

**УНИВЕРСАЛЬНОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ**

**Введение.** Под универсальным векторным управлением понимается управление, обеспечивающее работоспособность привода во всех режимах работы (двигательном, генераторном, холостого хода) для управления скоростью и положением.

Для позиционного управления обычно применяются двигатели постоянного тока, основным недостатком которых является наличие коллектора, который усложняет двигатель, снижает его надежность, удорожает обслуживание, делает невозможным его эксплуатацию в агрессивных и пожароопасных средах. В настоящее время для позиционного управления чаще используются синхронные двигатели с постоянными магнитами, для которых характерна высокая стоимость постоянных магнитов и их способность к размагничиванию, в результате чего с течением времени характеристики двигателей ухудшаются. Кроме того, мощность синхронных двигателей с постоянными магнитами ограничена. В то же время, для поддержания и регулирования скорости получили широкое распространение асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АД), не имеющие перечисленных выше недостатков. АД с векторным управлением (ВУ) способны обеспечить высококачественное управление во всем диапазоне скоростей. Поэтому естественно желание использовать АД и для позиционного управления. В случае удачного решения этого вопроса появляется возможность создания универсального электропривода, который, по желанию потребителей, путем простых коммутаций можно перенастроить как для позиционного, так и для скоростного управления.

Вопросам позиционного управления АД, в отличие от управления скоростью, посвящено не большое количество работ [1-5]. В работе [1] для полностью известного АД по информации позиционного датчика и датчиков статорных токов получен алгоритм управления, обеспечивающий экспоненциальную устойчивость заданной траектории без гарантии показателей качества системы управления. В публикациях [2, 3] с полностью известным вектором состояния (за исключением потокосцепления ротора) и не известным сопротивлением ротора синтезированы алгоритмы, обеспечивающие асимптотическую устойчивость заданной траектории (без гарантии показателей качества). К гладкости заданной траектории предъявляются жесткие требования. В работе [4] для обеспечения робастности по отношению к неопределенности параметров двигателя и внешних возмущений применено управление со скользящими режимами. Авторы работы [4] справедливо считают, что этому виду управления присущ ряд существенных недостатков. В статье [5] для управления скоростью и положением использовано косвенное векторное управление (КВУ). По заявлению авторов статьи, приводы с КВУ теряют работоспособность при не точном знании сопротивления ротора и при наличии нагрузки (по нашему мнению, это особенно характерно для генераторного режима). Для уменьшения этого недостатка предложено КВУ дополнить робастным компенсатором.

Таким образом, в доступной литературе отсутствует информация о системах высокоточного управления положением ротора АД в генераторном и двигательном режиме, обладающих робастностью по отношению к неопределенности сопротивлений статора и ротора, момента инерции ротора, резко переменной нагрузки с неизвестным законом изменения.

Поставим цель разработать такой алгоритм векторного управления, который с минимальными изменениями обеспечит точное робастное по отношению к неопределенностям привода управление скоростью и перемещением.

**Формирование универсального управления.** При разработке универсальной системы управления за основу примем прямое векторное управление (ПВУ) скоростью. Для управления скоростью будут использоваться только клеммные измерения тока и напряжения статора. При позиционном управлении клеммные измерения дополняются измерением положения с помощью внешнего датчика. Наличие позиционного датчика позволяет осуществить более точную оценку скорости по его информации с помощью различного вида наблюдателей, дифференциаторов и экстраполяторов. Клеммные токи и напряжения представляют собой главные гармоники, на которые накладываются шумы, обусловленные ШИМ. В алгоритмах ВУ используются главные гармоники. Для их выделения из шумов применим компенсационные фильтры [6]. Для разработки универсального управления, по нашему мнению, в наибольшей степени подходят следующие методы. Метод оценки синхронной скорости  $\hat{\omega}_0$  [7], который не зависит от сопротивлений ротора и статора. Метод оценки сопротивления статорной цепи  $\hat{R}_s$  [7], работоспособный как при наличии электромагнитного момента, так и в режиме намагничивания двигателя. Метод оценки потокосцепления ротора  $\hat{\psi}$  [8], работоспособный при всех скоростях ротора. Для оценки сопротивления ротора воспользуемся его связью с сопротивлением статора, обусловленной взаимосвязью температур ротора и статора, на что указано в работах [9-13]. В работах [9, 12, 13] считают, что температуры обмоток ротора и статора равны, в публикациях [10, 11] экспериментально определено, что температура обмотки ротора на  $10^\circ\text{C}$  больше температуры обмотки статора. Учитывая малую разницу температур, будем полагать



**Результаты моделирования и выводы.** На рис. 3 представлены истинная скорость ротора и её оценка при управлении только по клеммным измерениям в процессе разгона двигателя, подачи и сброса нагрузки соответственно при 0.8 с и 1.5 с, реверса и последующего торможения до нулевой скорости. На рис. 4 показана работа двигателя по поддержанию нулевой скорости ротора как с номинальной нагрузкой, так и без неё. Погрешность поддержания нулевой скорости при номинальной нагрузке не более  $0.01 \text{ c}^{-1}$ .

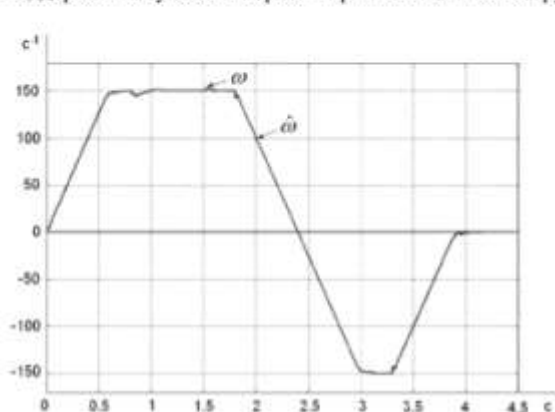


Рисунок 3

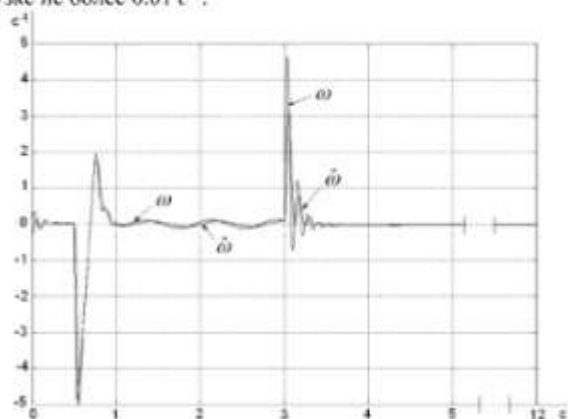


Рисунок 4

На рис. 5 показан разгон двигателя при номинальной нагрузке от нулевой скорости до скорости  $10 \text{ рад/с}$ , в процессе которого осуществлялась идентификация сопротивления статора, показанная на рис. 6. Следует обратить внимание на то, что управление движением происходило с участием идентифицируемого сопротивления, начальная оценка которого была в 2 раза больше его истинного значения. Одновременно в индикаторном режиме осуществлялась идентификация сопротивления статора с начальной оценкой в 2 раза меньшей его истинного значения. Как видно на рис. 5 и 6, после завершения переходного процесса устанавливались заданная скорость  $10 \text{ рад/с}$  и точная оценка сопротивления. Известно, что для управления скоростью АД только по клеммным измерениям наиболее критичным является генераторный режим. Для иллюстрации работоспособности предлагаемой системы на рис. 7 показан процесс разгона двигателя до скорости  $10 \text{ рад/с}$  с номинальной нагрузкой в генераторном режиме. Как видно на рисунке, наблюдается не большое перерегулирование, которое можно устранить путем применения датчика интенсивности разгона. Для иллюстрации работоспособности предлагаемого универсального векторного управления АД на рис. 8 показан разворот ротора двигателя на  $0.5 \text{ рад}$  с последующей стабилизацией этого положения при подаче и сбросе номинальной нагрузки.

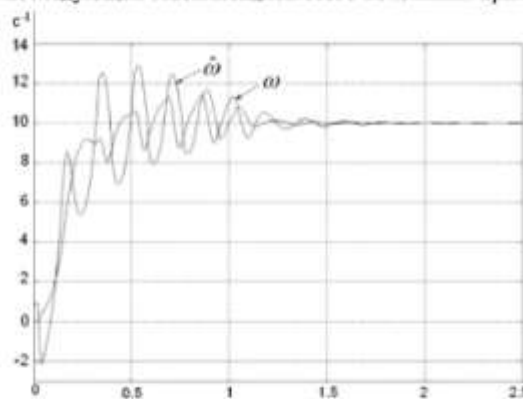


Рисунок 5

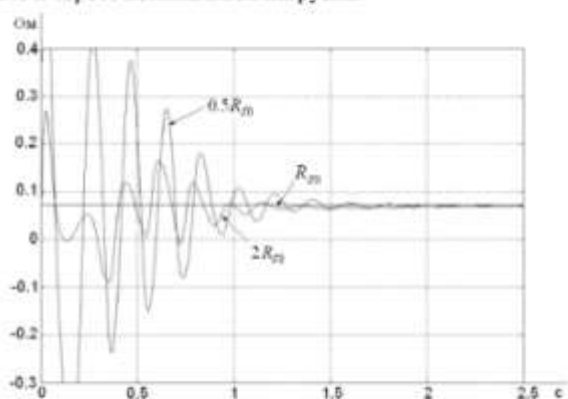


Рисунок 6

**Заключение.** Разработан принцип построения универсального векторного управления, позволяющий путем незначительного изменения алгоритмов управления осуществлять как управление скоростью ротора АД, так и его положением. Для управления скоростью используются только клеммные измерения, для управления положением к клеммным измерителям добавляется измеритель перемещения. И в том, и в другом варианте система является робастной по отношению к неопределенностям приведенного момента инерции ротора двигателя, нагрузке, внешним воздействиям, сопротивлениям ротора и статора, погрешностям датчиков. Система работоспособна, по крайней мере, при всех скоростях ротора, не превышающих номинальную скорость, как в двигательном, так и генераторном режимах с разгоном, стабилизацией и торможением при действии нагрузки и без нее. Система в процессе работы осуществляет непрерывный контроль температуры ротора и статора двигателя.

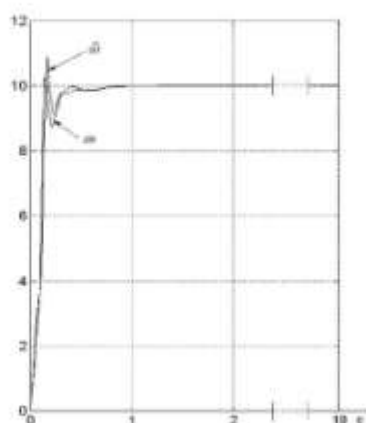


Рисунок 7 – Генераторный режим

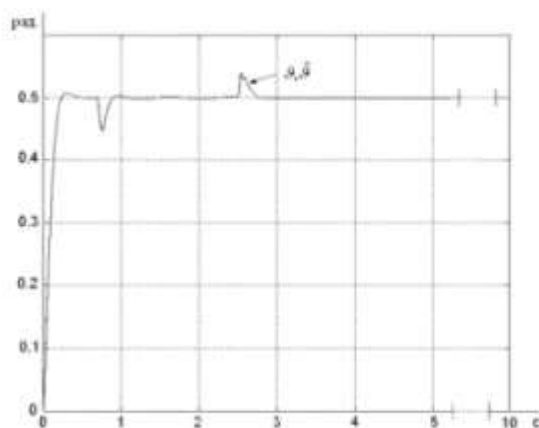


Рисунок 8 – Позиционное управление

#### Литература.

1. Hu, J. Position tracking control of an induction motor via partial state feedback / J. Hu, D.M. Dawson and Y. Qian // *Automatica*. – 1995. – Vol. 31, N 7. – Pp. 989-1000.
2. Lee, H.-T. Adaptive SPR speed/position control of induction motor / H.-T. Lee, L.-C. Fu and S.-H. Hsu // *Proceeding of the 15th Triennial World Congress of the IFAC Congress, Barcelona, Spain, 21-26 July, 2002*.
3. Guerrero-Ramirez, G. Adaptive nonlinear control of rigid robots driven by current-fed induction motors / G. Guerrero-Ramirez, U. Tang // *Proceeding of the 41<sup>st</sup> IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas, Nevada USA, 10-13 December 2002*. – Pp. 2038-2043.
4. Lin, S.-K. Adaptive backstepping motion control of induction motor drives / S.-K. Lin, C.-H. Fang, M.-P. Chen, J.-K. Chen // *Proceeding of the 15<sup>th</sup> Triennial World Congress of the IFAC Congress, Barcelona, Spain, 21-26 July, 2002*.
5. Gan, W.-C. Design and analysis of a plug-in robust compensator: an application to indirect-field-oriented-control induction machine drives / W.-C. Gan, L. Qiu // *IEEE Trans. on Industrial Electronics*. – 2003. – Vol. 50, № 2. – Pp. 272-282.
6. Поталенко, Е.Е. Синтез и анализ компенсационных фильтров многофазных неопределенных сигналов / Е.Е. Поталенко, Е.М. Поталенко // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика"*. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2003. – №10, т.2. – С. 342-344.
7. Поталенко, Е.М. Синтез инвариантных и адаптивных к изменению сопротивления статора алгоритмов векторного управления асинхронным двигателем / Е.М. Поталенко, Е.Е. Поталенко // *Проблемы управления и информатики*. – 2007. – №2. – С. 16-29.
8. Поталенко, Е.М. Оценка векторов потокосцеплений и их скоростей в двигателях переменного тока / Е.М. Поталенко, Е.Е. Поталенко // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика"*. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2003. – №10, т.1. – С. 105-107.
9. Kubota, H. DSP-based adaptive flux observer of induction motor / H. Kubota, K. Matsuse and T. Nakano // *IEEE Trans. on Industry Applications*. – 1993. – Vol. 29, N 2. – Pp. 344-348.
10. Dessoude M. Electricite de France (EDF), R&D Division, Electrical Equipment Department (France), Personal Communication, June 1994.
11. Beguenane, R. Induction motor thermal monitoring by means of rotor resistance identification / R. Beguenane, M.E.H. Benbouzid // *IEEE Trans. on Energy Conversion*. – 1999. – Vol. 14, N 3. – Pp. 566-570.
12. Franceschini, G. A Genetic Algorithm Approach to Design Flux Observer for Induction Servo Motors / G. Franceschini, A. Piazzini, C. Tassoni // *In Proc. IECON '94, Italy, Bologna, Sept., 1994*. – 1994. – V.3. – P. – 2132-2136.
13. Ploix, S. An extended model of induction machine for failure detection / S. Ploix, O. Adrot, F. Kratz, C. Iung, J. Ragot // *Preprints of IFIP / IFAC / IMACS Conf. On Control of Industrial Systems*. – 1997. – V.3/3. – P. 55-62.
14. Поталенко, Е.Е. Энергосберегающее робастное управление асинхронными приводами / Е.Е. Поталенко, Е.М. Поталенко // *Механіка та машинобудування*. (Харків, ХДПУ). – 1999. – №1. – С.106-111.
15. Поталенко, Е.М. Синтез робастных комбинированных регуляторов токовых контуров при векторном управлении двигателями переменного тока / Е.М. Поталенко, Е.Е. Поталенко // *Проблемы управления и информатики*. – 2006. – №6. – С. 45-54.