

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

## INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

УДК 62-589.2

doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-1

### ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ

**В. В. Слепцов<sup>1</sup>, М. В. Мостовской<sup>2</sup>, И. Ю. Малышев<sup>3</sup>,  
И. А. Соколов<sup>4</sup>, А. П. Куличенков<sup>5</sup>, Г. К. Сотников<sup>6</sup>**

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

<sup>1</sup>vsleptsov@gmail.com, <sup>2</sup>mvmost@yandex.ru, <sup>3</sup>igor-malysh2013@yandex.ru,

<sup>4</sup>kozpova11@gmail.com, <sup>5</sup>anton.kulichenkov5@gmail.com, <sup>6</sup>goshasot@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Рассматривается актуальное направление совершенствования промышленных роботов-манипуляторов – снижение себестоимости информационно-измерительных и управляющих систем электроприводов. *Материалы и методы.* Приведена структурная и разработана принципиальная электрическая схема информационно-измерительных и управляющих систем электроприводов, отличающаяся минимальным количеством элементов. Разработана имитационная компьютерная модель электропривода с предлагаемой информационно-измерительной и управляющей системой в программе Matlab Simulink. *Результаты и выводы.* Приведены результаты исследования имитационной модели электропривода, соответствующие требованиям, предъявляемым к промышленным роботам-манипуляторам.

**Ключевые слова:** информационно-измерительная и управляющая система, электропривод, промышленные роботы, синхронный двигатель с постоянными магнитами, робот-манипулятор

**Для цитирования:** Слепцов В. В., Мостовской М. В., Малышев И. Ю., Соколов И. А., Куличенков А. П., Сотников Г. К. Информационно-измерительная и управляющая система электропривода промышленных роботов-манипуляторов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 4. С. 5–15. doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-1

### INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRIC DRIVE OF INDUSTRIAL ROBOT MANIPULATORS

**V.V. Sleptsov<sup>1</sup>, M.V. Mostovskoy<sup>2</sup>, I.Yu. Malyshev<sup>3</sup>,  
I.A. Sokolov<sup>4</sup>, A.P. Kulichenkov<sup>5</sup>, G.K. Sotnikov<sup>6</sup>**

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

<sup>1</sup>vsleptsov@gmail.com, <sup>2</sup>mvmost@yandex.ru, <sup>3</sup>igor-malysh2013@yandex.ru,

<sup>4</sup>kozpova11@gmail.com, <sup>5</sup>anton.kulichenkov5@gmail.com, <sup>6</sup>goshasot@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The current direction of improving industrial robotic manipulators is considered – reducing the cost of information, measuring and control systems of electric drives. *Materials and methods.* A structural diagram and a basic electrical diagram of information-measuring and control systems of electric drives, characterized by a minimum

number of elements, are presented. A computer simulation model of an electric drive with the proposed information, measuring and control system has been developed in the Matlab Simulink program. *Results and conclusions.* The results of a study of a simulation model of an electric drive that meet the requirements for industrial robotic manipulators are presented.

**Keywords:** information-measuring and control system, electric drive, industrial robots, permanent magnet synchronous motor, robot manipulator

**For citation:** Sleptsov V.V., Mostovskoy M.V., Malyshev I.Yu., Sokolov I.A., Kulichenkov A.P., Sotnikov G.K. Information-measuring and control system of the electric drive of industrial robot manipulators. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(4):5–15. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-1

### Введение

Одним из основных элементов автоматизированных производственных систем является робот-манипулятор. Промышленные роботы-манипуляторы входят в состав конвейеров (перемещение заготовок, деталей и др.), станков с ЧПУ для выполнения различных технологических операций (сверление, фрезерование, сварка и др.), а также применяются для работы с крупногабаритными изделиями. Использование роботов-манипуляторов позволяет повысить качество и производительность выполняемых работ, при этом не требует большого количества ресурсов на поддержание и обслуживание. Главным преимуществом данных устройств является возможность выполнения работы, на которую физически не способен человек. Именно это является основной причиной роста их использования и популярности. Поскольку человек управляет роботами-манипуляторами дистанционно, количество производственных травм значительно сокращается, что, безусловно, увеличивает безопасность работ. Помимо производства роботы-манипуляторы могут использоваться как отдельные модули в составе различных технических устройств, начиная от управляемых дронов и заканчивая различными протезами [1].

Основные подвижные части робота-манипулятора (рабочий орган, локоть, запястье, кисть и др.) управляются с помощью встроенных электроприводов. Известно, что электроприводы промышленных роботов и станков состоят из электрического двигателя (встроенного в составные части манипулятора) и информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС).

Позиционирование в пространстве робота-манипулятора (как правило, по четырем осям) осуществляется дистанционно по отдельно выведенным проводам связи. Комплект датчиков для измерения параметров положения (угловое положение) и скорости перемещения (угловая скорость) рабочего инструмента робота-манипулятора может устанавливаться непосредственно на электрическом двигателе либо в специальных местах технологической машины. Расстояние между отдельными узлами робота манипулятора и системой управления может достигать нескольких десятков метров.

При проектировании электропривода для промышленных роботов и станков все чаще поднимаются вопросы, связанные со снижением массогабаритных показателей, уменьшением себестоимости изделия, упрощением алгоритмов управления и настройки, повышением надежности [2] и т.д.

Одно из наиболее распространенных решений, связанных с упрощением принципов функционирования ИИУС электропривода, связано с отказом в использовании измерительной информации о токах, протекающих в обмотках электродвигателя. Благодаря данному решению исчезает необходимость в использовании датчиков тока в схеме силового инвертора, аппаратного интерфейса преобразования и передачи данных, а также отдельных элементов управления (регулятор тока), реализуемых как аппаратно, так и программно.

В настоящее время разработка высокопроизводительных, компактных, надежных и экономичных электроприводов промышленного назначения является приоритетным направлением развития современной техники. Так, например, отказ от канала коррекции тока в структурной схеме ИИУС электропривода может существенно повысить надежность, а также снизить себестоимость и время настройки изделия при незначительной потере в быстродействии.

Для проверки работоспособности разрабатываемой ИИУС электропривода и снижения затрат на макетирование и отладку часто применяются компьютерные технологии, в основе которых лежат специальные среды для разработки. К таким средам можно отнести Matlab Simulink, SimInTach, LabVIEW, PSIM и др.

Среди инженеров-разработчиков электроприводов, силовой электроники, механики, систем управления и другое большую популярность приобрела система блокового моделирования динамических систем Simulink, являющаяся подсистемой пакета прикладных программ Matlab.

В рамках данной статьи рассматривается процесс построения имитационной модели электропривода с ИИУС без контура тока, применимого в составе промышленных роботов-манипуляторов. Данная статья будет полезна инженерам-разработчикам и научным сотрудникам, занимающимся вопросами проектирования электроприводов в системе динамического моделирования Simulink.

### Структурная схема ИИУС электропривода без контура тока

В составе подвижных элементов роботов-манипуляторов чаще всего применяются двигатели постоянного тока (ДПТ) и синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ). По сравнению с ДПТ СДПМ является наиболее перспективной машиной в диапазоне малых и средних мощностей благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам. СДПМ применяют в двух режимах: режиме бесколлекторного двигателя постоянного тока (БДПТ) и вентильного двигателя (ВД). С точки зрения технической реализации электропривод с дискретной коммутацией фазных обмоток (режим работы БДПТ) значительно проще электропривода с позиционной модуляцией фазных напряжений по синусоидальному закону (режим работы ВД). Это объясняется тем, что управление коммутацией фаз может быть реализовано по простым алгоритмам на простейшей аналого-цифровой элементной базе, а частота ШИМ при управлении двигателем может быть существенно снижена (5–10 кГц), так как нет необходимости формирования их по синусоидальному закону.

Структурная схема предлагаемой ИИУС электропривода без контура коррекции тока представлена на рис. 1.

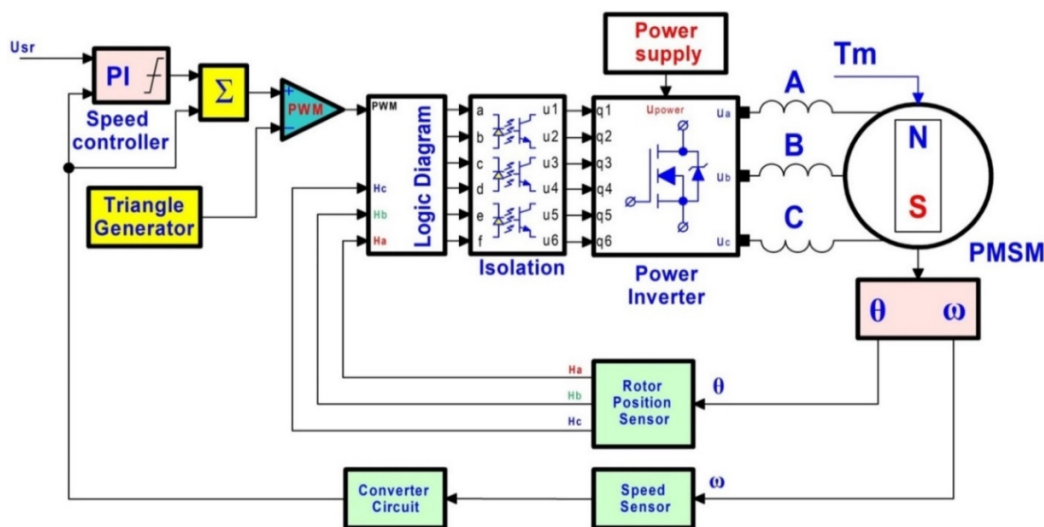


Рис. 1. Структурная схема электропривода с ИИУС без контура тока

Структурная схема ИИУС электропривода без контура тока (рис. 1) содержит следующие блоки: регулятор скорости, блок суммирования, широтно-импульсный модулятор (ШИМ), генератор треугольных импульсов, логическая схема управления силовыми транзисторами, масштабирующий усилитель, гальваническая развязка, силовой преобразователь, источник питания, синхронный двигатель с постоянными магнитами, датчик положения ротора (ДПР), датчик скорости. Отличительной особенностью данной ИИУС электропривода является введение в схему блока суммирования выходного сигнала регулятора скорости выходного сигнала датчика скорости [3].

ИИУС электропривода без контура тока (рис. 1) работает следующим образом. Входной сигнал задания скорости в виде постоянного или переменного напряжения (гармонический сигнал) в диапазоне  $\pm 10\text{В}$  (при аналоговой реализации) задает необходимое значение скорости вращения СДПМ. Согласно ГОСТ 27803-91 амплитуда входного напряжения задания скорости

должна быть пропорциональна скорости вращения электродвигателя. Заданное значение скорости в виде амплитуды входного сигнала поступает на вход регулятора скорости, где оценивается рассогласование действующего значения скорости вращения (выходной сигнал датчика скорости) и формируется сигнал задания момента двигателя. Регулятор скорости настраивается на симметричный оптимум.

Для устранения контура коррекции тока (регулятора тока и др.) в схему вводится блок суммирования выходного сигнала задания момента и выходного сигнала датчика скорости. Выходной сигнал блока суммирования поступает на вход схемы ШИМ. Частота модуляции управляющего сигнала задается генератором треугольных сигналов. Выходной сигнал широтно-импульсного модулятора 5 подается на вход логической схемы, управляющей 3-фазным силовым преобразователем. Управление 3-фазным силовым преобразователем осуществляется через гальваническую развязку (оптроны). Алгоритм включения транзисторов схемы силового преобразователя определяется выходным сигналом ДПР.

На выходе логической схемы с гальванической развязкой генерируется серия выходных сигналов, поступающих на вход силового преобразователя, который преобразует входные импульсы в напряжение на обмотках статора электродвигателя. Длительность управляющих импульсов логической схемы с гальванической развязкой определяется широтно-импульсным модулятором. ДПР на основе эффекта Холла имеет шесть логических комбинаций, каждая из которых соответствует 60 электрическим градусам. Выходные импульсы в измерительном канале сдвинуты на 120°. Логические комбинации датчика положения ротора необходимо преобразовать в шестиступенчатую комбинацию логической коммутации силового преобразователя.

Порядок переключения силовых транзисторов VT1, VT2, VT3...VT6 относительно выходных сигналов можно представить в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1

Порядок приключения силовых транзисторов

	Dз	Hc	Hb	Ha	q1	q2	q3	q4	q5	q6
CW	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0
	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0
	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1
	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
CCW	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0
	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0

Для реализации алгоритма переключения силовых транзисторов на логических элементах табл. 1 можно представить в виде уравнений (1)–(6):

$$Q_1 = D_3 \cdot \overline{H_B} \cdot H_A + \overline{D_3} \cdot H_B \cdot \overline{H_A}; \quad (1)$$

$$Q_2 = D_3 \cdot \overline{H_C} \cdot H_B + \overline{D_3} \cdot H_C \cdot \overline{H_B}; \quad (2)$$

$$Q_3 = D_3 \cdot H_C \cdot \overline{H_A} + \overline{D_3} \cdot \overline{H_C} \cdot H_A; \quad (3)$$

$$Q_4 = D_3 \cdot H_B \cdot \overline{H_A} + \overline{D_3} \cdot \overline{H_B} \cdot H_A; \quad (4)$$

$$Q_5 = D_3 \cdot H_C \cdot \overline{H_B} + \overline{D_3} \cdot \overline{H_C} \cdot H_B; \quad (5)$$

$$Q_6 = D_3 \cdot \overline{H_C} \cdot H_A + \overline{D_3} \cdot H_C \cdot \overline{H_A}. \quad (6)$$

Представленное техническое решение приводит к упрощению схемы ИИУС электропривода, уменьшению себестоимости изделия и времени настройки, а также повышению надежности (снижение количества элементов).

## Разработка имитационной модели ИИУС электропривода

Разработку имитационной модели ИИУС электропривода без контура тока выполним для ДПТ и СДПМ в среде разработки Matlab Simulink с применением блоков библиотек Simscape и SimPowerSystems.

В качестве объектов управления используются блоки Simulink библиотеки SimPowerSystems, а именно DC Machine и Permanent Magnet Synchronous Machine, представленные на рис. 2.

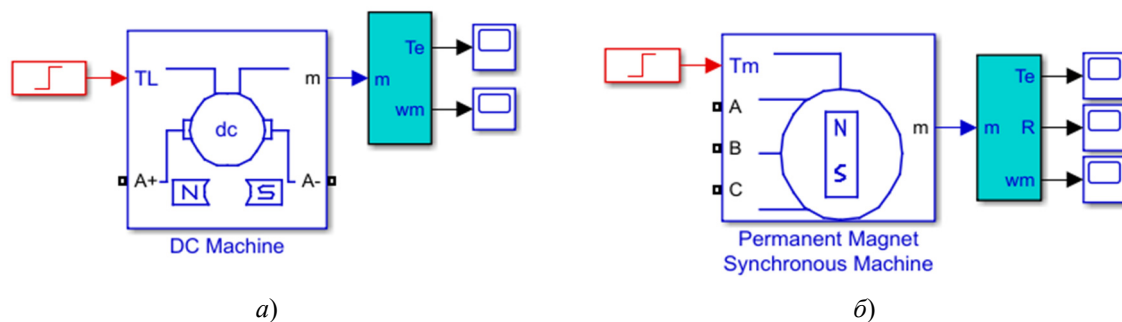


Рис. 2. Модели объектов управления (Matlab Simulink):

*a* – двигатель постоянного тока; *б* – синхронный двигатель с постоянными магнитами

Математические модели блоков DC Machine (рис. 2,*a*) и Permanent Magnet Synchronous Machine (рис. 2,*б*) описаны в литературе [4–7].

Для проведения имитационного моделирования используем параметры двигателей ДПУ-200–550-3-Д41 (DC Machine) и КМ-090-32-02 (Permanent Magnet Synchronous Machine). Основные характеристики двигателей представлены в табл. 2.

Таблице 2

## Характеристики используемых двигателей

Характеристики двигателей	ДПУ-200–550-3-Д41	КМ-090-32-02
Номинальная мощность электродвигателя, Вт	550	600
Номинальная частота вращения, об/мин	3000	1500
Напряжение питания электродвигателя, В	92	150
Номинальный ток якоря электродвигателя, А	7,4	4.2
Номинальный вращающий момент, Н·м	1,7	3
Момент инерции электродвигателя, кг·м <sup>2</sup>	0,00005	0,00075
Сопротивление обмотки якоря электродвигателя, Ом	1,2	3,5
Индуктивность обмотки якоря электродвигателя, Гн	0,001	0,0034
Количество пар полюсов	–	6
Коэффициент передачи по моменту, Н·м/А	0,29	1

Согласно структурной схеме (см. рис. 1) управление моделями двигателей (рис. 2) осуществляется идентично реальной принципиальной схеме, т.е. с помощью схемы силового инвертора (включая источник постоянного напряжения), трехпозиционного ДПР (для СДПМ), логической схемы управления силовыми транзисторами, аналоговой схемы ШИМ (включая генератор пилообразных сигналов) и блока задания управляющего напряжения.

Имитационная модель логической схемы управляющей силовыми транзисторами повторяет логические уравнения (1)–(6) и выполнена на базе блоков Logical Operator, From и Goto. При проектировании принципиальной электрической схемы РЭП логическая схема может быть реализована на программно-запоминающем устройстве (ПЗУ), отдельных логических микросхемах или микроконтроллере. На вход имитационной модели логической схемы управления транзисторами подаются выходные импульсы трехпозиционного ДПР (На, Нб, Нс). Выходные импульсы трехпозиционного ДПР поступают с модели 3-фазного СДПМ с трапецеидальной ЭДС (Permanent Magnet Synchronous Machine).

Модель логической схемы управления силовыми транзисторами представлена на рис. 3.

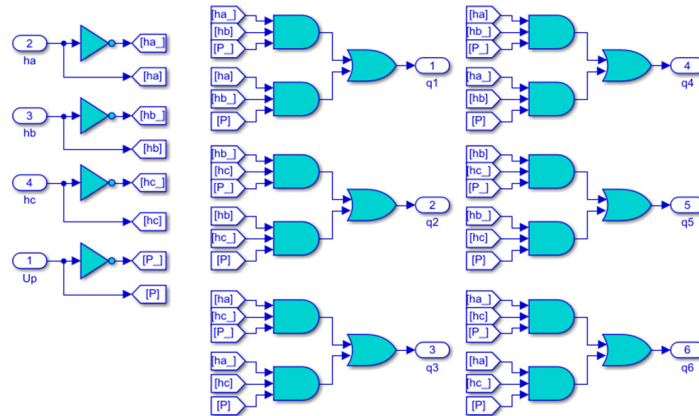


Рис. 3. Модель логической схемы (Matlab Simulink)

В случае управления ДПТ логическая схема управления силовыми транзисторами ограничивается одним инвертором.

Для проверки параметров электродвигателей и корректности работы логической схемы (рис. 3) соберем в программе Matlab Simulink схемы прямого пуска для блоков DC Machine и Permanent Magnet Synchronous Machine (рис. 4).

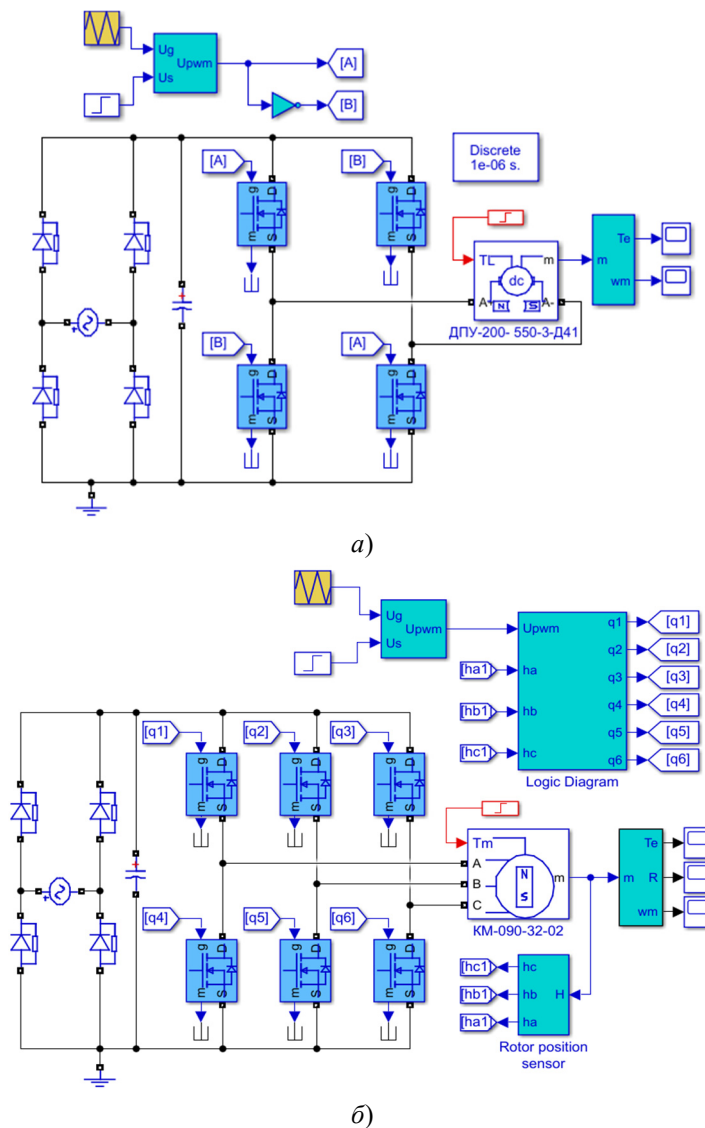


Рис. 4. Схемы прямого пуска ДПТ (а) и СДПМ (б)

Схемы прямого пуска (рис. 4) состоят из элементов типа Step, Mosfet, Diode, Series RLC Branch, Triangle Generator и др.

Исследование схем прямого пуска ДПТ и СДПМ (рис. 4) проведем при входном сигнале типа ступенька с амплитудой 10 В, частотой ШИМ равной 10 кГц и отсутствии внешнего момента. Моделирование проводилось дискретным методом интегрирования (Discrete) с шагом  $0,5 \cdot 10^{-6}$ . Результаты моделирования представлены на рис. 5.

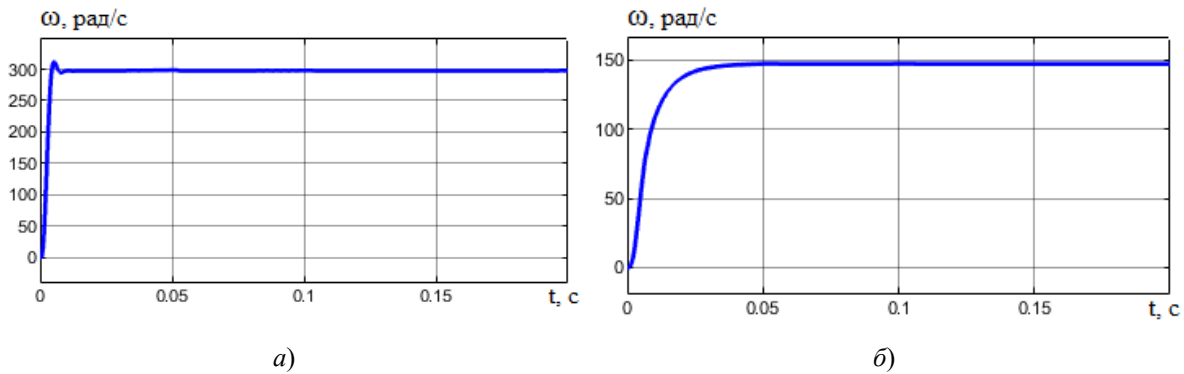


Рис. 5. Переходные процессы схем прямого пуска ДПТ (а) и СДПМ (б)

Согласно полученным результатам (рис. 5) можно сделать вывод, что модели силовых преобразователей, логических схем и другого обеспечивают корректную работу двигателей.

Используя модели схем прямого пуска (рис. 4), составим общие имитационные модели электроприводов с ИИУС без контура тока с ДПТ и СДПМ. Регулятор скорости ИИУС настраивается согласно условиям симметричного оптимума [8–10]. Разработанные имитационные модели представлены на рис. 6, 7.

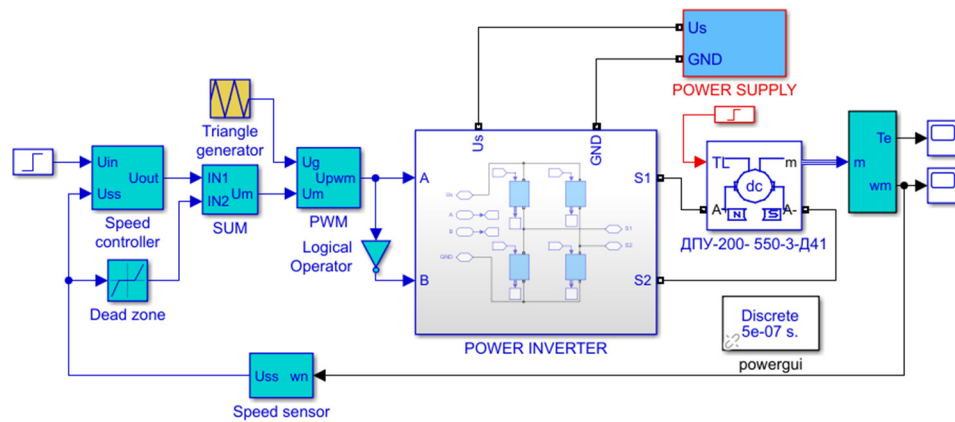


Рис. 6. Имитационная модель электропривода с ДПТ

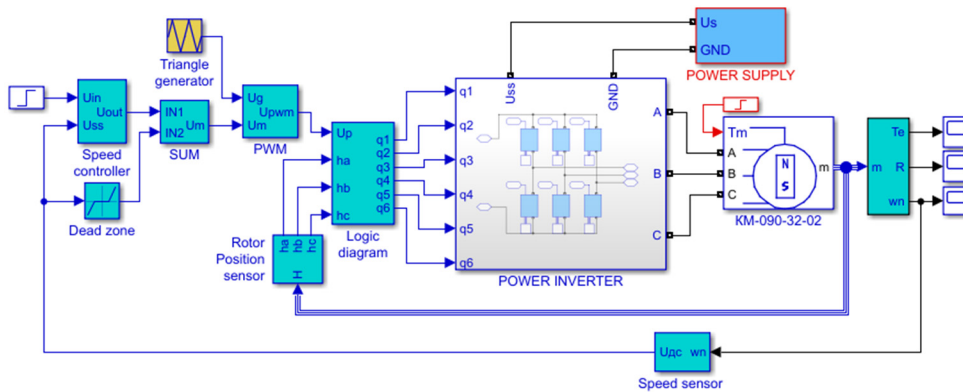


Рис. 7. Имитационная модель электропривода с СДПМ

Далее проведем исследования разработанных имитационных моделей электроприводов с ИИУС без контура тока (рис. 6, 7). Подадим на вход моделей электроприводов импульсные воздействия с амплитудами 10; 1; 0,1; 0,01 В и снимем графики переходных процессов скорости вращения электродвигателя. Результаты моделирования представлены на рис. 8–11.

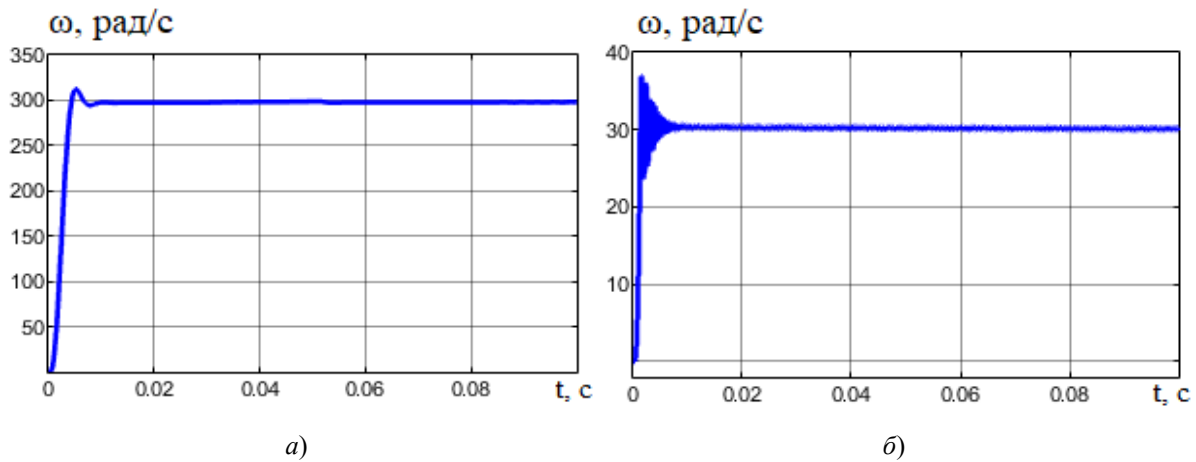


Рис. 8. Результаты моделирования электропривода с ДПТ при входном импульсе амплитудой 10 В (а) и 1 В (б)

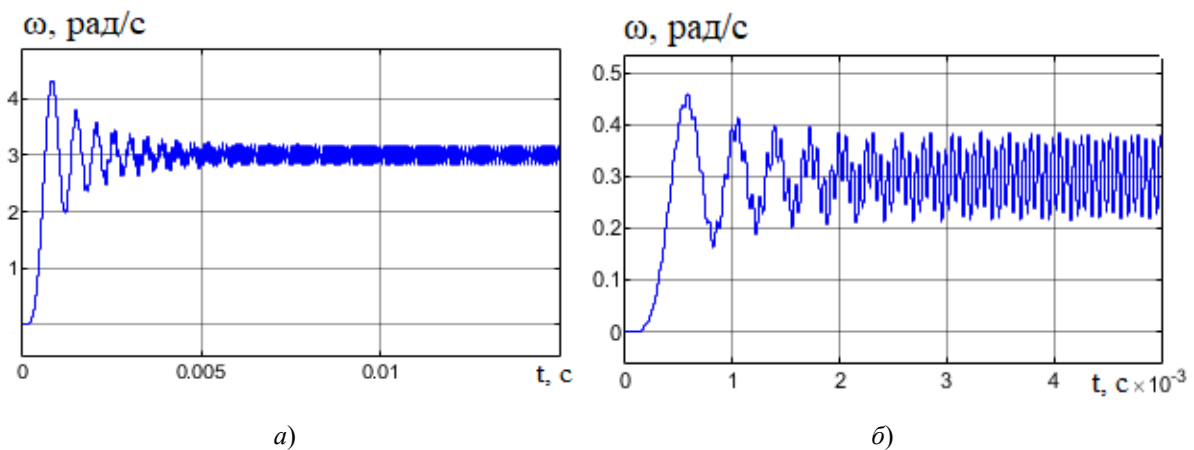


Рис. 9. Результаты моделирования электропривода с ДПТ при входном импульсе амплитудой 0,1 В (а) и 0,01 В (б)

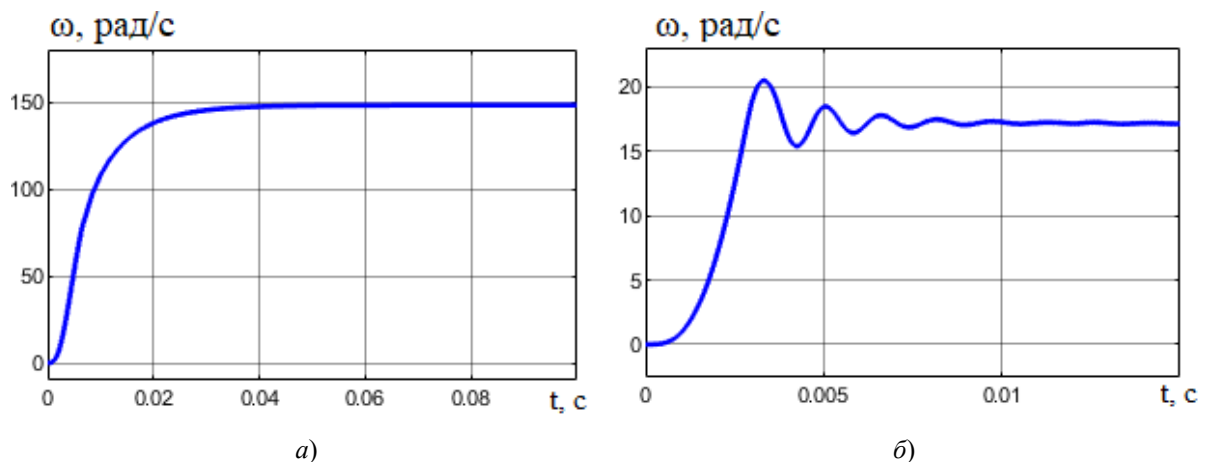


Рис. 10. Результаты моделирования электропривода с СДПМ при входном импульсе амплитудой 10 В (а) и 1 В (б)



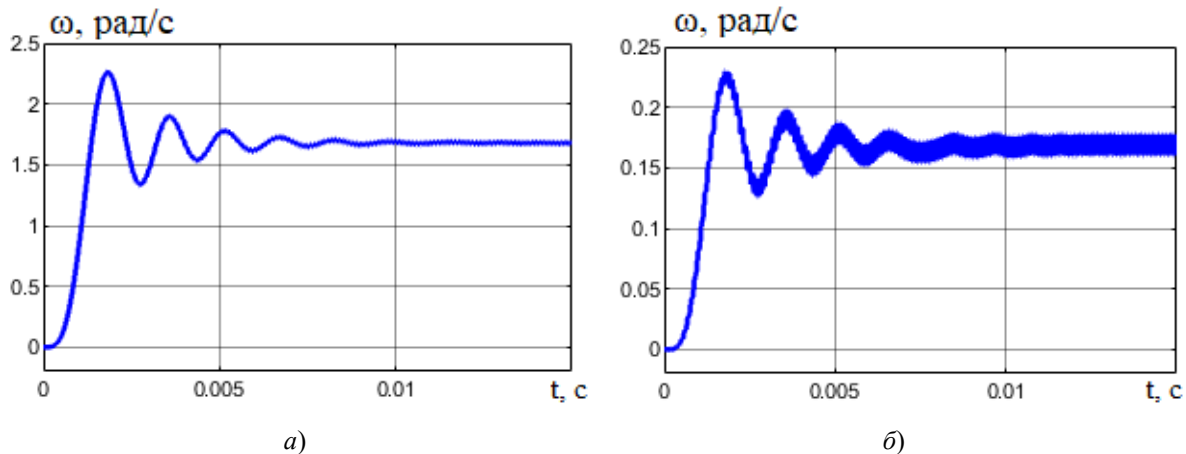


Рис. 11. Результаты моделирования электропривода с СДПМ при входном импульсе амплитудой 0,1 В (а) и 0,01 В (б)

Исходя из полученных графиков переходных процессов скорости вращения электродвигателей (см. рис. 8–11), можно сделать вывод, что представленная ИИУС электропривода без контура тока (см. рис. 1) может обеспечить диапазоны регулирования скорости от 5000 до 10000 (см. ГОСТ 27803-91).

### Заключение

На основании результатов, полученных в данной статье, можно сделать следующие выводы:

- разработка простых и надежных электроприводов для промышленных роботов является важной технической задачей;
- важным направлением повышения надежности электроприводов является отказ от применения контуров тока;
- наиболее перспективные электродвигатели и соответственно приводы на их основе, применяемые в составе промышленных роботов-манипуляторов, являются ДПТ и СДПТ;
- предлагаемая ИИУС электропривода без контуров тока обеспечивает в достаточной мере требования, предъявляемые к электроприводам промышленных роботов (см. ГОСТ 27803-91).

### Список литературы

1. Гараев Р. А., Рогожников А. О. Перспектива использования роботов манипуляторов в различных отраслях // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : материалы пятой Междунар. науч.-техн. конф. Петропавловск-Камчатский : Изд-во КамчатГТУ, 2022. С. 57–60.
2. Мостовской М. В., Слепцов В. В., Куликова Н. Н. Повышение надежности информационно-измерительной и управляющей системы электропривода лазерных установок // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1. С. 62–71.
3. Вегера Ж. Г., Слепцов В. В. Автоматизированный электропривод. Москва : МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. 107 с.
4. Черных И. В. Моделирование электромеханических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М. : ДМК Пресс ; СПб. : Питер, 2008. 288 с.
5. Aptel A., Walambe R., Joshi V. [et al.]. Simulation of a Permanent Magnet Synchronous Motor using Matlab-Simulink // Annual IEEE India Conference (INDICON). 2014.
6. Apostoia C. M. AC machines and drives simulation platform // Electric Machines & Drives Conference (IEMDC) : IEEE International. 2013. P. 1295–1299.
7. Chavhan M. P., Shinde S. M. Modeling and Simulation of a Controller of Brushless DC Motor for Electric Vehicle Application // National Conference on Innovation Trends in Science and Engineering. 2016. Vol. 4, iss. 7.
8. Мостовской М. В., Слепцов В. В., Орлов В. П., Артемова С. В. Теоретическая оценка метрологических характеристик информационно-измерительных и управляющих систем электропривода // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 1. С. 5–16.
9. Мостовской М. В. Регулируемый электропривод для лазерных технологических установок: оценка метрологических характеристик методом схмотехнического моделирования // Измерительная техника. 2022. № 2. С. 8–11.

10. Слепцов В. В., Мостовской М. В. Методика оценки метрологических характеристик регулируемого электропривода методом схмотехнического моделирования // ЗиПМ. 2021. № 1. С. 22–26.

### References

1. Garaev R.A., Rogozhnikov A.O. The prospect of using robotic manipulators in various industries. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya vodnogo transporta: problemy i puti razvitiya: materialy pyatoy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = Technical operation of water transport: problems and ways of development : materials of the Fifth International scientific and technical conference*. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Izd-vo KamchatGTU, 2022:57–60. (In Russ.)
2. Mostovskoy M.V., Sleptsov V.V., Kulikova N.N. Improving the reliability of the information-measuring and control system of the electric drive of laser installations. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2023;(1):62–71. (In Russ.)
3. Vegera Zh.G., Sleptsov V.V. *Avtomatizirovannyi elektroprivod = Automated electric drive*. Moscow: MIREA – Rossiyskiy tekhnologicheskii universitet, 2022:107. (In Russ.)
4. Chernykh I.V. *Modelirovanie elektromekhanicheskikh ustroystv v MATLAB, SimPowerSystems i Simulink = Modeling of electromechanical devices in MATLAB, SimPowerSystems and Simulink*. Moscow: DMK Press; Saint Petersburg: Piter, 2008:288. (In Russ.)
5. Aptel A., Walambe R., Joshi V. et al. Simulation of a Permanent Magnet Synchronous Motor using Matlab-Simulink. *Annual IEEE India Conference (INDICON)*. 2014.
6. Apostoia C.M. AC machines and drives simulation platform. *Electric Machines & Drives Conference (IEMDC): IEEE International*. 2013:1295–1299.
7. Chavhan M.P., Shinde S.M. Modeling and Simulation of a Controller of Brushless DC Motor for Electric Vehicle Application. *National Conference on Innovation Trends in Science and Engineering*. 2016;4(7).
8. Mostovskoy M.V., Sleptsov V.V., Orlov V.P., Artemova S.V. Theoretical assessment of metrological characteristics of information-measuring and control systems of electric drive. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2023;(1):5–16. (In Russ.)
9. Mostovskoy M.V. Adjustable electric drive for laser technological installations: assessment of metrological characteristics by the method of circuit modeling. *Izmeritel'naya tekhnika = Measuring equipment*. 2022;(2):8–11. (In Russ.)
10. Sleptsov V.V., Mostovskoy M.V. Methodology for assessing the metrological characteristics of an adjustable electric drive by the method of circuit modeling. *ZiPM = ZiPM*. 2021;(1):22–26. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Владимир Владимирович Слепцов

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры приборов  
и информационно-измерительных систем,  
МИРЭА – Российский технологический  
университет  
(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)  
E-mail: vsleptsov@gmail.com

#### Vladimir V. Sleptsov

Doctor of technical sciences, professor,  
professor of the sub-department of instruments  
and information and measurement systems,  
MIREA – Russian Technological University  
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

#### Михаил Владимирович Мостовской

старший преподаватель кафедры приборов  
и информационно-измерительных систем,  
МИРЭА – Российский технологический  
университет  
(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)  
E-mail: mvmost@yandex.ru

#### Mikhail V. Mostovskoy

Senior lecturer of the sub-department of instruments  
and information and measurement systems,  
MIREA – Russian Technological University  
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

#### Игорь Юрьевич Мальшев

студент,  
МИРЭА – Российский технологический  
университет  
(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)  
E-mail: igor-malysh2013@yandex.rus

#### Igor Yu. Malyshev

Student,  
MIREA – Russian Technological University  
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

**Иван Алексеевич Соколов**

студент,  
МИРЭА – Российский технологический  
университет  
(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)  
E-mail: kozpova11@gmail.com

**Ivan A. Sokolov**

Student,  
MIREA – Russian Technological University  
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

**Антон Павлович Куличенков**

студент,  
МИРЭА – Российский технологический  
университет  
(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)  
E-mail: anton.kulichenkov5@gmail.com

**Anton P. Kulichenkov**

Student,  
MIREA – Russian Technological University  
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

**Георгий Константинович Сотников**

студент,  
МИРЭА – Российский технологический  
университет  
(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)  
E-mail: goshasot@mail.ru

**Georgy K. Sotnikov**

Student,  
MIREA – Russian Technological University  
(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 28.08.2023**

**Поступила после рецензирования/Revised 29.09.2023**

**Принята к публикации/Accepted 23.10.2023**