

Література

1. Железко Ю. С. Расчёт и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчётов / Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. – М. : ЭНАС, 2008. – 280 с.
2. Воротницкий В. Э. Нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях: результаты, проблемы, пути решения / В. Э. Воротницкий // Энергоэксперт. – 2007.– №3. – С. 10-18.
3. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 року № 145 «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року».
4. Райхенбах Т. М. Європейський досвід у використанні потенціалу сільського господарства для виробництва відновлювальної енергії / Т. М. Райхенбах // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Вип. 132. Технічні системи і технології тваринництва. – ХНТУСГ. – Х., 2013. – С. 530–535.
5. Лежнюк П.Д. Оптимальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з використанням нейро-нечіткого моделювання / П.Д. Лежнюк, О.О. Рубаненко. – Вісник ВПІ. – Вінниця. – 2012. – №2.

References

1. Zhelezko Yu. S. Raschyot y analiz poter elektroenerhiy v elektrycheskykh setiakh: rukovodstvo dlia praktycheskykh raschetov / Zhelezko Yu. S., Artemev A. V., Savchenko O. V. – M. : ENAS, 2008. – 280 p.
2. Vorotnitskiy V. E. Normirovaniye y snyzheniye poter elektroenerhiy v elektrycheskykh setiakh: rezultatu, problemu, puty resheniya / V. E. Vorotnitskiy // Enerhoekspert. – 2007.– №3. – P. 10-18.
3. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15 bereznia 2006 roku № 145 «Pro skhvalennia Enerhetichnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku».
4. Raikhenbakh T. M. Yevropeyskiy dosvid u vykorystanni potentsialu silskoho hospodarstva dlia vyrobnytstva vidnovliuvanoi enerhii / T. M. Raikhenbakh // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Vyp. 132. Tekhnichni systemy i tekhnolohii tvarynnytstva. - KhNTUSH. - Kh., 2013. – P. 530-535.
5. Lezhniuk P.D. Optymalne keruvannia normalnymy rezhymamy elektroenerhetichnykh system kryterialnym metodom z vykorystanniam neuro-nechitkoho modeliuвання / P.D. Lezhniuk, O.O. Rubanenko. – Visnyk VPI. – Vinnytsia. – 2012. – №2. – P.127-130

Рецензія/Peer review : 25.10.2013 р. Надрукована/Printed :24.11.2013 р.
Рецензент: В.М.Лисогор, д.т.н., проф.

УДК 681.516.77:621.314.2

А.А. ЖИЛЕНКОВ, С.Г. ЧЁРНЫЙ

Керченский государственный морской технологический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ПАРАМЕТРОВ

В статье приведено описание активного фильтра гармоник, работающего в составе системы управления качеством электроэнергии автономной электростанции судна.

Приведенная модель системы управления активного фильтра использует наблюдающее устройство для восстановления недоступных для измерения сигналов сети и с помощью алгоритмов адаптивной аппроксимации осуществляет гармонический синтез искаженных токов и напряжений.

Приведены результаты моделирования рассмотренной системы.

Ключевые слова: автономные энергосистемы, адаптивная фильтрация, наблюдатели сигналов

A.A. ZHILENKOV, S.G. CHERNEY
Kerch State Marine Technical University

SIMULATION OF ADAPTIVE MANAGEMENT IN COMPLEX SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS IDENTIFICATION

An important objective in the design of control systems filter- compensating devices is the exact definition of varying harmonic non-sinusoidal: their magnitude and phase angle. Changing the network frequency, low-frequency oscillations (typical imbalance in three-phase systems without neutral), a powerful interference make this task difficult. This is due to the fact that in the frequency domain, changing the fundamental frequency of 0.4 Hz causes an error in determining the amplitude of the 5th harmonic of 10 %. Given the lack of a ship's power plant neutral wire and, as a consequence, the unknown phase voltage network – the distortion of line voltages, and other destabilizing factors, existing management systems provide a critical error. The article describes the active harmonic working in the quality control system of electricity autonomous power of the ship. The reduced model of the control of the active filter uses the monitored device for recovering inaccessible to measure network signals and using adaptive approximation algorithms performs harmonic synthesis of distorted currents and voltages. The results of modelling the system under consideration.

Keywords: autonomous power systems, adaptive filtration, signal estimation device.

Постановка задачи

Современные судовые электроэнергетические системы (СЭЭС) характеризуются наличием в своем составе большого количества преобразовательной нагрузки, включающей преобразователи частоты, источники

бесперебойного питания, инверторы, выпрямители и другие потребители, отличающиеся нелинейной вольт-амперной характеристикой.

Так, на современных судах используются системы электродвижения на основе гребных электрических установок (ГЭУ), которые, для наиболее эффективного использования системы, получают питание от единой СЭЭС, обеспечивающей энергией все общесудовые потребители. Питание таких пропульсивных установок осуществляется через полупроводниковые преобразователи, негативно воздействующие на питающую сеть переменного тока путем генерации в неё высших гармонических составляющих токов и напряжений. Надо отметить, что при этом негативное влияние усугубляется характерными особенностями самой СЭЭС, как автономной системы:

- - ограниченная мощность источника питания;
- - соизмеримость мощности нагрузки и источников энергии;
- - большое количество потребителей различающихся по роду тока, уровню напряжения, мощности, функциям;
- - изолированная нейтраль;
- - нелинейность большей части нагрузки;
- - частые и значительные динамические изменения нагрузки;
- - высокие требования по надежности;
- - высокие требования к качеству электроэнергии, питающей радиолокационные системы, системы связи и автоматики и др.

Гармонические составляющие тока и напряжения увеличивают вероятность возникновения резонансных явлений в СЭЭС, нарушают работу микропроцессорной техники, устройств защиты и автоматики, вызывают ускоренное старение изоляции основного электрооборудования. Т.е. снижают надежность электроснабжения и работу самих потребителей автономного объекта. В связи с этим, все большее внимание уделяется вопросам разработки способов и средств устранения негативного влияния высших гармоник токов и напряжений. А именно, вопросам создания автоматических систем управления процессами генерирования, передачи и распределения электрической энергии, позволяющим обеспечить требуемое качество электроэнергии, устранение взаимного влияния параллельно работающего оборудования со стороны питающей сети и т.п.

Анализ исследований и публикаций

По данной проблеме существует множество работ отечественных и зарубежных авторов, таких как Чаплыгина Е.Е., Шидловского А.К., Жежеленко И.В., Войтецкого В.В., Азарьева Д.И., Акаджи Х., Анисимова Я.Ф., Аррилагги Дж., Баранова А.П., Веникова В.А., Вилесова Д.В., Галки В.Л., Глинтерника СР., Джуджи Л., Зиновьева Г.С., Козырука А.Е., Лабунцова В.А., Маевского О.А., Матура Р.М., Поссе А.В., Розанова Ю.К., Тонкаль В.Е., Худякова В.В. и др. Но разработка новых схемных решений, алгоритмов и способов управления традиционным оборудованием, ставящих целью обеспечить его эффективное применение в СЭЭС, не исчерпывает проблемы, поскольку все большие ограничения на неё накладывает недостаточная управляемость или возможность существенной модернизации основных элементов электроэнергетической системы.

Требования к качеству электрической энергии устанавливаются ГОСТ 13109-97 [1] или Регистром морского судоходства. Они устанавливают нормы на отклонение частоты, отклонение напряжения, а также коэффициент несинусоидальности напряжения, размах изменения напряжения, коэффициент гармонической составляющей напряжения, коэффициент обратной последовательности напряжения, коэффициент нулевой последовательности напряжения. Нормы на отклонение частоты и отклонение напряжения – показатели качества электроэнергии, которые характеризуют работу питающей сети переменного тока. С присоединением потребителя они отражаются в виде значений максимально потребляемой из сети активной и реактивной мощности. Остальные показатели характеризуют влияние потребителей на параметры электроэнергии в сети. Значения обратной и нулевой последовательностей напряжения характеризуют несимметрию трехфазной системы напряжений, гармонические составляющие и коэффициент несинусоидальности фазного или линейного напряжений. Размах изменения напряжения – характеризует амплитуду резких его изменений, последовательность которых представляет собой колебания напряжения. К системным показателям качества относятся только нормы на отклонение частоты. Остальные показатели качества относятся к местным.

Успешная совместная параллельная работа потребителей электроэнергии, генераторного оборудования возможна только при обеспечении установленных ГОСТом норм, как со стороны потребителя, так и со стороны питающей сети. В этом случае говорят об электромагнитной совместимости оборудования в СЭЭС. Традиционно, проблема электромагнитной совместимости в СЭЭС решалась при помощи вращающихся синхронных компенсаторов или конденсаторных батарей с постоянной емкостью, снабженных электромеханическими коммутаторными устройствами и пассивных фильтров. Но теперь, такие подходы уже не удовлетворяют современным требованиям, главным образом, из-за возросшей интенсивности взаимно возмущающих факторов со стороны параллельно работающих нагрузок [2, 3]. Вышеперечисленное, в совокупности с необходимостью автоматизации технологических процессов производства и распределения электроэнергии, т.е. автоматического управления разнообразными показателями качества в электрической сети, потребовало создания автоматических систем управления параметрами качества электрической энергии [3, 4].

Определение нерешенных задач

С самого начала решения задачи повышения качества электроэнергии обозначилось два пути:

- - путем модификации схем самих преобразователя и/или алгоритма переключения входящих в его состав вентиляей;
- - введением в СЭЭС дополнительных устройств, подключенных на стороне переменного тока

параллельно или последовательно к преобразователю.

На практике возможно совместное использование двух перечисленных путей.

Исходя из норм определяемых указанным Регистром, а также характером нагрузки СЭЭС, можно выделить два основных пути повышения качества электроэнергии: компенсация неактивной мощности и компенсация мощности искажения. В сетях с высоким содержанием высших гармоник, которые генерируются нелинейными нагрузками, применение распространенных средств компенсации реактивной мощности, рассчитанных на синусоидальные токи и напряжения, наталкивается на серьезные технические трудности. Применяемые для компенсации реактивной мощности конденсаторные батареи изменяют частотные характеристики систем и способствуют возникновению резонанса токов, что приводит к дополнительному искажению формы напряжения сети и аварийным повреждениям конденсаторных батарей. Поэтому установка конденсаторных батарей в СЭЭС при наличии вентильной нагрузки может оказаться недопустимой. В связи с этим в сетях с вентильными нагрузками применяются компенсаторы реактивной мощности (КРМ) совместно с фильтрами, которые обеспечивают фильтрацию высших гармоник тока нелинейной нагрузки. Такая система, состоящая из КРМ и фильтров, представляет собой фильтро-компенсирующее устройство (ФКУ). Оно обеспечивает одновременно компенсацию реактивной мощности основной частоты и фильтрацию высших гармоник. В работе [5] дается следующее определение ФКУ: "Фильтро-компенсирующее устройство – многофункциональный электротехнический аппарат, предназначенный для нормализации основных параметров качества электроэнергии по напряжению в точке присоединения преобразователя к питающей электрической сети путём компенсации реактивной мощности, потребляемой преобразователем, и локализации гармоник тока, генерируемых преобразователем". Здесь следует отметить, что компенсаторы мощности искажения (КМИ) целесообразно размещать в узле подключения нелинейной нагрузки, а КРМ у источника питания. Создать новое направление – активную фильтрацию – позволило появление полностью управляемых быстродействующих полупроводниковых приборов – запираемых тиристоров, мощных полевых транзисторов и биполярных транзисторов с изолированным затвором, с высокими значениями коммутационных токов и напряжения.

В качестве КМИ, в настоящее время, как правило, используются силовые параллельные активные фильтры (СПАФ) по току (СПАФ-Т) и напряжению (СПАФ-Н). Причем открыт вопрос об эффективности применения СПАФ-Т или СПАФ-Н при компенсации высших гармоник тока. СПАФ – это 4-квadrантный преобразователь напряжения, на полностью управляемых ключевых элементах, с емкостным или индуктивным накопителем электрической энергии на стороне постоянного тока, формирующий усредненное значение тока (напряжения), равное разности нелинейного (фильтрующего) тока (или напряжения) и синусоидального тока (напряжения) его основной гармоники. Т.е. СПАФ обеспечивает компенсацию высших гармоник тока (или напряжения) сети путём генерирования высших гармоник тока (напряжения) в сеть, в противофазе с высшими гармониками тока (напряжения) сети, не влияя на баланс активной мощности в системе источник - нагрузка. По топологии включения активные фильтры подразделяются на источники напряжения и источники тока, в зависимости от цели компенсации.

При объединении КРМ и КМИ в полученном ФКУ очевидны следующие преимущества:

- низкочастотный преобразователь КРМ используется для компенсации реактивной мощности;
- преобразователь повышенной частоты низкого напряжения КМИ используется для компенсации высших гармоник тока сети;
- КРМ и КМИ используют одно и то же звено цепи постоянного тока с накопительными конденсаторами, разделенными через небольшой реактор для их развязки;
- СПАФ выполняется на силовых ключах с малой токовой нагрузкой, обусловленной только высшими гармониками тока и может работать от более низкого напряжения на стороне постоянного тока (при наличии повышающего трансформатора на выходе).

Такая топология позволяет с малыми затратами создавать модификации компенсатора с различными требованиями к частотному спектру фильтруемых гармоник тока. С другой стороны, неисправность в каком-либо блоке ФКУ с подобной топологией приводит к полной потере фильтрации. Также подобные фильтры обладают довольно высокими активными потерями.

Эффективность и надежность ФКУ в не меньшей степени определяется его системой управления, реализующей алгоритм детектирования компенсируемых гармоник. Именно этому узлу посвящено множество работ касающихся разработок в области устройств КМИ, т.к. от его характеристик в наибольшей степени зависит качество компенсации искажений.

Эффективность работы системы управления определяется следующими критериями:

- точность управления током в статических и динамических режимах;
- независимость регулирования выходного тока от отклонений внешних параметров от номинальных значений (например, напряжения сети);
- устойчивость к помехам в каналах передачи и обработки данных;
- стабильность частоты коммутации;
- гармонический состав выходного тока на частотах модуляции;
- возможность предотвращения возникновения различных аварийных режимов и т.д.

Таким образом, система управления компенсатором подразделяется на подсистемы управления двумя устройствами – устройства КРМ и устройства КМИ. Первой задачей обеих подсистем является вычисление значений неактивной составляющих мощности, которые компенсатор должен генерировать в сеть для компенсации неактивной мощности создаваемой нелинейными потребителями. В СПАФ это мощность высших гармоник, а в КРМ – реактивная мощность, определяемая основной гармоникой. Второй задачей каждой подсистемы является управление переключением ключевых элементов преобразователя напряжения. Система управления трёхфазного компенсатора без нейтрального провода, характерная для применения в СЭЭС, должна

осуществлять управление тремя токами фаз компенсатора взаимозависимо.

Собственно вычисление значений неактивной составляющих мощности путем определения компенсируемой составляющей тока или напряжения сети является основной операцией, различающей способы управления. Именно здесь происходят основные затраты времени на вычисление, а следовательно, от эффективного способа решения этой задачи зависит, будет ли достигнуто высокое качество компенсации составляющих неактивной мощности при работе на резко переменную нагрузку.

Существующие методы решения этой задачи позволяют осуществлять высокоэффективное управление параметрами качества электроэнергии в энергосистемах с бесконечными генерирующими мощностями. Однако, для СЭЭС, где генерируемые мощности сравнимы с мощностями, потребляемыми нагрузкой, и компенсация всех нелинейных нагрузок по каким-либо причинам невозможна, эти методы неприменимы, либо малоэффективны.

Это объясняется специфическими особенностями работы нелинейных нагрузок в электроэнергетических системах ограниченной мощности, а именно тем, что нелинейные нагрузки, генерирующие гармонические составляющие тока, являются основным возмущающим фактором в таких системах. Кроме того, в СЭЭС большое значение имеет решение вопросов совместной работы резкопеременных мощных нагрузок с чувствительными к искажению напряжения, как правило, маломощными специальными электроприемниками. Отметим, что специфические вопросы активной фильтрации напряжения на шинах электропитания, если не считать классические подходы в той или иной их модификации, практически не рассматривались в работах специалистов [6-11].

Если представить генераторы СЭЭС неидеальным источником, то мы получим описание, характеризующее одно из свойств нелинейной нагрузки, а именно то, что форма тока, протекающего через нелинейный элемент, не повторяет форму приложенного к нему синусоидального напряжения, т.е. нелинейная нагрузка генерирует гармонические токи, спектр которых отличен от спектра приложенного к нагрузке напряжения. Если импеданс источника так мал, что им можно пренебречь, или значительно меньше импеданса нагрузки, то форма кривой напряжения, приложенная к нагрузке, не зависит от протекающего тока. Таким образом, циркулирование токов гармоник не приводит к сколько-нибудь заметному отклонению формы кривой напряжения на шинах, питающих нагрузку, от синусоидальной – этот случай соответствует работе нагрузки от источника бесконечной мощности. Если же нагрузка питается неидеальным источником напряжения, токи гармоник, протекающие по нелинейной нагрузке, создают в этом случае падение напряжения гармоник на внутреннем импедансе источника, поэтому кривая напряжения, приложенного к нагрузке, будет искажена (даже если источник напряжения чисто синусоидален), а на специфических частотах, происходит параллельный резонанс, приводящий к значительному увеличению тока этих гармоник. Это, в свою очередь, приводит к значительному увеличению падения напряжения гармоник на внутреннем импедансе источника и, как следствие, значительному искажению кривой напряжения на шинах, питающих нагрузку. Значительное искажение кривой напряжения на питающих шинах требует проведения мероприятий, которые позволили бы осуществлять параллельную работу мощных нелинейных нагрузок с маломощными электроприемниками, чувствительными к искажению напряжения. Такими электроприемниками, например, можно считать системы управления самих мощных нелинейных нагрузок, т.е. системы управления преобразователей ГЭУ.

Задача детерминации компенсируемых гармоник в системах управления ФКУ реализуется в частотной или временной области. Вычисления во временной области имеют преимущества быстрых алгоритмов и недостаток, выражающийся в отсутствии динамической информации о гармоническом спектре. В результате, фильтры, использующие подобные алгоритмы, работают на завышенных частотах коммутации, позволяющих перекрыть весь диапазон фильтруемых гармоник. К тому же, этот способ не использует память о предыдущем опыте. Фильтрация на основе оперирования в частотной области, напротив, обладает преимуществом возможности подавления отдельных гармоник, однако отличается сложными и медленными вычислительными алгоритмами, основывающимися, как правило, на быстрых преобразованиях Фурье.

Формулирование целей

Наиболее важной задачей для ФКУ является точное определение изменяющихся гармонических составляющих несинусоидального сигнала: их величины и фазового угла. Именно это позволяет силовой части фильтра компенсировать соответствующие гармоники. Помимо быстрого преобразования Фурье, в настоящее время активно применяются методы на основе фильтра Калмана, а также системы управления на основе искусственных нейронных сетей. Однако, каждый из этих методов, имеет в той или иной степени один недостаток – время адаптации к изменениям в анализируемом сигнале. В наилучшем случае, при неизменной частоте тока питающей сети и резком изменении его гармонического состава, системе управления необходимо время не менее одного периода напряжения сети. Изменение же частоты питающей сети, низкочастотные колебания (характерные для дисбаланса в трехфазной сети без нулевого провода), мощные помехи приводят, как правило, к катастрофическим последствиям. Это связано с тем, что при работе в частотной области, изменение частоты основной гармоники на 0,4 Гц приводит к ошибке в определении амплитуды 5-й гармоники равной 10%. Чтобы избавиться от этой ошибки, необходимо определять частоту основной гармоники. Для этого используют метод отслеживающий частоту сигнала по его прохождению через ноль. Но даже в четырехпроводной сети этот алгоритм требует времени не менее 3 периодов основной гармоники (рис. 1). Учитывая отсутствие в СЭЭС нулевого провода и, как следствие, неизвестность фазных напряжений сети, искаженность линейных напряжений, а также прочих дестабилизирующих факторов, существующие системы управления дают критическую ошибку.

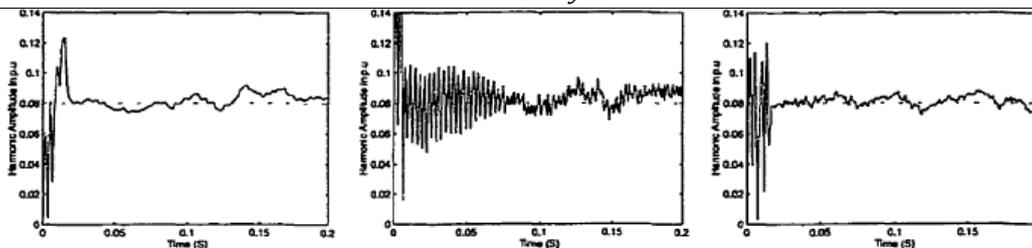


Рис. 1. Определение амплитуды 5-й гармоники: а – нейронной сетью, б – фильтром Калмана, в – быстрым преобразованием Фурье

Таким образом, при всём разнообразии существующих способов выделения гармоник мощности искажения, актуальнейшей задачей остается реализация быстрого и точного алгоритма идентификации недоступных для измерения сигналов и параметров сложной распределенной системы.

Изложение основного материала

Как следует из приведенных выше рассуждений, для устранения искажения кривой напряжения на питающих шинах, необходимо предотвратить протекание тока гармоник нелинейной нагрузки через источник. Этого можно добиться, заставив протекать токи гармоник по параллельной цепи, подключенной к источнику. Поскольку гармонические составляющие тока нелинейной нагрузки, в этом случае, более не протекают через источник, то и не создается падение напряжения гармоник на внутреннем импедансе источника, а следовательно, не искажается форма кривой напряжения VT на питающих шинах.

Технически параллельная ветвь с требуемым импедансом может быть реализована с помощью управляемого источника тока. Если источник тока будет управляться таким образом, чтобы соотношения между током и напряжением в параллельной ветви получались такими же, как в ветви с требуемым импедансом, то процессы в остальной части цепи не зависят от того, какой из двух полюсников активный или пассивный к ней подключен. По своей сути такая ветвь будет представлять собой силовой активный фильтр. Рис 2 иллюстрирует принцип построения такого фильтра в виде силового параллельного активного фильтра напряжения и тока.

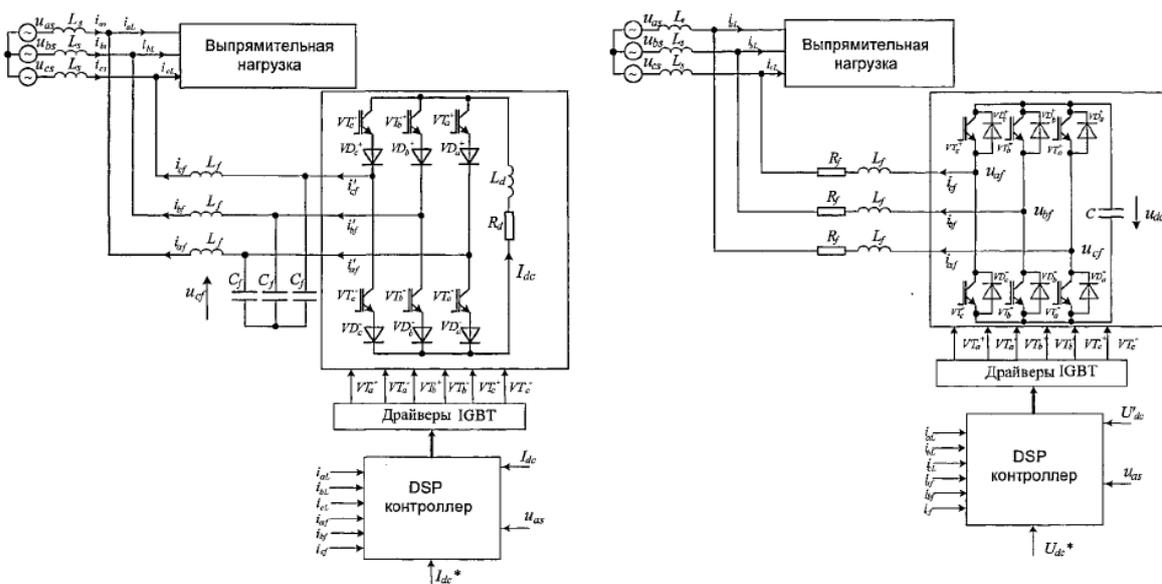


Рис. 2. Структура построения силовых активных фильтров гармоник

На рис.3 и рис.4 представлена структура адаптивной системы управления АФ, использующей наблюдатель сигналов для идентификации недоступных для непосредственного измерения сигналов в силовой цепи [12]. По доступным для измерения фазным токам и линейным напряжениям сети восстанавливаются сигналы синхронного генератора дизель-генератора (СГ ДГ) СЭЭС. Частота, амплитуда ЭДС генератора, угол нагрузки и т.п. сигналы используются для аппроксимации основной гармоники фазных напряжений сети блоками АСУ АФ-Н и АСУ АФ-Т, восстанавливающих гармонический состав искаженных токов и напряжений сети.

Найденные гармонические составляющие подаются на соответствующие модули, формирующие сигналы управления для силовой части, которая может быть представлена как классически одним инвертором, так и совокупностью силовых модулей, отвечающих за подавление индивидуальных или парных гармоник тока и напряжения. Заметим, что сигналы аппроксиматоров возможно использовать и в качестве опорных напряжений для систем управления тиристорными выпрямителями ГЭД и в совокупности получить комплексную систему управления качеством электроэнергии в СЭЭС.

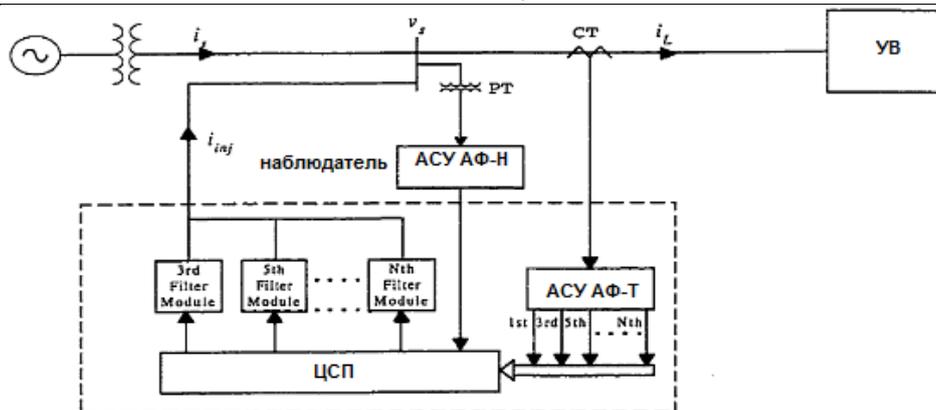


Рис. 3. Структурная схема АФ модульной топологии с наблюдающим устройством

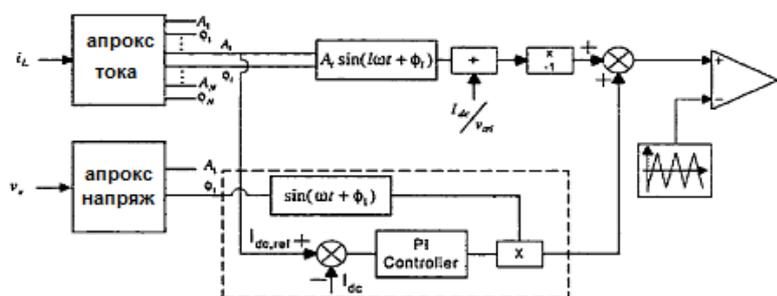


Рис. 4. Модель системы управления на основе адаптивных аппроксиматоров

Компьютерная модель разработанного устройства в составе СЭЭС приведена на рис. 5. Моделирование производилось в среде Simulink программного пакета MatLab.

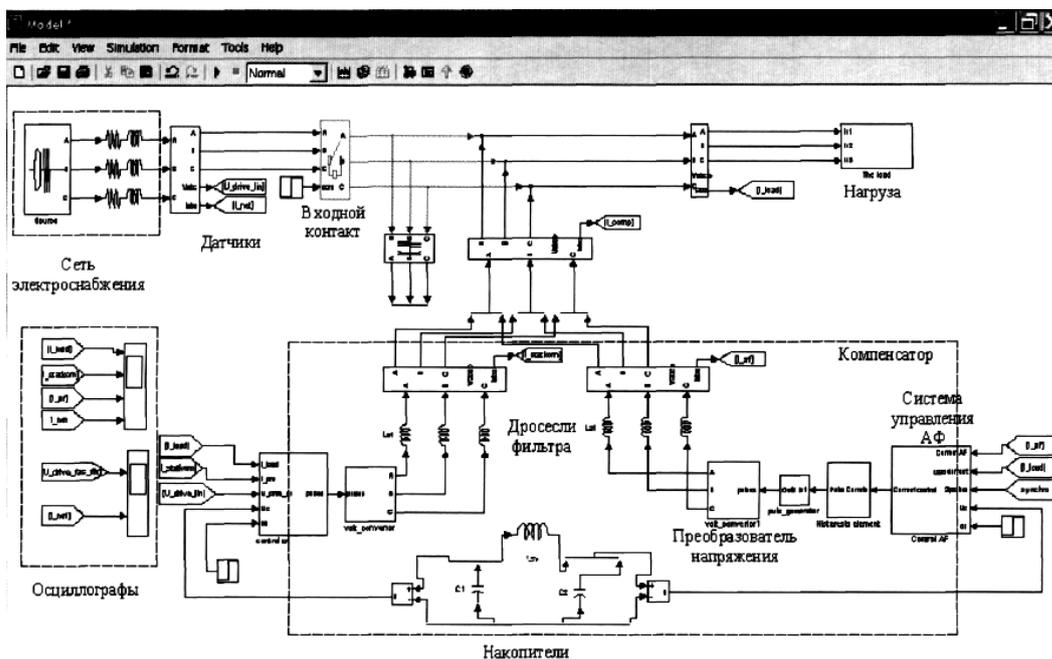


Рис. 5. Модель СЭЭС с силовым параллельным АФ

На рис. 6 и 7 представлены осциллограммы токов сети до и после включения АФ и самого компенсирующего тока, генерируемого в сеть силовой частью АФ.

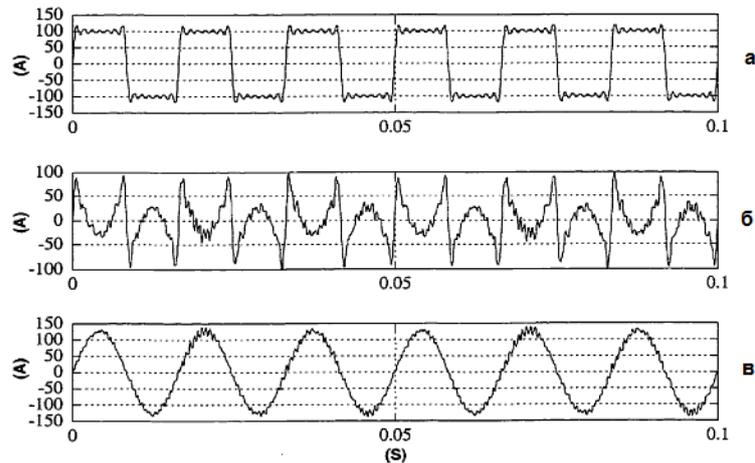


Рис. 6. Результаты моделирования: а – искаженный ток сети; б – компенсирующий ток; в – ток сети после фильтрации

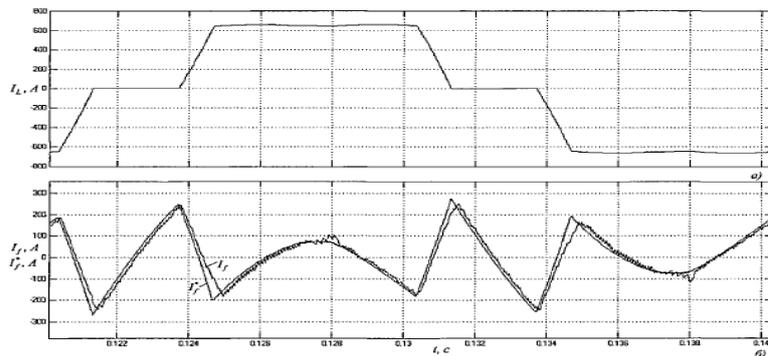


Рис. 7. Результат моделирования работы АФ: I_L – искаженный ток сети; I_f – вычисленный СУ АФ компенсирующий ток; I_f^* – генерируемый ШИМ-модуляцией компенсирующий ток

Выводы

Предложенный оригинальный метод построения системы управления АФ для фильтрации напряжения на шинах СЭЭС, позволяет обеспечить совместную работу резкопеременных мощных нагрузок с чувствительными к искажению напряжения питания электроприемниками благодаря активной компенсации мощности искажения в сети.

Виртуальными компьютерными экспериментальными исследованиями подтверждена работоспособность предложенного нового метода к активной фильтрации на шинах электропитания.

Актуальной остается необходимость изучения вариантов совместного использования статических компенсаторов у шин нагрузки и активных фильтров у шин генератора для достижения максимально эффективного использования энергетических мощностей судового электрооборудования и устранения взаимного влияния параллельно работающего оборудования со стороны питающей сети.

Литература

- ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Минск. Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998, 58 с.
- Зиновьев Г.С. Итоги решения некоторых проблем электромагнитной совместимости вентиляльных преобразователей// Электротехника, 2000, №11, С.12-16.
- Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В. Современные методы улучшения качества электроэнергии (аналитический обзор)// Электротехника, 1998, №3, С.10-17.
- Солодухо Я.Ю. Тенденции компенсации реактивной мощности. Ч.1.: Реактивная мощность при несинусоидальных режимах работы: Обзор, информ. М.: Информэлектро, 1987, вып.2, 51с.
- Лабунцов В.А., Чаплыгин Е.Е. Компенсаторы неактивной мощности на вентилях с естественной коммутацией// Электричество, 1996, №9, С.55-59.
- Анисимов Я.Ф., Васильев Е.П. Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей и судовых электроустановок Л.: Судостроение, 1990, 264 с.
- H.Akagi, Y.Kanazawa, A.Nabae. Instantaneous reactive power compensators comprising switching device without energy storage components// IEEE Trans, on Industry Applications, vol.IA-20, no.3, pp.625-630, 1984.
- L. Gyugyi, E. Strycula Active AC Power Filter// IEEE Trans, on Industry Applications, pp. 529-535, 1976.
- P. Jintakosonwit, H. Fujita, H. Akagi Control and Performance of a Fully-Digital-Controlled Shunt Active Filter for Installation on a Power Distribution System// IEEE Trans, on Power Electronics, vol.17, no.1, pp. 132-140, 2002.
- S. Kim, P.N. Enjeti A New Hybrid Active Power Filter (APF) Topology// IEEE Trans, on Power Electronics,

vol. 17, no. 1, pp. 48-54, 2002.

11. T.E. Nunez-Zuniga, J.A. Pomilio Shunt Active Power Filter Synthesizing Resistive Loads// IEEE Trans, on Power Electronics, vol.17, no.2, pp. 273-278, 2002.

12. А.А. Жиленков. Использование наблюдающих устройств для повышения устойчивости работы полупроводниковых преобразовательных устройств в сетях ограниченной мощности. //Современные и формационные и инновационные технологии на транспорте MINTT-2012.: материалы IV международной научно-практической конференции. Херсон, 2012. Том 2. С. 68-69.

References

1. GOST 13109-97. Jelektricheskaja jenergija. Sovmestimost' tehniceskix sredstv jelektromagnitnaja. Normy kachestva jelektricheskoi jenerгии v sistemah jelektrosnabzhenija obshhego naznachenija. Minsk. Mezhdunarodnyj Sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii, 1998, 58 s.

2. Zinov'ev G.S. Itogi reshenija nekotoryh problem jelektromagnitnoj sovmestimosti ventil'nyh preobrazovatelej// Jelektrotehnika, 2000, №11, S.12-16.

3. Rozanov Ju.K., Rjabchickij M.V. Sovremennye metody uluchshenija kachestva jelektrojenerгии (analiticheskij obzor)// Jelektrotehnika, 1998, №3, S.10-17.

4. Soloduhu Ja.Ju. Tendencii kompensacii reaktivnoj moshhnosti. Ch.1.: Reaktivnaja moshhnost' pri nesinusoidal'nyh rezhimah raboty: Obzor, inform. M.: Informjelektro, 1987, vyp.2, 51s.

5. Labuncov V.A., Chaplygin E.E. Kompensatory neaktivnoj moshhnosti na ventiljah s estestvennoj kommutaciej// Jelektrichestvo, 1996, №9, S.55-59.

6. Anisimov Ja.F., Vasil'ev E.P. Jelektromagnitnaja sovmestimost' poluprovodnikovyx preobrazovatelej i sudovyh jelektroustanovok L.: Sudostroenie, 1990, 264 s.

7. H.Akagi, Y.Kanazawa, A.Nabae. Instantaneous reactive power compensators comprising switching device without energy storage components// IEEE Trans, on Industry Applications, vol.IA-20, no.3, pp.625-630, 1984.

8. L. Gyugyi, E. Strycula Active AC Power Filter// IEEE Trans, on Industry Applications, pp. 529-535, 1976.

9. P. Jintakosonwit, H. Fujita, H. Akagi Control and Performance of a Fully-Digital-Controlled Shunt Active Filter for Installation on a Power Distribution System// IEEE Trans, on Power Electronics, vol.17, no.1, pp. 132-140, 2002.

10. S. Kim, P.N. Enjeti A New Hybrid Active Power Filter (APF) Topology// IEEE Trans, on Power Electronics, vol. 17, no. 1, pp. 48-54, 2002.

11. T.E. Nunez-Zuniga, J.A. Pomilio Shunt Active Power Filter Synthesizing Resistive Loads// IEEE Trans, on Power Electronics, vol.17, no.2, pp. 273-278, 2002.

12. А.А.Жиленков. Ispol'zovanie nabljudajushhih ustrojstv dlja povyshenija ustojchivosti raboty poluprovodnikovyx preobrazovatel'nyh ustrojstv v setjah ogranichennoj moshhnosti. //Sovremennye i formacionnye i innovacionnye tehnologii na transporte MINTT-2012.: materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii. Herson, 2012. Tom 2. S. 68-69.

Рецензія/Peer review : 1.10.2013 р. Надрукована/Printed :24.11.2013 р.

Рецензент: Щокін Вадим Петрович, доктор технічних наук, завідувач кафедри, професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту; Криворізький національний університет

УДК 006.91:681.121

М.В. КУЗЬ

Івано-Франківський університет права імені Короля Данила Галицького

НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ОБ'ЄМУ ГАЗУ

Вирішено питання поширення вимог чинних перевірчих схем на коректори та обчислювачі об'єму газу. Встановлено нормативні вимоги до метрологічних характеристик вимірювальних комплексів об'єму газу та розроблено методику їх комплектної перевірки.

Ключові слова: вимірювальний комплекс об'єму газу, метрологічні характеристики, комплектна перевірка.

M.V. KUZ

Ivano-Frankivsk King Danylo Galytsky University of Law

REGULATORY SUPPORT MEASURING COMPLEX GAS VOLUME

Abstract – The purpose of this paper is an attempt to eliminate existing today metrological incorrect - gas calibration correction in the absence of relevant state hierarchy scheme, that is the question of legitimate normative development of measurement systems volume and volumetric flow of gas.

Requirement distribution problems of applicable calibration schemes of proofreaders and gas volume calculators are solved. The normative requirements for metrological characteristics of gas volume measuring systems are established and the method of complete verification is developed.

Designed regulatory support gas volume measurement systems can serve as a basis for developing regulations on technical requirements and guidance documents for metrological certification and calibration of measuring instruments.

Keywords: measuring system gas volume metrological characteristics, complete verification.

Вступ

Природний газ є одним із найважливіших енергетичних ресурсів України і ефективно витрачання даного енергоносія можливе лише за умови точного його обліку. Результати вимірювань об'єму газу, згідно з [1], можуть бути використані за умови, якщо відомі відповідні характеристики похибок вимірювань, вимоги до яких та методики їх визначення регламентуються діючими нормативними і, зокрема, методичними документами з метрології.