# ВЕНТИЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ УЧЕБНОГО СТЕНДА

BRUSHLESS MOTOR FOR TRAINING STAND

**УДК 621.313**

**DOI: 10.24411/2658-4964-2020-10292**

**Виноградов К.М.,** кандидат технических наук, доцент Заведующий кафедрой «Техника, технологии и строительство» Южно-Уральский государственный университет (НИУ) Россия, г. Челябинск

**Есарева Е.Н.,** преподаватель кафедры «Техника, технологии и строительство» Южно-Уральский государственный университет (НИУ)
Россия, г. Челябинск

**Микерина О.С.,** преподаватель кафедры «Техника, технологии и строительство» Южно-Уральский государственный университет (НИУ) Россия, г. Челябинск

**Vinogradov K. M.** vinogradovkm@susu.ru

**Sareva E. N.** vinogradovkm@susu.ru

**Menkaure O. S.** vinogradovkm@susu.ru

**Аннотация**

Статья посвящена выбору вентильного двигателя для учебного стенда. В связи модернизацией лабораторной базы средних и высших учебных заведений и использованием цифровых технологий в системах управления задача является актуальной. Рассмотрены различные варианты вентильных двигателей отечественного и зарубежного производства.

Вентильный электродвигатель — это разновидность электродвигателя постоянного тока, у которого щёточно-коллекторный узел заменен полупроводниковым коммутатором, управляемым датчиком положения ротора.

**Summary**

The article is devoted to the selection of a brushless motor for a training stand. In connection with the modernization of the laboratory base of secondary and higher educational institutions and the use of digital technologies in control systems, the task is urgent. Various options for valve engines of domestic and foreign production are considered.

A gate motor is a type of DC motor that has a brush-collector Assembly replaced by a semiconductor switch controlled by a rotor position sensor.

**Ключевые слова:** вентильный двигатель, синхронная машина с постоянными магнитами, шаговые двигатели, учебный стенд.

**Keywords:** brushless motor, permanent magnet synchronous machine, stepper motors, training stand.

**Введение.** Вентильный двигатель - это электродвигатель, который управляется полупроводниковыми ключами. Говоря точнее, вентильный двигатель это система, которая включает в себя электромеханический преобразователь (электрический двигатель) и полупроводниковый преобразователь, как правило, коммутатор. Электродвигатель обычно представляет собой синхронную машину с возбуждением от постоянных магнитов. Электронный коммутатор представляет собой автономный инвертор, посредством которого осуществляется питание обмоток двигателя. Для работы также необходимы датчики тока, напряжения, скорости, положения и другие измерительные устройства [1].

**Актуальность исследований.** Обычно управление силовыми ключами инвертора осуществляется в функции положения ротора синхронного двигателя. Вентильные двигатели имеют свою "нишу" в различных отраслях промышленности. Например, в последнее время вентильные электродвигатели стали использоваться в тяговом электроприводе (электровоз ВЛ80ВР). Кроме того, они получили распространение в маломощных электроприводах рулевого управления летательных и подводных аппаратов, в электромеханических усилителях руля автомобилей. Также вентильные машины получили широкое

распространение в автономных стартер-генераторных установках гибридных автомобилей. Благодаря малым габаритам они также используются в мотор-колесах аккумуляторных индивидуальных транспортных средствах (электровелосипеды, инвалидные коляски различных разработок). Практически все бытовые устройства также имеют вентильные двигатели малой мощности - проигрыватели компакт-дисков.

Постоянное удешевление магнитных материалов, а также ускоряющееся развитие аппаратной базы систем управления и устройств силовой электроники сделали возможным применение вентильных двигателей в тех областях техники, где традиционно применялись только машины постоянного тока или специальные асинхронные двигатели. Это объясняется целым рядом конструктивных и технико-эксплуатационных преимуществ СДПМ по сравнению с другими существующими типами электрических машин, к числу которых можно отнести следующие: бесконтактность и отсутствие узлов, требующих обслуживания. Отсутствие у вентильных электродвигателей скользящих электрических контактов существенно повышает их ресурс и надежность по сравнению с электрическими машинами постоянного тока или асинхронными двигателями с фазным ротором, расширяет диапазон достижимых частот вращения. Кроме того, вентильным двигателям характерны: большая перегрузочная способность по моменту, высокое быстродействие в переходных процессах по моменту, высокий КПД.

Наиболее распространены следующие виды вентильных двигателей: бесконтактные двигатели постоянного тока и бесконтактные двигатели переменного тока [2]. Они отличаются конструктивными особенностями [3].

Бесконтактные (бесщеточные) двигатели постоянного тока (БДПТ), в англоязычной литературе называются "brushless DC motors". Представляют собой синхроную машину магнитоэлектрического возбуждения. На статоре расположена обмоткиа якоря, а на роторе - постоянные магниты. Бесконтактные двигатели переменного тока в англоязычной литературе называются "permanent-

magnet brushless AC motors". У таких машин фазные ЭДС вращения имеют форму синусоиды [1,3].

Для создания лабораторного стенда необходимо учитывать требования к безопасности электрического силового оборудования, управляемость современными микроконтроллерами [3,4]. Учитывая, специфику использования стенда, принято решение применять низковольтное оборудование – не более 12 В. Также необходимо предусмотреть высокую мобильность и соответственно небольшие габаритные размеры и массу стенда, возможность программирование с помощью ноутбука. Обобщенные требования к стенду: напряжение питания 12 В, потребляемый ток 3 А, мощность 45 Вт, длина 50 мм, количество фаз – 3.

**Выбор оборудования и элементов.** На основании требований предъявляемых к двигателю, для проектируемого модуля «Вентильный двигатель» мобильного учебного стенда выбран вентильный двигатель FL42BLS01. Характеристики двигателя приведены в таблице 1, а внешний вид приведен на рисунке 1.

Таблица 1. Характеристики вентильного двигателя FL42BLS01

| Параметр | Единица измерения | Значение |
|---|---|---|
| Напряжение питания | В | 24 |
| Максимальный потребляемый ток | А | 5,4 |
| Ток холостого хода | А | 0,5 |
| Мощность, на выходном валу | Вт | 26 |
| Номинальная скорость | об/мин | 4000 |
| Количество фаз | | 3 |
| Количество полюсов | | 8 |
| Датчики положения ротора (датчики Холла) | | 3x120º |
| Номинальный крутящий момент | кг*см | 0,62 |
| Максимальный крутящий момент | кг*см | 1,9 |
| Сопротивление между линиями | Ом | 1,0 |
| Индуктивность между линиями | мГн | 2,6 |

| | | |
|---|---|---|
| ЭДС обратной связи | В/1000об/мин | 3,66 |
| Момент инерции ротора | г*см$^2$ | 24 |
| Длина L | мм | 41 |



Рисунок 1. Внешний вид вентильного двигателя FL42BLS01

Для управления вентильным двигателем будем использовать трехфазный автономный инвертор на полевых транзисторах. Это самая надежная и простая схема. Драйверы ключей подключаем к микроконтроллеру. На рисунке 2 приведена функциональная схема лабораторного стенда.

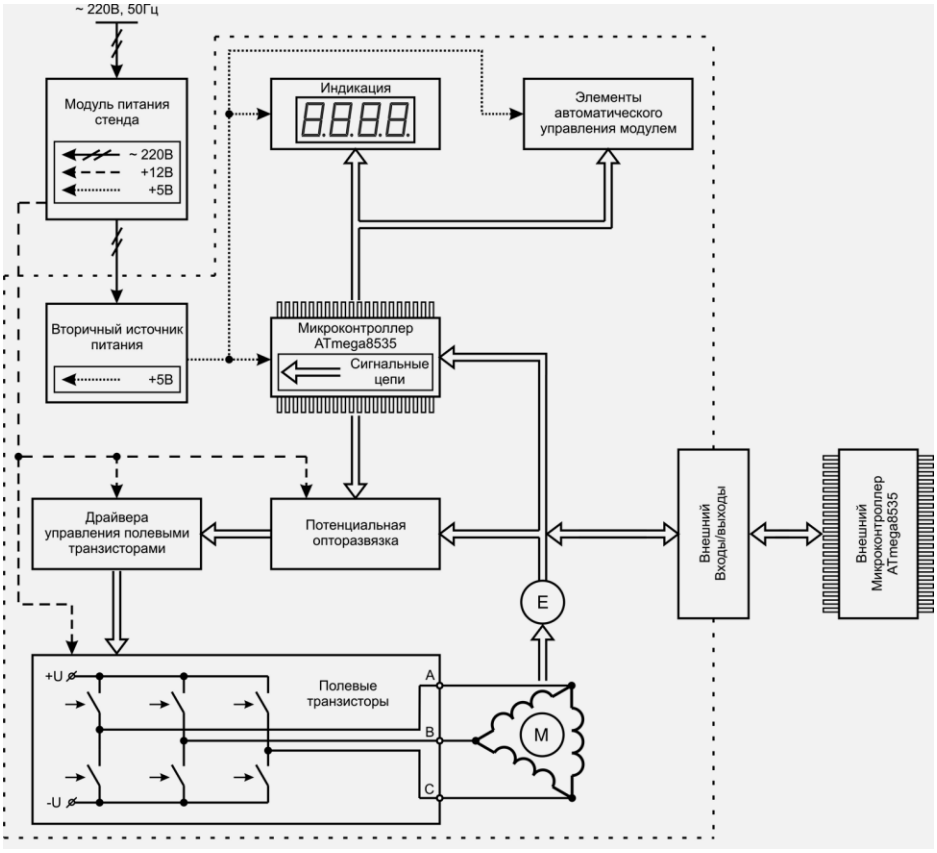



Рисунок 2. Внешний вид вентильного двигателя FL42BLS01

Для управления используем микроконтроллер ATmega8535. Он используется для подачи сигналов управления двигателем, ввода и обработки сигналов с датчиков положения ротора и элементов автоматического управления, расположенных на лицевой панели, и индикации. Также в схеме предусмотрена потенциальная опторазвязка FOD3180. Сигналы управления с микроконтроллера поступают в виде широтно-импульсной модуляции, несущая частота которой 31250 Гц. Высокоскоростная потенциальная опторазвязка, предназначена для передачи сигналов управления из слаботочной цепи в силовую. Она также необходима для предотвращения попадания помех в слаботочные цепи, и стабильной работы микроконтроллера. При работе от стационарной сети 220 В используются стабилизированные источники питания с выходным напряжением 12 В. Кроме того в схеме предусмотрены фильтры от низкочастотных и высокочастотных помех, как правило это конденсаторы. Технические характеристики микросхемы FOD3180 представлены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики микросхемы FOD3180

| Параметр | Единица измерения | Значение |
|---|---|---|
| Диапазон рабочих температур | $C^o$ | -40..+100 |
| Пиковый ток на выходе | А | 2 |
| Задержка срабатывания | нс | 200 |
| Максимальная частота срабатываний | кГц | 250 |
| Напряжение на выходе | В | 10-20 |
| Напряжение изоляции | В | 5000 |

В схеме используем драйвера управления полевыми транзисторами IR2111. Эти драйверы предназначены для управления верхним и нижним ключами. Одним из недостатков полевых транзисторов является наличие паразитной емкости между истоком и затвором. Эта емкость препятствует мгновенному закрытию транзистора, при снятии напряжения с затвора. Драйвер создает временную задержку, между выключением верхнего ключа и включением

нижнего, в 700 нс, что препятствует возникновению кратковременного короткого замыкания в силовой цепи. Схема драйвера позволяет использовать в качестве управляющих сигналов – сигналы микроконтроллера. Технические характеристики драйвера IR2111 представлены в таблице 3.

Таблица 3. Технические характеристики драйвера IR2111

| Параметр | Единица измерения | Значение |
|---|---|---|
| Напряжение выходной цепи | В | 600 |
| Напряжение питания | В | 10..20 |
| Ток потребления | А | 0,42 |
| Время включения \выключения | нс | 850\150 |
| Время задержки | нс | 700 |

Для управления вентильным двигателем в стенде будем использовать полевые транзисторы IRF540N. Они часто используются в качестве силовых ключей коммутирующих силовые цепи. В нашем случае частота переключения (частота ШИМ) 31250 Гц, которую могут обеспечить полевые транзисторы IRF540N. Технические характеристики транзисторов представлены в таблице 4.

Таблица 4. Технические характеристики полевых транзисторов IRF540N

| Параметр | Единица измерения | Значение |
|---|---|---|
| Максимальное напряжение сток \ исток | В | 100 |
| Максимальный ток сток \ исток | А | 20 |
| Минимальное сопротивление сток \ исток | Ом | 0,052 |
| Напряжение затвор \ исток | В | 10..20 |
| Максимальная рассеиваемая мощность | Вт | 54 |

Стенд можно запитать от сети 220 В, либо от автономного источника 12 В, например, аккумуляторной батареи. Это удобно при проведении занятий в «полевых условиях». Имея небольшие габариты, стенд можно располагать в переносном дипломате.

**Использованные источники:**

1. Сапсалев А.В., Савин Н.П., Харитонов С.А., Овчинникова О.Е. Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2018. № 1. С. 369-373.
2. Зиннер, Л. Я. Вентильные двигатели постоянного и переменного тока, М. : Энергоиздат , 1981 – 136с.
3. Трамперт, В.С. AVR-RISC микроконтроллеры: Архитектура, аппаратные ресурсы, система команд, программирование, применение, Киев: МК-Пресс , 2006 – 459с.
4. Таверньe, К. PIC-микроконтроллеры: Практика применения, М.: ДМК-Пресс , 2003 – 270с.
5. Кенио, Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления, М.: Энергоатомиздат , 1987 – 216с.

**Sources used:**

1. Sapsalev A.V., Savin N. P., Kharitonov S. A., Ovchinnikova O. E. Innovative, information and communication technologies. 2018. no. 1. Pp. 369-373.
2. Zinner, L. Ya. Valve motors of direct and alternating current, Moscow: Energoizdat, 1981-136s.
3. Trampert, V. S. AVR-RISC microcontrollers: Architecture, hardware resources, command system, programming, application, Kiev: MK-Press, 2006-459c.
4. Tavernier, K. PIC-microcontrollers: Practical application, Moscow: DMK-Press, 2003-270s.
5. Kenio, T. Stepper motors and their microprocessor control systems, Moscow: Energoatomizdat, 1987-216s.