

Регулирование скорости вентиляного электропривода с применением искусственных нейронных сетей

Морев Антон Александрович

*Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
студент*

Лиходеев Сергей Иванович

*Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
к.т.н., доцент, зам. директора института информационных технологий и
радиоэлектроники*

Аннотация

В статье рассматривается реализация регулятора скорости вентиляного электропривода на основе искусственных нейронных сетей как альтернатива классическим методам управления. В качестве результатов исследования приводится модель вентиляного электропривода с нейросетевым регулятором скорости в среде Simulink и скриншоты ее динамических характеристик по скорости.

Ключевые слова: MATLAB, Simulink, вентиляный двигатель, управление скоростью, нейросеть, NARMA-L2

Speed control of PMSM drive using artificial neural network

Morev Anthony Alexandrovich

*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
student*

Likhodeev Sergei Ivanovich

*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
PhD in technical sciences, assistant professor, deputy director of the institute of
information technology radio-electronics*

Abstract

The article discusses the implementation of speed regulator for PMSM drive based on artificial neural network as an alternative to classic methods of control. As the result of the research a model of PMSM drive with neural network speed controller built in Simulink software and screenshots of its dynamic speed curve are presented.

Keywords: MATLAB, Simulink, PMSM drive, speed control, neural network, NARMA-L2

Вентильный двигатель является одним из наиболее популярных управляемых электроприводов на данный момент на рынке [1, 2]. Причиной этого является то, что данные электроприводы обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами электроприводов. В частности, им присуща высокая надежность, повышенная перегрузочная способность по моменту, практически неограниченный диапазон частот вращения, наивысший показатель КПД, а также возможность создания приводов любых габаритов. Данные электроприводы находят широкое применение как в различных областях промышленности, так и в области робототехники, транспорта, медицинской техники, аэрокосмической, бытовой и компьютерной техники.

При использовании вентильного электропривода, одной из самых распространенных задач является регулирование скорости его вращения. Для решения данной задачи часто используются системы управления с применением ПИ- и ПИД-регуляторов. При этом главной трудностью является составление адекватной математической модели объекта управления, а так же выбор наилучшей методики расчета коэффициентов ПИД-регулирования. Использование искусственных нейронных сетей позволяет существенно упростить данную задачу, так как в этом случае проектирование системы управления сводится к выбору структуры и обучению нейросетевого регулятора.

Системы управления на основе применения искусственных нейронных сетей являются перспективной альтернативой классическим методам управления [3]. Данный метод характеризуется рядом достоинств, таких как универсальность, возможность управления объектами с неизвестной структурой, наилучшие показатели работы в реальном времени, наилучшее обеспечение робастности системы, отсутствие ограничения линейности системы, обеспечение эффективного подавления шумов и т.д.

Для проведения исследования была использована среда имитационного моделирования Simulink с пакетом расширения «Neural Network Toolbox». В данной среде была разработана компьютерная модель вентильного электропривода с ПИ-регулированием по скорости (рис. 1). Принцип работы и параметры данной модели описаны в [4]. Модель включает в себя два контура управления: внутренний контур осуществляет регулирование по току, внешний контур осуществляет регулирование по скорости. Блок dq2abc представляет собой преобразователь координат по закону (1):

$$\begin{cases} i_a = I_q \cdot \cos \theta + I_d \cdot \sin \theta + I_o; \\ i_b = I_q \cdot \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + I_d \cdot \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + I_o; \\ i_c = I_q \cdot \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) + I_d \cdot \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) + I_o. \end{cases} \quad 1)$$

Блок PMW Inverter выполняет роль трехфазного ШИМ-инвертора, питающего обмотки статора двигателя.

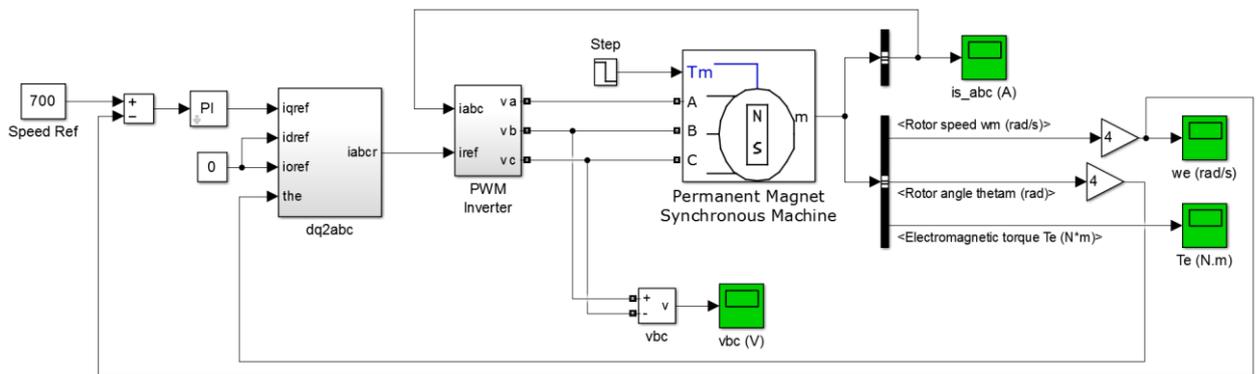


Рисунок 1 – Модель вентильного электропривода в среде Simulink

На основе этой модели была создана модель с управлением по скорости посредством нейросетового регулятора (рис. 2). В качестве нейрорегулятора был использован регулятор на основе модели нелинейной авторегрессии со скользящим средним (Nonlinear Autoregressive-Moving Average – NARMA-L2) [5]. Параметры настройки нейрорегулятора показаны на рис. 3. Для формирования обучающей последовательности была использована модель апериодического звена с постоянной времени $T = 0,1$ мс (рис. 4). Данный выбор был обусловлен тем, что целью обучения нейрорегулятора было уменьшение времени переходного процесса пуска двигателя и устранение перерегулирования.

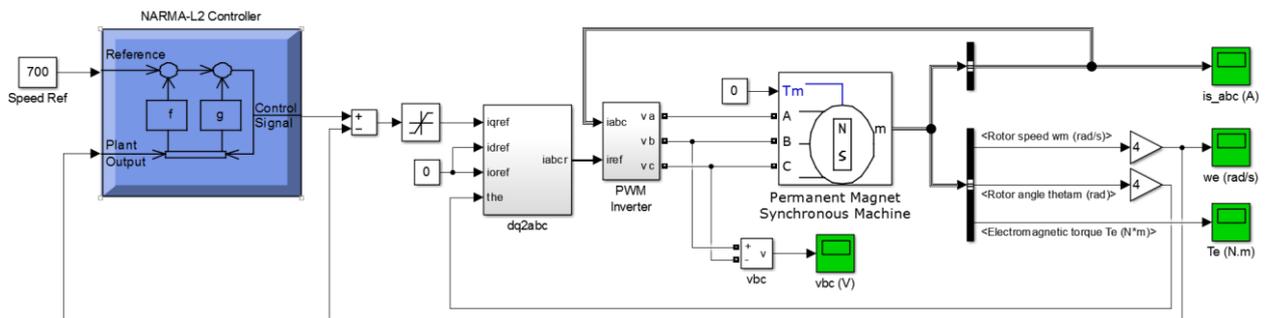


Рисунок 2 – Модель вентильного двигателя под управлением нейрорегулятора

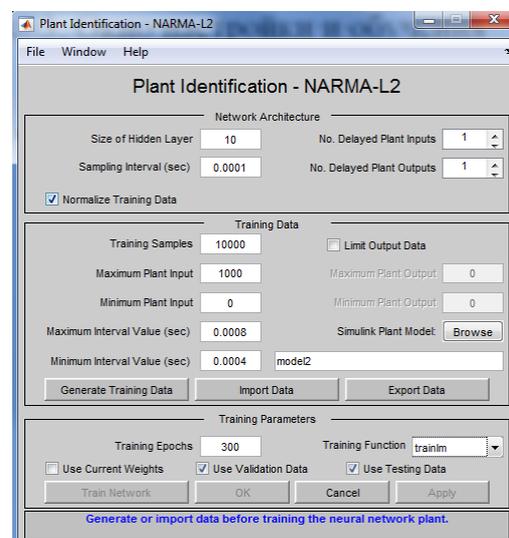


Рисунок 3 – Окно настройки и обучения нейрорегулятора

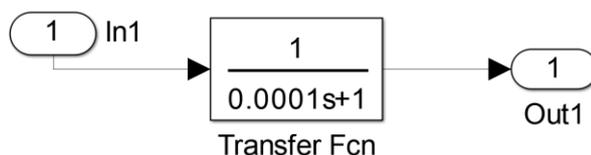


Рисунок 4 – Обучающая модель нейрорегулятора в Simulink

После завершения обучения нейрорегулятора было проведено его тестирование. На рис. 5 представлен переходной процесс системы под управлением нейрорегулятора со случайным сигналом задания. Тестирование показало, что скорость электропривода под управлением нейрорегулятора выходит на заданную величину с допустимой погрешностью (менее 0,1%) и не имеет перерегулирования.

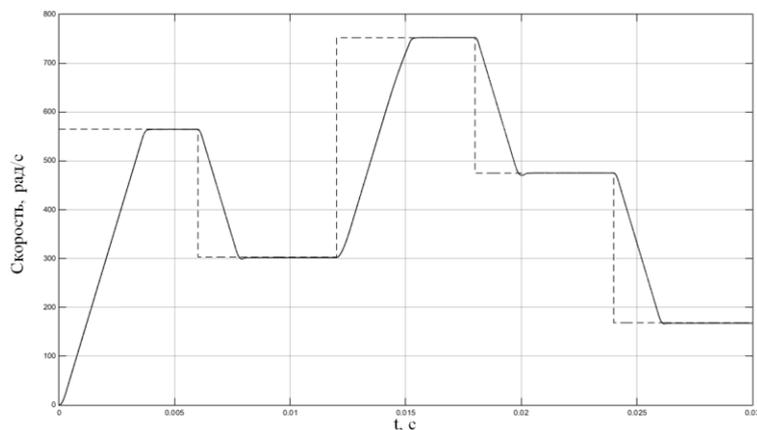


Рисунок 5 – Переходный процесс модели вентильного электропривода под управлением нейросетевого регулятора

В ходе исследования было проведено сравнение параметров системы под управлением нейросетевого регулятора и ПИ-регулятора (рис. 6, 7 и 8). В качестве коэффициентов ПИ-регулятор были заданы следующие параметры: $K_{II} = 40$, $K_{II} = 3$. Анализ результатов показывает, что скорость двигателя под управлением нейрорегулятора имеет лучшее время переходного процесса, а также не имеет перерегулирования.

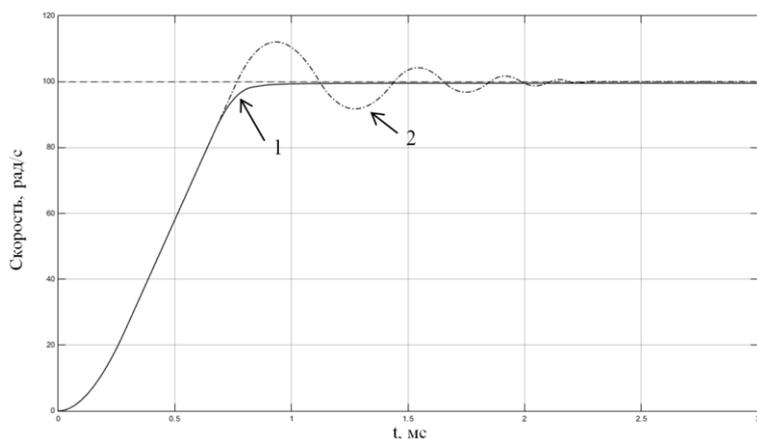


Рисунок 6 – Сравнение переходных характеристик модели электропривода с сигналом задания 100 рад/с: с НС регулятором (1), с ПИ-регулятором (2)

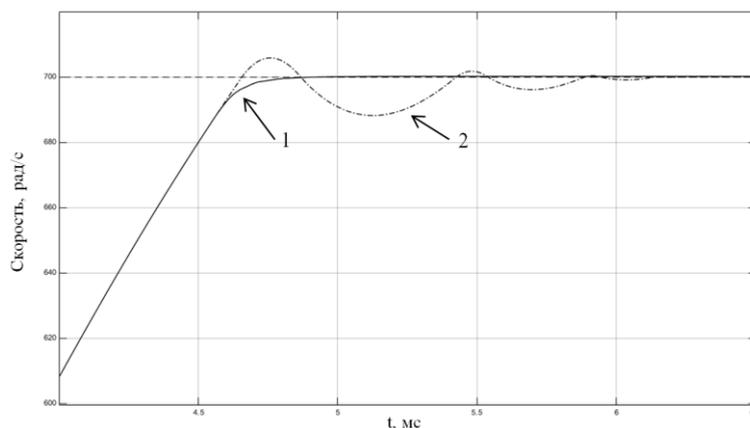


Рисунок 7 – Сравнение переходных характеристик модели электропривода с сигналом задания 700 рад/с: с НС регулятором (1), с ПИ-регулятором (2)

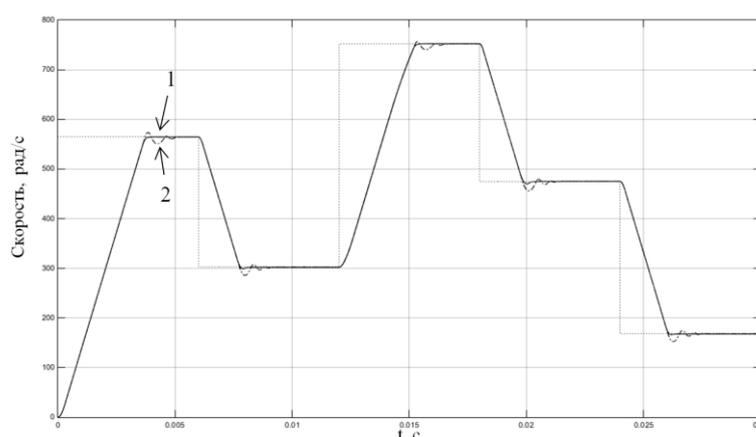


Рисунок 8 – Сравнение переходных характеристик модели электропривода со случайным сигналом задания: с НС регулятором (1), с ПИ-регулятором (2)

В ходе данного исследования было установлено, что использование нейрорегулятора в системе регулирования скорости вращения вентильного электропривода теоретически позволяет улучшить динамические характеристики данного привода. В частности, были выявлены следующие достоинства:

1. выигрыш во времени выхода скорости вращения двигателя на заданную величину;
2. полное отсутствие, или наличие незначительной степени перерегулирования.

Библиографический список

1. Вентильный электропривод: шанс для российских производителей // Оборудование: рынок, предложение, цены. 2004. №1.
2. Доманов В.И., Доманов А.В. Разработка и исследование систем электропривода с вентильными двигателями. Ульяновск: УлГТУ, 2015. 194 с.

3. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. М.: Горячая линия–Телеком, 2003. 94с.
4. MATLAB Examples. Permanent Magnet Synchronous Machine. URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/permanent-magnet-synchronous-machine.html> (дата обращения: 9.10.2017).
5. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6/ Под общ. ред. к.т.н. В. Г. Потемкина. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. 496с.