

Н.Е. СЕРГИЕНКО, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;
А.Н. СЕРГИЕНКО, аспирант, НТУ «ХПИ»;
Б.Г. ЛЮБАРСКИЙ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;
Н.А. КИШКАР, НТУ «ХПИ»

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ С СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Виконано дослідження динаміки гібридного автомобіля за допомогою імітаційного моделювання автомобіля і його складових в середовищі Matlab / Simulink.

The investigation of the dynamics of a hybrid car with them, the gravitational model car and its components in Matlab / Simulink simulation

Введение. Эффективным направлением повышения топливной экономичности и уменьшения выбросов токсичных веществ ДВС является применения в их конструкциях автомобиля электропривода. Ведутся работы в двух направлениях: первое – создание чистого электромобиля, второе – разработка гибридной силовой установкой (ГСУ). Из-за отсутствия эффективных накопителей электрической энергии «чистые» электромобили имеют относительно малые пробеги на одной зарядке. Поэтому исследования показателей автомобиля с комбинированной энергетической установкой с вариантами электродвигателей актуально.

Анализ последних достижений и публикаций. Проведенный анализ зарубежного рынка автомобилестроения показал за последние годы значительный рост автомобилей на основе ГСУ. Их использование позволяет улучшить топливную экономичность на 30-50 %, уменьшить уровень шума, существенно повысить экологическую безопасность транспортных средств (на 40 % и более). В работах [1-4] представлены основы проектирования автомобиля с последовательно-параллельным электроприводом ГСУ с применением универсальных пакетов.

Цель статьи – определение динамических показателей гибридного автомобиля с электроприводом на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами.

Имитационное моделирование. Эффективным методом исследования гибридного автомобиля является моделирование процессов в программной среде Matlab/Simulink. Алгоритм моделирования включает моделирование автомобиля, двигателя, электропривода, аккумулятора энергии, суммирующего устройства и шины.

При моделировании электродвигателя приняты следующие допущения: все стальные участки имеют линейные характеристики намагничивания, т.е. насыщение стали отсутствует; кривая размагничивания постоянного магнита линейна и не зависит от температуры; обмотки и постоянные магниты создают радиальное синусоидальное распределение индукции в зазоре; потери в стали отсутствуют (нет потерь на перемагничивание и вихревые токи); сопротивления и индуктивности не зависят от температуры и частоты (вытеснения тока нет).

Модель электропривода на базе синхронного электродвигателя с постоянными магнитами. Электропривод состоит из четырех основных блоков: трехфазного инвертора, синхронного двигателя, регулятора частоты вращения электродвигателя и векторного контроллера (рис. 1). Для регулирования частоты вращения в приводе предусмотрены обратные связи:

- по углу поворота ротора, которая определяет положение ротора относительно статора (угловая координата ротора). Использование этой обратной связи позволяет сформировать вектор напряжения статора с использованием пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции (ШИМ);

- по току статора, обратная связь, которая позволяет установить режим управления привода при ограничении тока статора (режим пуска), также обратная связь по току корректирует положение вектора напряжения статора сформированного пространственно-векторной ШИМ с использованием информации от обратной связи по углу положения ротора;

- обратная связь по угловой скорости (производная угловой координаты), позволяет создать привод с заранее заданной скоростью движения. Эта обратная связь отвечает за поддержание заданной скорости движения.

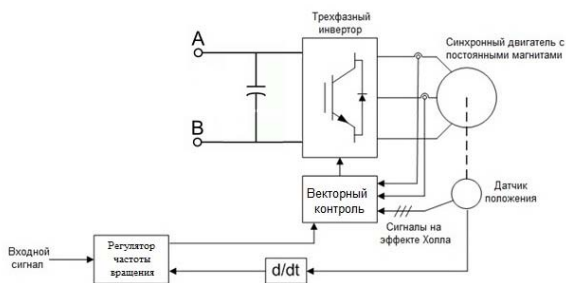


Рисунок 1 – Структурная схема электропривода с синхронным электродвигателем с постоянными магнитами

Электрическая часть модели электродвигателя описывается системой уравнений, связанных с ротором:

$$\frac{d}{dt} i_d = \frac{1}{L_d} \cdot u_d - \frac{R}{L_d} \cdot i_d + \frac{L_q}{L_d} \cdot p \cdot \omega_r \cdot i_q,$$

$$\frac{d}{dt} i_q = \frac{1}{L_q} \cdot u_q - \frac{R}{L_q} \cdot i_q + \frac{L_d}{L_q} \cdot p \cdot \omega_r \cdot i_d - \frac{\lambda \cdot p \cdot \omega_r}{L_q},$$

$$T_e = 1,5 \cdot p \cdot [\lambda \cdot i_q + (L_d - L_q) \cdot i_d \cdot i_q],$$

где L_d, L_q – индуктивности статора по осям d и q; R – активное сопротивление обмотки статора; i_d, i_q – проекции тока статора на оси d и q; u_d, u_q – проекции напряжения статора на оси d и q; ω_r – угловая частота вращения ротора; λ – магнитный поток постоянных магнитов, сцепленный с обмоткой статора; p – число пар полюсов; T_e – электромагнитный момент.

Все параметры ротора и его переменные приведены к статору.

Механическая часть модели описывается следующими уравнениями:

$$\frac{d}{dt} \omega_r = \frac{1}{J} \cdot (T_e - F \cdot \omega_r - T_m); \quad \frac{d}{dt} \theta = \omega_r,$$

где J – суммарный момент инерции ротора и нагрузки; F – коэффициент трения ротора; θ – угол положения ротора; T_m – момент сопротивления.

Исходные параметры синхронного электродвигателя следующие: активное сопротивление статора – 0,005 Ом, индуктивности статора по продольной и поперечной осям – 0,0003 Гн, поток возбуждения – 0,192 Вб, число пар полюсов – 4, мощность – 50 кВт, номинальное напряжение – 500 В.

На рис. 2 представлена модель с синхронным электродвигателем.

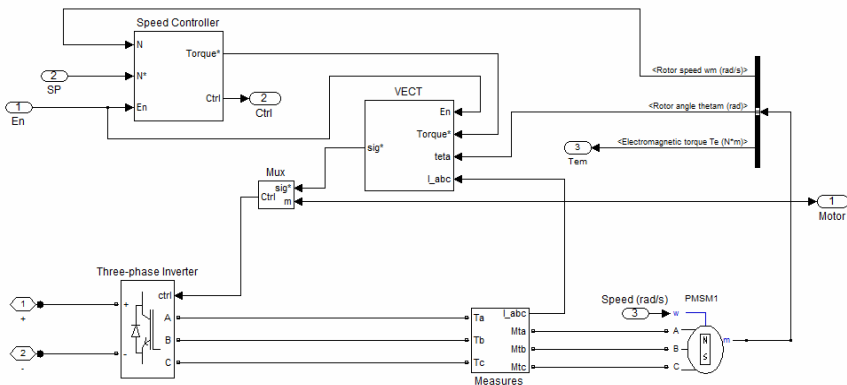


Рисунок 2 – Модель привода гибридного автомобиля с синхронным электродвигателем с постоянными магнитами

Результаты моделирования можно получить для любого составляющего элемента автомобиля. На рис. 3 представлено изменение во времени

электрических параметров двигателя при разгоне автомобиля. Разгон автомобиля и нагрузки на его мосты представлены на рис. 4.

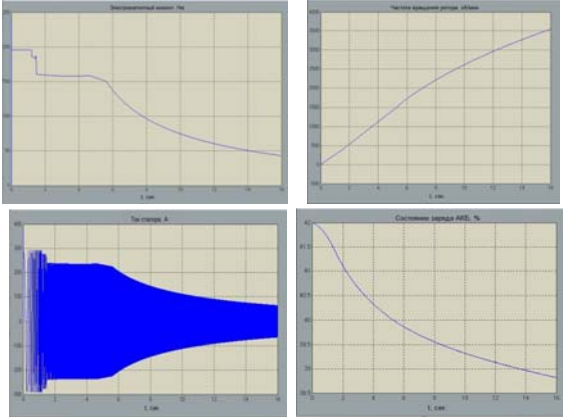


Рисунок 3 – Изменение электрических параметров: момента, угловой скорости, тока статора электродвигателя и состояния АКБ

Выводы. Разработанный программный комплекс позволяет исследовать динамические показатели составляющих элементов гибридного автомобиля с использованием в приводе синхронного электродвигателя. При принятых допущениях и исходных данных разгон автомобиля до 35 км/час с синхронным электродвигателем составляет 14 с.

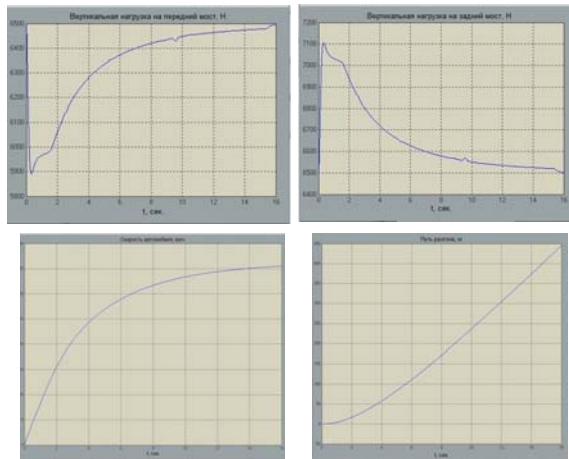


Рисунок 4 – Изменение нагрузок на мосты, скорости и пути во время разгона автомобиля

Список литературы: 1

N.M. Picot. A strategy to blend series and parallel modes of operation in a series-parallel 2-by-2 hybrid diesel/electric vehicle. The University of Akron, 2007. **2.** *C.W. Ayers, J.S. HSU, L.D. Marlino, C.W. Miller.* Evaluation of 2004 Toyota Prius hybrid electric drive system interim report. Oak Ridge National Laboratory, 2004. **3.** *E. Grunditz, E. Jansson.* Modelling and simulation of a hybrid electric

vehicle for shell eco-marathon and an electric go-kart. Department of energy and environment. Chalmers University of technology, 2009. **4.** *W. Zhan, M. Hasan, B. Zoghi.* Requirement development for electrical vehicles using simulation tools. Proceedings of the world Congress on engineering and computer science, 2009.