

М.В. ГОРОВОЙ, студент гр. ЭАм-241 (КузГТУ)
Научный руководитель В.В. ДАБАРОВ, к.т.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ: ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ

Обзор существующих методов управления асинхронным электроприводом:

1. Скалярное управление (U/f)

Скалярное управление является одним из наиболее простых и широко используемых методов. Оно основано на поддержании постоянного соотношения напряжения и частоты, что обеспечивает управление скоростью двигателя. Данный метод эффективен при работе с нагрузками, не требующими высокой точности регулирования момента и скорости.

Принцип работы заключается в изменении частоты питающего напряжения, при этом амплитуда напряжения изменяется пропорционально. Такой подход позволяет обеспечить стабильность магнитного потока, но не дает возможности оперативно реагировать на изменения нагрузки [1].

Преимущества:

- простота реализации и низкая стоимость;
- устойчивость к внешним возмущениям;
- отсутствие необходимости в сложных вычислениях и датчиках положения ротора.

Недостатки:

- низкая точность управления моментом и скоростью;
- медленный динамический отклик;
- невозможность работы при резких изменениях нагрузки.

Применяется в системах, не требующих высокой точности, например, в вентиляторах, насосах и конвейерах.

2. Векторное управление (FOC - Field Oriented Control)

Векторное управление (FOC) представляет собой метод, позволяющий независимо управлять магнитным потоком и моментом двигателя. Это достигается за счет преобразования вектора тока статора в систему координат, связанную с магнитным потоком ротора [2].

Метод FOC требует наличия датчиков тока и углового положения ротора или алгоритмов оценки этих параметров. Управление реализуется через инвертор, который динамически регулирует напряжение и ток для поддержания оптимального режима работы двигателя.

Преимущества:

- высокая точность управления моментом и скоростью;
- быстрый динамический отклик, особенно при изменении нагрузки;
- возможность работы при переменных нагрузках и высоких требованиях к точности.

Недостатки:

- усложненная система управления, требующая точного определения параметров двигателя;
- высокая вычислительная сложность;
- зависимость от качества датчиков обратной связи.

FOC применяется в высокоточных системах, таких как робототехника, ЧПУ-станки и лифты, а также в электромобилях.

3. Прямое управление моментом (DTC - Direct Torque Control)

Метод DTC обеспечивает управление моментом и потоком статора непосредственно, без промежуточных преобразований координатных систем. Он основан на анализе мгновенных значений потокосцепления и тока для выбора оптимального состояния инвертора [3].

DTC обеспечивает минимальное время отклика на изменение нагрузки, но требует точных измерений параметров двигателя и мощных цифровых процессоров для управления.

Преимущества:

- быстрое управление моментом и магнитным потоком без сложных вычислений;
- высокая точность регулирования;
- независимость от параметров двигателя.

Недостатки:

- чувствительность к шумам измерений;
- высокие требования к качеству инвертора;
- возможность появления высокочастотных колебаний крутящего момента.

DTC применяется в электромобилях, станках с ЧПУ и других системах с высокими требованиями к динамическому отклику [3].

4. Прогнозирующее управление (MPC – Model Predictive Control)

Прогнозирующее управление (MPC) использует математическую модель двигателя для прогнозирования его поведения и выбора оптимального управляющего воздействия. Этот метод учитывает динамику системы и целевые ограничения, что делает его очень точным и адаптивным [4].

MPC требует мощных вычислительных ресурсов, так как на каждом шаге рассчитываются оптимальные управляющие воздействия, используя метод оптимизации.

Преимущества:

- высокая точность управления благодаря использованию модели

двигателя;

- гибкость настройки под различные режимы работы;
- возможность прогнозирования поведения системы и минимизации отклонений.

Недостатки:

- высокие вычислительные требования;
- необходимость точного знания модели двигателя.

Применяется в сложных промышленных системах, электроэнергетике и высокоточных приводах [4].

5. Управление на основе машинного обучения с подкреплением (RL - Reinforcement Learning)

Современные подходы к управлению асинхронным электроприводом включают применение машинного обучения с подкреплением (RL). Этот метод предполагает, что система управления (агент) обучается на основе взаимодействия с электроприводом, выбирая оптимальные действия для минимизации потерь и максимизации эффективности.

Преимущества:

- адаптивность: способна подстраиваться под изменяющиеся условия эксплуатации;

- оптимизация работы: снижает энергопотребление и увеличивает КПД;

- независимость от точной математической модели двигателя;
- возможность работы с нелинейными системами.

Недостатки:

- высокие вычислительные требования;
- длительное обучение;
- сложность настройки системы вознаграждений.

Этот метод может применяться в интеллектуальных роботизированных системах, промышленных адаптивных системах управления и электротранспорте. В электротранспорте данный метод управления рассматривается в качестве альтернативы классическим регуляторам, синтезированным по СПР. Результаты моделирования показывают, что это позволяет снизить интегральную ошибку момента двигателя на 30,4%. При этом экономия потребленной энергии в системе с машинным обучением с подкреплением составила 25,8% [5].

Для удобства анализа ниже представлена сравнительная таблица рассматриваемых методов управления асинхронным электроприводом (табл. 1).

В данной статье рассмотрены основные методы управления асинхронным электроприводом, их преимущества и ограничения. Особое внимание уделено современным подходам, таким как прогнозирующее управление (MPC) и управление на основе машинного обучения с подкреплением.

ем (RL). Хотя RL-алгоритмы обладают высокой точностью, адаптивностью и потенциалом для оптимизации энергопотребления, их практическое применение связано с вычислительными сложностями и необходимостью длительного обучения. В рамках дальнейшего исследования, проводимого в выпускной квалификационной работе, будет рассмотрена разработка алгоритма управления асинхронным электроприводом на основе машинного обучения с подкреплением, его эффективность и перспективы внедрения в реальные системы электропривода.

Таблица 1

Сравнительная таблица методов управления

Метод	Точность управления	Динамический отклик	Аппаратная сложность	Вычислительная сложность	Применение	Основные особенности
U/f (Скалярное управление)	Низкая	Медленный	Низкая	Низкая	Вентиляторы, насосы, конвейеры	Простое и недорогое, но с низкой точностью
FOC (Векторное управление)	Высокая	Высокий	Средняя	Высокая	Робототехника, ЧПУ-станки, лифты	Требует датчиков тока и положения, сложное управление
DTC (Прямое управление моментом)	Высокая	Очень высокий	Средняя	Высокая	Электромотобили, высокоскоростные приводы	Быстрое управление моментом, чувствительно к шумам
MPC (Прогнозирующее управление)	Очень высокая	Высокий	Высокая	Очень высокая	Энергосистемы, прецизионные промышленные системы	Использует прогнозирование на основе модели двигателя
RL (Обучение с подкреплением)	Очень высокая	Очень высокий	Средняя – высокая	Экстремально высокая	Интеллектуальные системы, робототехника	Самообучаемая система, оптимизация работы

Список литературы:

1. Евсиков А.А. Автоматизированный электропривод с частотным управлением: учебное пособие / А.А. Евсиков, В.А. Коковин, А.П. Леонов. – Дубна: Гос. ун-т «Дубна», 2020 с. – 121. – ISBN 978-5-89847-592-5 – Текст: непосредственный.
2. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов – Иваново, 2008. – 298 с. – Текст: непосредственный.
3. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: учебное пособие / А.А. Усольцев – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с. – Текст: непосредственный.
4. Баев А.П. Современные системы управления асинхронным электроприводом / А.П. Баев, А.С. Исаков – Текст: электронный // Научная электронная библиотека «Elibrary.ru». URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11543497> (дата обращения: 28.10.2024).
5. Аносов В.Н. Разработка энергоэффективного нейрорегулятора момента тягового электропривода методом обучения с подкреплением / В.Н. Аносов, Е.О. Орел // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 5. – С. 212 – 216.

Информация об авторах:

Горовой Максим Вячеславович, студент гр. ЭАм-241, КузГТУ,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, gorovoy020202@mail.ru

Дабаров Владимир Викторович, к.т.н., КузГТУ, 650000, г. Кемерово,
ул. Весенняя, д. 28, dvv.egpp@kuzstu.ru