

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Дунаев Михаил Павлович

Д.т.н., профессор, e-mail: mdunaev10@mail.ru

Довудов Сарфароз Умедович

Аспирант, e-mail: dsu_1991@mail.ru

Иркутский национальный исследовательский технический университет,

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83

Аннотация. Статья посвящается моделированию схемы частотно-импульсного преобразователя (ЧИП) в среде Matlab 7.5. Описан принцип работы ЧИП, проведен эксперимент и получены регулировочные и выходные характеристики ЧИП, выполнен анализ характеристик, полученных при моделировании и эксперименте. Показано, что модель схемы ЧИП работает достаточно адекватно.

Ключевые слова: частотно-импульсный преобразователь; широтно-импульсный преобразователь; модель; характеристика.

Цитирование: Дунаев М.П., Довудов С.У. Моделирование схемы частотно-импульсного преобразователя // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 3 (15). С. 144–152. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-3-13

Введение. Наиболее известным и часто применяемым устройством для формирования необходимого закона изменения напряжения является широтно-импульсный преобразователь (ШИП). Из-за относительной простоты, высокой плавности и большого диапазона регулирования [4, 7, 10] ШИП используется в различных отраслях промышленности и техники, особенно он удобен при наличии сети постоянного тока [1, 11]. Кроме того, использование ШИП позволяет получить широкий диапазон регулирования угловой скорости электропривода [12 - 14]. Однако у способа управления с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) имеется ряд недостатков:

- снижение к.п.д.,
- сложный алгоритм управления,
- высокая стоимость силовых транзисторов,
- повышенные электромагнитные помехи.

Устранение указанных недостатков возможно при использовании способа управления с применением частотно-импульсной модуляции (ЧИМ) и синусоидальной формы импульса [3, 5, 6, 9].

Целью работы является моделирование схемы ЧИП, а также анализ его динамических и статических характеристик.

1. Описание схемы. Принцип регулирования выходного напряжения ЧИП [5] заключается в изменении выходной частоты ЧИП при постоянной длительности (ширине) импульса выходного напряжения t_u , т.е. фактически изменяется длительность паузы t_n (рис. 1).

Примером силовой схемы ЧИП может служить схема, показанная на рис. 1. Фактически это схема однофазного инвертора [5, 8], нагрузка R_H которого включена на стороне постоянного (пульсирующего) тока.

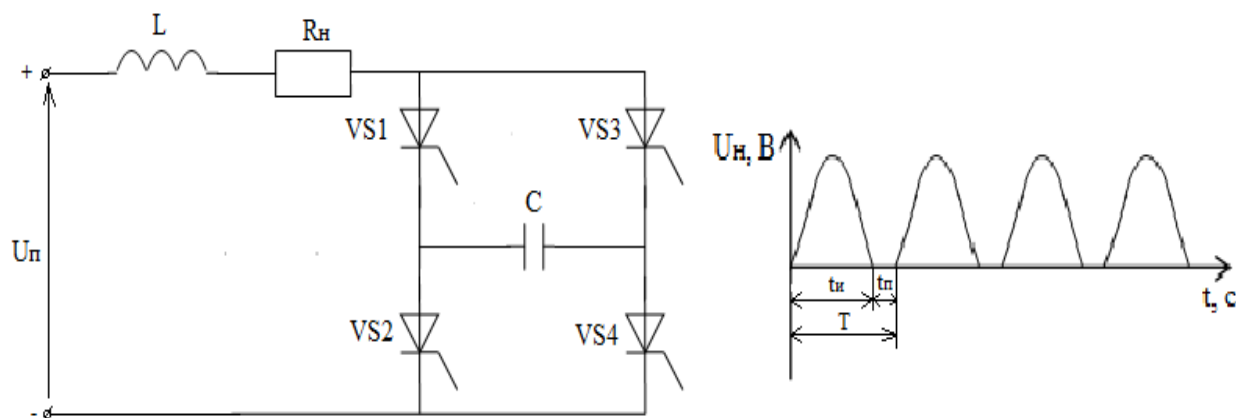


Рис. 1. Схема и диаграммы мостовой схемы ЧИП

Схема состоит из силовых тиристоров VS1-VS4, коммутирующего конденсатора C и коммутирующего дросселя L .

Порядок включения тиристоров схемы: попарно включаются тиристоры VS1, VS4 и VS2, VS3. Затем порядок повторяется.

Основной режим работы схемы (рис. 1) - это режим прерывистого тока в нагрузке. В этом случае имеет место естественная коммутация тиристоров, т.е. тиристоры работающей пары закрываются, когда зарядится конденсатор C и ток уменьшится до нуля. Отметим, что такой способ коммутации весьма надежен.

График зависимости U_n от скважности частоты следования выходных импульсов f называется регулировочной характеристикой ЧИП. Аналитическое выражение для регулировочной характеристики ЧИП:

$$U_n = U_{\max} * f_{отн} ,$$

где U_{\max} - максимальное выходное напряжение силовой схемы ЧИП. Максимальное напряжение U_n получается при максимальном значении относительной выходной относительной частоты $f_{отн} = f / f_{\max}$. Изменяя f , можно регулировать среднее значение напряжения на нагрузке.

2. Описание эксперимента. Эксперимент, использующий схему рисунка 1, был проведен на стенде «Частотно-импульсный преобразователь» в лаборатории В-112 кафедры «Электропривод и электрический транспорт». Цель проведения экспериментального исследования - получение статических характеристик ЧИП. Регулировочная характеристика ЧИП, полученная при эксперименте, показана на рисунке 6. Также на рисунках 8, 9 и 10 показаны выходные характеристики ЧИП при частотах 300 Гц, 600 Гц и 900 Гц.

3. Описание модели. Модель схемы ЧИП (рис. 1), реализованная в среде Matlab 7.5 с использованием блоков из библиотеки SimPowerSystem и Simulink [2], показана на рис. 2.

Модель ЧИП содержит следующие блоки:

- 1 – задающий генератор (ЗГ) импульсов.
- 2 – распределитель импульсов (РИ) по каналам управления.

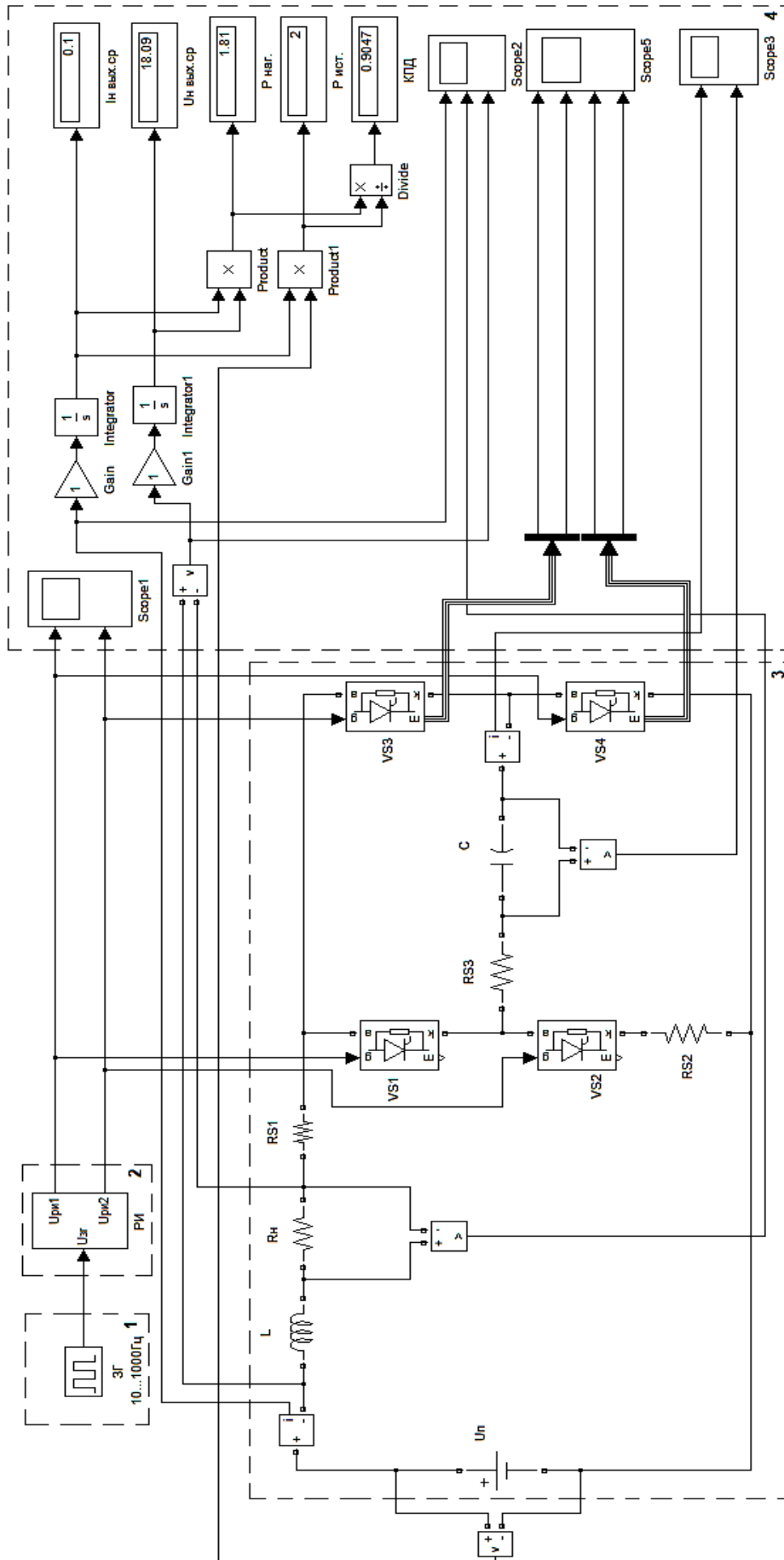


Рис. 2. Модель схемы ЧИП

3 – силовая схема ЧИП, которая состоит из силовых тиристоров $VS1, \dots, VS4$; активной нагрузки R_n ; коммутирующего дросселя L , последовательно соединенного с нагрузкой; коммутирующего конденсатора C , подключенного к середине мостовой схемы и источника питания с напряжением 20 В.

4 – комплекс измерительных приборов.

Разработанная модель блока РИ по каналам управления приведена на рис. 3. На вход РИ подаются прямоугольные импульсы определенной частоты из блока ЗГ. Используя SR-триггер и логические элементы 2И-НЕ, РИ на выходе вырабатывает прямоугольные импульсы со сдвигом 180 градусов и частотой, вдвое меньшей частоты ЗГ.

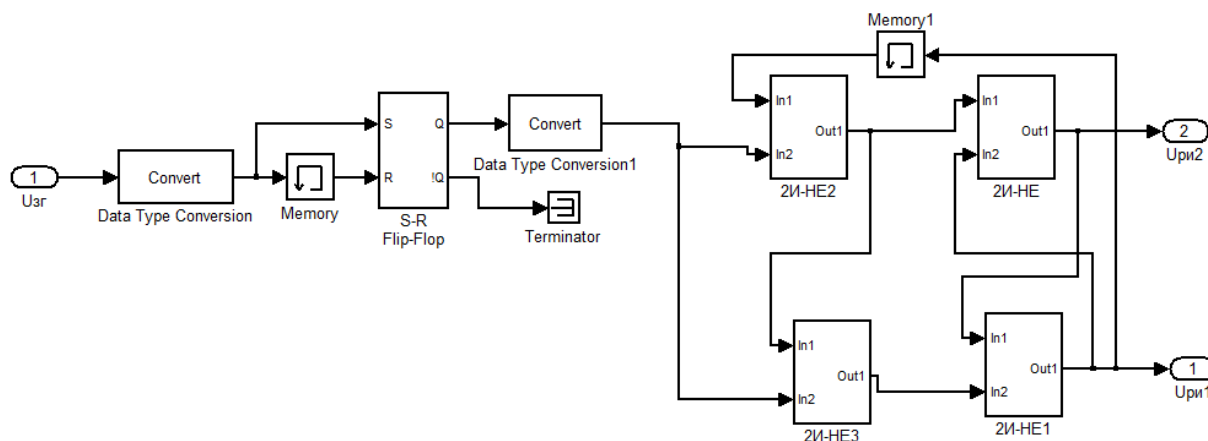


Рис. 3. Модель схемы распределителя импульсов по каналам управления

Напряжение $U_{ри1}$ поступает на управляющие электроды тиристоров $VS1$ и $VS4$ и через индуктивность L , нагрузку R_n и конденсатор C протекает ток. При этом конденсатор C заряжается. При подаче напряжения $U_{ри2}$ для отпирания тиристоров $VS3$ и $VS2$, конденсатор C запирает тиристоры $VS1$ и $VS4$ и ток будет протекать через индуктивность L , нагрузку R_n . Конденсатор C опять начинает заряжаться. Таким образом, отпирание тиристоров происходит при подаче импульсов, поступающих из блока РИ. Запирание тиристоров происходит за счет перезаряда конденсатора C .

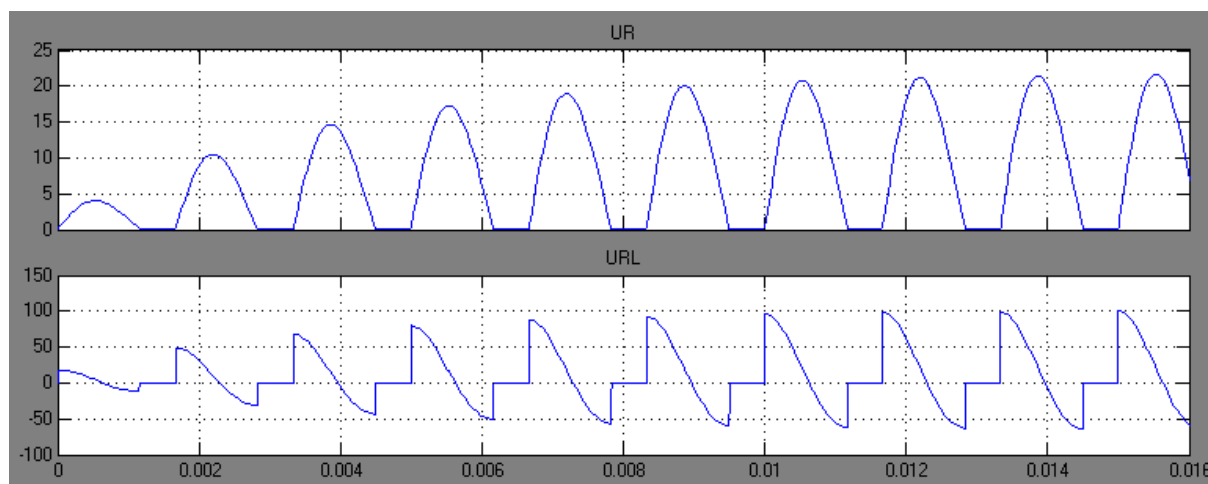


Рис. 4. Временные диаграммы напряжения на активной и активно-индуктивной нагрузке при частоте 300 Гц.

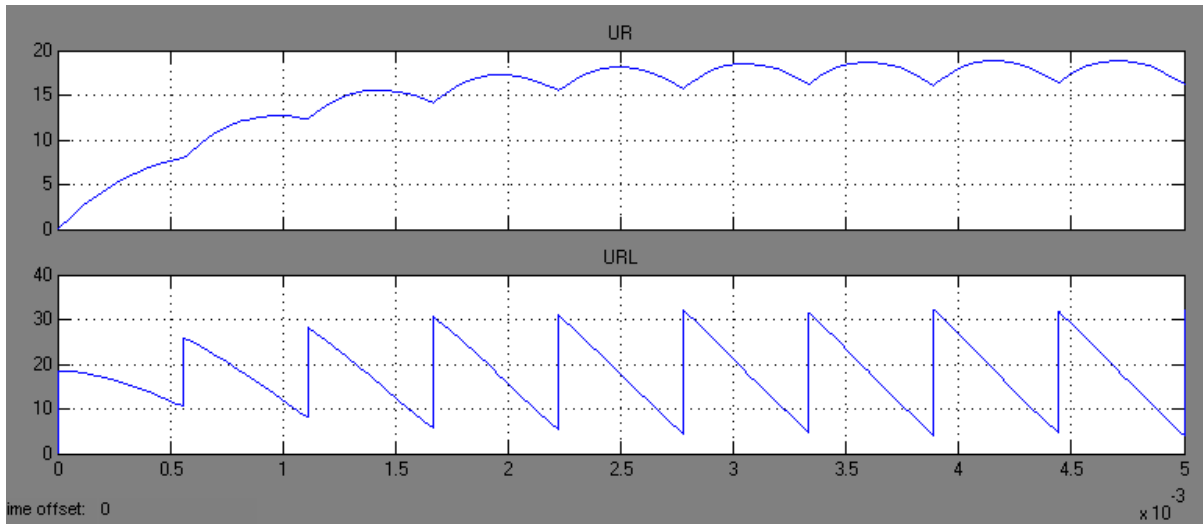


Рис. 5. Временные диаграммы напряжения на активной и активно-индуктивной нагрузке при частоте 900 Гц.

На рисунках 4 и 5 показаны диаграммы напряжения, полученных в результате моделирования на активную (U_R) и на активно-индуктивную нагрузку (U_{RL}) при частотах 300 Гц и 900 Гц. Как видно из диаграммы, при частоте 300 Гц между импульсами идет пауза, а при частоте 900 Гц импульсы налагаются друг на друга, из-за чего статическая регулировочная характеристика ЧИП получается нелинейной.

На рисунке 6 приведены регулировочные характеристики ЧИП, полученные при расчете, моделировании и эксперименте. Как видно из рисунка, характеристика, полученная при моделировании, очень похожа на характеристику, которая получена при эксперименте. Это говорит о том, что модель достаточно качественно отражает работу ЧИП.

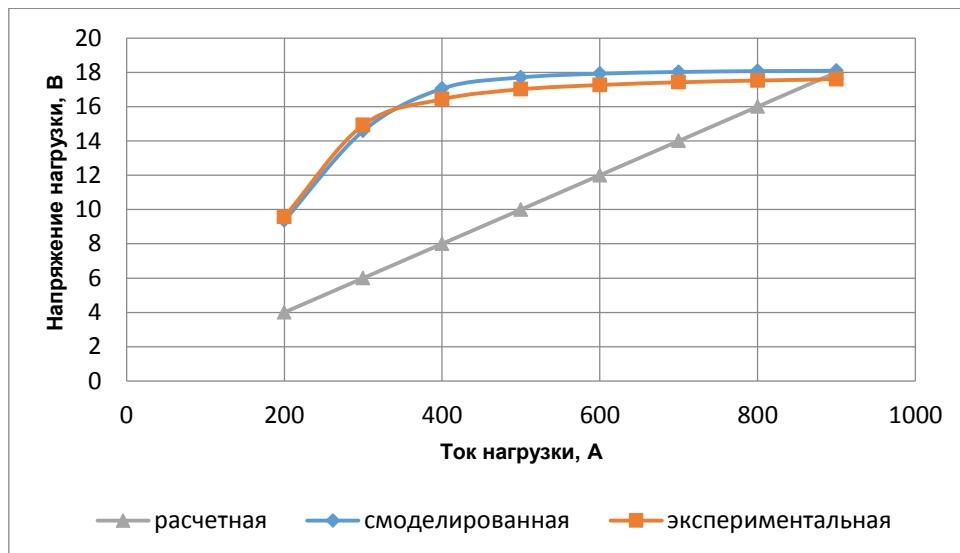


Рис. 6. Регулировочные характеристики ЧИП

На рисунках 7 - 9 показаны выходные характеристики ЧИП при частотах 300 Гц, 600 Гц и 900 Гц, полученные при расчете, моделировании и эксперименте. Полученные модельные выходные характеристики ЧИП достаточно хорошо совпадают с экспериментальными характеристиками.

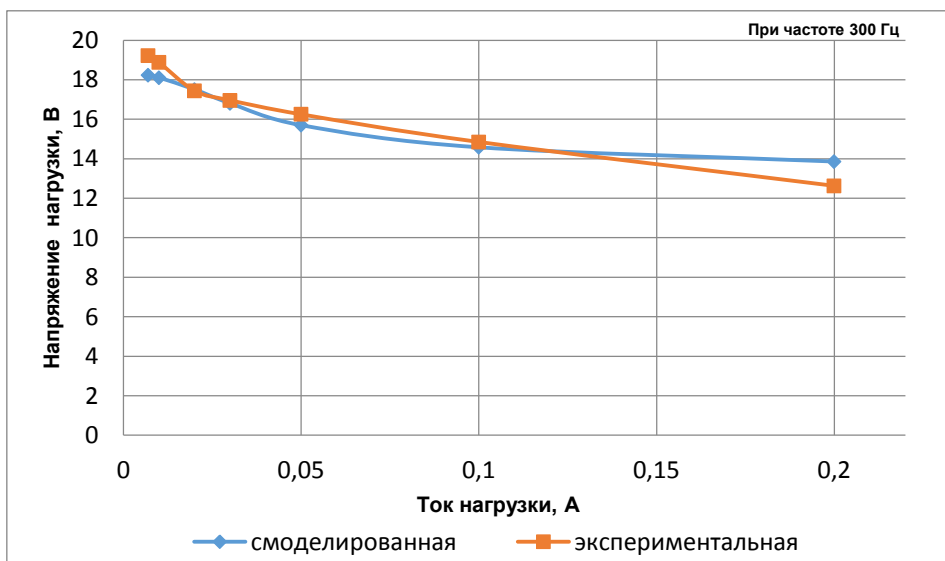


Рис. 7. Выходные характеристики ЧИП при частоте 300 Гц.

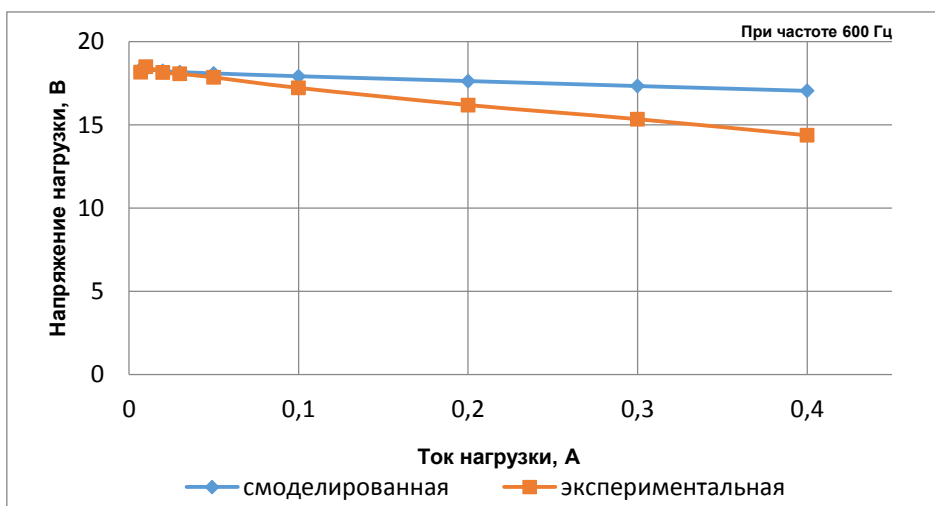


Рис. 8. Выходные характеристики ЧИП при частоте 600 Гц.

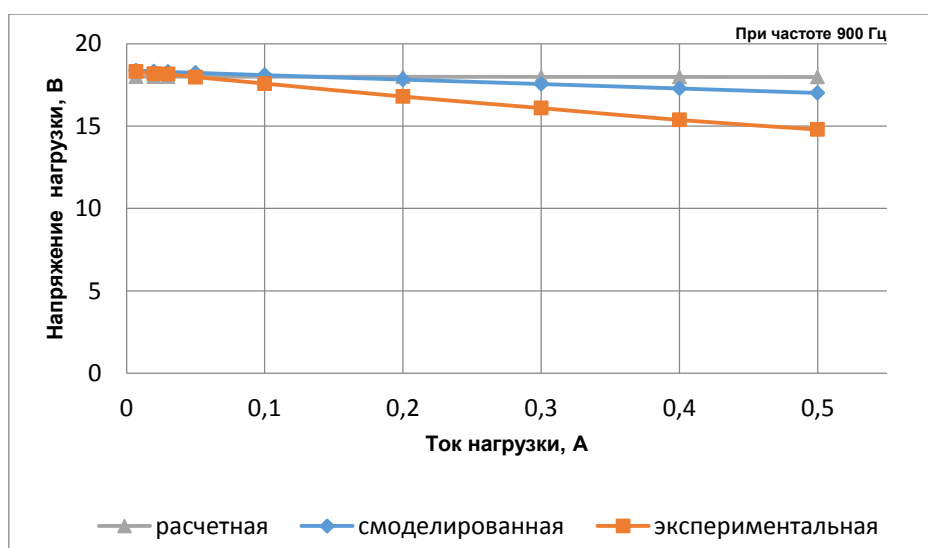


Рис. 9. Выходные характеристики ЧИП при частоте 900 Гц.

Отклонение характеристик модели ЧИП относительно эксперимента при частоте 300 Гц составляет 1,2 %; при частоте 600 Гц – 4,74%; при 900 Гц – 4,99%. Это показывает достаточно высокую адекватность модели ЧИП.

Заключение. Разработана имитационная модель ЧИП в среде Matlab. Получены регулировочные и выходные характеристики модели ЧИП. Анализ полученных статических характеристик модели ЧИП показал, что их отклонение от экспериментальных характеристик не превышает 5%, что свидетельствует о достаточно высокой адекватности модели ЧИП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аль-Равашдех А.Я. Особенности управления электроприводом постоянного тока с использованием широтно-импульсного преобразователя (ШИП) // Вестник ИрГТУ. №1(29). 2007. С. 58–61.
2. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7: Самоучитель. СПб.: БХВ-Петербург. 2005. 1104 с.
3. Булатов О.Г., Царенко А.И. Тиристорно-конденсаторные преобразователи. М.: Энергоатомиздат. 1982. 216 с.
4. Дунаев М.П., Довудов С.У. Моделирование схемы широтно-импульсного преобразователя // В трудах Всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и использования электроэнергии в условиях Сибири». Иркутск: ИРНТУ. 2019. С. 3–7.
5. Дунаев М.П. Резонансные инверторы для управления электроприводами. Иркутск. ИрГТУ. 2004. 103 с.
6. Дунаев М.П., Погорелов С.И. Тенденции развития резонансных инверторов // В трудах Всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и использования электроэнергии в условиях Сибири». Иркутск: ИрГТУ. 2004. С. 32–35.
7. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учебник. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2000. Ч. 2. 197 с.
8. Калашников Б.Е., Кривицкий С.О., Эпштейн И.И. Системы управления автономными инверторами. М.: Энергия. 1974. 103 с.
9. Ли Ф. Будущее – за резонансными источниками питания // Электроника. 1990. № 2.
10. Сандлер А.С., Гусяцкий Ю.М. Тиристорные инверторы с ШИМ для управления асинхронными двигателями. М.: Энергия. 1968. 96 с.
11. Anuja Namboodiri Harshal S. Wani. Unipolar and Bipolar PWM Inverter // International Journal for Innovative Research in Science & Technology. Vol. 1. Issue 7. Dec-2014 ISSN (online) 2349-6010. Pp. 237–243.
12. Baljeet Singh, Rishabh Bhatt, Anubhav Sharma, Shreya Pandit, Harpreet Kaur Channi. Modeling and Designing of Matlab Based Speed Control of DC Motor Using PWM Technique // International Journal of Scientific Research in Science and Technology. Vol. 3. Issue 7. Sep-Oct-2017. ISSN (Online) 2395-602X ISSN (Print) 2395-6011. Pp. 681–686.
13. Khan Masoom Raza, Mohd. Kamill, Pushpendra Kumar. Speed Control of DC Motor by using PWM // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication

Engineering. Vol. 5. Issue 4. April 2016. ISSN (Online) 2278-1021 ISSN (Print) 2319 5940. Pp. 307–309.

14. Nandkishore P.Joshi, Ajay P.Thakar. Speed Control Of DC Motor Using Analog PWM Technique // International Journal of Engineering & technology. Vol. 1. Issue 9. (November 2012). e-ISSN:2278-0181. Pp. 1–5.

UDK 621.314

SIMULATION OF THE FREQUENCY-PULSE CONVERTER CIRCUIT

Mikhail P. Dunaev

Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: mdunaev10@mail.ru

Sarfarozi U. Dovudov

Graduate student, e-mail: dsu_1991@mail.ru

Irkutsk National Research Technical University (ISTU)

83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia

Abstract. The article is devoted to the simulation of the pulse-frequency converter (PFC) circuit in the Matlab 7.5 environment. The authors described the principle of the PFC, carried experiment out got the adjustment and output characteristics of the PFC. The analysis of the characteristics obtained in the simulation and experiment. It is showed that the work of simulated PFC scheme is sufficiently adequate.

Keywords: pulse - frequency converter; pulse - width converter; model; characteristic.

References

1. A.Ya. Al-Ravashdex Osobennosti upravleniya dvigatelem postoyannogo toka s ispol'zovaniyem shirotno-impul'snogo preobrazovatelya (SHIP) [The peculiarities of DC motor control with a pulse-width converter (PWC) // Vestnik IrGTU = Bulletin of ISTU. No 1(29). 2007. Pp. 58–61. (in Russian)
2. Anufriyev I.Ye., Smirnov A.B., Smirnova E.H. MATLAB 7: Samouchitel' [MATLAB 7: Tutorial]. St. Petersburg. BKHV-Peterburg = Publishing House "BHV-Petersburg". 2005. 1104 p. (in Russian)
3. Bulatov O.G., Careno A.I. Tiristoro-kondensatornyye preobrazovateli [Thyristor-capacitor converters]. Moscow. Energoatomizdat = Publishing house "Energoatomizdat". 1982. 216 p. (in Russian)
4. Dunaev M.P., Dovudov S.U. Modelirovaniye skhemy shirotno-impul'snogo preobrazovatelya [Pulse-width converter circuit simulation] // V trudax Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispolzovaniya elektroenergii v usloviyax Sibiri» = In the works of the All-Russian scientific-practical conference «Improving the efficiency of production and application of electricity in Siberia». Irkutsk. IRNITU= Irkutsk National Research Technical University. 2019. Pp. 3–7. (in Russian)
5. Dunaev M.P. Rezonansnyye inventory dlya upravleniya elektroprivodami [Resonant inverters controlling electric drives]. Irkutsk. IrGTU = Irkutsk State Technical University. 2004. 103 p. (in Russian)

6. Dunaev M.P., Pogorelov S.I. Tendencii razvitiya rezonansnykh invertorov [Trends in the development of resonant inverters] // V trudax Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispolzovaniya elektroenergii v usloviyax Sibiri» = In the works of the All-Russian scientific-practical conference «Improving the efficiency of production and use of electricity in Siberia». Irkutsk. IrGTU = Irkutsk State Technical University. 2004. Pp. 32–35. (in Russian)
7. Zinov'yev G.S. Osnovy silovoy elektroniki: Uchebnik [Power Electronics Basics: Textbook]. Novosibirsk. Izdatel'stvo NGTU = Publishing House Novosibirsk State Technical University. 2000. Tom 2. 197 p. (in Russian)
8. Kalashnikov B.Ye., Krivitskiy S.O., Epshteyn I.I. Sistemy upravleniya avtonomnymi invertorami [Autonomous inverters control systems]. Moscow. Energiya = Publishing house “Energy”. 1974. 103 p. (In Russian).
9. Li F. Budushhee – za rezonansnymi istochnikami pitaniya [The future of resonant power sources] // Elektronika = Electronics. 1990. No 2. (in Russian)
10. Sandler A.S, Gusyatskiy YU.M. Tiristornyye inventory s SHIM dlya upravleniya asinkhronnymi dvigatelyami [PWM thyristor inverters for asynchronous motors controlling]. Moscow. Energiya = Publishing house “Energy”. 1968. 96 p. (in Russian)
11. Anuja Namboodiri Harshal S. Wani. Unipolar and Bipolar PWM Inverter // International Journal for Innovative Research in Science & Technology. Vol. 1. Issue 7. Dec-2014 ISSN (online) 2349-6010. Pp. 237–243.
12. Baljeet Singh, Rishabh Bhatt, Anubhav Sharma, Shreya Pandit, Harpreet Kaur Channi. Modeling and Designing of Matlab Based Speed Control of DC Motor Using PWM Technique // International Journal of Scientific Research in Science and Technology. Vol. 3. Issue 7. Sep-Oct-2017. ISSN (Online) 2395-602X ISSN (Print) 2395-6011. Pp. 681–686.
13. Khan Masoom Raza, Mohd. Kamill, Pushpendra Kumar. Speed Control of DC Motor by using PWM // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. Vol. 5. Issue 4. April 2016. ISSN (Online) 2278-1021 ISSN (Print) 2319 5940. Pp. 307–309.
14. Nandkishore P.Joshi, Ajay P.Thakar. Speed Control Of DC Motor Using Analog PWM Technique // International Journal of Engineering & technology. Vol. 1. Issue 9. (November 2012). e-ISSN:2278-0181. Pp. 1–5.