

Д.О. Непомнящий¹, А.В. Тарасов², С.Л. Лещенко³

¹Студент, Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

²Аспирант, Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

³Магистрант, Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент **О.В. Непомнящий**
Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

НЕЙРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

При создании перспективных электротранспортных средств нужно уделять особое внимание таким параметрам, как обеспечение долгого срока службы аккумуляторных батарей, «пробег» на одном их полном заряде и расход энергии в пересчете на протяженность трассы. Оптимальных результатов в вышеобозначенных метриках помогает достичь система адаптивного движения колес в различных режимах. Процесс управления электродвигателем посредством системы адаптивного контроля заключается в изменении коэффициентов регуляторов - их тока и напряжения. В зависимости от дорожных условий и изменения режимов заряда и разряда аккумуляторных батарей, режим функционирования системы электропитания постоянно изменяется. В связи с этим, для обеспечения эффективного функционирования требуется именно адаптивное управление.

В процессе анализа работ в области адаптивного самоуправления можно четко выделить недостатки систем, описанных в них. Например, адаптивный метод, приведенный в работе [1]. Помимо того, что данный способ решения проблемы применим лишь для одного типа электродвигателей, он не позволяет отслеживать броски тока при снижении его оборотов. В работе [2], базирующейся на принципах нечеткой логики, неизвестны результаты отработки в условиях нестационарности параметров двигателя и, также, не приведено полное решение проблемы расширения границ применения теории скользящих режимов управления и использования теории нечёткой логики.

Исследование известных подходов к решению поставленной задачи приводит нас к выводу о том, что при использовании адаптивных систем управления, функционирующих на основе машинного обучения, могут быть получены значимые результаты. При этом наблюдатель в составе системы управления двигателем может функционировать на основе ПИ-регулятора, формирование коэффициентов которого осуществляется посредством нейросети.

Для реализации нейронного управления электродвигателем, нейронную сеть используют в качестве наблюдателя и для её обучения подготавливается массив данных, сформированный на основе «идеальной» математической модели двигателя. Нейронная сеть прогнозирует реакцию системы на случайные воздействия и формирует управляющие сигналы, обеспечивающие оптимальный режим работы, сводя к минимуму разность между идеальным и действительным сигналами.

Для проверки данной идеи нужно было найти оптимальный способ управления системой электродвигателя. Выбор был сделан в пользу векторного регулирования [3], позволяющего контролировать не только величину и частоту напряжения питания, но и фазу. Так же, он позволяет независимо и практически безынерционно регулировать скорость вращения и момент на валу электродвигателя. Поскольку для вычисления значений регулируемых переменных используются векторные уравнения, это обеспечивает наибольшую точность регулировки и, по мнению авторов, наиболее полно подходит для оптимизации параметров работы двигателя.

При моделировании рассматривались два способа функционирования наблюдателя. В первом случае определяли скорость, как производную от угла, а угол согласно (1) [4].

$$\widehat{\theta}_{\Psi} = \arctg\left(\frac{\widehat{\Psi}_{R\alpha}}{\widehat{\Psi}_{R\beta}}\right), \quad (1)$$

где: θ — восстановленный угол;

$\widehat{\Psi}_{R\alpha}$ — Магнитный поток ротора в проекции α ;

$\widehat{\Psi}_{R\beta}$ — Магнитный поток ротора в проекции β .

Во втором случае скорость определяли согласно (2), а угол по интегралу от скорости (3) [4]. Полученные результаты приведены на рисунке 2.

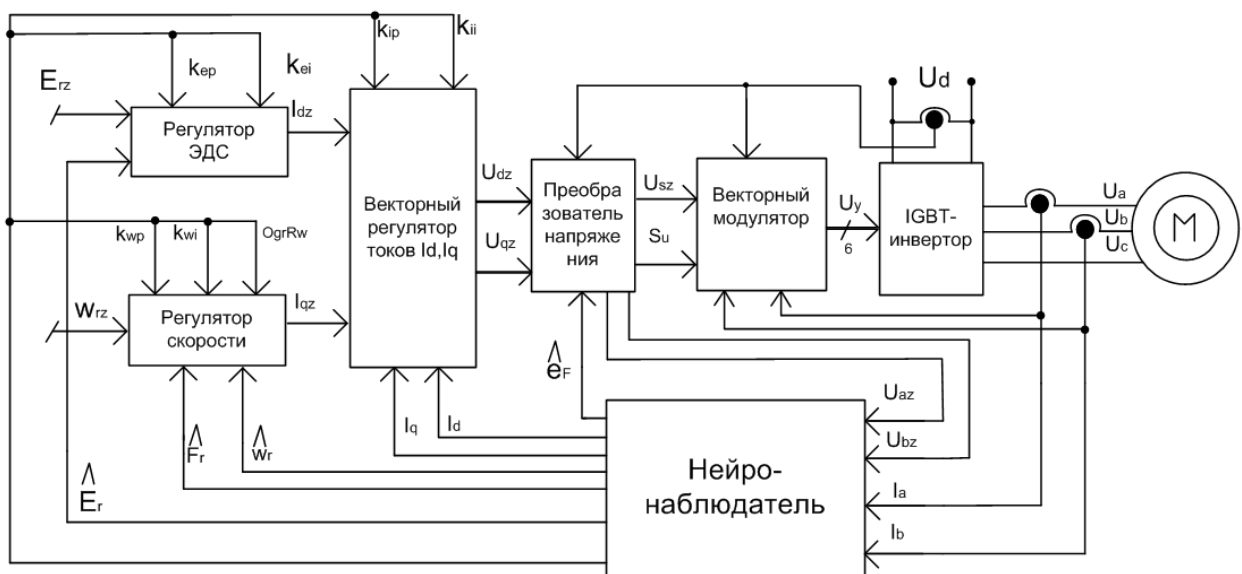
$$\widehat{\omega} = \int \frac{\theta}{t_{\text{filter}}} - \left(\frac{\theta}{t_{\text{filter}}}\right)_{\text{exp}}, \quad (2)$$

где: $\widehat{\omega}$ — восстановленная угловая скорость;

θ — восстановленный угол;

t_{filter} — время экспоненциального фильтра

Вне зависимости от способа определения скорости и угла имеется интегральная ошибка в определении углов поворота ротора. Кроме того, возникают проблемы с моделированием реверса, потому что выражение 2 формирует только положительные значения скорости. Для решения вышеперечисленных проблем предложено ввести нейросеть в состав регулятора.



Нейронаблюдатель в составе ПИ регулятора для управления двигателем

За счет предсказания реакции электродвигателя, время переходного процесса уменьшилось с 0,6 до 0,3 секунды. При снижении оборотов ротора время переходного процесса также уменьшалось, в связи, с чем произошло оптимизировался расход энергии. Адаптивное регулирование коэффициентов нейрорегулятором позволило сделать систему более устойчивой вне зависимости от траектории и условий движения электротранспорта.

Моделирование показало, что интеллектуальное управление электроприводом помогает сэкономить от 30 до 60% потребляемой энергии по сравнению с нерегулируемым. Помимо этого, продлевается срок службы механических узлов, посредством уменьшения пусковых токов и бросков момента. Использование нейросети в качестве наблюдателя в системе управления электродвигателем показало наилучшие результаты энергоэффективности электропривода. Также, применение нейрорегулятора позволяет сделать выбор коэффициентов полностью интеллектуальным и не требующим вмешательства.

Список литературы

- 1.Вдовин В.В Адаптивные алгоритмы оценивания координат бездатчиковых электроприводов переменного тока с расширенным диапазоном регулирования // Новосибирск 2014 г.
- 2.Вишневский В.И. Адаптивный алгоритм нечеткого скользящего управления электроприводом // Чебоксары 2016 г.
- 3.Куликов И.А Совершенствование средств создания и исследования автомобилей с комбинированными энергоустановками с помощью технологий виртуально-физического испытания// Москва 2016 г. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».
- 4.Калачев Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе // Москва 2015 г.