

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ
директор ИСЭ СО РАН
академик РАН



Н. А. Ратахин Н. А. Ратахин

« 24 » августа 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ
«Экспериментальные методы
в сильноточной электронике»

основных профессиональных образовательных программ высшего образования —
программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлениям подготовки кадров высшей квалификации

№ п/п	Направление подготовки	Наименование ОПОП (профиль подготовки)	Место дисциплины в учебном плане
1	03.06.01 Физика и астрономия	Физическая электроника	Вариативная часть, обязательная дисциплина
2		Оптика	
3		Электрофизика, электрофизические установки	
4	11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи	Вакуумная и плазменная электроника	

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Перечень основных профессиональных образовательных программ высшего образования — программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям подготовки кадров высшей квалификации, в учебные планы которых входит данная дисциплина, и ее место в учебном плане обозначены на титульном листе настоящей рабочей программы.

Дисциплина посвящена изучению экспериментальных методов в сильноточной электронике, особенностей регистрации наносекундных сигналов, осциллографии и радиосигнальных линий, электромагнитных помех и наводок, делителей напряжения, шунтов, поясов Роговского, измерений параметров сильноточных электронных пучков, диагностик мощных импульсов СВЧ-излучения, регистрации быстропротекающих процессов, диагностики параметров плазмы и ее собственного излучения.

Для успешного освоения дисциплины «Экспериментальные методы в сильноточной электронике» аспирант должен знать: общую физику, основы классической электродинамики, теоретические основы электротехники, математический анализ, основы физики пучков заряженных частиц, СВЧ-электродинамики и СВЧ-электроники, физики плазмы.

1.2. Цели и задачи освоения дисциплины

1. Приобретение широких, целостных и глубоких знаний об экспериментальных методах в физической электронике, в том числе сильноточной электронике, о назначении, принципах функционирования, особенностях конструкции диагностик и измерительных средств, о современном уровне и тенденциях развития таких систем, методах их расчета и проектирования.

2. Формирование умений: оценивать условия эксперимента, выбирать и применять на практике экспериментальные методы, наиболее эффективные в диагностике тех или иных электрофизических систем; применять математический аппарат и физические знания при решении задач по разработке конструкций измерительных средств и их использования в экспериментах; делать научно обоснованные выводы по результатам экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию электрофизических устройств и систем.

1.3. Формируемые компетенции

ОПК-1: Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области сильноточной электроники с использованием современных методов и информационно-коммуникационных технологий.

ПК-1: Наличие, целостных и глубоких знаний об экспериментальных методах в сильноточной электронике, о назначении, принципах функционирования, особенностях конструкции диагностик и измерительных средств, о современном уровне и тенденциях развития таких систем, методах их расчета и проектирования (как составляющая профессиональной компетенции ПК-1 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

ПК-2: Умение оценивать условия эксперимента, выбирать и применять на практике экспериментальные методы, наиболее эффективные в диагностике тех или иных электрофизических систем; применять математический аппарат и физические знания при решении задач по разработке конструкций измерительных средств и их использования в экспериментах; делать научно обоснованные выводы по результатам экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию электрофизических устройств и систем (как составляющая профессиональной компетенции ПК-2 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

УК-1: Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

УК-2: Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

УК-3: Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Таблица соответствия компонентов фонда оценочных средств (ФОС) по дисциплине формируемым компетенциям приведена в п. 5.2 рабочей программы.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и их трудоемкость (в часах)		
		Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1	Введение в дисциплину	2	—	2
2	Импульсные процессы и характеристики сигналов	4	6	6
3	Общие вопросы регистрации импульсов	6	2	8
4	Измерение высоких импульсных напряжений	4	4	6
5	Измерение импульсных токов большой силы	4	2	6
6	Измерение параметров сильнооточных релятивистских электронных пучков	6	2	8
7	Измерение параметров мощных импульсов СВЧ-излучения	10	2	18
	ВСЕГО	36	18	54

2.2. Лекционные занятия

Порядковый номер лекции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость	
		час	зач. ед.
РАЗДЕЛ 1. Введение в дисциплину		2	0,055
1	Тема 1.1. Особенности эксперимента в сильнооточной электронике Сильнооточная электроника как область знания и исследования, области применения результатов. Особенности и типичные схемы эксперимента в сильнооточной электронике. Параметры импульсов и регистрируемых сигналов. Общие требования, предъявляемые к регистрирующей аппаратуре.	2	0,055
РАЗДЕЛ 2. Импульсные процессы и характеристики сигналов		4	0,12
2	Тема 2.1. Сигналы в сильнооточной электронике Общие вопросы измерения импульсов. Взаимодействие видеоимпульсов с устройствами. Интегральные параметры видеоимпульсов. Локальные параметры видеоимпульсов. Параметры радиоимпульсов и импульсов оптического излучения.	2	0,06
3	Тема 2.2. Спектральные характеристики импульсов Преобразование Фурье для импульсно-периодического видеосигнала. Преобразование Фурье для одиночного видеосигнала. Спектры сигналов. Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики регистрирующих устройств. Условие регистрации сиг-	2	0,06

	нала с минимальными искажениями.		
РАЗДЕЛ 3. Общие вопросы регистрации импульсов		6	0,165
4	<u>Тема 3.1. Осциллографические методы измерения</u> Универсальные осциллографы. Осциллографы с запоминающими ЭЛТ. Скоростные осциллографы. Стробоскопические осциллографы. Цифровые осциллографы. Характеристики осциллографов и специфика применения.	2	0,055
5	<u>Тема 3.2. Линии передачи сигналов</u> Условия дистанционной регистрации сигналов. Измерительные цепи. Коаксиальные линии передачи. Телеграфные уравнения. Волновое сопротивление. Режимы согласования линии передачи. Условия регистрации сигналов с минимальными искажениями.	2	0,055
6	<u>Тема 3.3. Электромагнитные помехи.</u> Причины возникновения искаженного сигнала. Проникновение поля помехи через корпус осциллографа. Проникновение квазистационарных полей через измерительные цепи. Помехи проникающие по проводам питания. Помехи вследствие наличия токов по оболочкам кабелей и корпусу осциллографа. Помехи вследствие падения напряжения на заземляющем проводнике. Индуктированные и наведенные помехи. Помехи вследствие смещения потенциала в разрядной цепи. Способы борьбы с помехами.	2	0,055
РАЗДЕЛ 4. Измерение высоких импульсных напряжений		4	0,11
7	<u>Тема 4.1. Измерительные цепи высоковольтных делителей напряжения</u> Передачные характеристики высоковольтных делителей. Определение передачных характеристик путем измерения реакции на прямоугольный импульс. Схемы калибровки делителей и формы их реакции на прямоугольный импульс. Время нарастания и время установления и погрешности измерения. Упрощенные схемы замещения делителей и зависимости их коэффициентов передачи от частоты.	2	0,055
8	<u>Тема 4.2. Разновидности высоковольтных делителей напряжения и их характеристики</u> Омические делители. Емкостные делители. Смешанные делители с различным включением емкостей и конденсаторов. Учет реактивных компонент цепей делителей. Схемы замещения. Согласование кабеля в низковольтном плече делителей. Делители напряжения с линиями передачи в качестве ступеней.	2	0,055
Раздел 5. Измерение импульсных токов большой силы		4	0,11
9	<u>Тема 5.1. Токовые омические шунты</u> Цепь с омическим шунтом для измерения импульсных токов большой силы и ее эквивалентная схема. Разновидности шунтов. Схема замещения омического шунта. Схема замещения низкоомного шунта без учета емкостной компоненты, внешняя и внутренняя индуктивности шунта и их роль в такой схеме. Время реакции омических шунтов различной конструкции на прямоугольный импульс. Установившийся режим и режим проникновения электромагнитного поля в материал шунта. Калибровка шунтов.	2	0,055
10	<u>Тема 5.2. Пояса Роговского</u> Устройство и принцип действия пояса Роговского как устройства на сосредоточенных параметрах. Режим трансформатора тока. Схема с интегрирующей цепочкой. Экранирование пояса Роговского. Переходные процессы в поясе Роговского. Пояс Роговского как искусственная линия для измерения коротких импульсов тока.	2	0,055
РАЗДЕЛ 6. Измерение параметров сильноточных релятивистских электронных пучков		6	0,165
11	<u>Тема 6.1. Измерение токовых и энергетических характеристик электронного пучка</u> Измерение тока пучка цилиндром Фарадея. Измерение тока пучка шунтами и поясами Роговского в реальных экспериментальных установках. Измерение провисания потенциала электронного пучка. Измерение энергетических характеристик сильноточных релятивистских электронных пучков. Метод калориметра. Измерение энергии электронов по пробегу в веществе.	2	0,055
12	<u>Тема 6.2. Измерение параметров электронного потока</u> Измерение энергетического спектра сильноточного релятивистского электронного пучка. Фольговый и магнитный спектрометры. Измерение поперечных размеров распределения плотности тока трубчатого электронного пучка, формируемого в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией и взрывозмиссионным катодом. Метод автографов. Коллекторный метод. Измерение поперечной скорости электронов трубчатого электронного пучка. Метод диафрагм, метод светящихся тонких пленок.	4	0,11
РАЗДЕЛ 7. Измерение параметров мощных импульсов СВЧ-излучения		10	0,275
13	<u>Тема 7.1. Антенные измерения</u> Антенные и волноводные измерения, типичная схема измерений. Рупорные, волноводные и вибраторные антенны. Расчет и измерение эффективной поверхности при-	2	0,055

	емных антенн. Измерение мощности СВЧ-излучения релятивистских источников методом интегрирования плотности мощности по диаграмме направленности.		
14	<u>Тема 7.2. СВЧ-детекторы мощных импульсов СВЧ-излучения</u> Режимы детектирования. Квадратичное детектирование. Волноводные и коаксиальные конструкции детекторов. Детекторы на основе полупроводниковых диодов с р-п-переходом. Ламповые детекторы. Полупроводниковые детекторы на горячих носителях. Согласование с волноводным трактом и калибровка детекторов.	2	0,055
15	<u>Тема 7.3. Измерение энергии мощных импульсов СВЧ-излучения</u> Калориметрические измерения в релятивистской СВЧ-электронике, виды калориметров. Широкополосные «сухие» калориметры. Узкополосные «сухие» калориметры. Широкополосный жидкостный вакуумный калориметр. Широкополосный жидкостный апертурный калориметр.	2	0,055
16	<u>Тема 7.4. Спектральные измерения</u> Методы измерения частоты и спектра мощных импульсов СВЧ-излучения. Метод отсечки. Запредельные фильтры. Резонансный метод. Полосовые фильтры. Гетеродинный метод. Смесители. Калориметрический спектрометр. Дисперсионные линии. Осциллографическая регистрация частоты и спектра.	2	0,055
17	<u>Тема 7.5. Дополнительные методы измерения характеристик мощных СВЧ-импульсов</u> Измерение мощности СВЧ-импульсов с помощью направленных ответвителей. Измерение мощности СВЧ-импульсов по зажиганию СВЧ-разряда в газе. Газоразрядная визуализация потока СВЧ-мощности в пространстве. Измерение характеристик когерентности мощных СВЧ-импульсов.	2	0,055
	СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ	36	1,0

2.3. Практические (семинарские) занятия

Порядковый номер занятия	Раздел, тема учебного курса, содержание занятия	Трудоемкость	
		час	зач. ед.
РАЗДЕЛ 2. Импульсные процессы и характеристики сигналов		6	0,165
1, 2	<u>Тема 2.1. Сигналы в сильноточной электронике</u> Решение задач 1–6	4	0,11
3	<u>Тема 2.2. Спектральные характеристики импульсов</u> Решение задач 7–11	2	0,055
РАЗДЕЛ 3. Общие вопросы регистрации импульсов		2	0,055
4	<u>Тема 3.2. Линии передачи сигналов</u> Решение задач 12–14	2	0,055
РАЗДЕЛ 4. Измерение высоких импульсных напряжений		4	0,11
5	<u>Тема 4.1. Измерительные цепи высоковольтных делителей напряжения</u> Решение задач 15–17	2	0,055
6	<u>Тема 4.2. Разновидности высоковольтных делителей напряжения и их характеристики</u> Решение задач 18–21	2	0,055
Раздел 5. Измерение импульсных токов большой силы		2	0,055
7	<u>Тема 5.1. Токовые омические шунты</u> Решение задач 22–24	2	0,055
РАЗДЕЛ 6. Измерение параметров сильноточных релятивистских электронных пучков		2	0,055
8	<u>Тема 6.2. Измерение параметров электронного потока</u> Решение задач 25–26	2	0,055
РАЗДЕЛ 7. Измерение параметров мощных импульсов СВЧ-излучения		2	0,06
9	<u>Тема 7.1. Антенные измерения</u> <u>Тема 7.2. СВЧ-детекторы мощных импульсов СВЧ-излучения</u> <u>Тема 7.4. Спектральные измерения</u> Решение задачи 27–30	2	0,06
	СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ	18	0,5

2.4. Самостоятельная работа аспирантов

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

- проработку учебного материала по конспектам лекций и учебной литературе,
- конспектирование и реферирование источников из списка дополнительной учебной и научной литературы;
- выполнение домашних заданий аналитического и расчетного характера.

Разделы и темы рабочей программы для самостоятельного изучения	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Сроки выполнения (№ недели)	Трудоемкость (включая работу с конспектами лекций, литературой и интернет-источниками)	
			час.	зач. ед.
1	2	3	4	5
РАЗДЕЛ 1. Введение в дисциплину			2	0,055
Тема 1.1. Особенности эксперимента в сильноточной электронике	Сильноточная электроника как область знания и исследования, области применения результатов. Особенности и типичные схемы эксперимента в сильноточной электронике. Параметры импульсов и регистрируемых сигналов. Общие требования, предъявляемые к регистрирующей аппаратуре.	1	2	0,055
РАЗДЕЛ 2. Импульсные процессы и характеристики сигналов			6	0,18
Тема 2.1. Сигналы в сильноточной электронике	Общие вопросы измерения импульсов. Взаимодействие видеоимпульсов с устройствами. Интегральные параметры видеоимпульсов. Локальные параметры видеоимпульсов. Параметры радиоимпульсов и импульсов оптического излучения.	2	4	0,12
Тема 2.2. Спектральные характеристики импульсов	Преобразование Фурье для импульсно-периодического видеосигнала. Преобразование Фурье для одиночного видеосигнала. Спектры сигналов. Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики регистрирующих устройств. Условие регистрации сигнала с минимальными искажениями.	3	2	0,06
РАЗДЕЛ 3. Общие вопросы регистрации импульсов			8	0,22
Тема 3.1. Осциллографические методы измерения	Универсальные осциллографы. Осциллографы с запоминающими ЭЛТ. Скоростные осциллографы. Стробоскопические осциллографы. Цифровые осциллографы. Характеристики осциллографов и специфика применения.	4	2	0,055
Тема 3.2. Линии передачи сигналов	Условия дистанционной регистрации сигналов. Измерительные цепи. Коаксиальные линии передачи. Телеграфные уравнения. Волновое сопротивление. Режимы согласования линии передачи. Условия регистрации сигналов с минимальными искажениями.	5	4	0,11
Тема 3.3. Электромагнитные помехи	Причины возникновения искаженного сигнала. Проникновение поля помехи через корпус осциллографа. Проникновение квазистационарных полей через измерительные цепи. Помехи проникающие по проводам питания. Помехи вследствие наличия токов по оболочкам кабелей и корпусу осциллографа. Помехи вследствие падения напряжения на заземляющем проводнике. Индуктированные и наведенные помехи. Помехи вследствие смещения потенциала в разрядной цепи. Способы борьбы с помехами.	6	2	0,055

РАЗДЕЛ 4. Измерение высоких импульсных напряжений			6	0,165
Тема 4.1. Измерительные цепи высоковольтных делителей напряжения	Передаточные характеристики высоковольтных делителей. Определение передаточных характеристик путем измерения реакции на прямоугольный импульс. Схемы калибровки делителей и формы их реакции на прямоугольный импульс. Время нарастания и время установления и погрешности измерения. Упрощенные схемы замещения делителей и зависимости их коэффициентов передачи от частоты.	7	2	0,055
Тема 4.2. Разновидности высоковольтных делителей напряжения и их характеристики	Омические делители. Емкостные делители. Смешанные делители с различным включением емкостей и конденсаторов. Учет реактивных компонент цепей делителей. Схемы замещения. Согласование кабеля в низковольтном плече делителей. Делители напряжения с линиями передачи в качестве ступеней.	8	4	0,11
Раздел 5. Измерение импульсных токов большой силы			6	0,165
Тема 5.1. Токковые омические шунты	Цепь с омическим шунтом для измерения импульсных токов большой силы и ее эквивалентная схема. Разновидности шунтов. Схема замещения омического шунта. Схема замещения низкоомного шунта без учета емкостной компоненты, внешняя и внутренняя индуктивности шунта и их роль в такой схеме. Время реакции омических шунтов различной конструкции на прямоугольный импульс. Установившийся режим и режим проникновения электромагнитного поля в материал шунта. Калибровка шунтов.	9	2	0,055
Тема 5.2. Пояса Роговского	Устройство и принцип действия пояса Роговского как устройства на сосредоточенных параметрах. Режим трансформатора тока. Схема с интегрирующей цепочкой. Экранирование пояса Роговского. Переходные процессы в поясе Роговского. Пояс Роговского как искусственная линия для измерения коротких импульсов тока.	10	4	0,11
РАЗДЕЛ 6. Измерение параметров сильноточных релятивистских электронных пучков			8	0,22
Тема 6.1. Измерение токовых и энергетических характеристик электронного пучка	Измерение тока пучка цилиндром Фарадея. Измерение тока пучка шунтами и поясами Роговского в реальных экспериментальных установках. Измерение провисания потенциала электронного пучка. Измерение энергетических характеристик сильноточных релятивистских электронных пучков. Метод калориметра. Измерение энергии электронов по пробегу в веществе.	11	4	0,11
Тема 6.2. Измерение параметров электронного потока	Измерение энергетического спектра сильноточного релятивистского электронного пучка. Фольговый и магнитный спектрометры. Измерение поперечных размеров распределения плотности тока трубчатого электронного пучка, формируемого в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией и взрывоэмиссионным катодом. Метод автографов. Коллекторный метод. Измерение поперечной скорости электронов трубчатого электронного пучка. Метод диафрагм, метод светящихся тонких пленок.	12, 13	4	0,11

РАЗДЕЛ 7. Измерение параметров мощных импульсов СВЧ-излучения		18	0,495	
Тема 7.1. Антенные измерения	Антенные и волноводные измерения, типичная схема измерений. Рупорные, волноводные и вибраторные антенны. Расчет и измерение эффективной поверхности приемных антенн. Измерение мощности СВЧ-излучения релятивистских источников методом интегрирования плотности мощности по диаграмме направленности.	14	4	0,11
Тема 7.2. СВЧ-детекторы мощных импульсов СВЧ-излучения	Режимы детектирования. Квадратичное детектирование. Волноводные и коаксиальные конструкции детекторов. Детекторы на основе полупроводниковых диодов с р-п-переходом. Ламповые детекторы. Полупроводниковые детекторы на горячих носителях. Согласование с волноводным трактом и калибровка детекторов.	15	4	0,11
Тема 7.3. Измерение энергии мощных импульсов СВЧ-излучения	Калориметрические измерения в релятивистской СВЧ-электронике, виды калориметров. Широкополосные «сухие» калориметры. Узкополосные «сухие» калориметры. Широкополосный жидкостный вакуумный калориметр. Широкополосный жидкостный апертурный калориметр.	16	4	0,11
Тема 7.4. Спектральные измерения	Методы измерения частоты и спектра мощных импульсов СВЧ-излучения. Метод отсечки. Запредельные фильтры. Резонансный метод. Полосовые фильтры. Гетеродинный метод. Смесители. Калориметрический спектрометр. Дисперсионные линии. Осциллографическая регистрация частоты и спектра.	17	4	0,11
Тема 7.5. Дополнительные методы измерения характеристик мощных СВЧ-импульсов	Измерение мощности СВЧ-импульсов с помощью направленных ответвителей. Измерение мощности СВЧ-импульсов по зажиганию СВЧ-разряда в газе. Газоразрядная визуализация потока СВЧ-мощности в пространстве. Измерение характеристик когерентности мощных СВЧ-импульсов.	18	2	0,055
Суммарная трудоемкость		54	1,5	

2.4.1. Вопросы для самоподготовки, самопроверки и для проработки учебного материала по конспектам лекций и учебной литературе

1. Какими параметрами характеризуется взаимодействие видеоимпульсов с регистрирующими устройствами? Назовите три типичных варианта такого взаимодействия.
2. Что такое интегральные параметры видеоимпульсов?
3. Что такое прямоугольная модель импульса?
4. Каковы ее интегральные параметры прямоугольной модели импульса и как они определяются?
5. Назовите основные важные свойства интегральных параметров.
6. Что такое коэффициент формы импульса, как он вычисляется?
7. Что такое класс формы импульсов?
8. Что такое трапецеидальная модель импульса? В каком случае она применяется? Какова система параметров трапецеидальной модели импульса и как она определяется?
9. Что такое система локальных параметров видеоимпульсов? Как определяются локальные параметры?
10. Как определяются амплитуда и длительность импульса?
11. Как определяются фронт и срез импульса?
12. Назовите способы формализованного определения амплитуды импульса.

13. В чем отличие определения системы интегральных параметров радиоимпульсов и импульсов оптического излучения от таковой для видеоимпульсов?
14. Каковы условия применения преобразования Фурье для импульсно-периодического сигнала?
15. Запишите выражения для гармоник импульсно-периодического сигнала.
16. Что такое огибающая спектра импульсно-периодического сигнала?
17. Каково основное отличие спектров последовательностей прямоугольных и трапецидальных импульсов?
18. Как осуществить переход от спектра импульсно-периодического сигнала к спектру одиночного сигнала?
19. Запишите выражение для спектра одиночного импульса.
20. Что такое линейная цепь передачи сигналов и как определяются ее амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики?
21. Каковы условия неискаженной передачи сигнала через линейную цепь?
22. Назовите основные виды осциллографов и их основные параметры.
23. Опишите устройство, блок-схему и основные параметры электронно-лучевого осциллографа общего применения.
24. Опишите устройство, принцип действия и основные параметры осциллографа с запоминающей электронно-лучевой трубкой.
25. Опишите устройство, принцип действия и основные параметры скоростного осциллографа.
26. Опишите устройство, принцип действия и основные параметры стробоскопического осциллографа.
27. Опишите устройство, принцип действия и основные параметры цифрового осциллографа.
28. Что такое линии передачи и для чего они применяются в установках сильноточной электроники.
29. Что такое волновое сопротивление линии передачи?
30. Что такое режим согласования линии передачи, как он зависит от нагрузки линии? Опишите волновой режим линии в зависимости от режима ее согласования.
31. Выведите выражение для коэффициента отражения сигнала от линии передачи в зависимости от волнового сопротивления линии и нагрузки.
32. Назовите причины возникновения искаженного сигнала в установках сильноточной электроники.
33. Что такое проникновение поля помехи через корпус осциллографа и проникновение квазистационарных полей через измерительные цепи.
34. Как возникают помехи, проникающие по проводам питания?
35. Опишите механизм возникновения помех вследствие наличия токов по оболочкам кабелей и корпусу осциллографа.
36. Что такое помехи вследствие падения напряжения на заземляющем проводнике?
37. Как возникают индуктированные и наведенные помехи?
38. Каков механизм возникновения помех вследствие смещения потенциала в разрядной цепи.
39. Каковы способы борьбы с помехами различных типов.
40. Как называются устройства, позволяющие регистрировать импульсы высокого напряжения? Назовите их основные характеристики.
41. Перечислите основные виды делителей напряжения. Приведите их упрощенные схемы замещения.
42. Опишите схемы калибровок делителей напряжения, приведите выражения для зависимостей форм реакции делителей на прямоугольный импульс, укажите параметры этих зависимостей.
43. Опишите устройство омического делителя напряжения и приведите его схему замещения.

44. Опишите возможные схемы измерительной части, их режимы согласования и выражения для коэффициентов деления для омического делителя.
45. Чем определяется постоянная времени омического делителя?
46. Опишите устройство емкостного делителя напряжения и приведите его схему замещения. Приведите выражение для его коэффициента передачи и опишите форму его реакции на прямоугольный импульс.
47. Приведите разновидности смешанных делителей, их схемы замещения, а также выражение для коэффициента деления.
48. Опишите устройство и принцип действия делителей напряжения на линиях передачи в качестве ступеней.
49. Опишите устройство и принцип действия наносекундного делителя на связанных маслонаполненных коаксиальных линиях для измерения импульсов напряжения амплитудой до 2 МВ и фронтом порядка 1 нс. Приведите схему замещения и обоснуйте выражение для коэффициента деления этого делителя.
50. Опишите устройство и принцип действия наносекундного делителя на связанных маслona-полненных коаксиальных линиях для измерения биполярного импульса напряжения амплитудами ± 120 кВ и длительностью $\approx 0,8$ нс. Приведите схему замещения и обоснуйте выражение для коэффициента деления этого делителя. Опишите схему калибровки.
51. Какие датчики могут быть использованы для измерения импульсных токов большой силы?
52. Опишите цепь с омическим шунтом для измерения импульсных токов большой силы и ее эквивалентную схему.
53. Какие бывают разновидности конструкций шунтов.
54. Составьте схему замещения омического шунта, схему замещения низкоомного шунта без учета емкостной компоненты. Что такое внешняя и внутренняя индуктивности шунта и их роль в такой схеме?
55. Что такое время реакции омических шунтов на прямоугольный импульс. Приведите выражения для времени реакции для шунтов различной конструкции.
56. Что такое установившийся режим работы шунта?
57. Что такое режим проникновения электромагнитного поля в материал шунта.
58. Опишите устройство и принцип действия пояса Роговского как устройства на сосредоточенных параметрах.
59. Что такое режим трансформатора тока пояса Роговского? Приведите его схему в этом режиме, дифференциальные уравнения, описывающие ее, выражение для связи измеряемого тока с сигналом на выходе пояса Роговского.
60. Опишите работу пояса Роговского в схеме с интегрирующей цепочкой, приведите выражения для связи сигнала на выходе пояса Роговского и измеряемого тока.
61. Как выполняется экранирование пояса Роговского?
62. Как работает пояс Роговского в режиме искусственной линии при измерении коротких импульсов тока? Приведите схему замещения.
63. Опишите конструкцию и принцип действия цилиндра Фарадея.
64. Как выполняется измерение тока пучка шунтами и поясами Роговского в реальных экспериментальных установках, а также измерение напряжения на диоде и провисания потенциала электронного пучка.
65. Как выполняется измерение полной энергии импульсного электронного пучка твердотельным калориметром? Жидкостным калориметром? Опишите устройство этих калориметров.
66. В чем заключается метод измерения энергии электронов по пробегу в веществе? Приведите схему измерения.
67. Как выполняется измерение энергетического спектра сильнооточного релятивистского электронного пучка фольговым спектрометром? Магнитным спектрометром.
68. В чем заключается процедура определения поперечных размеров трубчатого электронного пучка, формируемого в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией с катодом на ос-

нове взрывной эмиссии методом автографов, а также измерение распределения плотности тока такого пучка коллекторным методом?

69. Как выполняется измерение поперечной скорости электронов трубчатого электронного пучка, сформированного в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией, методом диафрагм? Методом светящихся тонких пленок?

70. Приведите типичную схему антенных и волноводных измерений в релятивистском источнике СВЧ-излучения.

71. Как устроены приемная рупорная и волноводная антенна, как выполняется оценка, расчет и измерение их эффективной поверхности?

72. Как выполняется измерение мощности СВЧ-излучения релятивистских источников методом интегрирования плотности мощности по диаграмме направленности?

73. Приведите разновидности СВЧ-детекторов, пригодных для детектирования мощных импульсов СВЧ-излучения. Опишите их устройство, принцип работы и укажите основные характеристики.

74. Приведите схемы калибровки детекторов для мощных импульсов СВЧ-излучения.

75. В чем заключается калориметрический метод измерения энергии мощных импульсов СВЧ-излучения? Перечислите различные виды калориметров.

76. Приведите примеры узкополосного и широкополосного сухих калориметров. Опишите их принцип действия и методику калибровки.

77. Как устроен широкополосный жидкостный вакуумный калориметр? Как он работает? Как выполняется его калибровка?

78. Как устроен широкополосный жидкостный апертурный калориметр? Как он работает? Как выполняется его калибровка?

79. Какие существуют методы измерения частоты и спектра мощных импульсов СВЧ-излучения.

80. В чем заключается метод отсечки? Как устроен заградительный фильтр?

81. Что такое резонансный метод измерения несущей частоты мощных импульсов СВЧ-излучения? Как устроены полосовые перестраиваемые волноводные и коаксиальные фильтры?

82. В чем заключается гетеродинный метод измерения несущей частоты мощных импульсов СВЧ-излучения? Приведите схемы измерений.

83. Как устроен и работает калориметрический спектрометр?

84. Как устроена дисперсионная линия? Опишите различные варианты измерений с ней.

85. Как выполняется осциллографическая регистрация частоты и спектра мощного СВЧ-импульса?

86. Как выполняется измерение мощности СВЧ-импульсов с помощью направленных ответвителей, включенных в цепь приемной антенны? В выходной волновод мощного источника СВЧ-излучения?

87. В чем заключается измерение мощности СВЧ-импульсов по зажиганию СВЧ-разряда в газе? Какова погрешность такого метода?

88. Как выполняется газоразрядная визуализация потока СВЧ-мощности в пространстве?

89. Опишите способ экспериментального доказательства временной и пространственной когерентности мощных СВЧ-импульсов многоволнового черенковского генератора.

2.4.2. Реферирование источников учебной и научной литературы, а также интернет-ресурсов

1. С использованием учебной литературы в рамках библиотечных возможностей подготовить реферат на тему: «Теорема Котельникова и обоснование выбора рабочей полосы осциллографа»

2. С использованием библиотечных возможностей и интернет-ресурсов подготовить реферат на тему: «Возможности и методики измерений локальных параметров видеоимпульсов с помощью современных цифровых осциллографов реального времени с рабочей полосой до 1 ГГц».

3. С использованием библиотечных возможностей и интернет-ресурсов подготовить реферат на тему: «Возможности и методики измерений спектральных характеристик мощных СВЧ-импульсов с помощью современных цифровых осциллографов реального времени с рабочей полосой от 4 до 16 ГГц».

4. По данным сайтов фирм-производителей подготовить реферат на тему: «Современные аналоговые осциллографы, марки, цены, характеристики, области применения».

5. По данным сайтов фирм-производителей подготовить реферат на тему: «Современные цифровые осциллографы реального времени с рабочей полосой от 4 до 40 ГГц для регистрации мощных СВЧ-импульсов, марки, цены, характеристики, перспективы применения».

6. По данным сайтов фирм-производителей подготовить реферат на тему: «Амплитудно-стабильные радиочастотные кабели с малыми потерями для регистрации мощных импульсов СВЧ-излучения на диапазон от 1 до 15 ГГц, марки, цены, перспективы применения».

7. По данным сайтов фирм-производителей подготовить реферат на тему: «Коаксиальные радиочастотные соединители, адаптеры, переходы, нагрузки, аттенюаторы, направленные ответвители, вентили, циркуляторы на диапазон от 1 до 15 ГГц для регистрации мощных импульсов СВЧ-излучения, марки, цены, перспективы применения».

8. С использованием учебной и научно-технической литературы, а также оригинальных публикаций подготовить реферат на тему: «Сравнительное влияние импульсных помех различных типов в установках сильноточной электроники».

9. По данным научных отечественных и зарубежных публикаций подготовить реферат на тему: «Обзор делителей импульсного напряжения порядка 1 МВ».

10. По данным научных отечественных и зарубежных публикаций подготовить реферат на тему: «Датчики для измерения тока в установках сильноточной электроники».

11. По данным научных отечественных и зарубежных публикаций подготовить реферат на тему: «Фольговые спектрометры и их применение в установках сильноточной электроники».

12. По данным научных отечественных и зарубежных публикаций подготовить реферат на тему: «Магнитные спектрометры и их применение в сильноточной электронике».

13. Подготовить реферат на тему: «Сильноточный наносекундный ускоритель SINUS-7, измерительная оснастка, датчики напряжения, тока и измерения характеристик электронного пучка».

14. По данным научных публикаций и учебной литературы подготовить реферат на тему: «Антенны для приема мощных импульсов СВЧ-излучения, особенности конструкции, расчет и измерение эффективной поверхности».

15. По данным научно-технической и учебной литературы, а также научных публикаций подготовить реферат на тему: «Сравнительный анализ детекторов для регистрации мощных импульсов СВЧ-излучения в релятивистской СВЧ-электронике».

16. По данным научно-технической и учебной литературы, а также научных публикаций подготовить реферат на тему: «Сравнительный анализ калориметров для измерения энергии мощных импульсов СВЧ-излучения, особенности конструкции и специфика применения».

17. По данным научно-технической и учебной литературы, а также научных публикаций подготовить реферат на тему: «Сравнительный анализ средств измерения спектральных характеристик мощных импульсов СВЧ-излучения в релятивистской СВЧ-электронике».

2.4.3. Выполнение домашних заданий аналитического и расчетного характера

1. Получить соотношение для интегрального параметра s_n :

$$s_n = \int_0^{\tau_n} u^n(t) dt = u_m^n \tau_n \frac{n+1 - a_T n}{n+1}$$

для импульса трапецеидальной формы:

$$u(t) = \begin{cases} U_m \frac{t}{\tau_\phi} & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_\phi \\ U_m & \text{при } \tau_\phi \leq t \leq \tau_n \\ 0 & \text{при } t > \tau_n \end{cases} .$$

Получить выражения для $U_{об}$ и $\tau_{ноб}$.

2. Записать выражение для s_n по условиям задачи 1 для $u(t)$ в случае трапецеидального импульса со срезом τ_c конечной длительности. Показать, что выражение для интегрального параметра s_n остается таким же как и в задаче 1:

$$s_n = \int_0^{\tau_n} u^n(t) dt = u_m^n \tau_n \frac{n+1 - a_T n}{n+1}$$

если принять $a_T = (\tau_\phi + \tau_c) / \tau_n$. Вывести выражения для интегральных параметров $U_{об}$ $\tau_{ноб}$.

3. Получить выражение для коэффициента формы φ_n и, в частности φ_1 для импульса трапецеидальной треугольной формы:

$$u(t) = \begin{cases} U_m \frac{t}{\tau_\phi} & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_\phi \\ U_m & \text{при } \tau_\phi \leq t \leq \tau_n \\ 0 & \text{при } t > \tau_n \end{cases} .$$

Построить график функции $\varphi_1(a_T)$. Вычислить значения φ_1 для $a_T=0$ и $a_T=1$.

4. Вывести выражение для φ_1 в случае импульса со скошенной вершиной:

$$\begin{cases} U_m \left[a_c + (1 - a_c) \frac{t}{\tau_n} \right] & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_n \\ 0 & \text{при } t > \tau_n \end{cases} .$$

Построить график функции $\varphi_1(a_c)$. Вычислить значения $\varphi_1(0)$ и $\varphi_1(1)$.

5. Вывести выражение для φ_1 в случае прямоугольного импульса с экспоненциальным срезом:

$$u(t) = \begin{cases} U_m & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_n \\ U_m \exp[-a_{mэ}(t - \tau_n)] & \text{при } t > \tau_n \end{cases} .$$

Построить график функции $\varphi_1(a_{mэ})$ в области $0 \leq a_{mэ} \leq 10$.

6. Вывести выражение для φ_1 в случае треугольного импульса с экспоненциальным срезом:

$$u(t) = \begin{cases} U_m \frac{t}{\tau_n} & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_n \\ U_m \exp[-a_{mэ}(t - \tau_n)] & \text{при } t > \tau_n \end{cases} .$$

Построить график функции $\varphi_1(a_{mэ})$ в области $0 \leq a_{mэ} \leq 10$.

7. Вывести выражения для коэффициентов a_n и b_n ряда Фурье для импульсов прямоугольной формы амплитудой U_0 и длительностью τ , следующих с периодом T . Построить графики спектров до трех лепестков при $\tau=20$ мкс для $T=100$ и $T=500$ мкс.

8. Вывести выражения для коэффициентов a_n и b_n ряда Фурье для импульсов трапецеидальной формы амплитудой U_0 и длительностью на полувывоте $\tau_{0,5}$, и длительностью фронта, равной длительности среза $\tau_\phi = \tau_c$, следующих с периодом T . Построить графики спектров до трех лепестков при $\tau=20$ мкс, $\tau_\phi = \tau_c = 10$ мкс для $T=100$ и $T=500$ мкс.

9. Вывести выражения для коэффициентов a_n и b_n ряда Фурье для импульсов треугольной формы амплитудой U_0 и длительностью на полувывоте $\tau_{0,5} = 20$ мкс, и длительностью

фронта, равной длительности среза $\tau_{\phi} = \tau_c$, следующих с периодом T . Построить графики спектров до трех лепестков при для $T=100$ и $T=500$ мкс.

10. Вывести выражения для коэффициентов a_n и b_n ряда Фурье для импульсов прямоугольной формы амплитудой U_0 и длительностью τ , следующих с периодом T . Построить графики спектров до трех лепестков при $\tau=100$ мкс для $T=100$ и $T=500$ мкс.

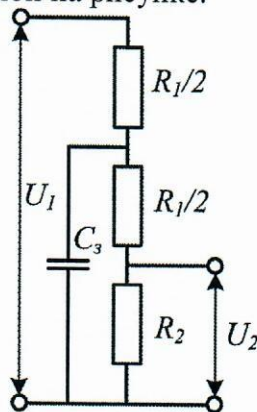
11. Получить выражение для спектральной функции $S(\omega)$ и функции $\operatorname{tg}\varphi(\omega)$ для радиоимпульса с несущей частотой ω_0 длительностью $\tau_{и}$; $u(t) = \sin(\omega_0 t)$, при $-\tau_{и}/2 < t < \tau_{и}/2$; $u(t) = 0$, при $t < -\tau_{и}/2$ и при $t > \tau_{и}/2$, в случае, когда длительность импульса равняется целому числу N периодов: $N=2, N=5, N=10$, а линейная частота $f_0 = \omega_0/(2\pi) = 1$ ГГц.

12. Выведите самостоятельно телеграфные уравнения.

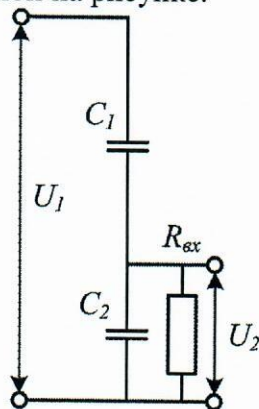
13. Выведите выражение для коэффициента отражения сигнала от линии передачи в зависимости от волнового сопротивления линии и нагрузки.

14 Выведите выражение для коэффициента передачи сигнала от линии в нагрузку в зависимости от волнового сопротивления линии и нагрузки.

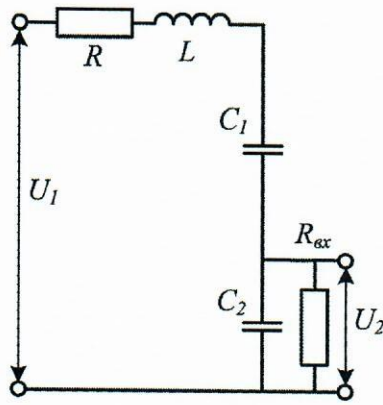
15. Получить выражение для модуля и фазы коэффициента передачи омического делителя со схемой замещения, представленной на рисунке.



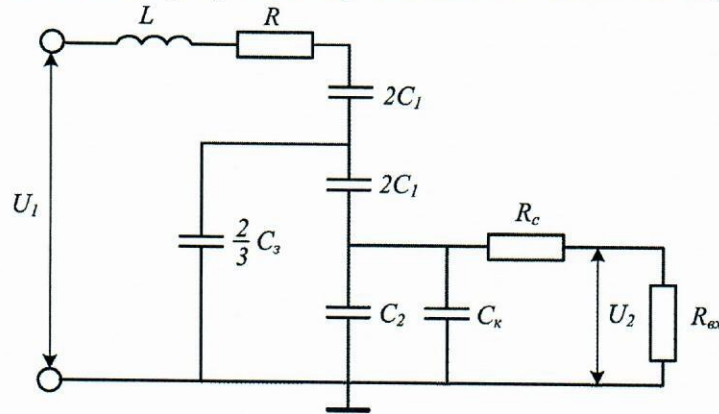
16. Получить выражение для модуля и фазы коэффициента передачи емкостного делителя со схемой замещения, представленной на рисунке.



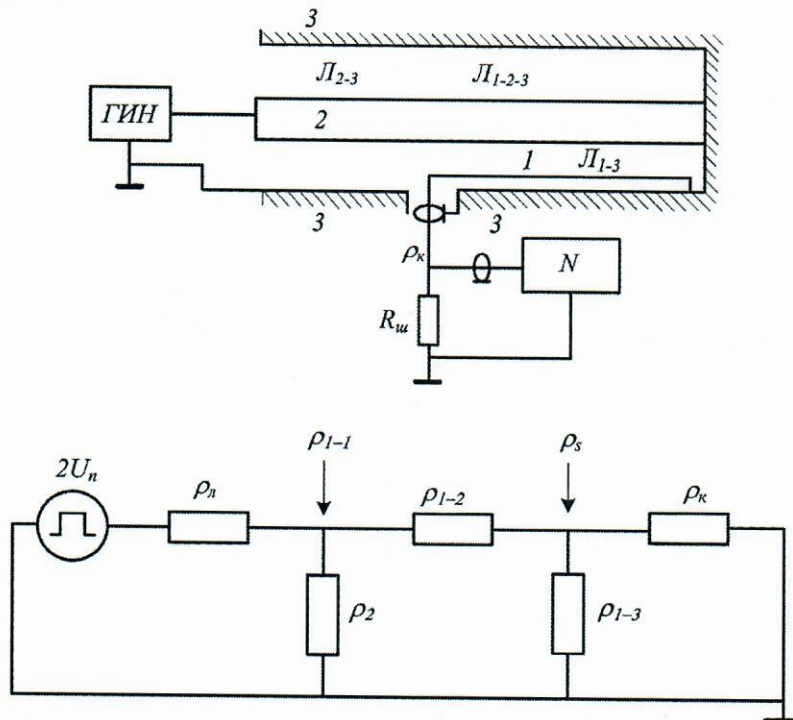
17. Получить выражение для модуля и фазы коэффициента передачи емкостного делителя со схемой замещения, представленной на рисунке.



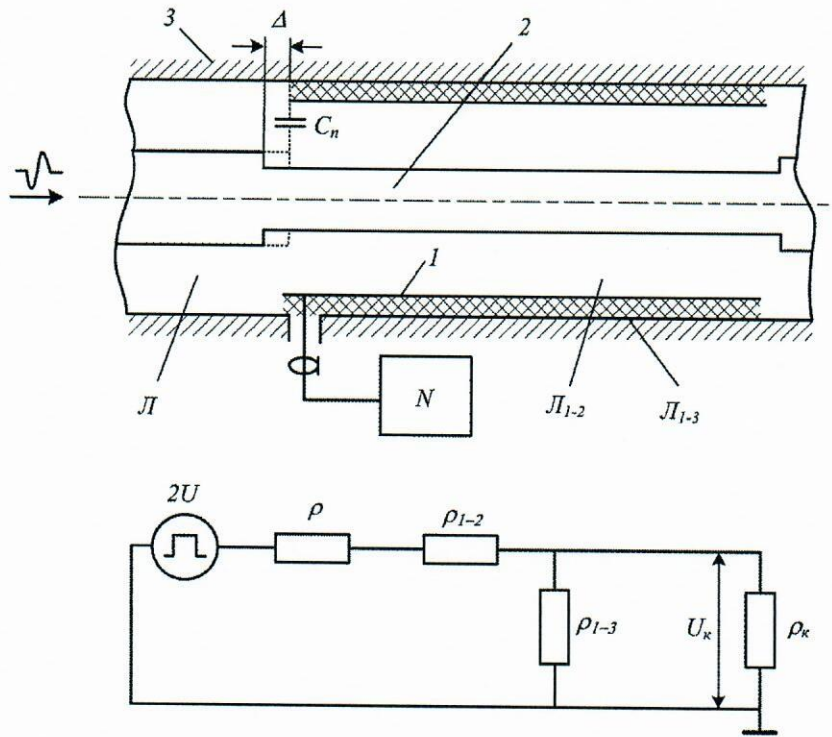
18. Получить выражение для коэффициента деления емкостного делителя, схема замещения которого представлена на рисунке, без учета влияния элементов L , R , R_c , $R_{вх}$.



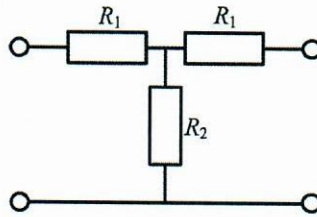
19. Вывести выражение: $K=U_n/U_k=(\rho_1+\rho_{1-1})(\rho_s+\rho_{1-2})/(2\rho_{1-1}\rho_s)$, где $\rho_s=\rho_k\rho_{1-3}/(\rho_k+\rho_{1-3})$ и $\rho_{1-1}=\rho_2(\rho_s+\rho_{1-2})/(\rho_2+\rho_s+\rho_{1-2})$, для коэффициента деления делителя, представленного вместе со схемой замещения на рисунке



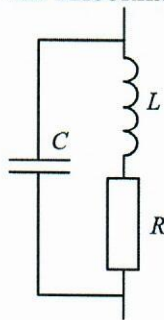
20. Вывести выражение: $U_k/U= \rho_k\rho_{1-3}/[(\rho+\rho_{1-2})(\rho_k+\rho_{1-3})+\rho_k\rho_{1-3}]$ для коэффициента передачи делителя, представленного вместе со схемой замещения на рисунке



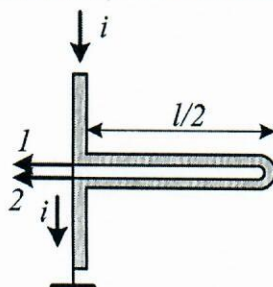
21. Найти значения сопротивлений R_1 и R_2 симметричного аттенюатора с Т-образной схемой, приведенной на рисунке, рассчитанного на нагрузку 50 Ом, если его ослабление составляет 3 дБ, 6 дБ, 10дБ, 20дБ, 30дБ.



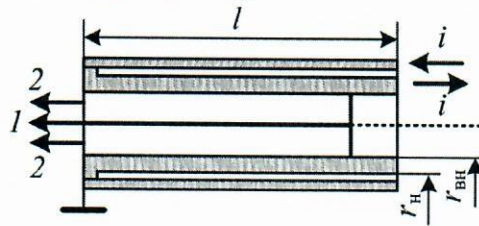
22. Вывести выражение для импеданса токового шунта, схема замещения которого приведена на рисунке. Проанализировать случаи высоких и низких частот.



23. Получить выражение для внутренней индуктивности $L_{вн} = \mu_0 l b / (2h)$ петлевого токового шунта (см. рисунок), выполненного из шины длиной l , шириной h и толщиной b , при расстоянии между шинами существенно меньшем b , и $h \gg b$. Вычислить его постоянную времени τ .



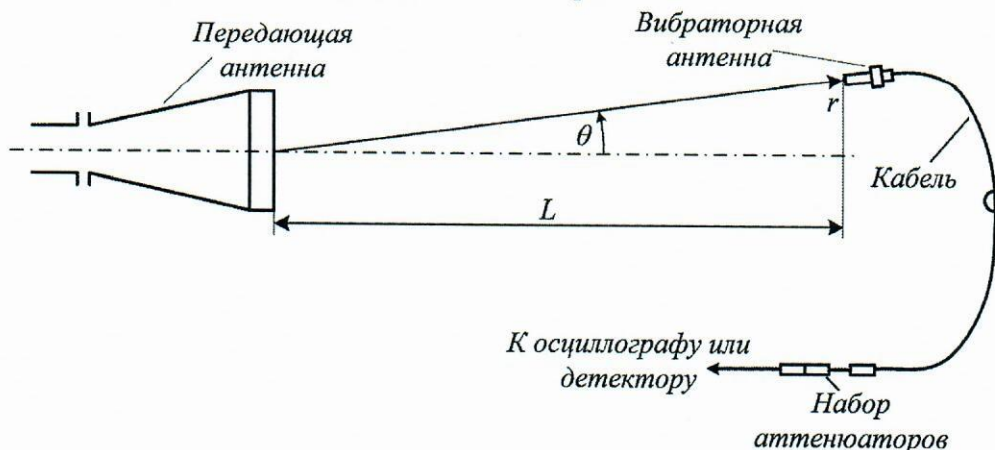
24. Получить выражение для внутренней индуктивности трубчатого токового шунта в коаксиальном варианте (см. рисунок) с внутренним радиусом $r_{вн}$, наружным радиусом $r_{н}$ и длиной l : $L_{вн} = \mu_0 l (x^2 - 1 - 2 \ln x) / [(4\pi(x^2 - 1))]$ где $x = r_{н}/r_{вн}$. Вычислить его постоянную времени τ .



25. Получить выражение: $E = mc^2 \{ [(BrZe)^2 / (mc)^2 + 1]^{0.5} - 1 \}$, выражающее связь между кинетической энергией E релятивистской частицы, и радиусом r ее траектории в магнитном поле с индукцией B в магнитном спектрометре. Заряд частицы равен Ze , где Z – зарядовый номер, e – заряд электрона, m – масса частицы, c – скорость света в вакууме. Упростить это выражение в ультрарелятивистском пределе: $\gamma = 1 + E/(mc^2) \gg 1$, где γ – релятивистский фактор частицы. Дать упрощенное выражение для электронов в практических единицах: $[E] = \text{МэВ}$, $[B] = \text{Тл}$, $[r] = \text{см}$.

26. Вывести формулы для расчета релятивистского фактора γ , продольной v_z и поперечной v_n компонент скорости электронов в эксперименте с «тонкими пленками» (лекция 9, часть 9.3) по значениям ларморовского радиуса электронов r_n и пространственного периода винтовой траектории L_z , вытекающим из анализа движения электронов по винтовым траекториям в магнитном поле с индукцией B : $\gamma^2 = 1 + \frac{\omega_B^2}{c^2} \left(\frac{L_z^2}{(2\pi)^2} + r_n^2 \right)$, $v_z = \frac{L_z \omega_B}{2\pi\gamma}$, где $\omega_B = eB/m$ – частота ларморовского вращения электронов, c – скорость света, e и m – заряд и масса электрона.

27. В схеме регистрации СВЧ-излучения антенным методом, представленной на рисунке, предложить необходимое ослабление в передающем коаксиальном кабеле длиной 25 м и необходимое количество коаксиальных аттенюаторов и их номинал для регистрации импульсного СВЧ-сигнала с несущей частотой 3 ГГц осциллографом или детектором. Эффективная поверхность S_{ef} приемной антенны (короткий вибратор) составляет $1,5 \text{ см}^2$, плотность потока СВЧ-мощности в месте расположения антенны – $3,2 \text{ кВт/см}^2$. Максимальное допустимое напряжение на входе осциллографа равно 1 В. Максимальная допустимая мощность на входе детектора – 0,5 Вт. Предложить марку кабеля и марку аттенюаторов.



28. Вывести выражение:

$$\omega = \omega_{кр} / \sqrt{1 - \left(\frac{L}{ct} \right)^2}$$

для определения несущей частоты ω СВЧ-импульса по времени его пробега $t = L/v_{гр}$ по дисперсионной линии на основе прямоугольного волновода при условии отсутствия искажения сигнала:

$$\frac{1}{2\pi} \frac{dv_{gp}/d\omega}{v_{gp}^2} (\Delta\omega)^2 L \ll 1. \text{ Здесь } L - \text{ длина линии, } c - \text{ скорость света в вакууме, } v_{гр} -$$

групповая скорость импульса в волноводе, $\omega_{кр}$ – критическая частота волновода, $\Delta\omega$ – ширина спектра импульса.

29. В условиях задачи № 28 вывести выражение для разрешения дисперсионной линии:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{v_{gp}^2 \Delta t}{\omega} / \left(L \frac{dv_{gp}}{d\omega} \right) = \frac{c \Delta t}{L} \frac{\omega^2}{\omega_{кр}^2} \left(1 - \frac{\omega_{кр}^2}{\omega^2} \right)^{3/2}.$$

30. Получить выражение для сигнала промежуточной частоты для режима смесителя на основе детектора, работающего в режиме квадратичного детектирования.

2.4.4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к интернет-ресурсам, и в домашних условиях. Аспиранты имеют возможность получать консультации у лектора.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим основную и дополнительную учебную и научно-техническую литературу, а также конспекты лекций.

3. Учебно-методические материалы

3.1. Основная и дополнительная литература

а) основная литература:

1. Климов А.И. Экспериментальные методы в сильноточной электронике. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 238 с.
2. Грязнов М.И., Гуревич М.Л., Рябинин Ю.А. Измерение параметров импульсов. – М.: Радио и связь, 1981. – 216 с.
3. Мейлинг В., Стари Ф. Наносекундная импульсная техника. – М.: Атомиздат, 1973. – 384 с.
4. Молчанов А.П., Занадворов П.Н. Курс электротехники и радиотехники. – М.: Наука, 1969. – 480 с.
5. Харкевич А.А. Спектры и анализ. – М.: ЛКИ, 2007. – 240 с.
6. Атабеков Г.И. Линейные электрические цепи. – М.: Энергия, 1964. – 312 с.
7. Харкевич А.А. Основы радиотехники. – М.: Физматлит, 2007. – 512 с.
8. Найденов А.И., Новопольский В.А. Электронно-лучевые осциллографы. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 232 с.
9. Мейза Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. – М.: Мир, 1990. – 536 с.
10. Гальперович Д.Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н. Радиочастотные кабели. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
11. Гроднев И.И., Фролов П.А. Коаксиальные кабели связи. – М.: Радио и связь, 1983. – 209 с.
12. Савченко В.С., Мельников А.В., Карнишин В.И. Соединители радиочастотные коаксиальные. – М.: Сов. Радио, 1977. – 46 с.
13. Эрглис К.Э. Защита электронной аппаратуры и измерительных систем от внешних помех // Приборы и техника эксперимента. – 1969. – № 3. – С. 5–17.
14. Эрглис К.Э. Методы уменьшения внутренних наводок в электронной аппаратуре и измерительных устройствах // Приборы и техника эксперимента. – 1971. – № 5. – С. 7–21.
15. Шваб А. Измерения на высоком напряжении. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 264 с.

16. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004. – 704 с.
17. Коровин С.Д. Мощная импульсная энергетика. – Томск: Изд-во Том. унта, 2007. – 256 с.
18. Кужекин И.П. Испытательные установки и измерения на высоком напряжении. – М.: Энергия, 1980. – 136 с.
19. Лопатин В.В. Генерирование и измерение высоковольтных сигналов. – Томск: Изд-во ТПИ, 1979. – 91 с.
20. Пеллинен Д.Г., Хойрлин С. Делитель напряжения мегавольтного диапазона с временем нарастания импульса порядка наносекунд // Приборы для научных исследований. – 1974. – № 6. – С. 75–78.
21. Ефремов А.М., Ковальчук Б.М. Субнаносекундный делитель напряжения на связанных линиях // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 1. – С. 69–70.
22. Бастриков А.Н., Ковальчук Б.М., Кремнев В.В., Кумпьяк Е.В. Делитель для измерения мегавольтных импульсов с наносекундным фронтом // Приборы и техника эксперимента. – 1995. – № 4. – С. 79–82.
23. Азаркевич Е.И., Котов Ю.А. Шунт из композитных резисторов // Приборы и техника эксперимента. – 1976. – № 6. – С. 119–120.
24. Вассерман С.Б. Работа пояса Роговского при измерении импульсных пучков наносекундной длительности // Приборы и техника эксперимента. – 1972. – № 2. – С. 99–103.
25. Андерсон Д.М. Широкополосные трансформаторы тока // Приборы для научных исследований. – 1971. – № 7. – С. 3–14.
26. Пеллинен Д.Г. Пояс Роговского для измерения импульсов тока большой амплитуды и малой длительности / Д.Г. Пеллинен, М.С. Ди Капуя, С.Е. Сам-пейн и др. // Приборы для научных исследований. – 1980. – № 11. – С. 96–103.
27. Герасимов А.И., Дубинов Е.Г. Калибровка экранированных самоинтегрирующих поясов Роговского большого диаметра // Приборы и техника эксперимента. – 1983. – № 2. – С. 139–141.
28. Герасимов А.И., Дубинов Е.Г. Пояс Роговского с субнаносекундным нарастанием для измерения тока, регулируемого в большом диапазоне // Приборы и техника эксперимента. – 1983. – № 3. – С. 110–112.
29. Герасимов А.И., Дубинов Е.Г. Помехоустойчивый пояс Роговского с наносекундным нарастанием // Приборы и техника эксперимента. – 1988. – № 3. – С. 93–95.
30. Иванов Б.В., Мирошниченко В.А. Импульсный измерительный трансформатор тока наносекундного диапазона // Приборы и техника эксперимента. – 1973. – № 5. – С. 138–140.
31. Москалев В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
32. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – Т.1. – С. 284–287, 307–331.
33. Воробьев А.А., Кононов Б.А. Прохождение электронов через вещество. – Томск: Изд-во ТПИ, 1966. – 178 с.
34. Баранов В.Ф. Дозиметрия электронного излучения. – М.: Атомиздат, 1974. – 232 с.
35. Желтов К.А. Пикосекундные сильноточные электронные ускорители. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 120 с.
36. Крастелев Е.Г., Месхи Г.О., Яблоков Б.Н. Измерение энергетического спектра сильноточных электронных пучков // Приборы и техника эксперимента. – 1976. – № 3. – С. 39–41.
37. Котляревский Г.И., Усов Ю.П. Временная структура энергетического спектра сильноточного релятивистского электронного пучка // Журнал технической физики. – 1976. – Т. 46. – № 7. – С. 1550–1552.
38. Никонов А.Г., Савельев Ю.М., Энгелько В.И. Датчик для измерения плотности тока сильноточного наносекундного пучка // Приборы и техника эксперимента. – 1984. – № 1. – С. 37–39.

39. Зайцев Н.И., Иляков Е.В. Юстировка и контроль положения сильнооточного релятивистского электронного пучка в канале транспортировки // Журнал технической физики. – 1984. – Т. 54. – № 9. – С. 1793–1794.
40. Бугаев С.П. Процессы в диодах с магнитной изоляцией, использующих взрывную эмиссию электронов / С.П. Бугаев, Н.И. Зайцев, А.А. Ким, и др. // Релятивистская высокочастотная электроника. – Горький: ИПФ АН СССР, 1981. – С. 36–61.
41. Кременцов В.И., Стрелков П.С., Шкварунец А.Г. Измерение параметров релятивистского сильнооточного электронного пучка методом регистрации свечения тонких диэлектрических пленок // Журнал технической физики. – 1980. – Т. 50. – № 11. – С. 2469–2472.
42. Иванов В.С., Кременцов С.И., Райзер М.Д. Нитевидная структура трубчатого релятивистского электронного пучка // Физика плазмы. – 1981. – Т. 7. – № 3–4. – С. 784–789.
43. Федотов А.В., Шкварунец А.Г. Транспортировка трубчатого РЭП в нерегулярном цилиндрическом и коаксиальном волноводе в сильном продольном магнитном поле // Физика плазмы. – 1987. – Т. 13. – № 9. – С. 1068–1074.
44. Стрелков П.С., Шкварунец А.Г., Шунка П. Анализ углового и энергетического спектра электронов сильнооточного релятивистского пучка в магнитном поле // Физика плазмы. – 1981. – Т. 7. – № 3. – С. 564–572.
45. Аржанников А.В., Астрелин В.Т. Анализ мгновенного спектра энергий релятивистских электронов по их поглощению в алюминии // ПМТФ. – 1979. – № 6. – С. 3–11.
46. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Физматлит, 1977. – 943 с.
47. Эрли Л.М., Баллард В.П., Рус Л.Д., Уортон Ч.Б. Комплексный подход к диагностике интенсивных одиночных СВЧ-импульсов // Приборы для научных исследований. – 1986. – № 8. – С. 86–96.
48. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г. Терешин О.Н. Антенны УКВ: в 2 ч. Ч. 1. – М.: Связь, 1977. – 382 с.
49. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники и антенны: в 2 ч. Ч. 2. Антенны. – М.: Радио и связь, 1983. – 296 с.
50. Быков Д.Н., Быков Н.М., Климов А.И. и др. Широкополосный преобразователь основной волны коаксиальной линии в низшую симметричную волну круглого волновода // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – № 5. – С. 94–98.
51. Klimov A.I., Konev V.Yu. Short electrical dipole antennas for HPM pulse detection // Proceedings of the 15-th International symposium on high current electronics. – Tomsk: IHCE SB RAS, 2007. – P. 434–436.
52. Test and Measurement Equipment. – URL: <http://www.tektronix.com>.
53. Гусятинер М.С., Горбачев А.И. Полупроводниковые сверхвысокочастотные диоды. – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
54. Климов А.И. Диагностика мощных наносекундных импульсов СВЧ-излучения // Известия вузов. Физика. – 1996. – Т. 39. – № 12. – С. 98–109.
55. Диденко А.Н., Юшков Ю.Г. Мощные СВЧ-импульсы наносекундной длительности. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 112 с.
56. Гуткин Л.С. Преобразователи сверхвысоких частот и детектирование. – М.: Госэнергоиздат, 1953. – 415 с.
57. Райзер М.Д., Цопп Л.Э. Детектирование и измерение мощности СВЧ-излучения наносекундной длительности // Радиотехника и электроника. – 1975. – Т. 20. – № 8. – С. 1691–1693.
58. Белоусов В.И. Высокочастотные измерения в релятивистской электронике / В.И. Белоусов, В.И. Зеленцов, М.М. Офицеров и др. // Релятивистская высокочастотная электроника. – Горький: ИПФ АН СССР, 1979. – С. 275–291.
59. Полупроводниковые преобразователи / В. Денис, И. Левитас, А. Матуленис и др; под ред. Ю. Пожелы. – Вильнюс: Мокслас, 1980. – 176 с.
60. Dagys M., Kancleris Z., Simniskis R. et al. The Resistive Sensor: A Device for High-Power Microwave Pulsed Measurements // IEEE Antenna and Propagation. – 2001. – V. 43. – № 5. – P. 64–78.

61. Климов А.И. Амплитудно-частотная характеристика германиевого СВЧ детектора на горячих носителях // Приборы и техника эксперимента. – 1999. – № 6. – С. 86–88.
62. Конобеева Е.Ю., Климов А.И. Измерение мощных импульсов СВЧ излучения трехсантиметрового диапазона длин волн // XII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии 2006». Труды в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – Т. 1. – С. 88–89.
63. A.I. Klimov, A.A. Eltchaninov, E.Yu. Konobeeva. Measurements of Parameters of X-band High Power Microwave Pulses // Известия вузов. Физика. – 2006. – № 11. Приложение. – С. 431–434.
64. Комаров А.Е., Климов А.И. Мощные СВЧ-детекторы трехсантиметрового диапазона с улучшенной АЧХ // 13 Международная практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». Труды в 3 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – Т. 1. – С. 185–187.
65. Климов А.И., Ковальчук О.Б., Ростов В.В., Синяков А.Н. Измерение параметров мощных коротких наносекундных импульсов СВЧ-излучения трехсантиметрового диапазона // Материалы 17-й международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Труды в 2 т. – Севастополь: Вебер, 2007. – Т. 2. – С. 646–647.
66. Klimov A.I., Kovalchuk O.B., Rostov V.V., Sinyakov A.N. Measurement of Parameters of X band High Power Microwave Superradiative Pulses // IEEE Trans. Plasma Sci. – 2008. – V. 36. – № 6. – P. 661–664.
67. Klimov A.I., Komarov A.E. High power microwave detector with improved frequency response // Proceedings of the 15-th International symposium on high current electronics. – Tomsk: IN-CE SB RAS, 2008. – P. 431–433.
68. Баллард В.П., Эрли Л.М. Измерение времен нарастания детекторных СВЧ-диодов // Приборы для научных исследований. – 1985. – № 7. – С. 182–184.
69. Benford J., Swegle J.A., Shamiloglu E. High power microwaves. – NewYork-London: Taylor & Francis, 2007. – P. 214–231.
70. Эфтимийон П., Смит П.Р., Шлезингер С.П. Калориметр для измерения энергии электромагнитного излучения в широком спектральном диапазоне: от сантиметров до микронов // Приборы для научных исследований. – 1976. – № 9. – С. 79–83.
71. Зайцев Н.И. Калориметр для измерения энергии мощного электромагнитного импульса / Н.И. Зайцев, Е.В. Иляков, Ю.К. Ковнеристый и др. // Приборы и техника эксперимента. – 1992. – № 2. – С. 153–154.
72. Белоусов В.И. «Сухой» калориметр на сверхразмерном волноводе для измерения энергии мощного сверхвысокочастотного импульса / В.И. Белоусов, В.Ю. Плахотник, Ю.В. Родин и др. // Приборы и техника эксперимента. – 1992. – № 3. – С. 142–148.
73. Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ-излучение. – М.: Наука, 1982. – 164 с.
74. Уортон Ч.Б., Эрли Л.М., Баллард В.П. Калориметрические измерения мощности одиночных СВЧ-импульсов в многомодовых волноводах // Приборы для научных исследований. – 1986. – № 5. – С. 61–65.
75. Быков Н.М. Диагностика мощных наносекундных импульсов сверхвысокочастотного излучения / Н.М. Быков, В.П. Губанов, А.В. Гунин и др. // Приборы и техника эксперимента. – 1987. – № 6. – С. 107–110.
76. Шкварунец А.Г. Широкополосный калориметр большой площади // Приборы и техника эксперимента. – 1996. – № 4. – С. 72–75.
77. Шкварунец А.Г., Рухадзе А.А., Стрелков П.С. Широкополосный релятивистский плазменный СВЧ-генератор // Физика плазмы. – 1994. – Т. 20. – № 7–8. – С. 682–685.
78. Кузелев М.В., Рухадзе А.А., Стрелков П.С. Плазменная релятивистская СВЧ-электроника. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 544 с.
79. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ: в 2 ч. Ч. 1. – М.: Высшая школа, 1970. – 440 с.

80. Богданкевич И.Л. Калориметрический спектрометр одиночных импульсов релятивистских СВЧ-генераторов / И.Л. Богданкевич, П.С. Стрелков, В.П. Тараканов и др. // Приборы и техника эксперимента. – 2000. – № 1. – С. 92–97.
81. Klimov A.I., Vykhodtsev P.V., Elchaniniov A.A., et al. A calorimeter for high power microwave pulse measurement // Proceedings of the 15-th International symposium on high current electronics. – Tomsk: INCE SB RAS, 2007. – P. 422–424.
82. Ельчанинов А.А., Климов А.И., Куркан К.И. Гетеродинный измеритель спектральных характеристик мощных наносекундных СВЧ-импульсов трехсантиметрового диапазона // Приборы и техника эксперимента. – 2000. – № 1. – С. 98–100.
83. Белоусов В.И. Гетеродинная система измерения спектра мощного наносекундного сверхвысокочастотного импульса / В.И. Белоусов, Г.Ю. Голубятников, А.В. Морев и др. // Приборы и техника эксперимента. – 1990. – № 3. – С. 133–136.
84. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. – М.: Советское радио, 1967. – 652 с.
85. Будулис Ж., Шеневье П. Цепи сверхвысоких частот. – М.: Советское радио, 1979. – 288 с.
86. Блудов С.Б. Генерирование мощных СВЧ-импульсов ультракороткой длительности и их воздействие на изделия электронной техники / С.Б. Блудов, Н.П. Гадецкий, К.А. Кравцов и др. // Физика плазмы. – 1994. – Т. 29. – № 7–8. – С. 712–717.
87. Felsentahl P., Pround J.M. Nanosecond-Pulse Breakdown in Gases // Phys. Rev. – 1965. – V. 139A, № 6A. – P. A1796 – A1804.
88. Дубинов А.Е., Нижегородцев Ю.Б., Селемир В.Д., Степанов Н.В. Способ измерения потока мощности в сверхмощных наносекундных импульсах СВЧ-излучения // Физика плазмы. – 1994. – Т. 20. – № 7–8. – С. 709–711.
89. Бугаев В.И., Канавец В.И., Климов А.И., Кошелев В.И. Атмосферный СВЧ-разряд и исследование когерентности излучения релятивистского многоволнового черенковского генератора // Доклады Академии наук СССР. – 1988. – Т. 298. – № 1. – С. 92–94.

б) дополнительная литература:

1. Волин М.Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Радио связь, 1981. – 296 с.
2. Лабораторная работа № 6. Применение электронного осциллографа для исследования электрических сигналов. – URL: http://www.physics.usu.ru/km/old_site/laborat_rab/el_izm/lab6.pdf (дата обращения: 03.10.2013)
3. Кончаловский В.Ю. Цифровой осциллограф. Методическое пособие к лабораторной работе № 47. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 20 с.
4. Козлов И.Г. Современные проблемы электронной спектроскопии. – М.: Атомиздат, 1978. – 248 с.
5. Конструкции СВЧ-устройств и экранов / под ред. А.М. Чернушенко. – М.: Радио и связь, 1983. – 400 с.
6. Сенченков А.П. Техника физического эксперимента. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 240 с.
7. Рудаков Л.И. Генерация и фокусировка сильноточных релятивистских электронных пучков / Л.И. Рудаков, М.В. Бабыкин, А.В. Гордеев и др.; под ред. Л.И. Рудакова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 280 с.
8. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. – М.: Советское радио, 1966. – 466 с.
9. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
10. Зинченко Н.С. Курс лекций по электронной оптике. – Харьков: Издательство ХГУ, 1961. – 363 с.
11. Миллер Р. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц. – М.: Мир, 1984. – 432 с.

12. Лоусон Дж. Физика пучков заряженных частиц. – М.: Мир, 1980. – 440 с.
13. Быстрицкий В.М., Диденко А.Н. Мощные ионные пучки. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 154 с.
14. Дейчули П.П., Федоров В.М. Измерение больших импульсных напряжений и токов наносекундной длительности // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез. – 1984. – Вып. 3 (16). – С. 22–31.
15. Петин В.К., Ратахин Н.А., Федущак В.Ф. Мощные кольцевые электронные пучки как источники рентгеновского излучения для однородной засветки объектов большой площади // Известия вузов. Физика. – 1995. – Т. 38. – № 12. – С. 33–40.
16. Бугаев С.П. Формирование сильноточных релятивистских электронных пучков для мощных генераторов и усилителей СВЧ / С.П. Бугаев, В.П. Ильин, В.И. Кошелев и др. // Релятивистская высокочастотная электроника. – Горький: Институт прикладной физики АН СССР, 1979. – С. 5–75.
17. Василевский М.А., Ройфе И.М., Энгелько В.И. Генерирование длинноимпульсных сильноточных электронных пучков // Релятивистская высокочастотная электроника. – Горький: ИПФ АН СССР, 1983. – С. 184–203.
18. Александров А.Ф. Пространственно-временные характеристики РЭП / А.Ф. Александров, С.Ю. Галузо, Н.И. Зайцев и др. // Релятивистская высокочастотная электроника. – Горький: ИПФ АН СССР, 1988. – С. 163–182.
19. Болотов В.Е. Исследование возможности диагностики сильноточных релятивистских пучков методом ионного тока / В.Е. Болотов, Н.И. Зайцев, Г.С. Кораблев и др. // Письма в ЖТФ. – 1980. – Т. 6. – № 16. – С. 1013–1016.
20. Авиви П., Коуэн Ч., Фридленд Л. Измерение энергии и распределения по скоростям в интенсивных пучках релятивистских электронов, направляемых магнитным полем // Приборы для научных исследований. – 1986. – № 3. – С. 29–31.
21. Бугаев С.П., Ким А.А., Кошелев В.И. Потенциал трубчатого электронного пучка, формируемого в диоде с магнитной изоляцией // Журнал технической физики. – 1979. – Т. 49. – № 8. – С. 1790–1792.
22. Гордеев Е.М. Исследование угловых характеристик релятивистского электронного пучка по рентгеновскому излучению / Е.М. Гордеев, В.С. Горячев, Е.А. Смирнова и др. // Физика плазмы. – 1981. – Т. 7. – № 4. – С. 790–794.
23. Горбулин Ю.М. Фокусировка электронного пучка в сильноточном диоде / Ю.М. Горбулин, Д.М. Злотников, Ю.Г. Калинин и др. // Физика плазмы. – 1984. – Т. 10. – № 2. – С. 282–287.
24. Бова Н.Т., Резников Г.Б. Антенны и устройства СВЧ. – Киев: Вища школа, 1982. – 278 с.
25. Лисичкин А.Л., Нестеров Е.В., Строганов В.А. Калориметр импульсного сверхвысокочастотного излучения // Приборы и техника эксперимента. – 1996. – № 1. – С. 82–84.
26. Лисичкин А.Л., Нестеров Е.В. Волноводный калориметр импульсного сверхвысокочастотного излучения сантиметрового диапазона // Приборы и техника эксперимента. – 1998. – № 3. – С. 73–75.
27. Ермоленко А.В., Зайцев Б.Д., Сеницын Н.И., Федоренко В.А. Измерение частоты заполнения одиночных кратковременных СВЧ-радиоимпульсов // Радиотехника и электроника. – 1997. – Т. 42. – № 2. – С. 161–166.
28. Chang J., Vitiloe C.N., Neyer V.T., Ballard W.P. An electrooptical technique for intense microwave measurements // Journ. Appl. Phys. – 1985. – V. 57. – № 11. – P. 4843–4848.
29. Александров А.Ф., Галузо С.Ю., Кузнецов А.М. Визуализация пространственного распределения выходного излучения черенковского СВЧ-генератора на релятивистском электронном пучке // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. – 1992. – Т. 33. – № 5. – С. 82–84.

4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИСЭ СО РАН;
- средства мультимедиа;
- рабочее место аспиранта с выходом в Интернет;
- библиотечный фонд ИСЭ СО РАН;
- учебно-исследовательский комплекс для исследования транспортировки электронного пучка и генерации микроволнового излучения;
- учебно-исследовательский комплекс для изучения физических основ технологических применений наносекундных и субнаносекундных газовых разрядов;
- приборная база отдела физической электроники ИСЭ СО РАН.

5. Оценка качества освоения дисциплины

5.1. Оценочные мероприятия и формирование оценки

Оценка качества освоения дисциплины обучающимся осуществляется с использованием балльной системы. Перечень оценочных мероприятий и максимальное количество баллов, которое может быть получено обучающимся в результате каждого мероприятия, приведены в таблице.

Оценочное мероприятие	Максимальное число баллов
Промежуточная проверка в индивидуальном порядке (по разделам дисциплины)	15
Итоговая проверка в индивидуальном порядке (по разделам дисциплины)	15
Подготовка конспекта, реферата (самостоятельная работа)	20
Решение задач на практических занятиях	15
Решение домашних заданий аналитического и расчетного характера (самостоятельная работа)	15
Дифференцированный зачет	20
Максимальный суммарный балл	100

Текущий контроль качества усвоения теоретического материала включает оценку ответов на вопросы в ходе лекций, а также проверок знаний аспирантов в индивидуальном порядке.

На дифференцированном зачете аспиранту выставляется оценка и соответствующее ей число баллов:

- «Отлично»: 16—20 баллов.
- «Хорошо»: 11—15 баллов.
- «Удовлетворительно»: 6—10 баллов.
- «Неудовлетворительно»: 5 баллов и менее.

Итоговая оценка качества освоения дисциплины определяется величиной суммарного балла:

- «Отлично»: 81—100 баллов.
- «Хорошо»: 61—80 баллов.
- «Удовлетворительно»: 41—60 баллов.
- «Неудовлетворительно»: 40 баллов и менее.

5.2. Соответствие оценочных мероприятий (компонентов ФОС) дисциплины формируемым компетенциям, перечисленным в п. 1.3

Компонента ФОС, оценочное мероприятие	Компетенции					
	ОПК-1	ПК-1	ПК-2	УК-1	УК-2	УК-3
Промежуточная проверка в индивидуальном порядке (по разделам дисциплины)	+	+	+			
Итоговая проверка в индивидуальном порядке (по разделам дисциплины)	+	+	+			
Подготовка конспекта, реферата (самостоятельная работа)	+	+	+	+		
Решение домашних заданий аналитического и расчетного характера (самостоятельная работа)	+	+	+	+	+	
Дифференцированный зачет	+	+	+	+	+	+

5.3. Примеры билетов на промежуточных проверках

а) билеты к первой проверке:

Билет № 1

Сигналы в сильноточной электронике. Взаимодействие видеоимпульсов с регистрирующими устройствами. Требования, предъявляемые к регистрирующей аппаратуре. Интегральные и локальные параметры видеоимпульсов. Параметры радиоимпульсов и импульсов оптического излучения.

Билет № 2

Спектральные параметры импульсов. Преобразование Фурье. Спектры импульсно-периодических и одиночных импульсов. Условия неискаженной передачи сигнала через измерительную цепь.

Билет № 3

Осциллографические методы измерения параметров сигналов. Виды осциллографов. Блок-схема и принцип действия простейшего ЭЛО. Основные погрешности осциллографов. Принципы действия осциллографа с запоминающей электронно-лучевой трубкой, скоростного широкополосного, стробоскопического и цифрового осциллографов.

Билет № 4

Радиосигнальные линии. Волновые процессы в коаксиальных кабелях. Телеграфные уравнения. Волновое сопротивление, нагрузка, коэффициенты отражения и прохождения сигнала в нагрузку.

Билет № 5

Электромагнитные помехи и наводки. Основные причины возникновения искаженного сигнала. Причины возникновения токов в оболочках кабелей и способы их устранения.

Билет № 6

Измерение высоких импульсных напряжений с помощью делителей напряжения и осциллографа. Виды делителей напряжения. Омические делители, их измерительные цепи и передаточные

характеристики. Определение передаточных характеристик путём измерения реакции на прямоугольный импульс.

Билет № 7

Измерение высоких импульсных напряжений с помощью делителей напряжения и осциллографа. Виды делителей напряжения. Емкостные делители напряжения, их схема замещения. Определение передаточных характеристик путём измерения реакции на прямоугольный импульс.

Билет № 8

Измерение высоких импульсных напряжений с помощью делителей напряжения и осциллографа. Виды делителей напряжения. Смешанные демпфированные делители напряжения с последовательным включением емкостей и резисторов, их схемы замещения, определение передаточных характеристик путём измерения реакции на прямоугольный импульс.

Билет № 9

Измерение высоких импульсных напряжений с помощью делителей напряжения и осциллографа. Виды делителей напряжения. Делители напряжения на связанных линиях, их устройство и принцип действия.

Билет № 10

Измерение импульсных токов с помощью шунтов. Схема замещения шунта. Виды шунтов, их переходные характеристики, установившийся режим и режим проникновения.

Билет № 11

Измерение мощных импульсных токов с помощью пояса Роговского. Принцип действия пояса Роговского. Режим трансформатора тока.

Билет № 12

Измерение мощных импульсных токов с помощью пояса Роговского. Принцип действия пояса Роговского. Режим с интегрирующей RC-цепочкой.

Билет № 13

Измерение мощных импульсных токов с помощью пояса Роговского. Принцип действия пояса Роговского. Пояс Роговского как линия с распределенными параметрами. Режим измерения наносекундных импульсов.

б) билеты ко второй проверке:

Билет № 1

Измерение параметров электронных пучков. Трубочатые электронных пучки, условия их формирования и транспортировки. Измерение тока пучка. Цилиндр Фарадея. Трансформаторы тока. Шунты. Емкостные делители.

Билет № 2

Измерение параметров электронных пучков. Трубочатые электронных пучки, условия их формирования и транспортировки. Диафрагменный метод измерения поперечной скорости электронов пучка.

Билет № 3

Измерение параметров электронных пучков. Трубочатые электронных пучки, условия их формирования и транспортировки. Метод свечения тонких пленок измерения поперечной скорости электронов пучка.

Билет № 4

Измерение параметров электронных пучков. Измерение положения и размеров пучка. Метод автографа. Измерение распределения плотности пучка. Коллекторы.

Билет № 5

Измерение параметров электронных пучков. Измерение энергии электронного пучка в импульсе. Калориметры.

Билет № 6

Измерение параметров электронных пучков. Измерение кинетической энергии электронов энергии по пробегу в веществе.

Билет № 7

Методы измерения энергетического спектра электронов пучка. Магнитные спектрометры.

Билет № 8

Диагностика мощных импульсов СВЧ-излучения. Схема регистрации СВЧ-мощности в антенных измерениях. Стоячие волны, их влияние на антенные измерения. Рупорные, волноводные и вибраторные приемные антенны. Требования, предъявляемые к приемным антеннам. Эффективная поверхность рупорных, волноводных и вибраторных антенн. Согласование антенн с волноводным трактом. Измерение мощности релятивистского источника СВЧ-излучения методом интегрирования плотности мощности по диаграмме направленности.

Билет № 9

Диагностика мощных импульсов СВЧ-излучения. Детекторные измерения. Типы, конструкции, эквивалентные схемы и характеристики детекторов, на диоде Шоттки применяемых в релятивистской СВЧ-электронике. Схема калибровки детекторов.

Билет № 10

Диагностика мощных импульсов СВЧ-излучения. Детекторные измерения. Типы, конструкции, эквивалентные схемы и характеристики детекторов на термоэмиссионном СВЧ-диоде и на эффекте горячих носителей. Схемы калибровки детекторов.

Билет № 11

Диагностика мощных импульсов СВЧ-излучения. Измерение энергии мощных импульсов СВЧ-излучения с помощью калориметров. Типы и конструкции калориметров.

Билет № 12

Диагностика мощных импульсов СВЧ-излучения. Измерение частоты и спектра СВЧ-излучения. Метод отсечки, заградительные фильтры. Калориметрические спектрометры на основе заградительных волноводов. Резонансный метод, полосовые фильтры.

Билет № 13

Диагностика мощных импульсов СВЧ-излучения. Измерение частоты и спектра СВЧ-излучения. Измерение спектра с помощью широкополосных цифровых запоминающих осциллографов. Гетеродинный метод.

Билет № 14

Диагностика мощных импульсов СВЧ-излучения. Измерение мощности СВЧ-излучения с помощью ответвителей. Измерение мощности СВЧ-излучения методом светящихся шариков. Визуализация волнового поля с помощью панели из газоразрядных индикаторов.

5.4. Билеты на дифференцированном зачете

Билет № 1

1. Сигналы в сильноточной электронике. Взаимодействие видеоимпульсов с регистрирующими устройствами. Интегральные и локальные параметры видеоимпульсов. Параметры радиоимпульсов и импульсов оптического излучения. Требования, предъявляемые к регистрирующей аппаратуре.
2. Измерение параметров мощных наносекундных импульсов СВЧ-излучения. Измерение мощности СВЧ-излучения с помощью ответвителей. Характеристики ответвителей. Примеры конструкций. Схема калибровки.

Билет № 2

1. Спектральные параметры импульсов. Преобразование Фурье. Спектры импульсно-периодических и одиночных импульсов. Условия неискаженной передачи сигнала через измерительную цепь.
2. Цифровые запоминающие осциллографы. Принцип действия, блок-схема, основные параметры и погрешности.

Билет № 3

1. Осциллографические методы измерения параметров сигналов. Виды осциллографов. Блок-схема и принцип действия простейшего ЭЛО. Основные погрешности осциллографов. Условия неискаженного воспроизведения формы электрических сигналов.
2. Измерение высоких импульсных напряжений с помощью делителей напряжения и осциллографа, демпфированные и смешанные делители напряжения их измерительные цепи и передаточные характеристики.

Билет № 4

1. Радиосигнальные линии. Волновые процессы в коаксиальных кабелях. Телеграфные уравнения. Волновое сопротивление, нагрузка, коэффициенты отражения и прохождения сигнала в нагрузку.
2. Использование СВЧ-разряда в газе для измерения мощности импульсов СВЧ-излучения, визуализации распределения плотности потока мощности в пространстве и исследования когерентности импульсов СВЧ-излучения.

Билет № 5

1. Электромагнитные помехи и наводки. Основные причины возникновения помех. Виды паразитной связи. Непосредственная емкостная паразитная связь. Непосредственная паразитная индуктивная связь. Паразитные емкостная и индуктивная связи с участием посторонних проводов.
2. Измерение высоких импульсных напряжений с помощью делителей напряжения и осциллографа. Виды делителей напряжения. Делители напряжения на связанных линиях, принцип действия и характеристики.

Билет № 6

1. Измерение высоких импульсных напряжений с помощью делителей напряжения и осциллографа. Виды делителей напряжения. Омические делители, их измерительные цепи и передаточные характеристики. Определение передаточных характеристик путём измерения реакции на прямоугольный импульс.
2. Осциллографические методы измерения параметров сигналов. Виды осциллографов. Запоминающие осциллографы. Широкополосные осциллографы.

Билет № 7

1. Измерение высоких импульсных напряжений с помощью делителей напряжения и осциллографа. Виды делителей напряжения. Емкостные делители напряжения, их измерительные цепи

и передаточные характеристики. Определение передаточных характеристик путём измерения реакции на прямоугольный импульс.

2. Электромагнитные помехи и наводки. Помехи за счет смещения потенциала в разрядной цепи.

Билет № 8

1. Измерение импульсных токов с помощью шунтов. Схема замещения шунта. Виды шунтов и их характеристики. Измерение тока электронного пучка с помощью шунта.

2. Электромагнитные помехи и наводки за счет падения напряжения на заземляющем проводнике и индуктированные и наведенные ЭДС.

Билет № 9

1. Измерение параметров электронных пучков. Цилиндр Фарадея. Калориметрический метод. Измерение энергии электронов по пробегу и поглощению в веществе.

2. Сигналы в сильноточной электронике. Взаимодействие видеоимпульсов с регистрирующими устройствами. Интегральные и локальные параметры видеоимпульсов.

Билет № 10

1. Измерение параметров электронных пучков. Измерение энергетического спектра импульсного электронного пучка. Спектрометры. Измерение профиля и размеров электронного пучка. Измерение поперечной скорости электронов.

2. Радиосигнальные линии. Волновые процессы в коаксиальных кабелях. Телеграфные уравнения. Волновое сопротивление, нагрузка, коэффициенты отражения и прохождения сигнала в нагрузку.

Билет № 11

1. Измерение параметров мощных наносекундных импульсов СВЧ-излучения. Общая схема антенных измерений. Эффективная поверхность приемной рупорной и волноводной антенны. Вибраторные антенны. Измерение эффективной поверхности приемных рупорных, волноводных и вибраторных антенн.

2. Спектральные параметры импульсов. Преобразование Фурье. Спектры импульсно-периодических и одиночных импульсов. Условия неискаженной передачи сигнала через измерительную цепь.

Билет № 12

1. Измерение параметров мощных наносекундных импульсов СВЧ-излучения. Регистрация СВЧ-сигналов и детекторные измерения. Детектор на диоде Шоттки, его конструкция, характеристики и схема замещения. Ламповые детекторы, их конструкция. Детекторы на горячих носителях. Схемы калибровки детекторов.

2. Измерение параметров электронных пучков. Цилиндр Фарадея. Калориметрический метод. Измерение энергии электронов по пробегу и поглощению в веществе.

Билет № 13

1. Измерение параметров мощных наносекундных импульсов СВЧ-излучения. Калориметрические измерения. Широкополосные «сухие» калориметры, их конструкции и методы калибровки. Узкополосные «сухие» калориметры, их конструкции и методы калибровки. Широкополосный жидкостный вакуумный калориметр с терморезистором, его принцип действия, конструкция и методы калибровки. Широкополосный жидкостный апертурный калориметр, принцип действия, конструкция, калибровка.

2. Цифровые запоминающие осциллографы. Принцип действия, блок-схема, основные параметры и погрешности.

Билет № 14

1. Измерение параметров мощных наносекундных импульсов СВЧ-излучения. Спектральные измерения. Метод отсечки. Дисперсионная линия. Резонансный метод. Гетеродинный метод. Измерение спектральных характеристик с помощью широкополосных цифровых осциллографов.
2. Измерение импульсных токов с помощью пояса Роговского. Принцип действия пояса Роговского. Режим трансформатора тока. Схема с интегрирующей цепочкой. Измерение наносекундных сигналов.

Билет № 15

1. Измерение импульсных токов с помощью пояса Роговского. Принцип действия пояса Роговского. Режим трансформатора тока. Схема с интегрирующей цепочкой. Измерение наносекундных сигналов.
2. Измерение параметров мощных наносекундных импульсов СВЧ-излучения. Общая схема антенных измерений. Эффективная поверхность приемной рупорной и волноводной антенны. Вибраторные антенны. Измерение эффективной поверхности приемных рупорных, волноводных и вибраторных антенн.

Рабочая программа составлена на основании:

федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлениям подготовки 03.06.01 Физика и астрономия и 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденных приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;

- паспортов специальностей научных работников: 01.04.04 — физическая электроника; 01.04.05 — оптика, 01.04.07 — физика конденсированного состояния, 01.04.13 — электрофизика, электрофизические установки; 05.27.02 — вакуумная и плазменная электроника.

- программ-минимумов кандидатских экзаменов по перечисленным выше специальностям утвержденных приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

Составитель рабочей программы
с.н.с., к.ф.-м.н.



А.И. Климов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена ученым советом ИСЭ СО РАН.

Протокол № 13 от «24» август 2018 г.

Секретарь ученого совета, д.ф.-м.н.



И. В. Пегель

**Дополнения и изменения в рабочей программе
за _____ / _____ учебный год**

В рабочую программу дисциплины «Экспериментальные методы в сильноточной электронике» вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес
Доцент, к.ф.-м.н., с.н.с.

А.И. Климов

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании ученого совета ИСЭ СО РАН.
Протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Секретарь ученого совета

подпись

Ф. И. О.