

Н.А. Рыбушкин, А.Ю. Афанасьев
(г. Казань, Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ)
N. A. Rybushkin, A. Yu. Afanasyev (Kazan, KNRTU-KAI named after A.N. Tupolev)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕРТОРА В ДВИГАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПОСТОЯННОЙ НАГРУЗКЕ В ПРОГРАММЕ MATLAB SIMULINK

MODELING THE CONVERTER IN MOTOR MODE OF THE MOTOR UNDER
CONSTANT LOADING IN THE MATLAB SIMULINK PROGRAM

Данная работа посвящена моделированию конвертора в двигательном режиме электродвигателя. Приведена модель конвертора в программе MATLAB SIMULINK, основные соотношения и графики.

This work is devoted to modeling the converter in the motor mode of the electric motor. The model of the converter in the MATLAB SIMULINK program, the basic relationships and graphs are presented.

Ключевые слова: конвертор, модель, электродвигатель, MATLAB SIMULINK.

Keywords: converter, model, electric motor, MATLAB SIMULINK.

Модель конвертора в среде Simulink ПО Matlab приведена на рис. 1.

Модель содержит:

- Ultra Cap – суперконденсаторы;
- VD1 – диод;
- VT1 – IGBT транзистор;
- C1 – конденсатор шины постоянного тока преобразователя частоты;
- L1 – дроссель;
- RL_n – сопротивление нагрузки;
- V_M1, V_M2 – вольтметры;
- C_M1, C_M2, C_M3 – амперметры;
- U_DC – требуемое значение напряжения на шине постоянного тока;
- Triangle – генератор пилообразного напряжения;
- Comparator – компаратор;
- Regulator – регулятор конвертора [2].

Напряжение суперконденсаторов берется равным 600 В (625 В – напряжение полностью заряженных суперконденсаторов Maxwell), емкость – 1 Ф (12,6 Ф – емкость суперконденсаторов Maxwell). Сопротивление нагрузки $R_n = 2$ Ом, $L_n = 2$ мГн.

Параметры блоков модели, показанной на рисунке 1.

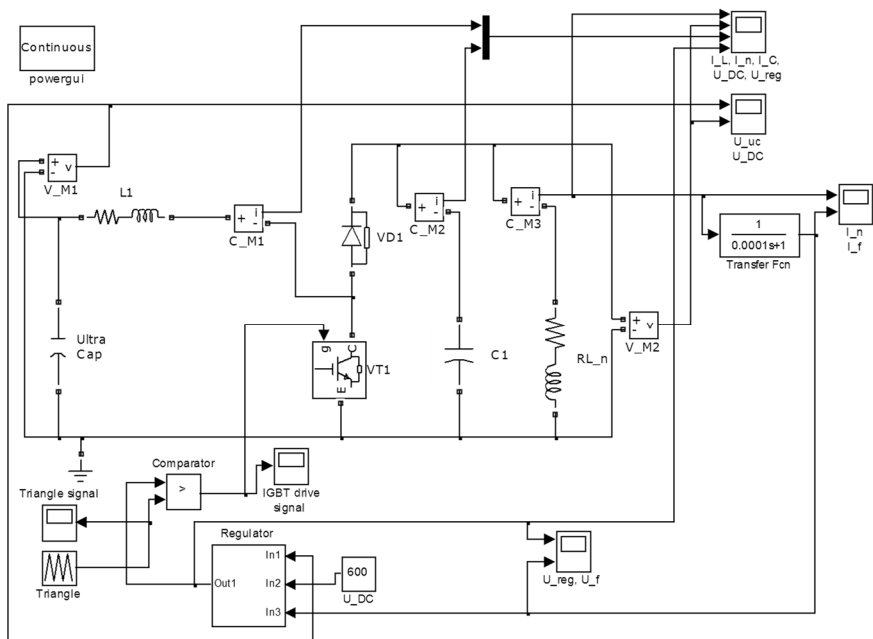


Рис. 1. Модель конвертора в программе MATLAB SIMULINK

Емкость конденсатора шины постоянного тока $C_1 = 1$ мФ, что соответствует емкости входного конденсатора преобразователя частоты SKAI 45 A2 GD12-W24CI. Параметры дросселя L_1 : индуктивность $L = 10$ мГн, активное сопротивление $R_L = 0,05$ Ом. Компаратор и генератор пилообразного напряжения обеспечивают ШИМ управление на частоте 5 кГц по управляющему сигналу от регулятора.

Регулятор обеспечивает управление конвертором в двигательном режиме и поддерживает напряжение на выходе конвертора равным напряжению задающего устройства U_{DC} , равного 600 В.

На вход регулятора подаются следующие сигналы:

In1 – напряжение суперконденсаторов (u_0);

In2 – требуемое напряжение на шине постоянного тока (u_H^0);

In3 – ток нагрузки (i_H).

Регулятор реализует следующую функцию управления:

$$\gamma = 1 - \frac{u_0 + \sqrt{u_0^2 - 2R_L u_H^0 i_H}}{2u_H^0},$$

где γ – относительная длительность импульсов транзистора VT1, R_L – активное сопротивление дросселя L_1 . С учетом активного сопротивления дросселя функция управления конвертором примет вид:

$$\gamma = 1 - \frac{u_0 + \sqrt{u_0^2 - 0,2u_H^0 i_H}}{2u_H^0}$$

Начальное значение напряжения на конденсаторе $C_1 - 0$ В. Параметры нагрузки соответствуют параметрам двигателя. При постоянном значении напряжения на нагрузке u_n равным 600 В, значение тока нагрузки будет равно $I_n = u_n / R_n = 600 \text{ В} / 2 \text{ Ом} = 300 \text{ А}$. При этом в нагрузку будет отдаваться мощность, равная $P_n = u_n I_n = 600 \text{ В} \cdot 300 \text{ А} = 180 \text{ кВт}$, что соответствует параметрам конвертора электропривода для силовой установки гибридного транспортного средства [2].

Конвертор обеспечивает напряжение на шине постоянного тока равным 600 В – 10% при разряде суперконденсаторов до напряжения 300 В, т.е. до половины начального значения. При напряжении суперконденсаторов, равном 170 В, напряжение на шине постоянного тока равно 400 В, т.е. 66% от требуемого значения.

Энергия, запасенная в суперконденсаторах равна

$$W = \frac{cu_0^2}{2}.$$

Таким образом, при напряжении суперконденсаторов 300 В запас энергии составляет $(u_2^0 / U_0)^2 = (300/600)^2 = 0,25$ или 25 %, от начального значения энергии.

Здесь: u_2^0 – текущее значение напряжения суперконденсаторов, U_0 – начальное значение напряжения суперконденсаторов.

На рис. 2-4 приведены ток нагрузки, напряжение нагрузки, ток дросселя L_1 , ток конденсатора C_1 . Из рисунков 2 и 3 видно, что номинальная мощность на нагрузке обеспечивается в широком диапазоне напряжений разряда суперконденсаторов.

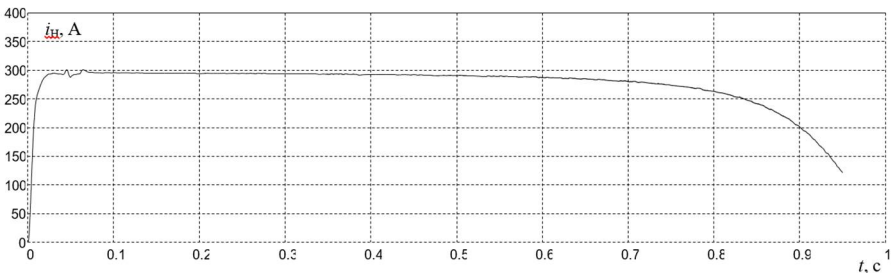


Рис. 2. Ток нагрузки

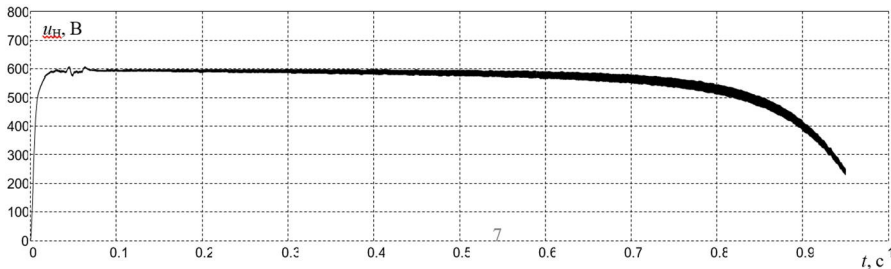


Рис. 3. Напряжение нагрузки

Из рис. 4 видно, что по мере уменьшения напряжения суперконденсаторов, ток через дроссель L_1 растет, обеспечивая постоянную мощность на нагрузке. При напряжении суперконденсаторов 250 В, значение тока, протекающего через дроссель L_1 равно 700 А, соответственно данный ток потребляется от суперконденсаторов.

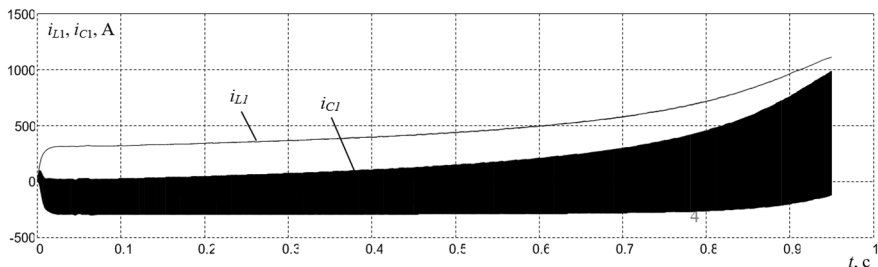


Рис. 4. Ток дросселя L_1 и конденсатора C_1

Максимальный импульсный ток суперконденсаторов в течении 1 с. равен 1800 А. Продолжительный ток при превышении температуры на 40°C равен 240 А. Т.к. длительность работы конвертора при повышенных значениях токов составляет доли секунд, допустимым ограничением по разрядному току для суперконденсаторов является значение 700..800 А. При этом следует учитывать, что в данной модели нагрузка постоянна. В случае, если нагрузкой является электрический двигатель, и разряд суперконденсаторов происходит при разгоне электродвигателя и продолжается до выхода двигателя на установившуюся скорость, максимальное значение потребляемой мощности приходится на первые секунды разгона электродвигателя. При достижении электродвигателем установившегося режима, потребление мощности двигателем заметно снижается. Т.к. управление электродвигателем напрямую осуществляет преобразователь частоты, а конвертор обеспечивает лишь постоянство напряжения на шине постоянного тока, то при малом значении напряжения на суперконденсаторах, преобразователь частоты должен ограничивать мощность потребления электродвигателя на уровне 60..70% от

Список литературы

1. Герман-Галкин, С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
2. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. заведений / Г.Г. Соколовский. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 272 с.

Материал поступил в редколлегию 14.10.19.