

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО К ВАРИАЦИЯМ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РОТОРНОЙ ЦЕПИ НАБЛЮДАТЕЛЯ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Представлено результати експериментального дослідження адаптивного спостерігача потокозчеплення та активного опору ротора, а також алгоритму адаптивного векторного керування для випадку, коли в ньому використовується оцінене за допомогою спостерігача значення активного опору роторного кола. Експериментально підтверджено, що використання отриманого від адаптивного спостерігача значення активного опору роторного кола в алгоритмі грубого векторного керування дає змогу повністю компенсувати вплив варіацій активного опору ротора на показники якості керування в електромеханічних системах на основі асинхронного двигуна.

Введение. Современные векторно-управляемые асинхронные электроприводы находят все большее распространение в различных технологических применениях. Одним из основных факторов, влияющих на показатели качества систем векторного управления, является точность определения параметров асинхронного двигателя (АД). Идентификация параметров АД в серийных изделиях мировых производителей осуществляется перед включением машины в рабочий цикл. Поскольку активные сопротивления статорной и роторной цепи при работе машины могут изменяться в широких пределах вследствие тепловых процессов, то первоначальная идентификация не гарантирует сохранение показателей качества управления в условиях продолжительной работы АД.

В работах [1, 2] предложен алгоритм робастного косвенного векторного управления, обеспечивающий глобальную экспоненциальную отработку заданных траекторий момента-потокозчепления, а также высокие свойства робастности к вариациям активного сопротивления ротора. В работе [3] авторами выполнен синтез нового адаптивного наблюдателя, который обеспечивает экспоненциальную оценку вектора потокозчепления ротора, а также постоянной времени роторной цепи.

Целью настоящей статьи является экспериментальное исследование адаптивного наблюдателя [3], а также алгоритма адаптивного векторного управления [1] для случая, когда в нем используется оцененное с помощью наблюдателя значение активного сопротивления роторной цепи.

Экспериментальная установка. Экспериментальные исследования проводились на станции быстрого прототипного тестирования алгоритмов управления электроприводами [4], функциональная схема которой изображена на рис. 1. В состав станции входят: специализированный контроллер на основе цифрового сигнального процессора TMS320C32; трехфазный ШИМ инвертор 20 А/380 В, с частотой модуляции 10 кГц и мертвым временем 1 мкс; АД, параметры которого приведены в таблице; двигатель постоянного тока с токовым управлением в качестве нагрузочной машины; персональный компьютер, который используется для программирования, отладки и визуализации переходных процессов во время экспериментов.

Период квантования по времени при цифровой реализации алгоритмов управления установлен равным 200 мкс.

P_n , кВт	I_n , А	p_n	R_{1n} , Ом	R_{2n} , Ом	L_1 , Г	L_2 , Г	L_m , Г	J_n , кг/м ²
0,75	2,1	1	11	5,51	0,95	0,95	0,91	0,003

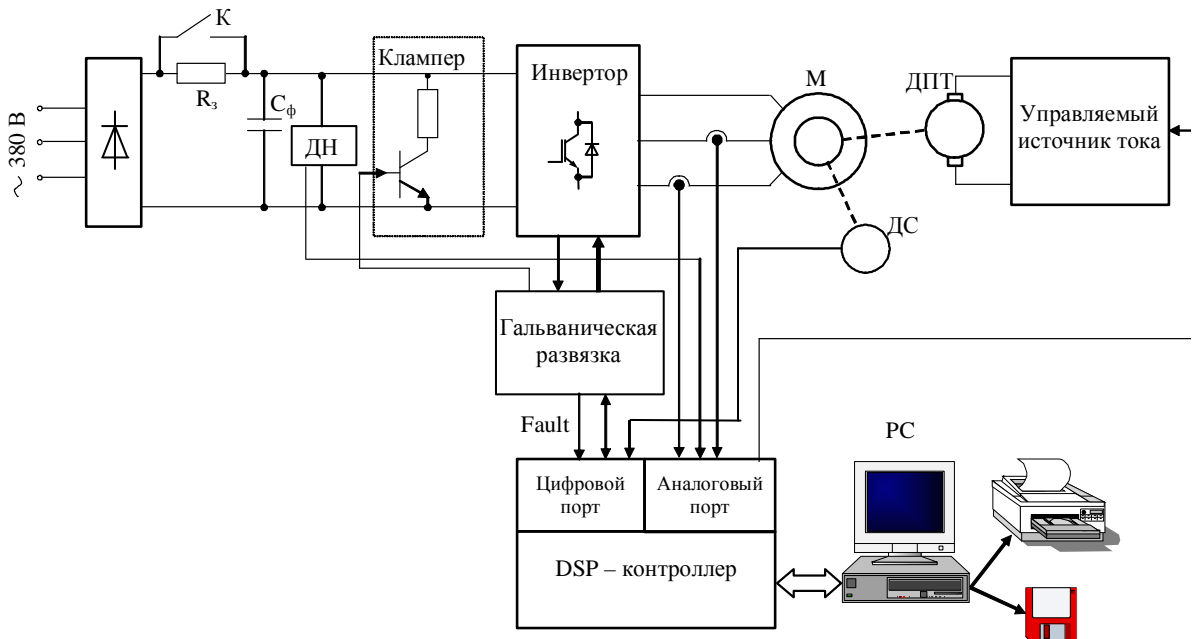


Рис. 1

Методика проведения исследований. При выполнении исследований использовался стандартный тест со следующей последовательностью операций управления: во время начального интервала времени $0 \dots 0,25$ с машина возбуждается, траектория заданного потока начинается с $\psi^*(0) = 0,02$ Вб и достигает значения $0,92$ Вб с первой производной, равной $3,52$ Вб/с; начиная с $t = 0,6$ с двигатель без нагрузки разгоняется по заданной траектории скорости, которая имеет нулевое начальное значение и достигает 50 рад/с с первой и второй производными, равными 714 рад/с² и 23810 рад/с³ соответственно; в момент времени $t = 0,8$ с к валу двигателя прикладывается постоянный момент нагрузки, равный номинальному значению $2,5$ Нм.

Заданная траектория изменения угловой скорости сформирована таким образом, что при ее отработке динамический момент соответствует номинальному моменту двигателя.

Заданные траектории для потока и скорости представлены на рис. 2 сплошными линиями, а пунктирной линией показан профиль момента нагрузки.

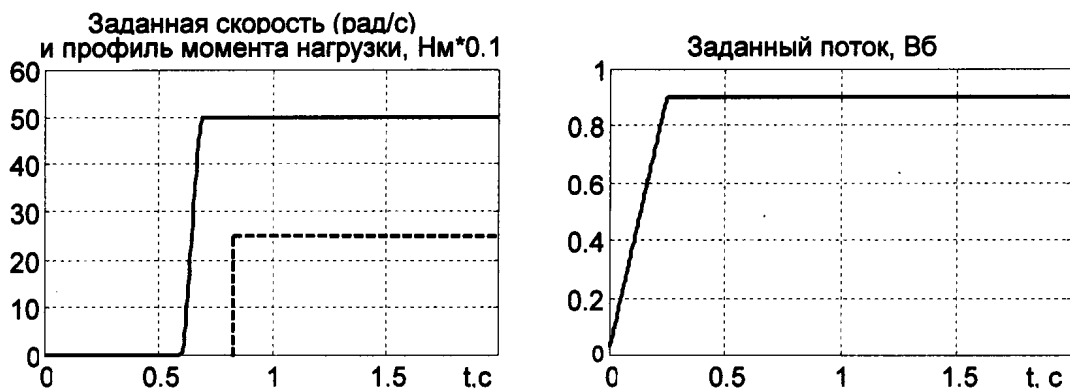


Рис. 2

При тестировании приняты следующие значения настроечных параметров алгоритма векторного управления (16)...(18), (22) [1] и адаптивного наблюдателя (16) [3]: коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющих регулятора скорости $k_\omega = 150$, $k_{\omega i} = 11250$; коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющих регуляторов тока: $k_i = 700$, $k_{ii} = 122000$. Корректирующие коэффициенты подсистемы потока для рабо-

стного алгоритма векторного управления $\gamma_1 = \gamma_2 = 0,1$, коэффициент наблюдателя полевой компоненты тока статора $k_1 = 700$, коэффициент алгоритма идентификации параметра α $\gamma = 0,5$, где $\alpha = R_2 / L_2$ – величина, обратная постоянной времени роторной цепи.

Тестирование выполнено в два этапа: на первом исследована работа адаптивного наблюдателя в автономном режиме; на втором исследованы переходные процессы в системе векторного управления [1] при использовании значения $\hat{\alpha}$, полученного с помощью адаптивного наблюдателя. Оба теста проводились для двух значений начальных условий: $\hat{\alpha}(0) = 10\text{c}^{-1} = 1,72\alpha_N$ и $\hat{\alpha}(0) = 2,5\text{c}^{-1} = 0,43\alpha_N$, α_N – номинальное значение α . В качестве входных напряжений наблюдателя использованы заданные значения напряжений инвертора.

Результаты экспериментального тестирования. На рис. 3, 4 показаны графики переходных процессов в адаптивном наблюдателе при его автономной работе для $\hat{\alpha}(0) = 10\text{c}^{-1}$ и $\hat{\alpha}(0) = 2,5\text{c}^{-1}$ соответственно. Анализ, приведенный в [3], свидетельствует, что на участках переходных процессов, где магнитный поток является постоянным или АД не генерирует момент, оценивание неизвестного параметра α является невозможным. Из рис. 3, 4 следует,

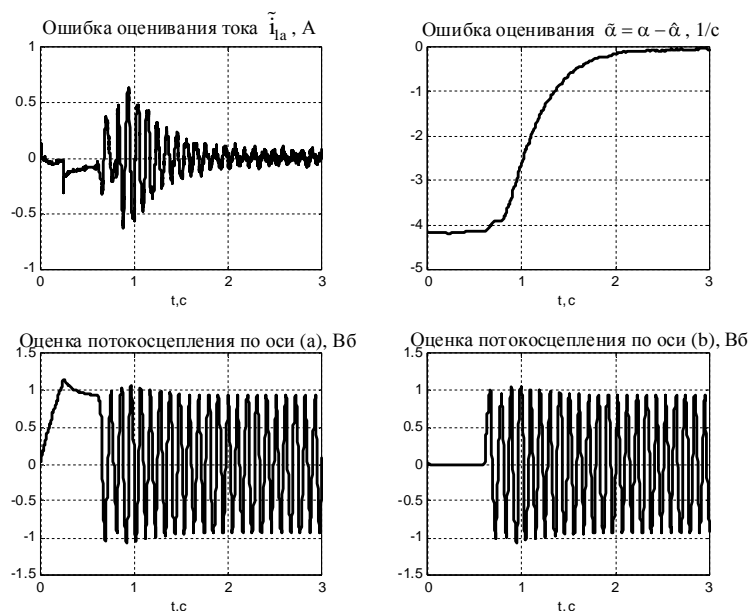


Рис. 3

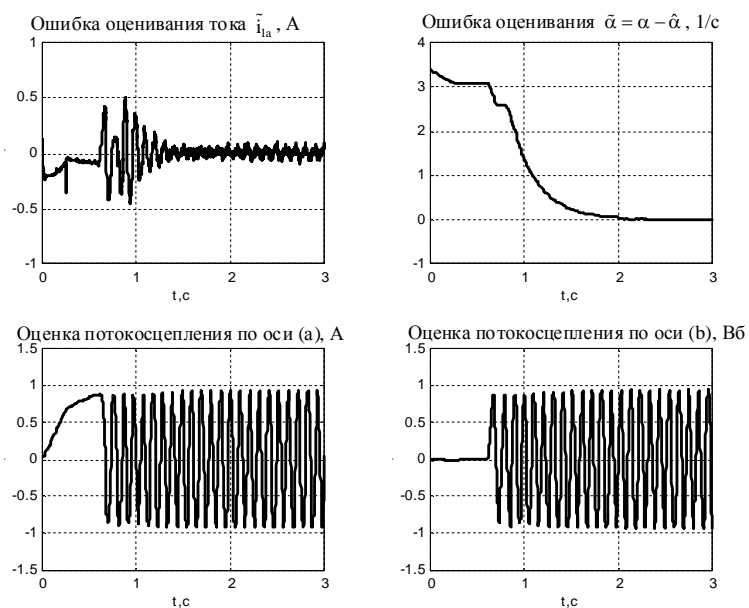


Рис. 4

что при выполнении условий наблюдаемости, когда $t > 0,8\text{c}$, адаптивный наблюдатель обеспечивает асимптотическую оценку компонент вектора потокосцепления ротора, токов статора и неизвестного параметра α . Время оценивания для принятых значений настроечных параметров составляет менее 2 с. Отметим, что входными сигналами наблюдателя являются не реальные напряжения статора, а их заданные значения, что приводит к присутствию незначительных ошибок оценивания токов в установившемся режиме из-за неидеальностей инвертора. Как показывают выполненные исследования, основное влияние на работу наблюдателя оказывают ошибки обработки инвертором заданного вектора напряжения, обусловленные присутствием мертвого времени. Они могут рассматриваться как возмущения с периодом, кратным основной гармонике, которые действуют в правой части дифференциальных уравнений наблюдателя, поэтому ошибки оценивания токов имеют периодическую форму и нулевое среднее значение.

Из графиков переходных процессов следует, что адаптивный наблюдатель обладает достаточным уровнем робастности относительно шумов измерения, квантования сиг-

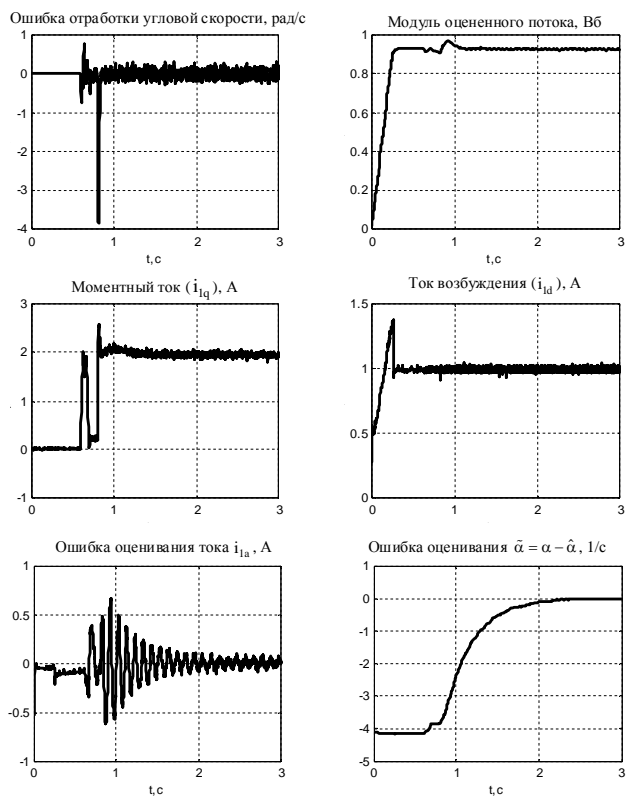


Рис. 5

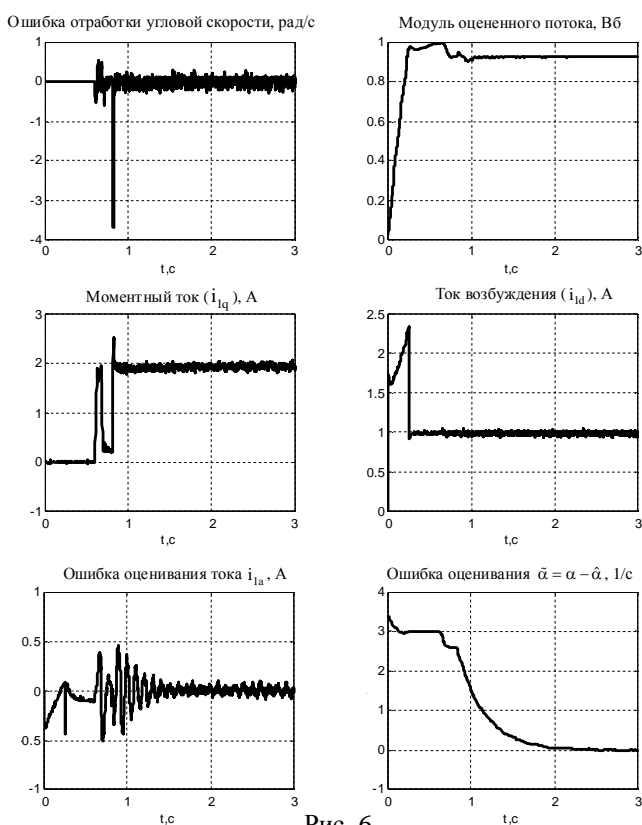


Рис. 6

налов, погрешностей определения параметров АД.

Следующая серия экспериментальных тестов, результаты которых представлены на рис. 5 ($\alpha(0) = 10 \text{ c}^{-1}$) и рис. 6 ($\alpha(0) = 2,5 \text{ c}^{-1}$), проведена для исследования переходных процессов при использовании алгоритма робастного векторного управления, в котором значение параметра α задается адаптивным наблюдателем.

Переходные процессы (рис. 3–6) показывают, что в адаптивной системе векторного управления, построенной на основе принципа разделения, динамическое поведение адаптивного наблюдателя не изменилось по сравнению с его работой в автономном режиме. Такой результат является следствием свойств экспоненциальной устойчивости наблюдателя и неадаптивной системы векторного управления АД. Композитная адаптивная система, полученная путем объединения алгоритмов наблюдателя и векторного управления, обладает локальной асимптотической устойчивостью, что на практике гарантирует системе работоспособность.

Экспериментальные исследования подтверждают, что использование адаптивного наблюдателя [3] обеспечивает полную адаптивную компенсацию влияния вариаций активного сопротивления ротора на процессы управления моментом-потокосцеплением АД. В работах [2, 5] показано, что такой результат по сравнению со стандартным алгоритмом векторного управления позволяет существенно повысить показатели качества регулирования механических координат, а также энергетическую эффективность процесса электрохимического преобразования энергии.

Заключение. Экспериментально подтверждено, что использование полученного от адаптивного наблюдателя значения

постоянной времени роторной цепи в алгоритме грубого векторного управления позволяет полностью компенсировать влияние вариаций активного сопротивления ротора на показатели качества управления в электрохимических системах на основе АД. Алгоритм наблюдателя обладает достаточной грубостью в отношении неидеальностей инвертора, шумов измерения, квантования по уровню и времени, погрешностей определения неадаптируемых параметров АД.

Представлены результаты экспериментального исследования адаптивного наблюдателя потокосцепления и активного сопротивления ротора, а также алгоритма адаптивного векторного управления для случая, когда в нем используется оцененное с помощью наблюдателя значение активного сопротивления роторной цепи. Экспериментально подтверждено, что использование полученного от адаптивного наблюдателя значения активного сопротивления роторной цепи в алгоритме грубого векторного управления позволяет полностью компенсировать влияние вариаций активного сопротивления ротора на показатели качества управления в электромеханических системах на основе асинхронного двигателя.

The results of experimental testing of the adaptive observer of the rotor flux and resistance are presented. It has been shown experimentally, that the adaptive vector control algorithm based on the adaptive observer provided stable performances of the flux-torque control during rotor resistances variations.

1. Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Бовкунович С.Н. Грубое векторное управление моментом и потоком асинхронного двигателя // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 1. – С. 60–66.
2. Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Бовкунович В.С. Сравнительное экспериментальное тестирование алгоритмов косвенного векторного управления моментом асинхронного двигателя // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 2. – С. 33–40.
3. Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Бовкунович В.С. Адаптивный наблюдатель Матсусе: новый синтез, гарантирующий асимптотичность оценивания вектора потокосцепления и активного сопротивления ротора асинхронного двигателя // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 3. – С.
4. Пересада С., Ковбаса С., Тониэлли А. Станция быстрого моделирования алгоритмов управления электроприводом // Вестн. Харьковского гос. политехн. ун-та. –1999. – С. 190–193.
5. Peresada S., Tilli A. and Tonielli A. Theoretical and experimental comparison of indirect field-oriented controllers for induction motors // IEEE Trans. on Power Electronics. – 2003. – Vol. 18, №. 1. – P. 151–163.

Надійшла 18.01.2010