

Краткая неофициальная версия программы учебной дисциплины

Название дисциплины	«Современные методы электрофизических измерений» «Modern methods of electrophysical measurements»
Автор(ы) программы	Зайцев-Зотов Сергей Владимирович
Курс	3 курс
Модули	Второй модуль
Объём курса	3/2 семинара в неделю (примерно 2 астрономических часа)
Элементы контроля	Защита реферата, экзамен

1. Аннотация курса

Цель курса – знакомство с основными современными методами экспериментальных исследований электрофизических свойств твердых тел.

Задачами данного курса являются:

- Ознакомление студентов с основными принципами построения современной измерительной аппаратуры, предназначенной для проведения электрофизических измерений;
- Выработка представлений о возможностях и ограничениях использования современной измерительной аппаратуры, предназначенной для проведения основных типов электрофизических измерений;
- Выработка навыков по постановке и решению задач экспериментальных исследований электрофизических свойств твердых тел современными методами.

2. Программа курса

1. **Элементы электрических цепей** Законы Киркгофа, источники и делители напряжения, теорема об эквивалентном преобразовании источников, идеальные вольтметр и амперметр, источники тока, реальные источники напряжения и измерительные приборы, основные схемы включения измерительных приборов, погрешности измерительных схем.
2. **Идеальный и реальный операционный усилитель и схемы на его основе** Свойства операционного усилителя, коэффициенты усиления дифференциального усилителя, коэффициент подавления синфазного сигнала, типы обратной связи и ее частотная зависимость, основные схемы на операционном усилителе (повторитель напряжения, инвертирующий и неинвертирующий усилители, сумматоры, преобразователь ток-напряжение и напряжение-ток, интегратор и дифференциатор, логарифмический усилитель, дифференциальный и инструментальный усилители, компаратор, погрешности операционных усилителей.
3. **Цифровая измерительная техника** Электронные ключи, цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи
4. **Основные методы измерения электрических сигналов** Шумы и наводки, зависимость результатов измерений от выбора метода измерения, теоретические пределы измерений, шумовые параметры реальных усилителей и приборов, шум $1/f$, проблема дрейфа нуля и ее решения, осциллографические наблюдения, измерения с

помощью усилителей с синхронным детектором, измерения сверхпроводников и хорошо проводящих материалов (релаксация магнитного момента, СКВИДы), измерения малых напряжений, измерения низкоомных объектов, измерение малых токов, измерение потенциалов высокоомных объектов, электрометрические измерения, уменьшение времени отклика измерительной схемы.

5. **Измерение дифференциального сопротивления и нелинейных вольт-амперных характеристик** Понятие дифференциального сопротивления/дифференциальной проводимости, режимы заданного тока и заданного напряжения, выбор режима для измерения на примере измерения туннельных переходов и эффекта Джозефсона со ступенями Шапиро, примеры схем, сравнение цифрового и аналогового дифференцирования при измерениях вольт-амперных характеристик, измерение второй производной.
6. **Наводки** Два основных типа наводок, методы борьбы с каждым типом наводок, приборы с экраным выходом
7. **Методы измерения и стабилизации температуры и особенности проведения измерений при низких температурах** Датчики температуры, организация обратной связи, компьютерная и аналоговая стабилизация температуры, ПИД регулирования, пример схемы аналогового и цифрового стабилизаторов и пример программы стабилизации, тепловые схемы, тепловое заземление, термо-ЭДС, измерения в магнитном поле, перегрев ВЧ наводками.
8. **Ввод данных в компьютер и системы автоматизации измерений** Присоединение приборов с помощью канала общего пользования (GPIB, IEEE-488, RS232 и подобным протоколам, достоинства и недостатки), другие методы подключения приборов (ISA, EISA, PCI, USB, Ethernet), контроллеры и микрокомпьютерные системы на основе Arduino, Raspberry Pi
9. **Нестандартные методы проведения электрофизических измерений и ошибки экспериментаторов, замечания по обработке сигналов и представлению данных в статьях**

3. Элементы контроля и правила оценивания

Элементы контроля:

Реферат: в течение семестра предусмотрена подготовка и защита реферата по темам методов измерений. Тематика рефератов предлагается преподавателем. Так же студенты могут предложить свою тему, которая должна быть согласована с преподавателем. На подготовку реферата отводится 3 недели. После подготовки студенты защищают реферат, выступая с докладом перед аудиторией на подготовленную тему. Если защита реферата не проведена вовремя по причине неподготовленности студента, то оценка снижается на 20% за каждую неделю просрочки.

Экзамен: на экзамене студентам будет предложено письменно решить 2 задачи и подготовить ответ на вопрос по пройденному на лекциях материалу. Экзамен проводится в виде обсуждения подготовленных ответов на поставленные вопросы. Оценка за экзамен складывается из суммы оценок за первую задачу (25 %), вторую задачу (35%) и ответа на вопрос по тематике лекций (40%).

Правила оценивания:

Итоговая оценка складывается из суммы оценок за реферат (33%) и экзамен (67%). Округление итоговой оценки по арифметическим правилам.

4. Примеры заданий элементов контроля

Пример темы реферата: Методы измерения температуры

Пример задачи экзамена: Вы хотите измерить вольт-амперную характеристику объекта, сопротивление которого быстро падает при больших напряжениях, а также и при нагреве. Предложите схему, позволяющую это сделать в максимально возможном диапазоне напряжений и токов без опасения, что образец сгорит из-за джоулева нагрева при больших напряжениях.

Пример вопроса по тематике лекций: Методы измерения электрофизических свойств высокоомных объектов

5. Рекомендованная литература и ссылки по теме

5.1. Основной список

1. И. Хоровиц, У. Хилл, «Искусство схемотехники», Мир 2009.
2. J. E. Keithley, Low-level Measurements, 5th Edition, Editors: J. Eager and M. Hrusch-Tupta, Keithley
3. Nanotechnology Measurements Handbook, A Guide to Electrical Measurements for Nanoscience Applications, 1st Edition, Meyya Meyyappa, Keithley Instruments 2007.
<https://www.tek.com/document/primer/nanotechnology-measurement-handbook>
4. Low Level Measurements, Handbook - 7th Edition. Precision DC Current, Voltage, and Resistance Measurements, https://download.tek.com/document/LowLevelHandbook_7Ed.pdf

5.2. Дополнительный список

1. Frank Pobell, Matter and Methods at Low Temperatures, Third, Revised and Expanded Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992, 1996, 2007.
2. Р. Хэфер, Криовакуумная техника, основы и применения, М. Энергоатомиздат 1983
3. Справочник по физико-техническим основам криогеники, Ред. М.П. Малков, М. Энергоатомиздат 1985.