

**BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 1991-3494

Volume 6, Number 370 (2017), 52 – 59

UDC 621.869.2

P. A. Petrov, Yu. V. Gerasimova, V. P. Ivel, S. S. Moldakhmetov

North Kazakhstan State University named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, Kazakhstan.
E-mail: sayatmoldakhmetov@gmail.com

SYSTEM OF LIFTING AND ROTATION OF RAILWAY CARS

Abstract. This article represents the results of development of the railway car lifting-rotation system that is adaptive to the variables of inertia moment and resistance moment. The given system is based on multi-motor electric drive with asynchronous motors. Equal load distribution is fulfilled through motor speed control using frequency converters according to the developed control algorithm. This algorithm was implemented in MATLAB by means of vector control. The article shows the simulation predictions and experimental setup of the system of lifting-rotation of railway cars.

Keywords: lifting-rotation, multi-ton objects, multimotor electric drive, railway car, adaptive system.

УДК 621.869.2

П. А. Петров, Ю. В. Герасимова, В. П. Ивель, С. С. Молдахметов

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан

СИСТЕМА ВРАЩЕНИЯ-ПОДЪЕМА ЖД ВАГОНОВ

Аннотация. В статье приведены результаты разработки системы подъема-поворота ЖД вагонов адаптивной к переменным моменту инерции и моменту сопротивления. Предложенная система построена на основе многодвигательного электропривода с использованием асинхронных электродвигателей. Равномерное распределение нагрузки осуществляется за счет регулировки частоты вращения электродвигателей через преобразователи частоты согласно разработанному алгоритму управления. Данный алгоритм реализован в среде MATLAB с использованием векторного управления. В статье представлены результаты моделирования и экспериментальная установка системы подъема поворота ЖД вагонов.

Ключевые слова: подъем-поворот, многотонные объекты, многодвигательный электропривод, ЖД вагоны, адаптивная система.

Введение. В настоящее время многие нововведения в оборудовании и инфраструктуре вновь привели к росту использования железных дорог [1]. Это в свою очередь дало новый импульс производству и ремонту железнодорожных вагонов. В силу своих больших массогабаритных показателей возникает ряд задач, связанных с подъемом и поворотом железнодорожных вагонов. Такие системы должны обеспечить эффективную, но при этом безопасную и надежную работу, снизить риск травмирования людей и порчи имущества.

К настоящему времени создано уже большое количество различных систем управления подъемом и вращением ЖД вагонов и предложено множество подходов к их проектированию [2]. Последние разработки акцентируют внимание на многодвигательных электроприводах [3-6]. Это позволяет использовать электропривод с меньшей массой, жесткостью и развиваемым моментом, уменьшаются собственные моменты трения и инерции установки. Все это снижает габариты устройства подъема-поворота, его стоимость, повышает надежность работы оборудования. Вместе с тем, наряду с положительными факторами при использовании многодвигательных электропри-

водных систем остро встает проблема обеспечения совместной работы электродвигателей при равномерной их загрузке в составе многодвигательного электропривода [7, 8].

Большинство из известных многодвигательных электроприводных систем используют асинхронный электропривод с векторным управлением моментом электродвигателя [9] и отличаются лишь устройством управления. Современные достижения в области информационных систем и электроники, в частности, в области математического моделирования систем и процессов, позволяют исследовать и проектировать достаточно сложные нелинейные системы автоматического управления, в том числе системы по подъему-повороту многотонных объектов [10]. В данной статье приведены результаты разработки и исследования системы подъема-поворота ЖД вагонов (СППВ) на основе многодвигательного электропривода. Отличительной особенностью разрабатываемой системы является адаптивность к переменным моменту инерции и моменту сопротивления.

Описание системы подъема-поворота ЖД вагонов. При разработке системы подъема-поворота ЖД вагонов достаточно исследовать подсистему поворота ЖД вагона. Это связано с тем, что подсистема подъема ЖД вагонов структурно и функционально практически не отличается от системы поворота, но требования по качественным характеристикам к системе управления подъемом на порядок ниже, чем к поворотной системе управления. Это объясняется тем, что нагрузка на двигатели в этом случае имеет практически стационарный характер. Это обстоятельство позволило при всех дальнейших исследованиях использовать систему управления вращением, и полученные таким образом результаты в полной мере будут относиться и к системе управления подъемом.

На рисунке 1 показана блок-схема системы поворота ЖД вагонов, которая состоит из аппаратной и программной частей. При этом аппаратная часть включает в себя систему управления и силовой блок, состоящий из асинхронных двигателей АД1 и АД2, понижающих редукторов Р1 и Р2 и преобразователей частоты. На каждый из редукторов установлены датчики оборотов Э1 и Э2, сигнал с которых поступает на систему управления.

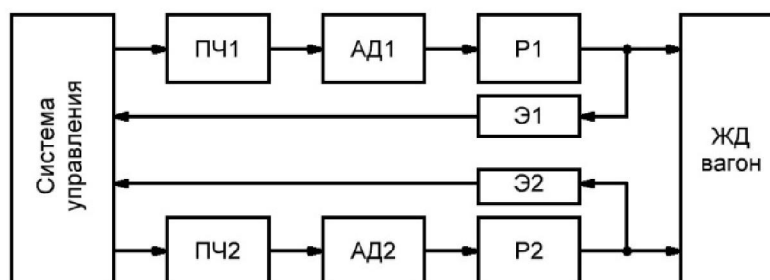


Рисунок 1 – Блок-схема системы подъема-поворота ЖД вагонов

Для проведения исследования собран макет подъема-поворота ЖД вагонов, состоящий из реальных узлов и физической модели объекта управления в масштабе 1:10 (рисунок 2). Макет представляет собой платформу с установленными по краям асинхронными двигателями 4AX80A4Y3. Двигатели соединены с понижающими мотор-редукторами ДРВ20-Т с передаточным отношением 1500 и датчиками числа оборотов ЛИР-362. Понижающие мотор-редукторы соединены через кронштейны с площадкой, имитирующей раму вагона. Регулировка частоты вращения асинхронных электродвигателей осуществляется системой управления через преобразователи частоты.

В качестве системы управления может быть использован ПК с платой ввода-вывода PCI-1710HGU, либо блок управления на базе платформы Arduino Mega2560. Алгоритм управления реализован в системе MATLAB. Таким образом, к программной части, следует отнести регулятор скорости, пространственно-векторный модулятор, обратную отрицательную интегрирующую связь, преобразователь и пакет Simulink.

Система управления на базе MATLAB. На рисунке 3 представлена схема для одного привода, которая построена в соответствии с описанным принципом структурного деления.

Управление скоростью вращения вала ротора в асинхронных трехфазных двигателях с короткозамкнутым ротором выполняется с использованием векторного управления. Одним из

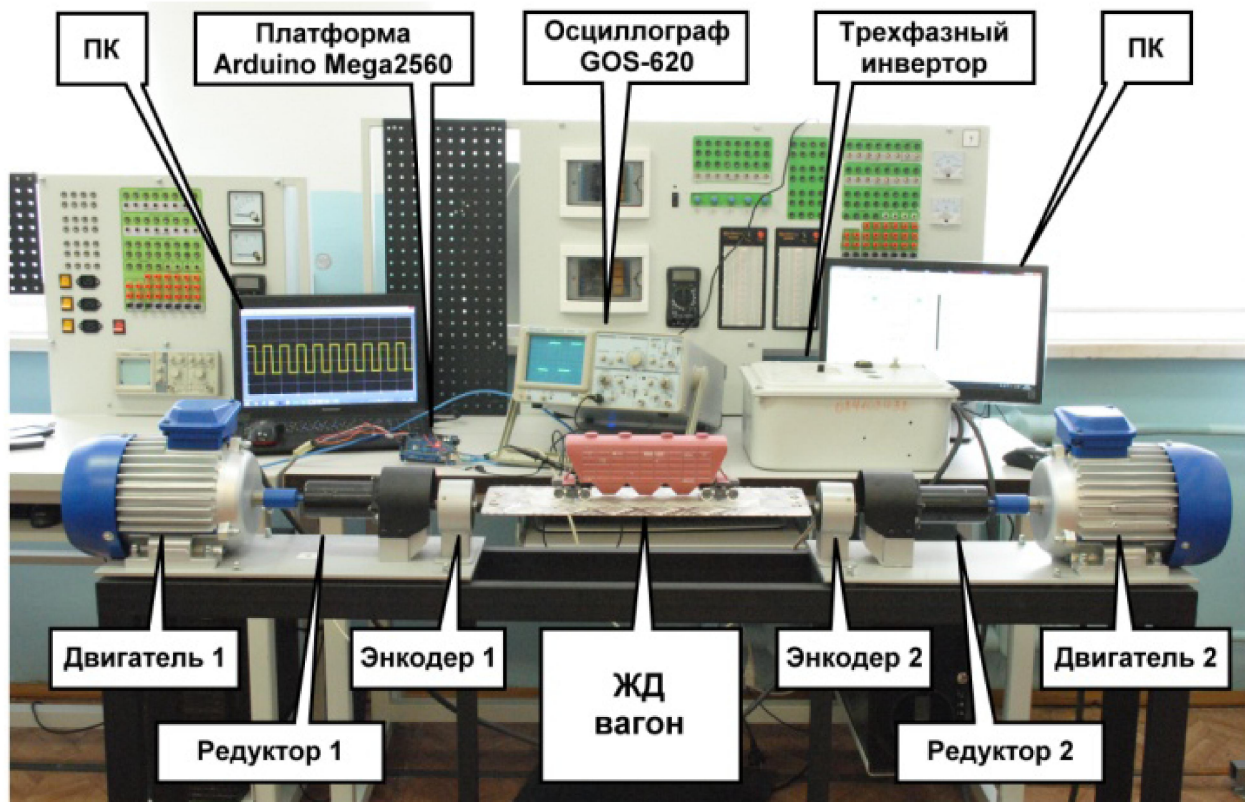


Рисунок 2 – Экспериментальная установка

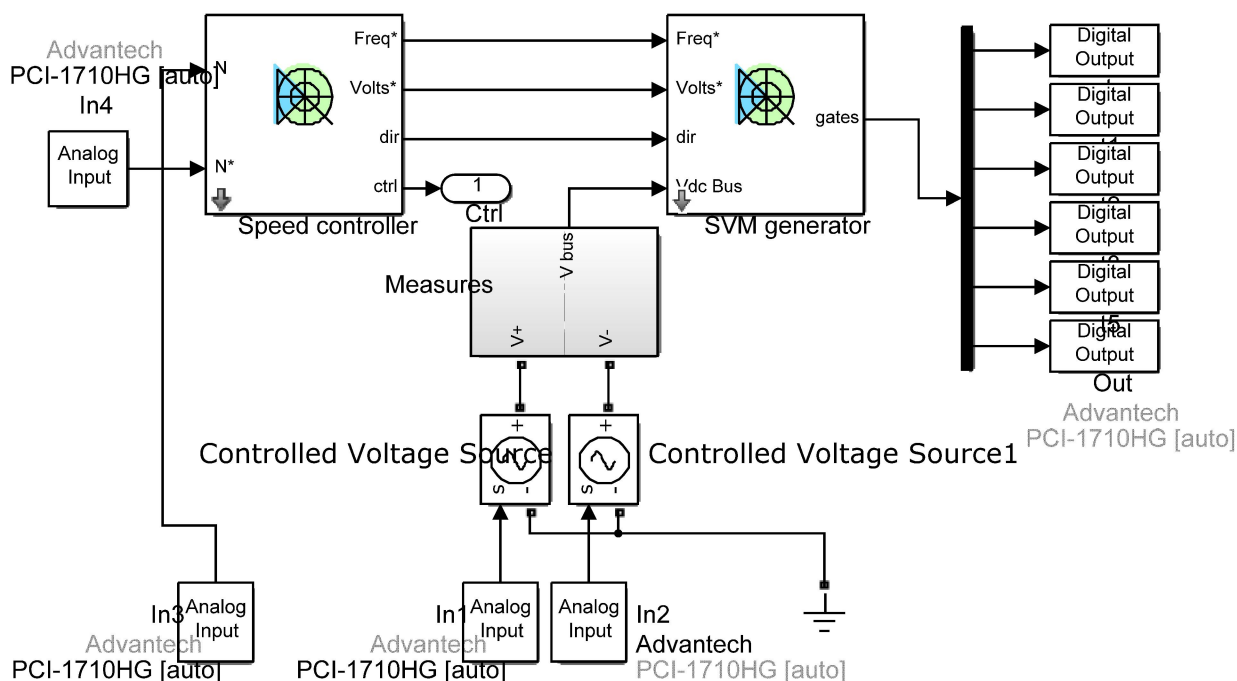


Рисунок 3 – Программная часть системы

основных элементов в этой схеме является пространственно-векторный модулятор. Аналоговые входы In1 и In2 подают через измеритель сформированное постоянное напряжение на пространственно-векторный модулятор. Через аналоговый вход In3 сигнал с энкодера (датчика оборотов)

поступает на регулятор скорости. Аналоговый вход In4 подключает датчик числа оборотов к регулятору скорости. Пространственно-векторный модулятор в зависимости от входных характеристик генерирует импульсы, которые подаются на шесть цифровых выходов (Digital Output). Далее эти сигналы поступают на трехфазный инвертор [11], где уже формируется трех-фазное напряжение для питания асинхронного электродвигателя.

На рисунке 4 представлена структурная схема поясняющая работу этого модулятора. Модулятор содержит семь блоков. Трехфазный генератор создает три синусоиды с изменяющейся частотой и амплитудой. Каждая синусоида сдвинута относительно другой на 120° . Блок $\alpha\beta$ -сектора применяется для реализации алгоритма модуляции пространственного вектора определяющего сектор для желаемого пространственного вектора выходного напряжения путем поиска необходимого угла. Затем необходимый пространственный вектор разбивается на компоненты векторов состояния, которые могут быть получены на выходной ступени в течение периода переключения. Вектор выходного напряжения ограничен по величине окружности, вписанной в шестиугольник, образованный активными векторами состояний.

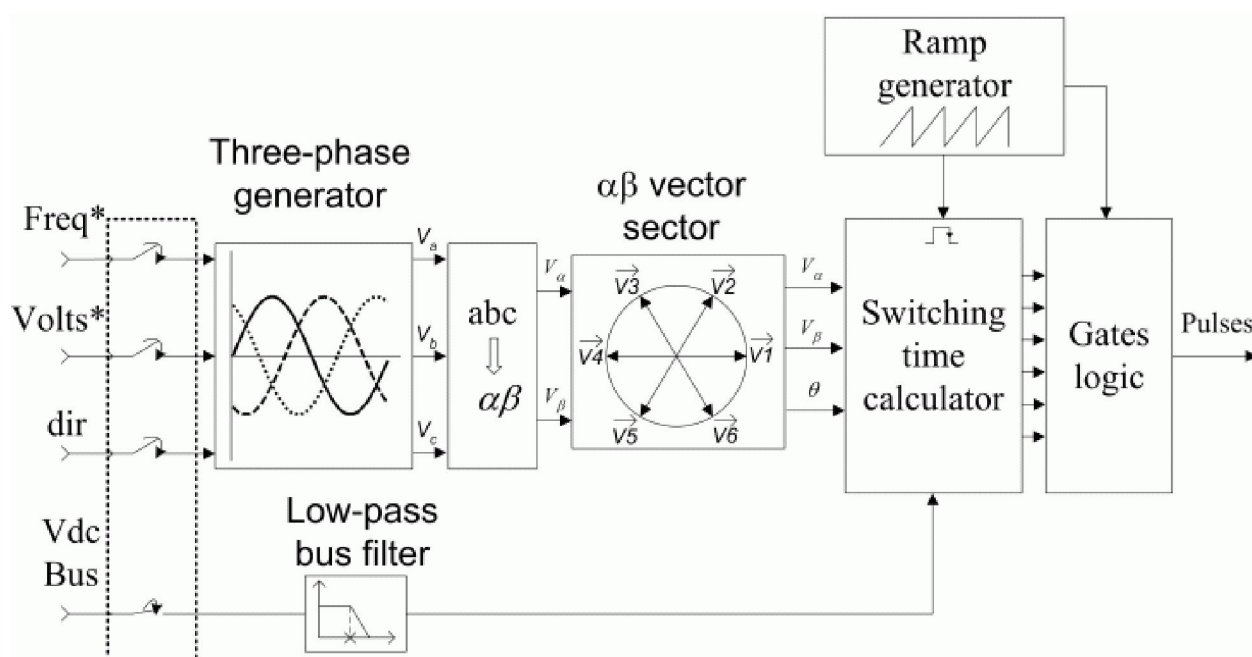


Рисунок 4 – Пространственно-векторный модулятор

Далее информация об угле поворота базового вектора выходного напряжения ϕ вместе с коэффициентом модуляции K_m поступает на блок формирования уровней компарирования (Switching time calculator). Генератор пилообразных напряжений служит для создания ШИМ-модуляции и определения времени переключения последовательности комбинации трехфазного инвертора. Фильтр низкой частоты служит для фильтрации выбросов на входе измеренного напряжения постоянного тока.

Логический блок (Gates logic) принимает временную последовательность из Switching time calculator и генератора пилообразных напряжений. Этот блок сравнивает эти два напряжения и создает сигнал для активизации ключей инвертора в определенное время. Инвертор входит в аппаратную часть системы и представляет собой мостовую схему.

Таким образом, на трех выходах инвертора будут генерироваться ШИМ-импульсы, представляющие собой различные комбинации открытых и закрытых транзисторов. Однако, поскольку, асинхронный электродвигатель (АСД), на который подаются эти импульсы, является фильтром низких частот, то можно предположить, что обмотки АСД будут воспринимать импульсы как синусоидальные колебания. Помимо этого синусоидальность управляющего напряжения может быть достигнута способом, указанным в [12].

На рисунке 5 представлены результаты совместного процесса моделирования на Simulink-модели (рисунок 3) и реального процесса работы аппаратной части СППВ. Сплошной линией представлена заданная скорость оборотов. Эта же линия соответствует скорости вращения вала первого электропривода. Поскольку на валу второго электропривода установлен повышенный нагрузочный момент, в определенный момент при скорости 900 об/мин скорость вращения второго электропривода (пунктирная линия) начинает отставать от заданной. Через 1,2 секунды с помощью корректирующей обратной связи отклонение скоростного режима устраняется. При этом скорости обоих приводов снижаются для безопасного, с точки зрения потребления энергии.

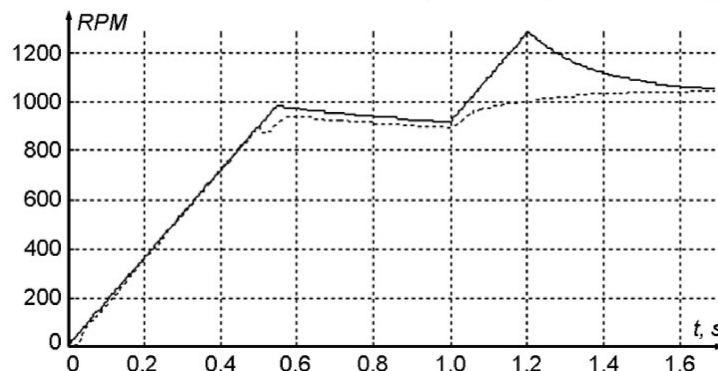


Рисунок 5 – Результаты моделирования реально-виртуальной двухдвигательной системы

Анализ полученного графика показывает, что переходной процесс продолжительности занимает более 1,2 секунды, т.е. процесс устранения рассогласования скоростей валов обоих двигателей достаточно медленный. Это объясняется тем фактом, что система MATLAB в реальном времени не успевает выполнять достаточно сложный алгоритм управления, поскольку принципы выполнения программ в системе MATLAB таковы, что система постоянно обращается к библиотекам различных программных пакетов системы и такая технология блочного выполнения алгоритма серьезно затягивает весь процесс управления. Поэтому при проектировании СППВ предусмотрена возможность замены программно-визуального управления в среде MATLAB программным управлением с использованием платформы Arduino Mega2560 [13].

Система управления на базе Arduino. Процесс записи программы в микроконтроллер AtMega2560 достаточно подробно описан в [14]. Блок управления одним приводом, построенным на автономной платформе Arduino показан на рисунке 6.

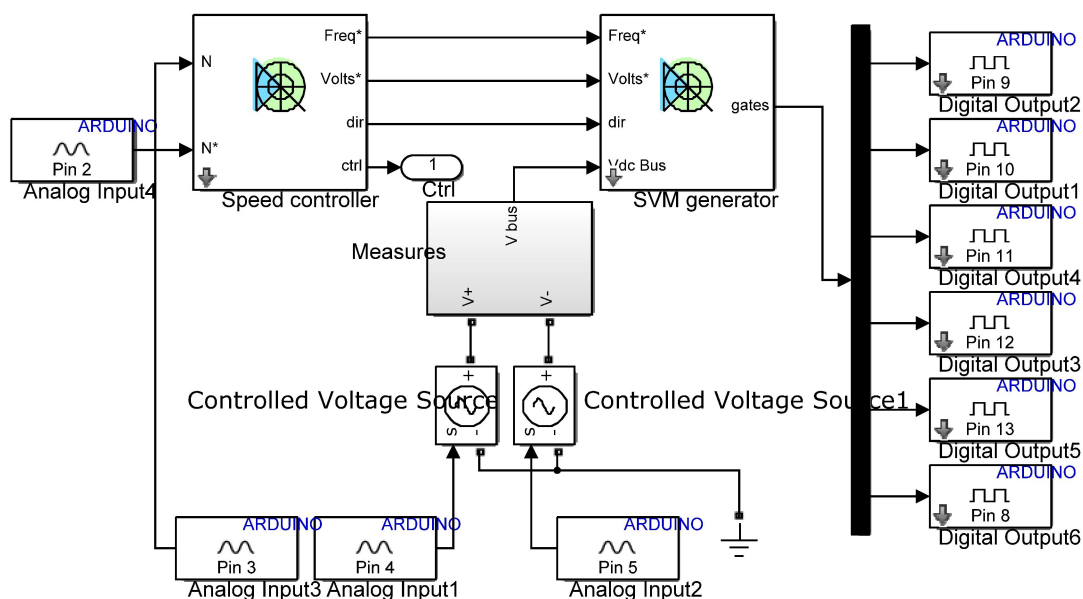


Рисунок 6 – Блок-схема блока управления на платформе Arduino Mega2560

Соединив входы и выходы полученного блока управления с силовой исполнительной частью СППВ, получим готовый автономный макет механизма вращения или кантования ЖД-вагонов. И все же, необходимо все же оставить интерфейс связи датчиков оборотов и компьютера на базе PCI-1710 для записи на виртуальный осциллограф отклонений скоростей вращения обоих приводов. Чтобы запустить механизм кантования необходимо подключить питание к плате Arduino и подключить силовое трехфазное напряжение к аппаратной части СППВ. Результат первого эксперимента с нагрузочными моментами, принятыми в предыдущих экспериментах, представлен на рисунке 7. Следует подчеркнуть, что нагрузочные моменты на валах обоих приводов создавались с помощью электромагнитных муфт.

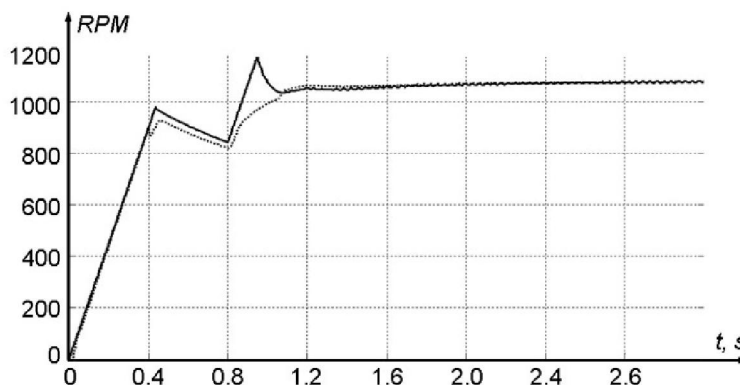


Рисунок 7 – Результаты моделирования реального макета двухдвигательной системы на платформе Arduino Mega2560

Анализ графика (рисунок 7) и сравнение его формы с формой графика (рисунок 5) показал, что переходный процесс по времени на последнем графике значительно уменьшился.

Заключение. Результаты моделирования и экспериментального исследования многоприводной системы подъема-поворота ЖД вагона, показали, что наиболее эффективным средством синхронизации вращения двух взаимосвязанных приводов при повышенном моменте нагрузки на одном из приводов является одновременное снижение скорости до величины, при которой повышенный момент нагрузки не оказывает влияние на эту скорость. При этом необходимо синхронизировать не только скорость, но и абсолютное число оборотов вала обоих двигателей. Для этого в обратной связи используется интегрирующее звено, которое преобразует угловую скорость в число оборотов. При этом время переходных процессов значительно меньше при использовании платформы Arduino.

Разработанная система может быть использована в электромеханических системах при работе нескольких электродвигателей на общую нагрузку в быстродействующих регулируемых электроприводах конвейеров, грузоподъемных кранах и другой техники, к которой предъявляются жесткие требования к массогабаритным и эксплуатационным характеристикам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sara Khayyam; Eduardo Pilo De La Fuente; Valeria Bagliano; Zihang Huang; Ignacio Gonzalez; Antonello Monti. 2016. Evolution of business model in railway industry in the presence of energy management system. CIREN Workshop 2016. 1-4.
- [2] Osevaldo Farias, Sofiane Labidi, Joao Fonseca Neto, Jose Moura and Samy Albuquerque. 2009. A Real Time Expert System For Decision Making in Rotary Railcar Dumpers. Automation Control - Theory and Practice. P. 297-310.
- [3] F.J. Perez-Pinal, C. Nunez, R. Alvarez, I. Cervantes. 2004. Comparison of multi-motor synchronization techniques. 30th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society. P. 1670-1675.
- [4] Minghui Li and Xiankun Meng. 2011. Analysis and design of system for multi-motor synchronous control. International Conference on Advances in Computer Science, Environment, Ecoinformatics and Education. pp. 268-273.
- [5] Теличко Л.Я., Корчагин А.А. Разработка и исследование системы двухдвигательного электропривода механизма кантования стационарных роторных вагоноопрокидывателей // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2011. – № 1. – С. 23-28.
- [6] Федоров М.М., Грудачев А.Я., Ткаченко А.А. Динамика электромеханических процессов электроприводов шахтных вагоноопрокидывателей // Научный вестник дгма №2. – Домбасс, 2011 г. – С. 161-165.
- [7] Shuping Chen, Kuan Zhang, Wei Zhang, Zhiyuan Shi, Chun Liu, Jinhu Chen and Tianqi Liu. 2010. Design of multi-motor synchronous control system. Chinese Control Conference. P. 3367-3371.

[8] Anton Morozov, Nikita Dobroskok, Victor Lavrinovskiy and Olga Mokhova. 2017. Stability analysis of mechanical coupled two-motor asynchronous electric drive. 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). P. 953-957.

[9] Pabitra Kumar Behera, Manoj Kumar Behera and Amit Kumar Sahoo. 2014. Comparative Analysis of scalar and vector control of Induction motor through modeling and simulation. International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering. 2(4): 1340-1344.

[10] Электромеханические характеристики электроприводов с переменными моментами инерции и сопротивления / Федоров М.М., Будисhevский В.А., Резников А.А. Ткаченко А.А. // Сборник научных трудов УкрНИИВЭ: Взрывозащищенное электрооборудование. – Донецк: Юго-Восток, Лтд, 2010. – С. 223-230.

[11] M.S. Aspalli, Asha R. and P.V. Hunagund. 2012. Three phase induction motor drive using IGBTs and constant V/f method. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. 1(5): 463-469.

[12] Исембергенов Н.Т., Молдахметов С.С. Инсепов Д.Г., Способ реализации многоуровневого силового инвертора на базе IGBT / Научный журнал «Вестник Казахстанско-Британского технического университета» №4 (35), 2015. С. 95-100.

[13] Munadi and M. Amirullah Akbar. 2014. Simulation of fuzzy logic control for DC servo motor using Arduino based on MATLAB/Simulink. International Conference on Intelligent Autonomous Agents, Networks and Systems. P. 42-46.

[14] Ивель В.П., Герасимова Ю.В. Использование платформы arduino mega 2560 для управления двухдвигательной системой вращением крупногабаритных объектов. Международный научный журнал «Наука и мир» ISSN 2308-4804. – Волгоград, 2014. – Т. 1, № 4(8). – С. 86-90.

REFERENCES

[1] Sara Khayyam; Eduardo Pilo De La Fuente; Valeria Bagliano; Zihang Huang; Ignacio Gonzalez; Antonello Monti. 2016. Evolution of business model in railway industry in the presence of energy management system. CIRED Workshop. 2016. 1-4. (in Eng.).

[2] Osevaldo Farias, Sofiane Labidi, Joao Fonseca Neto, Jose Moura and Samy Albuquerque. 2009. A Real Time Expert System For Decision Making in Rotary Railcar Dumpers. Automation Control - Theory and Practice. P. 297-310. (in Eng.).

[3] F.J. Perez-Pinal, C. Nunez, R. Alvarez, I. Cervantes. 2004. Comparison of multi-motor synchronization techniques. 30th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society. P. 1670-1675. (in Eng.).

[4] Minghui Li and Xiankun Meng. 2011. Analysis and design of system for multi-motor synchronous control. International Conference on Advances in Computer Science, Environment, Ecoinformatics and Education. P. 268-273. (in Eng.).

[5] Telichko L.Ya., Korchagin A.A. Razrabotka i issledovanie sistemyi dvuhdvigatel'nogo elektroprivoda mekhanizma kantovaniya statsionarnykh rotornykh vagonoprokidyivately. Elektrotehnicheskie kompleksy i sistemyi upravleniya. 2011. N 1. P. 23-28. (in Russ.).

[6] Fedorov M. M., Grudachev A. Ya., Tkachenko A. A. Dinamika elektromekhanicheskikh protsessov elektroprivodov shahtnykh vagonoprokidyivately. Nauchnyi vestnik dGMA. N 2. Dombass, 2011. P. 161-165. (in Russ.).

[7] Shuping Chen, Kuan Zhang, Wei Zhang, Zhiyuan Shi, Chun Liu, Jinhu Chen and Tianqi Liu. 2010. Design of multi-motor synchronous control system. Chinese Control Conference. P. 3367-3371. (in Eng.).

[8] Anton Morozov, Nikita Dobroskok, Victor Lavrinovskiy and Olga Mokhova. 2017. Stability analysis of mechanical coupled two-motor asynchronous electric drive. 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). P. 953-957. (in Eng.).

[9] Pabitra Kumar Behera, Manoj Kumar Behera and Amit Kumar Sahoo. 2014. Comparative Analysis of scalar and vector control of Induction motor through modeling and simulation. International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering. 2(4): 1340-1344. (in Eng.).

[10] Fedorov M. M., Budishevskiy V. A., Reznikov A. A. Tkachenko A. A. Elektromekhanicheskie harakteristiki elektroprivodov s peremennymi momentami inertsii i soprotivleniya. Sbornik nauchnykh trudov UkrNIIVE: Vzryivozaschisshchennoe elektrooborudovanie. Donetsk: Yugo-Vostok, Ltd, 2010. P. 223-230. (in Russ.).

[11] M.S. Aspalli, Asha R. and P.V. Hunagund. 2012. Three phase induction motor drive using IGBTs and constant V/f method. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. 1(5): 463-469. (in Eng.).

[12] Isembergenov N.T., Moldahmetov S.S. Insepov D.G., Sposob realizatsii mnogourovnevnogo silovogo invertora na baze IGBT. Nauchnyi zhurnal «Vestnik Kazahstansko-Britanskogo tehnikeskogo universiteta» N 4 (35), 2015. P. 95-100. (in Russ.).

[13] Munadi and M. Amirullah Akbar. 2014. Simulation of fuzzy logic control for DC servo motor using Arduino based on MATLAB/Simulink. International Conference on Intelligent Autonomous Agents, Networks and Systems. pp. 42-46. (in Eng.).

[14] Ivel V.P., Gerasimova Yu.V. Ispolzovanie platformyi arduino mega 2560 dlya upravleniya dvuhdvigatel'noy sistemoy vrascheniem krupnogabaritnykh ob'ektov. Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Nauka i mir» ISSN 2308-4804. Volgograd, 2014. Vol. 1, N 4(8). P. 86-90. (in Russ.).

П. А. Петров, Ю. В. Герасимова, В. П. Ивель, С. С. Молдахметов

М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Петропавл, Қазақстан

ТЕМІР ЖОЛЫ ВАГОНДАРДЫ АЙНАЛУ-КӨТЕРУ ЖҮЙЕСІ

Аннотация. Мақалада инерция моментіне және кедергі моментіне айнымалыларға бейімделген темір жол вагондарын көтеру-бұру жүйесін әзірлеу нәтижелері келтірілген. Ұсынылған жүйе асинхронды электр қозғалтқыштар пайдаланумен көп қозғалтқышты электр жетек негізде жасалған. Жүктемені тең мөлшерде бөлісу құрастырылған басқару алгоритмға сәйкес жиілік түрлендіргіші арқылы электр қозғалтқыштардың айналыс жиілігінің реттеуі есебінен жүзеге асады. Осы алгоритм векторлық басқару пайдаланумен MATLAB ортасында жүзеге асырылған. Мақалада модельдеу нәтижелері және темір жол вагондарын көтеру-бұру жүйесінің эксперименттік қондырғы көрсетілген.

Түйін сөздер: айналу-көтеру, көп тонналы объектісі, көп қозғалтқыш электр жетегі, темір жолы вагондары.

Сведения об авторах:

Петров Павел Анатольевич – старший преподаватель кафедры «Энергетика и радиоэлектроника» Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, СКО, г. Петропавловск, e-mail: paolo1988@mail.ru

Герасимова Юлия Викторовна – к.н.т., доцент кафедры «Энергетика и радиоэлектроника» Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, СКО, г. Петропавловск, e-mail: julyvic@mail.ru

Ивель Виктор Петрович – д.н.т., профессор кафедры «Энергетика и радиоэлектроника» Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, СКО, г. Петропавловск, e-mail: ivelvic@mail.ru

Молдахметов Саят Сайранович – старший преподаватель кафедры «Энергетика и радиоэлектроника» Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева, СКО, г. Петропавловск, e-mail: sayatmoldakhmetov@gmail.com