

УДК 681.5

В.А. Крамарь, доцент, канд. техн. наук,**П.Л. Светличный, ассистент***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, Севастополь, Украина, 99053**E-mail: spl@tci.com.ua**kramarv@mail.ru***БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ СЕРВОДВИГАТЕЛЯ FESTO**

Рассмотрены основные принципы идентификации объектов для решения задач дистанционного обучения и управления. Приведён пример реализации одного из методов идентификации для построения упрощённой модели серводвигателя FESTO.

Ключевые слова: идентификация, серводвигатель, математическая модель.

Удалённое управление может быть рассмотрено как в рамках задач дистанционного обучения, так и в сфере промышленной автоматизации. Несмотря на разные по сути области применения, задачи сводятся к одному – получению доступа к оборудованию на значительном расстоянии без ограничений, а также с возможностью производить манипуляции в режиме реального времени. Для эффективного управления оборудованием необходимо понимать его устройство и принципы работы, тем более что при управлении на расстоянии количество ошибок должно быть сведено к минимуму из-за сложности доступа. Основным инструментом в достижении необходимых навыков управления удалённым объектом может служить имитационное моделирование, позволяющее создать виртуальную модель исследуемого объекта.

Для построения такой модели необходимо обратиться к проблеме идентификации объектов.

Идентификация объекта состоит в определении структуры и параметров по наблюдаемым данным, в качестве которых выступают величины входного и выходного воздействий [1]. На рисунке 1 объект представляет собой «чёрный ящик», подвергая который внешним воздействиям и анализируя его реакции, можно получить его математическую модель, т.е. полное описание его структуры и параметров.



Рисунок 1 – Принцип идентификации типа «чёрный ящик»

При идентификации объектов, изображенных на рисунке 2, решается также и более простая задача, когда заранее известна структура математической модели, но неизвестны её параметры.



Рисунок 2 – Принцип идентификации типа «серый ящик»

Целью данной статьи является рассмотрение базовых принципов идентификации сложных объектов типа «чёрный ящик» на примере построения математической модели серводвигателя фирмы FESTO.

Для решения задач идентификации необходимо сначала провести как можно более полный анализ исследуемого объекта для сбора максимального количества сведений.

Сервоконтроллер SEC-AC фирмы FESTO предназначен для управления крутящим моментом (током), скоростью и позиционированием асинхронного двигателя MTR-AC той же фирмы.

На структурной схеме, изображённой на рисунке 3, контроллер тока, контроллер скорости и модуль позиционирования представлены в форме каскадов управления. Контроллер скорости и модуль позиционирования спроектированы как ПИ-регуляторы и могут работать по отдельности. Таким образом, получаем три режима управления: по моменту (току), скорости и режим позиционирования.

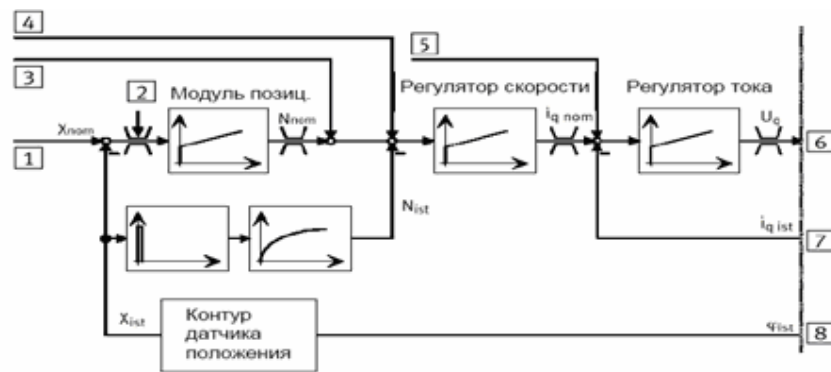


Рисунок 3 – Структурная схема каскада управления сервоконтроллера:

- 1) сигнал управления по позиции; 2) измерение ошибки перемещения; 3) сигнал управления позиционированием; 4) сигнал управления по скорости; 5) сигнал управления по моменту; 6) преобразователь координаты и модуляция; 7) измерение тока и преобразование координаты; 8) определение и кодирование угловой координаты

Для построения упрощённой математической модели асинхронного двигателя достаточно использование одного каскада управления по моменту (току). Отключив каскады управления позиционированием и скоростью, получим схему, показанную на рисунке 4.

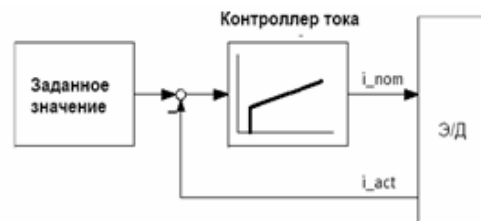


Рисунок 4 – Структурная схема каскада управления по моменту (току)

В полученной схеме на вход подаётся требуемое значение скорости вращения вала двигателя, а на выходе получается фактическая скорость вращения. Обе величины задаются в оборотах в минуту.

Для простоты будем считать, что исследуемый объект может быть представлен в виде линейной модели. В общем виде полное задание модели сводится к записи

$$y(t) = G(q)u(t) + H(q)e(t), \quad (1)$$

где $y(t)$ – прогнозируемый выход системы; $G(q)$ – передаточный оператор линейной системы; $u(t)$ – скалярный входной сигнал; $H(q)$ – фильтр, в комбинации с последовательностью случайных величин (белым шумом) $e(t)$ представляющий реализацию случайного процесса $v(t)=H(q)e(t)$; q – оператор сдвига вперёд такой, что $qu(t)=u(t+1)$.

Ключевым фактором для идентификации системы является задание коэффициентов G и H с помощью конечного набора численных характеристик. Достаточно часто эти коэффициенты трудно определить заранее из знания физических свойств системы, поэтому для определения их (или некоторой их части) приходится прибегать к процедурам оценивания. Это означает, что рассматриваемые коэффициенты входят в модель (1) как определяемые параметры [2]. Для обозначения этих параметров можно ввести символ θ и работать с описанием модели вида:

$$y(t) = G(q, \theta)u(t) + H(q, \theta)e(t). \quad (2)$$

Здесь $f_e(x, \theta)$ – плотность вероятности $e(t)$, $\{e(t)\}$ – белый шум.

Вектор параметров θ принадлежит к некоторой области в пространстве действительных чисел.

Для (2) можно вычислить одношаговый прогноз. Обозначим его через $\hat{y}(t | \theta)$, тогда получим:

$$\hat{y}(t | \theta) = H^{-1}(q, \theta)G(q, \theta)u(t) + [1 - H^{-1}(q, \theta)]y(t).$$

Этот предсказатель не зависит от плотности вероятности $e(t)$.

Наиболее непосредственным способом параметризации G и H является представление их рациональными функциями, когда параметрами становятся коэффициенты в числителе и знаменателе. Такая модель известна также под названием модели чёрного ящика.

Наиболее простое вход-выходное соответствие описывается линейным разностным уравнением:

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t). \quad (3)$$

Поскольку в это уравнение белый шум $e(t)$ входит как его непосредственная ошибка, модель (3) часто называют моделью ошибки уравнения. В этом случае имеется следующий набор настраиваемых параметров:

$$\theta = [a_1, a_2, \dots, a_{n_a}, b_1, b_2, \dots, b_{n_b}]^T.$$

Если ввести $A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a}$, $B(q) = b_1 q^{-1} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b}$, то видно, что (3) совпадает с (2) при выборе

$$G(q, \theta) = \frac{B(q)}{A(q)}, \quad H(q, \theta) = \frac{1}{A(q)}.$$

Такие модели с авторегрессионной частью $A(q)y(t)$ и дополнительным входным сигналом $B(q)u(t)$ называют ARX-моделью, структурная схема которой изображена на рисунке 5.

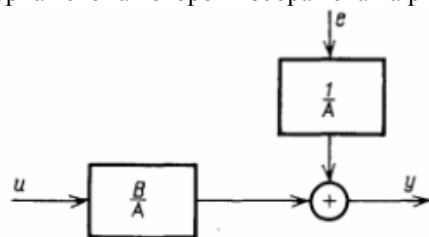


Рисунок 5 – Структура ARX-модели

Для идентификации объекта при помощи построения ARX-модели можно воспользоваться стандартными средствами MATLAB [3]. К одному из таких средств относится утилита `ident`, позволяющая проводить идентификацию по входным и выходным данным различными методами и с использованием различных моделей.

В рамках исследований на вход контроллера подавался белый шум, график которого изображён на рисунке 6. Реакция на это воздействие показано на рисунке 7. Как видно, воздействие было выбрано в диапазоне от -434 до +436 оборотов в минуту, где отрицательная величина скорости означает обратное направление вращения вала двигателя. Было произведено 100 измерений с тактом 0,05 с.

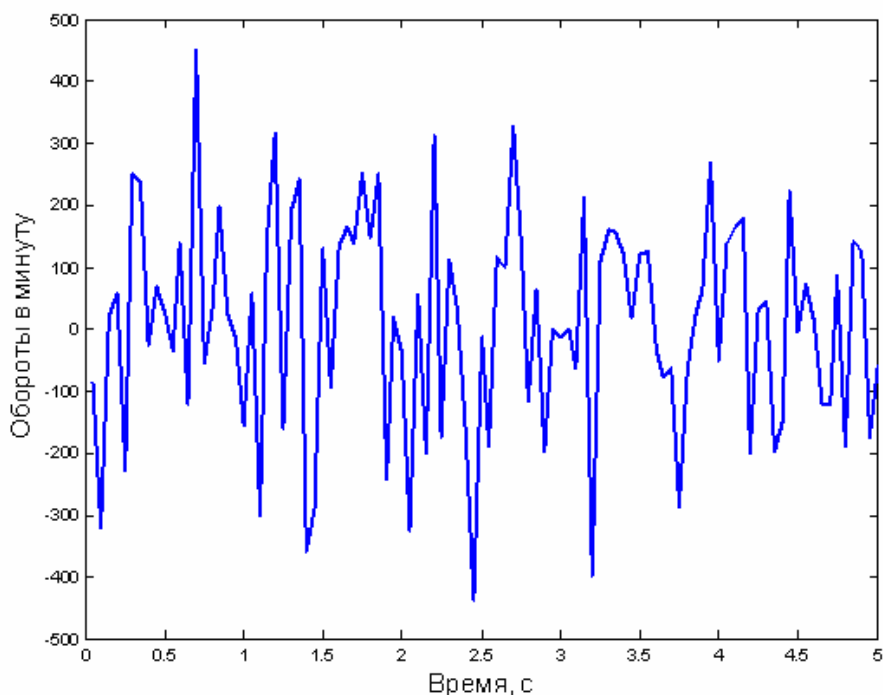


Рисунок 6 – График входного воздействия

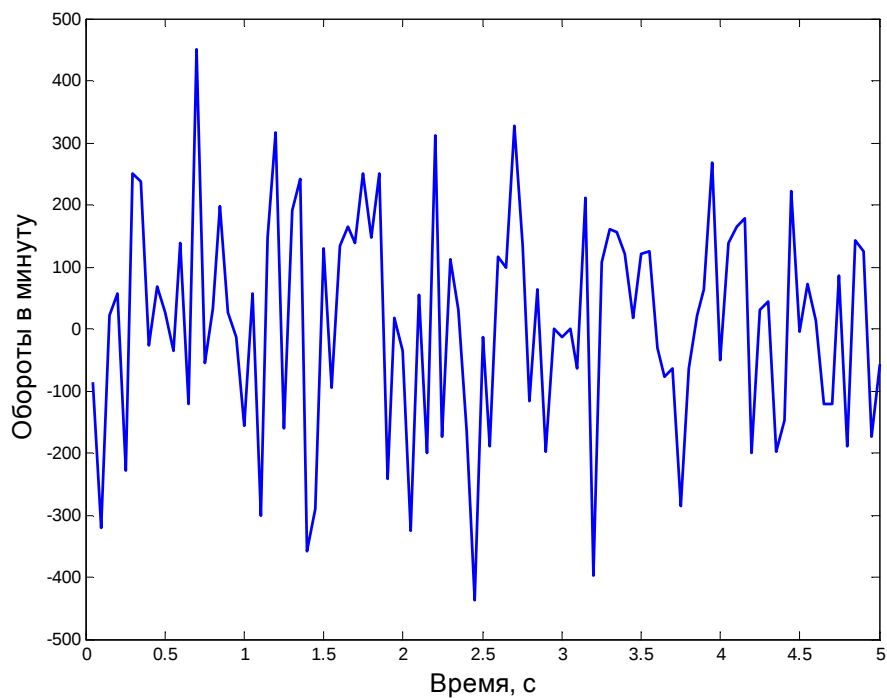


Рисунок 7 – График реакции системы на входное воздействие

Произведя идентификацию системы при помощи утилиты `ident`, используя линейную ARX-модель 2 порядка с коэффициентами $na=2$, $nb=2$ получили математическую модель с точностью 93,23%. Сравнительный график для выходных данных, полученных путём измерений и предсказанным поведением системы при помощи математической модели, изображен на рисунке 8.

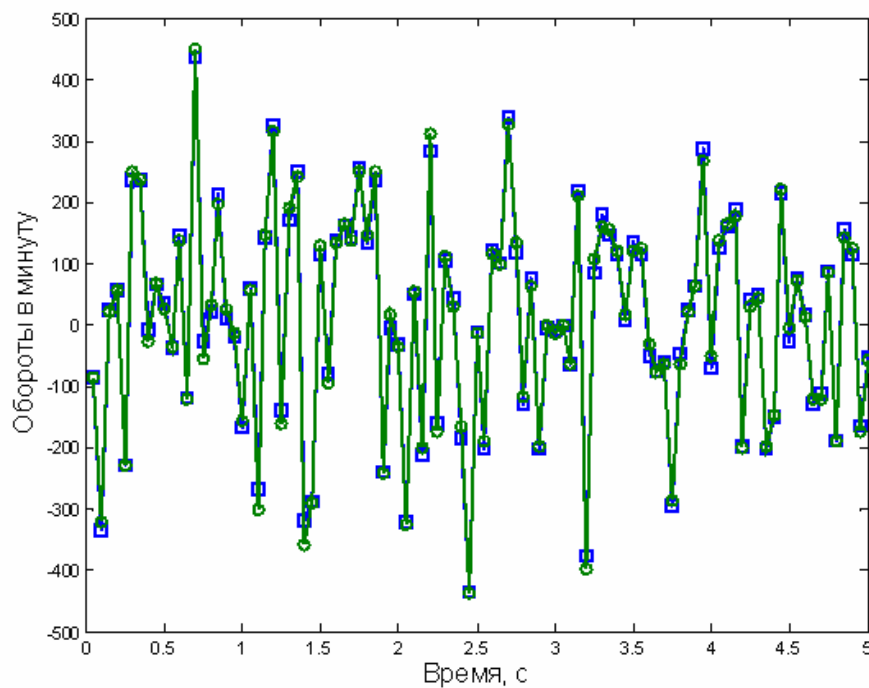


Рисунок 8 – Сравнительный график выходов системы, полученных путем прямых измерений и методом идентификации: квадрат – прямые измерения; круг – смоделированный выход

Итоговая модель может быть записана в виде:

$$A(q) = 1 + 0,1976q^{-1} - 0,006962q^{-2}, B(q) = 1,01 + 0,1863q^{-1}.$$

Данная модель получается адекватной только для использованного интервала. При выходе значений за используемый интервал получаются значительные расхождения между фактическим и предсказанным поведением системы.

При попытке идентификации серводвигателя тем же методом с использованием начальных значений из более широкого диапазона (от -1710 до +1660 с тем же шагом), получается модель с точностью 48,41%. Увеличение порядка модели до 6 ($na=6$, $nb=6$) дало прирост точности до 50,15%, а до 16 ($na=16$, $nb=16$) – 54,34%, что говорит о невозможности применения данного метода идентификации для объекта при заданных условиях.

Всё вышеизложенное свидетельствует о том, что серводвигатель на небольших скоростях может быть представлен линейной моделью второго порядка. Данные могут быть использованы в дальнейших исследованиях, целью которых является построение математической модели серводвигателя FESTO для более широкого диапазона скоростей. Поведение такой модели можно попробовать описать при помощи нелинейной модели, основанной на нейронных сетях.

Бібліографічний список

1. Гроп Д. Методы идентификации систем / Д. Гроп. — М.: Мир, 1979. — 304 с.
2. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюнг. — М.: Наука, 1991. — 432 с.
3. Pintelon R. System Identification / R. Pintelon. — N.Y.: IEEE Press, 2001. — 605 p.

Поступила в редакцию 03.11.2009 г.