

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕРВОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Коптюга 1, Россия
kotov@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (383) 333-26-25

Ключевые слова: *испытательный стенд, сервопривод, идентификация*

Abstract

This paper describes the test bench, designed to obtain the basic characteristics and identification of parameters of servo mathematical model based on experimental data. The results of experiments with small-size servos and comparative analysis of the data are presented.

Введение

Малогабаритные быстродействующие сервоприводы используются в современных высокоточных системах управления подвижными объектами: рулевыми системами летательных аппаратов, автоматическими манипуляторами, роботами с подвижными элементами конструкции и др.

Для корректного выполнения процедуры синтеза системы управления таких объектов необходима информация о параметрах и структуре математического описания сервопривода. В отличие от предоставляемых производителем численных значений параметров сервопривода адекватная математическая модель позволяет провести анализ управляемости и устойчивости разрабатываемой системы, а также вычислить спектр необходимых характеристик, таких как: время переключения и вращающий момент вала, частотные характеристики под статической и динамической нагрузкой и пр.

В работе [1] решена задача определения спектра необходимых характеристик сервопривода, а также разработки и идентификации полноценного математического описания сервопривода на основе экспериментальных данных, полученных на созданном испытательном стенде.

В данной работе показано, что для более точного описания переходных процессов во всем доступном рабочем диапазоне переключения вала целесообразно использовать нелинейное математическое описание привода.

1 Описание испытательного стенда

Схема испытательного стенда, позволяющего проводить измерения момента удержания статической или переменной нагрузки на валу, статической ошибки, энергопотребления и частотных характеристик привода, представлена на рисунке 1.

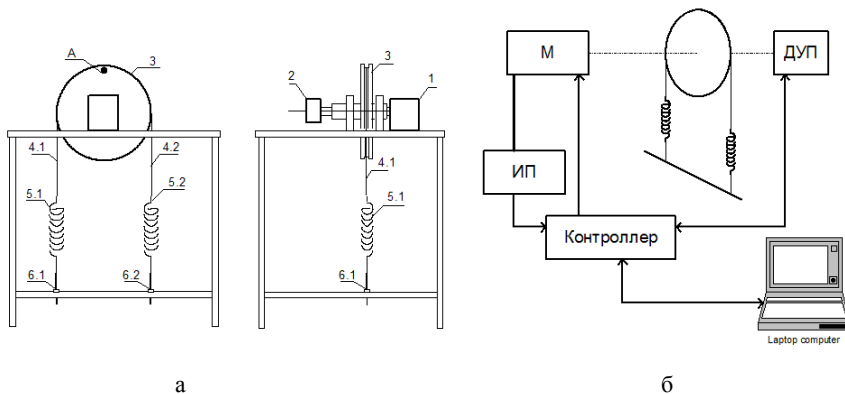


Рисунок 1 – Испытательный стенд: а – схематическое изображение; б – функциональная схема

Привод 1 закреплен на неподвижной горизонтальной поверхности и связан посредством несущей втулки с датчиком углового положения 2. Втулка закреплена в двух шарикоподшипниках и обеспечивает передачу вращающего момента на сменный шкив 3. В точке А шкива закреплены тросики 4, позволяющие передавать статический или переменный момент на шкив. Для возможности установки нужного натяжения пружин 5 предусмотрены подстроечные винты 6, рисунок 1а.

Функциональная схема испытательного стенда приведена на рисунке 1б. С выхода контроллера управляющий сигнал (ШИМ) поступает на привод М. Поворот вала регистрируется датчиком угловых перемещений (ДУП). Также выполняется измерение падения напряжения на токовом шунте, включенном в цепь источника питания (ИП) привода, что позволяет оценить среднее значение тока или энергопотребление в цепи питания привода.

2 Описание сервопривода

Структурная схема сервопривода, а также уравнения, описывающие процессы в двигателе постоянного тока с независимым возбуждением и в замкнутой системе с П-регулятором приведены в работе [1].

Уравнения замкнутой системы в операторной форме имеют вид:

$$\begin{cases} \omega = \frac{rK_d^2}{T_m p} (M - M_c), \\ M = \frac{1/K_d r}{T_\gamma p + 1} \left(U - \frac{1}{K_d} \omega \right); \\ \varphi = \frac{n\omega}{p}; \\ U = K_p (\varphi_r - \varphi). \end{cases}$$

Здесь r – полное активное сопротивление якорной цепи (Ом); ω – механическая угловая скорость вращения ротора (рад/с); M – момент вращения, создаваемый двигателем (Н·м); M_c – момент статического сопротивления нагрузки, приведенный к валу двигателя (Н·м); $K_d = K\Phi$ (рад/(В·с)), где K – безразмерный конструктивный коэффициент двигателя, Φ – магнитный поток возбуждения двигателя, создаваемый постоянным магнитом (Вб); T_m – электромеханическая постоянная времени привода (с); T_γ – электромагнитная постоянная времени якорной цепи (с); U – напряжение на обмотке якоря двигателя (В); φ – угол поворота выходного вала

сервопривода (рад); n – передаточное число редуктора; K_p – коэффициент усиления регулятора (В/рад); φ_r – желаемое значение угла поворота выходного вала (рад).

Решив уравнения (1)-(3) относительно φ , получим:

$$\varphi(p) = \frac{\varphi_r(p) - r \frac{K_d}{K_p} (T_\gamma p + 1) M_c}{H_1(p)},$$

где

$$H_1(p) = T_\gamma T_M T_c p^3 + T_M T_c p^2 + T_c p + 1,$$

$$T_c = \frac{1}{n K_d K_p}.$$

Напряжение U на обмотке якоря двигателя не может превышать некоторого максимального значения U_{max} , например, равного напряжению питания внешнего источника. Ограничение сигнала управления U в системе обеспечивается нелинейным звеном с единичным коэффициентом усиления и ограничением, рисунок 2.

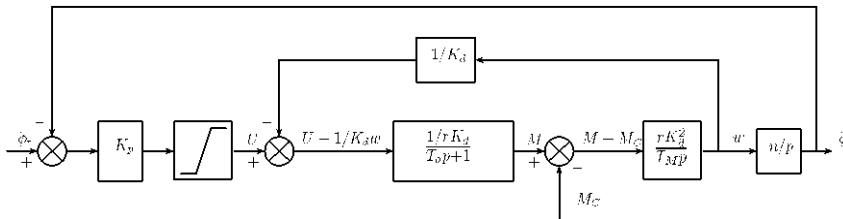


Рисунок 2 – Структурная схема сервопривода

В случае $|U| < U_{max}$ поведение системы определяется уравнением (4), в случае $|U| \geq U_{max}$ управляющий сигнал, поступающий на привод, не зависит от угла φ и переходные процессы привода определяются уравнением (1), при $U = \pm U_{max}$. Решив (1) относительно ω , с учетом (2), получим:

$$\varphi(p) = \frac{\frac{U_{max}}{K_p} - r \frac{K_d}{K_p} (T_\gamma p + 1) M_c}{H_1(p) - 1},$$

Характеристический полином системы $H_1(p)$ задает динамические свойства системы сервопривода.

Идентификация параметров модели (4), (7) выполнена посредством измерения отклика системы на входное воздействие в виде ступенчатой функции.

В качестве полинома $H_1(p)$ используется характеристический полином на базе бинома Ньютона:

$$H_1(p) = (p + \omega_0)^n,$$

где $\omega_0 > 0$ – параметр полинома.

В данном случае полином $H_1(p)$ имеет кратные вещественные отрицательные корни, $p_i = -\omega_0$, что обеспечивает монотонный переходный процесс без перерегулирования. Сравнение

(5) и (8) позволяет получить постоянные времени системы: $T_M = 1/\omega_0$, $T_c = 3/\omega_0$, $T_\gamma = 1/3\omega_0$ [1]. Постоянные времени T_γ , T_M , T_c определяются на испытательном стенде.

3 Экспериментальные результаты

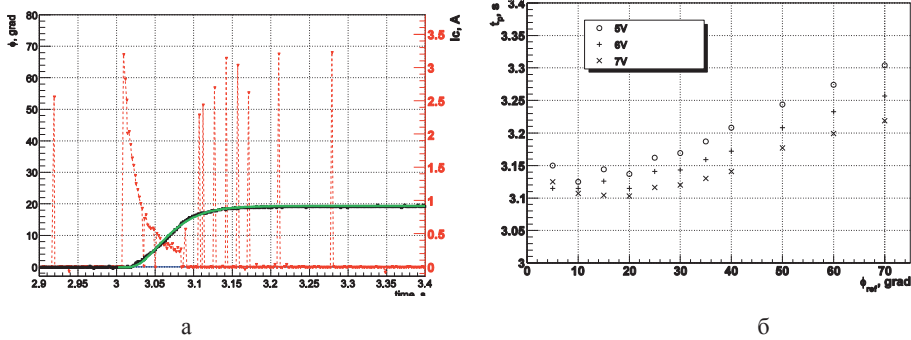


Рисунок 3 – Переходная характеристика и ток (а), время реального переходного процесса в зависимости от задающего воздействия (б)

На рисунке 3а показаны результаты аппроксимации (сплошная кривая) экспериментальной переходной характеристики (точечная кривая) и величина потребляемого тока (пунктирная кривая) в функции времени при подаче ступенчатого воздействия $\varphi_r = 20^\circ$, изменяющегося скачкообразно в момент времени $t = 3.0$ с. Величина полного запаздывания при отработке входного воздействия непостоянна и составляет 15-20 мс.

В работе [2] показано, что в определенном диапазоне изменения угла поворота выходного вала привода правомерным является использование линейной модели привода (4), построенной на базе полинома $H_i(p)$ при $n = 3$. Диапазон изменения угла φ , в этом случае, соответствует постоянству реального времени переходного процесса и не охватывает весь рабочий диапазон привода, рисунок 3б.

Воспользуемся нелинейной структурой привода, задаваемой уравнениями (4) и (7). Для оценки величины запаздывания введен дополнительный параметр T_d , соответствующий простому сдвигу переходной характеристики по времени. Параметр k описывает амплитуду входного воздействия и является масштабирующим множителем переходной характеристики. При этом значения параметров ω_0 , и T_d получены из требования наилучшего приближения к реальной переходной характеристике, методом наименьших квадратов. Значения полученных параметров и величина

$$G^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\left(h_{\text{exp}}(t_i) - h_{\text{teor}}(\omega_0, T_d, t_i) \right) \right]^2,$$

характеризующая отклонение теоретической переходной характеристики h_{teor} от реальной h_{exp} для дискретных моментов времени t_i , сведены в таблицу 1 (величина G^2_{nonlin}).

Таблица 1

φ_r	k	t_{min}	T_d	G^2_{lin}	G^2_{nonlin}
5.	4.85	3.150	3.000	0.076	0.059
10.	9.49	3.125	3.000	0.036	0.026
15.	14.64	3.144	3.002	0.056	0.059
20.	19.46	3.137	3.012	0.048	0.058
25.	24.61	3.162	3.021	0.197	0.064
30.	29.89	3.169	3.025	0.719	0.068
35.	34.84	3.187	3.025	3.355	0.067
40.	40.06	3.208	3.025	10.117	0.089
50.	51.41	3.244	3.025	43.802	0.054
60.	61.90	3.274	3.025	106.752	0.067
70.	71.79	3.304	3.025	206.274	0.079

Для сравнения в таблице 1 приведены результаты аппроксимации переходной характеристики с использованием только линейной модели (4) – величина G_{lin}^2 . Из полученных результатов видно, что нелинейная модель (4), (7) хорошо описывает переходные процессы во всем доступном диапазоне изменения угла поворота выходного вала привода. Величина среднеквадратичного отклонения между моделью и экспериментальными данными составила около 5%.

Для исследования полученной нелинейной системы могут быть использованы методы анализа релейных систем приводов [3].

Заключение

Экспериментальные результаты показали, что для описания переходных процессов во всем доступном рабочем диапазоне перекладки вала сервопривода целесообразно использовать нелинейную математическую модель.

Представленная математическая модель сервопривода и испытательный стенд нашли применение при создании модели летательного аппарата.

Список литературы

- [1] К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Разработка и идентификация модели сервопривода на основе экспериментальных данных // Автометрия, 2013. Т.49, №6. С. 42-50.
- [2] К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Стенд для разработки и идентификации моделей сервоприводов // Индустриальные информационные системы – ИИС-2013. Всероссийская конференция (Новосибирск, 24-28 сентября 2013 г.): Сборник тезисов докладов / Новосибирск, КТИ ВТ СО РАН, 2013. С. 33-34.
- [3] В.А. Елисеева, А.В. Шинявский. Справочник по автоматизированному электроприводу. М.: Энергоатомиздат, 1983. 616 с.