

**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**  
**КЛЮЧЕВЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ**

|  |  |
|--|--|
| <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.05</b>   |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>                                   | <b>1 семестр - 4;<br/>2 семестр - 7;<br/>всего - 11</b>                            |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>                                    | <b>396 часа</b>  |
| <b>Лекции</b>  | <b>1 семестр - 16 часов;<br/>2 семестр - 16 часов;<br/>всего - 32 часа</b>         |
| <b>Практические занятия</b>  | <b>1 семестр - 16 часов;<br/>2 семестр - 32 часа;<br/>всего - 48 часа</b>          |
| <b>Лабораторные работы</b>   | <b>2 семестр - 16 часов;</b>   |
| <b>Консультации</b>  | <b>1 семестр - 2 часа;<br/>2 семестр - 18 часов;<br/>всего - 20 часов</b>          |
| <b>Самостоятельная работа</b>  | <b>1 семестр - 109,5 часов;<br/>2 семестр - 165,2 часа;<br/>всего - 274,7 часа</b> |
| <b>в том числе на КП/КР</b>  | <b>2 семестр - 15,7 часов;</b>   |
| <b>Иная контактная работа</b>  | <b>2 семестр - 4 часа;</b>   |
| <b>включая:</b><br><b>Контрольная работа</b><br><b>Лабораторная работа</b> |  |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>   |  |
| <b>Экзамен</b>   | <b>1 семестр - 0,5 часа;</b>   |
| <b>Экзамен</b>   | <b>2 семестр - 0,5 часа;</b>   |
| <b>Защита курсовой работы</b>  | <b>2 семестр - 0,3 часа;<br/>всего - 1,3 часа</b>                                  |

**Москва 2024**

**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:** изучение основных технических решений, применяемых в современных ключевых источниках электропитания, и приобретение навыков разработки устройств на их основе

### Задачи дисциплины

- изучение принципов работы и схемных решений ключевых источников электропитания с непрерывной и прерывистой передачей энергии в нагрузку, а также резонансных источников электропитания;
- изучение характеристик и основных расчетных соотношений ключевых источников электропитания, построенных с применением различных схемных решений;
- приобретение навыков разработки ключевых источников электропитания, от анализа достоинств и недостатков схемотехнического решения до выбора элементов схемы и способа управления источником.

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 нанoeлектроники в соответствии с требованиями технического задания | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Умеет использовать алгоритмы решения исследовательских задач, компьютерного моделирования и верификации моделей элементов, узлов и блоков электронного устройства | уметь:<br>- рассчитывать и экспериментально исследовать режимы работы элементов схемы и характеристики ключевого источника электропитания, в том числе с использованием пакетов схемотехнического моделирования.   |
| ПК-1 Способен проводить и сопровождать работы по проектированию устройств электроники и нанoeлектроники в соответствии с требованиями технического задания | ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Умеет анализировать, исследовать и разрабатывать схемы узлов и блоков устройства электроники и нанoeлектроники на основе технического задания                     | знать:<br>- основные схемы, принципы работы, режимы работы элементов схемы, достоинства и недостатки, области применения ключевых источников электропитания с трансформаторной развязкой с непрерывной передачей энергии в нагрузку;<br>- основные схемы, принципы работы, режимы работы элементов схемы, достоинства и недостатки ключевых источников электропитания с трансформаторной развязкой с прерывистой передачей энергии в нагрузку;<br>- основные схемы, принципы работы, режимы работы элементов схемы, достоинства и недостатки источников электропитания с непрерывным потреблением энергии от источника и с непрерывной передачей энергии в нагрузку; резонансных ключевых источников электропитания. |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения  |
|--------------------------------|--|--|
|                                |  | уметь:<br>- разрабатывать силовую часть и систему управления ключевых источников электропитания. |

## 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 нанoeлектроника, 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 11 зачетных единиц, 396 часа.

| № 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     | Ключевые источники питания. Общие вопросы построения  | 12                    | 1       | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 8                 | -                                 | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Области применения. Примеры устройств.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 30-35, 57-65</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Варианты схемных решений. Перспективные технические решения.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 252-269</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Варианты схемных решений. Перспективные технические решения. Особенности перематничивания трансформатора.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 275-282<br/>[2], стр. 47-63</p> |
| 1.1   | Ключевые источники питания. Общие вопросы построения.   | 12                    |         | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 8                 | -                                 |  |
| 2     | Однотактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения   | 24                    |         | 4  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 16                | -                                 |  |
| 2.1   | Однотактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения.  | 24                    |         | 4  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 16                | -                                 |  |
| 3     | Преимущества двухтактного способа преобразования энергии перед однотактным. Двухтактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения | 36                    |         | 6  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 26                | -                                 |  |
| 3.1   | Преимущества двухтактного способа   | 36                    | 6       | -  | 4   | -  | -            | - | -   | -  | 26 | -                 |                                   |  |

|     |   |              |   |           |          |           |          |          |          |          |            |              |             |  |
|-----|---|--------------|---|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|------------|--------------|-------------|--|
|     | преобразования энергии перед однократным. Двухтактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения.  |              |   |           |          |           |          |          |          |          |            |              |             |  |
| 4   | Двухтактный мостовой DC/DC-преобразователь напряжения, в котором входная цепь мостовой схемы соединена с источником питания через обмотку дросселя  | 36           |   | 4         | -        | 6         | -        | -        | -        | -        | -          | 26           | -           | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Схемных решения - преимущества, область применения.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[2], стр. 77-97</p>  |
| 4.1 | Двухтактный мостовой DC/DC-преобразователь напряжения, в котором входная цепь мостовой схемы соединена с источником питания через обмотку дросселя. | 36           |   | 4         | -        | 6         | -        | -        | -        | -        | -          | 26           | -           |  |
|     | Экзамен   | 36.0         |   | -         | -        | -         | -        | 2        | -        | -        | 0.5        | -            | 33.5        |  |
|     | <b>Всего за семестр</b>   | <b>144.0</b> |   | <b>16</b> | <b>-</b> | <b>16</b> | <b>-</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>0.5</b> | <b>76</b>    | <b>33.5</b> |  |
|     | <b>Итого за семестр</b>   | <b>144.0</b> |   | <b>16</b> | <b>-</b> | <b>16</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>0.5</b> | <b>109.5</b> |             |  |
| 5   | Однократный обратногоходовой DC/DC-преобразователь напряжения   | 47           | 2 | 2         | 8        | 6         | -        | -        | -        | -        | -          | 31           | -           | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Варианты схемных решений. Перспективные технические решения.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 263-265, 461-468<br/>[3], стр. 4-23</p> |
| 5.1 | Однократный обратногоходовой DC/DC-   | 47           |   | 2         | 8        | 6         | -        | -        | -        | -        | -          | 31           | -           |  |

|     |   |    |   |   |    |   |   |   |   |    |    |  |  |  |
|-----|---|----|---|---|----|---|---|---|---|----|----|--|--|--|
|     | преобразователь напряжения.   |    |   |   |    |   |   |   |   |    |    |  |  |  |
| 6   | Двухтактный DC/DC-преобразователь напряжения с магнитным накопителем энергии в цепи первичной обмотки трансформатора. Двухтактный резонансный преобразователь напряжения  | 46 | 7 | - | 10 | - | - | - | - | -  | 29 | -  | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Резонансные преобразователи. Последовательный резонансный контур. Последовательный резонансный контур. Квазирезонансные преобразователи.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 373-408<br/>[2], стр. 64-76, 98-112</p> |  |
| 6.1 | Двухтактный DC/DC-преобразователь напряжения с магнитным накопителем энергии в цепи первичной обмотки трансформатора. Двухтактный резонансный преобразователь напряжения. | 46 | 7 | - | 10 | - | - | - | - | 29 | -  |  |  |  |
| 7   | Двухтактный мостовой прямоходовой преобразователь напряжения с непрерывным потреблением и передачей энергии в нагрузку  | 34 | 2 | - | 8  | - | - | - | - | 24 | -  | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Варианты схемных решений. Перспективные технические решения. Области применения.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 261-262<br/>[2], стр. 64-76</p> |  |  |
| 7.1 | Двухтактный мостовой прямоходовой преобразователь   | 34 | 2 | - | 8  | - | - | - | - | 24 | -  |  |  |  |

|     |  |              |           |           |           |           |           |          |          |            |              |             |  |
|-----|--|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|------------|--------------|-------------|--|
|     | напряжения с непрерывным потреблением и передачей энергии в нагрузку.  |              |           |           |           |           |           |          |          |            |              |             |  |
| 8   | Управление процессом преобразования электрической энергии. Структурная схема высокочастотного контроллера для управления преобразователем  | 53           | 5         | 8         | 8         | -         | -         | -        | -        | -          | 32           | -           | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Применяемые и перспективные алгоритмы управления. Цифровые системы управления.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 404-419<br/>[3], стр. 24-62</p> |
| 8.1 | Управление процессом преобразования электрической энергии. Структурная схема высокочастотного контроллера для управления преобразователем. | 53           | 5         | 8         | 8         | -         | -         | -        | -        | -          | 32           | -           |  |
|     | Экзамен  | 36.0         | -         | -         | -         | -         | 2         | -        | -        | 0.5        | -            | 33.5        |  |
|     | Курсовая работа (КР)   | 36.0         | -         | -         | -         | 16        | -         | 4        | -        | 0.3        | 15.7         | -           |  |
|     | <b>Всего за семестр</b>  | <b>252.0</b> | <b>16</b> | <b>16</b> | <b>32</b> | <b>16</b> | <b>2</b>  | <b>4</b> | <b>-</b> | <b>0.8</b> | <b>131.7</b> | <b>33.5</b> |  |
|     | <b>Итого за семестр</b>  | <b>252.0</b> | <b>16</b> | <b>16</b> | <b>32</b> | <b>18</b> |           | <b>4</b> |          | <b>0.8</b> | <b>165.2</b> |             |  |
|     | <b>ИТОГО</b>   | <b>396.0</b> | <b>-</b>  | <b>32</b> | <b>16</b> | <b>48</b> | <b>20</b> |          | <b>4</b> | <b>1.3</b> | <b>274.7</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. Ключевые источники питания. Общие вопросы построения

#### 1.1. Ключевые источники питания. Общие вопросы построения.

Необходимость регулирования потока электрической энергии, передаваемой в нагрузку. Импульсный способ регулирования электрической энергии. Его сущность и обязательный набор элементов устройства, осуществляющего импульсное регулирование. Классификация преобразователей по способам реализации импульсного процесса преобразования и регулирования электрической энергии..

### 2. Однотактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения

#### 2.1. Однотактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения.

Процессы в схеме и ее характеристики. Временные диаграммы токов и напряжений. Ограниченность диапазона регулирования, обусловленная необходимостью восстановления исходного состояния трансформатора. Характер процессов при неполном восстановлении исходного состояния трансформатора и обоснование необходимости полного восстановления. Влияние индуктивности намагничивания трансформатора на процесс восстановления при условии присутствия паразитной емкостной нагрузки обмоток трансформатора. Основные причины появления паразитной емкостной нагрузки. Целесообразность обеспечения двуполярного перемагничивания сердечников в магнитопроводе трансформатора и реализация такого режима работы трансформатора в однотактном прямоходовом преобразователе. Особенность процесса восстановления в схеме..

### 3. Преимущества двухтактного способа преобразования энергии перед однотактным. Двухтактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения

#### 3.1. Преимущества двухтактного способа преобразования энергии перед однотактным. Двухтактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения.

Процессы в схеме. Временные диаграммы токов и напряжений. Регулировочная характеристика. Пульсация тока, протекающего через цепь нагрузки, шунтированную конденсатором выходного фильтра. Пульсация напряжения на нагрузке. Двухтактный DC/DC-преобразователь напряжения с однофазной вторичной обмоткой трансформатора и двумя сглаживающими дросселями в цепи выпрямленного тока вторичной обмотки. Временные диаграммы токов и напряжений. Регулировочная характеристика. Пульсация токов обмоток дросселей. Пульсация напряжения на нагрузке. Двухтактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения с двумя линейными трансформаторами с однофазными первичными и вторичными обмотками, работающий в режиме симметричной длительности проводящего состояния силовых ключей. Временные диаграммы токов и напряжений. Регулировочная характеристика. Пульсация тока, протекающего через цепь нагрузки, шунтированную конденсатором выходного фильтра. Пульсация напряжения на нагрузке..

### 4. Двухтактный мостовой DC/DC-преобразователь напряжения, в котором входная цепь мостовой схемы соединена с источником питания через обмотку дросселя

#### 4.1. Двухтактный мостовой DC/DC-преобразователь напряжения, в котором входная цепь мостовой схемы соединена с источником питания через обмотку дросселя.

Особенность управления силовыми ключами схемы. Электрические процессы в ней и временные диаграммы токов и напряжений. Регулировочная характеристика для идеализированной схемы. Возникновение кратковременных выбросов напряжения на

силовых ключах, вызванных магнитными потоками рассеяния в трансформаторе. Способы ограничения амплитуды кратковременных выбросов напряжения..

## 5. Однотактный обратноходовой DC/DC-преобразователь напряжения

### 5.1. Однотактный обратноходовой DC/DC-преобразователь напряжения.

Процессы в схеме. Временные диаграммы токов и напряжений. Регулировочная характеристика. Пульсация тока, протекающего через цепь нагрузки, шунтированную конденсатором выходного фильтра. Пульсация напряжения на нагрузке. Варианты выполнения схемы (двухключевая, двухтактная, многотактная). Однотактный обратноходовой DC/DC-преобразователь напряжения, работающий в режиме 100%-й пульсации магнитного потока в линейном трансформаторе. Обоснование целесообразности использования такого режима. Процессы в схеме. Временные диаграммы токов и напряжений. Регулировочная характеристика. Управление по способу “current mode”. Пульсация тока, протекающего через цепь нагрузки, шунтированную конденсатором выходного фильтра. Пульсация напряжения на нагрузке. Варианты выполнения схемы (двухключевая, двухтактная, многотактная)..

## 6. Двухтактный DC/DC-преобразователь напряжения с магнитным накопителем энергии в цепи первичной обмотки трансформатора. Двухтактный резонансный преобразователь напряжения

6.1. Двухтактный DC/DC-преобразователь напряжения с магнитным накопителем энергии в цепи первичной обмотки трансформатора. Двухтактный резонансный преобразователь напряжения.

Процессы в схеме. Временные диаграммы токов и напряжений. Семейство выходных характеристик при управлении по способу ШИМ в режиме разрывного и безразрывного тока первичной обмотки трансформатора. Пульсация тока, протекающего через цепь нагрузки, шунтированную конденсатором выходного фильтра. Пульсация напряжения на нагрузке. Ограниченность тока и мощности в выходной цепи преобразователя. Двухтактный DC/DC-преобразователь напряжения с магнитным накопителем энергии в цепи первичной обмотки трансформатора и конденсаторами, шунтирующими его обмотки. Целесообразность регулирования выходной мощности путем изменения частоты переключения силовых ключей при длительности их проводящего состояния, приближающейся к длительности тактов. Двухтактный мостовой DC/DC-преобразователь напряжения с магнитным накопителем энергии в цепи первичной обмотки трансформатора и дросселем в цепи выпрямленного тока вторичной обмотки. Временные диаграммы токов и напряжений. Семейство выходных характеристик. Двухтактный резонансный преобразователь напряжения. Временные диаграммы токов и напряжений. Характеристики при управлении по способу ЧИМ..

## 7. Двухтактный мостовой прямоходовой преобразователь напряжения с непрерывным потреблением и передачей энергии в нагрузку

7.1. Двухтактный мостовой прямоходовой преобразователь напряжения с непрерывным потреблением и передачей энергии в нагрузку.

Двухтактный мостовой прямоходовой преобразователь напряжения с двухфазной вторичной обмоткой, работающий в режиме асимметричной длительности проводящего состояния силовых ключей. Процессы в схеме. Временные диаграммы токов и напряжений. Регулировочная характеристика. Пульсация тока, протекающего через цепь нагрузки, шунтированную конденсатором выходного фильтра. Пульсация напряжения на нагрузке..

## 8. Управление процессом преобразования электрической энергии. Структурная схема высокочастотного контроллера для управления преобразователем

8.1. Управление процессом преобразования электрической энергии. Структурная схема высокочастотного контроллера для управления преобразователем.

Контроллеры. Их назначение, главные функции, решаемые этими устройствами. Организация питания контроллера при пуске преобразователя напряжения, управляемого импульсными сигналами, формируемыми этим контроллером. Структурная схема высокочастотного контроллера для управления двухтактным преобразователем напряжения. Реализация ШИМ при управлении аналоговым сигналом. Временные диаграммы, иллюстрирующие процессы формирования импульсных сигналов на выходах контроллера. Временные диаграммы, иллюстрирующие процессы формирования импульсных сигналов на выходах контроллера при управлении по способу “current mode”. Гальваническая развязка источника аналогового сигнала и управляющего входа контроллера. Проблема “плавного пуска” импульсного преобразователя. Реализация частотной модуляции при управлении аналоговым сигналом. Реализация функции защиты силовых транзисторов от перегрузки по току. Реализация передачи импульсов управления во входные цепи силовых управляемых ключей с помощью трансформатора..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Импульсный способ регулирования электрической энергии. Его сущность и обязательный набор элементов устройства, осуществляющего импульсное регулирование. Классификация преобразователей по способам реализации импульсного процесса преобразования и регулирования электрической энергии. Примеры выполнения преобразователей, относящихся к разным классам этих устройств.;
2. Двухтактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения. Процессы в схеме. Временные диаграммы токов и напряжений. Регулировочная характеристика.;
3. Двухтактный DC/DC-преобразователь напряжения с однофазной вторичной обмоткой трансформатора и двумя сглаживающими дросселями в цепи выпрямленного тока вторичной обмотки. Двухтактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения с двумя линейными трансформаторами с однофазными первичными и вторичными обмотками, работающий в режиме симметричной длительности проводящего состояния силовых ключей. Процессы в схеме. Временные диаграммы токов и напряжений. Регулировочная характеристика.;
4. Двухтактный мостовой DC/DC-преобразователь напряжения, в котором входная цепь мостовой схемы соединена с источником питания через обмотку дросселя, к выходной цепи мостовой схемы подключена первичная обмотка трансформатора, а его вторичная обмотка связана через выпрямитель с нагрузкой, шунтированной конденсатором выходного фильтра. Электрические процессы в схеме ней и временные диаграммы токов и напряжений.;
5. Регулировочная характеристика для идеализированной схемы. Возникновение кратковременных выбросов напряжения на силовых ключах, вызванных магнитными потоками рассеяния в трансформаторе. Способы ограничения амплитуды кратковременных выбросов напряжения. Варианты схемных решений, повышение КПД.;
6. Однотактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения. Процессы в схеме и ее характеристики. Временные диаграммы токов и напряжений. Влияние индуктивности намагничивания трансформатора на процесс восстановления при условии присутствия паразитной емкостной нагрузки обмоток трансформатора. Основные причины появления паразитной емкостной нагрузки..

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Ключевой источник питания с корректором коэффициента мощности;
2. Ключевой источник питания малой мощности.

### 3.5 Консультации

#### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Расчет режима работы преобразователя в соответствии с заданием.
2. Расчет режима работы преобразователя в соответствии с заданием.
3. Расчет режима работы преобразователя в соответствии с заданием.
4. Расчет параметров системы управления и датчиков обратной связи и защиты.

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

1. Группы схемных решений. Сравнение, свойства, области применения.
2. Схемные решения, вывод энергии намагничивания и энергии индуктивности рассеяния.
3. Схемные решения. Фазовый способ управления мостовым преобразователем.
4. Схемное решение. Аналогия с повышающим преобразователем. Вывод энергии индуктивности рассеяния.
5. Схемные решения, вывод энергии индуктивности рассеяния.
6. Нерезонансный и резонансный варианты. Особенности работы резонансной схемы в диапазоне нагрузок.
7. Основные схемные решения. Принцип работы, основные преимущества.
8. Обратная связь. ПИД-регулятор. Управление по току. Основные типы датчиков.

#### Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)

1. Расчет режима работы преобразователя в соответствии с заданием.
2. Расчет режима работы преобразователя в соответствии с заданием.
3. Расчет режима работы преобразователя в соответствии с заданием.
4. Расчет параметров системы управления и датчиков обратной связи и защиты.

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

#### 2 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Однотактный обратногоходовой преобразователь напряжения с одним силовым транзистором в контуре первичной обмотки силового трансформатора
- Двухтактный DC/DC-преобразователь с силовыми транзисторами, соединёнными по схеме моста, с выпрямителем с нулевой точкой
- Двухтактный DC/DC-преобразователь с силовыми транзисторами, соединёнными по схеме моста, с двумя линейными трансформаторами
- Однотактный двухтранзисторный обратногоходовой преобразователь напряжения

#### **График выполнения курсового проекта**

| Неделя                        | 1 - 4 | 5 - 8 | 9 - 12 | 13 - 16 | Зачетная                 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|---------|--------------------------|
| Раздел курсового проекта      | 1     | 1     | 2      | 3       | Защита курсового проекта |
| Объем раздела, %              | 50    | 10    | 30     | 10      | -                        |
| Выполненный объем нарастающим | 50    | 60    | 90     | 100     | -                        |

|           |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|
| итогом, % |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|

|               |  |
|---------------|--|
| Номер раздела | Раздел курсового проекта                               |
| 1             | Расчет силовой части источника электропитания          |
| 2             | Выбор элементов  |
| 3             | Разработка системы управления источника электропитания |

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

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)  | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины<br>(в соответствии с п.3.1) |   |   |   |   |   |   |   | Оценочное средство<br>(тип и наименование)   |
|---|------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|--|
|   |                  | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |  |
| <b>Знать:</b>   |                  |  |   |   |   |   |   |   |   |  |
| основные схемы, принципы работы, режимы работы элементов схемы, достоинства и недостатки источников электропитания с непрерывным потреблением энергии от источника и с непрерывной передачей энергии в нагрузку; резонансных ключевых источников электропитания | ИД-3ПК-1         |  |   |   |   |   |   | + | + | Контрольная работа/Преобразователи, характеризующиеся непрерывным потреблением и передачей энергии в нагрузку, резонансные преобразователи       |
| основные схемы, принципы работы, режимы работы элементов схемы, достоинства и недостатки ключевых источников электропитания с трансформаторной развязкой с прерывистой передачей энергии в нагрузку   | ИД-3ПК-1         |  |   |   |   | + |   |   |   | Контрольная работа/Преобразователи, характеризующиеся прерывистой передачей энергии в нагрузку   |
| основные схемы, принципы работы, режимы работы элементов схемы, достоинства и недостатки, области применения ключевых источников электропитания с трансформаторной развязкой с непрерывной передачей энергии в нагрузку   | ИД-3ПК-1         | +  | + |   |   |   |   |   |   | Контрольная работа/Однотактный преобразователь<br>Контрольная работа/Преобразователи, характеризующиеся непрерывной передачей энергии в нагрузку |
| <b>Уметь:</b>   |                  |  |   |   |   |   |   |   |   |  |
| рассчитывать и экспериментально исследовать режимы работы элементов схемы и характеристики ключевого источника электропитания, в том числе с использованием пакетов схемотехнического моделирования   | ИД-2ПК-1         |  | + | + | + |   |   |   |   | Контрольная работа/Двухтактный мостовой преобразователь<br>Контрольная работа/Расчет режима работы элементов ключевого источника электропитания  |
| разрабатывать силовую часть и систему управления ключевых источников электропитания   | ИД-3ПК-1         |  |   |   |   |   |   |   | + | Лабораторная работа/Ключевой источник питания малой мощности<br>Лабораторная работа/Ключевой   |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | источник питания с корректором<br>коэффициента мощности |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|

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

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

###### **1 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Двухтактный мостовой преобразователь (Контрольная работа)
2. Однотактный преобразователь (Контрольная работа)
3. Преобразователи, характеризующиеся непрерывной передачей энергии в нагрузку (Контрольная работа)
4. Расчет режима работы элементов ключевого источника электропитания (Контрольная работа)

###### **2 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Преобразователи, характеризующиеся непрерывным потреблением и передачей энергии в нагрузку, резонансные преобразователи (Контрольная работа)
2. Преобразователи, характеризующиеся прерывистой передачей энергии в нагрузку (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Ключевой источник питания малой мощности (Лабораторная работа)
2. Ключевой источник питания с корректором коэффициента мощности (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

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

###### Экзамен (Семестр №1)

Оценка по курсу выставляется на основе семестровой и экзаменационной составляющей в соответствии с положением о балльно-рейтинговой структуре.

###### Экзамен (Семестр №2)

Оценка по курсу выставляется на основе семестровой и экзаменационной составляющей в соответствии с положением о балльно-рейтинговой структуре.

###### Курсовая работа (КР) (Семестр №2)

Оценка за курсовую работу выставляется в соответствии с положением о балльно-рейтинговой структуре НИУ МЭИ.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

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



### 5.1 Печатные и электронные издания:

1. Розанов Ю. К., Воронин П. А., Рывкин С. Е., Чаплыгин Е. Е.- "Справочник по силовой электронике", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2014 - (474 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72289](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72289);
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. Ключевые источники питания. Сборник лабораторных работ : методическое пособие по курсам "Ключевые источники питания", "Анализ дискретных схем" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Б. А. Глебов, Д. С. Каюков, И. Г. Недолужко, и др., Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 64 с..

### 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. Micro-Cap.

### 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-402, Учебная аудитория      | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | Д-420, Учебная аудитория      | парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая                              |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий                   | Е-101е, Лаборатория КИЭП      | стол, стул, шкаф, мультимедийный проектор, доска маркерная, лабораторный стенд         |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной                          | Е-101е, Лаборатория КИЭП      | стол, стул, шкаф, мультимедийный проектор, доска маркерная, лабораторный стенд         |

|  |  |  |
|--|--|--|
| аттестации   | Ж-120, Машинный зал<br>ИВЦ                             | сервер, кондиционер  |
|  | Д-402, Учебная<br>аудитория                            | парта, стол преподавателя, стул, доска<br>меловая, компьютерная сеть с выходом в<br>Интернет   |
| Помещения для<br>самостоятельной<br>работы                     | НТБ-201,<br>Компьютерный<br>читальный зал              | стол компьютерный, стул, стол<br>письменный, вешалка для одежды,<br>компьютерная сеть с выходом в<br>Интернет, компьютер персональный,<br>принтер, кондиционер           |
| Помещения для<br>консультирования                              | Е-324/6,<br>Преподавательская<br>каф. "Пром.эл."       | кресло рабочее, стул, шкаф для<br>документов, стол письменный, тумба,<br>компьютерная сеть с выходом в<br>Интернет, многофункциональный центр,<br>компьютер персональный |
| Помещения для<br>хранения оборудования<br>и учебного инвентаря | Е-324/5,<br>Методический<br>кабинет каф.<br>"Пром.эл." | парта, стул, вешалка для одежды,<br>компьютерная сеть с выходом в<br>Интернет, мультимедийный проектор,<br>доска маркерная передвижная, ноутбук                          |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Ключевые источники электропитания

(название дисциплины)

#### 1 семестр

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

- КМ-1 Преобразователи, характеризующиеся непрерывной передачей энергии в нагрузку (Контрольная работа)  
 КМ-2 Однотактный преобразователь (Контрольная работа)  
 КМ-3 Двухтактный мостовой преобразователь (Контрольная работа)  
 КМ-4 Расчет режима работы элементов ключевого источника электропитания (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 16   |
| 1             | Ключевые источники питания. Общие вопросы построения  |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Ключевые источники питания. Общие вопросы построения.   |            | +    | +    |      |      |
| 2             | Однотактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения   |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Однотактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения.  |            | +    | +    | +    | +    |
| 3             | Преимущества двухтактного способа преобразования энергии перед однотактным. Двухтактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения               |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Преимущества двухтактного способа преобразования энергии перед однотактным. Двухтактный прямоходовой DC/DC-преобразователь напряжения.              |            |      |      | +    | +    |
| 4             | Двухтактный мостовой DC/DC-преобразователь напряжения, в котором входная цепь мостовой схемы соединена с источником питания через обмотку дросселя  |            |      |      |      |      |
| 4.1           | Двухтактный мостовой DC/DC-преобразователь напряжения, в котором входная цепь мостовой схемы соединена с источником питания через обмотку дросселя. |            |      |      | +    | +    |
| Вес КМ, %:    |   |            | 25   | 25   | 25   | 25   |

#### 2 семестр

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

- КМ-5 Преобразователи, характеризующиеся прерывистой передачей энергии в нагрузку (Контрольная работа)  
 КМ-6 Преобразователи, характеризующиеся непрерывным потреблением и передачей энергии в нагрузку, резонансные преобразователи (Контрольная работа)

КМ-7 Ключевой источник питания малой мощности (Лабораторная работа)

КМ-8 Ключевой источник питания с корректором коэффициента мощности (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 | КМ-8 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 16   |
| 1             | Однотактный обратноходовой DC/DC-преобразователь напряжения   |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Однотактный обратноходовой DC/DC-преобразователь напряжения.  |            | +    |      |      |      |
| 2             | Двухтактный DC/DC-преобразователь напряжения с магнитным накопителем энергии в цепи первичной обмотки трансформатора. Двухтактный резонансный преобразователь напряжения  |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Двухтактный DC/DC-преобразователь напряжения с магнитным накопителем энергии в цепи первичной обмотки трансформатора. Двухтактный резонансный преобразователь напряжения. |            |      | +    |      |      |
| 3             | Двухтактный мостовой прямоходовой преобразователь напряжения с непрерывным потреблением и передачей энергии в нагрузку  |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Двухтактный мостовой прямоходовой преобразователь напряжения с непрерывным потреблением и передачей энергии в нагрузку.   |            |      | +    |      |      |
| 4             | Управление процессом преобразования электрической энергии. Структурная схема высокочастотного контроллера для управления преобразователем                                 |            |      |      |      |      |
| 4.1           | Управление процессом преобразования электрической энергии. Структурная схема высокочастотного контроллера для управления преобразователем.                                |            |      |      | +    | +    |
| Вес КМ, %:    |   |            | 20   | 20   | 30   | 30   |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### Ключевые источники электропитания

(название дисциплины)

#### 2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:**

- КМ-1 Соблюдение графика выполнения КР
- КМ-2 Соблюдение графика выполнения КР
- КМ-3 Оценка выполнения разделов КР
- КМ-4 Качество оформление курсовой работы

**Вид промежуточной аттестации – защита КР.**

| Номер раздела | Раздел курсового проекта/курсовой работы               | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 16   |
| 1             | Расчет силовой части источника электропитания          |            | +    | +    |      |      |
| 2             | Выбор элементов  |            |      |      | +    |      |
| 3             | Разработка системы управления источника электропитания |            |      |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |  |            | 50   | 10   | 30   | 10   |