

МОДЕЛЬ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Долингер С.Ю.¹, Лютаевич А.Г.¹, Чепурко Н.Ю.¹, Мусин А.Х.²

¹ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Омск, Россия (644050, Омск, пр. Мира, 11), e-mail: dolingerSY@gmail.com

²ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», г. Барнаул, Россия (656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46)

В статье рассмотрены вопросы моделирования многофункционального устройств обеспечения качества электроэнергии в распределительных сетях. В качестве оптимальной среды для моделирования компенсирующего устройства был выбран программный комплекс MATLAB, т.к. является мощной средой для проведения математических вычислений и моделирования. В данном программном комплексе была разработана модель системы электроснабжения с нелинейной и несимметричной нагрузкой, а также модель многофункционального устройства обеспечения качества электроэнергии и его системы управления. В данной модели реализована изменяющаяся во времени несимметричная и нелинейная активно-индуктивная нагрузка. Для проверки эффективности работы полученной модели устройства обеспечения качества электроэнергии и его системы управления были смоделированы различные режимы нагрузки. Проведена оценка качества электроэнергии до и после включения технического средства.

Ключевые слова: качество электроэнергии, моделирование технических средств повышения качества электроэнергии.

MODEL MULTIFUNCTIONAL DEVICES ENSURING THE POWER QUALITY IN DISTRIBUTION NETWORKS

Dolinger S.Y.¹, Lyutarevich A.G.¹, Chepurko N.Y.¹, Musin A.H.²

¹Omsk state technical university, Omsk, Russia (644050, Omsk, pr. Mira, 11), e-mail: dolingerSY@gmail.com

²Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia (656038, Barnaul, prospect Lenin, 46)

This article deals with simulation multifunctional devices of a power quality in distribution networks. Was chosen software package Matlab as an optimal environment for simulation of the compensating device, because is a powerful environment for carrying out mathematical calculations and modeling. This software package was developed a model power system with nonlinear and asymmetrical load and the model of the multifunctional power quality device and control systems. In this model implemented time-varying asymmetric and non-linear active-inductive load. To test the efficiency of the resulting model of the device to ensure power quality and control system were simulated different load patterns. Additionally, power quality was assessed before and after switching on the appliance.

Keywords: power quality, modeling devices ensuring the power quality

В современных условиях остро стоит вопрос обеспечения качества электрической энергии в распределительных сетях в связи с широким внедрением силовой электроники как наиболее эффективного средства обеспечения требуемых режимов работы электромеханических и технологических комплексов [7]. Ухудшение качества электрической энергии ведет к снижению надежности и эффективности работы электрооборудования. Основные формы ущерба, обусловленного снижением качества электроэнергии:

- снижение эффективности процессов передачи и потребления электроэнергии за счет увеличения дополнительных потерь в основных элементах электрической сети;
- уменьшение срока службы и выход из строя электрооборудования и электроприемников;

- нарушение нормальной работы и выход из строя устройств релейной защиты, автоматики и связи;
- снижение производительности технологического оборудования и брак продукции;
- возможность поражения обслуживающего персонала электрическим током вследствие ускоренного старения изоляции.

В настоящее время данная проблема в большинстве случаев решается за счет применения специальных технических средств повышения качества электрической энергии. На различных этапах разработки данного типа устройств появляется необходимость проверки эффективности внесенных изменений в аппаратную часть или алгоритм системы управления, но реальная экспериментальная проверка и анализ режимов работы подобных сложных электронных систем представляет собой достаточно трудоёмкую и дорогостоящую задачу. Поэтому существенную помощь может оказать замена реального устройства виртуальной компьютерной моделью [7, 8].

Вопросы эффективности использования различных технических средств обеспечения качества электроэнергии в системах электроснабжения рассмотрены в различных работах [1, 5, 6]. При этом большое внимание уделяется непосредственно системам управления [2, 3, 4], именно в этом направлении идет совершенствование многофункциональных средств обеспечения качества электрической энергии.

Цель данной статьи – разработка компьютерной модели трехфазной системы с нелинейной и несимметричной нагрузкой для исследования эффективности работы многофункционального устройства обеспечения качества электрической энергии в различных режимах.

Решение задачи

В качестве оптимальной среды для моделирования компенсирующего устройства был выбран программный комплекс MATLAB, т.к. является мощной средой для проведения математических вычислений и моделирования [1, 8]. С использованием графической среды Simulink, входящей в данный программный комплекс, реализована модель трехфазной системы с нелинейной и несимметричной нагрузкой, к которой подключено устройство обеспечения качества электроэнергии (рисунок 1).

Для моделирования трёхфазной сети в среде MATLAB используем из базы данных SimPowerSystems блок AC Voltage Source и блок Series RLC Branch [8]. С помощью данных блоков мы задаём напряжение и индуктивное сопротивление питающей сети.

Для оценки эффективности работы устройства рассмотрим все возможные изменения в узле нагрузки. В данной модели реализована изменяющаяся во времени несимметричная и

нелинейная активно-индуктивная нагрузка, что позволяет более точно оценить качество фильтрации кривой тока нагрузки.

В качестве нагрузки представлены два блока, один из которых моделирует нелинейную нагрузку (Non-Linear Load), а другой – несимметричную активно-индуктивную нагрузку (Asymmetrical Load).

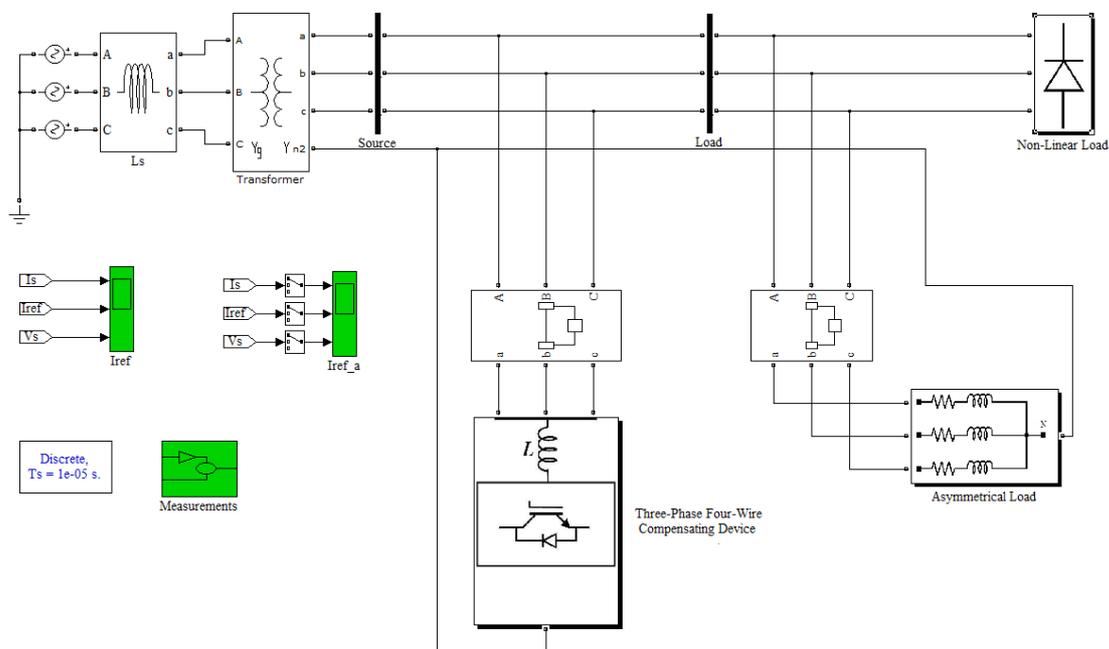


Рис. 1. Модель трёхфазной системы с нелинейной и несимметричной нагрузкой в среде MATLAB

Нелинейная нагрузка (Non-Linear Load) состоит из двух трёхфазных диодных выпрямителей, подключённых через трансформаторы с различным соединением обмоток, для создания режима работы 6-пульсного или 12-пульсного преобразователей. Коэффициент трансформации равен 1.

Для моделирования трёхфазного мостового диодного выпрямителя в среде MATLAB используем из базы данных SimPowerSystems\Power Electronics блок Universal Bridge [8]. В модели данный блок используется для моделирования несинусоидальности системы. Блок (Asymmetrical Load) необходим для создания активно-индуктивной несимметричной нагрузки в системе электроснабжения.

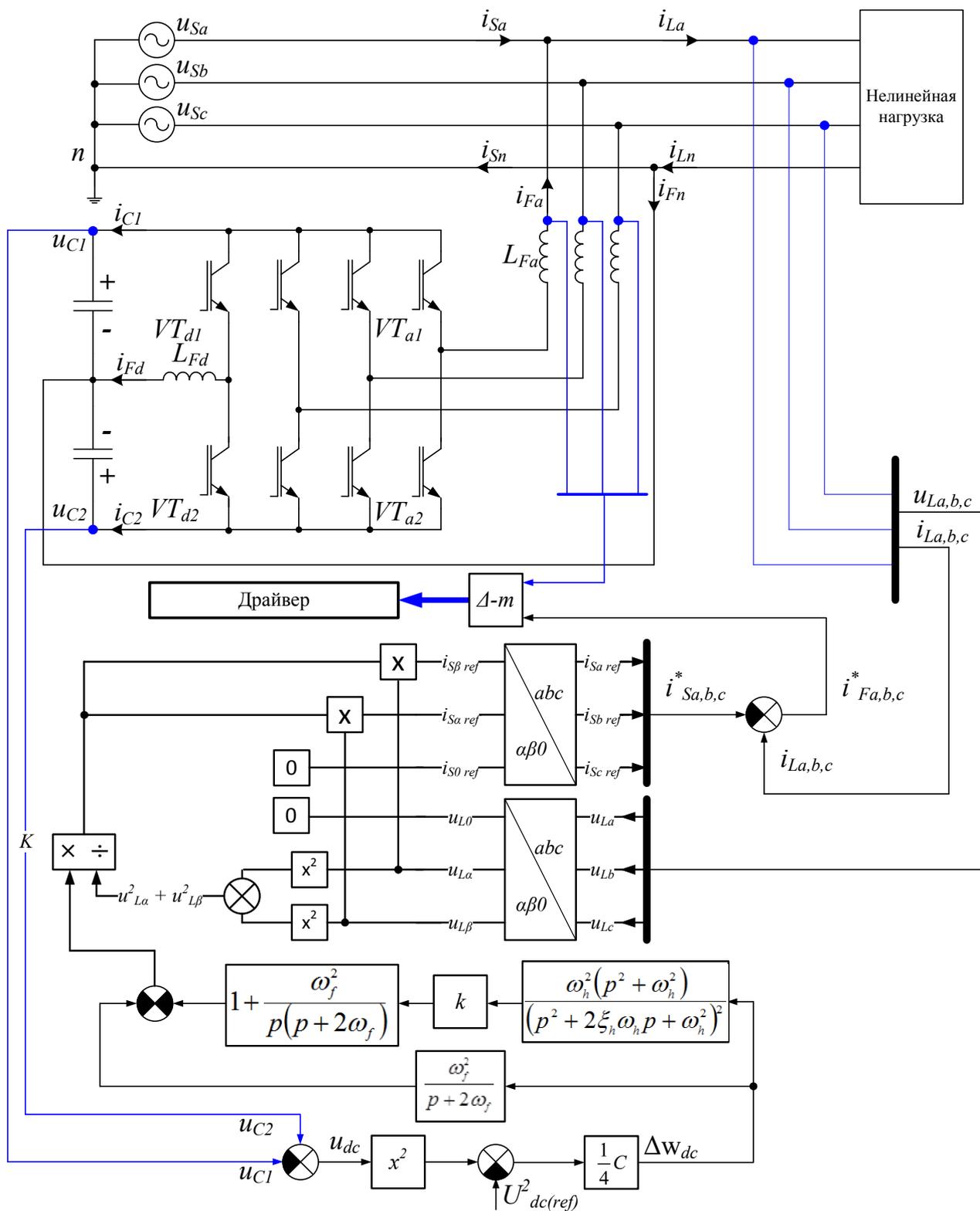


Рис. 2. Структурная схема компенсирующего устройства

Модель компенсирующего устройства состоит из восьми блоков IGBT-транзисторов, катушек индуктивностей, двух конденсаторов на стороне постоянного тока и системы управления. Компенсирующее устройство использует блок «Control» для модуляции управляющего сигнала силовой частью. Благодаря коммутации силовых ключей по заданному алгоритму компенсирующее устройство генерирует сигнал ошибки в сеть с

небольшой задержкой во времени, тем самым, обеспечивая близкую к идеальной форме синусоиды тока нагрузки, и, как следствие, обеспечивает требуемое качество электрической энергии. На рисунке 2 представлена структурная схема компенсирующего устройства реализованного в рассмотренной выше компьютерной модели.

Для проверки эффективности работы полученной модели устройства обеспечения качества электроэнергии и его системы управления были смоделированы различные режимы нагрузки, а также произведена оценка качества фильтрации кривой тока. Режим с изменяющейся во времени несимметричной нагрузкой – в данном режиме нагрузка изменяется во времени и на второй ступени, после изменения, является несимметричной. Компенсирующее устройство в данном режиме не только компенсирует несинусоидальность кривой тока, но и устраняет несимметричный режим. График изменения тока нагрузки представлен на рисунке 3.

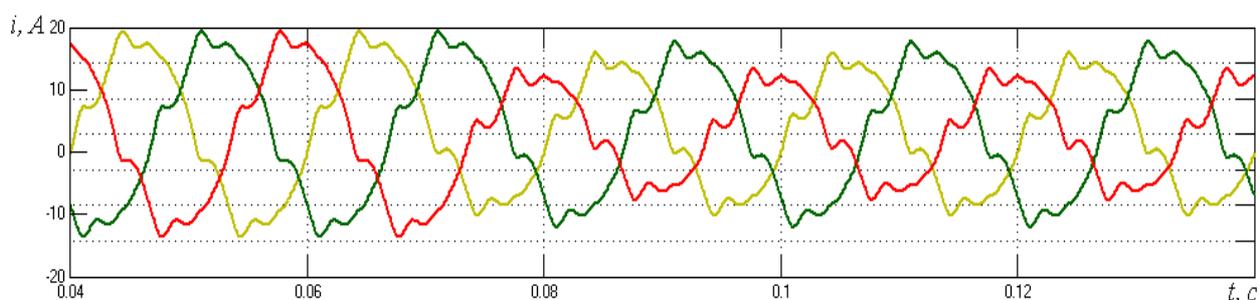


Рис. 3. Ток нагрузки до включения компенсирующего устройства

До включения компенсирующего устройства коэффициенты искажения синусоидальности кривой тока были равны и, соответственно, до изменения нагрузки и после. Коэффициент несимметрии тока по нулевой последовательности в режиме несимметричной нагрузки равен 11,46%.

На рисунке 4 представлен график изменения тока нагрузки после включения компенсирующего устройства.

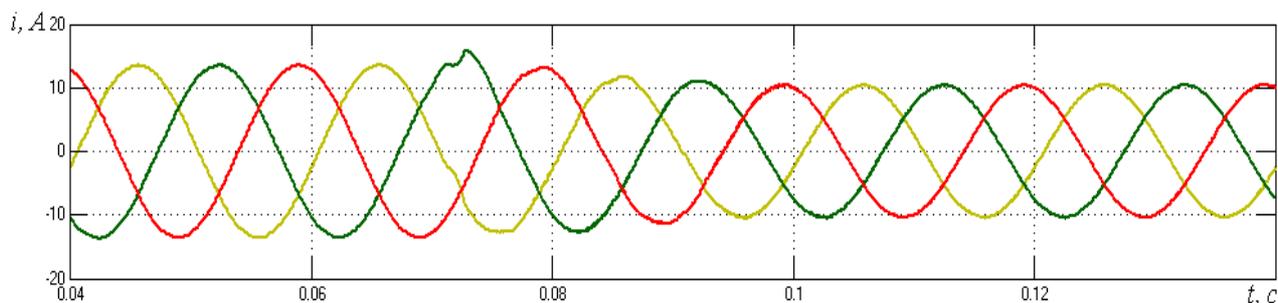


Рис. 4. Ток нагрузки после включения компенсирующего устройства

Качество компенсации высших гармоник в режиме с изменяющейся во времени несимметричной нагрузкой можно оценить по коэффициентам искажения синусоидальности кривой тока, которые после включения устройства равны и, соответственно, до и после изменения несимметричной нагрузки. Коэффициент несимметрии тока по нулевой последовательности в режиме несимметричной нагрузки стремится к 0%.

Заключение

В целом проведённый анализ работы модели трёхфазного четырехпроводного компенсирующего устройства демонстрирует корректность и эффективность его работы во всех смоделированных режимах. Коэффициент искажения синусоидальности кривой тока после включения компенсирующего устройства снижается в среднем до уровня 1%, а несимметрия тока нагрузки компенсируется полностью, что говорит об эффективности разработанной системы управления.

Список литературы

1. Долингер С. Ю. Вопросы моделирования устройств обеспечения качества электрической энергии // Омский научный вестник. – 2013. - № 1 (117). – С. 168-173.
2. Долингер С. Ю. Система управления уровнем напряжения на конденсаторах компенсирующего устройства в четырехпроводной трехфазной сети для обеспечения качества электрической энергии / С.Ю. Долингер, А.Г. Лютаревич, Д.С. Осипов // Омский научный вестник – 2013. - № 1 (117). – С. 159-163.
3. Куско, А. Качество энергии в электрических сетях / А. Куско, М. Томпсон; пер. с англ. Рободзея А. Н. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 336 с.
4. Лютаревич А. Г. Применение вейвлет-анализа для определения показателей качества электрической энергии / А. Г. Лютаревич, С. Ю. Долингер // Омский научный вестник. – 2010. - № 1 (87). – С. 136-140.
5. Лютаревич А. Г. Определение управляющего воздействия активного фильтра гармоник / А.Г. Лютаревич, В.Н. Горюнов, Д.С. Осипов, // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность – 2009. - № 6. – С. 20-24.
6. Лютаревич А. Г. Оценка эффективности использования активного фильтра гармоник в системах электроснабжения для улучшения качества электроэнергии / А. Г. Лютаревич, С. Ю. Долингер // Омский научный вестник. – 2010. -№ 1 (87). – С. 133-136.
7. Розанов, Ю. К. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю. К. Розанов, М. В. Рябчинский, А. А. Кваснюк. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.

8. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М: ДМК, 2011. – 288 с.

Рецензенты:

Харламов В.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», г.Омск;

Черемисин В.Т., д.т.н., профессор, директор Научно-исследовательского института энергосбережения на железнодорожном транспорте (НИИЭ ОмГУПС), заведующий кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог» ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», г.Омск.