

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ СИНХРОННОГО СЕРВОДВИГАТЕЛЯ

*Кокудович Д. В., Сааков А. В., Прокопеня О. Н.
Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь*

В рассматриваемом мехатронном модуле используется синхронный серводвигатель Festo EMME-AS-40-S-LV-AMB в сочетании с шариковой винтовой передачей [1].



Рисунок 1 – Серводвигатель Festo EMME-AS-40-S-LV-AMB

Данный мехатронный модуль под управлением контроллера Festo CMMP-AS-C2-3A-M3 хорошо подходит для решения задач быстрого позиционирования. Однако динамические характеристики модуля существенно зависят от нагрузки и приведенного к валу двигателя момента инерции приводимого в действие механизма, что требует дополнительного исследования при использовании модуля для решения конкретных задач автоматизации [2]. Это, в свою очередь, требует соответствующего математического описания.

Принцип действия синхронно двигателя основан на взаимодействии магнитных полей статора и ротора. Вращающий момент синхронного двигателя зависит от угла θ между осями полюсов ротора и магнитного поля статора

$$M = M_m \sin \theta, \quad (1)$$

где M_m – максимальное значение момента.

Зависимость $M = f(\theta)$ называется угловой характеристикой синхронного двигателя.

На угловой характеристике располагается точка, соответствующая номинальному режиму работы, который характеризуется номинальными значениями момента M_H и угла θ_H . Обычно θ_H находится в пределах $30\text{--}35^\circ$, а M_H составляет примерно половину M_m . Это обеспечивает устойчивую работу при колебаниях нагрузки на валу двигателя. При увеличении момента до M_m значения θ дости-

гает 90° . Дальнейший рост нагрузки приводит к нарушению синхронного режима работы (двигатель выпадет из синхронизма).

Угол между осями полюсов статора и ротора

$$\theta = \alpha - \alpha_p, \quad (2)$$

где α – угол поворота магнитного поля статора;

α_p – угол поворота ротора.

Уравнение движения ротора

$$\ddot{\alpha}_p = \frac{M - M_C}{I_p + I_{п}}, \quad (3)$$

где M_C – момент сопротивления на валу двигателя;

I_p и $I_{п}$ – момент инерции ротора и приведенный к валу двигателя момент инерции механизма.

С учетом (1) и (2) уравнение (3) приводится к виду

$$\ddot{\alpha}_p = \frac{M_m \sin(\alpha - \alpha_p) - M_C}{I_p + I_{п}}. \quad (4)$$

Данное уравнение позволяет определить закон изменения угла поворота ротора при заданном законе изменения угла поворота магнитного поля статора, который можно получить интегрированием закона изменения угловой скорости магнитного поля.

Магнитное поле создается током в обмотке статора, которая обладает индуктивностью L и сопротивлением R . При этом изменение среднего значения тока при приложении напряжения U будет описываться уравнением

$$L \frac{di}{dt} + Ri = U. \quad (5)$$

Это уравнение апериодического звена, которое имеет передаточную функцию

$$W(p) = \frac{1/R}{Tp+1}, \quad (6)$$

где $T = L/R$ – постоянная времени.

Таким образом, инерционность электромагнитных процессов в обмотке статора можно учесть введением в модель апериодического звена с соответствующей постоянной времени.

Математическая модель, построенная на основе полученного уравнения движения ротора в приложении Simulink среды программирования Matlab, приведена на рисунке 2.

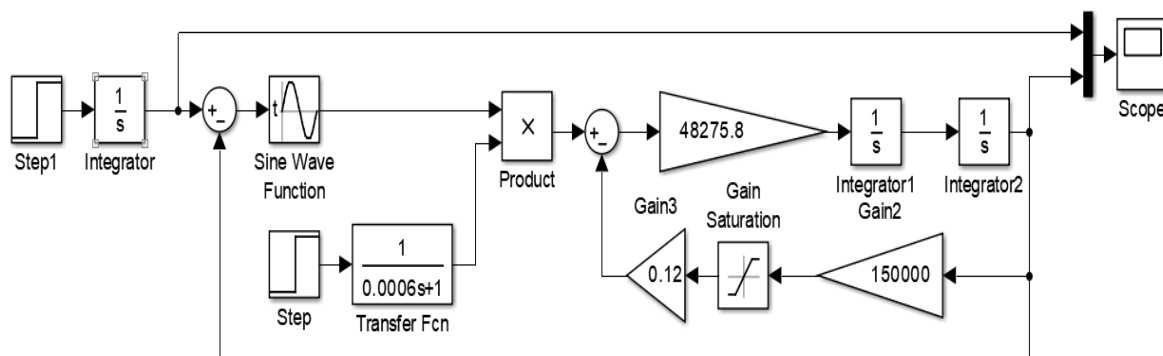


Рисунок 2 – Реализация математической модели в программе Matlab

Данная математическая модель отображает зависимость угла поворота ротора синхронного двигателя, а также зависимость угла поворота магнитного поля статора от времени. Данные зависимости выводятся на осциллограф.

Данная математическая модель позволяет исследовать влияние различных конструктивных параметров привода, а также момента сопротивления и закона управления на характер движения и качество работы привода. Модель позволяет выявить условия, при которых обеспечивается пуск двигателя в синхронном режиме (без проскальзывания ротора относительно поля).

Результаты моделирования приведены на рисунке 3 для начального момента после пуска двигателя, когда расхождение между углами наибольшее.

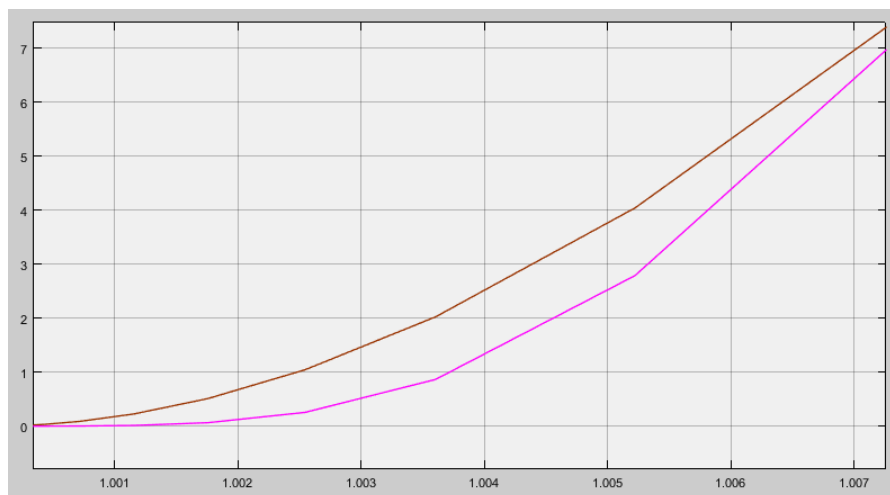


Рисунок 3 – Изменение углов поворота магнитного поля и ротора в начальный момент после пуска двигателя

Разность углов не превышает 1,57 рад (90^0), следовательно, двигатель может сразу начать вращение с заданной скоростью в синхронном режиме. На рисунке 4 показан увеличенный фрагмент осциллограммы изменения углов поворота в установившемся режиме. Следует отметить, что имеют место колебания ротора относительно поля в процессе движения.

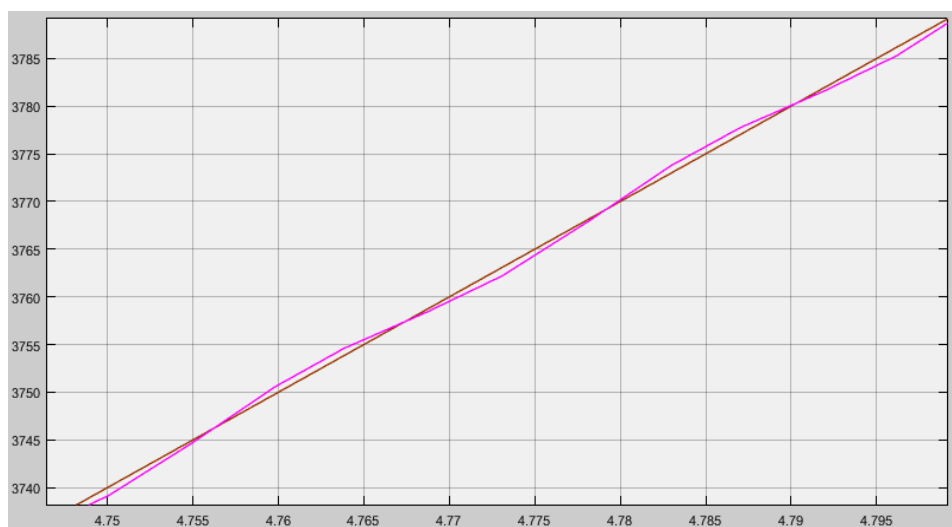


Рисунок 4 – Колебания ротора относительно поля (при отсутствии нагрузки)

При наличии нагрузки кривая изменения угла поворота ротора смещается вниз, т. е. появляется постоянное смещение полюсов ротора относительно поля, необходимое для создания момента согласно (4).

Таким образом, математическая модель позволяет выявить предельное значение скорости, на которой возможен пуск двигателя в синхронном режиме с места. При данной скорости разность углов поворота магнитного поля и ротора составит 90^0 (теоретически). Значение предельной скорости выявлялось при варьировании моментом сопротивления на валу двигателя и приведенным к валу двигателя моментом инерции привода. Зависимость предельной скорости от указанных параметров иллюстрируется рисунком 5.

Установлено, что при изменении момента сопротивления от нуля до максимального значения предельная скорость может уменьшаться в 2,2...2,7 раза в зависимости от момента инерции.

При изменении момента сопротивления от нуля до номинального значения предельная скорость уменьшается примерно на 10 %.

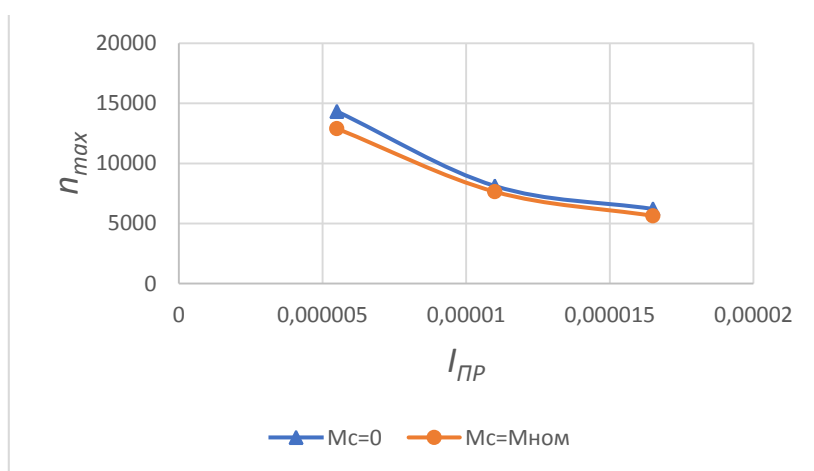


Рисунок 5 – Зависимость предельной скорости от момента инерции при $M_c=0$ и $M_c=M_{ном}$

Результаты показывают, что увеличение момента инерции в 3 раза по отношению к моменту инерции ротора (при наличии тормоза) снижает предельную скорость примерно в 2,3 раза независимо от момента нагрузки.

Таким образом, приведенный момент инерции механизма оказывает весьма существенное влияние на работу модуля, что необходимо учитывать при построении системы управления скоростью. Предложенная математическая модель позволяет проверить работу системы при конкретных значениях приведенного момента инерции и момента нагрузки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кокудович, Д. В. Мехатронные модули и мехатронные системы / Д. В. Кокудович, О. Н. Прокопеня // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : сборник статей / Брестский государственный технический университет – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – С. 6–12.
2. Балковой, А. П. Теория и практика разработки прямого сервопривода / Сервопривод: Докл. науч. –метод. семинара. – М. : Издательство МЭИ, 2013. / А. П. Балковой // – 88 с.