

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ  
Декан РЭФ, проф., д.т.н.  
\_\_\_\_\_ Гридчин В.А.  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине "Энергетическая электроника" ("Спецглавы преобразовательной техники ")

Для студентов, обучающихся по специальности (направлению) 200400

Промышленная электроника (направление 654100 – Электроника и микроэлектроника)

Факультет Радиотехники, электроники и физики (РЭФ)

Кафедра Промышленной электроники

Курс 5 Семестр 9

Лекции	51	час.
Практические (семинарские) занятия	17	час.
Лабораторные занятия	17	час.
Контр. работы		час.
Курсовые работы		час.
Курсовые проекты	9	час.
РГР		час.
Индивид. занятия		час.
Всего	150	час.

Экзамен \_\_\_\_\_ 9 \_\_\_\_\_  
семестры

Зачет \_\_\_\_\_  
семестры

Самостоятельная работа 65 час.

2001 г.

Рабочая программа составлена на основании требований к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по курсу "Энергетическая электроника", изложенным в Государственном образовательном стандарте высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 654100 "Электроника и микроэлектроника", регистрационный номер 23 тех/дс, утвержден 10.03. 2000 г.

Индекс СД. 07

Программу составил:  
проф., д.т.н.

Харитонов С.А.,

Эксперт НМЦ, доц. к.т.н.

Левданский С.Е.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200 г.

Ученый секретарь кафедры

Антонова С.С.

**1. Требования государственного образовательного стандарта (ГОС)  
по направлению подготовки дипломированного специалиста  
“Электроника и микроэлектроника” (654100) по специальности “Про-  
мышленная электроника” (200400)**

Квалификация - *инженер*

Выписка:

\* Объектами профессиональной деятельности выпускника по направлению подготовки дипломированного специалиста "Электроника и микроэлектроника" (654100), специальности "Промышленная электроника" (200400) являются материалы, компоненты, приборы и устройства электронной техники, технологические процессы их изготовления, методы исследования, проектирования и конструирования, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели процессов и объектов электроники, алгоритмы решения типовых задач, относящихся к профессиональной сфере.

Инженер по направлению подготовки "Электроника и микроэлектроника", специальность "Промышленная электроника" (200400) должен быть подготовлен к решению следующих типовых задач:

1) экспериментально-исследовательская деятельность:

- анализ, систематизация и обобщение научно-технической информации по теме исследований;
- измерение или экспериментальное исследование объектов электронной техники с целью их модернизации или создания новых материалов, приборов или их технологий;
- построение физико-математических моделей объектов на базе достижений фундаментальных наук;
- математическое моделирование разрабатываемых структур, приборов или технологических процессов с целью оптимизации их параметров;
- выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований;
- составление описаний проводимых исследований, подготовка данных для составления отчетов, обзоров и другой документации;

2) проектно-конструкторская деятельность:

- анализ состояния научно-технической проблемы, формулирование технического задания, постановка цели и задач проектирования объекта на основе подбора и изучения литературных и патентных источников;
- проектирование, расчет, конструирование и модернизация устройств электронной техники на схемотехническом и элементном уровне с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств;
- оценка экономической эффективности проектно-конструкторских решений, обеспечение необходимого уровня унификации и стандартизации изделий;

- участие в модельных и натуральных экспериментах по оптимизации структуры и конструкции электронных устройств и оборудования, оценка их качества и надежности на стадиях проектирования и эксплуатации;

- разработка проектно-конструкторской документации;

3) производственно-технологическая деятельность:

- анализ состояния научно-технической проблемы, формулирование цели и задач исследований при разработке технологических процессов производства изделий электронной;

- разработка и планирование технологических процессов изготовления устройств электроники, решение организационных и технико-экономических вопросов, связанных с их производством;

- поиск и анализ причин возникновения брака и разработка мероприятий по их предупреждению;

- оценка технологичности конструкторских решений, применение средств и систем автоматизации процессов производства изделий электронной;

- разработка норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, выбор оборудования и технологической оснастки, оценка экономической эффективности технологических процессов;

- размещение технологического оборудования, техническое оснащение и организация рабочих мест, расчет производственных мощностей и загрузки оборудования;

4) организационно-управленческая деятельность:

- организация работы коллектива исполнителей, принятие исполнительских решений в условиях спектра мнений;

- определение порядка выполнения работ, организация маршрутов технологического прохождения элементов и узлов создаваемых устройств электронной;

- поиск оптимальных решений при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты;

- разработка планов конструкторско-технологических работ и управление ходом их выполнения;

- оценка экономической эффективности принимаемых решений, их патентной чистоты, маркетинга;

- профилактика производственного травматизма, профессиональных заболеваний, предотвращение экологических нарушений, защита интеллектуальной собственности;

5) эксплуатационное и сервисное обслуживание:

- выполнение экспериментальных работ по оценке надежности и долговечности электронной аппаратуры в условиях эксплуатации;

- определение технического состояния и остаточного ресурса электронной аппаратуры, контроль за правильной ее эксплуатацией;

- планирование технического обслуживания и ремонта технологического, диагностического и электронного оборудования;
- участие в монтаже, наладке и регулировании электронной аппаратуры, а также в испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов электронной техники;
- составление технической документации, включая инструкции по эксплуатации электронного оборудования, программы испытаний, технические условия.

## **2. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Построение дисциплины "Энергетическая электроника" основано на следующих принципах:

\*Курс входит в число специальных дисциплин подготовки инженера "Промышленной электроники".

\*Основной целью курса является формирование у студентов системных знаний и умений в области проектирования и применения мощных устройств преобразования электрической энергии.

\*Ядро дисциплины составляют принципы построения мощных (высоковольтных) электронных схем на базе современных полупроводниковых приборах (IGCT, MGCT, GTO, IGBT, MOSFET), а также современные микропроцессорные (векторные) алгоритмы управления преобразователями электрической энергии.

\*В курсе выделены четыре составные части (блока): современная элементная база энергетической электроники, современная схематехника энергетической электроники, современные алгоритмы управления устройствами энергетической электроники, системы энергетической электроники.

\*Успешное изучение материала курса подразумевает, что студенты владеют достаточными знаниями в областях математики, физики, ТОЭ, полупроводниковых приборов, микропроцессорной техники, электромеханики и силовой электроники.

\*Курс сопровождается практическими занятиями, основным содержанием которых является решение задач, приведенных в учебном пособии.

\*Второй составляющей практической работы студентов является выполнение курсового проекта, посвященной проектированию конкретных устройств энергетической электроники.

\*Оценка знаний и умений студентов осуществляется путем:

-Периодического собеседования по материалам курса и практических занятий с итоговым кафедральным зачетом.

-Дифференцированного зачета по результатам выполнения курсового проекта.

-Итогового экзамена по билетам, включающего два теоретических вопроса.

### 3. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА

N цели	
Студент должен иметь представления:	
1	Об основных областях применения устройств силовой электроники в энергетических системах и тенденциях развития приборов и устройств энергетической электроники
2	Об энергосберегающих технологиях, основанных на использовании устройств силовой электроники
3	О принципах построения многоуровневых (высоковольтных) схем преобразователей электрической энергии
4	Об основных способах повышения энергетической эффективности устройств энергетической электроники
Студент должен знать:	
5	Объект курса (основные энергосберегающие технологии, основанные на применении энергетической электроники), предмет и задачи курса (основные приборы, устройства и системы энергетической электроники, а также алгоритмы управления ими, области применения изучаемых устройств и принципы их проектирования и эксплуатации)
6	Основные современные приборы энергетической электроники
7	Устройства согласования (драйверы) микропроцессорных систем управления с силовыми п/п приборами
8	Базовые схемы современной энергетической электроники (Инверторы тока с ШИМ, многоуровневые инверторы напряжения, циклоконверторы на полностью и полупроводимых п/п ключах)
9	Принципы наращивания мощности в устройствах силовой электроники
10	Виды ШИМ и способы реализации (скалярные, векторные)
11	Способы повышения энергетической эффективности и качественных показателей выходной электроэнергии устройств энергетической электроники
12	Типовые системы энергетической электроники
Студент должен уметь:	
	Спроектировать устройство энергетической электроники:
13	Выбрать оптимальную схему преобразователя электрической энергии для реализации энергосберегающей технологии
14	Выбрать тип полупроводниковых силовых приборов
15	Выбрать тип драйверов
16	Рассчитать основные электрические параметры и характеристики устройства
17	Выбрать алгоритм управления и предъявить требования к аппаратной реализации системы управления

## 4. СТРУКТУРА КУРСА

Построение рабочей программы исходит из взгляда на систему энергетической электроники, как целостный объект, состоящий из приборов и устройств силовой электроники, а также устройств управления с известными алгоритмами. Для проектирования таких систем необходимо знание свойств отдельных элементов и устройств. Сказанное обосновывает структуру рабочей программы, состоящей из четырех разделов:

### 1. Современная элементная база энергетической электроники.

Здесь студенты изучают основные характеристики и параметры мощных современных п/п: IGCT, MGCT, GTO, IGBT, MOSFET.

### 2. Современная схематехника энергетической электроники.

На базе знаний схематехники силовой электроники рассматриваются основные (базовые) схемотехнические решения энергетической электроники: многоуровневые (высоковольтные) инверторы (конверторы) напряжения с ШИМ, инверторы и конверторы тока с ШИМ, циклоконверторы на полностью и полууправляемых полупроводниковых приборах. Рассматриваются принципы повышения мощности в устройствах силовой электроники.

### 3. Современные алгоритмы управления устройствами энергетической электроники,.

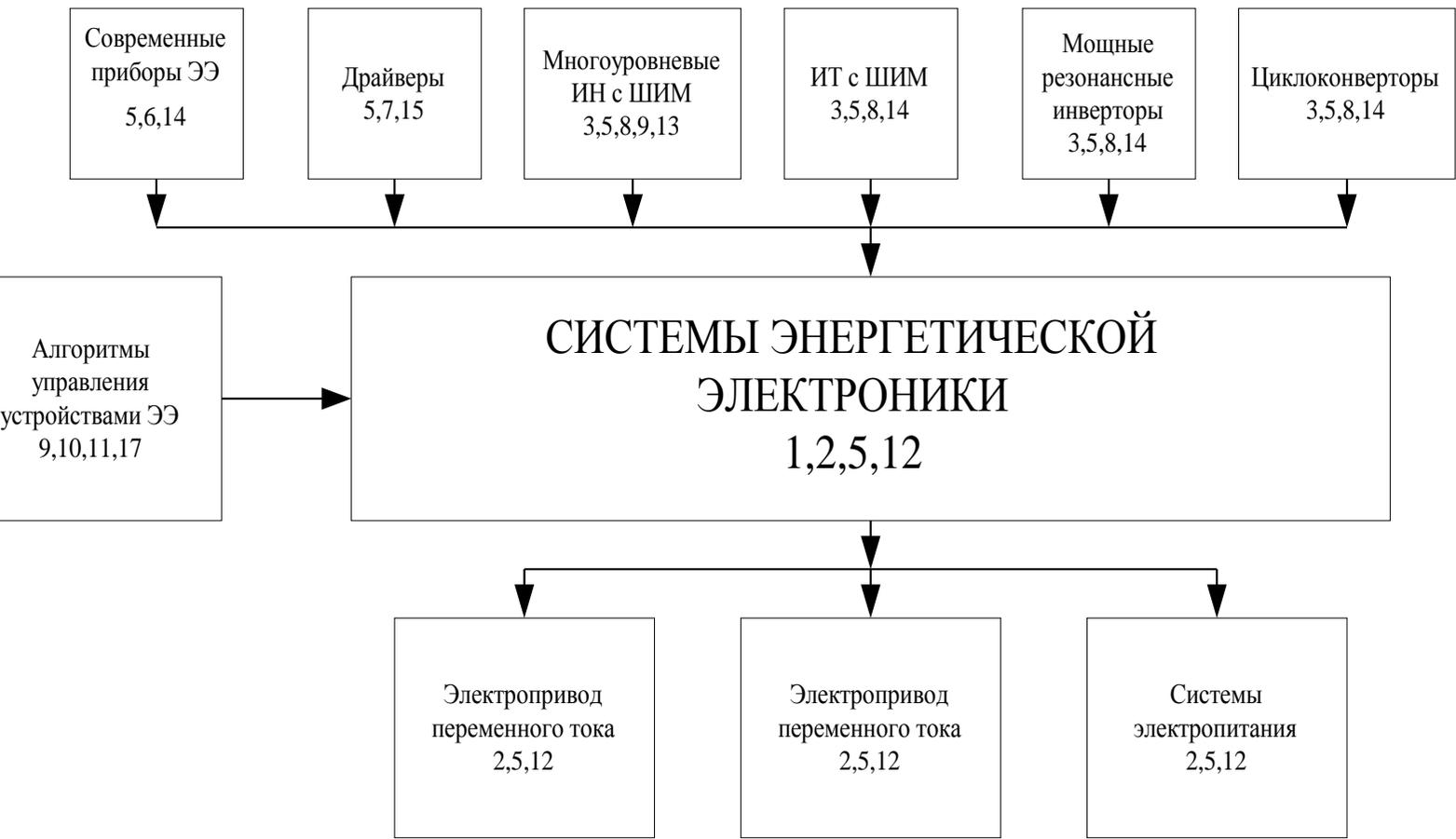
В этом разделе используются знания, приобретенные в курсах силовой электроники, электропривода и МП систем. Вводятся и рассматриваются: понятие результирующего вектора, различные описывающие системы координат, понятие векторной ШИМ и векторной многозонной ШИМ.

Анализируются способы повышения энергетической эффективности и качественных показателей выходной электроэнергии устройств энергетической электроники.

### 4. Системы энергетической электроники

В качестве примеров построения систем энергетической электроники и принципов управления ими рассматриваются: системы генерирования электрической энергии, асинхронный и синхронный электропривод, электропривод постоянного тока.

### Структурная схема дисциплины



## 5. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

Лекции - 51ч., лабораторные занятия - 17ч., практических занятий - 17ч.  
курсовой проект.

№	Тема лекционных занятий	Кол. часов	Ссылки на цели курса
1.	Предмет и задачи курса. Силовая электроника как основа энерго- и ресурсосберегающих технологий.	2	1,2
2	<b>Современная элементная база энергетической электроники</b>		5
2.1	IGBT модули	1	6,14
2.2	MOSFET	1	6,14
2.2	GTO, IGCT	2	6,14
2.3	Интеллектуальные модули	1	7,15
2.4	Драйверы	1	7,15
2.5	Оптоэлектронные устройства	1	7,15
3	<b>Современная схематехника энергетической электроники</b>		8,9,13,16
3.1	Инверторы напряжения с ШИМ	1	8,9,13,16
3.2	Многоуровневые инверторы напряжения с ШИМ	1	8,9,13,16
3.3	Высоковольтные инверторы напряжения на IGCT	2	8,9,13,16
3.4	Резонансные инверторы	2	8,9,13,16
3.5	Инверторы тока с ШИМ	2	8,9,13,16
3.6	Циклоконверторы	2	8,9,13,16
3.7	Матричные преобразователи	1	8,9,13,16
4	<b>Современные алгоритмы управления устройствами энергетической электроники</b>		5
4.1	Понятие результирующего вектора. Системы координат	2	10,11,17
4.2	Понятие векторной ШИМ в ИН и ИТ	2	10,11,17
4.3	Векторная многозонная ШИМ в многоуровневых ИН	2	10,11,17
4.4	Способы повышения энергетической эффективности и качественных показателей выходной электроэнергии устройств СЭ	2	10,11,17
5	<b>Системы силовой электроники</b>		5
5.1	Системы генерирования Электрической энергии	4	1,12,13
5.2	Асинхронный электропривод	6	1,12,13
5.3	Синхронный электропривод	6	1,12,13

5.4	Электропривод постоянного тока	5	1,12,13
	Итого	50	

## Темы практических занятий

Тема	Деятельность студента. Решая задачи и отвечая на контрольные вопросы, студент:	Часы	Ссылки на цели курса
Расчет инвертора напряжения на IGBT и MOSFET	*Использует знания второго и третьего разделов программы, проводит расчет элементов схемы. *Защищает свои.	4	4,6,8,9,14
Расчет элементов системы управления, драйверы, ограничители напряжения, радиофильтры	*Использует знания второго, третьего и четвертого разделов программы, проводит расчет элементов системы управления. *Защищает свои.	4	7,11,9,15
Расчет инверторов на IGCT и GTO	*Использует знания второго и третьего разделов программы, проводит расчет элементов схемы. *Защищает свои.	4	4,6,8,9,14
Расчет элементов системы управления, драйверы, ограничители напряжения, снаберы, ограничители di/dt	*Использует знания второго, третьего и четвертого разделов программы, проводит расчет элементов системы управления. *Защищает свои.	4	7,11,9,15

Алгоритмы управления	*Синтезируется алгоритм трех-уровневым инвертором напряжения. *Закрепляет свои знания в области алгоритмов управления инверторами напряжения.	2	4,11,8,17
----------------------	--	---	-----------

## Темы лабораторных занятий

Тема	Деятельность студента. Выполняя работу и отвечая на контрольные вопросы, студент:	Часы	Ссылки на цели курса
Электропривод асинхронный с ШИМ инвертором	Использует знания всех четырех разделов, закрепляет и защищает их.	4	1,4,6,7,8,10,11
Электропривод синхронный с ШИМ инвертором	Использует знания всех четырех разделов, закрепляет и защищает их.	4	1,4,6,7,8,10,11
Транзисторный электропривод постоянного тока	Использует знания всех четырех разделов, закрепляет и защищает их.	4	1,4,6,7,8,10,11
Бесперебойный источник питания.	Использует знания всех четырех разделов, закрепляет и защищает их.	4	1,4,6,7,8,10,11

## Курсовая работа

Темы	Студенту необходимо:	Часы	Ссылки на цели курса
Проектирование электропривода асинхронного	*Получить задание на выполнение курсовой работы. *Выбрать оптимальную схему преобразователя. *Выбрать тип полупроводниковых приборов. *Выбрать тип драйверов. *Рассчитать основные электрические параметры и характеристики устройства. *Синтезировать алгоритм управления. *Сделать выводы по результатам выполнения работы. *Подготовить пояснительную записку объемом 15-20 стр.		13,14,15,16,17,1,2
Проектирование электропривода синхронного			13,14,15,16,17,1,2
Проектирование электропривода постоянного тока			13,14,15,16,17,1,2
Проектирование бесперебойного источника питания			13,14,15,16,17,1,2

При расчете основных параметров и характеристик, подготовке пояснительной записки используются компьютерные технологии. Приветствуется использование стандартных программ компьютерного анализа.

Учебно-методическая литература:

1. Грабовецкий Г.В., Куклин О.Г., Харитонов С.А. Непосредственные преобразователи частоты с естественной коммутацией для электромеханических систем: Учеб. Пособие. - Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 1998, 60 с.
2. Зиновьев Г.С. Силовая электроника. Учебник. - Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 1999. Ч.1 - 199 с.
3. Зиновьев Г.С. Силовая электроника. Учебник. - Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2000. Ч.2 - 197 с.
4. Харитонов С.А. Энергетические характеристики нелинейных электрических цепей с вентилями. Геометрические аналогии: Учеб. Пособие.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 168с.
5. Заболев Р.Я. Многослойные полупроводниковые приборы: Учеб. пособие. - Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 1999. Ч.1 - 73 с.
6. Power Domain of Three Phase PWM Rectifiers. Sergi Fillet Castella, Joan Bergas, Samuel Galceran, Antoni Sudria:- Conference European Power Electronics, 2001
7. Multilevel and Matrix Converters, Modern Line Side Converters, Emerging Topologies F. Richardeau, LEEI-ENSEEИHT, France, J. K. Pedersen, Aalborg University, Denmark:- Conference European Power Electronics, 2001
8. Matrix Converters O. Apeldoorn, ABB, Switzerland, A. Хабцк, Siemens, Germany:- Conference European Power Electronics, 2001
9. В. Kaku, I. Miyashita, S. Sone, Switching loss minimised space vector PWM method for IGBT three-level inverterr, IEE Proceedings online no. 19970989.1997, Pg. 182-190.
- 10.S.M. Tenconi, M. Carpita, C. Bacigalupo, R. Cafi, Multilevel Voltage Source Converters for Medium Voltage Adjustable Speed Drives, IEEE Catalog Number: 95TH8081, 1995.
- 11.M. Marchesoni, M. Mazzucchelli, Multilevel Converters for High Power AC Drives: a Review, ISIE'93 – Budapest, IEEE inty. Symp. On Industrial Electronics, 1993. Pg. 38-43.

## **6. КОНТРОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМА ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТА.**

Контролирующие материалы включают:

1. Перечень контрольных вопросов, сопровождающих каждый раздел теоретического курса.
2. Перечень задач, используемых при проведении практических занятий и самостоятельной работе студентов.
3. Перечень экзаменационных билетов, каждый из которых содержит два теоретических вопроса (содержание билетов систематически обновляется).

4. Контролирующие материалы для проверки остаточных знаний студентов, с помощью которых проверяются:

а) Представления студентов о роли силовой электроники в энерго- и ресурсосберегающих технологиях, о принципах построения высоковольтных схем преобразования электрической энергии, об основных способах повышения энергетической эффективности устройств энергетической электроники.

б) Знания студентов в области приборов и устройств энергетической электроники, включая алгоритмы управления.

в) Знания и умения в части определения основных параметров и характеристик мощных устройств энергетической электроники.

6.1 Перечень билетов и их содержание.

**(REMOVED BY WA)**

6.2 Перечень контрольных вопросов для проверки знаний студентов.

6.2.1. Раздел 1. Современная элементная база энергетической электроники.

1. Принципиальная схема IGBT. Назначение элементов?
2. Область применения MOSFET?
3. В чем отличие тиристоры GTO и GCT?
4. В чем отличие тиристоры IGCT и GCT?
5. Назначение драйверов?
6. Способы "питания" драйверов?
7. Типы снаберов и их назначение ( $du/dt$ ,  $di/dt$ )?
8. Способы гальванической развязки?
9. Оптоэлектронные элементы в системах управления устройствами ЭЭ?

6.2.2 Раздел 2. Современная схематехника энергетической электроники.

1. Чем отличаются ИН и ИТ?
2. Зачем нужны многоуровневые схемы ИН?
3. Какие технологии построения многоуровневых ИН вы знаете?
4. В чем отличие мощных ИН на IGBT и IGCT?
5. Зачем нужна ШИМ в ИТ?
6. С какой целью используется резонансный режим в мощных ИН?
7. Какие законы управления циклоконвертором с естественной коммутацией Вам известны?
8. Матричный преобразователь ac/dc?
9. Матричный преобразователь ac/ac?

6.2.3 Раздел 3. Современные алгоритмы управления устройствами энергетической электроники.

1. С какой целью вводится понятие результирующего (описывающего) вектора?
2. Какие системы координат используются при построении алгоритмов управления устройствами ЭЭ?

3. В чем преимущество вращающейся системы координат?
4. Зачем вводится векторная ШИМ?
5. В чем преимущество векторной ШИМ перед скалярной?
6. Самый простой способ расширения линейного диапазона модуляционной характеристики ИН?
7. Принцип построения скалярной ШИМ в многоуровневых ИН?

#### 6.2.4 Раздел 4. Системы энергетической электроники.

- 1 Основой каких технологий являются устройства ЭЭ?
- 2 Как строятся системы бесперебойного питания?
- 3 Основные принципы построения общепромышленных приводов переменного тока.
- 4 Какие качества приобретает электропривод переменного тока при использовании ДПР?
- 5 Области применения асинхронных и синхронных электроприводов?

#### 6.3 Оценка деятельности студента.

Оценка текущей и итоговой деятельности студента состоит из следующих этапов:

##### 6.3.1 Оценка текущей деятельности

Осуществляется путем собеседования преподавателя и студента по результатам подготовки к лабораторным (практическим).

Итог этого вида деятельности- внутренний кафедральный зачет, необходимый для допуска студента на экзамен по дисциплине.

##### 6.3.2 Оценка выполнения курсовой работы.

Ход выполнения курсового проектирования разделяется на этапы и рассматривается на установленных преподавателем консультационных занятиях. При своевременном выполнении этапов работы она может оцениваться без дополнительной защиты. В противном случае студент дополнительно защищает свой труд и качество его выполнения перед преподавателем или комиссией.

Итоговая оценка курсового проекта - дифференцированный зачет с оценкой по пятибалльной системе.

##### 6.3.3 Оценка остаточных знаний студентов.

При оценке остаточных знаний студентов определяющим, на наш взгляд, является знание ими стратегических понятий, определений, особенностей рассмотренных в курсе методов построения схем и алгоритмов управления.

Подобную оценку целесообразно проводить в течение одного часа учебных занятий, определяемой кафедрой или другой проверяющей организацией, в форме письменного ответа на три контрольных вопроса из числа приведенных выше в соответствии с таблицей:

Количество правильных ответов	Оценка
3	отлично
2	хорошо
1	удовлетворительно

