

М.Ю. СИДОРКОВ, студент гр.5АМ67 (НИ ТПУ)  
Научный руководитель А.Ю. Чернышев, к.т.н., доцент (НИ ТПУ)  
г. Томск

## СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ЧАСТОТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ

Синхронный двигатель не имеет начального пускового момента. Так, например, при пуске синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением, если подключить обмотку статора к сети переменного тока, а на обмотку возбуждения подать постоянное напряжение (рис.1), то за один период изменения тока статора электромагнитный момент будет дважды менять свое направление, т. е. средний момент за период будет равен нулю. Следовательно, для пуска синхронного двигателя необходимо разогнать его ротор с помощью внешнего момента до частоты вращения, близкой к синхронной.

Для этой цели применяют метод асинхронного пуска. Синхронный двигатель пускают в ход как асинхронный, для чего его снабжают специальной короткозамкнутой пусковой обмоткой. В полюсные наконечники ротора синхронного двигателя закладывают медные или латунные стержни, замкнутые накоротко двумя торцовыми кольцами. Пусковая обмотка выполнена подобно беличьей клетке асинхронной машины, но занимает лишь часть окружности ротора.

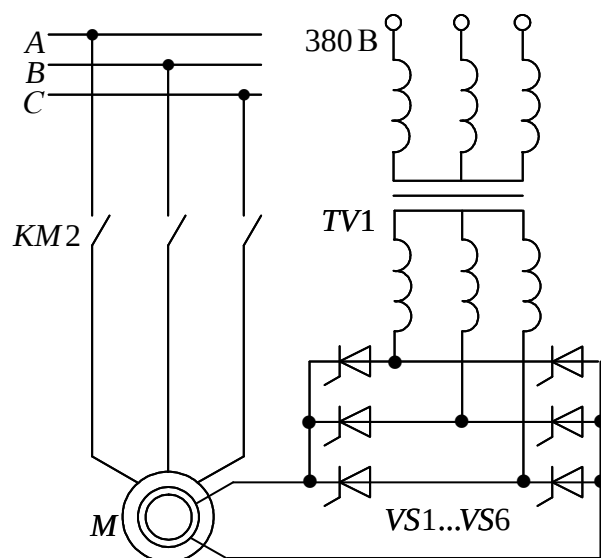


Рис. 1. Схема асинхронного пуска синхронного двигателя

Проведем моделирование пуска синхронного двигателя прямым включением в сеть. Составим систему уравнений динамических процессов в синхронном электроприводе, описав электрическую и механическую части электропривода дифференциальными уравнениями.

Уравнения равновесия ЭДС на обмотках статора и ротора синхронного двигателя в осях  $d$  и  $q$ , а также выражение для его электромагнитного момента определяются уравнениями:

$$\begin{aligned} U_1 \sin \theta_{\text{эл}} &= R_1 \cdot i_{1d} + \frac{d\psi_{1d}}{dt} - \omega_{\text{эл}} \cdot \psi_{1q}; \\ -U_1 \cos \theta_{\text{эл}} &= R_1 \cdot i_{1q} + \frac{d\psi_{1q}}{dt} + \omega_{\text{эл}} \cdot \psi_{1d}; \\ u_{\text{в}} &= R_{\text{в}} \cdot i_{\text{в}} + \frac{d\psi_{\text{в}}}{dt}; \\ M &= \frac{3 \cdot z_p}{2} (\psi_{1d} \cdot i_{1q} - \psi_{1q} \cdot i_{1d}). \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнение равновесия моментов на валу синхронной машины

$$M + \beta(\omega_0 - \omega) - M_c = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

где  $\beta = \frac{2 \cdot M_{\text{к}}}{\omega \cdot s_{\text{к}}}$  – модуль жесткости для асинхронной составляющей момента, обусловленной действием демпферной короткозамкнутой обмотки;

$J_{\Sigma}$  – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции электропривода.

Записав системы уравнений (1) и (2) в операторной форме, получим

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 \cdot i_{1d} + \psi_{1d} \cdot p - \omega_{\text{эл}} \cdot \psi_{1q}; \\ -U_1 &= R_1 \cdot i_{1q} + \psi_{1q} \cdot p + \omega_{\text{эл}} \cdot \psi_{1d}; \\ u_{\text{в}} &= R_{\text{в}} \cdot i_{\text{в}} + \psi_{\text{в}} \cdot p; \\ M &= \frac{3 \cdot z_p}{2} (\psi_{1d} \cdot i_{1q} - \psi_{1q} \cdot i_{1d}); \\ M + \beta(\omega_0 - \omega) - M_c &= J_{\Sigma} \cdot \omega \cdot p. \end{aligned} \quad (3)$$

Схема имитационной модели пуска синхронного двигателя прямым включением в сеть в программной среде *MatLab Simulink* приведена на рис. 2.

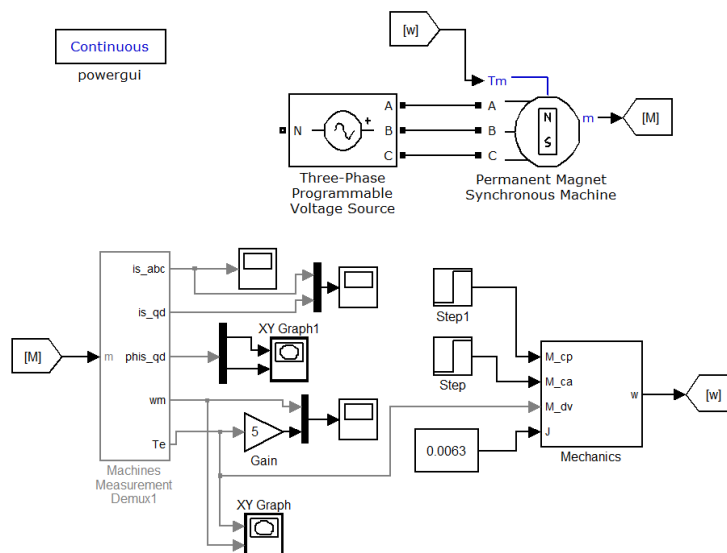


Рис. 2. Программа моделирования асинхронного пуска синхронного двигателя.

Результаты моделирования пуска синхронного двигателя прямым включением в сеть представлены на рис. 3.

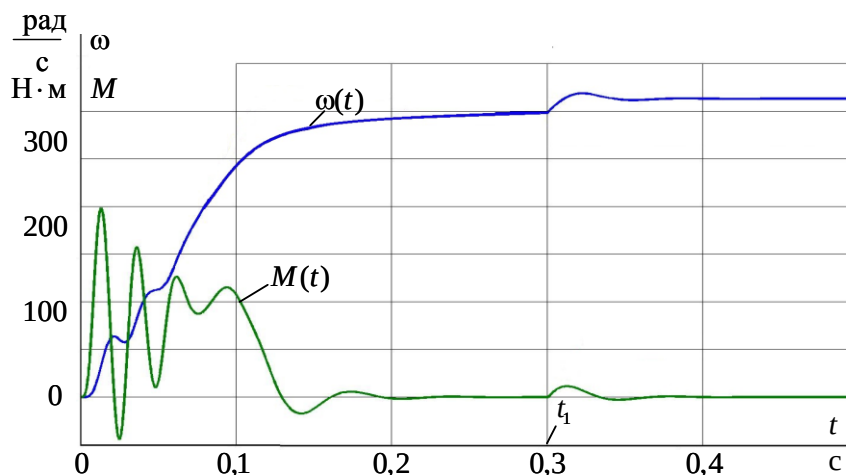


Рис. 3. Результаты моделирования пуска синхронного двигателя прямым включением в сеть

Анализ результатов моделирования показывает, что броски момента при асинхронном пуске синхронного двигателя могут достигать четырехкратного значения номинального момента, что может оказывать негативное влияние, как на сам двигатель, так и на кинематику производственного механизма.

Для ограничения пускового тока и момента синхронных двигателей, работающих с частыми пусками и торможениями, производят от преобразователей частоты, подавая управляющее воздействие через задатчик интенсивности.

Структурная схема синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов в осях d и q приведена на рисунке 4.

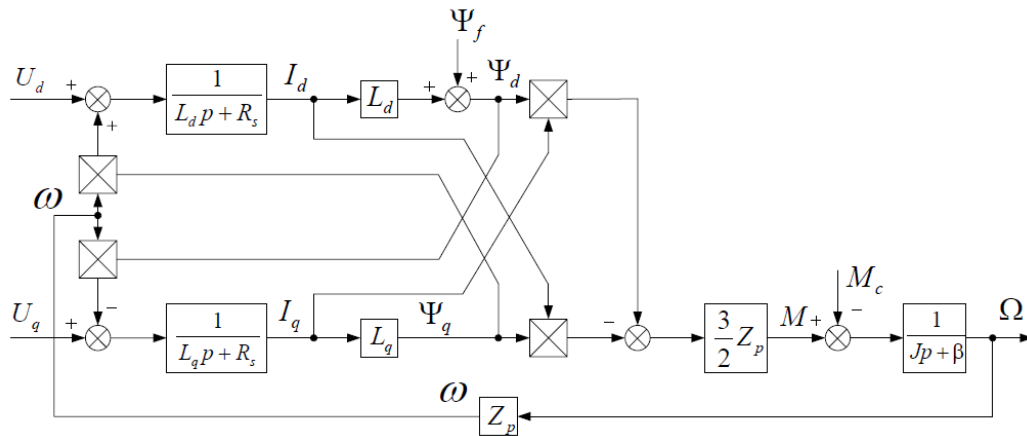


Рис. 4. Структурная схема синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов в осях d и q

Схема силовой цепи имитационной модели синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов в программной среде *MatLab Simulink*, приведена на рис 5.

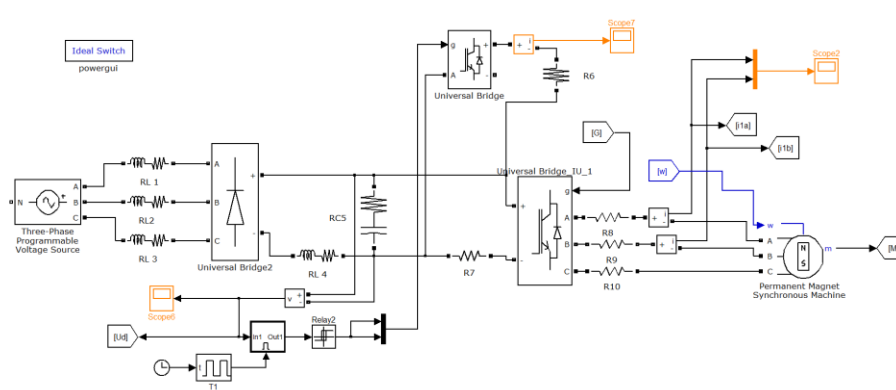


Рис. 5. Модель схемы силовой цепи системы преобразователь частоты – синхронный двигатель

Результаты моделирования цикла работы синхронного двигателя, включающей его пуск, реверс и торможение представлены на рис. 6 и рис. 7. Точками  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  отмечены процессы начала пуска, реверса и остановки двигателя.

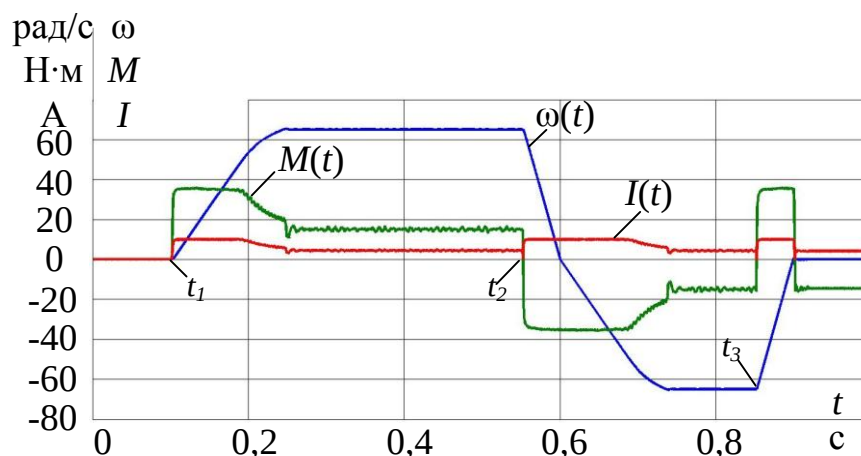


Рис. 6. Переходные процессы пуска, реверса и остановки двигателя

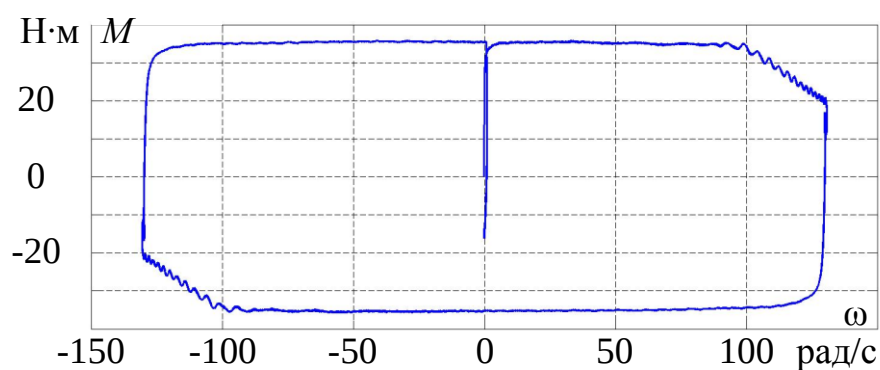


Рис. 7. Динамическая механическая характеристика

Из результатов моделирования следует, что при пуске двигателя с помощью регулирования частоты тока можно избежать бросков момента, а, следовательно, обеспечить плавный пуск без механических колебаний двигателя.

#### Список литературы

1. Чернышев А.Ю. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.