

УДК 539.121.8.04:621.9.047.7

С.А. Злобин, Д.С. Курушин

S.A. Zlobin, D.S. Kurushin

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

ROBOTIC PLATFORM DRIVE CONTROL MODEL

Составлена математическая модель трехфазного асинхронного электродвигателя. Разработана модель управления приводом движения роботизированной платформы на основе метода широтно-импульсной модуляции. На основе данной модели построены регуляторы скорости движения роботизированной платформы.

Ключевые слова: роботизированная платформа, электрический привод, трехфазный асинхронный электродвигатель, широтно-импульсная модуляция, математическая модель, модель управления приводом, регулятор скорости движения.

Compiled the mathematical model of the three-phase induction motor. Developed the motion driven management model of robotic platform on the method of pulse width modulation. Developed speed regulators of robotic platform based on the model.

Keywords: robotic platform, electrical drive, three-phase asynchronous motor, pulse width modulation, mathematical model, drive management model, speed regulator.

Практически любой современный робот состоит из приводов, которые преобразуют электрическую энергию в механическую и, соответственно, приводят в движение механизмы машины.

Выбор того или иного вида привода обусловлен многими критериями, например: функциональным назначением механизма, поскольку не секрет, что роботы создаются для абсолютно разных назначений (механизмы поднятия, вращения, сдавливания, перерезания, тушения огня и т.д.), предъявляемыми к нему технологическими требованиями (максимальный вес, усилие, точность, материалы и т.д.), особенностями производства и условиями эксплуатации (возможность работы в радиоактивной, пыльной, с высокими или низкими температурами среде), а также стоимостью, сложностью обслуживания, эксплуатационными расходами, наличием тех или иных комплектующих изделий и их качеством.

Самые распространенные в робототехнике следующие виды приводов [1]: электрический, гидравлический, пневматический и пьезоэлектрический – по таким критериям, как КПД, управляемый параметр, простота использования, надежность и скорость срабатывания.

Оптимальным решением в качестве привода роботизированной платформы является электрический привод, так как он обладает высоким КПД, легко управляется (широотно-импульсная модуляция и цифро-аналоговые преобразователи), прост в использовании, достаточно надежен и имеет высокую скорость срабатывания по сравнению с иными видами приводов [2]. Построим модель управления таким приводом.

Электрический привод, приводящий роботизированную платформу в движение, состоит из трехфазного асинхронного электродвигателя (как приводного двигателя) и нагрузки, которая представляет собой передачу и пару задних колес с действующими на них силами. Связующие элементы приводного двигателя и нагрузки примем для упрощения за рычаг с некоторым коэффициентом.

Математическая модель трехфазного асинхронного электродвигателя выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta\omega &= \Delta\omega_l - \frac{m_l \cdot R'_p}{K^2} \Delta M, \\ \Delta M &= \Delta M_c + J \cdot \frac{d(\Delta\omega)}{dt}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ω_l – частота вращения поля; ω – частота вращения ротора; M_c – момент статора; J – момент инерции ротора; R'_p – сопротивление ротора; K – электромеханическая постоянная времени; m_l – момент ротора.

Как говорилось ранее, одним из способов управления таким двигателем является метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ), который применяется в технике для преобразования переменного напряжения в постоянное, с изменением его среднего значения U_d . Управление средним значением напряжения происходит путем изменения скважности импульсов.

Частота вращения двигателя ω зависит от частоты формирования импульсов цифрового сигнала к ШИМ: чем выше частота импульсов, тем выше частота вращения ротора. Момент двигателя M зависит от коэффициента заполнения D ШИМ: чем выше коэффициент (от 0 до 1), тем выше момент на валу двигателя. На рис. 1 изображено формирование таких аналоговых сигналов от цифровых посредством ШИМ.

Для регулирования скорости движения роботизированной платформы используем классический ПИД-регулятор в системе с обратной связью (рис. 2).

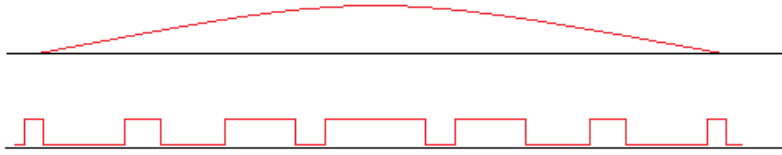


Рис. 1. Формирование аналоговых сигналов от цифровых посредством ШИМ

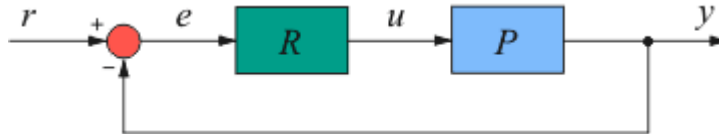


Рис. 2. ПИД-регулятор в системе с обратной связью: R – регулятор; P – объект регулирования (привод движения роботизированной платформы); r – управляющее воздействие (скважность сигналом ШИМ); e – ошибка (разность между необходимой и текущей скоростью роботизированной платформы); u – выходная величина (скорость движения роботизированной платформы); y – регулируемая величина (скорость движения роботизированной платформы)

Выходная переменная u определяется следующим выражением:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (2)$$

где K_p , K_i , K_d – коэффициенты ПИД-регулятора.

Построим модели регуляторов скорости движения роботизированной платформы в имитированном времени. Блок-схема основной функции программы представлена на рис. 3.

Описание глобальных переменных программы: V_0 – желаемая скорость, равна 1,4 м/с (≈ 5 км/ч); V – текущая скорость движения роботизированной платформы; e – ошибка; N – количество интераций, $N = 100\,000$; t – переменная времени ($dt = 0,1$); a – ускорение роботизированной платформы; F – движущая сила роботизированной платформы; m – масса роботизированной платформы (≈ 100 кг); x – управляющее воздействие; K_p – пропорциональный коэффициент регуляторов; K_i – интегральный коэффициент регуляторов; K_d – дифференциальный коэффициент регуляторов; E – интеграл ошибки; F_{engine} – сила, развиваемая двигателем; K_{engine} – коэффициент силы, достигаемый двигателем.

Описание переменных отдельных функций: k_r – коэффициент трения; e_0 – начальное значение ошибки (по умолчанию равно нулю).

Функциями $P(x)$, $I(e)$, $D(e, e_0)$ представлены пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие регуляторов соответственно.

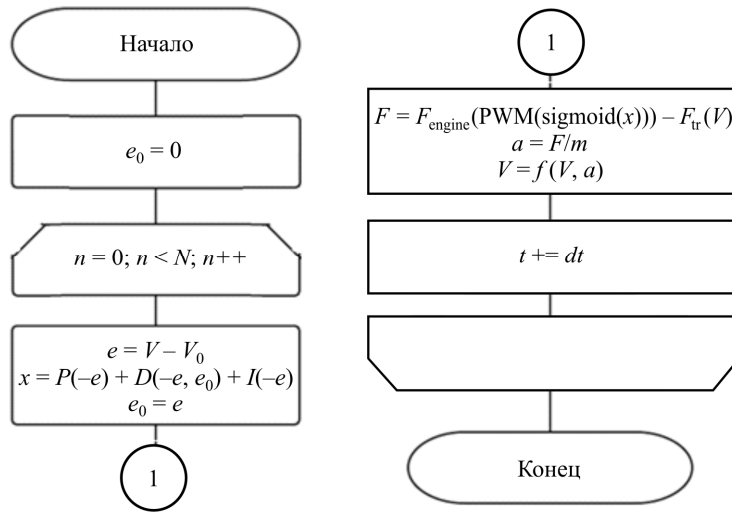


Рис. 3. Блок-схема основной функции программы модели регуляторов

Функцией $f(V, a)$ представлена физическая модель движения роботизированной платформы: $V_i = V_{i-1} + a \cdot dt$, $a = F / m$.

Движущая сила F вычисляется по формуле $\text{Engine}(\text{PWM}(\text{sigmoid}(x))) - F_{tr}(V)$, где функция $\text{Engine}()$ возвращает силу, развиваемую двигателем, зависящую от характеристик двигателя и скважности импульсов ШИМ, которые передаются из функции $\text{PWM}()$, которая представляет собой преобразованное сигмойдом значение (от нуля до единицы) управляющего воздействия. Далее из силы, достигаемой двигателем, вычитается противоположная ей сила трения, вычисляемая функцией $F_{tr}()$ от скорости с коэффициентом трения.

График, показывающий результат выполнения моделей управления приводом движения роботизированной платформы при использовании П-, ПИ- и ПИД-регуляторов, приведен на рис. 4.

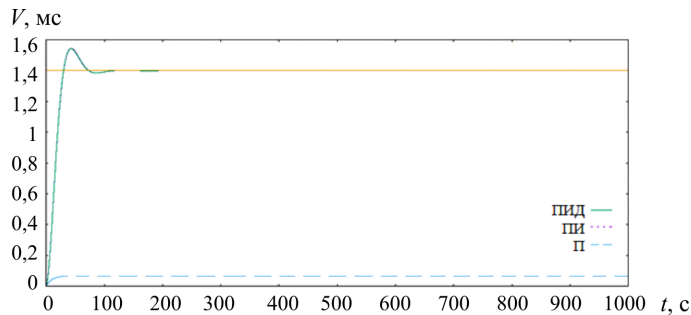


Рис. 4. Результаты работы модели управления скоростью роботизированной платформы при использовании П-, ПИ- и ПИД-регуляторов

Таким образом, была разработана модель управления приводом движения роботизированной платформы.

Список литературы

1. Типы приводов для роботов [Электронный ресурс]. – URL: <http://roboforum.ru/forum16/topic13478.html> (дата обращения: 10.07.2016).

2. Усольцев А.А. Электрический привод: учеб. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 238 с.

Получено 05.09.2016

Злобин Сергей Александрович – магистрант кафедры «Инновационные технологии и автоматизированные системы», электротехнический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: meatman93@mail.ru.

Курушин Даниил Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инновационные технологии и автоматизированные системы», электротехнический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: daniel.kurushin@gmail.com.