

# Антенные решетки радиолокационных систем

**Лекторы:**  
Михаил Инденбом



**Язык:**  
Русский

**Трудоемкость:**  
3 з.е.

**Форма контроля:**  
Экзамен

**Образовательная программа:**

Беспроводные технологии (магистратура)  
3 семестр

**Пререквизиты:**

Антенны  
Радиотехнические цепи и сигналы  
Антенны и радиочастотные устройства  
ВЧ и СВЧ электроника

| Лекции<br>(ак.час)*               | Практические занятия<br>(ак.час) | Лабораторные занятия<br>(ак.час) |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 16                                | 16                               |                                  |
| *1 академический час = 45 минутам |                                  |                                  |

Курс лекций «Фазированные антенные решетки» (ФАР) направлен на ознакомление слушателей с используемыми в технике ФАР терминами и определениями, теорией ФАР, а также характеристиками ФАР различного типа. Лекции включают теорию многолучевых пассивных ФАР, активных передающих и приемных ФАР (АФАР), общие соотношения для их расчета и оценки предельно достижимых характеристик. Рассмотрены теория шумов в пассивных и активных многолучевых ФАР, электродинамические методы анализа, а также характеристики, периодических плоских и выпуклых (конформных) ФАР, характеристики поляризации излучения и двухполяризационные ФАР, методы расчета характеристик ФАР при наличии ошибок возбуждения и позиционирования их элементов, цифровые и адаптивные приемные АФАР. Теоретические положения и формулы проиллюстрированы примерами расчета характеристик отдельных типов ФАР.

# Содержание курса

## Антенные решетки радиолокационных систем

### Структура курса

| Разделы  | Лекции<br>(ак.ч.) | Практика<br>(ак.ч.) |
|--|-------------------|---------------------|
| <b>1. Антенные решетки</b>   |                   |                     |
| 1.1. Основные определения и соотношения<br>1.2. Диаграмма направленности<br>1.3. Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления<br>1.4. Максимальный коэффициент усиления<br>1.5. Коэффициент использования поверхности<br>1.6. Матрица рассеяния антенной решетки<br>1.7. Связь парциальных диаграмм излучателей и матрицы рассеяния<br>1.8. Коэффициент полезного действия антенной решетки | 2                 | 2                   |
| <b>2. Антенная решетка с диаграммообразующей схемой</b>  |                   |                     |
| 2.1. Общие соотношения<br>2.2. КПД пассивных многолучевых антенных решеток<br>2.3. Антенная решетка в режиме приема<br>2.4. Приемные активные антенные решетки<br>2.5. Передающие активные ФАР<br>2.6. Минимальное число управляемых устройств ФАР   | 2                 | 2                   |
| <b>3. Шумы в антенных решетках</b>   |                   |                     |
| 3.1. Шумовые температуры<br>3.2. Шумы многолучевой пассивной антенной решетки.<br>3.3. Шумы антенной решетки излучателей.<br>3.4. Корреляционная матрица шумов активной антенной решетки.<br>3.5. Системная шумовая температура АФАР.<br>3.6. Коэффициент шума активной антенной решетки.<br>3.7. Отношение сигнал-шум на выходе АФАР  | 2                 | 2                   |
| <b>4. Периодические антенные решетки</b>   |                   |                     |
| 4.1. Спектральный подход<br>4.2. Антенная решетка бесконечных щелей  | 2                 | 2                   |
| <b>5. Плоские фазированные антенные решетки</b>  |                   |                     |
| 5.1. Выбор координатной сетки и шагов антенной решетки.<br>5.2. Типы излучающих элементов  | 2                 | 2                   |
| <b>6. Поляризация и периодические антенные решетки двойной поляризации</b>   |                   |                     |
| 6.1. Поляризация излучения антенны<br>6.2. Поляризация излучения плоской фазированной антенной решетки<br>6.3. Фазированная антенная решетка с двойной поляризацией  | 2                 | 2                   |
| <b>7. Параметры ДН и КУ ФАР при случайных ошибках АФР</b>  |                   |                     |
| 7.1. Начальные положения<br>7.2. Комплексная ДН<br>7.3. Амплитудная ДН и уровень боковых лепестков<br>7.4. Коэффициент усиления и потенциал АФАР<br>7.5. Ширина и медиана ДН<br>7.6. Коррелированные ошибки АФР  | 2                 | 2                   |
| <b>8. Выпуклые фазированные антенные решетки</b>   |                   |                     |
| 8.1. Введение.<br>8.2. Остронаправленное излучение.<br>8.3. Представление ДН выпуклой ФАР в виде ряда дифракционных лепестков.<br>8.4. Методы расчета с учетом эффектов взаимной связи элементов<br>8.5. Характеристики выпуклых ФАР.  | 2                 | 2                   |
| <b>9. Цифровые и адаптивные АФАР</b>   |                   |                     |

|                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
| 9.1. Приемные цифровые АФАР   | 2 | 2 |
| 9.2. Адаптивные цифровые АФАР |   |   |
| 9.3. Передающие цифровые АФАР |   |   |

## Рекомендуемые ресурсы

1. Инденбом М.В. Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. М.: Радиотехника, 2015.
2. Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Б.А. Устройства СВЧ. М.: Высшая школа, 1981.
3. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. М.: Энергия, 1975.
4. Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ ФАР. М.: Мир, 1974.
5. Проектирование фазированных антенных решеток. сер. Устройства СВЧ и антенны. Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радиотехника, 2012.
6. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки/ Пер. с англ. под ред. А.И. Синани. М.: Техносфера, 2012.
7. Антенные решетки. Обзор зарубежных работ под ред. Л.С. Бененсона, М.: Советское радио, 1966.
8. Сазонов Д.М. Многоэлементные антенные системы (матричный подход). М.: Радиотехника, 2015.
9. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука, 1998.

## Политика оценивания

### Оценочные средства дисциплины: коллоквиум, экзамен.

**Коллоквиум:** обучающиеся вытягивают билеты, составленные из списка вопросов, время на подготовку у обучающихся 20-40 минут, после чего студенты отвечают преподавателю. Кроме вопросов билета, преподаватель может задавать вопросы по всему пройденному материалу.

Требования к ответам:

Уровень усвоения материала по теме коллоквиума - 20 баллов (макс.)

Логика изложения - 20 баллов (макс.)

Полнота и глубина ответов на вопросы преподавателя - 20 баллов (макс.)

Итого: 60 баллов

**Экзамен:** аттестация проходит в виде устного экзамена. Ответ предоставляется на листе А4. Время на подготовку: 20-40 минут.

Знания, умения и навыки обучающихся при промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета определяются оценками «зачтено (отлично)», «зачтено (хорошо)», «зачтено (удовлетворительно)», «не зачтено (неудовлетворительно)».

«Зачтено (отлично)» – 90 - 100 баллов - обучающийся глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами и практическими заданиями, правильно обосновывает принятые решения, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.

«Зачтено (хорошо)» – 74 - 90 баллов - обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических заданий.

«Зачтено (удовлетворительно)» – 60 - 74 баллов обучающийся усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий.

«Не зачтено (неудовлетворительно)» – менее 60 баллов - обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические задания, задачи.

## Тип самостоятельных заданий

### Пример вопросов к коллоквиуму:

1. Антенная решетка и фазированная антенная решетка. Диаграмма направленности. Парциальная диаграмма элемента
2. Коэффициент направленного действия и коэффициенты усиления антенной решетки
3. Максимальный коэффициент усиления антенной решетки
4. Коэффициент использования поверхности антенной решетки

### Примерный перечень вопросов к экзамену:

1. Выбор координатной сетки и расстояния между элементами плоской ФАР
2. Плоские ФАР щелевых излучателей. Варианты и характеристики
3. Плоские ФАР щелевых излучателей. Влияние диэлектрического покрытия
4. Плоские ФАР волноводных излучателей. Варианты
5. Характеристики плоских ФАР волноводных излучателей