

МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО СИЛОВОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Дунаев Михаил Павлович

Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электропривод и электрический транспорт»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: mdunaev10@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены математическая и физическая модели универсального силового полупроводникового преобразователя. Описана функциональная схема электрического преобразователя. Приведены осциллограммы и статические характеристики электрического универсального силового полупроводникового преобразователя.

Ключевые слова: электрический силовой преобразователь; полупроводник, математическая модель; физическая модель.

Цитирование: Дунаев М.П. Моделирование универсального полупроводникового преобразователя // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №2 (10). С. 128–135. DOI:10.25729/2413-0133-2018-2-13

Введение. Преобразовательная техника - это обширная область инженерного знания, описывающая устройство преобразователей, их работу и характеристики [10]. Силовые полупроводниковые преобразователи (СПП) - это устройства, выполняющие функцию силового управления электрическими двигателями [9].

Все силовые полупроводниковые преобразователи можно разделить на две большие группы: преобразователи постоянного тока и преобразователи переменного тока. Первая группа преобразователей предназначена для регулирования в нагрузке постоянного тока и напряжения, вторая - для регулирования переменного тока и напряжения [2, 4, 8]. К основным типам преобразователей постоянного тока можно отнести управляемый выпрямитель (УВ) и широтно-импульсный преобразователь (ШИП). К основным типам преобразователей переменного тока следует отнести регулятор напряжения (РН) и преобразователь частоты (ПЧ).

Опыт практического применения силовых полупроводниковых преобразователей показывает, что удобно иметь некий универсальный силовой полупроводниковый преобразователь (УСПП), сочетающий в себе возможности регулирования как постоянного, так и переменного напряжения в нагрузке. Разработка такого УСПП позволит сократить номенклатуру необходимых СПП и снизить необходимое количество технической документации [3, 5].

Все вышеизложенное объясняет существующий интерес к УСПП, исследование конструкций которых невозможно без математического и физического моделирования их силовых схем и систем управления.

Удобным для математического моделирования и хорошо зарекомендовавшим себя в использовании является пакет MatLab [1, 6] с широко развитыми приложениями (Toolboxes),

из которых Toolbox Simulink наиболее приспособлен для синтеза и анализа различных электротехнических систем [7].

Цель данной работы - исследование на математической и физической моделях статических и динамических характеристик новой схемы УСПП.

1. Математическая модель универсального силового полупроводникового преобразователя. Для разработки математической модели новой схемы УСПП воспользуемся подходом, изложенным в [5]. На рис. 1, где показана функциональная схема такого УСПП, обозначены следующие блоки: В1, В2 – неуправляемые диодные выпрямители, собранные по трехфазной мостовой схеме; Φ – сглаживающий фильтр; АИН – транзисторный автономный инвертор напряжения; СУИ – система управления инвертором; Н1 – нагрузка переменного тока (асинхронный двигатель); Н2 – нагрузка постоянного тока (двигатель постоянного тока).

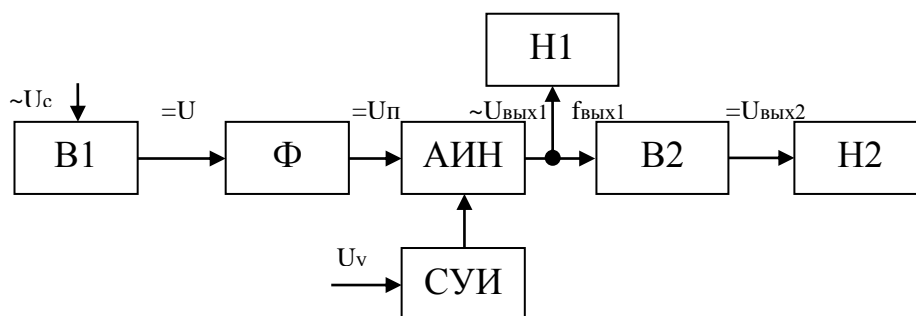


Рис. 1. Функциональная схема УСПП

Неуправляемый выпрямитель В1 преобразует переменное напряжение питающей сети ($\sim U_c$) в выпрямленное постоянное напряжение ($=U$), которое затем сглаживается фильтром Φ (обычно индуктивно-емкостным) и подается в виде напряжения питания ($=U_{\text{п}}$) на автономный инвертор АИН. К выходу АИН может быть подключена либо нагрузка переменного тока Н1, либо через выпрямитель В2 - нагрузка постоянного тока Н2. Выходная частота АИН ($f_{\text{вых1}}$) регулируется с помощью микропроцессорной СУИ, причем амплитуда выходного переменного напряжения АИН ($\sim U_{\text{вых1}}$) и амплитуда выходного постоянного напряжения В2 ($=U_{\text{вых2}}$) также регулируется в блоке СУИ с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Как правило, в качестве силовой схемы инвертора используется трехфазная мостовая схема на IGBT-транзисторах, показанная на рис. 2.

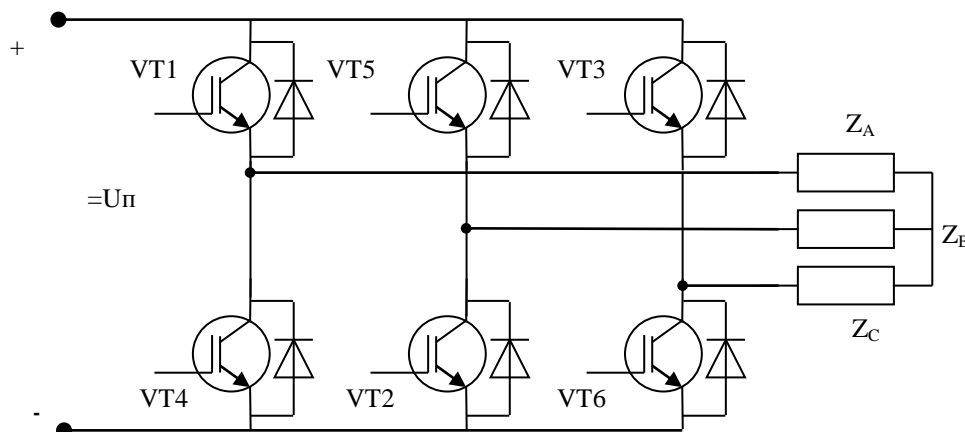


Рис. 2. Трехфазная мостовая схема АИН на IGBT-транзисторах

На рис. 3 показана модель новой схемы УСПП (рис. 1), выполненная с использованием средств пакета MatLab и приложения Simulink .

Диаграммы напряжений и тока на выходе УСПП приведены на рис. 4. Процесс пуска модели электродвигателя постоянного тока продемонстрирован на диаграммах, приведенных на рис. 5. Диаграммы сигналов на выходе УСПП (рис. 4) и диаграммы пуска электродвигателя постоянного тока (рис. 5) свидетельствуют о работоспособности модели УСПП, приведенной на рис. 3.

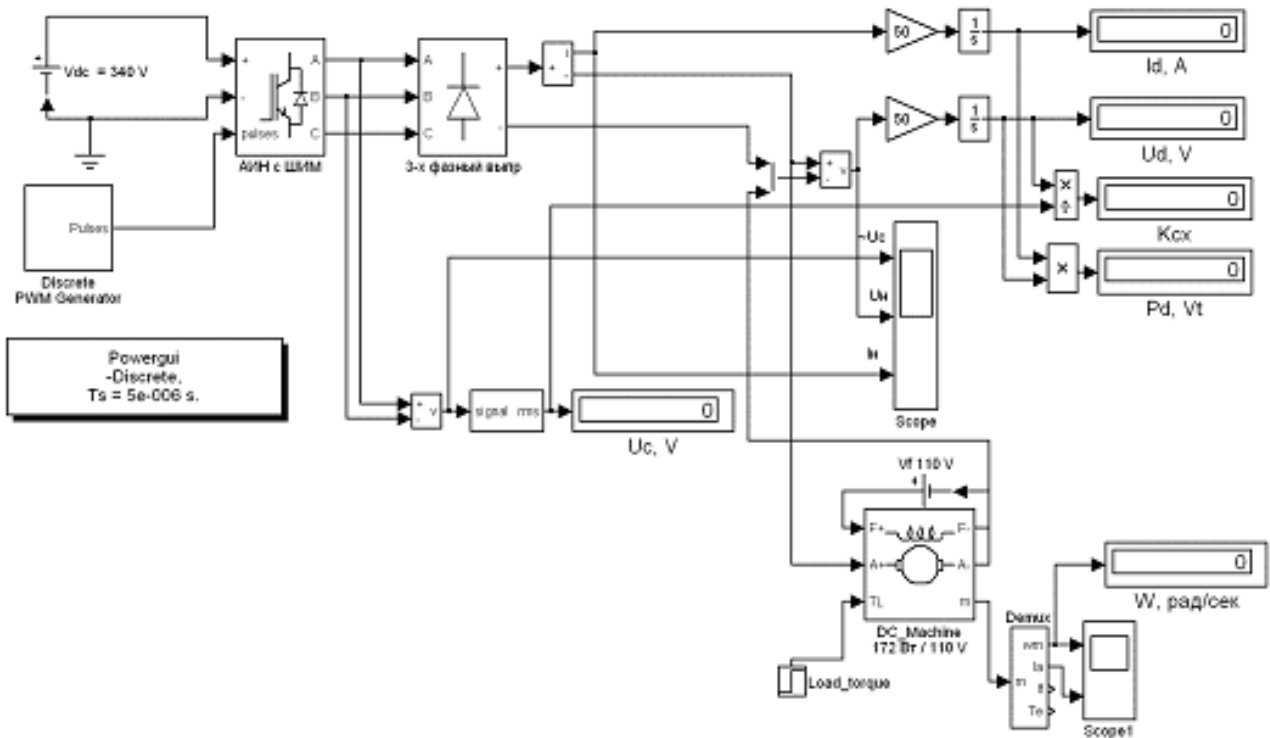


Рис. 3. Модель схемы УСПП

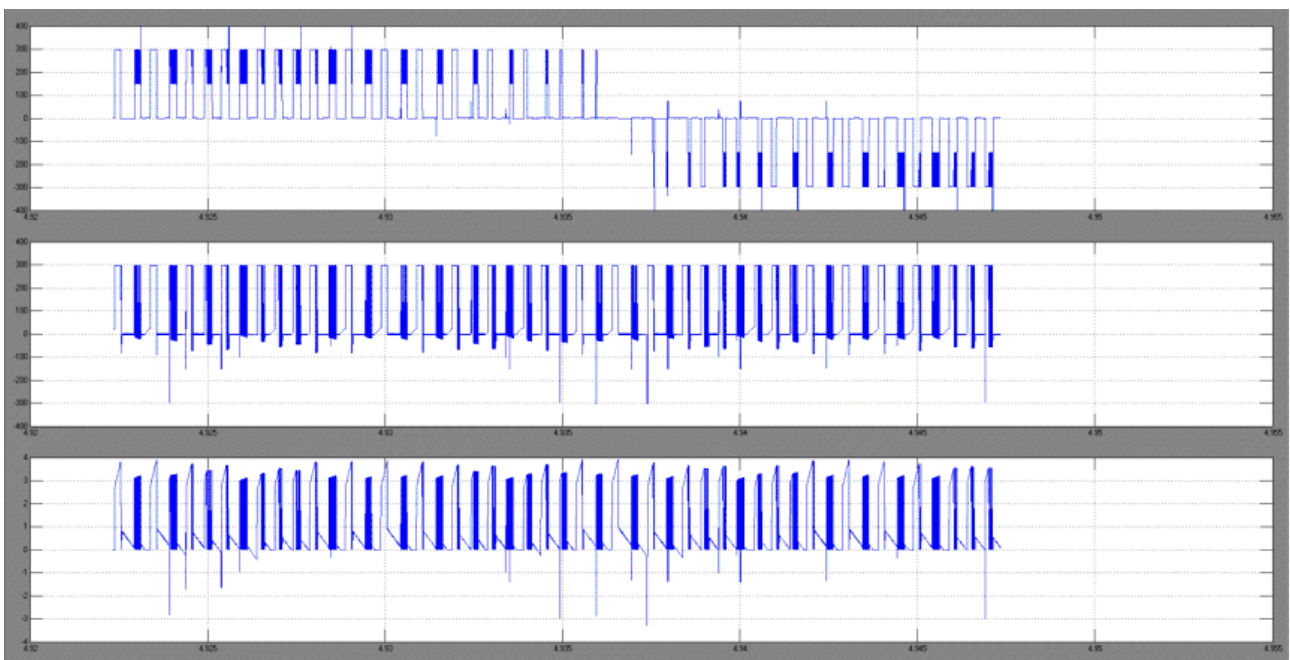


Рис. 4. Диаграммы сигналов на выходе УСПП: верхняя – напряжение на выходе АИИ, средняя - напряжение на выходе В2, нижняя – ток на выходе В2.

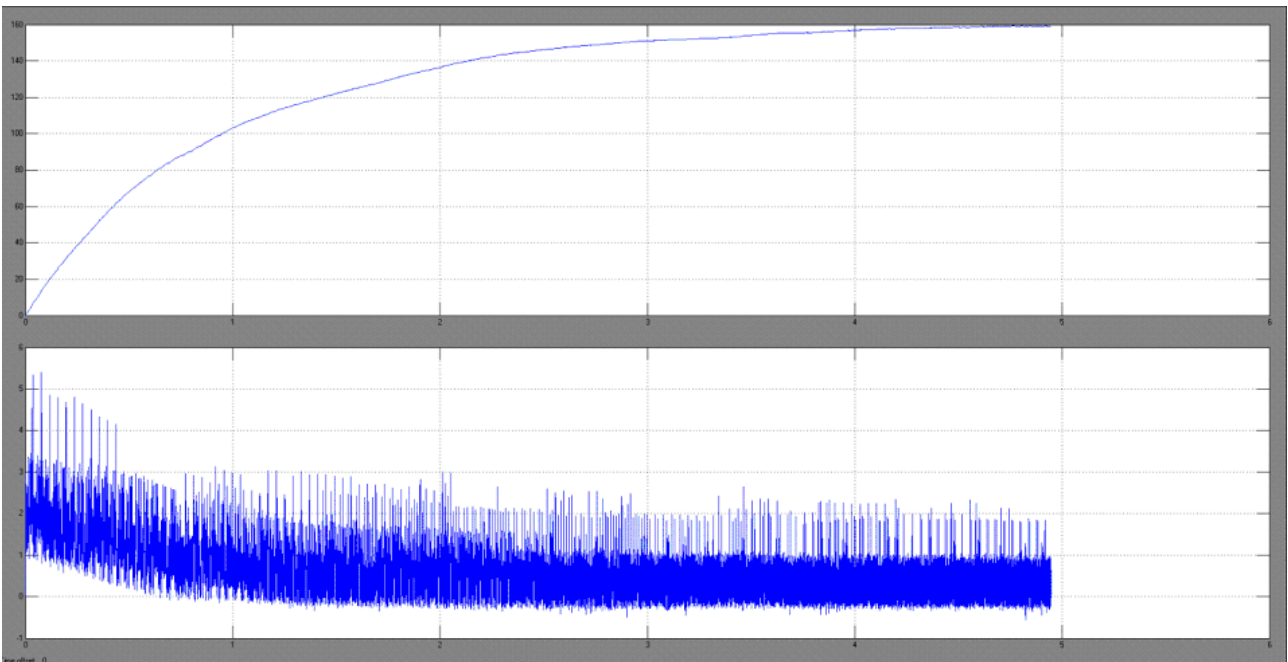


Рис. 5. Диаграммы пуска электродвигателя постоянного тока:
верхняя – угловая скорость, нижняя – ток двигателя.

2. Физическая модель универсального силового полупроводникового преобразователя. На рис. 6 изображен внешний вид физической модели исследуемого УСПП и комплект подключенных к нему электрических машин.

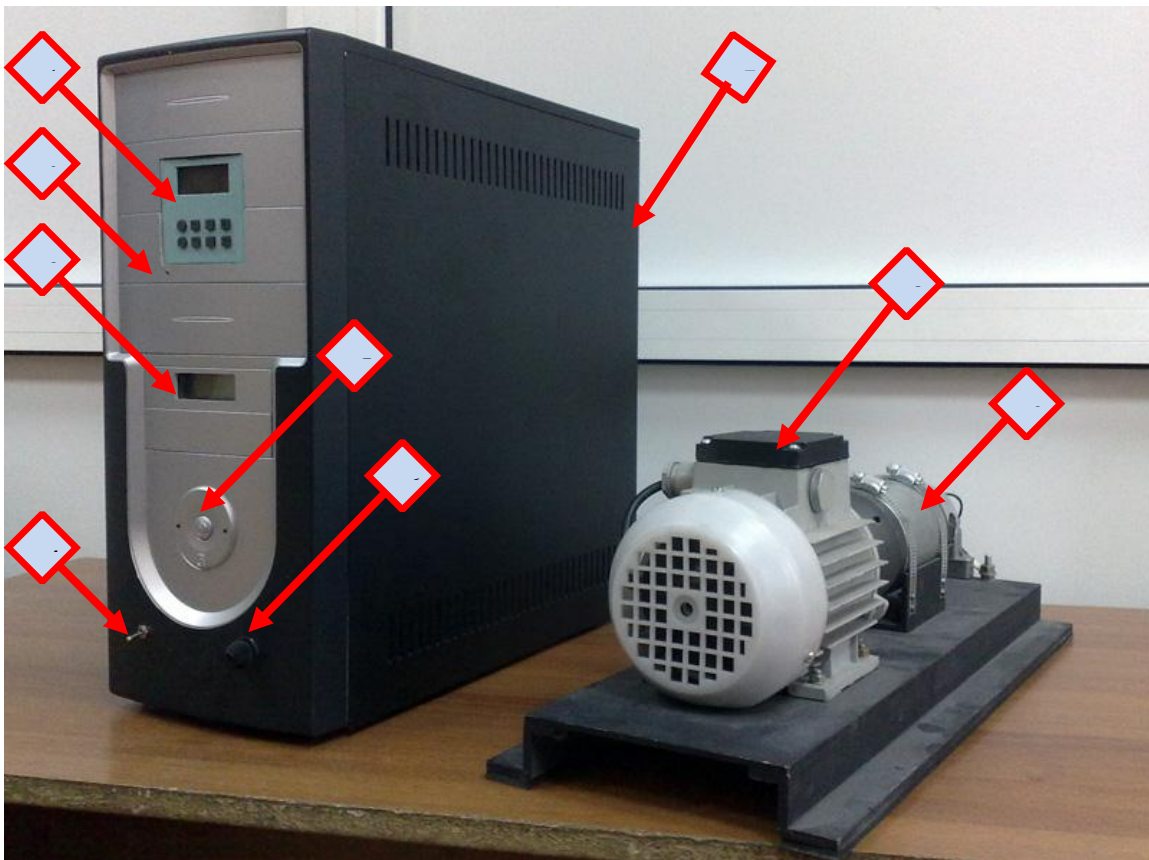


Рис. 6. Внешний вид физической модели УСПП

На рис. 6 показано: 1 – панель управления ПЧ, 2 - индикатор работы ПЧ, 3 - цифровой мультиметр, 4 - тумблер переключения измерения тока и напряжения, 5 - кнопка подключения ПЧ к сети, 6 - задатчик частоты ПЧ, 7 – бокс для монтажа электрооборудования, 8 – трехфазный асинхронный двигатель, 9 - двигатель постоянного тока.

В качестве бокса для монтажа электрооборудования использован корпус системного блока персонального компьютера. Электрооборудование УСПП включает в себя преобразователь частоты Siemens Sinamics G110 мощностью 1,5 кВт, трехфазный диодный мостовой выпрямитель, цифровой мультиметр для измерения тока и напряжения, аппараты включения, управления и индикации работы ПЧ.

Нагрузкой УСПП служит комплект электрических машин, состоящий из трехфазного асинхронного двигателя типа 4АИР56В4У3 мощностью 0,18 кВт, двигателя постоянного тока типа РИК8-6/2,5 и тахогенератора типа ТГ-1. Все электрические машины соединены соосно и закреплены на общем фундаменте.

В ходе эксперимента на физической модели УСПП были сняты статические характеристики, приведенные на рис. 7 - 8.

3. Сравнение результатов математического и физического моделирования статических характеристик преобразователя. На рис. 7 представлены регулировочные характеристики УСПП в режиме работы на трехфазный асинхронный двигатель: зависимость напряжения статора U_m (В) от заданной частоты F (Гц), полученная на модели УСПП; зависимость напряжения статора U_ω (В) от заданной частоты F (Гц), полученная экспериментально.

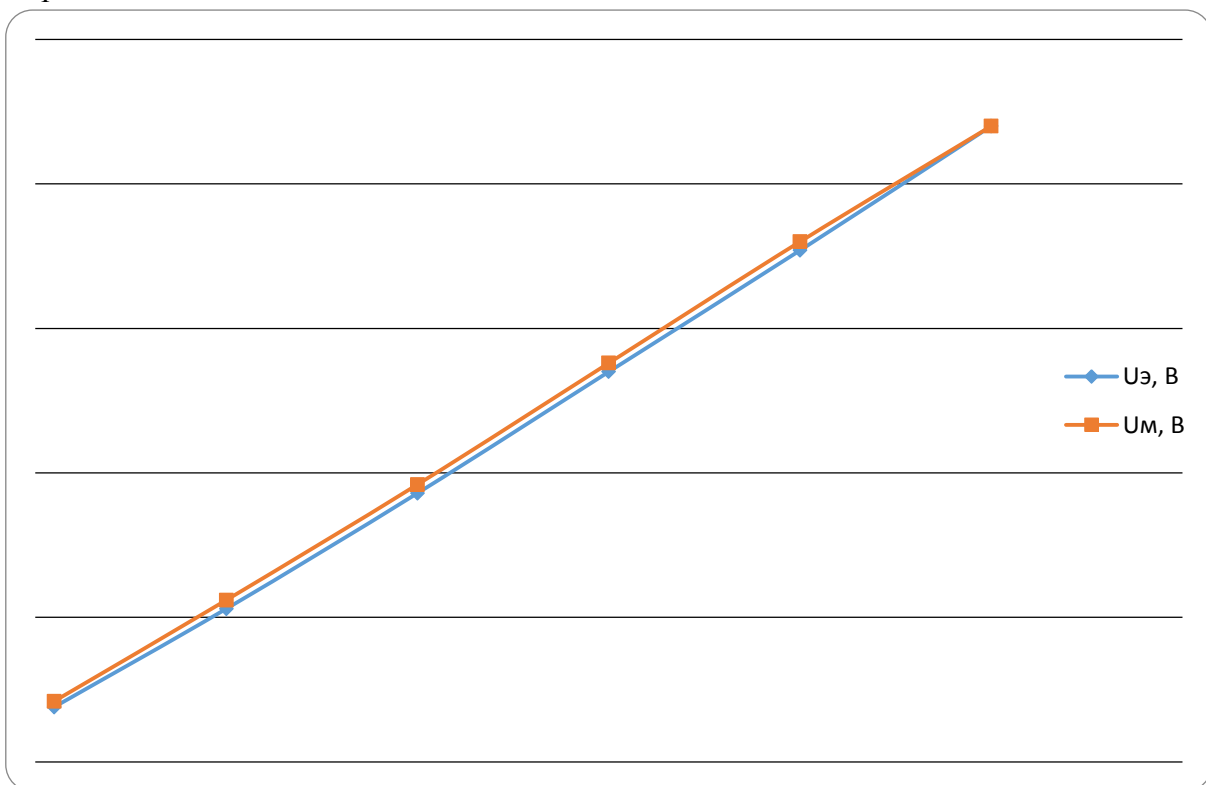


Рис. 7. Регулировочные характеристики УСПП в режиме работы на трехфазный асинхронный двигатель.

На рис. 8 представлены регулировочные характеристики УСПП в режиме работы на двигатель постоянного тока: зависимость напряжения статора U_m (В) от заданной частоты F (Гц), полученная на модели УСПП; зависимость напряжения статора U_Σ (В) от заданной частоты F (Гц), полученная экспериментально.

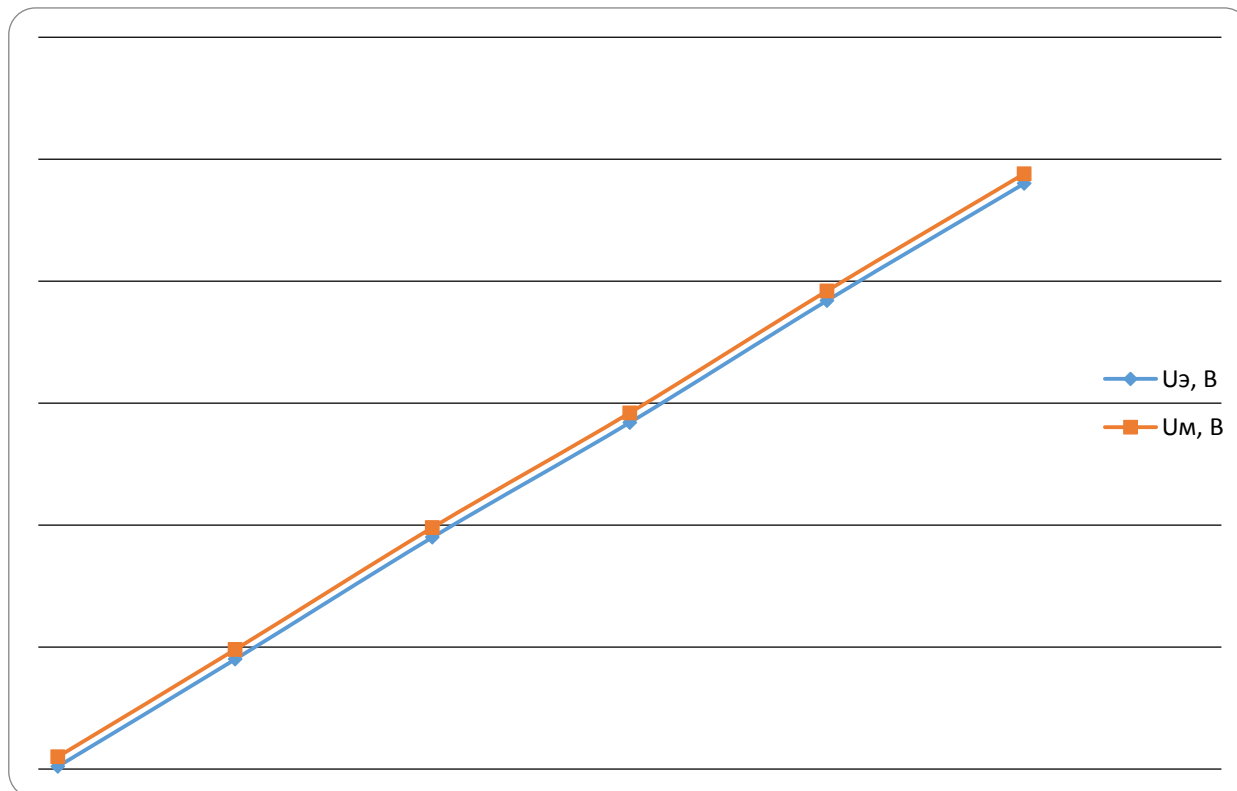


Рис. 8. Регулировочные характеристики УСПП в режиме работы на двигатель постоянного тока

Из приведенного на рис. 7 и 8 сравнения видно, что расхождение между моделью и экспериментом составляет в среднем 2 %, что в целом можно считать удовлетворительным.

Сравнение модельной и экспериментальной динамических характеристик провести не удалось по причине сложности определения экспериментальных динамических характеристик УСПП.

Заключение. В ходе исследований были определены статические и динамические характеристики универсального силового полупроводникового преобразователя, позволяющие положительно оценить работоспособность УСПП в установившемся и динамическом режимах работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. Спб.: КОРОНА принт. 2001. 320 с.
2. Дунаев М.П. Преобразовательная техника: Учебное пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ. 2001. 77 с.
3. Дунаев М.П. Резонансные инверторы для управления электроприводами. Иркутск. Изд-во ИрГТУ. 2004. 103 с.

4. Дунаев М.П. Силовые электронные преобразователи электростанций: Учебное пособие. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ. 2016. 115 с.
 5. Дунаев М.П. Структурные модели систем управления статическими преобразователями // Труды 13-й Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2008. С.172–180.
 6. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5. Основы применения. М.: СОЛОН-Пресс. 2004. 768 с.
 7. Дьяконов В.П.. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. М.: СОЛОН-Пресс. 2005. 576 с.
 8. Онищенко Г.Б. Силовая электроника: Учебное пособие. М.: МЭИ. 2016. 120 с.
 9. Розанов Ю.К. Силовая электроника. М.: МЭИ. 2007. 631 с.
 10. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьякова, А.И. Попова. М.: МЭИ. 2004. 696 с.
-

UDK 621.314

MODELING OF UNIVERSAL POWER SEMICONDUCTOR TRANSFORMER

Mikhail P. Dunaev

Dr., Professor, National Research Irkutsk State Technical University (NR ISTU)

83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: mdunaev10@mail.ru

Abstract. In article mathematical and physical models of universal power semiconductor transformer are considered. Shows the functional diagram of electric transformer. Describes the static and dynamic characteristics of electric universal power semiconductor transformer.

Keywords: electric power transformer, semiconductor, mathematical model, physical model.

References

1. German-Galkin S.G. Kompiuternoe modelirovanie poluprovodnikovih system v MATLAB 6.0: Uchebnoe posobie [Computer simulation of semiconductor systems in MATLAB 6.0: Study Guide]. St. Peterburg. KORONA Print = CORONA Print Publ. 2001. 320 p. (in Russian)
2. Dunaev M.P. Preobrazovatel'naya tekhnika: Uchebnoye posobiye [Transducing technic: Textbook]. Irkutsk. IrGTU = Irkutsk State Technical University Publ. 2001. 77 p. (in Russian)
3. Dunaev M.P. Rezonansnie invertori dlia upravlenia elektroprivodami [Resonance inverters for controlling electric drives]. Irkutsk. IrGTU = Irkutsk State Technical University Publ. 2004. 103 p. (in Russian)
4. Dunaev M.P. Silovie elektronnie preobrazovateli elektrostancii: Uchebnoe posobie [Power electronic converters of power plants: Textbook]. Irkutsk. IRNITU = Irkutsk National Research Technical University Publ. 2016. 115 p. (in Russian)
5. Dunaev M.P. Strukturnie modeli sistem upravlenia staticheskimi preobrazovateliami [Structural models of the static converters control systems] // Trudy 13-y Baykal'skoy Vserossiyskoy

- konferentsii «Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii» = Proceedings of the 13th Baikal All-Russian Conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Irkutsk. ISEM SO RAN = MESI SB RAS Publ. 2008. Pp. 172–180. (in Russian)
6. Diakonov V.P. MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5. Osnovi primenenij [MATLAB 6 / 6.1 / 6.5 + Simulink 4/5. Basics of application]. Moscow. SOLON-PRESS =SOLON PRESS Publ. 2004. 768 p. (in Russian)
 7. Diakonov V.P. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 v matematike i modelirovanii [MATLAB 6.5 SP1 / 7 + Simulink 5/6 in mathematics and modeling] Moscow. SOLON-PRESS =SOLON PRESS Publ. 2005. 576 p. (in Russian)
 8. Onistshenko G.B. Silovaia elektronika: Uchebnoye posobie [Power electronics. Textbook]. Moscow. MEI = Moscow Power Engineering Institute Publ. 2016. 120 p. (in Russian)
 9. Rozanov J.K. Silovaia elektronika [Power electronics]. Moscow. MEI = Moscow Power Engineering Institute Publ. 2007. 696 p. (in Russian)
 10. Elektrotehnicheskii spravochnik: v 4 t. T.4. Ispol'zovaniye elektricheskoy energii / Pod obshei redakciei V.G .Gerasimova, A.F. Diakova, A.I. Popova [Electrotechnical handbook: 4 t. T.4. Use of electrical energy / Under the Ed. V.G. Gerasimova, A.F. Dyakova, A.I. Popova]. Moscow. MEI = Moscow Power Engineering Institute Publ. 2004. T.4. 696 p. (in Russian)