

УДК 681.5.015

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА АЗИМУТАЛЬНОЙ ОСИ ТЕЛЕСКОПА

С.А. Тушев

Описывается способ получения математической модели электропривода азимутальной оси телескопа с помощью идентификации его параметров. Полученная модель используется для настройки прецизионной системы автоматического управления объектом, работа которой проверяется на реальном устройстве. Теоретические расчеты в значительной степени совпадают с практическими результатами, что показывает достоверность данного метода построения системы управления.

Работа представляет интерес для студентов, аспирантов, работников электротехнических специальностей, а также специальностей и направлений подготовки, связанных с теорией автоматического управления.

Ключевые слова: идентификация, электропривод, настройка, прецизионный электропривод, телескоп.

Введение

В настоящее время проблемы, связанные с созданием математических моделей технических объектов, технологических процессов, экономики и живой природы, формируют одно из основных направлений науки и техники – моделирование. Это объясняется тем, что математические модели объектов широко применяются на всем периоде работы с ними – от разработки до эксплуатации.

Система управления – неотъемлемая часть современного высокотехнологического комплекса. Ее создание подразделяется на основные этапы: получение математической модели объекта, настройка системы автоматического управления (САУ) для этой модели и проверка работоспособности на реальном объекте. Самым сложным является первый этап, так как он подразумевает структурную и параметрическую идентификацию.

Существует множество методов решения задачи идентификации. В настоящей работе будет рассмотрена параметрическая идентификация модели электропривода азимутальной оси телескопа траекторных измерений типа «Сажень» с использованием пакета программ MATLAB и создание системы управления этим объектом. Выбор данного способа обуславливается тем, что он наиболее точен, так как все коэффициенты передаточной функции объекта определяются отдельно друг от друга. Это позволяет искать передаточную функцию объекта в любом виде – от простейшего аperiodического звена до сложных звеньев высоких порядков, в зависимости от требований к точности определения модели [1].

Идентификация параметров объекта

Известно, что реальная установка содержит вентильный двигатель (ВД), однако анализ переходных характеристик [2, 3] показал, что модель ВД с достаточной степенью точности соответствует модели двигателя постоянного тока (ДПТ), который описывается системой уравнений (1), учитывающей двухмассовый характер механической нагрузки. Двухмассовость обусловлена тем, что азимутальная ось телескопа в реальности не является абсолютно жесткой. По этой причине она условно разделяется на две массы, между которыми присутствует нежесткость.

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = -\frac{1}{T_f} i - \frac{C_e}{L} \Omega_1 + \frac{1}{L} u, \\ \frac{d\Omega_1}{dt} = \frac{C_m}{J_1} i - \frac{m}{J_1} \Omega_1 - \frac{c_{12}}{J_1} \alpha_1 + \frac{m}{J_1} \Omega_2 + \frac{c_{12}}{J_1} \alpha_2 - \frac{M_{r1}}{J_1} - K \cdot \alpha_{1_relative}, \\ \frac{d\alpha_1}{dt} = \Omega_1, \\ \frac{d\Omega_2}{dt} = \frac{m}{J_2} \Omega_1 + \frac{c_{12}}{J_2} \alpha_1 - \frac{m}{J_2} \Omega_2 - \frac{c_{12}}{J_2} \alpha_2 - \frac{M_{r2}}{J_2}, \\ \frac{d\alpha_2}{dt} = \Omega_2. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь K – коэффициент, учитывающий величину момента нагрузки от кабельного перехода; M_{r1} и M_{r2} – моменты трения на 1-ой и 2-ой массе соответственно; C_e и C_m – постоянные электродвигателя; J_1 и J_2 – приведенные моменты инерции; m – коэффициент демпфирования; c_{12} – коэффициент нежесткости связи между массами; T_f – электрическая постоянная времени.

На исследуемый объект воздействуют внешние возмущения – моменты трения и момент сопротивления, создаваемый кабельным переходом. Они определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} M_c(b) &= b \cdot |M_{c1,2}|, \quad b = \text{sign}(\Omega_{1,2}); \\ M(\alpha_{1_relative}) &= J_1 \cdot K \cdot \alpha_{1_relative}. \end{aligned}$$

Кабельный переход, являющийся конструктивной особенностью опорно-поворотного устройства телескопа, создает момент нагрузки, пропорциональный относительному углу поворота оси $\alpha_{1-relative}$ и действует только на первую массу.

С помощью пакета программ MATLAB/System Identification Toolbox [4] и MATLAB/Simulink осуществляется процедура идентификации параметров модели. Вначале регистрируется реакция разомкнутого объекта на определенное входное воздействие. Затем задается математическое описание системы в матрицах состояния (2).

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ke(t), \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) + e(t), \\ x(0) = x_0. \end{cases} \quad (2)$$

Начальные значения коэффициентов могут выбираться произвольно, однако рекомендуется принимать их близкими к реальным, так как это может сильно повлиять на результат идентификации. В данной структуре неизвестны следующие параметры: K , M_{r1} , M_{r2} , C_e , C_m , m . Остальные значения были определены опытным путем или были указаны в техническом задании. В качестве тестового сигнала выбран двусторонний меандр, так как при таком воздействии меняется знак скорости и могут быть учтены особенности, связанные с направлением вращения оси.

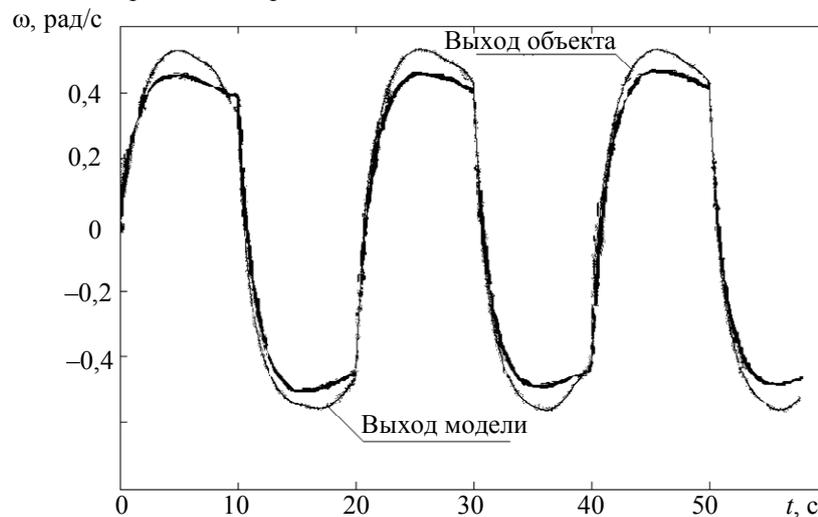


Рис. 1. Результат параметрической идентификации

После завершения выполнения задачи программа MATLAB возвращает модель системы в уравнениях состояния с найденными коэффициентами. График сравнения реальной системы и полученной модели представлен на рис. 1.

Выходом модели и объекта является скорость вращения азимутальной оси. Неполное совпадение (около 87,5%) обуславливается тем, что структурная схема модели не до конца соответствует объекту управления, а также погрешностью определения параметров. Несмотря на эти неточности, проведенная идентификация позволяет синтезировать систему САУ для модели с ДПТ.

Настройка САУ электропривода

Создание системы управления предполагает множество решений при помощи различных типов регуляторов. Распространенным решением является система подчиненного регулирования координат объекта, таких как вращающий момент или ток двигателя, скорость, положение.

Из-за особенностей объекта управления контур скорости замыкается по первой массе, так как на вторую массу невозможно установить датчик положения в рассматриваемом объекте. Свое влияние оказывает и тот факт, что система имеет высокий коэффициент жесткости, что позволяет представить ее в виде одномассовой для упрощения процедуры настройки САУ. При расчетах используется суммарный момент инерции, равный сумме приведенных моментов инерции обеих масс.

Контур скорости настраивается на технический оптимум (ТО) с помощью пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора с замедлением. Объект управления представляется как колебательное звено, а числитель регулятора компенсирует его. Следовательно, постоянная времени настроенной системы зависит только от постоянной времени фильтра T_u , входящего в структуру регулятора. Графики переходных процессов при скачке задающего воздействия представлены на рис. 2.

Реакции систем – эталонной и настроенной с ДПТ – на задание скорости имеют основные характеристики, представленные в табл. 1.

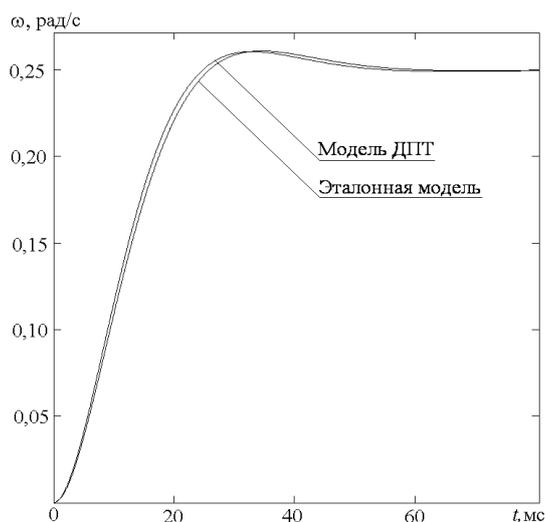


Рис. 2. Реакции модели с ДПТ, настроенной на ТО, и эталонной модели

Характеристика	Эталон	ДПТ	Реальная установка
Время первого согласования, T_u	4,7	4,5	4,2
Перерегулирование, %	4,3	4,6	18

Таблица 1. Сравнение параметров реакций моделей и реальной установки на скачок задания скорости

Контур положения настраивается на симметричный оптимум (СО) с помощью пропорционально-интегрального регулятора для обеспечения второго порядка астатизма по управляющему воздействию. Графики переходных процессов представлены на рис. 3.

Реакции систем – эталонной и настроенной с ДПТ – на задание углового положения имеют основные характеристики, представленные в табл. 2. На рис. 4 представлены реакции настроенной реальной системы на скачок задающего воздействия по скорости и углу поворота соответственно.

Анализ данных, сведенных в табл. 1, 2, показывает, что значения параметров достаточно близки, что позволяет сделать вывод о целесообразности выбора такого способа синтеза САУ. В результате реальный объект удастся настроить на постоянную времени скоростного контура, равную 5 мс, т.е. время переходного процесса в такой системе – порядка 30 мс, а в контуре регулирования положения – 60 мс.

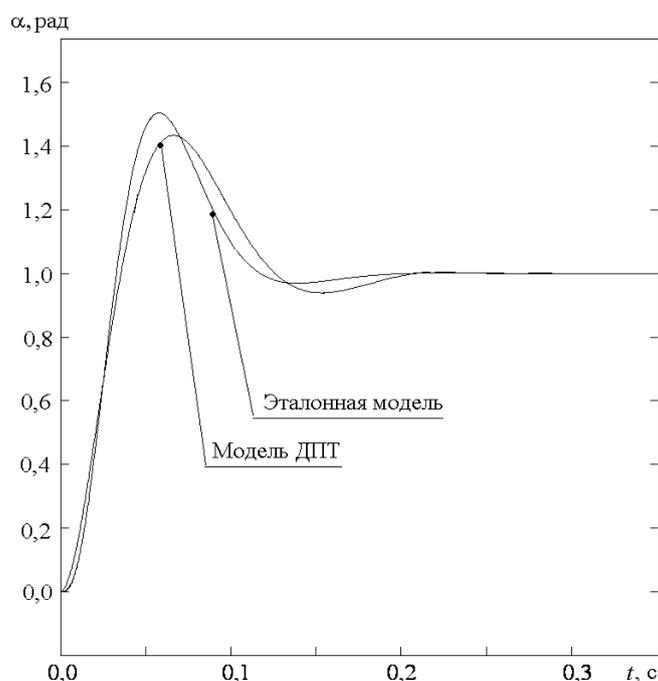


Рис. 3. Реакции систем с ДПТ и ВД, настроенных на СО, и эталонной модели

Характеристика	Эталон	ДПТ	Реальная установка
Время первого согласования, T_u	3,1	2,9	3
Перерегулирование, %	43	50	34,5

Таблица 2. Сравнение параметров реакций моделей и реальной установки на скачок задания угла

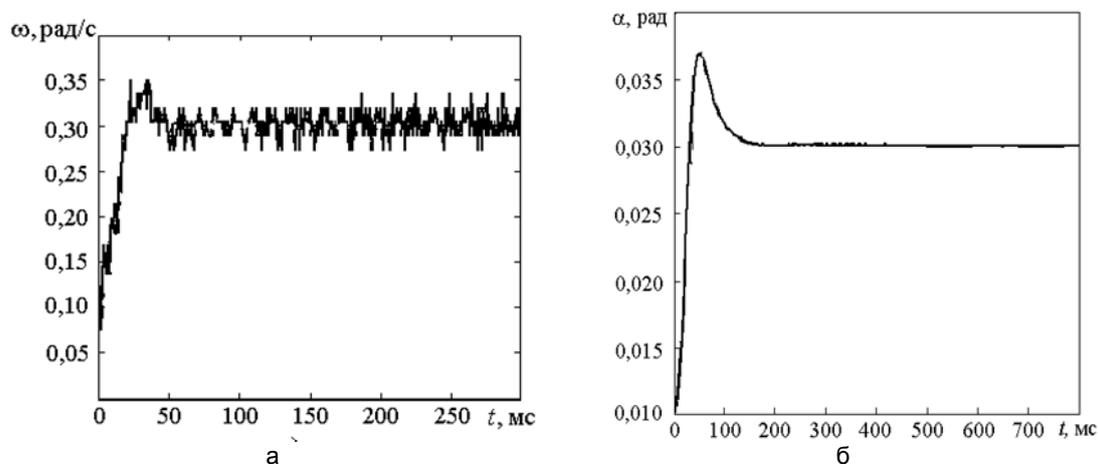


Рис. 4. Реакция реального объекта на скачок задания: скорости (а); угла поворота (б)

Заключение

Основным преимуществом использования параметрической идентификации в среде MATLAB/System Identification Toolbox является то, что есть возможность задавать любую структурную схему объекта управления – от простейшей до самой точной, учитывающей все возможные постоянные времени и внешние воздействия. Программный комплекс подбирает значения параметров модели объекта так, чтобы максимально приблизить смоделированную реакцию системы к реальной. Наглядно анализируя точность совпадения, можно решить, стоит ли дальше усложнять структуру модели или в данных условиях можно принять текущую.

Получив модель объекта с найденными параметрами и величинами возмущающих воздействий, можно построить систему управления в желаемом виде и проверить ее работу в MATLAB/Simulink. Завершающим этапом настройки системы является проверка ее работоспособности на реальном объекте. Если статические и динамические характеристики настроенной системы не удовлетворяют требованиям, процедура идентификации повторяется.

Предложенный метод настройки системы автоматического управления электропривода позволяет получить в короткие сроки достаточно высокие показатели качества переходных процессов, что дает возможность использовать его на начальном этапе настройки системы управления цифрового электропривода.

Литература

1. Семенов А.Д., Артамонов Д.В., Брюхачев А.В. Идентификация объектов управления: Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 211 с.
2. Аракелян А.К., Афанасьев А.А. Вентильные электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 508 с.
3. Балковой А.П., Цаценкин В.К. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 328 с.
4. System Identification Toolbox User's Guide. – The MathWorks, Inc., 2008. – 528 p.

Тушев Сергей Александрович

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, sergy5@mail.ru