

Уменьшение пусковых токов асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором

ЧЕБАН В.М., МАРКОВ М.Ю., БОБРИК В.И.

Показан способ минимизации пусковых токов асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором с помощью предварительного разгона статора, описывается конструкция асинхронного электропривода с вращающимся статором. Приведены результаты экспериментов на созданной в Новосибирском государственном техническом университете физической модели асинхронного электропривода с вращающимся статором. При исследовании электрической машины двойного вращения построена математическая модель рассматриваемого электропривода в программе MATLAB Simulink и проведены расчеты пуска машины. Расчетные данные распространенных способов пуска сравниваются с результатами пуска с предварительным разгоном статора. Показаны особенности и преимущества предлагаемого в статье способа пуска асинхронных электродвигателей, дана его экономическая оценка. Высказывается возможность использования вращения статора для регулирования частоты вращения ротора машины и после пуска.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, двигатель с короткозамкнутым ротором, минимизация пусковых токов, экономическая оценка

Основным потребителем электроэнергии является электропривод с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Связано это прежде всего с надежностью, невысокой стоимостью и простотой в изготовлении асинхронной машины. Однако она имеет и недостатки, одним из которых является большой пусковой ток, превышающий рабочий ток в 5–7 раз.

Известно несколько конструкций электроприводов переменного тока на основе асинхронной машины, в которых для уменьшения пускового тока используются, например, тиристорный коммутатор, автотрансформатор или реактор, снижающий напряжение, подводимое к двигателю. Одним из основных недостатков таких электроприводов является уменьшение пускового момента электродвигателя, что ограничивает их применение. К тому же использование таких устройств приводит к значительному удорожанию всей конструкции.

На кафедре автоматизированных электроэнергетических систем (АЭЭС) Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) ведутся исследования по регулированию режимов асинхронных машин с короткозамкнутым ротором за счет использования возможностей вращения статора [1]. При предварительном разгоне статора машины до подключения ее к питанию изменяется скольжение и, следовательно, часть моментно-скоростной характеристики, на которой произойдет включение питания. Представляется, что путем некоторого усложнения механической конструкции электрической машины можно решить вопрос ми-

нимизации пускового тока асинхронной нагрузки без уменьшения ее пускового момента.

Для проведения исследований на кафедре АЭЭС в результате выполнения проекта, отобранного для финансирования в 2014 г. в рамках реализуемой программы стратегического развития НГТУ, была разработана и выполнена физическая модель электропривода с асинхронным короткозамкнутым двигателем двойного вращения, иллюстрирующая возможность уменьшения пускового тока при сохранении пускового момента, близкого к номинальному (тяжелый пуск).

Принцип минимизации пускового тока асинхронного электропривода. Для снижения значения пускового тока без уменьшения пускового момента в электроприводе установлены асинхронный электродвигатель с возможностью вращения статора, серводвигатель, а также система управления [2].

При вращающемся статоре в известное выражение для скольжения необходимо включить значение его частоты вращения, в зависимости от которого, а также от направления вращения статора будет изменяться скольжение и, следовательно, частота вращения ротора.

Уменьшение пускового тока в описываемом электроприводе [4] происходит в связи с тем, что включение двигателя в сеть благодаря предварительному разгону его статора до скорости, близкой к синхронной, происходит при скольжении, близком к нулю, когда магнитное поле статора практически неподвижно относительно ротора двигателя и его обмотки. ЭДС в обмотке ротора также близка

к нулю, сопротивление $R\sigma(1-s)/s$ стремится к бесконечности, создавая разрыв в цепи, следовательно, пусковой ток мал и равен только току намагничивания.

Конструкция электропривода переменного тока с возможностью вращения статора показана на рис. 1 и содержит электродвигатель переменного тока 1 с установленным на подшипниках 2 статором. Статор получает вращение от серводвигателя 3. Электрическая связь сети с электродвигателем осуществляется посредством контактных колец 4. Торможение статора осуществляется тормозным устройством 5. В случае, если между серводвигателем и статором электродвигателя переменного тока установлена необратимая передача (например червячная), тормозное устройство не требуется. Датчики 6 и 7 измеряют частоту вращения ротора и статора электродвигателя.

Электропривод работает следующим образом. При пуске до момента подключения электродвигателя переменного тока к сети система управления, контролируя работу серводвигателя и получая сигнал о частоте вращения статора от соответствующего датчика, разгоняет статор электродвигателя переменного тока в сторону, противоположную вращению его магнитного поля, до синхронной скорости, после чего статор подключается к сети. Система управления отключает серводвигатель и с помощью тормозного устройства постепенно останавливает вращение статора, что приводит к постепенному разгону его ротора до расчетного значения частоты вращения при малом пусковом токе. Пусковой момент в данном случае является функцией частоты вращения статора при подключении машины к питанию. Из этого следует, что при торможении статора рабочая точка лежит уже на устойчивой части естественной механической характеристики машины и может смещаться от 0 до критического значения момента. Стоит также

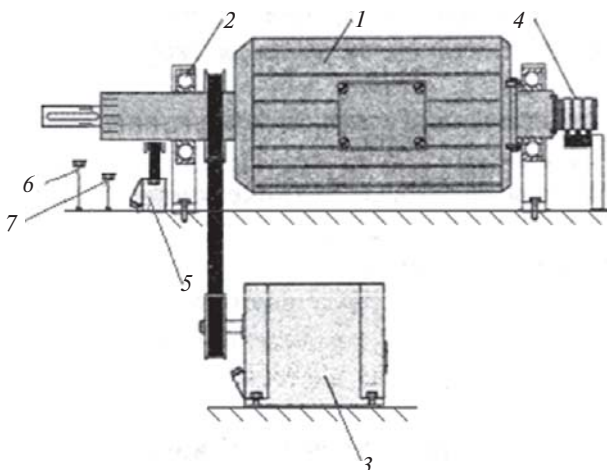


Рис. 1. Конструкция электропривода переменного тока с возможностью вращения статора

отметить, что при наличии в конструкции электропривода червячной передачи между серводвигателем и статором необходимость в тормозном устройстве отпадает [5], поскольку торможение статора осуществляется путем остановки серводвигателя.

В результате экспериментов, проводимых на физической модели электропривода с асинхронным короткозамкнутым двигателем двойного вращения, получены осциллограммы пусковых токов, приведенные на рис. 2 и 3.

Осциллограммы показывают не только значительное уменьшение амплитуды пускового тока с 11,7 до 7,4 А, но и существенное сокращение времени пуска и, следовательно, переходного процесса в сети с 0,1 с до времени одного периода синусоиды напряжения питания промышленной частоты (0,02 с). При больших значениях номинальной мощности двигателей эффективность способа еще более повышается из-за малого значения тока намагничивания по отношению к номинальному току двигателя.

Для сравнения распространенных способов уменьшения пускового тока были проведены расчеты пуска общепромышленного асинхронного короткозамкнутого двигателя 4А250S4У3 мощностью 75 кВт (аналог АИР250S4У3). Расчеты проводились в программном комплексе MATLAB с использованием стандартных моделей. Поскольку пусковой реактор выбирается из необходимого уменьшения

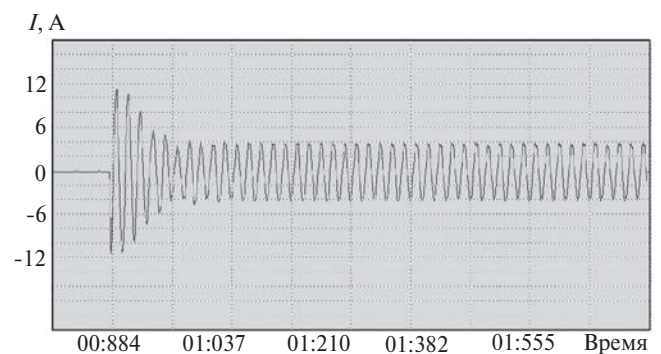


Рис. 2. Пусковой ток асинхронной нагрузки при прямом пуске

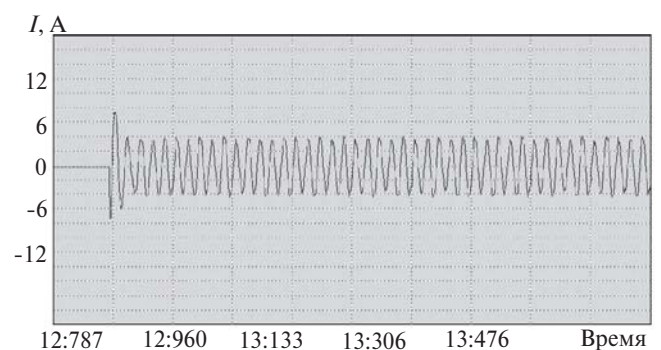


Рис. 3. Пусковой ток асинхронной нагрузки при пуске с предварительным разгоном статора

кратности пускового тока [6], сопротивление реактора в расчетах было подобрано для минимизации пускового тока в 2 раза. Автотрансформатор был моделирован с ответвлением, соответствующим значению вторичного напряжения, равному 73% первичного, что, как и в случае с реактором, привело к уменьшению пускового тока примерно в 2 раза. Во всех случаях задан одинаковый момент нагрузки, который был изначально принят для реакторного пуска, имеющего самое низкое значение пускового момента. Результаты расчетов отображены на рис. 4–6. Задержка в появлении тока статора двигателя при пуске с предварительным разгоном статора (рис. 4) определяется принятым временем его разгона и, соответственно, мощностью серводвигателя. На рис. 5 на осциллограмме пуска с предварительным разгоном статора указана частота вращения ротора относительно статора.

Было проведено сравнение стоимостей (в тыс. руб.) электроприводов с различными способами пуска. По результатам оценки предлагаемый способ пуска можно считать конкурентоспособным (рис. 7).

Стоит также отметить, что рассмотренная асинхронная электрическая машина двойного враще-

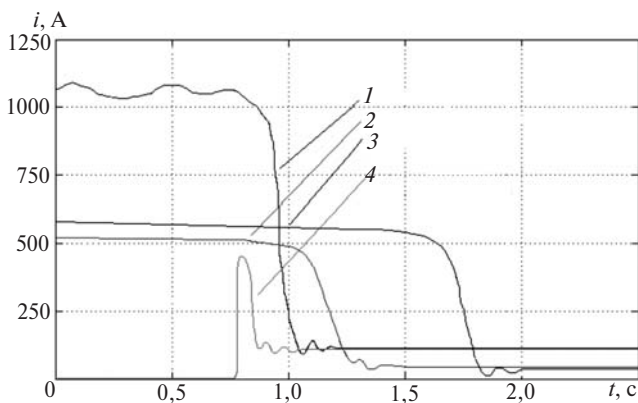


Рис. 4. Осциллограммы пусковых токов АД 75 кВт при различных способах пуска: 1 – прямой; 2 – автотрансформаторный; 3 – реакторный; 4 – с предварительным разгоном статора

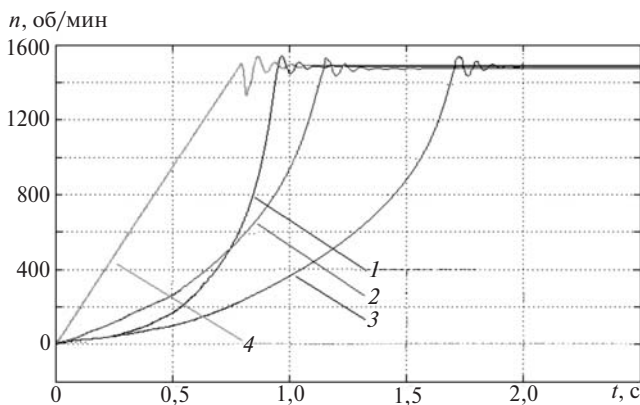


Рис. 5. Осциллограммы частоты вращения ротора АД 75 кВт при различных способах пуска: 1, 2, 3, 4 – то же, что на рис. 4

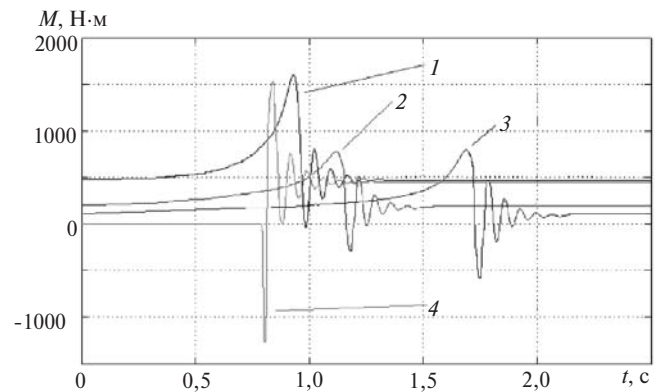


Рис. 6. Осциллограммы момента АД 75 кВт при различных способах пуска: 1, 2, 3, 4 – то же, что на рис. 4

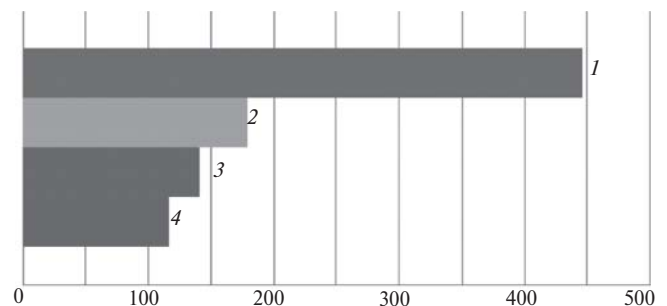


Рис. 7. Сравнение суммарных стоимостей электроприводов с различными пусковыми устройствами: 1 – с преобразователем частоты; 2 – с пусковым автотрансформатором; 3 – с предварительным разгоном статора; 4 – с пусковым ротором

ния с короткозамкнутым ротором также позволяет регулировать частоту вращения ротора путем воздействия системы управления на серводвигатель после пуска [7]. Данный способ регулирования скорости основывается на управлении смещением магнитных потоков ротора и статора асинхронного двигателя относительно друг друга за счет механического вращения статора. Другими словами, управление скольжением поля статора двигателя относительно ротора оказывает влияние на частоту вращения ротора:

$$n = \frac{f60}{p(1-s^*)}$$

где n – частота вращения ротора; p – число пар полюсов; s^* – скольжение с учетом вращения статора; f – частота напряжения питания электродвигателя.

Таким образом, описанный способ может быть использован в установках, имеющих привод от асинхронных короткозамкнутых электродвигателей переменного тока для обеспечения минимизации пусковых токов при большом пусковом моменте, при этом в случае необходимости можно регулировать частоту вращения двигателя и после его пуска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на полезную модель №66636. Ветроэнергетическая установка/В.М. Чебан, А.В. Коновалов, 12.04.2007.
2. Патент на полезную модель №147381. Регулируемый электропривод переменного тока/ В.М. Чебан, М.Ю. Марков, В.И. Бобрик, НГТУ, 10.06.2014.
3. **Васин В.М.** Электрический привод: Учебное пособие для техникумов. – М.: Высшая школа, 1984, 231 с.
4. **Ильинский Н.Ф.** Основы электропривода: Учебное пособие для вузов.– М.: Издательство МЭИ, 2003, 224 с.
5. **Скойбеда А.Т., Кузьмин А.В., Макейчик Н.Н.** Детали машин и основы конструирования: Учебник/Под общ. ред. А.Т. Скойбеда. – Минск: Высшая школа, 2006, 560 с.
6. **Вольдек А.И.** Электрические машины: Учебник для студентов вузов. – Л.: Энергия, 1978, 832 с.
7. Патент на полезную модель №107009. Регулируемый привод переменного тока/ В.М.Чебан, 14.02.2011.

[24.09.15]

Elektrichestvo (Electricity), 2016, No. 3, pp. 57–60.

Авторы: Чебан Владимир Матвеевич окончил Одесский политехнический институт в 1959 г. Докторскую диссертацию «Фазовое управление в электрических системах» защитил в 1976 г. Профессор кафедры автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета (НГТУ).

Марков Михаил Юрьевич окончил факультет энергетики Новосибирского государственного технического университета в 2015 г. Магистр.

Бобрик Валентин Игоревич окончил факультет энергетики Новосибирского государственного технического университета. Защитил кандидатскую диссертацию «Разработка и следование мероприятий по автоматическому вводу резервного питания для группы синхронных двигателей» в 1984 г. Доцент НГТУ.

Decreasing the Asynchronous Load Startup Currents

CHEBAN Vladimir Matveyevich (Novosibirsk State Technical University – NSTU, Novosibirsk, Russia) – Professor, Dr. Sci. (Eng.)

MARKOV Mikhail Yur'yevich (NSTU, Novosibirsk, Russia) – Master

BOBRIK Valentin Igorevich (NSTU, Novosibirsk, Russia) – Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

A method for minimizing the start up currents of asynchronous electric motors with squirrel-cage rotors by preliminarily speed in gup the statoris shown, and the designof an asynchronous drive equipped with a rotating stator isdescribed. The results of experiments carrie dout on the physical model of an asynchronous drive with a rotating stator developed at the Novosibirsk State Technical University are presented. In the course of investigating the dual-spin electrical machine, a mathematical model of the considered electric drive was constructed in the MATLAB Simulink software environment, and the machine startup modes were calculated. The calculated data of widely used startup methods are compared with the results of startups carried out with the preliminarily speeded up stator. The specific features and advantages of the proposed method for starting asynchronous electric motors are shown, and an economic estimate of this method is given. The possibility of using the stator rotation mode also for adjusting the rotor rotation speed after the startupis out spoken.

Key words: asynchronous electric drive, motor with a squirrel-cage rotor, minimization of startup currents, economic estimate

REFERENCES

1. **Patent RF No. 66636.** *Vetroenergeticheskaya ustanovka* (Wind turbine)/V.M.Cheban, A.V. Konovalov, Publ. 12.04.2007.
2. **Patent RF No. 147381.** *Reguliruyemyi elektroprivod peremennogo toka* (Adjustable AC Drives)/V.M. Cheban, M.Y. Markov, V.I. Bobrik, Publ. 10.06.2014.
3. **Vasin V.M.** *Elektricheskii privod* (Electric drive). Moscow, Publ. «Vysshaya shkola», 1984, 231 p.

4. **Il'inskii N.F.** *Osnovy elektroprivoda* (Electric drive basics). Moscow, Publ. of the Moscow Power Engineering Institute, 2003, 224 p.

5. **Skoybeda A.T., Kuz'min A.V., Makeichik N.N.** *Detali mashin i osnovy konstruirovaniya* (Machine parts and design principles). Minsk, Publ. «Vysshaya shkola», 2006, 560 p.

6. **Vol'dek A.I.** *Elektricheskkiye mashiny* (Electrical machines). Leningrad, Publ. «Energiya», 1978, 832 p.

7. **Patent RF No. 107009.** *Reguliruyemyi privod peremennogo toka* (Adjustable AC Drives)/V.M. Cheban, Publ. 14.02.2011.

