

УДК 62-83-52

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

В. А. САВЕЛЬЕВ, Р. Г. ШЕЛКУНОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Ключевые слова: матричный преобразователь частоты, электропривод, моделирование, имитационная модель, Matlab, энергоэффективность.

Введение

На сегодняшний день достижения в науке и технике привели к тому, что управляемый электропривод является основой всех используемых приводных устройств. Электропривод обеспечивает высокие показатели работы технологических механизмов и, как следствие, качество технологических процессов. В качестве основного элемента электропривода, преобразующего электрическую энергию в механическую, используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Потребление электроэнергии, используемое асинхронными двигателями, составляет до 60 % от всех потребителей. Из них 70 % асинхронных двигателей используются в энергоемких отраслях промышленности.

Массовость использования асинхронных электроприводов требует разработки для них энергоэффективных режимов работы. Применение энергоэффективных режимов работы асинхронных электроприводов позволяет уменьшить энергопотребление.

В настоящее время проблема создания энергоэффективных асинхронных электроприводов связана с проблемой синтеза выходного синусоидального напряжения системы частотного управления электропривода в соответствии с требуемыми значениями показателей качества.

За формирование выходного синусоидального напряжения системы частотного управления электропривода чаще всего отвечает такой элемент, как инвертор. Главным его недостаток – необходимость звена постоянного тока. Таким образом, при использовании инвертора мы имеем дело с двукратным преобразованием энергии, ведущим к увеличению потери энергии.

Однако существуют иные способы формирования синусоидального напряжения требуемой частоты, которые лишены данного недостатка. С развитием полупроводниковой техники появились так называемые матричные преобразователи частоты (МПЧ).

Матричные преобразователи частоты – одно из самых перспективных решений в сфере экономии энергии и развития электропривода. Основными достоинствами и преимуществами МПЧ по сравнению с привычными двухзвенными преобразователями являются [1]:

- возможность рекуперации энергии без помощи дополнительных устройств;
- работа с большими напряжениями/токами, что наиболее важно в мощных приводах;
- высокие значения КПД (98 %) и коэффициента мощности (0,95);
- значительное снижение входных гармонических искажений.

На данный момент развитие электроприводов, построенных с применением матричных преобразователей, является перспективным направлением в сфере экономии электроэнергии и развитии электропривода переменного тока.

Целью работы является анализ подхода к построению имитационной модели простого МПЧ в программном пакете Matlab Simulink.

Имитационная модель матричного преобразователя частоты

Наиболее доступным способом анализа работы МПЧ является его математическое моделирование. Оно позволит лучше рассмотреть процессы, происходящие в преобразователе, а также понять взаимодействие отдельных узлов всей системы.

Разработанная с этой целью математическая модель МПЧ показана на рис. 1. Модель построена в программном пакете Matlab Simulink с использованием предоставляемых программой базовых элементов силовой электроники и логических функций. Модель МПЧ содержит:

- узел синхронизации с сетью;
- узел формирования алгоритма, состоящий из узла широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и узла выборки ключей;
- силовую часть (матрицу двунаправленных ключей);
- имитационную модель нагрузки.

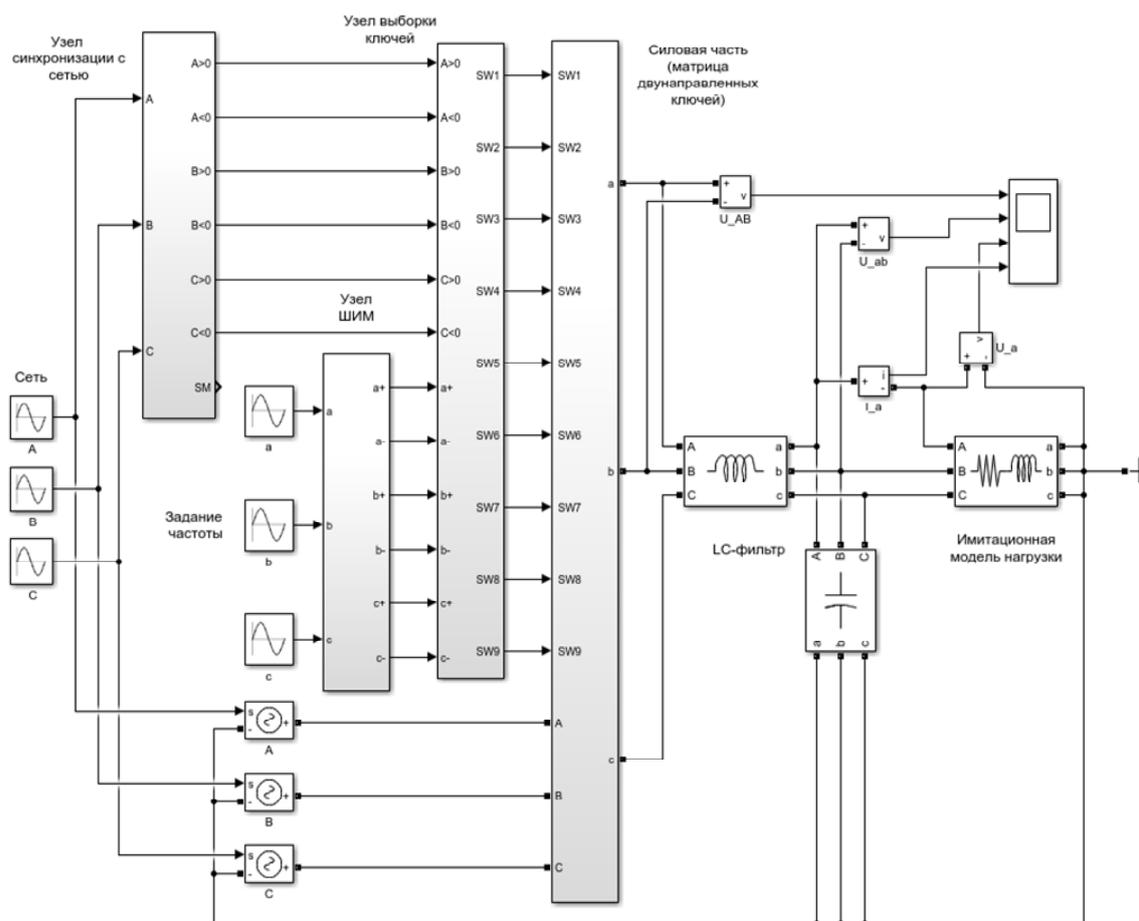


Рис. 1. Имитационная модель матричного преобразователя частоты

Рассмотрим математическую реализацию каждого узла подробнее.

Узел синхронизации с сетью. Если для формирования выходного напряжения автономного инвертора в преобразователе частоты со звеном постоянного тока ис-

пользуется постоянное напряжение, полученное путем выпрямления сетевого напряжения, то в случае с МПЧ выпрямитель сетевого напряжения отсутствует.

Напряжение питания в этом случае берется непосредственно из сети и должно представлять собой напряжение, величина которого на некотором интервале проводимости остается условно неизменной. С этой целью система управления МПЧ производит выборку интервалов S_1 – S_6 напряжения каждой фазы и поддерживает его на требуемом уровне, зависящем от заданных параметров выходного напряжения [2].

На рис. 2 показана модель узла синхронизации с сетью, который производит слежение за напряжением сети и сообщает узлу формирования алгоритма, какое из линейных напряжений сети следует использовать в данный момент при формировании выходного напряжения преобразователя.

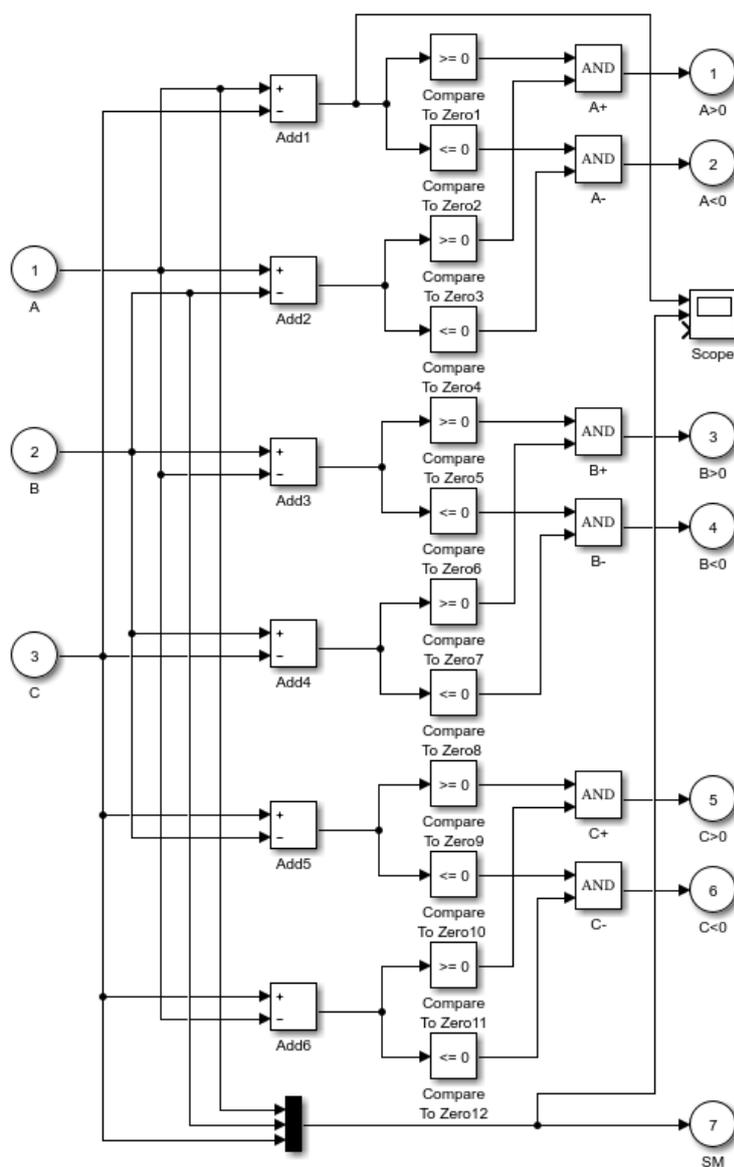


Рис. 2. Модель узла синхронизации с сетью

Работает узел следующим образом. На вход узла синхронизации поступают три фазных напряжения A , B и C питающей сети. Параметры модели сети следующие: амплитуда фазного напряжения 311 В, круговая частота 314 с^{-1} .

Путем вычитания соответствующих фазных напряжений формируются линейные напряжения сети. Момент их прохождения через нуль совпадает с моментом смены рабочего интервала МПЧ. С помощью узлов сравнения и логического умножения происходит выделение интервалов максимума линейных напряжений, с последующим формированием на выходе блока шести прямоугольных синхросигналов ($A > 0, A < 0, B > 0, B < 0, C > 0, C < 0$).

Узел формирования алгоритма. Данный узел, в свою очередь, состоит из двух – узла широтно-импульсной модуляции сигналов управления (рис. 3) и узла выборки ключей (рис. 4).

Узел формирования ШИМ сигналов управления производит сравнение линейно-изменяющегося опорного сигнала с тремя синусоидальными сигналами a, b и c задания выходного напряжения фаз преобразователя. В моменты, когда величина опорного напряжения превышает величину напряжения сигнала задания, компаратор переключается из нулевого состояния в состояние логической единицы. Когда же величина опорного напряжения становится меньше напряжения сигнала задания, компаратор возвращается в исходное состояние. Таким образом, получается широтно-импульсная модуляция синусоидального сигнала заданной частоты. В зависимости от полярности сигналов задания формируются прямые или же инверсные ШИМ ($a+, a-, b+, b-, c+, c-$).

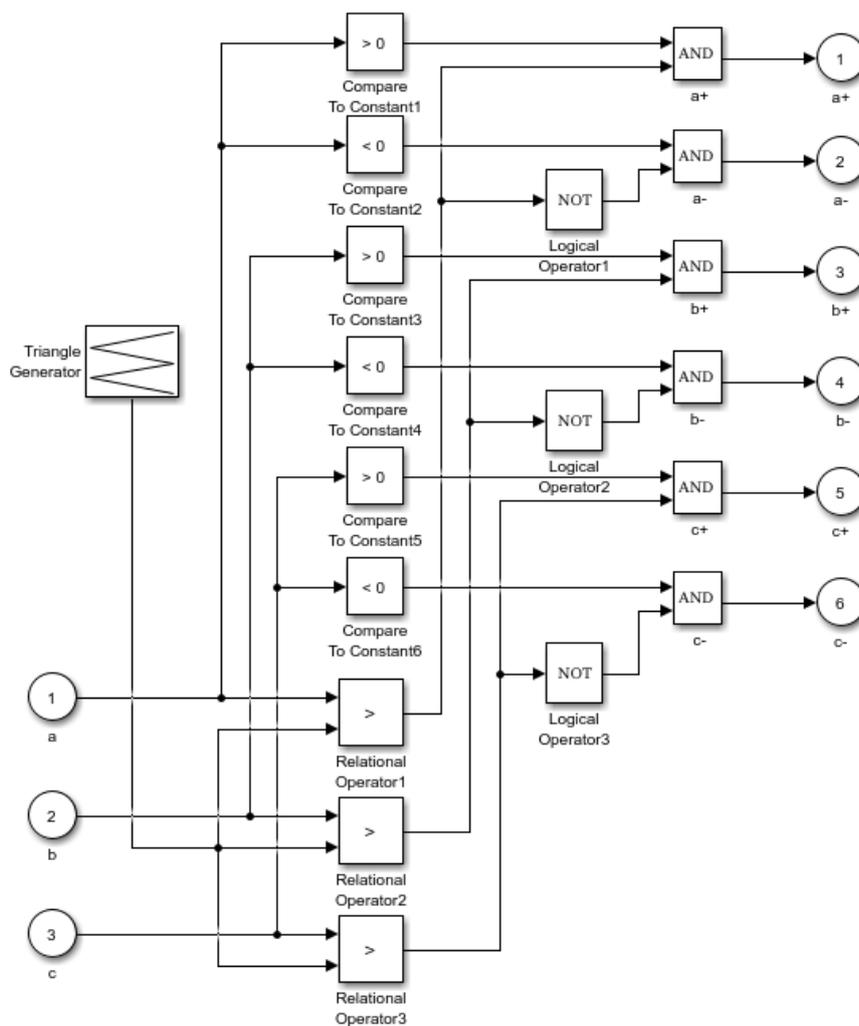


Рис. 3. Модель узла широтно-импульсной модуляции

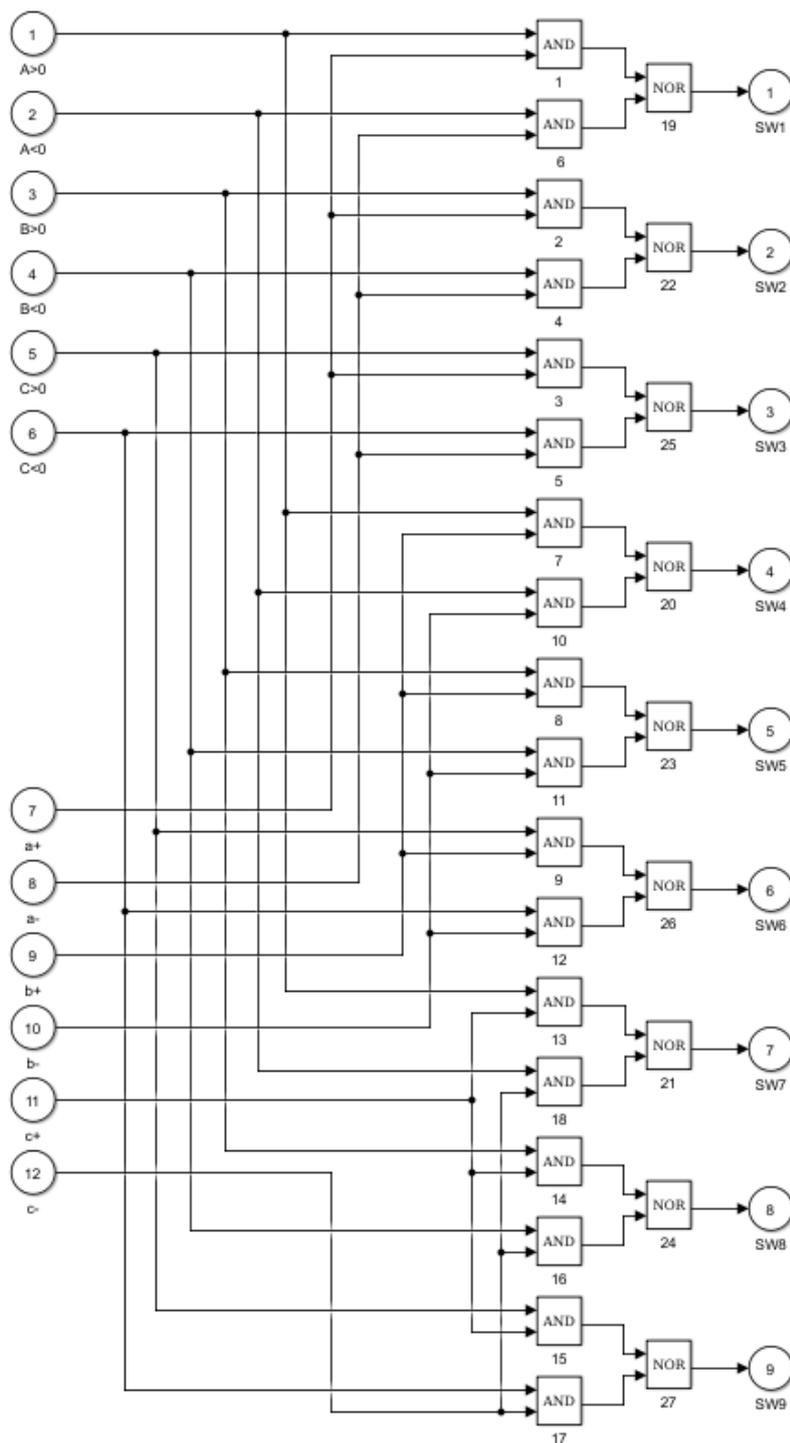


Рис. 4. Модель узла выборки ключей

Узел выборки ключей (см. рис. 4) производит формирование сигналов SW1–SW9 управления силовыми ключами, используя для этого синхросигналы $A > 0 \dots C < 0$ узла синхронизации и ШИМ-сигналы $a^+ \dots c^-$ узла формирования ШИМ.

Узел выборки содержит три канала (по числу фаз), каждый из которых управляет тремя двунаправленными ключами, соединенными по выходу с одной из фаз нагрузки. В каждом из каналов с помощью элементов «И» (блоки 1–18) вначале производится логическое умножение прямоугольных синхросигналов $A > 0 \dots C < 0$ блока

синхронизации и двух ШИМ-сигналов (например, a^+ и a^-), соответствующих одной из фаз нагрузки, в результате чего формируются по шесть сигналов для каждой из фаз нагрузки. Далее, в каждой группе из шести сигналов выполняются операции «исключающее ИЛИ» (блоки 19–27) между каждым двумя сигналами, соответствующими двум синхросигналам одной фазы. Таким образом, каждый двунаправленный ключ управляется при сигнале положительной или отрицательной полярности управляющего напряжения всегда, когда соответствующая фаза напряжения сети положительна или отрицательно соответственно.

Силовая часть. Главным элементом МПЧ является матрица двунаправленных ключей. Ключи должны иметь большие перегрузочные способности по току и напряжению. При этом управление ключами должно быть простым. Решение данного вопроса – IGBT-транзисторы.

Данный тип транзистора является симбиозом полевого и биполярного транзистора на интегральном уровне. Биполярный транзистор выступает в качестве силового, а полевой – позволяет упростить управление силовым. Данная структура всецело реализует принцип управления – управлять большим потоком энергии за счет малого.

Современная схемотехника двунаправленных ключей, построенных с помощью IGBT-структур, представляется несколькими вариантами [3].

На рис. 5 приведена модель силовой части МПЧ, которая выполнена с применением двунаправленных диодных мостовых ключей. Диодный мостовой ключ является самым простым видом двунаправленного ключа. Его главное достоинство – использование всего лишь одного транзистора. Основной недостаток – большое падение напряжения из-за активации сразу трех силовых приборов при протекании токов.

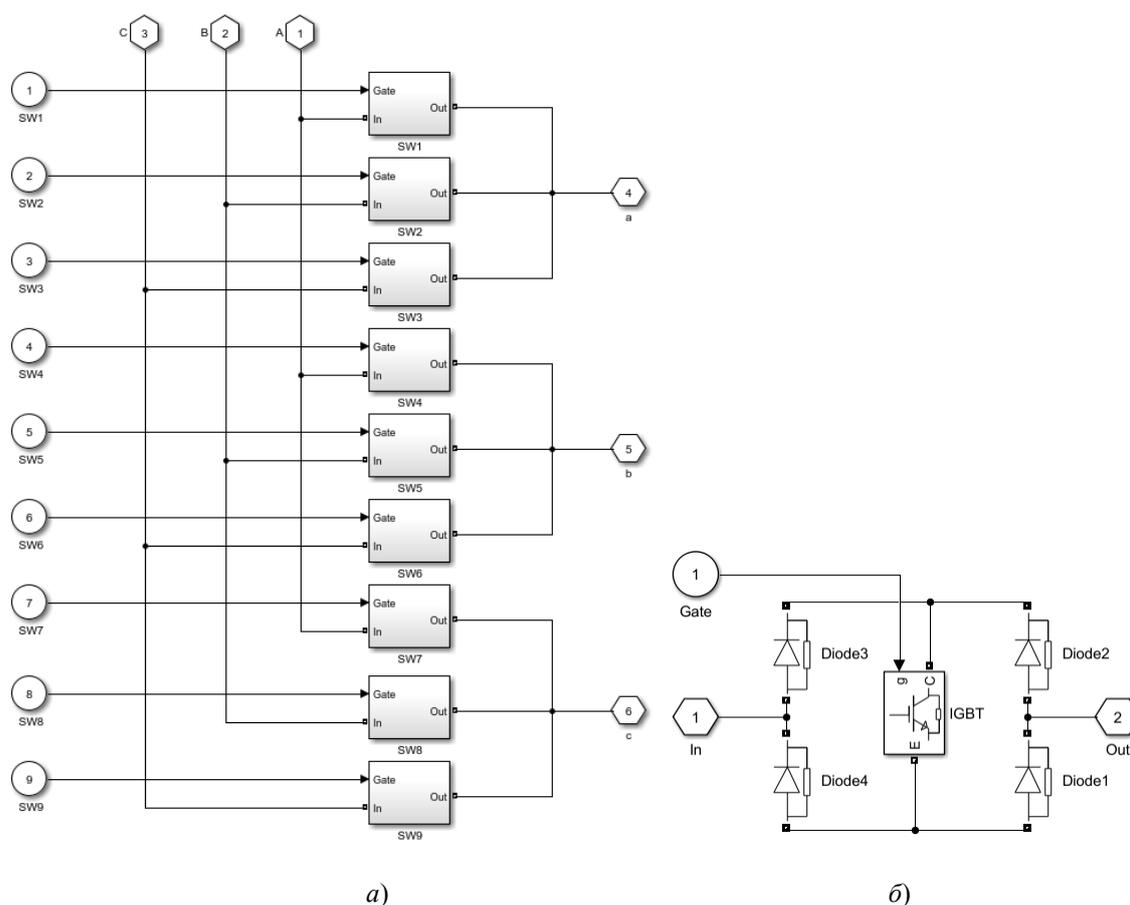


Рис. 5. Модель силовой части МПЧ (а) и модель двунаправленного ключа (б)

Параметры модели силовой части следующие: внутреннее сопротивление силового транзистора в открытом состоянии – 1 мОм; прямое падение напряжения на переходе коллектор-эмиттер – 1 В; внутреннее сопротивление силового диода в открытом состоянии – 1 мОм; прямое падение напряжения на переходе силового диода – 0,8 В.

На вход матрицы поступает силовое напряжение фаз A, B, C . Получая сигналы управления SW1–SW9 от узла выборки ключей (см. рис. 4), матрица формирует выходное напряжение a, b, c заданной частоты.

Модель нагрузки представлена 3-фазным RL-звеном (см. рис. 1): активное сопротивление фазы – 10 Ом, индуктивность фазы – 6,4 мГн. Нагрузка подключена к выходу преобразователя через RC-фильтр с параметрами: индуктивность фазы – 10 мГн, емкость фазы – 15 мкФ.

Результаты моделирования

На рис. 6 приведены диаграммы линейного напряжения (U_{AB}) непосредственно на выходе преобразователя, линейного напряжения (U_{ab}) после LC-фильтра, фазного напряжения (U_a) после LC-фильтра и тока (I_a) в нагрузке.

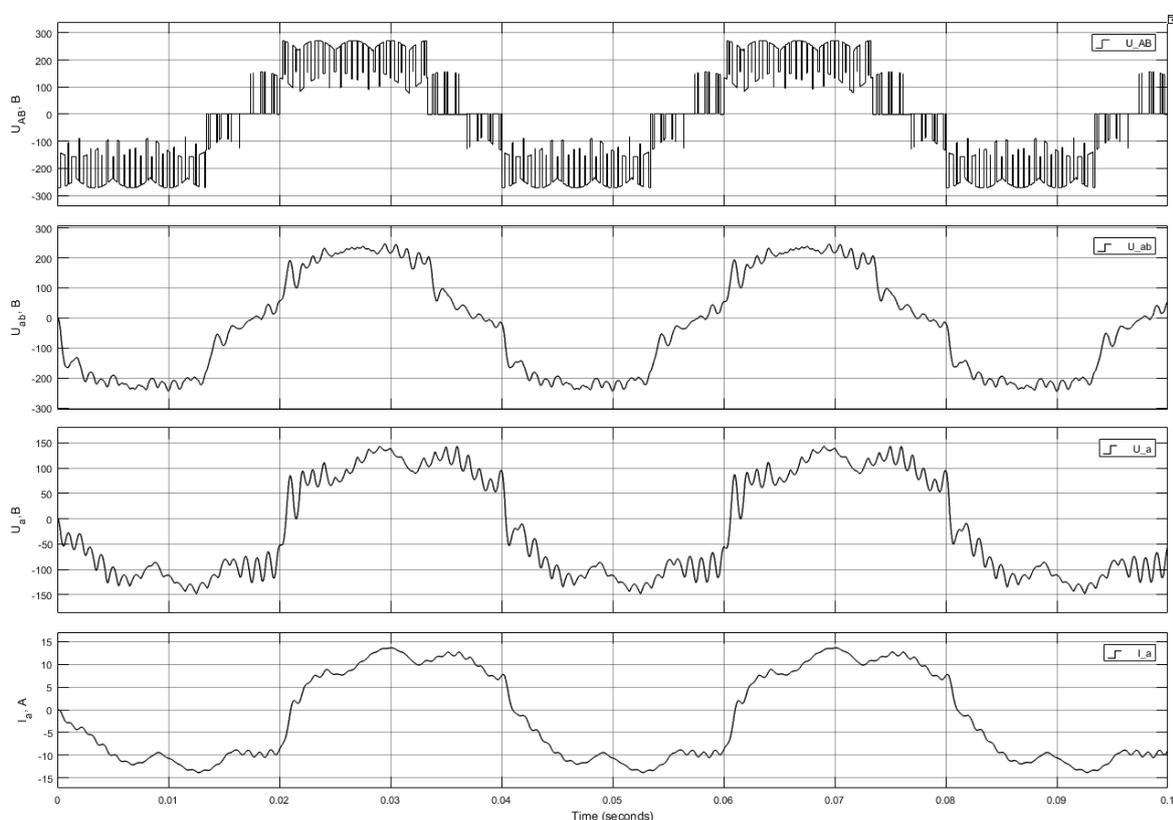


Рис. 6. Диаграммы работы матричного преобразователя частоты

Заключение

Результаты, полученные в процессе моделирования, полностью соответствуют существующему представлению о работе МПЧ. Несмотря на применение в модели простейшего двунаправленного ключа и алгоритма синусоидальной широтно-импульсной модуляции, получены напряжения и токи, близкие к синусоидальной форме.

Дальнейшие работы по моделированию МПЧ позволят исследовать влияние схемных решений и алгоритмов управления на процессы, протекающие в МПЧ на этапе его проектирования.

В качестве перспективных направлений исследований в данной области можно выделить анализ гармонических искажений напряжения при питании асинхронного двигателя от матричного преобразователя частоты, рекуперацию энергии матричным преобразователем частоты и др.

Литература

1. Виноградов, А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А. Б. Виноградов ; ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – Иваново : ИГЭУ, 2008. – 298 с.
2. Дарьенков, А. Б. Имитационная модель электропривода на базе матричного преобразователя частоты / А. Б. Дарьенков, И. В. Воротынцев, И. А. Варьгин // Труды Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р. Е. Алексеева. – 2014. – № 5 (107). – С. 59–64.
3. Климов, В. П. Двухнаправленные ключи в матричных структурах преобразователей переменного тока / В. П. Климов, С. Н. Климова // Силовая электроника. – 2008. – № 4. – С. 58–61.

Получено 19.11.2018 г.