

Исследование режима пуска синхронного двигателя с постоянными магнитами мощностью 5,1 кВт с двухзвенным преобразователем частоты с управляемым выпрямителем и двухуровневым инвертором при различных типах нагрузки

Н.В. Дубов, В.Ю. Артамонов, П.С. Зубков, Н.А. Кулаев

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск

Аннотация: В данной работе исследован пуск синхронного двигателя с двухзвенным преобразователем частоты при различных типах нагрузки. Разработана модель в системе моделирования PSIM, рассчитаны коэффициенты, имитирующие различные типы нагрузок. Представлены результаты моделирования двухзвенного преобразователя частоты для синхронного двигателя с вентиляторной, конвейерной и постоянной на валу нагрузками. Отмечены основные особенности пуска для каждого из случаев и сделан вывод на основе проведенных исследований.

Ключевые слова: Двухзвенный преобразователь частоты, синхронный двигатель с постоянными магнитами, математическая модель, надежность, PSIM.

Преимущества использования частотных преобразователей хорошо известны. В первую очередь это значительная экономия электроэнергии за счет регулирования частоты вращения электродвигателя [1,2]. Кроме того, обеспечение плавного частотного пуска с помощью преобразователей частоты (ПЧ) значительно снижает тепловые и механические нагрузки при пуске синхронных двигателей с обмоткой возбуждения ротора и с постоянными магнитами (СДПМ).

СДПМ находит всё большее применение в энергоэффективных системах регулируемого электропривода, так как он обладает высоким коэффициентом полезного действия, лучшим отношением максимальной полезной мощности к массе, а также высокими эксплуатационными характеристиками из-за отсутствия скользящих контактов.

Исследование особенностей работы двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем и двухуровневым инвертором для синхронного двигателя проводилось на модели в PSIM (см. рисунок 1) [3,4].

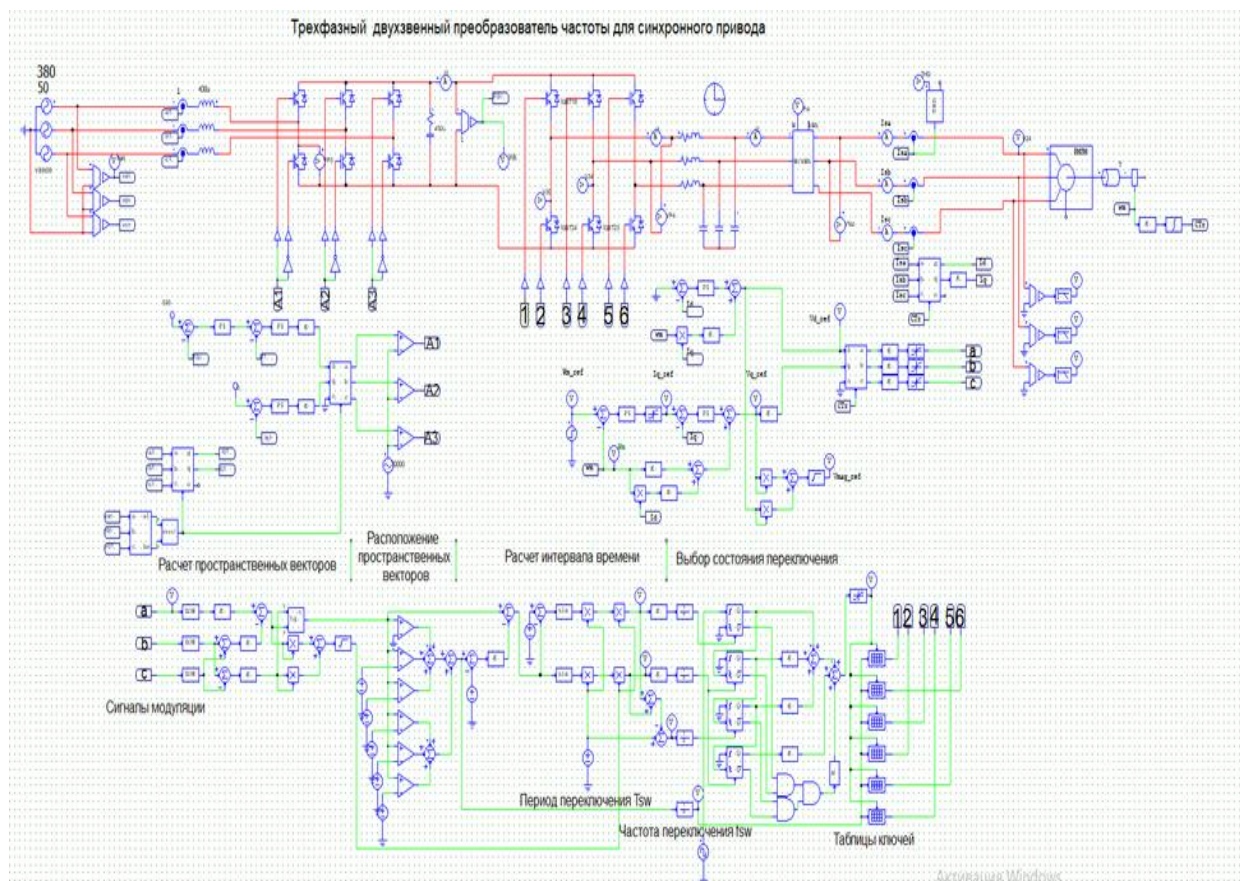


Рисунок 1 – Модель трехфазного двухзвенного преобразователя частоты для синхронного привода с системой управления

С источника входного переменного напряжения 380 В 50 Гц напряжение подается на активный выпрямитель с корректором коэффициента мощности, который стабилизирует напряжение на уровне 535 В, далее напряжение преобразуется двухуровневым инвертором на IGBT ключах в ШИМ частотой 10 кГц [5].

Исследование функционирования преобразователя частоты в номинальных режимах работы с нагрузкой в виде СДПМ показывает высокие энергетические показатели, коэффициент мощности достигает значения в 95 %, а коэффициент нелинейных искажений выходных тока и напряжений составляет менее 5 % [6-8].

Нагрузка двигателя в среде моделирования характеризуется несколькими коэффициентами, которые отражают характер нагрузки [9,10].

Момент на валу при номинальной мощности, равной 5,1 кВт рассчитывается по формуле (1):

$$M = \frac{P_2}{\Omega_2} = \frac{P_2 \times 30}{\pi n} = 9,55 \frac{P_2}{n} = 9,55 \frac{5100}{750} = 64,94 \text{ Нм}, \quad (1)$$

где P_2 – мощность на валу;

Ω – угловая скорость;

n об/мин – скорость вращения.

Коэффициент K_1 , характеризующий конвейерную нагрузку, рассчитаем по формуле (2):

$$K_1 = \frac{M}{\omega} = \frac{64,94}{78,5} = 0,82, \quad (2)$$

где ω – угловая частота.

Коэффициент K_2 , характеризующий вентиляторную нагрузку, рассчитаем по формуле (3):

$$K_2 = \frac{M}{\omega^2} = \frac{64,94}{78,5^2} = 1,053 \times 10^{-2}. \quad (3)$$

Далее представлены результаты моделирования синхронного двигателя и двухзвенного преобразователя частоты при различных нагрузках.

Вентиляторный тип нагрузки (см. рисунок 2) характеризуется плавным нарастанием скорости и момента на валу привода. На диаграмме видно, что время переходных процессов составляет 0,2 секунды. Наблюдается плавное возрастание выходной мощности ПЧ при работе с СДПМ с вентиляторной нагрузкой до номинального значения 5,1 кВт.

Конвейерный тип нагрузки (см. рисунок 3) характеризуется резким скачком момента на валу при пуске электродвигателя. На диаграмме видно, что время переходных процессов составляет 0,2 секунды. Наблюдается скачкообразное возрастание выходной мощности ПЧ при работе с СДПМ с конвейерной нагрузкой до значения 8 кВт и момента на валу электродвигателя до 100 Нм.

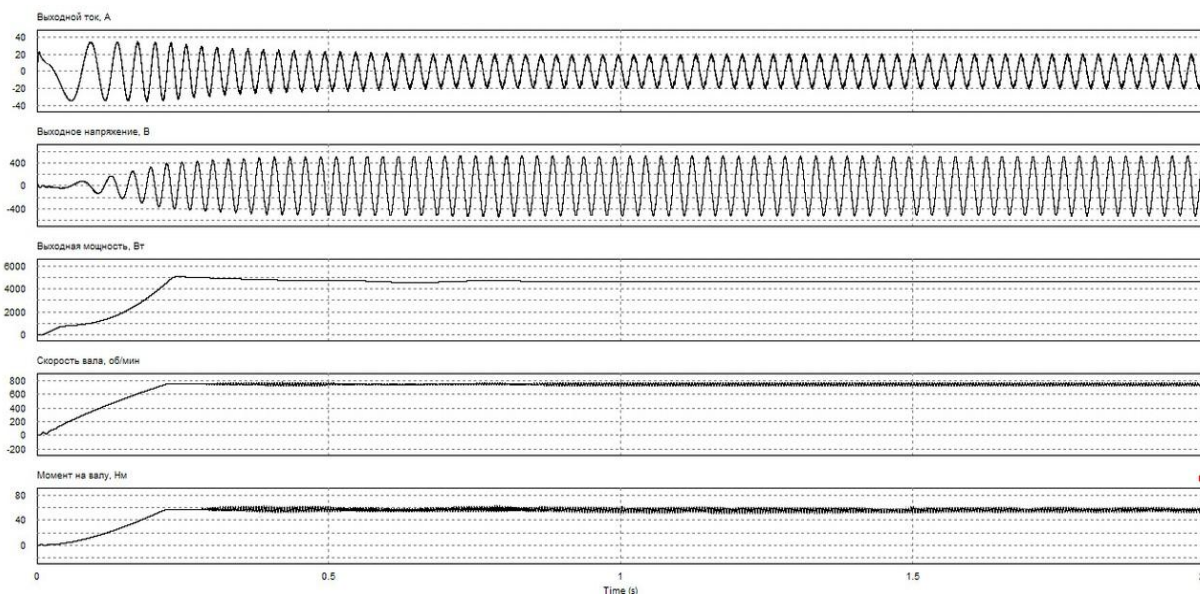


Рисунок 2 – Диаграммы работы ПЧ при пуске двигателя с вентиляторной нагрузкой

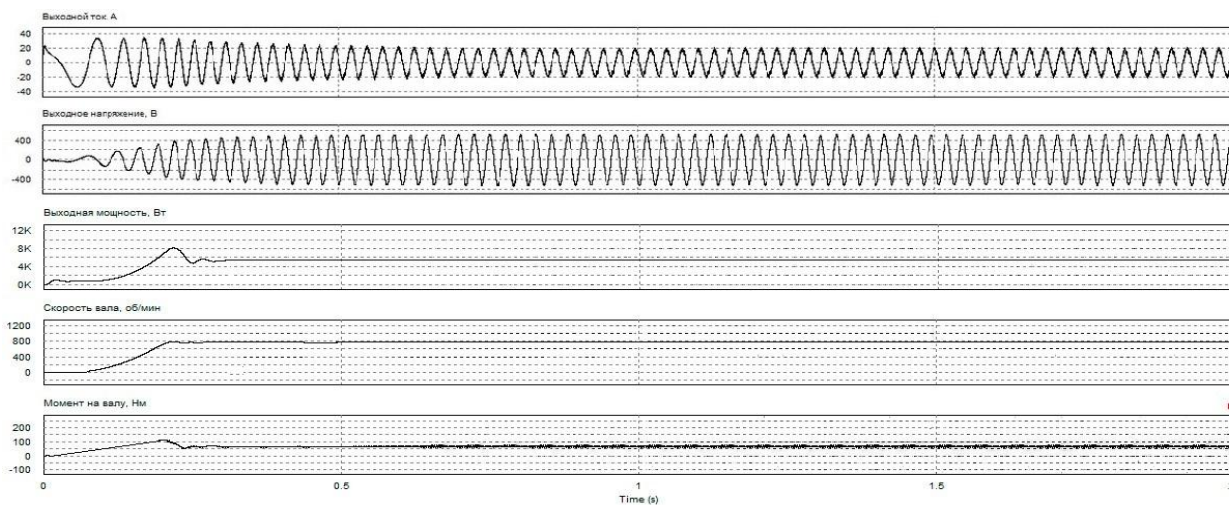


Рисунок 3 – Диаграммы работы ПЧ при пуске двигателя с конвейерной нагрузкой

Пуск двигателя с постоянной нагрузкой на валу (см. рисунок 4) характеризуется постепенным нарастанием скорости и момента на валу привода. На диаграмме видно, что время переходных процессов составляет 0,3 секунды. Наблюдается плавное возрастание выходной мощности ПЧ при работе СДПМ с постоянной на валу нагрузкой до номинального значения.

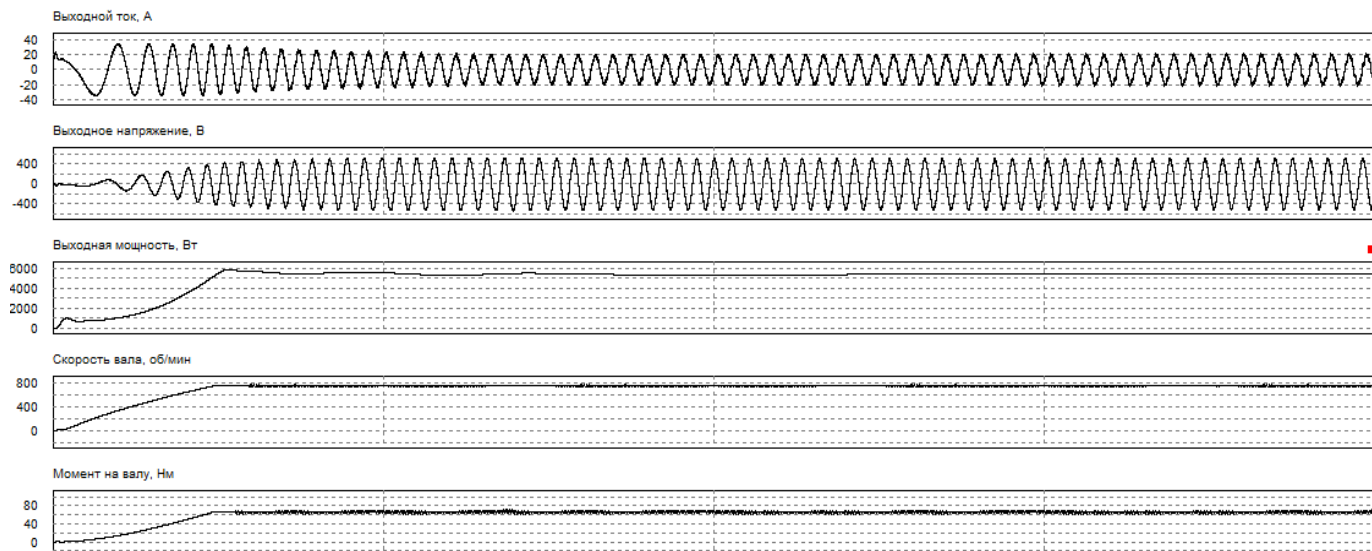


Рисунок 4 – Диаграммы работы ПЧ при пуске двигателя с постоянной нагрузкой на валу

В заключении можно сделать следующие выводы: модель двухзвенного преобразователя частоты с синхронным двигателем, которая исследовалась в данной работе, можно применять в системах, где используются рассмотренные виды нагрузок. Данная схема обладает высокими энергетическими характеристиками, надежностью и устойчивостью, а также способна уменьшить амплитудные значения токов и время переходных процессов при пуске.

Литература

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 373 с.
2. Аракелян А. К., Афанасьев А. А. Вентильные электрические машины в системах регулируемых электроприводов. М.: Высш. шк., 2006. 546 с.
3. Артамонов В.Ю., Дубов Н.В., Бобров М.А. Моделирование режимов работы корректора коэффициента мощности и оценка влияния

параметров входных дросселей и фильтрующих конденсаторов на качество потребляемой электроэнергии в трёхфазных сетях // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 3. 102-107 с.

4. Кулаев Н.А., Зубков П.С. Математическое описание управления синхронным двигателем с постоянными магнитами для аппаратной реализации на ПЛИС // Инженерный вестник Дона. 2019. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6039

5. Чивенков А.И., Гребенщиков В.И., Антропов А.П., Михайличенко Е.А., Расширение функциональных возможностей инвертора напряжения систем интеграции возобновляемых источников энергии и промышленной сети // Инженерный вестник Дона. 2013. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1564

6. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе. СПб.: КОРОНА-Век, 2006. 336 с.

7. Kazmierkowski, M.P. and L. Malesani, 1998. Current control techniques for three-phase voltage-source PWM converters: a survey // IEEE Trans. on Ind. Electronics, 5(45): pp. 691-703.

8. Lechat, S.S., 2010. Voltage oriented control of three-phase boost PWM converters. Design, simulation and implementation of a 3-phase boost battery charger. Göteborg, Sweden: Department of Energy and Environment. Division of Electric Power Engineering. Chalmers University of Technology, 105 p.

9. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. М.: Издательский центр "Академия", 2006. 304 с.

10. Балковой А.П. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 328 с.

References

1. Anuchin A.S. Sistemy upravleniya elektropriwodov [Electric drive control systems]. M.: Izdatel'skiy dom MEI, 2015. 373 p.
2. Arakelyan A. K., Afanas'yev A. A. Ventil'nyye elektricheskiye mashiny v sistemakh reguliruyemykh elektropriwodov [Valve electric machines in regulated drive systems]. M.: Vyssh. shk., 2006. 546 p.
3. Artamonov V.Y., Dubov N.V., Bobrov M.A. Nauchno-tehnicheskiy vestnik Povolzhia. 2019. № 3. pp. 102-107.
4. Kulayev N.A., Zubkov P.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6039
5. Chivenkov A.I., Grebenshchikov V.I., Antropov A.P. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1564
6. Ovchinnikov I.E. Ventil'nyye elektricheskiye dvigateli i privod na ikh osnove [Valve electric motors and their drive]. SPb.: KORONA-Vek, 2006. 336 p.
7. Kazmierkowski M.P., Malesani L. IEEE Trans. on Ind. Electronics. 1998. Vol. 45, №5. pp. 691-703.
8. Lechat, S.S., 2010. Voltage oriented control of three-phase boost PWM converters. Design, simulation and implementation of a 3-phase boost battery charger. Göteborg, Sweden: Department of Energy and Environment. Division of Electric Power Engineering. Chalmers University of Technology, 105 p.
9. Terekhov V.M., Osipov O.I. Sistemy upravleniya elektropriwodov [Electric drive control systems]. M.: Izdatel'skiy tsentr Akademiya, 2006. 304 p.
10. Balkovoy A.P. Pretsizionnyy elektropriwod s ventil'nymi dvigatelyami [Precision electric motor with valve motors]. M.: Izdatel'skiy dom MEI, 2010. 328 p.