

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.1:621.332.6

Б. Г. ЛЮБАРСКИЙ, канд. техн. наук, доц, НТУ «ХПИ»;
А. В. ДЕМИДОВ, ст. преп. НТУ «ХПИ»

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО ПРИВОДА МОТОР-ВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Предложена имитационная модель тягового привода мотор-вагонного подвижного состава на базе синхронного тягового двигателя с возбуждением от постоянных магнитов. Определены основные предельные параметры тягового привода.

Ключевые слова: электропоезд, тяговый привод, имитационное моделирование.

В настоящее время большая часть пригородного сообщения осуществляется электропоездами постоянного и переменного тока, а также дизель-поезда. Высокий объем перевозок требует замены либо модернизации существующего подвижного состава, так как он морально устарел и не соответствует необходимому уровню обслуживания пассажиров. Поэтому создание проекта нового мотор-вагонного подвижного состава малой составности типа является актуальной задачей.

В работе [1] рассмотрена имитационная модели в среде Matlab-Simulink, позволяющие моделировать тяговый привод с синхронными тяговыми двигателями с возбуждением от постоянных магнитов. Однако эти модели используют традиционный алгоритм управления ключами полупроводникового преобразователя, реализующий синусоидальный трехфазный ток.

Целью исследования является определение предельных параметров полупроводниковых и механических устройств перспективного тягового привода для мотор-вагонного подвижного состава путем имитационного моделирования.

Нами разработана модель непосредственного тягового привода на базе синхронных тяговых двигателей с возбуждением от тяговых магнитов, как наиболее энергоэффективных из применяемых на сегодняшний день [2,3]. Для обеспечения ускорения облегченного пригородного подвижного состава в $0,5 \text{ м/с}^2$ в диапазоне скоростей $0..80 \text{ км/ч}$ оказалось достаточно мощности тягового двигателя порядка $80..100 \text{ кВт}$, частота вращения при этом равна 420 об/мин . В качестве тягового преобразователя использована наиболее распространенная в электроприводе переменного тока трехфазная мостовая двухуровневая схема на IGBT-транзисторах – автономный инвертор

напряжения (АИН), регулируемый при помощи широтно-импульсной модуляции ШИМ. Управления вентилями происходит за счет реализации алгоритма пространственно-векторной ШИМ. Модель составлена в среде Matlab-Simulink (рис. 1).

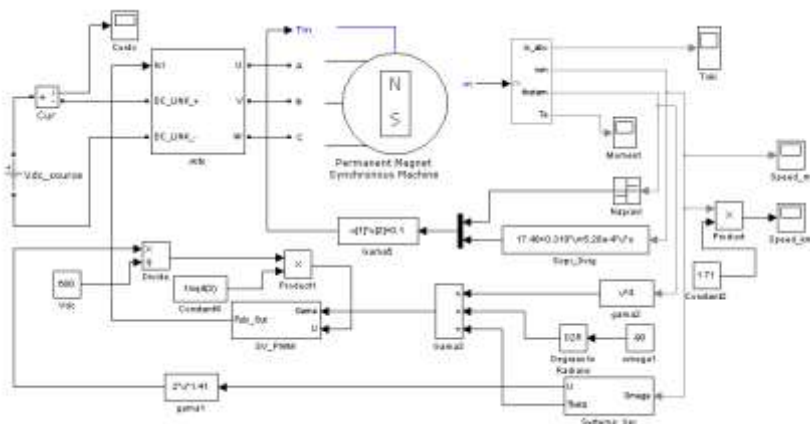


Рис. 1 – Общая блочная схемы цифровой модели привода

На рис. 1:

- блок-подсистема АИН - мостовой трехфазный инвертор напряжения, состоит из шести одинаковых блоков электронных ключей (IGBT транзистор + обратный диод), а также коммутационного конденсатора и электронных вольтметра и амперметра, что определяет напряжение на переходе коллектор-эмитер и ток через транзистор и диод.;

- блок Permanent Magnet Synchronous Machine - синхронный двигателя с возбуждением от постоянных магнитов совместно с измерительным блоком;

- блок-подсистема Systema_upr приведена на рис. 2 - подсистема формирует сигналы управления величиной напряжения в звене постоянного тока и сигнала задания угла управления. Состоит из трех независимых каналов, отвечающих работе тягового электропривода в режимах ограничения тока, постоянной мощности и ограничения напряжения и регулирования угла коммутации. Также производит выбор нужного канала управления в зависимости от частоты вращения;

- блок-подсистема SV_PWM показана на рис. 3, она реализует алгоритм пространственно-векторной модуляции ключей инвертора напряжения и формирует импульсы коммутации для генерации пространственного вектора для одного сектора.

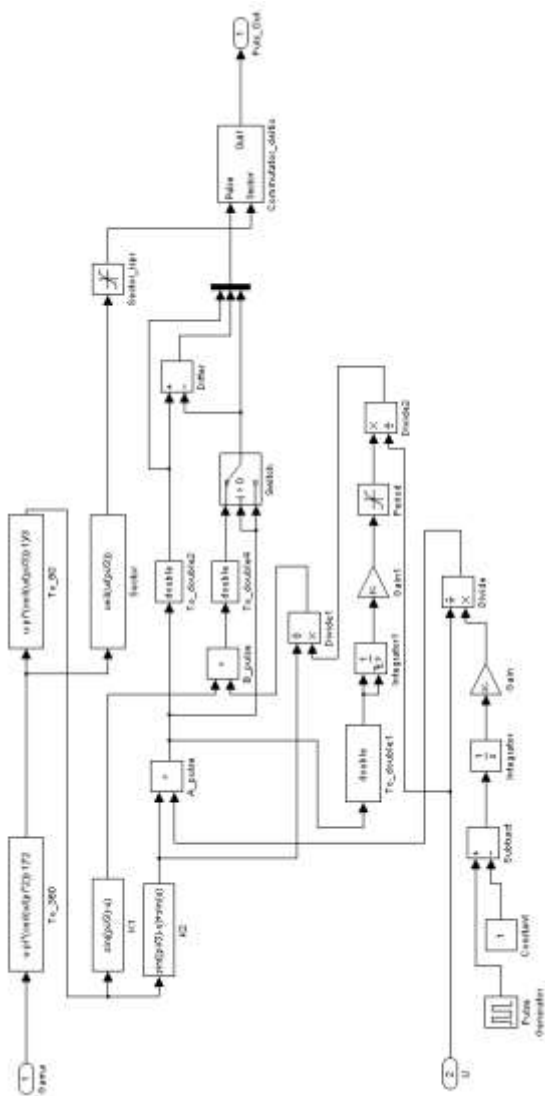


Рис. 3 – Створення блока-підсистеми PV_SVM

Главное отличие от ранее описанной в [1] модели состоит в том, что при помощи блоков K1, K2 можно задать абсолютно любую форму фазных токов инвертора, скомпенсировав таким образом колебания момента от зубчатости и несимметричности магнитной системы. Для распределения импульсов коммутации между всеми секторами предназначена блок-подсистема Commutator_deltic, строение которой приведен на рисунке 4. С помощью блока Multiport Switch2 производится выбор сектора пространственного вектора и осуществляется подключение шаблона соответствующего базового вектора к блоку Multiport Switch. Блок Multiport Switch осуществляет распределение базовых и нулевого векторов согласно текущим положениями пространственного вектора и его длиной. Таким образом, в отличие от модели, предложенной в [1], изменяя количество шаблонов базовых векторов и их коэффициенты, можно смоделировать систему управления двигателем с произвольным числом фаз, с соединением фаз в звезду и треугольник соответственно.

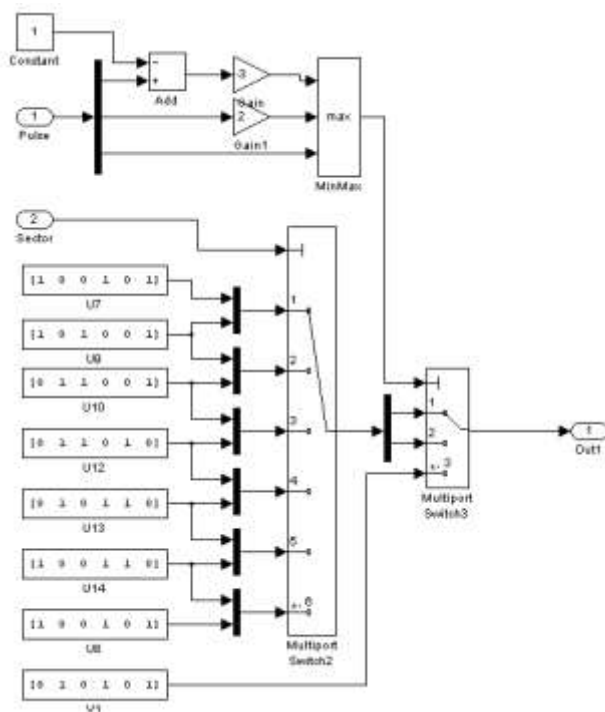


Рис. 4 – Блок-подсистема Commutator_deltic

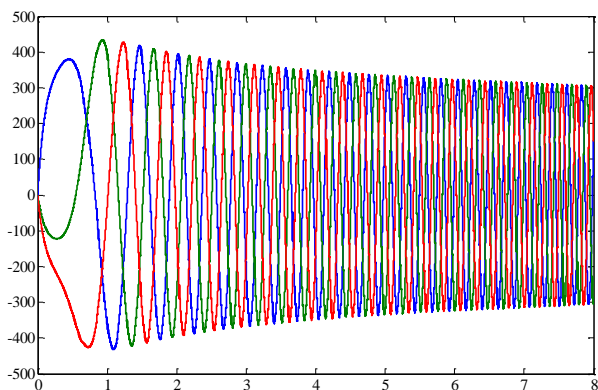


Рис. 5 – Фазные токи двигателя

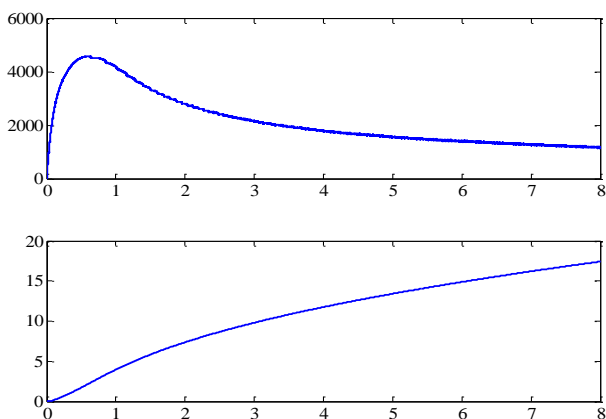


Рис. 6 – Электромагнитный момент, развиваемый двигателем и скорость движения электропоезда

Для проведения цифрового моделирования был использован решатель ode23tb (Stiff/TR-BDF2), точность моделирования 10^{-5} , шаг интегрирования переменный, выбираемый автоматически, минимальный шаг 10^{-20} , максимальный 10^{-4} , время моделирования процесса 8с. Начальные условия: угловая скорость равна 0 и угловая координата равна 0. Моделируется разгон электропоезда при заданном ограничении напряжения и частоте широтно-импульсной модуляции 5000 Гц.

На рисунках 5, 6 представлены полученные графики фазных токов, скорости движения электропоезда и электромагнитного момента тягового

двигателя. Амплитудное значение тока двигателя имеет максимум на уровне 420 А в начальный период разгона поезда.

Что касается величины момента, можно заметить, что он имеет выраженный максимум (4800 Нм) в интервале начала разгона поезда, вызванный достижением тока максимального значения задания. По мере разгона поезда до 18 км/ч величина момента снижается до 1100 Нм. Максимальные токи через IGBT-транзистор и обратный диод не превышают значения 420..450 А, максимальное напряжение на переходе коллектор-эмиттер IGBT-транзистора несущественно превышает напряжение в звене постоянного тока, что вызвано кратковременными бросками обратного тока во время коммутации. Амплитуда бросков обратного тока при этом может достигать величины в 200 А, следовательно, необходим фильтр в звене постоянного тока.

Выводы. 1. Предложена имитационная модель тягового привода мотор-вагонного подвижного состава на базе синхронного тягового двигателя с возбуждением от постоянных магнитов, позволяющая при помощи подбора необходимой формы фазного тока скомпенсировать пульсации момента от зубчатости и несимметричности магнитной системы.

2. Определены следующие предельные параметры тягового привода: токи и напряжения двигателя и силовых приборов преобразователя, реализуемый двигателем момент, броски обратного тока в звене постоянного тока при коммутации.

Список литературы: 1. Демидов А. В., Любарский Б. Г., Парфенюк Т. В. Имитационная модель системы управления инвертором напряжения, работающего по методу пространственно векторной ШИМ при постоянстве амплитуды суммарного вектора напряжения. – НТУ «ХПИ». - Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. № 47 - С.34-40. 2. Тяговый двигатель с возбуждением от постоянных магнитов // Железные дороги мира, 2004. – №9. С. 31-36. 3. Омеляненко В. И. Любарский Б. Г. Рябов Е. С. Глебова Т. В. Анализ и сравнение перспективных тяговых электродвигателей. Залізничний транспорт України. – Київ, 2008. – №2/1. – С.26–31.

Поступила в редколлегию 30.04.2013

УДК 629.423.1:621.332.6

Имитационное моделирование тягового привода мотор-вагонного подвижного состава в среде MATLAB SIMULINK / Б. Г. Любарский, А. В. Демидов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 31 (1004). – С. 94–100. – Бібліогр.: 3 назв.

Запропоновано імітаційну модель тягового приво́ду мотор-вагонного рухомого складу на базі синхронного тягового двигуна зі збудженням від постійних магнітів. Визначено основні граничні параметри тягового приво́ду.

Ключові слова: електропоїзд, тяговий привід, імітаційне моделювання.

Simulation model of the traction drive rolling stock on the basis of the PMSM is proposed. The main limiting parameters of the traction drive are defined.

Keywords: electric train, traction drive, simulation model.