

Научная статья / Research Article

УДК 621.316.1.12

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Данил Олегович Журавков¹, Марина Петровна Баранова²

¹АО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнева», Железногорск, Красноярский край, Россия

²Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹dandi.zhuravkov@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме повышения качества электроэнергии посредством совершенствования методов компенсации высших гармоник, вызывающих искажения напряжения и снижающих надежность электросетей. Осуществлен анализ современных подходов к компенсации гармоник, включающих цифровую обработку сигналов и адаптивные алгоритмы управления ФКУ, применяемые для улучшения эффективности и устойчивости сетей.

Ключевые слова: компенсация гармоник, качество электроэнергии, параметры сети, методика

IMPROVING METHODS OF COMPENSATING FOR HIGHER HARMONICS

Danil Olegovich Zhuravkov¹, Marina Petrovna Baranova²

¹AO Information satellite systems named after Academician M.F. Reshetneva, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Region, Russia

² Krasnoyarsk agrarian university, Krasnoyarsk, Russia

¹dandi.zhuravkov@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the actual problem of improving the quality of electricity by improving the methods of compensation of higher harmonics, which cause voltage distortion and reduce the reliability of power grids. The article analyzes modern approaches to harmonic compensation, including digital signal processing and adaptive control algorithms for FACTS devices, which are used to improve the efficiency and stability of networks.

Keywords: harmonic compensation, electricity quality, network parameters, methodology

Введение. Современные методы компенсации высших гармоник основываются на применении цифровых технологий обработки сигналов и адаптивных алгоритмов, что обеспечивает высокую точность и оперативность реагирования системы на изменяющиеся условия эксплуатации. Один из ключевых факторов включает использование цифровых фильтров, реализуемых с помощью микропроцессорных и микроконтроллерных средств, что позволяет осуществлять динамическую коррекцию формы тока и напряжения, данный метод обеспечивает уменьшение уровня гармонических искажений за счет селективного подавления определенных частотных компонентов [1].

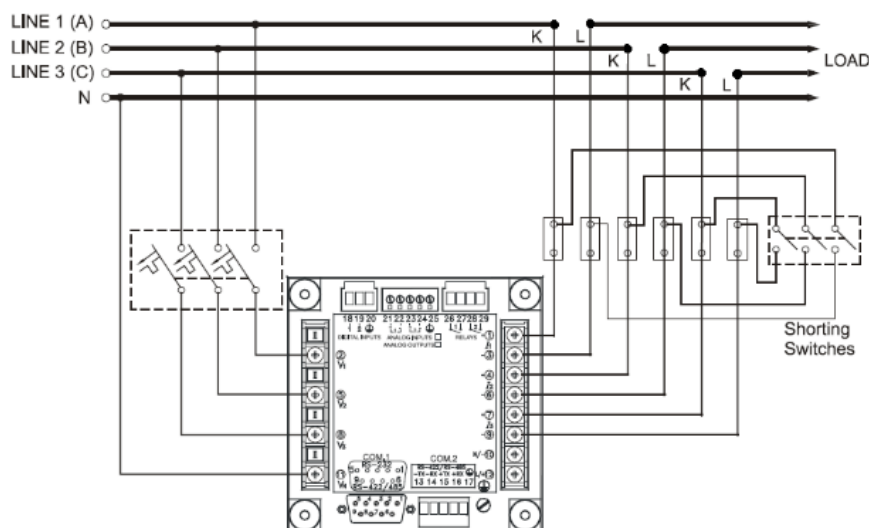
Особенно эффективным является применение адаптивных алгоритмов, таких как алгоритмы на базе метода наименьших квадратов (LMS) или алгоритмов Риджа-Лью-Лау, которые позволяют системе автоматически настраиваться под текущие условия нагрузки, минимизируя искажения и повышая стабильность систем компенсации [2].

В ходе апробации на экспериментальных данных было выявлено, что комбинирование цифровых фильтров и адаптивных алгоритмов существенно повышает точность и надежность компенсации гармоник, а также расширяет диапазон условий, при которых достигается эффективное снижение высших гармоник. Такой подход способствует формированию более стабильных и качественных электросетевых систем, что особенно актуально при использовании нечувствительных к гармоникам устройств и систем с возросшими требованиями к качеству электроэнергии.

Важной составляющей является возможность интеграции данных методов с существующими системами автоматического управления и мониторинга, что позволяет создавать многоуровневые системы компенсации, способные к самонастройке и автоматической оптимизации параметров, обеспечивая устойчивость и высокую эффективность работы при переменных нагрузках [3].

Основной задачей является разработка алгоритмов прогнозирования уровней гармоник на основе анализа тенденций нагрузки и используемых методов компенсации, что позволит превентивно корректировать параметры системы и избегать превышения допустимых уровней искажений, что повышает общую эффективность систем управления качеством электроэнергии, обеспечивает соответствие стандартам и снижает риск повреждения чувствительной электроники и автоматизированных устройств. Также необходимо учитывать влияние высших гармоник на измерительные приборы и системы учета, так как их наличие может значительно искажать результаты измерений и, как следствие, влиять на тарифы и учет потребления энергии. В связи с этим особое внимание уделяется не только фильтрации и компенсации, но и точности учета электроэнергии в условиях повышенного уровня гармонических искажений, что требует совершенствования методов диагностики и калибровки измерительных систем [4].

Для измерения основных показателей качества электроэнергии, а также гармонических составляющих тока и напряжения использовался анализатор качества электроэнергии PM175 SATEC. Измерения проводились в соответствии с методикой, подробно изложенной в статье [5]. Для измерений была использована схема трехпроводного прямого соединения без трансформаторов тока, которая приведена на рисунке 1 [6].



1 – Схема подключения прибора

Измерения основных показателей качества электроэнергии, а также гармонических составляющих тока и напряжения проводились при помощи анализатора качества электроэнергии PM175 SATEC. Внешний вид прибора показан на рисунке 2 [6].



Рисунок 2 – Анализатор качества электроэнергии PM175 SATEC

Прибор позволяет измерять прямые показатели качества электрической энергии по методике ГОСТ13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». В процессе работы PM175 ведет специальный журнал, в котором фиксируются все со-

бытия, связанные с превышением какого-либо показателя его предельно допустимого значения по ГОСТ 32144-2013.

Основными параметрами являются также показатели управляющей системы, которая регулирует работу фильтра, обеспечивая адаптацию к изменяющимся условиям нагрузки и уровню гармоник [2]. Эффективность фильтрации определяется его способностью поглощать конкретные гармоники, что достигается за счет правильного выбора типа и конфигурации фильтров, таких как пассивные LC-цепи или активные фильтры. Общая схема пассивного LC фильтра представлена на рисунке 3.

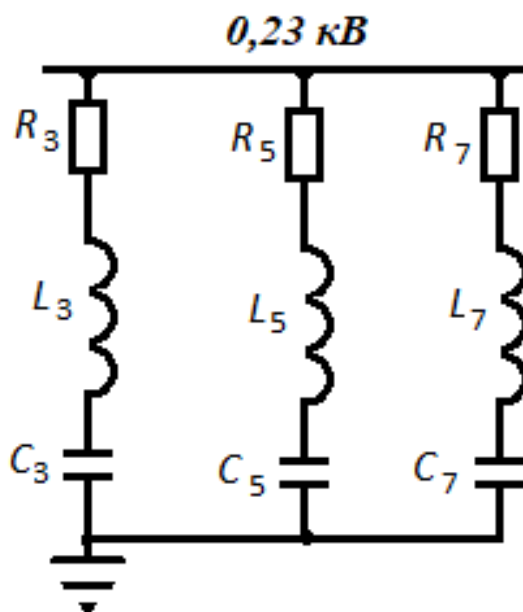


Рисунок 3 – Общая схема пассивного LC фильтра

Наличие дополнительных параметров, включая уровень шума, устойчивость к перенапряжениям и температурные режимы эксплуатации, также существенно влияет на длительную стабильность и качество работы устройства.

Правильный подбор параметров фильтра и точная настройка системы позволяют значительно повысить качество и надежность электропитания, а это достигается за счет комплексного учета характеристик устройств и условий эксплуатации [5]. Среди основных технических характеристик этих устройств особое значение имеют номинальная мощность, импеданс, частотные характеристики и параметры фильтра, такие как частотная характеристика и уровень потерь. Важными параметрами являются также параметры управляющей системы, которая регулирует работу фильтра, обеспечивая адаптацию к изменяющимся условиям нагрузки и уровню гармоник [7].

Существует множество разновидностей пассивных LC фильтров [2]. Наиболее простой – это настроенный на частоты нечетных гармоник, представляет собой последовательный колебательный контур, включен-

ный параллельно нагрузке (рис. 4). Фильтр предназначен для коррекции коэффициента мощности и ослабления гармоник.

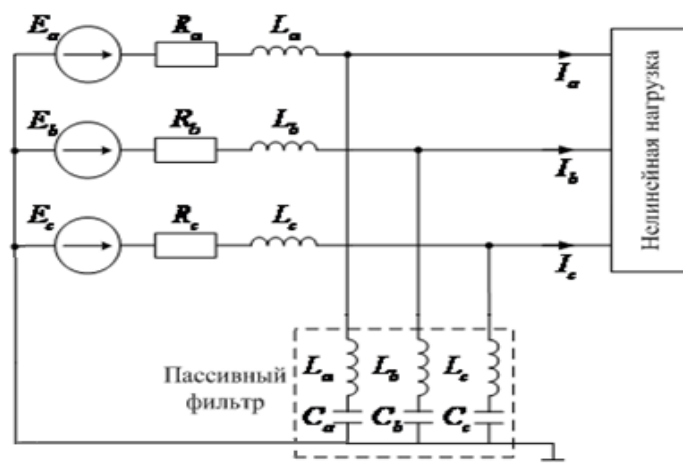


Рисунок 4 – Пассивный LC фильтр, включенный параллельно нагрузке

Эффективность фильтрации определяется его способностью поглощать конкретные гармоники, что достигается за счет правильного выбора типа и конфигурации фильтров. Учитывая особенности различных электросетей, необходимо также учитывать динамические свойства и способность устройств адаптироваться к изменению нагрузок, что особенно важно при решении вопросов компенсации реактивной мощности и гармоник, как подчеркивается в исследованиях по выбору методов снижения гармоник для минимизации их влияния на энергосистему [3,8].

Заключение. В дальнейших исследованиях акцент должен быть сделан на разработке универсальных алгоритмов, способных адаптироваться к различным типам нагрузок и условий эксплуатации, а также на интеграции методов машинного обучения для более точной и быстрой настройки систем компенсации. В целом предложенные подходы представляют значительный прогресс в области повышения эффективности работы систем компенсации высших гармоник, а их внедрение способствует решению актуальных задач совершенствования электроснабжения, особенно в условиях динамично развивающихся промышленных предприятий и распределенных систем энергоснабжения, где качество электроэнергии является критическим фактором.

Список литературы

1. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. СПб.: Лань, 2006. 432 с.
2. Осадченко В.Х., Волкова Я.Ю., Кандрина Ю.А. Резонансные свойства RLC-цепей. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. 64 с.
3. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А. Повышение качества электрической энергии с помощью параллельного активного фильтра в системах

электроснабжения промышленных предприятий // Электричество. 2012. № 3. С. 7–11.

4. Анализ спектрального состава токов и напряжений светодиодных и газоразрядных источников света / В.П. Довгун, [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2013. № 8. С. 174–180.
5. Боярская Н.П., Довгун В.П. Гармонический анализ процессов в электрических сетях с нелинейными нагрузками // Вестник КрасГАУ. 2010. № 2. С. 135–141.
6. Многофункциональный измеритель РМ175. Техническая документация. Руководство по установке и эксплуатации. РСТСЕСУ. 2009. 241 с.
7. Боярская Н.П., Довгун В.П. Передаточные функции пассивных фильтров гармоник // Вестник КрасГАУ. 2010. № 8. С. 130–138.
8. Design and Evaluation of a Research-Oriented Open-Source Platform for Smart Grid Metering: A Comprehensive Review and Experimental Intercomparison of Smart Meter Technologies / N.S. Korakianitis [et al.] // Future Internet. 2025. № 17(9). P. 425. DOI: 10.3390/fi17090425.

References

1. Atabekov G.I. Osnovy teorii czepej. SPb.: Lan`, 2006. 432 s.
2. Osadchenko V.X., Volkova Ya.Yu., Kandrina Yu.A. Rezonansnye svojstva RLC-czepej. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2013. 64 s.
3. Abramovich B.N., Sychev Yu.A. Povyshenie kachestva èlektricheskoy ènergii s pomoshh`yu parallel'nogo aktivnogo fil'tra v sistemax èlektrosnabzheniya promyshlennyyx predpriyatij // Èlektrichestvo. 2012. № 3. S. 7–11.
4. Analiz spektral'nogo sostava tokov i napryazhenij svetodiodnyx i gazorazryadnyx istochnikov sveta / V.P. Dovgun, [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2013. № 8. S. 174–180.
5. Boyarskaya N.P., Dovgun V.P. Garmonicheskij analiz proczessov v èlektricheskix setyax s nelinejnymi nagruzkami // Vestnik KrasGAU. 2010. № 2. S. 135–141.
6. Mnogofunkczional`nyj izmeritel` RM175. Texnicheskaya dokumentacziya. Rukovodstvo po ustanovke i èkspluataczii. RSTSESU 2009. 241 s.
7. Boyarskaya N.P., Dovgun V.P. Peredatochnye funkczii passivnyx fil'trov garmonik // Vestnik KrasGAU. 2010. № 8. S. 130–138.
8. Design and Evaluation of a Research-Oriented Open-Source Platform for Smart Grid Metering: A Comprehensive Review and Experimental Intercomparison of Smart Meter Technologies / N.S. Korakianitis [et al.] // Future Internet. 2025. № 17(9). P. 425. DOI: 10.3390/fi17090425.

Сведения об авторах

Данил Олегович Журавков, инженер-конструктор

Марина Петровна Баранова, заведующая кафедрой системозенергетики,
доктор технических наук

Information about the authors

Danil Olegovich Zhuravkov, Design Engineer

Marina Petrovna Baranova, Head of the Department of System, Doctor of
Technical Sciences