

Моделирование преобразователя частоты для синхронного электродвигателя с постоянными магнитами при скачкообразном изменении нагрузки на валу привода

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

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

Аннотация: В данной работе рассмотрено моделирование синхронного электродвигателя мощностью 5,1 кВт с двухзвенным преобразователем частоты с системой управления, следящей за скоростью на валу в среде моделирования PSIM. Были выбраны IGBT модули под ток нагрузки. При этом скачкообразно изменялась нагрузка на валу от 1,25 до 2 от номинального значения.

Ключевые слова: Синхронный двигатель с постоянными магнитами, PSIM, двухзвенный преобразователь частоты, скачкообразное изменение нагрузки.

При проектировании электропривода следует учитывать не только возможные типы нагрузок на валу, но и способность его работы при увеличении нагрузки с сохранением работоспособности электротехнического комплекса [1]. Проектировщик такой системы должен учитывать параметры тока, броски которого могут вывести полупроводниковые приборы из строя при их выборе без соответствующего запаса по параметрам [2].

Для исследования надежности системы была выбрана схема на базе трехфазного активного выпрямителя на IGBT транзисторах с корректором коэффициента мощности (рисунок 1) [3].

Выпрямитель под управлением системы управления стабилизирует выходное напряжение на уровне 535 В с поддержанием заданного коэффициента мощности. Выходное трехфазное напряжение формируется трехфазным двухуровневым мостовым инвертором напряжения на IGBT транзисторах из стабилизированного напряжения 535 В выдаваемого активным выпрямителем. [4]. Выходное напряжение 535 В выбрано, исходя из современного уровня техники полупроводниковых приборов и является оптимальным для ключей 12 класса (1200 В).

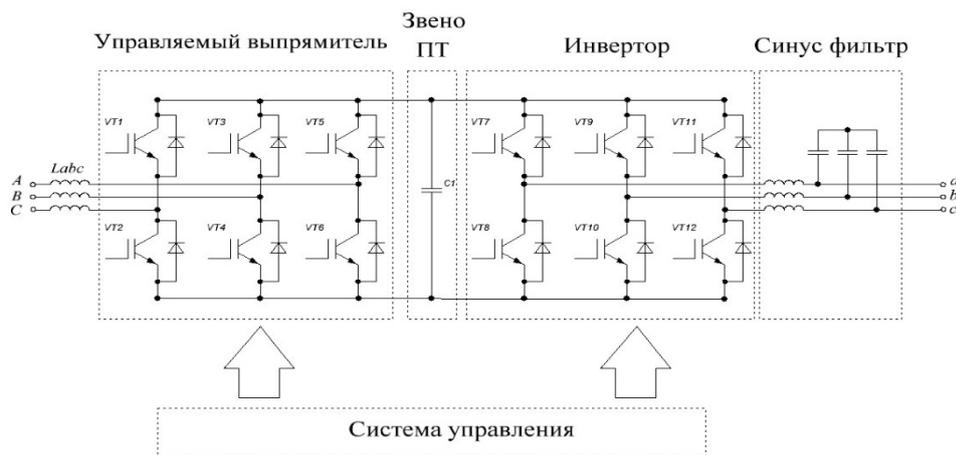


Рисунок 1 – Структурная схема преобразователя частоты

Выходное трехфазное напряжение формируется трехфазным двухуровневым мостовым инвертором напряжения на IGBT транзисторах из стабилизированного напряжения 535 В выдаваемого активным выпрямителем. Использование двухуровневого инвертора позволяет значительно улучшить его энергетические показатели, а также показатели качества выходного напряжения [5-7].

Для уменьшения уровня нелинейных искажений выходного напряжения используется трехфазный синус-фильтр [8].

Чтобы выбрать необходимые IGBT-модули по току рассчитано максимальное значение выходного тока трехфазного инвертора по формуле (1) [9]:

$$I_{C\max} = I_{\phi.\max} = \frac{P_{\text{ном.}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3}}{3 \eta_{\text{ном.}} \cdot \cos \phi U_{\text{л}}} = \frac{6600 \times 1,1 \times 1,1 \times \sqrt{2} \times \sqrt{3}}{3 \times 0,99 \times 0,85 \times 380} = 20,4 \text{ А}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ном.}} = 6,6 \text{ кВт}$ – номинальная мощность потребителей;

$k_1 = 1,1$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току; необходимой для обеспечения динамики электропривода;

$k_2 = 1,1$ – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока;

$\eta = 99\% = 0,99$ – КПД фильтра;

$\cos \phi = 0,85$ – коэффициент мощности потребителей с учетом фильтра.

Были выбраны IGBT M2TKI-50-12 производства ПАО «Электровыпрямитель» г. Саранск [10].

Технические характеристики IGBT-модуля M2TKI-50-12 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики IGBT модуля M2TKI-50-12

Наименование параметра	Условное обозначение	Значение
Напряжение коллектор-эмиттер, В	U_{CE}	1200
Постоянный ток коллектора при $T_C=80\text{ }^\circ\text{C}$, А	I_C	50
Импульсный ток коллектора при $t_p=1\text{ мс}$, $T_C=80\text{ }^\circ\text{C}$, А	I_{Cpuls}	100
Напряжение изоляции ($t=1\text{ мин.}$), В	U_{isol}	2500
Максимально допустимая температура перехода, $^\circ\text{C}$	$T_{j\text{ max}}$	плюс 150

Для проверки работоспособности ПЧ при скачкообразном увеличении момента на валу, было проведено исследование в среде моделирование PSIM, в результате которого увеличивался момент на 1,25Ном, 1,5Ном, 1,75Ном и 2Ном (рисунки 2-5). Более подробно результаты исследований представлены в таблице 2.

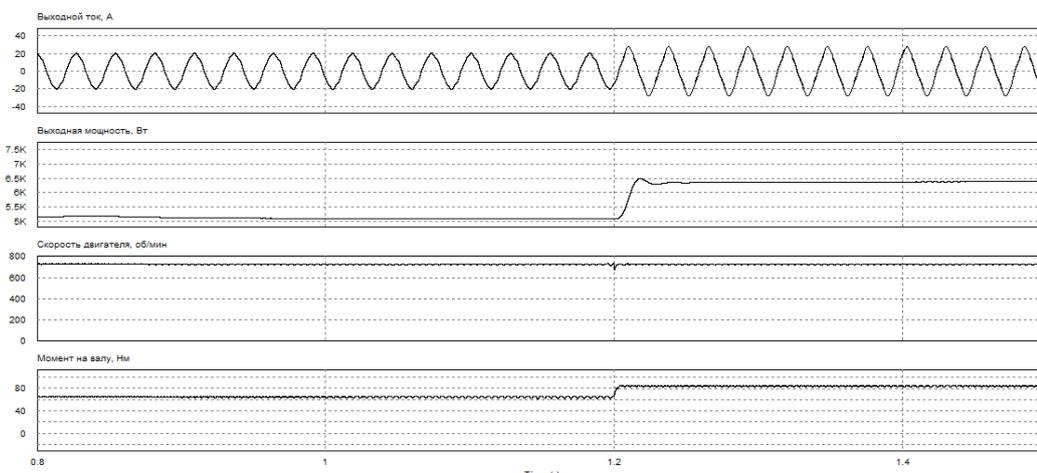


Рисунок 2 – Диаграммы работы ПЧ при скачкообразном увеличении момента на валу 1,25Ном

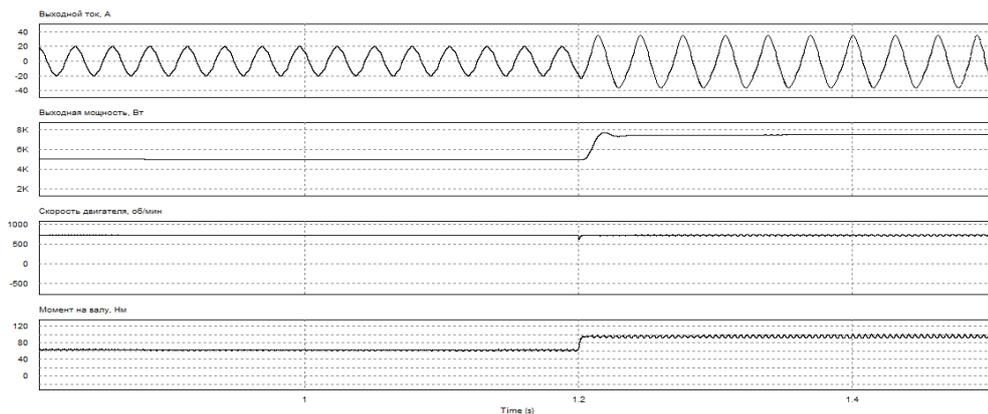


Рисунок 3 – Диаграммы работы ПЧ при скачкообразном увеличении момента на валу 1,5Ном

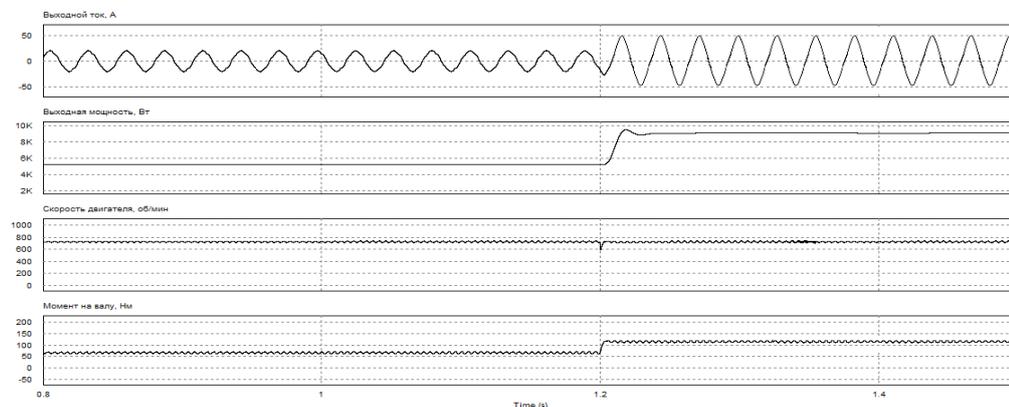


Рисунок 4 – Диаграммы работы ПЧ при скачкообразном увеличении момента на валу 1,75Ном

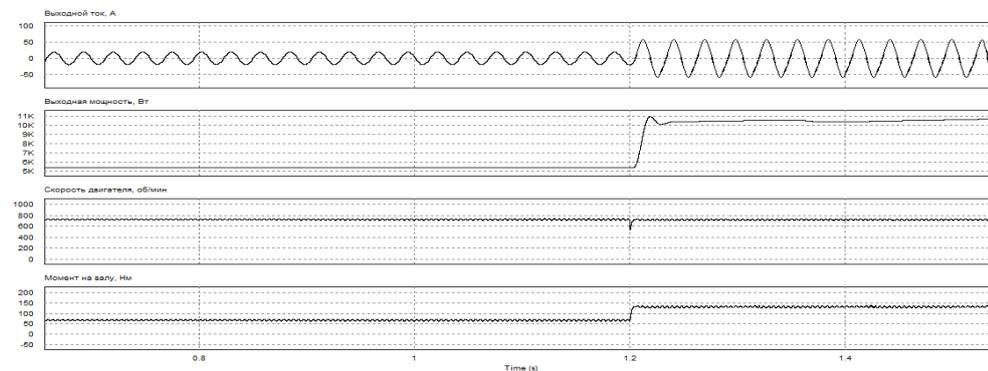


Рисунок 5 – Диаграммы работы ПЧ при скачкообразном увеличении момента на валу 2Ном

Таблица 2 – Результаты исследования синхронного привода при скачкообразном увеличении нагрузки на валу

Момент на валу/ Параметры	1,25Ном	1,5Ном	1,75Ном	2Ном
Максимальная амплитуда тока, А	31	41	49	54
Скачки момента/мощности	очень низкие	низкие	низкие	средние
Допустимая амплитуда тока для силовых элементов	Да	Да	Да	Нет

Результаты исследования синхронного привода при скачкообразном увеличении нагрузки на валу показали, что ПЧ справляется с резким увеличением нагрузки без существенных пульсаций тока, однако нагрузка в 2Ном является не допустимой для рассчитанных элементов схемы, так как ток превышает максимально допустимый в 50 А.

Литература

1. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Изд-во Академия. 2006. 272 с.
2. Артамонов В.Ю., Дубов Н.В., Таланов М.В. Проектирование робастной силовой схемы трехуровневого трехфазного инвертора для асинхронного двигателя мощностью 15 кВт // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 2. с.39-42.
3. Glinka, M. and R. Marquardt, 2005. A new AC/AC multilevel converter family // IEEE Trans. Ind. Electron, 3(52): pp. 662-669.
4. Кулик В.Д. Силовая электроника. Автономные инверторы, активные преобразователи. Учебное пособие // ГОУВПО СПбГУТРИ. СПб. 2010. 90 с.

5. Шайкин А. С., Шайкина Е. В. Применение комплекса полунатурного моделирования в процессе проектирования информационно-измерительных и управляющих систем // Инженерный вестник Дона. 2014. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2248

6. Кастров М.Ю., Герасимов А.А. Однофазные корректоры коэффициента мощности в системах вторичного электропитания // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2004. № 1. 16-20 с.

7. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: учебное пособие. Изд. 3-е. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. с.144-149.

8. 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. с.102-107

9. Noguchi, T., H. Tomini and S. Kondo, 1998. Direct Power Control of PWM Converter without Power-Source Voltage Sensor // IEEE Transactions on Industry Applications, 3(34): pp. 473-479.

10. Официальный сайт компании ОАО «Электровыпрямитель». URL: elvrp.ru/index.php (дата обращения: 2020).

References

1. Sokolovskij, G.G. E`lektroprivody` peremennogo toka s chastotny`m regulirovaniem [Frequency-controlled AC electric drives]. M.: Izd-vo Akademiya. 2006. 272 p.

2. Artamonov V.Y., Dubov N.V., Talanov M.V. Nauchno-texnicheskij vestnik Povolzh`ya. 2018. № 2. pp. 39-42.

3. Glinka, M. and R. Marquardt, 2005. IEEE Trans. Ind. Electron, 3(52): pp. 662-669.



4. Kulik V.D. Silovaya e`lektronika. Avtonomny`e inventory`, aktivny`e preobrazovateli [Power Electronics Standalone inverters, active converters]. GOUVPO SPBGUTRP. SPB. 2010. 90 p.
5. Shajkin A. S., Shajkina E. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2248
6. Kastrov M.Y., Gerasimov A.A. E`LEKTRONIKA: Nauka, Texnologiya, Biznes. 2004. № 1. pp. 16-20.
7. Zinov`ev G.S. Osnovy` silovoj e`lektroniki [The basics of power electronics]. Izd. 3-e. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2004. pp. 144-149.
8. Artamonov V.Y., Dubov N.V., Bobrov M.A. Nauchno-texnicheskij vestnik Povolzh`ya. 2019. № 3. pp. 102-107.
9. Noguchi, T., H. Tomini and S. Kondo, 1998. IEEE Transactions on Industry Applications, 3(34): pp. 473-479.
10. Oficial'nyj sajt kompanii OAO «Elektrovypryamitel'» [Official site of the company Elektrovypryamitel. URL: elvpr.ru/index.php (data obrashcheniya: 2020).