

УДК 621.311.2:621.313.333

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПУСКА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ПОСАДКУ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ГРЭС

Палкин А.Ф., Любимов Э.В.

ГОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,  
Пермь, e-mail: palkinanton@gmail.com

В статье исследуются способы пуска асинхронного электродвигателя АО2-20-83-12У1 мощностью 5 МВт и напряжением 6 кВ, используемого для привода вентиляторов и дымососов энергоблоков Пермской ГРЭС. Рассматриваются 3 способа пуска: прямой пуск, пуск с помощью устройства плавного пуска и пуск с помощью преобразователя частоты. Путем компьютерного моделирования в программной среде Matlab + Simulink оценивается влияние каждого способа пуска на посадку напряжения в электрической сети собственных нужд ГРЭС. В итоге моделирования и сравнительного анализа результатов доказываемся целесообразность использования безударного пуска электродвигателя с помощью преобразователя частоты со скалярным управлением по закону постоянства момента, реализуемого в контроллере преобразователя. Кроме того, при модернизации системы пуска электрических двигателей АО2-20-83-12У1 на Пермской ГРЭС рекомендуется использовать систему группового пуска от одного преобразователя.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, преобразователь частоты, устройство плавного пуска, прямой пуск, моделирование пуска электрического двигателя, Пермская ГРЭС

## STUDY WAYS START ASYNCHRONOUS MOTOR UNDER ITS INFLUENCE DECLINE MAINS VOLTAGE ELEKTRO SUPPLY GRES

Palkin A.F., Lyubimov E.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: palkinanton@gmail.com

The article explores how an induction motor start AO2-20-83-12U1 5 MW and 6 kV, used to drive fans and smoke exhausts units Perm GRES. 3 ways to start are considered: direct starting, with the device of smooth start-up and run with a frequency converter. By computer simulation software environment Matlab + Simulink estimated impact of each method to start planting voltage in an electrical network of own needs TPP. As a result, modeling and comparative analysis of the results proved the feasibility of using non-impact starter motor with a frequency converter with a scalar control laws of the inverter controller. In addition, when the electric engine start system upgrading AO2-20-83-12U1 recommended to use the system to start a group of Perm state district power station on one inverter.

**Keywords:** asynchronous motor, frequency converter, the soft starter, direct start, the simulation start the electric motor, Perm GRES

Надежность и эффективность теплоэлектростанции зависит от надежности и эффективности эксплуатации ее энергоблоков. В свою очередь надежность и эффективность работы энергоблока зависит от показателей эксплуатации отдельных технологических узлов и оборудования. Для осуществления горения в топке котла необходим целый ряд ответственных механизмов, к этому числу относятся дутьевые вентиляторы и дымососы. Приводами этих механизмов обычно являются мощные высоковольтные асинхронные электродвигатели. Прямой пуск этих двигателей сопровождается большими пусковыми токами, просадкой напряжения на шинах собственных нужд, увеличением времени пуска, и выходом из строя обмоток двигателя. Ухудшение качества электрической энергии во время прямого пуска приводит к увеличению вероятности выхода из строя, а также

уменьшению надежности, эффективности и ресурса дополнительного оборудования питаемого от шин собственных нужд.

Данная проблема является актуальной для большинства крупных теплоэлектростанций, к числу которых и относится Пермская ГРЭС.

### Описание объекта и технологического узла

На Пермской ГРЭС введено в работу 3 энергоблока, каждый мощностью 800 МВт. В июне 2017 года планируется ввод 4 энергоблока, в результате Пермская ГРЭС увеличит установленную мощность до 3200 МВт и войдет в число пяти крупнейших теплоэлектростанций России.

Для осуществления горения в топке котла на каждом энергоблоке эксплуатируются 2 дутьевых вентилятора и 3 дымососа. Приводами этих механизмов

являются асинхронные электродвигатели АО2-20-83-12У1 мощностью 5 МВт и напряжением 6 кВ каждый. Во время работы энергоблока работают 2 дутьевых вентилятора (ДВ) и 2 дымососа (ДС). При отключении одного из двух в группе во время работы энергоблока происходит разгрузка энергоблока на 50 %, а при отключении обоих вентиляторов или дымососов – полный останов энергоблока.

### Описание проблемы

Электрические двигатели ДВ и ДС питаются с секций КРУ-6 кВ сети электропитания собственных нужд и пускаются прямым способом. Во время пуска пусковой ток двигателя в 6–6,8 раза превышает номинальный ток, а напряжение на секциях 6 кВ снижается на 17%, на секциях 0,4 кВ собственных нужд на 20%, пуск продолжается от 20 до 30 секунд. При искажении параметров сети во время пуска происходит бросок тока на других электрических двигателях собственных нужд, находящихся в работе (до 130%), восстановление параметров электрических двигателей происходит в течение 5–10 секунд. Эти экспериментальные данные были получены путем анализа трендов пусковых токов двигателей и напряжения на секции питания двигателей, зарегистрированных в SCADA АСУ ТП энергоблоков Пермской ГРЭС. В качестве примера на рис. 1, а и б приведены тренды пусковых токов двигателей ДС и ДВ и напряжения на шине КРУ-6 кВ. Механизм пускается при закрытых шибергах без нагрузки.

### Моделирование способов пуска

#### Прямой пуск

Как указывалось выше, в настоящее время на Пермской ГРЭС осуществляется прямой способ пуска электродвигателей ДВ и ДС. Прямой пуск заключается в непосредственном подключении электродвигателя к питающей сети без вспомогательного оборудования, и данному способу характерны большие пусковые токи и просадка напряжения в сети, от которой питается двигатель [3, 5].

При моделировании сети электропитания, электродвигателя и его нагрузки ДВ или ДС использовались стандартные блоки пакета Simulink [1, 4]. Модель прямого пуска электродвигателя приведена на рис. 2.

Путем моделирования были получены графики изменения во время пуска фазных токов статора, действующего значения линейного напряжения на секции 6 кВ и скорости вращения двигателя. Графики представлены на рис. 3. По временной диаграмме видно, что пусковой ток двигателя в 6,8 раза выше номинального, просадка напряжения равна 17% от номинального, время пуска составляет 21 секунду. Полученные результаты моделирования прямого пуска асинхронного двигателя АО2-20-83-12У1 ДВ полностью согласуются с экспериментальными данными, приведенными выше. Следовательно, параметры моделей питающей сети, электродвигателя и его нагрузки ДВ и сами модели можно воспринимать достоверными и пригодными для моделирования.

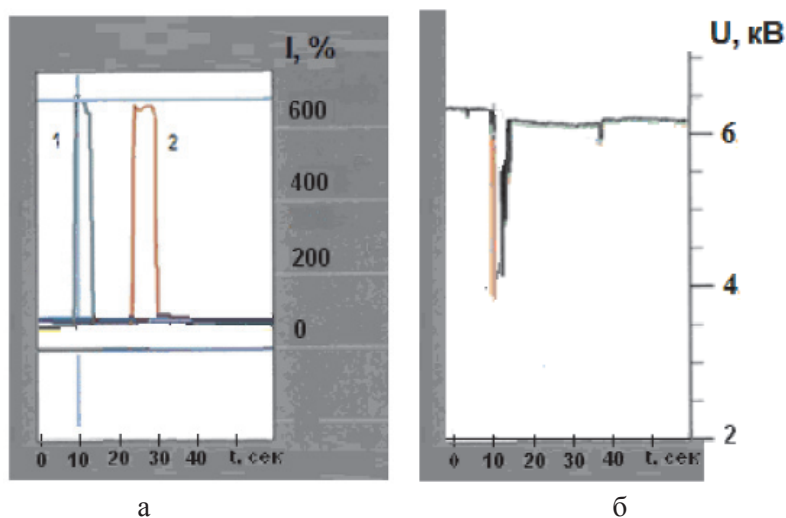


Рис. 1. Пусковые токи электродвигателей:  
а – 1 – ток двигателя ДС; 2 – ток двигателя ДВ; б – напряжение на шинах КРУ-6кВ;  
«1» – ток ДВ-А; «2» – ток ДВ-Б; «3» – ток ДС-А; «4» – ток ДС-В

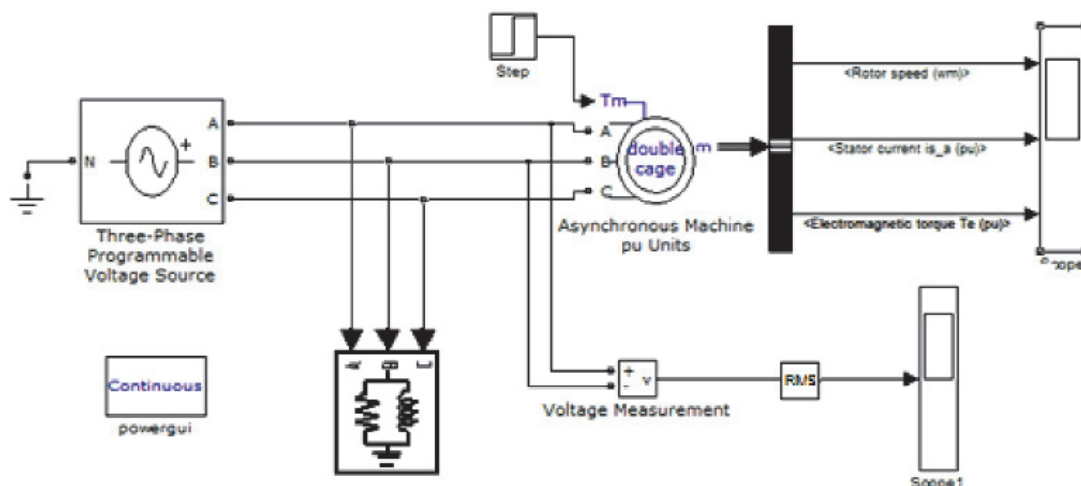


Рис. 2. Моделирование прямого пуска электродвигателя ДВ

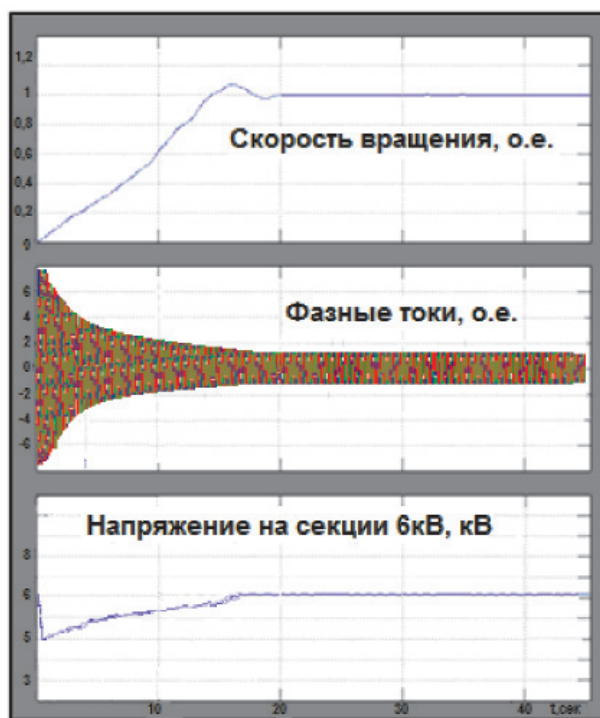
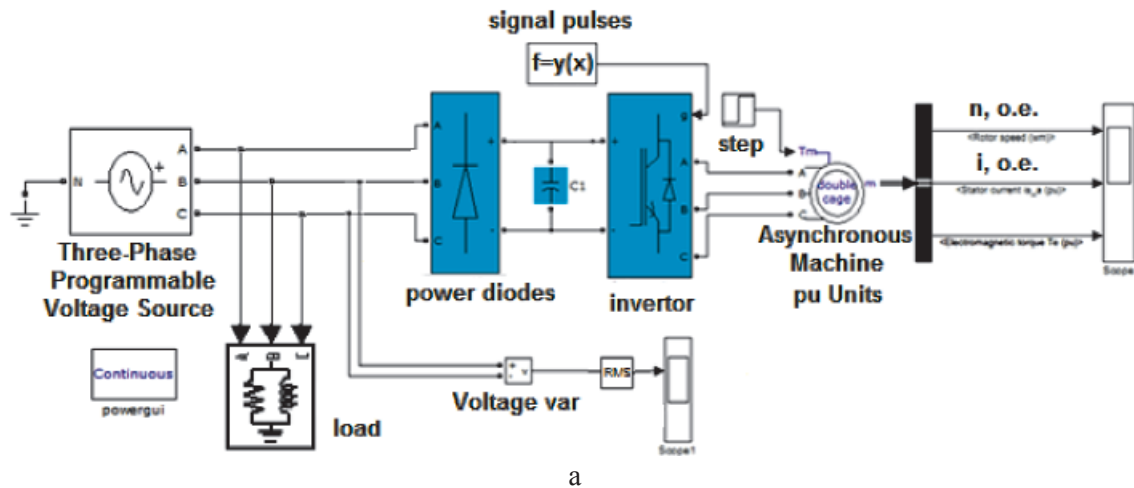


Рис. 3. Временная диаграмма результатов моделирования прямого пуска электродвигателя ДВ

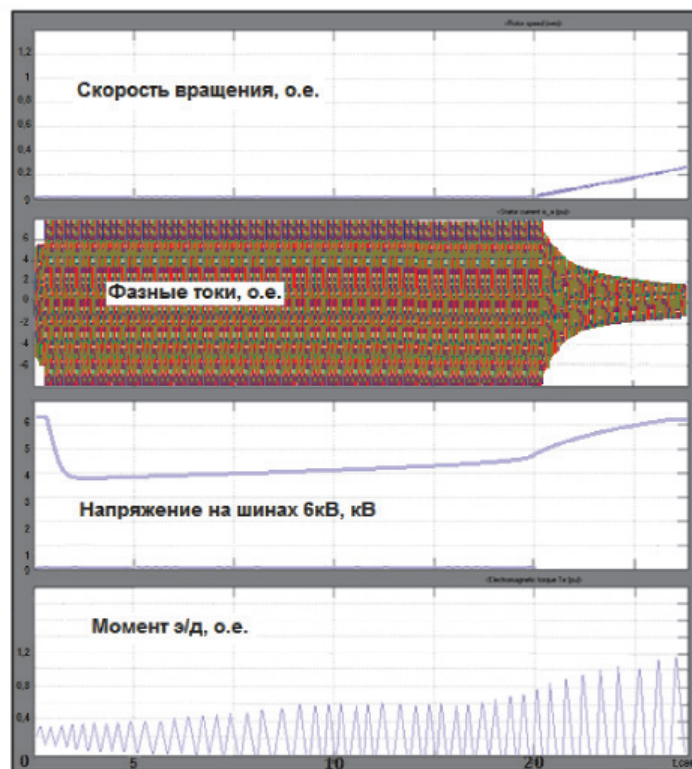
*Пуск с помощью устройства плавного пуска*

В устройстве плавного пуска (УПП) трехфазное переменное напряжение сети сначала выпрямляется с помощью силовых диодов, затем через фильтр и инвертор преобразуется обратно в регулируемое трехфазное переменное напряжение от пониженного в начале пуска с повышением до номинального в конце пуска. Тем самым возможно уменьшать величину напряжения перед двигателем во время пуска и снижать его пусковой ток [2].

Модель стандартного УПП соответствует регулированию напряжения с начальным значением 30% от номинального напряжения питающей сети. Данное регулирование должно обеспечить ограничение пусковых токов до 3–3,4-кратных номинальному и времени пуска, равному 35–50 секунд. Модель пуска электродвигателя ДВ с помощью УПП приведена на рис. 4, а. Силовой диод и инвертор были реализованы блоками Universal bridge. Фильтр был реализован с помощью блока Parallel RLC Branch [1, 4]. Результаты моделирования плавного пуска представлены на рис. 4, б.



a



б

Рис. 4. Моделирование пуска электродвигателя ДВ с помощью УПП: а – модель; б – временная диаграмма результатов моделирования

По временной диаграмме видно, что пусковой момент, создаваемый при первоначальном напряжении УПП, равном 0,3 от номинального напряжения, недостаточно велик для пуска двигателя, т.к. момент сопротивления оказывается больше пускового. При этом токи начинают увеличиваться до 8–10-крат номинального значения. В реальной системе пуска это может привести к срабатыванию защиты УПП и отмены процесса пуска или в противном случае,

к повреждению силовых элементов УПП и обмотки двигателя. Напряжение на секции 6 кВ падает до 3,7 кВ в первоначальный момент пуска двигателя. Ротор двигателя начинает трогаться с места через 20 секунд после начала пусковых процессов при 80–90% номинального значения напряжения секции 6 кВ. Полученные результаты моделирования свидетельствуют о том, что стандартное УПП не подходит для пуска электрического двигателя АО2-20-83-12У1.

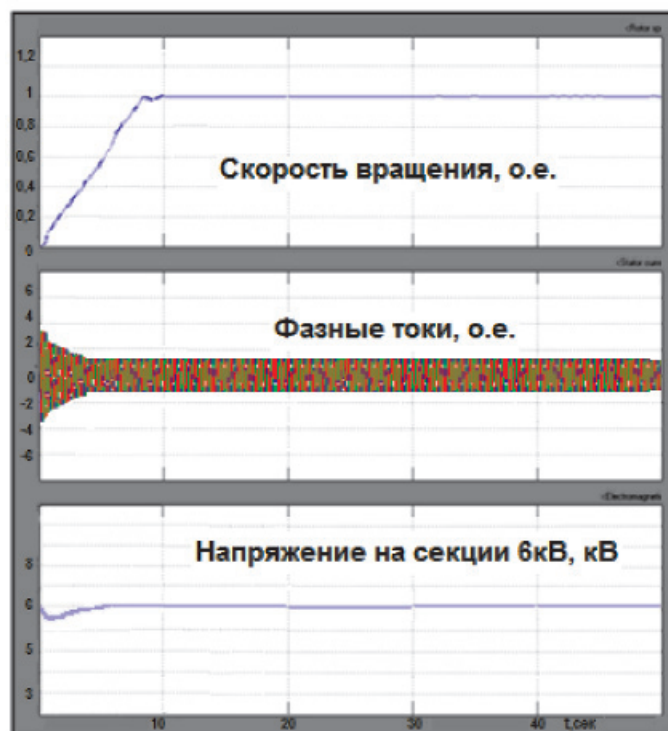
*Пуск электрического двигателя с помощью преобразователя частоты*

Существует несколько разновидностей принципов управления преобразователем частоты (ПЧ). Основные и наиболее распространенные: скалярное и векторное. Оба принципа имеют свои достоинства и недостатки [2]. Используя векторное управление, реализуется возможность регулирования частоты вращения электродвига-

теля в широком диапазоне. Тем самым можно вывести из эксплуатации направляющий аппарат ДС и ДВ, который эксплуатируется в качестве автоматической воздушной заслонки для регулирования нагрузки по воздуху/газу, и получить лучшие показатели ведения технологического режима при нагрузке и разгрузке энергоблока. Но основной недостаток векторного управления – это высокая цена оборудования и наладки.



а



б

Рис. 5. Моделирование пуска электродвигателя ДВ с помощью ПЧ: а – модель; б – временная диаграмма результатов моделирования

В связи с тем, что основной задачей использования ПЧ является обеспечение безударного пуска, то рекомендуется использовать ПЧ со скалярным управлением по закону постоянства момента, реализуемого в контроллере преобразователя. В контроллере задается скорость пуска и ограничение пускового тока. С помощью параметров задания и обратной связи формируются сигналы управления инвертором [2].

Модель пуска электродвигателя ДВ с помощью ПЧ приведена на рис. 5, а. В модели для реализации инвертора и контроллера использованы стандартные блоки Simulink [1, 4]. Результаты моделирования пуска электродвигателя АО2-20-83-12У1 ДВ с помощью ПЧ представлены на рис. 5, б. По временной диаграмме видно, что пусковой ток только в 2,85 раза выше номинального тока, напряжение на секциях 6 кВ снижается только до 5,8 кВ, время пуска не превышает 11 секунд. Таким образом, пуск асинхронного двигателя ДВ с помощью ПЧ является безударным и обеспечивает наименьшую посадку напряжения на секциях 6 кВ.

#### Заключение

Анализ результатов моделирования показывает, что использование для пуска электрического двигателя АО2-20-83-12У1 преобразователя частоты является наиболее целесообразным. Повышение тока в момент пуска до величины в 2,85 раз выше номи-

нального не приведет к просадке напряжения больше предельно допустимого значения. Использование ПЧ дает ряд других преимуществ, таких как: предотвращение опрокидывания ротора двигателя, уменьшение энергопотребления и др. Однако есть и недостатки. Основной недостаток – стоимость оборудования достаточно велика. Так как на Пермской ГРЭС эксплуатируется 15 мощных электрических двигателей АО2-20-83-12У1, то при модернизации системы пуска целесообразно использовать схемное решение группового пуска от одного преобразователя.

Произведя модернизацию данного технологического узла, можно увеличить надежность эксплуатации энергоблока и электрической станции в целом.

#### Список литературы

1. Дж. Дэбни. Simulink 4. Секреты мастерства / Дж. Дэбни, Т. Харман. – Бином. Лаборатория знаний, 2003. – 404 с.
2. Информационный портал об устройствах плавного пуска и частотных преобразователях. – <http://chastotnik.pro/> (дата обращения: 19.02.2016).
3. Копылов И.П. Электрические машины: учеб. для электромехан. и электроэнергет. специальностей вузов – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк.: ЛОГОС, 2000. – 607 с.
4. Курбатова Е.А. MATLAB 7. Самоучитель.– М.: Вильямс, 2005. – 256 с.
5. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учеб. для сред. спец. учеб. заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 376 с.