

# Экспериментальные методы в радиофизике и МРТ

## Лекторы:

Евгений Свечников  
Андрей Саянский



## Трудоемкость:

3 з.е.

## Форма контроля:

Дифференцированный зачет

## Пререквизиты:

Общая физика: электричество и магнетизм

Радиотехнические цепи и сигналы

Теория линейных электрических цепей

Лекции (ак.час)*	Практические занятия (ак.час)	Лабораторные занятия (ак.час)
15	10	
*1 академический час = 45 минутам		

Целью курса является формирование у студентов надежных ориентиров в области электро- радиоизмерений, позволяющих эффективно использовать современные методы и аппаратуру в физических экспериментах. Для этого в курсе предусмотрено изучение:

- основ метрологии (понятия, терминология, актуальные нормативные документы);
- специфики решения измерительных задач в разных частотных диапазонах, включая СВЧ;
- принципов действия и особенностей применения современных цифровых измерительных приборов (мультиметров, осциллографов, генераторов, анализаторов спектра и цепей)
- принципов натурального, полунатурного и цифрового моделирования и роли моделей в физическом эксперименте.

Курс сопровождается лабораторным практикумом, в процессе прохождения которого студенты приобретают навыки использования современных радиоизмерительных приборов для решения различных задач. Практикум включает в себя:

- работы базового цикла (выполняются всеми студентами): измерение параметров цепей на низких частотах (мультиметры и измерители RLC), осциллографические измерения, анализ спектров сигналов, векторный анализ цепей в широких частотных интервалах.
- работы специального цикла (состав работ формируется в зависимости от специализации обучения и выбора студентов); примером таких работ могут служить: измерение характеристик рассеяния тел в безэховой камере, измерение диаграмм направленности антенн методом ближнего поля, измерение комплексной диэлектрической проницаемости веществ на СВЧ, измерение характеристик шумоподобных сигналов.

Во всех работах используются современные модели приборов ведущих мировых производителей – Rohde&Schwarz, Keysight, Anritsu, LeCroy и др.

## Содержание курса

### Часть 1. Общие вопросы измерений в радиофизическом эксперименте

#### Структура курса

1. Прогресс техники измерений за последние полвека, возможности цифровой аппаратуры, современная комплектация лабораторий радиотехнического профиля.
2. Радиофизический эксперимент: основные задачи, область частот, измеряемые величины.
3. Основные положения и понятия метрологии. Актуальные нормативные документы. Характеристики средств измерений, класс точности, классификация погрешностей измерений. Неопределенности типа А и В. Оценивание неопределенностей результатов прямых и косвенных измерений.
4. Представление результатов эксперимента: правила округления и записи результатов измерений, выбор масштабов шкал и единиц измерения на графиках.

### Часть 2 Современные радиоизмерительные приборы

#### Структура курса

1. Мультиметры и измерители RLC. Возможности и ограничения использования цифровых мультиметров. Определение параметров схем замещения реальных элементов цепи с помощью RLC-метров.
2. Осциллографы. Главные характеристики цифровых осциллографов, определяющие пригодность прибора для конкретных измерений - полоса пропускания, граничная частота, разрядность АЦП. Входное сопротивление, использование щупов и режима «50 Ом». Возможности отображения, измерений параметров и математической обработки исследуемых сигналов по нескольким каналам.
3. Измерительные генераторы. Генераторы гармонических сигналов и генераторы сигналов специальной (произвольной) формы. Граничные частоты и максимальная выходная мощность. Регулируемые параметры выходного сигнала. Включение генераторов в измерительную схему.
4. Анализаторы спектра. Принципы последовательного и параллельного анализа спектра. Частотный диапазон и чувствительность. Структурная схема последовательного анализатора с двойным преобразованием частоты. Связь времени анализа с полосой пропускания и уровнем шумов. Возможности и примеры использования современных анализаторов спектра.
5. Анализаторы (параметров) цепей. Коэффициенты отражения и передачи как элементы матрицы рассеяния многополюсника. Принцип выделения падающих и отраженных волн с помощью направленных ответвителей и мостовых схем. Скалярные и векторные анализаторы цепей; частотный диапазон, динамический диапазон, количество портов. Типовая схема двухпортового векторного анализатора цепей и возможности его использования в эксперименте. Особенности портативных анализаторов цепей - приставок к компьютеру.

### Часть 3 Отдельные виды измерений

#### Структура курса

1. Измерение электрофизических параметров материалов и веществ. Удельное электрическое сопротивление и проводимость: методы измерения и примеры использования данных. Комплексные (диэлектрическая и магнитная) проницаемости вещества. Принципиальная возможность экспериментального определения обеих комплексных величин по параметрам волновых процессов в линии передачи. Методы измерения комплексной диэлектрической проницаемости на разных частотах: метод конденсатора (включая метод открытого конца коаксиальной линии), метод длинной линии и его разновидности, резонансные методы, метод общей глубинной точки. Используемая измерительная аппаратура. Практические примеры определения комплексной диэлектрической проницаемости в различных ситуациях.
2. Измерение характеристик антенн. Общие характеристики антенн и их физический смысл. Методы измерения комплексного входного сопротивления (импеданса) антенн и скалярных характеристик согласования. Использование для измерений векторных анализаторов цепей. Представление входных характеристик антенны на круговой диаграмме полных сопротивлений (диаграмма Вольперта - Смита). Классические методы измерения пространственных характеристик антенны - амплитудной, фазовой и поляризационной диаграмм направленности, коэффициента усиления; понятие ближней, дальней и промежуточной зон поля антенны и их роль в измерениях. Понятие антенного фактора и его связь с коэффициентом усиления. Измерения параметров антенн в безэховых камерах, основные характеристики камер. Коллиматорный метод и метод ближней зоны - требования к аппаратуре и особенности использования. Понятие о шумовых характеристиках антенн и их измерении.
3. Измерение параметров случайных процессов. Типы случайных процессов и сигналов. Измерение спектральной плотности мощности (интенсивности) случайного процесса с помощью анализатора спектра. Понятие о радиометрических измерениях и их значение в прикладных исследованиях (радиоастрономия, дистанционное зондирование земной поверхности, медицина). Использование шумоподобных сигналов для измерения амплитудно-частотных характеристик цепей.

### Часть 4. Вопросы подготовки и реализации радиофизического эксперимента

## Структура курса

1. Предварительная оценка ожидаемого результата и необходимой точности измерений.
2. Выбор метода измерений. Принцип соответствия метода измерений назначению результатов исследования. Преодоление ограничений, связанных с доступной аппаратурой.
3. Роль моделирования в экспериментальных исследованиях. Достаточность адекватности модели оригиналу только в отношении предмета исследования. Применение численного, натурального (масштабного) и полунатурного моделирования.
4. Тракты и элементы измерительной схемы: типы линий передачи и их особенности, потери в линиях передачи, выбор радиочастотных соединителей (разъемов) в зависимости от частоты и передаваемой мощности. Паразитные связи в измерительных схемах. Использование делителей мощности, направленных ответвителей, вентиляей и циркуляторов.
5. Некоторые типичные ошибки экспериментаторов: завышенные или заниженные требования к точности измерений, избыточный частотный диапазон, малое значение отношения сигнал/шум при возможности его увеличения, пренебрежение антенным эффектом фидеров и др.

## Рекомендуемые ресурсы

1. Международный словарь по метрологии: основные понятия и соответствующие термины, <http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>
2. Данилин А. А., Лавренко Н. С. Измерения в радиоэлектронике: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2017. 408 с
3. Дворяшин Б.В. Метрология и радиоизмерения / Учеб. пособие для студентов ВУЗов, - М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 304с
4. Данилин А.А., Москалец Д.О., Сосновский В.А. Приборы и техника радиоизмерений в вопросах и ответах: учеб. пособие. СПб.: зд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. 124 с.
5. Метрология и электрические измерения: учебное пособие / Е. Д. Шабалдин [и др.]; под ред. Е. Д. Шабалдина. 2-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2013. 320 с.
6. Rouaud, Mathieu: Probability, Statistics and Estimation ( Propagation of Uncertainties in Experimental Measurement, Short Edition) <https://www.incertitudes.fr/book.pdf>

## Политика оценивания

Форма контроля	Тип задания	Вес%	Минимальный порог выполнения для получения аттестации (оценка 3 или зачет) %	Сроки выполнения
Промежуточная аттестация (Mid-term)	Дифф. зачет	50	Оценка 3	Конец второго месяца обучения
Аттестация (экзамен/зачет)	Дифф. зачет	50	Оценка 3	Конец семестра
Итого		100		