

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Электроснабжение и электротехнология»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«Б 1.1.15 Силовая электроника»

направления подготовки

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль «Электрические и электронные аппараты»

форма обучения – очная

курс – 3

семестр – 6

зачетных единиц – 4

часов в неделю – 4

всего часов – 144,

в том числе:

лекции – 36

коллоквиумы – нет

практические занятия – 18

лабораторные занятия – 18

самостоятельная работа – 72

зачет – не предусмотрен

экзамен – 6 семестр

РГР – не предусмотрена

курсовая работа – не предусмотрена

курсовой проект – не предусмотрен

1. Цели и задачи дисциплины

Учебная дисциплина «Силовая электроника» реализует требования федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Основной целью дисциплины является овладение студентами общей проблематикой и методологией силовой электроники, изучение ее основ и области применения в автоматизированных электротехнологических установках и системах.

Задачами изучения дисциплины являются:

- изучение схем, элементов схем и устройств силовой электроники, свойств и принципов функционирования;
- изучение процессов преобразования (выпрямления, инвертирования, импульсного, частотного и фазочастотного регулирования и т.п.) в устройствах силовой электроники, способов улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик;
- ознакомление с методами оптимизации преобразователей, их отдельных функциональных узлов и элементов;
- овладение методами расчета и математического моделирования преобразовательных устройств.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Силовая электроника» относится к базовым дисциплинам профессионального цикла. Указанная дисциплина основывается на знаниях и умениях, полученных при изучении дисциплин «Физика», «Теоретические основы электротехники», «Информатика». Предполагается, что студент усвоил практические разделы математического анализа и моделирования, теоретических основ электротехники, электроники, электрических машин, изучил современные тенденции в электроэнергетике. Студент также должен владеть технологией создания программного обеспечения на языках высокого уровня, а также уметь применять существующие пакеты прикладного моделирования и проектирования.

Знания, приобретенные в данном курсе, могут быть использованы в дальнейшем при выполнении программы бакалаврской подготовки, а также в профессиональной деятельности.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций: ОПК-2, 3, ПК – 1, 2, 8.

Студент должен знать:

- методы анализа и моделирования линейных и нелинейных электрических цепей постоянного и переменного тока;
- основные принципы работы силовых электронных приборов и основных устройств на их основе (выпрямителей, инверторов, импульсных преобразователей, преобразователей частоты);
- методы автоматического управления их выходными и входными параметрами, способами повышения их электромагнитной совместимости с питающими сетями и нагрузкой.

Студент должен уметь:

- анализировать конкретную задачу применения устройств силовой электроники в автоматизированных электротехнологических установках и системах;
- разрабатывать структурную и принципиальную схему соответствующих подсистем, выбирать необходимый состав оборудования.

Студент должен владеть:

- основными методами анализа и синтеза устройств силовой электроники, применяемых в автоматизированных электротехнологических установках и системах.

4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

№ модуля	№ недели	№ темы	Наименование темы	Часы				
				Всего	Лекции и колл.	Лабораторные	Практические	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1-5	1	Силовая электроника	26	6	-	-	20
1	6-9	2	Методы и схемы выпрямления	36	8	8	8	12
2	10-12	3	Автономные инверторы	30	8	4	6	12
2	13	4	Импульсные преобразователи	18	4	-	-	14
2	14-18	5	Преобразователи частоты	34	10	6	4	14
Всего				144	36	18	18	72

5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5

1	2	1	Силовая электроника (СЭ) как база автоматизации электротехнологических установок и систем. История развития. Основные виды устройств СЭ.	1, 3, 4, 7-9
1	2	2	Элементная база СЭ. Полупроводниковый диод. Однооперационный тиристор. Характеристики и схемы включения.	1, 3, 4, 7
1	2	3	Биполярный транзистор. Полевой транзистор. Характеристики и схемы включения.	1, 3, 4, 7
1	2	4	Биполярный транзистор с изолируемым затвором (IGBT-транзистор). Снабберные цепи. Назначения и схема включения.	1, 3, 4, 7, 9-11
2	2	5	Принципы и схемы выпрямления. Однополупериодная схема выпрямления с активной и активно-емкостной нагрузкой. Двухполупериодная схема выпрямления с нулевой точкой.	1, 3, 4, 7
2	2	6	Однофазная и трёхфазная мостовые схемы выпрямления. Расчёт трёхфазной мостовой схемы выпрямления.	1, 3, 4, 7
2	2	7	Многостовые схемы выпрямления. Понятие коммутации. Перекрытие анодов. Коэффициент мощности и КПД выпрямителей	1, 3, 4, 7
2	2	8	Принцип регулирования выходного напряжения выпрямителей. Однофазная и трёхфазная мостовые схемы управляемых выпрямителей.	1, 3, 4, 7
3	2	9	Классификация автономных инверторов. Автономные инверторы тока (АИТ). Достоинства и недостатки. Однофазная и трёхфазная мостовые схемы.	3, 4, 7
3	2	10	Виды компенсаторов реактивной мощности. Однофазная и трехфазная мостовые схемы инверторов тока с диодно-реактивным компенсатором реактивной мощности. Резонансные инверторы.	3, 4, 7
3	2	11	Инверторы напряжения (АИН). Преимущества и недостатки. Работа однофазного и трёхфазного инверторов напряжения на активно-индуктивную нагрузку. Инверторы напряжения на тиристорах.	3, 4, 7
4	2	12	Импульсные преобразователи постоянного тока (ИППТ). Понижающие и повышающие импульсные преобразователи. Виды модуляций в устройствах силовой электроники	3, 4, 7
5	2	13	Преобразователи частоты (ПЧ). Преобразователи частоты с явным звеном постоянного тока и непосредственные преобразователи частоты.	3, 4, 7
5	2	14	Система стабилизации выходного напряжения ПЧ на основе инвертора тока. Статическая точность стабилизации выходного напряжения.	3, 4, 7

		Выбор коэффициента усиления. Исследование динамики ПЧ.	
--	--	--	--

6. Содержание коллоквиумов

Действующим учебным планом коллоквиумы не предусмотрены.

7. Перечень практических занятий

№ темы	Всего часов	Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
2	2	Однофазный двухполупериодный выпрямитель. Расчет основных характеристик. Построение нагрузочной и энергетической характеристик.	2, 12
2	2	Трехфазный двухполупериодный мостовой выпрямитель. Построение нагрузочных и энергетических характеристик выпрямителя без учета коммутации и при учете коммутации.	2, 12
2	4	Однофазный мостовой управляемый выпрямитель. Построение нагрузочной и энергетических характеристик. Исследование регулировочной характеристики. Исследование спектрального состава тока потребления.	2, 12
3	4	Трехфазный управляемый выпрямитель в режимах выпрямления и инвертирования. Построение нагрузочной и энергетических характеристик. Исследование регулировочной характеристики. Исследование спектрального состава тока потребления. Исследование спектрального состава тока, генерируемого инвертором в сеть.	2, 12
3	2	Однофазный мостовой инвертор с симметричным управлением. Расчет основных характеристик. Построение регулировочной и энергетических характеристик.	2, 12
5	4	Мостовой широтно-импульсный преобразователь с симметричным законом управления. Расчет основных характеристик. Построение регулировочной и энергетических характеристик.	2, 12

Отчет по практической работе должен содержать тему, краткую теоретическую и развернутую практическую части, с подробными комментариями ко всем этапам работы, объем не менее 4 страниц.

8. Перечень лабораторных работ

№ темы	Всего часов	Наименование лабораторной работы. Вопросы, отрабатываемые на лабораторном	Учебно-методическое
--------	-------------	--	---------------------

		занятия	обеспечение
1	2	3	4
2	6	Исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя	2, 12
2	6	Исследование трехфазного двухполупериодного мостового выпрямителя	2, 12
2	6	Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя	2, 12
3	6	Исследование трехфазного управляемого выпрямителя в режимах выпрямления и инвертирования	2, 12
3	6	Исследование однофазного мостового инвертора с симметричным управлением	2, 12
5	6	Исследование мостового широтно-импульсного преобразователя с симметричным законом управления	2, 12

Отчет по лабораторной работе должен содержать тему, краткую теоретическую и развернутую практическую части, с подробными комментариями ко всем этапам работы, объем не менее 4 страниц.

9. Задания для самостоятельной работы студентов

Текущая самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине «Силовая электроника», направленная на углубление и закрепление знаний студента, на развитие практических умений, включает в себя следующие виды работ:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по темам, вынесенным на самостоятельную проработку;
- подготовка к практическим, лабораторным занятиям и экзамену.

№ темы	Всего Часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
1	16	Электронно-дырочный переход, явления, возникающие при контакте металла с полупроводником. Полупроводники с различным типом проводимости. Зонная диаграмма р-п-перехода. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) р-п-перехода, виды его пробоя.	3, 4
1	16	Элементная база преобразовательной техники. Основные типы вентилях. Полупроводниковый диод. Однооперационный тиристор. Биполярный транзистор. Полевой транзистор. Биполярный транзистор с изолируемым затвором (IGBT). Снабберные цепи. Назначения и схема включения. Реакторы, трансформаторы,	1, 3, 4, 7, 9-11

		конденсаторы.	
1	16	Методы расчета устройств силовой электроники. Метод основной гармоники. Спектральный метод. Методы компьютерного моделирования: переключающих функций, одного интервала.	2, 5, 12
1	14	Система моделирования электронных устройств. Изучается система моделирования электронных устройств (MATLAB – SIMULINK, PSIM, OrCad или MULTISIM), инструментарий, способы графического изображения и корректировки схем, элементная библиотека, принципы настройки параметров.	2, 5, 12
2	16	Основные схемы выпрямления. Электрическое проектирование выпрямителя. Выбор схемы выпрямителя. Расчет параметров элементов схемы управляемого выпрямителя. Принципы регулирования.	1, 3, 4, 7
3	16	Автономные инверторы тока. Стабилизация и регулирование выходного напряжения инвертора тока с помощью индуктивно-тиристорного компенсирующего устройства. Инвертор тока с отсекающими диодами. Резонансные инверторы. Автономные инверторы напряжения, особенности их работы на индуктивную нагрузку, роль отсекающих диодов. Многоуровневые инверторы напряжения.	3, 4, 7
4	16	Виды модуляций в устройствах силовой электроники. Широтно-импульсные преобразователи. Характеристики. Достоинства и недостатки. Повышающий преобразователь. Повышающе-понижающие преобразователи. Непосредственные преобразователи.	3, 4, 7
5	16	Преобразователи частоты. Преобразователи частоты с явным звеном постоянного тока, непосредственные преобразователи. Системы стабилизации и регулирования выходных параметров. Исследование динамики преобразователя частоты. Преобразователи частоты как импульсные системы. Передаточные функции преобразователей частоты.	3, 4, 7

10. Расчетно-графическая работа

Расчетно-графическая не предусмотрена учебным планом.

11. Курсовая работа

Курсовая работа не предусмотрена учебным планом.

12. Курсовой проект

Курсовой проект не предусмотрен учебным планом.

13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

В процессе освоения образовательной программы у обучающегося в ходе изучения дисциплины «Силовая электроника» должны быть сформированы компетенции ОПК-2, 3, ПК-1, 2, 8.

Для оценки знаний, умений, навыков и/или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины «Силовая электроника» проводится промежуточная аттестация в виде модуля и итоговая аттестация в виде экзамена.

Вопросы для зачета

Зачет учебным планом не предусмотрен.

Вопросы для экзамена

1. Роль устройств силовой электроники в электротехнологическом оборудовании.
2. Основные виды устройств силовой электроники и их назначение.
3. Основные типы вентиляей.
4. Полупроводниковый диод. Характеристика и схемы включения.
5. Однооперационный тиристор. Характеристика и схема включения.
6. Биполярный транзистор. Характеристика и схема включения.
7. Полевой транзистор. Характеристика и схема включения.
8. Биполярный транзистор с изолируемым затвором (IGBT).
9. Снабберные цепи. Назначения и схема включения.
10. Принципы и схемы выпрямления.
11. Однополупериодная схема выпрямления.
12. Однополупериодная схема выпрямления с активно-емкостной нагрузкой.
13. Двухполупериодная схема выпрямления с нулевой точкой.
14. Трёхфазные схемы выпрямления.
15. Трёхфазная схема выпрямления с нулевой точкой.
16. Последовательность переключения вентиляей в трёхфазной мостовой схеме выпрямления.
19. Расчёт трёхфазной мостовой схемы выпрямления.
20. Многомостовые схемы выпрямления.
21. Коэффициент мощности и КПД выпрямителей.
22. Принцип регулирования выходного напряжения выпрямителей.
23. Трёхфазная мостовая схема управляемого выпрямителя.
24. Схемы выпрямления с умножением напряжения.
25. Виды автономных инверторов.

26. Автономные инверторы тока. Достоинства и недостатки.
27. Однофазная мостовая схема инвертора тока.
28. Трёхфазная мостовая схема инвертора тока.
29. Виды компенсаторов реактивной мощности.
30. Однофазный мостовой инвертор тока с диодно-реактивным компенсатором реактивной мощности.
31. Тиристорно-реакторный компенсатор реактивной мощности.
32. Трёхдроссельная схема трёхфазного инвертора тока.
33. Инверторы напряжения. Достоинства и недостатки.
34. Работа однофазного инвертора напряжения на активно-индуктивную нагрузку.
35. Работа трёхфазного инвертора напряжения на активно-индуктивную нагрузку.
36. Инверторы напряжения на тиристорах.
37. Многомостовые схемы инверторов напряжения.
38. Импульсные преобразователи постоянного тока.
39. Понижающие импульсные преобразователи постоянного тока.
40. Повышающие импульсные преобразователи постоянного тока.
41. Виды модуляций в устройствах силовой электроники.
42. Резонансные инверторы.
43. Моделирование устройств силовой электроники на ЭВМ.
44. Преобразователи частоты. Основные виды
45. Преобразователи частоты с явным звеном постоянного тока
46. Непосредственный преобразователь частоты.
47. Система стабилизации выходного напряжения на основе инвертора тока.
48. Статическая точность стабилизации выходного напряжения. Выбор коэффициента усиления.
49. Исследование динамики преобразователя частоты.
50. Микропроцессоры в системах преобразования частоты.
51. Структурная схема микропроцессорной системы управления.
52. Преобразователи частоты как импульсные системы.
53. Аналогово-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи. Теорема Котельникова.
54. Классификация микропроцессоров.
55. Характеристики микропроцессоров.
56. Построение передаточных функций преобразователей частоты.

Тестовые задания по дисциплине

Тестовые задания по дисциплине расположены в ИОС по адресу https://portal.sstu.ru/Fakult/EF/AEU/elet_ets_b316/default.aspx.

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине «Силовая электроника» включает учет успешности выполнения практических и лабораторных работ, тестовых заданий и сдачу экзамена.

Практические работы считаются успешно выполненными в случае предоставления в конце занятий, отведенных на выполнение этой работы, отчета, включающего тему, ход работы, соответствующие рисунки и подписи (при наличии), и ответе на вопросы (защите) по теме работы. Шкала оценивания – «зачтено» / «не зачтено». «Зачтено» за практическую работу ставится в случае, если она полностью и правильно выполнена, и при этом обучающимся показано свободное владение материалом по дисциплине. «Не зачтено» ставится в случае, если практическая работа выполнена неверно и/или не полностью, и она возвращается студенту на доработку, а затем вновь сдаётся на проверку преподавателю.

Лабораторные работы считаются успешно выполненными в случае предоставления в конце занятий, отведенных на выполнение этой работы, отчета, включающего тему, ход работы, соответствующие рисунки и подписи (при наличии), и ответе на вопросы (защите) по теме работы. Шкала оценивания – «зачтено» / «не зачтено». «Зачтено» за лабораторную работу ставится в случае, если она полностью и правильно выполнена, и при этом обучающимся показано свободное владение материалом по дисциплине. «Не зачтено» ставится в случае, если лабораторная работа выполнена неверно и/или не полностью, и она возвращается студенту на доработку, а затем вновь сдаётся на проверку преподавателю.

В конце семестра обучающийся письменно отвечает на тестовые задания, содержащие вопросы по изученному материалу. Оценивание тестовых заданий проводится по принципу «зачтено» / «не зачтено». В качестве критериев оценивания используется количество правильных ответов. При ответе более чем, на 60 % вопросов выставляется «зачтено», в случае меньшего количества правильных ответов ставится «не зачтено».

К экзамену по дисциплине обучающиеся допускаются при:

- предоставлении и защите отчетов по всем практическим занятиям;
- предоставлении и защите отчетов по всем лабораторным занятиям;
- предоставлении и защите отчета по курсовой работе;
- успешном написании тестовых заданий.

Экзамен сдаётся устно, по билетам, в которых представлено 2 вопроса из перечня «Вопросы для экзамена». Оценивание проводится по принципу «отлично» / «хорошо» / «удовлетворительно» / «неудовлетворительно».

«Отлично» ставится при правильном, полном и логично построенном ответе, умении оперировать специальными терминами, использовании в ответе дополнительного материала, иллюстрировании теоретического положения практическим материалом. «Хорошо» ставится, если при ответе имеются негрубые ошибки или неточности. В случае затруднения в использовании практического материала и не вполне законченных выводов или обобщений в ответе, ставится оценка «удовлетворительно».

«Неудовлетворительно» ставится при схематичном неполном ответе и неумении оперировать специальными терминами или их незнании.

14. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ФГОС ВПО по направлению подготовки реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Удельный вес занятий по дисциплине «Силовая электроника», проводимых в интерактивных формах, составляет не менее 20%.

Тема занятия	Вид занятия	Интерактивная форма
Моделирование и исследование трехфазного мостового инвертора тока	лабораторное	метод проектов
Моделирование и исследование многоуровневого инвертора напряжения	лабораторное	метод проектов
Моделирование и исследование импульсного преобразователя постоянного тока	лабораторное	метод проектов

15. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Артюхов, И. И. Основы выпрямительной техники: учеб. пособие для студ. напр. 551700, спец. 100400 / И. И. Артюхов, М. А. Фурсаев; Саратовский гос. техн. ун-т. – Саратов: СГТУ, 2005.
2. Герман-Галкин, С. Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink: учебник / С. Г. Герман-Галкин. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2013.
3. Розанов, Ю. К. Силовая электроника [Электронный ресурс]: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
4. Розанов, Ю. К. Справочник по силовой электронике: учебное пособие / Розанов Ю.К. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2014.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

5. Марк, Е. Multisim 7. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств / Марк Е. – Москва: ДМК Пресс, 2008.
6. Овчаренко, Н. И. Элементы автоматических устройств энергосистем: В 2-х кн.: учебник для вузов / Н. И. Овчаренко. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995.

7. Семенов, Б. Ю. Силовая электроника: профессиональные решения: учебное пособие / Семенов Б.Ю. – Москва: ДМК-пресс, 2011.
8. Шеин, А. Б. Методы проектирования электронных устройств / Шеин А. Б. – Москва: Инфра-Инженерия, 2013.
9. Флоренцев С.Н. Современное состояние и перспективы развития приборов силовой электроники. – Электронная промышленность, 2002, № 4, с. 34.
10. Флоренцев С.Н. Силовые IGBT-модули – основа современного преобразовательного оборудования. – Электронные компоненты, 2002, № 6, с. 11.
11. Ланцов В., Эраносян С. Интеллектуальная силовая электроника. – Силовая электроника, 2006, № 1, с. 4.
12. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB: SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – Электрон. текстовые дан. – М.: ДМК Пресс ; СПб. [и др.] : Питер, 2008.

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

Практическая силовая электроника
Силовая электроника

ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

<http://window.edu.ru/> – Электронная библиотека учебно-методической литературы для общего и профессионального образования
<http://www.twirpx.com/library/> – Электронная библиотека
<http://elibrary.ru/> – Научная электронная библиотека
<http://www.power-e.ru/> – Журнал «Силовая электроника»

ИСТОЧНИКИ ИОС

https://portal.sstu.ru/Fakult/EF/AEU/elet_ets_b316/default.aspx

16. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине необходима лекционная аудитория общей площадью не менее 40 кв.м., оснащенная интерактивной доской, ноутбуком и проектором.

Для практических занятий необходима учебная аудитория общей площадью не менее 40 кв.м., оснащенная интерактивной доской, ноутбуком, проектором и имеющая доступ к проводному Интернету либо к *Wi-fi*.

Для выполнения самостоятельной работы обучающиеся могут воспользоваться компьютерными классами факультета и Электронно-библиотечной системой ВУЗа.

Для оформления письменных работ, презентаций к докладу обучающимся необходимы пакеты программ Microsoft Office (Excel, Word, Power Point, Acrobat Reader), Internet Explorer, или других аналогичных.

При выполнении практических и лабораторных работ используются среды Matlab, PSIM, OrCad или MULTISIM.