

УДК 621.313

Квашнин В. В., аспирант
Клименко Г. П., докт. техн. наук
Квашнин В. О., канд. техн. наук

АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Аннотация. Рассмотрено описание разработки трехуровневой системы функционального диагностирования, предназначенной для контроля и управления короткозамкнутыми асинхронными электроприводами механизмов статических и динамических нагрузок с использованием семейства микроконтроллеров STM32Discovery.

Ключевые слова: диагностика, система, электропривод, датчик, микроконтроллер, стенд, статические и динамические нагрузки, технические характеристики, программные средства.

Квашнін В. В., аспірант
Клименко Г. П., докт. техн. наук
Квашнін В. О., канд. техн. наук

АПАРАТНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Анотація. Розглянуто опис розробки трирівневої системи функціонального діагностування, призначеної для контролю і управління короткозамкненими асинхронними електроприводами механізмів статичних і динамічних навантажень з використанням сімейства мікроконтролерів STM32Discovery.

Ключові слова: діагностика, система, електропривод, датчик, мікроконтролер, стенд, статичні і динамічні навантаження, технічні характеристики, програмні засоби.

Kvashnin V., postgraduate student
Klimenko G., Sc.D.
Kvashnin V., Ph.D.

HARDWARE AND SOFTWARE DIAGNOSTICS OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS BASED ON ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

Abstract. The article deals with the description of the development of a three-level functional diagnosis system for monitoring and control of electric short-circuited asynchronous electrical drive mechanisms of static and dynamic loads with kind of microcontrollers STM32Discovery.

Keywords: diagnostics, system, electric drive, sensor, microcontroller, stand, static and dynamic loads, technical specifications, software.

Введение

При построении высокоточных частотных электроприводов, а тем более на их основе различных исполнительных механизмов, например, в области машиностроения, для металлорежущих станков, возникает необходимость в разработке системы контроля текущих параметров объекта управления в целом и его электропривода в частности. От своевременности и точности их

определения будет зависеть качество и надежность работы станков и механизмов, а так же их управляемость и работоспособность [1].

Поскольку большинство промышленных предприятий имеет «морально» устаревшее оборудование и не имеет больших средств на его замену, то возникает потребность в разработке и создании относительно недорогих, доступных и в то же время более точных

средств измерений, контроля и управления для модернизации такого оборудования.

Таким образом, целью работы являлась разработка системы контроля и управления асинхронным электроприводом на основе элементной базы микроконтроллеров серии STM32-discovery. Для достижения поставленной цели было намечено решение следующих задач:

- выбор системы диагностирования;
- определение структуры функциональной схемы системы контроля и управления регулируемым асинхронным электроприводом;
- определение аппаратных и программных средств диагностики электромеханической системы;
- разработка имитационного оборудования для формирования статических и динамических нагрузок в виде лабораторных стендов.

Материалы исследований

В целом все системы технического контроля подразделяются на два вида: тестовые диагностические системы и системы функционального диагностирования [2,3]. Тестовые системы диагностирования, как правило, используются при нахождении неисправностей в поломанном и неработоспособном оборудовании и могут быть востребованы в случаях полного отказа работы оборудования или в аварийном режиме. Системы же функционального диагностирования напротив постоянно используются в процессе работы оборудования для контроля его технологических параметров и одновременно могут выступать в качестве систем управления [4].

Аппаратные и программные средства являются основой для построения автоматизированной системы контроля и управления электроприводом. В зависимости от объема и вида решаемых задач такие системы могут сильно различаться между собой по степени сложности и исполнению, а также по степени надежности и стоимости соответственно [5,6].

За основу структуры системы функционального диагностирования принята трех-

уровневая система контроля и управления (рис. 1) [7].



Рис.1 – Трехуровневая система контроля и управления

В настоящее время наиболее широкое распространение, на текущий момент, получил продукт совместной франко-итальяно-японской фирмы STMicroelectronics (STM). Т. к. достаточно низкая стоимость, удобство программирования и наличие бесплатного ПО способствовали его продвижению. Поэтому именно эта элементная база была взята за основу построения трехуровневой системы контроля и управления [8,9].

На первом – нижнем уровне, находится собственно сам объект управления в виде частотного электропривода механизма, а также необходимые датчики для измерения технических параметров объекта управления – пути, скорости, тока, напряжения, мощности и т.д.

На втором – среднем уровне предполагается использование наиболее производительного микроконтроллера из семейства микроконтроллеров линейки STM32F4.

На третьем – верхнем уровне располагается управляющая вычислительная машина и оператор.

Для отработки технологии построения и реализации относительно недорогой, но в то же время функциональной системы диагностирования были разработаны два лабораторных стенда – стенд статических нагрузок с активным моментом на валу (рис. 2) и двух

массовый стенд динамических нагрузок (рис. 3).

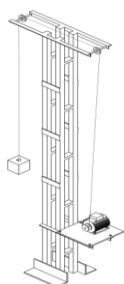


Рис.2 – Стенд статических нагрузок

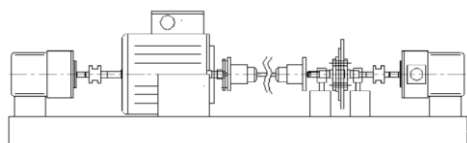


Рис.3 – Стенд динамических нагрузок

Стенд статических нагрузок построен на основе асинхронного электродвигателя АИР56В4У3. Стенд динамических нагрузок – на основе асинхронного электродвигателя АИР56В4У3.

Внешний вид, габаритные и присоединительные размеры электродвигателей малой мощности АИР56В4У3 и АИР56А4У3 представлены на рис.4,5 соответственно.

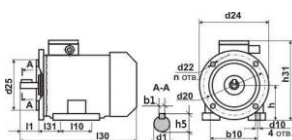


Рис.4 – Габаритно-установочные и присоединительные размеры двигателя АИР56В4У3

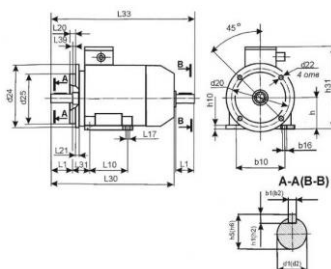


Рис.5 – Габаритно-установочные и присоединительные размеры двигателя АИР56А4У3

Основные технические характеристики электродвигателей АИР56В4У3 и АИР56А4У3 приведены в табл. 1,2 соответственно.

Таблица 1. – Паспортные данные асинхронного электродвигателя АИР56В4У3

P_n , кВт	n_n , об/мин	I_n , А	η_n , %	$\cos \varphi_n$
0,18	1350	0,44	64	0,68
I_n / I_n	M_n / M_n	M_{max} / M_n	J , кг·м ²	m , кг
5	2,2	2,3	0,0021	4

Таблица 2. – Паспортные данные асинхронного электродвигателя АИР56В4У3

P_n , кВт	n_n , об/мин	I_n , А	η_n , %	$\cos \varphi_n$
0,12	1350	0,5	57	0,66
I_n / I_n	M_n / M_n	M_{max} / M_n	J , кг·м ²	m , кг
5	2,2	2,2	0,0007	3,6

Их питание осуществляется от частотного преобразователя в виде автономного инвертора напряжения. В частности, используемый автономный инвертор напряжения был реализован на базе микроконтроллера STM32VLDISCOVERY (рис. 6).

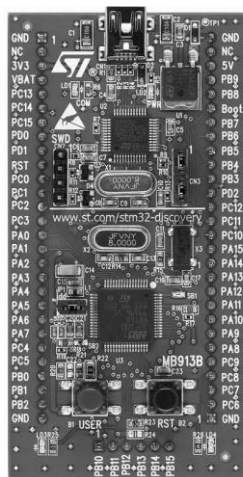


Рис.6 – Микроконтроллер STM32VLDISCOVERY фирмы STMicroelectronics

Основные технические характеристики микроконтроллера STM32VLDISCOVERY приведены в табл. 3.

Таблица 3. – Технические характеристики микроконтроллера STM32VLDISCOVERY

Архитектура	ARM Cortex M3
Тактовая частота, МГц	24
Флеш память (Flash), Кб	128
Оперативная память (ОЗУ), Кб	8

Микроконтроллер в 64-выводном корпусе LQFP работает на частоте 24 МГц. Плата имеет разъем расширения, который позволяет подключать ее к другим отладочным платформам для более глубокого анализа работы периферии микроконтроллера или к макетным платам для прототипирования.

На плате имеется внутрисхемный отладчик/программатор ST-Link.

Питание микроконтроллера возможно от USB интерфейса или от внешнего источника питания. Он может использоваться для подключения к макетной плате или другой отладочной системе верхнего (второго) уровня, использующего более производительный микроконтроллер линейки STM32F4discovery. Компоненты отладочной

платы STM32F4discovery представлены на рис.7.

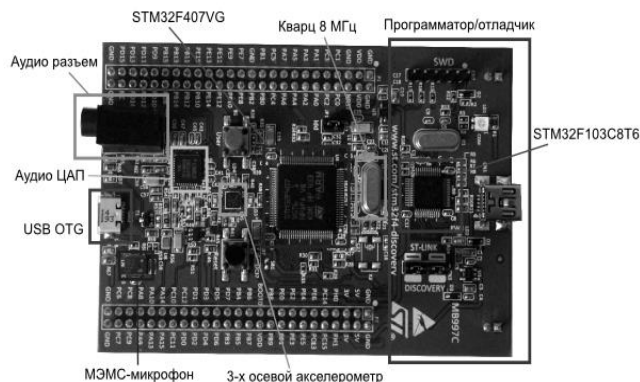


Рис. 7 - Микроконтроллер STM32F4discovery

Также имеется встроенный программатор-отладчик ST-Link/V2, 3-х осевой акселерометр, цифровой микрофон, USB-OTG (On-The-Go), 24-разрядный аудио ЦАП с усилителем класса D, 4 пользовательских светодиода, 2 кнопки (User Button и Reset).

Основные технические характеристики микроконтроллера STM32F4Discovery приведены в табл. 4.

Таблица 4. – Технические характеристики микроконтроллера STM32F4Discovery

Архитектура	ARM Cortex M4
Тактовая частота, МГц	168
Флеш память (Flash), Мб	1
Оперативная память (ОЗУ), Кб	192

Разработка программ для микроконтроллеров STM32 реализуется при помощи языка программирования высокого уровня C.

Для прошивки микроконтроллера и разработки программ широко используются среды разработки, такие как Atollic True Studio, Keil, IAR.

Все параметры, связанные с управлением приводом, заносятся в память контроллера с помощью программирующего устрой-

ства или персонального компьютера посредством преобразователя USB-UART (асинхронный приемопередатчик) внешний вид которого представлен на рис.8.



Рис.8 – Преобразователь USB-UART

Так же через интерфейс USB-UART осуществляется мониторинг основных параметров работы системы в реальном времени.

В качестве датчика скорости вращения вала электродвигателя на стенде статических нагрузок использован импульсный датчик (инкрементальный энкодер E40S6 – рис.9).



Рис.9 – Импульсный датчик скорости E40S6

Основные технические характеристики импульсного датчика скорости E40S6 приведены в табл. 5.

Таблица 5. – Технические характеристики импульсного датчика скорости E40S6

Напряжение питания постоянного тока, В	12-24
Напряжение выходного информационного сигнала постоянного тока, В	12-24
Число импульсов за оборот	1024

Датчик представляет собой инкрементный квадратурный энкодер оптической системы.

На двух массовом стенде динамических нагрузок в качестве датчика скорости использован поворотный дискретный фотоэлектрический датчик (рис. 10). Он предназначен для преобразования пути (угла поворота) рабочих органов промышленных механизмов в число импульсов, а угловой скорости - в частоту следования импульсов.

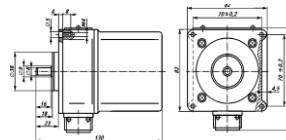


Рис. 10 – Внешний вид датчика скорости ПДФ-5

Для контроля статорных токов стендовых двигателей применен датчик тока на эффекте Холла типа 20A ACS712, который широко используется в современных системах автоматизированного управления для контроля тока электродвигателей.

Основные технические характеристики импульсного датчика скорости ПДФ-5 приведены в табл.6.

Общий вид датчика тока представлен на рис. 11.



Рис.11 – Общий вид датчика тока 20A ACS712 на эффекте Холла

Таблица 6. – Технические характеристики импульсного датчика скорости ПДФ-5

Количество выходных каналов	6
Серии импульсов	2
Стробящий импульс (за оборот вала)	1
Число импульсов в каждой серии на один оборот вала	600
Максимальный ток нагрузки каждого	30

канала, мА	
Максимальная частота вращения входного вала, об/мин	4000
Номинальное напряжение питания постоянного тока, В	24

Основные технические характеристики датчика тока 20A ACS712 приведены в табл. 7.

Таблица 7. – Технические характеристики импульсного датчика тока 20A ACS712

Напряжение питания постоянного тока Vcc, В	5
Напряжение выходного информационного сигнала постоянного тока, В	до 5
Максимальный измеряемый ток, А	20
Чувствительность, мВ/А	100

Управление датчиком осуществляется или от микроконтроллера, или от другого управляющего микропроцессорного устройства с помощью специальных программ [10].

Выводы

В результате выполненной работы обоснована актуальность разработки относительно недорогой, простой, но в то же время современной и функциональной системы контроля и управления асинхронным электроприводом.

Определен вид системы диагностирования и структура ее реализации.

Выбрана элементная база для построения системы контроля и управления на основе линейки микроконтроллеров STM32-Discovery.

Разработано имитационное оборудование в виде стендов статических и динамических нагрузок, оснащенных асинхронными электроприводами различных мощностей.

Для контроля основных технических параметров электроприводов выбраны гальванически развязанные импульсные датчики скоростей, а также датчики токов электро двигателей.

Описаны используемые средства программирования и способы обмена данными между различными уровнями предложенной системы диагностирования.

Список использованной литературы

1. Osama A. Al-Naseem and Mohamed A. El-Sayed, Analysis of Electrical and Non Electrical Causes of Variable Frequency Drive Failures, IEEE 2013, pp. 221-226.
2. Бритов Г.С. Метод тестового диагностирования линейных динамических систем [Текст] / Г.С. Бритов // Информационно управляющие системы, № 1, 2015, с. 77-84.
3. Смирнов В.И. Методы и средства функциональной диагностики и контроля технологических процессов на основе электромагнитных датчиков [Текст] / В.И. Смирнов // Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск: УлГТУ, 2001, с. 190.
4. Wiesław Juszczak, Zygmunt Kich, Mięczyński Zdzisław, Diagnostics of a Selected AC Drive Using Parallel Processing, Proceedings of the International Conference on Parallel Computing in Electrical Engineering (PARELEC'02), 2002 IEEE, pp. 6.
5. Haitham Abu-Rub, Sk. Moin Ahmed, Atif Iqbal, M. Rahimian, H.A. Toliyat, Incipient Bearing Fault Diagnostics for Inverter Fed Induction Motor Drive using ANFIS, XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010, Rome, pp. 978.
6. Joro F. Martins, Vitor F. Pires, Tito Amaral, Induction motor fault detection and diagnosis using a current state space pattern recognition, Elsevier B.V., Pattern Recognition Letters 32 (2011), pp. 321–328.
7. Стяжкин В. П. Автоматизированная система управления электроприводами мостового крана-манипулятора для установки дезактивации металлов [Текст] / В. П. Стяжкин, П. П. Подейко, О. А. Зайченко, С. И. Гаврилюк, А. М. Рыжков // Электротехнические и компьютерные системы № 19 (95), 2015, с. 71-74.
8. Маляр А. В. Апаратно-програмна реалізація системи керування штанговою глибинопомпою установкою [Текст] / А. В. Маляр, Б. С. Калужний, І. Р. Головач, А. С. Андрейшин // Електротехнічні та комп'ютерні системи № 15 (91), 2014, с. 165-168.
9. В. И. Бугаев, М. П. Мусиенко, Я. М. Крайних / Лабораторный практикум для изучения микроконтроллеров архитектуры ARM Cortex-M4 на базе оценочного модуля

STM32F4Discovery - Москва -Николаев: МФТИ.-ЧГУ, 2013. -71 с.

10. Квашнин В.О. Методика определения динамических скоростной и токовой характеристик асинхронного электропривода [Текст] / В.О. Квашнин, А.В. Бабаш // *Электротехнические и компьютерные системы* № 19 (95), 2015, с. 28-32.

Получено 06.05.2016

References

1. Osama A. Al-Naseem and Mohamed A. El-Sayed, *Analysis of Electrical and Non Electrical Causes of Variable Frequency Drive Failures*, *IEEE 2013*, pp. 221-226 (In English)

2. Britov G.S. Metod testovogo diagnostirovaniya lineynykh dinamicheskikh sistem [A Method for Testing Linear Dynamic Systems] *Informacionno upravljajushhie sistemy*, № 1, 2015, pp. 77-84v (In Russian)

3. Smirnov V.I. Metody i sredstva funkcion-al'noj diagnostiki i kontrolja tehnologicheskikh processov na osnove jelektro-magnitnykh datchikov [Methods and means of functional diagnostics and control of technological processes on the basis of electromagnetic sensors] *Elektrichestvo № Ul'janovskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet, Ul'janovsk: UIGTU, 2001*, pp. 190 (In Russian)

4. Wiesław Juszczak, Zygmunt Kich, Mieczysław Zajac, *Diagnostics of a Selected AC Drive Using Parallel Processing*, *Proceedings of the International Conference on Parallel Computing in Electrical Engineering (PARELEC'02)*, 2002 IEEE, pp. 6 (In English)

5. Haitham Abu-Rub, Sk. Moin Ahmed, Atif Iqbal, M. Rahimian, H.A. Toliyat, *Incipient Bearing Fault Diagnostics for Inverter Fed Induction Motor Drive using ANFIS*, *XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010*, Rome, pp. 978 (In English)

6. Joro F. Martins, Vitor F. Pires, Tito Amaral, *Induction motor fault detection and diagnosis using a current state space pattern recognition*, Elsevier B.V., *Pattern Recognition Letters* 32 (2011), pp. 321–328 (In English)

7. Stjashkin V. P., Podejko P. P., Zajchenko O. A., Gavriljuk S. I., Ryzhkov A. M. Avtomatizirovannaja sistema upravlenija jelektroprivodami mostovogo krana-manipuljatora dlja ustanovki dezaktivacii metallov [Automated control system of overhead crane-manipulator electric drives for metals decontamination plant] *Elektrotehnicheskie i kompyuternie sistemi* № 19 (95), 2015, pp. 71-74 (In Russian)

8. Maljar A. V., Kaluzhnyj B. S., Golovach I. R., Andreishin A. S. Aparatno-programna

realizacija sistemi keruvannja shtangovoju glibinopompovoju ustanovkoju [Hardware and software solutions of control system of a deep-well pumping unit] *Elektrotehnichni i komp'juterni sistemi* № 15 (91), 2014, pp. 165-168 (In Ukrainian)

9. V.I. Bugayov, M.P. Musienko, Y.M. Kranih *Laboratorniy praktikum dlya izucheniya mikro-kontrollerov arhitekturi ARM Cortex M4 na baze ochenochnogo modulya STM32F4Discovery* [Laboratory practicum for studying microcontrollers of ARM Cortex-M4 architecture based on evaluation board STM32F4Discovery] *Moscow-Nikolaev: MFTI. -CGU, 2013*. – pp. 71 (In Russian)

10. Kвашnin V.O., Babash A.V. Metodika opredeleniya dinamicheskikh skorostnoy i tokovoy harakteristik asinhronnogo elektroprivoda [Development of determining dynamic rotary speed and current characteristics methods of asynchronous electrical drive] *Elektrotehnicheskie I kompyuternie sistemi* № 19 (95), 2015, pp. 28-32 (In Russian)



Квашнин Владислав Валериевич
асп. каф. «Автоматизация производственных процессов» Донбасской гос. Машиностр. академии
Тел. 0666843123
E-Mail: vladyslavnew@bk.ru



Клименко Галина Петровна
д.т.н., проф., зав. каф. «Автоматизация производственных процессов» Донбасской гос. Машиностр. академии
Тел. 0502198511
E-Mail: app@dgma.donetsk.ua



Квашнин Валерий Олегович
к. т. н. доц. каф. «Электро-механические системы автоматизации и электропривод» Донбасской гос. Машиностр. академии
Тел. 0626416893, 0509897701
E-Mail: v.kвашnin@mail.ru