

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЕКТОРА ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ РОТОРА ПРИ ВЕКТОРНО-ИМПУЛЬСНОМ ПУСКЕ

С.Н. Басков, А.С. Коньков**, Т.В. Черкас*, К.В. Лицин****

** г. Новотроицк, филиал МИСиС*

*** г. Орск, МУП Орскгортранс*

**** г. Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет*

RESEARCH OF POSITION OF ROTOR INTERLINKAGE VECTOR AT VECTOR-PULSE START

S.N. Baskov, A.S. Konkov**, T.V. Cherkas*, K.V. Litsin****

** Novotroitsk, branch MISiS*

*** Orsk, Orskgortrans*

**** Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University*

Разработана математическая модель прямого пуска асинхронного двигателя. Исследованы электрические факторы (активное и реактивное сопротивление обмотки ротора) и механические (момент инерции ротора и момент нагрузки), влияющие на скорость вращения вектора потокосцепления ротора.

Ключевые слова: пуск асинхронного двигателя, вектор потокосцепления ротора, вектор потокосцепления статора.

The mathematical model of the direct starting of asynchronous motor has been developed. The electrical factors (active resistance and reactance of the rotor winding) and mechanical factors (moment of rotor inertia and load torque) which influence the speed of rotation of the rotor interlinkage vector have been studied.

Keywords: start of asynchronous motor, rotor interlinkage vector, stator interlinkage vector.

Изменение положения вектора потокосцепления ротора при пуске АД имеет очень сложный характер: вектор потокосцепления ротора совершает колебания относительно вектора потокосцепления статора, то есть может как отставать от него, так и опережать. Характер этих колебаний определяют различные факторы, такие как момент инерции электропривода, момент нагрузки, момент и последовательность подключения фаз питающей сети. Как отмечается во многих источниках [1, 2], именно они оказывают наибольшее влияние на характер переходных процессов при пуске АД.

Как известно из теории электрических машин, в установившемся режиме вектор потокосцепления ротора вращается синхронно с вектором потокосцепления статора. При этом вектор потокосцепления ротора вращается относительно самого ротора с угловой скоростью, определяемой скольжением. При пуске вектора потокосцеплений вращаются с разной скоростью, что связано с электромагнитными переходными процессами в цепи ротора (с наличием индуктивности рассеяния об-

мотки ротора). Вместе с тем и скорость вращения вектора потокосцепления ротора относительно самого ротора значительно выше, чем в номинальном установившемся режиме, так как скольжение при пуске значительно больше. На рис. 1 приведены графики изменения углов поворота векторов потокосцеплений статора $\bar{\Psi}_1$ и ротора $\bar{\Psi}_2$, а также угла поворота самого ротора, полученные в результате математического моделирования процесса прямого пуска асинхронного двигателя 4А100Л4У3 (мощность 4 кВт, номинальная частота вращения 1430 об/мин) в среде Matlab. Как было показано выше, именно отставание вектора потокосцепления ротора относительно вектора потокосцепления статора на угол свыше 180° и вызывает появление отрицательных пиков момента. На скорость вращения вектора потокосцепления ротора оказывают влияние как электрические факторы (активное и реактивное сопротивление обмотки ротора), так и механические (момент инерции ротора и момент нагрузки).

Для исследования влияния механических факторов с помощью математической модели произведем расчеты переходных процессов пуска АД с различными значениями момента инерции и момента нагрузки. На рис. 2–4 приведены графики изменения угловой скорости, электромагнитного момента угла между векторами потокосцеплений статора и ротора при трех значениях статического момента нагрузки: $M_C = 0$, $M_C = 0,5M_H$ (13 Н·м) и $M_C = M_H$ (26 Н·м) при прямом пуске АД. Мо-

мент инерции во всех случаях равен $J_\Sigma = 0,013$ кг·м². Электромагнитный момент при пуске имеет две составляющие – принужденную (установившуюся) и свободную. Именно свободная составляющая момента имеет колебательный характер и если величина отрицательного пика свободной составляющей получается больше величины принужденной составляющей, то в этом случае момент становится отрицательным. При анализе графика на рис. 3 видно, что характер изменения свободной составляющей момента и ее амплитуда при

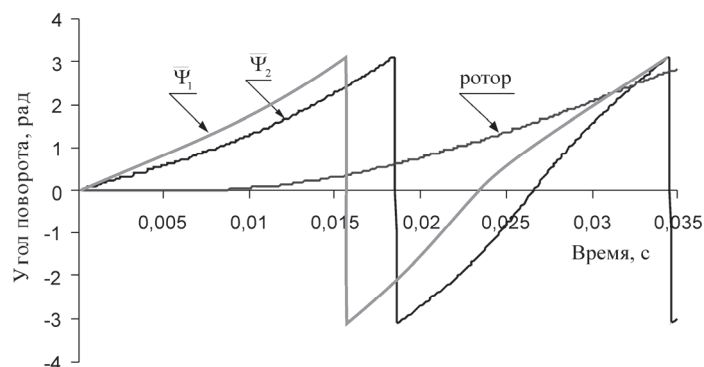


Рис. 1. Графики изменения положения векторов потокосцеплений статора и ротора и угла поворота ротора при пуске

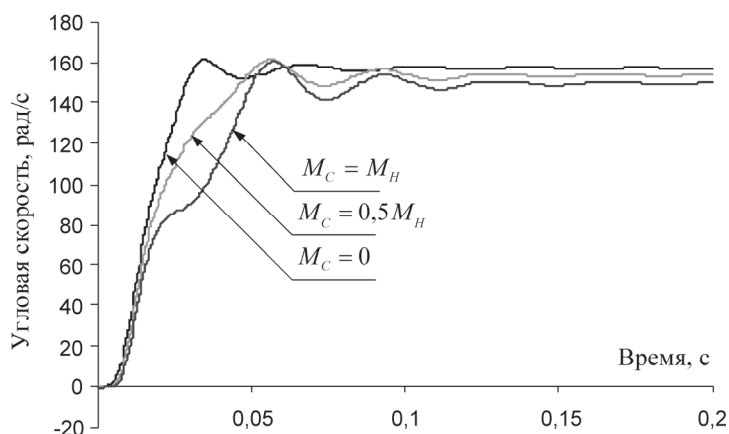


Рис. 2. Графики изменения угловой скорости двигателя при различных значениях момента статической нагрузки

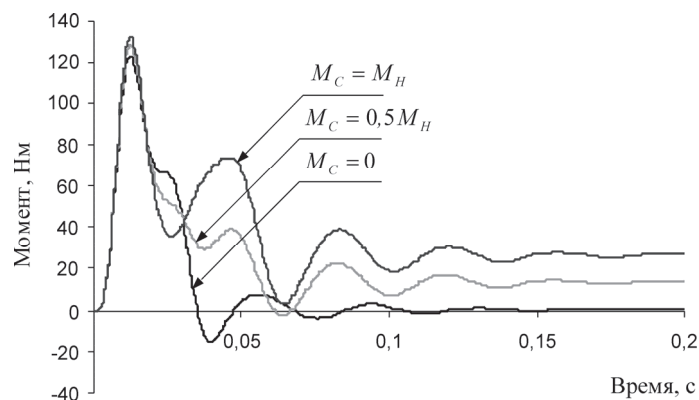


Рис. 3. Графики изменения электромагнитного момента двигателя при различных значениях момента статической нагрузки

увеличении статической нагрузки не изменяется. Изменения момента связаны только с увеличением принужденной составляющей.

Это подтверждает и график изменения угла между векторами потокоцеплений статора и ротора, из которого видно, что амплитуда, частота и коэффициент затухания свободных колебаний вектора потокоцепления ротора относительно потокоцепления статора не зависят от момента статической нагрузки. Кроме того, увеличение принужденной составляющей момента приводит к тому,

что исчезают отрицательные пики момента, то есть снижаются ударные нагрузки на механизмы и передачи. Таким образом, применение векторно-импульсного способа пуска [3, 4], предполагающего использование в основном свободных составляющих момента, при увеличении статического момента нагрузки будет неэффективно и приведет к снижению среднего пускового момента, по крайней мере, по сравнению с прямым пуском.

На рис. 5–7 приведены графики изменения угловой скорости, электромагнитного момента

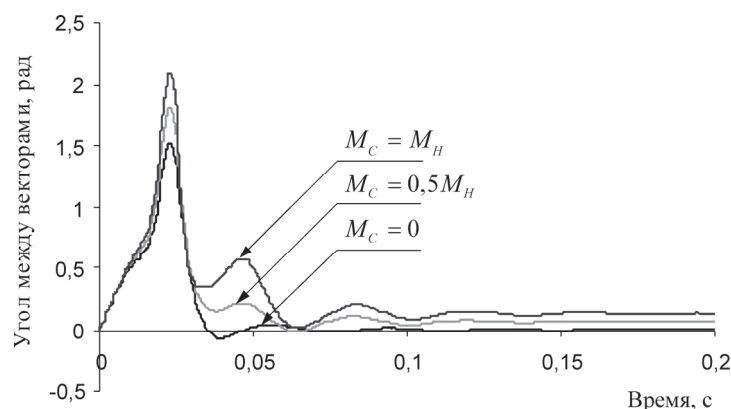


Рис. 4. Графики изменения угла между векторами потокоцеплений при различных значениях момента статической нагрузки

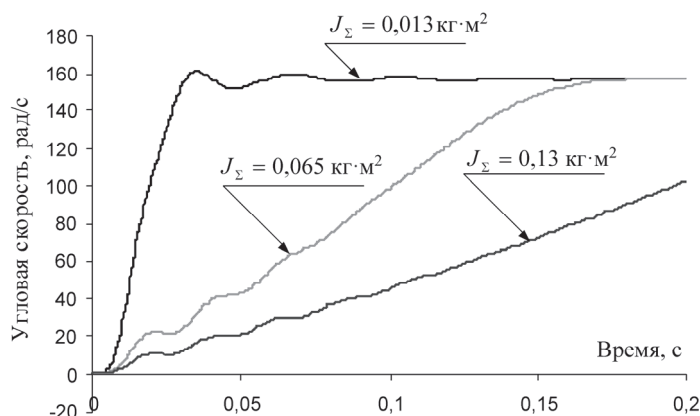


Рис. 5. Графики изменения угловой скорости двигателя при различных значениях момента инерции

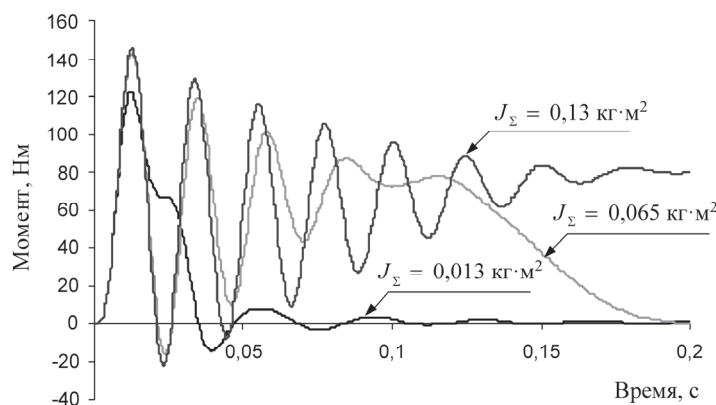


Рис. 6. Графики изменения электромагнитного момента двигателя при различных значениях момента инерции

угла между векторами потокосцеплений статора и ротора при трех значениях приведенного момента инерции: 0,013; 0,065 и 0,13 кг·м² при прямом пуске АД. Момент статической нагрузки во всех случаях $M_C = 0$.

Как видно из графика на рис. 6, увеличение момента инерции приводит к уменьшению коэффициента затухания свободной составляющей момента. Амплитуда первого пика момента при этом не изменяется. В результате увеличивается колебательность электромагнитного момента и возрастает количество отрицательных пиков. Связано это в первую очередь с изменением темпа разгона двигателя. Так как скорость вращения вектора потокосцепления ротора зависит от скорости вращения самого ротора, то при увеличении момента инерции вектор потокосцепления ротора вращается значительно медленнее, чем вектор потокосцепления статора, скорость которого не зависит от момента инерции. Если рассмотреть график изменения положения векторов потокосцеплений статора и ротора при пуске с $J_\Sigma = 0,013$ кг·м² (рис. 8), то видно, что во время первых двух оборотов вектора потокосцепления статора вектор потокосцепления ротора не вращается, а совершает колебания (в течение времени T_k). То есть при пуске

он начинает вращение вслед за вектором потокосцепления статора, достигает угла φ_{r1} (в этот момент вектор потокосцепления статора обгоняет вектор потокосцепления ротора на 180°), а затем начинает вращаться в противоположную сторону до угла φ_{r2} (в этот момент положения векторов потокосцепления статора и ротора совпадают) и далее ситуация повторяется.

В этом случае отключение цепи статора на время, в течение которого вектор потокосцепления статора опережает вектор потокосцепления ротора более чем на 180° и до момента совпадения этих векторов, приведет к исключению отрицательных пиков момента, то есть к увеличению среднего пускового момента и уменьшению ударных нагрузок на механизмы и передачи. Таким образом, можно сделать вывод, что применение векторно-импульсного способа пуска может быть целесообразно для асинхронных электроприводов с большим моментом инерции и низким значением пускового момента, близким к моменту холостого хода [5, 6]. К таким механизмам относятся крупные центробежные и осевые вентиляторы и компрессоры с безредукторным приводом. Но в любом случае применение векторно-импульсного способа имеет смысл только на начальной стадии

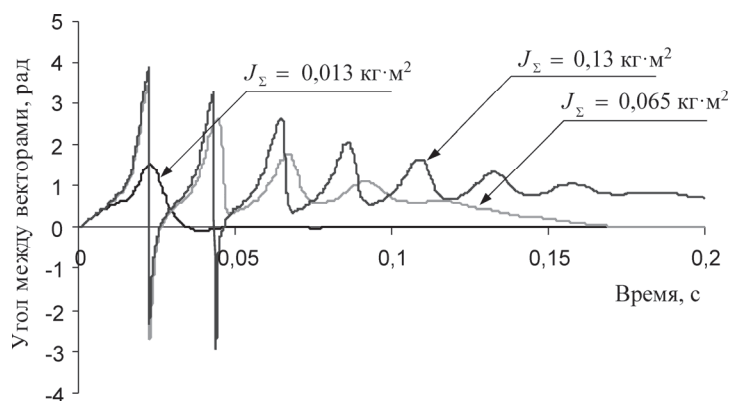


Рис. 7. Графики изменения угла между векторами потокосцеплений при различных значениях момента инерции

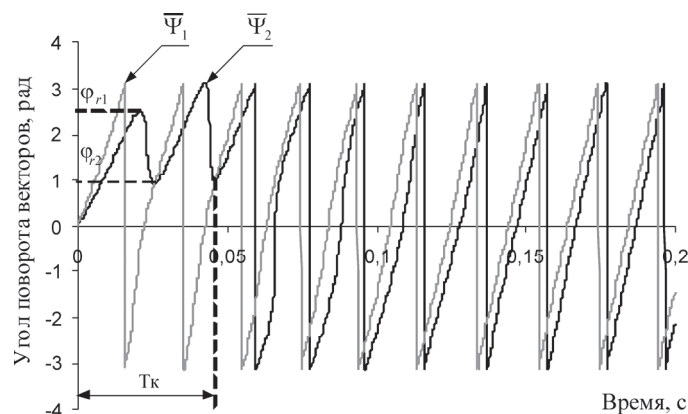


Рис. 8. Графики изменения углов поворота векторов потокосцеплений статора и ротора при $J_\Sigma = 0,013$ кг·м²

пуска, когда вектор потокоцепления статора совершает колебания вокруг оси (в течение времени T_k). После того как вектора потокоцеплений начинают вращаться синхронно, должен использоваться либо прямой пуск, либо, если требуется ограничение пускового тока или темпа разгона, пуск от регулятора напряжения.

Литература

1. Ключев, В.И. Теория электропривода: учебник для вузов / В.И. Ключев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.
2. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учебник для вузов / И.Я. Браславский, З.Ш. Ииматов, В.Н. Поляков. – под. ред. И.Я. Браславского. – М.: АCADEMA, 2004. – 202 с.
3. Басков, С.Н. Пусковое устройство для асинхронного электродвигателя с реализацией векторно-импульсного принципа управления / С.Н. Басков, Д.Ю. Усатый, А.А. Радионов // Труды IV Международной (XV Всероссийской) конферен-

ции по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития». – Магнитогорск, 2004. – Ч. 1. – С. 343–346.

4. Басков, С.Н. Пуск асинхронного двигателя в электроприводах с повышенным пусковым моментом / С.Н. Басков, Д.Ю. Усатый, А.А. Радионов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2004. – № 2. – С. 47–49.

5. The design features of the converters for synchronous motor vector-pulsed launch control / A.A. Radionov, O.S. Malakhov, S.N. Baskov et al. // Proceedings – 2010 IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering, SIBIRCON-2010. – Irkutsk; Listvyanka, 2010. – P. 608–610.

6. Басков, С.Н. Устройство плавного пуска высоковольтного синхронного двигателя с векторно-импульсным управлением / С.Н. Басков, М.Н. Давыдкин, А.С. Коньков // Изв. ТулГУ. Технические науки. – 2010. – Вып. 3: в 5 ч. Ч. 3. – С. 144–149.

Поступила в редакцию 04.10.2012 г.

Басков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная информатика и управляющие системы автоматики», Новотроицкий филиал МИСиС. Область научных интересов – силовая электроника и энергосбережение. Контактный телефон: 8-(3537) 69-97-29. Электронная почта: s.baskov@mail.ru

Baskov Sergey Nikolaevich – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of Applied Information Science and Automation Control Systems Department of Moscow Institute of Steel and Alloys, Novotroitsk branch. The sphere of scientific interests is power electronics and energy saving. Contact telephone number: 8-(3537) 67-97-29. E-mail: s.baskov@mail.ru

Коньков Александр Сергеевич – кандидат технических наук. Генеральный директор МУП «Орскгортранс». Контактный телефон: 8-(3537) 25-36-62.

Konkov Aleksandr Sergeevich – Candidate of Science (Engineering). General Director of Municipal Unitary Enterprise (MUE) «Orskgortrans». Contact telephone number: 8-(3537) 25-36-62.

Черкас Татьяна Викторовна – Инженер учебного отдела, Новотроицкий филиал МИСиС. Область научных интересов – силовая электроника и энергосбережение. Контактный телефон: 8-(3537) 67-80-88. E-mail: cherkastv@rambler.ru

Cherkas Tatyana Viktorovna – Engineer of educational department of Moscow Institute of Steel and Alloys, Novotroitsk branch. The sphere of scientific interests is power electronics and energy saving. Contact telephone number: 8-(3537) 67-80-88. E-mail: cherkastv@rambler.ru

Литин Константин Владимирович – аспирант, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Область научных интересов – силовая электроника и энергосбережение. Контактный телефон: 8-(3537) 67-80-88. E-mail: k.litsin@rambler.ru

Litsin Konstantin Vladimirovich – postgraduate student of Magnitogorsk State Technical University. The sphere of scientific interests is power electronics and energy saving. Contact telephone number: 8-(3537) 67-80-88. E-mail: k.litsin@rambler.ru