

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.03.01 Радиотехника

Наименование образовательной программы: Радиотехника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОСИГНАЛОВ**


|  |  |
|--|--|
| <b>Блок:</b>   | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>  |
| <b>Часть образовательной программы:</b>  | <b>Обязательная</b>  |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>   | <b>Б1.О.32</b>   |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>   | <b>7 семестр - 3;<br/>8 семестр - 3;<br/>всего - 6</b>                           |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>  | <b>216 часов</b>   |
| <b>Лекции</b>  | <b>7 семестр - 32 часа;<br/>8 семестр - 28 часа;<br/>всего - 60 часов</b>        |
| <b>Практические занятия</b>  | <b>7 семестр - 16 часов;</b>   |
| <b>Лабораторные работы</b>   | <b>7 семестр - 16 часов;<br/>8 семестр - 12 часов;<br/>всего - 28 часа</b>       |
| <b>Консультации</b>  | <b>8 семестр - 2 часа;</b>   |
| <b>Самостоятельная работа</b>  | <b>7 семестр - 43,7 часа;<br/>8 семестр - 65,5 часа;<br/>всего - 109,2 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><br><b>Лабораторная работа</b><br><b>Расчетно-графическая работа</b><br><b>Контрольная работа</b> |  |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>   |  |
| <b>Зачет с оценкой</b>   | <b>7 семестр - 0,3 часа;</b>   |
| <b>Экзамен</b>   | <b>8 семестр - 0,5 часа;<br/>всего - 0,8 часа</b>                                |

**Москва 2019**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

|   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                            |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                            |
|   | Владелец  | Сафин А.Р.                 |
|   | Идентификатор   | Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814 |

(подпись)


А.Р. Сафин

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |   |                                |
|---|---|--------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                                |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                                |
|   | Владелец  | Остапенков П.С.                |
|   | Идентификатор   | R6356f55c-OstapenkovPS-854af18 |


(подпись)

П.С. Остапенков

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                            |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                            |
|   | Владелец  | Сафин А.Р.                 |
|   | Идентификатор   | Rdaf18b6c-SafinAR-8ed43814 |

(подпись)

А.Р. Сафин

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение принципов работы, методов анализа и проектирования устройств генерирования и формирования электромагнитных колебаний радиочастотного диапазона; параметров и характеристик таких устройств; основных технических и конструктивных требований к ним

### Задачи дисциплины

- изучение принципов работы, методов анализа и проектирования устройств генерирования и формирования сигналов радиочастотного диапазона;
- освоение основных технических решений при проектировании устройств формирования радиосигналов;
- освоение теоретических методов и технических средств экспериментального исследования функциональных узлов устройств формирования радиосигналов.

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   |
|---|--|---|
| ОПК-1 способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности                   | ИД-3 <sub>ОПК-1</sub> Применяет общеинженерные знания в инженерной деятельности для анализа и проектирования радиоэлектронных устройств и систем | знать:<br>- методику выбора теоретических методов и технических средств исследования параметров и характеристик изучаемых функциональных узлов устройств формирования радиосигналов.<br><br>уметь:<br>- выполнять расчеты функциональных узлов и блоков устройств формирования радиосигналов, опираясь на анализ характера поставленной задачи.                       |
| ОПК-2 способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных | ИД-2 <sub>ОПК-2</sub> Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования  | знать:<br>- методику экспериментального исследования параметров и характеристик изучаемых функциональных узлов устройств формирования радиосигналов.  |
| ОПК-2 способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных | ИД-3 <sub>ОПК-2</sub> Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов                         | уметь:<br>- обрабатывать и представлять полученные экспериментальные данные по исследованию характеристик устройств формирования радиосигналов, формулировать выводы о влиянии параметров электрических цепей на экспериментальные данные;;<br>- обрабатывать и представлять полученные экспериментальные данные по исследованию характеристик устройств формирования |

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения  |
|--|---|--|
|  |   | радиосигналов, оценивать погрешности полученных экспериментальных данных.  |
| ПК-3 Способен выполнять физическое моделирование (проведение эксперимента) процессов формирования, передачи, приема и обработки радиосигналов в радиоэлектронных устройствах, включая выбор технических средств, обработку результатов и оценку погрешности экспериментальных данных | ИД-2ПК-3 Умеет проводить физическое моделирование, осуществлять выбор технических средств для проведения эксперимента, обрабатывать результаты эксперимента, оценивать погрешности экспериментальных данных | <p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы математического моделирования объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить экспериментальные исследования характеристик УГФС.</li> </ul> |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Радиотехника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.01 Радиотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать назначение, классификацию и свойства основных типов радиокомпонентов
- знать базовые понятия теории радиотехнических цепей и сигналов
- знать основы теории цепей СВЧ
- знать основы схемотехники аналоговых и цифровых электронных устройств
- уметь выполнять расчёт узлов простых радиоустройств по известным методикам
- уметь выполнять учебные экспериментальные исследования, включая обработку результатов
- уметь рассчитывать и анализировать характеристики простых радиотехнических цепей
- уметь настраивать и регулировать узлы учебных радиотехнических устройств

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 6 зачетных единиц, 216 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     | Параметры и характеристики активных элементов          | 6                     | 7       | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 2                 | -                                 | <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Параметры и характеристики активных элементов" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Параметры и характеристики активных элементов"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 29-57<br/>[2], стр. 29 – 57</p>  |
| 1.1   | Параметры и характеристики активных элементов          | 6                     |         | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 2                 | -                                 |  |
| 2     | Транзисторные усилители мощности                       | 26                    |         | 6  | 4   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 12                                |  |
| 2.1   | Транзисторные усилители мощности                       | 26                    | 6       | 4  | 4   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 12                | -                                 | <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется расчет и построение колебательных и нагрузочных характеристик транзисторного усилителя мощности</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b><br/>Подготовка к лабораторной работе "Транзисторные усилители мощности".</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br/>Подготовка к контрольной работе "Транзисторные усилители мощности"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Транзисторные усилители мощности"</p> |

|     |  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
|-----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|
|     |  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   | подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Транзисторные усилители мощности"<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 19-28, 58-96<br>[2], стр. 55 – 103<br>[3], стр. 16 – 45<br>[5], стр. 97-123  |
| 3   | Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности | 4  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 2  | - | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности"<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 128 – 146  |
| 3.1 | Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности | 4  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 2  | - |   |
| 4   | Амплитудная модуляция                                | 26 | 6 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Подготовка к контрольной работе "Амплитудная модуляция"<br><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется расчет и построение статических модуляционных характеристик при коллекторной и комбинированной модуляции<br><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b><br>Подготовка к лабораторной работе "Коллекторная и комбинированная модуляция"<br><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br>Изучение материала по разделу "Амплитудная модуляция" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях |
| 4.1 | Амплитудная модуляция                                | 26 | 6 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <b><u>Самостоятельное изучение</u></b>  |

|     |  |      |    |   |   |   |   |   |   |   |     |   |  |
|-----|--|------|----|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|--|
|     |  |      |    |   |   |   |   |   |   |   |     |   | <p><b><u>теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Амплитудная модуляция"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 97 – 116<br/>[3], стр. 46 – 62</p>  |
| 5   | Автогенераторы гармонических колебаний     | 34   | 12 | 4 | 6 | - | - | - | - | - | 12  | - | <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется расчет и построение колебательных и нагрузочных характеристик автогенератора</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к лабораторной работе "Режимы автогенератора"</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Подготовка к контрольной работе "Автогенераторы"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Автогенераторы гармонических колебаний" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Автогенераторы гармонических колебаний"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 147 – 203<br/>[4], стр. 5 – 60</p> |
| 5.1 | Автогенераторы гармонических колебаний     | 34   | 12 | 4 | 6 | - | - | - | - | - | 12  | - | <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к лабораторной работе "Режимы автогенератора"</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Подготовка к контрольной работе "Автогенераторы"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Автогенераторы гармонических колебаний" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Автогенераторы гармонических колебаний"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 147 – 203<br/>[4], стр. 5 – 60</p>  |
| 6   | Формирование сигналов с угловой модуляцией | 11.7 | 4  | 4 | - | - | - | - | - | - | 3.7 | - | <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к лабораторной работе "Управление частотой автогенератора"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Формирование сигналов с угловой модуляцией" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p>  |
| 6.1 | Формирование сигналов с угловой модуляцией | 11.7 | 4  | 4 | - | - | - | - | - | - | 3.7 | - | <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к лабораторной работе "Управление частотой автогенератора"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Формирование сигналов с угловой модуляцией" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p>  |





|      |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|------|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
|      |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | [1], стр. 263 – 288  |
| 9    | Клистронные генераторы  | 5  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 3 | - | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Клистронные генераторы"  |
| 9.1  | Клистронные генераторы  | 5  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 3 | - | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 289 – 303  |
| 10   | Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны | 5  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 3 | - | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны"   |
| 10.1 | Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны | 5  | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 3 | - | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 304 – 324  |
| 11   | Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа        | 18 | 6 | 4 | - | - | - | - | - | - | 8 | - | <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b><br>Подготовка к лабораторной работе "Магнетронный генератор"   |
| 11.1 | Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа        | 18 | 6 | 4 | - | - | - | - | - | - | 8 | - | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа"<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 325 – 348 |
| 12   | Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы                      | 8  | 6 | - | - | - | - | - | - | - | 2 | - | <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br>Подготовка к контрольной работе "Расчет рабочих и нагрузочных характеристик генераторов СВЧ"   |
| 12.1 | Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы                      | 8  | 6 | - | - | - | - | - | - | - | 2 | - | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы"<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 349 – 373               |

|  |                  |              |   |           |           |           |          |          |          |            |              |    |      |  |
|--|------------------|--------------|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|------------|--------------|----|------|--|
|  | Экзамен          | 36.0         |   | -         | -         | -         | -        | 2        | -        | -          | 0.5          | -  | 33.5 |  |
|  | Всего за семестр | 108.0        |   | 28        | 12        | -         | -        | 2        | -        | -          | 0.5          | 32 | 33.5 |  |
|  | Итого за семестр | 108.0        |   | 28        | 12        | -         | 2        | -        | -        | 0.5        | 65.5         |    |      |  |
|  | <b>ИТОГО</b>     | <b>216.0</b> | - | <b>60</b> | <b>28</b> | <b>16</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>0.8</b> | <b>109.2</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. Параметры и характеристики активных элементов

#### 1.1. Параметры и характеристики активных элементов

Типы и области применения активных элементов (АЭ), в частности, биполярных и полевых транзисторов. Статические характеристики АЭ и их аппроксимация. Классификация режимов работы АЭ в усилителях мощности. Гармонический анализ косинусоидальных импульсов.

### 2. Транзисторные усилители мощности

#### 2.1. Транзисторные усилители мощности

Задачи проектирования и реализации усилителей мощности. Колебательные и нагрузочные характеристики и выбор оптимального режима транзисторного усилителя мощности. Расчет усилителя в критическом режиме на заданную мощность в нагрузке. Выбор угла отсечки. Простые цепи согласования в усилителях мощности. Оценка фильтрации высших гармоник. Учет потерь в цепях связи и общий КПД каскада. Принципиальные схемы усилителей мощности.

### 3. Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности

#### 3.1. Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности

Использование высших гармоник для повышения КПД усилителей мощности. Ключевые режимы работы УМ. Схемы и энергетические показатели транзисторных ключевых генераторов. Частотные ограничения для ключевых режимов.

### 4. Амплитудная модуляция

#### 4.1. Амплитудная модуляция

Общие соотношения при амплитудной модуляции. Способы и схемы реализации амплитудно-модулированных (АМ) сигналов. Модуляция смещением. Усиление модулированных колебаний. Коллекторная модуляция. Комбинированная коллекторная модуляция. Статические и динамические модуляционные характеристики, искажения при амплитудной модуляции.

### 5. Автогенераторы гармонических колебаний

#### 5.1. Автогенераторы гармонических колебаний

Области применения и требования к автогенераторам различного назначения. Автогенератор с трансформаторной обратной связью. Автогенераторы на трехполюсном АЭ. Обобщенная трехточечная схема. Колебательные характеристики и устойчивость стационарных режимов при фиксированном смещении. Автогенераторы с цепями автоматического смещения. Цепи питания и смещения в схемах автогенераторов. Регулируемые характеристики автогенераторов. Требования к стабильности частоты колебаний. Кварцевая стабилизация частоты.

### 6. Формирование сигналов с угловой модуляцией

#### 6.1. Формирование сигналов с угловой модуляцией

Общие соотношения при угловой модуляции. Основные методы и схемы формирования ЧМ и ФМ сигналов. Частотная модуляция в автогенераторах с помощью варикапа.

## 7. Формирование опорных колебаний и синтез частот

### 7.1. Формирование опорных колебаний и синтез частот

Требования к синтезаторам частот. Методы прямого синтеза. Синтезаторы на основе кольца фазовой автоподстройки частоты. Цифровые вычислительные синтезаторы.

## 8. Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ

### 8.1. Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ

Основные характеристики усилителя мощности. Нелинейная зарядовая модель биполярного и полевого транзисторов и ее кусочно-линейная аппроксимация. Расчет усилителя мощности на максимальный коэффициент усиления по мощности при заданном коэффициенте устойчивости.

## 9. Клистронные генераторы

### 9.1. Клистронные генераторы

Принцип действия клистронных генераторов. Усилители мощности и умножители частоты на пролетных клистронах. Автогенератор на отражательном клистроне.

## 10. Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны

### 10.1. Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны

Принцип работы усилителей с распределенным взаимодействием. Регулировочные характеристики усилителей на лампах бегущей волны типа О. Автогенераторы на лампах бегущей волны типа О. Автогенераторы и усилители на лампах обратной волны.

## 11. Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа

### 11.1. Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа

Генераторы на приборах магнетронного типа. Движение электронов в скрещенных электрических и магнитных полях. Характеристики и параметры магнетронных автогенераторов. Виды магнетронных автогенераторов и усилителей мощности. Формирование модулированных колебаний в приборах типа М.

## 12. Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы

### 12.1. Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы

Основные классы и области применения полупроводниковых диодных генераторов. Принцип действия и характеристики лавинно-пролетного диода. Принцип действия и характеристики диода Ганна. Конструкции и эквивалентные схемы диодных генераторов. Управление колебаниями диодных генераторов. Способы повышения КПД диодных генераторов.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Расчет параметров и режима транзисторного автогенератора, перестраиваемого по частоте переменным конденсатором. Схемы и регулировочные характеристики АГ, управляемых по частоте варикапами;
2. Расчет стационарных режимов автогенераторов с помощью диаграмм срыва и смещения. Нагрузочные характеристики;
3. Статические модуляционные характеристики при модуляции смещением и усилением

модулированных колебаний;

4. Выбор оптимального режима резонансных УМ и УЧ на безынерционных АЭ. Нагрузочные характеристики. Основы расчета УМ в критическом режиме. Принципы построения схем резонансных УМ и УЧ;
5. Аппроксимация статических характеристик и гармонический анализ токов биполярных и полевых транзисторов. Режимы усилителя мощности;
6. Автогенераторы с кварцевой стабилизацией частоты и особенности их расчета;
7. Статические модуляционные характеристики при коллекторной и комбинированной коллекторной АМ;
8. Влияние питающих напряжений и нагрузки на режим усилителя мощности.

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Транзисторный СВЧ усилитель мощности (схема с общим эмиттером);
2. Модель транзисторного СВЧ усилителя мощности (схема с общим эмиттером);
3. Синтезатор частот с частотно-фазовым детектором;
4. Магнетронный генератор;
5. Режимы автогенератора;
6. Коллекторная и комбинированная модуляция;
7. Транзисторный усилитель мощности;
8. Управление частотой автогенератора.

### 3.5 Консультации

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Формирование опорных колебаний и синтез частот"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Клистронные генераторы"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Параметры и характеристики активных элементов"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Транзисторные усилители мощности"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Амплитудная модуляция"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Автогенераторы гармонических колебаний"

6. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Формирование сигналов с угловой модуляцией"

### **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<br>(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 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |
| <b>Знать:</b>   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| методику выбора теоретических методов и технических средств исследования параметров и характеристик изучаемых функциональных узлов устройств формирования радиосигналов | ИД-3 <sub>ОПК-1</sub> | +   | + | + |   |   |   |   |   |   |    |    |    | Лабораторная работа/Транзисторный усилитель мощности<br>Расчетно-графическая работа/Усилитель мощности                               |
| методику экспериментального исследования параметров и характеристик изучаемых функциональных узлов устройств формирования радиосигналов                                 | ИД-2 <sub>ОПК-2</sub> |   |   |   |   |   |   |   |   | + | +  | +  | +  | Лабораторная работа/Магнетронный генератор<br>Контрольная работа/Расчет рабочих и нагрузочных характеристик генераторов СВЧ          |
| методы математического моделирования объектов и процессов по типовым методикам, в том числе с использованием стандартных пакетов прикладных программ                    | ИД-2 <sub>ПК-3</sub>  | +   |   |   | + |   |   |   |   |   |    |    |    | Лабораторная работа/Амплитудная модуляция усилителя мощности<br>Расчетно-графическая работа/Амплитудная модуляция усилителя мощности |
| <b>Уметь:</b>   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| выполнять расчеты функциональных узлов и блоков устройств формирования радиосигналов, опираясь на анализ характера поставленной задачи                                  | ИД-3 <sub>ОПК-1</sub> | +   |   |   |   | + |   |   |   |   |    |    |    | Расчетно-графическая работа/Автогенератор<br>Лабораторная работа/Режимы автогенератора   |
| обрабатывать и представлять полученные экспериментальные данные по исследованию характеристик устройств   | ИД-3 <sub>ОПК-2</sub> |   |   |   |   |   |   | + |   |   |    |    |    | Лабораторная работа/Синтезатор частот с частотно-фазовым детектором  |

|  |                       |   |  |  |  |  |   |  |   |  |  |  |  |  |   |
|--|-----------------------|---|--|--|--|--|---|--|---|--|--|--|--|--|---|
| формирования радиосигналов, оценивать погрешности полученных экспериментальных данных  |                       |   |  |  |  |  |   |  |   |  |  |  |  |  |   |
| обрабатывать и представлять полученные экспериментальные данные по исследованию характеристик устройств формирования радиосигналов, формулировать выводы о влиянии параметров электрических цепей на экспериментальные данные; | ИД-3 <sub>ОПК-2</sub> |   |  |  |  |  |   |  | + |  |  |  |  |  | Лабораторная работа/Модель транзисторного СВЧ усилителя мощности и Транзисторный СВЧ усилитель мощности |
| проводить экспериментальные исследования характеристик УГФС  | ИД-2 <sub>ПК-3</sub>  | + |  |  |  |  | + |  |   |  |  |  |  |  | Лабораторная работа/Управление частотой автоколебаний   |



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

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

#### **7 семестр**

Форма реализации: Допуск к лабораторной работе

1. Амплитудная модуляция усилителя мощности (Лабораторная работа)
2. Режимы автогенератора (Лабораторная работа)
3. Транзисторный усилитель мощности (Лабораторная работа)
4. Управление частотой автоколебаний (Лабораторная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Автогенератор (Расчетно-графическая работа)
2. Амплитудная модуляция усилителя мощности (Расчетно-графическая работа)
3. Усилитель мощности (Расчетно-графическая работа)

#### **8 семестр**

Форма реализации: Допуск к лабораторной работе

1. Магнетронный генератор (Лабораторная работа)
2. Модель транзисторного СВЧ усилителя мощности и Транзисторный СВЧ усилитель мощности (Лабораторная работа)
3. Синтезатор частот с частотно-фазовым детектором (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет рабочих и нагрузочных характеристик генераторов СВЧ (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

#### *Зачет с оценкой (Семестр №7)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» по совокупности результатов текущего контроля успеваемости.

#### *Экзамен (Семестр №8)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

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

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

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

1. Формирование колебаний и сигналов : учебник для студентов вузов, обучающихся по инженерно-техническим направлениям, по направлению "Радиотехника" / В. Н. Кулешов, [и др.] ; ред. В. Н. Кулешов, Н. Н. Удалов . – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2020 . –

- 391 с. – (Высшее образование) . - 1-е изд. выходило под загл.: "Генерирование колебаний и формирование радиосигналов" . - ISBN 978-5-534-11281-8 .;
2. Белов, Л. А. Радиоэлектроника. Формирование стабильных частот и сигналов : учебник для вузов / Л. А. Белов . – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2020 . – 229 с. – (Высшее образование) . - ISBN 978-5-534-09062-8 .;
3. Сафин, А. Р. Транзисторные усилители мощности : сборник задач по курсу "Устройства генерирования и формирования сигналов" по направлениям "Радиотехника", "Радиоэлектронные системы и комплексы" / А. Р. Сафин, Н. Н. Удалов ; ред. Н. Н. Удалов ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 76 с. - ISBN 978-5-7046-2062-4 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10350](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10350);
4. Сафин, А. Р. Транзисторные автогенераторы : сборник задач по курсу "Устройства генерирования и формирования сигналов" по направлениям "Радиотехника", "Радиоэлектронные системы и комплексы" / А. Р. Сафин, Н. Н. Удалов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 76 с. - ISBN 978-5-7046-1995-6 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10349](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10349);
5. Савелькаев С. В.- "Теоретические основы построения имитаторов-анализаторов усилителей и автогенераторов СВЧ", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2019 - (100 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/113914>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. GNU Octave.

## 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. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
6. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>  
<http://docs.cntd.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   |
|   | А-402, Учебная аудитория         | парта, стул, доска меловая, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения  | Е-703/3, Лаборатория каф. "ФОРС" | стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая,   |

|   |  |   |
|---|--|---|
| практических занятий,<br>КР и КП                          |  | лабораторный стенд  |
|   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ  | сервер, кондиционер   |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий     | Е-703/11, Лаборатория каф. "ФОРС"                                | стол преподавателя, стол, стул, шкаф, вешалка для одежды, доска меловая, оборудование специализированное, стенд лабораторный  |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Е-703/3, Лаборатория каф. "ФОРС"                                 | стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая, лабораторный стенд  |
|   | Б-318, Учебная аудитория   | парта со скамьей, стул, стол письменный, доска меловая, доска маркерная, кондиционер  |
| Помещения для самостоятельной работы                      | НТБ-303, 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-703/4, Лаборатория   | стеллаж, стол, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, оборудование для экспериментов, компьютер персональный, принтер, кондиционер, книги, учебники, пособия |
|   | Е-703/8, Кабинет сотрудников каф. "ФОРС"                         | кресло рабочее, стол, стул, шкаф для документов, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, книги, учебники, пособия                     |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря  | Е-703/10, Помещение для хранения оборудования, наглядных пособий | рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф, компьютер персональный, принтер, холодильник, кондиционер, книги, учебники, пособия   |
|   | Е-703/7, Кладовая каф. "ФОРС"                                    | стеллаж, стол, стул   |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Формирование радиосигналов

(название дисциплины)

#### 7 семестр

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

- КМ-1 Транзисторный усилитель мощности (Лабораторная работа)
- КМ-2 Усилитель мощности (Расчетно-графическая работа)
- КМ-3 Амплитудная модуляция усилителя мощности (Лабораторная работа)
- КМ-4 Амплитудная модуляция усилителя мощности (Расчетно-графическая работа)
- КМ-5 Режимы автогенератора (Лабораторная работа)
- КМ-6 Автогенератор (Расчетно-графическая работа)
- КМ-7 Управление частотой автоколебаний (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины                                    | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 4    | 5    | 8    | 9    | 12   | 13   | 15   |
| 1             | Параметры и характеристики активных элементов        |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Параметры и характеристики активных элементов        |            | +    | +    | +    | +    | +    | +    | +    |
| 2             | Транзисторные усилители мощности                     |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 2.1           | Транзисторные усилители мощности                     |            | +    | +    |      |      |      |      |      |
| 3             | Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 3.1           | Принципы повышения КПД и ключевые усилители мощности |            | +    | +    |      |      |      |      |      |
| 4             | Амплитудная модуляция                                |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 4.1           | Амплитудная модуляция                                |            |      |      | +    | +    |      |      |      |
| 5             | Автогенераторы гармонических колебаний               |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 5.1           | Автогенераторы гармонических колебаний               |            |      |      |      |      | +    | +    |      |
| 6             | Формирование сигналов с угловой модуляцией           |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 6.1           | Формирование сигналов с угловой модуляцией           |            |      |      |      |      |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |  |            | 15   | 15   | 15   | 10   | 15   | 20   | 10   |

## 8 семестр

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

- КМ-8 Синтезатор частот с частотно-фазовым детектором (Лабораторная работа)  
 КМ-9 Модель транзисторного СВЧ усилителя мощности и Транзисторный СВЧ усилитель мощности (Лабораторная работа)  
 КМ-10 Магнетронный генератор (Лабораторная работа)  
 КМ-11 Расчет рабочих и нагрузочных характеристик генераторов СВЧ (Контрольная работа)

### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-8 | КМ-9 | КМ-10 | КМ-11 |
|---------------|---|------------|------|------|-------|-------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12    | 13    |
| 1             | Формирование опорных колебаний и синтез частот                |            |      |      |       |       |
| 1.1           | Формирование опорных колебаний и синтез частот                |            | +    |      |       |       |
| 2             | Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ         |            |      |      |       |       |
| 2.1           | Транзисторные усилители мощности и автогенераторы СВЧ         |            |      | +    |       |       |
| 3             | Клистронные генераторы  |            |      |      |       |       |
| 3.1           | Клистронные генераторы  |            |      |      | +     | +     |
| 4             | Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны |            |      |      |       |       |
| 4.1           | Усилители и автогенераторы на лампах бегущей и обратной волны |            |      |      | +     | +     |
| 5             | Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа        |            |      |      |       |       |
| 5.1           | Усилители мощности и автогенераторы магнетронного типа        |            |      |      | +     | +     |
| 6             | Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы                      |            |      |      |       |       |
| 6.1           | Полупроводниковые диодные СВЧ-генераторы                      |            |      |      | +     | +     |
| Вес КМ, %:    |   |            | 20   | 30   | 20    | 30    |