Научная статья
УДК 621.313.333
DOI: 10.14529/power260309

СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ПОИСКА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА СВОБОДНОМ ВЫБЕГЕ

Н.В. Клиначев[1], *klinachevnv@susu.ru*
В.М. Власенко[2], *v.vlasenko@rez.ru*
С.Г. Воронин[1, 3], *voroninsg@susu.ru*
Н.Ю. Кулёва[1], *kulevani@susu.ru*
П.О. Шабуров[1], *shaburovpo@susu.ru*

[1] *Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия*
[2] *ООО НПП «Резонанс», Челябинск, Россия*
[3] *Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия*

Аннотация. Описана система экстремального поиска частоты вращения асинхронного двигателя на свободном выбеге, которая предполагает сканирование рабочего диапазона скоростей вращения с помощью генератора напряжения переменной частоты и одновременную фиксацию тока статора. Частота напряжения, при которой фиксируется минимальный ток статора, соответствует частоте вращения ротора. Техническая реализация решения предполагает использование преобразователей контура регулирования тока векторной системы (прямого и обратного каналов с преобразователями Парка и Кларк, без регуляторов). Скорость изменения электрического угла и амплитуда подаваемой на статор составляющей напряжения по оси момента меняются программно с помощью интегратора. Направление поиска определяет реле с гистерезисом, подключенное к моментной составляющей тока статора. При сканировании и прохождении синхронной частоты вращения моментная составляющая тока статора асинхронного двигателя меняет знак, переворачивает реле, переключает направление поиска, что обеспечивает захват частоты вращения ротора и слежение за свободным выбегом.

Ключевые слова: бездатчиковый электропривод, подхват асинхронного двигателя, свободный выбег вала, система экстремального поиска, генератор качающейся частоты, асинхронный двигатель, плавный перезапуск, фиксация вращения, фиксация на лету

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Челябинской области за счет гранта в форме субсидии № 184/3 от 25.12.2024 на создание региональной молодежной лаборатории.

Для цитирования: Система экстремального поиска частоты вращения асинхронного двигателя на свободном выбеге / Н.В. Клиначев, В.М. Власенко, С.Г. Воронин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2026. Т. 26, № 3. С. 79–86. DOI: 10.14529/power260309

Original article
DOI: 10.14529/power260309

EXTREMAL SEARCH SYSTEM FOR ASYNCHRONOUS MOTOR ROTATION FREQUENCY IN FREE RUNNING

N.V. Klinachev[1], *klinachevnv@susu.ru*
V.M. Vlasenko[2], *v.vlasenko@rez.ru*
S.G. Voronin[1, 3], *voroninsg@susu.ru*
N.Yu. Kuleva[1], *kulevani@susu.ru*
P.O. Shaburov[1], *shaburovpo@susu.ru*

[1] *South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*
[2] *Research and Production Enterprise “Rezonans”, LLC, Chelyabinsk, Russia*
[3] *Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia*

Abstract. A system of extreme search for the rotational speed of an asynchronous motor on a free run is described, which involves scanning the operating range of rotation speeds using a oscillating frequency generator (a variable frequency magnetomotive force generator) and identifying the state of the machine at which the stator field enters the rotor, penetrating through a squirrel cage screen. The found rotor speed makes it possible to solve the subsequent problem

© Клиначев Н.В., Власенко В.М., Воронин С.Г., Кулёва Н.Ю., Шабуров П.О., 2026

of picking up an asynchronous motor with a frequency converter with a vector or scalar control system. The technical implementation of the solution involves the use of current control loop converters of a vector system (forward and reverse channels with Park and Clark converters, without regulators). The rate of change of the electric angle and the amplitude of the voltage applied to the stator, along the axis of the moment, are changed programmatically using an integrator. The direction of movement of the output coordinate, which determines the hysteresis relay connected to the torque component of the stator current. When scanning and passing the synchronous rotation speed, the torque component of the asynchronous motor stator current changes sign, reverses the relay, and switches the search direction. This ensures that the rotor speed is captured and the free run is monitored.

Keywords: sensorless electric drive, asynchronous motor pickup, free shaft run-out, extreme search system, oscillating frequency generator, induction motor, sensorless, flying restart, spin-catch, catch-on-the-fly

Acknowledgments. The study was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Chelyabinsk Region through a grant in the form of subsidy No. 184/3 dated December 25, 2024 for the creation of a regional youth laboratory.

For citation: Klinachev N.V., Vlasenko V.M., Voronin S.G., Kuleva N.Yu., Shaburov P.O. Extremal search system for asynchronous motor rotation frequency in free running. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2026;26(3):79–86. (In Russ.) DOI: 10.14529/power260309

Введение

В процессе эксплуатации управляемого асинхронного электропривода возможно временное, нештатное отключение электропитания. Длительностью отключения определяется метод, который должен быть реализован частотным преобразователем для подхвата асинхронного двигателя. Задача подхвата состоит в определении скорости вращения вала обесточенного двигателя и актуальна, если привод не оборудован датчиком. В частности, в публикациях [1–3] показано, что если длительность нарушения электроснабжения не превысила 1 с, то наблюдатель потокосцеплений не теряет угловое положение ротора. Скорость вращения вала остаётся известной. До ожидания восстановления номинального напряжения на звене постоянного тока частотный преобразователь следует перевести в состояние намагничивания ротора электродвигателя. Затем включить привод, разблокировав уставку регулятора тока по оси момента. Задача подхвата будет решена [4, 5].

Однако нарушение цепи электроснабжения может превысить обозначенное критическое время, а вал двигателя – продолжить свободное вращение. Например, если приведённые к валу инерционные массы рабочего органа большие, то за 5–10 с сбоя угловая скорость вала существенно измениться не может. Можно составить оценку скорости, предустановить её в начальные условия интеграторов системы управления и включить привод. Векторная система компенсирует повышенное скольжение и успешно подхватит двигатель. Между контуром регулирования скорости и контуром регулирования моментной составляющей тока устанавливают нелинейное апериодическое звено, которое ограничивает скорость изменения уставки тока до 120 мс у приводов на сотни киловатт. Это необходимо для ограничения амплитуды переходных процессов на шине постоянного тока. Но между регулятором потокосцепления и контуром регулирования магнитной составляющей тока такого ограничителя нет. Даже у мощных двигателей магнитная составляющая тока увеличивается до номинальной величины за 3–6 мс. Если это время составляет меньше четверти периода скольжения, то импульс тока ориентирует некоторое число магнитных доменов электротехнической стали в одном направлении, что создаёт условие для успешного захвата ротора наблюдателем потокосцепления, ведущим векторный привод [6–9].

Встречается и малоинерционная механическая нагрузка, чья постоянная времени мала и приближается к 40 мс, то есть к пределу устойчивости контуров регулирования (к удвоенной электромагнитной постоянной времени). Такой привод остановится за 100 мс. А за 200 – рабочий орган может реверсировать вращение вала. В этих случаях предсказать, какой будет скорость вращения после восстановления питания, невозможно. Требуется выполнение общей процедуры поиска частоты вращения вала асинхронного двигателя на свободном выбеге.

Решение задачи представлено в публикации А.Г. Воронцова [10]. Для сканирующего поиска частоты вращения двигателя автор предложил использовать тестовое воздействие – трёхфазную систему напряжений с переменной частотой и малой амплитудой. Но в более общем случае амплитуду напряжения лучше менять пропорционально частоте (в первом приближении). В результате искомый экстремум потребления тока будет выражен ярче. В другой публикации [11–13] экстремум (минимум) потребления тока предложено фиксировать по замедлению разряда конденсатора звена постоянного тока. Не лучшее решение – информационная составляющая скрыта за фильтром с большой постоянной времени 0,8 с. В обоих случаях задачу можно решить лучше. В настоящей статье предлагается система экстремального поиска частоты вращения асинхронного двигателя на свободном выбеге, приведённая к относительным единицам, в состав которой входят стандартные координатные преобразователи векторной систе-

мы управления, генератор качающейся частоты и реле с гистерезисом. Отличительная особенность представленной экстремальной системы – отсутствие дифференцирующего звена. По мнению авторов, предложенный способ демодуляции сигналов отличается большей информационной составляющей об экстремуме.

Поисковое воздействие на статор асинхронной машины

При вращении ротора асинхронного двигателя ток в его обмотке наводится только тогда, когда частота вращения ротора отличается от частоты вращения поля статора [14–18]. Исходя из этого, следует, что скорость свободно вращающегося вала можно определить с помощью системы поиска, создав в машине магнитодвижущую силу (МДС), чью частоту вращения будет создавать генератор напряжения переменной частоты [12, 17, 19–21]. Амплитуда этого напряжения должна изменяться с определённым масштабным коэффициентом в функции от значения частоты. Это условие обеспечит постоянство амплитуд МДС и тока при сканировании. Очевидно, что при совпадении частот вращения поля статора и обмотки ротора амплитуда потребляемого статором тока уменьшится в несколько раз и не создаст существенного момента (даже в окрестности точки экстремума).

Осциллограмма напряжения, подаваемого на статор для поиска частоты вращения ротора, показана на рис. 1. Диапазон поиска составляет ±2 или ±3 относительные единицы. На краях диапазона напряжение максимальное, что не вызывает затруднений при его синтезе. В относительных единицах может быть равным 0,2 или 0,3. В окрестности малых частот вращения погрешность синтеза напряжения стремится к бесконечности, но отрицательный поиск по всему диапазону указывает на тот факт, что вал двигателя остановился. Для исключения свободной составляющей тока статора при включении поискового алгоритма амплитуда напряжения увеличивается от нуля.

Первичный информационный сигнал, включающий данные о частоте вращения ротора – осциллограмма тока статора, – показан на рис. 2. После пятой секунды скорость свободно вращаю-

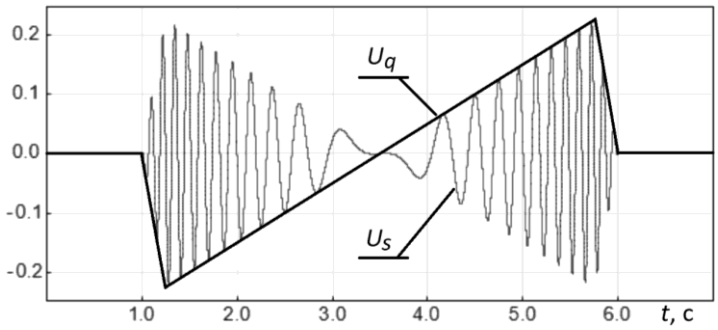

Рис. 1. Осциллограмма напряжения, подаваемого на статор асинхронного двигателя для поиска частоты вращения ротора на свободном выбеге (фактический диапазон изменения частоты в 10 раз больше)
Fig. 1. The oscilloscope of the voltage applied to the asynchronous motor stator to search for the free-range rotor speed (the actual frequency range is 10 times greater)

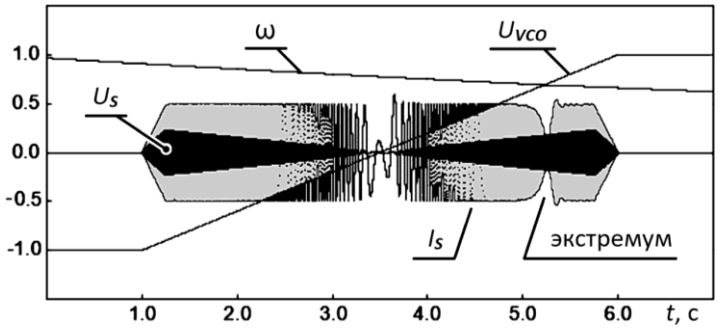

Рис. 2. Осциллограмма тока статора асинхронного двигателя в режиме поиска мгновенного положения ротора. Провал амплитуды тока после 5-й секунды наблюдается при совпадении скорости вращения поля и беличьей клетки. В относительных единицах также отображены: скорость вращения ротора, управляющее напряжение ГУН-а, напряжение статора
Fig. 2. The oscilloscope of the stator current of an asynchronous motor, in the mode of searching for the instantaneous position of the rotor. A dip in the current amplitude after the 5th second is observed when the rotation speed of the field and the squirrel cage coincide. The relative units are also displayed: rotor rotation speed, control voltage GUN-A, stator voltage

щегося ротора совпадает со скоростью вращения поля – поле входит в ротор, амплитуда тока статора уменьшается. Это и есть экстремум, который надо найти. В относительных единицах управляющее напряжение ГУН-а будет равно искомой скорости вала асинхронного двигателя на свободном выбеге.

Искомый экстремум может быть пройден на той или иной скорости (скорость изменения управляющего напряжения ГУН-а – это параметр для выбора). Исследуемый объект вносит замедление – постоянная времени намагничивания ротора машин меняется в пределах 2 или 3 крат. Поэтому абсолютное значение экстремума в относительных единицах может быть разным. Сигнум-реле (реле смены направления поиска) не может быть настроено на фиксированный уровень. При плавающем экстремуме теория автоматического регулирования предлагает решение – переворачивать реле не только по уровню сигнала, но и по его производной. Каким бы ни был экстремум (по уровню или выраженности) – производная, не имея постоянной составляющей, будет менять знак. Смену знака идентифицировать легче. Логику переключения реле можно объединить логическим оператором ИЛИ (возможны частные варианты).

В первичном сигнале в токах статора асинхронного двигателя есть информационная составляющая, близкая по свойствам к производной от анализируемой экстремальной характеристики. Но требуется демодуляция. Токи статора с помощью преобразователя Парка необходимо преобразовать во вращающуюся систему координат и получить два катета. Магнитная составляющая тока определит сигнал с плавающим экстремумом. Моментная составляющая будет менять знак при смене направления движения в окрестности экстремума (рис. 3). В качестве первого решения можно

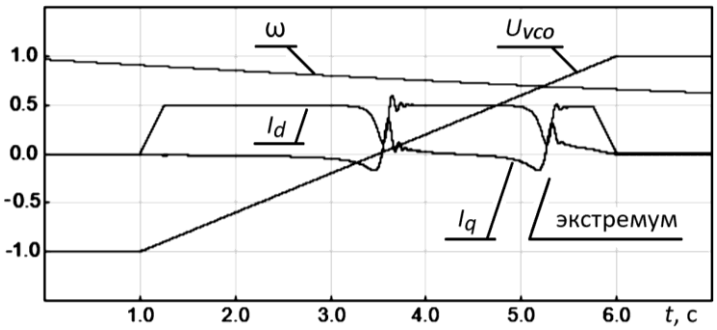

Рис. 3. Осциллограммы составляющих тока статора асинхронного двигателя I_d, I_q в режиме поиска мгновенного положения ротора. Магнитная составляющая тока определяет плавающий экстремум. Моментная составляющая близка по свойствам к производной. В окрестности нулевой скорости переворот реле направления поиска запрещён

Fig. 3. Oscillograms of the components of the asynchronous motor stator current, I_d, I_q, in the search mode for the instantaneous position of the rotor. The magnetic component of the current determines the floating extremum. The moment component is similar in properties to the derivative. In the vicinity of zero speed, the flip of the search direction relay is prohibited

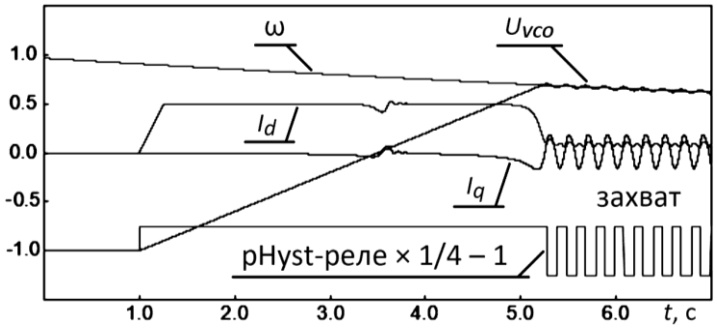

Рис. 4. Осциллограммы замкнутой системы экстремального поиска частоты вращения асинхронного двигателя на свободном выбеге. Реле направления поиска переворачивает моментная составляющая тока статора I_q. В зоне захвата экстремума поле входит в ротор, в машине появляется противо-ЭДС, что поддерживает экстремальную характеристику. Реле переключается стабильно

Fig. 4. Oscillograms of a closed-loop system for extreme frequency search of an asynchronous motor on a free run. The search direction relay is reversed by the torque component of the I_q stator current. In the extreme capture zone, the field enters the rotor, and a counter-EMF appears in the machine, which maintains the extreme characteristic. The relay switches stably

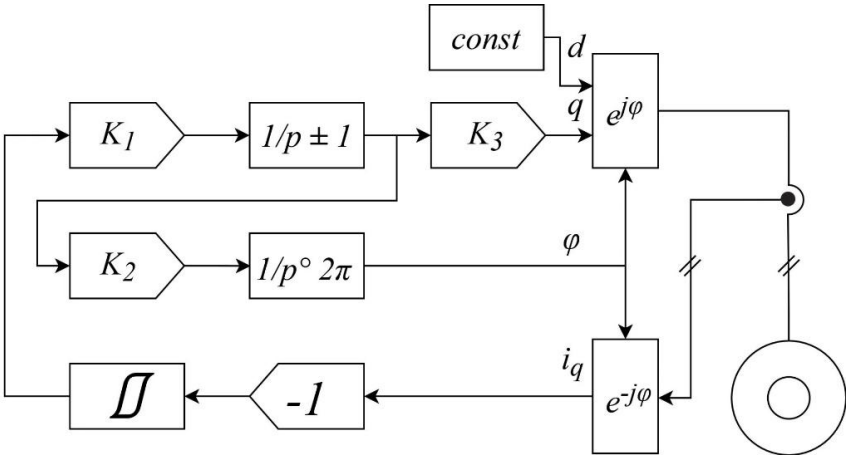

Рис. 5. Система экстремального поиска частоты вращения асинхронного двигателя на свободном выбеге
Fig. 5. The system of extreme search for the frequency of rotation of an asynchronous motor on a free run

замкнуть такую систему экстремального поиска с помощью реле с гистерезисом. Осциллограммы представлены на рис. 4.

Можно предположить, что в номинальном режиме на индуктивности рассеяния статора типового общепромышленного асинхронного двигателя падение напряжение составляет 10 % (см. рис. 1). Тогда в режиме захвата ротор машины намагнитится не более чем на те же 10 %. Моментная составляющая тока, судя по осциллограмме (см. рис. 4), в амплитуде достигает 25 %. Но поскольку поле неноминальное, момент будет малым – около 2 или 3 % (0,1 × 0,25). Среднее значение пульсаций движущей силы будет равно нулю.

На рис. 5 представлена математическая блок-схема, руководствуясь которой можно выполнить численные эксперименты и написать программный код подхвата асинхронного двигателя на свободном выбеге. К преобразователям Парка подключена двухфазная асинхронная машина, приведённая к относительным единицам. Коэффициент *K*1 задаёт скорость поиска экстремума. *K*2 – равен номинальной частоте тока статора, рад/с. *K*3 – это падение напряжения на индуктивности рассеяния обмотки статора в номинальном режиме. Константа равна падению напряжения на активном сопротивлении обмотки статора.

Контур системы экстремального регулирования замыкает реле направления поиска (нижняя часть блок-схемы, реле с гистерезисом). Выходной сигнал принимает одно из двух значений ±1.

Выводы

1. Амплитуда источника ЭДС, управляемого генератором качающейся частоты, который используется для поиска частоты вращения ротора асинхронного двигателя на свободном выбеге, должна быть пропорциональна частоте генератора (в первом приближении) и создавать в индуктивности рассеяния статора номинальный ток. Если машина характеризуется существенным активным сопротивлением меди, то треугольник сопротивлений обмотки статора должен определять амплитуду поискового источника ЭДС.

2. Для переключения реле направления поиска частоты вращения ротора асинхронного двигателя, находящегося в состоянии свободного выбега, рекомендуется использовать магнитную и моментную составляющие тока статора (в качестве сигнала с экстремумом и его производной).

Список литературы

1. Strategy for Restarting the Free-Running Induction Motor Driven by a High-Voltage Inverter Based on V/F Fuzzy Control / W. Hu, Z. Wu, L. Sun, X. Cai // *2016 8th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*. Hangzhou, China, 2016. P. 99–102. DOI: 10.1109/IHMSC.2016.77

2. Kisomi H.R., Monfared K.K., Iman-Eini H. Sensorless flying start method for starting of induction motors // *2021 12th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)*. Tabriz, Iran, 2021. P. 1–5. DOI: 10.1109/PEDSTC52094.2021.9405820

3. Restarting strategy for an induction machine driven with medium-voltage inverter / Choi Seung-cheol, Lee Jeongjoon, Hong Chanook, Yoo Anno // 2015 9th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2015-ECCE Asia). 2015. P. 1881–1888. DOI: 10.1109/ICPE.2015.7168035

4. Wachowiak D. A flying start method for sensorless induction machine-based electric drives // Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. 2025. Vol. 73 (4). P. e154206. DOI: 10.24425/bpasts.2025.154206

5. Fast Restarting of Free-Running Induction Motors Under Speed-Sensorless Vector Control / S. Yin, J. Xia, Z. Zhao et al. // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2020. Vol. 67 (7). P. 6124–6134. DOI: 10.1109/TIE.2019.2934077

6. Kondo K. Re-stating technologies for rotational sensorless controlled AC motors at the rotating status // *2015 10th Asian Control Conference (ASCC)*. Kota Kinabalu, Malaysia, 2015. P. 1–6. DOI: 10.1109/ASCC.2015.7244839

7. Soft-restarting of free-run induction motors driven by small DC-link capacitor inverters / S. Kim, H. Park, A. Yoo et al. // *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. Montreal, QC, Canada, 2015. P. 4441–4446. DOI: 10.1109/ECCE.2015.7310287

8. Speed sensorless model predictive current control with ability to start a free running induction motor / H. Yang, Y. Zhang, P.D. Walker et al. // IET Electric Power Applications. 2017. Vol. 11 (5). P. 893–901. DOI: 10.1049/iet-epa.2016.0481

9. Rao YT. Current based restarting method for rotating sensorless induction motor drive // IEEE Transactions on Energy Conversion. 2023. Vol. 38 (3). P. 2239–2242. DOI: 10.1109/tec.2023.3289065

10. Воронцов А.Г. Подхват асинхронного двигателя после потери питания транзисторного электропривода // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 1. С. 94–100. DOI: 10.32603/2071-8985-2023-16-1-94-100

11. Kozak M., Olszański K., Kozak M. Implementation of a Sensorless Control System with a Flying-Start Feature for an Asynchronous Machine as a Ship Shaft Generator // Energies. 2026. Vol. 19 (3). P. 776. DOI: 10.3390/en19030776

12. Klinachev N.V., Kuleva N.Y., Shaburov P.O. Asynchronous Vector Drive Status Monitor // *2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. Sochi, Russian Federation, 2023. P. 426–431. DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139202

13. Басков С.Н., Радионов А.А., Святых А.Б. Применение векторно-импульсного способа для пуска двигателей переменного тока // Электротехника. 2013. № 10. С. 60–62.

14. Baskov S.N., Litsin K.V. Determination of the angular position of the rotor of a synchronous motor by connecting a high-frequency signal in the excitation winding // *2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. Omsk, Russia, 2015. P. 7146993. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7146993

15. Виноградов А.Б., Колодин И.Ю., Сибирцев А.Н. Адаптивно-векторная система управления бездатчикового асинхронного электропривода ЭПВ // Силовая электроника. 2006. № 9. С. 50–55.

16. Потапенко А.О., Юсупова А.О., Латыпов С.И. Способ диагностики повреждения короткозамкнутой обмотки ротора асинхронного двигателя в режиме выбега // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2022. Т. 22, № 1 С. 62–70. DOI: 10.14529/power220107

17. Деркачёв С.В. Выявление асинхронного режима и способ управления возбуждением синхронного электродвигателя // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2022. Т. 22, № 1. С. 71–77. DOI: 10.14529/power220108

18. Лащенов М.Б., Шевырёв Ю.В. Исследование работы синхронного двигателя при кратковременной потере питания для условий горных предприятий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2020. Т. 20, № 1. С. 116–122. DOI: 10.14529/power200113

19. Оценка колебательной составляющей переходного момента и выбор времени переключения на сеть при реакторном пуске высоковольтных асинхронных электроприводов / М.В. Вечеркин, А.С. Сарваров, А.В. Макаров, Г.М. Фахритдинова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2016. Т. 16, № 4. С. 84–90. DOI: 10.14529/power160411

20. Оптимизация пусковых процессов в асинхронном частотном электроприводе со скалярной САР / И.Я. Браславский, А.В. Костылев, Д.В. Цибанов, А.И. Хабаров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2013. Т. 13, № 2 С. 69–74.

21. Басков С., Коньков А., Черкас Т. и Лицин К. Исследование положения вектора потокосцепления ротора при векторно-импульсном пуске // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2012. № 37 (296). С. 68–72.

References

1. Hu W., Wu Z., Sun L., Cai X. Strategy for Restarting the Free-Running Induction Motor Driven by a High-Voltage Inverter Based on V/F Fuzzy Control. In: *2016 8th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*. Hangzhou, China, 2016. P. 99–102. DOI: 10.1109/IHMSC.2016.77

2. Kisomi H.R., Monfared K.K., Iman-Eini H. Sensorless flying start method for starting of induction motors. In: *2021 12th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference (PEDSTC)*. Tabriz, Iran, 2021. P. 1–5. DOI: 10.1109/PEDSTC52094.2021.9405820

3. Choi Seung-cheol, Lee Jeongjoon, Hong Chanook, Yoo Anno. Restarting strategy for an induction machine driven with medium-voltage inverter. In: *2015 9th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2015-ECCE Asia)*. 2015. P. 1881–1888. DOI: 10.1109/ICPE.2015.7168035

4. Wachowiak D. A flying start method for sensorless induction machine-based electric drives. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. 2025;73(4):e154206. DOI: 10.24425/bpasts.2025.154206

5. Yin S., Xia J., Zhao Z., Zhao L., Liu W., Diao L., Jatskevich J. Fast Restarting of Free-Running Induction Motors Under Speed-Sensorless Vector Control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2020;67(7):6124–6134. DOI: 10.1109/TIE.2019.2934077

6. Kondo K. Re-stating technologies for rotational sensorless controlled AC motors at the rotating status. In: *2015 10th Asian Control Conference (ASCC)*. Kota Kinabalu, Malaysia, 2015. P. 1–6. DOI: 10.1109/ASCC.2015.7244839

7. Kim S., Park H., Yoo A., Lee H.-J., Seok J.-K. Soft-restarting of free-run induction motors driven by small DC-link capacitor inverters. In: *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. Montreal, QC, Canada, 2015. P. 4441–4446. DOI: 10.1109/ECCE.2015.7310287

8. Yang H., Zhang Y., Walker P.D., Liang J., Zhang N., Xia B. Speed sensorless model predictive current control with ability to start a free running induction motor. *IET Electric Power Applications*. 2017;11(5):893–901. DOI: 10.1049/iet-epa.2016.0481

9. Rao Y.T. Current based restarting method for rotating sensorless induction motor drive. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2023;38(3):2239–2242. DOI: 10.1109/tec.2023.3289065

10. Vorontsov A.G. [Picking up an asynchronous motor after power loss of a transistor electric drive]. *Izvestiya SPbSETU "LETI"*. 2023;16(1):94–100. (In Russ.) DOI: 10.32603/2071-8985-2023-16-1-94-100

11. Kozak M., Olszański K., Kozak M. Implementation of a Sensorless Control System with a Flying-Start Feature for an Asynchronous Machine as a Ship Shaft Generator. *Energies*. 2026;19(3):776. DOI: 10.3390/en19030776

12. Klinachev N.V., Kuleva N.Y., Shaburov P.O. Asynchronous Vector Drive Status Monitor. In: *2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. Sochi, Russian Federation, 2023. P. 426–431. DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139202

13. Baskov S.N., Radionov A.A., Svyatykh A.B. Application of the vector-pulse method to starting an alternating-current motor. *Russian Electrical Engineering*. 2013;84(10):591–594. DOI: 10.3103/S1068371213100027

14. Baskov S.N., Litsin K.V. Determination of the angular position of the rotor of a synchronous motor by connecting a high-frequency signal in the excitation winding. In: *2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. Omsk, Russia, 2015. P. 7146993. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7146993

15. Vinogradov A.B., Kolodin I.Yu., Sibirtsev A.N. [Adaptive vector control system of a sensorless asynchronous electric drive EPV]. *Silovaya elektronika*. 2006;(9):50–55. (In Russ.)

16. Potapenko A.O., Yussupova A.O., Latypov S.I. Method for diagnosing damage to squirrel-cage rotor of induction motor in run-down mode. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2022;22(1):62–70. (In Russ.) DOI: 10.14529/power220107

17. Derkachev S.V. Determination of asynchronous mode and method to control the excitation of a synchronous electric motor. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2022;22(1): 71–77. (In Russ.) DOI: 10.14529/power220108

18. Lashchenov M.B., Shevyrev Yu.V. Research of the synchronous motor performance with a short power loss for the mining industry. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2020;20(1):116–122. (In Russ.) DOI: 10.14529/power200113

19. Vecherkin M.V., Sarvarov A.S., Makarov A.V., Fakhritdinova G.M. Assessment of Oscillating Component of Transient Moment and Selection of Network Supply Switchover Time at Reactor Start of High-Voltage Asynchronous Electric Drives. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2016;16(4):84–90. (In Russ.) DOI: 10.14529/power160411

20. Braslavskiy I.Ya., Kostylev A.V., Tsibanov D.V., Khabarov A.I. Starting process optimization in the asynchronous electric drive with a scalar control system. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2013;13(2):69–74. (In Russ.)

21. Baskov S.N., Konkov A.S., Cherkas T.V., Litsin K.V. Research of position of rotor interlinkage vector at vector-pulse start. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2012;37(296):68–72. (In Russ.)

Информация об авторах

Клиначев Николай Васильевич, канд. техн. наук, доц. кафедры летательных аппаратов, научный сотрудник Региональной молодежной лаборатории электромеханических, электронных и электрохимических систем, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; klinachevnv@susu.ru.

Власенко Вячеслав Михайлович, ООО НПП «Резонанс», Челябинск, Россия; v.vlasenko@rez.ru.

Воронин Сергей Георгиевич, д-р техн. наук, проф., старший научный сотрудник Региональной молодежной лаборатории электромеханических, электронных и электрохимических систем, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; старший научный сотрудник Высшей инженерной школы «Двигатели будущего», Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия; voroninsg@susu.ru.

Кулёва Надежда Юрьевна, канд. техн. наук, доц. кафедры электропривода, мехатроники и электромеханики, заместитель руководителя Региональной молодежной лаборатории электромеханических, электронных и электрохимических систем, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; kulevani@susu.ru.

Шабуров Павел Олегович, канд. техн. наук, доц. кафедры летательных аппаратов, научный сотрудник Региональной молодежной лаборатории электромеханических, электронных и электрохимических систем, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; shaburovpo@susu.ru.

Information about the authors

Nikolay V. Klinachev, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. at the Department of Aircraft, Researcher at the Regional Youth Laboratory of Electromechanical, Electronic and Electrochemical Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; klinachevnv@susu.ru.

Vyacheslav M. Vlasenko, Research and Production Enterprise “Rezonans”, LLC, Chelyabinsk, Russia; v.vlasenko@rez.ru.

Sergey G. Voronin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Senior Researcher at the Regional Youth Laboratory of Electromechanical, Electronic and Electrochemical Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; Senior Researcher at the Advanced Engineering School “Motors of the Future”, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia; voroninsg@susu.ru.

Nadezhda Yu. Kuleva, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. at the Department of Electric Drive, Mechatronics and Electromechanics, Deputy Head of the Regional Youth Laboratory of Electromechanical, Electronic and Electrochemical Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; kulevani@susu.ru.

Pavel O. Shaburov, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. at the Department of Aircraft, Researcher at the Regional Youth Laboratory of Electromechanical, Electronic and Electrochemical Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; shaburovpo@susu.ru.

Статья поступила в редакцию 28.08.2026; одобрена после рецензирования 10.09.2026; принята к публикации 10.09.2026.

The article was submitted 28.08.2026; approved after review 10.09.2026; accepted for publication 10.09.2026.