Программа учебного курса («Syllabus»)

*(лекции - 30 академических часов, лабораторный практикум – 10 -16 академических часов в зависимости от магистерской программы; практикум сразу после завершения лекционного курса)*

Экспериментальные методы в радиофизике и МРТ

«Измерения в радиофизическом эксперименте»

Свечников Евгений Львович, Саянский Андрей Дмитриевич

1. Ассистент (ы)

-

1. Язык обучения

Русский

1. Зачётные единицы (кредиты) и форма оценивание (экзамен, зачёт, зачёт с оценкой)

3 з.е., диф.зачет

1. Образовательная программа (ы) и семестр изучения

Магистратура: ФИЗИКА РАДИОЧАСТОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, 2 семестр

1. Пререквизиты Общая физика (раздел «Электричество и магнетизм»), Теория линейных электрических цепей (метод комплексных амплитуд, характеристики цепей в частотной и временной областях, цепи с распределенными параметрами) Радиотехнические цепи и сигналы (нелинейные цепи и системы - генерирование, модуляция, преобразование частоты).
2. Краткая аннотация:

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 натурного, 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.**

1. Содержание курса

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

1. Прогресс техники измерений за последние полвека, возможности цифровой аппаратуры, современная комплектация лабораторий радиотехнического профиля.

2. Радиофизический эксперимент: основные задачи, область частот, измеряемые величины.

1. 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.
2. Представление результатов эксперимента: правила округления и записи результатов измерений, выбор масштабов шкал и единиц измерения на графиках.

**Часть 2 Современные радиоизмерительные приборы**

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**

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.

1. 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, мадицина). Использование шумоподобных сигналов для измерения амплитудно-частотных характеристик цепей.

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

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, натурного (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, вентилей 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.
6. Литература
7. **Международный словарь по метрологии: основные понятия и соответствующие термины, http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf**
8. **Данилин А. А., Лавренко Н. С. Измерения в радиоэлектронике: учеб.**

**пособие. СПб.: Лань, 2017. 408 с.**

1. **Дворяшин Б.В. Метрология и радиоизмерения / Учеб. пособие для студентов ВУЗов, - М:, Издательский центр «Академия», 2005. - 304с**
2. **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.**
3. **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.**
4. **Rоuaud, Mathieu: Probability, Statistics and Estimation ( *Propagation of Uncertainties in Experimental Measurement, Short Edition*)** **https://www.incertitudes.fr/book.pdf**
5. Оценка успеваемости по курсу и примеры заданий

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Форма контроля | Тип задания | Вес % | Минимальный порог выполнения для получения аттестации (оценка 3 или зачёт) % | Сроки выполнения | Комментарии |
| Промежуточная аттестация (Mid-term) | Диф.зачет, оценка активности студентов на занятиях и собеседование со студентами в случае малой активности | 50 | Оценка 3 | Конец второго месяца обучения |  |
| Аттестация (экзамен/зачёт) | Диф.зачет, собеседование по билетам | 50 | Оценка 3 | Конец семестра | Для получения допуска к экзамену нужно сделать все лаб. работы базового цикла |
| ∑ |  | 100 |  |  |  |

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, 5)» – 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, 4)» – 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, 3)» – 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.