

М. А. Анкуда, ассист.; Н. М. Олиферович, ассист.;  
 Д. С. Карпович, канд. техн. наук., доц.;  
 Н. Н. Бирюкова, магистрант (БГТУ, г. Минск)

## СИНТЕЗ РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

В качестве объекта управления следует рассмотреть приводные устройства системы трехмерного позиционирования исполнительного регулирующего органа В 3D-принтере траекторию движения необходимо отслеживать относительно трех координатных осей, что требует одновременного использования не менее трех приводных устройств. При этом точность перемещения можно обеспечить увеличением возможного количества дискретных положений управляемого элемента на протяжении всей траектории следования либо непрерывным отслеживанием его положения с помощью различных средств измерения и созданием обратных связей по положению.

В качестве исполнительного устройства в нашей следящей системы был выбран шаговый двигатель. В общем случае поведение  $m$ -фазного шагового двигателя описывается системой из  $m + 1$  уравнений, причем  $m$  уравнений являются уравнениями электрического равновесия и одно – уравнением движения ротора [1].

Для подбора настроек регулятора необходимо иметь передаточную функцию шагового двигателя. Поскольку система является нелинейной, то следующей задачей будет линеаризация уравнений, переход к операторной форме и запись передаточной функции шагового двигателя.

Переходный процесс ротора шагового двигателя при каждом шаге учитывается введением непрерывного звена. Передаточная функция такого звена при единичном ступенчатом воздействии может быть определена следующим образом:

$$W(p) = \frac{1}{T^2 p^2 + 2aTp + 1}$$

$$\text{где } T = \frac{1}{\omega_0} = \sqrt{\frac{J}{pM_m}}, \quad a = \frac{9.81 \cdot 10^{-5} M_m}{pI^2 R} \omega_0 k$$

Здесь  $\omega_0$  – собственная частота малых колебаний ротора около положения равновесия;  $p$  – число пар полюсов двигателя;  $M_m$  – максимальный статический синхронизирующий момент двигателя;  $J$  – момент инерции привода;  $k$  – коэффициент, учитывающий демпфирование обмоток шагового двигателя (лежит в пределах от 1 до 2);  $R$  – фазное

сопротивление обмотки двигателя.

Электромагнитные переходные процессы можно учесть передаточной функцией в виде апериодического запаздывания:

$$W(p) = \frac{K}{T_3 p + 1} = \frac{1/R}{\frac{L}{R} p + 1}$$

где  $L$  – индуктивность фазной обмотки двигателя.

Для выбранного следящего привода будем иметь структуру подчиненного управления с двумя контурами регулирования. Внутренний контур будет обеспечивать поддержание тока обмотки статора на требуемом уровне с помощью позиционного регулятора и датчика тока в обмотках. Внешний регулятор будет обрабатывать положение электропривода.

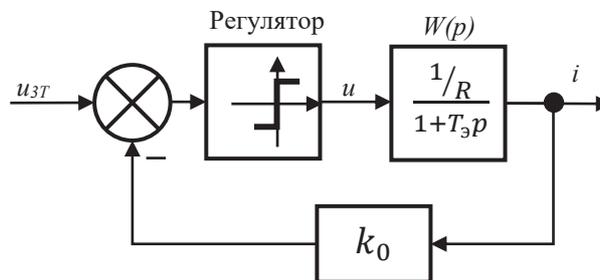


Рисунок 1 - Контур регулирования тока с релейным регулятором

В реальности функцию релейного регулятора тока обрабатывают драйвера с ограничением тока в пределах цикла ШИМ.

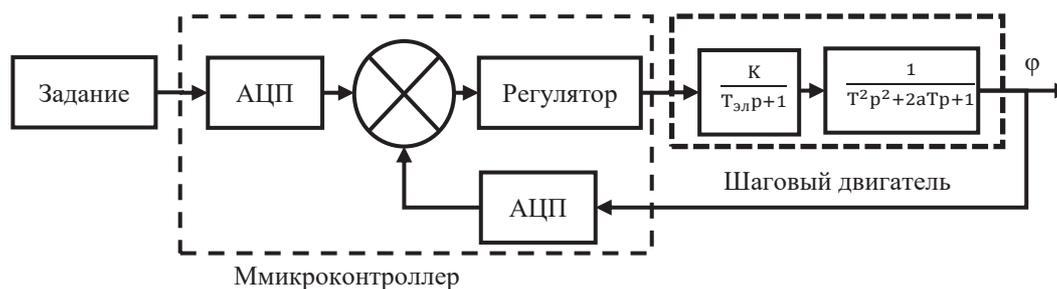
Цель синтеза робастной системы заключается в том, чтобы выходная переменная системы за минимальное время и с требуемой точностью воспроизводила все изменения входного сигнала.

В качестве управляющего устройства будет использоваться микроконтроллер, а значит система управления по своей сути будет цифровой. В таком случае будем иметь дело с цифровым следящим электроприводом на основе шагового двигателя, которой представлен следующей структурной схемой (рис. 2).

Структура содержит цифровой ПИД-регулятор, (рис 2), который отличается от структуры аналогового лишь тем, что операторы дифференцирования и интегрирования в классическом уравнении ПИД-регулятора заменены конечными разностями и конечными суммами.

При наличии цифровой структуры управления, есть возможность использовать цифровую фильтрацию сигнала, применять как классические регуляторы так и на основании нечеткой логики [2].

Выбор коэффициентов настройки ПИД-регулятора – и есть задача поиска такого устройства управления, при котором обеспечивались бы желаемые показатели качества системы.



**Рисунок 2 - Структурная схема цифровой системы управления положением на базе шагового двигателя**

Далее необходимо получить линеаризованную модель, которая будет использоваться для настройки системы управления. Для этого используем пакет Simulink Control Design. Для нахождения оптимальных параметров ПИД-регулятора использовался пакет численной оптимизации Simulink Response Optimization. В результате проведенного моделирования определены оптимальные параметры ПИД-регулятора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Математическая модель шагового двигателя для системы управления привода 3D-принтера / М. А. Анкуда [и др.] // Нефтехимия – 2018: материалы I Международного научно-технического форума по химическим технологиям и по нефтепереработке, Минск, 27–30 ноября 2018 г. : в 2 ч. / Белорусский государственный технологический университет. – Минск : БГТУ, 2018. – Ч. 1. – С. 299-303.

2. Synthesis of PI controller with fuzzy set theory / Karpovich, D. S., Shumski, A. N.// 2016 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences, eStream 2016 – Proceedings of the Conference, ISBN: 978-1-5090-1516-0, Vilnius, Lithuania, 19 April 2016