

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ BRIEF REPORTS

УДК 621.33

DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-3-304-308

Режимы управления двигателем постоянного тока с замкнутым контуром в высокоточных системах позиционирования

А.В. Щагин, Ёе Наунг, Зо Мин Кхаинг

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, Россия*

acs@miee.ru

Основные проблемы 3D-принтера – время печати и точность. Для высокой точности положения вала двигателя и решения проблемы недостающего шага необходимо вместо шагового двигателя использовать двигатель постоянного тока. В работе предложена структурная схема управления положением вала двигателя постоянного тока с замкнутым контуром. Осуществлено управление положением вала двигателя постоянного тока с использованием микроконтроллера Atmega328, драйвера L293D и энкодера. Применение двигателя постоянного тока с замкнутой системой управления в 3D-принтере устраняет проблему «пропущенного шага», повышает точность и динамические характеристики системы, снижает уровень шума при работе 3D-принтера.

Ключевые слова: система управления; двигатель постоянного тока; микроконтроллер; энкодер

Для цитирования: Щагин А.В., Ёе Наунг, Зо Мин Кхаинг. Режимы управления двигателем постоянного тока с замкнутым контуром в высокоточных системах позиционирования // Изв. вузов. Электроника. – 2018. – Т. 23. – № 3. – С. 304–308. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-3-304-308

Control Method of DC Motor with Closed Loop System of Precision Positioning System

A.V. Shagin, Ye Naung, Zaw Min Khaing

National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia

acs@miee.ru

Abstract: The printing time and accuracy are the main problems of a 3D printer. To obtain the high accuracy of the position of the motor shaft and to solve the problem of the missing step, it is necessary to use a DC motor instead of a stepper motor. In this study a block diagram for controlling the position of the DC motor shaft with a closed loop has been proposed, and controlling the position of the DC motor shaft, using the Atmega328 microcontroller, the L293D driver and the encoder, has been executed. The use of a DC motor with a closed control system in a 3D printer eliminates the «missing step» problem, improves the accuracy and dynamic characteristics of the system, and, also

reduces the noise level when operating a 3D printer.

Keywords: control system; DC motor; microcontroller; encoder

For citation: Shagin A.V., Ye Naung, Zaw Min Khaing. Control method of DC motor with closed loop system of precision positioning system. *Proc. Univ. Electronics*, 2018, vol. 23, no. 3, pp. 304–307. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-3-304-308

В настоящее время 3D-принтеры широко используются для изготовления моделей из пластика посредством послойного нанесения материала построения на генерируемую модель объекта. Точность воспроизведения модели существенно зависит от качества системы позиционирования и приводов управления [1]. Существует много проблем, связанных с двигателями, в частности шаговыми. Если шаговый двигатель пропускает шаг, то весь слой печати (и каждый последующий слой) будет изменен. Эта проблема возникает при использовании системы управления шаговым двигателем с разомкнутым контуром управления. На практике при построении точных систем позиционирования чаще используются двигатели постоянного тока, которые быстрее, мощнее и дешевле шаговых. В силу их динамических характеристик и высокой эффективности они находят применение в большинстве роботов на сборочных конвейерах. Таким образом, проблему «недостающего шага» в 3D-принтерах можно решить за счет двигателей постоянного тока с замкнутым контуром цифрового управления и энкодеров.

Рассмотрим решение задачи управления позиционированием 3D-принтера с использованием двигателей постоянного тока. Для создания математической модели необходимо составить систему дифференциальных уравнений, описывающую работу электропривода. Используя систему дифференциальных уравнений как частный случай, можно получить уравнение для статических режимов, приравняв производные функций к нулю [2].

Математическая модель электрической машины любого типа состоит из уравнений электрического равновесия всех контуров и уравнения движения ротора. Физическими параметрами двигателя постоянного тока являются момент инерции ротора J ; демпфирование (трение) механической системы b ; постоянная электромоторной силы K ; сопротивление R ; индуктивность L .

Момент двигателя T связан с током якоря I выражением $T = KI$.

ЭДС якоря V_b связана с угловой скоростью K_ω следующим образом:

$$V_b = K_\omega = K \frac{d}{dt}.$$

На основе закона Ньютона в сочетании с законом Кирхгофа запишем:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} = KI, \quad (1)$$

$$L \frac{dI}{dt} + RI = V - K \frac{d\theta}{dt}. \quad (2)$$

С помощью метода преобразования Лапласа уравнений (1) и (2) получим

$$Js^2\theta(s) + bs\theta(s) = KI(s), \quad (3)$$

$$LsI(s) + RI(s) = V(s) - Ks\theta(s). \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует:

$$I(s) = \frac{V(s) - Ks\theta(s)}{R + Ls}. \quad (5)$$

Подставив (5) в уравнение (3), получим

$$Js^2\theta(s) + bs\theta(s) = K \frac{V(s) - Ks\theta(s)}{R + Ls}. \quad (6)$$

Из уравнения (6) непосредственно следует, что передаточная функция от входного напряжения $V(s)$ в угол выхода $\theta(s)$ определяется выражениями :

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s[(R+Ls)(Js+b)+K^2]}, \quad (7)$$

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{(R+Ls)(Js+b) + K^2}. \quad (8)$$

Используя уравнение (8), нетрудно составить Simulink-модель двигателя. Значения параметров двигателя следующие: $L = 0,0052$ Гн; $R = 2$ Ом; $J = 1,5$ Кг·м²; $b = 1$ Н·м/(рад/с); $K = 0,1$ В/(рад/с). Наброс нагрузки проводится в момент времени 2 с, момент нагрузки равен 1,75 Н·м.

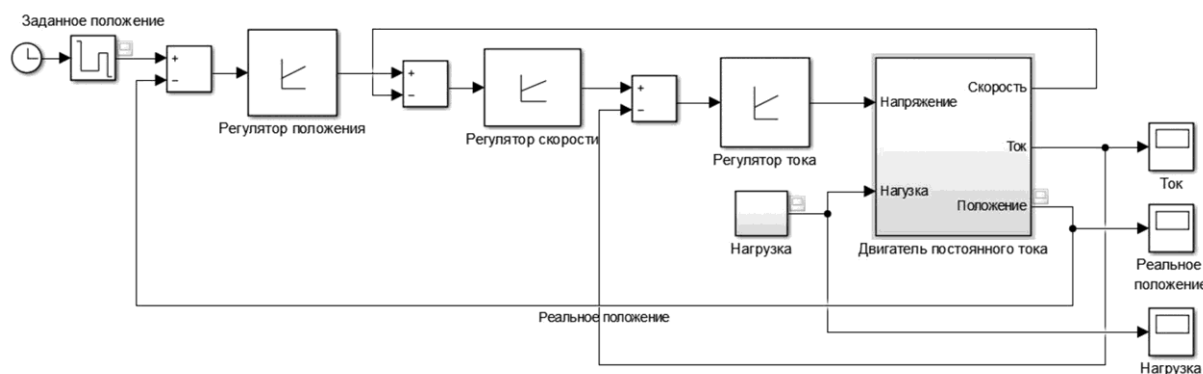


Рис.1. Моделирование управления положением по оси X 3D-принтера с использованием двигателя постоянного тока с замкнутым контуром в среде Simulink
Fig.1. Modeling of the position control of X axis of a 3D printer using a DC motor with a closed loop system in the Simulink environment

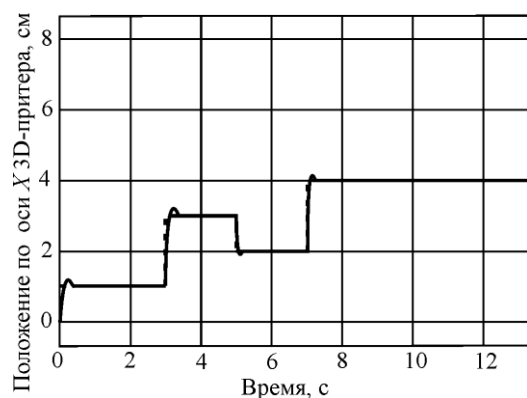


Fig.2. Simulation results

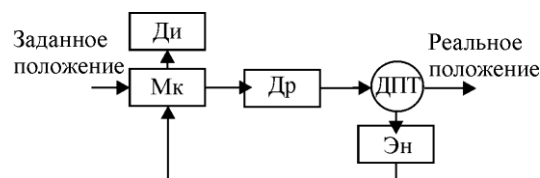


Рис.3. Структурная схема управления двигателем постоянного тока с замкнутым контуром: Мк – микроконтроллер; Др – драйвер; Ди – LCD-дисплей; ДПТ – двигатель постоянного тока; Эн – энкодер (датчик угла)

Пропорционально-интегральный регулятор автоматически стабилизирует скорость и положение вращения двигателя. Для корректного регулирования скорости вращения двигателя необходимо подбирать коэффициенты для каждого типа двигателей. Значения коэффициентов пропорционально-интегрального регулятора: $K_{pl} = 16$, $K_{il} = 100$ (для регулятора положения); $K_{pw} = 1,1700$, $K_{iw} = 527$ (для регулятора скорости); $K_{pt} = 1,3800$, $K_{it} = 5880$ (для регулятора тока).

Во многих регуляторах положения используются двигатели постоянного тока. При этом, чтобы получить хорошие динамические характеристики, регулятор скорости и тока подчинены регулятору положения. Схема моделирования управления положением по оси X 3D-принтера с использованием двигателя постоянного тока с замкнутым контуром и результаты моделирования представлены на рис.1 и 2. На рис.3 приведена структурная схема управления двигателем постоянного тока с замкнутым контуром.

В предложенном решении для управления двигателем постоянного тока с замкнутым контуром используются микроконтроллер Atmega329, драйвер L298N, LCD-дисплей и энкодер (датчик угла). Программирование микроконтроллера Atmega328 осуществляется на языке Си. Таким образом, применение двигателя постоянного тока с замкнутой системой управления в 3D-принтере позволяет решить проблему «пропущенного шага», повысить точность и динамические характеристики системы и снизить уровень шума при работе 3D-принтера.

Литература

1. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов // Вестник МГТУ. – 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 7–12.
2. Кибардин В.В., Ковалева О.А., Язев В.Н. Особенности моделирования системы «тиристорный преобразователь – двигатель» в matlab+simulink // Вестник КрасТАУ. – 2015. – № 6. – С. 82–89.
3. Гавриш П.Е., Михальченко Г.Я. Построение системы управления частотой вращения // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 2 (32). – С. 303–307.
4. Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab7.0.1): учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 320 с.
5. Рымина В.В., Радимов И.Н., Гулый М.В., Кравченко П.А. Усовершенствованная цепно-полевая модель вентильно-реактивного двигателя // Электротехника и электромеханика. – 2010. – №5. – С. 24–26.
6. Isaakidis G., Spiropoulos A., Drakaki M. An educational purpose built three dimensional printer // Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST): 2017 6th International Conference. – 2017. – P. 1–4.
7. Yubin Zhang, Guoyang Cheng. Fast and accurate speed regulation of brushless DC motor servo systems via robust composite nonlinear control // Control Conference (CCC): 2017 36th Chinese. – 2017. – P. 4924–4928.

Поступило 29.12.2017 г.; принято к публикации 27.02.2018 г.

Щагин Анатолий Васильевич – доктор технических наук, профессор Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), acs@miee.ru

Йе Наунг – аспирант Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1)

Зо Мин Кхаинг – аспирант Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1)

References

1. Baeva L.S., Marinin A.A. Sovremennye tekhnologii additivnogo izgotovleniya ob"ektov [Modern technologies of additive manufacturing of objects]. *Vestnik MGTU = Newsletter*, 2014, vol. 17, no. 1, pp. 7–12. (In Russian).
2. Kibardin V.V., Kovaleva O.A., Yazev V.N. Osobennosti modelirovaniya sistemy «tiristornyy preobrazovatel' – dvigatel'» v matlab+simulink [The features of simulation of the system “thyristor converter – motor” in matlab + simulink]. *Vestnik KrasTAU = The Bulletin of KrasGAU*, 2015, no. 6, pp. 82–89. (In Russian).
3. Gavrish P.E., Mihal'chenko G.Ya. Postroenie sistemy upravleniya chastotoj vrashcheniya [Construction of a speed control system]. *Doklady TUSUR = Reports of TUSUR*, 2014, no. 2 (32), pp. 303–307. (In Russian).

4. Terèhin V.B. *Modelirovanie sistem elektroprivoda v Simulink (Matlab7.0.1): uchebnoe posobie* [Construction of a speed control system. Reports of TUSUR], Tomsk, Izd-vo Tom-skogo politekhnicheskogo universiteta, 2008. 320 p. (In Russian).
5. Rymsha V.V., Radimov I.N., Gulyj M.V., Kravchenko P.A. Usovershenstvovannaya cepno-polevaya model' ventil'no-reaktivnogo dvigatelya [Improved chain-field model of the valve-jet engine]. *Elektrotehnika i Elektromekhanika = Electrical Engineering and Electromechanics*, 2010, no. 5, pp. 24–26. (In Russian).
6. George Isaakidis, Antonis Spiropoulos, Maria Drakaki. An educational purpose built three dimensional printer. *Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST), 2017 6th International Conference*, 2017, pp. 1–4.
7. Yubin Zhang, Guoyang Cheng. Fast and accurate speed regulation of brushless DC motor servo systems via robust composite nonlinear control. *Control Conference (CCC), 2017 36th Chinese*, 2017, pp.4924 – 4928.

Submitted 29.12.2017; Accepted 27.02.2018.

Information about the authors:

Anatoliy V. Schagin – Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), acs@miee.ru

Ye Naung – PhD student of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1)

Zaw Min Khaing – PhD student of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1)