

БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С СИНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

А.С. Глазырин

Томский политехнический университет

E-mail: asglazyrin@tpu.ru

Представлены результаты имитационного моделирования бездатчиковых систем управления с идентификаторами состояния на основе фильтра Калмана и наблюдателя Люенбергера. Показаны преимущества и недостатки применяемых идентификаторов состояния при использовании их в системе управления с синергетическим регулятором.

Ключевые слова:

Синергетическое управление, переходные процессы, фильтр Калмана, наблюдатель Люенбергера.

Key words:

Synergetic control, transients, Kalman filter, Luenberger observer.

Введение

В последние десятилетия получил стремительное развитие и распространение новый синергетический метод синтеза систем управления нелинейными многомерными динамическими объектами. Подобный метод позволяет аналитически вывести законы управления для сложных динамических систем, основываясь на принципах самоорганизации и декомпозиции исследуемых объектов [1]. Асинхронный двигатель (АД) представляет собой сложный электромеханический объект, следовательно, он описывается существенно нелинейной математической моделью. Для создания алгоритма управления, способного адаптировать работу АД к изменению внешних возмущений и внутренних параметров, оправдано применение синергетического метода. При этом представляет интерес осуществление «бездатчикового» управления АД, т. е. регулирования переменных состояния двигателя с использованием реальной информации только о статорных токах и напряжениях [2, 3].

Целью данной работы является сравнительный анализ бездатчиковых систем управления АД с синергетическим регулятором и идентификаторами состояния на основе фильтра Калмана и наблюдателя Люенбергера.

Бездатчиковая система управления АД с синергетическим регулятором и идентификатором состояния

Структура системы управления АД представлена на рис. 1, где АИН – автономный инвертор напряжения; ПКП, ОКП – прямой и обратный преобразователи координат; ИС – идентификатор состояния; И – интегратор.

Синергетический регулятор для управления асинхронным двигателем синтезирован на основании математического описания АД во вращающейся системе координат $x-y$, связанной с полем ротора, с учетом модели автономного инвертора напряжения, упрощенного до апериодического звена первого порядка. Подробный вывод уравне-

ний состояния регулятора и соответствующая им структурная схема описаны в [4]. Входными сигналами для синергетического регулятора являются статорные напряжения U_{1x} , U_{1y} и токи I_{1x} , I_{1y} двигателя во вращающейся системе координат $x-y$, сигналы задания на скорость U_{3c} и потокосцепление ротора U_{3n} двигателя, оценки скорости $\hat{\omega}$ и потокосцепления ротора $|\hat{\psi}_2|$, рассчитанные идентификатором состояния, а также оценка скорости вращения поля ротора $\hat{\omega}_{v2}$, полученная путем интегрирования оценки угла поворота вектора потокосцепления ротора $\hat{\theta}_{v2}$. Сигнал $\hat{\theta}_{v2}$ используется для создания прямого и обратного преобразователей координат, осуществляющих переход от неподвижной системы координат $\alpha-\beta$ во вращающуюся систему $x-y$ и обратно. На идентификатор состояния поступают статорные напряжения $U_{1\alpha}$, $U_{1\beta}$ и токи $I_{1\alpha}$, $I_{1\beta}$ двигателя в неподвижной системе координат $\alpha-\beta$.

Результаты моделирования

На основании структуры, приведенной на рис. 1, в программной среде MATLAB Simulink были созданы имитационные модели двух вариантов систем бездатчикового управления АД. В одном случае в качестве ИС использовался фильтр Калмана, а в другом – наблюдатель Люенбергера. Математический аппарат калмановской фильтрации описан в [5], модель применяемого наблюдателя Люенбергера приведена в [3]. В качестве исследуемого АД был принят двигатель типа АИР 90L4 с номинальной мощностью $P_{2н}=2,2$ кВт и синхронной частотой вращения $n_0=1500$ об/мин.

На рис. 2 представлены графики переходных процессов угловой скорости вращения вала двигателя в бездатчиковом электроприводе с различными идентификаторами состояния при пуске на максимальную скорость и набросе номинальной нагрузки в момент времени $t=0,2$ с. Моделирование производилось численным методом Эйлера первого порядка с шагом интегрирования $\Delta t=1$ мкс. Характер нагрузки был принят постоянным.

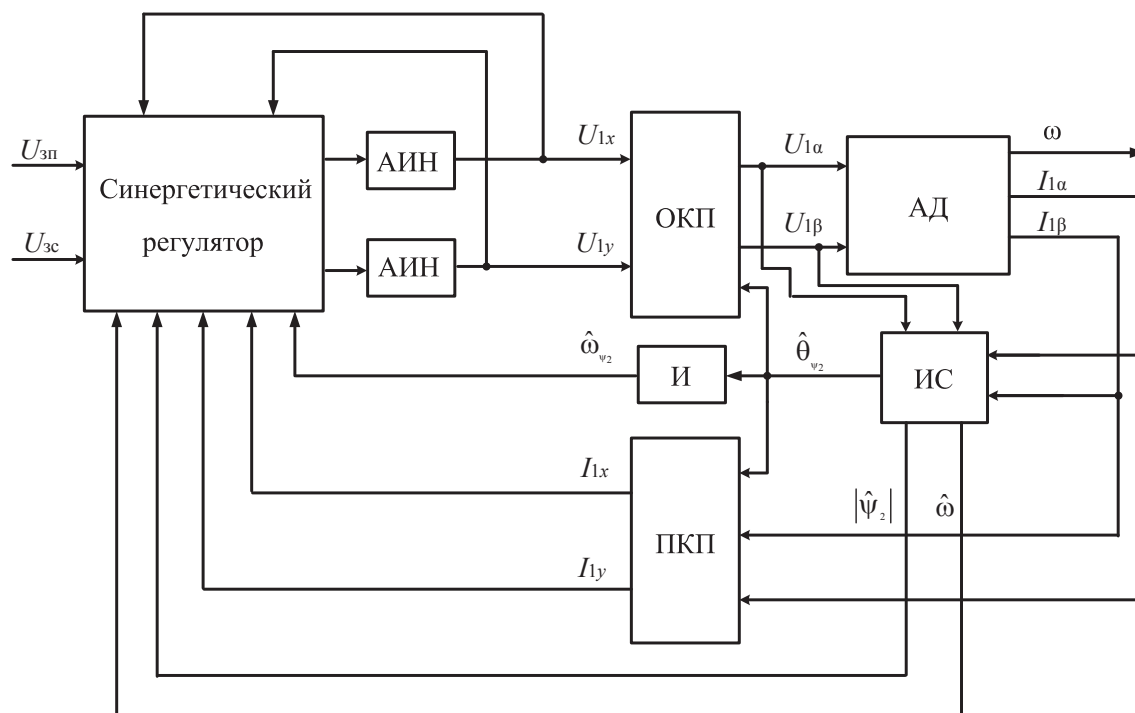


Рис. 1. Структура бездатчиковой системы управления АД с синергетическим регулятором

Из полученных графиков видно, что бездатчиковый синергетический электропривод с фильтром Калмана обладает статизмом по возмущению небольшой величины $\Delta\omega_{\text{возм}}=0,3\%$. В то же время в системе с наблюдателем Люенбергера указанное свойство отсутствует.

В [4] доказано, что управление асинхронным электродвигателем с помощью синтезированного синергетического закона устойчиво к изменению в большом диапазоне внутренних параметров объекта, например, активных сопротивлений обмоток АД. Как известно, особенность бездатчиковых систем управления электроприводов заключается в повышенной чувствительности к параметрическим возмущениям [2]. Задача исследований со-

стояла в определении границ устойчивой работы бездатчиковых электроприводов с синергетическим регулятором и различными идентификаторами состояния при изменении внутренних параметров двигателя. Рассмотрению подлежал режим пуска электропривода вхолостую на максимальную скорость с последующим набросом номинальной нагрузки в момент времени $t=0,2$ с.

На рис. 3, 4 представлены переходные процессы угловой скорости вращения вала АД в бездатчиковом электроприводе с фильтром Калмана при значениях активных сопротивлений обмоток двигателя, соответствующих предельной устойчивости работы электромеханической системы.

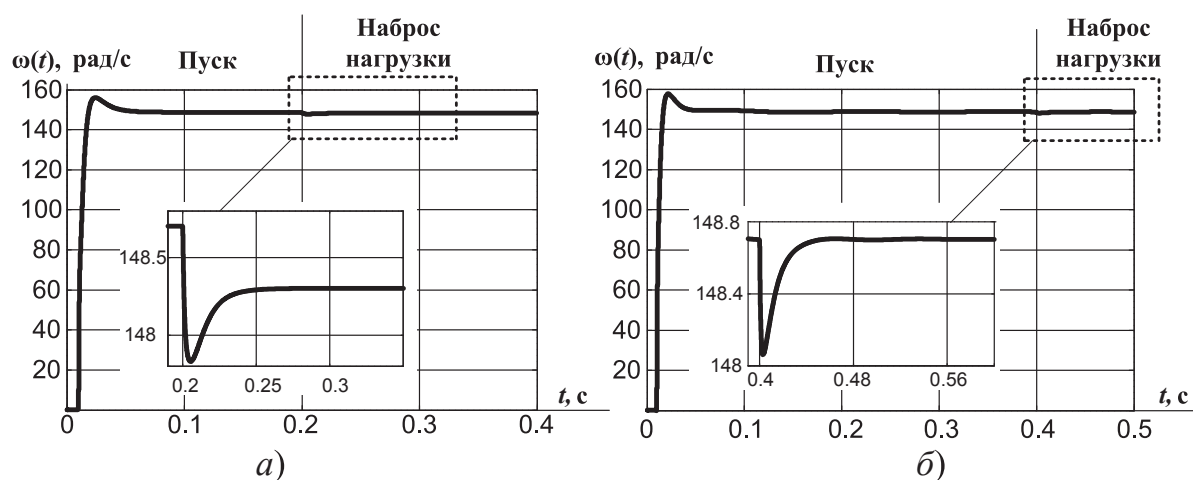


Рис. 2. Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе: а) с фильтром Калмана; б) с наблюдателем Люенбергера

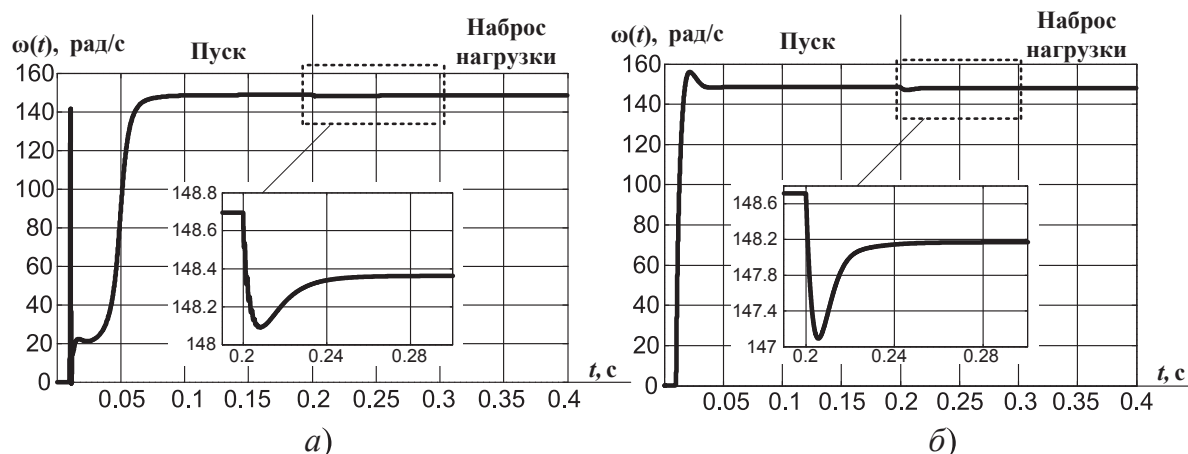


Рис. 3. Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе с фильтром Калмана. Активное сопротивление статора R_s : а) понизилось на 10 %; б) возросло на 20 %

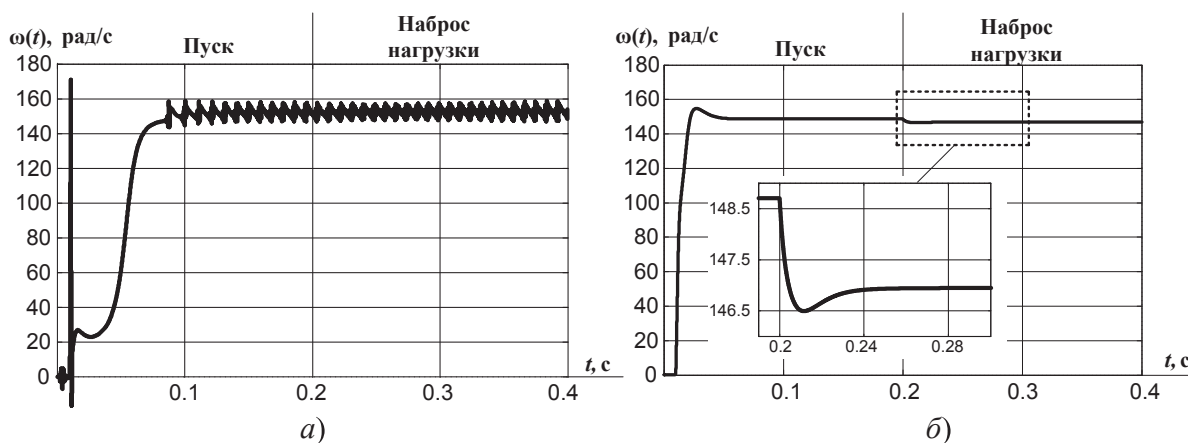


Рис. 4. Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе с фильтром Калмана. Активное сопротивление ротора R_r : а) понизилось на 13 %; б) возросло на 20 %

На рис. 5, 6 представлены переходные процессы угловой скорости вращения вала АД в бездатчиковом электроприводе с наблюдателем Люенбергера при значениях активных сопротивлений обмоток двигателя в диапазоне устойчивой работы электропривода.

На рис. 7 приведены переходные процессы угловой скорости вращения вала двигателя в системах бездатчикового электропривода с различными идентификаторами состояния при увеличении эквивалентного момента инерции в 5 раз. Причиной изменения указанного параметра может послужить подключение механизма к электроприводе, работавшему на холостом ходу [2].

Из полученных графиков видно, что бездатчиковый асинхронный электропривод, управляемый синергетическим регулятором, с фильтром Калмана в цепи обратной связи обеспечивает более широкий диапазон изменения активных сопротивлений обмоток двигателя при устойчивой работе системы, чем электропривод с применением наблюдателя Люенбергера. Лучшую параметрическую робастность бездатчиковой системы управления с фильтром Калмана по сравнению с аналогичной

системой с наблюдателем Люенбергера на примере векторного асинхронного электропривода доказывает также сравнительный анализ результатов исследований в работах [2, 3]. Изменение активных сопротивлений обмоток двигателя приводит к появлению статизма по возмущению в электроприводе с наблюдателем Люенбергера.

Увеличение эквивалентного момента инерции при бездатчиковом синергетическом управлении АД ведет к повышению колебательности скорости вала двигателя при пуске, таблица.

Таблица. Сравнительный анализ бездатчиковых систем управления с синергетическим регулятором при устойчивой работе системы

Идентификатор состояния	Границы изменения, % от номинала		Перерегулирование скорости*, %
	R_s	R_r	
Фильтр Калмана	90...120	87...120	18,1
Наблюдатель Люенбергера	93...105	91...107	24,8

*При пятикратном увеличении момента инерции.

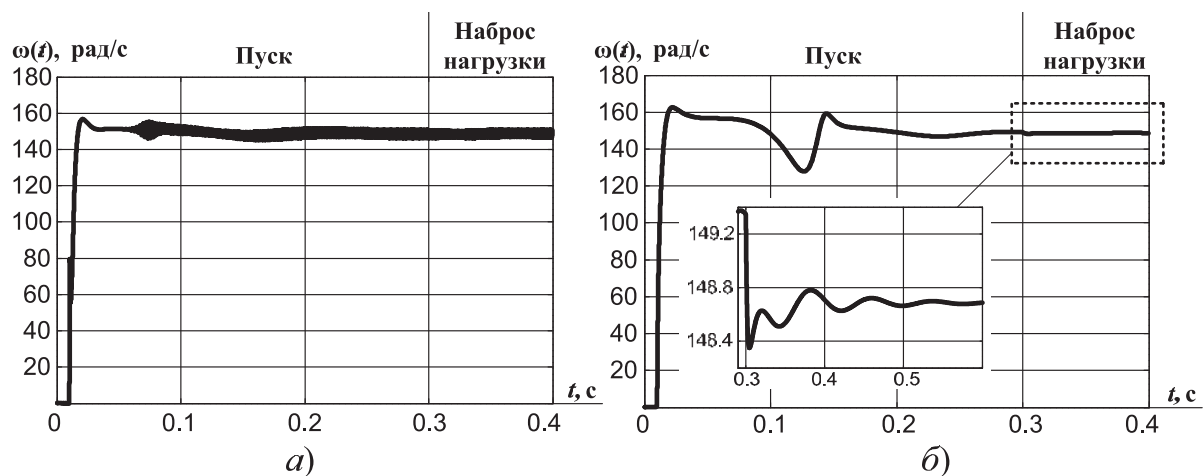


Рис. 5. Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе с наблюдателем Люенбергера. Активное сопротивление статора R_s : а) понизилось на 7 %; б) возросло на 5 %

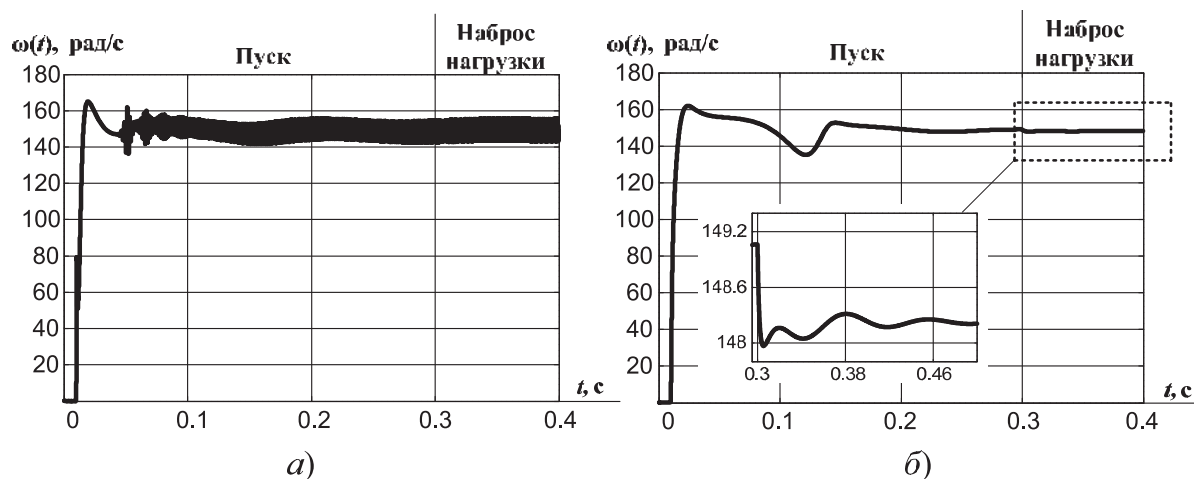


Рис. 6. Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе с наблюдателем Люенбергера. Активное сопротивление ротора R_r : а) понизилось на 9 %; б) возросло на 7 %

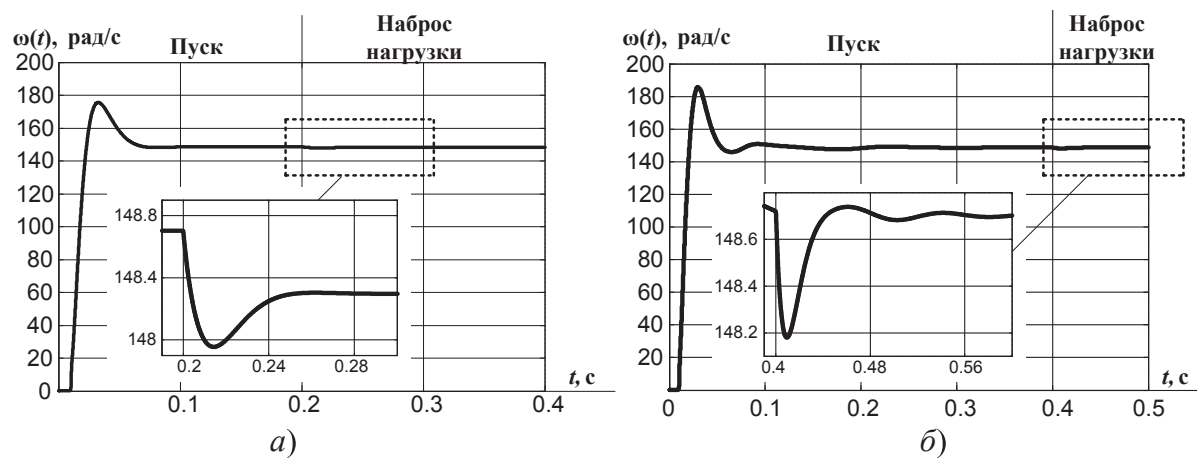


Рис. 7. Переходные процессы при увеличении эквивалентного момента инерции в 5 раз в бездатчиковом электроприводе: а) с фильтром Калмана; б) с наблюдателем Люенбергера

Результаты моделирования показывают, что для бездатчикового управления асинхронным электроприводом с синергетическим регулятором наиболее подходящим является применение фильтра Калмана в качестве идентификатора состояния АД. Улучшение параметрической робастности указанной бездатчиковой системы управления может быть достигнуто путем дополнения вектора состояния фильтра Калмана вектором параметров двигателя.

К преимуществу наблюдателя Люенбергера в составе электропривода относится большее быстродействие при расчете переменных двигателя с тем же шагом интегрирования Δt , что объясняется простым математическим описанием наблюдателя по сравнению с алгоритмом калмановской фильтрации. Указанные достоинства наблюдателя позволяют рекомендовать его к применению в системах электроприводов, к которым предъявлены менее жесткие требования к качеству динамических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синергетические методы управления сложными системами: механические и электромеханические системы / под общ. ред. А.А. Колесникова. – М.: Едиториал УРСС, 2006. – 279 с.
2. Ланграф С.В., Глазырин А.С., Глазырина Т.А., Афанасьев К.С., Тимошкин В.В., Козлова Л.Е. Исследование параметрической робастности бездатчикового векторного асинхронного электропривода с идентификатором Калмана // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 4. – С. 120–123.

Выводы

1. Предложена структура бездатчиковой системы управления асинхронным электродвигателем, основанная на совместном применении принципа синергетического управления и идентификации состояния двигателя.
2. Отличие предложенной структуры бездатчиковой системы управления заключается в том, что она позволяет при сохранении преимуществ синергетического управления отказаться от использования встроенных датчиков для измерения магнитного потока в обмотках ротора и скорости вращения вала двигателя за счет применения идентификаторов состояния.
3. С помощью имитационного моделирования доказано преимущество использования фильтра Калмана в качестве идентификатора состояния АД по сравнению с наблюдателем Люенбергера при бездатчиковом управлении асинхронным электроприводом с синергетическим регулятором.
3. Ланграф С.В., Глазырин А.С., Афанасьев К.С. Применение наблюдателя Люенбергера для синтеза векторных бездатчиковых асинхронных электроприводов // Известия вузов. Электромеханика. – 2011. – № 6. – С. 57–61.
4. Веселов Г.Е. Прикладная теория и методы синергетического синтеза иерархических систем управления: дис.... д-ра техн. наук. – Таганрог, 2006. – 332 с.
5. Браммер К., Зифлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси / Пер. с нем. под ред. И. Е. Казакова – М.: Наука, 1982. – 199 с.

Поступила 15.10.2012 г.