

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Администрация Правительства Кузбасса
Администрация г. Новокузнецка
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

15-16 декабря 2022 г.

**Новокузнецк
2022**

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, д.т.н., проф. В.Ю. Островляничик,
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 15-16 декабря 2022 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – 632 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2022

Библиографический список

1. ГОСТ Р 53386-2009. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Термины и определения– Текст : электронный // ГОСТ Р 53386-2009: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200074481>(дата обращения: 23.11.2022).
2. ГОСТ Р 53429-2009. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Основные параметры конструкции. – Текст : электронный // ГОСТ Р 53429-2009 : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200075977> (дата обращения: 23.11.2022).
3. ГОСТ Р 51040-1997. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Шаги координатной сетки. – Текст : электронный // ГОСТ Р 51040-1997: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200027689> (дата обращения: 23.11.2022).

УДК 622.6

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШПУ С МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Рогожников И.П., Борщинский М.Ю.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия,*

Аннотация. Рассмотрены особенности и требования к электроприводу шахтной подъёмной установки. Предложена функциональная схема физической модели с микропроцессорной системой управления. Разработана принципиальная схема и печатная плата устройства.

Ключевые слова: шахтная подъёмная установка, электропривод, широтно-импульсная модуляция, двухконтурное регулирование, микроконтроллеры, энкодер, датчик тока.

Abstract. The features and requirements for the electric drive of a mine hoist are considered. A functional diagram of a physical model with a microprocessor control system is proposed. A schematic diagram and a printed circuit board of the device have been developed.

Keywords: mine hoist, electric drive, pulse-width modulation, two-loop control, microcontrollers, encoder, current sensor.

Среди электроприводов в горнодобывающей промышленности особое место занимает электропривод шахтных подъёмных установок (ШПУ), прежде всего - рудных подъёмов, являющихся самыми мощными потребителями электроэнергии. Это - электропривод среднего быстродействия, характеризующийся наличием больших маховых масс и упругих соединений между ними, что оказывает существенное влияние на формирование динамических и статических свойств электропривода [1].

В диаграмме движения ШПУ присутствуют три основных периода: разгон, движение с установившейся скоростью, замедление. Наиболее распространенной для шахтных подъёмных машин является так называемая шестипериодная диаграмма скорости, в соответствии с которой осуществляется движение скиповых подъёмных установок, а также ряда клетевых. В скиповых подъёмных установках следует выделить и режим растормаживания, который заключается в том, что в момент снятия механического тормоза на валу подъёмной машины создается момент, равный статической нагрузке [2] (рисунок 1).

В каждом из режимов к электроприводу предъявляются различные требования, сформулированные как условия плавности движения для уменьшения динамических нагрузок с ограничением параметров пути, скорости, ускорения, рывка.

Целью работы является разработка физической модели ШПУ. Это позволит изучить особенности данного типа электроприводов и учесть их при проектировании микропроцессорной системы управления.

На рисунке 2 представлена функциональная схема стенда.

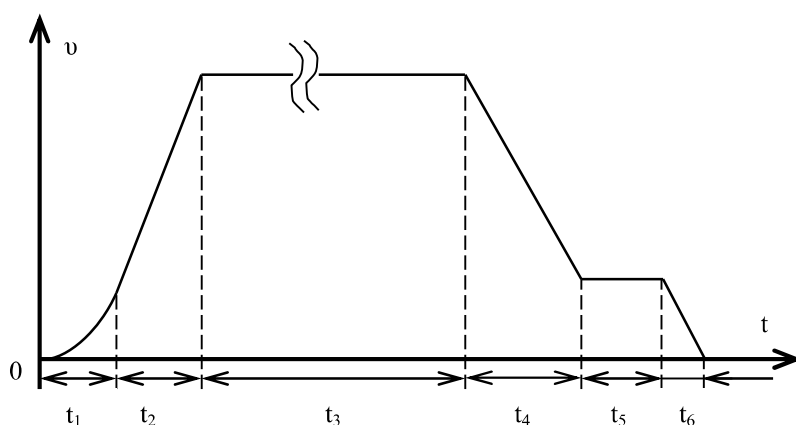


Рисунок 1 – Шестипериодная диаграмма скорости подъемной установки

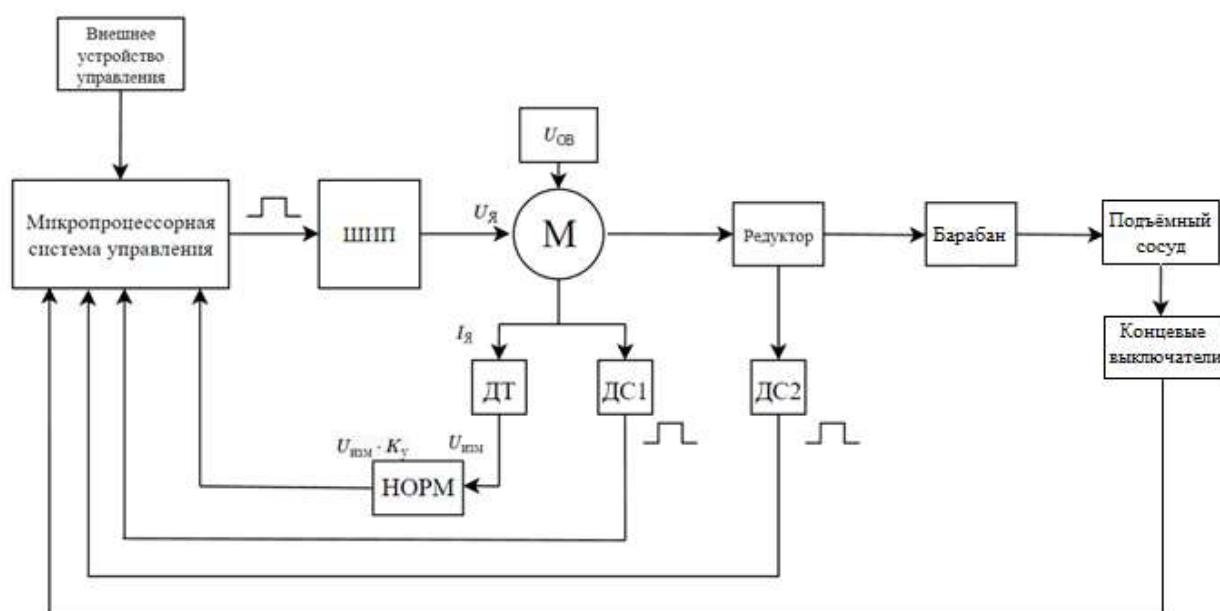


Рисунок 2 – Функциональная схема стенда

Система электропривода с цифровым управлением состоит из нескольких элементов.

Электромеханическая часть включает двигатель и рабочий механизм. Его назначение - приведение в движение исполнительных органов стенда по заданному закону. Электрический двигатель (ЭД) механически соединён с редуктором. Крутящий момент, создаваемый ЭД, передается на редуктор, который в свою очередь, начинает поворачивать барабан с намотанным канатом, поднимая/опуская подъемный сосуд. Крайние положения сосудов контролируются с помощью герконовых концевых выключателей. К ЭД подключены датчики тока (ДТ) и скорости (ДС1), к редуктору - датчик скорости (ДС2).

Датчик тока на эффекте Холла формирует сигнал пропорциональный току якоря электродвигателя. Для согласования уровней напряжения (5 В датчика и 3,3 В АЦП микроконтроллера) применён нормализатор на операционном усилителе.

Датчики скорости представляют собой инкрементальные энкодеры с разрешающей способностью 1000 импульсов на оборот, что позволяет считывать углы поворота двигателя и редуктора с высокой точностью и преобразовывать их в скорость вращения. Уров-

ни напряжений датчиков скорости (ДС1, ДС2) согласованы со счётными входами микроконтроллера, поэтому они подключены напрямую.

Устройство преобразования энергии представляет собой диодный выпрямитель переменного напряжения сети в постоянное и широтно-импульсный преобразователь (ШИП) на силовых транзисторах. Напряжение ШИП в виде высокочастотных импульсов амплитудой 5В подаётся на якорь двигателя. Среднее напряжение электродвигателя зависит от скважности импульсов и задаётся широтно-импульсным модулятором микроконтроллера. В качестве ШИП использовано готовое устройство IBT2 на базе двух H-полумостов BTS7960. Применение ШИП позволяет гибко управлять двигателем с высоким быстродействием: тормозить, разгонять и реверсировать. Питание обмотки возбуждения электродвигателя независимое.

Микропроцессорная система управления (MCU) представлена в виде отладочной платы EK-TM4C123GXL от фирмы Texas Instruments. Основу платы составляет 32-разрядный микроконтроллер TM4C123GH6PMI серии Tiva C с частотой 80 МГц на базе ARM Cortex M4F. Микроконтроллеры серии Tiva C оснащены 12-разрядным АЦП с полной скоростью 1 MSPS, 40 выходами ШИМ, 2 интерфейсами квадратурного энкодера и широкой поддержкой коммуникационных периферийных устройств, включая 8 UARTS, 4 SPI/SSI и 6 I2C [3]. Программирование выполняется в среде разработки Code Composer Studio на языке C.

В MCU предусмотрен модуль приёма/передачи данных по радиоканалу частотой 2,4 ГГц NRF24L01 от фирмы Nordic Semiconductor для подключения беспроводных датчиков и контроллеров.

Внешнее управление платы организовано с использованием протоколов PS/2 и RS485. Для выполнения основных операций, например, запуск, ускорение, замедление и реверс электропривода, по протоколу PS/2 была организована связь с IBM PC/AT совместимой клавиатурой, расположенной на стенде.

Поддержка протокола RS485 позволяет удалённо получать команды (например, изменение коэффициентов регулятора) минуя программирование контроллера напрямую от кафедрального сервера. Также имеется возможность подключать дополнительные датчики, поддерживающие этот протокол.

Отладочная плата EK-TM4C123GXL должна быть связана со всеми перечисленными устройствами (датчики, ШИП, внешнее управление, источник питания), поэтому была разработана и изготовлена печатная плата принципиальная схема, которой представлена на рисунке 3.

На рисунке 4 показан внешний вид платы MCU. На ней установлена отладочная плата с микроконтроллером и плата радиомодуля.

После подключения внешних проводников была проверена работоспособность стенда в целом. Задание скорости и выбор направления вращения двигателя выполнялись с помощью клавиатуры. Данные с датчиков можно наблюдать в среде разработки и передавать по RS485.

Разработанный стенд позволит обучающимся кафедры Электротехники, электропривода и промышленной электроники приобрести практические навыки программирования микропроцессорной системы управления, изучить особенности работы систем управления ШПУ и научиться задавать диаграммы скорости движения.

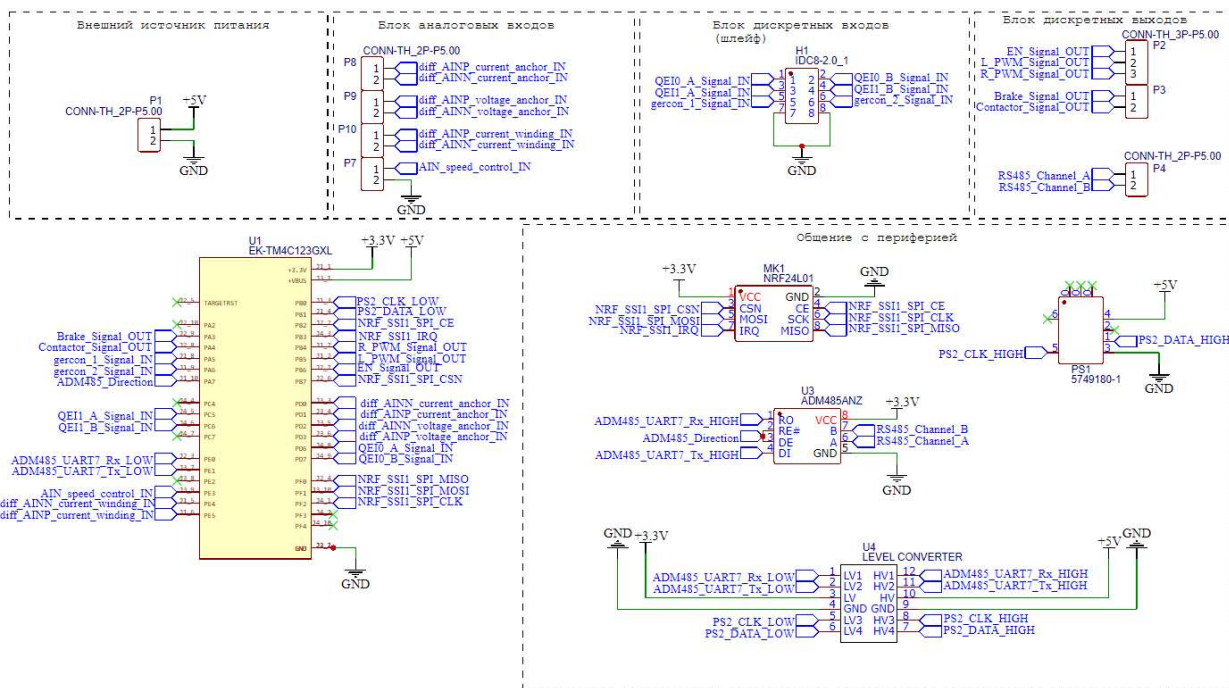


Рисунок 3 – Принципиальная схема МСУ

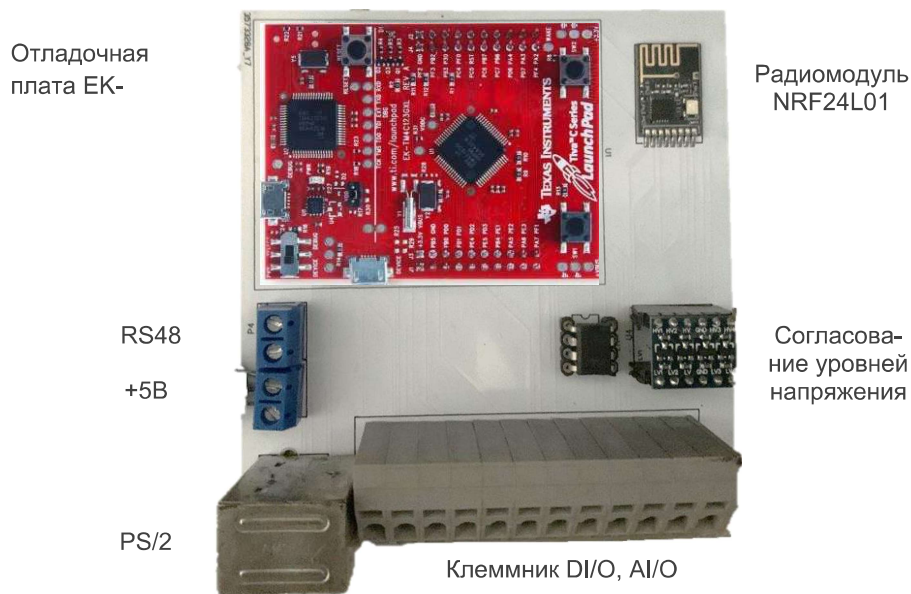


Рисунок 4 – Внешний вид платы управления

Библиографический список

1. Островлянич В.Ю. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства. – Томск, изд-во ТГУ, 1997. – 359 с.
2. Киричок Ю.Г. Привод шахтных подъемных установок большой мощности [Текст]/Ю.Г. Киричок, В.М. Чермалых. –М.: Недра, 1972.–256 с.
3. EK-TM4C123GXL Evaluation board [Электронный ресурс] URL: <https://www.ti.com/tool/EK-TM4C123GXL>.

Рогожников И.П., Борщинский М.Ю.

Физическая модель ШПУ с микропроцессорной системой управления	616
СПИСОК АВТОРОВ.....	620
СОДЕРЖАНИЕ	623