

УДК 681.5

В. А. ЗАРЕЦКИЙ

Г. И. ГУЛЬКОВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусский национальный технический университет (Минск, Беларусь)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Аннотация

Смоделирована система управления электропривода мобильного робота на основе синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ). Проведена проверка адекватности модели и сравнение результатов моделирования с результатами, полученными на прототипе.

Ключевые слова:

мобильный робот, СДПМ, система управления электроприводом, дифференциальный привод, моделирование электропривода, MATLAB.

Начиная с 2011 г. получает все большее распространение так называемая четвертая промышленная революция. Она заключается в интеграции киберфизических систем в производственные процессы. Это заключается в полностью автоматическом функционировании, прогнозировании и регулировании технологического процесса. Автоматические тележки и мобильные роботы являются неотъемлемой частью данного преобразования привычного производства. Мобильные роботы могут перевозить как грузы, так и оборудование, например роботов-манипуляторов. В концепции четвертой промышленной революции производственные модули взаимодействуют друг с другом посредством интернета вещей. Таким образом, участие человека в производственном процессе сводится к минимуму.

Существует несколько вариантов того, как привести автоматизированную тележку в движение:

- применение двух приводных колес и одного или двух поворотных колес. Такая система применяется во всех автомобилях;
- применение всенаправленных колес, так называемых омни- и меканумвиллов [1]. Данная система позволяет обеспечить движение тележки во всех направлениях, не изменяя угол поворота тележки в пространстве. Данная система успешно применяется компанией Kuka в автоматизированных тележках грузоподъемностью от 50 т, используемых в самолетостроении компании Airbus;
- применение дифференциального привода. Является на сегодняшний день одной из самых распространенных систем приведения тележек в движение [2].

Исследование будет проводиться для электропривода, работающего в системе дифференциального привода транспортной тележки.

Имитационное моделирование исследуемой системы электропривода (рис. 1 и 2) будет проводиться для режима, который будет применен при экспериментальном исследовании. Данный режим представляет собой разгон тележки до скорости 1 м/с, движение с этой скоростью и торможение до нуля и

движение тележки в обратную сторону с пониженной скоростью. В имитационной модели также учтены масса тележки и масса груза – 130 и 110 кг соответственно.

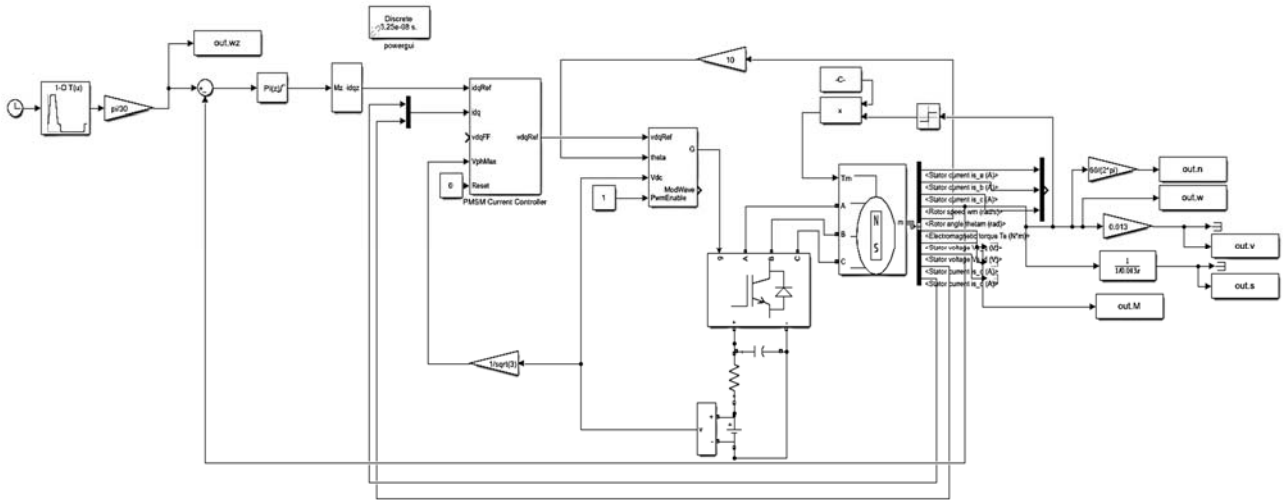


Рис. 1. Имитационная модель дискретной САУ СДПМ с учетом преобразования координат

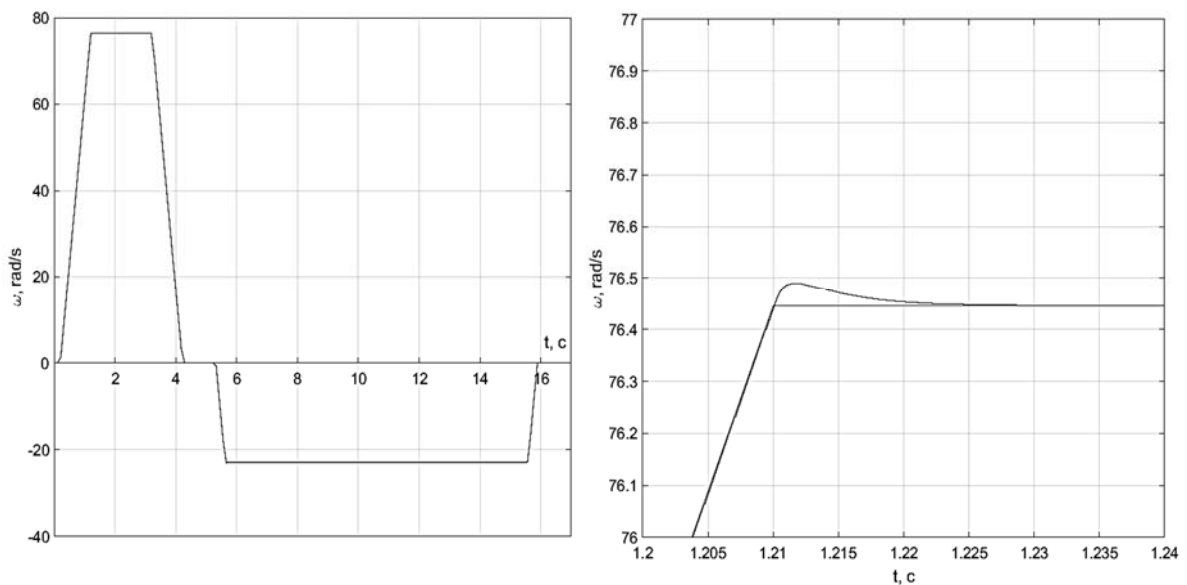


Рис. 2. Зависимость угловых скоростей двигателя $\omega = f(t)$ и $\omega_3 = f(t)$

В качестве экспериментального стенда выступает действующая транспортная тележка. Транспортная тележка оснащена покупным контроллером моторов, программа которого работает в соответствии с моделью.

Функциональная схема экспериментального стенда представлена на рис. 3.

На рис. 3 введены следующие обозначения: AGV Main board – главная плата автоматизированной тележки, которая осуществляет управление всеми системами тележки; MCU – микроконтроллер TMS320F28335, в программе которого реализовано векторное управление двумя двигателями дифференциального

привода транспортной тележки; Др – драйверы трехфазных транзисторных мостов; АИН – автономный инвертор напряжения; ВМС – система управления батареями тележки; АКБ – аккумуляторная батарея транспортной тележки.

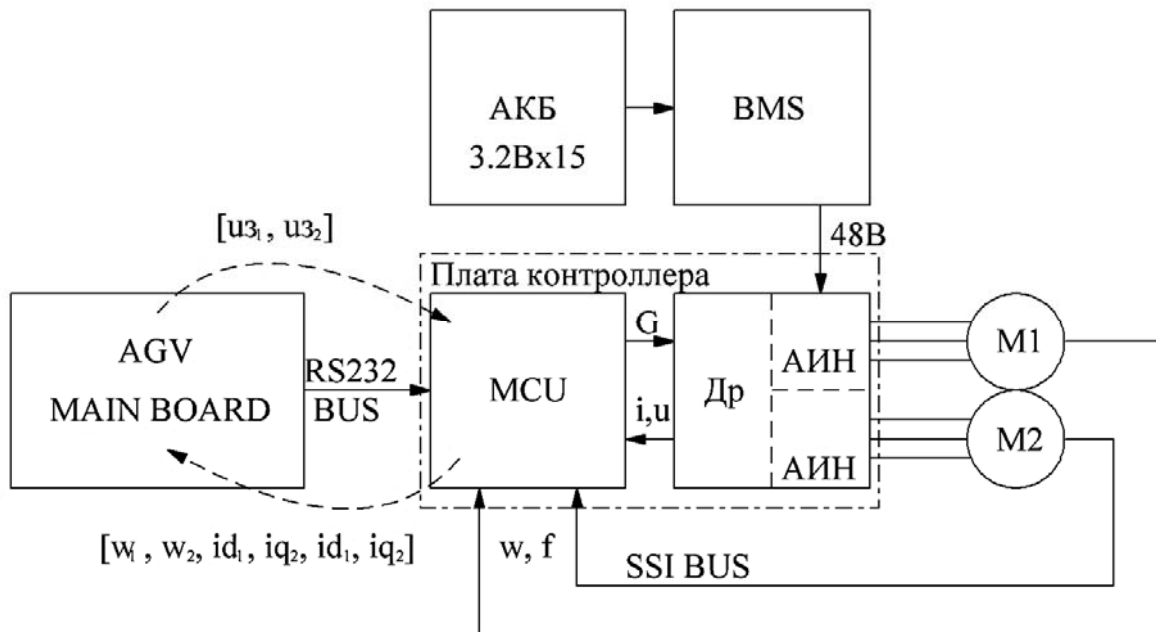


Рис. 3. Функциональная схема экспериментального стенда

Принцип работы экспериментального стенда: программа управления автоматизированной тележкой формирует задание на вращение каждого из колес дифференциального привода для обеспечения прямолинейного движения тележки. Система автоматического управления, реализованная в программе микроконтроллера, преобразует задание в сигналы управления ключами трехфазного АИН в соответствии с реализуемым векторным управлением с учетом обратных связей по току (от датчиков на основе элемента Холла) и положения ротора (от энкодера мотор-колеса по шине SSI).

Запись результатов эксперимента производится с частотой 10 Гц, логирование производится для значений скорости и токов в осях $d-q$.

Алгоритм проведения эксперимента представляет собой разгон тележки с грузом до номинальной скорости и последующее торможение (рис. 4). Масса тележки порядка 150 кг, масса груза порядка 110 кг, разгон осуществляется до скорости 1 м/с.

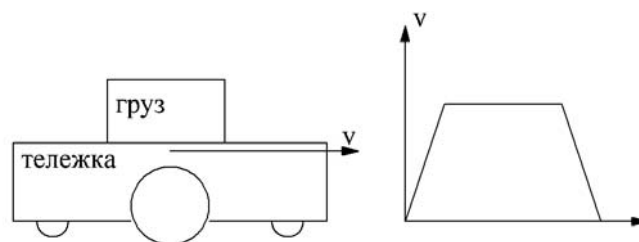


Рис. 4. Алгоритм проведения эксперимента

Интерес представляет сравнение результатов имитационного моделирования с полученными результатами эксперимента. Наложенные графики, полученные при имитационном моделировании, и экспериментальные представлены на рис. 5–8. Обозначение ex и mod означают экспериментальные и смоделированные.

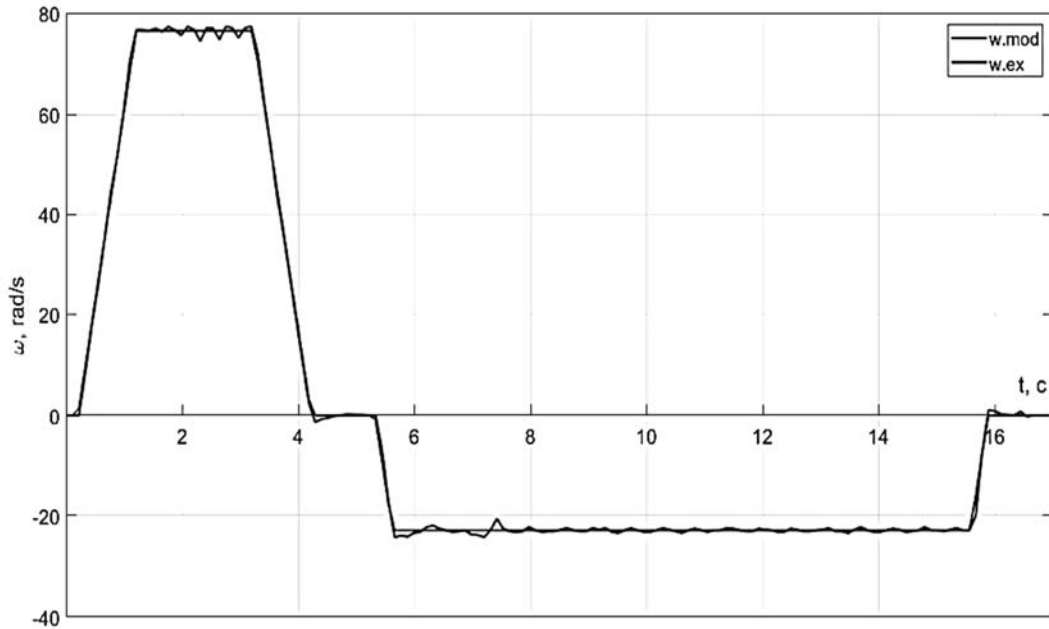


Рис. 5. Зависимости $\omega = f(t)$ и $\omega_3 = f(t)$

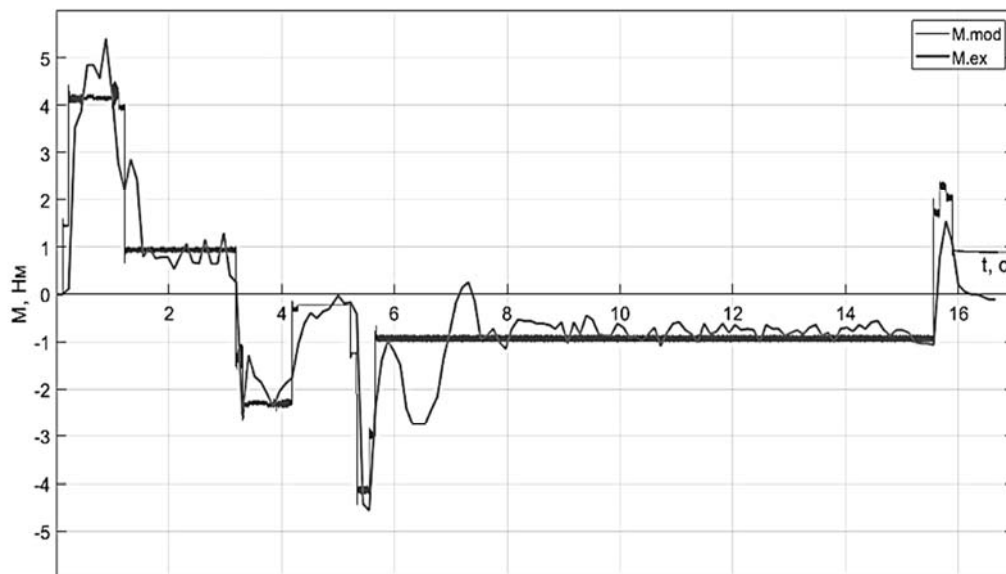


Рис. 6. Момент на валу двигателя $M = f(t)$

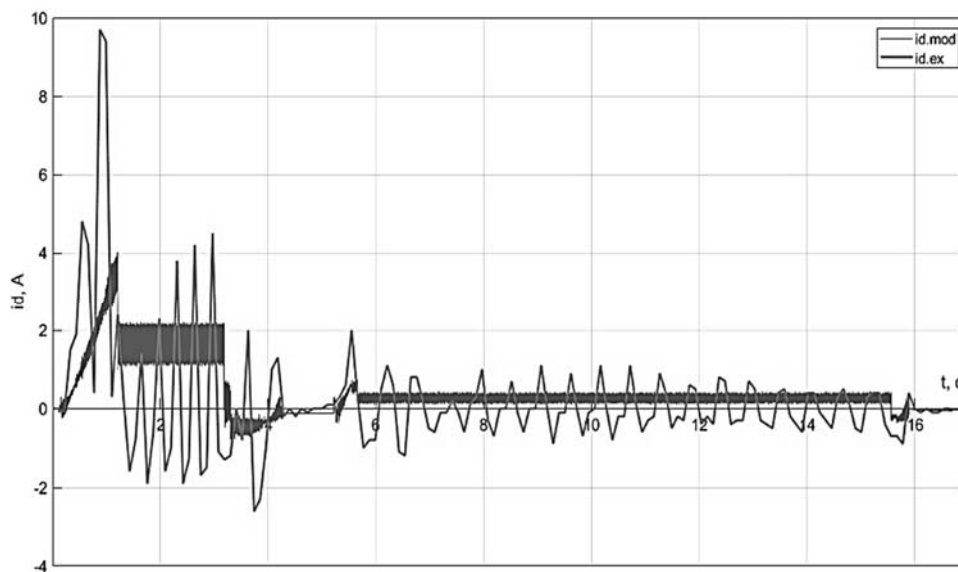


Рис. 7. Ток двигателя $i_d = f(t)$ по оси d

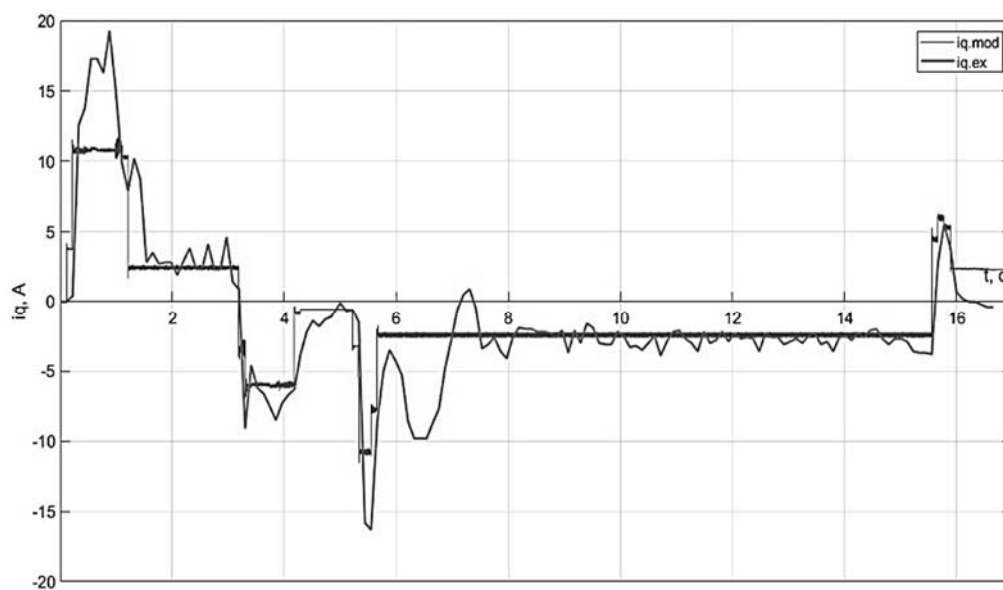


Рис. 8. Ток двигателя $i_q = f(t)$ по оси q

Как видно из графиков, полученных при моделировании, а также графиков, полученных при проведении экспериментального испытания, имитационная модель соответствует реальному устройству, реализованному с использованием рассчитанных коэффициентов регуляторов.

Важно отметить, что в реальной системе присутствуют колебания выходной величины – скорости вращения вала двигателя, в то время как в имитационной модели эти колебания отсутствуют. Это обусловлено тем, что при расчетах регуляторов присутствует ряд допущений, не учтено несовершенство настройки фильтров, также не учтены случайные события, инерционность реальной

системы (так сцепление колес с полом не является постоянным и изменяется в зависимости от дефектов покрытия), инерционность подвески колес дифференциального привода тележки, момент инерции тележки при повороте вокруг вертикальной оси и пр.

Решением данной проблемы системы автоматического управления может быть индивидуальная юстировка коэффициентов регуляторов для каждой конкретной тележки и для каждого конкретного двигателя, что при серийном производстве негативно скажется на трудоемкости производства одной единицы продукции.

Также решением может быть синтез системы автоматического управления положением тележки с учетом математической модели дифференциального привода и системы автоматического управления синхронным двигателем с постоянными магнитами. Данный вопрос изучен мало и в коммерческих решениях применяется табличный вариант управления скоростью и поворотом тележки, т. е. задается таблица соответствий скоростей колес заданной скорости и повороту тележки, система по-прежнему остается двухконтурной для каждого двигателя [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Adriane Turner.** Evaluation of Automated Storage and Retrieval in a Distribution Center / Adriane Turner // B. S. Chemical Engineering, University of California Santa Barbara, 2014. – 54 p.
2. Sanchez S.; Bhounsule, P. A. Design, Modeling, and Control of a Differential Drive Rimless Wheel That Can Move Straight and Turn. Automation 2021, 2, 98–115.
3. Advanced Brushed and Brushless Digital Motor Controllers [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.roboteq.com/docman-list/motor-controllers-documents-and-files/documentation/user-manual/272-roboteq-controllers-user-manual-v21/file>. – Data of access: 15.08.2023.

Контакты:

strcartun@gmail.com (Зарецкий Владимир Александрович);

Ggulkov@bntu.by, G.gulkov@yandex.ru (Гульков Геннадий Игнатьевич).

U. A. ZARETSKI, G. I. GULKOW

MODELING OF THE ELECTRIC DRIVE FOR MOBILE ROBOT MOTION

Abstract

A control system for the electric drive of a mobile robot based on synchronous motors with permanent magnets has been modeled. The adequacy of the model was verified, and the results of the modeling were compared with the results obtained on the prototype.

Keywords:

mobile robot, SMPM, electric drive control system, differential drive, electric drive modeling, MATLAB.