

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИВОДА МАНИПУЛЯТОРА С ШАГОВЫМ ПРИВОДОМ

Р. Т. Емельянов¹, А. С. Климов², И. Б. Оленев³, Е. С. Турышева⁴, А. И. Авласевич⁵
Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 82, Красноярск, 660041,
Россия

E-mail: Klimovas_@mail.ru

Аннотация. Разработана математическая модель привода манипулятора с шаговым двигателем в виде уравнений индуктивности, являющейся источником реактивного момента, уравнения инерционного момента, и угловой скорости. Шаговые электродвигатели работают в приводах манипуляторов с непрерывным движением, когда управляющее воздействие задаётся последовательностью электрических импульсов.. Приведены структурная схема контура регулирования скорости и тока шагового двигателя. заданные оператором рассчитываются в компьютере (полный шаг, направление, значение коррекции на реверс скорость, разгон торможение), данные поступают в контроллер, в контроллере сигналы проходят через микросхемы жесткой логики и подаются на драйвер. Плата драйвера шагового двигателя формирует сигналы, который подается на обмотки статора шагового двигателя. Представлены результаты математического моделирования в среде MATLAB&Simulink. Получены зависимости колебательного процесса системы в переходных процессах работы шагового двигателя, которые носят колебательный характер. Приведено сопоставление результатов теоретического моделирования работы шагового привода сопоставлялись с экспериментальными исследованиями

Ключевые слова: математическая модель; шаговый двигатель; амплитуда колебаний; структурная схема; скорость;

Введение. Шаговые электродвигатели работают в приводах манипуляторов с непрерывным движением, когда управляющее воздействие задаётся последовательностью электрических импульсов. Отличительная особенность этих двигателей – это возможность без датчика обратной связи осуществлять позиционирование по положению. Шаговый привод, наряду с достоинствами, имеет недостатки, которые значительно ограничивают область применения ШД: вибрация, резонанс, низкая динамика, наличие стопорящего момента, высокая температура и низкий КПД, низкая точность позиционирования.

При работе шагового двигателя в реальных условия под нагрузкой без датчика положения, система управления не знает реальное текущее положение ротора, что может привести к отклонению фактического положения от заданного вследствие пропуска шагов. В системах без обратной связи для предотвращения пропуска шагов используется плавный разгон и торможение с существенным запасом. Это ограничивает потенциальные динамические возможности привода. [1, 2].

Обмотки двигателя находятся всегда под напряжением, даже при отсутствии нагрузки в следствии чего большое потребление электроэнергии низкий КПД и высокая рабочая температура. Для разрешения противоречия, сложившегося при использовании ШД, а так же новым требованиям, предъявляемым к точности выполняемого движения получил распространение новый способ управления называемый векторным управлением [3, 4]. Пропуск шагов решается внедрением в привод датчика положения. Принцип векторного управления заключается в поддержании постоянного вектора потокосцепление ротора. Для этого необходимо подавать напряжение на обе фазы А и В. Токи фаз создают результирующий ток статора. Расчет текущего угла и управление токами должно выполняться с высокой частотой, для этого используется электронный процессор [5].

Цель: исследование динамики привода манипулятора с шаговым двигателем.

Методы и материалы. Объектом исследований выбран привод манипулятора с шаговым двигателем с малым шагом поворота и большим моментом (рис. 1).

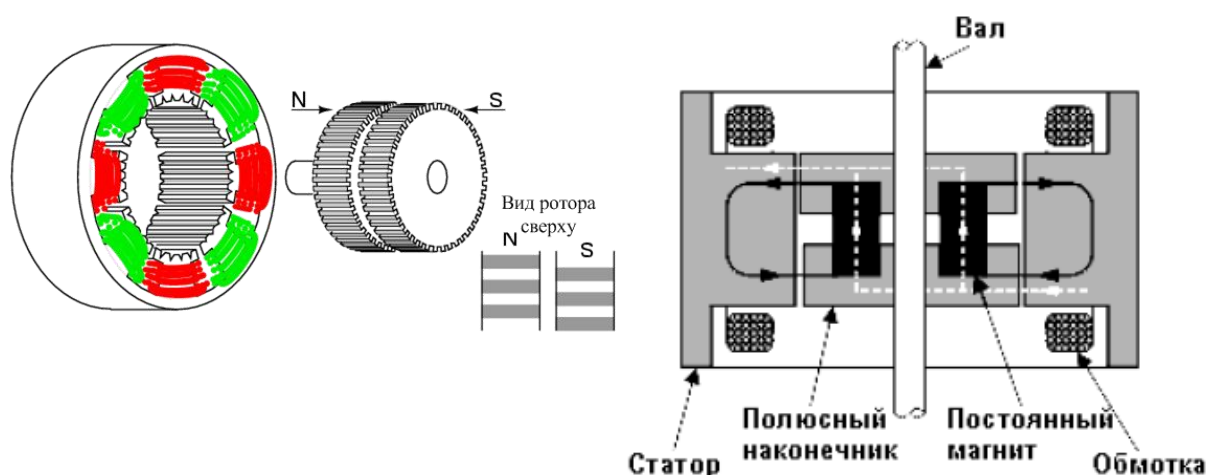


Рис. 1. Конструкция гибридного шагового двигателя

Результаты исследований. Для исследования динамики шагового двигателя выполнено математическое моделирование шагового двигателя с векторным управлением в MATLAB*SIMULINK.

Математическая модель шагового двигателя запишется в виде уравнений индуктивности, являющейся источником реактивного момента, уравнения инерционного момента, и угловой скорости. Рассчитывая рабочие параметры системы пренебрегаем влиянием противо-ЭДС, считая его незначительным [6].

$$L \frac{di_a(t)}{dt} = u_a(t) - Ri_a(t) + K_m \omega(t) \sin(N_r \theta(t))$$

$$L \frac{di_b(t)}{dt} = u_b(t) - Ri_b(t) + K_m \omega(t) \cos(N_r \theta(t))$$

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = -K_m \omega(t) \sin(N_r \theta(t)) + K_m \omega(t) \cos(N_r \theta(t)) - B\omega(t) - C \operatorname{sgn}(\omega(t))$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \omega(t)$$

где i_a , i_b – фазные токи; ω – угловая скорость; θ – положение ротора; u_a , u_b – фазные напряжения; R – активное сопротивление; L – индуктивное сопротивление; K_m – коэффициент момента; J – инерция; B – коэффициент вязкого трения; C – коэффициент кулоновского трения.

Математическая модель шагового двигателя – нелинейная. Для упрощения введем следующие допущения: эффектом насыщения при больших токах пренебрегают, пренебрегаем фиксирующим моментом. Модель учитывает изменение индуктивности, являющейся источником реактивного момента. Кроме того, в математической модели учитывается вязкое и кулоновское трение. [7].

Основная задача управления шаговым двигателем обеспечение вращения ротора на заданный угол. Под шагом принято называть минимально возможное угловое перемещение ротора ШД, обеспечиваемое его конструкцией в режиме полного шага. При подаче одного управляющего сигнала ротор шагового двигателя делает один шаг, то есть поворачивается на угол который заложен в него конструкцией. Как правило, управление выполняется на транзисторных элементах, и если выходной сигнал низкий, то соответствующая фаза обмотки отключается, а в случае, если он высокий – возбуждается.

Структурная схема управления шаговым двигателем приведена на рис. 2.

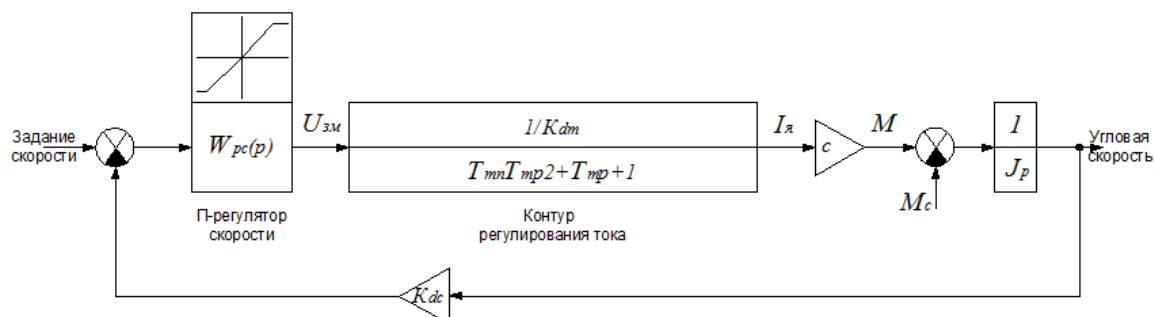


Рис. 2. Структурная схема управления скоростью шагового двигателя

Система работает следующим образом: все режимы, заданные оператором рассчитываются в компьютере (полный шаг, направление, значение коррекции на реверс скорость, разгон торможение), данные поступают в контроллер, в контроллере сигналы проходят через микросхемы жесткой логики и подаются на драйвер. Плата драйвера шагового двигателя формирует сигналы, который подается на обмотки статора шагового двигателя. Использование замкнутого контура при векторном управлении исключает колебание момента, устраняет вибрации, обеспечивает высокие динамические показатели, исключает пропуск шагов и увеличивает КПД [8-9].

Модель электромеханического привода с шаговым двигателем в MATLAB*SSIMULINK приведена на рис. 3.

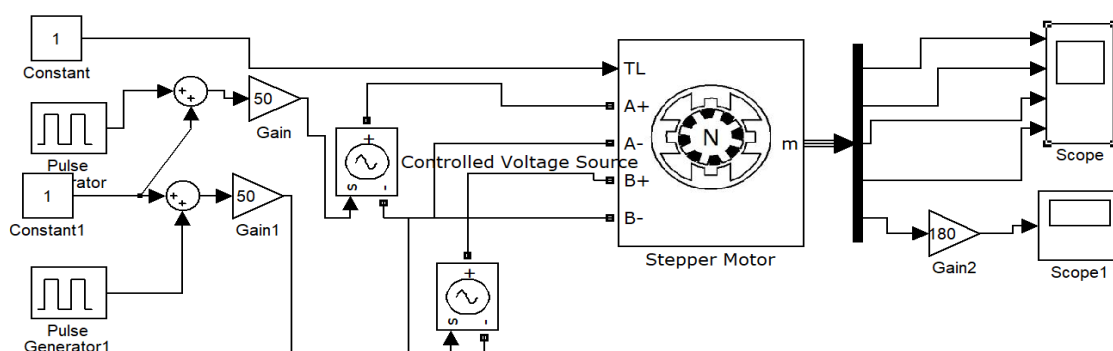


Рис. 3. Модель электромеханического привода с шаговым двигателем в MATLAB*SIMULINK

Coynstant - постоянная величина; Pause - вид сигнала; Gain - усилитель сигнала; Coynhilled Voltage Sourgr - стабилизатор напряжения; Stepper Motor - шаговый двигатель; Scope - осциллограф

Реализацией модели электромеханического привода с шаговым двигателем в MATLAB*SIMULINK получены зависимости токов, угла поворота ротора и угловой скорости в пусковой момент (рис. 4).

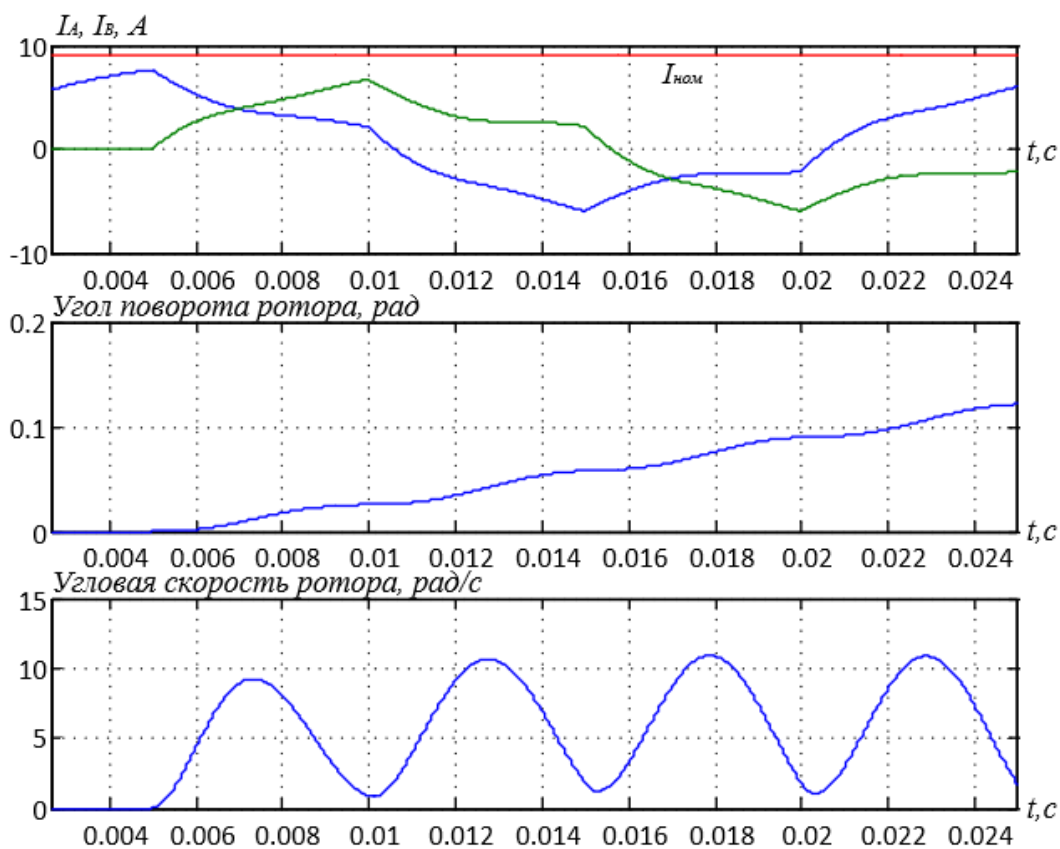


Рис. 4. Зависимости моделирования электромеханического привода с шаговым двигателем

Моделирование работы шагового двигателя в пусковой период в течении 0,024с позволило определить характер колебательного процесса. Колебательный процесс токов и угловой скорости синусоидальный. Процесс поворота ротора неустойчив и близок к астатическому. Неустойчивая работа поворота ротора снижает точность позиционирования манипулятора и дополнительные колебания рамы манипулятора. Проведенные эксперименты колебательного процесса рамы манипулятора показали, что вибрация может достигать 60дб [10].

Зависимости угловой скорости и тока по времени в стационарном режиме, полученные при моделировании, приведены на рис. 5. При заданной скорости разгона система обрабатывает заданное перемещение. Время отработки составляет 3 с, что значительно больше времени отработки при моделировании системы приводов. Это объясняется тем, что система привода с шаговым двигателем имеет более сложные процессы и моделирует значения близкие к реальным параметрам. Перерегулирование системы составляет 4 %.

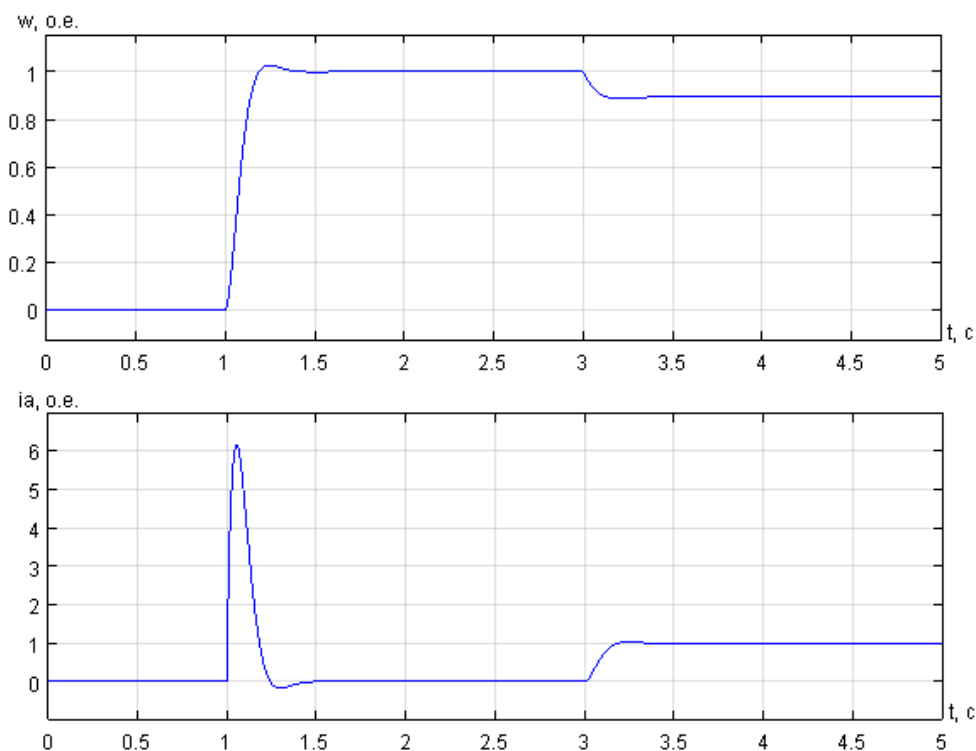


Рис. 5. Зависимости угловой скорости и тока по времени

Рис. 6. Зависимость электромагнитного момента от частоты вращения ротора

Результаты теоретического моделирования работы шагового привода сопоставлялись с экспериментальными исследованиями. На рис. 6 приведена запись спектра тока в течении 15 мин. Пусковой ток шагового двигателя имеет колебательный характер. В пусковые моменты величина тока достигает 10А. В штатном режиме ток величина тока 2А (рис.6).

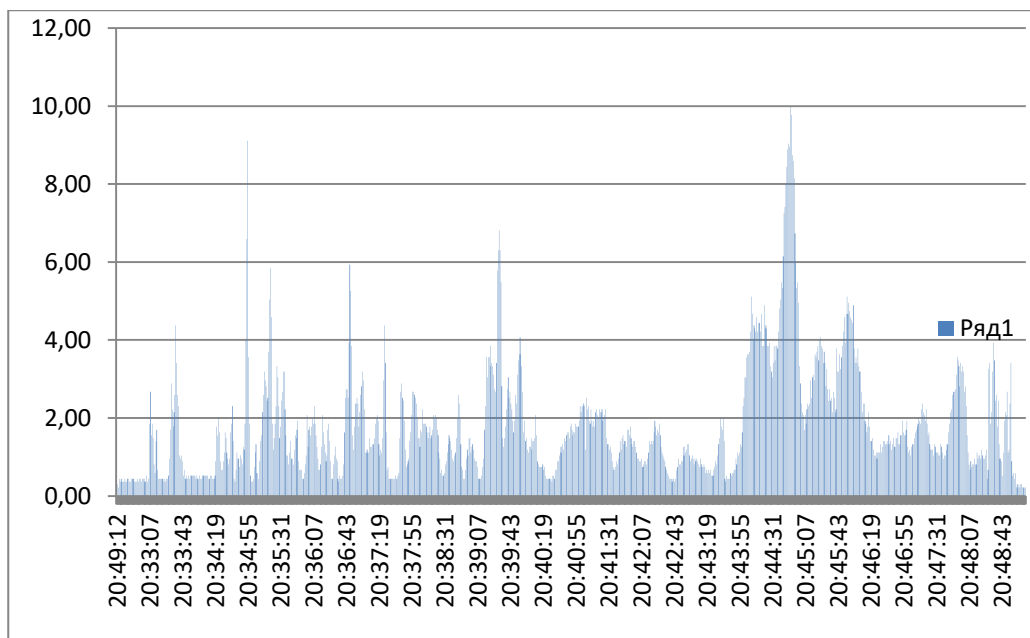


Рис. 6. Экспериментальная запись изменения тока при работе шагового двигателя

В пусковом режиме ток увеличивается до 10А по сравнению с номинальным режимом 1А. Применение ПИ- обеспечивает высокую точность в установившихся режимах, а при определённом соотношении коэффициентов k_p и k_i обеспечивает хорошие показатели и в переходных процессах. Как видно из графиков в цепи тока якоря возникает дополнительная динамика, однако в точке номинального режима она не оказывает существенного влияния на

процессы регулирования угловой скорости, то есть регулятор скорости обеспечивает её астатическое регулирование при действии постоянного момента нагрузки.

Заключение. Результаты исследований показали, что форма колебаний скорости отлична от синусоидальной. В силу специфики нелинейных свойств системы приводов амплитуда колебаний скорости растет в течении 0,2 с синхронно с амплитудой тока. Так как в контуре тока присутствует возмущение, а его необходимо выполнить астатическим регулятор тока принимается пропорционально-интегрального типа.

Литература

[1] Емельянов Р.Т. исследование динамики системы управления объектом второго порядка с учетом расположения действительных полюсов
Прокопьев А.П., Иванчур В.И., Емельянов Р.Т.
Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2018. Т. 11. № 5. С. 500-511.

[2] Матыева А.К. Управление качественной технологией производства строительной продукции /Матыева А.К., Кароолбек К.А., Сатыбалдиев Н
Наука и инновационные технологии. 2018. № 8 (8). С. 176-180.

[3] Implementation Features of Continuous Control of Asphalt Mix Compaction / Prokopev A.P., Nabizhanov Zh.I., Emelyanov R.T., Ivanchura V.I. // Proceedings of the 2018 IEEE Northwest Russia Conference on Mathematical Methods in Engineering and Technology (MMET NW). 10-14 September 2018. St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". 590 p. PP. 152–155. ISBN 978-1-5386-5824-6.

[4] Смирнов, А.А. Методическое пособие «Изучение принципов работы шагового двигателя и принципа программного управления для систем автоматического управления» / А. А. Смирнов, 2015-26с.

[5] Бобров, Е.В., Способы управления гибридным шаговым двигателем: материалы VII межвузовской научно-практической конференции/ Е.В. Бобров/ СПб.: Изд-во ГУМРФ им. ад. С.О. Макарова, 2016. 540 с.

[6] Pololu Robotics& Electronics. [электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.pololu.com/product/2133> (Дата обращения 11.04.2018).

[7] Sait Hong Electric, Increment Encoder ИНС3808. [электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.saithongelectric.com> (Дата обращения 22.3.2018)

[1] High-Performance Motor Drives / Kazmierkowski M.P., Franquelo L.G., Rodriguez J. et al. // IEEE Industrial Electronics, 2016 vol. 5 № 3 PP. 6-26с.

[8] Lewandowski, D. Dynamical simulation of a nonlinear stepper motor system/D. Lewandowski, J. Awrejcewicz//.2014 – 5

Mohit Chand. DC-Link Capacitor Voltage Balancing for Neutr Point Clamped Inverter. / Mohit Chand. - Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2016 – 84 p

[9] Джафари Хенджани Сейед Моджтаба, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, В. П. Северин, В. Ф. Чернай, Д. И. Якунин Математическая модель автоматизированного электропривода на базе линейного шагового двигателя «Электроинформ» - 2009. С. 88–90

[10] M. Bendjedja, Y. Ait-Amirat, B. Walther, A. Berthon, "Position Control of a Sensorless Stepper Motor," Power Electronics, IEEE Transactions on, vol.27, no.2, pp.578, 587, Feb. 2012 doi: 10.1109/TPEL.2011.