

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кубанский государственный университет»  
Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор



Иванов А.Г.

подпись

2015 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### ***Б1.В.07 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ***

*(код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)*

Направление подготовки / специальность

11.03.01 Радиотехника

*(код и наименование направления подготовки/специальности)*

Направленность (профиль) / специализация

Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов

*(наименование направленности (профиля) специализации)*

Программа подготовки

академическая

*(академическая /прикладная)*

Форма обучения

очная

*(очная, очно-заочная, заочная)*

Квалификация (степень) выпускника

бакалавр

*(бакалавр, магистр, специалист)*

Краснодар 2015

Рабочая программа дисциплины Б1.В.07 «Радиотехнические системы» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника, профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов».

Программу составил:

А.И. Приходько, д-р техн. наук,  
профессор кафедры оптоэлектроники

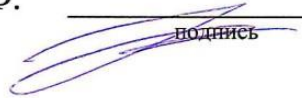
  
подпись

Рабочая программа дисциплины Б1.В.07 «Радиотехнические системы» утверждена на заседании кафедры оптоэлектроники ФТФ, протокол № 8 от 17. 04. 2015 г.

Заведующий кафедрой оптоэлектроники  
д-р техн. наук, профессор Яковенко Н.А.

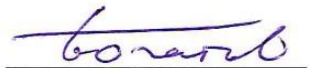
  
подпись

Рабочая программа дисциплины обсуждена на заседании кафедры радиофизики и нанотехнологий, протокол № 12 от «21» мая 2015 г.  
Заведующий кафедрой, д-р физ.-мат. наук Копытов Г.Ф.

  
подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета, протокол № 10 от 29 мая 2015 г.

Председатель УМК ФТФ  
д-р физ.-мат. наук, профессор Богатов Н.М.

  
подпись

Рецензенты:

Куксенко Б.А., главный инженер АО «КБ «Селена»,

Тумаев Е.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической физики и компьютерных технологий.

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель дисциплины

Формирование у студентов современных теоретических знаний в области радиотехнических систем, а также приобретение студентами практических навыков применения методов теории радиотехнических систем для решения прикладных задач.

### 1.2 Задачи дисциплины

- вооружить студентов глубокими и конкретными знаниями в области радиотехнических систем с целью их дальнейшего использования в практической деятельности;
- раскрыть для студентов возможности и особенности использования теории радиотехнических систем при эксплуатации и проектировании радиотехнических средств передачи, приема и обработки информации;
- дать практические навыки применения радиотехнических методов для решения прикладных задач.

### 1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Радиотехнические системы» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Математический анализ», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Радиотехнические цепи и сигналы» и является основой для изучения дисциплин «Высокочастотные передающие устройства», «Основы телевидения и видеотехники».

### 1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся профессиональных компетенций: ПК-11, ПК-17, ПК-18

| № п.п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или её части)                                | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны                                                                                            |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
|--------|--------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                    |                                                                      | знать                                                                                                                                                  | уметь                                                                                                                                                                                                       | владеть                                                                                                                                     |
| 1.     | ПК-11              | Готовностью организовывать метрологическое обеспечение производства. | Основные понятия теории радиотехнических систем; принципы аналоговой и дискретной модуляции; основные понятия теории потенциальной помехоустойчивости. | Рассчитывать основные характеристики модулированных сигналов; синтезировать схемы когерентного и некогерентного приема дискретных сигналов; проводить оценку помехоустойчивости приема дискретных сигналов. | Методами теории радиотехнических систем при эксплуатации и проектировании радиотехнических средств передачи, приема и обработки информации. |

| № п.п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или её части)                                                                                                                                                          | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны                                                                                            |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
|--------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                    |                                                                                                                                                                                                | знать                                                                                                                                                  | уметь                                                                                                                                                                                                       | владеть                                                                                                                                     |
| 2.     | ПК-17              | Способностью проводить поверку, наладку и регулировку оборудования и настройку программных средств, используемых для разработки, производства и настройки радиотехнических устройств и систем. | Основные понятия теории радиотехнических систем; принципы аналоговой и дискретной модуляции; основные понятия теории потенциальной помехоустойчивости. | Рассчитывать основные характеристики модулированных сигналов; синтезировать схемы когерентного и некогерентного приема дискретных сигналов; проводить оценку помехоустойчивости приема дискретных сигналов. | Методами теории радиотехнических систем при эксплуатации и проектировании радиотехнических средств передачи, приема и обработки информации. |
| 3.     | ПК-18              | Способностью владеть правилами и методами монтажа, настройки и регулировки узлов радиотехнических устройств и систем.                                                                          | Основные понятия теории радиотехнических систем; принципы аналоговой и дискретной модуляции; основные понятия теории потенциальной помехоустойчивости. | Рассчитывать основные характеристики модулированных сигналов; синтезировать схемы когерентного и некогерентного приема дискретных сигналов; проводить оценку помехоустойчивости приема дискретных сигналов. | Методами теории радиотехнических систем при эксплуатации и проектировании радиотехнических средств передачи, приема и обработки информации. |

## 2 Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач. ед. (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице (для студентов ОФО).

| Вид учебной работы                                 | Всего часов | Семестры  |  |  |
|----------------------------------------------------|-------------|-----------|--|--|
|                                                    |             | 8         |  |  |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                  | <b>70</b>   | <b>70</b> |  |  |
| В том числе:                                       |             |           |  |  |
| Занятия лекционного типа                           | 20          | 20        |  |  |
| Занятия семинарского типа (семинары, практические) | 30          | 30        |  |  |

|                                                                       |                                      |             |            |  |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|------------|--|
| занятия)                                                              |                                      |             |            |  |
| Лабораторные занятия                                                  | 20                                   | 20          |            |  |
|                                                                       |                                      |             |            |  |
| <b>Иная контактная работа:</b>                                        |                                      |             |            |  |
| Контроль самостоятельной работы (КСР)                                 | 4                                    | 4           |            |  |
| Промежуточная аттестация (ИКР) в форме экзамена                       | 0,2                                  | 0,2         |            |  |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b>                                 | <b>33,8</b>                          | <b>33,8</b> |            |  |
| В том числе:                                                          |                                      |             |            |  |
| Курсовой проект                                                       | –                                    | –           |            |  |
| Проработка учебного (теоретического) материала                        | 10                                   | 10          |            |  |
| Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций) | 13,8                                 | 13,8        |            |  |
| Реферат                                                               | –                                    | –           |            |  |
| Подготовка к текущему контролю                                        | 10                                   | 10          |            |  |
| <b>Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)</b>                      | зачет                                | зачет       |            |  |
| Общая трудоемкость                                                    | <b>час.</b>                          | <b>108</b>  | <b>108</b> |  |
|                                                                       | <b>в том числе контактная работа</b> | 74,2        | 74,2       |  |
|                                                                       | <b>зач. ед</b>                       | 3           | 3          |  |

## 2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.  
Разделы дисциплины, изучаемые в 8 семестре (очная форма)

| № разд<br>ела | Наименование разделов                                    | Количество часов |                   |    |    |                        |
|---------------|----------------------------------------------------------|------------------|-------------------|----|----|------------------------|
|               |                                                          | Всего            | Аудиторная работа |    |    | Самостоятельная работа |
|               |                                                          |                  | Л                 | ПЗ | ЛР |                        |
| 1             | 2                                                        | 3                | 4                 | 5  | 6  |                        |
| 1.            | Сигналы с аналоговой модуляцией                          | 35               | 8                 | 7  | 10 | 10                     |
| 2.            | Передача дискретных сигналов в непрерывных каналах связи | 20,8             | 4                 | 3  | –  | 13,8                   |
| 3.            | Сигналы с дискретной модуляцией                          | 38               | 8                 | 10 | 10 | 10                     |
|               | <i>Итого по дисциплине:</i>                              | 93,8             | 20                | 30 | 20 | 33,8                   |

## 2.3 Содержание разделов дисциплины:

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

| №  | Наименование раздела          | Содержание раздела                                                                                                                                                                                   | Форма текущего контроля                   |
|----|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1  | 2                             | 3                                                                                                                                                                                                    | 4                                         |
| 1. | Сигналы аналоговой модуляцией | Основные понятия и определения теории радиотехнических систем. Обобщенная структурная схема радиотехнической системы передачи информации. Основные показатели эффективности радиотехнических систем. | Опрос, тестирование, практические задания |

|     |                                                        |   |                                                                                                                                         |                                           |
|-----|--------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 2.  | Сигналы аналоговой модуляцией                          | с | Сигналы с амплитудной и балансной модуляцией.                                                                                           | Опрос, тестирование, практические задания |
| 3.  | Сигналы аналоговой модуляцией                          | с | Сигналы с однополосной модуляцией.                                                                                                      | Опрос, тестирование, практические задания |
| 4.  | Сигналы аналоговой модуляцией                          | с | Сигналы с угловой модуляцией.                                                                                                           | Опрос, тестирование, практические задания |
| 5.  | Передача дискретных сигналов непрерывных каналах связи | в | Математические модели непрерывных каналов связи. Критерии оптимального приема двоичных сигналов – критерий Байеса и его частные случаи. | Опрос, тестирование, практические задания |
| 6.  | Передача дискретных сигналов непрерывных каналах связи | в | Оптимальный прием двоичных сигналов в гауссовском канале с постоянными параметрами.                                                     | Опрос, тестирование, практические задания |
| 7.  | Передача дискретных сигналов непрерывных каналах связи | в | Оптимальный прием двоичных сигналов в гауссовском канале с неопределенной начальной фазой.                                              | Опрос, тестирование, практические задания |
| 8.  | Сигналы дискретной модуляцией                          | с | Сигналы с амплитудной манипуляцией.                                                                                                     | Опрос, тестирование, практические задания |
| 9.  | Сигналы дискретной модуляцией                          | с | Сигналы с фазовой манипуляцией.                                                                                                         | Опрос, тестирование, практические задания |
| 10. | Сигналы дискретной модуляцией                          | с | Сигналы с частотной манипуляцией.                                                                                                       | Опрос, тестирование, практические задания |
| 11. | Сигналы дискретной модуляцией                          | с | Сигналы с относительной фазовой манипуляцией.                                                                                           | Опрос, тестирование, практические задания |

### 2.3.2 Занятия семинарского типа

| №  | Наименование раздела          | Тематика практических занятий (семинаров)                             | Форма текущего контроля             |
|----|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1  | 2                             | 3                                                                     | 4                                   |
| 1. | Сигналы аналоговой модуляцией | с Расчет характеристик сигналов с амплитудной и балансной модуляцией. | с Опрос, тестирование, практические |

|    |                                                        |                                                                                       |                                             |
|----|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|    |                                                        |                                                                                       | задания                                     |
| 2. | Сигналы аналоговой модуляцией                          | с Расчет характеристик сигналов в угловой модуляцией.                                 | с Опрос, тестирование, практические задания |
| 3. | Передача дискретных сигналов непрерывных каналах связи | с Расчет помехоустойчивости когерентного и некогерентного приема в двоичных сигналах. | с Опрос, тестирование, практические задания |
| 4. | Сигналы дискретной модуляцией                          | с Расчет характеристик сигналов амплитудной манипуляцией.                             | с Опрос, тестирование, практические задания |
| 5. | Сигналы дискретной модуляцией                          | с Расчет характеристик сигналов частотной манипуляцией.                               | с Опрос, тестирование, практические задания |
| 6. | Сигналы дискретной модуляцией                          | с Расчет характеристик сигналов фазовой и относительной фазовой манипуляцией.         | с Опрос, тестирование, практические задания |

### 2.3.3 Лабораторные занятия

| №  | Наименование раздела          | Наименование лабораторных работ                                                                        | Форма текущего контроля                     |
|----|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1  | 2                             | 3                                                                                                      | 4                                           |
| 1. | Сигналы аналоговой модуляцией | с Исследование характеристик сигналов с амплитудной и балансной модуляцией в системе MATLAB.           | с Опрос, практические задания               |
| 2. | Сигналы аналоговой модуляцией | с Исследование характеристик сигналов с однополосной модуляцией в системе MATLAB.                      | с Опрос, практические задания               |
| 3. | Сигналы аналоговой модуляцией | с Исследование характеристик сигналов с угловой модуляцией в системе MATLAB.                           | с Опрос, практические задания               |
| 4. | Сигналы дискретной модуляцией | с Исследование характеристик сигналов с амплитудной манипуляцией в системе MATLAB.                     | с Опрос, практические задания               |
| 5. | Сигналы дискретной модуляцией | с Исследование характеристик сигналов с частотной манипуляцией в системе MATLAB.                       | с Опрос, тестирование, практические задания |
| 6. | Сигналы дискретной модуляцией | с Исследование характеристик сигналов с фазовой и относительной фазовой манипуляцией в системе MATLAB. | с Опрос, тестирование, практические задания |

### 2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Курсовые работы (проекты) – не предусмотрены.

## 2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

| №  | Вид СРС                                                              | Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 2                                                                    | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1. | СРС по теме «Сигналы аналоговой модуляцией»                          | 1. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов / С.И. Баскаков. – М.: Издательство Ленанд, 2016. – 528 с.<br>2. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для студ. вузов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2007. – 750 с.                                                                                             |
| 2. | СРС по теме «Передача дискретных сигналов непрерывных каналах связи» | 1. Информационные технологии в радиотехнических системах: учебное пособие для студентов вузов / [В.А. Васин и др.]; под ред. И.Б. Федорова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 765 с.<br>2. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для студ. вузов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2007. – 750 с. |
| 3. | СРС по теме «Сигналы дискретной модуляцией»                          | 1. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов / С.И. Баскаков. – М.: Издательство Ленанд, 2016. – 528 с.<br>2. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для студ. вузов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2007. – 750 с.                                                                                             |

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

## 3 Образовательные технологии

Используемые интерактивные образовательные технологии

| Вид занятия (Л, ПЗ) | Используемые интерактивные образовательные технологии | Количество часов |
|---------------------|-------------------------------------------------------|------------------|
| Л                   | Проблемная лекция                                     | 2                |
| ПЗ                  | Разбор практических задач                             | 2                |

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

## **4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

### **4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации**

#### **4.1.1 Пример контрольных вопросов**

**Тема 1. Амплитудная модуляция.** Общие понятия о модуляции. Определение, аналитическое выражение и параметры сигнала с амплитудной модуляцией (АМ). Аналитическое выражение и спектр АМ сигнала при однотоновой модуляции. Автокорреляционная функция и энергетический спектр АМ сигнала, когда модулирующий сигнал является стационарным случайным процессом с нулевым средним значением и заданной АКФ. Эффективная ширина спектра АМ сигнала. Распределение средней мощности в спектре АМ сигнала. Особенности формирования и обработки АМ сигналов. Преимущества и недостатки амплитудной модуляции.

Сформулируйте определение модулированного сигнала.

Дайте определение, запишите аналитическое выражение и перечислите параметры сигнала с амплитудной модуляцией (АМ).

Запишите аналитическое выражение и изобразите спектр АМ сигнала при однотоновой модуляции.

Запишите выражения для автокорреляционной функции и энергетического спектра АМ сигнала, когда модулирующий сигнал является стационарным случайным процессом с нулевым средним значением и заданной АКФ.

Запишите выражение для эффективной ширины спектра АМ сигнала.

Раскройте распределение средней мощности в спектре АМ сигнала.

Перечислите особенности формирования и обработки АМ сигналов.

Сформулируйте преимущества и недостатки амплитудной модуляции.

**Тема 2. Балансная и однополосная модуляция.** Определение и аналитическое выражение для сигнала с балансной модуляцией (БМ). Автокорреляционная функция и энергетический спектр БМ сигнала, когда модулирующий сигнал является стационарным случайным процессом с нулевым средним значением и заданной АКФ. Эффективная ширина спектра БМ сигнала. Распределение средней мощности в спектре БМ сигнала. Особенности формирования и обработки БМ сигналов. Преимущества и недостатки балансной модуляции. Определение и две эквивалентные формы записи выражения для сигнала с однополосной модуляцией (ОМ). Автокорреляционная функция и энергетический спектр ОМ сигнала, когда модулирующий сигнал является стационарным случайным процессом с нулевым средним значением и заданной АКФ. Эффективная ширина спектра ОМ сигнала. Распределение средней мощности в спектре ОМ сигнала. Особенности формирования и обработки ОМ сигналов. Преимущества и недостатки однополосной модуляции.

Дайте определение и запишите аналитическое выражение для сигнала с балансной модуляцией (БМ).

Запишите выражение для энергетического спектра БМ сигнала, когда модулирующий сигнал является стационарным случайным процессом с нулевым средним значением и заданной АКФ.

Запишите выражение для эффективной ширины спектра БМ сигнала.

Раскройте распределение средней мощности в спектре БМ сигнала.

Перечислите особенности формирования и обработки БМ сигналов.

Сформулируйте преимущества и недостатки балансной модуляции.

Дайте определение и приведите две эквивалентные формы записи выражения для сигнала с однополосной модуляцией (ОМ).

Запишите выражение для энергетического спектра ОМ сигнала, когда модулирующий сигнал является стационарным случайным процессом с нулевым средним значением и заданной АКФ.

Запишите выражение для эффективной ширины спектра ОМ сигнала.

Раскройте распределение средней мощности в спектре ОМ сигнала.

Перечислите особенности формирования и обработки ОМ сигналов.

Сформулируйте преимущества и недостатки однополосной модуляции.

**Тема 3. Угловая модуляция.** Определение и аналитические выражения для сигналов с угловой модуляцией. Определение, аналитические выражения и параметры сигналов с фазовой (ФМ) и частотной модуляцией (ЧМ). Девияция фазы, девияция частоты и индекс модуляции. Спектр сигналов с однотоновой угловой модуляцией и формула для определения эффективной ширины спектра – правило Дж. Карсона. Теорема Вудворда для сигнала с ЧМ. Оценка эффективной ширины спектра при ЧМ в случае произвольного модулирующего сигнала. Особенности формирования и обработки ЧМ сигналов. Преимущества и недостатки частотной модуляции.

Дайте определение и запишите аналитические выражения для сигналов с угловой модуляцией.

Дайте определение, запишите аналитические выражения и приведите параметры сигнала с фазовой модуляцией (ФМ).

Дайте определение, запишите аналитические выражения и приведите параметры сигнала с частотной модуляцией (ЧМ).

Дайте определения для девияции фазы, девияции частоты и индекса модуляции.

Запишите выражение для спектра сигналов с однотоновой угловой модуляцией и приведите формулы для определения эффективной ширины спектра.

Раскройте порядок оценки эффективной ширины спектра при ЧМ в случае произвольного модулирующего сигнала.

Перечислите особенности формирования и обработки ЧМ сигналов.

Сформулируйте преимущества и недостатки частотной модуляции.

**Тема 4. Двоичная амплитудная манипуляция.** Параметры манипулирующего сигнала. Автокорреляционная функция и энергетический спектр АМ сигнала. Распределение средней мощности в спектре АМ сигнала. Особенности формирования и обработки АМ сигналов. Преимущества и недостатки амплитудной манипуляции.

Дайте определение и запишите аналитические выражения для сигналов с амплитудной манипуляцией (АМ).

Охарактеризуйте основные параметры манипулирующего сигнала.

Запишите выражения для автокорреляционной функции и энергетического спектра АМ сигнала.

Раскройте распределение средней мощности в спектре АМ сигнала.

Сформулируйте преимущества и недостатки амплитудной манипуляции.

**Тема 5. Двоичная частотная манипуляция.** Частотно-манипулированные сигналы «со скачком фазы» (ЧМ). Аналитическое выражение и параметры ЧМ сигнала – девияция частоты, разнос частот и индекс частотной модуляции. Автокорреляционная функция и энергетический спектр ЧМ сигнала со случайной фазой. Автокорреляционная функция и энергетический спектр когерентного ЧМ сигнала (ЧМ сигнала Сунде).

*Распределение средней мощности в спектре ЧМ сигнала. Частотно-манипулированные сигналы с непрерывной фазой (ЧМНФ). Понятие о фазовой траектории. Автокорреляционная функция и энергетический спектр частотно-манипулированного сигнала с минимальным сдвигом (ММС). Особенности формирования и обработки ЧМ сигналов. Преимущества и недостатки частотной манипуляции.*

Дайте определение и запишите аналитические выражения для сигналов с частотной манипуляцией (ЧМ).

Запишите аналитическое выражение для ЧМ сигнала «со скачком фазы».

Дайте определения девиации частоты, разноса частот и индекса частотной модуляции.

Раскройте распределение средней мощности в спектре ЧМ сигнала.

Запишите аналитическое выражение для частотно-манипулированного сигнала с непрерывной фазой (ЧМНФ).

Сформулируйте преимущества и недостатки частотной манипуляции.

#### 4.1.2 Пример практических заданий

##### Тема 1. Амплитудная модуляция.

**1.1.** Несущее колебание с амплитудой  $U_0 = 8$  В, частотой  $f_0 = 1$  МГц и начальной фазой  $\varphi_0 = \pi/3$  модулируется по амплитуде гармоническим сигналом с единичной амплитудой, частотой  $F = 10$  кГц и начальной фазой  $\psi = \pi/3$ . Коэффициент модуляции составляет  $m = 0,6$ .

Требуется:

- записать выражения для АМ сигнала в «обычной» и «развернутой» форме;
- изобразить спектральную диаграмму АМ сигнала и найти ширину спектра;
- определить величину средней мощности АМ сигнала  $P_{AM}$ , представляя ее в виде суммы средних мощностей несущей и боковых частот.

**1.2.** Минимальное и максимальное значения амплитуды однотонового АМ сигнала соответственно составляют  $U_{min} = 20$  В,  $U_{max} = 130$  В.

Найти коэффициент модуляции  $m$ , амплитуду несущей  $U_0$  и среднюю мощность АМ сигнала  $P_{AM}$ .

**1.3.** Источник АМ сигнала создает на резистивной нагрузке  $R_n = 2$  кОм напряжение

$$u_{AM}(t) = 75(1 + 0,4 \cos 2\pi \cdot 10^3 t) \cos 2\pi \cdot 10^6 t, \text{ В.}$$

Вычислить значение средней мощности  $P_{AM}$ , а также максимальное  $P_{max}$  и минимальное значение  $P_{min}$  активной мощности за период несущего колебания.

**1.4.** Несущее колебание с амплитудой 10 В и частотой 100 кГц модулируется по амплитуде стационарным случайным сигналом  $b(t)$  с нулевым средним значением и автокорреляционной функцией

$$R(\tau) = \sigma_b^2 \exp(-\nu|\tau|) \cos \Omega \tau,$$

где  $\sigma_b^2 = P_b = 5$  Вт – средняя мощность сигнала  $b(t)$ ;  $\frac{\nu}{2\pi} = 1$  кГц;  $\frac{\Omega}{2\pi} = 3$  кГц.

Записать выражение для средней автоковариационной функции АМ сигнала и найти его среднюю мощность, если коэффициент модуляции  $m = 1$ .

### **Тема 2. Балансная и однополосная модуляция.**

**1.5.** Модулирующий сигнал имеет вид

$$b(t) = \cos(\Omega t + \psi).$$

Найти выражение для БМ сигнала и построить временную и спектральную диаграммы при  $m = 1$ .

**1.6.** Модулирующий сигнал имеет вид

$$b(t) = \cos(\Omega t + \psi).$$

Найти 1-ю форму записи для ОМ ВБП и НБП сигналов и построить временные и спектральные диаграммы при  $m = 1$ .

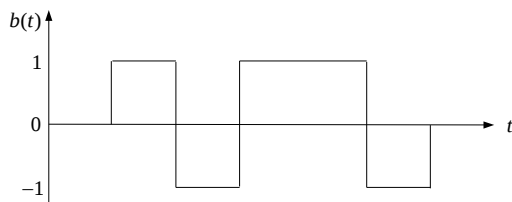
**1.7.** Модулирующий сигнал имеет вид

$$b(t) = \exp(-c|\tau|) \cos \Omega \tau,$$

где  $c > 0$  – постоянный коэффициент.

Записать аналитические выражения и построить временные диаграммы для сигналов с АМ, БМ и ОМ-ВБП при  $m = 1$ .

**1.8.** Модулирующий сигнал имеет вид, показанный на рисунке.



Изобразить временную диаграмму БМ сигнала при  $m = 1$ .

### **Тема 3. Угловая модуляция.**

**1.9.** Гармоническое несущее колебание с амплитудой  $U_0 = 10$  В, частотой  $f_0 = 10^8$  Гц модулируется по частоте гармоническим сигналом с единичной амплитудой, частотой  $F = 1,5 \cdot 10^4$  Гц при значении девиации частоты  $\Delta \omega_d = 1,2 \cdot \pi \cdot 10^5$  с<sup>-1</sup>.

Требуется:

- записать выражение для мгновенной частоты ЧМ сигнала;
- найти индекс частотной модуляции  $\beta$ ;
- записать выражение для ЧМ сигнала;
- найти эффективную ширину спектра ЧМ сигнала.

**1.10.** Найти максимальное  $\omega_{\max}$  и минимальное  $\omega_{\min}$  значение мгновенной частоты  $\omega(t)$  ЧМ сигнала

$$u_{\text{ЧМ}}(t) = U_0 \left( 3 \cdot 10^9 t + 2 \sin 10^7 t + \frac{\pi}{6} \right).$$

**1.11.** Девияция частоты ЧМ сигнала равна  $\Delta f_d = 10$  кГц. Найти индекс модуляции и эффективную ширину спектра ЧМ сигнала, если односторонняя ширина спектра модулирующего сигнала  $F_m = 3,4$  кГц.

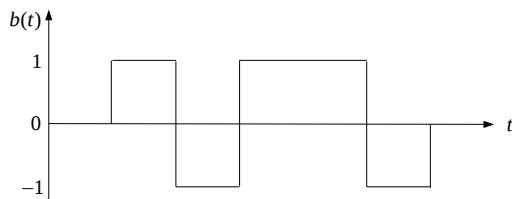
**1.12.** ЧМ сигнал с несущей частотой  $f_0 = 180$  МГц промодулирован гармоническим сигналом с частотой  $F = 7$  кГц так, что наибольшее значение мгновенной частоты составляет  $f_{\max} = 182,1$  МГц. Найти индекс модуляции и эффективную ширину спектра ЧМ сигнала.

Однотональный ЧМ сигнал имеет частоту модуляции  $F = 12$  кГц и индекс модуляции  $\beta = 25$ . Найти эффективную ширину спектра ЧМ сигнала.

**1.13.** Однотональный ЧМ сигнал имеет девияцию частоты  $\Delta \omega_d = 6 \cdot 10^4$  с<sup>-1</sup>. Найти наибольшее из возможных значений частот модуляции  $\Omega_{\max}$ , при котором в спектре сигнала будет отсутствовать составляющая с несущей частотой.

**1.14.** Найти приближенное выражение для спектрального представления однотонального ЧМ сигнала при значении индекса модуляции  $\beta \ll 1$ , когда для функций Бесселя справедливы приближенные соотношения  $J_0(\beta) \approx 1$ ,  $J_1(\beta) \approx \frac{\beta}{2}$ ,  $J_{k>2}(\beta) \approx 0$ .

**1.15.** Модулирующий сигнал имеет вид, показанный на рисунке.



Изобразить временные диаграммы АМ, ФМ, ОФМ и ЧМ сигналов.

#### **Тема 4. Помехоустойчивость приема дискретных сигналов.**

**1.16.** Рассчитать вероятность ошибки когерентного приема АМ, ЧМ и ФМ сигналов, если средняя мощность передатчика  $P_{\text{прд}} = 20$  Вт, коэффициент передачи канала (по амплитуде)  $k = 10^{-1}$ , скорость модуляции 1 кбод и спектральная плотность мощности АБГШ  $N_0 = 10^{-4}$  Вт/Гц.

**1.17.** Отношение сигнал-шум на входе приемника  $h_{\text{оБ}}^2 = 10$  дБ. Рассчитать вероятность ошибки когерентного приема АМ, ЧМ и ФМ сигналов. Как изменится вероятность ошибки, если скорость модуляции увеличится в два раза?

**1.18.** Во сколько раз необходимо увеличить среднюю мощность передатчика, чтобы при когерентном приеме АМ сигналов вероятность ошибки уменьшилась с  $10^{-2}$  до  $10^{-4}$ ?

**1.19.** Во сколько раз необходимо увеличить среднюю мощность передатчика, чтобы при когерентном приеме ЧМ сигналов вероятность ошибки уменьшилась с  $10^{-2}$  до  $10^{-5}$ ?

**1.20.** По графикам для вероятности ошибки определить энергетический выигрыш (в децибелах) при когерентном приеме сигналов с ФМ относительно ЧМ и АМ при значениях вероятности ошибки  $P_{\text{ош}} = 10^{-3}, 10^{-6}, 10^{-9}$ .

**1.21.** По линии связи со скоростью модуляции  $V = 1$  кбод передаются ФМн сигналы. Вероятность ошибки при когерентном приеме  $P_{\text{ош}} = 10^{-4}$ . Средняя мощность сигнала на входе приемника  $P_{\text{ср}} = 1$  мВт. Определить величину спектральной плотности мощности аддитивного белого гауссовского шума  $N_0$ .

**1.22.** Определить разнос частот  $\Delta f$ , при котором достигается наименьшая вероятность ошибки при когерентном приеме ЧМ сигналов.

**1.23.** Отношение сигнал-шум на входе приемника  $h_{\text{дБ}}^2 = 10$  дБ. Рассчитать вероятность ошибки некогерентного приема АМ и ЧМ сигналов в канале с неопределенной начальной фазой. Как изменится вероятность ошибки, если скорость модуляции увеличится в два раза?

**1.24.** Среднее значение отношения сигнал-шум на входе приемника  $h_{\text{дБ}}^2 = 10$  дБ. Рассчитать вероятность ошибки некогерентного приема АМ и ЧМ сигналов в канале с рэлеевскими замираниями. Как изменится вероятность ошибки, если скорость модуляции увеличится в два раза?

**1.25.** Вероятность ошибки некогерентного приема ЧМ сигналов в канале с неопределенной фазой составляет  $p = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{h^2}{2}\right)$ , а в канале с рэлеевскими замираниями она равна  $p = \frac{1}{2 + h_c^2}$ , где  $h^2$  и  $h_c^2$  – отношение сигнал-шум и среднее значение отношения сигнал-шум на входе приемника соответственно. Оценить энергетический проигрыш  $G = \frac{h_c^2}{h^2}$  при переходе от канала с неопределенной фазой к каналу с рэлеевскими замираниями при значении вероятности ошибки  $P_{\text{ош}} = 10^{-2}$ .

### 4.1.3 Пример тестовых заданий

**1.1.** Сигнал с амплитудной модуляцией при модулирующем сигнале  $b(t)$  имеет вид:

- а)  $u_{\text{АМ}}(t) = U_0 m b(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;
- б)  $u_{\text{АМ}}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;
- в)  $u_{\text{АМ}}(t) = U_0 [1 + m b(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;
- г)  $u_{\text{АМ}}(t) = U_0 [1 + m b(t)]^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ .

**1.2.** Коэффициент амплитудной модуляции определяется через максимальное  $U_{\text{max}}$  и минимальное  $U_{\text{min}}$  значение огибающей АМ сигнала соотношением:

$$\text{а) } m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}; \text{ б) } m = \frac{U_{\max} + U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}};$$

$$\text{в) } m = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}; \text{ г) } m = \frac{U_{\min}}{U_{\max}}.$$

**1.3.** Коэффициент амплитудной модуляции лежит в пределах:

- а)  $-1 \leq m \leq 1$ ; б)  $0 \leq m \leq 1$ ;  
 в)  $-1 \leq m \leq 0$ ; г)  $0 \leq m \leq 1/2$ .

**1.4.** Сигнал с балансной модуляцией при модулирующем сигнале  $b(t)$  имеет вид:

- а)  $u_{\text{БМ}}(t) = U_0 [1 + mb(t)]^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;  
 б)  $u_{\text{БМ}}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;  
 в)  $u_{\text{БМ}}(t) = U_0 [1 + mb(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;  
 г)  $u_{\text{БМ}}(t) = U_0 mb(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ .

**1.5.** Сигнал с однополосной модуляцией для модулирующего сигнала  $b(t) = B(t) \cos \Psi(t)$  с огибающей  $B(t)$  и полной фазой  $\Psi(t)$  можно представить в виде:

- а)  $u_{\text{ОМ}}(t) = \frac{U_0 m}{2} B(t) \cos[\omega_0 t + \varphi_0]$   
 б)  $u_{\text{ОМ}}(t) = \frac{U_0 m}{2} B(t) \cos[\Psi(t) + \varphi_0]$ ;  
 в)  $u_{\text{ОМ}}(t) = \frac{U_0 m}{2} B(t) \cos[\omega_0 t \pm \Psi(t) + \varphi_0]$ ;  
 г)  $u_{\text{ОМ}}(t) = \frac{U_0 m}{2} \cos[\omega_0 t \pm \Psi(t) + \varphi_0]$ .

## 4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

### 4.2.1 Примеры билетов к зачету

КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
 ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
 КАФЕДРА ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

#### РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ БИЛЕТ № 1

1. Общие понятия о модуляции.
2. Записать выражение для корреляционной функции сигнала с частотной манипуляцией.
3. Задача № 30.

КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

**БИЛЕТ № 2**

1. Сигналы с амплитудной модуляцией.
2. Записать выражение для энергетического спектра сигнала с частотной манипуляцией.
3. Задача № 29.

КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

**БИЛЕТ № 3**

1. Сигналы с балансной модуляцией.
2. Записать выражение для корреляционной функции сигнала с фазовой манипуляцией.
3. Задача № 28.

КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

**БИЛЕТ № 4**

1. Сигналы с однополосной модуляцией.
2. Записать выражение для энергетического спектра сигнала с фазовой манипуляцией.
3. Задача № 27.

КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

**БИЛЕТ № 5**

1. Сигналы с угловой модуляцией.
2. Записать выражение для алгоритма оптимального когерентного приема.
3. Задача № 26.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

- при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;
- при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;
- при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

## **5 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **5.1 Основная литература:**

1. Информационные технологии в радиотехнических системах: учебное пособие для студентов вузов / [В.А. Васин и др.]; под ред. И.Б. Федорова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 765 с.
2. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов / С.И. Баскаков. – М.: Издательство Ленанд, 2016. – 528 с.

Для освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья имеются издания в электронном виде в электронно-библиотечных системах «Лань» и «Юрайт».

### **5.2 Дополнительная литература:**

1. Радиотехнические системы: учебник для студентов вузов / под ред. Ю.М. Казаринова; [Ю. М. Казаринов и др.]. – М.: Академия, 2008. – 590 с.
2. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для студ. вузов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2007. – 750 с.

### **5.3. Периодические издания:**

1. Журнал «Проблемы передачи информации».
2. Журнал «Радиотехника и электроника».
3. Журнал «Радиотехника».
4. Журнал «Электросвязь».

## **6 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru>
2. Рубрикон – крупнейший энциклопедический ресурс Интернета: <http://www.rubricon.com>
3. Федеральный образовательный портал: <http://www.edu.ru>
4. Каталог научных ресурсов: <http://www.scintific.narod.ru>
5. Большая научная библиотека: <http://www.sci-lib.com>
6. Естественно-научный образовательный портал: <http://www.en.edu.ru>

## **7 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов включает в себя:

- изучение и повторение теоретического материала;
- решение задач.

Контроль выполнения заданий на самостоятельную работу осуществляет преподаватель на практических занятиях.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

## **8 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

### **8.1 Перечень необходимого программного обеспечения**

1. Операционная система MS Windows.
2. Офисный пакет приложений Microsoft Office.
3. Система MATLAB.

### **8.2 Перечень необходимых информационных справочных систем**

1. Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU:  
<http://www.elibrary.ru>
2. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»:  
<http://window.edu.ru/window>
3. Рубрикон – крупнейший энциклопедический ресурс Интернета:  
<http://www.rubricon.com/>
4. Большая научная библиотека:  
<http://www.sci-lib.com/>
5. Техническая библиотека:  
<http://techlibrary.ru/>

**9 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

| №  | Вид работ                                  | Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность                                                                                                                                                                         |
|----|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Лекционные и семинарские занятия           | Лекционная аудитория № 209С                                                                                                                                                                                                                    |
| 2. | Лабораторные занятия                       | Лаборатория, оснащенная компьютерной техникой 209С                                                                                                                                                                                             |
| 3. | Текущий контроль, промежуточная аттестация | Аудитория № 209С раздаточный материал.                                                                                                                                                                                                         |
| 4. | Самостоятельная работа                     | Кабинет для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета 208С |