

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ СТЕНДА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Р.Д. Песков

pesckov.roma@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Статья посвящена разработке методики получения внешней и частичных моментных характеристик электродвигателя постоянного тока с инерционной нагрузкой при помощи доступного по стоимости и несложного в использовании оборудования. Представлены описание стенда для испытаний электродвигателя и программа испытаний. Рассмотрены особенности управления электродвигателем с помощью микроконтроллера. Описан алгоритм вычисления частоты вращения вала двигателя. Представлен метод обработки полученных данных.

Ключевые слова

Моментная характеристика, электродвигатель, электропривод, широтно-импульсная модуляция, Arduino, MATLAB

Поступила в редакцию 12.05.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Двигатели постоянного тока (ДПТ) нашли широкое применение в технике. В современных автомобилях их используют в качестве стартера, в приводе стеклоподъемника, стеклоомывателя, механизмов переключения передач и блокировки дифференциала и др. ДПТ также применяют в составе тягового электропривода транспортных машин и роботов. При расчете и проектировании электрической трансмиссии машин полезно уметь управлять электродвигателями, а также исследовать их характеристики. В этом случае спроектированная трансмиссия будет более эффективной.

В данной работе исследуются характеристики коллекторного ДПТ с напряжением питания 5В. Управляющее воздействие реализуется с помощью платы Arduino, а для коммутации обмоток используется плата с транзистором, для определения скорости вращения вала ДПТ — оптический датчик. Поскольку датчик выдает зашумленный сигнал, имеет значение не только качество изготовления стенда, но и способ обработки сигнала. При этом обработка данных обычными цифровыми фильтрами, например, медианным или скользящего среднего, не дает приемлемого результата. Наиболее подходящим способом обработки данных является аппроксимация.

Разработка испытательного стенда. Для исследования характеристик электродвигателей был изготовлен специальный стенд, представленный на рис. 1. Стенд состоит из станины 1 с закрепленной на ней опорой 2. В опоре фиксируется электродвигатель 3, на валу которого закреплен маховик-

оптопрерыватель 4. Маховик представляет собой диск, имеющий зубья и впадины, которые служат для определения скорости вращения двигателя. Датчик-фотопрерыватель 6 состоит из светодиода и фотоэлемента. При вращении маховика, световой пучок, испускаемый светодиодом на фотоэлемент, прерывается зубьями маховика. Вследствие этого, изменяется проводимость фототранзистора, что регистрирует датчик. Сигнал с датчика усиливается с помощью схемы на основе операционного усилителя и преобразуется в логический сигнал. Таким образом, при вращении вала на выходе датчика возникает последовательность импульсов, частота которых пропорциональна частоте вращения двигателя. Управление электродвигателем осуществляется при помощи платы 5 и микроконтроллера посредством определенной программы.

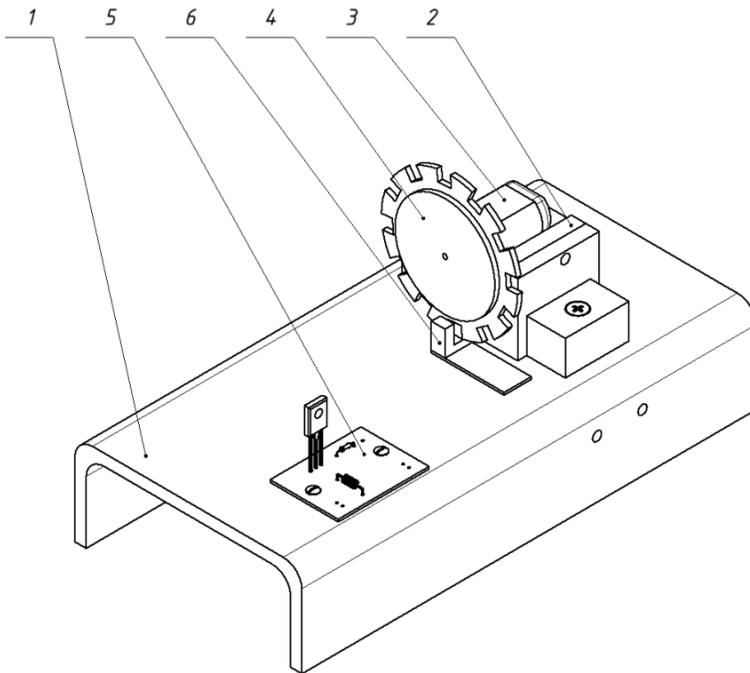


Рис. 1. Разработанная испытательная установка (стенд):

1 — станина; 2 — опора; 3 — электродвигатель; 4 — маховик-оптопрерыватель;
5 — управляющая плата; 6 — датчик-фотопрерыватель

Плата Arduino Uno на базе микроконтроллера Atmel ATmega328 служит для управления транзистором, который включает питание электродвигателя, и для обработки сигналов с датчика-оптопрерывателя. Транзистор установлен на управляющей плате. Благодаря тому, что управление электродвигателем и регистрация данных с датчика производятся при помощи одного устройства, задаваемые и измеряемые величины синхронизированы по времени. Это позволяет управлять скоростью вращения вала электродвигателя в реальном времени и значительно упрощает обработку экспериментальных данных.

Частичные характеристики при неполном использовании мощности двигателя можно получить с помощью данного стенда путем широтно-импульсной модуляции (ШИМ). ШИМ-сигнал, то есть зависимость напряжения питания от времени, графически изображен на рис. 2. Напряжение меняется не непрерывно (сплошная линия), а дискретно (пунктирная линия). Подробное описание ШИМ приведено в [1]. Отношение времени, в течение которого подается сигнал, ко времени без учета подачи сигнала, выраженное в процентах, называют скважностью сигнала.

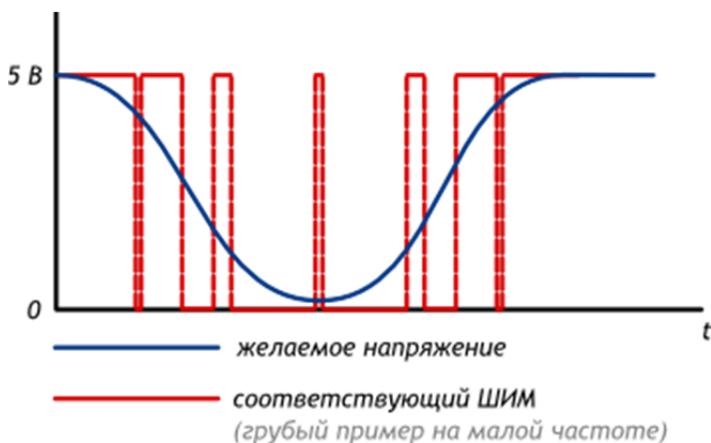


Рис. 2. Зависимость напряжения питания от времени

Плата Arduino Uno R3 имеет несколько выводов, способных выдавать ШИМ-сигнал. Для этой платы максимальное напряжение выходного сигнала (логическая единица) составляет примерно 5В. Этого достаточно для открытия транзистора, управляющего питанием электродвигателя. Так как транзистор переключается с частотой ШИМ-сигнала между режимом полного насыщения и режимом отсечки и практически не находится в промежуточных положениях, тепловые потери невелики, поэтому транзистор работает эффективно. Ввиду высокой инерционности вращения вала электродвигателя, пульсации ШИМ-сигнала на развиваемый двигателем момент не влияют. Влияние оказывает лишь усредненная переданная электродвигателю энергия.

Измеряемые величины и способы их определения. Моментная скоростная характеристика двигателя представляет собой зависимость развиваемого механического момента от частоты вращения вала двигателя. Эта характеристика используется при проведении тягового расчета, построении разгонной характеристики и моделировании любой транспортной машины (автомобиля, танка и т. д.) [2].

Вычисление частоты вращения произведем при помощи описанного выше стенда. Оптический датчик соединим с выводом прерывания микроконтроллера. Под прерыванием будем понимать сигнал, сообщаемый микроконтроллеру об импульсе с оптического датчика. При этом выполнение последовательности команд приостанавливается, а управление передается функции обработки прерывания, которая реагирует на текущее событие и выполняет определенные действия, после чего управление возвращается в прерванный код (рис. 3).

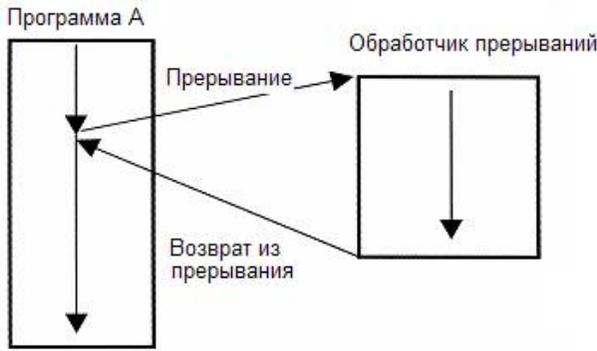


Рис. 3. Работа программы испытательного стенда с прерываниями

Для микроконтроллера была составлена программа, алгоритм работы которой состоит в следующем. При каждом прерывании вызывается функция, которая количество прерываний N увеличивает на один и записывает время прерывания во временную переменную $t_{вр}$. Если это первое прерывание с момента сброса счетчиков, то время сохраняется как начальное $t_{нач} = t_{вр}$. Время прерывания фиксируется как конечное $t_{кон} = t_{вр}$, при каждом прерывании оно обновляется. Каждую 0,1 с прерывания отключаются, счетчики сбрасываются и вычисляется частота вращения двигателя с использованием количества прерываний N , времени первого $t_{нач}$ и последнего $t_{кон}$ прерывания по следующим формулам:

$$\Delta T = (t_{кон} - t_{нач}) / 1000;$$

$$f = 60 \frac{N-1}{\Delta T n_{зуб}},$$

где ΔT — время между первым и последним прерываниями, с; f — частота вращения, об/мин; $n_{зуб}$ — количество зубьев на диске оптопрерывателя.

Прямое измерение механического момента является сложной задачей, поэтому на вал электродвигателя устанавливаем маховик с известным моментом инерции. Таким образом, электродвигатель имеет инерционное нагружение. Из уравнения динамики можно получить момент, который выдает электродвигатель:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_c,$$

где J — приведенный к валу ДПТ суммарный момент инерции вращающихся частей. Так как момент инерции маховика значительно больше момента инерции якоря двигателя, последним пренебрегаем; ω — угловая скорость вращения двигателя; M_d — крутящий момент двигателя; M_c — суммарный момент сопротивления, включающий внутренние потери, которые обусловлены несовершенством узлов трения ротора ДПТ, и сопротивление ветра.

Программа испытаний электродвигателя. Для исследования электродвигателя была составлена следующая программа испытаний:

- разгон электродвигателя на внешней характеристике (при полном использовании мощности);
- разгон двигателя на частичных характеристиках при различных значениях скважности;
- торможение при отключенном питании двигателя с целью определения внутреннего сопротивления двигателя.

На каждом этапе испытаний регистрируется частота вращения двигателя и текущее время. Результаты разгона при скважности 100, 80, 60 и 40 % представлены на рис. 4 слева направо.

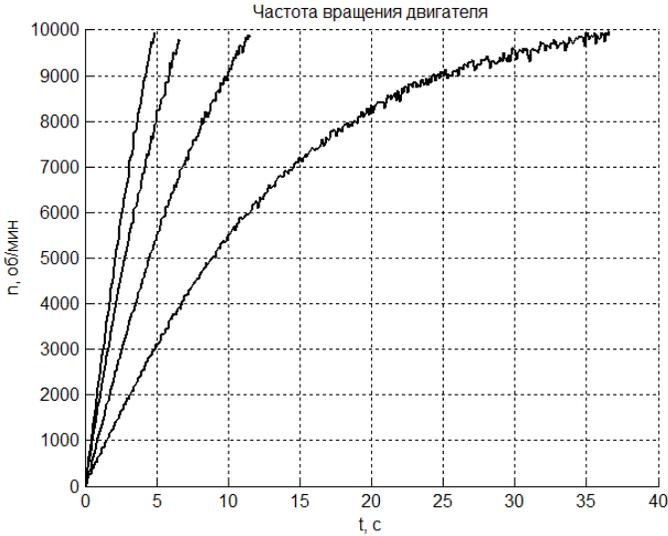


Рис. 4. Зависимость частоты вращения двигателя от времени при различных значениях (убывание слева направо) скважности

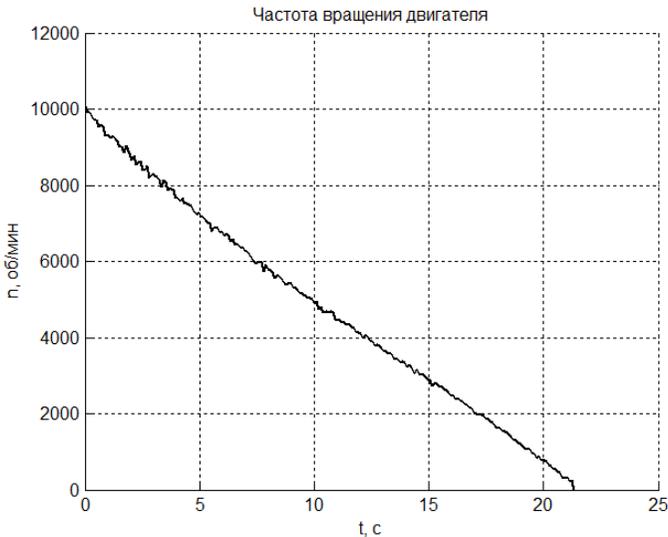


Рис. 5. Зависимость частоты вращения двигателя от времени (экспериментальные данные) при остановке двигателя

Обработка полученных результатов. Для того чтобы получить моментную характеристику, функцию частоты вращения необходимо обработать, так как сигнал с датчика зашумлен. Если этого не сделать, то продифференцировав функцию угловой скорости с целью получения значения ускорения, шумы усилятся. В таком случае функция момента двигателя в зависимости от частоты вращения имеет большие выбросы, что показано на рис. 6. Обработка данных цифровыми фильтрами, например, медианным или скользящего среднего, не дает удовлетворительного результата, поэтому используем метод аппроксимации. В этом случае функция момента будет иметь гладкий вид.

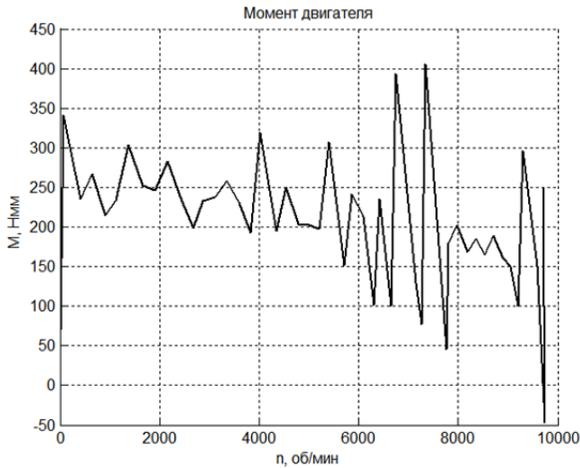


Рис. 6. Зависимость момента двигателя от частоты вращения (необработанные данные)

Для аппроксимации экспериментальных данных используем программное обеспечение MATLAB Curve Fitting Tool, с помощью которого подобраны коэффициенты функции вида $f(x) = ae^{bx} + ce^{dx}$, выбранной в качестве аппроксимирующей (рис. 7). Дифференциал функции в общем виде имеет вид:

$$f'(x) = abe^{bx} + cde^{dx}.$$

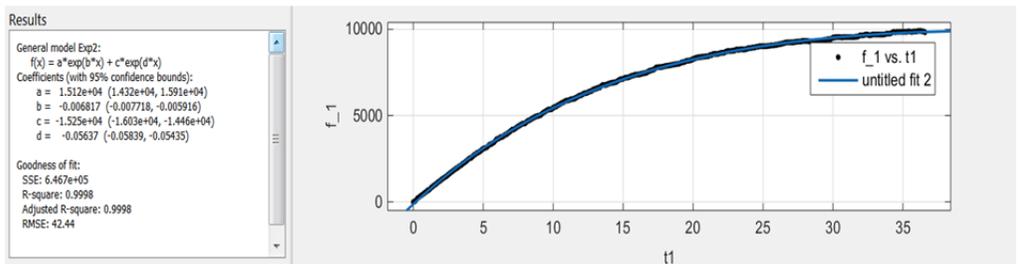


Рис. 7. Скриншот экрана при аппроксимации:

зависимость, отражающая экспериментальные данные (черного цвета) и аппроксимирующая функция (синего цвета) (справа); функция и автоматически подобранные коэффициенты и значения совпадения аппроксимирующей функции с экспериментальными данными (слева)

Зависимости, отражающие внешнюю и частичные характеристики электродвигателя, полученные в ходе обработки экспериментальных данных, представлены на рис. 8, зависимость момента сопротивления от частоты вращения — на рис. 9.

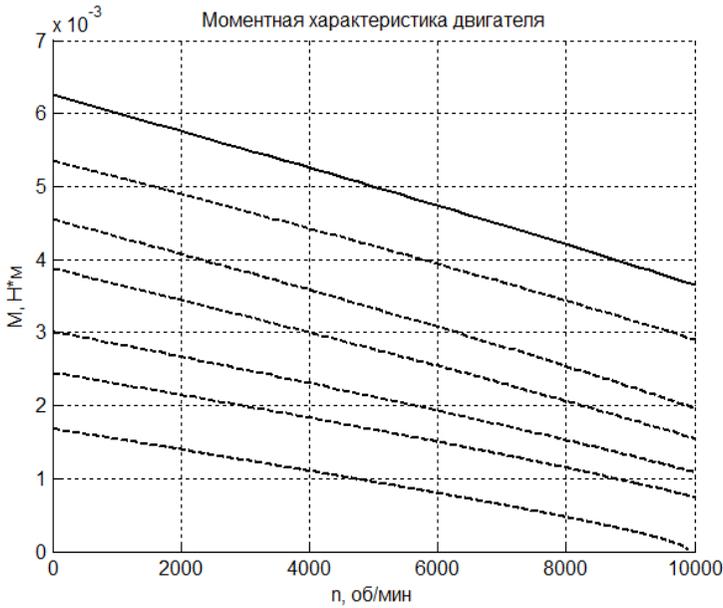


Рис. 8. Зависимости момента двигателя от частоты вращения (моментная характеристика)

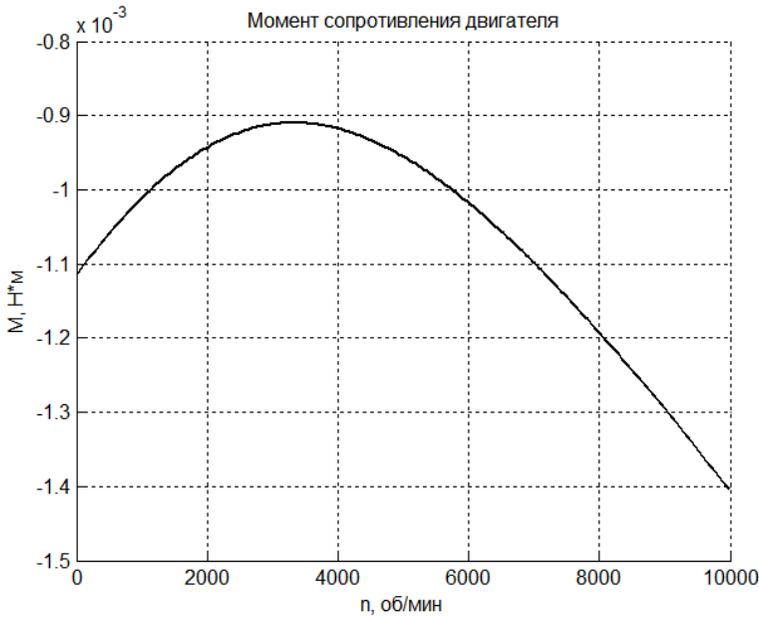


Рис. 9. Зависимость момента сопротивления от частоты вращения

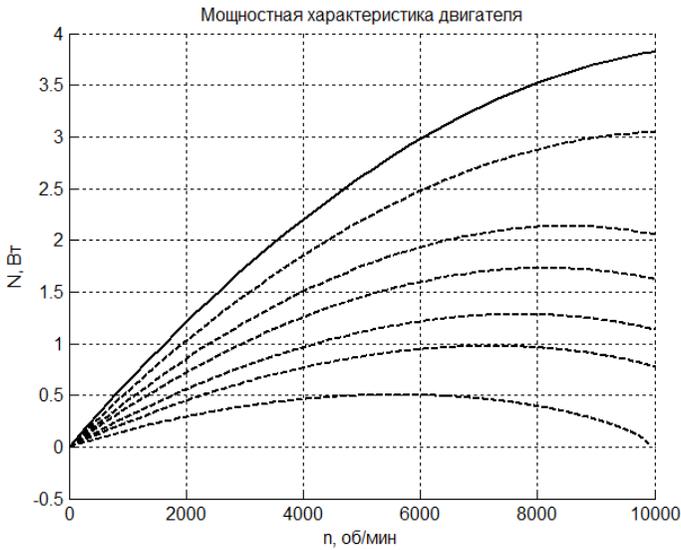


Рис. 10. Зависимость мощности на валу двигателя от частоты вращения (мощностная характеристика двигателя)

Выводы. С помощью испытательного стенда на базе микроконтроллера получена разгонная и тормозная характеристики, внешняя и частичные моментные характеристики, а также мощностная характеристика электродвигателя постоянного тока (рис. 10) ДПТ с инерционным нагружением. Приведено описание разработанного стенда. Составлена программа испытаний электродвигателя для получения искомых характеристик. Приведен алгоритм вычисления частоты вращения вала двигателя, а также метод обработки экспериментальных данных и получения моментных характеристик двигателя. Показано, что с помощью предложенного метода можно управлять скоростью вращения вала электродвигателя в реальном времени, что позволяет значительно упростить обработку экспериментальных данных.

Литература

- [1] Темников Ф.Е., Афонин В.А., Дмитриев В.И. *Теоретические основы информационной техники*. Москва, Энергия, 1979. 512 с.
- [2] Забавников Н.А. *Основы теории транспортных гусеничных машин*. Москва, Машиностроение, 1975. 448 с.

Песков Роман Дмитриевич — студент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — А.А. Стадухин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

INVESTIGATION OF DC MOTOR CHARACTERISTICS WITH A STAND BASED ON MICROCONTROLLER

R.D. Peskov

peskov.roma@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to the development of methods for obtaining the external and partial torque characteristics of a DC electric motor with inertial load by inexpensive and simple to use equipment. In this work we describe a stand for testing the electric motor and the test program and consider features of motor control by means of a microcontroller. Moreover, we describe an algorithm for calculating the rotational speed of the motor shaft and offer a method for processing the obtained data.

Keywords

Torque curve, electric motor, electric drive, pulse width modulation, Arduino, MATLAB

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Temnikov F.E., Afonin V.A., Dmitriev V.I. Teoreticheskie osnovy informatsionnoy tekhniki [Theoretical foundations of information technique]. Moscow, Energiya publ., 1979. 512 p.
- [2] Zabavnikov N.A. Osnovy teorii transportnykh gusenichnykh mashin [Theoretical foundations of track vehicle]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1975. 448 p.

Peskov R.D. — student, Department of Multipurpose Caterpillar Machines and Mobile Robots, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.A. Stadukhin, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Multipurpose Caterpillar Machines and Mobile Robots, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.