УДК 621.52-83

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИВОД – ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

Ивашов Е.Н., Панфилова Е.С., Шихов А.И.

ФГАОУ ВПО «Национального исследовательского университета Высшая школа экономики», Москва, Россия (101000 Москва, ул. Мясницкая,20), eivashov@hse.ru

Разработанная обобщенная модель функционирования системы «ЭМП-ИМ», учитывающая влияние различных типов ЭД, механизмов и характера режима работы, позволяет построить динамическую модель и уравнения движения системы «ЭМП-ВКРА» применительно к асинхронным двигателям.

Ключевые слова: электродвигатель, электромагнитный привод, электропневматический привод, вакуумные клапана

GENERALIZED MODEL OF SYSTEM FUNCTIONING ELECTROMECHANICAL ACTUATOR – ACTUATOR

Ivashov E.N., Panfilova E.S., Shikhov A.I.

FGAEU HPE "The National research university "High school of economics», Moscow, Russia (101000 Moscow, Myasnitskaya st., 20), eivashov@hse.ru

Developed a generalized model of system functioning "EMI-IM", considering the influence of different types of ED, mechanisms and nature of work mode, allows you to build a dynamic model and equations of motion of a system "EMF-VCR" with respect to asynchronous motors.

Key words: the electric motor, an electromagnetic actuator, electro-pneumatic, vacuum valve

Развитие современной вакуумной техники идет по пути создания автоматических вакуумных клапанов повышенной надежности и проводимости. Рядом передовых, в области вакуумного оборудования, фирм созданы унифицированные ряды вакуумных клапанов и затворов для вакуумно-технологических установок с диаметром условного прохода от 10 до 1000 мм [1].

Автоматические приводы выполняются электромеханическими, электропневматическими и электромагнитными. Применение того или иного типа привода определяется в основном диаметром условного прохода, усилением герметизации, временем срабатывания, необходимостью автономного использования и видом энергии.

Для автоматизации вакуумных клапанов и затворов с резиновым уплотнением в практике конструирования в большинстве случаев применяется электропневматический привод. Это объясняется, прежде всего, кинематическими схемами указанных клапанов и затворов, в которых перемещение исполнительных органов можно обеспечить поступательным движением. Кроме того, пневмопривод обеспечивает высокую скорость действия, возможность получения и регулирования значительных усилий. В то же время применение пневмопривода для автоматизации клапанов имеет ряд существенных недостатков:

– применение пневматики неоправданно при индивидуальном использовании клапана и в случае цельнометаллических клапанов, так как требует системы сжатого воздуха, или отдельного компрессора. Это усложняет конструкцию вакуумной установки и увеличивает ее габариты;

– автоматизация пневмопривода возможна при наличии управляющего узла, который в большинстве случаев выполняется в виде электромагнитного устройства. Несмотря на простоту конструкции собственного пневмоцилиндра, это устройство в совокупности с источником сжатого воздуха делает привод сложным и требует для его изготовления хорошо оснащенной производственной базы;

– применение электропневматического привода уменьшает надежность работы системы в целом, так как она включает в себя кроме собственной надежности клапана надежность работы пневмосистемы и электромагнитного управляющего устройства;

- использование пневмопривода требует принятия специальных мер для снижения ударного воздействия на запорную пару, усложняющих его конструкцию;

- применение электропневматики делает вакуумный клапан неавтономным, требующим для своей работы различных родов энергии и зависящим от наличия системы сжатого воздуха.

Электромагнитные приводы обладают рядом преимуществ. К их числу можно отнести отсутствие сжатого воздуха, отсутствие управляющего устройства, малое время срабатывая (менее 0,1 с при закрытии и до 2 с при открытии).

Малое время закрытия позволяет применять электромагнитные приводы для аварийных вакуумных клапанов. Открытие таких клапанов основано на принципе вытяжного реле, закрытие осуществляется под воздействием возвратной пружины.

Это принцип закрытия вносит ограничения:

- на диапазон диаметров перекрываемых отверстий, так как усилия герметизации и ход штока определяются характеристиками пружины;

- на применение для цельнометаллической уплотнительной пары.

С увеличением размеров перекрываемых отверстий резко возрастают масса и габариты привода.

В отличие от рассмотренных приводов электромеханический привод (ЭМП) по роду потребляемой энергии более автономен и надежен. Он не влияет на пространственное расположение вакуумной коммутационно-регулирующей аппаратуры (ВКРА), позволяет регулировать время срабатывания аппаратуры и переходить в нужных случаях на ручной режим управления, обеспечивает возможность регулировки уплотняющего усилия и управления от ЭВМ.

В отечественной промышленности для автоматизации работы ВКРА в вакуумных системах применяются ЭМП дистанционного управления.

Согласно работам [2, 3], ЭМП представляет собой электромеханическое устройство, предназначенное для приведения в движение исполнительного механизма (ИМ) ВКРА и управление технологическим процессом. Он состоит из трех частей: электрического двигателя, осуществляющего электромеханическое преобразование энергии, механической части, передающей механическую энергию рабочему органу машины, и системы управления, обеспечивающей оптимальное, по тем или иным критериям, управление технологическим процессом. Характеристики двигателя и возможности системы управления определяют производительность механизма, точность выполнения операций, динамические нагрузки ВКРА и ряд других факторов, с другой стороны, нагрузка механической части привода, условия движения ее связанных масс, точность системы управления, поэтому электрические и механические элементы электропривода образуют единую электромеханическиую систему, составные части которой находятся в тесном взаимодействии.

Свойства электромеханической системы оказывают решающее влияние на важнейшие показатели ВКРА и, в значительной мере, определяют качество и экономическую эффективность технологических процессов.

Автоматизированный ЭМП представляет собой сложную электромеханическую систему, электрическая и механическая части которой находятся в постоянном взаимодействии. В то же время при создании ВКРА конструктор подбирает электродвигатель и рассчитывает привод произвольно, не имея определенной методики. В результате конструкции получаются громоздкими, металлоемкими, не отвечающими современным требованиям вакуумной техники. При расчете не учитываются кинематические и динамические особенности ВКРА, а мощность электродвигателя выбирается по усилию герметизации, поэтому при перемещении исполнительного органа накапливается энергий, которая при уплотнении ведет к динамическим перегрузкам. При одном и том же диаметре условного прохода разная ВКРА имеет различные мощности электроприводов, что говорит о неординарном подходе к выбору ЭМП. Помимо этого при конструировании ЭМП для ВКРА не учитываются динамические факторы и особенности герметизации, возникающие в системе «ЭМП-ИМ» ВКРА.

Для улучшения динамических характеристик ИМ необходимо разработать метод их расчета. Метод проб и ошибок, когда многократно повторяется анализ синтез системы, не может быть признан оптимальным. Обоснованный выбор оптимальных параметров механизмов и устройств автоматизированного электропривода может быть проведен на основе совместного анализа кинематических и динамических характеристик электромеханической системы. Для этого необходимо получить функцию приведенного момента инерции и его производной по углу поворота ведущего звена [4].

На этапе технического проектирования устанавливаются основные параметры системы автоматизированного электропривода на основе электромеханических расчетов, цель которых состоит в определении нагрузок, вычисляемых из условия идеального воспроизведения ЭМП заданного закона движения без учета электромагнитной индукции электродвигателя (ЭД), упругости звеньев и зазоров в кинематических парах [5].

Вопросы увеличения быстродействия с одновременным уменьшением мощности привода вызывает необходимость исследования динамических характеристик системы «ЭМП-ИМ» ВКРА с целью выработки динамических критериев качества. Применительно к ИМ оборудования электронной техники, обобщенное уравнение движения [6] системы «ЭМП-ИМ» для большинства режимов функционирования ИМ имеет вид:

$$\begin{cases} I_n\ddot{\varphi} + \dot{\varphi}^2\dfrac{m_n\Pi^I\Pi^{II}\Pi_p^{I2}}{\eta_p\eta_m} = M_{Д(\varpi)} - \dfrac{P_c\Pi^I\Pi_p^I}{\eta_p\eta_m} \\ I_n\ddot{\varphi}^2 + \dfrac{m_n\Pi^I\Pi^{II}\Pi_p^{I2}}{\eta_p\eta_m} = \dfrac{P_c\Pi^I\Pi_p^I}{\eta_p\eta_m} \end{cases}; \quad (1)$$

где МД (ω) – механическая характеристика ЭД; P_C – сила или момент полезного сопротивления; $П^I П^I_p$ – соответственно функции передаточного отношения механизма и редуктора; η_m, η_p – соответственно коэффициенты полезного действия механизма и редуктора; m_n – приведенная к валу ЭД масса движущихся частей; I_n – приведенный к валу ЭД момент инерции; $\dot{\varphi} = \omega$ – угловая скорость вала ИД; $\ddot{\varphi}$ – угловое ускорение вала ЭД; φ – угол поворота вала ЭД.

На основе уравнений (1) разработана динамическая модель системы «ЭМП-ИМ» ВКРА (рис. 1а), где СД и СР – жесткости элементов, соединяющих ЭД с редуктором и редуктор с ИМ; СУ – жесткость уплотнительной пары, ІД, ІР, ІМ – моменты инерции двигателя, редуктора и механизма ВКРА, МД – движущий на валу двигателя момент, МС – момент сопротивления на валу ИМ. Поскольку в ВКРА жесткости СД и СР велики (0,5·104 ÷ 1,5·105 НМ/рад), то, приводя момент сопротивления и моменты инерции ІМ и ІД к валу ЭД, можно перейти к одномассовой динамической модели (рис. 1, б).

Учитывая, что для существующей ВКРА с ЭМП в диапазоне диаметра условного прохода от 25 до 1000 мм время срабатывания лежит в пределах t ~ 8 ÷ 60 с, ηm ≈ ηp ≈ 0,3 ÷ 0,6 , my ≈ 1,3 ÷ 20 кг, получаем для наиболее неблагоприятного случая значение выражения (1) ≈ 0,005, что в тысячи раз меньше значений движущих моментов. Следовательно, вторым слагаемым в левой части обобщенного уравнения можно пренебречь.

Тогда уравнения функционирования системы «ЭМП-ИМ» ВКРА применительно к асинхронным ЭД [7] и с учетом допущений имеют следующий вид:

$$\begin{cases} I_n\ddot{\varphi} = 2\lambda\dfrac{(\omega_c-\omega_o)(\omega_c-\omega)}{(\omega_c-\omega_o)^2+(\omega_c-\omega)^2}\dfrac{\Pi_p^I}{\varphi_y\eta_p}\int_0^{\varphi_y}\dfrac{P_c^y\Pi_y^I d_\varphi}{\eta_m} - \dfrac{P_c^{пер}\Pi_{пер}^I\Pi_p^I}{\eta_m\eta_p} \\ I_n\ddot{\varphi} = 2\lambda\dfrac{(\omega_c-\omega_o)(\omega_c-\omega)}{(\omega_c-\omega_o)^2+(\omega_c-\omega)^2}\dfrac{\Pi_p^I}{\varphi_y\eta_p}\int_0^{\varphi_y}\dfrac{P_c^y\Pi_u^I d_\varphi}{\eta_m} - \dfrac{P_c^з\Pi_з^I\Pi_p^I}{\eta_m\eta_p} \\ I_n\ddot{\varphi} = 2\lambda\dfrac{(\omega_c-\omega_o)(\omega_c-\omega)}{(\omega_c-\omega_o)^2+(\omega_c-\omega)^2}\dfrac{\Pi_p^I}{\varphi_y\eta_p}\int_0^{\varphi_y}\dfrac{P_c^y\Pi_y^I d_\varphi}{\eta_m} - \dfrac{P_c^y\Pi_y^I\Pi_p^I}{\eta_m\eta_p} \\ I_n\ddot{\varphi} = \dfrac{P_c^y\Pi_y^I\Pi_p^I}{\eta_m\eta_p}, \end{cases} \quad (2)$$

где $P_c^{пер}, P_c^з, P_c^y, \Pi_з^I, \Pi_y^I$ – соответственно силы или моменты сопротивления и передаточные функции механизмов на этапах:

1-й этап – перемещение уплотнительного органа для перекрывания уплотняемого отверстия;

2-й этап – выборка зазора между уплотнительным органом и отверстием;

3-й этап – уплотнение запорной пары;

4-й этап – после отключения ЭД;

λ = Мо/Мн (здесь Мо, Мн – опрокидывающий и номинальный моменты вращения; ωс – угловая скорость вала ЭД при холостом ходе; ωо – критическая угловая скорость вала ЭД).

Для различных видов ВКРА могут быть исключены 2-й этап и 4-й этап – отключения двигателя.

Полученная система нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка положена в основу исследований, проводимых с помощью ЭВМ.

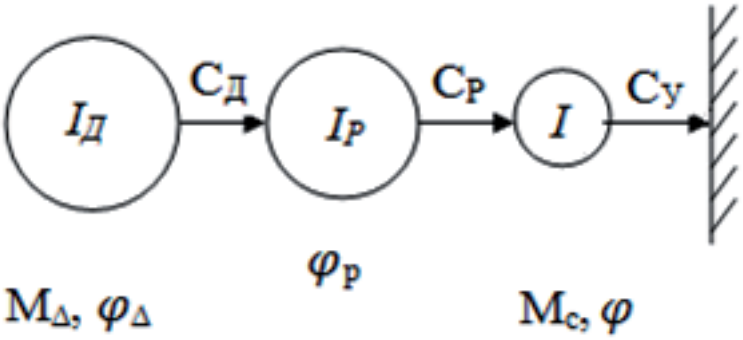

Рис. 1 а. Динамическая модель системы «ЭМП-ИМ» ВКРА

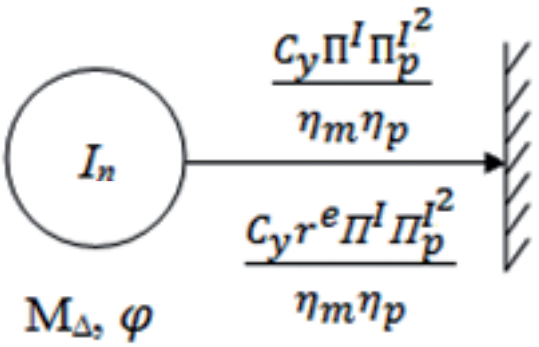

Рис. 1 б. Одномассовая динамическая модель системы «ЭМП-ИМ» ВКРА

Разработанная обобщенная модель функционирования системы «ЭМП-ИМ», учитывающая влияние различных типов ЭД, механизмов и характера режима работы, позволяет построить динамическую модель и уравнения движения системы «ЭМП-ВКРА» применительно к асинхронным двигателям.

Список литературы

1. Львов Б.Г., Шувалов А.С. Техническое обслуживание новой вакуумной коммутационно-регулирующей аппаратуры. М.: Высшая школа, 1987. 80с.

2. Чиликин М.Г., Клюев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. М.: Энергия, 1979. 616 с.

3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. М.: Энергия, 1981. 576 с.

4. Сумский С.Н. Расчёт кинематических и динамических характеристик плоских рычажных механизмов: Справочник. М.: Машиностроение, 1980. 312 с.