

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

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ МОМЕНТУ ДЛЯ ТЯГОВИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Наведено результати порівняльного експериментального тестування алгоритмів частотного і векторного керування моментом асинхронного двигуна. Показано переваги застосування систем векторного керування в електроприводах транспортних засобів.

Ключові слова: асинхронний тяговий електропривод, векторне управління моментом, механічні характеристики.

Вступ. Активний розвиток інфраструктури великих міст України, який спостерігаємо в останні роки, формує потребу в значній кількості нових одиниць міського електротранспорту таких, як: трамваї, тролейбуси, електробуси та гібридні автобуси. За сучасними тенденціями, більшість тягових електроприводів розглянутих транспортних засобів виконують на змінному струмі з використанням асинхронних двигунів (АД). Через відсутність вітчизняних серійних тягових асинхронних електроприводів, потреби внутрішнього ринку покривають за рахунок імпорту, що негативно позначається на вартості рухомих одиниць. Цим зумовлена актуальність виконання робіт, спрямованих на створення серійного тягового асинхронного електроприводу з динамічними та енергетичними характеристиками, які не поступаються наявним закордонним аналогам.

Метою цієї статті є представлення результатів експериментального дослідження динамічних і статичних характеристик систем частотного та векторного керування моментом асинхронних двигунів з погляду їхнього використання для тягових застосувань.

Матеріали дослідження. Експериментальне тестування алгоритмів керування моментом АД виконано на установці, яка складається з двох АД потужністю 2,2 кВт (номінальний момент 15 Нм), вали яких пов'язані механічно; фотоімпульсного датчика швидкості з роздільною здатністю 1024 імпульсів / об; силового напівпровідникового перетворювача з автономним інвертором напруги на IGBT ключах; керувального контролера [1] на основі 32-розрядного цифрового сигнального процесора з плаваючою комою; навантажувального агрегата; персонального комп'ютера. Оскільки досліджувана система працює в режимі регулювання моменту, то навантажувальний агрегат здійснює стабілізацію кутової швидкості механічно пов'язаних електричних машин і забезпечує функцію вимірювання моменту, який розвиває досліджуваний АД.

Для порівняльного тестування відібрані алгоритми частотного управління моментом [2], а також алгоритми векторного керування: без вимірювання статорних струмів [3]; робастного [4]; без вимірювання кутової швидкості, побудованого на основі загальнотеоретичного розв'язку [5].

На першому етапі тестування зняті експериментальні статичні характеристики досліджуваних систем. Для отримання точок статичних характеристик за допомогою навантажувального агрегата задавали швидкість обертання вала досліджуваного АД, після чого вироблялося збудження АД з подальшим відпрацюванням заданого моменту в досліджуваній системі. Після завершення перехідних процесів фіксували вимірне значення моменту АД. Результивні статичні характеристики показані на рис. 1, де заданий момент зображено пунктирною лінією, а характеристики за частотного управління – суцільними лініями. За використання алгоритмів векторного керування [3] – [5], момент, який розвиває АД, дорівнює заданому значенню, отже, статичні характеристики в системах з векторним

управлінням збігаються з лініями заданого моменту. Це підтверджує властивості асимптотично регулювання моменту й потоку, які гарантуються алгоритмами [3] – [5].

Статичні характеристики системи за частотного управління моментом мають нелінійний вигляд, при цьому момент, який розвиває двигун, істотно відрізняється від заданого, особливо в зоні низьких швидкостей. З точки зору тягового електроприводу, помилки відпрацювання моменту, які виникають, призводять до відхилення прискорення транспортного засобу від заданого, що може негативно позначатися на безпеці руху. Більше того, як показано в роботі [6], така форма характеристик призводить до неможливості розгону транспортного засобу під час руху в гору, а також гальмування до нульової швидкості під час руху з гори.

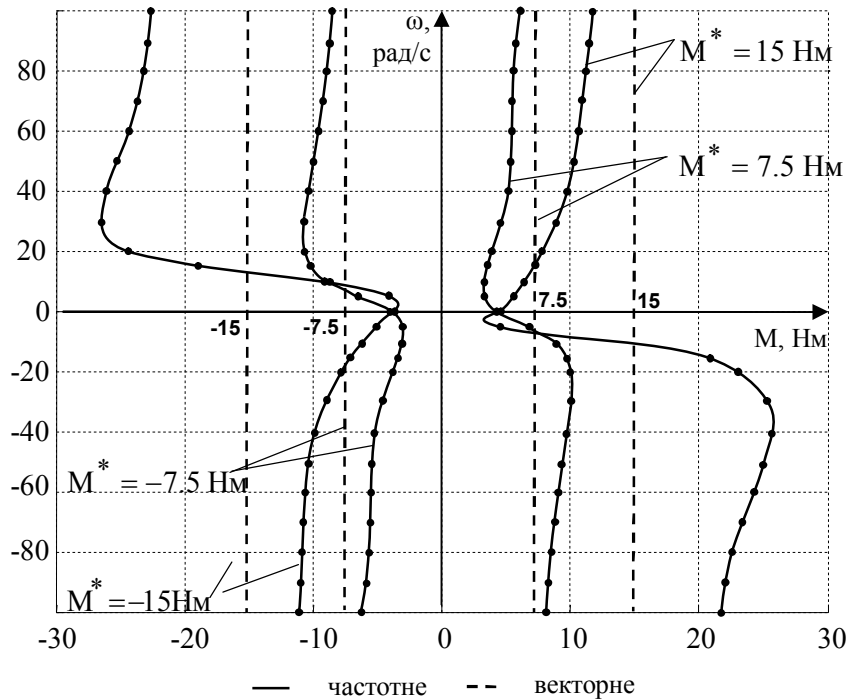


Рис. 1. Статичні характеристики

На другому етапі досліджено динамічні процеси відпрацювання моменту. Для цього використано таку послідовність операцій управління: навантажувальний агрегат стабілізує кутову швидкість АД на заданому рівні; відбувається збудження досліджуваного АД; двигуну потрібно відпрацювати задану траєкторію моменту, що досягає номінального значення з обмеженою першою похідною, яка дорівнює 150 Нм / с. Задана траєкторія моменту показана на рис. 2.

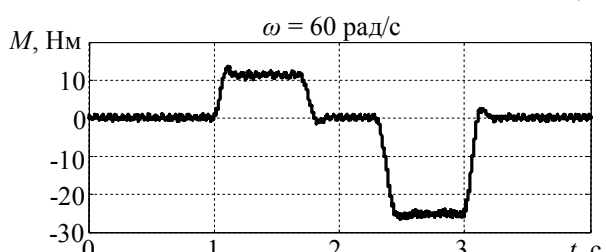
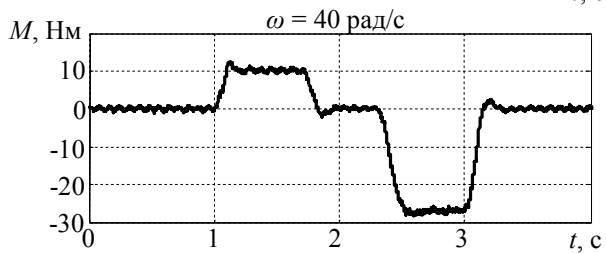
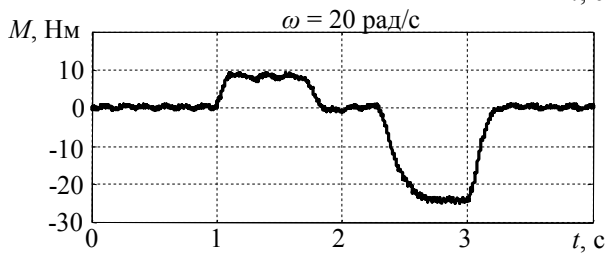
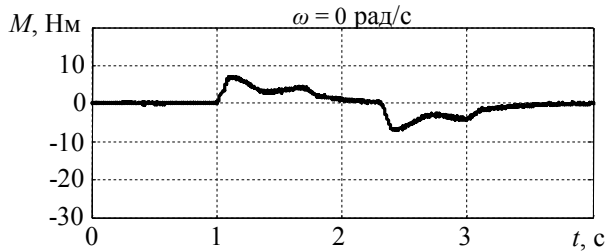
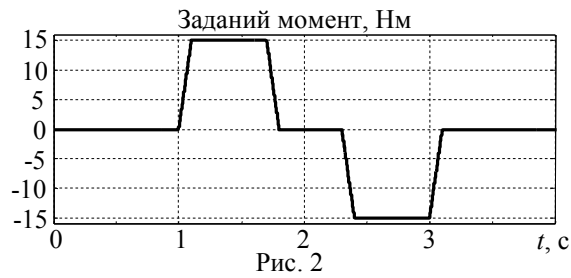


Рис. 3

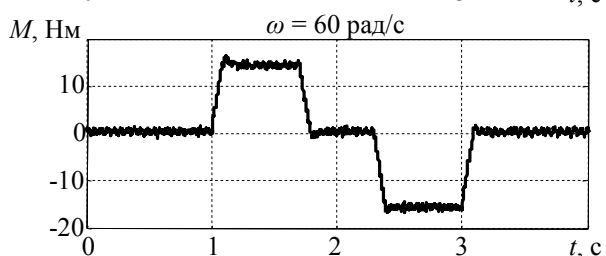
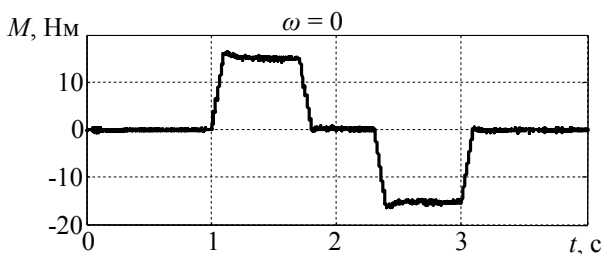


Рис. 4

Графіки перехідних процесів відпрацювання моменту в системі частотного управління за різних швидкостей показано на рис. 3, а в системах векторного керування – на рис. 4. Із рис. 3 встановлюємо, що відпрацювання заданої траєкторії моменту за частотного управління відбувається зі значними помилками. Зокрема під час роботи на малих швидкостях спостерігаємо коливальність процесів, уповільнене наростання і спадання моменту двигуна, а також наявність інтервалів генерування моменту за його нульового задання. Динамічна поведінка системи частотного керування моментом дещо поліпшується під час роботи на середніх і високих швидкостях, проте статичні помилки відпрацювання залишаються значними.

Системи векторного керування демонструють приблизно однакові динамічні характеристики під час відпрацювання заданих траєкторій моменту в усьому діапазоні швидкостей, за яких виконувалося дослідження. Із графіків перехідних процесів, показаних на рис. 4, видно, що форма відпрацьованого моменту з високою точністю повторює задану траєкторію, показану на рис. 2, що експериментально підтверджує властивості асимптотичного відпрацювання моменту в динамічних режимах, які забезпечуються використанням алгоритмів векторного керування [3] – [5].

Представлені результати дослідження статичних і динамічних характеристик систем управління моментом АД експериментально підтверджують результати [6], які були отримані на основі математичного моделювання.

Висновки. Представлені результати експериментального тестування систем регулювання моменту асинхронного двигуна, побудованих з використанням частотного і векторних методів управління. Показано, що використання частотного управління моментом тягових АТ пов'язане з можливістю виникнення режимів, які є небажаними з погляду безпеки руху. Водночас алгоритми векторного керування, серед яких бездатчиковий, гарантують асимптотичне відпрацювання заданих траєкторій моменту, що дозволяє формувати необхідні динамічні характеристики транспортних засобів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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 Сергій Михайлович – д. т. н., професор, завідувач кафедри автоматизації електромеханічних систем та електропривода, e-mail: sergei.peresada@gmail.com, тел.: (044) 236-99-30.

Ковбаса Сергій Миколайович – к. т. н., доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електропривода, e-mail: skovbasa@ukr.net, тел.: (067) 435-18-81.

Воронко Артур Богданович – аспірант кафедри автоматизації електромеханічних систем та електропривода, e-mail: arturvoronko@gmail.com, тел.: (066) 485-46-05.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».