

Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. 2023. С. \_\_\_\_ - \_\_\_\_.  
Energy and resource saving XXI century. 2023. P. \_\_\_\_ - \_\_\_\_.

Цифровые технологии – эффективное средство экономии топливно-энергетических ресурсов.

Научная статья  
УДК 62-503.55

### **Системы управления электроприводами на базе алгоритмов нечеткой логики и систем искусственного интеллекта**

**Старостина Ярослава Константиновна**

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск, Россия,  
yaroslava.starostina@bk.ru

*Аннотация.* Статья содержит анализ существующих решений и основные предпосылки для последующей оптимизации и модернизации системы управления транзисторным ключом, входящим в состав трансформаторно-транзисторного модуля. Результаты, отражённые в статье, необходимы для дальнейшего применения модернизированного трансформаторно-транзисторного модуля, для построения и моделирования различных схем асинхронных электроприводов.

*Ключевые слова:* система управления электроприводом, асинхронный двигатель, нечеткая логики, системы искусственного интеллекта, нейрорегулятор, нейросетевой контроллер.

*Для цитирования:* Старостина Я.К. Системы управления электроприводами на базе алгоритмов нечеткой логики и систем искусственного интеллекта // Энерго-и ресурсосбережение – XXI век. 2023. С. \_\_\_\_ - \_\_\_\_.

Digital technologies are an effective means of saving fuel and energy resources.

### **Electric drive control systems based on fuzzy logic algorithms and artificial intelligence systems**

**Starostina Yaroslava Konstantinovna**

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk. Russia  
yaroslava.starostina@bk.ru

*Abstract.* The article contains an analysis of existing solutions and the main prerequisites for subsequent optimization and modernization of the transistor switch control system included in the transformer-transistor module. The results reflected in the article are necessary for the further use of the modernized transformer-transistor module for the construction and modeling of various circuits of asynchronous electric drives.

*Keywords:* electric drive control system, asynchronous motor, fuzzy logic, artificial intelligence systems, neuroregulator, neural network controller.

*For citation:* Starostina Y.K. Electric drive control systems based on fuzzy logic algorithms and artificial intelligence systems// Energy and resource saving XXI century. 2023. P. \_\_\_\_ - \_\_\_\_.

Введение. К верхнему (технологическому) уровню управления относятся системы управления, которые на основе законов классической логики формируют алгоритм управления, реализуемый с помощью релейных элементов и программируемых логических контроллеров и формирующий команды электроприводу на выполнение задачи, предъявляемой технологическим процессом. Отдельные логические узлы могут входить в состав системы управления самим электроприводом, так называемой подчиненной системы управления, которая непосредственно влияет на характеристики электропривода. Современное состояние развития техники характеризуется постоянным увеличением разнообразия и сложности объектов управления в системах

автоматического управления. Системы с использованием нечеткой логики, появившиеся сравнительно недавно, расширяют функциональные возможности управления и эффективнее традиционных систем решают задачи управления рядом сложных, трудно описываемых, нелинейных объектов управления, включая электроприводы различного назначения и прежде всего приводы позиционирования.

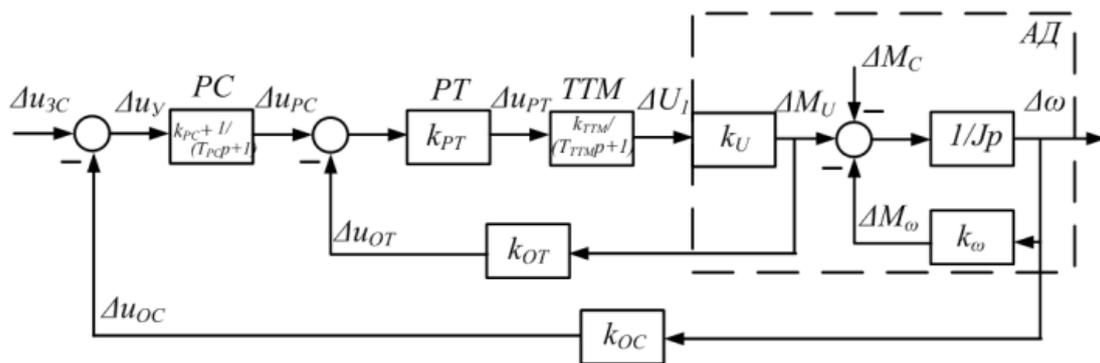
Широкое применение в существующих системах автоматического регулирования находят системы с широтно-импульсной модуляцией, в виду их известных значительных преимуществ, но учитывая их нелинейность и значительные трудности в настройке и решении задач параметрической оптимизации, приходится использовать упрощения и приближительные расчеты, что в свою очередь сводит к снижению всех преимуществ применения систем управления на базе широтно-импульсного регулирования. Современное состояние развития техники характеризуется постоянным увеличением разнообразия и сложности объектов управления в автоматике. Одной из наиболее актуальных задач в области электроприводов является модификация существующих систем управления за счет использования новых, нетрадиционных методов и алгоритмы управления. Примером таких нетрадиционных методов является использование искусственных нейронных сетей и нечеткой логики. Эти органы управления имеют большой потенциал для улучшения качественных характеристик системы управления электроприводом. В области автоматических систем управления искусственные нейронные сети применяются в решении задач определения и идентификации объектов управления, а также для прогнозирования и диагностики отдельных параметров таких оптимизированных систем регулирования.

В настоящее время представлены разработки, применяющие вышеуказанные технологии в электроприводах постоянного тока, например в статье [1] представлена эффективная модель системы управления бесщеточным электроприводом постоянного тока на базе контроллера нечеткой логики, кроме того, легко наблюдаются и анализируются скорость и крутящий момент двигателя постоянного тока, а также токи и напряжения компонентов инвертора.

Что касается электроприводов переменного тока, то одним из наиболее перспективных способов управления асинхронным двигателем является система прямого управления моментом, которую можно реализовать на новых нетрадиционных методах и алгоритмах управления для устранения недостатков, такие как пульсации электромагнитного момента, и дальнейшего повышения качественных характеристик системы управления электропривода переменного тока в целом.

Среди существующих решений можно выделить работу китайских исследователей [2], в которой потокосцепление статора, изменяющегося в процессе работы электродвигателя из-за непостоянного текущего значения сопротивления, оценивается наблюдателем, выполненного по принципу интеллектуальной нейросети. Другим примером применения интеллектуальной нейросети в системе прямого управления электромагнитным моментом асинхронного двигателя является разработка [3], в которой интеллектуальная нейросети используется в качестве идентификатора угла между потокосцеплениями статора и ротора, а также сектора, в котором на данный момент находится вектор потокосцепления статора, что необходимо для выбора оптимальной совокупности одновременно работающих ключей инвертора и для достижения качественных характеристик работы электропривода переменного тока. Более сложная и модифицированная система прямого управления электромагнитным моментом асинхронного двигателя представлена в статье [4].

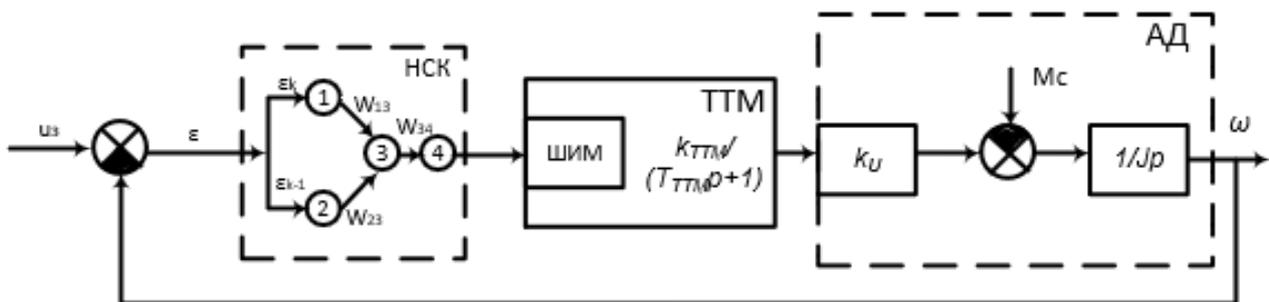
Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности применения нейросетей для моделирования регулирующих устройств. На рисунке 1 представлена структурная схема системы управления, построенная на одноключевом трансформаторно-транзисторном модуле.



**Рисунок 1 – Структурная схема системы управления, построенная на одноключевом трансформаторно-транзисторном модуле [5].**

Для управления статорным напряжением асинхронного двигателя [5], при уменьшении напряжения трансформаторно-транзисторным модулем, при  $I > I_{отс}$  включается в работу отрицательная обратная связь по току статора, удерживая его на уровне  $I_{отс}$ .

Для простых систем автоматического регулирования и алгоритмов управления качество работы интеллектуальной нейронной сети практически не отличается от аналитических алгоритмов. На рисунке 2 представлена структурная схема с нейросетевым контроллером, который содержит простейшую прямонаправленную интеллектуальную нейросеть, принцип работы которой приближается к динамическим свойствам ПИ-регулятора.



**Рисунок 2 – Структурная схема системы управления асинхронным двигателем с нейросетевым контроллером.**

**Заключение.** Для реализации эффективного управления при моделировании необходимо знать модель электроприводов, также необходимо учитывать влияние исполнительного механизма, его характер работы и широтно-импульсного модулятора на качество работы автоматической системы регулирования. Однако по мере усложнения автоматизированных систем управления возникает необходимость использования многопараметрических алгоритмов управления. Известны проблемы с настройкой аналитических автоматических систем регулирования с большим количеством параметров, но их можно преодолеть с помощью одного из алгоритмов обучения многопараметрической нейронной сети. Кроме того, учитывая, что время вычислений очень мало без ущерба для точности получаемых результатов, можно сказать, что предложенный метод является перспективным. Подводя итог, можно сделать вывод о том, что вышеуказанные преимущества применения систем искусственного интеллекта и алгоритмов нечёткой логики, дают возможность применения таких систем в различных электроприводах с различным технологическими параметрами и позволяют достичь повышения качественных характеристик электроприводов и их систем управления с учётом предъявляемых требований.

### Список источников

1. Mehmet Çunkaş, Omer Aydoğdu Realization of fuzzy logic controlled brushless dc motor drives using MATLAB/Simulink, Mathematical and Computational Applications, Association for Scientific Research Vol. 15, No. 2, pp. 218-229, 2010.
2. Wang Ping, Li Bin, Huang Ruixiang, Li Guidan, Diangong jishu xuebao Trans. China Electrotech. Soc. 2003. 18, № 2, P.5-8
3. Kusuma Gottapu, YV Prashanth, P Mahesh, Y Sumith, Simulation of DTC IM Based on PI& Artificial Neural Network Technique, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Vol. 2, Issue 7, July 2013
4. Шигапов Айрат Альмирович, Смоляков Борис Петрович Прямое управление моментом асинхронного двигателя с нейро-фаззи регулятором скорости и нейросетевой идентификацией параметров электропривода // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. №95-101.
5. Старостина, Я. К. Разработка и исследование унифицированного трансформаторно-транзисторного модуля для построения ряда энергосберегающих асинхронных электроприводов: специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Старостина Ярослава Константиновна. – Чебоксары, 2019. – 207 с.

### References

1. Mehmet Çunkaş, Omer Aydoğdu Realization of fuzzy logic controlled brushless dc motor drives using MATLAB/Simulink, Mathematical and Computational Applications, Association for Scientific Research Vol. 15, No. 2, pp. 218-229, 2010.
2. Wang Ping, Li Bin, Huang Ruixiang, Li Guidan, Diangong jishu xuebao Trans. China Electrotech. Soc. 2003. 18, № 2, P.5-8
3. Kusuma Gottapu, YV Prashanth, P Mahesh, Y Sumith, Simulation of DTC IM Based on PI& Artificial Neural Network Technique, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Vol. 2, Issue 7, July 2013
4. Shigapov Airat Almirovich, Smolyakov Boris Petrovich Direct control of the torque of an asynchronous motor with a neuro-fuzzy speed controller and neural network identification of electric drive parameters // News of universities. Energy problems. 2015. No. 95-101.
5. Starostina, Ya. K. Development and research of a unified transformer-transistor module for the construction of a number of energy-saving asynchronous electric drives: specialty 05.09.03 "Electrical complexes and systems": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Starostina Yaroslava Konstantinovna. – Cheboksary, 2019. – 207 p.

### Информация об авторе

Я. К. Старостина – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

### Information about the author

Y. K. Starostina – Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Drive and Automation of Industrial Installations

Статья поступила в редакцию 06.10.2022; одобрена после рецензирования 10.10.2022; принята к публикации 14.10.2022.

The article was submitted 06.10.2022; approved after reviewing 10.10.2022; accepted for publication 14.10.2022.