

УДК 621.313

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НАСОСАМустафаев И.А.¹, студент гр. 5А27, IV курс,Гнеушев В.В.¹, старший преподавательНаучный руководитель Ляпунов Д.Ю.¹, к.т.н., доцент¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

Исследована система управления погружным асинхронным электроприводом насоса с применением преобразователя частоты, закона скалярного управления $\frac{U}{f^2} = \text{const}$ и задатчика интенсивности на базе компонента rate limiter среды Matlab Simulink. Разработана соответствующая модель и определены показатели качества переходных процессов. Модель позволяет оценивать эффективность алгоритмов управления электроприводов турбомеханизмов.

Ключевые слова: система управления, погружной электродвигатель, электроцентробежный насос, плавный пуск, задатчик интенсивности.

Добыча нефти посредством погружных электроцентробежных насосов занимает является в настоящее время одним из самых эффективных решений в нефтяной отрасли. В статье [1] рассмотрены энергетические показатели электропривода погружного электроцентробежного насоса с погружным асинхронным электродвигателем марки ПЭДМТ 63103 при прямом пуске.

В данной статье предложен вариант плавного пуска электродвигателя посредством преобразователя частоты в разомкнутой системе. Данное решение является распространенным для большинства турбомеханизмов [2] и служит для уменьшения динамических нагрузок двигателя в период пуска и плавного перехода с одной частоты вращения на другую.

Исследуемая модель системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» в среде Matlab Simulink приведена на рис. 1.

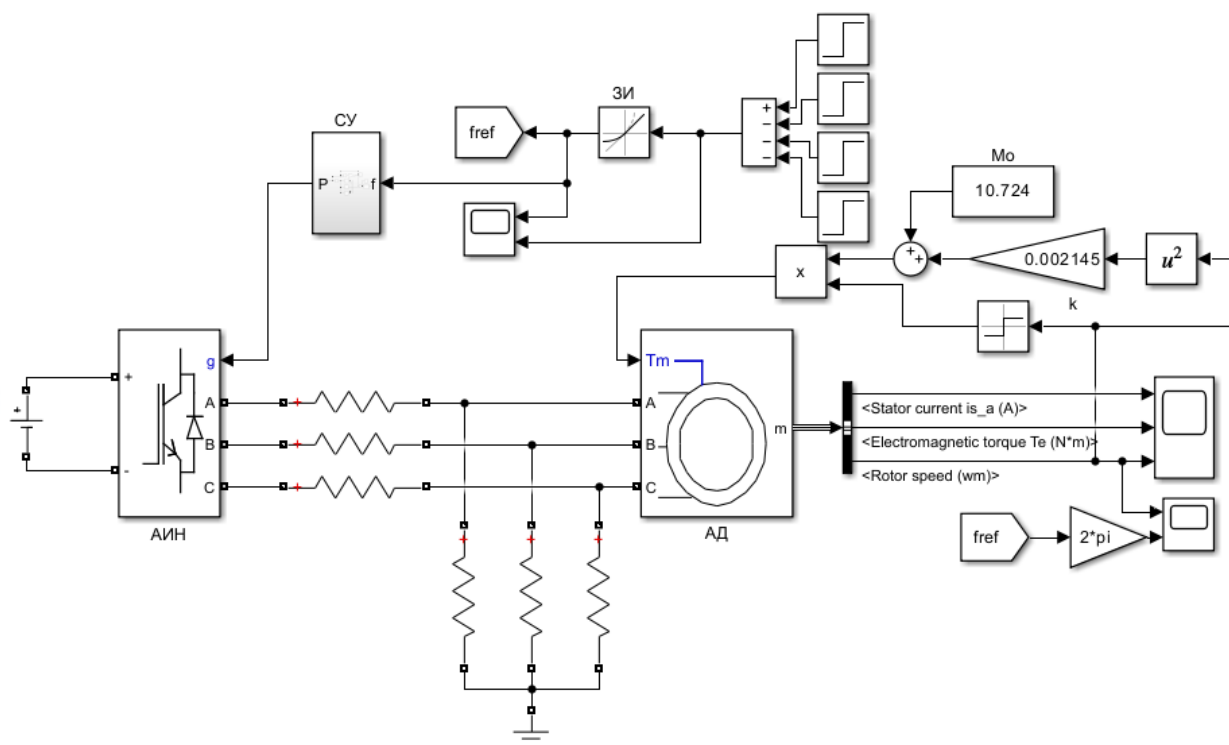


Рис. 1. Исследуемая модель системы в среде Matlab Simulink

Преобразователь частоты идеализированно представлен в виде автономного инвертора напряжения, получающего питание от звена постоянного тока в виде идеального источника постоянного напряжения величиной 2416 В. Несущая частота для формирования сигнала широтно-импульсной модуляции (ШИМ) составляет 5 кГц.

Параметры схемы замещения электродвигателя и насосной нагрузки приведены в статье [1]. В рамках данной работы для управления асинхронным электроприводом применен скалярный закон управления $\frac{U}{f^2} = \text{const}$ [3].

В исходной системе при скачкообразном задании частоты 50 Гц на вход системы управления СУ кривые тока статора и электромагнитного момента имеют довольно высокие значения несмотря на то, что кривая угловой частоты вращения имеет плавный характер (рис. 2). Максимальное значение электромагнитного момента более чем в 2 раза превышает номинальное значение, составляющее 190 Н·м. При этом максимальное значение тока статора в период пуска превышает его амплитуду в установившемся режиме (44 А) более чем в 3 раза. В кривых электромагнитного момента и тока статора присутствуют пульсации, обусловленные ШИМ.

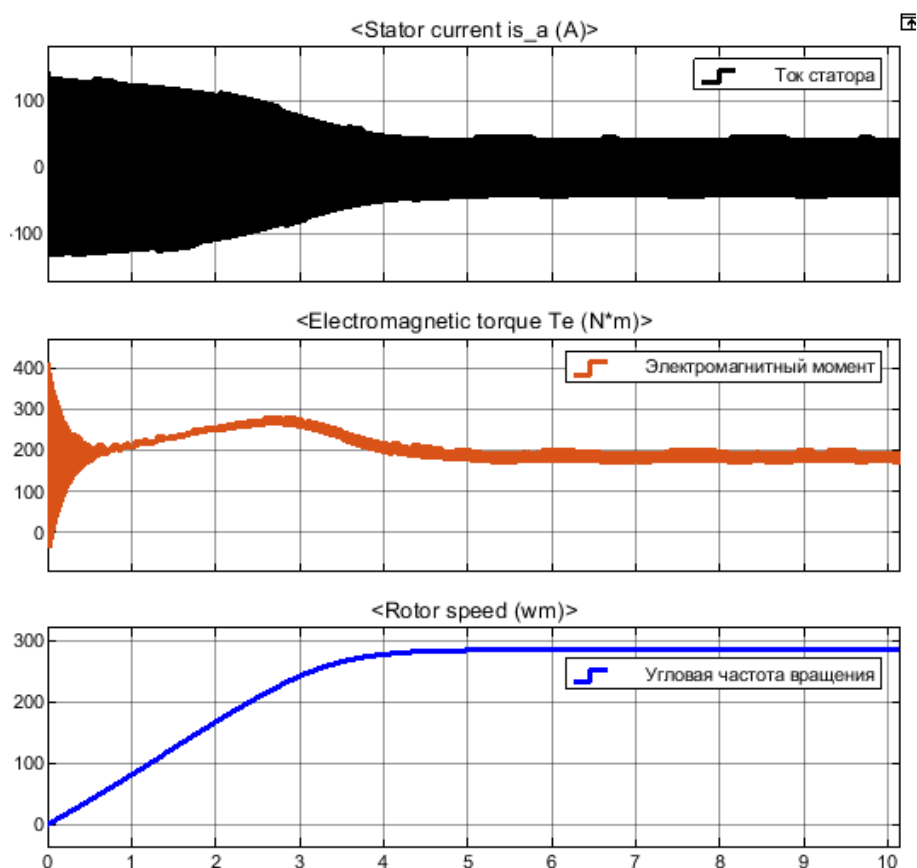


Рис. 2. Динамические характеристики электропривода при скачкообразном задании частоты 50 Гц

С целью уменьшения значений электромагнитного момента и тока статора воспользуемся задатчиком интенсивности ЗИ (рис. 1), реализованным на основе блока rate limiter с интенсивностями нарастания / убывания сигнала задания на частоту напряжения f_{ref} , равными 10 / -10 Гц/с (рис. 3).

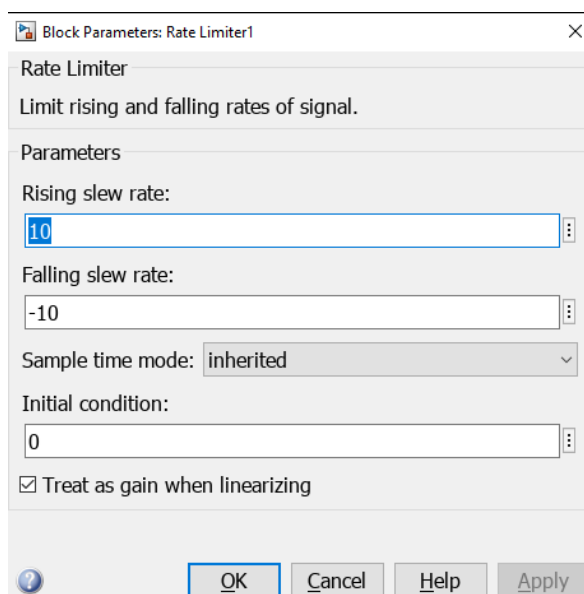


Рис. 3. Настройки блока rate limiter

На основании выше принятых мер по обеспечению плавного разгона / торможения электропривода, реализуем следующий цикл работы. В начальный момент времени частота напряжения статора составляет 10 Гц, и за время равное 4 с нарастает до номинального значения (50 Гц). В течении 5 с электропривод работает в условно номинальном режиме. В момент времени 10 с задание на частоту плавно уменьшается с 50 до 25 Гц до момента времени 12,5 с. Далее до момента времени 20 с электропривод работает с установившимся заданием на частоту 25 Гц. После этого аналогично происходит плавный переход на частоту 10 Гц и затем полный останов. Данный цикл проиллюстрирован на кривой угловой частоты вращения динамических характеристик электропривода с задатчиком интенсивности (рис. 4).

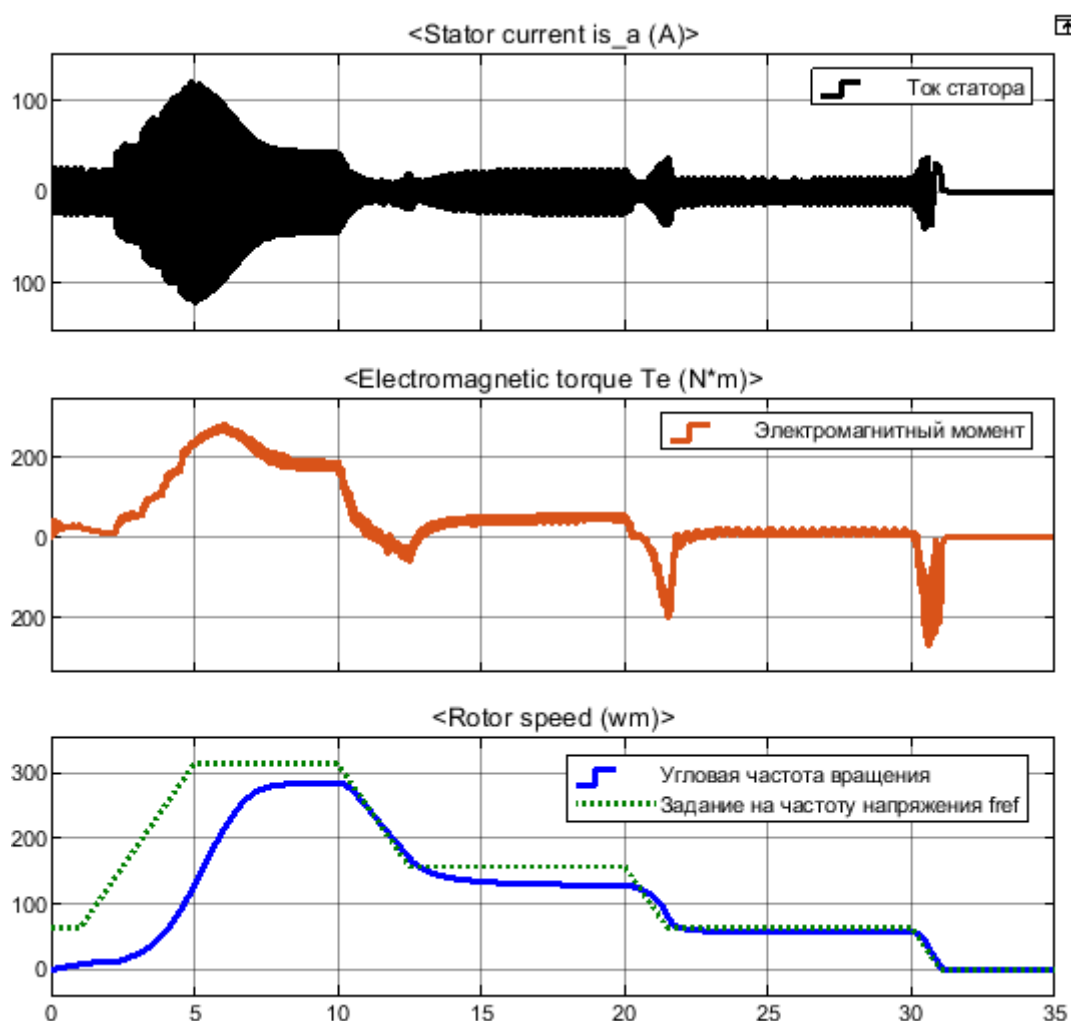


Рис. 4. Динамические характеристики цикла работы электропривода с задатчиком интенсивности

В результате максимальные значения электромагнитного момента и тока статора превышают их номинальные установившиеся значения в 1,4 и 1,7 раза, соответственно, что позволяет значительно уменьшить динамические нагрузки на подшипниковые узлы и другие элементы электродвигателя, а значит повысить время службы электрооборудования.

Результаты исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Показатели качества переходных процессов

Величина	Исходная система	Система с задатчиком интенсивности
Максимальное значение электромагнитного момента, Н·м	425	270
Максимальное значение тока статора, А	137	120

Разработанная структура электропривода погружного электроцентробежного насоса позволяет осуществлять плавный пуск и переход с одной частоты на другую в соответствии с технологическими потребностями. На последующих этапах исследования модель (рис. 1) будет задействована для оценки эффективности алгоритмов управления электроприводов турбомеханизмов, обладающих значительной инерционностью.

К сожалению, кривая задания на частоту напряжения и кривая угловой частоты вращения асинхронного двигателя значительно отличаются особенно в период пуска (нижние кривые на рис. 4). Это обусловлено неотъемлемой характеристикой асинхронного двигателя – скольжением. В дальнейших работах для решения этой проблемы будут исследованы алгоритмы IR-компенсации, компенсации скольжения и векторного управления.

Список литературы

1. Мустафаев, И. А. Энергетические показатели погружного асинхронного электропривода насоса / Мустафаев И. А., Ляпунов Д. Ю. // Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVIII Международной научно-технической конференции, г. Томск, 24–30 ноября 2025 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. кол. М. С. Кухта, Е. Н. Пашков, А. П. Соколов [и др.]. – Томск, 2025. – С. 119-121
2. Лебедев, К.Н. Экспериментальное исследование процесса плавного пуска асинхронного электропривода турбомеханизма // Вестник аграрной науки Дона. 2023. Т. 16. № 1 (61). С. 91–103.
3. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод типовых производственных механизмов : учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, В. М. Завьялов, Н. В. Кояин, Л. С. Удут. – Томск : ТПУ, 2017. – 404 с. – ISBN 978-5-4387-0774-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106737> (дата обращения: 28.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.