

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СИНХРОННОГО ТРЕХФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB/SIMULINK R2021B

Усков В.С.<sup>1</sup>, Ланграф С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТПУ, ИШИТР, гр 8Е02,

Email: vsu2@tpu.ru

<sup>2</sup>ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент,

Email: langraf@tpu.ru

## Введение

Для достижения оптимальной работы синхронных двигателей (СД) необходимо проводить моделирование переходных процессов, чтобы оценить их характеристики и оптимизировать работу системы. В данной работе рассматривается моделирование переходных процессов синхронного трехфазного двигателя с постоянными магнитами в программном пакете MATLAB/SIMULINK R2021B. Методика моделирования основана на математической модели двигателя, учитывающей его электромагнитные и механические характеристики.

## Модель СД в неподвижной и подвижной системах координат

Синхронная машина в неподвижной и подвижной системах координат описывается системами уравнений 1 и 2 соответственно:

$$\begin{cases} U_a = R_s * i_a + L_s * \frac{di_a}{dt} - \omega_r * z_p * \Psi_{fa} \\ U_\beta = R_s * i_\beta + L_s * \frac{di_\beta}{dt} - \omega_r * z_p * \Psi_{f\beta} \\ M = \frac{3}{2} z_p * (\Psi_{fa} * i_\beta - \Psi_{f\beta} * i_a) \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} * (M - M_c) \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} U_d = R_s i_d + p(L_d + \Psi_f) - \omega_r z_p (L_q i_q) \\ U_q = R_s i_q + p * L_q i_q + \omega_r z_p (L_d i_d + \Psi_f) \\ M = \frac{3}{2} z_p (\Psi_d i_d - \Psi_q i_q) \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} (\frac{3}{2} z_p (\Psi_d i_d - \Psi_q i_q) - M_c) \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\Psi_{fa} = \Psi_f \cos \omega t$ ,  $\Psi_{f\beta} = \Psi_f \sin \omega t$ ,  $\Psi_a = L_s * i_a + \Psi_{fa}$ ,  $\Psi_\beta = L_s * i_\beta + \Psi_{f\beta}$ ,  $U_a, U_\beta, i_a, i_\beta, \Psi_a, \Psi_\beta, \Psi_f, U_d, U_q, i_d, i_q$  – составляющие векторов напряжений, токов, потокоцеплений по осям двухфазным осям.  $R_s, L_s, L_d, L_q$  – сопротивление и индуктивность статорной обмотки. Механические параметры:  $J$  – момент инерции,  $\omega_r$  – частота вращения ротора,  $z_p$  – число пар полюсов двигателя,  $M$  и  $M_c$  – электромагнитный момент и момент нагрузки.

Модели синхронного двигателя во вращающейся и неподвижной системах координат представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

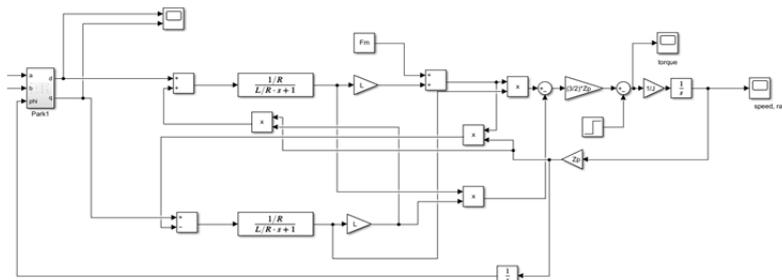


Рис. 1. Модель синхронного двигателя во вращающейся системе координат

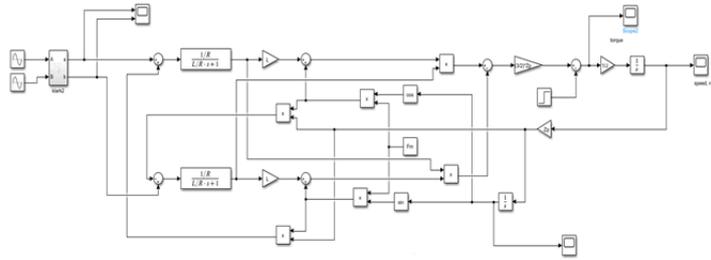


Рис. 2. Модель синхронного двигателя в неподвижной системе координат

Графики переходных процессов, полученные с моделей синхронного двигателя во вращающейся и в неподвижной системах координат представлены на рисунке 3.

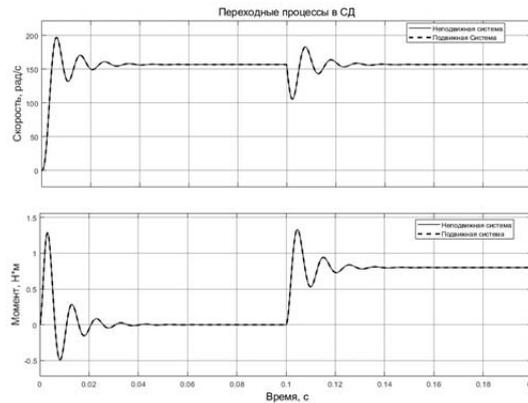


Рис. 3. Переходные процессы в СД

Далее, для проверки полученных результатов, была использована виртуальная модель СД, выполненная с использованием виртуальных блоков из библиотеки Power System Blockset matlab/Simulink. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

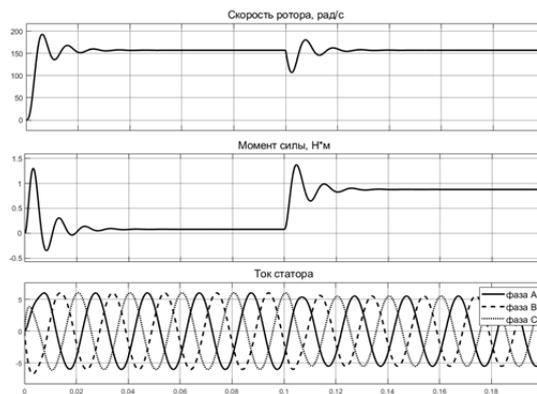


Рис. 4. Переходные процессы СД

Входным воздействием во всех случаях являлось трехфазное синусоидальное напряжение с амплитудой 150 В и частотой 31,4 рад/с. Во времени  $t = 0.1$  с к двигателю прикладывалась нагрузка  $M_c = 0.75$  Нм.

Сравнивая рис. 3 и 4, можно сделать вывод, что имитационная модель двигателя идентична математической, что подтверждает правильность моделей, представленных на рис. 2, 3.

### Список литературы

1. Калачев Ю.Н. Моделирование в электроприводе – Москва, 2019. – 15 с.
2. Permanent magnet synchronous motor with sinusoidal flux distribution // mathworks: сайт – 2013. – URL: <https://www.mathworks.com/help/sps/ref/pmsm.html>
3. Фираго Б.И. Векторные системы управления электроприводами – Минск: Высшая школа, 2014. – С. 87–107.