

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХРАКТЕРИСТИК ДВУХМАССОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Квашнин В. О., Чередник Ю. Н.

Донбасская государственная машиностроительная академия

Приведено описание разработки динамической модели электропривода на основе асинхронного электродвигателя и ее реализации с использованием средства разработки прикладных программ "Delphi".

Постановка проблемы. При изучении процессов, происходящих в сложных электромеханических системах, в большинстве случаев возникает необходимость в разработке динамических моделей, адекватно отражающих реальное состояние этих систем.

Наиболее сложным элементом с точки зрения математического описания и труднореализуемым в таких системах является асинхронный двигатель (АД), как наиболее распространенный и часто встречаемый при реализации различных производственных задач.

Анализ литературных источников и публикаций. Для решения указанных задач была разработана программа на основе объектно-ориентированного языка, в основу которой была положена двухфазная математическая модель электрической машины в обобщенных координатах [1, 2, 3, 4].

Цель работы. Являясь существенно нелинейным звеном и выступая в качестве объекта регулирования или управления при автоматизации процессов производства, АД требует определения как статических, так и динамических параметров и характеристик.

В связи с этим возникает необходимость в разработке доступных программных средств, которые не требовали бы специальной подготовки в области информационных технологий и одновременно давали бы возможность проводить исследования работы как самого АД в переходных режимах, так и всего электропривода.

Основные материалы исследования. Система уравнений, характеризующая состояние асинхронного двигателя в неподвижной системе координат, после ее приведения к форме Коши, принимает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{as}}{dt} = \sqrt{2}U_H \cos \omega_s t - Ar_s(\psi_{as}L_r' - \psi_{ar}L_\mu); \\ \frac{d\psi_{\beta s}}{dt} = -\sqrt{2}U_H \sin \omega_s t - Ar_s(\psi_{\beta s}L_r' - \psi_{\beta r}L_\mu); \\ \frac{d\psi_{ar}}{dt} = -Ar_r'(\psi_{ar}L_s - \psi_{as}L_\mu) + \psi_{\beta r}\omega; \\ \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} = -Ar_r'(\psi_{\beta s}L_s - \psi_{\beta s}L_\mu) - \psi_{ar}\omega; \\ M = \frac{3}{2}L_\mu A \cdot p(\psi_{as}\psi_{\beta r} - \psi_{ar}\psi_{\beta s}); \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{pM}{J_H}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где $A = 1/(L_s L_r' - L_\mu^2)$; U_H – фазное напряжение

статора; ω_s – угловая частота питающего напряжения; $\psi_{as}, \psi_{\beta s}$ – проекции потокосцепления статора на координаты $\alpha - \beta$ неподвижной системы координат, связанной со статором; $\psi_{ar}, \psi_{\beta r}$ – проекции потокосцепления ротора на координаты $\alpha - \beta$ неподвижной системы координат, связанной со статором; L_r' – индуктивное сопротивление ротора приведенное к обмотке статора; L_s – индуктивное сопротивление статора; L_μ – индуктивное сопротивление намагничивающего контура; r_s – активное сопротивление статора; r_r' – активное сопротивление ротора приведенное к обмотке статора; J_H – момент инерции двигателя; M – момент двигателя; ω – угловая скорость двигателя.

В общем случае механическая часть электропривода представляет собой систему связанных масс, движущихся с различными скоростями вращательно или поступательно. При нагружении элементы системы деформируются, т.к. механические связи не являются абсолютно жесткими. При изменении нагрузки массы имеют возможность взаимного перемещения, которое при данном приращении нагрузки определяется жесткостью связи.

Учет влияния упругих связей и жестких соединений необходим, так как возникающие деформации деталей электромеханического оборудования часто соизмеримы с рабочими перемещениями. Кроме того, упругие звенья могут существенно влиять на динамику переходных процессов. Упругие звенья часто вносят недопустимые вибрации, создают дополнительные усилия, затрудняют получение необходимых точностей, снижают производительность.

При математическом описании рассматриваемого явления удобнее всего воспользоваться двухмассовой моделью механической части электропривода, где связь между двумя движущимися массами – M_1, J_1 и M_2, J_2 осуществляется через упругое соединение с коэффициентом жесткости C_{12} (рис. 1).

Упругие звенья считаются безинерционными, а углы ϕ_1 и ϕ_2 и коэффициент жесткости являются величинами, приведенными к оси двигателя или к любой другой оси.

Для нагружающих элементов рассматриваемой системы можно записать следующие уравнения движения: $M_2 = M_{12} - M_{c2}$ – момент M_2 относится ко второй массе (движущий момент механизма M_2 обусловлен действием упругого момента M_{12} с учетом

механических потерь M_{c2} .

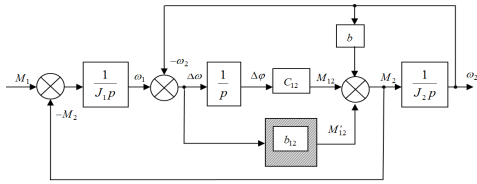


Рисунок 1 – Структурная схема механической части привода, учитывающая вязкое трение

Тогда, в пределах деформаций упругих механических связей, для которых выполняется закон Гука, их жесткости можно определить с помощью следующих соотношений: $C_{12} = M_{12} / \Delta\varphi$. В данном случае C_{12} характеризует жесткость скручивания (соединяющих валов).

Анализ влияния учета жесткости соединения на динамику переходных процессов был бы неполным, если бы не был осуществлен учет внутреннего вязкого трения, возникающий в механической системе и пропорциональный скорости деформации валов, канатов, муфт и других элементов жестких соединений. Момент внутреннего вязкого трения можно представить в виде

$$M_{в.в.т} = b_{12}(\omega_1 - \omega_2), \quad (2)$$

где $M_{в.в.т}$ – момент внутреннего вязкого трения; ω_1 – скорость двигателя, ω_2 – скорость механизма; b_{12} – коэффициент внутреннего вязкого трения (Н·м·с/рад).

Нагрузки, обусловленные действием сил и моментов трения (реактивные), могут представлять собой любые сложные нелинейные зависимости и в общем случае имеют следующий вид

$$M_c = M_{c0} + b\omega, \quad (3)$$

где коэффициент вязкого трения b в свою очередь может быть нелинейным: $b = f(\omega)$.

Кроме того, наличие зазоров, также является характерной особенностью электроприводов, передаточный механизм которых содержит зубчатые, реечные, цепные, винтовые и тому подобные соединения. С течением времени минимально допустимые зазоры в кинематических передачах, определяемые технологическими допусками на размер зубьев при их нагреве, в результате износа увеличиваются. Это приводит к ухудшению условий работы передач: возникают удары, ускоряющие износ элементов, снижается точность выполнения технологических операций и т.д.

При рассмотрении физических особенностей процесса выбора зазоров на примере двухмассовой механической системы потерями на трение пренебрегают.

Зазор $\Delta\varphi_3$ представляет собой суммарный приведенный зазор системы, который можно вычислить с помощью следующей формулы приведения:

$$\Delta\varphi_3 = \sum_{i=0}^n \Delta\varphi_{3i} i_{ti} + \sum_{j=0}^m \Delta S_{3j} / \rho_{1j} \quad (4)$$

где $\Delta\varphi_{3i}$ – действительные зазоры в соответствующих зацеплениях, выраженные в угловом перемещении 1-го вала;

ΔS_{3j} – действительные зазоры в связях с поступательно движущимися массами, выраженные в линейном перемещении j-той массы.

С учетом перечисленных факторов система у механической части привода при принятых допущениях может быть записана в следующем общем виде [5]:

$$\begin{cases} M - (M_{12} + M_{12}^{\delta}) = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \\ (M_{12} + M_{12}^{\delta}) - M_c - M_{BT} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} \end{cases} \quad (5)$$

где $M_{12} = C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = C_{12}\Delta\varphi_{12}$;

$M_{12}^{\delta} = b_{12} \cdot (\omega_1 - \omega_2)$; $M_{BT} = b \cdot \omega_2$.

Этой системе соответствует обобщенная структурная схема механической части электропривода, приведенная на рисунке 2.

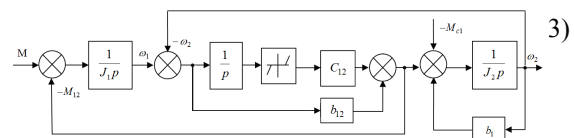


Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема механической части

Решение систем уравнений с помощью средства разработки Delphi позволяет организовать работу с компьютером в оконном режиме и не требует специальной подготовки в области программирования при исследовании динамических характеристик АД. При этом, сразу может быть получен результат расчета переходных процессов исследуемого АД в виде графиков скорости $\omega = f(t)$ и момента $M = f(t)$ в одной координатной плоскости с привязкой по времени. Разработанная программа в виде диалогового окна представлена на рис. 3.

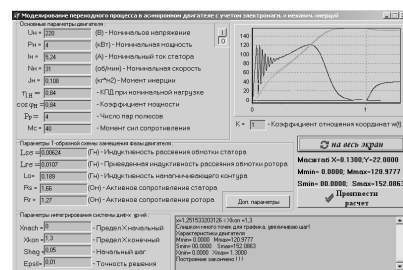


Рисунок 3 – "Активное окно" для расчета переходных процессов в АД

Приведенное "окно" состоит из полей "данных" и "результатов". Поля "данных" включают в себя: основные параметры двигателя (паспортные данные);

параметры Т-образной схемы замещения фазы двигателя и параметры интегрирования системы дифференциальных уравнений.

Окно имеет также клавишу "Дополнительно", которая раскрывает окно дополнительных параметров двухмассовой динамической модели электропривода (рис. 4).

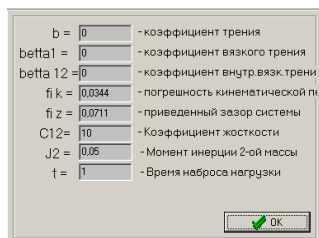


Рисунок 4 – Окно дополнительных параметров двухмассовой динамической модели электропривода

Для примера работы программы произведен пуск с набросом нагрузки. В качестве входного воздействия принят момент с вала асинхронного двигателя 4А100/4SY3 (табл. 1). Результаты моделирования представлены на рис. 5

Таблица 1 – Исходные данные

Тип двигателя	
Номинальное напряжение U_n , В	220
Номинальная мощность P_n , кВт	4
Номинальный ток статора I_n , А	5,24
Номинальная скорость n_n , об/мин	1431
Момент инерции J_n , кг·м ²	0,108
КПД при номинальной нагрузке η_n	0,84
Коэффициент мощности $\cos \varphi_n$	0,84
Число пар полюсов p	2
Параметры Т-образной схемы замещения	
Индуктивность рассеяния обмотки статора $L_{\sigma s}$, Гн	0,00624
Приведенная индуктивность рассеяния обмотки статора $L_{\sigma 2}$, Гн	0,0107
Индуктивность намагничивающего контура L_0 , Гн	0,189
Активное сопротивление статора r_s , Ом	1,66
Приведенное активное сопротивление статора r_r , Ом	1,27
Механическая часть	
Момент инерции второй массы J_2 , кг·м ²	0,05
Момент нагрузки второй массы M_{c2}	0,2· M_n
Время наброса нагрузки после пуска t , с	0,4

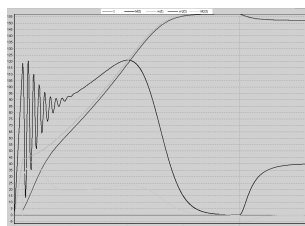


Рисунок 5 – Результаты моделирования двухмассовой динамической модели электропривода

Возмущающим фактором является момент статической нагрузки M_c , прикладываемый к первой массе J_1 , через определенное время t , после запуска.

Выводы. Получена методика удобного и быстрого проведения исследования и анализа влияния изменений внешних и внутренних параметров механической части электропривода на динамику работы различных сложных электромеханических систем с использованием средства разработки прикладных программ "Delphi".

Список использованных источников

1. Проектирование электрических машин: Учебное пособие для вузов/И. П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б. К. Клоков и др.; Под ред. И. П.Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
2. М. В. Загирняк, Б. И. Невзлин Электрические машины Ч. 3. Асинхронные машины: Учебное пособие. – К ИСДО, 1996. – 196 с.
3. В. О.Квашнин Методика аналитического определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя// Вісник: Східноукраїнського національного університету: Луганськ.-2000: Випуск № 8(30). – С. 54-59.
4. В. О.Квашнин Разработка обобщенной динамической модели механической части электромеханического оборудования. Вісник Східноукраїнського національного університету, 2004. – № 12(82). – С. 104-109.
5. Теория автоматизированного электропривода / Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.

Анотація

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВОМАСОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Квашнін В. О., Чередник Ю. М.

Наведено опис розробки двомасової динамічної моделі електропривода на базі асинхронного електродвигуна та її реалізації з застосуванням засобу розробки прикладних програм "Delphi".

Abstract

METHODOLOGY DEVELOPMENT OF THE DETERMINATION DYNAMIC CHARACTERISTIC OF THE TWOMASS ELECTROMECHANICAL SYSTEM.

V. Kvashnin, J. Cherednyk

The description of the electric drive two mass dynamic model design on base the asynchronous electric motor and the realization using design means of the application "Delphi" are demonstrated.