

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
(ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники

# **Интеллектуальная силовая электроника**

Учебно-методическое пособие для проведения  
практических занятий и самостоятельной работы

Профессор кафедры  
промышленной электроники  
**Михальченко Сергей Геннадьевич**

**Томск 2018**

**Михальченко Сергей Геннадьевич**

Интеллектуальная силовая электроника. Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий и самостоятельной работы // С. Г. Михальченко; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники – Томск: ТУСУР, 2018. – 23 с.

Настоящее руководство имеет целью получение профессиональных компетенций в области исследования и создания интеллектуальных устройств силовой электроники.

Руководство может быть использовано для проведения практических занятий как в контактной форме, так и в режиме самоподготовки.

Наличие вариантов индивидуальных заданий, контрольных вопросов и тестов позволяет использовать настоящее руководство для проведения контрольных работ и итогового тестирования.

Рекомендуется для организации самостоятельной работы студентов.

© Михальченко С.Г., 2018

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 2018

## Оглавление

Оглавление .....	3
Введение .....	4
Цели дисциплины .....	4
Задачи дисциплины .....	4
Требования к результатам освоения дисциплины .....	4
Объем дисциплины и виды учебной работы .....	5
1.    Основные элементы цифровой системы управления .....	6
Практическая работа №1. ....	6
2.    Обзор современных семейств микропроцессоров .....	7
Практическая работа №2. ....	7
3.    Импульсная модуляция .....	8
Практическая работа №3. ....	8
4.    Аналого-цифровое преобразование.....	9
Практическая работа №4. ....	9
5.    Силовой преобразователь как объект управления.....	10
Практическая работа №5. ....	10
6.    Электромагнитные свойства силовых преобразователей .....	11
Практическая работа №5. ....	11
7.    Организация самостоятельной работы.....	12
8.    Материально-техническое обеспечение дисциплины .....	13
9.    Контрольно-измерительные материалы .....	14
Тесты для самопроверки.....	14
Вопросы для самопроверки.....	16
Рекомендуемая литература.....	18
Основная литература.....	18
Учебно-методические пособия .....	20
Профессиональные базы данных и информационные справочные системы .....	21
Периодические издания .....	22

## Введение

### Цели дисциплины

Интеллектуальная силовая электроника (ИСЭ) - область науки, изучающая способы управления, принципы построения и методы программирования управляющих микроконтроллеров для преобразователей параметров электрической энергии на основе транзисторных и тиристорных ключей, а также локальных микроконтроллеров автоматизации технологических систем и комплексов, включая регулируемый электропривод.

В наиболее общем случае управление элементами силовой электроники может осуществляться аналоговыми системами управления (аналоговыми ШИМ-контроллерами), или строиться с прямым цифровым управлением. Как правило, аналоговые или цифровые контроллеры имеют прямую связь с источником и обратную связь с потребителем энергии. Это позволяет им реализовывать алгоритмы управления с обратной связью и адаптироваться к параметрам источника энергии. Системы с прямым цифровым управлением включают элементы памяти, что и определяет их коренное преимущество перед аналоговыми системами управления. Использование в качестве контроллера электрической системы микроконтроллера (МК) смешанного сигнала или DSP- процессора позволяет реализовать высокоэффективные алгоритмы управления энергетическим процессором в различных режимах.

В этой связи преподавание настоящей дисциплины направлено на приобретение знаний, необходимых для понимания принципов построения и функционирования DSP-процессоров, основных методов программирования и изучение алгоритмов управления потоками электрической энергии в различных режимах и технологических процессах, а также приобретение практических навыков и умений, необходимых для программирования и настройки программ управления различными преобразователями.

### Задачи дисциплины

- приобретение обучающимися знаний необходимых для понимания принципов построения и функционирования DSP-процессоров, основных методов их программирования;
- изучение алгоритмов управления потоками электрической энергии в различных режимах функционирования и технологических процессах;
- приобретение практических навыков и умений, необходимых для программирования и настройки программ управления различными преобразователями;
- изучение современной элементной базы интеллектуальной силовой электроники и ее применение в различных преобразователях электрической энергии.
- Предметом изучения являются цифровые системы управления различными силовыми преобразователями на DSP-процессорах, принципы построения и основные методы их программирования, а также современная элементная база интеллектуальной силовой электроники и возможности ее применения в конкретных цифровых системах управления преобразователями электрической энергии.

### Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей компетенции – владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области цифровых систем управления электроэнергетическими потоками.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** принципы построения, методы анализа и синтеза цифровых систем управления устройствами силовой электроники, современную элементную базу, расчет и выбор электрических параметров периферийных элементов систем автоматического

управления при заданных условиях эксплуатации

– **уметь** программировать DSP-процессоры, анализировать электромагнитные процессы в преобразователях с прямым цифровым управлением при различном характере возмущающих воздействий, рассчитывать характеристики и показатели цифровых корректирующих устройств, и их взаимосвязь с импульсными методами преобразования параметров электрической энергии

– **владеть** практическими навыками проектирования печатных плат, топологией земляных полигонов с повышенной помехоустойчивостью.

### **Объем дисциплины и виды учебной работы**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часов)

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

<b>Виды учебной деятельности</b>	<b>Всего часов</b>
Лекции	36
Практические занятия	36
Самостоятельная работа (всего)	108
Общая трудоемкость, ч	180
Зачетные Единицы	5.0

Как можно видеть из таблицы, больше половины всего объема учебных часов отдано *самостоятельной работе*, а ровно половина аудиторной работы по курсу (контактной работы) составляют *практические занятия*.

## 1. Основные элементы цифровой системы управления

Теоретическая часть данного раздела дисциплины, представленная в виде лекционного материала, посвящена изучению следующего объема знаний:

Общие положения интеллектуальной силовой электроники. Основные элементы цифровой системы управления. Принципиальные отличия цифровой системы управления от аналоговой. Организация цифрового ПИД-регулятора. Звено запаздывания сигнала. Устойчивость цифровых систем управления и особенности настройки контура управления.

Для получения данного объема знаний необходимо изучить учебное пособие: [Энергетическая электроника: Учебное пособие / Семенов В. Д., Коновалов Б. И., Кобзев А. В. - 2010. 164 с.] и учебное пособие: [Иванчура, В. И. Быстродействующие импульсные стабилизаторы напряжения [Электронный ресурс] : монография / В. И. Иванчура, Д. В. Капулин, Ю. В. Краснобаев. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. - 172 с. - ISBN 978-5-7638-2317-2.].

### Практическая работа №1.

#### *Программирование DSP-процессора Texas Instruments TMS320F2806 для управления силовым DC/DC преобразователем.*

##### Ход работы:

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов или предложенным по своему усмотрению, провести работу по проектированию структурной схемы преобразователя постоянного тока.
2. Разработать структурную схему аппаратной части. Произвести расчет силовой цепи. Произвести выбор мощных коммутационных элементов и драйверов для них.
3. Выбрать датчики для организации обратной связи, предусмотреть приборы (адаптеры) для согласования уровней и типов сигналов.
4. Разработать схему микропроцессорной системы управления (МПСУ), спроектировать источник питания собственных нужд, проработать схемы тактирования и гальванической развязки.
5. Рассчитать и выбрать аналого-цифровые преобразователи МПСУ, в зависимости от заданной точности измерения и представления сигнала в системе управления, рассчитать необходимую дискретность сигнала, а в зависимости от быстродействия системы - частоту дискретизации.
6. Выбрать из предлагаемого на рынке ряда типы и архитектуру АЦП, определиться с необходимостью реализации встроенных АЦП в МП или рассчитать периферийные модули АЦП.
7. Подобрать необходимое время преобразования. Определиться с тактовой частотой МП и реализовать канал тактирования микросхем МПСУ.
8. Реализовать необходимые цифровые интерфейсы передачи данных в МПСУ, согласовать технологии и уровни сигналов.
9. Рассмотреть вопросы защиты МПСУ от воздействия помех.
10. Проработать задачи электромагнитной совместимости. Учесть расположение силовых цепей ЭТКиС.
11. Спроектировать структуру программного обеспечения МПСУ прибора.
12. Запрограммировать контроллер. Написать программный код МПСУ, используя типовые конфигурации программной части систем управления.
13. Выбрать средства проектирования и методы автономной отладки программных средств.
14. Произвести оценку эффективности алгоритма, проверить устойчивость алгоритма.
15. Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе.

## 2. Обзор современных семейств микропроцессоров

Теоретическая часть данного раздела дисциплины, представленная в виде лекционного материала, посвящена изучению следующего объема знаний:

Обзор современных семейств микропроцессоров. Параметры, важные для построения систем цифрового управления преобразовательной техникой. Основные периферийные компоненты микропроцессоров. Технические требования к компонентам микропроцессоров с точки зрения прямого цифрового управления. Критерии выбора. Обзор наиболее подходящих типов микропроцессоров и производителей

Для получения данного объема знаний необходимо изучить учебное пособие: [Микропроцессорные устройства и системы: Учебное пособие / Русанов В. В., Шевелев М. Ю. - 2012. 184 с.], [Основы микропроцессорной техники: Учебное пособие / Шаратов А. В. - 2008. 240 с.] и [Бородин К. В. Микропроцессорные устройства и системы : учебное пособие / К. В. Бородин. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2016. – 137 с.].

### Практическая работа №2.

#### *Программирование DSP-процессоры Texas Instruments TMS320F28027 (Piccolo) для управления трехфазным инвертором.*

##### Ход работы:

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов или предложенным по своему усмотрению, провести работу по проектированию структурной схемы инвертора.
2. Разработать структурную схему аппаратной части. Произвести расчет силовой цепи. Произвести выбор мощных коммутационных элементов и драйверов для них.
3. Выбрать датчики для организации обратной связи, предусмотреть приборы (адаптеры) для согласования уровней и типов сигналов.
4. Разработать схему микропроцессорной системы управления (МПСУ), спроектировать источник питания собственных нужд, проработать схемы тактирования и гальванической развязки.
5. Рассчитать и выбрать аналого-цифровые преобразователи МПСУ, в зависимости от заданной точности измерения и представления сигнала в системе управления, рассчитать необходимую дискретность сигнала, а в зависимости от быстродействия системы - частоту дискретизации. Выбрать из предлагаемого на рынке ряда типы и архитектуру АЦП, определиться с необходимостью реализации встроенных АЦП в МП или рассчитать периферийные модули АЦП.
6. Подобрать необходимое время преобразования. Определиться с тактовой частотой МП и реализовать канал тактирования микросхем МПСУ. Реализовать необходимые цифровые интерфейсы передачи данных в МПСУ, согласовать технологии и уровни сигналов.
7. Рассмотреть вопросы защиты МПСУ от воздействия помех. Проработать задачи электромагнитной совместимости. Учесть расположение силовых цепей ЭТКиС.
8. Спроектировать структуру программного обеспечения МПСУ прибора.
9. Запрограммировать контроллер. Написать программный код МПСУ, используя типовые конфигурации программной части систем управления.
10. Выбрать средства проектирования и методы автономной отладки программных средств. Произвести оценку эффективности алгоритма, проверить устойчивость алгоритма.
11. Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе.

### 3. Импульсная модуляция

Теоретическая часть данного раздела дисциплины, представленная в виде лекционного материала, посвящена изучению следующего объема знаний:

Классификация импульсно-модуляционных систем. Исследование типичного ШИМ-модуля, входящего в состав микропроцессора. Структура, принцип действия, составные части. Особенности применения. Примеры реализации: Электропривод трёхфазный, двухфазный, многоканальные понижающие и повышающие преобразователи, инвертор с мягкой коммутацией. Реализация аппаратной защиты по максимальному току.

Для получения данного объема знаний необходимо изучить учебные пособия: [Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Дякин А.С., Семенов В.Д. *Импульсно-модуляционные системы: Учебное пособие. Изд. 2-е, испр. и доп.* — Томск: Томский государственный университет си-стем управления и радиоэлектроники, 2015. — 193 с.] и [Коновалов Б. И., Мишуров В. С. *Основы преобразовательной техники: учебное пособие.* — Томск: Факультет дистанционного обучения, ТУСУР, 2015. — 197 с.].

#### **Практическая работа №3.**

***Проверка программного обеспечения с помощью отладочных средств. Настройка каналов АЦП для реализации обратной связи замкнутой системы управления.***

***Настройка ШИМ-регистров для создания импульсной системы управления энергетическими потоками преобразователя***

**Ход работы:**

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов или предложенным по своему усмотрению, провести работу по проектированию структурной схемы разработанного в предыдущей практической работе инвертора.
2. Произвести поверку программного обеспечения с помощью отладочных средств.
3. Настроить каналы АЦП для реализации обратной связи замкнутой системы управления.
4. Произвести настройку ШИМ-регистров для создания импульсной системы управления энергетическими потоками преобразователя.
5. Рассчитать электропривод в качестве нагрузки трехфазного инвертора.
6. Рассмотреть вопросы организации мягкой коммутацией.
7. Реализация аппаратной защиты по максимальному току.
8. Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе.

## 4. Аналого-цифровое преобразование

Теоретическая часть данного раздела дисциплины, представленная в виде лекционного материала, посвящена изучению следующего объема знаний:

Классификация АЦП. Обзор типичного модуля аналого-цифрового преобразователя, входящего в состав микропроцессора. Структура, принцип действия, составные части. Особенности применения. Фильтрация сигналов, постоянные времени фильтров. Точность измерения, Способы повышения точности. Требования к скорости преобразования. Внешние АЦП.

Для получения данного объема знаний необходимо изучить следующие учебные пособия: [Подлесный, С. А. *Устройства приема и обработки сигналов [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / С. А. Подлесный, Ф. В. Зандер. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. - 352 с. - ISBN 978-5-7638-2263-2.*], [Системы реального времени: технические и программные средства: Учебное пособие / Дреус Ю.Г. - М.: НИЯУ "МИФИ", 2010. - 230 с. ISBN 978-5-7262-1310-1.] и главы №№1-6 учебного пособия: [Моделирование процессов управления в интеллектуальных измерительных системах / Капля Е.В., Кузеванов В.С., Шевчук В.П. - М.: Физматлит, 2009. - 512 с.].

### **Практическая работа №4. Настройка каналов АЦП для реализации обратной связи замкнутой системы управления.**

#### **Ход работы:**

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов или предложенным по своему усмотрению, провести работу по реализации обратной связи МПСУ из предыдущей практической работы.
2. Продемонстрировать преподавателю моделирование, проектирование и синтез принципиальной схемы преобразователя с помощью САПР.
3. Рассчитать и выбрать аналого-цифровые преобразователи МПСУ,.
4. В зависимости от заданной точности измерения и представления сигнала в системе управления, рассчитать необходимую дискретность сигнала
5. В зависимости от быстродействия системы рассчитать частоту дискретизации.
6. Выбрать из предлагаемого на рынке ряда типы и архитектуру АЦП, определиться с необходимостью реализации встроенных АЦП в МП или рассчитать периферийные модули АЦП.
7. При необходимости, рассчитать цифровые фильтры.
8. Используя методы сквозного проектирования произвести разработку печатной платы силового преобразователя с цифровой системой управления.
9. Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе.

## 5. Силовой преобразователь как объект управления

Теоретическая часть данного раздела дисциплины, представленная в виде лекционного материала, посвящена изучению следующего объема знаний:

Характеристика силового преобразователя как объекта управления. Паразитные параметры полупроводниковых и пассивных компонентов. Источники электромагнитного излучения. Рекомендации по уменьшению излучаемых помех при конструировании силовых преобразователей.

Для получения данного объема знаний необходимо изучить следующие учебные пособия: [*Электротехника и электроника: Учебник. В 2 томах. Том 1: Электротехника / А.Л. Марченко, Ю.Ф. Опадчий - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 574 с.: 60x90 1/16. ISBN 978-5-16-009061-0.*], [*Москаленко, В.В. Электрический привод: Учебник / В.В. Москаленко. - М.: ИНФРА-М, 2015. - 364 с.*] и [*Онищенко, Г.Б. Теория электропривода: Учебник / Г.Б. Онищенко. - М.: ИНФРА-М, 2015. - 294 с.*].

### Практическая работа №5.

*Расчет, моделирование и реализация электромеханической части электротехнического комплекса. Параметры электропривода, нагрузки, обратные связи по внешнему параметру.*

#### Ход работы:

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов или предложенным по своему усмотрению, провести работу по реализации электромеханической части электротехнического комплекса - электропривода.
2. Провести работу по моделированию электромеханической части. С учетом заданной точности позиционирования рабочего тела электропривода ЭТКиС разработать СУ электроприводом.
3. Рассчитать статические и динамические характеристики электропривода. Спроектировать регулятор, настроенный на тот или иной оптимум, в зависимости от требуемого характера движения рабочего тела: рассчитать корректирующее звено.
4. Проработать измерение переменных состояний в электроприводе. Спроектировать наблюдающие устройства полного (или пониженного) порядка в структуре систем управления электроприводом.
5. Построить динамические характеристики скорости и нагрузочного момента при сбросе- набросе-реверсе нагрузки.
6. Постановка и решение оптимальной задачи по точности электропривода. Рассмотреть вариант решения оптимизационной задачи в условиях ограничения координат (скорости, тока якоря).
7. Постановка и решение оптимальной задачи по быстродействию системы. Построение СУ с адаптацией к возмущению. Построение системы «Объект – астатическое наблюдающее устройство – регулятор с компенсационным каналом».
8. Проведение параметрической адаптации. Построение системы управления электроприводом как адаптивной системы с переменной структурой.
9. Произвести тепловой расчет и выбор системы отвода избытков тепла.
10. Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе.

## 6. Электромагнитные свойства силовых преобразователей

Теоретическая часть данного раздела дисциплины, представленная в виде лекционного материала, посвящена изучению следующего объема знаний:

Помехоустойчивость систем управления мощными силовыми преобразователями. Меры борьбы с ЭМИ. Рекомендации по конструированию. Требования к печатным платам. Топология земляных полигонов. Контроль важных паразитных параметров компонентов. Основные проблемы и задачи в области ЭМС, их ранжирование по уровням электромагнитных воздействий и частотным спектрам. Несущие частоты, спектры идеальных и реальных преобразователей электрической энергии, влияние полосы пропускания на измеряемый уровень радиопомех. Распространение электромагнитных помех посредством электромагнитного поля. Связь через общее сопротивление, магнитная (индуктивная) связь, электрическая (емкостная) связь. Типы паразитной связи. Помехоэмиссия. Экранирование как способ ослабления электромагнитных полей в устройствах промышленной и силовой электроники. Фильтрация устройств промышленной электроники

Для получения данного объема знаний необходимо изучить главы №№1-14 учебного пособия: [*Селяев А.Н. Электромагнитная совместимость устройств промышленной электроники: Учебное пособие. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. — 245 с.*] и выполнить индивидуальные задания из учебно-методического пособия: [*Теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем: Учебно-методическое пособие по практическим, лабораторным и самостоятельным занятиям / Кужсенко С. П. - 2016. 72 с.*].

### **Практическая работа №5.**

***Расчет, моделирование и реализация электромеханической части электротехнического комплекса. Параметры электропривода, нагрузки, обратные связи по внешнему параметру.***

#### **Ход работы:**

1. В соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым преподавателем из списка вариантов или предложенным по своему усмотрению, провести работу по помехозащищенности преобразователя.
2. Расчет электромагнитной совместимости. Несущие частоты, спектр преобразователя электрической энергии, влияние полосы пропускания на измеряемый уровень радиопомех.
3. Распространение электромагнитных помех посредством электромагнитного поля: связь через общее сопротивление, магнитная (индуктивная) связь, электрическая (емкостная) связь.
4. Типы паразитной связи. Помехоэмиссия.
5. Экранирование как способ ослабления электромагнитных полей в устройствах промышленной и силовой электроники.
6. Фильтрация в устройствах промышленной электроники.
7. Выполнение практической работы завершается подготовкой отчета по практической работе.

## 7. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов (СРС) организуется с целью подготовки к выполнению практических работ, закрепления лекционного материала и самостоятельного исследования материалов курса. Обучающийся должен освоить владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области цифровых систем управления электроэнергетическими потоками.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен изучить принципы построения, методы анализа и синтеза цифровых систем управления устройствами силовой электроники, современную элементную базу, расчет и выбор электрических параметров периферийных элементов систем автоматического управления при заданных условиях эксплуатации.

Практические навыки должны состоять в программировании DSP-процессоров, умении анализировать электромагнитные процессы в преобразователях с прямым цифровым управлением при различном характере возмущающих воздействий, рассчитывать характеристики и показатели цифровых корректирующих устройств, и их взаимосвязь с импульсными методами преобразования параметров электрической энергии. А также овладение практическими методами проектирования печатных плат, топологией земляных полигонов с повышенной помехоустойчивостью.

Виды самостоятельной работы и трудоемкость СРС состоит в том, что на самостоятельную подготовку должно тратиться обучаемым вдвое больше времени, чем на контактные виды обучения.

К формам контроля качества проведения СРС необходимо отнести:

- коллоквиум
- выступление (доклад) на занятии
- проверка выполнения домашнего задания;
- защита отчетов по практическим занятиям;
- конспект самоподготовки;
- опрос на занятиях;
- отчет по индивидуальному заданию;
- проверка расчетной работы;
- собеседование с преподавателем.

Наличие в учебном пособии вопросов проверочного теста и вопросов для самопроверки позволяет использовать его для контроля полноты и качества восприятия материала, а также для итогового контроля.

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

*Для проведения занятий лекционного типа*, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

*Для проведения практических занятий* используется *Лаборатория импульсных систем и преобразовательной техники* кафедры промышленной электроники ТУСУР. Описание имеющегося оборудования:

- Персональные компьютеры (15 шт.);
- Цифровой осциллограф DSO 3062A (10 шт.);
- Осциллограф АСК 1021 (6 шт.);
- Интерактивная доска – «Smart-board» DVIT;

Учебный лабораторный комплекс «Силовая электроника»;

Лабораторные стенды:

- "Для исследования однофазных выпрямителей и фильтров" (3 шт.),
- "Для исследования звена повышенной частоты" (3 шт.),
- "Для исследования инвертора напряжения" (13 шт.),
- "Для исследования инвертора тока" (3 шт.),
- "Для исследования НПП" (13 шт.),
- "Для исследования источников питания" (13 шт.),
- "Для исследования трехфазных выпрямителей" (3 шт.),
- "Для исследования УЭЭ с импульсной модуляцией" (13 шт.);

Программное обеспечение:

- ASIMEC
- AVR Code Vision 3.31Evaluation
- Far Manager
- Google Chrome
- LTspice 4
- LibreOffice
- Mathworks Matlab
- PTC Mathcad13, 14
- Visual Studio
- Windows XP

*Для самостоятельной работы* могут использоваться учебные аудитории (компьютерные классы) кафедры промышленной электроники, других подразделений учебного управления ТУСУР и аудитории СРС студенческих общежитий, имеющие следующий состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц.;
- компьютеры подключенные к сети «Интернет» и обеспечивающие доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Минимальный перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- Google Chrome.

## 9. Контрольно-измерительные материалы

### Тесты для самопроверки

- Соотношение между коэффициентами передачи тока эмиттера « $K_{Ie}$ » и коэффициент передачи тока базы « $K_{Ib}$ » для схемы транзистора с «ОБ»
  - $1 - K_{Ie} = K_{Ib} / (1 + K_{Ib})$
  - $K_{Ib} * K_{Ie} = K_{Ib} / (1 + K_{Ib})$
  - $K_{Ib} = K_{Ie} / (1 - K_{Ie})$
  - $K_{Ib} = K_{Ie} / (1 + K_{Ie})$
  - $K_{Ie} = K_{Ib} / (1 + K_{Ib})$
- Если отказ любого из элементов системы приводит к отказу всей системы, то элементы соединены:
  - последовательно;
  - параллельно;
  - последовательно и параллельно;
  - не соединены.
- Амплитуда высокочастотных помех на входе и выходе импульсного преобразователя и их интенсивность определяются
  - видом коммутационных процессов;
  - скоростью переходов на интервалах коммутации;
  - характером фильтра, его спектром;
  - уровнем входного напряжения.
- Компаратор служит для определения
  - Моментов равенства двух напряжений
  - Степени запаздывания одного сигнала относительно другого
  - Разности двух напряжений
  - Суммирования двух сигналов
- Широтно-импульсная модуляция, это...
  - изменение фазы сигнала с помощью модулируемого сигнала;
  - изменение амплитуды сигнала с помощью модулируемого сигнала;
  - изменение ширины импульса с помощью обратной связи;
  - изменение частоты с помощью амплитуды сигнала.
- Что является структурным элементом формата любой команды МПС?
  - Регистр;
  - Адрес ячейки;
  - Операнд;
  - Код операции (КОП).
- Выражения для коэффициентов усиления схемы «ОК»
  - $k_i > 1, k_u \leq 1, k_p > 1$
  - $k_i \geq 1, k_u \geq 1, k_p \geq 1$
  - $k_i < 1, k_u > 1, k_p > 1$
  - $k_i \leq 1, k_u > 1, k_p \leq 1$
  - $k_i = 1, k_u > 1, k_p > 1$
- Крутизна вольт-амперной характеристики является основным параметром:
  - биполярного транзистора;
  - диода;
  - полевого транзистора;
  - катушки индуктивности.

9. Одним из способов обмена памяти к внешним устройствам является:
- 1) Режим прямого доступа к памяти;
  - 2) Режим формирования сигналов прерываний в памяти;
  - 3) Режим программного управления памятью;
  - 4) Режим обслуживания памяти.
10. Возможна ли ситуация, когда на одном периоде ШИМ существует два изменяющихся фронта импульса?
- 1) Да
  - 2) Нет
  - 3) Только при изменении частоты
  - 4) Только при изменении амплитуды
11. Мостовой выпрямитель является:
- 1) двухполупериодным;
  - 2) однополупериодным;
  - 3) выпрямителем с удвоением напряжения;
  - 4) цифровым устройством.
12. Чем характеризуется МП?
- 1) Режимом кодирования памяти;
  - 2) Вводом\Выводом;
  - 3) Тактовой частотой, Разрядностью.
  - 4) Логическим управлением.
13. Английская аббревиатура ZCS обозначает
- 1) Мягкая коммутация с переключением транзистора при нулевом токе
  - 2) Мягкая коммутация с переключением транзистора при нулевом напряжении
  - 3) Мягкая коммутация с переключением транзистора при нулевой мощности.
14. Цифровые и аналоговые инверторы это устройства изменяющие фазу напряжения на:
- 1) 90 градусов;
  - 2) 180 градусов;
  - 3) 270 градусов;
  - 4) 45 градусов.
15. В общем случае под Архитектурой ЭВМ понимается ....
- 1) абстрактное представление машины в терминах основных функциональных модулей языка ЭВМ, структуры данных;
  - 2) микропроцессоры включающие в себя систему команд во времени, наличии дополнительных устройств в составе микропроцессора принципы и режимы ЭВМ;
  - 3) только одна программа;
  - 4) абстрактные операции ЭВМ которые имеют одинаковый интерфейс и подключены к единой информационной магистрали.
16. В какой из трех схем включения (ОБ, ОЭ, ОК) биполярный транзистор обладает наибольшим коэффициентом усиления по мощности?
- 1) ОК
  - 2) ОБ
  - 3) ОЭ
  - 4) ОЭ и ОК одинаково
  - 5) ОЭ и ОБ одинаково
17. Скважностью называют:
- 1) отношение периода импульса к длительности импульса;
  - 2) отношение длительности импульса к периоду;
  - 3) отношение периода импульса к длительности паузы;

- 4) отношение длительности импульса к длительности паузы.
18. В микропроцессорах используют два метода выработки совокупности функциональных управляющих сигналов:
- 1) однокристалльный и многокристалльный;
  - 2) функциональный и тактовый;
  - 3) программный и микропрограммный;
  - 4) универсальный и цифровой.
19. Введение демпфирующих RC-цепей позволяет существенно уменьшить высокочастотные помехи в импульсном преобразователе за счет
- 1) сглаживания коммутационных процессов;
  - 2) снижения скорости их протекания;
  - 3) резонансных явлений;
  - 4) увеличения активного сопротивления
20. Включение пускового конденсатора последовательно с пусковой обмоткой в электрической машине приводит:
- 1) к уменьшению сдвига фаз и увеличению пускового крутящего момента;
  - 2) к увеличению сдвига фаз и увеличению пускового крутящего момента;
  - 3) к увеличению сдвига фаз и уменьшению пускового крутящего момента;
  - 4) к уменьшению сдвига фаз и уменьшению пускового крутящего момента.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Ключи коммутаторы аналоговых сигналов – особенности применения в аналоговых схемах управления преобразователем.
2. Как влияет на регулировочные характеристики сопротивление активных внутренних потерь?
3. Покажите цепь протекания тока нагрузки в регуляторе переменного напряжения в режиме вольтодобавки (вольтоотбавки)?
4. Опишите типовые схемы усилительных каскадов, их режимы работы.
5. Какие схемы инверторов вы знаете?
6. Чем определяется амплитуда и длительность сквозного тока в схеме инвертора с нагрузкой переменного тока и с выпрямительной нагрузкой?
7. В каких случаях возникает процесс энергообмена нагрузки с питающей сетью, и при каких условиях он возможен?
8. Опишите варианты реализации транзисторного ключа двусторонней проводимости: свойства, схемы включения, методика расчета.
9. Когда нужны в схеме инвертора обратные диоды. На какое напряжение и на какой средний ток они выбираются?
10. Сравните использование источников постоянного тока и источников постоянного напряжения: свойства, применение, методика расчета.
11. Почему параллельный инвертор тока нормально работает только в определенном диапазоне коэффициента нагрузки?
12. Приведите пример транзисторного варианта инвертора тока.
13. Драйверы для управления полевым транзистором – особенности применения, частотные и мощностные характеристики.
14. Приведите пример реализации трехфазного тиристорного инвертора тока.
15. Какие особенности вносит в работу автономного инвертора тока обратный управляемый выпрямитель по сравнению с неуправляемым выпрямителем?
16. В чем заключается особенность регулируемого однотактного инвертора, при работе на трансформаторную нагрузку?
17. Драйверы для одноключевых и полумостовых преобразователей – какие функции выполняют, возможности схемной реализации.

18. Как выглядит нагрузочная характеристика источника питания на базе регулируемого инвертора.
19. Как можно изменить точность поддержания выходного напряжения при воздействии дестабилизирующих факторов.
20. В чем заключается особенность работы 3–фазного автономного инвертора, при работе его на активно-индуктивную нагрузку?
21. Драйверы для управления биполярным транзистором – особенности применения, частотные и мощностные характеристики.
22. У какого из 3–фазных автономных инверторов при отсутствии выходных фильтров наименьшие искажения выходного напряжения?
23. Схемотехника компараторов, особенности применения в системах управления.
24. Составные транзисторы – классификация, применение, методы расчета в зависимости от применения (частота и мощность)
25. Компараторы напряжения в цепях управления преобразователями, характеристики компараторов, компараторы с положительной обратной связью
26. Классификация современных микропроцессоров по функциональному признаку – применение в силовой электронике
27. Чем обусловлена установка обратных диодов параллельно ключам в 3–фазных инверторах? Как реализуется при этом импульсная модуляция?
28. Записать выражение передаточной функции источника питания для замкнутой системы управления преобразователем.
29. Магистрально-модульную структура микропроцессорной системы управления.
30. Особенности реализации ШИМ (PWM) в различных реализациях подсистем управления реального времени.
31. Типовая структура микропроцессорной системы. Привести схему функциональную.
32. Одноключевые преобразователи параметров электрической энергии – назначение, свойства, отличия.
33. Таймер, его структура и схемы включения. Использование таймера в реализации ШИМ.
34. Приведите пример реализации схемы управления трехфазного инвертора тока. В чем особенности алгоритма управления?
35. Принцип работы и основные параметры модуля АЦП. Устройство АЦП последовательного приближения.
36. Коммутаторы аналоговых сигналов для цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей.
37. Интерфейсы последовательного ввода\вывода, используемые для связи встраиваемой МП-системы с системой управления верхнего уровня: название и основные характеристики.
38. Алгоритм и функциональная схема АЦП, использующего внешний или встроенный аналоговый компаратор.
39. Интерфейсы последовательного ввода\вывода, используемые для связи с внешними по отношению к МК периферийными интегральными схемами, датчиками физических величин с последовательным выходом: название и основные характеристики.
40. Полумостовой преобразователь параметров электрической энергии. Принцип управления, особенности реализации.
41. Формирование алгоритмов управления драйверами силовых ключей.
42. Проектирование микропроцессорной системы: общее описание процесса, принципы управления силовыми преобразователями.

## Рекомендуемая литература

### Основная литература

1. Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Дякин А.С., Семенов В.Д. Импульсно-модуляционные системы: Учебное пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015. — 193 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://ie.tusur.ru/docs/svd/ims.rar>
2. Иванчура, В. И. Быстродействующие импульсные стабилизаторы напряжения [Электронный ресурс] : монография / В. И. Иванчура, Д. В. Капулин, Ю. В. Краснобаев. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. - 172 с. - ISBN 978-5-7638-2317-2. : В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=441448>
3. Энергетическая электроника: Учебное пособие / Семенов В. Д., Коновалов Б. И., Кобзев А. В. - 2010. 164 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/810>
3. Микропроцессорные устройства и системы: Учебное пособие / Русанов В. В., Шевелев М. Ю. - 2012. 184 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/867>
4. Основы микропроцессорной техники: Учебное пособие / Шарапов А. В. - 2008. 240 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/834>
5. Бородин К. В. Микропроцессорные устройства и системы : учебное пособие / К. В. Бородин. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2016. – 137 с.: В другом месте, [http://ie.tusur.ru/docs/bkv/mpus\\_up.pdf](http://ie.tusur.ru/docs/bkv/mpus_up.pdf)
6. Селяев А.Н. Электромагнитная совместимость устройств промышленной электроники: Учебное пособие. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. — 245 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://ie.tusur.ru/docs/sva/ems.rar>
7. Учебное пособие : "Магнитные элементы электронных устройств" / Легостаев Н. С. - 2014. 186 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/4272>
8. Спектры и анализ: Учебное пособие / Татаринцов С. А., Татаринцов В. Н. - 2012. 323 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/1490>
9. Электромагнитная совместимость РЭС: Учебное пособие / Козлов В. Г. - 2012. 147 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/1277>
10. Нанoeлектроника: Учебное пособие / Дробот П. Н. - 2016. 286 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6436>
11. Шарапов А.В. Микропроцессорные устройства и системы : учебное пособие / А. В. Шарапов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТМЦДО, 2008. - 152 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 18 экз.)
12. Воронин, Павел Анатольевич. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. - 2-е изд. - М. : ДОДЭКА-XXI, 2005. - 380[4] с. : ил. - Библиогр.: с. 374-379. - ISBN 5-94120-087-0 : 143.08 р. (наличие в библиотеке ТУСУР - 16 экз.)
13. Сукер, Кит. Силовая электроника. Руководство разработчика : Пер. с англ. / К. Сукер ; пер. : А. Н. Рабодзея. - М. : Додэка-XXI, 2007. - 251[5] с. : ил., табл. - (Силовая электроника). - Предм. указ.: с. 247-251. - ISBN 978-5-94120-173-0 : 192.00 р. (наличие в библиотеке ТУСУР - 16 экз.)
14. Саликаев, Ю. Р. Математические модели и САПР электронных приборов и устройств. Конспект лекций : учебное пособие / Ю. Р. Саликаев ; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2007. - 165 с. : ил. (наличие в библиотеке ТУСУР - 97 экз.)

15. Микропроцессорные системы [Текст] : Учебное пособие для вузов / В. Я. Хартов. - М.: Академия, 2010. - 352 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 16 экз.)
16. Основы микропроцессорной техники: учебное пособие / Ю. В. Новиков, П. К. Скоробогатов. - М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2012 ; М. : БИНОМ, 2012. - 358 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)
17. Микропроцессорные системы : Учебное пособие для вузов / Е. К. Александров [и др.]; ред. Д. В. Пузанков. - СПб. : Политехника, 2002. - 934, [2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 8 экз.)
18. Программы для микропроцессоров: Справочное пособие / А. Л. Гуртовцев, С. В. Гудыменко. - Минск: Высшая школа, 1989. - 352 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 38 экз.)
19. Рождественский Д. А. Микропроцессорные устройства в системах управления : учебное пособие / Д. А. Рождественский ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании. - Томск : ТУСУР, 2007 [2006]. - 174 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.)
20. Микропроцессоры : учебник для вузов: В 3 кн. / Ред. Л. Н. Преснухин. - Минск : Вышэйшая школа, 1987 - Кн. 3 : Средства отладки : Лабораторный практикум и задачник: Учебник для втузов / Николай Васильевич Воробьев, Владимир Леонидович Горбунов, Александр Васильевич Горячев и др. - Минск : Вышэйшая школа, 1987. - 288 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 77 экз.)
21. Воробьева Г. С. Аппаратные и программные средства для обмена информацией в стандарте RS-232C между IBM PC и микроконтроллерами семейств PIC, AVR, MCS-51 : учебное методическое пособие / Г. С. Воробьева, В. В. Яковлев, А. И. Солдатов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных систем. - Томск : ТМЦДО, 2007. - 119 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 100 экз.)
22. Электронные промышленные устройства: Учебное пособие / Тырышкин А. В., Андраханов А. А. - 2007. 221 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/805>
23. Теоретические основы автоматизированного управления: Учебник / Ехлаков Ю. П. - 2001. 338 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/668>
24. Морозов Виктор Михайлович, Системное моделирование и методы исследования математических моделей / Морозов В.М. - М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 243 с.: 60x90 1/16 ISBN 978-5-906818-32-4: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=544536>
25. Карманов Владимир Георгиевич, Математическое программирование [Электронный ресурс] : Учебное пособие / В. Г. Карманов. - 6-е изд., испр. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 264 с. - ISBN 978-5-9221-0983-3.: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=544747>
26. Учебное пособие «Основы математического моделирования»: Для направления подготовки 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» / Зариковская Н. В. - 2012. 247 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/4601>
27. Электронная техника: Учебник / М.В. Гальперин. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 352 с.: ил.; 60x90 1/16. ISBN 978-5-8199-0176-2: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=375623>
28. Техника высоких напряжений: Учебник / Важов В.Ф., Лавринович В.А. - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 256 с.: 60x90 1/16. ISBN 978-5-16-010565-9: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=561018>
29. Компьютерное моделирование и проектирование: Учебное пособие / Саликаев Ю. Р. - 2012. 94 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР,

<https://edu.tusur.ru/publications/2548>

30. Учебное пособие «Математическое моделирование систем»: Для направления подготовки 230100.62 «Информатика и вычислительная техника» и 230400.62 «Информационные системы и технологии» / Зариковская Н. В. - 2014. 168 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/4648>

31. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: Сборник научных трудов / Казарян М.Л., Музаев И.Д., Гиоева Е.Г. - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2018. - 150 с.: 60x90 1/16 ISBN 978-5-16-106772-7: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=972756>

32. Кобелев, Н. Б. Качественная теория больших систем и их имитационное моделирование [Электронный ресурс] : пособие для разработчиков имитационных моделей и пользователей / Н. Б. Кобелев. - М.: Принт Сервис, 2009. - 85 с.: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=414753>

33. Микропроцессорные системы : учеб. пособие / В.В. Гуров. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 336 с.: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=930533>

34. Цифровые устройства и микропроцессоры: учеб. пособие: Учебное пособие / Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. - СПб:БХВ-Петербург, 2010. - 832 с. ISBN 978-5-9775-0417-1: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=350706>

35. Моделирование процессов управления в интеллектуальных измерительных системах / Капля Е.В., Кузеванов В.С., Шевчук В.П. - М.: Физматлит, 2009. - 512 с.: ISBN 978-5-9221-1131-7 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=544737>

36. Системы реального времени: технические и программные средства: Учебное пособие / Древис Ю.Г. - М.:НИЯУ "МИФИ", 2010. - 230 с. ISBN 978-5-7262-1310-1: В другом месте, <http://znanium.com/bookread2.php?book=560589>

37. Москаленко, В.В. Электрический привод: Учебник / В.В. Москаленко. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 364 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=443646>

38. Онищенко, Г.Б. Теория электропривода: Учебник / Г.Б. Онищенко. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 294 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=452841>

#### **Учебно-методические пособия**

1. Микропроцессорные устройства и системы: Руководство к организации самостоятельной работы / Русанов В. В., Шевелев М. Ю. - 2012. 91 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/866>

2. Электропитание ЭВМ: Исследование системы стабилизации напряжения на основе однотактного обратного преобразователя / Семенов В. Д., Русанов В. В., Коновалов Б. И., Мишуков В. С. - 2015. 21 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/5775>

3. Электропитание ЭВМ: Исследование системы стабилизации напряжения на основе однотактного прямоходового преобразователя / Русанов В. В., Семенов В. Д., Мишуков В. С., Коновалов Б. И. - 2015. 24 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/5771>

4. Энергетическая электроника: Учебно-методическое пособие / Семенов В. Д., Мишуков В. С. - 2007. 174 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/812>

5. Теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем: Учебно-методическое пособие по практическим, лабораторным и самостоятельным занятиям / Куксенко С. П. - 2016. 72 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6528>

6. Методическое пособие по программированию микроконтроллеров АО «ПКК

Миландр»: Учебно-методическое пособие / Пуговкин А. В., Куан И. А., Ахметов Н. К., Бойченко А. В. - 2016. 70 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6550>

7. Учебно-методическое пособие «Математическое моделирование»: Для студентов по направлению 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 222900 «Нанотехнологии и микросистемная техника» / Зариковская Н. В. - 2014. 103 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/4607>

8. Математическое и компьютерное моделирование объектов и систем управления: Методические указания к практическим занятиям, лабораторным работам и самостоятельной работе для студентов магистратуры и аспирантов / Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Шутенков А. В. - 2018. 70 с.: В другом месте, <https://edu.tusur.ru/publications/7445>

9. Учебно-методическое обеспечение лабораторных работ. Коновалов Б.И., Мишуrow В.С., Миллер А.В. Энергетическая электроника: Руководство к организации лабораторных и практических работ / Томск. гос. ун-т сист. упр. и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники – Томск: ТУСУР, 2012. – 388 с. : В другом месте, <http://ie.tusur.ru/docs/new/lab/ee/1.doc>

10. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Тановицкий, Юрий Николаевич. Системы автоматизированного проектирования электронных схем : Руководство к организации самостоятельной работы / Ю. Н. Тановицкий ; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 49 с. : ил.: Библиотека ТУСУР,

11. Учебно-методическое обеспечение курсового проекта (работы). Энергетическая электроника: Методические указания и примеры выполнения курсового проекта / Мишуrow В. С. - 2010. 148 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <http://edu.tusur.ru/publications/811>

12. Микропроцессорные устройства и системы: Руководство к организации самостоятельной работы / Русанов В. В., Шевелев М. Ю. - 2012. 91 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <http://edu.tusur.ru/publications/866>

13. Микропроцессорные устройства и системы: Руководство к выполнению лабораторных работ / Русанов В. В., Шевелев М. Ю. - 2012. 23 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <http://edu.tusur.ru/publications/865>

14. Шарапов, Александр Викторович. Проектирование микропроцессорных устройств : руководство к выполнению курсовых проектов (в том числе ГПО) для студентов специальности "Промышленная электроника" / А. В. Шарапов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники. - Томск : ТУСУР, 2009. - 74 с. : ил. - Библиогр.: с. 74. - 50.00 р., 00.00 р. : Библиотека ТУСУР,

#### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. <https://ieeexplore.ieee.org>
2. <https://elibrary.ru/defaultx.asp>
3. <http://protect.gost.ru/>
4. <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh>
5. <http://www.microchip.com/>
6. <https://www.nxp.com>
7. <https://www.freescale.com>
8. <https://www.silabs.com>
9. <https://www.st.com/>
10. <http://www.ti.com>

### Периодические издания

1. IEEE Transactions on Power Electronics / ISSN: 0885-8993 / Published by IEEE Power Electronics Society [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=63> (Impact Factor 7.151)
2. IEEE Transactions on Industrial Electronics / ISSN: 0278-0046 / Published by: IEEE Industrial Electronics Society [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=41> (Impact Factor 7.168)
3. Журнал "Силовая электроника": В другом месте, <http://power-e.ru/>

**Михальченко Сергей Геннадьевич**

Интеллектуальная силовая электроника. Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий и самостоятельной работы // С. Г. Михальченко; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники – Томск: ТУСУР, 2018. – 23 с.

© Михальченко С.Г., 2018

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 2018