

Рассмотрена методика определения высших гармонических составляющих токов двигателя, средних, действующих и максимальных токов ключей инвертора тягового привода на основе двигателя с возбуждением от постоянных магнитов.

УДК 621.313

Б. Г. Любарский, канд. техн. наук

А. В. Демидов,

Т. В. Парфенюк

Национальный технический университет «Харьковский политехнический университет»

М. Л. Глебова

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО ПРИВОДА НА ОСНОВЕ СДПМ

Выпускающийся в наши дни подвижной состав железных дорог мира комплектуется тяговым приводом переменного тока, состоящим из автономного инвертора напряжения на базе IGBT-транзисторов и тягового двигателя переменного тока, обычно асинхронного двигателя [1]. Однако асинхронный двигатель, как электромеханический преобразователь (ЭМП), достаточно широко исследован, и не имеет возможностей модернизации.

Поэтому в последнее время для повышения общего КПД тягового привода применяют другие типы ЭМП, такие, как синхронный двигатель с возбуждением от пост магнитов (СДПМ), реактивно индукторный двигатель (РИД), двигатель с поперечным полем.

СДПМ, которые по ряду показателей превосходят асинхронные двигатели, и, по мнению многих исследователей, являются перспективными, в последнее время привлекают к себе внимание передовых инженерных центров, работающих в области электрической тяги [2].

Высокие энергетические характеристики СДПМ обусловлены следующими факторами. Во-первых, отсутствуют электрические потери на возбуждение. Во-вторых, как правило, СДПМ имеют большее число полюсов, чем АД или СДЭМ, поэтому длина лобовой части секций обмотки статора меньше – соответственно меньше электрические потери в обмотки статора. В-третьих, применение высококоэрцитивных постоянных магнитов располагаемых, как правило, на поверхности ротора приводит к уменьшению поверхностных потери в роторе, вызванных ступенчатой формой МДС обмотки статора и его зубчатой структурой

Применение современных алгоритмов управления полупроводниковым преобразователем (векторное управление, пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция – ПВ ШИМ, прямое управление моментом) позволяет обеспечить работу двигателя при угле нагрузки близком к 90° (режим двигателя постоянного тока). Этот факт также способствует улучшению массогабаритных показателей. СДПМ обладает высокими перегрузочными способностями, обусловленными, в первую очередь, магнитным возбуждением, стабильностью

частоты вращения, пульсации момента на валу могут быть сведены к минимуму за счёт выбора алгоритмов управления полупроводниковым преобразователем.

Цель работы: разработать имитационную модель для определения оптимальных режимов работы СДПМ в составе тягового привода.

Для определения оптимальных режимов работы СДПМ необходимо найти векторную функцию, составляющие которой определяют:

- гармонический спектр токов СДПМ определяющие добавочные потери СДПМ;
- предельные значения токов и напряжений на элементах полупроводникового преобразователя, определяющие тип полупроводниковых приборов;
- средние и действующие значения токов на полупроводниковых элементах, определяющие потери в полупроводниковых элементах.

Для моделирования квазистационарных процессов в тяговых электроприводах предлагается использовать имитационную модель, созданную в среде MATLAB SIMULINK. Такой подход позволяет упростить процесс создания модели тягового привода для моделирования квазистационарных процессов путем использования стандартных компонентов.

Для проведения цифровых экспериментов выберем параметры моделирования: коэффициент модуляции K_m , определяющий величину линейного напряжения, частота вращения ротора и частоту широтно-импульсной модуляции f_{PWM} , определяющей частоту переключения ключей и динамические потери в IGBT-транзисторах.

K_m – коэффициент модуляции определяется выражением [3]:

$$K_m = \frac{2U_{л1}}{U_d} = \frac{2U}{\sqrt{3}U_d},$$

где $U_{л1}$ – линейное напряжение статора СДПМ, U_d – напряжение звена постоянного тока.

Вектор параметров управления имеет вид:

$$[D] = \begin{bmatrix} f_{PWM} \\ KM \end{bmatrix}$$

Имитационная модель для моделирования режимов работы тягового привода на основе СДПМ создана в среде Matlab-Simulink и представлена на рис. 1 - 3. Общая модель представлена на рис. 1. Она состоит из следующих основных подсистем, MOTOR, AIN, SV_PWM. Подсистема MOTOR (рис. 2) – предназначена для моделирования СДПМ, подсистема AIN – автономный инвертор напряжения на базе IGBT-транзисторов, SV_PWM (рис. 3) – система управления автономного инвертора напряжения, реализующая закон пространственно-векторного широтно-импульсного управления (ПВ ШИМ) СДПМ.

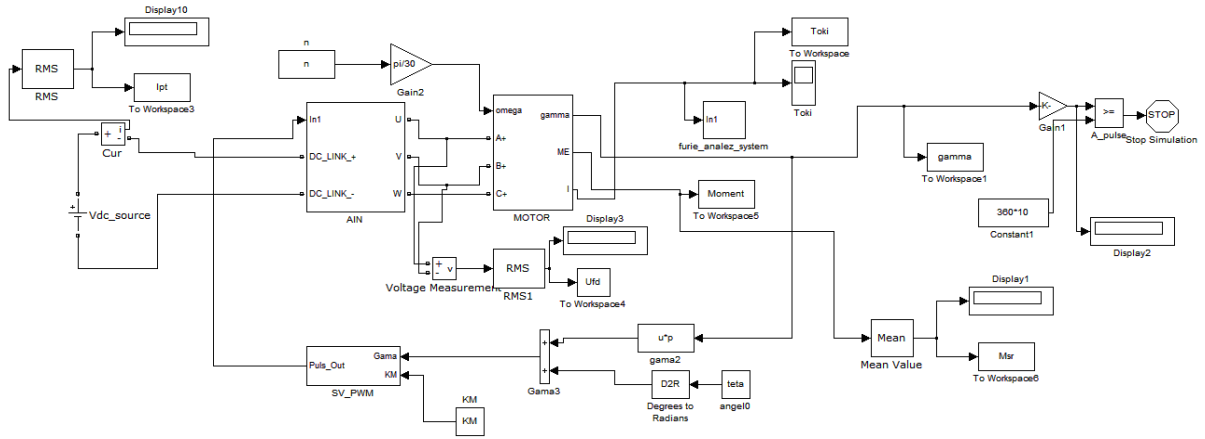


Рис. 1 - Имитационная модель для моделирования режимов работы СДПМ

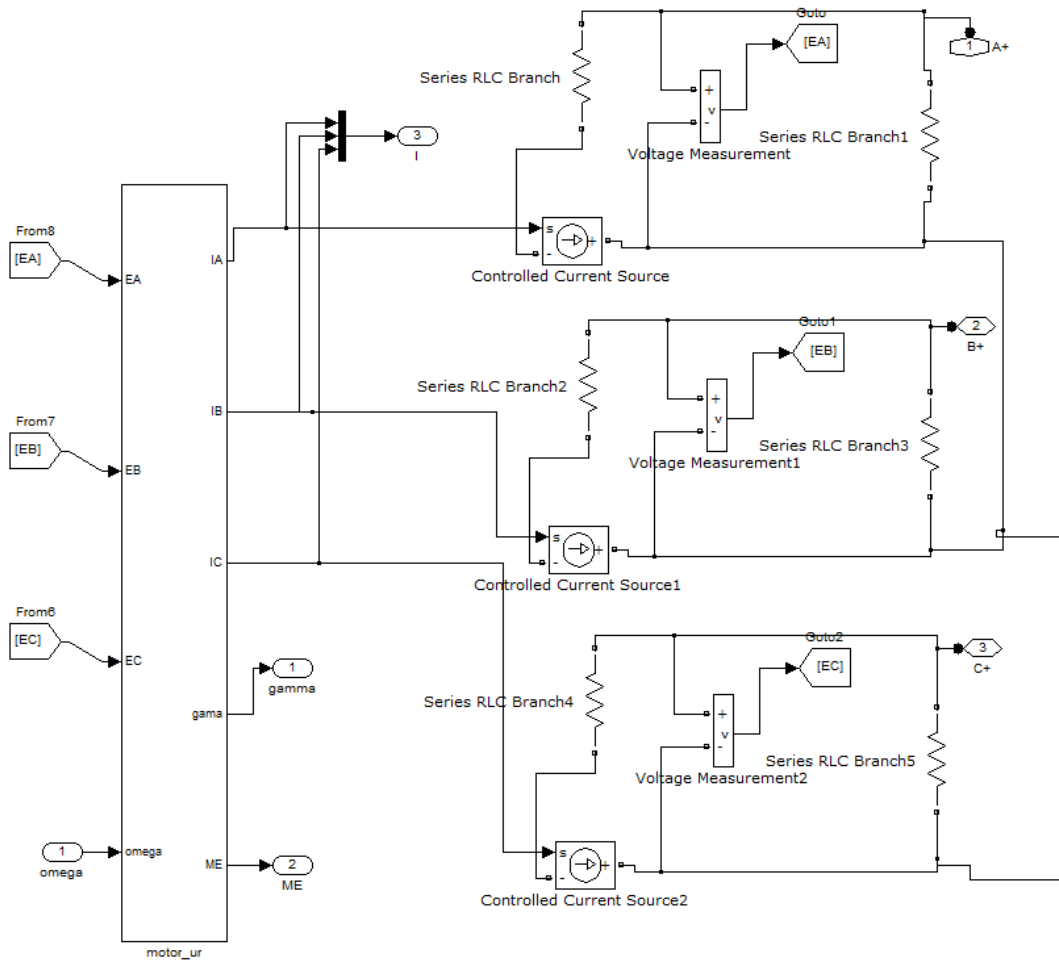


Рис. 2 – Подсистема MOTOR

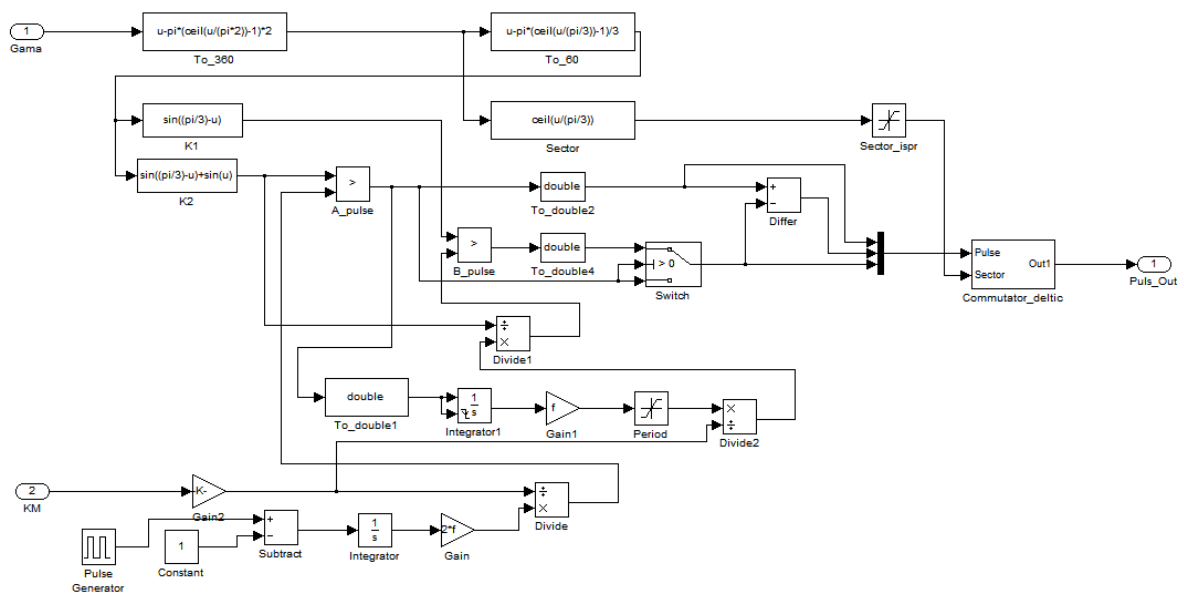


Рис. 3 – Подсистема SV_PWM

Результаты цифрового моделирования приведены на рис. 4 – 5. Цифрами 1, 2, 3, 4 обозначены амплитуды 5-й, 7-й, 11-й, 13-й гармоник соответственно.

Зависимости максимального значения токов высших гармоник приведенные на рис. 4-5 показывают, что при частоте ШИМ более 1200 Гц их величина не превышает 10% от действующего значения фазного тока, а при частоте 3000 Гц - 3 %, как в тяговом, так и в генераторном режимах работы. При применении современных IGBT транзисторов [4] позволяющих осуществлять ШИМ на частотах до 5000 Гц влияние высших гармоник на работу СДПМ незначительно так, как величины токов высших гармонических соизмеримы с точностью инженерных расчетов. Однако, при использовании низкочастотных IGBT транзисторов с частотой ШИМ до 3000 Гц учет высших гармонических токов необходим.

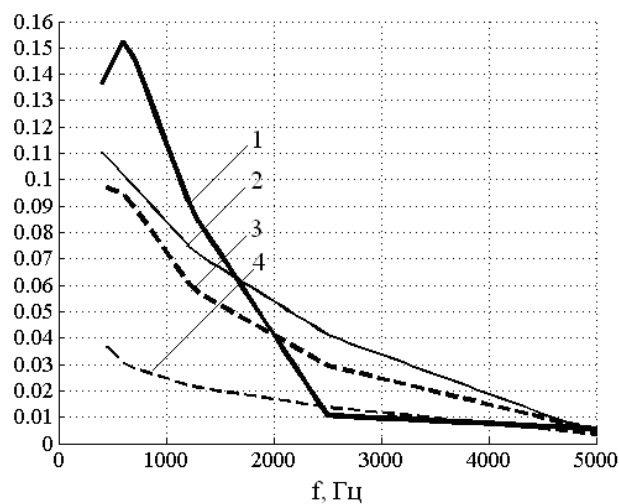


Рис. 4 – Зависимость максимального значения токов высших гармонических от частоты ШИМ в режиме тяги

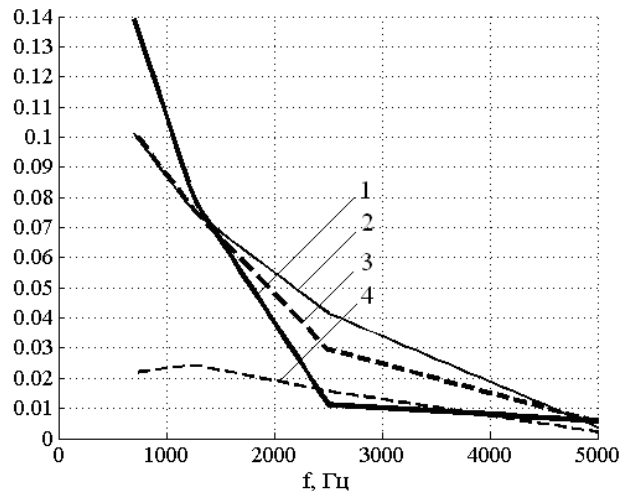


Рис. 5 – Зависимость максимального значения токов высших гармонических от частоты ШИМ в режиме торможения

При увеличении коэффициента модуляции амплитуды гармоник также увеличивается. Это вызвано уменьшением числа импульсов ШИМ приходящихся на один период 1-й гармоники тока и дискретностью их изменения. Амплитуды гармоник лежат в пределах от 0,01 до 0,05 относительных единиц. Максимальное влияние оказывает 11 гармоника при тактовой частоте ШИМ 5000 Гц и коэффициенте модуляции равном 1.

Действующее значение тока протекающего через IGBT-транзистор лежит в пределах от 0,7 до 0,9 от фазного тока ЭМП СДПМ. Большие значения соответствуют большим значениям частот вращения и меньшим значениям коэффициента модуляции. Среднее значения токов в режиме тяги лежит в пределах от 0,1 до 0,55 от фазного тока, а в тормозном режиме от -0,1 до -0,42. Зависимость близка к «гладкой». Максимальное значение в тяговом режиме достигает при частоте вращения 4000 об/мин и коэффициенте модуляции 1, минимальное в тормозном режиме при тех же значениях. Максимальное значение токов протекающих через IGBT-транзистор лежит в пределах от 1,6 до 2,7 от фазного тока ЭМП СДПМ, для тягового режима и от 1,2 до 1,56 в режиме торможения. Максимальное напряжение, которое прикладывается к транзистору, не превышает двукратного значения линейного напряжения на ЭМП.

Выводы:

1. Разработана имитационная модель тягового привода подвижного состава на базе СДПМ, позволяющая определить оптимальные режимы работы двигателя в составе тягового привода.
2. В качестве параметров оценки эффективности работы привода предложено использовать гармонический спектр токов СДПМ, предельные и средние значения токов и напряжений на элементах полупроводникового преобразователя.
3. Определены амплитуды 5-й, 7-й, 11-й и 13-й гармоник фазных токов в зависимости от тактовой частоты ШИМ в режимах тяги и торможения.
4. Определены средние действующие и максимальные значения максимальных и средних токов через IGBT-транзисторы инвертора.

Литература

1. В. И. Омеляненко, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, А. В. Демидов, Т. В. Глебова. Анализ и сравнение перспективных тяговых электродвигателей // Залізничний транспорт України.– 2008. – №2/1. – С. 26–31.

2. Тяговый двигатель с возбуждением постоянными магнитами. // Железные дороги мира – 2004.- №9 – С.12-14 (Т. Klockow et al. Elektrische Bahnen, 2003, № 3, S. 107 – 112).
3. М. В. Пронин, А. Г. Воронцов, Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) / Под ред. Крутякова Е.А. СПб: «Электросила», 2003. – 172 с.
4. IGBT Electronics. Каталог. [Электрон. ресурс]. Режим доступа <http://www.igbt.ru>.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЯГОВОГО ПРИВОДА НА БАЗІ СДПМ

Б. Г. Любарський, О. В. Демидов, Т. В. Парфенюк, М. Л. Глебова

Розглянуто методу визначення вищих гармонічних складових струмів двигуна, середніх, діючих та максимальних струмів ключів інвертора тягового приводу на базі двигуна зі збудженням від постійних магнітів.

SIMULATION OF PMSM BASED TRACTION DRIVE

B.G Lubarsky, A.V Demidov, T.V. Parfenuk, M.L. Glebova

The method of determining of the higher harmonic components of motor current, average, rms and maximum operating key's currents traction drive inverter-based PMSM considered