

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО И ВЕКТОРНОГО АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПАССАЖИРСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

*Представлено методику та результати порівняльного експериментального тестування двох алгоритмів керування моментом асинхронного двигуна – частотного та непрямого векторного з позицій їх застосування в тяговому електроприводі пасажирського електротранспорту.*

Благодаря активному развитию методов и средств управления асинхронными двигателями (АД) электропривод на его основе приходит на замену приводу постоянного тока не только в промышленности, но и в электротранспорте. В электромеханических системах транспортных средств, как правило, ставится задача регулирования момента приводных двигателей [3], которая может решаться с использованием подходов частотного и векторного управления АД [1, 3]. В работе [2] представлены результаты сравнительного исследования двух алгоритмов управления методом математического моделирования. Показано, что использование алгоритмов векторного управления моментом АД обеспечивает асимптотическое регулирование момента и позволяет обеспечить требуемые динамические режимы транспортного средства, в то время как при частотном управлении асимптотичность отработки момента и потока нарушается, что приводит к возникновению режимов движения, которые являются нежелательными для транспортных средств.

Целью данной статьи является экспериментальное сравнение показателей качества регулирования момента в асинхронном электроприводе при использовании частотного и векторного алгоритмов управления АД.

**Методика исследования.** Для сравнительного исследования использовалась экспериментальная установка, которая включает: экспериментальный образец асинхронного электропривода, в котором реализованы тестируемые алгоритмы управления, АД мощностью 2,2 кВт, персональный компьютер для программирования и визуализации переходных процессов. Параметры использованного двигателя следующие:

Номинальный ток, А .....	5
Число пар полюсов .....	2
Сопrotивление статора, Ом .....	3,2
Сопrotивление ротора, Ом .....	2,5
Индуктивность статора, Гн .....	0,28
Индуктивность ротора, Гн .....	0,28
Индуктивность намагничивающего контура, Гн .....	0,271
Момент инерции, кг·м <sup>2</sup> .....	0,015

При тестировании принята следующая последовательность операций управления:

- во время начального интервала времени 0...0,15 с машина возбуждается, траектория заданного потока начинается с  $\psi^*(0) = 0,02$  Вб и достигает значения 0,96 Вб с первой производной, равной 6,26 Вб/с;
- начиная с  $t = 0,6$  с от двигателя требуется отработать заданную траекторию изменения момента, которая начинается с нуля и достигает значения 4,1 Н·м, с первой производной, равной 27,3 Н·м/с;

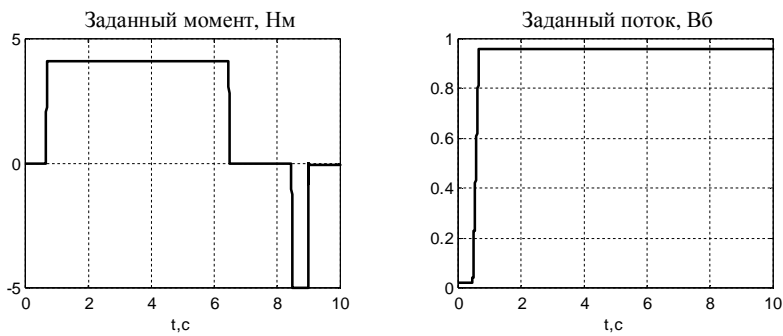


Рис. 1

торможения), а при достижении нулевой скорости ротора значение заданного момента обнуляется.

- при  $t=6,4$  с заданный момент уменьшается до нуля, двигатель работает в режиме выбега;
- при  $t=8,4$  с от двигателя требуется отработать заданную траекторию момента, которая начинается с нуля и достигает значения  $-5$  Н·м (режим

Заданные траектории момента и потокосцепления ротора АД показаны на рис. 1. Последовательность операций управления сформирована таким образом, чтобы смоделировать типовой режим движения транспортного средства на некотором участке, который включает в себя разгон, выбег и торможение.

Поскольку в исследуемом образце напряжение звена постоянного тока инвертора было установлено на уровне 450 В, то при скоростях вращения ротора более 90 рад/с осуществляется ослабление магнитного потока АД. В частотном алгоритме управления моментом ослабление потока происходит естественным образом за счет ограничения выходного напряжения инвертора. В алгоритме векторного управления для ослабления поля используется снижение полевой компоненты тока статора в зависимости от скорости вращения ротора [1].

Показатели качества обработки момента оценивались косвенным методом – по поведению угловой скорости.

**Результаты экспериментального исследования.**

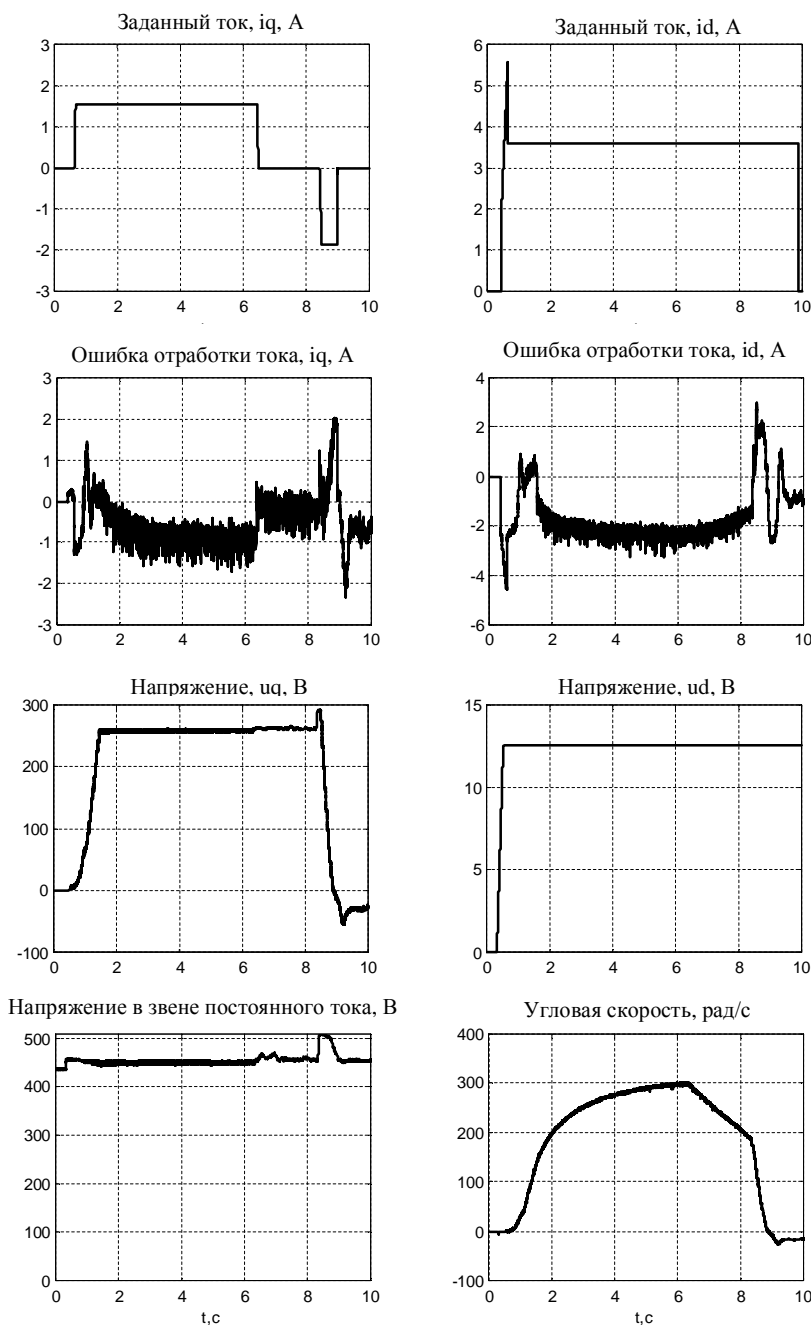


Рис. 2

Графики переходных процессов, полученные для частотного и векторного алгоритмов управления, показаны на рис. 2 и 3 соответственно. Из рис. 2 видно, что при частотном управлении ошибки отработки моментной и полевой компонент тока статора присутствуют на протяжении всего теста. В работе [2] показано, что это приводит к ошибкам отработки магнитного потока, а следовательно, и к ошибкам отработки момента АД. В условиях теста при частотном управлении максимальная скорость в конце этапа разгона составляет 300 рад/с. При торможении АД до нулевой скорости (на интервале времени 8,4...9 с), после снятия задания на момент, присутствует участок движения с отрицательной скоростью, что также свидетельствует о значительном снижении эффективности управления моментом АД на скоростях, близких к нулевой.

В то же время, как видно из рис. 3, использование алгоритма векторного управления моментом АД [1] обеспечивает асимптотическую отработку компонент вектора тока статора, что в свою очередь обеспечивает асимптотическое регулирование момента и потока АД на заданном уровне [2]. Так, на интервале времени от пуска до начала ослабления поля угловая скорость ротора нарастает по линии с заданным ускорением, что свидетельствует о постоянстве и точности отработки момента АД на указанном интервале. Максимальная скорость достигает значения 320 рад/с, а торможение АД является эффективным вплоть до нулевой скорости.

Выполненный анализ показывает, что по сравнению с частотным алгоритмом управления моментом, использование векторного алгоритма [1] позволяет существенно улучшить показатели качества управления режимами движения, а следовательно, и энергетической эффективности [2] в электромеханических системах электротранспорта.

**Заключение.** Выполнено экспериментальное исследование динамических характеристик частотного и векторного алгоритмов управления моментом тяговых АД. В результате исследования установлено, что использование алгоритмов векторного управления моментом АД, в отличие от частотных, обеспечивает асимптотическое регулирование момента, что в

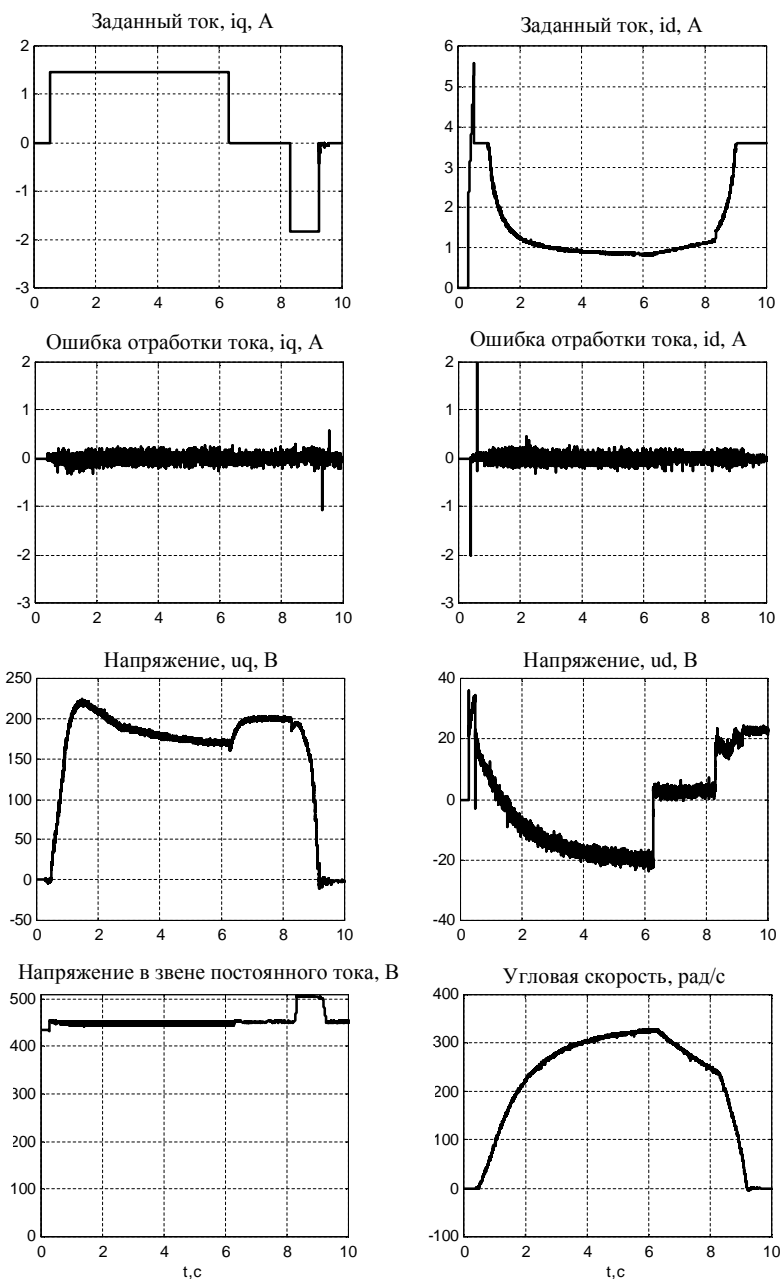


Рис. 3

свою очередь позволяет получить необходимое качество переходных процессов в электро-механических системах транспортных механизмов.

*Представлены методика и результаты сравнительного экспериментального тестирования двух алгоритмов управления моментом асинхронного двигателя – частотного и косвенного векторного с позиций их применений в тяговом электроприводе электротранспорта.*

*The comparative experimental testing of open-loop and closed-loop torque vector control of induction motor for the electromechanical systems of passenger electrical vehicle is presented.*

1. *Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Бовкунович В.С.* Грубое векторное управление моментом и потоком асинхронного двигателя: теория и экспериментальное тестирование // Электроинформ, 2009. – С. 69–73.
2. *Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Бовкунович В.С.* Сравнительное тестирование алгоритмов векторного и частотного управления моментом асинхронного двигателя в электромеханических системах пассажирского электротранспорта // Вестн. Кременчугского гос. техн. ун-та, 2009. – Вып. 4, Ч 1. – С. 13–16.
3. *Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Крыжановский В.П., Бовкунович В.С.* Система управления моментом асинхронного двигателя для тяговых электроприводов // Промэлектро. – 2007. – № 1. – С. 66–70.

Надійшла 29.09.2009