

Н.Н. Гурский, Ю.А. Скудняков
РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОСТРОЕНИЯ 3D ОБЪЕКТОВ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Разработана роботизированная система (РС) создания 3D объектов. РС состоит из исполнительной и управляющей частей. Первая часть включает механические звенья и электрический привод с двигателями постоянного тока, вторая представляет собой блок автоматического управления процессом построения 3D объекта. В качестве математической модели работы РС используется система дифференциальных уравнений, программная реализация которой реализована в среде Matlab-Simulink.

Ключевые слова: роботизированная система; 3D объекты; механизмы позиционирования; система дифференциальных уравнений; электропривод; аддитивный процесс.

В данной работе в качестве РС используется программно-управляемый 3D принтер, позволяющий создавать трехмерные физические объекты (3D объекты). В основе технологии построения 3D объектов лежит метод послойного создания (выращивания) твердой модели, применение которого по сравнению с традиционными способами позволяет обеспечить более высокую скорость, простоту и низкую стоимость создания трехмерных объектов.

Рассматриваются основные принципы аддитивной технологии изготовления деталей методом наплавления и схемное решение управления узлами исполнительного электромеханического устройства на базе двухзвенного механизма, являющегося достаточно эффективным устройством и составляющим основу известных робототехнических средств типа Scara.

Математическая модель 3D принтера включает уравнения для решения прямой и обратной задач кинематики, а также систему дифференциальных уравнений, учитывающих особенности механических движений звеньев и электрического привода с помощью двигателей постоянного тока.

Схема двухзвенного механизма и его основные параметры приведена на рис. 1.

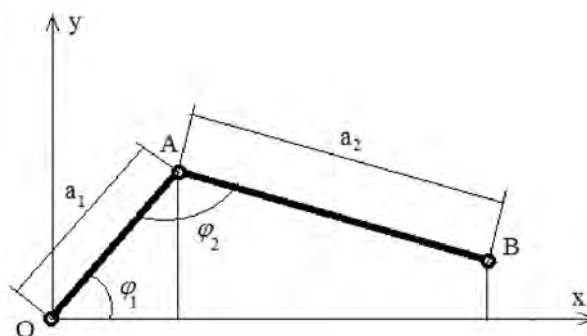


Рис. 1. Схема двухзвенного механизма

Связь параметров рассматриваемого механизма описывается следующими математическими соотношениями:

СЕКЦИЯ 4.2 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ)

$$\left. \begin{aligned} x_A &= a_1 \cdot \cos \varphi_1, \\ y_A &= a_1 \cdot \sin \varphi_1, \\ x_B &= x_A + \sqrt{a_2^2 - (y_A - y_B)^2}, \\ \varphi_2 &= -\varphi_1 - \arccos\left(\frac{x_B}{a_2}\right). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В качестве исполнительных устройств, обеспечивающих позиционирование звеньев используются электроприводы с двигателями постоянного тока [1]. Схема управления двигателем в контексте одного звена приведена на рис. 2. Принятые здесь обозначения соответствуют переменным, используемым для описания математической модели (2) электропривода одного звена.

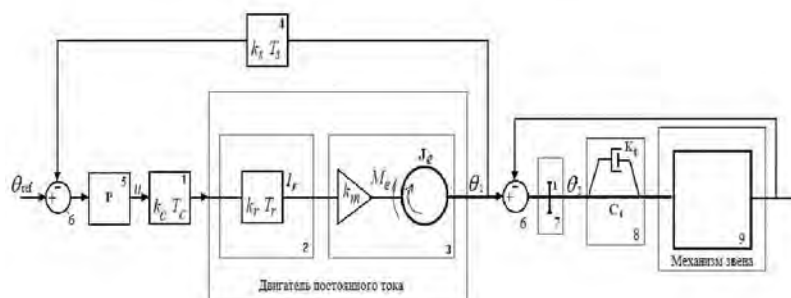


Рис. 2. Структурная схема электропривода звена принтера

Система уравнений движения электромеханической системы [2-3] одного звена с электрическим приводом постоянного тока с учетом диссипации энергии в подшипниках привода, в том числе типа сухого трения, а также нелинейных упруго-диссипативных свойств соединительной муфты с редуктором, имеют вид:

$$\left\{ \begin{aligned} T_c \dot{E}_c + E_c - k_e u &= 0, \\ T_r \dot{I}_r + I_r - k_r E_c + k_e k_r \dot{\theta}_1 &= 0, \\ J_1 \ddot{\theta}_1 + (B_1 \dot{\theta}_1 + \bar{M}_{31} \operatorname{sgn} \dot{\theta}_1) + M_L &= M_e, \\ J_2 \ddot{\theta}_2 + (B_2 \dot{\theta}_2 + \bar{M}_{32} \operatorname{sgn} \dot{\theta}_2) - M_L &= M_c, \\ T_s \dot{U}_s + U_s - k_s \theta_1 &= 0, \\ M_e &= k_e I_r, \\ M_L &= c_{tr} (\theta_1 - i\theta_2) + k_{tr} (\dot{\theta}_1 - i\dot{\theta}_2), \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$t \geq t_0 : \begin{aligned} E_c(t_0) &= E_{c0}, \quad I_r(t_0) = I_{r0}, \\ \theta_1(t_0) &= \theta_{01}, \quad \dot{\theta}_1(t_0) = \dot{\theta}_{01}, \\ \theta_2(t_0) &= \theta_{02}, \quad \dot{\theta}_2(t_0) = \dot{\theta}_{02}, \\ U_s(t_0) &= U_{s0}, \end{aligned}$$

где

$$k_r = \frac{1}{R_r}, \quad T_r = \frac{L_r}{R_r}, \quad L_r = L'_r + L_m,$$

k_c – коэффициент усиления усилителя-преобразователя; T_c – постоянная времени усилителя-преобразователя, c ; k_r – коэффициент усиления двигателя; T_r – постоянная времени двигателя,

СЕКЦИЯ 4.2 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ)

c ; k_e – паспортный параметр двигателя, характеризующий его способность преобразовывать ток ротора в крутящий момент; R_r – сопротивление ротора двигателя, Ом; L_r' – индуктивность ротора, Гн; L_m – взаимная индукция, Гн; M_L – нагрузочный момент двигателя, Нм; M_c – нагрузочный момент редуктора, Нм; J_1 – момент инерции ротора электродвигателя с присоединенными массами, кг·м²; J_2 – момент инерции редуктора и механизма звена, кг·м²; $\theta_1, \dot{\theta}_1, \ddot{\theta}_1$ – угол, скорость, ускорение поворота двигателя; $\theta_2, \dot{\theta}_2, \ddot{\theta}_2$ – угол, скорость, ускорение поворота редуктора; k_s – коэффициент усиления датчика; T_s – постоянная времени датчика, с; M_e – крутящий момент двигателя, Нм; c_r – угловая жесткость упругой муфты, соединяющей электродвигатель и редуктор Нм/рад; k_r – коэффициент диссипации энергии в соединительной муфте Нм рад/с; i – передаточное отношение редуктора; B_1 – коэффициент диссипации энергии в опорах двигателя Нм рад/с; B_2 – коэффициент диссипации энергии в опорах редуктора Нм рад/с; \bar{M}_{31} – сухое трение в опорах двигателя в статическом положении Нм рад/с; \bar{M}_{32} – сухое трение в опорах редуктора в статическом положении Нм рад/с; I_r – ток ротора электродвигателя, А; E_c – напряжение на выходе тиристорного преобразователя, В; U_s – выходной сигнал датчика; u – выходной сигнал регулятора.

Имитационная модель 3D принтера и его программная реализация выполнены в среде Matlab-Simulink с помощью блоков стандартной библиотеки и библиотек SimMechanics, Simulink 3DAnimation в соответствии с обобщенной схемой, показанной на рис. 3. Как видно, по координатное считывание точек цифровой модели изготавливаемой детали поддерживается функцией GetPoint через заданные временные интервалы. Для контроля координаты выводятся на экран, а далее поступают в блок BackCalc (решатель обратной задачи), в котором по формулам (1) вычисляются желаемые значения углов поворотов двигателей звеньев, доставляющих позиционирование экструдера в заданную точку.

Позиционирование обеспечивают условные блоки двухзвенного механизма, представленные в правой части рис. 3. Развернутая Simulink модель каждого звена имеет вид, показанный на рис. 4. На рис. 3 приведен также блок BlokAnimation, позволяющий визуализировать движения основных узлов модели 3D принтера с помощью библиотеки Simulink 3DAnimation.

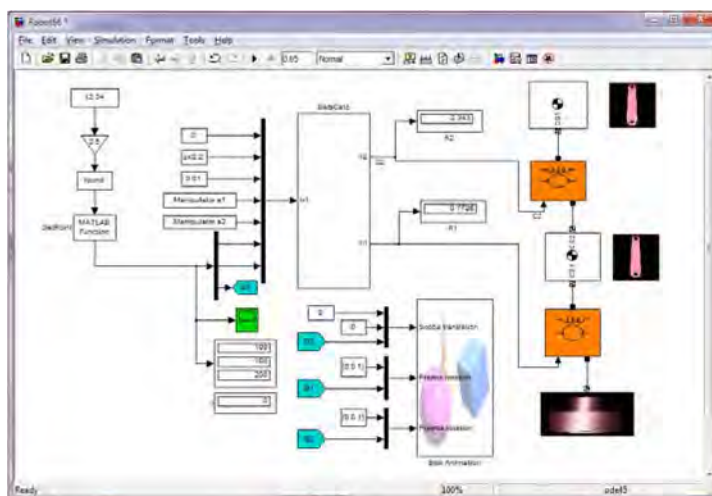


Рис. 3. Имитационная модель 3D принтера

СЕКЦИЯ 4.2 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ)

Блок электрического двигателя Engine включает систему уравнений (2). Simulink-модель данного блока приведена в работе [2].

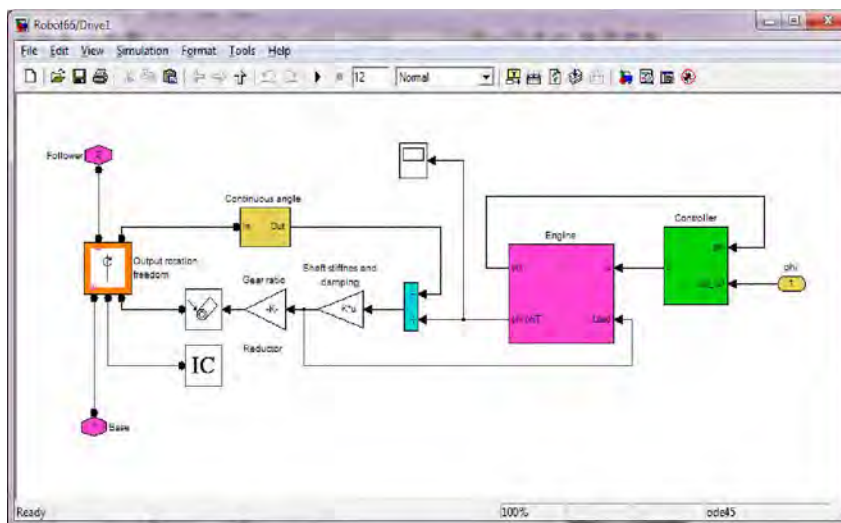


Рис. 4. Simulink модель управления одним звеном

Выводы

Использование результатов разработки позволяет существенно сэкономить временные, энергетические, материальные и трудовые ресурсы, повысить качество создаваемых объектов различного назначения.

Библиографический список

1. Фираго, Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2007.
2. Гурский, Н.Н. Имитационная модель управления движением большегрузной машины с электроприводом постоянного тока / Н.Н. Гурский, М. Нажжарин // Системный анализ и прикладная информатика. – 2015. – № 2 – С. 27–30.
3. Гурский, Н.Н. Моделирование процессов управления электромеханической трансмиссией колесного трактора / Н.Н. Гурский, А.В. Пашенко, И.Н. Жуковский // Наука и техника. – 2014. – № 2. – С. 41–45.

N.N. Hurski, Y.A. Skudnyakov

ROBOTIC SYSTEM BUILD 3D OBJECTS

Belarusian national technical University, Minsk

Belarusian state University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The developed robotic system (RS) create 3D objects. RS consists of the executive and control parts. The first part consists of mechanical links and electrical drive with DC motors, the second is a block of automatic control of the process of building a 3D object. A mathematical model the PC uses a system of differential equations, the software implementation which is implemented in Matlab-Simulink.

Keywords: robotic system; 3D objects; the positioning mechanisms; differential equations; electric drive; an additive process.