

УДК 621.3.078

**НАБЛЮДАТЕЛЬ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ*****А.В. Стариков<sup>1</sup>, Е.В. Стрижакова<sup>1</sup>, О.С. Беляева<sup>1</sup>,  
Аббас А. Карим Альтахер<sup>2</sup>***<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244<sup>2</sup> Ульяновский государственный технический университет  
Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

**Аннотация.** *Статья посвящена математическим основам создания бездатчиковых систем стабилизации скорости асинхронных двигателей со скалярным управлением. Существует большое количество применений электроприводов переменного тока, где требуется именно скалярное управление, а применение датчиков скорости невозможно по техническим или экономическим причинам. Большинство же современных наблюдателей скорости асинхронного двигателя предназначены для электроприводов с векторным управлением и базируются на решении дифференциальных уравнений с применением фильтров Калмана или адаптивной модели асинхронного двигателя. В статье рассматривается новый подход к созданию наблюдателя скорости, основанный на решении алгебраического уравнения механической характеристики асинхронного двигателя. Проанализировано изменение скорости ротора двигателя под действием момента нагрузки и вариации напряжения статора. Введен в рассмотрение коэффициент, связывающий скорость асинхронного двигателя с напряжением. Показано, что его величина зависит от начальных условий и момента нагрузки. Учтена нелинейная связь момента, развиваемого двигателем, с током статора. В результате найдена аналитическая зависимость, связывающая скорость асинхронного двигателя с действующими значениями напряжения и тока статора и частотой этих величин. Проведена оценка адекватности полученной формулы для расчета скорости асинхронного двигателя в системе скалярного частотного управления. Приведены результаты натурных экспериментов, которые показывают, что максимальная погрешность вычисления скорости по найденной аналитической зависимости не превышает 4,3 %. Сделан вывод о целесообразности применения полученной формулы в наблюдателе скорости асинхронного двигателя электропривода со скалярным управлением.*

**Ключевые слова:** *электропривод переменного тока, наблюдатель скорости, асинхронный двигатель, скалярное частотное управление.*

Создание электроприводов с асинхронными исполнительными двигателями, обладающих большим диапазоном регулирования, требует применения датчиков скорости. Однако существуют области применения, в которых установка датчи-

---

*Стариков Александр Владимирович (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Электропривод и промышленная автоматика».*

*Стрижакова Елена Владимировна, доцент кафедры «Теоретическая и общая электротехника»).*

*Беляева Ольга Сергеевна, аспирант.*

*Альтахер Аббас А. Карим, аспирант.*

ков скорости нецелесообразна по экономическим соображениям или вообще невозможна по конструктивным особенностям объекта автоматизации. Примером последнего являются погружные асинхронные двигатели в приводах центробежных насосов, применяемых для механизированной добычи нефти. В связи с этим актуальной задачей является косвенное измерение скорости асинхронного двигателя с помощью так называемых наблюдателей, которые фактически являются цифровыми вычислительными устройствами или алгоритмами.

Существует большое количество работ, посвященных проблеме создания наблюдателей скорости асинхронных двигателей [1–4]. Большинство из них базируется на векторном представлении таких величин, как напряжение, ток и потокосцепление и предназначено для создания бездатчиковых систем векторного управления асинхронными двигателями. Однако существует множество приложений, например при механизированной добыче нефти, транспортировке грузов ленточными конвейерами, охлаждении газа на компрессорных станциях, когда требуется скалярное управление и в то же время необходима информация о скорости вращения асинхронного двигателя. Действительно, при механизированной добыче нефти погружными центробежными насосами принципиально принимается линейный или квадратичный закон изменения напряжения в функции частоты, что прописано в нормативных документах и подразумевает скалярное управление асинхронным двигателем. С другой стороны, информация о скорости вращения ротора погружного двигателя позволяет выбрать оптимальное значение напряжения питания, получаемое от промышленной подстанции. В многодвигательных электроприводах ленточных конвейеров также имеется необходимость косвенного измерения скорости вращения, поскольку в этом случае можно избежать упругих колебаний ленты транспортера. Причем приводы конвейеров, как правило, не требуют большого диапазона регулирования скорости, поэтому применение векторного управления нецелесообразно.

В связи с этим целью проводимого исследования является получение аналитических зависимостей, позволяющих с определенной степенью точности рассчитать скорость вращения асинхронного двигателя при скалярном частотном управлении.

Обычно для создания бездатчиковых электроприводов используют наблюдатели состояния на основе фильтра Калмана или адаптивной модели асинхронного двигателя [1, 5–8]. В основу этих наблюдателей положены принципы решения дифференциальных уравнений, описывающих движение электрической машины переменного тока. При этом появляется необходимость многократного цифрового дифференцирования сигналов датчиков напряжений и токов, что значительно усложняет вычислительные процедуры и приводит к появлению ошибок расчета скорости, связанных с погрешностью первичных измерителей и квантованием сигналов по времени и уровню.

Поэтому для решения поставленной задачи предлагается использовать следующее упрощенное представление об изменении скорости асинхронного двигателя на основе его механических характеристик (рис. 1). Будем считать, что при вариации напряжения  $U_1$  на статорной обмотке двигателя (без изменения частоты) критическая скорость  $\omega_k$ , соответствующая критическому скольжению, остается неизменной, а критический момент изменяется пропорционально квадрату напряжения [9–3]. Известно, что скорость идеального холостого хода  $\omega_0$  асинхронного двигателя при изменении напряжения остается неизменной [9–14].

Падение скорости вращения ротора относительно  $\omega_0$  разделим на две составляющие:  $\Delta\omega_1$  – падение скорости под действием момента нагрузки;  $\Delta\omega_2$  – изменение скорости вследствие уменьшения (или увеличения) напряжения статора на величину  $\Delta U_1$ .

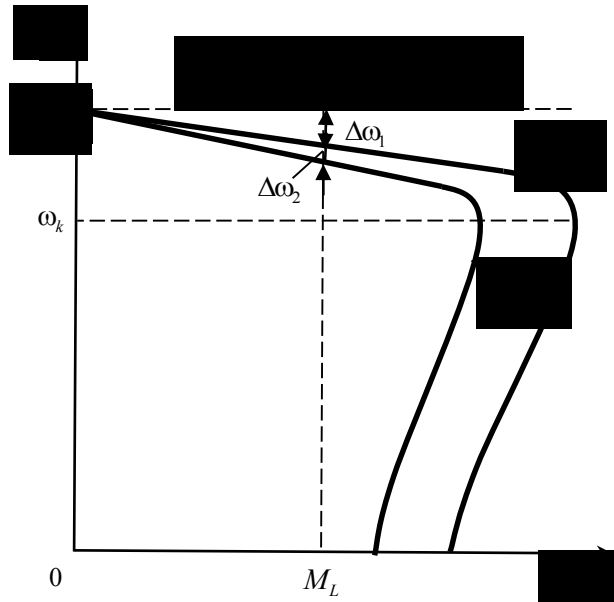


Рис. 1. Механические характеристики асинхронного двигателя при изменении напряжения

Предположим, что участок механической характеристики асинхронного двигателя при изменении момента от 0 до номинального значения  $M_{nom}$  можно аппроксимировать линейной зависимостью. Тогда падение скорости под действием нагрузки будет подчиняться выражению

$$\Delta\omega_1 = \frac{(\omega_0 - \omega_{nom})M_L}{M_{nom}}, \quad (1)$$

где  $M_L$  – момент нагрузки;

$\omega_{nom}$  – номинальная скорость двигателя.

Статическое изменение скорости  $\Delta\omega_2$  под действием вариации напряжения статора предлагается вычислять с помощью линеаризованной математической модели асинхронного двигателя [15]. Применение метода аналогии позволяет получить передаточную функцию двигателя по отношению к изменению фазного напряжения статора. При этом вводится в рассмотрение коэффициент передачи асинхронного двигателя по отношению к  $\Delta U_1$ :

$$k_{du}^{U_1} = \frac{\Delta\omega_2}{\Delta U_1} = \frac{A_{71}A_{65} + A_{62}A_{76}}{A_{71}A_{84} + A_{63}A_{76}}, \quad (2)$$

где  $A_{62} = (1 + B^2 - DF)(AB - C)D + A_{20}A_{30}$ ;

$$\begin{aligned}
A_{63} &= [\Psi_{2y0}A_{20} + \Psi_{2x0}(1+B^2-DF)](1+B^2)T_2; \\
A_{65} &= A_{30}[(1+B^2)\Psi_{1y0} - BF\Psi_{2x0} - F\Psi_{2y0}] + \\
&+ (1+B^2-DF)[(C-AB)\Psi_{2x0} - (A+BC)\Psi_{2y0}]; \\
A_{71} &= (1+B^2-DF)^2 + A_{20}^2; \\
A_{76} &= (1+B^2-DF)[(1+B^2)\Psi_{1x0} - F\Psi_{2x0} + BF\Psi_{2y0}] - \\
&- A_{20}[(1+B^2)\Psi_{1y0} - BF\Psi_{2x0} - F\Psi_{2y0}]; \\
A_{76} &= (1+B^2-DF)[(1+B^2)\Psi_{1x0} - F\Psi_{2x0} + BF\Psi_{2y0}] - \\
&- A_{20}[(1+B^2)\Psi_{1y0} - BF\Psi_{2x0} - F\Psi_{2y0}]; \\
A_{84} &= (1+B^2)\Psi_{2y0}[(1+B^2)\Psi_{1y0} - F\Psi_{2y0} - BF\Psi_{2x0}]T_2; \\
A &= C = T_1; \\
B &= \frac{2\pi T_1 f_{10}}{Z_p}; \\
D &= \frac{L_0}{L_1}; \\
F &= \frac{L_0}{L_2}; \\
A_{20} &= (H - T_2 \omega_{00})(1+B^2) + BDF; \\
A_{30} &= D(A+BC);
\end{aligned}$$

$$T_1 = \frac{\Delta}{R_1 L_2'}; \quad T_2 = \frac{\Delta}{R_2' L_1} \quad - \text{ электромагнитные постоянные времени цепей статора}$$

и ротора;

$\Delta = L_1 L_2' - L_0^2$ ;  $L_1$  и  $R_1$  – индуктивность и активное сопротивление цепи статора;

$L_2'$  и  $R_2'$  – приведенные индуктивность и активное сопротивление цепи ротора;

$L_0$  – взаимная индуктивность;

$\omega_{00}$  и  $f_{10}$ , – начальные значения угловой скорости вращения магнитного поля и частоты питающего напряжения;

$\Psi_{1x0}$ ,  $\Psi_{1y0}$ ,  $\Psi_{2x0}$  и  $\Psi_{2y0}$  – начальные условия проекций потокоцеплений статора и ротора на вращающуюся вместе с магнитным полем систему координат  $Oxy$ .

Формула (2) позволяет рассчитать коэффициент  $k_{du}^{U_1}$  по известным параметрам Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя и начальным условиям  $\omega_{00}$ ,  $f_{10}$ ,  $\Psi_{1x0}$ ,  $\Psi_{1y0}$ ,  $\Psi_{2x0}$  и  $\Psi_{2y0}$ , которые могут быть получены методом математического моделирования конкретного типа двигателя, например при номинальных значениях частоты, напряжения и момента нагрузки.

Отличительной особенностью асинхронного двигателя является то, что он

представляет собой нелинейный объект управления. Поэтому коэффициент  $k_{du}^{U_1}$  будет изменять свое значение в зависимости от начальных условий, причем следует отметить, что он существенно зависит от момента нагрузки. Проведенные исследования показали, что при  $M_L = 0$  этот коэффициент также будет равен нулю. Предполагая линейную зависимость  $k_{du}^{U_1}$  от момента нагрузки  $M_L$ , можно рассчитать изменение скорости вращения ротора двигателя при вариации напряжения статора по формуле

$$\Delta\omega_2 = \frac{k_{du}^{U_1} \Delta U_1 M_L}{M_{nom}}, \quad (3)$$

где используется значение  $k_{du}^{U_1}$ , определенное при номинальном моменте нагрузки  $M_{nom}$ .

В то же время величина  $k_{du}^{U_1}$  зависит от частоты и действующего значения питающего напряжения  $U_1$ , причем, как показывают исследования, эта зависимость нелинейна. Если в частотном преобразователе используется линейный закон регулирования напряжения в функции частоты

$$U_1 = k_{U1} f_1,$$

где  $k_{U1}$  – коэффициент пропорциональности, то приближенно зависимость коэффициента  $k_{du}^{U_1}$  от  $f_1$  можно аппроксимировать формулой

$$k_{du}^{U_1} = k_{du, nom}^{U_1} \left( \frac{f_{1nom}}{f_1} \right)^{\left( a + \frac{b}{f_1} \right)}, \quad (4)$$

где  $f_{1nom}$  – номинальная частота;

$k_{du, nom}^{U_1}$  – значение коэффициента  $k_{du}^{U_1}$ , рассчитанное при номинальной частоте питающего напряжения;

$a$  и  $b$  – коэффициенты, определяемые в процессе идентификации зависимости.

Следует отметить, что величина  $\Delta\omega_1$  всегда отрицательна, а знак  $\Delta\omega_2$  зависит от знака приращения напряжения  $\Delta U_1$  относительно номинального значения.

Таким образом, с учетом (1), (3) и (4) скорость вращения ротора асинхронного двигателя будет определяться уравнением

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega_1 + \Delta\omega_2 = \omega_0 - \frac{\left[ \omega_0^{50} - \omega_{nom} - k_{du, nom}^{U_1} \left( \frac{f_{1nom}}{f_1} \right)^{\left( a + \frac{b}{f_1} \right)} \Delta U_1 \right] M_L}{M_{nom}}, \quad (5)$$

где  $\omega_0^{50}$  – скорость идеального холостого хода при номинальной частоте питающего напряжения.

Ток статора асинхронного двигателя связан с моментом на валу известной зависимостью [13]

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + \frac{(I_{1nom}^2 - I_0^2)M_L^2}{M_{nom}^2}}, \quad (6)$$

где  $I_{1nom}$  – номинальный ток статора;  $I_0$  – ток холостого хода.

Из (6) можно найти связь между моментом нагрузки, током статора и номинальными характеристиками двигателя

$$M_L = M_{nom} \sqrt{\frac{I_1^2 - I_0^2}{I_{1nom}^2 - I_0^2}}. \quad (7)$$

Подставив (7) в (5), получим выражения для расчета скорости

$$\omega = \omega_0 - \frac{\left[ \omega_0^{50} - \omega_{nom} - k_{du, nom}^{U_1} \left( \frac{f_{1nom}}{f_1} \right)^{\left( a + \frac{b}{f_1} \right)} \Delta U_1 \right] \sqrt{I_1^2 - I_0^2}}{\sqrt{I_{1nom}^2 - I_0^2}}.$$

С учетом того, что скорость идеального холостого хода связана с частотой питающего напряжения  $f_1$  и числом пар полюсов  $Z_p$  формулой

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{Z_p},$$

а ток холостого хода также зависит от частоты

$$I_0 = \frac{k_{U1} f_1}{\sqrt{(R_1 + R_0)^2 + (2\pi f_1 L_1)^2}},$$

получим аналитическое выражение для расчета скорости асинхронного двигателя при скалярном частотном управлении

$$\omega = \frac{2\pi f_1}{Z_p} - \left[ \omega_0^{50} - \omega_{nom} - k_{du, nom}^{U_1} \left( \frac{f_{1nom}}{f_1} \right)^{\left( a + \frac{b}{f_1} \right)} (U_1 - k_{U1} f_1) \right] \times \sqrt{\frac{\left( I_1^2 - \left[ \frac{k_{U1} f_1}{\sqrt{(R_1 + R_0)^2 + (2\pi f_1 L_1)^2}} \right]^2 \right)}{\left( I_{1nom}^2 - \left[ \frac{k_{U1} f_1}{\sqrt{(R_1 + R_0)^2 + (2\pi f_1 L_1)^2}} \right]^2 \right)}}, \quad (8)$$

где  $R_0$  – активное сопротивление цепи намагничивания.

Формулу (8) можно использовать при создании наблюдателя скорости асинхронного двигателя при скалярном частотном управлении, который по измерен-

ным (заданным) значениям частоты  $f_1$  и действующим значениям фазного напряжения  $U_1$  и тока  $I_1$  статора вычисляет  $\omega$  (рис. 2). Величины  $Z_p$ ,  $\omega_0^{50}$ ,  $\omega_{nom}$ ,  $I_{1nom}$ ,  $f_{1nom}$ ,  $k_{U1}$  определяются из технических характеристик исполнительного электродвигателя, коэффициенты  $k_{du, nom}^{U_1}$   $a$  и  $b$  рассчитываются на основании результатов математического моделирования.

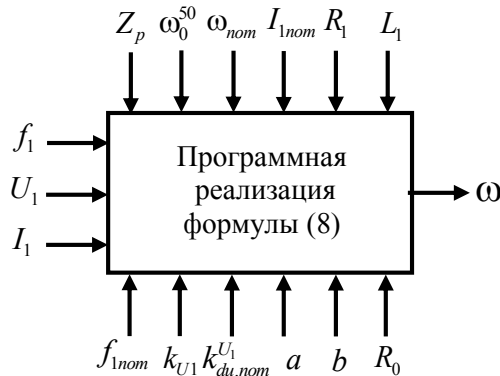


Рис. 2. Упрощенная функциональная схема наблюдателя (вычислителя) скорости вращения асинхронного двигателя при скалярном частотном управлении

Параметры схемы замещения асинхронного двигателя  $R_1$ ,  $L_1$  и  $R_0$  могут быть найдены в справочниках по электрическим машинам.

Для оценки адекватности формулы (8) проведем сравнение результатов вычисления скорости  $\omega_{cal}$  с данными, полученными на экспериментальной установке, оснащенной асинхронным двигателем А-51-4 и нагрузочной машиной постоянного тока. Скорость двигателя при проведении эксперимента регулировалась с помощью частотного преобразователя «Омега», а измерение скорости осуществлялось с помощью тахогенератора ТМГ 30.

Двигатель А-51-4 имеет следующие технические характеристики: номинальное фазное напряжение  $U_{1nom} = 220$  В; мощность  $P_{1nom} = 4500$  Вт;  $f_{1nom} = 50$  Гц;  $Z_p = 2$ ;  $\omega_0^{50} = 157,08$  рад/с;  $\omega_{nom} = 130,9$  рад/с;  $I_{1nom} = 9,4$  А. Параметры Т-образной схемы замещения этого двигателя, полученные из данных каталога, имеют следующие значения:  $L_1 = 0,1839$  Гн;  $R_1 = 1,513$  Ом;  $L_2' = 0,188$  Гн;  $R_2' = 1,158$  Ом;  $L_0 = 0,1782$  Гн, а постоянные времени цепей статора и ротора равны  $T_1 = 0,0099$  с,  $T_2 = 0,0132$  с. Следует отметить, что величина  $\omega_{nom} = 146,6$  рад/с взята не из паспортных данных двигателя, а из результатов натурных экспериментов.

Тахогенератор ТМГ 30 имеет выходное напряжение 280 В при скорости вращения 4000 об/мин, то есть имеет коэффициент передачи  $k_{ss} = 1,496$  рад/Вс, что позволяет определить угловую скорость  $\omega_{exp}$  в ходе эксперимента.

Моделирование уравнений движения асинхронного двигателя А-51-4 в программной среде Matlab Simulink при номинальных значениях напряжения, частоты и момента нагрузки показало, что установившиеся значения (начальные усло-

вия) потокосцеплений равны  $\psi_{1x0} = 1,431$  Вс,  $\psi_{1y0} = -1,289$  Вс,  $\psi_{2x0} = 1,328$  Вс,  $\psi_{2y0} = -1,309$  Вс, при этом  $\omega_{00} = 153,631$  рад/с. Расчет по формуле (2) с этими начальными условиями дает нам величину  $k_{du}^{U_1} = 0,033$  рад/Вс. Компьютерное моделирование при разных частотах и действующих значениях напряжения (табл. 1) позволило идентифицировать график зависимости  $k_{du}^{U_1}$  от частоты  $f_1$  и определить величины необходимых для применения формулы (8) коэффициентов, которые оказались равными  $a = 1,2$  и  $b = 1$  Гц.

Таблица 1

**Результаты компьютерного моделирования асинхронного двигателя А-51-4 при разных частотах и действующих значениях напряжения статора**

$f_1$ , Гц	50	25	10	5	2,5
$U_1$ , В	220	110	44	22	11
$k_{du}^{U_1}$ , рад/Вс	0,033	0,075	0,321	0,78	2,821

В частотном преобразователе «Омега» используется линейный закон регулирования напряжения в функции частоты, поэтому для рассматриваемого двигателя  $k_{U1} = 4,388$  В/Гц.

В ходе экспериментов проводилась вариация заданной частоты питающего напряжения от 2,5 до 50 Гц, при этом величина фазного напряжения  $U_1$  и тока  $I_1$  статора асинхронного двигателя фиксировалась с дисплея частотного преобразователя (рис. 3).



Рис. 3. Дисплей частотного преобразователя «Омега» с информацией о токе статора



С помощью нагрузочной машины постоянного тока регулировался момент на валу асинхронного двигателя в пределах от 0 до 5,6 Нм.

Результаты экспериментов и вычислений скорости по формуле (8) приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты экспериментов и вычислений**

$f_1$ , Гц	$U_1$ , В	$I_1$ , А	$\omega_{cal}$ , рад/с	$\omega_{exp}$ , рад/с	$\Delta_{cal}$ , %
50	220	4,4	154,37	153,19	0,8
25	109,9	4	76,96	76,6	0,5
10	43,8	4	29,57	29,62	-0,2
5	22	3,7	14,1	13,76	2,45
2,5	11	3	6,55	6,28	4,3

За истинное значение скорости принималась величина  $\omega_{exp}$ , получаемая с помощью тахогенератора, и относительная ошибка вычисления скорости  $\Delta_{cal}$  по формуле (8) определялась как

$$\Delta_{cal} = \frac{\omega_{cal} - \omega_{exp}}{\omega_{exp}} \times 100, \%$$

Данные табл. 2 позволяют построить график зависимости модуля относительной погрешности вычисления скорости  $|\Delta_{cal}|$  асинхронного двигателя, например в функции частоты питающего напряжения (рис. 4).

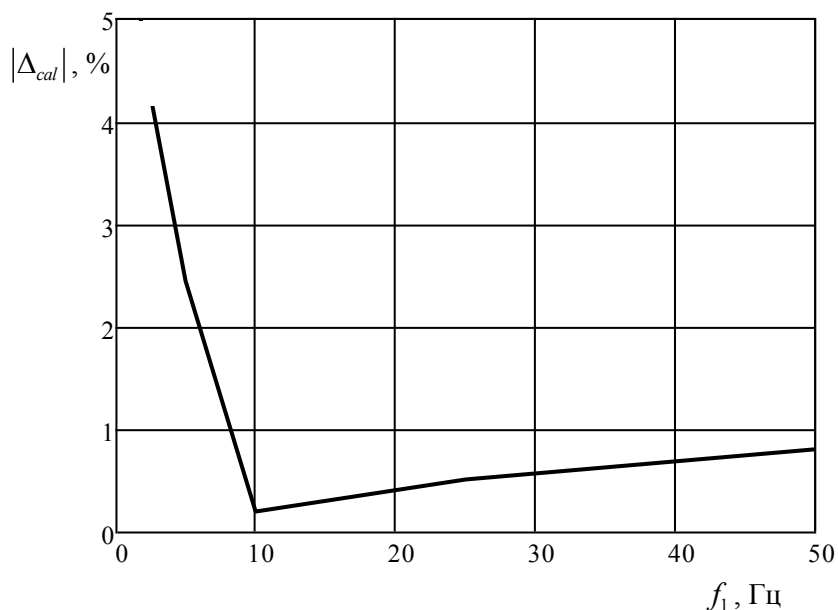


Рис. 4. Зависимость относительной погрешности вычисления скорости асинхронного двигателя при скалярном управлении

Результаты, приведенные в табл. 2, и график (см. рис. 4) показывают, что максимальная относительная ошибка вычисления скорости вращения асинхронного двигателя при скалярном управлении в рассматриваемом частотном диапазоне не превышает 4,3 %. Причем очевидно, что увеличение относительной погрешности вычисления на малых частотах связано с уменьшением абсолютного значения скорости двигателя.

Следовательно, полученную формулу можно использовать в наблюдателях скорости электропривода переменного тока со скалярным управлением. Предложенный подход к вычислению скорости после соответствующей корректировки можно распространить и на системы с векторным управлением без датчика скорости. Однако при этом необходимо учитывать инерционность первичных измерителей действующих значений напряжений и токов. Кроме того, на точность работы наблюдателя скорости вращения асинхронного двигателя будет оказывать существенное влияние погрешность этих измерителей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анучин А.С.* Системы управления электроприводов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2015. – 373 с.
2. *Калачев Ю.Н.* Наблюдатели состояния в векторном электроприводе. – М., 2015. – 80 с.
3. *Панкратов В.В., Котин Д.А.* Синтез адаптивных алгоритмов вычисления скорости асинхронного электропривода на основе второго метода Ляпунова // *Электричество*. – 2007. – № 8. – С. 48–53.
4. *Вдовин В.В.* Адаптивные алгоритмы оценщика координат бездатчиковых электроприводов переменного тока с расширенным диапазоном регулирования: дис... канд. техн. наук. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. – 244 с.
5. *Виноградов А.Б., Колодин И.Ю.* Бездатчиковый асинхронный электропривод с адаптивно-векторной системой управления // *Электричество*. – 2007. – № 2. – С. 44–50.
6. *Ланграф С.В., Глазырин А.С.* Применение фильтра Калмана в моментном асинхронном электроприводе с векторным бездатчиковым управлением // *Известия вузов. Электромеханика*. – 2009. – № 6. – С. 61–64.
7. *Ланграф С.В., Глазырин А.С., Афанасьев К.С.* Применение наблюдателя Люенбергера для синтеза векторных бездатчиковых асинхронных электроприводов // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. – 2011. – № 6. – С. 57–62.
8. *Афанасьев К.С., Глазырин А.С.* Идентификация скорости асинхронного электродвигателя лабораторного стенда с помощью фильтра Калмана и наблюдателя Люенбергера // *Электротехнические комплексы и системы управления*. – 2012. – № 4 (28). – С. 66–69.
9. *Ковчин С.А., Сабини Ю.А.* Теория электропривода. – СПб.: Энергоатомиздат, 1994. – 496 с.
10. *Ключев В.И.* Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
11. *Онищенко Г.Б.* Электрический привод. – М.: РАСХН, 2003. – 320 с.
12. *Терехов В.М., Осипов О.И.* Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2005. – 300 с.
13. *Михайлов О.П.* Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1990. – 304 с.
14. *Соколовский Г.Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Академия, 2006. – 265 с.
15. *Стариков А.В., Лисин С.Л., Табачникова Т.В., Косорлуков И.А., Беляева О.С.* Линеаризованная математическая модель погружного асинхронного двигателя // *Вестник Самарского государственного технического университета. Сер.: Технические науки*. – 2019. – № 4 (64). – С. 155–167.

*Статья поступила в редакцию 20 сентября 2020 г.*

# ASYNCHRONOUS MOTOR ROTATION SPEED OBSERVER

*A.V. Starikov<sup>1</sup>, E.V. Strizhakova<sup>1</sup>, O.S. Belyaeva<sup>1</sup>, Abbas A. Kareem Altaher<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

<sup>2</sup> Ulyanovsk State Technical University  
32, st. Northern Crown, Ulyanovsk, 432027, Russian Federation

**Abstract.** *The paper is devoted to the mathematical foundations of creating sensorless speed stabilization systems for induction motors with scalar control. There are many applications of AC electric drives where scalar control is required, and the use of speed sensors is impossible for technical or economic reasons. Most modern observers of the asynchronous motor speed are intended for electric drives with vector control and are based on solving differential equations using Kalman filters or an adaptive model of an asynchronous motor. The paper discusses a new approach to creating a speed observer, based on solving the algebraic equation of the induction motor mechanical characteristics. The change in the rotor speed of the motor under the influence of the load torque and the variation of the stator voltage is analyzed. A coefficient connecting the speed of an induction motor with voltage is introduced. It is shown that its value depends on the initial conditions and the moment of loading. The nonlinear relationship between the torque developed by the motor and the stator current is taken into account. As a result, the analytical relationship is found that connects the speed of an induction motor with the effective values of the stator voltage and current and the frequency of these values. An assessment of the adequacy of the obtained formula for calculating the induction motor speed in a scalar frequency control system is carried out. The results of field experiments are presented, which show that the maximum error in calculating the speed from the found analytical dependence does not exceed 4.3%. It is concluded that the use of the formula obtained is essential in the asynchronous motor speed observer of the electric drive with scalar control.*

**Keywords:** *AC electric drive, speed observer, induction motor, scalar frequency control.*

## REFERENCES

1. *Anuchin A.S.* Control systems for electric drives. Moscow: Publishing house MEI, 2015. 373 p.
2. *Kalachev Yu.N.* State observers in a vector drive. Moscow, 2015. 80 p.
3. *Pankratov V.V., Kotin D.A.* Synthesis of adaptive algorithms for calculating the speed of an asynchronous electric drive based on the second Lyapunov method. *Electricity*. No. 8. 2007. Pp. 48–53.
4. *Vdovin V.V.* Adaptive Coordinate Estimator Algorithms sensorless AC drives with an extended control range: Dis.... Cand. tech. Sciences. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2014. 244 p.
5. *Vinogradov A.B., Kolodin I.Yu.* Sensorless asynchronous electric drive with an adaptive vector control system. *Electricity*. No. 2. 2007. Pp. 44–50.
6. *Langraf S.V., Glazyrin A.S.* Application of the Kalman filter in a torque asynchronous electric drive with vector sensorless control. *News of higher educational institutions. Electromechanics*. No. 6. 2009. Pp. 61–64.

---

*Alexander V. Starikov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor, Head of the Department «Electric Drive and Industrial Automation».*

*Elena V. Strizhakova (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*

*Olga S. Belyaeva, Postgraduate Student.*

*Abbas A. Kareem Altahe, Postgraduate Student.*

7. *Langraf S.V., Glazyrin A.S., Afanasyev K.S.* The use of the Luenberger observer for the synthesis of vector sensorless asynchronous electric drives. News of higher educational institutions. Electromechanics. No. 6. 2011. Pp. 57–62.
8. *Afanasyev K.S., Glazyrin A.S.* Identification of the speed of the asynchronous electric motor of the laboratory stand using the Kalman filter and the Luenberger observer. Electrotechnical complexes and control systems. No. 4 (28). 2012. Pp. 66–69.
9. *Kovchin S.A., Sabini Yu.A.* Electric drive theory. St. Petersburg: Energoatomizdat, 1994. 496 p.
10. *Klyuchev V.I.* Theory of electric drive. Moscow: Energoatomizdat, 2001. 704 p.
11. *Onishchenko G.B.* Electric drive. Moscow: RAAS, 2003. – 320 p.
12. *Terekhov V.M., Osipov O.I.* Control systems for electric drives. Moscow: Academy, 2005. 300 p.
13. *Mikhailov O.P.* Automated electric drive of machine tools and industrial robots. Moscow: Mechanical engineering, 1990. 304 p.
14. *Sokolovsky G.G.* AC electric drives with frequency regulation. Moscow: Academy, 2006. 265 p.
15. *Starikov A.V., Lisin S.L., Tabachnikova T.V., Kosorlukov I.A., Belyaeva O.S.* Linearized mathematical model of a submersible induction motor. Bulletin of the Samara State Technical University. Series. “Engineering sciences”, 4(64). 2019. Samara: SSTU. Pp. 155–167.