

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ В ЗАДАЧАХ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА**

*Пашинский И.О.*

*Юдин А.В.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4

## **INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRIC DRIVE IN THE TASKS OF NAVIGATION OF MOBILE ROBOT**

*Pashinsky I.O.*

*Yudin A.V.*

Bauman Moscow State Technical University, IU4 department, Moscow, Russia

### **Аннотация**

Работа посвящена вопросам разработки микропроцессорной системы управления электроприводом ходовой части робота. Рассмотрено математическое описание алгоритма работы системы. Разработаны структурные и принципиальные схемы системы управления. Разработана общая архитектура и реализация необходимого программного обеспечения. Особое внимание уделено цифровой обработке множественной внешней информации (с различных датчиков), а также диагностированию, настройке работы системы в конкретных режимах. Изготовлен действующий макет системы, проведены испытания.

### **Abstract**

This work is dedicated to questions of development of a microprocessor control system electric chassis robot. I have considered the mathematical description of algorithm of work of system is considered. Structural and control system circuit diagrams are developed. The general architecture and realization of the necessary software is developed. Particular attention is paid to the digital processing of multiple external information (from different sensors), as well as diagnostics, configuration of the system in specific modes. The operating breadboard model of system is made, tests are conducted.

### **Введение**

В современном мире роботы занимают все более значимое положение. Они находят применение в самых различных областях: военном деле, производстве, науке, медицине и даже в образовании. И во всех отраслях роботы должны быть подвижны, мобильны. Поэтому задачи точного управления электроприводами исполнительных механизмов, в частности электроприводом ходовой части, очень важны.

Электропривод ходовой части робота зачастую не имеет системы управления частотой вращения, поэтому при увеличении нагрузки на валу падает частота вращения и, соответственно скорость передвижения. По некоторым оценкам, мобильные роботы, участвующие в соревнованиях, проводимых международной ассоциацией Eurobot, теряют до 10 % времени, выделенного на задачу, именно за счет неэффективного управления электродвигателями ходовой части.

Стоит отметить, что задачи движения по плоскости имеют свою специфику, которая определяет возможности по организации управления роботом. В данном случае рассматривается интеллектуальная система управления электроприводом робота для нужд навигации именно на плоскости. Имея возможность получать данные с различных независимых датчиков, делается попытка разработать универсальное программное обеспечение, которое обеспечило бы минимальные ошибки при регулировании скорости приводных колес робота.

Разработанная система управления стабилизирует частоту вращения, помогает минимизировать потери скорости и времени, что позволяет повысить эффективность действия робота. На основе данной системы можно разрабатывать наиболее эффективные алгоритмы управления электроприводом.

В современных устройствах применяются следующие методы стабилизации частоты вращения:

- 1) Ступенчатое регулирование
- 2) Механическое регулирование
- 3) Цифровое регулирование

Из всех вышеперечисленных методов регулирования наиболее точным, быстродействующим и надежным является цифровой метод регулирования, и, конкретно, алгоритм работы пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (далее ПИД). Он достаточно надежен, обеспечивает наивысшую точность стабилизации и обладает наибольшим быстродействием при правильно подобранных коэффициентах регулирования. Как раз задачу подбора оптимальных коэффициентов регулирования решает блок настройки/диагностики. Особенность разработанной системы заключается в оптимальной настройке параметров регулирования с помощью разработанного программного обеспечения. Сочетание в данном подходе правильно настроенного ПИД-регулятора, алгоритм которого заложен в микропроцессорную систему, и блока диагностики позволяют достичь оптимальной производительности.

### Структурная схема системы

Структурная схема системы управления показана на рис. 1.

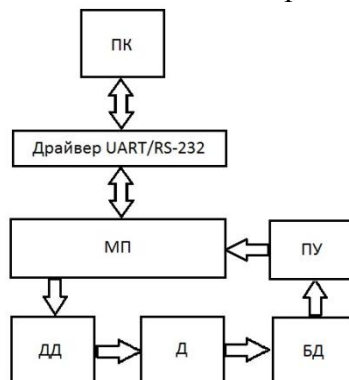


Рис.1 - Рассмотрим принцип работы системы.

Микропроцессор (МП), используя встроенный модуль сравнения/захвата/ШИМ - ССР (Compare-Capture-PWM), формирует сигнал широтно-импульсной модуляции (далее ШИМ) и подает его на драйвер двигателя (ДД). Драйвер двигателя увеличивает амплитуду и мощность принятого сигнала и передает его на электродвигатели привода (Д). Роторы электродвигателей приходят во вращение, и блок датчиков (БД) считывает текущее значение частоты вращения. БД – это массив датчиков различной физической природы. Кроме контура управления по частоте, БД реализует контуры управления по току, по скорости робота, однако за базовый контур берется контур по частоте вращения вала двигателя, именно он наиболее полно рассмотрен. Дополнительные контуры позволяют при регулировании учитывать особенности не только режима работы, но и особенности самого электродвигателя. В зависимости от вида применяемого датчика он преобразует некоторую величину, характеризующую величину частоты вращения вала двигателя, в соответствующий ей электрический сигнал. Выработанный электрический импульс передается на преобразователь уровня (ПУ). ПУ корректирует ШИМ сигнал (изменяет амплитуду импульса, осуществляет фильтрацию, сглаживание). В случае если импульс не нуждается в обработке, блок ПУ можно исключить. Затем обработанный сигнал подается на микропроцессор (МП). МП, с помощью блока ССР, выполняет захват импульса, например по нарастающему фронту, и определяет период импульса, вычисляет значение частоты. Но в задачах навигации скорость вращения вала двигателя не всегда напрямую связана с текущей скоростью робота (пробуксовка, занос). МП, используя алгоритм работы ПИД-регулятора, вырабатывает управляющий сигнал, который передается на блок ДД. И процесс повторяется. Система имеет интерфейс для связи с персональным компьютером ПК. Драйвер UART/RS-

232 выполняет преобразование уровней сигналов UART в RS-232. Сигналы с драйвера поступают на COM-порт. Использование RS-232 удобно, т.к. в настоящее время широко распространены переходники RS-232-USB, это позволяет использовать связь с компьютером, даже если он не имеет последовательного порта. ПК, используя соответствующее программное обеспечение, обрабатывает сигналы, поступившие от системы. Интерфейс связи с ПК значительно расширяет возможности системы, это и возможность управления двигателем с компьютера, контроль параметров, и самое главное: появляется возможность диагностирования системы, оценка применимости настроек регулятора для данного режима работы, корректировка при необходимости.

#### Модуль «Датчик частоты»

Датчик частоты служит для преобразования некоторой величины, зависящей от частоты вращения, в электрический сигнал. В схеме используется трехканальный оптопрерыватель. Он обладает высокой точностью измерения частоты и возможностью определения направления вращения. На валу неподвижно закреплен непрозрачный диск с отверстиями. Когда при вращении вала диск поворачивается прорезью к оптопрерывателю, оптопрерыватель вырабатывает прямоугольный импульс. И далее импульс поступает на блок ПУ. Период вращения вала пропорционален периоду вырабатываемого импульса. Также для определения частоты можно использовать датчик Холла, например АН211. Можно использовать дополнительные датчики, имеющие другую природу отсчета скорости. Например, датчики, непосредственно не связанные с валом двигателя, аналог лазерной «мышки» для компьютера.

#### Математическое описание ПИД-регулятора

В общем виде ПИД-регулятор имеет передаточную функцию вида:  $W(p) = K_p + \frac{1}{T_i} + T_d$ ,

ей соответствует дифференциальное уравнение:

$$W(t) = K_p \cdot \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \cdot \left( \frac{d}{dt} \varepsilon(t) \right),$$

где  $\varepsilon(t)$  - сигнал рассогласования,  $W(t)$  - выходная величина регулятора,  $K_p$  – коэффициент передачи пропорциональной части регулятора,  $T_i$  – постоянная времени интегрирования,  $T_d$  – постоянная времени дифференцирования.

Переходим к рекуррентной формуле. Заменим производную на разность первого порядка, а интеграл будем рассчитывать с помощью метода трапеций.

$$W(n) = K_p \cdot \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \left[ \left( \frac{\varepsilon(0) + \varepsilon(n)}{2} \right) + \sum_{i=1}^{n-1} \varepsilon(i) \right] \cdot T + \frac{T_d}{T} \cdot (\varepsilon(n) - \varepsilon(n-1))$$

$$W(n) = K_p \cdot \varepsilon(t) + \frac{T}{T_i} \cdot \left[ \left( \frac{\varepsilon(0) + \varepsilon(n)}{2} \right) + \sum_{i=1}^{n-1} \varepsilon(i) \right] + \frac{T_d}{T} \cdot (\varepsilon(n) - \varepsilon(n-1))$$

Величина поправочного члена  $\Delta u(n)$ :

$\Delta u(n) = u(n) - u(n-1)$ , отсюда рассчитаем текущее значение управляющего сигнала.

$$u(n) = u(n-1) + \Delta u(n) \quad (1)$$

Подставив в формулу (1) предыдущее значение управляющего сигнала и величину поправочного члена, рассчитаем текущее значение величины управляющего воздействия.

$$u(n) = u(n-1) + K_p \cdot (\varepsilon(n) - \varepsilon(n-1)) + \frac{T}{T_i} \cdot \left( \frac{\varepsilon(n) - \varepsilon(n-2)}{2} \right) + \frac{T_d}{T} \cdot (\varepsilon(n) - 2\varepsilon(n-1) + \varepsilon(n-2))$$

По данному математическому описанию был разработан алгоритм работы микропроцессорной системы.

#### Алгоритм работы микропроцессорной системы

На рис. 2 представлен алгоритм работы программы микропроцессорной системы. Программа для микропроцессора ATmega128 написана на языке С.



Рис. 2 – Алгоритм работы основной (слева) и фоновой (справа) программ.

### Диагностика и настройка системы

Суть диагностики системы сводится к следующему: передача частоты вращения вала и скважности ШИМ на компьютер по RS-232 и обработка принятых данных с помощью разработанного ПО. По принятым данным программа строит графики, по ним оператор может оценить применимость настроек системы для данного режима работы. При необходимости он может запустить программу для настройки системы. Суть алгоритма программы настройки заключается в подборе оптимальных коэффициентов регулирования на основе полученной характеристики работы системы в определенном режиме. Программа оценивает быстроту регулирования, точность. На рис. 3 приведен результат работы программы настройки.

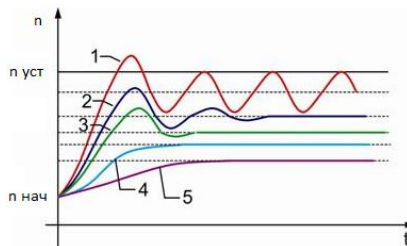


Рис. 3 – Переходные характеристики системы, при различных настройках.

До настройки характеристикой системы был график 2. В переходной характеристике наблюдаются затухающие колебания. Быстродействие и точность несколько снижены. Программа настройки прошла весь расчетный диапазон коэффициентов, и получила характеристику 3. В переходной характеристике 3 наблюдаются небольшой выброс и быстро затухающие колебания (1-2 периода). Этот тип переходной характеристики обеспечивает хорошее быстродействие и быстрый выход на заданную частоту вращения.

Разработанное ПО существенно уменьшает время пуска/наладки системы, значительно повышает качество работы системы в целом.

### Результат работы

В ходе проведенной работы были разработаны микропроцессорная система управления, необходимое программное обеспечение, изготовлен действующий макет системы. Проведены испытания работы системы, протестирована работа ПО на практике, проведена диагностика и настройка системы. Данная система обладает высокой надежностью, приемлемыми характеристиками. Выбранный подход для решения задачи себя полностью оправдал. В дальнейшем планируется усовершенствовать данную систему.

### Литература

- 1) Гостев В.И. Системы управления с цифровыми регуляторами. Справочник. - К.: «Техника», 1990. – 280 с.: ил.
- 2) Шпак Ю.А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. – К.: «МК - Пресс», 2006. – 400 с.: ил.