

УДК 621.314
П 37**ГИСТЕРЕЗИСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОГО ТРЕХФАЗНОГО
ВЫПРЯМИТЕЛЯ С КОРРЕКЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ**

О. А. Плахтий, асп.

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков

Аннотация. Приведено описание работы активного трехфазного выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности с гистерезисной системой управления в условиях искажений напряжения сети. Выполнено исследование работы активного выпрямителя в пакете Matlab R2011. Предложена система управления, реализующая улучшенный гармонический состав входных фазных токов при условии присутствия в сети искажений и высших гармоник.

Ключевые слова: трехфазный активный повышающий выпрямитель, коррекция коэффициента мощности, гистерезисная система управления.

Анотація. Наведено опис роботи активного трифазного випрямляча з корекцією коефіцієнта потужності з гістерезисною системою керування в умовах спотворень напруги мережі. Виконано дослідження роботи активного випрямляча в пакеті Matlab R2011. Запропоновано систему керування, яка реалізує покращений гармонічний склад вхідних фазних струмів за умови наявності в мережі спотворень та вищих гармонік.

Ключові слова: трифазний активний підвищуючий випрямляч, корекція коефіцієнта потужності, гістерезисна система керування.

Abstract. The article describes the active three-phase boost rectifier with power-factor correction and hysteretic control system under the network voltage distortion. The research of the active rectifier in the Matlab R2011 program is carried out. The hysteresis control system which implements the improved harmonic content of the input phase flows under the condition of presence of distortion and high harmonics in the network is proposed.

Keywords: three-phase active boost rectifier, power-factor correction, hysteretic control system.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Актуальной является проблема присутствия высших гармоник в системах электроснабжения. Наличие высших гармоник вызывает следующие негативные последствия:

- искажения формы питающего напряжения;
- дополнительные потери в распределительной сети;
- наводки в телекоммуникационных и управляющих цепях;
- нагрев и дополнительные потери в трансформаторах и электрических машинах, запитанных от данной системы электроснабжения;
- снижение КПД самой системы электроснабжения и питающихся от нее технических устройств.

Одним из источников высших гармоник сети являются трехфазные диодные и тиристорные выпрямители, применяемые на тяговых железнодорожных подстанциях постоянного тока. Мощность данных подстанций достигает нескольких мегаватт. Амплитуды высших гармоник тока в таких системах могут достигать десятков и сотен ампер.

Одним из способов улучшения гармонического состава тока является применение пассивных фильтров, однако такое решение дорогостоящее, габаритное и не обеспечивает коэффициент мощности сети,

близкий к единице. Применение трехфазных активных выпрямителей (АВ) с коррекцией коэффициента мощности является новым способом борьбы с высшими гармониками сети.

Существуют различные топологии схем АВ, обеспечивающие коррекцию коэффициента мощности [2, 3]. Одной из схем, хорошо зарекомендовавших себя, является схема активного трехфазного повышающего полномостового выпрямителя, которая имеет высокие энергетические показатели даже при работе с нелинейной импульсной нагрузкой. Достоинствами данной схемы являются:

- синусоидальная форма входного тока;
- коэффициент мощности, близкий к единице;
- регулирование значения выходного напряжения;
- возможность реализации рекуперации;
- возможность реализации опережающего либо запаздывающего коэффициента мощности (для коррекции общего коэффициента мощности всей системы электроснабжения).

Схема активного повышающего выпрямителя представлена на рис. 1.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ – исследовать работу АВ с гистерезисной системой управления в условиях наличия искажений напряжений сети, определить реализуемый коэффициент гармонических искажений тока, разработать улучшенный алгоритм управления АВ.

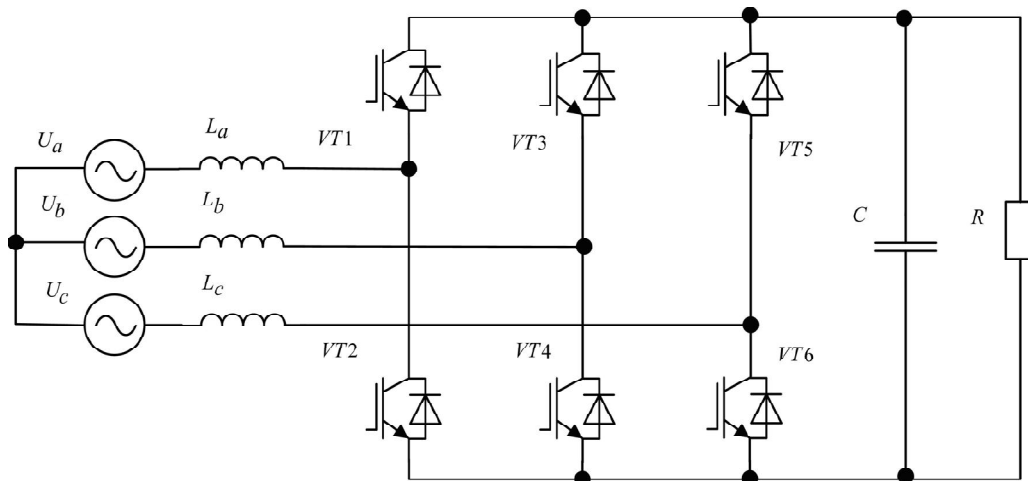


Рис. 1. Схема активного повышающего выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Системы управления активного выпрямителя

В литературе представлены различные системы управления (СУ) активным повышающим выпрямителем с коррекцией коэффициента мощности [1, 4]. Наиболее перспективными системами управления АВ являются:

- гистерезисная;
- векторная;
- система прямого управления мощностью.

Значительным преимуществом гистерезисной системы управления является относительная простота реализации, высокая надежность, высокий реализуемый коэффициент мощности. Для примера: реализация векторной СУ, основанной на мгновенной теории мощности с применением многочисленных преобразований координат $abc-\alpha\beta0-pqr$, требует вычислительных мощностей и быстродействия процессора в несколько десятков раз больших, нежели гистерезисной.

Однако стоит отметить, что реализация гистерезисной СУ предполагает непостоянную частоту и скажность модуляции в системе управления, что требует дальнейших исследований динамической устойчивости системы.

Структура гистерезисной системы управления представлена на рис. 2.

Гистерезисная система управления АВ исследована в работах [4, 5]. Однако в указанных источниках не проведены исследования действия активного выпрямителя с гистерезисной системой управления в условиях неидеальной питающей сети с высоким содержанием высших гармоник и искажений формы фазных напряжений.

Моделирование работы активного выпрямителя

В программном пакете Matlab R2011 была построена модель АВ и выполнено моделирование работы с гистерезисной системой управления в следующих режимах: при идеальном напряжении

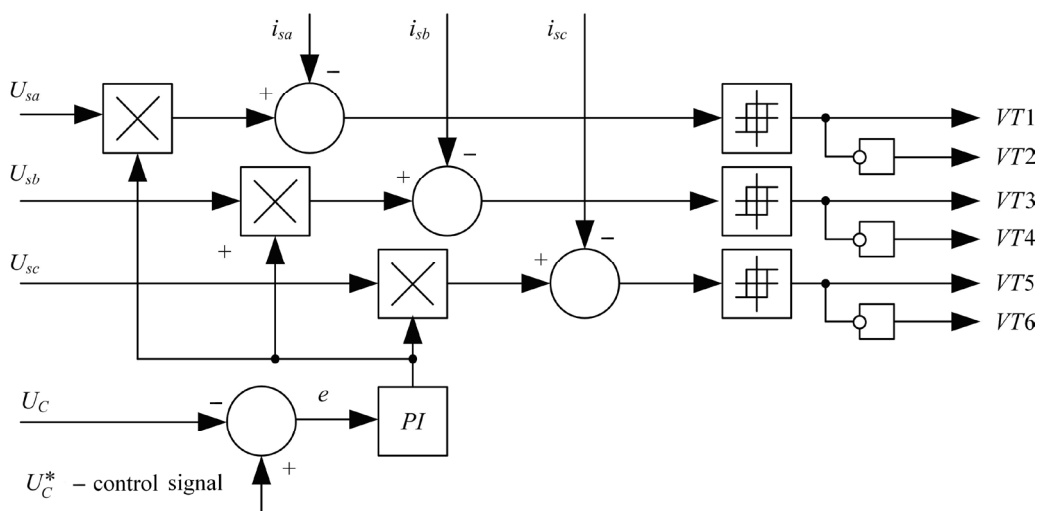


Рис. 2. Гистерезисная система управления

питающей сети и напряжении сети с высшими гармоническими составляющими. Построенная модель гистерезисной системы управления активным выпрямителем (рис. 3) дает возможность измерять коэффициент гармонических искажений токов и реализуемый коэффициент мощности активного выпрямителя.

На рис. 4 приведены осциллограммы формы входных токов и напряжений, а на рис. 5 – Фурье-анализ формы фазного тока при питании АВ от сети без искажений фазных напряжений.

Как видно из рис. 4, при питании АВ от сети без искажений напряжений реализуемая форма фазных токов АВ близка к синусоиде.

Проведенное моделирование дало следующие результаты:

коэффициент мощности $PF = 99,98 \%$;

коэффициент гармонических искажений фазных токов $THD = 0,6 \%$.

Было проведено повторное моделирование АВ при работе с сетью с высшими гармоническими составляющими.

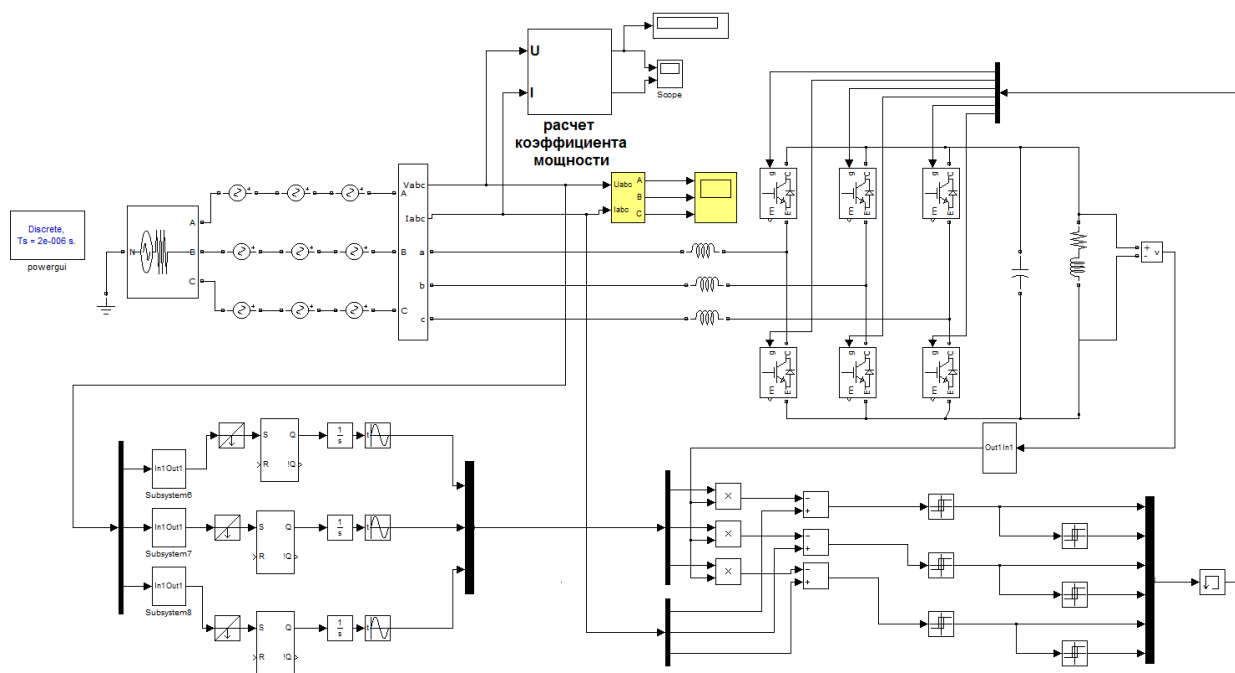


Рис. 3. Модель Matlab АВ с гистерезисной системой управления

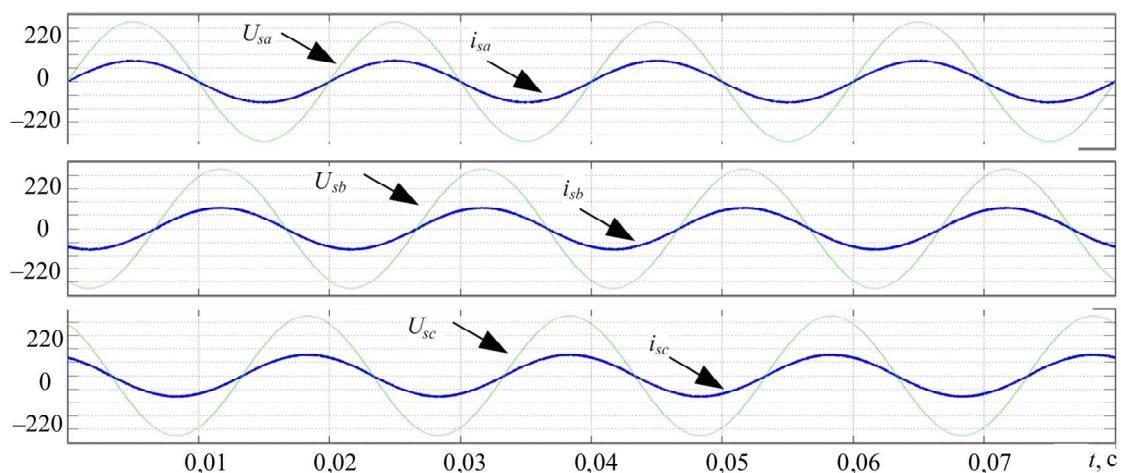


Рис. 4. Напряжения и токи фаз активного выпрямителя

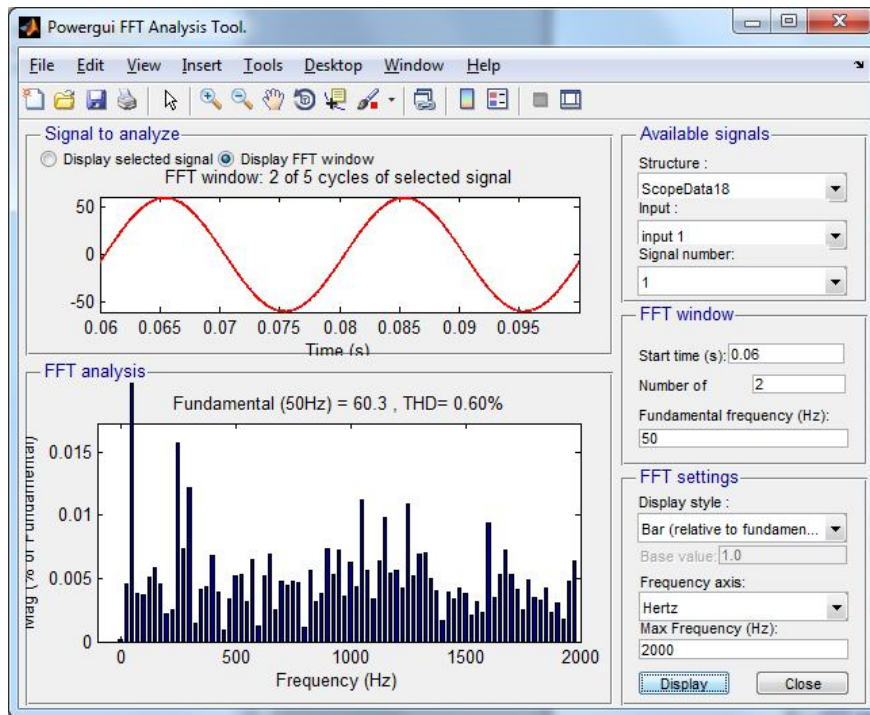


Рис. 5. Фурье-анализ формы входных токов

Параметры гармонического состава искажений сети приведены в табл. 1.

Таблица 1. Гармонический состав напряжений сети

Частота, Гц	Уровень напряжения, В
50	220
150	30
350	15
2000	10

На рис. 6 приведены осциллограммы формы входных токов и напряжений АВ при питании от сети с гармоническими составляющими. На рис. 7 представлен Фурье-анализ формы входного тока.

Проведенное моделирование дало следующие результаты:

коэффициент мощности $PF = 97,64 \%$;
коэффициент гармонических искажений токов $THD = 11,35 \%$.

Моделирование показало существенное ухудшение работы системы управления АВ при наличии искажений напряжения питания: снижение коэффициента мощности и увеличение коэффициента гармонических искажений формы тока.

Автором была разработана улучшенная гистерезисная система управления, устойчивая к искажениям формы фазного напряжения сети.

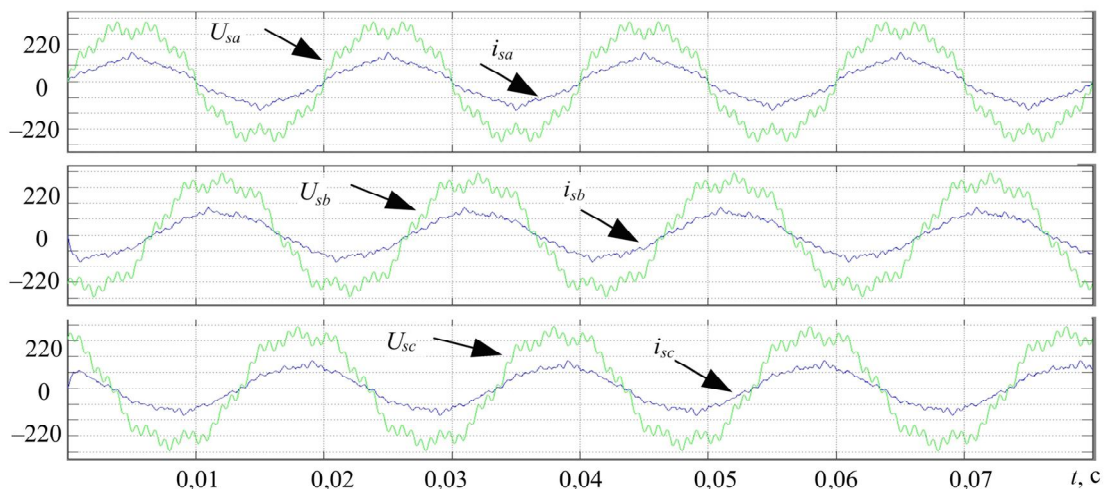


Рис. 6. Осциллограммы фазных напряжений и токов АВ с гистерезисной системой управления при питании от сети с искажениями

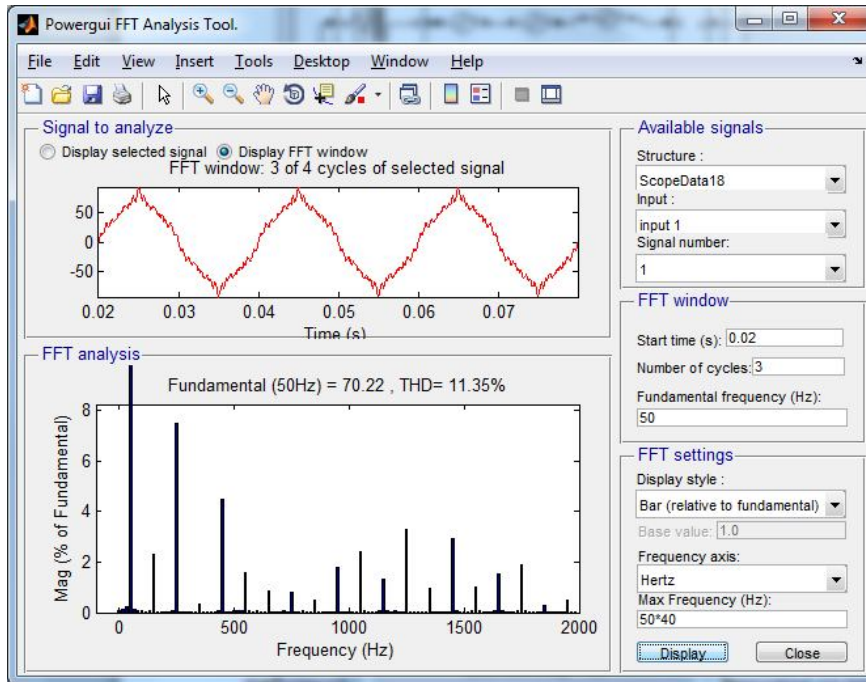


Рис. 7. Фурье-анализ формы входных токов АВ при работе с сетью с искажениями

Улучшение системы управления заключается в получении синусоидального сигнала задания формы тока при наличии искажений формы фазных напряжений. Это достигается дополнением существующей системы алгоритмом выделения из «зашумленного» сигнала напряжения первой гармонической составляющей и использованием его как сигнала задания. Выделение первой гармоники сигнала может быть получено применением быстрого Фурье-преобразования, *abc-dq0*-преобразования

либо ФНЧ. Далее определяются фазовый сдвиг сигнала при выделении первой гармоники и время задержки расчета процессорной системы управления. После определения фазового сдвига и времени задержки реализуется их компенсация. Затем выполняется синхронизация перехода через ноль первой гармоники напряжения с заданием идеального синусоидального сигнала с той же фазой, что и первая гармоника напряжения. Улучшенная система управления представлена на рис. 8.

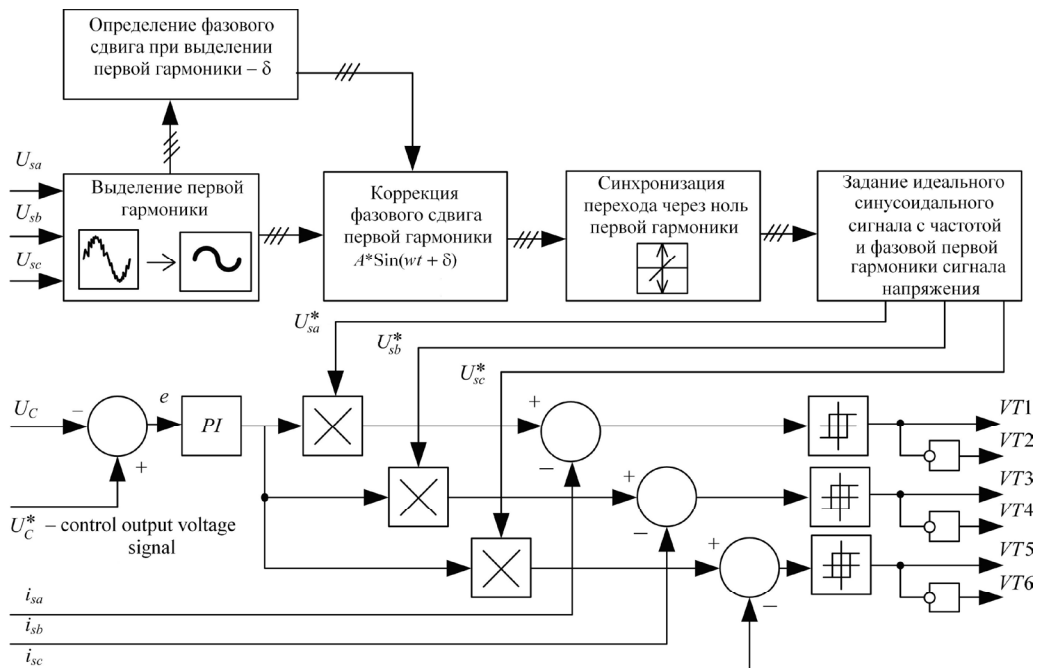


Рис. 8. Улучшенная система управления АВ

ВЫВОДЫ

Улучшенная система управления имеет синусоидальный сигнал задания системы управления с синхронизацией и не содержит высших гармонических составляющих даже при искажениях напряжений сети. Модель Matlab АВ с улучшенной системой управления представлена на рис. 9.

На рис. 10 и 11 приведены результаты моделирования улучшенной системы в условиях искажений напряжений сети.

Проведенное моделирование показало устойчивую работу АВ в условиях искажений формы фазного напряжения. Коэффициент гармонических искажений формы фазного тока THD = 0,34 %. Реализуемый коэффициент мощности в условиях искажений сети PF = 99,12.

1. Наиболее простой, надежной системой управления трехфазного активного выпрямителя с коррекцией коэффициента мощности, реализующей форму входных токов, наиболее приложенную к синусоиде, является гистерезисная система управления. Проведенное моделирование показало существенный недостаток данной системы – наличие высших гармонических составляющих входных токов при питании АВ от сети с искажениями напряжений.

2. Улучшенная гистерезисная система управления позволяет получить реализацию формы входных фазных токов с низким коэффициентом гармонических искажений при работе с искаженной формой напряжения сети.

3. Стоит отметить необходимость исследований динамических характеристик, работы АВ в переходных режимах и в режиме рекуперации.

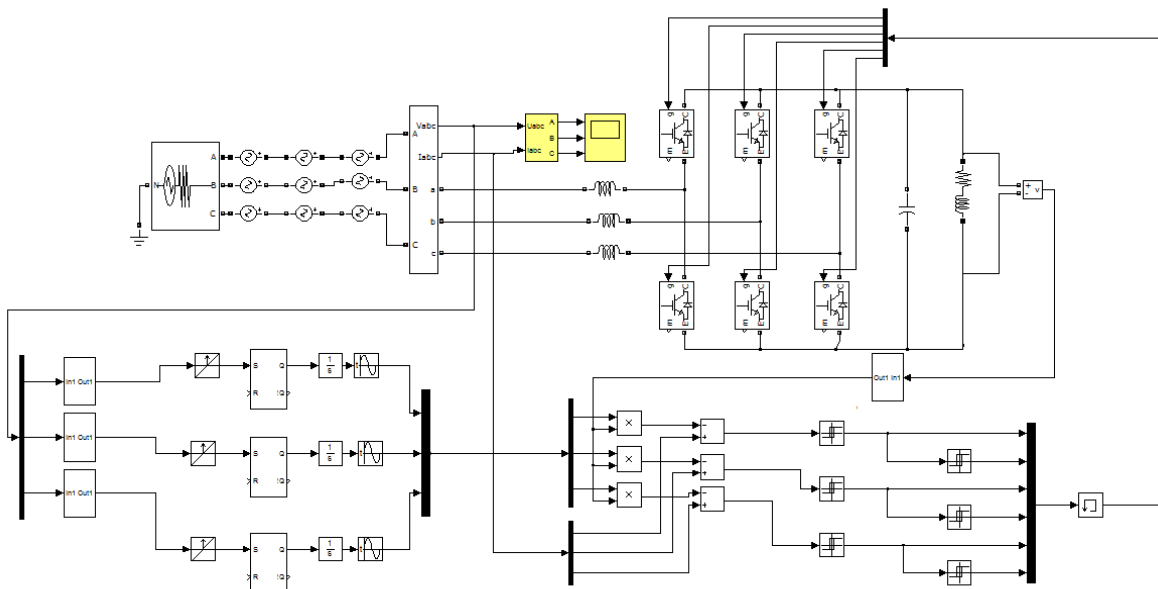


Рис. 9. Модель Matlab АВ с улучшенной гистерезисной системой управления

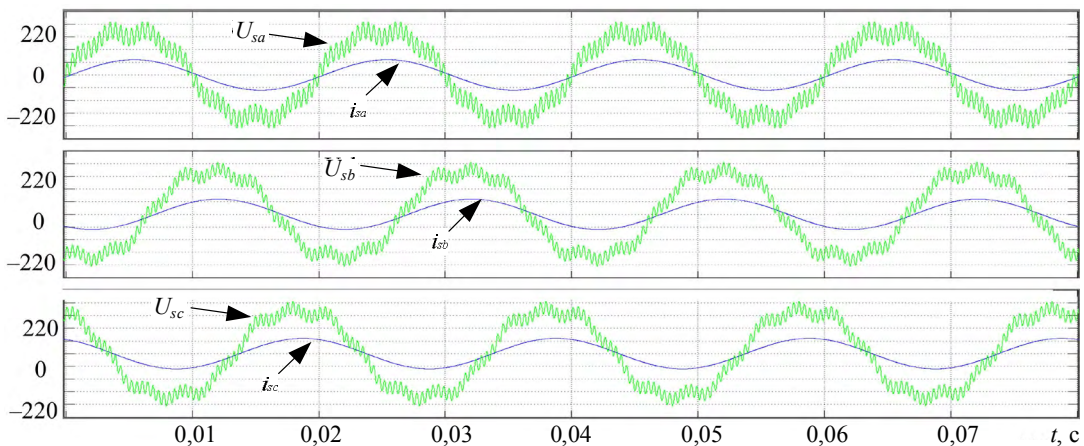


Рис. 10. Осциллограммы фазных напряжений и токов АВ с улучшенной системой управления

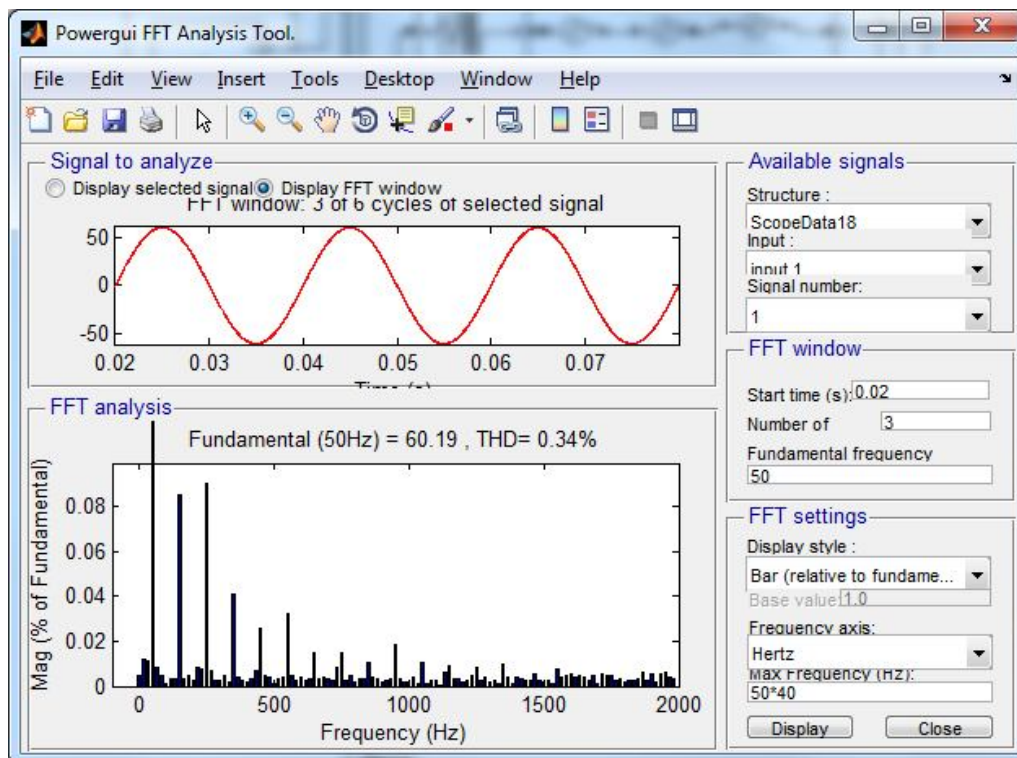


Рис. 11. Фурье-анализ формы входного тока АВ с улучшенной системой управления при работе с сетью с искажениями

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Казачковский, Н. Н.** Управление активным выпрямителем с релейно-векторным контуром тока для систем частотно-регулируемого электропривода [Текст] / Н. Н. Казачковский, Д. В. Якупов // Вісник Приазовського держ. техн. ун-ту. – Маріуполь, 2008. – Вип. 18, ч. 2. – С. 40–43.
- [2] Analysis and Design of a High Frequency Three-Phase Boost Rectifier [Text] / H. Mao, D. Boroyevich, A. Ravindra, F. Lee // IEEE Applied Power Electronics Conference. – 1996. – P. 538–544.
- [3] **Erickson, R.** Design of a Simple High Power Factor Rectifier Based on the Flyback Converter [Text] / R. Erickson, M. Madigan, S. Singer // IEEE Applied Power Electronics Conference. – 1990. – P. 792–801.
- [4] **Maswood, A. I.** A novel variable hysteresis band current control of three-phase three-level rectifier with constant switching frequency [Text] / A. I. Maswood, Liu Fangrui // IEEE, Power Engineering Society General Meeting. – 12–16 June 2005. – Vol. 1. – P. 23–27.
- [5] **Yao, Q.** A Simple Novel Method for Variable-Hysteresis-Band Current Control of A Three Phase Inverter with Constant Switching Frequency [Text] / Q. Yao, D. G. Holmes // IEEE, IAS 93 Ann. Meet. Conf.-Rec. – Toronto, October 2003. – P. 1122–1129.

© О. А. Плахтій

Надійшла до редколегії 11.06.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК

д-р техн. наук, проф. М. В. Рябенський