

Г.В. Кулинченко, А.М. Масленников, В.А. Багута

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ

Аналізуються динамічні параметри електроприводу на базі двигуна з ротором, що котиться. Точність позиціонування такого мехатронного модуля забезпечуються в результаті дослідження факторів, що визначають електромеханічну та електромагнітну сталі часу. Експериментальна оцінка часу перехідного процесу при керуванні позиціонуванням модуля дозволяє досліджувати вплив різних параметрів електроприводу на його динаміку. Бібл. 10, рис. 9.

Ключові слова: двигун з ротором, що котиться, стала часу, контроль позиціонування, динаміка.

Анализируются динамические параметры электропривода на базе двигателя с катящимся ротором. Точность позиционирования такого мехатронного модуля обеспечивается в результате исследования факторов, определяющих электромеханическую и электромагнитную постоянные времени. Экспериментальная оценка времени переходного процесса при управлении позиционированием модуля позволяет исследовать влияние различных параметров электропривода на его динамику. Библ. 10, рис. 9.

Ключевые слова: двигатель с катящимся ротором, постоянная времени, контроль позиционирования, динамика.

Введение. Определенный сегмент электропривода запорно-регулирующей арматуры (ЗРА) представляет собой мехатронный модуль, объединяющий в себе систему управления и исполнительный электрический механизм однооборотный (МЭО), который состоит из асинхронного двигателя и редуктора. Задачи улучшения технико-экономических показателей таких модулей предполагают поиск альтернативных исполнительных устройств, например, двигателей с катящимся ротором (ДКР). Кроме возможности совмещать функции электродвигателя и редуктора, что значительно улучшает эксплуатационные характеристики модуля, дополнительным преимуществом ДКР является достижение заданных пусковых моментов при относительно небольшом пусковом токе.

Основной тенденцией развития ДКР является наращивание мощности этих двигателей, поскольку их энергетические показатели работы улучшаются по мере увеличения мощности двигателей.

Исходя из задач совершенствования параметров ДКР, используемых в ЗРА, определяющую роль в исследовательских работах играют возможности получения крутящего момента, при котором исключается нарушение синхронного вращения и проскальзывания ротора относительно статора.

Постановка задачи. Определяя аспекты исследований динамических параметров ДКР, отметим, что методы и технологии моделирования определяются спецификой объекта моделирования. Специфичным для ДКР, который работает в приводе ЗРА, является универсальный динамический показатель, который характеризует быстрдействие – его приемистость Π [1]:

$$\Pi = M_r^2 / J_r, \quad (1)$$

где M_r – вращающий момент ДКР; J_r – момент инерции ротора ДКР.

Оценка динамических характеристик электропривода может производиться по времени разгона и остановки двигателя в заданной позиции, учитывая момент сопротивления и момент инерции нагрузки на валу ДКР.

Такая постановка задачи является типичной для шаговых [2], асинхронных [3] и двигателей постоянного тока, используемых в мехатронных системах [4].

Особенности формирования вращающего момента ДКР [1] – малые угловые перемещения вала

двигателя при заданных управляющих воздействиях, не позволяют использовать упомянутые подходы для оценки динамических параметров электропривода на базе ДКР в старт-стопных режимах.

Актуальность исследований вытекает из возможностей увеличения вращающего момента ДКР до значений, которые реализуются в МЭО с использованием редуктора. Такое определение актуальности работ обусловлено преимуществом эксплуатационных параметров ДКР над параметрами МЭО. Процесс адекватного сравнения данных по динамике старт-стопных режимов тормозится несовершенством методики оценки динамических параметров электропривода, особенно при случайном характере позиционирования ЗРА (регулирование положения задвижки). Результаты моделирования режимов функционирования ЗРА дают возможности получить данные, которые необходимы, как для совершенствования алгоритмов управления электроприводом на базе ДКР, так и оптимизации его конструкции.

Известные математические модели ДКР [5], базирующиеся на уравнениях, описывающих электромагнитные процессы электрической машины [6], позволяют совершенствовать конструкцию ДКР по результатам анализа углового перемещения ротора на высоких и низких частотах вращения в стационарных режимах.

При исследовании влияния режимов коммутации катушек обмотки статора ДКР на его вращающий момент показано, что в условиях изменяющейся нагрузки [7] именно его динамические характеристики определяют эксплуатационные возможности преобразователя в различных сферах. Посредством выбора параметров режимов коммутации, для заданной конструкции ДКР, получают требуемую частоту вращения при разных моментах сопротивления на валу двигателя.

Более эффективной для оценки динамических параметров ДКР представляется имитационная модель [8], в которой в результате решения уравнения

$$U(t) = \frac{\partial \Phi(i, v)}{\partial i} \frac{di}{dt} + \frac{\partial \Phi(i, v)}{\partial v} \frac{dv}{dt} + R \cdot i, \quad (2)$$

где $U(t)$ – питающее напряжение; i – ток в обмотке; Φ – магнитный поток, созданный обмоткой статора; R – активное сопротивление обмотки; v – угол пово-

рота ротора, можно получить значения электромагнитного момента M_e в зависимости от угла поворота:

$$M_e(i, \nu) = \frac{\partial \int_0^i \Phi(i, \nu) di}{\partial \nu}. \quad (3)$$

Позиция ротора, определяемая значением угла поворота ν , вычисляется в результате решения уравнения равновесия вращающих моментов на валу двигателя, членами которого являются момент сопротивления движению ротора, динамический момент сопротивления, зависящий от момента инерции ротора и нагрузки. Получаемый статический электромагнитный момент этой модели не отражает характер переходных процессов, которые сопровождают старто-стопные режимы перемещений ротора и зависят от электромеханических параметров электропривода.

Цель работы заключается в разработке и исследовании динамической модели электропривода на базе ДКР, которая отражает позиционирование исполнительного механизма ЗРА во времени.

Кроме того, по результатам работы предусматривается формирование требований к аппаратной и программной составляющим системы управления электроприводом на базе ДКР, которые являются инструментом оптимизации параметров ЗРА.

Переход ДКР из синхронного в асинхронный режим зависит от соотношения значений силы трения и составляющей силы одностороннего магнитного притяжения (СОМП), создающей движение ротора по расточке статора. При переходе ДКР в асинхронный режим, сопровождающийся проскальзыванием ротора, ставится задача удержания исполнительного механизма ЗРА в заданном положении при действии момента сопротивления на валу привода. В этом случае задачей исследований является оценка возможностей реализации необходимых значений электромагнитного момента ДКР.

Влияние свойств материалов магнитной системы ДКР на его динамику. Поскольку перемещение вала ДКР осуществляется в результате воздействия магнитного поля статора на ротор, то необходимо произвести оценку влияния электромеханических параметров на динамические характеристики ДКР на его математической модели. Такой подход обусловлен тем, что отсутствие механической нагрузки на двигатель соответствует режиму холостого хода, при котором режим проскальзывания практически не наблюдается.

Повышение вращающего момента ДКР, как необходимое условие улучшения его динамических параметров, ориентируется на достижении оптимальных соотношений электромагнитных показателей, которые характеризуют режимы функционирования ДКР.

Вращающий момент двигателя зависит от угловой координаты ротора относительно поля статора и соответствующего этому углу значения магнитной индукции в воздушном зазоре ДКР [9]:

$$B_\delta(\varphi) = \frac{2 \cdot F_\delta \cdot \mu_0}{\delta \cdot \operatorname{ch}^n(\varphi)}, \quad (4)$$

где F_δ – МДС воздушного зазора в радиальном направлении; δ – воздушный зазор; φ – угловая координата,

определяющая радиальное значение длины воздушного зазора; ch – гиперболический косинус; n – число, зависящее от конструкции двигателя.

Анализ диапазона изменения значения магнитной индукции в воздушном зазоре при изменении угла поворота ротора показывает, что при вращении ротора изменения индукции B_δ составляют 6 %. Соответственно, принимая во внимание нелинейный характер зависимости СОМП от угла поворота ротора, можно оценить диапазон ее изменения для двух крайних значений угла поворота.

Воспользовавшись кривой намагничивания стального ротора (кривая 3, рис. 1), можно рассчитать значение магнитной индукции в воздушном зазоре между статором и ротором в зависимости от напряженности магнитного поля для минимального (0,001 мм) и максимального (0,08 мм) воздушного зазора, которые на рис. 1 отображаются прямыми 1 и 2.

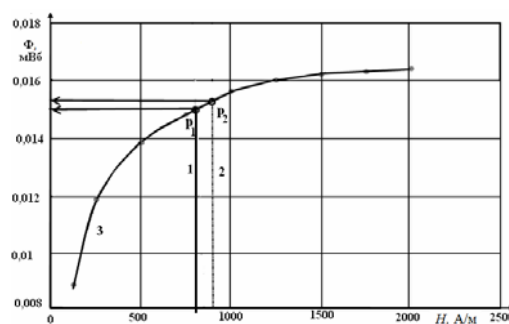


Рис. 1. Зависимость магнитного потока от напряженности магнитного поля

Двум значениям напряженности магнитного поля (точки p_1 и p_2) соответствуют значения магнитного потока $\Phi_1 = 0,015$ мВб; $\Phi_2 = 0,0155$ мВб и индукции $B_1 = 1,515$ Тл; $B_2 = 1,565$ Тл.

Это обстоятельство, с достаточной для практики точностью, дает возможность аппроксимировать функцию магнитную индукцию в воздушном зазоре статора и ротора линейной зависимостью от угла поворота ротора.

Значение магнитодвижущей силы (МДС) F_δ обмотки статора, которая обуславливает значения магнитной индукции в воздушном зазоре, зависит от значения тока статора I , протекающего по виткам N катушек обмотки статора. Поскольку ток обмотки при подаче импульса напряжения изменяется по закону:

$$I = \frac{U_p}{R_N} (1 - e^{-t/\tau}), \quad (5)$$

где U_p – напряжение на зажимах обмотки с активным сопротивлением R_N ; $\tau = L/R_N$ – постоянная времени; L – индуктивность катушки. По этому закону скорость нарастания МДС в воздушном зазоре, изменение магнитного потока и магнитной индукции будут определяться постоянной времени, зависящей от параметров обмотки статора.

Таким образом, стремление повысить вращающий момент ДКР за счет увеличения МДС ограничивается не только конструктивными соображениями, но и увеличением индуктивности обмотки, которая вместе с сопротивлением обмотки определяет постоянную времени, а значит и динамику ДКР.

В работе [9] показано, что время переходного процесса в обмотке статора намного больше времени перекачивания ротора, поэтому влиянием электро-механической постоянной времени на динамику процесса можно пренебречь. Тем не менее, по мере увеличения массы ротора, соответственно, его момента инерции J_r , которые становятся существенными в мощных двигателях, пренебрежение электро-механической постоянной времени приводит к ошибкам в оценках динамических характеристик ДКР.

Выделяя факторы, влияющие на режимы работы ДКР, следует обратить внимание на соотношение электрической и электро-механической постоянных времени, с временем коммутации обмоток, поскольку эти параметры, совместно с коэффициентом трения ротора регламентируют смену режимов работы ДКР от синхронного до асинхронного или режима проскальзывания.

Формализация описания математической модели ДКР. Формулируя задачи моделирования ДКР, которые определяют структуру модели, примем во внимание то, что исследуемый объект используется в составе мехатронного модуля дросселирования газа. Это означает, что кроме требований к величине вращающего момента и момента удержания позиции дросселя трубопровода, реальный двигатель в составе модуля должен обеспечить необходимое быстродействие и точность позиционирования, то есть соответствующую приемистость управляющего воздействия. Соответственно и модель ДКР должна отражать связь упомянутых параметров с каналами управления.

Специфика функционирования модуля дросселирования заключается в изменении во времени характера и направления действия механических нагрузок. Поэтому разрабатываемая модель должна отражать скоростные и механические характеристики в различных режимах функционирования электропривода на базе ДКР.

Поскольку процессы, происходящие в любом электродвигателе, влияют друг на друга, то для исследования динамических режимов мехатронного модуля необходимо рассмотреть связь уравнений энергетического баланса и электромагнитного момента с уравнениями движения составных частей модуля. В результате решения этих уравнений численными методами получают временные зависимости, отражающие динамику процесса функционирования модуля с ДКР. Применение численных методов моделирования обусловлено нелинейным характером уравнений, описывающих состояние ДКР.

Структуру модели мехатронного модуля на базе ДКР представим схемой, состоящей из 4-х блоков:

- блока эмуляции перемещения вектора магнитного поля статора (БЭПС);
- блока логики (ЛБ);
- блока эмуляции магнитной индукции B_δ в воздушном зазоре статора и ротора (БЭМИ);
- механического блока (МБ).

Механический блок модели, в соответствии со сложившимися подходами к описанию перемещений, может быть представлен следующими уравнениями:

$$\frac{d}{dt} \omega_r = \frac{1}{J_m} (T_e - T_f); \quad (6) \quad \frac{d}{dt} \varphi = \omega_r, \quad (7)$$

где ω_r – угловая скорость вращения ротора; J_m – суммарный приведенный момент инерции ротора и на-

грузки; T_e , T_f – электромагнитный момент и момент сопротивления вращению; φ – угол положения катящегося ротора относительно поля статора.

Уравнениям (7) в среде MATLAB Simulink соответствует структурная схема моделирования, приведенная на рис. 2.

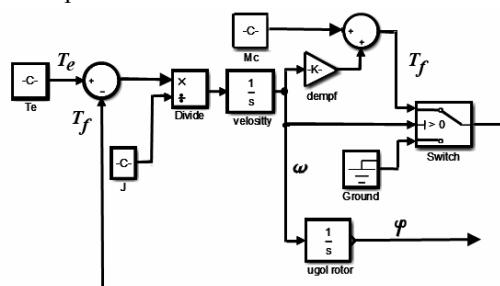


Рис. 2. Структурная схема моделирования МБ

Особенностью моделирования МБ ДКР является отражение фиксации позиции ротора в результате отключения импульса напряжения, поданного на катушку обмотки статора. В момент времени, когда электромагнитный момент $T_e = 0$, но продолжает действовать момент сопротивления T_f , начинает снижаться скорость перемещения катящегося ротора. После того, как скорость ротора достигает нулевого значения, в схеме модели МБ с помощью элемента *Switch* отключается момент сопротивления.

Как видно из рис. 2, в МБ с помощью коэффициента демпфирования учитывается зависимость момента сопротивления от скорости вращения ротора.

Блок эмуляции магнитной индукции B_δ отражает изменение значения магнитной индукции в воздушном зазоре статора и катящегося ротора. Эти изменения описываются соотношением (4).

Работа БЭМИ синхронизируется коммутирующими импульсами генератора схемы управления движением ДКР. В результате подачи импульсов напряжения в катушки обмотки статора ДКР, ток, формирующий МДС и магнитную индукцию в воздушном зазоре, изменяется по экспоненциальному закону (5). Модель изменений можно представить аperiodическим звеном с постоянной времени обмотки τ . Собственно, именно эта постоянная соответствует электромагнитной постоянной времени ДКР.

Для получения изменяющихся во времени значений магнитной индукции, необходимо учитывать влияние величины воздушного зазора, который также периодически изменяется в результате движения ротора. Вычисления зазора δ осуществляются в результате линейной интерполяции зависимости δ от угла нагрузки θ , который связан с углом поворота ротора φ .

Схема моделирования БЭМИ приведена на рис.3.

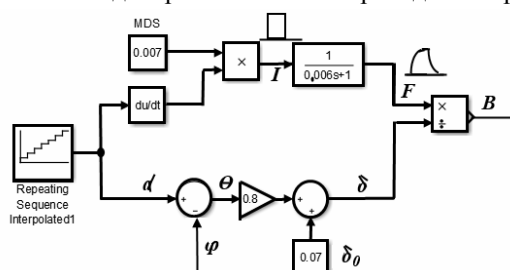


Рис. 3. Схема БЭМИ

Блок эмуляции перемещения вектора магнитного поля статора отображает дискретные изменения угла поворота вектора магнитного поля в соответствии с частотой, задаваемой внешним генератором импульсов коммутации.

В соответствии с правилами коммутации 8-ми катушечного статора ДКР угол перемещения вектора магнитного поля статора составляет $\alpha = \pi/4$. Для вращения ротора в том или ином направлении генератор импульсов коммутации (рис. 3, 4) формирует сигналы, воздействие которых обеспечивает дискретное перемещение вектора индукции на угол $\alpha = \pi/4$. Нарушение равновесия сил, действующих на ротор, вызванное коммутацией катушек обмотки статора, приводит его в движение, в результате чего изменяется угол текущего положения ротора φ , при этом изменяется и угол нагрузки $\Theta = (\alpha - \varphi)$.

Электромагнитный момент динамической модели ДКР в результате перемещения вектора магнитной индукции, связанного с углом нагрузки Θ , вычисляется [1]:

$$T_e(\Theta) = \frac{B_s^2 \cdot S \cdot d_r}{2\mu_0} \cdot \sin \Theta, \quad (8)$$

где S – площадь поверхности, через которую проходит основной магнитный поток; d_r – диаметр ротора.

В результате можно составить схему моделирования электромагнитного момента ДКР, представленную на рис. 4.

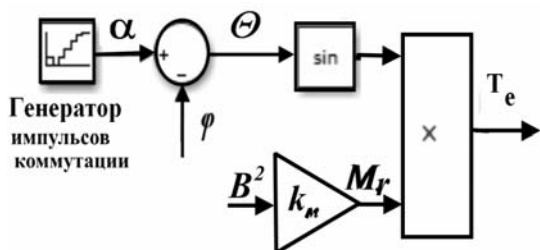


Рис. 4. Схема моделирования электромагнитного момента ДКР

Поскольку задачей моделирования является исследование параметров динамики ДКР, то результаты моделирования должны отображать взаимодействие процессов разгона и торможения ротора во времени. Характерным для этих процессов является изменение значений скорости и ускорения ротора не только во времени, но и по направлению. Логика взаимосвязей параметров и диапазоны ограничений реализуются в блоке логики (ЛБ). ЛБ модели позволяет отразить переключение направление вращения ротор ДКР и исключить значения параметров модели, которые противоречат физическому смыслу функционирования двигателя. Эти задачи решаются с помощью комбинации логических функций моделирующей среды Matlab.

Взаимодействие ЛБ с другими блоками модели отражается на общей структурной схеме динамической модели ДКР, изображенной на рис. 5.

Входные параметры модели задаются характеристиками ДКР и параметрами мехатронного модуля ЗРА. Результаты моделирования получаем в виде изменяющихся во времени выходных параметров динамической модели – вращающего момента, скорости вращения и угла перемещения ротора ДКР.

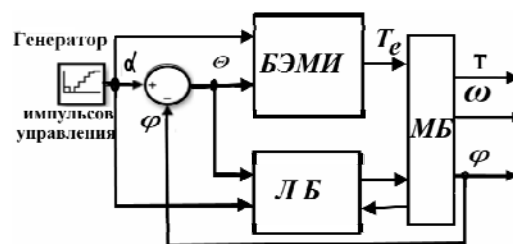


Рис. 5. Структурная схема динамической модели ДКР

Эти изменения выходных параметров визуализируются с помощью интерфейса пользователя среды Matlab. Характер возмущений параметров объекта моделирования задаются исходя из задач моделирования.

Результаты моделирования. Исследуя степень влияния значения динамического момента инерции объекта, получены осциллограммы изменений угла поворота и скорости ротора ДКР во времени при разных значениях момента инерции J_m (рис. 6).

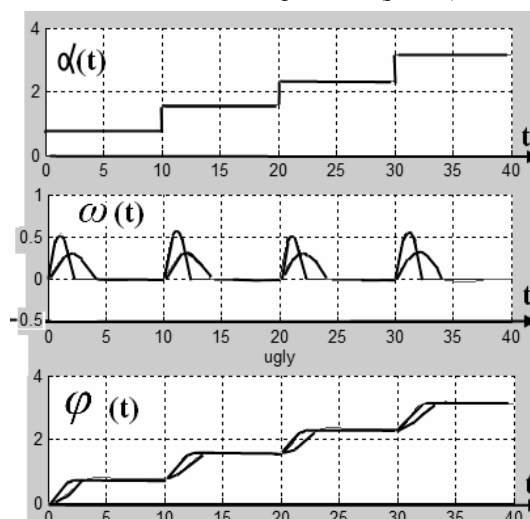


Рис. 6. Осциллограммы изменений угловой скорости и угла поворота ротора при коммутации обмоток

На рис. 7,а показаны изменения угла поворота управляющего вектора индукции, на 7,б – колебания электромагнитного момента T_e , 7,в – изменения угловой скорости, 7,г – угла поворота ротора для разных значений величины момента нагрузки.

Из приведенных данных следует, что при увеличении постоянных времени модуля за счет момента нагрузки на валу до определенных значений, приходится ограничивать частоту коммутации обмоток. На рис. 7,в,г видно, что при определенных нагрузках на валу ДКР управление перемещением ротора теряет смысл, поскольку отсутствует фиксация ротора в предыдущей позиции.

Чтобы оценить степень влияния значения электромагнитной постоянной времени на динамику позиционирования ДКР, рассмотрим характер переходных процессов при разгоне и фиксации положения ротора с заданным моментом инерции для разных значений индуктивности обмотки (рис. 8).

В относительных единицах на рис. 8,а, представлено изменение электромагнитного момента во времени; б – результирующего момента, в – изменения угловой скорости, г – угла поворота ротора для постоянной времени обмотки $\tau = 5\text{мс}$ и $\tau = 50\text{мс}$.

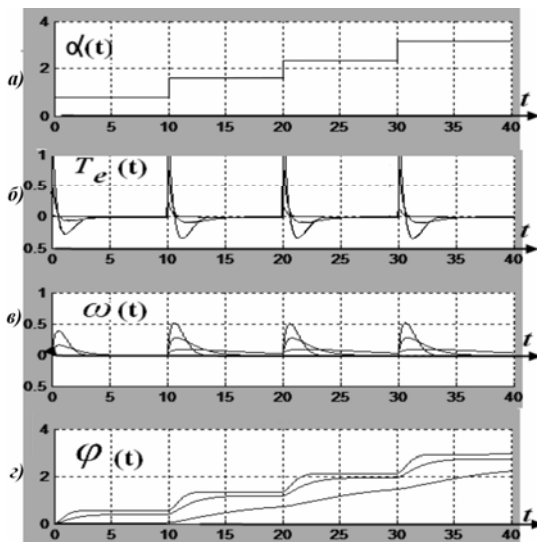


Рис. 7. Осциллограммы изменений момента, угловой скорости ротора и угла поворота

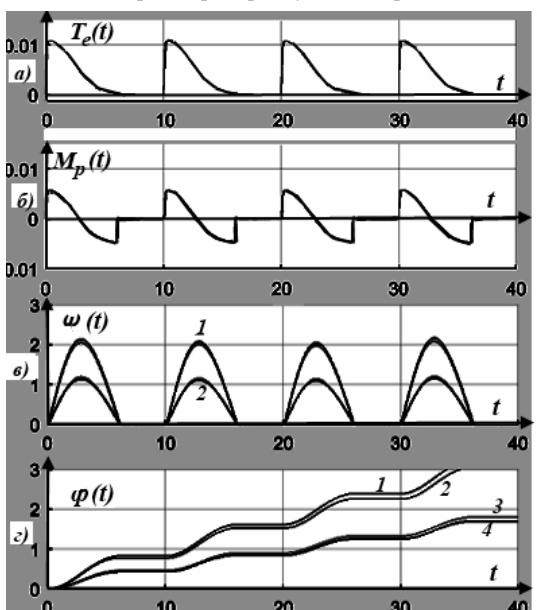


Рис. 8. Осциллограммы изменений электромагнитного момента, угловой скорости ротора и угла поворота ротора

При этом кривые 1, 2 на осциллограмме 8,з соответствуют изменению угла поворота для значения момента инерции J_{m1} , а кривые 3, 4 – для момента инерции J_{m2} .

Значения угловой скорости для момента инерции J_{m1} (кривая 1) и J_{m2} (кривая 2) на рис. 8,в заметно отличаются, в то время, как различия сигналов вследствие изменения значения индуктивности обмотки на порядок ($\tau = 5$ мс, $\tau = 50$ мс) малозаметны.

Следует отметить, что увеличение индуктивности обмотки ДКР более 500 мГн, (в котором пока нет практической необходимости) также ухудшает динамику двигателя, особенно в момент трогания / торможения.

Из анализа полученных реализаций переходных процессов видно, что устройства управления позиционированием ЗРА, в которых используются ДКР, должны разрабатываться с учетом соотношения электромеханической и электромагнитных электромеханических постоянных времени электропривода ЗРА. Несмотря на то, что величина индуктивности обмотки статора, входящая в уравнение электрического состояния, существенно влияет на процесс формирова-

ния МДС обмотки статора ДКР, по мере увеличения электромеханической постоянной в результате возрастания механической нагрузки, увеличивается время переходного процесса привода, вплоть до потери точности позиционирования вала.

Для оценки адекватности динамической модели ДКР использовалась экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 9.

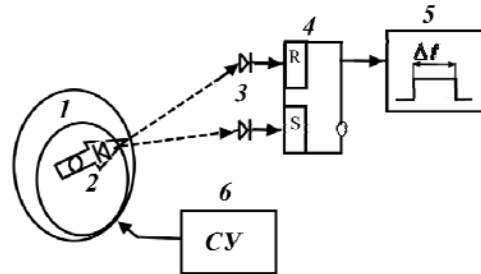


Рис. 9. Схема изменения времени перемещения вала ДКР на заданный угол

На валу ДКР 1 монтируется лазерный излучатель 2, перемещение луча которого воспринимается лазерными фотоприемниками 3. При перемещении луча лазера, фиксирующего положение вала ДКР, через фотоприемники излучения изменяется состояние триггера 4. С помощью измерителя временных интервалов 5, в качестве которого служит запоминающий осциллограф RIGOL SDS 1022DL, оценивается время перемещения вала ДКР из одной позиции в другую.

Это время однозначно зависит от времени переходного процесса смены позиций ротора. Значения угловых перемещений определяются коэффициентом редукции ДКР, соответственно, особенностями конструкции ДКР. Необходимость использования лазерного измерителя связана с трудностями измерения малых значений угловых перемещений вала ДКР при подаче единичного коммутирующего импульса.

С помощью описанной установки (рис. 9) производилась оценка влияния разных режимов коммутации обмоток ДКР на характер переходных процессов электропривода [10]. Результаты коррекции времени переходного процесса, которая учитывает соотношение электрической и электромеханической постоянных времени, свидетельствуют о возможностях улучшения динамических параметров электропривода и увеличения его вращающего момента. Дальнейшее использование результатов моделирования динамики старт-стопных режимов электропривода на базе ДКР открывает возможности использования энергосберегающих алгоритмов управления.

Выводы. Разработана динамическая модель электропривода на базе ДКР, отражающая позиционирование вала привода во времени, с учетом влияния параметров ЗРА на параметры переходных процессов.

Данные, полученные в результате моделирования, дают возможность сформулировать требования к аппаратной и программной составляющим системы управления электроприводом на базе ДКР.

Экспериментальная оценка времени переходных процессов при управлении позиционированием модулей ЗРА позволяют констатировать, что совершенствование динамики электропривода на базе ДКР, направленное на увеличение его вращающего момента, целесообразно проводить на основе аппаратно-программных комплек-

сов, которые обеспечивают уменьшение влияния характеристик ДКР на параметры переходных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наний В.В., Мирошниченко А.Г., Юхимчук В.Д., Дунев А.А., Масленников А.М., Егоров А.В., Потоцкий Д.В. Аспекты проектирования и испытаний двигателей с катящимся ротором // Вісник НТУ «ХПІ». Серія Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – 2010. – №55. – С. 83-87.
2. Соколов А.В. Динамические модели шаговых электродвигателей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2012. – №16. – С. 116-119.
3. Palpankar P.M., Ghanmare R.U., Makade N. A generalized dynamic model of induction motor using Simulink // ITSI Transactions on Electrical and Electronics Engineering. – 2013. – Vol.1. – Iss.5. – pp. 118-122.
4. Farhan A. Salem. Dynamic modeling, simulation and control of electric machines for mechatronics applications // International journal of control, automation and systems. – 2013. – Vol.1. – №2. – pp. 30-42.
5. Eyhab E.-K. Design and analysis of rolled rotor switched reluctance motor // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2006. – Vol.1. – No.4. – pp. 472-481. doi: 10.5370/jeet.2006.1.4.472.
6. Bock U. A novel approach of modeling SR motor systems // ICEM 2002. 15th International Conference on Electrical Machines. – Bruges, Belgium. – 2002. – p. 338.
7. Ungureanu C., Rata M., Graur A. PLC control of an electromechanical converter with rolling rotor and axial air-gap // ACTA Electrotehnica. – 2015. – Vol.56. – No.4. – pp. 137-142.
8. Arkkio A., Biernat A., Bucki B., Kaminski G., Smak A., Staszewski P. Simulation model and laboratory test of switched reluctance motor with rolling rotor // Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej. – 2008. – №28. – pp. 52-57.
9. Наний В.В., Лыхах В.А., Масленников А.М. Движение ротора в электродвигателе с катящимся ротором // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – №3(86). – С. 9-13.
10. Кулинченко Г.В., Масленников А.М., Багута В.А., Дунев А.А. Обеспечение динамических показателей электропривода на основе двигателя с катящимся ротором // Вісник НТУ «ХПІ». Серія Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – 2015. – №42(1151). – С. 34-38.

REFERENCES

1. Nanij V.V., Miroshnichenko A.G., Juhimchuk V.D. Egorov A.V., Dunev A.A., Maslennikov A.M., Pototskiy D.V. Aspects of the design and testing of engines with a rolling rotor. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Problems of electrical machines and apparatus perfection. The theory and practice*, 2010, no.55, pp. 84-88. (Rus).
2. Sokolov A.V. Dynamic models of stepper motors. *Bulletin of the South Ural State University*, 2012, no.16, pp. 116-119. (Rus).
3. Palpankar P.M., Ghanmare R.U., Makade N. A generalized dynamic model of induction motor using Simulink. *ITSI Transactions on Electrical and Electronics Engineering*, 2013, Vol.1, Iss.5, pp. 118-122.
4. Farhan A. Salem. Dynamic modeling, simulation and control of electric machines for mechatronics applications. *International journal of control, automation and systems*, 2013, Vol.1, no.2, pp. 30-42.
5. Eyhab E.-K. Design and analysis of rolled rotor switched reluctance motor. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 2006, Vol.1, No.4, pp. 472-481. doi: 10.5370/jeet.2006.1.4.472.
6. Bock U. A novel approach of modeling SR motor systems. *ICEM 2002. 15th International Conference on Electrical Machines*. Bruges, Belgium. 2002. p. 338.
7. Ungureanu C., Rata M., Graur A. PLC control of an electromechanical converter with rolling rotor and axial air-gap. *ACTA Electrotehnica*, 2015, Vol.56, No.4, pp. 137-142.

8. Arkkio A., Biernat A., Bucki B., Kaminski G., Smak A., Staszewski P. Simulation model and laboratory test of switched reluctance motor with rolling rotor. *Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej*, 2008, no.28, pp. 52-57.

9. Nanij V.V., Lykhah V.A., Maslennikov A.M. Rotor motion in the rolling-rotor electrical machine. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 2014, no.3(86), pp. 9-13. (Rus).

10. Baguta V. A., Kulichenko G. V. Evaluation of characteristics of mechatronic module based on a stepper motor. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Problems of electrical machines and apparatus perfection. The theory and practice*, 2013, no.51(1024), pp.43-53. (Rus).

Поступила (received) 10.09.2016

Кулинченко Георгий Васильевич¹, к.т.н., доц.,
Масленников Андрей Михайлович², к.т.н., доц.,
Багута Виктор Анатольевич¹, инженер-исследователь,

¹ Сумский государственный университет,
40007, Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2,
e-mail: heorhy@yandex.ua, viktrbaguta@gmail.com

² Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
61002, Харьков, ул. Кирпичева, 21,
e-mail: x-maslennikov@yandex.ua

G.V. Kulichenko¹, A.M. Maslennikov², V.A. Baguta¹

¹ Sumy State University,

² Rymkowsky-Korsakova Str., Sumy, 40007, Ukraine.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
21, Kurpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Research of dynamic parameters of the drive on the basis of rolling rotor motor.

Purpose. Разработка и исследование динамической модели электропривода на базе двигателя с катящимся ротором (ДКР), которая отражает позиционирование исполнительного механизма запорно-регулирующей аппаратуры во времени.

Methodology. Аналитическое описание электромагнитных и механических процессов, происходящих в электроприводе при перемещении вала ДКР, с помощью системы дифференциальных уравнений. Численное имитационное моделирование с визуализацией процессов в среде Matlab процесса перемещения ротора ДКР с механической нагрузкой во времени. **Results.** Показана степень влияния значения момента инерции нагрузки на динамику объекта, получены осциллограммы изменений угла поворота и скорости ротора двигателя во времени. Исследована степень влияния значения электромагнитной постоянной времени на динамику позиционирования электропривода, а также характер переходных процессов при разгоне и фиксации положения ротора с заданным моментом инерции для разных значений индуктивности обмотки. Проанализировано влияние соотношения электромеханической и электромагнитных постоянных времени на характер переходных процессов, сопровождающих старт-стопные режимы углового перемещения вала электропривода на базе ДКР. **Originality.** Отсутствие технических средств, обеспечивающих приемлемую точность измерения времени углового перемещения вала электропривода в старт-стопном режиме компенсировано использованием лазерного измерителя, который дает возможность производить оценку адекватности динамической модели ДКР. **Practical value.** Результаты исследований позволяют создать инструментарий для оптимизации конструктивно-технических и аппаратно-программных решений при совершенствовании и модернизации проектируемого электропривода запорно-регулирующей аппаратуры. Обозначено направление по совершенствованию динамики электропривода на базе ДКР, предусматривающее увеличение его вращающего момента путем уменьшения влияния характеристик двигателя на параметры переходных процессов. References 10, figures 9.

Key words: rolling rotor motor, time constant, positioning control, dynamics.