

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Трубицына А.М.¹, Мартюхова Н.А.¹, Бодров К.Ю.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук Маматов А.Г.¹

¹Университет ИТМО

anna.trubitsyna@gmail.com

Введение

Синхронные двигатели с постоянными магнитами и бесколлекторные двигатели постоянного тока широко применяются в точных и энергоэффективных системах с высокими динамическими характеристиками, в частности — в робототехнике. Для построения алгоритмов управления, основанных на математической модели, а также для точного расчета коэффициентов регулятора зачастую необходимо знать параметры системы. Однако многие электродвигатели поставляются без детальных технических паспортов. Кроме того, параметры могут изменяться в процессе эксплуатации: сопротивление обмоток возрастает при нагреве, а в динамических режимах работы меняются момент инерции и нагрузка на валу.

На основе анализа выявлено, что в существующих системах, которые применяются для управления в электроприводах реальных устройств, используются преимущественно алгоритмы однократной предварительной настройки параметров. Такие методы не обеспечивают адаптации к изменениям характеристик двигателя в процессе эксплуатации. Хотя в научной литературе известны подходы к непрерывной оценке параметров в реальном времени, зачастую они исследуются только в симуляции или на лабораторных стендах [1], которые имеют меньшие аппаратные ограничения, по сравнению с серийными устройствами. Таким образом, актуальной задачей является внедрение алгоритмов непрерывной идентификации в ресурсо-ограниченную архитектуру реальных систем управления.

В данной работе исследованы методы идентификации параметров синхронного двигателя с постоянными магнитами: рекурсивный метод наименьших квадратов, градиентный метод, метод динамического расширения и смешивания регрессора (DREM), расширенный фильтр Калмана. Для каждого метода рассмотрены принципы функционирования, выполнена адаптация к объекту управления и дискретное моделирование. Алгоритмы реализованы на микроконтроллере, настроены и сравнены по ключевым метрикам: точность оценки, скорость сходимости и вычислительная сложность.

Основная часть

Для решения поставленной задачи была разработана система векторного управления синхронными двигателями с постоянными магнитами. Данная система состоит из:

1. Электрической платы на основе микроконтроллера STM32, трехфазного драйвера, силовых MOSFET-транзисторов, шунтовых резисторов и усилителей тока, магнитного энкодера, а также периферии для взаимодействия с другими устройствами.
2. Алгоритма векторного управления, реализованного на микроконтроллере.
3. Пользовательского интерфейса, позволяющего визуализировать переменные в реальном времени с высоким разрешением, а также настраивать параметры системы и задавать режим работы.

Разработка собственной системы обеспечивает более высокую гибкость по сравнению с использованием готовых коммерческих решений. Кроме того, все компоненты системы

находятся под контролем разработчика и могут быть настроены, что ведет к более точным и предсказуемым результатам, а также ускорению и удобству работы.

В ходе работы рассмотрены наиболее распространенные методы идентификации [2, 3], наиболее часто применяемые на практике. Первая группа методов — рекурсивный МНК, градиентный и DREM — работает с регрессионной моделью и представляет собой модификации градиентного метода. Их применение требует представления математической модели двигателя в виде трех линейных моделей: контуры тока вдоль и перпендикулярно оси постоянных магнитов (d и q), а также механический контур. Расширенный фильтр Калмана представляет собой наблюдатель для нелинейных систем. Этот метод позволяет рассматривать систему в более общем виде, учитывать нелинейные перекрестные связи между контурами и не требует расчёта производной тока.

Выполнено математическое моделирование алгоритмов идентификации на основе модели синхронного двигателя с постоянными магнитами, представленной в виде дифференциальных уравнений во вращающейся системе координат d - q . Алгоритмы дискретизированы, оптимизированы по вычислительной сложности и реализованы в программном коде для микроконтроллера. Исследована работоспособность методов при различных задающих воздействиях и настройках параметров, а также их устойчивость к зашумлению измерений. Предложен подход к предобработке измерительных сигналов, включающий калибровку и фильтрацию показаний датчиков тока, а также методы снижения влияния шумов на производную тока.

Произведено сравнение алгоритмов по ключевым метрикам: точность оценки, скорость сходимости и вычислительная сложность.

Выводы

В ходе работы рассмотрены методы идентификации параметров синхронного двигателя с постоянными магнитами. Алгоритмы реализованы на микроконтроллере и проведено сравнение работы алгоритмов в реальных условиях на базе созданной платформы векторного управления. В дальнейшем представленные алгоритмы можно будет использовать для непрерывной оценки параметров в реальном времени и корректировки системы управления, что позволит достичь более высоких динамических характеристик, что особенно важно в робототехнических задачах.

Литература

1. Пыркин А. А., Ведяков А. А., Голубев А. К. Оценивание параметров синхронного двигателя с постоянными магнитами // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23. – №. 6. – С. 1242-1246.
2. Ahn H. et al. A review of state-of-the-art techniques for PMSM parameter identification // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2020. – Т. 15. – №. 3. – С. 1177-1187.
3. Yang C. et al. Parameter-Tuning-Free Two-Step Identification of Mechanical Parameters for PMSM Drives // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2025.