

УДК 681.5.015.23

Идентификация и фильтрация «сглаживание» экспериментальных данных для построения математической модели привода планарного сканера

Евтеева Дарья Михайловна

meowwowww@rambler.ru

Корнюшин Юрий Петрович

theroland@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены вопросы идентификации и фильтрации данных для создания математической модели привода, применяемого в высокоточных системах позиционирования, например для солнечных панелей и антенных установок. Представлены методы фильтрации сигнала, такие как сглаживание с помощью метода LOWESS, эффективно снижающего высокочастотные шумы. Показаны результаты фильтрации и сравнительный анализ математических моделей привода, что позволило выбрать оптимальную модель для последующего синтеза регулятора.

Ключевые слова: идентификация, фильтрация, математическая модель, системы управления, объект управления, привод

Создание высокоточных систем позиционирования и стабилизации таких объектов, как панели солнечных батарей, телескопы, радиоантенны, инструменты обрабатывающих станков и центров и других требует при проектировании их систем автоматического управления не только разработки регуляторов, но и выбора приводов и соответствующих типов двигателей.

В качестве двигателей достаточно часто используются двигатели постоянного тока. Выбор типа двигателя определяется характером решаемой системой задачи и массогабаритными характеристиками объекта управления. Для двигателей, выпускаемых отечественной промышленностью, всегда приводятся необходимые паспортные данные. По паспортным данным можно рассчитать основные параметры двигателя при составлении его математической модели. Однако учесть все особенности присоединенного к приводу объекта (т. е. дополнительные моменты инерции) не всегда возможно.

Уточнение параметров математической модели обычно выполняется при проведении натурных экспериментов получением экспериментальных данных и последующей идентификацией. Однако, полученные экспериментальные данные (представленные, как правило, в цифровом виде) обычно содержат случайные колебания, причем измеряемый сигнал является низкочастотным, а помеха является его высокочастотной составляющей. Таким образом, задача уточнения параметров математической модели разбивается на две подзадачи: первой является фильтрация полезного сигнала, второй — идентификация.

В анализе временных рядов используются разнообразные методы фильтрации полезного сигнала, такие как сглаживание средними, медианами

и полиномами по временному окну, экспоненциальное сглаживание, использование различных фильтров с конечной или бесконечной импульсными характеристиками и др. [1]. Критерием пригодности метода служит наименьшее уширение (размытие) полезных (соответствующих дефектам) пиков и наибольшее подавление шумовых пиков.

В качестве примера приведем результаты фильтрации входного (напряжение) и выходного (угловая скорость) сигналов подаваемого и снимаемого с двигателя постоянного тока ЕЛПРОМ-ТРОЯН 21МВН-2-К, используемого в качестве привода планарного сканера, применяемого для точного измерения параметров антенных устройств.

«Пульсации» помехи входного воздействия обусловлены ШИМ-сигналом управления, подаваемого на двигатель. Помехи в выходном сигнале вызваны работой энкодера двигателя, снимающего данные, передаваемые по цепям питания.

На ниже представленных рисунках приведены полученные результаты работы алгоритма фильтрации при разных значениях параметра b для выходного сигнала: на рис. 1 для $b = 0,1$ (а), для $b = 0,5$ (б),

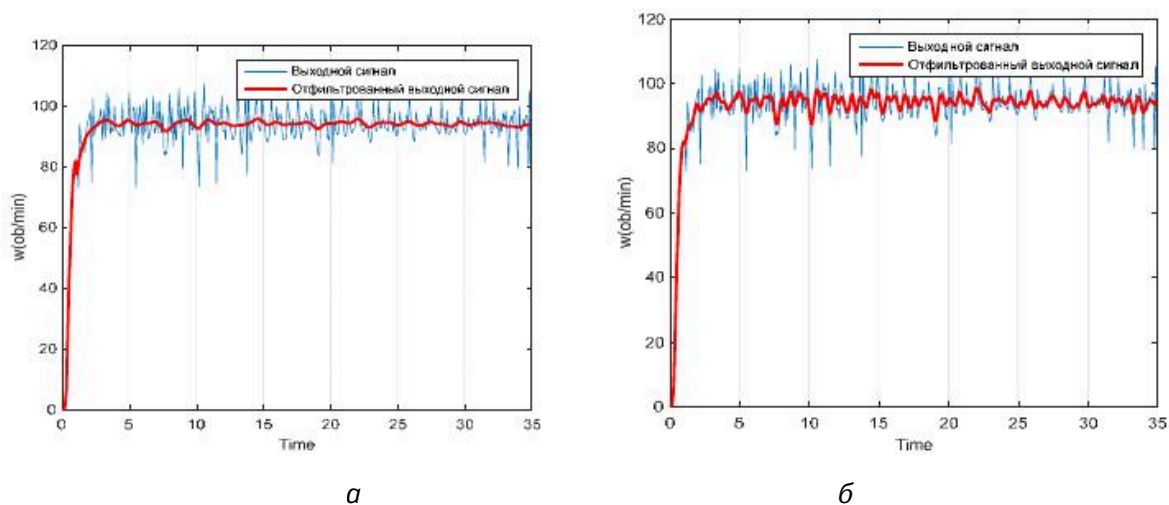


Рис. 1. Реакция системы (исходный и отфильтрованный сигналы):

a — при $b = 0,1$; $б$ — при $b = 0,5$

Параметр b определяет эффективную ширину окна усреднения данных. При больших значениях b происходит уширение и уменьшение амплитуды пиков. При маленьких значениях b не будут подавляться узкие шумовые пики. Для сглаживания использовался метод LOWESS (LOcally-WEighted Scatterplot Smoothing), основанный на локально-взвешенном усреднении данных. [2]. Суть этого метода заключается в следующем. Сглаженное значение $y^s(x_t)$ в точке x_t для исходной последовательности $y(x)$ вычисляется как взвешенное среднее всех y_i с весами $w(x_i, x_t)$:

$$y^s(x_t) = \frac{\sum_{i=1}^n w(x_i, x_t) \cdot y(x_i)}{\sum_{i=1}^n w(x_i, x_t)}, \quad (1)$$

где n — число точек последовательности $y(x)$; $y(x_i)$ — значение исходного сигнала в точке x_i ; $w(x_i, x_1), w(x_i, x_2), \dots, w(x_i, x_n)$ — набор весовых коэффициентов для точки x_t , экспоненциально убывающих с ростом расстояния от x_t до x_i .

Весовые коэффициенты рассчитываются следующим образом:

$$w(x_i, x_t) = e^{-\frac{(x_i - x_t)^2}{b^2}}, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$; b — параметр алгоритма сглаживания.

На рис. 2 представлен график входного воздействия с высокочастотной помехой. На рис. 3 представлен график реакции объекта.

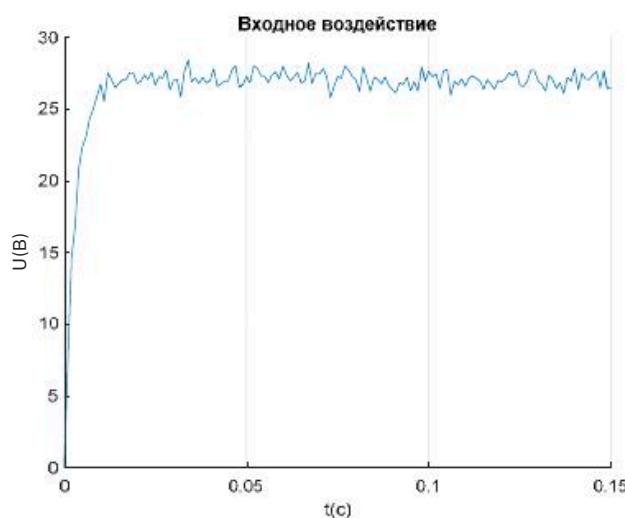


Рис. 2. График входного воздействия с высокочастотной помехой

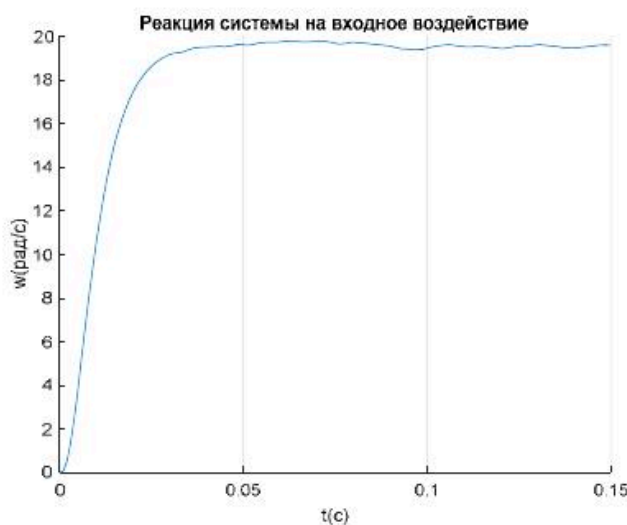


Рис. 3. График реакции объекта

Как видно из приведенных на рис. 3 измеренных значений угловой скорости двигателя, ввиду его инерционных свойств, «пульсации» становятся

минимальными, двигатель работает как фильтр низких частот. Идентификацию параметров математической модели, наилучшим образом описывающей динамику привода сканера, выполним с использованием специализированных средств MATLAB, таких как System Identification Toolbox.

Рассмотрим различные варианты математической модели, описывающие заданный объект управления. Под математической моделью будем понимать вид передаточной функции. Исследуемыми моделями передаточных функций являются (представленные данные эмпирические, возможны другие значения параметров передаточных функций, параметры передаточных функций взяты исходя из значений, полученных по паспортным данным на двигатель [3]):

$$W(s) = \frac{30.6s + 6.962 \cdot 10^4}{0.015s^4 + 0.215s^3 + 10.9s^2 + 25.9s + 49.7}; \quad (1)$$

$$W(s) = \frac{9.74 \cdot 10^4}{s^2 + 1050s + 1.345 \cdot 10^5};$$

$$W(s) = \frac{94.93}{s + 130.9};$$

$$W(s) = \frac{0.7246}{0.007s + 1} \exp(-0.00079s);$$

$$W(s) = \frac{0.7246}{(0.007s + 1)(0.0015s + 1)} \exp(-0.003s).$$

Выбор двух последних моделей был обусловлен наличием возможной «транспортной задержки». Фильтрация выходного сигнала не производилась, ввиду работы двигателя в качестве фильтра низких частот. На рис. 4 приведены сравнительные результаты, полученные от приведенных экспериментов с различными типами математических моделей.

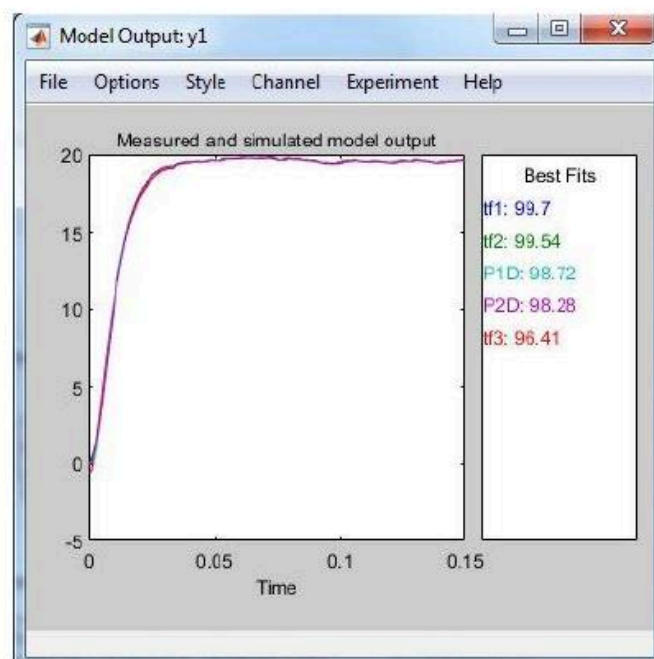


Рис. 4. Варианты моделей, построенных с помощью System Identification Toolbox

Сравнение результатов, полученных от приведенных экспериментов, показывает (рис. 5), что моделью, наилучшим образом описывающей динамику объекта управления, является модель *tf1*, поэтому для описания объекта управления выберем ее [4].

Литература

- [1] Мусалимов В.М., Калапышина И.И., Нуждин К.А. *Идентификация динамических систем фрикционного взаимодействия* (MATLAB). Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 2017, 143 с.
- [2] Улахович Д.А. *Введение в цифровую обработку сигналов*. Москва, Изд-во Инфра-Инженерия, 2023, 436 с.
- [3] Cohen R. An introduction to PROC LOESS for Local Regression. Proceedings of the 24th SAS Users Group International Conference (SUGI), 1999, pp. 1584–1592.
- [4] Герман-Галкин С.Г. *Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных устройств на ПК*. Санкт-Петербург, Корона-Век, 2008, 368 с.

Identification and filtering “smoothing” of experimental data for the construction of a mathematical model of the drive of the planetary scanner

Evteeva D.M. meowwoww@rambler.ru
Kornyushin Y.P. theroland@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The issues of data identification and filtering for creating a mathematical model of a drive used in high-precision positioning systems, for example, for solar panels and antenna installations, are considered. Signal filtering methods are presented, such as smoothing using the LOWESS method, which effectively reduces high-frequency noise. The results of filtration and a comparative analysis of mathematical models of the drive are shown, which made it possible to choose the optimal model for the subsequent synthesis of the regulator.

Keywords: identification, filtering, mathematical model, control systems, control object, drive