

## АДАПТИВНОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь;

Автоматизация синтеза управления, выполняемого в режиме реального времени, возможна, в частности, с применением искусственных нейронных сетей (ИНС) [1]. В условиях многоуровневой системы разделение задач управления между уровнями таково, что на разных уровнях иерархии задачи управления качественно различны.

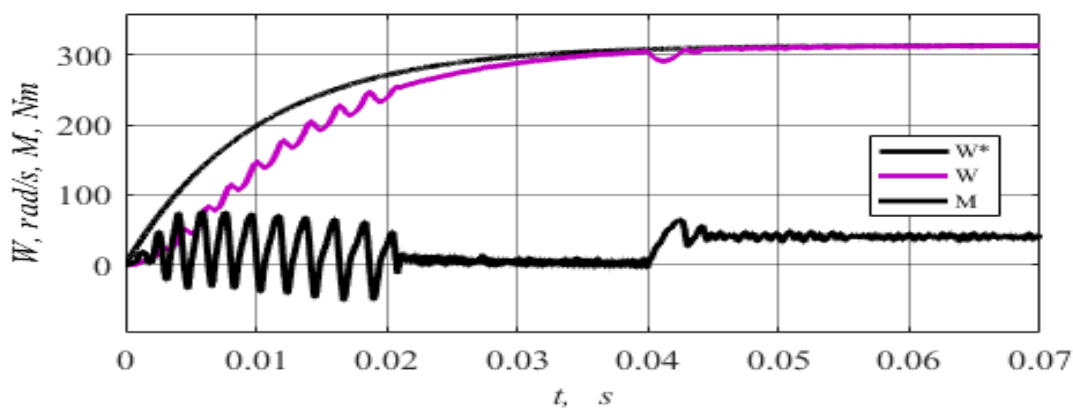
Неопределенность динамических свойств объекта управления вызвана рядом причин и побуждает искать методы робастного управления, и, в частности, методы, свободные от математической модели объекта [2] – [4]. Проблема робастного управления особенно выражена на нижнем уровне иерархии системы. От управления на нижних уровнях, а это обычно электроприводы, требуется быстрота реакции.

Обычно время, отводимое в электроприводе на расчет сигнала управления  $u(k)$  на  $k$ -м шаге, ограничено периодом  $T_c$  широтно-импульсной модуляции в преобразователе электрической энергии, от которого получает напряжение электродвигатель. В работах [2], [3] предлагается для определения параметров управления электроприводом использовать методы обучения, свойственные ИНС и одна из трудностей — это ограничение, накладываемое на время расчета управления. Время расчета значительно сократится, если использовать известные из теории автоматического управления закономерности для создания начальных условий и критерия качества, например, как в [4]., где критерий качества принят в виде

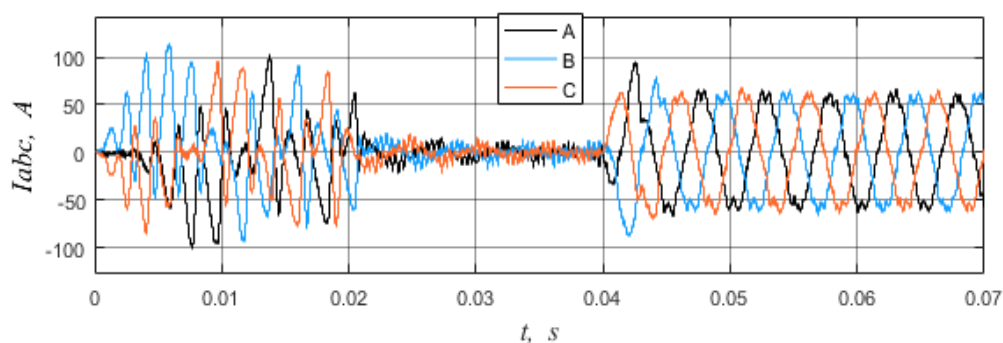
$$Q = T_c \sum_{k=1}^{\infty} (u(k)^2 + \lambda T_c^{-2} (\Delta u(k))^2) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Здесь постоянный коэффициент  $\lambda$  определяет интенсивность адаптации. Применение метода синтеза [4] для векторного управления скоростью синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) выполняется в предположении, что контур управления током является безынерционным звеном.

Результат имитационного моделирования системы для СДПМ мощностью 8,4 КВ с 4-мя парами полюсов показан на рисунке 1. Адаптация начинает действовать при  $t > 0.02$  s, а при  $t = 0.04$  s к двигателю приложен момент нагрузки. Эффективность адаптации на рисунке 1, а проявляется в затухании колебаний, а на рисунке 1, б – в улучшении гармонического состава тока трех фаз статора.



*a*



*б*

Рисунок 1 – Скорость и момент в процессе разгона СДПМ (*a*), изменение тока в фазах статора (*б*)

Преимущество метода [4] заключается в сравнительной простоте расчета сигнала управления скоростью, что позволяет уложиться в отведенный для формирования управления интервал времени.

1. Aggarwal C.C. Neural Networks and Deep Learning: A Textbook / (eBook) Library of Congress Control Number: 2018947636 Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. - 497 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0>.

2. Neural Speed Controller Trained Online by Means of Modified RPROP Algorithm / T. Pajchrowski, K. Zawirski, K. Nowopolski / IEEE Transactions on Industrial Informatics, V. 11, NO. 2, April 2015. P. 560- 568. DOI: 10.1109/TII.2014.2359620.

3. Transferring Online Reinforcement Learning for Electric Motor Control from Simulation to Real-World Experiments / G. Book, A. Traue, P. Balakrishna, A. Brosch, M. Schenke, S. Hanke, W. Kirchgässner, O. Wallscheid / IEEE Open Journal of Power Electronics, V. 2, 2021. P. 187-201. DOI: 10.1109/OJPEL.2021.3065877.

4. Опейко О.Ф. Синтез дискретного адаптивного управления с ПИД-регулятором // Системный анализ и прикладная информатика. 2025.№4. С.36-40. DOI: 10.21122/2309-4923-2025-4-36-40.