

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.314

А.Б. Дарьенков, И.В. Воротынцев, И.А. Варьгин

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель: В статье рассматриваются вопросы моделирования трехфазного матричного преобразователя частоты, питающего асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

Подход: Моделирование производилось с использованием теории асинхронного электродвигателя с применением возможностей программного пакета MATLAB Simulink.

Выводы: Результаты моделирования показывают, что электропривод на базе матричного преобразователя частоты имеет высокую эффективность.

Результаты исследования: Результаты использованы при разработке прототипа матричного преобразователя на базе лаборатории НГТУ.

Оригинальность исследования: Инновационная топология AC/AC-преобразователя, с использованием скалярного управления.

Ключевые слова: матричный преобразователь частоты, электропривод, скалярное управление.

Введение

Матричные преобразователи частоты (МПЧ) пока еще остаются объектом научно-технических изысканий, и не выходят на мировой рынок силовой преобразовательной техники [1]. Тем не менее, топология силовой части МПЧ, позволяющая обходиться без громоздкого входного фильтра, исключить использование звена постоянного тока и позволяющая относительно легко регулировать входной коэффициент мощности, делают этот тип преобразователей привлекательным объектом для исследований. Особое внимание исследователей привлекает разработка энергосберегающего электропривода на базе асинхронного двигателя (АД), управляемого МПЧ. Растущее количество публикаций на эту тему подтверждает преимущества МПЧ по сравнению с традиционными инверторами со звеном постоянного напряжения, которые нашли наиболее широкое применение в составе электроприводов. В настоящее время на базе лаборатории НГТУ разрабатывается МПЧ, способный питать трехфазные асинхронные двигатели (АД) мощностью до 4-х кВт [2].

Структура асинхронного электропривода на базе МПЧ

Силовая часть трехфазно-трехфазного МПЧ переменного тока состоит из девяти силовых двунаправленных ключей, объединенных в матрицу размерностью 3×3 таким образом, что любая фаза питания может быть подключена к любой фазе нагрузки в любой момент времени (рис. 1).

Структурная схема имитационной модели системы «МПЧ-АД» приведена на рис. 2.

МПЧ питается от трехфазной сети переменного напряжения. Между МПЧ и питающей его сетью установлен входной фильтр Φ , служащий защитой от перепадов входного напря-

жения МПЧ и предотвращающий генерацию в сеть высокочастотных токовых гармоник. Преобразователь питает асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (АД).

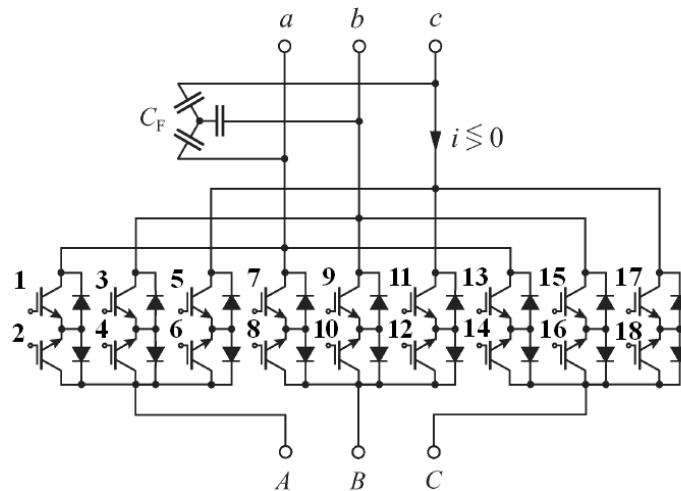


Рис. 1. Трехфазно-трехфазный МПЧ

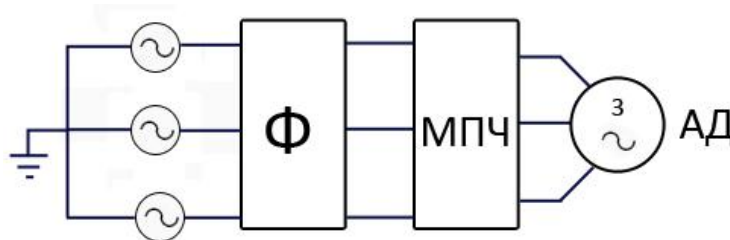


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели «МПЧ-АД»

Алгоритм управления МПЧ

При выводе уравнений, описывающих МПЧ, для упрощения предположим, что на входе МПЧ отсутствуют фильтрующие элементы, т.е., $C_f = 0$, $V_{sj} = V_j$, $i_{sj} = i_j$, где V_j и i_j – напряжение питания и потребляемый преобразователем ток в фазе j , C_f – величина емкости входного фильтра МПЧ.

Предполагается, что МПЧ питается от симметричного источника напряжения, который может быть описан следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} V_{SA} = V_m \cos \Theta_A = V_m \cos(\omega t) \\ V_{SB} = V_m \cos \Theta_B = V_m \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \\ V_{SC} = V_m \cos \Theta_C = V_m \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (1)$$

а сторона нагрузки МПЧ является идеальным симметричным трехфазным источником тока и описывается в виде следующих выражений:

$$\begin{cases} i_{sU} = I_o \cos \Theta_o = I_o \cos(\omega_o t + \varphi_o) \\ i_{sV} = I_o \cos\left(\omega_o t + \varphi_o - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V_{sC} = I_o \cos\left(\omega_o t + \varphi_o + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \quad (2)$$

где ω_1, ω_0 – входная и выходная угловые частоты соответственно; φ_0 – начальная фаза тока; V_m, I_o – амплитуды входного напряжения и выходного тока соответственно; $\Theta_A, \Theta_B, \Theta_C$ – начальные фазы напряжений питающей сети.

При анализе необходимо учитывать, что частота коммутации силовых вентилялей на несколько порядков больше угловой частоты питающей сети и выходного напряжения. Таким образом, на каждом цикле переключения вентилялей как входное напряжение, так и выходной ток можно считать постоянными величинами.

На периоде сети можно выделить шесть интервалов, на протяжении которых линейные напряжения максимальны, например, V_{AB} имеет наибольшее абсолютное значение на интервале 1, V_{AC} имеет наибольшее абсолютную значение на интервале 2, и так далее (рис. 3) [3].

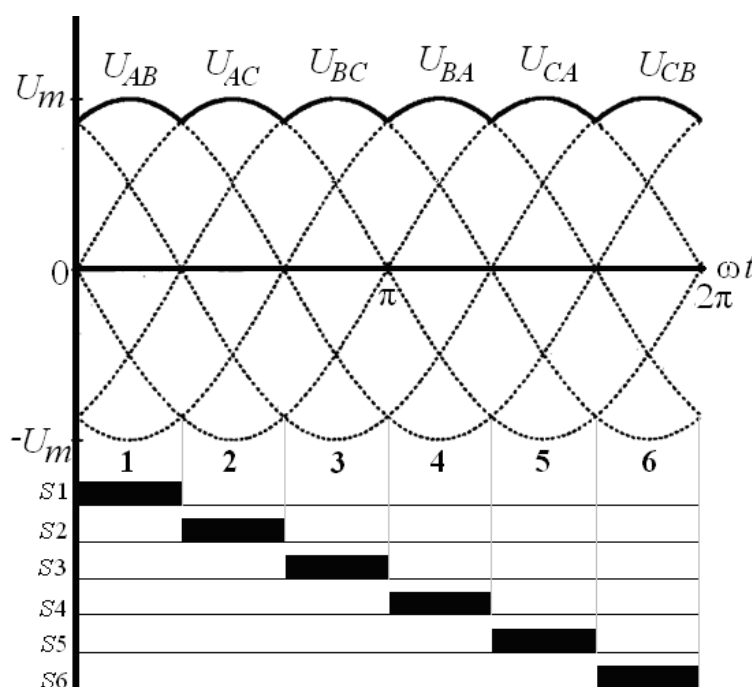


Рис. 3. Определение рабочих интервалов МПЧ

Каждый цикл переключения вентилялей разделен на две части, при этом имеется три состояния силовых ключей преобразователя: вентиль открыт, закрыт, либо на его затвор подается ШИМ от системы управления. В качестве примера рассмотрим интервал, когда напряжение V_{AB} максимально.

На этом интервале для формирования напряжений нагрузки будут задействованы только вентиля, подключенные к фазам A и B питания, вентиля, подключенные к фазе C питания в течение интервала 1 будут выключены. Так как потенциал фазы A больше, чем потенциал фазы B , входной ток протекает от фазы A к фазе B , следовательно, фазу A питания к нагрузке следует подключать через подводящие вентиля (вентили 1, 7, 10 на рис.1), а фазу B – через отводящие вентиля (вентили 4, 10, 16 на рис.1). В этом случае эквивалентная схема МПЧ принимает вид схемы автономного инвертора напряжения (АИН) (рис. 4). Роль постоянного напряжения U_{DC} играет линейное напряжение U_{AB} , имеющее на данном интервале постоянный знак, эквивалентом постоянного тока является входной фазный ток I_A и $-I_B$. Входной ток I_C при этом равен нулю. В то же время, для обеспечения обратного направления тока в нагрузке, вентиля 2, 8, 14 в фазе A нагрузки и вентиля 3, 9, 15 в фазе B нагрузки должны быть постоянно открыты в течение всего рабочего интервала. Аналогичным образом осуществляется работа на остальных интервалах.

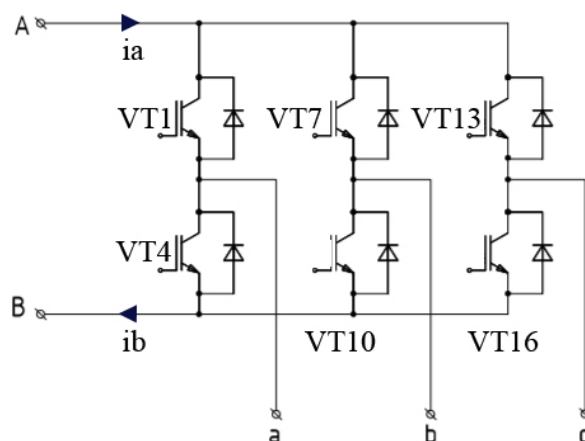


Рис. 4. Приведение топологии МПЧ к топологии АИН на рабочем интервале $V_{AB} = \max$

Имитационная модель электропривода

На основании изложенных выше соображений была разработана имитационная модель системы МПЧ-АД в программном пакете *MATLAB Simulink*. Общий вид модели представлен на рис. 5.

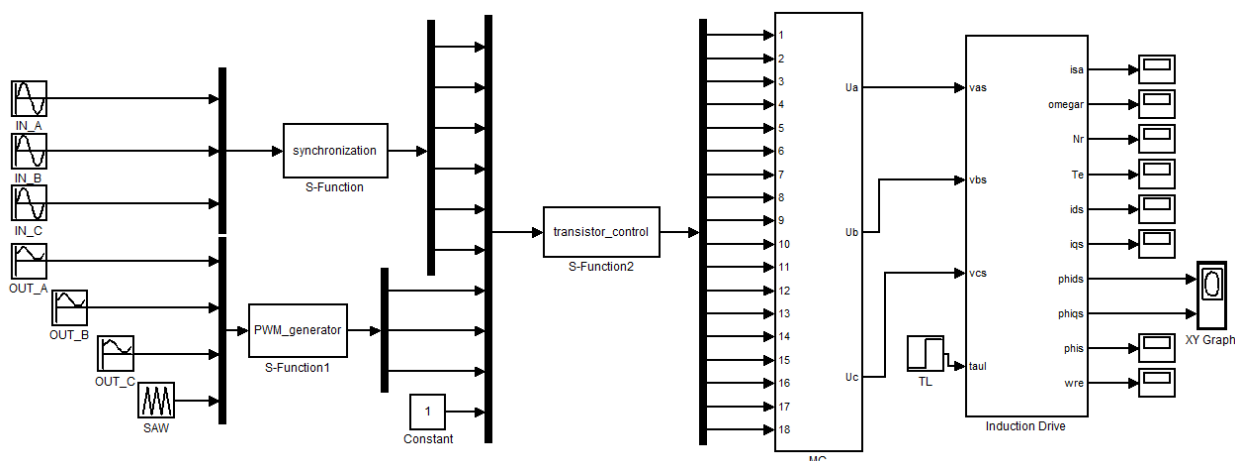


Рис. 5. Имитационная модель системы «МПЧ-АД» в программном пакете *MATLAB Simulink*

Для отработки алгоритма управления использовались три блока пользовательских функций *S-Function* (*S*-функция). *S*-функция «*synchronization*» формирует синхроимпульсы *S1-S6*, сравнивая между собой мгновенные значения фазных напряжений питания, имитируемых блоками *IN_A*, *IN_B*, *IN_C* аналогично тому, как это показано на рис. 3. *S*-функция *PWM_generator* формирует три ШИМ-сигнала посредством сравнения мгновенных значений желаемых выходных синусоид *OUT_A*, *OUT_B*, *OUT_C* с уровнем пилообразного сигнала, заданного блоком *SAW*.

Импульсы управления формирует *S*-функция *transistor_control*. Управляющие импульсы формируются для каждого транзистора в соответствии с условиями, описанными выше, и подаются на затворы *IGBT*.

Нагрузкой МПЧ служит трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. В созданной авторами имитационной модели используется двухфазная модель асинхронного двигателя. Как известно, преобразование трехфазной координатной системы в эквивалентную двухфазную значительно упрощает систему уравнений, описывающую АД. Численное решение упрощенной системы требует значительно меньшего времени и более устойчиво. Модель, описывающая АД в *MATLAB Simulink*, построена на основе уравнений, подробно описанных в [1].

Результаты моделирования

При моделировании рассматривалась работа МПЧ на АД мощностью 500 Вт.

Результаты моделирования при выходных частотах МПЧ, равных 30 и 100 Гц, приведены на рис. 6. Диаграммы изменения угловой частоты вращения вала при пуске АД с выходными частотами МПЧ 30 и 100 Гц приведены на рис. 6, а, б соответственно; фазный ток статора АД для указанных рабочих частот показан на рис. 6, в, г; электромагнитный момент двигателя приведен на рис. 6, д, е соответственно.

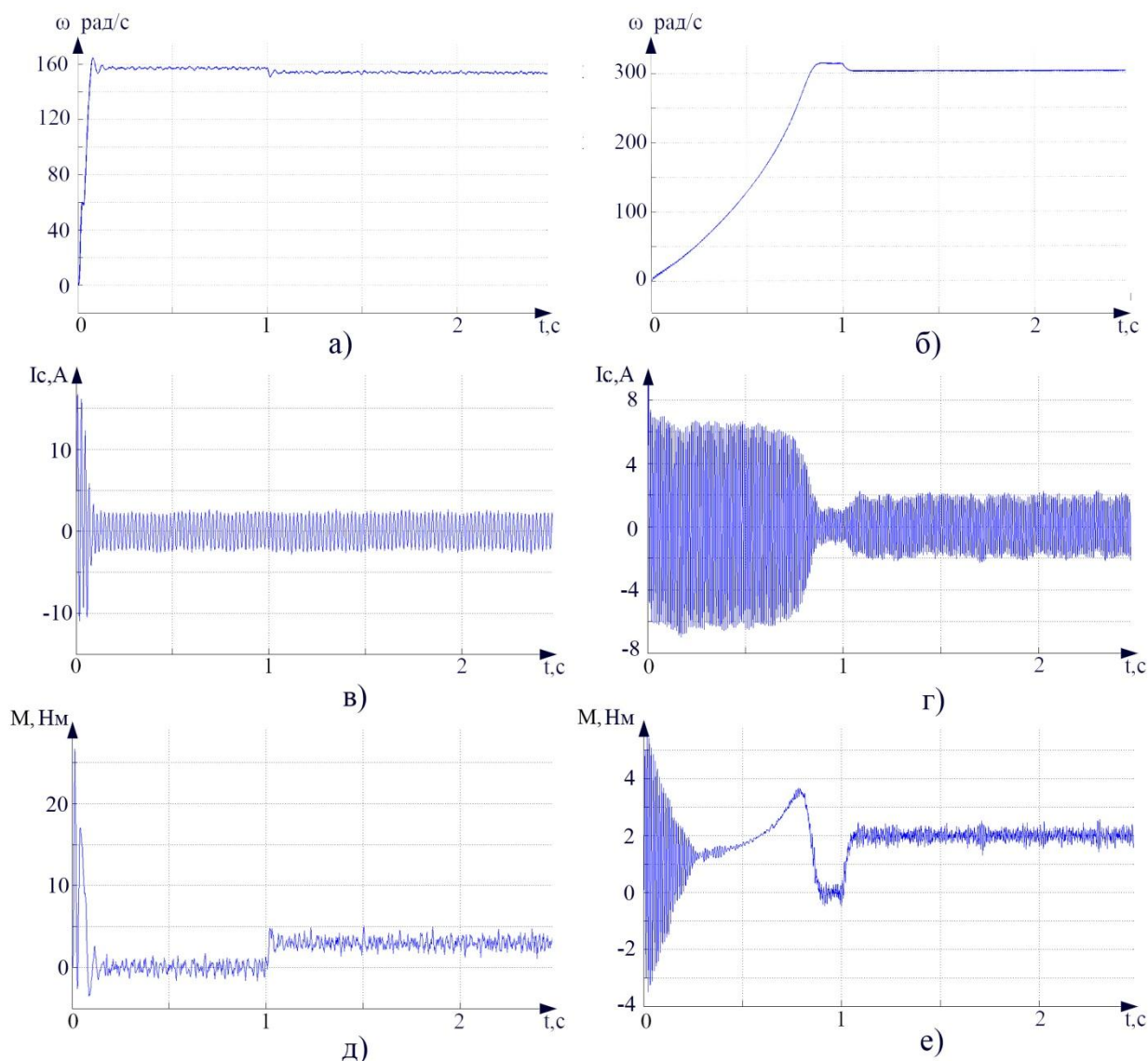


Рис. 6. Результаты моделирования электропривода по схеме «МПЧ-АД» при выходных частотах МПЧ 30 Гц (а, в, д) и 100 Гц (б, г, е):

а, б – диаграммы изменения угловой частоты вращения ротора АД; в, г – диаграммы изменения тока статора АД; д, е – диаграммы изменения электромагнитного момента АД

Выводы

Диаграммы изменения скорости и электромагнитного момента показывают тенденцию к увеличению амплитуды пульсаций скорости с уменьшением выходной частоты. Как видно из результатов моделирования, фазные токи статора АД близки по своему внешнему виду к аналогичным диаграммам, полученным при подключении к входу АД идеального источника сетевого напряжения [4]. В целом, результаты моделирования показывают возмож-

ность питания АД напряжением, генерируемым МПЧ с использованием описанного алгоритма. Однако, пульсации электромагнитного момента составляют по амплитуде 0,5 Нм (25% от постоянного значения), что может привести к нагреву ротора АД. Таким образом, следует уделять особое внимание качеству выходных напряжений, генерируемых МПЧ.

Библиографический список

1. **Виноградов, А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов. – Иваново: ИГЭУ, 2008. – 98 с.
2. **Дарьенков, А.Б.** Макет матричного преобразователя частоты / А.Б. Дарьенков, О.С. Хватов, Д.А. Корнев, И.А. Варыгин // Материалы XI молодежной научно-технической конференции; НГТУ. – Н. Новгород, 2012. С. 58.
3. **Дарьенков, А.Б.** Оптимизация алгоритма управления матричным преобразователем частоты / А.Б. Дарьенков, О.С. Хватов, И.А. Варыгин, Д.А. Корнев // Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVII Бенардосовские чтения): материалы международной научно-технической конференции; ИГЭУ им. В.И. Ленина. – Иваново, 2013. Т. 3. С. 65.
4. **Соколовский, Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. – М.: Академия, 2006. – 272 с.

*Дата поступления
в редакцию 15.12.2014*

A.B. Daryenkov, I.V. Vorotynceev, I.A. Varygin

MODELLING AND SIMULATION OF THREE PHASE MATRIX CONVERTER FED INDUCTION MOTOR DRIVE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: This paper presents the modeling issues of applying three phase matrix converter fed squirrel cage induction motor.

Approach: A theoretical framework is proposed based on software design patterns and induction motor theory.

Findings: The calculation results indicate that electric drives based on matrix converter have good efficiency.

Research implications: The results are used in developing a prototype matrix converter in NSTU n.a. R.E. Alexeev.

Originality: A new direct AC/AC converter topology based on the scalar modulation strategy.

Key words: matrix converter, induction motor drive, scalar control.