

КОМПЛЕКСНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОНИКИ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

*М.В. Гельман, Р.З. Хусаинов, М.М. Дудкин, О.Г. Терещина
г. Челябинск, ЮУрГУ*

Рассматривается автоматизированный лабораторный комплекс для изучения полупроводниковых приборов, интегральных схем и устройств преобразовательной техники, основанный на сочетании физического и виртуального моделирования. Приведен перечень исследуемых полупроводниковых приборов, интегральных микросхем и преобразователей. Исследуются вольтамперные характеристики приборов, а также внешние, регулировочные и энергетические характеристики преобразователей. Имеется возможность функционирования стенда в ручном и автоматизированном режиме.

В работе [1] дан анализ тенденций развития лабораторных стендов по электротехнике и электронике. В соответствии с этим стенд, обеспечивающий изучение достаточно сложных устройств, выполняется в виде отдельных модулей, содержащих законченную схему с переключениями для расширения функциональных возможностей. Модульность обеспечивает возможность развития стенда, а, следовательно, отодвигает время его морального старения.

В настоящее время имеется тенденция миниатюризации лабораторного оборудования. Это обеспечивает экономию материальных и энергетических ресурсов, снижает требуемые площади. Непрерывно расширяющийся круг устройств преобразовательной техники требует создания новых модулей. Малая мощность лабораторных стендов, принятая из условий экономии ресурсов, площадей и энергии, делает невозможным полное соответствие исследуемых процессов электромагнитным процессам в мощных преобразователях. Особые трудности вызывает исследование аварийных режимов.

Виртуальное моделирование позволяет устранить эти недостатки и исследовать особенности процессов в мощных преобразователях. Виртуальные модели оказываются значительно дешевле по сравнению с физическими. Их структура легко изменяется, а это особенно важно в условиях быстрого развития современных систем. Существенным недостатком виртуального моделирования является то, что нет «эффекта присутствия» очень важного при формировании будущего специалиста.

При разработке автоматизированного лабораторного комплекса были совмещены возможности физического и виртуального моделирования на одном рабочем месте. Этапу автоматизированного исследования предшествует этап «ручного» с традиционным построением характеристик по точкам. Автоматизация проведения экспериментов на физических моделях сокращает время их проведе-

ния, а следовательно, увеличивает возможный объем проводимых исследований.

Применение виртуальных моделей позволяет расширить возможности изменения параметров, включая выход на аварийные режимы, что весьма затруднительно и небезопасно на физических моделях. Совмещение математического (виртуального) и физического моделирования позволяет просто решать вопросы адекватности.

Виртуальное моделирование осуществляется с помощью пакета программ MatLab+Simulink.

Автоматизированный стенд (рис. 1) обеспечивает исследование следующих полупроводниковых приборов, интегральных микросхем и вентильных преобразователей:

- выпрямительных диодов, стабилитронов, светодиодов;
- биполярных, полевых и IGBT транзисторов;
- операционных усилителей и схем их включения;
- комбинационных и последовательностных цифровых интегральных микросхем;
- асимметричных, симметричных и запираемых тиристоров;
- однофазных неуправляемых выпрямителей;
- однофазного управляемого выпрямителя;
- трехфазных управляемых выпрямителей;
- ведомых инверторов;
- двухкомплектного реверсивного преобразователя;
- преобразователя и импульсного стабилизатора постоянного напряжения;
- автономного инвертора напряжения;
- двухзвенного преобразователя частоты;
- тиристорного преобразователя переменного напряжения;
- источника вторичного электропитания;
- корректора коэффициента мощности.

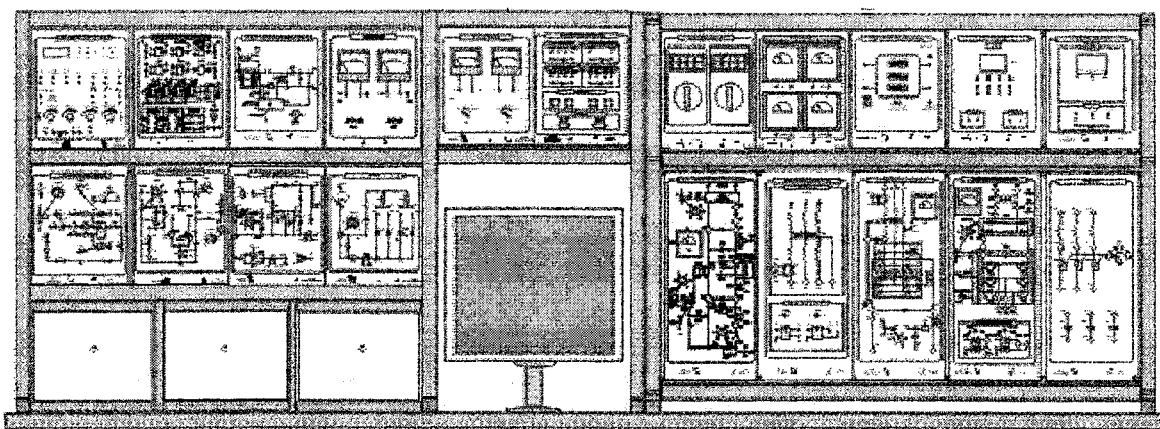


Рис. 1. Общий вид лабораторного комплекса по физическим основам электроники и преобразовательной технике

Содержание работ соответствует материалу, изложенному в [2]. В стенде используются как реальные, так и виртуальные приборы.

Программное обеспечение лабораторного стенда расширяет возможности измерительных приборов, а также обеспечивает функции управления для автоматизации проведения экспериментов. Существующие измерительные приборы широкого применения не обеспечивают достаточной точности при измерении несинусоидальных токов и напряжений, достигающих весьма низких частот (5 Гц) и содержащих широкий спектр гармоник. Поэтому разработанная информационно-измерительная система, созданная на базе персонального компьютера, решает не только задачу удобного представления информации, но и позволяет проводить измерения при сложной форме сигналов. Она обеспечивает работу с мгновенными, средними и действующими значениями сигналов, измеряет величины токов, напряжений, активных, реактивных и полных мощностей, КПД, коэффициент мощности, $\cos \phi$, коэффициент несинусоидальности и др.

Аппаратная часть информационно-измерительной системы содержит датчики тока и напряжения, основанные на эффекте Холла, с переключаемой полосой пропускания, модуль ввода-вывода с установленными в нем входными диффе-

ренциальными усилителями и выходными усилителями мощности с потенциальной развязкой и персональный компьютер. В качестве устройства связи с объектом (УСО) применена плата L-780M, обеспечивающая запись и просмотр мгновенных значений сигналов в течение заданного интервала времени с высокой частотой дискретизации (100 000 точек в секунду при осциллографировании четырех аналоговых сигналов).

С целью экспериментального исследования разработанных модулей стенда и всего автоматизированного информационно-измерительного комплекса были сняты вольт-амперные, регулировочные, внешние и энергетические характеристики, а также временные диаграммы сигналов исследуемых объектов. Функциональная схема эксперимента представлена на рис. 2.

Она состоит из системы управления и информационно-измерительной системы, представляющих собой программное обеспечение (ПО) [3]; платы L-780M, обеспечивающей преобразование аналоговых сигналов, поступающих с модуля «Ввод-вывод», в цифровую форму для персонального компьютера (ПК) и обратное преобразование; модуль «Ввод-вывод», предназначенный для гальванической развязки и согласования уровней входных и выходных сигналов между платой L-780M и внешними исследуемыми модулями.

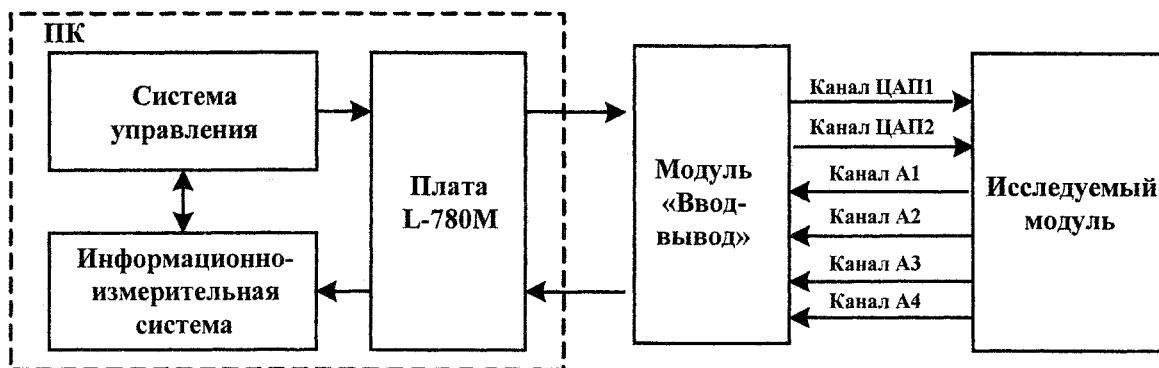


Рис. 2. Функциональная схема эксперимента

Регулировочные и энергетические характеристики исследуемых модулей были сняты в ручном и автоматическом режиме. С этой целью в системе управления программным путем было сформировано управляющее воздействие в цифровой форме по закону ступенчатой функции (рис. 3). Уровни $N_1, N_2 \dots N_n$, длительности $t_1, t_2 \dots t_n$ и количество дискретно изменяющихся ступенек управляющего воздействия выбиралось из условия конкретного эксперимента. При помощи платы L-780M цифровой управляющий сигнал преобразуется в аналоговый и через модуль «Ввод-вывод» поступает на управляющий вход исследуемого модуля (см. рис. 2).

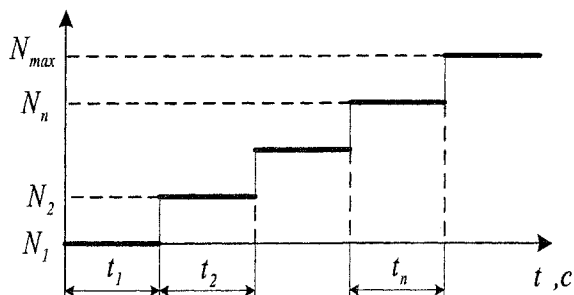


Рис. 3. Ступенчатый сигнал управления

Измерение средних и действующих напряжений, а также токов производилось информационно-измерительной системой. С этой целью измеряемые сигналы с выходов исследуемых модулей через датчики напряжения и тока или непосредственно (в низковольтных схемах) были подключены к модулю «Ввод-вывод».

Во время эксперимента измеряемые значения напряжений, токов, мощностей отображались на экране дисплея в окне виртуального измерительного прибора (рис. 4) с учетом масштабного коэффициента измерительных датчиков и цепей модуля «Ввод-вывод».

Регистрация входных сигналов и построение зависимостей между значениями входных (выходных) сигналов осуществлялось при помощи «Регистратора сигналов», который входит в состав ПО информационно-измерительной системы. По

окончании эксперимента (после останова регистратора) загружается окно «Просмотр измерений», которое отображает снятую экспериментальную зависимость. Кнопка «Сохранить как ...» в окне просмотра измерений позволяет сохранить полученные результаты в файл с расширением .dat для программы Mathcad или с расширением .xls для программы Excel.



Рис. 4. Окно виртуального измерительного прибора

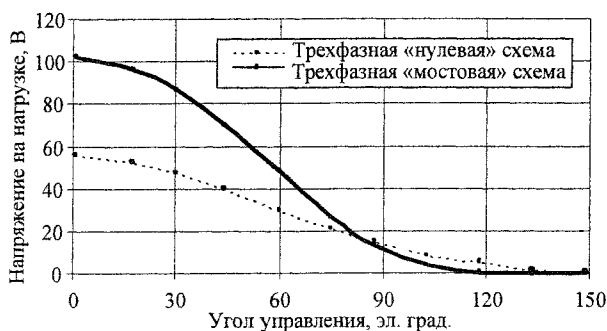
Экспериментальные характеристики были построены с использованием программы Microsoft Excel. Временные диаграммы сигналов были записаны при помощи программы L-Graph, входящей в состав базового программного обеспечения платы L-780M.

Ниже приведены некоторые результаты, полученные при испытании модулей.

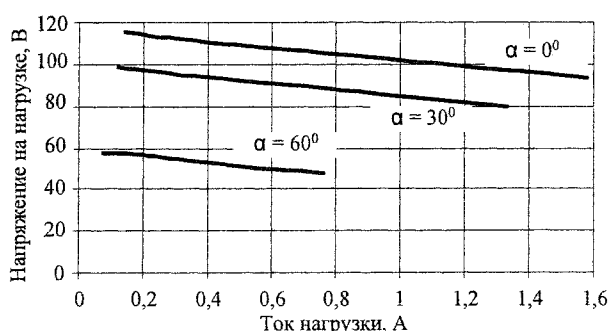
На рис. 5, а приведены регулировочные характеристики для трехфазной мостовой и трехфазной нулевой схем, снятые в автоматическом режиме, а на рис. 5, б приведены внешние характеристики трехфазной мостовой схемы, снятые при работе информационно-измерительной системы, но с «ручным» изменением нагрузки.

На рис. 6, а приведена регулировочная характеристика преобразователя постоянного напряжения, снятая в автоматическом режиме, а на рисунке 6, б внешние характеристики преобразователя постоянного напряжения, снятые при работе информационно-измерительной системы, но с «ручным» изменением нагрузки.

На рис. 7, а приведены зависимости напряжения на выходе импульсного стабилизатора постоянного напряжения от напряжения источника питания $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{ип}})$, снятые в автоматическом режиме, а на рис. 7, б приведены внешние характеристики импульсного стабилизатора по-



а)



б)

Рис. 5. Экспериментальные регулировочные и внешние характеристики трехфазных управляемых выпрямителей тока

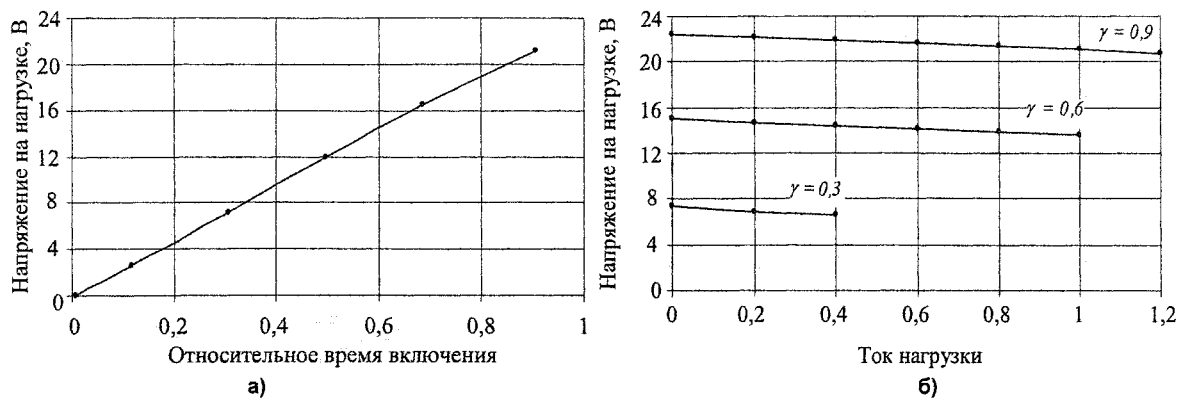


Рис. 6. Экспериментальные характеристики преобразователя постоянного напряжения:
а) регулировочная; б) внешние ($U_{ИП} = 25 \text{ В}$, $f_{ШИМ} = 10 \text{ кГц}$)

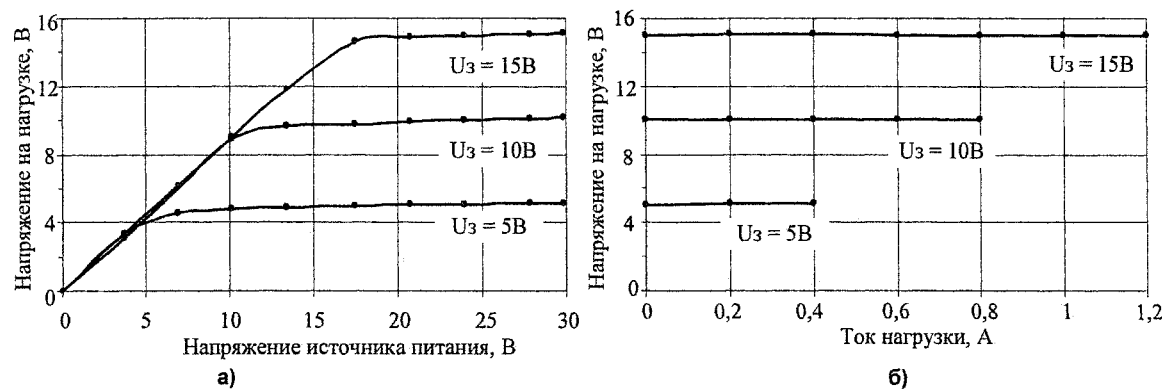


Рис. 7. Экспериментальные характеристики импульсного стабилизатора постоянного напряжения:
а) «вход-выход» $U_{ВЫХ} = f(U_{ИП})$; б) внешние ($U_{ИП} = 25 \text{ В}$, $f_{ШИМ} = 10 \text{ кГц}$)

стоянного напряжения, снятые при работе информационно-измерительной системы, но с «ручным» изменением нагрузки.

На рис. 8 приведены временные диаграммы напряжений и токов в двухзвенном преобразователе частоты: напряжение и ток, потребляемый из сети; первая гармоника фазного напряжения нагрузки и ток нагрузки, снятые при помощи программы L-Graph.

На рис. 9 приведены внешние характеристики двухзвенного преобразователя частоты, снятые при работе информационно-измерительной системы, но с «ручным» изменением нагрузки.

Энергетические характеристики двухзвенного преобразователя частоты, снятые в автоматическом режиме, представлены на рис. 10, 11.

При проведении лабораторных работ обеспечивается преемственность с лабораторными работами по физической электронике и согласование с последующими работами по спецкурсам.

Методическое обеспечение позволяет проводить физическое и виртуальное моделирование как совместно, так и раздельно. Такое построение лабораторного практикума будет способствовать более глубокому изучению курса, развитию интереса учащихся, а также облегчит самостоятельную

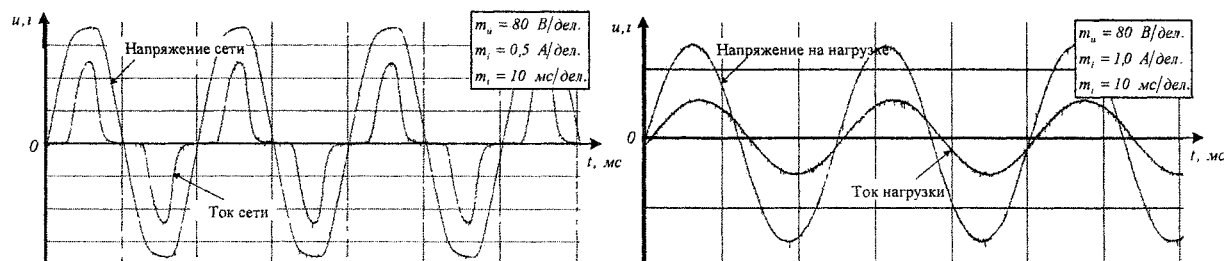


Рис. 8. Временные диаграммы двухзвенного преобразователя частоты: а) напряжение и ток, потребляемый из сети; б) первая гармоника фазного напряжения на нагрузке и ток нагрузки

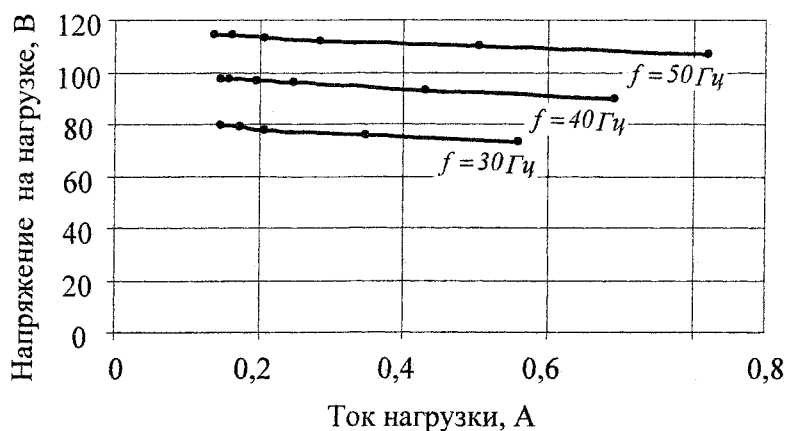


Рис. 9. Экспериментальные внешние характеристики двухзвенного преобразователя частоты

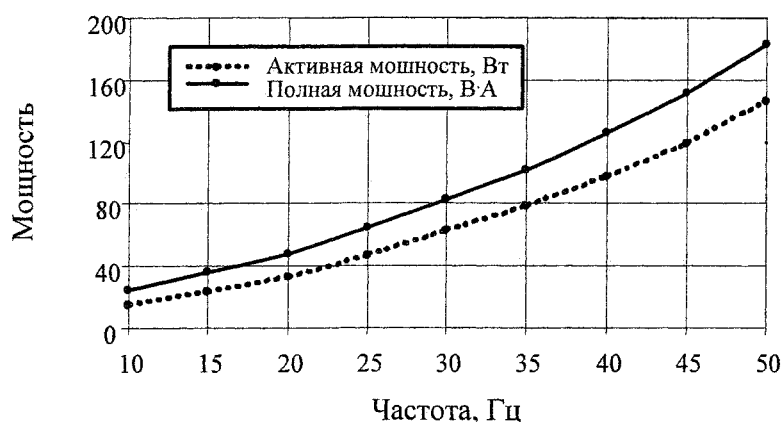


Рис. 10. Активная и полная мощности, потребляемые из сети двухзвенным преобразователем частоты при частотном регулировании $R_n = 600 \text{ Ом}$, $L_n = 80 \text{ мГн}$

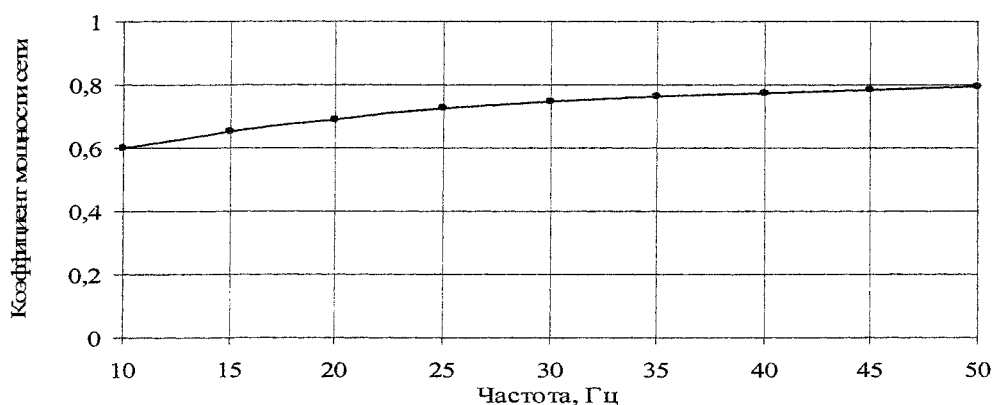


Рис. 11. Коэффициент мощности на входе двухзвенного преобразователя частоты при частотном регулировании

работу студентов, что особенно актуально для студентов-заочников.

Разработка автоматизированного лабораторного комплекса по преобразовательной технике выполняется совместно Южно-Уральским государственным университетом и РНПО «Росучприбор» в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 годы)», а также при

финансовой поддержке Правительства Челябинской области.

Литература

1. Анализ тенденций развития лабораторных стендов по электротехнике и электронике /Р.З. Хусаинов, В.Н. Бородянко, М.В. Гельман и др. // Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты: тр. XI междунар. конф. – Крым, Алушта, 2006. – Ч. 2. – С. 303–304.

2. *Электротехника: Учебное пособие для вузов. В 3-х книгах. Кн. 2. Электрические машины. Промышленная электроника. Теория автоматического управления / под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.Л. Шестакова.* –

Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 711 с.

3. *Андреев, А.Н. Распределенные модели устройств автоматического управления / А.Н. Андреев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2006. – Вып. 6. – №9. – С. 27–28.*

Гельман Морис Владимирович – профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ЮУрГУ, кандидат технических наук. Окончил УПИ в 1953 г. Научные интересы – энергетическая электроника и ее приложения.

Хусаинов Рустам Зайнагеддинович – доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ЮУрГУ, кандидат технических наук. Окончил ЧПИ в 1982 г. Научные интересы – следящие системы электропривода, цифровые системы управления и микроконтроллеры.

Дудкин Максим Михайлович – аспирант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ЮУрГУ. Выпускник кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок ЮУрГУ 2004 г. Научное направление – элементы систем управления вентильными преобразователями.

Терещина Олеся Геннадьевна – аспирант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ЮУрГУ. Выпускница кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок ЮУрГУ 2004 г. Научное направление – многозонные интегрирующие развертывающие преобразователи.