

УДК 621.314.5:621.337.521

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Шановал В.П.*Государственное предприятие «Харьковский метрополитен»**Гусевский Ю.И., д.т.н., проф.**Украинская государственная академия железнодорожного транспорта**61054, г. Харьков, ул. Барабашова, 8**E-mail: vshapoval@gala.net*

Запропонована імітаційна модель двофазного асинхронного тягового електроприводу, яка дозволяє виконати аналіз роботи приводу в усіх режимах. Показана доцільність використання декількох блоків перетворювач – асинхронний двигун при роботі зі зміщенням кута комутації.

Ключові слова: тяговий електропривод, двофазний асинхронний двигун.

The simulation model of diphas asynchronous hauling electric drive, which allows executing the analysis of work of drive in all modes, is offered. Expedience of the use of a few blocks is shown a transformer is an asynchronous engine during working as the change of corner of commutation.

Key words: electric drive, diphas asynchronous engine.

Введение. Основная часть парка метрополитенов Украины представлена вагонами с резисторно-контакторной системой управления и тиристорно-импульсными преобразователями, которые установлены в цепи возбуждения тяговых двигателей постоянного тока для ослабления поля в тормозном режиме. Данная система морально и физически устарела, и, главное, не экономична, что весьма болезненно для энергетики Украины и требует замены на современные системы, каковыми являются электроприводы переменного тока. При рассмотрении различных вариантов тяговых электроприводов (ТЭП), одним из альтернативных вариантов является ТЭП с двухфазным асинхронным двигателем (ТАД) [1, 2].

Цель работы – создание имитационной модели двухфазного тягового электропривода, с последующим проведением на этой модели исследования электромагнитных процессов в системе АИН-АД.

Материал и результаты исследования. Одним из наиболее перспективных направлений развития современного электроподвижного состава является использование в качестве основного тягового оборудования системы «автономный инвертор напряжения – асинхронный тяговый электродвигатель» (АИН-АД), в том числе и двухфазной системы АИН-АД.

Для проведения исследований электромеханических процессов в двухфазной системе АИН-АД была разработана имитационная модель, основанная на эквивалентной схеме (рис. 1) двухфазного тягового электропривода, которая содержит АИН – автономный инвертор напряжения, АД – двухфазный асинхронный двигатель с расчетными параметрами, близкими к трехфазному двигателю АД906.

Наиболее обобщенной формой математического описания двухфазного двигателя, которая адекватно отображает процессы, происходящие в реальном

времени в реальной машине в статических и динамических режимах является система дифференциальных и алгебраических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_A = \frac{d\psi_{AS}}{dt} + r_s \cdot i_{AS} + \psi_{AS} \cdot \omega_k; \\ U_B = \frac{d\psi_{BS}}{dt} + r_s \cdot i_{BS} - \psi_{BS} \cdot \omega_k; \\ U'_{AR} = \frac{d\psi_{AR}}{dt} + r'_R \cdot i'_{AR} + \psi_{BR} \cdot (\omega_k - \omega); \\ U'_{BR} = \frac{d\psi_{BR}}{dt} + r'_R \cdot i'_{BR} - \psi_{AR} \cdot (\omega_k - \omega); \\ M = \frac{m_1}{2} \cdot p \cdot L_0 \cdot A \cdot (\psi_{AS} \cdot \psi_{BR} - \psi_{BS} \cdot \psi_{AR}); \\ M - M_0 = \frac{J}{p} \cdot \frac{d\omega}{dt}; \\ i_{AS} = A \cdot (\psi_{AS} \cdot L'_R - \psi_{AR} \cdot L_0); \\ i_{BS} = A \cdot (\psi_{BS} \cdot L'_R - \psi_{BR} \cdot L_0); \\ i'_{AR} = A \cdot (\psi_{AR} \cdot L_S - \psi_{AS} \cdot L_0); \\ i'_{BR} = A \cdot (\psi_{BR} \cdot L_S - \psi_{BS} \cdot L_0), \end{array} \right. \quad (1)$$

где $A = 1 / (L_S \cdot L'_R - L_0^2)$; ω_k – частота вращения координатной ортогональной системы (при использовании неподвижной системы $\omega_k = 0$); ω – частота вращения ротора; p – количество пар полюсов; m_1 – количество фаз двигателя.

После приведения системы уравнений к форме Коши, составлена модель прямого пуска АД з учетом электромагнитной и механической инерции (рис. 2) и получены константы в модели для двигателя АД 906

(двухфазный вариант): $C_1 = A \cdot r_s \cdot L'_R = 34,615$,
 $C_2 = A \cdot r_s \cdot L_0 = 34,061$, $C_3 = A \cdot r'_R \cdot L_S = 26,393$,

$$C_4 = A \cdot r_R' \cdot L_0 = 26,17, \quad C_5 = p / J = 2,$$

$$C_6 = m_1 \cdot p \cdot L_0 \cdot A / 2 = 234,096.$$

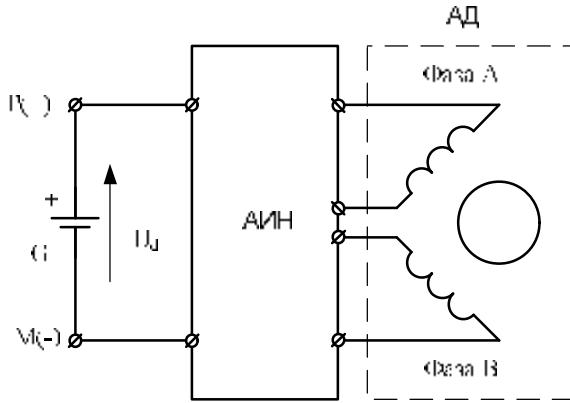


Рисунок 1 – Эквивалентная схема двухфазного тягового электропривода

- При моделировании принят ряд допущений:
- потери энергии в АИН пренебрежительно малы,
 - ключи и другие элементы обладают идеальными характеристиками,
 - коммутация происходит мгновенно,
 - АИН имеет независимые каналы управления по входному напряжению и частоте,
 - схема АИН допускает свободный обмен реактивной энергией между АД и АИН, АИН и питающей сетью,
 - АИН не ограничивает токов и напряжений АД в любых режимах,
 - процессы коммутации в АИН не влияют на форму выходного напряжения.

Исходя из принятых допущений, построена модель двухфазной системы АИН-АД с двухуровневым инвертором, на которой было проведено исследование режимов работы АД при питании его от источника несинусоидального напряжения.

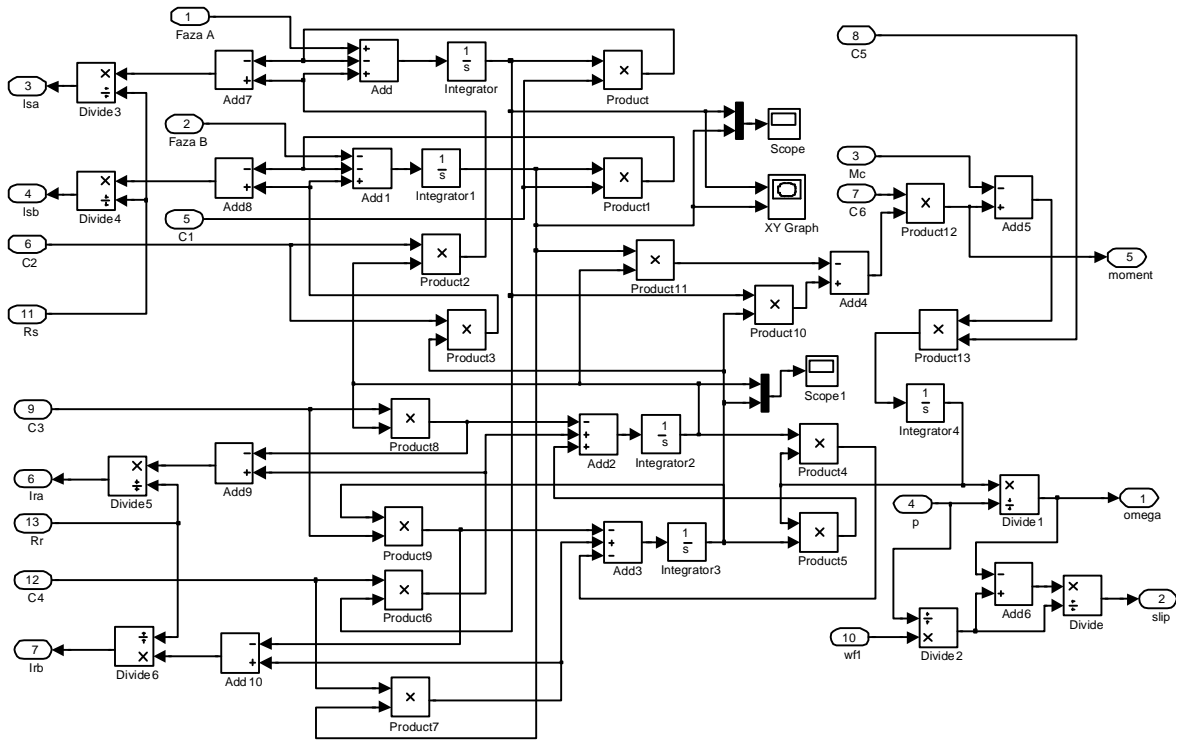


Рисунок 2 – Имитационная модель двухфазного асинхронного двигателя

На рис. 3 показаны результаты моделирования работы двухфазной системы АИН-АД при питании АД несинусоидальным напряжением ступенчатой формы.

Учитывая то, что на электроподвижном составе одиночный блок АИН-АД, как таковой, не имеет обоснованных предпосылок для использования, интересно рассмотреть работу нескольких таких блоков на общую нагрузку.

Наиболее оптимальным вариантом схемы включения автономных инверторов напряжения является схема, в которой каждый двигатель подключен к индивидуальному преобразователю. Для двухфазной

системы АИН-АД в особенности важным является то, в каком режиме работают преобразователи. Рассматривая два крайних режима: синхронный без сдвига угла управления и синхронный с фиксированным сдвигом угла управления на половину угла коммутации, более предпочтительным является последний. При нем значительно снижаются нагрузка на фильтр и, следовательно, уменьшаются потери электроэнергии.

На рис. 4 приведены токи двух двухфазных блоков АИН-АД, в данном случае для большей наглядности асинхронные двигатели заменены эквивалентной RL – нагрузкой.

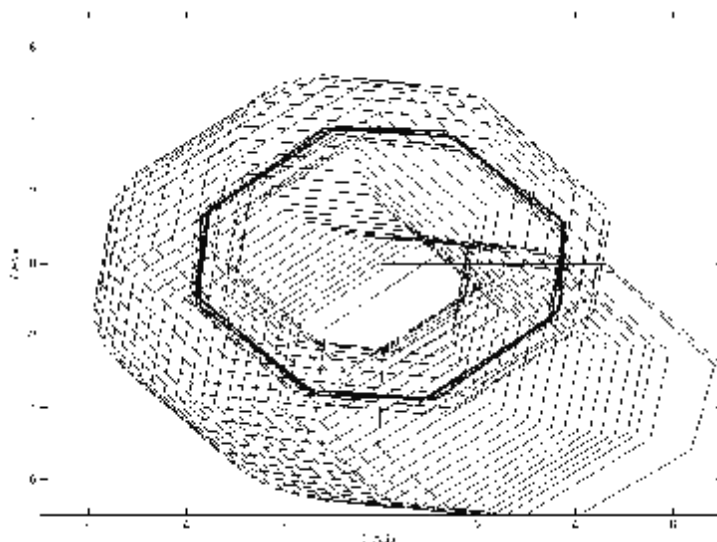


Рисунок 3 – Годограф магнитного поля двухфазного АД при питании напряжением ступенчатой формы

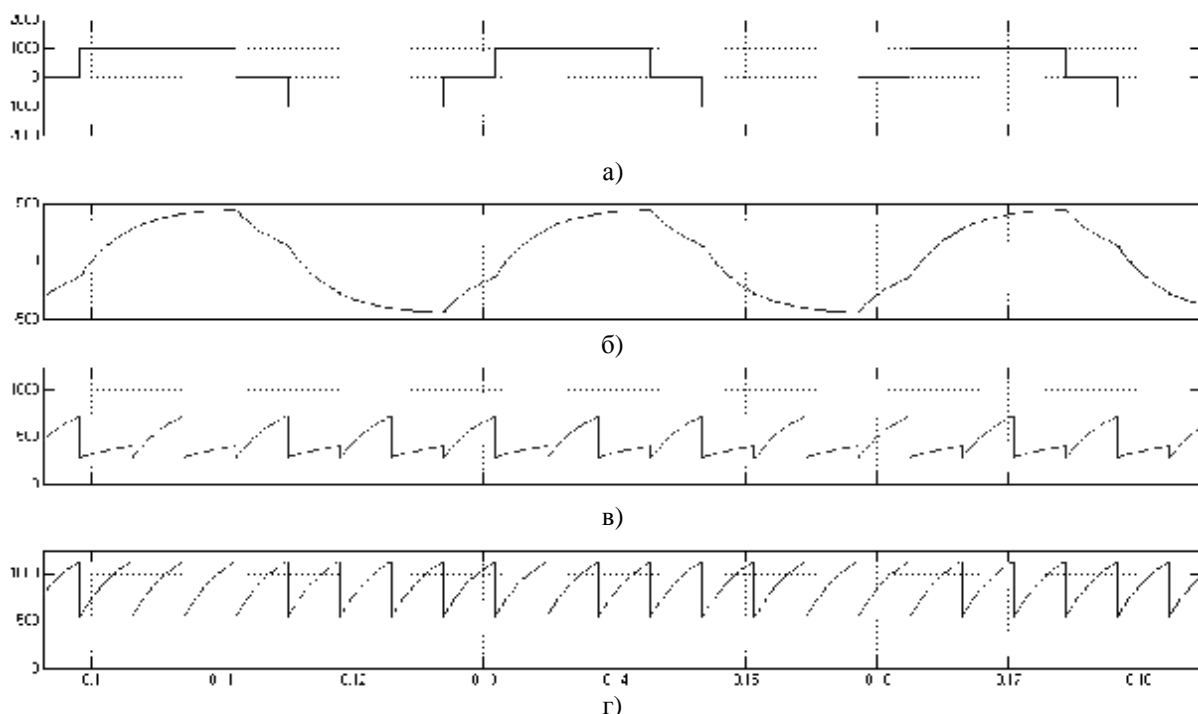


Рисунок 4 – Токи блоков АИН – АД, подключенных к одному источнику питания:
 а) фазное напряжение; б) ток фазы А первого блока АИН-АД; в) ток фазы В первого блока АИН-АД;
 г) входной ток одиночного блока АИН-АД; д) входной ток двух блоков АИН-АД

Выводы. Разработанная имитационная модель системы АИН-АД позволяет исследовать работу двухфазного АД в любых режимах. Проведенное моделирование позволило оценить характер электромагнитных процессов, происходящих в двухфазной системе АИН-АД. Полученные графики токов соответствуют расчетным зависимостям [1, 2]. Для решения проблем электромагнитной совместимости предлагается использовать несколько блоков АИН-АД при работе со сдвигом угла коммутации, что значительно уменьшает амплитуду пульсации входных токов при повышении частоты пульсаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусевський Ю.І., Лозовий Д.Ю., Шаповал В.П., Полторак С.Н. Двофазний інвертор напруги для електрорухомого складу. Розрахунок вхідних струмів // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – №3. – С. 48-50.
2. Гусевський Ю.І., Пасько О.В., Шаповал В.П., Розрахунок фазних струмів двофазної системи „автономний інвертор напруги – асинхронний електродвигун” // Зб. наук. праць ХарДАЗТ, 2000. – Вип. 44. – С. 59-64.

Стаття надійшла 8.05.2008 р.