

С. М. Пересада, д. т. н., проф.; С. Н. Ковбаса, к. т. н., доц.; А. Б. Воронко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛГОРИТМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОМЕНТА ДЛЯ ТЯГОВЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Приведены результаты сравнительного экспериментального тестирования алгоритмов частотного и векторного управления моментом асинхронного двигателя. Показаны преимущества применения систем векторного управления в электроприводах транспортных средств.

Ключевые слова: асинхронный тяговый электропривод, векторное управление моментом, механические характеристики.

Введение. Активное развитие инфраструктуры больших городов Украины, которое наблюдается в последние годы, формирует потребность в значительном количестве новых единиц городского электротранспорта таких, как: трамваи, троллейбусы, электробусы и гибридные автобусы. Следуя современным тенденциям, большинство тяговых электроприводов рассматриваемых транспортных средств выполняют на переменном токе с использованием асинхронных двигателей (АД). Из-за отсутствия отечественных серийных тяговых асинхронных электроприводов, потребности внутреннего рынка покрывают за счет импорта, что негативно сказывается на стоимости подвижных единиц. Этим обусловлена актуальность выполнения работ, направленных на создание серийного тягового асинхронного электропривода с динамическими и энергетическими характеристиками, не уступающими существующим зарубежным аналогам.

Целью данной статьи является представление результатов экспериментального исследования динамических и статических характеристик систем частотного и векторного управления моментом асинхронных двигателей с точки зрения их использования для тяговых применений.

Материалы исследования. Экспериментальное тестирование алгоритмов управления моментом АД выполнено на установке, состоящей из двух АД мощностью 2,2 кВт (номинальный момент 15 Нм), валы которых связаны механически; фотоимпульсного датчика скорости с разрешающей способностью 1024 имп/об; силового полупроводникового преобразователя с автономным инвертором напряжения на IGBT ключах; управляющего контроллера [1] на основе 32-разрядного цифрового сигнального процессора с плавающей запятой; нагрузочного агрегата; персонального компьютера. Поскольку исследуемая система работает в режиме регулирования момента, то нагрузочный агрегат осуществляет стабилизацию угловой скорости механически связанных электрических машин и обеспечивает функцию измерения момента, который развивает исследуемый АД.

Для сравнительного тестирования отобраны алгоритм частотного управления моментом [2], а также алгоритмы векторного управления: без измерения статорных токов [3]; робастного [4]; без измерения угловой скорости, построенный на основании общетеоретического решения [5].

На первом этапе тестирования сняты экспериментальные статические характеристики исследуемых систем. Для получения точек статических характеристик с помощью нагрузочного агрегата задавали скорость вращения вала исследуемого АД, после чего производилось возбуждение АД с последующей отработкой заданного момента в исследуемой системе. После завершения переходных процессов фиксировали измеренное значение момента АД. Результирующие статические характеристики показаны на рис. 1, где заданный момент M^* изображён пунктирной линией, а характеристики при частотном управлении – сплошными

линиями. При использовании алгоритмов векторного управления [3] – [5], момент, развиваемый АД, равен заданному значению, следовательно, статические характеристики в системах с векторным управлением совпадают с линиями заданного момента. Это подтверждает свойства асимптотичности регулирования момента и потока, которые гарантируются алгоритмами [3] – [5].

Статические характеристики системы при частотном управлении моментом имеют нелинейный вид, при этом развиваемый двигателем момент существенно отличается от заданного, особенно в зоне низких скоростей. С точки зрения тягового электропривода, возникающие ошибки обработки момента приводят к отклонению ускорения транспортного средства от заданного, что может негативно сказываться на безопасности движения. Более того, как показано в работе [6], такая форма характеристик приводит к невозможности разгона транспортного средства при движении в гору, а также торможения до нулевой скорости при движении с горы.

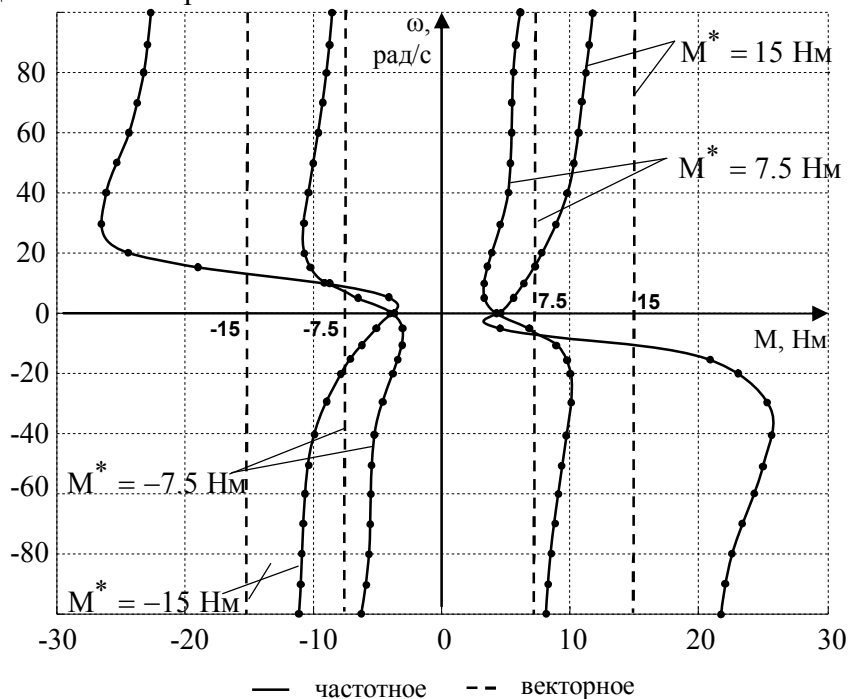


Рис. 1. Статические характеристики

На втором этапе исследованы динамические процессы отработки момента. Для этого использована следующая последовательность операций управления: нагрузочный агрегат стабилизирует угловую скорость АД на заданном уровне; осуществляется возбуждение исследуемого АД; двигателю необходимо обработать заданную траекторию момента, достигающую номинального значения с ограниченной первой производной, равной 150 Нм/с. Заданная траектория момента показана на рис. 2.



Рис. 2

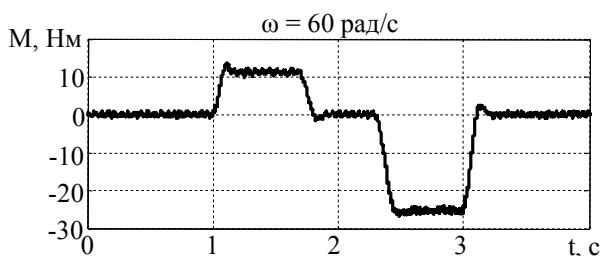
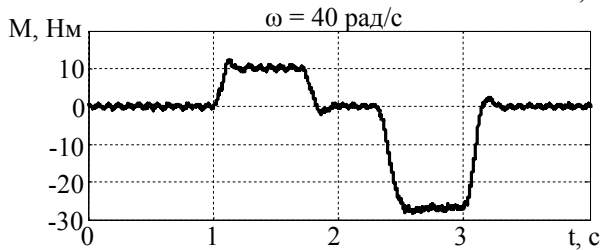
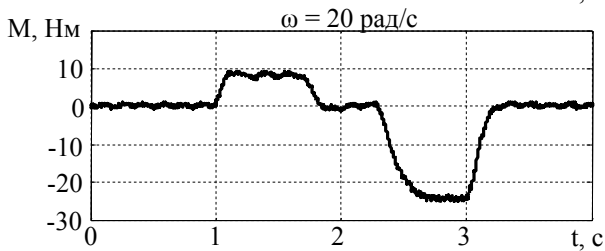
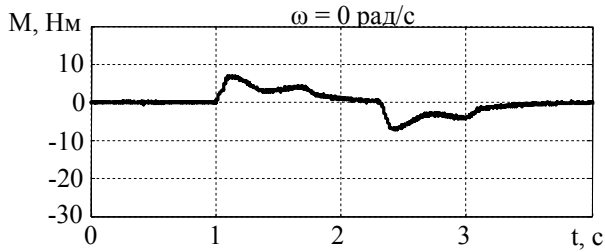


Рис. 3

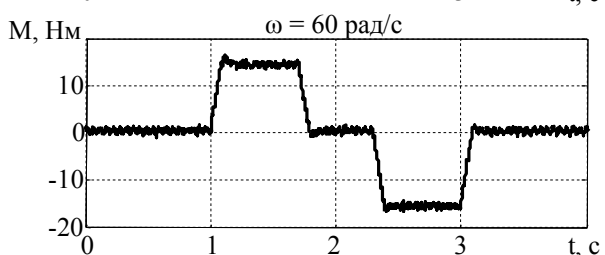
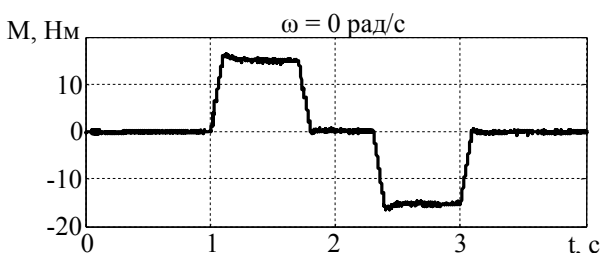


Рис. 4

Графики переходных процессов отработки момента в системе частотного управления при разных скоростях показаны на рис. 3, а в системах векторного управления – на рис. 4. Из рис. 3 устанавливаем, что отработка заданной траектории момента при частотном управлении происходит со значительными ошибками. В частности при работе на малых скоростях наблюдается колебательность процессов, замедленное нарастание и спадание момента двигателя, а также наличие интервалов генерирования момента при его нулевом задании. Динамическое поведение системы частотного управления моментом несколько улучшается при работе на средних и высоких скоростях, однако статические ошибки отработки остаются значительными.

Системы векторного управления демонстрируют примерно одинаковые динамические характеристики при отработке заданных траекторий момента во всем диапазоне скоростей, при которых выполнялось исследование. Из графиков переходных процессов, показанных на рис. 4, видно, что форма отработанного момента с высокой точностью повторяет заданную траекторию, показанную на рис. 2, что экспериментально подтверждает свойства асимптотической отработки момента в динамических режимах, которые обеспечиваются использованием алгоритмов векторного управления [3] – [5].

Представленные результаты исследования статических и динамических характеристик систем управления моментом АД экспериментально подтверждают результаты [6], полученные на основе математического моделирования.

Выводы. Представлены результаты экспериментального тестирования систем регулирования момента асинхронного двигателя, построенных с использованием частотного и векторных методов управления. Показано, что использование частотного управления моментом тяговых АД сопряжено с возможностью возникновения режимов, которые являются нежелательными с точки зрения безопасности движения. В то же время алгоритмы векторного управления, в том числе бездатчикового, гарантируют асимптотическую отработку заданных траекторий момента, что позволяет формировать требуемые динамические характеристики транспортных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковбаса С. Н. Высокопроизводительный унифицированный контроллер на основе DSP TMS320F28335 для электромеханических систем / С. Н. Ковбаса, А. Б. Воронко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія й практика. – 2013. – № 36 (1009). – С. 293 – 297.
2. Пересада С. М. Обобщенный алгоритм частотного управления асинхронными двигателями. Часть 1: синтез на основе второго метода Ляпунова / С. М. Пересада, С. Н. Ковбаса, А. Ю. Онанко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2011. – Вип. 2/2011 (14). – С. 13 – 16.
3. Пересада С. М. Управление моментом и потоком асинхронного двигателя без использования информации о токах статора / С. М. Пересада, С. Н. Ковбаса, В. С. Бовкунович // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – 2008. – № 3 (50). – Ч. 1. – С. 88 – 92.
4. Пересада С. М. Грубое векторное управление моментом и потоком асинхронного двигателя / С. М. Пересада, С. Н. Ковбаса, В. С. Бовкунович // Технічна електродинаміка. – 2010. – № 1. – С. 60 – 66.
5. Пересада С. М. Робастифицированное бездатчиковое векторное управление асинхронным двигателем на основе адаптивного наблюдателя пониженного порядка / С. М. Пересада, С. Н. Ковбаса, С. С. Дымко // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 81 – 82.
6. Пересада С. М. Сравнительное экспериментальное тестирование алгоритмов векторного и частотного управления моментом асинхронного двигателя в электромеханических системах пассажирского электротранспорта / С. М. Пересада, С. Н. Ковбаса, В. С. Бовкунович // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – 2009. – № 4 (57). – Ч. 1. – С. 13 – 16.

Пересада Сергей Михайлович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: sergei.peresada@gmail.com, тел.: (044) 236-99-30.

Ковбаса Сергей Николаевич – к. т. н., доцент кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: skovbasa@ukr.net, тел.: (067) 435-18-81.

Воронко Артур Богданович – аспирант кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: arturvoronko@gmail.com, тел.: (066) 485-46-05.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».