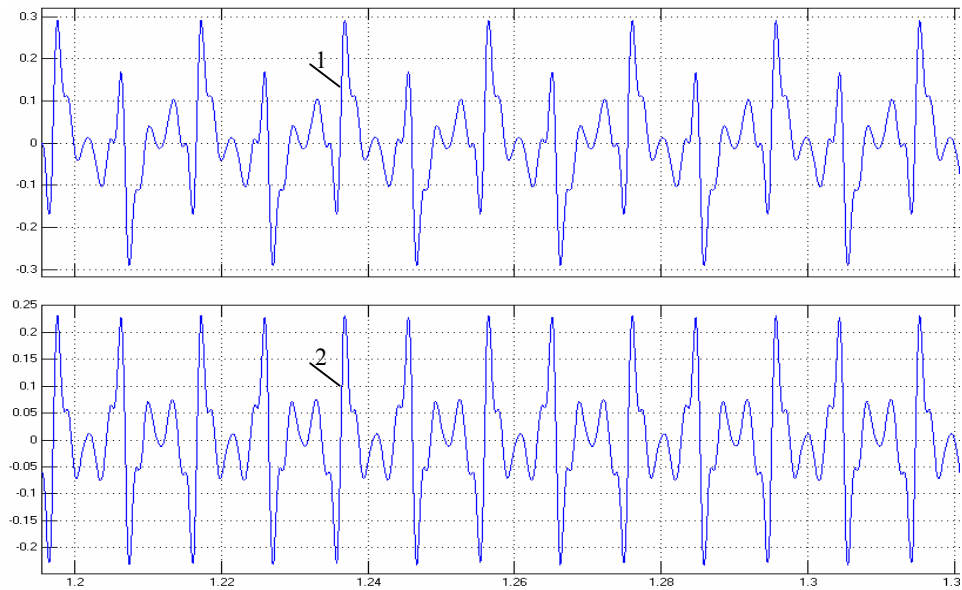


Рис. 7. Результаты моделирования при наличии нелинейных искажений напряжения

Из осциллограмм видно, что в составе сигнала суммы высших гармоник напряжения без компенсации дополнительного фазового сдвига (1) амплитуда основной гармоники напряжения составляет 7% от номинального значения, в то время как в сигнале с компенсацией (2) – 0,3%.

Моделирование данного устройства показало, что использование канала компенсации дополнительного фазового сдвига, при отклонении частоты сетевого напряжения, позволяет значительно снизить величину основной гармоники в сигнале суммы высших гармоник напряжения. По результатам моделирования, при изменении частоты на 5% в ту или другую сторону, величина основной гармоники не превышает 1,5%.

Анализ устройств выделения высших гармоник напряжения показал, что предпочтительным, на мой взгляд, является применение устройства на базе фильтра низких частот высокого порядка с каналом компенсации дополнительного фазового сдвига. Это устройство обладает сравнительной простотой реализации и обеспечивает качественное выделение сигнала суммы высших гармоник напряжения сети.

Список литературы:

- [1] Коробко Г.И., Попов С.В., Лебедев В.В. Источник эталонного синусоидального напряжения синхронизированного с судовой сетью: 12-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки'2010», труды конгресса в 2 т. Т2, Н. Новгород, ННГАСУ.
- [2] Лебедев В.В. Использование вольтодобавочных устройств для компенсации нелинейных искажений напряжения судовой сети: XVII Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки. 19-22 марта 2012 г. – Нижний Новгород: НИУ РАНХиГС
- [3] Лебедев В.В. Устройство выделения высших гармоник для системы компенсации нелинейных искажений напряжения: «Актуальные проблемы электроэнергетики»: материалы научнотехнической конференции. Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева – Н.Новгород: НГТУ, 2012.
- [4] Шейнихович В.В., Климанов О.Н., Пайкин Ю.И., Зубарев Ю.Я. Качество электрической энергии на судах: Справочник/Л.: Судостроение, 1988.