

УДК 539.3

DOI 10.22213/2410-9304-2018-4-32-39

## РАЗРАБОТКА ОТЛАДОЧНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ\*

А. В. Морозов, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. Н. Домбрачев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Разработанный стенд представляет собой специализированный измерительный прибор для испытаний, обеспечивающий возможность проведения с его помощью управляемых экспериментов по изучению статических и динамических характеристик асинхронных электродвигателей. Отладочный стенд содержит раму, снабженную стойками, в передней части которой на опоре установлен асинхронный двигатель, а в задней части – хомутовая опора. Вал ротора электродвигателя посредством муфты жестко соединен с валом механической нагрузки, свободный конец которого продет в хомут опоры. При этом на вал механической нагрузки насажен маховик, закрепленный на валу с помощью втулок. Дополнительно на корпусе асинхронного двигателя установлен датчик температуры, а к валу электродвигателя подключен энкодер, выходы датчика температуры и энкодера подключены к первому и второму измерительным входам измерительного модуля, закрепленного на раме стенда. Измерительный модуль включает в себя корпус с установленным в нем микропроцессорным блоком управления, выполненным на основе микроконтроллера, содержащего универсальные порты ввода-вывода, аналого-цифровые преобразователи и универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик; дополнительно измерительный модуль содержит блоки текстовой и блок графической индикации, блок ввода данных и энергонезависимую электрически перепрограммируемую память, подключенные к микроконтроллеру. Отладочный стенд может быть полезен как при проведении научных исследований, так и в обучении, например при изучении основ электротехники и современных микроконтроллерных систем управления сложными техническими устройствами.*

**Ключевые слова:** прибор, электродвигатель, датчик, энкодер, микроконтроллер.

### Введение

В настоящее время в рамках проекта по созданию высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта специалистами АО «Сарапульский электрогенераторный завод» совместно с инженерами-конструкторами ФГБОУ «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» разрабатывается унифицированная машина технологического электротранспорта с питанием от аккумуляторных батарей (электрокар), предназначенная для механизации подъемно-транспортных работ на производственных и складских площадях, а также уборки улиц.

Перед сборкой машины все ее узлы и агрегаты в обязательном порядке проходят приемочные испытания и контроль. Одним из наиболее важных этапов при этом является проверка статических и динамических характеристик асинхронного электродвигателя электрокара, а также точная настройка параметров системы управления электродвигателем. Для осуществления упомянутых испытаний необходим специализированный отладочный стенд, обеспечивающий

измерение и фиксацию таких параметров работы электродвигателя, как угловая скорость вращения ротора, длительность разгона электродвигателя до выхода на заданный режим работы и температура его корпуса.

Информационный поиск, проведенный авторами, показал, что предлагаемые на рынке приборы, выполняющие требуемые измерения, отличаются высокой ценой, а известные запатентованные технические решения обладают рядом недостатков. Ниже приведены описания конструкции двух приборов, обладающих наиболее приемлемыми характеристиками [1].

По российскому патенту на изобретение № 2334993 известно устройство для испытания асинхронных двигателей под нагрузкой. Устройство содержит симметричные тиристоры в цепи каждой фазы обмотки статора двигателя, систему формирования управляющих импульсов для симметричных тиристоров и блок управления режимами работы двигателя. При этом устройство снабжено регулируемым индуктивным ограничителем тока, выход которого подключен к каждой фазе обмотки статора двигателя,

© Морозов А. В., Домбрачев А. Н., 2018

\* Публикация подготовлена в рамках работ по проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта», реализуемому на основании Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Участники проекта: ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», ОАО «Сарапульский электрогенераторный завод» (договор № 02.G25.31.0132 от 01.12.2015 г.).

а вход подключен к выходу симметричных тиристоров с возможностью реверсирования двигателя [2].

Второе из устройств известно по российскому патенту № 2484490 и представляет собой прибор диагностики асинхронных электрических двигателей. Устройство содержит источники питания и ряд измерительных модулей, а также снабжен блоком памяти номинальных величин двигателя, бортовым накопителем, дисплеем, микропроцессором для определения реальной длительности пуска и микропроцессором для оценки перегрева и состояния изоляции. Измерительные модули включают в себя датчик тока, связанный с обоими микропроцессорами, датчик температуры изоляции и датчик температуры окружающей среды, которые связаны с микропроцессором, предназначенным для определения перегрева и состояния изоляции [3].

Недостатком первого из описанных выше устройств является отсутствие в конструкции измерительных средств, что ограничивает его возможности по исследованию статических и динамических характеристик асинхронных электродвигателей. К недостатку второго рассмотренного прибора следует отнести отсутствие в его конструкции датчика угла поворота электродвигателя, что ограничивает возможности устройства по анализу длительности переходного процесса достижения двигателем заданной скорости вращения ротора. Кроме того, устройство обладает низкой технологичностью, обусловленной его сложной конструкцией, подразумевающей использование для осуществления измерений мультипроцессорной системы.

В результате проведенного анализа был принят вывод о целесообразности разработки отладочного стенда для испытания асинхронных электродвигателей, лишенного недостатков приборов, рассмотренных выше, а также обладающего меньшей стоимостью по сравнению с устройствами, представленными на рынке. В настоящей статье рассмотрена конструкция отладочного стенда изучения статических и динамических характеристик асинхронных электродвигателей, разработанного авторами, а также описаны особенности его применения при проведении испытаний электродвигателей.

### Основная часть

Конструкция разработанного отладочного стенда поясняется чертежами, где на рис. 1 показан его общий вид в изометрии; на рис. 2 – чертеж корпуса измерительного модуля с раз-

мещенными на нем основными конструктивными элементами; на рис. 3 – структурная схема блока управления.

Отладочный стенд (рис. 1) содержит раму 1, снабженную стойками 2, в передней части которой на опоре 3 установлен асинхронный двигатель 4, а в задней части – хомутовая опора 5. Вал ротора электродвигателя 4 посредством муфты 6 жестко соединен с валом механической нагрузки 7, свободный конец которого пройдет в хомут опоры 5. При этом на вал механической нагрузки 7 насажен маховик 8, закрепленный на валу с помощью втулок 9. Дополнительно на корпусе асинхронного электродвигателя установлен датчик температуры, а к валу электродвигателя подключен энкодер (на рисунках они условно не показаны), выходы датчика температуры и энкодера подключены к первому и второму измерительным входам 10 и 11 измерительного модуля 12, закрепленного на раме 1 стенда.

Измерительный модуль 12 содержит корпус 13 (рис. 2) с установленным в нем блоком управления 14, выполненным на основе микроконтроллера, включающего в себя универсальные порты ввода-вывода, аналого-цифровые преобразователи и универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик. Дополнительно измерительный модуль содержит блоки индикации, ввода данных 15 и энергонезависимой электрически перепрограммируемой памяти 16, подключенные к микроконтроллеру. Блок индикации включает в себя текстовый LCD-индикатор 17, линейку семисегментных индикаторов 18 и растровый TFT-дисплей 19.

Упомянутые блоки электрически соединены с блоком управления 14, который расположен внутри корпуса 13. Их структура и способ подключения к микроконтроллеру раскрыты ниже (рис. 3).

Линейка семисегментных индикаторов 18 состоит из восьми индикаторов и светодиода 20, визуально разделяющего целую и дробную части отображаемых на линейке чисел. При этом целая часть состоит из пяти, а дробная – из трех индикаторов. Высота и ширина семисегментных индикаторов составляют, соответственно,  $H = 70$  мм,  $L = 48$  мм, что обусловлено требуемой хорошей различимостью отображаемых на них чисел.

Текстовый LCD-индикатор 17 содержит две строки по сорок знакомест в каждой и используется для выбора режимов работы стенда, а также отображает текущие параметры эксперимента.

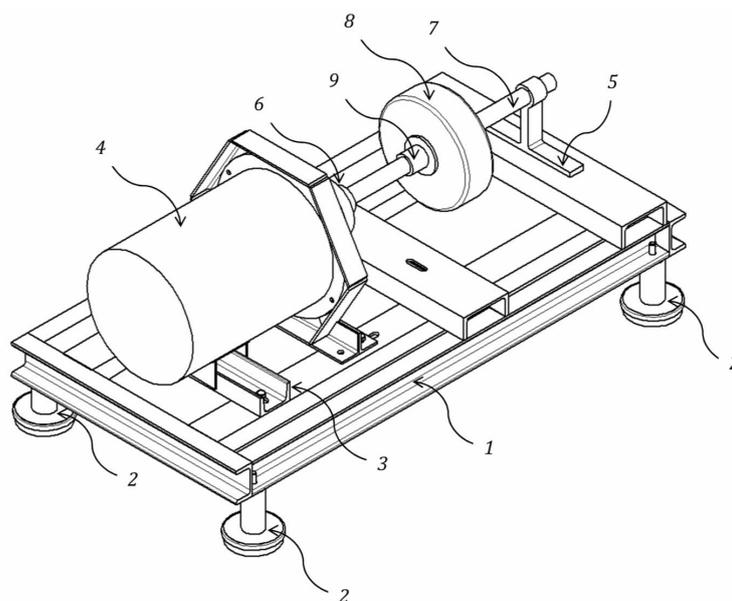


Рис. 1. Общий вид отладочного стенда

Блок ввода данных 15 выполнен в виде клавиатуры, содержащей шестнадцать клавиш. С ее помощью оператор имеет возможность изменять различные установочные параметры отладочного стенда. Три клавиши управления измерением 21, 22, 23 («Пуск», «Пауза» и «Остановка») и три светодиода индикации хода эксперимента 24, 25, 26 используются, соответственно, для пуска и остановки проведения измерения, временной приостановки эксперимента, а также индикации текущего состояния устройства.

Блок управления 14 выполнен на основе восьмиразрядного микроконтроллера Atmel AVR ATMega128L, что обусловлено его низкой

стоимостью и широкими возможностями по управлению различными техническими устройствами. Микросхема содержит достаточный набор программируемых аппаратных средств, необходимых для обеспечения функционирования стенда, а именно память программ и данных, таймеры-счетчики, универсальные восьмиразрядные двунаправленные порты ввода-вывода, универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик, кроме того микроконтроллер снабжен встроенным восьмиканальным десятиразрядным аналого-цифровым преобразователем, две линии которого использованы для подключения датчиков к измерительным входам модуля [4].

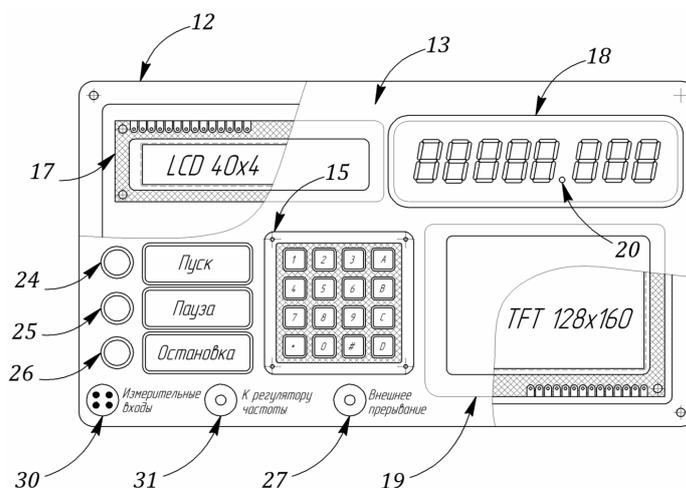


Рис. 2. Корпус измерительного модуля

линейкой семисегментных индикаторов, блоки текстовой и графической индикации, ввода

данных, клавиши и светодиоды, а также блоки энергонезависимой электрически перепрограм-

мируемой памяти и преобразователя интерфейсов, выход которого подключен к GSM-модулю, электрически соединены с портами ввода-вывода микроконтроллера следующим образом.

Линейка семисегментных индикаторов 18 подключена к портам С и G микроконтроллера, при этом восьмиразрядные коды символов передаются на индикаторы посредством линий PC0-PC7, а выбор конкретного индикатора линейки осуществляется с помощью восьмиразрядного дешифратора DC, к входам которого подключены линии PG0-PG1 микроконтроллера, что обеспечивает управление четырьмя младшими разрядами выхода дешифратора. Управление светодиодом осуществляется с помощью линии PG4.

Текстовый LCD-индикатор 17 подключен к четырем линиям порта А (РА0-РА3), которые используются для передачи на него кодов символов. Управление индикатором осуществляется с помощью линий А0 (выбор адреса символа) и Е (синхронизирующий строб-сигнал), подключенных, соответственно, к линиям PG2 и PG3 микроконтроллера [5].

Растровый TFT-дисплей 19 подключен к микроконтроллеру по последовательному трехпроводному интерфейсу с использованием линий порта F (PF0-PF3). Выбор контроллера TFT-дисплея осуществляется с помощью линии PF1(CS), синхронизация – с помощью линии PF2(SCL), а передача данных – с помощью линии PF3(SDA) [6].

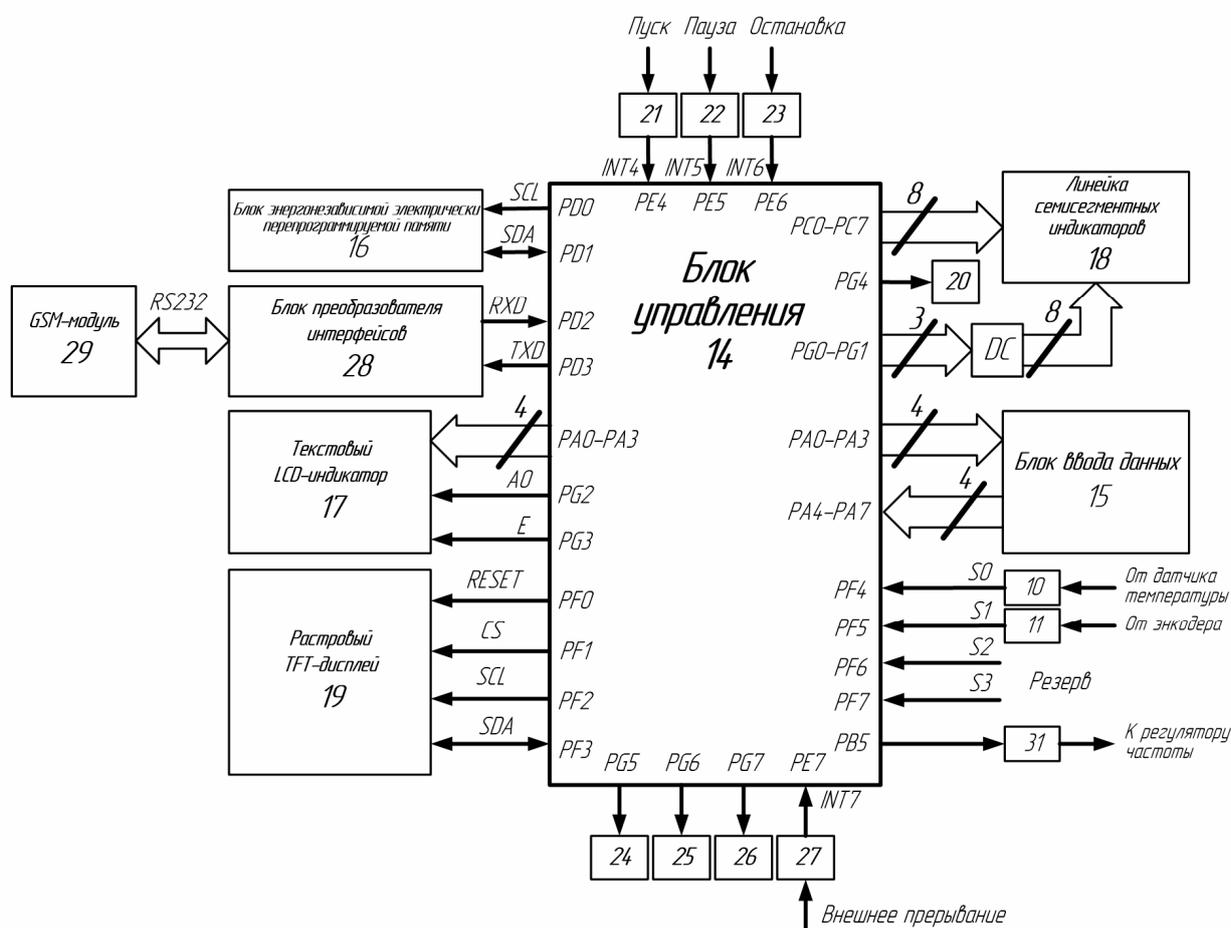


Рис. 3. Структурная схема блока управления

Блок ввода данных 15, выполненный в виде шестнадцатикнопочной клавиатуры, подключен к порту А микроконтроллера. При этом для реализации алгоритма «бегущая единица» младшие линии порта РА0-РА3 работают как выходы (итерационный перебор столбцов), а старшие РА4-РА7 как входы (сканирование строк).

Клавиши 21, 22, 23 («Пуск», «Пауза» и «Остановка») подключены, соответственно, к входам PE4(INT4), PE5(INT5) и PE6(INT6). Линии порта Е микроконтроллера имеют дополнительную функцию: сигнал с их входов поступает на вход контроллера прерываний ATmega128L, что позволяет использовать их в качестве счетчика внешних событий, гарантируя обязатель-

ную реакцию измерительного модуля на нажатие клавиш.

Светодиоды 24, 25 и 26, используемые для индикации нажатий на клавиши 21, 22 и 23, подключены, соответственно, к линиям PG5, PG6 и PG7 порта G.

Разъем внешних прерываний 27 аналогично клавишам 21, 22 и 23 подключен к входу внешнего прерывания PE7(INT7) порта E и может использоваться для автоматического пуска и останова устройства.

Блок энергонезависимой электрически перепрограммируемой памяти 16 выполнен на основе микросхемы семейства AT24 и подключен к блоку управления с помощью линий PD0(SCL) и PD1(SDA), являющихся, соответственно, линией последовательной передачи тактовых импульсов и линией последовательной передачи данных [7].

Блок преобразователя интерфейсов 28 выполнен на основе микросхемы MAX232, преобразующей сигналы последовательного порта RS-232 в сигналы, пригодные для использования в цифровых схемах на базе ТТЛ или КМОП-технологий. В рассматриваемом устройстве блок преобразователя интерфейсов подключен к блоку управления с помощью линий PD2(RXD) и PD3(TXD), являющихся, соответственно, входом и выходом универсального синхронно-асинхронного приемопередатчика (USART) микроконтроллера. Выход блока преобразователя интерфейсов 28 подключен к входу GSM-модуля 29 через интерфейс RS-232 [8].

Датчик температуры и энкодер (линии S0-S1 на структурной схеме) через инструментальные операционные усилители (на рисунках они условно не показаны) подключены к измерительным входам 10 и 11, а те, в свою очередь, подключены к линиям аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера PF4(ADC4)-PF5(ADC5) порта F. Две линии PF6(ADC6)-PF7(ADC7) порта F оставлены резервными для обеспечения в будущем расширения функциональных возможностей стенда. Входной разъем 30 измерительных входов 10 и 11 установлен на корпусе 13.

Для обеспечения возможности управления внешним регулятором частоты на корпусе измерительного модуля предусмотрен разъем 31, соединенный с линией PB5(OC1A) порта B, работающей в режиме широтно-импульсного модулятора, генерирующего сигнал опорной частоты.

Отладочный стенд работает следующим образом.

Первоначально к асинхронному электродвигателю подключают внешний частотный регулятор, в качестве которого может быть использовано устройство модели VS mini J7, являющееся компактным регулятором частоты общего назначения [9].

Затем выходы температурного датчика и энкодера подключают, соответственно, к первому и второму измерительным входам 10 и 11. Далее, в зависимости от способа управления частотным регулятором, настраивают опорную частоту с помощью штатных средств прибора, в частности, упомянутый выше регулятор VS mini J7 имеет для этого ручку регулировки «FREQ», или, в случае автоматического регулирования с помощью ШИМ-модулятора микроконтроллера, управляющий выход 31 подключают к входу опорной частоты внешнего регулятора. После чего с помощью блока ввода данных 15 выбирают режим проведения эксперимента и приводят в действие внешний частотный регулятор и управляющую программу микроконтроллера блока управления 14 измерительного модуля 12 с помощью клавиши «Пуск», которая активирует стенд.

Рассмотрим дальнейший ход проведения эксперимента при условии, что используется внешняя программная регулировка частоты регулятора с помощью выхода 31 измерительного модуля. В соответствии с выбранными параметрами проведения эксперимента несколько раз выполняют цикл «разгон-торможение» электродвигателя, при этом измерительный модуль с помощью датчика температуры и энкодера измеряет, предварительно обрабатывает и сохраняет в блоке энергонезависимой электрически перепрограммируемой памяти 16 данные о динамике изменения температуры и времени переходного процесса разгона электродвигателя. После окончания эксперимента с помощью программного обеспечения измерительного модуля 12 выполняют процедуру статистической обработки испытаний, включающую вычисление выборочных характеристик, построение гистограммы распределения частот и восстановление кривой теоретического нормального распределения для измеренных величин. При этом упомянутые графики могут быть отображены измерительным модулем 12 стенда с помощью растрового TFT-дисплея 19, а полученные статистические данные измерений переданы на персональный компьютер с помощью GSM-модуля 29 для их дальнейшей обработки [10].

Кроме автоматизации проведения измерений стенд позволяет настраивать коэффициенты регулятора скорости вращения привода посредством анализа переходных процессов в контуре скорости при различных значениях приведенного момента инерции. Изменение момента инерции на валу двигателя возможно путем присоединения к стенду различного количества маховиков (выше, на рис. 1 показан вариант комплектации стенда одним маховиком). Без учета инерции ротора двигателя момент инерции может со-

ставлять 0, 0,066 и 0,013 кг·м<sup>2</sup> при снятом маховике, установленном в одном или двух маховиках соответственно. Путем изменения момента инерции возможно также моделирование разгона унифицированной машины технологического электротранспорта с различной массой полезного груза. Настройка контура скорости привода производится с целью достижения перерегулирования, равного 20,8 %, так как данное значение практически обеспечивает оптимальное качество переходного процесса.

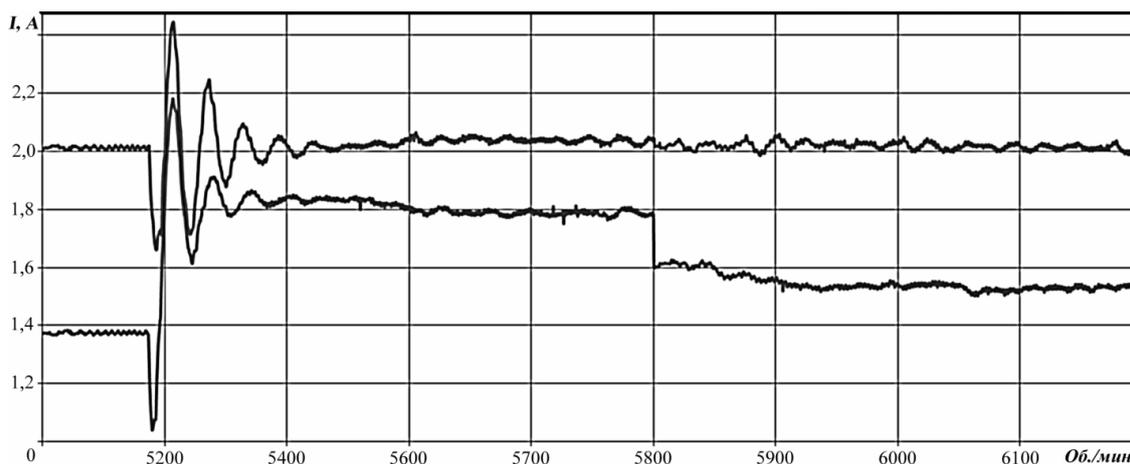


Рис. 4. Графики перерегулирования в контурах продольного и поперечного токов статора

### Выводы

Таким образом, разработанный отладочный стенд может быть использован для проведения управляемых экспериментов по изучению статических и динамических характеристик асинхронных электродвигателей, осуществимость которых обеспечивается следующими особенностями стенда:

- возможность имитации реальной механической нагрузки, приложенной к ротору двигателя за счет применения вала, с установленным на нем маховиком;
- измерение и изучение в динамике температуры корпуса двигателя за счет применения датчика температуры;
- измерение угловой скорости вращения ротора двигателя и, соответственно, определение длительности разгона двигателя до выхода на заданный режим работы за счет применения энкодера;
- фиксация измеряемых величин, их обработка, сохранение в энергонезависимой электрически перепрограммируемой памяти и, при необходимости, передача на удаленный персональный компьютер для их дальнейшего анализа за счет применения микропроцессорного блока управления измерительного модуля.

Кроме того, стенд применим для исследования и настройки ряда параметров системы управления асинхронным электродвигателем, а именно пропорционального, интегрального, дифференциального коэффициента регулятора продольного и поперечного тока статора; пропорционального, интегрального, дифференциального коэффициента регулятора скорости двигателя путем снятия и анализа графиков изменения угловой скорости и перемещения.

Стенд позволяет также моделировать ряд возможных аварийных ситуаций, возникновение которых возможно при работе электродвигателя. К таким ситуациям относятся токовая перегрузка, короткие замыкания на выходе системы управления, обрыв обмоток статора, перегрев, обрыв датчиков скорости или тока.

Кроме своего прямого назначения, как прибора для проверки асинхронных двигателей электрокаров, отладочный стенд может быть полезен при проведении научных исследований, а также в обучении, например при изучении основ электротехники и современных микроконтроллерных систем управления сложными техническими объектами.

Публикация подготовлена в рамках работ по проекту «Разработка и создание высокотехно-

гичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта», реализуемому на основании Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Участники проекта: ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», ОАО «Сарапульский электрогенераторный завод» (договор № 02.G25.31.0132 от 01.12.2015 г.). НИОКТР выполнены в ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова».

#### Библиографические ссылки

1. A.N. Dombrachev, B.A. Yakimovich, A.I. Korshunov and S.I. Solomennikova. Patent Activity of High-Tech Enterprises in the Republic of Udmurtia // Russian Engineering Research, 2016, Vol. 36, No. 7, pp. 573–576. © Allerton Press, Inc., 2016. DOI: 10.3103/S1068798X16070066.
2. Устройство для испытания асинхронных двигателей под нагрузкой : пат. RU2334993C1 Российская Федерация, МПК G01R 31/34. / Леоненко С. С. (RU), Леоненко А. С. (RU), Прокопьев А. Ю. (RU) ; заявитель и патентообладатель ГОУ ИрГТУ (RU) №2007119699/28 ; заявл. 28.05.2007 ; опубл. 27.09.2008. Бюл. № 27. 9 с.
3. Устройство диагностики асинхронных электрических двигателей : пат. RU2484490C1 Российская Федерация, МПК G01R 31/34. / Хоменко А. П. (RU), Худоногов А. М. (RU), Каргапольцев С. К. (RU), Коноваленко Д. В. (RU) ; заявитель и патентообладатель ИрГУПС (RU) ; заявл. 03.10.2011 ; опубл. 10.06.2013. Бюл. № 16. 6 с.
4. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры семейства Tiny и Mega семейства Atmel. 5-е изд., стер. М. : Додека-XXI, 2008. 148 с. : ил.
5. HD44780 Datasheet // Electronic Components Datasheet Search. URL: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Hd44780> (дата обращения: 17.11.2017).
6. 1.8" Color TFT LCD display with MicroSD Card Breakout // Adafruit. URL: <https://www.adafruit.com/products/358> (дата обращения: 17.11.2017).
7. Two Wire Serial EEPROMs // Atmel Corporation URL: [www.atmel.com/Images/doc0670.pdf](http://www.atmel.com/Images/doc0670.pdf) (дата обращения: 17.11.2017).
8. MAX232x Dual EIA Drivers Receivers // Texas Instruments URL: [www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf) (дата обращения: 17.11.2017).
9. Преобразователь частоты OMRON VS mini j7 // Частотный преобразователь. URL: <http://chistotnik.ru/preobrazovatel-chastoty-omron-vs-mini-j7.html> (дата обращения: 12.03.2018).
10. Степнов М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. М. : Машиностроение, 1972. 230 с.

#### References

1. A.N. Dombrachev, B.A. Yakimovich, A.I. Korshunov and S.I. Solomennikova. Patent Activity of High-Tech Enterprises in the Republic of Udmurtia. In Russian Engineering Research, 2016, Vol. 36, No. 7, pp. 573–576. © Allerton Press, Inc., 2016. DOI: 10.3103/S1068798X16070066.
2. *Ustroistvo dlya ispytaniya asinkhronnykh dvigatelei pod nagruzkoi* [Device for testing asynchronous motors under load], pat. RU2334993C1 Russian Federation, IPC G01R 31/34 / Leonenko S.S. (RU), Leonenko A.S. (RU), Prokopev A.Yu. (RU); applicant and patentee of GOU ISTU (RU). No. 2007119699/28; declare May 28, 2007; publ. September 27, 2008. Bul. no. 27. 9 p. (in Russ.).
3. *Ustroistvo diagnostiki asinkhronnykh elektricheskikh dvigatelei* [Diagnostic device for asynchronous electric motors], pat. RU2484490C1 Russian Federation, IPC G01R 31/34 / Khomenko A.P. (RU), Khudonogov A.M. (RU), Kargapoltsev S.K. (RU), Konovalenko D.V. (RU); applicant and patent holder IrGUPS (RU); declare 03.10.2011; publ. 06/10/2013. Bul. no. 16. 6 p. (in Russ.).
4. Evstifeev A.V. *Mikrokontrollery Mikrokontrollery semeistva Tiny i Mega semeistva Atmel* [Microcontrollers of the Tiny and Mega family of the Atmel family], Moscow, Dodeka-XXI Publ., 2008. 148 p. (in Russ.).
5. HD44780 Datasheet // Electronic Components Datasheet Search URL: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Hd44780> (дата обращения: 17.11.2017).
6. 1.8" Color TFT LCD display with MicroSD Card Breakout // Adafruit URL: <https://www.adafruit.com/products/358> (дата обращения: 17.11.2017).
7. Two Wire Serial EEPROMs // Atmel Corporation URL: [www.atmel.com/Images/doc0670.pdf](http://www.atmel.com/Images/doc0670.pdf) (дата обращения: 17.11.2017).
8. MAX232x Dual EIA Drivers Receivers // Texas Instruments URL: [www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf) (дата обращения: 17.11.2017).
9. *Preobrazovatel' chastoty OMRON VS mini j7* [OMRON VS mini j7 frequency converter]. *Chastotnyi preobrazovatel'* [Frequency converter]. Available at <http://chistotnik.ru/preobrazovatel-chastoty-omron-vs-mini-j7.html> (accessed 12.03.2018) (in Russ.).
10. Stepnov M.N. *Statisticheskaya obrabotka rezultatov mekhanicheskikh ispytaniy* [Statistical Analysis of Mechanical Test Data], Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972, 230 p.

\* \* \*

**Development of a Debugging Stand for Studying Static and Dynamic Characteristics of Asynchronous Electric Motors***A. V. Morozov*, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia*A. N. Dombachev*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*The developed stand is a specialized measuring device for testing, which makes it possible to carry out the controlled experiments on the static and dynamic characteristics of asynchronous electric motors. The debugging stand contains a frame equipped with racks, in the front part of which an asynchronous motor is mounted on the support, and a clamp support in the rear part. The rotor shaft of the electric motor is rigidly connected to the mechanical load shaft through a coupling, the free end of which is threaded into the support collar. At the same time, a flywheel is mounted on the shaft of mechanical load, fixed to the shaft by means of bushings. Additionally, a temperature sensor is installed on the case of the asynchronous motor, and an encoder is connected to the motor shaft, and the outputs of the temperature sensor and encoder are connected to the first and second measuring inputs of the measuring module mounted on the stand frame. The measuring module includes a case with a microprocessor control unit installed in it, made on the basis of a microcontroller, containing universal input-output ports, analog-to-digital converters and a universal synchronous-asynchronous transceiver. Additionally, the measuring module contains text and graphic display units, a data input unit and a non-volatile electrically reprogrammable memory connected to the microcontroller. A debugging stand can be useful both in research and training, for example, in studying the fundamentals of electrical engineering and modern microcontroller control systems for complex technical devices.*

**Keywords:** device, electric motor, sensor, encoder, microcontroller.

Получено 20.11.18