

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Промышленная электроника и микропроцессорная техника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ДИНАМИКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01.02.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 5;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>3 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 113,5 часов;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>3 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Серегин Д.А.
	Идентификатор	R5209bc37-SereginDA-9c53cea2

Д.А. Серегин

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рашитов П.А.
	Идентификатор	R66e8dfb1-RashitovPA-1953162c

П.А. Рашитов

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Асташев М.Г.
	Идентификатор	R7a29e524-AstashevMG-0583186f

М.Г. Асташев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** освоение студентами современных методов анализа динамических процессов в преобразовательных установках и способов построения и расчета систем управления ими

### Задачи дисциплины

- получить навыки анализа работы схем: расчет статического режима, частотных характеристик, переходных характеристик; анализа устойчивости схем преобразовательных установок с замкнутыми обратными связями;
- изучить свойства, преимущества, недостатки и особенности применения различных видов регулирования и способов управления преобразовательными установками;
- освоить методику синтеза систем управления преобразователями.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен проводить и сопровождать работы по проектированию устройств электроники и наноэлектроники в соответствии с требованиями технического задания	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Умеет анализировать, исследовать и разрабатывать схемы узлов и блоков устройства электроники и наноэлектроники на основе технического задания	знать: - свойства и методы анализа вентильного преобразователя как элемента САР со свойством неполной управляемости вентиля и свойством дискретности.  уметь: - разрабатывать системы управления преобразовательной установки с целью обеспечения заданных статических и динамических характеристик системы; - рассчитывать динамические свойства и переходные процессы в преобразователях.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Промышленная электроника и микропроцессорная техника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Обобщенная схема вентильного преобразователя. Анализ преобразователей методом усреднения	28	3	6	-	8	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Расчет характеристик вентильного преобразователя для различных схем выпрямителей/инверторов	
1.1	Обобщенная схема вентильного преобразователя. Анализ преобразователей методом усреднения	28		6	-	8	-	-	-	-	-	14	-		
2	Вентильный преобразователь как непрерывное устройство. Вентильный преобразователь как дискретное устройство	40		10	-	8	-	-	-	-	-	22	-		<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Примеры систем с нелинейной амплитудной характеристикой; с неполной управляемостью
2.1	Вентильный преобразователь как непрерывное устройство. Вентильный преобразователь как дискретное устройство	40		10	-	8	-	-	-	-	-	22	-		

3	Способы управления	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Качество управления. Критерии, задание требований в ТЗ на устройства. Критерии устойчивости, быстродействия, точности стабилизации
3.1	Способы управления	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	
4	Расчет переходного процесса в АИТ методом огибающей	30	8	-	6	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Методы расчета переходных процессов: точные и приближенные; аналитические и численные
4.1	Расчет переходного процесса в АИТ методом огибающей	30	8	-	6	-	-	-	-	-	16	-	
5	Понятие о результирующем векторе трехфазной системы	28	4	-	6	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Алгоритмы управления инвертором и активным выпрямителем на основе коммутационного вектора - векторное управление
5.1	Понятие о результирующем векторе трехфазной системы	28	4	-	6	-	-	-	-	-	18	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>80</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>113.5</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Обобщенная схема вентильного преобразователя. Анализ преобразователей методом усреднения

1.1. Обобщенная схема вентильного преобразователя. Анализ преобразователей методом усреднения

Обобщенная схема многофазного вентильного преобразователя (ВП). Структурная схема ВП как элемента САР. Понятие собственно-вентильного преобразователя (СВП). Особенности динамики СВП. Полезная составляющая сигнала СВП при линейном изменении угла  $\alpha$ . Динамическая регулировочная характеристика СВП. Предельная частота выходного сигнала ВП. Методу усреднения для анализа статических преобразователей. Анализ автономных преобразователей. Обоснование применения метода к анализу ведомых преобразователей. Динамические характеристики ВП с учетом параметров элементов силовой схемы и нагрузки. Режим больших отклонений тока нагрузки. Обобщенная силовая схема ВП для вентильного возбуждения и вентильного электропривода. Динамические характеристики ВП с учетом параметров элементов силовой схемы и нагрузки. Режим малых отклонений тока нагрузки. Обобщенная схема ВП для вентильного возбуждения и вентильного электропривода. Постоянная составляющая ЭДС преобразователя при гармоническом входном сигнале. Корректирующие цепи, исключаяющие постоянную составляющую. Постоянная составляющая при конечном  $m$ .

#### 2. Вентильный преобразователь как непрерывное устройство. Вентильный преобразователь как дискретное устройство

2.1. Вентильный преобразователь как непрерывное устройство. Вентильный преобразователь как дискретное устройство

Вентильный преобразователь как непрерывное устройство. Амплитудная и фазовая частотные характеристики. Передаточная функция ВП. Расчет автоколебаний в замкнутых системах с ВП, связанных с неполной управляемостью вентиляей. Вентильный преобразователь как дискретное устройство. Режим малых отклонений управляющего сигнала. Сравнительные характеристики звена ШИМ I и ШИМ II. Режим больших отклонений управляющего сигнала. Методы анализа. Низкочастотные биения в выходном напряжении ВП при воздействии высокочастотных сигналов. Влияние асимметрии системы управления.

#### 3. Способы управления

3.1. Способы управления

Характеристики реверсивного вентильного преобразователя с отдельным управлением группами вентиляей. Способы управления. Совместное управление реверсивным ВП. Зависимость динамического уравнительного тока от инерционности СУ. Частотные характеристики силовой схемы реверсивного ВП с совместным управлением группами вентиляей.

#### 4. Расчет переходного процесса в АИТ методом огибающей

4.1. Расчет переходного процесса в АИТ методом огибающей

Расчет переходного процесса в АИТ методом огибающей (1ое приближение). Ограничения метода. Включение инвертора. Сброс, наброс активной нагрузки. Сброс, наброс индуктивной нагрузки. Сброс, наброс нагрузки без изменения фазового угла. Сброс, наброс нагрузки без изменения модуля проводимости.

## 5. Понятие о результирующем векторе трехфазной системы

### 5.1. Понятие о результирующем векторе трехфазной системы

Понятие о результирующем векторе трехфазной системы. Запись уравнений трехфазной цепи с использованием результирующих векторов. Вращающаяся система координат. Запись уравнений трехфазной цепи во вращающейся системе координат. Коммутационная функция и коммутационный вектор АИТ. Свойства коммутационного вектора.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Расчет передаточной функции ВП как непрерывного устройства. Динамический уравнительный ток, расчет звеньев системы управления;
2. Понятие о результирующем векторе трехфазной системы. Запись уравнений во вращающейся системе координат; расчет процессов. Применение коммутационного вектора при расчете систем с АИН и АИТ;
3. Расчет переходных процессов в АИТ методом огибающей (1ое приближение). Сброс, наброс нагрузки;
4. Расчет переходных процессов в АИТ методом огибающей (1ое приближение). Включение инвертора;
5. Характеристики реверсивного вентильного преобразователя с отдельным управлением группами вентиляей. Совместное управление реверсивным ВП. Частотные характеристики силовой схемы реверсивного ВП с совместным управлением группами вентиляей. Сопоставление характеристик;
6. Автоколебания в системе с ВП, связанные со свойством дискретности;
7. Вентильный преобразователь как дискретное устройство. Режим малых отклонений управляющего сигнала;
8. Обобщенная схема многофазного ВП. Понятие СВП. Предельная частота выходного сигнала ВП. Метод усреднения - примеры применения к автономным и ведомым сетью преобразователям.

### 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Консультации по теме "Обобщенная схема вентильного преобразователя. Анализ преобразователей методом усреднения". Особенности применения метода усреднения для анализа преобразователей различных типов.
2. Вентильный преобразователь как непрерывное устройство: проявление неполной управляемости; исключение проявления неполной управляемости. Дискретные системы: примеры, анализ дискретных систем. Преобразователь и система управления как дискретная система.
3. Способы управления вентильным преобразователем. Особенности, свойства, преимущества и недостатки. Технические решения, особенности практической реализации.
4. Однофазный автономный инвертор тока (АИТ). Трехфазный АИТ. Анализ на основе результирующего вектора.
5. Результирующий вектор трехфазной системы. Коммутационный вектор. Описание процессов в трехфазной системе. Управление трехфазным инвертором.

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
<b>Знать:</b>							
свойства и методы анализа вентильного преобразователя как элемента САР со свойством неполной управляемости вентилей и свойством дискретности	ИД-3ПК-1	+	+				Контрольная работа/Ведомый сетью преобразователь как непрерывное устройство  Контрольная работа/Преобразователи как дискретные устройства
<b>Уметь:</b>							
рассчитывать динамические свойства и переходные процессы в преобразователях	ИД-3ПК-1	+	+	+			Расчетно-графическая работа/Расчет системы управления преобразовательной установкой
разрабатывать системы управления преобразовательной установки с целью обеспечения заданных статических и динамических характеристик системы	ИД-3ПК-1				+	+	Контрольная работа/Расчет динамических процессов в автономных преобразователях - автономных инверторах



## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Ведомый сетью преобразователь как непрерывное устройство (Контрольная работа)
2. Преобразователи как дискретные устройства (Контрольная работа)
3. Расчет динамических процессов в автономных преобразователях - автономных инверторах (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Расчет системы управления преобразовательной установкой (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Экзамен (Семестр №3)*

Оценка за дисциплину выставляется в соответствии с положением о балльно-рейтинговой структуре НИУ "МЭИ" на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника : Учебник для энергетических и электромеханических специальностей вузов / Ю. С. Забродин . – 2-е изд., стер . – М. : Альянс, 2008 . – 496 с. - ISBN 978-5-903034-34-5 .;
2. Мелешин, В. И. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии / В. И. Мелешин, Д. А. Овчинников . – М. : Техносфера, 2011 . – 576 с. – (Мир радиоэлектроники) . - ISBN 978-5-94836-260-1 .;
3. Розанов Ю. К., Рябчицкий М. В., Кваснюк А. А.- "Силовая электроника", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (632 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72283](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72283).

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Д-427, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Д-427, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Д-427, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-324/6, Преподавательская каф. "Пром.эл."	кресло рабочее, стул, шкаф для документов, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-324/5, Методический кабинет каф. "Пром.эл."	парта, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная передвижная, ноутбук

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Динамика преобразовательных установок

(название дисциплины)

#### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Ведомый сетью преобразователь как непрерывное устройство (Контрольная работа)
- КМ-2 Преобразователи как дискретные устройства (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчет системы управления преобразовательной установкой (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Расчет динамических процессов в автономных преобразователях - автономных инверторах (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	15	16
1	Обобщенная схема вентильного преобразователя. Анализ преобразователей методом усреднения					
1.1	Обобщенная схема вентильного преобразователя. Анализ преобразователей методом усреднения		+	+	+	
2	Вентильный преобразователь как непрерывное устройство. Вентильный преобразователь как дискретное устройство					
2.1	Вентильный преобразователь как непрерывное устройство. Вентильный преобразователь как дискретное устройство		+	+	+	
3	Способы управления					
3.1	Способы управления				+	
4	Расчет переходного процесса в АИТ методом огибающей					
4.1	Расчет переходного процесса в АИТ методом огибающей					+
5	Понятие о результирующем векторе трехфазной системы					
5.1	Понятие о результирующем векторе трехфазной системы					+
Вес КМ, %:			20	20	40	20