

# К ВОПРОСУ О РОБАСТНОСТИ АЛГОРИТМОВ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ К ВАРИАЦИЯМ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РОТОРА: ЧАСТЬ 2 – ПРЯМОЕ ПОЛЕОРИЕНТИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ РОБАСТИФИЦИРОВАННОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ ПОЛНОГО ПОРЯДКА

Пересада С.М., проф., д.т.н.; Луцив-Шумский А.Ю., магистрант; Белецкий О.А., магистрант  
кафедра автоматизации электромеханических систем и электропривода

**Введение.** В первой части исследования показано, что улучшенный алгоритм прямого векторного управления (I-DFOC) имеет несколько более высокие показатели робастности в сравнении с улучшенным алгоритмом косвенного управления. Переход к более сложному алгоритму векторного управления, который основывается на наблюдателе вектора потокосцепления ротора полного порядка, предполагает, что за счет этого потенциально возможно достижение новых свойств, в том числе и повышение робастности в сравнении с I-DFOC.

Сложность проблемы состоит в том, что конструктивных методов задания робастности в нелинейных системах рассматриваемой сложности не существует, поэтому рекомендации по применению тех или иных структур наблюдателей, а также настройки их обратных связей могут быть выработаны только на основе полномасштабного исследования характеристик систем в типовых режимах их работ.

Целью настоящего исследования является сравнительный анализ показателей робастности систем прямого векторного управления АД с наблюдателями пониженного и полного порядка.

**Наблюдатель вектора потокосцепления ротора полного порядка.** Базовая теория наблюдателей полного порядка для АД дана в [1]. В [2] предложено конструировать наблюдатель вектора потокосцепления ротора АД в синхронной системе координат, поскольку при этом переменные наблюдателя соответствуют использованным при полеориентированном векторном управлении. Общая структура такого наблюдателя имеет вид

$$\begin{aligned}\dot{\hat{i}}_{1d} &= -\gamma \hat{i}_{1d} + \omega_0 \hat{i}_{1q} + \alpha \beta |\hat{\psi}_2| + \frac{1}{\sigma} u_{1d} + v_{1d} \\ \dot{\hat{i}}_{1q} &= -\gamma \hat{i}_{1q} - \omega_0 \hat{i}_{1d} - \beta \omega |\hat{\psi}_2| + \frac{1}{\sigma} u_{1q} + v_{1q} \\ |\dot{\hat{\psi}}_2| &= -\alpha |\hat{\psi}_2| + \alpha L_m \hat{i}_{1d} + v_{2d} \\ \dot{\epsilon}_0 &= \omega_0 = \omega + \alpha L_m \frac{\hat{i}_{1q}}{|\hat{\psi}_2|} + \frac{1}{|\hat{\psi}_2|} v_{2q}, |\hat{\psi}_2| > 0,\end{aligned}\tag{1}$$

где  $\hat{i}_{1d}, \hat{i}_{1q}$  - оценки токов статора,  $|\hat{\psi}_2|$  - оценка модуля вектора потокосцепления ротора,  $u_{1d}, u_{1q}$  - напряжения статора,  $\varepsilon_0$  - положение синхронной системы координат (d-q) относительно системы координат статора (a-b),  $(v_{1d}, v_{1q}, v_{2d}, v_{2q})^T$  - вектор корректирующих обратных связей наблюдателя. Параметры АД  $\gamma, \alpha, \beta, \sigma$  определены стандартным образом, одна пара полюсов принята без потери общности.

Конструирование вектора корректирующих обратных связей  $(v_{1d}, v_{1q}, v_{2d}, v_{2q})^T$  позволяет синтезировать семейство наблюдателей, из которых возможно определить структуры, обладающие как удовлетворительными динамическими показателями, так и повышенными свойствами грубости (см. [3] стр. 143-159).

**Результаты исследования грубости.** На Рис. 1 представлены характеристики ошибок отработки в системах с IFOC, I-DFOC и FO-DFOC при использовании наблюдателя полного порядка, заданного (3.135) в [3], для  $M^* = 6$  І і,  $\psi^* = 0,94$  Аá,  $\gamma_1 = 0,3$ ,  $\Delta R_2 = -0,5R_{2N}$  и  $\Delta R_2 = R_{2N}$ . На графиках характеристики пронумерованы следующим образом: 1 – IFOC, 2 – I-DFOC, 3 – FO-DFOC.

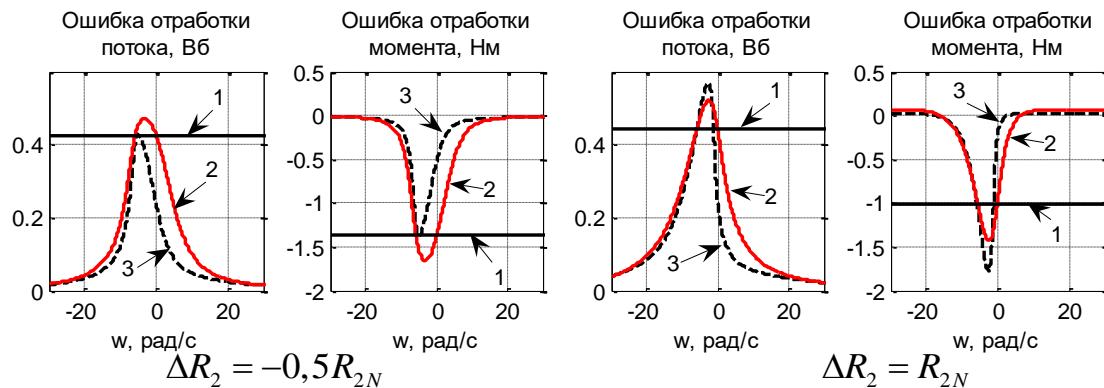


Рис. 1 - Зависимости ошибок регулирования IFOC, I-DFOC, FO-DFOC при  $M^* > 0$ ,  $\gamma_1 = 0,3$ ,  $\Delta R_2 = -0,5R_{2N}$  и  $\Delta R_2 = R_{2N}$

Характеристики при  $M^* = -6$  І і приведены на Рис. 2.

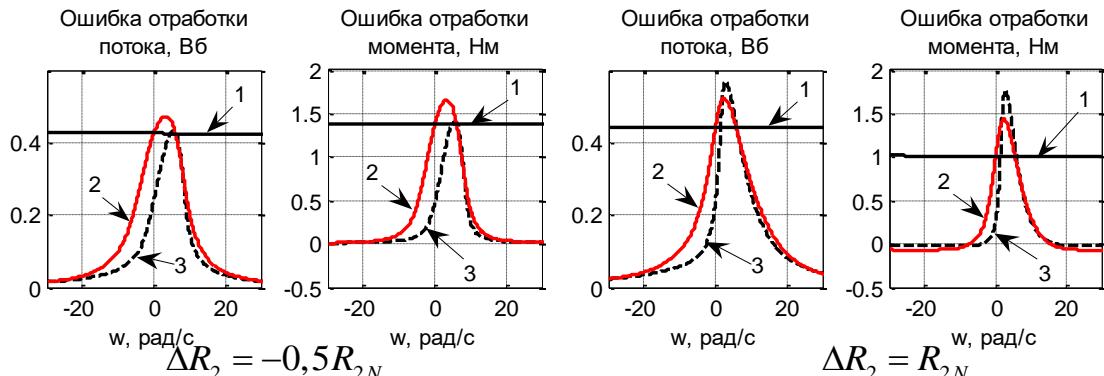


Рис. 2 - Зависимости ошибок регулирования IFOC, I-DFOC, FO-DFOC при  $M^* < 0$ ,  $\gamma_1 = 0,3$ ,  $\Delta R_2 = -0,5R_{2N}$  и  $\Delta R_2 = R_{2N}$

Из графиков ошибок регулирования момента и потока, представленных на рисунках, устанавливаем, что, благодаря свойствам грубости наблюдателя полного порядка, точность регулирования повысилась для всех рассмотренных режимов. При этом площадь под кривой ошибок, которая может служить количественной оценкой, уменьшилась примерно от 25% до 50% по сравнению с использованием I-DFOC.

Важным является исследование поведения рассматриваемых алгоритмов при  $\omega=0$ , когда действие зависящих от скорости корректирующих сигналов отсутствует. На Рис. 3 показаны зависимости ошибок при изменении активного сопротивления ротора в диапазоне от  $0,5R_{2N}$  до  $2R_{2N}$  при  $\gamma_1=0,05$ ,  $M^*=6$  л. с.,  $\omega=0$ , которые свидетельствуют о том, что структура наблюдателя полного порядка обладает робастифицирующими свойствами как при  $\omega \neq 0$ , так и при  $\omega=0$ . Интегральные квадратичные оценки при этом более чем в 3 раза лучше в сравнении с I-DFOC.

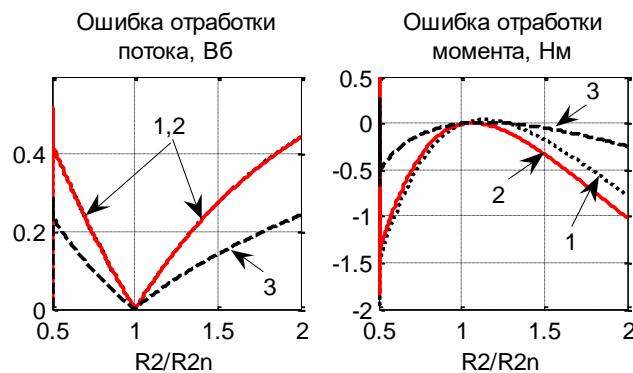


Рис. 3 - Зависимости ошибок регулирования IFOC, I-DFOC, FO-DFOC при  $M^* > 0$ ,  $\omega=0$ ,  $\gamma_1 = 0,05$

**Выводы.** Выполненные исследования обосновывают целесообразность применения более сложных структур наблюдателей полного порядка в сравнении с традиционными решениями пониженного порядка. При специальном конструировании стабилизирующих обратных связей наблюдателя удается снизить значение ошибок регулирования момента и потока, в том числе в диапазоне малых скоростей. Эффективность наблюдателей полного порядка в этом режиме требует тщательной экспериментальной проверки, учитывая тот факт, что для реализации наблюдателя используются заданные, а не реальные, значения напряжений статора.

#### Перечень ссылок

1. Verghese G.C. and Sanders S.R. Observers for flux estimation in induction machines// IEEE Trans. on Industrial Electronics. – 1988. – Vol. 35. – P. 85-94.
2. Пересада С.М., Ковбаса С.Н. Обобщенный алгоритм прямого векторного управления асинхронным двигателем // Техн. електродинаміка. –2002. –№ 4. –С. 17–22.
3. Пересада С.М. Нелинейное и адаптивное управление в электромеханических системах с векторно-управляемыми электродвигателями, дис. докт. техн. наук, Киев, 2007 г.